คู่มือ
ความปลอดภัย
ในการทำงานด้านรังสี

คณะกรรมการความปลอดภัยด้านรังสี และ
ศูนย์ความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนำ

ในปัจจุบันการใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันโดยที่เราไม่รู้ตัว ยิ่งในระดับอุตสาหกรรมและในทางการแพทย์แล้วการใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีอาจนับได้ว่าเป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไปกับทั้งมีความสำคัญในกระบวนการทางอุตสาหกรรมและการสาธารณสุขอยู่ไม่น้อย เพื่อรองรับพัฒนาการดังกล่าวการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีในองค์กรอุดมศึกษาจึงเป็นสิ่งที่คาดหมายได้

ในขณะเดียวกันนั้นเอง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์และรังสีก็เป็นเช่นเดียวกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่นอกจากจะมีประโยชน์มากมายแล้ว ล้วนต่างมีอันตรายและข้อควรเฝ้าระวังในการใช้งานที่ต้องใส่ใจปฏิบัติอยู่ทั้งสิ้น การใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินอยู่ภายใต้หลักเกณฑ์ความปลอดภัยซึ่งประกอบทั้งหลักเกณฑ์ทางกฎหมายและหลักเกณฑ์ทางวิชาการอย่างเข้มงวด

โดยเหตุดังกล่าวข้างต้น คณะกรรมการความปลอดภัยทางรังสี ศูนย์ความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงได้พิจารณาจัดทำคู่มือความปลอดภัยทางรังสีขึ้นเพื่อนำเสนอข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสี ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ด้านการส่งเสริมประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้งาน โดยมีกลุ่มเป้าหมายหลัก 4 กลุ่มเป้าหมาย กล่าวคือ (1) ผู้บริหารและผู้กำหนดนโยบายขององค์กร (2) ผู้ดูแลและบริหารส่วนงานที่ใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสี (3) ผู้ปฏิบัติงาน นักวิจัย ตลอดจนนิสิตที่ใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสี และ (4) บุคคลทั่วไปที่มิได้มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีหากแต่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงและอาจได้รับผลกระทบจากการใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีนั้น ๆ

คณะกรรมการความปลอดภัยทางรังสี ศูนย์ความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือความปลอดภัยทางรังสีเล่มนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีและผู้เกี่ยวข้อง กล่าวคือช่วยให้สามารถใช้งานวัสดุและเครื่องมือนิวเคลียร์และรังสีได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ อันจะยังประโยชน์และส่งเสริมความปลอดภัยโดยรวมให้กับนิสิตบุคลากร รวมถึงสาธารณชนและสิ่งแวดล้อมทั่วไปโดยรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในที่สุด

รศ.ดร.สัญชัย นิลสุวรรณโฆษิต
ประธานคณะกรรมการความปลอดภัยทางรังสี
ศูนย์ความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อแนะนำสำหรับการใช้คู่มือความปลอดภัยในการทำงานรังสี

ข้อแนะนำสำหรับคู่มือความปลอดภัยในการทำงานด้านรังสีฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย 9 บท โดยสามารถศึกษาได้ตามหลักสูตรที่เข้าร่วมอบรม หรือตามความเหมาะสมในงานที่ได้รับมอบหมาย ดังนี้

ชื่อหลักสูตร	หัวข้อในหลักสูตร
หลักสูตรความรู้เบื้องต้นการป้องกันอันตรายจากรังสี สำหรับบุคคลทั่วไป	1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ รังสี และกัมมันตภาพรังสี 2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี - การป้องกันอันตรายจากรังสีที่มาจากภายนอกร่างกาย - การป้องกันอันตรายจากวัสดุกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย 3. ผลของรังสีต่อร่างกาย 4. อุบัติเหตุทางรังสีและหลักปฏิบัติในภาวะฉุกเฉินทางรังสี
หลักสูตรความรู้เบื้องต้นการป้องกันอันตรายจากรังสี สำหรับผู้ดูแลห้องปฏิบัติการ	1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ รังสี และกัมมันตภาพรังสี 2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี - การป้องกันอันตรายจากรังสีที่มาจากภายนอกร่างกาย - การป้องกันอันตรายจากวัสดุกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย - ผลของรังสีต่อร่างกาย 3. ระบบความปลอดภัยด้านรังสี และแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยด้านรังสี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 4. การชำระล้างการเปรอะเปื้อนทางรังสี และการจัดการกากกัมมันตรังสี 5. อุบัติเหตุทางรังสีและหลักปฏิบัติในภาวะฉุกเฉินทางรังสี
หลักสูตรความรู้เบื้องต้นการป้องกันอันตรายจากรังสี สำหรับนักวิจัยและผู้ปฏิบัติงานด้านรังสี	1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ รังสี และกัมมันตภาพรังสี อันตรกิริยาของรังสีต่อวัตถุ 2. หัววัดรังสี หลักการวัดรังสี และการตรวจวัดรังสี 3. หน่วยวัดรังสีและการวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล 4. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี - การป้องกันอันตรายจากรังสีที่มาจากภายนอกร่างกาย - การป้องกันอันตรายจากวัสดุกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย 5. ผลของรังสีต่อร่างกาย 6. การจัดการกากกัมมันตรังสี 7. พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ กฎกระทรวง และกฎระเบียบเกี่ยวกับความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยด้านรังสี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 8. อุบัติเหตุทางรังสีและหลักปฏิบัติในภาวะฉุกเฉินทางรังสี

ชื่อหลักสูตร	หัวข้อในหลักสูตร
หลักสูตรความรู้เบื้องต้นการป้องกันอันตรายจากรังสี สำหรับคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (คปอ.)	1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ รังสี และกัมมันตภาพรังสี อันตรกิริยาของรังสีต่อวัตถุ 2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี - การป้องกันอันตรายจากรังสีที่มาจากภายนอกร่างกาย - การป้องกันอันตรายจากสารกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย 3. ผลของรังสีต่อร่างกาย 4. กฎหมาย กฎกระทรวง กฎระเบียบเกี่ยวกับความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี และพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ รังสี และกัมมันตภาพรังสี	1
2	หัววัดรังสี และการตรวจวัดรังสี	16
3	หน่วยวัดรังสี และการวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล	26
4	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี	30
5	ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต	53
6	การขนส่งสารกัมมันตรังสี	58
7	การจัดการกากกัมมันตรังสี	67
8	อุบัติเหตุทางรังสีและหลักปฏิบัติในภาวะฉุกเฉินทางรังสี	76
9	พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ	89
10	แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	100

บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ รังสี และกัมมันตภาพรังสี

อะตอม (Atom)

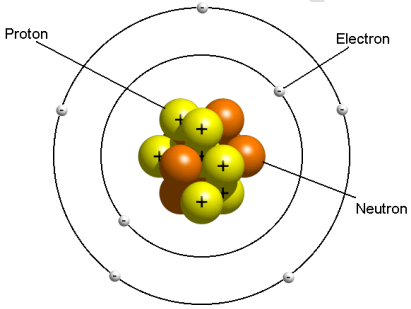
อะตอม หมายถึง อนุภาคที่เล็กที่สุดของสสารที่ยังคงคุณสมบัติทางเคมีของธาตุชนิดนั้น โครงสร้างของอะตอมนั้นประกอบด้วยแกนกลางซึ่งเรียกว่า “นิวเคลียส (nucleus)” และมีอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส ภายในนิวเคลียสประกอบด้วยนิวคลีออนสองชนิดคือ อนุภาคนิวตรอนและอนุภาคโปรตอน ในสภาวะที่อะตอมเป็นกลางจำนวนอิเล็กตรอนจะมีเท่ากันกับจำนวนโปรตอนดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1

มวลของอนุภาคโปรตอน เท่ากับ $1.6726217 \times 10^{-27}$ kg (หรือ 1.0072764669 amu)

มวลของอนุภาคนิวตรอน เท่ากับ $1.6749273 \times 10^{-27}$ kg (หรือ 1.0086649156 amu)

มวลของอนุภาคอิเล็กตรอน เท่ากับ $9.1093826 \times 10^{-31}$ kg (หรือ 0.00054879909 amu)

(amu = atomic mass unit)



รูปที่ 1.1 โครงสร้างอะตอม

เลขอะตอม (Atomic number, Z)

เลขอะตอม หมายถึง จำนวนโปรตอนที่อยู่ภายในนิวเคลียสของอะตอมใด ๆ เป็นเลขที่บอกถึงชนิดของธาตุที่เรียงลำดับตามจำนวนโปรตอนซึ่งปรากฏในตารางธาตุเช่น ไฮโดรเจน (H) มีเลขอะตอมเท่ากับ 1 โดยภายในนิวเคลียสมีโปรตอนเพียงหนึ่งอนุภาคเท่านั้น และคาร์บอน (C) มีเลขอะตอมเท่ากับ 6 โดยภายในนิวเคลียสมีโปรตอน 6 อนุภาค

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เลขมวล (Mass number, A)

เลขมวล หมายถึง ผลรวมทั้งหมดของจำนวนอุนภาคนิวตรอนและโปรตรอนที่ประกอบอยู่ภายในนิวเคลียสของอะตอมใด ๆ ซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงกับน้ำหนักอะตอมของแต่ละไอโซโทป เช่น ยูเรเนียม-235 มีโปรตอน 92 อนุภาค และมีนิวตรอน 143 อนุภาค ดังนั้นเลขมวลจึงเท่ากับ 235

น้ำหนักอะตอม (Atomic weight, M)

น้ำหนักอะตอม หมายถึง ผลรวมน้ำหนักทั้งหมดของอะตอม ซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักของอนุภาคนิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอนทุกอนุภาครวมกัน ยกตัวอย่างเช่น น้ำหนักอะตอมของคาร์บอน-12 (C-12) มีค่าเท่ากับ 12.09894108 amu คิดจากการรวมน้ำหนักของ

น้ำหนักทั้งหมดของโปรตอน = 6 x 1.0072764669 amu = 6.043658796 amu

น้ำหนักทั้งหมดของนิวตรอน = 6 x 1.0086649156 amu = 6.05198949 amu

น้ำหนักทั้งหมดของอิเล็กตรอน = 6 x 0.00054879909 amu = 0.00329279454 amu

ไอโซโทป (Isotope)

ธาตุแต่ละชนิดจะมีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสคงที่เสมอ แต่เนื่องจากโปรตอนเป็นอนุภาคที่มีประจุบวกเมื่ออยู่รวมกันเองมากขึ้นจะเกิดแรงผลักกันมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีอนุภาคนิวตรอนซึ่งไม่มีประจุทำหน้าที่ออกแรงยึดเหนี่ยวให้สามารถอยู่รวมกันได้ภายในนิวเคลียส ในที่นี้จำนวนนิวตรอนที่เข้ามารวมกันในนิวเคลียสสามารถมีได้หลายอนุภาคเพื่อให้เกิดแรงสมดุล ดังนั้นธาตุหนึ่งชนิดสามารถมีนิวตรอนได้หลายอนุภาค หรือเรียกอีกอย่างว่า “ไอโซโทป” เพราะฉะนั้น ไอโซโทป จึงหมายถึง ธาตุชนิดเดียวกันหรือเลขอะตอมเดียวกัน แต่มีเลขมวลต่างกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือ ธาตุชนิดหนึ่งจะมีได้หลายไอโซโทป โดยจะมีจำนวนนิวตรอนมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของไอโซโทปนั้น ๆ โดยเขียนสัญลักษณ์เป็น

$^{A}_{Z}X$ โดย X คือ ชนิดของธาตุ

A คือ เลขมวล(จำนวนนิวตรอนรวมกับจำนวนโปรตอน)

Z คือ เลขอะตอม(จำนวนโปรตอน)

ยกตัวอย่างเช่น $^{14}_{8}O$ $^{15}_{8}O$ $^{16}_{8}O$ และ $^{234}_{92}U$ $^{235}_{92}U$ $^{238}_{92}U$

หรืออาจเขียนเป็น O-14 O-15 O-16 และ U-234 U-235 U-238

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ไอโซโทปเสถียร (Stable Isotope) และไอโซโทปรังสี (Radioactive Isotope)

เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดสามารถมีได้หลายไอโซโทป บางชนิดเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและบางชนิดเกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่มนุษย์สร้างขึ้น ดังนั้นธาตุที่พบมีทั้งหมด 109 ธาตุ พบว่ามีไอโซโทปทั้งหมดประมาณ 1700 ไอโซโทป เป็นไอโซโทปเสถียร 280 ชนิด ที่เหลือเป็นไอโซโทปรังสี จะเห็นว่าไอโซโทปที่สามารถสลายตัวให้รังสีได้มีจำนวนมากแต่ส่วนใหญ่เป็นผลจากการทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์หรืออาจเกิดขึ้นจากผลพลอยได้ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ในการเรียกเฉพาะไอโซโทปใด ๆ นั้น อาจเรียกได้อีกอย่างว่า “นิวไคลด์ (nuclide)” โดยปกตินิวไคลด์ที่มีมวลน้อย ๆ จะมีจำนวนนิวตรอนเกือบเท่า ๆ กับโปรตอน เช่น คาร์บอน-12 จะมี 6 โปรตอน และ 6 นิวตรอน โดยนิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนหรือนิวตรอนเป็นเลขคู่ ได้แก่ 2, 8, 20, 50, 82 และ 126 เรียกว่า “magic number” จะมีความเสถียรมากกว่าเลขคี่ ส่วนนิวไคลด์ที่มีโปรตอนมากขึ้นจะมีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสมากกว่าโปรตอน ทั้งนี้เพื่อรักษาสมดุลจากแรงกระทำกันภายใน แต่สำหรับนิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนมากกว่า 83 ขึ้นไป แรงกระทำภายในนิวเคลียสจึงไม่พอที่จะดึงดูดอนุภาคไว้ได้ทำให้เกิดการสลายตัวให้รังสี ดังนั้นธาตุที่มีจำนวนโปรตอนมากกว่า 83 ขึ้นไปจึงเป็นนิวไคลด์ที่ไม่เสถียร เรียกว่า “นิวไคลด์รังสี (radionuclide)” หรือ “ไอโซโทปรังสี (radioisotope)” การที่นิวไคลด์เหล่านี้มีนิวเคลียสไม่เสถียรดังนั้นนิวเคลียสจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบอนุภาคความเร็วสูงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง กระบวนการดังกล่าวคือ การสลายกัมมันตภาพรังสี (radioactive decay)

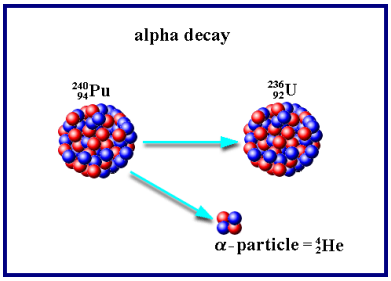
การสลายกัมมันตภาพรังสีนั้นสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียสได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับโครงสร้างของนิวเคลียสของธาตุชนิดนั้น เช่น สลายตัวให้อนุภาคแอลฟา บีตา นิวตรอน หรือ รังสีแกมมา สำหรับรังสีเอ็กซ์นั้นสามารถเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนระดับพลังงานในวงโคจรของอะตอม

ชนิดของอนุภาคและรังสี

1. อนุภาคแอลฟา (alpha particle), He-4 หรือ α

นิวไคลด์ของธาตุหนักที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 83 ขึ้นไป จะมีแรงยึดเหนี่ยวภายในนิวเคลียสน้อยเพราะมีอัตราส่วนของนิวตรอนต่อโปรตอนสูงมาก ดังนั้นนิวตรอนสองอนุภาคและโปรตอนสองอนุภาคสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวนั้นได้ จะหลุดออกมาจากนิวเคลียสพร้อมกับพลังงานจลน์เคลื่อนที่ไปในตัวกลางและถ่ายเทพลังงานออกมาทำให้เกิดคู่ประจุ โดยนิวตรอน 2 ตัว และโปรตอน 2 ตัว นั้นก็คือนิวเคลียสของฮีเลียม (He-4) นั่นเอง หลังจากที่นิวเคลียสสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาแล้วบางครั้งอาจสลายตัวต่อให้รังสีแกมมาเพื่อให้ระดับพลังงานอยู่ในสภาวะปกติ

CHULALONGKORN UNIVERSITY



http://www.nuceng.ca/igna/radioactivity.htm

รูปที่ 1.2 การสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา

จากรูปที่ 1.2 นิวไคลด์ของ Pu-240 ซึ่งมีเลขอะตอม 94 สลายตัวด้วยค่าครึ่งชีวิต 6580 ปี ให้อนุภาคแอลฟา และนิวไคลด์ลูก U-236 โดยอนุภาคแอลฟาซึ่งมีพลังงานจลน์ 5.16 MeV เคลื่อนที่ในตัวกลางและถ่ายเทพลังงานจนหมดในระยะทางที่สั้นมาก เช่น ในอากาศประมาณ 10 เซนติเมตรเท่านั้น ดังนั้นถ้าเป็นตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงขึ้นก็จะกั้นอนุภาคแอลฟาได้โดยง่าย ส่วน U-236 นั้นจะสามารถสลายตัวต่อไปได้เพราะเป็นนิวไคลด์ที่ไม่เสถียร

ตัวอย่างการสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$^{240}_{94}Pu \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

$$^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

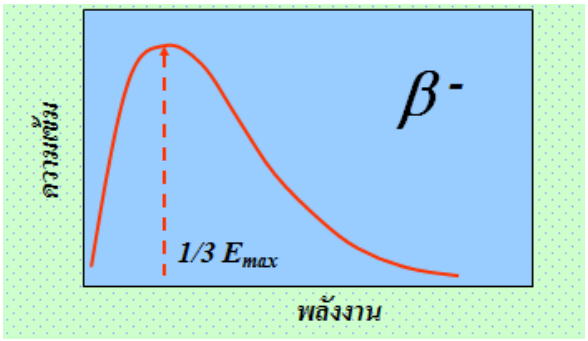
2. อนุภาคบีตา (Beta particle), $^{0}_{-1}\beta$ และอนุภาคโพสิตรอน (Positron), $^{0}_{+1}\beta$

อนุภาคบีตา เป็นอนุภาคที่มีคุณสมบัติเหมือนกับอนุภาคอิเล็กตรอนทุกประการแต่อนุภาคบีตาหลุดออกมาจากการสลายตัวของนิวเคลียส เนื่องจากว่าภายในนิวเคลียสมีจำนวนนิวตรอนมากเกินไป ทำให้เสียความสมดุลของแรงยึดเหนี่ยว ดังนั้นนิวตรอนจึงเกิดการสลายตัวเปลี่ยนเป็นอนุภาคโปรตอน และอนุภาคบีตา พร้อมทั้งอนุภาคแอนตินิวตริโน (antineutrino, $\bar{\nu}$) ดังสมการ

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{p} + {}^{0}_{-1}\beta + \bar{\nu}$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

พลังงานจลน์ของอนุภาคบีตาจะแบ่งกันกับอนุภาคแอนตินิวตริโนต่อการสลายตัวแต่ละครั้ง ดังนั้นต้นกำเนิดรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคบีตาซึ่งมีจำนวนอะตอมมากมาย ทำให้การสลายตัวได้พลังงานของอนุภาคบีตาเป็นพลังงานต่อเนื่อง (continuous energy) รวมทั้งอนุภาคแอนตินิวตริโน ($\bar{\nu}$) ด้วยดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 พลังงานต่อเนื่องของอนุภาคบีตาจากการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีบีตา

ตัวอย่างของต้นกำเนิดรังสีบีตาได้แก่ ^{32}P, ^{14}C, ^{90}Sr และ ^{90}Y ซึ่งสลายตัวให้อนุภาคบีตาเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีต้นกำเนิดรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคบีตาก่อนแล้วต่อมาสลายตัวให้รังสีแกมมา ได้แก่ ^{20}F, ^{27}Mg, ^{38}Cl, ^{42}K, ^{60}Co, ^{131}I และ ^{203}Hg ดังสมการการสลายตัวให้อนุภาคบีตา

$$^{32}_{15}P \rightarrow ^{32}_{16}\mathrm{S} + ^{0}_{-1}\beta + \bar{\nu}$$

$$^{90}_{38}Sr \rightarrow ^{90}_{39}\mathrm{Y} + ^{0}_{-1}\beta + \bar{\nu}$$

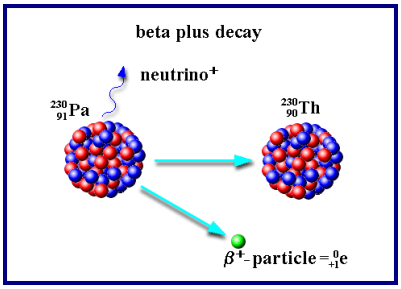
และ

$$^{137}_{55}Cs \rightarrow ^{137}_{56}\mathrm{Ba} + ^{0}_{-1}\beta + \bar{\nu} + \gamma$$

$$^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}\mathrm{Ni} + ^{0}_{-1}\beta + \bar{\nu} + \gamma$$

อนุภาคโพสิตรอน เป็นอนุภาคที่มีคุณสมบัติเหมือนกับอนุภาคอิเล็กตรอนเช่นกันแต่มีประจุเป็นบวก เป็นการสลายตัวจากกรณีที่นิวเคลียสมีจำนวนโปรตอนมากเกินไปทำให้เกิดแรงผลักสูง ดังนั้นอนุภาคโปรตอนจะเปลี่ยนเป็นอนุภาคนิวตรอนและอนุภาคนิวตริโน (neutrino) หลุดออกมาจากนิวเคลียสและมีพลังงานแบบต่อเนื่องเช่นเดียวกันดังสมการ $^{1}_{1}p \rightarrow ^{1}_{0}\mathrm{n} + ^{0}_{+1}\beta + \nu$ และแสดงการสลายตัวให้อนุภาคโพสิตรอน ดังรูปที่ 1.4

CHULALONGKORN UNIVERSITY



http://www.nuceng.ca/igna/radioactivity.htm

รูปที่ 1.4 การสลายตัวสลายตัวให้อนุภาคโพสิตรอน

ตัวอย่างของต้นกำเนิดรังสีโ พสิตรอน ได้แก่ ^{13}N, ^{22}Na, ^{30}P และ ^{90}Y

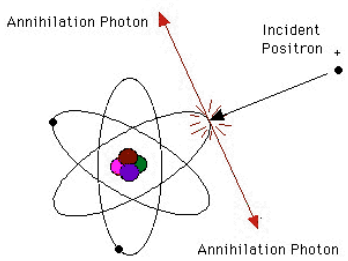
$$^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}\mathrm{C} + {}^{0}_{+1}\beta + \nu$$

$$^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}\mathrm{Ne} + {}^{0}_{+1}\beta + \nu$$

$$^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{0}_{+1}\beta + \nu$$

$$^{59}_{29}Cu \rightarrow {}^{59}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{+1}\beta + \nu$$

อนุภาคโพสิตรอนเมื่อหลุดออกมาจากนิวเคลียสจะเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ที่แบ่งมาจากนิวตริโน แต่เนื่องจากมีประจุบวกจึงเคลื่อนที่ไปได้ไม่ไกลนักก็จะจับกับอิเล็กตรอนทำให้มวลหายไปเปลี่ยนเป็นรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV สองตัวเคลื่อนที่ออกไปในทิศทางตรงข้ามกันเรียกว่า“*กระบวนการแอนไนฮิเลชัน* (Annihilation process)” ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 กระบวนการเกิด annihilation

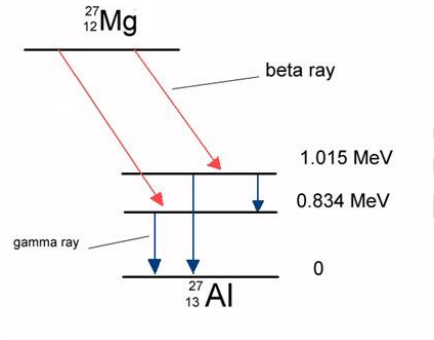
3. รังสีแกมมา และรังสีเอกซ์(Gamma-ray and X-ray)

รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง เกิดจากการสลายตัวให้อนุภาครังสีต่าง ๆ แต่พลังงานภายในนิวเคลียสยังสูงกว่าระดับพลังงานพื้น (ground state) จึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

แม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า “รังสีแกมมา” รังสีแกมมานี้อาจมีได้หลายระดับพลังงานและหลายตัวขึ้นอยู่กับชนิดของต้นกำเนิดรังสี ได้แก่ Cs-137 สลายตัวให้รังสีบีตาก่อนและเปลี่ยนเป็น Ba-137 แล้วปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงาน 0.662 MeV และต้นกำเนิดรังสี Co-60สลายตัวให้รังสีบีตาและเปลี่ยนเป็น Ni-60 และปลดปล่อยรังสีแกมมาสองพลังงาน 1.33 และ 1.17 MeV รังสีแกมมามีอำนาจการทะลุทะลวงเข้าไปในวัตถุตัวกลางได้สูงมาก ต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นและความหนามาก ๆ จึงจะกั้นรังสีชนิดนี้ได้

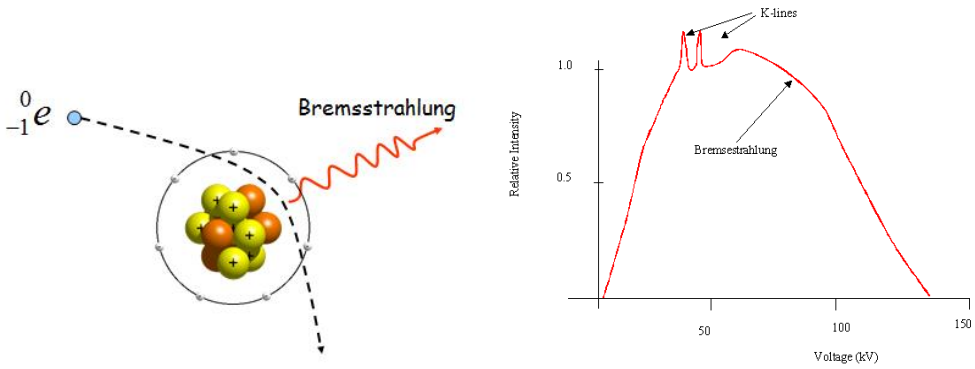
นอกจากที่กล่าวมาแล้วนั้นยังมีตัวอย่างของต้นกำเนิดรังสีแกมมา ได้แก่ Mg-27, K-40 และ Na-24 ซึ่งมักจะสลายตัวให้อนุภาคชนิดอื่นก่อนแล้วจึงปลดปล่อยรังสีแกมมาตามออกมา



รูปที่ 1.6 แผนผังการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสี *Mg-27*

รังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงและมีคุณสมบัติเหมือนกับรังสีแกมมาทุกอย่าง จะแตกต่างกันก็เพียงแตกว่ารังสีเอกซ์ไม่ได้ออกมาจากนิวเคลียสของอะตอมเท่านั้น รังสีเอกซ์เกิดจากการเร่งอนุภาคที่มีประจุเข้าไปในอะตอม โดยอนุภาคจะเบี่ยงเบนทิศทางเมื่อเข้าใกล้นิวเคลียสจะลดพลังงานลงทำให้คลายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานต่อเนื่อง *(continuous x-ray)* หรือเรียกอีกอย่างว่า *“Bremsstrahlung”* ในขณะที่อนุภาคมีประจุถูกเร่งเข้าไปในอะตอมจำนวนมาก อนุภาคมีประจุบางตัวจะเกิดการชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร ดังนั้นอิเล็กตรอนตัวที่อยู่ในวงโคจรที่สูงกว่าจะลงมาแทนที่และปลดปล่อยพลังงานออกมากในรูปของรังสีเอกซ์ ซึ่งธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรเฉพาะตัว การปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่ออกมาในแต่ละระดับวงโคจรซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวของรังสีเอกซ์นั้น ๆ จึงเรียกว่า “รังสีเอกซ์เฉพาะ *(characteristic x-ray)*”

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1.7 การเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง หรือ Bremsstrahlung

4. อนุภาคนิวตรอน (neutron particle)

อนุภาคนิวตรอน เป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ มีมวล 1.0086649156 amu เมื่อรวมอยู่ในนิวเคลียสจะทำหน้าที่ช่วยให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว แต่ถ้ามีอนุภาคที่มีประจุพลังงานสูงวิ่งชนนิวเคลียสจะทำให้นิวตรอนหลุดออกมาภายนอกพร้อมกับรับเอาพลังงานไปใช้ในการเคลื่อนที่ หรืออาจเกิดจากการแบ่งแยกนิวเคลียสจากปฏิกิริยาฟิชชัน *(fission)* นิวตรอนอิสระจะไม่เสถียร สลายตัวด้วยค่าครึ่งชีวิต 10.3 นาที ให้อิเล็กตรอน พร้อมกับอนุภาคโปรตอนและแอนตินิวตริโน

เนื่องจากอนุภาคนิวตรอนไม่มีประจุเมื่อเคลื่อนที่เข้าในวัสดุจะทำอันตรกิริยากับนิวเคลียสของอะตอมโดยการชนกับนิวเคลียสและถ่ายเทพลังงานให้นิวเคลียส ซึ่งอันตรกิริยาของนิวตรอนสามารถเกิดได้หลายแบบขึ้นอยู่กับพลังงานของนิวตรอนและชนิดของวัสดุ สำหรับวัสดุที่นิวตรอนถ่ายเทพลังงานให้กับนิวเคลียสได้ดีที่สุดคือวัสดุที่ประกอบด้วยธาตุเบา เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน ซึ่งอยู่ในสารประกอบได้แก่ น้ำ พาราฟิน และกราไฟต์ เป็นต้น

กัมมันตภาพรังสี *(Radioactivity)*

สารกัมมันตรังสีทุกชนิดจะมีการสลายตัวอยู่ตลอดเวลา เรียกอัตราของการสลายตัวของรังสีว่า “กัมมันตภาพ *(activity, A)*” ซึ่งหมายถึง จำนวนการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่อเวลา

หน่วยของกัมมันตภาพรังสีที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ เบ็กเคอเรล *(Becquerel, Bq)* โดยมีหน่วยเป็น ครั้งต่อวินาที หรือ *disintegration per second (dps)* หรือ *1 Bq = 1 dps*

มีหน่วยวัดรังสีเดิมที่ยังคงใช้อยู่คือ คูรี *(Curie, Ci)* โดย *1 Ci* หมายถึง อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี $3.7x10^{10}$ ครั้งต่อวินาที หรือ $1\ Ci = 3.7x10^{10} Bq/sec$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าครึ่งชีวิต *(Half-life)*

สารกัมมันตรังสีเมื่อมีการสลายตัวจำนวนอะตอมก็จะลดลงไปเรื่อย ๆ การลดลงของจำนวนอะตอมนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีชนิดนั้น ๆ ดังนั้นค่าครึ่งชีวิต คือ “ระยะเวลาที่สารกัมมันตรังสีสลายตัวลดจำนวนอะตอมลงจากเริ่มต้นเหลือจำนวนอะตอมเพียงครึ่งหนึ่ง” ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ที่ 1.1

$$N_t = N_o\, e^{-\lambda t} \qquad (1.1)$$

เมื่อ N_0 คือ จำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสีเริ่มแรก

N_t คือ จำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสี ณ เวลา t ใด ๆ

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว *(decay constant)* มีหน่วย ต่อเวลาและ $\lambda = \frac{0.693}{T_{½}}$

$T_{½}$ หมายถึง ค่าครึ่งชีวิต

ตัวอย่างค่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิดรังสีชนิดต่าง ๆ ได้แก่

Cs-137 มีค่าครึ่งชีวิต 30 ปี

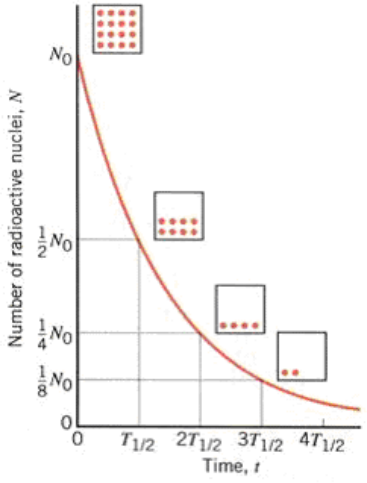
Co-60 มีค่าครึ่งชีวิต 5.2 ปี

Ra-226 มีค่าครึ่งชีวิต 1620 ปี

I-131 มีค่าครึ่งชีวิต 8 วัน

U-235 มีค่าครึ่งชีวิต 4.5×10^9 ปี

จากสมการที่ 1.1 เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการสลายตัวกับจำนวนนิวคลีไอที่เหลืออยู่พบว่า เส้นกราฟจะเป็นการลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential) ดังรูปที่ 1.6



CHULALONGKORN UNIVERSITY

http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_12.htm

รูปที่ 1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการสลายตัวกับจำนวนนิวคลีไอ

เมื่อสารกัมมันตรังสีมีการสลายตัวต่อไปเรื่อย ๆ จำนวนนิวคลีไอที่เหลือก็จะลดลงไปตลอดเวลาจนมีระดับปริมาณรังสีเท่ากับในระดับธรรมชาติ ในทางปฏิบัติถือว่าการสลายตัวประมาณ 10 เท่าของค่าครึ่งชีวิต ปริมาณรังสีจะอยู่ในระดับต่ำมากจึงไม่เกิดอันตราย

การถ่ายเทพลังงานของอนุภาคและรังสี

อนุภาครังสีและรังสีทุกชนิดเมื่อเคลื่อนที่เข้าไปในวัตถุใด ๆ นั้น จะถ่ายเทพลังงานออกมาได้หลายรูปแบบขึ้นกับชนิดของอนุภาคและรังสีนั้น ๆ ได้แก่

1. **การแตกตัวเป็นไอออน (*ionization)*** อนุภาคหรือรังสีจะทำให้ตัวกลางแตกตัวเป็นประจุบวกและลบ หรืออาจเรียกว่า “คู่ไอออน (*ion pair)*” ได้โดยตรงและโดยทางอ้อม ไอออนที่เกิดขึ้นสามารถทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อของสิ่งที่มีชีวิตได้
2. **การกระตุ้นอะตอมและโมเลกุล (*atomic and molecule excitation)*** เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจากอนุภาคหรือรังสี ระดับพลังงานจะสูงกว่าปกติ และคายพลังงานออกมาในรูปการเปล่งแสง
3. **การถ่ายเทพลังงานจลน์ จลน์ (*kinetic energy transfer)*** อนุภาคบางชนิด เช่น นิวตรอน สามารถถ่ายเทพลังงานจลน์ให้กับนิวเคลียสของอะตอม ซึ่งอาจเป็นการชนแบบยืดหยุ่นหรือไม่ยืดหยุ่นก็ได้ ทำให้นิวเคลียสของธาตุเบาเคลื่อนที่ สำหรับรังสีเอกซ์และรังสีแกมมามักจะเข้าชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมและถ่ายเทพลังงานจลน์ให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ต่อไป
4. **กระบวนการให้รังสี (*Radiation process)*** สามารถเกิดได้ 2 กรณี ได้แก่ การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุเข้าไปในวัตถุตัวกลาง เมื่อเข้าใกล้นิวเคลียสจะเบี่ยงเบนทิศทางและคลายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า *“Bremsstrahlung”* หรือ รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง *(continuous x-ray)* ส่วนอีกกรณีหนึ่งเกิดจากการที่นิวตรอนพลังงานต่ำถูกนิวเคลียสของธาตุบางชนิดจับไว้ทำให้พลังงานภายในสูงกว่าปกติ จึงสลายตัวเป็นนิวไคลด์ชนิดใหม่และคลายพลังงานออกมาเป็นรังสีแกมมา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5. **ปฏิกิริยานิวเคลียร์ *(Nuclear reaction)*** การเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็นการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างอนุภาครังสีกับนิวเคลียสของอะตอม ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ เช่น นิวตรอนเข้าชนกันนิวเคลียสสามารถเกิดการแตกตัว *(Fission)* ได้นิวไคลด์ใหม่ 2 ตัวและอนุภาคนิวตรอน 2-3 ตัว พร้อมทั้งให้พลังงานความร้อนออกมามากมาย นอกจากนั้นอนุภาครังสีชนิดอื่นก็สามารถชนกับนิวเคลียสและทำให้เกิดเป็นนิวไคลด์ชนิดใหม่ได้ เช่น อนุภาคแอลฟา อนุภาคโปรตอน เป็นต้น โดยปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงไว้ในสมการดังนี้

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{236}_{92}U)^{*} + {}^{137}_{55}Cs + {}^{93}_{37}Rb + 3(^{1}_{0}n)$$

$$^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{12}_{6}C$$

อันตรกิริยาของอนุภาคและรังสีต่อสสาร

1. **อันตรกิริยาของอนุภาคแอลฟา**

อนุภาคแอลฟาคือนิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคโปรตอน 2 ตัว และอนุภาคนิวตรอน 2 ตัว เป็นอนุภาครังสีที่มีประจุ +2 และขนาดใหญ่ที่สุดดังนั้นเมื่อเคลื่อนที่เข้าไปในวัตถุ จะสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่จากการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน โดยการทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรของวัตถุหลุดออกไป ซึ่งเป็นการก่อให้เกิดการแตกตัวโดยตรงหรือเกิดการแตกตัวปฐมภูมิ *(primary ionization)* อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นสามารถทำอันตรกิริยากับอะตอมอื่น ๆ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ต่อไปอีก เรียกว่า การแตกตัวทุติยภูมิ *(secondary ionization)* พลังงานจะถูกถ่ายเทตลอดระยะทางที่เคลื่อนที่จนหมด ระยะทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคแอลฟาจากจุดเริ่มต้นจนพลังงานจลน์หมดสิ้นเรียกว่า “พิสัย *(Range)*” เนื่องจากว่าอนุภาคแอลฟามีประจุและมวลมากทำให้ระยะทางหรือพิสัยในตัวกลางสั้นมาก เช่น พิสัยในอากาศประมาณ 10 ซม. เท่านั้น

2. **อันตรกิริยาของอนุภาคบีตา**

อนุภาคบีตามีมวลและประจุน้อยกว่าอนุภาคแอลฟา ดังนั้นเมื่อมีพลังงานจลน์เท่ากันจึงเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า ความสามารถทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนจึงน้อยกว่าแต่มีพิสัยมาก ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าอนุภาคบีตามีคุณสมบัติเหมือนกับอนุภาคอิเล็กตรอน เมื่อเคลื่อนที่เข้าไปใกล้กับนิวเคลียสของอะตอม โดยเฉพาะอะตอมของธาตุหนักมันจะเบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ และคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง *(continuous x-ray)* หรือ *Bremsstrahlung* นั้นเอง (รูปที่ 1.7)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

***3.* อันตรกิริยาของอนุภาคนิวตรอน**

เนื่องจากอนุภาคนิวตรอนไม่มีประจุจึงไม่สามารถทำให้ตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้โดยตรง เมื่อนิวตรอนวิ่งเข้าไปในอะตอม มันจะเข้าชนกับนิวเคลียสและสามารถเกิดอันตรกิริยาได้หลายแบบขึ้นอยู่กับพลังงานของนิวตรอนและชนิดของวัสดุ ได้แก่

การชนแบบยืดหยุ่น *(Elastic collision)* เกิดจากนิวตรอนพลังงานสูง ๆ วิ่งเข้าชนกับนิวเคลียสของสสารที่มีเลขอะตอมต่ำ การชนแบบนี้ โมเมนตัมและพลังงานไม่สูญหาย แต่นิวตรอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับนิวเคลียส ทำให้นิวตรอนมีพลังงานลดลงและเคลื่อนที่ในตัวกลางต่อไป

