บทที่ 5

ตัวอย่างการคำนวณและผลที่ได้จากการคำนวณ

5.1 การคำนวณปริมาณกาซที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง

จากสมการ (3.1.1) $Q = \frac{3.1P}{3.7} \times \frac{Y}{100}$

แทนค่า $P = 1$ megawatt $= 10^6$ watt

จะได้ $Q = \frac{3.1 \times 10^6}{3.7} \times \frac{Y}{100}$ ..(5.1.1)

สำหรับ Kr^{83m} แทนค่า $Y = Y_{dep} = 0.48$

จะได้ $Q = 4.02 \times 10^3$ Ci

เพราะว่า 1 Ci $= 10^{12}$ pCi

เพราะฉนั้น $Q = 4.02 \times 10^{15}$ pCi

สำหรับกาซชนิดอื่นๆ เราสามารถคำนวณปริมาณที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงได้ โดยใช้สมการ (5.1.1) ค่าที่คำนวณได้ แสดงอยู่ในตารางที่ 5-1

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-1

ปริมาณกาซที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง

Isotope	Y_{indep} (%)	Y_{dep} (%)	Y (%)	Q (pCi)
Kr^{83m}	—	0.48	0.48	4.02×10^{15}
Kr^{85m}	1.5	—	1.5	1.26×10^{16}
Kr^{87}	—	2.7	2.7	2.26×10^{16}
Kr^{88}	3.7	—	3.7	3.10×10^{16}
Xe^{133m}	0.16	6.5	6.66	5.58×10^{16}
Xe^{133}	6.5	6.5, 0.16	13.16	1.10×10^{17}
Xe^{135m}	2.1	6.0	8.1	6.79×10^{16}
Xe^{135}	0.3	6.0, 2.1	8.4	2.63×10^{16}
Xe^{138}	—	5.8	5.8	4.86×10^{16}

หมายเหตุ สำหรับคริปตอน-85 มีครึ่งชีวิตยาวมาก ประมาณ 9.4 ปี ซึ่งไม่ได้อยู่ในช่วงเวลาที่เครื่องปฏิกรณ์กำลังเดินเครื่อง จึงไม่ได้นำมาพิจารณาในการคำนวณครั้งนี้

5.2 การคำนวณอัตราที่กาซซึมออกจากแท่งเชื้อเพลิง

พิจารณาการสลายตัวแบบต่อเนื่องของคริปตอน-88 ในอากาศ

$$Kr^{88} \xrightarrow{\lambda_1} Rb^{88} \xrightarrow{\lambda_2} Sr^{88}$$

ต้องการหาอัตราที่คริปตอน- 88 หนีจากน้ำขึ้นสู่อากาศ

จากสมการ (3.6.4) $$N_2 = \frac{\lambda_1 A}{(\lambda_1 + F/V_a)(\lambda_2 + F/V_a)}$$

แทนค่า $$N_2 = 2.50\times10^5 \frac{pCi}{m^3} \times 2295\ m^3$$

$$\lambda_1 = \frac{0.693}{2.77\times60\ min^{-1}}$$

$$\lambda_2 = \frac{0.693}{17.8\ min^{-2}}$$

$$F = 229.5 \quad m^3/min$$

$$V_a = 2295 \quad m^3$$

จะได้ $$A = 1.99\times10^9 \quad pCi/min$$

นั่นคือ อัตราที่คริปตอน-88 หนีจากน้ำขึ้นสู่อากาศ,A มีค่าเท่ากับ 1.99×10^9 pCi/min

จากสมการ (3.3.1) $$D_s = \frac{1}{2}\frac{(C_1 \times 3.7\times10^{10})(E)(1.6\times10^{-6})}{100}$$

สำหรับคริปตอน-88 แทนค่า $$D_s = 5 \frac{mrad}{hr} \cdot \frac{1\ hr}{3600\ sec} \cdot \frac{10^{-3} rad}{1\ mrad}$$

---

[1] ครึ่งชีวิตของคริปตอน- 88

[2] ครึ่งชีวิตของรูบิเดียม- 88

$E = 1.401$ MeV/dis

จะได้ $C_1 = 3.35 \times 10^{-9}$ Ci/cm^3

$C_1 = 3.35 \times 10^{9}$ pCi/m^3

เพราะว่า $M_1 = C_1 V_w$

เพราะฉนั้น $M_1 = 8.21 \times 10^{11}$ pCi

และ $\lambda_1 M_1 = 3.42 \times 10^{9}$ pCi/min

จากสมการ (3.2.1) $R = \lambda_1 M_1 + A$

สำหรับคริปตอน-88 แทนค่า $\lambda_1 M_1 = 3.42 \times 10^{9}$ pCi/min

$A = 1.99 \times 10^{9}$ pCi/min

จะได้ $R = 5.41 \times 10^{9}$ pCi/min

จากตารางที่ 5-1 ปริมาณคริปตอน-88 ที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง,

$Q = 3.10 \times 10^{16}$ pCi

แทนค่า R และ Q ลงในสมการ (3.4.1) จะได้

$$\frac{\text{อัตราการซึมของคริปตอน-88}}{\text{ปริมาณคริปตอน-88 ที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง}} \times 100 = 1.75 \times 10^{-5} \%/\text{min}$$

เนื่องจาก อัตราการซึมของกาซต่อหนึ่งหน่วยปริมาณกาซที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากันทุกกาซ

ดังนั้น $\frac{R}{Q} \times 100 = 1.75 \times 10^{-5}$ %/min เท่ากันหมดทุกกาซ (5.2.1)

เมื่อทราบปริมาณกาซแต่ละชนิดที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง เราก็สามารถหาอัตราที่กาซชนิดนั้นๆซึมออกจากแท่งเชื้อเพลิงได้

สำหรับ Kr^{83m} $\frac{R}{Q} \times 100 = 1.75 \times 10^{-5}$ %/min

แทนค่า $Q = 4.02 \times 10^{15}$ pCi

จะได้ $R = 7.04 \times 10^{8}$ pCi/min

ในทำนองเดียวกับคริปตอน-83m เราสามารถคำนวณอัตราที่กาซทุกชนิดซึมออกจากแท่งเชื้อเพลิงได้ โดยใช้สมการ (5.2.1) ค่าที่คำนวณได้แสดงอยู่ในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2

อัตราการซึมของกาซออกจากแท่งเชื้อเพลิง

Isotope	R (pCi/min)
Kr^{83m}	7.04×10^{8}
Kr^{85m}	2.21×10^{9}
Kr^{87}	3.96×10^{9}
Kr^{88}	5.41×10^{9}
Xe^{133m}	9.77×10^{9}
Xe^{133}	1.93×10^{10}
Xe^{135m}	1.19×10^{10}
Xe^{135}	4.06×10^{9}
Xe^{138}	8.51×10^{9}

5.3 การคำนวณปริมาณกาซที่มีอยู่ในน้ำและอัตราการสลายตัวของกาซในน้ำ

จากสมการ (3.5.1) $\frac{A}{M_1} = K$

แทนค่า $A = 1.99 \times 10^{9}$ pCi/min

$M_1 = 8.21 \times 10^{11}$ pCi

จะได้ $K = \frac{0.00024}{\text{min}}$

จากสมการ (4.2.3.1) $(\lambda_1 + K) M_1 = R$

แทนค่า $K = \frac{0.00024}{\text{min}}$

จะได้ $(\lambda_1 + \frac{0.00024}{\text{min}}) M_1 = R$ .....(5.3.1)

สำหรับ Kr^{83m} แทนค่า $\lambda_1 = \frac{0.693}{114 \text{ min}}$

$R = 7.04 \times 10^{8}$ pCi/min

จะได้ $M_1 = 1.11 \times 10^{11}$ pCi

และ $\lambda_1 M_1 = 6.77 \times 10^{8}$ pCi/min

ในทำนองเดียวกับคริปตอน-83m เราสามารถคำนวณปริมาณกาซทุกชนิดที่มีอยู่ในน้ำและอัตราที่กาซทุกชนิดสลายตัวในนั้นได้ โดยใช้สมการ (5.3.1) ค่าที่คำนวณได้ แสดงอยู่ในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3

ปริมาณกาซที่มีอยู่ในน้ำและอัตราการสลายตัวของกาซในน้ำ

Isotope	$T_{1/2}$	M_1 (pCi)	$\lambda_1 M_1$ (pCi/min)
Kr^{83m}	114 min	1.11×10^{11}	6.77×10^{8}
Kr^{85m}	4.36 hr	7.65×10^{11}	2.03×10^{9}
Kr^{87}	78 min	4.34×10^{11}	3.86×10^{9}
Kr^{88}	2.77 hr	8.21×10^{11}	3.42×10^{9}
Xe^{133m}	2.3 d	2.17×10^{13}	4.56×10^{9}
Xe^{133}	5.27 d	5.85×10^{13}	5.26×10^{9}
Xe^{135m}	15 min	2.56×10^{11}	1.18×10^{10}
Xe^{135}	9.2 hr	3.07×10^{12}	3.86×10^{9}
Xe^{138}	17 min	2.08×10^{11}	8.46×10^{9}

5.4 การคำนวณอัตราที่กาซหนีจากน้ำสู่อากาศในห้องปฏิกรณ์

จากสมการ (3.2.1) $R = \lambda_1 M_1 + A$

จะได้ $A = R - \lambda_1 M_1$ .....(5.4.1)

สำหรับ Kr^{83m} แทนค่า $R = 7.04 \times 10^8$ pCi/min

$\lambda_1 M_1 = 6.77 \times 10^8$ pCi/min

จะได้ $A = 2.70 \times 10^7$ pCi/min

ในทำนองเดียวกับคริปตอน-83m เราสามารถคำนวณอัตราที่กาซทุกชนิดหนีจากน้ำสู่อากาศในห้องปฏิกรณ์ได้ โดยใช้สมการ (5.4.1) ค่าที่คำนวณได้ แสดงอยู่ในตารางที่ 5-4

5.5 การคำนวณปริมาณกาซที่มีอยู่ในอากาศในห้องปฏิกรณ์

จากสมการ (3.6.3) $N_1 = \frac{A}{(\lambda_1 + F/V_a)}$ ...(5.5.1)

สำหรับ Kr^{83m} แทนค่า $A = 2.70 \times 10^7$ pCi/min

$\lambda_1 = \frac{0.693}{114 \text{ min}}$

$F = 229.5$ m^3/min

$V_a = 2295$ m^3

จะได้ $N_1 = 2.55 \times 10^8$ pCi

ในทำนองเดียวกับคริปตอน-83m เราสามารถคำนวณปริมาณกาซทุกชนิดที่มีอยู่ในอากาศในห้องปฏิกรณ์ได้ โดยใช้สมการ (5.5.1) ค่าที่คำนวณได้ แสดงอยู่ในตารางที่ 5-4

5.6 การคำนวณอัตราที่กาซเล็ดลอดออกนอกห้องปฏิกรณ์

อัตราที่กาซเล็ดลอดออกนอกห้องปฏิกรณ์ $= \frac{F}{V_a} N_1$ .....(5.6.1)

สำหรับ Kr^{83m} แทนค่า $F = 229.5$ m^3/min

$V_a = 2295$ m^3

$N_1 = 2.55 \times 10^8$ pCi

จะได้ $\frac{F}{V_a} N_1 = 2.55 \times 10^7$ pCi/min

ในทำนองเดียวกับคริปตอน-83m เราสามารถคำนวณอัตราที่กาซทุกชนิดเล็ดลอดออกนอกห้องปฏิกรณ์ได้ โดยใช้สมการ (5.6.1) ค่าที่คำนวณได้ แสดงอยู่ในตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4

อัตราที่กาซหนีจากน้ำขึ้นสู่อากาศ ปริมาณกาซที่มีอยู่ในอากาศในห้องปฏิกรณ์
และอัตราที่กาซเล็ดลอดออกนอกห้อง

Isotope	A (pCi/min)	N_1 (pCi)	$\frac{F}{V_a}N_1$ (pCi/min)
Kr^{83m}	2.70×10^{7}	2.55×10^{8}	2.55×10^{7}
Kr^{85m}	1.80×10^{8}	1.75×10^{9}	1.75×10^{8}
Kr^{87}	1.00×10^{8}	9.18×10^{8}	9.18×10^{7}
Kr^{88}	1.99×10^{9}	1.91×10^{10}	1.91×10^{9}
Xe^{133m}	5.21×10^{9}	5.20×10^{10}	5.20×10^{9}
Xe^{133}	1.40×10^{10}	1.40×10^{11}	1.40×10^{10}
Xe^{135m}	1.00×10^{8}	6.84×10^{8}	6.84×10^{7}
Xe^{135}	7.40×10^{8}	7.31×10^{9}	7.31×10^{8}
Xe^{138}	5.00×10^{7}	3.55×10^{8}	3.55×10^{7}

5.7 การคำนวณโดสเรทของรังสีแกมมาของกาซแต่ละชนิด

5.7.1 โดสเรทที่ผิวน้ำ

จากสมการ(3.3.1) $D_s = \frac{1}{2}\frac{(C_1 x 3.7x10^{10})(E)(1.6x10^{-6})}{100}$

สำหรับ Kr^{83m} แทนค่า $C_1 = \frac{M_1}{V_w} = 4.53x10^{-10} Ci/cm^3$

$E = 0.617$ MeV/dis

จะได้ $D_s = 8.27x10^{-8}$ rad/sec

เพราะว่า 1 rad $= 10^3$ mrad

เพราะฉนั้น $D_s = 0.30$ mrad/hr

ในทำนองเดียวกับคริปตอน- 83m เราสามารถคำนวณโดสเรทของรังสีแกมมาของกาซทุกชนิดที่ผิวน้ำได้ โดยใช้สมการ (3.3.1) ค่าที่คำนวณได้แสดงอยู่ในตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5

โดสเรทของรังสีแกมมาที่ผิวน้ำ

Isotope	E^3 (MeV/dis)	C_1 (Ci/cm^3)	D_s (mrad/hr)
Kr^{83m}	0.617	4.53×10^{-10}	0.30
Kr^{85m}	0.276	3.12×10^{-9}	0.92
Kr^{87}	1.33	1.77×10^{-9}	2.51
Kr^{88}	1.401	3.35×10^{-9}	5.00
Xe^{133m}	0.046	8.86×10^{-8}	4.34
Xe^{133}	0.108	2.39×10^{-7}	27.48
Xe^{135m}	0.297	1.04×10^{-9}	0.33
Xe^{135}	0.326	1.25×10^{-8}	4.35
Xe^{138}	1.711	8.28×10^{-10}	1.51

---

[3] H. Bresser and W. Schwarzer, Containment and Siting of Nuclear Power Plants (Vienna: IAEA, 1967)

5.7.2 โดสเรทในอากาศทั่วๆไปในห้องปฏิกรณ์

จากสมการ (3.7.1) $D_a = \frac{(4\pi)(0.54)CE}{0.0065} \times 0.06$

สำหรับ Kr^{83m} แทนค่า $\pi = \frac{22}{7}$

$C = \frac{N_1}{V_a} = 1.11 \times 10^{-7} Ci/m^3$

$E = 0.617$ MeV/dis

จะได้ $D_a = 0.04 \times 10^{-4}$ rad/hr

นั่นคือ $D_a = 0.004$ mrad/hr

ในทำนองเดียวกับคริปตอน-83m เราสามารถคำนวณโดสเรทของรังสีแกมมาของกาซทุกชนิดในอากาศทั่วๆไปในห้องปฏิกรณ์ได้ โดยใช้สมการ (3.7.1) ค่าที่คำนวณได้ แสดงอยู่ในตารางที่ 5-6

I16731797

ตารางที่ 5-6

โดสเรทของรังสีแกมมาในอากาศทั่วๆไปในห้องปฏิกรณ์

Isotope	E (MeV/dis)	C (Ci/m^3)	D_a (mrad/hr)
Kr^{83m}	0.617	1.11×10^{-7}	0.004
Kr^{85m}	0.276	7.63×10^{-7}	0.013
Kr^{87}	1.33	4.00×10^{-7}	0.033
Kr^{88}	1.401	8.32×10^{-6}	0.731
Xe^{133m}	0.046	2.26×10^{-5}	0.065
Xe^{133}	0.108	6.10×10^{-5}	0.413
Xe^{135m}	0.297	2.98×10^{-7}	0.005
Xe^{135}	0.326	3.18×10^{-6}	0.065
Xe^{138}	1.711	1.55×10^{-7}	0.017