คู่มือ

ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสี

Manual for Radiation Health and Safety

สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน
กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

คู่มือ

ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสี

Radiation Health and Safety at Work

สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน
กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

คู่มือความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสี

Manual for Radiation Health and Safety at Work

พิมพ์ครั้งที่ 1 : สิงหาคม 2544

จำนวน 1,000 เล่ม

หน่วยงาน : สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน

22/3 ถนนบรมราชชนนี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

โทรศัพท์ 0-2448-6607, 0-2884-1727

โทรสาร 0-2448-6509

E-mail environ@nice.dlpw.go.th

Website http://www.nice.dlpw.go.th

ISBN : 974-7874-88-1

กสร. : 13/2544

พิมพ์ที่ : บริษัท สดใสการพิมพ์ จำกัด

28 ซอยลาดพร้าว 49 แขวงวังทองหลาง เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2539-0425, 0-2933-3014

โทรสาร 0-2539-0425

คำนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการประยุกต์ใช้รังสีในกระบวนการผลิตต่าง ๆ หลายประเภทกิจการ รังสีและสารกัมมันตรังสี จึงได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางจนนับได้ว่ามีบทบาทอย่างมากและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต ดังจะเห็นได้จากปริมาณการใช้สารกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การใช้รังสีมิได้จำกัดเพียงในงานอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่ยังมีการใช้อย่างกว้างขวางในด้านอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการแพทย์ การศึกษาวิจัย การเกษตร ฯลฯ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากรังสีในด้านต่าง ๆ ดังกล่าวนั้น สามารถก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้โดยง่าย ทั้งต่อตัวผู้ปฏิบัติงานหรือผู้เกี่ยวข้อง และในบางครั้งอาจรุนแรงจนผลกระทบขยายสู่ประชาชนหรือสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้น การสร้างความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง และการจัดมาตรการป้องกันและควบคุมที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ในฐานะหน่วยงานที่ดูแลและสนับสนุนด้านการพัฒนาสภาพและสิ่งแวดล้อมการทำงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ได้ตระหนักถึงความสำคัญดังกล่าว และเล็งเห็นว่าแนวทางหนึ่งในการสร้างเสริมความปลอดภัยในการทำงานสำหรับสถานประกอบกิจการที่เกี่ยวข้องหรือมีการใช้รังสี คือการพัฒนาองค์ความรู้ของผู้ปฏิบัติงาน เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน รวมถึงเจ้าหน้าที่ตรวจความปลอดภัยในการทำงานของภาครัฐเอง เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบการเกิดอันตรายจากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี ทราบแนวทางการปฏิบัติงานหรือดำเนินการใด ๆ ด้วยขั้นตอน/วิธีการที่ปลอดภัย รวมถึงมาตรการควบคุมป้องกัน กฎหมาย และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง โดยในส่วนของเจ้าหน้าที่ตรวจความปลอดภัยฯ ของภาครัฐ ทั้งส่วนกลางและส่วนภูมิภาค ควรจะสามารถให้คำแนะนำหรือข้อเสนอแนะในเรื่องดังกล่าวแก่สถานประกอบการได้ในระดับหนึ่ง

หนังสือคู่มือ าความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสี นี้ จึงได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นสื่อในการสร้างความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่องรังสีอันตรายจากรังสี การควบคุมป้องกัน และมาตรการด้านการบริหารจัดการ กฎหมาย ข้อปฏิบัติต่าง ๆ อันจะนำมาซึ่งความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้างในสถานประกอบกิจการที่เกี่ยวข้อง รวมถึงความปลอดภัยของชุมชนและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และเพื่อให้หนังสือคู่มือนี้ สามารถใช้เป็นคู่มือเบื้องต้นสำหรับเจ้าหน้าที่ตรวจความปลอดภัยฯ ในการอ้างอิงสำหรับการให้คำแนะนำแก่สถานประกอบการในการดำเนินงานป้องกันและควบคุมอันตรายให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย ซึ่งจะช่วยลดอัตราการเกิดอันตรายเนื่องจากการทำงานลงได้ ทั้งนี้ ด้วยเจตนารมณ์อันมุ่งมั่นของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ที่ต้องการให้ผู้ใช้แรงงานทุกกลุ่มและในทุกประเภทกิจการ ได้มีสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัย มีสุขภาพร่างกายและจิตใจที่สมบูรณ์แข็งแรง สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล อันจะนำมาซึ่งการพัฒนาทางอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของประเทศสืบไป

(นายรังสฤษฏ์ จันทรัตน์)
อธิบดีกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน
สิงหาคม 2544

สารบัญ

หน้า

คำนำ

บทนำ 1

I. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์และกัมมันตภาพรังสี

1.1 นิยามศัพท์ และหน่วยที่ใช้ทางรังสี 3

1.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับรังสี และการใช้ประโยชน์ 8

1.3 สถานการณ์และแนวโน้มปัญหาการใช้รังสีในประเทศไทย 11

II. ประเภทของรังสี แหล่งกำเนิด และการสลายตัว

2.1 แหล่งกำเนิดรังสี 13

2.2 ประเภท ชนิด และคุณสมบัติของรังสี 17

2.3 การสลายตัวของรังสี 21

III. อันตรายจากรังสีต่อสิ่งมีชีวิต

3.1 รูปแบบการเกิดอันตรายและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 23

3.2 การเกิดผลกระทบจากรังสีต่อร่างกายมนุษย์ 26

3.3 การประมาณค่าความเสี่ยงของผลจากรังสี 33

3.4 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านอันตรายจากรังสี 37

IV. แนวทางการตรวจประเมินรังสี และการควบคุมป้องกันอันตราย

4.1 การสำรวจเบื้องต้น และการตรวจวัดรังสี 39

4.2 หลักการป้องกันอันตรายจากรังสี 44

4.3 การจัดบริเวณและสภาพแวดล้อมการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี 47

4.4 การวางแนวปฏิบัติเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี 48

4.5 การเกิดอุบัติเหตุหรือภาวะฉุกเฉินทางรังสี 49

หน้า

V. กฎหมาย มาตรฐานแนะนำ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

5.1 กฎหมายของประเทศไทย 51

- พ.ร.บ. พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ และการควบคุมสารกัมมันตรังสี 52
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 27 (พ.ศ. 2535) ออกตามความใน พ.ร.บ. โรงงาน 2512 เรื่อง หน้าที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี 55
- กฎกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม (ร่าง) ออกตามความใน พ.ร.บ. คุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 ว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับรังสีชนิดก่อไอออน 56

5.2 มาตรฐานและข้อแนะนำของต่างประเทศ 59

5.3 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี 63

บรรณานุกรม 67

ภาคผนวก 68

- การแปลงหน่วยทางรังสีและคำนำหน้า (Prefix)
- ตารางธาตุและแผนภาพนิวไคลด์รังสี (Chart of Radionuclides)
- ตารางคุณสมบัติกัมมันตภาพและค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์รังสี
- ป้ายและสัญลักษณ์เกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสี

บทนำ

การดำเนินงานด้านความปลอดภัยในการทำงาน มีองค์ประกอบที่สำคัญคือการมีมาตรการหรือแนวปฏิบัติการสร้างความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง และการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด โดยมีการตระหนักถึงอันตราย ทำการตรวจประเมิน และดำเนินการควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมการทำงาน รังสี ถือเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้สูง กอรปกับปัจจุบัน แนวโน้มการใช้ประโยชน์จากรังสีและสารกัมมันตรังสีในกิจการต่างๆ ได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านอุตสาหกรรมและการผลิต ส่งผลให้มีการประยุกต์ใช้รังสีและพลังงานนิวเคลียร์รูปแบบต่าง ๆ อย่างมาก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ตรวจสอบ/ปรับปรุงคุณภาพชิ้นงานอย่างแม่นยำและรวดเร็ว แต่ขณะเดียวกัน ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องก็มีความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีที่มากขึ้นด้วย

การป้องกันอันตรายจากรังสีจัดว่าเป็นวิทยาการด้านหนึ่งที่ผสานกันระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคมศาสตร์ และการบริหารจัดการ อันรวมถึงการกำหนดนโยบายหรือกฎระเบียบต่างๆ ทั้งนี้ เพื่อนำมาซึ่งความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมการทำงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนชุมชนและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ องค์ประกอบดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจึงถือว่ามีส่วนสำคัญอย่างมาก โดยที่การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากรังสีเพื่อหามาตรการควบคุมป้องกันที่เหมาะสม จะต้องอาศัยความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดรังสี ชนิด ความแรง การเกิดอันตรายหรือผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต การประเมินอันตรายหรือความเสี่ยง และการจัดมาตรการควบคุมเพื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบการเกิดผลกระทบ หรืออันตรายนั้น ๆ นอกจากนี้ ยังรวมถึงการกำหนดและการประยุกต์ใช้มาตรฐานหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ด้วยเหตุที่ความรู้เกี่ยวกับรังสีและพลังงานนิวเคลียร์ จัดเป็นเรื่องที่ค่อนข้างเข้าใจยาก ผู้ปฏิบัติงานและประชาชนจำนวนมากยังคงขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในขณะที่ปริมาณเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรที่รับผิดชอบดูแลด้านความปลอดภัยรังสี ยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น คู่มือความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสี จึงได้ถูกจัดทำขึ้นบนพื้นฐานด้านการป้องกันอันตรายเบื้องต้นสำหรับผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการที่เกี่ยวข้องหรือมีการใช้รังสี รวมถึงเจ้าหน้าที่ตรวจความปลอดภัยในการทำงานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง/แก้ไขสภาพแวดล้อมการทำงานและกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม ให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานมากยิ่งขึ้น โดยที่เนื้อหาในคู่มือฉบับนี้ ได้ถูกแบ่งออกเป็นบทต่างๆ ที่ให้ความรู้และทฤษฎีขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับรังสี การเกิดอันตรายหรือผลกระทบในแต่ละรูปแบบ การประเมินอันตรายหรือความเสี่ยงจากการได้รับรังสี แนวทางการควบคุมและป้องกันที่สามารถจะนำไปประยุกต์ปฏิบัติได้ รวมถึงข้อเสนอแนะ กฎหมาย มาตรฐานทั้งของไทยและต่างประเทศ

ท้ายนี้ ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคณาจารย์และผู้เชี่ยวชาญประจำหลักสูตรการป้องกันอันตรายจากรังสี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านวิชาการ รวมถึงข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การจัดทำหนังสือคู่มือฉบับนี้ ได้มีการแปลและเรียบเรียงจากเอกสารจำนวนมาก จึงอาจมีข้อผิดพลาดทั้งในด้านเนื้อหาและการจัดพิมพ์เกิดขึ้นบ้าง ซึ่งผู้เขียนขอน้อมรับไว้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือคู่มือนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่และผู้ที่เกี่ยวข้องได้ตามสมควร

วิสันติ เลาหอุดมโชค
ผู้เขียน

1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์และกัมมันตภาพรังสี

รังสี เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่สามารถแปรรูปได้ ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้รังสีอย่างหลากหลายในกิจการต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เป็นต้นกำเนิดพลังงาน จนกล่าวได้ว่ารังสีเป็นประโยชน์อย่างมากต่อมวลมนุษยชาติ แต่ในอีกแง่มุมหนึ่ง รังสีก็อาจเป็นอันตรายสูงสุดต่อสิ่งมีชีวิตถ้าเราไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น การเรียนรู้และทำความเข้าใจในธรรมชาติและคุณสมบัติของรังสีจึงเป็นเรื่องจำเป็นที่จะทำให้เราสามารถใช้รังสีได้อย่างปลอดภัยและเกิดประโยชน์สูงสุด ในเบื้องต้นเราควรได้เข้าใจถึงความหมายของศัพท์ หน่วยที่ใช้ และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

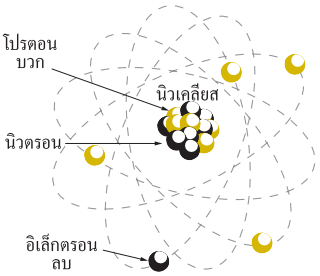
1.1 นิยามศัพท์ และหน่วยที่ใช้ทางรังสี

รังสี (Radiation) คือ พลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาคที่มีพลังงานสะสมอยู่ทั้งที่มีประจุและไม่มีประจุซึ่งปลดปล่อยออกมาจากวัสดุต้นกำเนิดผ่านในอากาศหรือตัวกลางใด ๆ โดยมีการถ่ายเทพลังงานส่วนหนึ่งให้กับตัวกลางนั้น

สารกัมมันตรังสี (Radioactive Material) คือ สารที่มีองค์ประกอบโครงสร้างปรมาณูที่นิวเคลียสอยู่ในสภาวะไม่เสถียร จึงมีการสลายตัวตลอดเวลาเพื่อปรับตัวเองให้ไปสู่สภาวะที่เสถียรกว่า ขณะเดียวกันก็มีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดพร้อม ๆ กันก็ได้ อาจเรียกสั้น ๆ ว่า “สารรังสี”

กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) คือ ปรากฏการณ์หรือกระบวนการในการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่ง ๆ เพื่อปรับเปลี่ยนตัวเองไปสู่สภาวะที่เสถียร และจะมีการแผ่รังสีออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรืออนุภาคต่าง ๆ เช่น อนุภาคแอลฟา อนุภาคเบตา อนุภาคนิวตรอน รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ เป็นต้น หลังจากการสลายตัว จะเปลี่ยนคุณสมบัติไปเป็นสารชนิดอื่น ซึ่งจะมีการแผ่รังสีต่อไปหรือไม่ก็ได้ โดยทั่วไปคำนี้มักเรียกสั้น ๆ ว่า “กัมมันตภาพ” หรือ “ความแรงรังสี”

ปรมาณูหรืออะตอม (Atom) คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของสสาร ที่คงคุณสมบัติของ ธาตุหนึ่ง ๆ โดยอะตอมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ นิวเคลียส ซึ่งเป็นส่วนแกนกลาง และอนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งโคจรรอบนิวเคลียส



นิวเคลียส (Nucleus) ประกอบด้วยอนุภาคโปรตอนและนิวตรอน ซึ่งยึดอยู่ด้วยแรงนิวเคลียร์ และถ้ามีแรงกระทำที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส จะก่อให้เกิด เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear Reaction)

เลขอะตอม (Atomic Number; Z) เป็นตัวเลขที่แสดงจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสของอะตอมใด ๆ

เลขมวล (Mass Number; A) เป็นตัวเลขที่แสดงถึงผลรวมของจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสของอะตอมใด ๆ ดังนั้น จำนวนนิวตรอนในนิวเคลียส (N) จะมีค่าเท่ากับ A ลบ Z

นิวไคลด์ (Nuclide) หมายถึง อะตอมของธาตุใด ๆ ซึ่งมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันตามเลขมวล เลขอะตอม และระดับพลังงานภายในนิวเคลียส ทั้งนี้ ได้มีการกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้แทนนิวไคลด์ คือ ZxA เมื่อ x คือสัญลักษณ์ทางเคมีของธาตุ

ไอโซโทป (Isotope) หมายถึง นิวเคลียสใด ๆ ที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน ซึ่งจะเรียกว่าเป็นไอโซโทปกัน และถ้าไอโซโทปหนึ่ง ๆ มีระดับพลังงานอยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียร (Excited state) และจะต้องมีการแผ่รังสีออกมา จะเรียกว่าเป็น ไอโซโทปรังสี (Radioisotope)

รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (Ionizing Radiation) หมายถึง รังสีที่มีความสามารถในการทำให้อะตอมของสารหรือวัสดุตัวกลางที่รังสีผ่านไป เกิดการแตกตัวเป็นประจุบวก (+) หรือประจุลบ (-) ได้ และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือคุณสมบัติของสารนั้น ๆ รังสีประเภทนี้จึงมีศักยภาพในการก่ออันตรายต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตมากกว่ารังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออน(Non-ionizing Radiation)

ต้นกำเนิดรังสี (Radiation Source) หมายถึง วัสดุหรือสิ่งหนึ่งสิ่งใดที่มีรังสีแผ่ออกสู่บรรยากาศ ไม่ว่าจะเป็นการแผ่รังสีจากสารกัมมันตรังสี หรือเกิดขึ้นด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น โดยเครื่องกำเนิดรังสี

ต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก (Unsealed Source) หมายถึง วัสดุกัมมันตรังสี ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะใด ๆ ที่ไม่ได้มีการบรรจุหรือห่อหุ้มปิดผนึกด้วยโลหะหรือวัสดุป้องกันรังสีอื่นใดอย่างมิดชิดถาวร

ต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึก (Sealed Source) หมายถึง วัสดุกัมมันตรังสีใน สถานะใด ๆ ที่ได้ถูกบรรจุหรือห่อหุ้มปิดผนึกด้วยโลหะหรือวัสดุป้องกันรังสีอื่นใดอย่างมิดชิดถาวร เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงหรือมิให้เกิดการรั่วไหลของวัสดุกัมมันตรังสีนั้น

บริเวณรังสี (Radioactive Area) หมายถึง บริเวณที่มีอัตราปริมาณรังสีเกินกว่า 2.5 ไมโครซีเวอร์ต/ชั่วโมง และถ้าหากบริเวณนั้น ๆ มีอัตราปริมาณรังสีเกินกว่า 25 ไมโครซีเวอร์ต/ชั่วโมง จะถือว่าเป็น บริเวณรังสีสูง

พื้นที่ควบคุม (Controlled Area) หมายถึง บริเวณซึ่งมีความเข้มงวดในการเข้า-ออกของลูกจ้าง เพื่อป้องกันการได้รับอันตรายจากรังสี โดยกำหนดเป็นบริเวณรังสีและบริเวณรังสีสูง

กากกัมมันตรังสี (Radioactive Waste) หมายถึง วัสดุใด ๆ ที่ประกอบหรือเปรอะเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสีและไม่อยู่ในสภาพที่เป็นประโยชน์ในการใช้งาน

ค่าครึ่งชีวิต (Half Life; $T_{1/2}$) หมายถึง เวลาที่สารรังสีใช้ในการสลายตัวของสารรังสีจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น

ปริมาณรังสี (Dose) หมายถึง ค่าปริมาณหรือระดับของพลังงานในรูปของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุหนึ่ง ๆ

ปริมาณรังสีที่ก่อให้เกิดผล (Effective Dose) หมายถึง ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือผลกระทบในร่างกาย

ปริมาณรังสีสะสม (Cumulative Dose) หมายถึง ผลรวมของปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจากการสัมผัสรังสีตลอดช่วงเวลาหนึ่ง ๆ

อุปกรณ์บันทึกปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล (Personal Monitoring Device) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สวมใส่หรือติดที่ตัวของผู้ปฏิบัติงาน เพื่อการบันทึกปริมาณรังสีที่ได้รับสะสมตลอดช่วงเวลาของการทำงานเกี่ยวกับรังสี ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ทันทีหรือนำไปวิเคราะห์ผลในภายหลัง เช่น Film Badge, TLD, Pocket Dosimeter เป็นต้น

หน่วยวัดทางรังสี

การวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสี ไม่อาจทำได้โดยการตวงวัด หรือชั่งน้ำหนักเพราะธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติจะปะปนอยู่กับธาตุอื่นเสมอ ถึงแม้ทำการแยกให้บริสุทธิ์แล้ว แต่เมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงในนิวเคลียสก็จะทำให้เกิดธาตุใหม่ขึ้นปะปนอีก ดังนั้น ปริมาณกัมมันตภาพรังสี จึงวัดได้จากรังสีที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้น

กัมมันตภาพ (Activity; A) หมายถึง อัตราการสลายตัวของสารรังสี หน่วยที่ใช้ คือ เบคเคอเรล (Becquerel; Bq) โดยที่ 1 เบคเคอเรล เท่ากับการสลายตัวของสารรังสี 1 อะตอมในหนึ่งวินาที (1 disintegration/sec.) ซึ่งเดิมเคยใช้หน่วย คูรี (Curie; CI)

1 คูรี = 3.7 x 1010 เบคเคอเรล

การแผ่รังสี (Exposure; X) เป็นหน่วยวัดคุณสมบัติของรังสีในการก่อให้เกิดประจุในตัวกลาง โดยหมายถึงปริมาณรังสีซึ่งทำให้เกิดประจุ 1 e.s.u. ในอากาศแห้ง 1 ลบ.ซม. ที่ NTP หน่วยที่ใช้ คือ คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/Kg) ซึ่งเดิมเคยใช้หน่วย เรินท์เกน (Roentgen; R)

1 เรินท์เกน = 2.58 x 10-4 คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม

การดูดกลืนรังสี (Absorbed Dose; D) หมายถึง พลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืนไปในวัตถุต่างๆ รังสีแต่ละชนิดสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ต่างกัน และมีการถ่ายเทพลังงานให้กับวัตถุแต่ละชนิดไม่เท่ากันด้วย ดังนั้น ผลของรังสีต่อวัตถุจึงแปรผันตามปริมาณพลังงานรังสีที่วัตถุดูดกลืนไว้ หน่วยที่ใช้ คือ เกรย์ (Gray; Gy) เดิมใช้หน่วย แรด (rad) ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืน 100 ergs ในวัตถุมวล 1 กรัม

1 Gy = 100 rad

ปริมาณรังสีสมมูล (Dose Equivalent) เป็นหน่วยที่ใช้สำหรับการป้องกันอันตรายจากรังสี โดยนำเอาผลทางชีววิทยาของรังสีมาเกี่ยวข้อง เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณการดูดกลืน (Absorbed Dose) ที่เท่ากันของรังสีชนิดต่าง ๆ จะพบว่ารังสีที่ถ่ายเทพลังงานต่อหน่วยระยะทางที่ผ่านไปในวัตถุมาก ก็จะมีผลทางชีววิทยามาก เมื่อกำหนดให้ค่าคงที่ Q (Quality Factor) แปรผันตามค่าการถ่ายเทพลังงานรังสีต่อหนึ่งหน่วยระยะทางในน้ำ และค่า D (Distribution Factor) ซึ่งแสดงการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในเนื้อเยื่อหรืออวัยวะเมื่อเข้าสู่ร่างกาย

Dose Equivalent = Absorbed Dose x Q x D

โดยที่ Q จะมีค่าเฉพาะตัว (α = 20; β, χ, γ = 1; η = 10)
D จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อสารกัมมันตรังสีอยู่นอกร่างกาย

ปัจจุบันหน่วยที่ใช้ คือ ซีเวิรต์ (Sievert; Sv) เดิมใช้หน่วย เรม (rem)

1 Sv = 100 rem

1.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับรังสี และการใช้ประโยชน์

นับตั้งแต่รังสีได้ถูกค้นพบขึ้นเป็นครั้งแรก เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1895 โดย Roentgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ขณะทำการทดลอง หลังจากนั้น การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางรังสี รวมถึงการค้นพบรังสีชนิดอื่น ๆ ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ สามารถประมวลเหตุการณ์และการค้นพบที่สำคัญได้ดังนี้

- การค้นพบปรากฏการณ์และข้ออธิบายเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี โดย Becquerel (ค.ศ. 1896)
- การค้นพบอิเลกตรอน โดย Thomson (ค.ศ. 1897)
- แนวคิด/กฎพื้นฐานเกี่ยวกับรังสี โดย Planck (ค.ศ. 1900)
- การค้นพบทฤษฎีสัมพันธภาพ โดย Einstein (ค.ศ. 1905)
- การค้นพบโครงสร้างอะตอม โดย Bohr (ค.ศ. 1913)

แนวคิดและทฤษฎีที่ได้จากการค้นพบดังกล่าว นับได้ว่าเป็นรากฐานที่สำคัญยิ่งในการศึกษาถึงคุณสมบัติพื้นฐานของรังสีและสารกัมมันตรังสีแต่ละชนิด โดยเราจะสรุปได้ว่า รังสี ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงานนิวเคลียร์ จะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นภายในนิวเคลียสของอะตอม อันได้แก่การแยก รวม หรือแปลง ซึ่งเรียกว่าการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ในขณะที่พลังงานปรมาณู จะมีความหมายรวมถึงพลังงานจากรังสีเอกซ์ด้วย ทั้งนี้ พลังงานนิวเคลียร์ที่สำคัญ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ

1. พลังงานนิวเคลียร์จากปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission) ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่น ยูเรเนียม พลูโตเนียม เมื่อถูกชนด้วยอนุภาคนิวตรอนและมีการแตกตัวออกเป็นนิวเคลียสของธาตุเบา พร้อมทั้งมีอนุภาครังสีและพลังงานถูกปลดปล่อยออกมาด้วย

2. พลังงานนิวเคลียร์จากปฏิกิริยาฟิวชัน (Fusion) เกิดจากการรวมตัวของนิวเคลียสของธาตุเบา เช่น ไฮโดรเจน ฮีเลียม แล้วกลายเป็นนิวเคลียสของธาตุหนักขึ้น พร้อมทั้งปลดปล่อยอนุภาครังสีและพลังงานจำนวนหนึ่งออกมาด้วย

3. พลังงานนิวเคลียร์ที่เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Radioactive Decay) ซึ่งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีต่าง ๆ เช่น แอลฟา เบตา แกมมา และนิวตรอน เป็นต้น

4. พลังงานนิวเคลียร์จากปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยอนุภาครังสี (Activation) โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคที่มีประจุ (Particle Accelerator) เช่น อิเล็กตรอน โปรตอน ดิวทีเรียม และแอลฟา เป็นต้น

ในปัจจุบัน สารกัมมันตรังสีและรังสี ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น การประยุกต์ใช้ในด้านเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ในการตรวจวินิจฉัยโรคและการรักษาโรค/การฆ่าเชื้อทางเวชภัณฑ์ และด้านการศึกษาวิจัย เป็นต้น โดยตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากรังสีดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

ด้านอุตสาหกรรม

- ใช้รังสีแกมมาวัดระดับของสารเคมีในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์
- ควบคุมการผลิตเครื่องแก้วให้มีความหนาสม่ำเสมอ
- ควบคุมความหนาของเนื้อยางที่เคลือบบนแผ่นผ้าใบของยางรถยนต์
- ควบคุมการไหลผ่านของส่วนผสมในการผลิตปูนซีเมนต์
- วัดความหนาแน่นของน้ำปูนกับใยหินในการผลิตกระเบื้อง/กระดาษอัด
- ตรวจสอบรอยเชื่อมโลหะ เพื่อหาจุดบกพร่องของชิ้นงาน
- ตรวจสอบความสมบูรณ์ในการเชื่อมวงจรอิเลกทรอนิกส์/วัสดุกึ่งตัวนำ
- ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วหรือธาตุกำมะถันในน้ำมันปิโตรเลียม
- ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสีเรืองแสง ฯลฯ

ด้านการแพทย์

- โคบอลต์-60 ใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง
- ทองคำ-198 ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งผิวหนัง
- แทนทาลัม-182 ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งปากมดลูก
- ไอโอดีน-131 ใช้ในการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรคคอหอยพอก และ ตรวจสอบการทำงานของต่อมทัยรอยด์
- เทคนิคเซียม-99m ใช้ตรวจสอบทางเดินน้ำดี ไต ต่อมน้ำเหลือง
- แทลเลียม-201 ใช้ตรวจการทำงานของหัวใจ สภาพกล้ามเนื้อหัวใจและการไหลเวียนโลหิตที่เลี้ยงหัวใจ
- แกลเลียม-67 ตรวจการอักเสบของอวัยวะภายใน เช่น ในช่องท้อง และใช้ตรวจมะเร็งในต่อมน้ำเหลือง
- โปรตอน ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งระดับตื้นของร่างกาย เช่น ลูกตา
- นิวตรอน ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งและเนื้องอกที่ส่วนลึกของร่างกาย
- รังสีแกมมา ใช้ในการฆ่าเชื้อในเครื่องมือเวชภัณฑ์

ด้านการเกษตร ชีววิทยาและอาหาร

- ใช้เทคนิคทางรังสีในการวิเคราะห์ดิน เพื่อจำแนกพื้นที่การเพาะปลูก
- การปรับปรุงและพัฒนาพันธุ์พืชโดยการฉายรังสี
- ฉายรังสีแกมมาเพื่อฆ่าแมลงและไข่ในเมล็ดพืช และใช้รังสีในการกำจัดศัตรูพืชบางชนิด
- การถนอมเนื้อสัตว์ พืชผัก และผลไม้ โดยฉายรังสีเพื่อให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น
- การใช้เทคนิคอาบรังสีในผลผลิตการเกษตร เพื่อวิเคราะห์หาสารตกค้างจากการใช้ยาปราบศัตรูพืช
- การใช้รังสีเทคนิคในการขยายพันธุ์สัตว์เลี้ยงและเพิ่มอาหารนม

ด้านสิ่งแวดล้อม

- การใช้รังสีแกมมาในการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้ง เพื่อป้องกันโรคระบาด
- การใช้รังสีแกมมาฆ่าเชื้อโรคในขยะและตะกอน แล้วนำกลับมาทำปุ๋ย
- การใช้เทคนิคทางรังสีวิเคราะห์สารพิษต่าง ๆ ในดิน พืช อากาศ น้ำและอาหาร รวมถึงการศึกษามลภาวะในสิ่งแวดล้อม
- การใช้อิเล็กตรอนในการกำจัดก๊าซที่เป็นพิษหรือมีอันตราย เช่น SO2, NO2 จากปล่องควันโรงงานอุตสาหกรรมและการเผาไหม้ถ่านหิน

ด้านศึกษาและวิจัย

- ใช้ทางด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ ในส่วนเกี่ยวกับการสร้างเครื่อง การเดินเครื่อง และการบำรุงรักษาเครื่อง
- ใช้ในการศึกษาผลของรังสีต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ศึกษาวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์ทางด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ

1.3 สถานการณ์และแนวโน้มปัญหาด้านการใช้รังสีในประเทศไทย

ในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีมานี้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง ได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย โดยมีการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีในการดำเนินงานต่างๆ อย่างมาก ส่งผลต่อเนื่องถึงการพัฒนาในภาคการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมและบริการ ซึ่งมีแนวโน้มการใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้น มีการนำเข้าวัตถุอันตราย รวมถึงต้นกำเนิดรังสีประเภทต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะเดียวกันการตระหนักถึงอันตรายหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นยังคงมีอยู่อย่างจำกัด ประชาชนรวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องยังคงมีความรู้ความเข้าใจไม่ถูกต้อง กล่าวได้ว่า ถ้าหากขาดการวางแผนหรือดำเนินมาตรการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ก็ย่อมส่งผลกระทบหรือปัญหาขึ้นได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

จากข้อมูลสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำกับ ควบคุม ดูแลการใช้ประโยชน์จากรังสีและวัสดุนิวเคลียร์ พบว่าปัจจุบัน มีผู้ใช้สารกัมมันตรังสีจำนวนมากกว่า 600 ราย โดยใช้เพื่อประโยชน์ในทางการแพทย์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และศึกษาวิจัย ซึ่งมีแนวโน้มการใช้ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ ในช่วงปี 2541-2542 มีการออกใบอนุญาตเพื่อนำเข้าและส่งออกสารกัมมันตรังสี ประมาณ 2,400 ฉบับ คิดเป็นความแรงรังสีกว่า 600,000 คูรีต่อปี

สำหรับการเกิดอันตรายหรืออุบัติเหตุเกี่ยวกับรังสีในประเทศไทยนั้น จากการประมวลเหตุการณ์ พบว่าในปี 2541 มีเหตุฉุกเฉินทางรังสีเกิดขึ้น 1 ครั้ง ณ โรงไฟฟ้าบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ซึ่งไม่มีผู้ได้รับอันตราย ทั้งนี้ เหตุการณ์สำคัญและเป็นที่สนใจคือ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2543 ได้เกิดอุบัติเหตุทางรังสี (Radiological Accident) จากสารกัมมันตรังสีโคบอลต์-60 ซึ่งเป็นต้นกำเนิดรังสีไม่ปิดผนึก มีความแรงรังสีประมาณ 600-700 คูรี ณ ร้านรับซื้อของเก่าใน จ.สมุทรปราการ โดยเกิดจากการถอดชิ้นส่วนของต้นกำเนิดรังสีดังกล่าวโดยไม่ทราบว่าเป็นวัตถุอันตราย ส่งผลให้มีผู้ปฏิบัติงานและผู้อยู่ใกล้เคียงได้รับบาดเจ็บ 9 ราย และมีผู้เสียชีวิต 3 ราย นับเป็นอุบัติเหตุทางรังสีที่ร้ายแรงที่สุดในประเทศไทย กล่าวได้ว่าเหตุการณ์ครั้งนี้ ทำให้เกิดการตื่นตัวอย่างมากเกี่ยวกับอันตรายจากรังสี นำมาซึ่งการจัดมาตรการต่าง ๆ ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ชุมชน และสิ่งแวดล้อม

2 ประเภทของรังสี แหล่งกำเนิด และการสลายตัว

จากบทที่แล้ว เราได้ทราบเกี่ยวกับความหมายและทฤษฎีเบื้องต้นที่อธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางรังสี รวมถึงรูปแบบของการเกิดพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งโดยสรุปแล้วรังสีก็คือพลังงานที่แผ่ออกมาจากต้นกำเนิด ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาคชนิดต่าง ๆ โดยอาจมาจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม หรือมาจากเครื่องกำเนิดรังสี ซึ่งในบทนี้ เราจะศึกษาถึงแหล่งกำเนิดรังสี ประเภทและชนิดของรังสี รวมถึงการสลายตัวของรังสี

2.1 แหล่งกำเนิดรังสี

รังสีเกิดขึ้นได้ทั้งจากธรรมชาติ และจากการที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยส่วนใหญ่เราจะได้รับรังสีจากธรรมชาติ คิดเป็น 2 ใน 3 ของปริมาณรังสีทั้งหมดที่ได้รับ อันมีแหล่งมาจากสารกัมมันตรังสีที่มีในพื้นดิน แร่ธาตุ ซึ่งอาจจำแนกได้เป็นนิวไคลด์รังสีกว่า 60 ชนิด สามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นอากาศ น้ำ แม้กระทั่งในร่างกายมนุษย์ ทุก ๆ วัน เราจะได้รับรังสีจากอาหาร หรือน้ำที่บริโภค และอากาศที่หายใจ ซึ่งมีการเจือปนด้วยสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ นอกจากนี้ รังสียังมีที่มาจากห้วงอวกาศ ได้แก่ รังสีจากแสงอาทิตย์ รังสีคอสมิก ที่แผ่กระจายอยู่ทั่วจักรวาล

แหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติ แบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ

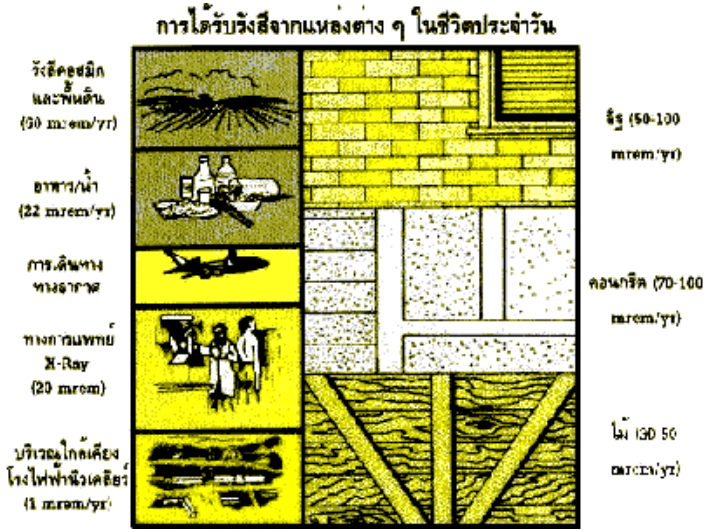
1. รังสีคอสมิก (Cosmic Rays) โดยทั่วไป ปริมาณรังสีคอสมิกที่เราได้รับ จะค่อนข้างคงที่ ไม่ว่าจะอยู่ที่ใด กล่าวคือ มีค่าประมาณ 30 นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง แต่หากอยู่ในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณรังสีที่ได้รับนี้จะเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มสูงขึ้น เท่าตัว ทุกระดับ 1,500 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ดังนั้น ผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมาก อาจจะได้รับปริมาณรังสีสูงกว่าปกติ 2 ถึง 3 เท่า สำหรับการเดินทางโดยเครื่องบิน ก็จะมีโอกาสได้รับรังสีนี้ในปริมาณที่สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.1 *ปริมาณรังสีคอสมิกที่ได้รับ ตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล*

ระดับความสูง	ปริมาณรังสีคอสมิกที่ได้รับ
30,000 ฟุต	1.76 mSv/year
10,000 ฟุต	0.76 mSv/year
2,000 ฟุต	0.36 mSv/year
ที่ระดับน้ำทะเล	0.26 mSv/year

นอกจากนี้ รังสีคอสมิก ยังก่อให้เกิดสารกัมมันตรังสีที่สำคัญอีก 4 ชนิด คือ ^{3}H, ^{14}C, ^{7}Be และ ^{22}Na ซึ่งอาจเข้าสู่ร่างกาย และมีผลต่ออวัยวะต่าง ๆ

2. แหล่งกำเนิดรังสีจากพื้นดิน (Terrestrial Sources of Radiation) อันประกอบด้วยสารกัมมันตรังสีต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มีครึ่งชีวิตที่ยาวมาก และมีอยู่ทั่วไปในพื้นโลก ตัวอย่างเช่น ^{40}K, ^{87}Rb, ^{232}Th, ^{238}U เป็นต้น โดยที่ยูเรเนียมและทอเรียม ยังเป็นสารตั้งต้นของสายการกำเนิดสารกัมมันตรังสีอีกเป็นจำนวนมาก และจะมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่อง จนไปสิ้นสุดเมื่อได้เป็นไอโซโทปที่เสถียร



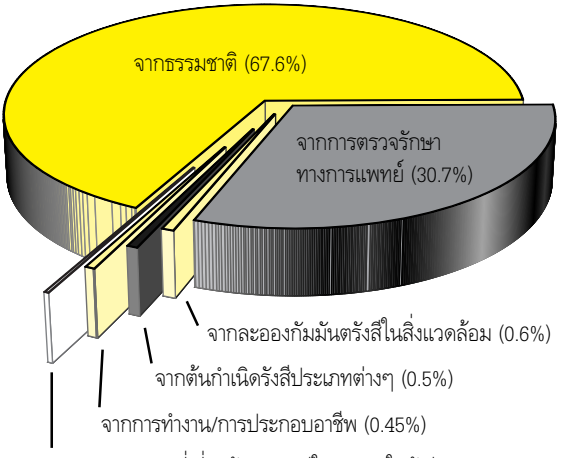
ตารางที่ 2.2 *แสดงปริมาณรังสีที่คนทั่วไปได้รับจากธรรมชาติ*

แหล่งกำเนิด	ไอโซโทปรังสี	ปริมาณรังสีที่ได้รับ (ไมโครซีเวิร์ต/ปี)
รังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์		260
รังสีจากพื้นดิน/ที่อยู่อาศัย		410
จากอาหารและเครื่องดื่ม		230
สารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย (Internal radiation)	K-40	180
	Rb-87	6
	อนุกรมยูเรเนียม	5
	Th-230	7
	Ra-226	7
	Ra-222	1100
	Th-232	3
	อนุกรมย่อยของเรเดียม-228	
	(^{228}Ra, ^{228}Ac, ^{228}Th, ^{224}Ra)	13
	อนุกรมย่อยของเรดอน-220	
	(^{216}Po, ^{212}Pb, ^{212}Bi, ^{212}Po, ^{208}Tl)	160

สรุปแล้วปริมาณรังสีที่คนทั่วไปได้รับจากธรรมชาติ โดยไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ มีค่าประมาณ 2.4 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี นอกจากนี้ การทำงานและรูปแบบการดำเนินชีวิต รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรบางอย่าง ก็อาจเป็นสาเหตุให้ได้รับปริมาณรังสีที่เกินจากค่านี้ได้ เช่น การใช้วัสดุก่อสร้างบางชนิด ซึ่งอาจมีสารกัมมันตรังสีปะปนอยู่ตามธรรมชาติในปริมาณค่อนข้างสูง หรือในสถานที่ที่มีการระบายอากาศภายในอาคาร ไม่ดีพอ อาจมีเรดอน-222 สะสมอยู่ ทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับปริมาณรังสีจากก๊าซเรดอน ที่เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจได้

สำหรับแหล่งกำเนิดรังสีที่มาจากการกระทำของมนุษย์ จะมีหลายรูปแบบ อันได้แก่ จากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู จากระเบิดนิวเคลียร์ เครื่องเร่งอนุภาค และเครื่องเอกซเรย์ รวมทั้งการผลิตสารกัมมันตรังสีจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่าง ๆ โดยที่เรามีการนำสารกัมมันตรังสีมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยแหล่งกำเนิดรังสีส่วนหนึ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในทางการแพทย์ ได้นำเอาสารกัมมันตรังสี มาใช้ทั้งในด้านการตรวจวินิจฉัยและการรักษา กล่าวได้ว่า เป็นปริมาณรังสีเฉลี่ยส่วนใหญ่ที่คนเราได้รับ รองจากปริมาณรังสีที่ได้รับตามธรรมชาติ และในการดำรงชีวิตประจำวัน เราจะได้รับรังสีจากเครื่องใช้และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น ในหน้าปัทม์นาฬิกาดิจิตอล เตาอบไมโครเวฟ สายล่อฟ้า เป็นต้น

ภาพแสดงสัดส่วนปริมาณรังสีที่ได้รับจากแหล่งต่างๆ



นอกจากนี้ เรายังได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดทางอุตสาหกรรม เนื่องจากในปัจจุบัน ได้มีการประยุกต์ใช้นิวเคลียร์เทคโนโลยีในกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างมาก ดังที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น ซึ่งจะต้องมีการจัดการที่เหมาะสม เพื่อให้มีปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไปได้รับ มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และต้องไม่เกิน เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

2.2 ประเภท ชนิด และคุณสมบัติของรังสี

เราอาจจำแนกรังสีตามคุณสมบัติทางกายภาพได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. รังสีที่ไม่ก่อไอออน (Non-ionizing Radiation) ซึ่งได้แก่ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีระดับพลังงานไม่เพียงพอที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนภายในโครงสร้างอะตอมของตัวกลางที่ผ่านไป เช่น ความร้อน แสง เสียง คลื่นวิทยุ อุลตราไวโอเลต และไมโครเวฟ

2. รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (Ionizing Radiation) เป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาครังสีใด ๆ ที่สามารถก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ทั้งโดยทางตรงหรือโดยทางอ้อมในตัวกลางที่ผ่านไป ซึ่งได้แก่ รังสีแอลฟา รังสีเบตา รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ อนุภาคนิวตรอน อิเล็กตรอนความเร็วสูง โปรตอนความเร็วสูง รังสีกลุ่มประเภทนี้ อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า **รังสีปรมาณู (Atomic Radiation)**

โดยในที่นี้ จะกล่าวเน้นถึงรังสีที่ก่อให้เกิดไอออน เนื่องจากมีศักยภาพในการก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้สูงกว่า สำหรับคุณสมบัติของรังสีที่ก่อให้เกิดไอออนแต่ละชนิดมีดังนี้

รังสีแอลฟา

เป็นรังสีที่ประกอบด้วย อนุภาคแอลฟา (Alpha Particle) ซึ่งเป็นอนุภาคที่ได้จากการสลายตัวของธาตุหนัก เช่น ยูเรเนียม ทอเรียม และเรเดียม โดยอะตอมของธาตุเหล่านี้มีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสมาก และปลดปล่อยให้อนุภาคแอลฟาได้ โดยอนุภาคแอลฟาจะมีมวล 4 amu ประกอบด้วย 2 นิวตรอน และ 2 โปรตอน มีประจุ +2 สัญลักษณ์ที่ใช้คือ α อนุภาคชนิดนี้มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับอนุภาครังสีชนิดอื่น ๆ จึงเคลื่อนที่ไปได้ไม่ไกลและมีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ สามารถถูกกั้นได้ด้วยแผ่นกระดาษบาง ๆ หรืออาจผ่านได้เพียงแค่ผิวหนังชั้นนอกของคนเราเท่านั้น

รังสีเบตา

เป็นรังสีที่ประกอบด้วย อนุภาคเบตา (Beta Particle) หรือโพสิตรอน ซึ่งเป็นอนุภาคความเร็วสูงที่มีคุณสมบัติเหมือนอิเล็กตรอน อนุภาคเบตาจะเกิดจากการสลายตัวของธาตุที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอนในนิวเคลียส และปลดปล่อยให้อนุภาคเบตาได้ โดยอนุภาคเบตาจะมีมวล 1/1836 amu มีประจุ +1 สัญลักษณ์ที่ใช้คือ β อนุภาคชนิดนี้มีคุณสมบัติทะลุทะลวงตัวกลางได้ดีกว่ารังสีแอลฟา สามารถทะลุผ่านน้ำลึกประมาณ 1 นิ้ว หรือประมาณความหนาของผิวเนื้อที่ฝ่ามือได้ รังสีเบตา จะถูกกั้นได้โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมชนิดบาง แก้ว หรือพลาสติก

รังสีแกมมา

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงหรือโฟตอน (Gamma-Ray or Photons) ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่นิวเคลียสของอะตอมธาตุต้นกำเนิดอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited State) และจะมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสีแกมมา เพื่อให้เข้าสู่สภาวะเสถียร ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซึ่งเป็นที่รู้จักดีคือ โคบอลต์-60 เป็นต้น รังสีแกมมา ไม่มีมวลและไม่มีประจุ สัญลักษณ์ที่ใช้คือ γ รังสีชนิดนี้มีระดับพลังงานสูงมาก จึงมีคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ไปได้ไกลและสามารถทะลุทะลวงวัสดุต่าง ๆ รวมถึงร่างกายคนเราได้ ดังนั้น การกำบังรังสีแกมมา จะต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่ว ยูเรเนียม หรือคอนกรีต

รังสีเอกซ์

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ รังสีแกมมา แต่มิได้มาจากนิวเคลียส มีจุดกำเนิดจากชั้นของอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่อยู่รอบนิวเคลียส รังสีเอกซ์มีคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ไปได้ไกลและสามารถทะลุผ่านวัสดุตัวกลางได้ดี ส่วนใหญ่จะนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์เพื่อถ่ายภาพกระดูกและเนื้อเยื่อในร่างกาย โดยการปรับปริมาณและระดับพลังงานให้เหมาะสม

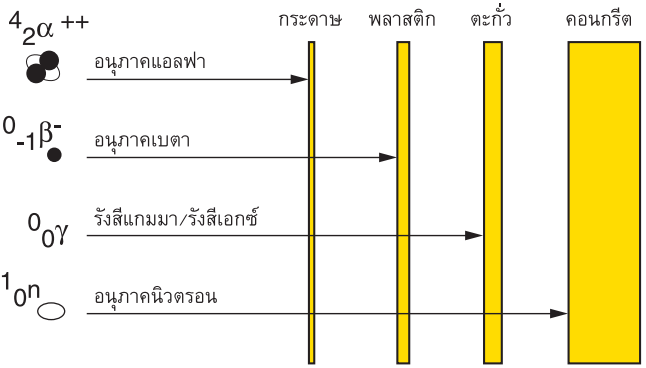
รังสีนิวตรอน

เป็นอนุภาคที่มีประจุเป็นกลาง มีมวล 1 amu สัญลักษณ์ที่ใช้คือ $1_0\eta$ โดยอนุภาคนิวตรอนจะเป็นส่วนหนึ่งในอะตอมของธาตุทั่วไป และหลุดออกจากนิวเคลียสได้จากการใช้เครื่องเร่งอนุภาคนิวตรอน หรือเครื่องปฏิกรณ์ (Neutron Reactor) ซึ่งจะผลิตอนุภาคนิวตรอนได้มาก และนิวตรอนที่เกิดขึ้นเหล่านั้น จะสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูง และมีอำนาจทะลุทะลวงสูงมากเช่นกัน การกำบังนิวตรอน จะใช้น้ำ น้ำมัน โพลีเอทธีลีน หรือคอนกรีต

ตารางที่ 2.3 *สรุปคุณสมบัติรังสีที่ก่อให้เกิดไอออน*

รังสี	ชนิด/รูปแบบ	มวล (amu)	ประจุ	พิสัย (ซม.)	การก่อไอออน
แอลฟา - α	อนุภาค	4	+ 2	8	โดยตรง
เบตา - β	อนุภาค	1/1836	+ 1	13	โดยตรง
แกมมา - γ	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	0	0	ไกลมาก	โดยอ้อม
เอกซ์ - χ	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	0	0	ไกล	โดยอ้อม
นิวตรอน - η	อนุภาค	1	0	ไกล	โดยอ้อม

ภาพแสดงการทะลุทะลวงของรังสีผ่านวัสดุตัวกลางต่างๆ



ในส่วนของรังสีที่ไม่ก่อไอออนนั้น จะมีความหลากหลายในแง่ของคุณสมบัติตามความยาวคลื่น ความถี่ และระดับพลังงาน ซึ่งหน่วยวัดมักจะเป็นหน่วยวัดพลังงานทางฟิสิกส์ เช่น จูลหรือวัตต์ เทียบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรืออาจพบเป็นหน่วยวัดความสัมพันธ์ของการตอบสนองของสายตามมนุษย์ที่มีต่อแสง เช่น ฟุตเทียน เป็นต้น ทั้งนี้ การใช้ประโยชน์จากรังสีที่ไม่ก่อไอออนนั้น มีการขยายตัวค่อนข้างมากหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ส่วนใหญ่จะเป็นการประยุกต์ใช้อุลตราไวโอเลต อินฟราเรด ไมโครเวฟ และเลเซอร์ ทั้งในด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ การสื่อสารคมนาคม รวมถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ที่มีใช้ในปัจจุบัน

นอกจากนี้ รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออนโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน ยังจะพบได้ในรูปของคลื่นไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Fields; EMFs) ซึ่งอาจมีแหล่งกำเนิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปฏิบัติงานกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษาและประมาณค่าการได้รับ EMFs จากการทำงานหรือประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ดังปรากฏในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 *แสดงค่าเฉลี่ยและช่วงปริมาณรังสี EMFs ที่ได้รับในแต่ละวัน*

งาน/กิจกรรมที่ปฏิบัติ	ระดับ EMFs (milligauss/day)	
	ค่าเฉลี่ย*	ช่วง
งานเชื่อม	8.2	1.7 - 96.0
งานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง	5.4	0.8 - 34.0
งานช่างไฟฟ้า/ซ่อมบำรุงสายไฟฟ้า	2.5	0.5 - 34.8
งานช่างกล/เครื่องจักรกล	1.9	0.6 - 27.6
งานสำนักงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องคอมพิวเตอร์	1.2	0.5 - 4.5
งานสำนักงานที่ไม่ได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์	0.5	0.2 - 2.0
กิจกรรมนอกงาน/การเดินทาง	0.9	0.3 - 3.7

** เป็นค่าเฉลี่ย (Median) จากจำนวนผู้ปฏิบัติงานในกลุ่มประเภทหนึ่ง ๆ*

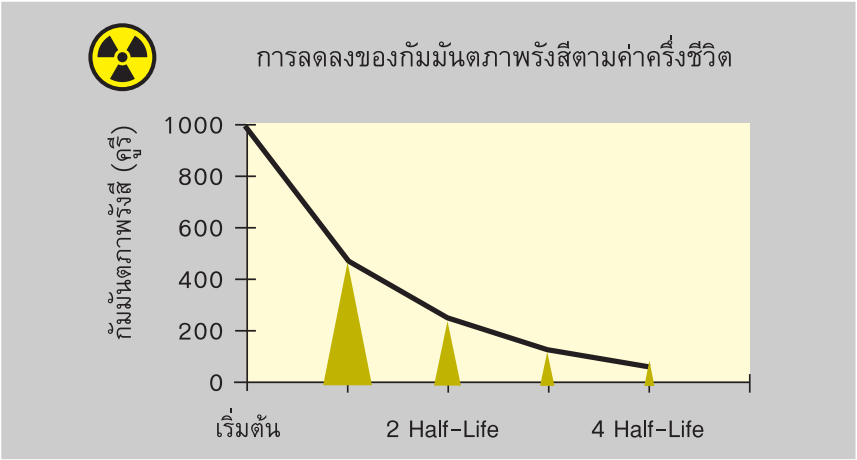
2.3 การสลายตัวของรังสี

ไอโซโทปของธาตุต่าง ๆ ในโลกนี้ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเสถียร (Stable) และไม่เสถียร (Unstable) หรือเรียกว่าเป็นไอโซโทปรังสี (Radioisotope) โดยโลกที่เราอยู่นี้เกิดจากการสังเคราะห์ทางนิวเคลียร์ เมื่อกว่า 4.6 x 109 ปี มาแล้ว ดังนั้น ไอโซโทปที่หลงเหลืออยู่ในปัจจุบัน มักเป็นพวกที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำสุด คือชนิดเสถียร ส่วนไอโซโทปชนิดไม่เสถียร ก็อาจมีอยู่บ้างเพียงส่วนน้อย นอกจากนั้นก็มีไอโซโทปรังสีบางชนิดเช่น คาร์บอน-14 เกิดมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์จากรังสีคอสมิกที่มาจากนอกโลกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

การสลายตัวของไอโซโทปนี้ เกิดเองตามลักษณะกายภาพ ซึ่งเป็นคุณสมบัติ เฉพาะตัวของธาตุนั้น ๆ ตามธรรมชาติคือ ไม่อยู่ตัว และจะมีการสลายตัว (Decay) เนื่องจากไอโซโทปต้นกำเนิดที่ไม่เสถียร มักจะอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited State) ซึ่งจะมีการสลายตัวเพื่อปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสี และนิวเคลียสของไอโซโทปนั้น ๆ จะเข้าสู่สภาวะเสถียร โดยมักจะเปลี่ยนไปเป็นธาตุใหม่ ซึ่งแตกต่างจากธาตุเดิม เช่น ฟอสฟอรัส-32 จะสลายตัวแผ่รังสีเบตา และกลายเป็น กำมะถัน-32 เป็นต้น

ในการสลายตัวของไอโซโทปรังสีแต่ละชนิด จะมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งบอกถึงอัตราการสลายตัวของไอโซโทปนั้น ๆ เรียกว่า **ค่าครึ่งชีวิต (Half-Life, $T_{1/2}$)** โดยหมายถึงระยะเวลาที่ไอโซโทปรังสีหนึ่ง ๆ ใช้ในการสลายตัวเหลือปริมาณครึ่งหนึ่งของที่มีอยู่เดิม เช่น ไอโอดีน-131 มีครึ่งชีวิต 8.02 วัน หมายความว่า หากมีไอโอดีน-131 จำนวน 10 กรัม เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 8.02 วัน ไอโอดีน-131 จำนวนนี้จะสลายตัวเหลือปริมาณเพียง 5 กรัม และถ้าทิ้งต่อไปอีก 8.02 วัน ก็จะลดเหลือเพียง 2.5 กรัม ฯลฯ ดังนั้น การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี เมื่อผ่านไปเท่ากับ 10 Half-Life ระดับรังสีจะลดค่าเหลือเพียง 1 ใน 1,000 ของปริมาณตั้งต้น

ไอโซโทปรังสีทุกชนิดจะมีค่าครึ่งชีวิตที่เป็นค่าเฉพาะตัว ซึ่งจะแตกต่างกันสำหรับไอโซโทปรังสีแต่ละชนิด โดยอาจมีค่าครึ่งชีวิตที่สั้นมาก เช่น คาร์บอน-11 เพียง 20 นาที ขณะที่บางชนิดก็มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวเป็นร้อยหรือพันปี เช่น ยูเรเนียม-238 มีค่า 4.5 x 10^{9} ปี เป็นต้น



ดังนั้น การที่เราทราบค่าครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสีหนึ่ง ๆ จะช่วยให้สามารถคำนวณค่ากัมมันตภาพหรือความแรงรังสี (Radioactivity) ที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปได้ โดยใช้สูตร

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \text{ (โดยที่ } \lambda \text{ เท่ากับ } 0.693/T_{1/2})$$

ทั้งนี้ A คือ กัมมันตภาพที่เหลือ, A_0 คือ กัมมันตภาพตั้งต้น

$T_{1/2}$ คือ ค่าครึ่งชีวิต, t คือ เวลาที่ผ่านไป

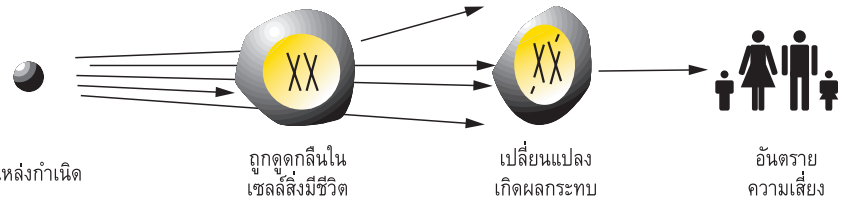
ตัวอย่างเช่น โคบอลต์-60 มีค่าครึ่งชีวิต 5.27 ปี ถ้าความแรงตั้งต้น 100 คูรี เมื่อเวลาผ่านไป 2 ปี โคบอลต์-60 นี้จะเหลือความแรงหรือกัมมันตภาพเท่ากับ

$$A = (100 \text{ Ci})\, e^{-(0.693/5.27 \text{ yr})(2 \text{ yr})} = 76.87 \text{ Ci}$$

นั่นคือ กัมมันตภาพของโคบอลต์-60 นี้ จะลดลงเหลือ 76.87 คูรี

3 อันตรายจากรังสีต่อสิ่งมีชีวิต (Radiation Bioeffects and Risk)

การตระหนักและเข้าใจถึงอันตรายจากรังสีที่มีต่อสิ่งมีชีวิต นับได้ว่ามีความสำคัญยิ่งในการจัดมาตรการป้องกันที่เหมาะสม โดยรังสีที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดจะผ่านตัวกลาง ถูกดูดกลืน และมีการถ่ายเทพลังงานแก่วัตถุตัวกลางนั้น ซึ่งถ้าเป็นเซลล์สิ่งมีชีวิต จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเกิดอันตรายขึ้นได้



อย่างไรก็ตาม ศักยภาพในการก่อให้เกิดอันตรายจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งที่สำคัญได้แก่ แหล่งกำเนิดรังสี ชนิดของรังสีและระดับพลังงาน ระยะทางการแผ่รังสี ชนิดของรังสี ปริมาณที่ได้รับ ส่วนของร่างกายหรืออวัยวะที่ได้รับ รวมถึงรูปแบบและกลไกการก่อให้เกิดผลกระทบ และปัจจัยอื่น ๆ ที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

3.1 รูปแบบการเกิดอันตรายและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

สิ่งมีชีวิตได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ลักษณะคือ การได้รับรังสีจากต้นกำเนิดที่อยู่ภายนอกร่างกาย (External Radiation) หรือได้รับเมื่อต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายในร่างกาย (Internal Radiation) พลังงานรังสีที่ถ่ายเทสู่เซลล์สิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งในแง่ของปฏิกิริยาเคมีระดับเซลล์และโมเลกุล และการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้าง โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1) การเกิดความผิดปกติของเซลล์และอันตรายต่อระบบอวัยวะต่าง ๆ
2) การเกิดความผิดปกติในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม
3) การเกิดความเสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็งที่สูงขึ้น

การเกิดผลกระทบทางชีววิทยาต่อสิ่งมีชีวิตดังกล่าว เมื่อพิจารณาในแง่ความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ได้รับ จะพบว่ามี 2 ลักษณะคือ

1) **การเกิดผลกระทบที่มีลักษณะสัมพันธ์กับระดับหรือปริมาณรังสีที่ได้รับ (Stochastic Effects)** ซึ่งจะไม่มีขีดจำกัด (Dose Threshold) กล่าวคือ การได้รับรังสีปริมาณน้อย ก็จะมีโอกาสเกิดผลกระทบขึ้นได้ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น เกิดการทำลายโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ การเกิดมะเร็ง หรือเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม เป็นต้น

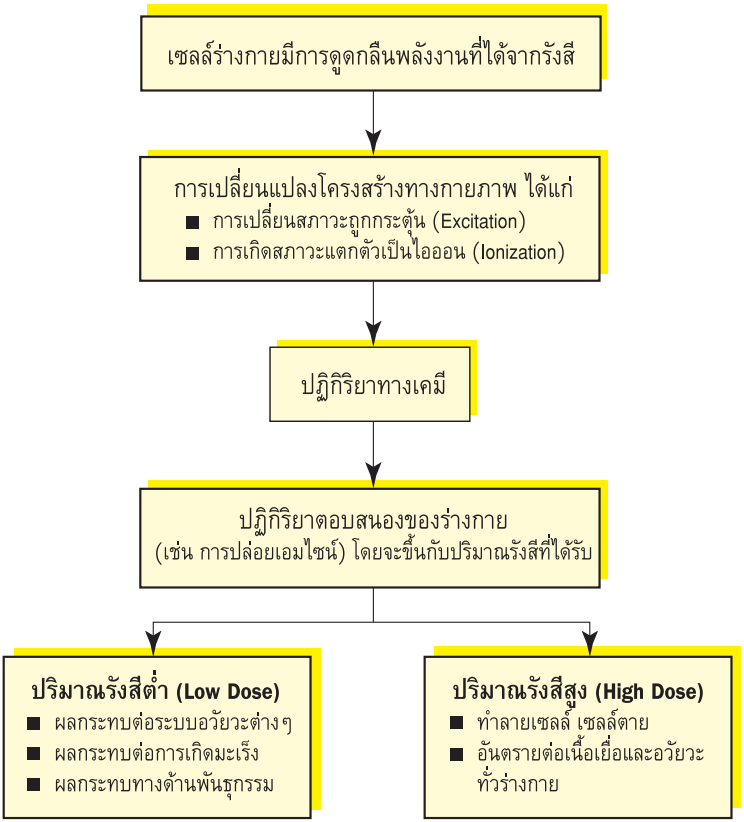
2) **การเกิดผลกระทบที่ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับหรือปริมาณรังสีที่ได้รับ (Deterministic Effects)** ซึ่งจะมีขีดจำกัด (Threshold Limit) กล่าวคือ ผลกระทบหรืออันตรายจะปรากฏขึ้นเมื่อได้รับรังสีปริมาณสูงเกินกว่าขีดจำกัด เช่น ทำลายชั้นผิวหนัง เกิดต้อกระจก ความผิดปกติของเลือด เป็นต้น ซึ่งความรุนแรงจะขึ้นกับปริมาณรังสี (Dose) ที่ได้รับ

อนึ่ง ในการปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก อาจมีโอกาสเกิดการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสี และสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการหายใจ การกินอาหารที่เกิดการปนเปื้อน และการดูดซึมผ่านผิวหนัง ซึ่งถือว่าเป็นการได้รับผลกระทบจากรังสีที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย อันอาจนำมาซึ่งอันตรายที่มากขึ้นได้ ทั้งนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอันตรายจากรังสี ได้แก่

- **ชนิดของรังสี** กรณีที่เป็นรังสีจากภายนอกร่างกาย รังสีที่มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง เช่น รังสีแกมมา จะมีโอกาสทำให้เกิดอันตรายได้มาก แต่ถ้าเป็นรังสีที่เกิดภายในร่างกาย รังสีที่มีการถ่ายเทพลังงานมาก เช่น รังสีแอลฟา จะมีอันตรายมากกว่า เป็นต้น
- **ปริมาณและอัตราการดูดกลืนรังสีในเนื้อเยื่อ (Dose Rate)** ซึ่งถ้ามีค่าสูง ก็จะมีผลให้เกิดอันตรายได้มากขึ้น
- **ระดับพลังงานที่ถูกดูดกลืนต่อหนึ่งหน่วยของเนื้อเยื่อ**

- **บริเวณของร่างกายที่ได้รับรังสี** กรณีได้รับเพียงบางส่วนของร่างกาย จะเกิดอันตรายน้อยกว่าการได้รับทั่วร่างกาย
- **ระยะเวลา ความถี่ หรือรูปแบบการได้รับรังสี** เช่น ได้รับช่วงเวลาสั้น ๆ มีการเว้นช่วงเวลาในการได้รับซ้ำ เป็นต้น
- **อายุ ความไวในการตอบสนองต่อรังสี และปัจจัยส่วนบุคคลอื่น ๆ**

อย่างไรก็ตาม กลไกการเกิดอันตรายจากรังสีนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ กรณีได้รับรังสีที่ปริมาณต่ำ และกรณีได้รับรังสีปริมาณสูง ดังแสดงในแผนภาพ



3.2 การเกิดผลกระทบจากรังสีต่อร่างกายมนุษย์

ผลกระทบจากรังสีต่อร่างกายตามระบบอวัยวะ (Somatic Effects)

การเกิดผลกระทบต่อร่างกายจากการได้รับรังสี จะเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ การเกิดผลแบบเฉียบพลัน ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังได้รับรังสี และการเกิดผลแบบที่อาศัยระยะเวลาหนึ่ง ๆ ก่อนปรากฏอาการ โดยทั่วไปมักเป็นเวลาหลายปี

สำหรับการเกิดผลกระทบแบบเฉียบพลัน (Acute Somatic Effects) นั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 *การเกิดผลกระทบจากรังสีต่อร่างกาย ตามปริมาณรังสีเทียบเท่า*

ปริมาณที่ได้รับ (Effective Dose)	ผลกระทบที่เกิดขึ้น
100-200 เรม	ไม่มีผลกระทบที่ชัดเจน อาจมีอาการเช่น คลื่นไส้ อาเจียน หัวใจเต้นเร็วขึ้น ที่ระดับประมาณ 200 เรม จะทำให้เป็นหมันชั่วคราว หากเป็นหญิงตั้งครรภ์ในช่วง 6 เดือนแรก อาจเกิดการแท้งขึ้นได้
200-400 เรม	ทำให้อ่อนเพลีย คลื่นไส้ อาเจียน ไม่มีแรง ผมร่วง และอาจมีจำนวนเม็ดเลือดขาวลดลง ซึ่งอาการสามารถกลับเป็นปกติได้ในเวลา 1-3 เดือน แต่อาจมีผลทางพันธุกรรมและการเกิดมะเร็ง
400-600 เรม	ทำลายไขกระดูก ต่อมน้ำเหลือง ม้าม ทำให้ระดับเม็ดเลือดขาวลดลงอย่างมาก ผู้ป่วยจะเสียชีวิตจากการติดเชื้อได้โดยง่าย ในขั้นนี้การบำบัดจะทำได้โดยการปลูกถ่ายไขกระดูกให้กับผู้ป่วย
600-1,000 เรม	เกิดการทำลายเนื้อเยื่อระบบทางเดินอาหาร นำไปสู่การอาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วงอย่างรุนแรง หลังเวลาผ่านไป จะอาเจียนหรือถ่ายเป็นเลือด ผู้ป่วยอาจช็อคและเสียชีวิตใน 2 สัปดาห์
> 1,000 เรม	สมองตายเฉียบพลัน ระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) ถูกทำลาย ผู้ป่วยจะเสียการควบคุมระบบกล้ามเนื้อ เสียสมดุลย์ของร่างกาย โปรตีนในเซลล์ร่างกายรวมตัวเป็นก้อน และเสียชีวิตอย่างรวดเร็ว

ส่วนการเกิดผลแบบอาศัยช่วงระยะเวลาก่อนปรากฏอาการ (Late Somatic Effects) นั้น พบว่ามีความสัมพันธ์กับการได้รับรังสีที่ระดับต่ำกว่า 100 เรม โดยอาจนำมาซึ่งการเกิดมะเร็งหรือความผิดปกติทางพันธุกรรมได้ โดยทั่วไป ผลกระทบที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ ได้แก่ การเกิดต้อกระจก การเป็นหมันทั้งแบบชั่วคราวและถาวร และการส่งผลให้มีอายุสั้นลง อย่างไรก็ตาม ผลในระยะยาวยังคงเป็นเรื่องที่ไม่ชัดเจนและอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัยอีกมาก

การเกิดผลกระทบทั้งสองลักษณะดังกล่าว สามารถจำแนกตามระบบอวัยวะต่างๆ ได้ดังนี้

○ ระบบเซลล์และเนื้อเยื่อ

อันตรายของรังสีต่อเซลล์และเนื้อเยื่อ โดยทั่วไปรังสีจะมีผลอย่างมากกับเซลล์ตัวอ่อน (Stem Cells) ที่กำลังแบ่งตัว ถึงแม้ว่าเซลล์แต่ละกลุ่ม ไม่ว่าจะเป็นเซลล์ที่กำลังเติบโต (Transit Cells) และเซลล์เต็มวัย (Static Cells) จะมีความไวต่อรังสีใกล้เคียงกัน แต่ผลกระทบและความรุนแรงจากการได้รับรังสีนั้นจะแตกต่างกัน

โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์อาจเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายจากการได้รับรังสี เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงของอะตอมหรือโมเลกุลในองค์ประกอบของเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในดีเอนเอหรือโครโมโซม เกิดการสะสมพลังงานภายในเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและกระบวนการทางชีวเคมี เป็นต้น ซึ่งทำให้การแบ่งเซลล์ และการเจริญเติบโตของเซลล์ผิดปกติได้

○ ระบบเลือดและการไหลเวียน

ระบบการผลิต ทำลาย และหมุนเวียนเลือด ประกอบด้วยหัวใจ หลอดเลือด ไขกระดูก ม้าม ต่อมน้ำเหลือง และต่อมไทมัส โดยส่วนประกอบที่สำคัญของเลือดได้แก่เซลล์เม็ดเลือดชนิดต่าง ๆ เช่น เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด

เซลล์ตัวอ่อนของระบบเลือดส่วนใหญ่อยู่ในไขกระดูก และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ก็จะเข้าสู่กระแสเลือด การได้รับรังสีจะทำลายเซลล์ตัวอ่อนในไขกระดูก เซลล์ส่วนใหญ่ในกระแสเลือดจะทนต่อรังสี แต่เนื่องจากเซลล์เม็ดเลือดแต่ละชนิดมีอายุอยู่ในกระแสเลือดไม่เท่ากัน คือ เม็ดเลือดแดงมีอายุประมาณ 120 วัน เม็ดเลือดขาวมีอายุประมาณ 10 วัน และเกล็ดเลือดมีอายุประมาณ 4-5 วัน การที่เซลล์ตัวอ่อนของเม็ดเลือดถูกทำลาย ทำให้ไม่มีเซลล์ที่สร้างขึ้นทดแทนเซลล์ที่ถูกทำลายไป และจะเกิดผลกระทบในแต่ละกรณี คือ

- **ปริมาณเม็ดเลือดแดงลดลง** ทำให้ซีด เกิดภาวะโลหิตจาง (Anemia) นอกจากนี้ ยังทำให้อ่อนเพลีย เนื่องจากเซลล์ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายขาดออกซิเจน (Hypoxia)
- **ปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลง** ซึ่งจะเห็นผลชัดเจนในช่วง 2 สัปดาห์ หลังได้รับรังสี ทำให้ร่างกายติดเชื้อได้ง่ายเนื่องจากร่างกายขาดภูมิคุ้มกัน
- **ปริมาณเกล็ดเลือดลดลง** ซึ่งทำให้เลือดแข็งตัวได้ช้า และจะเกิดอาการเลือดไหลไม่หยุด
- **หลอดเลือดเปราะแตกง่าย** โดยเฉพาะหลอดเลือดฝอย ทำให้มีเลือดตกในเนื้อเยื่อ เกิดอาการผิวหนังมีเลือดออกเป็นจ้ำ (Bruises) และหลอดเลือดที่แตกอาจเกิดจากการอุดตัน เนื่องจากการเซลล์ถูกทำลาย
- **ทำให้เกิดการอักเสบของหัวใจและเยื่อหุ้มหัวใจ**
- **เกิดความผิดปกติของระบบน้ำเหลือง**

ระบบผิวหนัง

อาการเฉียบพลันที่เกิดขึ้นกับผิวหนังหลังได้รับรังสี ได้แก่ ผิวแดง ลอก อักเสบ อาการเรื้อรัง ได้แก่ ผิวบาง เป็นพังผืด เป็นแผลหายยาก สีผิวเข้มหรือเจือจาง ในส่วนบริเวณรากผม หรือขน เมื่อได้รับรังสีปริมาณปานกลาง จะทำให้ผมหรือขนร่วงชั่วคราว แต่ถ้าได้รับในปริมาณรังสีมาก จะทำให้ผมร่วงแบบถาวร

ระบบทางเดินอาหาร

การได้รับรังสีในปริมาณสูง จะส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร โดยทำให้เกิดความผิดปกติที่เรียกว่า Radiation Sickness ซึ่งมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เบื่ออาหาร ขาดน้ำ เสียสมดุลย์เกลือแร่ ผิวหนังเป็นจ้ำ ผมร่วง และเกิดภาวะภูมิคุ้มกันของร่างกายไวต่อการตอบสนอง

รังสีจะทำให้เกิดการอักเสบของเยื่อบุในปากและหลอดอาหาร ถ้าได้รับรังสีปริมาณปานกลาง จะสามารถกลับคืนสู่ภาวะปกติได้ในขณะที่ปริมาณรังสีสูง จะทำให้เป็นแผลหรือพังผืดหลอดอาหารอุดตันและมีอาการเรื้อรัง โดยในระบบทางเดินอาหาร ลำไส้เล็กเป็นส่วนที่ไวต่อรังสีมากที่สุด การได้รับรังสีในปริมาณปานกลางจะมีผลให้เกิดการตายของเซลล์ตัวอ่อนในผนังด้านในของลำไส้เล็ก ทำให้การดูดซึมอาหารผิดปกติ รวมถึงทำให้เกิดอาการเรื้อรังคือ ลำไส้ตีบและอุดตัน หากได้รับปริมาณรังสีสูง เซลล์จะถูกทำลายอย่างมาก นำไปสู่การเป็นแผล เลือดออก พังผืด และถึงกับเสียชีวิตได้

ระบบสืบพันธุ์

เซลล์สืบพันธุ์เพศชาย จะไวต่อรังสีที่ปริมาณต่ำมากกว่าเพศหญิง การได้รับรังสีอาจทำให้เป็นหมันชั่วคราว และเกิดความผิดปกติหรือการกลายพันธุ์ขึ้นได้ หากได้รับรังสีในปริมาณที่สูง จะทำให้เป็นแบบหมันถาวรได้ทั้งเพศชายและหญิง

ระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) และสมอง

การได้รับรังสีที่ปริมาณ 1,000 ถึง 3,000 แรด จะทำให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการสร้างเซลล์ และการตอบสนองของระบบประสาทส่วนกลาง โดยจะมีอาการคือ คลื่นไส้ อาเจียน มีอาการตื่น หรือเฉื่อยชา ควบคุมอารมณ์ไม่ได้ สับสน ซึมเศร้าระบบประสาทเสียสมดุลย์ ถ้าได้รับที่ปริมาณสูงกว่า 5,000 แรด จะทำให้เกิดอาการโคม่าและเสียชีวิตได้ภายใน 1-2 วัน

ระบบทางเดินหายใจ

รังสีทำให้ปอดเกิดการอักเสบ (Pneumonitis) และหากได้รับปริมาณรังสีสูง จะทำให้เกิดพังผืดในปอด (Chronic Fibrosis) ซึ่งทำให้เสียชีวิตได้

ตา

ทำให้เป็นต้อกระจก ซึ่งจะเกิดอาการหลังจากได้รับรังสีไปแล้ว 1 ถึง 30 ปี

ตับ

รังสีจะมีผลให้เซลล์ตับถูกทำลาย ทำให้ตับอักเสบ หรือตับแข็ง ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะตับวายอย่างเฉียบพลันและเสียชีวิตได้

กระดูกและกระดูกอ่อน

อาจทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์กระดูกผิดปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็ก ซึ่งส่งผลให้รูปร่างและขนาดของกระดูกเสียไป หรืองอบิดเบี้ยว

ผลกระทบจากรังสีต่อการเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม (Genetic Effects)

ในขณะนี้ ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยที่ยืนยันถึงผลกระทบจากรังสีต่อการเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมยังคงมีอยู่ค่อนข้างจำกัด เนื่องจากการเกิดผลกระทบจะอาศัยระยะเวลายาวนาน กล่าวคือ อาจปรากฏอาการในรุ่นลูกหลานอีกหลายรุ่น และบางครั้งอาการอาจไม่ชัดเจนจนเป็นที่สังเกตได้ นอกจากนี้ การเกิดความผิดปกติหรือการผ่าเหล่า (Mutation) มักมีลักษณะคล้ายคลึงกับการเกิดผลกระทบจากปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่มีลักษณะที่จำเพาะ ทำให้เป็นการยากต่อการวินิจฉัย

โดยธรรมชาติ มนุษย์จะมีอัตราการเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมหรือการผ่าเหล่าได้ประมาณร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม พบว่าการได้รับรังสีที่ระดับปริมาณต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบข้างต้น ทั้งนี้ ผลการประมาณค่าความเสี่ยงซึ่งได้จากการศึกษาติดตามในกลุ่มผู้ได้รับรังสี พบว่า การได้รับรังสีที่ก่อให้เกิดไอออนที่ระดับปริมาณเฉลี่ย 200 เรม ทำให้อัตราความเสี่ยงในการเกิดผลกระทบเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว

นอกจากการเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมแล้ว รังสียังสามารถก่อให้เกิดความผิดปกติต่อทารกในครรภ์ ทำให้เกิดลูกวิรูป (Teratogenic Effects) จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและชีวเคมีภายในเซลล์และระบบอวัยวะต่าง ๆ เนื่องจากรังสี ซึ่งเด็กที่เกิดมามักจะพิการทั้งทางร่างกายและสติปัญญา โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามารดาได้รับรังสีปริมาณสูงขณะตั้งครรภ์ช่วง 8-15 สัปดาห์ และถ้าปริมาณรังสีที่ได้รับสูงมากก็จะทำให้ทารกเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์ได้

ผลกระทบจากรังสีต่อการเกิดมะเร็ง (Carcinogenic Effects)

มีรายงานการศึกษาวิจัยเพื่อติดตามผลกระทบจากรังสี พบว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับรังสี จะมีมากกว่าความเสี่ยงในการเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมถึง 10-100 เท่า โดยไม่ขึ้นอยู่กับระดับปริมาณรังสีที่ได้รับ อัตราอุบัติการณ์การเกิดมะเร็งในกลุ่มประชากรทั่วไปนั้น ปกติอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 การได้รับรังสีจะเพิ่มโอกาสการเกิดมะเร็งหรืออาจเร่งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ การศึกษาวิจัยส่วนใหญ่ชี้ให้เห็นว่า การเกิดมะเร็งอันเป็นผลจากรังสีนั้น มักเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ การเกิดมะเร็งของเม็ดเลือดขาว (Leukemia) เนื่องจากการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเม็ดเลือดขาวอย่างผิดปกติ และการเกิดมะเร็งผิวหนังหรือเนื้องอกเป็นไตแข็ง (Solid Tumor) ที่เนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งอาศัยช่วงระยะเวลานานก่อนปรากฏอาการ และ รูปแบบการเกิดมะเร็ง จะมีความแตกต่างโดยขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณที่ได้รับ อายุขณะได้รับ และระยะเวลา นอกจากนี้ ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่ามะเร็งจากรังสีสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกเนื้อเยื่ออวัยวะด้วย

อย่างไรก็ตาม ณ ปัจจุบัน ข้อมูลซึ่งเป็นที่ยืนยันเกี่ยวกับการก่อให้เกิดมะเร็งจากการได้รับรังสีนั้น ยังคงมีค่อนข้างจำกัด แต่มีข้อสรุปโดยคณะกรรมการด้าน Biological Effects of Ionizing Radiations; BEIR ว่าการได้รับรังสีที่ก่อให้เกิดไอออนในปริมาณต่ำจะก่อให้เกิดมะเร็งได้มากกว่าการเกิดผลกระทบทางพันธุกรรม ผลจากการเฝ้าติดตามในกลุ่มผู้ได้รับรังสียังพบว่า การได้รับรังสีแอลฟาและนิวตรอน จะมีอุบัติการณ์การก่อให้เกิดมะเร็งที่สูงกว่าการได้รับรังสีเอกซ์ หรือแกมมา ซึ่งการศึกษาหรือติดตามผลจะต้องอาศัยระยะเวลา และยังคงต้องมีการดำเนินการต่อไป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมด อาจสรุปผลของรังสีที่มีต่อมนุษย์เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1) **ปริมาณรังสีต่ำ - ได้รับเฉพาะที่** เช่น จากการวินิจฉัยโรคด้วยรังสี ซึ่งอวัยวะที่มีโอกาสได้รับรังสีคือ อวัยวะสืบพันธุ์และไขกระดูก ผลที่เกิดคือความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งหรือผลกระทบทางพันธุกรรม

2) **ปริมาณรังสีสูง - ได้รับเฉพาะที่** เช่น การเกิดอุบัติเหตุทางรังสีในงานอุตสาหกรรม หรือการบำบัดโรคด้วยการฉายรังสีที่ปริมาณสูง ซึ่งมีผลให้เซลล์ถูกทำลาย เป็นแผลอักเสบ เกิดเนื้อตาย และการทำงานของอวัยวะที่ได้รับรังสีนั้น ๆ ผิดปกติ

3) **ปริมาณรังสีต่ำ - ได้รับทั่วร่างกาย** ได้แก่ การได้รับรังสีจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นการได้รับทั่วร่างกาย จะมีผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งผิวหนังได้

4) **ปริมาณรังสีสูง - ได้รับทั่วร่างกาย** โดยทั่วไป โอกาสเกิดขึ้นจะมีน้อย ยกเว้นกรณีเกิดอุบัติเหตุทางรังสีที่รุนแรง เช่น การระเบิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น ซึ่งผลกระทบหรืออันตรายที่ได้ก็จะมากถึงขั้นเสียชีวิตทันที หรือเกิดความผิดปกติอย่างเรื้อรังตลอดชีวิต ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับการสะสม และกลไกการตอบสนองต่อรังสีของอวัยวะในร่างกาย

3.3 การประมาณค่าความเสี่ยงของผลจากรังสี (Risk Estimation)

ผลกระทบจากรังสีต่อร่างกายมนุษย์ เป็นที่ทราบค่อนข้างแน่ชัดในเชิงปริมาณ เมื่อเปรียบเทียบกับการเกิดผลกระทบจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ผลของรังสีในระยะยาว จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง หรือทำลายโครงสร้างของดีเอ็นเอภายในเซลล์ นำไปสู่การเกิดมะเร็ง ความผิดปกติทางพันธุกรรม และการทำให้มีอายุสั้นลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

การประมาณความเสี่ยงหรือผลระยะยาวจากรังสีนั้น จะอาศัยการศึกษาหรือเฝ้าติดตามในกลุ่มผู้ได้รับรังสีหรือกลุ่มผู้รอดชีวิตจากอุบัติเหตุหรือเหตุระเบิดปรมาณูในอดีต รวมถึงการศึกษาจากกลุ่มผู้ป่วยโรคมะเร็งของระบบอวัยวะต่าง ๆ เช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาว ไขกระดูก ผิวหนัง ต่อมไทรอยด์ เต้านม ปอด ตับ ลำไส้เล็ก และอื่นๆ ที่คาดว่าอาจเป็นผลมาจากการได้รับรังสี ซึ่งพบว่าความเสี่ยงของการเกิดผลกระทบในข้างต้น มีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ได้รับ เพศ อายุขณะได้รับรังสี ระยะเวลาหลังจากได้รับ และภาวะสุขภาพของบุคคลนั้นๆ อย่างไรก็ดี เป็นการยากที่จะประมาณการค่าความเสี่ยง เนื่องจากการเกิดผลกระทบดังกล่าวต้องอาศัยระยะเวลานาน และพบได้น้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราอุบัติการณ์การเกิดความปกติในบุคคลทั่วไปแล้ว อาจไม่เห็นความแตกต่างชัดเจนนัก ตัวอย่างเช่น จากการศึกษา/เฝ้าติดตามในกลุ่มผู้รอดชีวิตจากเหตุระเบิดปรมาณู จำนวนประมาณ 70,000 คน พบว่ามีเพียงประมาณ 6,000 คน (จำนวนคาดการณ์กว่า 10,000 คน) ที่ป่วยหรือตายด้วยมะเร็งของอวัยวะต่าง ๆ

ค่าประมาณอัตราอุบัติการณ์การเกิดมะเร็งรูปแบบต่าง ๆ จากการได้รับรังสี สำหรับทุกเพศ ทุกกลุ่มอายุ คือ 5% ต่อรังสี 1 ซีเวอร์ต หรือมีความน่าจะเป็นสำหรับประชากรทั่วไปที่มีการกระจายตัวทางด้านคุณสมบัติส่วนบุคคล เท่ากับ 0.0005 ต่อรังสี 1 เรม ที่ได้รับ เช่น ถ้าประชากร 1 ล้านคน ได้รับรังสีปริมาณ 1 เรมเท่ากัน ประชากร กลุ่มนี้จะมีอุบัติการณ์ที่จะเกิดมะเร็งที่เกี่ยวเนื่องกับรังสีและเสียชีวิตประมาณ

(1 เรม) (1,000,000 คน) (0.0005/ เรม) = 500 คน

ในส่วนของการเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมและการผ่าเหล่า ค่าประมาณการความเสี่ยงจะเป็นไปในลักษณะที่เรียกว่า Doubling dose คือ ปริมาณรังสีที่ได้รับเพิ่มขึ้นที่ระดับหนึ่ง จะมีผลให้ความเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว โดยค่าประมาณของปริมาณรังสีที่จะก่อให้เกิดผลดังกล่าวคือ 100 เรม ดังนั้น ในกลุ่มประชากรทั่วไป การได้รับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น 100 เรม มีผลให้อัตราการเกิดความผิดปกติเพิ่มขึ้นเท่าตัว และการได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นทุก 1 เรม ในประชากรกลุ่มนี้ จะเพิ่มอัตราความเสี่ยงขึ้น 1%

สำหรับความเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติในทารกแรกเกิด จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 10% จากการได้รับรังสีที่ปริมาณทุก ๆ 1 เรม

ปัจจุบัน การประมาณค่าความเสี่ยงจากการได้รับรังสี มักมีที่มาจากการศึกษาข้อมูลหรืองานวิจัยที่พบว่าการเกิดผลกระทบจากรังสี มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่ได้รับ ไม่ว่าปริมาณต่ำหรือสูง โดยนำความสัมพันธ์นั้น ๆ กำหนดเป็นแบบจำลองความเสี่ยงจากการได้รับรังสี (Radiation Risk Models) ตัวอย่างเช่น

- **แบบจำลองความเสี่ยงสัมพันธ์และความเสี่ยงสัมบูรณ์ (Relative and Absolute Risk Model)** ซึ่งประมาณค่าตามปัจจัยเสี่ยงของบุคคล
- **แบบจำลองการอนุมานค่าความเสี่ยง (Risk Extrapolation Model)** ซึ่งเป็นการประมาณจากกลุ่มผู้รอดชีวิตจากเหตุระเบิดปรมาณู
- **แบบจำลองค่าขีดจำกัดความเสี่ยง (Risk Threshold Model)** ซึ่งเป็นการประมาณค่าปริมาณรังสีสูงสุดที่เชื่อว่าไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ เป็นต้น

นอกจากนี้ ความเสี่ยงในการเกิดผลกระทบยังมีการศึกษาโดยจำแนกตามระบบอวัยวะ (Organ Risks) ซึ่งพบว่าการหายใจหรือกลืนกินสารรังสี จะทำให้เกิดการกระจายตัวที่อวัยวะต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางด้านกายภาพและด้านเคมีของสารรังสีนั้น ๆ ปริมาณรังสีที่แต่ละอวัยวะได้รับหรือดูดกลืนจะไม่เท่ากัน เช่น ไอโซโทปรังสีของไอโอดีนจะสะสมที่ต่อมไทรอยด์

ขณะที่สตรอนเชียม-90 จะสะสมในกระดูก และปรอท-203 จะสะสมในเนื้อเยื่อสมอง เป็นต้น ดังนั้น ความเสี่ยงในการเกิดผลกระทบที่ระบบอวัยวะต่าง ๆ จากการได้รับไอโซโทปรังสีแต่ละชนิดจึงมีลักษณะที่ค่อนข้างจำเพาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งจะสรุปค่าคงที่อัตราความเสี่ยงตามระบบอวัยวะได้ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 *ค่าคงที่อัตราความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งและเสียชีวิตจากการได้รับรังสีในทุกกลุ่มอายุ ตามระบบอวัยวะต่าง ๆ*

ระบบอวัยวะที่เกิดมะเร็ง	ความเสี่ยง/1 เรมของรังสีที่ได้รับ			ความน่าจะเป็นที่จะเสียชีวิตจากมะเร็ง
	ชาย	หญิง	ค่าเฉลี่ย	
คอหอย	7.30×10^{-6}	1.59×10^{-5}	1.17×10^{-5}	0.95
กระเพาะอาหาร	3.25×10^{-5}	4.86×10^{-5}	4.07×10^{-5}	0.90
ลำไส้ใหญ่	8.38×10^{-5}	1.24×10^{-4}	1.04×10^{-4}	0.55
ตับ	1.84×10^{-5}	1.17×10^{-5}	1.50×10^{-5}	0.95
ปอด	7.71×10^{-5}	1.19×10^{-4}	9.88×10^{-5}	0.95
กระดูก	9.40×10^{-7}	9.60×10^{-7}	9.50×10^{-7}	0.70
ผิวหนัง	9.51×10^{-7}	1.05×10^{-6}	1.00×10^{-6}	0.002
เต้านม	0.00	9.90×10^{-5}	5.06×10^{-5}	0.50
รังไข่	0.00	2.92×10^{-5}	1.49×10^{-5}	0.70
กระเพาะปัสสาวะ	3.28×10^{-5}	1.52×10^{-5}	2.38×10^{-5}	0.50
ไต	6.43×10^{-6}	3.92×10^{-6}	5.15×10^{-6}	0.65
ต่อมไทรอยด์	2.05×10^{-6}	4.38×10^{-6}	3.24×10^{-6}	0.10
เม็ดเลือดขาว	6.48×10^{-5}	4.71×10^{-5}	5.57×10^{-5}	0.99
อื่น ๆ	1.35×10^{-4}	1.63×10^{-4}	1.49×10^{-4}	0.71
ทั่วร่างกาย	$\mathbf{4.62 \times 10^{-4}}$	$\mathbf{6.38 \times 10^{-4}}$	$\mathbf{5.75 \times 10^{-4}}$	

ที่มา : ICRP Publication 60 (ICRP, 1991).

ตัวอย่างการคำนวณค่าความเสี่ยงของการเกิดอันตรายจากการได้รับรังสี จะแสดงตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายหรือระบบอวัยวะ ดังนี้

การได้รับรังสีทั่วร่างกาย

มีการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับรังสีทั่วร่างกาย โดย Environmental Protection Agency (EPA) ซึ่งมีค่าอัตราการเกิดมะเร็งและเสียชีวิตประมาณ 575 คน ในประชากรล้านคน ต่อการได้รับรังสีปริมาณต่ำ 1 แรด

ดังนั้น ถ้าได้รับรังสีปริมาณต่ำที่ระดับ 100 มิลลิแรดต่อปี เป็นเวลา 70 ปี ซึ่งค่าปริมาณเฉลี่ยตลอดชีวิตจะเท่ากับ 7.0 เรม ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและเสียชีวิตเนื่องจากรังสีที่ได้รับจะมีค่าเท่ากับ

(5.7 คน/1,000,000คน/1 แรด) (7 เรม) = 0.004

อนึ่งโดยปกติแล้วมนุษย์จะได้รับรังสีจากธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Background dose) เฉลี่ยทั่วร่างกาย ประมาณ 90-100 มิลลิเรมต่อปี หรือคิดเป็น 75-115 มิลลิแรดต่อปี

การได้รับรังสีที่เนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่าง ๆ

การประมาณค่าความเสี่ยงจากการได้รับรังสีที่เนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่าง ๆ จะกระทำได้โดยอาศัยค่าคงที่ของความเสี่ยงจากตาราง 3.3 มาใช้ในการคำนวณ

ตัวอย่างเช่น ถ้าได้รับรังสีจากการถ่ายภาพทรวงอก (Chest X-ray) ปีละครั้ง ตลอดช่วงอายุ 70 ปี ซึ่งมีค่าประมาณการดูดกลืนรังสีในปอด 10 มิลลิแรดต่อการฉายรังสีแต่ละครั้ง และมีค่าคงที่ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปอด (ตารางที่ 3.3) เท่ากับ 9.88 x 10-5 ต่อ 1 แรด จะมีความโอกาสเกิดมะเร็งปอดและเสียชีวิตเท่ากับ

(9.88 x 10-5/แรด) (0.01 แรด/ครั้ง) (70 ปี) = 5 x 10-5

นอกจากนี้ การประมาณค่าความเสี่ยงยังอาจต้องพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ที่มีผลให้ความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบจากการได้รับรังสีมีมากขึ้นหรือรวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มสุรา การเดินทางโดยเครื่องบิน สภาพความเป็นอยู่และสภาพแวดล้อมการทำงาน เป็นต้น

3.4 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านอันตรายจากรังสี

นับแต่รังสีได้ถูกค้นพบจนกระทั่งปัจจุบัน ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อติดตามและประเมินผลกระทบจากการได้รับรังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลจากการได้รับรังสีในปริมาณสูง ทั้งนี้ การศึกษาวิจัยที่สำคัญซึ่งจะกล่าวถึงในที่นี้ได้แก่

1) การศึกษาติดตามภาวะสุขภาพของผู้รอดชีวิตจากเหตุระเบิดปรมาณู ณ เมืองฮิโรชิมา และนางาซากิ ประเทศญี่ปุ่น โดยผู้รอดชีวิตกลุ่มดังกล่าวซึ่งได้รับรังสีทั่วร่างกายที่ระดับเกินกว่า 200 แรด ได้ถูกติดตามภาวะสุขภาพตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 ทั้งนี้ กลุ่มผู้ได้รับรังสีที่ศึกษา จำนวน 41,719 คน และได้ศึกษากลุ่มเปรียบเทียบซึ่งไม่ได้รับรังสี จำนวน 34,273 คน ผลการศึกษาพบว่าในกลุ่มผู้ได้รับรังสี มีจำนวนผู้ป่วยและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งในอัตราที่สูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ยังมีอัตราอุบัติการณ์การเกิดความผิดปกติทางด้านร่างกายและสติปัญญาของคนรุ่นลูกหลานที่สูงขึ้นอย่างมากอีกด้วย

2) การศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยที่รับการฉายรังสีเอกซ์ ปริมาณสูงกว่า 100 แรด เพื่อบำบัดอาการป่วยที่กระดูกไขสันหลัง (Ankylosing Spondylitics) ในประเทศอังกฤษ ผลการติดตามเป็นเวลา 20 ปี พบว่าผู้ป่วยกลุ่มนี้มีอุบัติการณ์การเกิดมะเร็งของอวัยวะต่าง ๆ เช่น เม็ดเลือดขาว ต่อมน้ำเหลือง ปอด กระดูก ลำไส้ใหญ่ ฯลฯ สูงกว่าปกติ อย่างไรก็ตาม การประมาณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งต่อปริมาณรังสีที่ได้รับยังคงไม่ชัดเจน แต่เป็นที่สรุปได้ว่าการได้รับรังสีที่ปริมาณสูงจะมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งที่สูงขึ้นในผู้ป่วยกลุ่มนี้

3) การศึกษาในกลุ่มคนงานเหมืองแร่ใต้ดินในประเทศสหรัฐอเมริกา ช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 ซึ่งคนงานกลุ่มนี้จะได้รับเรดอนที่ปริมาณสูงขณะปฏิบัติงาน โดยเป็นเหมืองแร่หลายชนิดที่มีธาตุยูเรเนียมประกอบอยู่ด้วย ผลการติดตามพบว่าคนงานกลุ่มนี้ มีอัตราการป่วยและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งที่สูงมากกว่าปกติ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาในกลุ่มคนงานเหมืองแร่ที่มีลักษณะนี้ในประเทศแคนาดา อังกฤษ สวีเดน จีน ฯลฯ ซึ่งพบว่าคนงานมีอุบัติการณ์การเกิดมะเร็งที่สูงเช่นเดียวกัน

4) การศึกษาในกลุ่มคนงานตกแต่งหน้าปัทม์นาฬิกาโดยใช้แร่เรเดียม เพื่อให้เกิดการเรืองแสง การศึกษาติดตามผลได้ดำเนินการมากกว่า 35-40 ปี พบว่าคนงานกลุ่มนี้ ซึ่งได้รับรังสีที่ระดับ 200 ถึง 1,700 แรด มีอัตราการป่วยด้วยมะเร็งเม็ดเลือดขาว และมะเร็งเนื้อเยื่อไขกระดูกที่สูง นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยที่รับไอโซโทปรังสีเรเดียม-226 และเรเดียม-224 ซึ่งเป็นรังสีรักษา พบว่าในภายหลังผู้ป่วยกลุ่มนี้มีอัตราการเกิดมะเร็งดังกล่าวที่สูงเช่นเดียวกัน

ถึงแม้ว่าการศึกษาที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ในข้างต้น จะพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่ได้รับและผลกระทบที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเกิดมะเร็งหรือความผิดปกติอื่น ๆ แต่การเกิดผลกระทบดังกล่าวยังคงอาจมีปัจจัยภายนอกอื่น ๆ เช่น อายุ สภาพแวดล้อม และภาวะสุขภาพและความไวต่อการตอบสนองของแต่ละบุคคล ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าว จึงยังคงเป็นที่สนใจและมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

4 แนวทางการตรวจประเมินรังสี และการควบคุมป้องกันอันตราย

ในปัจจุบัน สถานประกอบกิจการและหน่วยงานต่าง ๆ ได้มีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากรังสีมากขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่ารังสีจะมีคุณประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมาก แต่ในทางกลับกัน ก็สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพหรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงได้ ดังนั้น การตรวจวัดและประเมินระดับรังสี รวมถึงการวางมาตรการควบคุมป้องกันอย่างเหมาะสม จึงนับได้ว่ามีความสำคัญมากในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี ทั้งนี้ จะได้กล่าวถึงการตรวจวัดและประเมินระดับรังสีโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ แต่พอสังเขป รวมถึงแนวทางการป้องกันและควบคุมอันตราย

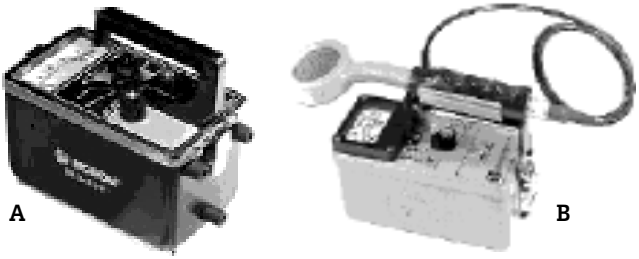
4.1 การสำรวจเบื้องต้น และการตรวจวัดรังสี

แม้ว่ารังสีโดยทั่วไป เป็นสิ่งที่มนุษย์มองไม่เห็นและไม่อาจรู้สึกหรือสัมผัสได้ แต่เราสามารถจะตรวจวัดรังสีได้ เนื่องจากรังสีมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับวัตถุต่าง ๆ ที่รังสีผ่านหรือกระทบ ทำให้มีการประดิษฐ์หัววัดรังสี ซึ่งสามารถใช้ตรวจและบันทึกข้อมูลความแรงของรังสีชนิดต่าง ๆ ได้ โดยที่การตรวจวัดและประเมินระดับรังสีนั้น อาจกระทำได้ใน 2 รูปแบบ คือ

1) **การตรวจวัดรังสีที่ก่อไอออนในบริเวณการทำงาน (Radioactivity Measurement)** เพื่อประเมินระดับหรือปริมาณรังสี และยังเป็นการตรวจสอบการรั่วไหลหรือความบกพร่องที่เกิดขึ้นกับต้นกำเนิดรังสี ผลที่ได้จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการป้องกัน ควบคุมและแก้ไขต่อไป
2) **การตรวจวัดปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน (Radiation Dosimetry)** ส่วนใหญ่เป็นการใช้เครื่องบันทึกรังสีประจำตัวบุคคล สำหรับชี้วัดปริมาณรังสีสะสมที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับตลอดช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เพื่อเป็นการติดตามและเฝ้าระวังทางด้านสุขภาพว่ามีค่าเกินกว่ามาตรฐานความปลอดภัยหรือไม่

การตรวจวัดระดับรังสีในสิ่งแวดล้อม จะใช้เครื่องวัดการแผ่รังสีชนิดสำรวจ (Survey Meter) ซึ่งเป็นเครื่องวัดรังสีชนิดหิ้วไปมาได้ ประกอบด้วยหัววัดรังสีและส่วนรับสัญญาณและแสดงผล อาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ ใช้วัดระดับรังสีในบริเวณที่จะเข้าไปทำงานหรือต้องการทราบระดับรังสี เพื่อประเมินว่าผู้ปฏิบัติงานจะได้รับรังสีเท่าใด และระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานนั้น ๆ ไม่ควรเกินเท่าใด การเลือกใช้เครื่องมือตรวจวัดระดับรังสีนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของรังสีที่จะตรวจวัดโดยในปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือสำรวจรังสีเป็นจำนวนมาก โดยเครื่องมือเหล่านี้มีหลายกลุ่มประเภท ได้แก่

- **Ion Chamber Survey Meter** (ภาพ A) เป็นเครื่องมือสำรวจชนิดแรกที่มีการประดิษฐ์ขึ้น โดยอาศัยหลักการพื้นฐานคือ ใช้ electrodes 2 ตัว สำหรับตรวจวัดรังสีที่ก่อไอออน ประจุที่ถูกดักจับได้จาก electrodes จะถูกส่งผ่านวงจรไฟฟ้าเข้าสู่แอมมิเตอร์ ซึ่งมีการตอบสนองโดยไม่ขึ้นกับพลังงานรังสี ทำให้สามารถวัดค่าปริมาณรังสีที่มีพลังงานต่างๆ กันได้ดีและถูกต้อง เครื่องมือแบบนี้มีหลายชนิดตามความเหมาะสมกับรังสีที่ต้องการสำรวจ เช่น รังสีเอกซ์หรือแกมมา แต่ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเครื่องตรวจวัดรังสีประจำตัวบุคคล



A B

- **G-M Survey Meter** (ภาพ B) เป็นเครื่องมือที่ใช้หัววัด Geiger Mueller (G-M Counter) ซึ่งอาศัยหลักการเกิดประจุไฟฟ้าผ่านก๊าซที่บรรจุในหัววัด และทำปฏิกิริยากับรังสีที่เกิดไอออน ทำให้สามารถตรวจวัดปริมาณรังสีนั้น ๆ ได้ ส่วนใหญ่ใช้วัดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา เนื่องจากมีความไวสูง บางเครื่องอาจออกแบบให้ใช้วัดรังสีแอลฟาและเบตาได้ด้วย

อนึ่ง รังสีแอลฟาเป็นรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ ไม่สามารถผ่านเข้าสู่ร่างกายได้ แต่ถ้าหากได้รับสารต้นกำเนิดรังสีแอลฟาเข้าสู่ร่างกาย เช่น โดยการกลืนกิน รังสีจะเกิดขึ้นในร่างกายและเป็นอันตรายมาก ดังนั้นการตรวจวัดรังสีแอลฟาในทางปฏิบัติ จะเป็นการสำรวจการเปรอะเปื้อนสารรังสีที่ให้รังสีแอลฟา

- **Gas-Filled Proportional Counter** เป็นเครื่องมือสำรวจที่มีการใช้ก๊าซในหัววัดรังสี เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF3) ซึ่งใช้ตรวจวัดรังสีที่ก่อให้เกิดไอออนที่เป็นอนุภาคนิวตรอนและรังสีแกมมาพลังงานสูงได้

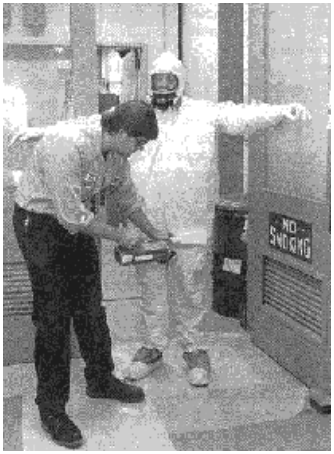
ภาพแสดงการสำรวจ/ตรวจวัดระดับรังสี
โดยใช้เครื่องมือแบบต่าง ๆ

- Scintillation Survey Meter เครื่องมือวัดชนิดนี้ ประกอบด้วยสารกลุ่มฟอสฟอรัสหรือสารเรืองแสง เมื่อสารนี้สัมผัสกับรังสีที่ก่อไอออน จะเกิดการเรืองแสง ซึ่งแสงที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านวงจรอิเลคทรอนิคส์ และสามารถถูกตรวจวัดและแปลผลเป็นระดับรังสีได้