การชนแบบไม่ยืดหยุ่น *(Inelastic collision)* เกิดจากนิวตรอนพลังงานสูงกว่า 5 *MeV* วิ่งเข้าชนกับนิวเคลียสของธาตุหนัก ๆ เช่น ยูเรเนียม (U) เหล็ก (Fe) เป็นต้น โดยนิวตรอนจะถูกจับและถ่ายเทพลังงานให้กับนิวเคลียส ทำให้มีนิวตรอนตัวใหม่หลุดออกมาจากนิวเคลียส และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปรังสีแกมมา

การจับนิวตรอนแล้วให้รังสีแกมมา (*Radiative Capture)* นิวตรอนพลังงานต่ำวิ่งเข้าชนนิวเคลียสของธาตุบางชนิด เช่น ^{1}H, ^{59}Co, ^{54}Cr และ ^{51}V เป็นต้น โดยนิวตรอนจะถูกนิวเคลียสจับไว้

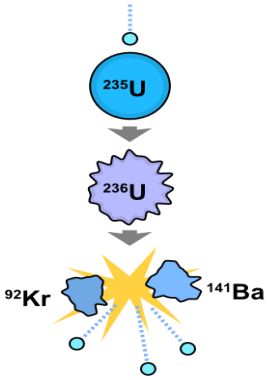
$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{2}_{1}H + \gamma$$
$$^{59}_{27}Co + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{60}_{27}Co + \gamma$$
$$^{50}_{24}Cr + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{51}_{24}Cr + \gamma$$
$$^{51}_{23}V + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{52}_{23}V + \gamma$$

กลายเป็นนิวไคลด์ของธาตุเดิมแต่มีเลขเชิงมวลเพิ่มขึ้น และมีระดับพลังงานสูงขึ้น จึงปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีแกมมา ได้แก่

ปฏิกิริยาให้อนุภาคมีประจุ (*Charged particle reaction*) เมื่อนิวตรอนพลังงานต่ำวิ่งเข้าชนนิวเคลียสของธาตุบางชนิด แล้วเกิดเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบ (*Compound Nucleus)* จากนั้นก็ปลดปล่อยอนุภาคที่มีประจุออกมา เช่น อนุภาคแอลฟา อนุภาคโปรตอน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทั้งดูดกลืนและปลดปล่อยพลังงาน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปฏิกิริยาฟิชชัน (*Fission reaction)* เมื่อนิวตรอนพลังงานต่ำวิ่งเข้าชนนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่น ^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu แล้วเกิดเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบ จากนั้นก็จะแบ่งตัวออกเป็นสองส่วนเป็นนิวเคลียสใหม่ พร้อมทั้งให้พลังงานออกมามากมายและนิวตรอนพลังงานสูง 2-3 ตัว ดังรูปที่ 1.7



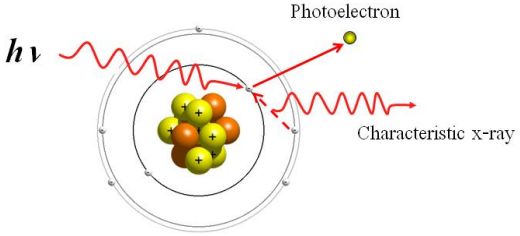
https://easyphys.com.au/

รูปที่ 1.9 การเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน

***4.* อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา**

รังเอกซ์และรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงที่สามารถทะลุผ่านวัตถุหนาได้ อันตรกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดกับอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม ดังนั้นการกำบังรังสีชนิดนี้จึงเลือกใช้วัสดุที่มีเลขอะตอมสูง เพราะธาตุที่มีสถานะเป็นกลางจะมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับจำนวนโปรตอน จำนวนอิเล็กตรอนในอะตอมยิ่งมากก็จะยิ่งเพิ่มโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาสูงยิ่งขึ้น ได้แก่ ตะกั่ว เหล็ก นอกนั้นอาจเลือกใช้คอนกรีต สามารถจำแนกการเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาได้ 3 แบบ ดังนี้

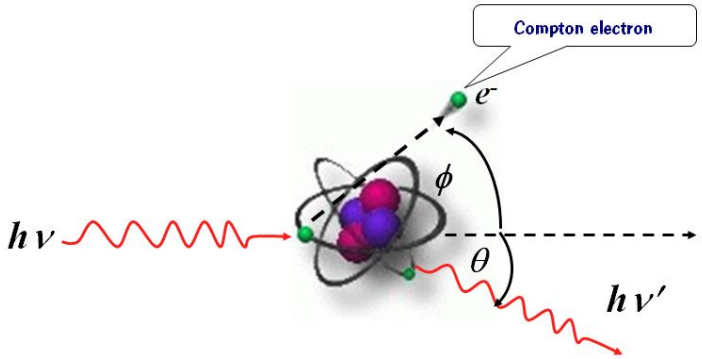
โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคท์ *(Photoelectric effect)* เกิดจากรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาเข้าชนอิเล็กตรอนในวงโคจรและถ่ายเทพลังงานจลน์ให้กับอิเล็กตรอนจนหมด อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจลน์แล้วจะหลุดออกจากวงโคจร และเคลื่อนที่ไปในตัวกลางพร้อมกับอาจถ่ายเทพลังงานออกมาในรูปความร้อนหรืออื่น ๆ อิเล็กตรอนในวงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่า จะลงมาแทนที่อิเล็กตรอนตัวที่หลุดออกไปและคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์เรียกว่า “รังสีเอกซ์เฉพาะ *(characteristic x-ray)*” ดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 การชนแบบโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคท์ *(Photoelectric effect)*

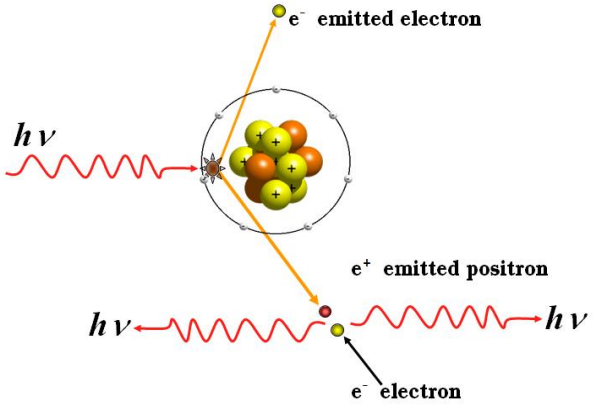
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การกระเจิงแบบคอมป์ตัน *(Compton scattering)* เกิดจากรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาวิ่งเข้าชนอิเล็กตรอนในวงโคจรและถ่ายเทพลังงานจลน์บางส่วนให้ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรและรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาลดพลังงานลง และเคลื่อนที่ต่อไปในทิศทางที่เบี่ยงเบนออกจากทิศทางเดิม การลดลงของพลังงานจลน์จะขึ้นอยู่กับขนาดของพลังงานจลน์ที่เข้าชนและทิศทางของมุมที่กระเจิงออกไปรวมทั้งพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจร ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (*Compton scattering)*

การเกิดแพร์โปรดักชัน *(Pair production)* เมื่อรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาพลังงานสูง ๆ เข้าไปในอะตอมและทำอันตรกิริยากับสนามนิวเคลียส *(Coulombic field)* พลังงานจลน์จะถูกกลืนจนหมดแล้วเปลี่ยนไปเป็นอิเล็กตรอนและโพสิตรอนหนึ่งคู่เคลื่อนที่ออกไปในทิศทางตรงกันข้าม ทั้งสองอนุภาคมีพลังงาน *rest mass energy* เท่ากับ 0.511 *MeV* โดยอนุภาคโพสิตรอนซึ่งก็คืออิเล็กตรอนประจุบวกจะรวมกับอิเล็กตรอนจากวงโคจรของอะตอมทำให้เกิดการมวลและเปลี่ยนเป็นรังสีแกมมาสองพลังงานเคลื่อนที่ออกไปในทิศทางตรงกันข้ามด้วยพลังงาน 0.511 *MeV* เรียกกระบวนการเกิดนี้ว่า *"Annihilation process"* ดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 การชนแบบแพร์โปรดักชัน (Pair production)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

หัววัดรังสี และการตรวจวัดรังสี

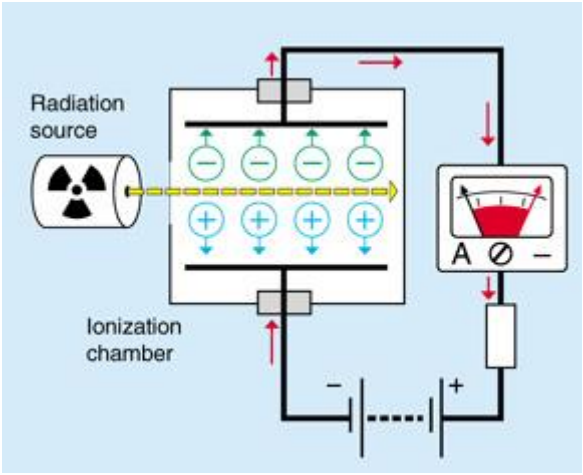
หัววัดรังสี

เนื่องจากอนุภาคและรังสีไม่มีทั้งกลิ่น เสียง สี รส และสัมผัสก็ไม่ได้ ดังนั้นเมื่อมีรังสีแผ่มาโดนเราจึงไม่สามารถรับทราบได้ ขณะทำงานที่ผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีจำเป็นต้องทราบถึงบริเวณดังกล่าวมีปริมาณรังสีมากหรือน้อยเท่าใดเพื่อจะได้ปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย อาศัยคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของรังสีกับตัวกลางที่เคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้นจึงสามารถสร้างเครื่องมือวัดรังสีโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ให้เป็นประจุไฟฟ้า โดยรังสีจะไปทำให้ก๊าซหรือผลึกหรือสารกึ่งตัวนำในหัววัดรังสีเกิดเป็นประจุไฟฟ้าขึ้นและทำให้เกิดมีสัญญาณขึ้นในระบบวัดรังสี หัววัดรังสีมีหลายชนิดขึ้นอยู่ชนิดของรังสีที่ต้องการวัด ได้แก่

1. หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์(Ionization chamber)

ไอออนไนเซชันแชมเบอร์ได้ถูกออกแบบมาเพื่อวัดอัตราปริมาณรังสี (Exposure rate) ในหน่วยมิลลิเรินต์เกนต่อชั่วโมง (mR/hr) หรือเรินต์เกนต่อชั่วโมง (R/hr) หัววัดจะเป็นรูปทรงกระบอกและมีการเติมอากาศ (Air) ไว้ภายในเมื่อรังสีเกิดอันตรกิริยากับอากาศที่อยู่ภายในหัววัดจะเกิดคู่ของไอออนขึ้นและคู่ของไอออนนี้จะถูกเก็บสะสมและเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้นในขณะที่สนามไฟฟ้าไม่เข้มพอคู่ของไอออนที่เกิดจะกลับไปรวมตัวกันแต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้นจนทำให้คู่ของไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าตรงกันข้ามเรียกว่าเกิดการไอออไนซ์ (Ion saturation) กระแสที่วัดได้จะมีค่าสูงสุดถึงแม้จะเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้นจะไม่ทำให้กระแสที่วัดได้เพิ่มขึ้นการวัดสัญญาณจากหัววัดไอออนไนเซชันทำได้โดยการวัดกระแสตรงหรือโดยการแปลงประจุให้เป็นพัลส์ไอออนไนเซชันแชมเบอร์เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการวัดปริมาณรังสี (Radiation dosimetry) เพราะหัววัดชนิดนี้มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หัววัดต่ำและเพียงพอที่จะทำให้หัววัดจับ/นับวัดจำนวนคู่ของไอออนที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดโดยไม่มีการคูณขยาย (Multiplication) จำนวนคู่ของไอออนเพิ่มขึ้นจากเดิมดังนั้นขนาดของกระแสที่เกิดขึ้นที่หัววัดจึงสามารถเทียบเป็นหน่วยเรินต์เกน (Roentgen) หรือหน่วยซีเวิร์ต (Sievert) ได้โดยตรงดังรูปที่ 2.1

CHULALONGKORN UNIVERSITY



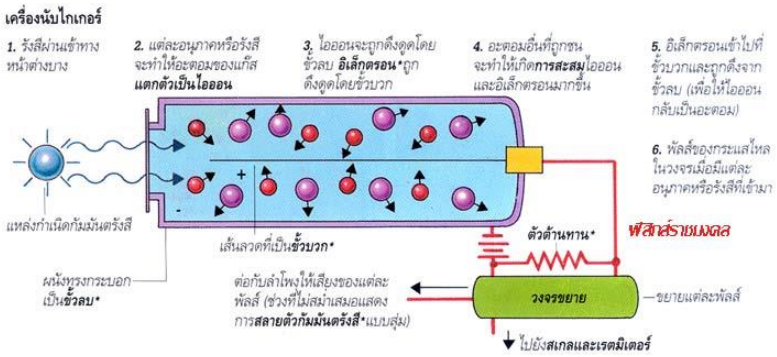
https://www.euronuclear.org/

รูปที่ 2.1 หัววัดรังสีแบบ Ionization Chamber

2. ไกเกอร์มูลเลอร์เคาท์เตอร์ (Geiger-Muller counter, GM counter)

ไกเกอร์มูลเลอร์เคาท์เตอร์หรือไกเกอร์เคาท์เตอร์เป็นเครื่องสำรวจรังสีแบบเคลื่อนที่ที่นิยมใช้กันมาก ภายในหัววัดรูปทรงกระบอกจะบรรจุแก๊สซึ่งประกอบด้วยฮีเลียม 98% และบิวเทน 1.3% และหัววัดจะสามารถถอดแยกออกจากตัวเครื่องได้เพื่อสะดวกในการใช้งานหลักการทำงานคล้ายกับไอออนไนเซชันแชมเบอร์ แต่ขนาดของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าสูงกว่ามาก ค่าความต่างศักย์ที่สูงมากนี้จะทำให้คู่ของไอออนโดยเฉพาะอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากขึ้นจนถึงจุดที่ว่าเมื่อรังสีตกกระทบจะทำให้แก๊สทุกโมเลกุลที่อยู่ในหัววัดแตกตัวเป็นคู่ของไอออนทั้งหมด เนื่องจากเกิดการชนกันแบบต่อเนื่องจนทำให้สัญญาณพัลส์ที่ได้มีค่าเกือบคงที่หรือเท่ากันหัววัดชนิดนี้จะวัดออกมาในรูปพัลส์หรือค่านับวัด (Count) เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ออกมาจะมีขนาดเท่ากันโดยไม่คำนึงถึงคู่ของไอออนที่เกิดเริ่มต้นว่าเป็นเท่าใดดังนั้นเครื่องมือนี้จึงไม่สามารถแยกชนิดของรังสีหรือระดับพลังงานต่าง ๆ ได้จึงมักใช้บ่งบอกว่ามีสารรังสีอยู่เท่านั้นนอกจากนี้ GM counter ยังสามารถวัดวัดอัตราปริมาณรังสีของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาในหน่วย mR/hr หรือ R/hr เมื่อได้ทำการปรับเทียบเครื่องมือให้เหมาะสมกับช่วงพลังงานที่ต้องการวัดหัววัดรังสีแบบ GM counter นี้ปริมาณรังสีที่วัดได้ในหน่วยเรินต์เกนหรือซีเวิร์ตนั้นเป็นผลมาจากการปรับเทียบเครื่องวัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสีที่ทราบปริมาณรังสีอยู่แล้ว (Standard source) เพราะว่าไม่สามารถวัดคู่ของไอออนที่เกิดขึ้นได้โดยตรงเนื่องจากมีการคูณขยาย (Multiplication) จำนวนคู่ของไอออนเพิ่มขึ้นจากเดิมดังนั้นการปรับเทียบผลการวัดจะสอดคล้องกันมากที่สุดเมื่อทำการวัดตัวอย่างที่มีพลังงานใกล้เคียงกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการปรับเทียบดังรูปที่ 2.2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

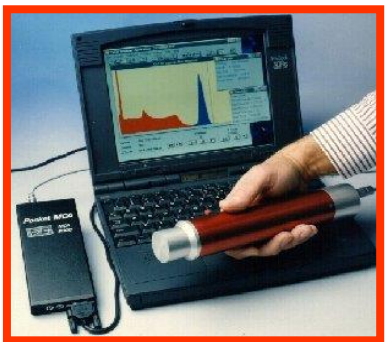


http://www.rmutphysics.com/

รูปที่ 2.2 หัววัดรังสีแบบ GM counter

3. หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี (Scintillation detector)

หัววัดรังสีชนิดนี้เมื่อมีรังสีผ่านเข้ามาในเนื้อสารจะถ่ายเทพลังงานให้ต่อไปยังสารไวแสง (Scintillator) ทำให้สารไวแสงเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สถานะกระตุ้นและจะเกิดการเปล่งแสงออกมาเพื่อกลับเข้าสู่สถานะพื้น (Ground state) เรียกขบวนการนี้ว่า การเรืองรังสี (Scintillation) จำนวนของ Scintillation ที่เกิดเป็นสัดส่วนตรงกับพลังงานที่ได้รับจากรังสี หัววัดรังสีชนิดนี้มี 2 แบบ คือ แบบที่เป็นผลึกอินทรีย์เหมาะสำหรับวัดรังสีบีตาและนิวตรอนเร็ว และแบบที่ผลึกเป็นอนินทรีย์เหมาะสำหรับวัดรังสีแกมมาเนื่องจากแสงที่เกิดขึ้นมีน้อยจึงจำเป็นต้องอาศัย**หลอดขยายสัญญาณ (Photomultiplier tube, PMT)** เพื่อขยายสัญญาณแสงที่เกิดจากตัวอย่างให้มากยิ่งขึ้นเมื่อแสงตกกระทบ Photoelectron (ซึ่งอยู่ภายใน PMT) จะเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนและวิ่งไปชน Photoelectron ตัวถัดไปเมื่อเกิดเหตุการณ์นี้หลาย ๆ ครั้งจะเป็นการเพิ่มสัญญาณพัลส์ให้มากขึ้นความสูงของพัลส์ (หรือ Amplitude) เป็นสัดส่วนกับจำนวนของโฟตอน (Photon) ที่เกิดอันตรกิริยากับ **PMT** ดังนั้นความสูงของพัลส์ที่แสดงผลสุดท้ายจาก PMT เป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีที่เข้ามาในหัววัดรังสี ดังรูปที่ 2.3



http://www.ndtnet.com/m/amptek/gammax.html

รูปที่ 2.3 หัววัดรังสีแบบ Scintillation detector

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector)

หัววัดรังสีชนิดนี้มีอยู่ 2 แบบ คือ หัววัดรังสีชนิดซิลิกอนกึ่งตัวนำ (Silicon semiconductor detector) ใช้สำหรับวัดสเปกตรัมพลังงานของอนุภาคที่มีประจุ และหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมกึ่งตัวนำ (Germanium semiconductor detector) เหมาะสำหรับใช้วัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพ เพราะมีความสามารถในการแยกแยะพลังงานได้ดี (High resolution) ดังรูปที่ 2.4

https://www.radsaunders.com.au/

รูปที่ 2.4 หัววัดรังสีแบบ HPGe detector

5. หัววัดรังสีนิวตรอน (Neutron detector)

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ จึงไม่สามารถทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้โดยตรง ดังนั้นการวัดรังสีนิวตรอนจึงต้องทำให้นิวตรอนทำอันตรกิริยานิวเคลียร์เพื่อให้เกิดไอออนทุติยภูมิขึ้นก่อน ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซภายในวัดหัวรังสี สารที่ใช้มักเป็นสารที่มีค่าภาคตัดขวางหรือโอกาสในการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนได้ดี เช่น โบรอน-10 ลิเทียม-6 ฮีเลียม-3 เป็นต้น ซึ่งชนิดของหัววัดรังสีนิวตรอนได้แก่

- หัววัดรังสีแบบ Boron trifluoride proportional counter เป็นหัววัดรังสีนิวตรอนแบบ proportional counter ภายในบรรจุก๊าซ BF_3 เมื่อมีนิวตรอนเข้ามาภายในหัววัดก็จะทำอันตรกิริยากับ B-10 ดังสมการ

$$^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}\alpha$$

อนุภาคแอลฟาที่เกิดขึ้นจะทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนทุติยภูมิจะทำให้เกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องวัดรังสีนิวตรอน พลังงานของนิวตรอนที่สามารถวัดได้เป็นนิวตรอนพลังงานต่ำ ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อหุ้มหัววัดด้วยสารโพลีเอทธีลีนจะทำให้นิวตรอนลดพลังงานลงจากพลังงานสูงเป็นพลังงานต่ำได้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- หัววัดรังสีแบบ Helium proportional counter เป็นหัววัดรังสีนิวตรอนที่มีหลักการเกิดอันตรกิริยาเหมือนกับชนิดแรก แต่มีก๊าซฮีเลียม-3 บรรจุอยู่ภายในหัววัด เมื่อมีนิวตรอนเข้ามาในหัววัดก็จะทำอันตรกิริยากับฮีเลียม-3 ดังสมการ

$$^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}p$$

จากปฏิกิริยาอนุภาคโปรตอนที่เกิดขึ้นจะทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนทุติยภูมิ ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณทางไฟฟ้าสามารถตรวจวัดได้

- หัววัดรังสีแบบ Gas recoil proportional counter เป็นหัววัดรังสีนิวตรอนแบบ proportional counter ภายในบรรจุก๊าซไฮโดรเจน เมื่อมีนิวตรอนเข้ามาในหัววัดก็จะทำอันตรกิริยากับอะตอมของไฮโดรเจนและทำให้เกิดอนุภาคโปรตอน ซึ่งจะทำให้ก๊าซภายในหัววัดแตกตัวเป็นไอออนทุติยภูมิ

การเลือกใช้หัววัดรังสีที่เหมาะสม

ในการวัดรังสีนั้น การเลือกใช้หัววัดรังสีมีความจำเป็นอย่างมากเพราะหัววัดรังสีแต่ละชนิดจะเหมาะกับการวัดรังสีชนิดที่ออกแบบไว้เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเลือกหัววัดรังสีให้เหมาะกับงานที่ต้องปฏิบัติ

- **การพิจารณาในเรื่องการตรวจวัดรังสี** ได้แก่

1. ชนิดของการตรวจวัด (Type of survey)

การเลือกชนิดของหัววัดรังสีนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของการตรวจวัด เช่น ถ้าต้องการตรวจวัดระดับความแรงรังสีต้องใช้หัววัดรังสีที่มีหน่วยในการตรวจวัดเป็นไมโครซีเวิร์ต่อชั่วโมง (μSv/h) แต่ถ้าต้องการตรวจวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสีบนพื้นผิวต้องใช้หัววัดรังสีชนิดวัดการเปรอะเปื้อนโดยเฉพาะมีหน่วยในการวัดเป็น count per second (cps), count per minute (cpm) หรือ Becquerel per m^2 (Bq/m^2) กรณีตรวจวัดความเปรอะเปื้อนในอากาศจะใช้เครื่องมือที่สามารถดูดอากาศให้ผ่านเข้ามาในหัววัดรังสี จะมีหน่วยเป็น Bq/m^3

2. ชนิดของรังสี(Type of radiation)

หัววัดรังสีแต่ละชนิดได้ถูกออกแบบไว้เพื่อให้อนุภาคหรือรังสีผ่านเข้าไปในหัววัดรังสีเข้าทำอันตรกิริยาภายใน การผ่านเข้าไปในหัววัดรังสีจะต้องทะลุผ่านหน้าต่าง (window) ของหัววัด ความหนาของหน้าต่างจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของรังสี เช่น อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ หรือ อนุภาคนิวตรอนหัววัดรังสีสำหรับวัดอนุภาคบีตาจะต้องมีหน้าต่างบางจึงจะทะลุผ่านเข้าไป

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ได้ ส่วนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาซึ่งมีอำนาจทะลุทะลวงสูงสามารถใช้หัววัดรังสีที่มีหน้าต่างหนาได้ ส่วนอนุภาคนิวตรอนจะต้องใช้หัววัดสำหรับนิวตรอนโดยเฉพาะ

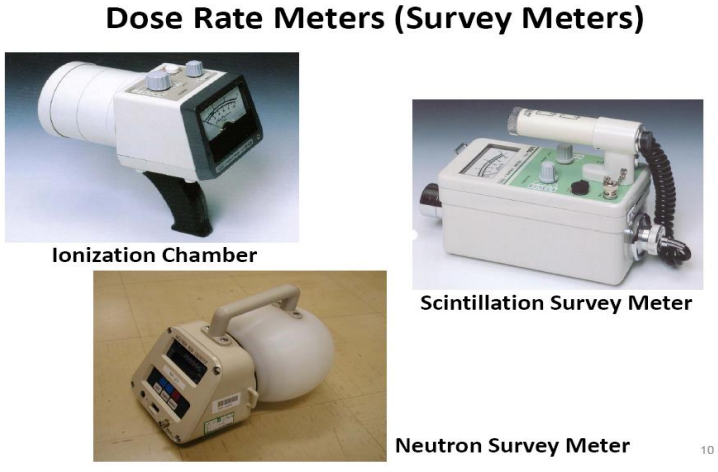
หัววัดการเปรอะเปื้อนทางรังสีมีหลายชนิด เช่น หัววัดรังสีแบบ ZnS ใช้สำหรับวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสีของอนุภาคแอลฟา แต่หัววัดรังสีชนิดนี้ไม่สามารถวัดรังสีแกมมาได้เพราะบางมากรังสีแกมมาส่วนใหญ่ทะลุผ่านไปหมด หัววัดรังสีแบบ Proportional counter สามารถวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสีสำหรับอนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตาและรังสีแกมมาโดยแยกพลังงานได้ แต่สำหรับหัววัดรังสีแบบ GM counter นั้นใช้วัดรังสีบีตาและรังสีแกมมาได้โดยไม่สามารถแยกแยะพลังงานได้

3. พลังงานของรังสี (Energy of radiation)

พิจารณาว่าพลังงานของรังสีอยู่ในช่วงต่ำ หรือสูง เช่น keVหรือ MeV เป็นต้นหัววัดรังสีแกมมาโดยมากจะปรับเทียบกับต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 (Cs-137) ให้รังสีแกมมาพลังงาน 0.662 MeV ถ้านำไปใช้วัดปริมาณรังสีที่พลังงานอื่น อาจได้ผลการวัดปริมาณรังสีที่ผิดพลาดไปจากความจริงบ้าง แต่ยังสามารถวัดได้ในช่วงพลังงาน 0.1 ถึง 3 MeV

4. ความไวในการตอบสนองต่อรังสีของหัววัดรังสี (Sensitivity of radiation)

การเลือกหัววัดรังสีที่มีการตอบสนองต่อรังสี เช่น หัววัดรังสีแบบ Ionization chamber จะวัดรังสีบีตา รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาได้ดีในช่วงกว้าง แต่จะวัดระดับปริมาณรังสีต่ำ ๆ ได้ไม่ดีนัก โดยหน่วยวัดจะอยู่ในช่วงอัตราปริมาณรังสีเป็น μSv/h, mSv/h หรือ Sv/h ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่องสำรวจทางรังสีชนิดต่าง ๆ

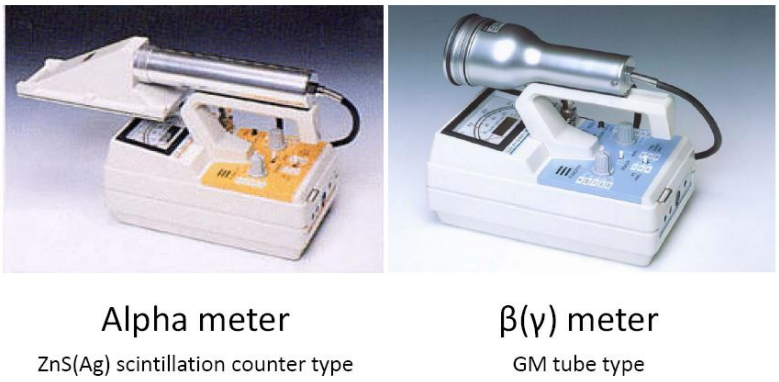
CHULA NOKORN UNIVERSITY

การตรวจวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสี

เมื่อมีการใช้สารรังสีชนิดไม่ปิดผนึก จะทำให้มีโอกาสเปรอะเปื้อนตามพื้นผิวของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โต๊ะ พื้นห้อง หรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวกอื่น ๆ การตรวจวัดรังสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้หัววัดรังสีตรวจวัดที่พื้นผิวโดยตรง (Direct method) และการใช้กระดาษซับเช็ดบริเวณพื้นผิว (Indirect or smear method)

1. **การใช้หัววัดรังสีตรวจวัดที่พื้นผิวโดยตรง (Direct method)**

ทำได้โดยการเคลื่อนหัววัดรังสีอย่างช้า ๆ ไปบนผิวของวัสดุ โดยการเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวที่กำหนดเป็นตารางสี่เหลี่ยมจนทั่วพื้นผิว แต่ต้องมิให้หัววัดรังสีเปรอะเปื้อนสารรังสี หัววัดรังสีที่นิยมใช้เป็นแบบ GM ชนิดหน้าต่างบาง หรือเรียกว่า Pan cake detector นอกจากนี้อาจใช้หัววัดแบบ Scintillation detector และการตรวจวัดจะต้องให้ระยะห่างจากพื้นผิวไม่เกิน 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.6



https://gradin.jp/

รูปที่ 2.6 เครื่องสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสีบริเวณพื้นผิว

2. การใช้กระดาษซับเช็ดบริเวณพื้นผิว (Indirect or smear method)

ใช้กระดาษซับบริเวณพื้นผิวขนาด 100 ตารางเซนติเมตร (10 x 10 cm^2) แล้วนำมาตรวจวัดด้วยเครื่องวัดรังสีบีตาหรือแกมมา ถ้าวัดได้มากกว่าปริมาณรังสีพื้น (background) ประมาณ 100 cps ถือว่าบริเวณนั้นมีการเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสี จะมีโอกาสก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากมีสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย

การวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล

ในการปฏิบัติงานทางรังสีนั้น ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการตรวจวัดปริมาณรังสีอย่างเหมาะสมและเพียงพอ การใช้เครื่องวัดรังสีประจำบุคคลมีด้วยกัน 2 อย่าง ได้แก่

1. **เครื่องวัดรังสีแบบอ่านได้ทันที (Active Monitoring)** เป็นเครื่องรังสีที่เมื่อเกิดอันตรกิริยากับรังสีแล้วสามารถแสดงผลได้ทันที และอ่านผลเป็นปริมาณรังสีทั่วร่างกายโดยมีระบบอิเล็กทรอนิกส์ ร่วมกับหัววัดรังสีแบบ *G-M counter* หรือ *Semiconductor detector* สำหรับวัดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเครื่องวัดรังสีแบบนี้บางเครื่องสามารถวัดอัตราปริมาณรังสีและปริมาณรังสีสะสมได้ บางทีอาจเรียกว่า เครื่องสำรวจรังสี (Survey meter) ดังรูปที่ 2.7

GM survey meter

Scintillation survey meter

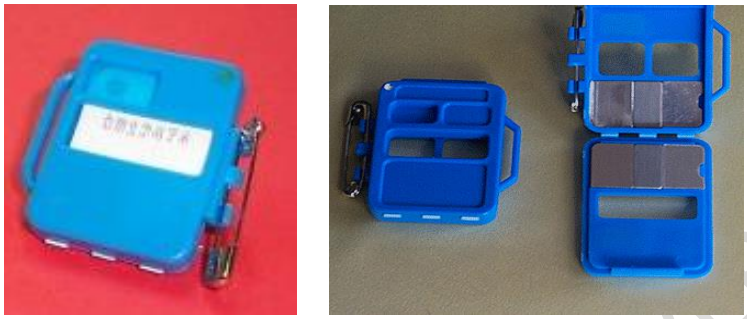
รูปที่ 2.7 เครื่องสำรวจรังสี

2. **เครื่องวัดรังสีแบบบันทึกผลระยะสั้น(Dosimeter)** เป็นเครื่องวัดรังสีที่ใช้พกติดตัวขณะปฏิบัติงานทำให้ทราบปริมาณรังสีที่ได้รับจากเริ่มจนเสร็จสิ้นการปฏิบัติงาน โดยก่อนนำไปใช้ต้องนำเครื่องวัดรังสีมาปรับค่าเริ่มต้น เช่นการให้ประจุ ได้แก่ เครื่องวัดรังสีแบบ Pocket dosimeter ดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 เครื่องวัดรังสีแบบพกพา

3. **เครื่องวัดรังสีชนิดที่บันทึกผลระยะยาว** (Passive Monitoring) เป็นเครื่องวัดรังสีที่ต้องผ่านกระบวนการอ่านค่าปริมาณรังสีภายหลังใช้เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะได้รับข้อมูลปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ เครื่องวัดรังสีชนิดนี้ไม่สามารถบอกระดับรังสีในบริเวณปฏิบัติงานได้ แต่สามารถบันทึกปริมาณรังสีของแต่ละบุคคลได้ เพื่อมีไว้เป็นข้อมูลการได้รับรังสีในการปฏิบัติงานครั้งต่อไปได้แก่

- **ฟิล์มวัดรังสี (Film badges)** ประกอบด้วยแผ่นฟิล์มบรรจุอยู่ภายในกลักฟิล์ม (Holder) ภายในมีแผ่นกรองรังสี (filter) เพื่อแยกชนิดและพลังงานของรังสีที่ผ่านเข้าไปในกลักฟิล์มเมื่อผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้วนำมาเปรียบเทียบความดำกับแผ่นฟิล์มมาตรฐานที่ผ่านการฉายรังสีตามที่กำหนด จะทำให้ทราบปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับดังรูปที่ 2.9



รูปที่ *2.9* ฟิล์มวัดรังสี

ฟิล์มวัดรังสีเป็นเครื่องวัดรังสีที่ใช้วัดปริมาณรังสีบุคคลได้ดี เพราะสามารถทราบชนิดและพลังงานของรังสีได้และใช้เก็บเป็นข้อมูลประวัติการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงาน แต่มีข้อเสียคือแสงและความร้อนอาจทำให้เกิดความดำบนฟิล์มได้ การล้างฟิล์มต้องทำในห้องมืดที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

- **เครื่องวัดปริมาณรังสีแบบเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ (Thermoluminescent dosimeter, TLDs)** เครื่องวัดรังสีชนิดนี้ใช้สารประกอบเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ ในการดูดกลืนพลังงานรังสีแล้วทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรมีพลังงานสูงขึ้นและถูกดึงขึ้นไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อนอิเล็กตรอนดังกล่าวจะลดระดับพลังงานลงมาด้วยการคายพลังงานออกมาในรูปแสงสว่าง และถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีค่าแปรผันตามปริมาณรังสีที่ดูดกลืน สารประกอบที่ใช้ทำเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดนี้ได้แก่

LiF:Mn	ใช้สำหรับวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล
$Li_2B_4O_7$:Mn	ใช้สำหรับวัดปริมาณรังสีในระดับรังสีสูง
CaF_2:Dy	ใช้สำหรับวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมระดับรังสีต่ำ

เครื่องอ่านสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ประกอบด้วยส่วนที่ให้ความร้อนกับสารประกอบเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ และส่วนแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ารวมทั้งวงจรไฟฟ้าแสดงค่าต่าง ๆ ความร้อนที่ให้จะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณแสงที่ส่งออกมา มีลักษณะเป็น Glow curve เฉพาะของสารประกอบเทอร์โมลูมิเนสเซนต์แต่ละชนิด และยังขึ้นกับอัตราการให้ความร้อนอีกด้วย เมื่ออ่านปริมาณรังสีแล้วความร้อนจะทำให้ข้อมูลหมดไป

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- **เครื่องวัดปริมาณรังสีนิวตรอน** เนื่องจากรังสีนิวตรอนมีอันตรกิริยาต่อร่างกายมนุษย์ที่ค่อนข้างสลับซับซ้อน ค่า Tissue weighting factor (W_T) ของนิวตรอนขึ้นอยู่กับพลังงานของนิวตรอนด้วย ดังนั้นการปรับเทียบปริมาณรังสีจึงต้องเลือกค่าพลังงานของนิวตรอนที่ตรงกับพลังงานที่ได้รับขณะปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งจะทำให้การประเมินปริมาณรังสีได้ถูกต้อง เครื่องวัดนิวตรอนที่ใช้ได้แก่
  1. **เครื่องวัดรังสีแบบเทอร์โมลูมิเนสเซนต์สำหรับนิวตรอน** สามารถวัดนิวตรอนได้ทุกพลังงาน แต่ทั้งนี้ก็ยังต้องการทราบพลังงานของนิวตรอนเพื่อการประเมินที่ถูกต้อง
  2. **ฟิล์มวัดรังสีที่เคลือบพิเศษ** เมื่อฟิล์มเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนแล้วจะทำให้เกิดรอยจากโปรตอน (Recoil protons) และเมื่อผ่านการล้างฟิล์มแล้วจะสังเกตเห็นรอยบนฟิล์ม และจำนวนรอยดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีนิวตรอน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

หน่วยวัดรังสี และการวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล

หน่วยวัดรังสี (Radiation Unit)

เมื่อกล่าวถึงรังสีนั้น ไม่ว่าจะเป็นรังสีที่กำลังแผ่กัมมันตภาพออกไปหรือรังสีที่วัตถุสิ่งของดูดกลืนไว้ หรือแม้กระทั่งถูกดูดกลืนในสิ่งมีชีวิต เช่น มนุษย์ ผลที่ตามมาจะเกิดมากหรือน้อยย่อมขึ้นกับปริมาณของรังสีชนิดนั้น ๆ ดังนั้นจึงมีหน่วยทางรังสีเพื่อให้เข้าใจปริมาณของรังสีซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. หน่วยบอกความแรงรังสี

เนื่องจากสารกัมมันตรังสีจะมีการสลายตัวอยู่ตลอดเวลาด้วยปริมาณรังสีเริ่มต้นค่าหนึ่ง เรียกว่า “ความแรงรังสี” โดยถ้ามีสารกัมมันตรังสีหรือไอโซโทปรังสีชนิดหนึ่ง เราอยากทราบว่าสารกัมมันตรังสีชนิดนั้นมีความแรงรังสีมากหรือน้อย สามารถทราบได้จากการวัดอัตราปริมาณรังสีที่แผ่ออกมา ในทางปฏิบัติจะเปรียบเทียบจากการแผ่รังสีของไอโซโทป เรเดียม-226 (Ra-226) หนัก 1 กรัม สลายตัวให้รังสี 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที (distribution per second, dps) ซึ่งการสลายตัวดังกล่าวกำหนดให้มีความแรงรังสีเท่ากับ 1 คูรี (Curie, Ci)

ความแรงรังสีในหน่วยเป็นคูรีถือว่ามีความแรงที่ค่อนข้างสูงมาก หน่วยย่อยของคูรี จะเป็นปริมาณที่ลดลงมาได้แก่ มิลลิคูรี (mCi), ไมโครคูรี (μCi) โดย

$$1\ Ci = 10^{3}\ mCi = 10^{6}\ \mu Ci$$

ต่อมามีการใช้หน่วยวัดความแรงรังสีที่มักใช้กับความแรงรังสีที่ไม่สูงมากนักดังเช่นความแรงรังสีในสิ่งแวดล้อม จึงกำหนดว่า ความแรงรังสีจากการสลายตัว 1 ครั้ง เท่ากับ 1 เบคเคอเรล (Becquerel, Bq) ดังนั้น ความแรงรังสี 1 คูรี เท่ากับ 3.7×10^{10} เบคเคอเรล (Bq)

