“การศึกษาและทบทวนผลการวิเคราะห์การจัดทำแผนธุรกิจและศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) พร้อมปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยปัจจุบัน”

รายงานฉบับสมบูรณ์(ฉบับแผนธุรกิจ)

บทสรุปผู้บริหาร
(Executive Summary)

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ชื่อย่อ สทน. เป็นหน่วยงานในสังกัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่แยกหน่วยงานออกจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเนื่องจากการปรับโครงสร้างส่วนราชการ สทน. มีภาระกิจในการดำเนินงานศึกษาวิจัย พัฒนา และสร้างนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ รวมทั้งให้บริการด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์และสนับสนุนการใช้พลังงานนิวเคลียร์และรังสีอย่างปลอดภัยซึ่งหนึ่งในพันธกิจหลักของสถาบันฯ คือ บริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ด้านการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีของประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์เพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขันของภาคการผลิตและบริการ รวมทั้งเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน ตลอดจนรองรับงานวิจัยชั้นสูงในการพัฒนาด้านการใช้ประโยชน์พลังงานนิวเคลียร์และรังสีเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ นอกจากนี้ สถาบันฯ ยังเป็นหน่วยงานติดต่อประสานงานทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ สทน.ได้กำหนดนโยบายและยุทธศาสตร์ที่เป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจเพื่ออนาคต (New Engine of Growth) สนับสนุนกลุ่มอุตสาหกรรม (Cluster) 5 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ (Next – Generation Automotive) อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (Smart Electronics) การเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ (Agriculture and Biotechnology) อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร (Food for the Future) และอุตสาหกรรมการแพทย์ครบวงจร (Medical Hub) เพื่อการก้าวสู่ประเทศไทย 4.0 ภายใต้นโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาด้านพลังงานนิวเคลียร์ของประเทศ พ.ศ. 2560 – 2569 เพื่อมุ่งไปสู่ความเป็นศูนย์รวม ดังนี้

1. เป็นศูนย์วิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศ
2. เป็นศูนย์กลางการสร้างและพัฒนาบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ เพื่อเป็นกำลังทางปัญญาของประเทศ และเพื่อรองรับแผนพัฒนาผลิตกำลังไฟฟ้า (PDP 2015)
3. เป็นศูนย์กลางที่มีการนำเอาวัฒนธรรมความปลอดภัยนิวเคลียร์ (Nuclear Safety Culture) มาใช้อย่างสมบูรณ์แบบ
4. เป็นศูนย์กลางการให้บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในด้านการแพทย์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรมและการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรม

ในปี พ.ศ. 2552 สทน. ได้จ้างหน่วยงานภายนอกทำการศึกษาโครงการ “ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบ” แต่ด้วยเหตุผลหลายประการ ทำให้การดำเนินงานขาดความก้าวหน้า และเมื่อเวลาล่วงเลยมาหลายปีผลการศึกษาวิเคราะห์ที่ผ่านมาอาจไม่สะท้อนภาพในปัจจุบันและอนาคตที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมด้านการแข่งขันและความก้าวหน้าทางด้านการวิจัยและเทคโนโลยีที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้เพิ่มเติมในด้านเทคนิค ด้านการตลาด ด้านการเงิน ด้านธุรกิจและการลงทุน พร้อมทั้งจัดทำแผนธุรกิจโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยปัจจุบันในการพัฒนาศักยภาพการแข่งขันด้วยการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในช่วงเวลา 30 ปีข้างหน้า

การทบทวนข้อมูลแผนธุรกิจเดิมพบว่า แนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเดิมนั้นใช้ขนาดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นฐานในการวางแผนการผลิต ดังนั้นผลผลิตตามความสามารถเต็มกำลังผลิตของเครื่องขนาด 10 MW จึงสูงกว่าความต้องการในประเทศ เมื่อระยะเวลาที่ผ่านมากว่า 7 ปี ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่สูงขึ้นและมีเทคโนโลยีอื่น ๆ มาทดแทน จึงทำให้ส่วนแบ่งการตลาดเปลี่ยนแปลงไป ขณะที่ผู้ให้บริการมีจำนวนมากขึ้น ราคาค่าบริการที่ลดต่ำลง ผลิตภัณฑ์บางประเภทจึงมีการแข่งขันสูง ทำให้แผนการผลิตเดิมเกิดความเสี่ยงในการลงทุน จึงจำเป็นต้องทบทวนปรับข้อมูลในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินรายได้ทางตรงไว้สูงมากและมีความไวต่อการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนด้านความเป็นไปได้ทางการเงิน เศรษฐกิจและสังคม ให้เป็นข้อมูลปัจจุบัน

เหตุผลและความจำเป็นในการลงทุนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการเครื่องใหม่ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขีดความสามารถด้านการแข่งขันในการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของไทยมีแนวโน้มที่จะถดถอยด้อยกว่าประเทศเพื่อนบ้านอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งปัจจุบันสัดส่วนการลงทุนทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของไทยยังมีสัดส่วนต่ำกว่ามาตรฐานสากลของประเทศที่เจริญแล้วอยู่มาก
2. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยนับเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการใช้ประโยชน์หลายด้าน (multipurpose) ในหลายภาคส่วนจึงสามารถใช้ประโยชน์ร่วมกัน (Shared facility) ทั้งด้าน การแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร และการศึกษาวิจัย นับว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักสำหรับสนับสนุนพันธกิจในการพัฒนาประเทศและพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์
3. เพื่อให้มีการบูรณาการการลงทุนด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ให้ครบวงจร เนื่องจากเครื่องมืออื่นๆ ที่ต้องมีการใช้งานร่วมกันรัฐได้ลงทุนไปส่วนหนึ่งแล้ว และเพื่อเป็นการสนับสนุนและพัฒนากำลังคนเพื่อการเตรียมความพร้อมสำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ของประเทศไทยในอนาคต

4. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเครื่องเดิมและอุปกรณ์สนับสนุนต่างๆ มีอายุใช้งานมามากกว่า 50 ปี ไม่ทันสมัย รวมทั้งมีกำลังต่ำเกินไป ไม่สามารถรองรับความต้องการในปัจจุบันและในอนาคตได้
5. จากการประเมินผลตอบแทนการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ ถ้าไม่ตัดสินใจดำเนินการ หรือมีความล่าช้าในการตัดสินใจดำเนินโครงการ จะสูญเสียโอกาสในการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในการพัฒนาประเทศ คิดเป็นมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐกิจไม่น้อยกว่าปีละ 1,202.38 ล้านบาท นอกจากนี้ยังเสียโอกาสด้านการพัฒนากำลังคนและการวิจัยด้านองค์ความรู้ใหม่

นอกจากนี้ ได้ทำการทบทวนและปรับข้อมูลในส่วนของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เคยประเมินรายได้ทางตรงไว้สูงมากและมีความไวต่อการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนด้านความเป็นไปได้ทางการเงิน เศรษฐกิจและสังคม ให้เป็นข้อมูลปัจจุบัน ซึ่งได้แก่

1. ทางการแพทย์

ผลิตภัณฑ์สารเภสัชรังสี Tc-99m ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากผลผลิตฟิชชันของ LEU เดิมเคยขาดแคลนและมีความต้องการในตลาดสูง ซึ่งตามกำลังผลิตของเครื่องสามารถผลิตได้ 16,320 คูรี/ปี ได้มีการประเมินรายได้ไว้ที่ 914 ล้านบาท/ปี แต่ปัจจุบันมีการแข่งขันในตลาดสูงมาก ประกอบกับมีเทคโนโลยีการใช้เครื่องเร่งอนุภาคมาใช้ในการผลิตแทนกระบวนการผลิตไอโซโทปด้วยการอาบนิวตรอนที่ผลผลิตก่อให้เกิดกากกัมมันตรังสีปริมาณสูง ในการศึกษานี้จึงต้องปรับผลผลิตให้เป็นไปตามความต้องการในประเทศเท่านั้นและเหลือกำลังการผลิตสำหรับความต้องการในอนาคต

2. ทางอุตสาหกรรม

การให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำ (NTD) เดิมได้ประมาณส่วนแบ่งการจากตลาดโลกไว้ 10 ตัน/ปี ราคาบริการอยู่ที่ 2000 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัม มีการประเมินรายได้ไว้ที่ประมาณ 700 ล้านบาท/ปี แต่ในปัจจุบันมีการแข่งขันสูงขึ้นมากทำให้ค่าบริการลดลง 20 เท่า คืออยู่ที่ 100 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัมเท่านั้น จึงจำเป็นต้องปรับประเมินรายได้ใหม่และต้องปรับขนาดท่ออาบนิวตรอนให้รองรับการผลิตในอนาคต ความน่าสนใจในการลงทุนอาจลดลง แต่หากมีความจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศก็สามารถลงทุนเพื่อให้บริการวิจัยและบริการโดปสารกึ่งตัวนำได้

เนื่องจากต้องมีการชดเชยรายได้ทางตรงจากผลิตภัณฑ์หลัก 2 รายการดังกล่าวข้างต้นที่ลดลงมาก ในการศึกษานี้จึงได้ปรับแนวทางในการศึกษาผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ต้องการในปัจจุบันและมีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้น เช่น ไอโซโทปรังสีทางด้านการแพทย์และอุตสาหกรรม (I-131, Lu-177, Ir-

192, Se-75) การเพิ่มกำลังผลิตด้านการฉายรังสีพลอย และพิจารณาการสร้างมูลค่าเพิ่มด้านการเกษตรซึ่งเป็นฐานเศรษฐกิจส่งออกที่สำคัญของประเทศด้วยการปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจและเมล็ดพันธุ์

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นการศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจพร้อมปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ในครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นที่ความต้องการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการทุกภาคส่วนเป็นหลัก โดยใช้แนวทางจากเอกสารการศึกษาความเป็นไปได้สำหรับโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตามข้อแนะนำ (Guideline) ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) รวมทั้งการขอข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญของ IAEA สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการอาศัยการศึกษาข้อมูลปฐมภูมิซึ่งได้จากการประชุมกลุ่มย่อย การสัมภาษณ์ลึกจากผู้มีส่วนได้เสีย (Stakeholder) และข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากบทความ บทวิเคราะห์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ศักยภาพของโครงการ ได้แก่ ความเป็นไปได้ทางด้านการตลาดและด้านเทคนิค ก่อนที่จะนำผลการศึกษาทั้งสองด้านมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ด้านการเงิน เศรษฐกิจและสังคม เมื่อผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการมีผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงได้ดำเนินการจัดทำแผนธุรกิจ อันประกอบด้วย แผนการตลาด แผนการผลิต แผนการจัดการและแผนการเงิน สำหรับเป็นกรอบในการวางแนวทางพัฒนาการประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมเพื่อการเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักของศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศ ให้สอดคล้องตามนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ของสถาบันฯ

ในการจัดทำแผนธุรกิจเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยนั้น ได้ดำเนินการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมภายนอกของการมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก โดยใช้ PEST Analysis และการวิเคราะห์อุตสาหกรรมด้วย Five Forces Model เพื่อนำมาจัดทำแผนธุรกิจและสรุปเป็นแผนการตลาด แผนการผลิต แผนการจัดองค์กรและการจัดการ และแผนการเงิน ได้ดังนี้

1. แผนการตลาด

1.1 ผลิตภัณฑ์และบริการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยดำเนินการจัดทำตามความต้องการใช้ประโยชน์ของเครื่องใน 4 ด้าน ดังนี้ ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม และวิจัยและนวัตกรรม

ด้านการแพทย์

ผลิตภัณฑ์หลักในการผลิตและบริการทางการแพทย์ ได้แก่ เภสัชรังสี I-131, Sm-153, Lu-177, Tc-99m รวมทั้งเภสัชรังสีรังสีอีกหลายตัวที่จะผลิตในอนาคต เช่น Sr-90, Ho-166, Y-90 generator เพื่อ

ใช้ในการวินิจฉัยผู้ป่วยโรคไทรอยด์ หัวใจและหลอดเลือด และรักษา/บำบัดให้แก่ผู้ป่วยไทรอยด์ โรคมะเร็ง โดยเฉพาะผู้ป่วยระยะสุดท้ายที่ต้องการสารเภสัชรังสีบรรเทาอาการปวด ส่งผลให้คุณภาพชีวิตของประชาชนดีขึ้น โดยกลุ่มเป้าหมายด้านการแพทย์ ได้แก่ โรงเรียนแพทย์ โรงพยาบาลของรัฐบาลและเอกชน ที่ให้บริการด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ การที่ สทน. สามารถผลิตไอโซโทปรังสีและเภสัชรังสีได้เองนอกจากจะช่วยลดปริมาณการนำเข้าแล้ว ยังเป็นการสร้างโอกาสให้ผู้ป่วยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีสามารถเข้าถึงบริการได้มากขึ้น

ด้านอุตสาหกรรม

ผลผลิตจะช่วยให้ประเทศไทยมีศักยภาพและขีดความสามารถในการแข่งขัน รวมทั้งมีโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เข้าสู่ตลาดมากขึ้น ภาคอุตสาหกรรมที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้แก่ ผู้ประกอบการอัญมณีเพื่อที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับโทแพซที่มีความต้องการในตลาดสูงทั้งในสหรัฐอเมริกา ยุโรป และเอเชีย อุตสาหกรรมด้านการโดปสารกึ่งตัวนำเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การทดสอบและวิเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ช่วยสนับสนุนงานด้านต่างๆ เช่น งานทางด้านศิลปวัฒนธรรม และงานตรวจวิเคราะห์แร่ธาตุโดยเฉพาะธาตุหายาก (Rare Earth) การวิเคราะห์สารปนเปื้อนในอาหารและการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถผลิตไอโซโทปรังสีด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ Ir-192 และ Se-75 เพื่อการถ่ายภาพด้วยรังสี

ด้านการเกษตร

การปรับปรุงพันธุ์พืชด้วยนิวตรอนสำหรับพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และไม้ดอกไม้ประดับ เช่น กล้วยไม้ เบญจมาศ ดาวเรือง เป็นต้น จะทำให้ได้พืชพันธุ์ใหม่หรือพันธุ์ที่ทนต่อสภาพแวดล้อม ส่งผลต่อเกษตรกรของประเทศไทยในการมีผลผลิตใหม่สู่ตลาดหรือมีผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นจากใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ ซึ่งสร้างมูลค่าเพิ่มได้อย่างมาก โดยประเทศไทยเคยมีตัวอย่างของความสำเร็จในการปรับปรุงพันธุ์ เช่น พันธุ์ข้าว กข 10 นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อให้มีลักษณะพิเศษในการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เครื่องสำอางและอาหารเสริม กลุ่มเป้าหมายหลัก คือ นักวิจัย เกษตรกร และกรมวิชาการเกษตร รวมทั้งสถาบันวิจัยด้านการเกษตรต่าง ๆ

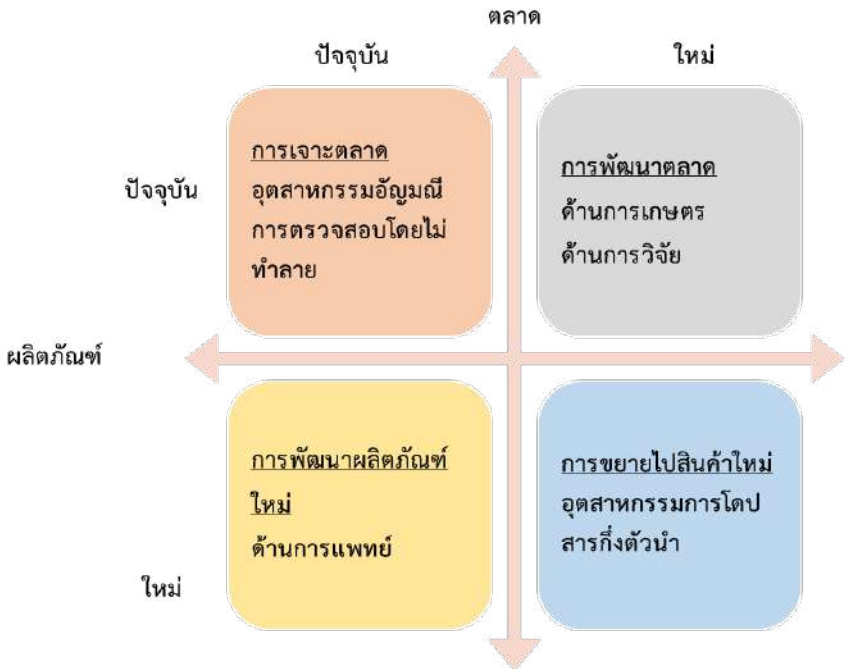
ด้านวิจัยและนวัตกรรม

บริการวิจัยด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยก่อประโยชน์ในด้านงานวิจัยและสร้างนวัตกรรมที่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เพื่อพัฒนาการใช้ประโยชน์ในการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์รวมถึงการนำผลงานวิจัยจากห้องปฏิบัติการไปสู่การผลิตจริงในเชิงพาณิชย์ทั้งด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม และยังให้ประโยชน์ด้านการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย คือ สถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีหลักสูตรด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมนิวเคลียร์ รวมถึงการสนับสนุนด้านการฝึกอบรมในการเตรียมความพร้อมด้านการใช้พลังงาน

งานนิวเคลียร์ และการศึกษาดูงานของหน่วยงานและประชาชนในการให้ความรู้ความเข้าใจในการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

1.2 กลยุทธ์การแข่งขัน

เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีผลิตภัณฑ์และบริการที่หลากหลาย ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกัน ดังนั้นจึงมีกลยุทธ์ที่แตกต่างกันได้แต่ละด้าน ในการจัดทำแผนธุรกิจจึงกำหนดกลยุทธ์การเติบโต Intensive Growth สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยโดยให้ครอบคลุมการใช้ประโยชน์ทั้ง 4 ด้าน ดังนี้



- ด้านการแพทย์ควรใช้กลยุทธ์การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development) เน้นการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่
- ด้านอุตสาหกรรมอัญมณี และอุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ควรใช้กลยุทธ์การเจาะตลาด (Market Penetration) เพื่อขยายส่วนแบ่งตลาด
- ด้านการเกษตรและด้านวิจัยและนวัตกรรม ควรใช้กลยุทธ์การพัฒนาตลาด (Market Development) โดยเน้นการขยายตลาดไปในพื้นที่ใหม่และลูกค้ากลุ่มใหม่ เพื่อเพิ่มจำนวนผู้เข้ามารับบริการ
- อุตสาหกรรมการโดปสารกึ่งตัวนำ เป็นตลาดใหม่และผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่เคยให้บริการมาก่อน จึงควรใช้กลยุทธ์การขยายบริการใหม่

1.3 กลยุทธ์ส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix)

1.3.1.1 ผลิตภัณฑ์/บริการ (Product/Service)

ด้านการแพทย์

- ผลิตภัณฑ์สารเภสัชรังสีของ สทน.ควรได้รับมาตรฐาน GMP หรือ คณะกรรมการอาหารและยา (อย.)
- พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ให้ความสะดวกและตรงกับความต้องการของผู้ใช้
- มีผลงานวิจัยสนับสนุนไอโซโทปรังสี หรือมีการค้นคว้างานวิจัยเพื่อประกอบการจำหน่ายสารเภสัชรังสี
- ให้ข้อมูล ให้คำปรึกษาในงานด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์แก่ผู้ใช้และผู้เกี่ยวข้อง

ด้านอุตสาหกรรม

- พัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการเพื่อทดแทนการนำเข้า
- การโดปสารกึ่งตัวนำสำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กำลัง การศึกษาโครงสร้างภายในวัสดุและการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคก่อกัมมันต์ รวมทั้งการผลิตไอโซโทปรังสี Ir-192 เพื่อการถ่ายภาพด้วยรังสีในอุตสาหกรรม
- การผลิตไอโซโทปรังสีชนิดใหม่ๆ เพื่อใช้เป็นสารติดตามสำหรับงานทางด้านอุตสาหกรรมและงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non Destructive Testing – NDT)
- ให้บริการฉายรังสีอัญมณี โทแพซ พลอยเนื้ออ่อนประเภทต่าง ๆ

ด้านการเกษตร

- สร้างองค์ความรู้ให้กับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อให้มาใช้บริการมากขึ้น
- การศึกษาวิจัยร่วมกับหน่วยงานที่ส่งเสริมด้านการเกษตร

ด้านวิจัยและนวัตกรรม

- จัดทำ Roadmap การวิจัย
- สร้างนวัตกรรมจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
- ร่วมมือกับสถาบันการศึกษาในการทำวิจัย
- สนับสนุนการใช้ประโยชน์ด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์

1.3.1.2 กลยุทธ์ด้านราคา

กำหนดราคาผลิตภัณฑ์และบริการโดยประเมินจากต้นทุนในการผลิต และอ้างอิงราคาจากการนำเข้าจากต่างประเทศ ราคาที่กำหนดควรต่ำกว่าราคาที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.3.1.3 กลยุทธ์การกระจายสินค้า

มีการจัดส่งผลิตภัณฑ์/บริการที่คล่องตัวและมีประสิทธิภาพ

1.3.1.4 กลยุทธ์สื่อสารการตลาด

มีการสื่อสารเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการต่างๆ การขอรับบริการและความปลอดภัย ไปยังกลุ่มผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียหลักๆ โดยใช้ช่องทางการสื่อสารที่เหมาะสม

2. แผนการผลิต

แผนการเดินเครื่องเพื่อการวิจัยต่อการให้บริการควรมีอัตราส่วนร้อยละ 60 : 40 โดยในส่วนบริการร้อยละ 40 เป็นส่วนคาดการณ์รายได้ทางตรงของสถาบันฯ ทั้งนี้การวางแผนการผลิตต้องสอดรับกับนโยบายและทิศทางการพัฒนาประเทศ โดยภาพรวมสามารถจำแนกผลผลิตและบริการตามกลุ่มงานด้านต่างๆ ได้ ดังนี้

1) ด้านการผลิตไอโซโทปรังสี ซึ่งแบ่งเป็น การผลิตเภสัชรังสีด้านการแพทย์ การผลิตไอโซโทปรังสีในด้านอุตสาหกรรม และการผลิตไอโซโทปรังสีในด้านการเกษตร
2) ด้านฉายรังสีอัญมณี
3) ด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์
4) ด้านการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน
5) ด้านการวิจัยและนวัตกรรม
6) ด้านการทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนเพื่อรองรับระบบการผลิตไอโซโทปรังสีและการประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ของโครงการ ฯ เพื่อให้ได้ผลผลิตตามแผนการผลิตอย่างปลอดภัย ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดที่เหมาะสมพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการของกลุ่มงานต่างๆ และกำบังรังสี ระบบป้องกันทางกายภาพและความมั่นคงปลอดภัย (Security and physical protection) ตาม

ข้อกำหนดของสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ทั้งในประเทศและสากล รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับรองรับงานวิจัย

แผนดำเนินการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบสนับสนุนการปฏิบัติการโดยรวมแล้วจะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงเดินเครื่องได้สมบูรณ์ประมาณ 6 ปีและควรสรรหาที่ปรึกษาต่างประเทศที่มีประสบการณ์ในการดำเนินโครงการแบบพร้อมใช้งานได้ทันที (Turnkey)

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจะมีอายุใช้งานมากกว่า 40 ปี แต่อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือจะมีอายุใช้งานแตกต่างกันไปตั้งแต่ 5-20 ปี แล้วแต่ประเภทของอุปกรณ์ ซึ่งเมื่อถึงอายุใช้งานก็จะต้องมีการเปลี่ยนหรือทดแทนเป็นการลงทุนเพิ่ม โดยต้องมีการบำรุงรักษาตามระยะเวลา

การจัดการด้านโลจิสติกส์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ต้องคำนึงถึงกฎระเบียบการกำกับดูแลด้านความปลอดภัยในทุกด้านซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากลและตามระเบียบข้อกำหนดของประเทศ เช่น พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. ๒๕๕๙

3. แผนการจัดองค์กร

โครงสร้างองค์กรไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีการปรับอัตรากำลังคนในโครงสร้างให้สอดคล้องกับการมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่ โดยบุคลากรที่ต้องการเพิ่มมีดังนี้

- ศูนย์ไอโซโทปรังสีเพิ่มกำลังคน 31 คน
- ศูนย์ฉายรังสีอัญมณีเพิ่มกำลังคน 10 คน
- ด้านงานปรับปรุงพันธุศาสตร์ เพิ่มกำลังคน 3 คน
- ด้านการโดปสารกึ่งตัวนำเพิ่มกำลังคน 8 คน
- ด้านการวิจัยและพัฒนาเพิ่มกำลังคนประมาณ 10 คน
- ด้านวิศวกรรมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพิ่มกำลังคน 16 คน

4. แผนการเงิน

เงินลงทุนของโครงการประกอบด้วยที่ดินที่ใช้ก่อสร้างโครงการ 18 ไร่ มูลค่า 11,520,000 บาท และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุน 15,762.99 ล้านบาท รวมเป็นมูลค่าการลงทุนทั้งหมด โดยโครงการใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างประมาณ 6 ปี และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีอายุการใช้งาน 40 ปี

ผลประโยชน์ที่จะได้รับประกอบด้วย ผลประโยชน์ทางตรง และผลประโยชน์ทางอ้อม โดยผลประโยชน์ทางตรง คือ ผลประโยชน์ที่ สทน. ได้รับเป็นตัวเงินในการให้บริการโดยตรงจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสี ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อมนั้นเกิดจากการใช้เครื่องปฏิกรณ์

นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการเพื่อการวิจัยและการศึกษาทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มในอนาคต รวมถึงผลที่ได้จากการวิจัยพัฒนาต่าง ๆ จนเกิดผลในเชิงพาณิชย์และทางสังคม เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยปกติแล้วไม่ได้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการพาณิชย์ ดังนั้นผลการศึกษาพบว่าเมื่อเดินเครื่องไปแล้ว 20 ปี จะมีผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อมรวมทั้งสิ้น 3,182.93 ล้านบาท โดยมีสัดส่วนเท่ากับ 27:73

5. ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ

ผลการประเมินด้วยวิธีการประมาณจากแนวโน้มผลผลิตและการให้บริการ คือ มูลค่าสุทธิของโครงการในมูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีมูลค่า -1,323 – 3,494 ล้านบาท ตามอัตราส่วนลดที่เลือกใช้ มูลค่าสุทธิส่วนใหญ่ยังคงเป็นบวก และค่า IRR ของโครงการนี้มีค่า 10.6% ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนลดที่เลือกใช้ โดยระยะเวลาในการคืนทุน คือ 14 ถึงมากกว่า 20 ปี เมื่อนับจากเริ่มใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยหรือ 20 ถึงมากกว่า 26 ปี นับจากเริ่มลงทุน

ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าเป็นโครงการที่คุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากการประมาณรายได้จากแนวโน้มความต้องการใช้บริการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยทั้งทางตรงและทางอ้อมนั้นสามารถประมาณมูลค่าที่จะเกิดขึ้นกับเศรษฐกิจและสังคมโดยรวม ซึ่งยังมีข้อมูลอีกหลายส่วนที่ไม่สามารถประมาณออกมาเป็นมูลค่าทางการเงิน ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้จะเกิดผลต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ เช่น ค่าใช้จ่ายที่ลดลงด้านสาธารณสุขสามารถนำไปส่งเสริมด้านอุตสาหกรรมและการค้าหรือสร้างความเป็นอยู่ให้กับประชากรในประเทศทำให้ GDP ของประเทศมีการเจริญเติบโตมากขึ้นส่งผลให้เศรษฐกิจดีขึ้นทำให้ความต้องการใช้บริการเพิ่มมากขึ้นตามด้วย

เพื่อนำไปสู่การพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมที่เชื่อมโยงความรู้และภูมิปัญญา ตลอดจนการเป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมที่ยั่งยืนของประเทศ พบว่ามีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีกำลังสูงขึ้น เพื่อรองรับความต้องการตามผลการศึกษาความเป็นไปได้และการจัดทำแผนธุรกิจของโครงการ โดยมีข้อสรุปดังนี้

1. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยควรเป็นแบบอเนกประสงค์โดยขนาดกำลังที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากแผนการผลิตตามความต้องการนั้น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดกำลัง 10 MW ให้ฟลักซ์นิวตรอนที่ 10^{13}- 10^{14} n/cm^2.s มีขนาดกำลังผลิตเพียงพอต่อความต้องการ แต่เมื่อพิจารณาความต้องการให้บริการท่อนำลำนิวตรอนสำหรับการวิจัยขั้นสูง ซึ่งต้องการฟลักซ์นิวตรอนสูงที่ 10^{14}- 10^{15} n/cm^2.s ขนาดกำลังของเครื่องอาจต้องเป็น 15 หรือ 20 MW ขึ้นอยู่กับการออกแบบท่อนำลำนิวตรอนของผู้ผลิต อย่างไรก็ตามการเดินเครื่องที่มีกำลังสูงก็จะมีค่าเชื้อเพลิง ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและค่าบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น

2. รูปแบบการจัดซื้อควรเป็นโครงการชนิดซื้อมาพร้อมใช้งาน (Turnkey project) โดยจ้างบริษัทที่ปรึกษาและให้ผู้เชี่ยวชาญใน สทน. มีส่วนร่วมทางเทคนิคมากขึ้น
3. ควรมีการศึกษาวางแผนความเหมาะสมด้านกำลังคน เพื่อรองรับงานในโครงการใหม่ควบคู่กับการสร้างกำลังคนทดแทน บนพื้นฐานการจัดการองค์ความรู้ (Knowledge Management) เพื่อรักษาประสบการณ์และความรู้ในองค์กรด้วยการจัดระบบถ่ายถอดความรู้จากผู้ชำนาญการอาวุโส
4. การลงทุนในโครงการนี้เป็นการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่สำคัญ ต้องมีการบริหารจัดการโครงการด้านผลผลิตให้เกิดความคุ้มทุน และใช้ศักยภาพของโครงการเพื่อการขับเคลื่อนกลไกในพัฒนาแบบยั่งยืนสู่สังคมและการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ
5. เป็นการสร้างศักยภาพทั้งด้านการพัฒนาผลผลิต กำลังคนและความโดดเด่นของ สทน. ให้เป็นศูนย์กลางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศ และก้าวสู่การเป็นหนึ่งในผู้นำด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในระดับภูมิภาคอาเซียน

สารบัญ

		หน้า
บทสรุปผู้บริหาร		**E-1**
บทที่ 1	**บทนำ**	**1-1**
1.1	ความเป็นมา	1-1
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1-5
1.3	ขอบเขตของงาน	1-5
1.4	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1-7
บทที่ 2	**การจัดทำแผนธุรกิจ**	**2-1**
2.1	ความเป็นมา	2-1
2.2	แนวดำเนินการศึกษาและทบทวนข้อมูลเพื่อจัดทำแผนธุรกิจ	2-2
2.3	การศึกษาและทบทวนข้อมูลผลวิเคราะห์แผนธุรกิจเดิม	2-3
2.4	การทบทวนปัญหาและอุปสรรคในอดีต	2-4
2.5	การศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่	2-6
	2.5.1 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ	2-6
	2.5.2 ผู้มีส่วนมีส่วนได้เสียในโครงการ	2-8
	2.5.3 ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ	2-12
บทที่ 3	**แผนการตลาด**	**3-1**
3.1	ผลิตภัณฑ์/บริการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	3-1
3.2	ศักยภาพด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์/บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	3-3
	3.2.1 ด้านการแพทย์	3-3
	3.2.2 ด้านการเกษตร	3-16
	3.2.3 ด้านอุตสาหกรรม	3-25
	3.2.4 ด้านวิจัยและนวัตกรรม	3-38
3.3	การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมภายนอก	3-42
	3.3.1 การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อม (PEST Analysis)	3-42
	3.3.2 การวิเคราะห์อุตสาหกรรม	3-44

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
3.4	การวิเคราะห์ SWOT	3-46
3.5	การกำหนดวิสัยทัศน์ พันธกิจ และเป้าหมาย	3-49
3.6	การพยากรณ์การใช้บริการ	3-50
3.7	กลยุทธ์การแข่งขันของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	3-55
3.8	การแบ่งส่วนตลาด (Segmentation) การเลือกตลาดเป้าหมาย (Target Market) และการวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์	3-57
	3.8.1 ด้านการแพทย์	3-57
	3.8.2 ด้านการเกษตร	3-58
	3.8.3 ด้านอุตสาหกรรม	3-58
	3.8.4 ด้านวิจัยและนวัตกรรม	3-59
	3.8.5 การวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์ (Positioning)	3-59
3.9	กลยุทธ์การตลาด	3-60
	3.9.1 วัตถุประสงค์ทางการตลาด	3-60
	3.9.2 กลยุทธ์ส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix)	3-60
3.10	งบประมาณการตลาด	3-64
บทที่ 4	**แผนการผลิต**	**4-1**
4.1	สถานที่ตั้งและการวางผังโรงงาน	4-1
4.2	การวางแผนกำลังการผลิต	4-2
	4.2.1 ด้านการผลิตไอโซโทปรังสี	4-3
	4.2.2 ด้านฉายรังสีอัญมณี	4-5
	4.2.3 ด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์	4-6
	4.2.4 ด้านการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน	4-7
	4.2.5 ด้านการวิจัยและนวัตกรรม	4-8
	4.2.6 ด้านการทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ	4-9
4.3	เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบสนับสนุนกระบวนการผลิต	4-11
	4.3.1 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	4-11

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
	4.3.2 ระบบความปลอดภัยทางรังสี และความมั่นคงปลอดภัย	4-12
	4.3.3 ส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการและกำบังรังสี	4-12
	4.3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือสนับสนุนงานวิจัย	4-13
4.4	แผนการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	4-22
	4.4.1 แผนการก่อสร้าง	4-22
	4.4.2 แผนการจัดการเครื่องมือและอุปกรณ์	4-26
4.5	เงื่อนไขการชำระค่าใช้จ่ายของโครงการ	4-27
4.6	อายุการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ	4-30
4.7	การซ่อมแซมและการบำรุงรักษา	4-31
4.8	กระบวนการผลิต	4-31
	4.8.1 การเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	4-31
	4.8.2 การผลิตไอโซโทปรังสี	4-32
	4.8.3 การฉายรังสีอัญมณี	4-32
	4.8.4 การปรับปรุงด้านพันธุศาสตร์	4-33
	4.8.5 การวิจัยและนวัตกรรม	4-33
	4.8.6 การโดปสารกึ่งตัวนำ	4-34
	4.8.7 การทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ	4-34
	4.8.8 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากกระบวนการผลิต	4-35
4.9	แผนการจัดการด้านโลจิสติกส์	4-38
	4.9.1 การขนส่งและจัดการวัสดุนิวเคลียร์	4-38
	4.9.2 การขนส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	4-39
	4.9.3 การขนส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว	4-40
	4.9.4 การจัดเก็บสินค้าและวัสดุนิวเคลียร์	4-42
	4.9.5 การจัดการกากกัมมันตรังสี	4-43
	4.9.6 การบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ	4-46
	4.9.7 การรับใบสั่งซื้อ	4-47

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	4.9.8 การจัดซื้อ	4-47
	4.9.9 การวางแผนควบคุมสินค้า	4-48
	4.9.10 การประกันภัย	4-48
4.10	ประมาณการวัตถุดิบที่ใช้	4-48
	4.10.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและราคาเชื้อเพลิง	4-48
	4.10.2 ค่าใช้จ่ายในการจัดการเชื้อเพลิงใช้แล้ว	4-49
	4.10.3 ค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ	4-49
	4.10.4 วัสดุและสารเริ่มต้นการผลิตไอโซโทป	4-50
4.11	การจัดหาเครื่องจักรและวัตถุดิบ	4-50
	4.11.1 แผนการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	4-50
	4.11.2 แผนการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ	4-51
4.12	ประมาณการต้นทุนการผลิต	4-51
	4.12.1 ต้นทุนเครื่องปฏิกรณ์และระบบสนับสนุนการปฏิบัติการ	4-51
	4.12.2 ประมาณการจำนวนค่าแรงที่เพิ่มขึ้นในโครงการ	4-52
	4.12.3 ประมาณการพัฒนาองค์กร	4-52
บทที่ 5	**แผนการจัดองค์กรและการจัดการ**	**5-1**
5.1	โครงสร้างองค์กร	5-1
5.2	กำลังคน Job Description, Job Specification	5-3
	5.2.1 กลุ่มงานผลิตไอโซโทปรังสี	5-4
	5.2.2 กลุ่มงานด้านการฉายรังสีอัญมณี	5-5
	5.2.3 กลุ่มงานด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์	5-5
	5.2.4 กลุ่มงานด้านการโดปสารกึ่งตัวนำ	5-5
	5.2.5 กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม	5-6
	5.2.6 ด้านวิศวกรรมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	5-6
5.3	อาคารสำนักงาน ยานพาหนะและอุปกรณ์สำนักงาน	5-6
5.4	กิจกรรมด้านเทคนิคก่อนการดำเนินการ	5-7

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	5.4.1 การเตรียมความพร้อมในการดำเนินงานด้านเทคนิค	5-7
	5.4.2 กลยุทธ์การบริหารจัดการโครงการ	5-9
	5.4.3 กลยุทธ์การดำเนินงาน	5-11
5.5	การวางแผนรองรับอนาคตจากคาดการณ์ความต้องการ	5-12
บทที่ 6	**แผนการเงิน**	**6-1**
6.1	ประมาณการเงินลงทุนในโครงการ	6-1
6.2	ประมาณการเงินลงทุนหมุนเวียน	6-2
	6.2.1 การประมาณรายได้ / ผลประโยชน์ (benefit)	6-2
	6.2.2 การประมาณค่าใช้จ่าย	6-10
6.3	ประมาณการแหล่งที่มาของเงินทุน	6-13
6.4	หลักทรัพย์ที่จะใช้ในการกู้เงิน	6-13
6.5	อัตราดอกเบี้ยและเงื่อนไขในการชำระเงินกู้	6-13
6.6	การชำระเงินกู้และดอกเบี้ย	6-13
6.7	ประมาณการงบกระแสเงินสด	6-14
6.8	ประมาณการงบกำไรขาดทุน (ผลการดำเนินงาน) (Main)	6-19
6.9	ประมาณการงบแสดงฐานะกิจการ (Main)	6-20
6.10	การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	6-22
	6.10.1 การประเมินการลงทุนโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	6-22
	6.10.2 ผลประมาณจากแนวโน้มผลผลิตและความต้องการใช้บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	6-23
บทที่ 7	**ความเสี่ยงและข้อเสนอแนะ**	**7-1**
7.1	ความเสี่ยงด้านนโยบายและการสนับสนุนจากภาครัฐที่อาจส่งผลให้ไม่เกิดการลงทุนหรือเกิดการยืดเยื้อในการตัดสินใจ	7-1
7.2	ความเสี่ยงด้านการเสียโอกาสโดยเฉพาะด้านเศรษฐกิจ	7-2
7.3	ความเสี่ยงด้านกฎหมายกำกับดูแลการดำเนินการสถานประกอบการทางนิวเคลียร์	7-4

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
7.4	ความเสี่ยงด้านการยอมรับของชุมชนรอบบริเวณที่ตั้งสถานประกอบการ	7-5
7.5	ความเสี่ยงด้านการเปลี่ยนแปลงในมูลค่าการลงทุนและค่าใช้จ่าย	7-7
7.6	ความเสี่ยงจากการบริหารการตลาดให้ได้ตามแผน	7-7
7.7	ความเสี่ยงด้านการดำเนินงานโครงการ	7-8
7.8	ความเสี่ยงด้านเทคโนโลยี	7-8
7.9	ความเสี่ยงด้านระยะเวลาการจัดการและการจัดการทรัพยากรบุคคล	7-9

ภาคผนวก ก ข้อมูลสำหรับแผนการตลาด

ภาคผนวก ข ข้อมูลสำหรับการผลิตไอโซโทปรังสีตามแผนการผลิต

ภาคผนวก ค Expected construction cost for 10-20 MW Multipurpose Research Reactor

ภาคผนวก ง การคำนวณการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง

รายการอ้างอิง

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลิตภัณฑ์และบริการด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร และวิจัยและนวัตกรรม	3-2
3.2	ไอโซโทปรังสีที่ผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีการใช้ในปัจจุบันและการทำวิจัยทางคลินิกจากข้อมูลของ European Commission และ Technopolis	3-6
3.3	การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากไอโซโทปรังสีทางการแพทย์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในประเทศที่พัฒนาแล้ว	3-8
3.4	สถิติผู้ป่วยนอก สถิติผู้ป่วยใน และสถิติการเสียชีวิตจากโรคมะเร็ง และผู้ป่วยไทรอยด์ในกลุ่มโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข	3-9
3.5	สถิติผู้ป่วยนอกที่เข้ารับการรักษาด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือดในกลุ่มโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข	3-12
3.6	การประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	3-19
3.7	เนื้อที่เพาะปลูก เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ในภูมิภาคอาเซียน ปี พ.ศ. 2557-2559	3-20
3.8	รายได้การให้บริการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย	3-30
3.9	ราคาเฉลี่ยของซิลิกอนเกรดต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม	3-31
3.10	การพยากรณ์ผลประโยชน์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากการใช้บริการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตามปริมาณความต้องการ	3-54
4.1	รายการสรุปลักษณะความต้องการทางเทคนิคของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติงาน	4-17
4.2	แผนการลงทุนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ประเทศเกาหลี	4-29
4.3	ประมาณการผลผลิตตามแผนการผลิตและผลประโยชน์ที่ได้รับ (แบ่งตามกลุ่มงาน)	4-35
4.4	ประมาณการรายได้ทางตรงและทางอ้อมของแต่ละกลุ่มงาน	4-37
4.5	ตัวอย่าง แหล่งที่มา ระดับกัมมันตภาพและปริมาณที่เกิดขึ้นลูกบาศก์เมตรต่อปีของกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลว	4-44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	ค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ	4-49
4.7	ค่าใช้จ่ายบุคลากรที่เพิ่มขึ้นในโครงการ	4-52
5.1	ตำแหน่งและกำลังคนที่จำเป็นในการเดินเครื่องฯ และบำรุงรักษา	5-3
5.2	ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานผลิตไอโซโทป	5-4
5.3	ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี	5-5
5.4	ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์	5-5
5.5	ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานการโดปสารกึ่งตัวนำ	5-5
5.6	ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม	5-6
5.7	ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	5-6
6.1	สรุปรายได้ทางตรงและผลประโยชน์ทางอ้อม	6-8
6.2	ความต้องการบุคลากรและค่าใช้จ่าย	6-10
6.3	รายได้จากการให้บริการ	6-15
6.4	การลงทุนในส่วนประกอบต่างๆของเครื่องปฏิกรณ์ฯ	6-16
6.5	ต้นทุนของการให้บริการ	6-17
6.6	รายได้สุทธิจากการให้บริการ	6-18
6.7	กำไรและกำไรสะสมการให้บริการ	6-19
6.8	ประมาณฐานะกิจการ (ปีที่ 1-13)	6-20
6.9	ประมาณฐานะกิจการ (ปีที่ 14-26)	6-21
6.10	สรุปผลการประเมินโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย จากแนวโน้มผลผลิตและการให้บริการ (NPV: หน่วยล้านบาท และ GDP growth 3%)	6-24

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	ตลาดเภสัชรังสีโลกในปี ค.ศ. 2013-2024	3-4
3.2	อัตราเสียชีวิต จำแนกตามสาเหตุที่สำคัญ ต่อประชากร 100,000 คน ประเทศไทย พ.ศ. 2554 และ พ.ศ. 2558	3-11
3.3	ความเกี่ยวข้องของผู้มีส่วนได้เสียทางด้านการแพทย์	3-14
3.4	ประเทศและชนิดของพืชที่มีการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการกลายพันธุ์	3-18
3.5	การชักนำให้เกิดการปรับปรุงพันธุ์ในงานวิจัยจีโนมพืช	3-19
3.6	ยอดขายอัญมณีระดับโลกระหว่างปี ค.ศ.2000-2005	3-27
3.7	มูลค่าการนำเข้า-ส่งออก อัญมณีสังเคราะห์ ปี พ.ศ.2557-2559 (ล้านบาท)	3-28
3.8	มูลค่าการนำเข้า-ส่งออก เครื่องประดับ อัญมณีเทียม ปี พ.ศ. 2557-2559 (ล้านบาท)	3-28
3.9	Lithium-Ion Battery Manufacturing for EV power trains	3-32
3.10	IC Fabrication Overview Procedure of Silicon Wafer Production	3-32
3.11	Wafer market development, power electronics, actual and forecast	3-34
3.12	แนวโน้มการขยายตัวเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมการผลิตสารกึ่งตัวนำทั่วโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010-2021	3-35
3.13	กลยุทธ์การเติบโต Intensive Growth	3-56
4.1	แผนผังแสดงที่ตั้งของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุน	4-2
4.2	แผนการผลิตของกลุ่มงานผลิตไอโซโทป	4-5
4.3	แผนการผลิตของกลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี	4-6
4.4	แผนการผลิตของกลุ่มงานปรับปรุงพันธุศาสตร์	4-7
4.5	แผนการผลิตของกลุ่มงานโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน	4-8
4.6	แผนการผลิตของกลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม	4-9
4.7	แผนการผลิตของกลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ	4-10
4.8	แผนการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่	4-24
4.9	ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่เชื้อเพลิงของบริษัท AREVA	4-40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		**หน้า**
4.10	ตัวอย่าง รูปแบบ และคุณลักษณะพิเศษ ภาชนะบรรจุ หรือ CASK ที่ใช้บรรจุเชื้อเพลิงใช้แล้ว	4-41
5.1	โครงสร้างการบริหารองค์กรของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)	5-1

บทที่ 1
บทนำ

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) ของโครงการ การศึกษาและทบทวนผลการวิเคราะห์การจัดทำแผนธุรกิจและศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) พร้อมปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยปัจจุบันภายใต้สัญญาจ้างเลขที่ 41/2560 ลงวันที่ 2 มิถุนายน 2560 ระหว่างสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กับ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเนื้อหาในเล่มนำเสนอ ความเป็นมาของโครงการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของประเทศไทยและแนวทางการดำเนินงานในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการฯ รวมทั้งการจัดทำแผนธุรกิจ

1.1 ความเป็นมา

คณะรัฐมนตรี สมัยรัฐบาลพลเอกชาติชาย ชุณหะวัณ ได้มีมติเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ.2532 ให้กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม รับไปพิจารณาเรื่องดำเนินการย้ายเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พป.) ซึ่งตั้งอยู่ที่เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ไปจัดสร้าง ณ สถานที่แห่งใหม่ที่เหมาะสม ทั้งนี้ให้ขอความช่วยเหลือจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ระหว่างปี พ.ศ. 2533 – 2534 [1] ทบวงการฯ ได้ส่งผู้เชี่ยวชาญมาร่วมตรวจสอบและวิเคราะห์ความเหมาะสมของสถานที่ตั้ง โดยสำรวจพื้นที่ต่างๆทั้งจากที่ราชพัสดุและที่ในมหาวิทยาลัยตลอดจนที่ดินสาธารณะต่างๆจำนวนทั้งสิ้น 31 แปลง ผลการพิจารณาเห็นว่า พื้นที่ที่ตำบลทรายมูล อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก เนื้อที่ประมาณ 316 ไร่ มีความเหมาะสมมากที่สุด

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติได้ดำเนินการจัดตั้งศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ (ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องครักษ์) มีการแบ่งส่วนโครงการออกเป็น2 ส่วน ได้แก่ Turnkey และ Non-Turnkey สำหรับโครงการส่วน Turnkey นั้นสำนักงานฯ ได้ว่าจ้างบริษัท Electro Watt Engineering Ltd. (EWE) จากประเทศสวิสเซอร์แลนด์เป็นวิศวกรที่ปรึกษาโครงการ เมื่อ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2538 และต่อมาเมื่อ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2540 ได้ว่าจ้างบริษัท General Atomics (GA) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ออกแบบและ

ก่อสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย พร้อมติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 10 MW รวมถึงระบบผลิตไอโซโทปรังสีและระบบการจัดการกากกัมมันตรังสี โครงการนี้ได้รับการบรรจุให้เป็น โครงการเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ในวโรกาสฉลองสิริราชสมบัติครบ 50 ปี พ.ศ. 2539 ด้วย อย่างไรก็ตามโครงการในส่วน Non-Turnkey อันประกอบด้วยการก่อสร้างอาคารปฏิบัติการและอาคารที่พักอาศัยรวมถึงอุปกรณ์ประกอบ ได้ดำเนินการแล้วเสร็จ แต่โครงการในส่วน Turnkey เกิดความล่าช้าด้วยอุปสรรคในการดำเนินงานจึงไม่สามารถบรรลุความสำเร็จได้ ต่อมาในปี พ.ศ. 2549 คณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้มีคำสั่งแต่งตั้งคณะอนุกรรมการพิจารณาความเหมาะสมโครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ เพื่อทบทวนความเหมาะสมในการจัดตั้งศูนย์วิจัยนิวเคลียร์และเสนอแนะแนวทางและความเหมาะสม พร้อมทางเลือก ซึ่งผลการพิจารณาสรุปว่าสถานที่ตั้งที่ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายกมีความเหมาะสมตามที่คณะอนุกรรมการความปลอดภัยโรงงานนิวเคลียร์ได้พิจารณานำเสนอความเห็นทางวิชาการไว้แล้วโดยมีความจำเป็นที่จะต้องจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเครื่องใหม่และเครื่องปฏิกรณ์ฯ กำลัง 10 MW มีศักยภาพสูง สามารถเพิ่มกำลังการผลิตไอโซโทปรังสีที่ใช้ในการตรวจสอบในกิจการอุตสาหกรรมได้ อีกทั้งยังตอบสนองการใช้ประโยชน์ในการให้บริการ ฉายรังสีอัญมณี การโดปสารกึ่งตัวนำ และการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ที่มีศักยภาพสูงขึ้น นอกเหนือจากการพัฒนากำลังคนและการวิจัยพัฒนาเพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ [2]

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ชื่อย่อ สทน. เป็นหน่วยงานภายใต้สังกัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่แยกหน่วยงานออกจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเนื่องจากการปรับโครงสร้างส่วนราชการ ได้รับมอบพื้นที่ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ใหม่ซึ่งมีสถานที่ตั้งอยู่ที่ 9/9 หมู่ 2 ตำบลทรายมูล อำเภอ องครักษ์ จังหวัดนครนายก มาเป็นสำนักงานใหญ่บริหารงานโดยมีคณะกรรมการบริหารสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เป็นผู้กำหนดนโยบาย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ทำหน้าที่ดำเนินงานศึกษาวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ รวมทั้งให้บริการด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์และด้านความปลอดภัยทางรังสี โดยหนึ่งในพันธกิจหลักของสถาบันฯ คือ บริหารจัดการ การเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและอุปกรณ์นิวเคลียร์ เพื่อรองรับการวิจัยและพัฒนาด้านการใช้ประโยชน์พลังงานนิวเคลียร์และรังสี ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ นอกจากนี้สถาบันฯ ยังเป็นหน่วยงานติดต่อประสานงานทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์

ตามแนวนโยบายของรัฐบาล Thailand 4.0 ได้กำหนด 10 อุตสาหกรรมเป้าหมาย เพื่อเป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจเพื่ออนาคต (New Engine of Growth) ซึ่งในนั้นมีกลุ่มอุตสาหกรรมจำนวน 5 กลุ่ม (Cluster) ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนิวเคลียร์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งได้แก่กลุ่มอุตสาหกรรมดังต่อไปนี้ [3]

1. อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ (Next – Generation Automotive)
2. อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (Smart Electronics)
3. การเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ (Agriculture and Biotechnology)
4. อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร (Food for the Future)
5. อุตสาหกรรมการแพทย์ครบวงจร (Medical Hub)

นอกจากนี้พันธกิจของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กำหนดให้สถาบันฯ มีบทบาทในการส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพการแข่งขันด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร การวิจัยพัฒนา และนวัตกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย สถาบันฯ จึงเห็นสมควรให้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลักดันให้ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่มีความสมบูรณ์ เพื่อการขยายงานโครงการต่าง ๆ ด้านการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ในด้านต่างๆ ที่กล่าวไปแล้วเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการพัฒนาประเทศและทันกับความก้าวหน้าของวิทยาการชั้นสูงของนานาอารยะประเทศในอนาคต อีกทั้งเพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน ตลอดจนการปรับโครงสร้างทางเศรษฐกิจของประเทศ รวมถึงการสร้างองค์ความรู้ที่ต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีอุปกรณ์หลักเป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย (Nuclear Research Reactor) ตามนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ของสถาบันฯ ดังนี้ [4]

1. เป็นศูนย์วิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศ
2. เป็นศูนย์กลางการสร้างและพัฒนาบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์เพื่อเป็นกำลังทางปัญญาของประเทศ และเพื่อรองรับแผนพัฒนาผลิตกำลังไฟฟ้า (PDP 2015) [5]
3. เป็นศูนย์กลางที่มีการนำเอาวัฒนธรรมความปลอดภัยนิวเคลียร์ (Nuclear Safety Culture) มาใช้อย่างสมบูรณ์แบบ
4. เป็นศูนย์กลางการให้บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในด้านการแพทย์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรมและการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรม

เมื่อปี พ.ศ. 2552 สทน. ได้จ้างหน่วยงานภายนอกทำการศึกษาโครงการ “ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบ” ไว้แล้ว เพื่อผลักดันให้โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่มีความสมบูรณ์สอดรับกับการใช้ประโยชน์ในส่วน Non-Turnkey ที่รัฐได้ลงทุนโครงสร้างพื้นฐานและส่วนปฏิบัติการขนาดใหญ่ไปส่วนหนึ่งแล้ว นอกจากนี้ยังได้มีการทำความเข้าใจกับประชาชนในพื้นที่ตำบลทรายมูลและบริเวณใกล้เคียงพร้อมทั้งรักษามวลชนสัมพันธ์ในท้องถิ่นมาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ได้แยกส่วนระบบการจัดการกากกัมมันตรังสีออกไปดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในโครงการต่างหาก อย่างไรก็ตาม โดยเหตุผลหลายประการ ทำให้การดำเนินงานขาดความก้าวหน้า จนกระทั่งในปลายปี พ.ศ.

2559 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ดร.พิเชฐ ดุรงคเวโรจน์) ได้ให้ความสนใจถึงการดำเนินงานและความก้าวหน้าของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของประเทศ ซึ่งทางผู้อำนวยการสถาบันฯ ได้เข้าพบให้ข้อมูลเรื่องการจัดทำแผนการดำเนินงานจัดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ และท่านรัฐมนตรีได้มอบหมายให้ดำเนินโครงการต่ออย่างบูรณาการร่วมกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

เนื่องจากรายงานการศึกษาความเป็นไปได้และแผนธุรกิจโครงการฯ เดิมได้จัดทำไว้ตั้งแต่ในช่วง 8-10 ปีที่ผ่านมาผลการศึกษาวิเคราะห์ที่ผ่านมาอาจไม่สะท้อนภาพในปัจจุบันและอนาคตที่มีความก้าวหน้าในด้านต่างๆ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมด้านการแข่งขันและความก้าวหน้าทางด้านการวิจัยและเทคโนโลยีมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้เพิ่มเติมในด้านเทคนิค ด้านการตลาด ด้านการเงิน ด้านธุรกิจและการลงทุน พร้อมทั้งจัดทำแผนธุรกิจโครงการการพัฒนาศักยภาพการแข่งขันด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การวิจัยพัฒนา และนวัตกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในช่วง 30 ปีข้างหน้า

อนึ่งเพื่อให้การดำเนินการของโครงการจัดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่ของประเทศไทยเป็นไปตามมาตรฐานสากล ทางสถาบันฯ ได้เชิญคณะผู้เชี่ยวชาญจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ภายใต้ TC Project RAS0075 “Networking for Nuclear Education, Training, and Outreach Programmers in Nuclear Science and Technology in the Framework of ANEN ” มาจัดประชุมเชิงปฏิบัติการที่กรุงเทพฯ ในหัวข้อ “National Workshop and Experts’ Mission on the IAEA Milestone Approach for a New Research Reactor project” ระหว่างวันที่ 29 พฤษภาคม ถึง 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ในการประชุมนี้ทำให้คณะทำงานของสถาบันฯ และคณะที่ปรึกษาในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการฯ ได้ทราบถึงแนวทางในการทบทวนข้อมูลที่ผ่านมาประกอบกับข้อมูลที่จะสำรวจให้เป็นปัจจุบัน เพื่อการดำเนินงานเฟสแรก (phase 1) ในการเริ่มต้นโครงการ (Pre-project) ให้สอดคล้องกับเนื้อหาหลักในเอกสาร Feasibility Study for a New Research Reactor (FSR) ตามกระบวนการในข้อแนะนำ (Guideline) ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ [6] ทั้งการรวบรวมวิเคราะห์ และรายงานผลสำรวจความต้องการที่ชัดเจนถึงแหล่งที่มาของข้อมูล รวมถึงการประเมินความพร้อมขององค์กรเอง [7] ซึ่งรายละเอียดเนื้อหาหลักๆ ในการทำ FSR สำหรับโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยแสดงไว้ในภาคผนวก ข ของรายงานเบื้องต้น (Inception report) [8]

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและทบทวนรายงาน “ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบ” เพื่อให้มีความเป็นปัจจุบันและพยากรณ์ความเป็นไปได้ด้านเทคนิค ด้านการตลาด ด้านการเงิน ด้านธุรกิจและการลงทุนในช่วง 30 ปีข้างหน้า

1.2.2 จัดทำแผนโครงการศึกษาความเป็นไปได้ของการทำโครงการและปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยปัจจุบัน ด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ที่ขนาด 15 MW, 20 MW และขนาดที่เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบันของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของงาน

ดำเนินการศึกษาฐานข้อมูลต่างๆ จากแหล่งที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับการวิจัยและการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในระยะ 5 ปีที่ผ่านมาของประเทศไทย รวมทั้งเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวกับประเทศที่พัฒนาแล้ว พร้อมทั้งทบทวนรายงาน “ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบ” เพื่อให้มีความเป็นปัจจุบัน สำหรับใช้เป็นกรอบในการวางแนวทางการพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยอย่างเหมาะสม

การศึกษานี้จะทำการศึกษาถึงความต้องการด้านการบริการในปัจจุบันและแนวโน้มความต้องการในอนาคตของประเทศและภูมิภาค ตามกระบวนการและข้อแนะนำในเอกสาร FSR ของทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ เพื่อประเมินศักยภาพการเติบโตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต กล่าวคือเพื่อจัดทำรายงานซึ่งครอบคลุมถึงขอบเขตดังนี้

1.3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการตลาดและด้านคุณค่าต่อสังคมของโครงการ

1.3.2 การศึกษาความต้องการการใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย เพื่อการวิจัยและบริการในด้านต่าง ๆ กล่าวคือ

1.3.2.1 ด้านการแพทย์

1.3.2.2 ด้านการเกษตร

1.3.2.3 ด้านอุตสาหกรรม

1.3.2.4 ด้านการศึกษา วิจัย และนวัตกรรม

โดยจำแนกความต้องการใช้งานหลักภายใต้หัวข้อข้างต้นได้ดังนี้

- การผลิตไอโซโทปรังสี ที่นำมาใช้ในทางการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม
- งานวิจัยการปรับปรุงพันธุ์พืชหรือพันธุศาสตร์
- การปรับปรุงคุณภาพอัญมณีด้วยรังสี
- การโดปสารกึ่งตัวนำด้วยเทคนิค Neutron Transmutation Doping (NTD) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมด้านการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
- การทดสอบและวิเคราะห์ด้านวัสดุศาสตร์ (Material Testing and Analysis)
- การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านนิวเคลียร์เทคโนโลยี
- การพัฒนากำลังคนด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์และฟิสิกส์นิวเคลียร์เพื่อรองรับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (PDP 2015) [5]

1.3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคของโครงการ ด้านดำเนินงานและการบริหารจัดการ

1.3.4 การศึกษาและประเมินข้อมูลลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical specification) ของระบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและอุปกรณ์ประกอบ เพื่อรองรับการผลิตไอโซโทปรังสีและการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆตามหัวข้อ 1.3.2 ตลอดจนระบบจัดการเชื้อเพลิงใช้แล้ว เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดหา จัดการ และ ดำเนินการ

1.3.5 การศึกษาการบริหารและจัดการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและอุปกรณ์ประกอบเพื่อรองรับระบบการผลิตไอโซโทปรังสีและการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ทั้งการควบคุมดูแลและการใช้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย

1.3.6 การศึกษาและประเมินข้อมูลทางเทคนิคของระบบการจัดการกากกัมมันตรังสีชั่วคราว (Interim storage) เพื่อรองรับการผลิตไอโซโทปรังสี

1.3.7 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐกิจ การเงิน และสังคม ความคุ้มค่าต่อการดำเนินงานและผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม

1.3.8 จัดทำแผนธุรกิจโครงการการศึกษาและทบทวนผลการวิเคราะห์ จากการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) ฉบับเดิมและปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยปัจจุบัน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงความพร้อมรวมถึงความเป็นไปได้ทางด้านอุปสงค์ของการบริการและประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Direct and indirect utilization) ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ ตลอดจนการประเมินความเป็นไปได้ทางด้านการตลาดและการเงิน

1.4.2 ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ของโครงการการลงทุนทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและอุปกรณ์ประกอบเพื่อรองรับระบบการผลิตไอโซโทปรังสีและการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ

1.4.3 ได้ทราบขอบเขตรายละเอียดความต้องการและชนิดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบที่เหมาะสมกับงานด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดข้อมูลหลักเฉพาะทางเทคนิค เพื่อการจัดหา จัดการ และดำเนินการ

1.4.4 ได้ข้อมูลอันเป็นแนวทางในวางแผนการบริหาร และจัดการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ทั้งการควบคุมดูแลและการใช้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย

1.4.5 ได้ข้อมูลของระบบผลิตไอโซโทป และอุปกรณ์สำหรับการผลิตไอโซโทปรังสีเพื่อการใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรมและการศึกษาวิจัย

1.4.6 ได้ข้อมูลของระบบการจัดการกากกัมมันตรังสีชั่วคราว (Interim storage) จากกระบวนการการผลิตไอโซโทปที่ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งานด้านการผลิตไอโซโทปรังสี

1.4.7 ได้ข้อมูลของการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในงานด้านต่าง ๆ ตามหัวข้อที่ 1.3.2

1.4.8 ได้แนวทางการวางแผนการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยด้านการพัฒนากำลังคนด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์และฟิสิกส์นิวเคลียร์อันเป็นการปูความรู้พื้นฐานและสร้างประสบการณ์ด้านการควบคุมแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์ การเปลี่ยนถ่ายเชื้อเพลิง และการปฏิบัติตามกฎระเบียบต่าง ๆ อย่างเคร่งครัด รวมถึงการทำวิจัยต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อรองรับแผนพัฒนา

บทที่ 2
การจัดทำแผนธุรกิจ

2.1 ความเป็นมา

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ได้มอบหมายให้ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยดำเนินงานในโครงการ “การศึกษาและทบทวนผลการวิเคราะห์การจัดทำแผนธุรกิจและการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) พร้อมปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยปัจจุบัน” ซึ่งการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่เป็นโครงการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศ ที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนได้เสียจากโครงการ (Stakeholder) ทั้งภาครัฐและเอกชนในการใช้ประโยชน์เพื่อเสริมสร้างศักยภาพการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม วิศวกรรม วิจัยและนวัตกรรม การพัฒนากำลังคนด้านนิวเคลียร์ของประเทศ ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจของโครงการนี้จึงเป็นการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลประกอบการพิจารณาลงทุนโครงการขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญต่อการของบประมาณสนับสนุนจากรัฐบาล ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะเฉพาะทางเทคนิคของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนสำหรับใช้ในการจัดทำ TOR เพื่อการวางแผนดำเนินการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ต่อไป

ทางสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ได้จัดกลุ่มงานจากหน่วยงานหลักต่างๆ ขององค์กรที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการให้บริการวิจัยและพัฒนาด้านนวัตกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมาทำงานร่วมกันโดยแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มงานด้านผลิตไอโซโทป กลุ่มงานด้านฉายรังสีอัญมณี กลุ่มงานด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์ กลุ่มงานด้านโดปสารกึ่งตัวนำ กลุ่มงานด้านวิจัยและนวัตกรรม กลุ่มงานด้านทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ และกลุ่มงานด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ในการบริหารการเดินเครื่อง กลุ่มงานที่กล่าวถึงบางกลุ่มมีฐานข้อมูลลูกค้าที่เคยให้บริการอยู่แล้ว บางกลุ่มต้องสำรวจเพิ่มเติมเพื่อประสานการขอข้อมูลความต้องการใช้บริการผ่านการประชุม Focus group ผู้มีส่วนได้เสียที่ใช้ประโยชน์และมีโอกาสสร้างรายได้ทางตรงแก่สถาบันฯ ตลอดจนการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคม นอกจากนี้สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ได้ประสานการประชุมระหว่างทีมที่ปรึกษาศูนย์บริการวิชาการฯ และทีมผู้บริหารสถาบันฯ เพื่อทราบแนวนโยบาย แลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น รวมทั้ง

การหารือด้านปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินโครงการ สำหรับประกอบการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ในขั้นตอนการดำเนินงาน

2.2 แนวดำเนินการศึกษาและทบทวนข้อมูลเพื่อจัดทำแผนธุรกิจ

ทีมที่ปรึกษาศูนย์บริการวิชาการฯ ได้วางแนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ โดยอาศัยการศึกษาข้อมูลทั้งทุติยภูมิและปฐมภูมิจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ศักยภาพของโครงการ ได้แก่ ความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค ก่อนที่จะนำผลการศึกษาทั้งสองด้านมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ด้านการเงิน เศรษฐกิจและสังคม เมื่อผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการมีผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงได้ดำเนินการจัดทำแผนธุรกิจ อันประกอบด้วย แผนการตลาด แผนการผลิต แผนการจัดการและแผนการเงิน พร้อมบทสรุปผู้บริหารและการประเมินความเสี่ยงของโครงการ

แนวทางในการดำเนินการศึกษาได้แบ่งประเด็นออกเป็นสามส่วน ดังนี้

1. การศึกษาและทบทวนข้อมูลผลวิเคราะห์แผนธุรกิจที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติเคยศึกษาไว้เมื่อปี พ.ศ. 2553 จากรายงานโครงการศึกษา “ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบ” เพื่อปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน
2. การทบทวนข้อปัญหาและอุปสรรคในอดีตของโครงการ ทั้งในแง่การปฏิบัติตามกฎหมายสถานประกอบการนิวเคลียร์ ความพร้อมในการดำเนินโครงการขนาดใหญ่ และความต้องการความร่วมมือในเชิงบูรณาการจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติต่อการสนับสนุนการดำเนินโครงการ เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ
3. การศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจพร้อมปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยปัจจุบัน โดยอาศัยกระบวนการในข้อแนะนำ (Guideline) ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) รวมทั้งการขอข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญของ IAEA

2.3 การศึกษาและทบทวนข้อมูลผลวิเคราะห์แผนธุรกิจเดิม

จากการทบทวนข้อมูลแผนธุรกิจเดิมพบว่า แนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเดิมนั้นใช้ขนาดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นฐานในการวางแผนผลผลิต ดังนั้น ผลผลิตตามความสามารถเต็มกำลังผลิตของเครื่องขนาด 10 MW จึงสูงกว่าความต้องการในประเทศ โดยส่วนที่เกินความต้องการนั้นได้วางแผนทำรายได้จากการส่งออก ทำให้การประเมินรายได้บางผลิตภัณฑ์สูงมาก อย่างไรก็ตามในช่วงเวลานั้นลู่ทางในการส่งออกมีความเป็นไปได้สูงเนื่องจากมีคู่แข่งไม่มากนัก แต่เมื่อระยะเวลาที่ผ่านมากว่า 7 ปี ผลิตภัณฑ์ที่เคยขาดแคลนและบริการที่มีส่วนแบ่งในการตลาดเปลี่ยนแปลงไป จากการที่มีเทคโนโลยีอื่นมาทดแทนและการเพิ่มขึ้นของผู้ให้บริการ ราคาค่าบริการที่ลดต่ำลง ผลิตภัณฑ์บางอย่างจึงมีการแข่งขันสูง ทำให้แผนผลผลิตเดิมเกิดความเสี่ยงในการลงทุน จึงจำเป็นต้องทบทวนปรับข้อมูลในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินรายได้ทางตรงไว้สูงมากและมีความไวต่อการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนด้านความเป็นไปได้ทางการเงิน เศรษฐกิจและสังคม ให้เป็นข้อมูลปัจจุบัน สรุปได้ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์สารเภสัชรังสี Mo-99 /Tc-99m generator ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากผลผลิตฟิชชันของ LEU เดิมเคยขาดแคลนและมีความต้องการในตลาดสูง ซึ่งตามกำลังผลิตของเครื่องสามารถผลิตได้ 16,320 คูรีต่อปี ได้มีการประเมินรายได้ไว้ที่ 914 ล้านบาทต่อปี แต่ปัจจุบันมีการแข่งขันในตลาดสูงมาก ประกอบกับมีเทคโนโลยีการใช้เครื่องเร่งอนุภาคมาใช้ในการผลิตแทนกระบวนการผลิตไอโซโทปด้วยการอาบนิวตรอนที่ผลผลิตก่อให้เกิดกากกัมมันตรังสีปริมาณสูง ในการศึกษานี้จึงต้องปรับผลผลิตให้เป็นไปตามความต้องการในประเทศเท่านั้นและเหลือกำลังการผลิตสำหรับความต้องการในอนาคต
2. ในส่วนการให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำ (NTD) เดิมได้ประมาณส่วนแบ่งการจากตลาดโลกไว้ 10 ตันต่อปี ราคาบริการอยู่ที่ 2000 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัมมีการประเมินรายได้ไว้ที่ประมาณ 700 ล้านบาทต่อปี แต่ในปัจจุบันมีการแข่งขันสูงขึ้นมากทำให้ค่าบริการลดลง 20 เท่า คืออยู่ที่ 100 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัมเท่านั้น จึงจำเป็นต้องปรับประเมินรายได้ใหม่และต้องปรับขนาดท่ออาบนิวตรอนให้รองรับการผลิตในอนาคต ความน่าสนใจในการลงทุนอาจลดลง แต่หากมีความจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศก็สามารถลงทุนเพื่อให้บริการวิจัยและบริการโดปสารกึ่งตัวนำได้
3. เนื่องจากต้องมีการชดเชยรายได้ทางตรงจากผลิตภัณฑ์หลัก 2 รายการดังกล่าวข้างต้นที่ลดลงมาก จึงมีการปรับแนวทางในการศึกษาผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็นความต้องการในปัจจุบันและมีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้น เช่น ไอโซโทปรังสีทางด้านการแพทย์ (I-131, Lu-177, Ir-192, Se-75) เพิ่มกำลังผลิตด้าน

การฉายรังสีพลอย และพิจารณาการสร้างมูลค่าเพิ่มด้านการเกษตรซึ่งเป็นฐานเศรษฐกิจส่งออกที่สำคัญของประเทศด้วยการปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจและเมล็ดพันธุ์

จากข้อแนะนำของผู้เชี่ยวชาญจาก IAEA ที่ได้มาให้คำแนะนำเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม ถึง 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560 มีข้อสรุปในทิศทางเดียวกับผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเดิมว่า ความคุ้มทุนของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมิได้อยู่ที่ผลตอบแทนที่เป็นรายได้ทางตรงแต่เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมก่อประโยชน์ทางอ้อมเป็นหลัก และขนาดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ พร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติงานที่จะลงทุนขึ้นกับความต้องการผลผลิตของผู้มีส่วนร่วมในโครงการและการวางแผนเผื่อกำลังการผลิตที่พยากรณ์จากความต้องการในอนาคต ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจึงต้องมีการทบทวนข้อมูลทั้งด้านการตลาด ด้านเทคนิคและผลตอบแทนด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุน ให้เป็นข้อมูลปัจจุบัน

2.4 การทบทวนปัญหาและอุปสรรคในอดีต

เมื่อปี พ.ศ. 2532 รัฐบาลได้มอบหมายให้กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมรับไปพิจารณาย้ายเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่บางเขนไปที่แห่งใหม่ โดยได้พื้นที่ติดตั้งใหม่ที่อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ในปี พ.ศ. 2538 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติได้ดำเนินการจัดตั้งศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องครักษ์และจัดทำโครงการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ เนื่องจากการรื้อถอนและย้ายเครื่องปฏิกรณ์ฯ ตัวเดิมเป็นเรื่องใหญ่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก ประกอบกับเครื่องปฏิกรณ์ฯ เดิมมีกำลังต่ำเพียง 1.2 MW มีอายุใช้งานมากกว่า 50 ปี ทำให้มีข้อจำกัดในการเพิ่มผลผลิตและบริการวิจัยที่ทันสมัย เพื่อรองรับความต้องการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในการพัฒนาศักยภาพด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศ การดำเนินงานในโครงการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ฯ ตัวใหม่คืบหน้ามาได้ระยะหนึ่งก็พบอุปสรรคเกิดความล่าช้ามากไม่สามารถบรรลุความสำเร็จ และได้มีการทบทวนถึงความเหมาะสมของโครงการอีกครั้งในปี พ.ศ. 2549 แต่ยังไม่คืบหน้า ต่อมาปี พ.ศ. 2552 สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติได้ผลักดันการศึกษาโครงการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ฯ อีกครั้ง แต่ไม่ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณ จนกระทั่งปลายปี พ.ศ. 2559 รัฐมนตรีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ให้ความสนใจติดตามความก้าวหน้าของโครงการและได้มอบหมายให้เดินหน้าโครงการต่ออย่างบูรณาการระหว่างสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติและสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ดังนั้นการเดินหน้าโครงการครั้งใหม่นี้ จึงต้องพิจารณาข้อมูลในทุกประเด็นที่อาจเป็นอุปสรรคและมีความเสี่ยงต่อการดำเนินโครงการ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. โครงการต้องมีความชัดเจนและบรรจุอยู่ในแผนที่รัฐบาลสนับสนุนเพื่อเป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศ จากรายงานแผนธุรกิจเดิมได้สรุปไว้ว่าความล่าช้าของโครงการก่อให้เกิดการสูญเสียโอกาสในด้านต่างๆ เช่น การทำรายได้ ศักยภาพการแข่งขัน และการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ เป็นต้น
2. กฎหมายกำกับดูแลการดำเนินการสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ต้องมีความชัดเจน เนื่องจากมีผลต่อการวางแผนดำเนินการในเรื่อง สถานที่ตั้ง การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ การวิเคราะห์ความปลอดภัย การพัฒนาพื้นที่และสาธารณูปโภคเพื่อการใช้ประโยชน์ส่วนสนับสนุนที่รัฐได้ลงทุนไปบางส่วนแล้ว
3. การยอมรับของชุมชนรอบบริเวณสถานที่ตั้งสถานประกอบการ เพื่อให้เกิดการยอมรับและสนับสนุนโครงการของชุมชนรอบสถาบันฯ จะต้องมีการให้ความรู้เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในประโยชน์และ ความปลอดภัย พร้อมทั้งเสริมแผนมวลชนสัมพันธ์ที่มีอยู่เดิมให้เข้มข้นขึ้น รวมทั้งเชิญผู้นำชุมชนเข้ามีส่วนร่วมในโครงการและวางแผนการพัฒนาชุมชนรอบบริเวณสถาบันฯ
4. ความพร้อมในการดำเนินงานโครงการขนาดใหญ่ ได้แก่ ด้านงบประมาณ ด้านบริหารจัดการ ด้านทรัพยากรบุคคลทั้งระดับผู้เชี่ยวชาญ นักวิจัยและระดับปฏิบัติการ ด้านการสนับสนุนจากส่วนงานที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและผู้เชี่ยวชาญจาก IAEA เป็นต้น
5. ความชัดเจนในความต้องการด้านเทคนิค ของกลุ่มงานต่างๆ เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางเทคนิค ประเมินขนาดกำลังและรูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์ฯ พร้อมส่วนสนับสนุนในการปฏิบัติงานสำหรับใช้ในการจัดทำข้อกำหนดลักษณะเฉพาะ (TOR) ในการดำเนินงานตามกระบวนการจัดหา
6. การคัดเลือกชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ควรมีแนวพิจารณาด้านต่างๆ ได้แก่ ความเป็นที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน ไม่มีข้อจำกัดด้านเชื้อเพลิง ผู้ผลิตมีความน่าเชื่อถือ มีความมั่นคงในการดำเนินธุรกิจโครงการขนาดใหญ่ มีความพร้อมด้านบริการหลังขาย

ทั้งนี้การลดหรือขจัดอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนหนึ่งขั้นตอนใดจะช่วยให้โครงการดำเนินบรรลุเป้าหมายโดยไม่ติดขัดหรือเกิดความล่าช้าไม่เป็นไปตามแผน

2.5 การศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่

ในการศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจในครั้งนี้ มุ่งเน้นที่ความต้องการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการทุกภาคส่วนเป็นหลัก โดยใช้แนวทางการทำ FSR ตามข้อแนะนำของ IAEA ก่อนนำไปกำหนดขนาดและรูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่ต้องการ ดังนั้นการประเมินกำลังการผลิตจะใช้ข้อมูลความต้องการในประเทศ จากผลการประชุม Focus group ด้านการตลาดประกอบกับข้อมูลการประชุมด้านเทคนิคในด้านการให้บริการลูกค้าในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นข้อมูลของผู้มีส่วนได้เสียที่ชัดเจน ในส่วนของข้อมูลที่ไม่สามารถหาได้โดยตรงจะใช้สถิติความต้องการในอดีตและวางแผนเพิ่มกำลังผลิตในอนาคต ข้อมูลความต้องการทั้งหมดและอัตราค่าบริการจะนำมาใช้ในการประเมินผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและมูลค่าเพิ่มในทางอ้อม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพึ่งพาตนเองและลดการนำเข้า

2.5.1 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการมีแนวทางดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์เภสัชรังสี Mo-99 ยังคงไว้ในแผนการผลิตเนื่องจากเป็นความต้องการทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ จึงปรับข้อมูลความต้องการจากสถิติในอดีตซึ่งมีความต้องการอยู่ที่ 1200 คูรี/ปี โดยประเมินรายได้ที่ 64 ล้านบาท/ปี หากมีเทคนิคอื่นใดมาทดแทนและจำเป็นต้องเลิกผลิต มูลค่ารายได้จะไม่กระทบต่อผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านความคุ้มทุนมาก
2) การให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำ แม้ว่าค่าบริการลดลง แต่ยังคงไว้ในแผนการผลิต เนื่องจากผลสำรวจข้อมูลความต้องการพบว่าทางศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) สนใจใช้บริการวิจัย เพื่อสร้างศักยภาพการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศ ดังนั้นการให้บริการจึงทำได้ 2 ทาง คือ การวิจัยร่วมเพื่อส่งเสริมด้านนวัตกรรมและการให้บริการโดปแท่งสารกึ่งตัวนำ หากสามารถนำส่วนแบ่งการบริการในตลาดมาได้ 10 ตัน/ปี จะทำรายได้ 34 ล้านบาท/ปี แต่หากตัดสินใจไม่ลงทุน มูลค่าจะไม่กระทบต่อผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านความคุ้มทุน เช่นกัน
3) ไอโซโทปรังสีทางการแพทย์ที่เป็นผลผลิตหลัก คือ I-131 และ Lu-177 อย่างไรก็ตามยังมีไอโซโทปรังสีทางการแพทย์ตัวใหม่ที่สามารถเพิ่มการผลิตในอนาคต แต่ไม่นำมาประเมิน

เนื่องจากต้องมีความต้องการที่ชัดเจนก่อน นอกจากนี้การรักษาทางการแพทย์ยังสร้างประโยชน์ทางอ้อมจากการหายป่วยกลับมาใช้ชีวิตอย่างปกติ

4) ผลิตภัณฑ์ไอโซโทปรังสีทางอุตสาหกรรม จากผลสำรวจข้อมูล Ir-192 มีความต้องการสูงถึง 28,000 คูรี/ปี แต่ด้วยข้อจำกัดด้านเทคนิคที่ต้องมีการประกอบเป็นชุดและต้องผ่านกระบวนการควบคุมเพื่อรับรองความปลอดภัยต้นกำเนิดรังสี จึงประเมินกำลังการผลิตเพียง 42 ชุด /ปี ชุดละ 100 คูรี คิดเป็น 4200 คูรี/ปี แต่ยังมีศักยภาพในการเพิ่มกำลังการผลิต ในทำนองเดียวกันจากการสำรวจข้อมูลพบว่าไอโซโทป Se-75 เริ่มมีความต้องการสูงขึ้น
5) การชดเชยรายได้ทางตรงที่ลดลงจากผลิตภัณฑ์ที่มีการแข่งขันสูงทำให้ต้องพิจารณาเพิ่มผลผลิตด้านการฉายรังสีอัญมณีจาก 3 ตัน/ปี เป็น 4 ตัน/ปี ซึ่งจะทำให้มีรายได้ทางตรงเป็น 160 ล้านบาท/ปี และประเมินการสร้างมูลค่าเพิ่มของอัญมณีหลังการปรับปรุงคุณภาพจากการฉายรังสีที่เพิ่มจาก 30 บาท/กะรัต เป็น 60 บาท/กะรัต ซึ่งประเมินการสร้างมูลค่าเพิ่มจากการส่งออกได้เป็น 600 ล้านบาท/ปี
6) ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เกิดจากการปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจและเมล็ดพันธุ์ ยังช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มในการส่งออก และบางชนิดช่วยลดการนำเข้า ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างผลผลิตทางด้านการเกษตร สอดคล้องกับพื้นฐานเศรษฐกิจของประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม
7) มีการประเมินรายได้จากการให้บริการท่อนำลำนิวตรอน (Neutron beam line) นอกเหนือจากการสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลงานวิจัยและนวัตกรรม การพัฒนากำลังคน และการลดค่าใช้จ่ายภาครัฐ
8) จากการศึกษาความต้องการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจากผู้มีส่วนได้เสีย พบว่าผลผลิตที่ต้องการมีทั้ง การผลิตไอโซโทปรังสี การฉายรังสีวัสดุ การวิเคราะห์ธาตุด้วยการก่อกัมมันต์ การใช้ประโยชน์จากท่อนำลำนิวตรอนในด้านต่างๆ ดังนั้นรูปลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยนี้จะเป็นแบบอเนกประสงค์
9) เนื่องจากการจัดทำแผนธุรกิจครั้งนี้ ใช้ข้อมูลความต้องการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นตัวกำหนดขนาดกำลังและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติงานที่เหมาะสม จึงยังไม่สามารถทราบราคาเครื่องปฏิกรณ์ฯ ที่จะใช้ประเมินการลงทุนได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลการลงทุนจากโครงการที่มีความต้องการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่คล้ายคลึงกัน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แผนการลงทุนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย HANARO ของประเทศเกาหลี ที่มีกำลังขนาด 10 -20 MW

10) การประเมินขนาดกำลังที่เหมาะสมสามารถพิจารณาจาก แผนการผลิตที่ศึกษาด้วยข้อมูลเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดกำลัง 10 MW ให้ฟลักซ์นิวตรอนที่ 10^{13}- 10^{14} n/cm^2.s ซึ่งให้กำลังผลิตเพียงพอต่อความต้องการ แต่เมื่อพิจารณาความต้องการให้บริการท่อนำลำนิวตรอนสำหรับการวิจัยขั้นสูง ซึ่งต้องการฟลักซ์นิวตรอนสูงที่ 10^{14}- 10^{15} n/cm^2.s ขนาดกำลังของเครื่องอาจต้องเป็น 15 หรือ 20 MW ขึ้นอยู่กับการออกแบบท่อนำลำนิวตรอนของผู้ผลิต อย่างไรก็ตามการเดินเครื่องที่มีกำลังสูงก็จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและค่าบำรุงรักษาสูง

2.5.2 ผู้มีส่วนมีส่วนได้เสียในโครงการ

ในการรวบรวมข้อมูลผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือมีส่วนได้เสียกับโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ จากฐานข้อมูลลูกค้าของสถาบันฯและการสืบค้นจากแหล่งข้อมูล พบว่า มีทั้งผู้ประกอบการเอกชนและหน่วยงานรัฐที่น่าสนใจในการแลกเปลี่ยนข้อมูลความต้องการเชิงลึกทุกราย แต่ด้วยการจัดทำแผนธุรกิจของโครงการใหม่นี้มีเวลาจำกัดมาก การศึกษาข้อมูลจึงต้องเลือกเฉพาะที่สามารถนัดหมายได้รวดเร็วและมีจำนวนเพียงพอที่จะสรุปข้อมูลความต้องการใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในแต่ละผลผลิตได้ ในส่วนที่เหลือน่าจะเป็นประโยชน์ต่อทางกลุ่มพัฒนาธุรกิจนิวเคลียร์ของสถาบันฯ ที่จะเข้าถึงเพื่อขยายฐานลูกค้าผู้มีส่วนได้เสียกับโครงการ

สำหรับกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการในด้านต่างๆ ที่รวบรวมไว้ มีดังนี้

ก) กลุ่มงานด้านการแพทย์

ผู้ประกอบการภาคเอกชน

(1) บริษัทผู้นำเข้าสารเภสัชรังสีทางการแพทย์ รายใหญ่

- บริษัท โกบอลเมดิเคิลโซลูชั่น (ประเทศไทย) จำกัด
- บริษัท ไบโอจีนีเทค จำกัด

(2) โรงพยาบาลเอกชนที่มีบริการด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์

- โรงพยาบาลวัฒโนสถ แผนก Oncology Imaging Center ศูนย์รังสีวินิจฉัยวัฒโนสถ
- โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ ศูนย์มะเร็งฮอไรซัน

หน่วยงานภาครัฐ

(1) โรงพยาบาลรัฐ ที่มีบริการด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ และสถาบันที่เกี่ยวข้องในกรุงเทพฯ

- ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์
  นายแพทย์ ธวัชชัย ชัยวัฒนรัตน์
- ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลศิริราช มหาวิทยาลัยมหิดล
  รศ.พญ. ภาวนา ภูสุวรรณ
- ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล
  แพทย์หญิงชนิกา ศรีธรา
- โรงพยาบาลจุฬาภรณ์ แผนกรังสีมะเร็งวิทยา
  รศ.พญ. ชนิสา โชติพานิช
- โรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณ์ธัญบุรี สถาบันมะเร็งแห่งชาติ
  นายแพทย์ธนเดช สินธุเสก
- สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กลุ่มงานรังสีรักษา
  นายแพทย์ภูวศิษฐ์ วรารัฐเรืองวุฒิ

(2) โรงพยาบาลรัฐ ที่มีบริการด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ในต่างจังหวัด

- ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่
  มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิยาลัยขอนแก่น
- ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มหาวิยาลัยสงขลานครินทร์
- ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร มหาวิทยาลัยนเรศวร

ข) กลุ่มงานด้านการเกษตร

การปรับปรุงพันธุศาสตร์ด้วยนิวตรอน (พันธุ์พืชเศรษฐกิจ พันธุ์ไม้ดอกเศรษฐกิจและพันธุ์จุลินทรีย์)

ผู้เชี่ยวชาญ

- ศ.เกียรติคุณ ดร. สิรนุช ลามศรีจันทร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการปรับปรุงพันธ์พืช
- ดร. กนกพร บุญศิริชัยและทีมวิจัยพัฒนา ด้านพันธุศาสตร์ที่ สทน.

หน่วยงานภาครัฐ

- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- เจ้าหน้าที่สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร

ผู้ประกอบการภาคเอกชน

- ผู้ผลิตเครื่องสำอางและอาหารเสริม เช่น ห้างขายยาหอมจันทร์โอสถ บริษัท Ibio บริษัท Bioticon (ด้านจุลินทรีย์ ที่เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต)
- บริษัท. ซี.พี.สตาร์เลนส์ จำกัด กลุ่มธุรกิจพืชครบวงจร เครือเจริญโภคภัณฑ์ (ด้านพืชเศรษฐกิจ)
- ธุรกิจจำหน่ายเมล็ดพันธุ์พืชบริษัทที่เป็นรายใหญ่ๆ เช่น บริษัทเจียไต๋ จำกัด บริษัท East West Seed จำกัด บริษัท เพื่อนเกษตร จำกัด บริษัทโนวาติส จำกัด บริษัททีเอส เอ จำกัด บริษัทเช่ง เฮียง ฮวด จำกัด บริษัทเจี่ย กวง เส็ง จำกัด เป็นต้น
- ธุรกิจพันธุ์ไม้ดอก (ด้านพันธุ์ไม้ดอกเศรษฐกิจ) ได้แก่ สวนอุดมการ์เด้น ผู้ส่งออกไม้ดอกไม้ประดับรายใหญ่ จ.ราชบุรี บริษัท วนพฤกการ์เด้น จำกัด ผู้ส่งออกไม้ดอกไม้ประดับรายใหญ่ จ.สมุทรปราการ

ค) กลุ่มงานด้านอุตสาหกรรม

ผู้ประกอบการภาคเอกชน

(1) บริษัทผู้นำเข้าสารกัมมันตรังสีทางอุตสาหกรรม Ir-192, Se-75 รายใหญ่

- บริษัท เอ็นซิสเทคโนโลยี จำกัด
- บริษัทไทย เอ็น ดี ที จำกัด

(2) บริษัทที่ใช้สารกัมมันตรังสีในงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

- บริษัทไทย เอ็น ดี ที จำกัด
- บริษัท ศิวะ เทสติ้ง อินสเพ็คชั่น แอนด์ คอนซัลติ้ง จำกัด

- บริษัทควอลลีเทค จำกัด

(3) อุตสาหกรรมพลอยฉายรังสี

- บริษัท สเตอริเจนิคส์ (ประเทศไทย) Mr. William J. Trevithick
- บริษัทและผู้ประกอบการ ได้แก่ บริษัท เอช.เอ็ม.วี.เจมส์ จำกัด บริษัท RMC บริษัท ISA Trading Co.,(PVT) Ltd. บริษัท KGM GEMs Co.,Ltd.บริษัท K.C.T. IMPEX บริษัท Award Gems Co.Ltd. บริษัท PRADO GEMS Co.,Ltd. บริษัทไรซ์ไบร์ทเจมส์ จำกัด

(4) การโดปสารกึ่งตัวนำ NTD ยังไม่มีผู้ประกอบการในประเทศ มีแหล่งข้อมูลความต้องการ ดังนี้

- ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) สวทช. ดร.อัมพร โพธิ์ใย
- บริษัทหลักในต่างประเทศ Global Wafers Co., Ltd.

(5) การทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ

- การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (NAA, PGNAA) ได้แก่ หน่วยงาน สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี (งานวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบธาตุในสินแร่), กรมการข้าว กรมวิชาการเกษตร (งานพิสูจน์เอกลักษณ์แหล่งที่มาของข้าว), กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (วิเคราะห์สารปนเปื้อนในอาหาร), สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ (งานวิเคราะห์วัตถุพยาน)
- การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ผู้ผลิตฮาร์ดดิสไดรว์ บริษัท Western Digital, Seagate

หน่วยงานภาครัฐ

- สถาบันอัญมณีและเครื่องประดับ
- กรมพัฒนาธุรกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์

ง) กลุ่มงานด้านการวิจัยและนวัตกรรม

(1) การเรียนการสอน การวิจัย ในมหาวิทยาลัย

- ด้านวิศวกรรมและการใช้รังสีทางอุตสาหกรรม ผศ. ดร. พงษ์แพทย์ เพ่งวาณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ด้านรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ อ.ดร. พุทธิภรณ์ เจริญพันธุ์ สาขาฟิสิกส์การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

- ด้านวิทยาศาสตร์รังสีและการประยุกต์ใช้ด้านการเกษตร อ. ดร.ฤทธี มีสัตย์ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ ผศ.ดร. อุดมรัตน์ ทิพวรรณ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (neutron scattering and neutron diffraction)
- ด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ อ.ดร. กิตติวิทย์ มาแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (neutron scattering and neutron diffraction)
- สาขาฟิสิกส์ สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ความร่วมมือวิจัยกับ สทน.)
- ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผศ.ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
- ด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ รศ. ดร.วีรพงษ์ จิ๋วประดิษฐ์กุล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

(2) การศึกษาวิจัยในส่วนงานอื่นๆ

- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สวทช. (การใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในการศึกษาโครงสร้างวัสดุ)
- สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) (ความร่วมมือวิจัยร่วม สทน.)

(3) การฝึกอบรมด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์

- ฝ่ายบริหารงานวิศวกรรมโรงไฟฟ้าและพลังงานนิวเคลียร์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ดร.นทีกูล เกรียงชัยพร
- สาขาฟิสิกส์ สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (จะมีการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดเล็ก)

2.5.3 ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน เศรษฐกิจและสังคมโดยนำประมาณการรายได้และต้นทุนที่ได้จากข้อมูลการศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด และการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค มาประมวลพบว่าผลการประเมินด้วยวิธีประมาณการจากแนวโน้มความต้องการผลผลิตและการให้บริการ มีความคุ้มค่าในการ ลงทุน กล่าวคือ มูลค่าสุทธิของโครงการในมูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีมูลค่า -1,323 – 3,494 ล้านบาท ตามอัตราส่วนลดที่

เลือกใช้ มูลค่าสุทธิส่วนใหญ่ยังคงเป็นบวก และค่า IRR ของโครงการนี้มีค่า 10.6 % ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนลดที่เลือกใช้ โดยระยะเวลาในการคืนทุน คือ 14- มากกว่า 20 ปี เมื่อนับจากเริ่มใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย หรือ 20 – มากกว่า 26 ปี นับจากเริ่มลงทุน

โดยข้อมูลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ของโครงการฯ นี้ [9]

บทที่ 3
แผนการตลาด

จากการทบทวนโครงการศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจในโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบฉบับเดิมเพื่อปรับปรุงข้อมูลด้านการตลาดให้เป็นปัจจุบันและผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการตลาดของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ ได้นำมาจัดทำแผนการตลาด ดังนี้

3.1 ผลิตภัณฑ์/บริการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

ผลิตภัณฑ์/บริการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย แบ่งออกเป็น 4 ด้านหลัก ดังนี้

1) ด้านการแพทย์ ได้แก่ สารไอโซโทปรังสี สารประกอบติดฉลากรังสี (Labeled Compound) สารเภสัชรังสีพร้อมใช้ (Unit Dose) เภสัชสำเร็จรูป (Radiopharmaceutical Kits) ใช้ในการวินิจฉัย การรักษา การบำบัดและบรรเทาการเจ็บป่วยจากโรคต่าง ๆ ได้แก่ การวินิจฉัยด้วยการถ่ายภาพรังสีเพื่อหาพยาธิสภาพของโรคมะเร็ง หัวใจ การตรวจกระดูก การบรรเทาอาการปวดจากโรคมะเร็งระยะสุดท้ายที่แพร่เข้ากระดูก การรักษาความผิดปกติของไทรอยด์ และมะเร็งไทรอยด์ เป็นต้น
2) ด้านการเกษตร ได้แก่ การปรับปรุงพันธุ์พืช และการปรับปรุงพันธุ์สัตว์
3) ด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ การฉายรังสีอัญมณีโทแพซ การผลิตไอโซโทปรังสีสำหรับงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย การโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน
4) ด้านวิจัยและนวัตกรรม เป็นพื้นฐานในการสนับสนุนด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม ได้แก่ การวิจัยที่สนับสนุนด้านการแพทย์ด้วยการศึกษาสารไอโซโทปรังสีชนิดใหม่เพื่อการวินิจฉัย การรักษา การบำบัด และการบรรเทาอาการของโรค การวิจัยที่สนับสนุนด้านเกษตรกรรมด้วยการปรับปรุงพันธุ์ทั้งพืชและสัตว์ การวิจัยด้านอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย การฉายรังสีพลอยเพื่อเพิ่มมูลค่า การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน การโดปสารกึ่งตัวนำ การทดสอบและวิเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิคทางนิวตรอน ตลอดจนการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์พื้นฐานจนถึงวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ระดับสูงเพื่อการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ให้กับประเทศอันจะนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม

รายได้หลักของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมาจากด้านการแพทย์และด้านอุตสาหกรรม ส่วนด้านการเกษตร ได้แก่ การปรับปรุงพันธุ์นั้นเป็นการให้บริการกับหน่วยงานของภาครัฐเป็นหลัก ด้านการวิจัยและนวัตกรรมจะเป็นการสร้างความร่วมมือในการวิจัยมีทั้งในส่วนที่ สทน. ดำเนินการศึกษาวิจัยเองและสร้างความ

ร่วมมือกับสถาบันการศึกษา ซึ่งผลงานวิจัยที่ได้รับจะนำไปใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมตามวิสัยทัศน์ของประเทศไทย 4.0 ก่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคม ผลิตภัณฑ์/บริการด้านต่างๆ ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยสรุปได้ดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์และบริการด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร และวิจัยและนวัตกรรม

อุตสาหกรรม	ผลิตภัณฑ์	บริการ	วิจัย
การแพทย์	สารไอโซโทปรังสี สารประกอบติดฉลากรังสี (Labeled Compound) สารเภสัชรังสีพร้อมใช้ (Unit Dose) เภสัชสำเร็จรูป (Radiopharmaceutical Kits)	-	กระบวนการผลิตไอโซโทปรังสี สารประกอบติดฉลากรังสี สารเภสัชรังสีพร้อมใช้ เภสัชสำเร็จรูปใหม่ ๆ และการวิจัยที่เกี่ยวข้อง
อุตสาหกรรม	ไอโซโทปรังสีสำหรับการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย	การเชื่อมปิดผนึกต้นกำเนิดรังสีทางอุตสาหกรรม	การผลิตไอโซโทปชนิดใหม่
		ฉายรังสีอัญมณี	การวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอัญมณี
		การโดปสารกึ่งตัวนำ	การวิจัยเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
		การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคทางนิวตรอน	การวิจัยเพื่อการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคทางนิวตรอน
การเกษตร	-	ฉายรังสีนิวตรอนเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์	วิจัยเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชและจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่เพื่อมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ
วิจัยและนวัตกรรม	-	บริการวิจัยและความร่วมมือวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรมตามข้อตกลงความร่วมมือ	วิจัยพื้นฐานและวิจัยประยุกต์เพื่อการพัฒนาวิศวกรรมนิวเคลียร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์

3.2 ศักยภาพด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์/บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

ศักยภาพด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์/บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยประเมินจากความต้องการใช้บริการในปัจจุบันและแนวโน้มการใช้งานในอนาคต โดยวิเคราะห์ศักยภาพด้านการตลาด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม และด้านการวิจัยและนวัตกรรม ดังนี้

3.2.1 ด้านการแพทย์

เทคโนโลยีนิวเคลียร์เป็นหนึ่งในทางเลือกทางการแพทย์ที่มีความต้องการใช้บริการและมีศักยภาพทางการตลาดสูง เนื่องจากในแต่ละปีมีผู้ป่วยเพิ่มมากขึ้นและมีความต้องการใช้ไอโซโทปรังสีจำนวนมากในทั่วโลก การใช้ไอโซโทปรังสีอยู่ภายใต้การดูแลของเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ซึ่งแบ่งการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ออกเป็นการวินิจฉัยและการรักษาโรคต่าง ๆ ดังนี้

(1) การวินิจฉัยโรคด้วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ หมายถึง กระบวนการทางการแพทย์ที่ผู้ป่วยจะได้รับการวินิจฉัยสาเหตุอันเนื่องมาจากความผิดปกติของร่างกายโดยใช้ไอโซโทปรังสี ซึ่งสามารถสังเกตพฤติกรรมและการเคลื่อนไหวของโรคได้อย่างทันทีทันใด เพื่อประกอบการบำบัดรักษาทางการแพทย์ โรคที่สามารถวินิจฉัยด้วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ได้แก่ โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคอัลไซเมอร์ โรคพาร์กินสัน เป็นต้น

(2) การรักษาโรคและการบำบัดความเจ็บปวดให้แก่ผู้ป่วยด้วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ได้แก่ ผู้ป่วยโรคมะเร็ง ผู้ป่วยโรคไทรอยด์ เป็นต้น

อัตราส่วนการใช้ไอโซโทปรังสีในทั่วโลกแบ่งเป็น การใช้ไอโซโทปรังสีเพื่อการวินิจฉัยร้อยละ 90 และการใช้ไอโซโทปรังสีเพื่อการรักษาและบรรเทาอาการอยู่ที่ร้อยละ 10 ซึ่งการคาดการณ์ในอนาคตถึงการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนิวเคลียร์ด้านการแพทย์โดย National Research Council and Institute of Medicine ประเทศสหรัฐอเมริกา (2007) มีแนวโน้มในการศึกษาประโยชน์ของไอโซโทปรังสีเพื่อการวินิจฉัยและรักษาโรคต่าง ๆ ดังนี้การศึกษาความเข้าใจระหว่างความสัมพันธ์ของสารเคมีในสมอง (brain chemistry) กับพฤติกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์

(1) การประเมินระบบเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ (atherosclerotic cardiovascular system)

(2) การศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนทางเคมีที่จะทำให้ร่างกายทำงานได้ตามปกติจากอัตราการเผาผลาญ (metabolism) และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (pharmacology) ของยาใหม่

(3) การประเมินประสิทธิภาพของยาชนิดใหม่และวิธีการรักษาประเภทต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้นำมาใช้กับผู้ป่วยได้เร็วขึ้น

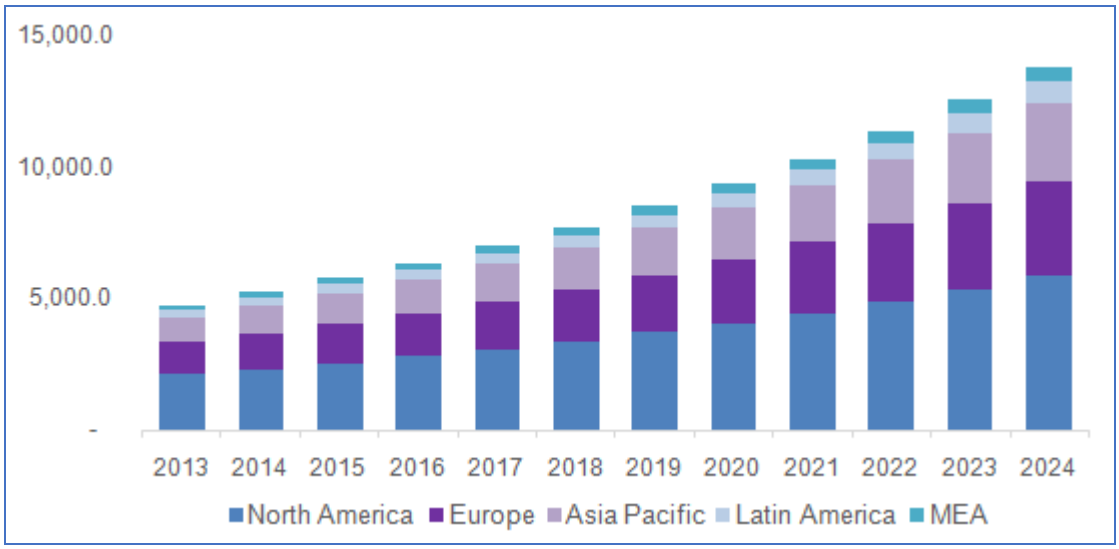
(4) การนำมาใช้ในการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งที่เป็นการรักษาแบบเฉพาะบุคคล

(5) การพัฒนาเครื่องมือวินิจฉัยด้วยภาพถ่ายรังสี (diagnostic imaging instrument) ที่มีความละเอียดสูงซึ่งสามารถวินิจฉัยโรคได้เร็วขึ้นและมีความแม่นยำมากขึ้น

ในช่วง 10 ปีผ่านมาความต้องการด้านรังสีวิทยาซึ่งประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์ในสหรัฐอเมริกาโดยกระทรวงพลังงาน (Department Of Energy) ของสหรัฐอเมริกาในการผลิตไอโซโทปรังสีด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเพื่อการวินิจฉัยและรักษา พบว่ามีความต้องการไอโซโทปรังสีจำนวนหลายชนิด ทั้งที่ยังใช้อยู่ในปัจจุบัน ไอโซโทปที่อยู่ระหว่างกระบวนการวิจัยทางคลินิกและการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว มีดังนี้ Y-90, Mo-99, Re-186, I-131, Sr-89, Ir-192, Sm-153, I-125, Lu-177 และ Ho-166

3.2.1.1 สถานการณ์เวชศาสตร์นิวเคลียร์และสารเภสัชรังสีในระดับโลก

ตลาดโลกของเวชศาสตร์นิวเคลียร์ในปี ค.ศ. 2015 มีมูลค่า 5.7 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ และคาดว่าจะเติบโตในอัตราเฉลี่ย (CAGR) ประมาณร้อยละ 10.2 ต่อปี โดยในปี ค.ศ. 2024 มูลค่าตลาดจะสูงถึง 13.8 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ซึ่งปัจจัยสำคัญในการเติบโต ได้แก่ ความต้องการการวินิจฉัยที่แม่นยำ การรับรู้และการยอมรับของแพทย์ การรับรู้และความต้องการของผู้ป่วยที่จะได้รับการรักษาที่ดีกว่าการรักษาด้วยวิธีอื่น ตลอดจนจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดย World Health Organization(WHO) ระบุไว้ในรายงานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2015 ว่าจำนวนผู้ป่วยรายใหม่ที่เป็นมะเร็งจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 70 ในสองทศวรรษข้างหน้า หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.5 ต่อปี นอกจากนั้นมีผู้ป่วยเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือดเป็นจำนวนกว่า 17 ล้านคน และคาดว่าจะสูงขึ้นเป็นประมาณ 23 ล้านคนในปี ค.ศ. 2030 ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีความต้องการด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์เพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรค



ที่มา: grandviewresearch.com หน่วย ล้านเหรียญสหรัฐ

รูปที่ 3.1 ตลาดเภสัชรังสีโลกในปี ค.ศ. 2013-2024

การนำเวชศาสตร์นิวเคลียร์มาใช้ในการแพทย์แขนงต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ทั้งในด้านหลอดเลือด/หัวใจ ด้านประสาทวิทยา ด้านทรวงอก/หลอดลม ด้านมะเร็งวิทยา การตรวจกระดูก และถ่ายภาพการทำงานของไต ตับ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการขยายตัวของตลาดเภสัชภัณฑ์รังสี (Radiopharmaceuticals) คาดว่าในปี ค.ศ. 2020 จะมีมูลค่าประมาณ 6 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยตลาดส่วนใหญ่จะอยู่ในภูมิภาคอเมริกาเหนือ และภูมิภาคเอเชียแปซิฟิคมีอัตราการเติบโตสูงสุดร้อยละ 10.4 ต่อปี (ที่มา : Global Industry Analyst. Inc)

สำหรับการวินิจฉัยโรคด้วยเทคนิคการสร้างภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (Imaging in Nuclear Medicine) โดยใช้ระบบวัดรังสีและประมวลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ ประกอบกับไอโซโทปรังสี โดยใช้กับเครื่องต่าง ๆ ได้แก่

- เพ็ต (PET: Positron Emission Tomography)
- สเป็กต์ (SPECT: Single Photon Emission Computed Tomography)
- การสร้างภาพระบบหมุนเวียนของเลือด (Cardiovascular Imaging)
- การตรวจกระดูก (Bone Scanning)

ไอโซโทปรังสีที่มีความต้องการสูงในตลาดโลก ได้แก่ Tc-99m ซึ่งการคาดการณ์ระหว่างปี ค.ศ. 2017-2022 โดย OECD Nuclear Energy Agency (NEA) ระบุความต้องการอยู่ที่ 9,000 คูรีต่อ 6 วันใน 1 สัปดาห์ โดยมีอัตราการเติบโตร้อยละ 0.5 สำหรับตลาดที่อิ่มตัวแล้ว (Mature Market) ซึ่งตลาดนี้มีความต้องการ Mo-99/Tc-99m คิดป็นร้อยละ 84 ของความต้องการรวมทั้งหมดของโลก สำหรับตลาดประเทศกำลังพัฒนา (Developing Market) มีความต้องการคิดเป็นร้อยละ 16 ของความต้องการรวมนั้นมีอัตราการเติบโตของความต้องการ Tc-99m ร้อยละ 5 ซึ่ง Tc-99m เป็นไอโซโทปรังสีที่สำคัญในการวินิจฉัยร่วมกับเครื่อง SPECT และ PET การวินิจฉัยทางนิวเคลียร์ร้อยละ 80-85 ใช้ Tc-99m คิดเป็น 40 ล้านครั้งของการวินิจฉัยต่อปี โดยแบ่งเป็นอเมริกาเหนือใช้การวินิจฉัยด้วย Tc-99m ร้อยละ 50 ยุโรปร้อยละ 30-40

นอกจาก Tc-99m แล้วไอโซโทปรังสีที่สามารถผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีความสำคัญทางการแพทย์ ได้แก่ I-131 ซึ่งผู้ป่วยกลุ่มนี้มีความต้องการมากในการรักษามะเร็งไทรอยด์ และ Ir-192 ในการบรรเทาอาการจากมะเร็งที่อวัยวะต่าง ๆ ได้แก่ ปอด ศีรษะ คอ ช่องปาก ทางเดินหายใจ และหลอดเลือด ไอโซโทปรังสีที่สามารถผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและการทำวิจัยทางคลินิก แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ไอโซโทปรังสีที่ผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีการใช้ในปัจจุบันและการทำวิจัยทางคลินิกจากข้อมูลของ European Commission และ Technopolis

ไอโซโทปรังสี	ประโยชน์
Tc-99m	การวินิจฉัยด้วยการถ่ายภาพเพื่อหาพยาธิสภาพของมะเร็ง หัวใจ การตรวจกระดูก ตรวจการทำงานของไต ตับ สมอง และปอด
Xe-133	การวินิจฉัยด้วยการถ่ายภาพโครงสร้างการทำงานของปอด

ตารางที่ 3.2 ไอโซโทปรังสีที่ผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีการใช้ในปัจจุบันและการทำวิจัยทางคลินิกจากข้อมูลของ European Commission และ Technopolis (ต่อ)

ไอโซโทปรังสี	ประโยชน์
I-131	การรักษาความผิดปกติของไทรอยด์และมะเร็งไทรอยด์
Sr-89	การบรรเทาอาการปวดจากการแพร่กระจายของมะเร็งไปที่กระดูก
Ir-192	การรักษามะเร็งในกลุ่ม มะเร็งปอด สมอง คอ ช่องปาก ทางเดินหายใจ หลอดเลือด มะเร็งต่อมลูกหมาก
Sm-153	การรักษามะเร็งกระดูกและบรรเทาอาการปวดจากมะเร็งที่แพร่กระจายไปที่กระดูก
Re-186	การรักษาข้ออักเสบและบรรเทาอาการปวดจากมะเร็งที่แพร่กระจายไปที่กระดูก
Re-188	การรักษาเนื้องอกในไทรอยด์และมะเร็งที่มีการแพร่กระจายไปที่กระดูก
W-188	การรักษามะเร็งและโรครูมาตอยด์ ได้มาจาก Re-188
I-125	การรักษามะเร็งต่อมลูกหมากและมะเร็งที่ตา
Y-90	การรักษาข้ออักเสบและมะเร็งต่อมน้ำเหลือง
Sr-90	การรักษามะเร็งได้มาจาก Y-90
Er-169	การรักษาโรครูมาตอยด์
Lu-177	การรักษาเนื้องอกชนิดต่าง ๆ และการระบุแอนติบอดี้สำหรับการรักษามะเร็ง
Ho-166	พัฒนาสำหรับการรักษาในมะเร็งตับและมะเร็งหลอดเลือด และการรักษาในโรครูมาตอยด์

ที่มา: รวบรวมจาก European Commission (2009); Technopolis (2008)

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ไอโซโทปรังสีเพื่อการรักษาจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในยุโรปจากผู้เชี่ยวชาญจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 2010-2015 ได้แก่ Sm-153, Ho-166, Y-90 และ Lu-177 ส่วนไอโซโทปรังสีอื่น ๆ ยังมีการใช้งานในระดับเดิม กล่าวคือไม่ลดลงและไม่เพิ่มขึ้น ได้แก่ I-131, Sr-89, Ir-192, Re-186, I-125

นอกจากไอโซโทปรังสีข้างต้นแล้วเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยสามารถผลิตไอโซโทปรังสีอื่น ๆ ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ดังนี้ Ar-77, Co-67, Pd-103, Sc-47, Pt-195, Tin-177m, Ac-255/Bi-213 และ Ac-255/Ra-223 และจะทำให้เกิดงานวิจัยทางไบโอเมดิคอลในกลุ่มของ Alpha Emitter (European Commission, 2009)

การศึกษาการใช้ไอโซโทปรังสีจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในยุโรป Technopolis (2008) มีข้อคิดเห็นในการพัฒนาดังนี้

(1) การพัฒนา Tracers และ Markers ใหม่ที่ใช้ในเครื่อง PET ในระดับนาโนเทคโนโลยี และไบโอเทคโนโลยี

(2) การพัฒนาการรักษาใหม่นอกเหนือจากจากการใช้ I-131 ในการรักษาไทรอยด์ และ Ir-192 สำหรับมะเร็งต่อมลูกหมาก ตัวอย่างเช่นการใช้ Lu-177 ที่มีการใช้รักษาในครั้งแรกใน 10 ปีที่ผ่านมาในเนื้องอกต่อมไร้ท่อ ลำไส้ ตับ และการแพร่กระจายไปยังที่ต่าง ๆ ซึ่งการรักษาโดยใช้ Lu-177 จะเพิ่มคุณภาพชีวิตและสามารถมีชีวิตต่อได้อีก 4 ปี

(3) ระยะเวลาในการพัฒนางานวิจัยเพื่อการรักษาสำหรับไอโซโทปรังสีใหม่จะใช้ระยะเวลาในการผ่านกระบวนการวิจัยทางคลินิกอย่างน้อย 8 ปี และการนำไปใช้จริงในอีก 10 ปี

การรวบรวมไอโซโทปรังสีที่มีการพัฒนาและใช้งานประเทศที่พัฒนาแล้วมีดังนี้

ตารางที่ 3.3 การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากไอโซโทปรังสีทางการแพทย์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในประเทศที่พัฒนาแล้ว

ไอโซโทป	การใช้ประโยชน์	ออสเตรเลีย	เกาหลี	จีน	อเมริกา	ญี่ปุ่น
Tc-99m	การสร้างภาพด้วยรังสีเพื่อวินิจฉัย ตับ ปอด กระดูก ไต และหัวใจ	O	O	O	O	O
I-131	รักษาภาวะไทรอยด์เป็นพิษและมะเร็งต่อมไทรอยด์	O	O	O	O	O
Sm-153	ลดอาการปวดกระดูกในผู้ป่วยโรคมะเร็งกระดูก	O	O	O	O	O
Cr-51	การประเมินการทำงานของไต	O				
Ga-67	Hodgkin's Disease โรคมะเร็งต่อมน้ำเหลือง มะเร็งปอด และการติดเชื้อเฉียบพลัน	O				
I-123	การตรวจจับ การประเมินระยะของโรค และการติดตามอาการของมะเร็งต่อมหมวกไตในเด็ก (Neuroblastoma)	O				
Ir-192	การรักษามะเร็งในกลุ่ม มะเร็งปอด สมอง คอ		O		O	O

	ช่องปาก ทางเดินหายใจ หลอดเลือด มะเร็งต่อมลูกหมาก					
Mo-99	เพื่อใช้ในประเทศและส่งออก		●	●	●	
I-125	ใช้ในการรักษาด้วยเทคนิค Brachytherapy สำหรับมะเร็งต่อมลูกหมากในระยะเริ่มแรก			●		

ตารางที่ 3.3 การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากไอโซโทปรังสีทางการแพทย์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในประเทศที่พัฒนาแล้ว (ต่อ)

ไอโซโทป	การใช้ประโยชน์	ออสเตรเลีย	เกาหลี	จีน	อเมริกา	ญี่ปุ่น
Sr/Y-90	ใช้ในการรักษามะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งต่อมน้ำเหลืองชนิด Non-Hodgkin's Lymphoma และมะเร็งตับ			●		
P-32	ใช้ในการรักษาภาวะ Polycythemia vera			●	●	●
Au-198	ใช้ในการรักษามะเร็งและรักษาโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์			●	●	●
Ho-166	พัฒนาสำหรับการรักษาในมะเร็งตับและมะเร็งหลอดเลือด และการรักษาในโรครูมาตอยด์		●		●	
Lu-177	การรักษาเนื้องอกชนิดต่าง ๆ และการระบุแอนติ้บอดี้สำหรับการรักษามะเร็ง	●	●		●	
Cr-51	ใช้เพื่อบ่งบอกถึงเซลล์เม็ดเลือดแดงและประเมินปริมาณโปรตีนที่สูญเสียไปจากลำไส้เล็ก					●
อื่น ๆ	^{60}Co, ^{63}Ni, ^{153}Gd,^{252}Cf, ^{85}Kr, ^{64}Cu, ^{67}Cu, ^{117m}Sn, ^{195m}Pt, ^{225}Ac, ^{43}K, ^{103}Pd, ^{188}W, ^{117m}Sn, ^{147}Pm, ^{186}Re, ^{47}Sc, ^{55}Fe, ^{119}Sn, ^{199}Au, ^{35}S, ^{51}Cr, ^{24}Na, ^{18}F, ^{140}La, ^{165}Dy				●	

ที่มา: รวบรวมจากบทที่ 3 ข้อมูลการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ในรายงานการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค

สรุปการเติบโตของตลาดเภสัชรังสีคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2020 มีมูลค่า 6 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ อัตราการเติบโตภาพรวมร้อยละ 10.4 ต่อปี สำหรับภาพรวมด้านการแพทย์จากการใช้ไอโซโทปรังสีที่ผลิตจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย มีการใช้ไอโซโทปรังสีทั้งการวินิจฉัยและรักษา คิดเป็นสัดส่วนการวินิจฉัยทั่วโลกอยู่ที่

ร้อยละ 90 ไอโซโทปรังสีที่สำคัญในการวินิจฉัย ได้แก่ Tc-99m และ I-131 มีอัตราการเติบโตร้อยละ 0.5 ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ส่วนประเทศที่กำลังพัฒนามีอัตราการเติบโตที่ร้อยละ 5 ส่วนการรักษาคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 10 โดยมีไอโซโทปรังสีที่สำคัญ ได้แก่ I-131, Sm-153, Sr-89, Ir-192, Re-186, I-125, Ho-166, Lu-177, Y-90 สำหรับไอโซโทปที่ใช้อย่างแพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศยุโรป ออสเตรเลีย เกาหลี จีน และญี่ปุ่น ได้แก่ I-131 และ Sm-153 ส่วน Lu-177 เริ่มใช้ในการรักษาในระยะแรก ไอโซโทปรังสีที่มีแนวโน้มจากการคาดการณ์การใช้งานมากจากปัจจุบันถึงปี ค.ศ. 2025 ได้แก่ I-131, Sm-153, Y-90, Lu-177 และ Ho-166 การใช้ไอโซโทปรังสีเป็นการวินิจฉัยและรักษาได้ในระดับนาโนเทคโนโลยีและไบโอเทคโนโลยีซึ่งเป็นแนวโน้มทางการแพทย์ในอนาคตจึงมีกระบวนการวิจัยและพัฒนาโดยใช้เวลาการพัฒนาทางคลินิกอย่างน้อย 8 ปีก่อนที่จะนำมาให้กับผู้ป่วย

3.2.1.2 การวิเคราะห์ศักยภาพตลาดด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ในประเทศไทย

(1) สถิติที่เกี่ยวข้องกับการวินิจฉัยและรักษาผู้ป่วยด้วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์

ในปัจจุบันประเทศไทยนำเข้าไอโซโทปรังสีจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง ทำให้การรักษาพยาบาลมีราคาสูงตามไปด้วย จึงเป็นภาระค่าใช้จ่ายต่อทั้งโรงพยาบาลและผู้ป่วย หากประเทศไทยมีหน่วยงานที่สามารถผลิตไอโซโทปรังสีให้เพียงพอกับความต้องการภายในประเทศจะช่วยลดการนำเข้าไอโซโทปรังสีจากต่างประเทศ รวมถึงราคาของไอโซโทปรังสีจะมีราคาที่ลดลง ทำให้การเข้าถึงบริการของผู้ป่วยที่มีเศรษฐานะปานกลางถึงล่างมีความเป็นไปได้มากขึ้นด้วย การศึกษาครั้งนี้นำตัวเลขสถิติผู้ป่วยในจากโรคที่ต้องใช้สารเภสัชรังสีในการินิจฉัยและรักษาเพื่อประเมินความต้องการทางการตลาดในประเทศไทย ประเภทของผู้ป่วยที่นำมาศึกษา ได้แก่ ผู้ป่วยจากโรคไทรอยด์ โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด

จากสถิติสาธารณสุขที่เกี่ยวข้องของประเทศไทยทั้งผู้ป่วยนอกและผู้ป่วยใน พบข้อจำกัดของการรวบรวมสถิติของหน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ สถิติสาธารณสุขภาพรวมของประเทศจะไม่มีการนับรวมข้อมูลผู้ป่วยของกรุงเทพมหานคร และโรงพยาบาลนอกสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ดังนั้นข้อมูลจึงมีข้อจำกัดในการอ้างอิง ขณะที่ข้อมูลการใช้ไอโซโทปรังสีไม่มีการเก็บรวบรวมไว้ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ตารางที่ 3.4 สถิติผู้ป่วยนอก สถิติผู้ป่วยใน และสถิติการเสียชีวิตจากโรคมะเร็ง และผู้ป่วยไทรอยด์ในกลุ่มโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข

ปีพ.ศ.	มะเร็ง						ไทรอยด์	
	ผู้ป่วยนอก		ผู้ป่วยใน		การเสียชีวิต		ผู้ป่วยใน	
	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง
2550	846,062		74,834		53,434		35,140	

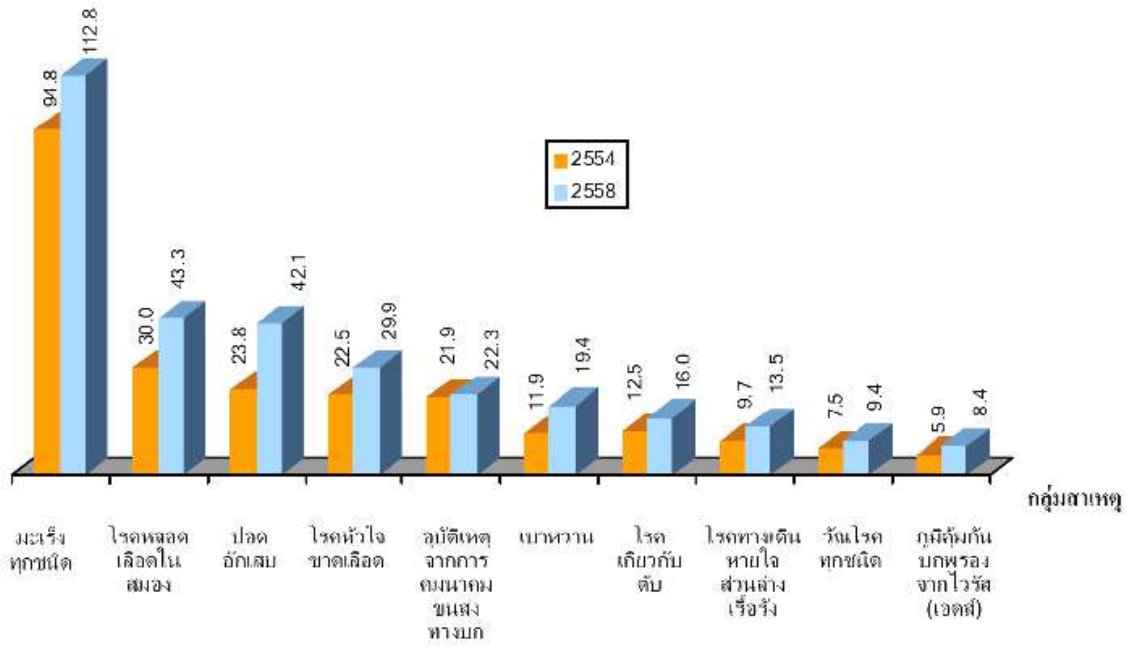
ปีพ.ศ.	มะเร็ง						ไทรอยด์	
	ผู้ป่วยนอก		ผู้ป่วยใน		การเสียชีวิต		ผู้ป่วยใน	
	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง
2551	987,193	16.68	77,173	3.13	55,403	3.68	33,125	(5.73)
2552	1,138,585	15.34	76,866	(0.40)	56,058	1.18	43,012	29.85
2553	1,246,832	9.51	83,064	8.06	58,076	3.60	42,363	(1.51)
2554	1,304,527	4.63	89,841	8.16	61,082	5.18	48,056	13.44
2555	1,309,211	0.36	90,519	0.75	63,272	3.59	52,446	9.14
2556	1,298,875	(0.79)	-	-	67,694	6.99	-	-
2557	1,419,796	9.31	-	-	70,075	3.52	-	-

ที่มา: สำนักงานสถิติแห่งชาติ

หมายเหตุ ปี พ.ศ. 2556 และปี พ.ศ. 2557 ยังไม่มีสถิติผู้ป่วยในมะเร็งและไทรอยด์

สถิติผู้ป่วยนอกมีผู้ป่วยมะเร็งเพิ่มมากขึ้นในปีพ.ศ. 2557 ร้อยละ 9.31 ขณะที่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 มีแนวโน้มลดลง ผู้ป่วยในที่เข้ารับการรักษาประเภทนอนพักค้างคืนของผู้ป่วยมะเร็งซึ่งสถิติรายงานถึงปี พ.ศ. 2555 มีแนวโน้มลดลงแต่ยังไม่มีการรายงานในปี พ.ศ. 2557 อัตราการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งในปี พ.ศ. 2557 คิดเป็นร้อยละ 3.52 จากอัตราการเสียชีวิต 5 ปีย้อนหลังพบว่าไม่มีลักษณะของแนวโน้มที่จะประมาณการได้อย่างชัดเจน ส่วนผู้ป่วยไทรอยด์ในปี พ.ศ.2555 เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.14 พบข้อสังเกตในปี พ.ศ.2552 ที่มีการเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 29.85

การเสียชีวิตของผู้ป่วยประเทศไทยพบว่า มะเร็งเป็นสาเหตุอันดับแรก จากสถิติผู้ป่วยไทยของสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข (พ.ศ.2558) พบว่า สัดส่วนผู้ป่วยมะเร็งในช่วง 4 ปีที่ผ่านมามีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นและมีสัดส่วนเมื่อเทียบกับผู้ป่วยทั่วไปมากขึ้นด้วย โดยมะเร็งที่พบมากที่สุดตามลำดับได้แก่ มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้และทวารหนัก มะเร็งตับและถุงน้ำดี มะเร็งหลอดลม หลอดอาหารและปอด มะเร็งรังไข่ ระยะของมะเร็งที่พบมีการแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น ๆ ของผู้ป่วยใหม่ เช่น มะเร็งเต้านมอยู่ในระยะ 4 ร้อยละ 11.3 มะเร็งลำไส้ใหญ่ ร้อยละ 15.2 มะเร็งตับร้อยละ 47.1 มะเร็งปอดร้อยละ 61.1 การแพร่กระจายส่วนใหญ่จะพบหลายที่ เช่น ปอด กระดูก ตับ เป็นต้น



ที่มา: สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข (2558)

รูปที่ 3.2 อัตราเสียชีวิต จำแนกตามสาเหตุที่สำคัญ ต่อประชากร 100,000 คน ประเทศไทย พ.ศ. 2554 และ พ.ศ. 2558

อัตราการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งในปี พ.ศ.2558 จากสถาบันมะเร็ง เพิ่มสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2554 ประมาณร้อยละ 19 หรือเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 4.8 ต่อปี ทั้งนี้ผู้ป่วยเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งตับสูงที่สุด รองลงมาคือ มะเร็งหลอดคอ หลอดลมใหญ่และปอด ลูคีเมีย มะเร็งเต้านม และมะเร็งปากมดลูก ตามลำดับ จำนวนผู้ป่วยใหม่ที่เป็นมะเร็งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2558 โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 13.2 ของจำนวนผู้ป่วยใหม่ในแต่ละปี ในจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งในปี พ.ศ.2558 จำนวน 3,439 ราย มีรูปแบบการรักษาที่ใช้รังสีรักษา (Radiation) จำนวน 214 ราย การใช้รังสีรักษาและการให้เคมีบำบัดร่วมด้วย (Radiation & Chemotherapy) จำนวน 294 ราย การรักษาด้วยการผ่าตัดและการฉายรังสี (Surgery & Radiation) จำนวน 96 ราย และการผ่าตัดร่วมด้วยการการฉายรังสีและการให้ยาเคมี (Surgery & Radiation & Chemotherapy) จำนวน 93 ราย รวม 693 ราย หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 20 ของผู้ป่วยใหม่ที่เป็นมะเร็ง

การแพร่กระจายของมะเร็งในระยะลุกลาม ผู้ป่วยจะต้องได้รับยาระงับปวดตลอดเวลา ยาที่แพทย์ให้ส่วนใหญ่เป็นยาที่มีผลทางตรงต่อระบบประสาทและมีฤทธิ์ระยะสั้น เช่น มอร์ฟีน ส่วนเภสัชรังสีในช่วงหลังได้รับการยอมรับมาใช้ในประเทศไทยมากขึ้น เช่น Sm-153 (EDTMP), Re-186 (HEDP) และ Re-188 (HEDP, DMSA) นอกจากการแพร่กระจายของมะเร็งแล้ว ไทรอยด์เป็นพิษเป็นอีกหนึ่งโรคที่สามารถรักษาได้ด้วยไอโซโทปรังสี I-131

ตารางที่ 3.5 สถิติผู้ป่วยนอกที่เข้ารับการรักษาด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือดในกลุ่มโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข

ปี พ.ศ.	ผู้ป่วยนอก		ผู้ป่วยใน	
	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง	จำนวน (คน)	อัตราเปลี่ยนแปลง
2550	14,636,349	-	225,842	-
2551	16,317,386	11.49	253,339	12.18
2552	17,696,105	8.45	268,849	6.12
2553	20,011,500	13.08	285,561	6.22
2554	23,281,308	16.34	331,872	16.22
2555	24,943,857	7.14	338,054	1.86
2556	24,402,362	(2.17)	-	-
2557	25,978,566	6.46	-	-

ที่มา: สถิติสาธารณสุข, 2558

ผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดเป็นกลุ่มผู้ป่วยที่สามารถใช้การวินิจฉัยด้วยเครื่องมือทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ในปี พ.ศ. 2557 ผู้ป่วยนอกมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.46 ซึ่งน้อยกว่าในปีอื่น ๆ เช่นเดียวกับผู้ป่วยในปี พ.ศ. 2555 มีผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.86 ซึ่งจากสถิติภาพรวมมีความไม่สม่ำเสมอของอัตราผู้ป่วยเช่นเดียวกัน

จากสถิติผู้ป่วยนอกและผู้ป่วยในภาพรวมระดับประเทศไม่ได้มีการรวบรวมข้อมูลไว้ในฐานเดียวกัน แต่จากการประเมินการใช้บริการ ปี พ.ศ. 2545-2555 มีอัตราส่วนการให้บริการผู้ป่วยนอกจากกลุ่มโรงพยาบาลสาธารณสุข โรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัย และโรงพยาบาลเอกชน เป็นอัตราส่วนดังนี้ กลุ่มโรงพยาบาลสาธารณสุขร้อยละ 65 โรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัยร้อยละ 4 และโรงพยาบาลเอกชนร้อยละ 24 อื่น ๆ ร้อยละ 7 (อนุกรรมการสถิติสาขาสุขภาพ, 2558) จากสถิติผู้ป่วยนอกทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2555 ผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุขจำนวน 182,599,811 ราย ผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลเอกชนจำนวน 44,158,300 ราย นำมาคำนวณผู้ป่วยในโรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัยและอื่น ๆ คาดการณ์จากการคำนวนจะได้ผู้ป่วยนอกรวมทั้งสิ้น 280,922,786 ราย ซึ่งสถิติผู้ป่วยนอกที่เป็นมะเร็งจากฐานข้อมูลกระทรวงสาธารณสุขปี พ.ศ. 2555 จำนวน 1,309,211 ราย คิดเป็นผู้ป่วยนอกที่เป็นมะเร็งทั้งสิ้นจากการคำนวณ 1,966,460 ราย หรือคิดเป็นผู้ป่วยมะเร็งร้อยละ 0.7 จะนำมาเป็นฐานในการคำนวณผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยทางมะเร็ง ส่วนผู้ป่วย

หัวใจและหลอดเลือดมีจำนวนผู้ป่วยนอก 24,943,857 รายจากข้อมูลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข นำมาคำนวณผู้ป่วยนอกโรคหัวใจของประเทศคิดเป็น 38,486,422 ราย

สถิติผู้ป่วยในจากกลุ่มโรงพยาบาลสาธารณสุข โรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัย และโรงพยาบาลเอกชน เป็นอัตราส่วนดังนี้ กลุ่มโรงพยาบาลสาธารณสุขร้อยละ 73 โรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัยร้อยละ 3 และโรงพยาบาลเอกชนร้อยละ 20 อื่น ๆ ร้อยละ 4 (อนุกรรมการสถิติสาขาสุขภาพ, 2558) จากสถิติผู้ป่วยในทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2555 ผู้ป่วยในของโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุขจำนวน 12,445,264 ราย ผู้ป่วยในโรงพยาบาลเอกชนจำนวน 2,176,800 รายนำมาคำนวณผู้ป่วยในโรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัยและอื่น ๆ คาดการณ์จากการคำนวณจะได้ผู้ป่วยในรวมทั้งสิ้น 17,048,307 ราย ซึ่งสถิติผู้ป่วยในที่เข้ารับการรักษาด้วยโรคมะเร็งในปี พ.ศ. 2555 สังกัดกระทรวงสาธารณสุขจำนวน 90,519 ราย คิดเป็นผู้ป่วยในที่เป็นมะเร็งทั้งสิ้นจากการคำนวณ 119,338 รายหรือคิดเป็นร้อยละ 0.7 ซึ่งมีอัตราเท่ากับผู้ป่วยนอก จะนำมาเป็นฐานในการคำนวณการบำบัดรักษามะเร็งด้วยไอโซโทปรังสี ส่วนผู้ป่วยไทรอยด์มีผู้ป่วยในจำนวน 52,446 รายจากข้อมูลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข นำมาคำนวณผู้ป่วยในทั้งสิ้นที่เป็นผู้ป่วยไทรอยด์จำนวน 68,198 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.4 ของผู้ป่วยในทั้งหมดเมื่อเทียบฐานกับผู้ป่วยทั้งประเทศ

สรุปได้ว่าผู้ป่วยที่นำมาคำนวณเป็นฐานในการใช้เภสัชรังสีในการวินิจฉัยจากมะเร็งเท่ากับ 1,966,460 ราย โรคหัวใจและหลอดเลือด 38,486,422 ราย ผู้ป่วยในที่เป็นมะเร็งที่มีโอกาสได้รับเภสัชรังสีบำบัดรักษา 119,338 ราย ผู้ป่วยไทรอยด์จำนวน 68,198 ราย

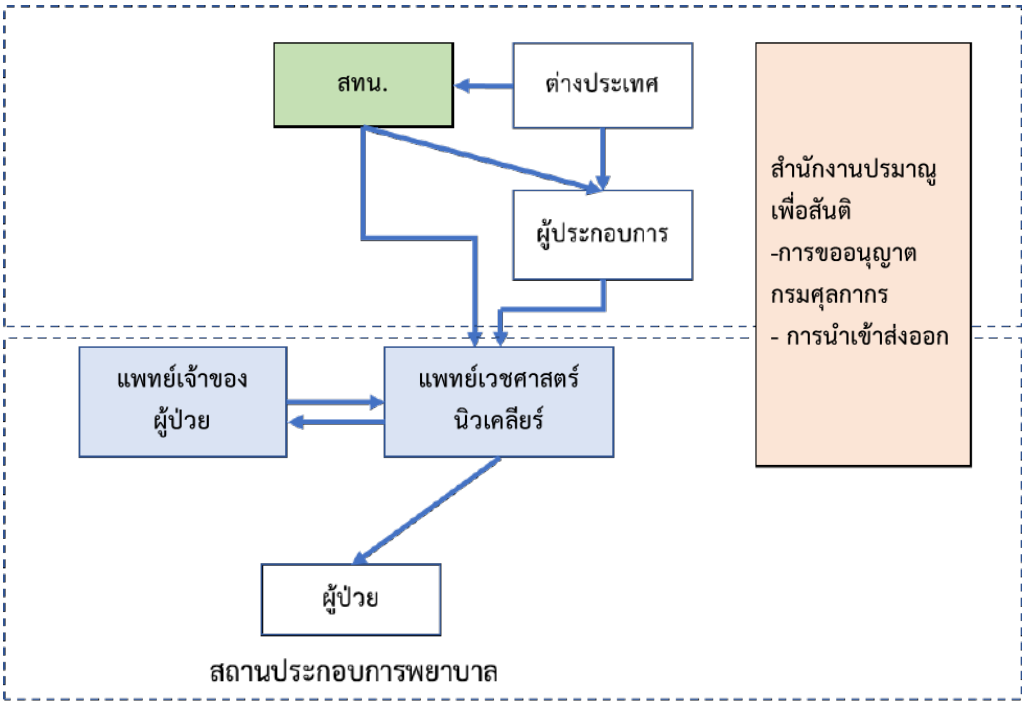
(2) หน่วยงานด้านเวชศาสตร์นิวแคลียร์ทางการแพทย์ของประเทศไทย

หน่วยงานทางการแพทย์ที่ให้บริการด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ของประเทศไทยปัจจุบันรวมทั้งสิ้น 26 แห่ง ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล 15 แห่ง และในต่างจังหวัดอีก 9 แห่ง ภารกิจของหน่วยงานจะทำหน้าที่เพื่อการวินิจฉัยและการรักษา รวมถึงการใช้รังสีเพื่อการรักษาโรคมะเร็ง เป็นต้น

หน่วยงานส่วนใหญ่อยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยเฉพาะอยู่ในโรงเรียนแพทย์ เช่น โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ โรงพยาบาลศิริราช โรงพยาบาลรามาธิบดี ทำให้ไม่สามารถให้บริการแก่ผู้ป่วยที่อยู่ห่างไกลได้อย่างทั่วถึง ซึ่งการแพทย์ด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์สามารถเติบโตได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีผู้ป่วยในต่างจังหวัดที่ยังไม่สามารถเข้าถึงบริการสาธารณสุขได้อย่างเพียงพอ

3.2.1.3 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าด้านการแพทย์

ความต้องการด้านไอโซโทปรังสีทางการแพทย์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ แพทย์เวชศาสตร์นิวเคลียร์และผู้ประกอบการนำเข้าและจัดจำหน่ายไปโรงพยาบาลต่าง ๆ



รูปที่ 3.3 ความเกี่ยวข้องของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทางด้านการแพทย์

1) แพทย์เวชศาสตร์นิวเคลียร์

การใช้สารไอโซโทปรังสีทางการแพทย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยจากแพทย์เจ้าของผู้ป่วยในการส่งต่อผู้ป่วยเพื่อเข้ารับบริการจากแพทย์เวชศาสตร์นิวเคลียร์ โดยโรคที่ให้บริการด้วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์มากที่สุดคือ โรคไทรอยด์ ส่งผลให้ความต้องการ I-131 มีมากขึ้น และบางครั้งไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ส่วนความต้องการ Sm-153 จะมีผู้ป่วยที่ส่งเข้ามารับการรักษาน้อยราย ปัจจัยในการใช้ไอโซโทปรังสีของแพทย์มาจากผลการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยลงในวารสารทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับในต่างประเทศ การผ่านการทดลองทางคลินิก และมีรายงานการนำมาใช้ในผู้ป่วยจริงและมีอัตราของความสำเร็จของการใช้ไอโซโทปรังสีชนิดนั้น ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญโดยคาดการณ์การใช้ไอโซโทปรังสีในปัจจุบันดังนี้ Tc-99m, I-131, Sm-153, Re-188 ส่วน Lu-177 และ Ho-166 ยังไม่ใช้อย่างแพร่หลายและราคาที่ค่อนข้างสูง และกลุ่มที่คาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคตได้แก่ กลุ่ม Alpha Particle เช่น Ac-225 และ Bi-213

ประเด็นสำคัญในการตัดสินใจใช้ไอโซโทปรังสีของแพทย์เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีทางการแพทย์ พบว่ามีทิศทางการตัดสินใจขึ้นกับความต้องการของตลาดควบคู่กับผลงานวิจัยเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการวิจัยการรักษาผู้ป่วยจะมีรูปแบบเช่นเดียวกับ S-curve กล่าวคือ เมื่อไอโซโทปรังสีชนิดใดผ่านกระบวนการทางคลินิกและสามารถนำออกสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์ และเมื่อมีไอโซโทปตัวใหม่ที่ดีกว่ามาก็จะทดแทนไอโซโทปรังสีชนิดเดิม และไอโซโทปรังสีบางตัวก็อาจจะตกอยู่ใน Chasm กล่าวคือไม่สามารถไปสู่เชิงพาณิชย์ได้ ดังนั้นความต้องการทางการแพทย์จึงมีความซับซ้อน

2) ผู้ประกอบการนำเข้าและจัดจำหน่ายให้แก่สถานพยาบาลต่าง ๆ ซึ่งส่วนหนึ่งจะนำเข้ามาจากต่างประเทศ และใช้บริการจาก สทน. ด้วย ตลาดของผู้ประกอบการที่นำเข้าจะเป็นตลาดเดียวกับ สทน. ดังนั้น ความต้องการของลูกค้าปลายทางจึงไม่แตกต่างกันเพราะเป็นตลาดเดียวกัน ส่วนปัจจัยในการเลือกใช้บริการของแพทย์และสถานพยาบาลจะเลือกในสัดส่วนเท่ากันเพื่อลดความเสี่ยงต่อการใช้บริการหาก สทน. ผลิตไม่พอเพียงอันเกิดจากปัญหาของเครื่องปฏิกรณ์เดิม สถานพยาบาลจะสามารถสั่งจากผู้ประกอบการเอกชนทดแทน

เนื่องจากบทบาทของผู้ประกอบการนำเข้าและจัดจำหน่ายไอโซโทปรังสีเป็นทั้งลูกค้าและคู่แข่งของ สทน. เอง แต่เมื่อพิจารณาจากขีดความสามารถด้านการตลาดและการขายนั้นผู้ประกอบการนำเข้าอาจจะมีขีดความสามารถสูงกว่า ทั้งนี้ สทน. อาจจะปรับกลยุทธ์ในการดูแลผู้ประกอบการเพื่อให้ สทน.สามารถขยายตลาดไปยังต่างประเทศในลักษณะคู่ค้าได้

สำหรับข้อมูลการประเมินความต้องการของประเทศไทยจากสมมติฐานที่ได้จากการสัมภาษณ์ดังนี้ ผู้ป่วยไทรอยด์ที่ได้รับการรักษาด้วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์คิดเป็นร้อยละ 10 ของผู้ป่วยไทรอยด์ทั้งหมด ผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับ Sm-153 ประมาณการที่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของผู้ป่วยมะเร็งที่มีการแพร่กระจายไปที่กระดูก ส่วน Y-90 ใช้ในการบำบัดกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับมีผู้ป่วยที่เข้าถึงเวชศาสตร์นิวเคลียร์ร้อยละ 5-10 ของผู้ป่วยมะเร็งตับทั้งหมด ด้านการวินิจฉัยผู้ป่วยนอกโรคมะเร็งคิดเป็นร้อยละ 10 และผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดคิดเป็นร้อยละ 1 ซึ่งการประมาณการนี้จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ทางการตลาดต่อไป

3.2.1.4 แผนงานการผลิตไอโซโทปรังสีในอนาคตจากรายงานปี 2553 ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบ

จากแผนงานการผลิตในอนาคตที่วางไว้ 7 ปีก่อนใน 2 ด้านได้แก่

- ไอโซโทปรังสีเพื่อการวินิจฉัยโรค ได้แก่ Tc-99m
- ไอโซโทปรังสีเพื่อการบำบัดรักษา ได้แก่ I-131 ไอโซโทปที่ให้รังสีบีตา ได้แก่ Sm-153, Y-90, Ho-166, Er-169, Lu-177, Re-186 และ Re-188 ไอโซโทปรังสีสำหรับรังสีระยะใกล้ ได้แก่ Re-188, Ir-192, Sr-90 และ I-125 ไอโซโทปรังสีที่ให้รังสีแอลฟา ได้แก่ Ac-225, At-211, Bi-213, Ra-223 และ Ra-224

ไอโซโทปรังสีข้างต้นยังมีความสอดคล้องกับความต้องการในปัจจุบันและเป็นแนวโน้มเดียวกับในต่างประเทศ

สรุปสถานการณ์ในการใช้เวชศาสตร์นิวเคลียร์ของประเทศไทยเพื่อการวินิจฉัยและรักษา จากสถิติผู้ป่วยโรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด และไทรอยด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำให้มีความต้องการใช้บริการเพื่อการตรวจวินิจฉัยมากขึ้น โดยไอโซโทปรังสีที่สำคัญในประเทศไทยได้แก่ Tc-99m และ I-131 ซึ่งปัจจุบันแพทย์ได้ใช้

อย่างต่อเนื่อง ส่วนไอโซโทปรังสีที่มีศักยภาพ ได้แก่ Sm-153, Re-188, Lu-177, Ho-166 ทั้งนี้การเติบโตของเวชศาสตร์นิวเคลียร์ยังขึ้นกับปัจจัยด้านผู้ให้บริการซึ่งประเทศไทยมีผู้ให้บริการน้อยรายและกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ส่วนกลาง นอกจากนี้ปัจจัยด้านการส่งต่อจากแพทย์เจ้าของผู้ป่วยก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเข้ารับบริการทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์อีกด้วย การวินิจฉัยและรักษาของประเทศไทยอ้างอิงงานวิจัยและผลการรักษาในต่างประเทศแล้วจึงนำเข้ามาใช้ในการวินิจฉัยและรักษาโดยไม่ได้เป็นผู้คิดค้นเอง เนื่องมาจากเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ไม่สอดรับกับการพัฒนาในฐานะผู้นำด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่จะสามารถให้การดูแลวินิจฉัยได้ ซึ่งแนวโน้มในอนาคตเวชศาสตร์นิวเคลียร์นับว่ามีความสำคัญในการวิจัยนาโนเทคโนโลยีและไบโอเทคโนโลยีด้วยเช่นกันที่จะนำไปสู่วิสัยทัศน์ของประเทศไทยในการก้าวเป็นผู้นำทางการแพทย์ครบวงจร

การคาดการณ์จากสถิติผู้ป่วยกรณีที่มีความต้องการและสามารถเข้าถึงบริการได้ทุกรายต่อปีมีดังนี้ ผู้เข้ารับบริการที่มีสิทธิเข้าถึงสำหรับการวินิจฉัยมะเร็งร้อยละ 10 ของผู้ป่วยมะเร็งในประเทศทั้งหมดคิดเป็นจำนวนผู้ป่วย 196,646 ราย และผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดร้อยละ 1 ของผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดในประเทศทั้งหมดคิดเป็น 384,864 ราย ผู้ป่วยในที่เป็นมะเร็งที่มีโอกาสได้รับไอโซโทปรังสีบำบัดรักษาร้อยละ 5 ของผู้ป่วยมะเร็งที่เป็นผู้ป่วยในทั้งหมดคิดเป็นจำนวนผู้ป่วย 5,967 ราย และผู้ป่วยไทรอยด์ร้อยละ 10 ของผู้ป่วยไทรอยด์ที่เป็นผู้ป่วยในทั้งหมดคิดเป็นจำนวน 6,819 ราย

3.2.2 ด้านการเกษตร

การใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยด้านการเกษตร มีบทบาทในการปรับปรุงพันธุ์พืชโดยการเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายพันธุ์ (Mutation breeding) ในพืชที่ต้องการปรับปรุงพันธุ์ มีกระบวนการคัดเลือกลักษณะที่ต้องการ นำมาทำการขยายพันธุ์ ทดสอบลักษณะที่ต้องการและขยายพันธุ์เผยแพร่พันธุ์ใหม่ สิ่งที่ใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายพันธุ์ เรียกว่า สิ่งก่อการกลายพันธุ์ (Mutagen) มีทั้งวิธีการใช้สารเคมีเป็นการก่อการกลายพันธุ์ทางเคมี และการอาบรังสีเป็นการก่อการกลายพันธุ์ทางกายภาพ (Physical mutagen) มาจากรังสีต่าง ๆ ได้แก่ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์และการอาบนิวตรอน การปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้เกิดการกลายพันธุ์จะใช้ระยะเวลาประมาณ 12-15 ปีต่อ 1 พันธุ์ (Novak และ Brunner, 1992) ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการกลายพันธุ์นั้นอาจจะใช้ระยะเวลาเร็วหรือช้าขึ้นกับพันธุ์พืชในแต่ละประเภทด้วย (Suprasanna และ Nakagawa, 2011) นอกจากด้านการเกษตรแล้วยังใช้เทคโนโลยีนี้ในการปรับปรุงพันธุ์จุลินทรีย์ และแมลง

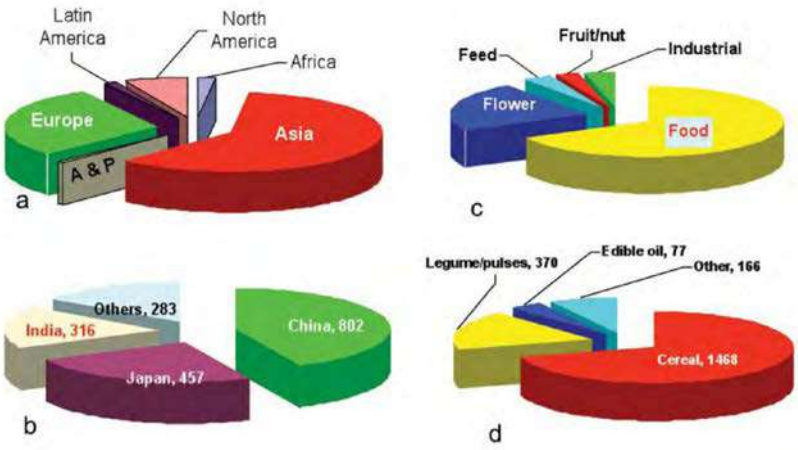
3.2.2.1 สถานการณ์การปรับปรุงพันธุ์ในระดับโลก

การคาดการณ์ความมั่นคงทางอาหารทั่วโลกในปี ค.ศ. 2050 ซึ่งผลผลิตการเกษตรต่อหน่วยพื้นที่ควรเพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 80 ขณะที่ทั่วโลกพบปัญหาการขาดแคลนพื้นที่เพาะปลูกที่ดี และพืชที่มีความทนต่อภาวะการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์พืชจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาเพื่อให้พืชมีความแข็งแรงที่จะนำไปสู่ผลผลิตต่อหน่วยที่ดีขึ้น และจะต้องมีการพัฒนาประสิทธิภาพ

การเพาะปลูก (Peter และ Richard, 2012) การปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้เกิดการกลายพันธุ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญ จากฐานข้อมูลปี ค.ศ. 2015 ของ FAO และ IAEA, 2016 อ้างใน Aamir และคณะ (2016) มีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้เกิดการกลายพันธุ์ใน 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มธัญพืชมีจำนวน 1,527 พันธุ์ ซึ่งข้าวเป็นพืชที่มีการปรับปรุงพันธุ์มากที่สุด ได้แก่ ข้าวเจ้า 815 พันธุ์คิดเป็นร้อยละ 53.4 รองลงมาเป็นข้าวบาร์เลย์ 304 พันธุ์คิดเป็นร้อยละ 19.9 ใกล้เคียงกับข้าวสาลี 254 พันธุ์คิดเป็นร้อยละ 16.6 ตามลำดับ (2) กลุ่มพืชตระกูลถั่ว 462 พันธุ์ ได้แก่ ถั่วเหลือง 170 พันธุ์คิดเป็นร้อยละ 36.8 ของพันธุ์ในกลุ่มตระกูลถั่ว รองลงมาคือถั่วลิสง 72 พันธุ์คิดเป็นร้อยละ 15.6

วิธีการการปรับปรุงพันธุ์มีทั้งการใช้รังสี และการใช้สารเคมี โดยการใช้รังสีเป็นวิธีที่มีการใช้มากที่สุด ตามข้อมูลของ FAO ปี ค.ศ. 2015 ได้แก่ การใช้นิวเคลียร์ในการฉายรังสีแกมมา รองลงมาเป็นรังสีเอกซ์ ส่วนการใช้นิวตรอน เป็นลำดับที่ 4 สำหรับการปรับปรุงพันธุ์โดยการใช้สารเคมีใช้ Ethylmethane sulphonate มากที่สุด เมื่อเทียบระหว่างการใช้นิวเคลียร์ และสารเคมีจะพบว่าการกลายพันธุ์ โดยใช้นิวเคลียร์มีมากกว่าการใช้สารเคมีเป็นอัตราส่วน 86:14 (FAO, 2015 อ้างใน Aamir และคณะ, 2016)

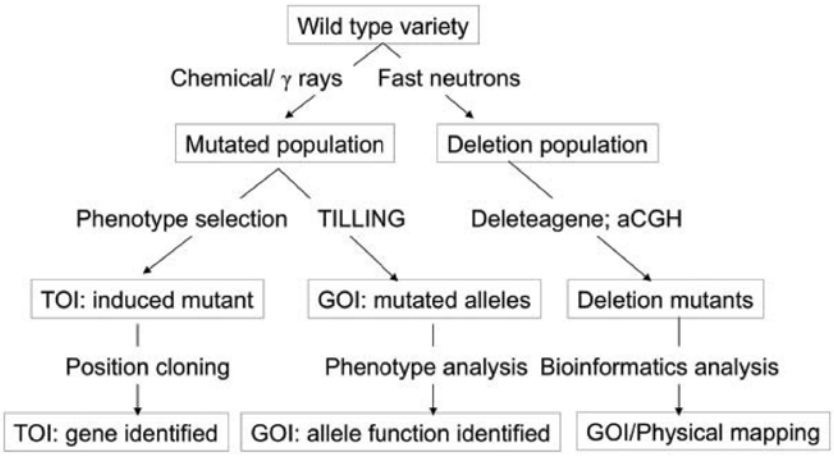
การปรับปรุงพันธุ์ในกลุ่มประเทศเอเชียมีการใช้การกลายพันธุ์มากที่สุด โดยมีประเทศจีนเป็นอันดับที่ 1 รองลงมาเป็น ญี่ปุ่น และอินเดีย ประเภทของพืชกลุ่มอาหารใช้การกลายพันธุ์มากที่สุดในกลุ่มของธัญพืชซึ่งมีข้าวเป็นตัวหลัก พันธุ์ข้าวที่ประเทศจีนได้ทำการกลายพันธุ์ ได้แก่ Yuanfengzao, Zhefu 802 และ Yangdao no.6 (Shu,Q.Y และคณะ,2011) พันธุ์ข้าวที่ประเทศญี่ปุ่นได้ทำการกลายพันธุ์ ได้แก่ Reimei ส่วนประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศเวียดนามทำการกลายพันธุ์ข้าว ได้แก่ VND95-20 และ DT38 ทำการเพาะปลูกในพื้นที่มากกว่าครึ่งล้านเฮกเตอร์ (Hactare) หรือประมาณ 3.13 ล้านไร่ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา กลุ่มที่สองได้แก่ การกลายพันธุ์ถั่วเหลือง (Reimi และคณะ, 2011)



a.ทวีป, A&P: ออสเตรเลียและประเทศในกลุ่มแปซิฟิค b. เอเชีย c.ประเภทของผู้ใช้ d.ชนิดของพืช
ที่มา: Shu,Q.Y และคณะ (2011)

รูปที่ 3.4 ประเทศและชนิดของพืชที่มีการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการกลายพันธุ์

เทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์จะประสบความสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อมีการนำพันธุ์พืชนั้นไปใช้อย่างแพร่หลาย และมีผลผลิตที่จะสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร โดยมูลค่าอาจมีมากกว่าพันล้าน และเป็นการช่วยส่งเสริมทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ดังกรณีของข้าวญี่ปุ่น Reimei ที่ได้ปรับปรุงพันธุ์ด้วยการฉายรังสีแกมมาในปี ค.ศ. 1960 (Shu,Q.Y และคณะ, 2011) ถึงแม้ว่าการปรับปรุงพันธุ์จะประสบความสำเร็จในช่วง ค.ศ. 1950 – 1980 แต่ผลผลิตเริ่มลดลงในศตวรรษที่ 20 และในศตวรรษที่ 21 นั้นเทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์เริ่มกลับมามีบทบาทมากขึ้นจากเทคนิควิทยาศาสตร์พื้นฐานมาสู่การปรับปรุงพันธุ์ระดับโมเลกุล และยีน ซึ่งเป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยีสำหรับยีนในพืชและวิจัยด้านชีวโมเลกุลในกลุ่มธัญพืช ได้แก่ ข้าว ข้าวสาลี บาร์เล่ย์ และพืชผลทางการเกษตรอื่น ๆ ในยุคจีโนมการปรับปรุงพันธุ์จึงเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับงานวิจัยจีโนมในพืช ความสัมพันธ์ของความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีจีโนมพืชในช่วงศตวรรษใหม่ที่ต้องการพันธุ์พืชที่มีความแข็งแรง คงทนต่อสภาพแวดล้อมทางภูมิภาคที่เปลี่ยนแปลงและสามารถสร้างผลผลิตต่อหน่วยให้ตอบสนองต่อความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น การชักนำให้เกิดการปรับปรุงพันธุ์ในงานวิจัยจีโนมพืชดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยวิธี Fast Neutron เป็นหนึ่งในหลายทางเลือกของการวิจัยจีโนมในการปรับปรุงพันธุ์ โดยจุดเด่นของวิธีนี้จะสามารถวิเคราะห์ในเชิง Bioinformatics ได้ซึ่งเป็นแนวโน้มของวิทยาศาสตร์ในอนาคต



TOI: traits of interest; GOI: Gene of interest

ที่มา: Shu,Q.Y และคณะ (2011)

รูปที่ 3.5 การชักนำให้เกิดการปรับปรุงพันธุ์ในงานวิจัยจีโนมพืช

การศึกษาการใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในประเทศที่พัฒนาแล้ว พบว่ามีเพียง 3 ประเทศที่มีการพัฒนาอย่างชัดเจน ได้แก่ ประเทศออสเตรเลีย ประเทศญี่ปุ่น และประเทศเกาหลีใต้ ดังมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

การใช้ประโยชน์	ออสเตรเลีย	ญี่ปุ่น	เกาหลีใต้
การทำหมันแมลง (Sterile Insect Technique; SIT)	O	O	
การฉายรังสีเพื่อการกลายพันธุ์ในการสร้างพืชพันธุ์ใหม่ ๆ เพื่อให้มีความทนต่อโรคมากยิ่งขึ้น และสามารถปลูกในดินที่มีคุณภาพไม่ดีได้	O		
ปรับปรุงพันธุ์กุหลาบ กล้วยไม้ ดอกไม้ประจำชาติ ดอกไม้มงคลของประเทศ			O

ที่มา: รวบรวมจากบทที่ 3 ข้อมูลการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ในรายงานการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค

สรุปได้ว่าวิธีการทางนิวเคลียร์ในการปรับปรุงพันธุ์พืชมีโอกาสประสบความสำเร็จมากกว่าและจะให้ผลผลิตที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการทางเคมี และเป็นทิศทางของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในอนาคตเพื่อการปรับปรุงพันธุ์จะนำไปสู่การวิเคราะห์เชิง Bioinformatics ได้

3.2.2.2 การวิเคราะห์ศักยภาพตลาดการปรับปรุงพันธุ์ในประเทศไทย

ในช่วงที่ผ่านมาประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีการฉายรังสีเข้ามาใช้ โดยนำมาใช้ในกลุ่มพืชล้มลุก เช่น ข้าว ไม้ดอกไม้ประดับ เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์ให้ดีขึ้น ให้พืชมีความทนต่อสภาพอากาศแล้ง มีความทนต่อเชื้อโรคของพืช และสามารถให้ผลผลิตที่ดี (พีรนุช จอมพุก, 2550) การปรับปรุงพันธุ์ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาศักยภาพการตลาดของข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ไม้ดอกไม้ประดับ

(1) การปรับปรุงพันธุ์ข้าว

การวิเคราะห์ศักยภาพรวม ผลผลิตต่อไร่ของประเทศในการปลูกข้าวเมื่อเทียบกับประเทศในกลุ่มอาเซียนพบว่า ผลผลิตต่อไร่ของประเทศไทยอยู่ในอันดับรองสุดท้ายก่อนบรูไน ขณะที่มีเนื้อที่เพาะปลูกและเนื้อที่เก็บเกี่ยวเป็นอันดับ 2 ของกลุ่มอาเซียน ดังนั้นหากประเทศไทยสามารถใช้เทคโนโลยีในการปรับปรุงพันธุ์ได้ดีอาจจะส่งผลต่อผลผลิตต่อไร่ที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 3.7 เนื้อที่เพาะปลูก เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ในภูมิภาคอาเซียนปี พ.ศ. 2557-2559

ประเทศ	เนื้อที่เพาะปลูก (1,000 ไร่) Planted area (1,000 rais)			เนื้อที่เก็บเกี่ยว (1,000 ไร่) Harvested area (1,000 rais)			ผลผลิต (1,000 ตัน) Production (1,000 tons)			ผลผลิตต่อไร่ (กก.) Yield per rai (kg)			Country
	2557 2014	2558 2015	2559 2016	2557 2014	2558 2015	2559 2016	2557 2014	2558 2015	2559 2016	2557 2014	2558 2015	2559 2016	
อาเซียน	317,233	313,064	307,122	311,397	307,295	302,762	216,117	215,912	211,348	694	703	698	ASEAN
บรูไน	9	9	10	8	8	9	2	3	2	256	381	271	Brunei
กัมพูชา	19,078	19,097	19,071	18,556	18,930	18,910	9,390	9,324	9,335	506	493	494	Cambodia
อินโดนีเซีย	86,442	90,704	90,907	86,233	88,222	90,703	70,846	75,361	77,245	822	854	852	Indonesia
ลาว	6,121	6,156	6,378	5,987	6,032	6,378	4,002	4,048	4,200	669	671	659	Lao PDR
มาเลเซีย	4,246	4,417	4,471	3,714	4,373	4,426	2,849	3,238	3,492	767	741	789	Malaysia
เมียนมา	45,525	44,826	45,074	45,398	44,703	44,382	28,322	28,193	27,725	624	631	625	Myanmar
ฟิลิปปินส์	29,827	29,636	28,508	29,623	29,403	28,294	18,968	18,911	17,486	640	643	618	Philippines
ไทย	77,135	69,251	64,124	73,027	66,656	61,081	36,762	31,617	28,088	503	474	460	Thailand
เวียดนาม	48,851	48,968	48,579	48,851	48,968	48,579	44,975	45,216	43,775	921	923	901	Vietnam

ที่มา: ระบบข้อมูลสารสนเทศเพื่อความมั่นคงทางอาหารในภูมิภาคอาเซียน
หมายเหตุ: ข้อมูล ณ ก.พ. 2560 ปี 2559 (ปีเพาะปลูก 2558/59)

Source: ASEAN Food Security Information System
Remark: Data in feb 2017, 2016 (Crop year 2015/16)

ประเทศไทยส่งออกข้าวในปี พ.ศ. 2559 จำนวน 9,883,288,755 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 154,433,924,860 บาท ขณะที่ประเทศไทยมีการนำเข้าข้าวเช่นกัน โดยปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการนำเข้า 14,630,018 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 338,919,420 บาท ตลาดผู้ซื้อข้าวของประเทศไทยในปัจจุบันมีประมาณ 182 ประเทศทั่วโลก สำหรับประเทศที่มีการซื้อข้าวจากประเทศไทยมากที่สุด ได้แก่ ประเทศเบนินอยู่ในแอฟริกาตะวันตก ประเทศจีน ประเทศสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

ปัจจุบันประเทศไทยมีข้าวทั้งหมด 138 พันธุ์ มีการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ (induce mutation) เป็นหนึ่งในวิธีการการปรับปรุงพันธุ์พืชของข้าว ทำให้ข้าวมีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมอย่างรวดเร็ว ในช่วงที่ผ่านมาได้ใช้กัมมันตรังสีเริ่มดำเนินการในปี พ.ศ. 2498 และในปี พ.ศ. 2520 มีการรับรองพันธุ์ข้าวนาสวนไวต่อช่วงแสง (Photosensitive lowland rice) โดยการใช้รังสีแกมมาอาบเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ข้าวพันธุ์ใหม่ 2 พันธุ์คือ ข้าวเหนียว กข 6 และข้าวเจ้า กข 15 ส่วนการใช้นิวตรอนของประเทศไทยที่ประสบความสำเร็จออกสู่เชิงพาณิชย์และสร้างมูลค่าให้กับภาคเกษตรของประเทศไทย ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข 10 อยู่ในพันธุ์ข้าวนาสวนที่ไม่ไวต่อแสง (Non-photosensitive lowland rice) (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2560)

ข้าวพันธุ์ กข 10 ข้าวเหนียวนาปรัง ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 1 ด้วยการอาบนิวตรอนที่ 10 Gy ทำให้ปลูกได้นอกฤดูทำนา ไม่ไวต่อแสง และต้านทานโรค ดำเนินการในปี พ.ศ. 2512 คัดเลือกพันธุ์จากข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ได้รับการฉายรังสีแล้วที่สถานีทดลองข้าวบางเขน คัดเลือกสายพันธุ์จนได้ข้าวเหนียวหลายสายพันธุ์ ในช่วงที่ 4 และในปี พ.ศ. 2517-2523 ได้ส่งสายพันธุ์ข้าวเหนียวดังกล่าว ปลูกทดสอบ

ผลผลิตระหว่างสถานีและในนาเกษตรกรในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรมวิชาการเกษตรประกาศรับรองพันธุ์ และแนะนำให้เกษตรกรปลูก ในปีพ.ศ. 2524 (นวลฉวี รุ่งธนกียรติ, 2547)

ข้าวเหนียว กข 10 เป็นข้าวนาปรังในปี พ.ศ. 2558-2559 มีพื้นที่เพาะปลูก 203,117 ไร่ ปลูกใน 22 จังหวัด ส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือบางส่วน ผู้ปลูก 26,770 ราย ผลผลิตรวม 64,730 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 512 กิโลกรัม ราคาขายต่อกิโลกรัม 10.29 บาท ดังนั้นรายได้ผลผลิตต่อไร่รวม 5,268.48 บาท และรายได้จากผลผลิตทั้งหมดที่สามารถเพาะปลูกได้ คิดเป็น 1.07 พันล้านบาท คาดว่าในปี พ.ศ. 2560 การให้ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 660 กิโลกรัมต่อไร่ (กุหลาบ หมายสุขกลาง, 2559; กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2560) ดังนั้นรายได้ผลผลิตต่อไร่รวม 6,791.4 บาท และรายได้จากผลผลิตทั้งหมดที่สามารถเพาะปลูกได้ คิดเป็น 1.38 พันล้านบาทซึ่งมีอัตราการเติบโตสูงถึงร้อยละ 28.92 เมื่อเทียบจากปีก่อน

(2) การปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจ ถั่วเหลืองและถั่วเขียว

พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยนอกจากข้าวแล้ว มีถั่วเขียว ถั่วเหลืองที่มีศักยภาพสูงในการปรับปรุงพันธุ์ ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญในระดับโลก และนับว่าเป็นแหล่งพืชที่มีโปรตีนและน้ำมันในเมล็ดสูง ประโยชน์ของถั่วเหลืองนำมาใช้ในการสกัดน้ำมัน ส่วนของกากถั่วเหลืองนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ และนำไปแปรรูปเป็นอาหารหลายชนิด จากสถิติของการนำเข้าส่งออกถั่วเหลืองของประเทศไทย มีมูลค่าการนำเข้าและการส่งออกดังนี้ มูลค่าการนำเข้า 43,095,808,226 บาท และมูลค่าการส่งออก 113,404,202 บาท ซึ่งปี พ.ศ. 2559 อัตราการนำเข้าลดลงร้อยละ 13 ขณะเดียวกันอัตราการส่งออกลดลงด้วยเช่นกันคิดเป็นลดลง ร้อยละ 34 เป็นผลมาจากสถานการณ์เศรษฐกิจถั่วเหลืองโลกที่มีการลดลง ประเทศที่มีการส่งออกถั่วเหลืองอันดับต้น ๆ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา อาร์เจนตินา บราซิล โดยประเทศที่มีการนำเข้าถั่วเหลืองจำนวนมากเป็นประเทศในแถบอาเซียน ได้แก่ อินโดนีเซีย ไทย เวียดนาม และมาเลเซีย เนื่องประเทศในกลุ่มนี้มีการผลิตได้น้อย ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่ซึ่งมีผลผลิต 422-467 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูก 166,868 ไร่ ผลิตได้ 254 กิโลกรัมต่อไร่ โดยความต้องการของประเทศไทยอยู่ที่ 2.218 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร , 2560) ถ้าประเทศไทยสามารถปรับปรุงพันธุ์ได้จะส่งผลต่อการลดการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศได้

การศึกษางานวิจัยในช่วงที่ผ่านมามีการใช้เทคนิคการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ด้วยวิธีการฉายรังสีเพื่อให้ได้สายพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนในเมล็ดสูงจากเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 คัดเลือกสายพันธุ์ที่ให้โปรตีนสูงจากศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2551 ดำเนินการประเมินผลผลิตถั่วเหลืองในปี พ.ศ. 2550-2551 พบว่า ถั่วเหลืองสายพันธุ์กลาย 4 สายพันธุ์มีโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 42.8 ขณะที่พันธุ์ตรวจสอบที่ไม่ฉายรังสี มีโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 41.1 และมีผลผลิตเฉลี่ย 352-387 กก./ไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบเชียงใหม่ 60 (จิติมา ยถาภูธานนท์ และคณะ, 2558) นอกจากนี้พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง เช่น การคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองต้านทานโรคราสนิม และราน้ำค้างโดยใช้รังสีแกมมา การประเมินความรุนแรงโรคแอนแทรคโนสของถั่วเหลืองอาบรังสี

ถั่วเขียว เป็นพืชที่ได้รับการประกาศส่งเสริมการปลูกของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกถั่วเขียวรายใหญ่ของโลกมาก่อน ถั่วเขียวมี 2 พันธุ์ ได้แก่ ถั่วเขียวผิวมัน และถั่วเขียวผิวดำ ถั่วเขียวเป็นพืชที่ปลูกได้ดีในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ การผลิตของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่เพาะปลูก 862,260 ไร่ ผลผลิต 100,720 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 117 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าถั่วเขียวจาก เมียนมาร์ สหรัฐอาหรับอิมิเรสต์ ออสเตรเลีย และอาร์เจนตินา (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) จากสถิติการนำเข้าปี พ.ศ. 2559 มีการนำเข้าถั่วเขียวมูลค่า 446,077,216 บาท และมีการส่งออกถั่วเขียว 517,790,068 บาท เนื้อที่เพาะปลูกถั่วเขียวของประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมานั้นมีเนื้อที่ลดลงเนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกมันสำปะหลังและอ้อยโรงงานที่ให้ผลตอบแทนดีกว่า

ในช่วงที่ผ่านมาประเทศไทยมีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเขียวด้วยวิธีการฉายรังสี เช่น พันธุ์ชัยนาท 72 พัฒนาจากการนำพันธุ์กำแพงแสน 2 ไปฉายรังสีแกมมา ซึ่งมีลักษณะเด่นได้แก่ ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 212 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถปลูกได้ในดินด่าง และปลูกได้ทุกฤดูและทุกภาคของประเทศ ทั้งถั่วเขียวและถั่วเหลือง นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ถ้ามีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้มีผลผลิตต่อไร่สูงขึ้น นอกจากจะเป็นการลดการนำเข้าแล้วยังเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้นของเกษตรกรอีกด้วย

(3) การปรับปรุงพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับ

ปัจจุบันไม้ดอกไม้ประดับเป็นพืชที่ได้รับความสนใจในการปรับปรุงพันธุ์เช่นกัน ประเภทไม้ดอกไม้ประดับที่สามารถนำมาปรับปรุงสายพันธุ์ได้มีจำนวนมาก และเป็นที่ต้องการของตลาดเป็นอย่างมากทั้งในและต่างประเทศ เช่น ฟิโลเลนดรอน ต้นหน้าววัวใบยาว ลีลาวดีพันธุ์ชมพูระย้า ลีลาวดีแคระ ชวนชม เป็นต้น มูลค่าไม้ดอกไม้ประดับที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ในตลาดมีมูลค่ามากกว่า 1 ล้านล้านบาท (อุดม ฐิตวัฒนะสกุล และณัฐธีร์ ศิลป์ชัย, 2560) แต่ตลาดไม้ดอกไม้ประดับส่วนใหญ่จะอยู่ในต่างประเทศ ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ ญี่ปุ่น จีน เป็นต้น มูลค่าไม้ดอกไม้ประดับที่ปรับปรุงพันธุ์จากการฉายรังสีแล้วมีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 500 เนื่องจากความเป็นเอกลักษณ์ที่ไม่เหมือนใครทำให้มีราคาสูงในท้องตลาด แต่การพัฒนาพันธุ์เหล่านี้จะต้องใช้ระยะเวลาและจำนวนตัวอย่างในการทดลองที่มาก ซึ่งในบางครั้งอาจจะต้องใช้ระยะเวลา 2-7 ปี ระยะเวลาที่เร็วที่สุด 11 วันจึงจะทราบผลการกลายพันธุ์ หลังจากการฉายรังสีแล้วจะนำไปทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในห้องทดลอง จากตารางที่ 2.14 แสดงถึงมูลค่าการนำเข้าส่งออกไม้ดอกไม้ประดับในปี พ.ศ. 2559 มีมูลค่าการนำเข้า 13,204,749 บาท และมีมูลค่าการส่งออก 216,247,048 บาท

(4) หน่วยงานการปรับปรุงพันธุ์พืช

นักปรับปรุงพันธุ์พืชของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในสถาบันการศึกษา จะเป็นนักวิทยาศาสตร์ในสาขาต่าง ๆ เนื่องจากการทำวิจัยการปรับปรุงพันธุ์เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ และเกี่ยวข้องกับนักวิทยาการและศิลปะหลายแขนง ได้แก่ พันธุศาสตร์ พฤกษศาสตร์สถิติและการวางแผนการทดลอง สรีรวิทยาพืช กีฏวิทยา

โรคพืชวิทยา ปฐพีวิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ ชีวเคมี และคอมพิวเตอร์ (พีรศักดิ์ ศรีนิเวศน์ และคณะ, 2558) นอกจากนี้มีหน่วยงานภาครัฐที่มีบทบาทในการดำเนินงานการปรับปรุงพันธุ์ ได้แก่ กรมการข้าว สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ สถาบันวิจัยและวิทยาศาสตร์ (วว.) ศูนย์วิจัยพืชไร่ ศูนย์วิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร และหน่วยงานภาคเอกชนที่จำหน่ายบริษัทเมล็ดพันธุ์ บริษัทด้านพันธุ์พืช จากทิศทางการปรับปรุงพันธุ์พืชพบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกัน เช่น บริษัทในเครือเจริญโภคภัณฑ์กลุ่มเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร มีอัตราการเพิ่มขึ้นของรายได้จากการประกอบธุรกิจร้อยละ 8 ส่วนบริษัทมอนซานโต้มีอัตราการเปลี่ยนแปงขอรายได้ลดลงร้อยละ 10

3.2.2.3 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าด้านการเกษตร

กลุ่มลูกค้าเป้าหมายหลักด้านการเกษตรคือ หน่วยงานภาครัฐภายใต้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งความต้องการของหน่วยงานดังกล่าวต้องการให้จัดระบบการเข้ารับบริการอย่างมืออาชีพ ซึ่งมีความต้องการใกล้เคียงกับกลุ่มของสถาบันการศึกษา งานด้านการเกษตรจึงเป็นงานบริการเพื่อวิชาการและการส่งเสริมการเกษตรเพื่อให้นำผลไปขยายต่อให้กับเกษตรกรรายย่อยต่อไปจึงมีลักษณะงานส่วนหนึ่งในรูปแบบของการได้ประโยชน์เชิงสังคม

กลุ่มลูกค้าเป้าหมายรองด้านเกษตรกรที่เป็นผู้ประกอบการที่มีความรู้ทางด้านเทคโนโลยี มีความต้องการให้ สทน. ทำการวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์ในกลุ่มพืชเศรษฐกิจ และพืชไม้ดอกไม้ประดับที่มีมูลค่าสูง และเปิดให้บริการโดยการเสริมสร้างองค์ความรู้ให้กลุ่มผู้ประกอบการดังกล่าว

ข้อเสนอแนะด้านทิศทางในการปรับปรุงพันธุ์ด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ มีดังนี้

การพัฒนาผลิตภัณฑ์

- การพัฒนาศักยภาพของพืชที่จะมาปรับปรงพันธุ์ด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์ควรเป็นพืชเศรษฐกิจ เช่น อ้อย ถั่วเหลือง ข้าวโพด โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรกรพืชไร่นา พืชสวน
- กลุ่มไม้ดอก ไม้ประดับไม้ประดับเมืองหนาว ที่เกษตรกรในประเทศไทยไม่สามารถเพาะได้เอง และต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น กล้วยไม้บางสายพันธุ์ เบญจมาศ เก๊กฮวย มะลิ หน้าวัว เป็นต้น ซึ่งถ้าหากสามารถพัฒนาพันธุ์ได้เองจะช่วยลดมูลค่าการนำเข้าของประเทศไทยได้มาก
- การพัฒนาพันธุ์จะต้องสามารถตอบโจทย์ตามความต้องการของผู้บริโภค และเน้นในกลุ่มภูมิภาคเอเชียโดยต้องตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า เช่น ญี่ปุ่นต้องการสับปะรด น้ำหนัก 220 กรัม แตงโมที่ดีควรมีลายเข้ม เป็นต้น

การวิจัยและพัฒนา

- ทิศทางของการวิจัยและพัฒนาควรทำในกลุ่มพืชเศรษฐกิจ เพื่อตอบโจทย์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ
- การปรับปรุงพันธุ์ควรมีการทำวิจัยต่อเนื่องร่วมกับอาจารย์ในมหาวิทยาลัย เพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่

การบริการจัดการองค์กร

- ควรมีการติดตามการบริการของผู้มาใช้บริการของ สทน. เพื่อให้ สทน. ทราบถึงผลสำเร็จของพันธุ์พืชแต่ละพันธุ์ พืชที่ประสบความสำเร็จไปแล้ว เช่น พืชตระกูลถั่ว และนำผลงานที่สำเร็จแล้วมาเผยแพร่ เพื่อให้เกษตรกรและผู้เกี่ยวข้องทราบถึงผลสำเร็จ
- กระบวนการบริการควรจะมีการประชาสัมพันธ์ชนิดของรังสีแต่ละประเภทว่าจะใช้กับพืชประเภทใด ควรระบุปริมาณการใช้ dose ที่เหมาะสมให้กับผู้มารับบริการที่ สทน.
- ควรมีห้องรักษาอุณหภูมิ โรงเรือน หรือการมีสเปรย์น้ำที่เหมาะสม
- จัดทำ flowchart แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้ผู้เข้ารับบริการรับทราบ ในการเข้ารับบริการที่ผ่านมาขั้นตอนการนำเมล็ดพันธุ์เข้ามาไม่ยุ่งยาก แต่ขั้นตอนนำออกควรแจ้งเรื่องภาชนะที่จะใส่แล้วนำกลับไป รวมถึงวันเวลาที่ให้บริการที่ชัดเจน เช่น สัปดาห์แรก สัปดาห์ที่ 3 โดยแจ้งให้ทราบล่วงหน้า แจ้งประเภทรังสีที่จะให้บริการในแต่ละวัน เพื่อให้มีการติดต่อได้อย่างรวดเร็ว
- เพิ่มช่องทางการบริการจัดส่งเช่น การใช้บริการส่ง Kerry

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ มีดังต่อไปนี้

- สทน. ต้องสร้างความรู้ความเข้าใจ โดยจัดงบประมาณเพื่อสร้างภาพลักษณ์ในเชิงบวก รวมถึงข้อมูลการตกค้างทางรังสีเพื่อให้ประชาชนเข้าใจว่าพืช หรือผลผลิตที่ได้จากเทคนิคทางนิวเคลียร์สามารถรับประทานได้
- ควรมีประชาสัมพันธ์การบริการของ สทน. ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อการวิจัย และการบริการรับทราบถึงขีดความสามารถของ สทน.
- การส่งเสริมให้ประชาชนรับรู้ความรู้ด้านนิวเคลียร์ควรเริ่มส่งเสริมตั้งแต่ในเด็กเช่น การจัดค่ายเยาวชน
- ควรเลือกการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่เหมาะสม ข้อมูลควรมีความทันสมัย ใช้ช่องทางที่ถูกต้องเช่น การสร้าง application ทาง line ช่องทางที่น่าสนใจ ทำ clip ให้เป็นที่ดึงดูด และใช้เวลาสื่อสารที่ไม่นาน

3.2.2.4 แผนงานการปรับปรุงพันธุ์พืชในอนาคตของ สทน.

สทน. เป็นผู้ให้บริการการฉายรังสีเพื่อปรับปรุงด้านพันธุศาสตร์ สร้างโครงการนำร่องให้แก่ธุรกิจภาคเอกชน และร่วมวิจัยในโครงการภาครัฐ รายได้ทางตรงที่เกิดจากการบริการจึงมีมูลค่าไม่มาก แต่จะสร้างมูลค่าทางอ้อมที่มีผลต่อเศรษฐกิจของประเทศมาก ได้แก่ การเพิ่มมูลค่าการส่งออก ลดการนำเข้า การเพิ่มผลผลิตต่อไร่

การปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง และถั่วเขียว

การปรับปรุงพืชไม้ดอกและไม้ผล ได้แก่ ทิวลิป ดาวเรือง สับปะรดสี เบญจมาศ กล้วยไม้ สาหร่าย มะเดื่อฝรั่ง

การปรับปรุงจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอางและอาหารเสริม

สรุป การบริการฉายรังสีเพื่อปรับปรุงด้านพันธุศาสตร์ ควรสร้างโครงการนำร่องให้แก่ธุรกิจภาคเอกชนและร่วมวิจัยในโครงการภาครัฐ พืชที่มีการปรับปรุงพันธุ์ควรเป็นพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ถั่วเขียว ถั่วเหลือง และไม้ดอกไม้ประดับที่มีมูลค่าเพิ่มในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งต้องเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้ผลประโยชน์ที่ สทน.จะได้รับจะเป็นผลประโยชน์ทางอ้อมมากกว่ารายได้ทางตรง

3.2.3 ด้านอุตสาหกรรม

ปัจจุบันการฉายรังสีด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในภาคอุตสาหกรรมได้มีการนำไปปรับปรุงและพัฒนาได้หลายด้าน เช่น การฉายรังสีอัญมณี การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non Destructive Testing: NDT) การโดปสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น ซึ่งการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้จะก่อให้เกิดนวัตกรรมใหม่ ที่จะสามารถก้าวข้ามขีดจำกัดในภาคอุตสาหกรรมเดิมไปได้ ซึ่งเป็นเทคนิคเฉพาะทางเพื่อให้ได้ผลสำเร็จตามที่ต้องการและไม่สามารถทำได้ด้วยเทคโนโลยีอื่น ได้แก่ การเปลี่ยนสีอัญมณีโดยการปรับโครงสร้างผลึกด้วยนิวตรอน การผลิตไอโซโทปรังสีสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสี และการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการก่อกัมมันต์ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.3.1 การฉายรังสีอัญมณี

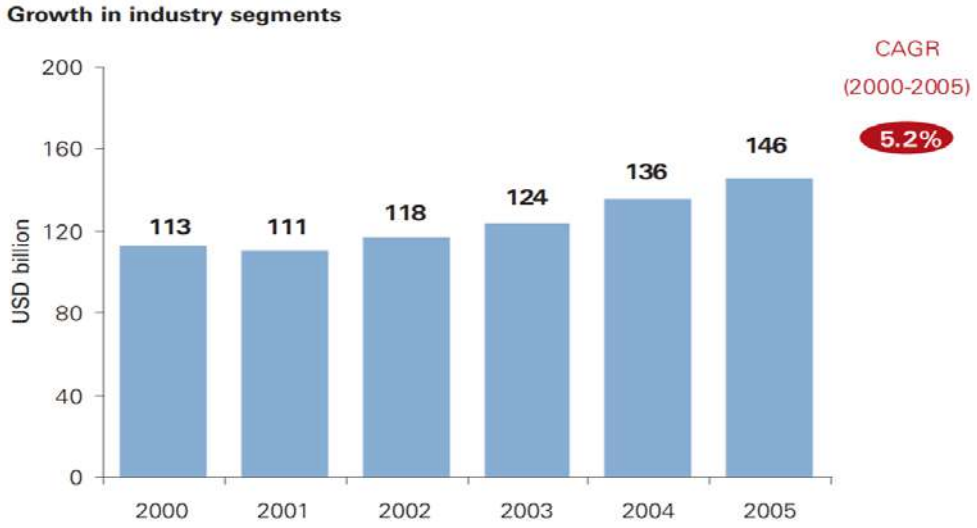
การฉายรังสีอัญมณีเป็นการปรับปรุงคุณภาพอัญมณีให้เกิดมูลค่าเพิ่ม 5-30 เท่าโดยส่วนใหญ่อัญมณีที่นิยมนำมาฉายรังสี คือ โทแพซ (Topaz) ซึ่งเป็นพลอยเนื้ออ่อน ชนิดใส ไม่มีสี เมื่อใช้เทคนิคการใช้รังสีจะได้เป็นสีน้ำเงินทำให้สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับโทแพซซึ่งอยู่ในกลุ่มพลอยที่มีมูลค่าสูงปานกลาง (Semi - precious Stones) กล่าวคือ ราคาไม่สูงนัก ปัจจุบันโทแพซฉายรังสีเป็นที่นิยมในตลาดแฟชั่นทั่วโลก เพราะผลิตเป็นเครื่องประดับได้หลากหลายสีสันและราคาไม่แพง เช่น London blue Topaz น้ำหนัก 10 - 20 กะรัต ขายในราคา 20,000 - 30,000 บาท เมื่อเทียบกับไพลินสีน้ำเงินที่มีขายในราคาหลายแสนบาทต่อกะรัต (BOI, 2013) โทแพซที่ได้จากการฉายรังสี แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

ชนิดที่ 1 Sky Blue Topaz โทแพซสีน้ำเงินท้องฟ้า โดยการฉายรังสีแกมมา หรืออิเล็กตรอนจากเครื่องเร่งอนุภาค ราคา 0.5-2 เหรียญสหรัฐฯต่อกะรัต นิยมในกลุ่มยุโรป

ชนิดที่ 2 Swiss Blue Topaz หรือ Electric Topaz สีฟ้าสว่างปานกลางถึงสีน้ำเงินเข้ม เกิดจากการผสมผสานหลายเทคนิค ได้แก่ ฉายนิวตรอนแล้วฉายรังสีแกมมา หรืออิเล็กตรอน ราคาเริ่มต้นที่ 1.5 เหรียญสหรัฐฯต่อกะรัต นิยมในกลุ่มยุโรป สหรัฐอเมริกา และเอเชีย

ชนิดที่ 3 London Blue Topaz หรือ Inky and Steely Topaz สีน้ำเงินอมเทาเข้มปานกลางถึงเข้มมาก เป็นผลมาจากการฉายนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ราคาเริ่มต้นที่ 2.5 เหรียญสหรัฐฯต่อกะรัต นิยมในกลุ่มยุโรป สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย

บลูโทแพซเป็นอัญมณีที่ได้รับความนิยมมากในตลาดผู้หญิงสหรัฐอเมริกา จากการประเมินของบริษัทสวารอฟกี (Swarovski) เนื่องจากราคาไม่แพง และนำมาทำเครื่องประดับได้หลายรูปแบบ เช่น สร้อยคอ จี้ ต่างหู แหวน (www.swarovski-gemstones.com) ในช่วง 2 ปีที่ผ่านมาตลาดในสหรัฐอเมริกามีกำลังซื้อลดลง เนื่องจากปัจจัยด้านเศรษฐกิจที่ถดถอยและเหมืองในประเทศปิดลง ประกอบกับความเข้มงวดเรื่องรังสีของโทแพซชนิด Swiss Blue Topaz และ London Blue Topaz จึงส่งผลให้ราคาของ โทแพซสูงขึ้น



หน่วย: พันล้านดอลล่าร์สหรัฐฯ

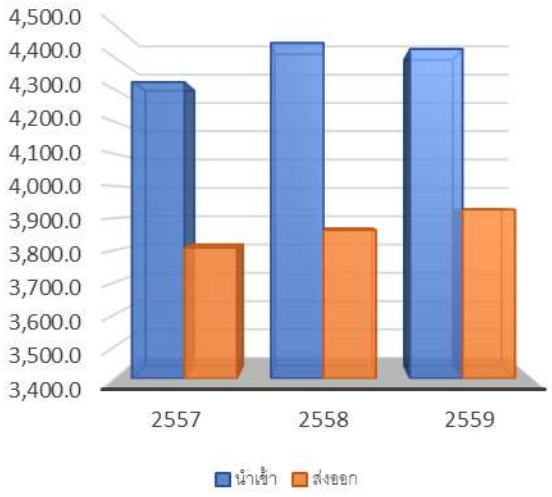
ที่มา: KPMG, 2006

รูปที่ 3.6 ยอดขายอัญมณีระดับโลกระหว่างปี ค.ศ. 2000-2005

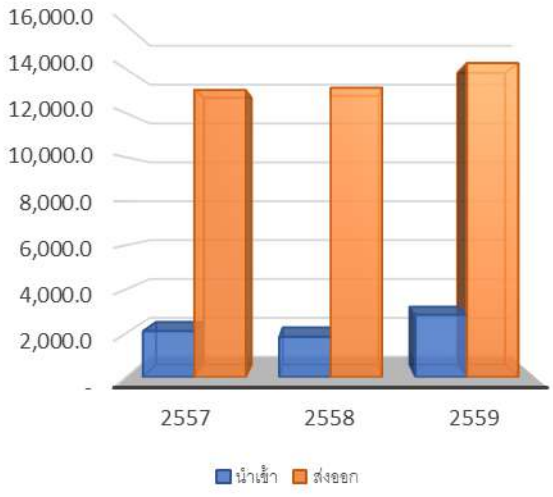
การศึกษาตลาดของโทแพซไม่มีสถิติหรือการคาดการณ์เฉพาะโทแพซ แต่จะรวมอยู่ในกลุ่มอัญมณีและเครื่องประดับ มูลค่าตลาดในปี ค.ศ. 2005 สูงถึง 146 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ตลาดที่ใหญ่ที่สุดของอัญมณีอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา คิดเป็นร้อยละ 30.8 ของตลาดทั่วโลก รองลงมาเป็นประเทศจีน ร้อยละ 8.9 (KMPG, 2006)

การฉายรังสีอัญมณีจะอยู่ในกลุ่มของเครื่องประดับอัญมณีเทียม และอัญมณีสังเคราะห์ โดยประเทศไทยมีการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอันดับ 3 ของประเทศ ในปี พ.ศ. 2559 มีมูลค่าการส่งออกจำนวน 501,124 ล้านบาท โดยมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 35.05 และคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 6.64 ของมูลค่าสินค้าส่งออกทั้งหมด ซึ่งมูลค่าการส่งออกของเครื่องประดับอัญมณีเทียม และอัญมณีสังเคราะห์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 2.85 และ 0.78 ตามลำดับ โดยปี พ.ศ. 2559 มูลค่าการส่งออกในตลาดโลกของเครื่องประดับอัญมณีเทียมมีมูลค่า 14,281.35 ล้านบาท ซึ่งประเทศส่งออกรายใหญ่เป็นอันดับต้นๆ ได้แก่ ลิกเตนสไตน์ สหรัฐอเมริกา สิงคโปร์ เยอรมนี ฝรั่งเศส สหราชอาณาจักร ฮ่องกง และสเปน เป็นต้น ปริมาณการส่งออกของอัญมณีและเครื่องประดับมีอัตราสูงขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบจากปีก่อนหน้าจะมีอัตราการขยายตัวถึงร้อยละ 8.53 ของตลาดส่งออกเครื่องประดับอัญมณีเทียมของไทย ส่วนมูลค่าการส่งออกอัญมณีสังเคราะห์มีมูลค่า 3,926.68 ล้านบาท และมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 1.67 ของตลาดส่งออกอัญมณีสังเคราะห์ของไทย

เมื่อเปรียบเทียบจากมูลค่าและปริมาณการนำเข้าและส่งออกเครื่องประดับอัญมณีเทียม และอัญมณีสังเคราะห์ ดังรูปที่ 3.7-3.8 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.04 และ 0.06 ตามลำดับ โดยปี พ.ศ. 2559 มูลค่าการนำเข้าเครื่องประดับอัญมณีเทียมและอัญมณีสังเคราะห์ 2,835.20 ล้านบาทและ 4,427.00 ล้านบาท ตามลำดับ พบว่า ในปี พ.ศ. 2557-2559 มีการนำเข้าอัญมณีสังเคราะห์สูงสุด 4,445.91 ล้านบาท ซึ่งเมื่อเทียบกับการส่งออกเครื่องประดับอัญมณีเทียมที่มีมูลค่าสูงถึง 14,281.35 ล้านบาท แสดงให้เห็นถึงความต้องการอัญมณีสังเคราะห์เพื่อนำมาใช้ผลิตเครื่องประดับอัญมณีเทียมในประเทศ



รูปที่ 3.7 มูลค่าการนำเข้า-ส่งออก อัญมณีสังเคราะห์ ปี พ.ศ. 2557-2559 (ล้านบาท)



รูปที่ 3.8 มูลค่าการนำเข้า-ส่งออก เครื่องประดับอัญมณีเทียม ปี พ.ศ. 2557-2559 (ล้านบาท)

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์

การฉายรังสีอัญมณีที่ สทน. ให้บริการโดยใช้รังสีนิวตรอนในการปรับปรุงคุณภาพอัญมณีของโทแพซ (Topaz) คิดค่าบริการกิโลกรัมละ 40,000-50,000 บาท และมีอัตราการขยายตัวของการใช้บริการลดลงร้อยละ 52.86 เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพลดลง ทำให้กำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งผู้ประกอบการด้านอัญมณีในประเทศไทยมีความต้องการฉายรังสีอัญมณีไม่น้อยกว่า 3-4 ตันต่อปี (William J. Trevithick, 2560) ซึ่งเป็นมูลค่าที่ทาง สทน. มีโอกาสได้รับคิดเป็น 120-160 ล้านบาท และประเทศสหรัฐอเมริกามีความต้องการอัญมณีเทียมคิดเป็นมูลค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.25 พันล้านบาทต่อปี ซึ่งในช่วงปี พ.ศ. 2549-2553 ประเทศไทยติดอันดับ 1 ใน 10 ของกลุ่มประเทศส่งออกอัญมณีเทียมไปยังประเทศสหรัฐฯ (U.S. Department of the Interior, 2004-2011) ที่มีมูลค่าการนำเข้าอัญมณีเทียมรวมสูงกว่าร้อยละ 90 ของกลุ่มประเทศนำเข้าอัญมณีเทียมไปยังประเทศสหรัฐฯทั้งหมด มีมูลค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 31 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 3 แสดงว่าประเทศไทยสูญเสียโอกาสที่จะทำรายได้ไม่น้อยกว่า 30 ล้านบาทต่อปี ยังไม่รวมถึงกลุ่มประเทศอื่น ๆ ที่ยังมีความต้องการอัญมณีเทียมอีกจำนวนมาก ในขณะที่ปัจจุบัน Blue Topaz มีราคาต่อกะรัตอยู่ที่ 15 เหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 500 บาท ซึ่งเมื่อเทียบกับราคาโทแพซที่ยังไม่ผ่านการฉายรังสี จะมีราคาอยู่ที่ 175 บาทต่อกะรัต (Moreno Y Nicoleta และคณะ, 2017)

สรุปด้านอัญมณี ประเภทของโทแพซที่มีราคาสูงได้แก่ London Blue Topaz ราคาเริ่มต้นที่ 2.5 เหรียญสหรัฐฯ ต่อกะรัต ส่วน Swiss Blue Topaz ราคาเริ่มต้นที่ 1.5 เหรียญสหรัฐฯ ต่อกะรัต ตลาดรวมของอัญมณีทั่วโลกปี ค.ศ. 2005 เท่ากับ 146 พันล้านเหรียญสหรัฐ ตลาดที่ใหญ่ที่สุดของอัญมณีอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา คิดเป็นร้อยละ 30.8 ของตลาดทั่วโลก โทแพซเป็นความต้องการของตลาดโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากความชอบของผู้หญิงในประเทศโดยมียอดขายของโทแพซเป็นอันดับแรกในประเทศ ขณะที่ผู้ประกอบการไทยคาดการณ์ความต้องการในการใช้บริการที่ สทน. ประมาณ 3-4 ตันต่อปีคิดเป็นมูลค่าที่มีโอกาสได้รับคิดเป็น 120-160 ล้านบาท

3.2.3.2 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

การตรวจสอบโดยไม่ทำลายเป็นการใช้รังสีฉายผ่านตัวกลาง หรือผลิตภัณฑ์แล้วกระทบลงบนแผ่นฟิล์มโดยไม่ทำลายชิ้นงานที่นำมาทดสอบ เรียกวิธีการนี้ว่า “การถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiography)” โดยบริษัทที่ให้บริการตรวจสอบโดยไม่ทำลายในประเทศไทย นิยมใช้ไอโซโทปรังสี Se-75 และ Ir-192 เป็นส่วนใหญ่ ประโยชน์จากการใช้รังสีโดยใช้สาร Se-75 คือ เหมาะสำหรับงานในที่ซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ในการตรวจสอบได้ ส่วนการใช้รังสีโดยใช้สาร Ir-192 มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง เหมาะสำหรับงานที่มีชิ้นงานหนาเทียบเท่าเหล็ก 6 มิลลิเมตรขึ้นไปซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำได้

ปัจจุบันผู้ประกอบการส่วนใหญ่ต้องนำเข้าไอโซโทป Ir-192 จากต่างประเทศ โดยมีมูลค่านำเข้าประมาณ 10-15 ล้านบาทต่อปี โดยมีค่าเวลาครึ่งชีวิต (Half life) 73.83 วัน และพลังงานอยู่ในช่วง 215-612

keV ส่วนไอโซโทป Se-75 มีระยะเวลาครึ่งชีวิต 119.8 วัน และพลังงานอยู่ในช่วง 100-400 keV ซึ่งการนำเข้ารังสีแต่ละครั้งจะต้องเผื่อระยะเวลาครึ่งชีวิตในการขนส่งอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 45 วัน ส่งผลให้อัตราค่าบริการการถ่ายภาพด้วยรังสีมีค่าบริการสูงขึ้น ซึ่งถ้าสามารถผลิตได้ในประเทศไทยจะทำให้ลดระยะเวลา ลดต้นทุนลง และเพิ่มโอกาสในการขยายตัวของบริการด้านนี้ ซึ่งปัจจุบันความต้องการใช้บริการการตรวจสอบโดยไม่ทำลายในภาพรวมมีปริมาณความต้องการการตรวจสอบเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2559 ดังตารางที่ 2.16 มีอัตราการเติบโตร้อยละ 25 เมื่อเทียบจาก 5 ปีก่อน และเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความต้องการใช้บริการการตรวจสอบโดยไม่ทำลายมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ปี พ.ศ. 2559 แต่จะมีรายได้ลดลง เนื่องจากกลุ่มพลังงานและปิโตรเคมีมีปริมาณงานที่ลดลง ส่งผลให้รายได้ในปี พ.ศ. 2559 ลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 3.8 รายได้การให้บริการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

ลักษณะงาน	2554	2555	2556	2557	2558	2559
การทดสอบโดยไม่ทำลาย	177.94	221.66	215.48	*	*	*
การตรวจและรับรอง	175.19	180.28	181.52	*	*	*
รายได้อื่นๆ	4.29	4.03	4.13	*	*	*
รวมรายได้ (ล้านบาท)	357.42	405.97	401.13	500.89	510.02	445.78

หมายเหตุ * ไม่พบข้อมูล

ที่มา: ควอลลีเทค (2558)

นอกจากนี้อุตสาหกรรมตรวจสอบโดยไม่ทำลายในประเทศอังกฤษใช้ไอโซโทป Yb-169 ในการตรวจสอบชิ้นงานที่บางและต้องใช้ความละเอียดสูง โดยมีความหนาชิ้นงาน 4-15 มิลลิเมตร (Gilligan Engineering Services, 2016) ซึ่งไอโซโทป Yb-169 มีค่าครึ่งชีวิต 32.12 วัน และพลังงานอยู่ในช่วง 63-308 keV ตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ใช้การถ่ายภาพด้วยรังสี มีดังนี้ ท่อส่งก๊าซ และท่อส่งน้ำมัน รอยเชื่อมโลหะ Boilers ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องบิน

ตัวอย่างการตรวจสอบโดยไม่ทำลายในการตรวจรอยเชื่อมโลหะในงานสร้างทางด่วน 2 โครงการ ในรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา คือ Interstate 595 และ Selmon Expressway ทำการเก็บสถิติการตรวจสอบโดยไม่ทำลายเพื่อเปรียบเทียบการใช้งานการถ่ายภาพด้วยรังสี (RT) การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (UT) และการตรวจสอบด้วยคลื่นเสี่ยงความถี่สูงแบบจัดเรียงเฟส (PAUT) ซึ่งงานการถ่ายภาพด้วยรังสี (RT) มีจำนวน 108 งาน จากทั้งหมด 254 งาน และมีสัดส่วนการทำงานมากถึงร้อยละ 43

3.2.3.3 การโดปสารกึ่งตัวนำ

ซิลิกอน (Silicon : Si) พบได้ในธรรมชาติ เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนและอะตอมของธาตุอื่น ๆ จะเกิดเป็นซิลิเกต (Silicates) ซึ่งพบได้ในชั้นเปลือกโลกมากกว่าร้อยละ 26 โดยทั่วไปเป็นที่รู้จักกัน คือ ควอทซ์ (Quartz) หรือ ควอทไซต์ ซึ่งใช้นำมาผลิตเป็นโลหะซิลิกอน ใช้สำหรับผลิตในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งการพิจารณาสัดส่วนของซิลิกอนที่ผสมอยู่ในเนื้อวัสดุเป็นหลักนั้น สามารถแบ่งเป็นเกรดต่าง ๆ ได้ดังนี้ (เบญจพร พวงจำปี, 2558)

(1) เฟอโรซิลิกอน (Ferrosilicon) ประกอบด้วยซิลิกอนมากกว่าร้อยละ 50 นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเหล็ก เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งให้กับเนื้อโลหะ

(2) ซิลิกอน (Silicon) ประกอบด้วยซิลิกอนร้อยละ 97 (Regular) นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป

(3) การผลิตสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประกอบด้วยซิลิกอนร้อยละ 99.97 เป็นซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง (Hyper pure) นำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตสารกึ่งตัวนำและเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อนำซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูงผ่านกระบวนการโดปซิลิกอนด้วยการอาบนิวตรอน (Neutron Transmutation Doping of Silicon: NTD) จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เพื่อผลิตแผงวงจรขนาดเล็ก (Microcircuits) และอุตสาหกรรมเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ในปี พ.ศ. 2557 ปริมาณและมูลค่าทรัพยากรแร่ควอตซ์ของประเทศไทย มีราคาเฉลี่ย 750 บาท/ตัน โดยมีปริมาณ 117,060,169 ตัน คิดเป็นมูลค่า 87,795.13 ล้านบาท

ส่วนแหล่งนำเข้าซิลิกอนที่สำคัญ ได้แก่ รัสเซีย จีน แคนาดา เวเนซูเอล่า แอฟริกาใต้ บราซิล ออสเตรเลีย และอื่น ๆ เป็นต้น โดยราคาเฉลี่ยซิลิกอนแต่ละเกรดพิจารณาได้จากตารางที่ 3.9 สำหรับซิลิกอนที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ ราคาเฉลี่ยล่าสุดอยู่ที่ 60.13 บาทต่อกิโลกรัม (ยังไม่รวมภาษีนำเข้า)

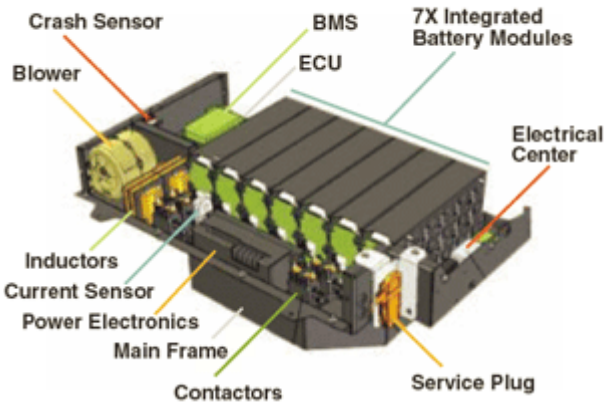
ตารางที่ 3.9 ราคาเฉลี่ยของซิลิกอนเกรดต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

Price, Average, Baht per kg Si	2012	2013	2014	2015	2016
Ferrosilicon, 50%Si	66.08	68.06	71.37	66.74	54.19
Ferrosilicon, 75%Si	60.79	62.11	64.76	58.15	45.59
Silicon metal	83.92	80.62	92.51	83.92	60.13

ที่มา: Mineral Commodity Silicon Summaries, 2017

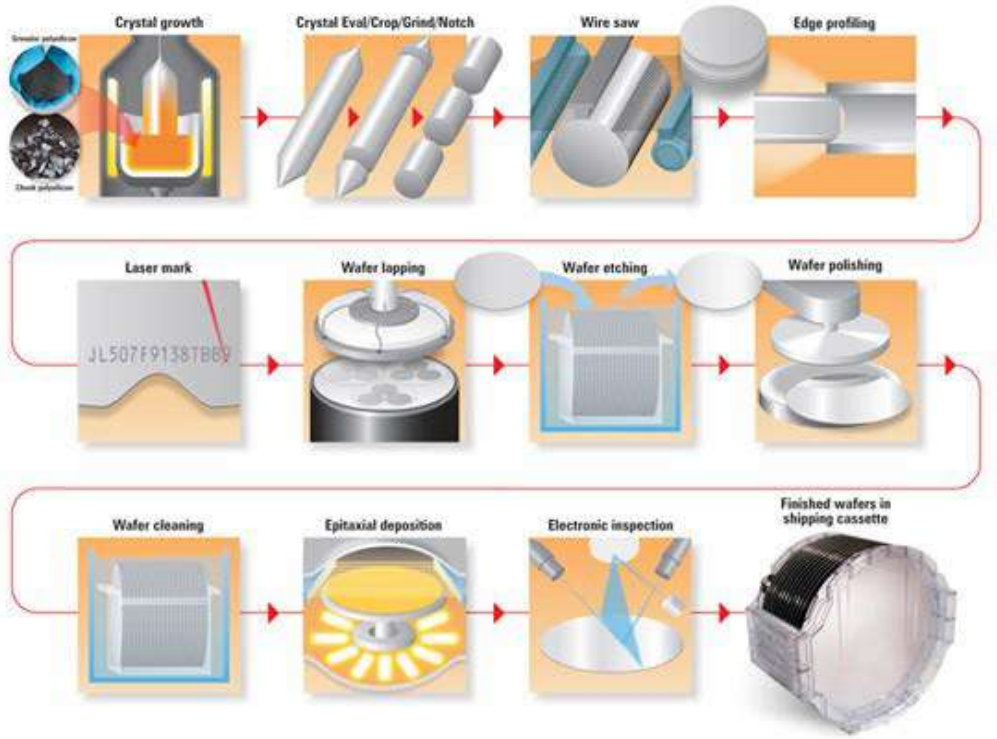
ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาพัฒนาสารกึ่งตัวนำ (Semi-Conductor) ที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ (Transistors) ไดโอด (Diode) และ IC chips (ผศ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล, 2558) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมพลังงานสะอาด โดยอุตสาหกรรมเหล่านี้มีหัวใจหลักคือ Power Electronics ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีกระแสไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมี Power Electronics ประกอบอยู่ด้วย เช่น ยานยนต์ไฟฟ้า รถไฟฟ้า พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งประโยชน์ของ Power Electronics จะเป็นตัวควบคุมและแปลงพลังงานไฟฟ้า เพราะแบตเตอรี่สามารถกักเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้แต่ยังต้องมีส่วนควบคุมและแปลงไฟให้เสถียร ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในตัวของแบตเตอรี่ให้เพิ่มมากขึ้น (Ryan owens, 2014)

การใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถพัฒนาแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ ซึ่งได้มีการวิจัยโดย Jae W. Kwon ผู้ช่วยศาสตราจารย์จากมหาวิทยาลัยมิสซูรี ในการพัฒนาแบตเตอรี่นิวเคลียร์ (Nuclear Battery) ซึ่งใช้เทคโนโลยีฟิล์มบาง และอาศัยต้นกำเนิดรังสี Sr-90 เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าเคมี ทำให้แบตเตอรี่มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ทั่วไปแบตเตอรี่นิวเคลียร์จะมีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่ทั่วไปหลายเท่า



ที่มา: David L. Anderson, Sustainable Manufacturing

รูปที่ 3.9 Lithium-Ion Battery Manufacturing for EV power trains



ที่มา: David L. Anderson, Sustainable Manufacturing

รูปที่ 3.10 IC Fabrication Overview Procedure of Silicon Wafer Production

แผ่นซิลิกอน (Silicon Wafer) การผลิตแผ่นซิลิกอนถูกจัดเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ ที่สามารถนำไปใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยกระบวนการผลิตแผ่นซิลิกอน ดังรูปที่ 3.10 มีทั้งหมด 5 กระบวนการหลัก โดยสามารถแบ่งเป็น 3 อุตสาหกรรมหลัก ได้แก่ อุตสาหกรรมต้นน้ำ อุตสาหกรรมกลางน้ำ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ดังนี้

- อุตสาหกรรมต้นน้ำ ของการทำมีกระบวนการดังนี้
  1. การปลูกผลึกแท่งซิลิกอน (Crystal Growth)
  2. การตัด
     - Crystal Eval/Crop/Grind/Notch
     - Wire Saw
  3. การโดปสารกึ่งตัวนำด้วยการอาบรังสีนิวตรอน
  4. การขัด
     - Edge Profiling
     - Laser Mark

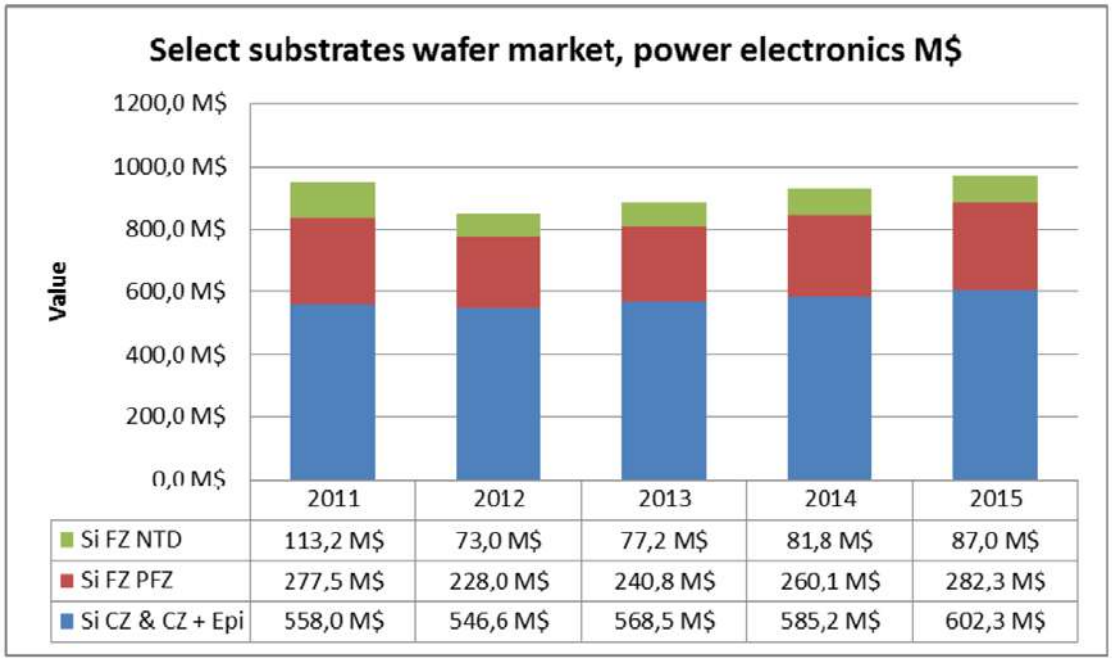
- Wafer lapping
- Wafer Etching
- Wafer cleaning
- Epitaxial deposition

5. การตรวจคัดแยกคุณภาพ
   - Electronic inspection
   - Finished Wafers

➢ อุตสาหกรรมกลางน้ำ ได้แก่ การทำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Power Electronics)

➢ อุตสาหกรรมปลายน้ำ ได้แก่ การผลิตยานยนต์ไฟฟ้า

ความต้องการตลาด NTD Silicon ในปี ค.ศ. 2011 มูลค่า 113.2 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ และในปี ค.ศ. 2015 มีมูลค่า 87 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ซึ่งสาเหตุของการลดลงในช่วงปี ค.ศ. 2012 มีสาเหตุมาจากปัจจัยด้านภาวะเศรษฐกิจถดถอย การคาดการณ์ของ Yole (2013) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 เรื่องการขยายขนาดของตลาดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และผู้ผลิตจะต้องพัฒนาให้คุณภาพในระดับพรีเมียมมากขึ้น



	2011	2012	2013	2014	2015
Si FZ NTD	113,2 M$	73,0 M$	77,2 M$	81,8 M$	87,0 M$
Si FZ PFZ	277,5 M$	228,0 M$	240,8 M$	260,1 M$	282,3 M$
Si CZ & CZ + Epi	558,0 M$	546,6 M$	568,5 M$	585,2 M$	602,3 M$

ที่มา: Yole, 2013

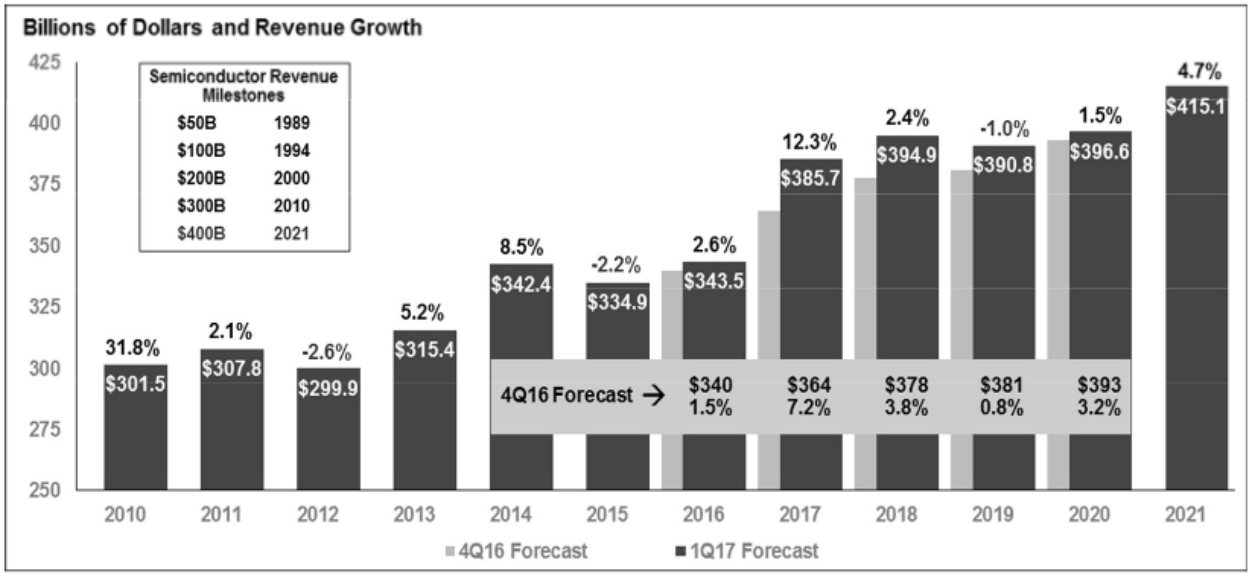
รูปที่ 3.11 Wafer market development, power electronics, actual and forecast

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีอุตสาหกรรมต้นน้ำในการผลิตแผ่นซิลิกอน ส่งผลให้ต้องนำเข้าแผ่นซิลิกอนเข้ามาเพื่อทำการผลิตและวิจัยจากประเทศสิงคโปร์ และญี่ปุ่น ซึ่งแผ่นซิลิกอนที่ได้มายังไม่ได้คุณภาพ

ตามที่ต้องการ ทำให้ต้องมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะทำการโดปสารกึ่งตัวนำ (p-n junction) ซึ่งกระบวนการโดปสารกึ่งตัวนำจนเป็น Power device เป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำ ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีอุตสาหกรรมประเภทนี้เช่นกัน

ประเทศที่เป็นฐานการผลิตแท่งซิลิกอน (ingot) ได้แก่ เยอรมัน ไต้หวัน เกาหลี ภูฏาณ ยูเครน เป็นต้น ซึ่งถ้าหากในประเทศไทยสามารถเป็นฐานการผลิตแผ่นซิลิกอนได้เอง จะช่วยลดต้นทุนในการนำเข้าแผ่นซิลิกอนได้มาก เนื่องจากแท่งซิลิกอนมีราคาถูกกว่าแผ่นซิลิกอนมาก และการลงทุนผลิตการตัด ขัด แผ่นซิลิกอน ที่เป็นอุตสาหกรรมช่วงต้นน้ำ ใช้เงินลงทุนที่ไม่สูงมากนัก แต่ที่ปัจจุบันยังไม่มีผู้ประกอบการมาลงทุน เนื่องจากอุตสาหกรรมกลางน้ำ และปลายน้ำในประเทศไทยมีข้อจำกัดในการผลิต ซึ่งถ้าหากมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจะช่วยให้อุตสาหกรรมกลางน้ำและปลายน้ำเติบโตขึ้นอย่างมาก และจะส่งผลให้เกิดอุตสาหกรรมต้นน้ำในประเทศไทย

ปริมาณความต้องการ (Demand) ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำทั่วโลก (Global Wafers Co., 2016) จากสถิติ WSTS ในปี ค.ศ. 2017 ไตรมาสที่ 1 พบว่า อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในตลาดทั่วโลกมีมูลค่า 92.6 ล้านเหรียญสหรัฐฯ เมื่อเทียบกับไตรมาสก่อนในปี ค.ศ. 2016 ไตรมาสที่ 4 พบว่าอุตสาหกรรมนี้มีการถดถอยลดลงร้อยละ 0.4 แต่เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้าคือปี ค.ศ. 2016 ไตรมาสที่ 1 มีอัตราการเติบโตถึงร้อยละ 18.1 โดยในปี ค.ศ. 2016 ตลาดอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำของประเทศญี่ปุ่นมีมูลค่า 8.6 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ซึ่งมีอัตราการเติบโตร้อยละ 10.5 เมื่อเทียบจากปีก่อน และตลาดอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในแถบประเทศยุโรปมีมูลค่า 8.9 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ซึ่งมีอัตราการเติบโตร้อยละ 19.3 เมื่อเทียบจากปีก่อน ส่วนประเทศแถบเอเชียตลาดอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำมีมูลค่า 20.84 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ซึ่งมีอัตราการเติบโตร้อยละ 3.6 เมื่อเทียบจากปีก่อน แต่เมื่อเทียบจากความต้องการ (Demand) และกำลังการผลิต (Supply) ดังรูปที่ 3.12 ได้มีการพยากรณ์การขยายตัวเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมการผลิตสารกึ่งตัวนำอีก 5 ปีข้างหน้า มีมูลค่าการเติบโตเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.8 เมื่อเทียบจากปี ค.ศ. 2016



ที่มา : Global Wafers Co., 2016

รูปที่ 3.12 แนวโน้มการขยายตัวเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมการผลิตสารกึ่งตัวนำทั่วโลก
ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010-2021

นอกจากนี้ทาง TMEC กำลังพัฒนา Battery ที่ใช้สำหรับ Backup ไฟฟ้าในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อสำรองไฟในการ Startup เครื่องจักร เพราะเป็นช่วงที่จะใช้กระแสไฟฟ้ามาก ส่งผลให้หม้อแปลงของการไฟฟ้าเกิดการ Overload ของกระแสไฟฟ้า โดยได้มีการร่วมมือกับทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) ที่จะเพิ่มศักยภาพของแบตเตอรี่ที่ปัจจุบันแหล่งจ่ายมีศักย์ไฟฟ้า 12 V ความจุ 100 Ah ให้เป็น 48V ความจุ 200Ah โดยใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ในการพัฒนาชิ้นส่วน Power device ในแบตเตอรี่

3.2.3.4 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าด้านอุตสาหกรรม

1) ความต้องการด้านอัญมณี

ผู้ประกอบการนำเข้าและส่งออกอัญมณีของประเทศไทยมีไม่น้อยกว่า 50 บริษัท โดยมูลค่าโทแพซที่ขายได้มีมูลค่าสูงขึ้น 4-5 เท่าภายหลังจากการหักลบต้นทุนซึ่งในอีก 5-10 ปี หลังจากมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยแล้ว คาดว่าจะมีผู้มาใช้บริการกับทาง สทน. มากขึ้น แต่ สทน. จะต้องสามารถควบคุมคุณภาพ โดยควรจะมีนักวิทยาศาสตร์สาขาอัญมณีและเครื่องประดับคอยตรวจสอบ และที่สำคัญต้องมีกำลังการผลิตที่เพียงพอด้วย ปัจจัยที่สำคัญหลังจากการอาบนิวตรอน คือ ควรจะมีระบบกรองนิวตรอนพลังงานต่ำ (Thermal neutron) ที่ดีเพื่อที่จะช่วยลดระยะเวลา Cooldown เนื่องจากธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดจากการฉายรังสีครึ่งชีวิตสั้น ทำให้ปริมาณลดลงในเวลาอันสั้น

2) ความต้องการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

การใช้ไอโซโทปรังสี Ir-192 เพื่อในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโลหะโดยการถ่ายภาพด้วยรังสี เช่น การตรวจสอบรอยร้าว รอยรั่ว รอยเชื่อมของท่อแก๊สหรือท่ออัดแรงดัน เป็นต้น ปัจจุบัน ผู้ประกอบการต้องนำเข้าไอโซโทปรังสี Ir-192 จากต่างประเทศ หาก สทน. มีการผลิตขึ้นเอง ผู้ประกอบการพร้อมที่จะใช้บริการกับทาง สทน. เพราะการนำเข้าจะมีอุปสรรคเรื่องของกฎเกณฑ์ วิธีการที่จะนำเข้ามาและส่งออก ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมีมูลค่านำเข้าประมาณ 10-15 ล้านบาทต่อปี

ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วย Ir-192 มีปริมาณรังสีที่นำเข้ามาประมาณ 100 Ci (Curie; Ci) ต่อชุด มีครึ่งชีวิต (Half-Life) 74 วัน มีมูลค่าประมาณ 100,000 บาทต่อชุด ใช้ได้ประมาณ 200 วัน โดยผู้ประกอบการคาดหวังว่าประเทศไทยจะสามารถผลิตได้เอง ซึ่งถ้าผู้ประกอบการนำรังสีเข้ามาเองจะมีความเสี่ยงที่เกิดจากกระบวนการนำเข้า กล่าวคือหากเกิดความล่าช้าในกระบวนการนำเข้าผู้ประกอบการจะสูญเสียปริมาณรังสีที่นำเข้ามาไปโดยเปล่าประโยชน์ ปัจจุบันการนำรังสีเข้ามาในประเทศจะใช้เวลาอย่างน้อย 45 วัน นอกจากนี้หากประเทศไทยมีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตนอกจากการใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมแล้ว จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการพัฒนาด้านการศึกษาและวิจัยมากขึ้น

3) ความต้องการด้านการโดปสารกึ่งตัวนำ

การโดปสารกึ่งตัวนำในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำจะมี 3 ขั้นตอนคือ

(1) อุตสาหกรรรมต้นน้ำ เป็นการนำแร่ซิลิกอนมาถลุงเป็นแท่งซิลิกอน (Si ingot) ซึ่งอุตสาหกรรมนี้ในประเทศไทยยังไม่มี

(2) อุตสาหกรรมกลางน้ำเป็นการนำแผ่นซิลิกอน (Si wafer) มาทำการโดปให้เป็นไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอุตสาหกรรมนี้ในประเทศไทยยังไม่มี

(3) อุตสาหกรรมปลายน้ำ นำมาแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการโดปเป็นไมโครอิเล็กทรอนิกส์สำเร็จรูปมาประกอบเป็นอุปกรณ์ (packaging) แล้วส่งกลับไปยังประเทศต้นทางในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมประเภทนี้อยู่จำนวนมาก

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีอุตสาหกรรมต้นน้ำในการผลิตแผ่นซิลิกอน ส่งผลให้การนำเข้าแผ่นซิลิกอนเข้ามาเพื่อทำการผลิตและวิจัยต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ และกระบวนการโดปสารกึ่งตัวนำเป็น Power device เป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำ ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีการประกอบการในด้านนี้ ซึ่งถ้าหากในประเทศไทยสามารถเป็นฐานการผลิตแผ่นซิลิกอนได้เอง จะช่วยลดต้นทุนในการนำเข้าแผ่นซิลิกอนได้มาก สาเหตุที่ปัจจุบันยังไม่มีผู้ประกอบการมาลงทุน เนื่องจากอุตสาหกรรมกลางน้ำ และปลายน้ำในประเทศไทยมีข้อจำกัดในการผลิต

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ

- ควรมีการพัฒนาการศึกษา งานวิจัย เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากสังคมยังไม่มีความรู้ ขาดการถ่ายทอดที่ดี ทำให้ขาดการยอมรับจากสังคม ควรพิจารณาและตัดสินใจในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยให้รวดเร็วเพื่อตอบโจทย์ต่อการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม
- ควรมีการสื่อสาร ประชาสัมพันธ์ ประโยชน์ต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในด้านอุตสาหกรรมก่อให้เกิดมูลค่าทางการตลาดเพิ่มมากขึ้นเป็นอย่างมาก โดยที่เศรษฐกิจของประเทศไทยมีแนวโน้มการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น อุตสาหกรรมหลักในประเทศไทยจะเป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้มูลค่าในการนำเข้าอุตสาหกรรมต้นน้ำหรือกลางน้ำเพื่อนำมาผลิตในอุตสาหกรรมปลายน้ำนั้น มีมูลค่าที่สูงมากเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการผลิตอุตสาหกรรมต้นน้ำและกลางน้ำในประเทศไทย ดังนั้นการมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะช่วยให้ภาพรวมอุตสาหกรรมในประเทศเกิดการขยายตัวทั้งในอุตสาหกรรมต้นน้ำและอุตสาหกรรมกลางน้ำแต่ทั้งนี้ยังต้องมีการวิจัยและนวัตกรรมเข้ามาช่วยสนับสนุนเทคโนโลยีอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการบริหารงานและการดำเนินงานให้ผู้ประกอบการทั้งรายใหญ่และรายย่อยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอีกด้วย

3.2.3.5 แผนงานด้านอุตสาหกรรมในอนาคตจากรายงานปี 2553 ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบ

จากรายงานปี 2553 พบว่า

- ปี ค.ศ. 1982 มีการใช้งาน NTD Silicon ประมาณ 40 ตัน
- ปี ค.ศ. 1991 มีการใช้งาน NTD Silicon เพิ่มขึ้นเป็น 160 ตัน
- ในปี ค.ศ. 2005
  - มีความต้องการมากกว่า 100 ตัน และมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ
  - ผลึกขนาด 4 นิ้ว มีความต้องการการใช้งานลดลง
  - ผลึกขนาด 5 นิ้ว มีความต้องการการใช้งานมากที่สุด
  - ผลึกขนาด 6 นิ้ว มีความต้องการการใช้งานเพิ่มขึ้น
  - ผลึกขนาด 8 นิ้ว อยู่ในขั้นตอนการทดสอบผลิตภัณฑ์

ซึ่งการใช้งาน NTD Silicon ในอนาคตสามารถคาดการณ์ได้จากประมาณการผลิตรถยนต์ไฮบริดซึ่งเป็นแหล่งใช้งาน NTD silicon ได้ดังนี้

- ปริมาณรถยนต์ใหม่ในปี ค.ศ. 2005 มีประมาณ 60 ล้านคัน
- ในปี ค.ศ. 2030 รถยนต์ใหม่กว่า 50 % คาดว่าจะใช้เครื่องยนต์แบบไฮบริด

- ในปี ค.ศ. 2030 จะมีรถยนต์ไฮบริดกว่า 50 ล้านคัน
- รถยนต์ไฮบริด 1 คัน มีความต้องใช้ NTD Silicon ขนาด 8 นิ้ว หนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็นความยาวทั้งหมด 50 ล้านมิลลิเมตร หรือ 50 กิโลเมตร
- ดังนั้นในปี ค.ศ. 2030 คาดว่าจะมีความต้องการใช้ NTD Silicon 3,660 ตัน/ปี
- ในขณะนั้นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีอยู่ทั่วโลกมีกำลังการผลิต NTD Silicon ประมาณ 100 ตัน/ปีเท่านั้น

หากพิจารณาถึงความสามารถที่เพิ่มขึ้นของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยทั่วโลกที่สามารถผลิต NTD Siliconในปี ค.ศ. 1990 เทียบกับปี ค.ศ. 2000 พบว่ามีการผลิตเพิ่มขึ้นทั่วโลกอย่างมากที่สุดไม่เกิน 100 ตัน

การเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิต NTD Silicon ทั่วโลก ในปี ค.ศ. 2005 จนถึงปี ค.ศ. 2030 จะไม่สามารถให้บริการเพียงพอต่อความต้องการในระดับ 3,660 ตันต่อปีได้ หากประเทศไทยมีเทคโนโลยีนี้และสามารถให้บริการผลิต NTD Silicon โดยมีคุณภาพทัดเทียมสากล ก็จะเป็นแหล่งสร้างรายได้ขององค์กรและสนับสนุนอุตสาหกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย จากข้อมูลรายงานประจำปีของศูนย์วิจัย ANSTO (2007) ราคาการให้บริการ NTD อยู่ในช่วง 200 – 700 ล้านบาท ต่อปริมาณการผลิตสารกึ่งตัวนำ 10 ตัน สรุปได้ว่าความต้องการ NTD Silicon ขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้า การประมาณการคาดว่าจะมีความต้องการ NTD Silicon 3,660 ตันต่อปี ขณะที่ขีดความสามารถในการผลิตของทั่วโลกเท่ากับ 100 ตันต่อปี

สรุปได้ว่าความต้องการ NTD Silicon ขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้า การประมาณการคาดว่าจะมีความต้องการ NTD Silicon 3,660 ตันต่อปี ขณะที่ขีดความสามารถในการผลิตของทั่วโลกเท่ากับ 100 ตันต่อปี

3.2.4 ด้านวิจัยและนวัตกรรม

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการเป็นโครงสร้างพื้นฐานของความต้องการใน 2 ด้าน ในด้านหนึ่งเป็นความต้องการสำหรับงานค้นคว้าวิจัยเพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม อีกด้านหนึ่งเป็นความต้องการเพื่อประโยชน์ในด้านวิชาการ การเรียนการสอน ซึ่งประโยชน์ในส่วนหลังมีความสำคัญที่ไม่สามารถวัดคุณค่าทางตัวเงินในระยะสั้นได้เพียงอย่างเดียว แต่จะส่งผลทางอ้อมในด้านสังคมที่มีผลในระยะยาว

3.2.4.1 การวิจัยในประเทศ

การวิจัยจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีทั้งขั้นมูลฐาน และการวิจัยขั้นประยุกต์เกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์และการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

(1) การวิจัยเพื่อประโยชน์แก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในภาคต่าง ๆ เพื่อเป็นการสร้างนวัตกรรมในการนำเทคโนโลยีออกสู่เชิงพาณิชย์ ได้แก่ การเกษตร อุตสาหกรรม และการแพทย์ ดังนี้

1.1 การวิจัยด้านการเกษตร เป็นการทำวิจัยเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อประโยชน์ในด้านความสวยงามของพันธุ์พืช และความทนทานของพืชเพื่อการเกษตร ในการเพิ่มปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร

1.2 การวิจัยด้านการแพทย์ เป็นการวิจัยเพื่อการผลิตสารไอโซโทปรังสี สารเภสัชรังสี ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการวินิจฉัย รักษาโรคต่าง ๆ รวมถึงการระงับความเจ็บปวดโดยเฉพาะผู้ป่วยโรคมะเร็ง และเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในด้านการแพทย์ของประเทศ

1.3 การวิจัยด้านอุตสาหกรรม เป็นการวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าทั้งด้านอัญมณี การผลิตไอโซโทปเพื่องานอุตสาหกรรม การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคการก่อกัมมันต์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องจากการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์

(2) การวิจัยและนวัตกรรม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 การวิจัย การเรียนการสอนในมหาวิทยาลัย รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีนิวเคลียร์และตัวเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์ต่อไปในอนาคต การเรียนการสอนที่เกี่ยวข้อง มีดังต่อไปนี้

- การผลิตผลงานวิจัยของนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาทางด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์
- วิศวกรรมนิวเคลียร์ที่เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ การเดินเครื่องฯ และการบำรุงรักษาระบบเครื่องฯ
- อันตรกิริยาของรังสีต่ออะตอมธาตุหรือต่อสสาร ด้วยลักษณะกายภาพของรังสีชนิดต่าง ๆ
- ผลของรังสีที่มีต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต
- เทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่ประยุกต์ทางด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อมและอื่น ๆ

2.2 นวัตกรรม การนำผลงานวิจัยออกสู่เชิงพาณิชย์โดยการนำผลงานวิจัยประยุกต์ใหม่ไปใช้ในอุตสาหกรรม โดยผ่านกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ตอบสนองต่อความต้องการของตลาด

3.2.4.2 แนวโน้มของการวิจัยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในต่างประเทศ

การวิจัยในด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ได้มีการจัดทำขึ้น และได้มีการตีพิมพ์ผลงานเหล่านั้นจากทั่วโลก และแนวโน้มของการวิจัยในปัจจุบันจะมุ่งเน้นในเรื่องต่อไปนี้

1. ค้นคว้าการกำจัดของเสียหลังจากการใช้บริการด้านนิวเคลียร์[1]
2. การวิจัยนิวเคลียร์ในด้านการแพทย์ การใช้ไอโซโทปในการวินิจฉัยและรักษาโรค[2]
3. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ การฉายรังสี และไอโซโทป[3]
4. พลังงานจากเทคโนโลยีนิวเคลียร์[4]
5. วิธีการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ

3.2.4.3 การวิจัยจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในประเทศไทย

งานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) ได้ตั้งเป้าหมายการศึกษาวิจัยทั้งหมด 11 โครงการต่อปี แบ่งเป็น งานวิจัยของสถาบันฯ จำนวน 8 โครงการ และงานวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นต้น ซึ่งในส่วนนี้ได้มีการคาดการณ์ผลผลิตที่ได้จากการวิจัยจะสามารถทำรายได้ไม่น้อยกว่า 500,000 บาทต่อโครงการ

สถานศึกษาที่มีการเรียนการสอนและการวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในปัจจุบันมีอยู่หลายแห่ง ซึ่งแต่ละแห่งก็มีการเน้นเนื้อหาการเรียน และมีความเชี่ยวชาญที่แตกต่างกันไป สถานศึกษาที่มีการเรียนการสอนด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์มีดังนี้

1. ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยในด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ เน้นด้านวิชาการและความปลอดภัยของเทคโนโลยีนิวเคลียร์และการใช้ไอโซโทปรังสี มีสอนในทั้งหลักสูตรปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก
2. ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เน้นการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่นการเกษตร และสิ่งแวดล้อม
3. ภาควิชารังสีวิทยา ในคณะแพทย์ศาสตร์จากมหาวิทยาลัยชั้นนำในประเทศไทย เช่น มหาวิทยาลัยมหิดล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นต้น เน้นทางฟิสิกส์การแพทย์ด้านรังสีวินิจฉัย รังสีรักษา และเวชศาสตร์นิวเคลียร์
4. ภาควิชารังสีเทคนิค จากมหาวิทยาลัยชั้นนำในประเทศไทย เช่น มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[1] Research Trends in Nuclear Waste Management: A Global Perspective
[2] http://www.nst.or.th/article/article493/article49311.html
[3] Future Trends in the Application of Isotopes and Radiation
[4] US Nuclear Energy Outlook

มหาวิทยาลัยรังสิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ เป็นต้น ที่เน้นสนับสนุนงานทางการแพทย์ด้านรังสีวินิจฉัย รังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์

5. ภาควิชาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ในประเทศไทยที่มีการเรียนการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์ เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยบูรพา เป็นต้น

3.2.4.4 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าด้านวิจัยและนวัตกรรม

ความต้องการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ในการวิจัยในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ และด้านอื่น ๆ ดังนี้

(1) การวิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชโดยฉายรังสี ควรเน้นไปในส่วนของพืชเศรษฐกิจ จำพวกข้าวและข้าวเหนียว พันธุ์ไม้ประดับ การปรับปรุงพันธุ์พืชแต่ละครั้งจะใช้เวลานานมากกว่าจะให้เห็นผล เนื่องจากจะต้องใช้เวลาเพื่อที่จะให้มั่นใจว่าพันธุ์พืชที่ปรับปรุงมาแล้วนั้น

(2) การวิจัยของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่สามารถใช้ในการประเมินอายุของวัตถุโบราณจากการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์

(3) การวิจัยด้านการแพทย์ การรักษาโรคมะเร็ง โรคต่าง ๆ และในด้านของการเรียนการสอนที่จะให้นิสิตนักศึกษาได้ทำความรู้จักกับเทคโนโลยี

ประเทศไทยได้มีการให้ทุนการศึกษาแก่นิสิตนักศึกษาที่มีความประสงค์ไปเรียนต่อต่างประเทศในสาขาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สิ่งที่คาดหวังจากผู้ที่ได้รับทุนคือ ความต้องการในการนำความรู้ที่ได้รับการศึกษามาใช้ประโยชน์ให้แก่ประเทศไทยในสาขาวิชานิวเคลียร์ เนื่องจากทุนที่ให้ไปใช้งบประมาณเป็นจำนวนมาก มิเช่นนั้นจะถือว่าเป็นการใช้งบโดยสิ้นเปลืองหากนิสิตนักศึกษาที่จบมาไม่ทำงานในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีนิวเคลียร์

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ส่วนมากจะใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม ไม่ใช่เพื่อการวิจัยโดยเฉพาะ เพราะว่าในงานวิจัยนั้น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะต้องสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ตามที่นักวิจัยต้องการ และจะต้องมีระบบจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัยด้วย

ปัญหาของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในระดับสังคมคือ ประชาชนไม่ยอมรับเทคโนโลยีนิวเคลียร์ แม้ว่าเทคโนโลยีนิวเคลียร์สามารถสร้างประโยชน์ให้แก่ประเทศชาติได้มหาศาล ตัวอย่างที่ชัดเจนที่สุดคือ การสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ซึ่งเป็นสิ่งที่มีประโยชน์เพื่อประชาชนไทยทุกคน แต่ประชาชนไม่อยากให้สร้างในเขตที่ตนเองอยู่ เนื่องจากกลัวว่าจะมีความผิดพลาดจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่จะทำให้รังสีแพร่กระจายและจะทำให้ประชาชนในละแวกนั้นได้รับผลกระทบ จึงทำให้ประเทศไทยไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้

3.3 การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมภายนอก

การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมภายนอกของแผนธุรกิจเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก โดยใช้ PEST Analysis และการวิเคราะห์อุตสาหกรรมด้วย Five Forces Model

3.3.1 การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อม (PEST Analysis)

การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมโดยใช้ PEST Analysis ดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบ 4 ด้าน ได้แก่

1) ปัจจัยด้านการเมือง (Political Factor)

นโยบายของรัฐในการก้าวสู่ประเทศไทย 4.0 ซึ่งสนับสนุนอุตสาหกรรมเป้าหมาย 10 อุตสาหกรรม อุตสาหกรรมเป้าหมายที่จะได้ประโยชน์จากการมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในการขับเคลื่อนผลงานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการออกสู่เชิงพาณิชย์ ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์ใหม่ อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (Smart Electronics) ซึ่งภาครัฐมีบทบาทในการกำหนดนโยบายและเป็นผู้ตัดสินใจในการอนุมัติงบประมาณในการลงทุนโครงการต่าง ๆ ของประเทศ ดังนั้นการดำเนินโครงการจะสามารถเป็นไปตามที่กำหนดเวลานั้นขึ้นกับอำนาจการตัดสินใจของรัฐบาลในแต่ละช่วงเวลาที่จะตระหนักถึงความจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย นอกจากนี้กฎระเบียบการนำเข้า ส่งออกของไอโซโทปรังสีประเภทต่าง ๆ ทั้งการนำเข้าเพื่อการผลิตและการนำเข้ามาใช้ในการวิจัยและพัฒนาควรได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ รวมถึงการส่งเสริมการลงทุนให้กับสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ทั้งการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่เพื่อทดแทนเครื่องเดิม และการส่งเสริมการลงทุนให้กับผู้ประกอบการที่ได้รับผลประโยชน์จากการใช้ผลิตภัณฑ์และบริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยควรได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนเช่นกัน รวมถึงผู้ประกอบการใหม่ที่เข้ามามีส่วนสำคัญเช่น อุตสาหกรรมต้นน้ำการโดปซิลิกอนเพื่อนำมาใช้ในการผลิตเวเฟอร์ใน power electronic สำหรับการผลิตยานยนต์ไฟฟ้า หากประเทศไทยต้องการเป็นผู้นำด้านการผลิตยานยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น โดยภาครัฐต้องมีนโยบายและมาตรการสนับสนุนที่เป็นรูปธรรมมากขึ้น

2) ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ (Economic Factor)

ภาวะการเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจในช่วง 5-10 ปีมีความผันผวน ดังนั้นอัตราดอกเบี้ยที่ส่งผลต่อต้นทุน และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยรวมถึงการนำเข้าวัสดุ วัตถุดิบในกระบวนการผลิตและบริการอาจมีการเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงอัตราแลกเปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลา ส่วนการนำเข้าไอโซโทปรังสีสำหรับการแพทย์ และอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีบริษัทเอกชนนำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้ต้นทุนการบริการของประเทศสูง หากสามารถผลิตเองได้จะช่วยให้ประเทศไทยลดการนำเข้าไอโซโทปรังสีเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และอุตสาหกรรมลง ทั้งนี้ในส่วนทางการแพทย์จะช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับธุรกิจทาง

การแพทย์และส่งผลต่อผู้ป่วยโรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคไทรอยด์ เป็นต้น ที่จะทำให้ได้รับการวินิจฉัย การรักษา และการบำบัดให้มีชีวิตยืนยาวและสามารถกลับไปประกอบอาชีพในภาคส่วนต่าง ๆ ได้ซึ่งเป็นผลทางอ้อม นอกจากนี้กำลังการผลิตไอโซโทปรังสีที่สามารถผลิตได้ในปริมาณที่มากพอจะทำให้ผลิตเพื่อการส่งออกให้กับประเทศใกล้เคียงเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศไทยอีกด้วย นอกจากการแพทย์แล้ว อุตสาหกรรมที่ประเทศไทยมีขีดความสามารถอยู่แล้ว ได้แก่ การเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับพลอยชนิดโทแพซที่มีมูลค่าการส่งออกสูง การใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะช่วยเพิ่มการจ้างงานในธุรกิจสนับสนุนบริการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่งผลในการที่จะสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจในระยะยาวต่อไป

3) ปัจจัยด้านสังคม (Social Factor)

ปัจจัยทางด้านสังคมในประเด็นสำคัญได้แก่ การตระหนักรู้ของประชาชน ผู้มีส่วนได้เสียต่าง ๆ ถึงการยอมรับการมีเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในประเทศ เนื่องจากการสื่อสารในช่วงที่ผ่านมาของข้อมูลข่าวสารจะเป็นทางลบ ขณะที่ข้อมูลในเชิงบวกของเทคโนโลยีนิวเคลียร์มีการสื่อสารถึงประชาชนค่อนข้างน้อยและประชาชนก็ให้ความสนใจน้อยเช่นกัน ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่จะต้องสื่อสารให้ประชาชนรับทราบถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ เช่น ประโยชน์ต่อการเจ็บป่วย โดยเฉพาะการวิเคราะห์ถึงอัตราการเติบโตของของประชากรของประเทศไทย และอาเซียนที่เข้าสู่การเป็นสังคมผู้สูงอายุ และมีปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคสูง ได้แก่ มะเร็ง ที่ต้องการวินิจฉัย รักษา และบรรเทาอาการยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ทางการแพทย์ ซึ่งเทคโนโลยีนิวเคลียร์เป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญที่สามารถนำมาใช้บริการให้กับสังคมและประชาชนสามารถเข้าถึงบริการได้โดยง่าย นอกจากนี้การสื่อสารความรู้ทางด้านการเกษตรให้กับประชาชนทราบเกี่ยวกับหน่วยงานภาครัฐได้ดำเนินการทำวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้เกษตรกรของประเทศไทยมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น เช่น กรณี ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากการอาบนิวตรอนและพันธุ์ข้าวดังกล่าวนอกจากจะสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจแล้วยังก่อให้เกิดประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิตของเกษตรกรที่สามารถใช้ประโยชน์จากพันธุ์ข้าวดังกล่าวได้ ข้อมูลดังกล่าวประชาชนส่วนใหญ่ไม่รับทราบถึงข้อดีจากการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

4) ปัจจัยด้านเทคโนโลยี (Technological Factor)

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยได้รับการพัฒนาไปอย่างมากในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา และมีขีดความสามารถที่มากขึ้นทั้งด้านกำลังการผลิต ขนาดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีขนาดเล็กลงแต่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้น และมีขอบเขตการให้บริการที่มากขึ้นที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การพัฒนาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในปัจจุบันมีปัจจัยขับเคลื่อนจากภาคอุตสาหกรรมปลายน้ำที่เป็นตัวผลักดันให้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีขีดความสามารถมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งต้องใช้การวิจัยและ

พัฒนา และการถ่ายทอดทางเทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้อง หากพิจารณาถึงระดับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยโดยแท้จริงแล้วจะมีอายุการใช้งานในส่วนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมากกว่า 20 ปีขึ้นไปจึงมีโอกาสเปลี่ยนแปลงตามโครงสร้างพื้นฐานได้ยาก แต่ระดับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นจะเป็น application ที่จะตอบสนองต่อภาคอุตสาหกรรมด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม ที่ต้องใช้การวิจัยและพัฒนาจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย เช่น การผลิตสารไอโซโทปตัวใหม่ ๆ เพื่อการวินิจฉัย รักษา และบำบัดอาการของโรค ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์/บริการใหม่ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจึงเป็นด้าน application มากกว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจึงเป็นโอกาสในการสร้างนวัตกรรมให้กับด้านการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม และเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อน s curve ใหม่ให้กับประเทศซึ่งต้องบูรณาการความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ นักวิจัยจากสถาบันการศึกษา และภาคอุตสาหกรรมในการทำงานร่วมกัน

3.3.2 การวิเคราะห์อุตสาหกรรม

การวิเคราะห์การแข่งขันโดยใช้ Five Forces Model (Porter, 1980) มี 5 ด้านได้แก่

1) ภัยคุกคามจากผู้แข่งขันหน้าใหม่ (Threat of New Entrants)

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นเครื่องที่ต้องใช้เงินในการลงทุนสูง ต้องมีมาตรฐานความปลอดภัยสูง ประกอบกับบุคลากร ได้แก่ นักวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญในระบบที่จำเป็นในการดำเนินการก็ต้องใช้บุคลากรที่มีความสามารถเฉพาะทางซึ่งในปัจจุบันมีผู้เชี่ยวชาญดังกล่าวน้อย นอกจากนี้กฎระเบียบของประเทศไม่เอื้ออำนวยต่อการที่จะมีภาคเอกชนเข้ามาตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ดังนั้นคู่แข่งรายใหม่ที่มาจากภาคเอกชนจึงเกิดขึ้นได้ยากในประเทศไทยสำหรับการติดตั้งเครื่องฯดังกล่าว แต่ถ้าพิจารณาถึงบริษัทที่จะนำเข้าไอโซโทปรังสีที่ผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยแล้วมาให้บริการในประเทศไทยต้องผ่านกระบวนการนำเข้าซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และเป็นภารกิจที่อยู่ในความควบคุมดูแลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งเดิมมี 2 รายที่สามารถนำเข้ามาให้บริการได้ หากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ปรับเปลี่ยนรูปแบบเป็นผู้ผลิตป้อนให้กับบริษัทเอกชนมารับช่วงต่อในด้านการขาย/จัดจำหน่าย จะเป็นการลดการนำเข้าจากต่างประเทศ และเมื่อมีผู้ประกอบการที่เป็นผู้จัดจำหน่ายไอโซโทปเพิ่มขึ้นจากการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยอาจทำให้เกิดการประหยัดเนื่องจากขนาดได้ (Economy of Scale) แต่ทั้งนี้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ต้องมีขีดความสามารถในการผลิตที่ตอบสนองต่อความต้องการของภาคเอกชนตามกำหนดเวลาได้

2) การแข่งขันภายในอุตสาหกรรมเดียวกัน (Rivalry Among Existing Firms)

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในประเทศไทยมีผู้ให้บริการเพียงรายเดียว ดังนั้นการแข่งขันจึงไม่เกิดจากการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย แต่การแข่งขันมาจากการบริการโดยมีผู้ประกอบการเอกชนรายย่อยสามารถนำเข้าไอโซโทปรังสีเพื่อมาให้บริการทางการแพทย์ และบริการทางอุตสาหกรรมมาได้ ซึ่งการนำไอโซโทปรังสีเข้ามาจะมีต้นทุนที่สูงกว่า หากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีขีดความสามารถมากขึ้นจะทำให้ทั้งผู้ประกอบการด้านไอโซโทปรังสีและลูกค้ากลับมาซื้อผลิตภัณฑ์และบริการมากขึ้นได้ ในปัจจุบันลูกค้าทางการแพทย์จะตัดสินใจซื้อไอโซโทปรังสีจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ และจากภาคเอกชนเป็นสัดส่วนเท่ากัน จากข้อมูลในช่วงระยะ 8 ปีที่ผ่านมาสัดส่วนของสถาบันฯ ต่อภาคเอกชนคิดเป็น 0.8:0.2 เนื่องจากที่ผ่านมากำลังการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเดิมซึ่งใช้งานมานานต้องดำเนินการบำรุงรักษาบ่อยครั้งจึงทำให้ไม่สามารถผลิตไอโซโทปที่ตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้ นอกจากนี้ลูกค้าได้แก่โรงพยาบาลต่างๆ ต้องการลดความเสี่ยงจากการสูญเสียผู้ป่วยซึ่งเป็นลูกค้าปลายทางที่ต้องได้รับการรักษาตามกำหนดนัดหมาย เพื่อให้เข้าถึงบริการทางการแพทย์ได้อย่างทันทีจึงดำเนินการปรับสัดส่วนการซื้อดังกล่าว หากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์เพิ่มแนวคิดทางการตลาดจากผู้ผลิตและผู้จำหน่ายตรงให้แก่ลูกค้าปลายทางมาเป็นการสร้างความร่วมมือกับผู้ประกอบการเอกชนให้จัดจำหน่ายไอโซโทปรังสีร่วมด้วยจะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถด้านการจัดจำหน่ายได้ เช่นเดียวกับภาคอุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ส่วนอุตสาหกรรมอัญมณีนั้นไม่มีการแข่งขันในอุตสาหกรรมเดียวกันเนื่องจากการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกับเทคโนโลยีอื่นๆ ซึ่ง สทน.เป็นเพียงรายเดียวในประเทศที่สามารถให้บริการได้

3) ภัยคุกคามจากสินค้าทดแทน (Threat of Substitute Products or Services)

การใช้ไอโซโทปรังสีในทางการแพทย์นั้นขึ้นกับแพทย์ผู้ให้การดูแลที่อาจจะตัดสินใจในการใช้วิธีวินิจฉัย รักษา บำบัดและบรรเทาโดยใช้ทางเลือกอื่น ๆ เช่น การผ่าตัด การใช้ยาเคมี เพื่อทดแทนได้ ขณะที่โรคมะเร็งไทรอยด์นั้นผลจากการใช้ไอโซโทปรังสีจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยยังคงได้รับการยอมรับและมีแนวโน้มมากขึ้น เช่นเดียวกับการบำบัดอาการมะเร็งจากอวัยวะอื่น ๆ โดยมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการนำมาบรรเทาอาการปวดให้แก่ผู้ป่วยในระยะสุดท้าย ด้านการเกษตรผู้รับบริการสามารถไปใช้บริการจากศูนย์ฉายรังสีทดแทนได้ ถึงแม้ว่าการให้บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจะมีขีดความสามารถในการปรับปรุงพันธุ์ได้ผลผลิตที่ดีเช่นกัน แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับชนิดของสินค้าที่มารับบริการ ด้านอุตสาหกรรมอัญมณีถึงแม้จะมีการฉายรังสีโทแพซด้วยเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนแต่ผลที่ได้จะมีความแตกต่างกันในสีของโทแพซที่ได้ ซึ่งโทแพซ London Blue ที่มาจากการฉายนิวตรอนจะมีมูลค่าสูงกว่าโทแพซชนิดอื่น ๆ และยังคงเป็นความต้องการของตลาดมาก เช่นเดียวกับโทแพซที่มีมูลค่ารองลงมาคือโทแพซ Swiss Blue ซึ่งมีการใช้ทั้งการฉายนิวตรอนและลำอิเล็กตรอนหรือรังสีแกมมาควบคู่กัน ส่วนพลอยทดแทนชนิดอื่นที่มีสีน้ำเงินยังไม่สามารถทดแทนความต้องการของพลอยชนิดนี้ได้ อุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น การตรวจสอบโดยไม่ทำลายอาจจะมีการทดแทนด้วย

วิธีการอื่น ๆ เช่น การทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ แต่บางรายการจะไม่สามารถใช้วิธีอื่น ๆ ทดแทนได้ เช่น การใช้ Se 75 และ IR 192 เป็นต้น ส่วนการวิจัยใหม่ ๆ ที่จะนำไปสู่การมีผลิตภัณฑ์/บริการที่นำไปสู่เชิงพาณิชย์เป็นนวัตกรรมนั้นยังคงต้องใช้บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในการสร้างมูลค่าเพิ่ม

4) อำนาจต่อรองของลูกค้า (Bargaining Power of buyers)

ลูกค้าที่ใช้บริการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย มีกลุ่มหลัก ได้แก่ ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ซึ่งลูกค้าในกลุ่มเหล่านี้สามารถไปซื้อบริการจากต่างประเทศใกล้เคียงได้ เช่น ไอโซโทปรังสีเพื่อการวินิจฉัยและรักษา แต่เนื่องจากมีผู้ให้บริการน้อยรายจึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการดำเนินงานของ สทน. เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมอัญมณีที่ยังเป็นความต้องการของตลาดสูงและผู้ประกอบการสามารถใช้บริการจากต่างประเทศได้เช่นกันแต่มีต้นทุนค่อนข้างสูงในการนำเข้าและส่งออก หากมาใช้บริการ สทน. จะทำให้ต้นทุนต่ำกว่า ดังนั้นผู้ซื้อจึงยังคงเข้ามาใช้บริการจาก สทน. เนื่องจากเป็นทางเลือกที่เหมาะสม ขณะที่ด้านการเกษตรมีหน่วยงานภาครัฐเป็นหลักมาใช้บริการ และด้านการวิจัยและพัฒนานั้นยังคงต้องพึ่งพาการให้บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเพื่อการศึกษา วิจัยและพัฒนาใหม่ ๆ ในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อำนาจการต่อรองในการใช้บริการจึงมีน้อย และอาจจะไม่มาใช้บริการเนื่องจากไม่ทราบถึงขีดความสามารถของเทคโนโลยีจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงพันธุ์ เป็นต้น

5) อำนาจต่อรองของ Supplier (Bargaining Power of Suppliers)

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย เป็นเครื่องที่มีผู้ผลิตน้อยราย ภายหลังจากการดำเนินงานจะต้องมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางประเภทซึ่งไม่สามารถผลิตเองได้ รวมถึงสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตเช่นกัน ดังนั้นยังคงต้องใช้การพึ่งพาและการนำเข้าจากต่างประเทศ อำนาจการต่อรองของผู้จำหน่ายอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจึงมีอำนาจการต่อรองของ Supplier สูง

3.4 การวิเคราะห์ SWOT

จากผลการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อม และการวิเคราะห์การแข่งขัน นำมาสรุปเป็นผลการวิเคราะห์จุดเด่น จุดด้อย โอกาส อุปสรรค ดังนี้

จุดเด่น (Strengths)

- เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นเทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์เพียงรายเดียวในประเทศไทย
- การดำเนินการบริการจัดการด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ได้รับการสนับสนุนวิทยาการและการพัฒนาจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)

- บุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์มีความเชี่ยวชาญในการผลิต/บริการ การวิจัยและพัฒนาที่มีประสบการณ์มากที่สุดในประเทศ
- ผลิตภัณฑ์/บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเพื่อใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมมีต้นทุนการดำเนินการในการผลิตต่ำกว่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์ไอโซโทปรังสีจากต่างประเทศ
- ระบบการผลิตสารเภสัชรังสี มีการใช้ระบบ QA, GMP (Good Manufacturing Practice) และมาตรฐาน ISO 9001
- การฉายรังสีอัญมณีได้รับการยอมรับจากลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ
- มีการวิจัยและพัฒนาไอโซโทปรังสีใหม่ ๆ เพื่อประโยชน์ทางแพทย์อย่างสม่ำเสมอ

จุดด้อย (Weaknesses)

- การสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีนิวเคลียร์ให้ประชาชนยอมรับข้อดี ข้อเสียยังไม่สามารถดำเนินการได้อย่างชัดเจน ซึ่งอาจส่งผลต่อการมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเครื่องใหม่
- ผู้มีส่วนได้เสียในกลุ่มเกษตรกร นักวิจัย ยังมีความร่วมมือน้อย การเข้าถึงผลิตภัณฑ์และบริการได้ยากทั้งองค์ความรู้ การผลิต การบริการที่ได้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
- บุคลากรที่ชำนาญด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ยังมีจำนวนน้อย และมีความเสี่ยงต่อการย้ายงานไปหน่วยงานอื่น ๆ ในต่างประเทศที่มีเทคโนโลยีเช่นเดียวกัน
- เนื่องจาก สทน. เป็นองค์กรในกำกับของภาครัฐและยังไม่มีความคล่องตัวเรื่องของการทำการตลาดซึ่งเป็นจุดสำคัญในการขยายผลิตภัณฑ์และบริการให้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า
- ในช่วงที่ผ่านมามีภาวะการเสียโอกาสจากการพัฒนาบุคลากรเพื่อรองรับความเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีนิวเคลียร์เพื่อให้ทันต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของโลก
- การเป็นองค์การมหาชนของสถาบัน แต่ยังขาดความยืดหยุ่น คล่องตัวในการดำเนินงานซึ่งอาจจะส่งผลต่อการพัฒนางานและกระบวนการในการผลิตและบริการสำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

โอกาส (Opportunities)

- ผลิตภัณฑ์และบริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมในการขับเคลื่อนประเทศไทย 4.0 ได้แก่ อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น
- ประชาชนที่เข้าถึงบริการทางการแพทย์ที่จะต้องใช้ไอโซโทปรังสีในการวินิจฉัย รักษาและบรรเทาอาการปวดจากโรคมะเร็ง และโรคอื่น ๆ มีปริมาณมากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตให้ประชาชนได้มากขึ้น เป็นการส่งเสริมด้านสาธารณสุขของประเทศ และเป็นการลดอัตราการนำเข้าไอโซโทปจากต่างประเทศที่มีต้นทุนสูง
- เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับตลาดอัญมณี ได้แก่ โทแพซ ซึ่งมีความต้องการของตลาดสูงจากทั้งในและต่างประเทศ และจะนำไปสู่การวิจัยและพัฒนาสำหรับพลอยประเภทอื่น ๆ
- ความต้องการด้านการเกษตรในการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีค่อนข้างสูงในการปรับปรุงพันธุ์พืช การกลายพันธุ์ การใช้เทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีการก่อกัมมันต์ (Neutron Activation Analysis, NAA) เพื่อตรวจสอบโลหะหนักในสินค้าเกษตร การผลิตสารรังสีติดตาม (Tracer) เพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี (Autoradiography) และขยายพันธุ์สัตว์ การถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอน (Neutron Radiography) และการศึกษาความเป็นพิษ (Toxicity) ของห่วงโซ่อาหาร เป็นต้น ทั้งนี้นำไปสู่การเป็นเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพตามแนวทางการพัฒนาเป็นประเทศไทย 4.0
- การขยายผลิตภัณฑ์/บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยไปยังประเทศใกล้เคียงในกลุ่ม CLMV ทางด้านการแพทย์ อุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย เป็นต้น ยังมีความต้องการเนื่องจากประเทศเหล่านี้อยู่ติดประเทศไทย และมีกรอบความร่วมมือระหว่างกัน
- ความต้องการกำลังคนเพื่อรองรับการผลิตและการบริการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม เกษตร และวิจัยและนวัตกรรม มีความต้องการอย่างต่อเนื่อง
- ส่งเสริมงานวิจัยด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร ที่จะนำไปสู่เชิงพาณิชย์ด้วยนวัตกรรมทางด้านนิวเคลียร์
- ส่งเสริมให้ความรู้ เป็นแหล่งฝึก การสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือในระดับอาเซียน และระดับนานาชาติ

อุปสรรค (Threats)

- ในช่วงที่ผ่านมาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ขาดการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องจากหน่วยงานภาครัฐทั้งการวิจัยและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน
- ความรู้ความเข้าใจของประชาชนเกี่ยวกับประโยชน์ของเทคโนโลยีนิวเคลียร์มีน้อยมากส่งผลต่อการยอมรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
- นักวิจัยด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์และบุคลากรด้านนิวเคลียร์ขาดแหล่งศึกษา ฝึกอบรม การวิจัยและพัฒนา เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานในช่วงที่ผ่านมาไม่สนับสนุนต่อความก้าวหน้าทางงานวิจัยด้านนิวเคลียร์และการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
- ยังไม่ได้สร้างระบบการประสานงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานอย่างเป็นรูปธรรมที่สามารถตอบยุทธศาสตร์จากการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ทั้งจากผู้กำหนดนโยบายหน่วยงานภายใน ภายนอกที่ต้องบูรณาการด้วยกัน
- การสนับสนุนทุนวิจัยในภาพรวมของประเทศทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์โดยตรงมีน้อย ส่งผลให้นักวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควรทั้งที่เทคโนโลยีนิวเคลียร์มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะในส่วนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ทำให้ไม่สามารถเพิ่มขีดความสามารถเชิงการแข่งขันได้ ซึ่งปัจจัยส่วนหนึ่งมาจากการขาดผู้ทรงคุณวุฒิระดับประเทศในการประเมินข้อเสนอโครงการทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์

3.5 การกำหนดวิสัยทัศน์ พันธกิจ และเป้าหมาย

วิสัยทัศน์

จากวิสัยทัศน์ของ สทน. คือ “เป็นสถาบันชั้นนำในการวิจัยที่ใช้นิวเคลียร์แก้ปัญหาของประเทศ” การกำหนดวิสัยทัศน์ของโครงการนี้จึงกำหนดให้มีความสอดคล้องกับวิสัยทัศน์ของ สทน. โดยวิสัยทัศน์ของโครงการนี้ คือ

“เป็นศูนย์กลางการให้บริการทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่ทันสมัยและมีคุณภาพ อีกทั้งเป็นผู้นำในการวิจัยและพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ระดับภูมิภาคอาเซียน เพื่อช่วยยกระดับคุณภาพชีวิต พัฒนาเศรษฐกิจและสังคม”

พันธกิจ

1. วิจัยเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ และการประยุกต์ใช้
2. ให้บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ และผลิตผลิตภัณฑ์ไอโซโทปรังสี
3. ให้บริการทางวิชาการ ส่งเสริม สนับสนุน และถ่ายทอดเทคโนโลยีทางด้านวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ ตลอดจนการฝึกอบรม และพัฒนาบุคลากรด้านการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนิวเคลียร์
4. วิจัยการใช้ประโยชน์จากพลังงานปรมาณู และสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนด้านความปลอดภัยนิวเคลียร์ การตรวจวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อม และการป้องกันอันตรายจากรังสี

เป้าหมาย

1. เพิ่มความแข่งขันด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ
2. ความสามารถในการประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อยกระดับ ความสามารถในการแข่งขันของภาคการผลิตและบริการ และคุณภาพชีวิตของประชาชน

3.6 การพยากรณ์การใช้บริการ

การพยากรณ์การใช้บริการจะวิเคราะห์แน้วโน้มตามความต้องการผลิตภัณฑ์หรือบริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ในอนาคตทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตร และด้านการศึกษาวิจัยการพัฒนากำลังคน และนวัตกรรม โดยจะวิเคราะห์ทั้งผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อมที่เกิดกับ สทน. เพื่อนำไปใช้ในการเลือกเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยได้อย่างเหมาะสม

ด้านการแพทย์

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้จากการใช้ คือ

1. การใช้สัดส่วนปริมาณนำเข้า I-131 ในปี พ.ศ.2551 ของทาง สทน. เทียบกับปริมาณ I-131 ที่เอกชนนำเข้า มีสัดส่วนเป็น 3:1 แต่สถิติในปี พ.ศ. 2559 สัดส่วนการนำเข้าเป็น 1:1 ดังนั้น สทน. มีปริมาณนำเข้า I-131 เท่ากับ 730 คูรีต่อปี ดังนั้นทางเอกชนจึงมีปริมาณการนำเข้า I-131 เท่ากันคือ 730 คูรีต่อปี ทำให้ปริมาณความต้องการ I-131 ทั้งหมดในประเทศไทยมีความต้องการเท่ากับ 1,460 คูรีต่อปี และพบว่าราคา I-131 มีราคาต่อหน่วยอยู่ที่ 375,000 บาทต่อคูรี ส่งผลให้โอกาสที่จะสร้างรายได้มีค่าประมาณ 547.5 ล้านบาทต่อปี
2. ในการทบทวนแผนการผลิตเดิม ประเมินกำลังการผลิต Mo-99 ไว้ตามกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาด 10 MW ซึ่งมีปริมาณสูงเกินกว่าความต้องการในประเทศมาก ปัจจุบันมีการ

แข่งขันสูง โอกาสในการส่งออกมีน้อย จึงมีการปรับปรุงข้อมูลตามความต้องการในประเทศ จากสถิติการนำเข้า Mo-99 ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2550 พบว่าการนำเข้าสูงสุดมีปริมาณ 1,100 คูรีและทาง สทน. ไม่มีการผลิตไอโซโทปรังสีตัวนี้ เป็นการนำเข้าของภาคเอกชนทั้งหมด ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการนำเข้าและเผื่อความต้องการในอนาคตไว้ ได้ประเมินความต้องการไว้ที่ 1,200 คูรีต่อปี ราคาต่อหน่วยอยู่ที่ 53,606 บาทต่อคูรี มีโอกาสสร้างรายได้ 64.33 ล้านบาทต่อปี

3. Lu-177 สำหรับผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไร้ท่อ ในปัจจุบันมีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้นเป็นเท่าตัวในทุกปี พบว่ามีปริมาณความต้องการที่ 6 คูรีต่อปี โดยราคาของ Lu-177 ต่อคูรีเท่ากับ 4,166,666 บาท มีโอกาสทำรายได้ 25 ล้านบาทต่อปี

ด้านอุตสาหกรรม

<u>ด้านการฉายรังสีอัญมณี</u>

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการอัญมณี พบว่า มีปริมาณความต้องการฉายรังสีโทแพซไม่น้อยกว่า 3,000-4,000 กิโลกรัมต่อปี โดยราคาปัจจุบันอยู่ที่ 40,000 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้น โอกาสที่จะสร้างรายได้มีค่าประมาณ 120-160 ล้านบาทต่อปีการปรับปรุงอัญมณีก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มการส่งออก 30 บาทต่อกะรัต จึงมีโอกาสสร้างมูลค่าเพิ่ม 600 ล้านบาทต่อปี

<u>ด้านการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย</u>

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

1. ในภาคอุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วย Ir-192 ปัจจุบันปริมาณความต้องการมี มากกว่า 28,000 คูรีต่อปี แต่ในกระบวนการผลิตจะต้องมีการเชื่อมปิดผนึกและควบคุมคุณภาพก่อนประกอบเป็นชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพทางรังสี จึงสามารถผลิตได้เพียง 42 ชุดต่อปี ความแรงรังสีต่อชุดประมาณ100 คูรี ราคา Ir-192 ต่อคูรีอยู่ที่ 3,090 บาทต่อคูรีมีโอกาสสร้างรายได้ประมาณ 12.98 ล้านบาทต่อปี
2. ในภาคอุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วย Se-75 ยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมีการใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ตรวจสอบแทนได้ ประกอบกับการนำเข้าสารรังสี Se-75 ที่มีความยุ่งยากทำให้ผู้ประกอบการเลือกใช้งานน้อย โดยความต้องการในแต่ละปีจะอยู่ที่ 1,000 คูรีต่อปีและประมาณราคาเท่ากับ 3,750 บาทต่อคูรี ส่งผลให้โอกาสที่จะสร้างรายได้มีค่าประมาณ 3.75 ล้านบาทต่อปี

<u>ด้านการโดปสารกึ่งตัวนำ</u>

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณการผลิตจากศูนย์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีการให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน เช่น HANARO และ ANSTO มีส่วนแบ่งการให้บริการจากตลาดโลก 10-20 ตันต่อปี หากมี

โอกาสได้ส่วนแบ่งการให้บริการ 10 ตันต่อปี ราคาให้บริการ 3,400 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้น มีโอกาสสร้างรายได้ประมาณ 34 ล้านบาทต่อปี

การทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

- NAA 350 ตัวอย่างต่อปี ในอนาคตเมื่อเป็นเครือข่ายมาตรวิทยา การบริการวิเคราะห์คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 1,000 ตัวอย่างต่อปี ค่าบริการอยู่ที่ 1,000 บาทต่อตัวอย่าง

- การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธี Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNAA) สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุที่เทคนิค NAA ไม่สามารถทำได้ เช่น ธาตุ H, C, O, B เป็นบริการใหม่ คาดว่าจะมีการบริการวิเคราะห์ 700 ตัวอย่างต่อปี ในระยะแรกคิดค่าบริการครั้งละ 1,500 บาท

- การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน (Neutron imaging) เป็นงานสนับสนุนงานทางด้านศิลปวัตถุและศิลปวัฒนธรรมของกรมศิลปากรเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของการถ่ายภาพทางชีวภาพรวมถึงชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรม ประมาณ 200 ตัวอย่างต่อปีคิดค่าบริการครั้งละ 2,000 บาท

- บริการให้เช่าท่อนำลำนิวตรอนในการศึกษาวิจัยขั้นสูง 10 ชั่วโมงต่อปี ค่าบริการ 10,000 บาทต่อชั่วโมง

- การให้บริการด้านการตรวจวัดปริมาณรังสีของนิวตรอน (Neutron dosimeter) เป็นการบริการในกลุ่มผู้ที่ทำงานที่เกี่ยวข้องกับนิวตรอน เช่น กลุ่มโรงพยาบาลราคาในการบริการ 200 บาทสำหรับการบริการวัดโดสนิวตรอนซึ่งเป็นส่วนเพิ่มจากส่วนที่เป็นการให้บริการหลัก ประมาณ 500 รายต่อปี

ดังนั้นมีโอกาสในการสร้างรายได้ 2.65 ล้านต่อปี

ด้านเกษตร

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

การปรับปรุงพันธุ์พืชในปี พ.ศ. 2558-2559 มีการปรับปรุงกลุ่มพันธุ์พืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และไม้ดอกไม้ประดับ โดยการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้เกิดการกลายพันธุ์ในปี พ.ศ. 2558 มีจำนวนทั้งหมด 1,572 พันธุ์ และได้มีการใช้เทคนิคการอาบรังสีนิวตรอนจำนวน 48 พันธุ์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 3 ของจำนวนการปรับปรุงพันธุ์พืช

ข้อสมมติที่ใช้ในการคำนวณผลประโยชน์ในเชิงประมาณการรายได้ของประเทศ คือ จากข้อมูลพืชกลายพันธุ์ในสหรัฐอเมริกาพบว่าสามารถเพิ่มมูลค่า โดยคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจของสหรัฐอเมริกาในสัดส่วนประมาณร้อยละ 10 ของมูลค่าทางเศรษฐกิจของประเทศ แต่ประเทศไทยมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์และพื้นฐานเศรษฐกิจที่ต่ำกว่าสหรัฐอเมริกาอยู่ 141.36 เท่า เพราะฉะนั้นเมื่อมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่จะสามารถทำให้มูลค่าทางการเกษตรของพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลืองและถั่วเขียว เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 0.07 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณามูลค่าของผลผลิต (ข้าว และถั่วเหลือง) ในปัจจุบันเท่ากับ 276,040 ล้านบาท การส่งออกผลผลิต (ถั่วเขียว และข้าวโพด) เท่ากับ 5,880 ล้านบาท การส่งออกเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 3,710 ล้านบาท และดอกไม้ประดับเท่ากับ 2,474 ล้านบาท เมื่อมีกาปรับปรุงพันธุ์จะทำให้มูลค่าเพิ่มขึ้น 201.67 ล้านบาทต่อปี โดยกำหนดให้มูลค่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (ข้าว และถั่วเหลือง) มูลค่าการส่งออกที่เพิ่มขึ้น (ถั่วเขียว และข้าวโพด) และการส่งออกเมล็ดพันธุ์ที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มขึ้นในปีที่6เป็นต้นไปหลังจากเริ่มเดินเครื่อง (หรือปีที่11 หลังจากเริ่มลงทุน) เนื่องจากการปรับปรุงพันธุ์พืชจะไม่ส่งผลลัพธ์ในทันที ต้องใช้เวลาในการคัดเลือกพันธุ์ที่มีความเหมาะสม แต่การส่งออกไม้ดอกและไม้ประดับจะเพิ่มขึ้นในปีที่ 2 หลังจากเริ่มเดินเครื่องเนื่องจากปีแรกเป็นการทดลองเครื่อง

ด้านการศึกษาวิจัยและพัฒนากำลังคน

<u>ด้านการศึกษาวิจัย</u>

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณจำนวนโครงการศึกษาวิจัย คือ

1. งานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (สทน.) มีการตั้งเป้าหมายการผลิตผลงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกสถาบัน โดยผลงานวิจัยภายในตั้งเป้าหมายไว้ที่ 10 โครงการต่อปี และผลงานวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เป็นต้น จำนวน 4 โครงการต่อปี รวมทั้งสิ้น 14 โครงการต่อปี ประเมินมูลค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 500,000 บาทต่อโครงการ รวมมูลค่าทั้งสิ้น 7 ล้านบาทต่อปี
2. โครงการวิจัยที่ได้จดสิทธิบัตรจำนวน 2 เรื่องต่อปี ประเมินมูลค่าอยู่ที่ 1 ล้านบาทต่อชิ้น รวมมูลค่าทั้งสิ้น 2 ล้านบาทต่อปี

<u>ด้านการพัฒนากำลังคน</u>

ข้อสมมติที่ใช้ในการประเมินปริมาณบุคลากรต่อปี คือ

1. ในระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์จำนวน 15 คนที่มีโอกาสใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยทำปริญญานิพนธ์และโครงงานวิจัย รวมถึงการฝึกงาน
2. ในแต่ละปีจะมีบัณฑิตที่จบการศึกษาในด้านที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์และชีววิทยาหลายร้อยคน และมีส่วนหนึ่งจะศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ทำวิจัย
3. ในระดับบัณฑิตศึกษามีปริญญาโทสาขารังสีประยุกต์และไอโซโทปปีละ 15 คน ระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ปีละ 2 คน รวม 17 คน

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณค่าใช้จ่ายของภาครัฐในการผลิตบุคลากร คือ

1. งบประมาณที่ใช้ในการผลิตบุคลากรในประเทศในระดับปริญญาตรีตลอดหลักสูตร 168,000 บาทต่อคน และระดับปริญญาโท - เอก ประกอบด้วยค่าลงทะเบียนตลอดหลักสูตร 360,000 บาท ค่าใช้จ่ายทั่วไปตลอดหลักสูตร 864,000 บาท รวมประมาณ 1,224,000 บาทต่อคนต่อปี
2. งบประมาณที่ใช้ในการศึกษาต่อในต่างประเทศในระดับปริญญาตรี 1,200,000 บาทต่อคนต่อปี หรือตลอดหลักสูตร 4,800,000 ต่อคน และระดับปริญญาโท-เอก ประกอบด้วยค่าเดินทางไปกลับ 60,000 บาท ค่าลงทะเบียนตลอดหลักสูตร 840,000 บาท ค่าใช้จ่ายทั่วไปตลอดหลักสูตร 3,110,000 บาท รวมประมาณ 4,010,000 บาทต่อคนต่อปี
3. เมื่อมีโครงสร้างพื้นฐานพร้อมในประเทศ สามารถผลิตบุคลากรในประเทศได้ด้วยการพึ่งตัวเองทั้งหมด จะทำให้รัฐบาลสามารถลดงบประมาณต่อคนในการผลิตบุคลากรในระดับปริญญาตรีได้ประมาณ 4,632,000 บาทต่อคนต่อปี และระดับสูงกว่าปริญญาตรีได้ประมาณ 2,786,000 บาทต่อคนต่อปี

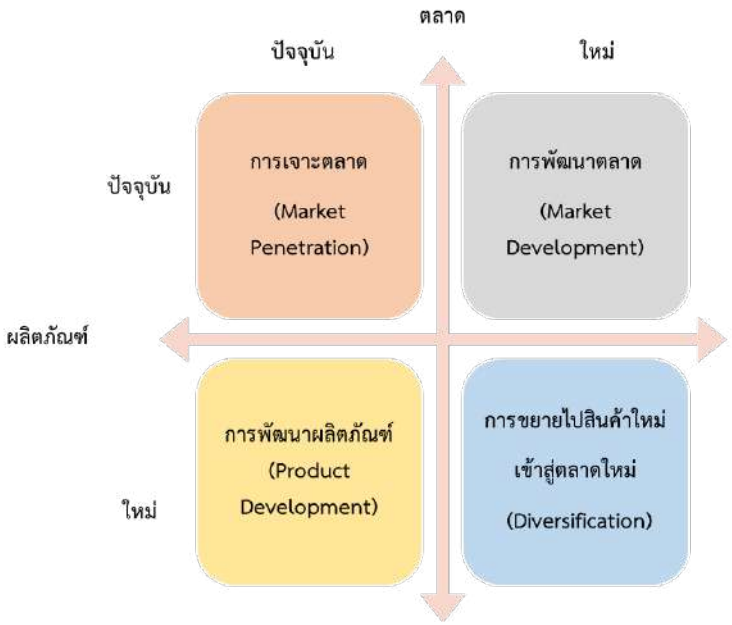
ตารางที่ 3.10 การพยากรณ์ผลประโยชน์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากการใช้บริการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตามปริมาณความต้องการ

โอกาสที่จะสร้างรายได้	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	มูลค่า (ล้านบาท)
ด้านการแพทย์			**2,042.03**
I-131	1,460 คูรี/ ปี (สทน.: เอกชน = 1:1)	375,000 บาท/คูรี	547.50
Mo-99/Tc-99m Generator	1,200 คูรี/ ปี	53,606 บาท/คูรี	64.33
Lu-177	6 คูรี/ปี	4,166,666 บาท/คูรี	25.00
การสาธารณสุขที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจและสังคม	ผลการรักษาโรคด้วยสารเภสัชรังสี		1,405.2
ด้านอุตสาหกรรม			**813.38**
Ir-192	4,200 คูรี/ปี	3,090 บาท/คูรี	12.98
Se-75	1,000 คูรี/ปี	3,750 บาท/คูรี	3.75
อัญมณี	4,000 กิโลกรัม/ปี มูลค่าเพิ่มการส่งออก 30 บาทต่อกะรัต	40,000 บาท/กิโลกรัม 150,000,000บาท/ตัน	160 600

โอกาสที่จะสร้างรายได้	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	มูลค่า (ล้านบาท)
โดปสารกึ่งตัวนำ	10,000 กิโลกรัม/ ปี	3,400 บาท/กิโลกรัม	34
ทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ	- NAA 350 ตัวอย่างต่อปี - ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 200 ตัวอย่างต่อปี - บริการเช่าท่อนำรังสีนิวตรอน 10 ชั่วโมงต่อปี		2.65
ด้านเกษตร			**201.67**
พืชเศรษฐกิจพันธุ์กลาย	มูลค่าเพิ่มขึ้น 0.07% ของรายได้เดิม	-	201.67
ด้านการศึกษาวิจัยและการพัฒนากำลังคน			**125.84**
การผลิตผลงานวิจัย	- 10 โครงการ ของสทน. - 4 โครงการ ทำร่วมกับมหาวิทยาลัยภายนอก - สิทธิบัตรใหม่ 2 ชิ้นต่อปี	500,000 บาท/โครงการ 1,000,000 บาท/ชิ้น	7.00 2.00
ลดค่าใช้จ่ายในการส่งนักศึกษาไปเรียนต่างประเทศและส่งบุคลากรไปอบรมระยะสั้น	ปริญญาตรี 15 คน/ปี ปริญญาโท-เอก 17 คน/ปี	ปริญญาตรี 4,632,000 บาท/คน ปริญญาโท-เอก 2,786,000 บาท/คน	ปริญญาตรี 69.48 ล้านบาท ปริญญาโท-เอก 47.36 ล้านบาท
รวม			**3,182.93**

3.7 กลยุทธ์การแข่งขันของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีผลิตภัณฑ์และบริการที่แตกต่างกันในหลากหลายสาขา ได้แก่ ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม ด้านวิจัยและนวัตกรรม ซึ่งแต่ละด้านจะมีกลยุทธ์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงกำหนดกลยุทธ์การเติบโต Intensive Growth สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ดังนี้



ที่มา: Ansoff, 1965

รูปที่ 3.13 กลยุทธ์การเติบโต Intensive Growth

กลยุทธ์	การแพทย์ เกษตร อุตสาหกรรม วิจัยและนวัตกรรม
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development)	ด้านการแพทย์
การเจาะตลาด (Market Penetration)	อุตสาหกรรมอัญมณี อุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยทำลาย
การพัฒนาตลาด (Market Development)	ด้านการเกษตร ด้านวิจัย
การขยายไปสินค้าใหม่ (Diversification)	อุตสาหกรรมกรรมการโดปสารกึ่งตัวนำ

(1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development)

สทน. ควรมีการปรับปรุงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ดังนี้

ด้านการแพทย์ ได้แก่ การผลิตไอโซโทปรังสีชนิดใหม่เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการทางการแพทย์เวชศาสตร์นิวเคลียร์

(2) การเจาะตลาด (Market Penetration)

การขยายส่วนครองตลาด การเพิ่มความถี่ในการใช้ของกลุ่มเป้าหมาย ในกลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมอัญมณี และอุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย เนื่องจากกลุ่มอุตสาหกรรมนี้มีการใช้บริการจากต่างประเทศ ดังนั้น สทน. จึงสามารถเพิ่มส่วนแบ่งการตลาดได้ สทน. จะต้องสื่อสารผลิตภัณฑ์และบริการให้กับกลุ่มเป้าหมายทั้ง 2 กลุ่มนี้ให้มากขึ้น

(3) การพัฒนาตลาด (Market Development)

การขยายตลาดไปในพื้นที่ใหม่และลูกค้ากลุ่มใหม่ เพื่อเพิ่มยอดผู้เข้ามารับบริการ ได้แก่

ด้านการเกษตร เนื่องจากผู้ใช้บริการเป็นนักวิจัย และหน่วยงานของภาครัฐ มากกว่าผู้ประกอบการเกษตรที่ดำเนินการในการปรับปรุงพันธุ์ด้วยเหมือนกัน ดังนั้นผู้ประกอบการด้านการเกษตรจึงเป็นโอกาสในการพัฒนาตลาดใหม่ของ สทน. เพื่อให้เข้ามาใช้บริการมากขึ้น

ด้านวิจัยเพื่อให้มีนวัตกรรมใหม่อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงควรมีการสร้างนักวิจัย และพัฒนาความร่วมมือกับสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ให้มากขึ้นโดยการขยายสาขาการวิจัยเพื่อให้การวิจัยมีครอบคลุมหลากหลายสาขาและสามารถนำผลงานวิจัยมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะออกสู่เชิงพาณิชย์ได้มากขึ้นเป็นนวัตกรรมใหม่

(4) การขยายไปสินค้าใหม่ (Diversification)

อุตสาหกรรมกรรมการโดปสารเหนี่ยวนำ เป็นอุตสาหกรรมที่ยังไม่มีการดำเนินการมาก่อนในประเทศดังนั้นจึงควรดำเนินการขยายบริการเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการในการเตรียมความพร้อมในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่

3.8 การแบ่งส่วนตลาด (Segmentation) การเลือกตลาดเป้าหมาย (Target Market) และการวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์

3.8.1 ด้านการแพทย์

ตลาดด้านการแพทย์นั้นมีองค์ประกอบได้แก่ ผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย เพื่อส่งต่อไปยังลูกค้าคือโรงพยาบาล ซึ่งในส่วนของ สทน.นั้น อยู่ในลักษณะของผู้ผลิตและผู้จำหน่าย ขณะที่ในประเทศมีผู้ประกอบการเอกชนรายอื่นอยู่ด้วย แต่มีจำนวนน้อยรายและต้องนำเข้าสารเภสัชรังสีจากต่างประเทศจึงอยู่ในฐานะผู้จัดจำหน่ายอย่างเดียว จากส่วนแบ่งการตลาดในปัจจุบันมีสัดส่วนของ สทน. และผู้ประกอบการเอกชน คิดเป็น 1:1 ในการจัดจำหน่ายให้กับกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ประโยชน์สุดท้ายคือ โรงพยาบาล ดังนั้นตลาดเป้าหมายของ สทน.จึงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้จัดจำหน่าย และผู้ให้บริการด้านการแพทย์ โดยผู้ให้บริการทางการแพทย์แบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่

(1) กลุ่มโรงพยาบาลหลักที่มีโรงเรียนแพทย์ โดยมีการใช้สารเภสัชรังสี เพื่อการวินิจฉัยและการรักษา รวมทั้งเพื่อการวิจัยทางการแพทย์

(2) กลุ่มโรงพยาบาลของรัฐบาลทั่วไปที่ให้บริการด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ เพื่อการวินิจฉัยและการรักษา ซึ่งขณะนี้มีประมาณ 25 แห่ง

(3) กลุ่มโรงพยาบาลเอกชน แม้ว่าความต้องการด้านนี้ยังมีน้อย เนื่องจากมีทางเลือกอื่นๆ ในการวินิจฉัยและรักษาคนไข้ที่เป็นมะเร็ง แต่ถ้ารัฐบาลและผู้เกี่ยวข้องได้ให้ความสำคัญและส่งเสริมศาสตร์นี้อย่างจริงจัง จะทำให้โรงพยาบาลเอกชนมีโอกาสใช้เวชศาสตร์นิวเคลียร์ในการดูแลรักษาผู้ป่วยได้มากขึ้น

3.8.2 ด้านการเกษตร

ด้านการเกษตรเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์นั้น มีเทคโนโลยีอื่น ๆที่สามารถทดแทนกันได้ แต่การใช้นิวตรอนเป็นทางเลือกหนึ่ง การแบ่งส่วนตลาดด้านการเกษตรจึงเป็นกลุ่มที่ต้องการปรับปรุงพันธุ์โดยใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ โดยมุ่งที่การปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจ ประเภท ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ไม้ดอกไม้ประดับ และการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ โดยตลาดเป้าหมายมีดังนี้

(1) นักวิจัยในหน่วยงานของรัฐ เช่น กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในการปรับปรุงพันธุ์ การวิเคราะห์ธาตุในดินของกรมพัฒนาที่ดิน

(2) อาจารย์ นักวิจัย และนิสิต นักศึกษาในสถาบันการศึกษา

(3) ผู้ประกอบการด้านการเกษตรที่ใช้เทคโนโลยีในการปรับปรุงพันธุ์

3.8.3 ด้านอุตสาหกรรม

เนื่องจากด้านอุตสาหกรรม มีความต้องการบริการที่แตกต่างกันจึงได้แบ่งออกเป็นกลุ่มดังนี้

การแบ่งส่วนตลาด	ตลาดเป้าหมาย
(1) กลุ่มอัญมณี ได้แก่ ผู้ประกอบการประเภทพลอยเนื้ออ่อน	ผู้ผลิตและส่งออกโทแพซ
(2) กลุ่มการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการก่อกัมมันต์ (NAA,PGNAA) ได้แก่ กลุ่มอาจารย์/นักวิจัยในมหาวิทยาลัยและงานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม	กลุ่มห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ธาตุความเข้มข้นต่ำและกลุ่มวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการก่อกัมมันต์ทั้งภาครัฐและเอกชน ในมหาวิทยาลัยที่มีการเรียนการสอนทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์
(3) กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิต ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมที่ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและใช้	กลุ่มการศึกษาโครงสร้างภายในวัสดุ ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนและ

การแบ่งส่วนตลาด	ตลาดเป้าหมาย
ไอโซโทปรังสีติดตาม	เทคนิคการเลี้ยวเบนของนิวตรอนในการวิเคราะห์/สังเคราะห์วัสดุ
(4) กลุ่มโดปสารกึ่งตัวนำเพื่ออุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งประเทศไทยมีแผนอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นรัฐบาลและผู้เกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญในการส่งเสริมและประชาสัมพันธ์ทั้งในประเทศและต่างประเทศแก่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ รวมถึงบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน Power Device ได้แก่ TMEC	อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน Power Electronic สำหรับยานยนต์ และหน่วยงานรัฐ ได้แก่ TMEC
(5) กลุ่มตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non Destructive Testing - NDT) ได้แก่ ผู้ประกอบการตรวจสอบโดยการถ่ายภาพด้วยรังสี และผู้แทนจำหน่ายอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสี	กลุ่มธุรกิจการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ใช้ไอโซโทปรังสี Ir-192, Se-75

3.8.4 ด้านวิจัยและนวัตกรรม

การแบ่งส่วนตลาด เนื่องจากเป็นงานด้านวิจัยและนวัตกรรม ดังนั้นจึงมุ่งเน้นที่สถาบันการศึกษา/สถาบันการวิจัยทั้งภาครัฐและเอกชน

การเลือกตลาดเป้าหมาย คือ สถาบันการศึกษาและสถาบันการวิจัยที่มีหลักสูตรและสาขาทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ และเครือข่ายทางวิจัยและวิชาการ

3.8.5 การวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์ (Positioning)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์และบริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย มีผู้ผลิตน้อยรายแต่มีผลกระทบต่อทิศทางการพัฒนาและการสร้างนวัตกรรม ดังนั้นการวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์ของ สทน.ควร จึงควรมุ่งเน้นที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์/บริการ และการพัฒนางานวิจัยและนวัตกรรมสนับสนุน

3.9 กลยุทธ์การตลาด

3.9.1 วัตถุประสงค์ทางการตลาด

(1) เพื่อให้บรรลุมูลค่าการขายผลิตภัณฑ์และบริการตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

(2) เพื่อเสนอผลิตภัณฑ์และบริการที่ตอบสนองต่อความต้องการด้านการแพทย์ การการเกษตร อุตสาหกรรม

(3) เพื่อเสนอผลิตภัณฑ์และบริการที่มีคุณภาพด้วยราคาเป็นธรรมซึ่งไม่มุ่งหวังผลกำไร

(4) เพื่อเสนอผลิตภัณฑ์และบริการใหม่ เช่น ไอโซโทปรังสีชนิดใหม่ การโดปสารกึ่งตัวนำ และการเปลี่ยนสีอัญมณี เป็นต้น

(5) เพื่อสร้างผลงานวิจัย และนวัตกรรม ทั้งจากการวิจัยภายในหน่วยงานและงานวิจัยที่ทำร่วมกับสถาบันการศึกษา/สถาบันวิจัยในเครือข่าย

(6) เพื่อสร้างความพึงพอใจในบริการและรักษาลูกค้าได้อย่างน้อย 80%

3.9.2 กลยุทธ์ส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix)

3.9.2.1 กลยุทธ์ผลิตภัณฑ์/บริการด้านการแพทย์

สทน. ได้มีการผลิตสินค้าและบริการด้านการแพทย์สู่ตลาด คือ

1. ไอโซโทปรังสี (Radioisotope) ซึ่งที่ผลิตได้ในปัจจุบัน ได้แก่ I-131, Sm-153, P-32 และในอนาคตที่จะผลิตใหม่ ได้แก่ Ir-192, Se-175, Mo-99, Ho-166, Lu-177, Re-186

2. เภสัชภัณฑ์สำเร็จรูปของ Tc-99m (Tc-99m radiopharmaceuticals and cold kit) ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสีที่ใช้ประโยชน์มากในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ เพื่อการตรวจวินิจฉัยความผิดปกติของการทำงานของอวัยวะภายในร่างกาย ตัวอย่างของเภสัชภัณฑ์สำเร็จรูปของ Tc-99m ที่ผลิต ได้แก่ MDP, DTPA, MAA, MAG -3 เป็นต้น

3. การเตรียมสารประกอบติดฉลากรังสี (Labeled Compound) ไอโซโทปรังสีที่ผลิตข้างต้นเรียกว่าสารไอโซโทปปฐมภูมิ (Primary Isotope) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปทางเคมีที่พร้อมสำหรับนำไปใช้งานได้ เช่น สารไอโซโทปปฐมภูมิชนิดสารละลาย $Na^{131}I$ ซึ่งใช้สำหรับการตรวจวินิจฉัยและบำบัดความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ แต่เมื่อนำไปติดฉลากกับสารประกอบ MIBG (Methyl Iodobenzylguanidine) จะได้สารประกอบติดฉลากรังสี ^{131}I-MIBG เป็นต้น ในทำนองเดียวกันยังมีไอโซโทปรังสีอื่น ได้แก่ ^{153}Sm-EDTMP และ ^{153}Sm-HA

จากผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ดังกล่าวข้างต้น สทน. ควรกำหนดกลยุทธ์ด้านผลิตภัณฑ์/บริการดังนี้

- ผลิตภัณฑ์สารเภสัชรังสีของ สทน.ควรได้รับมาตรฐาน GMP หรือ คณะกรรมการอาหารและยา (อย.) เพราะจะทำให้ผู้บริโภคเกิดความมั่นใจมากยิ่งขึ้น

- ควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้ เช่น Unit Dose เพิ่มมากขึ้นให้เพียงพอต่อความต้องการ ทั้งนี้เพราะบุคลากรของหน่วยงานไม่ต้องการมาผสมเอง เนื่องจากทำให้ต้องใกล้ชิดและมีโอกาสได้รับรังสีจากสารเภสัชรังสีบ่อยๆ หรือสารประกอบติดฉลากรังสี (Labeled Compound) ในรูปแบบใหม่ เพื่อจะได้สามารถเป็นตัวนำไอโซโทปรังสีไปยังอวัยวะอื่นๆ ในร่างกาย เพื่อการรักษาและวินิจฉัยในวงกว้างได้อีก อันจะเกิดประโยชน์ในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์มากขึ้น

- มีผลงานวิจัยสนับสนุนไอโซโทปรังสี หรือมีการค้นคว้างานวิจัยเพื่อประกอบการจำหน่ายสารเภสัชรังสี

- เสนอองค์ความรู้ใหม่ ๆ รวมทั้งให้ความกระจ่าง และให้คำปรึกษาในงานด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์แก่ผู้ใช้ และผู้เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ สทน. ต้องเพิ่มขีดความสามารถของงานวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ด้านนี้ เนื่องจากศาสตร์ด้านนี้ในประเทศไทยยังมีผู้เชี่ยวชาญอยู่ในวงแคบ

3.9.2.2 กลยุทธ์ด้านผลิตภัณฑ์/บริการด้านอุตสาหกรรม

การให้บริการด้านอุตสาหกรรมเป็นตลาดเฉพาะ ควรใช้กลยุทธ์การเจาะตลาดเพื่อให้ได้ส่วนแบ่งการตลาดเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากผู้ประกอบการใช้บริการจากต่างประเทศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ด้านอุตสาหกรรม การผลิตไอโซโทปสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสี การโดปสารกึ่งตัวนำสำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กำลัง การศึกษาโครงสร้างภายในวัสดุและการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคก่อกัมมันต์ รวมทั้งการผลิตไอโซโทปรังสี Ir-192 เพื่อการถ่ายภาพด้วยรังสีในอุตสาหกรรม และการผลิตไอโซโทปรังสีชนิดใหม่ๆ เพื่อใช้เป็นสารติดตามสำหรับงานทางด้านอุตสาหกรรมและงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non Destructive Testing – NDT)

กลุ่มที่ 2 อุตสาหกรรมอัญมณี ได้แก่ การให้บริการฉายรังสีอัญมณี โทแพซ พลอยเนื้ออ่อนประเภทต่าง ๆ

3.9.2.3 กลยุทธ์ด้านผลิตภัณฑ์/บริการด้านเกษตรกรรม

การให้บริการด้านเกษตรกรรมด้วยการปรับปรุงพันธุ์พืชด้วยนิวตรอนสำหรับพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ไม้ดอกไม้ประดับ ควรใช้กลยุทธ์ด้านการสร้างองค์ความรู้ให้กับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อให้มาใช้บริการมากขึ้น รวมถึงการศึกษาวิจัยร่วมกับหน่วยงานที่ส่งเสริมด้านการเกษตร โดยเฉพาะการวิเคราะห์คุณภาพดินสำหรับการเพาะปลูก การใช้สารรังสีในการติดตามการดูดซึมแร่ธาตุและการใช้อาหารเสริมประเภทฮอร์โมนพืช

3.9.2.4 กลยุทธ์ผลิตภัณฑ์/บริการด้านวิจัยและนวัตกรรม

สทน. ควรมีการจัดทำ Roadmap การวิจัย และสร้างนวัตกรรมจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย และให้สถาบันการศึกษาเข้ามามีส่วนร่วมในการทำวิจัย เพื่อสร้างงานวิจัยด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง และสนับสนุนการใช้ประโยชน์ด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรมและด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้งานวิจัยจะต้องมีแผนการนำไปสู่เชิงพาณิชย์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอุตสาหกรรมด้วย

3.9.2.5 กลยุทธ์ราคา

การกำหนดราคาขายควรมีการประเมินจากต้นทุนในการผลิต และอ้างอิงราคาจากการนำเข้าจากต่างประเทศ ทั้งนี้การกำหนดราคาไม่ควรจะสูงกว่าราคาที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อสามารถให้บริการในประเทศได้อย่างครอบคลุม

การกำหนดราคาสำหรับผู้จัดจำหน่าย ควรจัดระดับการกำหนดราคาแบบขั้นบันไดเพื่อเป็นการส่งเสริมผู้ประกอบการไทย และจะช่วยลดการนำเข้าพึ่งพาจากต่างประเทศ ทั้งนี้ราคาที่กำหนดควรอยู่ในระดับที่ผู้ใช้บริการยอมรับได้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับภาคอุตสาหกรรม การแพทย์และการเกษตร โดยไม่หวังผลกำไร อีกทั้งอาจให้บริการในลักษณะการให้ทุนวิจัย หรือการติดตามผลการศึกษาวิจัยมากกว่าการไม่คิดมูลค่าหากผู้ใช้บริการเป็นหน่วยงานหรือองค์กรที่ส่งเสริมงานด้านวิจัยและนวัตกรรมของประเทศในการก้าวสู่ประเทศไทย 4.0

3.9.2.6 กลยุทธ์การกระจายสินค้า

สทน. ควรกำหนดแนวทางการจัดส่งผลิตภัณฑ์/บริการให้มีความคล่องตัวและมีประสิทธิภาพ เทียบเท่าภาคเอกชน หรืออำนวยความสะดวกให้กับผู้ประกอบการภาคเอกชนที่เป็นผู้จัดจำหน่าย

การกำหนดปริมาณการจัดส่งผลิตภัณฑ์ควรดำเนินการได้ทั้งปริมาณน้อยหรือปริมาณมาก ซึ่งผู้ใช้บริการจากภาคเอกชนเห็นว่าเป็นสิ่งจำเป็น เพราะคนไข้ในโรงพยาบาลเอกชนจะมาตรวจรักษาในเวลาที่ตนเองต้องการ และต้องการทราบผลโดยเร็ว ดังนั้น สทน. จึงควรจัดทำระบบจัดจำหน่าย การส่งมอบ และกระจายผลิตภัณฑ์ไอโซโทปรังสี รวมทั้งผลิตภัณฑ์อื่นๆ ให้รวดเร็วตามกำหนดเวลา เช่น มีกระบวนการผลิตวันจันทร์และทำการส่งมอบในเช้าวันอังคาร หรือ ต้องมีการวางแผนเวลาไว้ล่วงหน้า รวมทั้งความถี่ในการจัดส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสถานที่ตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยตัวใหม่อยู่ห่างไกลจากสถานรับบริการ จึงควรวางแผนเตรียมความพร้อมในเรื่องดังกล่าว โดยต้องมีการวางแผนและจัดเวลาของการขนส่ง (Logistics) ให้เหมาะสม

นอกจากนั้นในด้านวิจัยและนวัตกรรมควรมีการสร้างเครือข่ายในด้านวิจัยและวิชาการในสถาบันวิจัยและสถาบันการศึกษาทั้งในภาครัฐและเอกชน ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

3.9.2.7 กลยุทธ์สื่อสารการตลาด

กลยุทธ์การสื่อสารทางการตลาดเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ ที่จะมาทดแทนตัวเดิมในด้านบริการต่างๆ ทั้งบริการที่มีอยู่เดิมและบริการที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งผลิตภัณฑ์ การขอรับบริการและความปลอดภัยต่างๆ โดยจะต้องมีการสื่อสารไปยังกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่มที่มีส่วนได้ส่วนเสียหลักๆ คือ

(1) กลุ่มผู้ใช้บริการทั้ง 4 ด้านได้แก่ ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม และด้านวิจัยและนวัตกรรม

(2) กลุ่มประชาชนที่อยู่ในย่านองครักษ์ ซึ่งเป็นสถานที่ที่กำหนดไว้ว่าจะมีการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยตัวใหม่

(3) ประชาชนทั่วๆ ไปที่มีความสนใจในผลิตภัณฑ์และบริการ

เครื่องมือที่ใช้ในการสื่อสาร ควรเลือกช่องทางการสื่อสารและเครื่องมือที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายให้สอดคล้องกับแต่ละกลุ่มโดยทำการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเพื่อเข้าถึงกลุ่มลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์/บริการเป็นตลาดเฉพาะจึงต้องใช้การตลาดทางตรง ในรูปแบบต่าง ๆ และใช้ประโยชน์จากสื่อดิจิทัลใหม่ ๆ ในการติดต่อสื่อสาร รวมทั้งการใช้การสื่อสารภาพลักษณ์องค์กรเพื่อให้ประชาชนมีความเข้าใจและลดความหวาดกลัวต่อเทคโนโลยีนิวเคลียร์

เพื่อให้การดำเนินการของ สทน.บรรลุเป้าหมายทางการตลาด ควรมีการดำเนินงานในเรื่อง ดังนี้

1. จัดทำแผนปฏิบัติการการตลาดและกำหนดเป้าหมายความสำเร็จทั้งแผนระยะสั้นและระยะยาว
2. ดำเนินการตลาดเชิงรุกกับลูกค้าเป้าหมายทั้งในประเทศ และต่างประเทศ
3. สำรวจความต้องการทางการตลาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มทางการตลาด
4. สำรวจความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์และบริการของ สทน.
5. จัดทำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับการใช้ข้อมูลในการบริหารและตัดสินใจ
6. จัดทำระบบ Customer Relationship Management (CRM) และ Customer Engagement Management (CEM)
   - 6.1 จัดทำระบบฐานข้อมูลลูกค้าระดับองค์กร
   - 6.2 ติดต่อกับลูกค้าเป็นระยะเมื่อจัดทำกิจกรรมพิเศษ หรือกิจกรรมเพื่อสังคม
   - 6.3 จัดตั้ง Call Center ในการให้ข้อมูลข่าวสารและตอบปัญหาของลูกค้าและผู้ใช้บริการ
7. จัดตั้ง Information Center เพื่อเป็นศูนย์กลางในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) รวมถึงการกระจายข่าวสารเกี่ยวกับการเติบโตขององค์กร และพันธมิตรทางธุรกิจ
8. สื่อสารและประชาสัมพันธ์หน่วยงาน สทน. ทั้งทางตรงและทางอ้อม ให้กับองค์กรที่เกี่ยวข้อง บุคคลทั่วไป และบุคคลที่ยังไม่มีความรู้ความเข้าใจด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ผ่านสื่อดังนี้

8.1 สื่อมวลชน ได้แก่ การโฆษณา ประชาสัมพันธ์ ผ่านสื่อโทรทัศน์และวิทยุอย่างต่อเนื่อง

8.2 สื่อเฉพาะกิจ ได้แก่ แผ่นพับ เอกสารเผยแพร่ประเภทต่างๆ รวมทั้งวารสารของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

8.3 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ website ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และ website ของหน่วยงานที่เป็นพันธมิตรทางธุรกิจ จัดทำรายการผ่าน Internet ทั้งในรูปของสื่อเคลื่อนไหว และ สร้างชุมชน online เพื่อเชื่อมต่อและสร้างความรู้ร่วมกัน

8.4 สื่อบุคคล ได้แก่ ผู้ที่จะเป็นผู้บรรยายเกี่ยวกับหน่วยงาน ผลิตภัณฑ์และบริการ

9. สื่อสารประชาสัมพันธ์ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สามารถให้บริการได้ ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องทางตรง
10. จัดกิจกรรมพิเศษเพื่อสร้างภาพลักษณ์ ทางด้านศักยภาพ ผลผลิต และบริการที่นำสมัยและทำให้ชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนดีขึ้น
11. จัดกิจกรรมมวลชนสัมพันธ์และสังคมเพื่อให้ประชาชนทั่วไปรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในเชิงบวก
12. จัดฝึกอบรมให้กับนักเรียน นักศึกษาในระดับต่างๆ และอาจารย์ในสถาบันการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีนิวเคลียร์

3.10 งบประมาณการตลาด

เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมายทางการตลาดจึงควรปรับเพิ่มงบประมาณทางการตลาดเพื่อส่งเสริมกลยุทธ์การตลาดที่วางไว้ เช่น การจัดงบประมาณประชาสัมพันธ์ทั้งการสื่อการตลาดและมวลชนสัมพันธ์ซึ่งประมาณการไว้ที่ 1,550,000 บาทต่อปี

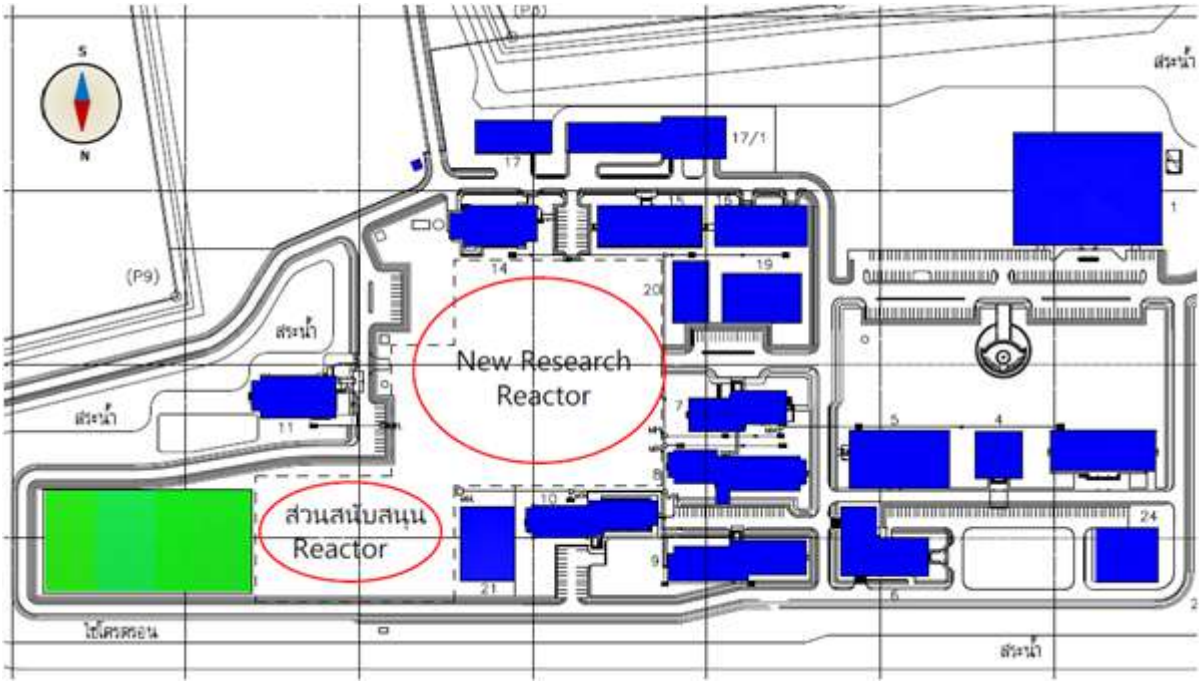
บทที่ 4
แผนการผลิต

4.1 สถานที่ตั้งและการวางผังโรงงาน

จากการทบทวนผลวิเคราะห์แผนธุรกิจเดิมและการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคเพื่อปรับปรุงข้อมูลด้านเทคนิคของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ให้เป็นปัจจุบัน เห็นว่าโครงการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการเพื่อให้บริการวิจัยและสร้างนวัตกรรมใหม่ สำหรับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศนั้น สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ควรดำเนินการที่สำนักงานใหญ่ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ด้วยเหตุผลดังนี้

1. มีพื้นที่ซึ่งเตรียมการไว้ในโครงการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย (ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องครักษ์ดั้งเดิม) แบบ Turnkey ประมาณ 18 ไร่ และหากมีการขยายพื้นที่ก็ยังมีความเป็นไปได้ที่จะปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่ตามแผนบริหารงานของสถาบันฯ
2. เพื่อใช้ประโยชน์ส่วนสนับสนุนการวิจัย Non-turnkey และสาธารณูปโภคพื้นฐานอื่นที่รัฐได้ลงทุนไปแล้วในโครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องครักษ์ดั้งเดิมได้อย่างเต็มที่
3. ในระหว่างที่โครงการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเดิมหยุดชะงักอยู่นั้น การพัฒนาในโครงสร้างพื้นฐานส่วนอื่นของสทน. ยังคงได้รับการสนับสนุนจากรัฐและสามารถรองรับโครงการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ได้
4. การบริหารงานโครงสร้างพื้นฐานหลักในศูนย์กลางวิจัยจะช่วยให้การบริหารจัดการอย่างบูรณาการ มีประสิทธิภาพและประหยัดงบประมาณ
5. ได้เคยมีการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการไว้บ้างแล้วไม่จำเป็นต้องเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด เพียงแต่วางแผนบริหารจัดการดำเนินการศึกษาผลกระทบของโครงการขนาดใหญ่ (EHIA) ตามขั้นตอนกฎหมายกำกับดูแลพื้นที่ก่อตั้งสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ที่กำหนดไว้ใน พรบ.นิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. ๒๕๕๙ และการเตรียมการทางวิศวกรรมรองรับปัญหา
6. ในพื้นที่อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ได้มีการทำความเข้าใจกับชุมชนอย่างต่อเนื่องมาแล้วในการใช้ประโยชน์พลังงานนิวเคลียร์เพื่องานวิจัยพัฒนาประเทศ จึงไม่ต้องเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด การเข้าถึงชุมชนโดยรอบ เพียงแต่เตรียมการเพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยและการสร้างมวลชนสัมพันธ์ในชุมชน

7. การสานต่อด้านมวลชนสัมพันธ์ โดยเสนอสิทธิประโยชน์ต่อชุมชนเพื่อเป็นหลักประกันความก้าวหน้าและสร้างความไว้วางใจให้กับชุมชนทำได้ง่าย เช่น ข้อเสนอการขอรับบริการตรวจสุขภาพฟรีของประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่ใกล้เคียงกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย และการชดเชยภาษีของชุมชน โดยประสานกับทางจังหวัด ตลอดจนการจัดสรรงบประมาณจากรายได้ไปพัฒนาหรือเป็นสวัสดิการแก่ชุมชน



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงที่ตั้งของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุน

4.2 การวางแผนกำลังการผลิต

จากการประเมินความต้องการผลผลิตของผู้มีส่วนได้เสียและการวางแผนให้บริการกลุ่มงานย่อยทั้ง 7 กลุ่มงาน ได้แก่ งานด้านผลิตไอโซโทปรังสี งานด้านการฉายรังสีอัญมณี งานด้านการปรับปรุงพันธุศาสตร์ งานด้านการโดปสารกึ่งตัวนำ งานด้านการทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ งานด้านการวิจัยและนวัตกรรม และงานด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ ที่ดำเนินงานภายใต้โครงสร้างองค์กรปัจจุบันของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ณ สำนักงานใหญ่ อำเภอองครักษ์ เพื่อรองรับความต้องการให้บริการทางการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร การศึกษาวิจัยและนวัตกรรม ตลอดจนการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ทั้งในปัจจุบันและอนาคตโดยมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดที่เหมาะสมเป็น

เครื่องมือหลัก ที่ปรึกษาทางเทคนิคได้ประเมินกำลังการผลิตและความต้องการด้านบริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่ผ่านมาของสถาบันฯ เห็นว่าแผนการเดินเครื่องเพื่อการวิจัยต่อการให้บริการควรมีอัตราส่วนร้อยละ 60 : 40 โดยในส่วนบริการร้อยละ 40 เป็นส่วนคาดการณ์รายได้ทางตรงของสถาบันฯ อย่างไรก็ตามเนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ที่มีการใช้งานร่วมกัน ดังนั้นการวางแผนการผลิตต้องสอดรับกับนโยบายและทิศทางการพัฒนาประเทศ โดยภาพรวมสามารถจำแนกผลผลิตและบริการตามกลุ่มงานด้านต่างๆ ได้ ดังนี้

4.2.1 ด้านการผลิตไอโซโทปรังสี

จากการสำรวจความต้องการของผู้รับบริการด้านไอโซโทปรังสีจากการจัดประชุมและสัมมนาผู้ผลิตพบผู้ใช้ในรายงานเดิม ตลอดจนศึกษาการขยายการให้บริการหลังมีการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมระบบผลิตไอโซโทปรังสีใหม่ โดยทบทวนข้อมูลในอดีต จะสามารถผลิตไอโซโทปรังสีตัวใหม่สำหรับทั้งการแพทย์ อุตสาหกรรมและการเกษตร ดังต่อไปนี้

ก. การผลิตเภสัชรังสีด้านการแพทย์

ผลิตเภสัชรังสีชนิดใหม่เพื่อการวินิจฉัยและบำบัดรักษาโรค พร้อมทั้งเพิ่มกำลังผลิตไอโซโทปรังสีเดิมให้ตอบสนองต่อความต้องการทางการแพทย์ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากการประเมินความสามารถในการผลิตร่วมกับข้อมูลการนำเข้าไอโซโทปรังสี พบว่าสามารถสร้างผลผลิตเป้าหมายได้ดังนี้

1) I-131 วางแผนในการผลิตตามความต้องการปริมาณ 1,460 คูรีต่อปี โดยสามารถผลิตได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในปีแรกของการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ จากนั้นปีถัดไปเพิ่มเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ลดการนำเข้าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และยังสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่านี้ในอนาคต

2) Mo-99 จาก LEU เพื่อการผลิตต่อเป็น Mo-99/Tc-99m Generator วางแผนในการผลิตตามความต้องการ 1,200 คูรีต่อปี โดยสามารถผลิตได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในสองปีแรกของการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ จากนั้นปีถัดไปเพิ่มเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ลดการนำเข้าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และยังสามารถผลิตเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่านี้ในอนาคต

3) Lu-177 วางแผนผลิตตามความต้องการของโรงพยาบาล ซึ่งข้อมูลจากกลุ่มงานผลิตไอโซโทปพบว่ามีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญทุกๆปี ประมาณการผลิตที่ 6-10คูรีต่อปีโดยสามารถผลิตได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในปีแรกของการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ และในปีถัดไปเพิ่มเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ลดการนำเข้าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และยังสามารถผลิตเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่านี้ในอนาคต

4) Sm-153 วางแผนผลิตตามความต้องการของโรงพยาบาล ซึ่งข้อมูลจากกลุ่มงานผลิตไอโซโทปพบว่ามีปริมาณการประมาณการผลิตที่ 1-5 คูรีต่อปีโดยสามารถผลิตได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในปีแรกของการ

เดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ และในปีถัดไปเพิ่มเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถผลิตเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่านี้ในอนาคต

5) Ho-166, Sr-90/Y-90 generator มีความสามารถในการผลิตเมื่อเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ หากมีความต้องการจากผู้ใช้บริการ

ข. การผลิตไอโซโทปรังสีในด้านอุตสาหกรรม

ผลิตต้นกำเนิดรังสีสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เป็นการผลิตต้นกำเนิดรังสี แบบปิดผนึก (Sealed source) ซึ่งต้องการเทคนิคการเชื่อมโลหะพิเศษ สามารถผลิตไอโซโทปรังสี Ir-192 และ Se-75 มีกำลังการผลิตไอโซโทปรังสีที่เป็นความต้องการของภาคอุตสาหกรรมดังนี้

1) Ir-192 จากข้อมูลการตลาดพบว่ามีความต้องการมากกว่า 28,000 คูรีต่อปี แต่วางแผนการผลิตไว้ที่ 42 ตัว (ตัวละ 100 คูรี หรือตามสั่ง) ประมาณ 4,200 คูรีต่อปี สามารถผลิตได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในสองปีแรกของการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ในปีถัดไปเพิ่มเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถลดการนำเข้าได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกำลังผลิตมีข้อจำกัดเพราะเป็นไอโซโทปที่ไม่เคยผลิตมาก่อน และต้องมีการปิดผนึกต้นกำเนิดรังสี พร้อมควบคุมคุณภาพ ความปลอดภัยของต้นกำเนิดรังสี เมื่อมีความชำนาญมากขึ้นอาจมีกำลังผลิตสูงกว่านี้

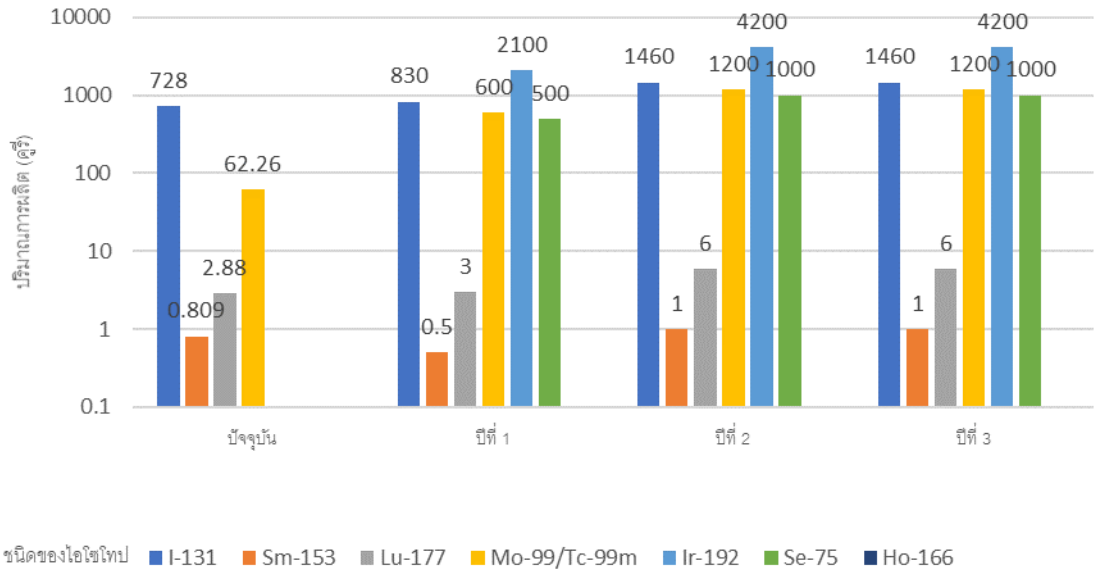
2) Se-75 วางแผนผลิตที่ 10 ตัว (ตัวละ 100 คูรี หรือตามสั่ง) ประมาณว่า 1,000 คูรีต่อปี สามารถผลิตได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในสองปีแรกของการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ และในปีถัดไปเพิ่มเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นไอโซโทปที่ไม่เคยผลิตมาก่อนสามารถลดการนำเข้าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หากมีความต้องการในตลาดเพิ่มสามารถขยายกำลังผลิตได้

3) Cs-137, Sr-90 มีความสามารถในการผลิตเมื่อเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ หากมีความต้องการจากผู้ใช้บริการ

ค. การผลิตไอโซโทปรังสีในด้านการเกษตร

แผนการผลิตเพื่อความต้องการไอโซโทปรังสีทางด้านการเกษตร พบว่ามีการใช้งานน้อยมากและราคาถูก ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารติดฉลากในเทคนิคการตรวจติดตามทางรังสี (Radiotracer technique)ซึ่งไอโซโทปที่ใช้ คือ I-125, P-32, S-35 มีความสามารถในการผลิตเมื่อเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย หากมีความต้องการจากผู้ใช้บริการ แต่จากข้อมูลความต้องการมีปริมาณไม่มาก

แผนการผลิตไอโซโทปรังสีของกลุ่มงานผลิตไอโซโทปจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปัจจุบันทั้งชนิดของไอโซโทปรังสีและปริมาณ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ข้อมูลสำหรับการวางแผนการเดินเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อการผลิตไอโซโทปแต่ละชนิดในแผนการผลิตรวบรวมไว้ในภาคผนวก ข



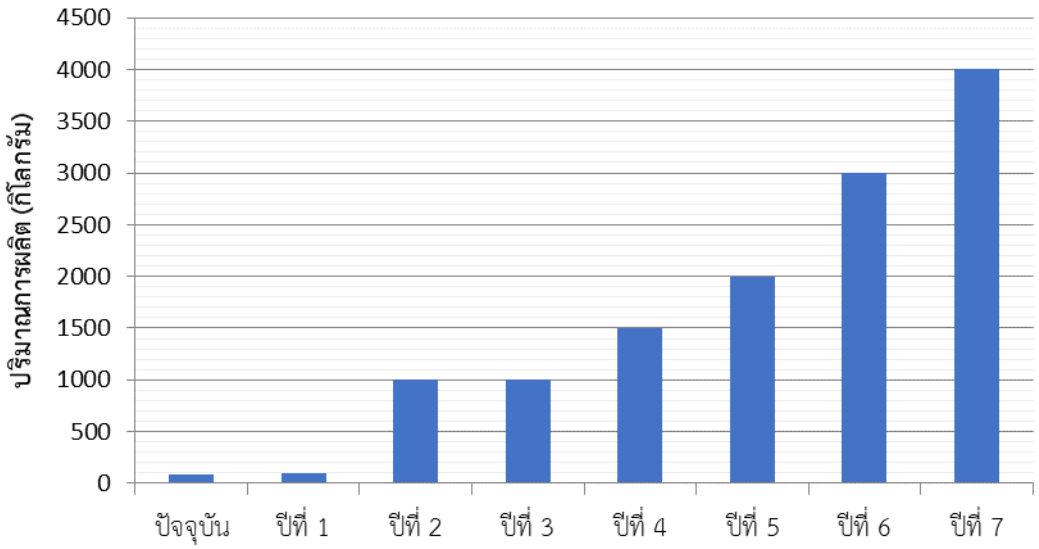
รูปที่ 4.2 แผนการผลิตของกลุ่มงานผลิตไอโซโทป

4.2.2 ด้านฉายรังสีอัญมณี

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ฯได้รับการสนับสนุนให้ลงทุนด้านเครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงและเครื่องฉายรังสีแกมมาเป็นเงินงบประมาณ 370 ล้านบาท สำหรับรองรับความต้องการของอุตสาหกรรมอัญมณีส่งออก โดยการลงทุนดังกล่าวเป็นความต่อเนื่องตามแผนการใช้ประโยชน์ด้านการฉายรังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยร่วมกับการฉายอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการเพิ่มมูลค่าอัญมณี เช่น โทแพซ (Topaz) จากสีขาวใส มีมูลค่าต่ำ เมื่อนำมาฉายนิวตรอนจะกลายเป็นสีฟ้าเข้ม (London Blue) ทำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น 2-10 เท่า ถ้านำมาฉายซ้ำด้วยอิเล็กตรอนพลังงานสูงอีกจะเปลี่ยนไปเป็นสีฟ้าสดใส (Swiss Blue) จะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นอีก 10-30 เท่า หากฉายด้วยอิเล็กตรอนพลังงานสูงเพียงอย่างเดียวจะไม่ได้สีฟ้าสดใสเท่าจึงมีมูลค่าเพิ่มต่ำกว่ามูลค่าการฉายรังสีโดยนิวตรอนและอิเล็กตรอนต่อเนื่องกัน ดังนั้นศูนย์ฉายรังสีอัญมณีมีแผนการผลิตในการให้บริการฉายรังสีอัญมณี ดังนี้

- ปีที่ 1 เตรียมความพร้อม (100 กิโลกรัมต่อปี)
- ปีที่ 2-3 กำลังการผลิต 1000 กิโลกรัมต่อปี
- ปีที่ 4-6 กำลังการผลิต 1500-3000 กิโลกรัมต่อปี
- ปีที่ 7 กำลังการผลิต 4000 กิโลกรัมต่อปี

แผนการให้บริการฉายรังสีอัญมณี ตามแผนการผลิตจะมีกำลังการผลิตเพื่อขึ้นตามลำดับเมื่อเทียบกับการผลิตในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนการผลิตของกลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี

4.2.3 ด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์

การฉายรังสีสำหรับปรับปรุงพันธุศาสตร์ของกลุ่มงานส่วนใหญ่จะเป็นงานวิจัยภายในสถาบันฯ ทั้งด้านการปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจและพันธุ์ไม้ดอกเศรษฐกิจรวมทั้งปรับปรุงพันธุกรรมจุลินทรีย์และแมลง การให้บริการจะเป็นการบริการทำวิจัย ในรูปแบบการทำวิจัยร่วมกับหน่วยงานมหาวิทยาลัยหรือสถาบันวิจัยต่างๆ

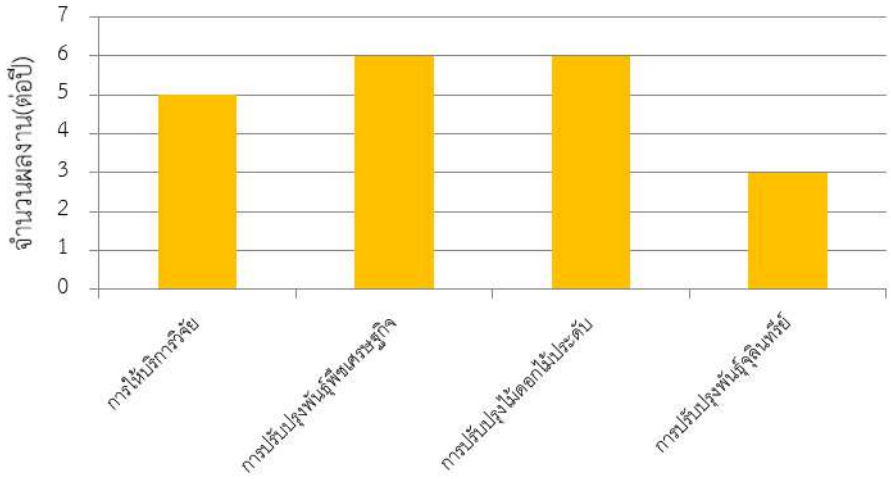
โดยปกติกลุ่มงานปรับปรุงพันธุ์จะมีโครงการปรับปรุงพันธุ์พืชอยู่ประมาณอย่างน้อย 2 โครงการต่อปีที่เป็นของ สทน. เอง และในแต่ละปีจะมีทั้งภาครัฐและเอกชนรวมถึงบุคคลมาขอให้ฝ่ายวิจัยและพัฒนาร่วมวิจัย หรือประสานงานฉายรังสีต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงพันธุ์พืช แมลง และจุลินทรีย์ รวมถึงแนะนำปริมาณรังสีที่เหมาะสม ประมาณ 5 รายต่อปีโดยรวม

พืชที่อยู่ในความสนใจในช่วงที่ผ่านมาและในอนาคตได้แก่ กลุ่มพืชเศรษฐกิจ: ข้าว พริก ถั่วเขียว ถั่วเหลือง มะเขือเทศ กลุ่มไม้ดอกไม้ประดับ: บัวหลวง บัวอื่น ๆ ทิวลิป ปทุมมา สับปะรดสี เบญจมาศ ดาวเรือง (ดาวเรืองสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้) กลุ่มพืชใหม่ที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจ: มะเดื่อฝรั่ง สาหร่ายแดง กลุ่มเมล็ดพันธุ์พืชเป็นธุรกิจส่งออกที่มูลค่าสูงในส่วนของภาคเอกชน

การปรับปรุงพันธุ์สัตว์โดยวิธีการกลายพันธุ์ด้วยการฉายรังสีนิวตรอนเป็นวิธีหนึ่งในการปรับปรุงพันธุ์ของจุลินทรีย์ แมลง ให้ได้ลักษณะพิเศษตามความต้องการเพื่อประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น (1) เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรดซิตริกของ *Aspergillus niger* (2) เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแคโรทีนอยด์ (ชนิด Astaxanthin) ของ *Xanthophyllomyces dendrorhous* สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและ

อาหารเสริมที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (3) เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรดแลคติกโดย *Rhizopus oryzae* ซึ่งเป็นต้นน้ำของการผลิตเม็ดพลาสติก PLA (4) เพิ่มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการยับยั้งการเกิดโรคในข้าว

แผนการผลิตในส่วนของกลุ่มงานด้านปรับปรุงพันธุ์ศาสตร์เมื่อเริ่มเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ได้แก่ การให้บริการวิจัย 5 รายต่อปี การปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจ 6 ชนิด การปรับปรุงพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับ 6 ชนิด และการปรับปรุงพันธุ์จุลินทรีย์ 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.4

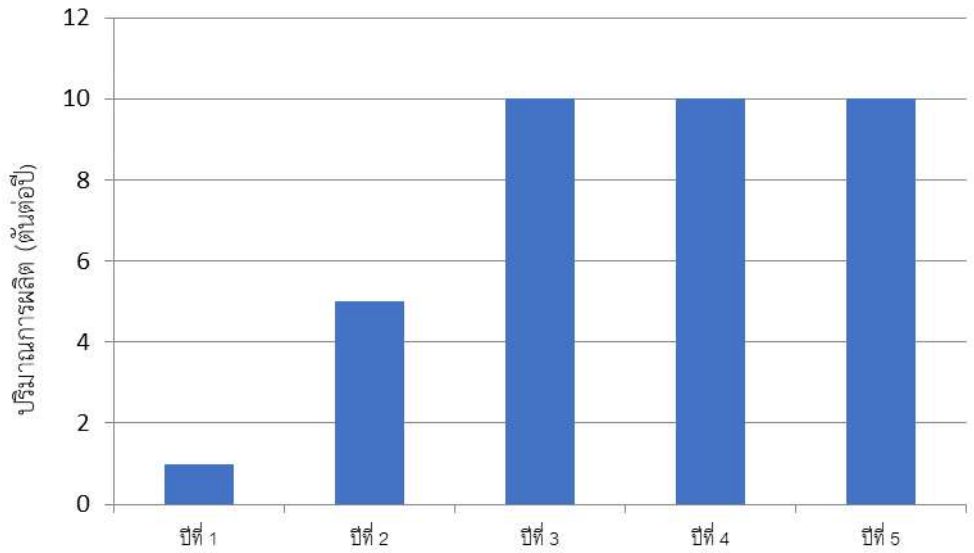


รูปที่ 4.4 แผนการผลิตของกลุ่มงานปรับปรุงพันธุศาสตร์

4.2.4 ด้านการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน

การโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน (Neutron Transmutation Doping: NTD) เป็นเทคโนโลยีใหม่และมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยไม่กี่ตัวในโลกที่มีความสามารถโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน จากข้อมูลคาดการณ์ตลาดโลกในปัจจุบันจนถึงปี ค.ศ. 2030 มีความต้องการโดปสารกึ่งตัวนำเพื่อนำไปผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronic device) อยู่ในระดับ 3,660 ตันต่อปี โดยเฉพาะอุตสาหกรรมรถยนต์ไฮบริดและพลังงานทดแทน จากการศึกษาข้อมูลปริมาณการผลิตจากศูนย์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีการให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน เช่น HANARO และ ANSTO มีส่วนแบ่งการให้บริการจากตลาดโลก 10-20 ตันต่อปีราคาให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอนกิโลกรัมละ 100 เหรียญสหรัฐ แผนการให้บริการมีผลผลิตเป้าหมายดังนี้

กำลังการผลิตตามคาดการณ์ว่าสามารถแบ่งการผลิตจากตลาดโลกได้ 10 ตันต่อปี มีแผนการผลิตในช่วงปีแรก 1 ตัน ปีที่ 2 จะสามารถผลิตได้ 5 ตัน และในปีถัดๆไปจะสามารถผลิตได้ถึง 10 ตันดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนการผลิตของกลุ่มงานโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน

4.2.5 ด้านการวิจัยและนวัตกรรม

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่มีแผนการติดตั้งท่อนำลำนิวตรอน 7 beam line ซึ่งเป็นส่วนสนับสนุนงานวิจัยด้าน Neutron diffraction และ Neutron scattering สำหรับใช้ประโยชน์ในด้านการวิจัยขั้นสูง และการวิเคราะห์องค์ประกอบโครงสร้างโมเลกุลหรือสารประกอบของวัสดุธาตุเบา การวิจัยโครงสร้างทางชีวโมเลกุลและอันตรกิริยาทางชีวเคมี เช่น การศึกษา Enzyme-drug interaction โครงสร้างของชีวโมเลกุลที่สำคัญในอุตสาหกรรมยา อาหาร และการเกษตร การวิจัยเชิงลึกเพื่อสนับสนุนข้อมูลในการต่อยอดนวัตกรรม การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ รวมถึงส่วนสนับสนุนลำนิวตรอนสำหรับการถ่ายภาพนิวตรอนและการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค NAA และ PGNAA

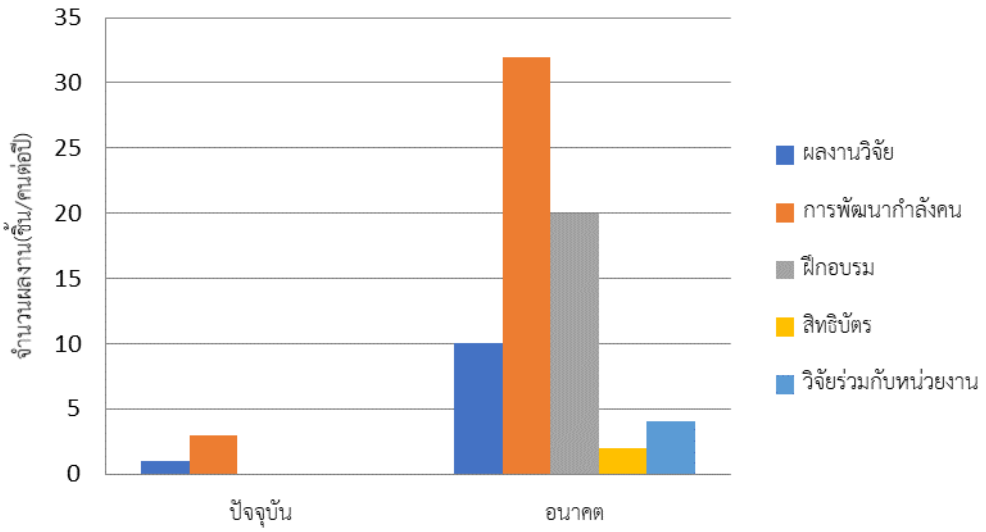
แผนการผลิตของกลุ่มงาน ประกอบด้วย ผลงานวิจัยประมาณ 10 ผลงานต่อปีตามจำนวนบุคลากรในระดับวิจัยที่เพิ่มขึ้นและงานวิจัยที่ทำร่วมกับหน่วยงานอื่น 4 ผลงานต่อปี รวมถึงผลงานวิจัยที่นำไปสู่นวัตกรรมและทรัพย์สินทางปัญญา 2 ชิ้นงานต่อปี นอกจากนี้ ลดค่าใช้จ่ายในการส่งบุคลากรไปศึกษาวิจัยระดับปริญญาเอกในต่างประเทศ 2 คนต่อปี และสามารถรองรับการพัฒนากำลังคนทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ได้อย่างน้อย 30 คนต่อปี ในระดับการศึกษาต่างๆ ดังนี้

- ปริญญาตรี วิศวกรรมนิวเคลียร์ 5 คน
- ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ 10 คน
- ปริญญาโท ฟิสิกส์การแพทย์ 4 คน
- ปริญญาโท วิศวกรรมนิวเคลียร์ 3 คน

- ปริญญาโท วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ 6 คน
- ปริญญาเอก วิศวกรรมนิวเคลียร์ 2 คน

นอกจากการให้บริการด้านงานวิจัยแล้ว ยังใช้ในการฝึกอบรมเตรียมความพร้อมบุคลากรในโครงการโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เพื่อรองรับแผนการพัฒนาการผลิตไฟฟ้า PDP 2015 จำนวน 20 คนต่อปี รวมถึงการศึกษาดูงานของเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตและนิสิตนักศึกษา รวมทั้งผู้ที่สนใจเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานนิวเคลียร์

แผนการผลิตของกลุ่มงานด้านผลงานวิจัยและนวัตกรรมงานวิจัยร่วมกับหน่วยงานอื่นๆ รวมถึงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ เมื่อเทียบกับปัจจุบันผลผลิตจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนการผลิตของกลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม

4.2.6 ด้านการทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ

แผนการให้บริการด้านการทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ มีผลผลิตเป้าหมายการให้บริการ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธี Neutron Activation Analysis (NAA) เป็นการวิเคราะห์ธาตุด้วยการอาบนิวตรอนซึ่งเป็นการวิเคราะห์ธาตุแบบทำลายตัวอย่าง ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุที่มีปริมาณต่ำมาก วัสดุที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นตัวอย่างวัสดุในกลุ่มงานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การวิเคราะห์เถ้าลอย (Fly Ash) เพื่อการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment, EIA) จากโรงไฟฟ้าเพื่อหาข้อมูลในการทำของโรงไฟฟ้า งานทางด้านศิลปวัฒนธรรม และงานด้านตรวจสอบแร่ธาตุโดยเฉพาะธาตุหายาก (Rare Earth) จากหน่วยงานกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ข้อมูล

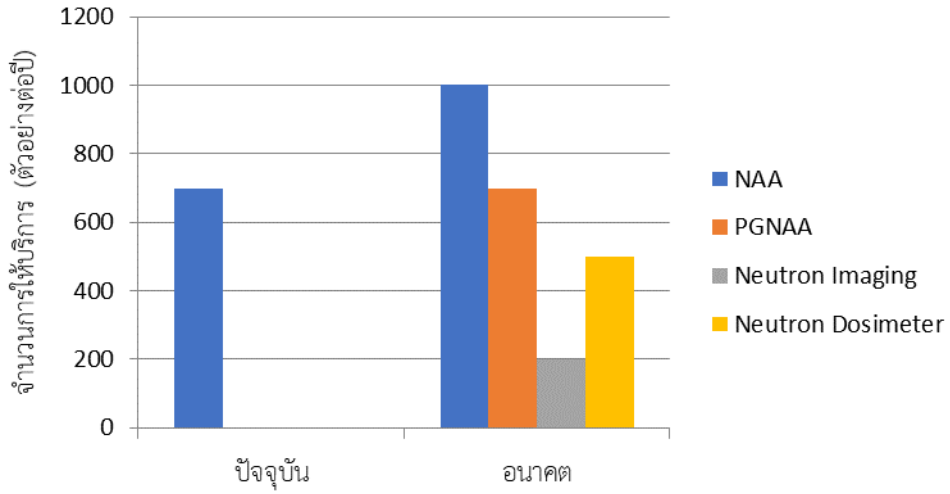
จากแผนธุรกิจเดิมนั้นการวิเคราะห์ด้วย NAA ประเมินไว้ 1,000 ครั้งต่อปี โดยคิดค่าบริการครั้งละ 1,000 บาท

2. การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธี Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNAA) สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุที่เทคนิค NAA ไม่สามารถทำได้ เช่น ธาตุ H, C, O, B งานส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์วัสดุทางอุตสาหกรรม เช่น ธาตุองค์ประกอบในปูนซีเมนต์และถ่านหิน ปัจจุบันยังไม่เปิดให้บริการและมีข้อจำกัดในการวัดตัวอย่างได้ประมาณ 1-2 ตัวอย่างต่อวัน (ประมาณ 700 ตัวอย่างต่อปี) ในระยะแรกคิดค่าบริการครั้งละ 1,500 บาท

3. การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน (Neutron imaging) เป็นงานสนับสนุนงานทางด้านศิลปวัตถุและศิลปวัฒนธรรมของกรมศิลปากรเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของการถ่ายภาพทางชีวภาพรวมถึงชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรม ประมาณ 200 ตัวอย่างต่อปีคิดค่าบริการครั้งละ 2,000 บาท

4. การให้บริการด้านการตรวจวัดปริมาณรังสีของนิวตรอน (Neutron dosimeter) เป็นการบริการในกลุ่มผู้ที่ทำงานที่เกี่ยวข้องกับนิวตรอน เช่น กลุ่มโรงพยาบาลราคาในการบริการ 200 บาทสำหรับการบริการวัดโดสนิวตรอนซึ่งเป็นส่วนเพิ่มจากส่วนที่เป็นการให้บริการหลัก ประมาณ 500 รายต่อปี

แผนการผลิตของกลุ่มงานวิเคราะห์และทดสอบวัสดุจะเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณและเทคนิคการวิเคราะห์เมื่อเทียบกับปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนการผลิตของกลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ

4.3 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบสนับสนุนกระบวนการผลิต

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนเพื่อรองรับระบบการผลิตไอโซโทปรังสีและการประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ของโครงการ ฯ เพื่อให้ได้ผลผลิตตามแผนการผลิตอย่างปลอดภัย ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดที่เหมาะสมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการของกลุ่มงานต่างๆ และกำบังรังสี ระบบป้องกันทางกายภาพและความมั่นคงปลอดภัย (Security and physical protection) ตามข้อกำหนดของสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ทั้งในประเทศ[1]และสากล[2]รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับรองรับงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

1. ระบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยประกอบด้วย บ่อเครื่องปฏิกรณ์ แกนแท่งเชื้อเพลิง ระบบท่อระบายความร้อน และกลไกหน่วงนิวตรอน

2. ระบบป้องกันเพื่อความปลอดภัยในส่วนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ประกอบด้วย ระบบหยุดเดินเครื่อง ระบบหล่อเย็นแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน ระบบระบายอากาศ ระบบควบคุมฉุกเฉิน และระบบไฟฟ้าสำรอง

3. อุปกรณ์และระบบควบคุม ได้แก่ ระบบควบคุมการเดินเครื่อง ระบบควบคุมการหยุดเดินเครื่อง ระบบควบคุมการหล่อเย็นแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน อุปกรณ์นำส่งสารรังสีครึ่งชีวิตสั้นและระบบปรับความดันในอาคารให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Negative pressure ventilation system)

4. ท่ออาบรังสี (Irradiation tube) ได้แก่ ท่อผลิตไอโซโทปรังสี ท่อโดปสารกึ่งตัวนำ ท่อฉายรังสีอัญมณี และท่อสำหรับงานด้านเทคนิคก่อกัมมันต์

5. ท่อนำลำนิวตรอน (Neutron beam line) ได้แก่ ท่อนำลำนิวตรอนสำหรับงานด้านการเลี้ยวเบนนิวตรอน (Neutron diffraction) ท่อนำลำนิวตรอนสำหรับเทคนิคการกระเจิงนิวตรอน (Neutron scattering) ท่อนำลำนิวตรอนสำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอน วิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคพรอมท์แกมมา (Prompt Gamma) และอุปกรณ์ควบคุมลำนิวตรอน รวมทั้งท่อสำหรับตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ และช่องติดตั้งท่อนำลำนิวตรอนที่เตรียมการเพื่อการพัฒนาในอนาคต โดยมีความต้องการฟลักซ์นิวตรอนในตารางที่ 4.1

---

[1] ตามร่างกฎกระทรวงที่ออกตามความในพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. ๒๕๕๙ ว่าด้วยกำหนดวิธีการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของวัสดุนิวเคลียร์และสภานประกอบการทางนิวเคลียร์ และร่างกฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการพิทักษ์ความปลอดภัยทางนิวเคลียร์ พ.ศ. ..... (มาตรา 91)

[2] - IAEA Safety Guide No. NS-G-4.6, Radiation Protection and Radioactive Waste Management in the Design and Operation of Research Reactor, 2008
- IAEA Safety Requirements No. NS-R-4, Safety of Research Reactor, 2005
- IAEA Nuclear Security Series No. 13, The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, INFCIR/225/Rev.5, 2011

ท่อนำลำนิวตรอนที่วางแผนติดตั้งมีจำนวนทั้งหมด 7 Beam line ดังนี้

- 1 Beam line สำหรับการถ่ายภาพนิวตรอน (Neutron radiography) เป็นท่อนำนิวตรอน (Neutron flight tube; L/D 100-200, neutron flux 10^7-10^6 n/cm^2.s) พร้อมระบบสุญญากาศและระบบปล่อยก๊าซ
- 1 Beam line สำหรับงานวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค Prompt Gamma Neutron Activation analysis
- 1 Beam line สำหรับ High resolution powder diffraction
- 1 Beam line สำหรับ small angle neutron scattering
- 1 Beam line สำหรับ Multi-purpose triple-axis spectrometer and residual stress instrument
- 1 Beam line สำหรับตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ Large sample irradiation
- 1 Beam port สำรองไว้ สำหรับการขยายแผนผลิตในอนาคต

6. ระบบระบายความร้อนได้แก่ ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบเครื่องสูบน้ำ และระบบแผงทำความเย็น

4.3.2 ระบบความปลอดภัยทางรังสี และความมั่นคงปลอดภัย

1. ระบบป้องกันทางกายภาพ (Physical protection system) เช่น ระบบป้องกันอัคคีภัย (เครื่องตรวจจับควันและระบบฉีดน้ำ) ระบบป้องกันการก่อวินาศกรรม ระบบป้องกันฟ้าผ่า ระบบบันทึกการเข้าออกสำหรับบุคคลระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด และระบบแจ้งเตือนผู้รุกล้ำ เป็นต้น

2.ระบบความมั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์ (Nuclear security system) เช่น ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว ระบบมอนิเตอร์ระดับรังสี ระบบประตูเฝ้าระวังเพื่อตรวจวัดรังสี เป็นต้น

3. ระบบความปลอดภัยทางรังสี (Radiation safety) เช่น เครื่องวัดรังสีส่วนบุคคล เครื่องวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมสำหรับสถานประกอบการ ชุดอุปกรณ์วัดรังสีสำหรับเหตุฉุกเฉิน เครื่องวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสี เป็นต้น

4.3.3 ส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการและกำบังรังสี

แผนการติดตั้งส่วนสนับสนุนการปฏิบัติงานประเมินจากกำลังการผลิตและชนิดไอโซโทป รวมทั้งงานบริการอื่นๆ จากข้อมูลการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคโดยมีข้อพิจารณาหลัก ได้แก่ มาตรฐานสากลในการก่อสร้าง พื้นที่ใช้งาน ความเหมาะสมทางเทคนิคและการติดตั้ง ระบบความปลอดภัย เป็นต้น ส่วนสนับสนุนและระบบต่างๆ ได้แก่

1. ส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการและกำบังรังสีซึ่งเป็นอาคารของบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ ห้องระบบควบคุม ห้องปฏิบัติการทดลองและโถงบริเวณปฏิบัติการลำนิวตรอน

2. ส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการและกำบังรังสีซึ่งเป็นอาคารสำหรับติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ผลิตไอโซโทป โดยมีพื้นที่ในขนาดพอเหมาะกับการทำงาน

3. ระบบสาธารณูปโภคสำหรับอาคาร เช่น ท่อน้ำใช้ ท่อน้ำทิ้ง ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบโทรคมนาคม และระบบเครือข่ายข้อมูล เป็นต้น

4. ระบบความป้องกันทางกายภาพและความมั่นคงปลอดภัยตามมาตรฐานสากลเช่น ระบบป้องกันอัคคีภัย (Smoke detector และ Sprinkler) ระบบป้องกันการก่อวินาศกรรม ระบบป้องกันฟ้าผ่า ระบบบันทึกการเข้าออกสำหรับบุคลากรและผู้เข้าเยี่ยมชมรวมถึงระบบเฝ้าตรวจระวังทางรังสี เป็นต้น

4.3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือสนับสนุนงานวิจัย

แผนการติดตั้งใช้ข้อมูลความต้องการด้านเทคนิคจากการประชุมหารือด้านเทคนิคกับผู้เชี่ยวชาญของแต่ละกลุ่มงาน เพื่อรองรับแผนการผลิต ดังนี้

1. กลุ่มงานด้านการผลิตไอโซโทปรังสี

ระบบสนับสนุนในการผลิตไอโซโทปรังสี ที่วางแผนการผลิตไว้ มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่

- Hot cell จำนวนประมาณ 21 Isolate set และ 3 Hot cell set
- ระบบนำส่งแบบ Pneumatic
- ท่ออาบรังสี (Access core)
- ห้องปฏิบัติการที่เป็นห้องสะอาด (Clean room) เกรด D ขึ้นไป
- ในอาคารต้องมีความดันอากาศต่ำกว่า 1 บรรยากาศ (Negative pressure) เพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีที่ฟุ้งในอากาศออกไปจากอาคารได้
- มีระบบหมุนเวียนอากาศและกักเก็บอากาศในอาคาร (Ventilation/Air condition – VAC) โดยมีระบบกรองอากาศแบบต่อเนื่อง โดยใช้แผ่นกรองที่มีประสิทธิภาพสูง
- มีระบบควบคุมและเฝ้าระวังระดับรังสี ที่มีระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (Uninterrupted power supply – UPS) สำหรับระบบงานคอมพิวเตอร์
- ปั้นจั่นที่รับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า 5 ตัน ติดตั้งไว้ที่ทางเข้าของอาคาร เพื่อจัดการเคลื่อนย้ายหีบห่อบรรจุสารกัมมันตรังสีความแรงรังสีสูงมาก
- รอกไฟฟ้าในบริเวณทางเข้าของอาคารเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นล่างไปชั้นที่สูงขึ้น
- ระบบโทรทัศน์วงจรปิด เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของวัสดุที่เคลื่อนย้าย

- ระบบควบคุมการเปรอะเปื้อนพื้นที่ปฏิบัติการรังสี เช่น Hands-Shoes monitor, whole body counter, thyroid counter เป็นต้น
- ระบบ Emergency shower และ emergency eye wash
- ระบบไฟฟ้าสำรองแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพียงพอสำหรับการใช้งานทั้งอาคาร

2. กลุ่มงานด้านการฉายรังสีอัญมณี

ระบบสนับสนุนในการฉายรังสีอัญมณี ที่วางแผนการผลิตไว้ มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่

- ชุดวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาประสิทธิภาพสูง 1 ชุด
- เครื่องสำรวจรังสี 2 ชุด
- ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน สำหรับปรับเทียบระบบวิเคราะห์สเปกตรัม
- Aluminum container สำหรับบรรจุพลอย
- ระบบโหลดพลอยเข้าออก
- ระบบบรรจุพลอยใส่ท่ออาบรังสีแบบอัตโนมัติ
- สายพานลำเลียงเข้าออก
- ระบบเฝ้าตรวจวัดปริมาณรังสี
- ระบบทำความสะอาด Ultrasonic
- เตาอบลมร้อน
- ห้องนิรภัยสำหรับเก็บพลอยทั้งแบบ Wet storage และ dry storage
- อุปกรณ์กำบังรังสีสำหรับการนำพลอยออกจากภาชนะ
- ระบบบำบัดน้ำจากการชะล้างพลอยหลังการฉายนิวตรอน

3. กลุ่มงานด้านการปรับปรุงพันธุศาสตร์

ระบบสนับสนุนงานด้านการปรับปรุงพันธุศาสตร์ ที่วางแผนการผลิตไว้ มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่

- ระบบอัตโนมัติในการนำส่งตัวอย่าง
- สถานที่สำหรับปล่อยทิ้งให้สารกัมมันตรังสีสลายตัว

4. กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม

ระบบสนับสนุนงานวิจัยและนวัตกรรม ที่วางแผนการผลิตไว้ มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่

- ชุดวิเคราะห์สเปกตรัมนิวตรอนประสิทธิภาพสูง 1 ชุด
- อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพพร้อมกำบังรังสี รวมถึง Neutron guide และ Flight tube
- อุปกรณ์ตรวจวัดรังสีนิวตรอนแบบอ่านแทรคซ์ (track) ชนิด CR-39
- ระบบเปิด-ปิดชัตเตอร์นิวตรอนอัตโนมัติ
- ระบบกำบังรังสีนิวตรอนและรังสีแกมมา
- ท่อควบคุมลำนิวตรอน
- กล้องถ่ายภาพสีนิวตรอนสำหรับถ่ายภาพ 2 มิติ 3 มิติ และภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีโอ (dynamic imaging)
- กล้องถ่ายภาพรังสีนิวตรอนสำหรับ Fast neutron (option)
- ชุดหมุนตัวอย่างพร้อมแกนเลื่อนตำแหน่ง 3 แกน (Precise rotation stage with 3-axis translation)
- ชุดคอมพิวเตอร์ควบคุมทางไกล พร้อมโปรแกรมควบคุมการถ่ายภาพ การหมุนและเคลื่อนที่ของตัวอย่างอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ อย่างน้อย 2 ชุด
- ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลภาพ 3 มิติ อย่างน้อย 1 ชุด
- โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพสร้างภาพโทโมกราฟีภาพ 3 มิติโปรแกรมแสดงภาพเคลื่อนไหว
- เครื่องวัดรังสีนิวตรอนและแกมมาแบบติดผนัง (Neutron/gamma area monitor)
- เครื่องสำรวจรังสีนิวตรอนและแกมมา (Neutron/gamma survey meter)
- เครื่องบันทึกรังสีประจำตัวบุคคล (Neutron/gamma pocket dosimeter)
- ระบบความปลอดภัย: ป้ายสัญญาณไฟแสดงขณะเปิดลำรังสีนิวตรอนระบบกล้องวงจรปิดในห้องถ่ายภาพด้วยรังสี

5. กลุ่มงานตรวจสอบและวิเคราะห์วัสดุ

- ระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคเรืองรังสีเอ็กซ์แบบ EDX (Energy Dispersive X-ray)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron microscope, SEM)
- สเปกโตมิเตอร์แบบรามาน (Raman spectrometer)

6. กลุ่มงานด้านการโดปสารกึ่งตัวนำ

- ระบบหมุนแท่งซิลิกอน (Silicon Rotation System)
- Self-powered neutron detector พร้อมเครื่องวัด Electrometer 1 ชุด
- ชุดวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาประสิทธิภาพสูง 1 ชุด
- เครื่องสำรวจรังสี 2 ชุด
- ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานสำหรับปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์
- อุปกรณ์ประกอบ ได้แก่ Ultrasonic bath, Straightness gauge และ Zirconium foil

ตารางที่ 4.1 รายการสรุปลักษณะความต้องการทางเทคนิคของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติงาน

กลุ่มงาน	**ความต้องการของเครื่องปฏิกรณ์**		**ความต้องการของพื้นที่สนับสนุนและเครื่องมือห้องปฏิบัติการ**
	ท่ออาบรังสี/ท่อนำลำนิวตรอน	**ฟลักซ์นิวตรอน ($n/cm^2.s$)**	
ด้านผลิตไอโซโทปรังสี	ผลิตไอโอดีน-131 (I-131)	$>10^{13}$	• Hot cell จำนวนประมาณ 21 Isolate set และ 3 Hot cell set • ระบบนำส่งแบบ Pneumatic • ท่ออาบรังสี (Access core) • ห้องปฏิบัติการที่เป็นห้องสะอาด (Clean room) เกรด D ขึ้นไป • Validation and calibration facilities
	ผลิตซัมมาเรียม -153 (Sm-153)	$>10^{13}$	
	ผลิตลูทิเนียม-177 (Lu-177)	$\geq 10^{14}$	
	ผลิตโฮเมียม-166 (Ho-166)	$>10^{13}$	
	ผลิตโมลิบดีนัม-99 (Mo-99)	$>10^{14}$	
	ผลิตซีลีเนียม-75 (Se-75)	$\geq 10^{14}$	
	ผลิตอิริเดียม-192 (Ir-192)	$\geq 10^{14}$	

กลุ่มงาน	ความต้องการของเครื่องปฏิกรณ์		ความต้องการของพื้นที่สนับสนุนและเครื่องมือห้องปฏิบัติการ
	ท่ออาบรังสี/ท่อนำลำนิวตรอน	ฟลักซ์นิวตรอน ($n/cm^2.s$)	
ด้านฉายรังสีอัญมณี	เปลี่ยนสีโทแพซ จากไม่มีสีเป็นสีฟ้า เปลี่ยนสีเพชร จากไม่มีสีเป็นสีเขียว สีฟ้า สีน้ำตาล เปลี่ยนสีคอรันดัม จากไม่มีสีเป็นสีเหลือง สีชมพู เปลี่ยนสีเบริล จากไม่มีสีเป็นสีเหลือง สีฟ้า สีเขียว	10^{13}-10^{14} (Fast neutron)	• ระบบโหลดพลอยเข้าออก • ภาชนะสำหรับบรรจุพลอยใส่ท่ออาบรังสีแบบอัตโนมัติ • สายพานลำเลียงเข้าออก • ระบบเฝ้าตรวจวัดปริมาณรังสี • เตาอบลมร้อน • ระบบทำความสะอาด Ultrasonic • ห้องปฏิบัติงานสำหรับเก็บพลอยทั้งแบบ Wet storage และ dry storage • อุปกรณ์กำบังรังสีสำหรับการนำพลอยออกจากภาชนะ • ระบบบำบัดน้ำจากการชะล้างพลอยหลังการฉายนิวตรอน

กลุ่มงาน	ความต้องการของเครื่องปฏิกรณ์		ความต้องการของพื้นที่สนับสนุนและเครื่องมือห้องปฏิบัติการ
	ท่ออาบรังสี/ท่อนำลำนิวตรอน	ฟลักซ์นิวตรอน ($n/cm^2.s$)	
การปรับปรุงพันธุศาสตร์	ท่อบรรจุตัวอย่างสำหรับฉายรังสี สำหรับตัวอย่างประมาณ 500 กรัม	10^{10}-10^{12} (Fast neutron) 10^{11}-10^{13} (Thermal neutron)	• ระบบอัตโนมัติในการนำส่งตัวอย่าง • สถานที่สำหรับปล่อยทิ้งให้สารกัมมันตรังสีสลายตัว
การวิจัยและนวัตกรรม	ต้องการทั้งหมด 7 Beam line • 1 Beam line สำหรับ Neutron radiography • 1 Beam line สำหรับ Prompt Gamma Neutron Activation analysis • 1 Beam line สำหรับ High resolution powder diffraction • 1 Beam line สำหรับ small angle neutron scattering • 1 Beam line สำหรับ Multi-purpose triple-axis spectrometer and residual stress instrument • 1 Beam line สำหรับ Large sample irradiation • 1 Beam port สำรองไว้ สำหรับการเตรียมการในอนาคต	10^{6}-10^{7} 10^{6}-10^{7} 10^{15} 10^{15} 10^{14} 10^{6}-10^{7}	• อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพพร้อมกำบังรังสี รวมถึง Neutron guide และ Flight tube • อุปกรณ์ตรวจวัดรังสีนิวตรอน CR-39 • ระบบเปิด-ปิดชัตเตอร์นิวตรอนอัตโนมัติ • ระบบกำบังรังสีนิวตรอนและแกมมา • ระบบสุญญากาศหรือระบบปล่อยก๊าซจากท่อนำลำนิวตรอน • ท่อควบคุมลำนิวตรอน • กล้องถ่ายภาพสีนิวตรอนสำหรับถ่ายภาพ 2 มิติ,3 มิติ ภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีโอ (dynamic imaging) • กล้องถ่ายภาพรังสีนิวตรอนสำหรับ fast neutron (option) • ชุดหมุนตัวอย่างพร้อมแกนเลื่อนตำแหน่ง 3 แกน

กลุ่มงาน	ความต้องการของเครื่องปฏิกรณ์		ความต้องการของพื้นที่สนับสนุนและเครื่องมือห้องปฏิบัติการ
	ท่ออาบรังสี/ท่อนำลำนิวตรอน	ฟลักซ์นิวตรอน ($n/cm^2.s$)	(Precise rotation stage with 3-axis translation) ● ชุดคอมพิวเตอร์ควบคุมทางไกล พร้อมโปรแกรมควบคุมการถ่ายภาพ การหมุนและเคลื่อนที่ของตัวอย่างอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ อย่างน้อย 2 ชุด ● ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลภาพ 3 มิติ อย่างน้อย 1 ชุด ● โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพสร้างภาพโทโมกราฟีภาพ 3 มิติโปรแกรมแสดงภาพเคลื่อนไหว ● เครื่องวัดรังสีนิวตรอนและแกมมาแบบติดผนัง (Neutron/gamma area monitor) ● เครื่องสำรวจรังสีนิวตรอนและแกมมา (Neutron/gamma survey meter) ● เครื่องบันทึกรังสีประจำตัวบุคคล (Neutron/gamma pocket dosimeter) ● ระบบความปลอดภัย: ป้ายสัญญาณไฟแสดงขณะเปิดลำรังสีนิวตรอนระบบกล้องวงจรปิดในห้องถ่ายภาพด้วยรังสี

กลุ่มงาน	ความต้องการของเครื่องปฏิกรณ์		ความต้องการของพื้นที่สนับสนุนและเครื่องมือห้องปฏิบัติการ
	ท่ออาบรังสี/ท่อนำลำนิวตรอน	ฟลักซ์นิวตรอน ($n/cm^2.s$)	
การทดสอบและการวิเคราะห์วัสดุ			• Energy Dispersive X-ray (EDX) • Scanning Electron microscope (SEM) • Raman spectrometer
การโดปสารกึ่งตัวนำ	ซิลิกอนผลึกขนาด 12 นิ้ว ใช้ D_2O และออกแบบเฉพาะในลักษณ์ Out-core irradiation	10^{12}-10^{13} (Thermal neutron)	

4.4 แผนการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

4.4.1 แผนการก่อสร้าง

ได้ศึกษาข้อมูลจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 10-20 MWและระบบสนับสุนนการปฏิบัติการที่มีกำลังผลิตและความสามารถที่ใกล้เคียงกัน สำหรับประมาณการเพื่อวางแผนด้านงบประมาณการลงทุนและการก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ทั้งนี้การกำหนดแนวทางการก่อสร้างและปฏิบัติงานต้องเป็นไปภายใต้ พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติพ.ศ. ๒๕๕๙ รวมทั้งควรพิจารณาถึงคำแนะนำของทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) ดังปรากฏในเอกสาร อาทิ เช่น IAEA Specific Safety Guide No.SSG-38, IAEA Security Series No.19 และ INFCIRC/140 Treaty on The Non-Proliferation of Nuclear Weapons

สำหรับช่วงแผนดำเนินการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบสนับสนุนการปฏิบัติการนั้น มีรายละเอียดดังนี้

<u>แผนการก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่</u>

การดำเนินงานมีขั้นตอนดังนี้[3]

1. Preliminary engineering เป็นขั้นตอนการเตรียมการด้านวิศวกรรม และการเตรียมทำรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัย (Safety Analysis Report - SAR) รวมถึงการทบทวนการออกแบบร่วมกันระหว่างผู้ว่าจ้างผู้รับจ้าง และที่ปรึกษาในตอนเริ่มต้นของโครงการ โดยต้องมีการลงนามในสัญญาว่าจ้างแล้ว ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 1 ปี
2. Detailed engineering เป็นขั้นตอนการคำนวณต่างๆ อย่างละเอียด การออกข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) และการเขียนแบบเพื่อการอนุมัติและผลิตองค์ประกอบต่างๆ รวมถึงต้องส่งรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัยเบื้องต้น (Preliminary Safety Analysis Report - PSAR) ให้กับหน่วยงานกำกับดูแลความปลอดภัยภายในช่วงเริ่มต้นของการดำเนินงาน ขั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 2 ปี โดยจะเริ่มดำเนินการหลังขั้นตอน Preliminary engineering เสร็จสิ้น
3. Civil works เป็นขั้นตอนการให้รายละเอียดต่างๆ วัสดุก่อสร้าง (BOQ) กำลังคน แบบหล่อสำหรับคอนกรีตกำบังรังสี การสนับสนุนทางด้านวิศวกรรมและการประกันคุณภาพ ตลอดจน

[3] Trends in research reactor design and utilization, Pablo M. Abbate,Meeting on Design & Utilization Aspects for a new Research Reactor, IAEA/VAEC 1April 2005,Hanoi,Vietnam

การก่อสร้างอาคารสนับสนุนต่างๆ รวมถึงอาคารเครื่องปฏิกรณ์ มีการสร้างฐานราก กำบังรังสีต่างๆ ผนัง บันได ขั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 2 ปีครึ่งการดำเนินการในขั้นตอนนี้จะเริ่มประมาณครึ่งปีก่อนการสิ้นสุดขั้นตอน Detailed engineering

4. Management and procurement เป็นขั้นตอนให้ได้มาซึ่งองค์ประกอบต่างๆโดยผู้ถูกว่าจ้าง ทั้งนี้ผู้ถูกว่าจ้างจะจัดหาและหรือจัดสร้างส่วนประกอบที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ : ปั๊มอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ท่อต่างๆ หอระบายความร้อน (Cooling tower) สายไฟฟ้าและสายสัญญาณต่างๆ คอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องมือต่าง ๆ (Instrument) หม้อแปลงไฟฟ้า แผงจ่ายกำลังไฟฟ้า (Distribution board) ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบป้องกันอัคคีภัย ระบบไฟฟ้าแรงสูง ระบบปรับสภาพอากาศ (Heating ventilation and air conditioning ; HVAC) กระจกป้องกันรังสี และระบบควบคุมแขนกลระยะไกล (Tele-manipulator) สำหรับปฏิบัติงานรังสีสูง

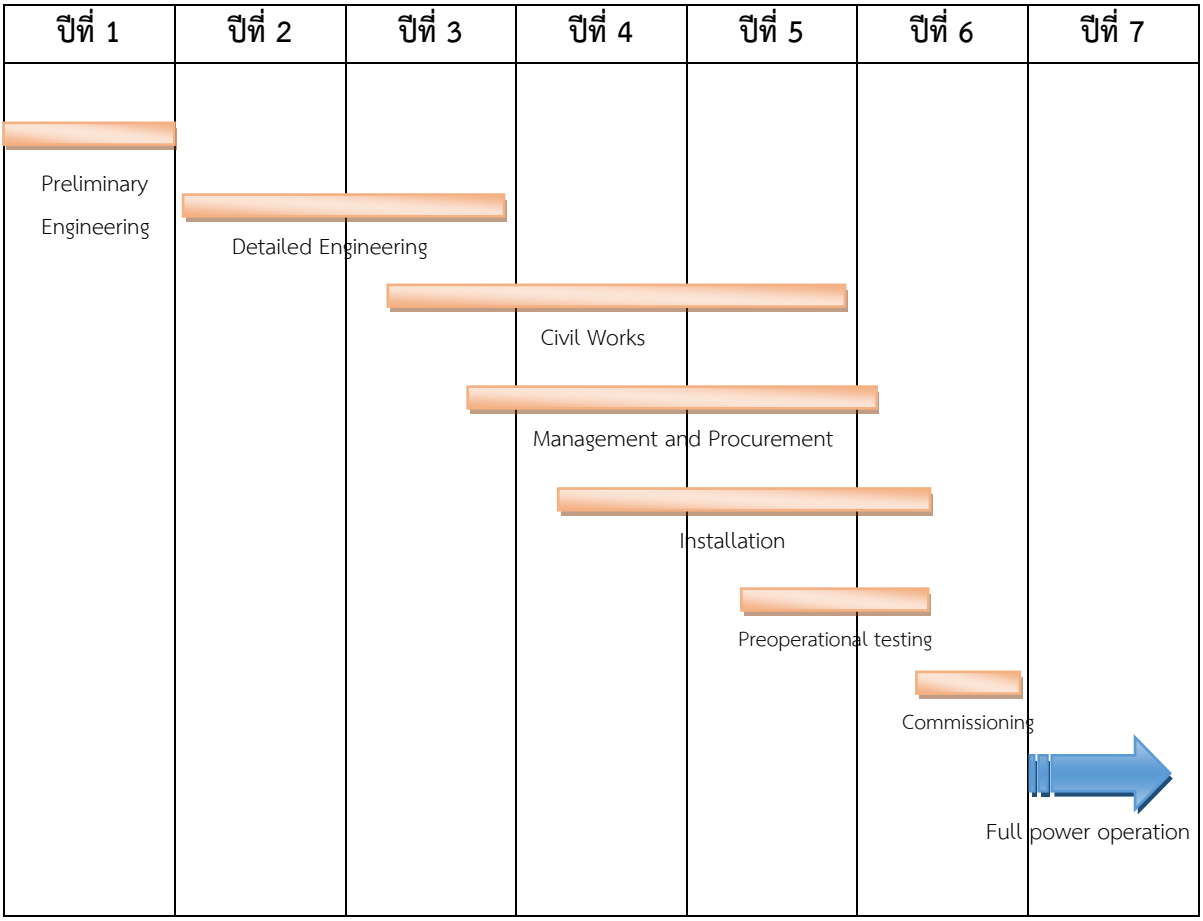
   สำหรับองค์ประกอบอีกส่วนหนึ่งที่ต้องจัดเตรียมขึ้น ได้แก่ : บ่อบรรจุแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์และบ่อเสริม (Auxiliary pool) โครงสร้างสำหรับรองรับแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์และบ่อเสริมอุปกรณ์ประกอบภายในของ Hot cell ตัวขับเคลื่อนแท่งควบคุม แผงควบคุมชัตเตอร์เปิดปิดลำนิวตรอน (Neutron beam shutter) โดยทั้งหมดนี้ รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพการสนับสนุนทางด้านวิศวกรรม และการขนส่ง ขั้นตอนนี้จะดำเนินการควบคู่ไปกับขั้นตอนที่ 3 (Civil works) โดยจะเริ่มต้นและเสร็จสิ้นช้ากว่าเล็กน้อย

5. Installation เป็นขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์และระบบต่างๆการเชื่อมต่อและประกอบวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันรวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ในบ่อบรรจุเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยขั้นตอนนี้จะเริ่มประมาณครึ่งปีหลังจากขั้นตอนที่ 4 (Management and procurement) ได้เริ่มขึ้น และใช้เวลาประมาณ 2 ปีเศษ

6. Preoperational testing เป็นขั้นตอนการทดสอบระบบต่างๆ ก่อนการใช้งานจริงเพื่อตรวจสอบว่าเครื่องปฏิกรณ์ฯ และระบบต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องปลอดภัยตามที่ได้ออกแบบไว้ ความผิดพลาดในการสร้างหรือจากการออกแบบจะแสดงให้เห็นในขั้นตอนนี้ ซึ่งถ้าหากมีสิ่งบกพร่องเกิดขึ้นจะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไปได้ ทั้งนี้ต้องส่งรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัยฉบับสมบูรณ์ (Final Safety Analysis Report - FSAR) ให้กับหน่วยงานกำกับดูแลความปลอดภัยภายในขั้นตอนนี้ สำหรับการเริ่มดำเนินการนั้นจะทำได้เมื่อขั้นตอนที่ 4 (Installation) มีการดำเนินงานไปได้แล้วประมาณกึ่งหนึ่ง การดำเนินการในขั้นตอนนี้คาดว่าจะใช้ระยะเวลาประมาณ 1 ปีทั้งนี้การทดสอบภาวะวิกฤตครั้งแรก (First Criticality) ควรต้องดำเนินการเสร็จสิ้นในขั้นตอนนี้

7. Commissioning เป็นขั้นตอนเริ่มต้นการเดินเครื่องใช้งานจริงของระบบต่าง ๆ โดยเริ่มทำหลังเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 6 (Preoperational testing) และใช้ระยะเวลาประมาณครึ่งปี เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้แล้วถือได้ว่าระบบมีความเรียบร้อยสมบูรณ์ สามารถเดินเครื่องเต็มกำลังและใช้งานได้ตามความต้องการ

ในการว่าจ้างที่ปรึกษาโครงการนั้น จะต้องจ้างตั้งแต่ก่อนขั้นตอนแรกจะเริ่มขึ้น เพื่อให้คำปรึกษาตั้งแต่ระยะเริ่มต้นในการยกร่างข้อกำหนดทางเทคนิคและสัญญาสากล (TOR) ตลอดจนติดตามตรวจตราดูแลงานจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ โดยรวมแล้วจะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงเดินเครื่องได้สมบูรณ์ประมาณ 6 ปี หรืออาจเร็วกว่านั้น หากไม่มีความล่าช้าในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง



รูปที่ 4.8 แผนการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่

<u>แผนการก่อสร้างระบบสนับสนุนการปฏิบัติการ</u>

ระบบการสนับสนุนการปฏิบัติการ ได้แก่ ระบบผลิตไอโซโทปรังสี ท่อนำลำนิวตรอน และห้องปฏิบัติการรังสีสูง เป็นต้น การดำเนินงานมีขั้นตอนดังนี้[4]

1. Preliminary engineering ซึ่งเป็นขั้นตอนการพัฒนาเตรียมการด้านวิศวกรรม และการเตรียมทำรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัย (Safety Analysis Report - SAR) รวมถึงการทบทวนการออกแบบให้เหมาะสมกับกำลังการผลิตไอโซโทปรังสีร่วมกันระหว่างผู้ว่าจ้าง ผู้รับจ้าง และที่ปรึกษา โดยต้องมีการลงนามในสัญญาว่าจ้างแล้ว
2. Detailed engineering ซึ่งเป็นขั้นตอนการคำนวณต่างๆ การออกแบบและเขียนแบบเพื่อที่จะซื้อและผลิตองค์ประกอบต่างๆ ในการผลิตไอโซโทปรังสี รวมถึงต้องส่งรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัยเบื้องต้น (Preliminary Safety Analysis Report - PSAR) ให้กับหน่วยงานกำกับดูแลภายในระยะแรกของการดำเนินการในขั้นตอนนี้ด้วย
3. Civil works ซึ่งเป็นขั้นตอนการก่อสร้างอาคารต่างๆ มีการสร้างฐานราก กำบังรังสี การวางระบบสาธารณูปโภค ผนัง บันได รวมถึงการให้รายละเอียดต่างๆ วัสดุก่อสร้าง กำลังคน แบบหล่อสำหรับคอนกรีตกำบังรังสี การสนับสนุนทางด้านวิศวกรรมและการประกันคุณภาพ
4. Management and procurement เป็นขั้นตอนให้ได้มาซึ่งองค์ประกอบต่างๆ โดยดำเนินการจัดหาองค์ประกอบทั้งหมดนี้ รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพ การสนับสนุนทางด้านวิศวกรรม และการขนส่ง
5. Installation เป็นขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ การเชื่อมวัสดุต่าง ๆ เข้าด้วยกันตามหลักวิศวกรรม และการติดตั้ง Hot cell
6. Preoperational testing เป็นขั้นตอนการทดสอบระบบต่างๆ ก่อนการใช้งานจริง เพื่อที่จะแสดงว่าระบบ Manipulator และระบบต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยตามที่ได้ออกแบบไว้ ความผิดพลาดในการสร้างหรือจากการออกแบบ จะถูกแสดงให้เห็นในขั้นตอนนี้ ซึ่งถ้าหากมีจริงจะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไปได้
7. Commissioning เป็นขั้นตอนเริ่มการใช้งานจริงของระบบต่างๆ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้แล้วถือได้ว่าระบบมีความเรียบร้อยสมบูรณ์สามารถใช้งานตามความต้องการใช้งานได้

[4] Trends in research reactor design and utilization, Pablo M. Abbate, Meeting on Design & Utilization Aspects for a new Research Reactor, IAEA/VAEC 1April 2005,Hanoi,Vietnam

การก่อสร้างส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการจะทำคู่ขนานกับการก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย โดยใช้เวลาก่อสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ประมาณ 3 ปี

การจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์เพิ่มเติมในส่วนห้องปฏิบัติการที่จัดหาแยกจากการประมูล ของกลุ่มงานย่อยวิจัยและพัฒนาไอโซโทปและเภสัชรังสี กลุ่มงานด้านการฉายรังสีอัญมณี กลุ่มงานด้านการโดปสารกึ่งตัวนำและกลุ่มงานด้านการตรวจสอบวัสดุ สามารถวางแผนจัดซื้อตามความเหมาะสมของแต่ละกลุ่มงาน เพื่อการเตรียมการรองรับงานล่วงหน้า

4.4.2 แผนการจัดการเครื่องมือและอุปกรณ์

สทน. เคยมีประสบการณ์ในการบริหารจัดการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 2 MW และส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการเพื่อให้บริการมาแล้ว แต่เมื่อเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีกำลังสูงขึ้นและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการมีความทันสมัยและซับซ้อนขึ้น จะต้องจัดเตรียมเพิ่มหรือจัดแบ่งกำลังคนเพื่อเข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีทั้งในส่วนการควบคุมการเดินเครื่องและการบำรุงรักษา ให้เป็นไปตามการกำกับดูแลความปลอดภัยและบริหารการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ตามวัตถุประสงค์ ในการดำเนินการนี้ยังคงต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติพ.ศ.๒๕๕๙ รวมทั้งควรพิจารณาถึงคำแนะนำของทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) ดังปรากฏในเอกสาร อาทิ เช่น IAEA Safety Guide No.NS-G-4.5, IAEA Security Series No.19 และ INFCIRC/140 Treaty on The Non-Proliferation of Nuclear Weapons

การดำเนินการในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

1. การฝึกอบรม (Training) เป็นการฝึกอบรมกำลังคนเพื่อทบทวนระบบทั่วไปและการถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบใหม่ โดยแบ่งออกเป็น
    - การฝึกอบรมพื้นฐานการทำงานของระบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ การฝึกปฏิบัติเดินเครื่องจนได้รับใบอนุญาตเดินเครื่อง รวมถึงกลุ่มผลิตไอโซโทปรังสี กลุ่มโดปสารกึ่งตัวนำและกลุ่มฉายรังสีอัญมณี ให้สัมฤทธิผลในการใช้ระบบ
    - การฝึกอบรมวิศวกรซ่อมบำรุงให้สามารถบำรุงรักษาระบบพื้นฐาน จนถึงการดูแลรักษาและการจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

2. การบำรุงรักษา (Maintenance) เป็นการเตรียมการเพื่อบำรุงรักษาระบบ หลังการรับมอบระบบในการดูแลโดยแบ่งออกเป็น
    - การดูแลในระยะเวลาประกันการวางแผนสำรองอะไหล่ และการสร้างแผนบำรุงรักษาทวีผลตามคำแนะนำของผู้ผลิตระบบ
    - การบำรุงรักษาทวีผลการเปลี่ยนอุปกรณ์ตามวาระ และการจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์
    - การซ่อมบำรุงเมื่อระบบขัดข้อง และการตรวจประกันความปลอดภัยตามมาตรฐานสากล
3. การบริหารเวลาให้บริการ (Reactor time management) เป็นการกำหนดนโยบายเพื่อบริหารสัดส่วนชั่วโมงใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในการวิจัย การบริการสังคมและการบริการเพื่อการเรียนการสอน โดยแบ่งออกเป็น
    - การบริการภายในได้แก่ การบริการกลุ่มงานต่างๆ ภายในองค์กร
    - การบริการภายนอก ได้แก่ การให้เช่าท่อนำลำนิวตรอน การเปิดโอกาสให้ใช้บริการเพื่อการเรียนการสอนแก่หน่วยงานภายนอก
4. การวางแผนผลิต (Production planning) เป็นการวางแผนการผลิตรองรับความต้องการผู้ใช้บริการและการบริหารชั่วโมงใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยให้ได้ประโยชน์สูงสุด ซึ่งต้องดำเนินแผนด้านการตลาดและต้องจัดการให้สอดคล้องกับแผนด้านโลจิสติกส์

4.5 เงื่อนไขการชำระค่าใช้จ่ายของโครงการ

ประมาณการด้านการลงทุนในการก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีลักษณะเฉพาะคล้ายกับขนาด 10-20 MW สามารถแบ่งเป็นสัดส่วนโดยแยกตามช่วงเวลาการดำเนินงานได้ดังนี้[5]

1. การดำเนินการในปีที่ 1 (เริ่มโครงการ) 5%
   - Preliminary engineering
2. การดำเนินการในปีที่ 2 10%
   - Detailed engineering

[5]ข้อมูลจากรายงานการศึกษาโครงการ “ความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านแทโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและระบบผลิตไอโซโทป”ปี 2552

3. การดำเนินการในปีที่ 3	22%
- Detailed engineering	
- Civil works	
5. การดำเนินการในปีที่ 4	25%
- Detailed engineering	
- Civil works	
- Management and procurement	
5. การดำเนินการในปีที่ 5	22%
-Civil works	
- Management and procurement	
- Installation	
- Preoperational testing	
6. การดำเนินการในปีที่ 6	10%
- Installation	
- Preoperational testing	
- Commissioning	

ส่วนที่เหลือ 6% เป็นค่าการบริหารจัดการโครงการ ค่าจ้างผู้จัดการโครงการ หัวหน้าส่วนต่างๆ บุคลากรในการดำเนินเรื่องขออนุญาตและงานเลขานุการ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเดินทางและการถ่ายทอดเทคโนโลยี เป็นต้น อย่างไรก็ตามข้อมูลข้างต้นเป็นเพียงแค่ประมาณการเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงจะแตกต่างจากนี้ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่จะสร้างและอัตราค่าจ้างแรงงานในแต่ละประเทศ

ในส่วนของการประมาณการด้านการลงทุนในการก่อสร้างอาคารและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการที่มีลักษณะเฉพาะคล้ายกันนั้นสามารถใช้เงื่อนไขชำระเงินตามขั้นตอนการดำเนินงานเช่นเดียวกับการก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

การประมาณการลงทุนสำหรับการก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ได้แบ่งช่วงเวลาและจำนวนเงินต้องชำระในแต่ละปี เพื่อใช้เป็นแนวทางการลงทุนของ สทน. (หน่วย: ล้านเหรียญสหรัฐ) โดยอ้างอิงจากการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของประเทศเกาหลี ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แผนการลงทุนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ประเทศเกาหลี[6]

	ปี 1	**ปี 2**	**ปี 3**	**ปี 4**	**ปี 5**	**ปี 6**	**รวม**
การเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง	10.2	6.1	6.1	-	-	-	22.4
อาคารเครื่องปฏิกรณ์และเครื่องปฏิกรณ์ฯ	6.1	55.1	83.7	72.4	63.3	28.0	308.6
เชื้อเพลิง	0.6	1.4	1.0	2.0	4.1	3.1	12.2
ระบบผลิตไอโซโทป	1.2	6.4	14.4	15.3	15.3	7.2	59.8
ระบบผลิต NTD และวิเคราะห์ NAA	-	0.4	1.4	1.2	1.4	2.1	6.5
ระบบบำบัดกากกัมมันตรังสี	-	0.4	3.5	6.7	6.1	5.1	21.8
ระบบตรวจสอบวัสดุอาบรังสี	1.2	1.2	9.2	13.3	14.3	7.1	46.3
รวมย่อย (ล้านเหรียญสหรัฐ)	***19.3***	***71.0***	***119.3***	***110.9***	***104.5***	***52.6***	***477.6***
รวมย่อย (%)	***4.04***	***14.87***	***24.98***	***23.22***	***21.88***	***11.01***	***100***
ระบบลำนิวตรอน							
- Beam port และระบบเสริม	-	1.0	2.5	4.0	6.0	5.0	-
- เครื่องมือระบบนิวตรอน 5 เครื่อง (HRPD, FCD, RSI, NRF, TAS)	-	-	1.0	2.5	4.5	6.0	-
- Thermal Instruments Utilization	-	1.0	1.0	2.0	3.5	4.5	-
รวมย่อย (ล้านเหรียญสหรัฐ)	***-***	***2.0***	***4.5***	***8.5***	***14.0***	***15.5***	***44.5***
รวมย่อย (%)	***-***	***4.49***	***10.11***	***19.10***	***31.46***	***34.83***	***100***
รวมทั้งหมด (ล้านเหรียญสหรัฐ)	19.3	73.0	123.8	119.4	118.5	68.1	522.1
รวมทั้งหมด (%)	3.70	13.98	23.71	22.87	22.70	13.04	100

[6]ที่มา ข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก Dr. Cheol PARK, Research Reactor Technology Development Department, KAERI

ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างรวมถึงระบบทั้งหมดจะอยู่ที่ 522.1ล้านเหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 17,750 ล้านบาท (ใช้อัตราแลกเปลี่ยนที่ 34 บาทต่อ 1 เหรียญสหรัฐ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในปีแรก ค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะเป็นแค่เพียง 3.7% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่านั้น ค่าใช้จ่ายที่เหลือจะแบ่งชำระโดยเฉลี่ยในปีที่ 2-6 ในจำนวนที่ไม่ต่างกันมากนักในแต่ละปี นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าราคาอาคารเครื่องปฏิกรณ์ฯ และเครื่องปฏิกรณ์ฯ เป็นสัดส่วนที่สูงมากประมาณ 60% ของราคาทั้งหมด อย่างไรก็ตามราคาอ้างอิงนี้ เป็นราคาของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของประเทศเกาหลีใต้ในตารางที่ 4.2 สำหรับในกรณีของประเทศไทยนั้น องค์ประกอบของระบบต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ฯ รวมถึงอุปกรณ์ประกอบจะแตกต่างกัน รวมถึงมีปัจจัยจากค่าแรงในประเทศในการก่อสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ฯ ค่าวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ภาษีนำเข้า ราคาหลังจากการเจรจา ค่าเงินเฟ้อ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ฯลฯ ทำให้ตัวเลขต่าง ๆ ในตารางนี้สามารถใช้เป็นแนวทางการลงทุนสำหรับสทน. ในเบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งการที่ค่าแรงในภาคการก่อสร้างในประเทศที่ถูกกว่าในประเทศเกาหลีใต้ จะทำให้ราคาอาคารเครื่องปฏิกรณ์ฯลดลง

4.6 อายุการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ

ตามปกติเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจะมีอายุใช้งานมากกว่า 40 ปี แต่อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือจะมีอายุใช้งานแตกต่างกันไป ซึ่งเมื่อถึงอายุใช้งานก็จะต้องมีการเปลี่ยนหรือทดแทนเป็นการลงทุนเพิ่ม ได้แก่

ระบบผลิตไอโซโทปรังสี	(อายุการใช้งาน 20 ปี)
ระบบระบายความร้อนปฐมภูมิ	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ระบบระบายความร้อนทุติยภูมิ	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ระบบรักษาคุณภาพน้ำ	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ระบบฉีดน้ำกรณีฉุกเฉิน	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
หอระบายความร้อน	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ระบบอาบสารตัวอย่างด้วยลม	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ระบบเครื่องกำจัดตะกรัน	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
ระบบรักษาคุณภาพของน้ำในบ่อเก็บเชื้อเพลิง	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
รถยก	(อายุการใช้งาน 10 ปี)
คอมพิวเตอร์	(อายุการใช้งาน 5 ปี)
เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ประกอบ	(อายุการใช้งาน 5 ปี)

4.7 การซ่อมแซมและการบำรุงรักษา

ภายในระยะเวลา 2 ปีแรกจะยังไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เนื่องจากอยู่ในช่วงเวลารับประกันตามสัญญาของบริษัทผู้ผลิต เมื่อเริ่มปีที่ 3 เป็นระยะเวลาหลังรับประกันควรจะต้องวางแผนงบประมาณในอัตราเพิ่มทุกสองปี เช่น ร้อยละ 5, 6, 8 และ 10 ของมูลค่าเครื่อง เป็นต้น และเมื่อเครื่องมีอายุมากกว่า 10 ปี งบประมาณการทำสัญญาซ่อมบำรุงอาจสูงกว่าร้อยละ 10 ของราคาเครื่อง เนื่องจากมีอุปกรณ์ถึงอายุต้องเปลี่ยน อย่างไรก็ตามการมี In-house engineer ที่สามารถซ่อมบำรุงในส่วนที่ไม่ซับซ้อนและผู้ผลิตยินยอมให้ดำเนินการภายใต้กฎเกณฑ์การกำกับความปลอดภัยจะช่วยประหยัดงบประมาณ แผนการบำรุงรักษามีแนวทางดำเนินการดังนี้

- การดูแลในระยะเวลาประกันบริษัทผู้ผลิตอาจมีการวางแผนสำรองอะไหล่ระยะเวลา 2 ปี ที่จำเป็นไว้และวางแผนบำรุงรักษาทวีผลตามคำแนะนำของผู้ผลิต
- การบำรุงรักษาหลังรับประกัน อาจตกลงเป็นสัญญาจ้างเฉพาะส่วนที่ต้องอาศัยผู้ผลิต ในส่วนการเปลี่ยนอุปกรณ์ตามวาระ การตรวจบำรุงประจำปีและการจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์สามารถรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและดำเนินการเองได้
- การซ่อมบำรุงเมื่อระบบขัดข้องขึ้นอยู่กับศักยภาพของ In-house engineer และเงื่อนไขสัญญากับผู้ผลิต ซึ่งการดำเนินการต้องประกันคุณภาพตามมาตรฐานสากล

4.8 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตและการให้บริการตามแผนกำลังการผลิต เพื่อบริหารจัดการให้ตอบสนองความต้องการในด้านต่างๆ ประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

4.8.1 การเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นเครื่องผลิตนิวตรอนความเข้มสูงจากปฏิกริยาฟิชชัน (Fission) ของเชื้อเพลิงยูเนียม LEU มีเป้าหมายฟลักซ์ของนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในช่วงกลาง (Medium neutron flux density) ประมาณ 10^{14}-10^{15} n/cm^2.s กลุ่มผู้ปฏิบัติงานด้านวิศวกรรม เป็นผู้รับผิดชอบควบคุมการเดินเครื่อง ซ่อมบำรุง การจัดการแกนปฏิกรณ์ ดูแลการเปลี่ยนถ่ายเชื้อเพลิง และดูแลความปลอดภัยทั่วไปของการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย รวมถึงออกแบบและคำนวณในการให้บริการอาบรังสีและการใช้ท่อนำลำนิวตรอนในงานต่างๆ ซึ่งต้องมีการวางแผนการเดินเครื่องให้

สอดคล้องกับรอบการจองใช้บริการ และบริหารกำลังการเดินเครื่องให้ได้ฟลักซ์นิวตรอนสอดคล้องกับแผนกำลังผลิตได้แก่

1. การผลิตไอโซโทปรังสีที่สามารถตอบสนองความต้องการในประเทศทั้งด้านการแพทย์ อุตสาหกรรมและการเกษตรซึ่งต้องการฟลักซ์นิวตรอนระหว่าง 10^{13}-10^{14} n/cm^2.s

2. ท่ออาบนิวตรอนสำหรับรองรับการทำ NTD ต้องมีการออกแบบให้มี Thermal neutron flux สม่ำเสมอสูงและมีฟลักซ์นิวตรอนที่ 10^{12}-10^{13} n/cm^2.s

3. ท่ออาบนิวตรอน Fast flux และระบบระบายความร้อนสำหรับรองรับการฉายรังสีอัญมณีที่มีการตกค้างของสารกัมมันตรังสีในเนื้ออัญมณีน้อย มีฟลักซ์นิวตรอนที่ 10^{13}-10^{14} n/cm^2.s

4. ท่อนำลำนิวตรอนสำหรับงานวิจัยขั้นสูง สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนนิวตรอนและการกระเจิงนิวตรอน มีฟลักซ์นิวตรอนที่ >10^{14}-10^{15} n/cm^2.s

5. ท่อนำนิวตรอนสำหรับการถ่ายภาพนิวตรอนและการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคก่อกัมมันต์ มีฟลักซ์นิวตรอนที่ 10^{6}-10^{7} n/cm^2.s

4.8.2 การผลิตไอโซโทปรังสี

การผลิตไอโซโทปรังสี ทำได้โดยการเพิ่มนิวตรอนเข้าไปในนิวเคลียสของไอโซโทปเสถียรที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเสียสมดุลระหว่างจำนวนโปรตอนและนิวตรอนในโครงสร้างนิวเคลียสของอะตอม กลายเป็นไอโซโทปไม่เสถียรหรือ เรียกว่า “ไอโซโทปรังสี” มีการสลายตัวให้กัมมันตภาพรังสี ไอโซโทปรังสีที่ได้จะผ่านกระบวนการที่นำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ต้นกำเนิดรังสีทั้งในรูปแบบเปิดและแบบปิดผนึกสนิท เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์อุตสาหกรรมและการเกษตรตลอดจนเพื่อการศึกษาวิจัย เช่น การผลิตไอโซโทปรังสีในรูปสารเภสัชรังสี ชุดเภสัชรังสีสำเร็จรูปที่พร้อมใช้งานการผลิตไอโซโทปรังสีสำหรับงาน NDT ควบคู่กับการควบคุมคุณภาพการผลิต การขนส่งยังผู้รับบริการอย่างปลอดภัยและรวดเร็ว ได้แก่ ไอโซโทปรังสี I-131, Mo-99, Lu-177, Sm-153, Re-186, Ir-192, Se-75 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานบริการซ่อมบำรุงต้นกำเนิดรังสีที่ขัดข้องด้วยระบบ Tele-manipulator

4.8.3 การฉายรังสีอัญมณี

การปรับปรุงคุณภาพของอัญมณีด้วยการฉายรังสี อาศัยหลักการที่รังสีนิวตรอนทำให้โครงสร้างผลึกของอัญมณีบกพร่องไปจากการเดิมก่อให้เกิด Site lattice และสร้าง Color center ขึ้นผลดังกล่าวก่อให้การดูดกลืนช่วงคลื่นแสงเปลี่ยนไป ส่งผลให้สีของอัญมณีเปลี่ยนแปลง มีสีสันสวยงามสดใสขึ้นและมีมูลค่าเพิ่มขึ้น รังสีที่นิยมใช้มี 3 ชนิด ได้แก่ รังสีแกมมา อิเล็กตรอนพลังงานสูง และรังสีนิวตรอนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย เนื่องจากรังสีนิวตรอนสามารถทะลุทะลวงเข้าไปได้ดีกว่าอิเล็กตรอน เมื่อนำมาฉายอัญมณีทำให้รับรังสีสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน

รังสีนิวตรอนสามารถทำให้อัญมณีหลายชนิดมีสีสวยงามขึ้นและเป็นที่นิยมในตลาดส่งออกไปยังสหรัฐอเมริกาและยุโรป มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม อัญมณีดังกล่าว ได้แก่

โทแพซ	จากไม่มีสี	เป็นสีฟ้า
เพชร	จากไม่มีสี	เป็นสีเขียว สีฟ้า สีน้ำตาล
คอรันดัม	จากไม่มีสี	เป็นสีเหลือง สีชมพู
เบริล	จากไม่มีสี	เป็นสีเหลือง สีฟ้า สีเขียว

แต่อย่างไรก็ตามการอาบด้วยรังสีนิวตรอนจะก่อให้เกิดการก่อกัมมันต์กับธาตุต่างๆ ในอัญมณีแต่ละชนิดแตกต่างกันไป จึงต้องปล่อยทิ้งไว้ให้ไอโซโทปรังสีสลายตัวจนมีระดับรังสีที่ปลอดภัย โดยใช้มาตรฐานสากล คือ ความแรงรังสีต้องไม่เกิน 2 นาโนคูรีต่อกรัม

4.8.4 การปรับปรุงด้านพันธุศาสตร์

สำหรับการปรับปรุงพันธุศาสตร์ด้วยนิวตรอน เป็นการใช้รังสีในการปรับปรุงพันธุ์พืชและจุลินทรีย์[7]เนื่องจากนิวตรอนสามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของเซลล์โดยทำให้สารพันธุกรรมหรือยีนของพืชและจุลินทรีย์นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเองโดยไม่มีการนำยีนจากภายนอกเข้าไป โดยปกติพืชและจุลินทรีย์จะมีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมในตัวเองอยู่แล้วตามธรรมชาติ โดยถูกกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อม แต่การนำรังสีมาใช้เป็นการช่วยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้เกิดเองตามธรรมชาติ รังสีที่นิยมใช้ คือ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และรังสีนิวตรอน เพราะสามารถฉายผ่านทะลุเข้าไปถึงเซลล์ภายในได้ดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับยีนได้ เกิดลักษณะเด่นใหม่ๆ ในส่วนของพืชจะนำส่วนของพืชที่ทำหน้าที่ขยายพันธุ์และสามารถนำมาฉายรังสีเพื่อปรับปรุงพันธุ์ได้ เช่น เมล็ด กิ่ง ตา เหง้า หัว เนื้อเยื่อพืช ฯลฯ แต่ที่นิยม คือ เมล็ด เนื่องจากมีปริมาณมาก หาง่าย สะดวกในการฉายรังสีและการขนส่งไปเพาะปลูก เพื่อทำการคัดเลือกพันธุ์ ในการปรับปรุงพันธุ์จะเลือกพืชเศรษฐกิจ ไม้ดอกไม้ประดับ ที่ทำมูลค่าในผลผลิตสูง

4.8.5 การวิจัยและนวัตกรรม

การใช้ประโยชน์จากส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในการผลิตผลงานวิจัยและนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ได้แก่ งานค้นคว้าวิจัยเพื่อบุกเบิกองค์ความรู้ใหม่ งานวิจัยพื้นฐานเพื่อการพัฒนาประเทศตามนโยบายของรัฐ และงานวิจัยพัฒนาด้านนวัตกรรมเพื่อนำไปสู่ทรัพย์สินทางปัญญาด้วยความหลากหลายของสาขาการวิจัย กลุ่มงานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนิวเคลียร์จึงมีการแบ่งกลุ่มงานย่อยๆ เป็นด้านชีวโมเลกุลและการผลิตสารเภสัชรังสีตัวใหม่เพื่อด้าน

[7]http://www.oaep.go.th/nstkc/content/view/185/29/

การแพทย์และสาธารณสุขการพัฒนาด้านวัสดุศาสตร์และอุตสาหกรรมด้านสิ่งแวดล้อมด้านเทคโนโลยีชีวภาพและการเกษตรและด้านวิทยาการก้าวหน้า ตลอดจนให้การสนับสนุนการผลิตผลงานวิจัยเพื่อให้กลุ่มงานอื่นๆนำผลงานไปทำมูลค่าเพิ่ม หรือการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กระบวนการเชิงพาณิชย์ยังภาคเอกชน

4.8.6 การโดปสารกึ่งตัวนำ

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยสามารถสนับสนุนด้านอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ในส่วนของการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน โดยการแปลงธาตุหลังก่อกัมมันต์ด้วยนิวตรอน (Neutron Transmutation Doping, NTD) การโดปสารเกิดจากการสลายตัวของอะตอมธาตุรังสีเปลี่ยนเป็นอะตอมธาตุของสารเจือในสารกึ่งตัวนำ เช่น การโดปสารกึ่งตัวนำซิลิกอน เป็นการนำแท่งผลึกซิลิกอนบริสุทธิ์ไปอาบนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย จะมีอะตอมซิลิกอนบางส่วนเกิดเป็นอะตอมกัมมันตรังสีและสลายตัวกลายเป็นฟอสฟอรัส เรียกว่า “การโดปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type impurity doping)” สามารถกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำได้ด้วยการควบคุมปริมาณสารเจือจากกระบวนการอาบรังสี แท่งซิลิกอนหลังเจือสารด้วยเทคนิค NTD จะมีคุณภาพสูง สำหรับใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronic device) เช่น IGBT, Thyristor และ Diode ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ไฮบริดและระบบแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับในด้านพลังงานทดแทน

4.8.7 การทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ

รังสีนิวตรอนมีความสามารถที่จะใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในของวัสดุ โดยสามารถศึกษาโครงสร้างได้ในระดับอะตอมและโมเลกุล เทคนิคการกระเจิงของนิวตรอน (Neutron scattering) สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ในหลากหลายสภาวะ เช่น สภาวะสุญญากาศ อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ ภายใต้สนามแม่เหล็ก หรือในสภาวะปกติ ส่วนเทคนิคการกระเจิงของนิวตรอนในมุมแคบ (Small angle neutron scattering) สามารถใช้ศึกษาโครงสร้างของวัสดุในช่วง 10^{-9}เมตร (นาโนเมตร) ถึง 10^{-7}เมตร ซึ่งครอบคลุมในช่วงโครงสร้างโปรตีนและพอลิเมอร์เป็นต้น จึงสามารถใช้ศึกษาโครงสร้างของโปรตีนและ DNA ในสิ่งมีชีวิตได้ และสามารถใช้แยกความแตกต่างของเฟสในด้านขนาดและโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมได้ดี นอกจากนี้เทคนิคการหักเหของนิวตรอน (Neutron diffraction) สามารถใช้ในการหาค่าความเค้นเชิงกล (Residual stress) ที่มีอยู่ในวัสดุหลังการเชื่อมต่อโลหะหรือท่อได้ ที่สำคัญเทคนิคการกระเจิงของนิวตรอนในมุมแคบและเทคนิคการหักเหของนิวตรอนเป็นวิธีที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัสดุที่ทดสอบ

การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคก่อกัมมันต์เป็นวิธีวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยเทคนิคการอาบนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจะทำให้อะตอมของธาตุเสถียรในตัวอย่างกลายเป็นธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive) รูปแบบการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีจะปลดปล่อยรังสีแกมมาซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุชนิดต่างๆ ทำให้สามารถวัดสเปกตรัมรังสีและนำไปสู่การวิเคราะห์ธาตุในเชิงคุณภาพและปริมาณได้ ใช้สำหรับความจำเป็นในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยระดับ ppm และ ppb ในตัวอย่างต่าง ๆ เช่น ตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม ดินเพาะปลูกพืช ตัวอย่างทางธรณีวิทยา งานพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ วัตถุโบราณและตัวอย่างทางชีววิทยา เป็นต้น

สำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลาย สามารถใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน (Neutron radiography) ทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ ซึ่งสามารถให้รายละเอียดของชิ้นงานที่มีองค์ประกอบของธาตุเบาได้ดีกว่าการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา เช่น ยาง พลาสติก โพลิเมอร์ นอกจากนั้นวัสดุที่ประกอบด้วยธาตุบางชนิดซึ่งมีค่า Cross-section ต่อการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนสูง เช่น โบรอน ลิเทียม แคดเมียม จะให้ความเปรียบต่างภาพ (Contrast) ที่ชัดเจนมากสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เนื่องจากวัสดุที่กล่าวมาสามารถดูดกลืนนิวตรอนได้ดี ในขณะที่รังสีเอกซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนต่อวัสดุเหล่านี้ต่ำ จึงทำให้ได้ ความเปรียบต่างภาพไม่ชัดเจน

4.8.8 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากกระบวนการผลิต

จากแผนการผลิตในกลุ่มงานที่ใช้กระบวนการผลิต ที่มุ่งสู่ผลิตผลที่แตกต่างกันไป สามารถประเมินผลประโยชน์ที่เกิดจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ทั้งในส่วนที่เป็นรายได้ทางตรงแก่สถาบันฯและมูลค่าเพิ่มทางอ้อมที่มีผลต่อเศรษฐกิจและสังคมแสดงในตารางที่ 4.3 และผลสรุปของการประมาณการรายได้แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ประมาณการผลผลิตตามแผนการผลิตและผลประโยชน์ที่ได้รับ(แบ่งตามกลุ่มงาน)

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	รายได้ต่อปี (ล้านบาท)	เงื่อนไขการผลิต
กลุ่มงานผลิตไอโซโทป				
I-131	1,460 คูรี/ปี	375,000 บาท/คูรี (ราคาเฉลี่ยหลังทำ kit)	547.50	ผลิต 50% ในปีแรก หลังจากนั้น 100%
Mo-99	1,200 คูรี/ปี	53,606 บาท/คูรี	64.33	ผลิต 50% ในสองปีแรก หลังจากนั้น 100%
Lu-177	6 คูรี/ปี	4,166,666 บาท/คูรี	25.00	ผลิต 50% ในปีแรก หลังจากนั้น 100%
Ir-192	4,200 คูรี/ปี	3,090 บาท/คูรี (42 ตัว/ปี)	12.98	ผลิต 50% ในสองปีแรก หลังจากนั้น 100%

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	รายได้ต่อปี (ล้านบาท)	เงื่อนไขการผลิต
Se-75	1,000 คูรี/ปี	3,750 บาท/คูรี (10 ตัว/ปี)	3.75	ผลิต 50% ในสองปีแรก หลังจากนั้น 100%
การสาธารณสุขที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจและสังคม			1,405.2	(มูลค่าเพิ่ม)
กลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี				
อัญมณี	4,000 กิโลกรัม/ปี	40,000 บาท/กิโลกรัม	160.00	ผลิต 100 กิโลกรัมปีแรก ปีที่ 2-3 ผลิต 1 ตัน ปีที่ 3-4 ผลิต 1.5-3 ตัน หลังจากนั้น 100%
มูลค่าเพิ่มจากพลอย	4,000 กิโลกรัม/ปี	150 ล้าน/ตัน (1 กิโลกรัม = 5,000 กะรัต) 1 กะรัตมูลค่าเพิ่ม 60-30 = 30 บาท	600.00	(มูลค่าเพิ่ม)
กลุ่มงานปรับปรุงด้านพันธุศาสตร์ (ข้อมูลการตลาด)				
เพิ่มมูลค่าพืชเศรษฐกิจ	6 ชนิด	โอกาสสำเร็จ 2 ชนิด (ชนิดละ 1 สายพันธุ์)	193.23	(มูลค่าเพิ่ม)
เพิ่มมูลค่าส่งออกพืช	6 ชนิด	โอกาสสำเร็จ 2 ชนิด (ชนิดละ 1 สายพันธุ์)	4.12	
เมล็ดพันธุ์	4ชนิด	โอกาสสำเร็จ 4 ชนิด (ชนิดละ 1 สายพันธุ์)	2.60	
ไม้ดอกไม้ประดับ	6 ชนิด	โอกาสสำเร็จ 1 ชนิดต่อปี (ชนิดละ 1 สายพันธุ์)	1.73	
กลุ่มโดปสารกึ่งตัวนำ (รายได้ทางตรง)				
Silicon ingot	10,000 กิโลกรัม/ปี	3,400 บาท/กิโลกรัม	34.00	ผลิต 1 ตันในปีแรก และ 5 ตัน ในปีที่ 2 หลังจากนั้น 100%
กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม				
ผลผลิตงานวิจัย	10 เรื่อง	500,000 บาท/เรื่อง	5.00	(มูลค่าเพิ่ม)
สิทธิบัตร	2 เรื่อง	1,000,000 บาท/เรื่อง	2.00	
พัฒนากำลังคน	ป.ตรี15 คน ป. โท, เอก 15 คน	4,632,000บาท/คน 2,786,000 บาท/คน	69.48 47.36	

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	รายได้ต่อปี (ล้านบาท)	เงื่อนไขการผลิต
	ป. เอก2 คน ต่างประเทศ			
วิจัยร่วมหน่วยงาน	4 เรื่อง	500,000 บาท/เรื่อง	2.00	
กลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ				
NAA	1,000 ครั้ง/ปี	1,000 บาท	1.00	-
PGNAA	700 ครั้ง/ปี	1,500 บาท	1.05	-
Neutron imaging	200 ครั้ง/ปี	2,000 บาท	0.40	-
Neutron dosimetry	500 ราย/ปี	200 บาท	0.10	
บริการเช่าท่อนำนิวตรอน	10 ชั่วโมง/ปี	10,000 บาท/ชั่วโมง	0.10	-
รวมประมาณการ			**3,182.93**	

ตารางที่ 4.4 ประมาณการรายได้ทางตรงและทางอ้อมของแต่ละกลุ่มงาน (ล้านบาท)

กลุ่มงาน	ผลประโยชน์ทางตรง	ผลประโยชน์ทางทางอ้อม	รวมทุกด้าน
กลุ่มงานผลิตไอโซโทป	653.56	1,405.20	2,058.76
กลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี	160.00	600.00	760.00
กลุ่มงานปรับปรุงด้านพันธุศาสตร์	-	201.68	201.68
กลุ่มโดปสารกึ่งตัวนำ	34.00	-	34.00
กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม	-	125.84	125.84
กลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ	2.65	-	2.65
รวมรายได้ทั้งหมด	**850.21**	**2,332.72**	**3,182.93**

เมื่อจำแนกผลตอบแทนจากแผนการผลิตจากกลุ่มงานต่าง ๆ สามารถประเมินเป็นรายได้ทางตรงคิดเป็น 850.21 ล้านบาทต่อปี และรายได้ทางอ้อมจากการทำมูลค่าเพิ่มคิดเป็น 2,332.72 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนรายได้ทางตรงต่อทางอ้อมร้อยละ 36.44 และประมาณการรายได้รวมเมื่อเครื่องเดินได้เต็มตามแผนการผลิตมีมูลค่า 3,182.93 ล้านบาทต่อปี

4.9 แผนการจัดการด้านโลจิสติกส์

การจัดการด้านโลจิสติกส์ประกอบด้วย กระบวนการวางแผน การนำแผนไปปฏิบัติการ และการควบคุมเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพด้านคุณค่าของการกระจายของสินค้าและบริการ จากจุดเริ่มต้นไปถึงจุดหมายปลายทาง ขอบข่ายของด้านโลจิสติกส์ประกอบด้วย แผนการจัดส่ง การสำรองวัสดุ การจัดการสินค้าคงคลัง การขนส่งเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามมาตรฐานระบบจัดเก็บกากกัมมันตรังสีที่เกิดจากกระบวนการผลิตไอโซโทป ระบบความปลอดภัยในการจัดเก็บระบบบรรจุหีบห่อและขนส่งบรรจุภัณฑ์

สำหรับการจัดการด้านโลจิสติกส์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยนั้นจะมีรายละเอียดที่แตกต่างจากการจัดการด้านโลจิสติกส์ทั่วไป เนื่องจากต้องคำนึงถึงกฎระเบียบการกำกับดูแลด้านความปลอดภัยในการขนส่งเชื้อเพลิงใหม่และเชื้อเพลิงใช้แล้วมากเป็นพิเศษ อีกทั้งหีบห่อและบรรจุภัณฑ์ยังต้องเป็นแบบเฉพาะที่ใช้ในการขนส่งสารกัมมันตรังสีอีกด้วย ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากลและตามระเบียบข้อกำหนดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA Safety Standards Series No. SSR-6)[8] ในควบคุมการส่งออกและการขนส่งให้อยู่บนมาตรฐานเดียวกันและมีความปลอดภัยสูง บริษัทและตัวแทนที่ทำหน้าที่จัดการด้านโลจิสติกส์จะต้องทำการจัดส่งเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดสากลของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศเป็นหลัก นอกจากนี้แล้วยังมีกฎหมายระหว่างประเทศและกฎหมายด้านการกำกับดูแลการขนส่งของแต่ละประเทศที่บริษัทผู้ขนส่งและตัวแทนต้องดำเนินการตาม ดังนั้นการจัดการด้านโลจิสติกส์ของประเทศต่างๆจึงมีความแตกต่างกันบ้างตามแต่กฎหมายควบคุมของประเทศนั้นๆ สำหรับประเทศไทยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการด้านโลจิสติกส์ คือ ร่างกฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขเกี่ยวกับความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสีในการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ กากกัมมันตรังสีเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว ซึ่งออกตามความใน พ.ร.บ พลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. ๒๕๕๙

4.9.1 การขนส่งและจัดการวัสดุนิวเคลียร์

การจัดการด้านการขนส่งวัสดุนิวเคลียร์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. การออกแบบ หรือผลิตอุปกรณ์และบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการขนส่งและ/หรือการจัดเก็บวัสดุนิวเคลียร์ตามข้อกำหนดในเอกสารของ IAEA Safety Standards Series No. SSR-6

[8]IAEA Safety Standards,Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2012 Edition for protecting people and the environment No. SSR-6 Specific Safety Requirements IAEA Safety Standards Series No. SSR-6

2. การบริหารจัดการระบบการขนส่งวัสดุนิวเคลียร์และการจัดการขนย้าย ซึ่งต้องเป็นไปตามการบริหารจัดการการประเมินค่าใช้จ่ายและการจัดการด้านเทคนิคของการขนส่ง อีกทั้งยังต้องมีความปลอดภัยในระดับที่พึงพอใจ มีการป้องกันทางกายภาพและมีความรับผิดชอบต่อสังคม

หลังจากที่มีการออกแบบและวางแผนการขนส่งแล้ว บริษัทตัวแทนการขนส่งจะมีขั้นตอนการติดตามสิ่งของที่ทำการขนส่ง มีการวางแผนสำหรับรองรับอุบัติเหตุ การให้ข้อมูล และสร้างความตระหนักต่อสังคม

สำหรับขั้นตอนการขนส่งนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก

1. การขนส่งในส่วนหน้า (Front End Transportation) โดยในขั้นตอนนี้จะทำการจัดส่งเชื้อเพลิงจากแหล่งผลิตเชื้อเพลิง มายังประเทศที่ตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
2. การขนส่งในส่วนหลัง (Back End Transportation) สำหรับขั้นตอนนี้จะมีการนำเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วขนส่งกลับไปด้วยบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะพิเศษซึ่งการจัดการส่วนนี้ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขข้อตกลงใน Term of Reference

4.9.2 การขนส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

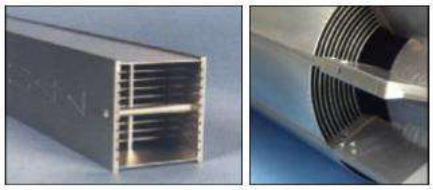
เชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยประกอบด้วยยูเรเนียมเสริมสมรรถนะที่มีความเข้มข้นไม่เกินกว่า 20% ของ U-235 ซึ่งระดับการเสริมสมรรถนะขึ้นอยู่กับการออกแบบแกนปฏิกรณ์และการใช้งาน ดังนั้นการขนส่งเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องดำเนินการตามข้อตกลงต่าง ๆ อันประกอบด้วย กฎข้อบังคับของการขนส่งวัสดุอันตรายระหว่างประเทศ มาตรฐานของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศและกฎหมายของประเทศและระหว่างประเทศสำหรับการป้องกันทางกายภาพ ประเภทของบรรจุภัณฑ์และหีบห่อที่มีการการขนส่งเชื้อพลิงไปยังเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยต่าง ๆ ทั่วโลกมีดังนี้

เนื่องจากยังไม่ทราบว่าเชื้อพลิงของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่จะใช้เป็นแบบใด และชนิดหรือรูปแบบของเชื้อเพลิงที่ใช้จะเป็น แบบแผ่น (Plate type) หรือ แบบแท่ง (Rod type) อย่างไรก็ตาม ในการขนส่งเชื้อเพลิงยูเรเนียมประเภทเสริมสรรถนะสูงหรือต่ำ จะต้องใช้มีบรรจุภัณฑ์ชนิดพิเศษตามมาตรฐานการขนส่ง รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างชนิดของภาชนะขนส่ง ที่มีชื่อว่า N™-BGC, TN™UO2, CERCA 01 package, IAEA 9 ซึ่งผลิตโดยบริษัท AREVA ประเทศฝรั่งเศส ใช้สำหรับการขนส่งเชื้อเพลิงไปยังญี่ปุ่นและภายในยุโรป โดยจะใช้ CERCA package สำหรับเชื้อเพลิงใหม่ และใช้ TN™UO_2 TN™F-XI สำหรับเชื้อเพลิงแบบผงและแบบเม็ด (pellet) หรือใช้ TN™-BGC สำหรับ HEU

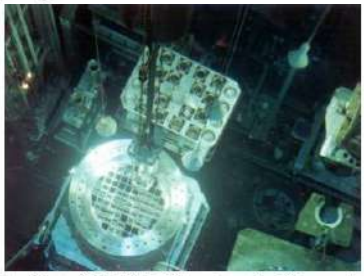
สำหรับ TN™-MTR cask สามารถประกอบเข้ากับ Basket ที่แตกต่างกันได้ถึง 6 แบบ ซึ่งสามารถบรรจุแท่งเชื้อเพลิง (Fuel element) ได้ 4–68 แท่ง และสามารถใช้ TN™-106 จำนวน 2 cask ซึ่งมีความยาวที่แตกต่างกัน (2200 มม. และ 2000 มม.) ได้ในเวลาเดียวกันส่วน TN™-MIL สามารถใช้ในการขนส่ง

แท่งเชื้อเพลิงใช้แล้วได้ถึง 20 แท่ง ซึ่งจะมีการนำมาใช้งานในอนาคตอันใกล้นี้ บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีการนำมาใช้นั้นจะเป็นไปตามข้อบังคับของ IAEA (T-S-R-1 regulation)

TN™-BGC package



Examples of CERCA fuel elements



Unloading of TN™-MTR cask at La Hague plant

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่เชื้อเพลิงของบริษัท AREVA

ที่มา http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/36/069/36069563.pdf

Union of Concerned Scientists, Nuclear Research Reactor Spent Fuel Takeback,

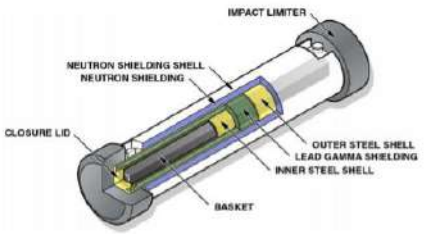
http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/nuclear_terrorism/policy_issues/nuclear-research-reactor.html,

4.9.3 การขนส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว

เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้งานแล้วของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยยังคงมีส่วนประกอบของยูเรเนียมเสริมสมรรถนะที่เหลืออยู่และผลิตผลฟิชชันจากการแตกตัวของยูเรเนียม และมีนิวไคลด์รังสีชนิดอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่แผ่รังสีออกมาตลอดเวลาจึงต้องมีระบบหล่อเย็นและกำบังรังสี เชื้อเพลิงใช้งานแล้วเมื่อเลิกใช้งานจึงต้องการจัดเก็บเพื่อรอการขนส่ง หรือขนย้ายไปไว้ในสถานที่ที่เหมาะสม โดยการจัดเก็บจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการเก็บชั่วคราวซึ่งปกติในทางปฏิบัติจะเก็บไว้ในบ่อที่ออกแบบไว้ ในบ่อปฏิกรณ์หรือข้างบ่อปฏิกรณ์ ทั้งนี้ขึ้นกับการออกแบบของการใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์ และส่วนที่ 2 เป็นการจัดเก็บในระยะยาวที่ห่างไกลจากมนุษย์และสิ่งแวดล้อม หรือมีเงื่อนไขการส่งกลับบริษัทผู้ผลิตขึ้นกับข้อตกลงในการซื้อขาย ดังนั้น เมื่อเริ่มทำแผนดำเนินการ สทน. ควรจะต้องมีแผนในการจัดเตรียมสถานที่จัดเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วในระยะยาวไว้ หรือส่งเชื้อเพลิงกลับไปยังบริษัทผู้ผลิต ซึ่งจะมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นการขนส่งเชื้อเพลิงใช้แล้วทั้งสิ้น รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างของบรรจุภัณฑ์เพื่อขนส่งเชื้อเพลิงใช้งานแล้ว มีข้อมูลเกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายเรื่องการขนส่งเชื้อเพลิงใช้งานแล้ว ดังนี้

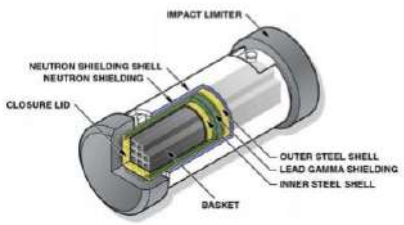
- สำหรับประเทศที่มีผลประกอบการทางเศรษฐกิจสูง
  - จ่ายเงินเพื่อชดเชยการจัดการภาชนะจัดเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วจนกว่าจะถึงขั้นตอนการปลดระวาง
  - ผู้ดำเนินการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
  - ผู้ขนส่ง คือ ตัวแทนการจัดการขนส่งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
- ประเทศอื่น ๆ
  - ค่าการจัดการทั้งหมดได้รับการยกเว้น
  - ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะสนับสนุนกิจกรรมบางอย่างที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งเชื้อเพลิงใช้แล้ว
  - ผู้ขนส่งจะอยู่ภายใต้การติดต่อและดำเนินการโดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ

การขนส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้วจะต้องปฏิบัติตามกฎกระทรวง ระเบียบปฏิบัติ และข้อกำหนดต่างๆว่าด้วยการขนส่งที่ออกตามความใน พ.ร.บ พลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ.๒๕๕๙ (มาตรา 98, 99)



Generic Truck Cask for Spent Fuel

Typical Specifications
Gross Weight (including fuel): 50,000 pounds (25 tons)
Cask Diameter: 4 feet
Overall Diameter (including Impact Limiters): 6 feet
Overall Length (including Impact Limiters): 20 feet
Capacity: Up to 4 PWR or 9 BWR fuel assemblies



Generic Rail Cask for Spent Fuel

Typical Specifications
Gross Weight (including fuel): 250,000 pounds (125 tons)
Cask Diameter: 8 feet
Overall Diameter (including Impact Limiters): 11 feet
Overall Length (including Impact Limiters): 25 feet
Capacity: Up to 26 PWR or 61 BWR fuel assemblies

ที่มา file:///H:/2111646/diagram-typical-trans-cask-system-2.pdf

ที่มา : http://www.wnti.co.uk/media-centre/nuclear-fuel-cycle/spent-fuel-reprocessing.aspx

รูปที่ 4.10 ตัวอย่าง รูปแบบ และคุณลักษณะพิเศษ ภาชนะบรรจุ หรือ CASK ที่ใช้บรรจุเชื้อเพลิงใช้แล้ว

นอกจากการจัดการด้านเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แล้ว เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่นี้ยังให้บริการผลิตไอโซโทปรังสี จึงต้องมีการจัดการด้านงานผลิตไอโซโทปรังสีและสารเภสัชรังสี รวมทั้งที่ต้องมีการจัดการเรื่องการขนส่งไปยังผู้รับบริการ และมีจะต้องจัดทำบัญชีวัสดุที่จะขนส่ง รวมถึงประเภท และลักษณะของหีบห่อที่จะใช้ในการขนส่งให้ตรงกับชนิดและประเภทของวัสดุกัมมันตรังสี ซึ่งการขนส่งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบและเกณฑ์ต่าง ๆ ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศและสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยหีบห่อที่จะนำมาใช้ขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีจะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับชนิดและกัมมันตภาพของวัสดุกัมมันตรังสีที่นำมาบรรจุมีการติดฉลากและดัชนีการขนส่งที่ถูกต้อง ถ้าวัสดุกัมมันตรังสีที่บรรจุอยู่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายสูงวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นหีบห่อนั้นจะต้องมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

4.9.4 การจัดเก็บสินค้าและวัสดุนิวเคลียร์

ในการออกแบบขนาดของช่องบรรจุผลิตภัณฑ์ที่รอการฉายรังสี หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ฉายรังสีแล้ว (Storage rack)และบ่อเก็บเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว (Auxiliary pool) จะต้องออกแบบให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการใช้งานด้านการโดปสารกึ่งตัวนำและเพื่อรองรับปริมาณการฉายรังสีอัญมณีที่เพิ่มขึ้น สำหรับบ่อเก็บเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว ต้องมีความจุเพียงพอที่จะสามารถจัดเก็บเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใหม่ที่ต้องใช้สำหรับบรรจุ 1 แกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์เต็มแกนและเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้วจากการเดินเครื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 40 ปี

จากข้อมูลการประชุมกลุ่มร่วมกับผู้เชี่ยวชาญของ สทน. คาดว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนิวเคลียร์หากมีการเดินเครื่องปฏิกรณ์ 1 MW-day จะสูญเสียยูเรเนียม-235 ประมาณ 2.8 – 3 กรัมดังนั้นหากเดินเครื่องที่ 10 MW เป็นเวลา 270 วันต่อปีจะสูญเสียยูเรเนียม-235 ประมาณ 7.6 – 8.1 กิโลกรัม และทางสถาบันฯ ควรจะมีแผนการจัดหาเชื้อเพลิงสำรองไว้อย่างน้อย 10 ปี (รายละเอียดการคำนวนแสดงใน ภาคผนวก ง)

เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้วจะถูกเก็บในบ่อเก็บและเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะวิกฤติจึงจะเก็บแยกเป็น6 Rack เมื่อครบระยะเวลา 30 ปีแล้ว จะต้องมีการจัดเก็บเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้วแบบแห้ง (Dry storage) ดังนั้นในการใช้งานในช่วง 20 ปีแรก จึงยังไม่มีค่าใช้จ่ายโดยตรงในการจัดการกับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว

นอกจากนี้จะต้องมี Service pool หรือ บ่อพัก ซึ่งบ่อนี้ทำหน้าที่พักเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้วก่อนเคลื่อนย้ายไปยังบ่อเก็บ และเป็นบ่อส่งผ่านวัสดุกัมมันตรังสีที่บรรจุในภาชนะบรรจุไปยัง Hot cell ในส่วนผลิตสารไอโซโทปรังสี

ระบบอาบรังสีจะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่นสูงในการอาบรังสีและมีระบบนำส่งหรือขนถ่ายเคลื่อนย้ายไปยังอาคารผลิตไอโซโทปหรือส่วนสนับสนุนอื่นๆ โดยระบบสนับสนุนที่จำเป็นประกอบด้วย

- Bulk production irradiation facilities
- Pneumatic facilities
- Silicon irradiation facilities

สำหรับการฉายรังสีอัญมณีเมื่อทำการฉายรังสีนิวตรอนเสร็จแล้ว ต้องทำการจัดเก็บไว้ในที่ที่มีความปลอดภัยสูง ซึ่งจะต้องจัดทำห้องนิรภัยเพื่อรอการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีในอัญมณีก่อนนำไปเข้าฉายรังสีแกมมาหรือลำอิเล็กตรอนต่อจนครบกระบวนการปรับปรุงคุณภาพอัญมณี การรับจ่ายต้องมีหลักฐานรัดกุม

4.9.5 การจัดการกากกัมมันตรังสี

กระบวนการผลิตไอโซโทปรังสีของศูนย์ผลิตไอโซโทปรังสีของ สทน. จะมีกากกัมมันตรังสีทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว (รวมสารละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์) และก๊าซ (รวมฝุ่นผง ไอของสารละลาย) โดยเฉพาะการผลิต Mo-99 ไม่ว่าจะเลือกใช้วิธีการผลิตจาก LEU หรือไม่ก็ตาม กากกัมมันตรังสีเหล่านี้จำเป็นต้องมีการกักเก็บอย่างเป็นระบบในบ่อพักมิดชิดหรือในภาชนะปิดมิดชิดซึ่งเป็นการกักเก็บชั่วคราว (Interim storage) เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานเองและต่อผู้คนและชุมชนโดยรอบสถานปฏิบัติการ ก่อนมีการจัดส่งต่อไปยังหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรงในการขจัดกากกัมมันตรังสีซึ่งก็เป็นหน่วยงานหนึ่งของ สทน. ต่อไป ในการกักเก็บกากกัมมันตรังสีชนิดต่างๆ นี้ เพื่อให้มีความปลอดภัย ระยะเวลาที่สามารถกักเก็บได้ ความแรงรังสีสูงสุดที่สามารถกักเก็บได้ รวมทั้งระบบการจัดเก็บที่มีการลงบันทึกข้อมูลต่างๆ ของไอโซโทปที่กักเก็บไว้อย่างครบถ้วน

ดังนั้น สทน. จึงต้องมีการออกแบบบ่อเก็บกากชั่วคราว ซึ่งควรก่อสร้างอยู่ในระดับชั้นใต้ดินของอาคารปฏิบัติการผลิตไอโซโทป มีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตปิดมิดชิด บุด้วยแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม ผนังด้านบนทำด้วยวัสดุอย่างเดียวกันของบ่อ มีความหนาอย่างน้อย 1 เมตร จำนวนอย่างน้อย 4 บ่อ แต่ละบ่อจะต้องมีบ่อสำรองสับเปลี่ยนหมุนเวียนรอการนำกากกัมมันตรังสีไปจัดการ โดยมีการแยกสารกัมมันตรังสีตามค่าครึ่งชีวิต สำหรับแต่ละกลุ่มของกากกัมมันตรังสีที่เป็นของเหลวหรือสารละลายน้ำและขนาดปริมาตรจุของเหลวของบ่อจะต้องมากกว่ากากของเหลวที่เกิดขึ้นในระยะเวลาผลิต 1000 ชั่วโมงและ 2500 วันตามลำดับเพื่อสามารถสะสมไว้ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บไว้ (Delay and decay) ก่อนการสลายตัวหมดของกากกัมมันตรังสีและสลับการเก็บได้ในบ่อสำรองเมื่อบ่อแรกเต็มสลับกันไป ตารางที่ 4.5 แสดง

ตัวอย่างแหล่งที่มา ระดับกัมมันตภาพและปริมาณที่เกิดขึ้นลูกบาศก์เมตรต่อปี ของกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของประเทศเกาหลีใต้ [9]

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่าง แหล่งที่มา ระดับกัมมันตภาพและปริมาณที่เกิดขึ้นลูกบาศก์เมตรต่อปี ของกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลว

Location	Activity Level	Source	Quantity (m^3/yr)
Rx building	Low	- PCS equipment and piping Drain - PWMS equip. & piping Drain - Decontamination Drain - Decay tank Drain - etc.	15 - 20
Service building	Low	- Liquid Radwaste of Reactor building - Decontamination Drain - Hot Sink Drain from Hot Cell - etc.	5 - 10
	Very low	- Hot Shower Room Drain - Laboratory Drain - Floor Drain - etc.	20 - 30
Other facility	Low	- Decontamination Drain - etc.	5
	Very low	- Hot Shower Room Drain - etc.	5 – 10

สำหรับกากกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว ในช่วง 2-30 ปี อาจใช้บ่อดังกล่าวเพียงบ่อเดียวเพื่อรอการขนถ่ายไปยังสถานกำจัดกากกัมมันตรังสีเมื่อถึงเวลาหนึ่งๆ กากกัมมันตรังสีที่เป็นผลิตผลฟิชชันจากการผลิต Sr-90 และ Cs-137 จะมีปริมาตรมากและมีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก อาจต้องพิจารณาใช้สารเรซินจับไว้ให้เป็นกากกัมมันตรังสีแบบของแข็งแล้วจึงขนถ่ายไปยังสถานกำจัดกากกัมมันตรังสีเมื่อถึงเวลาหนึ่งๆ สารละลายน้ำที่เหลือจะต้องมีการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักและตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีต่อปริมาณหรือ

[9]ที่มาของข้อมูลได้รับการอนุเคราะห์จากDr. Cheol PARK, Research Reactor Technology Development Department, KAERI

กัมมันตภาพรังสีรวมต่อปีก่อนที่จะสามารถระบายทิ้งได้ตามค่าที่ ตามร่างกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยทิ้งกากกัมมันตรังสีที่ออกตามความใน พ.ร.บ พลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ.๒๕๕๙

สำหรับกากกัมมันตรังสีที่เป็นของแข็งเปรอะเปื้อนทั้งหมด เช่น ถุงมือ เสื้อกาวน์ อุปกรณ์วิจัยและอุปกรณ์การผลิต อุปกรณ์ดักจับไอสารรังสี ฝุ่นผงที่มีสารรังสีเจือปนหรือเปรอะเปื้อนสารรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวหลายปีจะต้องมีภาชนะจัดเก็บแยกไว้ต่างหากเพื่อรอขนถ่ายไปยังสถานกำจัดกากกัมมันตรังสีเมื่อถึงระยะเวลาการขนย้าย ทั้งนี้ ต้องจัดทำรายงานระบุรายละเอียด เช่น วันที่เวลา ที่เริ่มกักเก็บให้ชัดเจน ชนิดของสารไอโซโทปที่เปรอะเปื้อน

ระบบการจัดการกากของเหลว D_2O

หากเครื่องปฏิกรณ์ตัวใหม่จะมีการให้บริการด้านโดปสารกึ่งตัวนำ (Si-Doping) ซึ่งจะอาบในท่อที่บรรจุน้ำมวลหนัก (D_2O) สทน. จะต้องมีระบบสำหรับในการจัดเก็บกากของเหลวน้ำมวลหนักที่ได้กระบวนการโปสารกึ่งตัวนำ (D_2O Dump System) กากของเหลวเหล่านี้เกิดจากการกระบวนการในระหว่างการบำรุงรักษา จากการล้างแท่ง NTDingots และการล้าง อุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ ก่อนใส่เข้าไปในบ่อปฏิกรณ์ ปกติกากของเหลวเหล่านี้ จะถูกเก็บรวบรวมไว้ใน Reactor sump หรือ ใน Hot shower sump ถ้าปริมาณของของเสียของเหลวในบ่อเก็บมีปริมาณระดับหนึ่ง จะต้องมีการตรวจวัดความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีก่อนส่งไปเก็บในถังเก็บใต้อาคารผลิตไอโซโทป นอกจากนี้ อาจต้องจัดหา Tritium removal unit เพื่อกำจัด Tritium gas

กากประเภทก๊าซกัมมันตรังสี

แหล่งที่มาของไอโซโทปของก๊าซกัมมันตภาพรังสี มาจากอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำระบายความร้อนถูกกระตุ้นด้วยนิวตรอน หรือ ก๊าซที่เป็นผลิตผลฟิชชันที่รั่วออกมาจากแท่งเชื้อเพลิง หรือ มาจากระบบท่อทดลองของ pneumatic transfer system ซึ่งอากาศจากห้องปฏิกรณ์ หรือ RCI (Reactor Concrete Island) นี้ที่มีความดันบรรยากาศต่ำกว่าบรรยายกาศปกติจะถูกระบายออกไปสู่บรรยากาศภายนอกผ่านตัวกรองของระบบระบายอากาศ ที่มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคสูง เช่น High Efficiency Particulate Air filter และระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ส่วนใหญ่ แหล่งที่มาของไอโซโทปหลักที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ ได้แก่ Ar-41, I-131 และ H-3

นอกจากนี้ จะมีแหล่งที่มาของก๊าซกัมมันตรังสี ประเภทที่เป็นสารที่ระเหยหรือระเหิดได้ เช่น สารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ และ ไอโอดีนจากอาคารปฏิบัติการผลิตไอโซโทปและตู้ดูดควันที่ทำการผลิตไอโซโทปรังสี จึงควรจัดเตรียมห้องที่ความดันอากาศเป็น Negative pressure แยกไว้ต่างหากเพื่อจัดเก็บผลิตภัณฑ์ดังนั้น ต้องจัดให้มีระบบการกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคสูงเช่นกัน

นอกจากนี้ อาจต้องจัดหา Tritium removal unit เพื่อกำจัดก๊าซตริเตียมที่เกิดจากน้ำมวลหนักดูดจับนิวตรอน ซึ่งตริเตียมที่สกัดออกนี้สามารถมาขายให้ประเทศที่กำลังพัฒนาด้านฟิวชัน (Fusion) เช่น ฝรั่งเศส ซึ่ง สทน. ก็สนใจที่จะทำการศึกษาเช่นกัน

4.9.6 การบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ตัวใหม่สามารถผลิตไอโซโทปรังสี ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นสารเภสัชรังสีหากมีค่ากัมมันตภาพรังสีต่ำ บนหีบห่อไม่จำเป็นต้องติดฉลากรังสีแต่จะต้องมีตัวเลขสหประชาชาติที่ใช้กำกับวัตถุอันตรายประเภทสารกัมมันตรังสี คือ “7” (United Nations dangerous goods number) ให้ชัดเจน นอกจากนี้อัตราการแผ่รังสีจากพื้นผิวจะต้องต่ำกว่า 0.005 mSv/h ซึ่งถือว่าเป็นระดับความเสี่ยงอันตรายที่น้อยมาก สำหรับสารเภสัชรังสีที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีสูงต้องจัดส่งในหีบห่อแบบ A (Type A package) ซึ่งได้รับการออกแบบให้ทนต่ออุบัติเหตุที่ไม่รุนแรงมากนักและจะต้องผ่านการทดสอบในสภาวะขนส่งปกติตามระเบียบที่กำหนดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA Safety Standards Series No. SSR-6) ในควบคุมการส่งออกและการขนส่ง ตามปริมาณกัมมันตภาพรังสีสูงสุดจะถูกจำกัดไว้ นอกจากนี้อัตราการแผ่รังสีจากพื้นผิวของหีบห่อจะต้องต่ำกว่า 2 mSv/h อย่างไรก็ตาม จะต้องมีการเตรียมการขนส่งสารเภสัชรังสีทางอากาศ เพื่อลดเวลาในการเดินทางเนื่องจากสารไอโซโทปรังสีทางการแพทย์มักจะมีค่าครึ่งชีวิตสั้น ดังนั้น สทน. อาจต้องจัดหา หีบห่อที่ผ่านการทดสอบเพื่อการขนส่งทางอากาศไว้ด้วย

สำหรับไอโซโทปรังสีบางชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น Ir-192, Co-60 เป็นไอโซโทปรังสีผนึกสนิทในแคปซูลและอยู่ใน Projector จะถูกบรรจุในหีบห่อแบบ A (TYPE A package) หรือ แบบ B (TYPE B package) หรือ Industrial package แล้วแต่กรณี ปกติจะขนส่งทั้งทางรถยนต์รถไฟและเครื่องบิน

หีบห่อทุกชนิด (ยกเว้นหีบห่อแบบ Excepted) จะต้องติดฉลากกำกับอย่างน้อยสองด้านของหีบห่อและต้องทำเครื่องหมายสหประชาชาติ “7” (UN number) ตามที่กำหนดฉลากต้องระบุเลขดัชนีขนส่ง (Transport Index) มีรายละเอียดของสารกัมมันตรังสีที่ทำการขนส่ง รถที่จะขนส่งจะต้องติดป้ายฉลากที่ปรากฏสัญลักษณ์ทางรังสีและตัวเลขสหประชาชาติทั้งสองข้างของตัวรถและด้านหลังเพื่อแสดงว่าพาหนะได้บรรทุกวัสดุกัมมันตรังสีอยู่ สำหรับหีบห่อที่ใช้บรรจุเพื่อการขนส่งเชื้อเพลิงควรมีการติดฉลากที่เหมาะสมที่แสดงค่าดัชนีความปลอดภัยวิกฤติ (Critical Safety Index, CSI) ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ควบคุมการขนส่ง เพื่อควบคุมหีบห่อที่บรรจุ fissile material โดยการขนส่งให้ปฏิบัติตามร่างกฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์วิธีการและเงื่อนไขเกี่ยวกับความปลอดภัยและความ มั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสีในการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ กากกัมมันตรังสี เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้วที่ออกตามความใน พ.ร.บ พลังงงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ.๒๕๕๙

4.9.7 การรับใบสั่งซื้อ

การให้บริการของ สทน. มีทั้งการสั่งซื้อและการสั่งจ้าง รวมทั้งการจองเวลาให้บริการ ซึ่งต้องมีการออกแบบฟอร์มให้เหมาะสม และมีความสะดวกแก่ผู้ใช้บริการ ได้แก่

- การรับใบสั่งซื้อสารเภสัชรังสี ควรมีแบบฟอร์มที่ชัดเจนในการระบุชนิดและปริมาณรวมทั้งวันและเวลาที่ต้องการ เพื่อการคำนวณปริมาณให้ถูกต้องและเหมาะสม เนื่องจากสารเภสัชรังสีจะสลายตัวตลอดเวลา ดังนั้นปริมาณที่จะจัดส่งต้องเพียงพอเพื่อให้สารเภสัชรังสีถึงมือผู้ใช้ด้วยความแรงรังสีที่ต้องการ
- การรับใบสั่งจ้างฉายรังสีอัญมณี การโดปสารกึ่งตัวนำ ควรมีแบบฟอร์มที่ระบุจำนวน และการรับส่งที่รัดกุม เนื่องจากมีมูลค่าสูง
- ควรมีการอำนวยความสะดวกในการให้บริการทางระบบออนไลน์ (Online) มีเจ้าหน้าที่ในการตอบรับและให้คำแนะนำทางอีเมล์ที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว
- ควรมีการสำรวจความพึงพอใจและความต้องการผลิตภัณฑ์สารเภสัชรังสีใหม่ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ โดยขอความร่วมมือหรือสร้างแบบสอบถาม และติดตามตรวจสอบป้อนข้อมูลให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและวางแผนการผลิต

4.9.8 การจัดซื้อ

การจัดซื้อวัสดุสำหรับกระบวนการผลิตจะต้องควบคุมคุณภาพวัสดุและบริหารควบคุมต้นทุนไม่ให้เพิ่มขึ้นมากดังนั้นในกระบวนการจัดซื้อ ต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- สร้างฐานข้อมูลแหล่งสั่งซื้อวัตถุดิบ โดยสำรวจและแสวงหาแหล่งข้อมูลใหม่เพื่อเปรียบเทียบด้านบริการและราคาอยู่เสมอ
- มีการทำบัญชีสำรองวัสดุให้มีปริมาณสอดคล้องตามแผนการผลิต ไม่มากเกินไปจนเกิดความเสียหาย หรือเก็บนานจนเสื่อมคุณภาพ
- ควรมีสถานที่จัดเก็บวัสดุเป็นสัดส่วนของแต่ละหน่วย มีการควบคุมการเบิกจ่ายเพื่อทราบสถิติความต้องการและการวางแผนจัดซื้อ
- มีการวางแผนงบประมาณจัดซื้อประจำปี โดยประมาณการได้ถูกต้องและใช้จ่ายตามแผน
- มีวิธีการจัดซื้อตามระเบียบการจัดซื้อพัสดุเป็นขั้นตอน มีการออกข้อกำหนด ติดประกาศดำเนินการจัดซื้อและการตรวจรับอย่างรัดกุม วัสดุควบคุมจะต้องมีการขออนุญาตนำเข้าและครอบครองตามกฎหมายของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

4.9.9 การวางแผนควบคุมสินค้า

ต้องจัดระบบควบคุมคุณภาพการผลิตให้ได้มาตรฐาน ISO และ GMP รวมถึงควบคุมกระบวนการผลิตให้มีความปลอดภัยตามกฎหมายกำกับดูแลทางรังสีอย่างรัดกุม รวมทั้งต้องผลักดันให้สารเภสัชรังสีให้อยู่ภายใต้มาตรฐานการกำกับดูแลของคณะกรรมการอาหารและยา เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดทางการแพทย์และในทางอุตสาหกรรมต้องมีการดำเนินการตามการขออนุญาตมีไว้ในครอบครองตามข้อกำหนดการกำกับดูแลความปลอดภัย

4.9.10 การประกันภัย

ต้องมีการประกันภัยในความรับผิดต่อบุคคลที่ 3 สำหรับประกันความเสี่ยงในด้านการขนส่ง การเคลื่อนย้ายสารไอโซโทปรังสี เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และวัสดุนิวเคลียร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎหมายประกันความรับผิดชอบด้านนิวเคลียร์ (Nuclear liability law) ของประเทศเมื่อกฎหมายบังคับใช้ในอนาคตในปัจจุบันจะกำหนดจากค่าประกันของเครื่องปฏิกรณ์ฯเดิม คือประมาณ 1 ล้านบาทต่อปี

4.10 ประมาณการวัตถุดิบที่ใช้

4.10.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและราคาเชื้อเพลิง

ในการประเมินปริมาณการใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ใช้ข้อมูลของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย 2 ขนาด คือ ขนาด 10 และ 20 MW เปรียบเทียบกัน ดังนี้

<u>กำลังเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 10 MW</u>[10]

หากประมาณว่าเดินเครื่องปฏิกรณ์เคลียร์วิจัย ที่ 270 - Full power day ต่อปี (หรือ 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 270 วันต่อปีที่ 10 MW) ค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ประมาณ 1.5–2 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี หรือประมาณ 51-68 ล้านบาทต่อปี (ใช้อัตราแลกเปลี่ยนที่ 34 บาทต่อ 1 เหรียญสหรัฐ) โดยตัวเลขนี้ยังไม่รวมค่าขนส่งเชื้อเพลิง ซึ่งไม่สามารถประมาณได้ เพราะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ ในการทำสัญญากับบริษัทขายเชื้อเพลิง และกฎหมายการขนส่งเชื้อเพลิง

<u>กำลังเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 20 MW</u>

ในกรณีของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย KIJANG กำลัง 20 MW ของประเทศเกาหลีใต้ ระบุว่าจะใช้แท่งเชื้อเพลิง 2 แท่งในการเดินเครื่อง 1 รอบ ซึ่ง 1 รอบการเดินเครื่องคือ 50 วัน และแท่งเชื้อเพลิงแต่ละแท่งมีราคาประมาณ 200,000 เหรียญสหรัฐ จากข้อมูลเหล่านี้ สามารถคำนวณได้ว่าหากเดินเครื่อง

[10]Private communication

ปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่ 270 - Full power day ต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงประมาณ 1.68 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี หรือประมาณ 60.5 ล้านบาทต่อปี (ใช้อัตราแลกเปลี่ยนที่ 34 บาทต่อ 1 เหรียญสหรัฐ)

การที่ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับกรณี 10 MW ถึงแม้ว่าจะเดินเครื่องที่ 20 MW นั้น เนื่องจากเชื้อเพลิงแบบ Plate-type (U-7Mo) ที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย KIJANG มีราคาที่ถูกกว่าเชื้อเพลิงแบบ TRIGA

4.10.2 ค่าใช้จ่ายในการจัดการเชื้อเพลิงใช้แล้ว

จากข้อมูลการประชุมกลุ่มกับบุคลากรของสทน. คาดว่าจะเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วใน Auxiliary pool ในระยะ 20 ปีแรก แล้วเมื่อครบระยะเวลา 20 ปีแล้ว ก็จะพิจารณาการจัดเก็บเชื้อเพลิงแบบแห้ง (Dry storage) ดังนั้นในการใช้งานในช่วง 20 ปีแรก จึงยังไม่มีค่าใช้จ่ายโดยตรงในการจัดการกับเชื้อเพลิงใช้แล้ว

ทั่วโลกมีประสบการณ์ในการจัดเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในระยะสั้น (ไม่เกิน 30 ปี) โดยเก็บในบ่อ Auxiliary ที่ต่อเชื่อมกับบ่อของแกนปฏิกรณ์ฯ ซึ่งจะต้องมีการจัดการคุณภาพน้ำเป็นอย่างดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนของท่อบรรจุเชื้อเพลิงในระหว่างการจัดเก็บ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีได้ ค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะต่ำและจะรวมอยู่ในงบประมาณในการเดินเครื่องแล้ว โดยสามารถจัดเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วในบ่อดังกล่าวได้นานตราบที่ส่วนที่ใช้จัดเก็บยังไม่เต็ม อย่างไรก็ตามในระยะยาวกว่านี้ควรพิจารณาเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วแบบแห้ง (Dry storage) ต่อไป ซึ่งในปัจจุบันทั่วโลกยังมีประสบการณ์ในการจัดเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วแบบ Dry storage น้อยมาก

4.10.3 ค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ

การประเมินค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่อง ใช้ข้อมูลขนาดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบหล่อเย็นแกนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาด 2 MW และระบบปรับความดันในอาคารเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งประกอบด้วย

ตารางที่ 4.6 ค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า
มอเตอร์ไฟฟ้าของระบบหล่อเย็นปฐมภูมิ	40 kW
มอเตอร์ไฟฟ้าของระบบหล่อเย็นทุติยภูมิ	37 kW
มอเตอร์ของหอระบายความร้อน	22 kW
มอเตอร์ระบบปรับความดันทางเข้า	8 kW
มอเตอร์ระบบปรับความดันทางออก	15 kW
ระบบควบคุมอื่นๆ	8 kW
รวม	**130 kW**

หากประมาณการเดินเครื่องที่ 270 วัน 24 ชั่วโมงต่อวัน และค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท จะมีค่าไฟฟ้า 2.52 ล้านบาทต่อปี และเครื่องขนาด 10 MW มีขนาดกำลังต่างกัน 5 เท่า จะสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้า 12.6 ล้านบาทต่อปี

4.10.4วัสดุและสารเริ่มต้นการผลิตไอโซโทป

- สารเริ่มต้นการผลิตไอโซโทป ผู้ผลิตจะต้องจัดหา LEU สำหรับผลิต Mo-99 ได้ในช่วงเวลา 5-10 ปี ตามแผนการผลิต
- สารเริ่มต้นและอุปกรณ์ในการผลิต I-131 และ Ir-192 เป็นไปตามแผนการผลิต
- วัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆและวัสดุงานบ้านสามารถประเมินจากสถิติการใช้ในปีที่ผ่านมาประกอบกับการขยายงานที่เพิ่มขึ้น

4.11 การจัดหาเครื่องจักรและวัตถุดิบ

4.11.1 แผนการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการขนาดใหญ่ในการดำเนินการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบสนับสนุนการปฏิบัติการพร้อมอุปกรณ์ประกอบ จะต้องจัดทำข้อกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคให้ครอบคลุมความต้องการและประเมินจัดแบ่งสัดส่วนมูลค่าต่อโครงการเป็นระยะ ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบของระบบหลักอย่างละเอียด และมีผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เป็นที่ปรึกษา รวมทั้งดำเนินการจัดหาสำหรับโครงการอย่างโปร่งใสและรัดกุม โดยมีแนวดำเนินการดังนี้

1. สรรหาที่ปรึกษาต่างประเทศที่มีประสบการณ์ในการดำเนินโครงการแบบพร้อมใช้งานได้ทันที (Turnkey)
2. การร่วมออกแบบตามความต้องการ การวางแผนดำเนินการก่อสร้าง การศึกษาผลกระทบของโครงการขนาดใหญ่ เพื่อให้การดำเนินงานไม่ติดขัด
3. จัดทำข้อกำหนดการจัดซื้อ TOR ซึ่งประกอบด้วย
    - การร่างสัญญาซื้อขาย ข้อกำหนดทางเทคนิค การประเมินจัดแบ่งสัดส่วนมูลค่าต่อโครงการและการดำเนินการจัดหาตามระเบียบพัสดุ
    - การพิจารณาสำรองอะไหล่และวัสดุสิ้นเปลือง การรับประกันการบริการหลังขาย การถ่ายทอดเทคโนโลยี
4. การจัดประมูลโครงการขนาดใหญ่ และคัดเลือกผู้ผลิตที่มีความน่าเชื่อถือ มีความมั่นคง สามารถให้ประกันด้านบริการตลอดอายุการใช้งาน

5. การจัดเตรียมบุคลากรในการเข้าร่วมงานติดตั้งเพื่อรับการถ่ายทอดการบำรุงรักษา การควบคุมติดตามปริมาณงาน การตรวจรับงานและการบังคับสัญญาประมูล

4.11.2 แผนการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

การจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการดำเนินการได้โดยวิศวกรหรือนักวิทยาศาสตร์ของสถาบันฯ เนื่องจากมีประสบการณ์ตรงมานาน เป็นการจัดซื้อตามขั้นตอน

1. จัดตั้งคณะทำงานในการดูแลการจัดซื้อเพื่อให้ได้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่วางแผนไว้เป็นไปตามวัตถุประสงค์
2. จัดทำข้อกำหนดทางเทคนิคในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่มีความชัดเจน เพื่อความราบรื่นในกระบวนการจัดซื้อ
3. ดำเนินการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการตามระเบียบพัสดุ
4. เตรียมการในการบำรุงรักษา เพื่อให้เครื่องมือมีอายุใช้งานยาวนาน

4.12 ประมาณการต้นทุนการผลิต

4.12.1 ต้นทุนเครื่องปฏิกรณ์และระบบสนับสนุนการปฏิบัติการ

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยฯ แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ เงินลงทุนเบื้องต้นและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่อง โดยเงินลงทุนเบื้องต้น เป็นต้นทุนคงที่ประมาณจากข้อมูลประมาณการก่อสร้างของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยแบบอเนกประสงค์ขนาด 10-20 MW ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจาก Dr. Cheol PARK, Research Reactor Technology Development Department, KAERI (ตามรายละเอียดในภาคผนวก ค) โดยใช้อัตราแลกเปลี่ยน 34 บาทต่อหนึ่งเหรียญสหรัฐ และทำการปรับลดมูลค่าการก่อสร้างในส่วนค่าเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง (Site preparation) และสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ฯ (Reactor building) จากค่าแรงงานที่แตกต่างกันของเกาหลีและประเทศไทย และการใช้วัสดุก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฯ ที่ผลิตในประเทศได้บางส่วน (localization) โดยอ้างอิงจากโครงการ “การศึกษาและจัดทำแผนงานโครงสร้างอุตสาหกรรมและมาตรฐานอุตสาหกรรมและการพาณิชย์”[11] ซึ่งเป็นโครงการวิจัยด้านเตรียมความพร้อมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ของสำนักพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

[11] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย “โครงการศึกษาและจัดทำแผนงานด้านโครงสร้างอุตสาหกรรมและการพาณิชย์” รายงานฉบับสมบูรณ์ ส่ง สำนักพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ 2553

ข้อสมมติในการศึกษา

- มูลค่าการก่อสร้างประกอบด้วยค่าแรงและวัสดุ ในการประเมินราคากลางมูลค่าการก่อสร้างจะคิดค่าแรงในสัดส่วน 30% และค่าวัสดุ 70% ของมูลค่าการก่อสร้างรวม[12]
- ส่วนของค่าแรงในการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาจากอัตราค่าแรงขั้นต่ำของประเทศเกาหลีใต้สูงกว่าไทย 5 เท่า ดังนั้นจึงประมาณการค่าแรงของไทยเท่ากับ 20% ของค่าแรงเกาหลีใต้
- ส่วนค่าวัสดุในการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถใช้วัสดุที่ผลิตในประเทศได้บางส่วนทำให้ค่าวัสดุในการก่อสร้างลดลง โดยประมาณค่าวัสดุในการก่อสร้างของไทยเท่ากับ 63 % ของค่าวัสดุในเกาหลีใต้
- การปรับค่าแรงและค่าวัสดุในการก่อสร้างจะเป็นการปรับมูลค่าเฉพาะค่าเตรียมพื้นที่ก่อสร้างและค่าก่อสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor building ปีที่ 1-3)

เมื่อนำมูลค่าในการปรับลดของค่าแรงและวัสดุก่อสร้างมาเฉลี่ย จะทำให้ลดมูลค่าในส่วนการก่อสร้างลงได้ประมาณ 50% ดังนั้นสามารถประมาณเงินลงทุน ได้ดังนี้

	หน่วย (ล้านบาท)
1. ที่ดินที่ใช้ก่อสร้างโครงการ 18 ไร่	11.52
2. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุน มูลค่ารวม	**15,762.99**
- ค่าเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง 761.60 ล้านบาท (22.4 M US$) ปรับลดเป็น	381.56
- ค่าก่อสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ 4,926.60 ล้านบาท (144.9 M US$) ปรับลดเป็น	2,468.23
- ราคาเครื่องปฏิกรณ์ฯ และเชื้อเพลิง พร้อมติดตั้ง (175.9 M US$)	5,980.60
- ราคาระบบสนับสนุนการปฏิบัติการ	4569.60
- ราคาระบบท่อนำลำนิวตรอนพร้อมเครื่องมือ	2,363.00

รวมเป็นมูลค่าการลงทุนทั้งหมด 15,762.99 ล้านบาท โดยโครงการใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างประมาณ 6 ปี และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีอายุการใช้งาน 40 ปี

[12] หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลาง งานก่อสร้างอาคาร กรมบัญชีกลาง 2559

4.12.2 ประมาณการจำนวนค่าแรงที่เพิ่มขึ้นในโครงการ

ค่าใช้จ่ายของบุคลากรที่เพิ่มขึ้นต่อเดือนจะเป็นไปตามวุฒิการศึกษา ดังนี้

ตารางที่ 4.7ค่าใช้จ่ายบุคลากรที่เพิ่มขึ้นในโครงการ

ตำแหน่ง	วุฒิการศึกษา	จำนวน (คน)	อัตราเงินเดือน (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่อเดือน (บาท)
นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์	ปริญญาเอก	13	30,000	390,000
	ปริญญาตรี	22	16,000	352,000
วิศวกรนิวเคลียร์	ปริญญาตรี	5	16,000	80,000
เภสัชกร	ปริญญาตรี	2	16,000	32,000
ช่างเทคนิค	ปวส.	17	13,000	221,000
	ปวช.	8	11,500	92,000
เจ้าหน้าที่ธุรการ	ปริญญาตรี	2	16,000	32,000
	ปวส.	1	13,000	13,000
พนักงานทั่วไป	ปวช./ม.ปลาย	8	11,500	92,000
รวม		**78**	**1,304,000**	

ดังนั้นค่าใช้จ่ายของบุคลากรที่จำเป็นในการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยการควบคุมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ และการบำรุงรักษา จะเป็นเงินทั้งสิ้น 1,304,000 บาทต่อเดือน หรือ 15,648,000 บาทต่อปี[13]

4.12.3 ประมาณการพัฒนาองค์กร

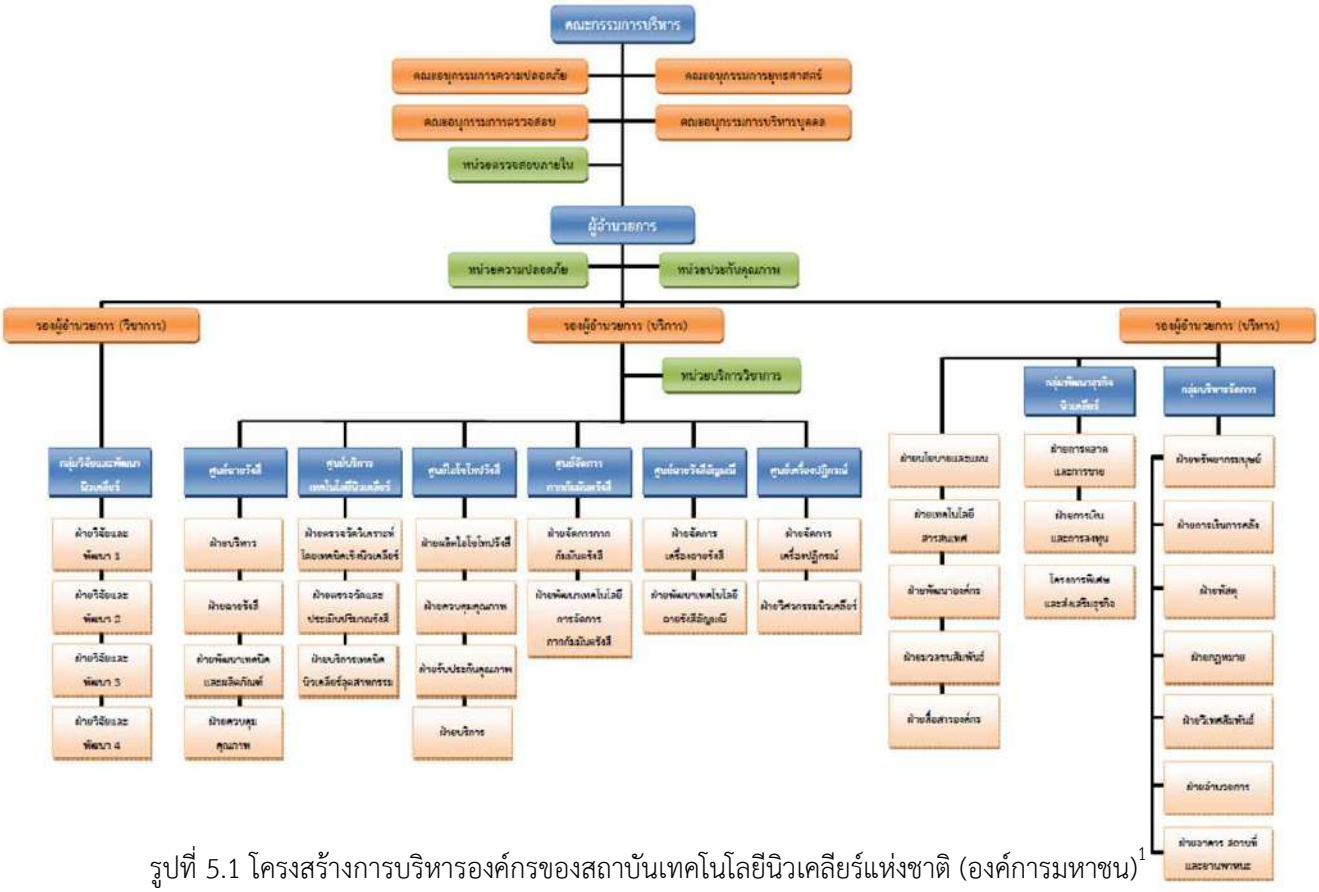
ในการดำเนินงานจำเป็นต้องมีการพัฒนาองค์กรจึงต้องจัดงบประมาณในด้านต่างๆ ได้แก่ งบประมาณด้านการพัฒนาบุคลากรเพื่อรองรับการบริหารการเดินเครื่องกำลังสูงเป็นเงิน 4 ล้านบาทต่อปี งบประมาณประชาสัมพันธ์และสร้างมวลชนสัมพันธ์เป็นเงิน 1.55 ล้านบาทต่อปี ซึ่งอาจเป็นงบประมาณร่วมในงานบริหารส่วนกลาง

[13]อัตราเงินเดือนของ สทน.

บทที่ 5
แผนการจัดองค์กรและการจัดการ

5.1 โครงสร้างองค์กร

จากนโยบายผู้บริหารในด้านการจัดกลุ่มงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่เกิดขึ้นใหม่ ในระยะเริ่มต้นยังคงดำเนินงานให้บริการในหน่วยงานที่มีอยู่เดิม โดยยังไม่แยกออกเป็นศูนย์เฉพาะด้าน ดังนั้น กลุ่มงาน 7 กลุ่มงานที่เลือกดำเนินการศึกษาเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในโครงการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและส่วนสนับสนุนการให้บริการวิจัยและนวัตกรรม จะอยู่ดำเนินงานภายใต้โครงสร้างสถาบันฯ ดังนี้



รูปที่ 5.1 โครงสร้างการบริหารองค์กรของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)[1]

[1] http://www.tint.or.th

- กลุ่มงานผลิตไอโซโทปรังสี เป็นกลุ่มงานในศูนย์ไอโซโทปรังสี (ศอ)
- กลุ่มงานด้านการฉายรังสีอัญมณีเป็นกลุ่มงานในศูนย์ฉายรังสีอัญมณี (ศร)
- กลุ่มงานด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์ เป็นกลุ่มงานภายใต้กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ 3
- กลุ่มงานด้านการโดปสารกึ่งตัวนำในระยะแรกจะดำเนินงานรวมอยู่กับศูนย์เครื่องปฏิกรณ์ (ศป)
- กลุ่มงานด้านทดสอบและวิเคราะห์วัสดุดำเนินงานภายใต้กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ (วพ) และศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (ศท)
- กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรมเป็นกลุ่มงานในกลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ 1 และ 4
- กลุ่มผู้ปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ดำเนินงานภายใต้กลุ่มปฏิบัติการเทคโนโลยีนิวเคลียร์

ในการดำเนินงานควรมีการปรับอัตรากำลังของศูนย์และกลุ่มงานหลัก เพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์และบริหารจัดการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่ สรุปประเด็นได้ดังนี้

1. การจัดการโครงสร้างองค์กรยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง และสามารถดำเนินงานครอบคลุมการให้บริการและการรองรับงานวิจัยได้
2. มีการปรับอัตรากำลังคนในโครงสร้างให้สอดคล้องกับการมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่ โดยบุคลากรที่ต้องการเพิ่มมีดังนี้
   - ศูนย์ไอโซโทปรังสีเพิ่มกำลังคน 31 คน
   - ศูนย์ฉายรังสีอัญมณีเพิ่มกำลังคน 10 คน
   - ด้านงานปรับปรุงพันธุศาสตร์ เพิ่มกำลังคน 3 คน
   - ด้านการโดปสารกึ่งตัวนำเพิ่มกำลังคน 8 คน
   - ด้านการวิจัยและพัฒนาเพิ่มกำลังคนประมาณ 10 คน
   - ด้านวิศวกรรมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพิ่มกำลังคน 16 คน
3. กลุ่มพัฒนาธุรกิจนิวเคลียร์ควรมีบุคลากรที่มีพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ เพื่อทำหน้าที่ Technical Sales ประสานงานกับกลุ่มงานต่างๆด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม ด้านการวิจัยและวิชาการ ในการดำเนินงานเชิงรุกด้านการตลาด
4. กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์จำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนนักวิจัยด้านฟิสิกส์มากขึ้น

5.2 กำลังคน Job Description, Job Specification

ในการบริหารจัดการหน่วยงานในโครงการฯ ต้องมีการกำหนดลักษณะงาน (Job Description) คุณสมบัติเฉพาะตำแหน่ง (Job Specification) การมอบหมายปริมาณงาน (Job Assignment) และเกณฑ์การประเมินงาน (Job Evaluation) เพื่อการจัดกำลังคนให้เหมาะกับงาน การวางแผนพัฒนาทักษะกำลังคนและการประเมินผลงานที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการปฏิบัติงานด้านรังสีการกำหนดคุณสมบัติเฉพาะตำแหน่งต้องเพิ่มคุณสมบัติอื่น (Qualification) ตามกฎระเบียบผู้ปฏิบัติงานทางรังสีหรือผู้ปฏิบัติงานเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย นอกจากนี้ในการดำเนินงานต้องคำนึงถึงการเตรียมกำลังคนและตำแหน่งให้สอดคล้องกับการเดินเครื่องในลักษณะปฏิบัติงานล่วงเวลาเป็นกะ (Shift) ผลัดละ 8 ชั่วโมง ตามกฎหมายแรงงาน ตำแหน่งและกำลังคนในการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดกำลัง 10 MW และบำรุงรักษา

อนึ่ง การประเมินตำแหน่งและจำนวนบุคลากรดังแสดงในตารางที่ 5.1 นั้นกระทำภายใต้สมมติฐานการปฏิบัติงานในหนึ่งปีซึ่งประกอบด้วย 10 รอบการทำงาน (1 รอบประกอบด้วยการทำงาน 20 วัน 24 ชั่วโมงต่อวัน และพักเปลี่ยนเชื้อเพลิง 7 วัน) คิดเป็นจำนวนวันทำงาน 270 วัน เวลาที่เหลืออีก 65 วันเป็นระยะการดูแลรักษาเครื่องปฏิกรณ์และการฝึกอบรมทบทวนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่แกนปฏิกรณ์ฯ

ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งและกำลังคนที่จำเป็นในการเดินเครื่องฯ และบำรุงรักษา

Position	Quantity	Qualification
Reactor Manager	1	Senior engineer
Quality assurance & safety engineer	1	Senior engineer
Secretary	1	-
Operation section		
Operation Manager	1	Senior engineer
Shift (4 shifts)		
- Shift supervisor	4	Engineer
- Senior reactor operator	4	Senior technician
- Reactor operator	8	Technician
Radiation protection/Health physics section		
Radiation protection/Health physics manager	1	Senior engineer

Position	Quantity	Qualification
Radiation protection/ Health physics officer	4	Technician/ Engineer
Maintenance section		
Maintenance Manager	1	Senior engineer
Electronic specialist	2	Technician/ Engineer
Systems specialist	2	Technician/ Engineer
Mechanical specialist	2	Technician/ Engineer
Total	**32**	

5.2.1 กลุ่มงานผลิตไอโซโทปรังสี ต้องการบุคลากรใหม่ จำนวน 31 คน โดยแบ่งเป็นเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์พนักงานห้องทดลอง และช่างเทคนิค ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานผลิตไอโซโทป

ระดับการศึกษา	ตำแหน่ง	จำนวน (คน)
ระดับปริญญาตรี	เภสัช (ด้านประกันคุณภาพและควบคุมคุณภาพ)	2
	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (Ir-192)	4
	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (Isotope อื่นๆ)	1
	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (Lu-177,Ho-166,Rituximab)	2
	Supervisor (ควบคุมการผลิตไอโซโทป)	1
	นักวิทยาศาสตร์ (ประกันคุณภาพ)	2
	นักวิทยาศาสตร์ (ควบคุมคุณภาพ)	1
	นักวิทยาศาสตร์เคมี (ควบคุมคุณภาพ)	1
	นักวิทยาศาสตร์ชีววิทยา (ควบคุมคุณภาพ)	1
	นักวิทยาศาสตร์ (บริการ)	1
	เจ้าหน้าที่ธุรการ	2
ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 หรือ ปวช.	พนักงานห้องทดลอง	6
	พนักงานขับรถ	1
	ช่างเทคนิค (ไฟฟ้า)	3
	ช่างเทคนิค (เครื่องกล)	3
รวม		**31**

5.2.2 กลุ่มงานด้านการฉายรังสีอัญมณี ต้องการบุคลากรใหม่ จำนวน 10 คนโดยแบ่งเป็นเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และลูกจ้าง ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี

ระดับการศึกษา	ตำแหน่ง	จำนวน (คน)
ระดับปริญญาตรี	เจ้าหน้าที่ (นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์)	3
ปวส.	ลูกจ้าง (อิเล็กทรอนิกส์, ออกแบบการผลิต)	7
รวม		**10**

5.2.3 กลุ่มงานด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์ ต้องการบุคลากรใหม่จำนวน 3 คน เป็นเจ้าหน้าที่ระดับปริญญาเอกที่มีความรู้ความสามารถด้านวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระดับเซลล์และดีเอ็นเอ (Molecular biology)

ตารางที่ 5.4 ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานด้านปรับปรุงพันธุศาสตร์

ระดับการศึกษา	ตำแหน่ง	จำนวน (คน)
ระดับปริญญาเอก	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (Molecular biology)	3
รวม		**3**

5.2.4 กลุ่มงานด้านการโดปสารกึ่งตัวนำ ต้องการบุคลากรใหม่ จำนวน 8 คนโดยแบ่งเป็นวิศวกรนิวเคลียร์ นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ด้านวัสดุศาสตร์ ช่างเทคนิค และพนักงานทั่วไป ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานการโดปสารกึ่งตัวนำ

ระดับการศึกษา	ตำแหน่ง	จำนวน (คน)
ปริญญาตรี	วิศวกรนิวเคลียร์ (เครื่องกลหรือไฟฟ้า)	1 (เจ้าหน้าที่)
	นักวิทยาศาสตร์ (วัสดุศาสตร์)	1 (เจ้าหน้าที่)
ปวส.	ช่างเทคนิค (เครื่องกล, ไฟฟ้าและธุรการ)	3 (1เจ้าหน้าที่ 2ลูกจ้าง)
ปวช.	ช่างทั่วไป (เครื่องกลและไฟฟ้า)	2 (ลูกจ้าง)
มัธยมศึกษาตอนปลาย	พนักงานทั่วไป	1 (ลูกจ้าง)
รวม		**8**

5.2.5 กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม ต้องการบุคลากรใหม่ จำนวน 10 คนเป็นเจ้าหน้าที่ระดับปริญญาเอกที่มีความรู้ความสามารถในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์ โดยแบ่งจำนวนเจ้าหน้าที่ตามชนิดของงาน ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม

ระดับการศึกษา	ตำแหน่ง	จำนวนบุคลากร (คน)
ปริญญาเอก	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (NAA)	2
	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (PGNAA)	2
	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (Neutron imaging)	3
	นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ (Neutron scattering)	3
	รวม	**10**

5.2.6 ด้านวิศวกรรมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เมื่อพิจารณาบุคลากรเดิมที่มีอยู่และปรับเข้ากับแผนกำลังคนใหม่แล้ว คาดว่าต้องการบุคลากรใหม่ จำนวน 16 คนโดยแบ่งจำนวนเจ้าหน้าที่ตามจำนวนกะ (Shift) 4 กะ (3 กะ, สำรอง 1 กะ) กะละ 8 ชั่วโมงตามกฎหมายแรงงาน ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ตำแหน่งและกำลังคนเพิ่มเติมของกลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

ระดับการศึกษา	ตำแหน่ง	จำนวนต่อกะ(คน)	จำนวนรวม x4 กะ (คน)
ปริญญาตรี	Shift Supervisor / Senior Reactor Operator	1	4
	Radiation Protection / Health physics Officer	1	4
ปวส.	Reactor Operator	2	8
รวม		**4**	**16**

5.3 อาคารสำนักงาน ยานพาหนะและอุปกรณ์สำนักงาน

เพื่อบริหารจัดการให้ตอบสนองความต้องการด้านกระบวนการผลิตและการให้บริการตามแผนกำลังการผลิต นอกจากอาคารกำบังรังสีในส่วนสนับสนุนการปฏิบัติงานแล้ว ยังต้องมีอาคารสำนักงานของหน่วยและองค์ประกอบสนับสนุนให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน โดยการวางแผนการบริหารงานต้องมีการจัดเตรียมดังนี้

1. อาคารสำนักงานย่อยของส่วนงานมีลักษณะเป็นอาคารที่เชื่อมต่อกับอาคารสนับสนุนการปฏิบัติงานซึ่งต้องมีการจัดแบ่งพื้นที่ใช้ประโยชน์การให้บริการในด้านต่างๆ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการ ห้องประชุม ห้องรับแขก ห้องพยาบาล ห้องอาบน้ำและห้องพักเจ้าหน้าที่ ต้องมีระบบฉุกเฉินทางรังสี ระบบความปลอดภัย ระบบป้องกันอัคคีภัยและสาธารณูปโภค เช่น ระบบประปาสำรอง ระบบกำเนิดไฟฟ้าสำรองและระบบสื่อสาร ได้แก่ โทรศัพท์ ระบบเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) เป็นต้น
2. ยานพาหนะในการติดต่องานหรือนำส่งผลผลิต อาจจะเลือกรูปแบบแยกบริการ หรือแบบรวมบริการ หรือจัดจ้างภายนอก (Outsource) หรือผสมผสาน ขึ้นกับความคล่องตัวและนโยบายการบริหาร ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป ต้องมีการพิจารณาลักษณะงานว่าส่วนใดเป็นกิจวัตร ส่วนใดจัดเพิ่มในกรณีภารกิจเร่งด่วน หรือส่วนที่ต้องเตรียมกรณีฉุกเฉิน
3. อุปกรณ์สำนักงานที่จำเป็นในส่วนปฏิบัติงานระดับผู้จัดการและห้องพัก เฟอร์นิเจอร์สำหรับการรับแขก คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์ การประชุม การสัมมนา เป็นต้น

5.4 กิจกรรมด้านเทคนิคก่อนการดำเนินการ

5.4.1 การเตรียมความพร้อมในการดำเนินงานด้านเทคนิค

สืบเนื่องจากเมื่อปลายปี พ.ศ. 2559 อดีตรัฐมนตรีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ให้ความสนใจถึงความก้าวหน้าของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของประเทศ และได้มอบมายให้ดำเนินโครงการอย่างบูรณาการร่วมกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยมีประเด็นสำคัญที่ต้องเชิญเจ้าหน้าที่ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ที่มีความเชี่ยวชาญในการดำเนินโครงการนี้มาให้คำปรึกษาด้านข้อมูลสำคัญทางเทคนิค เช่น ขั้นตอนการดำเนินงาน สถานที่ตั้ง ข้อมูลด้านความปลอดภัย การวิเคราะห์ผลกระทบด้านต่างๆ เป็นต้น กำหนด Timeline ของโครงการให้ชัดเจน เพื่อให้เกิดความรอบคอบในการทบทวนศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ก่อนที่จะนำเสนอโครงการเข้าสู่สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สภาพัฒน์) เพื่อพิจารณาให้ความเห็นชอบต่อไป

ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการประชุมหารือกับผู้บริหาร ประกอบด้วย

1. สถานที่ซึ่งจะดำเนินการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ ในภาพรวมหากไม่ติดขัดปัญหาทางด้านข้อระเบียบกฎหมายยังคงยืนยันสร้างบนพื้นที่ของสถาบันฯ ที่ 9/9 ตำบลทรายมูล อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก เพื่อรองรับโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) เดิมที่มีอยู่แล้ว อาจจำเป็นต้องทำการปรับย้ายอาคารบางส่วนและขยายพื้นที่เพิ่มออกไป ทาง

ผู้บริหาร สทน.คาดว่าจะปัญหาน้ำท่วมไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณนี้ เนื่องจาก ในปี พ.ศ. 2554 เกิดน้ำท่วมใหญ่ แต่พื้นที่ตรงส่วนนี้น้ำท่วมไม่ถึง คณะที่ปรึกษาโครงการขอให้มีการศึกษาข้อมูลของบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ฯ เพิ่มเติม เช่น เรื่องสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่และทางน้ำของเขื่อนขุนด่าน โอกาสเสี่ยงในการเกิดอุทกภัย แนวลอยเลื่อนที่เคยมีการศึกษาไว้ รวมไปถึงการตรวจสอบเรื่องแผนการสร้างทางด่วนที่จะมาลงในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ของการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่

2. ผลกระทบจากข้อกำหนดในกฎหมายด้านสถานปฏิบัติการทางนิวเคลียร์ ทางคณะที่ปรึกษาได้ปรารภเรื่องขอบเขตพื้นที่กีดกัน (Exclusion zone) จากการหารือกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ว่าถ้าใช้กฎกระทรวงเดิมที่ ปส. ทำไว้ หรือการกำหนดใช้รัศมีของเขตพื้นที่ติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตามขนาดกำลังเของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ในกฎหมายใหม่อาจจะส่งผลทำให้ไม่สามารถติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยได้ ซึ่งกฎระเบียบนี้ยังเป็นปัญหาว่าจะปรับอย่างไรจึงจะสามารถดำเนินการต่อไปได้ ควรจะอ้างอิงจากมาตรฐานสากลที่มีการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ซึ่งเรื่องนี้ทางผู้บริหาร สทน.ต้องประสานหารือกับ ปส. เรื่องกฎหมายที่ยังไม่นิ่ง เพราะข้อปัญหานี้เป็นอุปสรรคในการดำเนินโครงการฯ
3. แผนการศึกษาผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม ทางผู้บริหารกล่าวถึงโครงการเดิมซึ่งได้มีการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment : EIA) ไว้นั้น เชื่อได้ว่าไม่น่าจะมีผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ เพราะพื้นที่ส่วนใหญ่ทำการเกษตรแต่ประสบปัญหาดินเปรี้ยว ทำการเกษตรไม่ค่อยได้ผล นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลรังสีพื้นหลังมาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามเนื่องจากระยะเวลาได้ล่วงเลยมานานประกอบกับการดำเนินโครงการขนาดใหญ่ในปัจจุบันมีข้อกฎหมายที่จะต้องจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบครบถ้วนรอบด้าน ทั้งการศึกษาและจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (EIA) ผลกระทบทางสังคม (Social Impact Assessment : SIA) และผลกระทบด้านสุขภาพ (Health Impact Assessment : HIA) เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาแนวทางการดำเนินโครงการฯ ให้สอดคล้องกับสภาพชุมชนและสังคมในพื้นที่และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชน รวมถึงลดผลกระทบทางลบแก่ชุมชนและสังคมให้มากที่สุด
4. ความเชื่อมโยงกับโครงการที่มีอยู่เดิม ทาง ผสทน. ได้ให้ข้อมูลว่าในส่วนของการใช้พื้นที่ปัจจุบันยังไม่มีการก่อสร้างโครงการอื่นใหม่และสามารถรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเดิมเพื่อเลื่อนขยับตำแหน่งติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและอาคารสนับสนุนการปฏิบัติงานให้เหมาะสมได้ รองผู้อำนวยการ (บริหาร) ได้กล่าวถึงงานด้านมวลชนสัมพันธ์ในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา การ

ยอมรับของชุมชนจากแบบสอบถามอยู่ที่ 45% แต่ ณ ปัจจุบัน การยอมรับเพิ่มขึ้นเป็น 53% ซึ่งมีการแยกสำรวจโดยแบ่งคำถามออกเป็น 2 ส่วน

1) การสอบถามความเห็นเรื่องการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนิวเคลียร์ต่างๆ ของ สทน. ผลสำรวจพบว่า เห็นด้วย 88%
2) การสอบถามความเห็นเรื่องการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในพื้นที่ปัจจุบัน ผลสำรวจพบว่า เห็นด้วยอยู่ที่ 53% พบว่าในภาคประชาชนยังมีความกังวล และไม่แน่ใจในโครงการฯ

5. บุคลากรระดับผู้เชี่ยวชาญที่มีอยู่ในปัจจุบันและอัตรากำลังในโครงสร้างการดำเนินงาน จากการหารือทราบว่าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวเก่าที่ตั้งอยู่ ณ สทน.บางเขน นี้ มีจำนวนเจ้าหน้าที่ที่ใช้เดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ประมาณ 12 คนและหาก สทน. มีนโยบายคงการใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์ฯตัวเก่านี้ไว้โดยไม่มีการเลิกดำเนินการ หรือ รื้อถอน (decommissioning) จะทำให้จำนวนเจ้าหน้าที่เดินเครื่องไม่เพียงพอสำหรับเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่จะสร้างในโครงการที่ศึกษานี้ ดังนั้น ถ้ามีการสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่จะต้องมีการจัดการด้านกำลังคนให้เหมาะสมกับแผนการให้บริการและวิจัย ที่ปรึกษาได้ให้ข้อคิดเห็นว่าถ้าผู้บริหาร สทน.จะทำการยกเลิกดำเนินการและรื้อถอนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวเก่าจะต้องพิจารณาปัจจัยในหลายๆด้าน รวมถึงพิจารณาความคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเลิกดำเนินการกับการเดินเครื่องที่กำลังต่ำต่อไปโดยอาจจะปรับแผนดำเนินงาน เพื่อใช้งานเฉพาะด้านวิจัยที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกำลังสูง หรือประโยชน์ทางการศึกษาและการพัฒนากำลังคนด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ เนื่องจากปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อตัดสินใจยกเลิกดำเนินการ คือ

1) ค่าใช้จ่ายที่สูงมากทั้งการวางแผนดำเนินการ การรื้อถอน (dismantling) การขจัดการเปรอะเปรื้อน (decontamination) การดำเนินการโดยผู้ชำนาญการจากต่างประเทศ
2) การคืนพื้นที่หลังการรื้อถอนต้องมีปริมาณรังสีไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด
3) ปัญหาการจัดการเชื้อเพลิงใช้แล้วและค่าดำเนินการขนส่งเชื้อเพลิงใช้แล้ว

5.4.2 กลยุทธ์การบริหารจัดการโครงการ

ในการบริหารจัดการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีกำลังสูงและมีระบบผลิตไอโซโทปรังสีกำลังผลิตสูงขึ้น จะต้องเตรียมแผนกลยุทธ์รองรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี การใช้งาน การบำรุงรักษา และการให้บริการ โดยควรมีการวางแผนงานที่สำคัญไว้รองรับดังนี้

1. การวางแผนการจัดหาจะต้องพิจารณาความต้องการทางด้านเทคนิค ตามคำแนะนำในการจัดทำ FSR ของ IAEA ในระยะต่างๆรวมถึงการจัดเตรียมแผนด้านงบประมาณ เพื่อขอสนับสนุนงบประมาณจากรัฐบาลในโครงการใหม่ให้สอดรับกับความต้องการปัจจุบันและอัตราการเติบโตในอนาคต ตลอดจนการจัดทำ TOR กำหนดรูปแบบการจัดซื้อโครงการจัดซื้อมาพร้อมใช้งาน (Turnkey project) โดยจัดจ้างที่ปรึกษาและให้ผู้เชี่ยวชาญใน สทน. มีส่วนร่วมมากขึ้น
2. การควบคุมการปฏิบัติการตามแผนกำหนดการดำเนินงาน (timeline) ของโครงการโดยการประสานงานในทุกกลุ่มงานที่เกี่ยวข้อง
3. ดำเนินการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ (EHIA) รวมถึงการประชาสัมพันธ์โครงการ และเตรียมความพร้อมในการขออนุญาตจัดตั้งสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ตามกฎหมายกำกับดูแลความปลอดภัยทางนิวเคลียร์
4. การวางแผนกำลังคนควรจัดเตรียมกำลังคนที่สอดล้องกับแผนโครงสร้างตามความต้องการของแต่ละกลุ่มงาน โดยกำหนดคุณสมบัติ ลักษณะงานและผลงานที่ต้องการ เพื่อให้เกิดประสิทธิผลในการดำเนินโครงการ
5. แผนบำรุงรักษา ควรจัดเตรียมกำลังคนตามลักษณะงานที่มีทักษะ และพร้อมรับการถ่ายทอดการฝึกอบรมด้านบำรุงรักษา มีการจัดเตรียมอะไหล่สำรองและเครื่องมือในการบำรุงรักษา
6. แผนถ่ายทอดองค์ความรู้
    1) ภายในองค์กร ถ่ายทอดโดยผู้เชี่ยวชาญที่เกษียณอายุซึ่งได้มีการสำรวจผู้เกษียณอายุในระยะเวลา 3–5 ปีข้างหน้า และมีนโยบายมองหาจากข้างนอกมาเสริมด้วย เพราะการฝึกบุคลากรรุ่นใหม่อาจไม่ทันและควรมองหาคนมาเสริมช่วงระหว่างกลาง จัดแผนพัฒนาบุคลากรและทำเรื่อง Knowledge Management (KM) เพื่อให้องค์ความรู้ได้ถ่ายทอดไปยังคนรุ่นใหม่
    2) ภายนอกองค์กรถ่ายทอดความรู้โดยผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ ด้วยการจัดทำแผนกลยุทธ์ เพื่อจะพัฒนาบุคลากรภายในระยะ 1–3 ปีข้างหน้า เช่น ส่งบุคลากรไปฝึกอบรมเฉพาะด้าน และเชิญผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านมาให้การฝึกอบรม
7. การวางแผนยุทธศาสตร์ขององค์กร
    1) สทน. ต้องมีการวางแผนยุทธศาสตร์ขององค์กรโดยรวม เพื่อตอบสนองถึงความต้องการของประเทศด้านต่างๆ โดยต้องมีการวางแผนจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ให้สอดคล้องกัน จากการคาดการณ์ความต้องการการลงทุนในแต่ละปีและประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและสังคม

2) นอกจากนี้ควรมีการจัดทำตัวชี้วัด (KPI) เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินและติดตามความสำเร็จในการดำเนินการ

8. แผนความร่วมมือระหว่างองค์กร
    1) การติดต่อความร่วมมือในประเทศควรมีการสร้างเครือข่ายกับสถาบันวิจัยและสถาบันการศึกษา เพื่อสร้างงานวิจัย เผยแพร่ถ่ายทอดสู่อุตสาหกรรม
    2) การติดต่อความร่วมมือระหว่างประเทศควรติดต่อกับหน่วยงานในต่างประเทศเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และร่วมมือกันในการศึกษาวิจัยและพัฒนาวิชาการ รวมทั้งควรส่งเสริมการเผยแพร่ผลงานวิชาการในวารสารต่างประเทศ เพื่อสร้างการยอมรับ

5.4.3 กลยุทธ์การดำเนินงาน

แนวกลยุทธ์ในการดำเนินงานให้ตอบสนองความต้องการและการดึงดูดใจของผู้รับบริการจากทางสถาบันฯ หลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบผลิตไอโซโทปเต็มกำลังสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. จัดระบบบริการในกลุ่มพัฒนาธุรกิจให้มีรูปแบบเป็น One stop service เพื่อผู้รับบริการเข้าช่องรับบริการจุดเดียวและมีระบบประสานงานเบ็ดเสร็จในกลุ่มบริการด้านต่างๆ โดยทุกคำถามจากผู้ขอรับบริการต้องได้รับคำตอบที่ฉับไว
2. เมื่อมีการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่จำเป็นต้องเร่งจัดทำประชาสัมพันธ์เชิงรุกในสื่อต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้บริการทราบถึงการให้บริการที่เกิดขึ้นใหม่
3. สร้างผลงานวิจัยใหม่ที่ได้จากการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ที่ส่งผลต่อเศรษฐกิจและจัดตั้งหน่วยงานที่ให้บริการใหม่ ซึ่งจะเป็นการช่วยเร่งประชาสัมพันธ์สถาบันฯ
4. วิจัยและผลิตไอโซโทปรังสี สารเภสัชรังสีในรูปของ unit dose ที่ให้ความสะดวกต่อแพทย์ เพื่อลดการได้รับรังสีของแพทย์ระหว่างการรักษาคนไข้ ช่วยให้ได้เปรียบผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ
5. การแข่งขันด้านราคาและความประทับใจในการให้บริการ เป็นปัจจัยสำคัญในส่วนงานบริการเชิงธุรกิจ
6. การลดต้นทุนการผลิตอาจทำได้ในหลายกรณี เช่น การจัดจ้างคนภายนอก (Outsource) ในส่วนที่ลงทุนแล้วไม่คุ้มค่าหรือการพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการวิจัยขึ้นเองเพื่อลดการนำเข้า
7. บริหารการใช้ประโยชน์ การประยุกต์ และการให้บริการ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยให้เต็มที่และคุ้มค่าในการลงทุน
8. การทบทวนปัญหาเรื่องการขาดกำลังคนด้านการวิจัยและพัฒนาด้าน physical science รวมทั้งการพัฒนากำลังคนด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ให้เพียงพอ

9. สร้างทีมบำรุงรักษาระบบที่มีสมรรถนะสูง ในการดูแลบำรุงรักษาระบบที่รวดเร็วเพื่อลดเวลาในการบำรุงดูแลรักษาระบบ (Down time) และยืดอายุระบบ

5.5 การวางแผนรองรับอนาคตจากคาดการณ์ความต้องการ

เนื่องจากโครงการจัดหาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ของประเทศ เป็นโครงการที่อดีตรัฐมนตรีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ให้ความสนใจถึงการดำเนินงานและความก้าวหน้าของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่ผ่านมาดังนั้นเมื่อปลายปี พ.ศ. 2559 ท่านอดีตรัฐมนตรีได้มอบหมายให้สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติดำเนินโครงการอย่างบูรณาการร่วมกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติในการทบทวนการจัดหาเพื่อรองรับความต้องการด้านวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ โดยมีประเด็นสำคัญที่ต้องเชิญเจ้าหน้าที่ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ที่มีความเชี่ยวชาญในการดำเนินโครงการนี้มาให้คำปรึกษาด้านข้อมูลสำคัญทางเทคนิคก่อนที่จะนำเสนอโครงการเข้าสู่สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ(สภาพัฒน์) เพื่อพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อนการเสนอของบประมาณโครงการต่อรัฐบาล

สถาบันฯ ได้เชิญคณะผู้เชี่ยวชาญจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ภายใต้ TC Project RAS0075 “Networking for Nuclear Education, Training, and Outreach Programmers in Nuclear Science and Technology in the Framework of ANENT” มาจัดประชุมเชิงปฏิบัติการที่กรุงเทพฯ ในหัวข้อ “National Workshop and Experts’ Mission on the IAEA Milestone Approach for a New Research Reactor project” ระหว่างวันที่ 29 พฤษภาคม ถึง 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560 เพื่อให้คณะทำงานของสถาบันฯ และคณะที่ปรึกษาในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการฯ ได้ทราบถึงแนวทางในการทบทวนข้อมูลที่ผ่านมาประกอบกับข้อมูลที่จะสำรวจให้เป็นปัจจุบันเพื่อการดำเนินงานเฟสแรก (phase 1) ในการเริ่มต้นโครงการ (Pre-project) ให้สอดคล้องกับเนื้อหาหลักในเอกสาร Feasibility Study for a New Research Reactor (FSR) ตามกระบวนการในข้อแนะนำ (Guideline) ของทบวงการฯ รวมถึงการประเมินความพร้อมขององค์กรเองในโครงสร้างพื้นฐาน 19 ข้อ

เพื่อเป็นการวางแผนรองรับความต้องการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในอนาคต การดำเนินโครงการจะต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลโครงการฯ ในประเด็นเหตุผลความจำเป็น ด้านความต้องการด้านศักยภาพการแข่งขัน ตลอดจนผลกระทบด้านต่างๆ ที่จะมีผลต่อโครงการ ดังนี้

1. จัดการรวบรวม วิเคราะห์ และรายงานผลสำรวจความต้องการที่ชัดเจน อ้างถึงแหล่งที่มาของข้อมูลเพื่อใช้ประเมินความพร้อมขององค์กรเองในโครงสร้างพื้นฐาน 19 ข้อสำหรับ FSR ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
2. คาดการณ์ความต้องการสูงสุดจากผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์ ในช่วงเวลาคุ้มทุน เพื่อประเมินขนาดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์และส่วนสนับสนุน ในการรองรับอัตราการเติบโตผลิตผล
3. การพัฒนากำลังคนเพื่อรองรับในส่วนผลิตภัณฑ์ใหม่ บริการวิจัยและนวัตกรรมใหม่ ของโครงการเพื่อให้เกิดความพร้อมในการให้บริการในระยะอันรวดเร็ว

บทที่ 6
แผนการเงิน

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ประโยชน์ร่วมกัน (Shared facility) หลายภาคส่วนทั้งด้าน การแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร และการศึกษาวิจัย เป็นต้น นับว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักสำหรับสนับสนุนพันธกิจในการพัฒนาประเทศและพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับนานาอารยะประเทศ จึงมีผลกระทบต่อการขับเคลื่อนด้านการสาธารณสุข การศึกษา เศรษฐกิจ สังคม และการพัฒนาประเทศโดยรวม ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐกิจ การเงินและสังคม ในการลงทุนโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในส่วนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและระบบผลิตไอโซโทปรังสีพร้อมอุปกรณ์ประกอบนั้น จึงเป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้จากผลของรายได้ในทางการเงินและผลทางสังคมจากการให้บริการและวิจัยหลายส่วน สำหรับจัดทำแผนธุรกิจของการลงทุนโครงการ

6.1 ประมาณการเงินลงทุนในโครงการ

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยฯ แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ เงินลงทุนเบื้องต้นและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่อง โดยเงินลงทุนเบื้องต้น เป็นต้นทุนคงที่ ประมาณจากข้อมูลประมาณการก่อสร้างของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยแบบอเนกประสงค์ขนาด 10-20 MW ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจาก Dr. Cheol PARK, Research Reactor Technology Development Department, KAERI (ตามรายละเอียดในภาคผนวก ค) โดยใช้อัตราแลกเปลี่ยน 34 บาทต่อหนึ่งเหรียญสหรัฐ และทำการปรับลดมูลค่าการก่อสร้างในส่วนค่าเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง (Site preparation) และสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ฯ (Reactor building) จากค่าแรงงานที่แตกต่างกันของเกาหลีและประเทศไทยและการใช้วัสดุก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฯ ที่ผลิตในประเทศได้บางส่วน (localization) โดยอ้างอิงจากโครงการ “การศึกษาและจัดทำแผนงานโครงสร้างอุตสาหกรรมและมาตรฐานอุตสาหกรรมและการพาณิชย์”[1] ซึ่งเป็นโครงการวิจัยด้านเตรียมความพร้อมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ของสำนักพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

[1] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย “โครงการศึกษาและจัดทำแผนงานด้านโครงสร้างอุตสาหกรรมและการพาณิชย์” รายงานฉบับสมบูรณ์ ส่ง สำนักพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ 2553

ข้อสมมติในการศึกษา

- มูลค่าการก่อสร้างประกอบด้วยค่าแรงและวัสดุ ในการประเมินราคากลางมูลค่าการก่อสร้างจะคิดค่าแรงในสัดส่วน 30% และค่าวัสดุ 70% ของมูลค่าการก่อสร้างรวม [2]
- ส่วนของค่าแรงในการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาจากอัตราค่าแรงขั้นต่ำของประเทศเกาหลีใต้สูงกว่าไทย 5 เท่า ดังนั้นจึงประมาณการค่าแรงของไทยเท่ากับ 20% ของค่าแรงเกาหลีใต้
- ส่วนค่าวัสดุในการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถใช้วัสดุที่ผลิตในประเทศได้บางส่วนทำให้ค่าวัสดุในการก่อสร้างลดลง โดยประมาณค่าวัสดุในการก่อสร้างของไทยเท่ากับ 63 % ของค่าวัสดุในเกาหลีใต้
- การปรับค่าแรงและค่าวัสดุในการก่อสร้างจะเป็นการปรับมูลค่าเฉพาะค่าเตรียมพื้นที่ก่อสร้างและค่าก่อสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor building ปีที่ 1-3)

เมื่อนำมูลค่าในการปรับลดของค่าแรงและวัสดุก่อสร้างมาเฉลี่ย จะทำให้ลดมูลค่าในส่วนการก่อสร้างลงได้ประมาณ 50% ดังนั้นสามารถประมาณเงินลงทุน ได้ดังนี้

	หน่วย: ล้านบาท
ที่ดินที่ใช้ก่อสร้างโครงการ 18 ไร่	11.52
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุน มูลค่ารวม	**15,762.99**
▪ ค่าเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง 761.60 ล้านบาท ปรับลดเป็น	381.56
▪ ค่าก่อสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ 4,926.60 ล้านบาท ปรับลดเป็น	2,468.23
▪ ราคาเครื่องปฏิกรณ์ฯ และเชื้อเพลิง พร้อมติดตั้ง	5,980.60
▪ ราคาระบบสนับสนุนการปฏิบัติการ	4569.60
▪ ราคาระบบท่อนำลำนิวตรอนพร้อมเครื่องมือ	2,363.00

รวมเป็นมูลค่าการลงทุนทั้งหมด 15,762.99 ล้านบาท โดยโครงการใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างประมาณ 6 ปี และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมีอายุการใช้งาน 40 ปี

[2] หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลาง งานก่อสร้างอาคาร กรมบัญชีกลาง 2559

6.2 ประมาณการเงินทุนหมุนเวียน

6.2.1 การประมาณรายได้ / ผลประโยชน์ (benefit)

การศึกษาจะแบ่งผลประโยชน์ที่จะได้รับเป็น 2 ประเภท คือ ผลประโยชน์ทางตรง และผลประโยชน์ทางอ้อม โดยผลประโยชน์ทางตรง คือ ผลประโยชน์รายได้ที่ สทน. ได้รับเป็นตัวเงินในการให้บริการโดยตรงจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อมนั้นเกิดจากการใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ เพื่อการวิจัยและการศึกษาที่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มในอนาคตรวมถึงผลที่ได้จากการวิจัยพัฒนาต่าง ๆ จนเกิดผลในเชิงพาณิชย์และทางสังคม เช่น การปรับปรุงพันธุ์พืช อัญมณีจากการฉายรังสีนิวตรอน โดยมูลค่าที่จะคำนวณออกมาทั้งหมดจะอยู่ในรูปของเงินบาทเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้

การประมาณการรายได้ที่ได้จากกำลังการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยทั้งด้านการแพทย์ อุตสาหกรรมและการใช้รังสีด้านเกษตร และจากการคาดการณ์บริการวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ที่นำมาประมาณการรายได้จากผลประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่ การวิจัยและพัฒนา และการลดค่าใช้จ่ายภาครัฐอาทิ เช่น การฝึกอบรม การศึกษาต่อต่างประเทศ เป็นต้น

ข้อสมมติในการศึกษา

การศึกษาโดยใช้วิธีการประมาณการจากแผนการผลิตและแนวโน้มความต้องการใช้บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ จะแยกผลประโยชน์ที่ได้จากการลงทุนออกเป็น 2 ทาง คือ ผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม โดยผลประโยชน์ทางตรงจะมาจากรายได้ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สทน.) ได้รับจากการให้บริการ แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านการแพทย์และด้านอุตสาหกรรม ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อมนั้นมาจากด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านการเกษตรและด้านการวิจัยและนวัตกรรม สทน. ผลประโยชน์ที่ได้จากบริการในส่วนหลังนี้จะเกิดขึ้นทางอ้อมในการพัฒนาประเทศ

ในการประมาณการรายได้จากการใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย มีข้อสมมติในการกำหนดแนวโน้ม คือ รายได้ที่ สทน. ได้รับจากการบริการในแต่ละปี แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ด้านการแพทย์ และด้านอุตสาหกรรม โดยด้านการแพทย์จะคำนวณจากรายได้ที่ได้จากการให้บริการสารเภสัชรังสี ส่วนในด้านอุตสาหกรรมจะคำนวณรายได้จากการให้บริการฉายรังสีอัญมณี การโดปสารกึ่งตัวนำด้วยการฉายรังสี และไอโซโทปรังสีสำหรับงานทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) รวมการให้บริการทดสอบและวิเคราะห์วัสดุงานทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) ที่สามารถให้บริการได้แน่นอน ขณะที่ด้านการเกษตรจะคำนวณผลประโยชน์ทางอ้อมจากการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร รายได้บางส่วนจะเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี เนื่องจากความต้องการการใช้

เทคโนโลยีนิวเคลียร์ในประเทศไทยกำลังเพิ่มมากขึ้น แต่การให้บริการปัจจุบันด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเดิมยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้น อัตราการเติบโตของการให้บริการด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในช่วงแรกจะเป็นไปอย่างช้า ๆ และจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในปีต่อ ๆ มา ซึ่งทำให้การเพิ่มขึ้นของรายได้ในแต่ละปีอาจไม่เท่ากัน ดังนั้นผลประโยชน์ที่ สทน. ได้รับจากการให้บริการ จึงสามารถประมาณการได้

การพยากรณ์การใช้บริการจะเป็นส่วนที่ประมาณแนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์หรือบริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยฯ ในด้านต่าง ๆ โดยพิจารณาทั้งผลประโยชน์ทางตรงที่เกิดกับ สทน. และผลประโยชน์ทางอ้อมที่เกิดกับประเทศ

<u>ด้านการแพทย์</u>

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

- จากข้อมูลความต้องการในปัจจุบัน (พ.ศ.2559) สทน.มีการนำเข้า I-131ในปริมาณ 730 คูรีต่อปี และประมาณการนำเข้าของภาคเอกชนเท่ากับสทน. สามารถประมาณความต้องการ I-131 ได้เท่ากับ 1,460 คูรีต่อปี และจากข้อมูลของศูนย์ผลิตไอโซโทป พบว่าเภสัชรังสี I-131 มีราคาคูรีละ 375,000 บาท
- จากข้อมูลความต้องการ Mo-99 เพื่อการผลิตต่อเป็น Tc-99m ประเมินความต้องการจากการนำเข้าในอดีต (พ.ศ. 2550) มีปริมาณ 1,200 คูรีต่อปี ราคาคูรีละ 53,606 บาท
- นอกจากความต้องการ I-131 และ Tc-99m แล้ว ตลาดยังมีแนวโน้มความต้องการ Lu-177 สำหรับผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไร้ท่อเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันมีความต้องการประมาณ 6 คูรีต่อปี โดยราคาของ Lu-177 ต่อคูรีเท่ากับ 4,166,666 บาท
- การประมาณรายได้เป็นการประมาณจากความต้องการของตลาด แต่ในช่วงแรกของการผลิตอาจจะยังไม่สามารถผลิตได้เต็มศักยภาพเนื่องจากบางไอโซโทปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ยังไม่เคยผลิตมาก่อน ดังนั้นจึงมีสมมติฐานให้ I-131 และ Lu-177 ผลิตได้เพียงร้อยละ 50 ของความต้องการในปีแรกของการเดินเครื่อง ส่วน Tc-99m ผลิตได้ 50% ของความต้องการในสองปีแรกของการเดินเครื่อง
- จากการให้บริการไอโซโทปรังสีของสทน. ทำให้เกิดผลประโยชน์ทางอ้อมต่อเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากประสิทธิภาพการบำบัดรักษามะเร็งและไทรอยด์สูงขึ้นทำให้ผู้ป่วยที่เป็นแรงงานหายจากอาการป่วยได้เพิ่มมากขึ้น ในปัจจุบันมีจำนวนผู้ป่วยในโรคมะเร็ง และไทรอยด์ 119,338 และ 68,193 คนตามลำดับ โดยประมาณการสัดส่วนผู้ป่วยที่จะได้รับการรักษาด้วยไอโซโทปรังสีเท่ากับร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ตามลำดับ ซึ่งผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาจะสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติ โดยอัตราการมีงานทำต่อประชากรในปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) เท่ากับร้อยละ 57 และ

ผลผลิตทางเศรษฐกิจต่อคนอยู่ที่ 192,812 บาทต่อปี สามารถคำนวณมูลค่าทางเศรษฐกิจจากแรงงานที่ได้รับการรักษาด้วยเภสัชรังสีเท่ากับ 1,405 ล้านบาทต่อปี

ด้านอุตสาหกรรม

ด้านการฉายรังสีอัญมณี

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

- ข้อมูลจากการประชุมกลุ่มย่อยแสดงให้เห็นว่า ปัจจุบันมีความต้องการฉายรังสีอัญมณี(โทแพซ) ในปริมาณ 3,000-4,000 กิโลกรัมต่อปี โดยในช่วงปีแรกเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยอาจจะยังไม่สามารถรองรับความต้องการได้ทั้งหมด โดยกำหนดให้ปีที่ 1 ที่เริ่มเดินเครื่องสามารถให้บริการเพียง 100 กิโลกรัมเพื่อเป็นการทดสอบระบบ ปีที่ 2-3 สามารถผลิตได้ 1,000 กิโลกรัมต่อปี ปีที่ 4-5 สามารถผลิตได้ 1,500 กิโลกรัมต่อปี และเพิ่มขึ้นในปีต่อๆไป โดยตั้งแต่ปีที่ 16 เป็นต้นไปจะสามารถให้บริการได้ทั้งหมด 4,000 กิโลกรัมต่อปี โดยค่าบริการในปัจจุบันอยู่ที่ 40,000 บาทต่อกิโลกรัม
- การฉายรังสีพลอยนอกจากจะได้รับรายได้จากการให้บริการแล้วยังช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องจากผู้ประกอบการสามารถขายพลอยด้วยมูลค่าที่สูงขึ้น จาก 30 บาทต่อกะรัตเป็น 60 บาทต่อกะรัต หรือ 150,000 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเดินเครื่องเต็มแผนการผลิตสามารถให้บริการฉายรังสี 4,000 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจเท่ากับ 600 ล้านบาทต่อปี

ด้านการผลิตไอโซโทปรังสีในงานอุตสาหกรรม

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

- มีภาคอุตสาหกรรมไม่น้อยกว่า 10 รายที่ให้บริการงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดยแต่ละรายมีเครื่องไอโซโทปโปรเจกเตอร์ที่ใช้ไอโซโทปรังสี Ir-192 ความแรงรังสีประมาณ 100 คูรี มากกว่า 25 เครื่อง ซึ่งมีอายุใช้งานเพียง 1 ปี จากข้อมูลปัจจุบันมีความต้องการนำเข้า Ir-192 ในปริมาณ 28,000 คูรีต่อปี แต่ด้วยข้อจำกัดด้านเทคนิคสามารถผลิตได้ 4,200 คูรีต่อปี ราคา Ir-192 มีมูลค่า 3,090 บาทต่อคูรี
- นอกจาก Ir-192 แล้ว ยังมีสารไอโซโทปรังสีอื่นที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม คือ Se-75 ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการใช้ 1,000 คูรีต่อปี และราคาประมาณ 3,750 บาทต่อคูรี

ด้านการโดปสารกึ่งตัวนำ

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

- ความต้องการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอนเพื่อผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronics device) ในตลาดโลกมีระดับ 3,660 ตันต่อปี จากการศึกษาข้อมูลปริมาณการผลิตจากศูนย์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีการให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอน เช่น HANARO และ ANSTO มีส่วนแบ่งการให้บริการจากตลาดโลก 10-20 ตันต่อปี ราคาให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำด้วยนิวตรอนกิโลกรัมละ 100 เหรียญสหรัฐ (อัตราแลกเปลี่ยน 34 บาทต่อหนึ่งเหรียญสหรัฐ) หากสามารถแบ่งการผลิตจากตลาดโลกได้ 10 ตันต่อปี จะทำรายได้ค่าบริการ 34 ล้านบาทต่อปี

ด้านบริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณรายได้ คือ

- ผลผลิตเป้าหมายการให้บริการ จากเดิมมีการให้บริการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี NAA ประมาณ 350 ตัวอย่างต่อปี ในอนาคตเมื่อเป็นเครือข่ายมาตรวิทยา การบริการวิเคราะห์คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 1,000 ตัวอย่างต่อปี จากการขยายตัวของกลุ่มอุตสาหกรรมแต่งแร่ นอกจากนี้ยังมีความต้องการวิเคราะห์ด้านวัตถุพยานที่มีความซับซ้อนมากขึ้นจากกองพิสูจน์หลักฐาน สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ และงานวิจัยของสถาบันและหน่วยงานวิจัยการเกษตร เช่น กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานวิจัยการเกษตรแห่งชาติ เป็นต้น ค่าบริการอยู่ที่ 1,000 บาทต่อตัวอย่าง
- การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธี Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNAA) สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุที่เทคนิค NAA ไม่สามารถทำได้ เช่น ธาตุ H, C, O, B งานส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์วัสดุทางอุตสาหกรรม เช่น ธาตุองค์ประกอบในปูนซีเมนต์และถ่านหิน ปัจจุบันยังไม่เปิดให้บริการและมีข้อจำกัดในการวัดตัวอย่างได้ประมาณ 1-2 ตัวอย่างต่อวัน ประมาณ 700 ตัวอย่างต่อปี (ในระยะแรกคิดค่าบริการครั้งละ 1,500 บาท)
- การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน (Neutron imaging) เป็นงานสนับสนุนงานทางด้านศิลปวัตถุและศิลปวัฒนธรรมของกรมศิลปากรเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของการถ่ายภาพทางชีวภาพรวมถึงชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรม ประมาณ 200 ตัวอย่างต่อปีคิดค่าบริการครั้งละ 2,000 บาท
- บริการให้เช่าท่อนำลำนิวตรอนในการศึกษาวิจัยขั้นสูง 10 ชั่วโมงต่อปี ค่าบริการ 10,000 บาทต่อชั่วโมง

- การให้บริการด้านการตรวจวัดปริมาณรังสีของนิวตรอน (Neutron dosimeter) เป็นการบริการในกลุ่มผู้ที่ทำงานที่เกี่ยวข้องกับนิวตรอน เช่น กลุ่มโรงพยาบาลราคาในการบริการ 200 บาท สำหรับการบริการวัดโดสนิวตรอนซึ่งเป็นส่วนเพิ่มจากส่วนที่เป็นการให้บริการหลัก ประมาณ 500 รายต่อปี
- ประมาณการรวมรายได้อื่นๆเป็น 2.65 ล้านบาทต่อปี

ด้านการเกษตร

การปรับปรุงพันธุ์พืช

การปรับปรุงพันธุ์พืชในปี พ.ศ. 2558-2559 มีการปรับปรุงกลุ่มพันธุ์พืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และไม้ดอกไม้ประดับ โดยการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้เกิดการกลายพันธุ์ในปี พ.ศ. 2558 มีจำนวนทั้งหมด 1,572 พันธุ์ และได้มีการใช้เทคนิคการอาบรังสีนิวตรอนจำนวน 48 พันธุ์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 3 ของจำนวนการปรับปรุงพันธุ์พืช

ข้อสมมติที่ใช้ในการคำนวณผลประโยชน์ในเชิงประมาณการรายได้ของประเทศ คือ

- จากงานศึกษาเดิมพบว่าการปรับปรุงพันธุ์พืชจะช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิต และมูลค่าการส่งออกได้ประมาณ 0.07% โดยงานศึกษานี้จะประมาณผลประโยชน์จากมูลค่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้น คือ ข้าว และถั่วเหลือง และมูลค่าการส่งออกที่เพิ่มขึ้นจากผลผลิตทางการเกษตร คือ ถั่วเขียว และข้าวโพด ส่งออกเมล็ดพันธุ์ คือ ข้าวโพด ข้าวโพดหวาน แตงกวา แตงโม และส่งออกไม้ดอกไม้ประดับ
- โดยมูลค่าของผลผลิต (ข้าว และถั่วเหลือง) ในปัจจุบันเท่ากับ 276,040 ล้านบาท การส่งออกผลผลิต (ถั่วเขียว และข้าวโพด) เท่ากับ 5,880 ล้านบาท การส่งออกเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 3,710 ล้านบาท และดอกไม้ประดับเท่ากับ 2,474 ล้านบาท เมื่อมีกาปรับปรุงพันธุ์จะทำให้มูลค่าเพิ่มขึ้น 201.67 ล้านบาทต่อปี โดยกำหนดให้มูลค่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (ข้าว และถั่วเหลือง) มูลค่าการส่งออกที่เพิ่มขึ้น (ถั่วเขียว และข้าวโพด) และการส่งออกเมล็ดพันธุ์ที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มขึ้นในปีที่6เป็นต้นไปหลังจากเริ่มเดินเครื่อง (หรือปีที่ 11 หลังจากเริ่มลงทุน) เนื่องจากการปรับปรุงพันธุ์พืชจะไม่ส่งผลลัพธ์ในทันที ต้องใช้เวลาในการคัดเลือกพันธุ์ที่มีความเหมาะสม แต่การส่งออกไม้ดอกและไม้ประดับจะเพิ่มขึ้นในปีที่ 2 หลังจากเริ่มเดินเครื่องเนื่องจากปีแรกเป็นการทดลองเครื่อง

ด้านการวิจัยและพัฒนากำลังคน

การทำวิจัย

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณจำนวนโครงการวิจัย คือ

- งานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (สทน.) มีการตั้งเป้าหมายการผลิตผลงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกสถาบัน โดยผลงานวิจัยภายในตั้งเป้าหมายไว้ที่ 10 โครงการต่อปี และผลงานวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เป็นต้น จำนวน 4 โครงการต่อปี รวมทั้งสิ้น 14 โครงการต่อปี ประเมินมูลค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 500,000 บาทต่อโครงการ รวมมูลค่าทั้งสิ้น 7 ล้านบาทต่อปี
- โครงการวิจัยที่ได้จดสิทธิบัตรจำนวน 2 เรื่องต่อปี ประเมินมูลค่าอยู่ที่ 1 ล้านบาทต่อชิ้น รวมมูลค่าทั้งสิ้น 2 ล้านบาทต่อปี

การพัฒนากำลังคน

นอกจากด้านการศึกษาวิจัยแล้วการลงทุนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยยังทำให้รัฐบาลสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตและพัฒนากำลังคนในด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ได้แก่ การศึกษาในระบบและการฝึกอบรมบุคลากรทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งหากไม่มีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่ทันสมัย รัฐจำเป็นต้องมีการส่งบุคลากรออกไปศึกษาในต่างประเทศตามปริมาณการผลิตกำลังคน แต่การลงทุนในโครงการนี้จะทำให้สามารถสนับสนุนการศึกษาวิจัยและฝึกอบรมบุคลากรได้ภายในประเทศ ช่วยให้มีค่าใช้จ่ายสำหรับการพัฒนากำลังคนที่ต่ำกว่าการส่งไปต่างประเทศมาก จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายภาครัฐได้จำนวนมาก

ข้อสมมติที่ใช้ในการประเมินปริมาณบุคลากรต่อปี คือ

- ในระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพรังสีและเทคโนโลยีนิวเคลียร์รวมจำนวน 15 คนที่มีโอกาสใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยทำปริญญานิพนธ์และโครงงานวิจัย รวมถึงการฝึกงาน
- ในแต่ละปีจะมีบัณฑิตที่จบการศึกษาในด้านที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์และชีววิทยาหลายร้อยคน และมีส่วนหนึ่งจะศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ทำวิจัย

- ในระดับบัณฑิตศึกษามี ระดับปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ รังสีประยุกต์และไอโซโทป และวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์รวมจำนวนปีละ 15 คน ระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ปีละ 1-2 คน รวม 17 คน

ข้อสมมติที่ใช้ในการประมาณค่าใช้จ่ายของภาครัฐในการผลิตบุคลากร คือ

- งบประมาณที่ใช้ในการผลิตบุคลากรในประเทศในระดับปริญญาตรีตลอดหลักสูตร 168,000 บาทต่อคน และระดับปริญญาโท - เอก ประกอบด้วยค่าลงทะเบียนตลอดหลักสูตร 360,000 บาท ค่าใช้จ่ายทั่วไปตลอดหลักสูตร 864,000 บาท รวมประมาณ 1,224,000 บาทต่อคน
- งบประมาณที่ใช้ในการศึกษาต่อในต่างประเทศในระดับปริญญาตรี 1,200,000 บาทต่อคนต่อปี หรือตลอดหลักสูตร 4,800,000 ต่อคน และระดับปริญญาโท-เอก ประกอบด้วยค่าเดินทางไปกลับ 60,000 บาท ค่าลงทะเบียนตลอดหลักสูตร 840,000 บาท ค่าใช้จ่ายทั่วไปตลอดหลักสูตร 3,110,000 บาท รวมประมาณ 4,010,000 บาทต่อคน
- เมื่อมีโครงสร้างพื้นฐานพร้อมในประเทศ สามารถผลิตบุคลากรในประเทศได้ด้วยการพึ่งตัวเองทั้งหมด จะทำให้รัฐบาลสามารถลดงบประมาณต่อคนในการผลิตบุคลากรในระดับปริญญาตรีได้ประมาณ 4,632,000 บาทต่อคน และระดับสูงกว่าปริญญาตรีได้ประมาณ 2,786,000 บาทต่อคน

สรุป ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ประโยชน์เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย และระบบผลิตไอโซโทปรังสีในด้านต่างๆ เพื่อการบริการและวิจัยทั้งในประเทศและการส่งออกสามารถจำแนกได้ดังในรายการประมาณการผลประโยชน์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากโครงการฯ ซึ่งเมื่อการดำเนินงานสมบูรณ์จะมีผลประโยชน์ 3,182.93 ล้านบาทต่อปี

ตารางที่ 6.1 สรุปรายได้ทางตรงและผลประโยชน์ทางอ้อม

โอกาสที่จะสร้างรายได้	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	มูลค่า (ล้านบาท)	สมมติฐานกำลังการผลิต
ด้านการแพทย์			**2,042.04**	
I-131	1,460 คูรี/ ปี (สทน.:เอกชน = 1:1)	375,000 บาท/คูรี	547.5	50% ในปีที่ 1
Mo-99/Tc-99m Generator	1,200 คูรี/ ปี	53,606 บาท/คูรี	64.33	50% ในปีที่ 1-2
Lu-177	6 คูรี/ปี	4,166,666 บาท/คูรี	25	50% ในปีที่ 1

โอกาสที่จะสร้างรายได้	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	มูลค่า (ล้านบาท)	สมมติฐานกำลังการผลิต
การสาธารณสุขที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจและสังคม	ผลการรักษาโรคด้วยสารเภสัชรังสี		1,405.21	
ด้านอุตสาหกรรม			**813.38**	
Ir-192	4,200 คูรี/ปี	3,090 บาท/คูรี	12.98	50% ในปีที่ 1-2
Se-75	1,000 คูรี/ปี	3,750 บาท/คูรี	3.75	50% ในปีที่ 1-2
อัญมณี	4,000 กิโลกรัม/ปี	40,000 บาท/กิโลกรัม	160	ปีที่ 1 ผลิต 0.1 ตันต่อปี ปีที่ 2-3 ผลิต 1 ตันต่อปี ปีที่ 4-5 ผลิต 1.5 ตันต่อปี ปีที่ 6 ผลิต 2 ตันต่อปี ปีที่ 7-10 ผลิต 3 ตันต่อปี ปีที่ 11-15 ผลิต 3.5 ตันต่อปี ปีที่ 16 เป็นต้นไป ผลิต 4 ตันต่อปี
	มูลค่าเพิ่มการส่งออก	150,000,000บาท/ตัน	600	
	30 บาทต่อกะรัต			
โดปสารกึ่งตัวนำ	10,000 กิโลกรัม/ ปี	3,400 บาท/กิโลกรัม	34	
ทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ	- NAA 350 ตัวอย่างต่อปี - ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 200 ตัวอย่างต่อปี - บริการเช่าท่อนำรังสีนิวตรอน 10 ชั่วโมงต่อปี		2.65	

ตารางที่ 6.1 สรุปรายได้ทางตรงและผลประโยชน์ทางอ้อม (ต่อ)

โอกาสที่จะสร้างรายได้	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	มูลค่า (ล้านบาท)	สมมติฐานกำลังการผลิต
ด้านเกษตร			**201.67**	
พืชเศรษฐกิจพันธุ์กลาย	มูลค่าเพิ่มขึ้น 0.07% ของรายได้เดิม	-	201.67	มูลค่าเพิ่มของพืชเศรษฐกิจและการส่งออกเมล็ดพันธุ์เริ่มในปีที่ 6

โอกาสที่จะสร้างรายได้	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย	มูลค่า (ล้านบาท)	สมมติฐานกำลังการผลิต
				มูลค่าเพิ่มของการส่งออกไม้ดอกไม้ประดับเริ่มในปีที่ 2
ด้านการศึกษาวิจัยและการพัฒนากำลังคน			**125.84**	
การผลิตผลงานวิจัย	- 10 โครงการ ของสทน.	500,000 บาท/โครงการ	7	
	- 4 โครงการ ทำร่วมกับมหาวิทยาลัยภายนอก			
	- สิทธิบัตรใหม่ 2 ชิ้นต่อปี	1,000,000 บาท/ชิ้น	2	
ลดค่าใช้จ่ายในการส่งนักศึกษาไปเรียนต่างประเทศปริญญาตรีและปริญญาโท-เอก	ปริญญาตรี 15 คน/ปี ปริญญาโท-เอก 17 คน/ปี	ปริญญาตรี 4,632,000 บาท/คน ปริญญาโท-เอก 2,786,000 บาท/คน	ปริญญาตรี 69.48 ล้านบาท ปริญญาโท-เอก 47.36 ล้านบาท	
รวม			**3,182.93**	

6.2.2 การประมาณค่าใช้จ่าย

เมื่อประเมินโครงการโดยให้มีระยะเวลาเดินเครื่องคือ 20 ปี ในปีที่ 20 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะมีมูลค่าซากครึ่งหนึ่งของมูลค่าในการลงทุน ดังนั้นเมื่อประเมินเพียง 20 ปี จะได้รายได้เพิ่มในปีสุดท้ายเท่ากับมูลค่าซากของเครื่องเท่ากับ 2,932.92 ล้านบาท

ในส่วนของค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานเครื่องจะแยกออกเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการซึ่งรวมค่าจ้างบุคลากรและค่าดูแลรักษา ส่วนค่าใช้จ่ายอีกด้าน คือ ค่าใช้จ่ายจากต้นทุนผันแปรในการใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย เช่น เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ค่าน้ำ ค่าไฟ และวัสดุสิ้นเปลือง

ข้อสมมติในการประมาณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเครื่อง

- ค่าจ้างบุคลากรจะใช้ข้อสมมติจากข้อมูลทางด้านเทคนิคซึ่งหลังจากเครื่องปฏิกรณ์ฯเริ่มใช้งานจะต้องจ้างบุคลากรเพิ่ม 78 คน โดยแบ่งเป็นบุคลากรในกลุ่มงานและระดับการศึกษาต่างๆ และเงินเดือนเริ่มต้นดังตาราง และเงินเดือนเพิ่มขึ้น 6 % ต่อปี

ตารางที่ 6.2 ความต้องการบุคลากรและค่าใช้จ่าย

กลุ่มงาน	ระดับการศึกษา	เงินเดือนเริ่มต้น	จำนวน	รวมต่อปี
กลุ่มเครื่องปฏิกรณ์ (ศป)	ปวส.	13,000	8	1,248,000
	ปริญญาตรี	16,000	8	1,536,000
ผลิตไอโซโทป (ศอ)	ปวช.	11,500	13	1,794,000
	ปริญญาตรี	16,000	18	3,456,000
ฉายรังสีอัญมณี (ศร)	ปวส.	13,000	7	1,092,000
	ปริญญาตรี	16,000	3	576,000
ปรับปรุงพันธุศาสตร์ (วพ)	ปริญญาเอก	30,000	3	1,080,000
กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม (วพ)	ปริญญาเอก	30,000	10	3,600,000
โดปสารกึ่งตัวนำ	ม.ปลาย	11,500	1	138,000
	ปวช.	11,500	2	276,000
	ปวส.	13,000	3	468,000
	ปริญญาตรี	16,000	2	384,000
รวมทั้งหมด			**78**	**15,648,000**

- ค่าบำรุงรักษาเครื่องประเมินตามอายุการใช้งานเครื่องหลังการประกันจากผู้ผลิต เริ่มคิดในปีที่ 3 โดยปีที่ 3-5 ปีละ 13.4 ล้านบาท (0.085% ของมูลค่าเครื่อง)[3] ปีที่ 6-8 ปีละ 26.8 ล้านบาท (0.17% ของมูลค่าเครื่อง) ปีที่ 9-10 ปีละ 40.2 ล้านบาท (0.255% ของมูลค่าเครื่อง) ปีที่ 11 จะไม่มีการคิดค่าบำรุงรักษาเนื่องจากมีการปรับสมรรถนะของเครื่อง จะเริ่มคิดค่าบำรุงรักษาอีกครั้งในปีที่ 12 ปีที่ 12-14 ปีละ 13.4 ล้านบาท ปีที่ 15-17 ปีละ 26.8 ล้านบาท ปีที่ 18-20 ปีละ 40.2 ล้านบาท
- ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาบุคลากร (HRD) ประกอบด้วยแผนการฝึกอบรมประจำปี 4 ล้านบาทต่อปี และการพัฒนาบุคลากรและถ่ายทอดเทคโนโลยี 4.5 ล้านบาทต่อปี ซึ่งคิดจากค่าใช้จ่ายจริงในปัจจุบัน

[3] สัดส่วนของค่าบำรุงรักษาเครื่องอ้างอิงตามรายงานการศึกษาเดิม

- ค่าใช้จ่ายในการประชาสัมพันธ์คิดจากประมาณค่าใช้จ่ายทั้งองค์กร 6,200,000 บาท แต่ใช้ในส่วนของโครงการใหม่ 25% เนื่องจากการแบ่งสัดส่วนงานทั้งหมดในสทน. โดยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยดำเนินงานอยู่ภายใต้ศูนย์เครื่องปฏิกรณ์ ฝ่ายบริการของ สทน. จึงมีค่าใช้จ่ายที่ 1,550,000 บาทต่อปีและคงที่ทุกปี ซึ่งคิดจากค่าใช้จ่ายจริงในปัจจุบัน
- การลงทุนเพิ่มเติมจะเกิดขึ้นทุกๆ 10 ปี หลังจากเริ่มให้บริการ โดยมูลค่าการลงทุนเพิ่มจะเท่ากับ 1.5% ของมูลค่าเครื่องปฏิกรณ์

ข้อสมมติในการประมาณค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

- ค่าสาธารณูปโภคและรักษาความปลอดภัยจะประมาณจากค่าไฟฟ้า ค่าทำความสะอาด และรักษาความปลอดภัย (รปภ.) อ้างอิงจากรายงานการศึกษาเดิม โดยให้เป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อ (3% ต่อปี)
- ค่าไฟฟ้าคิดในกรณีที่ใช้งานเครื่องปฏิกรณ์ฯ เต็มกำลัง ประมาณค่าไฟฟ้าทั้งหมด 12.6 ล้านบาทต่อปี
- ค่าจ้าง รปภ. ในส่วนของไอโซโทป 1 คน และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย 2 คนรวมเป็น 3 คน แต่ละคนค่าจ้าง 10,000 บาทต่อเดือน รวม 360,000 บาทต่อปี
- ค่าทำความสะอาด 5,000 บาทต่อเดือน 2 หน่วยงาน รวมประมาณ 600,000 บาทต่อปี
- รวมค่าสาธารณูปโภคและรักษาความปลอดภัย 13.56 ล้านบาทต่อปี
- ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอ้างอิงจากการศึกษาเดิม คือ 32,800,000 บาทต่อปี โดยกำหนดให้คงที่ เนื่องจากมีหลักการในการบริหารจัดการให้มีการเพิ่ม Productivity และการบริหารให้มีคุณภาพเพื่อให้ค่าใช้จ่ายนี้คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ถึงแม้จะมีแรงกดดันทางด้านเงินเฟ้อก็ตาม
- ค่าเบี้ยประกันภัยจะคิดจากเฉพาะอุปกรณ์ที่ทำประกันโดยกำหนดให้มูลค่าเบี้ยประกันเป็น 1 % ของมูลค่าของอุปกรณ์ที่ทำประกันภัย (Reactor Building) รวมค่าเบี้ยประกันทั้งหมด คือ 80.34 ล้านบาทต่อปีและคงที่ทุกปี
- ค่าใช้จ่ายการประกันภัยในความรับผิดต่อบุคคลที่ 3 สำหรับประกันความเสี่ยงในด้านการขนส่ง การเคลื่อนย้ายสารไอโซโทปรังสี เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และวัสดุนิวเคลียร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎหมายประกันความรับผิดชอบด้านนิวเคลียร์ (Nuclear liability law) ยังไม่สามารถนำมาคิดได้โดยตรง เนื่องจากยังไม่มีกฎหมายบังคับใช้ในประเทศ แต่จากข้อมูลการประกันภัยของเครื่องปฏิกรณ์ฯในปัจจุบันจะสมมติให้มีมูลค่าการประกันภัยคงที่เท่ากับ 1 ล้านบาทต่อปี

- ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและราคาเชื้อเพลิง พบว่าหากเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 270 วันต่อปี ค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ประมาณประมาณ 53 - 72 ล้านบาทต่อปี
- แผนการผลิต I-131 ปริมาณ 1,460 คูรีต่อปี ต้นทุนในการผลิต I-131 เท่ากับ 27.61บาทต่อมิลลิคูรี (27,610 บาทต่อคูรี) คำนวณเป็นต้นทุนการผลิตได้เท่ากับ 40.46 ล้านบาทต่อปี
- แผนการผลิต Ir-192 ปริมาณ 4,200 คูรีต่อปี ต้นทุนการผลิต 40% ของรายได้ คิดเป็นมูลค่าต้นทุนการผลิตเท่ากับ 11.2 ล้านบาทต่อปี
- แผนการผลิต Mo-99/Tc-99m ปริมาณ 1,200 คูรีต่อปี ต้นทุนการผลิต 61.36% ของรายได้ คำนวณเป็นต้นทุนการผลิตได้เท่ากับ 229.31 ล้านบาทต่อปี
- ประมาณการต้นทุนการผลิตของ Lu-177 และ Se-75 เท่ากับ 61.36% ของรายได้เช่นเดียวกับ Mo-99/Tc-99m

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบางอย่างยังไม่สามารถนำเข้าคิดในการประเมินครั้งนี้ได้ เนื่องจากยังไม่เกิดขึ้นหรือยังไม่มีข้อมูลการดำเนินการในอดีต ได้แก่

- ต้นทุนที่แฝงในค่าวัสดุสิ้นเปลืองในการผลิตไอโซโทปตัวใหม่ หรือการทำวิจัยใหม่ รวมถึงค่าการขนส่งซึ่งจะแฝงในบริการส่วนกลาง

6.3 ประมาณการแหล่งที่มาของเงินทุน

การลงทุนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการเป็นโครงการที่สร้างประโยชน์ให้กับประเทศในหลายๆ ด้าน ทั้งด้านเศรษฐกิจ และสังคม จึงเป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาล ดังนั้นงบประมาณที่ใช้ในการลงทุนทั้งหมดเป็นงบประมาณที่ได้รับการอุดหนุนจากรัฐบาล

6.4 หลักทรัพย์ที่จะใช้ในการกู้เงิน

การลงทุนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการได้รับการสนับสนุนเงินงบประมาณจากรัฐบาล ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้หลักทรัพย์ในการกู้เงิน

6.5 อัตราดอกเบี้ยและเงื่อนไขในการชำระเงินกู้

การลงทุนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการได้รับการสนับสนุนเงินงบประมาณจากรัฐบาล ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องกู้เงินและไม่มีเงื่อนไขในการชำระเงินกู้

6.6 การชำระเงินกู้และดอกเบี้ย

การลงทุนติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการได้รับการสนับสนุนเงินงบประมาณจากรัฐบาล ดังนั้นจึงไม่มีการชำระเงินกู้

6.7 ประมาณการงบกระแสเงินสด

จากการประมาณการยอดรายได้ทางตรงในส่วนที่เป็นรายได้ของสทน.และการประมาณค่าใช้จ่ายสามารถสรุปรายได้และค่าใช้จ่ายในแต่ละปีและประมาณการงบกำไรขาดทุนได้ดังตารางที่ 6-3 ถึง ตารางที่ 6-9

ตารางที่ 6.3 แสดงรายได้จากการให้บริการ

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	**ปีที่6**	**ปีที่7**	**ปีที่8**	**ปีที่9**	**ปีที่ 10**	**ปีที่ 11**	**ปีที่ 12**	**ปีที่ 13**	**ปีที่ 14**	**ปีที่ 15**	**ปีที่ 16**	**ปีที่ 17**	**ปีที่ 18**	**ปีที่ 19**	**ปีที่ 20**	**ปีที่ 21**	**ปีที่ 22**	**ปีที่ 23**	**ปีที่ 24**	**ปีที่ 25**
รายได้																				
ด้านการแพทย์	318	605	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637	637
-ไอโซโทปรังสี I-131	274	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548	548
-ไอโซโทปรังสี Mo-99/Tc-99m	32	32	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
-ไอโซโทปรังสี Lu-177	12	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
ด้านอุตสาหกรรม	18	68	93	113	113	133	173	173	173	173	193	193	193	193	193	213	213	213	213	213
-ฉายรังสีอัญมณี	4	40	40	60	60	80	120	120	120	120	140	140	140	140	140	160	160	160	160	160
-ไอโซโทปรังสี Ir-192	6	6	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
-ไอโซโทปรังสี Se-75	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
-การโดปสารกึ่งตัวนำ	3	17	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
-อื่น ๆ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
รายได้รวม	337	673	730	750	750	770	810	810	810	810	830	830	830	830	830	850	850	850	850	850

ตารางที่ 6.4 แสดงการลงทุนในส่วนประกอบต่างๆของเครื่องปฏิกรณ์ฯ

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	**ปีที่ 0**	**ปีที่ 1**	**ปีที่ 2**	**ปีที่ 3**	**ปีที่ 4**	**ปีที่ 5**
Site Preparation	174	104	104	0	0	0
Reactor Building	104	939	1,426	2,462	2,152	952
Fuel	20	48	34	68	139	105
Radioisotope Production Facility	41	218	490	520	520	245
NTD and NAA Facility	0	14	48	41	48	71
Radioactive Waste Treatment Facility	0	14	119	228	207	173
Irradiated Material Examination Facility	41	41	313	452	486	241
Neutron Beam Facility	0	51	136	221	272	170
Beam ports & auxiliary	0	34	85	136	204	170
5 Neutron Instruments (HRPD, FCD, RSI, NRF, TAS)	0	0	34	85	153	204
Thermal Instruments Utilization	0	34	34	68	119	153
ที่ดิน	12	0	0	0	0	0
เครื่องมือสำหรับกลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี	0	0	0	0	0	10
เครื่องมือสำหรับกลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ	0	0	0	0	0	16
อุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับกลุ่มวิจัยและนวัตกรรม	0	0	0	0	0	35
รวมการลงทุน	**391**	**1,495**	**2,822**	**4,281**	**4,301**	**2,546**

ตารางที่ 6.5 แสดงต้นทุนของการให้บริการ

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	**ปีที่6**	**ปีที่7**	**ปีที่8**	**ปีที่9**	**ปีที่10**	**ปีที่11**	**ปีที่12**	**ปีที่13**	**ปีที่14**	**ปีที่15**	**ปีที่16**	**ปีที่17**	**ปีที่18**	**ปีที่19**	**ปีที่20**	**ปีที่21**	**ปีที่22**	**ปีที่23**	**ปีที่24**	**ปีที่25**
ค่าใช้จ่ายการบริหาร	153	155	170	171	173	188	189	191	207	209	170	186	188	191	207	210	212	229	232	153
เงินเดือน	16	17	18	19	20	21	22	24	25	26	28	30	31	33	35	38	40	42	45	47
Maintenance	0	0	13	13	13	27	27	27	40	40	0	13	13	13	27	27	27	40	40	22
ฝึกอบรม	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
ประชาสัมพันธ์	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ค่าสาธารณูปโภคและรักษาความปลอดภัย	14	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	21	21	22	22	23	24
วัสดุสิ้นเปลือง(งบประมาณประจำปี)	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
ประกันภัย	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	22
ค่าใช้จ่ายการให้บริการ	126	135	159	160	161	162	163	164	165	166	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177
ค่าเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
ค่าขนส่งสารไอโซโทปรังสี	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
ต้นทุนในการผลิต I-131	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
ต้นทุนในการผลิต Ir-192	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ต้นทุนในการผลิต Mo-99/Tc-99m	20	20	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
ต้นทุนในการผลิต Lu-177	8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ต้นทุนในการผลิต Se-75	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
รวมค่าใช้จ่าย	279	289	329	331	334	350	353	356	372	375	338	355	358	362	379	382	386	404	408	335

ตารางที่ 6.6 แสดงรายได้สุทธิจากการให้บริการ

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	ปีที่0	ปีที่1	ปีที่2	ปีที่3	ปีที่4	ปีที่5	ปีที่6	ปีที่7	ปีที่8	ปีที่9	ปีที่10	ปีที่11	ปีที่12
รายได้	0	0	0	0	0	0	337	673	730	750	750	770	810
ค่าใช้จ่ายลงทุน	391	1,495	2,822	4,281	4,301	2,546	0	0	0	0	0	0	0
ค่าใช้จ่ายการบริหาร	0	0	0	0	0	0	153	155	170	171	173	188	189
ค่าใช้จ่ายการให้บริการ	0	0	0	0	0	0	126	135	159	160	161	162	163
ค่าใช้จ่ายการลงทุนเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้สุทธิ	-391	-1,495	-2,822	-4,281	-4,301	-2,546	58	383	402	419	416	420	458

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	ปีที่13	ปีที่14	ปีที่15	ปีที่16	ปีที่17	ปีที่18	ปีที่19	ปีที่20	ปีที่21	ปีที่22	ปีที่23	ปีที่24	ปีที่25
รายได้	810	810	810	830	830	830	830	830	850	850	850	850	850
ค่าใช้จ่ายลงทุน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ค่าใช้จ่ายการบริหาร	191	207	209	170	186	188	191	207	210	212	229	232	236
ค่าใช้จ่ายการให้บริการ	164	165	166	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177
ค่าใช้จ่ายการลงทุนเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้สุทธิ	455	438	435	492	476	472	469	452	468	464	446	442	438

6.8 ประมาณการงบกำไรขาดทุน (ผลการดำเนินงาน) (Main)

ตารางที่ 6.7 แสดงกำไรและกำไรสะสมการให้บริการ

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	ปีที่0	ปีที่1	ปีที่2	ปีที่3	ปีที่4	ปีที่5	ปีที่6	ปีที่7	ปีที่8	ปีที่9	ปีที่10	ปีที่11	ปีที่12
รายได้	0	0	0	0	0	0	337	673	730	750	750	770	810
ค่าใช้จ่ายการบริหาร	0	0	0	0	0	0	153	155	170	171	173	188	189
ค่าใช้จ่ายการให้บริการ	0	0	0	0	0	0	126	135	159	160	161	162	163
ค่าใช้จ่ายการลงทุนเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ค่าเสื่อมราคา	0	0	0	0	0	0	396	396	396	396	396	396	396
กำไร	0	0	0	0	0	0	-338	-13	6	23	21	24	62
กำไรสะสม	0	0	0	0	0	0	-338	-351	-345	-322	-301	-277	-215

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	ปีที่13	ปีที่14	ปีที่15	ปีที่16	ปีที่17	ปีที่18	ปีที่19	ปีที่20	ปีที่21	ปีที่22	ปีที่23	ปีที่24	ปีที่25
รายได้	810	810	810	830	830	830	830	830	850	850	850	850	850
ค่าใช้จ่ายการบริหาร	191	207	209	170	186	188	191	207	210	212	229	232	236
ค่าใช้จ่ายการให้บริการ	164	165	166	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177
ค่าใช้จ่ายการลงทุนเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ค่าเสื่อมราคา	396	396	396	396	396	396	396	396	396	396	396	396	396
กำไร	59	42	39	96	80	76	73	56	72	68	50	46	42
กำไรสะสม	-157	-114	-75	22	101	177	250	306	378	446	496	542	584

6.9 ประมาณการงบแสดงฐานะกิจการ (Main)

ตารางที่ 6.8 แสดงประมาณฐานะกิจการ (ปีที่ 1-13)

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12
สินทรัพย์													
เงินสด	0	0	0	0	0	0	58	441	842	1,262	1,678	2,098	2,556
Nuclear Research Reactor	391	1,886	4,708	8,988	13,289	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835
หัก ค่าเสื่อมราคาสะสม	0	0	0	0	0	0	396	792	1,188	1,584	1,979	2,375	2,771
รวมสินทรัพย์	391	1,886	4,708	8,988	13,289	15,835	15,497	15,484	15,490	15,513	15,534	15,558	15,620
หนี้สิน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รวมหนี้สิน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ทุน	391	1,886	4,708	8,988	13,289	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835
กำไรสะสม	0	0	0	0	0	0	-338	-351	-345	-322	-301	-277	-215
รวมส่วนของทุน	391	1,886	4,708	8,988	13,289	15,835	15,497	15,484	15,490	15,513	15,534	15,558	15,620
รวมหนี้สินและทุน	391	1,886	4,708	8,988	13,289	15,835	15,497	15,484	15,490	15,513	15,534	15,558	15,620

ตารางที่ 6.9 แสดงประมาณฐานะกิจการ (ปีที่ 14-26)

รายการ (หน่วย: ล้านบาท)	ปีที่13	ปีที่14	ปีที่15	ปีที่16	ปีที่17	ปีที่18	ปีที่19	ปีที่20	ปีที่21	ปีที่22	ปีที่23	ปีที่24	ปีที่25
สินทรัพย์													
เงินสด	3,010	3,449	3,884	4,376	4,852	5,324	5,793	6,244	6,712	7,176	7,622	8,064	8,502
Nuclear Research Reactor	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835
หัก ค่าเสื่อมราคาสะสม	3,167	3,563	3,959	4,355	4,751	5,146	5,542	5,938	6,334	6,730	7,126	7,522	7,918
รวมสินทรัพย์	15,679	15,721	15,760	15,857	15,936	16,013	16,085	16,141	16,213	16,281	16,331	16,377	16,419
หนี้สิน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รวมหนี้สิน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ทุน	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835	15,835
กำไรสะสม	-157	-114	-75	22	101	177	250	306	378	446	496	542	584
รวมส่วนของทุน	15,679	15,721	15,760	15,857	15,936	16,013	16,085	16,141	16,213	16,281	16,331	16,377	16,419
รวมหนี้สินและทุน	15,679	15,721	15,760	15,857	15,936	16,013	16,085	16,141	16,213	16,281	16,331	16,377	16,419

6.10 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

6.10.1 การประเมินการลงทุนโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

ในการศึกษาความเป็นไปได้ทั้งในด้านเศรษฐกิจ การเงิน และสังคม เพื่อประเมินผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการลงทุนภาครัฐในโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์เพื่อติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย พร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการตามความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย เป็นการวิเคราะห์การลงทุน (Capital budgeting) โดยใช้ตัวแปรต่างๆ ด้านเศรษศาสตร์ ได้แก่ ความคุ้มทุนมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR), อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio: B/C ratio) และ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) โดยตัวแปรที่กล่าวถึงมีความหมายดังต่อไปนี้

1. NPV คือ การวัดมูลค่าสุทธิที่ได้จากการลงทุนในโครงการโดยจะคิดในมูลค่าของเงินในช่วงเวลาปัจจุบันเพื่อขจัดปัญหาของภาวะเงินเฟ้อหรือมูลค่าเพิ่มของเงิน โดยมูลค่าเงินที่จะเกิดในอนาคตจำเป็นต้องมีการปรับลดมูลค่าเงินโดยใช้อัตราส่วนลด (Discount rate) ในอัตราต่าง ๆ ในกรณีนี้จะกำหนดเป็นสามอัตรา คือ 8%, 10% และ 12% เพื่อให้อยู่ในมูลค่าปัจจุบัน สำหรับใช้วัดความคุ้มค่าของโครงการ
2. IRR คือ อัตราส่วนลดที่ใช้เพื่อทำให้มูลค่าของโครงการเท่ากับศูนย์ คือ คืนทุนเมื่อหมดอายุการใช้งาน โดยถ้า IRR สูงกว่าอัตราส่วนลดจริง การลงทุนก็จะคุ้มค่าและถ้ายิ่งแตกต่างมากก็ยิ่งคุ้มค่ามาก
3. B/C ratio คือ อัตราส่วนระหว่างประโยชน์ที่ได้รับต่อต้นทุนที่จ่ายในการลงทุนโครงการแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ โดย B/C ratio ที่สูงจะแสดงถึงอัตราผลกำไรของโครงการที่มาก
4. PB คือ ระยะเวลาคืนทุน เป็นตัวเลขที่จะแสดงความคุ้มทุนว่าการลงทุนในโครงการต้องใช้ระยะเวลาเท่าใดถึงจะคืนทุน กล่าวคือ จากเริ่มลงทุนเมื่อระยะเวลาผ่านไปจะมีรายรับที่ได้ชดเชยค่าใช้จ่ายที่ลงทุนไปในครั้งแรก โดยเมื่อผ่านระยะเวลาที่คืนทุนแล้วรายได้ที่เกิดขึ้นตามมาจะถือเป็นรายได้สุทธิที่ไม่ต้องนำมาหักกับเงินลงทุน

ในการประเมินการลงทุนโครงการนี้ทำโดยนำประมาณการรายได้และต้นทุนที่ได้จากข้อมูลด้านการตลาดและด้านเทคนิคมาประมวล โดยข้อมูลประกอบด้วย

- รายได้ที่เป็นรายได้ทางตรงซึ่ง สทน. ได้รับ (Primary benefit) รวมกับมูลค่าเพิ่มที่รัฐหรือสังคมได้ประโยชน์ (Social benefit) เฉพาะส่วนที่สามารถประเมินค่าในเชิงตัวเงินได้

- ต้นทุนแบ่งเป็น ต้นทุนจากการลงทุน (Initial investment) ด้านที่ดิน เครื่อง ระบบและอุปกรณ์ประกอบ, ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating expenses) และต้นทุนแปรผันด้านสาธารณูปโภคและค่าประกันภัย เป็นต้น
- ความคุ้มทุนพิจารณาผลการคำนวณ ซึ่งให้ค่าตัวแปร NPV, IRR, B/C ratio และ PB ตามข้อสมมติในแต่ละกรณี

รูปแบบการประเมินโครงการนำเสนอโดยใช้ฐานด้านผลผลิต (Productivity) ตามพยากรณ์ความต้องการของตลาดปัจจุบันและแนวโน้มความต้องการในอนาคตในบางผลิตภัณฑ์ เพื่อเปรียบเทียบผลของตัวแปรในแง่มุมที่ต่างกันประกอบการวิเคราะห์ผลในการประเมินการลงทุนโครงการกรณีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 10 MW

ในกรณีที่มีการพิจารณาความต้องการด้านการให้บริการวิจัยขั้นสูงที่ต้องการสมรรถนะของลำนิวตรอนสูง เพื่อรองรับปัจจัยด้านการแข่งขันด้านการวิจัยและนวตกรรมในอนาคต ซึ่งต้องการฟลักซ์นิวตรอนสูง ขนาดกำลังที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่ต้องลงทุนอาจเพิ่มเป็น 15 - 20 MW ปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในกรณีเดินเครื่องกำลังสูงขึ้น มีดังนี้

1. ผลผลิตตามความต้องการยังคงเป็นไปตามแผนการผลิตเดิม การประเมินรายได้ทั้งทางตรงและมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมยังคงเดิม
2. จากข้อมูลด้านเทคนิคนั้น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาดกำลังระหว่าง 10-20 MW ใช้กำลังคนเดินเครื่องและการใช้พื้นที่ตั้ง รวมถึงราคาเครื่องพร้อมอุปกรณ์ประกอบและระยะเวลาในการก่อสร้าง ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงไม่กระทบต่อต้นทุนการลงทุนมาก
3. ส่วนที่แตกต่างจะเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง ราคาเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ค่าสาธารณูปโภค ค่าบำรุงรักษาและค่าประกันภัย เป็นต้น

6.10.2 ผลประมาณจากแนวโน้มผลผลิตและความต้องการใช้บริการจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

ผลการประเมินด้วยวิธีการประมาณจากแนวโน้มผลผลิตและการให้บริการ คือ มูลค่าสุทธิของโครงการในมูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีมูลค่า -1,323 – 3,494 ล้านบาท ตามอัตราส่วนลดที่เลือกใช้ มูลค่าสุทธิส่วนใหญ่ยังคงเป็นบวก และค่า IRR ของโครงการนี้มีค่า 10.6% ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนลดที่เลือกใช้ โดยระยะเวลาในการคืนทุน คือ 14 - มากกว่า 20 ปี เมื่อนับจากเริ่มใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยหรือ 20 – มากกว่า 26 ปี นับจากเริ่มลงทุน

จากตัวแปรทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าเป็นโครงการที่คุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากการประมาณรายได้จากแนวโน้มความต้องการใช้บริการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยโดยทางตรงและทางอ้อมนั้น

สามารถประมาณมูลค่าที่จะเกิดขึ้นกับเศรษฐกิจและสังคมโดยรวม ซึ่งยังมีข้อมูลอีกหลายส่วนที่ไม่สามารถประมาณออกมาเป็นมูลค่าทางการเงิน ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้จะเกิดผลต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ เช่น ค่าใช้จ่ายที่ลดลงด้านสาธารณสุขสามารถนำไปส่งเสริมด้านอุตสาหกรรมและการค้าหรือสร้างความเป็นอยู่ให้กับประชากรในประเทศทำให้ GDP ของประเทศมีการเจริญเติบโตมากขึ้นส่งผลให้เศรษฐกิจดีขึ้นทำให้ความต้องการใช้บริการเพิ่มมากขึ้นตามด้วย

ตารางที่ 6.10 สรุปผลการประเมินโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย
จากแนวโน้มผลผลิตและการให้บริการ (NPV: หน่วยล้านบาท และ GDP growth 3%)

	Discount rate	Economic Based on Demand forecast (ล้านบาท)
NPV	8.00%	3,494 ล้านบาท
	10.00%	661 ล้านบาท
	12.00%	-1,323 ล้านบาท
B/C ratio	8.00%	1.96
	10.00%	1.86
	12.00%	1.77
Payback period	8.00%	14 ปี
	10.00%	17 ปี
	12.00%	มากกว่า 20 ปี
IRR		10.6%

บทที่ 7
ความเสี่ยงและข้อเสนอแนะ

การประเมินความเสี่ยงเพื่อการตัดสินใจลงทุนโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่พร้อมส่วนสนับสนุนการปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ขนาดใหญ่ของประเทศ จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการเงิน เศรษฐกิจและสังคม พบว่ามีความเป็นไปได้ของโครงการทั้งด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านเศรษฐกิจ ด้านการเงิน ซึ่งได้จัดทำแผนธุรกิจเพื่อเป็นแนวทางในจัดทำแผนการดำเนินงานในระยะต่างๆ ตามกำหนดเวลา (Timeline) ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ โดยในการนำแผนไปปฏิบัติอาจพบกับความเสี่ยงและความไม่แน่นอนในอนาคต จึงควรประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางการจัดการความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นดังนี้

7.1 ความเสี่ยงด้านนโยบายและการสนับสนุนจากภาครัฐที่อาจส่งผลให้ไม่เกิดการลงทุนหรือเกิดการยืดเยื้อในการตัดสินใจ

การตัดสินใจของผู้มีอำนาจของภาครัฐ อาจมีความเห็นด้วยและไม่เห็นด้วย รวมถึงมีความไม่ต่อเนื่องของนโยบายและจากเหตุผลอื่นหลายประการ อีกทั้งโครงการฯมีมูลค่าการลงทุนที่สูงจึงทำให้ไม่เป็นที่น่าสนใจที่จะสนับสนุนโครงการ

การจัดการความเสี่ยง

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ต้องประสานสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติในการนำเสนอและชี้แจ้งข้อมูลให้เกิดความชัดเจนในโครงการและบรรจุให้อยู่ในแผนยุทธศาสตร์ที่รัฐบาลสนับสนุนเพื่อเป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศ ตามนโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาด้านพลังงานนิวเคลียร์ของประเทศ พ.ศ. 2560 – 2569 ซึ่งถือเป็นบทบาทหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาประเทศไทยตามหลักนโยบายประเทศไทย 4.0 หรือ Thailand 4.0 โดยการนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาและช่วยสนับสนุนกระบวนการผลิต หรือสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้กลุ่มอุตสาหกรรมทั้ง 5 กลุ่มอุตสาหกรรม ทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องภายใต้แผนฉบับนี้จะต้องทำงานบูรณาการร่วมกันตามแนวความคิดประชารัฐ เพื่อให้แผนดังกล่าวขับเคลื่อนไปสู่ความสำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจาก

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยจัดเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักของประเทศในการดึงดูดการลงทุนสำหรับผลิตภัณฑ์ต้นน้ำหรือต้นทางที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มของผลผลิต ทั้งมูลค่าทางตรงและทางอ้อมที่ลงไปสู่ประชาชน ความล่าช้าของโครงการก่อให้เกิดการสูญเสียโอกาสในด้านต่างๆ เช่น การทำรายได้ ศักยภาพการแข่งขัน และการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ เป็นต้น

7.2 ความเสี่ยงด้านการเสียโอกาสโดยเฉพาะด้านเศรษฐกิจ

จากการประเมินผลตอบแทนของโครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ ถ้าไม่ตัดสินใจดำเนินการหรือมีความล่าช้าในการตัดสินใจดำเนินโครงการ จะเป็นการสูญเสียโอกาสการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในการพัฒนาประเทศ ดังตัวอย่างของโครงการเดิม ที่ก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมากเป็นเวลาอย่างน้อยเมื่อ 7 ปีที่ผ่านมา

<u>การประเมินความสูญเสียทางเศรษฐกิจ</u>

1. ด้านการแพทย์ ประเมินจากความต้องการสารเภสัชรังสี
    - นำเข้าสารเภสัชรังสี I-131 ปีละ 1,460 คูรี คิดเป็นมูลค่า 34.58ล้านบาท/ปี
    - นำเข้าสารเภสัชรังสี Mo-99 เพื่อผลิต Tc-99 ปีละ 1,200 คูรี คิดเป็นมูลค่า 38.35 ล้านบาท/ปี
    - นำเข้าสารเภสัชรังสี Lu-177 ปีละ 6 คูรี คิดเป็นมูลค่า 25 ล้านบาท/ปี
2. ด้านอุตสาหกรรม ประเมินจากความต้องการและโอกาสการได้ส่วนแบ่งจากตลาด
    - ช่วยลดการนำเข้า Ir-192 ในงาน NDT 15% ซึ่งปัจจุบันนำเข้าปีละ 28,000 คูรี คิดเป็นมูลค่า 15 ล้านบาท/ปี
    - เสียโอกาสในการให้บริการโดปสารกึ่งตัวนำแก่ภาคอุตสาหกรรม 10 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 34ล้านบาท/ปี
    - เสียโอกาสในการให้บริการฉายรังสีพลอยแก่ภาคอุตสาหกรรมเพิ่มกว่าเดิมประมาณ 3,500 กิโลกรัม/ปี คิดเป็นมูลค่า 160 ล้านบาท/ปี ปัจจุบันผู้ประกอบการต้องส่งไปฉายรังสีต่างประเทศ
    - ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี จำเป็นต้องใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยประกอบกับเครื่องเร่งอนุภาคที่ลงทุนไปแล้ว เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของพลอยส่งออกเป็นเงิน 600 ล้านบาท/ปี

3. ด้านการเกษตร ประเมินจากผลการปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจ
    - เสียโอกาสในการปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจใหม่ด้วยนิวตรอน ซึ่งจะทำให้เพิ่มผลผลิตการส่งออก คิดเป็นมูลค่า 194.26ล้านบาท/ปี
    - เสียโอกาสในการปรับปรุงพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับและเมล็ดพันธุ์ด้วยนิวตรอน ซึ่งจะทำให้มีผลผลิตส่งออกได้ปีละ 8.45ล้านบาท/ปี
4. ด้านการศึกษาวิจัยและการพัฒนากำลังคน
    - เสียโอกาสในการผลิตผลงานวิจัยที่มูลค่าโครงการ 9ล้านบาท
    - เสียโอกาสที่ต้องส่งนักศึกษาไปเรียนต่างประเทศคิดเป็นเงิน 67.24ล้านบาท
    - เสียโอกาสการใช้ประโยชน์จากค่าบำรุงที่รัฐต้องจ่ายให้ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศปีละประมาณ 50 ล้านบาท ในการเข้าฝึกอบรมและการขอผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยมาให้คำปรึกษาและร่วมวิจัย ซึ่งต้องส่งไปอบรมในประเทศที่มีการใช้เครื่องปีละประมาณ 3-5 คน ทำให้สูญเสียประโยชน์ที่ได้รับ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 14.5 ล้านบาท/ปี

ตารางที่ 7.1 สรุปมูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจ

ประเมินความสูญเสียทางเศรษฐกิจ	มูลค่า (ล้านบาท/ปี)
ด้านการแพทย์	97.93
ด้านอุตสาหกรรม	809.00
ด้านการเกษตร	204.71
ด้านการศึกษาวิจัยและการพัฒนากำลังคน	90.74
รวมมูลค่าการสูญเสียต่อปี	1,202.38
มูลค่าการสูญเสียรวม 7 ปี	8,416.66

จะเห็นว่าหากคิดอัตราการสูญเสียโอกาสคงที่ในระยะเวลา 7 ปีที่ผ่านมา สามารถประเมินในเชิงตัวเงินมีมูลค่ารวม 8,416.66 ล้านบาท และจะมีความสูญเสียต่อไปปีละประมาณ 1,202.38 ล้านบาท หากยังไม่รีบเร่งดำเนินการให้เกิดโครงสร้างพื้นฐานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงจากการเสียโอกาสจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีในสัญญาแบบ Turnkey ได้แก่ การผลิตสารเภสัชรังสีตัวใหม่ ผลิตไอโซโทปรังสีแบบผนึกสนิทสำหรับงานอุตสาหกรรม และการวิจัยด้านองค์ความรู้ใหม่ รวมถึงประโยชน์ที่นักวิจัยที่จะได้รับจากการลงทุนอาคารปฏิบัติการในส่วน Non-Turnkey ของโครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ที่รัฐได้ลงทุนไปส่วนหนึ่งแล้ว

การจัดการความเสี่ยง

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ควรนำข้อมูลการสูญเสียโอกาสและความสามารถระดับประเทศ อันเนื่องมาจากความล่าช้าของการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านเครื่องปฏิกรณ์วิจัยนิวเคลียร์นี้ นำเสนอผ่านคณะทำงานบูรณาการร่วมระหว่างสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเข้าสู่คณะกรรมการนิวเคลียร์เพื่อสันติให้ทราบถึงข้อเท็จจริง เนื่องจากกำลังผลิตของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเดิมที่มีอยู่ ไม่สามารถรองรับความต้องการในสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันและไม่สามารถขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศตามนโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาด้านพลังงานนิวเคลียร์ของประเทศได้เต็มที่ ทั้งนี้เพราะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่จะลงทุนใหม่นี้มีสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพ ด้านการแพทย์และสาธารณสุข ด้านการเกษตรด้านการวิจัยและพัฒนาด้านอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอัญมณี อุตสาหกรรมภาคบริการ

7.3 ความเสี่ยงด้านกฎหมายกำกับดูแลการดำเนินการสถานประกอบการทางนิวเคลียร์

โครงการอาจพบอุปสรรคหากกฎหมายกำกับดูแลการดำเนินการสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. ๒๕๕๙ ยังไม่มีความชัดเจน เนื่องจากจะมีผลต่อการวางแผนดำเนินการในเรื่อง สถานที่ตั้ง การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ การวิเคราะห์ความปลอดภัย การพัฒนาพื้นที่และสาธารณูปโภคเพื่อการใช้ประโยชน์ส่วนสนับสนุนที่รัฐได้ลงทุนไปบางส่วนแล้ว

การจัดการความเสี่ยง

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ควรตั้งคณะทำงาน ศึกษาเนื้อหาของ พ.ร.บ. และกฎกระทรวง รวมถึงระเบียบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับโครงการฯ หากมีความเป็นไปได้ควรเชิญบุคลากรจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติมาร่วมเป็นคณะทำงาน เพื่อทำงานในเชิงบูรณาการร่วมกันตามนโยบายรัฐมนตรีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ไว้ ทั้งนี้ เพื่อให้ทราบความชัดเจนเกี่ยวกับกฎหมายที่เกี่ยวข้องสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. ๒๕๕๙ และที่ออกตามความของ พรบ. ฉบับนี้ เช่น

o ร่าง กฎกระทรวง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไข การออกใบอนุญาตให้ใช้พื้นที่เพื่อตั้งสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ พ.ศ. ....

o ร่างกฎกระทรวง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการออกใบอนุญาต การต่ออายุใบอนุญาต และการออก ใบแทนใบอนุญาตดำเนินการสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ พ.ศ. ....

o ร่าง กฎกระทรวง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการขอรับใบอนุญาตก่อสร้าง สถานประกอบการทางนิวเคลียร์ พ.ศ. ....

o ร่างกฎกระทรวงกำหนดรายละเอียดรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัยของสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฉบับเบื้องต้น ประเภทที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เพื่อการผลิตพลังงานและวิจัย พ.ศ. ....

o ร่างกฎกระทรวง กำหนดหลักเกณฑ์วิธีการ และเงื่อนไขในการขอรับใบอนุญาต การขอต่ออายุใบอนุญาต การออกใบอนุญาตและการต่ออายุใบอนุญาตเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ พ.ศ. .... ทั้งนี้เพื่อวางแผนแก้ไขข้อปัญหาและอุปสรรคที่จะกระทบต่อการดำเนินโครงการ

7.4 ความเสี่ยงด้านการยอมรับของชุมชนรอบบริเวณที่ตั้งสถานประกอบการ

โครงการอาจไม่ได้รับการยอมรับจากชุมชนโดยรอบ หรือได้รับการต่อต้านจากกลุ่มอนุรักษ์ ซึ่งไม่เข้าใจความแตกต่างระหว่างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยกับโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เนื่องจากประชาชนทั่วไปมีความรู้และความเข้าใจด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์น้อยมาก เมื่อกล่าวถึงเทคโนโลยีนิวเคลียร์คนส่วนมากจะนึกถึงและรู้จักแต่ความเป็นอันตรายมหันต์ของระเบิดปรมาณูในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ดังนั้นประชาชนส่วนใหญ่ในประเทศไทยได้ยินคำว่า “นิวเคลียร์” มักจะต่อต้าน เพราะไม่เคยรับรู้หรือตระหนักถึงประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ และความจำเป็นที่ต้องใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ชั้นสูงในโลกปัจจุบัน ความเสี่ยงจากการไม่ยอมรับของชุมชนโดยรอบทำให้เกิดผลเสียดังนี้

1. ไม่ผ่านการทำประชาพิจารณ์รับฟังความคิดเห็นของประชาชนที่อาศัยบริเวณรอบพื้นที่สถานประกอบการทางนิวเคลียร์
2. ไม่สามารถจะพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันทั้งด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม และที่สำคัญอย่างยิ่ง คือ การเกษตรอันเป็นอาชีพหลักของประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศ

3. การวิจัยและพัฒนาความรู้ความสามารถของนักวิจัยและนิสิตนักศึกษาในเรื่องประโยชน์และบริการด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ตกต่ำและไม่มีประสิทธิภาพ
4. ขาดความร่วมมือจากต่างประเทศในด้านการศึกษาวิจัย ประเทศที่มีการศึกษาวิจัยทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ขั้นสูงจะไม่สนใจมาทำวิจัยร่วมกับประเทศไทย เพราะมีความต่างระดับทางด้านเทคโนโลยีมากไป ทำให้การพัฒนาทางด้านนี้ในประเทศไทยเกิดขึ้นได้ช้าไม่ทันโลก
5. ไม่สามารถขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศ ให้เป็นไปตามนโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาด้านพลังงานนิวเคลียร์ของประเทศได้เต็มที่

การจัดการความเสี่ยง

ในการจัดการความเสี่ยงด้านการยอมรับของชุมชนรอบบริเวณสถานที่ตั้งสถานประกอบการ ซึ่งมีความสำคัญต่อการดำเนินงานระยะแรกของโครงการ สรุปได้ดังนี้

1. เพื่อให้เกิดการยอมรับและสนับสนุนโครงการของชุมชนรอบสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ต้องส่งเสริมการให้ความรู้แก่ประชาชนทั่วไปในเรื่องความแตกต่างของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยเป็นการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ในรูปแบบของการเรียนรู้จากสื่อที่เข้าใจง่าย ไม่เป็นหลักวิชาการ โดยเฉพาะในการเขียนเป็นภาพการ์ตูน ทำเป็นภาพยนต์สั้นโฆษณาประชาสัมพันธ์ถึงประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ
2. การจัดกิจกรรมเสริมแผนมวลชนสัมพันธ์ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ดำเนินการอยู่เดิม โดยเน้นที่การให้ความรู้เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในประโยชน์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและความปลอดภัยในการเดินเครื่อง โดยเฉพาะประโยชน์ที่จะเกิดต่อคุณภาพชีวิตของชุมชน
3. การเชิญผู้นำชุมชนเข้ามีส่วนร่วมในโครงการ เพื่อให้ข้อคิดเห็นและรับรู้การดำเนินงานอย่างเปิดเผย พร้อมที่จะช่วยสื่อสารกับชุมชนโดยตรง
4. การวางแผนการพัฒนาชุมชนรอบบริเวณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ โดยใช้ผลประโยชน์ส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างพื้นฐานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

การจัดสิทธิประโยชน์ให้ชุมชน ในแง่การดูแลตรวจสุขภาพประจำปี การให้ประโยชน์จากการปรับปรุงพันธุ์พืช และการเพิ่มคุณภาพชีวิตของชุมชนให้ความปลอดภัยจากสารพิษปนเปื้อนอาหารซึ่งเป็นผลพลอยได้ของการตรวจวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานของสถานประกอบการ

7.5ความเสี่ยงด้านการเปลี่ยนแปลงในมูลค่าการลงทุนและค่าใช้จ่าย

การศึกษาความเป็นไปได้และจัดทำแผนธุรกิจของโครงการนั้น มูลค่าด้านค่าใช้จ่ายทั้งด้านการลงทุน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานขึ้นกับข้อสมมุติในขณะที่ศึกษา ดังนั้นถ้าค่าใช้จ่ายดำเนินการและเงินลงทุนมีการเพิ่มขึ้นอาจจะมีผลกระทบต่อแผนการดำเนินงานของโครงการในอนาค

การจัดการความเสี่ยง

ในการดำเนินงานควรต้องควบคุมค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ ให้เป็นไปตามแผน มีวินัยด้านการเงิน การบริหารโครงการต้องเป็นไปตามแผนงาน มีความโปร่งใส เพื่อลดปัญหาที่เกิดจาก Cost overrun ของโครงการ

7.6 ความเสี่ยงจากการบริหารการตลาดให้ได้ตามแผน

ความต้องการผลผลิตในตลาดอาจมีการเปลี่ยนแปลงในด้านความต้องการผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือการแข่งขันด้านราคา การดำเนินการจะประสบความสำเร็จได้ต้องอาศัยผู้มีความรู้ความสามารถด้านการตลาดแบบมืออาชีพ เพื่อสามารถทำการตลาดเชิงรุกได้ ทางสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติต้องอาศัยพื้นฐานความเป็นเลิศทางเทคนิคในการปรับผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด และแข่งขันด้านราคาได้

การจัดการความเสี่ยง

1. ควรมีการจัดตั้งหน่วยงานหรือบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์มาบริหารแผนธุรกิจ
2. มีการจัดทำแผนการตลาดที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพสำหรับกลุ่มลูกค้าเป้าหมายทั้ง 4 กลุ่ม อันได้แก่ กลุ่มการแพทย์ เกษตร อุตสาหกรรม วิจัยและวิชาการ อย่างชัดเจนและเป็นระบบ
3. องค์กรควรกำหนดงบประมาณด้านการตลาด โดยเฉพาะการสื่อสารและประชาสัมพันธ์อย่างชัดเจน ให้ถึงตัวลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย เพื่อให้สามารถดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะปัจจุบันลูกค้าเดิมอาจยังไม่ทราบว่า สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติจะมีโครงการสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ตัวใหม่

7.7 ความเสี่ยงด้านการดำเนินงานโครงการ

ความเสี่ยงในด้านการดำเนินงานโครงการให้เป็นไปตามแผน อาจมีอุปสรรคที่เกิดขึ้น เช่น กระบวนการด้านการจัดซื้อจัดจ้าง กฎระเบียบของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ส่งผลต่อความยืดหยุ่นในการดำเนินงานซึ่งเป็นข้อจำกัดในการตอบสนองต่อลูกค้าและผู้ที่เกี่ยวข้อง

การจัดการความเสี่ยง

ควรมีการประเมินผลกระทบที่เกิดจากกฎระเบียบการดำเนินงาน ที่ส่งผลกระทบต่อขีดความสามารถในการบริหารจัดการ การให้บริการลูกค้า และหาแนวทางปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพเทียบเท่าภาคเอกชน

7.8 ความเสี่ยงด้านเทคโนโลยี

การตัดสินใจในการลงทุนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยพร้อมอุปกรณ์สนับสนุนตัวใหม่ มีความเสี่ยงด้านการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีนิวเคลียร์ เช่นเดียวกับเทคโนโลยีอื่นๆ เทคโนโลยีของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยและอุปกรณ์ประกอบมีการพัฒนาก้าวหน้าตลอดเวลา พอจะยกตัวอย่างได้ดังนี้

1. มีบริษัทผลิตเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยใหม่ๆ เกิดขึ้นจำนวนมาก รวมถึงเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องที่มีขนาดกำลังสูงขึ้นก็เป็นแบบ Plate-type แล้ว

2. โครงการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเดิมที่ 10 MW มีความต้องการระบบรองรับการรักษาผู้ป่วยแบบ Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) จัดว่าทันสมัยมากในขณะนั้น แต่ในเวลานี้ทุกอย่างค่อนข้างล้าสมัยแล้ว เทคโนโลยี BNCT เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าไม่สามารถนำมาใช้ได้ในทางปฏิบัติและปัจจุบันมีเทคโนโลยีการรักษาด้วยเครื่องเร่งอนุภาค Charged particle therapy (Proton, Carbon) มาใช้ในการรักษาผู้ป่วยแทน

3. Neutron Transmission Doping (NTD) เดิมที่สามารถสร้างรายได้อย่างมาก ปัจจุบันการแข่งขันทำให้ค่าบริการลดลง 20 เท่า ถ้าจะลงทุนใหม่ต้องรองรับ แท่งซิลิกอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว จึงจะแข่งขันได้

4. การผลิต Mo-99 จากผลผลิตฟิชชันของ LEU แม้ว่าก่อกากกัมมันตรังสีสูง แต่สามารถจะบริหารจัดการให้ลดลง โดยแยกเอา Cs-137, Sr-90 ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เนื่องจาก Cs-137 มีความต้องการทั้งการแพทย์และอุตสาหกรรม ส่วน Sr-90 นำมาผลิตเป็น Y-90 generator ทางการแพทย์และ Sr-90 ยังมีโอกาสใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรีนิวเคลียร์ในอนาคต

ดังนั้นความล่าช้าในการตัดสินใจทำให้ไม่สามารถก้าวทันเทคโนโลยีของโลกที่ก้าวหน้าตลอดเวลา และอาจทำให้ได้เทคโนโลยีที่ล้าสมัย ทำให้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยอาจไม่สามารถทำรายได้ตามแผนธุรกิจที่วางไว้ได้

การจัดการความเสี่ยง

ติดตามและดำเนินการให้เป็นไปตามแผนงานอย่างรวดเร็ว และมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิผลสูงสุด

7.9 ความเสี่ยงด้านระยะเวลาการจัดการและการจัดการทรัพยากรบุคคล

ต้องยอมรับว่าการที่องค์กรจะประสบความสำเร็จและขับเคลื่อนให้เกิดรายได้และมีกำไรนั้น ต้องมีระบบการจัดการที่ดี คล่องตัว ฉับไวและสอดคล้องกับสถานการณ์อยู่ตลอดเวลา อีกทั้งต้องมีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ มีจำนวนที่เพียงพอ และอุทิศเวลาเพื่อองค์กร ซึ่งอาจหาได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากข้อจำกัดของอัตราเงินเดือนและค่าตอบแทน

การจัดการความเสี่ยง

1. องค์กรต้องมีการวางระบบการจัดองค์กรในเชิงของธุรกิจ รวมทั้งวางระบบการควบคุมการดำเนินงานด้วย โดยอาจมีที่ปรึกษาวางระบบ ขณะเดียวกันต้องบริหารโดยการใช้เทคโนโลยีและฐานข้อมูลเพื่อการบริหารและการจัดการที่เป็นธรรม มีความคล่องตัวในการทำงาน
2. สร้างระบบคัดเลือกบุคลากรและการประเมินผลทดลองงานที่มีประสิทธิผล มีการจัดระบบพี่เลี้ยงในการสอนงานและปลูกฝังความรักองค์กร
3. สร้างความรู้สึกให้บุคลากรมีความภูมิใจที่เป็นส่วนหนึ่งองค์กร และมีความสำคัญต่องานที่รับผิดชอบ
4. ในประเด็นของบุคลากรนั้น ควรมีระบบการจูงใจและตอบแทนในรูปที่ไม่ใช่ตัวเงิน เช่น การฝึกอบรมเพิ่มทักษะการทำงาน การให้ทุนไปศึกษาอบรม การสัมมนาเชิงวิชาการ การศึกษาดูงานทั้งในประเทศและต่างประเทศ

มีการจัดระบบสวัสดิการที่เหมาะสม ทั้งด้านการประกันสุขภาพและการประกันอุบัติเหตุในการทำงานทีมีความเสี่ยง

ภาคผนวก ก

ตารางประเมินการลงทุนโครงการกรณีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9
Primary Benefit (revenue)										
#2 Based on Demand Forecast										
Benefit	**ด้านการแพทย์**							**318.41**	**604.66**	**636.83**
	-ไอโซโทปรังสี I-131							273.75	547.50	547.50
	-ไอโซโทปรังสี Mo-99/Tc-99m							32.16	32.16	64.33
	-ไอโซโทปรังสี Lu-177							12.50	25.00	25.00
	ด้านอุตสาหกรรม							**18.41**	**68.01**	**93.38**
	-ฉายรังสีอัญมณี							4.00	40.00	40.00
	-ไอโซโทปรังสี Ir-192							6.49	6.49	12.98
	-ไอโซโทปรังสี Se-75							1.88	1.88	3.75
	-การโดปสารกึ่งตัวนำ							3.40	17.00	34.00
	-อื่นๆ							2.65	2.65	2.65
	รายได้รวม							**336.83**	**672.68**	**730.21**

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year5	Year6	Year 7	Year 8	Yea r9
Social Benefit	**ด้านเกษตรกรรม**							**-**	**1.73**	**1.73**
	เพิ่มมูลค่าผลผลิต							-	-	-
	เพิ่มมูลค่าส่งออกผลผลิต							-	-	-
	เพิ่มมูลค่าส่งออกเมล็ดพันธุ์							-	-	-
	เพิ่มมูลค่าส่งออกไม้ดอก							-	1.73	1.73
	ด้านการแพทย์							**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**
	- มูลค่าทางเศรษฐกิจของแรงงานที่ได้รับการรักษา							1,405.21	1,405.21	1,405.21
	ด้านอุตสาหกรรม							**15.00**	**150.00**	**150.00**
	- มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจจากพลอย							15.00	150.00	150.00
	ด้านการวิจัยและพัฒนา							**125.84**	**125.84**	**125.84**
	- การลดการใช้จ่ายภาครัฐ (ปริญญาตรี)							69.48	69.48	69.48
	- การลดการใช้จ่ายภาครัฐ (ปริญญาโท-เอก)							47.36	47.36	47.36
	- ประโยชน์จากผลงานวิจัยใหม่							5.00	5.00	5.00
	- ประโยชน์จากผลงานวิจัยร่วมกับหน่วยงานอื่น							2.00	2.00	2.00
	- ประโยชน์จากสิทธ์บัตรใหม่							2.00	2.00	2.00
Total Benefit	#2 Based on Demand Forecast							**1,882.88**	**2,355.47**	**2,412.99**

Economic GDP 3%	**Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)**	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9
Investment and Operating Cost										
Initial Investment	**Nuclear Research Reactor (including Training, Installation)**									
	Site Preparation	173.75	103.91	103.91	0.00	0.00	0.00			
	Reactor Building	103.91	938.57	1425.75	2461.60	2152.20	952.00			
	Fuel	20.4	47.6	34	68	139.4	105.4			
	Radioisotope Production Facility	40.8	217.6	489.6	520.2	520.2	244.8			
	NTD and NAA Facility	0	13.6	47.6	40.8	47.6	71.4			
	Radwaste Treatment Facility	0	13.6	119	227.8	207.4	173.4			
	Irradiated Material Examination Facility	40.8	40.8	312.8	452.2	486.2	241.4			
	Neutron Beam Facility	0.00	51.00	136.00	221.00	272.00	170.00			
	Beam ports & auxiliary	0.00	34.00	85.00	136.00	204.00	170.00			

Economic GDP 3%	**Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)**	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9
	5 Neutron Instruments (HRPD, FCD, RSI, NRF, TAS)	0.00	0.00	34.00	85.00	153.00	204.00			
	Thermal Instruments Utilization	0.00	34.00	34.00	68.00	119.00	153.00			
	ที่ดิน	11.52								
	เครื่องมือสำหรับกลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี						9.50			
	เครื่องมือสำหรับกลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ						16.09			
	อุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับกลุ่มวิจัยและนวัตกรรม						35.17			
	Gross	**391.17**	**1494.68**	**2821.65**	**4280.60**	**4301.00**	**2546.16**			
Operating Expenses	เงินเดือน							15.65	16.59	17.58
	ค่าบำรุงรักษา									13.40
	ฝึกอบรม							8.50	8.50	8.50
	ประชาสัมพันธ์							1.55	1.55	1.55

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9
	รวมมูลค่าการลงทุนเพิ่ม									
	ค่าเชื้อเพลิงนิวเคลียร์							53.00	54.00	55.00
	ค่าสาธารณูปโภคและรักษาความปลอดภัย							13.56	13.97	14.39
	ค่าขนส่งสารไอโซโทปรังสี							1.50	1.55	1.59
	ต้นทุนในการผลิต I-131							40.20	40.20	40.20
	ต้นทุนในการผลิต Ir-192							2.60	2.60	5.19
	ต้นทุนในการผลิต Mo-99/Tc-99m							19.74	19.74	39.47
	ต้นทุนในการผลิต Lu-177							7.67	15.34	15.34
	ต้นทุนในการผลิต Se-75							1.15	1.15	2.30
	วัสดุสิ้นเปลือง(งบประมาณประจำปี)							32.80	32.80	32.80
	ประกันภัย							81.34	81.34	81.34
ต้นทุนรวม	ต้นทุนรวม	391.17	1494.68	2821.65	4280.60	4301.00	2546.16	279.25	289.31	328.65
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
		Year0	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Year6	Year7	Year8
Net Benefit		-391.17	-1494.68	-2821.65	-4280.60	-4301.00	-2546.16	1603.63	2066.15	2084.34

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9
มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี	***มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 10%)***	**-391.17**	**-1749.97**	**-4081.92**	**-7298.00**	**-10235.64**	**-11816.61**	**-10911.40**	**-9851.13**	**-8878.77**
(เริ่มคำนวณตั้งแต่ปีที่เริ่มลงทุน)	***มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 8%)***	**-391.17**	**-1775.14**	**-4194.25**	**-7592.33**	**-10753.69**	**-12486.57**	**-11476.01**	**-10270.43**	**-9144.32**
	มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 12%)	**-391.17**	**-1725.71**	**-3975.12**	**-7021.96**	**-9755.33**	**-11200.09**	**-10387.64**	**-9453.01**	**-8611.18**
								Year1	Year2	Year3

	Payback period	NPV (20)	IRR	B/C Ratio
มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 8%)	14 ปี	3,494.01		1.96
มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 10%)	17 ปี	661.33	10.6%	1.86
มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 12%)	มากกว่า 20 ปี	- 1,322.79		1.77

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 10	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15	Year 16	Year 17	Year 18
Primary Benefit (revenue)										
#2 Based on Demand Forecast										
Benefit	**ด้านการแพทย์**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**
	-ไอโซโทปรังสี I-131	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50
	-ไอโซโทปรังสี Mo-99/Tc-99m	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33
	-ไอโซโทปรังสี Lu-177	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
	ด้านอุตสาหกรรม	**113.38**	**133.38**	**173.38**	**173.38**	**173.38**	**173.38**	**193.38**	**193.38**	**193.38**
	-ฉายรังสีอัญมณี	60.00	80.00	120.00	120.00	120.00	120.00	140.00	140.00	140.00
	-ไอโซโทปรังสี Ir-192	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
	-ไอโซโทปรังสี Se-75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
	-การโดปสารกึ่งตัวนำ	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
	-อื่นๆ	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
	รายได้รวม	**750.21**	**770.21**	**810.21**	**810.21**	**810.21**	**810.21**	**830.21**	**830.21**	**830.21**

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 10	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15	Year 16	Year 17	Year 18
Social Benefit	**ด้านเกษตรกรรม**	**1.73**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**
	เพิ่มมูลค่าผลผลิต	-	193.23	193.23	193.23	193.23	193.23	193.23	193.23	193.23
	เพิ่มมูลค่าส่งออกผลผลิต	-	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12
	เพิ่มมูลค่าส่งออกเมล็ดพันธุ์	-	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
	เพิ่มมูลค่าส่งออกไม้ดอก	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
	ด้านการแพทย์	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**
	- มูลค่าทางเศรษฐกิจของแรงงานที่ได้รับการรักษา	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21
	ด้านอุตสาหกรรม	**225.00**	**300.00**	**450.00**	**450.00**	**450.00**	**450.00**	**525.00**	**525.00**	**525.00**
	- มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจจากพลอย	225.00	300.00	450.00	450.00	450.00	450.00	525.00	525.00	525.00
	ด้านการวิจัยและพัฒนา	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**
	- การลดการใช้จ่ายภาครัฐ (ปริญญาตรี)	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48
	- การลดการใช้จ่ายภาครัฐ (ปริญญาโท-เอก)	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36
	- ประโยชน์จากผลงานวิจัยใหม่	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	- ประโยชน์จากผลงานวิจัยร่วมกับหน่วยงานอื่น	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	- ประโยชน์จากสิทธิบัตรใหม่	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	รายได้รวมด้านเศรษฐกิจสังคม	1,757.79	2,032.73	2,182.73	2,182.73	2,182.73	2,182.73	2,257.73	2,257.73	2,257.73
Total Benefit	#2 Based on Demand Forecast	2,507.99	2,802.93	2,992.93	2,992.93	2,992.93	2,992.93	3,087.93	3,087.93	3,087.93

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 10	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15	Year 16	Year 17	Year 18
Investment and Operating Cost										
Initial Investment	**Nuclear Research Reactor (including Training, Installation)**									
	Site Preparation									
	Reactor Building									
	Fuel									
	Radioisotope Production Facility									
	NTD and NAA Facility									
	Radwaste Treatment Facility									
	Irradiated Material Examination Facility									
	Neutron Beam Facility									
	Beam ports & auxiliary									
	5 Neutron Instruments (HRPD, FCD, RSI, NRF, TAS)									
	Thermal Instruments Utilization									
	เครื่องมือสำหรับกลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ									
	อุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับกลุ่มวิจัยและนวัตกรรม									

Economic GDP 3%	**Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)**	Year 10	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15	Year 16	Year 17	Year 18
	อุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับกลุ่มวิจัยและนวัตกรรม									
	Gross									
Operating Expenses	เงินเดือน	19.76	20.94	22.20	23.53	24.94	26.44	28.02	29.70	31.49
	ค่าบำรุงรักษา	13.40	26.80	26.80	26.80	40.20	40.20	0.00	7.43	7.43
	ฝึกอบรม	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
	ประชาสัมพันธ์	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
	รวมมูลค่าการลงทุนเพิ่ม							132.25		
	ค่าเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	57.00	58.00	59.00	60.00	61.00	62.00	63.00	64.00	65.00
	ค่าสาธารณูปโภคและรักษาความปลอดภัย	15.26	15.72	16.19	16.68	17.18	17.69	18.22	18.77	19.33
	ค่าขนส่งสารไอโซโทปรังสี	1.69	1.74	1.79	1.84	1.90	1.96	2.02	2.08	2.14
	ต้นทุนในการผลิต I-131	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20
	ต้นทุนในการผลิต Ir-192	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19
	ต้นทุนในการผลิต Mo-99/Tc-99m	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47
	ต้นทุนในการผลิต Lu-177	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year 10	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15	Year 16	Year 17	Year 18
	ต้นทุนในการผลิต Se-75	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
	วัสดุสิ้นเปลือง(งบประมาณประจำปี)	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80
	ประกันภัย	81.34	81.34	81.34	81.34	81.34	81.34	21.95	21.95	21.95
ต้นทุนรวม	ต้นทุนรวม	333.80	349.89	352.67	355.54	371.91	374.98	410.81	289.28	292.69
		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
		Year10	Year11	Year12	Year13	Year14	Year15	Year16	Year17	Year18
Net Benefit		**2176.81**	**2174.20**	**2453.04**	**2640.26**	**2637.39**	**2621.03**	2677.12	2798.65	2795.24
มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี	*มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 10%)*	**- 7955.59**	**- 7117.35**	**- 6257.57**	**- 5416.30**	**- 4652.34**	**-3962.15**	**2745.33**	**3299.02**	**3801.77**
(เริ่มคำนวณตั้งแต่ปีที่เริ่มลงทุน)	*มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 8%)*	**- 8055.38**	**- 7048.30**	**- 5996.24**	**- 4947.75**	**- 3977.99**	**- 3085.63**	**4367.31**	**5123.69**	**5823.20**
	มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 12%)	**- 7826.20**	**- 7126.17**	**- 6420.98**	**- 5743.29**	**- 5138.87**	**- 4602.55**	**1495.86**	**1903.47**	**2266.96**
		Year4	Year5	Year6	Year7	Year8	Year9	Year10	Year11	Year12

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year19	Year20	Year21	Year22	Year23	Year24	Year25
Primary Benefit (revenue)								
#2 Based on Demand Forecast								
Benefit	**ด้านการแพทย์**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**	**636.83**
	-ไอโซโทปรังสี I-131	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50	547.50
	-ไอโซโทปรังสี Mo-99/Tc-99m	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33	64.33
	-ไอโซโทปรังสี Lu-177	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
	ด้านอุตสาหกรรม	**193.38**	**193.38**	**213.38**	**213.38**	**213.38**	**213.38**	**213.38**
	-ฉายรังสีอัญมณี	140.00	140.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00
	-ไอโซโทปรังสี Ir-192	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
	-ไอโซโทปรังสี Se-75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
	-การโดปสารกึ่งตัวนำ	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
	-อื่นๆ	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
	รายได้รวม	**830.21**	**830.21**	**850.21**	**850.21**	**850.21**	**850.21**	**850.21**

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year19	Year20	Year21	Year22	Year23	Year24	Year25
Social Benefit	**ด้านเกษตรกรรม**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**	**201.67**
	เพิ่มมูลค่าผลผลิต	193.23	193.23	193.23	193.23	193.23	193.23	193.23
	เพิ่มมูลค่าส่งออกผลผลิต	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12
	เพิ่มมูลค่าส่งออกเมล็ดพันธุ์	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
	เพิ่มมูลค่าส่งออกไม้ดอก	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
	ด้านการแพทย์	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**	**1,405.21**
	- มูลค่าทางเศรษฐกิจของแรงงานที่ได้รับการรักษา	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21	1,405.21
	ด้านอุตสาหกรรม	**525.00**	**525.00**	**600.00**	**600.00**	**600.00**	**600.00**	**600.00**
	- มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจจากพลอย	525.00	525.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00
	ด้านการวิจัยและพัฒนา	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**	**125.84**
	- การลดการใช้จ่ายภาครัฐ (ปริญญาตรี)	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48	69.48
	- การลดการใช้จ่ายภาครัฐ (ปริญญาโท-เอก)	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36
	- ประโยชน์จากผลงานวิจัยใหม่	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	- ประโยชน์จากผลงานวิจัยร่วมกับหน่วยงานอื่น	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	- ประโยชน์จากลิทธีบัตรใหม่	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	รายได้รวมด้านเศรษฐกิจสังคม	2,257.73	2,257.73	2,332.73	2,332.73	2,332.73	2,332.73	2,332.73
Total Benefit	*#2 Based on Demand Forecast*	**3,087.93**	**3,087.93**	**3,182.93**	**3,182.93**	**3,182.93**	**3,182.93**	**3,182.93**

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year19	Year20	Year21	Year22	Year23	Year24	Year25
Investment and Operating Cost								
Initial Investment	**Nuclear Research Reactor (including Training, Installation)**							
	Site Preparation							
	Reactor Building							
	Fuel							
	Radioisotope Production Facility							
	NTD and NAA Facility							
	Radwaste Treatment Facility							
	Irradiated Material Examination Facility							
	Neutron Beam Facility							
	Beam ports & auxiliary							
	5 Neutron Instruments (HRPD, FCD, RSI, NRF, TAS)							
	Thermal Instruments Utilization							
	ที่ดิน							
	เครื่องมือสำหรับกลุ่มงานฉายรังสีอัญมณี							
	เครื่องมือสำหรับกลุ่มงานทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ							

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year19	Year20	Year21	Year22	Year23	Year24	Year25
	อุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับกลุ่มวิจัยและนวัตกรรม							
	Gross							
Operating Expenses	เงินเดือน	33.38	35.38	37.50	39.75	42.14	44.66	47.34
	ค่าบำรุงรักษา	13.40	26.80	26.80	26.80	40.20	40.20	40.20
	ฝึกอบรม	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
	ประชาสัมพันธ์	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
	รวมมูลค่าการลงทุนเพิ่ม							
	ค่าเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	66.00	67.00	68.00	69.00	70.00	71.00	72.00
	ค่าสาธารณูปโภคและรักษาความปลอดภัย	19.91	20.51	21.13	21.76	22.41	23.08	23.78
	ค่าขนส่งสารไอโซโทปรังสี	2.20	2.27	2.34	2.41	2.48	2.55	2.63
	ต้นทุนในการผลิต I-131	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20	40.20
	ต้นทุนในการผลิต Ir-192	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19
	ต้นทุนในการผลิต Mo-99/Tc-99m	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47	39.47
	ต้นทุนในการผลิต Lu-177	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34
	ต้นทุนในการผลิต Se-75	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
	วัสดุสิ้นเปลือง(งบประมาณประจำปี)	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80
	ประกันภัย	81.34	81.34	81.34	81.34	81.34	81.34	81.34

Economic GDP 3%	Reactor 10 MW (หน่วย: ล้านบาท)	Year19	Year20	Year21	Year22	Year23	Year24	Year25
ต้นทุนรวม	**ต้นทุนรวม**	361.58	378.65	382.46	386.41	403.92	408.19	412.64
		2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
		Year19	Year20	Year21	Year22	Year23	Year24	Year25
Net Benefit		**2,726.35**	**2,709.28**	**2,800.48**	**2,796.52**	**2,779.02**	**2,774.74**	**2,770.29**
มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี	***มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 10%)***	**- 1,311.11**	**- 908.39**	**- 529.96**	**-186.42**	**123.94**	**405.65**	**661.33**
(เริ่มคำนวณตั้งแต่ปีที่เริ่มลงทุน)	***มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 8%)***	**526.62**	**1,107.89**	**1,664.22**	**2,178.62**	**2,651.93**	**3,089.50**	**3,494.01**
	มูลค่ารวมของโครงการในแต่ละปี Based on Demand Forecast (NPV 12%)	**- 2,644.80**	**- 2,363.94**	**- 2,104.73**	**- 1,873.61**	**- 1,668.56**	**- 1,485.75**	**- 1,322.79**
		Year14	Year15	Year16	Year17	Year18	Year19	Year20

ภาคผนวก ข
ข้อมูลสำหรับการผลิตไอโซโทปรังสีตามแผนการผลิต

ไอโซโทปรังสี	Mass of target	ฟลักซ์นิวตรอน ($n/cm^2.n$)	Irradiation time	Specific activity
ไอโอดีน-131 (I-131) Wet distillation method	20 g.in one can-cold weld sealed	1×10^{14}	3 สัปดาห์	250–300 mCi/g
ไอโอดีน-131 (I-131) Dry distillation method	80g(TeO_2) per capsule	1.1×10^{14}	6 วัน	20 Ci/mg
ซัมมาเรียม-153 (Sm-153)	1 mg of samarium oxide per capsule	2×10^{13}-1 x 1014	120 ชั่วโมง	400–450 mCi/mg oxide
ลูทีเทียม-177 (Lu-177)	10 g (Lu_2O_2) per capsule	1×10^{14}	1 วัน	~2 T Bqg-1Lu
โฮลเมียม-166 (Ho-166)	200 mg per capsule	4.2×10^{13}	60 ชั่วโมง	75 mCi/mg
โมลิบดีนัม-99 (Mo-99)	4.2 g of ^{235}U enriched 45% per plate	1.5×10^{14}	50- 200 ชั่วโมง	200-500 Ci per plate
อิริเดียม-192 (Ir-192)	10 mg	$1\text{-}1.5 \times 10^{13}$	1 สัปดาห์	>185 GBq/g
ซีลีเนียม -75 (Se-75)				
โบรมีน Br-82	93 mg KBr/capsule	~ 5×10^{13}	30 ชั่วโมง	~6 GBq/g bromine element at calibration
ฟอสฟอรัส-32 (P-32)	250 g	1×10^{14}	8 สัปดาห์	~100GBq (2.5 to 3 Ci) of 32P with sp. activity in the HE range of 185 TBq (5000 Ci)/m.mole.

ที่มา: IAEA-TECDOC-1340,Manual for reactor produced radioisotopes. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2013.

ภาคผนวก ค

Expected construction cost for 10-20 MW Multipurpose Research Reactor

ข้อมูลประมาณการก่อสร้างของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยแบบอเนกประสงค์ขนาด 10-20 MW ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจาก Dr. Cheol PARK, Research Reactor Technology Development Department, KAERI

Cost Breakdown

Category		Cost (Million US$)	สุกลไทยบาท (ล้านบาท)*
General	Site Preparation	22.4	761.60
Reactor Facility	Reactor Building	308.6	10,492.40
	Fuel	12.2	414.80
Utilization Facility	Radioisotope Production Facility	59.8	2,033.20
	NTD and NAA Facility	6.5	221.00
	Radwaste Treatment Facility	21.8	741.20
	Irradiated Material Examination Facility	46.3	1,574.20
SUBTOTAL		**477.6**	**16,238.40**
Neutron Beam Facility		69.5	2,363.00
SUBTOTAL		**69.5**	2,363.00
TOTAL		**547.1**	**18,601.40**

* อัตราแลกเปลี่ยน 34 บาทต่อหนึ่งเหรียญสหรัฐ

Yearly Costs (unit: Million US$)

	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Total (Million US$)	Total* (Million TH)
Site Preparation	10.2	6.1	6.1	-	-	-	22.4	61.60
Reactor Building	6.1	55.1	83.7	72.4	63.3	28.0	308.6	10,492.40
Fuel	0.6	1.4	1.0	2.0	4.1	3.1	12.2	414.80
Radioisotope Production Facility	1.2	6.4	14.4	15.3	15.3	7.2	59.8	2,033.20
NTD and NAA Facility	-	0.4	1.4	1.2	1.4	2.1	6.5	221.00
Radwaste Treatment Facility	-	0.4	3.5	6.7	6.1	5.1	21.8	741.20
Irradiated Material Examination Facility	1.2	1.2	9.2	13.3	14.3	7.1	46.3	1,574.20
Sub-Total	19.3	71.0	119.3	110.9	104.5	52.6	477.6	16,238.40
Neutron Beam Facility		1.50	4.0	6.50	8.0	5.0	25.0	850.00
Beam ports & auxiliary	-	1.0	2.5	4.0	6.0	5.0	18.0	629.00
5 Neutron Instruments (HRPD, FCD, RSI, NRF, TAS)	-	-	1.0	2.5	4.5	6.0	14.0	476.00
Thermal Instruments Utilization	-	1.0	1.0	2.0	3.5	4.5	12.0	408.00
Sub-Total	-	2.0	4.5	8.5	14.0	15.5	69.50	2,363.00
Total	**19.3**	**74.5**	**127.8**	**125.9**	**126.5**	**73.1**	**547.10**	18,601.40

* อัตราแลกเปลี่ยน 34 บาทต่อหนึ่งเหรียญสหรัฐ

ภาคผนวก ง
การคำนวณการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง[1]

ในการพิจารณาการใช้หมดไปของเชื้อเพลิงนั้น ในรายละเอียดจำต้องรู้ลักษณะการจัดปรับสมรรถนะของเชื้อเพลิงที่ใช้ รูปแบบการจัดการวางเชื้อเพลิงตลอดจนลักษณะการใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์ อย่างไรก็ตาม ภายใต้สมมติฐานว่าการจัดวางเชื้อเพลิงเป็นแบบสม่ำเสมอ (uniform) ภายใต้เงื่อนไขการผลิตพลังงานและขนาดฟลักซ์นิวตรอนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและตำแหน่งอาจประมาณการใช้หมดไปของเชื้อเพลิงได้ คือ

1. กำหนดให้เครื่องปฏิกรณ์สามารถผลิตพลังงานความร้อน10 MWต่อเนื่องเป็นเวลา 1 วัน (24 ชม.) จะเป็นพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ทั้งสิ้น 1 MW-day หรือ $1 \times 10^6 \times 24 \times 3600 = 8.64 \times 10^{10}$ J
2. เนื่องจากหนึ่งนิวไคลด์ ^{235}U ที่เกิดการแตกตัว (fission) จะปลดปล่อยพลังงานประมาณ 200 MeV ซึ่งเท่ากับ $200 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-11}$ J พลังงานความร้อน 1 MW-day จากข้อ 1 จะได้จากการเกิดการแตกตัวของ ^{235}U รวม $8.64 \times 10^{10} / 3.2 \times 10^{-11} = 2.7 \times 10^{21}$ นิวไคลด์
3. อย่างไรก็ตาม ^{235}U (σ_γ 101 barns, σ_f 577 barns) ที่ดูดกลืนนิวตรอน จะมีโอกาสแตกตัว 577 /(577+101) = 0.85 ดังนั้นจะมีการสูญเสียเชื้อเพลิงจริง $2.7 \times 10^{21} / 0.85 = 3.2 \times 10^{21}$ นิวไคลด์สำหรับพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ 1 MW-day
4. เนื่องจาก ^{235}U 1กรัม ประกอบด้วยนิวไคลด์ทั้งสิ้น $1 \times 6.02 \times 10^{23} / 235 = 2.56 \times 10^{21}$นิวไคลด์จึงบรรยายได้ว่ามีการสูญเสียเชื้อเพลิง $3.2 \times 10^{21} / 2.56 \times 10^{21} = 1.25$ g ต่อ การผลิตพลังงานความร้อน 1 MW-day

เมื่อพิจารณาขนาดเครื่องปฏิกรณ์ที่เล็กกว่า ลักษณะการบรรจุเชื้อเพลิง โครงสร้างของแกนปฏิกรณ์ รวมถึงลักษณะการผลิตนิวตรอนเพื่อการใช้งานเชิงวิจัยซึ่งมีล้วนผลต่อความสม่ำเสมอในโครงสร้างเครื่องปฏิกรณ์ ความสม่ำเสมอของฟลักซ์นิวตรอน รวมถึงการใช้งานนิวตรอนอย่างมีประสิทธิภาพ เหล่านี้ทำให้การใช้งานเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการประเมินข้างต้น เมื่อพิจารณาเทียบกับประวัติการใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์วิจัยตัวปัจจุบันจึงประเมินอัตราการสูญเสียเชื้อเพลิงที่ระหว่าง 2-3 เท่าของค่าที่คำนวณได้ (2.8-3.0 g/MW-day)

[1] - James J. Duderstadt and Louis J. Hamilton, Nuclear Reactor Analysis, John Wiley & Sons, New York, 1976
- George I. Bell and Samuel Gladstone, Nuclear Reactor Theory, Robert E. Krieger,Florida, 1970

รายการอ้างอิง

กองวิจัยและพัฒนาข้าว, (2560). การปรับปรุงพันธุ์ข้าว. กรมการข้าว. แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/Varieties

กุหลาบ หมายสุขกลาง, (2559). ข้าวเหนียว กข 10 ระบบจัดเก็บและรายงานข้อมูลสภาวะการผลิตพืชรายเดือน ระดับตำบล ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร แหล่งที่มา: http://www.agriinfo.doae.go.th/year59/plant/rortor/rice/rice2/rice22/rice221.pdf

นวลฉวี รุ่งธนะเกียรติ. (2547). พลังงานนิวเคลียร์เพื่อมนุษย์ชาติ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ.

พีรนุช จอมพุก. (2550). การปรับปรุงพันธุ์พืชโดยการเหนี่ยวนาให้กลายพันธุ์ (mutation breeding), เอกสารประกอบการอบรมหลักการปรับปรุงพันธุ์พืช รุ่นที่ 2 (Principles of Plant Breeding) จัดโดย สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน).

พีรศักดิ์ ศรีนิเวศน์, พัชรินทร์ ตัญญะ และ ประกิจ สมท่า. (2558). ศาสตร์ด้านการปรับปรุงพันธุ์พืชและความสำคัญต่อมนุษยชาติวารสารสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชั้นสูง ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 น.46-64.

ศูนย์บริการฉายรังสีแกมมาและนิวเคลียร์เทคโนโลยี. ข้าวพันธุ์ กข 10, พืชกลายพันธุ์ในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งที่มา: https://sci.ku.ac.th/Gamma/database/rice/rice10-hist.htm.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). สถิติการเกษตรของประเทศไทย 2559. แหล่งที่มา: www.oae.go.th

จดหมายข่าว ศูนย์นิวเคลียร์แห่งใหม่ (ONRC Newsletter) พฤษภาคม พ.ศ. 2541

รายงานการประชุมคณะอนุกรรมการพิจารณาความเหมาะสมโครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ตามคำสั่งคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2549

พิมพ์เขียว Thailand 4.0 โมเดลขับเคลื่อนประเทศไทยสู่ความมั่งคั่ง มั่นคง และยั่งยืน พ.ศ. 2559

โครงการสัมมนา “การขับเคลื่อนเทคโนโลยีนิวเคลียร์ตามแนวทางยุทธศาสตร์ชาติ ๒๐ ปี”

แผนพัฒนากาลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558

ภาคผนวก ข. ใน รายงานเบื้องต้น โครงการ "การศึกษาและทบทวนการวิเคราะห์การจัดทำแผนธุรกิจและศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) พร้อมปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยในปัจจุบัน". ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 โครงการ "การศึกษาและทบทวนการวิเคราะห์การจัดทำแผนธุรกิจและศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) พร้อมปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของเทคนิค (Technical Specification) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตัวใหม่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทยในปัจจุบัน". ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.

Aamir Raina, Rafiul Amin Laskar, Shahnawaz Khurshead, Ruhul Amin, Younas Rasheed Tantray, Kouser Parveen and Samiullah Khan. (2016). Role of Mutation Breeding in Crop Improvement-Past , Present and Future. Asean Research Journal of Agriculture 2(2).

Ardisasmita, M. S. (2016). Preservation and enhancement of Nuclear Knowledge towards Indonesia's plan to operate first Nuclear Power Plant 2016, National Nuclear Energy Agency, Jakarta, IAEA-CN-123/04/O/06 Online source: https://www.iaea.org/km/cnkm/papers/ardisasmita.pdf

Bernadette K. Cogswell, Nataliawati Siahaan, Friga Siera R, M. V. Ramana, and Richard Tanter, (2017). Nuclear Power and Small Modular Reactors in Indonesia: Potential and Challenge. Indonesian Institute for Energy Economics, National Institute for Security and Sustainability.

Shu,Q.Y., Foste,B.P. r and Nakagawa,H. (2011). Plant Mutation Breeding and Biotechnology, Joint FAO and IAEA Program Nuclear technique in Food and Agriculture. Pdf. Online source: www.fao.org

Novak,F.J and Brunner,H. (1992). Plant breeding: Induced mutation technology for crop improvement, IAEA Bulletin, 4. p.25-33.

Peter stamp ans Richard Visser, (2012). The twenty-first century, the century of plant Breeding, Euphytica Vol 186,3 pp. 585-591.

Zeigler, R.S., Rice Science: A Powerful weapon in the War against Hunger and Poverty, International Rice Research Institution. Online source: www.irri.org

(Draft) Preparation of A Feasibility Study for a New Research Reactor Project- Version – March 17, 2017

Guidelines for Collecting, Analyzing and Reporting on Data Relevant to the Technical and Safety Infrastructure Necessary to Implement the First Research Reactor in a New Nuclear Centre, IAEA Questionnaire, Revised Version: September 2012

เอกสารอื่น ๆ

Baten. Online source: http://www.batan.go.id/index.php/en/cooperation-ptrr-en

The President Post. (2014). Batan Techno To Build Nuclear Reactor in Subang, Indonesia. Online source: http://www.thepresidentpost.com/2014/03/05/batan-techno-to-build- nuclear-reactor-in-subang/

BMI research. (2014). Batan Tekno To Construct Fourth Nuclear Reactor, Indonesia. Online source: http://www.bmiresearch.com/articles/batan-tekno-to-construct-fourth-nuclear-reactor

Jarkata Globe. (2014). Batan Tekno Announces Plan for Indonesia's 4th Nuke Reactor. Online source: http://jakartaglobe.id/news/batan-tekno-announces-plan-for-indonesias-4th-nuke-reactor/

National Research Council and Institute of Medicine, Advancing Nuclear Medicine through Innovation. Natl. Academies Press, Washington DC, 2007 p 65, 72, 118-130

Sustainable Manufacturing by David L. Anderson

Annual report 2007-2008 Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO)

http://www.nst.or.th/article/article493/article49311.html

Research Trends in Nuclear Waste Management: A Global Perspective

http://www.nst.or.th/article/article493/article49311.html

Future Trends in the Application of Isotopes and Radiation

US Nuclear Energy Outlook

Nuclear Development NEA/SEN/HLGMR (2017)2, The Supply of Medical Radioisotopes, 2017 Medical Isotope Supply Review: ^{99}Mo/^{99}mTc Market Demand and Production Capacity Projection 2017-2022 April 2017