



ปริมาณของสารกัมมันตรังสีในวงจรแรก

สารรังสีที่เกิดขึ้นจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ได้แก่ Fission Products ที่เกิดจากการแตกตัวของ U 235, Corrosion Products ที่เกิดจากการสึกกร่อนของวัสดุที่ใช้ได้รับรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้ยังมี Tritium และ Nitrogen 16 ซึ่งเกิดจากน้ำที่ระบายความร้อน ได้รับรังสีนิวตรอนเป็นเวลานาน ๆ

3.1 สารกัมมันตรังสีจากการแตกตัว (Fission Products)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณของสารกัมมันตรังสีที่เกิดในแท่งเชื้อเพลิง และความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่ไล่ออกออกจากแท่งเชื้อเพลิงสู่ระบบระบายความร้อน โดยอาศัยหลักการ Mass Balance ของอะตอมของธาตุที่เกิดขึ้นและที่หายไป ดังนี้

3.1.1 ในแท่งเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

- |           |  |
|-----------|--|
| การเกิด   | ก. เกิดโดยตรงจากปฏิกิริยาฟิชชัน                        |
|           | ข. เกิดจากการสลายตัวของ parents                        |
|           | ค. เกิดจากการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนของ parents          |
| การสูญหาย | ก. จากการสลายตัว                                       |
|           | ข. เกิดจากการทำปฏิกิริยากับนิวตรอน                     |
|           | ค. ไล่ออกออกจากแท่งเชื้อเพลิงเข้าไปในระบบระบายความร้อน |

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหา Fission Product ในแท่งเชื้อเพลิง คือ

$$\frac{dN_{pi}}{dt} = FY_{iP} + (f_{i-1} \lambda_{i-1} + \sigma_{i-1} \phi) N_{pi-1} - (\lambda_i + \nu_i + \sigma_i \phi) N_{pi} \quad (3-1)^1$$

1 USAEC, "Radioactive Waste Management" PSAR for Blue Hill Station Unit 1 and 2 (Gulf State Utilities Co., 1972) p. 11.1-1

เมื่อ

N	=	จำนวนอะตอม (atoms)
F	=	อัตราการเกิดฟิชชันเฉลี่ย (fission/Mwt-s)
Y	=	fission yield ของธาตุ (atoms/fission)
P	=	กำลังผลิต (Mwt)
$\lambda$	=	decay constant ( $s^{-1}$ )
$\sigma$	=	microscopic capture cross-section ( $cm^2$ )
$\phi$	=	thermal neutron flux (neut/ $cm^2$ -s)
$\gamma$	=	escape rate coefficient ( $s^{-1}$ )
f	=	branching fraction
t	=	เวลา (s)

## Subscripts

p	=	สำหรับในแท่งเชื้อเพลิง
i	=	nuclide parameter
i-1	=	parent nuclide parameter

## 3.1.2 ในระบบระบายความร้อนวงจรรวม mass balance มีดังนี้

การเกิด	ก.	fission products ที่ได้ตลอดออกมาจากแท่งเชื้อเพลิงที่บกรอง
	ข.	จากการสลายตัวของ parent ขณะที่อยู่ในระบบระบายความร้อน
	ค.	จาก nuclear bombardment ของ fission products ในระบบระบายความร้อน
การสูญหาย	ก.	จากการสลายตัว
	ข.	โดยระบบขจัดกาก
	ค.	โดยระบบควบคุมจำนวน Boron
	ง.	รั่วออกจากระบบระบายความร้อน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหา Fission Products ในระบบระบายความร้อนวงจรร

แรก คือ

$$\frac{dN_{ci}}{dt} = D \nu_i N_{pi} + (f_{i-1} \lambda_{i-1} + \sigma_{i-1} \phi \text{FCS}) N_{ci-1} - \left( \lambda_i + \frac{R}{W} \eta_i + \frac{(1 - \eta_i)}{C_0 - C_t} C + \frac{Q}{W} \right) N_{ci} \quad (3-2)^2$$

เมื่อ

- D = เศษส่วนของแท่งเชื้อเพลิงที่บกพร่อง
- FCS = อัตราส่วนระหว่างปริมาณของน้ำระบายความร้อนในแกนเครื่องปฏิกรณ์และในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งหมด
- R = อัตราไหลของน้ำผ่านระบบขจัดกากในขณะเดินเครื่องปกติ (lb/s)
- W = มวลของน้ำระบายความร้อนในขณะเดินเครื่องปกติ (lb)
- $\eta$  = ประสิทธิภาพของเรซินในเครื่องขจัดกากสำหรับแต่ละธาตุ
- $C_0$  = ความเข้มข้นเริ่มแรกของ Boron
- C = อัตราการลด Boron ลงเพื่อให้สมดุลกับเชื้อเพลิงที่ใช้ไป (ppm/s)
- Q = การรั่วไหลของน้ำระบายความร้อนออกจากระบบ (lb/s)

Subscript

- c = ในระบบระบายความร้อนวงจรรแรก

โดยที่ Nuclides ส่วนใหญ่ใน Decay Chains ที่ใช้ในการคำนวณเป็นตัวแม่รังสีเบตา และแกมมา จึงมี Mass No. คงที่ สำหรับเทอม  $(\sigma_{i-1} \phi N_{pi-1})$  ในสมการ (3-1) และ  $(\sigma_{i-1} \phi \text{FCS} N_{ci-1})$  ในสมการ (3-2) เกิดจากการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนของ Parents ซึ่งทำให้ Mass No. เปลี่ยนไป อีกประการหนึ่ง  $\sigma_{i-1} \phi$  และ  $\sigma_{i-1} \phi \text{FCS}$  มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ  $f_{i-1} \lambda_{i-1}$  จึงตัดออกจากสมการได้



ส่วน เทอม  $\frac{(1 - \eta_i)}{C_o - C_t} C N_{ci}$  ในสมการ (3-2) เป็น Fission Product ที่ถูกขจัดออกจากรบบควบคุม Boron นั้น เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุม Boron ไม่นานขึ้นอยู่กับลักษณะการเดินเครื่องปฏิกรณ์ กล่าวคือ หากการเดินเครื่องปฏิกรณ์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ระบบควบคุม Boron จะทำงานเพียงส่วนน้อย หากเครื่องปฏิกรณ์หยุด ๆ เดิน ๆ ระบบดังกล่าวจะต้องทำงานมาก เพื่อคอยขจัดหรือเติม Boron เข้าไปในน้ำระบายความร้อนให้สมดุลกับการเกิดขึ้น Fission Products บางตัวมี Absorption Cross-section สูง ดังนั้น จึงควรตัดออกจากสมการได้

สมการ (3-1) เขียนใหม่เป็น

$$\frac{dN_{pi}}{dt} = F Y_i P + f_{i-1} \lambda_{i-1} N_{pi-1} - (\lambda_i + \gamma_i + \beta_i \phi) N_{pi} \quad (3-3)$$

สมการ (3-2) เขียนใหม่เป็น

$$\frac{dN_{ci}}{dt} = D \lambda_i N_{pi} + f_{i-1} \lambda_{i-1} N_{ci-1} - (\lambda_i + \frac{R}{W} \eta_i + \frac{Q}{W}) N_{ci} \quad (3-4)$$

ในการหา Fission Products ที่เกิดขึ้นในเชื้อเพลิง และที่รั่วออกมาในน้ำระบายความร้อนวงจรแรก ตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องจนถึงวันที่ 270 ซึ่งถือว่าเป็นตอนปลายของเชื้อเพลิงชุดแรกได้คัดเลือก Fission Products ที่สำคัญ ๆ จาก 13 Decay Chains (แสดงไว้ในรูปที่ 3-1) อาศัยข้อมูลของโรงไฟฟ้าปรมาณูแบบ PWR ขนาด 600 เมกกะวัตต์ (แสดงไว้ในตารางที่ 3-1) และข้อมูลทางนิวเคลียร์ฟิสิกส์ของธาตุต่าง ๆ (แสดงไว้ในตารางที่ 3-2) นำมาคำนวณโดยใช้ Runge-kutta Method ในการแก้ปัญหาและอาศัยคอมพิวเตอร์ แบบ UNIVAC 1106 เป็นเครื่องมือ ผลของการคำนวณจำนวนอะตอมของ Fission Products ในแท่งเชื้อเพลิงและในน้ำระบายความร้อน แสดงไว้ในตารางที่ 3-3



### 3.2 สารกัมมันตรังสีจากการสีกกรอน

Activity ของสารกัมมันตรังสีที่เกิดจากการสีกกรอนของวัสดุในเครื่องปฏิกรณ์  
 ใคข้อมูลซึ่งเก็บไว้เป็นสถิติจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบ PWR 6 แห่ง ซึ่งใช้งานมาก่อน ใค  
 แกก Connecticut Yankee, Indian Point 1, Yankee Rowe, Saxton, Shipping-  
 port และ San Onofre 1 ถึงแม้ว่าคุณสมบัติทางเคมีของน้ำระบายความร้อนของแต่ละ  
 แห่งจะแตกต่างกันอยู่บาง แต่ Activity ที่วัดไคมีค่าใกล้เคียงกันมาก ค่า Activity  
 เฉลี่ยของเครื่องปฏิกรณ์ทั้ง 6 แห่ง แสดงไว้ในตารางที่ 3-4 และ Specific Activity  
 ของ Fission และ Corrosion Products ในน้ำระบายความร้อน วงจรแรกแสดงไว้  
 ในตารางที่ 3-5



## ตารางที่ 3-1

## ข้อมูลพื้นฐานของโรงไฟฟ้าปรมาณูแบบ PWR ขนาด 600 เมกกะวัตต์

กำลังผลิต, เมกกะวัตต์ความร้อน	1,876
ระยะเวลาที่เดินเครื่องเต็มกำลังผลิต, วัน	270
อัตราฟิชชันเฉลี่ย, ฟิชชัน/เมกกะวัตต์-วินาที	$3.12 \times 10^{16}$
Thermal neutron flux เฉลี่ย, นิวตรอน/ซม <sup>2</sup> -วินาที	$4.62 \times 10^{13}$
มวลของน้ำระบายความร้อน, ปอนด์	154,000
อัตราไหลผ่านเครื่องกำเนิดกำลัง, แกลลอน/นาที	80
อัตราไหลของน้ำระบายความร้อน, ปอนด์/ชั่วโมง	$6.75 \times 10^7$
อัตราการรั่วไหลจากวงจรแรกทั้งหมด, แกลลอน/วัน	100

## Decontamination Factors (DF) ของเครื่องแลกเปลี่ยนประจุ

Nuclides ทุกตัว ยกเว้น Xe, Kr, Y, Mo, Cs, H-3	10
Xe, Kr และ H3	1
Y, Mo และ Cs (เฉพาะเวลาที่ใช้เครื่องกำเนิด Lithium)	10

## Escape Rate Coefficients (ต่อวินาที)

แก๊สเฉื่อย	$6.5 \times 10^{-8}$
Cs	$2.3 \times 10^{-8}$
Te, Mo	$1.4 \times 10^{-9}$
ฮาโลเจน	$1.3 \times 10^{-8}$
และอื่น ๆ	$1.4 \times 10^{-11}$

ตารางที่ 3-2

ข้อมูลทางนิวเคลียร์ฟิสิกส์ของ Fission Products

Ni	N <sub>i-1</sub>	Y <sub>i</sub> (%)	λ <sub>i</sub> (sec <sup>-1</sup> )	ν <sub>i</sub> (sec <sup>-1</sup> )	σ <sub>i</sub> (barn)	f <sub>i-1</sub> (fraction)	λ <sub>i-1</sub> (sec <sup>-1</sup> )
Se85	-	1.5*	1.733(-2)**	1.4(-11)	-	-	-
Br85	Se85	1.5*	3.850(-3)	1.3(-8)	-	1	1.733(-2)
Kr85m	Br85	1.5	4.376(-5)	6.5(-8)	-	1	3.85(-3)
Kr85	Kr85m	0.3	2.134(-9)	6.5(-8)	15	0.225	4.376(-5)
Se87	-	2.7*	4.077(-2)	1.4(-11)	-	-	-
Br87	Se87	2.7*	1.260(-2)	1.3(-8)	-	1	4.077(-2)
Kr87	Br87	2.7	1.481(-4)	6.5(-8)	600	0.98	1.260(-2)
Br88	-	3.7*	4.472(-2)	1.3(-8)	-	-	-
Kr88	Br88	3.7	6.876(-5)	6.5(-8)	-	0.96	4.472(-2)
Kr89	-	4.8*	3.610(-3)	6.5(-8)	-	-	-
Rb89	Kr89	4.8*	7.502(-4)	1.4(-11)	-	1	3.610(-3)
Sr89	Sb89	4.8	1.573(-7)	1.4(-11)	0.4	1	7.502(-4)
Kr90	-	5.9*	2.100(-2)	6.5(-8)	-	-	-
Rb90	Kr90	5.9*	4.279(-3)	1.4(-11)	-	1	2.100(-2)
Sr90	Rb90	5.9	7.850(-10)	1.4(-11)	1	1	4.279(-3)
Tc103	-	2.9*	9.627(-3)	1.4(-11)	-	-	-
Ru103	Tc103	2.9	2.021(-7)	1.4(-11)	-	1	9.627(-3)
Ru106	-	0.38	2.176(-8)	1.4(-11)	0.15	-	-



ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

ข้อมูลทางนิวเคลียร์ฟิสิกส์ของ Fission Products

Ni	N <sub>i-1</sub>	Y <sub>i</sub> (%)	λ <sub>i</sub> (sec <sup>-1</sup> )	λ <sub>i</sub> (sec <sup>-1</sup> )	σ <sub>i</sub> (barn)	f <sub>i-1</sub> (fraction)	λ <sub>i-1</sub> (sec <sup>-1</sup> )
Sb129	-	1.0*	4.186(-5)	1.4(-11)	-	-	-
Te129m	Sb129	0.34	2.168(-7)	1.4(-9)	-	0.36	4.186(-5)
Te129	Te129m	1.0	1.605(-4)	1.4(-9)	-	1	2.168(-7)
	Sb129					0.64	4.186(-5)
I129	Te129	1.0	1.293(-15)	1.3(-8)	28	1	1.605(-4)
Sn131	-	2.9*	3.398(-3)	1.4(-11)	-	-	-
Sb131	Sn131	2.9*	5.023(-4)	1.4(-11)	-	1	3.398(-3)
Te131m	Sb131	0.44	6.418(-6)	1.4(-9)	-	0.15	5.023(-4)
Te131	Te131	2.9	4.814(-4)	1.4(-9)	-	0.2	6.418(-6)
	Sb131					0.85	5.023(-4)
I131	Te131m	2.9	9.966(-7)	1.3(-8)	0.7	0.8	6.418(-6)
	Te131					1	4.814(-4)
Sb133	-	6.5*	2.818(-3)	1.4(-11)	-	-	-
Te133m	Sb133	4.9	1.834(-9)	1.4(-9)	-	0.72	2.818(-3)
Te133	Te133m	6.5	5.776(-3)	1.4(-9)	-	1	1.834(-4)
	Sb133					0.28	2.818(-3)
I133	Te133	6.5	9.257(-6)	1.3(-8)	-	1	5.776(-3)
Xe133	I133	6.5	1.522(-6)	6.5(-8)	190	0.976	9.257(-6)

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)  
ข้อมูลทางนิวเคลียร์ฟิสิกส์ของ Fission Products

Ni	$N_{i-1}$	$Y_i$ (%)	$\lambda_i$ (sec <sup>-1</sup> )	$\lambda_i$ (sec <sup>-1</sup> )	$\sigma_i$ (barn)	$f_{i-1}$ (fraction)	$\lambda_{i-1}$ (sec <sup>-1</sup> )
Cs134	-	7.6*	1.072(-8)	2.3(-8)	136	-	-
Te135	-	6.0	2.310(-2)	1.4(-9)	-	-	-
I135	Te135	6.0	2.874(-5)	1.3(-8)	-	1	2.310(-2)
Xe135m	I135	2.1	7.551(-4)	6.5(-8)	-	0.3	2.874(-5)
Xe135	Xe135m	6.2	2.093(-5)	6.5(-8)	2.7(+6)	1	7.551(-4)
	I135					0.7	2.874(-5)
I137	-	5.9*	2.888(-2)	1.3(-8)	-	-	-
Xe137	I137	5.9*	2.962(-3)	6.5(-8)	-	1	2.888(-2)
Cs137	Xe137	5.9*	7.579(-10)	2.3(-8)	0.11	1	2.962(-3)

หมายเหตุ \* ตัวเลขที่ประมาณจาก Fission Yield Curve  
\*\* ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวยกกำลังของ 10

ตารางที่ 3-3

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Se85		Br85		Kr85m		Kr85	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	5.075 (+19)*	4.083 (+8)	4.561 (+20)	1.517 (+13)	5.876 (+22)	7.961 (+17)	5.291 (+22)	1.674 (+18)
20					6.014 (+22)	8.938 (+17)	1.240 (+24)	6.913 (+20)
40							2.355 (+24)	2.565 (+21)
60							3.347 (+24)	5.357 (+21)
80							4.229 (+24)	8.846 (+21)
100							5.013 (+24)	1.285 (+22)
120	คางงี้	คางงี้	คางงี้	คางงี้	คางงี้	คางงี้	5.711 (+24)	1.721 (+22)
140							6.331 (+24)	2.181 (+22)
160							6.882 (+24)	2.654 (+22)
180							7.373 (+24)	3.132 (+22)
200							7.809 (+24)	3.609 (+22)
220							8.188 (+24)	4.079 (+22)
240							8.543 (+24)	4.538 (+22)
260							8.850 (+24)	4.982 (+22)
270	5.075 (+19)	4.083 (+8)	4.561 (+20)	1.517 (+13)	6.014 (+22)	8.938 (+17)	8.990 (+24)	5.199 (+22)

หมายเหตุ \* ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวยกกำลังของ 10



ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Se87		Br87		Kr87	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	3.873 (+19)	1.329 (+8)	2.508 (+20)	2.568 (+12)	3.169 (+22)	1.394 (+17)
	คาคงที่	คาคงที่	คาคงที่	คาคงที่	คาคงที่	คาคงที่
270	3.873 (+19)	1.329 (+8)	2.508 (+20)	2.568 (+12)	3.169 (+22)	1.394 (+17)

วันที่	Br88		Kr88	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	4.855 (+19)	1.409 (+11)	6.165 (+22)	5.734 (+17)
20			6.181 (+22)	5.840 (+17)
40	คาคงที่	คาคงที่		5.841 (+17)
			คาคงที่	คาคงที่
270	4.855 (+19)	1.409 (+11)	6.181 (+22)	5.841 (+17)

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Kr89		Rb89		Sr89	
	เซอเพลิง	น้ำ	เซอเพลิง	น้ำ	เซอเพลิง	น้ำ
1	7.784 (+20)	1.402 (+14)	7.493 (+21)	6.221 (+14)	7.153 (+23)	8.377 (+15)
20	—	—	—	—	1.275 (+25)	3.427 (+16)
40	—	—	—	—	2.248 (+25)	5.517 (+16)
60	—	—	—	—	2.989 (+25)	7.111 (+16)
180	—	—	—	—	3.554 (+25)	8.326 (+16)
100	—	—	—	—	3.985 (+25)	9.251 (+16)
120	คางง่	คางง่	คางง่	คางง่	4.313 (+25)	9.957 (+16)
140	—	—	—	—	4.564 (+25)	1.049 (+17)
160	—	—	—	—	4.754 (+25)	1.090 (+17)
180	—	—	—	—	4.900 (+25)	1.122 (+17)
200	—	—	—	—	5.011 (+25)	1.146 (+17)
220	—	—	—	—	5.095 (+25)	1.164 (+17)
240	—	—	—	—	5.160 (+25)	1.178 (+17)
260	—	—	—	—	5.209 (+25)	1.188 (+17)
270	7.784 (+20)	1.402 (+14)	7.493 (+21)	6.221 (+14)	5.229 (+25)	1.192 (+17)

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Kr90		Rb90		Sr90	
	เซอเพลิง	น้ำ	เซอเพลิง	น้ำ	เซอเพลิง	น้ำ
1	1.643 (+20)	5.085 (+12)	1.612 (+21)	2.466 (+13)	8.925 (+23)	3.194 (+15)
20	—	—	—	—	1.787 (+25)	3.971 (+16)
40	—	—	—	—	3.571 (+25)	7.808 (+16)
60	—	—	—	—	5.352 (+25)	1.164 (+17)
80	—	—	—	—	7.131 (+25)	1.546 (+17)
100	—	—	—	—	8.906 (+25)	1.928 (+17)
120	ค้างที่	ค้างที่	ค้างที่	ค้างที่	1.068 (+26)	2.309 (+17)
140	—	—	—	—	1.245 (+26)	2.690 (+17)
160	—	—	—	—	1.422 (+26)	3.070 (+17)
180	—	—	—	—	1.598 (+26)	3.449 (+17)
200	—	—	—	—	1.774 (+26)	3.828 (+17)
220	—	—	—	—	1.950 (+26)	4.206 (+17)
240	—	—	—	—	2.125 (+26)	4.583 (+17)
260	—	—	—	—	2.299 (+26)	4.959 (+17)
270	1.643 (+20)	5.085 (+12)	1.612 (+21)	2.466 (+13)	2.386 (+26)	5.147 (+17)



ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Tc 103		Ru 103		Ru 106	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	1.765(+20)	2.551(+9)	2.910(+23)	5.147(+14)	1.916(+22)	3.392(+13)
20			4.959(+24)	1.055(+16)	3.765(+23)	8.025(+14)
40			8.456(+24)	1.808(+16)	7.389(+23)	1.582(+15)
60			1.092(+25)	2.338(+16)	1.088(+24)	2.333(+15)
80			1.266(+25)	2.712(+16)	1.424(+24)	3.056(+15)
100			1.389(+25)	2.976(+16)	1.748(+24)	3.752(+15)
120	คากงที่	คากงที่	1.475(+25)	3.162(+16)	2.059(+24)	4.423(+15)
140			1.537(+25)	3.293(+16)	2.359(+24)	5.068(+15)
160			1.580(+25)	3.386(+16)	2.648(+24)	5.690(+15)
180			1.610(+25)	3.451(+16)	2.926(+24)	6.288(+15)
200			1.631(+25)	3.497(+16)	3.194(+24)	6.864(+15)
220			1.646(+25)	3.530(+16)	3.452(+24)	7.419(+15)
240			1.657(+25)	3.553(+16)	3.700(+24)	7.953(+15)
260			1.665(+25)	3.569(+16)	3.939(+24)	8.467(+15)
270	1.765(+20)	2.551(+9)	1.668(+25)	3.575(+16)	4.056(+24)	8.718(+15)

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Sb 129		Te 129 m		Te 129		I 129	
	เชอเพลิง	น้ำ	เชอเพลิง	น้ำ	เชอเพลิง	น้ำ	เชอเพลิง	น้ำ
1	1.359(+22)	1.747(+13)	3.025(+22)	5.211(+15)	9.545(+21)	5.966(+14)	2.164(+23)	3.517(+17)
20	1.396(+22)	1.827(+13)	5.866(+23)	1.248(+17)	1.038(+22)	7.646(+14)	4.729(+24)	9.359(+18)
40	—	—	9.924(+23)	2.121(+17)	1.093(+22)	8.825(+14)	9.542(+24)	1.897(+19)
60	—	—	1.271(+24)	2.720(+17)	1.130(+22)	9.634(+14)	1.436(+25)	2.860(+19)
80	—	—	1.462(+24)	3.131(+17)	1.156(+22)	1.019(+15)	1.915(+25)	3.816(+19)
100	—	—	1.593(+24)	3.413(+17)	1.174(+22)	1.057(+15)	2.388(+25)	4.760(+19)
120	—	—	1.683(+24)	3.606(+17)	1.186(+22)	1.083(+15)	2.853(+25)	5.690(+19)
140	คากงที	คากงที	1.744(+24)	3.739(+17)	1.194(+22)	1.101(+15)	3.310(+25)	6.602(+19)
160	—	—	1.787(+24)	3.830(+17)	1.200(+22)	1.113(+15)	3.753(+25)	7.496(+19)
180	—	—	1.816(+24)	3.893(+17)	1.204(+22)	1.122(+15)	4.195(+25)	8.370(+19)
200	—	—	1.836(+24)	3.935(+17)	1.207(+22)	1.127(+15)	4.623(+25)	9.224(+19)
220	—	—	1.849(+24)	3.965(+17)	1.208(+22)	1.131(+15)	5.041(+25)	1.006(+20)
240	—	—	1.859(+24)	3.985(+17)	1.209(+22)	1.134(+15)	5.449(+25)	1.087(+20)
260	—	—	1.865(+24)	3.999(+17)	1.210(+22)	1.136(+15)	5.847(+25)	1.167(+20)
270	1.396(+22)	1.827(+13)	1.868(+24)	4.004(+17)	1.211(+22)	1.137(+15)	6.040(+25)	1.207(+20)

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Sn 131		Sb 131		Te 131 m	
	เซอเพลิง	น้ำ	เซอเพลิง	น้ำ	เซอเพลิง	น้ำ
1	5.000 (+20)	2.023 (+10)	6.773 (+21)	1.794 (+12)	5.034 (+22)	8.524 (+15)
20	คางคกที่	คางคกที่	คางคกที่	คางคกที่	1.197 (+23)	2.345 (+16)
270	5.000 (+20)	2.023 (+10)	6.773 (+21)	1.794 (+12)	1.197 (+23)	2.345 (+16)

วันที่	Te 131		I 131	
	เซอเพลิง	น้ำ	เซอเพลิง	น้ำ
1	1.321 (+22)	3.590 (+14)	9.393 (+23)	1.528 (+18)
20	1.340 (+22)	3.992 (+14)	9.908 (+24)	1.943 (+19)
40	คางคกที่	คางคกที่	1.167 (+25)	2.294 (+19)
60	คางคกที่	คางคกที่	1.197 (+25)	2.355 (+19)
80	คางคกที่	คางคกที่	1.203 (+25)	2.366 (+19)
100	คางคกที่	คางคกที่	1.204 (+25)	2.368 (+19)
120	คางคกที่	คางคกที่	1.204 (+25)	2.368 (+19)
270	1.340 (+22)	3.992 (+14)	1.204 (+25)	2.368 (+19)



ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Sb 133		Te 133 m		Te 133	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	1.351 (+21)	6.568 (+10)	3.067 (+22)	1.725 (+15)	2.474 (+21)	5.999 (+13)
	คางคกที่	คางคกที่	คางคกที่	คางคกที่	คางคกที่	คางคกที่
270	1.351 (+21)	6.568 (+10)	3.067 (+22)	1.725 (+15)	2.474 (+21)	5.999 (+13)

วันที่	I 133		Xe 133	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	1.287 (+24)	1.986 (+18)	1.148 (+24)	2.778 (+19)
20	2.364 (+24)	4.136 (+18)	1.689 (+25)	5.498 (+21)
40			1.815 (+25)	7.253 (+21)
60			1.823 (+25)	7.457 (+21)
80	คางคกที่	คางคกที่		7.476 (+21)
100			คางคกที่	7.477 (+21)
				คางคกที่
270	2.364 (+24)	4.136 (+18)	1.823 (+25)	7.477 (+21)

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Te 135		I 135		Xe 135 m		Xe 135	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	1.520(+20)	9.169(+10)	2.235(+23)	2.974(+17)	4.172(+21)	6.960(+15)	1.011(+23)	2.652(+18)
20	1.520(+20)	9.169(+10)	2.438(+23)	3.378(+17)	4.412(+21)	7.656(+15)	1.061(+23)	3.883(+18)
	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่
270	1.520(+20)	9.169(+10)	2.438(+23)	3.378(+17)	4.412(+21)	7.656(+15)	1.061(+23)	3.883(+18)

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

จำนวนอะตอมของ Fission Products

วันที่	Cs 134		I 137		Xe 137		Cs 137	
	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ	เชื้อเพลิง	น้ำ
1	3.838(+23)	1.116(+18)	1.194(+20)	5.351(+11)	2.331(+21)	5.171(+14)	8.909(+23)	2.612(+18)
20	7.429(+24)	2.602(+19)					1.752(+25)	6.138(+19)
40	1.436(+25)	5.053(+19)					3.433(+25)	1.208(+20)
60	2.083(+25)	7.340(+19)					5.046(+25)	1.778(+20)
80	2.687(+25)	9.473(+19)					6.594(+25)	2.325(+20)
100	3.250(+25)	1.146(+20)					8.080(+25)	2.850(+20)
120	3.775(+25)	1.332(+20)	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	ค่าคงที่	9.505(+25)	3.354(+20)
140	4.265(+25)	1.506(+20)					1.087(+26)	3.837(+20)
160	4.723(+25)	1.667(+20)					1.219(+26)	4.301(+20)
180	5.150(+25)	1.818(+20)					1.345(+26)	4.746(+20)
200	5.548(+25)	1.959(+20)					1.465(+26)	5.174(+20)
220	5.919(+25)	2.090(+20)					1.581(+26)	5.584(+20)
240	6.266(+25)	2.213(+20)					1.693(+26)	5.977(+20)
260	6.590(+25)	2.327(+20)					1.799(+26)	6.354(+20)
270	6.744(+25)	2.382(+20)	1.194(+20)	5.351(+11)	2.331(+21)	5.171(+14)	1.851(+26)	6.537(+20)



ตารางที่ 3-4  
 ข้อมูล Activity เฉลี่ยของเครื่องปฏิกรณ์แบบ PWR อื่น ๆ<sup>3</sup>  
 (หน่วย : dpm/mg)

ชื่อ	Co 60	Co 58	Mn 54	Cr 51	Fe 59	ปริมาณ Crud (ppb)
Connecticut Yankee	1.4 (+7)*	1.2 (+8)	2.4 (+6)	2.7 (+7)	4.2 (+6)	85
San Onofre	2.0 (+6)	2.2 (+7)	1.4 (+6)	3.1 (+6)	6.7 (+5)	90
Yankee Rowe	6.7 (+6)	3.3 (+7)	4.5 (+6)	1.7 (+7)	5.5 (+6)	70
Saxton	5.5 (+6)	4.6 (+7)	7.7 (+6)	9.0 (+7)	2.7 (+6)	55
Shippingport	2.3 (+7)	2.8 (+6)	1.3 (+6)	2.2 (+6)	1.8 (+6)	75
Indian Point 1	1.4 (+6)	5.1 (+6)	6.6 (+5)	6.1 (+6)	1.3 (+6)	72
เฉลี่ย	8.8 (+6)	3.8 (+7)	3.0 (+6)	2.4 (+7)	2.7 (+6)	75

หมายเหตุ

\* ตัวเลขภายในวงเล็บเป็นตัวยกกำลังของ 10

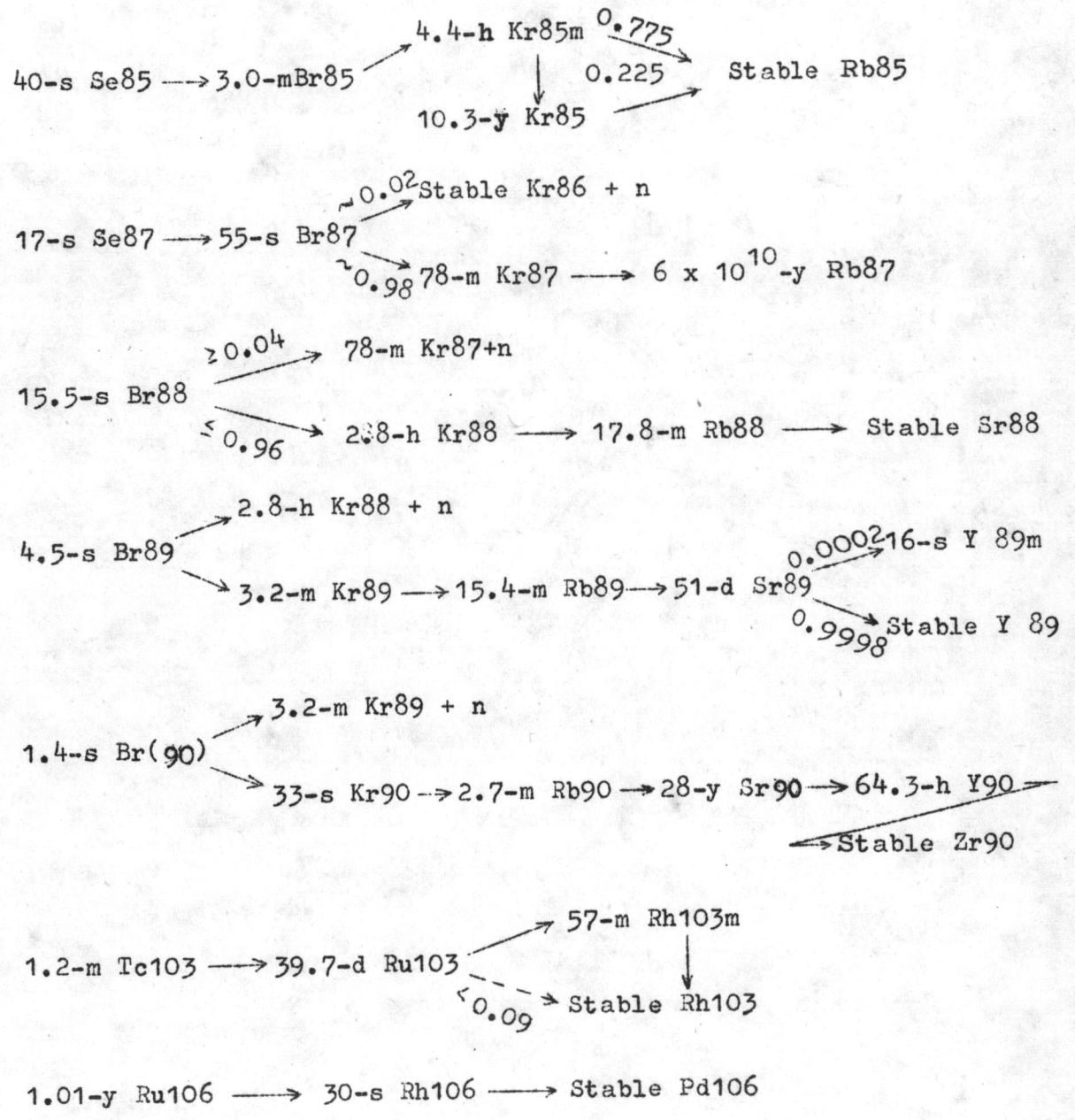
ตารางที่ 3-5  
Specific Activity ในน้ำระบายความร้อน

ไอโซโทป	ไมโครคูรี/ซีซี	ไอโซโทป	ไมโครคูรี/ซีซี
Kr 85 m	1.51 (+1) *	I 133	1.48 (+1)
Kr 85	4.28 (+1)	Xe 133	4.39 (+3)
Kr 87	7.97	Cs 134	9.86 (+1)
Kr 88	1.55 (+1)	I 135	3.75
Rb 89	1.80 (-1)	Xe 135	3.14 (+1)
Sr 89	7.24 (-3)	Cs 137	1.91 (-1)
Sr 90	1.56 (-4)	สารรังสีจากการดีกกรอน	
Ru 103	2.79 (-3)	Co 60	2.97 (-4)
Ru 106	7.32 (-5)	Co 58	1.28 (-3)
Te 129	7.04 (-2)	Mn 54	1.01 (-4)
I 129	6.03 (-8)	Cr 51	8.11 (-4)
I 131	9.11	Fe 59	9.12 (-5)

หมายเหตุ \* ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวยกกำลังของ 10

รูปที่ 3-1

Decay Chains ที่ใช้ในการคำนวณ





## รูปที่ 3-1 ( ต่อ )

## Decay Chains ที่ใช้ในการคำนวณ

