บทที่ 3

อุปกรณ์ในการวิจัยและการดำเนินการวิจัย

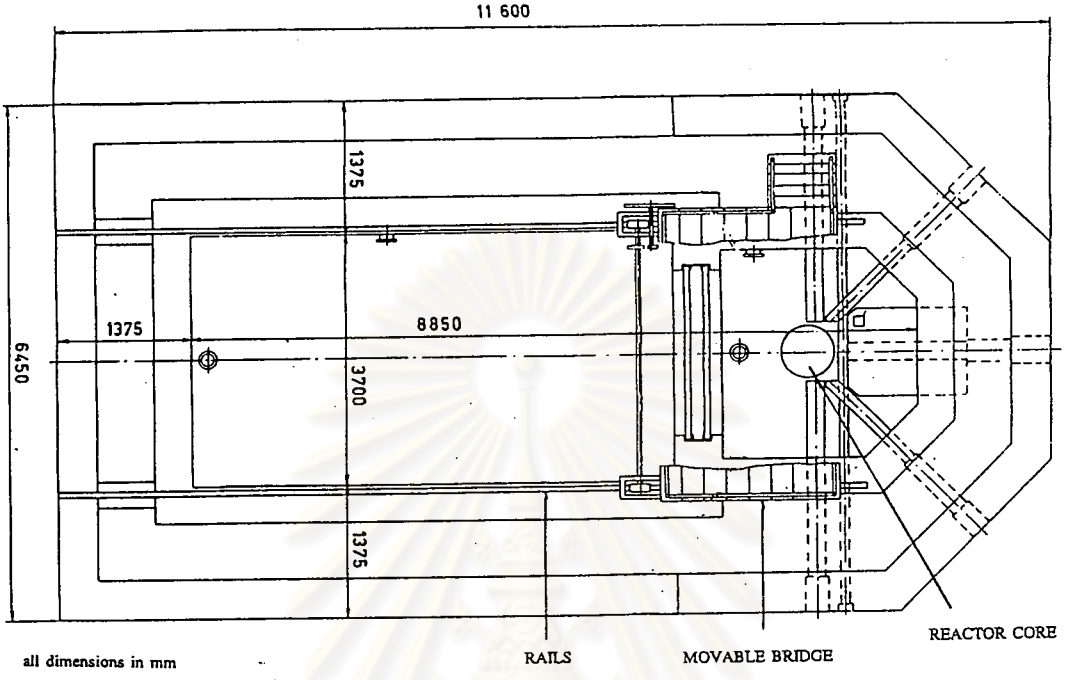
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1
2. ชุดแผ่นตรวจวัดนิวตรอนสเปกตรัม
3. ระบบวัดรังสีแกมมา
4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SAND II

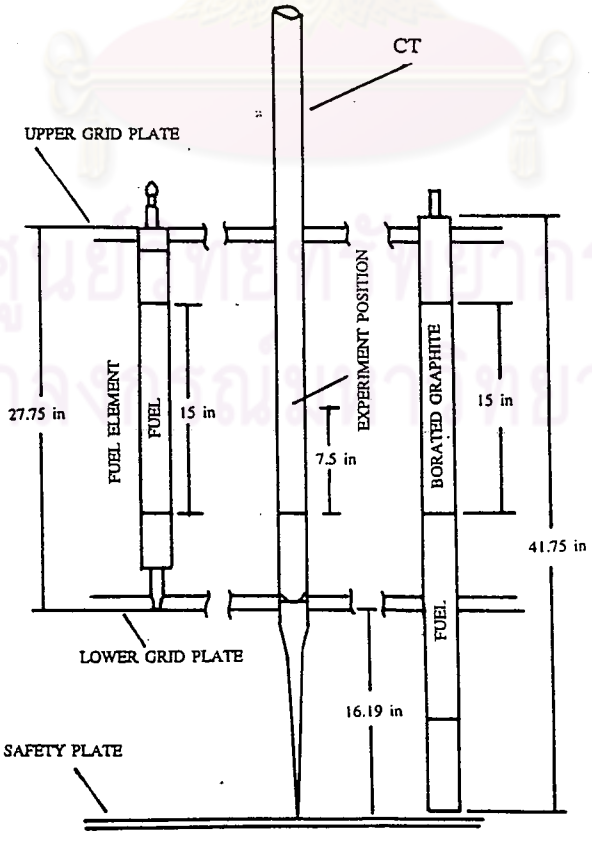
3.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 หรือ ปปว-1 (THAI RESEARCH REACTOR-1, TRR-1) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ฯเครื่องแรกของประเทศไทย สร้างโดย Curtiss-Wright Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องปฏิกรณ์ฯชนิดหล่อเย็นและระบายความร้อนด้วยน้ำธรรมดา ใช้ยูเรเนียมความเข้มข้นสูงในรูปโลหะผสมของ U_3O_8-Al เป็นเชื้อเพลิง เข้าสู่สภาวะวิกฤติครั้งแรกเมื่อ 27 ตุลาคม 2505 และยุติการใช้งานเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2518 หลังจากนั้นแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯและระบบควบคุมถูกถอดออก แล้วแทนที่ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ฯแบบ TRIGA MARK III สร้างโดยบริษัท GENERAL ATOMIC ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องปฏิกรณ์ฯชนิดหล่อเย็นและระบายความร้อนด้วยน้ำธรรมดาเช่นเดียวกับเครื่องปฏิกรณ์ฯเครื่องแรก แต่ใช้ยูเรเนียมความเข้มข้นต่ำในรูปของยูเรเนียมเซอร์โครเนียมไฮไดรด์ (UZrH 8.5% wt) เป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้บ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯและระบบระบายความร้อนยังคงใช้ของเดิม ด้วยเหตุนี้เครื่องปฏิกรณ์ฯเครื่องที่สองจึงมีชื่อเรียกว่า "เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1 หรือ ปปว-1/1 (THAI RESEARCH REACTOR-1/MODIFICATION 1, TRR-1/M1)" และเข้าสู่สภาวะวิกฤติครั้งแรกเมื่อ 7 พฤศจิกายน 2520

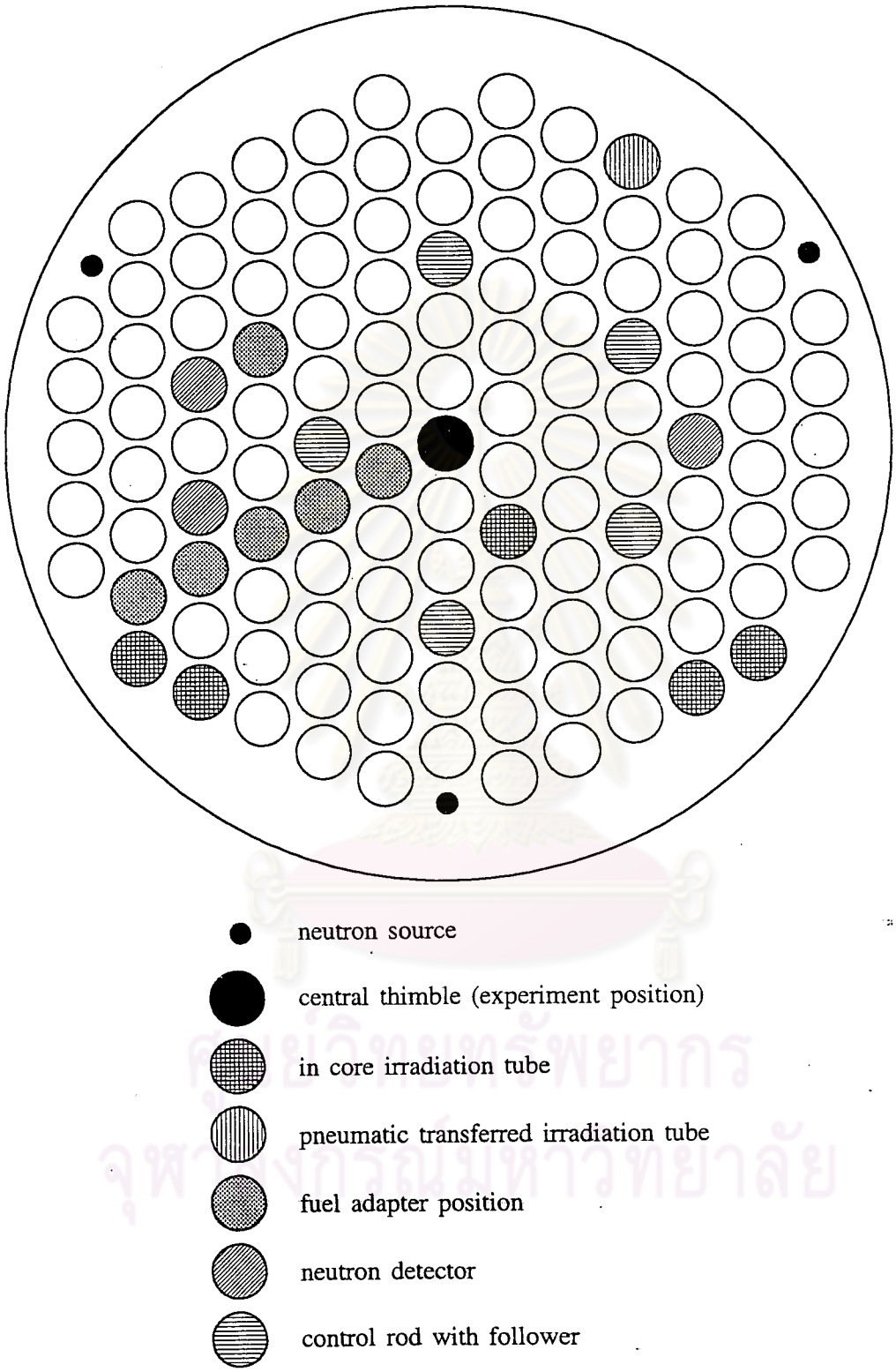
เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1 สามารถทำงานได้ 3 ลักษณะคือ steady state mode, square wave mode, pulsed mode โดยการทำงานในลักษณะ steady state และ square wave สามารถทำงานได้กำลังสูงสุด 2 MW การทำงานแบบ pulsing สามารถทำงานได้กำลังสูงสุดถึง 2000 MW ในการเดินเครื่องปกติจะทำงานแบบกำลังคงที่ที่กำลัง 1 MW โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำนิวตรอนมาใช้ในการผลิตไอโซโทปรังสีสำหรับใช้ในทางการแพทย์ และสนับสนุนงานวิเคราะห์และงานวิจัยบางสาขาเช่น การวิเคราะห์โดยการอาบนิวตรอน การวิเคราะห์โดยการกระเจิงของนิวตรอน การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน



รูปที่ 3.1 บ่อและแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1



รูปที่ 3.2 ภาพตัดด้านข้างของท่ออาบรังสีตำแหน่ง CT



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งท่ออาบรังสีภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1

แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย 1/1 มีลักษณะเป็นทรงรูปกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 55 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร แช่อยู่ในบ่อน้ำขนาด 3.5 x 8 x 10 เมตร แกนเครื่องเครื่องปฏิกรณ์ฯ สามารถเคลื่อนย้ายตำหน่งได้ (removable core) ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ จะมีท่ออาบรังสีอยู่ที่ตำแหน่ง CT, G5, G6, G32, G33 และตำแหน่ง G22 ซึ่งเป็นท่ออาบรังสีที่ขนส่งด้วยระบบลม (pneumatic transfer irradiation facility) ส่วนภายนอกแกนโดยรอบเครื่องปฏิกรณ์ฯจะมีท่ออาบรังสีซึ่งสามารถหมุนได้ (rotary specimen rack) จำนวน 41 ท่อ และมีท่ออาบรังสีในแนวดิ่ง ในตำแหน่ง A1, CA2, CA3, A4 และ TA นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์อาบรังสีเพื่อเสริมคุณค่าอัญญมณีประกอบอยู่ทางด้านทิศตะวันตก ส่วนในแนวราบจะมีท่อนำนิวตรอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว และ 8 นิ้ว ทั้งทางด้านทิศเหนือและทิศใต้รวม 4 ท่อ เพื่อใช้ในการทดลองและศึกษาวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ท่ออาบรังสีตำแหน่ง CT ซึ่งอยู่ที่ศูนย์กลางของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯดังแสดงในรูปที่ 3.3 จุดที่ทำการศึกษาอยู่สูงจากปลายท่อด้านล่าง 7.5 นิ้ว ซึ่งเป็นจุดที่มีปริมาณนิวตรอนฟลักซ์สูงสุดโดยมีเทอร์มาลนิวตรอนฟลักซ์ $2.6x10^{13}$ n/cm^2.sec เอพิเทอร์มาลนิวตรอนฟลักซ์ $1.2x10^{11}$ n/cm^2.sec และปริมาณฟาสต์นิวตรอนฟลักซ์ $1.1x10^{13}$ n/cm^2.sec (6)

3.2 <u>ชุดแผ่นตรวจวัดนิวตรอนสเปกตรัม</u> (7)

แผ่นตรวจวัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชุดแผ่นตรวจวัดของ REACTOR EXPERIMENTS, INC San Carlos, California, USA. มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 mm (มิลลิเมตร) ความหนาตั้งแต่ประมาณ 0.0254 ถึง 0.254 mm มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ประมาณร้อยละ 99.7 ถึง 99.99 วัสดุกรองนิวตรอนสำหรับหุ้มแผ่นตรวจวัดเป็นตลับแคดเมียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 mm หนา 0.508 mm ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9656 ข้อมูลของแผ่นตรวจวัดและปฏิกิริยาที่เลือกใช้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของแผ่นตรวจวัดนิวตรอนสเปกตรัมช่วงเทอร์มาล

แผ่นตรวจวัด	น้ำหนักอะตอม	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความบริสุทธิ์ (ร้อยละ)	น้ำหนักแผ่นตรวจวัด (กรัม)		
				ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
0.12% Au–Al	196.967	0.0254	99.9888	0.0414	0.0403	0.0414
Scandium28	44.956	0.127	99.88	0.0452	0.0473	0.0439

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของแผ่นตรวจวัดนิวตรอนสเปกตรัมช่วงอินเทอร์มีเดียทและฟาสต์

แผ่นตรวจวัด	น้ำหนักอะตอม	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความบริสุทธิ์ (ร้อยละ)	น้ำหนักแผ่นตรวจวัด (กรัม)		
				ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
0.12% Au-Al	196.967	0.0254	99.9888	0.0391	0.0402	0.0391
Cobalt	58.933	0.0508	99.896	0.0647	0.0618	0.0647
Iron	55.847	0.127	99.948	0.1254	0.1253	0.1284
Scandium	44.956	0.127	99.88	0.0493	0.0484	0.0464
Titanium	47.9	0.254	99.6345	0.1433	0.1428	0.1415
Zinc	65.37	0.254	99.996	0.2274	0.2276	0.2274
Nickel	58.71	0.254	99.981	0.2829	0.2835	0.2821
Magnesium	24.312	0.127	99.781	0.0303	0.0302	0.0303
Zirconium	91.22	0.127	99.7392	0.1119	0.1114	0.1112

ตารางที่ 3.3 ปฏิกิริยาที่ใช้ในการวัดนิวตรอนสเปกตรัมช่วงเทอร์มาล

ปฏิกิริยา	พลังงานนิวตรอน (eV)	ปริมาณไอโซโทป (ร้อยละ)	ภาคตัดขวางของปฏิกิริยา (b)	ครึ่งชีวิต	รังสีแกมมาพลังงาน (keV)	อัตราการสลายตัว (ร้อยละ)
$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$	0.025	100	100	2.69 d	411	95.5
$^{45}Sc(n,\gamma)^{46}Sc$	0.025	100	26.5	85 d	889.25	99.9
					1,120.5	9.9

ตารางที่ 3.4 ปฏิกิริยาที่ใช้ในการวัดนิวตรอนสเปกตรัมช่วงอินเทอร์มีเดียท

ปฏิกิริยา	พลังงานนิวตรอน (eV)	ปริมาณไอโซโทป (ร้อยละ)	ภาคตัดขวางของปฏิกิริยา (b)	ครึ่งชีวิต	รังสีแกมมาพลังงาน (keV)	อัตราการสลายตัว (ร้อยละ)
$^{59}Co(n,\gamma)^{60}Co$	132	100	77	5.27 y	1,173.2	100
					1,332.5	100
$^{58}Fe(n,\gamma)^{59}Fe$	230	0.31	1.58	45.1 d	1,099.2	56.5
					1,291.6	43.2
$^{55}Mn(n,\gamma)^{56}Mn$	337	100	14	2.57 h	864.7	98.8
$^{45}Sc(n,\gamma)^{46}Sc$	5,000	100	11.3	85 d	889.25	99.9
					1,120.5	99.9

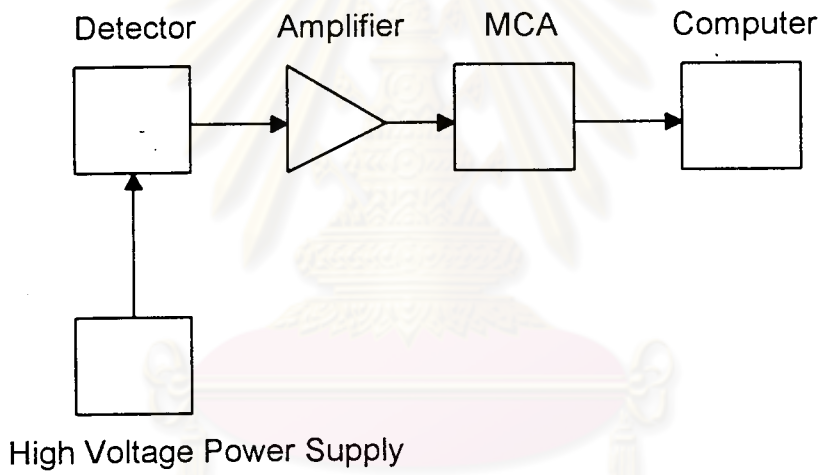
ตารางที่ 3.5 ปฏิกิริยาที่ใช้ในการวัดนิวตรอนสเปกตรัมช่วงฟาสต์

ปฏิกิริยา	พลังงานนิวตรอน (eV)	ปริมาณไอโซโทป (ร้อยละ)	ภาคตัดขวางของปฏิกิริยา (mb)	ครึ่งชีวิต	รังสีแกมมาพลังงาน (keV)	อัตราการสลายตัว (ร้อยละ)
$^{47}Ti(n,p)^{47}Sc$	2.2	7.32	21.4	3.43 d	159.3	68
$^{64}Zn(n,p)^{64}Cu$	2.8	48.89	30	12.8 h	1,354.9	0.48
$^{58}Ni(n,p)^{58}Co$	2.8	67.79	109	72 d	810.75	99.43
$^{54}Fe(n,p)^{54}Mn$	3.1	5.84	78	310 d	843.8	99.9
$^{46}Ti(n,p)^{46}Sc$	3.9	7.99	10	85 d	889.25	99.9
					1,120.5	99.9
$^{24}Mg(n,p)^{24}Mn$	6.8	78.6	1.52	15.06 h	1,368.5	99.9
$^{48}Ti(n,p)^{48}Sc$	7.6	7.99	0.303	44 h	98.3	100
					1,037.5	97.5
					1,312.1	100
$^{90}Zr(n,2n)^{89}Zr$	13	51.46	0.087	36 h	909.1	99

3.3 ระบบวัดรังสี

ระบบวัดรังสีมีการจัดอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

1. หัววัดรังสีไฮเปอร์เพียวเจอร์มาเนียม (HPGe) ของ ORTEC แบบ GMX 10200
2. เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ของ ORTEC แบบ 459
3. เครื่องขยายสัญญาณหลัก ของ ORTEC แบบ 472
4. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง ของ NUCLEAR DATA แบบ 62
5. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบ IBM รุ่น AT



รูปที่ 3.4 แผนผังการจัดอุปกรณ์ของระบบวัดรังสีแกมมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SAND II

SAND II เป็นโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษา FORTRAN IV เดิมนั้นการใช้งานต้องกระทำอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ (main frame) ในเวลาต่อมาเมื่อมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบ IBM โปรแกรมจึงถูกพัฒนาเพื่อให้สามารถทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบดังกล่าวได้ ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายและทำให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน นอกจากนี้บางสถาบันที่พัฒนายังได้ดัดแปลงบางส่วนของโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณ งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม SAND II ซึ่งบรรจุอยู่ใน NEUTRON DOSIMETRY SYSTEM SAIPS ที่ถูกพัฒนาโดย A.M. Niedritis, M.A. Beronis and Kh.Ya. Bondars, Faculty of Physics and Mathematics, P. Stuchki Latvian State University, USSR ซึ่งมีโปรแกรมสนับสนุนสำหรับเตรียม input data file (แฟ้มข้อมูลนำเข้า) และ output data file (แฟ้มข้อมูลผลลัพธ์) รวมทั้งมี cross-section library สำหรับใช้ในการคำนวณจำนวนมาก โปรแกรมสามารถทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ IBM รุ่น AT หรือรุ่นที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ใช้เวลาในการคำนวณตั้งแต่ระดับ 1-2 นาที จนถึง 10-20 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวนกลุ่มพลังงานที่ใช้ และความยุ่งยากของปัญหา

3.5 การอาบรังสี

การอาบรังสีแผ่นตรวจวัดนิวตรอนสเปกตรัมมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. บรรจุแผ่นตรวจวัดในซองพลาสติก ผนึกด้วยความร้อนให้สามารถป้องกันน้ำและป้องกันการเปรอะเปื้อน

2. ติดซองพลาสติกเข้ากับแผ่นอลูมิเนียมสำหรับนำเข้าอาบรังสี ที่ความสูง 7.5 นิ้ว

3. ผูกแผ่นอะลูมิเนียมด้วยเส้นเอ็น แล้วหย่อนลงในท่ออาบรังสีตำแหน่ง CT เดินเครื่องปฏิกรณ์ฯด้วยกำลังและเวลาดังแสดงในตารางที่ 3.6

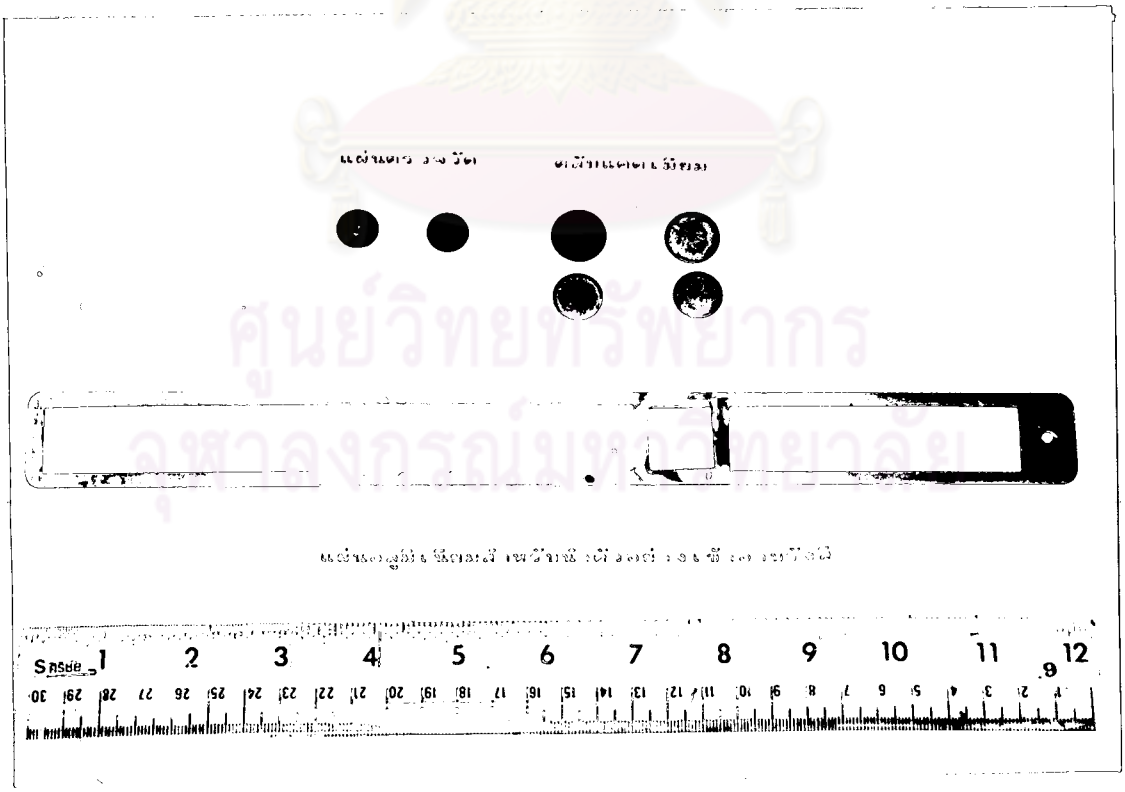
4. นำแผ่นอะลูมิเนียมออกจากท่ออาบรังสี ทิ้งไว้จนกระทั่งความแรงรังสีอยู่ในระดับที่สามารถนับวัดได้ จึงนำมาวัดด้วยระบบวัดรังสีแกมมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17192602

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลการอาบรังสีแผ่นตรวจวัดนิวตรอนสเปกตรัม

แผ่นตรวจวัด	กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ (กิโลวัตต์)	เวลา (นาที)	หมายเหตุ
0.12% Au-Al	1,000	20	-
Scandium	10	20	-
0.12% Au-Al	1,000	20	หุ้มแคดเมียม
Cobalt	10	20	หุ้มแคดเมียม
Iron	1,000	60	หุ้มแคดเมียม
Scandium	10	20	หุ้มแคดเมียม
Titanium	1,000	60	หุ้มแคดเมียม
Zinc	1,000	15	หุ้มแคดเมียม
Nickel	1,000	60	หุ้มแคดเมียม
Magnesium	1,000	30	หุ้มแคดเมียม
Zirconium	1,000	120	หุ้มแคดเมียม



รูปที่ 3.5 แผ่นตรวจวัดนิวตรอนสเปกตรัม ตลับแคดเมียม และแผ่นอะลูมิเนียมสำหรับนำเข้าอาบรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การคำนวณ

3.6.1 การคำนวณความแรงรังสีอิ่มตัวต่อนิวไคลด์

นำข้อมูลความแรงรังสีของแผ่นตรวจวัดแต่ละชนิด มาคำนวณหาความแรงรังสีอิ่มตัวต่อนิวไคลด์โดยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$R = \left(\frac{A}{mN_0}\right)\left(\frac{S}{b}\right)\frac{\lambda e^{-\lambda t_w}}{f\left(1 - e^{-\lambda t_c}\right)\left(1 - e^{-\lambda t_i}\right)} \quad (3.1)$$

A คือ มวลอะตอมของไอโซโทป

m คือ น้ำหนักของแผ่นตรวจวัด

N_0 คือ ค่าคงที่ของอะโวกาโด (Avogado's number)

S คือ พื้นที่สุทธิใต้พีค (net peak area)

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว

b คือ gamma branching ratio

ε คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

t_i คือ เวลาในการอาบรังสี

t_w คือ เวลาของการสลายตัวก่อนวัดรังสี

t_c คือ เวลาวัดรังสี

p คือ power nomaliation factor กรณีเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 10 kW จะมีค่าเท่ากับ 91.201 และที่กำลัง 1000 kW มีค่าเท่ากับ 1 (8)

3.6.2 การคำนวณนิวตรอนสเปกตรัม (9)

การใช้งานโปรแกรม SAND II ใน NEUTRON DOSIMETRY SYSTEM SAIPS แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมแฟ้มข้อมูลค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยา สามารถเตรียมได้โดยการใช้โปรแกรมสนับสนุนสำหรับอ่านข้อมูลจาก cross-section library ชื่อ CMERGE โดยการเรียกใช้ batch file MERGE ตามด้วยชื่อของ input data file ซึ่งแฟ้มข้อมูลนี้จะต้องประกอบข้อมูล ชื่อของ cross-section library ชื่อของปฏิกิริยาและความหนาของวัสดุกรองนิวตรอนสำหรับหุ้มแผ่นตรวจวัด ในลักษณะดังนี้

aaaaaaaa bbbbbbbb cccccccc

bbbbbbbb cccccccc

....

....

....

aaaaaaaa คือ ชื่อของ cross-section library (format A8)

bbbbbbbb คือ ชื่อของปฏิกิริยาโดยย่อ(format A8) เช่นเดียวกับที่ใช้ใน cross-section library นำด้วยสัญญลักษณ์ทางเคมีของธาตุ ตามด้วยเลขแสดงไอโซโทป และตัวอักษรเดี่ยวแสดงผลผลิตจากปฏิกิริยาเช่น ปฏิกิริยา $^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$ จะเขียนย่อเป็น Au197G ส่วนปฏิกิริยาอื่นๆจะใช้ตัวอักษรดังนี้ ปฏิกิริยา (n,α) ใช้ตัวอักษร A ปฏิกิริยา (n,p) ใช้ตัวอักษร P ปฏิกิริยา (n,n') ใช้ตัวอักษร N ปฏิกิริยา (n,2n) ใช้ตัวเลข 2 ปฏิกิริยา(n,f) ใช้ตัวอักษร F

cccccccc คือ ความหนาของวัสดุกรองนิวตรอนสำหรับหุ้มแผ่นตรวจวัดหน่วยบาร์น$^{-1}$ (format 3E12.5) ซึ่งคำนวณจากสมการ

$$T = \frac{(A_0 \times \rho \times t) \times 10^{-24}}{M} \qquad (3.2)$$

T คือ ความหนาของวัสดุกรองนิวตรอนสำหรับหุ้มแผ่นตรวจวัดหน่วย บาร์น$^{-1}$

A_0 คือ ค่าคงที่ของอาโวกาโด

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุกรองนิวตรอน

M คือ น้ำหนักมวลของวัสดุกรองนิวตรอน

t คือ ความหนาของวัสดุกรองนิวตรอน หน่วย เซนติเมตร

2. เตรียม input data file สำหรับโปรแกรม SAND II สามารถเตรียมได้จากการใช้โปรแกรมสนับสนุนชื่อ GMERGE โดยการเรียกใช้ batch file "SAIPS" ตามด้วยชื่อของ input data file cross-section file(merge.crs) spectrum library โปรแกรมจะทำงานในลักษณะตอบโต้กับผู้ใช้งาน และจะถามข้อมูลเกี่ยวกับ จำนวนปฏิกิริยา ชื่อปฏิกิริยา ความแรงรังสีและค่าความไม่แน่นอน ชนิดของวัสดุหุ้มแผ่นตรวจวัด เงื่อนไขของการอิตเทอเรตสเปกตรัมเริ่มต้น ส่วน พารามิเตอร์อื่นๆ โปรแกรมจะกำหนดค่าที่เหมาะสมให้ หากต้องการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านั้นต้องเตรียมแฟ้มข้อมูลนี้ด้วยตนเอง ซึ่งข้อมูลในแฟ้มนี้จะต้องประกอบด้วย

n CASES คือ จำนวนปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์

Ta คือ หัวเรื่องของปัญหา ขึ้นต้นด้วยตัวอักษร "T" ในสดมภ์ที่หนึ่ง และสามารถเขียนได้มากบรรทัดเท่าที่ต้องการ หรืออาจตัดทิ้งได้โดยไม่มีผลต่อการทำงานของโปรแกรม

ITERATION หรือ ACTIVITY คือ ลักษณะการคำนวณที่ต้องการให้โปรแกรมทำงาน ITERATION คือ การคำนวณหานิวตรอนสเปกตรัม จากข้อมูลความแรงรังสีของแผ่นตรวจวัดและสเปกตรัมเริ่มต้น ส่วน ACTIVITY คือ การคำนวณค่าความแรงรังสีจากสเปกตรัมที่กำหนดให้ซึ่งเป็นความสามารถอีกอย่างหนึ่งของโปรแกรมที่ไม่ได้ใช้ในงานวิจัยนี้

n FOILS คือ จำนวนปฏิกิริยาที่ใช้ในการคำนวณ

a x คือ ชื่อย่อของปฏิกิริยา และชนิดของวัสดุกรองนิวตรอน

ACTS x คือ ความแรงรังสีอิ่มตัวต่อนิวไคลด์ (format 3E12.5)

SPECTRUM LIBRARY n คือ หมายเลขลำดับของสปกตรัมเริ่มต้นใน Library

LIMIT n คือ จำนวนครั้งมากที่สุดซึ่งต้องการให้โปรแกรมทำการอิตเทอเรต

DEVIATION x คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนระหว่างความแรงรังสีอิ่มตัวจากการวัดต่อการคำนวณ ซึ่งเป็นเงื่อนไขหนึ่งของการคำนวณ

DISCARD x คือ ค่าความเบี่ยงเบนมากที่สุดซึ่งสามารถยอมรับได้ระหว่างความแรงรังสีอิ่มตัวจากการวัดและการคำนวณของแต่ละปฏิกิริยา หากปฏิกิริยาใดมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้จะถูกตัดออกจากการคำนวณ

LOW END คือ รูปแบบของการเอกซ์ทราโปเลต กรณีที่ผลรวมของ weighting function ในบางช่วงพลังงานมีค่าเท่ากับศูนย์

HIGH END (เช่นเดียวกับ LOW END)

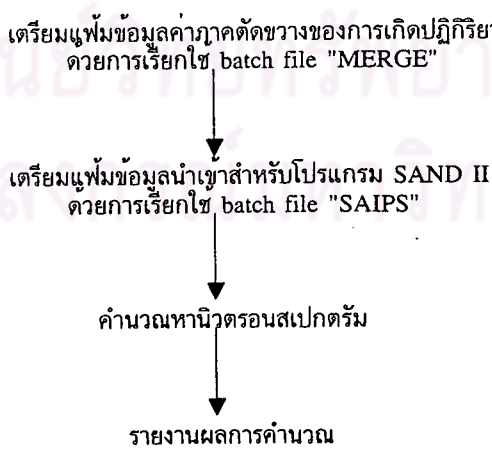
NORM x คือ พลังงานที่กำหนดสำหรับ normalize อินทีกรัลฟลักซ์

PLOT คือ คำสั่งการนำเสนอผลลัพธ์ หากไม่ต้องการใช้ NO PLOT

SMOOTH n คือ จำนวนจุดในการคำนวณปรับ weighting functionให้มีความเรียบ

3. การคำนวณนิวตรอนสเปกตรัม เป็นการทำงานที่ต่อเนื่องจากขั้นตอนที่ 2 โดยอัตโนมัติ แต่ถ้าเตรียมข้อมูลในขั้นตอนที่ 2 เอง การคำนวณสามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง "SANDII1/ R2600 <input data file name> output data file name"

4. รายงานผลจากการคำนวณ เป็นการทำงานต่อเนื่องอัตโนมัติจากขั้นตอนที่ 3 เช่นกัน ในกรณีที่เตรียมข้อมูลในตอนที่ 2 เอง ขั้นตอนที่ 4 สามารถทำงานได้โดยการใช้ batch file PLOT ตามด้วยชื่อ output data file



รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม SAND II
ใน NEUTRON DOSIMETRY SYSTEM SAIPS โดยสังเขป