2. หน่วยบอกปริมาณรังสีที่ถ่ายเทให้กับตัวกลาง

หน่วยทางรังสีประเภทนี้เป็นหน่วยที่ใช้ในการบอกถึงอัตราการดูดกลืนปริมาณรังสีของตัวกลางชนิดนั้น ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1 ปริมาณรังสีเอกซ์โพเซอร์ (Exposure Dose, X)

เป็นหน่วยที่บอกถึงปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ถ่ายเทพลังงานให้กับอากาศ หรืออีกนัยหนึ่งคือ ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยอากาศ กำหนดว่า ปริมาณรังสี 1 เอกซ์โพเซอร์ (X-unit) คือ ปริมาณที่รังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศ 1 กิโลกรัม แตกตัวเป็นประจุ 1 คูลอมป์ ดังนี้

1 X-unit = 1 C/kg air

สำหรับหน่วยของ Exposure Dose มีหน่วยที่นิยมใช้คือ เรินท์เกน (Roentgen, R) โดยกำหนดว่า ปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศมาตรฐานหนัก 0.001239 กรัม แตกตัวให้ประจุ 1 คูลอมป์ โดย

1 X-unit = 3881 R

1 R = 2.58×10^{-4} C/kg

1 R air = 87.7 erg/g air

1 R tissue = 100 erg/g tissue

2.2 ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed Dose, D)

เป็นหน่วยบอกปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยตัวกลางใด ๆ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 หน่วย ได้แก่

เกรย์ (Gray, Gy) โดยกำหนดว่า ปริมาณรังสี 1 Gy หมายถึง ปริมาณพลังงานของรังสีที่ตัวกลางมวล 1 กิโลกรัม ดูดกลืนไว้มีค่าเท่ากับ 1 จูล (Jolue, J)

1 Gy = 1 J/kg

<u>หมายเหตุ</u> หน่วยเกรย์ สามารถใช้ได้ทั้งรังสีแกมมา อนุภาคนิวตรอน และอนุภาคมีประจุอื่น ๆ

แรด (radiation absorbed dose, rad) เป็นหน่วยเก่าที่ใช้มานานโดยกำหนดให้ ปริมาณรังสี 1 แรด หมายถึง ปริมาณรังสีที่ถูกตัวกลางใด ๆ มวล 1 กรัม ดูดกลืน 100 erg

1 rad = 100 erg/g

1 Gy = 100 rad

2.3 ปริมาณรังสีสมมูล (Equivalent Dose, H) รังสีแต่ละชนิดมีผลทางชีววิทยาต่อสิ่งมีชีวิตไม่เท่ากัน ดังนั้นการประเมินผลจึงต้องมีการเปรียบกับรังสีแกมมาซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.1 ค่าแฟกเตอร์ (Radiation weighting factor, W_R) ของชนิดรังสีต่าง ๆ

ชนิดของรังสี	W_R
เอกซเรย์, รังสีแกมมา	1
รังสีบีตา	1
นิวตรอนช้า	5
นิวตรอนเร็ว	20
แอลฟา	20

ค่า W_R เป็นค่าแก้สำหรับผลที่เกิดทางชีววิทยาจากการได้รับรังสีต่างชนิดกัน เพราะรังสีแต่ละชนิดมีอันตรกิริยาต่อตัวกลางที่มันเดินทางผ่านไม่เหมือนกัน ผลที่จึงแตกต่างกัน โดยค่าแฟกเตอร์ W_R หมายถึงอัตราส่วนของความเสียหายทางชีววิทยาที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีชนิดนั้น ๆ 1 เกรย์ ต่อความเสียหายทางชีววิทยาที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา 1 เกรย์

เรม (radiation equivalent man, rem) เป็นหน่วยเก่าที่ประเมินจากหน่วยแรดโดยคูณด้วยแฟกเตอร์ W_R ดังสมการ

$$\text{rem} = \text{rad} \times W_R$$

ซีเวิร์ต (Sievert, Sv) เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีสมมูลที่นิยมใช้ในปัจจุบันโดยกำหนดให้

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

ในกรณีรังสีแกมมา $W_R = 1$, ดังนั้น 1 rem = 1 rad (หรือ 100 rem = 100 rad) กรณีที่เป็นรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาปริมาณรังสีในอากาศจึงเทียบได้เป็น 1 Sv = 1 Gy

ปริมาณรังสีที่มีผลต่อร่างกายจึงต้องมีการปรับค่าด้วยแฟกเตอร์ W_R ของแต่ละชนิดรังสีโดยค่าที่ได้เรียกว่า “ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent)” สามารถคำนวณได้จากผลคูณของค่าปริมาณการดูดกลืนรังสีในหน่วยเกรย์ (Gy) กับค่าแฟกเตอร์ W_R ของรังสีชนิดนั้น ๆ ดังสมการที่ (2.1)

$$H(Sv) = D(Gy) \times W_R \qquad (2.1)$$

2.4 ปริมาณรังสียังผล (Effective dose, E) เมื่อมนุษย์ได้รับรังสีที่อวัยวะใด ๆ ผลทางรังสีที่เกิดกับอวัยวะนั้น ๆ จะแตกต่างกัน เนื่องจากอวัยวะแต่ละชนิดในร่างกายสามารถมีผลตอบสนองไม่เท่ากัน จึงกำหนดค่าแฟกเตอร์ที่ตอบสนองต่อรังสีของอวัยวะ (Tissue Weighting Factor, W_T) แต่ละชนิดเป็นดังตารางที่ 2.2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.2 ค่า Tissue Weighting Factor, W_T

เนื้อเยื่ออวัยวะ	W_T
ไขกระดูก (Bone marrow) เต้านม (breast) ลำไส้ใหญ่ (colon) ปอด (lung) กระเพาะอาหาร (stomach) อวัยวะอื่นๆ	0.12
อวัยวะสืบพันธุ์ (Gonads)	0.08
กระเพาะปัสสาวะ (Bladder) หลอดอาหาร (esophagus) ตับ (liver) ไทรอยด์ (thyroid)	0.04
ผิวกระดูก (Bone surface) สมอง (Brain) ต่อมน้ำลาย (salivary glands) ผิวหนัง (skin)	0.01

การคำนวณปริมาณรังสียังผลสามารถหาได้จากผลคูณของแฟกเตอร์ W_T ของอวัยวะแต่ละชนิด กับผลรวมของปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent, H) ดังสมการที่ (2.2)

$$E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R} = \sum_T W_T H_T \qquad (2.2)$$

เมื่อ H_T เป็นปริมาณรังสีสมมูลในเนื้อเยื่อ T มีหน่วยเป็น Sievert (Sv) สำหรับเจ้าหน้าที่รังสีกำหนดว่าปริมาณรังสีสูงสุดที่สามารถรับได้ คือ 20 mSv/y โดย

$$E = \sum_T W_T H_T \leq 20\ mSv$$

ตารางที่ 2.3 ค่ารวมทั้งหมดของ Tissue Weighting Factor, $\sum W_T$

เนื้อเยื่ออวัยวะ	W_T	$\sum W_T$
ไขกระดูก (Bone marrow) เต้านม (breast) ลำไส้ใหญ่ (colon) ปอด (lung) กระเพาะอาหาร (stomach) อวัยวะอื่นๆ	0.12	0.72
อวัยวะสืบพันธุ์ (Gonads)	0.08	0.08
กระเพาะปัสสาวะ (Bladder) หลอดอาหาร (esophagus) ตับ (liver) ไทรอยด์ (thyroid)	0.04	0.16
ผิวกระดูก (Bone surface) สมอง (Brain) ต่อมน้ำลาย (salivary glands) ผิวหนัง (skin)	0.01	0.04

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างเช่น ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสี ได้รับรังสีในหนึ่งปี ที่ผิวหนัง (skin) 20 mSv, ปอด (lung) 10 mSv และที่ต่อมไทรอยด์ (thyroid) 30 mSv ดังนั้นปริมาณรังสียังผลรวมจึงเป็น

$$E = \sum_T W_T H_T = 0.01 \times 20\ mSv + 0.12 \times 10\ mSv + 0.04 \times 30\ mSv$$
$$E = \sum_T W_T H_T = 2.6\ mSv$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี

บทนำ

มนุษย์ทุกคนได้รับรังสีที่มาจากธรรมชาติในระดับหนึ่งอยู่แล้ว โดยรังสีส่วนใหญ่มาจากรังสีคอสมิกและรังสีจากพื้นดิน นอกจากนั้นยังมีรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นมา ได้แก่ การระเบิดจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ทำให้มีฝุ่นกระจายไปในอากาศ ในการใช้ประโยชน์จากรังสีนั้นจะมีบุคคลที่เกี่ยวข้องโดยตรงคือ ผู้ปฏิบัติงานทางรังสี (occupational) จึงต้องมีการคำนึงถึงหลักการป้องกันอันตรายจากรังสีเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย และทำให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องคือ ประชาชนทั่วไป (public) มีความปลอดภัย

หลักการพื้นฐานในการป้องกันอันตรายจากรังสี

ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีจะสามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัยนั้นต้องยึดหลักตามข้อแนะนำของคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศทางการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection, ICRP) โดยปฏิบัติตามวิธี “รับรังสีให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้อย่างมีเหตุผล” (As Low As Reasonably Achievable, **ALARA**) หรือพูดอีกอย่างคือ ไม่รับรังสีโดยไม่จำเป็น

การป้องกันอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย

ร่างกายคนเราจะได้รับรังสีสองทางด้วยกัน ได้แก่ รับรังสีจากภายนอกโดยการแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดรังสี และรับรังสีจากสารกัมมันตรังสีเข้าสู่รางกาย แต่โดยส่วนใหญ่แล้วเราจะได้รับรังสีจากภายนอกร่างกายมากกว่า ซึ่งมีหลักการพื้นฐานในการป้องก้นอันตรายจากรังสี 3 ข้อหลักดังนี้

1. **ระยะเวลา (Time)** จากข้อกำหนดว่าผู้ปฏิบัติงานทางรังสี จะสามารถรับรังสีได้ไม่เกิน 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี โดยเฉลี่ยจาก 5 ปีติดต่อกัน หรือ 0.08mSv/day ดังนั้นเมื่อทราบถึงอัตราปริมาณรังสีในบริเวณปฏิบัติงานเราจะสามารถคำนวณระยะเวลาในการปฏิบัติงานในบริเวณนั้นได้นานเท่าไรจากสมการที่ 4.1

ปริมาณรังสีที่ได้รับทั้งหมด (Total Dose) = อัตราปริมาณรังสี (Dose rate) x เวลาที่ได้รับรังสี (Time) (4.1)

เช่น ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีเข้าไปปฏิบัติงานในบริเวณรังสีที่มีอัตราปริมาณรังสี 0.150 mSv/hr เขาจะสามารถปฏิบัติงานได้เป็นเวลา 32 นาทีต่อวัน

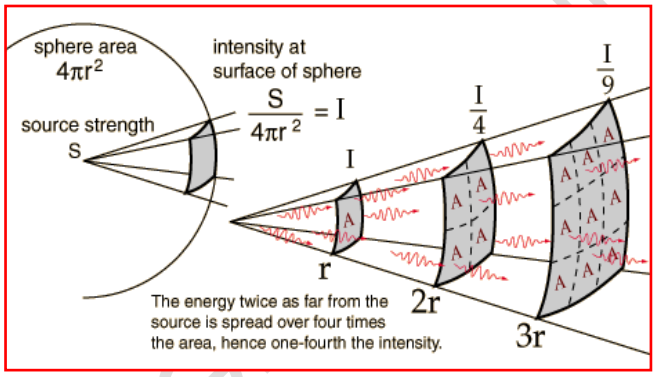
2. **ระยะทาง (Distance)** การปฏิบัติงานให้อยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นอีวิธีหนึ่งที่ทำให้ได้รับรังสีน้อยลง เพราะอนุภาครังสีและรังสีจะลดปริมาณลงเมื่อระยะทางห่างออกไป แต่การลดลงของอนุภาครังสีและรังสีแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน อนุภาคแอลฟามีประจุมากทำให้เกิดการไอออไนซ์กับตัวกลาง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ได้มากจึงเดินทางในอากาศได้ไม่ไกลแค่ประมาณ 10 ซม. ก็จะหยุดหมด ส่วนอนุภาคบีตามีประจุและมวลน้อยเคลื่อนที่ในตัวกลางในลักษณะกระเจิงไปมาทำให้ไปได้ไม่ไกลเช่นกัน แต่ก็ไปได้ไกลกว่าอนุภาคแอลฟาสำหรับรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงการลดลงของปริมาณรังสีจะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง (ในกรณีที่ต้นกำเนิดมีขนาดเล็กมากเทียบได้กับจุดเล็ก ๆ) ดังรูปที่ 4.1 และสมการที่ 4.2

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \qquad (4.2)$$

โดย I_1 และ I_2 คือปริมาณรังสีที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2
d_1 และ d_2 คือระยะทางที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2



http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de/hyperphysics/hyperphysics/hbase/forces/isq.html

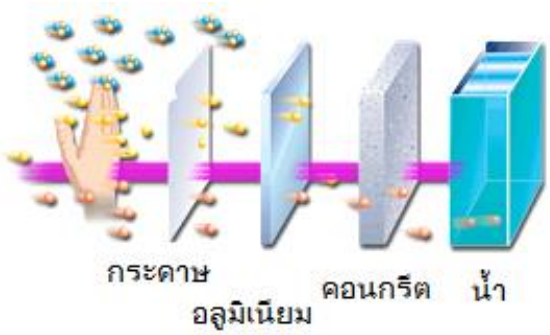
รูปที่ 4.1 การลดลงของปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาแบบกฎกำลังสองผกผัน

ตัวอย่างเช่น ต้นกำเนิดรังสีมีอัตราปริมาณรังสีเท่ากับ 100 mR / hr ที่ระยะห่าง 10 ซม. ถ้าระยะห่างออกไปเป็น 100 ซม. ปริมาณรังสีจะลดลงเหลือ 1 mR / hr เท่านั้น

ปัจจัยของระยะทางนี้ถือว่าเป็นกฎที่จำเป็นมากเพราะในการปฏิบัติงานทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับต้นกำเนิดรังสีแกมมา ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีควรใช้อุปกรณ์ที่ช่วยทำให้มีระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีห่างออกไปมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น ใช้คีมคีบ เพื่อลดปริมาณรังสีให้น้อยลง

3. **การกำบังรังสี (Shielding)** เมื่อจำเป็นต้องปฏิบัติงานอยู่ใกล้กับต้นกำเนิดรังสี ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีสามารถลดการได้รับรังสีลงได้ โดยใช้วัสดุกำบังรังสีซึ่งต้องพิจารณาเลือกอย่างเหมาะสม ได้แก่ ค่ากัมมันตภาพของต้นกำเนิดรังสีพลังงาน และชนิดของรังสี (อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์)

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบการเลือกใช้วัสดุกำบังกับรังสีชนิดต่างๆ

ก. **การกำบังอนุภาคแอลฟา** เนื่องจากอนุภาคแอลฟามีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ เพราะมีมวลและประจุโตทำให้สูญเสียพลังงานในการไอออไนซ์ตัวกลางมาก แม้แต่เคลื่อนที่ในอากาศก็ได้ระยะทางไม่เกิน 10 ซม. และไม่สามารถทะลุผ่านหนังกำพร้าของเราได้เช่นกัน ดังนั้นอนุภาพแอลฟาที่อยู่นอกร่างกายจึงมักไม่เป็นอันตราย แต่ถ้าอนุภาคแอลฟาเข้ามาในร่างกายจะเป็นอันตรายอย่างมากเพราะมีค่า Quality factor เท่ากับ 20 เท่าของรังสีแกมมา

ข. **การกำบังอนุภาคบีตา** เมื่ออนุภาคบีตาพลังงานสูงเคลื่อนที่เข้าไปในตัวกลางจะสามารถถ่ายเทพลังงานและทำให้เกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่องหรือ Bremstrahlung และวัสดุที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่องมักเป็นวัสดุที่มาเลขอะตอมสูง เช่น ตะกั่ว เหล็ก เป็นต้น ดังนั้นในการกำบังอนุภาคบีตาได้ดีจึงควรเลือกใช้วัสดุที่มีเลขอะตอมต่ำ เช่น อลูมิเนียม แก้ว พลาสติก เป็นต้น

ค. **การกำบังรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา**วัสดุที่มีอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมจำนวนมากจะมีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับรังสีทั้งสองชนิดได้มาก เพราะมักเกิดการชนอิเล็กตรอนได้ดี อันตรกิริยาที่สำคัญมีอยู่ 3 อย่างด้วยกันคือ การดูดกลืนแบบโฟโตอิเลกตริก (Photoelectric absorption) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการเกิดคู่อิเล็กตรอน (Pair production) ดังนั้นวัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าวได้แก่ ตะกั่ว เหล็ก แต่สำหรับการสร้างกำบังรังสีที่เป็นผนังโครงสร้างมักนิยมใช้คอนกรีตหนาเพราะสะดวกและราคาถูก

ง. **การกำบังอนุภาคนิวตรอน** ควรเลือกใช้วัสดุที่มีส่วนประกอบของธาตุเบา เช่น น้ำ พาราฟิน กราไฟต์ เพื่อลดพลังงานของนิวตรอนให้ต่ำลง และใช้วัสดุที่มีค่าโอกาสในการดูดกลืนนิวตรอนสูงเพื่อหยุดนิวตรอน เช่น โบรอน แคดเมียม เป็นต้น

การคำนวณกำบังรังสีแกมมา

การลดลงของรังสีแกมมาเมื่อทะลุผ่านกำบังรังสีจะเป็นแบบ Exponential ซึ่งการลดลงนี้จะเป็นไปตามสมการที่ (4.1) ดังนี้

$$I_x = I_o e^{-\mu x} \qquad (4.1)$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หรือ $$\frac{I_o}{I_x} = 2^n \quad (4.2)$$

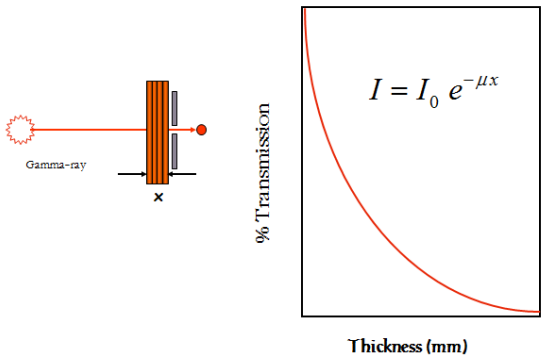
เมื่อ I_o คือ ความเข้มของรังสีแกมมาเมื่อไม่มีวัสดุกำบัง

I_x คือ ความเข้มของรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านวัสดุกำบัง

x คือ ความหนาวัสดุกำบัง

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีแกมมาต่อวัสดุกำบัง

n คือ จำนวนเท่าของค่า HVL



รูปที่ 4.3 การลดลงของรังสีแกมมาเมื่อทะลุผ่านวัสดุกำบัง

ตัวอย่างเช่น ในการปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสีโคบอลท์-60 (Co-60) จะต้องใช้แผ่นคอนกรีตหนาเท่าไหร่ในการลดปริมาณรังสีจาก 200 mR/hr ลงเหลือ 2 mR/hr เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานทางรังสี กำหนดให้ค่า HVL ของคอนกรีตมีค่า 6.8 ซม.

จากสมการที่ 4.2 $\frac{I_o}{I_x} = 2^n$

แทนค่าในสมการ $\frac{200}{2} = 2^n$

ดังนั้นคำนวณค่า n= 6.644 และจะได้คอนกรีตหนา 6.8 x 6.644 = 45.18 ซม.

การคำนวณกำบังรังสีเอกซ์

การป้องกันอันตรายจากรังสีจากการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ทั้งทางด้านการแพทย์และทางด้านอุตสาหกรรมนั้น เจ้าหน้าที่และผู้ที่เกี่ยวข้องจะมีโอกาสได้รับรังสีสูงกว่าบุคคลทั่วไป ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนจัดการระบบการทำงานที่คำนึงถึงความปลอดภัยพื้นฐานซึ่งได้แก่ ใช้เวลาทำงานกับรังสีให้สั้นที่สุด ทำงานในที่ที่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีให้มากที่สุด และใช้เครื่องกำบังรังสี ทั้งสามอย่างนี้ต้องใช้ร่วมกันโดยขาดสิ่งหนึ่งสิ่งใดไม่ได้ สำหรับการใช้เครื่องกำบังรังสีนั้น จะขอนำเสนอวิธีการคำนวณและการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ ทั้งนี้โปรแกรมการคำนวณสามารถใช้งานได้จริง ถูกต้องและสะดวกรวดเร็ว

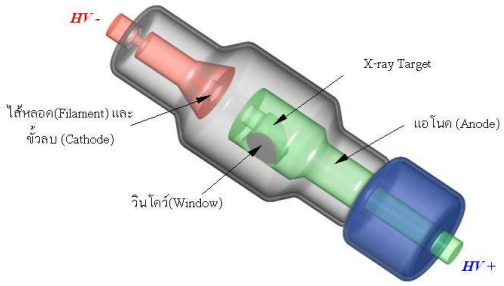
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทฤษฎี

การกำบังรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นั้น จะต้องพิจารณาและทราบกำหนดอัตราปริมาณรังสีที่ยอมให้รับได้ โดยมาตรฐานดังกล่าว ICRP (International Commission on Radiological Protection) เป็นผู้กำหนด ซึ่งข้อกำหนดต่าง ๆ นี้ ผู้ออกแบบกำบังรังสีจะต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งคัด ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานและบุคคลทั่วไปที่อยู่ใกล้บริเวณดังกล่าว

เมื่อพิจารณาถึงการกำบังรังสีจะมีปัจจัยสำคัญอยู่ 2 อย่างด้วยกันคือ กำบังรังสี ณ หลอดรังสีเอกซ์ (Source shielding) และกำบังรังสีด้วยผนังห้องเอกซเรย์ (Structural shielding) ดังนั้นจึงขอแยกกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละส่วน คือ

Source shielding ภายในหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) ซึ่งเป็นหลอดแก้วสุญญากาศประกอบไปด้วยไส้หลอดที่ทำจากทังสเตน (tungsten) ทำหน้าที่เป็นขั้วลบ (cathode) และเป้าโลหะผสมของทังสเตนกับโมลิบดินัม (molybdenum) หรือวัสดุอื่น ๆ ซึ่งเป็นขั้วบวก (anode) โดยทั้งสองขั้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลเข้าไปยังไส้หลอด ๆ ก็จะร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิสูงจนกระทั่งอิเล็กตรอนหลุดออกมาพร้อมกับถูกเร่งให้เคลื่อนที่ไปชนเป้าโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานและคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่า “รังสีเอกซ์ (x-ray)” ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพภายในหลอดรังสีเอกซ์

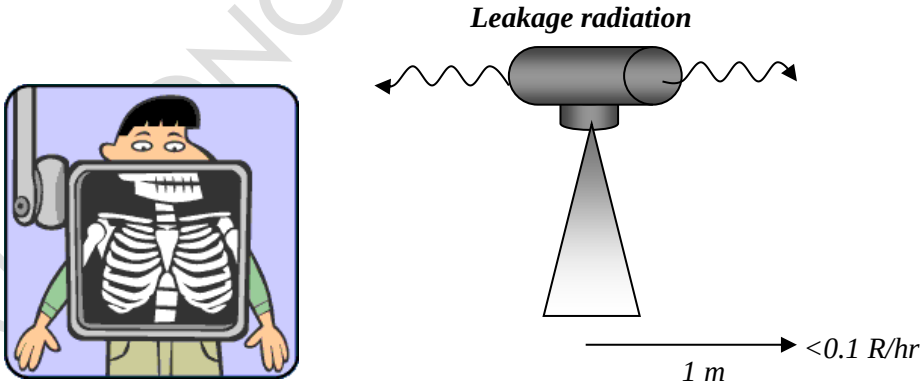
อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาและวิ่งชนเป้าทำให้เกิดรังสีเอกซ์ทุกทิศทุกทางซึ่งมีเพียงเล็กน้อย (น้อยกว่า 1% ของพลังงานจากอิเล็กตรอน) เท่านั้นที่ออกมาทางช่องหน้าต่าง (window) และถูกใช้ประโยชน์ ส่วนที่เหลือ (มากกว่า 99% ของพลังงานจากอิเล็กตรอน) ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ณ เป้าโลหะซึ่งจะต้องระบายความร้อนออกเพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงมากเกินไป โดยอาจใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำหรือน้ำมัน และมีหลอดรังสีเอกซ์บางชนิดที่ใช้แผ่นเป้าโลหะหมุนเพื่อไม่ให้อุณหภูมิของเป้าโลหะสูงมากเกินไป

ดังนั้นจะเห็นว่าบริษัทผู้ผลิตหลอดรังสีเอกซ์ต้องควบคุมให้ลำรังสีเอกซ์พุ่งออกมาทางหน้าต่างหรือเฉพาะส่วนที่ใช้งานเท่านั้น ส่วนรังสีเอกซ์ที่ไม่ใช้งานจะต้องสร้างวัสดุกำบังไม่ให้หลุดลอดออกมาภายนอกเกินมาตรฐานกำหนด โดยหลอดรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นหลอดแก้วจะอยู่ภายในกรอบโลหะที่บุด้านในด้วยแผ่นโลหะตะกั่ว เรียกว่า “เฮาซิ่ง (Hosing)” แผ่นโลหะตะกั่วต้องมีความหนาพอเพียงที่จะกั้นลำรังสีเอกซ์ในส่วนที่ไม่ใช้งานนี้ ซึ่งโดยทั่วไปคิดความหนาสำหรับรังสีเอกซ์พลังงานสูงสุดที่สามารถปรับค่าได้ ในการปรับพลังงานของรังสีเอกซ์

นั้น เป็นการปรับค่าความต่างศักดิ์ภายในหลอดแก้วสุญญากาศโดยสามารถปรับได้ที่ปุ่มตรงหน้าปัดเครื่องควบคุม (control panel) ซึ่งมีเข็มชี้บอกและมีหน่วยเป็น กิโลโวลท์ (kilovolt, kV) ส่วนการปรับปริมาณความเข็มของรังสีเอกซ์ก็สามารถปรับได้ตรงที่หน้าปัดดังกล่าว โดยปรับที่ปุ่มกระแสไฟฟ้า หรือ mA ซึ่งต้องปรับควบคู่กับปุ่มปรับเวลาเป็นนาที หรือวินาที ดังนั้นจึงสัมพันธ์กับการใช้งานของเครื่องเอกซเรย์ที่เรียกว่า “work load” มีหน่วยเป็น mA-min หรือ mA-sec

เนื่องจากเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้งานทางด้านการแพทย์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่การใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่

1. **เครื่องเอกซเรย์แบบรังสีวินิจฉัย (Diagnostic type)** ใช้ถ่ายภาพเพื่อดูอวัยวะภายในร่างกายที่คนทั่วไปเรียกว่า “ถ่ายภาพเอกซเรย์ (Radiography)” พลังงานที่ใช้ไม่สูงมากนักอาจไม่เกิน 200 kVp แต่ใช้กระแส mA ค่อนข้างสูง อาจเป็น 200-250 mA เวลาที่ตั้งไว้สำหรับถ่ายภาพโดยวิธีนี้ก็ไม่เกิน 1 วินาที ภาพที่ได้จะปรากฏบนแผ่นฟิล์ม ส่วนการถ่ายภาพอีกวิธีหนึ่งก็คือ การถ่ายภาพแบบ Fluoroscopy ซึ่งเป็นการถ่ายภาพ real time หรือสามารถมองเห็นอวัยวะภายในผ่านทางจอมอนิเตอร์ขณะที่เครื่องเอกซเรย์กำลังทำงาน วิธีการถ่ายภาพแบบนี้จะใช้พลังงานเท่ากับแบบแรก แต่ปรับกระแสต่ำมากคือ ประมาณ 3-5 mA ส่วนเวลานั้นค่อนข้างนาน เครื่องเอกซเรย์ประเภทนี้กำหนดให้ว่าเมื่อใช้งานที่พลังงานสูงสุด (maximum kV) และกระแสสูงสุด (maximum mA) ยอมให้รังสีเอกซ์รั่วออกมาที่ระยะห่างจากเป้าโลหะ 1 เมตรได้ไม่เกิน ***0.1 R/hr*** *(0.1 เรินเกนต์ ต่อชั่วโมง)*

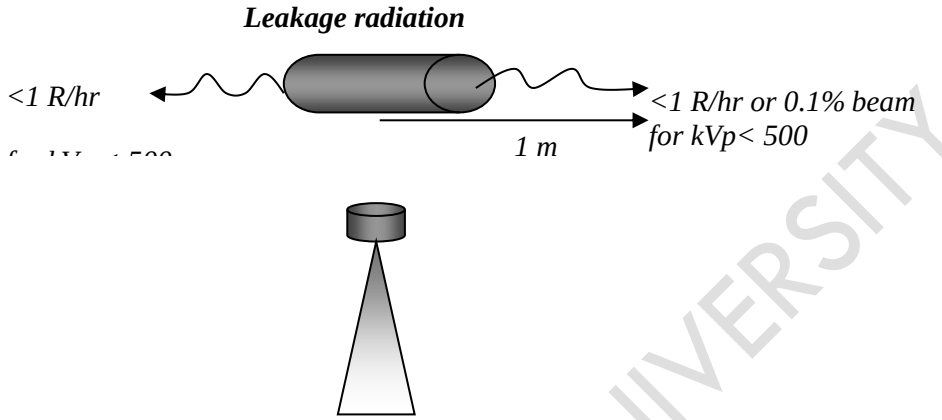


รูปที่ 4.5 แผนภาพกำหนดอัตราการรั่วของรังสีเอกซ์แบบรังสีวินิจฉัย

2. **เครื่องเอกซเรย์แบบรังสีรักษา (Therapeutic type)** ใช้เพื่อรักษาผู้ป่วยโดยจำเป็นต้องปรับความต่างศักดิ์ หรือให้พลังงานแก่รังสีเอกซ์สูงกว่าแบบแรก ซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นกับความลึกของตำแหน่งที่ต้องการรักษาตั้งแต่ 300 kVp ขึ้นไป สำหรับการปรับกระแสไฟฟ้า หรือปริมาณ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความเข้มของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับวิธีการรักษาซึ่งรังสีแพทย์จะเป็นผู้กำหนด สำหรับการรั่วของรังสีเอกซ์ที่ระยะ 1 เมตร จากเป้าโลหะตามมาตรฐานแล้วเครื่องเอกซเรย์ประเภทนี้เมื่อใช้งานที่พลังงานและกระแสสูงสุด ต้องไม่เกิน **1 R/hr** (สำหรับพลังงานไม่เกิน 500 kVp) แต่ถ้าใช้งานที่พลังงานสูงกว่า 500 kVp ต้องไม่เกิน **1 R/hr** หรือ 0.1% ของลำรังสีเอกซ์ที่ใช้งาน



รูปที่ 4.6 แผนภาพกำหนดอัตราการรั่วของรังสีเอกซ์แบบรังสีรักษา

Structural shielding เป็นการสร้างกำบังรังสีโดยการคำนวณความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ที่จะกั้นรังสีเอกซ์ไม่ให้แผ่ออกไปนอกห้องเกินมาตรฐานกำหนด ซึ่งต้องพิจารณาว่าบริเวณพื้นที่ภายนอกที่ติดกับผนังห้องแต่ละด้านนั้นเป็นบริเวณที่เรียกว่า *"พื้นที่ควบคุม (Controlled area)"* หรือ *"พื้นที่ไม่ควบคุม (Uncontrolled area)"* ทั้งนี้พื้นที่ควบคุมหมายถึง บริเวณที่เจ้าหน้าที่ทางด้านรังสีเข้าไปใช้ปฏิบัติงาน เช่น ห้องปฏิบัติการทางด้านรังสี ห้องจัดเก็บอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับรังสี เป็นต้น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการปฏิบัติการทางรังสี ดังนั้น ICRP จึงกำหนดว่า พื้นที่ควบคุมสามารถมีอัตราปริมาณรังสีสูงสุดได้ไม่เกิน ***0.1 R/week*** ส่วนอีกบริเวณเป็นพื้นที่ไม่ควบคุมหมายถึง บริเวณที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการทางรังสี เช่น ห้องประชุม ห้องทำงานอื่น ๆ สนามเด็กเล่น เป็นต้น ดังนั้นบริเวณดังกล่าวจึงถูกกำหนดว่าจะต้องมีอัตราปริมาณรังสี (exposure rate) สูงสุดได้ไม่เกิน ***0.01 R/week***

ในการคำนวณความหนาของผนังห้องเอกซเรย์นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงข้อมูลรายละเอียดของเครื่องเอกซเรย์และข้อมูลการใช้งานทุกอย่าง ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ***Maximum Permissible Dose, P*** หมายถึง อัตราปริมาณรังสีสูงสุดที่กำหนดให้สำหรับด้านหลังติดกับผนังห้องเอกซเรย์ ว่าเป็นพื้นที่ควบคุม หรือไม่เป็นพื้นที่ควบคุม ดังได้กล่าวไว้ในข้างต้น
2. ***Maximum kV of X-ray tube*** หมายถึง พลังงานสูงสุดของหลอดรังสีเอกซ์ มีหน่วยเป็น kVp ซึ่งอาจมีค่าตั้งแต่ 50 – 3000 kVp ซึ่งก็คืออำนาจการทะลุทะลวงสูงสุดของรังสีเอกซ์

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ***Maximum mA of X-ray tube*** หมายถึง กระแสไฟฟ้าสูงสุดของหลอดรังสีเอกซ์ มีหน่วยเป็น mA ซึ่งเป็นความเข้มสูงสุดของรังสีเอกซ์ที่ใช้งาน
4. ***Workload*** หมายถึง ปริมาณการใช้งานหลอดรังสีเอกซ์ มีหน่วยเป็น mA-min/week หรือ mA-sec/week เป็นอัตราการใช้ในหนึ่งสัปดาห์ เครื่องเอกซเรย์บางชนิดจะมีปุ่ม mA และปุ่มเวลา min หรือ sec แยกออกจากกัน แต่บางชนิดจะรวมเป็นปุ่มเดียวกันคือ เป็นปุ่ม mA-min หรือ mA-sec
5. ***The use factor, U*** หมายถึง แฟกเตอร์ที่บอกถึงสัดส่วนในการหันลำรังสีเข้าหาผนังห้องเอกซเรย์ด้านที่กำลังพิจารณาเพื่อการคำนวณความหนา โดยที่ลำรังสีเอกซ์ที่กระทบกับผนังห้องเอกซเรย์คิดเป็น 2 อย่างคือ *รังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (Primary x-ray)* หมายถึง ลำรังสีที่ยิงออกมาจากหลอดรังสีเอกซ์และตกกระทบกับผนังห้องโดยตรงซึ่งยังไม่มีการสูญเสียพลังงานจากการตกกระทบกับวัตถุสิ่งอื่นมาก่อน อีกอย่างหนึ่งคือ *รังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (Secondary x-ray)* หมายถึง ลำรังสีเอกซ์ที่มีการสูญเสียพลังงานบางส่วนจากการกระเจิง (Scatter) หรือการรั่ว (Leakage) แล้วจึงตกกระทบกับผนังห้องด้านที่พิจารณา ซึ่งอย่างหลังนี้เราถือว่าแฟกเตอร์การใช้งานมีค่าเป็นหนึ่งเสมอ (U = 1) ทั้งนี้เนื่องจากไม่ว่าจะหันลำรังสีไปด้านใดก็จะมีรังสีกระเจิงและรังสีที่รั่วไปตกกระทบกับผนังด้านนี้ตลอดเวลา
6. ***Occupancy factor, T*** หมายถึง โอกาสของการเข้าไปครอบครองเพื่อใช้ประโยชน์จากพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งถ้าเป็นพื้นที่ที่มีคนเข้าไปใช้ประโยชน์อยู่ตลอดเวลาแล้ว ผนังห้องด้านนั้นจะต้องสร้างให้หนาที่สุด เพราะโอกาสที่บุคคลที่อยู่ด้านหลังของผนังห้องเอกซเรย์นั้นจะได้รับรังสีสูงมีมาก ในการคำนวณจึงกำหนดให้แฟกเตอร์ ***T*** ของผนังห้องด้านนั้นมีค่าสูงสุดคือ ***T = 1*** ส่วนพื้นที่อื่น ๆ ที่บุคคลมีโอกาสเข้าไปครอบครองเพื่อใช้ประโยชน์แต่ไม่ตลอดเวลา หรือนาน ๆ ครั้ง แฟกเตอร์ ***T*** ก็จะมีค่าน้อยลงดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

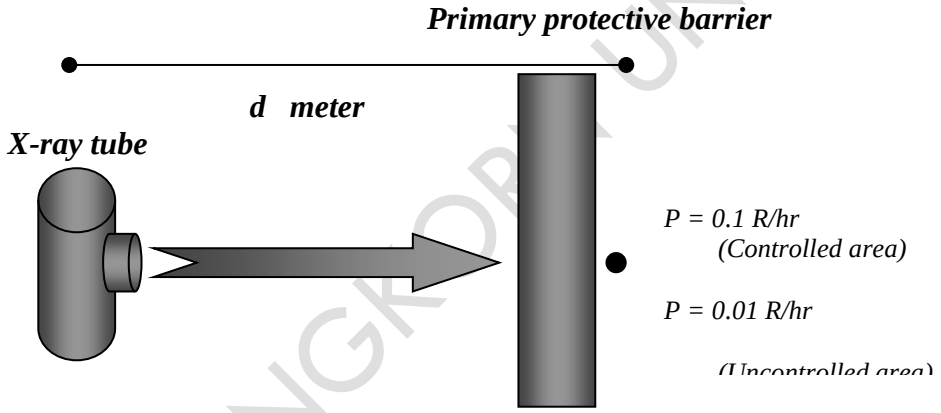
ตารางที่ 4.1 แสดงค่า ***Occupancy factors, T***

Occupancy	Area
Full occupancy T = 1	Work areas such as offices, laboratories, shops, wards, nurses' stations; living quarters; children's play areas; and occupied space in nearby buildings.
Partial occupancy T = ¼	Corridors, rest rooms, elevators using operators, and unattended parking lots.
Occasional occupancy T = 1/16	Waiting rooms, toilets, stairways, unattended elevators, janitors' closets, and outside areas used only for pedestrians or vehicular traffic.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการคำนวณออกแบบความหนาของผนังห้องเอกซเรย์เราต้องพิจารณาชนิดของลำรังสีที่ตกกระทบผนังห้องเป็นหลัก ผนังด้านที่รับรังสีโดยตรงหรือรังสีปฐมภูมิเรียกว่า *"Primary protective barrier"* และผนังด้านที่รับรังสีทุติยภูมิเรียกว่า *"Secondary protective barrier"* โดยทั่วไปแล้วผนังด้านที่รับรังสีปฐมภูมิจะมีความหนากว่าด้านทุติยภูมิ สำหรับวัสดุที่นิยมใช้สร้างกำบังรังสีเอกซ์มีอยู่สองชนิดคือ แผ่นตะกั่ว (Lead) และคอนกรีต (Concrete) ทั่วไป ถ้าเลือกใช้แผ่นตะกั่วก็จะทำให้ผนังห้องบางมากแต่ไม่เป็นที่นิยม เพราะราคาแพงและก่อสร้างไม่สะดวก ที่นิยมใช้กันมากคือ คอนกรีต เพราะมีราคาถูกก่อสร้างง่ายกว่าเพียงแต่ต้องสร้างหนากว่าเท่านั้น

Primary Protective Barrier การคำนวณความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ด้านที่ตกกระทบด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ เราต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งได้แก่ Maximum kV, Maximum mA, Workload เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วเรายังต้องทราบถึงระยะห่างระหว่างหลอดรังสีเอกซ์กับตำแหน่งที่ต้องการให้ค่าอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ไม่เกินค่ากำหนดดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนภาพผนังห้องด้านที่รับรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ

จากรูปที่ 4.7 หลอดรังสีเอกซ์หันลำรังสีปฐมภูมิไปยังผนังห้องด้านหนึ่งซึ่งด้านนอกอาจเป็นพื้นที่ควบคุมหรือไม่ก็ได้ แต่ที่สำคัญจะต้องออกแบบความหนาของผนังให้กั้นลำรังสีไม่ให้ทะลุออกไปเกินค่ากำหนดสูงสุด โดยมีระยะห่างของหลอดรังสีเอกซ์กับผนังห้องเท่ากับ d เมตร ในการคำนวณนั้นจำเป็นต้องใช้หลักการของกฎกำลังสองผกผัน (invert square law) ซึ่งมีข้อจำกัดดังนี้คือ

1. กฎนี้สามารถใช้ได้กับรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา***เท่านั้น*** เพราะเราสามารถตัดทิ้งเรื่องการดูดกลืนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาในอากาศได้เลย ถ้าเป็นอนุภาคบีต้า (Beta particles) จะมีเส้นทางการเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรง หรือถ้าเป็นอนุภาคอัลฟา (Alpha particles) ถึงแม้ว่ามีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง แต่มีระยะทางการเคลื่อนที่สั้นมากเพราะถูกดูดกลืนในอากาศจนหมด
2. ในทางทฤษฎีต้องถือว่าต้นกำเนิดรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมามีขนาดเล็กมาก ซึ่งเรียกว่าเป็น "ต้นกำเนิดรังสีแบบจุด (point source)" จะมีการแผ่รังสีออกมาทุกทิศทุกทาง ส่วนในทางปฏิบัติ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ถึงแม้ว่าต้นกำเนิดรังสีดังกล่าวมีรูปร่างและขนาด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ห่างมากแล้ว เราก็อนุโลมว่าต้นกำเนิดรังสีมีขนาดเล็กมาก ๆ จนถือว่าเป็น ***"ต้นกำเนิดรังสีแบบจุด"***

3. ระหว่างต้นกำเนิดรังสีที่วางห่างจากหัววัดรังสี การใช้กฎกำลังสองผกผันถือว่าเราสามารถวางวัสดุกำบัง (shielding) ***ไว้ตรงตำแหน่งไหนก็ได้***
4. ***ไม่***สามารถใช้กฎกำลังสองผกผันกับลำรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาแบบ***ลำขนาน***ได้

ทีนี้เราลองมาดูว่าจะใช้หลักการดังกล่าวเพื่อคำนวณความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ได้อย่างไร จากรูปที่ 4.7 ที่ระยะ ***d*** เมตร ถ้ายังไม่มีผนังห้องเราวัดค่าอัตราปริมาณรังสีสูงสุดได้เท่ากับ ***P R/week*** ซึ่งเป็นค่ากำหนด เมื่อเลื่อนเข้ามาที่ระยะห่าง 1 เมตร อัตราปริมาณรังสีจะต้องมีค่ามากขึ้นเกินค่ากำหนด ดังสมการต่อไปนี้

จากกฎกำลังสองผกผัน

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \qquad (4.3)$$

เมื่อ I_1 คือ อัตราปริมาณรังสีที่ระยะ d_1

I_2 คือ อัตราปริมาณรังสีที่ระยะ d_2

ในที่กำหนดให้ I_1 ที่ระยะห่าง 1 เมตร มีค่าเป็น $\dot{X}$ ***R/week*** และให้ I_2 ที่ระยะห่าง ***d*** เมตร มีค่าเป็น ***P/T R/week*** ดังนั้นจะได้

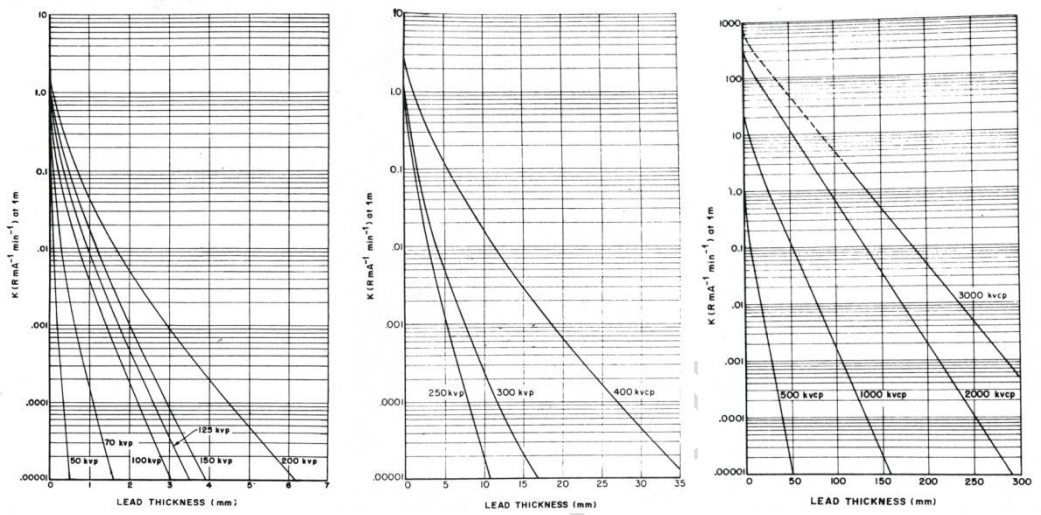
$$\dot{X} = \frac{d^2 P}{T} \qquad (4.4)$$

จากสมการที่ (2) ซึ่งเป็นค่าอัตราปริมาณรังสีที่ระยะ 1 เมตร ที่ยังไม่มีวัสดุกำบังรังสีมาวางกั้นลำรังสี ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงได้สร้างกราฟปรับเทียบ โดยการใช้วัสดุกำบังรังสีสองชนิดที่ความหนาต่าง ๆ ได้แก่ แผ่นตะกั่ว และคอนกรีต วัดค่าอัตราปริมาณรังสีที่ระยะห่าง 1 เมตร หลังแผ่นวัสดุกำบังรังสีโดยการปรับเปลี่ยนค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ (kVp) และค่าปริมาณการใช้งาน (mA-min) ซึ่งหมายถึง workload นั้นเอง ค่า workload (***W***) นี้ต้องคูณด้วย The used factor (***U***) และค่า Occupancy factor (***T***) เพราะต้องพิจารณาบริเวณด้านหลังกำบังรังสีด้วยว่าเป็นพื้นที่ควบคุมหรือไม่ และมีการใช้ประโยชน์นานแค่ไหน รวมทั้งมีสัดส่วนการหันลำรังสีมายังด้านนี้เป็นเท่าไร ซึ่งมีค่าเป็น ***WUT*** มีหน่วยเป็น mA-min คิดในหนึ่งสัปดาห์ เมื่อนำค่า ***WUT*** ไปหารกับค่าปริมาณรังสีที่วัดได้จากการตั้งค่า kVp ไว้ที่ค่า ๆ หนึ่ง กำหนดให้เป็น ***K*** ซึ่งมีหน่วยเป็น R/mA-min at 1 m และเมื่อพิจารณาค่าอัตราปริมาณรังสีในสมการที่ (2) และหารด้วย ***WU*** จะพบว่ามีความหมายเดียวกัน จึงได้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นสมการที่ (3)

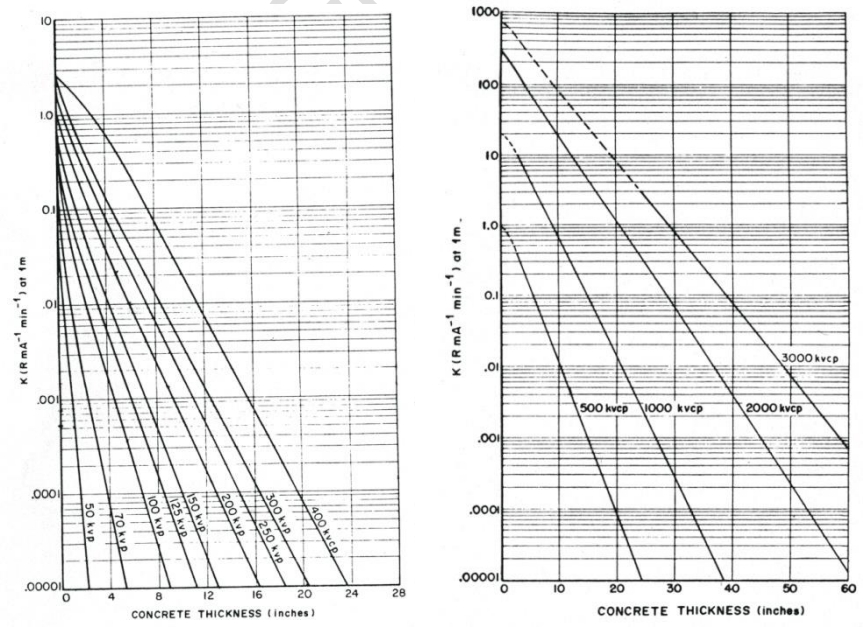
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$K = \frac{d^2 P}{WUT} \quad (4.5)$$

กราฟปรับเทียบในรูปที่ 4.8 – 4.9 ได้ถูกสร้างขึ้นจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ จะเห็นว่าในที่นี้เราไม่พูดถึงค่า Build up factor เลย ทั้งนี้ก็เพราะว่าการจัดระบบวัดรังสีเป็นแบบ Poor geometry ซึ่งรวมเอาการกระเจิงของรังสีเข้าไปด้วย



รูปที่ 4.8 ค่าปริมาณรังสี (R/mA-min at 1 m), K, หลังแผ่นตะกั่วความหนาต่าง ๆ ที่พลังงาน 50 – 3000 kVp



รูปที่ 4.9 ค่าปริมาณรังสี (R/mA-min at 1 m), K, หลังแผ่นคอนกรีตความหนา ต่าง ๆ ที่พลังงาน 50 – 3000 kVp

ตัวอย่างการคำนวณความหนาผนังห้องเอกซเรย์ด้านปฐมภูมิ

เครื่องเอกซเรย์มีพลังงานสูงสุด 125 kVp และกระแสไฟฟ้า 220 mA ใช้งานเป็นเวลา 90 วินาที ต่อสัปดาห์ ให้คำนวณความหนาผนังห้องเอกซเรย์ที่รับรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (primary protective barrier) ถ้าใช้ตะกั่วหรือคอนกรีตเพียงอย่างเดียว โดยหลอดรังสีเอกซ์ห่างจากผนังห้องเป็นระยะทาง 15 ฟุต ด้านหลังเป็นพื้นที่ไม่ควบคุม ซึ่งเป็นระเบียง (hallway) และหันลำรังสีเอกซ์ไปทางด้านผนังห้องดังกล่าวคิดเป็นสัดส่วน 1 ใน 3 ของเวลาทั้งหมดที่ใช้งาน

สำหรับพื้นที่ไม่ควบคุม กำหนดค่าอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ***P*** คือ 0.01 R/week ระยะห่างระหว่างหลอดเอกซเรย์ถึงผนังห้อง ***d*** คือ 15/3.28 เมตร ปริมาณการใช้งานต่อสัปดาห์ ***W*** คือ 220 mA x 90/60 min/week = 330 mA-min/week แฟกเตอร์ของการเข้าครอบครอง ***T*** คือ 1/4 ดังนั้นจากสมการที่ (3) จะได้ค่า ***K*** เป็น

$$K = \frac{(15/3.28)^2 \; x0.01}{330x\frac{1}{3}x\frac{1}{4}}$$

$$K = 7.61 \times 10^{-3} \quad R/mA\text{-}min \text{ at } 1 \text{ m}$$

จากรูปที่ 4.8 ที่พลังงาน 125 kVp อ่านค่าความหนาของแผ่นตะกั่ว ได้เท่ากับ 1.05 มิลลิเมตร และจากรูปที่ 4.9 อ่านค่าความหนาของคอนกรีตได้เท่ากับ 3.6 นิ้ว

Secondary Protective Barrier สำหรับการคำนวณออกแบบความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ที่รับรังสีทุติยภูมินั้น จะต้องพิจารณาอยู่ 2 กรณี ได้แก่ รังสีกระเจิง (Scattering radiation) และรังสีรั่ว (Leakage radiation) ที่ออกมาจากหลอดรังสีเอกซ์ ทั้งนี้เนื่องจากผนังห้องดังกล่าวไม่ได้อยู่ในทิศทางของลำรังสีที่ใช้งาน การคำนวณความหนาต้องแยกพิจารณา ดังนั้นจึงได้ความหนาของผนังห้องเป็น 2 ค่า ซึ่งต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้เป็นค่าความหนาที่เหมาะค่าเดียว เราได้สมมติรังสีทั้งสองชนิดว่ามีลักษณะการแผ่รังสีเป็นต้นกำเนิดรังสีแบบจุด และถือว่าสัดส่วนของลำรังสีที่ตกกระทบผนังห้องด้านทุติยภูมิเป็น 1 เสมอ (U = 1) เพราะไม่ว่าจะหันลำรังสีไปทางทิศใดก็จะมีทั้งรังสีกระเจิงและรังสีรั่วไปยังผนังด้านนี้ตลอดเวลาที่เครื่องเอกซเรย์ทำงาน

ในการพิจารณาความหนาจากผลการคำนวณของทั้งแบบกระเจิงรังสีและแบบรังสีรั่ว มีข้อความสำคัญดังนี้คือ

1. ถ้าผลต่างของความหนาทั้งสองแบบมีค่า***มากกว่า*** ความหนา 1 เท่าของ TVL (Tenth Value Layer) เราพิจารณาเลือกใช้ค่าความหนาที่มากกว่านั้นได้เลย เพราะถือว่าค่าความหนาที่น้อยกว่านั้นทำหน้าที่กั้นรังสีเอกซ์ปริมาณต่ำ ๆ ได้อย่างง่ายดาย ส่วนค่าความหนาที่มากกว่าก็สามารถกั้น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปริมาณรังสีสูงกว่าได้อย่างสบาย ดังนั้นจึงเลือกความหนาที่มากกว่ากั้นปริมาณรังสีทั้งสองแบบได้เพียงพอ

2. ถ้าผลต่างของความหนาทั้งสองแบบมีค่า***น้อยกว่า*** ความหนา 1 เท่าของ TVL เราเลือกค่าความหนาที่มากกว่าเล็กน้อยนั้น แล้วเพิ่มให้หนาขึ้นอีก 1 เท่าของ HVL (Half Value Layer) เพราะความหนาจากทั้งสองแบบมีผลต่อปริมาณรังสีพอสมควร ดังนั้นการเลือกความหนาที่มากกว่าแล้วเพิ่มความหนาอีก 1 HVL จึงทำให้เพียงพอต่อการกำบังรังสี สำหรับค่า TVL และค่า HVL แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า HVL และTVL ของตะกั่วและคอนกรีต

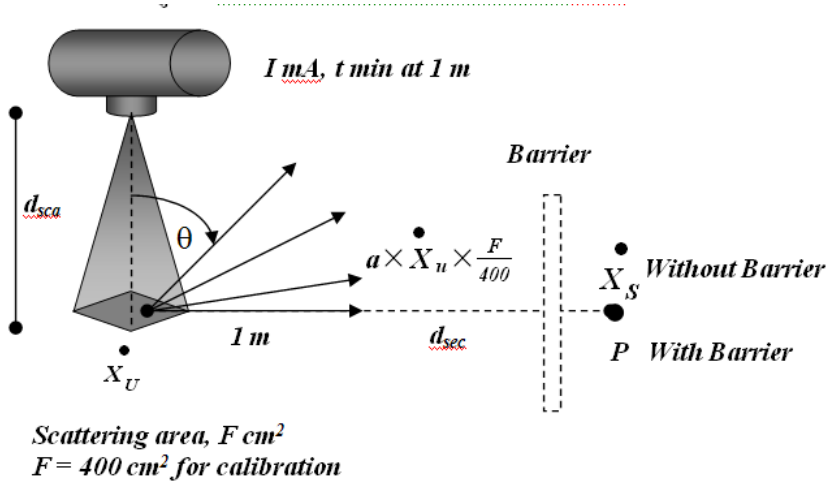
Peak Voltage	Lead (mm)		Concrete (cm)	
(kVp)	HVL	TVL	HVL	TVL
50	0.06	0.17	0.43	1.50
70	0.17	0.52	0.84	2.80
100	0.27	0.88	1.60	5.30
125	0.28	0.93	2.00	6.60
150	0.30	0.99	2.24	7.40
200	0.52	1.70	2.50	8.40
250	0.88	2.90	2.80	9.40
300	1.47	4.80	3.10	10.40
400	2.5	8.30	3.30	10.90
500	3.6	11.90	3.60	11.70
1,000	7.9	26.00	4.40	14.70
2,000	12.5	42.00	6.40	21.00
3,000	14.5	48.50	7.40	24.50
4,000	16.0	53.00	8.80	29.20

Scattering radiation รังสีที่กระเจิงจากการตกกระทบตัวคนไข้ไปยังผนังห้อง จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยสองอย่างด้วยกัน อย่างแรกก็คือ *เครื่องเอกซเรย์* เราต้องให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ใช้งาน ซึ่งย่อมขึ้นอยู่กับการปรับกระแส (mA) ระยะเวลาที่ใช้งาน และพลังงานของรังสีเอกซ์ ส่วนอีกอย่างหนึ่งก็คือ *การจัดระบบ* ซึ่งได้แก่ การปรับขนาดความกว้างในการตกกระทบของลำรังสี มุมตกกระทบ ระยะทางจากตัวคนไข้ถึงผนังห้อง และระยะจากหลอดรังสีเอกซ์ถึงตัวคนไข้

ในการกระเจิงนั้น จะพิจารณาเป็นส่วน ๆ ไป ซึ่งในตอนแรกเราให้ลำรังสีเอกซ์ถูกปลดปล่อยออกจากหลอดรังสีเอกซ์มายังตัวคนไข้โดยมีระยะทางเป็น d_{sca} ในทางปฏิบัติแนวคิดในการคำนวณเราตั้งค่าอัตราปริมาณรังสี (exposure rate) เป็น $\dot{X}_{\prime\prime}$ เรียกว่า “***Normalized exposure rate***” โดยปรับกระแสไว้ที่ 1 mA ที่ค่าพลังงานค่าหนึ่ง ใช้เครื่องวัดรังสีวางไว้ที่ระยะ 1 เมตร วัดค่าออกมา จากนั้นก็ใช้กฎกำลังสองผกผันคำนวณค่าอัตราปริมาณรังสีมาที่ระยะ d_{sca} ได้ค่าเป็น $\dot{X}_{\prime\prime}$ ซึ่งก็คือ อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบตัว

CHULALONGKORN UNIVERSITY

คนไข้ (incident radiation) สำหรับพื้นที่ที่เปิดให้ลำรังสีเอกซ์ตกกระทบเท่ากับ 400 cm^2 จากนั้นจึงใช้หัววัดรังสีวัดอัตราปริมาณรังสีที่กระเจิงออกไปห่างจากคนไข้ 1 เมตร ณ มุมต่าง ๆ และพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งได้สรุปค่าอัตราส่วนการกระเจิง (scattering ratio) ระหว่างรังสีตกกระทบกับรังสีกระเจิงเพื่อใช้เป็นค่าแก้ในการคำนวณต่อไปดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.10 แผนภาพการกระเจิงของรังสีเอกซ์

กำหนดให้ a คืออัตราส่วนการกระเจิงของรังสีเอกซ์ต่อรังสีตกกระทบที่ระยะห่างจากพื้นที่ตกกระทบ 1 เมตร โดยอัตราส่วนดังกล่าวขึ้นกับมุมกระเจิง และพลังงานของรังสีเอกซ์ โดยกำหนดพื้นที่ตกกระทบเป็น 400 cm^2

ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วน (a) การกระเจิงของรังสีเอกซ์ต่อรังสีตกกระทบ

	Scattering Angle (from Central Ray)					
X-rays	30°	45°	60°	90°	120°	135°
50 kV	0.0005	0.0002	0.00025	0.00035	0.0008	0.0010
70 kV	0.00065	0.00035	0.00035	0.0005	0.0010	0.0013
100 kV	0.0015	0.0012	0.0012	0.0013	0.0020	0.0022
125 kV	0.0018	0.0015	0.0015	0.0015	0.0023	0.0025
150 kV	0.0020	0.0016	0.0016	0.0016	0.0024	0.0026
200 kV	0.0024	0.0020	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
250 kV	0.0025	0.0021	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
300 kV	0.0026	0.0022	0.0020	0.0019	0.0026	0.0028
4 MV	-	0.0027	-	-	-	-
6 MV	0.007	0.0018	0.0011	0.0006	-	0.0004
Gamma Rays						
Cs-137	0.0065	0.0050	0.0041	0.0028	-	0.0019
Co-60	0.0060	0.0036	0.0023	0.0009	-	0.0006

หมายเหตุ จากหนังสือ Atoms, Radiation, and Radiation Protection โดย Jams E. TURNER

CHULALONGKORN U

<u>ปริมาณรังสีตกกระทบจากหลอดรังสีเอกซ์ – ตัวคนไข้</u>

$\dot{X}_n$ = อัตราปริมาณรังสีที่ระยะ 1 เมตร (กระแส 1 mA)

I = กระแสไฟฟ้าของหลอดรังสี (mA)

d_{sca} = ระยะทางจากหลอดรังสีเอกซ์ถึงคนไข้ (m)

จากกฎกำลังสองผกผัน

$$\frac{\dot{X}_u}{\dot{X}_n \times I} = \left(\frac{1}{d_{sca}}\right)^2 \quad (4.6)$$

หรือ

$$\dot{X}_u = \frac{\dot{X}_n \times I}{d_{sca}^2} \quad (4.7)$$

<u>ปริมาณรังสีจากคนไข้กระเจิงไปยังตำแหน่งใด ๆ ทางด้านผนังห้อง</u>

$\dot{X}_s$ = อัตราปริมาณรังสีที่ระยะ d_{sec} เมื่อยังไม่มีผนังห้อง (R/hr)

d_{sec} = ระยะจากคนไข้ถึงตำแหน่งใด ๆ (m)

F = ขนาดความกว้างของพื้นที่ตกกระทบ (cm^2)

t = ระยะเวลาเปิดเครื่องเอกซเรย์ (minute)

$$\frac{\dot{X}_s}{a \times \dot{X}_u \times \frac{F}{400}} = \left(\frac{1}{d_{sec}}\right)^2 \quad (4.8)$$

$$\dot{X}_s = \frac{a \times \dot{X}_U}{(d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \quad (4.9)$$

แทนค่า $\dot{X}_u$ จากสมการที่ (4.8) ลงในสมการที่ (4.9)

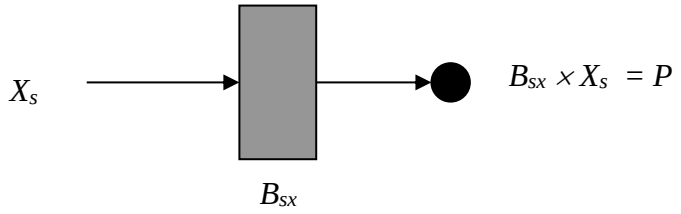
$$\dot{X}_s = \frac{a \times \dot{X}_n \times I}{(d_{sca})^2 (d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \quad (4.10)$$

ใช้งานเป็นเวลา t min/week

$$X_s = \frac{a \times \dot{X}_n \times I}{(d_{sca})^2 (d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \times t \quad (4.11)$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สมการที่ (9) เป็นค่าปริมาณรังสี (exposure) ที่ยังไม่มีผนังห้อง ดังนั้นเมื่อมีผนังห้องมากั้นจึงมีการลดทอน (attenuation) รังสีด้วยแฟกเตอร์ B_{SX} ด้วยความหนาที่ทำให้อัตราปริมาณรังสีไม่เกินมาตรฐานกำหนด P R/week



รูปที่ 4.11 เมื่อมีผนังกั้นลำรังสีจะพิจารณาการลดทอน

จากสมการที่ (4.11)

$$B_{sx} \times X_s = B_{sx} \times \frac{a \times \dot{X}_n \times I}{(d_{sca})^2 (d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \times t \qquad (4.12)$$

หรือ

$$P = B_{sx} \times \frac{a \times \dot{X}_n \times I}{(d_{sca})^2 (d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \times t \qquad (4.13)$$

กำหนดให้ $K_{ux} = B_{sx} \times \dot{X}_n$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเดียวกันกับการสร้างกราฟปรับเทียบในรูปที่ 4.8 – 4.9

$$P = K_{ux} \times \frac{a \times I \times t}{(d_{sca})^2 (d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \qquad (11)$$จัดเทอม

ใหม่ได้เป็น

$$K_{ux} = P \times \frac{(d_{sca})^2 (d_{sec})^2}{a \times I \times t} \times \frac{400}{F} \qquad (4.14)$$

ในที่นี้ $I \times t = WT$ ซึ่งเป็นปริมาณการใช้รังสีเอกซ์ต่อสัปดาห์ แทนค่าในสมการที่ (4.14) จะได้

$$K_{ux} = \frac{P}{aWT} \times (d_{sca})^2 \times (d_{sec})^2 \times \frac{400}{F} \qquad (4.15)$$

พลังงานที่กระเจิงออกไปนั้น ถือว่ามีค่าเท่ากับพลังงานตกกระทบ ถ้าพลังงานตกกระทบน้อยกว่า 500 kVp แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 500 kVp จะมีแฟกเตอร์ที่ใช้แก้ค่าการกระเจิงของพลังงานที่ทำให้ค่า K_{ux} เปลี่ยนไป ดังสมการที่ (4.15) และตารางที่ 4.4

CHULALONGKORN UNIVERSITY

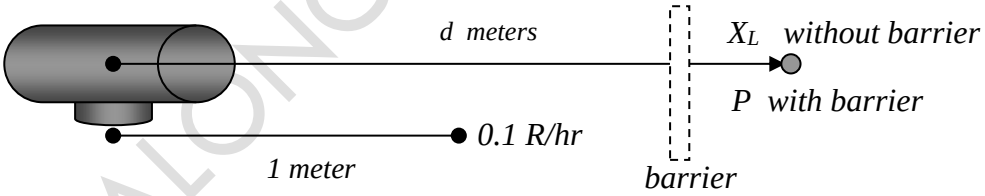
$$K_{ux} = \frac{P}{aWTf} \times \left(d_{sca}\right)^2 \times \left(d_{sec}\right)^2 \times \frac{400}{F} \quad R/mA\text{-}min\ per\ week \qquad (4.16)$$

ตารางที่ 4.4 ค่าแฟกเตอร์ f ที่ขึ้นกับพลังงาน

kVp	f
500 or less	1
1000	20
2000	300
>2000	700

Leakage Radiation เครื่องเอกซเรย์ทุกชนิดขณะใช้งานอยู่จะมีรังสีเอกซ์รั่วออกมาจากเฮาซิง (housing) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะต้องสร้างกำบังรังสีขึ้นภายในเฮาซิงให้มีความหนาเพียงพอที่ไม่ทำให้ปริมาณรังสีเกินอัตรากำหนด ทั้งนี้ขึ้นกับพลังงานของรังสีเอกซ์ โดยมีข้อกำหนดดังได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ดังนั้นการคำนวณความหนาของผนังห้องจึงพิจารณาทั้งแบบรังสีวินิจฉัย และแบบรังสีรักษา

1. ***แบบรังสีวินิจฉัย (diagnostic radiation)*** กำหนดว่าปริมาณรังสีที่ยอมให้รั่วได้ไม่เกิน ***0.1 R/hr*** ที่ระยะห่างจากหลอดรังสีเอกซ์ 1 เมตร ในการนี้ถ้าระยะห่างของผนังห้องกับหลอดรังสีเอกซ์เป็น d เมตร เราสามารถใช้กฎกำลังสองผกผันคำนวณค่าอัตราปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งนั้นได้



รูปที่ 4.12 แผนภาพการกำบังรังสีที่รั่วไปด้านผนังห้องทุติยภูมิ

จากรูปที่ 4.12 อัตราปริมาณรังสีเมื่อยังไม่มีผนังห้อง

$$\left(\frac{\dot{X}_L}{0.1\,R/hr}\right) = \left(\frac{1}{d}\right)^2 \qquad (4.17)$$

$$\dot{X}_L = \frac{0.1}{d^2} \quad R/hr \qquad (4.18)$$

เมื่อเปิดเครื่องเอกซเรย์ใช้งานเป็นเวลา t min/week

CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$X_L = \frac{0.1}{d^2} \times \frac{t}{60} \quad \frac{R}{hr} \times \frac{hr}{week}$$

หรือ

$$X_L = \frac{0.1}{d^2} \times \frac{t}{60} \quad \frac{R}{week} \qquad (4.19)$$

และปริมาณการใช้งานคือ $WUT = It$, โดยที่ $U = 1$ สำหรับการรั่ว

$$t = \frac{WT}{I}$$

$$X_L = \frac{1}{d^2} \times \frac{WT}{600I} \quad \frac{R}{week} \qquad (4.20)$$

และกรณีที่มีผนังห้องกั้นลำรังสี

$$P = B_{Lx} \times X_L$$

$$P = B_{Lx} \times \frac{1}{d^2} \times \frac{WT}{600I} \qquad (4.21)$$

$$B_{Lx} = \frac{P \times d^2 \times 600I}{WT} \qquad (4.22)$$

ความหนาของผนังห้องสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (22) ดังนี้

$$B_{Lx} = \frac{1}{2^n} = e^{-\mu t} = 2^{-x/HVL} \qquad (4.23)$$

เมื่อ n คือ จำนวนเท่าของความหนา HVL

x คือ ความหนาของผนังห้อง

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์

2. ***แบบรังสีรักษา (therapeutic radiation)*** กำหนดว่าปริมาณรังสีที่ยอมให้รั่วได้ไม่เกิน ***1 R/hr*** ที่ระยะห่างจากหลอดรังสีเอกซ์ 1 เมตร เราสามารถใช้กฎกำลังสองผกผันคำนวณค่าอัตรา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งที่ห่างจากหลอดรังสีเอกซ์ไปยังผนังห้อง d เมตร ได้เช่นกัน ดังสมการที่ (22)

$$B_{Lx} = \frac{P \times d^2 \times 60I}{WT} \qquad (4.24)$$

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ด้านที่รับรังสีทุติยภูมิ ซึ่งเรียกว่า *"Secondary protective barrier"*

กำหนดให้ เครื่องเอกซเรย์แบบรังสีรักษาขนาด 250 kVp และ 20 mA ปรับขนาดพื้นที่ตกกระทบเป็น 400 cm^2 มีปริมาณการใช้งานเป็น 20,000 mA-min/week ติดตั้งไว้ห่างจากผนังห้องด้านหนึ่งเป็นระยะทาง 3 เมตร โดยด้านหลังเป็นพื้นที่ไม่ควบคุมแต่มีการใช้ประโยชน์อยู่ตลอดเวลาระยะห่างระหว่างหลอดรังสีเอกซ์กับคนไข้ 50 เซนติเมตร

เราสามารถคำนวณความหนาของผนังห้องดังกล่าวได้โดยแยกเป็นสองกรณีคือ

1. ***Scatter radiation*** จากสมการที่ (4.16)

$$K_{ux} = \frac{P}{aWTf} \times \left(d_{sca}\right)^2 \times \left(d_{sec}\right)^2 \times \frac{400}{F}$$

P = 0.01 R/hr เป็นพื้นที่ไม่ควบคุม

W = 20,000 mA-min/week

a = 0.0019 ถือว่ากระเจิงทำมุม 90 องศา กับลำรังสีตกกระทบดังตารางที่ 4.3

d_{sca} = 0.5 m, d_{sec} = 3 m, F = 400 cm^2, f = 1, T = 1

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$K_{ux} = \frac{(0.01)(0.5)^2(3)^2}{0.0019x20000x1x1} \times \frac{400}{400}$$

$$= 5.29 \times 10^{-4} \quad mA\text{-}min/week$$

เมื่อนำค่า K_{ux} ไปอ่านค่าความหนาของคอนกรีตที่ 250 kVpในกราฟรูปที่ 4.9 พบว่า ต้องใช้คอนกรีตหนาเท่ากับ ***30 เซนติเมตร***

2. ***Leakage radiation*** จากสมการที่ (4.24) สำหรับรังสีรักษา

$$B_{Lx} = \frac{P \times d^2 \times 60I}{WT}$$

P = 0.01 R/hr เป็นพื้นที่ไม่ควบคุม

W = 20,000 mA-min/week

d = 3 m ระยะจากหลอดรังสีเอกซ์ถึงผนังห้องด้านทุติยภูมิ

I = 20 mA กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเป็นความเข้มของลำรังสีเอกซ์

T = 1 (Occupancy factor) มีการใช้พื้นที่ตลอดเวลา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังนั้น $B_{Lx} = \frac{0.01 \times 3^2 \times 60(20)}{20,000 \times 1}$

$B_{Lx} = 5.0 \times 10^{-3}$

และจากสมการที่ (4.23)

$B_{Lx} = \frac{1}{2^n}$

$5.0 \times 10^{-3} = \frac{1}{2^n}$

$n = 7.53$

พบว่า จะต้องใช้คอนกรีตที่มีความหนาเป็น 7.53 เท่าของความหนา HVL ซึ่งค่าความหนา 1 HVL ของคอนกรีตที่พลังงาน 250 kVp เท่ากับ 2.8 cm ดังนั้น จึงต้องใช้คอนกรีตหนา 7.53 x 2.8 = **21.1 cm** สำหรับกรณี Leakage radiation

พิจารณาผลต่างกันจากทั้งกรณีรังสีกระเจิงและการรั่วของรังสี คือ 30 – 21.1 = 8.9 cm เมื่อเปรียบเทียบกับค่า 1 TVL ที่พลังงาน 250 kVp ซึ่งเท่ากับ 9.4 cm พบว่า ผลต่างมีค่าน้อยกว่า 1 TVL ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าปริมาณรังสีของทั้งสองกรณีมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงเลือกค่าความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ที่คำนวณจากกรณีการกระเจิงของรังสี (ซึ่งมีค่ามากกว่า) บวกกับค่า 1 HVL จะได้ 30 + 2.8 = **32.8 เซนติเมตร**

ดังนั้นการออกแบบคำนวณความหนาของผนังห้องเอกซเรย์ด้านที่รับรังสีทุติยภูมิ จากตัวอย่างข้างต้นได้ความหนาเป็น 32.8 เซนติเมตร

การป้องกันอันตรายจากวัสดุกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย

ต้นกำเนิดรังสีที่นำมาใช้งานนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **ต้นกำเนิดรังสีแบบปิดผนึกมิดชิด** หมายถึง ต้นกำเนิดรังสีที่มีสารกัมมันตรังสีบรรจุในแคปซูลมิดชิด ปล่อยให้เฉพาะกัมมันตภาพรังสีแผ่ออกมาเพื่อใช้งานเท่านั้น โดยเนื้อสารกัมมันตรังสีจะไม่หลุดออกมาจากแคปซูล
2. **ต้นกำเนิดรังสีแบบไม่ปิดผนึก** หมายถึง ต้นกำเนิดรังสีที่นำมาใช้งานโดยตรง อาจอยู่ในรูปของผง ของเหลว หรือก๊าซ ดังนั้นขณะใช้งานก็อาจจะมีโอกาสได้รับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายได้ จึงต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ

ชนิดของการเปรอะเปื้อนทางรังสี

สารกัมมันตรังสีที่มีการเปรอะเปื้อน (contamination) เนื่องจากใช้งานไม่ถูกต้อง หรือเกิดอุบัติเหตุทางรังสีทำให้เกิดการแพร่กระจายสารกัมมันตรังสีออกสู่บริเวณใกล้เคียง อาจทำให้เครื่องมือ โต๊ะ เสื้อผ้า พื้น หรือเปรอะเปื้อนที่ตัวบุคคล ซึ่งการเปรอะเปื้อนนี้มีอยู่ 3 ลักษณะดังนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. การเปรอะเปื้อนแบบติดแน่น (Fixed contamination) การเปรอะเปื้อนแบบนี้จะต้องใช้วิธีพิเศษในการชำระล้าง และจากเจ้าหน้าที่ที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี
2. การเปรอะเปื้อนแบบไม่ติดแน่น (Removable contamination) การเปรอะเปื้อนแบบนี้สามารถชำระสารเปรอะเปื้อนให้ออกจากพื้นผิวได้ง่าย แต่สิ่งที่ควรระวังคือสารเปรอะเปื้อนอาจหลุดมาติดอยู่กับสิ่งที่ใช้ชำระ เช่น ผ้าถูพื้น แปรง อากาศที่พัดผ่านหรือน้ำที่ใช้ชำระล้าง เป็นต้น
3. การเปรอะเปื้อนทางอากาศ (Airborne contamination) ฝุ่นรังสีหรือก๊าซรังสีที่ลอยอยู่ในอากาศทำให้เกิดการเปรอะเปื้อนทางรังสีในอากาศ จะทำให้เป็นอันตรายเมื่อสูดหายใจเข้าไปในร่างกาย

สารกัมมันตรังสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะแผ่รังสีให้กับเนื้อเยื่อของอวัยวะตลอดเวลา จนกว่าสารกัมมันตรังสีชนิดนั้นสลายตัวและถูกขับออกจากร่างกายจนหมด ต่างจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกายซึ่งสามารถอยู่ให้ห่างและใช้วัสดุกำบังรังสีได้

เมื่อสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปสะสมในอวัยวะและถ่ายเทพลังงานให้ ถ้าเป็นสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแอลฟา ซึ่งจะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดด้วยการเกิดไอออน เช่น อเมอริเซียม-241 หรือ พลูโตเนียม-239 จะทำเนื้อเยื่อบริเวณนั้นเสียหายมาก จนบางครั้งไม่สามารถซ่อมแซมได้

การเข้าสู่ร่างกายของสารกัมมันตรังสี

เมื่อมีการเปรอะเปื้อนทางรังสีอาจอยู่ในรูปฝุ่นผง ของเหลว หรือก๊าซ สารกัมมันตรังสีเหล่านั้นสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางคือ

1. การหายใจทางจมูกเอาสารกัมมันตรังสีเข้าไปในปอด
2. การกลืนกินทางปากลงสู่ระบบย่อยอาหาร
3. การซึมผ่านทางผิวหนัง
4. การเข้าทางบาดแผลเปิด

เมื่อมีการหายใจเอาสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย สารกัมมันตรังสีส่วนหนึ่งจะผ่านจากปอดเข้าสู่กระแสเลือด สารกัมมันตรังสีบางส่วนจะปนออกมากับลมหายใจ สารกัมมันตรังสีส่วนที่อยู่เหลืออาจถูกดูดกลืนผ่านผนังสำไส้เข้าไปสู่ระบบของเหลวภายในร่างกาย นอกจากนี้สารกัมมันตรังสียังเข้าสู่กระแสเลือดได้โดยตรง เช่น การถูกเข็มแทง หรือการเกิดบาดแผล

การควบคุมอันตรายจากการได้รับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย

1. ควบคุมการใช้สารกัมมันตรังสีให้น้อยที่สุด เพื่อให้ได้รับปริมาณรังสีให้น้อยที่สุดตามหลัก ALARA
2. ควบคุมโดยการบริหารจัดการ ได้แก่ การแบ่งพื้นที่ปฏิบัติงาน การติดป้ายเตือนรังสี เข้มงวดการผ่านเข้าออกบริเวณรังสี ใช้เครื่องป้องกัน เช่น ใส่หน้ากาก สวมชุดป้องกันการเปรอะเปื้อน
3. ควบคุมโดยทางกายภาพ เช่น การควบคุมกากกมันตรังสี การใช้ตู้ควันที่มีกำบังรังสีในกรณีของสารกัมมันตรังสีมีปริมาณมาก และมีไอระเหย รวมทั้งออกแบบห้องปฏิบัติการทางรังสีสำหรับต้นกำเนิดรังสีที่ไม่ปิดผนึก

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของรังสีชนิดที่ก่อให้เกิดไอออนต่อสิ่งที่มีชีวิต ซึ่งอาจมีผลในระยะสั้นหรือระยะยาวขึ้นอยู่วิธีการได้กับปริมาณรังสีจนถึงปรากฏอาการเป็นผลกระทบเฉียบพลันหรือผลกระทบภายหลัง โดยเมื่อรังสีผ่านเข้าสู่เซลล์ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ไปรบกวนเอนไซม์ที่เป็นส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิตและอาจมีผลต่อดีเอ็นเอ ในการทำให้เกิดความเสียหายกับคู่นิวคลีโอติด (ในดีเอ็นเอ 1 เส้นจะมีคู่นิวคลีโอติดประมาณ 10^{10} คู่) ได้แก่ เซลตาย ทำให้เซลแบ่งตัวลดลงหรือหยุดไป หรืออาจเกิดความผิดปกติในเซลล์ซึ่งถ่ายทอดต่อไปยังเซลล์รุ่นหลัง

ผลกระทบเฉียบพลันคือ ผลกระทบที่จะปรากฏอาการภายในหลายสิบวันหลังได้รับรังสีทั้งตัวในปริมาณมาก ซึ่งผลกระทบขัดเจนจากข้อมูลการรักษาพยาบาล กรณีการได้รับรังสีทั้งตัวอาจมีความแตกต่างกันบ้างในแต่ละคน คนทั่วไปถ้าได้รับรังสีในปริมาณต่ำกว่า 250 มิลลิซีเวิร์ต มักไม่เกิดอาการผิดปกติ แต่ถ้าคนทั่วไปเมื่อได้รับรังสีปริมาณ 250 มิลลิซีเวิร์ต ขึ้นไป จะพบว่าจำนวนเม็ดโลหิตขาวลดลง ทั้งนี้ถ้าไม่ได้รับรังสีเพิ่มอีกร่างกายก็สามารถฟื้นตัวกลับมาปกติได้ ถ้ารับรังสีปริมาณ 1,000 -1,500 มิลลิซีเวิร์ต จะปรากฏอาการให้เห็น เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดเมื่อยทั้งตัว เม็ดน้ำเหลืองลดลงอย่างมาก มึนงง เป็นต้น ถ้าได้รับรังสีปริมาณ 4,000 มิลลิซีเวิร์ต มีโอกาสเสียชีวิตประมาณ 50% ของผู้ได้รับรังสีในระดับนี้ภายใน 30 วันหลังได้รับรังสี แต่ถ้าได้รับรังสีปริมาณ 7,000 มิลลิซีเวิร์ต ผู้ได้รับรังสีในระดับนี้จะเสียชีวิต 100%

ผลกระทบภายหลังคือ ผลกระทบที่ปรากฏอาการขึ้นหลังผ่านพ้นช่วงเวลาแฝงตัวนานหลายปีถึงหลายสิบปี เช่น มะเร็งในเม็ดโลหิตขาวและมะเร็งอื่น ๆ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอาการดังกล่าวมีใช่ว่าจะเกิดกับผู้ได้รับรังสีทุกคน ซึ่งกล่าวกันว่าความเป็นไปได้ของการเกิดเป็นมะเร็งนั้นจะมีโอกาสมากขึ้นเมื่อได้รับรังสีในปริมาณที่มากขึ้นด้วย ผลกระทบเช่นนี้คือผลกระทบที่ไม่ชัดเจน ซึ่งจะไม่มีการกำหนดเพดานปริมาณรังสีเอาไว้

ปัจจัยในการเกิดผลกระทบของรังสีชนิดที่ก่อให้เกิดการแตกตัวที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต

ในที่นี้สิ่งมีชีวิตหมายถึงร่างกายของมนุษย์ โดยผลของรังสีที่ทีต่อร่างกายมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นรังสีจากภายนอกร่างกายหรือภายในร่างกาย ซึ่งอาจเกิดจากการเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสี เมื่อร่างกายได้รับรังสีจะต้องมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงไป อาจจะมีอาการแสดงให้เห็นได้หรือไม่ มีลักษณะของอาการ มีความรุนแรงที่สังเกตเห็น และเกิดผลในระยะเวลาช้าหรือเร็ว สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. **ปริมาณรังสีที่ได้รับ** หมายถึง ถ้าได้รับปริมาณรังสีสูงมากก็จะทำให้เกิดมีสิ่งผิดปกติมาก ในทางตรงข้ามถ้าได้รับรังสีในปริมาณน้อยก็อาจเกิดสิ่งผิดปกติน้อยหรือบางครั้งก็ไม่สามารถตรวจพบได้
2. **อัตราการได้รับรังสี** การได้รับรังสีในอัตราปริมาณรังสีต่อครั้งต่อเวลาด้วยค่าที่มากนั้น อาการผิดปกติที่แสดงออกมาจะมากตามไปด้วยแต่ถ้าได้รับอัตราปริมาณรังสีต่ำ ๆ หลายครั้ง ถึงแม้ปริมาณรังสีรวมจะเท่ากันอาจไม่เกิดอาการที่สามารถสังเกตได้ เช่น การได้รับรังสีทันทีทันใดเพียงครั้งเดียว 3 Sv (300 rem) จะมีอาการป่วยทางรังสีแสดงให้เห็น แต่ถ้าได้รับรังสีปริมาณน้อย ๆ หลายครั้ง รวมกันเป็น 3 Sv เหมือนกัน อาจจะไม่แสดงอาการให้เห็นได้ (แต่อาจมีผลในระยะยาว)
3. **การได้รับพลังงานและชนิดของรังสี** ผลที่เกิดขึ้นก็อาจแตกต่างกันได้หรือแม้แต่รังสีชนิดเดียวกันผลที่เกิดขึ้นก็อาจแตกต่างกันเพราะมีพลังงานที่แตกต่างกัน
4. **ชนิดของสารกัมมันตรังสี** สารกัมมันตรังสีแต่ละชนิดสลายตัวให้รังสีต่างชนิดกัน บางชนิดให้รังสีบีตาอย่างเดียว หรือบางชนิดให้ทั้งรังสีบีตาและแกมมา บางชนิดละลายได้ แต่บางชนิดไม่สามารถละลายในตัวกลางที่เป็นสารประกอบของร่างกาย
5. **ความไวต่อรังสีของอวัยวะ** สารกัมมันตรังสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะไปสะสมมากในบางอวัยวะ เช่น ไอโอดีน จะไปสะสมในต่อมไทรอยด์ สตรอนเชียมหรือแคลเซียมจะสะสมอยู่ในกระดูก ซีเซียมมักกระจายอยู่ทั่วร่างกาย เป็นต้น เมื่อมสารกัมมันตรังสีสะสมอยู่ในอวัยวะนั้นมากเกินไป เซลล์ของอวัยวะนั้นก็จะถูกทำลาย โดยเซลล์ดังกล่าวจะมีความไวต่อรังสีไม่เท่ากัน เช่น เซลล์ของเยื่อบุผนังลำไส้และเซลล์ไขกระดูกจะมีความไวต่อรังสีทำให้เซลล์ตายได้ง่ายกว่าเซลล์สมองทั้งนี้พบว่าเซลล์ที่ยังมีการแบ่งตัวอยู่จะมีความไวต่อรังสีสูงกว่าเซลล์อื่น ๆ

การจำแนกผลของรังสีที่มีต่อมนุษย์

1. **Deterministic effect** หมายถึง ผลกระทบทางรังสีที่ชัดเจนเมื่อได้รับรังสีในปริมาณตามเพดานที่มีกำหนดไว้ เช่น ปริมาณรังสีระดับใดจึงจะทำให้มีอาการผมร่วง หรือเป็นหมัน โดยระดับความรุนแรงของผลกระทบจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่ได้รับเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับรังสีเป็นปริมาณมากทำให้เซลล์จำนวนมากตายไปจะมีผลทำให้อวัยวะต่าง ๆ ทำหน้าที่ไม่ได้
    - **ได้รับรังสีทั่วร่างกาย (Whole body exposure)** ถ้าได้รับรังสีปริมาณ 3-5 ซีเวิร์ต ไขกระดูกไม่สามารถสร้างเม็ดเลือดขาวมีโอกาสเสียชีวิต 50% ในกลุ่มผู้ได้รับรังสีภายใน 30-60 วัน ถ้าได้รับรังสีปริมาณ 5-15 ซีเวิร์ตระบบทางเดินอาหารถูกทำลาย มีอาการคลื่นไส้อาเจียร และเสียชีวิตภายใน 10-20 วัน หลังได้รับรังสี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- **ได้รับรังสีบางส่วนของร่างกาย (Partial exposure)** การได้รับรังสีในบางส่วนของร่างกายจะมีผลกระบทที่แตกต่างกัน เพราะอวัยวะต่าง ๆ มีความไวต่อรังสีไม่เท่ากัน อวัยวะที่มีความไวต่อรังสีมากที่สุดคือ ไขกระดูกและระบบสร้างเม็ดโลหิต โดยถ้ารับรังสีปริมาณ 250 มิลลิซีเวิร์ต ไขกระดูกจะไม่สามารถสร้างเม็ดโลหิตขาว และถ้าอวัยวะสืบพันธุ์ได้รับรังสีปริมาณ 2-3 ซีเวิร์ต ในครั้งเดียวจะทำให้เป็นหมัน หรือปริมาณรังสี 2-5 ซีเวิร์ต ในครั้งเดียวที่ตา ทำให้เกิดเป็นต้อกระจกได้
- **ทารกในครรภ์ได้รับรังสีในปริมาณสูง** ถ้าปริมาณรังสีสูงกว่า 100 มิลลิซีเวิร์ตเมื่อเด็กทารกที่คลอดออกมามีอายุ 8-15 สัปดาห์ จะเกิดผลต่อระบบประสาทส่วนกลางทำให้มีอาการทางวุฒิปัญญา และอาจเกิดเป็นสาเหตุของมะเร็งในวัยเด็ก ดังนั้นก่อนการถ่ายเอกซเรย์ให้หญิงมีครรภ์ต้องแจ้งให้แพทย์ทราบก่อนทุกครั้ง สำหรับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานทางรังสีหากตั้งครรภ์ควรหลีกเลี่ยงการปฏิบัติหน้าที่ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวเพื่อความปลอดภัยจากรังสีต่อทารถในครรภ์

2. **Stochastic effect** หมายถึง ผลกระทบที่ไม่ชัดเจน ผลกระทบของรังสีที่มีต่อร่างกายในลักษณะที่ยิ่งมีปริมาณรังสีที่ได้รับเพิ่มขึ้นเพียงใด โอกาสเกิดผลกระทบยิ่งมีเพิ่มมากขึ้น เช่น ทำให้เกิดเป็นมะเร็ง หรือมีผลกระทบทางพันธุ์กรรม โดยคิดจากสัดส่วนของประชากรที่ได้รับรังสีกับจำนวนผู้เป็นโรคมะเร็ง โดยระดับความรุนแรงของผลกระทบไม่ขึ้นกับปริมาณรังสีที่ได้รับ ดังนั้นการป้องกันอันตรายจากรังสีในกรณีเช่นนี้จึงเป็นไปในเชิงสมมติฐานเนื่องจากไม่มีเพดานกำหนดเอาไว้ ข้อมูลดังกล่าวได้จากผลการสำรวจผู้ได้รับรังสีจากระเบิดปรมาณูที่เมืองฮิโรชิมาและนางาซากิ พบว่าผลกระทบทางพันธุ์กรรมไม่เพิ่มขึ้น และไม่พบโอกาสการเกิดเป็นมะเร็งในปริมาณรังสีต่ำกว่า 0.2 ซีเวิร์ต

ปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้ (Maximum permissible dose)

ในการดำเนินชีวิตในโลกนี้มนุษย์ได้รับรังสีจากทั้งที่มีตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้นมาเอง สำหรับรังสีที่ก่อไปเกิดไอออนนั้นจะมีผลกระทบทางชีววิทยา ดังนั้นคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศทางการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection, ICRP)ได้กำหนดปริมาณรังสี(Dose limit) สำหรับบุคคลที่ทำงานในบริเวณปฏิบัติการทางรังสี และบุคคลทั่วไปไว้ดังแสดงในตารางที่ 5.1

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.1 ปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้สำหรับบุคคลที่ทำงานด้านรังสีและบุคคลทั่วไป

อวัยวะที่รับรังสี	บุคคลที่ทำงานด้านรังสี	บุคคลทั่วไป
Stochastic Limit ตลอดทั่วร่างกาย (Whole body dose)	ไม่เกิน 20 mSv/y โดยเฉลี่ยในช่วง 5 ปีติดต่อกัน โดยในแต่ละปีรับรังสีได้ไม่เกิน 50 mSvในช่วง 5 ปีติดต่อกันรับรังสีได้ไม่เกิน 100 mSv	ไม่เกิน 1 mSv / year
Deterministic Limit เลนส์ตา (Eye lens)	ไม่เกิน 150 mSv	ไม่เกิน 15 mSv
Deterministic Limit ผิวหนัง (Skin) มือและเท้า(extremity)	ไม่เกิน 500 mSv ไม่เกิน 500 mSv	ไม่เกิน 50 mSv -

สิ่งที่ต้องพิจารณา

1. ขีดจำกัดนี้ไม่รวมถึงปริมาณรังสีที่ได้รับในธรรมชาติ ปริมาณรังสีที่ได้รับจากการรักษาทางการแพทย์
2. ปริมาณรังสีที่กำหนดไว้ว่า ในหนึ่งปีผู้ที่ทำงานด้านรังสีสามารถรับรังสีได้ไม่เกิน 20 มิลลิซีเวิร์ต จากค่าเฉลี่ย 5 ปีติดต่อกัน ซึ่งหมายความว่าภายใน 5 ปีติดต่อกันจะรับรังสีได้ไม่เกิน 100 มิลลิซีเวิร์ตแต่จะรับรังสีได้สูงสุดไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี
3. หญิงมีครรภ์ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีรับรังสีทั่วร่างกายได้ไม่เกิน 2 มิลลิซีเวิร์ตเพราะทารกในครรภ์มีความไวต่อรังสีมาก ในทางปฏิบัติควรหลีกเลี่ยงการทำหน้าดังกล่าวจนกว่าจะคลอด

ผลกระทบที่เกิดจากการได้รับรังสีปริมาณต่ำ

ในกรณีที่ผู้ได้รับรังสีแบบเฉียบพลัน (Acute Dose) ในปริมาณตั้งแต่ 0-10 cGy หรือได้รับปริมาณรังสีตลอดปี 1 cGy ในปริมาณทีละเล็กน้อย (chronic exposure) ถือว่าเป็นรังสีที่มีปริมาณน้อย (Low Dose) ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่ทำให้เซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นแต่ไม่มีอันตรายต่อชีวิตของเซลล์นั้น หรือไม่ทำให้เซลล์ตายนั้นเอง

ผลกระทบที่มีต่อร่างกายมนุษย์เมื่อได้รับรังสีปริมาณต่ำ แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ผลกระทบที่มีต่อพันธุกรรม (Genetic or Mutation Effect)

สำหรับกรณีของกัมมันตรังสีนั้น ถือได้ว่ามีอิทธิพลต่อพันธุกรรมน้อยกว่าสาเหตุจากทางเคมี หรือเชื้อไวรัส ร่างกายมนุษย์มีเซลล์อยู่ 2 ชนิด ได้แก่ Somatic Cell และ Germ Cell โดย Somatic Cell คือเซลล์ของอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในร่างกายเกือบทั้งหมด ยกเว้น Germ Cell ซึ่งเป็นเซลล์ในอวัยวะที่ทำหน้าที่สืบพันธุ์

การกลายพันธุ์สามารถเกิดได้ทั้งเซลล์แบบ Somatic Cell และGerm Cell โดยที่กัมมันตภาพรังสีจะทำให้โครงสร้างและสารประกอบของ DNA ในยีน (Gene) เปลี่ยนแปลง หรืออาจทำให้รูปร่างและจำนวน Chromosome ในเซลล์เปลี่ยนแปลงเป็นผลให้เซลล์นั้นกลายพันธุ์ เมื่อมีการแบ่งเซลล์และเจริญเติบโตเป็น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กลุ่มเซลล์ขนาดใหญ่ที่ผิดปกติไปจากเดิม ถ้าเกิดกับกลุ่มเซลล์ชนิด Somatic cell ก็จะทำให้เกิดความผิดปกติกับอวัยวะนั้น ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายในภายหลัง

สำหรับผลกระทบที่มีต่อ Germ Cell นั้น มีอันตรายมากกว่า เพราะเป็นเซลล์ที่เกี่ยวกับอวัยวะสืบพันธุ์ ดังนั้นเมื่อ Germ Cell ได้รับกัมมันตภาพรังสีแล้วเกิดกลายพันธุ์ หลังจากนั้นเมื่อทำหน้าที่ขยายพันธุ์เกิดลูกหลานขึ้นมา และลูกหลานจะได้รับผลอันตรายที่เกิดจากรังสีเช่นเดียวกับพ่อแม่ โดยถ้าเป็นเซลล์ Somatic cell จะไม่มีผลกระทบไปถึงรุ่นลูกหลานเลย

สำหรับ Germ cell ของเพศหญิงกับเพศชาย เมื่อได้รับรังสีจะมีผลบางอย่างที่แตกต่างกัน ในกรณีของ Germ cell เพศหญิงนั้น เมื่อได้รับรังสีนอกจากจะมีการกลายพันธุ์แล้วยังทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของโฮร์โมนร่วมด้วย แต่ในของ Germ cell เพศชายนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโฮร์โมน

สำหรับอันตรายที่ Germ cell จะได้รับ ไม่ว่าจะเป็นเพศหญิงหรือเพศชาย ซึ่งเป็นผลที่จะได้รับไปตลอดชีวิตของเขา มีดังต่อไปนี้

ก. การเป็นหมัน อาจจะเป็นหมันในระยะชั่วคราว (1-2 ปี) หรือเป็นหมันตลอดชีวิตเลย ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับ เช่น ถ้าปริมาณรังสี 50 cGy กรณี Germ cell ของเพศหญิง จะมีโอกาสเป็นหมันชั่วคราว สำหรับ Germ cell ของเพศชาย จำนวนสเปิร์ม (sperm) ลดลงจากปกติทำให้เป็นหมันชั่วคราวเช่นกัน และใช้เวลาฟื้นตัวกลับมาเป็นปกติภายใน 40 สัปดาห์ แต่ถ้าได้รับปริมาณรังสี 400-600 cGy ทั้งเพศหญิงและเพศชายมีโอกาสเป็นหมันถาวรทั้งคู่

ข. การกลายพันธุ์ หรือการผ่าเหล่า

2. ผลกระทบของรังสีต่อการมีโอกาสเกิดเป็นมะเร็ง

โดยทั่วไปแล้วมีสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดเป็นมะเร็ง ได้แก่ กัมมันตภาพรังสี การสูบบุหรี่ สารเคมี และเชื้อไวรัส ในกรณีของกัมมันตภาพรังสีนั้น นับตั้งแต่มีการใช้รังสีเป็นต้นมา มีการศึกษาพบว่า ปริมาณรังสียิ่งมากขึ้นโอกาสที่จะก่อให้เกิดเป็นมะเร็งก็ยิ่งมากขึ้นด้วย ข้อมูลดังกล่าวได้จะเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอดีต เช่น ผู้ได้รับรังสีจากระเบิดนิวเคลียร์ในสงครามโลกครั้งที่ 2 และอุบัติเหตุจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น

3. ผลกระทบของรังสีต่อทารกในครรภ์มารดา

ทารกที่กำลังเจริญเติบโตในครรภ์มารดา เมื่อได้รับรังสีอาจมีผลกระทบ ดั้งต่อไปนี้

- เสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์มารดา
- เจริญเติบโตได้ช้ากว่าทารกปกติ
- มีอวัยวะบางส่วนหรือทั้งหมดพิการตั้งแต่แรกเกิด
- เมื่อคลอดออกมามีโอกาสเป็นมะเร็งตั้งแต่ยังเป็นเด็ก

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 6

การขนส่งสารกัมมันตรังสี

กฎระเบียบว่าด้วยการขนส่งสารกัมมันตรังสีมีจุดประสงค์ที่สำคัญคือ การควบคุมมาตรฐานความปลอดภัยให้เกิดความปลอดภัยต่อบุคคล ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อมดังนั้นทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) จึงได้กำหนดมาตรฐานการขนส่งสารกัมมันตรังสีเป็นเอกสารชื่อว่า “Regulations for Safe Transport of Radioactive Material” ซึ่งอยู่ในหมวด IAEA Safety Standards, Specific Safety Requirement No. SSR-6 Edit 2012 สำหรับประเทศไทยได้ตราเป็นกฎหมายเพื่อดูแลและควบคุมการขนส่งสารกัมมันตรังสีให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลซึ่งประกอบไปด้วย

1. การบรรจุสารกัมมันตรังสีในหีบห่อที่เหมาะสม ได้แก่
   - การควบคุมระดับรังสีที่แผ่ออกมาจากหีบห่อ
   - การจำกัดปริมาณวัสดุฟิซไซล์ วัสดุกัมมันตรังสีและความร้อนที่เกิดขึ้น
2. รูปแบบของหีบห่อและปริมาณบรรจุต้องเป็นไปตามมาตรฐาน
3. การควบคุมการจัดการ เช่น การเลือกเครื่องหมาย การติดฉลาก เอกสารขนส่งวัสดุอันตราย เป็นต้น

ชนิดของหีบห่อหรือบรรจุภัณฑ์ (Package)

หีบห่อที่บรรจุสารกัมมันตรังสีมีหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดและความแรงรังสี โดยเลือกใช้หีบห่อที่มีความแข็งแรงมากกับวัสดุที่มีความแรงรังสีสูง ซึ่งแบ่งออกเป็น 8 ประเภทคือ

1. หีบห่อยกเว้น (Excepted package)
2. หีบห่ออุตสาหกรรม ประเภทที่ 1 (Industrial package Type 1, Type IP-1)
3. หีบห่ออุตสาหกรรม ประเภทที่ 2 (Industrial package Type 2, Type IP-2)
4. หีบห่ออุตสาหกรรม ประเภทที่ 3 (Industrial package Type 3, Type IP-3)
5. หีบห่อประเภท A (Type A package)
6. หีบห่อประเภท B(U) (Type B(U) package)
7. หีบห่อประเภท B(M) (Type B(M) package)
8. หีบห่อประเภท C (Type C package)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากหีบห่อทั้ง 8 ประเภทนี้ กำหนดให้หีบห่ออุตสาหกรรมประเภทที่ 1, 2 และ 3 ใช้เพื่อขนส่งสารกัมมันตรังสีประเภทที่มีกัมมันตภาพรังสีต่ำ (Low specific activity, LSA) และวัตถุที่มีการเปรอะเปื้อนบนพื้นผิว (surface contamination object, SCO) จะมีข้อกำหนดในเรื่อง ปริมาณบรรจุและกัมมันตภาพรังสีรวมที่แตกต่างกันไป สำหรับหีบห่อประเภท B จะแบ่งเป็น B(U) และB(M) ในที่นี้ U (Unilateral) หมายถึง แบบของหีบห่อได้รับการรับรองจากประเทศต้นทาง และ M (Multilateral) หมายถึง แบบของหีบห่อได้รับการรับรองจากแต่ละประเทศที่ผ่าน หรือที่หีบห่อถูกส่งไป

1. **หีบห่อยกเว้น (Excepted package)**

หีบห่อที่บรรจุสารกัมมันตรังสีจำนวนเล็กน้อยและมีอัตราปริมาณรังสีที่ผิวของหีบห่อต่ำกว่า 0.005 mSv/h ถือว่าเป็นระดับความเสี่ยงอันตรายที่น้อยมาก ไม่จำเป็นต้องติดฉลากแสดงรังสี แต่จะต้องมีตัวเลขสหประชาชาติที่ใช้กับวัตถุอันตรายประเภท “7” (United Nation dangerous goods number) จึงถูกยกเว้นหรือไม่ต้องควบคุมในการขนส่ง ได้แก่ เภสัชภัณฑ์รังสี หรือวัสดุกัมมันตรังสีสำหรับใช้ในการปรับเทียบหรือการทดลอง เป็นต้น

2. **หีบห่อชนิดอุตสาหกรรม(Industrial package)**

หีบห่อประเภทนี้ใช้สำหรับขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีชนิด

- กัมมันตภาพรังสีต่ำ (low specific activity) เช่น แร่ยูเรเนียม วัสดุกัมมันตรังสีจากธรรมชาติ หรือกากกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตภาพต่ำ
- วัตถุที่มีการเปรอะเปื้อนแบบหละหลอมบนพื้นผิว (surface contaminated object) เช่น เศษวัสดุ เสื้อผ้าและถุงมือที่เปรอะเปื้อนรังสี เป็นต้น

หีบห่อชนิดอุตสาหกรรมมักจะขนส่งทางรถยนต์และรถไฟ มักไม่ขนย้ายทางเครื่องบินและหีบห่อชนิดนี้จะไม่ทนต่ออุบัติเหตุรุนแรง ในการใช้งานโดยปกติหีบห่อชนิดนี้จะต้องผ่านการทดสอบแบบ Type A package ซึ่งอาจไม่มีความทนทานมากนัก กำหนดว่าที่ระยะ 3 เมตรห่างจากผิวหีบห่อนี้อัตราปริมาณรังสีไม่เกิน 10 mSv/h

3. **หีบห่อชนิด Type A package**

หีบห่อชนิดนี้จะใช้สำหรับขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตภาพปานกลาง เช่น ต้นกำเนิดรังสี Technetium หรือวัสดุกัมมันตรังสีที่ใชในทางการแพทย์ หีบห่อแบบ Type A ได้รับการออกแบบให้ทนทานต่ออุบัติเหตุที่ไม่รุนแรงมากนัก และจะต้องผ่านการทดสอบในสภาวะขนส่งปกติตามระเบียบที่ IAEA กำหนดไว้ โดยปริมาณกัมมันตภาพสูงสุดจะถูกจำกัดไว้ นอกจากนี้อัตราปริมาณการแผ่รังสีที่ผิวของหีบห่อจะต้องต่ำกว่า

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2 mSv/h ซึ่งในการขนส่งจริงมักจะมีระดับรังสีที่ต่ำกว่า 2 mSv/h มาก ทำให้เมื่อเกิดกรณีอุบัติเหตุร้ายแรง ผลกระทบทางรังสีที่เกิดขึ้นตามมาจะถูกจำกัดตามไปด้วย หีบห่อชนิดนี้สามารถขนส่งได้ทุกแบบ แต่หากวัสดุกัมมันตรังสีมีค่าครึ่งชีวิตสั้น เช่น ไอโซโทปรังสีทางการแพทย์ จะเลือกใช้วิธีขนส่งทางอากาศเพื่อลดเวลาในการเดินทาง

4. หีบห่อชนิด Type B package

หีบห่อแบบนี้มีความแข็งแรง มีขนาดที่หลากหลายและจะใช้ขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตภาพสูง เช่น เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว หรือวัสดุกัมมันตรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม หีบห่อแบบ Type B สามารถทนต่ออุบัติเหตุที่รุนแรง และต้องผ่านการทดสอบในสภาวะการขนส่งที่เกิดอุบัติเหตุตามระเบียบที่ IAEA กำหนด อัตราการแผ่รังสีจากผิวหีบห่อจะต้องต่ำกว่า 2 mSv/h แต่หีบห่อเกือบทั้งหมดที่มีการขนส่งจริงมักจะมีระดับปริมาณรังสีต่ำกว่า 1 mSv/h หีบห่อชนิดนี้มักจะมีการขนส่งทางรถไฟ แต่ในบางกรณีก็มีการขนส่งทางรถยนต์ เครื่องบิน หรือทางเรือ

หีบห่อแบบ Type Bถูกออกแบบมาเพื่อบรรจุสารกัมมันตรังสีที่มีความเข้มข้นสูงและมีอุปกรณ์ป้องกันอุบัติเหตุโดยมีอุปกรณ์ยึดเกาะ มีผนังเหล็กหนาและสามารถป้องกันไฟไหม้ได้ หีบห่อแบบ Type B ที่ใช้บรรจุเชื้อเพลิงใช้แล้วสำหรับการขนส่งเรียกว่า “Shipping Cask” มีระบบป้องกัน 4 ชนิด ได้แก่

1. Containment เพื่อป้องกันวัสดุกัมมันตรังสีไม่ให้หลุดลอดออกมาภายนอกมีโครงสร้างที่แข็งแรงมาก
2. Shielding เพื่อป้องกันไม่ให้รังสีแผ่ออกไปสู่ภายนอก เป็นการกำบังรังสีไม่ให้คนงานและประชาชนทั่วไปได้รับรังสี
3. Heat management เพื่อระบายความที่เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชัน
4. Critically prevention เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดมวลวิกฤติของวัสดุที่แตกตัวได้

สำหรับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้วนั้นจะถูกแช่ไว้ในบ่อเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้ว (spent fuel pool) ภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เพื่อให้ความร้อนภายในแท่งเชื้อเพลิงถูกระบายทิ้งไป หลังจากนั้นจะถูกขนส่งโดย shipping cask ไปยังโรงสกัดยูเรเนียม (reprocessing plant) ดังนั้น shipping cask จึงถูกออกแบบให้มีระบบระบายความร้อนโดยใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อน ซึ่งปัจจุบันออกแบบให้สามารถเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วให้ได้เป็นเวลานาน ๆ สามารถเก็บแบบชั่วคราว (storage container) ได้ด้วย และพร้อมจะนำไปเก็บแบบถาวรได้ (disposal canister)

5. หีบห่อชนิด Type C package

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หีบห่อแบบนี้ถูกออกแบบให้มีความคงทนแข็งแรงมากที่สุด เพื่อใช้ขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่มีปริมาณกัมมันภาพสูง รวมทั้งวัสดุที่สามารถแตกตัวได้ (Fissionable material) และโดยปกติจะใช้วิธีขนส่งทางอากาศ หีบห่อแบบ Type C จะต้องผ่านการทดสอบการขนส่งที่เกิดอุบัติเหตุที่รุนแรงมากกว่าหีบห่อแบบ Type B โดยสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้นาน 60 นาที ทนทานต่อการแช่น้ำในระดับความลึกกว่า และทนทานต่อการตกกระแทกด้วนความเร็วสูง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าหีบห่อประเภทนี้สามารถทนทานต่ออุบัติเหตุทางอากาศได้

เกณฑ์การเปรอะเปื้อนทางรังสี

กำหนดให้หีบห่อมีการเปรอะเปื้อนที่ผิวด้านนอกและด้านในแบบหละหลวม ปริมาณรังสีที่ต่ำที่สุดต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

- 4 เบคเคอเรลต่อตารางเซนติเมตร สำหรับวัสดุกัมมันตรังสีที่แผ่รังสีบีตา รังสีแกมมา และรังสีแอลฟาที่มีความเป็นพิษต่ำ
- 0.4 เบคเคอเรลต่อตารางเซนติเมตร สำหรับวัสดุกัมมันตรังสีที่แผ่รังสีแอลฟา

ระดับรังสีสูงสุด

1. ระดับรังสีสูงสุดสำหรับวัสดุกัมมันตรังสี หรืออุปกรณ์ที่มีวัสดุกัมมันตรังสีเป็นส่วนประกอบที่สามารถขนส่งโดยบรรจุในหีบห่อได้
    - ระดับรังสี ณ จุดใด ๆ ที่ระยะ 10 ซม. จากวัสดุกัมมันตรังสีหรืออุปกรณ์ที่มีวัสดุกัมมันตรังสีเป็นส่วนประกอบที่ยังไม่บรรจุหีบห่อ หรือวัสดุกัมมันตรังสีที่ใช้หีบห่อแบบที่ได้รับยกเว้น ต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง
    - ปริมาณของวัสดุกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตภาพจำเพาะต่ำ หรือวัตถุที่มีการเปรอะเปื้อนทางรังสีบนพื้นผิว ที่บรรจุในแต่ละแบบหีบห่ออุตสาหกรรม Type 1, Type 2 หรือ Type 3 ต้องจำกัดให้ระดับรังสีที่ระยะห่าง 3 เมตร จากวัสดุที่ไม่มีเครื่องกำบังรังสีมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง
2. ระดับรังสีสูงสุดสำหรับหีบห่อ ต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดดังนี้
    - ระดับรังสีที่พื้นผิวของหีบห่อที่ได้รับการยกเว้นต้องมีค่าไม่เกิน 5 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง
    - ระดับรังสีที่พื้นผิวของหีบห่อ ต้องมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง และระดับรังสีที่ระยะ 1 เมตรจากพื้นผิวต้องไม่เกิน 0.1 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง
    - สำหรับหีบห่อวัสดุกัมมันตรังสีที่ขนส่งทางรถยนต์หรือรถไฟ ระดับรังสีที่ผิวด้านนอกต้องไม่เกิน 10 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง แต่อาจเกิน 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมงได้ โดยต้องปฏิบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- สำหรับหีบห่อวัสดุกัมมันตรังสีที่ขนส่งทางอากาศหรือทางเรือ ระดับรังสีที่พื้นผิวด้านนอกอาจมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมงได้ ถ้าอยู่ในการควบคุมพิเศษซึ่งมิได้อยู่ในขอบเขตของมาตรการนี้

3. ระดับรังสีสูงสุดสำหรับยานพาหนะขนส่ง มีค่าดังนี้
   - การขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ หรือหีบห่อในแต่ละยานพาหนะ ต้องไม่ทำให้ระดับรังสี ณ จุดใด ๆ ที่พื้นผิวของยานพาหนะนั้นมีค่าเกิน 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง และที่ระยะห่างจากผิวยานพาหนะ 2 เมตร ต้องไม่เกิน 0.1 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง
4. การควบคุมระดับรังสีระหว่างการขนส่งให้กระทำโดยการกำหนดดัชนีการขนส่ง

ดัชนีการขนส่ง (Transport Index)

1. เพื่อที่จะควบคุมการแผ่รังสีระหว่างการขนส่งต้องระบุดัชนีการขนส่งสำหรับแต่ละหีบห่อ ตู้คอนเทนเนอร์ หรือวัสดุที่ไม่ต้องมีหีบห่อ เช่น วัสดุที่มีกัมมันตภาพรังสีต่ำ
   ก) วัดระดับที่มีปริมาณรังสีสูงสุดที่ระยะ 1 เมตร จากผิวด้านนอกของหีบห่อหรือตู้คอนเทนเนอร์หรือวัสดุที่ไม่ต้องมีหีบห่อ ในหน่วยมิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง (mSv/h) นำมาคูณกับ 100 ผลลัทธ์ที่ได้คือ ค่าดัชนีขนส่ง สำหรับแร่ยูเรเนียม ทอเรียม ที่ทำให้มีความเข้มข้น ระดับรังสีสูงสุดที่ระยะห่าง 1 เมตร จากผิวนอกของสิ่งบรรทุก กำหนดดังนี้
      - 0.4 mSv/h สำหรับแร่ยูเรเนียม ทอเรียม ที่ทำให้มีความเข้มข้น
      - 0.3mSv/h สำหรับแร่ทอเรียม ที่ทำให้มีความเข้มข้นทางเคมี
      - 0.02 mSv/h สำหรับแร่ยูเรเนียม ที่ทำให้มีความเข้มข้นทางเคมี ทั้งนี้ไม่รวมถึงการขนส่งยูเรเนียมเฮกซาฟลูออไรด์
   ข) สำหรับถังบรรจุ ตู้คอนเทนเนอร์และวัสดุที่ไม่ต้องมีหีบห่อ วัสดุกัมมันตรังสีกัมมันตภาพจำเพาะต่ำกลุ่มที่ 1 หรือวัตถุที่มีการเปรอะเปื้อนบนพื้นผิวกลุ่มที่ 1 ค่าที่วัดได้จากข้อ ก) ให้นำไปคูณด้วยค่าที่เหมาะสมตามตารางที่ 1

   ตารารงที่ 1 ตัวคูณสำหรับการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีขนาดใหญ่

Size of load	Multiplication factor
Size of load ≤ 1 m^2	1
1 m^2<Size of load≤5 m^2	2
5 m^2< Size of load ≤20 m^2	3
20 m^2< Size of load	10

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค) ค่าที่ได้จากข้อ ก) และ ข) ให้ทำเป็นเลขทศนิยม 1 ตำแหน่ง ยกเว้น 0.05 หรือน้อยกว่าให้พิจารณาเป็นศูนย์

2. ค่าดัชนีการขนส่งสำหรับหีบห่อซ้อน ตู้ขนส่งคอนเทนเนอร์ หรือยานพาหนะ ต้องหาจากผลรวมของค่าดัชนีการขนส่งของหีบห่อทั้งหมดที่บรรทุก หรือหาจากการวัดระดับรังสี ทั้งนี้ยกเว้นกรณีที่เป็นหีบห่อซ้อนที่ไม่มีรูปร่าง ซึ่งต้องหาค่าดัชนีการขนส่งจากผลรวมของค่าดัชนีการขนส่งของหีบห่อทั้งหมดเท่านั้น
3. หีบห่อหรือหีบซ้อนใดที่มีค่าดัชนีการขนส่งเกิน 10 ให้ขนส่งภายใต้การปฏิบัติเฉพาะ
4. ดัชนีการขนส่งสำหรับตู้คอนเทนเนอร์และพาหนะที่ไม่ได้อยู่ภายใต้การปฏิบัติเฉพาะ
5. ไม่มีข้อจำกัดในการรวมค่าดัชนีขนส่งของวัสดุกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตภาพจำเพาะต่ำ
6. ไม่มีข้อจำกัดในการรวมค่าดัชนีขนส่งในแต่ละยานพาหนะที่ใช้การขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่อยู่ภายใต้การปฏิบัติเฉพาะ

การบรรทุกและการคัดแยก (Loading and Segregation)

1. เงื่อนไขสำหรับการบรรทุกและการคัดแยกต่อไปนี้ ใช้กับการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีทุกประเภท
   - การขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีต้องคัดแยกออกจากสินค้าอันตรายประเภทอื่น ๆ และตลอดการขนส่งจะต้องปฏิบัติตามมาตรการอย่างเคร่งคัด
   - วัสดุกัมมันตรังสี ต้องคัดแยกออกจากฟิล์มถ่ายรูป หรือถ้าต้องขนส่งร่วมกับฟิล์มถ่ายรูปนั้น จะต้องได้รับรังสีตลอดการขนส่งไม่เกิน 0.1 มิลลิซีเวิร์ตต่อการขนส่งแต่ละครั้ง
2. การขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีซึ่งไม่อยู่ภายใต้การปฏิบัติเฉพาะ ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขต่อไปนี้
   - การขนส่งแต่ละครั้งต้องไม่มีหีบห่อใด ๆ ที่มีค่าดัชนีขนส่งเกิน 10
   - การบรรทุกสิ่งของในตู้ขนส่งคอนเทนเนอร์และมีการรวมหีบห่อในพาหนะบรรทุกคันเดียว การขนส่งแต่ละเที่ยวต้องมีขีดจำกัดว่า ผลรวมของค่าดัชนีขนส่งบนพาหนะนั้น ต้องไม่เกินค่าที่กำหนด
   - การบรรทุกสิ่งของในตู้คอนเทนเนอร์ในพาหนะบรรทุกคันเดียว การขนส่งแต่ละเที่ยวต้องมีขีดจำกัดว่าระดับรังสีภายใต้เงื่อนไขปกติของการขนส่ง ต้องมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง ที่ตำแหน่งใด ๆ และไม่เกิน 0.1 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมงที่ระยะห่าง 2 เมตรจากผิวภายนอกของพาหนะขนส่ง
3. การขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีที่อยู่ภายใต้การปฏิบัติเฉพาะ ไม่มีขีดจำกัดสำหรับผลรวมค่าดัชนีขนส่ง แต่ต้องควบคุมระดับรังสีดังต่อไปนี้

สำหรับการขนส่งทางถนนและทางรถไฟ การขนส่งภายใต้การปฏิบัติเฉพาะ ระดับรังสีจะต้องมีค่าไม่เกิน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- 10 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมงที่ตำแหน่งใด ๆ บนพื้นผิวภายนอกของหีบห่อ แต่ถ้าเกินกว่า 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมง ต้องจัดให้มี
  ก) ยานพาหนะที่มีการปิดล้อมมิดชิด เพื่อป้องกันบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องบุกรุกเข้าไปด้านในตลอดการขนส่ง
  ข) มีการป้องกันความปลอดภัยให้กับหีบห่อ โดยมีการยึดหีบห่อที่บรรทุกในยานพาหนะ ให้ติดแน่นอยู่ในตำแหน่งตลอดการขนส่งปกติ
  ค) ต้องไม่มีการบรรทุกเพิ่มหรือการนำของออกตลอดระยะทางการขนส่ง
- 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมงที่ตำแหน่งใด ๆ บนพื้นผิวภายนอกของยานพาหนะ รวมถึงด้านบนและด้านล่างของพื้นผิว หรือในกรณีเมื่อเปิดยานพาหนะออก บนพื้นผิวด้านบนของช่องทางบรรจุ และบริเวณด้านล่างของพื้นผิวภายนอกของยานพาหนะ
- 0.1 มิลลิซีเวิร์ตต่อชั่วโมงที่ตำแหน่ง 2 เมตร ในระนาบตั้งฉากจากด้านข้างภายนอกของพื้นผิวของยานพาหนะหรือ ถ้าเป็นการขนส่งในยานพาหนะเปิด คือตำแหน่ง 2 เมตร ในระนาบตั้งฉากซึ่งยื่นออกมาจากขอบนอกสุดของยานพาหนะ

การติดฉลากการขนส่ง (Package labels)

วัสดุกัมมันตรังสีที่มีความเป็นอันตราย สหประชาชาติจึงจัดให้อยู่ในกลุ่มของวัสดุประเภทอันตราย (Dangerous Goods) และกำหนดเลขในการขนส่งสำหรับประเภทวัสดุอันตรายต่าง ๆ ที่เรียกว่า “เลขสหประชาชาติ (United Nations class number)” สำหรับการขนส่งสินค้าวัสดุกัมมันตรังสีจะจัดอยู่ในสินค้าประเภทอันตรายที่ 7 หีบห่อแต่ละชิ้นต้องติดฉลากแสดงเลขสหประชาชาติ 7 และเลข 4 ตัวที่ทีอักษร UN นำหน้า และชื่อที่ถูกต้องในการขนส่งที่มองเห็นได้อย่างชัดเจนและถาวร ติดกำกับไว้ด้านนอกของบรรจุภัณฑ์ สำหรับหีบห่อแบบยกเว้นให้แสดงเฉพาะหมายเลขสหประชาชาติที่มีอักษร UN นำหน้า เพื่อเตือนให้เพิ่มความระมัดระวังในการปฏิบัติการระหว่างขนส่งว่าหีบห่อนั้น ๆ มีวัสดุกัมมันตรังสีบรรจุอยู่และต้องการทำการจัดการเป็นพิเศษอย่างไร ฉลากแต่ละชนิดบ่งบอกถึงระดับอัตราปริมาณรังสีที่พื้นผิวของหีบห่อและที่ระยะ 1 เมตรจากพื้นผิว

ป้ายฉลากที่ติดบนหีบห่อที่ไม่ใช่วัสดุฟิซไซล์ มี 3 ประเภท ดังรูปที่ 6.1 และมีชื่อเรียกดังนี้

1. Radioactive – I White
2. Radioactive – II Yellow
3. Radioactive – III Yellow

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในป้ายฉลากการขนส่ง Radioactive – I, II และ III ต้องระบุ ดังต่อไปนี้

- ชื่อสารกัมมันตรังสี
- กัมมันตภาพรังสี
- ค่าดัชนีการขนส่ง (ยกเว้น I White)

รูปที่ 6.1 ป้ายฉลากการขนส่งทั้ง 3 ประเภท

การติดฉลากบนพาหนะขนส่ง

IAEA ได้กำหนดให้ยานพาหนะขนส่งทางถนนต้องติดป้ายที่แสดงสัญลักษณ์ทางรังสี และตัวเลขสหประชาชาติ “7” ทั้งสองข้างของตัวรถรวมทั้งด้านหลัง เพื่อแสดงว่าพาหนะได้บรรทุกวัสดุกัมมันตรังสี ดังรูปที่ 6.2

รูปที่ 6.2 แสดงตำแหน่งการติดป้ายฉลากในการขนส่งทางรถยนต์

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เอกสารการกำกับการขนส่ง

กำหนดให้ผู้ส่งวัสดุกัมมันตรังสีต้องแสดงและระบุรายละเอียดในเอกสารประกอบการขนส่งต่อบริษัทการขนส่งดังต่อไปนี้

1. ชื่อการขนส่ง (Shipping name)
2. ใช้เลข “7” เพื่อระบุประเภทของวัตถุอันตรายตามระบบของสหประชาชาติ สำหรับเชื้อเพลิงใหม่หรือเชื้อเพลิงใช้แล้ว
3. หมายเลข “UN”
4. รายชื่อนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สำคัญ
5. ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี
6. ค่ากัมมันตภาพสูงสุดในหน่วย เบคเคอเรล (Bq) พร้อมด้วยคำนำหน้าหน่วยในระบบ SI
7. ประเภทของหีบห่อ ได้แก่ I – WHITE, II – YELLOW หรือ III – YELLOW
8. ค่าดัชนีขนส่ง
9. ค่าดัชนีความปลอดภัยของภาวะวิกฤติ (Critical Safety Index, CSI)
10. เครื่องหมายระบุการรับรองจากหน่วยงานที่ดูแลกำกับยอมรับ เช่น หน่วยงานรับรองวัสดุกัมมันตรังสีแบบพิเศษ หน่วยงานรับรองการออกแบบหีบห่อ หรือหน่วยงานรับรองการขนส่ง
11. เอกสารแสดงรายละเอียดของวัสดุที่บรรจุในแต่ละหีบห่อ หรือตู้สินค้าและรายละเอียดของตู้สินค้าตามความเหมาะสม หากต้องนำบางหีบห่อออกจากตู้สินค้าระหว่างการขนส่ง ต้องมีเอกสารกำกับการขนส่งมอบไปให้ด้วย
12. ในกรณีที่เป็นการขนส่งภายใต้งานเฉพาะต้องติดป้ายแสดงคำว่า “EXCLUSIVE USE SHIPMENT”
13. นอกจากนี้ ผู้ส่งต้องระบุในเอกสารกำกับการขนส่ง ข้อควรระวังเกี่ยวกับการขนส่งวัสดุดังกล่าว โดยอย่างน้อยต้องระบุประเด็นต่อไปนี้
    - ข้อกำหนดสำหรับการขนถ่าย การเก็บรักษา การเคลื่อนย้ายหีบห่อ หรือตู้สินค้า รวมถึงการเก็บรักษาในกรณีที่ต้องมีการรายความร้อน
    - ข้อจำกัดของการขนส่งด้วยวิธีหรือด้วยยานพาหนะต่าง ๆ หรือข้อแนะนำเส้นทางในการขนส่ง
    - แผนและแนวปฏิบัติในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 7

การจัดการกากกัมมันตรังสี

กากกัมมันตรังสี

กากกัมมันตรังสี หมายถึง วัสดุในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซที่เป็นวัสดุกัมมันตรังสี ประกอบหรือปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี ที่มีค่ากัมมันตภาพต่อปริมาณสูง หรือกัมมันตภาพรวมสูงกว่าเกณฑ์ความปลอดภัยที่กำหนดภายใต้การควบคุมตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. ๒๕๕๙

ในที่นี้เกณฑ์ความปลอดภัยพิจารณาจากต้นกำเนิดรังสีที่มีกัมมันตภาพเท่ากับหรือต่ำกว่าระดับความปลอดภัย จึงสามารถปล่อยออกจากการควบคุมดูแลได้และระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ทำให้ประชาชนได้รับปริมาณรังสีเกิน 10 μSv/y และไม่ก่อให้เกิดปริมาณรังสียังผลรายกลุ่มเกินกว่า 1 Sv-man

ประเภทของกากกัมมันตรังสี (Radioactive Waste Classification)

กากกัมมันตรังสีมีความแตกต่างจากกากมลพิษต่าง ๆ และกากอุตสาหกรรมอย่างชัดเจน โดยกากกัมมันตรังสีสามารถแผ่รังสีได้ บางกรณีสามารถให้ความร้อนออกมาเนื่องจากการแผ่รังสี แต่ปริมาณรังสีและความร้อนที่แผ่ออกมาจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เป็นผลให้วัสดุกัมมันตรังสีในกากกัมมันตรังสีมีความแรงรังสีต่ำลงกว่าค่าระดับความปลอดภัย และเมื่อถึงเวลานั้นก็สามารถปลดออกจากการควบคุมได้และกำจัดทิ้งได้อย่างปลอดภัยเช่นเดียวกับขยะทั่วไป เราสามารถแบ่งประเภทของกากกัมมันตรังสีออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกัน ได้แก่

1) **กากกัมมันตภาพรังสีสูง (High Level Waste, HLW)**หมายถึง สารกัมมันตรังสีที่มีระดับกัมมันตภาพรังสีสูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลิตผลฟิชชัน (fission product) อาจอยู่ในรูปของเหลวที่ถูกแยกออกมาอยู่ในตัวทำละลายของการสกัดเชื้อเพลิงใช้แล้วด้วยกระบวนการทางเคมี หรือเป็นเชื้อเพลิงใช้แล้วจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ถูกประกาศว่าให้นับเป็นกากกัมมันตรังสี หรือกากอื่น ๆ ที่มีระดับกัมมันตภาพรังสีสูงมาก
2) **กากกัมมันตภาพรังสีปานกลาง (Intermediate Level Waste, ILW)** หมายถึง กากที่มีกัมมันตภาพและความร้อนต่ำกว่ากากกัมมันตภาพรังสีสูง แต่ในระหว่างการจัดการ การบรรจุ และการขนส่ง ต้องมีกำบังรังสี โดยมากกากกัมมันตรังสีประเภทนี้มาจากระบบบำบัดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ และจากการ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รื้อถอนโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ประกอบด้วยสารแลกเปลี่ยนไอออน สลัดจ์ และโลหะที่เป็นองค์ประกอบของปั้มและปลอกหุ้มเชื้อเพลิง

3) **กากกัมมันตภาพรังสีต่ำ(Low Level Waste, LLW)** หมายถึง กากที่มีนิวไคลด์รังสีเจือปนอยู่น้อย จึงไม่จำเป็นต้องมีกำบังรังสีในระหว่างการจัดการกากและการขนส่ง กากกัมมันตรังสีประเภทนี้ได้แก่ กากที่เกิดจากการใช้งานทางการแพทย์ อุตสาหกรรม และการเกษตร ประกอบด้วยกระดาษ เสื้อผ้า แผ่นกรอง กากจำพวกนี้ส่วนใหญ่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น สามารถจัดเก็บไว้ใต้ดินระดับตื้น

แหล่งที่มาของกากกัมมันตรังสี

สารกัมมันตรังสีได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทยมาเป็นเวลานานกว่า 80 ปีมาแล้ว โดยนำมาใช้ในงานด้านการแพทย์ เพื่อการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรค โดยสารกัมมันตรังสีที่นำมาใช้ในช่วงแรกได้แก่ แร่เรเดียม และโคบอล-60 เพื่อใช้รักษามะเร็ง เป็นต้น ด้านอุสาหกรรมเพื่อใช้ในงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ได้แก่ ซีเซียม-137 ใช้สำหรับถ่ายภาพชิ้นงาน รอยเชื่อมต่าง ๆ ส่วนทางด้านการเกษตร ใช้สารกัมมันตรังสีเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชใหม่ ๆ เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นว่ามีการใช้ประโยชน์จากสารกัมมันตรังสีอย่างแพร่หลายและมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงทำให้มีปริมาณกากกัมมันตรังสีเพิ่มขึ้นเช่นกัน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงมีหน้าที่กำกับดูแลการใช้สารกัมมันตรังสีอย่างปลอดภัย รวมทั้งการจัดการกากกัมมันตรังสี

1) การใช้ประโยชน์สารกัมมันตรังสีทางการแพทย์

การนำสารกัมมันตรังสีมาใช้ในทางการแพทย์นั้น เพื่อช่วยให้แพทย์สามารถวินิจฉัยและให้การรักษาผู้ป่วยอย่างถูกต้องรวดเร็ว และดียิ่งขึ้น กรณียาที่อยู่ในรูปสารประกอบที่ติดฉลากด้วยสารกัมมันตรังสี เกาะติดอยู่ในโมเลกุลนั้นเรียกว่า “เภสัชรังสี” หรือ “เภสัชภัณฑ์รังสี” ซึ่งนำมาใช้ในทางการแพทย์ คือ

ก) **การตรวจวินิจฉัย (Diagnostic)** เป็นการนำสารเภสัชรังสีมาฉีดเข้าไปในเส้นเลือดของผู้ป่วยทำให้สามารถสร้างภาพของอวัยวะนั้นได้ โดยสารรังสีที่ติดฉลากจะเข้าไปสะสมอยู่ในอวัยวะเป้าหมายและแผ่รังสีออกมาทำให้สามารถตรวจวัดรังสีได้ด้วยหัววัดรังสีและนำข้อมูลที่ได้สร้างเป็นภาพการสะสมของสารรังสีในอวัยวะนั้น ผลที่ได้คือทราบตำแหน่งและขนาดของโรคที่อยู่ในอวัยวะนั้น ตัวอย่างของสารเภสัชรังสีที่นำมาใช้แสดงไว้ในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 สารเภสัชรังสีที่นำมาใช้ในการตรวจวินิจฉัย

สารเภสัชรังสี	ตรวจวินิจฉัย
Ga-67	การอักเสบต่าง ๆ และการเป็นหนองในช่องท้องและใช้ตรวจหาการแพร่กระจายของมะเร็งในต่อมน้ำเหลือง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารเภสัชรังสี	ตรวจวินิจฉัย
Kr-81m	ตรวจการทำงานของหัวใจ
Tc-99m	ตรวจการทำงานของระบบต่าง ๆ เช่น หัวใจ ไทรอยด์ กระดูก ตับ ม้าม ไต สมอง ปอด
In-111	ตรวจติดตามเม็ดเลือดขาวเพื่อตรวจหาบริเวณอักเสบของร่างกาย ตรวจมะเร็งเต้านม รังไข่ ลำไส้
I-131	ตรวจการทำงานของต่อมไทรอยด์
Au-195	ตรวจการไหลเวียนของโลหิต
Tl-201	ตรวจสภาพหัวใจเมื่อทำงานเต็มที่ ตรวจการทำงานกล้ามเนื้อหัวใจและการไหลเวียนของโลหิตที่ไปเลี้ยงหัวใจ

ข) **การบำบัดโรค (Radiotherapy)** เป็นการนำสารกัมมันตรังสีมาใช้ในงานรังสีรักษา เช่น การฉายรังสีเพื่อรักษามะเร็งหรือเนื้องอก สารกัมมันตรังสีดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 สารกัมมันตรังสีที่นำมาใช้ในงานรังสีรักษา

สารกัมมันตรังสี	รังสีรักษา
Co-60	ใช้รังสีแกมมาเพื่อรักษามะเร็งที่ตำแหน่งลึก ๆ ของอวัยวะ เช่น มะเร็งปอด มะเร็งหลอดอาหาร มะเร็งมดลูก เป็นต้น
Ta-182	ใช้รักษามะเร็งปากมดลูก
Sr-90	ใช้รักษามะเร็งผิวหนัง ต้อกระจกหลังผ่าตัด
I-131	ใช้รักษามะเร็งหรือเนื้องอกที่ต่อมไทรอยด์
P-32	ใช้รักษามะเร็งเม็ดโลหิตขาวชนิดเรื้อรัง
Au-198	ใช้รักษามะเร็งผิวหนังและมะเร็งที่แพร่กระจายไปอวัยวะอื่น

สารกัมมันตรังสีส่วนใหญ่ที่ใช้ในทางการแพทย์ประมาณ 70% มีค่าครึ่งชีวิตสั้น ดังนั้นกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นต้นกำเนิดรังสีที่ใช้แล้ว ปกติต้องส่งกากกัมมันตรังสีกลับไปยังผู้ผลิต และวัสดุที่เปรอะเปื้อนสารเภสัชรังสี เช่น ขวดไซลิงค์ เข็มฉีดยา เครื่องแก้ว ถุงมือ แผ่นซับต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้และปล่อยให้สลายตัวจนความแรงรังสีลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยก่อนที่จะนำไปกำจัดพร้อมกับวัสดุอันตรายทางชีวภาพ (biohazard material)

2) การใช้ประโยชน์สารกัมมันตรังสีทางอุตสาหกรรม

สารกัมมันตรังสีที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในกิจการอุตสาหกรรมเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปสารปิดผนึก (Sealed source) มีส่วนน้อยที่ใช้เป็นสารเปิดผนึก (Unsealed source) ที่อยู่ในรูปของเหลวหรือก๊าซซึ่งมีค่าครึ่งชีวิตสั้น เพื่อใช้ในการตรวจหารอยรั่วในท่อต่าง ๆ หรือในถังเก็บขนาดใหญ่ เมื่อใช้เสร็จสารกัมมันตรังสีแบบเปิด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผนึกก็จะสลายตัวไปจนอยู่ในระดับที่ปลอดภัย ส่วนสารกัมมันตรังสีที่ปิดผนึกหลังจากเลิกใช้แล้ว จะเป็นกากกัมมันตรังสีที่ต้องส่งกลับผู้ผลิตสารกัมมันตรังสีที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 สารกัมมันตรังสีที่นำมาใช้ในงานงานอุตสาหกรรม

สารกัมมันตรังสี	ลักษณะงาน
Co-60, Cs-137, Am-241	ใช้รังสีแกมมาเพื่อตรวจวัดระดับของเหลว หรือวัดความหนาแน่นของดิน
Co-60, Ir-192, Am-Be, Cf-252	ใช้ในงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย หรือถนอมอาหาร
Sr-90, Kr-85, Am-241, Cs-137	ใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนากระดาษ
Fe-55, Cd-109, Pu-238, Ba-133	ใช้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพ เช่น น้ำมัน นมผง ดิน

3) การใช้ประโยชน์สารกัมมันตรังสีทางการเกษตร

สารกัมมันตรังสีที่นำมาใช้ทางการเกษตรส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในลักษณะเป็นสารตรวจติดตาม เช่น ติดฉลากกับปุ๋ยเคมีเพื่อศึกษาการดูดซึมสารอาหารของพืช หรือศึกษาการสะสมของยาฆ่าแมลงในเมล็ดพืชโดยการผสมสารกัมมันตรังสีกับยาฆ่าแมลง เป็นต้น เมื่อใช้แล้วจะเป็นกากกัมมันตรังสีซึ่งส่วนใหญ่สลายตัวเร็วเพราะมีค่าครึ่งชีวิตสั้น นอกจากนั้นอาจใช้สารกัมมันตรังสีแบบปิดผนึก (Sealed source) เพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชซึ่งมักใช้สารกัมมันตรังสีที่มีความแรงรังสีสูงมาก สารกัมมันตรังสีที่นำมาใช้ในทางการเกษตรแสดงไว้ในตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 สารกัมมันตรังสีที่นำมาใช้ในทางการเกษตร

สารกัมมันตรังสี(ครึ่งชีวิต)	ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร
Co-60 (5.2 ปี), Cs-137 (30.17 ปี)	ใช้รังสีแกมมาเพื่อถนอมอาหาร
C-14 (5760 ปี)	ใช้ติดตามยาฆ่าแมลงในเมล็ดพืช
P-32 (14.3 วัน), S-35 (86.7 วัน)	ใช้ศึกษาการดูดซึมสารอาหารของพืช

หลักการจัดการกากกัมมันตรังสี

การจัดการกากกัมมันตรังสีมิได้หมายถึงการทำลายสารกัมมันตรังสีให้หมดสิ้นไป เพราะวิธีทางเคมีหรือฟิสิกส์ไม่สามารถทำลายสภาพกัมมันตรังสีได้ การสลายตัวตามธรรมชาติด้วยค่าครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีเท่านั้นที่จะแปรสภาพการเป็นกัมมันตรังสีได้ การจัดการกากกัมมันตรังสีจึงเป็นการดำเนินการใด ๆ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของกากกัมมันตรังสีออกสู่สภาวะแวดล้อม ไม่ให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาแก่บุคคลรุ่นหลัง ๆ ต่อไป

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การจัดการกากกัมมันตรังสี หมายถึง กระบวนการดำเนินการทุกขั้นตอนซึ่งเกี่ยวข้องในการรวบรวม การคัดแยก การจำแนก การจัดเก็บ การบำบัด การแปรสภาพ การทิ้ง และกากขจัดกากกัมมันตรังสี และให้ความหมายรวมถึงการขนส่งกากกัมมันตรังสีด้วย

กากกัมมันตรังสีอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ประกอบด้วยสารกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ และมีระดับความแรงรังสีแตกต่างกันไป (ระดับความแรงรังสีสูง ปานกลาง หรือต่ำ) วิธีการจัดการกากกัมมันตรังสีมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ คุณภาพ และปริมาณของกากกัมมันตรังสี มีหลักการร่วมกัน 3 ประการ คือ

ก) การทำให้เข้มข้น และเก็บรวบรวม (Concentration and Contain)

ข) การทำให้เจือจาง แล้วระบายทิ้ง (Dilute and disperse)

ค) การเก็บทอดระยะเวลา และปล่อยให้สารกัมมันตรังสีสลายตัวไปเอง (Delay and Decay)

หลักการพื้นฐานการจัดการกากกัมมันตรังสี

หลักการพื้นฐานในการจัดการกากกัมมันตรังสี คือ “จะต้องควบคุมปริมาณกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด” (Minimization of Radioactive Waste) วิธีการควบคุมกากให้มีปริมาณน้อยที่สุดนั้นเริ่มตั้งแต่การออกแบบสถานปฏิบัติการทางรังสีทุกประเภท ตลอดจนการปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบ แต่ถึงอย่างไรก็ตามยังไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดกากกัมมันตรังสีได้ ดังนั้นการลดปริมาณกาก การคัดแยกกาก จึงเป็นแนวปฏิบัติที่จำเป็นเพื่อประโยชน์ต่อการจัดการกากอย่างประหยัดและปลอดภัย

แนวปฏิบัติในการคัดแยกและเก็บรวบรวมกากกัมมันตรังสี

1) แนวปฏิบัติทั่วไป

- หน่วยงานผู้ใช้สารกัมมันตรังสีมีหน้าที่คัดแยก เก็บรวบรวม จัดสถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีชั่วคราวและนำส่งไปยังหน่วยงานที่มีหน้าที่จัดการกากกัมมันตรังสี
- วางแผนการปฏิบัติงานในทุกขั้นตอน เพื่อลดปริมาณกากกัมมันตรังสีให้น้อยลง
- ควบคุมไม่ให้มีขยะอื่นใดที่มิใช่กากกัมมันตรังสี รวมปะปนกับกากกัมมันตรังสี
- กรณีที่กากกัมมันตรังสีมีส่วนประกอบที่เป็นวัตถุอันตราย ได้แก่ วัตถุกัดกร่อน วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค จะต้องแจ้งต่อสำนักงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบ
- ตรวจสอบสภาพของภาชนะบรรจุกากกัมมันตรังสีเป็นประจำ เพื่อป้องกันการรั่วไหลและกระจายออกสู่บริเวณโดยรอบ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- กรณีกากกัมมันตรังสีที่เป็นขยะติดเชื้อ ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนการฆ่าเชื้อตามปกติ ก่อนนำส่งกากกัมมันตรังสี พร้อมมีเอกสารรับรองการผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ
- ติดฉลากเครื่องหมายรังสี ระบุวันที่รวบรวมกากกัมมันตรังสี น้ำหนักและปริมาตรของกากกัมมันตรังสี ชนิดและความแรงรังสี ในหน่วยเบคเคอเรล (Bq) ระดับรังสีที่ผิวภาชนะในหน่วยเบคเคอเรลต่อชั่วโมง (Bq/h) และระดับความเปรอะเปื้อนรังสีที่ผิวภาชนะในหน่วยเบคเคอเรลต่อตารางเซนติเมตร (Bq/cm^2)

2) แนวปฏิบัติในการคัดแยกกากกัมมันตรังสี

- กากของเหลวกัมมันตรังสี ให้ผู้ใช้คัดแยกกากของเหลวออกเป็น 3 ประเภท และบรรจุในภาชนะที่เหมาะสมแยกออกจากกัน คือ
  - สารละลายน้ำ เช่น น้ำทิ้งในห้องปฏิบัติการทางรังสี
  - สารละลายอินทรีย์ เช่น น้ำมันก๊าด น้ำมันหล่อลื่น สารละลายซิลทิลแลนท์
  - ของเสียทางการแพทย์ เช่น ปัสสาวะ เลือด เซรุม เป็นต้น
- กากของแข็งกัมมันตรังสี ให้ผู้ใช้คัดแยกกากของแข็งออกเป็น 3 ประเภท และบรรจุในภาชนะที่เหมาะสมแยกออกจากกัน คือ
  - ประเภทเผาไหม้ได้ เช่น กระดาษ ผ้า ไม้ พลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ซากสัตว์ทดลอง
  - ประเภทเผาไหม้ไม่ได้ แต่บดอัดได้ เช่น แก้ว โลหะ ยาง ถุงมือยาง พลาสติกมีสี
  - ประเภทเผาไหม้ไม่ได้ และบดอัดไม่ได้ เช่น ชิ้นโลหะขนาดใหญ่ เข็มฉีดยา วัสดุกำบังรังสี ดิน ตะกอนดิน
- กากกัมมันตรังสีชนิดพิเศษ ให้คัดแยกออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่
  - **เรซิน** ให้บรรจุกากเรซินใส่ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีเอทธีลีนที่มีขนาดความจุ 20 ลิตร มัดปากถุงให้แน่นพร้อมตรวจสอบความเปรอะเปื้อนทางรังสี ที่พื้นผิวด้านนอกของถุงบรรจุกากกัมมันตรังสีโดยรอบ ติดฉลากเครื่องหมายรังสี ระบุวันที่รวบรวมกากกัมมันตรังสี น้ำหนักและปริมาตรของกากกัมมันตรังสี ชนิดและความแรงรังสี ในหน่วยเบคเคอเรลต่อกิโลกรัม (Bq/kg) ระดับรังสีที่พื้นผิวถุงบรรจุในหน่วยมิลลิเรินเกนท์ต่อชั่วโมง (mR/h) และระดับความเปรอะเปื้อนรังสีที่พื้นผิวถุงบรรจุ ในหน่วยเบคเคอเรลต่อตารางเซนติเมตร (Bq/cm^2) นำถุงกากเรซินใส่ในถังพลาสติกทรงกระบอกขนาดความจุ 50 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 46 ซ.ม. ส่วนสูง 50 ซ.ม. เป็นถังปากกว้าง มีฝาปิด สามารถทนสภาพกรดและด่าง จากนั้นจึงนำถังใส่ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีเอทธีลีนอีกชั้นหนึ่ง และ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

มัดปากถุงให้แน่น แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ ณ สถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีชั่วคราวจนกว่าจะนำส่งหน่วยงานที่มีหน้าที่รับจัดการกากกัมมันตรังสี

- **ชุดกรองอากาศ** บรรจุชุดกรองอากาศใส่ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีเอทธีลีนที่มีขนาดเหมาะสม และตรวจวัดความเปรอะเปื้อนทางรังสีที่พื้นผิวด้านนอกถุง นำใส่กล่องกระดาษแข็งขนาดตามความเหมาะสม ติดฉลากเครื่องหมายรังสี ระบุวันที่รวบรวมกากกัมมันตรังสี น้ำหนักและปริมาตรของกากกัมมันตรังสี ชนิดและความแรงรังสี ในหน่วยเบคเคอเรลต่อกิโลกรัม (Bq/kg) ระดับรังสีที่พื้นผิวในหน่วยมิลลิเรินเกนท์ต่อชั่วโมง (mR/h) และระดับความเปรอะเปื้อนรังสีที่พื้นผิวในหน่วยเบคเคอเรลต่อตารางเซนติเมตร (Bq/cm^2) บนกล่องบรรจุ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ ณ สถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีชั่วคราวจนกว่าจะนำส่งหน่วยงานที่มีหน้าที่รับจัดการกากกัมมันตรังสี

- กากต้นกำเนิดรังสีปิดผนึก เมื่อเลิกใช้งานแล้วให้ดำเนินการส่งคืนบริษัทผู้ผลิตตามที่ได้ทำสัญญาส่งคืนอุปกรณ์ และแจ้งการขอยกเลิกการครอบครองต้นกำเนิดรังสีไปยังสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เมื่อนำส่งกากต้นกำเนิดรังสีไปยังสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ต้องมีเจ้าหน้าที่ผู้ดำเนินการจัดการกากกัมมันตรังสีควบคุมมาด้วย โดยใช้รถขนส่งกากกัมมันตรังสีเฉพาะกิจ ห้ามใช้รถขนส่งสาธารณะ รวมทั้งต้องมีหีบห่อที่เหมาะสม และระดับความแรงกัมมันตภาพรังสีต้องอยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามข้อกำหนด

เกณฑ์มาตรฐานการระบายทิ้งกากกัมมันตรังสี

1. **กากของเหลวกัมมันตรังสี**

กากของเหลวกัมมันตรังสีที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีต่อปริมาณ หรือกัมมันตภาพรังสีรวมเท่ากับหรือต่ำกว่าเกณฑ์ความปลอดภัยที่คณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา ความแรงรังสีรวมแอลฟาต้องไม่เกิน 3.7 เบ็กเคอเรลต่อลิตร ความแรงรังสีรวมบีตาต้องไม่เกิน 37 เบ็กเคอเรลต่อลิตร ทั้งนี้ต้องดำเนินการภายใต้การได้รับอนุญาตจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ จึงจะสามารถทิ้งกากของเหลวกัมมันตรังสีได้

การจัดการกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลว

ก) กากของเหลวกัมมันตรังสีระดับสูง

กากของเหลวประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายของ fission Product จากโรงงานคืนสภาพเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (reprocessing plant) การบำบัดกากรังสีนี้มักใช้วิธีการต้มระเหย (evaporation technique)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากนั้นจึงเก็บไว้ในภาชนะที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิม (stainless steel) และเก็บไว้รอให้สลายตัวลดลงบางส่วน แล้วทำให้เป็นของแข็ง โดยวิธีผนึกให้เป็นแก้ว หรืออาจทำให้เป็นเกลือแคลไซน์ต่อไป

ข) กากของเหลวกัมมันตรังสีระดับต่ำและปานกลาง

โดยทั่วไปกากของเหลวกัมมันตรังสีมักจะอยู่ในรูปสารละลายของน้ำ เพราะในการปฏิบัติงานเกือบทุกประเภทมักใช้น้ำ เช่น ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ ใช้ทำละลายสารเคมีต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ การดำเนินการขจัดกากของเหลวกัมมันตรังสีนั้น จะเริ่มด้วยการรวบรวมกากของเหลวไว้จนกระทั่งมีปริมาณมาก เพื่อประโยชน์สองประการคือ ทำให้สารกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้น ๆ สะลายตัวไปจนหมด และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งมีวิธีการปฏิบัติ เช่น

- การตกตะกอนเคมี
- การต้มละเหย (evaporation)
- การดูดจับด้วยสารแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange)

เมื่อบรรจุกากของแข็งกัมมันตรังสีในภาชนะบรรจุ ระดับความแรงรังสีบนพื้นผิวภาชนะต้องเท่ากับระดับรังสีพื้นหลัง (background radiation) หรือไม่เกินเกณฑ์ความปลอดภัยที่คณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติกำหนด

การจัดการกากกัมมันตรังสีชนิดของแข็ง

ก) กากของแข็งกัมมันตรังสีระดับสูง (high radioactive waste)

กากของแข็งกัมมันตรังสีชนิดนี้มักมาจากโรงงานคืนสภาพเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ กากบำบัดกากนี้จะกระทำโดยการแปรสภาพของกากให้เป็นวัสดุที่คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี เช่น แก้ว หรือเซรามิค โดยกากของแข็งที่ผ่านการแประสภาพแล้วเรียกว่า ผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสี (Waste product) และจะถูกบรรจุลงในภาชนะที่เหมาะสม แล้วเก็บไว้รอการทิ้งกากโดยถาวรต่อไป

ข) กากของแข็งกัมมันตรังสีระดับต่ำและปานกลาง (Low and Intermediate level waste)

กากกัมมันตรังสีประเภทนี้ประกอบด้วย

- กากตะกอนเข้มข้น (Liquid residue) เกิดจากการต้มระเหยกากของเหลว การตกตะกอนเคมี หรือการแลกเปลี่ยนไอออน โดยตะกอนเหล่านี้มักจะมีความชื้นปะปนอยู่ด้วยและยังไม่คงทนต่อสภาวะแวดล้อม ดั้งนั้นจะต้องมีการแปรสภาพเป็นผลิตภัณฑ์กากที่เหมาะสม

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- กากของแข็งจากการใช้งานทั่วไป โดยส่วนใหญ่มาจากอุปกรณ์ที่ใช้งานทางรังสี เช่น ภาชนะต่าง ๆ เศษกระดาษ และซากสัตว์ทดลอง เป็นต้น วิธีปฏิบัติต่อกากกัมมันตรังสีประเภทนี้คือ ลดปริมาตรของกากฯ ให้น้อยลง เช่น
    - การเผาทำลายกากฯ ที่เผาไหม้ได้
    - การกด/อัดกากฯ ด้วยเครื่องอัดกำลัง (compaction)
    - การบด/ตัดกากฯ ที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง (fractmentation)
    - การหลอมลายโลหะเปื้อนรังสี (melting)
    - การทำละลายด้วยกรด (acid reduction)

กากของแข็งที่ทำการลดปริมาตรลงแล้ว จะจัดเก็บรวบรวมไว้และนำไปแปรสภาพให้เหมาะสม ก่อนจะนำไปเก็บหรือทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติโดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางรังสีต่อสิ่งแวดล้อม

การจัดการกากกัมมันตรังสีชนิดที่เป็นไอหรือก๊าซ

กากกัมมันตรังสีที่อยู่ในสถานะของก๊าซ มีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ ก๊าซกัมมันตรังสี (radioactive gas) เช่น Kr, Ar, Rn และ Xe เป็นต้น หรืออาจเป็นไอสารหรือฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสี (aerosols)

การบำบัดกากฯ ชนิดแอโรโซล นั้นกระทำได้โดยวิธีการกรองระบบอากาศด้วยวิธีพิเศษ มักใช้การกรองด้วย activated charcoal เป็นตัวดูดจับสารกัมมันตรังสี และใช้อุปกรณ์กรองสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กๆ ได้ดี (HEPA filter)

การแปรสภาพกากกัมมันตของแข็งให้เหมาะต่อการเก็บโดยถาวร

เพื่อทำให้สภาพของกากฯ คงทนต่อสภาพแวดล้อมสำหรับการเก็บกากกัมมันตรังสีอย่างถาวร จะต้องมีการแปรสภาพ เช่น การผนึกกากกัมมันตรังสีในเนื้อซีเมนต์ (Cementation) โดยใช้ซีเมนต์เป็นตัวยึดและ/หรือเชื่อมกากกัมมันตรังสี และป้องกันมิให้สารกัมมันตรังสีกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม หรืออาผนึกกากกัมมันตรังสีในสารบิทูเมน หรือยางมะตอย หรืออาจทำให้อยู่ในรูปของสารที่เสถียรมาก ๆ เช่น ผลึกแก้วและเซรามิค เป็นต้น

การเก็บรักษาและทิ้งกากกัมมันตรังสีอย่างถาวร

กากกัมมันตรังสีที่ถูกแปรสภาพแล้วจะสามารภนำไปทิ้งโดยถาวรได้ ซึ่งมีวิธีต่าง ๆ ดังนี้

- การทิ้งกากกัมมันตรังสีแบบฝังดิน ได้แก่

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- การทิ้งกากฯ แบบฝังตื้น (shallow land burial) เป็นการฝังกากกัมมันตรังสีของแข็งที่มีความแรงรังสีต่ำและมีครึ่งชีวิตสั้น (ไม่เกิน 30 ปี) โดยที่ฝังกากฯ แบบนี้มักเป็นหลุมดินธรรมดา
- การทิ้งกากฯ แบบฝังดินลึก (deep underground disposal)

- กากทิ้งกากฯ แบบทิ้งทะเล (disposal into sea)

การทิ้งกากแบบนี้อาจกระทำโดยการทิ้งผลิตภัณฑ์กากที่ผนึกสนิทแล้วลงสู่ทะเลโดยตรงหรือโดยวิธีฝังลงดินใต้ทะเล แต่ปัจจุบันนี้วิธีการทิ้งกากฯ ลงทะลงได้ถูกยกเลิกไปแล้ว

บทที่ 8

อุบัติเหตุทางรังสีและหลักปฏิบัติในภาวะฉุกเฉินทางรังสี

1. อุบัติเหตุทางรังสี

อุบัติเหตุทางรังสี หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างมิได้คาดหมายโดยเกี่ยวข้องกับรังสี หรือต้นกำเนิดรังสีส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมต้นกำเนิดรังสี หรือปริมาณรังสีให้อยู่ในระดับที่กำหนดได้และอาจก่อให้เกิดอันตรายทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ปฏิบัติงาน หรือผู้เกี่ยวข้องและประชาชนทั่วไป

ในการปฏิบัติงานทางรังสีนั้นจะต้องมีการเตรียมการที่ดี และมีความพร้อมในด้านต่าง ๆ เช่น สถานที่ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสม บุคลากรได้รับการฝึกอบรมเป็นอย่างดี ทั้งในด้านการใช้ประโยชน์จากรังสี และการได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสีที่เหมาะสม รวมทั้งมีมาตรการแนวปฏิบัติงานเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ถึงแม้นมีการปฏิบัติงานอย่างระมัดระวังแล้วก็ตาม แต่บางครั้งก็อาจเกิดเหตุสุดวิสัยทั้ง ๆ ที่โอกาสจะเกิดอุบัติเหตุมีน้อยมาก ๆ แต่เมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสีขึ้นมาแล้ว อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องได้ ดังนั้นหากปฏิบัติงานอย่างไม่ระมัดระวัง และละเลยต่อแนวปฏิบัติทางรังสีที่ถูกต้องข้ามขั้นตอนของความปลอดภัย โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุทางรังสีย่อมมีสูงมากขึ้น

2. สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุทางรังสี

ปัจจุบันการใช้สารกัมมันตรังสีเป็นไปอย่างกว้างขวางทั้งทางด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร การวิจัย และการศึกษา โดยมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี จากข้อมูลที่ผ่านการประมวล