- Semiconductor Detector เป็นการใช้หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ ซึ่งให้ความละเอียดในการวัดดีมาก อย่างไรก็ตาม หัววัดแบบนี้ยังมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของรังสีที่จะทำการวัด

อนึ่ง เครื่องวัดรังสีที่ใช้จะต้องผ่านการปรับเทียบมาตรฐาน (Calibration) ทุก 6 เดือน และมีการตรวจสอบสม่ำเสมอ โดยสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ จะมีห้องปฏิบัติการที่ให้บริการปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือเหล่านี้ด้วย

สำหรับการปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสี อาจมีโอกาสเกิดการเปรอะเปื้อนทางรังสีได้ ทั้งที่ตัวบุคคล เสื้อผ้า เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ ฯลฯ จึงควรมีการสำรวจและตรวจวัดการเปรอะเปื้อน ซึ่งเป็นมาตรการหนึ่งที่ควรกระทำหลังการปฏิบัติงาน

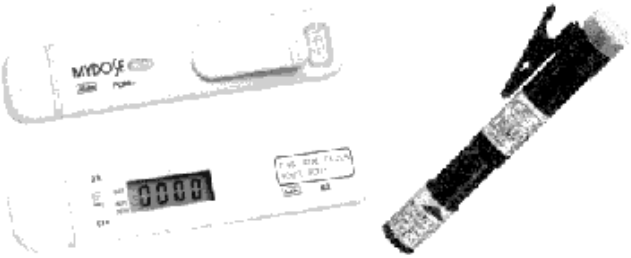


ภาพแสดงการสำรวจการเปรอะเปื้อน ทางรังสีหลังการปฏิบัติงาน

สำหรับ**การตรวจวัดปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ร่างกาย**ของผู้ปฏิบัติงานนั้นส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์หรือเครื่องบันทึกรังสีชนิดติดตัวคน ซึ่งเป็นการวัดปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับสะสมในร่างกายตลอดช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มีหลายลักษณะ ได้แก่

- **Photographics Film Dosimeter** หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่าฟิลม์แบดจ์ (Film Badge) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย จึงมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน หลักการของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างรังสีที่ก่อไอออนบนเนื้อฟิลม์ ทำให้เกิดเป็นจุดดำหรือเห็นเป็นเงามืดบนฟิลม์ ใช้บันทึกรังสีได้หลายชนิดบนแผ่นฟิลม์เดียวกัน แต่มีอายุการใช้งานจำกัด และไม่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ รวมถึงมีขั้นตอนการล้างฟิลม์และวิเคราะห์ผลที่ใช้เวลา

- **Pocket Dosimeter** อาศัยหลักการของ Electroscope ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับรังสีที่ก่อไอออน อุปกรณ์ชนิดนี้มีขนาดเล็กเท่ากับปากกา ใช้พกพาติดตัวได้โดยสะดวก และมีสเกลแปรผลในตัว ทำให้สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับทันที นำกลับมาใช้งานใหม่ได้ แต่มีราคาแพงและต้องมีการดูแลรักษาอย่างดี



- **Thermoluminescent Dosimeter (TLD)** มีคุณสมบัติในการสะสมพลังงานรังสี เมื่อนำมาผ่านความร้อนจะคายแสงออกมาเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่สะสมไว้ จึงนำมาใช้วัดรังสีได้ ส่วนใหญ่ใช้ติดตัวบุคคล และสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้

- **Solid State Dosimeter** เป็นอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง และมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนัก

นอกจากการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกปริมาณรังสีชนิดติดตัวบุคคลแล้ว ผู้ปฏิบัติงานยังควรมีการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (PPEs) อื่น ๆ เช่น สวมใส่เสื้อผ้าที่มีคุณสมบัติป้องกันรังสี สวมถุงมือ รองเท้ายาง หมวกคลุมผมที่มิดชิด รวมถึงอุปกรณ์ป้องกันการหายใจ ตามความเหมาะสม

4.2 หลักการป้องกันอันตรายจากรังสี

หลักในการป้องกันอันตรายจากรังสี จะมีความคล้ายคลึงกับการป้องกันอันตรายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพและสิ่งแวดล้อมการทำงาน กล่าวคือ จะต้องมีการวางแผนเพื่อให้เกิดความปลอดภัย หรือมีสภาพของอันตรายน้อยที่สุด สำหรับในเรื่องของรังสีนั้น มีหลักที่สำคัญ 3 ประการคือ

1) **เวลา (Time)** เนื่องจากปริมาณของรังสีที่ร่างกายได้รับจะขึ้นกับเวลาที่ทำงานได้รับรังสีโดยตรง ดังนั้น ในการทำงานสัมผัสรังสีจึงจำเป็นต้องดำเนินการให้เสร็จสิ้นโดยเร็ว เพื่อให้ได้รับรังสีน้อยที่สุด โดยเฉพาะในบริเวณที่มีระดับรังสีสูง อาจจำเป็นต้องมีการสับเปลี่ยนหมุนเวียนงาน หรือหาวิธีปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานเพื่อลดระดับรังสีและระยะเวลาที่ใช้ ซึ่งจะคำนวณได้จาก

$$\text{เวลา} = \frac{\text{ระดับรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้}}{\text{ระดับรังสีที่ทำการวัดได้ ณ พื้นที่ปฏิบัติงาน}}$$

ตัวอย่าง ICRP กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสี ได้รับปริมาณรังสีรวมจากการทำงานไม่เกิน 5 mrem/ปี (100 mrem/สัปดาห์) ถ้าผลการตรวจวัดรังสี ณ จุดทำงาน พบว่าอยู่ที่ระดับ 5 mrem/ชั่วโมง เวลาที่อนุญาตให้ทำงานได้ไม่ควรเกินเท่าใดต่อสัปดาห์

$$\text{เวลา} = \frac{\text{100 mrem/สัปดาห์}}{\text{5 mrem/ชั่วโมง}} = \text{20 ชั่วโมง/สัปดาห์}$$

2) ระยะทาง (Distance) เราสามารถลดการได้รับปริมาณรังสีลงได้โดยให้ผู้ปฏิบัติงานอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมากที่สุด เนื่องจากการได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับส่วนกลับของระยะทางยกกำลังสอง นั่นคือ ความเข้มของรังสีที่ระยะหนึ่ง ๆ ห่างจากจุดกำเนิด จะมีค่าตามสูตร

$$I_1 \cdot d_1^2 = I_2 \cdot d_2^2$$

เมื่อ I_1 = ปริมาณรังสีที่จุดห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะ d1

I_2 = ปริมาณรังสีที่จุดห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะ d2

ตัวอย่าง ในการปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสี Co-60 ปกติจะยืนอยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสี 3 เมตร ซึ่งมีปริมาณรังสี 2.5 mR/hr แต่ถ้าต้องการให้ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งผู้ปฏิบัติงานยืนมีเพียง 0.5 mR/hr จะต้องยืนห่างเท่าใด

การคำนวณ หาระยะ d2 (I_1 = 2.5 mR/hr, d_1 = 3 m, I_2 = 0.5 mR/hr)

$$d_2^2 = I_1 \cdot d_1^2 / I_2 = 2.5 \times 3^2 / 0.5$$

$$d_2 = 6.7 \text{ m}$$

นั่นคือ จะต้องยืนห่างเป็นระยะทาง 6.7 เมตร

3) **การกำบังรังสี (Shielding)** จะต้องพิจารณาส่วนประกอบ 2 ประการคือ ชนิดและพลังงานของรังสี กับวัสดุที่จะนำมาใช้ในการกำบังป้องกัน ซึ่งวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะสามารถป้องกันได้ดีกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่าย ความยากง่ายในการก่อสร้าง หรือความสะดวกในการทำงาน เป็นต้น ทั้งนี้ วัสดุกำบังรังสีที่ใช้อาจเป็นอากาศ น้ำ แผ่นตะกั่ว หรือคอนกรีต ขึ้นอยู่กับอำนาจการทะลุทะลวงของรังสีแต่ละชนิด และการคำนวณความหนาของวัสดุกำบังรังสีที่ใช้ จะกระทำได้โดยที่ต้องทราบค่าความหนาแน่นของวัสดุนั้น ๆ ดังสมการ

$$I = I_{\circ} e^{-\mu x}$$

เมื่อ $I_{\circ}$ = ปริมาณรังสีก่อนผ่าน I = ปริมาณรังสีหลังผ่าน

μ = ความหนาแน่น x = ความหนาของวัสดุกำบัง

ตัวอย่าง ในการปฏิบัติงานกับรังสีแกมมาพลังงาน 1 MeV เพื่อให้เกิดความปลอดภัยทางรังสี จำเป็นต้องลดอัตราการแผ่รังสีจาก 10 mR/hr ให้เหลือ 1 mR/hr ดังนั้น จะต้องใช้แผ่นตะกั่วหนาเท่าไรมากั้น (μ_{Pb} = 0.79 cm-1)

การคำนวณ หาความหนาของแผ่นตะกั่ว (x)

($I_{\circ}$ = 10 mR/hr, I = 1 mR/hr, (Pb= 0.79 cm^{-1})

$I = I_{\circ} e^{-\mu x}$

$(1\ mR/hr) = (10\ mR/hr)\ e^{-0.79x}$

$e^{-0.79x} = 1/10 = 0.1$

$x = 2.91$ ซม.

นั่นคือ จะต้องใช้แผ่นตะกั่วหนา 2.91 ซม.

4.3 การจัดบริเวณและสภาพแวดล้อมการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี

นอกจากนี้ การจัดมาตรการป้องกันอันตรายจากรังสี อาจทำได้โดยการแบ่งประเภทของบริเวณรังสีตามระดับของรังสี ดังนี้

- **บริเวณหวงห้าม (Restricted Area)** ซึ่งมีระดับรังสีสูง กล่าวคือ สูงกว่า 25 mR/hr โดยการเข้าออกบริเวณนี้จะต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวด และจะอนุญาตเฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงเท่านั้น

- **บริเวณรังสีที่ต้องควบคุม (Controlled Area)** เป็นบริเวณที่มีวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสี การเข้าออกบริเวณนี้จะอนุญาตให้เฉพาะผู้เกี่ยวข้อง โดยบุคคลอื่น ๆ ต้องได้รับความเห็นชอบจากเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมเสียก่อน

- **บริเวณรังสีที่ไม่ต้องควบคุม (Uncontrolled Area)** ปกติเป็นบริเวณที่ไม่อันตราย ยกเว้นบางช่วงเวลาที่มีระดับรังสีเกิน 1 mR/hr จึงจะมีการควบคุม โดยเป็นบริเวณที่ไม่เข้มงวดสำหรับเจ้าหน้าที่ แต่สำหรับบุคคลภายนอกอื่น ๆ จะต้องได้รับการอนุญาตก่อน

อนึ่ง เราอาจใช้มาตรการการออกแบบสถานที่ปฏิบัติงานทางรังสี ตามระดับความเป็นพิษของสารรังสี เนื่องจากสารกัมมันตรังสี โดยธรรมชาติจะมีความเป็นพิษมากน้อยแตกต่างกันตามคุณสมบัติทางเคมี และชนิดของรังสีที่แผ่ออกมา สามารถจัดกลุ่มของความเป็นพิษต่อหน่วยความแรงของรังสี ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1) **กลุ่มที่มีความเป็นพิษสูง** (Group 1 : Very high Toxicity)
2) **กลุ่มที่มีความเป็นพิษค่อนข้างสูง** (Group 2 : High Toxicity)
3) **กลุ่มที่มีความเป็นพิษปานกลาง** (Group 3 : Moderate Toxicity)
4) **กลุ่มที่มีความเป็นพิษต่ำ** (Group 4 : Low Toxicity)

(ดังตารางแสดงคุณสมบัติของนิวไคลด์รังสีในภาคผนวก)

โดยที่สถานที่ปฏิบัติงานทางรังสีนั้น จะต้องออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการระบายอากาศในห้องปฏิบัติการทางรังสี กล่าวคือ ระบบการระบายอากาศในบริเวณที่ปิดแน่นทั้งหมด (Total enclosure) จะต้องมีอัตราไหลของอากาศไม่น้อยกว่า 3 air change/hr (หมายถึงการเปลี่ยนถ่ายอากาศ 3 ครั้งต่อชั่วโมง) หรือในบางกรณีอาจเพิ่มเป็น 5 ครั้ง/ชม. สำหรับในบริเวณที่ปิดแน่นเพียงส่วน (Partial enclosure) จะต้องมีอัตราไหลของอากาศในบริเวณการปฏิบัติงาน 5-10 air change/hr และความเร็วของอากาศในแนวระนาบที่จะไหลผ่านเข้าระบบระบายอากาศ จะมีค่าประมาณ 0.5 - 1 m/s นอกจากนี้ ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์กรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงในการกรองอนุภาคมลพิษต่าง ๆ

4.4 การวางแนวปฏิบัติเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี

มาตรการหรือแนวปฏิบัติเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี ควรต้องมีการวางแผนและกำหนดขึ้นอย่างเป็นระบบ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ

- การกำหนดนโยบาย อำนาจหน้าที่ และความรับผิดชอบขององค์กร ในการดำเนินงานป้องกันอันตรายจากรังสี
- การบริหารจัดการตามหลักการป้องอันตรายจากรังสี เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ประชาชน และสิ่งแวดล้อม
- การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงานที่มีความชัดเจน

ทั้งนี้มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาคือ กฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง มาตรฐาน การควบคุม ตรวจสอบ และแผนปฏิบัติงาน โดยสิ่งสำคัญคือ จะต้องดำเนินการภายใต้ขีดจำกัดของปริมาณรังสีที่กำหนดเพื่อความปลอดภัย ซึ่งถือเป็นพื้นฐานหลักของการวางระบบป้องกันอันตรายจากรังสี คือ พยายามลดการได้รับรังสีให้น้อยที่สุด แต่ให้การปฏิบัติงานนั้น ๆ บรรลุผลสำเร็จ (ALARA: As Low As Reasonably Achievable)

หลักพิจารณาในการดำเนินงานป้องกันอันตรายจากรังสี มี 3 ประการ คือ

1) การพิจารณาเบื้องต้นในการใช้รังสี ประโยชน์ที่ได้รับ และความปลอดภัย (Justification) โดยหลีกเลี่ยงการทำงานที่ไม่มีมาตรการป้องกันอันตราย

2) การประเมินเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด (Optimization) โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย

3) การกำหนดระดับรังสีที่ยอมให้รับได้ (Individual Dose Limitation)

กรณีการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสี จะต้องจัดให้มีป้ายซึ่งมีขนาด 100x100 มม. โดยปรากฏเครื่องหมายทางรังสีที่มีลักษณะเป็นรูปใบพัด 3 แฉก และมีข้อความเตือนอันตราย (ดังแสดงรูปในภาคผนวก) ป้ายดังกล่าว แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

- **ป้ายสีขาว ระดับ 1 (I - White)** หมายถึง ระดับรังสีที่ผิวนอกหีบห่อ ไม่มากกว่า 0.005 mSv/h
- **ป้ายสีเหลือง ระดับ 2 (II - Yellow)** หมายถึง ระดับรังสีที่ผิวนอกหีบห่อ มีค่ามากกว่า 0.005 mSv/h แต่น้อยกว่า 0.5 mSv/h
- **ป้ายสีเหลือง ระดับ 3 (III - Yellow)** หมายถึง ระดับรังสีที่ผิวนอกหีบห่อ มีค่ามากกว่า 0.5 mSv/h แต่น้อยกว่า 2.0 mSv/h

4.5 การเกิดอุบัติเหตุหรือภาวะฉุกเฉินทางรังสี

การปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีนั้น แม้จะมีการเตรียมมาตรการป้องกันที่ดี แต่ก็อาจเกิดอุบัติเหตุหรือเหตุสุดวิสัยทำให้ไม่สามารถควบคุมต้นกำเนิดหรือปริมาณรังสีให้อยู่ในระดับที่กำหนด และเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหรือสิ่งแวดล้อมได้ โดยทั่วไป สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุทางรังสีที่สำคัญ ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีขาดการควบคุมดูแล เกิดการรั่วไหล/แพร่กระจาย การขาดเครื่องกำบังรังสี รวมถึงการที่ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ ไม่ปฏิบัติตามกฎความปลอดภัย หรือสภาพการใช้งานไม่เหมาะสม

อุบัติเหตุทางรังสีที่เกิดขึ้นนั้น บางครั้งความรุนแรงอาจขยายขอบเขตจนไม่สามารถควบคุมได้ จัดเป็นภาวะฉุกเฉินทางรังสี ซึ่งจะแบ่งระดับออกได้เป็น 4 ระดับ ตามสภาพการณ์ที่เกิดขึ้น ดังนี้

1) **ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 1** ซึ่งสถานการณ์มีขอบเขตอยู่ภายในบริเวณสถานที่ทำงาน ห้องปฏิบัติการหรือภายในตัวอาคาร
2) **ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 2** สถานการณ์ขยายขอบเขตออกไปทั่วอาณาบริเวณของโรงงาน หรือหน่วยงานนั้น ๆ
3) **ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 3** อาจมีผลกระทบต่อสถานที่ข้างเคียง
4) **ภาวะฉุกเฉินทางรังสีระดับ 4** อาจมีผลกระทบต่อประเทศข้างเคียง

เมื่อมีอุบัติเหตุหรือภาวะฉุกเฉินทางรังสีขึ้น จะมีหลักปฏิบัติในการป้องกันอันตรายและความเสียหาย ซึ่งมาตรการและแนวทางดำเนินการเพื่อแก้ไขสถานการณ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของภาวะฉุกเฉินทางรังสีนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม มีหลักดำเนินการขั้นต้นคือ

- กักกันบริเวณ และอพยพผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงออกนอกพื้นที่
- ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายหรือเครื่องกำบังรังสี
- ตรวจสอบระดับรังสีและขจัดความเปรอะเปื้อนที่เกิดขึ้นกับบุคคลเครื่องมือและสถานที่
- รวบรวม และกำจัดกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม

ทั้งนี้ การปฏิบัติการทั้งหมด จะต้องกระทำอย่างรวดเร็วและควบคุมให้ได้รับปริมาณรังสีต่ำที่สุดเท่าที่ยอมให้รับได้ กรณีเป็นภาวะฉุกเฉินทางรังสี สามารถแจ้งเหตุ ตลอด 24 ชั่วโมง ได้ที่ :

ศูนย์ปฏิบัติงานฉุกเฉินทางรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
โทร. 0-2579-5230, 0-2579-0547, 0-2562-0091 โทรสาร 0-2561-3013

5 กฎหมาย มาตรฐานแนะนำ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ในการป้องกันและควบคุมอันตรายจากรังสีนั้น องค์ประกอบหลักที่นับได้ว่าสำคัญยิ่งประการหนึ่งคือ การมีมาตรฐานและข้อบัญญัติทางกฎหมายเพื่อการบังคับใช้รวมถึงการมีข้อแนะนำต่าง ๆ ในเชิงปฏิบัติที่เหมาะสม โดยจะได้กล่าวถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย และมาตรฐานแนะนำของต่างประเทศ รวมถึงหน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ ที่มีหน้าที่กำกับ ควบคุม ดูแลด้านการใช้รังสีหรือพลังงานนิวเคลียร์ และให้ข้อเสนอแนะด้านการป้องกันอันตราย

5.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย

สืบเนื่องจากการพัฒนาทางด้านต่าง ๆ ยังผลให้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ในกิจการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวมถึงการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์หรือรังสีในด้านต่าง ๆ ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันจึงได้มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องบัญญัติและประกาศใช้กฎหมายเพื่อการควบคุม ดูแล การใช้รังสีให้เกิดความเหมาะสมและปลอดภัย ซึ่งจะกล่าวถึงในที่นี้จำนวน 3 ฉบับคือ

1) พ.ร.บ. พลังงานปรมาณูเพื่อสันติและการควบคุมสารกัมมันตรังสี โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 27 (พ.ศ. 2535) ออกตามความใน พ.ร.บ. โรงงาน 2512 เรื่อง หน้าที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี

3) กฎกระทรวงแรงงาน (ร่าง) ออกตามความใน พ.ร.บ. คุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 ว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับรังสีชนิดก่อไอออน

อนึ่ง ณ ขณะที่จัดทำคู่มือฉบับนี้ กฎหมายข้อที่ 3) ยังมิได้มีการประกาศใช้ อย่างไรก็ตาม เราสามารถสรุปสาระสำคัญของกฎหมายแต่ละฉบับได้ดังนี้

พระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติและการควบคุมสารกัมมันตรังสี

พระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติได้มีการตราขึ้นและประกาศใช้เมื่อ พ.ศ. 2504 โดยมีการแก้ไขเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2508 รวมถึงได้มีการออกกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องจำนวนหลายฉบับ ทั้งนี้ มีเจตนารมณ์เพื่อควบคุมการใช้สารกัมมันตรังสีให้ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อยและปลอดภัย สอดคล้องกับแนวปฏิบัติตามมาตรฐานสากลในการควบคุมและป้องกันอันตรายจากรังสี สำหรับขอบเขตการบังคับใช้ จะกำหนดไว้สำหรับสถานประกอบการทุกประเภทกิจการที่มีการใช้พลังงานนิวเคลียร์

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสาระสำคัญของพระราชบัญญัตินี้และกฎกระทรวงในบางมาตรา รวมถึงข้อกำหนดในการควบคุมสารกัมมันตรังสี ซึ่งเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการใช้พลังงานนิวเคลียร์ ดังต่อไปนี้

- ห้ามมิให้มีการผลิต ครอบครอง หรือใช้วัสดุนิวเคลียร์ รวมถึงการนำเข้าหรือส่งออก ทั้งวัสดุนิวเคลียร์ วัสดุต้นกำลัง หรือวัสดุผลพลอยได้ เว้นแต่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ทั้งนี้ การยื่นขอใบอนุญาตเพื่อดำเนินการต่าง ๆ ให้ใช้แบบฟอร์มขออนุญาตตามที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติได้กำหนดขึ้น กรณีที่ฝ่าฝืนดำเนินการโดยไม่ได้รับอนุญาต จะมีโทษทั้งจำหรือปรับตามที่กำหนด
- ในการออกใบอนุญาต คณะกรรมการฯ มีอำนาจกำหนดเงื่อนไขเพื่อประโยชน์ด้านความปลอดภัย เพื่อให้ผู้รับใบอนุญาตปฏิบัติ กรณีที่มีการฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข จะมีการเพิกถอนใบอนุญาต และถือว่ามีการนำเข้าหรือมีการใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งจะต้องระวางโทษตามกฎหมาย

- เพื่อประโยชน์แก่การระงับหรือป้องกันอันตรายซึ่งอาจมีแก่บุคคลหรือทรัพย์สิน หรือเพื่อคุ้มครองอนามัยของบุคคล คณะกรรมการฯ อาจกำหนดให้ผู้รับใบอนุญาตปฏิบัติการอย่างหนึ่งอย่างใด ซึ่งขึ้นอยู่กับกิจการที่ได้รับอนุญาต เช่น เปลี่ยนแปลง ซ่อมแซมสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ หรืองดการใช้/การผลิตจนกว่าจะได้มีการปรับปรุงแก้ไขและได้รับอนุญาตให้ดำเนินกิจการต่อได้

- ได้มีการกำหนดให้ผู้ขออนุญาตผลิต มีไว้ในครอบครอง หรือใช้วัสดุนิวเคลียร์ จัดให้มีผู้รับผิดชอบดำเนินการทางด้านเทคนิคในเรื่องรังสี และมีเครื่องมือตรวจวัดรังสี รวมถึงอุปกรณ์อันจำเป็นเพื่อระงับหรือป้องกันอันตรายจากรังสี ซึ่งอาจมีแก่บุคคลหรือทรัพย์สิน หรือเพื่อคุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล นอกจากนี้ ผู้รับอนุญาตจะต้องอบรมหรือให้ความรู้แก่บุคคลที่ทำงานในบริเวณรังสีให้เข้าใจ และทราบถึงอันตรายจากรังสี โดยมีการทำเครื่องหมายแสดงบริเวณรังสีตามแบบที่กำหนด ติดไว้บริเวณรังสีและนอกบริเวณรังสีเห็นได้ชัดเจน และมีการกำหนดแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

- สถานปฏิบัติการทางรังสี ต้องจัดให้มีแผนการป้องกันอันตรายจากรังสี โดยจัดให้มีการฝึกอบรมเพื่อซักซ้อมความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับแผนที่มีอยู่หรือได้กำหนดขึ้น และมีการซ้อมปฏิบัติอย่างน้อยปีละครั้ง หรือส่งบุคลากรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับวัสดุกัมมันตรังสีไปรับการฝึกอบรมยังหน่วยงานอื่นที่มีการจัดฝึกอบรมในเรื่องดังกล่าว

- ผู้รับอนุญาตจะต้องทำรายงานแสดงปริมาณของวัสดุนิวเคลียร์หรือสารรังสีที่มีการครอบครองหรือใช้งาน ยื่นต่อคณะกรรมการฯ ทุก 60 วัน และถ้าหากมีการสูญหายหรือเกิดการรั่วไหลขึ้น จะต้องรีบรายงานต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ ณ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติทันที ในส่วนของการกำจัดหรือทิ้งวัสดุกัมมันตรังสี จะต้องปฏิบัติตามวิธีการที่ได้รับความเห็นชอบเป็นหนังสือจากคณะกรรมการฯ

- ในทางปฏิบัติ เจ้าพนักงานหน้าที่ผู้มีอำนาจ สามารถเข้าไปในสถานที่ของทั้งหน่วยงานเอกชนและทางราชการ เพื่อตรวจสอบเรื่องการผลิต การมีไว้ในครอบครองหรือใช้ซึ่งวัสดุนิวเคลียร์ สารกัมมันตรังสี หรือเพื่อตรวจสอบในเรื่องเกี่ยวกับการจัดให้มีมาตรการระงับหรือป้องกันอันตราย โดยที่การเข้าตรวจสอบ หากมิใช่กรณีเร่งด่วนหรือจำเป็น จะมีการแจ้งให้ทราบล่วงหน้าตามสมควร

อนึ่ง กฎหมายข้างต้นได้มีการกำหนดค่าขีดจำกัดปริมาณรังสี เพื่อมิให้บุคคลที่ทำงานในบริเวณรังสี ได้รับรังสีเกินมาตรฐานความปลอดภัย ดังต่อไปนี้

1) ศีรษะและลำตัว ลูกตา อวัยวะสร้างโลหิต อวัยวะสืบพันธุ์ หรือตลอดทั้งร่างกาย

   ก. 5 x (อายุ - 18) โดยการนับอายุ เศษของปีให้ปัดทิ้ง หรือ

   ข. 3 เรม ในขณะใดขณะหนึ่งหรือภายในระยะเวลา 90 วันติดต่อกัน

2) แขนหรือขา 20 เรม ในขณะใดขณะหนึ่ง หรือภายในระยะเวลา 90 วันติดต่อกัน

3) ผิวหนัง 8 เรม ในขณะใดขณะหนึ่ง หรือภายในระยะเวลา 90 วัน ติดต่อกัน

โดยที่ผู้รับอนุญาต ต้องระมัดระวังในการปฏิบัติการตามที่ได้รับอนุญาตมิให้บุคคลอื่นซึ่งอาจได้รับรังสีนอกบริเวณรังสี ได้รับรังสีปริมาณเกินร้อยละ 10 ของปริมาณที่กำหนดไว้ข้างต้น

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 27 (พ.ศ. 2535) ออกตามความใน พ.ร.บ. โรงงาน 2512 เรื่อง หน้าที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี

ประกาศฯ ฉบับนี้ ได้กำหนดขึ้นโดยมีเจตนารมณ์เพื่อควบคุมสถานประกอบกิจการอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี ให้เป็นไปในแนวทางที่ถูกต้องเหมาะสมและมีความปลอดภัย ทั้งต่อตัวผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ทั้งนี้ ได้มีการกำหนดมาตรการที่จะต้องดำเนินการต่าง ๆ ตั้งแต่การนำเข้ามาใช้ การจัดการเกี่ยวกับโรงงานอุตสาหกรรม การบริหารจัดการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสารกัมมันตรังสีนั้น ๆ

โดยที่กฎหมายนี้ ได้มีการออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภทที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี มีหน้าที่กระทำการ ซึ่งสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้

1) ต้องแจ้งข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับสารกัมมันตรังสี อันได้แก่ ข้อมูลชนิดและลักษณะของสารกัมมันตรังสีที่ใช้ในโรงงาน แหล่งที่ได้มา สถานที่เก็บรักษา ปริมาณความแรง วัตถุประสงค์การใช้งาน อุปกรณ์หรือภาชนะบรรจุ การใช้อุปกรณ์บันทึกรังสีประจำตัวบุคคล การจัดให้มีแผนงานหรือมาตรการป้องกันอันตรายจากรังสี วิธีการกำจัด และอื่น ๆ ต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ภายในระยะเวลา 30 วัน นับจากวันที่มีการนำสารกัมมันตรังสีมาใช้ในโรงงาน

2) การจัดการเกี่ยวกับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี ซึ่งได้กำหนดเกี่ยวกับสถานที่และภาชนะสำหรับจัดเก็บสารกัมมันตรังสีตามชนิดของรังสีที่เกิดขึ้น รวมถึงการจัดมาตรการควบคุมสภาพแวดล้อมการทำงาน ป้ายเตือนอันตราย และข้อปฏิบัติที่สำคัญ นอกจากนี้ ยังได้กำหนดเกณฑ์เกี่ยวกับระดับรังสีในบริเวณที่ปฏิบัติงาน และบริเวณจัดเก็บ รวมถึงการใช้อุปกรณ์กำบังรังสีที่เหมาะสม

3) การจัดการหรือการบริหารงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี อันได้แก่ การกำหนดให้มีเจ้าหน้าที่ซึ่งมีคุณสมบัติ เป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการเกี่ยวกับรังสีโดยเฉพาะ การมีข้อปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับผู้ปฏิบัติงานหรือข้อห้ามสำหรับบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้อง จัดให้มีการควบคุมหรือดำเนินการเพื่อมิให้คนงานได้รับรังสีเกินกว่าปริมาณที่กำหนด การจัดให้มีมาตรการป้องกันอันตรายอื่น ๆ อันรวมถึง การจัดอบรม แนะนำผู้ปฏิบัติงาน การใช้เครื่องบันทึกปริมาณรังสีส่วนบุคคล หรืออุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม

กฎกระทรวงแรงงาน (ร่าง) ออกตามความใน พ.ร.บ. คุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 ว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับรังสีชนิดก่อไอออน

กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม โดยคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีว-อนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ตาม พ.ร.บ. คุ้มครองแรงงาน 2541 ได้เสนอความเห็นต่อรัฐมนตรีในการออกกฎกระทรวงฉบับนี้ โดยมีเจตนารมณ์เพื่อคุ้มครองลูกจ้างมิให้ได้รับอันตรายจากรังสีชนิดก่อไอออนในสถานประกอบการที่มีการใช้หรือเกี่ยวข้องกับรังสีชนิดนี้ ซึ่งในการพิจารณากำหนดรายละเอียด ได้ยึดตามข้อแนะนำของคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection Publication 60, 1990 : ICRP-60) ทั้งนี้ ร่างกฎกระทรวงได้ผ่านความเห็นชอบในหลักการจากคณะรัฐมนตรีแล้วเมื่อการประชุมคณะรัฐมนตรี ครั้งที่ 1/2544 เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2544 และในขณะที่จัดทำคู่มือฉบับนี้ ยังอยู่ในขั้นการตรวจพิจารณาของคณะกรรมการกฤษฎีกา

สำหรับขอบเขตการบังคับใช้ จะครอบคลุมสถานประกอบกิจการทุกประเภทที่มีการใช้รังสีชนิดก่อให้เกิดไอออน โดยสรุปสาระสำคัญของกฎหมายได้ดังนี้

การควบคุมและป้องอันตราย

- กำหนดให้นายจ้างแจ้งปริมาณและจำนวนต้นกำเนิดรังสีที่ครอบครองหรือใช้งาน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณหรือจำนวนนั้น ๆ ต่ออธิบดีกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

- กำหนดให้นายจ้างจัดแยกบริเวณที่เป็นพื้นที่ควบคุม โดยจัดให้มีป้ายเตือนอันตรายติดไว้อย่างชัดเจน และห้ามมิให้ผู้ที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าไปในพื้นที่ควบคุมนั้น ๆ เว้นแต่อยู่ในการควบคุมดูแลของผู้รับผิดชอบดำเนินการทางเทคนิคในเรื่องรังสี

- ให้นายจ้างดำเนินมาตรการป้องกันรังสีเพื่อให้ลูกจ้างที่ทำงานในพื้นที่ควบคุมได้รับปริมาณรังสีสะสมไม่เกินมาตรฐานความปลอดภัย โดยอาจจัดให้มีอุปกรณ์/เครื่องมือลดปริมาณรังสี หรือกำหนดวิธีและเวลาการทำงานให้เหมาะสม จัดให้มีการทำความสะอาดชุดทำงาน สิ่งของ สถานที่ที่มีการเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสี จัดให้มีที่ล้างมือ ที่อาบน้ำหลังการปฏิบัติงาน นอกจากนี้ ต้องจัดให้ลูกจ้างที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้อง ใช้อุปกรณ์บันทึกปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลตลอดเวลาที่มีการทำงาน

- ให้นายจ้างจัดให้มีผู้รับผิดชอบดำเนินการทางด้านเทคนิคในเรื่องรังสีประจำสถานที่ทำงาน เพื่อปฏิบัติหน้าที่ด้านความปลอดภัยในการทำงานตามที่กำหนด ตลอดระยะเวลาที่มีการทำงาน

- ให้นายจ้างกำหนดกฎระเบียบ ข้อปฏิบัติเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี รวมถึงจัดทำแผนป้องกันอันตรายจากรังสีในภาวะการทำงานปกติ และเหตุฉุกเฉินทางรังสี โดยจัดให้มีการฝึกซ้อมตามแผนอย่างน้อยปีละครั้ง

- นายจ้างมีหน้าที่ต้องจัดทำรายงานข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวมถึงค่าปริมาณรังสีที่ลูกจ้างได้รับตามแบบที่กำหนด และเก็บหลักฐานไว้เพื่อการตรวจสอบในภายหลัง

เครื่องหมาย ฉลาก และสัญญาณเตือนภัย

- ให้นายจ้างจัดให้มีเครื่องหมายเตือนภัยติดไว้ให้ชัดเจนในบริเวณรังสี สถานที่เก็บรักษาสารกัมมันตรังสี รวมถึงติดฉลากที่ภาชนะบรรจุ โดยให้มีรูปแบบตามที่กำหนด
- ให้นายจ้างจัดให้มีสัญญาณไฟเตือนภัย หรือระบบสัญญาณฉุกเฉินที่มีลักษณะเฉพาะ เพื่อให้ลูกจ้างอพยพไปยังสถานที่ที่ปลอดภัย ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสี

การแจ้งเหตุและรายงาน

- ให้นายจ้างแจ้งเหตุทันทีเมื่อต้นกำเนิดรังสี อุปกรณ์ เครื่องมือที่เกี่ยวกับการใช้รังสีเกิดความเสียหาย และอาจเกิดการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสี หรืออุบัติภัย อันอาจเป็นเหตุให้ลูกจ้างประสบอันตรายหรือเสียชีวิต
- ให้นายจ้างรายงานอุบัติเหตุ การเจ็บป่วย และโรคที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานเกี่ยวกับรังสี ซึ่งรวมถึงปริมาณรังสีที่ได้รับ สาเหตุ การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางป้องกัน
- ให้นายจ้างรายงานผลการปฏิบัติงานของผู้รับผิดชอบดำเนินการทางด้านเทคนิคในเรื่องรังสี โดยให้ระยะเวลาการรายงานเป็นไปตามที่กำหนด

การคุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

- ให้นายจ้างจัดอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เช่น ถุงมือ รองเท้า เสื้อคลุม เพื่อให้ลูกจ้างที่ทำงานเกี่ยวกับต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึกสวมใส่ เพื่อป้องกันหรือลดอันตรายจากรังสีที่จะเข้าสู่ร่างกาย
- ให้นายจ้างจัดทำคู่มือหรือเอกสารเกี่ยวกับการใช้ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลเพื่อแจกจ่ายให้ลูกจ้าง รวมถึงมีการสาธิตการใช้งาน และกำหนดข้อบังคับเกี่ยวกับการใช้

เบ็ดเตล็ด

- ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีรับการอบรมเกี่ยวกับอันตรายและวิธีการป้องกันอันตรายก่อนเข้ารับหน้าที่ และให้นายจ้างจัดทำแนวปฏิบัติ ข้อบังคับ กฎหรือระเบียบว่าด้วยความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสีเพื่อให้ลูกจ้างให้เป็นคู่มือปฏิบัติงาน
- ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีได้รับการตรวจสุขภาพร่างกายอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง และเก็บผลการตรวจไว้ กรณีที่พบความผิดปกติของร่างกายหรือการเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานกับรังสี นายจ้างจะต้องให้ลูกจ้างได้รับการรักษาพยาบาลทันที และเปลี่ยนงานที่เหมาะสมเป็นการชั่วคราวให้ลูกจ้างนั้นตามที่เห็นสมควร

5.2 มาตรฐานแนะนำของหน่วยงานต่างประเทศ

เนื่องจากในประเทศไทย ยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับค่าระดับรังสีโดยเฉลี่ยที่คนทั่วไปได้รับในชีวิตประจำวัน แต่อย่างไรก็ตาม ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการศึกษาโดย NCRP ซึ่งพบว่าประชากรมีการได้รับรังสีจากแหล่งต่าง ๆ รวมประมาณ 360 มิลลิเรม/ปี เช่น จากเรดอนจากการรักษาทางการแพทย์ รังสีภายในร่างกาย รังสีคอสมิก จากเครื่องใช้/เครื่องอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ส่วนการได้รับรังสีจากการทำงานนั้น พบว่ามีระดับที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการได้รับรังสีจากแหล่งอื่น ๆ

สำหรับการได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับรังสีนั้น ได้มีการศึกษาและกำหนดค่ามาตรฐานแนะนำเพื่อป้องกันอันตรายโดยหน่วยงานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นองค์กรระดับนานาชาติหรือหน่วยงานของต่างประเทศ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นต้นแบบในการนำมาปรับใช้ในประเทศไทย และในที่นี้จะอ้างอิงถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น Occupational Safety and Health Administration (OSHA) และ National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) เพื่อเป็นแนวทางในด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี

โดยที่ OSHA ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับการป้องกันอันตรายจากรังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (ภายใต้ 19 CFR 1910.96) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสี โดยเฉพาะผู้ปฏิบัติงานในกลุ่มกิจการที่ไม่อยู่ในข่ายความครอบคลุมของข้อบัญญัติว่าด้วยความปลอดภัยทางนิวเคลียร์ (Nuclear Regulatory Commission; NRC) นอกจากนี้ ยังมีหลายหน่วยงานที่ให้การดูแลผู้ปฏิบัติงานทางรังสี ซึ่งได้กำหนดและบังคับใช้ค่ามาตรฐานในด้านดังกล่าว อันได้แก่ National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Federal Radiation Council (FRC) เป็นต้น ซึ่งค่ามาตรฐานที่กำหนดขึ้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 *แสดงค่ามาตรฐานการสัมผัสรังสีที่ก่อให้เกิดไอออน ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา*

มาตรฐานสำหรับ	OSHA (29 CFR 1910.96)	Commission (10 CFR 20)	NCRP	FRC
ประชากรทั่วไป: สัมผัสทั่วร่างกาย		0.5 เรม/ปี		
ผู้ปฏิบัติงานทางรังสี: สัมผัสทั่วร่างกาย	3 เรม/ไตรมาส	5 เรม/ปี หรือ 3 เรม/ไตรมาส แต่ต้องไม่เกินขีดจำกัดของปริมาณสะสม		
ขีดจำกัดของปริมาณสะสม	5(N - 18) เรม			

** N-18 = อายุของผู้ปฏิบัติงาน - 18 ปี*

สำหรับมาตรการควบคุมป้องกันอันตรายจากรังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ หน่วยงานข้างต้นได้เสนอแนะให้พิจารณาตามระดับพลังงานรังสีและระยะเวลา ทั้งนี้ให้ยึดหลักคือ ลดเวลาสัมผัส เพิ่มระยะทางจากแหล่งรังสี และการกำบังรังสีด้วยอุปกรณ์ป้องกัน ตลอดจนจัดให้มีการตรวจสอบอุปกรณ์และมีการให้ความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องแก่ผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้ ควรจัดให้มีแผน/โครงการป้องกันอันตรายจากรังสี และเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี (Radiation Safety Officer) ซึ่งนับได้ว่ามีบทบาทที่สำคัญในการดำเนินการควบคุมป้องกันอันตรายเพื่อให้บรรลุผลสำเร็จ

ในส่วนของค่ามาตรฐานการป้องกันอันตรายจากรังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออนนั้น พบว่ามีการกำหนดไว้ในลักษณะของมาตรฐานแนะนำ สำหรับรังสีบางชนิดเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 *แสดงค่ามาตรฐานการสัมผัสรังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออน ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานด้านความปลอดภัยของประเทศสหรัฐอเมริกา*

ชนิดของรังสี	OSHA	NIOSH
รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet)	ไม่ได้กำหนด	ถ้าได้รับโดยตรงนานกว่า 1,000 วินาที ระดับรังสีต้องไม่เกิน 1.0 mW/cm2 ถ้าได้รับไม่เกิน 1,000 วินาที ระดับรังสีต้องไม่เกิน 1,000 mWsec/cm2 (สำหรับช่วงความถี่ 200-400 nm)
รังสีที่มองเห็นได้ (Visible Radiation) เช่น เลเซอร์	1 (W/cm^2 (งานที่จ้องมองโดยตรง) 1 mW/cm^2 (งานที่เกี่ยวข้องทั่วไป)	ไม่ได้กำหนด
รังสีใต้แดง (Infrared)	ไม่ได้กำหนด	
ไมโครเวฟ	10 mW/cm^2	ไม่ได้กำหนด

นอกจากมาตรฐานความปลอดภัยโดยหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกาแล้ว ยังมีองค์กรระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection หรือ ICRP) ได้กำหนดเกณฑ์ขีดจำกัดระดับรังสีเพื่อความปลอดภัย (Dose Limit) สำหรับผู้ปฏิบัติการทางรังสีขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2520 ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 *แสดงค่าปริมาณรังสีที่ยอมให้รับได้ (Maximum Permissible Dose Equivalent) ซึ่งกำหนดโดย ICRP*

การได้รับรังสี	ผู้ที่ทำงานกับรังสี	ประชาชนทั่วไป
ทั่วร่างกาย	50 mSv (5 rem) / ปี	5 mSv (0.5 rem) / ปี
เนื้อเยื่อต่าง ๆ (ยกเว้นเลนส์ตา)	500 mSv (50 rem) / ปี	-
เลนส์ตา	150 mSv (15 rem) / ปี	-
เนื้อเยื่อและอวัยวะใด ๆ	-	50 mSv (5 rem) / ปี

ต่อมาในปี พ.ศ. 2533 ICRP ได้เปลี่ยนแปลงและกำหนดค่า dose limit เพิ่มเติม โดยค่าเฉลี่ยในรอบ 5 ปี สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีเป็น 20 มิลลิซีเวิร์ดต่อปี (ยอมให้ dose สูงสุด ไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ดต่อปี) สำหรับประชาชนทั่วไป กำหนดให้ใช้ค่า 1 มิลลิซีเวิร์ดต่อปี แทนค่าเดิม ที่กำหนดไว้ 5 มิลลิซีเวิร์ดต่อปี ทั้งนี้ เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานทางรังสี โดยไม่นับรวมรังสีตามธรรมชาติ และรังสีที่ได้รับในการตรวจรักษาทางการแพทย์ตามปกติ

อนึ่ง ICRP ได้นำเสนอหลักการป้องกันอันตรายจากรังสี ที่เรียกว่า ALARA (As Low As Reasonably Achievable) คือ ปฏิบัติงานให้ได้รับรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น ด้วยเหตุและผลเท่าที่ทำได้ในการปฏิบัติงาน และทำให้งานนั้น ๆ บรรลุเป้าหมายทั้งนี้ ปริมาณรังสีที่ได้รับจะต้องไม่สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้

5.3 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี

ในปัจจุบัน มีหลายองค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี ทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ ซึ่งจะขอกล่าวถึงหน่วยงานที่มีภารกิจหลักเกี่ยวข้องโดยตรงกับการควบคุมและดูแลให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานทางด้านรังสี อันได้แก่

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (Office of Atomic Energy for Peace)

เป็นหน่วยงานที่จัดตั้งขึ้นตาม พ.ร.บ. พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504 สังกัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม มีอำนาจหน้าที่ในส่วนหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี ดังต่อไปนี้

- ดำเนินการตามกฎหมายว่าด้วยพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยออกกฎระเบียบ ข้อบังคับ วางมาตรการและปฏิบัติการเพื่อควบคุมและดูแลเกี่ยวกับ การใช้ประโยชน์ การเก็บรักษา วัสดุกัมมันตรังสี และการจัดการกากกัมมันตรังสี ให้เกิดความปลอดภัย แก่ผู้ใช้และประชาชน
- ดำเนินการตรวจวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อม และผลกระทบของรังสีเพื่อความปลอดภัยแก่ประชาชนและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการวิจัยและพัฒนาการตรวจวัดปริมาณรังสี และเครื่องมือ
- ดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินอันตราย และกำหนดเกณฑ์ปริมาณรังสีสูงสุดที่ประชาชนและผู้ปฏิบัติงานทางรังสีสามารถรับได้ รวมทั้งเสนอแนะเกณฑ์ปริมาณรังสี/กัมมันตรังสีสูงสุดในสิ่งอุปโภคและบริโภค
- ดำเนินการฝึกอบรม ให้ความรู้เกี่ยวกับรังสีแก่สาธารณชน
- เป็นศูนย์ข้อมูล ข้อสนเทศทางวิชาการ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์และการป้องกันอันตรายจากรังสี

ปัจจุบัน สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ตั้งอยู่เลขที่ 16 ถนนวิภาวีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ 0-2579-5230 โทรสาร 0-2561-3013 ซึ่งกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินทางรังสีเกิดขึ้น สามารถแจ้งเหตุนั้น ๆ ได้ทั้งนอกเวลาราชการและวันหยุดราชการ ตลอด 24 ชั่วโมง

ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency หรือ IAEA)

เป็นองค์กรหนึ่งในสหประชาชาติ โดยมีฐานะเช่นเดียวกับองค์การอนามัยโลก (WHO) ทั้งนี้ IAEA จะทำหน้าที่พัฒนา ส่งเสริม และสนับสนุนให้มีความร่วมมือและ ความช่วยเหลือระหว่างประเทศ ในการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในทางสันติ รวมทั้งถ่ายทอดเทคโนโลยีทางด้านนี้สู่ประเทศสมาชิก กำกับ ควบคุมการผลิต การครอบครอง และการเคลื่อนย้าย วัสดุนิวเคลียร์พิเศษ (ธาตุและสารประกอบของยูเรเนียม ธอเรียม และพลูโตเนียม) ของประเทศสมาชิกให้เป็นตามสนธิสัญญา ไม่แพร่ขยายอาวุธนิวเคลียร์ (Non-Proliferation of Nuclear Weapons Treaty- NPT)

ปัจจุบัน IAEA มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ ณ กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย และมีสำนักงานสาขาทั่วโลกจำนวน 6 แหล่ง โดยมีประเทศสมาชิก รวม 124 ประเทศ ซึ่งรวมทั้งประเทศไทยด้วย

นอกจากนี้ IAEA จะมีคณะผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขา เพื่อให้ความร่วมมือหรือความช่วยเหลือแก่ประเทศสมาชิก โดยเน้นให้เข้าร่วมเป็นภาคีในอนุสัญญาต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการปฏิบัติเป็นมาตรฐานเดียวกันในด้านความปลอดภัยทางรังสี และมีการใช้พลังงานปรมาณูในทางสันติ สำหรับความร่วมมือกับประเทศภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิค ทบวงการฯ มีการสนับสนุนให้ประเทศสมาชิกในภูมิภาคเดียวกัน มีความร่วมมือและสนับสนุนทางวิชาการร่วมกันในการใช้ประโยชน์จากรังสี และดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัย พัฒนาและการฝึกอบรมในส่วนที่เกี่ยวข้อง

บรรณานุกรม

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. **การป้องกันอันตรายจากรังสี**. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2. กรุงเทพฯ, 2541.

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. **สารานุกรมศัพท์นิวเคลียร์**. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ, 2541.

Barbara A. Plog, et al. (editor). **Fundamentals of Industrial Hygiene**. National Safety Council, U.S.A. 1996.

Dag Brune, et al. (editor). **The Workplace - Volume I: Fundamentals of Health, Safety and Welfare**. International Occupational Safety and Health Information Center, ILO, Geneva, 1997.

Jacob Shapiro. **Radiation Protection: A Guide for Scientists and Physicians**, 3rd edition. Harvard University Press, MA, 1990.

Jame Martin and David Hamby. **Radiation Health and Protection**. University of Michigan, U.S.A., 1998.

Jeanne Mager Stellman (editor). **Encyclopaedia of Occupational Health and Safety**, 4th edition - Volume II. International Labour Organization, Geneva, 1998.

Marci Z. Balge, et al. (editor). **Occupational Health and Safety**, 3rd edition. National Safety Council, U.S.A. 2000.

National Institute of Occupational Safety and Health. **The Industrial Environment - its Evaluation and Control**. DHHS (NIOSH) Publication No. 74-117, 1973.

Occupational Safety and Health Administration. **Guidelines for Protecting the Safety and Health of Health Care Workers**. (http://www.osha.gov).

Office of Atomic Energy for Peace and Japan Atomic Energy Research Institute. **Radiation Protection for Radiation Safety Supervisor**. OAEP, Bangkok, 2001.

Student Chapter of the Health Physics Society of University of Michigan. **Introduction to Radiation and Health Physics**. UM Web Site (http://www.umich.edu/~radinfo/).

ภาคผนวก

การแปลงหน่วยทางรังสีและคำนำหน้า (Prefix)

ก. สรุปหน่วยที่ใช้ในทางรังสี

หน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ
หน่วยมวลอะตอม (Atomic Mass Unit)	amu	มวล
เบ็กเคอเรล (Becquerel)	bq	กัมมันตภาพรังสี
เกรย์ (Gray)	Gy	ขนาดกำหนดของการดูดกลืนของรังสีที่ทำให้แตกตัวเป็นไอออน
ซีเวิร์ต (Sievert)	Sv	ขนาดกำหนดของกัมมันตภาพรังสี
คูรี (Curie)	Ci	กัมมันตภาพรังสี
อิเล็กตรอนโวลต์ (Electron Volt)	eV	พลังงาน

(จากศัพท์วิทยาศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2532)

ข. การแปลงหน่วยทางรังสี

ปริมาณ	ความสัมพันธ์
กัมมันตภาพ (Activity)	1 Bq = 1/s 1 Ci = 37 GBq
ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed Dose)	1 Gy = 1 J/kg 1 rad = 1 cGy
ปริมาณรังสีสมมูล (Dose Equivalent)	1 Sv = 1 J/kg 1 rem = 1 cSv

(ต่อ)

ปริมาณ	ความสัมพันธ์
อัตราการได้รับรังสีเป็นปริมาณดูดกลืน (Absorbed Dose Rate)	1 Gy/s = 1 W/kg 1 rad/s = 0.01 Gy/s
อัตราการได้รับรังสีเป็นปริมาณรังสีสมมูล (Dose Equivalent Rate)	1 Sv/s = 1 W/kg 1 rem/s= 0.01 Sv/s
การแผ่รังสี (Exposure)	1 C/kg = 1 A.s/kg (ปัจจุบันเลิกใช้แล้ว) 1 R = 258.10-6 C/kg

ค. คำนำหน้าหน่วยแสดงปริมาณ

ตัวคูณ	คำนำหน้าหน่วย	ศัพท์บัญญัติ	สัญลักษณ์
10^{-18}	Atto	อัตโต	a
10^{-15}	Femto	เฟมโต	f
10^{-12}	Pico	พิโก	p
10^{-9}	Nano	นาโน	n
10^{-6}	Micro	ไมโคร	u
10^{-3}	Milli	มิลลิ	m
10^{-2}	Centi	เซนติ	c
10^{-1}	Deci	เดซิ	d
10	Deca	เดคา	da
10^{2}	Hecto	เฮกโต	h
10^{3}	Kilo	กิโล	k
10^{6}	Mega	เมกะ	M
10^{9}	Giga	จิกะ	G
10^{12}	Tera	เทระ	T
10^{15}	Peta	เพตะ	P
10^{18}	Exa	เอกซะ	E

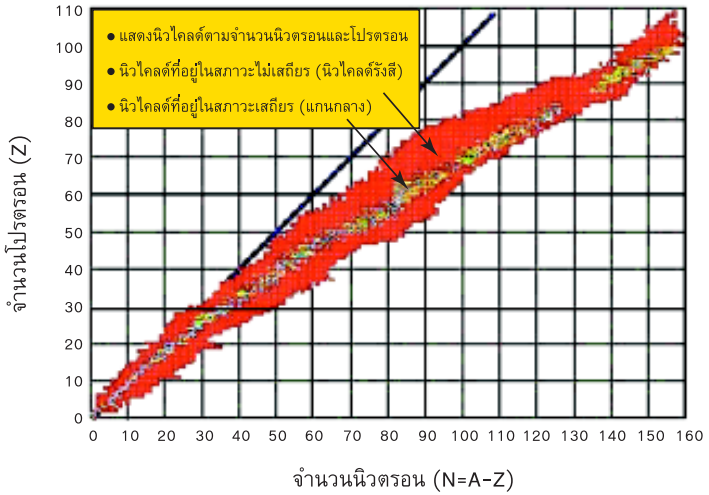
ตารางธาตุ และแผนภาพนิวไคลด์รังสี (Chart of Radionuclides)

ตารางธาตุ (Periodic table of Elements)

Group (1) IA	(2) IIA	(3) IIIB	(4) IVB	(5) VB	(6) VIB	(7) VIIB	(8)	(9) VIII	(10)	(11) IB	(12) IIB	(13) IIIA	(14) IVA	(15) VA	(16) VIA	(17) VIIA	(18) VIIIA
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 Sn	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba *	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Ti	82 Pb	83 Bi	84 Bo	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra **	89 Ac	104 Unq	105 Unp	106 Unh												

* Lanthanide	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw

แผนภาพนิวไคลด์รังสี (Chart of Radionuclides



ตารางคุณสมบัติกัมมันตภาพ ความเป็นพิษ และค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์รังสี

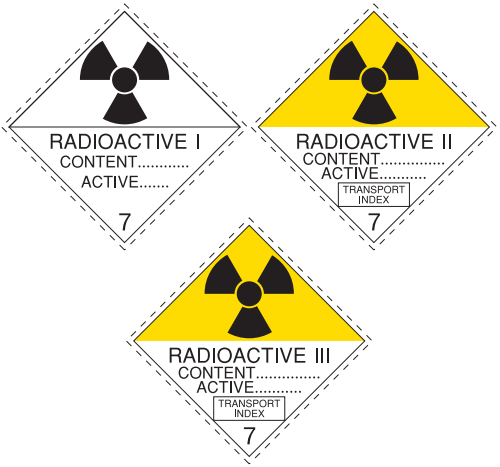
นิวไคลด์รังสี	ค่าครึ่งชีวิต	กัมมันตภาพ (คูรี/กรัม)	ระดับเป็นพิษ	นิวไคลด์รังสี	ค่าครึ่งชีวิต	กัมมันตภาพ (คูรี/กรัม)	ระดับเป็นพิษ
Hydrogen-3	12.3 y	9.64×10^{3}	4	Ruthenium-106	373.59 d	3.30×10^{3}	2
Carbon-14	5730 y	4.46	3	Iodine-123	13.27 h	1.92×10^{6}	N/A
Nitrogen-16	7.13 s	9.89×10^{10}	N/A	Iodine-125	59.402 d	1.76×10^{4}	N/A
Sodium-22*	2.6088 y	6.23×10^{3}	2	Iodine-131	8.0207 d	1.24×10^{5}	2
Sodium-24	14.959 h	8.73×10^{6}	3	Barium-133	10.52 y	262.00	N/A
Phosphorous-32	14.26 d	2.86×10^{5}	3	Cesium-134*	2.0648 y	1.29×10^{3}	4
Sulfur-35	87.51 d	4.27×10^{4}	3	Cesium-137*	30.07 y	86.90	2
Chlorine-36	3.01 x 105 y	3.30×10^{-2}	2	Barium-140	12.752 d	7.32×10^{4}	2
Argon-41	109.43 m	4.19×10^{7}	3	Lanthanum-140	40.22 h	5.57×10^{5}	3
Potassium-42	12.36 h	6.04×10^{6}	3	Cerium-141	32.5 d	2.85×10^{4}	3
Calcium-45	162.61 d	1.79×10^{4}	2	Cerium-144*	284.9 d	3.18×10^{3}	2
Chromium-51	27.704 d	9.25×10^{4}	3	Praseodymium-144	17.28 m	7.56×10^{7}	2
Manganess-54*	312.12 d	7.76×10^{3}	2	Promethium-147	2.6234 y	928.00	3
Manganese-56	2.5785 h	2.17×10^{7}	3	Europium-152*	13.542 y	174.00	2
Iron-55	2.73 y	2.39×10^{3}	3	Tantalum-182*	114.43 d	6.27×10^{3}	2
Iron-59	44.503 d	4.98×10^{4}	3	Iridium-192	73.831 d	9.21×10^{3}	2
Nickel-59	7.6 x 104 y	7.99×10^{-2}	4	Gold-198	2.69517 d	2.45×10^{5}	3
Nickel-63	100.1 y	56.80	3	Mercury-203	46.612 d	1.38×10^{4}	3
Cobalt-57*	271.79 d	8.44×10^{3}	3	Thallium-201	3.039 d	2.14×10^{5}	3
Cobalt-60*	5.2714 y	1.13×10^{3}	2	Thallium-204	3.78 y	4.64×10^{2}	2
Copper-64	12.7 h	3.86×10^{6}	3	Thallium-208	3.053 m	2.96×10^{8}	N/A
Zinc-65*	244.26 d	8.23×10^{3}	3	Polonium-210*	138.4 d	4.49×10^{3}	1
Gallium-72	14.1 h	3.09×10^{6}	3	Radium-226*	1600 y	0.99	1
Arsenic-76	1.0778 d	1.60×10^{6}	3	Thorium-232	1.41 x 1010 y	1.10×10^{-7}	4
Bromine-82	35.3 h	1.08×10^{6}	3	Uranium-233	1.592 x 105y	9.64×10^{-3}	1
Rubidium-86	18.631 d	8.16×10^{4}	3	Uranium-235	7.0 x 108 y	2.16×10^{-6}	4
Strontium-89	50.53 d	2.91×10^{4}	2	Uranium-238	4.468 x 109 y	3.36×10^{-7}	4
Strontium-90	28.74 y	138.00	2	Plutonium-239	24110 y	6.21×10^{-2}	1
Yttrium-90	64.1 h	5.44×10^{5}	3	Plutonium-241	14.35 y	103.00	1
Molybdenum-99	65.94 h	4.80×10^{5}	3	Americium-241	432.2 y	3.43	1

** ให้รังสีแกมมาที่ระดับพลังงานต่าง ๆ*

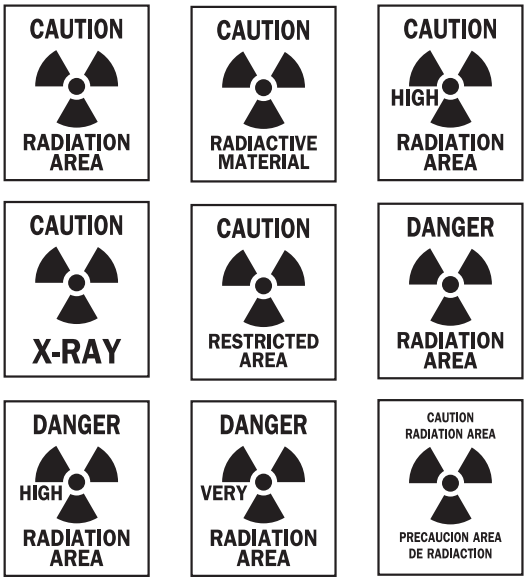
ป้ายและสัญลักษณ์เกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสี

ป้ายเตือนอันตรายสำหรับติดในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานทางรังสี

(พื้น - สีเหลือง, สัญลักษณ์ใบพัด 3 แฉก - สีม่วง, ข้อความ - สีดำ)



ป้ายการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสี (ระดับ I, II, III)



ป้ายเตือนอันตรายจากรังสีในลักษณะต่าง ๆ

คู่มือความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสี

Manual for Radiation Health and Safety at Work

ที่ปรึกษา

นายณัฐวัตร มนต์เทวัญ
ผู้อำนวยการสถาบันความปลอดภัยในการทำงาน

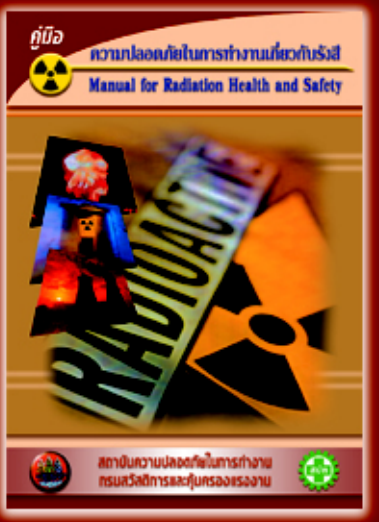
คณะทำงาน

1) **นางสาวจิตติมา วีระเดชเกรียงไกร** หัวหน้าฝ่ายสุขศาสตร์แรงงาน
2) **นายวิสันติ เลาหอุดมโชค** นักวิชาการแรงงาน 5
3) **นายกีรติ คุณวโรตม์** นักวิชาการแรงงาน

ผู้แปลและเรียบเรียง

1) **นายวิสันติ เลาหอุดมโชค**
วท.บ. สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (มหาวิทยาลัยมหิดล)
M.S. in Industrial Health (University of Michigan, U.S.A.)
วุฒิบัตรหลักสูตรการป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2 (พปส.)
Cert. in Radiation Protection for Radiation Safety Supervisor
(OAEP and Japan Atomic Energy Research Institute)

2) **นายกีรติ คุณวโรตม์**
วท.บ. สาขาสุขศึกษา (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)
วุฒิบัตรหลักสูตรการป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2 (พปส.)


คู่มือ
ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับรังสี
Manual for Radiation Health and Safety
RADIOACTIVE
สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน
กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

กสร. 13/2544