

PS06: การวิเคราะห์ลำนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

*วิเชียร รตนธงชัย¹

¹สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 หมู่ 7 ต.ทรายมูล อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

โทรศัพท์ 037 392 901 - 6 โทรสาร 037 392 913 E-Mail: wichian@tint.or.th

บทคัดย่อ

ท่อนิวตรอนสำหรับงานถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีลักษณะเป็นท่อที่มีปลายบานออก ปลายด้านในติดตั้งชิดกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ โดยปลายด้านนอกมีขนาด 16.0×17.0 ตารางเซนติเมตร จากการใช้อิมเมจิงเพลทนิวตรอน วัดขนาดลำนิวตรอนที่ระยะ 100 เซนติเมตร สามารถหาพื้นที่หน้าตัดของลำนิวตรอนได้ 18.2×19.0 ตารางเซนติเมตร และใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรมวัดรังสีแกมมาในลำนิวตรอนที่ระยะเดียวกัน สามารถหาพื้นที่หน้าตัดของลำรังสีแกมมาได้ 27.8×31.1 ตารางเซนติเมตร โดยความเข้มของรังสีแกมมามีค่าสูงตามแนวรอบของลำนิวตรอน

คำสำคัญ: นิวตรอน ลำนิวตรอน อิมเมจิงเพลท การถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอน

Thai Research Reactor (TRR-1/M1) Neutron Beam Measurements

* Wichian Ratanatongchai¹

¹Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT),

9/9 Moo 7, Tambol Saimoon, Amphur Ongkharak, Nakornnayok 26120

Phone: 037 392 901 - 6, Fax: 037 392 913, E-Mail: wichian@tint.or.th

Abstract

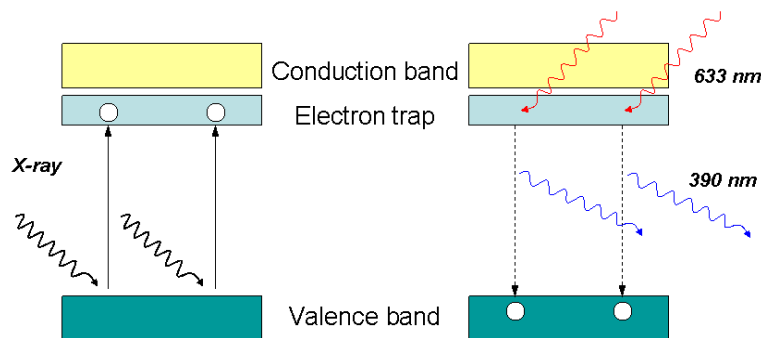
Neutron beam tube of neutron radiography facility at Thai Research Reactor (TRR-1/M1) Thailand Institute of Nuclear Technology (public organization) is a divergent beam. The rectangular open-end of the beam tube is $16 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}$ while the inner-end is closed to the reactor core. The neutron beam size was measured using $20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ neutron imaging plate. The measurement at the position 100 cm from the end of the collimator has shown that the beam size was $18.2 \text{ cm} \times 19.0 \text{ cm}$. Gamma ray in neutron the beam was also measured by the identical position using industrial X ray film. The area of gamma ray was $27.8 \text{ cm} \times 31.1 \text{ cm}$ with the highest intensity found to be along the neutron beam circumference.

Keywords: neutron, neutron beam, imaging plate, neutron radiography

1. บทนำ

อิมเมจิงเพลท (imaging plate) หรือ IP เป็นแผ่นบันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีคล้ายกับฟิล์ม มีผลึกของสารเรืองแสง (phosphors) ทำหน้าที่เก็บพลังงานของรังสี ซึ่งพลังงานที่ถูกเก็บไว้นี้จะคงอยู่จนเมื่อนำไปสแกนด้วยแสงเลเซอร์ จึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง หรือ ลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า โฟโตสติมูเลเตดลูมิเนสเซนซ์ (photostimulated luminescence) โดยมีหน่วยวัดเป็น PSL⁽¹⁾

ผลึกของสารเรืองแสงหรือโฟโตสติมูเลเตดฟอสฟอรัส (photostimulated phosphor) ประกอบด้วยสารประกอบแบเรียมฟลูออโรโบรไมด์ (barium fluorobromide) ที่เจือด้วยยูโรเปียม (bivalent europium) เล็กน้อย มีสูตรโมเลกุลเป็น BaFBr:Eu^{2+} ทำหน้าที่เป็นลูมิเนสเซนซ์เซนเตอร์ (luminescence center) เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มโพลิเอสเตอร์⁽²⁾ โดยมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาการดูดกลืนพลังงานรังสีและการปลดปล่อยแสงออกมา ดังรูปที่ 1

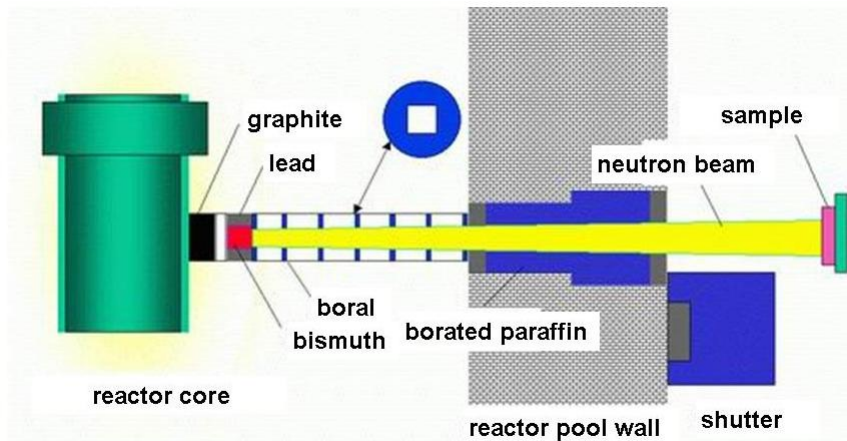


รูปที่ 1 กลไกในการเกิด photostimulated luminescence (1) รังสีคายพลังงานให้อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ electron trap (2) แสงเลเซอร์ทำให้อิเล็กตรอน หลุดออกจาก trap และเคลื่อนที่ไปยัง valence band โดยคายแสงออกมา⁽²⁾

อิมเมจิงเพลทนิวตรอน (neutron imaging plate) หรือ NIP เป็นแผ่นอิมเมจิงที่สามารถบันทึกปริมาณรังสีนิวตรอน เนื่องจากประกอบด้วย BaFBr:Eu^{2+} ผสมกับแกโดลิเนียมออกไซด์ (Gd_2O_3) เมื่อได้รับรังสีนิวตรอน แกโดลิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาจับนิวตรอน (neutron capture) $^{157}\text{Gd}(n,\gamma)^{158}\text{Gd}$ ทำให้แกโดลิเนียม-157 กลายเป็นแกโดลิเนียม-158 และให้รังสีแกมมาพลังงาน 7.8 MeV กับ Auger electrons พลังงาน 41 keV⁽³⁾ ซึ่งจะถ่ายเทพลังงานให้กับผลึก phosphors

ลำนิวตรอนสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีท่อบังคับลำนิวตรอน (neutron collimator) ขนาด 8 นิ้ว วางตั้งฉากกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ 2 ลำนิวตรอนมีลักษณะ

ปลายบานออก (divergence) พื้นที่หน้าตัดของลำนิวตรอนที่ปลายเปิดมีขนาด 16x17 ตารางเซนติเมตร ตำแหน่งถ่ายภาพอยู่ห่างจากปลายเปิดของท่อบังคับลำนิวตรอน 100 เซนติเมตร มีฟลักซ์ของนิวตรอน 1×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เมื่อเครื่องปฏิกรณ์เดินเครื่องด้วยกำลัง 1200 กิโลวัตต์⁽⁴⁾



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของท่อบังคับลำนิวตรอนสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอน⁽⁴⁾

2. วัสดุอุปกรณ์

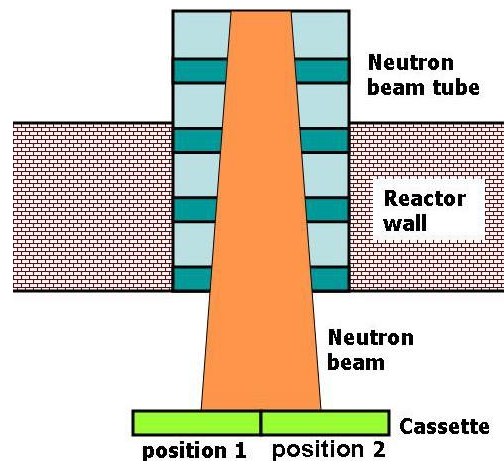
การวิเคราะห์ลำนิวตรอนสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปว-1/1 ใช้โอเมจิงเพลทนิวตรอนในการวัดรังสีนิวตรอนในลำนิวตรอน และใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรมในการวัดรังสีแกมมาในลำนิวตรอน โดยใช้อุปกรณ์ดังนี้

1. ลำนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยฯ สำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอน
2. โอเมจิงเพลทนิวตรอนฟูจิ รุ่น ND2040 และคาสเซตต์บรรจุโอเมจิงเพลท มีขนาด 20x40 ตารางเซนติเมตร
3. เครื่องสแกนโอเมจิงเพลทฟูจิ รุ่น BAS2500 ใช้ร่วมกับโปรแกรม Fuji Image Gauge สำหรับอ่านและบันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีนิวตรอน
4. ฟิล์มรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรม โกดัก (Kodak) type AA และคาสเซตต์บรรจุฟิล์ม ขนาด 35x43 ตารางเซนติเมตร
5. ห้องมืดและอุปกรณ์ในการล้างฟิล์มรังสีเอกซ์
6. ชี้นงานมาตรฐาน BPI (beam purity indicator) และชี้นงานมาตรฐาน SI (sensitivity indicator) สำหรับตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีนิวตรอน

3. วิธีการ

การวัดขนาดลำนิวตรอนโดยใช้ไอเมจิงเพลทนิวตรอน ND2040 ทำการทดลองถ่ายภาพที่ระยะ 100 เซนติเมตร จากผนังท่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ 2 ครั้ง โดยการวางคาสเซตต์บรรจุไอเมจิงเพลทตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ต่อเนื่องกัน ดังรูปที่ 3 การวัดขนาดลำรังสีแกมมาใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรม โคดัก type AA ขนาด 35x43 ตารางเซนติเมตร บรรจุในคาสเซตต์วางที่ตำแหน่งถ่ายภาพ โดยทำการทดลอง ดังนี้

1. ถ่ายภาพลำรังสีนิวตรอนโดยลบข้อมูลบนแผ่นไอเมจิงเพลทนิวตรอน ND2040 และบรรจุลงในคาสเซตต์
2. ติดตั้งชิ้นงานมาตรฐานสำหรับตรวจสอบภาพถ่ายที่ด้านหน้าของคาสเซตต์
3. วางคาสเซตต์ไว้ด้านหน้าลำนิวตรอนที่ระยะ 100 cm ตำแหน่งที่ 1 เป็นเวลา 10 วินาที
4. สแกนไอเมจิงเพลทนิวตรอนด้วยเครื่องอ่านไอเมจิงเพลท BAS2500 โดยใช้กำลังแยก (resolution) 50 ไมโครเมตร บันทึกภาพโดยใช้โปรแกรม Fuji Image gauge
5. ลบข้อมูลบนแผ่นไอเมจิงเพลทนิวตรอน แล้วถ่ายภาพที่ระยะ 100 cm โดยใช้ตำแหน่งที่ 2

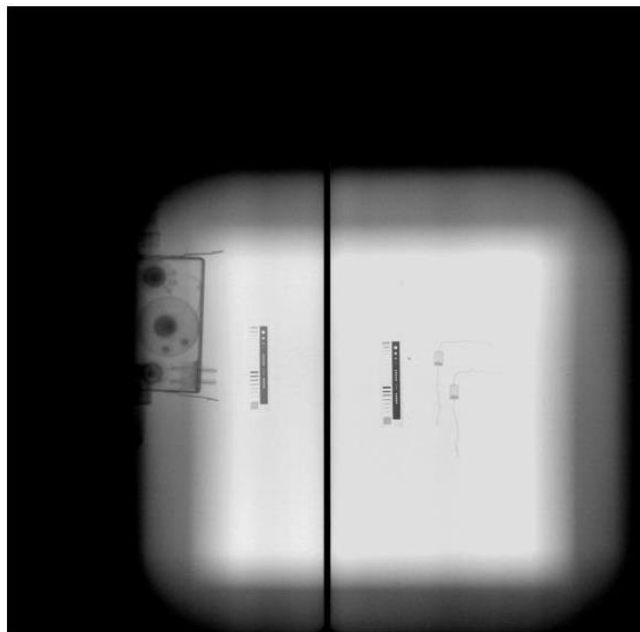


รูปที่ 3 การวางคาสเซตต์บรรจุไอเมจิงเพลทนิวตรอนในการทดลองวัดขนาดลำนิวตรอน

6. ถ่ายภาพลำรังสีแกมมาในลำนิวตรอน โดยบรรจุฟิล์มรังสีเอกซ์ในคาสเซตต์ วางไว้ที่ระยะ 100 เซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที
7. ล้างฟิล์มรังสีเอกซ์และถ่ายภาพจากฟิล์ม เพื่อวิเคราะห์ความดำของฟิล์มเปรียบเทียบกับค่า PSL ของไอเมจิงเพลทที่ถ่ายภาพที่ระยะเดียวกัน

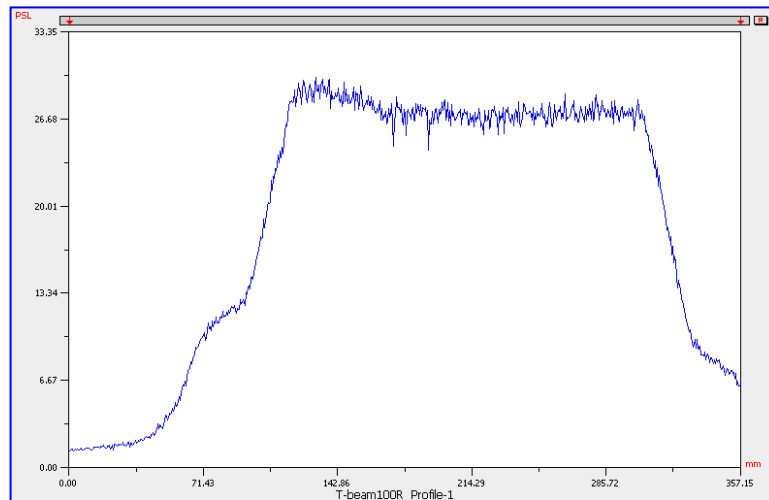
4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ความเข้มของแสงจากผลึกของสารเรืองแสงบนอิมเมจิงเพลท มีค่าแปรผันตามความเข้มของรังสีนิวตรอนที่ตกกระทบอิมเมจิงเพลท ซึ่งความเข้มของแสงจากผลึกของสารเรืองแสงบนอิมเมจิงเพลทที่สแกนด้วยเครื่องอ่านอิมเมจิงเพลท แสดงผลด้วยโปรแกรม Fuji Image Gauge ในรูปของ PSL (photostimulated luminescence) เป็นภาพถ่ายด้วยรังสีนิวตรอนจากอิมเมจิงเพลท เมื่อนำภาพถ่ายจากการถ่ายที่ระยะ 100 cm โดยนำภาพถ่ายระยะละ 2 ครั้งมาต่อกัน สามารถหาขนาดของลำนิวตรอนได้ $18.2 \times 19.0 \text{ cm}^2$ ดังรูปที่ 4



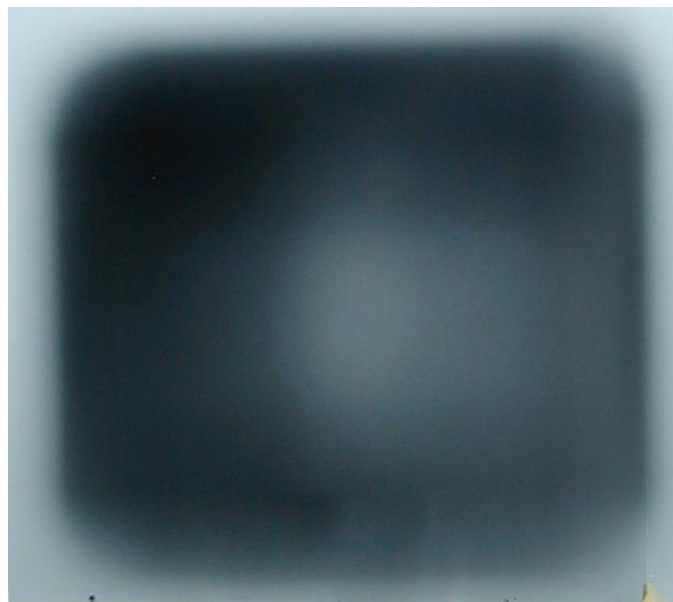
รูปที่ 4 ภาพถ่ายลำนิวตรอนที่ระยะ 100 cm

ค่า PSL บนอิมเมจิงเพลทสามารถ plot เป็นกราฟ เพื่อแสดง profile ของความเข้มตามแนวความกว้างหรือความยาวของอิมเมจิงเพลท เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของ PSL หรือความเข้มของรังสีนิวตรอนได้ชัดเจนมากขึ้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 profile ของความเข้มรังสีในลำนิวตรอนที่ระยะ 100 cm

ลำนิวตรอนสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอน อยู่ภายในบังกับลำนิวตรอน (neutron collimator) ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากกราไฟต์ ตะกั่ว บิสมัทและโบรล (อลูมิเนียมผสมโบรอน) ประกอบด้วย รังสีนิวตรอนและรังสีแกมมาขณะที่ฟิล์มรังสีเอกซ์มีความไวต่อรังสีเอกซ์และรังสีแกมมามากกว่ารังสีนิวตรอน ภาพถ่ายลำนิวตรอนบันทึกด้วยฟิล์มรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรม จึงแสดงความเข้มของรังสีแกมมาที่อยู่ภายในบริเวณขอบของลำนิวตรอน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ภาพถ่ายพื้นที่หน้าตัดของลำนิวตรอนบันทึกด้วยฟิล์มรังสีเอกซ์โกดัก type AA

5. สรุป Summary

การใช้ไอเมจิงเพลทนิวตรอนวัดขนาดของลำนิวตรอนที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ทำให้สามารถหาขนาดและตำแหน่งที่แน่นอนของลำนิวตรอน ได้ค่าเป็น 18.2x19.0 ตารางเซนติเมตร และทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งในการถ่ายภาพและกำหนดขนาดของชิ้นงานในการถ่ายภาพได้ถูกต้อง การใช้ฟิล์มรังสีเอ็กซ์ทางอุตสาหกรรมบันทึกรังสีแกมมาในลำนิวตรอน ทำให้สามารถหาขนาดลำรังสีแกมมาในลำนิวตรอนได้ 27.8x31.1 ตารางเซนติเมตร โดยมีความเข้มสูงตามแนวรอบด้านนอกของลำนิวตรอน

ไอเมจิงเพลทเป็นแผ่นบันทึกปริมาณรังสีที่มีความไวสูง จึงใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อยกว่าการถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอนโดยบันทึกด้วยฟิล์มรังสีเอ็กซ์ (10 วินาที กับ 5 นาที ในการทดลองนี้) การใช้งานไม่จำเป็นต้องใช้ห้องมืด เนื่องจากไอเมจิงเพลทไม่ไวต่อแสง ภาพถ่ายที่ได้เก็บเป็นในรูปแบบของไฟล์ภาพ ทำให้มีการเก็บรักษาและใช้งานสะดวก แต่ในขณะเดียวกัน ไอเมจิงเพลทก็มีความไวต่อรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมาเช่นเดียวกับฟิล์มรังสีเอ็กซ์ จึงทำให้ PSL ที่วัดได้บางส่วนเกิดจากรังสีแกมมาที่มีอยู่ในลำนิวตรอนเช่นเดียวกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณธงชัย สุกประเสริฐ และสำนักสนับสนุนความปลอดภัยทางนิวเคลียร์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ไอเมจิงเพลทนิวตรอน และเครื่องอ่านไอเมจิงเพลท และขอขอบคุณฝ่ายตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ฟิล์มรังสีเอ็กซ์และห้องล้างฟิล์ม

7. เอกสารอ้างอิง

1. Fujifilm Corporation, Imaging Plate, (cited 12 Nov 2008). Available at : URL : http://www.fujifilm.com/products/life_science/si_imgplate/img_plate.html.
2. Kobayashi H. and Satoh M., Basic performance of a neutron sensitive photostimulated luminescence device for neutron radiography, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 424 1999, 1-8.

3. P.U.P.A. Gilbert, Gadolinium Neutron Capture Therapy, (cited 15 Oct 2008). Available at : URL : <http://home.physics.wisc.edu/gilbert/cancer.htm>.
4. วิเชียร รตนธงชัย และคณะ, การถ่ายภาพด้วยรังสีนิวตรอนเพื่อศึกษาโครงสร้างภายในของพืช, การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 46 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 29 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2551