บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ต้นกำเนิดนิวตรอน

(1) พลูโทเนียม – 238 / เบริลเลียม ความแรง 5 คูรี รูปทรงกระบอกขนาด 1.5x2.0 นิ้ว จุ่มอยู่ในถังโพลีเอทีลีนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร บรรจุน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นสารหน่วงนิวตรอนและกำบังรังสี พลูโทเนียม-238 มีค่าครึ่งชีวิต 86.40 ปี สลายตัวตามธรรมชาติให้รังสีอัลฟาพลังงาน 5.50 MeV 72% และ 5.46 MeV 28% และรังสีอัลฟาจะทำปฏิกิริยากับธาตุเบริลเลียม ให้ความเข้มนิวตรอนออกมาจำนวน 2.2 x 10^6 นิวตรอนต่อวินาทีต่อคูรี จากปฏิกิริยา (α, n) ดังนี้

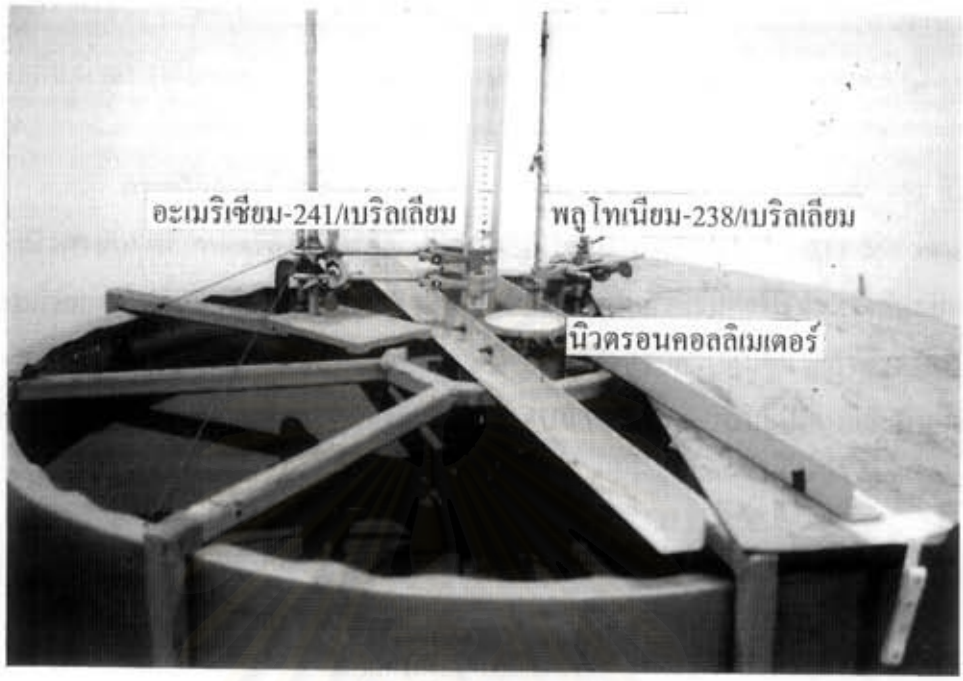
$$^{238}Pu \rightarrow \alpha + {}^{234}U$$

$$^{9}Be + \alpha \rightarrow {}^{1}n + {}^{12}C$$

(2) อะเมริเซียม – 241 / เบริลเลียม ความแรงประมาณ 1 คูรี รูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดทรงกระบอกประมาณ 4 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร บรรจุอยู่ในท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ซึ่งจุ่มอยู่ในน้ำใกล้กับต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโทเนียม–238/เบริลเลียม ต้นกำเนิดอะเมริเซียม–241/เบริลเลียมเป็นต้นกำเนิดนิวตรอนประเภท (α,n) เช่นเดียวกับพลูโทเนียม-238/เบริลเลียม มีค่าครึ่งชีวิต 458 ปี ให้ความเข้มนิวตรอน 2.2x10^6 นิวตรอนต่อวินาทีต่อคูรี จากปฏิกิริยา (α, n) ดังนี้

$$^{241}Am \rightarrow \alpha + {}^{237}Np$$

$$^{9}Be + \alpha \rightarrow {}^{1}n + {}^{12}C$$



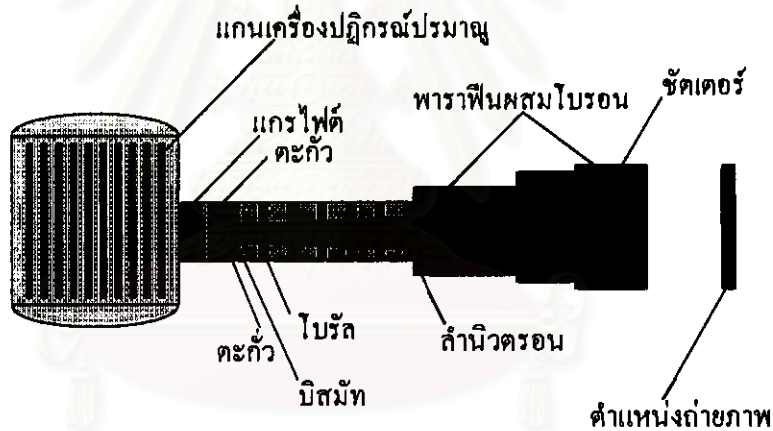
รูปที่ 3.1 ต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโทเนียม-238/เบริลเลียมและอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม ที่อยู่ในถังไพลีเอทีลีนบรรจุน้ำ

(3) เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย - 1 / ปรับปรุงครั้งที่ 1 (Thai Research Reactor-1 / modification 1) หรือ TRR-1/M1 ติดตั้งอยู่ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยขนาดกำลังสม่ำเสมอ (Steady state) 2 เมกกะวัตต์ความร้อน สามารถทำงานแบบทวีกำลัง (Pulsing) ได้ถึงประมาณ 2,000 เมกกะวัตต์ ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 10 มิลลิวินาที

บ่อเครื่องปฏิกรณ์มีความจุทั้งสิ้นประมาณ 64,800 แกลลอน ผนังบ่อเป็นคอนกรีตชนิดความหนาแน่นสูง แกนเครื่องปฏิกรณ์ภายในบ่อมีลักษณะการจัดเชื้อเพลิงเป็นรูปหกเหลี่ยม บรรจุอยู่ในถังอะลูมิเนียมทรงกระบอก ภายในบรรจุแท่งเชื้อเพลิง (Fuel elements) และแท่งควบคุม (Control rod) แท่งเชื้อเพลิงเป็นยูเรเนียม-เซอร์โคเนียมไฮไดรด์ (Uranium-Zirconium hydride, U-ZrH) รูปทรงกระบอก ส่วนแท่งควบคุมมีลักษณะคล้ายกับแท่งเชื้อเพลิง แต่มีส่วนบนเป็นโบรอนคาร์ไบด์ แท่งควบคุมชนิดนี้มี 4 แท่ง และมีแท่งควบคุมทรานส์เซียนต์ (Transient) ซึ่งไม่มีเนื้อเชื้อ

เพลิงอีก 1 แท่ง เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นยูเรเนียม-เซอร์โคเนียมไฮไดรด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารหน่วงนิวตรอนด้วย บางครั้งจึงเรียกเชื้อเพลิงชนิดนี้ว่า fuel moderator element สารหน่วงนิวตรอนรอบนอกคือ น้ำบริสุทธิ์ ต้นกำเนิดนิวตรอนคือ อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม ความแรง 3 คูรี

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนใช้กำลังในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู 700 กิโลวัตต์ ท่อนำลำนิวตรอนจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมายังตำแหน่งถ่ายภาพมีความยาว 265 เซนติเมตร ประกอบด้วยกราไฟต์สำหรับปลดพลังงานของนิวตรอน บิสมัทสำหรับลดปริมาณรังสีแกมมา และโบรัล (Boral) ซึ่งเป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียมกับโบรอนสำหรับควบคุมขนาดลำนิวตรอน ปลายด้านนอกมีชัตเตอร์สำหรับเปิดและปิดท่อลำนิวตรอนมีลำนิวตรอนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20x17 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 3.2 แผนภาพนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ ปรับปรุงครั้งที่ 1

3.1.2 ระบบวัดนิวตรอนช้า

ระบบวัดนิวตรอนช้าที่ใช้ในการวัดรีเลทีฟฟลักซ์และหาอัตราส่วนแคดเมียม ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

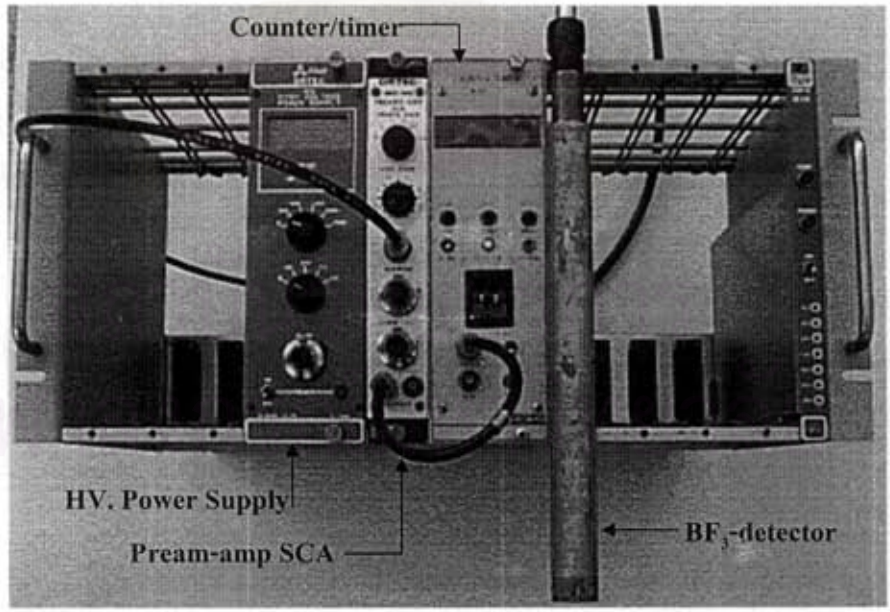
(1) แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High voltage power supply) ของ ORTEC รุ่น 556

(2) หัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3 - detector) เป็นหัววัดนิวตรอน สำหรับวัดเทอร์มัลนิวตรอน โดยอาศัยปฏิกิริยา ${}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}\alpha$ เมื่อเทอร์มัลนิวตรอนผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับหัววัดที่มีสารประกอบโบรอน จะเกิดอนุภาคอัลฟา อนุภาคอัลฟาที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดการไอออไนเซชันภายในหัววัด ทำให้สามารถวัดจำนวนนิวตรอนได้ หัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์ที่ใช้ในงานวิจัย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 10.4 นิ้ว

(3) ภาคขยายส่วนหน้า-ภาคขยายหลัก และเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Preamp-Amp SCA) ของ ORTEC รุ่น 4890

(4) ภาคนับวัดและตั้งเวลา (Counter/timer) ของ CANBERRA รุ่น 1772

สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์ จะถูกส่งต่อไปยังภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่เกิดขึ้นจากหัววัด แล้วถูกขยายต่อด้วยภาคขยายหลัก (Amplifier) จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA) แล้วเข้าสู่เครื่องนับวัดโดยมีวงจรตั้งเวลาเป็นตัวกำหนดเวลาในการนับวัด



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของระบบวัดนิวตรอนช้า

3.1.3 ฉากเปลี่ยนนิวตรอน

ฉากเปลี่ยนนิวตรอน NE-426 เป็นฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดเรืองแสง ผลิตโดยบริษัท NE technology ประเทศอังกฤษ มีส่วนผสมเป็นลิเทียมฟลูออไรด์และสังกะสีซัลไฟด์ (LiF-ZnS) เมื่อดูดกลืนนิวตรอนแล้วจะปลดปล่อยแสงออกมาใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง และใช้ได้กับฟิล์มบันทึกภาพทั้งฟิล์มถ่ายรูปและฟิล์มรังสีเอกซ์ เป็นฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่มีประสิทธิภาพสูง การถ่ายภาพใช้เวลาสั้นกว่าการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดอื่น จึงเหมาะสำหรับการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนความเข้มต่ำ

3.1.4 ฟิล์มบันทึกภาพ

ฟิล์มที่ใช้บันทึกภาพในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ได้แก่

(1) ฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส (Ilford HP5 plus) ผลิตโดยบริษัทอิลฟอร์ด ประเทศอังกฤษ เป็นฟิล์มขาวดำชนิดแพนโครมาติก (Pancromatic film) ขนาดความกว้าง 10.2 เซนติเมตร ยาว 12.7 เซนติเมตร เป็นฟิล์มที่ไวต่อแสงทุกสี (Colour sensitivity) ในสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นแสงไม่เกิน 670 นาโนเมตร ความไวแสง (Speed) โดยปกติของฟิล์มชนิดนี้คือ ISO 400/27° แต่สามารถทำให้มีความไวอยู่ในช่วง EI 200/24° ถึง EI 3200/36° โดยกระบวนการล้างฟิล์ม ฟิล์มชนิดนี้เป็นฟิล์มชนิดเคลือบอิมัลชันด้านเดียว (Single coat) โดยชั้นอิมัลชันเป็นสารไวแสงผลึกเงินโบรไมด์ (Silver bromide) เม็ดละเอียดเคลือบอยู่บนฐานรองรับโพลีเอสเตอร์ (Polyester) หนา 0.18 มิลลิเมตร (7/1000 นิ้ว)

(2) ฟิล์มฟูจิ นีโอแพน 1600 โพรเฟสชันนัล (NEOPAN 1600 Professional) ผลิตโดยบริษัทฟูจิ ไฟโต้ฟิล์ม (Fuji Photo Film) ประเทศญี่ปุ่น เป็นฟิล์มขาวดำที่ใช้กับกล้องถ่ายรูปโดยทั่วไป ขนาด 24 x 36 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 36 รูปต่อ 1 ม้วน มีความไวแสงสูง EI 1600/33° และสามารถทำให้มีความไวแสงอยู่ในช่วง EI 400 ถึง EI 3200 ได้ โดยกระบวนการล้างฟิล์ม

(3) ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000บี (FP-3000B super speed) ผลิตโดยบริษัทฟูจิไฟโต้ฟิล์ม ประเทศญี่ปุ่น เป็นฟิล์มขาวดำชนิดแพนโครมาติก แบบล้างได้ทันทีขนาด 8.5x10.8 เซนติเมตร ฟิล์มชนิดนี้มีความไว EI 3200/36° มีความไวในกระบวนการสร้างภาพเพียง 15 วินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นิยมเรียกฟิล์มชนิดนี้ว่า ฟิล์มโพลารอยด์ (Polaroid)

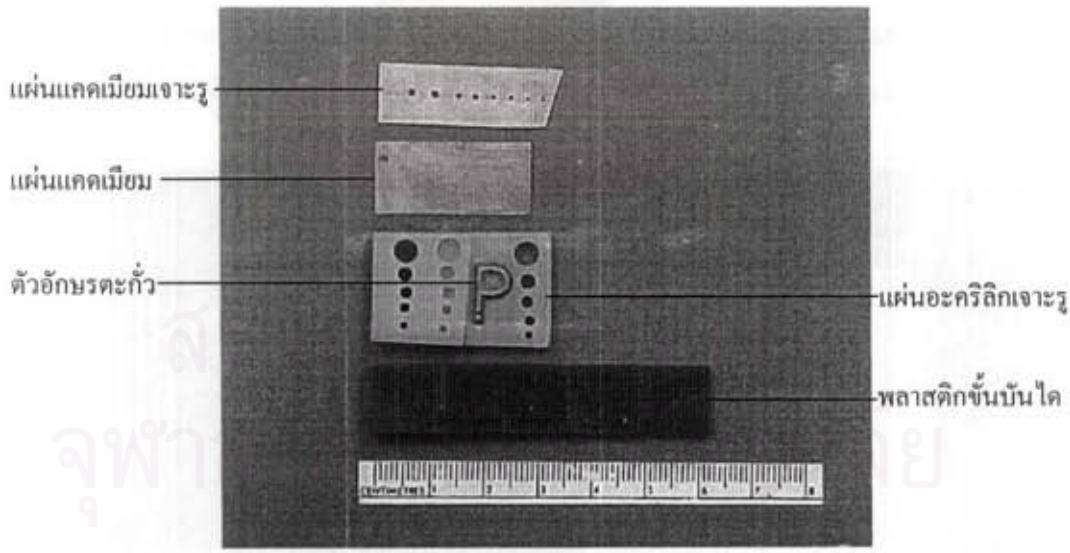
3.1.5 วัตถุตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

(1) แผ่นแคดเมียม ขนาดความกว้าง 13.5 มิลลิเมตร ความยาว 28.8 มิลลิเมตร ความหนา 0.7 มิลลิเมตร

(2) แผ่นแคดเมียมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สูง 11.2 มิลลิเมตร ด้านคู่ขนานยาว 34.2 และ 31.1 มิลลิเมตร หนา 0.7 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5, 1.0, 1.2 และ 1.5 มิลลิเมตร ขนาดละ 2 รู

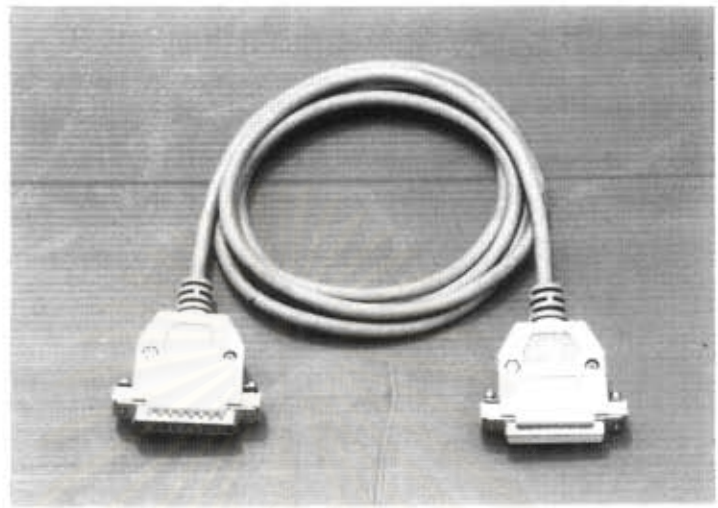
(3) พลาสติกขั้นบันได 5 ขั้น ทำจากแผ่นอะครีลิก (Acrylic sheet) หนา 1.05 มิลลิเมตร แต่ละขั้นมีขนาด 12x12 ตารางมิลลิเมตร ขั้นแรกหนา 1.05 มิลลิเมตร และหนาเพิ่มขึ้นอีก 1.05 มิลลิเมตร ในแต่ละขั้น

(4) พลาสติกที่มีความหนา 2 ชั้น ชั้นแรกหนา 2.55 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4, 2.0, 2.45, 2.8 และ 4.65 มิลลิเมตร และติดตัวอักษรตะกั่วรูปอักษร P ชั้นที่ 2 หนา 5.1 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4, 2.0, 2.45, 2.8 และ 4.65 มิลลิเมตร ขนาดละ 2 รู โดยเจาะทะลุตลอดความหนา 5.1 มิลลิเมตร ขนาดละ 1 รู และเจาะลึกลงไปเพียง 2.05 มิลลิเมตร ขนาดละ 1 รู



รูปที่ 3.4 วัตถุตัวอย่างสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

(5) คอนเนคเตอร์ (Connector) RS-232



รูปที่ 3.5 คอนเนคเตอร์ RS-232

3.1.6 ตลับใส่ฟิล์ม (Film cassette)

ตลับใส่ฟิล์ม เป็นอุปกรณ์สำหรับบรรจุฟิล์มบันทึกภาพ และฉากเปลี่ยนนิวตรอน รวมทั้งติดตั้งวัตถุตัวอย่างในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ตลับใส่ฟิล์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประดิษฐ์ขึ้นเองจากแผ่นโลหะอะลูมิเนียม เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดของฉากเปลี่ยนนิวตรอน โดยมีความกว้าง 33 เซนติเมตร ความยาว 33 เซนติเมตร และความหนา 0.8 เซนติเมตร

รูปที่ 3.6 ตลับใส่ฟิล์ม

3.1.7 น้ำยาล้างฟิล์ม

ก. ชุดน้ำยาล้างฟิล์มสำหรับฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส ได้แก่

(1) น้ำยาสร้างภาพ (Developer solution) ใช้ไมโครเฟน (Microphen) ของบริษัทอิลฟอร์ด ประเทศอังกฤษ เป็นน้ำยาสร้างภาพสำหรับฟิล์มชนิดละเอียด (Fine grain film) สามารถเพิ่มความไวแสงให้แก่ฟิล์ม อิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส ได้ตั้งแต่ EI 200/20° ถึง EI 3200/36° โดยขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำยา อุณหภูมิ และเวลาในการล้างฟิล์ม

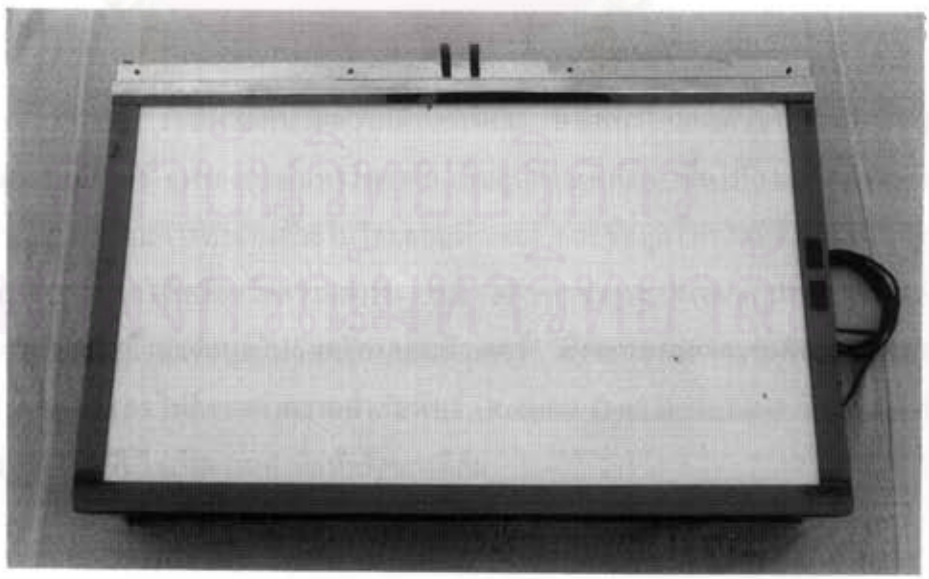
(2) น้ำยาคงสภาพ (Fixer solution) ใช้อิลโฟฟิกซ์ (Ilfofix) ของบริษัทอิลฟอร์ด ประเทศอังกฤษ เป็นน้ำยาคงสภาพสำหรับฟิล์ม และกระดาษขาวดำ อยู่ในรูปผงสีขาว เวลาใช้งานต้องนำมาละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 1 ลิตรต่ออิลโฟฟิกซ์ 1 กล่อง

ข. ชุดน้ำยาล้างฟิล์มสำหรับฟิล์มฟูจินีโอแพน 1600 โพรเฟสชันนัล

(1) น้ำยาสร้างภาพ ใช้โกดัก ดีเวลลอปเปอร์ ดี-76 (Kodak developer D-76) ของบริษัทอีสท์แมนโกดัก (Eastman kodak) ประเทศสหรัฐอเมริกา ขนาดบรรจุ 99 กรัม สำหรับละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 946 มิลลิลิตร

(2) น้ำยาคงสภาพ ใช้ฟูจิฟิกซ์ (Fujifix) ของบริษัทฟูจิโฟโต้ฟิล์ม ประเทศญี่ปุ่น

3.1.8 ตู้ไฟดูฟิล์ม (Viewing box) เป็นตู้แสงสว่างสำหรับส่องดูฟิล์ม เพื่อตรวจสอบภาพถ่าย และใช้สำหรับวางฟิล์มในการวัดค่าความดำโดยใช้เครื่องเดนซิโตมิเตอร์



รูปที่ 3.7 ตู้ไฟดูฟิล์ม

3.1.9 อุปกรณ์วัดคุณภาพของภาพถ่าย

(1) อุปกรณ์วัดความดำของฟิล์ม (Densitometer) รุ่น PDA-81 ของโคนิก้า (Konica) ผลิตโดยบริษัทโคนิก้า ประเทศญี่ปุ่น เป็นเครื่องวัดความเข้มฟิล์มแบบส่องผ่าน (Transmission densitometer) ชนิดมือถือ (Handy portable type) สำหรับฟิล์มขาวดำ เส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่ในการวัด 3 มิลลิเมตร ช่วงค่าความเข้ม 0.0 - 4.0 D ความแม่นยำในการวัด ± 0.05 D

รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความดำของฟิล์ม

(2) ระบบสแกนวัดความดำของฟิล์ม ที่พัฒนาโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นให้สามารถอ่านค่าความดำโดยอัตโนมัติ ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และข้อมูลโพรไฟล์ที่อ่านได้จะถูกบันทึกไว้บนฮาร์ดดิสก์ โดยใช้เครื่องวัดความดำรุ่น PDA - 81 ของซากุระ (Sakura) ประเทศญี่ปุ่น สำหรับอ่านค่าความดำ แล้วส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงค่าความดำของฟิล์มในแนวที่สแกน ในรูปของโพรไฟล์ของค่าความดำสัมพัทธ์ (Relative Optical Density) ซึ่งเป็นค่าที่สัมพันธ์กับค่าความดำ แต่ไม่ใช่ค่าความดำที่แท้จริงของฟิล์ม

รูปที่ 3.9 ระบบสแกนวัดความดำของฟิล์ม

3.1.10 อุปกรณ์ในการวัดนิวตรอนฟลักซ์

(1) หัววัดรังสีแกมมาแบบโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [NaI(Tl)] ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว

(2) ฐานหลอดที่มีภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier tube base) ของ BICRON รุ่น 590 A

(3) เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer) รุ่น 35 plus ของ CANBERRA

(4) ไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal microcomputer) สำหรับบันทึกข้อมูลจากเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง

(5) แผ่นอินเดียมฟอยล์ ขนาด 1 × 1 ตารางเซนติเมตร

(6) ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานโคบอลต์-60 (Co-60) และซีเซียม-137 (Cs-137) สำหรับปรับเทียบพลังงาน

(7) ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานโซเดียม-22 (Na-22) มีความแรงรังสี 1.055 ไมโครคูรี (μCi) สำหรับหาประสิทธิภาพของหัววัด

3.1.11 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างนิวตรอนคอลลิเมเตอร์

(1) โพลีเอทีลีน

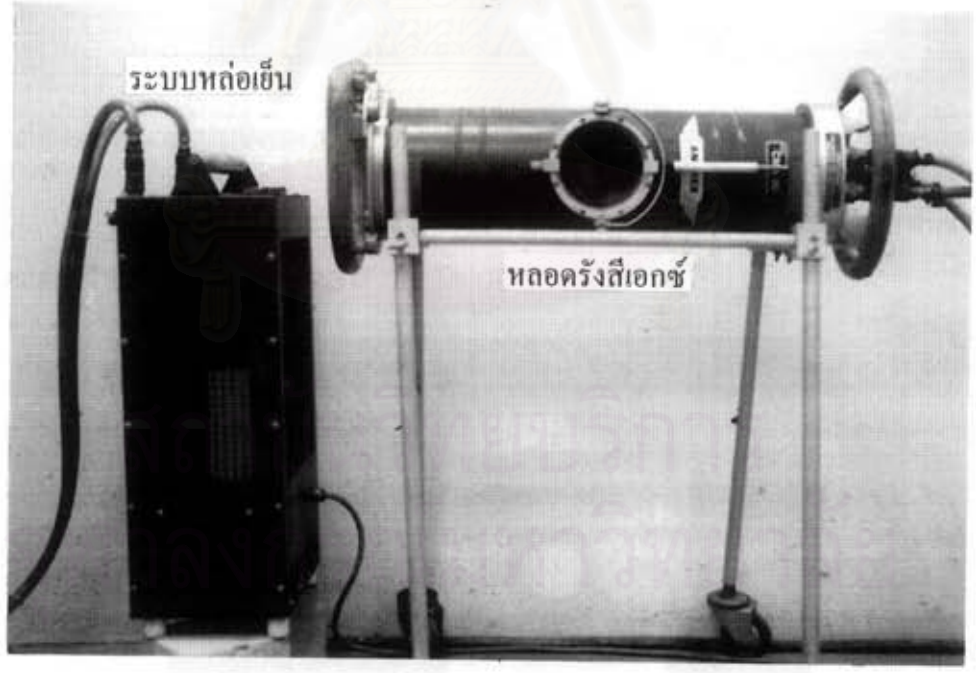
(2) กรดบอริก (Boric acid) ชนิดผงใช้เป็นสารดูดจับนิวตรอน เพื่อไม่ให้นิวตรอนเข้าสู่คอลลิเมเตอร์ทางผนังด้านข้าง

(3) ท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สำหรับเป็นเบ้าหล่อนิวตรอนคอลลิเมเตอร์

(4) กระดาษแข็งรูปกรวยใช้สำหรับเป็นแกนด้านใน ในการหล่อนิวตรอนคอลลิเมเตอร์โดยมีขนาดช่องเปิดด้านล่าง 2 และ 3 เซนติเมตร ขนาดช่องเปิดด้านบน 9 เซนติเมตร ด้านนอกหุ้มด้วยกระดาษไขเพื่อให้ง่ายต่อการแกะออก

3.1.12 อุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคพรี-เอกซ์โพเชอร์

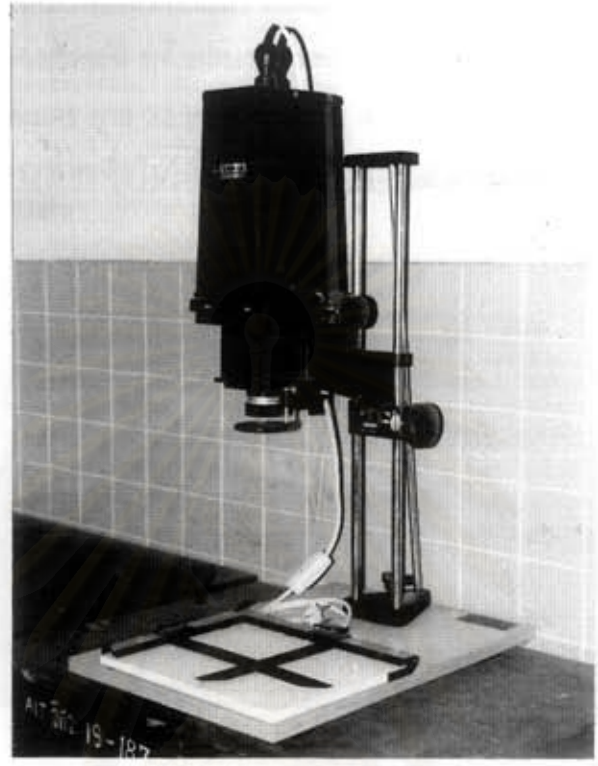
(1) เครื่องเอกซเรย์ ของ ANDREX รุ่น CMA 20 มี แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 200 kVp และ มีกระแสไฟฟ้าสูงสุด 8 มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 3.10 เครื่องเอกซเรย์ ของ ANDREX รุ่น CMA 20

(2) เครื่องปรับความเข้มแสง (Dimmer) ของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) เครื่องอัด-ขยายภาพ ของ Warszawa รุ่น Krokus color 67 ประเทศโปแลนด์



รูปที่ 3.11 เครื่องอัด-ขยายภาพ

(4) เครื่องตั้งเวลา (Timer) ของ VIPO COMBI รุ่น B6 ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเชคและสโลวัก (Czechoslovakia)

รูปที่ 3.12 เครื่องตั้งเวลา

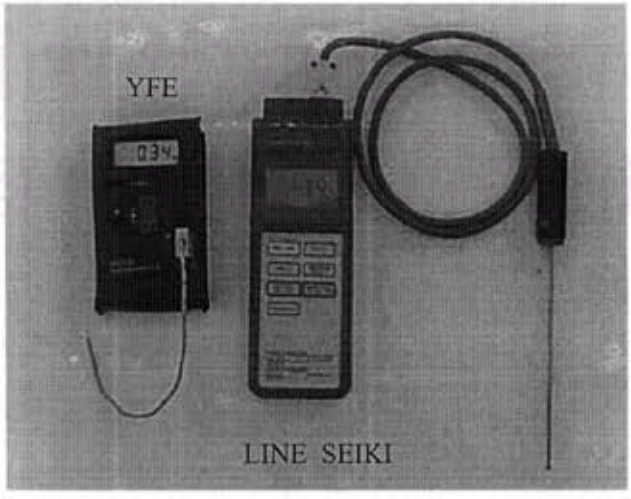
3.1.13 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคหล่อเย็นฟิล์มและฉาก

(1) ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) 20 กิโลกรัม

(2) กล่องสังกะสี บุด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 1 เซนติเมตร เป็นกล่องสังกะสีที่มีขนาดกว้าง 25.5 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร โดยมีท่อสำหรับใส่ไนโตรเจนเหลว และมีท่อสำหรับระบายเพื่อไม่ให้ในกล่องมีแรงดันสูงเกินไปและให้ไนโตรเจนเหลวไหลเข้ากล่องได้

รูปที่ 3.13 กล่องสังกะสีบุด้วยฉนวนกันความร้อน

(3) ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (Digital thermometer) สำหรับวัดอุณหภูมิ ของ LINE SEIKI รุ่น TC-1100 ประเทศญี่ปุ่น และของ YFE รุ่น YF-1062 ประเทศไต้หวัน



รูปที่ 3.14 ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์

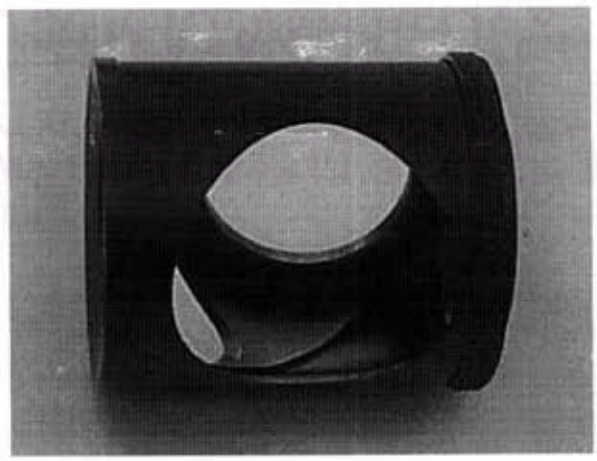
3.1.14 อุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป

(1) กล้องถ่ายรูปมินอลต้า (Minolta) รุ่น X-300 พร้อมเลนส์มินอลต้ารุ่น MD 50 มิลลิเมตร 1:2 ของบริษัท Minolta Camera ประเทศญี่ปุ่น

(2) โคลสอัพฟิลเตอร์ (Close-up filter) +1, +2 และ +4 ใช้สำหรับเพิ่มกำลังขยายของภาพ

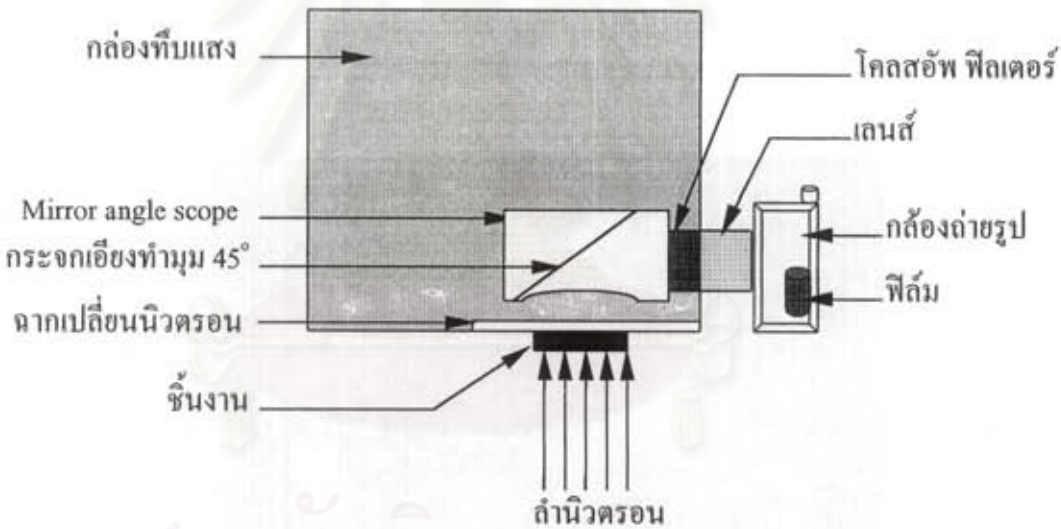
รูปที่ 3.15 โคลสอัพฟิลเตอร์

(3) Mirror angle scope เป็นอุปกรณ์สำหรับต่อกับเลนส์ เพื่อช่วยในการสะท้อนภาพ มีลักษณะรูปทรงกระบอก ปลายกระบอกด้านหนึ่งเป็นเกลียวสำหรับต่อกับเลนส์ ปลายกระบอกอีกด้านหนึ่งปิด ด้านล่างมีช่องเปิดสำหรับรับแสง ภายในมีกระจกเอียงทำมุม 45 องศา เพื่อสะท้อนภาพจากช่องเปิดด้านล่างไปยังฟิล์มในกล้องถ่ายรูป

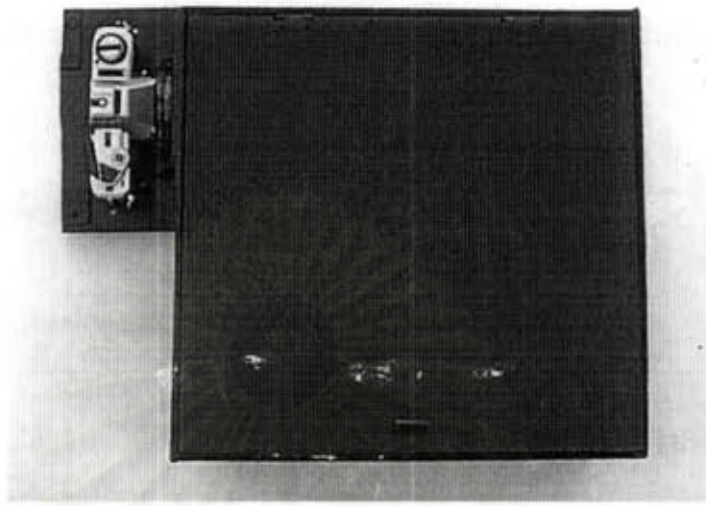


รูปที่ 3.16 Mirror angle scope

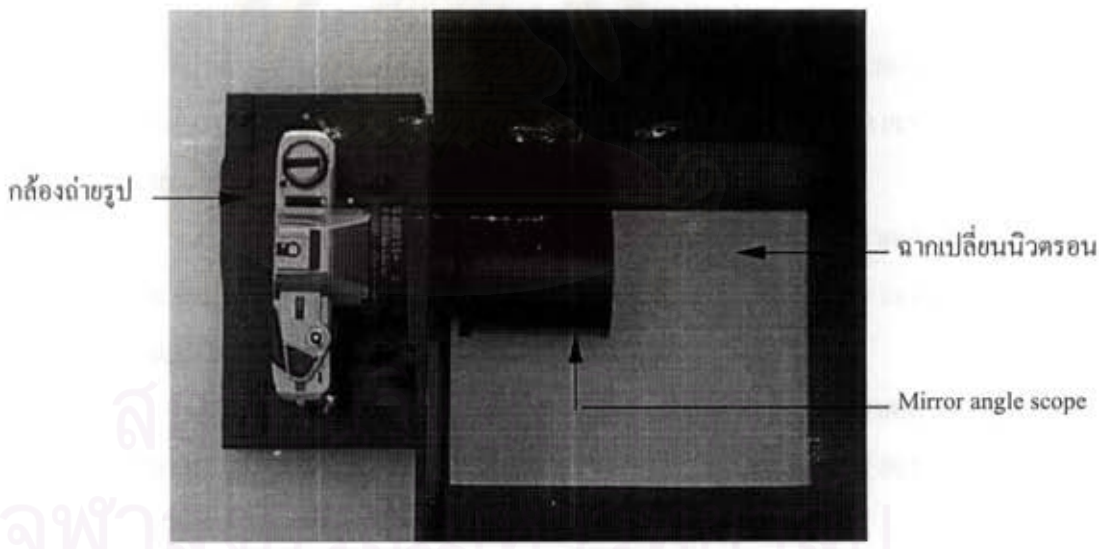
(4) กล่องทึบแสง (Dark box) ขนาดกว้าง 32 เซนติเมตร ยาว 33 เซนติเมตร และสูง 23 เซนติเมตร ทำจากแผ่นไม้อัดหนา 0.5 เซนติเมตร และเชื่อมรอยต่อเพื่อป้องกันแสงด้วยซิลิโคน ภายในพ่นสีดำด้าน(Flat black) เพื่อป้องกันการสะท้อนแสง ด้านล่างเจาะช่องวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 21.5 เซนติเมตร เพื่อให้ลำนิวตรอนผ่าน และปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมบางเพื่อป้องกันแสงผ่านเข้ามาในกล่องและเป็นที่สำหรับติดวัตถุตัวอย่าง เนื่องจากแผ่นอะลูมิเนียมดูดกลืนนิวตรอนน้อยและมีความหนาน้อยกว่าแผ่นไม้อัด ทำให้วัตถุตัวอย่างอยู่ใกล้กับฉากเปลี่ยนนิวตรอนมากขึ้น ด้านข้างกล่องเจาะช่องวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.7 เซนติเมตร สำหรับสอด mirror angle scope เข้าไปภายในกล่อง โดยติดตั้งให้กล้องถ่ายรูปอยู่ด้านข้างกล่อง



รูปที่ 3.17 แผนภาพการจัดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป



ก. กล่องทึบแสงด้านบน



ข. อุปกรณ์ภายในกล่องทึบแสง

รูปที่ 3.18 กล่องทึบแสงเมื่อติดตั้งกล้องถ่ายรูปและอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ

(5) แผ่นตะกั่ว ใช้สำหรับกำบังฟิล์มภายในกล้องถ่ายรูปจากรังสีแกมมาที่ปะปนมากับนิวตรอน และรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีในบริเวณใกล้เคียง

(6) แผ่นแคดเมียม ใช้สำหรับกำบังกล้องถ่ายรูปจากรังสีนิวตรอน

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การออกแบบและสร้างนิวตรอนคอลลิเมเตอร์

ออกแบบให้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์เป็นแบบไดเวอร์เจนต์ รูปทรงกระบอก มีความยาว 30 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดทรงกระบอกเท่ากับ 10 เซนติเมตร จำนวน 4 อัน แต่ละอันมีส่วนของสารดูดกลืนนิวตรอนแตกต่างกันไป การสร้างนิวตรอนคอลลิเมเตอร์กระทำโดยละลายโพลีเอทีลีน และโพลีเอทีลีนผสมกรดบอริกชนิดผงในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 แล้วเทลงในช่องระหว่างท่ออะลูมิเนียมและกรวยกระดาษแข็ง ทิ้งไว้จนสารละลายแข็งตัวจึงแกะออกจากพิมพ์ โดยมีรายละเอียดในการสร้างนิวตรอนคอลลิเมเตอร์แต่ละอันดังนี้

-นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ใช้กรวยกระดาษแข็งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดด้านล่าง (D) 2 เซนติเมตร เทสารละลายโพลีเอทีลีนให้มีความสูง 10 เซนติเมตร และเทสารละลายโพลีเอทีลีนผสมกรดบอริกจนเต็มท่ออะลูมิเนียม

-นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 ใช้กรวยกระดาษแข็งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดด้านล่าง (D) 2 เซนติเมตร เทสารละลายโพลีเอทีลีนให้มีความสูง 5 เซนติเมตร และเทสารละลายโพลีเอทีลีนผสมกรดบอริกจนเต็มท่ออะลูมิเนียม

-นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 ใช้กรวยกระดาษแข็งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดด้านล่าง (D) 3 เซนติเมตร เทสารละลายโพลีเอทีลีนให้มีความสูง 5 เซนติเมตร และเทสารละลายโพลีเอทีลีนผสมกรดบอริกจนเต็มท่ออะลูมิเนียม

-นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 4 ใช้กรวยกระดาษแข็งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดด้านล่าง (D) 2 เซนติเมตร เทสารละลายโพลีเอทีลีนผสมกรดบอริกจนเต็มท่ออะลูมิเนียม

3.2.2 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเปรียบเทียบระหว่างการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นเดียวและการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น

(1) ทดลองถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยนิวตรอนจากต้นกำเนิดพลูโทเนียม-238/เบริลเลียม โดยใช้ฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัสในการบันทึกภาพ และใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน NE-426 จำนวน 1 แผ่น โดยวางฉากเปลี่ยนนิวตรอนไว้ด้านหลังฟิล์ม ถ่ายภาพเป็นเวลา 63 ชั่วโมง

(2) ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเช่นเดียวกับข้อ (1) แต่เปลี่ยนเป็นใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน NE-426 จำนวน 2 แผ่นวางประกบด้านหน้าและด้านหลังฟิล์ม

(3) นำฟิล์มทั้ง 2 แผ่น ไปล้างในห้องมืดโดยไม่เปิดไฟนิรภัย (Safe light) ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ล้างน้ำยาสร้างภาพไมโครเฟน 6 นาที โดยเขย่าทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 15 วินาที เพื่อให้ฟิล์มทำปฏิกิริยากับน้ำยาได้ทั่วถึง ล้างน้ำเพื่อหยุดการสร้างภาพเป็นเวลา 1 นาที และล้างน้ำยาคงสภาพ อิลโฟฟิกซ์ 8 นาที

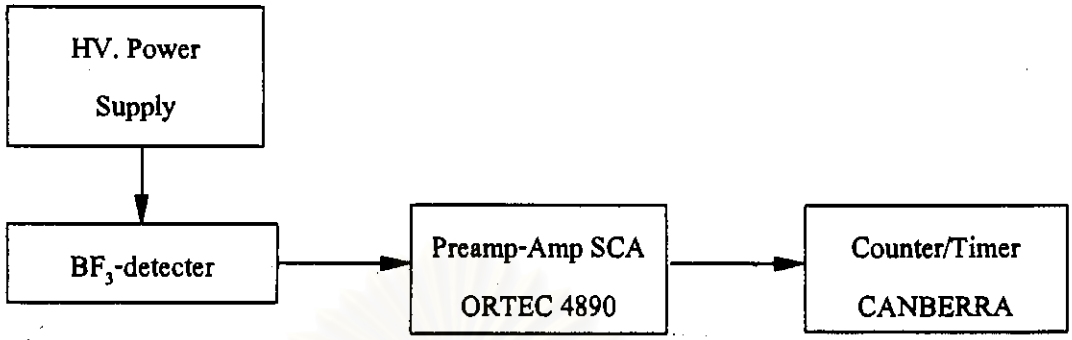
(4) วัดค่าความดำของฟิล์มทั้ง 2 แผ่น โดยเครื่องเดนซิโดมิเตอร์

(5) สแกนค่าความดำสัมพัทธ์ของฟิล์มทั้ง 2 แผ่น เพื่อเปรียบเทียบความเปรียบต่างโดยใช้ระบบสแกนวัดความดำของฟิล์ม และสร้างกราฟระหว่างค่าความดำสัมพัทธ์ของฟิล์มกับตำแหน่งที่สแกน ผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

3.2.3 การวัดรีเลทีฟฟลักซ์ และหาอัตราส่วนแคดเมียม

การเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ทำให้นิวตรอนฟลักซ์และอัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพและคุณภาพของภาพถ่าย จึงจำเป็นต้องหาตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนที่ให้นิวตรอนฟลักซ์และอัตราส่วนแคดเมียมที่เหมาะสม นอกจากนี้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่มีอัตราส่วน L/D ต่างกัน และมีองค์ประกอบต่างกัน ยังให้นิวตรอนฟลักซ์และอัตราส่วนแคดเมียมต่างกันด้วย จึงทำการวัดรีเลทีฟฟลักซ์และหาอัตราส่วนแคดเมียมโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ในการนับวัดแต่ละชุดจะเปลี่ยนระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ในแนวแกน y เป็น 0 (ปลายต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ระดับเดียวกับปลายนิวตรอนคอลลิเมเตอร์) 2, 4, 6, 8 และ10 เซนติเมตร และในแนวแกน x เป็น 2, 4, 6,8 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

(1) จัดระบบวัดนิวตรอนช้า ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แผนภาพแสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนช้า

(2) นับวัดแบคกราวด์ และรีเลทีฟฟลักซ์โดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 (มีส่วนที่ไม่ผสมสารดูดกลืนนิวตรอนยาว 10 เซนติเมตร อัตราส่วน L/D) ใช้เวลานับนิวตรอนนาน 5 นาที ตำแหน่งละ 3 ครั้ง แล้วนำแผ่นแคดเมียมหนา 0.5 มิลลิเมตรมาปิดหัววัด นับนิวตรอนนาน 5 นาที จำนวน 3 ครั้งเช่นเดียวกัน นำจำนวนนับนิวตรอนที่ได้หักลบแบคกราวด์ แล้วนำไปสร้างกราฟระหว่างค่ารีเลทีฟ ฟลักซ์กับตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนดังรูปที่ 4.4 (ก)

(3) คำนวณอัตราส่วนแคดเมียม โดย

$$\text{อัตราส่วนแคดเมียม} = \frac{\text{จำนวนนับนิวตรอนเมื่อไม่มีแคดเมียมปิด}}{\text{จำนวนนับนิวตรอนเมื่อมีแผ่นแคดเมียมหนา 0.5 มิลลิเมตรปิด}}$$

(4) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแคดเมียมที่คำนวณได้กับตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนเมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.5 (ก)

(5) ใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ทำการนับนิวตรอนและสร้างกราฟเช่นเดียวกับการวิจัยเมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 (ข) (ค) และ (ง)

3.2.4 การเลือกตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอน และนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่เหมาะสม

การเลือกตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนและนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่เหมาะสมพิจารณาจากรีเลทีฟฟลักซ์และอัตราส่วนแคดเมียมที่ได้จากการวิจัย 3.2.3 โดยถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนที่ให้รีเลทีฟฟลักซ์สูง และให้อัตราส่วนแคดเมียมสูงที่สุดและต่ำที่สุดเมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์แต่ละอัน ดังนี้

ฟิล์มที่ 1 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ในตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมสูงที่สุด คือ ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 6 เซนติเมตร ซึ่งให้จำนวนนับนิวตรอน 23921 counts / 5 นาที อัตราส่วนแคดเมียมเท่ากับ 13.18 ถ่ายภาพเป็นเวลา 20 ชั่วโมง

ฟิล์มที่ 2 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ในตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมต่ำที่สุด คือ ที่ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 10 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 0 เซนติเมตร (ปลายต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ระดับเดียวกับปลายนิวตรอนคอลลิเมเตอร์) ซึ่งให้จำนวนนับนิวตรอน 24586 counts / 5 นาที อัตราส่วนแคดเมียม 4.13 ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 19 ชั่วโมง 27 นาที

ฟิล์มที่ 3 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 ที่ตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมสูงที่สุด คือ ตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 6 เซนติเมตร ซึ่งให้จำนวนนับนิวตรอน 18965 counts / 5 นาที อัตราส่วนแคดเมียมเท่ากับ 6.12 ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 25 ชั่วโมง 14 นาที

ฟิล์มที่ 4 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 ที่ตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมต่ำที่สุด คือ ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 10 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 0 เซนติเมตร ซึ่งให้จำนวนนับนิวตรอน 18985 counts / 5 นาที อัตราส่วนแคดเมียมเท่ากับ 3.02 ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 25 ชั่วโมง 12 นาที

ฟิล์มที่ 5 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 ที่ตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมสูงที่สุด คือ ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 10 เซนติเมตร ซึ่งให้จำนวนนับนิวตรอน 13814 counts / 5 นาที อัตราส่วนแคดเมียมเท่ากับ 8.78 ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 34 ชั่วโมง 38 นาที

ฟิล์มที่ 6 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 ที่ตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมต่ำที่สุด คือ ตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 10 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 0 เซนติเมตร ซึ่งให้จำนวนนับนิวตรอน 19717 counts / 5 นาที อัตราส่วนแคดเมียม 2.51 ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 24 ชั่วโมง 16 นาที

ฟิล์มที่ 7 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 4 ที่ตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมสูงที่สุด คือ ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 10 เซนติเมตร ซึ่งให้จำนวนนับนิวตรอน 6637 counts / 5 นาที อัตราส่วนแคดเมียมเท่ากับ 3.60 ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 72 ชั่วโมง

หลังจากถ่ายภาพแล้ว นำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม และสแกนอ่านค่าความดำสัมพัทธ์โดยใช้ระบบสแกนวัดความดำของฟิล์ม และสร้างกราฟเช่นเดียวกับการวิจัยข้อ 3.2.2 ผลการวิจัยแสดงในหัวข้อ 4.4

3.2.5 การหาระดับความดำบนฟิล์มที่เหมาะสมเพื่อทำพรี- เอกซ์โพเซอร์ด้วยรังสีเอกซ์หรือแสงจากเครื่องขยายภาพ

ก. การพรี- เอกซ์โพเซอร์ด้วยรังสีเอกซ์

(1) ตัดฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส ให้มีขนาด 1 นิ้ว x 2 นิ้ว เพื่อเป็นการประหยัด แล้ววางฟิล์ม 2 แผ่นลงในตลับใส่ฟิล์มโดยให้ด้านที่เคลือบอิมัลชันอยู่ด้านหน้า นำไปเอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์ 100 kVp 3 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, ..., 60 วินาที ตามลำดับ

(2) นำฟิล์มที่เอกซ์โพสแล้ว มาผ่านกระบวนการล้างฟิล์มที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสโดยล้างน้ำยาสร้างภาพ 6 นาที และน้ำยาคงสภาพ 8 นาทีเช่นเดียวกับการวิจัย 3.2.2

(3) อ่านค่าความดำของฟิล์มเป็นคู่ๆ โดยอ่านฟิล์มแผ่นละ 3 จุด บันทึกค่าความดำ และหาค่าเฉลี่ย

(4) สร้างกราฟระหว่างค่าความดำของฟิล์มกับเวลาในการเอกซ์โพเซอร์ด้วยรังสีเอกซ์ ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9

ข. การพรี- เอกซ์โพเซอร์ด้วยแสงจากเครื่องอัด-ขยายภาพ

(1) ต่อเครื่องปรับความเข้มแสง (Dimmer) และเครื่องตั้งเวลา (Timer) เข้ากับเครื่องอัด-ขยายภาพ

(2) ตัดฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส ให้มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว x 2 นิ้ว เช่นเดียวกับที่ใช้ในการพรี-เอกซ์โพเซอร์ด้วยรังสีเอกซ์ วางฟิล์ม 2 แผ่น บนแท่นของเครื่องอัด-ขยายภาพในบริเวณที่ลำแสงตกกระทบ เปิดแสงเครื่องอัด-ขยายภาพ 0.1, 0.2 , 0.3 , 0.4 , ..., 1.0 และ 1.5 , 2.0 , 2.5, ..., 6.0 วินาที ตามลำดับ

(3) นำฟิล์มทั้งหมดมาผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม อ่านค่าความดำ และหาค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับการพรี- เอกซ์โพเซอร์ด้วยรังสีเอกซ์ ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.4

(4) สร้างกราฟระหว่างค่าความดำของฟิล์มกับเวลาในการเอกซ์โพสด้วยแสงจากเครื่องอัด-ขยายภาพ ดังรูปที่ 4.10

(5) เปรียบเทียบผลระหว่างการพรี-เอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์และการพรี-เอกซ์โพสด้วยแสงจากเครื่องอัด-ขยายภาพ

3.2.6 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคพรี-เอกซ์โพเชอร์

จากกราฟคุณลักษณะเฉพาะ (Characteristic curve) ของฟิล์มรูปที่ 4.10 ช่วง toe คือช่วงค่าความดำ 0.289 ถึง 0.406 ซึ่งใช้เวลาในการเอกซ์โพเชอร์ 0.4 ถึง 1.0 วินาที จึงทำการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคพรี-เอกซ์โพเชอร์ดังนี้

(1) พรี-เอกซ์โพสฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส ด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพเป็นเวลา 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 วินาที ตามลำดับ แล้วนำฟิล์มที่พรี-เอกซ์โพสแล้วแต่ละแผ่นไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน NE-426 เทอร์มัลฟลักซ์ของนิวตรอนที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 1.22×10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เวลาในการถ่ายภาพ 13 ชั่วโมง และล้างฟิล์มตามกระบวนการล้างฟิล์มในการวิจัยข้อ 3.2.2

(2) ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยใช้เวลาในการถ่ายภาพ 13 ชั่วโมง และ 26 ชั่วโมง

(3) สแกนอ่านค่าความดำสัมพัทธ์ของฟิล์ม ด้วยระบบวัดความดำของฟิล์มแบบอัตโนมัติแล้วนำมาสร้างกราฟระหว่างค่าความดำสัมพัทธ์ของฟิล์มกับตำแหน่งที่สแกน ได้ดังรูปที่ 4.12

(4) เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของการพรี-เอกซ์โพเชอร์ และเวลาในการพรี-เอกซ์โพเชอร์ กับภาพถ่ายโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

3.2.7 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก

(1) นำกล่องสังกะสีสำหรับใส่ไนโตรเจนเหลว มาวางประกบกับตลับใส่ฟิล์ม ซึ่งภายในบรรจุฟิล์มและฉากเปลี่ยนนิวตรอนไว้เรียบร้อยแล้ว ยึดกล่องสังกะสีและตลับใส่ฟิล์มให้แน่น ติดวัตถุตัวอย่างลงบนตลับใส่ฟิล์ม

(2) วางชุดตลับใส่ฟิล์มและกล่องสังกะสีบนปลายนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ เทอร์มัลฟลักซ์ของนิวตรอนที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 1.22×10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที สอดปลายเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปบริเวณตลับใส่ฟิล์ม

(3) เติมไนโตรเจนเหลวลงในกล่องจนเต็ม บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 15 นาที ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง -20 ถึง -40 องศาเซลเซียส เติมไนโตรเจนเหลวทุก ๆ 30 นาที ถ่ายภาพเป็นเวลา 13 ชั่วโมง

(4) ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้เทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป นาน 13 ชั่วโมง

(5) นำฟิล์มทั้ง 2 แผ่นไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม และวัดค่าความดำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2 ผลการวิจัยแสดงในหัวข้อ 4.7

3.2.8 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป

ก. ใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน พลูโทเนียม – 238 / เบริลเลียม และ อะเมริเซียม – 241 / เบริลเลียม

(1) ใส่ฟิล์ม ฟูจิ นีโอแพน 1600 โพรเฟสชันนัล ในกล้องถ่ายรูป และต่อ Mirror angle scope และโคลสอัพฟิลเตอร์ทั้งหมดเข้ากับเลนส์ แล้วติดตั้งกล้องถ่ายรูปไว้ด้านข้างกล่องทึบแสง โดยให้ส่วนของ Mirror angle scope อยู่ภายในกล่องทึบแสง

(2) วางฉากเปลี่ยนนิวตรอนในกล่องทึบแสงบริเวณใต้ Mirror angle scope และติดวัตถุตัวอย่าง ใต้กล่องทึบแสงให้ตรงกับตำแหน่งของฉากเปลี่ยนนิวตรอน และ Mirror angle scope พอดี

(3) วางชุดกล่องทึบแสงที่ติดตั้งกล้องถ่ายรูปและอุปกรณ์ต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วบนปลายท่อนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ โดยให้วัตถุตัวอย่าง ฉากเปลี่ยนนิวตรอน และ Mirror angle scope ตรงกับแนวลำรังสี ส่วนกล้องถ่ายรูปจะไม่อยู่ในบริเวณที่ลำรังสีผ่าน

(4) นำแผ่นแคดเมียม และแผ่นตะกั่วมาหุ้มกล้องถ่ายรูป เพื่อกำบังอุปกรณ์ภายในกล้องถ่ายรูปจากนิวตรอน และป้องกันฟิล์มจากรังสีแกมมา

(5) ถ่ายภาพเป็นเวลา 5 วัน แล้วนำฟิล์มไปล้างน้ำยาสร้างภาพโกดัก ดี-76 เป็นเวลา 6 นาที และน้ำยาคงสภาพฟูจิฟิกซ์ 10 นาที และอัดภาพลงกระดาษอัดภาพ

ข. ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน

เตรียมอุปกรณ์เช่นเดียวกับการถ่ายภาพโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน พลูโทเนียม – 238 / เบริลเลียม และ อะเมริเซียม – 241 /เบริลเลียม แต่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน โดยเดินเครื่องที่กำลัง 100 กิโลวัตต์ นิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งถ่ายภาพ 8.81×10^4 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ถ่ายภาพเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที และที่ 700 กิโลวัตต์ นิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งถ่ายภาพ 7.85×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 10, 20 และ 25 นาที ภาพถ่ายที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.15

ค. ถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยเทคนิคกล้องถ่ายรูป

จัดอุปกรณ์เช่นเดียวกับการวิจัยข้างต้น แล้วนำไปเอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์ 100 kVp 3 มิลลิแอมแปร์ 10, 20 และ 30 วินาที ผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.16

3.2.9 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี

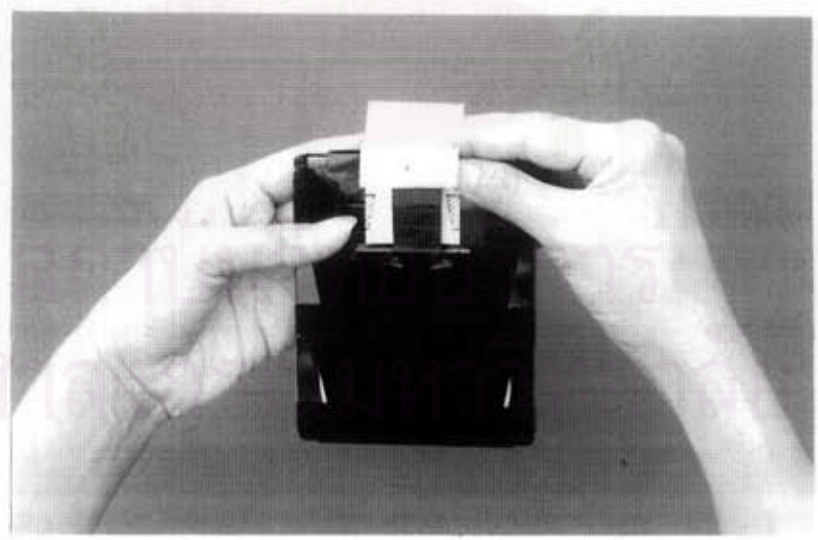
เนื่องจากฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี มีความไวแสงสูงมาก การใส่ฟิล์มและการดีเวล-ลอปฟิล์มจึงต้องใช้ความระมัดระวังสูง และต้องดำเนินการในห้องมืดสนิท โดยไม่เปิดไฟนิรภัย ขั้นตอนการดำเนินการโดยละเอียดมีดังนี้

(1) ถือกล่องฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี โดยให้ด้านที่มีฟองน้ำอยู่ด้านหน้า ค่อยๆ ดึงฟิล์มแผ่นแรกออกจากกล่อง ดังรูปที่ 3.20

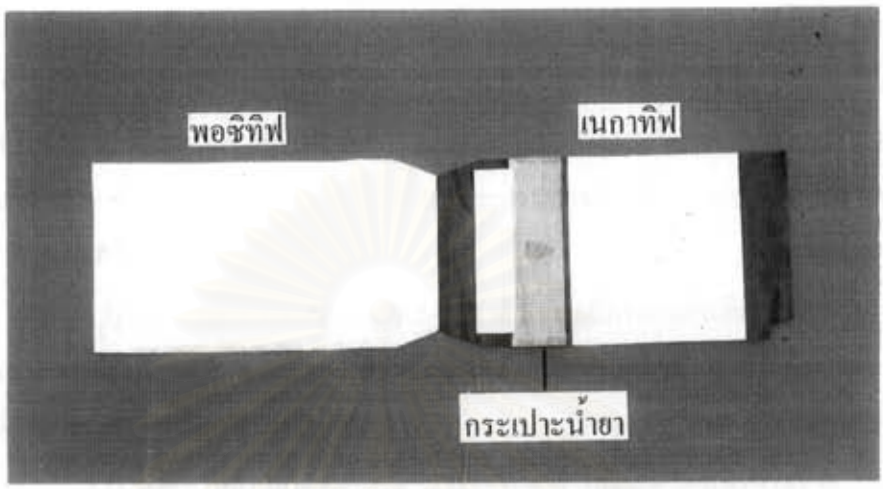
(2) ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี จะมีทั้งด้านพอซิทีฟและเนกาทีฟดังรูปที่ 3.21 กางฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี ออกและวางลงในตลับใส่ฟิล์มโดยให้ด้านเนกาทีฟซึ่งบางและอ่อนกว่าอยู่บริเวณที่ลำรังสีผ่าน ส่วนด้านพอซิทีฟอยู่นอกบริเวณที่ลำรังสีผ่าน

(3) นำตลับใส่ฟิล์มไปวางบนปลายท่อนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ เทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งถ่ายภาพ 1.22×10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ถ่ายภาพนาน 1 ชั่วโมง

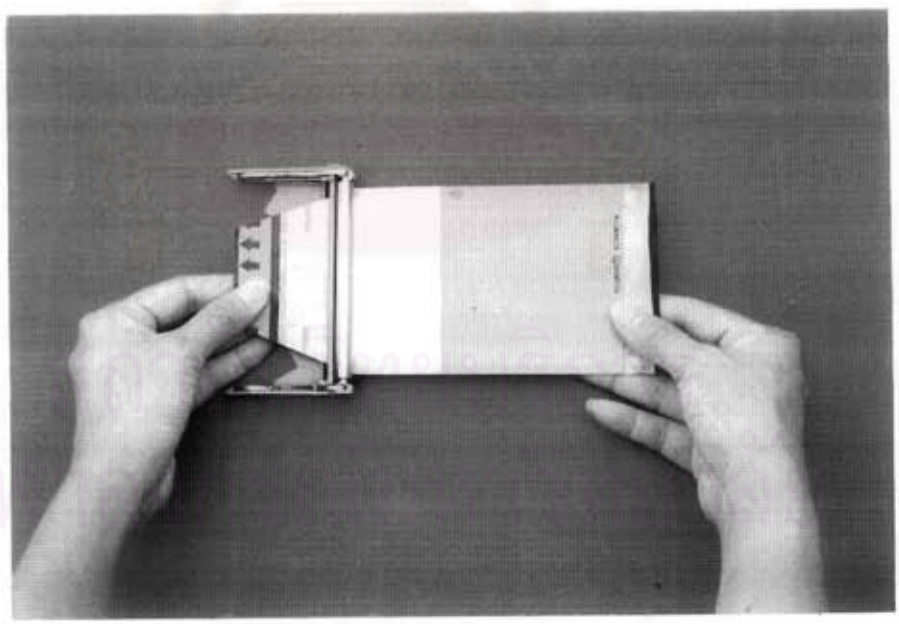
(4) เมื่อครบเวลานำฟิล์มมาดีเวลลอปในห้องมืด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยประกบฟิล์มด้านพอซิทีฟและเนกาทีฟเข้าด้วยกัน สอดปลายด้านบนของฟิล์มซึ่งมีกระเปาะน้ำยาเข้าไปในลูกกลิ้งของแท่นรีดน้ำยาดังรูปที่ 3.22 ดึงฟิล์มผ่านลูกกลิ้งโดยเร็ว ทิ้งไว้ 15 วินาที จึงดึงฟิล์มออกจากกันจะเกิดภาพที่ฟิล์มด้านพอซิทีฟ ผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 3.20 การดึงฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี ออกจากกล่อง



รูปที่ 3.21 ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี



รูปที่ 3.21 การดีเวลลอปฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี

3.2.10 การถ่ายภาพคอนเนคเตอร์ RS-232 ด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น

(1) ถ่ายภาพคอนเนคเตอร์ RS-232 ด้วยเทคนิคพรี-เอกซ์โพเชอร์ โดยพรี-เอกซ์โพสฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส ด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพ 1.0 วินาที แล้วนำไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโทเนียม–238 / เบริลเลียมและอะเมริเซียม-241/ เบริลเลียม เทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 1.22 x 10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ถ่ายภาพนาน 13 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ภาพถ่ายที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.18 (ก)

(2) ถ่ายภาพคอนเนคเตอร์ RS-232 ด้วยเทคนิคหล่อเย็นฟิล์มและฉาก โดยมีเงื่อนไขในการถ่ายภาพเช่นเดียวกับเทคนิคพรี-เอกซ์โพเชอร์ ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ภาพถ่ายที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.18 (ข)

(3) ถ่ายภาพคอนเนคเตอร์ RS-232 โดยใช้ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี ในการบันทึกภาพถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไปดีเวลลอปที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 15 วินาที จึงแยกฟิล์มด้านพอซิทีฟและเนกาทีฟออกจากกัน ภาพถ่ายที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.18 (ค)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย