การคำนวณการสูญเสียค่ารีแอคติวิตีของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย เนื่องจากท่อฉายรังสีอัญมณีด้วยโปรแกรม MVP

วราวุธ ขจรฤทธิ์* อารีรัตน์ คอนดวงแก้ว

ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

e-mail : varavuth@tint.or.th

บทคัดย่อ

ได้คำนวณสภาวะวิกฤติในแกนเริ่มต้นของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 ด้วยโปรแกรม MVPร่วมกับค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาจากJNDL-3.3 และได้เพิ่มแบบจำลองของท่อฉายรังสีอัญมณีเพื่อคำนวณการสูญเสียค่ารีแอคติวิตีอันเนื่องมาจากท่อฉายรังสีเหล่านี้

ผลการคำนวณค่ารีแอคติวิตีรวมของระบบควบคุมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 10.83 และเมื่อมีการจำลองท่อฉายรังสีอัญมณีประกอบเข้ากับแกนเครื่องปฏิกรณ์ ค่ารีแอคติวิตีมีค่าลดลงร้อยละ 0.43δk/k

คำสำคัญ : MVP เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย การสูญเสียรีแอคติวิตี

MVP Based Calculation of Reactivity Loss Due to Gemstone Irradiation Facility of Thai Research Reactor

Varavuth Kajornrith* and Areeratt Konduangkaeo

Gems Irradiation Center, Thailand Institute of Nuclear Technology

e-mail : varavuth@tint.or.th

Abstract

The calculation of initial core criticality of Thai Research Reactor-1/Modification 1 was performed by the continuous energy Monte Carlo Code MVP and the material cross-sections from JENDL-3.3 continuous-energy library. After that gemstone irradiation facility model were extended for calculation on the magnitude of the reactivity loss.

The results showed that total reactivity worth of the control system was 10.83 The reactivity effects associated with the insertion of gemstone irradiation facility was about ─ 0.43 %δk/k

Keywords : MVP, Thai Research Reactor, reactivity loss

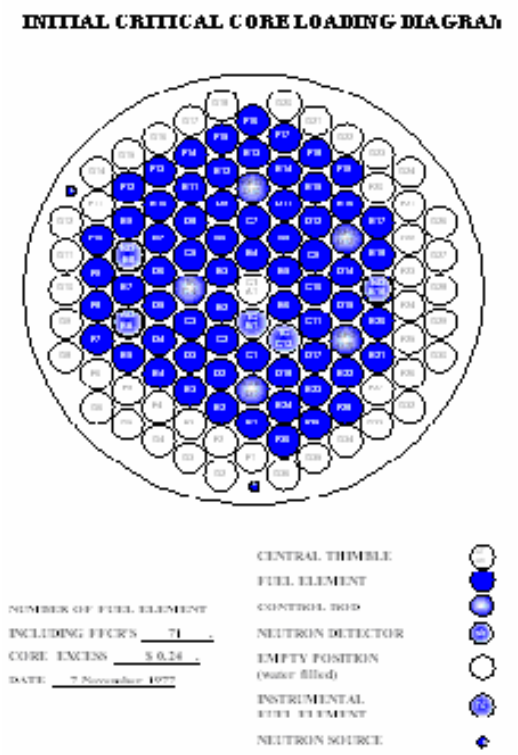
บทนำ

การส่งออกอัญมณีของประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีมูลค่าการส่งออกปีละหลายพันล้านบาท ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ให้บริการและฉายรังสีอัญมณีเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าอัญมณีโทแพซจากมูลค่าต่ำ (สีขาวใส) เป็นอัญมณีมูลค่าสูง (สีฟ้าเข้ม) ซึ่งทำให้เกิดมูลค่าในตลาดสูงกว่าเดิม ประมาณ 5 ถึง 30 เท่า ในการให้บริการดังกล่าวศูนย์ฉายรังสีอัญมณีสามารถให้บริการได้ปีละประมาณ 90 กิโลกรัม จากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยที่กำลัง 1.2 กิโลวัตต์ ติดต่อกัน 46 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ประกอบการอัญมณีที่ต้องการใช้บริการปีละประมาณ 15,000 กิโลกรัม ดังนั้นศูนย์ฉายรังสีอัญมณีจึงมีความจำเป็นต้องขยายการผลิตให้เต็มศักยภาพเพื่อการบริการให้กับผู้ประกอบการได้อย่างเต็มที่โดยการปรับปรุงอุปกรณ์ฉายรังสีในเครื่องปฏิกรณ์ฯให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การปรับปรุงอุปกรณ์ฉายรังสีในเครื่องปฏิกรณ์ฯนั้นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ ในปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้หลักการคำนวณแบบมอนติคาร์โล ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์ของเครื่องปฏิกรณ์รวมทั้งมีความสามารถในการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบต่างๆ จึงได้มีแนวความคิดที่จะนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณผลกระทบของท่อฉายรังสีอัญมณีที่จะปรับปรุงใหม่นี้ซึ่งจะเกิดขึ้นต่อเครื่องปฏิกรณ์ฯในเบื้องต้นอันได้แก่ ค่าการสูญเสียค่ารีแอคติวิตี

วิธีการ

ใช้โปรแกรม MVP จำลองแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯด้วยรูปทรงเรขาคณิตตามแผนผังการจัดแกนเครื่องปฏิกรณ์ในสภาวะวิกฤตเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแบบจำลองของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯประกอบด้วยแท่งเชื้อเพลิง แท่งควบคุม หัววัดรังสีนิวตรอนและท่อฉายรังสีที่ตำแหน่งCT (Central Thimble) โดยแท่งเชื้อเพลิงเป็นแบบมาตรฐานทริกาที่มีปริมาณธาตุยูเรเนียมร้อยละ 8.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งถูกเสริมสมรรถนะให้มีปริมาณไอโซโทปยูเรเนียม-235เป็นร้อยละ 20 รวม 71 แท่ง ทั้งนี้รวมถึงแท่งเชื้อเพลิงที่ประกอบอยู่กับแท่งควบคุมแบบ Fuel Follower อีก 4 แท่ง



รูปที่ 1 แผนผังการจัดแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯในสภาวะวิกฤตเริ่มต้น

ส่วนประกอบภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯทั้งหมดถูกจัดเรียงแบบผลึกรูปหกแหลี่ยมในกรอบรูปทรงกระบอก (Hexagonal Lattice with a Cylindrical Frame) เซลล์ปริซึมหกแหลี่ยมแต่ละเซลล์มีขนาดความกว้าง 4.34 เซ็นติเมตร สูง 60.026 เซ็นติเมตร บรรจุในกรอบผลึกรูปทรงกระบอก (Cylindrical Lattice Frame)ขนาดรัศมี 27.9 เซ็นติเมตร ล้อมรอบด้วยน้ำรูปทรงกระบอกความสูงเท่ากันขนาดรัศมี 77.9 เซ็นติเมตร ทั้งหมดบรรจุอยู่ในน้ำรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยม (Right Parallelepiped) ขนาดกว้าง 200 เซ็นติเมตร สูง 76.026 เซ็นติเมตร ด้านนอกของกล่องกำหนดให้เป็นวัสดุดูดกลืนสมบูรณ์ (Perfect Absorber)

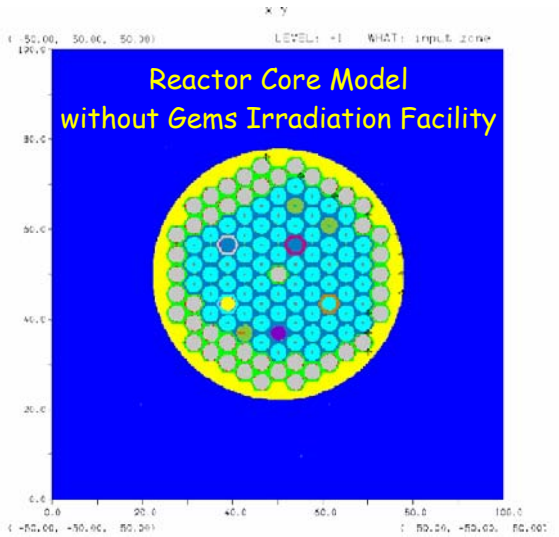
การคำนวณใช้จำนวนนิวตรอน(NPART) 200000 อนุภาค, โดยใช้นิวตรอน 5000 อนุภาคต่อรอบการคำนวณ (NHIST) และเริ่มเก็บค่าตัวคูณยังผล (k-Effective) หลังจากการคำนวณรอบที่ 20 (NSKIP) การคำนวณจะแบ่งเป็น 8 กรณี กำหนดโดยตำแหน่งของแท่งควบคุม กรณีแรกแท่งควบคุมทั้งหมดจะอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด (Fully Insert) จากนั้นจะถูกสลับยกขึ้นในตำแหน่งสูงสุด (Fully Withdrawn) คราวละ 1 แท่ง และยกขึ้นในตำแหน่งสูงสุดพร้อมกัน เพื่อคำนวณค่าตัวคูณยังผลและค่ารีแอคติวิตี (Reactivity)

ภายหลังเสร็จสิ้นการคำนวณข้างต้น จะเพิ่มแบบจำลองของท่อฉายรังสีอัญมณีที่ทำด้วยแคดเมียมหนา 1 มิลลิเมตร ขนาดรัศมี 12.7 เซ็นติเมตร สูง 40 เซ็นติเมตร จำนวน 14 ท่อ รอบแกน

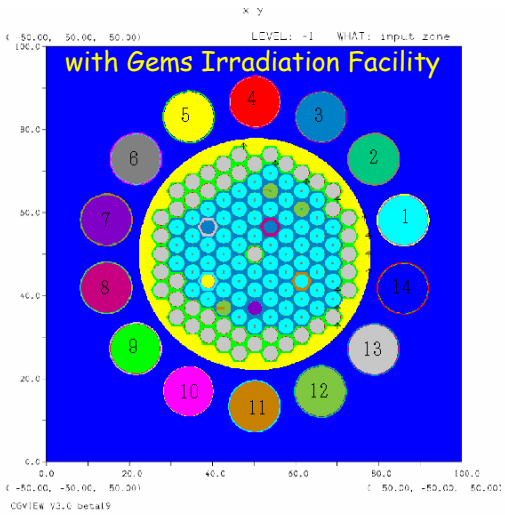
เครื่องปฏิกรณ์ฯ โดยห่างจากจุดศูนย์กลาง 36.6 เซ็นติเมตร เพื่อคำนวณหาค่านิวตรอนฟลักซ์และค่าการสูญเสียรีแอคติวิตีอันเนื่องมาจากท่อฉายรังสีเหล่านี้

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

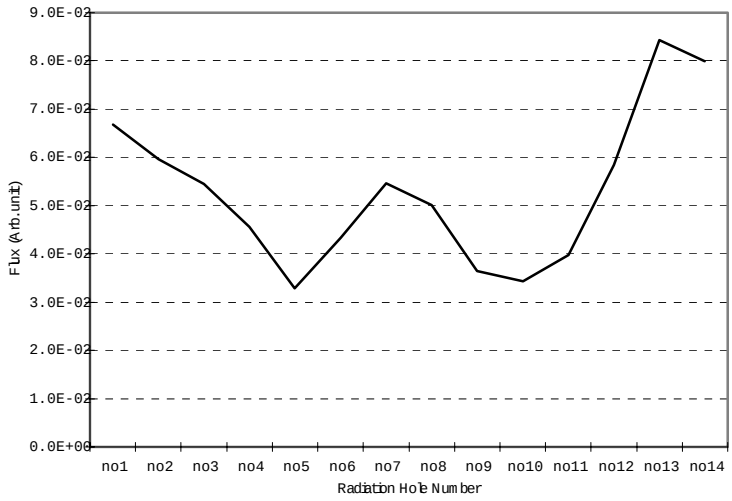
รูปตัด X-Y ของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ และรูปตัด X-Y ของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯพร้อมท่อฉายรังสีอัญมณี จากการจำลองด้วยโปรแกรม MVP แสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ผลการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MVP คำนวณร่วมกับค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาจากJNDL-3.3 ได้ค่าตัวคูณยังผลและสามารถคำนวณค่ารีแอคติวิตีเมื่อแท่งควบคุมอยู่ในตำแหน่งต่างๆแสดงในตารางที่ 1 และค่านิวตรอนฟลักซ์สัมพัทธ์ในท่อฉายรังสีต่างๆ เมื่อแท่งควบคุมทุกแท่งอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 รูปตัด X-Y ของแบบจำลองของแกนเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1



รูปที่ 3 รูปตัด X-Y ของแบบจำลองของแกนเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1พร้อมท่อฉายรังสีอัญมณี



รูปที่4 นิวตรอนฟลักซ์สัมพัทธ์ในท่อฉายรังสีอัญมณี 14 ท่อ

	Control rod Position					k-effective (%uncertainty)		%δk/k	Worth (%δk/k)
	Transient	Shim1	Shim2	Safety	Regulating				
Without GIF	0	0	0	0	0	0.913712	(0.2318)	-9.4437	-
	38.1	0	0	0	0	0.944313	(0.231)	-5.8971	3.5466
	0	38.1	0	0	0	0.93195	(0.1723)	-7.3014	2.1422
	0	0	38.1	0	0	0.926939	(0.1773)	-7.8820	1.5617
	0	0	0	38.1	0	0.934547	(0.1937)	-7.0037	2.4400
	0	0	0	0	38.1	0.941578	(0.1721)	-6.2047	3.2390
	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	1.0141	(0.2096)	1.3904	10.8341
With GIF	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	1.00969	(0.2148)	0.9597	-0.4307

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณโดยการใช้โปรแกรม MVP

จากผลการคำนวณค่าตัวคูณยังผลโดยการใช้โปรแกรมMVP สามารถนำมาคำนวณค่ารีแอคติวิตีของระบบควบคุมได้และพบว่าค่ารีแอคติวิตีรวมของระบบควบคุมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 10.83 และเมื่อมีการจำลองท่อฉายรังสีอัญมณีที่ทำด้วยแคดเมียมหนา 1 มิลลิเมตรจำนวน 14 ท่อเข้ากับแกนเครื่องปฏิกรณ์พบว่ามีการสูญเสียค่ารีแอคติวิตีเนื่องจากอุปกรณ์ฉายรังสีนี้เพียง -0.43%δk/k

จากรูปที่ 4 ซึ่งแสดงขนาดของค่านิวตรอนฟลักซ์สัมพัทธ์ในท่อฉายรังสีต่างๆรอบแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ พบว่าการกระจายของนิวตรอนฟลักซ์รอบแกนเครื่องปฏิกรณ์มีลักษณะไม่สมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับแผนผังการจัดแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯในสภาวะวิกฤตเริ่มต้นที่มีลักษณะไม่

สมมาตรเช่นกัน โดยท่อฉายรังสีหมายเลข 5 6 9 10 11และ 12 จะมีค่านิวตรอนฟลักซ์สัมพัทธ์ต่ำเนื่องจากมีตำแหน่งอยู่ทางด้านที่ห่างจากแท่งเชื้อเพลิงมากกว่าท่อฉายรังสีอื่น

สรุป

จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าโปรแกมMVPสามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเครื่องปฏิกรณ์ฯจากอุปกรณ์ฉายรังสีใหม่นี้ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามผลการคำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเนื่องจากการเลือกใช้แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯในสภาวะวิกฤตเริ่มต้นเพื่อสร้างขึ้นเป็นระบบอย่างง่ายภายในเวลาจำกัด ซึ่งจะมีความแตกต่างจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และยังไม่ได้จำลองแบบอุปกรณ์อื่นๆ รอบแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ เช่น Rotary specimen rack และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการอาบรังสี หากมีการปรับปรุงข้อด้อยเหล่านี้จะทำให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

การคำนวณด้วยวิธีมอนติคาร์โลเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาด้านนิวเคลียร์ และเป็นที่ทราบกันดีว่าผลการคำนวณที่ดีนอกจากจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดทางกายภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้นและค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกต้องแม่นยำแล้ว การใช้งานมอนติาร์โลให้เกิดประสิทธิผลผู้ใช้งานจะต้องเข้าใจทฤษฎีและหลักการคำนวณตลอดจนการใช้งานและความสามารถของโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. MVP/GMVP II : General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods (JAERI 1348) Japan Atomic Energy Research Institute 2005
2. นายยุทธพงศ์ บุษมงคล, แผนการจัดการเชื้อเพลิงในแกนเครื่อง ปปว-1/1, วิทยานิพนธ์, การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2529.