วารสาร

Atoms for Peace Thailand Journal

ปรมาณูเพื่อสันติ

ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 (มกราคม - ธันวาคม 2569)

www.oap.go.th
0 2596 7600

ISSN XXXX-XXXX (Online)



บก. เปิดเล่ม

วารสาร ปรมาณูเพื่อสันติ ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 ประจำปี พ.ศ. 2569 ฉบับนี้ นำเสนอองค์ความรู้และสาระสำคัญด้านการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์และรังสีในหลากหลายมิติ ทั้งด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ความปลอดภัย และการกำกับดูแล ซึ่งล้วนมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยคำนึงถึงความปลอดภัยและมาตรฐานสากลเป็นสำคัญ

เนื้อหาภายในฉบับประกอบด้วยบทความที่สะท้อนบทบาทของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในหลายด้าน ได้แก่ แนวทางการเสริมสร้างความมั่นคงปลอดภัยทางรังสีผ่านหลักการตรวจจับ หน่วงเวลา และการเผชิญเหตุในงานรังสีรักษา ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีพลังงานฟิวชันและการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบ Tokamak การติดตามและประเมินปริมาณรังสีของผู้ปฏิบัติงานทางการแพทย์เพื่อเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงาน หลักการและมาตรฐานของหีบห่อสำหรับการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสี ตลอดจนแนวคิดหลักประกันใบอนุญาตซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการกำกับดูแลการจัดการกากกัมมันตรังสี นอกจากนี้ยังมีบทความที่นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ในภาคการเกษตร โดยกล่าวถึงการใช้รังสีเพื่อพัฒนาคุณภาพและคุณค่าของข้าว ซึ่งสะท้อนศักยภาพของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในการสนับสนุนความมั่นคงทางอาหารและการพัฒนาประเทศ

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้ที่สนใจติดตามวารสารฉบับนี้อย่างต่อเนื่อง และในวารสารเล่มถัดไปนั้นจะเป็นเนื้อหาอะไรให้ติดตามบ้าง พบกันใหม่ในฉบับหน้า

บรรณาธิการ



คณะผู้จัดทำ



จัดทำโดย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ที่ปรึกษา

1. นพ.รุ่งเรือง กิจผาติ	อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ และรักษาราชการแทนเลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
2. นางสาวอัมพิกา อภิชัยบุคคล	รองเลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

คณะทำงานพิจารณาเอกสารวิชาการและสื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (กองบรรณาธิการ)

1. นางสาวชลาทิพย์ เกื้อกอบ	เลขานุการกรม
2. ดร.ยุทธนา ตุ้มน้อย	ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานปรมาณู
3. นางสาวธนวรรณ แจ่มสุวรรณ	ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการพัฒนาระบบบริหารจัดการด้านพลังงานปรมาณู
4. ดร.รุ่งธรรม ทาคำ	ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านความปลอดภัยทางรังสี
5. ดร.วิทิต ผึ่งกัน	ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสี
6. ดร.ไชยยศ สุนทราภา	รักษาการผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านความปลอดภัยทางนิวเคลียร์
7. นางปุณณภา รักษอุดมโชค	รักษาการหัวหน้ากลุ่มบริหารจัดการองค์ความรู้ด้านนิวเคลียร์และรังสี
8. นางสาวนุชจรีย์ สัจจา	หัวหน้ากลุ่มเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ (เลขานุการฯ)
9. นายนภดล ศรีใจวงศ์	นักวิชาการเผยแพร่ (ผู้ช่วยเลขานุการ)

ออกแบบและจัดทำโดย กลุ่มเผยแพร่และประชาสัมพันธ์

กำหนดออกวารสาร ทุก 1 ปี

วารสารปรมาณูเพื่อสันติจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ภารกิจและการดำเนินงานของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ รวมทั้งข่าวสาร บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ตลอดจนเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในทางเทคโนโลยีนิวเคลียร์ให้กว้างขวางยิ่งขึ้น

บรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการคัดเลือกและแก้ไขต้นฉบับทั้งเรื่องและภาพตามแต่จะเห็นสมควร โดยไม่ต้องขอความเห็นชอบจากเจ้าของเรื่องและไม่ส่งต้นฉบับคืน

ข้อคิดเห็นหรือบทความในเอกสารฉบับนี้เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ซึ่งไม่มีข้อมูลผูกพันกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติแต่อย่างใด

TABLE CONTENTS



ผู้สนใจส่งข้อเขียน หรือข้อเสนอแนะ

สามารถติดต่อได้ที่กลุ่มเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2596 7600 ต่อ 1113, 1114

4 จ่ายแค่ไหนถึงจะมั่นใจว่าปลอดภัย?
ทำความรู้จัก “หลักประกันใบอนุญาต” เมื่อความปลอดภัยมีราคาที่ต้องจ่าย

11 3 หัวใจหลักสู่ความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี
การตรวจจับ หน่วงเวลา และเผชิญเหตุ ในงานรังสีรักษาระยะใกล้

18 จำลองดวงอาทิตย์ไว้บนโลก
เจาะลึกความต่าง Tokamak, Stellarator และ Laser Fusion

25 ปฏิบัติงานอย่างไรถึงปลอดภัย?
การได้รับปริมาณรังสีของผู้ปฏิบัติงานในงานรังสีวินิจฉัย

33 ทุกการขนส่งต้องปลอดภัย
ทำความรู้จัก หีบห่อและภาชนะบรรจุในการขนส่งวัสดุนิวเคลียร์และรังสี

38 จากนาข้าวสู่จานข้าว
เส้นทางความปลอดภัย และ "เกราะป้องกัน" รังสีที่มองไม่เห็น

จ่ายแค่ไหนถึงจะมั่นใจว่าปลอดภัย?:

ทำความรู้จัก “หลักประกันใบอนุญาต” เมื่อความปลอดภัย มีราคาที่ต้องจ่าย

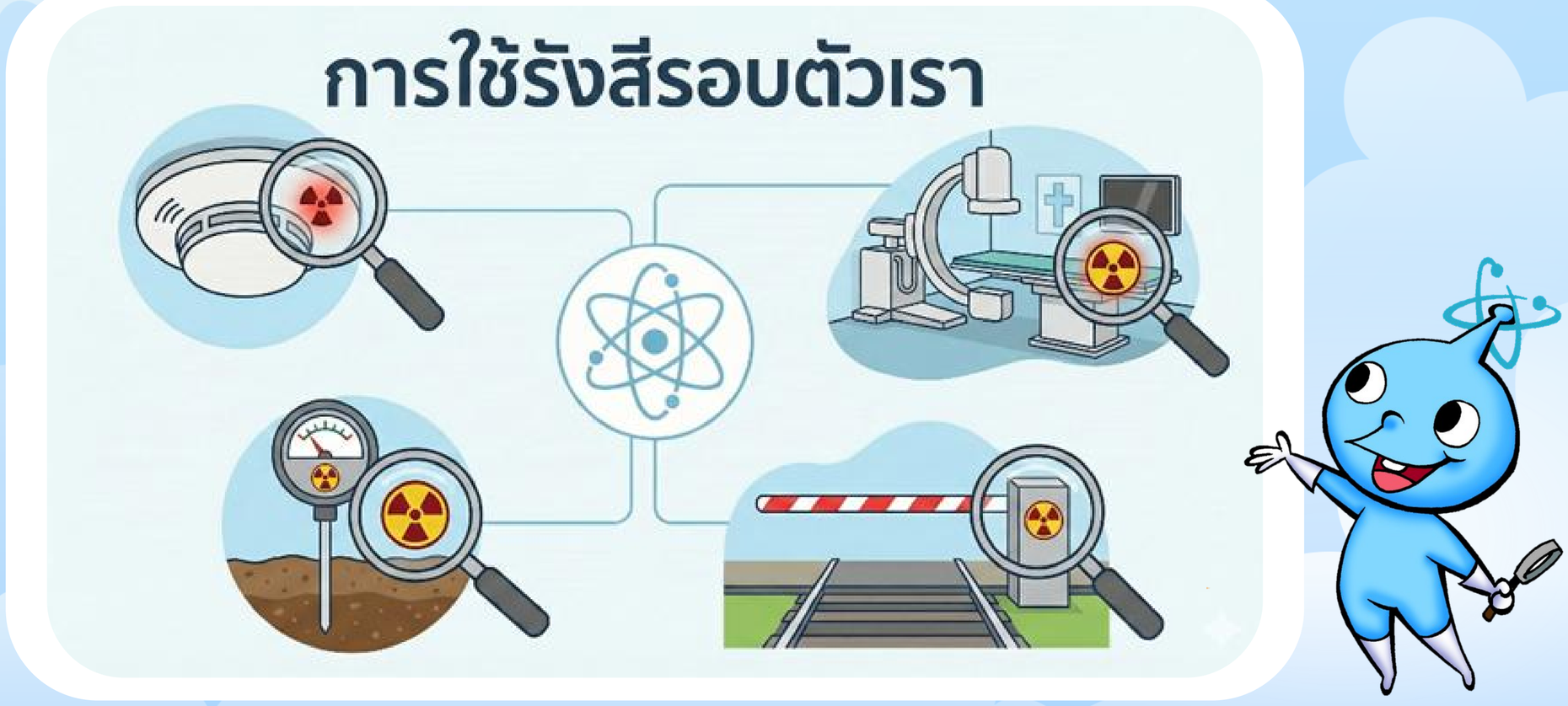






นางสาวปิยวรรณ ศรีกงพาน
นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการ

คุณเคยลองสังเกตสิ่งของรอบตัวไหมคะ ? เครื่องตรวจสอบควันที่อยู่บนเพดานห้องที่เราเดินผ่าน ป้ายทางหนีไฟเรืองแสง หรือคุณเคยต้องเข้ารับการตรวจสุขภาพประจำปีแล้วคุณหมอให้ x-ray ปอดบ้างไหมคะ เชื่อหรือไม่ว่าอุปกรณ์ไฮเทคเหล่านี้เปรียบเสมือนสิ่งมีชีวิต คือมี "วันเกิด" มีช่วงเวลา "ทำงาน" และท้ายที่สุดก็ต้องมี "วันตาย" หรือวันที่หมดอายุการใช้งาน แต่ความตายของอุปกรณ์เหล่านี้ไม่เหมือนกับสิ่งของที่พังแล้วพร้อมทิ้งได้เลย เพราะสิ่งที่คงเหลืออยู่ข้างในก็คือ **“วัสดุกัมมันตรังสี”** ไม่ได้ตายตามไปด้วย มันยังคงแผ่พลังงาน (รังสี) ที่มองไม่เห็นออกมา และหากจัดการไม่ดีวัสดุกัมมันตรังสีเหล่านี้จะอยู่กับเราไปได้อีกนับร้อยนับพันปี



ภาพที่ 1 การใช้ประโยชน์จากรังสีรอบตัวเรา อุปกรณ์ที่มีวัสดุกัมมันตรังสีเป็นส่วนประกอบสังเกตุได้จากสัญลักษณ์รังสี (Ionizing radiation hazard trefoil) ที่อุปกรณ์เหล่านั้น (ภาพนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์, AI)

คำถามสำคัญที่คนส่วนใหญ่มักลืมคิดตอนเริ่มใช้วัสดุกัมมันตรังสีคือ **"ตอนทิ้ง... ใครจะเป็นคนจัดการ?"** และ **"ค่าใช้จ่ายในการจัดการใครเป็นคนจ่าย?"** ในอดีต คำถามเหล่านี้อาจมีคำตอบที่คลุมเครือ แต่ปัจจุบันประเทศไทยมีกติกาใหม่ (กฎหมาย) ที่เข้มงวดขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้ประวัติศาสตร์ซ้ำรอย บทความนี้จะพาคุณไปสำรวจโลกเบื้องหลังการจัดการ **"กากกัมมันตรังสี"** และเจาะลึกกลไกสำคัญที่เรียกว่า **"หลักประกัน (Financial Guarantee)"** ฮีโร่ตัวจริงที่จะช่วยประเทศไทยไม่ให้กลายเป็นปลายทางที่เต็มไปด้วยวัสดุกัมมันตรังสีที่ถูกทิ้งร้าง

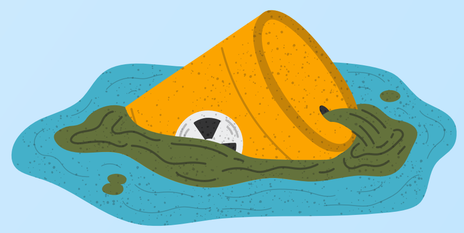


ภาพที่ 2 วิวัฒนาการกฎหมายปรับเปลี่ยนหลักการจัดการกากกัมมันตรังสี ด้วยแนวคิด "ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย" หรือ “ผู้ใช้เป็นผู้รับผิดชอบ”
(ภาพนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์, AI)

จากยุคบุกเบิกสู่ยุคมาตรฐานสากล (เปรียบเทียบ พ.ร.บ. 2504 vs 2559) หากเปรียบเทียบกฎหมายเป็นรถยนต์ **พระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504** ก็คงเหมือนรถเต่ารุ่นคลาสสิก สวยงาม มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ แต่ระบบความปลอดภัยอาจไม่ทันถนนในยุคปัจจุบัน ย้อนกลับไปกว่า 60 ปีก่อน กฎหมายฉบับเก่าถูกร่างขึ้นด้วยเจตนารมณ์หลักคือ **"การส่งเสริม"** รัฐรับบทเป็น "คุณพ่อใจดี" ที่คอยดูแลกำกับดูแลแบบกว้าง ๆ จุดอ่อนของยุค 2504 ปัญหาสำคัญคือ กฎหมายไม่ได้ระบุเรื่อง **"ภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากกัมมันตรังสี"** ไว้ชัดเจนนัก เมื่อเอกชนทิ้งอุปกรณ์ที่มีวัสดุกัมมันตรังสีเป็นองค์ประกอบ ภาระการเก็บกู้จึงมักตกเป็นของ "เงินภาษีประชาชน" ที่รัฐต้องเข้ามาดำเนินการให้ ตัดภาพมาที่ปัจจุบัน โลกเปลี่ยนไป มาตรฐานสากลที่ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency; IAEA) ให้คำแนะนำเสนอแนะเกณฑ์มาตรฐานเพื่อกำกับดูแลให้เกิดความปลอดภัยเข้มงวดยิ่งขึ้น ไทยจึง "ยกเครื่อง" กฎหมายใหม่เป็น **พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559** จุดเปลี่ยนสำคัญในรถคันใหม่นี้มาพร้อมระบบความปลอดภัยขั้นสูง และฟีเจอร์สำคัญที่สุดคือการยึดหลักการ **"ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย" (Polluter Pays Principle)** กฎหมายใหม่ระบุชัดเจนว่า *“ผู้รับใบอนุญาตมีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการกากฯ และต้องวางหลักประกันเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการจัดการ”* นี่คือการปฏิวัติจากการ *“รอให้เกิดเรื่องแล้วรัฐตามแก้”* เป็นการ *“กันเงินไว้ก่อนที่ปัญหาจะเกิด”*



ทำไมกฎหมายใหม่ต้องเคี่ยวเข็ญเรื่องเงินหลักประกันขนาดนั้น? เพื่อให้เห็นภาพ ขอพาย้อนเวลากลับไปสู่โศกนาฏกรรมทางรังสีครั้งใหญ่ที่สุดของไทย ปี พ.ศ. 2543 ณ จ.สมุทรปราการ เรื่องราวเริ่มจากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ มีผู้ลักลอบนำเครื่องฉายรังสีโคบอลต์-60 (Co-60) เก่าที่ถูกทิ้งไว้ ไปขายร้านรับซื้อของเก่าในฐานะ "เศษเหล็ก" เมื่อคนงานใช้แก๊สตัดเหล็กเจาะทะลุเกราะป้องกัน รังสีแกมมามหาศาลก็แพร่ออกมา จากเหตุการนั้นมีผลลัพธ์ที่น่าเศร้า มีผู้เสียชีวิต 3 ราย และบาดเจ็บสาหัสจากรังสีอีก 10 ราย ชุมชนโดยรอบตื่นตระหนก ราคาที่ต้องจ่ายต่อสังคม นอกจากความสูญเสียทางชีวิต รัฐบาลต้องทุ่มงบประมาณมหาศาลในการกู้ภัย รักษาผู้ป่วย และเก็บกู้ซากกัมมันตรังสี โดยรัฐต้องจ่ายไปก่อน หากในวันนั้น มีกฎหมายที่บังคับให้เจ้าของเครื่อง Co-60 ต้องวาง **"เงินหลักประกัน"** ไว้ตั้งแต่แรก เจ้าของอาจเลือกที่จะส่งคืนเครื่อง Co-60 กลับไปต่างประเทศ เพื่อจัดกากกัมมันตรังสีและขอรับเงินประกันคืน หรือรัฐสามารถนำเงินหลักประกันก้อนนั้นมาจ้างผู้เชี่ยวชาญกำจัดได้อย่างทันท่วงที ไม่ปล่อยให้หลุดรอดไปถึงมือคนเก็บของเก่า และความรับผิดชอบต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะต้องความรับผิดชอบเป็นของเจ้าของเครื่อง Co-60



