บทที่ 3
ฟิชชั่นโปรดัก

เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว (spent fuel) จะมีฟิชชั่นโปรดักราว 200 ไอโซโทปจากธาตุ 35 ชนิด บางชนิดจะมีกัมมันตรังสีเป็นอันตรายต่อมวลชีวิตบางอย่างนำมาใช้ประโยชน์ได้

ฟิชชั่นโปรดักที่เป็นแกสนั้น มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่จะกล่าวถึง 2 ชนิด คือ Xenon และ Krypton ซึ่งเป็นพวกแกสเฉื่อย (inert gas) ซีนอนที่ได้จากการฟิชชั่นนั้นจะมีปริมาณสูงถึง 20-25 อะตอมต่อ 100 อะตอมในการฟิชชั่น ส่วนคริปตอนนั้นจะมีปริมาณต่ำคือ ปริมาณ 1 อะตอม ต่อ 100 อะตอมในการฟิชชั่นเท่านั้น.

ซีนอนไอโซโทปที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ตัว (stable) มีบางไอโซโทปที่เป็นกัมมันตรังสีและมีอายุยาว เช่น Xe-133 มีครึ่งชีวิต 5.3 วัน เกิดขึ้นเพียง 0.3 อะตอมต่อ 100 อะตอม ส่วนไอโซโทปต่าง ๆ ของคริปตอนบางไอโซโทปก็อยู่ตัว บางไอโซโทปก็เป็นกัมมันตรังสี เช่น Kr-85 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 9.4 ปี และเกิดขึ้นเพียง 0.3 อะตอมต่อ 100 อะตอม.

ซีนอนและคริปตอนนั้น จะมีผลต่อระบบการหายใจสำหรับผู้ที่ทำงานอยู่ในห้องปฏิกรณ์ปรมาณู กล่าวคือ ซีนอน-138 จะสลายตัวให้ซีเซียม-138 และคริปตอน-88 จะสลายตัวให้รูบิเดียม-88 ซึ่งซีเซียม-138 และรูบิเดียม-88 ที่หายใจเข้าไปจะติดอยู่ที่ปอดหมด ทำให้ปอดได้รับรังสี ปฏิกิริยาการสลายตัวของซีนอนกับคริปตอนมีดังนี้

$$15.5\text{-s } Br^{88} \longrightarrow 2.8\text{-h } Kr^{88} \longrightarrow 17.8\text{-m } Rb^{88} \longrightarrow \text{stable } Sr^{88}$$

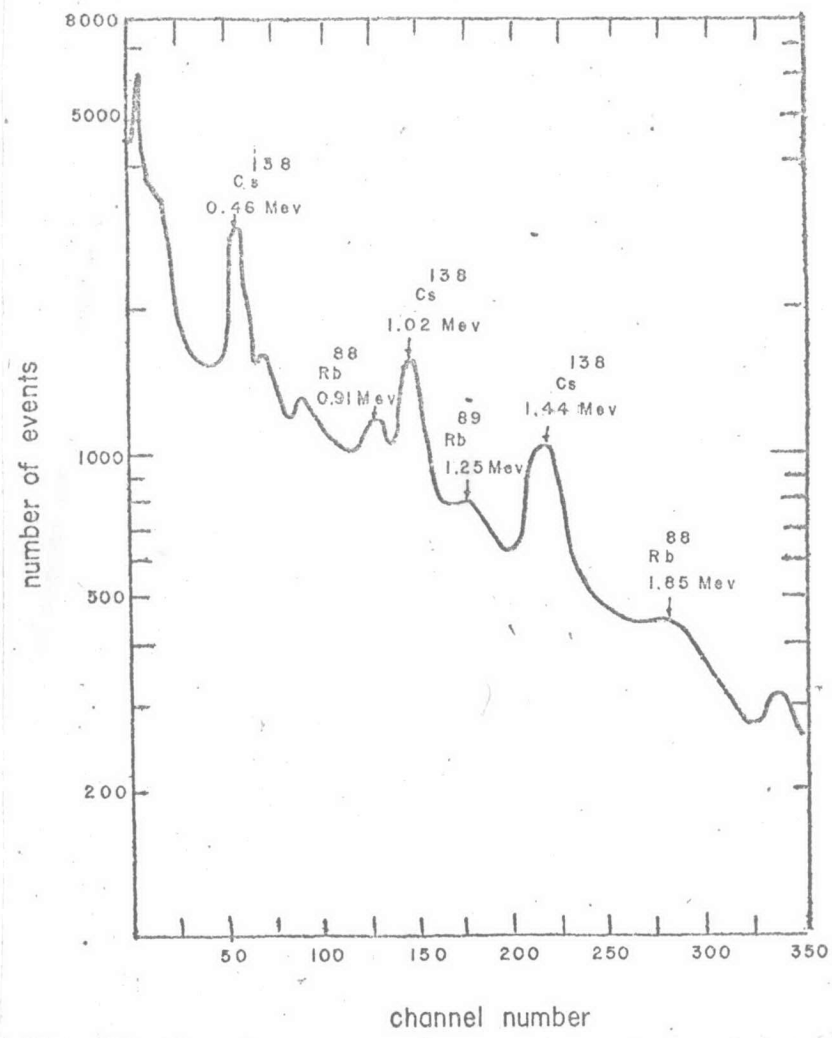
$$5.8\text{-s } I^{138} \longrightarrow 17\text{-m } Xe^{138} \longrightarrow 32.2\text{-m } Cs^{138} \longrightarrow \text{stable } Ba^{138}$$

ซีนอน-138 และคริปตอน-88 นี้เป็นแกสที่ออกมาจากแท่งเชื้อเพลิงโดยการรั่วซึมตัวระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูนำพาออกมาสู่ผิวน้ำของบ่อแล้วฟุ้งกระจายปนอยู่ในอากาศ และต่อมาสลายตัวในอากาศกลายเป็น Cs-138 และ Rb-88 ตามลำดับ.

Nuclide	Percentage fission yield	Half life	Daughter product	Half life
Krypton 88	3.7	2.77h	Rubidium 88	17.8 min
89	4.6	3.18min	89	15.4 min
90	5.2	33.0 s	90	2.74 min
91	3.7	9.8 s	91	14.0 min
92	2.7	3.0 s	92	80.0 s
93	1.3	2.0 s	93	short
94	0.6	1.4 s	94	short
Xenon 138	5.5	17min	Cesium 138	32.2 min
139	4.7	41 s	139	9.5 min
140	3.7	16 s	140	66.0 s
141	1.8	1.7 s	141	short
143	0.2	1.0 s	143	short

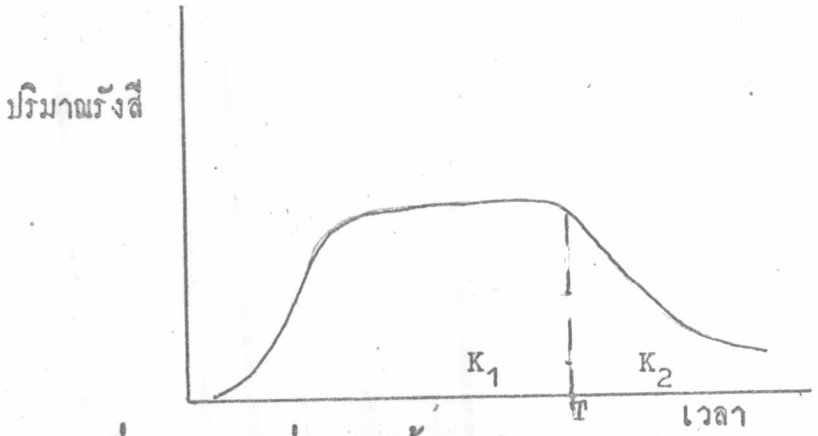
ตารางที่ 3.1 แสดงฟิชชั่นโปรดักของซีนอนและคริปตอน

i 17372021



รูป 3:1 แสดงสเปคตรัมของรูบิเดียม - 88 และซีเซียม - 138 ในอากาศ

การคิดปริมาณซีเซียม - 138 และรูบิเดียม - 88 ที่หายใจเข้าไปในร่างกาย ณ บริเวณภักอากาศห้องปฏิกรณ์ปรมาณูนั้น จะต้องคำนึงถึงปริมาณรังสีที่หายใจเข้าไปในร่างกายที่ได้รับเป็น 2 ระยะด้วยกัน คือ ระยะเวลาระหว่างการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูและระยะเวลาหลังจากที่เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูหยุดทำการ



รูปที่ 3.2 แสดงร่างกายได้รับรังสี 2 ระยะ คือ K_1 เป็นปริมาณรังสีที่ได้รับระหว่างการเดินเครื่องฯและ K_2 เป็นปริมาณรังสีที่ได้รับเมื่อเครื่องฯ หยุดทำการ

ดังนั้น Dose ที่ปอดได้รับเมื่อทำงานอยู่ในบริเวณกักอากาศตลอดเวลาเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู $= \frac{CVET}{100\lambda m}$ ต่อการเดินเครื่องหนึ่งวัน

C = ความเข้มข้นของไอโซโทปในอากาศในบริเวณกักอากาศ (dps/liter)

V = อัตราการหายใจของบุคคล (liters/sec)

E = Effective energy ของรังสี (ergs/dis)

m = มวลของปอด (กรัม)

T = เวลาที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (sec)

λ = decay constant (1/sec)

---

(1) จากรายงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, สำนักงาน, เรื่องการคำนวณหาปริมาณรังสีที่ได้รับจากการหายใจ เอา Rb-88 และ Cs-138 เข้าสู่ร่างกาย.

ส่วนการคำนวณความเข้มข้นของสารรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศ สามารถหาได้ดังนี้

สมมุติในห้องปฏิกรณ์ปรมาณูมีความเข้มข้นของสารรังสีในอากาศ P $\mu\mu$Ci/ft^3

ใช้เครื่องดูดอากาศให้ผ่าน filter ด้วยอัตรา V ft^3/min

อัตราสารรังสีติด filter = PV $\mu\mu$Ci/min

(คิดว่าสารรังสี ถูกจับโดย filter หมด)

ถ้ากำหนดให้ a เป็น activity หน่วย $\mu\mu$Ci ของสารรังสีนั้นบน filter ณ เวลาใด ๆ

อัตราการเปลี่ยนแปลง activity ของสารรังสีบน filter จะได้

$$\frac{da}{dt} = PV - \lambda a \quad \text{----------(1)}$$

หรือ

$$\frac{da}{dt} + \lambda a = PV$$

เมื่อ t=0 a=0

จะได้ว่า $$a = \frac{PV}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$$

ในเวลาปฏิบัติงาน สมมุติดูดอากาศเป็นเวลา T min

หลังจากถอดเครื่องจะได้

$$a_T = \frac{PV}{\lambda}(1 - e^{-\lambda T}) \quad \text{---------- (2)}$$

ปกติบริเวณดูดอากาศจะต้องเสียเวลานำ filter ออกไปวัด = t min

ทำให้ activity ของสารรังสีที่ filter จะลดลง ดังนั้น

$$a = \frac{PV}{\lambda}(1 - e^{-\lambda T}) \cdot e^{-\lambda t} \ \mu\mu\text{Ci}$$

หรือ

$$P = \frac{a \cdot \lambda}{V(1 - e^{-\lambda T}) \cdot e^{-\lambda t}} \ \mu\mu\text{Ci/ft}^3 \quad \text{--(3)}$$

ถ้า x เป็นอัตราการนับรังสี (cpm)

Eff เป็นประสิทธิภาพของเครื่องวัด (cpm/dpm)

f เป็นจำนวนโฟตอนของรังสีแกมม่า (photon/disintegration)

ต่อการสลายตัว

จะคำนวณ a (μCi) บน filter ได้จาก

$$a = \frac{x}{Eff \times 3.7 \times 10^{-2} \times 60 \times f}$$

แทนค่า a ในสมการ (3)

จะได้

$$P = \frac{x \times \lambda}{Eff \times 3.7 \times 10^{-2} \times 60 \times f \times V(1 - e^{-\lambda T}) \cdot e^{-\lambda t}} \ \mu Ci/ft^3$$

$$= \frac{35.31 \times x \times \lambda}{Eff \times f \times 3.7 \times 10^{-2} \times 60 \times V(1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t}} \ \mu Ci/m^3$$

$$= \frac{15.9 \times x \times \lambda}{Eff \times f \times V \times (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t}} \ \mu Ci/m^3$$