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากเหตุการณ์ในอดีต นอกเหนือจากอุบัติเหตุทางรังสีที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตและขณะการนำไปใช้ประโยชน์ ยังมีอุบัติเหตุทางรังสีระหว่างการขนส่งอีกด้วย ดังนั้นโอกาสที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุทางรังสีสามารถสรุปสาเหตุได้ 3 ลักษณะ ได้แก่

2.1 สารรังสีสูญหาย ถูกโจรกรรม หรือถูกทิ้งไว้โดยไม่มีการควบคุมดูแล

ยกตัวอย่างเช่น สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีสำหรับอุตสาหกรรมหายไปจากที่เก็บหรืออาจหลังจากใช้งานแล้วนำไปเก็บไว้ในที่ซึ่งไม่มีมาตรการป้องกันอันตรายจากรังสี หากมีบุคคลที่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับรังสีนำไปเก็บไว้หรือแกะชิ้นส่วนออก จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสาธารณะชนเป็นอย่างมาก หรือในบางกรณีที่นำสารกัมมันตรังสีไปใช้เพื่อการศึกษาในภาคสนาม เกิดหล่นหายไปทำให้บริเวณดังกล่าวมีปริมาณรังสีสูงและแผ่กัมมันตภาพออกไป

2.2 สารกัมมันตรังสีขาดอุปกรณ์กำบังรังสี

การขาดอุปกรณ์กำบังรังสีอาจเนื่องจากขณะปฏิบัติงาน เกิดการขัดข้องของอุปกรณ์ เช่น ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรม หรือต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานรังสีรักษาทางการแพทย์ได้ถูกขับเคลื่อนออกมาจากกำบังรังสีแต่เกิดขัดข้องไม่สามารถดึงกลับเข้ามาอยู่ในตำแหน่งเดิมหลังจากเสร็จงาน ดังนั้นจึงทำให้เกิดอุบัติเหตุทำให้ผู้ปฏิบัติได้รับรังสีมากกว่าปกติ จึงต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าต้นกำเนิดรังสีอยู่ที่ตำแหน่งที่กำหนด

2.3 สารรังสีแพร่กระจายออกจากที่เก็บหรือหรือบริเวณควบคุม

บางกรณีสารกัมมันตรังสีเกิดการรั่วไหลขณะปฏิบัติงาน หรือมีผู้รู้เท่าไม่ถึงการณ์ ถอดชิ้นส่วนของอุปกรณ์ซึ่งมีสารกัมมันตรังสีบรรจุอยู่ ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม

3. ระดับของภาวะฉุกเฉินทางรังสี

อุบัติเหตุทางรังสีมีระดับความรุนแรงแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ สภาพเหตุการณ์ที่เกิดอุบัติเหตุ ชนิดและคุณสมบัติของสารกัมมันตรังสี และอื่น ๆ ความรุนแรงอาจขยายวงกว้างออกไปจนอยู่ในระดับที่ไม่สามารถควบคุมให้กลับสู่ภาวะปกติได้ สภาวะดังกล่าวนี้เรียกว่า “ภาวะฉุกเฉินทางรังสี” ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับดังนี้

3.1 ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 1 (Level 1)

สถานการณ์นี้เกิดขึ้นภายในขอบเขตจำกัด เช่น ภายในห้องปฏิบัติการทางรังสี หรือภายในอาคารปฏิบัติการ

3.2 ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 2 (Level 2)

มีสถานการณ์ที่ขยายขอบเขตออกไปทั่วอาณาบริเวณโรงงาน หรือสถาบันการศึกษาวิจัย หรือโรงพยาบาล ที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสี เป็นต้น

3.3 ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 3 (Level 3)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เป็นสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อสถานที่ข้างเคียง

3.4 ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 4 (Level 4)

เป็นสถานการณ์ที่มีความรุนแรงมากที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศข้างเคียง

4. หลักปฏิบัติในภาวะฉุกเฉินจากการเกิดอุบัติเหตุทางรังสี

ในภาวะฉุกเฉินทางรังสีจะต้องมีการป้องกันรายบุคคล และจะต้องลดความเสียหายทั้งหมดที่จะเกิดต่อประชาชนให้ลดน้อยลงเท่าที่จะทำได้ โดยมีเป้าหมายของการดำเนินการเพื่อที่จะแก้ไขสถานการณ์ให้กลับคืนสู่สภาวะปกติ มาตรการและแนวทางในการปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขสถานการณ์ย่อมมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของสภาวะฉุกเฉินทางรังสีนั้น ๆ อย่างไรก็ตามสามารถสรุปหลักการปฏิบัติดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 หลักปฏิบัติในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสี

สารกัมมันตรังสีสูญหาย ถูกโจรกรรม หรือ ทิ้งโดยปราศจากการดูแล	สารกัมมันตรังสีขาดอุปกรณ์กำบังรังสี	สารกัมมันตรังสีแพร่กระจาย
ต้องค้นหาสารกัมมันตรังสีให้พบ		ต้องขจัดความเปรอะเปื้อนทางรังสีให้แก่บุคคล เครื่องมือ และสถานที่ซึ่งมีการเปรอะเปื้อนทางรังสี
นำกลับไปเก็บไว้ในที่เก็บ ซึ่งมีความปลอดภัยทางรังสี หรือย้ายสถานที่เก็บไปยังที่ซึ่งมีมาตรการควบคุม/ป้องกันอันตรายจากรังสีอย่างรัดกุม	สร้างเครื่องกำบังรังสีใหม่ หรือนำสารกัมมันตรังสีเข้าเก็บไว้ในเครื่องกำบังที่มีอยู่	รวบรวมเก็บ และกำจัดกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น
ปฏิบัติการทั้งหมดนี้ จะต้องควบคุมให้ได้รับปริมาณรังสีต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้		
หากมีผู้ประสบอุบัติเหตุ จำเป็นต้องประเมินระดับปริมาณรังสีที่ผู้ประสบเหตุได้รับ เพื่อนำข้อมูลมาประเมินในการรักษาที่ถูกต้อง		

5. หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

เมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสีขึ้น จะต้องมีหน่วยงานที่ส่วนร่วมในการปฏิบัติงานเพื่อควบคุมสถานการณ์ที่เกิดขึ้นให้กลับคืนสู่สภาวะปกติ การมีส่วนร่วมของหน่วยงานจะมีมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความรุนแรงและขอบเขตของสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ในบางกรณีอาจมีความรุนแรงจนกระทั่งจำเป็นที่จะต้องมีหน่วยงานระดับชาติเข้ามาเกี่ยวข้อง หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการเกิดอุบัติเหตุทางรังสีได้แก่

1) หน่วยงานที่ใช้สารกัมมันตรังสีจนเกิดภาวะฉุกเฉินทางรังสี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) หน่วยงานช่วยเหลือผู้ประสบภัยระดับท้องถิ่น ได้แก่ ตำรวจ หน่วยดับเพลิง โรงพยาบาล หน่วยงานฝ่ายปกครอง เป็นต้น
3) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส., OAP)
4) องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศ

6. หน้าที่ความรับผิดชอบของหน่วยงาน

6.1 หน่วยงานที่ใช้สารกัมมันตรังสีจนเกิดภาวะฉุกเฉินทางรังสี มีหน้าที่รับผิดชอบเป็นอันดับแรกในการควบคุมการใช้สารกัมมันตรังสีให้เป็นไปอย่างปลอดภัย โดยกำหนดมาตรการดังนี้

1) กำหนดระเบียบและแนวปฏิบัติต่าง ๆ เพื่อให้การปฏิบัติงานมีความปลอดภัยทางรังสี และมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยที่สุด
2) วางแนวปฏิบัติในการรักษาความปลอดภัยของสารกัมมันตรังสีที่ครอบครองอยู่
3) วางแนวปฏิบัติในการตรวจระวังอุบัติเหตุ
4) วางแนวปฏิบัติในการแจ้งเหตุฉุกเฉินทางรังสี
5) วางแนวปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสี
6) วางแนวทางการประเมินและการแก้ไขสถานการณ์ และการขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานภายนอก

6.2 หน่วยงานช่วยเหลือผู้ประสบภัยระดับท้องถิ่น มีหน้าที่รับผิดชอบในการป้องกันอันตรายให้กับประชาชน ได้แก่ การดับเพลิง การรักษาพยาบาล การควบคุมพื้นที่อันตราย ให้คำแนะนำในการปฏิบัติงาน การค้นหาสารกัมมันตรังสีที่สูญหาย ช่วยเหลือในการปฏิบัติงานควบคุมการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี และแถลงข่าวตอบข้อซักถามให้ประชาชนรับทราบ

6.3 สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส., OAP) มีหน้าที่รับผิดชอบในการป้องกันอันตรายจากรังสีให้กับประชาชนและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน มีแนวปฏิบัติดังนี้

1) ประเมินสถานการณ์และคาดการณ์ผลกระทบทางรังสีจากอุบัติเหตุ
2) ประสานงานร่วมกับหน่วยงานช่วยเหลือเข้าช่วยเหลือผู้ประสบภัยระดับท้องถิ่นและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิด
3) ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำแก่หน่วยงานที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสี ในการแก้ไขสถานการณ์
4) ประสานงานในการให้ความช่วยเหลือทางการแพทย์

7. แผนระงับภัยสำหรับภาวะฉุกเฉินทางรังสี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรณีหน่วยงานที่ใช้สารกัมมันตรังสีเกิดอุบัติเหตุทางรังสีขึ้น และไม่สามารถควบคุมสถานการณ์ให้กลับสู่สภาวะปกติ ตามแนวปฏิบัติการเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสีของหน่วยงานนั้น ให้ดำเนินการตามแนวปฏิบัติในการแจ้งเหตุฉุกเฉินทางรังสี เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาดำเนินการแก้ไขสถานการณ์และระงับเหตุ แผนระงับเหตุสำหรับภาวะฉุกเฉินทางรังสี ประกอบด้วย

1) แนวปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสีของหน่วยงาน
2) แนวปฏิบัติในการแจ้งเหตุฉุกเฉินทางรังสี
3) การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์
4) การตรวจวัดรังสี
5) การรักษาพยาบาลผู้ป่วยทางรังสี

8. แนวปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสี

หน่วยงานที่ใช้สารกัมมันตรังสีจะต้องจัดทำแนวปฏิบัติอุบัติเหตุทางรังสีขึ้นมาเอง โดยให้สอดคล้องกับชนิดของสารกัมมันตรังสี ปริมาณรังสี โดยวิธีการคาดคะเนโอกาสต่าง ๆ ที่จะสามารถทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ และกำหนดแนวทางที่จะแก้ไขหรือระงับอุบัติเหตุทางรังสีนั้น ๆ ทั้งนี้ เป็นวิธีการวางแผนเพื่อใช้ในกรณีที่จำเป็นและทำให้สามารถแก้ไขสถานการณ์ให้เป็นไปอย่างสะดวกราบรื่นไม่มีอุปสรรค โดยมีสาระสำคัญของแนวปฏิบัติประกอบด้วย

1) การระบุหน้าที่ความรับผิดชอบขององค์กร และบุคคลที่จะต้องดำเนินการ
2) จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงานในระยะแรกของสถานการณ์
3) การแจ้งเหตุไปยังหน่วยงานผู้มีอำนาจที่เหมาะสม
4) จัดทำคู่มือและขั้นตอนการใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการตรวจสอบ
5) จัดทำรายละเอียดอุปกรณ์และความช่วยเหลือทางการแพทย์
6) จัดฝึกอบรมและฝึกซ้อมที่เหมาะ
7) จัดให้มีมาตรการควบคุมการเข้าออกอย่างเข้มงวด

9. แนวปฏิบัติในการแจ้งเหตุฉุกเฉินทางรังสี

1) การแจ้งเหตุฉุกเฉินทางรังสี สามารถแจ้งเหตุไปยัง สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) ตลอด 24 ชั่วโมง
2) สถานที่ติดต่อ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ถนนวิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 หมายเลขโทรศัพท์ 02 5795230, 02 5790138-9, 02 5790547, 02 5620086, 02 5620091 หมายเลขโทรสาร 02 5613013

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) เจ้าหน้าที่รับแจ้งเหตุ
   - ในเวลาราชการ แจ้งเจ้าหน้าที่กองสุขภาพ
   - นอกเวลาราชการและวันหยุดราชการ แจ้งหัวหน้าเรณรักษาความปลอดภัย

4) การแจ้งเหตุเมื่อเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้

สถานการณ์	แจ้งทันที	แจ้งภายใน 24 ชั่วโมง	แจ้งภายในระยะเวลาที่เหมาะสม
มีผู้ได้รับรังสี ● ทั่วร่างกาย ● บริเวณผิวหนังทั่วร่างกาย ● เท้า หัวเข่า มือ แขน	 > 0.25 Sv > 1.50 Sv > 3.75 Sv	 > 0.05 Sv > 0.30 Sv > 0.75 Sv	 < 0.05 Sv < 0.30 Sv < 0.75 Sv
การกระจายของสารกัมมันตรังสี เกินกว่าค่า ALI_S และ DAC_S ● ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง	> 5000 เท่า	> 500 เท่า	< 500 เท่า
ความเสียหายอันเป็นเหตุให้ ● ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ตามปกติ	≥ 1 สัปดาห์	≥ 1 วัน	

หมายเหตุ

ALI = Annual Limit on Intake (ขีดจำกัดการเข้าสู่ร่างกายของสารกัมมันตรังสีในรอบปี)

DAC = Derived Air Concentration (ค่าเทียบความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในอากาศ)

5) วิธีการแจ้งเหตุ ข้อมูลที่ต้องแจ้งเหตุมีความสำคัญมาก เพราะต้องมีความถูกต้องและเพียงพอ จึงจำเป็นต้องให้ครบถ้วนดังนี้
   - ชื่อ ที่อยู่ และหมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร ของสถานที่เกิดเหตุ
   - ชื่อ ที่อยู่ และหมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร ของผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในหน่วยงานที่เกิดอุบัติเหตุ
   - ชื่อ ที่อยู่ และหมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร ของผู้แจ้งเหตุฉุกเฉินทางรังสี
   - วันและเวลาที่เกิดอุบัติเหตุ หรือเมื่อตรวจพบอุบัติเหตุ
   - สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ
   - สารกัมมันตรังสีที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุ
   - ความแรงรังสีของสารกัมมันตรังสี มีหน่วยเป็นเบคเคอเรล หรือคูรี และหากมีการเปรอะเปื้อนทางรังสี จะต้องทราบรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้
     - ความแรงรังสีของสารกัมมันตรังสีก่อนเกิดอุบัติเหตุ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ความแรงรังสีของสารกัมมันตรังสีซึ่งคาดว่าแพร่กระจายออกไป

- รายละเอียดทางเคมีและทางกายภาพของสารกัมมันตรังสีที่แพร่กระจายออกไป ได้แก่
    - สภาพทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์
    - สภาพทางกายภาพ ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ
    - หากเป็นของแข็งต้องทราบน้ำหนักเป็นกรัม หากเป็นของเหลวต้องทราบปริมาตรเป็นมิลลิลิตร
    - คุณสมบัติทางเคมีของสารกัมมันตรังสีที่แพร่กระจายออกไป
    - สภาพบริเวณที่เกิดเหตุ อาจมีผลต่อการแพร่กระจายและการเปรอะเปื้อน
- รายละเอียดของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ซึ่งใช้บรรจุสารกัมมันตรังสีก่อนที่จะเกิดอุบัติเหตุ และ/หรือระหว่างเกิดเหตุ เช่น ชนิดของภาชนะที่เก็บ บริษัทผู้ผลิตเครื่องมือหรืออุปกรณ์ ชนิดของอุปกรณ์ หมายเลขรุ่นที่ผลิต เป็นต้น
- ผลการตรวจวัดที่ได้ดำเนินการไปแล้ว
    - การวัดระดับรังสี mSv/h หรือ mR/h
    - การวัดการเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสี Bq/m^2 หรือ μCi/m^2
- ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ได้รับบาดเจ็บ
    - อาการบาดเจ็บที่เกิดจากรังสี
    - อาการบาดเจ็บทั่วไปเนื่องจากอุบัติเหตุ
- โอกาสที่ประชาชนจะได้รับผลกระทบทางรังสีจากอุบัติเหตุครั้งนี้
- ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ต้องการ

10. มาตรการควบคุมทางเข้าออก

การควบคุมทางเข้าออกบริเวณพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสี เป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสีขึ้น มาตรการและขอบเขตที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมทางเข้าออกนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของอุบัติเหตุทางรังสีและระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น

- จุดประสงค์ในการควบคุมทางเข้าเพื่อ
    - จำกัดจำนวนเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในภาวะฉุกเฉินทางรังสีให้เข้าไปปฏิบัติงานเฉพาะเท่าที่จำเป็น
    - มิให้ผู้ที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าไปในบริเวณนั้น
    - ลดอุปสรรคในการปฏิบัติงาน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- หลีกเลี่ยงการได้รับรังสีโดยไม่จำเป็น

- จุดประสงค์ในการควบคุมทางออกเพื่อ
  - ลดการขยายขอบเขตของอุบัติ หรือการแพร่กระจายการเปรอะเปื้อนทางรังสี
  - ควบคุมอันตรายจากรังสีให้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในภาวะฉุกเฉินทางรังสี
- ขอบเขตของการควบคุมทางเข้าออก ในบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสี
  - ในกรณีสารกัมมันตรังสีสูญหาย จะวางมาตรการควบคุมทางเข้าออกพื้นที่เกิดเหตุได้ก็ต่อเมื่อพบสารกัมมันตรังสีนั้นแล้ว
  - ส่วนในกรณีสารกัมมันตรังสีขาดเครื่องกำบังรังสี ได้แก่ การที่สารกัมมันตรังสีติดค้างหรือหลุดออกจากเครื่องกำบังรังสี การควบคุมทางเข้าออกจะมีขอบเขตเฉพาะในบริเวณที่มีระดับรังสีสูงกว่าปกติเท่านั้น
  - ในกรณีเกิดอุบัติเหตุทางรังสีซึ่งมีการเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสี หรือคาดว่าจะมีการเปรอะเปื้อนนั้นการควบคุมทางเข้าออก อาจครบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง
- วิธีการควบคุมทางเข้าออกที่ดีที่สุด ได้แก่
  - การใช้สิ่งกีดขว้างกำหนดขอบเขตพื้นที่ควบคุมทางเข้าออก เช่น ในกรณีอุบัติเหตุทางรังสีเกิดขึ้นภายในห้อง หรือภายในอาคาร อาจควบคุมทางเข้าออกโดยทางประตู
  - ควรติดเครื่องหมายแสดงบริเวณรังสีไว้บนประตูและหน้าต่างทุกบาน เพื่อป้องกันมิให้ผู้ไม่เกี่ยวข้องเข้าไปในบริเวณพื้นที่ควบคุม
  - อาจติดปิดระบบระบายอากาศในพื้นที่ควบคุม
  - การควบคุมทางเข้าออกในพื้นที่ซึ่งมีบริเวณกว้าง อาจใช้เครื่องกีดขวางการจราจร เครื่องหมายแสดงบริเวณรังสีหรือเชือกกั้นเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ควบคุมทางเข้าออก
- ในกรณีเกิดอุบัติเหตุทางรังสีที่มีการเปรอะเปื้อนรังสี เพื่อกไหนดขอบเขตพื้นที่ควบคุมทางเข้าออก
  - ต้องพิจารณาสภาพภูมิอากาศในขณะนั้น
  - การพยากรณ์อากาศ
- การปฏิบัติงานในพื้นที่ควบคุมการเข้าออก ควรหลีกเลี่ยงการนำเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นเข้าไปในพื้นที่ควบคุม
  - เนื่องจากอาจเป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงาน
  - อาจทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านั้นเปรอะเปื้อนทางรังสีได้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ควรมีมาตรการรักษาความปลอดภัยทรัพย์สินต่าง ๆ ในพื้นที่ควบคุม เพื่อป้องกันการบุกรุก

- การเข้าหรือออกในบริเวณพื้นที่ควบคุมจะต้องผ่านจุดตรวจ ที่มีการควบคุมความปลอดภัยทางรังสี และเป็นศูนย์รวมเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในภาวะฉุกเฉินทางรังสี ซึ่งในบางกรณีอาจมีการขจัดความเปรอะเปื้อนรังสีเบื้องต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น
    - ถ้าพื้นที่ควบคุมทางเข้าออกเป็นพื้นที่ปิด ควรกำหนดจุดตรวจในบริเวณที่อยู่เหนือทิศทางลม
    - ควรมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีตามความเหมาะสม เช่น เครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคล ชุดป้องกันอันตรายจากรังสี หน้ากากป้องกันสารกัมมันตรังสี
- ถ้ามีการกำหนดขอบเขตพื้นที่ควบคุมเข้าออกครอบคลุมที่อยู่ของประชาชน
    - ต้องมีการเตรียมการประสานงานกันระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
    - ต้องตรวจสอบและประเมินสถานการณ์อย่างละเอียดรอบคอบ
    - ควรวิเคราะห์ผลได้และผลเสียเพื่อใช้ในการตัดสินใจต่อไป
- ในกรณีเกิดอุบัติเหตุทางรังสี โดยมี
    - ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 1 และ 2 ซึ่งมีขอบเขตของสถานการณ์อยู่ภายในอาคารหรือภายในหน่วยงานที่เกิดอุบัติเหตุ หน่วยงานที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสี มีหน้าที่รับผิดชอบในการกำหนดขอบเจตพื้นที่ และดำเนินการควบคุมการเข้าออก
    - ถ้าสถานการณ์มีระดับภาวะฉุกเฉินทางรังสีรุนแรงกว่าระดับ 1 และ 2 หน่วยงานที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสีจะต้องขอความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากหน่วยงานช่วยเหลือผู้ประสบภัยระดับท้องถิ่นและหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ในการกำหนดขอบเขตพื้นที่และดำเนินการควบคุมทางเข้าออก
- เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานฉุกเฉินทางรังสีของแต่ละหน่วยงาน ในขณะปฏิบัติหน้าที่ควรติดเครื่องหมายหรือสัญญลักษณ์และข้อความฉุกเฉินทางรังสีให้เห็นอย่างชัดเจน

11. การตรวจสอบประจำ (Regular monitoring)

การตรวจสอบประจำหรือการตรวจตราอย่างสม่ำเสมอ เป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของหน่วยงานที่ใช้สารกัมมันตรังสี โดยที่จะต้องเลือกหาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อระแวดระวังไม่ให้เกิดการได้รับรังสีแบบผิดปกติ การที่หน่วยงานมีระบบตรวจสอบประจำจะทำให้สามารถคาดคะเนเหตุการณ์ล่วงหน้าได้ว่ามีโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ เมื่อทราบสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุ และสามารถทำการแก้ไขที่สาเหตุได้ ซึ่งจะไม่เกิดอุบัติเหตุขึ้น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- การตรวจสอบพื้นที่ (Area monitoring) สถานปฏิบัติงานทุกแห่งต้องเขียนวิธีการ ลำดับขั้นตอนสำหรับการตรวจสอบพื้นที่ ซึ่งจะทำให้ค้นพบกัมมันตภาพรังสีและการเปรอะเปื้อนทางรังสีที่แตกต่างไปจากปกติ
- ควรติดตั้งเครื่องเตือนภัยทางรังสี เพื่อจะได้แจ้งเหตุทันทีเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสี
- ควรมีการสำรวจรังสีหลังจากเสร็จงานทุกครั้ง
- การตรวจสอบบุคคล (Personal monitoring) ในหน่วยงานที่มีความเสี่ยงต่อการเปรอะเปื้อนทางรังสี ผู้ปฏิบัติงานควรจะได้รับคำชี้แนะ เช่น ตรวจปริมาณบริเวณมือ รองเท้า ทั่วตัว เป็นต้น
- การตรวจสอบการรั่วของต้นกำเนิดรังสีแบบปิดผนึก จะเป็นการเตือนให้ทราบล่วงหน้าว่าจะมีการรั่วเกิดขึ้นหรือไม่ ความถี่ของการตรวจสอบขึ้นอยู่กับโอกาสการเกิดการรั่วและผลที่จะตามมา

12. การควบคุมบัญชี (Inventory control)

การสูญหายของต้นกำเนิดรังสีอาจเกิดขึ้นโดยไม่มีใครทราบในระหว่างที่มีการปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบบัญชีรายการของสารกัมมันตรังสี และกำหนดให้เป็นสิ่งที่ต้องปฏิบัติเป็นประจำ ความถี่ของการตรวจสอบขึ้นกับโอกาสของสารกัมมันตรังสีจะสูญหาย และการใช้งานมีแนวทางการตรวจสอบ เช่น การเคลื่อนย้ายบ่อยครั้ง ความถี่ของการตรวจสอบควรต้องมีทุกวัน หรือการนาน ๆ ครั้งถึงมีการเคลื่อนย้าย อาจตรวจสอบทุกสัปดาห์ เป็นต้น

13. การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

หน่วยงานที่ใช้สารกัมมันตรังสีควรจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานในภาวะฉุกเฉินทางรังสี โดยที่ชนิดและประเภทของเครื่องวัดรังสี ซึ่งจะนำไปใช้ในภาวะฉุกเฉินทางรังสี ต้องสอดคล้องกับสารกัมมันตรังสีที่เกิดอุบัติเหตุ และต้องมีการตรวจสอบ ปรับเทียบ และซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ควรกำหนดรายละเอียดการดำเนินงานไว้ในมาตรการเตรียมการปฏิบัติงานในกรณีเกิดภาวะฉุกเฉินทางรังสี ชนิดของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งานในภาวะฉุกเฉินทางรังสีตามอุบัติเหตุในแต่ละประเภท เช่น ถ้าสารกัมมันตรังสีสูญหายหรือถูกโจรกรรมเครื่องมือที่ใช้ควรเป็น

- เครื่องวัดรังสีแกมมาหรือนิวตรอนทั่วไป ได้แก่ GM counter, Ionization chamber
- เครื่องวัดการเปรอะเปื้อนรังสีบีตาและแกมมาซึ่งมีความไวสูง ได้แก่ เครื่องสำรวจรังสีชนิด GM แบบ pancake
- เครื่องวัดการเปรอะเปื้อนรังสีแอลฟาซึ่งมีความไวสูง เช่น เครื่องวัดรังสีแบบ proportional counter หรือแบบ Scintillation counter

14. การตรวจวัดรังสี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การตรวจวัดรังสีสำหรับแต่ละอุบัติเหตุทางรังสี ต้องพิจารณาเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมกับสถานการณ์และความรุนแรงที่เกิดขึ้น เจ้าหน้าที่ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบต้องจัดทำรายละเอียด วิธีการตรวจวัดรังสีของแต่ละสถานการณ์ไว้ เพื่อกำหนดให้เป็นระเบียบปฏิบัติในภาวะฉุกเฉินทางรังสี

1) กรณีสารกัมมันตรังสีค้างหรือหลุดออกจากที่เก็บ
   - ใช้เครื่องกำบังรังสีที่เหมาะสมเพื่อลดระดับปริมาณรังสี
   - เลือกใช้เครื่องวัดรังสี 2 ชุด ชุดแรกใช้เพื่อวัดปริมาณรังสีในบริเวณที่มีรังสีสูง และอีกชุดหนึ่งใช้วัดปริมาณรังสีในบริเวณที่มีรังสีต่ำกว่า
   - การวัดปริมาณรังสีควรให้ผู้ปฏิบัติงานอยู่ห่างจากสารกัมมันตรังสีประมาณ 2-3 เมตร
   - อ่านค่าปริมาณรังสีจากที่กำบังรังสี เช่น ผนังห้อง โดยใช้เครื่องวัดรังสีที่สามารถเลื่อนหัววัดรังสีให้ไกลออกไปได้ หรือชนิดที่สามารถถอดหัววัดรังสีและผูกติดกับอุปกรณ์ที่ยื่นเข้าไปวัดระดับรังสีได้
   - หลังจากแก้ไขสถานการณ์ได้แล้ว ควรตรวจวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสี เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีการเปรอะเปื้อนทางรังสี
2) กรณีสารกัมมันตรังสีสูญหายหรือถูกโจรกรรม
   - การค้นหาค่อนข้างยากเนื่องจากไม่ทราบสถานที่ ทำได้เพียงสำรวจระดับรังสีในบริเวณที่สงสัยเท่านั้น
   - ถ้ามีข้อมูลหรือมีสิ่งบ่งชี้ว่าอาจมีสารกัมมันตรังสีอยู่พื้นที่ใด จึงสามารถดำเนินการค้นหาสารกัมมันตรังสีโดยละเอียด
   - ถ้าสงสัยว่าสารกัมมันตรังสีอยู่ในที่ไม่มีขอบเขตแน่นอน การค้นหาอาจใช้การสำรวจระดับรังสีโดยทางรถยนต์ หรือเครื่องบิน เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่สงสัย
   - ในหลายกรณีพบว่าสารกัมมันตรังสียังคงเก็บไว้ภายในเครื่องกำบังรังสี จึงมีระดับรังสีต่ำมาก ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องวัดรังสีเพื่อค้นหาสารกัมมันตรังสีที่หายไปควรพิจารณาถึงเหตุการณ์ดังกล่าวด้วย
   - หลังจากพบสารกัมมันตรังสีที่หายไปกลับคืนมาได้แล้ว ควรตรวจสอบการเปรอะเปื้อนทางรังสีเพื่อให้แน่ใจ
3) กรณีเกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี
   - ตรวจวัดระดับรังสีในบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสี โดยใช้เครื่องสำรวจรังสี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ตรวจวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสีในพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสี โดยใช้เครื่องวัดรังสีแบบสำรวจรังสี และใช้วิธีตรวจสอบจากการเก็บตัวอย่างจากพื้นผิว
- ตรวจวัดการเปรอะเปื้อนรังสีในอากาศ
- ตรวจวัดการเปรอะเปื้อนทางรังสีแก่บุคคลที่อาจได้รับผลกระทบจากอุบัติเหตุทางรังสี และสิ่งของทุกชนิดที่นำออกไปจากพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสีก่อนที่จะนำไปทิ้งหรือนำกลับมาใช้ใหม่

15. การรักษาพยาบาลผู้ป่วยทางรังสี

กรณีที่เกิดอุบัติเหตุทางรังสีและมีผู้ป่วยได้รับบาดเจ็บเนื่องจากรังสี ผู้ป่วยดังกล่าวต้องได้รับการรักษาตามคำแนะนำของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางรังสีเป็นกรณีพิเศษ

- การรักษาพยาบาลผู้ป่วยทางรังสีมีหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับการรักษาพยาบาลผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุทั่วไป แต่ต้องปรับวิธีการรักษาพยาบาล โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ป่วยเป็นสำคัญ ขั้นตอนในการรักษาพยาบาล ได้แก่ การกำหนดประเภท สาเหตุความรุนแรง และความรีบด่วนในการรักษาพยาบาลของผู้ป่วยแต่ละราย
- ประเภทผู้ป่วยจากอุบัติเหตุทางรังสี แยกออกได้เป็น 5 กลุ่มดังนี้
  1. ผู้ป่วยมีอาการทางรังสี มีบาดแผลหรือมีแผลไหม้ตามผิวหนัง ให้รับนำส่งโรงพยาบาลที่มีแพทย์เฉพาะทางด้านการบำบัดรักษาผู้ป่วยทางรังสีโดยด่วนที่สุด ในกรณีที่มีการเปรอะเปื้อนทางรังสีให้รีบชะล้างบริเวณดังกล่าวก่อนนำส่งแพทย์
  2. ผู้ป่วยไม่มีอาการทางรังสี มีบาดแผลหรือมีแผลไหม้ตามผิวหนัง ให้รับนำส่งโรงพยาบาลที่มีแพทย์เฉพาะทางด้านการบำบัดรักษาผู้ป่วยทางรังสีโดยด่วน และถ้ามีการเปรอะเปื้อนทางรังสีให้รีบชะล้างบริเวณเบื้องต้นก่อนนำส่งแพทย์
  3. ผู้ป่วยมีอาการที่คาดว่าได้รับรังสี ไม่จำเป็นต้องรีบทำการรักษา แต่ให้อยู่ในการดูแลเป็นพิเศษเพื่อประเมินอาการเบื้องต้น
  4. เชื่อว่าบุคคลนั้นไม่ได้รับรังสีหรือได้รับรังสีในปริมาณที่ต่ำมากกว่าค่าที่กำหนด โดยไม่มีบาดแผล ไม่ต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล แต่หากมีการติดตามผลเพื่อความมั่นใจว่าการวินิจฉัยครั้งแรกถูกต้อง
  5. เชื่อว่าบุคคลนั้นได้รับรังสีเกินขีดกำหนด แต่ยังต่ำกว่าค่าที่จะทำให้เกิดอาการป่วยทางรังสีได้ ไม่ต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล ให้เก็บประวัติปริมาณรังสีที่ไดรับและหากมีความจำเป็นให้นำมาประเมินรังสีใหม่

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 9

พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ

ประเทศไทยได้มีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์และเพื่อพัฒนาทั้งทางด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร และการวิจัย ดังนั้นการดูแลความปลอดภัยจากการใช้งานสารกัมมันตรังสี และเครื่องกำเนิดรังสีทุกชนิด จึงเป็นหน้าที่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรง สำหรับประเทศไทยนั้น สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นหน่วยงานที่ดูแลความปลอดภัยแก่ผู้ใช้และประชาชนทั่วไป โดยการมีกฎกระทรวงที่ตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 เพื่อควบคุมและป้องกันอันตรายจากรังสี เช่น คุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสี การใช้ประโยชน์ การเก็บรักษา และการขนส่งวัสดุนิวเคลียร์พิเศษ วัสดุต้นกำลัง และวัสดุพลอยได้

เพื่อให้การใช้ประโยชน์เป็นไปอย่างเรียบร้อยและปลอดภัยอย่างสูงสุด ผู้ใช้พลังงานนิวเคลียร์จำเป็นต้องทราบและปฏิบัติตามกฎเกณฑ์ ระเบียบ ข้อบังคับต่าง ๆ ที่ได้ตราไว้ในพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 ในที่นี่จะขอนำบางมาตราที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ดังต่อไปนี้

มาตรา 4 ในพระราชบัญญัตินี้

“พลังงานนิวเคลียร์” หมายความว่า พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากการแยก รวม หรือแปลงนิวเคลียส

“รังสี” หมายความว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาคใด ๆ ที่มีความเร็ว ซึ่งสามารถก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ในตัวกลางที่ผ่านไป

“วัสดุกัมมันตรังสี” หมายความว่า ธาตุหรือสารประกอบใด ๆ ที่องค์ประกอบส่วนหนึ่งมีโครงสร้างภายในอะตอมไม่คงตัว และสลายตัวโดยปลดปล่อยรังสีออกมา ทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือเกิดจาการผลิตหรือการใช้วัสดุนิวเคลียร์ การผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสี หรือกรรมวิธีอื่นใด ทั้งนี้ ไม่รวมถึงวัสดุกัมมันตรังสีที่มีลักษณะเป็นวัสดุนิวเคลียร์

CHULALONGKORN UNIVERSITY

“เครื่องกำเนิดรังสี” หมายความว่า เครื่องหรืออุปกรณ์เมื่อมีการให้พลังงานเข้าไปแล้ว จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยรังสีออกมา และอุปกรณ์ตามที่กำหนดในกฎกระทรวงที่ใช้องค์ประกอบเป็นเครื่องกำเนิดรังสี

“วัสดุนิวเคลียร์” หมายความว่า

(1) วัสดุต้นกำลัง ได้แก่

(ก) ยูเรเนียมที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ยูเรเนียมด้อยสมรรถนะ ทอเรียม หรือวัสดุอื่นตามที่กำหนด ในกฎกระทรวง ทั้งนี้ รวมถึงสารประกอบหรือสารผสมของธาตุหรือวัสดุดังกล่าวตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

(ข) แร่หรือสินแร่ซึ่งประกอบด้วยวัสดุตาม (ก) อย่างหนึ่งหรือหลายอย่างโดยมีอัตรา ความเข้มข้นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

(2) วัสดุนิวเคลียร์พิเศษ ได้แก่

(ก) พลูโทเนียม ยูเรเนียม ๒๓๓ ยูเรเนียมที่เสริมสมรรถนะด้วยยูเรเนียม ๒๓๓ หรือยูเรเนียม ๒๓๕ หรือสารประกอบของธาตุดังกล่าว

(ข) วัสดุใดๆ ที่มีวัสดุตาม (ก) อย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมเข้าไป

(ค) วัสดุอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

(3) วัสดุอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

“เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์” หมายความว่า เครื่องหรือระบบอุปกรณ์ใดๆ ซึ่งออกแบบหรือใช้เพื่อก่อให้เกิดพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อการผลิตพลังงานและเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย “เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อการผลิตพลังงาน” หมายความว่า เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่นำพลังงานนิวเคลียร์ไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น

“เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย” หมายความว่า เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ใช้นิวตรอนหรือรังสี เพื่อการศึกษา การค้นคว้า การวิจัย หรือการอื่น

“สถานประกอบการทางนิวเคลียร์” หมายความว่า

(1) สถานที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อการผลิตพลังงาน แต่ไม่รวมถึงยานพาหนะที่ใช้ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อการผลิตพลังงานสำหรับการขับเคลื่อน

(2) สถานที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

(3) สถานที่แต่งแร่เพื่อให้ได้มาซึ่งวัสดุนิวเคลียร์

(4) สถานที่เปลี่ยนรูปหรือเสริมสมรรถนะวัสดุนิวเคลียร์

(5) สถานที่ประกอบหรือจัดเก็บเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

(6) สถานที่จัดเก็บหรือแปรสภาพเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว

CHULALONGKORN UNIVERSITY

“เชื้อเพลิงนิวเคลียร์” หมายความว่า วัสดุนิวเคลียร์ที่ผ่านกระบวนการเหมาะสมเพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานนิวเคลียร์

“เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว” หมายความว่า เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ผ่านการใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แล้ว และไม่นำไปใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์อีก

“กากกัมมันตรังสี” หมายความว่า วัสดุไม่ว่าจะอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ดังต่อไปนี้

(1) วัสดุกัมมันตรังสีที่อยู่ภายใต้การควบคุมตามพระราชบัญญัตินี้ บรรดาที่ไม่อาจใช้งานได้ ตามสภาพอีกต่อไป

(2) วัสดุที่ประกอบหรือปนเปื้อนด้วยวัสดุนิวเคลียร์หรือวัสดุกัมมันตรังสีที่อยู่ภายใต้การควบคุม ตามพระราชบัญญัตินี้ ทั้งนี้ วัสดุที่ประกอบหรือปนเปื้อนดังกล่าวต้องมีค่ากัมมันตภาพต่อปริมาณหรือกัมมันตภาพรวมสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัยที่คณะกรรมการกำหนด

(3) วัสดุอื่นใดที่มีกัมมันตภาพตามที่คณะกรรมการกำหนด ทั้งนี้ ไม่รวมถึงเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว

“ทำเครื่องกำเนิดรังสี” หมายความรวมถึง ผลิต ประกอบ ประดิษฐ์ ปรับปรุง แปรสภาพ หรือดัดแปลงเครื่องกำเนิดรังสี

“นำผ่าน” หมายความว่า นำหรือส่งผ่านราชอาณาจักรไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะ ในราชอาณาจักรหรือไม่ก็ตาม

“มีไว้ในครอบครอง” หมายความว่า มีไว้ในครอบครองเพื่อตนเองหรือมีไว้ในครอบครองเพื่อจำหน่าย แต่ทั้งนี้ไม่รวมถึงมีไว้ในครอบครองเพื่อการขนส่ง

“แต่งแร่” หมายความว่า การกระทำอย่างใดๆ เพื่อทำแร่ให้สะอาด หรือเพื่อให้แร่ที่ปนกันอยู่ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปแยกออกจากกัน

“คณะกรรมการ” หมายความว่า คณะกรรมการพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ

“กรรมการ” หมายความว่า กรรมการพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ

“สำนักงาน” หมายความว่า สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

“เลขาธิการ” หมายความว่า เลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

“พนักงานเจ้าหน้าที่” หมายความว่า ผู้ซึ่งรัฐมนตรีแต่งตั้งให้ปฏิบัติการตามพระราชบัญญัตินี้

“รัฐมนตรี” หมายความว่า รัฐมนตรีผู้รักษาการตามพระราชบัญญัตินี้

นอกจากนี้ยังมีข้อบังคับเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี โดยผู้ที่มีไว้ในครอบครองจะต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติในหมวดที่ 3 ดังต่อไปนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมวด 3

วัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี

มาตรา ๑๘ วัสดุกัมมันตรังสีใดที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมตามพระราชบัญญัตินี้ ให้เป็นไป ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ทั้งนี้ ให้คำนึงถึงระดับกัมมันตภาพ หรือลักษณะการครอบครองหรือการใช้ วัสดุกัมมันตรังสี

กฎกระทรวงตามวรรคหนึ่งอย่างน้อยให้กำหนดรายชื่อวัสดุกัมมันตรังสี และระดับกัมมันตภาพ หรือลักษณะการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสี

มาตรา 19 ผู้ใดจะดำเนินการดังต่อไปนี้ ต้องได้รับใบอนุญาตจากเลขาธิการ

(1) ผลิต มีไว้ในครอบครอง หรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี

(2) นำเข้า ส่งออก หรือนำผ่านวัสดุกัมมันตรังสี

การขอรับใบอนุญาต การออกใบอนุญาต และการออกใบแทนใบอนุญาตสำหรับวัสดุกัมมันตรังสี แต่ละประเภท ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 20 วัสดุกัมมันตรังสีใดที่ผู้ดำเนินการไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามมาตรา ๑๙ ให้เป็นไป ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ทั้งนี้ ให้คำนึงถึงระดับกัมมันตภาพหรือลักษณะการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสี

ผู้ใดมีไว้ในครอบครอง หรือใช้วัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามวรรคหนึ่ง ต้องแจ้งการครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสีต่อเลขาธิการ

การแจ้งการครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไข และระยะเวลาที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 21 ใบอนุญาตตามมาตรา 19 ให้มีอายุ ดังต่อไปนี้

(1) ใบอนุญาตผลิตวัสดุกัมมันตรังสีให้มีอายุห้าปี

(2) ใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสีให้มีอายุห้าปี

(3) ใบอนุญาตนำเข้าวัสดุกัมมันตรังสีให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

(4) ใบอนุญาตส่งออกวัสดุกัมมันตรังสีให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

(5) ใบอนุญาตนำผ่านวัสดุกัมมันตรังสีให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรา 22 ให้ผู้ขอรับใบอนุญาตนำเข้าวัสดุกัมมันตรังสีตามมาตรา ๑๙ ขอรับใบอนุญาต มีไว้ในครอบครองวัสดุกัมมันตรังสีนั้นด้วย

มาตรา 23 ผู้รับใบอนุญาตนำผ่านวัสดุกัมมันตรังสี ให้ได้รับยกเว้นการขอรับใบอนุญาต มีไว้ในครอบครองวัสดุกัมมันตรังสีหรือการแจ้งการมีไว้ในครอบครองวัสดุกัมมันตรังสีนั้น แล้วแต่กรณี

มาตรา 24 ผู้รับใบอนุญาตนำเข้า ส่งออก หรือนำผ่านวัสดุกัมมันตรังสีตามมาตรา ๑๙ (๒) ต้องนำเข้ามาในราชอาณาจักร ส่งออกไปนอกราชอาณาจักร หรือนำผ่านซึ่งวัสดุกัมมันตรังสี ทางด่านศุลกากร ที่เลขาธิการประกาศกำหนด

มาตรา 25 ให้นำบทบัญญัติในมาตรา ๑๘ มาใช้บังคับกับการกำหนดเครื่องกำเนิดรังสี ที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมตามพระราชบัญญัตินี้โดยอนุโลม

มาตรา 26 ผู้ใดจะดำเนินการดังต่อไปนี้ ต้องได้รับใบอนุญาตจากเลขาธิการ

(1) ทำเครื่องกำเนิดรังสี

(2) มีไว้ในครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสี

(3) นำเข้าหรือส่งออกเครื่องกำเนิดรังสี

การขอรับใบอนุญาต การออกใบอนุญาต และการออกใบแทนใบอนุญาตสำหรับเครื่องกำเนิดรังสี แต่ละประเภท ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 27 ใบอนุญาตตามมาตรา 26 ให้มีอายุ ดังต่อไปนี้

(1) ใบอนุญาตทำเครื่องกำเนิดรังสีให้มีอายุห้าปี

(2) ใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสีให้มีอายุห้าปี

(3) ใบอนุญาตนำเข้าเครื่องกำเนิดรังสีให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

(4) ใบอนุญาตส่งออกเครื่องกำเนิดรังสีให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

มาตรา 28 ผู้ขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 19 และมาตรา 26 ต้องเป็นนิติบุคคล เว้นแต่วัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีบางประเภทที่ผู้ขอรับใบอนุญาตจะเป็นบุคคลธรรมดาก็ได้ ทั้งนี้ ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 29 ผู้ขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 19 และมาตรา 26 ซึ่งเป็นบุคคลธรรมดา ต้องมีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้าม ดังต่อไปนี้

1) คุณสมบัติ

(ก) มีอายุไม่ต่ำกว่ายี่สิบปีบริบูรณ์

(ข) มีศักยภาพทางเทคนิคเพียงพอในการดูแลความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัย ของวัสดุกัมมันตรังสีที่ขออนุญาต การดำเนินการเมื่อเลิกใช้งาน และการจัดการกากกัมมันตรังสี หรือมี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ศักยภาพ ทางเทคนิคเพียงพอในการดูแลความปลอดภัยของเครื่องกำเนิดรังสีที่ขออนุญาต แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ ศักยภาพ ทางเทคนิคให้เป็นไปตามที่กำหนดในกฎกระทรวง โดยอย่างน้อยต้องมีเรื่องดังต่อไปนี้

(1) สถานที่จัดเก็บหรือสถานที่ประกอบกิจการ

(2) เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องใช้

(3) เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี

(4) แผนป้องกันอันตรายจากรังสี

(2) ลักษณะต้องห้าม

(ก) เป็นคนวิกลจริต คนไร้ความสามารถ หรือคนเสมือนไร้ความสามารถ

(ข) เป็นผู้อยู่ในระหว่างถูกสั่งพักใช้ใบอนุญาตตามพระราชบัญญัตินี้

(ค) เคยถูกเพิกถอนใบอนุญาตตามพระราชบัญญัตินี้ โดยยังไม่พ้นห้าปีนับแต่วันที่ถูกเพิกถอนใบอนุญาต

(ง) เคยต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุกเนื่องจากกระทำความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ โดยได้พ้นโทษมายังไม่ถึงห้าปีในวันที่ยื่นคำขอรับใบอนุญาต

มาตรา 30 ผู้ขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 19 และมาตรา 26 ซึ่งเป็นนิติบุคคลต้องมีคุณสมบัติ และไม่มีลักษณะต้องห้าม ดังต่อไปนี้

(1) ผู้จัดการหรือผู้แทนนิติบุคคลต้องมีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา 19 (1) (ก) และ (2)

(2) มีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา 29 (1) (ข) และ (2) (ข) และ (ค)

(3) ไม่เคยต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้ลงโทษเนื่องจากกระทำความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ เว้นแต่ได้พ้นโทษมาแล้วห้าปีก่อนวันที่ยื่นคำขอรับใบอนุญาต

มาตรา 31 ผู้รับใบอนุญาตตามมาตรา 19 และมาตรา 26 มีหน้าที่วางหลักประกันตั้งแต่ได้รับใบอนุญาตเพื่อเป็นหลักประกันในการจัดการกากกัมมันตรังสี และในการเข้าดำเนินการของพนักงานเจ้าหน้าที่ตามมาตรา 104 ทั้งนี้ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไข และระยะเวลาที่กำหนดในกฎกระทรวง

หลักประกันตามวรรคหนึ่งจะเป็นเงินสด พันธบัตรของรัฐบาลไทย สัญญาค้ำประกันของธนาคาร หรือหลักประกันอื่นใดตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การมีวัสดุนิวเคลียร์เพื่อใช้ประโยชน์ไม่ว่าทางด้านใด ๆ ก็ตาม ผู้ที่มีไว้ในครอบครองจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการแจ้ง หรือขออนุญาตมีไว้ในครอบครอง ดังต่อไปนี้

หมวด 4

วัสดุนิวเคลียร์

มาตรา 36 ผู้ใดจะดำเนินการดังต่อไปนี้ ต้องได้รับใบอนุญาตจากเลขาธิการ

(1) มีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุนิวเคลียร์

(2) นำเข้า ส่งออก หรือนำผ่านวัสดุนิวเคลียร์ การขอรับใบอนุญาต การออกใบอนุญาต และการออกใบแทนใบอนุญาตสำหรับวัสดุนิวเคลียร์ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 37 ใบอนุญาตตามมาตรา 36 ให้มีอายุ ดังต่อไปนี้

(1) ใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุนิวเคลียร์ให้มีอายุห้าปี

(2) ใบอนุญาตนำเข้าวัสดุนิวเคลียร์ให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

(3) ใบอนุญาตส่งออกวัสดุนิวเคลียร์ให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

(4) ใบอนุญาตนำผ่านวัสดุนิวเคลียร์ให้มีอายุตามที่กำหนดในใบอนุญาตแต่ต้องไม่เกินหกเดือน

มาตรา 38 วัสดุนิวเคลียร์ใดที่ผู้ดำเนินการไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 36 ให้เป็นไป ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ทั้งนี้ ให้คำนึงถึงปริมาณ ความเข้มข้น และองค์ประกอบของวัสดุนิวเคลียร์ หรือลักษณะการใช้งานวัสดุนิวเคลียร์

ผู้ใดมีไว้ในครอบครองวัสดุนิวเคลียร์ที่ไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามวรรคหนึ่ง ต้องแจ้งปริมาณ การครอบครองวัสดุนิวเคลียร์ต่อเลขาธิการ

การแจ้งการครอบครองวัสดุนิวเคลียร์ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไข และระยะเวลา ที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 39 ผู้รับใบอนุญาตนำเข้า ส่งออก หรือนำผ่านวัสดุนิวเคลียร์ตามมาตรา 36 (2) ต้องนำเข้ามาในราชอาณาจักร ส่งออกไปนอกราชอาณาจักร หรือนำผ่านซึ่งวัสดุนิวเคลียร์ ทางด่านศุลกากร ที่เลขาธิการประกาศกำหนด

มาตรา 40 ผู้ขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 36 ต้องเป็นนิติบุคคล เว้นแต่วัสดุนิวเคลียร์ บางประเภทที่ผู้ขอรับใบอนุญาตจะเป็นบุคคลธรรมดาก็ได้ ทั้งนี้ ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรา 41 ผู้ขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 36 ซึ่งเป็นบุคคลธรรมดา ต้องมีคุณสมบัติ และไม่มีลักษณะต้องห้าม ดังต่อไปนี้

(1) คุณสมบัติ

(ก) มีอายุไม่ต่ำกว่ายี่สิบปีบริบูรณ์

(ข) มีศักยภาพทางเทคนิคเพียงพอในการดูแลความปลอดภัย ความมั่นคงปลอดภัย และการพิทักษ์ความปลอดภัยของวัสดุนิวเคลียร์ที่ขออนุญาต การดำเนินการเมื่อเลิกใช้งาน การจัดการ กากกัมมันตรังสี และการจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว ทั้งนี้ ศักยภาพทางเทคนิคให้เป็นไปตามที่กำหนด ในกฎกระทรวง โดยอย่างน้อยต้องมีเรื่องดังต่อไปนี้

1) สถานที่จัดเก็บหรือสถานที่ประกอบกิจการ

2) เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องใช้

3) เจ้าหน้าที่ดำเนินการทางเทคนิคเกี่ยวกับวัสดุนิวเคลียร์

4) ระบบการคุ้มครองทางกายภาพ

5) แผนป้องกันอันตรายจากรังสี

(2) ลักษณะต้องห้าม

(ก) เป็นคนวิกลจริต คนไร้ความสามารถ หรือคนเสมือนไร้ความสามารถ

(ข) เป็นผู้อยู่ในระหว่างถูกสั่งพักใช้ใบอนุญาตตามพระราชบัญญัตินี้

(ค) เคยถูกเพิกถอนใบอนุญาตตามพระราชบัญญัตินี้ โดยยังไม่พ้นห้าปีนับแต่วันที่ถูกเพิกถอนใบอนุญาต

(ง) เคยต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุกเนื่องจากกระทำความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ โดยได้พ้นโทษมายังไม่ถึงห้าปีในวันที่ยื่นคำขอรับใบอนุญาต

มาตรา 42 ผู้ขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 36 ซึ่งเป็นนิติบุคคล ต้องมีคุณสมบัติและไม่มี ลักษณะต้องห้าม ดังต่อไปนี้

(1) ผู้จัดการหรือผู้แทนนิติบุคคลต้องมีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา 41 (1) (ก) และ (2)

(2) มีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา ๔๑ (๑) (ข) และ (๒) (ข) และ (ค)

(3) ไม่เคยต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้ลงโทษเนื่องจากกระทำความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ เว้นแต่ได้พ้นโทษมาแล้วห้าปีก่อนวันที่ยื่นคำขอรับใบอนุญาต

มาตรา 43 การโอนใบอนุญาตตามมาตรา 36 ให้กระทำได้เมื่อเป็นการโอนใบอนุญาต ให้แก่บุคคลซึ่งมีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา 40 มาตรา 41 และมาตรา 42 และได้รับอนุญาตจากเลขาธิการ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การขอโอนใบอนุญาตและการโอนใบอนุญาตให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไข ที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 44 ให้นำบทบัญญัติในมาตรา 31 มาตรา 32 มาตรา 34 และมาตรา 35 มาใช้บังคับกับการดำเนินการเกี่ยวกับวัสดุนิวเคลียร์โดยอนุโลม

สำหรับการใช้ประโยชน์จากสารกัมมันตรังสี บางครั้งอาจใช้อยู่ในรูปของแข็ง หรือของเหลว ซึ่งเมื่อใช้งานแล้วอาจกลายเป็นกากกัมมันตรังสี ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงมีข้อกำหนดเกี่ยวกับกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น ดังหมวดที่ 6 คือ

หมวด 6

กากกัมมันตรังสี

มาตรา ๗๕ ห้ามผู้ใดนำกากกัมมันตรังสีเข้ามาในราชอาณาจักร เว้นแต่เป็นการนำเข้า กากกัมมันตรังสีที่เกิดจากการส่งกากกัมมันตรังสีในราชอาณาจักรไปจัดการนอกราชอาณาจักร หรือที่เกิดจาก การส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้วไปแปรสภาพนอกราชอาณาจักร โดยได้รับใบอนุญาตจากเลขาธิการ

การขอรับใบอนุญาต การออกใบอนุญาต และการออกใบแทนใบอนุญาต ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 76 ผู้ใดจะส่งกากกัมมันตรังสีออกไปนอกราชอาณาจักร ต้องได้รับใบอนุญาตจาก เลขาธิการ

การขอรับใบอนุญาต การออกใบอนุญาต และการออกใบแทนใบอนุญาต ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 77 ผู้รับใบอนุญาตนำเข้ากากกัมมันตรังสีตามมาตรา ๗๕ หรือใบอนุญาตส่งออก กากกัมมันตรังสีตามมาตรา 76 ต้องนำเข้ามาในราชอาณาจักรหรือส่งออกไปนอกราชอาณาจักร ซึ่งกากกัมมันตรังสีทางด่านศุลกากรที่เลขาธิการประกาศกำหนด

มาตรา 78 ห้ามมิให้ผู้ใดปล่อยทิ้งกากกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม เว้นแต่เป็นกากกัมมันตรังสี ที่มีระดับค่ากัมมันตภาพและค่าครึ่งชีวิตตามที่กำหนดในกฎกระทรวงและได้ดำเนินการปล่อยทิ้งกากกัมมันตรังสีตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และปริมาณในการปล่อยทิ้งกากกัมมันตรังสีที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 79 ผู้ก่อให้เกิดกากกัมมันตรังสีมีหน้าที่จัดการกากกัมมันตรังสีตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง กากกัมมันตรังสีใดที่ผู้มีหน้าที่ตามวรรคหนึ่งต้องส่งให้หน่วยงานของรัฐจัดการให้เป็นไป ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวง ค่าใช้จ่ายในการจัดการกากกัมมันตรังสีตามวรรคสอง ให้ผู้มีหน้าที่ตามวรรคหนึ่งเป็นผู้รับผิดชอบ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรา 80 ผู้ให้บริการจัดการกากกัมมันตรังสี ต้องได้รับใบอนุญาตให้ใช้พื้นที่เพื่อตั้งสถานที่ ให้บริการจัดการกากกัมมันตรังสี ใบอนุญาตก่อสร้างสถานที่ให้บริการจัดการกากกัมมันตรังสี และใบอนุญาต ดำเนินการให้บริการจัดการกากกัมมันตรังสี จากเลขาธิการโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการ ตามลำดับ ให้นำบทบัญญัติในหมวด 5 สถานประกอบการทางนิวเคลียร์ และหมวด 8 ความปลอดภัย ความมั่นคงปลอดภัย และการพิทักษ์ความปลอดภัย รวมทั้งบทกำหนดโทษที่เกี่ยวข้องมาใช้บังคับโดยอนุโลม

มาตรา 81 ผู้รับใบอนุญาตดำเนินการสถานประกอบการทางนิวเคลียร์ต้องจัดการกากกัมมันตรังสี ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัยของสถานประกอบการทางนิวเคลียร์และตามบทบัญญัติในหมวดนี้

มาตรา 82 ผู้รับใบอนุญาตผลิต มีไว้ในครอบครอง หรือใช้ซึ่งวัสดุกัมมันตรังสีที่เลิกใช้ วัสดุกัมมันตรังสีต้องจัดการวัสดุกัมมันตรังสีนั้นเช่นเดียวกับการจัดการกากกัมมันตรังสี เพื่อประโยชน์ในการรักษาความปลอดภัยให้ถือว่าวัสดุกัมมันตรังสีที่ผู้รับใบอนุญาตไม่ได้ใช้ประโยชน์ เป็นระยะเวลาห้าปีติดต่อกันเป็นวัสดุกัมมันตรังสีที่ผู้รับใบอนุญาตเลิกใช้และต้องจัดการตามวรรคหนึ่ง เว้นแต่ผู้รับใบอนุญาตจะแสดงหลักฐานให้เลขาธิการเห็นว่าผู้รับใบอนุญาตยังคงประสงค์จะใช้วัสดุกัมมันตรังสี นั้นต่อไป

มาตรา 83 ในกรณีที่ผู้รับใบอนุญาตตามมาตรา 19 (1) ใช้วัสดุกัมมันตรังสีเพื่อประโยชน์ ในการสำรวจปิโตรเลียม และวัสดุกัมมันตรังสีนั้นตกค้างอยู่ในหลุมสำรวจปิโตรเลียม ผู้รับใบอนุญาตดังกล่าว ต้องดำเนินการเพื่อนำวัสดุกัมมันตรังสีนั้นขึ้นมาจากหลุมสำรวจปิโตรเลียม และแจ้งให้เลขาธิการทราบ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวง ในกรณีที่ไม่สามารถนำวัสดุกัมมันตรังสีขึ้นจากหลุมสำรวจปิโตรเลียมได้ ให้ดำเนินการตามหลักเกณฑ์ และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวง ซึ่งอย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(1) การแสดงตำแหน่งหรือพิกัดของหลุมสำรวจปิโตรเลียมที่วัสดุกัมมันตรังสีนั้นตกค้างอยู่

(2) วิธีการปิดหลุมสำรวจปิโตรเลียม

สำหรับการขนย้ายหรือขนส่งวัสดุนิวเคลียร์นั้น ต้องมีการแจ้งต่อผู้ดูแลความปลอดภัยซึ่งก็คือเลขาธิการ ตามข้อปฏิบัติในหมวดที่ ๙ ดังต่อไปนี้

หมวด 9

การขนส่ง

มาตรา 98 ผู้ครอบครองวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ กากกัมมันตรังสี เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ หรือเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว ซึ่งประสงค์จะจัดให้มีการขนส่งวัสดุดังกล่าว ต้องแจ้งต่อเลขาธิการ

การแจ้งให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่เลขาธิการประกาศกำหนด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรา 99 ผู้ครอบครองวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ กากกัมมันตรังสี เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ หรือเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว ซึ่งประสงค์จะขนส่งวัสดุดังกล่าวตามมาตรา 98 และผู้รับขนส่งวัสดุดังกล่าว มีหน้าที่ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขเกี่ยวกับความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัย ทางนิวเคลียร์และรังสีตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

กฎกระทรวงตามวรรคหนึ่ง อย่างน้อยต้องมีรายละเอียดในเรื่องดังต่อไปนี้

(1) ข้อกำหนดหรือข้อจำกัดในการขนส่งไม่ว่าโดยทางบก ทางน้ำ หรือทางอากาศ

(2) ประเภท ข้อกำหนด และการรับรองหีบห่อที่ใช้ในการขนส่ง

(3) การติดป้ายแสดงสัญลักษณ์ทางรังสี

(4) การตรวจสอบและการควบคุมการขนส่ง

ในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินทางรังสีซึ่งอาจเป็นเหตุให้เกิดอันตรายทางรังสีต่อบุคคลทั่วไป ดังนั้นผู้รับใบอนุญาต จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

หมวด 10

เหตุฉุกเฉินทางนิวเคลียร์และรังสี

มาตรา 100 ในกรณีที่เกิดอันตรายหรือความเสียหายอันเกิดจากการประกอบกิจการ ตามใบอนุญาต ผู้รับใบอนุญาตมีหน้าที่ระงับเหตุในเบื้องต้นตามแผนป้องกันอันตรายจากรังสี และต้องแจ้ง เหตุดังกล่าวให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบทันที รวมทั้งต้องให้ข้อมูลและให้ความร่วมมือแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อแก้ไขบรรเทา หรือระงับซึ่งอันตรายหรือความเสียหายนั้น

มาตรา 101 ในกรณีที่อันตรายหรือความเสียหายตามมาตรา 100 มีลักษณะหรือขยายขอบเขต เป็นความเสียหายสาธารณะ หรือในกรณีที่พนักงานเจ้าหน้าที่พบว่าการประกอบกิจการตามใบอนุญาต อาจก่อให้เกิดความเสียหายสาธารณะ ให้เจ้าหน้าที่ที่มีอำนาจตามกฎหมายว่าด้วยการป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย มีอำนาจเข้าระงับเหตุแห่งความเสียหายสาธารณะนั้นได้ทันที รวมทั้งมีอำนาจประกาศมาตรการ เพื่อประโยชน์ในการระงับเหตุนั้น

ในการระงับเหตุแห่งความเสียหายสาธารณะตามวรรคหนึ่ง ให้ปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วย การป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย โดยมีแผนฉุกเฉินทางนิวเคลียร์และรังสีเป็นแผนสนับสนุนและอยู่ภายใต้แผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ และให้สำนักงานมีหน้าที่ให้ข้อเสนอแนะและจัดให้มี เจ้าหน้าที่สนับสนุนการดำเนินการดังกล่าว ในกรณีที่อันตรายหรือความเสียหายอันเกิดจากนิวเคลียร์หรือรังสีที่เกิดขึ้นในต่างประเทศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศไทย ให้นำบทบัญญัติในวรรคหนึ่งและวรรคสองมาใช้บังคับโดยอนุโลม

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 10

แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพรวมแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสีและ ขั้นตอนดำเนินการสำหรับแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสี

เพื่อสร้างระบบการบริหารจัดการความปลอดภัยด้านรังสี ให้สอดคล้องกับพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 สำหรับการป้องกันอันตรายจากรังสีในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี ผู้ที่เกี่ยวข้องทางรังสี ประชาชนทั่วไป และสิ่งแวดล้อม โดยมีแนวทางควบคุมให้ได้รับรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถดำเนินการได้และเกิดผลกระทบน้อยที่สุด

ส่วนงาน/หน่วยงานพึงรับทราบและปฏิบัติตามเอกสารต่อไปนี้

1. จัดให้ผู้ที่ปฏิบัติงานทางรังสีและผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้รับความรู้ทางด้านรังสี ที่เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ ตามเอกสาร**“แนวปฏิบัติเพื่อพัฒนาศักยภาพบุคลากรและผู้เกี่ยวข้องทางด้านรังสี (SHE-RS-PM-001)”**
2. ยื่นขอรับใบอนุญาตตามเอกสาร **“แนวปฏิบัติเพื่อขอรับใบอนุญาตหรือขอแจ้งการครอบครองหรือใช้เกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-PM-002)”**
3. จัดการกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งวิธีการจัดการจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของกากกัมมันตรังสี ห้องปฏิบัติการสามารถจัดการได้ด้วยตนเองหรือให้ผู้อื่นจัดการให้แทน ตามเอกสาร **“แนวปฏิบัติในการจัดการกากกัมมันตรังสี (SHE-RS-PM-003)”**
4. ควบคุมการเคลื่อนย้าย วัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ เครื่องกำเนิดรังสี และกากกัมมันตรังสี ทั้งภายในและภายนอกส่วนงาน/หน่วยงาน เพื่อป้องกันมิให้มีการเคลื่อนย้ายโดยไม่ได้รับอนุญาต ตามเอกสาร **“แนวปฏิบัติในการเคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ เครื่องกำเนิดรังสี และกากกัมมันตรังสี (SHE-RS-PM-004)”**
5. จัดให้มีมาตรการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ เครื่องกำเนิดรังสี และกากกัมมันตรังสี เพื่อป้องกันการเข้าถึงวัสดุดังกล่าวโดยไม่ได้รับอนุญาต ตามเอกสาร **“แนวปฏิบัติเพื่อความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี (SHE-RS-PM-005)”**

CHULALONGKORN UNIVERSITY

6. จัดทำแผนการดำเนินการกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสี เตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ที่จำเป็น และดำเนินการฝึกซ้อมตามช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม ตามเอกสาร **“แนวปฏิบัติกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสีและการฝึกซ้อม (SHE-RS-PM-006)”**
7. กำกับดูแลให้ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่เกี่ยวข้องทางรังสี เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ตามเอกสาร **“หน้าที่ของส่วนงาน/หน่วยงานที่รับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-001)”**
8. จัดสถานที่จัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ หรือสถานที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดรังสี โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและผลกระทบถึงประชาชนทั่วไป และต้องมีระบบรักษาความมั่นคงปลอดภัยของวัสดุกัมมันตรังสีที่เหมาะสม ตามเอกสาร **“ข้อแนะนำสำหรับการจัดสถานที่จัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-002)”**
9. วางมาตรการด้านความปลอดภัยทางรังสีในเขตพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง และแสดงเครื่องหมายสัญลักษณ์ทางรังสี เพื่อเป็นการเตือนภัยบุคคลที่เกี่ยวข้องและประชาชนทั่วไปจากอันตรายทางรังสีที่อาจเกิดขึ้น โดยมีแนวทางการจัดแบ่งพื้นที่ปฏิบัติการทางรังสี ตามเอกสาร **“ข้อแนะนำสำหรับการเลือกใช้พื้นที่และการแบ่งพื้นที่ปฏิบัติการทางรังสี (SHE-RS-SD-003)”**
10. เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี หรือผู้รับผิดชอบทางรังสี ต้องควบคุมดูแลให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องทางรังสี ได้รับทราบแนวปฏิบัติในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการรังสี อย่างเคร่งครัด เพื่อมิให้ได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ตามเอกสาร **“ข้อแนะนำทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-004)”**
11. จัดให้มีการควบคุม ทดสอบ ตรวจสอบ เครื่องสำรวจรังสี และเครื่องกำเนิดรังสี ซึ่งมีการแสดงถึงค่าความเที่ยงตรง ความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ และจัดเก็บบันทึกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ตามเอกสาร **“แนวปฏิบัติระบบประกันคุณภาพเครื่องสำรวจรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-005)”**

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนดำเนินการสำหรับแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสี

ขั้น	ผู้รับผิดชอบ	กิจกรรม	เอกสารอ้างอิง
1	คปอ. ส่วนงาน	มอบหมายให้เจ้าหน้าที่ อย่างน้อยหนึ่งคน เป็นผู้รับผิดชอบทางรังสี และจัดให้มีเครื่องมืออุปกรณ์ ความปลอดภัยทางรังสี อย่างเพียงพอ	หน้าที่ของส่วนงาน/หน่วยงานที่รับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-001)
		↓	
2	คปอ. ส่วนงาน	จัดให้ผู้รับผิดชอบทางรังสี และผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้รับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสีตามหลักสูตรที่เหมาะสม	แนวปฏิบัติเพื่อพัฒนาศักยภาพบุคลากรและผู้เกี่ยวข้องทางด้านรังสี (SHE-RS-PM-001)
		↓	
3	คปอ. ส่วนงาน	จัดหาสถานที่ปฏิบัติงาน สถานที่จัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสี/วัสดุนิวเคลียร์ หรือสถานที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดรังสี ที่เหมาะสม และจัดแบ่งพื้นที่ปฏิบัติงานทางรังสีให้เหมาะสม	1. ข้อแนะนำสำหรับการจัดสถานที่จัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-002) 2. ข้อแนะนำสำหรับการเลือกใช้พื้นที่และการแบ่งพื้นที่ปฏิบัติการทางรังสี (SHE-RS-SD-003)
		↓	
4	คปอ. ส่วนงาน	จัดทำแผนการป้องกันอันตรายจากรังสีประจำหน่วยงาน โดยมีหัวข้อหลักตามเอกสาร “หน้าที่ของหน่วยงานที่รับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี” โดยมีเอกสาร ตามเอกสารอ้างอิงข้อ 1-5	1. หน้าที่ของส่วนงาน/หน่วยงานที่รับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-001) 2. ข้อแนะนำสำหรับการเลือกใช้พื้นที่และการแบ่งพื้นที่ปฏิบัติการทางรังสี (SHE-RS-SD-003) 3. แนวปฏิบัติในการเคลื่อนย้ายวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ เครื่องกำเนิดรังสี และกากกัมมันตรังสี (SHE-RS-PM-004) 4. แนวปฏิบัติเพื่อความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี (SHE-RS-PM-005) 5. แนวปฏิบัติกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสีและการฝึกซ้อม (SHE-RS-PM-006)
		↓	
5	คปอ. ส่วนงาน	ยื่นขอรับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี ต่อสำนักงาน	1. แบบคำขออนุญาตของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

CHULA... ORN UNIVERSITY

ขั้น	ผู้รับผิดชอบ	กิจกรรม	เอกสารอ้างอิง
		ปรมาณูเพื่อสันติ โดยปฏิบัติตาม แนวปฏิบัติเพื่อขอรับใบอนุญาตฯ	2. แนวปฏิบัติเพื่อขอรับใบอนุญาตหรือขอแจ้งการครอบครองหรือใช้เกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-PM-002)
		↓	
6	คปอ. ส่วนงาน	รับใบอนุญาตฯ จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และนำส่งสำเนาใบอนุญาตฯ ให้ ศปอส.	ใบอนุญาตฯ
		↓	
7	ศปอส.	จัดเก็บบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล	ฐานข้อมูลด้านรังสี
		↓	
8	ผู้ปฏิบัติงาน	ปฏิบัติตามแนวปฏิบัติทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี	ข้อแนะนำทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-004)
		↓	
9	ผู้ครอบครองหรือผู้ใช้	กรอกข้อมูลแบบรายงานแสดงปริมาณที่มีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี หรือวัสดุนิวเคลียร์ หรือเครื่องกำเนิดรังสี ในระบบฐานข้อมูล แล้วพิมพ์แบบรายงานฯ ยื่นต่อสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ตามกำหนดเวลาของใบอนุญาตแต่ละประเภท	1. แบบรายงานแสดงปริมาณที่มีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี หรือวัสดุนิวเคลียร์ หรือเครื่องกำเนิดรังสี 2. ฐานข้อมูลด้านรังสี
		↓	
10	ผู้ครอบครองหรือผู้ใช้	จัดให้มีระบบประกันคุณภาพเครื่องสำรวจรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี ตามแนวทางการดำเนินงานระบบประกันคุณภาพเครื่องสำรวจรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี	แนวทางการดำเนินงานระบบประกันคุณภาพเครื่องสำรวจรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี (SHE-RS-SD-005)
		↓	
11	ผู้ครอบครองหรือผู้ใช้	จัดการกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามแนวปฏิบัติในการจัดการกากกัมมันตรังสี และกรอกข้อมูลกากกัมมันตรังสี ในระบบฐานข้อมูล	1. แนวปฏิบัติในการจัดการกากกัมมันตรังสี (SHE-RS-PM-003) 2. ฐานข้อมูลด้านรังสี
		↓	
12	ศปอส.	จัดทำรายงานสรุปข้อมูล จากฐานข้อมูลและวิเคราะห์ความเสี่ยง นำเสนอต่อที่ประชุมคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุก 6 เดือน	รายงานสรุปข้อมูลแสดงปริมาณที่มีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสีหรือวัสดุนิวเคลียร์หรือเครื่องกำเนิดรังสี และกากกัมมันตรังสี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้น	ผู้รับผิดชอบ	กิจกรรม	เอกสารอ้างอิง
		↓	
13	คปอ. ส่วนงาน	ทำการฝึกซ้อม กรณีเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสี	แนวปฏิบัติกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสีและการฝึกซ้อม (SHE-RS-PM-006)
		↓	
14	คปอ. ส่วนงาน	รายงานอุบัติการณ์หรืออุบัติเหตุทางรังสี ต่อ ศปอส. ในระบบรายงานอุบัติเหตุหรือสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่ปลอดภัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ระบบรายงานอุบัติเหตุหรือสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่ปลอดภัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
		↓	
15	คปอ. ส่วนงาน/หน่วยงาน	จัดเก็บบันทึกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทางรังสี	1. บัญชีรายการวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี 2. บันทึกประวัติการใช้วัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์และเครื่องกำเนิดรังสี 3. บันทึกผลการทดสอบ ตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมืออุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี 4. บันทึกการปรับเทียบมาตรฐานของเครื่องสำรวจรังสี 5. บันทึกผลการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี 6. บันทึกผลการตรวจวัดระดับรังสีในบริเวณปฏิบัติงานและบริเวณสาธารณะ 7. บันทึกการจัดการกากกัมมันตรังสี
		↓	
16	ศปอส.	แต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการตรวจติดตามการปฏิบัติตามแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสีอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง	คำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการตรวจติดตาม
		↓	
17	ศปอส.	นำเสนอผลการตรวจติดตามต่อคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนการดำเนินการแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสี

1 **คปอ.ส่วนงาน** มอบหมายให้เจ้าหน้าที่ อย่างน้อยหนึ่งคน เป็นผู้รับผิดชอบทางรังสี และจัดให้มีเครื่องมือ อุปกรณ์ ความปลอดภัยทางรังสี อย่างเพียงพอ

(SHE-RS-SD-001)

2 **คปอ.ส่วนงาน** จัดให้ผู้รับผิดชอบทางรังสี และผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้รับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสีตามหลักสูตรที่เหมาะสม

(SHE-RS-PM-001)

3 **คปอ.ส่วนงาน** จัดหาสถานที่ปฏิบัติงาน สถานที่จัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสี/วัสดุนิวเคลียร์ หรือสถานที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดรังสี ที่เหมาะสมและจัดแบ่งพื้นที่ปฏิบัติงานทางรังสีให้เหมาะสม

(SHE-RS-SD-002)
(SHE-RS-SD-003)

4 **คปอ.ส่วนงาน** จัดทำแผนการป้องกันอันตรายจากรังสีประจำหน่วยงาน โดยมีหัวข้อหลักตามเอกสาร *"หน้าที่ของหน่วยงานที่รับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี"*

(SHE-RS-SD-001)

5 **คปอ.ส่วนงาน** ยื่นขอรับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี ต่อสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยปฏิบัติตาม แนวปฏิบัติเพื่อขอรับใบอนุญาตฯ

(SHE-RS-PM-002)

6 **คปอ.ส่วนงาน** รับใบอนุญาตฯ จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และนำส่งสำเนาใบอนุญาตฯ ให้กับ ศปอส.

7 **ศปอส.** จัดเก็บบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล

8 ผู้ปฏิบัติงาน ปฏิบัติตามข้อแนะนำทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องกับวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์ และเครื่องกำเนิดรังสี

(SHE-RS-SD-004)

9 ผู้ครอบครองหรือผู้ใช้ กรอกข้อมูลแบบรายงานแสดงปริมาณที่มีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี หรือวัสดุนิวเคลียร์ หรือเครื่องกำเนิดรังสี ในระบบฐานข้อมูล

พิมพ์แบบรายงานฯ ยื่นต่อสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติตามกำหนดเวลาของใบอนุญาตแต่ละประเภท

10 ผู้ครอบครองหรือผู้ใช้ จัดให้มีระบบประกันคุณภาพเครื่องสำรวจรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี ตามเอกสารแนวทางการดำเนินงานระบบประกันคุณภาพเครื่องสำรวจรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี

(SHE-RS-SD-005)

11 ผู้ครอบครองหรือผู้ใช้ จัดการกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามแนวปฏิบัติในการจัดการกากกัมมันตรังสี และกรอกข้อมูลกากกัมมันตรังสี ในระบบฐานข้อมูล

(SHE-RS-PM-003)

12 ศปอส. จัดทำรายงานสรุปข้อมูลจากฐานข้อมูลและวิเคราะห์ความเสี่ยง นำเสนอต่อที่ประชุมคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุก 6 เดือน

13 **คปอ. ส่วนงาน** ทำการฝึกซ้อมเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสี โดยอ้างอิงจากแนวปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสีและการฝึกซ้อม

(SHE-RS-PM-006)

14 **คปอ. ส่วนงาน** รายงานอุบัติการณ์หรืออุบัติเหตุทางรังสี ต่อ ศปอส. ในระบบรายงานอุบัติเหตุหรือสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่ปลอดภัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15 คปอ.ส่วนงานจัดเก็บบันทึกต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทางรังสี

บันทึกต่างๆที่เกี่ยวข้องทางรังสี

-บัญชีรายการวัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์และเครื่องกำเนิดรังสี
-บันทึกประวัติการใช้วัสดุกัมมันตรังสี วัสดุนิวเคลียร์และเครื่องกำเนิดรังสี
-บันทึกผลการทดสอบ ตรวจสอบ อุปกรณ์เครื่องมืออุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี
-บันทึกการปรับเทียบมาตรฐานของเครื่องสำรวจรังสี
-บันทึกผลการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี
-บันทึกผลการตรวจวัดระดับรังสีในบริเวณปฏิบัติงานและบริเวณสาธารณะ
- บันทึกการจัดการกากกัมมันตรังสี

17 **ศปอส.** นำเสนอผลการตรวจติดตามต่อคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16 **ศปอส.** แต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการตรวจติดตามการปฏิบัติตามแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสีอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

หมายเหตุ สามารถอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ เอกสารแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNI