แบบ ICOP1

รายงานการไปราชการ ประชุม สัมมนา ศึกษา ฝึกอบรม ปฏิบัติการวิจัย ดูงาน ณ ต่างประเทศ และการปฏิบัติงานในองค์การระหว่างประเทศ

ส่วนที่๑ ข้อมูลทั่วไป

๑.๑ ชื่อ-สกุล น.ส. นิราวรรณ ปวีณะโยธิน

๑.๒ ตำแหน่ง วิศวกรนิวเคลียร์ชำนาญการ

๑.๓ สังกัด กอญ.

๑.๔ ชื่อเรื่อง/หลักสูตร

(ภาษาไทย)

(ภาษาอังกฤษ) 13th EERRI Research Reactor Group Fellowship Training Course

เพื่อ ☐ ศึกษา ☒ ฝึกอบรม ☐ ดูงาน
☐ ประชุม / สัมมนา ☐ ปฏิบัติงานวิจัย ☐ ไปปฏิบัติงานในองค์การระหว่าง

แหล่งให้ทุน IAEA

สถานที่ (หน่วยงาน/ประเทศ) ประเทศออสเตรียและประเทศฮังการี

ระหว่างวันที่ 25 ก.ย. 2560 – 3 พ.ย. 2560

รวมระยะเวลาการรับทุน 40 วัน

ส่วนที่ ๒ ข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษา ฝึกอบรม ดูงาน ประชุม/สัมมนา ปฏิบัติการวิจัย และการไปปฏิบัติงานในองค์การระหว่างประเทศ (โปรดให้ข้อมูลในเชิงวิชาการ หากมีรายงานแยกต่างหาก)

๒.๑ วัตถุประสงค์

สร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยทั้งหมดตั้งแต่การป้องกันอันตรายทางรังสี การใช้อุปกรณ์การวัดรังสีชนิดต่าง ๆ ฟิสิกส์เครื่องปฏิกรณ์ และการคำนวณทางนิวเคลียร์

๒.๒ เนื้อหา (โดยย่อ)

- การป้องกันอันตรายทางรังสีในเครื่องปฏิกรณ์
- ประเภทของหัววัด และการใช้งาน
- ทฤษฎีด้านเทอร์มัลไฮดรอลิกส์
- ทฤษฎีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์
- การคำนวณทางนิวเคลียร์
- การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์
- การเดินเครื่องปฏิกรณ์
- การวิเคราะห์ธาตุโดยใช้นิวตรอน

- การเฝ้าระวังรังสีในสิ่งแวดล้อม
- การเตรียมพร้อมต่อเหตุฉุกเฉิน
- การประกันคุณภาพ

๒.๓ ประโยชน์ที่ได้รับต่อตนเอง

☐ ต่อตนเอง เรียนรู้วิธีการทฤษฎีที่เกี่ยวกับการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในหลากหลายด้าน

☐ ต่อหน่วยงาน เป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาด้านกำกับดูแลความปลอดภัยทางนิวเคลียร์

☐ อื่น ๆ(ระบุ) .....

.....

ส่วนที่ ๓ ปัญหา/ อุปสรรค

ไม่มี

ส่วนที่ ๔ ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาจากการฝึกอบรมครั้งนี้ สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการประเมินความปลอดภัยเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่จะขออนุญาตในอนาคต และหลักสูตรนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ขอรับในอนุญาตที่ไม่มีประสบการณ์ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เช่น มทส. เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นการสอนถึงการทำงานและใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์ในหลายด้าน ดังนั้น เมื่อมีการเปิดฝึกอบรมในหลักสูตรนี้ครั้งต่อไปในปีหน้า ควรสนับสนุนให้ทาง มทส. ส่งผู้แทนเข้าร่วม

(ลงชื่อ) .....

(น.ส.นิราวรรณ ปวีณะโยธิน)

วันที่ 9 พ.ย. 2560

ส่วนที่ ๕ ความคิดเห็นของผู้บังคับบัญชา

การฝึกอบรมเป็นประโยชน์ต่อผู้เข้ารับการอบรม และหน่วยงาน หากเป็นไปได้ควรส่ง
ผู้เข้าอบรมเพิ่ม ไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้ประโยชน์ (ผู้รับใบอนุญาต) หรือ จนท. ปส.

.....

(ลงชื่อ) .....

(นางเพ็ญนภา กัญชนะ)

ตำแหน่ง ผกอญ.

วันที่ 13 พ.ย. 60

แบบICOP2

แผนงานการนำความรู้จากการประชุม/อบรม ไปใช้ประโยชน์

โดย น.ส. นิราวรรณ ปวีณะโยธิน

หน่วยงาน กอญ.

ชื่อเรื่อง/หลักสูตร

(ภาษาไทย) .....

(ภาษาอังกฤษ) 13th EERRI Research Reactor Group Fellowship Training Course

สถานที่ (หน่วยงาน/ประเทศ) ประเทศออสเตรีย และประเทศฮังการี

องค์ความรู้ที่นำมาใช้

๑. การควบคุมและทำบัญชีรายการวัสดุนิวเคลียร์ในสถานประกอบการเพื่อประโยชน์ด้านความมั่นคงปลอดภัย

แผนการใช้ประโยชน์

หัวข้อการนำความรู้ไปใช้	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	งบประมาณที่คาดว่าจะใช้	ระยะเวลาดำเนินงาน	ผลลัพธ์/ผลสำเร็จของงาน
ประเมินความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย	กอญ.	-		ผลการประเมินความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย

ลงชื่อ .....

(น.ส. นิราวรรณ ปวีณะโยธิน)

วันที่ ๙ พ.ย. ๒๕๖๐

ลงชื่อ .....

(นางเพ็ญนภา กัญชนะ)

ผู้บังคับบัญชา

แบบพิมพ์ทุน 8
สำนักงานความร่วมมือเพื่อ
การพัฒนาระหว่างประเทศ

รายงานการรับทุนศึกษา/ฝึกอบรม/สัมมนา/ดูงาน/ประชุม
ด้วยทุนประเภท 1 (ข)

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไป

1.1 ชื่อ/นามสกุล.....น.ส.นิราวรรณ ปวีณะโยธิน.....

อายุ.....35.....ปี วุฒิการศึกษา/สาขา....Master of Science in Nuclear Engineering.....

1.2 ตำแหน่ง.....วิศวกรนิวเคลียร์ ชำนาญการ.....

ชื่อหน่วยงาน.....สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.....

.....โทรศัพท์.....0-2596-7600.....

หน้าที่ความรับผิดชอบ.....ประเมินความปลอดภัยทางนิวเคลียร์ และพิจารณาคำขออนุญาตวัสดุนิวเคลียร์และสถานประกอบการทางนิวเคลียร์.....

1.3 แหล่งผู้ให้ทุน IAEA หลักสูตร/สาขา 13th EERRI Research Reactor Group Fellowship Training Course

.....เพื่อไป ☐ ศึกษา ☒ ฝึกอบรม ☐ สัมมนา ☐ ดูงาน ☐ ประชุม

สถาบัน/ประเทศ ประเทศ ออสเตรียและฮังการี

.....

ระหว่างวันที่ 25 กันยายน – 3 พฤศจิกายน 2560 รวมระยะเวลาการรับทุน - ปี - เดือน 40 วัน

ภายใต้โครงการ .....

.....ของหน่วยงาน IAEA

ส่วนที่ 2 : รายงานเกี่ยวกับหลักสูตร (หากมีรายงานแยกเป็นต่างหาก โปรดแนบส่งไปด้วย

2.1 เนื้อหาของหลักสูตร สร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยทั้งหมด ตั้งแต่การป้องกันอันตรายทางรังสี การใช้อุปกรณ์การวัดรังสีชนิดต่าง ๆ ฟิสิกส์เครื่องปฏิกรณ์ และการคำนวณทางนิวเคลียร์.....

2.2 ท่านคิดว่าหลักสูตรดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อ ตัวท่าน หรือไม่

☒ เป็นประโยชน์ ☐ ไม่เป็นประโยชน์

เหตุผลเพราะ.....เรียนรู้วิธีการทฤษฎีที่เกี่ยวกับการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในหลากหลายด้าน

2.3 ท่านคิดว่าหลักสูตรดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อ หน่วยงาน หรือไม่

☒ เป็นประโยชน์ ☐ ไม่เป็นประโยชน์

เหตุผลเพราะ.....เป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาด้านกำกับดูแลความปลอดภัยทางนิวเคลียร์.....

ส่วนที่ 3 : ค่าใช้จ่ายที่ได้รับ

3.1 จากรัฐบาลไทย

3.1.1 บัตรโดยสารเครื่องบิน

○ ได้รับบัตรโดยสารเครื่องบิน (โปรดแนบสำเนาบัตรโดยสารเครื่องบิน พร้อมรับรองสำเนาถูกต้อง)

☐ ไป – กลับ ☐ เที่ยวเดียว

○ ไม่ได้รับบัตรโดยสารเครื่องบิน

3.1.2 ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

☐ ค่าเบี้ยเลี้ยง เดือนละ ..... บาท ☐ค่าที่พัก เดือนละ .....บาท

☐ ค่าเสื้อผ้า เป็นเงิน ..... บาท ☐หนังสือ เป็นเงิน .....บาท

☐ อื่น ๆ (นอกเหนือจากค่าใช้จ่ายที่ระบุข้างต้น).....

3.2 จากแหล่งทุนต่างประเทศ

3.2.1 บัตรโดยสารเครื่องบิน (โปรดแนบสำเนาบัตรโดยสารเครื่องบิน พร้อมรับรองสำเนาถูกต้องด้วย)

○ ได้รับบัตรโดยสารเครื่องบิน

☐ ไป – กลับ ☐เที่ยวเดียว

○ ไม่ได้รับบัตรโดยสารเครื่องบิน

3.1.2 ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

☐ ค่าเบี้ยเลี้ยง เดือนละ ..... บาท ☐ ค่าที่พัก เดือนละ .....บาท

☐ ค่าเสื้อผ้า เป็นเงิน ..... บาท ☐ค่าหนังสือ เป็นเงิน .....บาท

☐ ค่าใช้จ่ายเมื่อแรกถึง (Settlement Allowance/Outfit Allowance).....

☒อื่น ๆ (นอกเหนือจากค่าใช้จ่ายที่ระบุข้างต้น).....280,000 บาท.....

ส่วนที่ 4 : ข้อจำกัด ปัญหา และอุปสรรคในการรับทุน

4.1 เนื้อหาของหลักสูตรเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่

○ เป็นไปตามที่กำหนดไว้

○ ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ (ระบุความเบี่ยงเบนของเนื้อหาหลักสูตร).....

4.2 การจัดหลักสูตร (เช่น องค์ประกอบของผู้เข่าร่วมหลักสูตร ผู้บรรยาย ระยะเวลาหลักสูตร ฯลฯ)

การฝึกอบรมภายใต้ Easter European Research Reactor Initiative (EERRI) จัดขึ้นเป็นครั้งที่ 13 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวางแผน ทดสอบ เดินเครื่อง และใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ซึ่งแต่เดิมมุ่งเน้นที่ประเทศในยุโรปตะวันออกที่เคยเป็นส่วนหนึ่งของสหภาพโซเวียต และต่อมาได้พัฒนาให้ครอบคลุมประเทศสมาชิกอื่นๆ ของทบวงการที่มีความประสงค์หรือมีการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ซึ่งในการอบรมครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 13 คน จาก 13 ประเทศ ได้แก่ บราซิล ชิลี เปรู โบลิเวีย เม็กซิโก โคลัมเบีย จาไมก้า แอฟริกาใต้ อาเซอร์ไบจัน มองโกเลีย เวียดนาม มาเลเซีย และไทย การเรียนการสอนประกอบด้วยการบรรยายและการทำการทดลอง โดยในสัปดาห์แรก เป็นเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์โรงไฟฟ้านิวเคลียร์และการป้องกันอันตรายทางรังสี ซึ่งจัดที่สถาบัน Atominstitut เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในกรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย และในสัปดาห์ที่ 2-5 เป็นรายละเอียดความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์ จัดขึ้นที่มหาวิทยาเทคโนโลยีบูดาเปสต์ ประเทศฮังการี และที่เครื่องปฏิกรณ์ KFKI ในประเทศฮังการี โดยในสัปดาห์ที่ 3 ผู้บรรยายมาจาก Jozef Stefan Institute ในประเทศสโลวีเนีย บรรยายและสาธิตวิธีการคำนวณทางนิวเคลียร์ ซึ่งมีเครื่องปฏิกรณ์แบบ TRIGA และมีการทำงานวิจัยด้านการคำนวณทางนิวเคลียร์เป็นจำนวนมาก ในสัปดาห์ที่ 6 เป็นการสรุป ที่สำนักงานใหญ่ทบวงการ กรุงเวียนนา

4.3 การเข้าร่วมหลักสูตรของผู้รับทุน (เช่น ภาษา พื้นความรู้ ฯลฯ)

ผู้เข้าร่วมประชุมนี้ส่วนใหญ่มาจากหน่วยงานกำกับดูแล หน่วยงานเดินเครื่อง จาก 13 ประเทศ และสามารถใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสารได้

4.4 ความเป็นอยู่ทั่วไป (เช่น การเดินทาง ที่พัก ค่าใช้จ่าย การให้บริการและการอำนวยความสะดวกของ แหล่งผู้ให้ทุนและสถาบันผู้จัดหลักสูตร ฯลฯ)

ผู้เข้าร่วมอบรมได้รับเงินทุนสำหรับค่าใช้จ่ายทั้งหมด โดยให้บริหารจัดการเอง

4.5 การติดต่อประสานงานกับสำนักความร่วมมือเพื่อการพัฒนาระหว่างประเทศ

ไม่มี

4.6 การติดต่อประสานงานกับแหล่งผู้ให้ทุน (ในประเทศ/ต่างประเทศ)

ผู้เข้าร่วมอบรมต้องสมัครทางอินเตอร์เน็ต และสื่อสารกับผู้จัดผ่านทางอีเมล์

ส่วนที่ 5 : ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาจากการฝึกอบรมครั้งนี้ สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการประเมินความปลอดภัยเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่จะขออนุญาตในอนาคต และหลักสูตรนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ขอรับใบอนุญาตที่ไม่มีประสบการณ์ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เช่น มทส. เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นการสอนถึงการทำงานและใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์ในหลายด้าน ดังนั้น เมื่อมีการเปิดฝึกอบรมในหลักสูตรนี้ครั้งต่อไปในปีหน้า ควรสนับสนุนให้ทาง มทส. ส่งผู้แทนเข้าร่วม

(...น.ส. นิราวรรณ ปวีณะโยธิน.....)

ผู้รายงาน

ส่วนที่ 6 : ความเห็นของผู้บังคับบัญชาระดับผู้อำนวยการกองขึ้นไปหรือเทียบเท่า

(ยกเว้นกรณีผู้รายงานเป็นข้าราชการระดับอธิบดีหรือเทียบเท่าขึ้นไป)

.....

.....

.....

(.....นางเพ็ญนภา กัญชนะ.....)

ตำแหน่ง..... ผกอญ.....

รายงาน 13th EERRI Fellowship Training Course

25 กันยายน – 3 พฤศจิกายน 2560

กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย และกรุงบูดาเปสต์ ประเทศฮังการี

บทนำ

การฝึกอบรมภายใต้ Easter European Research Reactor Initiative (EERRI) จัดขึ้นเป็นครั้งที่ 13 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวางแผน ทดสอบ เดินเครื่อง และใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ซึ่งแต่เดิมมุ่งเน้นที่ประเทศในยุโรปตะวันออกที่เคยเป็นส่วนหนึ่งของสหภาพโซเวียต และต่อมาได้พัฒนาให้ครอบคลุมประเทศสมาชิกอื่นๆ ของทบวงการที่มีความประสงค์หรือมีการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ซึ่งในการอบรมครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 13 คน จาก 13 ประเทศ ได้แก่ บราซิล ชิลี เปรู โบลิเวีย เม็กซิโก โคลัมเบีย จาไมก้า แอฟริกาใต้ อาเซอร์ไบจัน มองโกเลีย เวียดนาม มาเลเซีย และไทย การเรียนการสอนประกอบด้วยการบรรยายและการทำการทดลอง โดยในสัปดาห์แรก เป็นเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์และการป้องกันอันตรายทางรังสี ซึ่งจัดที่สถาบัน Atominstitut เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยในกรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย และในสัปดาห์ที่ 2-5 เป็นรายละเอียดความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์ จัดขึ้นที่มหาวิทยาเทคโนโลยีบูดาเปสต์ ประเทศฮังการี และที่เครื่องปฏิกรณ์ KFKI ในประเทศฮังการี โดยในสัปดาห์ที่ 3 ผู้บรรยายมาจาก Jozef Stefan Institute ในประเทศสโลวีเนีย บรรยายและสาธิตวิธีการคำนวณทางนิวเคลียร์ ซึ่งมีเครื่องปฏิกรณ์แบบ TRIGA และมีการทำงานวิจัยด้านการคำนวณทางนิวเคลียร์เป็นจำนวนมาก ในสัปดาห์ที่ 6 เป็นการสรุป ที่สำนักงานใหญ่ทบวงการ กรุงเวียนนา

เนื้อหาโดยสรุป

<u>สัปดาห์ที่ 1</u>

- ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย มีหลายขนาด ตั้งแต่เครื่องขนาดเล็ก (น้อยกว่า 100 kW) ที่ใช้ในการสอนและฝึกอบรม เช่นเครื่องปฏิกรณ์แบบ SLOWPOKE และ MNSR เครื่องขนาดกลาง เช่น MTR และ TRIGA ซึ่งสามารถใช้ฝึกอบรมและทำงานวิจัย วิเคราะห์ตัวอย่างได้ และเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ (มากกว่า 2MW) ซึ่งมีกำลังสูงและผลิตนิวตรอนได้มาก

- เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ Atominstitut เป็นรุ่น TRIGA Mark II ซึ่งเริ่มเดินเครื่องในปี 1962 และเป็นสถานประกอบการทางนิวเคลียร์แห่งเดียวในออสเตรีย มีขนาด 250 kW ปัจจุบันยังใช้งานเป็นประจำ มีการทำงานวิจัยและการเรียนการสอนเพื่อสนับสนุนทบวงการอยู่สม่ำเสมอ จึงถือเป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่มีการใช้งานมากที่สุดเครื่องหนึ่งในโลก
- ความรู้ทั่วไปด้านการป้องกันอันตรายทางรังสี การใช้เครื่องมือวัดรังสี ค่าต่างๆ เกี่ยวกับการได้รับรังสี และการป้องกันด้วยระยะทาง เวลา และเครื่องกำบัง
- ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยมีตัวอย่างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบ PWR, BWR, CANDU, High Temperature Reactor, Gas-cooled reactor และ fast breeder reactor และมีการบรรยายถึงอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ที่สำคัญทั้ง 3 ครั้ง คือ Three Mile Island, Chernobyl และ Fukushima Daiichi

<u>สัปดาห์ที่ 2</u>

- ความรู้และการทดลองเรื่องเครื่องมือวัดรังสี ได้แก่เครื่องวัดแบบ ionization chamber, proportional counter, Geiger-Muller counter, scintillation detector, semiconductor detector โดยเป็นการแสดงให้เห็นถึงวิธีการเลือกใช้เครื่องมือ ข้อดีและข้อเสียของหัววัดชนิดต่าง ๆ และการใช้งานที่เหมาะสม
- ความรู้ด้านเทอร์มัลไฮดรอลิคส์
    - การคำนวณด้านเทอร์มัลไฮดรอลิคส์ เป็นการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อน ซึ่งสำคัญต่อการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์สำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ 4 ด้าน และต้องแก้ปัญหาสมการของอัตราการถ่ายเทความร้อน $\dot{q}$ คือ
        1. การออกแบบด้านฟิสิกส์ โดยคำนึงถึงการผลิตนิวตรอน และพลังงานจากปฏิกิริยาฟิชชั่น

$$\dot{q}'''(\vec{r}) = \phi(\vec{r}) \sum_i c_i N_i(\vec{r}) \sigma_{fi}$$

        2. การออกแบบด้านการถ่ายเทความร้อนจากเชื้อเพลิง

$$\iint_S \vec{q}''(s)\vec{n}\,ds = \iiint_V \dot{q}'''(\vec{r})\,dV$$

        3. การออกแบบลักษณะของเชื้อเพลิง

$$\int_L \dot{q}'(z)\,dz = \iiint_V \dot{q}'''(\vec{r})\,dV = \iint_S \vec{q}''(s)\vec{n}\,ds$$

4. การออกแบบการผลิตไอน้ำ

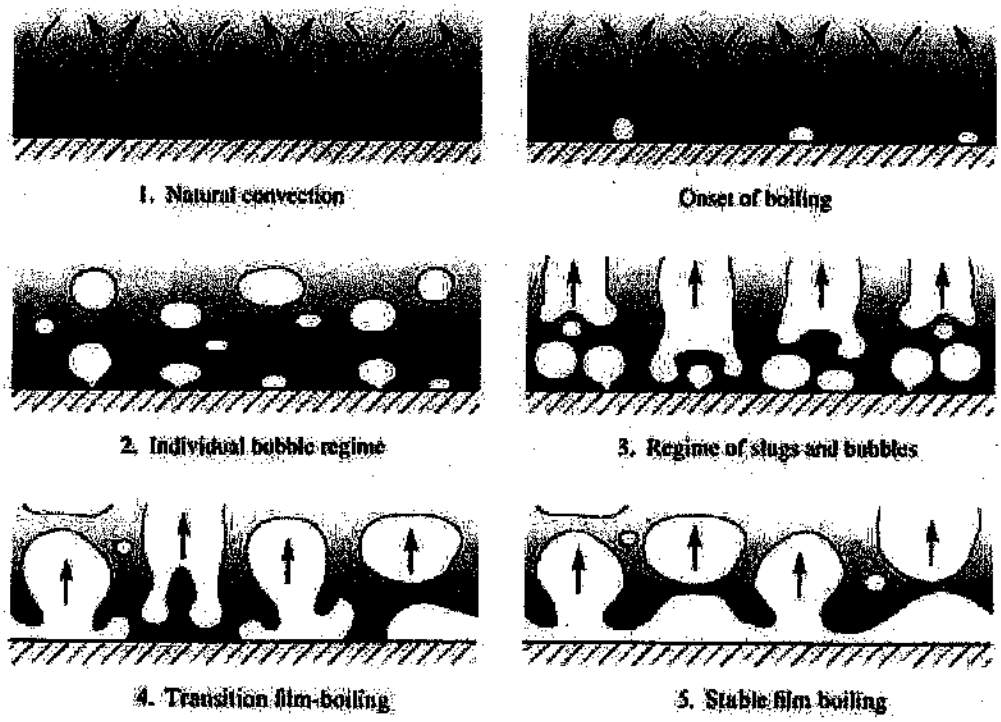
$$\dot{q} = \iiint_{V_{pin}} \dot{q}''(\vec{r})\,dV$$

$$\dot{Q} = \sum_{n=1}^{K} \dot{q}_n$$

$\dot{q}_n$ pin power

K number of pins in the core

- การออกแบบเชื้อเพลิงต้องคำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนจากเชื้อเพลิง โดยการแก้สมการ heat equation และขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของเชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น เชื้อเพลิงที่มีรูตรงกลาง สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเม็ดเชื้อเพลิง แต่มียูเรเนียมน้อยกว่า จึงเกิดปฏิกิริยาฟิชชั่นได้น้อยกว่า
- จากพื้นผิวของเชื้อเพลิง ต้องคำนวณการถ่ายเทความร้อนไปยังปลอกหุ้มเชื้อเพลิง และสารหล่อเย็น ซึ่งต้องคำนึงถึงลักษณะการไหล และปัจจัยอื่นของสารหล่อเย็น และระบบท่อ
- สำหรับน้ำ ซึ่งเป็นสารหล่อเย็นที่ใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด จำเป็นต้องมีการคำนวณการเกิดฟองระหว่างการเดือด และกลายเป็นฟิล์ม ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลงและเกิดอันตรายต่อเครื่องปฏิกรณ์

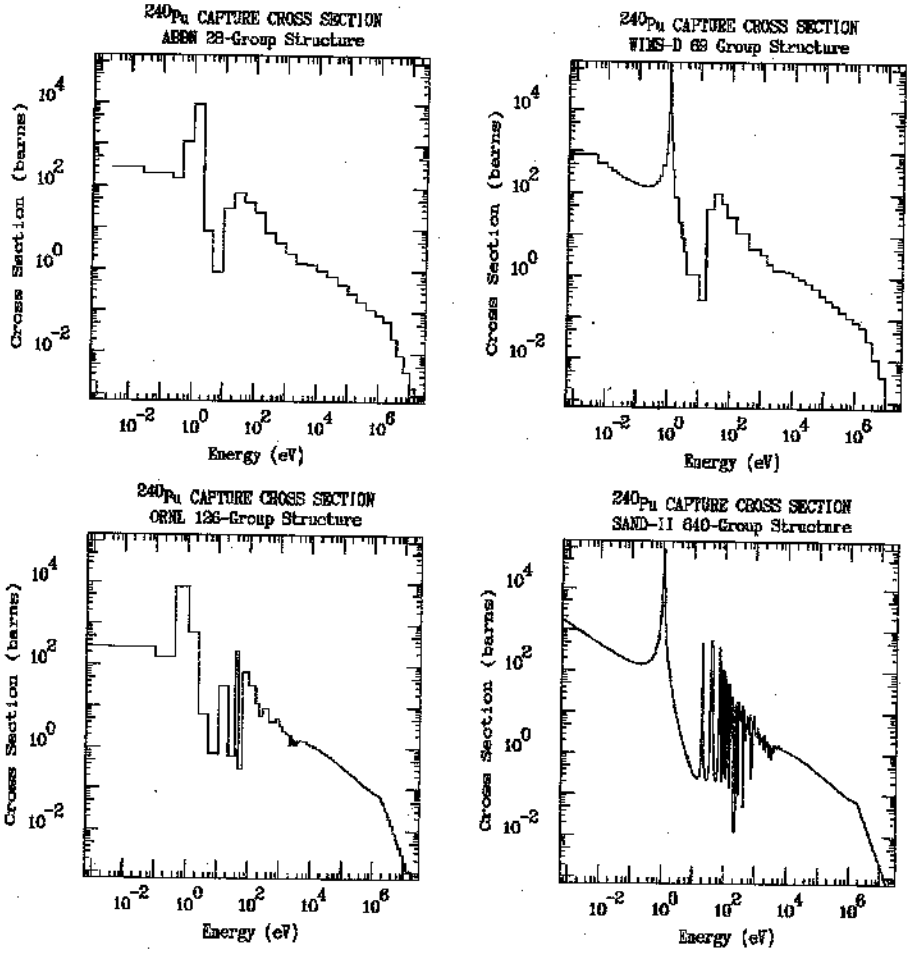


รูปที่ 1 การถ่ายเทความร้อนของน้ำ และลักษณะการเดือดแบบต่าง ๆ

- เนื่องจากการคำนวณทางด้านเทอร์มัลไฮดรอลิคส์มีความซับซ้อนและจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีกำลังสูงหลายเครื่อง ในสมัยที่เริ่มมีการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ในปี ค.ศ. 1950 จึงมีการทดลอง SPERT ที่ Idaho National Lab เพื่อทดสอบการเพิ่มกำลังของเครื่องปฏิกรณ์จนน้ำเดือดพุ่งขึ้นจากบ่อปฏิกรณ์ และเข้าไปสำรวจสภาพของเชื้อเพลิงซึ่งเสียหายหลังการทดลอง และมีการถ่ายทำวิดีโอเพื่อแสดงให้เห็นว่าต้องเพิ่มรีแอคติวิตี้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้น้ำเดือดพุ่ง

<u>สัปดาห์ที่ 3 การคำนวณทางนิวเคลียร์</u>

- Nuclear data ข้อมูลด้านนิวเคลียร์ มีความจำเป็นเป็นอย่างมากสำหรับการคำนวณทางนิวเคลียร์ เช่น การคำนวณ Transport equation, diffusion equation ซึ่งจำเป็นต้องมีข้อมูล reaction cross-section ข้อมูลทางนิวเคลียร์นี้ มาจากการทดลองและการคำนวณ ศูนย์กลางข้อมูลนิวเคลียร์ ได้แก่ NNDC, NEA, CJD และ IAEA และในหลายประเทศที่มีการพัฒนาด้านการคำนวณทางนิวเคลียร์ได้สร้าง library ของข้อมูลขึ้นมาเอง โดยข้อมูลของทุก library สามารถดูได้ที่ http://www-nds.iaea.org/ การจะเลือกใช้ library ของแต่ละประเทศ ต้องดูที่ความเหมาะสมในการคำนวณ เพราะมีความแตกต่างกันออกไป
- ในการคำนวณทางนิวเคลียร์ ต้องใช้เวลามากและการคำนวณสำหรับทุกพลังงานหรือทุกตำแหน่งเป็นไปไม่ได้ จึงอาจแบ่งออกเป็นกลุ่ม เช่นกลุ่มนิวตรอนที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน การแบ่งกลุ่มมากก็จะได้ผลการคำนวณที่ละเอียดขึ้น แต่ก็ใช้เวลามากเช่นกัน ซึ่งการจะแบ่งกลุ่มอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับสิ่งที่ต้องการคำนวณ
- คอมพิวเตอร์โค้ดที่ใช้ในการคำนวณมีเป็นจำนวนมาก ประเทศสมาชิกอาจขอผ่าน NEA ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย หรือผ่าน Radiation Shielding Information Center at Oak Ridge ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเสียค่าใช้จ่าย

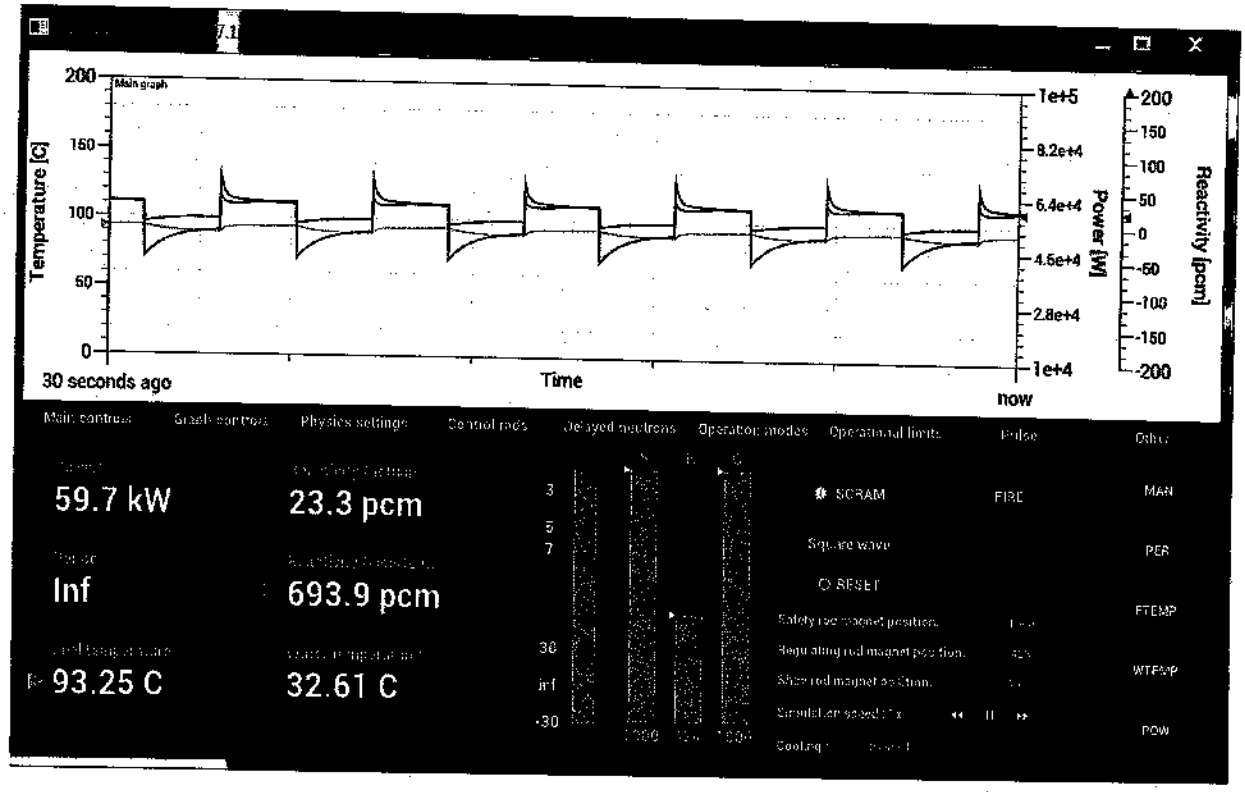


รูปที่ 2 การคำนวณ cross section ด้วยจำนวนกลุ่มที่ต่างกัน จำนวนกลุ่มมากจะให้ความละเอียดกว่า แต่ใช้เวลาในการคำนวณนาน

- สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย อาจมีการคำนวณโดยแบ่งได้เป็นระดับ คือ
    - ระดับเบื้องต้น เช่น การกระจายตัวของกำลังและฟลักซ์ ค่า burn-up ในเชื้อเพลิง และการจัดการเชื้อเพลิง
    - ระดับสูง เช่น ค่า reactivity coefficient, การคำนวณแบบ spectrum, core optimization
    - ระดับการออกแบบ เช่น การคำนวณ cross section การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ การคำนวณค่า benchmark สำหรับการทดลอง การคำนวณ Monte Carlo การคำนวณสภาพการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ (transient)
- การคำนวณทางนิวเคลียร์ ต้องกำหนดปัญหาที่ต้องการคำนวณ วิธีการ คอมพิวเตอร์โค้ดที่จะใช้ โดยดูตามความเหมาะสม และต้องหาข้อมูลของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้ในการคำนวณ ได้แก่ขนาด ลักษณะ รูปร่าง

คุณสมบัติของวัสดุ และใส่ข้อมูลของเครื่องปฏิกรณ์ตามลักษณะที่สร้างจริง ไม่ใช่ตามขนาด รูปร่างทั่วไปของเครื่องปฏิกรณ์รุ่นนั้น ๆ

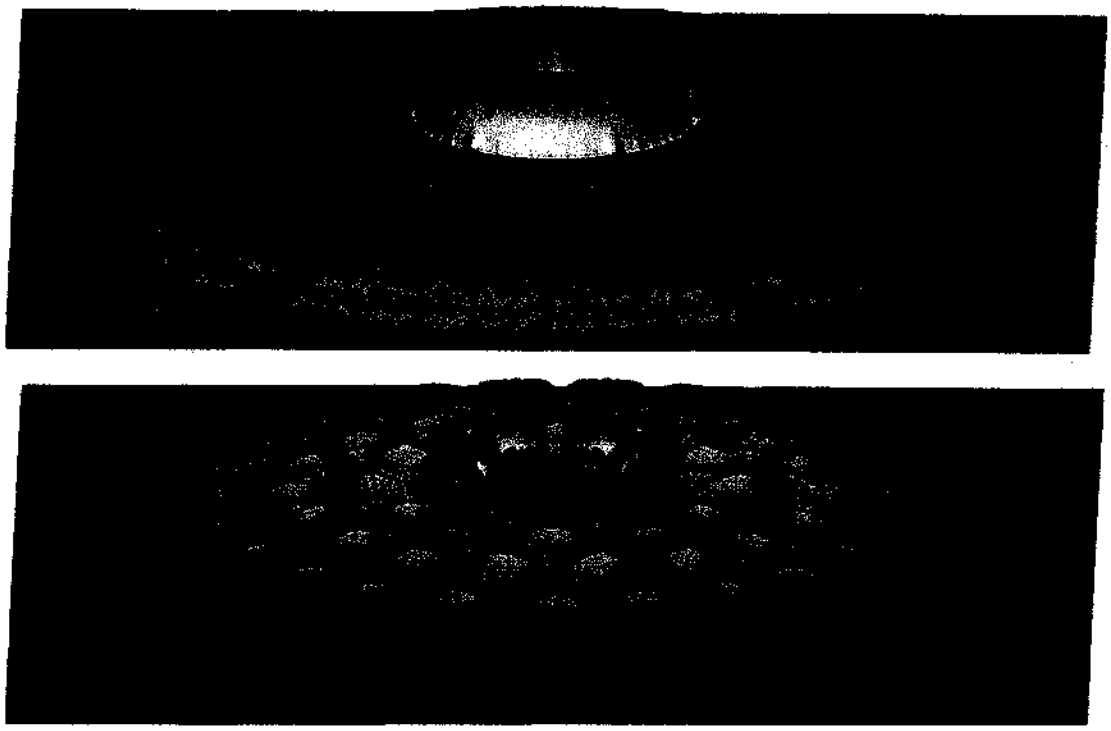
- คอมพิวเตอร์โค้ดที่ใช้ในการคำนวณต้องมีการ verification และ validation ทุกครั้ง เช่น โดยการเทียบผลกับโค้ดอื่น หรือผลการทดลอง
- ภาควิชา Reactor Physics ที่สถาบัน JSI มีงานวิจัยที่ทำการคำนวณและทดลองวัดค่าเปรียบเทียบสำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ TRIGA Mark II เป็นจำนวนมาก เช่น การทดลองและคำนวณ การกระจายตัวของนิวตรอนฟลักซ์ การทดลองและคำนวณอัตราการเกิดฟิชชั่นในแนวตั้ง การคำนวณค่า burn-up เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการจำลองแบบเครื่อง TRIGA reactor simulator และพัฒนาโค้ด TRIGLAV ซึ่งทั้งสองโปรแกรมนี้ สามารถขอได้จากสถาบัน JSI โดยผ่าน OECD NEA



รูปที่ 3 ตัวอย่างโปรแกรม Simulator

- Reactor parameters ที่สำคัญ เช่น
  - Power density, power peaking factor สามารถคำนวณได้ด้วย MCNP หรือ TRIGLAV โดย MCNP จำลองแบบรูปร่างเชื้อเพลิงได้โดยละเอียด แต่การคำนวณผลใช้เวลานานมาก TRIGLAV คิดรวมเชื้อเพลิงและน้ำเป็นหนึ่งเซลล์ (homogenized cell) และใช้วิธีการประมาณ และ

คำนวณค่าออกมาแบบ deterministic ค่า power peaking ที่ได้สูงกว่า MCNP แต่สำหรับการคำนวณแบบ conservative ถือว่าสามารถนำผลจาก TRIGLAV ไปใช้พิจารณาด้านความปลอดภัยได้ ค่า power peaking factor นี้ ควรจะมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อความปลอดภัย ทั้งแกนควรมีค่า power density ไม่ต่างกันมากเกินไป

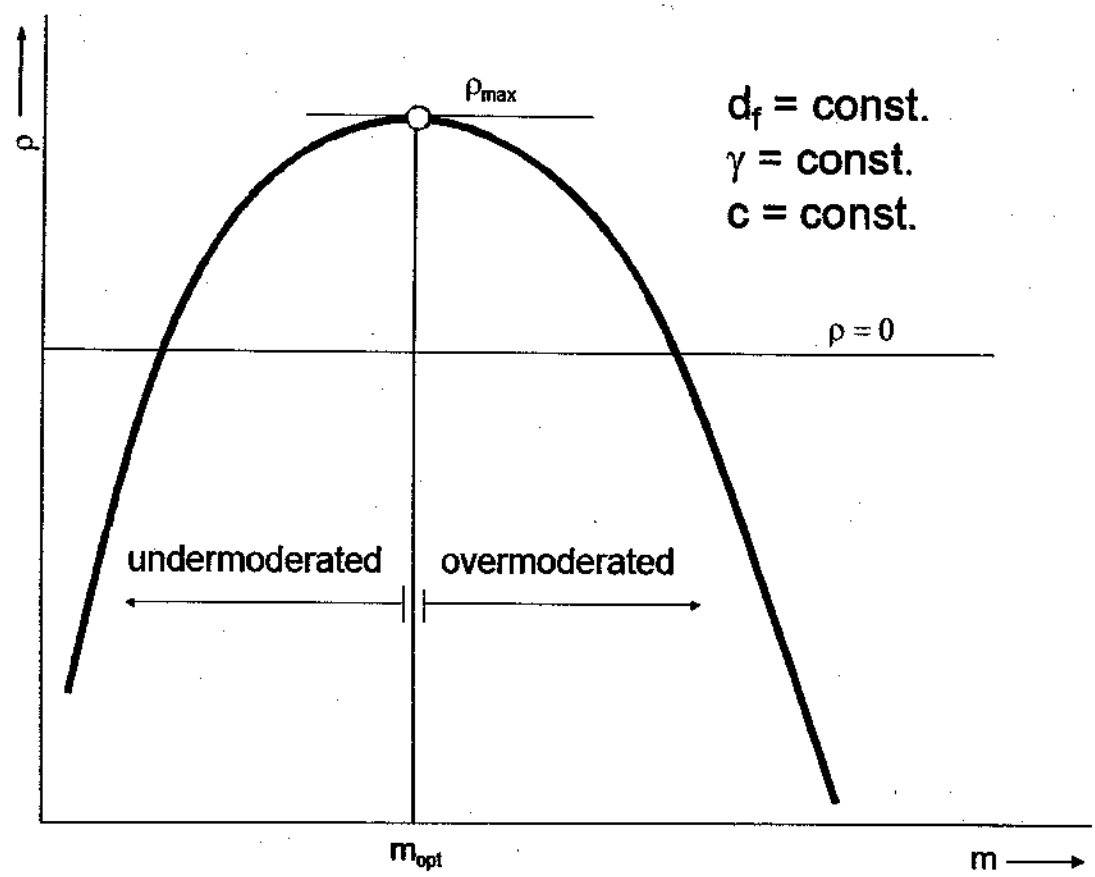


รูปที่ 4 เปรียบการคำนวณ power peaking factor ด้วย TRIGLAV และ MCNP

- Shutdown margin, excess reactivity, control rod worth

  - Shutdown margin คือค่า reactivity ที่เมื่อแท่งควบคุมอยู่ในแกนทั้งหมด ยกเว้นหนึ่งแท่งที่มีค่า rod worth มากที่สุด ค่า reactivity นี้ ต้องน้อยกว่า 0
  - ค่า shutdown margin = excess reactivity – control rod worth ที่ไม่รวมแท่งที่มีค่าสูงสุด
  - การคำนวณสามารถใช้ Monte Carlo
  - ค่า excess reactivity ลดลงเมื่อ burn-up เพิ่มขึ้น จึงควรมีการวัดค่า excess reactivity control rod worth และ shutdown margin อยู่เป็นประจำ

- Temperature reactivity coefficient
  - การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ต้องให้อยู่ในสภาพ under moderated เพื่อที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า reactivity ลดลง



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่า reactivity ต่อมวลของน้ำ ที่แสดงให้เห็นถึงสภาวะ under moderated และ over moderated

  - เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ต้องออกแบบให้มีค่า temperature reactivity coefficient น้อยกว่า 0 ซึ่งทำให้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า reactivity จะลดลง โดยมี 2 ปัจจัยสำคัญ คือ Doppler Broadening คือการที่ resonance peak ของ U-238 กว้างขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้นิวตรอนถูกดูดกลืนมากขึ้น และ spectrum hardening คือการที่นิวตรอนมีความเร็วมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดปฏิกิริยาฟิชชั่นได้น้อยลง

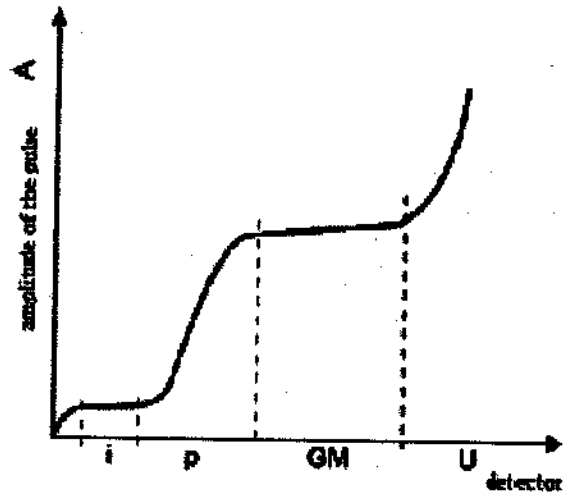
- แบบฝึกหัด MATSSF เป็นโค้ดสำหรับคำนวณหาค่าความหนาแน่นของอะตอม โดยการใส่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบ ขนาดและความหนาแน่น ซึ่งค่าความหนาแน่นของอะตอมแต่ละชนิด สามารถนำไปใช้ในการคำนวณอื่น ๆ ได้
- แบบฝึกหัด TRIGLAV เป็นโค้ดที่สร้างขึ้นมาเพื่อจำลองเครื่องปฏิกรณ์แบบ TRIGA โดยใช้สมการ diffusion equation และเป็นการคำนวณแบบ deterministic โดยแบ่งกลุ่มนิวตรอนออกเป็น 4 กลุ่ม สามารถใช้คำนวณค่า burn up และค่า power density ได้ ซึ่งเมื่อเทียบกับ MCNP แล้วให้ผลในลักษณะเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถนำมาคำนวณค่า multiplication factor ได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากต้องมีการปรับค่า buckling ของโค้ดจนกว่าค่า K_{eff} ที่กำลัง 0.01 kW มีค่าเท่ากับ 1 จึงเป็นการเปลี่ยนค่า K_{eff} โดยการตั้งค่าในโปรแกรมคำนวณ ซึ่งจะไม่ตรงกับความเป็นจริง ผลการคำนวณจาก TRIGLAV ไม่ละเอียดเท่า MCNP แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่ามาก และสามารถใช้คอมพิวเตอร์ธรรมดา 1 เครื่องคำนวณได้ในเวลาไม่นาน แบบฝึกหัดที่ทำคือ การคำนวณการจัดแกนให้เดินเครื่องได้นานที่สุด
- แบบฝึกหัด MCNP เนื่องจากผู้บรรยายไม่สามารถเผยแพร่โค้ดได้ จึงเป็นการสาธิตการคำนวณค่า multiplication factor โดยการเพิ่มจำนวนนิวตรอน และเพิ่ม moderator ในระบบ

<u>สัปดาห์ที่ 4 การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย</u>

- การทดลองที่ 1 การหาระยะแท่งควบคุมให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดสภาวะวิกฤต โดยมีขั้นตอนคือ
    - ใส่ neutron source และวัดค่านิวตรอน โดยที่แท่งควบคุมทุกแท่งอยู่ในแกน
    - เอา safety rod 2 แท่งออก วัดค่านิวตรอน
    - เอา automatic control rod ขึ้นไปที่ระยะ 300 มม. วัดค่านิวตรอน
    - ขยับ manual control rod เพื่อหาระยะที่เหมาะสมที่ทำให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดภาวะวิกฤต
    - เมื่อขยับ control rod ไปที่ระยะแรก ให้วาดกราฟระหว่าง 1/N และระยะการขยับ แล้ว extrapolate กราฟไปที่จุดที่ค่า 1/N เป็นศูนย์ แล้วขยับ control rod ไปหนึ่งในสามของระยะทางนั้น
    - เมื่อขยับไปในตำแหน่งที่ 2 ให้วาดกราฟหาจุดตัดแกน x ใหม่และขยับ control rod ไปจนกว่าจะได้ค่าระยะขยับที่เปลี่ยนแปลงไม่มาก
    - นำ neutron source ออก ขยับ control rod จนกว่าระดับนิวตรอนที่วัดได้จะคงที่

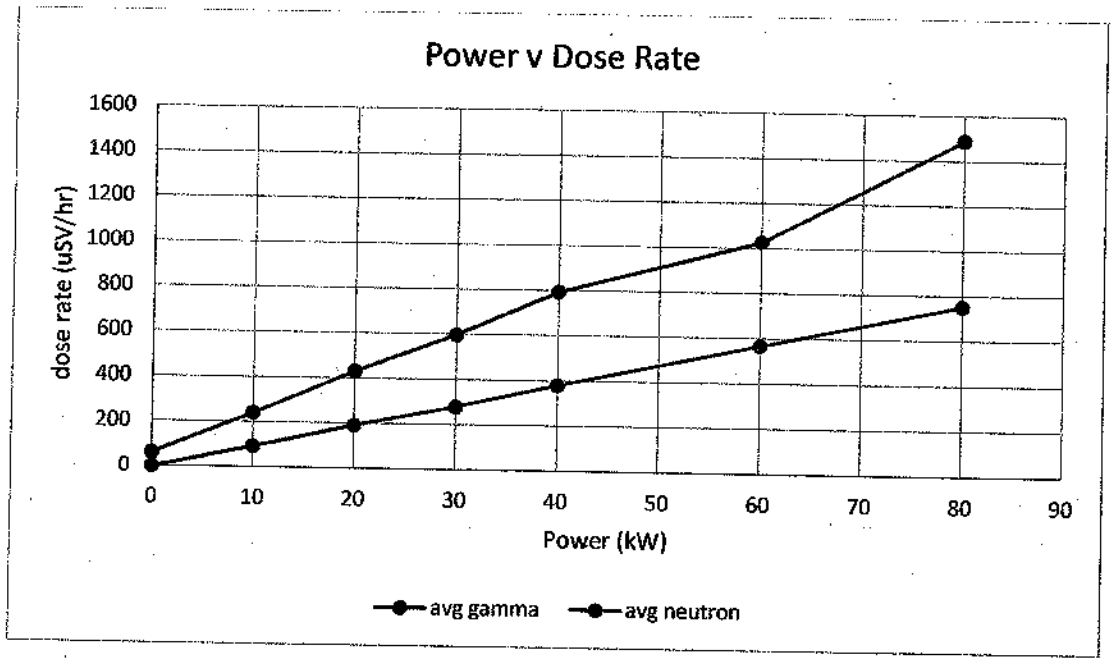
- เมื่อขยับ control rod ขึ้น การวัดนิวตรอนจะได้ค่าเสถียรช้าขึ้นเรื่อย ๆ (take longer to reach asymptotic behavior) เนื่องจากมี delayed neutron ในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

- การทดลองที่ 2 GM counter และการวัดต้นกำเนิดรังสีแอลฟา บีตา และแกมมา
  - มีต้นกำเนิดรังสีให้ 3 อัน ซึ่งไม่ทราบว่าเป็นสารอะไร ให้ใช้ GM Counter วัดรังสี โดยมีแผ่นกำบังชนิดต่าง ๆ เช่น กระดาษ พลาสติก ตะกั่ว แล้วให้ระบุว่าต้นกำเนิดรังสีอันไหนให้รังสีชนิดใด
  - ใช้ GM Counter วัดค่ากัมมันตภาพรังสีของ Co-60 โดยวัดที่ค่า voltage ต่าง ๆ กัน และวาดกราฟ ค่าที่วัดได้และค่า voltage เพื่อหาระยะ voltage ที่เหมาะสมในการใช้ GM Counter



รูปที่ 6 กราฟแสดงให้เห็นถึง voltage และ amplitude ของ GM Counter

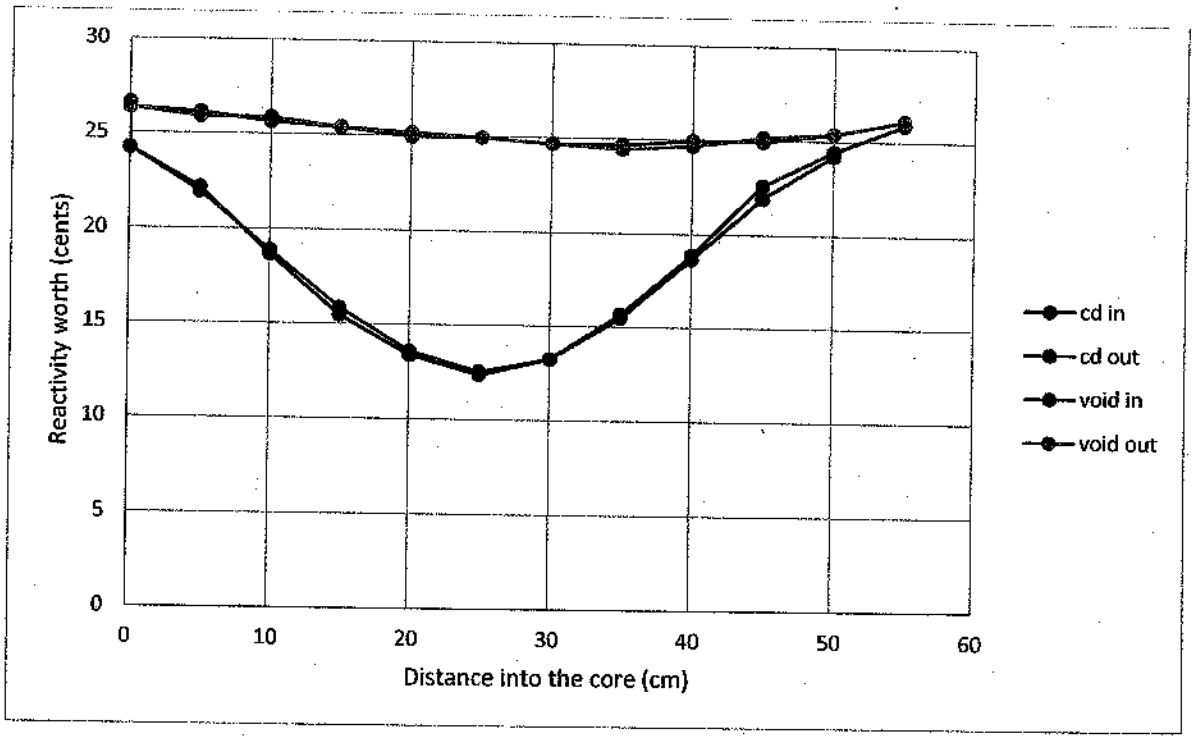
- การทดลองที่ 3 ระบบการป้องกันอันตรายจากรังสีในเครื่องปฏิกรณ์
  - เจ้าหน้าที่นำ Cs-137 ไปวางที่เครื่องวัดรังสีในห้องต่าง ๆ ในอาคารปฏิกรณ์ ต้องตามหาต้นกำเนิดรังสีโดยการดูตำแหน่งจากจอภาพสัญญาณเตือนในห้องควบคุม หรือฟังจากเสียงสัญญาณ
- การทดลองที่ 4 การวัดรังสีนิวตรอนและแกมมาจากท่ออาบรังสี
  - ให้วัดระดับรังสีนิวตรอนและแกมมาที่ท่ออาบรังสีเมื่อเครื่องปฏิกรณ์เดินที่กำลังตั้งแต่ 10 kW ขึ้นไปจนถึง 80 kW และผลที่ได้คือกราฟอัตราการรับรังสีแปรตามกำลังของเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 7 Dose Rate ของนิวตรอนและแกมมา เมื่อเพิ่มกำลังเครื่องปฏิกรณ์

- การทดลองที่ 5 การปรับเทียบแท่งควบคุม (control rod calibration) หรือการหาค่า rod worth
    - เจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ที่ 10 kW และปรับ automatic rod ไว้ที่ 500 มม. ใช้วิธี 1/N จากการทดลองที่ 1 หาตำแหน่งที่ manual rod จะทำให้เครื่องปฏิกรณ์อยู่ในภาวะวิกฤต
    - หลังจากเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ภาวะวิกฤต ดึง manual rod เพิ่มเล็กน้อย เพื่อให้อยู่ในภาวะ supercritical และ positive reactivity เมื่อกำลังเพิ่มขึ้นคงที่ใน log scale ให้หาช่วงเวลาที่จำนวนนิวตรอนที่วัดได้เพิ่มขึ้นสองเท่า (doubling time, T_{2x})
    - เมื่อทราบ doubling time สามารถคำนวณ reactivity จาก INHOUR equation ซึ่งเพื่อความสะดวก จะมีตารางแสดงเปรียบเทียบค่า reactivity และ doubling time ซึ่งเป็นตารางเฉพาะของแต่ละเครื่องปฏิกรณ์
    - ลดระดับ automatic rod เพื่อให้เครื่องปฏิกรณ์ subcritical และใช้วิธี 1/N ดึง manual rod จนสุด เพื่อวัดค่าทั้งแท่ง และคำนวณ reactivity จากช่วงที่วัด positive reactivity
- การทดลองที่ 6 Neutron Activation Analysis
    - หาค่าส่วนประกอบของแมงกานีสและวาเนเดียมในตัวอย่างเหล็กสแตนเลส โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน
- การทดลองที่ 7 void effect

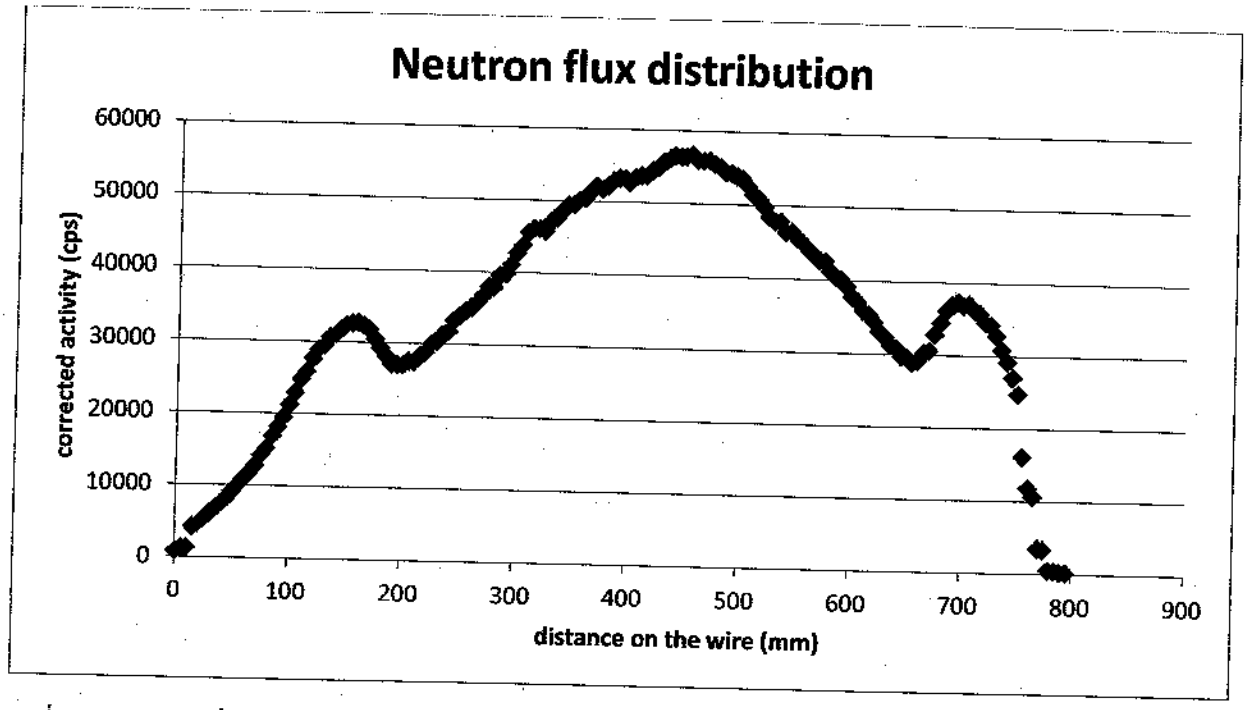
- นำตัวอย่างแคดเมี่ยม ใส่ลงไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์โดยค่อย ๆ ลดระดับลงไปในแกน โดยตั้งให้เครื่องปฏิกรณ์ทำงานที่ auto mode คือกำลังคงที่ แต่ automatic rod ขยับตามค่า reactivity ในแกน ทุกระยะ 5 ซม. อ่านค่า reactivity โดยดูจากการขยับของ automatic rod
- เปลี่ยนตัวอย่างจากแคดเมี่ยมเป็นฟองอากาศในแท่งพลาสติก แล้ววัดค่า นำมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าฟองอากาศส่งผลต่อการดูดจับนิวตรอนน้อยกว่าแคดเมี่ยมมาก
- นำแคดเมี่ยมทรงกระบอกที่มีขนาดต่างกันใส่ลงไปใน rabbit system วัดค่า reactivity พบว่าตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ดูดจับนิวตรอนมากกว่าตัวอย่างที่ปริมาตรเท่ากันแต่พื้นที่ผิวน้อยกว่า



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่า reactivity เมื่อนำแคดเมี่ยมและฟองอากาศใส่ลงในแกน

- การทดลองที่ 8 หัววัดนิวตรอน
  - ใช้หัววัดนิวตรอนสองชนิดคือ BF_3 และ He_3 วัดนิวตรอนจาก PuBe โดยเพิ่มระดับ high voltage แล้ววาดกราฟระหว่าง voltage และ amplitude ที่วัดได้ พบว่าค่าเพิ่มขึ้นแบบ linear เนื่องจากเป็น proportional counter
- การทดลองที่ 9 Neutron Flux Distribution

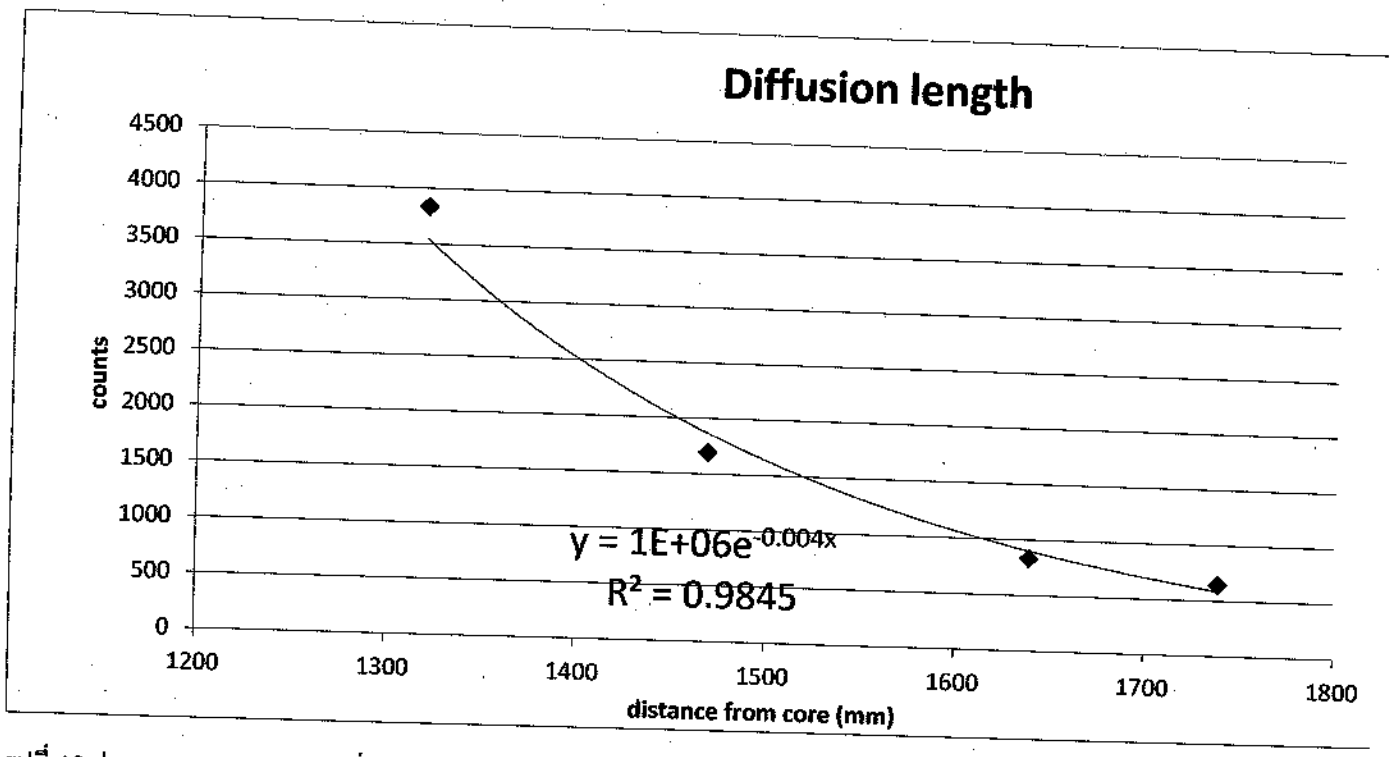
- นำลวด Dy ยาว 80 ซม. ใส่ลงในแกนและนำออกมาเพื่อวัดค่า activation จากนิวตรอนทุกระยะ 5 ซม. ซึ่งจะทำให้ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวนิวตรอน ทั้งนี้ ต้องนำเวลาที่ใช้ในการวัดแต่ละจุดมาคำนวณระดับรังสีเริ่มต้น เพราะ Dy มีค่าครึ่งชีวิต 2.33 นาที



รูปที่ 9 ค่า activity ที่วัดได้จากลวด Dy ที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของนิวตรอนเมื่อมี reflector

- การทดลองที่ 10 Delayed neutron
  - นำตัวอย่าง U-235 ใส่ใน rabbit system และฉายรังสีนิวตรอนเป็นเวลา 10 วินาที แล้วนำออกมาวัดนิวตรอน ซึ่งนิวตรอนที่วัดได้ เป็น delayed neutron จากกราฟ สามารถคำนวณหาค่าครึ่งชีวิตของ delayed neutron กลุ่มที่ 3-6 ได้ (กลุ่มที่ 1-2 ค่าครึ่งชีวิตสั้นเกินกว่าจะวัดได้ในการทดลองนี้)
  - หาความเข้มข้นของ U-235 โดยเทียบกับตัวอย่างที่ทราบความเข้มข้น วัด delayed neutron มาเปรียบเทียบกัน
- การทดลองที่ 11 Diffusion length in graphite
  - นำตัวอย่าง In-116 มาวางที่แท่งกราไฟต์ใน thermal column 4 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 2 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างหนึ่งอยู่ใน cadmium capsule อีกตัวอย่างหนึ่งไม่มีแคดเมี่ยม เนื่องจากแคดเมี่ยมดูดจับ thermal neutron ค่าที่วัดได้จาก In-116 ลบด้วยตัวอย่างที่อยู่ในแคดเมี่ยม คือค่า activation จาก thermal neutron

- วาดกราฟ ค่า thermal neutron activation กับระยะทางจากแกน และหาสมการ exponential ก็จะทราบค่า diffusion length ของ thermal neutron ในกราไฟต์
- ค่าที่วัดได้คือ 25 ซม. ซึ่งต่างจากค่าจริงคือ 50 ซม. เนื่องจาก ระหว่างแกนถึงตัวอย่าง มีวัสดุอื่นอยู่ตรงกลาง เช่นน้ำ และอากาศ ทำให้ค่า diffusion length เปลี่ยนไป และในการคำนวณค่า diffusion length เครื่องปฏิกรณ์ต้องเดินอยู่ที่ critical ตลอดเวลาที่ฉายรังสีตัวอย่าง แต่ในความเป็นจริง เนื่องจากอีกกลุ่มทำการทดลองเดินเครื่อง ทำให้เครื่องปฏิกรณ์ SCRAM ระหว่างการฉายรังสี



รูปที่ 10 ค่า activity ของ In-116 ที่วัดได้ต่อระยะทางจากแกนเครื่องปฏิกรณ์

- การทดลองที่ 12 เดินเครื่อง
  - ผลัดกันติดเครื่องปฏิกรณ์และเดินเครื่องที่กำลังต่าง ๆ โดยต้องเช็คค่าต่าง ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการ SCRAM
  - เมื่อเดินเครื่องที่กำลังต่ำ (น้อยกว่า 1kW) control rods อยู่ที่ตำแหน่ง critical เดียวกันถึงแม้กำลังจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มกำลังขึ้นเป็น kW ต้องดึง control rod ออกมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นและเกิด negative feedback

สัปดาห์ที่ 5 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยที่ KFKI

สถาบัน KFKI ในฮังการี มีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 10 MW ที่ใช้ในงานวิจัยหลายหลาย เช่นการทำ NAA และ PGAA การวิจัยวัสดุด้วย small angle neutron scattering และการผลิตไอโซโทป โดยระหว่างการฝึกอบรมที่ KFKI มีผู้เชี่ยวชาญมาบรรยายเรื่องเทคนิคการทดลองต่าง ๆ การจัดการกากกัมมันตรังสี การวัดระดับรังสีในสิ่งแวดล้อม การสอบเจ้าหน้าที่เดินเครื่อง การประกันคุณภาพ และเรื่องความมั่นคงปลอดภัยและการพิทักษ์ความปลอดภัยทางนิวเคลียร์

สัปดาห์ที่ 6 IAEA

สัปดาห์สุดท้าย เป็นการสอบ เพื่อทบทวนเนื้อหาทั้งหมด และเดินทางจากบูดาเปสต์ไปยังสำนักงานใหญ่ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญที่ทบวงการได้บรรยายถึงเอกสารของ IAEA ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ได้แก่ Code of Conduct for RR, SSR-3 และ guidelines อื่น ๆ

สิ่งที่ได้รับ

- การฝึกอบรมครั้งนี้ เทียบเท่ากับการฝึกอบรมเป็นเจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีและปฏิบัติการเดินเครื่องปฏิกรณ์ และการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางนิวเคลียร์
- สามารถนำโปรแกรม TRIGLAV กับ simulator มาประยุกต์ใช้กับการประเมินความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-๑/๑ แต่ต้องดำเนินการติดต่อไปยัง OECD ผ่าน permanent mission เพื่อให้ได้ลิขสิทธิ์ที่ถูกต้องก่อน
- สามารถนำความรู้ที่ได้รับมาประยุกต์ใช้กับการสอบเจ้าหน้าที่เดินเครื่อง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเป็นการฝึกอบรมที่เทียบเท่ากับการฝึกอบรมเป็นเจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย จึงควรสนับสนุนให้ผู้ขอรับใบอนุญาตเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ขอรับใบอนุญาตใหม่เช่น มทส. มาอบรม เพราะเป็นหลักสูตรที่ครอบคลุมหลายเรื่องที่จำเป็นต่อการดำเนินการเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ แต่อาจมีอุปสรรคคือการสอนเป็นไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากเวลาจำกัด โดยเฉพาะในเรื่องทฤษฎี reactor ทำให้เข้าใจได้ค่อนข้างยาก แต่ก็มีหัวข้อพื้นฐาน เช่น การป้องกันอันตรายจากรังสี การใช้อุปกรณ์วัดชนิดต่าง ๆ ที่น่าจะเป็นประโยชน์ และทำให้ผู้ฝึกอบรมได้เห็นภาพรวมของการดำเนินการและการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด