เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีกับการประเมินความปลอดภัยทางรังสี

การนำวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสีมาใช้งานนั้น จะต้องขอรับใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้ตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 และ ผู้ขอรับใบอนุญาตจะต้องจัดให้มีศักยภาพทางเทคนิคให้ครบถ้วน ซึ่งประกอบด้วย สถานที่จัดเก็บและใช้งานวัสดุกัมมันตรังสี เครื่องมืออุปกรณ์ เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี และ แผนการป้องกันอันตรายจากรังสี จะเห็นว่าเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีเป็นหนึ่งในศักยภาพทางเทคนิคที่ผู้ขอรับใบอนุญาตจะต้องจัดให้มีเพื่อประกอบการขอรับใบอนุญาต ซึ่งการเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีนั้นจะต้องดำเนินการขอรับใบอนุญาตเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีตามหลักเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด หลังจากได้รับใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้แล้วในระหว่างการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีผู้รับใบอนุญาตจะต้องควบคุมดูแลการปฏิบัติงานให้มีความปลอดภัยทางรังสี ซึ่งผู้ที่ทำหน้าที่ควบคุมดูแลด้านความปลอดภัยทางรังสีของหน่วยงานคือเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี เอกสารฉบับนี้จึงจัดทำรายละเอียดวิธีการประเมินความปลอดภัยทางรังสีในลักษณะต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางให้เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีใช้ในการปฏิบัติงาน หรือ บุคคลที่จะสอบเพื่อขอรับใบอนุญาตเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีใช้ศึกษาเป็นความรู้ในการสอบ ลำดับถัดไปจะกล่าวถึงประเภทการใช้ประโยชน์วัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสีว่ามีความสอดคล้องกับหน้าที่รับผิดชอบของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีอย่างไร และแนวทางการประเมินความปลอดภัยทางรังสีในลักษณะต่างๆ ก่อนจะเข้าสู่เนื้อหาจะให้ความหมายของคำว่าวัสดุกัมมันตรังสีก่อนเพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจตรงกัน เนื่องจากมีการใช้คำที่หมายถึงวัสดุกัมมันตรังสีอยู่หลายคำ เช่น สารกัมมันตรังสี สารรังสี แหล่งกำเนิดรังสี ต้นกำเนิดรังสี เป็นต้น ซึ่งมีจุดประสงค์ของการใช้คำที่แตกต่างกันตามโอกาสและความเหมาะสม แต่ในเอกสารฉบับนี้จะใช้คำว่าวัสดุกัมมันตรังสี ซึ่งหมายถึงวัสดุกัมมันตรังสีทั้งชนิดปิดผนึก (Sealed source) และชนิดไม่ปิดผนึก (Unsealed source) และความหมายของวัสดุกัมมันตรังสี[(1)] ตามกฎหมาย คือ ธาตุหรือสารประกอบใดๆ ที่องค์ประกอบส่วนหนึ่งมีโครงสร้างภายในอะตอมไม่คงตัว และสลายตัวโดยปลดปล่อยรังสีออกมา ทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือเกิดจากการผลิตหรือการใช้วัสดุนิวเคลียร์ การผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสี หรือกรรมวิธีอื่นใด ทั้งนี้ ไม่รวมถึงวัสดุกัมมันตรังสีที่มีลักษณะเป็นวัสดุนิวเคลียร์

1. การจำแนกประเภทของวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี

1.1 การจำแนกประเภทของวัสดุกัมมันตรังสี

เมื่อผู้ประกอบการที่ต้องการนำวัสดุกัมมันตรังสีมาใช้งาน จะต้องยื่นคำขอรับใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี ซึ่งวัสดุฯ ที่ยื่นขออนุญาตนั้นจะจำแนกเป็น 5 ประเภทตามความเป็นอันตราย จะยกตัวอย่างวัสดุฯ แต่ละประเภท ดังนี้

วัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 1 หรือเรียกว่า วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายสูงสุด เช่น เครื่องฉายรังสีสำหรับฆ่าเชื้อโรคหรือถนอมอาหาร (Irradiators used in sterilization and food preservation) เครื่องรังสีรักษาระยะไกล (Teletherapy) เครื่องรังสีรักษาระยะไกลแบบหลายลำรังสีชนิดติดตั้งอยู่กับที่ (Multi-beam teletherapy (gamma knife))

วัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 2 หรือเรียกว่า วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายมาก เช่น อุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาทางอุตสาหกรรม (Industrial gamma radiography devices) เครื่องรังสีรักษาระยะใกล้ ชนิดอัตราปริมาณรังสีกลาง-สูง (High/medium dose rate brachytherapy)

วัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 3 หรือเรียกว่า วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตราย เช่น อุปกรณ์วัดระดับ (Level gauges) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลบนสายพาน (Conveyor gauges) เครื่องวัดแบบแท่งสำรวจหลุมลึกด้วยรังสี (Well logging devices)

วัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 4 หรือเรียกว่า วัสดุกัมมันตรังสีที่มีโอกาสเป็นอันตราย เช่น อุปกรณ์วัดความหนา (Thickness gauges) เครื่องวัดเคลือบผิว (Fill level gauges) ชุดอุปกรณ์วัดความชื้น/ความหนาแน่น (Moisture/density gauges) เครื่องรังสีรักษาระยะใกล้เฉพาะการรักษาต้อตาและการรักษาแบบฝังถาวร (Low dose rate eye applicators and permanent implant sources)

วัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 5 หรือเรียกว่า วัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่เป็นอันตราย เช่น อุปกรณ์ตรวจจับอิเล็กตรอน (Electron capture devices) อุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke detector) อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพอากาศ (Aerosol detectors) อุปกรณ์กระตุ้นการจุดระเบิด (Ignition exciter)

วัสดุกัมมันตรังสีดังกล่าวข้างต้นนำมาใช้งานทั้งทางการแพทย์ ทางอุตสาหกรรม ทางศึกษาวิจัย และอื่นๆ ซึ่งวัสดุกัมมันตรังสีที่นำมาใช้งานนั้น มีทั้งชนิดปิดผนึก (Sealed source) และชนิดไม่ปิดผนึก (Unsealed source) ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของการใช้งาน เช่น การนำวัสดุกัมมันตรังสีชนิดปิดผนึกมาใช้ในทางการแพทย์ประเภทการใช้ประโยชน์รังสีรักษาระยะไกล (Teletherapy) จะใช้เฉพาะกัมมันตภาพรังสีที่แผ่ออกมานำมาใช้ในการรักษาผู้ป่วย ส่วนวัสดุกัมมันตรังสีจะอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทและบรรจุในเครื่องฉายรังสีที่มีอุปกรณ์กำบังรังสีเพื่อป้องกันและลดทอนรังสีให้มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ส่วนการนำวัสดุกัมมันตรังสีชนิดไม่ปิดผนึกมาใช้ในการรักษาหรือวินิจฉัยผู้ป่วยจะเป็นการนำวัสดุฯ เข้าสู่ร่างกายผู้ป่วยด้วยวิธีฉีดหรือกิน และใช้กัมมันตภาพรังสีที่แผ่ออกมาในการรักษาหรือวินิจฉัยผู้ป่วย เป็นต้น ในส่วนของการใช้งานทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่แล้วจะใช้วัสดุกัมมันตรังสีชนิดปิดผนึก ในทางศึกษาวิจัยใช้ทั้งวัสดุกัมมันตรังสีชนิดปิดผนึกและชนิดไม่ปิดผนึก

1.2 การจำแนกประเภทของเครื่องกำเนิดรังสี [3]

เครื่องกำเนิดรังสีที่ต้องขอรับใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้ สามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

เครื่องกำเนิดรังสีประเภทที่ 1 คือ เครื่องกำเนิดรังสีที่มีพลังงานสูงสุดของรังสีที่เกิดขึ้นตั้งแต่ 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์หรือเครื่องกำเนิดรังสีที่อุปกรณ์กำเนิดรังสีภายในทำงานที่ความต่างศักย์ ตั้งแต่ 1 เมกะโวลต์ เช่น เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น (Linear accelerator) เครื่องไซโคลทรอน (Cyclotron) เครื่องซินโครทรอน (Synchrotron) เครื่องเร่งอนุภาคโปรตอน (Proton accelerator) เครื่องเร่งอนุภาคหนัก (Heavy particle accelerator) เครื่องฉายรังสีไซเบอร์ไนฟ์ (Cyberknife machine) เครื่องโทโมเธอราพี (Tomotherapy machine) เป็นต้น

เครื่องกำเนิดรังสีประเภทที่ 2 คือ เครื่องกำเนิดรังสีที่มีพลังงานสูงสุดของรังสีที่เกิดขึ้นต่ำกว่า 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ หรือเครื่องกำเนิดรังสีที่อุปกรณ์กำเนิดรังสีภายในทำงานที่ความต่างศักย์ต่ำกว่า 1 เมกะโวลต์ ที่มีลักษณะการใช้งานไม่ปิดมิดชิดหรือใช้งานกับคน เช่น เครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดตื้น (Superficial x-ray therapy machine) เครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดลึก (Orthovoltage หรือ Deep x-ray therapy machine) เครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม (X-ray Industrial radiography machine) เครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางการศึกษาวิจัย (X-ray research radiography machine) เครื่องเอกซเรย์ตรวจสอบความปลอดภัย (X-ray security inspection machine) เป็นต้น

ตามประเภทการใช้ประโยชน์วัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสีข้างต้น มีความสอดคล้องกับความรับผิดชอบของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีอย่างไร โดยจะกล่าวถึงความรับผิดชอบของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีในแต่ละระดับ โดยสังเขป ดังนี้

2. ความรับผิดชอบของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีแต่ละระดับ [5]

2.1 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีระดับต้น

(1) *ประเภทวัสดุกัมมันตรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลวัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 4 ชนิดปิดผนึกและวัสดุกัมมันตรังสีที่ต้องแจ้งการครอบครองหรือใช้

(2) *ประเภทเครื่องกำเนิดรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลเครื่องกำเนิดรังสีประเภทที่ 1 ที่มีไว้ในครอบครองเพื่อจำหน่าย ประเภทที่ 2 ที่มีไว้ในครอบครองเพื่อจำหน่าย และ เครื่องกำเนิดรังสีที่ต้องแจ้งการครอบครองหรือใช้

(3) *ประเภทวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีตาม (1) และ (2)

2.2 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีระดับกลาง

(1) *ประเภทวัสดุกัมมันตรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลวัสดุกัมมันตรังสีได้ทุกประเภท ยกเว้นประเภท 1

(2) *ประเภทเครื่องกำเนิดรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลเครื่องกำเนิดรังสีประเภท 1 ที่มีไว้ในครอบครองเพื่อการรักษาความมั่นคงปลอดภัย เครื่องกำเนิดรังสีประเภท 2 และเครื่องกำเนิดรังสีที่ต้องแจ้งการครอบครองหรือใช้

(3) *ประเภทวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีตาม (1) และ (2)

2.3 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีระดับสูง

(1) *ประเภทวัสดุกัมมันตรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลวัสดุกัมมันตรังสีได้ทุกประเภท

(2) *ประเภทเครื่องกำเนิดรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลเครื่องกำเนิดรังสีได้ทุกประเภท

(3) *ประเภทวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี* สามารถรับผิดชอบดูแลวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีตาม (1) และ (2)

จะเห็นได้ว่าเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีแต่ละระดับจะสามารถรับผิดชอบดูแลวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีได้ในแต่ละประเภทไม่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามโดยหลักการในการประเมินความปลอดภัยทางรังสีแล้วจะให้หลักการเดียวกัน โดยเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีมีหน้าที่ควบคุมดูแลการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีให้มีความปลอดภัยและเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ลำดับถัดไปจะกล่าวถึงการประเมินความปลอดภัยทางรังสี โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ (1) การประเมินความปลอดภัยจากการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี (2) การประเมินความปลอดภัยจากการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีชนิดไม่ปิดผนึกในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

3. การประเมินความปลอดภัยในการปฏิบัติงานทางรังสี

การประเมินความปลอดภัยทางรังสี หมายถึง การตัดสิน หรือ พิจารณาว่ากิจกรรมทางรังสีที่ดำเนินการอยู่มีความปลอดภัยทางรังสีหรือไม่ โดยคิดเทียบกับขีดจำกัดปริมาณรังสีที่กฎหมายกำหนด การประเมินความปลอดภัยทางรังสีมีหลายลักษณะ ยกตัวอย่าง ดังนี้

(1) *การประเมินความปลอดภัยทางรังสีจากการคำนวณความหนาของผนังห้องฉายรังสี* จะใช้วิธีการคำนวณเพื่อกำหนดความหนาของผนังห้องฉายรังสีที่สามารถลดทอนระดับรังสีให้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ลักษณะนี้เรียกว่าการประเมินความปลอดภัยของห้องฉายรังสีก่อนที่จะนำวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีมาติดตั้งและใช้งาน

(2) *การประเมินความปลอดภัยทางรังสีจากการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี* กรณีนี้จะเป็นการประเมินความปลอดภัยหลังนำวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีมาติดตั้งและใช้งานแล้ว โดยทำการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีที่บริเวณปฏิบัติงาน และบริเวณสำหรับประชาชนทั่วไป แล้วนำค่าการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี (Dose rate) อัตราการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสี (Workload) ค่าสัดส่วนการใช้พื้นที่หรืออยู่ในบริเวณนั้นๆ (Occupancy factor (T)) ค่าสัดส่วนการรับรังสีของผนังหรือทิศทางการฉายรังสี (Use factor (U)) นำค่าทั้งหมดมาคำนวณเพื่อหาค่าปริมาณรังสีบริเวณที่ต้องการประเมินแล้วนำไปเทียบกับขีดจำกัดปริมาณรังสีที่กฎหมายกำหนด

(3) *การประเมินความปลอดภัยทางรังสีเมื่อมีการนำวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีไปใช้งานภาคสนาม* โดยใช้หลัก As Low As Reasonably Achievable (ALARA) เช่น ใช้หลักการของ inverse square law ในการคำนวณระยะการกั้นพื้นที่ปฏิบัติงานไม่ให้เกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

(4) *การประเมินความปลอดภัยทางรังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์* ในงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์จะมีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ รังสีวินิจฉัย และ รังสีรักษา โดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุกัมมันตรังสีที่นำมาใช้จะเป็นชนิดไม่ปิดผนึก (unsealed source) ในการประเมินความปลอดภัยจะต้องพิจารณาทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง เช่น ขั้นตอนการรับ-ส่งวัสดุกัมมันตรังสีหรือสารเภสัชรังสีระหว่างผู้แทนจำหน่ายหรือผู้ผลิตกับโรงพยาบาล ความปลอดภัยของสถานที่จัดเก็บและใช้งาน มาตรการบริหารผู้ป่วย มาตรการจัดการกากกัมมันตรังสี เป็นต้น การประเมินความปลอดภัยทางรังสีจะใช้วิธีตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแล้วเทียบกับขีดจำกัดปริมาณรังสีตามที่กฎหมายกำหนด ลำดับถัดไปจะยกตัวอย่างการประเมินความปลอดภัยตามลักษณะที่กล่าวข้างต้น ดังนี้

3.1 การประเมินความปลอดภัยจากการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีและเครื่องกำเนิดรังสี

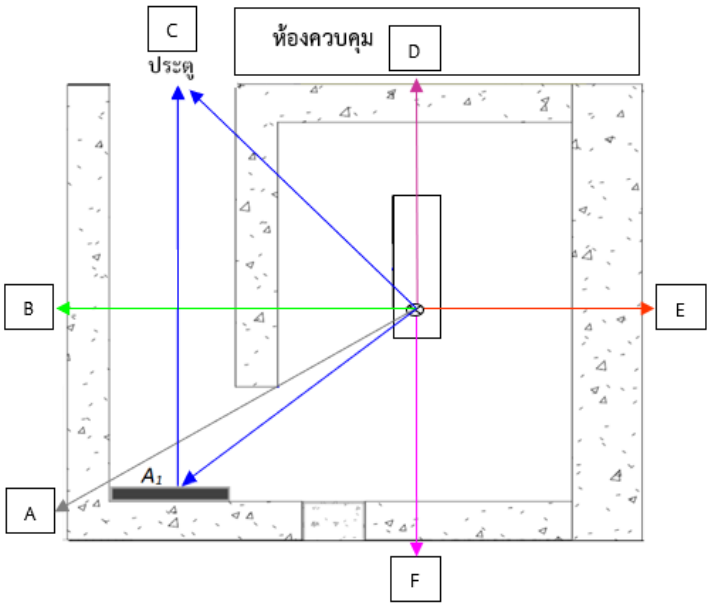
เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความปลอดภัยทางรังสี คือ ขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 400 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ [2,4] และ ขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับประชาชนทั่วไปต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ [2,4]

<u>กรณีที่ 1 การประเมินความปลอดภัยทางรังสีจากการคำนวณความหนาของผนังห้องฉายรังสี</u>

วัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีที่นำมาใช้งานที่มีลักษณะการใช้งานแบบฉายรังสีภายในห้องฉาย เช่น เครื่องรังสีรักษาระยะไกล (Teletherapy) อุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาทางอุตสาหกรรม (Industrial gamma radiography devices) เครื่องรังสีรักษาระยะใกล้ ชนิดอัตราปริมาณรังสีกลาง-สูง (High/medium dose rate brachytherapy) หรือ เครื่องกำเนิดรังสี เช่น เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น (Linear accelerator) เครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม (X-ray industrial radiography machine)

การประเมินความปลอดภัยทางรังสีของการใช้งานลักษณะนี้จะประเมินอย่างไร โดยปกติแล้วผู้ขอรับใบอนุญาตจะต้องจัดทำเอกสารประเมินความปลอดภัยทางรังสีโดยรอบห้องปฏิบัติการทางรังสีเพื่อประกอบคำขอรับใบอนุญาต ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการประเมินความปลอดภัยในขั้นตอนแรกด้วยวิธีการคำนวณเพื่อกำหนดความหนาของผนังห้องฉายที่สามารถลดทอนปริมาณรังสีไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีและประชาชนทั่วไปได้รับรังสีเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดตามที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ต่อไปจะเป็นตัวอย่างการคำนวณเพื่อประเมินความปลอดภัยของห้องฉายรังสีใช้ในการประกอบคำขอรับใบอนุญาตกรณีขออนุญาตครั้งแรก

<u>ตัวอย่างการประเมินความปลอดภัยของการใช้งานเครื่องรังสีรักษาระยะใกล้ ชนิดอัตราปริมาณรังสีสูง (High dose rate brachytherapy) (Ir-192)</u>



ตัวอย่างแผนผังห้องใส่แร่ที่แสดงรายละเอียดที่ต้องใช้ในการประเมิน

ในการประเมินความปลอดภัยทางรังสีของห้องฉายรังสีสำหรับเครื่องรังสีรักษาระยะใกล้ สามารถใช้วิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

สมการและค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณ

(1) *อัตราการรักษาผู้ป่วยต่อสัปดาห์ (Workload, W)* เป็นปริมาณรังสีรวมจากการรักษาผู้ป่วยในหนึ่งสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการรักษาต่อสัปดาห์ ค่ากัมมันตภาพและค่า air kerma ของ Ir-192 และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยแต่ละราย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$W = \text{RAKR} \times A \times t \times n \quad \text{..... สมการที่ 1 [9]}$$

เมื่อ *W* คือ อัตราการรักษาผู้ป่วย หน่วย $\mu Gy.m^2$ ใน 1 สัปดาห์

RAKR คือ Reference air kerma rate เป็นค่าคงที่เฉพาะของวัสดุกัมมันตรังสีแต่ละชนิด หน่วย $\mu Gy.m^2/MBq.h$ โดยค่า RAKR ของ Ir-192 มีค่าเท่ากับ 0.111 $\mu Gy.m^2/MBq.h$

A คือ ค่ากัมมันตภาพของ Ir-192 หน่วย Bq โดยปกติ Ir-192 Brachytherapy ค่ากัมมันตภาพสูงสุดที่ใช้ คือ 14 Ci หรือ 5.18×10^{11} Bq หรือ 5.18×10^5 MBq

t คือ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยแต่ละราย หน่วยเป็น ชั่วโมง (h) โดยปกติผู้ป่วย 1 รายจะใช้เวลาในการรักษาเฉลี่ย 10-15 นาที หรือ 0.167-0.25 ชั่วโมง

n คือ จำนวนผู้ป่วยที่รับการรักษาใน 1 สัปดาห์

(2) *สัดส่วนการรับรังสีของผนังแต่ละด้าน (Use factor, U)* โดยปกติ Ir-192 Brachytherapy จะมีค่า U = 1 [9] เนื่องจากขณะทำการรักษาประเมินว่ามีรังสีแผ่ทุกทิศทาง

(3) *สัดส่วนการใช้งานพื้นที่โดยรอบห้องใส่แร่ (Occupancy factor, T)* เป็นสัดส่วนของการใช้พื้นที่นั้นๆ หากมีบุคคลอยู่ประจำหรือปฏิบัติงานเต็มเวลา หรือ หากพื้นที่นั้นเป็นบริเวณสาธารณะที่อยู่นอกเหนือการควบคุมจะมีค่า T = 1 [9] และค่า T จะลดลงเมื่อบริเวณนั้นไม่มีบุคคลอยู่ประจำ เช่น ห้องน้ำ ระเบียง ทางเดิน เป็นต้น โดยสามารถอ้างอิงค่า T ได้จาก IAEA safety series No.47

(4) *การคำนวณความหนาที่เหมาะสมของผนังห้องแต่ละด้านที่ใช้กำบังรังสี* สามารถคำนวณได้จากค่า The required attenuation of the barrier, B ดังแสดงในสมการที่ 2

$$B = \frac{Pd^2}{WUT}$$ ..... สมการที่ 2 [9]

เมื่อ B คือ The required attenuation of the barrier เป็นค่าการลดทอนรังสีของผนัง และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความหนาของผนังห้องในสมการที่ 3

P คือ Dose limit ที่กฎหมายกำหนด หน่วย μSv/week โดย P = 400 μSv/week [2,9] เมื่อบริเวณที่พิจารณาเป็นพื้นที่ปฏิบัติงานทางรังสี และ P = 20 μSv/week [2,9] เมื่อบริเวณที่พิจารณาเป็นพื้นที่สาธารณะ

d คือ ระยะห่างจากจุดที่ฉายรังสีถึงจุดที่ต้องการทราบปริมาณรังสีหรือจุดที่พิจารณา หน่วยเป็น เมตร

W คือ อัตราการรักษาผู้ป่วย หน่วย μGy.m^2 ใน 1 สัปดาห์

U คือ สัดส่วนการรับรังสีของผนังแต่ละด้าน

T คือ สัดส่วนการใช้งานพื้นที่โดยรอบห้องใส่แร่

คำนวณความหนาของผนังห้องแต่ละด้านที่ใช้กำบังรังสี ได้จากสมการที่ 3

$$No.\,of\ TVL = \log_{10}(\frac{1}{B})$$ ..... สมการที่ 3 [9]

เมื่อ TVL คือ Tenth Value Layer ของผนังที่ใช้กำบังรังสี ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุกัมมันตรังสี ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้กำบังรังสี โดยค่า TVL ของ Ir-192 สำหรับวัสดุที่ใช้กำบังรังสีชนิดคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 2.35 g/cm^3 มีค่า 15.2 เซนติเมตร [9] ทั้งนี้สามารถอ้างอิงค่า TVL ได้จาก IAEA safety series No.47 หรือ คู่มือความปลอดภัยทางรังสีการใช้งานเครื่องรังสีรักษาระยะใกล้ทางการแพทย์

B คือ The required attenuation of the barrier เป็นค่าการลดทอนรังสีของผนัง

จากสมการที่ 3 จะทำให้ทราบความหนาของผนังที่สามารถกำบังรังสีให้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดได้ ทั้งนี้ ยังมีบริเวณที่จะต้องประเมินความปลอดภัยเพิ่มเติม เช่น บริเวณหน้าประตูห้องฉาย ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ IAEA safety series No.47 ในส่วนของการใช้ประโยชน์เครื่องรังสีรักษาระยะไกล (Teletherapy) อุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาทางอุตสาหกรรม (Industrial gamma radiography devices) เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น (Linear accelerator) เครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม (X-ray industrial radiography machine) จะใช้หลักการประเมินลักษณะเดียวกันสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ IAEA safety series No.47 และ NCRP REPORT No. 151 ทั้งนี้ หากมีวิธีการประเมินความปลอดภัยทางรังสีด้วยวิธีการอื่นที่มีมาตรฐานอ้างอิงสามารถยื่นประกอบคำขอรับใบอนุญาตได้เช่นกัน

การคำนวณเพื่อประเมินความปลอดภัยของห้องฉายรังสีกรณีขออนุญาตครั้งแรก เป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีเป็นผู้จัดทำ แต่หากมีการจัดทำเอกสารการประเมินความปลอดภัยทางรังสีโดยบุคคลอื่น เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีจะต้องรับรองความถูกต้องของเอกสาร เพื่อใช้ประกอบคำขอรับใบอนุญาตมีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสี ต่อไป

<u>กรณีที่ 2 การประเมินความปลอดภัยทางรังสีจากการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี</u>

เมื่อพิจารณาออกใบอนุญาตแล้ว ผู้ประกอบการจะใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีในการรักษาผู้ป่วยตามที่ได้รับอนุญาต และจะต้องมีการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีอยู่เป็นประจำตามระยะเวลาที่เหมาะสม ในกรณีที่พบความผิดปกติ เช่น อัตราปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงกว่าปกติที่วัดได้ก่อนหน้านี้อย่างมีนัยสำคัญ จะต้องประเมินความปลอดภัยทางรังสีว่าอัตราปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากสาเหตุใดและเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดหรือไม่ และดำเนินการแก้ไขให้เหตุการณ์ให้อยู่ในสภาวะปกติต่อไป โดยวิธีการประเมินใช้สมการ ดังนี้

Dose = Workload x Dose rate x Occupancy factor x Use factor ..... สมการที่ 4 [11]

โดยที่ Dose หมายถึง ปริมาณรังสีที่อาจได้รับสูงสุด ในหน่วย μSv/y หรือ μSv/week

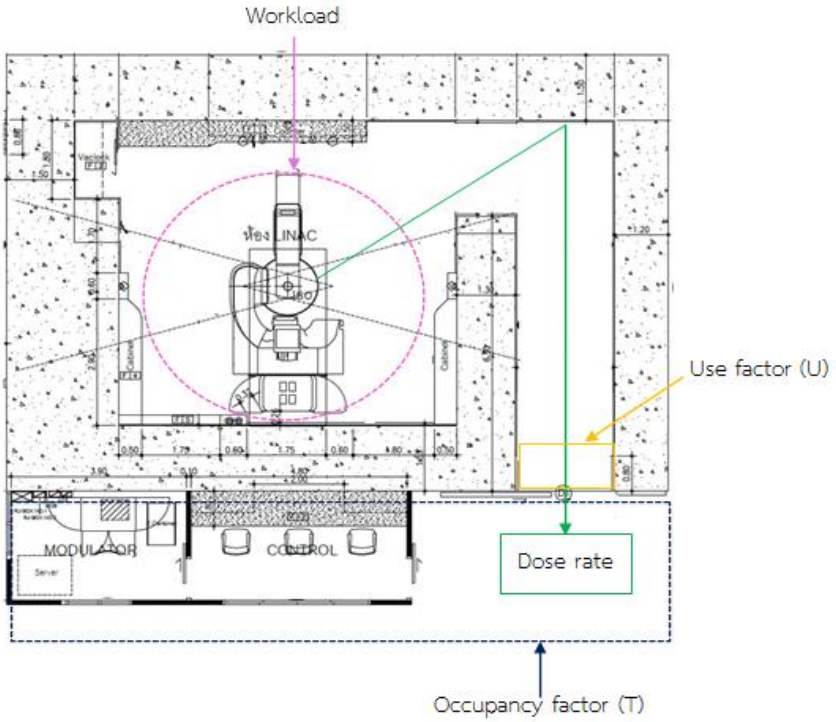
Workload หมายถึง อัตราการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสี (Beam-on time) ในหน่วย hours/year หรือ hours/week

Dose rate หมายถึง อัตราปริมาณรังสีสูงสุดที่วัดได้ขณะฉายรังสีในหน่วย μSv/hr

Occupancy factor (T) หมายถึง ค่าสัดส่วนการใช้พื้นที่หรืออยู่ในบริเวณนั้นๆ

Use factor (U) หมายถึง ค่าสัดส่วนการรับรังสีของผนังหรือทิศทางการฉายรังสี

ค่าตัวแปร U และ T อ้างอิงตาม NCRP REPORT No. 151



รูปภาพแสดงลักษณะของค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

<u>ตัวอย่างการคำนวณปริมาณรังสีที่หน้าประตูห้องฉาย</u>

ตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีที่หน้าประตูห้องฉายมีค่า 20 μSv/hr มีการฉายรังสีผู้ป่วยจำนวน 70 คน ต่อวัน ใช้ปริมาณรังสีในการฉายผู้ป่วยแต่ละราย 2 Gy ปฏิบัติงาน 5 วันต่อสัปดาห์ โดยใช้ Dose rate 6 Gy/min

<u>วิธีการคำนวณ</u>

หาค่า Workload ซึ่งเป็นค่าระยะเวลาที่ฉายรังสีใน 1 สัปดาห์ ได้ดังนี้

$$2\ \frac{\mathbf{Gy}}{\mathbf{case}} \times 70\ \frac{\mathbf{case}}{\mathbf{day}} \times 5\ \frac{\mathbf{day}}{\mathbf{week}} = 700\ \frac{\mathbf{Gy}}{\mathbf{week}}$$

ดังนั้น Workload $= \frac{\mathbf{700\ Gy/week}}{\mathbf{6\ Gy/min}} = \mathbf{1.94\ hr/week}$

Dose rate = 20 μSv/hr

Occupancy factor (T) = 1/8 (ประตูห้องฉายรังสี)

Use factor (U) = 1 (secondary beam)

จากสมการที่ 4 แทนค่าตัวแปรในสมการ

Dose = 1.94 hr/week x 20 μSv/hr x 1/8 x 1

= 4.85 μSv/week

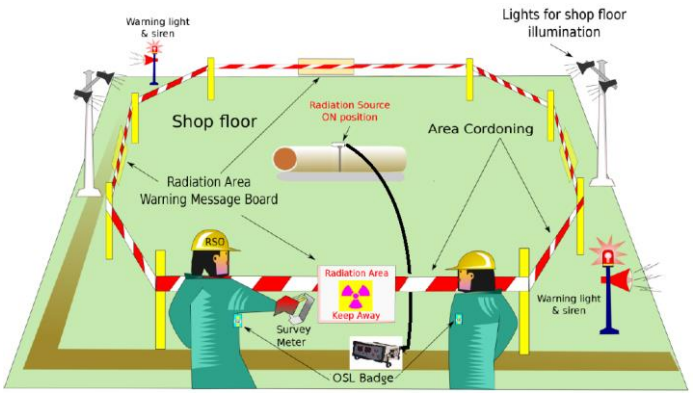
จากการคำนวณได้ค่าปริมาณรังสีเท่ากับ 4.85 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ เมื่อนำไปเทียบกับขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี คือ ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 400 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ และ ประชาชนทั่วไปต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ พบว่าไม่เกินขีดจำกัดปริมาณรังสีทั้งของผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไป ทั้งนี้ ในการกำหนดขีดจำกัดปริมาณรังสีบริเวณหน้าประตูห้องฉายขึ้นอยู่กับการออกแบบและการจัดแบ่งพื้นที่ของผู้ประกอบการ

การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีและประเมินความปลอดภัยบริเวณโดยรอบห้องฉายรังสีเป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีต้องดำเนินการ แต่หากมีการมอบหมายให้บุคคลอื่นเป็นผู้ตรวจวัด เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีจะต้องรับรองความถูกต้องของบันทึกการตรวจวัดนั้นด้วย

<u>กรณีที่ 3 การนำวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีไปใช้งานภาคสนาม</u>

การนำไปใช้งานภาคสนาม หมายความว่า การนำวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสี ไปใช้งานสถานที่อื่นที่ไม่ได้ระบุไว้ในใบอนุญาต โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นประเภทที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เช่น อุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาทางอุตสาหกรรม (Industrial gamma radiography) เครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม (X-ray industrial radiography machine) การใช้ประโยชน์ลักษณะนี้จะมีทั้งปฏิบัติงานอยู่ภายในห้องฉายและออกไปปฏิบัติงานภาคสนาม ซึ่งการใช้งานภาคสนามจะต้องมีการประเมินความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเช่นกันกับที่ใช้งานในห้องฉาย จะยกตัวอย่างการประเมินความปลอดภัยการใช้งานภาคสนามดังนี้

<u>ตัวอย่างการประเมินความปลอดภัยในการปฏิบัติงานภาคสนามของเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม (X-ray industrial radiography machine)</u>



รูปแสดงลักษณะการทำงานถ่ายภาพรังสีภาคสนาม

ที่มา https://www.aerb.gov.in/images/PDF/revised23Jul_IR-open-field-radiography-posterfinal.pdf

การประเมินความปลอดภัยในการปฏิบัติงานภาคสนามสามารถใช้หลัก As Low As Reasonably Achievable (ALARA) ได้ โดยในการปฏิบัติงานภาคสนามจะต้องทำการกั้นบริเวณเพื่อไม่ให้ได้รับปริมาณรังสีเกินเกณฑ์ที่กำหนด คือ สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 400 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ [2,4] และ สำหรับประชาชนทั่วไปต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ [2,4] และขอบเขตที่กั้นบริเวณรังสีต้องมีระดับรังสีไม่เกิน 25 ไมโครซีเวิร์ตต่อชั่วโมง [6] ซึ่งมีสมการที่เกี่ยวข้องกับการกั้นขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติงานภาคสนาม ดังนี้

$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$$ ..... สมการที่ 5 [10]

เมื่อ I_1 คือ อัตราปริมาณรังสีที่ระยะ d_1 หน่วย μSv/h

d_1 คือ ระยะที่มีค่าระดับรังสีเท่ากับ I_1 หน่วย เมตร

I_2 คือ อัตราปริมาณรังสีที่ระยะ d_2 หน่วย μSv/h

d_2 คือ ระยะที่มีค่าระดับรังสีเท่ากับ I_2 หน่วย เมตร

และยังสามารถเพิ่มมาตรการด้านความปลอดภัยโดยการใช้วัสดุกำบังรังสีโดยใช้สมการ ดังนี้

อัตราปริมาณรังสีเมื่อมีการใช้วัสดุกำบังรังสี $I = I_0 e^{-\mu x}$ ..... สมการที่ 6 [10]

เมื่อ I คือ อัตราปริมาณรังสีที่ระยะปลอดภัย หน่วย μSv/h

I_0 คือ อัตราปริมาณรังสีตั้งต้น หน่วย μSv/h

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของวัตถุ (Linear attenuation coefficient)

โดย $\mu = \frac{\ln 2}{HVL}$ หน่วย ต่อเซนติเมตร หรือ ต่อเมตร

x คือ ความหนาของวัสดุกำบังรังสี หน่วย เซนติเมตร หรือ เมตร

เขียนให้อยู่ในรูปสมการที่ง่ายขึ้น คือ $\frac{I_0}{I} = 2^{n_{HVL}}$ ..... สมการที่ 7 [10]

ตัวอย่างการคำนวณหาระยะกั้นขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติงานภาคสนามและความหนาของวัสดุกำบังรังสี

(1) ตัวอย่างการคำนวณระยะการกั้นขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติงาน

ในการปฏิบัติงานฉายรังสีภาคสนามโดยเครื่องเอกซเรย์ทำงานที่กำลังสูงสุด 250 kV ต้องกั้นพื้นที่ปฏิบัติงานที่ระยะเท่าใด เพื่อลดทอนอัตราปริมาณรังสีจาก 2.56 mSv/h วัดที่ระยะ 1 เมตร ให้เหลืออัตราปริมาณรังสี 25 μSv/h ตามที่กำหนดในกฎหมาย

วิธีการคำนวณ จากสมการที่ 1 $I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$

แทนค่า $2560 \times 1^2 = 25 \times d_2^2$

d_2 = ประมาณ 10 เมตร

ดังนั้นในการปฏิบัติงานภาคสนามจะทำการกั้นขอบเขตปฏิบัติงานที่ระยะห่างจากเครื่องเอกซเรย์ 10 เมตร เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีไม่เกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด แต่อย่างไรก็ตามควรจะใช้หลักการของ ALARA ในการปฏิบัติงาน โดยผู้ปฏิบัติงานควรได้รับรังสีให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

(2) ตัวอย่างการคำนวณความหนาของวัสดุกำบังรังสี

จากตัวอย่างข้างต้นในกรณีปฏิบัติงานในพื้นที่คับแคบอาจจะไม่สามารถกั้นบริเวณที่ระยะห่าง 10 เมตรได้ จะใช้ตะกั่วที่มีความหนาเท่าใด เพื่อลดทอนระดับรังสีให้อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

วิธีการคำนวณ จากสมการที่ 7 $\frac{I_0}{I} = 2^{n_{HVL}}$

แทนค่า $\frac{2560}{25} = 2^{n_{HVL}}$

$\ln\left(\frac{2560}{25}\right) = \ln(2^{n_{HVL}})$

n_{HVL} = 6.68 ~ 7

จากการคำนวณจะได้ค่า n_{HVL} = 7 และ ค่า HVL ของตะกั่ว เท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร ดังนั้น ความหนาของตะกั่วที่ใช้สำหรับการปฏิบัติงานกับเครื่องกำเนิดรังสีกำลังสูงสุด 250 kV คือ 7 x 0.9 = 6.3 มิลลิเมตร จึงจะสามารถระดับรังสีให้เหลือ 25 μSv/h ตามที่กำหนดได้

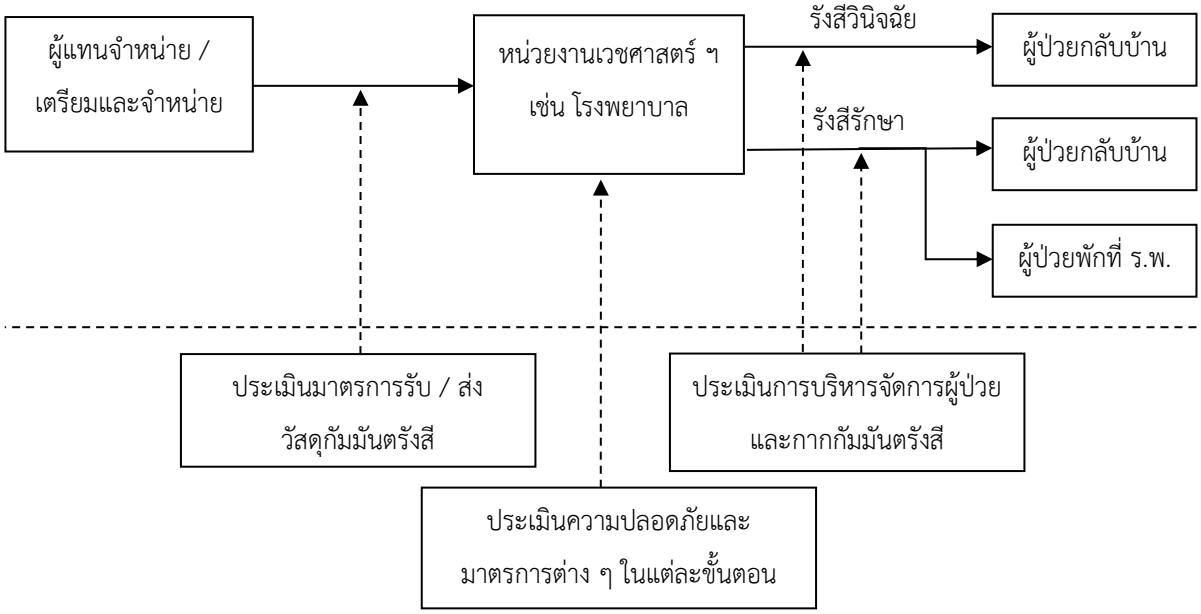
<u>หมายเหตุ</u> ในการปฏิบัติงานสามารถกั้นขอบเขตปฏิบัติงานที่อัตราปริมาณรังสีต่ำกว่า 25 ไมโครซีเวิร์ตต่อชั่วโมงได้ เช่น กั้นขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติงานที่อัตราปริมาณรังสี 10 ไมโครซีเวิร์ตต่อชั่วโมง หรือน้อยกว่าก็ได้เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีน้อยที่สุด แต่ในกรณีที่กั้นขอบเขตปฏิบัติงานที่อัตราปริมาณรังสี 25 ไมโครซีเวิร์ตต่อชั่วโมง จะต้องประเมินว่าจะปฏิบัติงานในพื้นที่ขอบเขตที่กั้นได้กี่ชั่วโมงต่อวัน โดยนำมาคิดเทียบกับขีดจำกัดปริมาณรังสีตามที่กฎหมายกำหนดตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีจะต้องประเมินความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานภาคสนาม และพิจารณาความถูกต้องของแผนการนำวัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีไปใช้งานภาคสนามด้วย

3.2 การประเมินความปลอดภัยทางรังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

<u>ลักษณะการดำเนินงานของหน่วยงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์</u>

ลักษณะการดำเนินงานของหน่วยงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ แสดงตามแผนภาพด้านล่างนี้



งานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ รังสีวินิจฉัย และ รังสีรักษา โดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุกัมมันตรังสีที่นำมาใช้จะเป็นชนิดไม่ปิดผนึก (unsealed source) ซึ่งสั่งซื้อจากผู้แทนจำหน่ายหรือหน่วยงานที่ผลิตวัสดุกัมมันตรังสีภายในประเทศ ดังนั้น ในการประเมินความปลอดภัยจะต้องพิจารณาทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง เช่น ขั้นตอนการรับ-ส่งวัสดุกัมมันตรังสีหรือสารเภสัชรังสีระหว่างผู้แทนจำหน่ายหรือผู้ผลิตกับโรงพยาบาล ความปลอดภัยของสถานที่จัดเก็บและใช้งาน มาตรการบริหารผู้ป่วย มาตรการจัดการกากกัมมันตรังสี เพื่อให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นในขั้นตอนการปฏิบัติงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ และใช้ในการประเมินความปลอดภัยทางรังสี จะกล่าวโดยสังเขป ดังนี้

การเตรียมวัสดุกัมมันตรังสีหรือสารเภสัชรังสี ปกติแล้ววัสดุกัมมันตรังสีที่จะนำมารักษาผู้ป่วยจะต้องเตรียมให้เป็นสารเภสัชรังสีก่อนโดยการนำวัสดุกัมมันตรังสี[1] มารวมกับสารประกอบทางยา (pharmaceutical) ที่มีคุณสมบัติการกระจายตัวอยู่เฉพาะเนื้อเยื่อที่ต้องการตรวจสอบ กระบวนการนี้เรียกว่าการติดฉลาก (label) ยกเว้นวัสดุฯ บางประเภทที่สามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้ไม่ต้องนำมาติดฉลากกับสารประกอบ เช่น ไอโอดีน (I-123 และ I-131) ก๊าซซีนอน (Xe-133) และคริปตอน (Kr-81m) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ประกอบการจะสั่งซื้อโดยให้ผู้แทนจำหน่ายเตรียมเป็นสารเภสัชรังสีพร้อมใช้ได้เลย การเตรียมสารเภสัชรังสีจะดำเนินการในห้องปฏิบัติการทางรังสี (Hot Lab) ซึ่งต้องมีเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อช่วยปฏิบัติงานได้อย่างสะดวก มีความปลอดภัยทางรังสี เช่น ตู้ดูดควัน (Fume hood) ฉากตะกั่ว คีม (tongs) ปากคีบ (forceps) กระบอกฉีดยาพร้อมวัสดุกำบังรังสี (Syringe shield) ภาชนะบรรจุวัสดุกัมมันตรังสีหรือที่เก็บวัสดุกัมมันตรังสีที่มีการกำบังรังสีอย่างเหมาะสม อุปกรณ์สวมใส่เพื่อป้องกันการเปรอะเปื้อน เช่น เสื้อคลุม ถุงมือ ถุงคลุมรองเท้าหรือรองเท้าสำหรับใส่ปฏิบัติงาน ถังเก็บกาก ฯ เป็นต้น

การบริหารวัสดุกัมมันตรังสีหรือสารเภสัชรังสีแก่ผู้ป่วย โดยการฉีดหรือกลืนกินวัสดุกัมมันตรังสีหรือสารเภสัชรังสีเข้าในตัวผู้ป่วย ซึ่งต้องจะดำเนินการในพื้นที่ควบคุมเพื่อหลีกเลี่ยงการได้รับรังสีโดยไม่จำเป็นของบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้อง ในพื้นที่บริเวณปฏิบัติงานจะมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น โต๊ะฉีดยา หมอนรองฉีดยา ฉากตะกั่ว คีม ปากคีบ กระบอกฉีดยาพร้อมวัสดุกำบังรังสี ซึ่งมีโอกาสเกิดการเปรอะเปื้อนทางรังสีในระหว่างปฏิบัติงาน

กรณีบริหารสารเภสัชรังสีเพื่อวินิจฉัย หลังจากผู้ป่วยได้รับสารเภสัชรังสี จะต้องทิ้งระยะเวลาให้สารเภสัชรังสีกระจายตัวก่อนทำการตรวจวินิจฉัย ซึ่งระยะเวลาขึ้นอยู่กับกลไกการจับสารเภสัชรังสีของแต่ละอวัยวะที่ต้องการตรวจ เช่น ผู้ป่วยต้องรอ 2-3 ชั่วโมงขึ้นไปในการสแกนกระดูกเพื่อให้ได้ภาพกระดูกที่ชัดเจน ดังนั้นในระหว่างรอสแกนผู้ป่วยจะต้องพักอยู่ที่ห้องพักหรือบริเวณที่จัดเตรียมไว้ซึ่งเป็นพื้นที่ควบคุมที่จัดไว้เฉพาะ หลังจากนั้นผู้ป่วยสามารถกลับบ้านได้

กรณีบริหารสารเภสัชรังสีเพื่อรักษา มี 2 รูปแบบ คือ (1) การรักษาแบบผู้ป่วยสามารถกลับบ้านได้ เป็นการบริหารวัสดุกัมมันตรังสีหรือสารเภสัชรังสีปริมาณไม่สูงแก่ผู้ป่วย เช่น บริหาร I-131 30 mCi แก่ผู้ป่วยไทรอยด์เป็นพิษ (2) การรักษาแบบผู้ป่วยจะต้องพักค้างที่โรงพยาบาล เป็นการบริหารวัสดุกัมมันตรังสีหรือสารเภสัชรังสีปริมาณสูงแก่ผู้ป่วย เช่น บริหาร I-131 150 mCi แก่ผู้ป่วยมะเร็งไทรอยด์ ผู้ป่วยจะยังไม่สามารถกลับบ้านได้เนื่องจากจะทำให้ญาติหรือประชาชนทั่วไปได้รับรังสีด้วย จะต้องพักค้างในโรงพยาบาลจนกว่าระดับรังสีจะอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยจึงจะอนุญาตให้กลับบ้านได้ โดยห้องพักผู้ป่วยจะต้องเป็นห้องที่ออกแบบเฉพาะและมีความปลอดภัยทางรังสี ขยะรังสีที่เกิดจากผู้ป่วยและกากกัมมันตรังสีของเหลวที่จะปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

การบริหารจัดการผู้ป่วยก่อนกลับบ้าน ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาหรือวินิจฉัย โรงพยาบาลจะต้องมีมาตรการด้านความปลอดภัยอย่างเหมาะสมก่อนอนุญาตให้ผู้ป่วยกลับบ้าน เพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องได้รับรังสีโดยไม่จำเป็น เช่น ในกรณีที่ผู้ป่วยเข้ารับการรักษาและพักค้างที่โรงพยาบาล ผู้ป่วยแต่ละรายจะได้รับปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาไม่เท่ากัน เช่น ผู้ป่วยที่รับการรักษาโดยใช้วัสดุกัมมันตรังสี I-131 บางรายได้รับปริมาณรังสีในการรักษา 100 mCi บางรายได้รับปริมาณรังสี 150 mCi ขึ้นกับการวินิจฉัยของแพทย์ ดังนั้น อัตราปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาจากตัวผู้ป่วยแต่ละรายจึงไม่เท่ากัน ในช่วงการรักษา 1-3 วันแรกปริมาณวัสดุกัมมันตรังสีในตัวผู้ป่วยและอัตราปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาจากตัวผู้ป่วยยังมีปริมาณสูง และจะลดลงตามการสลายตัวของวัสดุกัมมันตรังสีและจากการขับของเสียออกจากตัวผู้ป่วยโดยร้อยละ 80 ของวัสดุกัมมันตรังสีจะถูกขับออกทางปัสสาวะใน 8 ชั่วโมงแรก แต่เมื่อจะอนุญาตให้ผู้ป่วยกลับบ้านอัตราปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาจากตัวผู้ป่วยที่ระยะ 1 เมตร ไม่ควรเกิน 50 uSv/h [12,13] โดยค่าดังกล่าวได้แนะนำไว้ในเอกสาร IAEA basic safety standards 115 รวมทั้งข้อมูลสนับสนุนจาก U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) ว่าการอนุญาตให้ผู้ป่วยกลับบ้านโดยมีอัตราการแผ่รังสีจากตัวผู้ป่วยไม่เกิน 50 uSv/hr ไม่ทำให้ผู้ดูแลผู้ป่วย บุคคลในครอบครัวหรือผู้เกี่ยวข้องได้รับปริมาณรังสีเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด เนื่องจากได้ทำการศึกษาจากปัจจัยที่มีผลต่อการได้รับรังสีของผู้ที่เกี่ยวข้องกับผู้ป่วยด้วยแล้ว เช่น การอยู่ร่วมกันในบ้านของผู้ป่วยกับครอบครัวไม่ได้อยู่ด้วยกันตลอดเวลา การแผ่รังสีจากตัวผู้ป่วยไม่ได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเดียวกันตลอดเวลา 24 ชั่วโมง รวมกับข้อแนะนำในการปฏิบัติตัวของผู้ป่วย เช่น ในการเดินทางกลับบ้านควรใช้พาหนะส่วนตัว ไม่ควรเดินทางโดยระบบขนส่งมวลชนนานกว่า 2 ชั่วโมง พยายามรักษาระยะห่างจากผู้อื่น 1 เมตร แยกเตียงนอนหรือแยกห้องนอน ดื่มน้ำมากๆ ไม่รับประทานอาหารร่วมกับผู้อื่น แยกอุปกรณ์เครื่องใช้จากผู้อื่น เป็นต้น

ดังนั้น ในการประเมินความปลอดภัยจะต้องพิจารณาให้ครบถ้วนครอบคลุมทุกขั้นตอนกระบวนการรักษา เพื่อให้เกิดความปลอดภัยทั้งต่อผู้ปฏิบัติงาน ประชาชนทั่วไป และสิ่งแวดล้อม

วัสดุกัมมันตรังสีที่ใช้ในงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ วัสดุกัมมันตรังสีที่ใช้ในการวินิจฉัยโรค เช่น Tc-99m I-131 Tl-201 Ga-67 In-111 Xe-133 F-18 เป็นต้น วัสดุกัมมันตรังสีที่ใช้ในการรักษาโรค เช่น I-131 Re-188 Y-90 Ra-223 Lu-177 Ac-225 หรือใช้เพื่อบรรเทาอาการเจ็บปวดจากการแพร่กระจายของมะเร็งมาที่กระดูก เช่น Sr-89 Sm-153 Re-186 เป็นต้น

<u>แนวทางการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์</u>

<u>ส่วนที่ 1 การบริหารจัดการเอกสารการบันทึกผลด้านความปลอดภัย</u>

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีจะต้องตรวจสอบเอกสารที่บันทึกผลด้านความปลอดภัยทางรังสีให้มีความถูกต้อง เพื่อรอรับการตรวจสอบจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ รายการเอกสารที่ควรทำการบันทึกผลด้านความปลอดภัยทางรังสี มีรายการดังนี้ ทั้งนี้ สามารถเพิ่มเติมได้ตามความเหมาะสมตามลักษณะการปฏิบัติงาน

- การรับส่งวัสดุกัมมันตรังสี (ความถูกต้องใบอนุญาตผู้ส่ง/ผู้รับ ปริมาณการสั่งซื้อสอดคล้องตามใบอนุญาตครอบครองและใบอนุญาตนำเข้าหรือไม่/ตู้รับส่งวัสดุฯ /มาตรการรับส่งวัสดุฯ)
- การใช้งานวัสดุกัมมันตรังสี (ปริมาณการใช้สอดคล้องตามใบอนุญาตครอบครองหรือไม่)
- บันทึกการตรวจวัดระดับรังสีในพื้นที่ควบคุมและพื้นที่ตรวจตรา (ระดับรังสีพื้นที่ปฏิบัติงานเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดในกฎหมาย)
- บันทึกการตรวจวัดการปนเปื้อนทางรังสีในพื้นที่ควบคุมและพื้นที่ตรวจตรา (การปนเปื้อนทางรังสีพื้นที่ปฏิบัติงานเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดในกฎหมาย)
- บันทึกรายงานผลการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงาน (ผล OSL เทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดในกฎหมาย/มีผู้ได้รับรังสีสูงหรือไม่)
- บันทึกรายงานการเกิดอุบัติการณ์/อุบัติเหตุทางรังสี (วัสดุฯ หก/แตก/ฟุ้งกระจาย)
- บันทึกการจัดการกากกัมมันตรังสีที่เกิดจากการปฏิบัติงาน (วิธีการ ขั้นตอน การจัดการกาก ฯ)
- บันทึกการตรวจวัดและปล่อยทิ้งกากกัมมันตรังสีของเหลว ที่เกิดจากผู้ป่วยที่รับการรักษาด้วยวัสดุกัมมันตรังสี
- บันทึกการบริหารจัดการผู้ป่วย (การให้ทำความเข้าใจขั้นตอนวิธีการบริหารสารเภสัชรังสีกับผู้ป่วยก่อนดำเนินการจริง การวัดระดับรังสีก่อนให้ผู้ป่วยกลับบ้าน บัตร/แผ่นพับหรือข้อแนะนำการปฏิบัติตัว)
- บันทึกการสอบเทียบ/การบำรุงรักษาอุปกรณ์และเครื่องมือ (เครื่องสำรวจรังสี อุปกรณ์อื่น ๆ)

<u>ส่วนที่ 2 การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีในพื้นที่ปฏิบัติงาน</u>

ทำการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี/การปนเปื้อนทางรังสีบริเวณ ห้องปฏิบัติการทางรังสี ห้องบริหารสารเภสัชรังสี/ห้องฉีดยา ห้องสแกนเพื่อวินิจฉัยโรค ห้องพักผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยรังสี ห้องเก็บกากกัมมันตรังสี ดังนี้

(1) ตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี (ระดับรังสีพื้นหลัง ..... uSv/h)

- ห้องปฏิบัติการทางรังสี

- บริเวณโดยรอบห้องปฏิบัติการ/ผนังห้อง/หน้าประตูห้อง
- สถานที่จัดเก็บ/ตู้จัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสี
- หน้าตู้เตรียมสารเภสัชรังสี
- บริเวณภายในห้อง/ โต๊ะเตรียม
- ถังเก็บกากกัมมันตรังสีภายในห้องปฏิบัติการทางรังสี
- ความเร็วของลมหน้าตู้ดูดควัน

➢ ห้องบริหารสารเภสัชรังสี/ห้องฉีดยา

- พื้นที่ใกล้เคียง บริเวณที่เป็นสาธารณะ

➢ ห้องหรือบริเวณที่ผู้ป่วยหลังบริหารสารเภสัชรังสีรอรับการตรวจหรือสแกน

- พื้นที่ใกล้เคียงห้องพักหรือบริเวณที่ผู้ป่วยรอทำการตรวจวินิจฉัย เช่น บริเวณที่นั่งญาติผู้ป่วย หรือ บริเวณที่เป็นสาธารณะ หรือ พื้นที่โดยรอบห้องพัก

➢ ห้องที่ผู้ป่วยรับการตรวจโดยเครื่องมือทางเวชศาสตร์ เช่น ห้องSPECT/CT ห้อง PET/CT

- พื้นที่ใกล้เคียง บริเวณที่เป็นสาธารณะ หรือ พื้นที่โดยรอบห้อง

➢ ห้องพักผู้ป่วยที่รับการรักษาด้วย I-131 และพักค้างในโรงพยาบาล

- หน้าประตูห้อง (มี / ไม่มี ผู้ป่วย)
- บริเวณโดยรอบห้อง
- บริเวณที่อาจมีผลกระทบต่อประชาชนทั่วไป
- ข้างในห้องผู้ป่วย/บริเวณที่พยาบาลหรือเจ้าหน้าที่เข้าไปปฏิบัติงาน/ที่เก็บวัสดุฯที่เปรอะเปื้อนรังสี

➢ ห้องเก็บกากกัมมันตรังสี

- หน้าประตูห้อง
- บริเวณที่เก็บกากฯ
- บริเวณที่อาจมีผลกระทบต่อประชาชนทั่วไป

➢ บริเวณบ่อหรือถังพักกากกัมมันตรังสีของเหลว ที่เกิดจากผู้ป่วยที่รับการรักษาด้วย I-131 และพักค้างในโรงพยาบาล

- บริเวณโดยรอบบ่อหรือถังพักกากกัมมันตรังสี
- สังเกต การรั่วซึม/ชำรุด ของบ่อพัก

(2) ตรวจวัดการปนเปื้อนทางรังสี (ปริมาณรังสีพื้นหลัง ..... cpm)

➢ ห้องปฏิบัติการทางรังสี

- รองเท้า/หน้าประตูทางเข้า/ลูกบิดประตู

- ตู้ดูดควัน/โต๊ะเตรียมสาร/พื้นบริเวณปฏิบัติงาน/พื้นห้องโดยทั่วไป

➢ ห้องบริหารสารเภสัชรังสี/ห้องฉีดยา

- โต๊ะฉีดยาและพื้น/อุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น หมอนรองฉีดยา

➢ ห้องเก็บกากกัมมันตรังสี

- หน้าประตูทางเข้า/ลูกบิดประตู/พื้นห้องโดยทั่วไป

➢ ห้องพักผู้ป่วยที่รับการรักษาด้วย I-131 และพักค้างในโรงพยาบาล

- พื้นหน้าประตูทางเข้า/ลูกบิดประตู
- พรมปูพื้น/ห้องน้ำ/บริเวณใช้จัดเก็บ ชุดผู้ป่วย ผ้าปูที่นอน ปลอกหมอน

(3) ความมั่นคงปลอดภัยทางรังสีของสถานที่จัดเก็บ/ตู้จัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสี

- การล็อกตู้เก็บ การเบิกจ่ายกุญแจ การเบิกจ่ายวัสดุกัมมันตรังสีไปใช้งาน โดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุกัมมันตรังสีที่นำมาใช้จะเป็นชนิดไม่ปิดผนึก (unsealed source) เป็นวัสดุกัมมันตรังสีประเภทที่ 3 หรือ 4 และจะมีวัสดุกัมมันตรังสีชนิดปิดผนึก (Sealed Source) ที่นำมาใช้เป็นวัสดุฯ มาตรฐานใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือทางรังสี ส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุฯ ประเภทที่ 5

(4) การขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีภายในหน่วยงาน

- มีภาชนะขนย้ายวัสดุกัมมันตรังสีไปใช้งานที่สามารถลดทอนรังสีได้
- สัญลักษณ์ทางรังสีที่ภาชนะ
- มีแผนในการขนส่งวัสดุกัมมันตรังสีในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉินทางรังสี

ประเมินความปลอดภัยทางรังสีจากการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี

ตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีบริเวณต่างๆ ที่ต้องปฏิบัติงาน แล้วประเมินว่าสามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัยหรือไม่และสามารถปฏิบัติงานได้เป็นเวลาเท่าใด ณ จุดที่ทำการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี โดยประเมินดังนี้

สมการที่ใช้ในการประเมินความปลอดภัยคือ $D = R \times T$ ..... สมการที่ 8 [10]

D หมายถึง อัตราการรับรังสีสูงสุดที่ให้ทำงานได้ตามที่กฎหมายกำหนด โดยขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี คือ 20 mSv/y หรือ 400 μSv/week หรือ 80 μSv/day หรือ 10 μSv/hr

R หมายถึง อัตราปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ณ จุดที่ต้องการประเมินความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

T หมายถึง เวลาที่อนุญาตให้ทำงานได้

ประเมินความปลอดภัยทางรังสีจากการตรวจวัดการปนเปื้อนทางรังสี

ตรวจวัดการปนเปื้อนทางรังสีบริเวณต่างๆ ที่ต้องปฏิบัติงาน โดยใช้เกณฑ์ขีดจำกัดการปนเปื้อนทางรังสี คือ

ชนิดของรังสี	ขีดจำกัดการปนเปื้อนทางรังสี (2)	
	พื้นที่ควบคุม	พื้นที่ตรวจตรา
รังสีบีตา รังสีแกมมา และรังสีแอลฟาที่มีความเป็นพิษต่ำ	4 Bq/cm^2	0.4 Bq/cm^2
รังสีแอลฟาอื่น ๆ	0.4 Bq/cm^2	0.04 Bq/cm^2

ในทางปฏิบัติเมื่อตรวจวัดได้ค่าตั้งแต่ 3 – 5 เท่าของปริมาณรังสีพื้นหลัง (background) ถือว่ามีการปนเปื้อนทางรังสี

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีจะต้องประเมินความปลอดภัยของขั้นตอนการรักษาผู้ป่วยและจัดทำแนวทางการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

<u>หมายเหตุ</u> รายละเอียดและเทคนิคในการตรวจสอบการปนเปื้อนทางรังสี สามารถศึกษาได้จากเอกสารเรื่องการตรวจวัดการปนเปื้อนและการชำระล้างการปนเปื้อนทางรังสี

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

1. พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559
2. กฎกระทรวงความปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2561
3. กฎกระทรวงการอนุญาตเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดรังสี พ.ศ. 2564
4. กฎกระทรวงศักยภาพทางเทคนิคของผู้ขอรับใบอนุญาตเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดรังสี พ.ศ. 2564
5. ระเบียบคณะกรรมการพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ ว่าด้วยความรับผิดชอบและสมรรถนะของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2564
6. ระเบียบคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ว่าด้วย วิธีการในการติดตั้งเครื่องกำเนิดรังสี พ.ศ. 2554
7. ร่างกฎกระทรวง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการขอรับใบอนุญาตเกี่ยวกับวัสดุกัมมันตรังสี พ.ศ. ....
8. National Council on Radiation Protection & Measurements NCRP No.151 Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities.
9. International Atomic Energy Agency IAEA Safety Reports Series No. 47 Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities.
10. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2

11. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ คู่มือปฏิบัติงานการตรวจสอบสถานประกอบการทางรังสีที่ใช้เครื่องกำเนิดรังสีประเภทที่ 1 ในงานรังสีรักษา
12. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ คู่มือความปลอดภัยทางรังสีสำหรับงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์
13. Radiation Safety Management in Nuclear Medicine สมาคมเวชศาสตร์นิวเคลียร์แห่งประเทศไทย พ.ศ. 2549