หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสี (Radioisotopes Production)

ในปี ค.ศ. 1919 **Rutherford** สามารถสร้างปฏิกริยานิวเคลียร์จากการยิงอนุภาคอัลฟา (alpha, $^{4}_{2}He$) เข้าไปในกลุ่มธาตุไนโตรเจน ซึ่งมีผลทำให้เกิดธาตุใหม่เป็นออกซิเจน ดังสมการ

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}P$$

จากการศึกษาต่อ ๆ มา พบว่า นอกจากอนุภาคอัลฟาแล้ว ยังสามารถใช้อนุภาคอื่น ๆ เช่น นิวตรอน (n) โปรตอน (p) ดิวทีรอน (d) และรังสีแกมมา (γ) ทำให้เกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ เกิดมีการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ และทำให้ธาตุนั้นกลายเป็นสารกัมมันตรังสีเรียกว่าไอโซโทปกัมมันตรังสี (Radioisotope)

2.2 ปฏิกริยาของนิวตรอนต่อสาร (Interaction of Neutron with Matter)

นิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดนิวตรอนหรือจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ถ้าเป็นกลุ่มนิวตรอนที่มีพลังงานเฉลี่ย 0.025 eV. เรียกว่าเป็นเทอร์มัลนิวตรอน (Thermal Neutron) และปฏิกริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบปฏิกริยา (n,γ)

สำหรับกลุ่มของนิวตรอนที่วิ่งเร็ว (Fast Neutron) ปฏิกริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบปฏิกริยา (n,p) หรือ (n,α) แต่ถ้านิวตรอนมีพลังงานสูง ๆ เช่นมากกว่า 1 MeV. ขึ้นไป จะเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ขึ้นหลายแบบ ตัวอย่างเช่น ปฏิกริยาแบบ (n, 2n) ต้องการพลังงานของนิวตรอนประมาณ 10 MeV. และปฏิกริยาแบบ (n, 3n) ต้องการพลังงานของนิวตรอนขนาด 30 MeV. เป็นต้น

2.3 การเกิดไอโซโทปกัมมันตรังสีจากปฏิกริยานิวตรอนแอกติเวชั่น

เมื่ออะตอมของสารถูกยิงด้วยนิวตรอน อะตอมนั้นจะกลายเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งอัตราการเกิดของสารกัมมันตรังสีนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณนิวตรอน,Cross section, เวลาที่อาบรังสีและจำนวนอะตอมของสารที่ถูกยิงด้วยนิวตรอน

ถ้ากำหนดให้ P = อัตราการเกิดสารกัมมันตรังสี

ϕ = ปริมาณเทอร์มัลนิวตรอน มีหน่วยเป็น n/cm^2-sec.

N = จำนวนอะตอมของสารตั้งต้น

σ = Cross section มีหน่วยเป็น บาร์น (barn)

t = เวลาที่ใช้ในการอาบรังสี

อัตราการเกิดปฏิกริยา $= N\sigma\phi$

$P = N\sigma\phi$

กรณีของการผลิตไอโซโทปที่ต้องการไอโซโทปจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีตั้งต้น (Parent) จะสามารถคำนวณความแรงของไอโซโทปที่ต้องการ จากสมการต่อไปนี้ (14)

$$A(t) = P\left[\lambda_2\left\{1-\exp(-\lambda_1 t)\right\} + \lambda_1\left\{1-\exp(-\lambda_2 t)\right\}\right]$$

A (t) = ค่าความแรงรังสีของไอโซโทปตัวที่ต้องการ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการอาบรังสีสารตั้งต้น เป็นเวลา t

P = อัตราการเกิดของสารกัมมันตรังสีตั้งต้น

λ_1 = ค่าคงที่ของการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีตั้งต้น

λ_2 = ค่าคงที่ของการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ต้องการ

2.4 ไอโอดีน-131

ไอโอดีน-131 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ใช้ประโยชน์ได้มากในทางการแพทย์ อายุครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131 = 8.05 วัน การสลายตัวของไอโอดีน-131 แสดงโดย รูปที่ 2-1

IODINE-131

NUCLEAR DATA

NUCLEAR PROPERTIES

Half-life

8.05 d

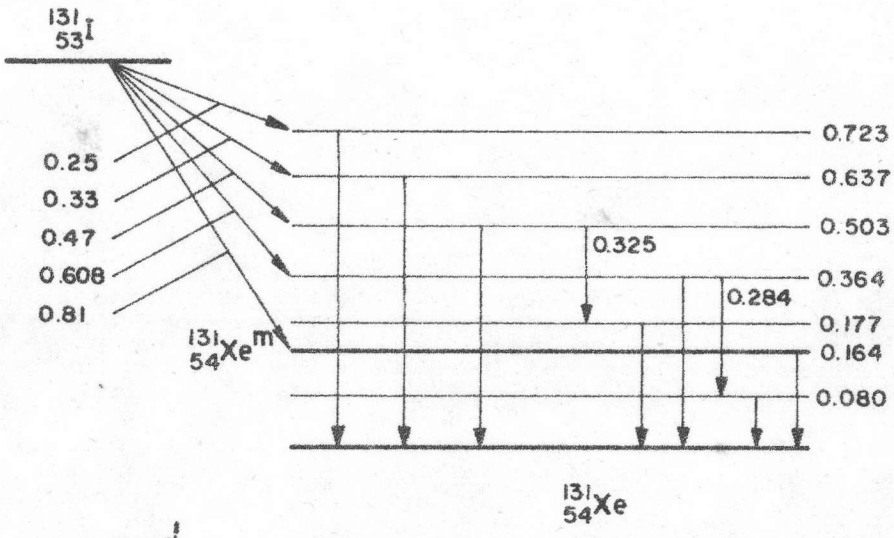
Recent values: 8.073 ± 0.008 d

8.070 ± 0.009 d

Type of decay, and energy (MeV)

beta (β^-)	0.25	(1.6%)	gamma	0.080	(5.0%) IC (e_K/γ 1.7)
	0.33	(6.9%)		0.177	(0.2%)
	0.47	(0.5%)		0.284	(5.0%)
	0.608	(90.4%)		0.325	(0.2%)
	0.81	(0.6%)		0.364	(85.5%)
				0.503	(0.3%)
				0.637	(6.9%)
				0.723	(1.6%)
				0.164	(0.6%)
				via 11.8 d $^{131}Xe^m$)	(e_K/γ 29)

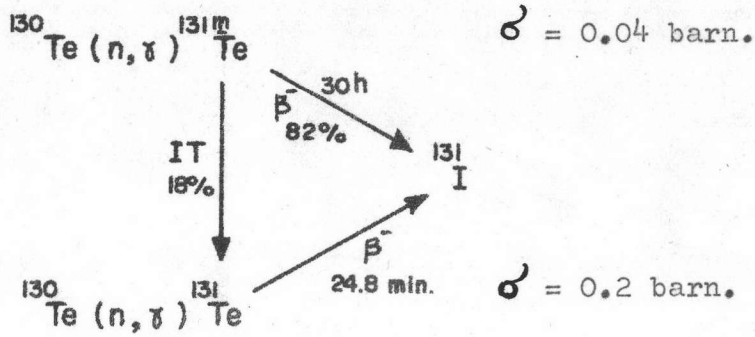
Decay scheme



รูปที่ 2-1 แสดงการสลายตัวของไอโอดีน-131

2.5 <u>การผลิตไอโอดีน-131 จากการอาบรังสีเทลลูเรียม-130</u>

เมื่อนำเทลลูเรียม-130 ซึ่งมีอยู่ในสารประกอบเทลลูเรียม เข้าอาบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู การเกิดปฏิกริยานิวตรอนแอกติเวชั่นของเทลลูเรียม-130 มีสองแบบ ดังแสดงโดยรูปที่ 2-2



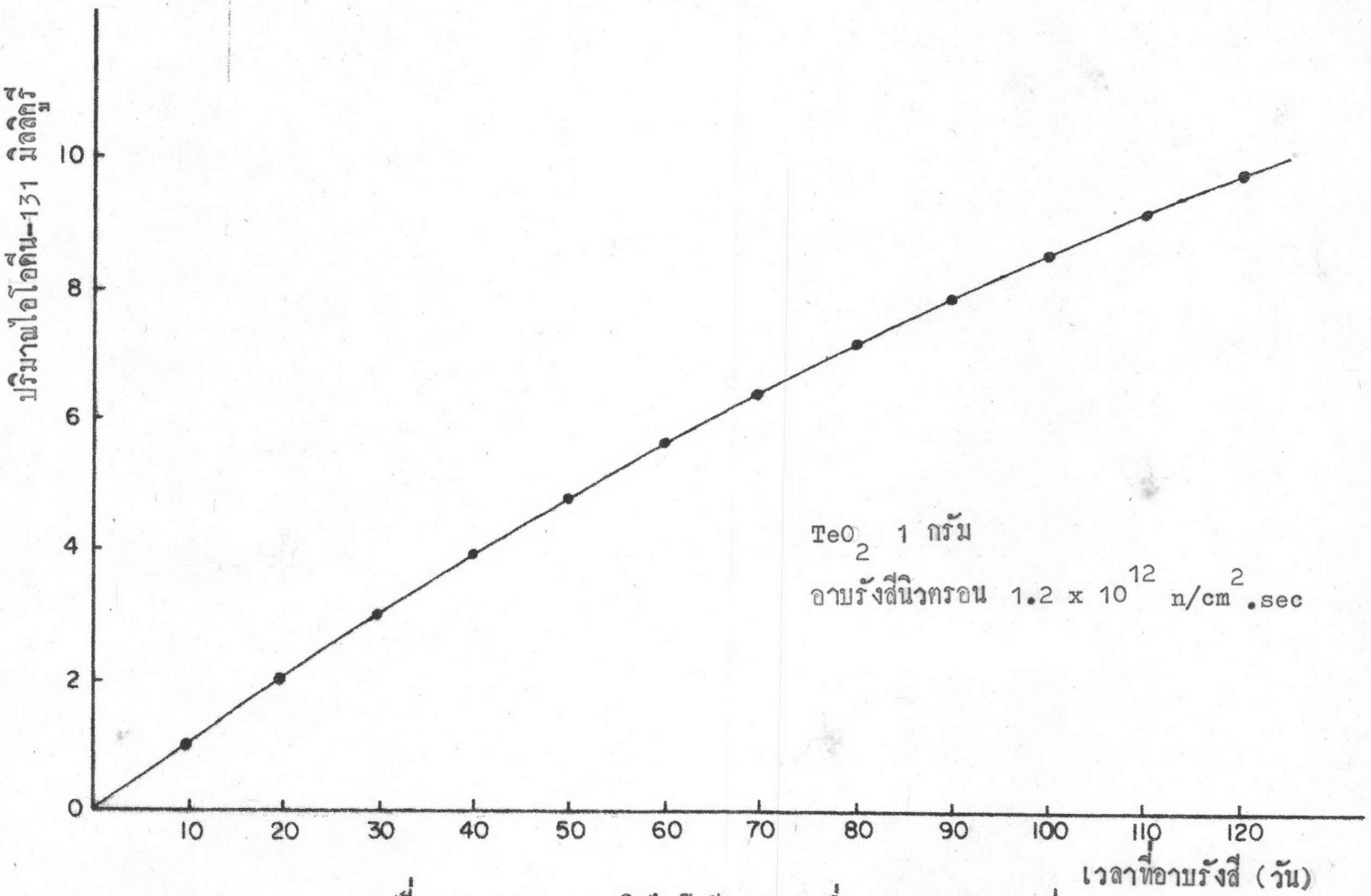
รูปที่ 2-2 แสดงการเกิดปฏิกริยาและการสลายตัวของเทลลูเรียม

ปฏิกริยาแรกเป็นนิวตรอนแอคติเวชั่นของเทลลูเรียม-130 เกิดเป็นเทลลูเรียม-131 m (Metastable Tellurium-131) ด้วย Cross section ของเทลลูเรียม-130 = 0.04 บาร์น

ปฏิกริยาที่สองเป็นนิวตรอนแอคติเวชั่นของเทลลูเรียม-130 เกิดเป็นเทลลูเรียม-131 ด้วย Cross section ของเทลลูเรียม-130 = 0.2 บาร์น

ทั้งเทลลูเรียม-131 และเทลลูเรียม-131 m ต่างก็สลายตัวโดยการให้รังสีเบต้า และเกิดไอโอดีน-131

จากปฏิกริยาทั้งสองนี้ ประกอบกับการคำนวณโดยสมการในหัวข้อ 2.3 สามารถทราบอัตราการเกิดไอโอดีน-131 เมื่อใช้เวลาในการอาบรังสีต่าง ๆ กัน ซึ่งผลจากการคำนวณ แสดงโดย ตารางที่ 2-1 และรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงการเกิดไอโอดีน-131 เมื่ออาบรังสีเป็นเวลาต่างๆ กัน โดยการคำนวณ

อาบรังสีเทลลูเรียมไดออกไซด์ 1 กรัม

เวลาที่อาบรังสี (วัน)	ปริมาณ I-131 (มิลลิคูรี)	เวลาที่อาบรังสี (วัน)	ปริมาณ I-131 (มิลลิคูรี)
10	0.524	70	3.15
20	1.0	80	3.53
30	1.462	90	3.9
40	1.90	100	4.26
50	2.33	110	4.60
60	2.74	120	4.94

ตารางที่ 2-1 แสดงการเกิดไอโอดีน-131 เมื่ออาบรังสีเป็นเวลาต่าง ๆ กัน

2.6 <u>การคำนวณความแรงของไอโอดีน-131 ที่เกิดจากการอาบรังสีเทลลูเรียมไดออกไซด์</u>

จากบทที่ 1 ทราบว่าจำนวนอะตอม ของเทลลูเรียม-130 ในเทลลูเรียม-ไดออกไซด์หนึ่งกรัม = 1.3×10^{21} อะตอม

ถ้ากำหนดเวลาที่ใช้อาบรังสี = 2 ชั่วโมง

จะคำนวณการเกิดไอโอดีน-131 จากทั้งสองปฏิกริยาดังนี้

2.6.1 <u>การเกิดไอโอดีน-131 จากเทลลูเรียม-131</u>

σ = 0.2 บาร์น

N = 1.3×10^{21} อะตอม

ϕ = 1.2×10^{12} นิวตรอน/ตร.ซม.วินาที

λ_1 = 1.676 ต่อชั่วโมง

λ_2 = 3.587×10^{-3} ต่อชั่วโมง

$P = 0.2 \times 1.3 \times 10^{21} \times 10^{-24} \times 1.2 \times 10^{12}$

$= 0.31 \times 10^{9}$ dps.

$$A(2) = 0.31 \times 10^{9} \left\{ 3.587 \times 10^{-3} (1-e^{-1.676 \times 2}) + 1.676 (1-e^{-3.587 \times 10^{-3} \times 2}) \right\}$$

$$= 0.31 \times 10^{9} \left\{ (3.46 \times 10^{-3} + 11.98 \times 10^{-3}) \right\}$$

$$= 4.78 \times 10^{6} \text{ dps.}$$

= 129 ไมโครคูรี

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

2.6.2 <u>การเกิดไอโอดีน-131 จากเทลลูเรียม-131 m</u>

σ = 0.04 บาร์น

การสลายตัวของเทลลูเรียม-131 m มีสองแบบ

ก. 18 % เกิด Isomeric transition เป็นเทลลูเรียม-131

ข. 82 % สลายตัวเป็นไอโอดีน-131 ด้วยค่าคงที่ของการสลายตัว =0.0231 ต่อชั่วโมง

ก. <u>การคำนวณไอโอดีน-131 จาก Isomeric Transition</u> (18 %)

$N = 1.3 \times 10^{21}$ อะตอม

$\sigma = 0.04$ บาร์น

$P = \frac{18}{100} N \sigma \phi$ dps.

$\phi = 1.2 \times 10^{12}$ นิวตรอน/ตร.ซม.วินาที

$$A(2) = 1.12 \times 10^{7} \left\{ 3.587 \times 10^{-3} (1-e^{-1.676 \times 2}) + 1.676 (1-e^{-3.587 \times 10^{-3} \times 2}) \right\}$$

$$= 17.29 \times 10^{4} \text{ dps.}$$

= 4.67 ไมโครคูรี

ข. <u>การคำนวณไอโอดีน-131 จากการสลายตัวของเทลลูเรียม-131</u> (82 %)

$$P = \frac{82}{100} \times 1.3 \times 10^{21} \times 0.04 \times 10^{-24} \times 1.2 \times 10^{12}$$

$$= 5.1 \times 10^{7} \text{ dps.}$$

$$A(2) = 5.1 \times 10^{7} \left\{ 3.587 \times 10^{-3} (1-e^{-0.0231 \times 2}) + 0.0231 (1-e^{-3.578 \times 10^{-3} \times 2}) \right\}$$

$$= 5.1 \times 10^{7} (0.162 \times 10^{-3} + 0.165 \times 10^{-3})$$

$= 1.67 \times 10^4$ dps.

= 0.45 ไมโครคูรี

ปริมาณไอโอดีน- ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเมื่ออาบรังสีเทลลูเรียมไดออกไซด์หนึ่งกรัม เป็นเวลาสองชั่วโมง = 134.12 ไมโครคูรี/กรัม TeO_2

2.7 การคำนวณปริมาณไอโอดีน-131 เมื่ออาบรังสีเทลลูเรียม-130 เป็นช่วงเวลาต่างๆ

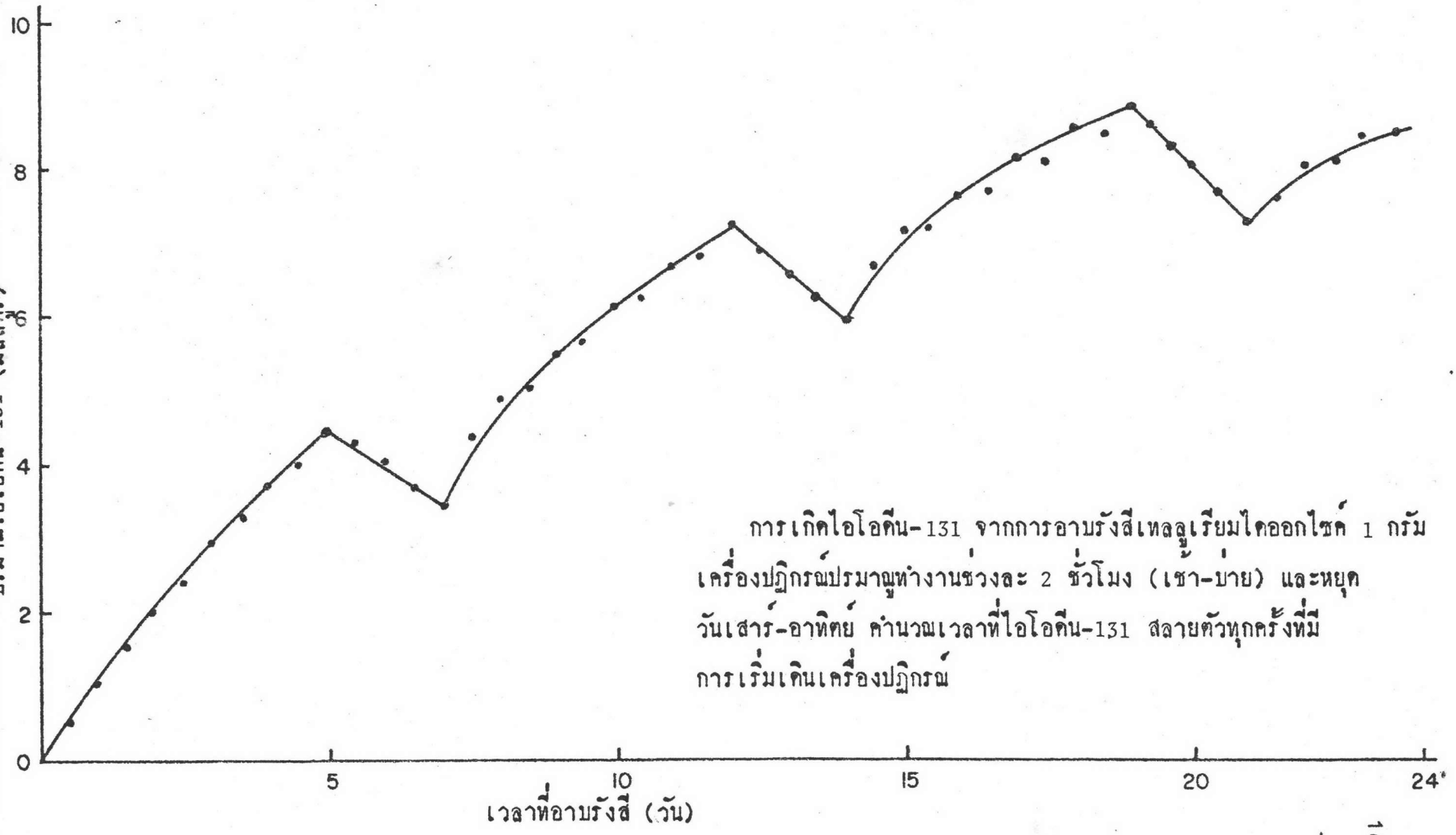
เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูไม่ได้ทำงานติดต่อกัน ดังนั้นการเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ของเทลลูเรียม-130 จึงไม่เกิดติดต่อกัน การเกิดและการสลายตัวของไอโอดีน-131 จึงต้องคิดตามตามช่วงเวลาด้วย ในการคำนวณปริมาณไอโอดีน-131 ที่เกิดจากการอาบรังสีนี้ คำนวณตามช่วงเวลาที่เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูทำงานตามปกติ คือ วันละ 4 ชั่วโมง โดยแบ่งเวลาการเดินเครื่องเป็นช่วงเช้า 2 ชั่วโมง และช่วงบ่าย 2 ชั่วโมง ดังนั้นการคำนวณจึงแบ่งช่วงการเกิดไอโอดีน- 131 เป็นช่วงครึ่งวัน โดยคิดเวลาที่อาบรังสี 2 ชั่วโมง และใช้การคำนวณในหัวข้อ 2.6 ผลรวมของปริมาณไอโอดีน-131 ที่เกิดขึ้น ประกอบกับการคำนวณการสลายตัว แสดงโดยรูปที่ 2-4 และตารางที่ 2-2

เวลา (วัน)	ปริมาณ I-131 ไมโครคูรี	เวลา (วัน)	ปริมาณ I-131 ไมโครคูรี	เวลา (วัน)	ปริมาณ I-131 ไมโครคูรี	เวลา (วัน)	ปริมาณ I-131 ไมโครคูรี
0	0	6.0	* 1027.9	12.0	1827.6	18.0	2147.5
0.5	134.12	6.5	* 927.6	12.5	* 1736.2	18.5	2131.3
1.0	266.89	7.0	* 881.2	13.0	* 1649.4	19.0	2244.1
1.5	382.3	7.5	1102.2	13.5	* 1566.9	* 19.5	2131.8
2.0	512.6	8.0	1225.3	14.0	* 1488.6	* 20.0	2025.3
2.5	610.86	8.5	1273.7	14.5	1687.6	* 20.5	1924.0
3.0	738.87	9.0	1395.0	15.0	1804.9	* 21.0	1827.0
3.5	821.27	9.5	1431.5	15.5	1812.6	21.5	1908.0
4.0	947.18	10.0	1551.3	16.0	1928.6	22.0	2023.1
4.5	1015.0	10.5	1576.8	16.5	1927.7	22.5	2015.6
5.0	1138.96	11.0	1695.2	17.0	2042.6	23.0	2129.5
5.5	* 1082.0	11.5	1710.6	17.5	2033.7	23.5	2114.6

ตารางที่ 2-2 แสดงการเกิดไอโอดีน-131 เมื่ออาบรังสีที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

หมายเหตุ * เป็นวันที่หยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

001675



รูปที่ 2-4 แสดงการเกิดไอโอดีน-131 เมื่ออาบรังสีเป็นช่วงเวลาต่างๆ กัน โดยการคำนวณ