เหตุการณ์ในอดีตนำไปสู่การวิวัฒนากฎหมาย พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 ใช้หลักการบริหารความเสี่ยง (Graded Approach) มาแบ่งแยก**ประเภทผู้ใช้งานรังสี** เพื่อความเหมาะสมกับราคาที่ต้องจ่ายหลักประกัน **ตามอัตราส่วนระหว่างค่ากัมมันตภาพ (Activity, A) และค่าความเป็นอันตรายของวัสดุกัมมันตรังสี (Dangerous value, D) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ** ประกอบด้วย

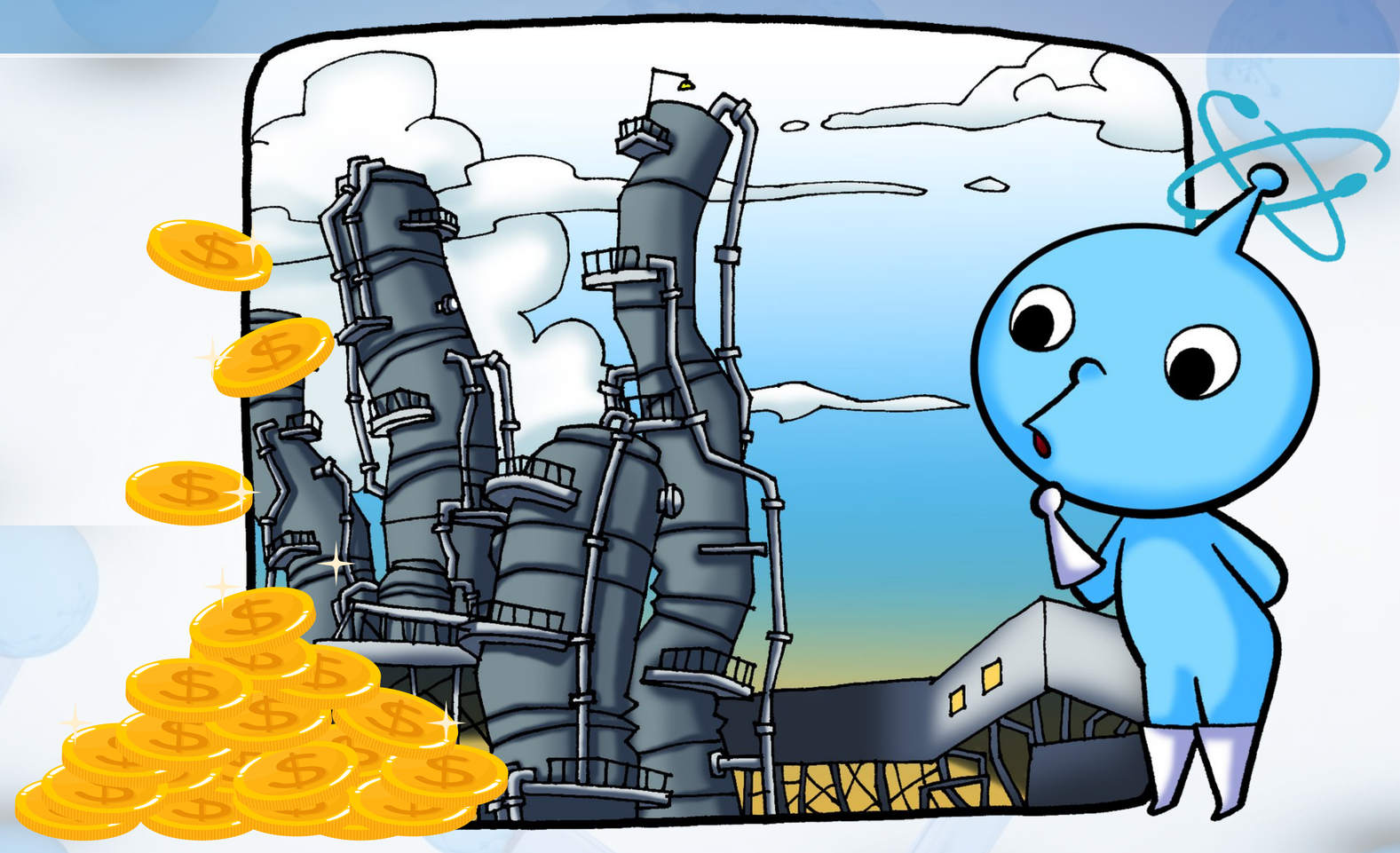
1. **การ “แจ้งการครอบครอง” (Notification)** กลุ่มนี้ครอบครองวัสดุกัมมันตรังสีที่มีอันตรายต่ำมาก หรือกากกัมมันตรังสีมีอายุสั้น สลายตัวได้เร็ว เช่น เครื่องตรวจจับควันตามอาคารบ้านเรือนมีอะเมริเซียม-241 (Am-241) อยู่ด้านในในปริมาณน้อย แล้วทำไมไม่ต้องวางประกันเพราะความเสี่ยงต่ำ ค่าจัดการกากกัมมันตรังสีต่ำมาก หรือแทบไม่มี

2. **การ “อนุญาต” (License)** กลุ่มนี้คืออุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น เครื่องฉายรังสีรักษามะเร็งในโรงพยาบาล (Co-60), กล้องถ่ายภาพทางรังสีในโรงงาน (Ir-192), โรงงานฉายรังสีเพื่อฆ่าเชื้อ (Co-60) ทำไมต้องมีหลักประกัน เพราะวัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นองค์ประกอบเหล่านี้อันตรายสูง และค่าจัดการกากกัมมันตรังสีสูงมาก รัฐจึงต้องเรียกเก็บ **"หลักประกัน"** เปรียบเสมือน **"เงินมัดจำหอพัก"** ถ้าคุณย้ายออกแล้วคืนห้องสภาพดี (กำจัดกากกัมมันตรังสีแล้ว) คุณก็ได้เงินคืน แต่ถ้าหนี รัฐจะยึดเงินนี้มาจ้างแม่บ้านมาทำความสะอาดแทน



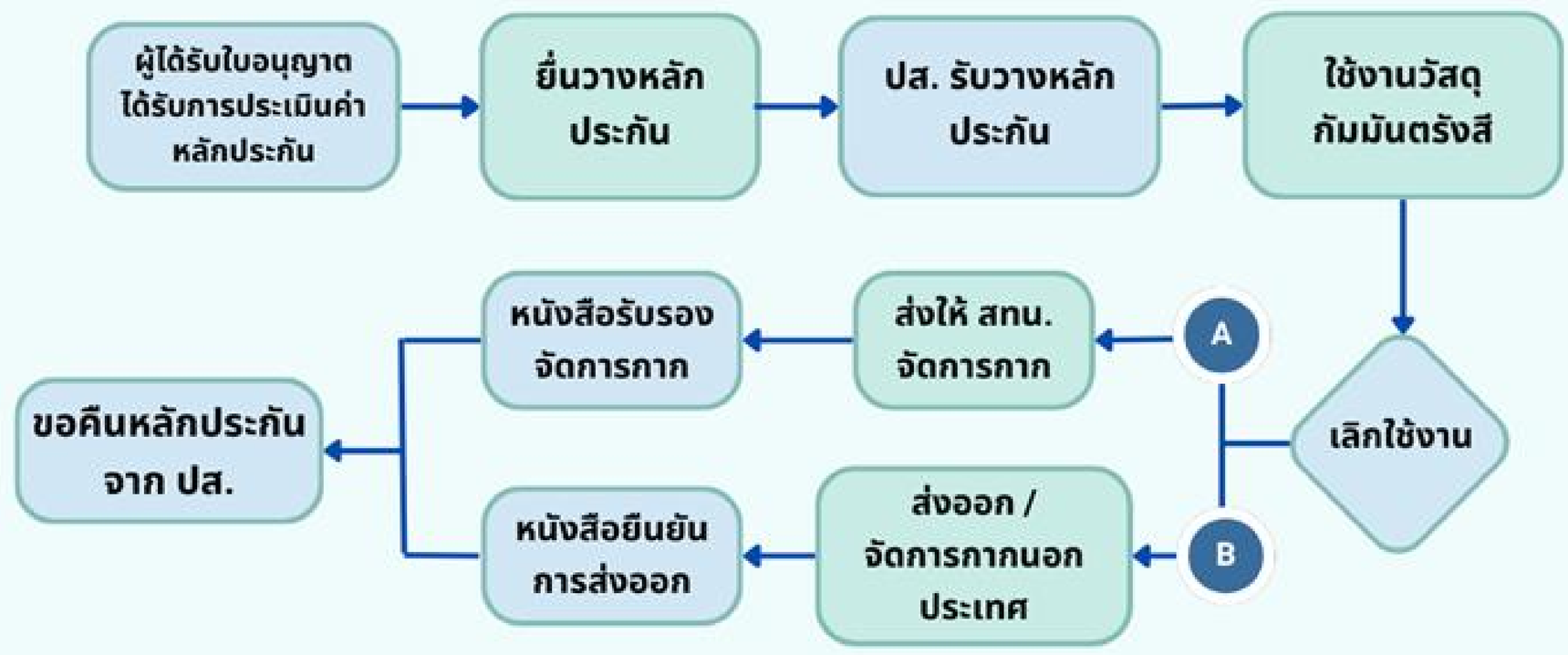
แล้วต้องวางเงินเท่าไหร่? จ่ายมากแค่ไหนถึงจะพอ? ตัวเลขจำนวนเงินไม่ได้มาจากการเดาสุ่ม แต่อ้างอิงกับ **"ค่าใช้จ่ายจริง"** ที่ประเมินโดยหน่วยงานจัดการกากกัมมันตรังสีของประเทศ คือ **สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.)** ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดราคา ประกอบด้วย

1. ประเภท: ของแข็ง, ของเหลว, หรือต้นกำเนิดรังสีปิดผนึก (Sealed Source)
2. ปริมาตร: ยิ่งชิ้นใหญ่ ยิ่งเปลืองที่เก็บ ยิ่งแพง
3. ความแรงรังสี (Activity): ยิ่งแรง ยิ่งต้องใช้เกราะหนา (วัสดุป้องกันรังสี) ยิ่งแพง
4. ความยุ่งยาก: เช่น ต้องใช้หุ่นยนต์คีบ (Remote Handling)



ตัวอย่าง ค่าจัดการกากกัมมันตรังสี Co-60 ชิ้นหนึ่ง อาจมีราคาสูงถึงหลักแสนบาท ผู้ประกอบการหรือผู้รับใบอนุญาตจึงต้องวางหลักประกันในวงเงินที่ครอบคลุมยอดนี้ ในรูปแบบของเงินสด พันธบัตร หรือหนังสือค้ำประกันจากธนาคาร (Bank Guarantee) **“หลักประกัน”** ไม่ใช่วางเงินแล้วหายกันไป แต่มันมีวงจรขั้นตอนต่าง ๆ ที่จะทำให้มั่นใจว่าการจ่ายเงินนี้มีนำไปใช้ในการจัดการกากกัมมันตรังสี เมื่อผู้วางหลักประกันไม่ดำเนินการจัดการกากกัมมันตรังสี เงินหลักประกันจะกำหนดตามปริมาณการใช้งาน และผู้วางหลักประกันสามารถตรวจสอบหลักประกันที่วางไว้แล้วได้





ภาพที่ 2 วิวัฒนาการกฎหมายปรับเปลี่ยนหลักการจัดการกากกัมมันตรังสี

ด้วยแนวคิด "ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย" หรือ “ผู้ใช้เป็นผู้รับผิดชอบ”



นอกจากการใช้งานขั้นตอนวางหลักประกัน การทบทวน และการบริหารหลักประกันก็สำคัญ หากผู้ใช้มีการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีมากขึ้น ปริมาณเพิ่มขึ้น จำนวนเพิ่มขึ้น ผู้ใช้งานก็จำเป็นที่จะต้องวางหลักประกันเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันหากการใช้งานลดลง ผู้ใช้งานก็สามารถขอรับหลักประกันคืนได้ สิ่งนี้ คือ การบริหารจัดการหลักประกันให้ครอบคลุมความเสี่ยงใหม่ที่จะเกิดขึ้น การสิ้นสุดหลักประกันและขอรับเงินคืนได้เต็มจำนวนก็ต่อเมื่อ "ความเสี่ยงได้ถูกกำจัดไปแล้ว" โดยต้องแสดงหลักฐานสำคัญ เช่น เอกสารการส่งออก (Air Waybill) หรือหนังสือยืนยันรับของจากประเทศปลายทอง หรือเอกสารการรับจัดการกากกัมมันตรังสี หากผู้ใช้รู้สึกว่าหลักประกันมีความยุ่งยาก ไม่อยากจะวางหลักประกัน จำนวนเงินก็สูง แล้วจะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่วางหลักประกัน สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งเป็นผู้กำกับดูแล จะไม่ออกใบอนุญาตให้กับผู้ใช้ หรือถ้ามีใบอนุญาตอยู่แล้วแต่ไม่ยอมวางหลักประกันตามกำหนด ก็อาจถูกพักใช้หรือเพิกถอนใบอนุญาตได้ อันที่จริงการวางหลักประกันไม่ได้ยุ่งยากและซับซ้อนแต่อย่างไร หากผู้ใช้งานเข้าใจหลักวิธีการ แนวคิด ทั้งหมดนี้เพื่อความปลอดภัย และสำหรับผู้ประกอบการ "หลักประกัน" อาจดูเป็นภาระทางการเงิน แต่ในความเป็นจริง มันคือ **"กรมธรรม์ความปลอดภัย"** ของสังคมไทย และเป็นเครื่องยืนยันความรับผิดชอบต่อสังคม (Corporate Social Responsibility, หรือ CSR) ที่ชัดเจนที่สุด **พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559** และระบบหลักประกัน ถูกออกแบบมาเพื่อสร้างสมดุลให้การพัฒนาเดินหน้าไปพร้อมกับความปลอดภัย เพื่อให้มั่นใจว่าลูกหลานของเราจะไม่ต้องเสี่ยงชีวิตกับ "เศษเหล็กอาถรรพ์" ข้างทาง และไม่ต้องเสียภาษีไปกับการตามแก้ปัญหาที่คนรุ่นเราทิ้งไว้

"ความปลอดภัยมีราคา แต่เป็นราคาที่คุ้มค่าที่สุดเมื่อเทียบกับความสูญเสียที่ไม่อาจเรียกคืน"

เอกสารอ้างอิง

International Atomic Energy Agency. (2002). Governmental, legal and regulatory framework for safety (IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 1).

กฎกระทรวงการวางหลักประกันและการดำเนินการเกี่ยวกับหลักประกัน พ.ศ. 2567. (2567, 22 พฤศจิกายน). *ราชกิจจานุเบกษา*, 141(71 ก), 36-42.

กฎกระทรวงการจัดการกากกัมมันตรังสี พ.ศ. 2561. (2561, 5 พฤศจิกายน). *ราชกิจจานุเบกษา*, 135 (89 ก), 7-11.

ประกาศสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เรื่อง การพิจารณาตรวจสอบมูลค่า ความน่าเชื่อถือ รายละเอียดเงื่อนไข และการเก็บรักษาหลักประกัน พ.ศ. 2567. (2567, 22 พฤศจิกายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 141 ตอนที่ 321 ง. หน้า 79-82.

พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559. (2559, 5 สิงหาคม). *ราชกิจจานุเบกษา,* 133 (67 ก), (1-41).

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). (ม.ป.ป.). *อัตราค่าบริการการจัดการกากกัมมันตรังสี*. https://www.tint.or.th/th/service/ศูนย์จัดการกากกัมมันตรังสี/งานบริการจัดการกากกัมมันตรังสี

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. (2549). *อุบัติเหตุทางรังสีที่สมุทรปราการ*. องค์การค้าของคุรุสภา.

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. (2563). *วารสารปรมาณูเพื่อสันติ ปีที่ 33 ฉบับที่ 1*. https://www.oap.go.th/wp-content/uploads/2022/11/oap-_newsletter_vol.33_no.1.pdf



3 หัวใจหลักสู่ความมั่นคง ปลอดภัยทางรังสี

การตรวจจับ หน่องเวลา และเผชิญเหตุ ในงานรังสีรักษาระยะใกล้

โดย นางสาววาสนา ไม้มะตาม นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ
นายภูรินท์ ไชยวงศ์ นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ



รังสีรักษา เป็นการนำรังสีมาใช้ในการบำบัดรักษาโรค ส่วนใหญ่ใช้ในการบำบัดรักษาโรคมะเร็ง โดยต้องใช้รังสีที่มีปริมาณสูง จึงจะสามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้ แหล่งกำเนิดรังสีจะมาจากวัสดุกัมมันตรังสี และ เครื่องกำเนิดรังสี ซึ่งวิธีการรักษาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ รังสีรักษาระยะไกล (Teletherapy) รังสีรักษาระยะใกล้ (Brachytherapy) ปัจจุบันรังสีรักษาระยะไกลที่ใช้วัสดุกัมมันตรังสี (Teletherapy) ส่วนใหญ่ยกเลิกการใช้งานแล้ว ดังนั้นในเอกสารนี้จะมุ่งเน้นเฉพาะรังสีรักษาที่ใช้วัสดุกัมมันตรังสีระยะใกล้ (Brachytherapy)

รังสีรักษาระยะใกล้ชนิดอัตราปริมาณรังสีสูง (High Dose Rate Brachytherapy) หรือเรียกอีกอย่างว่าการใส่แร่ คือการนำวัสดุกัมมันตรังสี ไปวางใกล้หรือติดกับบริเวณที่ต้องการรักษา เช่น การรักษามะเร็งปากมดลูก เป็นต้น วัสดุกัมมันตรังสีที่นิยมนำมาใช้รักษา ได้แก่ อิริเดียม-192 (Ir-192) โคบอลต์-60 (Co-60) บรรจุในเครื่องใส่แร่ตามรูปที่ 1 และ 2 ซึ่งปัจจุบันมีหน่วยงานกำกับดูแลฯจำนวน 35 หน่วยงาน (ข้อมูลปี พ.ศ. 2566)



รูปที่ 1 แบบอัตราปริมาณรังสีสูงโดยใช้โคบอลต์-60

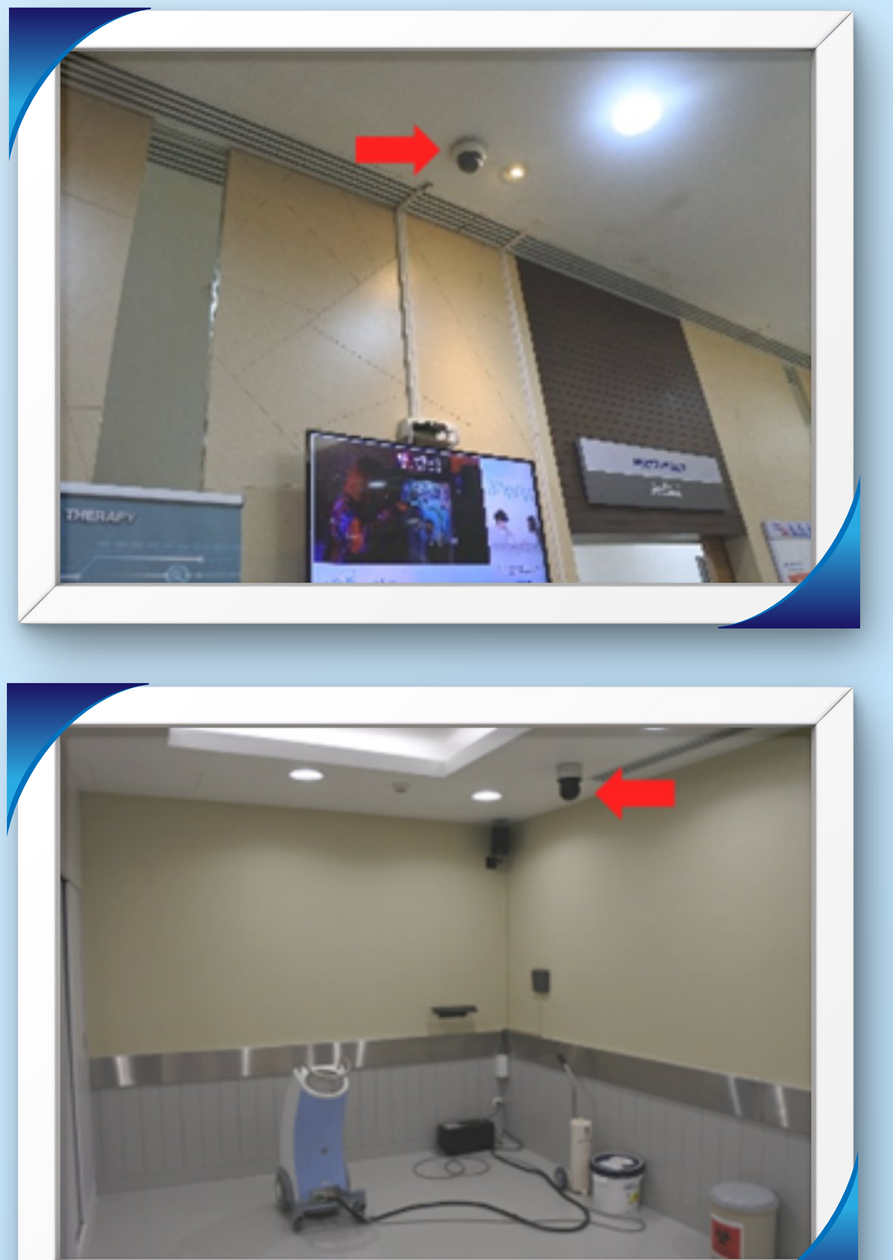
รูปที่ 2 แบบอัตราปริมาณรังสีสูงโดยใช้อิริเดียม-192

การตรวจสอบสถานประกอบการทางรังสีที่ใช้รังสีรักษาระยะใกล้แบบอัตราปริมาณรังสีสูง (High Dose Rate Brachytherapy) นอกจากจะตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยทางรังสีแล้ว จะต้องดำเนินการตรวจสอบความมั่นคงปลอดภัยทางรังสีด้วย ซึ่งผู้รับใบอนุญาตจะต้องจัดให้มีการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของวัสดุกัมมันตรังสี สถานที่จัดเก็บและใช้งานเครื่องใส่แร่ และแผนความมั่นคงปลอดภัยของเครื่องใส่แร่ โดยการรักษาความมั่นคงปลอดภัยที่ผู้รับใบอนุญาตจะจัดให้มีขึ้นนั้น ต้องมีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าการรักษาความมั่นคงปลอดภัยที่กำหนดในกฎกระทรวงความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2561 และต้องมีการทบทวนแผนความมั่นคงปลอดภัยฯและทดสอบระบบอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง

สำหรับสถานประกอบการทางรังสีที่ใช้รังสีรักษาระยะใกล้แบบอัตราปริมาณรังสีสูง (High Dose Rate Brachytherapy) จัดอยู่ในวัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 2 ที่มีความเป็นอันตรายสูง จะต้องจัดให้มี **มาตรการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของวัสดุกัมมันตรังสีขั้นสูง ตามกฎกระทรวงความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2561 ดังนี้**

1. การตรวจจับ (Detection)

มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถตรวจจับได้อย่างทันท่วงที เมื่อมีผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต บุกรุกเข้าไปในสถานที่เก็บรักษา ติดตั้ง หรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี รวมถึงตรวจจับเมื่อมีผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตพยายามเคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสี รวมถึงสามารถตรวจสอบยืนยันการมีอยู่หรือสูญหายของวัสดุกัมมันตรังสีได้ เช่น ติดตั้งระบบการตรวจตราทางไกลด้วยกล้องวงจรปิด ตรวจประเมินโดยผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการรักษาความมั่นคงปลอดภัย หรือมีการเดินตรวจตราอย่างต่อเนื่องโดยเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย เป็นต้น



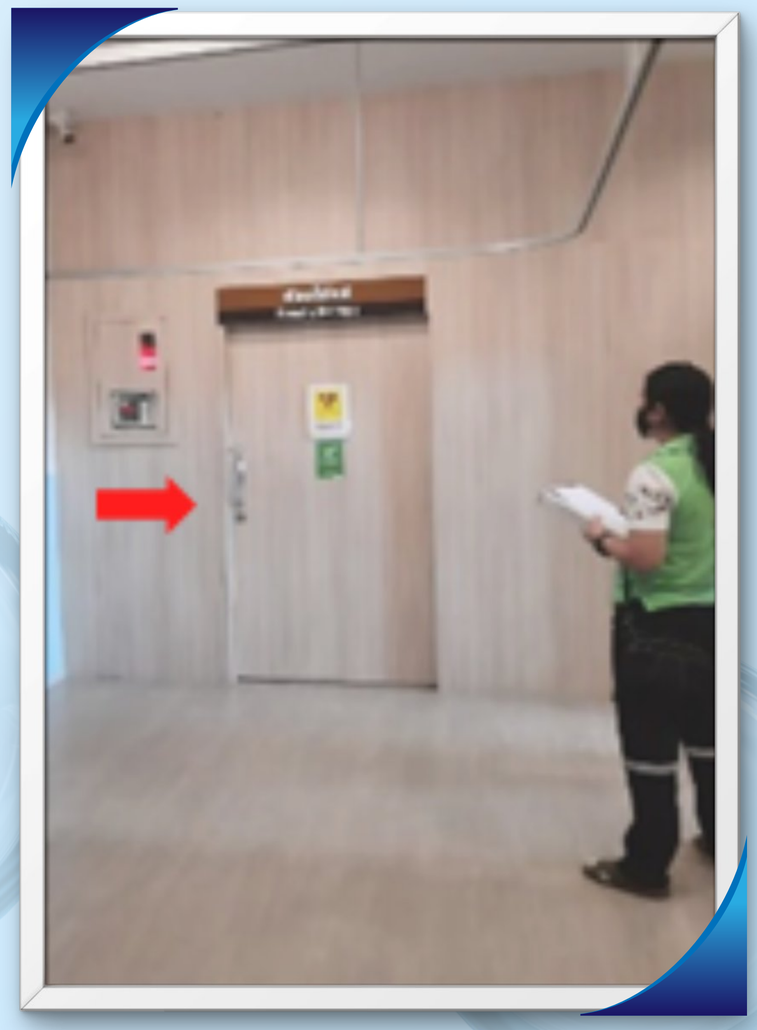
รูปที่ 3 ติดตั้งระบบการตรวจตราทางไกล
ด้วยกล้องวงจรปิดทั้งภายในห้องและนอกห้องใส่แร่

2. การหน่วงเวลา (Delay) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถหน่วงเวลาการเคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสีโดยไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งควรติดตั้งระบบหน่วงเวลาที่ประกอบไปด้วยเครื่องกีดขวางอย่างน้อยสองระดับ เช่น มีโซ่ยึดเครื่องใส่แร่กับผนังห้อง และล็อกประตูห้องใส่แร่ทุกครั้งเมื่อไม่มีการใช้งานรักษาผู้ป่วย โดยกุญแจจัดเก็บไว้ที่เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีหรือสถานที่ที่ปลอดภัย หรือใช้ระบบสแกนนิ้วเข้า - ออกห้องที่ติดตั้งวัสดุกัมมันตรังสีสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น เป็นต้น





รูปที่ 4 โซ่ยึดเครื่องใส่แร่กับผนังห้อง



รูปที่ 5 ล็อกประตูห้องใส่แร่ทุกครั้งเมื่อไม่มีการใช้งาน

3. การเผชิญเหตุ (Response) เพื่อให้สามารถยับยั้งการ เคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสี โดยไม่ได้รับอนุญาตได้อย่างทันท่วงที ซึ่งควรจัดให้มีวิธีการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เหมาะสมและครบถ้วน พร้อมด้วยบุคลากรที่มีความสามารถเพื่อยับยั้งการเคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสีโดยไม่ได้รับอนุญาต เช่น มีการฝึกซ้อมแผนความมั่นคงปลอดภัยของวัสดุกัมมันตรังสีเพื่อเตรียมความพร้อมในการเผชิญเหตุเป็นประจำทุกปีและสำหรับบุคคลากรที่เข้ามาใหม่ พร้อมทั้งบันทึกรายงานการซ้อมแผนฯ เป็นต้น



เกณฑ์ในการตรวจสอบความมั่นคงปลอดภัยทางรังสีสำหรับงานรังสีรักษาระยะใกล้

ข้อมูลการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ		
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
1. มาตรการควบคุมการเข้า-ออกห้องใส่แร่ ☐ มี ☐ ไม่มี	- มีการควบคุมการเข้า-ออกพื้นที่			
2. การตรวจจับการบุกรุก (Detection) ☐ มี CCTV ภายในห้อง .....ตัว ☐ มี CCTV หน้าประตูทางเข้าห้อง.....ตัว ☐ มี CCTV บริเวณทางเดิน .....ตัว ☐ ไม่มีการติดตั้ง CCTV ☐ มีการเดินตรวจตราโดย รปภ.	- มีมาตรการ กลไก หรือวิธีการที่สามารถตรวจพบการเข้าถึงวัสดุกัมมันตรังสี เช่น - การตรวจตราทางไกลด้วยกล้องวงจรปิด CCTV - ตำแหน่งที่ติด CCTV เหมาะสม - CCTV สามารถใช้งานได้เป็นปกติ			
3. การหน่วงเวลา (Delay) ☐ มีอุปกรณ์ยึดเครื่องใส่แร่ ☐ ไม่มี	- มาตรการ ที่สามารถหน่วงระยะ เวลาการเคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสี - มีกุญแจล็อกห้องเมื่อเลิกใช้งาน - มีอุปกรณ์ยึดเครื่องใส่แร่			



ข้อมูลการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ		
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
4. การเผชิญเหตุ (Response) ☐ มีแผนการดำเนินการ ☐ ไม่มีแผนการดำเนินการ	- มีวิธีการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ พร้อมด้วย - บุคลากรที่มีความสามารถยับยั้งการเคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสี			
5. การตรวจสอบระบบรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี ☐ มี ☐ ไม่มี	- ระบบต่าง ๆ สามารถใช้งานได้ - ระบุผู้รับผิดชอบชัดเจน			
6. แผนความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี ☐ มี ☐ ไม่มี	- มีแผนผังสายบังคับบัญชาด้านความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี - ระบุสถานที่ติดตั้ง และแผนผังของหน่วยงาน - ระบุบุคคลที่เกี่ยวข้อง และหน้าที่รับผิดชอบอย่างชัดเจน - มีมาตรการความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี ตามกฎกระทรวงความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2561 - มีการทบทวนแผนความมั่นคงปลอดภัยฯและทดสอบระบบอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง			



เอกสารอ้างอิง

กิตติศักดิ์ ชินอุดมทรัพย์ และคณะ. (2552). *คู่มือความปลอดภัยทางรังสีสำหรับการใช้งาน Brachytherapy ทางการแพทย์*. กรุงเทพฯ: สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.

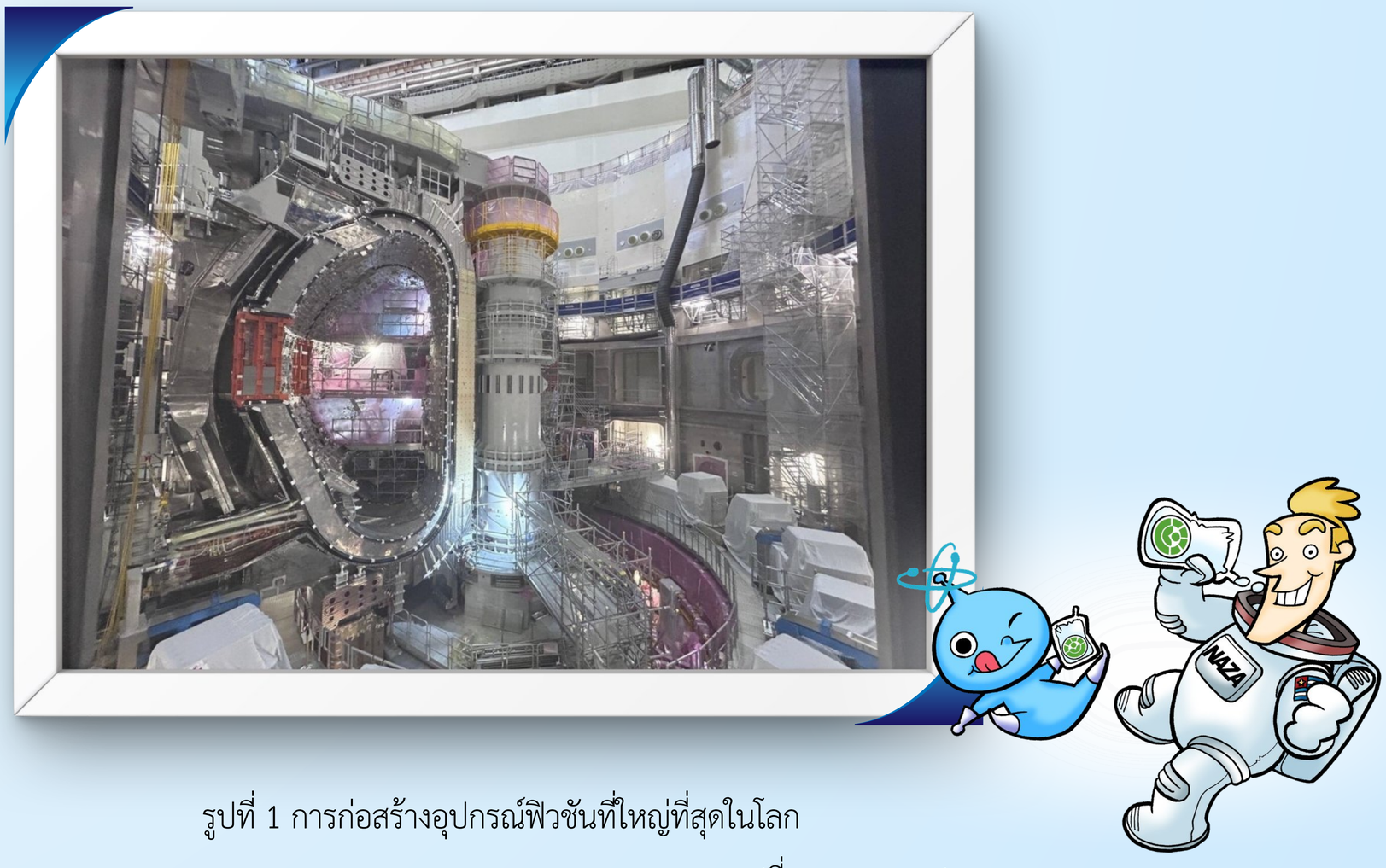
พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559. (2559). *ราชกิจจานุเบกษา, 133*(67ก), 1-52.

กฎกระทรวงความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2561. (2561). *ราชกิจจานุเบกษา, 135*(79ก), 1-13.



จำลองดวงอาทิตย์ไว้บนโลก เจาะลึกความต่าง Tokamak, Stellarator และ Laser Fusion

โดย นางสาวกาหลง อุ่ยยะเสถียร นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการ
นางสาวหทัยกาญจน์ กุหลาบเสาวคนธ์ นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ
ว่าที่ร้อยตรีนิรันดร์ อ่อนเพชร นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ



รูปที่ 1 การก่อสร้างอุปกรณ์ฟิวชันที่ใหญ่ที่สุดในโลก

International Thermonuclear Experimental Reactor (ที่มาภาพ: ITER)

การจำลองฟิวชันซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในระดับดวงดาว ให้เกิดขึ้นบนโลกนี้ถือเป็นความท้าทายครั้งยิ่งใหญ่นับตั้งแต่มีการทดลองครั้งแรกใน ค.ศ. 1950 ทุกวันนี้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรยังคงทำการทดลองเพื่อให้ค้นพบสิ่งใหม่ๆ อย่างต่อเนื่อง ทำให้แหล่งพลังงานที่ไร้ขีดจำกัดนี้เข้าใกล้การนำมาใช้ได้จริงมากขึ้นในปัจจุบัน ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองการจำลองปฏิกิริยาฟิวชันมากมาย รวมถึงโทคาแมค สเทลลาเรเตอร์ หรือเทคโนโลยีที่ใช้เลเซอร์ยิงเข้าไปทุกทิศทางในการบีบอัดอะตอมให้หลอมรวมกันจนเกิดฟิวชัน ทั้งหมดทั้งมวลเหล่านี้เพื่อพัฒนางานวิจัยด้านพลังงานฟิวชัน ที่วันหนึ่งอาจจะพลิกโฉมหน้าเทคโนโลยีทางด้านการผลิตพลังงานอย่างมาก

ปัจจุบันมีเตาปฏิกรณ์ฟิวชันที่ใช้ในงานวิจัยและเชิงทดลอง ที่มีผู้ครอบครองทั้งภาครัฐและเอกชนมากกว่า 130 เครื่องที่อยู่ระหว่างการก่อสร้าง หรือวางแผนงานการวิจัยและพัฒนาไว้ทั่วโลก โดยอ้างอิงจากงานวิจัยตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาฟิวชัน โดยมีการออกแบบเตาปฏิกรณ์ฟิวชันที่หลากหลายและผสานรวมเทคโนโลยีต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้การเกิดปฏิกิริยาฟิวชันได้ประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ IAEA ได้เผยแพร่รายงาน World Survey of Fusion Devices 2022 ซึ่งอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับข้อมูลของเตาปฏิกรณ์ฟิวชัน ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลออนไลน์ของ IAEA ที่เรียกว่า Fusion Device Information System (FusDIS)

Matteo Barbarino ผู้เชี่ยวชาญด้านนิวเคลียร์พลาสมาฟิวชันของ IAEA กล่าวว่า "เมื่อสิ่งนี้เกิดขึ้นจริง ฟิวชันจะเป็นประโยชน์ต่อทุกประเทศและทำงานร่วมกับพลังงานนิวเคลียร์และพลังงานที่ยั่งยืนรูปแบบอื่น ๆ โดยช่วยการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและมีส่วนร่วมในการผสมผสานเข้าด้วยกันของเทคโนโลยีพลังงาน ฟิวชันอาจเป็นประโยชน์ต่อทุกประเทศ และนั่นเป็นหนึ่งในเหตุผลว่าทำไมจึงมีความสำคัญมาก นักวิจัยและวิศวกรทั่วโลกกำลังสำรวจการออกแบบอุปกรณ์ฟิวชันที่ใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันเพื่อพัฒนาความก้าวหน้า”

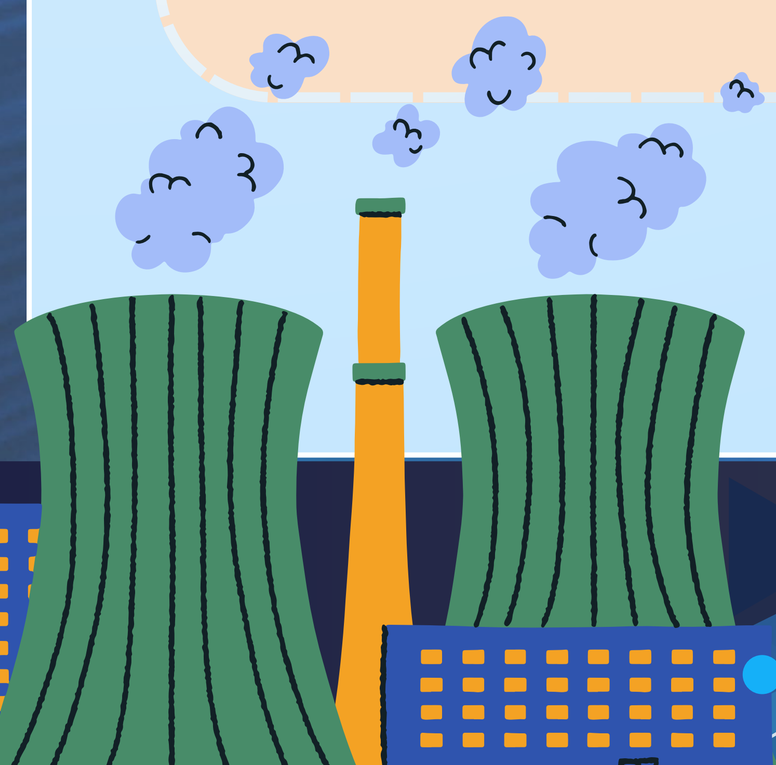


ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันเป็นกระบวนการที่นิวเคลียสของอะตอมธาตุเบารวมกันเป็นนิวเคลียสที่หนักกว่าปลดปล่อยพลังงานจำนวนมากออกมา อย่างไรก็ตามการควบคุมปฏิกิริยาฟิวชันให้เสถียรและอยู่ในสภาพการใช้ได้จริงนั้น เป็นความท้าทายทางวิทยาศาสตร์และทางเทคนิคหลายประการ เพื่อให้ปฏิกิริยาดังกล่าวดำเนินต่อไป เชื้อเพลิงซึ่งโดยปกติจะเป็นไอโซโทปของไฮโดรเจน จะต้องถูกกักเก็บและควบคุมไว้ด้วยความดันมหาศาลและอีกทั้งอุณหภูมิที่สูงมากซึ่งร้อนกว่าแกนกลางของดวงอาทิตย์หลายเท่า

ภายใต้แรงดันจากมวลอันมหาศาลของดวงอาทิตย์นั้นทำให้อะตอมของไฮโดรเจนเกิดฟิวชันหลอมรวมกันเป็นฮีเลียมจนมีอุณหภูมิประมาณ 10 ล้านเคลวิน ณ ใจกลางดวงอาทิตย์ แต่ที่ความดันต่ำกว่านั้น เช่น ในห้องปฏิบัติการบนโลก จะต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่านั้นมาก หรือมากกว่าร้อยล้านเคลวิน เพื่อให้อะตอมเกิดฟิวชันหลอมรวมกัน

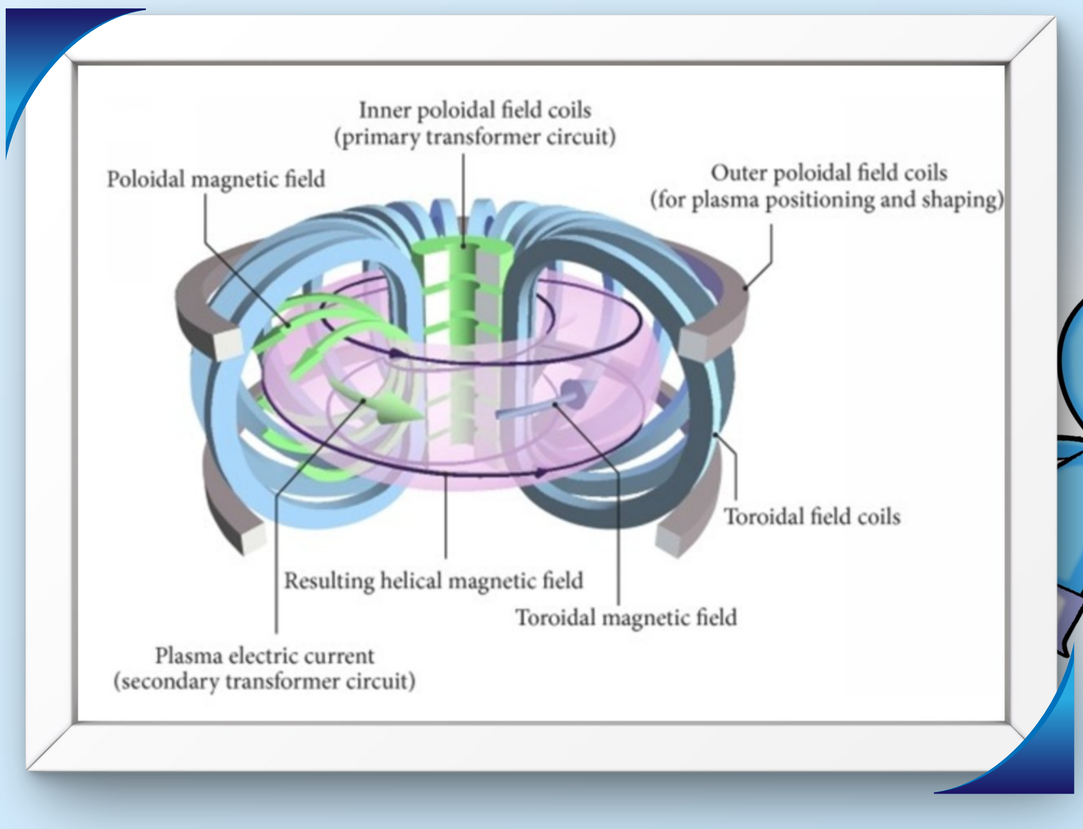
แต่เดิมนั้นมนุษย์เราเคย**ทดลองสร้างปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน**ได้ในรูปแบบของระเบิดไฮโดรเจนได้ทดลองในปี ค.ศ. 1952 ความร้อนจากการระเบิดมากกว่าร้อยล้านเคลวินนี้ ทำให้ไม่สามารถกักเก็บไว้ได้ เนื่องจากอุณหภูมิขนาดนี้จะเกินกว่าจุดหลอมเหลวของวัสดุทุกชนิดในโลกเท่าที่เรารู้จัก จึงไม่สามารถทนได้และหลอมละลายไปในที่สุด การนำพลังงานนั้นมาใช้จึงต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากในการกักเก็บปฏิกิริยาฟิวชันและความร้อนไม่ให้สร้างความเสียหายกับวัสดุที่ใช้กักเก็บหรือระบบหล่อเย็น





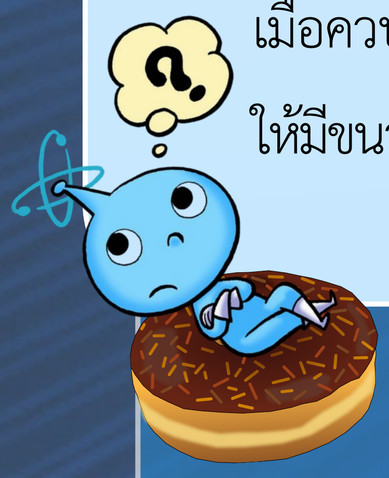
การวิจัยและพัฒนาเรื่องของฟิวชันยังคงดำเนินต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง กว่า 30 ประเทศได้ทำการทดลองกับอุปกรณ์ฟิวชันประเภทต่างๆ ซึ่งมักจะประสบความสำเร็จในการเกิดปฏิกิริยาฟิวชัน แม้จะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ และไม่ได้ผลิตพลังงานในปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

Tokamaks และ stellarators เป็นเครื่องมือวิจัยพลังงานฟิวชันที่เป็นที่นิยมพบมากที่สุดและเป็นแนวทางของการวิจัยฟิวชันส่วนใหญ่ในปัจจุบัน อุปกรณ์ Toroidal เหล่านี้ประกอบด้วยแม่เหล็กขนาดใหญ่ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของพลาสมาซึ่งเป็นก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงและมีประจุไฟฟ้าซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาฟิวชัน ปัจจุบันมี tokamaks มากกว่า 50 แห่ง และ stellarators มากกว่า 10 แห่งทั่วโลก โดย ITER Tokamaks มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกกำลังก่อสร้างอยู่ในประเทศฝรั่งเศสซึ่งมี 35 ประเทศที่เกี่ยวข้องในโครงการนี้

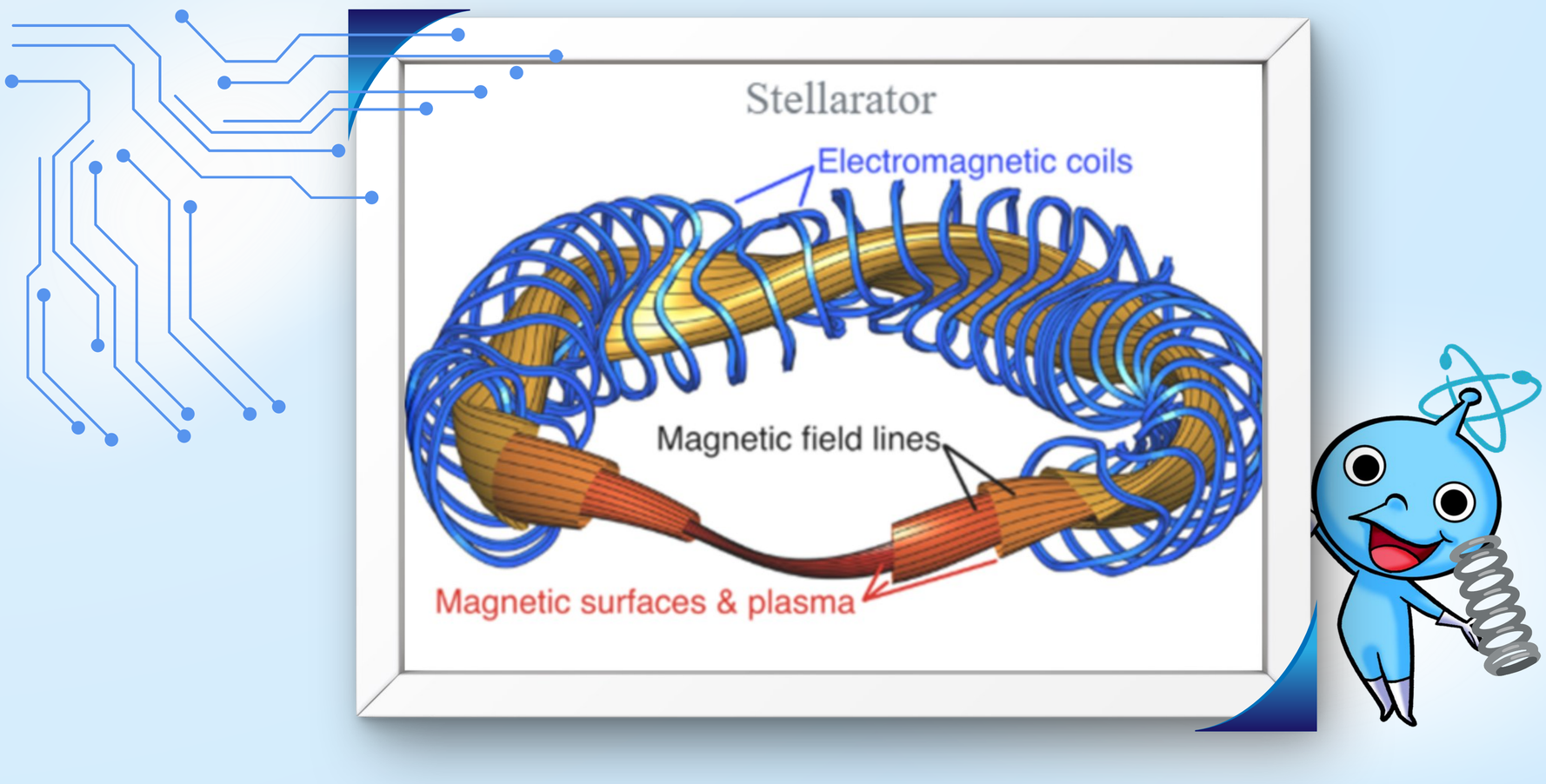


รูปที่ 2. ลักษณะโครงสร้างภายในของ Tokamaks (ที่มาภาพ: http://www.thaiphysoc.org/article/275)

หากมาทำความรู้จักกับ Tokamaks และ Stellarators จะพบว่าทั้ง 2 เทคโนโลยีนี้มีความคล้ายคลึงกัน โดยเป็นท่อกลวงทรงโดนัท ที่ภายในสูบอากาศออกจนเกือบเป็นสภาวะสุญญากาศทั้งคู่ และถูกล้อมรอบด้วยขดลวดและแม่เหล็กเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กในการตรึงกระแสพลาสมาให้อยู่ในบริเวณที่ต้องการ แต่สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง Tokamaks และ stellarators คือการจัดวางแนวของขดลวดที่แตกต่างกัน โดยที่ถ้าเป็น Tokamaks จะมีลักษณะของการจัดวางขดลวดใน 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกันล้อมรอบไปตามท่อรูปทรงโดนัท ของ Tokamaks ด้วยขดลวดที่ตั้งฉากกัน 2 ทิศทางนี้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในทิศทางเป็นแนวตามท่อรูปทรงโดนัท และจะเหนี่ยวนำกระแสพลาสมาให้เคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าอย่างเหมาะสมในขดลวดทั้ง 2 แกน จะสามารถทำให้บังคับลำกระแสพลาสมาให้มีขนาดเล็กมากจนชนกันเองและหลอมรวมนิวเคลียสของธาตุเบาเกิดเป็นฟิวชันได้



สำหรับ Stellarators ที่มีความคล้ายคลึงกันกับ Tokamaks แต่การจัดวางลักษณะขดลวดสนามแม่เหล็กเป็นแบบ **“อสมมาตร”** ไม่เป็นระนาบใดๆ กับแนวท่อ ใช้วัสดุตัวนำยิ่งยวดที่ต้องหล่อเย็นด้วยอุณหภูมิต่ำมาก เพื่อให้ได้สนามแม่เหล็กแรงสูง การออกแบบนี้ ทำให้พลาสมามีความเสถียรมากกว่าในการเคลื่อนที่และกักเก็บไว้ได้ในบริเวณที่ต้องการ เกิดฟิวชันได้อย่างต่อเนื่อง แต่เครื่องนี้มีค่าใช้จ่ายสูงจากระบบหล่อเย็น และมีการออกแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน ยากต่อการก่อสร้าง จึงไม่เป็นที่นิยมเหมือน Tokamaks



รูปที่ 3. ลักษณะโครงสร้างภายในและทิศทางพลาสมาของ Stellarators

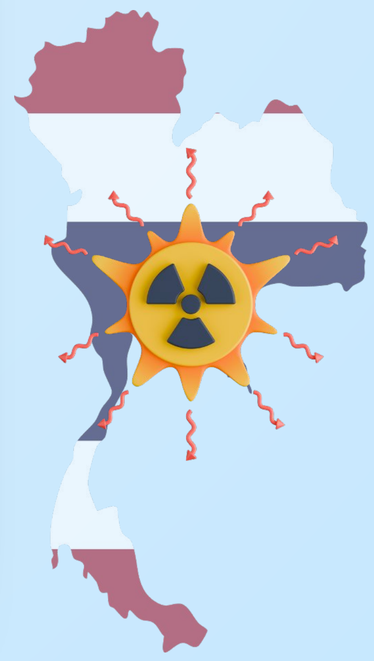
(ที่มาภาพ: https://ned.egat.co.th/index.php/component/sppagebuilder/?view=page&id=57)

อีกวิธีหนึ่งรวมถึงฟิวชันเฉื่อย ซึ่งใช้เลเซอร์กำลังสูง (หรือวิธีอื่น) เพื่อให้ความร้อนและบีบอัดแคปซูลทรงกลมขนาดเล็กที่มีเม็ดเชื้อเพลิง การใช้วิธีการนี้ National Ignition Facility (NIF) ในสหรัฐอเมริกา มีความก้าวหน้าอย่างมากในการวิจัยฟิวชัน โดยสร้างพลังงานประมาณ 3.15 เมกะจูล (MJ) จากพลังงาน 2.05 เมกะจูลที่ส่งออกจากเลเซอร์ 192 ตัว Omar Hurricane หัวหน้านักวิทยาศาสตร์ของแผนกฟิสิกส์การออกแบบโปรแกรมฟิวชั่นเฉื่อย ห้องทดลองแห่งชาติลอว์เรนซ์ ลิเวอร์มอร์ สหรัฐอเมริกา กล่าวว่า "ปีนี้เราพบว่าเราอยู่ในตำแหน่งที่สามารถพูดคุยเกี่ยวกับเหตุการณ์สำคัญของพลาสมาที่ลุกไหม้ การจุดระเบิดแบบฟิวชัน และพลังงานเป้าหมายที่ได้รับมากกว่าเอกภาพในอดีตกาล ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่น่าทึ่ง"

นอกจากนี้การออกแบบทางเลือกที่นักวิทยาศาสตร์ยังคงทำงานต่อไปเพื่อผลิตฟิวชัน ตัวอย่างเช่น การชนกันของสองลำไอออน (Ion beams) ที่สร้างโดยเครื่องเร่งอนุภาค ฟิวชันเกิดขึ้นที่จุดชนกัน หรือการทดลองเชื้อเพลิงอื่นที่ไม่ใช่ไอโซโทปไฮโดรเจน เช่น ฟิวชันจากการหลอมรวมโปรตอนกับโบรอน-11

เพื่อแสดงให้เห็นว่าฟิวชันสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นักวิจัยได้พยายามอย่างหนักในการออกแบบและก่อสร้างโรงไฟฟ้าฟิวชันเพื่อใช้ในการสาธิตหรือตัว DEMO ซึ่งปัจจุบันรวมถึงการลงทุนของภาคเอกชนด้วย นอกจากนี้ยังมีแนวคิด DEMO ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการพัฒนาในจีน ยุโรป ญี่ปุ่น รัสเซีย สาธารณรัฐเกาหลี สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา โดยมีเป้าหมายที่คาดว่าการดำเนินการก่อสร้างและติดตั้งจะเสร็จสิ้นทั้งหมดในช่วงสามทศวรรษข้างหน้า





รูปที่ 4. Tokamak เครื่องแรกของประเทศไทย

(ที่มาภาพ: https://lifeandsciencenews.com/?p=22073)



สำหรับประเทศไทยนั้น มีการแจ้งการครอบครองหรือใช้ Tokamak จำนวน 1 เครื่อง ต่อสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ในปี พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็น Tokamak เครื่องแรกของประเทศไทย โดยในระยะแรกจะเป็นการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของพลาสมาในเครื่องโทคาแมค

เอกสารอ้างอิง

Barbarino, M. (2022, March 31). What is nuclear fusion. International Atomic Energy Agency. https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion

Promping, J., Wisitsorasak, A., Chatthong, B., Nilgumhang, K., Tamman, A., Wonghabot, P., Sangwang, W., Saidarasamoot, K., Poolyarat, N., & Dangtip, S. (2021). Preliminary study and design of fuelling systems of Thailand Tokamak I with supersonic molecular beam injection. Thai Journal of Physics, 38(3), 111–122.

Tamman, A., Pongkitiwanichakul, P., Tangjittanom, K., Wonghabut, P., Poolyarat, N., & Dangtip, S. (2021). Development planning of plasma diagnostic for Thailand Tokamak I. Thai Journal of Physics, 38(3), 123–134.

THE STANDARD Team. (2019, November 1). 1 พฤศจิกายน 1952 – ระเบิดไฮโดรเจนลูกแรก. THE STANDARD. https://thestandard.co/onthisday01111952/

Vlasov, A. (2023, February 20). Tokamaks, stellarators, laser-based and alternative concepts: Report offers global perspective on nuclear fusion devices. International Atomic Energy Agency. https://www.iaea.org/newscenter/news/tokamaks-stellarators-laser-based-and-alternative-concepts-report-offers-global-perspective-on-nuclear-fusion-devices



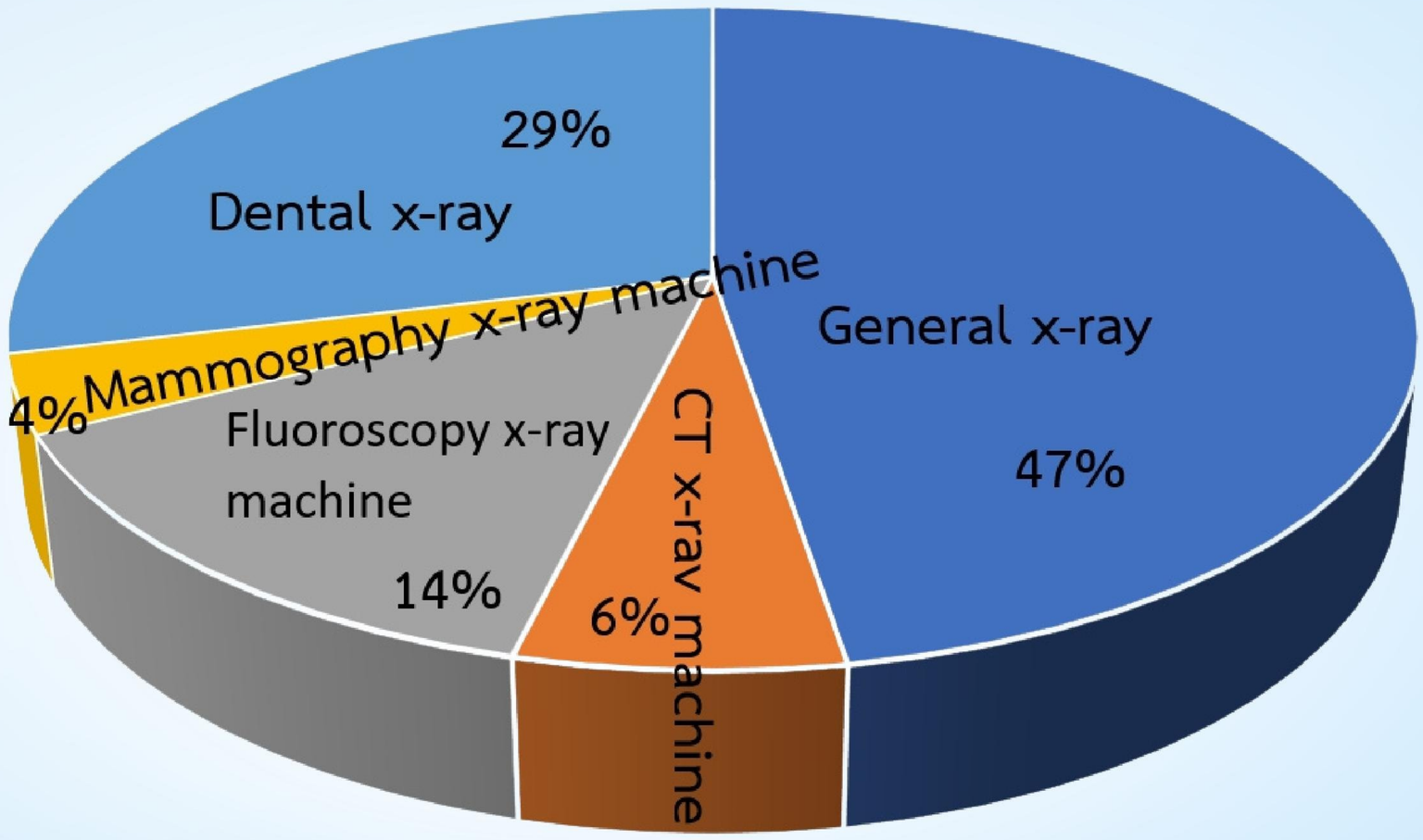
ปฏิบัติงานอย่างไรถึงปลอดภัย?

การได้รับปริมาณรังสี ของผู้ปฏิบัติงานในงานรังสีอินเจฉัย



โดย นายศักดิ์ชัย บุพอังกูร นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการ
นางสาวเกตุนภาพร เกตุประดิษฐ์ นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

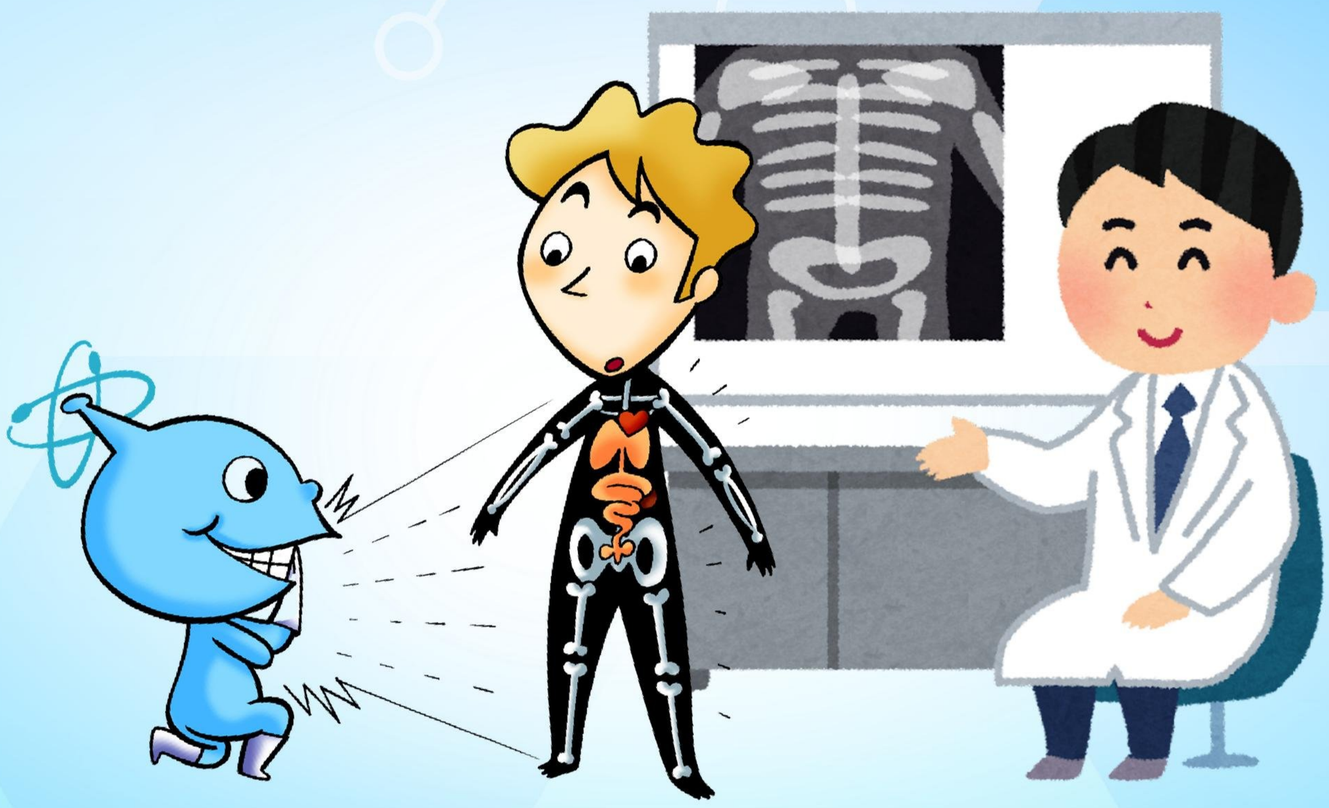
การใช้รังสี มีความจำเป็นอย่างมากในทางการแพทย์ทั้งในด้านรังสีรักษา รังสีวินิจฉัยและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โดยเฉพาะการใช้ในด้านรังสีวินิจฉัยซึ่งเป็นการถ่ายภาพอวัยวะต่างๆ จากรังสีเอกซ์เพื่อช่วยในการวินิจฉัยโรคให้กับผู้ป่วย ทำให้แพทย์สามารถวินิจฉัยโรคได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น สามารถตรวจพบรอยโรคของผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาอย่างทันท่วงทีและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้เครื่องเอกซเรย์ในทางการแพทย์มากกว่า 5,000 เครื่อง ที่ต้องได้รับการจดแจ้งโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์



รูปที่ 1 แสดงสัดส่วนของเครื่องเอกซเรย์วินิจฉัยที่ใช้ทางการแพทย์

โดยสามารถแบ่งประเภทและสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของเครื่องเอกซเรย์ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้แก่ เครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (general x-ray machine) จำนวนประมาณ 47 % เครื่องเอกซเรย์ฟัน (dental x-ray machine) จำนวนประมาณ 29%เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปี (fluoroscopy x-ray machine) จำนวนประมาณ 14% เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (computed tomography machine) จำนวนประมาณ 6% และเครื่องเอกซเรย์เต้านม (mammography machine) จำนวนประมาณ 4% ดังรูปที่ 1

แต่อย่างไรก็ตาม **การใช้รังสีเอกซ์ในงานรังสีวินิจฉัยทางการแพทย์นั้น มีผลทำให้ผู้ปฏิบัติงานด้านรังสี** เช่น แพทย์รังสี พยาบาล นักรังสีการแพทย์ เป็นต้น **มีความเสี่ยงในการได้รับปริมาณรังสีจากการฉายรังสีเอกซ์ให้กับผู้ป่วย** โดยเฉพาะการทำหัตถการรังสีร่วมรักษา (Intervention radiology) ที่มีการใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีชนิดเคลื่อนที่ได้แบบมีแขนรูปตัวซี (c-arm fluoroscopy x-ray machine) มีจำนวนคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 50% ของเครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีทั้งหมด นำมาสร้างภาพให้เห็นพยาธิสภาพในร่างกายและสามารถนำเครื่องมือขนาดเล็กเพื่อช่วยตรวจวินิจฉัยหรือรักษา



โดยผู้ที่เข้าทำหัตถการประกอบด้วย รังสีแพทย์ พยาบาล และนักรังสีการแพทย์ ผู้ปฏิบัติงานเหล่านี้มีโอกาสได้รับอันตรายจากรังสีเอกซ์ค่อนข้างมาก เนื่องจากต้องปฏิบัติงานใกล้กับเครื่องเอกซเรย์และต้องฉายรังสีเป็นระยะเวลานานในขณะทำหัตถการ เพื่อเป็นการลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการได้รับปริมาณรังสีของผู้ปฏิบัติงานไม่ว่าจะเป็น**ผลกระทบแบบชัดเจน (deterministic effect)** เมื่อผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีเกินกว่า**ค่าขีดจำกัด (threshold dose)** โดยความรุนแรงของผลกระทบจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับ เช่น การเกิดผื่นแดงตามผิวหนัง เซลล์ตาย ผมร่วง เป็นต้น หรือผลกระทบแบบไม่ชัดเจน (stochastic effect) โดยเป็นการได้รับปริมาณรังสีในระดับต่ำเป็นเวลานานจะเพิ่มโอกาสทำให้เกิดความผิดปกติของเซลล์ได้ เช่น การเกิดมะเร็งผิวหนัง กระดูก ปอด เป็นต้น



ดังนั้น **การได้รับปริมาณรังสีของผู้ปฏิบัติงานจึงเป็นเรื่องที่ต้องมีการควบคุมให้เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว** ตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2562 กฎกระทรวงความปลอดภัยทางรังสีสำหรับเครื่องกำเนิดรังสีที่ต้องแจ้งการมีไว้ในครอบครองหรือใช้ พ.ศ. 2566 มีการกำหนดขีดจำกัดการได้รับปริมาณรังสีของผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 1



ปริมาณรังสี	ค่ากำหนดปริมาณรังสีที่บุคคลจะรับได้	
	สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี	**สำหรับประชาชนทั่วไป และสตรีตั้งครรภ์**
ปริมาณรังสียังผล (effective dose)	20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี โดยเฉลี่ยในช่วงห้าปีติดต่อกัน ทั้งนี้ ในแต่ละปีจะรับรังสีได้ไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ตและตลอดช่วงห้าปีติดต่อกัน จะต้องได้รับรังสีไม่เกิน 100 มิลลิซีเวิร์ต	1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี
ปริมาณรังสีสมมูล (equivalent dose)		
เลนส์ของดวงตา	20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี โดยเฉลี่ยในช่วงห้าปีติดต่อกัน ทั้งนี้ ในแต่ละปีจะรับรังสีได้ไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ตและตลอดช่วงห้าปีติดต่อกัน จะต้องได้รับรังสีไม่เกิน 100 มิลลิซีเวิร์ต	15 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี
ผิวหนัง มือและเท้า	500 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี สำหรับส่วนที่เป็นผิวหนังนั้นให้วัดจากค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีต่อ ๑ ตารางเซนติเมตรของบริเวณผิวหนังที่ได้รับรังสีมากที่สุด	50 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี

ตารางที่ 1 แสดงค่าขีดจำกัดการได้รับปริมาณรังสี

เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ คณะกรรมการแห่งชาติด้านการป้องกันและการวัดรังสี (NCRP: National Council on Radiation Protection & Measurements) จึงได้กำหนดหลักการที่เรียกว่า **ALARA (As Low As Reasonably Achievable)** เป็นหลักการพื้นฐานที่ให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีนำมาปฏิบัติใช้ในการป้องกันอันตรายจากรังสี เพื่อจำกัดการได้รับรังสีที่ไม่จำเป็นให้น้อยที่สุด

โดยอาศัยหลักสำคัญ 3 ประการ คือ

1. เวลา (time) ควรใช้เวลาในการได้รับรังสีให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



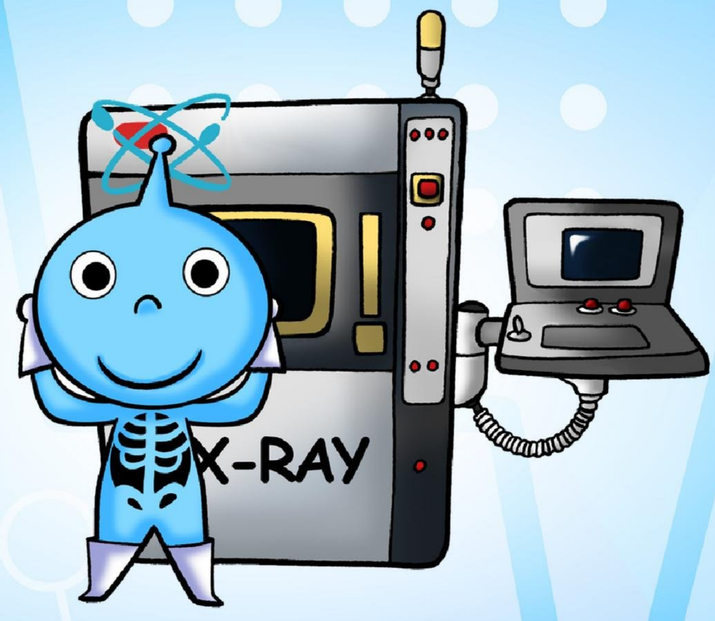
2. ระยะทาง (distance) ควรอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



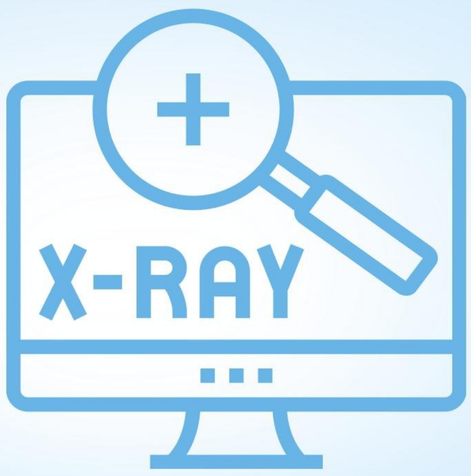
3. เครื่องกำบังรังสี (shielding) ควรใช้เครื่องกำบังรังสีที่เหมาะสมในการลดปริมาณรังสีที่จะได้รับ



ดังนั้น **ผู้ปฏิบัติงานจึงควรพิจารณาถึงความเหมาะสมของการใช้เครื่องเอกซเรย์ อุปกรณ์ป้องกันรังสี เทคนิคการฉายรังสี** เพื่อให้ใช้ปริมาณรังสีน้อยที่สุดและเกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและผู้ป่วยก็ได้รับปริมาณรังสีที่เหมาะสมด้วย จากการศึกษาร่วมกันของโรงพยาบาล มหาวิทยาลัย และสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เพื่อศึกษาการได้รับปริมาณรังสีจากผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีวินิจฉัย โดยปนัสดาและคณะ (2562) ทำการวัดค่าปริมาณรังสีกระเจิงจากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีด้วยเทคนิคการตรวจความผิดปกติของลำไส้ใหญ่ (Barium enema; BE) การตรวจดูกระเพาะปัสสาวะและท่อทางเดินปัสสาวะ (Voiding cystourethrography; VCUG) การตรวจทางเดินอาหารตอนบน (Upper GI tract; UGI) และการตรวจหลอดอาหาร (Barium swallow; BS) พบว่าค่าปริมาณรังสีกระเจิงที่ได้รับจะมีค่าสูงสุดในเทคนิค BE ที่ระยะห่างจากเตียง 0.15 เมตร บริเวณกลางเตียงเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ใกล้หลอดเอกซเรย์มากที่สุด โดยบริเวณไทรอยด์ได้รับปริมาณรังสีเท่ากับ 680 mSv และบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ได้รับปริมาณรังสีเท่ากับ 370 mSv และเมื่อทำการวัดปริมาณรังสีกระเจิงที่ระยะห่างจากเตียงเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 เมตร ค่าปริมาณรังสีกระเจิงลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่ง คือ 300 mSv และ 183 mSv ที่บริเวณไทรอยด์และบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ตามลำดับ

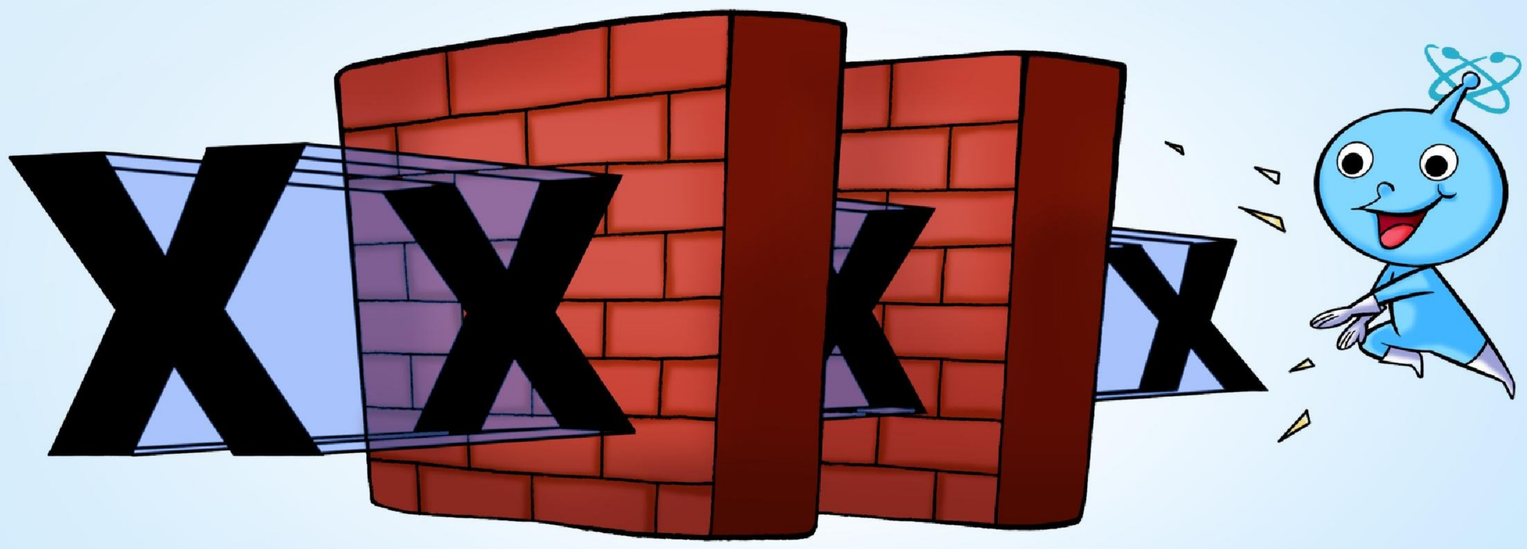


ดังนั้น ในการทำหัตถการผู้ปฏิบัติงานควรอยู่ที่ตำแหน่งบริเวณหัวเตียงหรือปลายเตียงเพื่อให้ปฏิบัติงานห่างจากหลอดเอกซเรย์มากที่สุด สำหรับปริมาณรังสีที่เลนส์ตาและหลังมือที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับจากการปฏิบัติงานกับเครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีถูกนำเสนอโดยสมศักดิ์และคณะ (2564) พบว่า อัตราการได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยที่เลนส์ตามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1-2.4 mSv/min และหลังมือมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.9-1.6 mSv/min โดยเมื่อคำนวณค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับต่อปีมีค่าเท่ากับ 78 mSv/y ซึ่งสูงกว่าค่าขีดจำกัดการได้รับปริมาณรังสีของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี ดังแสดงในตารางที่ 1



และผู้ปฏิบัติงานควรมีการสลับกันในการปฏิบัติงานกับเครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีและควรสวมอุปกรณ์ป้องกันรังสีด้วยทุกครั้ง สอดคล้องกับการศึกษาของกาญจนาและคณะ (2566) ทำการตรวจวัดปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับจากการทำหัตถการรังสีร่วมรักษาด้วยการให้ยาเคมีบำบัดทางหลอดเลือดแดงในการรักษามะเร็งตับ ซึ่งต้องใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีในการสร้างภาพเพื่อให้เห็นอวัยวะภายใน พบว่า รังสีแพทย์จะได้รับปริมาณรังสีสูงที่สุดมากกว่าพยาบาลและนักรังสีเทคนิค โดยรังสีแพทย์จะได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดที่บริเวณข้อมือซ้ายเท่ากับ 99.5 mSv รองลงมาคือตาซ้ายได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 56.1 mSv ตาขวาได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 6.4 mSvและมือขวาได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 15.6 mSv

จากการศึกษานี้ได้คำนวณว่าถ้าหากรังสีแพทย์มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสี เช่น เสื้อตะกั่ว ปลอกคอป้องกันรังสี แว่นตาป้องกันรังสี เป็นต้น จะมีผลทำให้รังสีแพทย์ได้รับปริมาณรังสีลดลงถึงประมาณ 5 เท่าจากปริมาณรังสีที่ได้รับ และยังทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำหัตถการให้กับผู้ป่วยได้จำนวนมากขึ้นด้วย จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าผู้ปฏิบัติงานควรคำนึงถึงตำแหน่งที่ปฏิบัติงานและมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีอย่างเหมาะสม รวมทั้งควรมีการใช้เครื่องสำรวจรังสี (survey meter) เพื่อตรวจสอบปริมาณรังสีในตำแหน่งที่ปฏิบัติงานด้วย อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ป้องกันรังสีที่นำมาใช้ต้องมีการดูแลรักษาจัดเก็บอย่างถูกวิธีและตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ รวมถึงเครื่องสำรวจรังสี ที่เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณรังสีในตำแหน่งที่ผู้ปฏิบัติงานกำลังปฏิบัติงานอยู่ โดยเครื่องสำรวจรังสีจะต้องได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐานเพื่อให้สามารถวัดปริมาณรังสีได้อย่างถูกต้องโดยต้องสามารถสอบกลับตามหลักมาตรวิทยาได้



เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลด้านการสอบเทียบและความปลอดภัยในการใช้งานรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ตรวจสอบและกำกับดูแลการใช้รังสีและสารกัมมันตรังสีให้เกิดความปลอดภัย จึงมีการดำเนินงานให้บริการด้านการสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสีให้กับโรงพยาบาลและหน่วยงานต่างๆ และยังดำเนินการให้โรงพยาบาลมีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี (Radiation Safety Officer หรือ RSO) ทำหน้าที่ควบคุมดูแลการปฏิบัติงานเกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสีทั้งหมดภายในโรงพยาบาลหรือสถานที่ที่เกี่ยวข้อง เช่น การวางแผน การตรวจสอบ และการจัดการเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน เพื่อให้มั่นใจว่าการใช้วัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสีเป็นไปอย่างปลอดภัยและถูกต้องตามกฎหมาย รวมทั้งมีการจัดฝึกอบรมหลักสูตรความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรังสีและการป้องกันอันตรายจากรังสีให้กับเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลและหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในรูปแบบออนไลน์อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

International Commission on Radiological Protection. (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (ICRP Publication 103; Annals of the ICRP, 37(2-4).

กฎกระทรวงความปลอดภัยของเครื่องกำเนิดรังสีเพื่อการวินิจฉัยทางการแพทย์ที่ต้องแจ้งการมีไว้ในครอบครองหรือใช้ พ.ศ. 2566. (2566). *ราชกิจจานุเบกษา, 140*(53 ก), 1-5.

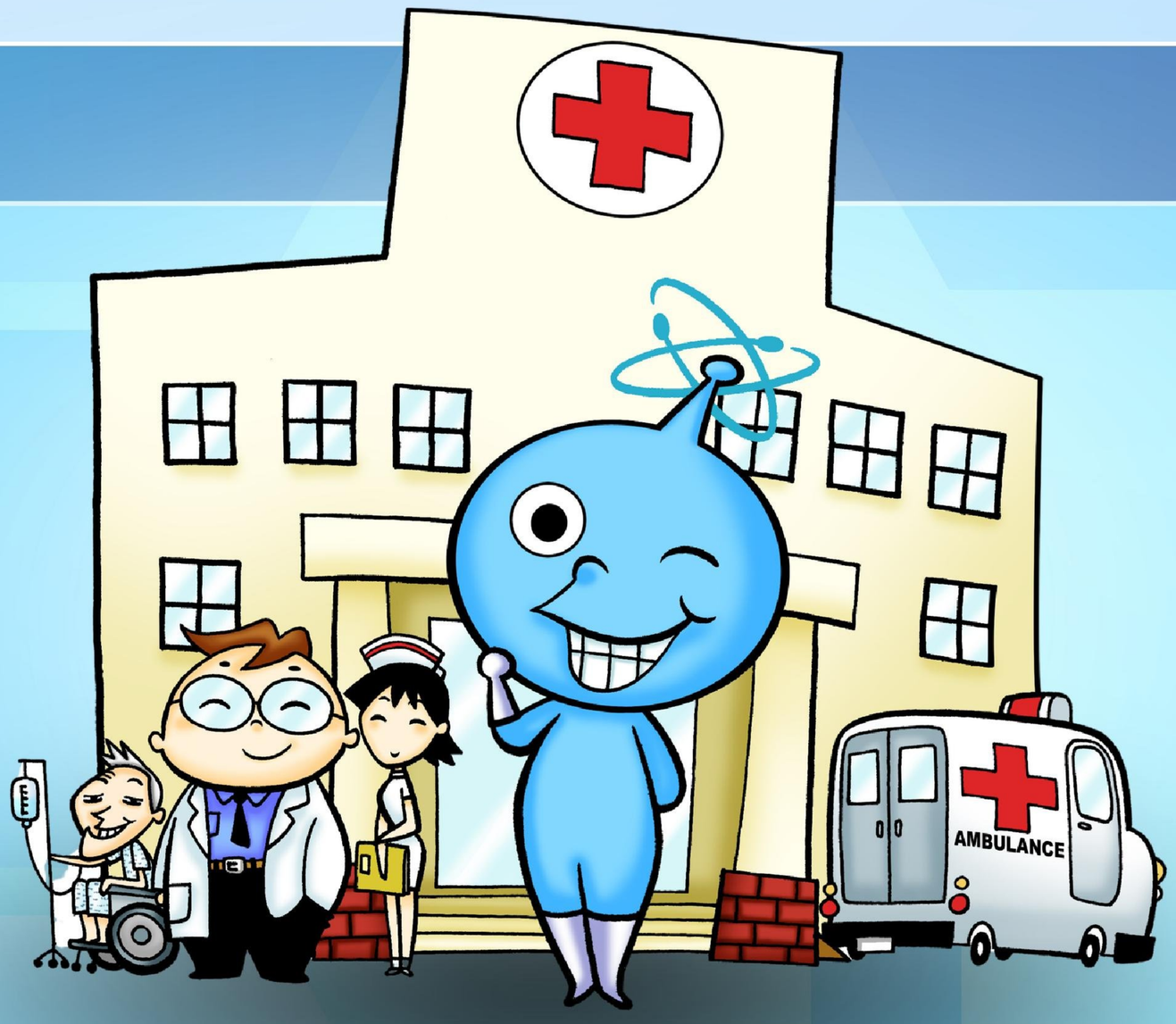
พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559. (2559). *ราชกิจจานุเบกษา, 133*(67 ก), 1-52.

พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2562. (2562). *ราชกิจจานุเบกษา, 136*(43 ก), 1-13.

ปนัสดา อวิคุณประเสริฐ, ธนาทิพย์ จันทร์แดง, เขมิกา เกื้อพิทักษ์, วิทิต ผึ่งกัน, และ จิตติพร เขียนประสิทธิ์. (2562). ปริมาณรังสีและการกระจายรังสีจากการตรวจด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปี: การศึกษาในเนื้อเยื่อจำลอง. *ศรีนครินทร์เวชสาร*, *34*(6), 565-573.

สมศักดิ์ วงษ์ศานนท์, เพชรากร หาญพานิชย์, ภัทรา วัฒนพันธุ์, อรุณนิตย์ บุญรอด, กันตพงศ์ ใจวงษ์, ปนัสดา อวิคุณประเสริฐ, และ วิทิต ผึ่งกัน. (2564). ปริมาณรังสีที่เลนส์ตาและต่อมไทรอยด์ที่ผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานได้รับจากการตรวจวิดีโอฟลูออโรสโคปี. *ศรีนครินทร์เวชสาร*, *36*(1), 24-30.

กาญจนา แก้วมะโรง, นิตินาถ ทีบำรุง, ปนัสดา อวิคุณประเสริฐ, สิริกาญจน์ กิตติโชติวรัตน์, ต่อพงศ์ คล้ายมนต์, และ ธนพล เดชวิริยะกิจ. (2566). การวัดปริมาณรังสีที่รังสีแพทย์ได้รับจากการทำหัตถการด้วยการให้ยาเคมีบำบัดทางหลอดเลือดแดงในการรักษามะเร็งตับ (TACE) ด้วยอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดโอเอสแอล. *วารสารการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ*, *30*(1), 43-51.



ทุกการขนส่งต้องปลอดภัย

ทำความรู้จัก หีบห่อและภาชนะบรรจุ ในการขนส่งอัสดุนิอเคลียร์และรังสี

โดย นายยศพล อินทรสถิตย์
นักนิวเคลียร์ฟิสิกส์ปฏิบัติการ
นางสาววรัญญา ภิบาลวงษ์
นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการพิเศษ
นายสัญญา เทศทอง
วิศวกรนิวเคลียร์ชำนาญการ



การขนส่งวัสดุ ได้แก่ **วัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ กากกัมมันตรังสี เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ หรือ เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว** ต้องอาศัยมาตรการควบคุมความปลอดภัยอย่างเข้มงวด เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติที่อาจเกิดเป็นอันตรายต่อทั้งผู้ปฏิบัติงาน ประชาชน และสิ่งแวดล้อม ในระหว่างกิจกรรมการขนส่ง ดังนั้น ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ร่วมกันทั่วโลกผ่าน IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 โดยหนึ่งในหัวใจสำคัญของมาตรฐานดังกล่าวที่ช่วยให้การขนส่งมีความปลอดภัย ป้องกันการรั่วไหลของรังสีและลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ คือ **หีบห่อ (Package)และ ภาชนะบรรจุ (Packaging)** สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ในฐานะหน่วยงานกำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์และรังสีของประเทศไทย ได้กำหนดความหมายของ ภาชนะบรรจุ และหีบห่อ ไว้ในกฎกระทรวงความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสีในการขนส่ง พ.ศ. 2567 ดังนี้

ภาชนะบรรจุ หมายถึง ภาชนะหนึ่งหน่วยหรือมากกว่าหนึ่งหน่วย รวมถึงส่วนประกอบหรือสิ่งอื่นที่จำเป็น ในการทำหน้าที่กักเก็บหรือบรรจุวัสดุอย่างปลอดภัย



รูปที่ 1 แสดงความแตกต่างของหีบห่อ (Package) และ ภาชนะบรรจุ (Packaging)

หีบห่อ (Package) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีการบรรจุเสร็จสมบูรณ์ โดยประกอบด้วยภาชนะบรรจุและวัสดุที่บรรจุในภาชนะนั้นที่พร้อมสำหรับการขนส่ง ซึ่งหีบห่อแบ่งออกได้เป็นหลายแบบตามระดับการป้องกันที่ต้องการทั้งหมด **8 แบบ** ได้แก่

1. หีบห่อแบบ Excepted
2. หีบห่อแบบ IP-1 (Industrial Type 1)
3. หีบห่อแบบ IP-2 (Industrial Type 2)
4. หีบห่อแบบ IP-3 (Industrial Type 3)
5. หีบห่อแบบ A (Type A)
6. หีบห่อแบบ B(U) (Type B(U))
7. หีบห่อแบบ B(M) (Type B(M))
8. หีบห่อแบบ C (Type C)



ทั้งนี้ หีบห่อแต่ละแบบได้รับการออกแบบด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยสามารถอธิบายพอสังเขปได้ 4 แบบ ดังนี้

1. หีบห่อแบบ Excepted

คือ หีบห่อที่ได้รับการยกเว้น ใช้สำหรับขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่มีปริมาณกัมมันตภาพรังสีต่ำ สามารถขนส่งได้โดยมีมาตรการด้านความปลอดภัยที่ง่ายกว่า และไม่ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดเข้มงวดเช่นหีบห่อประเภทอื่น

2. หีบห่ออุตสาหกรรม (Type IP-1, Type IP-2, Type IP-3)

คือ หีบห่อใช้สำหรับขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีประเภท Low Specific Activity (LSA) material (วัสดุที่มีกัมมันตภาพจำเพาะต่ำ) หรือ Surface Contaminated Object (SCO) (วัตถุที่มีการปนเปื้อนบนพื้นผิว) โดยหีบห่อแบบ IP-2 ต้องได้รับการทดสอบการปล่อยตกอย่างอิสระ (free drop test) และการทดสอบการวางซ้อนทับ (stacking test) รวมถึงทดสอบการพ่นละอองน้ำ (water spray test) เพิ่มเติม สำหรับหีบห่อแบบ IP-3

3. หีบห่อแบบ A (Type A)

คือ หีบห่อที่ออกแบบสำหรับบรรจุวัสดุกัมมันตรังสีที่มีปริมาณและกัมมันตภาพรังสีที่ไม่สูงมาก แต่ต้องสามารถทนทานต่อสภาพการขนส่งตามปกติ (normal conditions of transport) ซึ่งรวมถึงการทดสอบการพ่นน้ำ การตก การเรียงซ้อน และการเจาะทะลุ โดยไม่เกิดการสูญเสียหรือการกระจายตัวของวัสดุกัมมันตรังสี



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างหีบห่อประเภท A (Type A)

ที่มา : https://nuclearaustralia.com.au/2020/01/20/type-a-package-design-and-verification/

4. หีบห่อแบบ B (Type B(U), Type B(M))

คือ หีบห่อสำหรับขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่มีปริมาณหรือกัมมันตภาพรังสีสูงมาก เช่น ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในอุตสาหกรรม หรือเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว จึงต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้ทนทานต่อสภาพอุบัติเหตุของการขนส่ง (accident conditions of transport) ซึ่งรวมถึงการทดสอบทางกล (การตกหลายระดับ) การทดสอบความร้อน (การเผาไหม้ 30 นาที ที่ 800°C) และการทดสอบการจมน้ำ



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างหีบห่อแบบ B (Type B)

ที่มา : https://nftinc.com/nuclear-waste-transportation-packaging/



5. หีบห่อแบบ C (Type C)

คือ หีบห่อที่ออกแบบมาสำหรับการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่มีปริมาณหรือกัมมันตภาพรังสีสูงมาก **สำหรับการขนส่งทางอากาศ** เนื่องจากมีความเสี่ยงสูงจากอุบัติเหตุทางอากาศจึงต้องมีมาตรฐานความปลอดภัยสูงที่สุดที่สามารถทนต่อแรงกระแทก ความร้อน และแรงดันได้ในระดับที่เข้มงวดเพื่อจำลองสภาพอุบัติเหตุทางอากาศ

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างหีบห่อแบบ C (Type C)

ที่มา : https://sosnycompany.com/our-products/development-of-a-type-c-package-for-the-transport-of-radioactive-material-with-no-restrictions-on-activity-by-different-transport-modes-including-aircrafts.html

เอกสารอ้างอิง

กฎกระทรวงความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสีในการขนส่ง พ.ศ. ๒๕๖๗. (2567). *ราชกิจจานุเบกษา, 141*(68 ก).

ประกาศสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขเกี่ยวกับการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์กากกัมมันตรังสี เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ หรือเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว พ.ศ. ๒๕๖๗. (2567). *ราชกิจจานุเบกษา, 141*(311 ง).

AO SOSNY Research and Development Company. (2026). *Type C Package for the Transport of Radioactive Material with no Restrictions on Activity by Different Transport Modes Including Aircrafts.* http://www.sosny.ru

International Atomic Energy Agency. (2025). *Regulations for the safe transport of radioactive material: 2025 edition (IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.2)*). https://doi.org/10.61092/iaea.439y-2h8h

NFT Inc. (2026). *Nuclear Waste Transportation Packaging*. https://www.nftinc.com

Nuclear Australia. (2022, August 29). *Type A Package Design and Verification*. https://www.nuclearaustralia.com.au

จากนาข้าวสู่จานข้าว

เส้นทางความปลอดภัยและ "เกราะป้องกัน" รังสีที่มองไม่เห็น



นางสาวปิยวรรณ ศรีกงพาน
นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการ

ข้าวสวยร้อน ๆ พร้อมเสิร์ฟคู่กับอาหาร สัญลักษณ์ของความสุขสมบูรณ์ทางด้านอาหารของคนไทย แต่ภายใต้ความสุขสมบูรณ์นั้น มี "วิทยาศาสตร์" และ "กฎหมายทางรังสี" คอยดูแลความปลอดภัยให้เราอยู่ทุกคำ วันนี้เราจะพาไปเปิดเบื้องหลังเส้นความพยายามเสริมสร้างความปลอดภัยนี้ ที่ทำให้ข้าวไทยปลอดภัยและพร้อมครองใจคนทั้งโลก



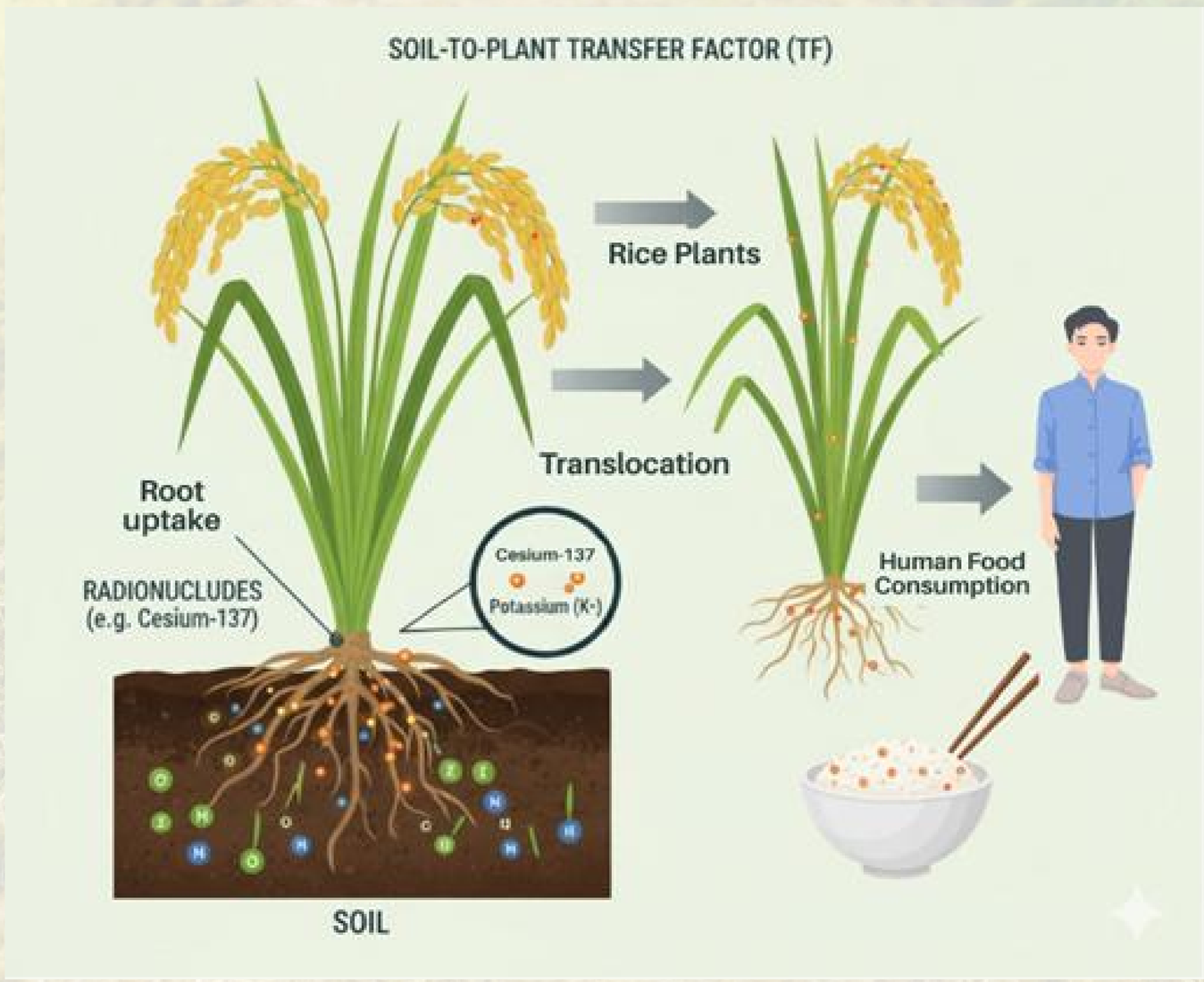
ภาพที่ 1: เปรียบเทียบกฎหมายทางนิวเคลียร์และรังสีเป็นดั่งป้อมปราการที่ปกป้องคนไทยและสิ่งแวดล้อม
(ภาพนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์, AI)

เริ่มต้นที่แผนแม่บทไทยทางรังสี "เกราะกฎหมาย" ที่คุณอาจไม่เคยรู้ จะว่าไปความปลอดภัยไม่ได้เกิดขึ้นโดยบังเอิญ แต่เกิดจากการวางแผนที่รัดกุม ประเทศไทยมีการวางรากฐานด้านความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสีอย่างเป็นระบบ เปรียบเสมือนการสร้าง "ป้อมปราการ" ที่มองไม่เห็นเพื่อคุ้มครองประชาชนและสิ่งแวดล้อม หัวใจสำคัญคือ พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 และ แผนแม่บทความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี (พ.ศ. 2566 – 2570) ซึ่งกำกับดูแลโดย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ทำหน้าที่เป็นผู้กำกับดูแล (Regulatory Body) คอยเฝ้าระวัง ตรวจสอบ และป้องกันไม่ให้มีสารรังสีเกินค่ามาตรฐานหลุดรอดออกสู่สิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อาหารของเรา นี่คือด่านแรกที่ทำให้เรามั่นใจได้ว่า กิจกรรมทางนิวเคลียร์และรังสีในประเทศจะถูกควบคุมอย่างเคร่งครัด

พืชทางเศรษฐกิจต่าง ๆ มักถูกใช้เป็นตัวชี้วัดเป็นเครื่องแสดงความปลอดภัย สำหรับประเทศไทย ย่อมชี้ชัดไปที่ "ข้าว" ที่เป็นหัวใจเศรษฐกิจและปากท้อง ข้าว (Oryza sativa L.) ไม่ใช่แค่พืช แต่คือ "ลมหายใจ" ของเศรษฐกิจไทย ความมั่นคงทางอาหารที่คนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักเฉลี่ยสูงถึง 100-110 กิโลกรัมต่อคนต่อปี บริโภคข้าวทุกมื้ออาหาร เช้า กลางวัน และเย็น การปนเปื้อนเพียงเล็กน้อยในข้าวจึงอาจส่งผลกระทบเป็นวงกว้างต่อสุขภาพของคนทั้งประเทศ และยังเป็นเส้นเลือดใหญ่ทางเศรษฐกิจ ในปี 2567 ประเทศไทยส่งออก 9.95 ล้านตัน มูลค่ากว่า 225,656 ล้านบาท และในปี 2568 ส่งออก 7.9 ล้านตัน มูลค่า 148,204 ล้านบาท ประเทศไทยยังคงเป็นลำดับต้น ๆ ของประเทศผู้ส่งออกข้าว การรักษามาตรฐานความปลอดภัยจากสารปนเปื้อนและรังสี จึงเป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้ข้าวไทยได้รับความเชื่อถือในเวทีโลก ด้วยลักษณะทางกายภาพของข้าวที่ปลูกในนาลุ่ม (Lowland rice) ซึ่งมีน้ำขัง ทำให้ระบบรากมีโอกาสสัมผัสกับตะกอนดินและสารละลายต่าง ๆ ได้มากกว่าพืชไร่ชนิดอื่น นี่จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมเราต้องสนใจการปนเปื้อน รวมถึงเรื่องการเคลื่อนย้ายธาตุกัมมันตรังสีในนาข้าวเป็นพิเศษ



การเดินทางของธาตุกัมมันตรังสี เมื่อ "ตัวปลอม" แฝงตัวในนาข้าว นักวิทยาศาสตร์ใช้โมเดลการคำนวณที่เรียกว่า “การเคลื่อนย้ายธาตุจากดินสู่ข้าว, Soil-to-Plant Transfer Factor (TF)” โดยสัดส่วนปริมาณธาตุที่มีอยู่ในดินเทียบกับปริมาณธาตุที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวหรือ เพื่อประเมินความสามารถในการเคลื่อนย้ายขอธาตุกัมมันตรังสีจากดินสู่เมล็ดข้าว ผ่านการดูดซึมทางราก กลไกการดูซึมของพืชอาจไม่สามารถคัดแยกได้ว่าธาตุใดมีประโยชน์หรือมีโทษ จึงเกิดกลไกการ "จำผิด" ของพืช จากการศึกษาพบว่า ธาตุกัมมันตรังสีอย่างซีเซียม-137 (Cs-137) มีพฤติกรรมทางเคมีคล้ายกับโพแทสเซียม (K) ธาตุหลักที่พืชต้องใช้ในการเจริญเติบโต ข้าวต้องการเพื่อสร้างรวง และเป็นธาตุสำคัญที่พบในปุ๋ย เมื่อในดินมีโพแทสเซียมไม่เพียงพอ รากข้าวอาจ "จำผิด" และเผลอดูดซับซีเซียมเข้าไปแทน กลไกการดูดซึมสารที่ผิดประเภทนี้เองเป็นข้อพึงระวังที่ต้องได้รับการประเมิน และรู้ถึงความสามารถในการดูดซึม เคลื่อนย้าย เพื่อนำค่า TF มาใช้ในการกำหนด วางแผน ความปลอดภัยในการบริโภคข้าวให้ปราศจากการปนเปื้อน



ภาพที่ 2: กลไกการดูดซึมสารรังสีจากดินสู่เมล็ดข้าว ผ่านค่า Transfer factor (TF)
(ภาพนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์, AI)



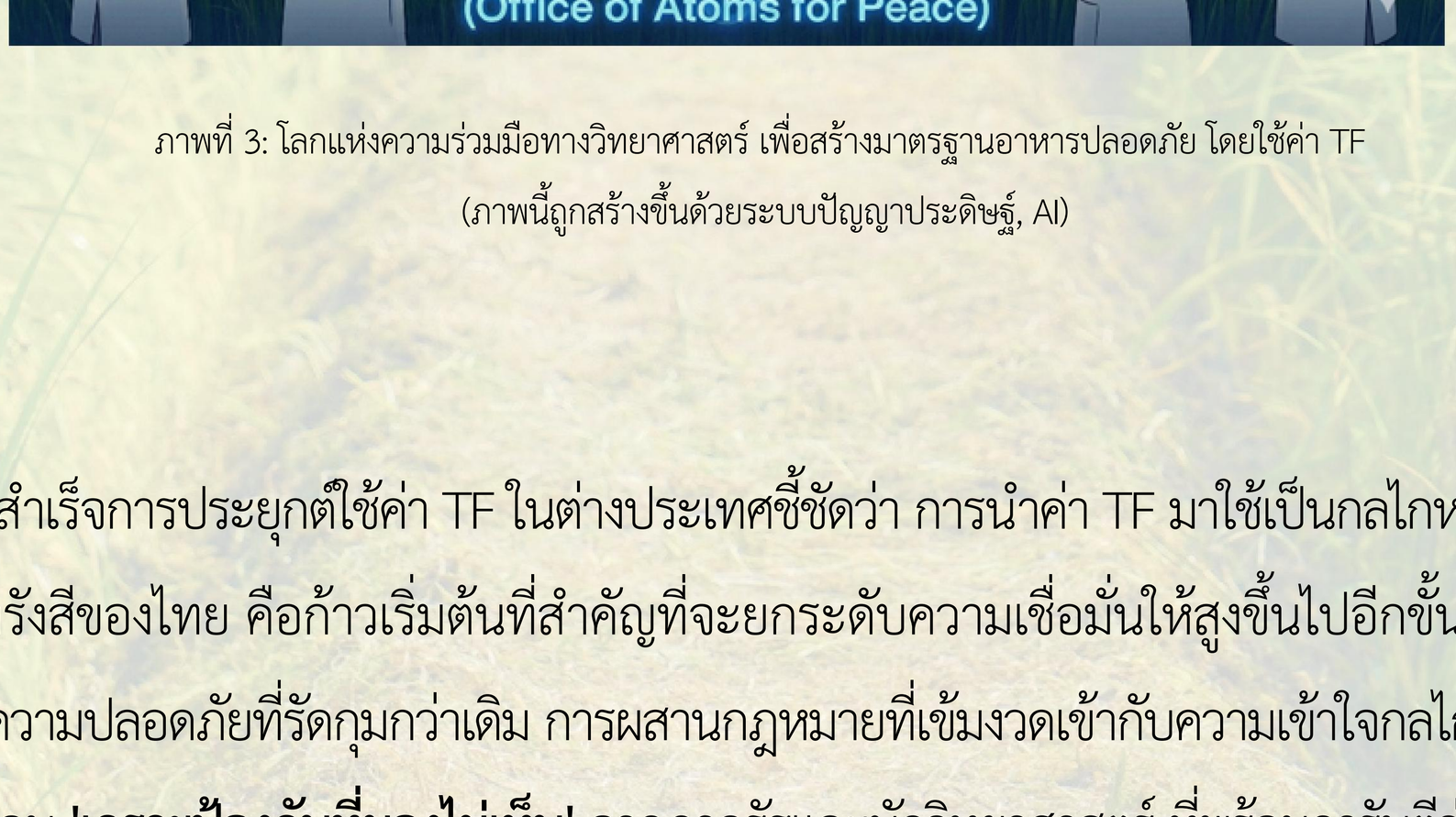
ค่า TF ที่นักวิทยาศาสตร์เก็บข้อมูลมา ไม่ได้อยู่แค่ในกระดาษ แต่ถูกนำมาแปลงเป็น "แผนที่ความปลอดภัย" เพื่อกำหนดมาตรการจัดการ

1. การกำหนดพื้นที่ (Zoning): หากพื้นที่ใดมีค่า TF สูง (ดินถ่ายทอดรังสีสู่พืชได้ดี) รัฐจะกำหนดให้เป็นพื้นที่เฝ้าระวังพิเศษ

2. วิธีแก้ปัญหาด้วยปุ๋ย (Remediation): เมื่อเรารู้ว่ารากข้าวชอบจำสับสนระหว่าง "ซีเซียม-137" กับ "โพแทสเซียม" วิธีแก้ที่ฉลาดและง่ายคือ "การเติมปุ๋ยโพแทสเซียมลงไปในดินให้มากพอ" เมื่อดินมีโพแทสเซียมอุดมสมบูรณ์ รากข้าวจะเลือกกินของดี (โพแทสเซียม) และเมินเฉยต่อของเสีย (ซีเซียม-137) ส่งผลให้ค่าการดูดซึมรังสีลดลงอย่างมหาศาล

นานาชาติมีการนำค่า TF (การเคลื่อนย้ายสารรังสี) ไปประยุกต์ใช้จริง เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคอาทิเช่น ญี่ปุ่น (กรณีภัยพิบัตินิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิจิ ปี ค.ศ. 2011) ใช้มาตรการ "ตรวจทุกถุง" (All-bag Inspection) หลังอุบัติเหตุ รัฐบาลญี่ปุ่นไม่ได้แค่สุ่มตรวจ แต่ใช้มาตรการเข้มข้นในพื้นที่เสี่ยง โดยข้าวทุกกระสอบต้องผ่านเครื่องสแกนรังสี (Rice screener) การใช้ค่า TF เพื่อแบ่งโซนพื้นที่เพาะปลูก หากดินบริเวณไหนมีค่า TF เกินเกณฑ์ จะสั่งงดปลูกทันที (Planting Restriction) และจะอนุญาตให้กลับมาปลูกได้ก็ต่อเมื่อมีการปรับปรุงดินและทดสอบปลูก (Test Planting) จนแน่ใจว่าค่าในเมล็ดข้าวปลอดภัยตามมาตรฐานสากล หรือจะเป็นสหภาพยุโรป (EU) (กรณีภัยพิบัติเชอร์โนบิล ปี ค.ศ. 1986) ซึ่งใช้ระบบอัจฉริยะ RODOS (Real-time Online Decision Support System) ที่เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ระบบจะคำนวณล่วงหน้าเลยว่า หากมีสารรังสีตกลงในทุ่งหญ้าวันนี้ อีกกี่วันจะไปโผล่ในนมวัว? ที่ไหน? ปริมาณเท่าไร? โดยใช้ค่า TF จากหญ้าสู่วัว (Feed-to-Cow transfer) ทำให้รัฐบาลสามารถสั่งระงับการขายนมได้ ก่อนที่นมปนเปื้อนจะถึงมือผู้บริโภค





ภาพที่ 3: โลกแห่งความร่วมมือทางวิทยาศาสตร์ เพื่อสร้างมาตรฐานอาหารปลอดภัย โดยใช้ค่า TF

(ภาพนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์, AI)

ความสำเร็จการประยุกต์ใช้ค่า TF ในต่างประเทศชี้ชัดว่า การนำค่า TF มาใช้เป็นกลไกหลักในแผนแม่บททางรังสีของไทย คือก้าวเริ่มต้นที่สำคัญที่จะยกระดับความเชื่อมั่นให้สูงขึ้นไปอีกขั้น เพื่อสร้างมาตรฐานความปลอดภัยที่รัดกุมกว่าเดิม การผสานกฎหมายที่เข้มงวดเข้ากับความเข้าใจกลไกธรรมชาติ เปรียบเสมือน **'เกราะป้องกันที่มองไม่เห็น'** จากภาครัฐและนักวิทยาศาสตร์ ที่พร้อมการันตีว่า ข้าวสวยร้อน ๆ ทุกจาน ผ่านการดูแลด้วยมาตรฐานระดับโลก เพื่อให้คนไทยได้ **'อิ่มท้อง'** และ **'อุ่นใจ'** ในทุกคำที่ทาน

เอกสารอ้างอิง

Ehrhardt, J. (1997). RODOS: Decision support system for off-site nuclear emergency management in Europe. *Radiation Protection Dosimetry*, 73(1-4), 35-40.

IAEA. (2010). Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series No. 472. International Atomic Energy Agency. https://www.iaea.org/publications/8201/handbook-of-parameter-values-for-the-prediction-of-radionuclide-transfer-in-terrestrial-and-freshwater-environments

Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. (2012). *Measures for radioactive cesium in rice*. https://www.maff.go.jp/e/policies/food_safety/202411_slide.pdf

Office of Atoms for Peace. (2023). *National nuclear and radiation safety master plan (2023-2027)*. Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation.

Rice Department. (2024). *Rice consumption and production statistics*. Ministry of Agriculture and Cooperatives.

USDA. (2024). Production - Rice. Foreign Agricultural Service, U.S. Department of Agriculture. Retrieved 15 March 2024 from https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0422110

Inoue, T., Takahashi, F., & Morokuzu, M. (2021). Remediation of Contamination from Radioactive Material by the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident. of Nuclear Science and Technology in English, and also in the Transactions of the Atomic Energy Society of Japan in Japanese; both are scientific journals of the Atomic Energy Society of Japan. Within these Fukushima Daiichi nuclear accident-related articles, those written in Japanese were crucial to understanding the situation at that time inside Japan, but they are not easily accessed and understood by persons worldwide. To remedy this situation, we as the, 119

Thai Rice Exporters Association. (2024). Thai rice export situation. http://www.thairiceexporters.or.th/List_%20of_statistic.htm

Uchida, S., Tagami, K., & Hirano, S. (2007). Soil-to-plant transfer factors of radionuclides for paddy rice. Japanese Journal of Health Physics, 42(3), 185-200.

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
Office of Atoms for Peace

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation

เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0 2596 7600 โทรสาร 0 2561 3013
www.oap.go.th