

บทที่ 16

ความปลอดภัยในการทำงานกับนิวไคลด์รังสี

งานที่เกี่ยวข้องกับการใช้นิวไคลด์รังสีนั้นเต็มไปด้วยอันตรายจากการถูก “เอ็กซ์โพส” อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (“เอ็กซ์โพส” หมายถึง การถูกกัมมันตภาพรังสีภายนอกร่างกาย, ผู้แปล) ดังนั้น สมควรให้ความสนใจต่ออันตรายดังกล่าว กรณีเวชศาสตร์นิวเคลียร์ลักษณะการเสี่ยงที่กล่าวแล้วนี้จะเป็นไปได้ต่อเมื่อในห้องปฏิบัติการ มีต้นกำเนิดรังสีชนิดที่มีได้ปกปิดมิดชิดในปริมาณมากและมีผู้ปฏิบัติการอยู่ในสถานที่นั้น ซึ่งการถูกเอ็กซ์โพสหรือการเปื้อน (contamination) สารรังสี สามารถได้รับจากลำดับขั้นตอนดังนี้คือ การดูแลวัสดุรังสีออกจากเจนเนอเรเตอร์ การฉีดวัสดุรังสีให้กับคนไข้ หรือการทำสแกนคนไข้ ผู้เกี่ยวข้อง (คือ พนักงานรังสี นักฟิสิกส์ หรือแพทย์) มีโอกาสได้รับโดสเช่นเดียวกับสิ่งแวดล้อมทั่วไป ปรากฏหลายองค์การร่วมกับรัฐและตัวแทนแต่ละประเทศจัดให้มีการตีพิมพ์เอกสารชี้แจงเกี่ยวกับการผลิตการขนส่ง การเก็บรักษา การใช้ประโยชน์และการกำจัดนิวไคลด์รังสี “เฟดเดอรัลเรกูเลชัน” (Federal regulations) ได้ถูกตีพิมพ์ภายใต้โค้ด Federal Regulations title 10 ผู้เขียนขอแนะนำให้ผู้อ่านทำการศึกษาเอกสารดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งตอนที่ 20 และ 35 ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ตาราง 16-1 ได้แจ้งขีดจำกัดในการรับโดสเอ็กซ์โพสหรือเรียกเป็น “maximum permissible dose” เรียกย่อว่า “MPD” ค่าจะแปรตามกลุ่มหรือประเภทของบุคคลที่ถูกเอ็กซ์โพส

ตาราง 16-1 ขีดจำกัดในการได้รับโดสซึ่งรับรองโดย NCRP (1971)

Recommended-Limit	
Radiation Workers	
Whole Body (Prospective)	5 rem*/yr
Whole Body (Retrospective)	10-15 rem in any 1 yr
Whole Body (Accumulative to age N)	(N-18) × 5 rem:
Hands	75 rem/yr
Forearms	30 rem/yr
Skin and Other Tissue or Organs	15 rem/yr
Pregnant Radiation Worker	0.5 rem in gestation period
Non-Radiation Workers or	
Occasionally Exposed Individuals	
Total Body or Partial	0.5 rem/yr
Emergency (Life-saving)	
Whole Body (Individuals over 45 yr of age, if possible)	100 rem (total)
Hands and Forearms	200-300 rem (total)
Emergency (Less urgent)	
Whole Body	25 rem (total)
Hands and Forearms	100 rem (total)
Family of Radioactive Patients	
Individuals over 45 yr of age	5 rem/yr
Individuals under 45 yr of age	0.5 rem/yr

*rem = dose in rads × quality factor. Quality factor = 1 for the radiations encountered in nuclear medicine (e.g. electrons, positrons, X and γ-rays).

ขีดจำกัดดังกล่าวถือเป็นเกณฑ์ซึ่งไม่ควรเกินค่าที่บ่งไว้ ทั้งนี้ มิได้หมายความว่ารังสีต่ำกว่าระดับกำหนดจะไม่เป็นอันตรายหรือมีความปลอดภัย ทฤษฎีที่ใช้เป็นเกณฑ์ในด้านป้องกันรังสีหรือฟิสิกส์สุขภาพ (health physics) ได้แก่ การรับโดสรังสีให้น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ เรียกทั่วไปว่า “ALARA” (as low as reasonable achievable) ปรึชญาดังกล่าวและคำแนะนำได้ช่วยสร้างสรรค์ความเชื่อมั่นต่อผู้ใช้ในการลดระดับรังสีในสถานปฏิบัติงาน ให้ปรากฏต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ตามความเป็นไปได้ในแง่เศรษฐกิจและเทคโนโลยี แม้ว่าบรรดาระดับดังกล่าวจะต่ำกว่าขีดจำกัดตามกฎหมายก็ตาม รายละเอียดในบทนี้มุ่งเน้นงานปฏิบัติ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนสามารถลดการถูกเอ็กซ์โพสให้มีปริมาณต่ำสุดทั้งต่อตนเองและเพื่อนร่วมงาน ตลอดจนลดการประอะเปื้อนต่อสภาพแวดล้อม ทั้งนี้ โดยยึดมั่นตามคำกล่าวข้างต้น

การลดเอ็กซ์โพเชอร์จากต้นกำเนิดรังสีจากภายนอก

อันตรายจากต้นกำเนิดรังสีภายนอก (คือภายนอกร่างกาย, ผู้แปล) นั้นถูกวัดในพจน์ของเอ็กซ์โพเชอร์ เอ็กซ์โพเชอร์เป็นการวัดอนุภาพที่รังสีสามารถทำให้อากาศเกิดการแตกตัว (ionization) หน่วยของเอ็กซ์โพเชอร์ ได้แก่ เรินต์เกน (roentgen) ซึ่งมักเขียนย่อด้วยอักษร R เป็นระดับของรังสีที่สามารถก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นปริมาณประจุไฟฟ้า 2.58×10^{-4} คูโลมบ์/กก. ของอากาศหนึ่งมิลลิเรินต์เกน (milliroentgen) หรือ mR ก็คือหนึ่งพัน-เรินต์เกน หน่วย SI ของเอ็กซ์โพเชอร์ คือ คูโลมบ์/กก. ดังนั้น 1 คูโลมบ์/กก. = 3876 R. ถ้า ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ทราบค่าเอ็กซ์โพเชอร์ก็จะสามารถคำนวณโดสที่ถูกดูดกลืน (หรือมักเรียกทับศัพท์ว่า absorbed dose, ผู้แปล) ถ้าบุคคลหนึ่งยืนอยู่ ณ ตำแหน่งดังกล่าวได้ โดยการคูณค่าเอ็กซ์โพเชอร์ด้วยพจน์หนึ่งซึ่งรู้จักทั่วไปว่าแฟคเตอร์ “f” สำหรับกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่ออ่อนจะมีค่าแฟคเตอร์ f ใกล้เคียง 1 ดังนั้น ตามวัตถุประสงค์ในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์เราอาจถือว่าเอ็กซ์โพเชอร์มีค่ามากหรือน้อยเท่ากับโดสที่ถูกดูดกลืน

ทฤษฎีที่ใช้ในการลดเอ็กซ์โพเชอร์ของรังสีจากต้นกำเนิดภายนอก (เฉพาะนิวไคลด์รังสีที่เปล่งรังสีเอ็กซ์และแกมมาเท่านั้น) สามารถสรุปได้เป็น 3 ค่า ที่มีน้ำหนักเท่ากัน คือ เวลา (time) ระยะทาง (distance) และวัสดุกำบัง (shielding)

เวลา : เนื่องจากโดสรังสีทั้งหมด คือไม่ว่าจะเป็นปริมาณที่ถูกทั่วร่างกายหรือเพียงบางส่วนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาที่ถูกเอ็กซ์โพส จึงสำคัญอย่างยิ่ง ควรใช้เวลาให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เมื่ออยู่ใกล้ต้นกำเนิดนิวไคลด์รังสีที่เปล่งรังสีเอ็กซ์หรือแกมมา ข้อกำหนดดังกล่าวนี้ผู้ใช้รังสีควรรำลึกและระมัดระวัง ตัวอย่างเช่น ขณะที่ทำการดูด ^{99}Mo เจนเนอเรเตอร์ ผู้ปฏิบัติไม่ควรยืนใกล้เจเนอเรเตอร์ขณะดำเนินการดูด เมื่อทำการฉีดโดสให้กับคนไข้ ผู้ฉีดควรตรวจดูเส้นเลือดดำที่จะทำการฉีดเสียก่อน จากนั้นจึงนำกระบอกฉีดยาที่บรรจุโดสนิวไคลด์รังสีออกจากตะกั่วกำบังรังสี อย่างไรก็ตามไม่แนะนำให้ผู้ปฏิบัติงานทำด้วยความรีบร้อน เนื่องจากถ้าจำเป็นต้องย้อนปฏิบัติใหม่ อันเกิดจากสาเหตุลงเล็ใจย่อมจะได้รับโดสมากขึ้นเนื่องจากเวลาที่ถูกเอ็กซ์โพเชอร์ทวีคูณ

ระยะทาง โดสรังสีที่ฉายมายังร่างกายจากต้นกำเนิดรังสีภายนอกจะแปรผกผันกับกำลังสอง

ของระยะทางจากต้นกำเนิดมายังร่างกาย (กล่าวคือ ถ้าเพิ่มระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีด้วยแฟกเตอร์ 2 โดสรังสีจะลดลงด้วยแฟกเตอร์ 4) ดังนั้น ผู้ปฏิบัติควรวางเครื่องที่มีด้ามจับยาวในการเคลื่อนย้ายนิวไคลด์รังสีที่มีความแรงมาก ๆ (> 50 mCi) ซึ่งเป็นตัวเปล่งรังสีแกมมาพลังงานสูง (> 300 keV) จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง แม้ว่าต้นกำเนิดรังสีดังกล่าวจะมีสิ่งกำบังมิดชิดก็ตาม เมื่อต้องจับถือต้นกำเนิดนิวไคลด์รังสีที่มีความแรงปานกลาง (~ 10 mCi) ควรถือต้นกำเนิดรังสีให้ห่างจากร่างกาย

เมื่อต้องจุดโดสเพื่อฉีดคนไข้ ควรใช้กระบอกฉีดยาขนาดใหญ่พอเหมาะในการที่จะให้ปริมาตรไม่เกินครึ่งหนึ่งของปริมาตรเต็ม และจับถือกระบอกฉีดยาในบริเวณที่มีได้มีโคสอยู่ ถ้าจำเป็นต้องปฏิบัติการโดยใช้โดสขนาดแรงในช่วงเวลายาวนาน ผู้ปฏิบัติงานควรคำนึงถึงการใช้อุปกรณ์ที่สามารถบังคับให้ทำงานได้ในระยะไกลเพื่อช่วยในการหยิบขวดกัมมันตรังสีหรือใช้ดูดสารกัมมันตรังสีชนิดเหลว

วัสดุกำบังรังสี : วัสดุกำบังที่สามารถป้องกันรังสีเอ็กซ์และแกมมาได้อย่างมีประสิทธิภาพคือภาชนะอย่างหนา อีฐ หรือแผ่นกั้นซึ่งทำจากตะกั่ว การใช้กระจกควรเป็นกรณีที่ต้องการดูในส่วนที่อยู่หลังแผ่นกั้นตะกั่ว โดยทั่วไปจำนวนวัสดุกำบังต้องใช้เพื่อลดเอ็กซ์โพเชอร์ให้มีระดับต่ำสุดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่จะกำบังและพลังงานของรังสีแกมมา

ตัวแปรทั้งสามซึ่งได้แก่ เวลา ระยะทาง และวัสดุกำบัง นั้นสามารถรวมเขียนเป็นสูตรเดียวกันซึ่งผลลัพธ์ คือ ค่าเอ็กซ์โพเชอร์จากต้นกำเนิดกัมมันตรังสีขนาดเล็ก ๆ ดังนี้

$$E = \frac{n\Gamma}{d^2} \cdot \mu^{(\text{linear})} \cdot x \cdot t$$

ในที่นี้ E หมายถึง เอ็กซ์โพเชอร์ (R)

n หมายถึง จำนวนมิลลิคูรีของต้นกำเนิดรังสี

d หมายถึง ระยะทาง (ซม.) ของจุด (ซึ่งเป็นตำแหน่งที่คาดว่าจะได้รับเอ็กซ์โพเชอร์) ที่อยู่ห่างจากต้นกำเนิด

t หมายถึง เวลาที่ถูกเอ็กซ์โพส (ซม.)

μ (linear) หมายถึง ค่า ส.ป.ส.ลิเนียร์แอทเทนนูเอชัน (attenuation coefficient) ของวัสดุกำบัง (ซม.⁻¹)

x หมายถึง ความหนาของวัสดุกำบัง (ซม.)

สำหรับงานป้องกันกัมมันตภาพรังสี รังสีเอ็กซ์หรือแกมมาที่พลังงานต่ำกว่า 20 keV ไม่รวมอยู่ในการคำนวณค่า

Γ (แกมมา) เป็นอัตราเอ็กซ์โพเชอร์ซึ่งคงที่ของนิวไคลด์รังสี มีหน่วยเป็น R · cm²/mCi · h และสำหรับ ^{99m}Tc มีค่าเป็น 0.60 ส่วนนิวไคลด์รังสีอื่นซึ่งใช้ในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์นั้น แสดงค่าในภาคผนวก A

ตัวอย่าง

(1) จำนวนเอกซโพเชอร์ในเวลา 1 นาที ที่ปลายนิ้วมือได้รับ จากกระบอกฉีดยาซึ่งปลายนิ้วนั้นสัมผัสอยู่ โดยกระบอกฉีดยาบรรจุ ^{99m}Tc อยู่ 15 mCi (สมมุติให้ระยะห่างของกัมมันตภาพรังสีจากปลายนิ้วมือคือ 3 ซม.)

$$\begin{aligned}\text{ในกรณีนี้} \quad n &= 15 \text{ mCi} \\ \Gamma &= 0.60 \text{ R.cm}^2/\text{mCi.h} \\ t &= 1 \text{ min.} = \frac{1}{60} \text{ h} \\ x &= 0 \text{ (ไม่มีวัสดุกำบัง, ไม่คำนึงถึงการดูดกลืนในต้นกำเนิด)} \\ d &= 3 \text{ ซม.}\end{aligned}$$

แทนค่าดังกล่าวลงในสมการ (1)

$$\begin{aligned}E &= \frac{15 \times 0.6}{3^2} \cdot e^{-\mu(\text{linear}) \cdot 0} \cdot \frac{1}{60} \text{ R} \\ &= 0.017 \text{ R} \\ &= 17 \text{ mR}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง

(2) จำนวนเอกซโพเชอร์เดียวกันนี้จากตัวอย่างที่ 1 แต่กรณีนี้กระบอกฉีดยาถูกกำบังด้วยตะกั่วหนา 1 มม. (ค่า $\mu(\text{linear}) = 25 \text{ ซม.}^{-1}$)

$$\text{ในกรณีนี้} \quad x = 1 \text{ มม.} = 0.1 \text{ ซม.}$$

$$\text{และ } \mu(\text{linear}) = 25 \text{ ซม.}^{-1} \quad \text{แฟกเตอร์อื่นยังคงเดิม}$$

ดังนั้น จากสมการ (1) เขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}E &= \frac{15}{3^2} \times 0.6 \cdot e^{-25 \times 0.1} \cdot \frac{1}{60} \text{ R} \\ &= 0.017 e^{-2.5} \\ &= 0.017 \times 0.08 = 0.00136 \text{ R} \\ &= 1.35 \text{ mR}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง

(3) คนไข้ได้รับการฉีด $^{99m}\text{Tc} = 15 \text{ mCi}$ จึงคำนวณเอกซโพเชอร์ที่เทคนิคเขียนได้รับ ซึ่งโดยเฉลี่ยใช้เวลา 30 นาที ในการทำสแกน และอยู่ห่างจากคนไข้ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ประมาณ 1 เมตร (สมมุติว่ากัมมันตภาพรังสีกระจายอยู่ในปริมาตรเล็ก ๆ ในตัวคนไข้ ซึ่งหมายถึงไม่มีการลดทอนพลังงาน (attenuation) ในคนไข้)

ในกรณีนี้

$$\begin{aligned}
 n &= 15 \text{ mCi}, \quad \Gamma = 0.60 \text{ R cm}^2/\text{mCi.h} \\
 d &= 1 \text{ เมตร} = 100 \text{ ซม.} \\
 t &= 30 \text{ นาที} = 0.5 \text{ ชม.} \\
 x &= 0 \text{ และ } \mu(\text{linear}) = 0
 \end{aligned}$$

จากสมการ (1)

$$\begin{aligned}
 E &= 1100^2 \cdot 0.6 \cdot e^{-0 \cdot 0.5} \text{ R} \\
 &= \frac{15 \times 0.6 \times 0.5}{10,000} \\
 &= 0.00045 \text{ R} \\
 &= 0.45 \text{ mR}
 \end{aligned}$$

ถ้ารวมกรณีเกิดลดทอนพลังงานในคนไข้ เอ็กซ์โพเชอร์จะยิ่งลดค่าลงอีกอาจลดลงถึง 4 เท่า

จากตัวอย่างที่แสดงมาข้างต้นนี้แสดงถึงขอบข่ายของเอ็กซ์โพเชอร์ที่เกิดขึ้นได้ในเวชศาสตร์นิวเคลียร์ แหล่งกำเนิดเอ็กซ์โพเชอร์แหล่งอื่นซึ่งถือว่ามีความสำคัญมากคือเจนเนอเรเตอร์นิวไคลด์รังสีนั่นเอง

การหลีกเลี่ยงการเปราะเปื้อนภายในร่างกาย

การเปราะเปื้อนนิวไคลด์รังสีจากภายในร่างกายอาจเกิดขึ้นได้ 3 ทาง คือ การทะลุทะลวงผ่านผิวหนังรับประทาน และหายใจเข้าสู่ร่างกาย เพื่อหลีกเลี่ยงจากการรับประทานหรือทะลุทะลวงผ่านผิวหนังควรปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้ :

1. สวมเสื้อกาวน์เมื่อปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ ถุงมือใช้ชนิดที่ทิ้งเลยเมื่อใช้เสร็จ และปฏิบัติดังกล่าวทุกครั้งที่ต้องจับถือกัมมันตรังสี จดจำเสมอว่าถุงมือที่ใช้จับถือกัมมันตรังสีแล้วย่อมมีการเปราะเปื้อนเกิดขึ้นได้ และเนื่องจากถุงมือเป็นแหล่งกำเนิดการเปราะเปื้อนที่กระจายได้ง่ายที่สุดในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นสมควรทิ้งถุงมือทันทีภายหลังจากการจับต้องสารกัมมันตรังสี ถ้าต้องจับถือสารกัมมันตรังสีชนิดแรงสมควรใช้ถุงมือ 2 คู่
2. ไม่ควรรับประทาน ดื่ม หรือสูบบุหรี่ในห้องปฏิบัติการนิวไคลด์รังสี หรือพิเพตสารละลายกัมมันตรังสีด้วยปาก ก่อนรับประทานอาหารควรล้างมือให้สะอาดถ้าได้จับต้องสารประกอบกัมมันตรังสี
3. ป้องกันบริเวณที่มีการใช้นิวไคลด์รังสีอย่างละเอียดถี่ถ้วน ใช้ภาชนะที่มีกระดาษซับบนโต๊ะปฏิบัติการเพื่อจำกัดขอบเขตการกระจายของสารกัมมันตรังสีในกรณีเกิดอุบัติเหตุขณะปฏิบัติงานโดยใช้ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีที่ได้ถูกปกปิดมิดชิด
4. ระมัดระวังการเปราะเปื้อนที่มีสาเหตุจากบุคคลซึ่งได้แก่คนไข้ตนเอง สาเหตุอาจเกิดจากน้ำลายเลือด หรือปัสสาวะของคนไข้เปราะเปื้อนผ้าปูที่นอน ปลอกหมอน และ เปลหามคนไข้ ซึ่งใช้ขณะทำสแกน

ส่วนการเปราะเปื้อนจากการหายใจนั้นมิใช่ปัญหาสำคัญในเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ยกเว้น 2-3 กรณีซึ่งใช้กัมมันตรังสีเป็นแก๊ส (gases) หรือจับถือไอโอดีนรังสีปริมาณมาก ๆ การป้องกันมิให้ห้องมีการเปราะเปื้อนแก๊ส กัมมันตรังสีทำได้โดยจัดเก็บบรรดากัมมันตรังสีดังกล่าวไว้ในตู้ควัน (hood) และขณะใช้งานควรมีความระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อแก๊สกระจายออกจากห้องดังกล่าว กรณีใช้ไอโอดีนรังสีปริมาณมากนั้นสมควรปฏิบัติงานภายในตู้ควัน ถ้าเป็นไปได้ ก่อนจะไปเปิดขวดที่บรรจุไอโอดีนรังสีติดฉลากสารประกอบซึ่งมีปริมาณกัมมันตภาพรังสีสูง ควรยื่นขวดให้อยู่ห่างตัวมากที่สุด ในกรณีรับประทานไอศ ^{131}I เพื่อรักษาโรคควรให้คนไข้เปิดขวดและดื่มไอศดังกล่าวเอง