บทที่ 4

ทฤษฎีการคำนวณหาปริมาณรังสีแกมม่าจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู[1]

ทฤษฎีที่จะกล่าวนี้เป็นทฤษฎีการคำนวณหาปริมาณรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีซึ่งมีรูปร่างลักษณะที่คล้าย ๆ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เพื่อนำไปประมาณ (approximate) ค่าปริมาณรังสีแกมม่าจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยของไทยและเพื่อที่จะได้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนท์ (TLD) และวิธีฟริคโดสซิเมเตอร์ (Fricke dosimeter)

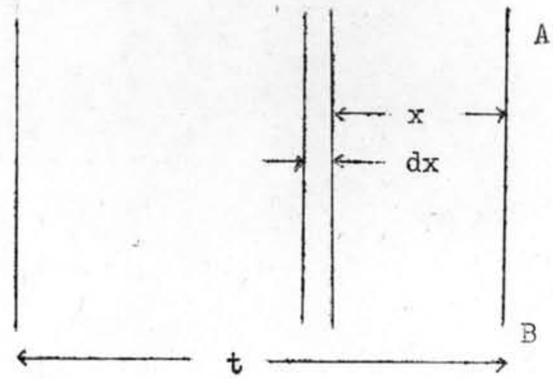
การแผ่รังสีจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (reactor) หรือถังเหล็กบรรจุเชื้อเพลิง (vessel) เป็นการแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดที่มีปริมาตร (volume - distributed source) ซึ่งสามารถพิจารณาให้อยู่ในเทอมของฟลักซ์ (flux) ที่ผิวได้เมื่อตัวแกนเชื้อเพลิงเองมีการดูดกลืน (self - absorption) รังสีภายในปริมาตรของมันได้ด้วยซึ่งจะได้พิจารณาดังต่อไปนี้

ถ้าให้ volume source เป็นแผ่นขนาดอนันต์ (infinite) มีความหนา t ดังรูป 4-1

พิจารณาแผ่นบาง ๆ ซึ่งหนา dx ขนานกับแนว AB ให้ S_v เป็นจำนวนอนุภาค (โฟตอนต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที) เป็นความแรงของแหล่งกำเนิดที่ปล่อยรังสีอย่างสม่ำเสมอ (uniform source strength) ภายในแผ่นนั้น

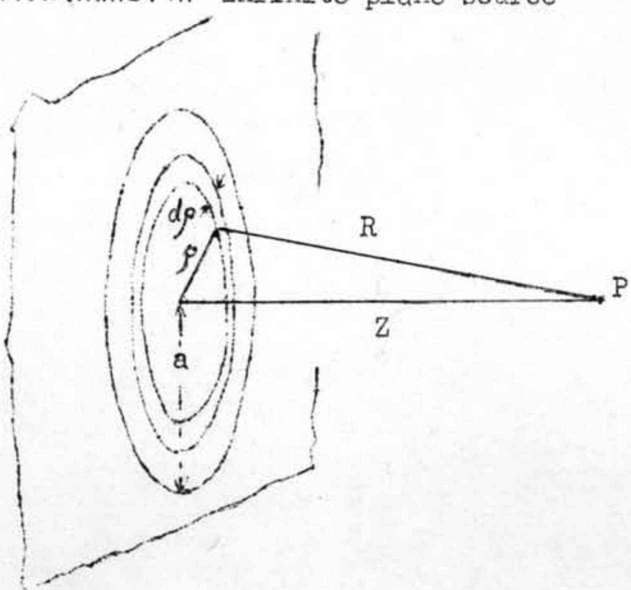
---

[1] Samuel Glasstone and Alexander Sesonske, Nuclear Reactor Engineering (USAEC, Litton Educational Publishing, Inc., 1967) p. 568-593.



รูปที่ 4-1 Volume distributed source ซึ่งมีการดูดกลืน ภายในตัว (self - absorption)

ดังนั้นอัตราการปล่อยรังสีต่อพื้นที่จากผิวชิ้น dx = $S_v dx$ อนุภาค/(ซม.^{2})(วินาที) ฟลักซ์ (flux) จากแผ่นบาง ๆ ที่ปรากฏบนจุดในแนว AB ที่ระยะทาง x ห่างจากแผ่นบาง ๆ หาได้จากการหาฟลักซ์จาก infinite plane source ดังรูป 4-2



รูปที่ 4-2 แสดง infinite plane source

จะได้

$$\phi(Z) = \frac{S_a}{2}\int_{Z}^{\infty} \frac{e^{-\mu R}}{R} \, dR \qquad \text{..........(4.1)}$$

เมื่อ S_a คือจำนวน อนุภาค/(ซม.^{2})(วินาที) ที่ปล่อยออกมาจากแผ่นขนาดอนันต์

Z คือระยะตั้งฉากระหว่างแผ่นกับจุด P ซึ่งก็คือความหนาของตัวขวางกั้น

μ คือ linear attenuation coefficient ของตัวขวางกั้น

R คือระยะจากจุด P ไปยังวงแหวนที่อยู่บนแผ่นขนาดอนันต์

จากสมการ (4.1) ให้ $q = \mu R$ จะได้

$$\phi(Z) = \frac{S_a}{2}\int_{\mu Z}^{\infty} \frac{e^{-q}}{q} \, dq \qquad \text{.......... (4.2)}$$

สมการ (4-2) อยู่ในรูปของสมการที่เรียกว่า exponential integral function ซึ่งมีรูป

$$E_n(x) = x^{n-1}\int_{x}^{\infty} \frac{e^{-p}}{p^n} \, dp \qquad \text{............. (4.3)}$$

ซึ่งจะหาค่าได้จากตารางในหนังสือคู่มือ เทียบสมการ (4-2) และ (4-3) จะได้ว่า

$n = 1$, $x = \mu Z$ ดังนั้นสมการ (4-2) จึงเขียนได้เป็น

$$\phi(Z) = \frac{1}{2} S_a E_1(\mu Z) \qquad \text{.............. (4.4)}$$

ซึ่ง $E_1(\mu Z)$ คือ first order exponential integral function ของ μZ ดังนั้นกรณีรูปที่ 4-2

$$\text{flux ที่ผิวจากชิ้น } dx = \frac{1}{2} S_v E_1(\mu_v x)\,dx \quad \text{.... (4.5)}$$

เมื่อ μ_v คือ linear attenuation coefficient ของ Volume source material for gamma ray.

ดังนั้นฟลักซ์ที่ผิวอันเกิดจากปริมาตรทั้งหมดหาได้จากการอินทิเกรทจาก 0 ถึง t

$$\therefore \text{ ฟลักซ์ทั้งหมดที่ผิว } AB = \frac{S_v}{2}\int_0^t E_1(\mu_v x)dx$$

$$= \frac{S_v}{2\mu_v}\left[E_2(0) - E_2(\mu_v t)\right]$$

เมื่อ $E_2(\mu_v t)$ เป็น second - order integral function ของ $\mu_v t$

$E_2(0) = 1$

ดังนั้นได้

$$\text{ฟลักซ์ทั้งหมดที่ผิว } AB = \frac{S_v}{2\mu_v}\left[1 - E_2(\mu_v t)\right]$$

ถ้าเป็นแผ่นหนามาก ๆ เช่น $\mu_v t$ ใหญ่มาก $E_2(\mu_v t)$ จึงมีค่าน้อย ดังนั้น

$$\text{ฟลักซ์ทั้งหมดที่ผิว } AB = \frac{S_v}{2\mu_v} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.6)$$

ซึ่งถ้า $\mu_v t > 3$ ข้อผิดพลาดในสมการ (4.6) จะน้อยกว่าร้อยละ .1 ดังนั้นจึงนิยมใช้สมการ (4.6) ในการคำนวณ

เนื่องจากว่าเราพิจารณา isotropic source ซึ่งอนุภาคถูกปล่อยออกไปอย่างสม่ำเสมอทุกทิศ ทุกทางของผิว ดังนั้นสมการที่ (4.6) เมื่อพิจารณาให้สอดคล้องกับ isotropic surface source จึงต้องเอา 2 คูณเข้าไป ดังนั้นจึงได้ความแรง S_a ของ an isotropic surface source ซึ่ง

มีค่าเท่ากับแหล่งกำเนิดที่มีปริมาตร (volume source) โดยความสัมพันธ์

$$S_a = \frac{S_v}{\mu_v} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.7)$$

เป็นที่น่าสังเกตว่า S_v มีหน่วยเป็น อนุภาค/(ซม.)^3 (วินาที)

μ_v **มีหน่วยเป็น** ซม.$^{-1}$

ก็จะได้หน่วยของ S_a ที่ถูกต้องคือ อนุภาค/(ซม.)^2 (วินาที)

ดังนั้นถ้าเป็นปริมาตรของแผ่นโต ๆ ล้อมรอบไปด้วยตัวขวางกั้น (shield) ฟลักซ์ที่แผ่ออกมาที่ระยะ z จะหาได้จากแทนค่าสมการ (4.7) ในสมการ (4.4) ในกรณีที่ค่า build up **factor** $[B(\mu z)] = 1$ จะได้

$$\phi(z) = \frac{S_v}{2\mu_v} E_1(\mu z) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.8)$$

ซึ่ง μ หมายถึง linear attenuation coefficient ของตัวขวางกั้น และ μ_v คือของแหล่งกำเนิดที่มีปริมาตร (volume source)

ตามความเป็นจริงแล้วในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมีตัวขวางกั้น เช่น น้ำ, กราไฟต์ (graphite) จึงทำให้เกิดมีการชนการเลี้ยวเบนของรังสี (scattering) จึงทำให้ค่า build up factor มากกว่า 1 ในหนังสือของ Glasstone ได้ให้ความสัมพันธ์ที่รวม buid up factor แล้วเป็น

$$\phi(z) = \frac{1}{2} S_a \left\{ AE_1[\mu z(1+\alpha)] + (1-A)E_1[\mu z(1+\beta)] \right\} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4.9)$$

ค่าคงที่ A, α, β หาได้จากตารางในหนังสือคู่มือทางนิวเคลียร์ฟิสิกส์

ดังนั้นเมื่อแทนค่า S_a ในสมการ (4.7) ลงในสมการ (4.9) จะได้

$$\phi(z) = \frac{S_v}{2\mu_v} \left\{ AE_1[\mu z(1+\alpha)] + (1-A)E_1[\mu z(1+\beta)] \right\} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4.10)$$

ถ้าแหล่งกำเนิดรังสีเป็นทรงกลม (sphere) ก็มีตัวร่วม $\frac{r}{r_0}$ ซึ่งหาได้จากการอินทิเกรท (integrating) เข้ามาคูณทางขวามือของสมการ (4.10) โดยที่ r คือรัศมีของแหล่งกำเนิดรังสีที่เป็นทรงกลม r_0 คือระยะจากจุดสังเกตมายังจุดกึ่งกลางของทรงกลม

ดังนั้นถ้าคำนวณฟลักซ์ ณ จุดใด ๆ ที่ระยะห่างจากผิวของทรงกลมเป็นระยะทาง Z ในกรณีที่ค่า build up factor เท่ากับ 1 ใช้สูตร

$$\phi(Z) = \frac{S_v}{2\mu_v}\left(\frac{r}{r_0}\right)E_1(\mu Z) \quad \text{.............(4.11)}$$