บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การคำนวณหานิวตรอนสเปกตรัมที่ท่ออาบรังสีตำแหน่ง CT ภายในแกนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SAND II จากข้อมูลความแรงรังสีอิ่มตัวต่อนิวเคลียสของแผ่นตรวจวัดจำนวน 9 ชนิด และปฏิกิริยาจำนวน 15 ปฏิกิริยา ซึ่งเป็นปฏิกิริยาของนิวตรอนพลังงานในช่วงเทอร์มาล 2 ปฏิกิริยา ช่วงอินเทอร์มีเดียท 5 ปฏิกริยา และช่วงฟาสต์ 8 ปฏิกิริยาพบว่าสเปกตรัมเริ่มต้นหมายเลข 12 ของ library SANDLIB และ cross-section library DETAN74 มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับใช้ในการคำนวณกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองอาบรังสีแผ่นตรวจวัดทั้ง 3 ชุด

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบผลจากการคำนวณ

ข้อมูลชุดที่	จำนวนปฏิกิริยาในการคำนวณ	cross-section library	จำนวนการอิตเทอเรต (ครั้ง)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	อินทีกรัลฟลักซ์เฉลี่ย ($n/cm^2.sec$)
1	15	DETAN74	9	5.61	5.907×10^{13}
1	7	DETAN74	4	4.81	5.992×10^{13}
1	7	IRDF82	1	4.51	5.697×10^{13}
2	15	DETAN74	2	4.64	6.480×10^{13}
3	15	DETAN74	3	4.67	6.621×10^{13}

การคำนวณหานิวตรอนสเปกตรัมจากข้อมูลความแรงรังสีของแผ่นตรวจวัดชุดที่ 1 จำนวน 15 ปฏิกิริยา ร่วมกับสเปกตรัมหมายเลข 12 ของ SANDLIB และ cross-section library DETAN74 การอิตเทอเรตของโปรแกรมหยุดลงในลำดับขั้นที่ 9 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแรงรังสีจากการวัดต่อการคำนวณร้อยละ 5.61 แต่สเปกตรัมจากการคำนวณมีความผิดปกติ คือ สเปกตรัมในช่วงเอพิเทอร์มาลซึ่งควรจะราบเรียบ มีลักษณะเป็นยอดแหลมและหลุมจำนวนมากตั้งแต่บริเวณพลังงาน 1 eV และในส่วนของช่วงฟาสต์ซึ่งโดยปกติควรจะมีลักษณะการกระจายแบบฟิชชันสเปกตรัม กลับปรากฏเป็นหลุมขนาดใหญ่ ภายหลังจากการคัดข้อมูลออก 8 ปฏิกิริยาแล้วคำนวณซ้ำ การอิตเทอเรตของโปรแกรมหยุดลงในลำดับขั้นที่ 4 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแรงรังสีจากการวัดต่อการคำนวณร้อยละ 4.81 อินทีกรัลฟลักซ์เฉลี่ย 5.992×10^{13} $n/cm^2.sec$ และสเปกตรัมที่ได้มีลักษณะปกติ ซึ่งผลจากการทำ

sensitivity analysis (5) พบว่าหากการใช้ปฏิกิริยามีความครอบคลุมสเปกตรัมดี การเลือกใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจะมีผลต่อการคำนวณน้อย และผลจากการเลือกสเปกตรัมเริ่มต้นที่ไม่เหมาะสมจะมีมากในกรณีที่ใช้ปฏิกิริยาน้อยหรือไม่ครอบคลุม ดังนั้นเมื่อคัดข้อมูลออก 8 ปฏิกิริยาแล้วได้ผลการคำนวณที่ดีขึ้น จึงแสดงว่าผลการคำนวณที่ไม่ดีนั้นเกิดจากความผิดพลาดของข้อมูลความแรงรังสีอิ่มตัวต่อนิวไคลด์ที่ใช้ คาดว่ามีสาเหตุมาจากความผิดพลาดของการอาบรังสี เนื่องจากการอาบรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯนั้นจะต้องนำตัวอย่างใส่ไว้ในท่ออาบรังสีก่อนที่จะทำการเดินเครื่อง การจับเวลาจะเริ่มเมื่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำงานจนได้กำลังที่ต้องการ ซึ่งในระหว่างที่กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ยังไม่ถึงจุดที่ต้องการนั้นแผ่นตรวจวัดก็ได้รับการอาบรังสีด้วย และประกอบกับการที่ผู้ทำวิจัยยังขาดความชำนาญในการทดลองและการวัดรังสีแกมมาจากไอโซโทปบางชนิด

เมื่อทำการเปลี่ยน cross-section library จาก DETAN74 เป็น IRDF82 พบว่าการอิตเทอเรตของโปรแกรมหยุดลงในลำดับขั้นที่ 1 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแรงรังสีจากการวัดต่อการคำนวณร้อยละ 4.51 สเปกตรัมที่ได้มีลักษณะปกติ อินทีกรัลฟลักซ์เฉลี่ย 5.697 x 10^{13} n/cm^2.sec ต่างจากการใช้ library DETAN74 ร้อยละ 4.9 แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความไม่แน่นอนของค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละ library ที่มีต่อการคำนวณ

การคำนวณนิวตรอนสเปกตรัมจากข้อมูลความแรงรังสีของแผ่นตรวจวัดชุดที่ 2 และ 3 ร่วมกับสเปกตรัมหมายเลข 12 ของ SANDLIB และ cross-section library DETAN74 การอิตเทอเรตของโปรแกรมหยุดลงในลำดับขั้นที่ 2 และ 3 มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละ 4.64 และ 4.67 ตาม ลำดับ อินทิกรัลฟลักซ์เฉลี่ย 6.480 x 10^{13} และ 6.621x10^{13} n/cm^2.sec ต่างจากข้อมูลชุดที่ 1 ร้อยละ 8.1 และ 10.5 ตามลำดับ สเปกตรัมที่ได้มีลักษณะปกติ จึงไม่มีการคัดข้อมูลออกเหมือนข้อมูลชุดแรก

ค่าอินทีกรัลฟลักซ์เฉลี่ยที่คำนวณได้มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง และความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ คือ หลังการทดลองอาบรังสีแผ่นตรวจวัดชุดที่ 1 มีการย้ายตำแหน่งแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯเพื่อเตรียมซ่อมบ่อ และหลังจากการอาบรังสีแผ่นตรวจวัดชุดที่ 2 มีการเปลี่ยนแท่งเชื้อใหม่ อย่างไรก็ตามผลการคำนวณมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแท่งเชื้อเพลิงใหม่ค่าอินทีกรัลฟลักซ์เฉลี่ยที่คำนวณได้มีค่าสูงขึ้น

เมื่อนำนิวตรอนสเปกตรัมที่ได้จากการคำนวณจากข้อมูลของผู้ผลิตเครื่องปฏิกรณ์ฯ (10) มาเปรียบเทียบกับนิวตรอนสเปกตรัมที่ได้จากการทดลองปรากฏว่ามีลักษณะที่สอดคล้องกันกัน แม้ว่านิวตรอนสเปกตรัมที่นำมาเปรียบเทียบนี้จะมีลักษณะที่ต่ำกว่าเนื่องจากเป็นสเปกตรัมขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ฯทำงานอยู่ที่กำลัง 250 kW ส่วนสเปกตรัมที่ได้จากการคำนวณเป็นสเปกตรัมขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ฯทำงานอยู่ที่กำลัง 1000 kW

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีอิตเทอเรตเป็นกระบวนการอย่างหนึ่งทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการประมาณค่า ผลการคำนวณที่ถูกต้องและรวดเร็วนั้นขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ค่าเริ่มต้น (initial guess) และ correction factor ที่เหมาะสม เมื่อนำวิธีนี้มาใช้กับการคำนวณนิวตรอนสเปกตรัมซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่ จึงเป็นการยากที่จะให้ correction factor ที่กำหนดไว้นั้นเหมาะสมกับทุกช่วงพลังงานของนิวตรอน ผลการคำนวณที่ดีจึงขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สเปกตรัมเริ่มต้นและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง หากเลือกใช้สเปกตรัม

เริ่มต้นที่ไม่เหมาะสม หรือข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนสูง โปรแกรมจะต้องทำการอิตเทอเรตจำนวนมากครั้งขึ้น ในบางครั้งนั้นแม้ว่าผลลัพธ์จะมีความถูกต้องตามเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ที่ตั้งไว้ แต่อาจมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่สามารถยอมรับได้ ในกรณีเช่นนี้ควรตรวจสอบหาข้อมูลที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดผลดังกล่าวแล้วคัดออกหรือทดลองเปลี่ยนสเปกตรัมเริ่มต้นใหม่

ในการวัดนิวตรอนสเปกตรัมด้วยวิธีอาบรังสีแผ่นตรวจวัดหลายชนิด ไม่สามารถทำการอาบรังสีแผ่นตรวจวัดได้พร้อมกันคราวละหลายๆแผ่น ทำให้ต้องเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯจำนวนมากครั้ง ซึ่งนอกจากจะเกิดความสิ้นเปลือง ความล่าช้าและความยุ่งยากในการปฏิบัติงานแล้ว ยังก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนแก่การวัด เนื่องจากไม่สามารถติดเครื่องปฏิกรณ์จนได้กำลังที่ต้องการในลักษณะเดียวกันได้ทุกครั้งตลอดจนสภาพหรือลักษณะของแกนเครื่องปฏิกรณ์จะเปลี่ยนไปตามกาลเวลาและการใช้งาน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อลักษณะของนิวตรอนสเปตรัมด้วย การทดลองอาบรังสีแผ่นตรวจวัดแต่ละชุดควรทำให้เสร็จสิ้นโดยเร็วที่สุด หรือใช้แผ่นตรวจวัดแบบที่มีธาตุหลายชนิดรวมกันในแผ่นเดียว (multi components foils) แทนการใช้แผ่นตรวจวัดหลายชนิด และในการคำนวณควรมีการทำ sensitivity analysis ด้วยว่ามีองค์ประกอบใดที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของผลการทดลองมากน้อยเพียงใด เช่น ค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยา กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ เวลาของการอาบรังสี ฯลฯ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผลของการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย