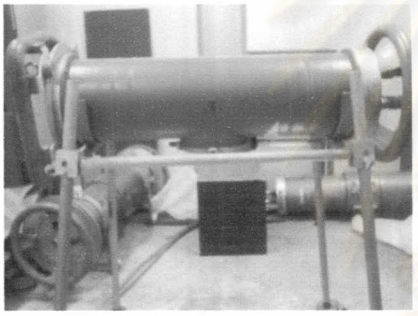
บทที่ 3
วัสดุและอุปกรณ์วิจัย

3.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์และนิวตรอน

3.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ สำหรับงานวิจัยนี้เป็นเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมยี่ห้อ Andrex สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 60 ถึง 200 กิโลโวลต์ ปรับกระแสได้สูงสุด 8 มิลลิแอมแปร์ และตั้งเวลาฉายรังสีเอกซ์ได้สูงสุด 12 นาที พร้อมระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

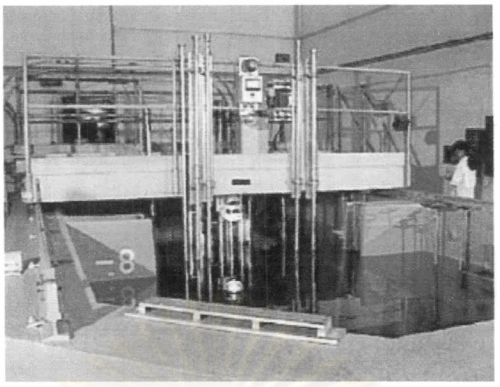


หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

ชุดควบคุมหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

รูปที่ 3.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม

3.1.2 ต้นกำเนิดนิวตรอน[4] สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 ปรับปรุงครั้งที่1 (Thai research reactor -1/modification1) หรือ TRR-1/M1 ดังรูปที่ 3.2 เป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบวิจัย ขนาดกำลังสม่ำเสมอ (Steady state) 2 เมกกะวัตต์ (ความร้อน) สามารถทำงานแบบทวีกำลัง (Pulsing) ได้ถึงประมาณ 2,000 เมกกะวัตต์ในระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 10.5 มิลลิวินาที (หนึ่งมิลลิวินาทีเท่ากับหนึ่งส่วนพันวินาที) ผู้สร้างคือบริษัท General Atomics แห่งประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ชื่อทางการค้าว่า TRIGA Mark III ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1ปรับปรุงครั้งที่1

องค์ประกอบที่สำคัญ คือ

บ่อเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor pool) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนผนังด้านข้างของบ่อจะมีท่อสเตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้วของระบบระบายความร้อนฝังผ่านด้านข้างของบ่อ ผนังบ่อเป็นผนังคอนกรีตชนิดความหนาแน่นสูง (High density,3.5 gm/cm^3) ปากบ่อหนา 1.5 ฟุตและจะเพิ่มความหนาเป็นชั้น ๆ ชั้นละ 1 ฟุตตามระดับความสูงที่ระดับต่ำสุดจะหนา 4.5 ฟุต (1.35 เมตร) บ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ มีขนาดโดยประมาณคือกว้าง 3.5 เมตร ยาว 12 เมตร ลึก 8.5 เมตร บรรจุน้ำได้ประมาณ 64,800 แกลลอน (หรือประมาณ 245 ลูกบาศก์เมตร)

ประตูกั้นน้ำทำด้วย อะลูมิเนียมมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู ขอบของประตูน้ำจะเป็นรางรูปตัวเจ(J) เพื่อทำหน้าที่กั้นน้ำระหว่างบ่อเล็กกับบ่อใหญ่เมื่อสอดลงไปในร่องประตูของบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ

สะพานเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor Bridge) เป็นตัวยึดโครงสร้างเครื่องปฏิกรณ์ฯ และชุดขับเคลื่อนซึ่งใช้ไฟฟ้าความเร็วในการเคลื่อนที่สามารถปรับได้จาก 0 ถึง 6 ฟุตต่อนาทีและเมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้ Thermal Column ประมาณ 2 ฟุตความเร็วจะเปลี่ยนเป็น 1 ฟุตต่อนาทีโดยอัตโนมัติ

แกนเครื่องปฏิกรณ์(Reactor Core) ลักษณะการจัดเชื้อเพลิงในแกนรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal array) แกนเครื่องปฏิกรณ์ บรรจุอยู่ในถังอะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 55 เซนติเมตร สูงประมาณ 2 เมตร ภายในจะมีแท่งเชื้อเพลิงบรรจุอยู่ในลักษณะตั้งตรง ส่วนบนและล่างเป็น Graphite Reflector แกนปฏิกรณ์ และอุปกรณ์ฯ ประกอบทั้งหมดจะแช่อยู่ในน้ำ

แท่งเชื้อเพลิงยูเรเนียม(Fuel elements) เนื้อเชื้อเพลิงเป็น U-$ZrH_{1.6}$ (Uranium-Zirconium hydride) มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.50 นิ้วยาวประมาณ 30 นิ้ว ส่วนบนและล่างเป็นแกรไฟต์ เชื้อเพลิงชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งปฏิกิริยาฟิชชั่นได้เมื่ออุณหภูมิของเนื้อเชื้อเพลิงสูงขึ้นอย่างทันทีทันใด (Prompt Negative Temperature Coefficient) ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของเชื้อเพลิงชนิดนี้จึงทำให้เครื่องปฏิกรณ์ฯ ชนิดนี้ทำงานแบบทวีกำลังได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อเชื้อเพลิงเนื้อเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์ฯ คิดเป็นปริมาณยูเรเนียม-235 ประมาณ 5,888.25 กรัม

แท่งควบคุม(Control rods) มีลักษณะและขนาดคล้ายแท่งเชื้อเพลิงมีส่วนบนเป็น Boron Carbide (B_4C) เป็นตัวดูดจับนิวตรอนส่วนล่างเป็นเนื้อเชื้อเพลิง U-ZrH1.6 แท่งควบคุมชนิดนี้มี 4 แท่งและแท่งควบคุม Transient ไม่มีเนื้อเชื้อเพลิงอีก 1 แท่ง

สารหน่วงความเร็วนิวตรอน (Moderator) เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้เป็น U-$ZrH_{1.6}$ นิวตรอนความเร็วสูงจะถูกหน่วงความเร็วตั้งแต่เริ่มเกิดในเนื้อเชื้อเพลิง บางครั้งจึงเรียกเชื้อเพลิงชนิดนี้ว่า Fuel-Moderator Element ส่วนสารหน่วงความเร็วถัดออกมาคือน้ำบริสุทธิ์ที่มีความนำไฟฟ้าไม่เกิน 2 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร (ปกติน้ำประปาจะมีความนำไฟฟ้าประมาณ 200 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร) ซึ่งน้ำนี้เป็นทั้งตัวหน่วงความเร็วและตัวระบายความร้อน (Coolant)

ระบบระบายความร้อน (Cooling system) เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยต้องการใช้ประโยชน์จากนิวตรอนฟลักซ์เท่านั้น พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะต้องระบายออกไปจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ดังนั้นจึงต้องมีระบบระบายความร้อน สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 ใช้ระบบการระบายความร้อนแบบการพาความร้อนโดยธรรมชาติ (Natural Convection) โดยน้ำที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นสู่ผิวน้ำแล้วจะถูกดูดออกไปด้วย pump ด้วยอัตราความเร็วประมาณ 1,300 แกลลอนต่อนาที (หรือประมาณ 84 ลิตรต่อวินาที) ผ่านตัวแลกถ่ายความร้อน (Heat Exchanger) และระบายสู่บรรยากาศโดยใช้หอระบายความร้อน (Cooling Tower)

ต้นกำเนิดนิวตรอน (Neutron source) ต้นกำเนิดนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ปปว.-1/1 เป็น Am-Be (Americium Beryllium) มีความแรงรังสี 3 คูรีมีครึ่งชีวิต 458 ปี ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนนี้ใช้เป็นตัวจุดชนวนปฏิกิริยา ฟิชชั่นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ หลังจากเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่แล้วต้นกำเนิดนิวตรอนก็ไม่มีความจำเป็นต้องใช้

ท่อบังคับลำรังสีนิวตรอน (neutron collimator) เป็นอุปกรณ์บังคับทิศทางนิวตรอนให้วิ่งออกไปเฉพาะทิศทางที่มีชนิดงานและฟิล์มรองรับอยู่เท่านั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานไปทางอื่น ทำให้ประหยัดเวลาในการถ่ายภาพและทำให้ได้รายละเอียดของภาพสูงขึ้น (ภาคผนวก ข)

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างฉากเรืองรังสีเอกซ์

3.2.1 แกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์(เทอร์เบียม)[Gd_2O_2S (Tb)] ซึ่งเป็นสารหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวขนาดเล็กกว่า 50ไมครอน เมื่อทำอันตรกิริยากับรังสีเอกซ์จะให้แสงเรืองออกมาในช่วงความยาวคลื่น 545 นาโนเมตร จัดจำหน่ายโดยบริษัท Nilaco ประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 3.3 แกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์(เทอร์เบียม)

3.2.2 สารยึดเหนี่ยว(binder)ชนิดต่างๆ เพื่อทำให้ผงแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์(เทอร์เบียม) สามารถยึดติดกันและพ่นลงบนแผ่นอลูมิเนียมได้

ก. กาวน้ำตรา UHU มีลักษณะเป็นของเหลว สีใส มีความหนืดพอสมควร ทำละลายกับน้ำได้ง่าย

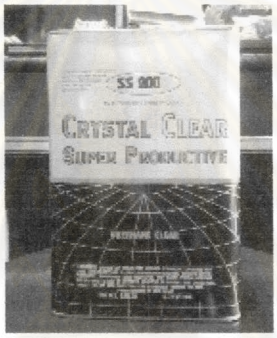
ข. กาวเจลตรา Bic มีลักษณะเป็นของเหลว สีฟ้าใส มีความหนืดพอสมควร ทำละลายกับน้ำได้ง่าย

ค. แลคเกอร์ มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความหนืดพอสมควร ทำละลายกับทินเนอร์

ง. สีชนิดใสของ tamiya มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความหนืดพอสมควร ทำละลายกับทินเนอร์ได้ดี

จ. กาวเอนกประสงค์ตรา UHU มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความหนืดมาก ทำละลายกับทินเนอร์ได้ดีและแห้งสนิทได้ภายใน 1 ชั่วโมง

ฉ. ยูรีเธน ตรา SS2000 มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความหนืดพอสมควร ทำละลายกับทินเนอร์ ปกติใช้ในการเคลือบสีรถยนต์ให้มีความเงา



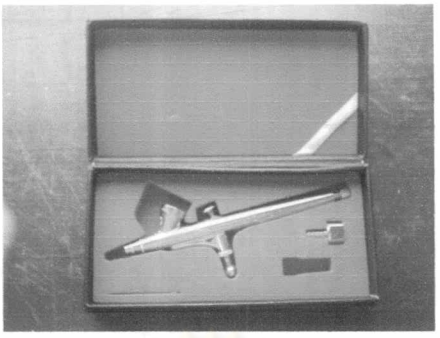
รูปที่ 3.4 ยูรีเธน(urethane) ตรา SS2000

3.2.3 อุปกรณ์สำหรับสร้างฉากเรืองรังสี

ก. แผ่นอะลูมิเนียม ความหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นฐานของฉากเรืองรังสี

ข. พู่กันลม (air brush) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวพ่นเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ความละเอียดในการพ่นเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ความจุของกระเปาะใส่สีเท่ากับ 3 ซีซี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 พู่กันลม

ค. ปืนฉีดพ่น (spray gun) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 1.4 มิลลิเมตร ความจุของกระเปาะใส่สีเท่ากับ 600 ซีซี

รูปที่ 3.6 ปืนฉีดพ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง. ปั๊มความดัน (pressure pump) ใช้ร่วมกับปืนฉีดพ่น เพื่อทำการสร้างฉากเรืองรังสีขนาดมาตรฐาน (8.9x21.6 ตารางเซนติเมตร)

จ. ขวดแก้วผสมสาร ขนาดความจุ 100 ซีซี

3.3 ฟิล์ม (film) และเคมีภัณฑ์ในการสร้างภาพ

3.3.1 ฟิล์มที่ใช้ในงานวิจัยชนิดนี้ คือฟิล์ม อ๊ักฟ่า D4 ขนาด 8.9 x 21.6 ตารางเซนติเมตร ใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และ D7 ขนาด 8.9 x 43.2 ตารางเซนติเมตร สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

3.3.2 ตลับใส่ฟิล์ม (file cassette) เป็นอุปกรณ์สำหรับบรรจุฟิล์มบันทึกภาพ เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิล์มโดนแสง ทำจากโลหะอลูมิเนียม ขนาดกว้าง 33 เซนติเมตร ยาว 33 เซนติเมตร หนา 0.8 เซนติเมตร

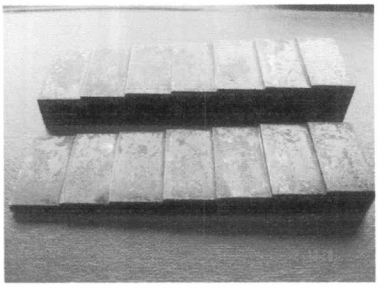
3.3.3 ดีเวโลเปอร์ (developer solution) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือดีเวโลเปอร์ของบริษัทอ๊ักฟ่า ผลิตจากประเทศเบลเยียม ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสร้างภาพขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำยาสร้างภาพ คือ ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ใช้เวลาสร้างภาพ 5 นาที และ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาสร้างภาพ 2 นาที

3.3.4 น้ำยาคงสภาพ (fixer solution) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ของบริษัท อ๊ักฟ่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการคงสภาพฟิล์มอยู่ในช่วง 18-25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการคงสภาพประมาณ 4-6 นาที

3.4 อุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพของฉากเรืองรังสี

ในการสร้างฉากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์(เทอร์เบียม) จำเป็นต้องมีการวัดคุณภาพของฉากเรืองรังสี โดยทำการหาความไว (sensitivity), ความเปรียบต่าง, รีโซลูชัน และคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ เมื่อเทียบกับฉากชนิดอื่นๆ และการถ่ายภาพโดยไม่ใช้ฉาก โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดคุณภาพของฉากเรืองรังสีได้แก่

3.4.1 เหล็กขั้นบันได 2 ชิ้นแต่ละชิ้นมี 7 ขั้น โดยที่ชิ้นแรกมีความหนา 0.22, 0.27, 0.32, 0.42, 0.44, 0.50 และ 0.56 นิ้ว ตามลำดับ ส่วนชิ้นที่ 2 มีความหนา 0.65, 0.71, 0.79, 0.83, 0.89, 0.94 และ 1 นิ้ว ตามลำดับ นำมาใช้ในการสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์



รูปที่ 3.7 เหล็กขั้นบันได

3.4.2 IQI มาตรฐาน DIN54 109(1962) เป็นมาตรฐานของเยอรมนี มีลักษณะเป็นเส้นลวดทำด้วยเหล็ก โดยมีเส้นลวดตั้งแต่หมายเลข 10 ถึง 16 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.40 , 0.32 , 0.25 , 0.20 , 0.16 , 0.125 และ 0.100 มิลลิเมตร ตามลำดับ

รูปที่ 3.8 IQI DIN54 109(1962)

3.4.3 ตู้ไฟดูฟิล์ม (viewing box) เป็นตู้แสงสว่างสำหรับส่องดูฟิล์ม เพื่อตรวจสอบภาพถ่ายและใช้สำหรับวางฟิล์มเพื่อวัดค่าความดำโดยใช้เดนซิโตมิเตอร์

3.4.4 เดนซิโตมิเตอร์ (Densitometer) รุ่น PDA-81 ของโคนิก้า (Konica) ประเทศญี่ปุ่น เส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่ในการวัด 3 มิลลิเมตร ช่วงความเข้ม 0.0 – 4.0 D ความแม่นยำในการวัด $\pm$ 0.05D

3.4.5 ระบบสแกนวัดความดำของฟิล์ม ที่พัฒนาโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นระบบวัดความดำของฟิล์มแบบอัตโนมัติ ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย