บทที่ 5

การป้องกันอันตรายจากกัมมันตรังสี

5.1 บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าไอโซโทปรังสีสูญเสียพลังงานในรูปของกัมมันตรังสีหรืออนุภาค สิ่งที่น่าสนใจคืออะไรจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานดังกล่าวถูกปล่อยให้แก่สารอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อเยื่อของมนุษย์ ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาทั้งปริมาณพลังงานกัมมันตรังสีทั้งหมดที่ถูกดูดกลืนและอัตราโดส *(dose rate)* ซึ่งเป็นอัตราการดูดกลืนพลังงานกัมมันตรังสี ข้อแตกต่างของคำทั้งสองเปรียบได้กับจำนวนไมล์ทั้งหมดที่รถวิ่งได้กับความเร็วตามตัวเลขปรากฏบนหน้าปัทม์ คำแรกเป็นค่าสะสมและแสดงถึงระยะทางซึ่งรถวิ่งได้แต่คำหลังเป็นอัตราเร็วซึ่งรถวิ่งในช่วงเวลาน้อยๆ

กัมมันตรังสีที่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติมีหลายชนิด เช่น รังสีใต้แดง *(infrared)* และรังสีเหนือม่วง*(ultraviolet)* รวมทั้งแสงสว่างที่มองเห็น และพลังงานรังสีคอสมิค นอกจากนี้ยังมีกัมมันตรังสีแบ็คกราวนด์ตามธรรมชาติอันเกิดจากยูเรเนียม *(uranium)* ธอเรียม *(Thorium)* รวมทั้งผลิตผลนิวไคลด์รังสีลูกของรังสีทั้งสองและโปแตสเซียม -40 (^{40}K) ซึ่งมีปริมาณ 0.0118% ของโปแตสเซียมทั้งหมด

ในบทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมปริมาณกัมมันตรังสีที่มนุษย์สามารถรับได้โดยไม่เกิดอันตรายทั้งโดยการรับประทานและโดยการหายใจ ซึ่งเป็นค่าได้จาก *ICRP (International Commission on Radiological Protection)* หลักสำคัญที่ควรพิจารณาในการพัฒนานิวเคลียร์เทคโนโลยีคือความปลอดภัยจากกัมมันตรังสี และการขยายพลังงานนิวเคลียร์ไปใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์

5.2 หน่วยที่ใช้ในการป้องกันอันตรายจากกัมมันตรังสี

ในแง่ของชีวรังสี จำเป็นต้องบัญญัติหน่วยของกัมมันตรังสีขึ้นใหม่ โดยยึดหลักที่จะอธิบายหรือแทนปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีผลต่อเซลล์หรืออวัยวะหรือร่างกายมนุษย์เป็นสำคัญ จากข้อมูลเดิมที่มีอยู่คือ :

- อัตราการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (หน่วยเป็นคิวรีหรือเบคเคอเรล)
- ชนิดของกัมมันตภาพรังสี (เช่น แอลฟา เบต้า หรือแกมม่า เป็นต้น)
- พลังงานของการสลายตัวแต่ละครั้ง

ดังนั้น จึงสามารถเขียนปริมาณกัมมันตรังสีในรูปของฟลักซ์ *(flux)* N ต่อตารางเซ็นติเมตรต่อวินาที $(Ncm^{-2}S^{-1})$ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ถ้า e เป็นพลังงานกัมมันตรังสีที่ปล่อยต่อระยะทางเคลื่อนที่หนึ่งเซ็นติเมตร อัตราของพลังงานที่ปล่อยออกไปคือ $Ne\ cm^{-3}S^{-1}$ เพื่อง่ายและสะดวกต่อการอธิบายปริมาณดังกล่าว จึงได้มีการเสนอหน่วยขึ้นมาใหม่ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปริมาณกัมมันตรังสีเอ็กซ์โพเซอร์ (exposure dose)

ปัจจุบันใช้ "เรินต์เก้น" *(roentgen)* เป็นหน่วยใช้วัดปริมาณรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมม่า โดยกำหนดให้ปริมาณรังสีเอ็กซ์หรือแกมม่าที่ทำให้อากาศหนัก 0.001293 กรัม ณ *NTP* (อากาศมีปริมาตร 1 ซม.^{3}) เกิดการแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า *1 esu* มีขนาดเป็น 1 เรินต์เก้น หรือเขียนในเทอมของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นคือ

$$1 \text{ เรินต์เก้น} = 2.58 \times 10^{-4}\ Ckg^{-1}$$ (C คือคูลอมบ์)

เนื่องจากประจุไฟฟ้าเป็นตัวการให้เกิดกระแสไฟฟ้า ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวจึงวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ต้องการหาปริมาณกัมมันตรังสี

ปริมาณกัมมันตรังสีที่ถูกวัตถุดูดกลืน (absorbed dose)

หน่วยที่ใช้กับปริมาณกัมมันตรังสีประเภทเอ็กซ์โพเซอร์มิได้กล่าวหรือสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยวัสดุ ทั้งยังใช้อธิบายได้เฉพาะปริมาณรังสีเอ็กซ์หรือแกมม่าเท่านั้น จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ถูกดูดกลืนขึ้นอยู่กับพลังงานกัมมันตรังสีและธรรมชาติของวัสดุตัวกลาง หน่วยที่ใช้วัดปริมาณดังกล่าวเรียกเป็น "แรด" *(rad)* กำหนดเป็นค่าการดูดกลืนพลังงาน 100 เอิร์ก-ต่อ 1 กรัมของตัวกลางที่กำหนดให้ ต่อมาได้แสดงปริมาณดังกล่าวในหน่วย *SI* โดยถือว่าสำหรับกัมมันตรังสีใดๆในตัวกลางใดๆ

$$1 \text{ แรด} = 10^{-2} \text{ จูลย์ต่อกิโลกรัม } (Jkg^{-1})$$

ได้มีการเสนอ "เกรย์" *(gray)* ใช้สัญญลักษณ์ *Gy* แทนหน่วยแรด โดยกำหนด

$$1\ Gy = 100 \text{ แรด}$$

จะเห็นได้ว่าหน่วยเกรย์มีขนาดใหญ่ จึงต้องมีหน่วยย่อยลงไปอีกคือเซ็นติเกรย์ *(centigray)* โดยใช้สัญญลักษณ์ *cGy*

$$1\ cGy = 1 \text{ แรด}$$

แต่ในเครื่องมือใช้วัดปริมาณกัมมันตรังสีจะใช้หน่วยเล็กลงไปอีกคือเป็นมิโครเกรย์ *(μGy)*

$$1 \ \mu Gy = 0.1 \ \text{มิลลิแรด}$$

อย่างไรก็ตาม หน่วยของกัมมันตภาพรังสีแบบเอ็กซ์โพเซอร์และที่ถูกดูดกลืนมีค่าความสัมพันธ์กันโดยประมาณ อาศัยการคำนวณปริมาณพลังงานที่จำเป็นในการทำให้เกิดคู่ไอออนสามารถเขียนได้ว่า

$$1 \ \text{เรินต์เกน} = 0.87 \ \text{แรด}$$

ซึ่งในเครื่องมือตรวจนับวัดปริมาณกัมมันตรังสีถือค่าประมาณ 1 เรินต์เกนมีค่าเป็น 1 แรด

พิจารณาความสัมพันธ์ของหน่วยสำหรับกัมมันตรังสีแบบเอ็กซ์โพเซอร์และแบบดูดกลืน โดยเริ่มจากคำจำกัดความของ "เรินต์เกน"

$$1 \ Ckg^{-1} = \frac{\text{พลังงานที่ทำให้เกิดคู่ไอออน}}{\text{ประจุของอิเล็คตรอน (คูลอมบ์)}}$$

$$= \frac{5.4 \times 10^{-18}}{1.6021 \times 10^{-19}} \ J/kg \ \text{ของอากาศ}$$

$$= 33.7 \ J \ kg^{-1}$$

$$= 33.1 \ Gy$$

โดสเทียบเท่า (Dose equivalent)

การดูดกลืนพลังงานกัมมันตรังสีในตัวกลางแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน ขึ้นกับชนิดของตัวกลาง ชนิดและพลังงานของกัมมันตรังสี เพื่อจะหาข้อแตกต่างชีวภาพของกัมมันตรังสีแต่ละ

ชนิดต้องพิจารณาพลังงานกัมมันตรังสีที่ถ่ายเทให้แก่วัสดุตัวกลางต่อหน่วยระยะทางที่เคลื่อนผ่านไป ค่าดังกล่าวเรียกว่า "ลิเนียร์เอนเนอร์จีทรานซ์เฟอร์" *(Linear Energy Transfer)* หรือ *LET* ซึ่งขึ้นกับธรรมชาติและพลังงานของกัมมันตรังสีและเป็นค่าที่นำไปสู่การเล่นอ "แฟคเตอร์คุณภาพ" *(quality factor)* ซึ่งแทนด้วยสัญญลักษณ์ *QF* นอกจากนี้ยังมีแฟคเตอร์การกระจัด-กระจาย *(distribution factor)* แทนด้วยอักษร *N* ซึ่งช่วยให้สะดวกในการหาผลทางชีวภาพ *(biological effect)* เนื่องมาจากการกระจัดกระจายของโดสภายในเป็นไปได้อย่างไม่มีระเบียบกฎเกณฑ์ แต่ในปัจจุบันถือค่า $N = 1$ โดสเทียบเท่ามีหน่วยเป็น "ซีเวิร์ต" *(sievert)* เขียนย่อเป็น *Sv* มีขนาดเดียวกับเกรย์ กล่าวคือ

$$1\ Sv = 1\ Jkg^{-1}$$

หน่วยเดิมก่อนจะมีการเล่นอหน่วยซีเวิร์ตคือ "เรม" *(REM)* ซึ่งย่อมาจาก *Roentgen Equivalent Man* โดยให้คำจำกัดความเป็นค่าแรดคูณกับแฟคเตอร์คุณภาพ *(QF)* ของกัมมันตภาพรังสี

$$REM = (rads)(QF)$$

แฟคเตอร์คุณภาพแสดงถึงผลเสียหายต่อเซลล์เมื่อถูกกัมมันตภาพรังสีแต่ละชนิด กล่าวคือ ถ้าผลเสียหายดังกล่าวต่อเซลล์เกิดขึ้นมาก ค่า *QF* จะมีค่ามาก *QF* มีความสัมพันธ์กับผลสัมพัทธ์ทางชีวภาพ *(Relative biological effect)* หรือเรียกย่อเป็น *RBE* ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพในการฆ่าหรือทำลายเซลล์ของกัมมันตภาพรังสี ที่เรียกว่า "ผลสัมพัทธ์" เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบระหว่างกัมมันตรังสีต่างชนิดกันนั่นเอง ค่า *RBE* ของกัมมันตภาพรังสีชนิดหนึ่งจะมีผลต่อเซลล์ต่างชนิดกันยกเว้นที่ *QF* เป็นค่าใดๆกำหนดให้เป็นปริมาณคงที่สำหรับกัมมันตภาพรังสีชนิดหนึ่งๆตารางที่ 5.1 แสดงค่าของ *QF* กำหนดโดย *ICRP* จากตารางจะเห็นได้ว่า *QF* ของรังสีเอ็กซ์ แกมม่า และเบต้า มีค่าเป็นหนึ่ง ดังนั้น กัมมันตภาพรังสี

ดังกล่าวจึงมีค่าแรดเท่ากับเรม และค่าเอ็กซ์โพเซอร์ของรังสีเอ็กซ์และแกมม่า (เป็นเรินต์เกน) มีค่าเกือบเท่าโดส์ในหน่วยของแรดในเนื้อเยื่ออ่อน *(soft tissue)*

ตาราง 5.1 ค่าของ *QF* กำหนดโดย *ICRP*[1]

ชนิดของกัมมันตภาพรังสี	*QF*
รังสีเอ็กซ์ แกมม่า เบต้า	1
นิวตรอนเร็ว โปรตอน	10
อนุภาคแอลฟ่า ส่วนที่ได้จากการแตกตัว และพวกนิวคลีไอรีคอยล์หนัก	20

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยโดส์เทียบเท่าแบบเก่าและใหม่คือ

$$1 \ Sv = 100 \ rem$$

ดังนั้น

$$1 \ \mu Sv = 0.1 \ mrem$$

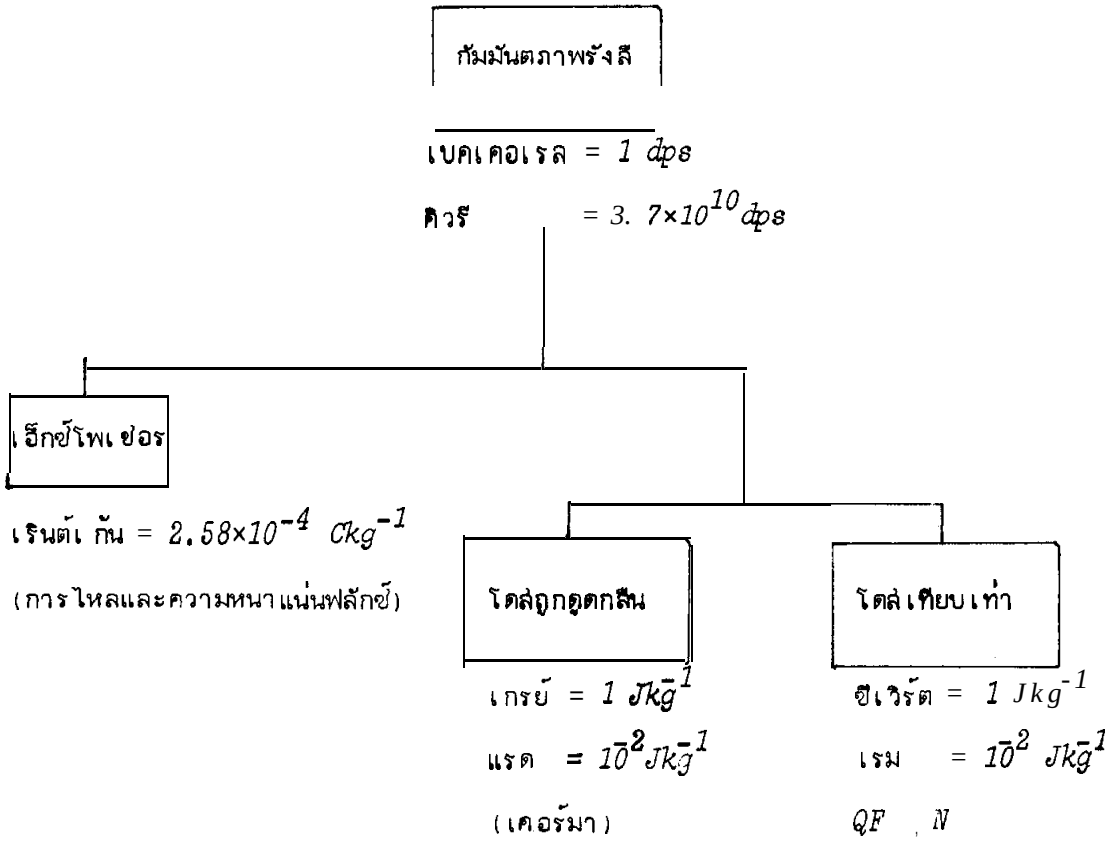
ความสัมพันธ์ระหว่างเกรย์และซีเวิร์ตคือ

$$\text{โดส์เทียบเท่า } (Sv) = \text{โดส์ถูกดูดกลืน (เกรย์)} \cdot QF \cdot N$$

โดยค่า *QF* ใช้ตามตาราง 5.1 และค่า *N* ถือเป็นหนึ่ง

นอกจากนี้ยังมีหน่วยและแนวความคิดอื่นๆ เช่น เคอร์มา *(kerma)* ใช้บอกปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทโดยอนุภาคที่ไม่จัดเป็นไอออนไนซิ่ง และแนวความคิดเกี่ยวกับการไหลและความหนาแน่นฟลักซ์ ซึ่งต่างมีความสำคัญทั้งสิ้น ไดอะแกรมของหน่วยกัมมันตรังสีที่เกี่ยวข้องใน

การป้องกันอันตรายจากกัมมันตรังสีแสดงในรูป 5.1 กล่าวคือเริ่มจากกัมมันตรังสีที่มีอยู่ได้แผ่กัมมันตรังสีไปยังวัสดุกั้น หรือร่างกายมนุษย์ซึ่งถือเป็นกัมมันตรังสีจากภายนอก ในด้านชีวะวิทยาจะคำนึงถึงรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยวัสดุหรือร่างกายมนุษย์ซึ่งถือเป็นกัมมันตรังสีภายในร่างกายเป็นสำคัญ



รูป 5.1 แสดงแผนภาพโดยย่อของหน่วยกัมมันตรังสีที่ถูกกำหนดขึ้นตามรูปลักษณะการใช้งานและผลที่มีต่อชีวภาพ

ตาราง 5.2 สรุปหน่วยของกัมมันตภาพรังสีชนิดต่างๆ ดังได้อธิบายรายละเอียดแล้วข้างต้น

ตาราง 5.2 สรุปหน่วยกัมมันตภาพรังสี

หนวย		นิยาม
เบคเคอเรล *(Bq)*	เป็นหน่วย *SI* ของกัมมันตรังสี	*1 Bq = 1 dps*
คิวรี *(Ci)*	เป็นหน่วยของกัมมันตรังสี	*1 Ci = 3.7×10^{10} dps*
เกรย์ *(Gy)*	เป็นหน่วย *SI* ของโดสดูดกลืน	*1 Gy = 1 J/kg*
แรด *(rad)*	เป็นหน่วยโดสดูดกลืน	*1 rad = 0.01 J/kg* = 100 เอิร์ก/กรัม
เรินต์เกน *(R)*	เป็นหน่วยของเอ็กซ์โพเซอร์สำหรับรังสีเอ็กซ์และแกมม่า	*1 R = 2.58×10^{-4} C*/kg* ของอากาศ
เรม *(rem)*	เป็นหน่วยของโดสเทียบเท่า	*rem = (rad)(QF)*
ซีเวิร์ต *(Sv)*	เป็นหน่วยใหม่ของโดสเทียบเท่า	*1 Sv = 1 J/kg* ของอากาศ

* *C* คือ คูลอมบ์ *(coulomb)*

5.3 อันตรายจากกัมมันตรังสี

5.3.1 ระดับอันตรายจากกัมมันตรังสี

เมื่อร่างกายได้รับกัมมันตรังสี กัมมันตรังสีจะถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลจะมีผลทำให้โมเลกุลแตกตัวออกเป็นประจุไฟฟ้าหรือตกอยู่ในสถานะเอ็กซ์ไซท์ โมเลกุลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาระยะเริ่มแรก หรือบางส่วนของโมเลกุลอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวะเคมี ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือการเกิดมิวเตชั่น *(mutation)* มีผลเสียทางกรรมพันธุ์หรืออาจทำให้เกิดโรคในระยะเวลาต่อไป เช่น โรคมะเร็ง มะเร็งเม็ดเลือด เป็นต้น

อันตรายจากกัมมันตรังสีขึ้นกับระยะเวลาที่ได้รับรังสี และอวัยวะที่ถูกรังสี กล่าวคือ ถ้ากัมมันตรังสีปริมาณเท่ากัน การที่ร่างกายได้รับกัมมันตรังสีทีละน้อยๆหลายๆครั้งร่วมกัน *(chronic exposure)* หรือในระยะเวลาที่นานกว่า อันตรายที่เกิดขึ้นมีน้อยกว่าการได้รับกัมมันตรังสีครั้งเดียว *(acute exposure)* หรือในระยะเวลาที่สั้นกว่า นอกจากนี้ อวัยวะที่สำคัญ เช่น อวัยวะสืบพันธุ์ อวัยวะสร้างเลือด (ไขกระดูก) และเลนซ์ตา เมื่อถูกกัมมันตรังสีขนาดเดียวกันจะมีอันตรายมากกว่าอวัยวะส่วนอื่น เช่น มือ ผิวหนัง เท้า เป็นต้น ตาราง 5.3 แสดงอาการที่ควรจะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับกัมมันตรังสีปริมาณและเวลาต่างกัน ซึ่งจากตารางเห็นได้ว่าการได้รับกัมมันตรังสีครั้งเดียวปริมาณสูงมีอันตรายมาก ควรระมัดระวังและป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น

5.3.2 อาการของผู้ถูกกัมมันตรังสี

ผู้ได้รับกัมมันตรังสีปริมาณสูงในระยะเวลาสั้นๆ เรียกอาการที่เกิดขึ้นว่า " *Acute radiation syndrome* " โดยทั่วไปจะมีผลต่อระบบการสร้างเลือด ระบบทางเดินอาหาร และระบบประสาท ทางคลินิคแบ่งอาการของผู้ถูกรังสีออกเป็น 4 ระยะคือ

ตาราง 5.3 แสดงระดับอันตรายจากรังสีของอวัยวะต่างๆ(7)

อวัยวะ	ปริมาณกัมมันตรังสี (แรด)	บริเวณถูกกัมมันตรังสี	เวลา	อาการ
ทั้งตัว	50	-	สั้น	อาจคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย
	200	-	สั้น	ไม่สบายมาก อาจมีเลือดออกตามผิวหนังและเนื้อเยื่อ ระบบเลือดถูกกด อาจตายได้
	200	-	20 ปี 10แรด/ปี	ไม่มีอันตรายปรากฏ
ผิวหนัง	100	เล็ก	สั้น	ไม่ปรากฏอาการ
	200 - 700	เล็ก	1 สัปดาห์	ผิวคล้ำไหม้เหมือนถูกแดด ผมอาจร่วงและขึ้นใหม่ได้
	200-3,000		≤ 1 เดือน	ผิวคล้ำอย่างถาวร ผมร่วงและไม่ขึ้นใหม่
	≥ 3,000	มือหรือบริเวณเล็กๆที่อื่น	หลายปี 1-5แรด/วัน	ไม่มีอาการเปลี่ยนแปลงทันที ในระยะต่อไปผิวหนังและผิวเหี่ยวและแตกมีโอกาสเป็น *cancerous ulcers* ได้
อวัยวะสร้างเลือด	25	ทั้งตัว	สั้น	มีโอกาสเป็น *leukopenia*
	50	ทั้งตัว	สั้น	เป็น *leukopenia*แบบ*temporary*
	100	ทั้งตัว	สั้น	เป็น *leukopenia* เรื้อรัง
	200 - 500	*Spinal bone-marrow*	สั้น	มีโอกาสเป็นมะเร็งในเม็ดเลือด *(leukemia)*
ตา	> 100	เลนซ์	สั้น	เกิดอาการ *cataract* เลนซ์ตาเปลี่ยนแปลง อาจตาบอดได้
Gonads	200-300	-	สั้น	เป็นหมันชั่วคราว
	500	-	สั้น	เป็นหมันถาวร
	2-5แรด/สัปดาห์	-	เป็นปี	*fertility* ลดลง
Fetus	40 (ท้อง18-48วัน)	*Pelvis*ของแม่	สั้น	โอกาสพิการแต่กำเนิด
	1,000 (ท้อง8อาทิตย์แรก)	Pe*lvis*ของแม่	สั้น	โอกาสแท้งหรืออาจเกิดได้แต่พิการแต่กำเนิด

1. ระยะแรกหรือระยะนำ เริ่มจาก 0 - 4 8 ชั่วโมง

2. ระยะแฝง (*latent* period) 2 - 3 สัปดาห์

3. ระยะปรากฏอาการ *(manifest illness)* สัปดาห์ที่ 3 - 6

4. ระยะฟื้นตัว (r e c o v e r y) สัปดาห์ที่ 8 - 1 5

อาการระยะนำและระยะแฝงคือ เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน เหงื่อออกมาก อ่อนเพลียและหมดแรง ถ้าอาการเกิดขึ้นทันทีและเลวลงอย่างรวดเร็วใน 2-3 วันแรกสันนิษฐานได้ว่าผู้ป่วยได้รับกัมมันตรังสีปริมาณสูง แต่ถ้าอาการเกิดขึ้นช้าและค่อยๆดีขึ้น แสดงว่าได้รับสารกัมมันตรังสีปริมาณน้อย ซึ่งอาการดังกล่าวเหล่านั้นอาจเกิดจากการตื่นตระหนกหรือกลัวก็ได้

อาการระยะปรากฏที่เห็นได้ชัดคือ คนไข้จะเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน อาเจียนเป็นเลือด อุจจาระเป็นน้ำเหลว ถ่ายบ่อย อุจจาระเป็นเลือด ปวดท้องท้องอืด ตาแดง มีเลือดออกที่เรตินา มีไข้ เป็นหนองผื มีจุดเลือดออกตามตัว เจ็บหนังศีรษะ ผมร่วง ผิวหนังแสบแดง เหงื่อออก ปัสสาวะน้อย อ่อนกำลัง หมดแรง ซูบผอมลง รู้สึกเจ็บผิวหนังมากกว่าปกติ เดินเซ มีอาการสับสนทางสมอง ช็อค ผิวหนังเขียวคล้ำ หมดสติ และตาย

อาการระยะฟื้น เมื่อได้รับรังสีไม่มากนักอาการจะค่อยๆดีขึ้น เรียกว่าอยู่ในระยะฟื้น

สำหรับผู้ได้รับกัมมันตรังสีครั้งเดียว อาจแบ่งประเภทตามขนาดของกัมมันตรังสี ที่ได้รับในระยะเวลาสั้นดังนี้

ประเภทที่ 1 ได้รับกัมมันตรังสี 0-50 แรด แบ่งเป็น 2 พวกย่อยคือ 0-25 แรด ไม่ปรากฏอาการที่น่าวิตก และ 25-50 แรด อาจมีอาการเปลี่ยนแปลงทางโลหิตบ้างแต่ไม่ร้ายแรง

ประเภทที่ 2 ได้รับกัมมันตรังสี 50-200 แรด น้อยกว่า 50% ของผู้ป่วยจะอาเจียนภายใน 24 ชั่วโมง ไม่มีอาการร้ายแรง อ่อนเพลีย ไม่มีแรง เม็ดเลือดขาวและเพลตเตล *(platelet)* อาจต่ำลงบ้าง ผู้ป่วยประเภทนี้ร้อยละ 5 เท่านั้นที่จำเป็นต้องได้รับการรักษา

ประเภทที่ 3 ได้รับกัมมันตรังสี 400-500 แรด ผู้ป่วยประเภทนี้มากกว่าครึ่งจะอาเจียนในระยะแรก และรู้สึกไม่สบาย มีระยะแฝงสัปดาห์ที่ 1-3 จะมีผมร่วงและอาการป่วยจะมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 เพราะระบบสร้างเลือดถูกทำลาย มีไข้หนาวสั่น หอบเวลาออกแรง เจ็บคอ เยื่อบุของปากแดง ทอนซิลโต เลือดออกเวลาแปรงฟัน เลือดอาจออกเวลาอุจจาระและปัสสาวะ น้ำหนักค่อยๆลด มีการติดเชื้อทางระบบหายใจ เม็ดเลือดขาวลดต่ำลง ระยะฟื้นอยู่ระหว่าง 60-90 วัน จะดีขึ้นใน 6 เดือน แต่เม็ดเลือดขาวจะต่ำอยู่อีกระยะหนึ่งถ้าปริมาณที่ได้รับน้อยกว่า 300 แรด และถ้าปริมาณกัมมันตรังสีระหว่าง 300-400 แรด จะมีโอกาสยืดหมากกว่าร้อยละห้าสิบ ถ้าปริมาณสูงกว่านั้นโอกาสรอดจะน้อยลง

คนไข้ประเภทนี้จำเป็นต้องได้รับการรักษาอย่างใกล้ชิด

ประเภทที่ 4 ได้รับกัมมันตรังสี 450-600 แรด คนไข้จะมีอาการน่ารุนแรง มีระยะแฝงสั้นลง มีระยะปรากฏเห็นได้ชัด ระบบสร้างเลือดแปรปรวน มีการติดเชื้อ เยื่อบุทางเดินอาหารถูกทำลายหลังจากถูกกัมมันตรังสี 12-14 วัน จะมีไข้สูง เลือดคั่ง เลือดออกจากเหงือกและฟัน คออักเสบ เกิดแผลในปากและลำคอ หลังจากถูกกัมมันตรังสี 16-18 วัน ผมจะร่วงและร่วงมากขึ้นเรื่อยๆอย่างรวดเร็ว ผิวหนังและเยื่อบุมีจ้ำ มีเลือดออกทางอุจจาระ สัปดาห์ต่อมามีรอยเขียวช้ำบริเวณกว้าง ปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลง เซลล์ในไขกระดูกทุกชนิดมีน้อยกว่าปกติ สัปดาห์ที่ 4 ผู้ป่วยจะหมดแรงมึนซึม และงงไม่รู้เรื่อง ปัสสาวะน้อย อุจจาระร่วง บางทีมี

เลือดปนออกมามาก ปวดท้องและมีตะคิว ลำไส้ไม่บีบตัว อาการจะมากขึ้นตามลำดับจนอาเจียนเป็นเลือด ปัสสาวะเป็นเลือด จะมีอาการตกเลือดในช่องคลอดถ้าเป็นผู้หญิง และจะตายใน 20-24 วัน แม้จะได้รับการรักษาอย่างดีแล้วก็ตาม คนไข้ประเภทนี้โอกาสตาย 100%

ประเภทที่ 5 ได้รับกัมมันตรังสีมากกว่า 600 แรด ใน 7-14 วัน มีอาการรุนแรงมาก อาจตายภายใน 2 สัปดาห์ ผู้ป่วยประเภทนี้เยื่อบุทางเดินอาหารถูกทำลาย ผู้ป่วยอาเจียนเป็นเลือดบ่อยๆติดต่อกันจนกระทั่งตาย ถ่ายอุจจาระบ่อยมีเลือดปน เม็ดเลือดขาวต่ำกว่า 500 ต่อ ลบ.มม. ตายก่อนมีอาการตกเลือดและผมร่วง

ประเภทที่ 6 ได้รับกัมมันตรังสีเป็นพันๆแรดขึ้นไป คนไข้จะมีชีวิตอยู่ได้ไม่กี่ชั่วโมง อาการจะปรากฏทันทีคือง เซ สับสนจนไม่รู้สึกตัว มีอาการล้มเหลวทางหัวใจ ระบบประสาทถูกทำลาย อุจจาระเป็นน้ำ

5.4 การกำหนดปริมาณรังสี

ICRP เป็นผู้กำหนดปริมาณกัมมันตรังสีที่ร่างกายรับได้ โดยแบ่งออกเป็นปริมาณกัมมันตรังสีที่สะสม ปริมาณวัสดุกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย ปริมาณกัมมันตรังสีในน้ำดื่มและอากาศ และปริมาณกัมมันตรังสีที่เปรอะเปื้อน

5.4.1 ปริมาณกัมมันตรังสีที่สะสม

แบ่งปริมาณกัมมันตรังสีที่สะสมตามหน้าที่ของบุคคล คือเจ้าหน้าที่ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสีโดยตรง เจ้าหน้าที่ที่มิได้ปฏิบัติงานด้านกัมมันตรังสี และประชาชนทั่วไป

สำหรับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานทางด้านกัมมันตรังสีโดยตรง ปริมาณกัมมันตรังสีที่สะสมในร่างกาย อวัยวะสืบพันธุ์ ไขกระดูก(ที่สร้างเม็ดเลือด) และเลนซ์ตา ยอมให้รับกัมมันตรังสีทั้งหมดได้ไม่เกิน

$$D = 5\ (N - 18)$$

โดย D เป็นปริมาณกัมมันตรังสี หน่วยเป็นเรม

N เป็นอายุ

และในแต่ละปีจะถูกกัมมันตรังสีได้ไม่เกินปีละ 5 เรม ยังแบ่งเวลาหนึ่งปีออกเป็น 4 งวด คืองวดละ 13 อาทิตย์ ในแต่ละหนึ่งงวดไม่ควรได้รับเกิน 3 เรม (แต่จะรับงวดละ 3 เรม ทั้งปีไม่ได้ เพราะเกินปริมาณกำหนดคือ 5 เรม) สตรีที่คาดว่าจะตั้งครรภ์ไม่ควรรับกัมมันตรังสีเกิน 1.3 เรม ต่อ 13 สัปดาห์

อวัยวะที่ไม่สำคัญ ยอมให้รับกัมมันตรังสีได้มากกว่าที่กล่าวมาคือ

ผิวหนัง ธัยรอยด์ กระดูก ให้รับได้ไม่เกิน 8 เรม/13 อาทิตย์ และทั้งปีไม่เกิน 30 เรม

มือ แขน เท้าและข้อเท้า รับกัมมันตรังสีได้สูงสุด 20 เรม/13 อาทิตย์ ทั้งปีไม่เกิน 75 เรม

อวัยวะภายในที่ไม่ใช่อวัยวะสืบพันธุ์ ไขกระดูกและธัยรอยด์ รับกัมมันตรังสีได้สูงสุด 4 เรม/13 สัปดาห์ ตลอดทั้งปีไม่เกิน 15 เรม

ในกรณีฉุกเฉิน ยอมให้รับกัมมันตรังสีได้ดังนี้ คือตลอดทั้งตัวและอวัยวะสืบพันธุ์ ไม่เกิน 12 เรม ผิวหนัง ธัยรอยด์ กระดูก 30 เรม อวัยวะอื่นๆ 15 เรม

เจ้าหน้าที่ที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสีโดยตรง แต่อยู่ในตึกกัมมันตรังสี กำหนดให้ได้รับกัมมันตรังสีสูงสุดที่อวัยวะสำคัญ (คืออวัยวะสืบพันธุ์ เลนซ์ตา และทั้งตัว) ได้ไม่เกินปีละ 1.5 เรม และอวัยวะที่ไม่สำคัญ เช่น ผิวหนัง ธัยรอยด์ รับได้ไม่เกินปีละ 3 เรม

บุคคลทั่วๆไปใน 1 ปี ไม่ควรรับกัมมันตรังสีเกินกำหนดดังนี้คือ

- ทั่วร่างกาย อวัยวะสืบพันธุ์ ไขกระดูก	0.5	เรม
- กระดูก ธัยรอยด์ ผิวหนัง	3.0	เรม
- อวัยวะอื่นๆนอกจากที่กล่าวแล้ว	1.5	เรม
- มือ แขน เท้า ข้อเท้า	7.5	เรม
- ธัยรอยด์ของเด็กอายุต่ำกว่า 16 ปี	1.5	เรม

5.4.2 ปริมาณวัสดุกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย

สำหรับเจ้าหน้าที่ทางกัมมันตรังสีโดยตรงไม่มีกำหนดว่ายอมให้บริโภคได้เท่าไร ด้วยเหตุผลว่าไม่ยอมให้เจ้าหน้าที่บริโภคกัมมันตรังสี แต่สำหรับการหายใจอาจหลีกเลี่ยงไม่ได้เมื่อมีกัมมันตรังสีฟุ้งในอากาศซึ่งมีปริมาณขึ้นอยู่กับชนิดของไอโซโทปรังสี สารกัมมันตรังสีที่ไม่ให้อนุภาคแอลฟาและเบต้า ยอมให้หายใจได้ไม่เกิน 7.8 มิโครคูรีต่อปี แต่ถ้าไม่ทราบส่วนผสมที่ฟุ้งในอากาศ ยอมให้หายใจได้ไม่เกิน 11.7×10^{-4} มิโครคูรีต่อปี

บุคคลทั่วไปมีการกำหนดทั้งการหายใจและบริโภค เนื่องจากประชาชนอาจบริโภคกัมมันตรังสีซึ่งเกิดจากการทดลองระเบิดปรมาณู หรือกัมมันตรังสีที่ถ่ายเทออกจากห้องทดลองต่างๆ ตัวเลขที่พอจะยกมากล่าวได้แก่กรณีไม่ทราบว่ากัมมันตรังสีมาจากธาตุใด แต่ทราบบ้างว่าไม่ใช่ธาตุที่ปล่อยอนุภาคแอลฟาและเบต้า และไม่มีสตรอนเชี่ยม -90 บริโภคไม่เกินปีละ 1.6 มิโครคูรี และหายใจไม่เกิน 0.73 มิโครคูรีต่อปี แต่ถ้าไม่ทราบรายละเอียดชนิดของสารกัมมันตรังสี ยอมให้บริโภคได้ไม่เกิน 8.0×10^{-3} มิโครคูรีต่อปี และยอมให้หายใจได้ 1.5×10^{-4}

มิโครคูรีต่อปี (ถ้าคนบริโภคและหายใจด้วย ปริมาณที่กำหนดจะต้องลดลงตามส่วน) ในกรณีฉุกเฉินอาจยอมให้บริโภคได้ดังแสดงในตาราง 5.4

ตาราง 5.4 แสดงปริมาณกำหนดการบริโภคกัมมันตรังสี[4]

ธาตุและกัมมันตรังสีที่ยอมให้รับ	อายุ	บริโภคได้ (μ Ci/วัน)	รวมทั้งหมด (μ Ci)
^{131}I			
25 แรด/ปี	0 - 6 เดือน	0.06	0.65
	3 ปี	0.11	1.20
	10 ปี	0.30	3.40
	> 20 ปีขึ้นไป	1.30	15.00
^{89}Sr	ทุกวัย	0.20	-
15 แรด/ปี			
^{90}Sr	ทุกวัย	0.002	
1.5 แรด/ปี			
^{137}Cs	0	0.06	6
10 แรด/ปี	6 เดือน	0.15	15 μ Ci
	>20 ปีขึ้นไป	1.15	115 μ Ci

การกำหนดปริมาณวัสดุกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกายนี้ กำหนดโดยถือว่าผู้ที่ทำงานด้านรังสีโดยตรง หายใจที่ที่ทำงาน 2,500 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนบุคคลทั่วๆไปหายใจอากาศตลอดปีประมาณ 7,300 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และดื่มน้ำ 800 ลิตรต่อปี

5.4.3 ปริมาณกัมมันตรังสีในน้ำดื่มและอากาศ

ปริมาณกัมมันตรังสีในน้ำดื่มไม่ควรถือเป็นค่าประเมินอันตรายที่สมบูรณ์ เพราะขณะที่น้ำดื่มมีกัมมันตรังสีน้อย ในอาหาร เช่น ข้าว ปลา อาจมีกัมมันตรังสีมากกว่า และไม่มีตัวเลขใดกำหนดแน่นอน สำหรับอาหารนั้นการกำหนดอันตรายบริโภคจึงน่าจะเป็นการกำหนดที่ดีที่สุดโดยคำนึงถึง ปริมาณกัมมันตรังสีในน้ำ อาหาร และจำนวนอาหารที่บริโภคด้วย

สำหรับผู้ปฏิบัติการด้านรังสีโดยตรง ในน้ำดื่มหรือน้ำฝน ถ้ามีรังสีเบต้าล้วนๆ ไม่มีรังสีแอลฟาและไม่มีสตรอนเชี่ยม -90 จะถือว่าน้ำนั้นบริโภคได้ ถ้าน้ำใน 1 ลิตรมีปริมาณรังสีไม่เกิน 10^{-4} มิโครคิวรี และในอากาศมีปริมาณรังสีไม่เกิน 4×10^{-13} มิโครคิวรี/ลบ.ซม. ถือว่าไม่มีอันตรายต่อการหายใจและการรับประทาน

สำหรับบุคคลทั่วๆไปที่มิได้ปฏิบัติการด้านรังสี กำหนดค่าในน้ำดื่มและในอากาศ $1/10$ เท่าของผู้ปฏิบัติการด้านรังสี

ในปัจจุบัน *ICRP* ได้มีการกำหนดปริมาณกัมมันตรังสีในน้ำดื่มและอากาศโดยใช้ค่า $^{*}H_{50}$ เป็นตัวบ่งบอกอันตรายในการที่สารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายโดยนิวไคลด์มีส่วนประกอบ

*หมายเหตุ

ค่า H_{50} *(committed dose-equivalent)* เป็นค่าเฉลี่ยโดสเทียบเท่าที่เนื้อเยื่อได้รับตลอด 50 ปี โดยการรับประทานนิวไคลด์รังสีเข้าไป

ถ้ากำหนดให้ Q_i เป็น *quality factor* สำหรับกัมมันตรังสี i

$D_{50,i}$ เป็นโดสถูกดูดกลืนทั้งหมดระหว่าง 50 ปี (โดยการรับประทาน)

ดังนั้น $H_{50} = \Sigma_i Q_i D_{50,i}$

ตาราง 5.5 ตัวอย่างค่า *ALI* และ *DAC* [4]

นิวไคลด์ที่เข้าสู่ร่างกาย	*ALI(Bq)* การหายใจ		*DAC* Bq/m^3 40 ชม.ต่อสัปดาห์ (การหายใจ)
^{3}H (น้ำ)	3×10^{9}	3×10^{9}	8×10^{5}
^{3}H (สาร)			2×10^{10}
^{32}P	2×10^{7}	3×10^{7}	1×10^{4}
-ในรูปฟอสเฟตบางอย่าง	2X107	1×10^{7}	6×10^{3}
^{90}Sr	1×10^{6}	7X105	3×10^{2}
-ในรูป $SrTiO_3$	1×10^{6}	1×10^{5}	6×10^{1}
^{125}I	1×10^{6}	2X106	1×10^{3}
^{131}I	1×10^{6}	2×10^{6}	7X102
ในธัยรอยด์	4X106	6×10^{6}	
^{137}Cs	4X106	6×10^{6}	2X103
^{226}Ra	7×10^{4}	2×10^{4}	1×10^{1}
^{239}Pu			
-ออกไซด์และ ไฮดรอกไซด์	2X106	5×10^{2}	2×10^{-1}
-ในรูปอื่นๆ	2×10^{5}	2X102	8×10^{-2}

ทางเคมีต่างๆกัน (ตาราง 5.5) ซึ่งปริมาณดังกล่าวอาจมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าในกรณีได้รับกัมมันตรังสีทั้งตัวก็ได้ (*50 mSv = 5 rem*) โดยหน่วยของปริมาณดังกล่าวคือ เบ็คเคอเรล (*Bq*) และกำหนดว่ามนุษย์ซึ่งมีน้ำหนัก 70 กก. ทำงาน 2,000 ชม.ต่อปี หายใจ 0.02 ลบ.ม. ต่อนาที ปริมาณกัมมันตรังสีในอากาศหาได้จากการหารค่าปริมาณกัมมันตรังสีในอาหารและน้ำดื่มด้วยปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าไป โดยใช้ความสัมพันธ์

$$DAC = ALI/(2000 \times 60 \times 0.02) \quad Bqm^{-3}$$

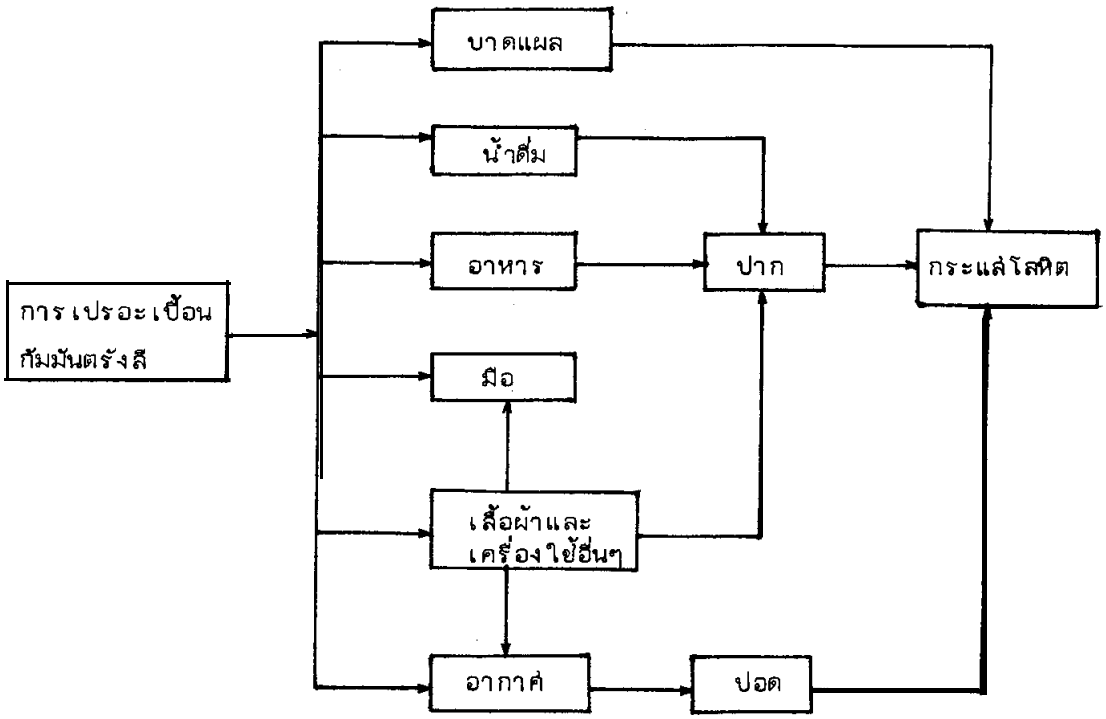
$$= ALI/2.4 \times 10^{3} \quad Bqm^{-3}$$

โดย *DAC* เป็นปริมาณกัมมันตรังสีในอากาศ *(Derived air concentration)*

ALI เป็นปริมาณกัมมันตรังสีในอาหารและน้ำดื่มกำหนดรายปี *(Annual limit of intake)*

5.4.4 ปริมาณกัมมันตรังสีที่อาจเปรอะเปื้อน

การเปรอะเปื้อนกัมมันตภาพรังสี นับเป็นกัมมันตภาพรังสีภายนอกร่างกายที่อาจมีอันตรายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกัมมันตรังสีที่เปรอะเปื้อน และจะเป็นอันตรายอย่างยิ่งเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งอาจเป็นทางอาหาร น้ำดื่ม บาดแผล เสื้อผ้า และเครื่องใช้อื่นๆ ดังแสดงในรูป 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงแผนผังการเข้าสู่กระแสโลหิตของสารกัมมันตรังสีที่เกิดจากการเปรอะเปื้อนกัมมันตรังสี

IAEA ได้จัดแบ่งประเภทนิวไคลด์รังสีตามความเป็นพิษทางรังสีเป็น 4 ประเภท คือ

-1. พวกเป็นพิษสูงมาก ได้แก่ ^{90}Sr ^{201}Pb ^{210}Po ^{226}Ra

^{227}Ac ^{239}Pu ^{241}Am ^{238}U

U (ธรรมชาติ) *Th* (ธรรมชาติ)

-2. พวกเป็นพิษสูงปานกลาง ได้แก่ ^{211}At ^{154}Eu ^{106}Ru ^{144}Ce

^{22}Na ^{60}Co ^{110m}Ag ^{131}I

^{137}Cs ^{124}Sb ^{36}Cl ^{192}Ir

^{203}Tl ^{45}Ca ^{54}Mn ^{89}Sr ^{95}Zr

-3. พวกเป็นพิษปานกลาง ได้แก่ ^{32}P ^{59}Fe ^{65}Zn ^{147}Pm ^{203}Hg

^{95}Nb ^{103}Ru ^{85}Sr ^{24}Na ^{82}Br

^{132}I ^{198}Au ^{35}S ^{56}Mn ^{55}Fe

^{7}Be ^{41}Ar ^{64}Cu ^{18}F ^{14}C

-4. พวกเป็นพิษน้อย ได้แก่ ^{3}H ^{69}Zn ^{99m}Tc ^{58m}Co ^{85}Kr ^{85}Sr ^{37}Ar

ตาราง 5.6 ปริมาณกัมมันตรังสีที่ยอมให้เปรอะเปื้อนร่างกายและเครื่องใช้ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานด้านกัมมันตรังสี[7]

ระดับความเป็นพิษของไอโซโทปรังสี	ผิวหนัง เสื้อผ้า เตียงคนไข้ ของใช้ในห้องทดลอง เครื่องแก้ว	พื้นผิวของห้องทดลอง เช่น ผนัง พื้น ม้านั่ง ตู้
เป็นพิษสูงและสูงมาก	รังสีเบต้าหรือแกมม่าขนาด 0.1 มิลลิเรินต์เก้น/ชั่วโมง หรือ 100 เคานต์/นาที	รังสีเบต้าหรือแกมม่า 0.1 มิลลิเรินต์เก้น/ชั่วโมงหรือ 100 เคานต์/นาที
เป็นพิษปานกลาง และเป็นพิษน้อย	รังสีเบต้าหรือแกมม่า 1 มิลลิเรินต์เก้น/ชั่วโมง 1,000 เคานต์/นาที	รังสีเบต้าหรือแกมม่า 1 มิลลิเรินต์เก้น/ชั่วโมง 1,000 เคานต์/นาที

หมายเหตุ ใช้หัววัดจีเอ็ม *(GM Thin window)* ชนิดที่มีพื้นที่เพลทเรียบขนาด 2 ตารางนิ้ว

5.5 การป้องกันรังสี

การปฏิบัติงานเกี่ยวกับกัมมันตรังสี ควรติดเครื่องบันทึกกัมมันตรังสีแบบฟิล์มแบดจ์ *(film badge)* เครื่องนับวัดกัมมันตรังสีแบบเล็กๆ หรือแบบอื่นๆไว้กับตัวผู้ปฏิบัติการ ซึ่งจะเป็นการบอกถึงการได้รับกัมมันตรังสีหรือไม่ ได้รับปริมาณเท่าใด ในระยะเวลาใด เกินยืดจำกัดที่กำหนดหรือไม่ เพื่อจะได้หาทางแก้ไขต่อไป โดยถือว่าลำตัวเป็นส่วนสำคัญ ดังนั้นควรติดเครื่องบันทึกกัมมันตรังสีไว้บริเวณลำตัว เช่น กระเป๋าเสื้อ หรือบริเวณเข็มขัด กรณีที่มือจะต้องได้รับกัมมันตรังสีสูงมาก อาจใช้เครื่องบันทึกกัมมันตรังสีติดที่มืออีกชุดก็ได้

นอกจากนี้ยังมีเครื่องมืออย่างอื่น คือเครื่องมือสำรวจกัมมันตรังสี *(survey meter)* ซึ่งโดยทั่วๆไปวัดรังสีแกมม่าเป็นหน่วยมิลลิเรมต์เก้นต่อชั่วโมงและอาจถือเป็นกฎง่ายๆได้ว่า ณ ที่ใดมีระดับรังสีไม่เกิน 2.5 มิลลิเรมต์เก้นต่อชั่วโมงจะทำงานได้ตลอดปี โดยจะไม่ได้รับกัมมันตรังสีเกิน 5 เรม *(50 mSv)* ต่อปี ปกติเครื่องวัดรังสีแกมม่าสามารถวัดรังสีเบต้าได้ด้วย แต่อาจจะบอกเพียงปริมาณมากหรือน้อยเท่านั้น มิได้บอกระดับกัมมันตรังสีโดยตรง (หน่วยมิลลิเรมต์เก้นใช้สำหรับรังสีเอ็กซ์หรือแกมม่าเท่านั้น) ในบริเวณกัมมันตรังสีเกิน 2.5 มิลลิเรมต์เก้นต่อชั่วโมง อาจยืนปฏิบัติการได้แต่ต้องไม่ตลอดวันและทุกวัน เนื่องจากมีข้อกำหนดว่าใน 13 สัปดาห์ยอมให้รับกัมมันตรังสีได้ถึง 3 เรม

นอกจากจะใช้เครื่องวัดกัมมันตรังสีเป็นการป้องกันอันตราย ความเป็นระเบียบในห้องปฏิบัติการจะช่วยลดอันตรายลงได้มาก เช่น การเก็บวัสดุกัมมันตรังสีอย่างมีระเบียบมีภาชนะกำบังกัมมันตรังสีห่อหุ้ม มีเครื่องหมายหรือตัวอักษรแสดงว่ามีกัมมันตรังสี เป็นต้น จะช่วยไม่ให้ได้รับกัมมันตรังสีโดยไม่เจตนา หลักสำคัญในการป้องกันกัมมันตรังสีแบ่งได้เป็น

- การป้องกันกัมมันตรังสีจากภายนอก
- การป้องกันกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย

การป้องกันกัมมันตรังสีจากภายนอก

ผู้ที่ทำงานทางกัมมันตรังสีควรพยายามให้ตนเองได้รับกัมมันตรังสีน้อยที่สุด โดยปฏิบัติตามหลัก 3 ข้อ คือ

1. ระยะทาง ปริมาณกัมมันตรังสีที่ระยะใดๆจากวัสดุกัมมันตรังสี เป็นไปตามกฎผกผันกำลังสองกล่าวคือ

$$d = D\frac{R^2}{r^2}$$

โดย D เป็นปริมาณกัมมันตรังสี (มิลลิเรินต์เก้น) ณ ระยะห่าง R เซ็นติเมตร

d เป็นปริมาณกัมมันตรังสี ณ ระยะห่าง r เซ็นติเมตร

ตัวอย่าง

ณ ระยะ 100 ซม. พบว่ามีปริมาณกัมมันตรังสี 45 มิลลิเรินต์เก้น ต่อ ซม.

ณ ระยะ 10 ซม. จะมีปริมาณกัมมันตรังสีเท่าใด

วิธี

แทนค่าลงในความสัมพันธ์ $d = D\frac{R^2}{J}$

$$= 45x\ \frac{(100)^2}{(10)^2}$$

$$= 45000 \text{ มิลลิเรินต์เก้น/ซม.}$$

แสดงว่า ระยะต่างกันเพียง 10 เท่า มีปริมาณกัมมันตรังสีต่างกันถึง 100 เท่า จึงควรใช้ภาชนะ เช่น ปากคีบหรือคีมยาวๆจับขวดสารกัมมันตรังสีแทนมือ และต้องระมัดระวังอย่าให้วัสดุกัมมันตรังสีเปรอะเปื้อนผิวหนัง เช่น มือ เพราะระยะทางเป็นศูนย์ ปริมาณที่เปรอะเปื้อนเพียง 1 มิโครคิวรี (รังสีเบต้า) ต่อตารางเซ็นติเมตรของผิวหนัง จะทำให้ผิวหนังบริเวณนั้นได้รับกัมมันตรังสีสูงกว่า 1 แรด ต่อ ซม.

วิธีป้องกันการเปื้อนมือ ทำโดยใช้ถุงมือ และเมื่อเสร็จงาน ควรล้างมือและใช้เครื่องมือตรวจตามมือ เสื้อผ้า ตามร่างกาย โดยเฉพาะสารบางอย่างติดมือแล้วล้างไม่ออก อาจต้องใช้วิธีเคมีซึ่งยิ่งต้องระมัดระวัง เพราะอาจเกิดเหตุร้ายแรงยิ่งขึ้น เช่น เป็นแผล กัมมันตรังสีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้

2. เวลา ยึดจำกัดปริมาณกัมมันตรังสีที่ยอมให้รับได้เกี่ยวข้องกับเวลา เช่น กำหนดว่าบริเวณที่มีกัมมันตรังสี 2.5 มิลลิเรินต์เก้น อนุญาตให้ปฏิบัติการในบริเวณนี้ตลอดวันทุกๆวัน แต่ถ้าเป็นบริเวณมีปริมาณกัมมันตรังสี 10 มิลลิเรินต์เก้น/ชม. การปฏิบัติการอาจใช้ได้โดยลดเวลาลงเหลือเพียง 2 ชั่วโมง เป็นต้น ดังนั้น การป้องกันรังสีอาจทำได้โดยใช้เวลาทำงานในบริเวณรังสีให้น้อยที่สุด

3. วัตถุกำบังรังสี การใช้วัตถุกำบังรังสีต้องคำนึงถึงวัสดุที่ใช้และชนิดของกัมมันตรังสีที่ต้องการกำจัด เนื่องจากวัตถุมีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีทะลุผ่านได้ดีเลวต่างกัน และรังสีต่างชนิดกันมีอำนาจทะลุทะลวงต่างกัน หลักทั่วไปในการใช้วัตถุกำบังรังสีคือ

- อนุภาคเบต้า มีเรนจ์ที่แน่นอนและอำนาจทะลุทะลวงต่ำกว่ารังสีแกมม่า ในการป้องกันจึงเลือกใช้วัสดุที่มีอะตอมมิคนัมเบอร์ต่ำและมีความหนาปานกลาง ถ้าใช้โลหะหนักจะทำให้เกิดเบรมสตราห์ลังยิ้นในวัสดุกั้น ถ้าเป็นต้นกำเนิดที่ให้ทั้งรังสีแกมม่าและเบต้า วัตถุกำบังรังสีแกมม่าจึงเพียงพอที่จะสกัดกั้นรังสีเบต้าและเบรมสตราห์ลังได้แม้ว่าในบางกรณีอาจมีอัตราโดสจากเบรมสตราห์ลังมากใกล้เคียงกับค่าจากรังสีแกมม่าก็ตาม ส่วนของพลังงานจากรังสีเบต้าซึ่งปรากฏในรูปเบรมสตราห์ลังถือว่ามีค่าประมาณ $1/3\ Z.E_{max}\ .\ 10^{-3}$

ถ้าต้นกำเนิดสลายตัวให้อนุภาคเบต้าเพียงอย่างเดียว มักใช้พวกวัสดุเบาและโดยทั่วไปใช้เพอร์ซเพ็กซ์(*perspex*) เป็นวัตถุกำบัง เนื่องจากมีลักษณะโปร่งใส แข็งแรง และสะดวกเหมาะสมต่อการใช้งาน แก้วธรรมดาราคาถูกกว่าแต่เปราะบางทำให้ไม่สะดวกในการ

ใช้งาน อะลูมิเนียมและไม้ (ถ้าทาลีจะลดอันตรายอันเกิดจากการเปรอะเปื้อนกัมมันตรังสีได้) อาจจะใช้ในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องมองผ่านวัตถุกำบัง ความหนาของวัสดุกั้นขึ้นอยู่กับพลังงานเบต้า ตาราง 5.7 แสดงค่าความหนา (หน่วยเป็น มม.) โดยประมาณของวัตถุกำบังแต่ละชนิดสำหรับพลังงานเบต้าต่างๆกัน

ตาราง 5.7 แสดงค่าความหนาของวัตถุกำบังสำหรับพลังงานเบต้า [4]

	พลังงานเบต้า (E_{max}) (MeV)			
	0.5	1	2	3
t wash พีกซ์	2 มม.	4 มม.	7 มม.	12 มม
ttn̆a	1	2	4	7
ไม้	4	7	14	24

ในทางปฏิบัติ ไม่มีต้นกำเนิดรังสีเบต้า (เพียงอย่างเดียว) ที่มีพลังงานมากกว่า 2 MeV ดังนั้นเพอร์ซเพ็กซ์หนา 2 มม. จึงเพียงพอที่จะใช้เป็นวัตถุกำบัง ทั้งนี้หมายความว่าไม่มีรังสีจากเบรมส์ตราห์ลังเกิดขึ้น แก้วธรรมดาใช้เป็นวัตถุกำบังสำหรับพลังงานเบต้าต่ำกว่า 1MeV นอกจากนี้ ต้นกำเนิดรังสีเบต้าในรูปสารละลายจะถูกกั้นด้วยสารละลายนั้นๆด้วย

- อนุภาคแอลฟา มีเรนจ์ในอากาศเพียง 2-3 ซม. และสามารถใช้แผ่นกระดาษกำบังได้ จึงกล่าวได้ว่าอันตรายจากอนุภาคแอลฟาไม่จัดอยู่ในขั้นอันตรายแต่อย่างใด แต่ถ้ามีการเปรอะเปื้อนของรังสีประเภทนี้จะเกิดอันตรายได้ จึงควรต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ

- รังสีแกมม่า โดยทั่วไปนิยมใช้ตะกั่วเป็นวัตถุกำบังรังสีแกมม่า แต่เนื่องจากราคาตะกั่วสูงกว่าคอนกรีตถึง 200-300 เท่า จึงมีการใช้คอนกรีตกันอย่างแพร่หลาย บางกรณีอาจมีการใช้น้ำ แต่ต้องไม่มีอันตรายอันเกิดจากส่นิมหรือสารละลายอื่นๆ

การป้องกันรังสีเข้าสู่ร่างกาย

สารกัมมันตรังสีที่ติดตามเสื้อผ้าหรือมือมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายทางปากโดยติดเข้าไปกับอาหาร ควรป้องกันโดยใช้ถุงมือ เสื้อคลุม และกรณีที่พื้นเปื้อนควรใช้ถุงคลุมรองเท้าอีกครั้งหนึ่ง สิ่งปกคลุมทั้งหลายนี้อาจเปรอะมือได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อถอดถุงมือแล้วควรใช้เครื่องมือตรวจวัดรังสีที่หกหล่นตามพื้นหรือโต๊ะ หรือใช้กระดาษชุบน้ำยื่นๆลูบตามบริเวณที่สงสัยว่ากัมมันตรังสีจะหกหล่น แล้วนำกระดาษนั้นไปวัดด้วยเครื่องวัดรังสีอีกครั้ง

กัมมันตรังสีที่ฟุ้งในอากาศสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ ดังนั้น งานที่เกี่ยวกับของระเหยหรือฟุ้งกระจายได้ควรทำการปฏิบัติในตู้ควัน ซึ่งมีระบบการดูดลมอย่างดี

5.6 ห้องปฏิบัติการ

โดยทั่วไปห้องปฏิบัติการรังสีแยกได้เป็น 3 ระดับ ตามความเข้มรังสีที่ใช้ ในตาราง 5.8 แสดงค่าระดับแอ็คติวิตี้ที่ควรจะเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการทั้ง 3 ชนิด โดยที่ในการกำหนดค่าถือว่าสารกัมมันตรังสีอยู่ในรูปของสารละลายเคมี

เพื่อลดการเปรอะเปื้อนกัมมันตรังสี ห้องปฏิบัติการกัมมันตรังสีจะต้องได้รับการออกแบบโดยเฉพาะ เช่น มีตู้ควัน นอกจากนี้ ผู้ปฏิบัติการควรจะต้องมีความระมัดระวัง เช่น หาถาดหรือภาชนะโดยเฉพาะใส่เครื่องมือเครื่องใช้ที่เปื้อนรังสี ซึ่งถ้าเป็นไอโซโทปรังสีต่างชนิดกัน

ตาราง 5.8 การแบ่งระดับห้องปฏิบัติการตามความแรงกัมมันตรังสี [4]

ระดับเป็นพิษ	ชนิดของห้องปฏิบัติการ		
	ระดับ 3	ระดับ 2	ระดับ 1
สูง	co.37 MBq (10 μ Ci)	3.7-37 MBq (100 μ Ci-1mCi)	> 37 MBq (1 mCi)
สูงปานกลาง	< 37 MBq (1 mCi)	37 MBq - 3.7 GBq (1 - 100 mCi)	> 3.7 GBq (100 mCi)
ปานกลาง	< 3.7 GBq (100 mCi)	3.7-370 GBq (100 mCi-10 Ci)	> 373 GBq (10 Ci)
น้อย	< 370 GBq (10 Ci)	0.37-37 TBq (10-1000 Ci)	> 37 TBq (1000 Ci)

ไม่ควรเก็บรวมกัน และเมื่อมีการตัมสารกัมมันตรังสีควรทำให้ตู้ควันเล่มอเพื่อลดปริมาณไอรังสีที่ปะปนอยู่ในอากาศ

กฎทั่วไปสำหรับห้องปฏิบัติการกัมมันตรังสีมีดังนี้คือ

1. ต้องใส่เสื้อคลุมเล่มอเมื่อปฏิบัติการในห้องทดลอง
2. สารใดที่ไม่จำเป็น ไม่ควรนำเข้าไปในห้องปฏิบัติการกัมมันตรังสี
3. การเคลื่อนย้ายหรือเก็บสารกัมมันตรังสีควรมีผู้รับผิดชอบควบคุม

4. ในห้องนับวัดควรเก็บเฉพาะสารตัวอย่าง (รังสี) ที่เตรียมไว้เท่านั้น
5. ในห้องปฏิบัติการห้ามนำอาหารและน้ำดื่มเข้าไป และห้ามสูบบุหรี่
6. อุปกรณ์เครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีไม่ควรใช้ปาก เช่น ปิเปต *(pipettes)* หรือการแปะฉลากที่ขวด เป็นต้น
7. วัสดุของเสียทั้งของแข็งและของเหลวควรจะมีภาชนะซึ่งเขียนบ่งแน่นอนว่าเป็นของเสียที่มีสารกัมมันตรังสีอยู่หรือไม่
8. ขณะใส่ถุงมือยาง เมื่อต้องการแตะสวิทช์ ก๊อกน้ำ และอื่นๆ ควรจะใช้กระดาษเช็ดมือแตะ ไม่ควรสัมผัสสิ่งต่างๆดังกล่าวโดยตรง เพราะไม่แน่ว่าจะมีกัมมันตรังสีเปรอะเปื้อนที่ถุงมือหรือไม่
9. ถุงมือ เสื้อผ้า ม้านั่ง และอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการควรจะได้รับการตรวจกัมมันตรังสี ภายหลังการปฏิบัติการเกี่ยวข้องกับสารรังสี
10. บุคคลที่มีบาดแผลตั้งแต่บริเวณใต้ข้อมือลงไปไม่ควรทำงานเกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสี

5.7 การขจัดกากกัมมันตรังสีและรังสีที่เปรอะเปื้อน

5.7.1 การขจัดกากกัมมันตรังสี

กากกัมมันตรังสีที่ต้องการทิ้งอาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ซ ซึ่งวิธีกำจัดต่างกันดังนี้คือ

ในกรณีที่อากาศมีรังสีสูงมาก และต้องการขจัดกัมมันตรังสีจากอากาศก่อนระบายทิ้ง ถ้ากัมมันตรังสีอยู่ในสภาพเป็นเม็ดของแข็ง ให้ใช้วิธีผ่านอากาศสู่เครื่องกรอง *(filter)* ถ้าสารกัมมันตรังสีอยู่ในสภาพแก๊ซ ใช้ผงถ่านดูดแก๊ซบางอย่างได้ แต่วิธีที่สะดวกคืออาศัยบรรยากาศและลมช่วยทำให้เจือจางโดยใช้ปล่องสูงมากๆ

ถ้ากากกัมมันตรังสีมีสภาพเป็นของเหลวและอายุไม่ยาวนัก ใช้วิธีการกักเก็บไว้ชั่วคราว แล้วจึงระบายทิ้ง ถ้าเป็นกัมมันตรังสีอายุยาวและมีจำนวนมาก ถ้ามีปริมาตรไม่มากนักให้เก็บไว้เลย ถ้าปริมาตรมากให้ลดปริมาตรก่อนเก็บโดยผ่านสารแลกเปลี่ยนไอออน หรือ "เรซิน" *(resin)* ซึ่งจะเป็นตัวดูดสารกัมมันตรังสีจากน้ำ และสุดท้ายคือเก็บเรซินซึ่งเป็นของแข็ง ที่มีปริมาตรน้อย

สำหรับกากรังสีประเภทของแข็ง ถ้าอายุสั้นควรเก็บรวบรวมไว้จนมีปริมาณกัมมันตรังสีน้อยมากจึงระบายทิ้งไป แต่ถ้ามีอายุยาวต้องเก็บถาวร ควรส่งศูนย์กลางเก็บกากกัมมันตรังสี (การฝังดินต้องพิจารณาให้รอบคอบ เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจเซาะพากัมมันตรังสีแพร่ไปได้) หรืออาจลดปริมาณโดยการเผาแล้วเก็บเถ้าไว้

ในกรณีที่มีการระบายกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอก ควรหมั่นตรวจระดับกัมมันตรังสีในบริเวณแวดล้อมเป็นวิธีดีที่สุด เพื่อจะได้ทราบถึงระดับอันตรายของกัมมันตรังสีที่ระบายออกไป

5.7.2 การขจัดกัมมันตรังสีที่เปรอะเปื้อน

วิธีการขจัดแยกได้เป็น 3 แบบคือ

1. - บุคคล เมื่อเกิดอุบัติเหตุเปรอะเปื้อนกัมมันตรังสี ถ้าเป็นเฉพาะแห่งให้ล้างตำแหน่งเฉพาะแห่งดังกล่าวโดยระวังอย่าให้โดนบริเวณข้างเคียง เช่น บริเวณหน้าต้องระวังอย่าให้น้ำที่ล้างเปื้อนปาก จมูก หู และตา โดยเฉพาะตาถ้าเปื้อนกัมมันตรังสีควรรีบล้างทันที ถ้าเปรอะเปื้อนทั่วตัวต้องถอดเสื้อผ้าออกนำไปตรวจระดับกัมมันตรังสีและชำระล้างตัว วิธีการล้างใช้น้ำและสบู่อ่อนๆ และถ้าทราบคุณสมบัติของสารกัมมันตรังสีอาจใช้สารเคมีบางชนิดที่สามารถทำละลายได้เช็ดก่อน แล้วจึงชำระล้างอีกครั้ง ในการล้างถ้ามีบาดแผลต้องใช้ปลาสเตอร์ปิดแผลก่อนเพื่อกันรังสีซึมเข้าสู่ร่างกาย

หลังจากล้างเพื่อขจัดรังสีแล้ว ต่อไปควรเช็คกัมมันตรังสีว่าหมดไปหรือยัง ถ้ายังมีอยู่ควรชำระล้างให้มากขึ้น หรือถ้าเป็นส่วนที่ตัดออกได้ เช่น ผม เล็บ ก็ควรตัดออก และถ้ายังสงสัยว่ามีการเปรอะเปื้อนรังสีภายในร่างกายควรเจาะเลือด เก็บอุจจาระและปัสสาวะเพื่อนำไปวัดปริมาณกัมมันตรังสี และทำให้กัมมันตรังสีน้อยลงได้โดย

- ควรดื่มน้ำมากๆ เพื่อขับทางปัสสาวะ
- วัดธัยรอยด์ ถ้ามีกัมมันตรังสีใช้สารละลาย "ลูกอล" *(lugol's solution)*
- อาจใช้ยาถ่ายดีเกลือ
- อาจให้ "ตัวคีเลต" *(chelating agent)*

2. - สถานที่ เช่น พื้นห้องมีน้ำที่มีสารกัมมันตรังสีหกกระจาย ควรกันบริเวณอย่าให้บุคคลทั่วๆ ไปเข้าไปเหยียบย่ำ แล้วซับด้วยผ้าหรือกระดาษรวบรวมใส่ถังให้มากที่สุดที่จะทำได้ ผู้ที่ปฏิบัติการกวาดล้าง ต้องระวังมิให้เปรอะร่างกายโดยสวมสิ่งปกคลุม เช่น ที่หุ้มรองเท้า เสื้อคลุม ถุงมือ เมื่อปฏิบัติการเรียบร้อยแล้วต้องตรวจร่างกายและเสื้อผ้าด้วยเครื่องนับวัดกัมมันตรังสีอีกครั้ง

3. - เครื่องมือ เช่น เครื่องแก้ว ภาชนะที่ใส่สารที่ต้องการนับวัด และเครื่องวัดกัมมันตรังสีย่อมมีโอกาสเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสีได้ ถ้าเป็นสารกัมมันตรังสีครึ่งอายุสั้นจะไม่มีปัญหามากนัก เนื่องจากสามารถทิ้งไว้ให้สลายตัวเองได้ แต่ถ้าเป็นสารที่มีครึ่งอายุยาวควรปฏิบัติดังนี้

- ประเภทเครื่องแก้ว ล้างด้วยสารเคมี เช่น กรดโครมิค กรดไนตริกเข้มข้น แอมโมเนียมซิเตรท เพนตะ-โซเดียม-ไตรฟอสเฟต และแอมโมเนียมไบฟลูออไรด์ (เครื่องแก้วอาจกันการดูดกัมมันตรังสีได้โดยเคลือบด้วยสารไม่เป็นกัมมันตรังสีก่อนใช้)

- เครื่องใช้ที่เป็นโลหะ ควรล้างด้วยผงซักฟอก และใช้แปรงๆ ถ้ายังออกไม่หมดอาจใช้กรดไนตริกเจือจาง หรือ 10%โซเดียมซิเตรท หรือแอมโมเนียมฟลูออไรด์ อาจเลือก-

สารอื่นก็ได้ขึ้นกับวัสดุที่นำมาสร้าง เช่น สเตนเลสสตีล อาจล้างด้วยกรดซัลฟูริคหรือไฮโดร-คลอริคได้ นิยมใช้ปลาสติกหุ้มโลหะก่อนใช้ เนื่องจากโลหะถูกขจัดสารกัมมันตรังสีที่เปรอะเปื้อนได้ยาก

- เสื้อผ้า ผ้าปูที่นอน ของใช้ในโรงพยาบาล ขจัดโดยซักล้าง ถ้าเปื้อนสารกัมมันตรังสีที่มีอายุยาวและไม่สามารถขจัดให้หมดได้ ควรส่งเก็บแบบการเก็บกากกัมมันตรังสี

5.8 การควบคุมดูแลคนไข้ที่ได้รับโดสสูงในการรักษา

จากข้อตกลงของ AEC *(Atomic Energy Commission)* กำหนดว่า คนไข้ที่ได้รับไอโซโทปรังสีมากกว่า 30 มิลลิคิวรี ควรจะอยู่ในโรงพยาบาลจนสารรังสีสลายตัว หรือถูกขับถ่ายออกจนเหลือปริมาณที่น้อยกว่ากำหนด และถ้าคนไข้ตายโดยมีกัมมันตรังสีในร่างกายต่ำกว่า 30 มิลลิคิวรี (หรือในระยะ 1 เมตร วัดปริมาณกัมมันตรังสีได้ต่ำกว่า 2.5 มิลลิเรินต์เก้นต่อชั่วโมง) จัดการศพได้โดยตรง แต่ถ้ามีกัมมันตรังสีมากกว่านั้นควรได้รับคำแนะนำจากกองป้องกันรังสี

ในกรณีที่คนไข้จำเป็นต้องได้รับการผ่าตัด ถ้ามีปริมาณไอโซโทปรังสีในร่างกายไม่เกิน 5 มิลลิคิวรี หรือประมาณมากกว่า 5 มิลลิคิวรี แต่อยู่ในอวัยวะส่วนปิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผ่าตัด และเป็นไอโซโทปรังสีที่ไม่ปล่อยรังสีทะลุออกมา (เช่น อนุภาคเบต้า) แพทย์ทำการผ่าตัดได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงอันตรายจากกัมมันตรังสี แต่แพทย์และพยาบาลก็ควรใส่ถุงมือยาง และต้องระมัดระวังตาจากการที่สารกัมมันตรังสีกระเด็นเข้าสู่ดวงตา

ถ้ากัมมันตรังสีมากกว่า 5 มิลลิคิวรี ผู้เกี่ยวข้องต้องคำนึงถึงชนิดและปริมาณของกัมมันตรังสี และระยะเวลาในการผ่าตัด โดยเฉพาะพวกไอออนไนซิ่งเรดิเอชั่น ผู้ที่ทำงาน

เกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสีได้รับไม่เกิน 100 มิลลิเรินต์เก้นต่อสัปดาห์ และควรได้รับกัมมันตรังสีครั้งละไม่เกิน 5-10 มิลลิเรินต์เก้น

การรักษาด้วยไอโซโทปรังสีแบ่งออกได้เป็น

- ก. ฟอสฟอรัส -32 การป้องกันขณะที่ให้ยาคนไข้เพียงแต่ใช้ลูไซต์หรือเพอร์ซ์เพ็กซ์ป้องกันรังสีได้เพียงพอ ไม่จำเป็นต้องใช้ตะกั่ว เนื่องจากผลของการสลายตัวจะได้รังสีเบต้าเพียง - อย่างเดียวเท่านั้น ควรป้องกันการกระเด็นเปื้อนอวัยวะเสื้อผ้าเป็นสิ่งสำคัญ

- ข. ทอง -198 สลายตัวให้ทั้งรังสีเบต้าและแกมม่า ผู้เกี่ยวข้องจึงต้องระวังให้มาก ถ้าคนไข้ได้รับโดส 100 มิลลิคิวรี ที่ระยะใกล้เคียง 50 มิลลิเรินต์เก้นต่อชั่วโมง ในระยะนี้คนเฝ้าไข้เข้าใกล้ได้ 20 นาทีต่อวัน ที่ระยะห่างคนไข้ 3 ฟุตจะมีปริมาณกัมมันตรังสีประมาณ 30 มิลลิเรินต์เก้นต่อชั่วโมง หลังจากคนไข้ได้รับโดสรักษาแล้ว ภายในอาทิตย์แรกที่ระยะห่างนี้มีกัมมัน-ตรังสี 15 มิลลิเรินต์เก้นต่อชั่วโมง แพทย์พยาบาลและผู้ดูแลผู้ป่วยสามารถเข้าใกล้คนไข้ได้ 6.6 ชั่วโมงในสัปดาห์แรกนี้โดยจะได้รับรังสีไม่เกิน 100 มิลลิเรินต์เก้น

เตียงคนไข้ควรห่างจากเตียงคนไข้อื่นมากกว่า 7 ฟุต เพื่อไม่ให้ผู้ป่วยอื่นได้รับสารกัมมันตรังสีเกิน 2.5 มิลลิเรินต์เก้นต่อชั่วโมง

- ค. ไอโอดีน -131 ให้ทั้งรังสีเบต้าและแกมม่า หลังจากคนไข้ได้รับโดสเพื่อการรักษาควรแยกคนไข้ไว้ต่างหาก จนเหลือแอคติวิตี้น้อยกว่า 30 *m Ci* (ประมาณ 7 มิลลิเรินต์เก้นต่อ ซม. ที่ระยะ 1 เมตร) จึงให้กลับบ้านได้ หรือเหลือน้อยกว่า 8.5 *m Ci* (ประมาณ 2 มิลลิเรินต์เก้นต่อ ซม. ที่ระยะ 1 เมตร) จึงอนุญาตให้เดินในโรงพยาบาลได้อย่างอิสระ เปอร์เซ็นต์ที่ยังเหลืออยู่หาได้โดยวัดแอ็คติวิตี้จากปัสสาวะ โดยทั่วไปแล้วใน 48 ชม.ยังคงมีเหลือมากกว่า 30% ของโดสที่กิน และใน 4 วันยังสูงกว่า 10%

^{131}I ที่ยังคงเหลืออยู่ในคนไข้นั้นจะอยู่ที่บริเวณมะเร็ง ตับ กระเพาะอาหาร และต่อมน้ำลาย

5.9 เครื่องวัดกัมมันตรังสีที่ใช้ในการป้องกันรังสี

การวัดปริมาณกัมมันตรังสีที่ผู้ปฏิบัติการหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องได้รับนับว่ามีความสำคัญมาก วิธีการโดยทั่วไปมี 3 วิธีคือ

- พิจารณาความดำของฟิล์ม
- กระตุ้นสารเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ *(Thermoluminescent)*
- ดิสชาร์จ *(discharge)* พวกวัตถุมีประจุโดยวิธีไอออนไนเซชั่น

สองวิธีแรกต้องอาศัยขบวนการเป็นขั้นตอน แต่เหมาะสมเพราะสามารถเก็บเป็นบันทึกได้ วิธีสุดท้ายเป็นการวัดโดสที่ได้รับจากรังสีเอ็กซ์หรือแกมม่าในช่วงเวลาสั้นๆ เช่นในระหว่างปฏิบัติการทดลอง เป็นต้น แต่ทั้งสามวิธีดังกล่าวไม่สามารถวัดโดสจากอนุภาคแอลฟาได้เลยเนื่องจากอันตรายจากอนุภาคแอลฟาเกิดในกรณีที่ได้กินสารกัมมันตรังสีเข้าไป ดังนั้น การวัดโดสต้องทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างชีวะ เช่น ปัสสาวะ (เพื่อหา *Pu* หรือตันกำเนิดรังสีแอลฟาอื่นๆ) ลมหายใจออก หรือกัมมันตรังสีในเลือด ซึ่งเป็นงานต้องจัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์โดยเฉพาะ

5.9.1 ฟิล์มแบดจ์ *(film badge)*

เป็นฟิล์มขนาดเล็ก (2-3 ซม.^{2}) ห่อหุ้มกันแสงไว้มิดชิด บรรจุอยู่ในกลักโลหะหรือพลาสติก ซึ่งจะแสดงหมายเลข วัน เดือน ปี ที่แน่นอนเพื่อจะได้ทราบปริมาณกัมมันตรังสีที่ผู้ใช้ได้รับ หลักของการวัดรังสีเบต้าและแกมม่าคือ เมื่อฟิล์มถูกกัมมันตรังสีจะปรากฏดำมากน้อยตามความแรงของปริมาณกัมมันตรังสี

การใช้ฟิล์มชุดหนึ่งบางแห่งใช้ 1-2 สัปดาห์ บางแห่งใช้ 1 เดือน แล้วรวบรวมส่งไปวัดกัมมันตรังสีที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

การใช้ฟิล์มแบดจ์นับว่าได้ผลถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ แม้ว่าจะมีโดส์ต่ำ ฟิล์มสามารถบันทึกค่าได้จาก 0-100 *R (1 Gy)* วิธีการที่จะทราบค่าทำโดยเปรียบเทียบกับฟิล์มมาตรฐานที่ได้รับปริมาณโดส์แน่นอน (ทดลองโดยใช้เดนซิโตมิเตอร์ *(densitometer)* ซึ่งมักเป็นออโตแมติค) สำหรับนิวตรอนมักใช้ *"boron-loaded emulsion"* และตัวกรองในการวัดโดส์

สรุปประโยชน์ของฟิล์มแบดจ์อย่างกว้างๆคือ

1. - เป็นเครื่องเตือนว่าการป้องกันกัมมันตรังสีของผู้ปฏิบัติการเพียงพอหรือไม่
2. - ช่วยให้ผู้ปฏิบัติการมั่นใจว่าโดส์ใดๆก็ตามที่ตนเองได้รับจะถูกบันทึกค่าไว้
2. - เป็นตัวบ่งชี้ว่าผู้ปฏิบัติการกัมมันตรังสีควรจะย้ายหน้าที่การงานหรือไม่ กรณีที่ได้รับกัมมันตรังสีมากเกินไปก็ต้องเปลี่ยนงาน เป็นต้น

5.9.2 ไอออนไนเซชั่นแชมเบอร์ขนาดกระเป๋า หรืออิเล็คโตรส์โคปไฟเบอร์ควอทซ์ *(quartz fibre electroscope)*

อิเล็คโตรส์โคปไฟเบอร์ควอทซ์ประกอบด้วยไฟเบอร์ควอทซ์ซึ่งจะกลายเป็นโลหะเมื่อถูกชาร์จให้มีประจุ และจะแยกจากกัน พวกกัมมันตรังสีประเภทไอออนไนซิ่งจะทำให้ประจุสูญหายไปและไฟเบอร์กลับคืนสู่สภาพปกติ ภาพเงาของไฟเบอร์สามารถมองเห็นได้โดยใช้ระบบเลนส์ช่วย (ในส์เกลเล็กๆ) และอ่านค่าในช่วงเวลาใดๆได้ อิเล็คโตรส์โคปประกอบขึ้นด้วยแผ่นโลหะ ดังนั้นจึงวัดได้เฉพาะโดส์จากรังสีแกมม่าเท่านั้น ประโยชน์ที่ใช้คือวัดค่าโดส์ในเวลาสั้นๆเพื่อบอกปริมาณโดส์ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง เพื่อเป็นการบอกเตือนการป้องกันอันตรายจากกัมมันตรังสีสำหรับระดับงานกัมมันตรังสีทั่วไป มักใช้เครื่องมืออ่านค่าได้ถึง 200 หรือ 500 เรินต์เก้น (2 หรือ 5 μ*Gy*)

5.9.3 เครื่องวัดโดส์เทอร์โมลูมิเนส์เซ่นต์ *(Thermoluminescent dosimeters)*

เรียกชื่อย่อของเครื่องนี้เป็น *"TLD"* ซึ่งมีหลักการคือเมื่อส์ารบางชนิดได้รับกัมมันตรังสี อิเล็คตรอนของส์ารนั้นจะถูกกระตุ้นให้อยู่ในส์ภาวะโลด *(excited state)* และยังคงอยู่ในส์ภาวะดังกล่าวเป็นเวลานาน แต่เมื่อได้รับความร้อนปริมาณพอเหมาะ อิเล็คตรอนจะกลับลงสู่กราวนด์ส์เตทหรือส์เตทที่อยู่ต่ำลงมา (มีพลังงานน้อยกว่าเอ็กไซเต็ดส์เตท) พร้อมกับปล่อยพลังงานในรูปของแส์ง ซึ่งจะถูกบันทึกค่าไว้และถือเส์มือนโดส์ของกัมมันตรังสีเริ่มแรก ส์ารเรืองแส์งที่นำมาใช้มีหลายชนิด เช่น LiF ถูกแอ็คติเวตด้วย Mg หรือ CaF_2 ถูกแอ็คติเวตด้วย Mn ส์ารดังกล่าวมีน้ำหนักน้อยๆบรรจุในถุงเล็กๆและมีที่จับถือในลักษณะเดียวกับฟิล์มแบดจ์ *TLD*ส์ามารถทำให้มีขนาดเล็กๆโดยมีรูปร่างแตกต่างกัน จึงเหมาะส์มในการใช้วัดโดส์ในหลายบริเวณที่ไม่ส์ามารถใช้ฟิล์มได้ เช่น บริเวณนิ้วมือ เป็นต้น

TLD ที่ถูกส์ร้างขึ้นใหม่ๆจัดได้ว่าเป็นเครื่องมือให้ความถูกต้องพอส์มควร โดยมีช่วงของโดส์จาก *0 - 200 R (0 - 20 Gy)* เมื่อส์ารเรืองแส์งถูกทำให้ร้อน ปริมาณโดส์ถูกอ่านโดยอัตโนมัติและถูกบันทึกค่าไว้ ในการตรวจส์อบค่าที่บันทึกไว้ใน *TLD* ทำโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ จึงรับประกันความถูกต้อง

ข้อเสียของ *TLD* คือ เมื่อให้ความร้อนกับ *TLD* นั้นส์ารเรืองแส์งมีโอกาส์ถูกทำให้อยู่ในส์ภาวะโลดได้อีกครั้งหนึ่ง *(re-excite)* ดังนั้น ค่าโดส์ปรากฏมีค่ามากกว่าความเป็นจริง จัดเป็นเครื่องมือราคาสูง อย่างไรก็ตาม ในอนาคตเชื่อว่า *TLD* จะเป็นที่นิยมแพร่หลายอย่างกว้างขวาง ขณะเดียวกับที่ฟิล์มแบดจ์ยังคงถูกใช้ควบคู่กันไป

5.9.4 เครื่องวัดกัมมันตรังสีอื่นๆ

ในการวัดรังสีนิวตรอนต้องอาศัยฟิล์มชนิดพิเศษ เช่น ทองใช้กับนิวตรอนช้า และซัลเฟอร์ *(sulphur)* ใช้กับนิวตรอนเร็ว บางครั้งในฟิล์มแบดจ์จะใช้แถบอินเดียมฟอยล์ *(in-*

dium foil) เป็นตัวบอกถึงการได้รับนิวตรอนหรือไม่โดยไม่จำเป็นต้องใช้ฟิล์ม ถ้าเป็นโดสมีความเข้มข้นสูง ต้องใช้วิธีการพิเศษขึ้นไป และมีบางวิธีเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนวาเลนซี่กับธาตุบางชนิดในสารละลาย เช่น ซีเรียม *(cerium)* และเหล็ก นอกจากนี้มีการใช้คุณสมบัติทำให้แก้วบางชนิดเป็นสีดำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก้วฟอสเฟต และทำการวัดความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติโปร่งแสง

5.10 บทสรุป

การได้รับกัมมันตรังสีประเภทไอออนไนซิ่งมากๆจะทำให้เกิดผลเสียหายต่อเซลล์ร่างกาย โครโมโซม *(chromosome)* มีโอกาสถูกทำลายได้ ซึ่งมีผลต่อกรรมพันธุ์ แต่ก่อนที่จะเกิดผลเสียหายทางกรรมพันธุ์จนสังเกตุได้ บุคคลนั้นจะต้องได้รับกัมมันตรังสีเกินจากระดับที่กำหนดไว้เป็นปริมาณมากและสะสมนานหลายชั่วอายุ ในปัจจุบันกัมมันตรังสีประเภทนี้จัดเป็นพวกที่มีอันตรายน้อยที่สุด

ข้อแนะนำทั่วไปเพื่อความปลอดภัยในการทำงานที่เกี่ยวกับกัมมันตรังสี

1. ก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติการใดๆตามขั้นตอนของขบวนการที่ได้จัดไว้ ควรจะแน่ใจว่าผลที่ได้จะมีค่าเป็นบวก คือได้ผลดีขึ้นหรือสำเร็จตามเป้าหมาย ทั้งยังควรรำลึกถึงการเสี่ยงอันตรายต่างๆที่อาจมีได้

2. - การได้รับกัมมันตรังสีแบบ "เอ็กซ์โพเซอร์" ทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นควรมีค่าต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงหลักการประหยัดและความปลอดภัยของสังคมอีกด้วย

3. ค่าโดสเทียบเท่าในคนจะต้องไม่เกินค่ากำหนดซึ่งรับรองว่าเป็นค่าถูกต้องพอสมควรโดยคณะกรรมการ อนึ่ง โดสเทียบเท่าหมายถึงโดสภายในและภายนอก

ในการป้องกันอันตรายจากกัมมันตรังสี กำหนดให้โดสสูงสุดที่ควรได้รับคือ 5 เรม *(50 mSv)* ต่อปี จะเห็นได้ว่าระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นแฟคเตอร์สำคัญ เพราะแม้ต้นกำเนิดรังสีมีขนาดเป็น *2-3 μCi* ก็อาจส่งผลอันตรายได้ ถ้าอยู่ระยะห่างไม่มากนัก (ตามกฎผกผันกำลังสอง)

อันตรายของกัมมันตรังสีประเภทไอออนไนซ์คล้ายคลึงกับผลของความร้อน (เช่น แสงอาทิตย์) ที่มีต่อผิวหนัง ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นจะแตกต่างโดยเริ่มจากไม่มีผลอันตรายใดๆจนถึงขั้นถูกเผาไหม้

การเกิดการกัมมันตรังสีอาจมีสาเหตุดังนี้คือ

1. - เป็นต้นกำเนิดกัมมันตรังสีไม่ต้องการใช้ประโยชน์อีกต่อไป กล่าวคือกัมมันตรังสีที่ปล่อยออกมามีความเข้มรังสีน้อยมากจนไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อีกได้ หรือกัมมันตรังสีสลายตัวไปหลายครึ่งชีวิตจนเรียกได้ว่า "หมดอายุ" *(expire)* เช่น ^{201}Tl ครึ่งอายุประมาณ 72 ชม. หมดอายุประมาณ 8 วัน ซึ่งมิได้หมายความว่าต้นกำเนิดรังสีดังกล่าวจะหยุดการปล่อยกัมมันตรังสีโดยสิ้นเชิง อาจกำจัดโดยส่งไปยังบริษัทผู้ผลิต หรือเก็บไว้ในวัสดุกันจนมีกัมมันตรังสีอ่อนมากจนไม่เป็นอันตราย

2. - การการกัมมันตรังสีอื่นๆขึ้นกับงานที่เกี่ยวข้อง เช่น เกิดจากการหกเปรอะเปื้อน เป็นต้น

การกำจัดการกัมมันตรังสีแยกเป็นการชนิดของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งวิธีการกำจัดแตกต่างกันดังนี้

- ของเหลว อาจกำจัดโดยปล่อยทิ้งตามท่อของเสียทั่วๆไป แต่ต้องไม่เกินระดับที่กำหนดไว้ เช่น ถ้าน้ำเสียประจำวันประมาณ 450 ลิตร (100 แกลลอน) ^{32}P *37 MBq (1 mCi)* ทิ้งประจำวันมีความเข้มข้น *82 Bq* (2×10^{-2} *μCi*) ต่อตารางเซ็นติเมตร เป็นที่คาดว่า $\frac{1}{10}$ ของความเข้มข้นดังกล่าวสามารถใช้เป็นน้ำดื่มได้

นอกจากนี้ อาจกำจัดกัมมันตรังสีโดยใช้โคลนเป็นตัวดูดกลืน ซึ่งจะไหลไปในพื้นดินซึ่งอาจเกิดการแลกเปลี่ยนไอออน อย่างไรก็ตาม ของเหลวที่มีปริมาณกัมมันตรังสีสูงจะต้องเก็บไว้ในบ่อหรือถังเก็บชั่วระยะเวลาหนึ่ง จนกระทั่งสลายตัวลดความเข้มข้นรังสีลงถึงระดับปลอดภัยที่จะทิ้งได้โดยไม่เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

- ของแข็ง พวกของแข็งไม่สามารถจะทำให้เสื่อมลงได้ แต่ถ้ามีกัมมันตรังสีปริมาณน้อยก็ทิ้งได้เหมือนของเสียทั่วๆไป เช่น กระดาษเช็ดมือ เครื่องแก้วแตกที่เปื้อนกัมมันตรังสี เป็นต้น กรณีต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรคมักเป็นสารกัมมันตรังสีที่ผลิตจากเครื่องเร่งอนุภาค ซึ่งจะมีอายุสั้น ดังนั้น จึงไม่เป็นปัญหาในการกำจัด

- ขี้เถ้าเผา ถ้าสารกัมมันตรังสีอยู่ในรูประเหยได้ หรือถูกดูดกลืนอยู่ในกระดาษเช็ดมือ อาจกลายเป็นแก๊สหรือขี้เถ้าเบาได้ หรือคงอยู่ในรูปของตะกอนรังสี

คำถามทบทวน

5.1 จงอธิบายความหมายและหน่วยของคำต่อไปนี้

ก) เอ็กซ์โพเซอร์โดส

ข) ปริมาณกัมมันตรังสีที่ถูกวัตถุดูดกลืน

ค) โดสเทียบเท่า

5.2 อาการของผู้ถูกรังสีแบ่งออกเป็นกี่ระยะ อะไรบ้าง

5.3 ในแต่ละปีกำหนดให้ได้รับกัมมันตรังสีได้ไม่เกินกี่เรม ถ้าแบ่งเป็นงวด ควรได้รับปริมาณเท่าใด ในแต่ละงวด

5.4 เหตุใดหญิงมีครรภ์ไม่สมควรได้รับกัมมันตภาพรังสี

5.5 H_{50} คืออะไร

5.6 อธิบายถึงสาเหตุหรือตัวการที่จะนำพากัมมันตรังสีเข้าสู่กระแสโลหิตได้

5.7 หลักทั่วไปในการป้องกันกัมมันตรังสีจากภายนอกร่างกาย ของผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสีมีอะไรบ้าง

5.8 จงอธิบายการขจัดกากกัมมันตรังสีที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ซ

5.9 ถ้ามีการเปรอะเปื้อนกัมมันตรังสีเกิดขึ้น จะขจัดได้อย่างไร

5.10 การใช้ไอโซโทปรักษาโรคทำให้คนไข้ได้รับโดสสูง ผู้ใกล้ชิดควรป้องกันอย่างไรที่จะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อตนเอง

5.11 เครื่องวัดกัมมันตรังสีที่ใช้ในงานป้องกันรังสีมีอะไรบ้าง อธิบายพอสังเขป