

บทที่ 3

วัสดุและอุปกรณ์วิจัย

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีเทรคเอตซ์ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักในการทดลอง ได้แก่ ต้นกำเนิดนิวตรอน ฉากเปลี่ยนนิวตรอน ฟิล์มบันทึกภาพและวัตถุตัวอย่าง ผลการทดลอง ได้มีการเปรียบเทียบกับภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยบันทึกด้วยฟิล์มถ่ายภาพ (Photographic film) ซึ่งใช้อุปกรณ์ในลักษณะเดียวกัน การทดลองแต่ละครั้งใช้อุปกรณ์ติดตามตรวจสอบปริมาณนิวตรอน (Neutron monitoring) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความสม่ำเสมอของฟลักซ์ของนิวตรอนที่ใช้ในการถ่ายภาพ

3.1 ต้นกำเนิดนิวตรอน

นิวตรอนที่ใช้ในการทดลองถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ได้มาจากปฏิกิริยาแตกตัว (Fission) ของยูเรเนียม-235 ในแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (ปว-1/1) ติดตั้งอยู่ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูชนิด TRIGA MARK III มีกำลังในการเดินเครื่องสูงสุด 2 เมกกะวัตต์

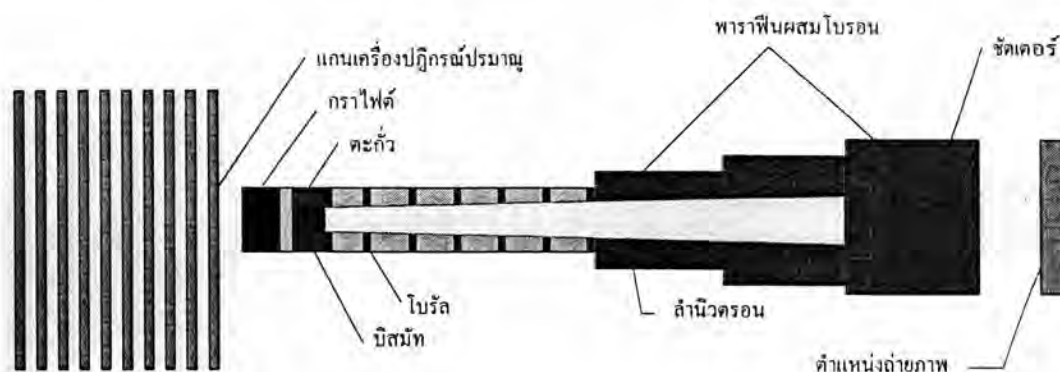


แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (ปว-1/1)

(ภาพจาก Homepage สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ www.oaep.go.th)

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ใช้กำลังในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ประมาณ 700 กิโลวัตต์ มีท่อนำนิวตรอน(Neutron beam tube) จากแกนเครื่องปฏิกรณ์ประมาณมายังตำแหน่งที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.2 ท่อนำนิวตรอน

ท่อนำนิวตรอนมีความยาว 265 เซนติเมตร ประกอบด้วย กราไฟต์สำหรับลดพลังงานของนิวตรอน บิสมีทสำหรับลดปริมาณรังสีแกมมา และโพรอน(Boral)ซึ่งเป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียมกับโบรอนสำหรับควบคุมขนาดของลำนิวตรอน ปลายด้านนอกมีชัตเตอร์สำหรับเปิดและปิดท่อนำนิวตรอน อัตราส่วนความยาวของท่อนำนิวตรอนต่อความกว้างของช่องเปิดด้านในของท่อ (L/D ratio) มีค่า 50 และ 60

ตำแหน่งที่ใช้ในการถ่ายภาพอยู่ห่างจากปลายท่อนำนิวตรอน 90 เซนติเมตร มีลำนิวตรอนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20x17 ตารางเซนติเมตร มีฟลักซ์ของนิวตรอน 1×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

3.2 ฉากเปลี่ยนนิวตรอน

ฉากเปลี่ยนนิวตรอนเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนนิวตรอนให้เป็นรังสีชนิดอื่นที่สามารถทำปฏิกิริยากับฟิล์มบันทึกภาพได้ วัสดุที่ใช้ทำฉากเปลี่ยนนิวตรอนจึงเป็นธาตุที่สามารถดูดกลืนนิวตรอนได้ดี ภายหลังการดูดกลืนแล้ว สามารถปลดปล่อยรังสีที่ทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีเบตา หรือรังสีอัลฟา เพื่อสร้างภาพขึ้นบนฟิล์ม ฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

3.2.1 ฉากแกโดลิเนียม เป็นแผ่นโลหะแกโดลิเนียม(Gd) ผลิตโดย บริษัท Goodfellow ประเทศอังกฤษ มีขนาด 12.5x15.0 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร ใช้สำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง เมื่อได้รับนิวตรอนแล้วจะปลดปล่อยอิเล็กตรอน การบันทึกภาพโดยทั่วไปใช้กับฟิล์มรังสีเอกซ์ชนิดความเร็วต่ำ เช่น ฟิล์ม โกดัก SR

3.2.2 ฉาก NE426 เป็นฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดเรืองแสง(Scintillator screen) ผลิตโดยบริษัท NE technology ประเทศอังกฤษ มีขนาด 12.0x16.5 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร ผลิตจากส่วนผสมของลิเทียมฟลูออไรด์และสังกะสีซัลไฟด์(LiF-ZnS) เมื่อถูกคลื่นนิวตรอนแล้วจะปลดปล่อยแสงออกมา ใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง และใช้ร่วมกับฟิล์มบันทึกภาพทั้งฟิล์มถ่ายรูปและฟิล์มรังสีเอกซ์ ฉากNE426 เป็นฉากที่มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนนิวตรอน การถ่ายภาพใช้เวลาสั้นกว่าการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดอื่น

3.2.3 ฉากดิสโปรเซียม เป็นแผ่นโลหะดิสโปรเซียม ผลิตโดยบริษัท Goodfellow ประเทศอังกฤษ มีขนาด 12.5x15.0 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร เมื่อถูกคลื่นนิวตรอนแล้วจะปลดปล่อยรังสีเบตา ใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายทอด โดยถ่ายภาพให้เกิดกัมมันตภาพรังสีบนฉากแล้วนำไปประกบกับฟิล์มรังสีเอกซ์ชนิดความเร็วสูง เช่น ฟิล์ม โกดักชนิด AA เพื่อปลดปล่อยรังสีและสร้างภาพให้เกิดขึ้นบนฟิล์ม

3.2.4 ฉากบีอี-10(BE-10) ผลิตจากโบรอนคาร์ไบด์ที่เพิ่มความเข้มข้นของโบรอน-10 (Enriched boroncarbide, $^{10}\text{B}_4\text{C}$) ผลิตโดยบริษัท Kodak Pathe ประเทศฝรั่งเศส มีขนาด 8x20 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 0.05 มิลลิเมตร เคลือบอยู่บนแผ่นโพลีสเตออร์หนา 0.10 มิลลิเมตร เมื่อถูกคลื่นนิวตรอนแล้วจะปลดปล่อยรังสีอัลฟา ใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรกเตอร์ โดยบันทึกภาพลงบนฟิล์มพลาสติก เช่น ฟิล์มไนโตรเซลลูโลส

3.3 ฟิล์มบันทึกภาพ

3.3.1 ฟิล์มรังสีเอกซ์ โกดักชนิด AA (Kodak type AA) ผลิตโดย บริษัทโกดักประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นฟิล์มรังสีเอกซ์ชนิดความเร็วสูง (High speed) โดยเคลือบสารไวแสงชนิดเม็ดฟิล์มหยาบไว้ทั้งสองด้านของฟิล์ม มีความไวต่อรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาสูง ใช้สำหรับการถ่ายภาพที่ต้องการเวลาที่สั้น

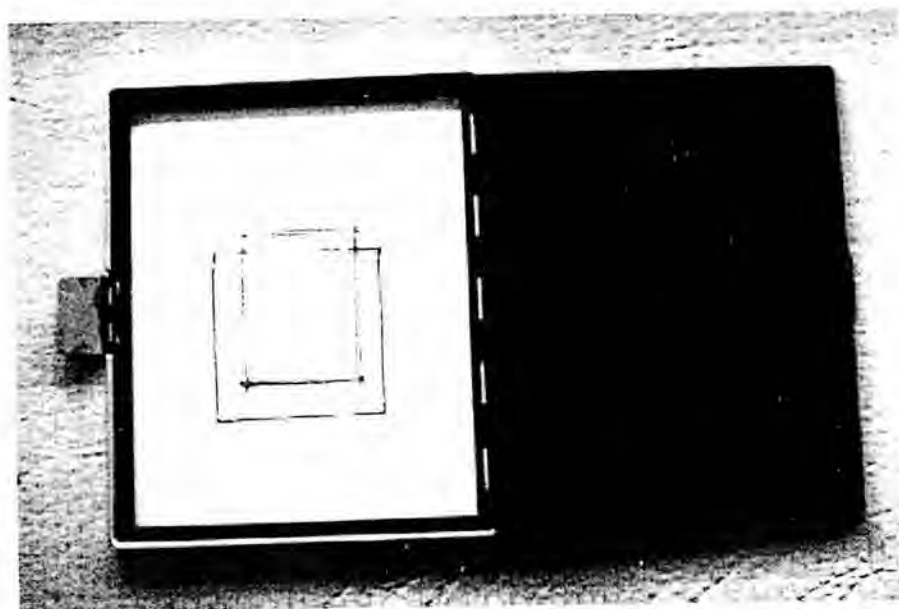
3.3.2 ฟิล์มรังสีเอกซ์ โกดักชนิด SR (Kodak type SR) ผลิตโดย บริษัทโกดักประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นฟิล์มรังสีเอกซ์ชนิดความเร็วต่ำ(Low speed) โดยเคลือบสารไวแสงชนิดเม็ดฟิล์มละเอียดไว้ด้านเดียว ใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่ต้องการภาพถ่ายที่มีรายละเอียดสูง

3.3.3 फिल्मถ่ายรูปอิลฟอร์ด HP5 plus (Ilford film HP5 plus) เป็นฟิล์มที่ไวแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible light) ผลิตโดย บริษัทอิลฟอร์ด ประเทศอังกฤษ ใช้สำหรับบันทึกภาพที่ถ่ายโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดเรืองแสง

3.3.4 फिल्मถ่ายรูปขาวดำ ชนิด 35 มิลลิเมตร ความไวแสง 100 ผลิตโดยบริษัท Ektapan ประเทศยูโกสลาเวีย ใช้สำหรับบันทึกภาพรอยอนุภาคบนฟิล์มไนโตรเซลลูลอสที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์

3.3.5 फिल्म CN85 เป็นฟิล์มไนโตรเซลลูลอส ผลิตโดยบริษัท Kodak Pathe ประเทศฝรั่งเศส มีลักษณะเป็นฟิล์มพลาสติกใส ไม่มีสี มีความหนา 0.10 มิลลิเมตร ใช้สำหรับบันทึกภาพจากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรกเอตซ์

3.4 คาสเซตต์ออลูมิเนียม (X-ray cassette) ผลิตโดยบริษัทโกดัก ประเทศอังกฤษ เป็นคาสเซตต์ออลูมิเนียมขนาด 8x10 ตารางนิ้ว ใช้สำหรับบรรจุฟิล์มและฉากเปลี่ยนนิวตรอน รวมทั้งติดตั้งวัตถุตัวอย่างขณะทำการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน



รูปที่ 3.3 คาสเซตต์ออลูมิเนียม

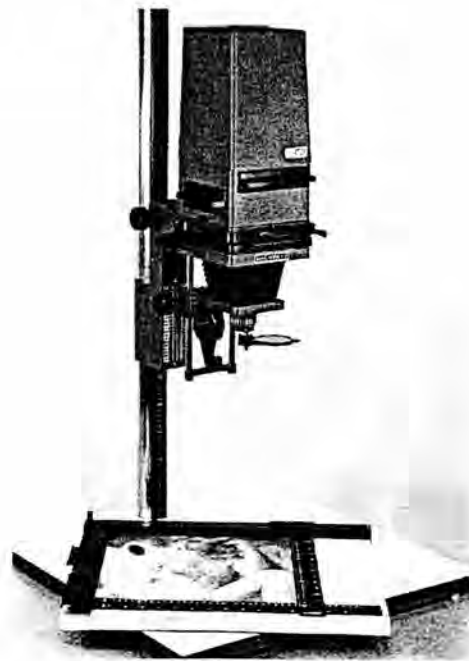
3.5 น้ำยาล้างฟิล์ม

3.5.1 น้ำยาสร้างภาพ (Kodak industrex manual developer and replenisher) ผลิตโดยบริษัทโกดัก ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้สำหรับล้างฟิล์มถ่ายภาพ ล้างฟิล์มรังสีเอกซ์ และล้างกระดาษอัดขยายภาพ

3.5.2 น้ำยาคงสภาพ (Kodak rapid fixer with hardener) ผลิตโดยบริษัทโกดัก ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ในกระบวนการล้างฟิล์มและอัดขยายภาพ

3.5.3 น้ำยาล้างกัดขยายรอย (Etching solution) เตรียมขึ้นโดยละลายสารประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10 % หรือ 2.5 นอร์มอล ใช้สำหรับล้างกัดรอยฟิล์มในไตรเซลลูโลส เพื่อให้ภาพที่ถ่ายไว้ปรากฏออกมา

3.6 อุปกรณ์อัดขยายภาพ รุ่น Magnifax4 ผลิตโดย บริษัท Meopta ประเทศสาธารณรัฐเชค ใช้สำหรับอัดขยายภาพของรอยอนุภาคจากฟิล์มไนโตรเซลลูโลส ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ และภาพถ่ายของวัตถุตัวอย่างที่บันทึกด้วยฟิล์มรังสีเอกซ์และฟิล์มถ่ายภาพ



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์อัดขยายภาพ

3.7 กระดาษอัดรูป ผลิตโดยบริษัทเซเนฟู ประเทศไต้หวัน ใช้สำหรับอัดขยายภาพรอยอนุภาค และภาพวัตถุตัวอย่างจากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

3.8 อุปกรณ์วัดความดำของฟิล์ม (Densitometer) ผลิตโดยบริษัท R.Y.Parry ประเทศอังกฤษ เป็นเครื่องวัดความเข้มฟิล์มแบบส่องผ่าน (Transmission densitometer) มีลำแสงขนาด 2 มิลลิเมตร ใช้สำหรับวัดเพื่อเปรียบเทียบความเข้มของฟิล์มที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์วัดความดำของฟิล์ม

3.9 กล้องจุลทรรศน์ ผลิตโดยบริษัทโอลิมปัส ประเทศญี่ปุ่น มีกำลังขยาย 10x5 เท่าถึง 10x100 เท่า ใช้สำหรับสังเกตและถ่ายภาพรอยอนุภาคบนฟิล์มไนโตรเซลลูโลสที่ผ่านการถ่ายภาพและการล้างอัดรอยแต่ละเงื่อนไข



รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์

3.10 วัตถุตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

3.10.1 วัตถุตัวอย่างมาตรฐานสำหรับทดสอบการถ่ายภาพ

(1) Beam Purity Indicator (BPI) ผลิตโดย American Society for Testing and Materials ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นวัตถุตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เพื่อทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ และอุปกรณ์ในการบันทึกภาพ โดยวิเคราะห์จากความเข้มของฟิล์มจากภาพถ่าย



รูปที่ 3.7 Beam Purity Indicator

(2) Sensitivity Indicator (SI) ผลิตโดย American Society for Testing and Materials ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นวัตถุตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เพื่อทดสอบคุณภาพของระบบการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยสังเกตจากรายละเอียดที่สามารถมองเห็นและความคมชัดของภาพถ่าย



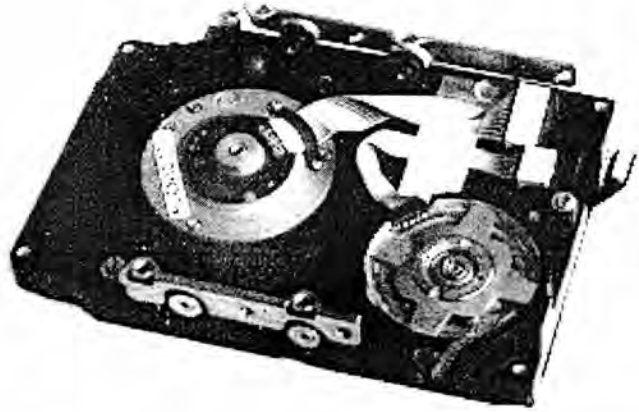
รูปที่ 3.8 Sensitivity Indicator

(3) Test Strip B ผลิตโดย Argonne National Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นวัตถุตัวอย่างที่ใช้สำหรับทดสอบคุณภาพของระบบการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยสังเกตจากรายละเอียดที่สามารถมองเห็นได้จากภาพถ่าย ซึ่งประกอบด้วยวัสดุที่มีความเปรียบต่างสูง ได้แก่ แคดเมียม และวัสดุที่มีความเปรียบต่างต่ำกว่า ได้แก่ พลาสติก



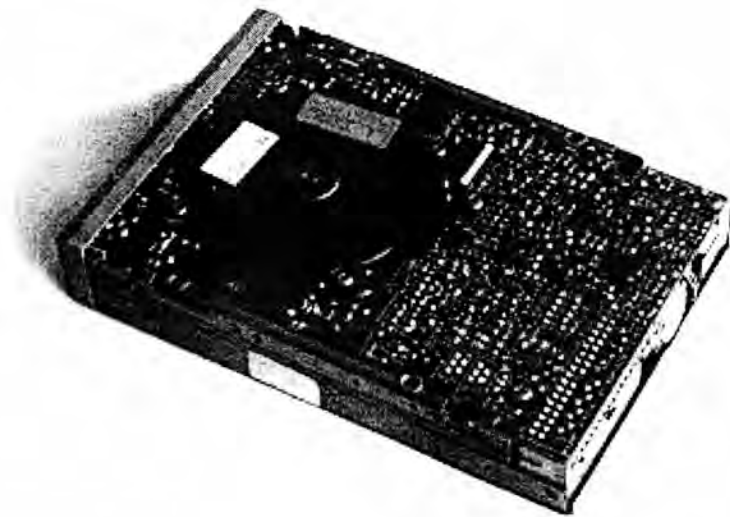
รูปที่ 3.9 Test Strip B

3.10.2 ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) มีความจุของหน่วยความจำขนาด 40 MB



รูปที่ 3.10 ฮาร์ดดิสก์

3.10.3 ฟลอปปีดิสก์ไดรฟ์ (Floppy Disk Drive) ขนาด 3.5 นิ้ว

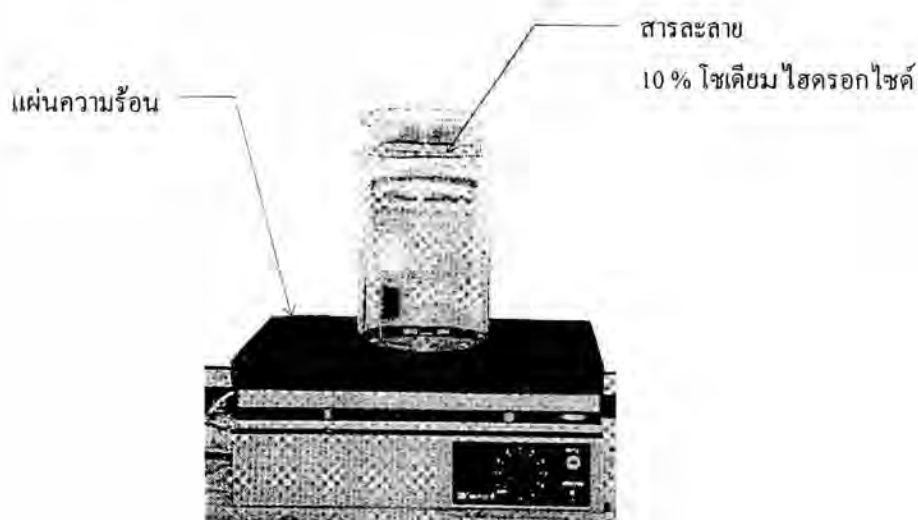


รูปที่ 3.11 ฟลอปปีดิสก์ไดรฟ์

3.11 เทปขาวอลูมิเนียม ขนาดกว้าง 2 นิ้ว เป็นเทปที่มีการดูดกลืนนิวตรอนได้ดี ใช้สำหรับบันทึกวัตถุตัวอย่างให้ติดอยู่บนตลับอลูมิเนียมขณะทำการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ทำให้ไม่เกิดรอยของเทปบนภาพถ่าย

3.12 อุปกรณ์ในการล้างกัทรอยฟิล์มไนโตรเซลลูโลส

- 3.12.1 บีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร จำนวน 1 ใบ และบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร จำนวน 1 ใบ
- 3.12.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.12.3 แผ่นความร้อน (Hot plate)
- 3.12.4 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.12.5 นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ในการล้างกัทรอยฟิล์มไนโตรเซลลูโลส

3.13 อุปกรณ์ปรับเพิ่มความเปรียบต่างของภาพ

3.13.1 ไมโครคอมพิวเตอร์ และสแกนเนอร์ (Computer Scanner ScanJet 4C) ผลิตโดยบริษัท Hewlett Packard ใช้สำหรับบันทึกภาพจากฟิล์มไนโตรเซลลูโลส

3.13.2 แผ่นโครเมียมขัดเงา ขนาด 6x6 ตารางนิ้ว ทำจากแผ่นทองแดงชุบโครเมียม ใช้สำหรับปรับเพิ่มความเปรียบต่างของภาพจากฟิล์มไนโตรเซลลูโลส โดยวางไว้ด้านบนของฟิล์มขณะทำการสแกนภาพ

3.13.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับอ่านภาพ บันทึกภาพ และปรับความเปรียบต่างของภาพ

3.14 แผ่นทองแดง สำหรับวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณนิวตรอน มีขนาด 4 x 5.5 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 0.1 เซนติเมตร ใช้สำหรับวิเคราะห์ฟลักซ์เปรียบเทียบของนิวตรอน



รูปที่ 3.13 แผ่นทองแดง

3.15 หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำ ชนิด GMX พร้อมระบบวัดและวิเคราะห์รังสีแกมมา ใช้สำหรับวัดและวิเคราะห์รังสีแกมมาจากแผ่นทองแดง ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบฟลักซ์ของนิวตรอนในการถ่ายภาพแต่ละครั้ง



รูปที่ 3.14 ระบบวัดรังสีแกมมา