บทที่ 4

ขั้นตอนและผลการทดลอง

4.1 การคำนวณหาสารที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟา (alpha particle emitter)

การสร้างฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต้องประกอบด้วย (1) สารทำปฏิกิริยากับนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟา (alpha particle emitter) (2) สารที่มีคุณสมบัติเรืองแสงเมื่อถูกกระตุ้น (phosphor) และ (3) สารยึดเหนี่ยว (binder)โดยทั่วไปฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายมักใช้สารเคมีซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟาเป็นสารเคมีที่ประกอบด้วยลิเทียม-6 หรือโบรอน-10 ที่เพิ่มความเข้มข้นแต่ในงานวิจัยนี้ ไม่สามารถนำสารดังกล่าวมาทำการวิจัยได้ เนื่องจากปัญหาเรื่องราคาที่สูงของสารประกอบ ลิเทียม-6 หรือ โบรอน-10 ที่เพิ่มความเข้มข้น จึงต้องเปรียบเทียบปริมาณของ ลิเทียม-6 หรือ โบรอน-10 ในสารประกอบต่างๆ ได้แก่ กรดบอริก(H_3BO_3), ลิเทียมเตตราบอเรต($Li_2B_4O_7$), ลิเทียมคาร์บอเนต ($LiCO_3$), ลิเทียมคลอไรด์ ($LiCl_2$), ลิเทียมไฮดรอกไซด์ ($Li(OH)_2$), ลิเทียมไนเตรต ($LiNO_3$) และลิเทียมเมตาบอเรต ($LiBO_2$)

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณลิเทียม-6 และ โบรอน-10 ในสารประกอบ

สารประกอบ	ปริมาณลิเทียม-6 (%)	ปริมาณโบรอน-10 (%)
H_3BO_3	-	3.43
$Li_2B_4O_7$	0.609	5.01
$LiCO_3$	0.77	-
$LiCl_2$	0.661	-
$Li(OH)_2$	1.26	-
$LiNO_3$	0.74	-
$LiBO_2$	1.035	4.25

จากปริมาณของลิเทียม-6 และโบรอน-10 ในสารประกอบต่างๆ ตามตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ลิเทียมเตตราบอเรต ($Li_2B_4O_7$) มีปริมาณลิเทียม-6 และ โบรอน-10 รวมกันมากที่สุดคือ 5.619 เปอร์เซนต์ แต่เนื่องจากมีราคาแพง จึงเลือกลิเทียมเมตาบอเรต ($LiBO_2$)ซึ่งมีปริมาณลิเทียม -6 และ โบรอน-10 รองลงมาคือ 5.235 เปอร์เซนต์ เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟาแล้วทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของลิเทียมเมตาบอเรต โดยเครื่อง วิเคราะห์อนุภาค centrifugal particle size analyzer SA-CP2 ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การกระจายของขนาดอนุภาคลิเทียมเมตาบอเรตที่ นำมาใช้สร้างฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

diameter(μm)	volume(%)
2	4.4
3	3.9
4	4.8
5	6.2
6	14.3
8	10.8
10	25
20	18.4
30	2.9

4.2 คำนวณโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับสารประกอบลิเทียมเมตาบอเรต (macroscopic cross section of Lithium metaborate for (n, α) reaction)

โดยใช้สมการ $\Sigma_C = (\rho N_A/A)_i \ \sigma_I$

หรือ $\Sigma_C = (\rho N_A/A) \ (\Sigma \ \sigma_i)$

โดย $\Sigma \ \sigma_i = n_1\sigma_1 + n_2\sigma_2 + n_3\sigma_3 + ...$

เมื่อ $n_1, n_2, n_3, ...$ คือ จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุในสารประกอบ

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, ...$ คือ ภาคตัดขวางการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟาของธาตุแต่ละชนิดในสารประกอบ

ดังนั้นภาคตัดขวางการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟาของสารประกอบลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากับ 25.1101 ต่อเซนติเมตร แสดงการคำนวณในภาคผนวก ก

4.3 การคำนวณหาพิสัยของอนุภาคอัลฟาในสารเรืองแสงสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

ภายหลังการคำนวณดังภาคผนวก ข ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พลังงานและพิสัยของอนุภาคอัลฟาจากลิเทียม-6 และโบรอน-10 ในสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

ธาตุ	พลังงานของอนุภาคอัลฟา (MeV)	พิสัยของอนุภาคอัลฟา (cm)
ลิเทียม-6	1.58	8.8075×10^{-4}
โบรอน-10	1.47	2.526×10^{-4}

พิสัยของอนุภาคอัลฟาในสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) มีค่าน้อยมากดังนั้นในการทำฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องให้สารผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันและฉากไม่

ควรหนาจนเกินไปเนื่องจากปฏิกิริยาจะเกิดเฉพาะที่ผิวหน้าของฉาก นอกจากนั้นสารยึดเหนี่ยวที่นำมาใช้ต้องไม่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของอนุภาคอัลฟาในสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

4.4 การทดลองหาสารยึดเหนี่ยว(binder)ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม

สารยึดเหนี่ยว(binder)ทำหน้าที่ยึดอนุภาค ของลิเทียมเมตาบอเรต($LiBO_2$) และสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ให้เกาะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะต้องมีคุณสมบัติไม่บังแสงและไม่ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับลิเทียมเมตาบอเรต รวมทั้งต้องทำให้ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้นมีความแข็งแรง ทนต่อการขูดขีด เพื่อยืดอายุการใช้งานของฉากดังกล่าว ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกสารตัวอย่างเพื่อนำมาใช้เป็นสารยึดเหนี่ยว 9 ชนิดได้แก่ แลคเกอร์(lacqure), กรดอะครีลิก(acrylic acid), กลีเซอรอล(glyceral), พาราฟีน(paraffin), โพลีไวนิลอะซิเทต5%(polyvinyl acetate 5%), โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene), กาวน้ำตราม้า, กาวสารพัดประโยชน์ตราดูโรและกาวสารพัดประโยชน์ตราโอลิมปิค ทำการทดลองโดยมีขั้นตอนดังนี้

4.4.1 ตัดแผ่นอะลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร ขนาด 8 x10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 แผ่นแล้วทำการแบ่ง พื้นที่แต่ละแผ่นออกเป็น 3 ส่วน โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.5 มิลลิเมตรเป็นขอบ

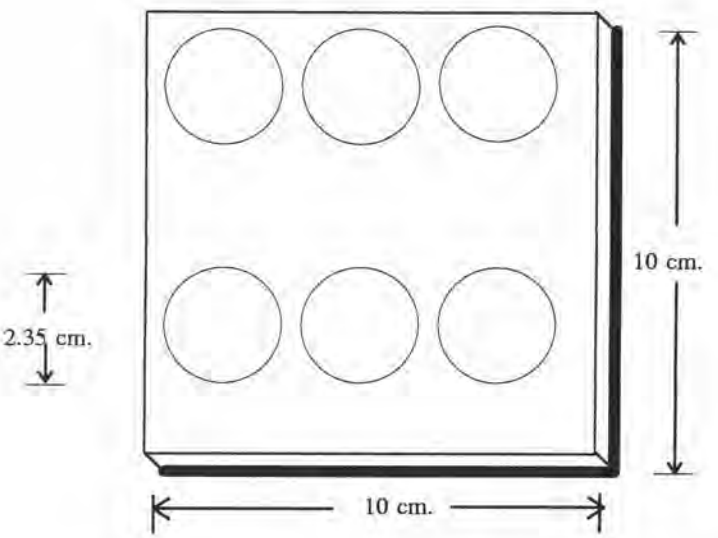
4.4.2 เตรียมสารผสมระหว่างลิเทียมเมตาบอเรต ($LiBO_2$) และสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1.5 ใส่ในขวดทรงกระบอก เรียกว่า แรบบิท (rabbit) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตร สูง 6.5 เซนติเมตร จำนวน 9 ขวด แต่ละขวดบรรจุลูกเหล็กขนาด 1.0 กรัม เขย่าสารผสมทั้งสองให้เข้ากัน

4.4.3 ทำการผสมสารยึดเหนี่ยวแต่ละชนิดกับสารผสมลิเทียมเมตาบอเรต และสังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) ในบีกเกอร์ และนำมาเทบนแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้ โดยกำหนดปริมาณของสารยึดเหนี่ยว ลิเทียมเมตาบอเรต และสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ให้เท่ากัน ปรากฏผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองภายหลังทำการผสมสารยึดเหนี่ยวกับลิเทียมเมตาบอเรตและสังกะสีซัลไฟด์ (เงิน)

สารยึดเหนี่ยว	ผลที่เกิดขึ้นภายหลังทำการผสมกับสารผสมลิเทียมเมตาบอเรตและสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)
แลคเกอร์	ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงของผสมมีลักษณะแข็งเป็นเนื้อเดียวกันแต่ผิวหน้าไม่เรียบ ต้องขัดด้วยกระดาษทรายชนิดละเอียด
กรดอะครีลิก	ทิ้งไว้ 1 อาทิตย์ของผสมยังไม่แห้ง และมีของเหลวใสท่วมอยู่บริเวณผิวหน้า
กลีเซอรอล	ทิ้งไว้ 1 อาทิตย์ ของผสมยังไม่แห้งและมีของเหลวใสท่วมอยู่บริเวณผิวหน้า
พาราฟินออย	ของผสมมีลักษณะร่วน และแห้งช้า
โพลีไวนิลอะซิเทต 5 %	ของผสมมีลักษณะเป็นก้อนนิ่มมีความหยุ่นตัว แต่สารผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ 2 วัน ของผสมจะแข็งมาก
โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	ขณะผสมสารต้องให้ความร้อนประมาณ 135 องศาเซลเซียส ได้สารผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่แข็งตัวเร็วมากเมื่ออุณหภูมิ ลดลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส
กาวน้ำตราม้า	ของผสมมีลักษณะเป็นก้อนนิ่มมีความหยุ่นและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
กาวสารพัดประโยชน์ตราดูโร	ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ของผสมมีลักษณะแข็งสีขาว เป็นเนื้อเดียวกัน แต่บริเวณผิวหน้ายังไม่เรียบ
กาวสารพัดประโยชน์ตราโอลิมปิก	ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ของผสมมีลักษณะแข็งสีเหลืองอ่อน เป็นเนื้อเดียวกันแต่บริเวณ ผิวหน้ายังไม่เรียบ

4.4.4 จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าแลคเกอร์ โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง กาวสารพัดประโยชน์ตราดูโร และ กาวสารพัดประโยชน์ตราโอลิมปิก มีคุณสมบัติเหมาะสม จึงนำมาทดลองซ้ำ เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวสำหรับสร้างฉากสังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมหนา 1.0 มิลลิเมตร ขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร เจาะเป็นช่องกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.35 เซนติเมตร จำนวน 6 ช่อง ทากาวชนิดทนความร้อน วางประกบบนแผ่นอะลูมิเนียมหนา 1.0 มิลลิเมตร ขนาดเท่ากันจำนวน 4 ชุด ดังรูปที่ 4.1 แล้วชั่งสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และ ลิเทียมเมตาบอเรต ในอัตราส่วน $ZnS(Ag) : LiBO_2$ เท่ากับ 5, 4, 2, 1.5, 1.0, 0.5 ใส่ลงในขวดผสมสารจำนวน 6 ขวด เขย่าให้เข้ากัน นำสารผสมจากแต่ละขวดมาผสมกับแลคเกอร์ในปริมาณ 34.2 - 39.7 % โดยน้ำหนัก แล้วนำมาเทบนแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้ชุดละ 1 ช่อง



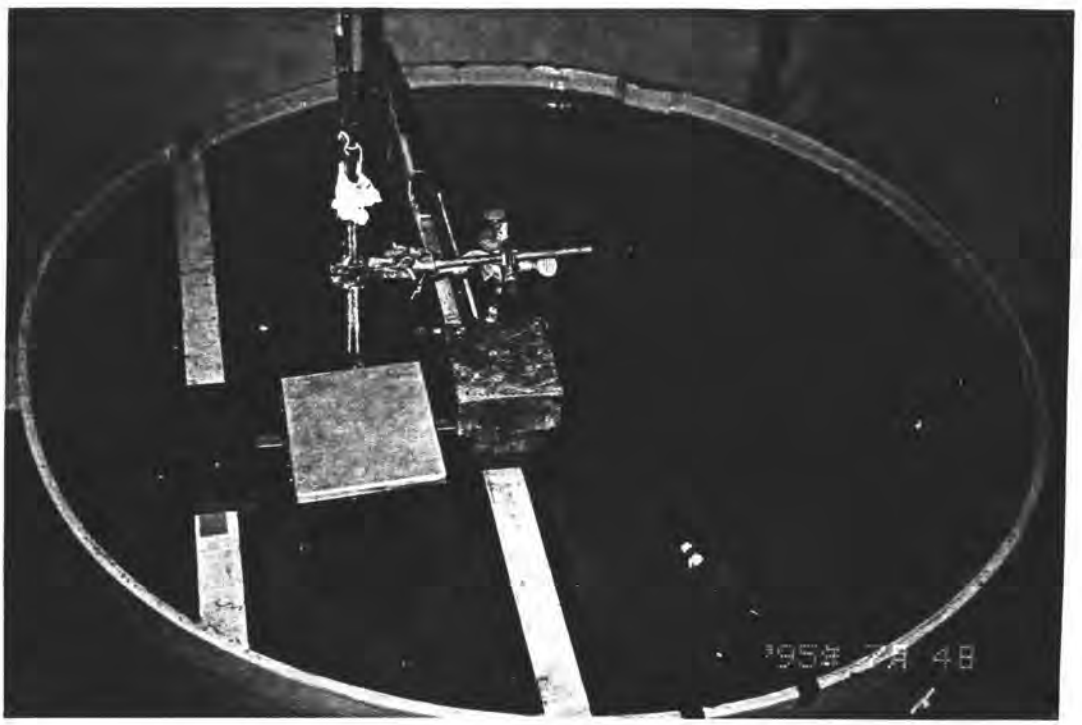
รูปที่ 4.1 ขนาดและรูปร่างของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ทำเป็นฐานรองรับตัวอย่าง

จากนั้นทำการทดลองซ้ำข้อ 4.4.4 โดยเปลี่ยนสารยึดเหนี่ยวจากแลคเกอร์ เป็น โพลีเอธิลีน ,กาวสารพัดประโยชน์ตราคูโร และ กาวสารพัดประโยชน์ตราโอลิมปิก ตามลำดับ สามารถสรุปปัญหา ที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผสมสารยึดเหนี่ยวกับสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และ ลิเทียมเมตาบอเรต

สารยึดเหนี่ยว	ปัญหา
แลคเกอร์	-
โพลีเอธิลีน	ต้องทำให้โพลีเอธิลีนละลายก่อน โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 135 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำสารผสมสังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) และลิเทียมเมตาบอเรต มาผสมขณะยังร้อน
กาวสารพัดประโยชน์ตราคูโร	ต้องเติมตัวทำละลายกาว ได้แก่ ทินเนอร์เล็กน้อยเพื่อทำให้สารผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันและทำให้สารผสมแห้งช้าขึ้น
กาวสารพัดประโยชน์ตราโอลิมปิค	ต้องเติมตัวทำละลาย ได้แก่ ทินเนอร์เล็กน้อย เพื่อทำให้สารผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันและทำให้สารผสมแห้งช้าขึ้น

เมื่อสารผสมบนแผ่นอะลูมิเนียมแข็งตัวดีแล้ว นำมาขัดบริเวณผิวหน้าด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย จนผิวหน้าเรียบเสมอกัน พบว่าแผ่นที่ใช้สารยึดเหนี่ยวเป็น กาวสารพัดประโยชน์ตราดูโร และ กาวสารพัดประโยชน์ตราโอลิมปิค มีฟองอากาศปนอยู่ในเนื้อสารเป็นจำนวนมาก จึงแก้ปัญหา โดยใช้ปั๊มดูดอากาศต่อเข้ากับเดสิกเคเตอร์ (desicator) เพื่อดูดอากาศในเนื้อสารทั้งหมดให้ขึ้นมาอยู่บริเวณผิวหน้าแล้วขัดผิวหน้าทิ้ง แต่ผลปรากฏว่าการดูดอากาศในเดสิกเคเตอร์เป็นการเร่ง ให้บริเวณผิวหน้า ของสารผสมแห้งเร็วขึ้น ฟองอากาศที่อยู่ภายในจึงไม่สามารถแทรกตัวออกมาได้ แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีดังกล่าวไม่ได้ผล จึงนำแผ่นอะลูมิเนียมชุดแรก ไปถ่ายภาพโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน พลูโตเนียม -238/เบริลเลียม ความแรง 5 คูรี กำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ห่างจากตำแหน่งถ่ายภาพ 30 เซนติเมตร นิวตรอนฟลักซ์ประมาณ 1.0×10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ใช้ฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส ประกบกับแผ่นอะลูมิเนียมดังกล่าวทีละแผ่น แล้วบรรจุในตลับฟิล์มสำหรับถ่ายภาพ นำไปวางที่บริเวณถ่ายภาพ เป็นเวลา 5 วันแล้วนำมาผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม และอ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม ทำการทดลองซ้ำกับแผ่นอะลูมิเนียมทั้ง 4 แผ่น ที่มีสารยึดเหนี่ยวต่างกัน



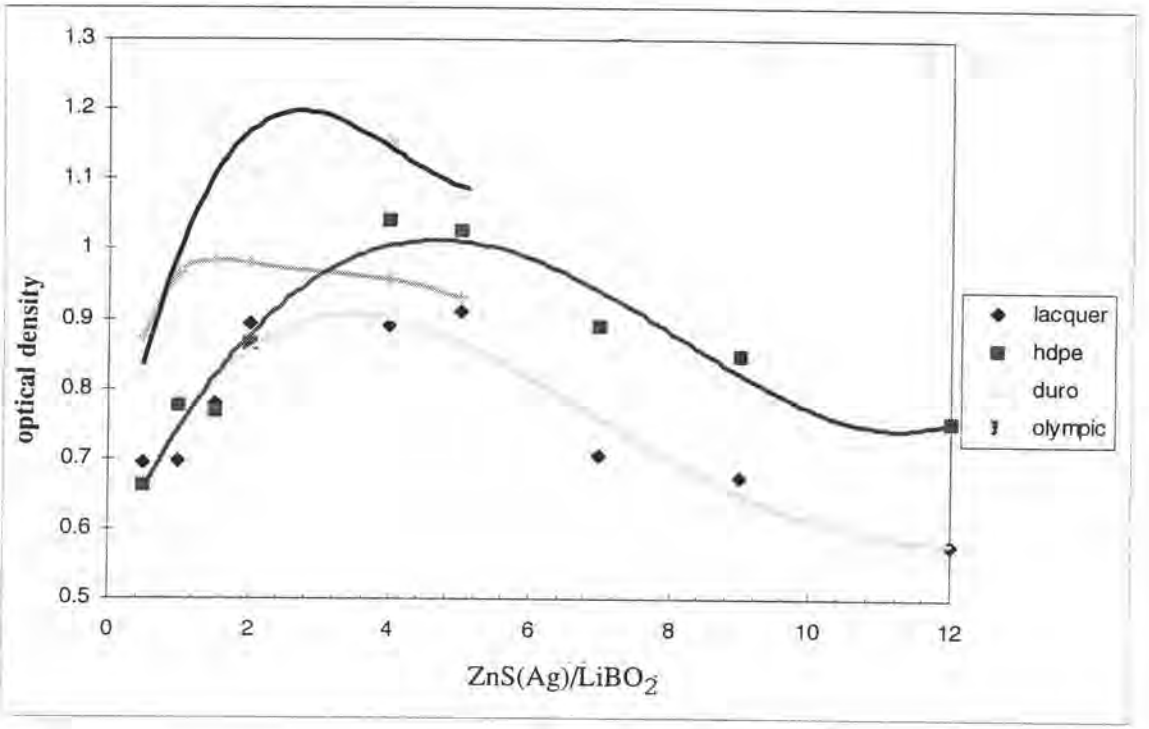
รูปที่ 4.2 การจัดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโตเนียม-238/เบริลเลียม

เมื่อครบกำหนดจึงนำฟิล์มมาผ่านกระบวนการล้างฟิล์มที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส โดยน้ำยาล้างภาพไมโครเฟน ของ อิลฟอร์ด เป็นเวลา 6 นาที และใช้น้ำยาคงสภาพ อิลฟอร์ด ไฮแพม เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปอ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม โดยเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ ของบริษัท แมคเบท รุ่น ทีดี 932 (Macbeth model TD 932) ที่ตำแหน่งอัตราส่วน สังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) ต่อ ลิเทียมเมตาบอเรต ต่างๆกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความดำบนฟิล์ม เมื่อนำฉากตัวอย่าง ไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโตเนียม-238/เบริลเลียม เป็นเวลา 5 วัน

หมายเลขฉากตัวอย่าง	สัดส่วนโดยน้ำหนักของ $ZnS(Ag)/LiBO_2$	ค่าความดำ บนฟิล์ม			
		แลคเกอร์	โพลิเอธิลีน	กาวดูโร	กาวโอลิมปิค
1	12	0.577	0.752	-	-
2	9	0.674	0.847	-	-
3	7	0.705	0.889	-	-
4	5	0.909	1.026	1.08	0.93
5	4	0.891	1.041	1.15	0.955
6	2	0.892	0.864	1.00	0.977
7	1.5	0.778	0.768	1.17	0.985
8	1.0	0.696	0.775	0.97	0.965
9	0.5	0.695	0.663	0.83	0.872

หมายเหตุ หมายเลขฉากตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 ทำขึ้นภายหลังเพื่อทดสอบคุณสมบัติเฉพาะแลคเกอร์ กับโพลีเอธิลีน เนื่องจากยังไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสมของ $ZnS(Ag)/LiBO_2$ ที่จะทำให้เกิดความดำสูงสุดบนแผ่นฟิล์ม



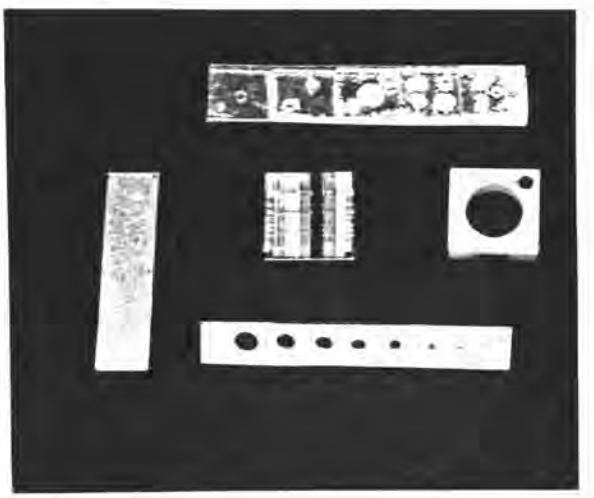
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำบนฟิล์ม กับ อัตราส่วนZnS(Ag) ต่อ $LiBO_2$ เมื่อใช้สารยึดเหนี่ยวต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และลิเทียมเมตาบอเรต และสารยึดเหนี่ยวต่างกัน จะอ่านค่าความดำบนฟิล์มได้ต่างกัน และในขั้นตอนการปฏิบัติพบว่า โพลีเอธิลีน มีความยุ่งยากในการปฏิบัติมาก เนื่องจากฉากตัวอย่างที่ต้องการมีความหนาประมาณ 1.0 มิลลิเมตร ทำให้ฉากตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยโพลีเอธิลีน แตกและร่อนเมื่อแห้ง ส่วนแลคเกอร์ และกาวสารพัดประโยชน์ตราโอลิมปิค ให้ความดำบนฟิล์มต่ำกว่ากาวสารพัดประโยชน์ตราดูโร ดังนั้น จึงพิจารณาเลือกกาวสารพัดประโยชน์ตราดูโร มาใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวสำหรับทำฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

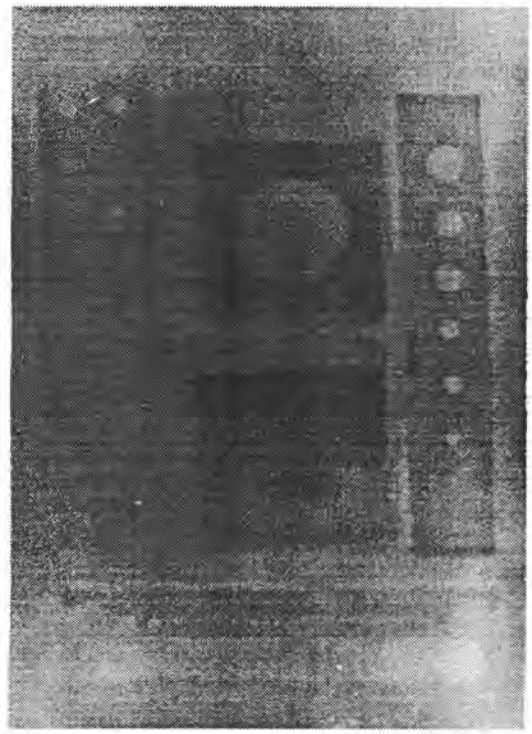
4.5 การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)กับลิเทียมเมตาบอเรต

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าสารตัวอย่างที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาทำฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) คือ กาวสารพัดประโยชน์ตราดูโร แต่เทคนิคในการทำฉากตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ยังมีปัญหาในเรื่องฟองอากาศที่แทรกอยู่ในเนื้อสาร จึงพิจารณาเทคนิคการฉีดพ่นโดยใช้ ปืนฉีดพ่น(spray gun) ขนาดหัวฉีด 0.2 มิลลิเมตร ต่อกับปั๊มความดัน ทำการ

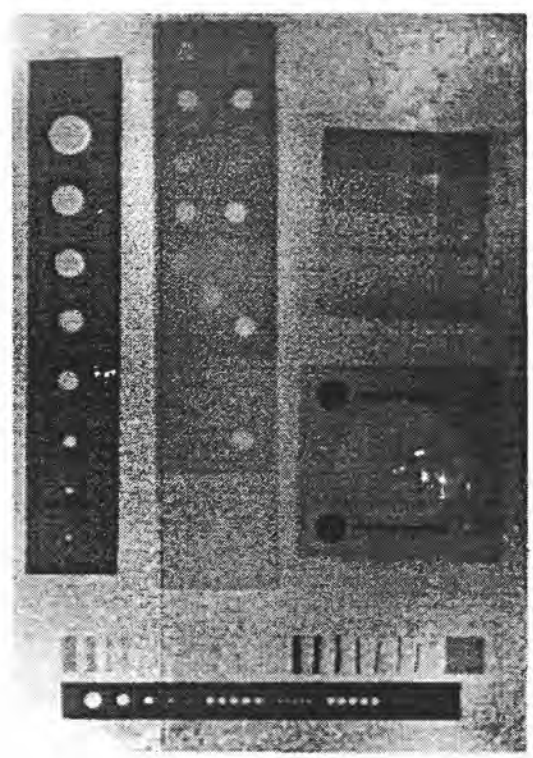
ทดลองโดย เตรียมสารผสมสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)และ ลิเทียมเมตาบอเรต ในอัตราส่วน 0, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 5.0, 9.0 และสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)เปล่า กำหนดปริมาณของสารยึดเหนี่ยว คือ กาวสารพัดประโยชน์ตราดูโร ให้คงที่ คือ 22.8 -23.7 %โดยน้ำหนัก ทำการผสมที่ละอัตราส่วนกับกาวสารพัดประโยชน์ตราดูโรและเติมทินเนอร์ลงไปเล็กน้อยเพื่อให้ของผสมมีความหนืดลดลง แล้วนำไปพ่นโดยใช้ปืนฉีดพ่น บนแผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.80 มิลลิเมตร ขนาด 10 x 12 เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปวัดความหนาของสารผสมแต่ละแผ่น โดยไมโครมิเตอร์ (micrometer) ของบริษัท Mitutoyo no. 2046-08 แล้วนำไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 ซึ่งเดินเครื่องที่กำลัง 700 กิโลวัตต์ วางฟิล์มที่ตำแหน่ง 90 เซนติเมตรจากปลายท่อคอลิเมเตอร์ (collimator) ซึ่งคำนวณนิวตรอนฟลักซ์ ได้เท่ากับ 1.50×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที อัตราส่วนนิวตรอนต่อแกมมา เท่ากับ 1.10×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อมิลลิเรนเกนท์ และนำวัสดุมาตราฐานมาทดสอบคุณภาพของฉากได้แก่ beam purity indicator (BPI) ,sensitivity indicator (SI) ,IQI strip B แผ่นแคดเมียมเจาะรูขนาดต่างๆ , แผ่นพลาสติกรูปขั้นบันไดดังในรูปที่ 4.4 นำมาใช้ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเป็นเวลา 10 นาทีแล้วจึงนำฟิล์มมาล้างโดยใช้น้ำยาสร้างภาพ Kodak Liquid X-ray Developer and Replenisher ของบริษัทโกดัก ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที และใช้น้ำยาคงสภาพ Kodax Rapid Fixer ของบริษัทโกดัก เป็นเวลา 5 นาที นำมาอัดภาพ และอ่านค่าความดำบนฟิล์มเพื่อกำหนดคุณสมบัติของฉากตัวอย่างดังกล่าว



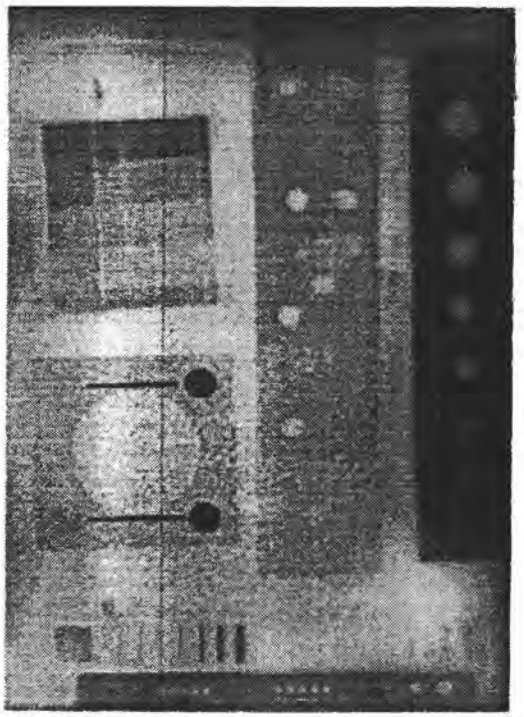
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายวัสดุมาตราฐานที่นำมาทดสอบคุณสมบัติของฉากตัวอย่าง



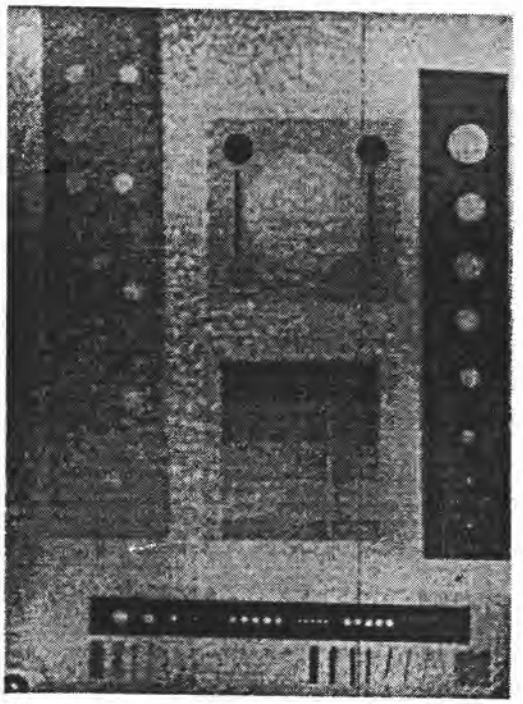
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากซึ่งมี ลิเทียมเมตาบอเรตอย่างเดียว



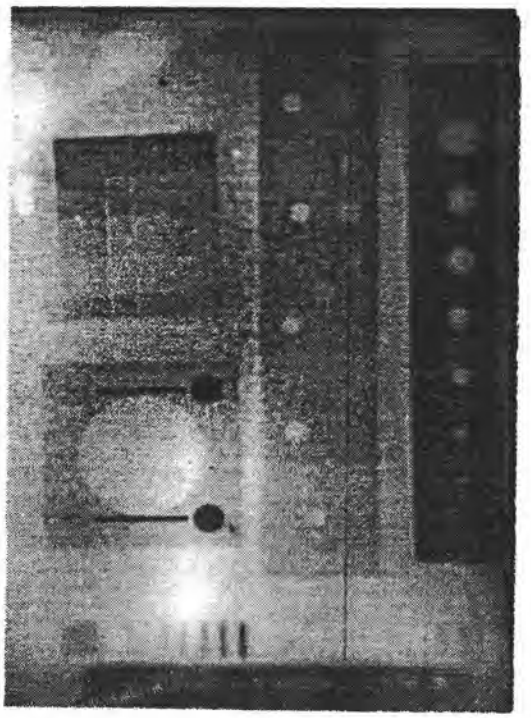
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากซึ่งมีอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)
ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากับ 1.0



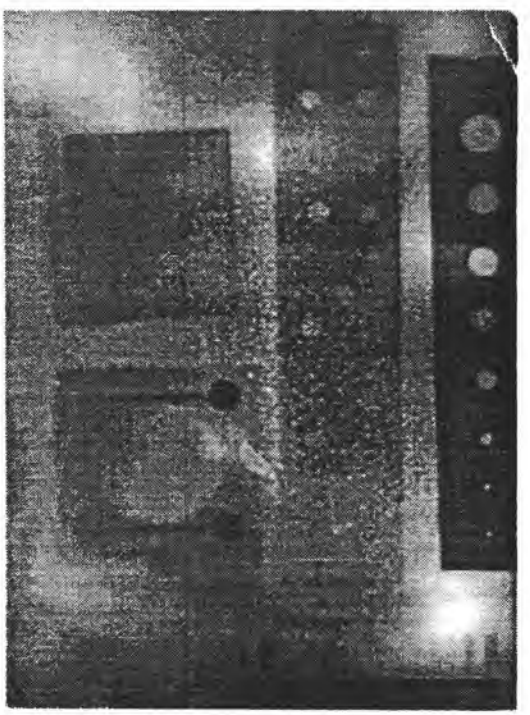
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากซึ่งมีอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากับ 1.5



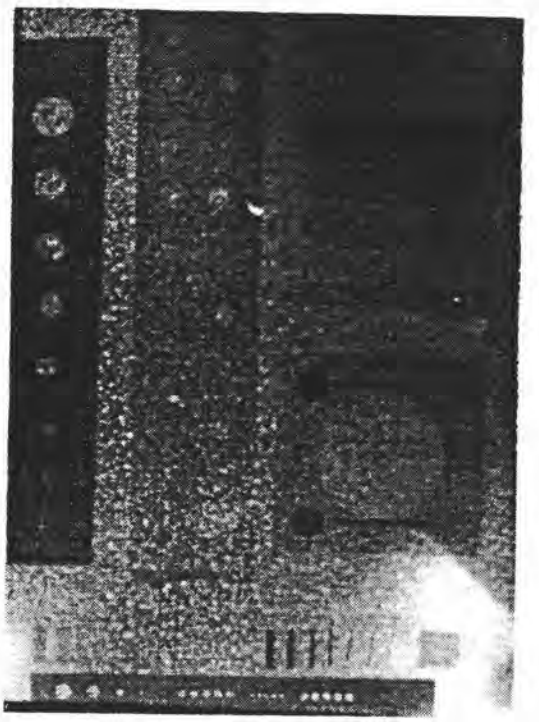
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากซึ่งมีอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากับ 2.5



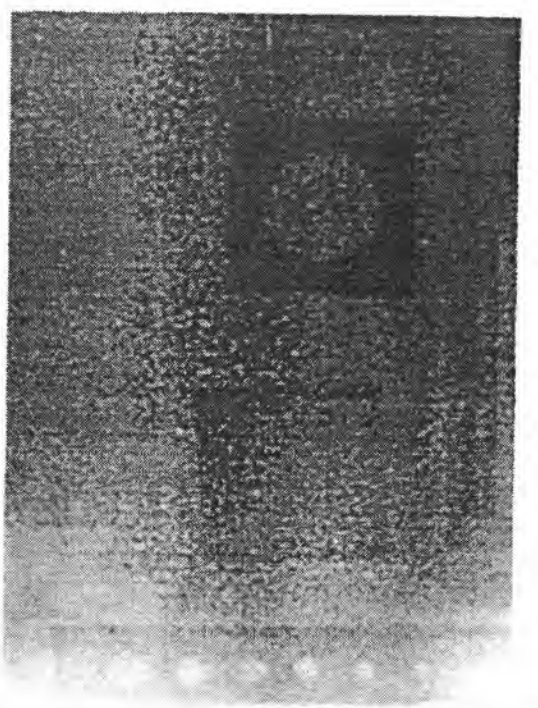
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากซึ่งมีอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)
ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากับ 4.0



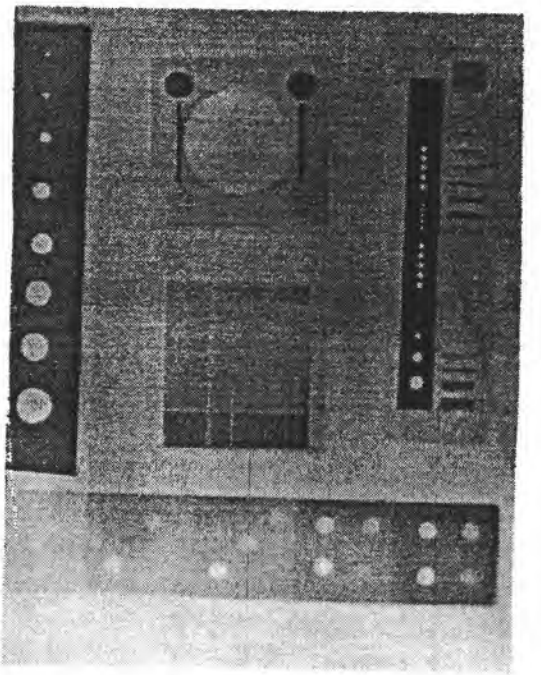
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากซึ่งมีอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)
ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากับ 5.5



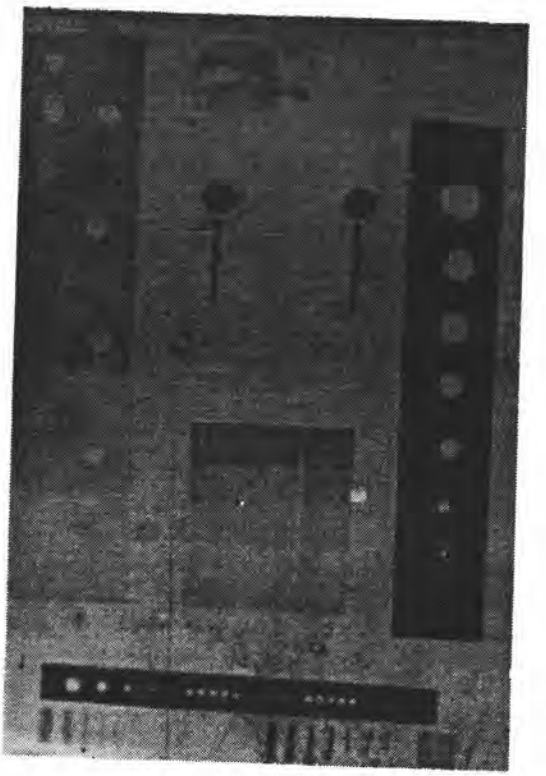
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากซึ่งมีอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากับ 9



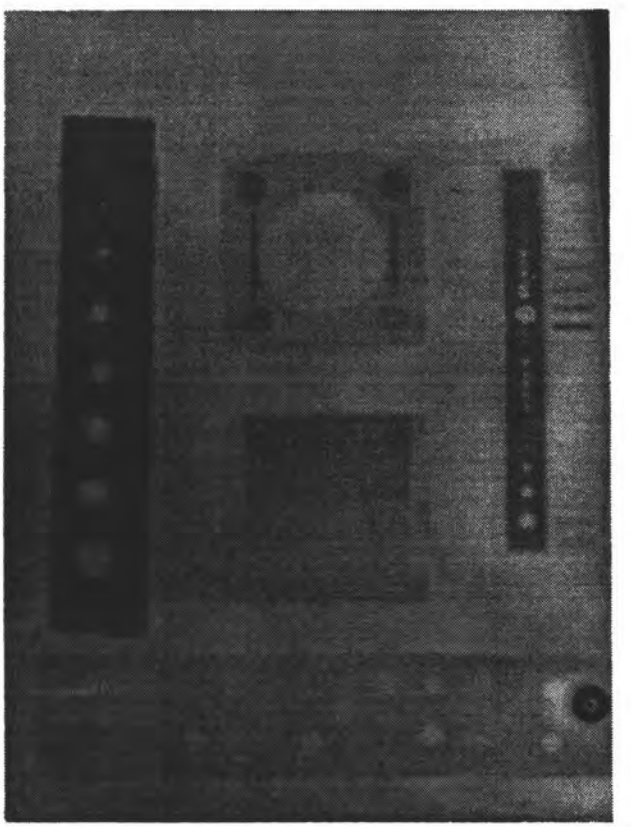
รูปที่4.12 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากซึ่งมีสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) อย่างเดียว



รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยฉากโลหะแกโดลิเนียม



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยฉาก NE-426



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยฉาก $Gd_2O_2S(Tb)$

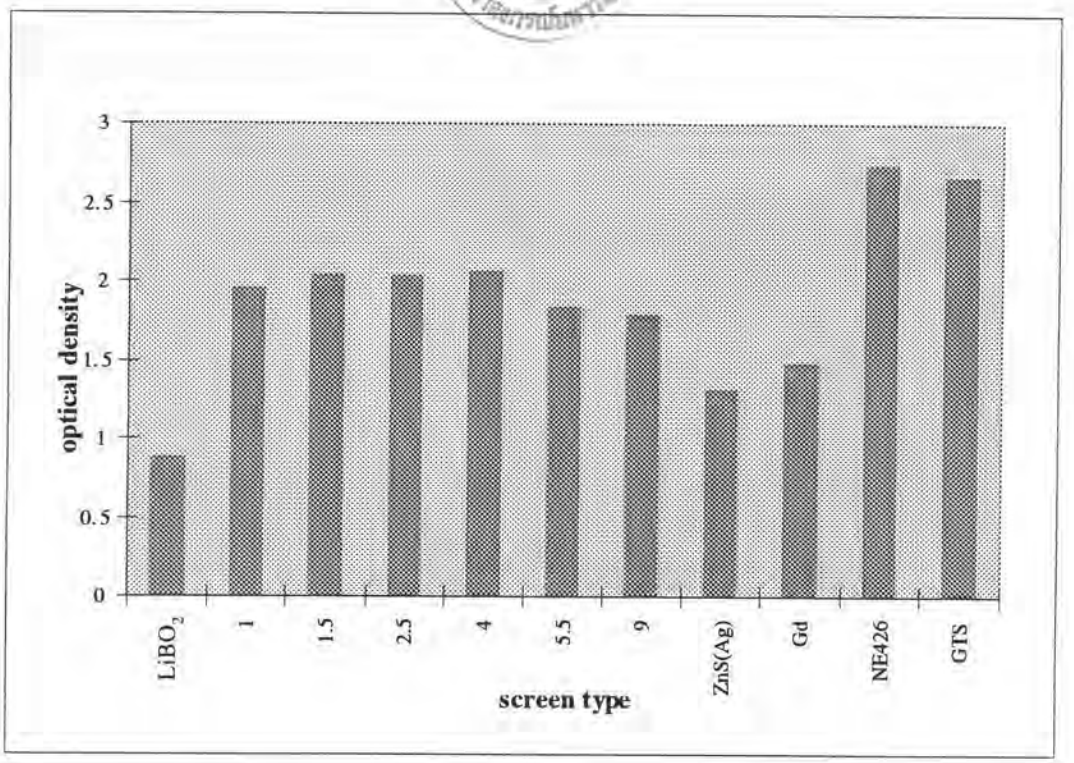
4.5.1 การเปรียบเทียบค่าความดำ(density)บนแผ่นฟิล์ม

อ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์มในรูปที่ 4.5-4.15 บริเวณที่นิวตรอนทำปฏิกิริยากับฉากและกับฟิล์มโดยตรง ไม่ผ่านชิ้นงานโดยใช้เครื่องอ่านค่าความดำโดยเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ของบริษัทแมคเบท รุ่น ทีดี 932 ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม เมื่อถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากต่างๆ

ชนิดของฉาก	ความดำบนแผ่นฟิล์ม
$LiBO_2$	0.88
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=1.0	1.96
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=1.5	2.04
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=2.5	2.03
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=4.0	2.06
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=5.5	1.84
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=9.0	1.80
ZnS(Ag)	1.31
Gd	1.48
NE-426	2.74
$Gd_2O_2S(Tb)$	2.67

หมายเหตุ : ฉาก NE-426 ที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ผิวหน้าเริ่มชำรุดเล็กน้อย



รูปที่ 4.16 ค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม เมื่อถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่า ได้ค่าความดำสูงสุดบนแผ่นฟิล์มอยู่ในช่วง 2.03 ถึง 2.06 เมื่ออัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรตมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 - 4.0

4.5.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของฉากโดยพิจารณาจากคุณภาพของลำรังสีนิวตรอน

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ คือ beam purity indicator (BPI) หมายเลข E545 ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งผลิตโดย The American Society for Testing and Materials (ASTM) มีขั้นตอนการคำนวณดังสมการที่ (2.5)-(2.8) และผลจากการอ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์มที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความดำบนฟิล์มที่ตำแหน่งต่างๆของ BPI

ชนิดของฉาก	Dh	Db1	Db2	Dl1	Dl2	ΔDb	Dt
$LiBO_2$	0.88	0.82	0.76	0.83	0.83	0.06	0.83
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=1.0	1.96	1.67	1.62	1.83	1.83	0.05	1.83
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=1.5	2.04	1.77	1.68	1.88	1.88	0.09	1.88
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=2.5	2.03	1.76	1.73	1.82	1.82	0.03	1.82
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=4.0	2.06	1.80	1.74	1.87	1.87	0.06	1.87
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=5.5	1.84	1.57	1.48	1.57	1.57	0.09	1.57
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=9.0	1.80	1.58	1.53	1.69	1.69	0.05	1.69
ZnS(Ag)	1.31	-	-	-	-	-	-
Gd	1.48	1.27	1.26	1.39	1.38	0.01	0.01
NE-426	2.74	2.01	2.07	2.69	2.69	0.03	2.69
Gd_2O_2S(Tb)	2.67	2.48	2.45	2.52	2.47	0.03	2.60

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณคุณภาพของลำรังสีนิวตรอนตามสมการที่ 2.5- 2.8โดยใช้ค่าความดำจากตารางที่ 4.8

ชนิดของฉาก	NC	S	γ
$LiBO_2$	-	-	-
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=1.0	14.8	2.55	0
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=1.5	13.24	4.41	0
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=2.5	13.3	1.47	0
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=4.0	12.62	2.99	0
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=5.5	12.29	4.89	0
ZnS(Ag)/$LiBO_2$=9.0	12.22	2.77	0
ZnS(Ag)	-	-	-
Gd	13.51	0.67	5.92
NE-426	22.51	1.11	0
Gd_2O_2S(Tb)	5.24	1.12	37.38

เมื่อ NC คือ สัดส่วนของเทอร์มัลนิวตรอนที่อยู่ในลำรังสีนิวตรอน

S คือ สัดส่วนของนิวตรอนกระเจิงในลำรังสีนิวตรอน

γ คือ สัดส่วนของรังสีแกมมาในลำรังสีนิวตรอน

จากการทดลองสรุปได้ว่า ถ้าอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเพิ่มขึ้น สัดส่วนของเทอร์มัลนิวตรอนที่มีผลกับฟิล์ม จะลดลงเนื่องจากปริมาณของลิเทียมเมตาบอเรตลดลง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเทอร์มัลนิวตรอน เป็นรังสีอัลฟาของฉากตัวอย่างลดลงด้วย ส่วนสัดส่วนของนิวตรอนกระเจิงในลำรังสีนิวตรอนและสัดส่วนของรังสีแกมมาในลำรังสีนิวตรอนไม่มีความสัมพันธ์ กับอัตราส่วนสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรต สรุปได้ว่าในงานวิจัยนี้ สัดส่วนของนิวตรอนกระเจิงในลำรังสีนิวตรอนมีค่าต่ำคือมีค่าอยู่ระหว่าง 1.47 - 4.89 เป็นผลให้ภาพถ่ายอาจมีความบิดเบือนจากของจริงไปได้น้อยมาก สัดส่วนของรังสีแกมมาในลำรังสีนิวตรอนมีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่ารังสีแกมมาซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงในลำรังสีนิวตรอนไม่มีผลต่อการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มเอช พี 5 พลัส ของอิลฟอร์ด และฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้นดังนั้นอัตราส่วนของสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ต่อลิเทียมเมตาบอเรตที่ทำให้ ฉากตัวอย่างมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรังสีนิวตรอนเป็นรังสีอัลฟา ได้มากที่สุด จะอยู่ในช่วง 1.0 - 2.5 ซึ่งจะได้สัดส่วนของเทอร์มัลนิวตรอนในลำรังสีนิวตรอนเท่ากับ 13.2 - 14.8

4.5.3 การเปรียบเทียบระดับความไวในการมองเห็น(sensitivity level) ของฉาก

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ คือ sensitivity indicator (SI) ของ The American Society for Testing and Material (ASTM)

ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถทดสอบความไวของฉากด้วยวิธีนี้ได้ เนื่องจากฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้นมีระดับความไวต่ำกว่าระดับที่อุปกรณ์ชิ้นนี้จะทดสอบได้

4.5.4 การเปรียบเทียบความไวในการเกิดภาพ(sensitivity)ของฉากตัวอย่างโดยเทียบจากความดำของฟิล์ม

จากข้อมูลของกองฟิสิกส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ทำการตรวจวัดและคำนวณ ความเข้มของนิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที หรือ นิวตรอนฟลักซ์ (neutron flux) ที่ตกกระทบฉากรองรับที่ระยะ 90 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 1.50×10^5 นิวตรอนต่อตาราง

เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 700 กิโลวัตต์ และตรวจวัดอัตราส่วนนิวตรอนต่อแกมมา ได้เท่ากับ 1.10×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อมิลลิเรนเกนท์

นิวตรอนฟลักซ์ = 1.50×10^5 n/cm^2-sec

อัตราส่วน n/γ = 1.10×10^5 n/cm^2-mR

ในการถ่ายภาพแต่ละครั้งใช้เวลาในการถ่ายภาพ 10 นาที ดังนั้น

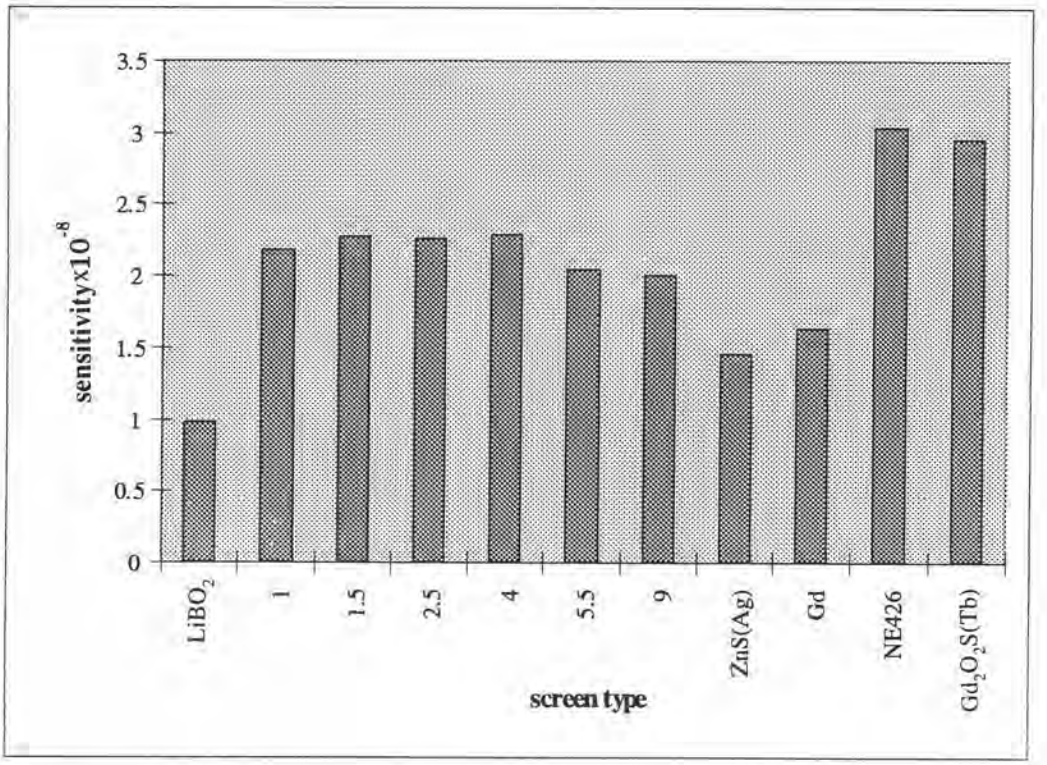
ปริมาณนิวตรอนที่ตกกระทบฟิล์ม = $1.50 \times 10^5 \times 10 \times 60$

= 9.0×10^7 n/cm^2

จึงสามารถคำนวณความไวของฉากตัวอย่างและฉากมาตรฐานได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ความไวในการเกิดภาพของฉากต่างๆ

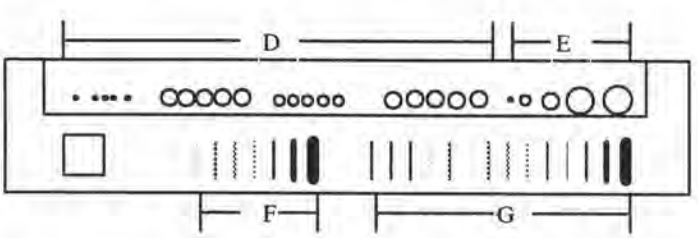
ชนิดของฉาก	ความดำบนแผ่นฟิล์ม	ความไวในการเกิดภาพ ($1/n/cm^2$)
$LiBO_2$	0.88	9.78×10^{-9}
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=1.0	1.96	2.18×10^{-8}
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=1.5	2.04	2.27×10^{-8}
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=2.5	2.03	2.26×10^{-8}
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=4.0	2.06	2.29×10^{-8}
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=5.5	1.84	2.04×10^{-8}
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=9.0	1.80	2.0×10^{-8}
ZnS(Ag)	1.31	1.46×10^{-8}
Gd	1.48	1.64×10^{-8}
NE-426	2.74	3.04×10^{-8}
$Gd_2O_2S(Tb)$	2.67	2.96×10^{-8}



รูปที่ 4.17 ความไวในการเกิดภาพของฉากต่างๆ

4.5.5 การเปรียบเทียบรีโซลูชัน(resolution)ของภาพ

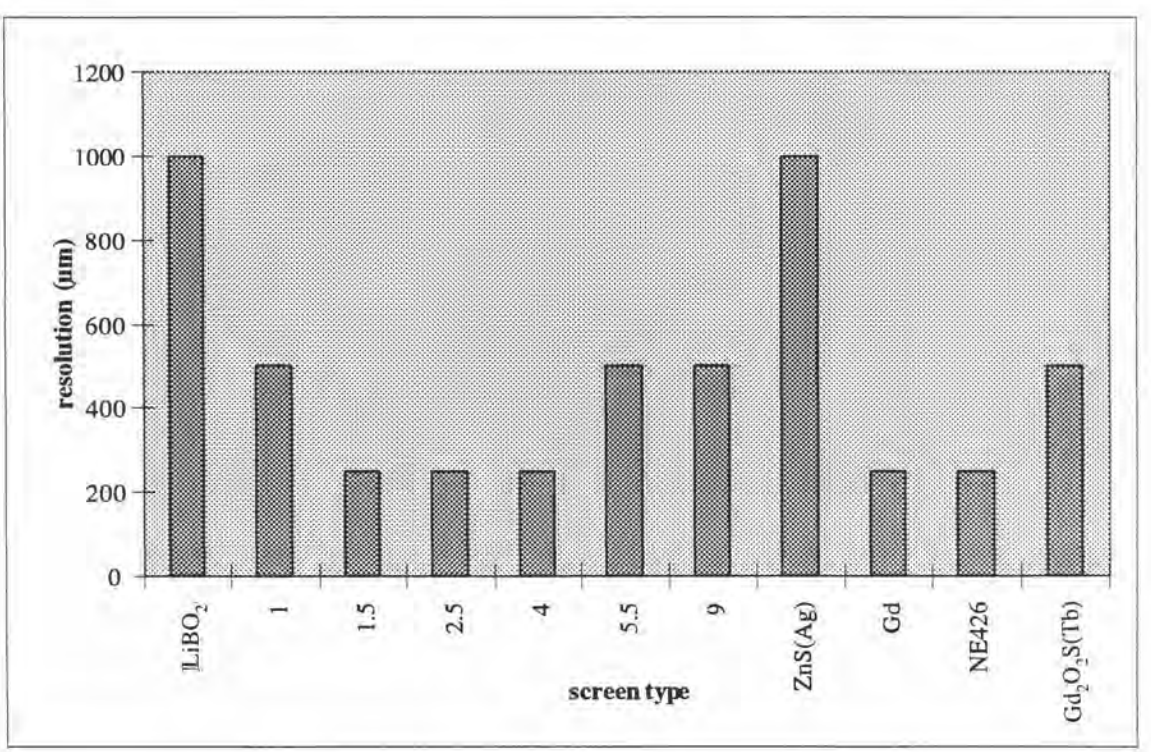
โดยใช้อุปกรณ์ช่วยวิเคราะห์รีโซลูชันของภาพ เรียกว่า Image Quality Indicator s Strip B (IQIs strip B) รูปที่ 4.18 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.18 ภาพ IQIs strip B ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนๆเพื่อพิจารณารีโซลูชันและคอนทรัสต์

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบรีโซลูชันและคอนทรัสต์ของภาพในหน่วยมิลลิเมตรจากฉากต่างๆ

ชนิดของฉาก	ขนาดของ กลุ่ม D	ขนาดของ กลุ่ม E	ขนาดของ กลุ่ม F	ขนาดของ กลุ่ม G
$LiBO_2$	1.0	1.0	0.5	-
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=1.0	0.25	0.5	0.1	1.0
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=1.5	0.25	0.25	0.1	1.0
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=2.5	0.25	0.5	0.1	1.5
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=4.0	0.25	0.25	0.1	1.0
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=5.5	0.25	0.5	0.1	1.5
$ZnS(Ag)/LiBO_2$=9.0	0.5	0.5	0.1	2.0
ZnS(Ag)	0.25	1.5	-	-
Gd	0.25	0.25	0.1	0.75
NE-426	0.25	0.25	0.1	0.75
$Gd_2O_2S(Tb)$	0.5	0.5	0.37	-



รูปที่ 4.19 รีโซลูชันของฉากต่างๆ

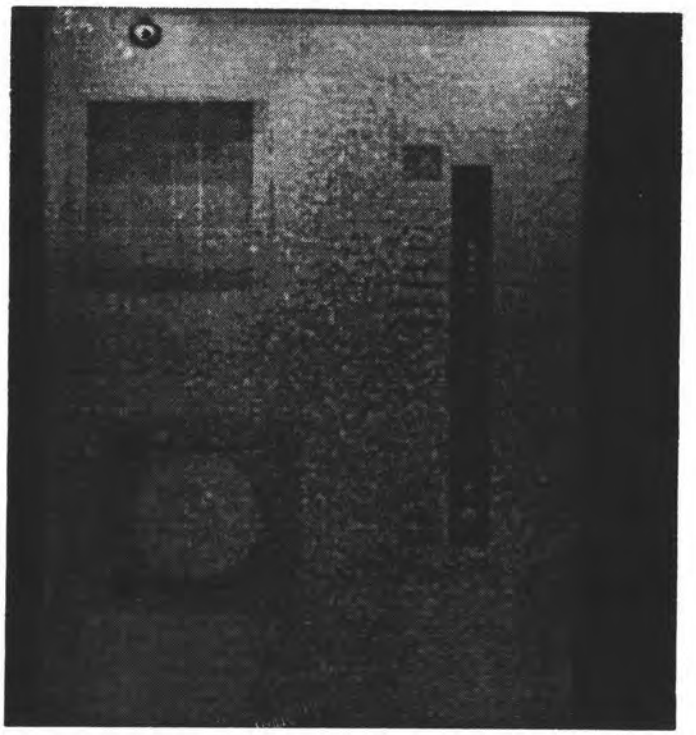
4.6 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกาวดูโร กับสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และลิเทียมเมตาบอเรต

จากการทดลองในหัวข้อ 4.3 จะเห็นว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม ของสังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรต เท่ากับ 1.5 ในขณะที่ควบคุมปริมาณของกาวดูโร อยู่ที่ 22.8 - 23.7 % โดยน้ำหนัก สำหรับในขั้นตอนนี้ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณกาวดูโรที่เหมาะสม โดยทำการผสมสารยึดเหนี่ยว สังกะสีซัล ไฟด์(เงิน)และลิเทียมเมตาบอเรตตามอัตราส่วนดังนี้

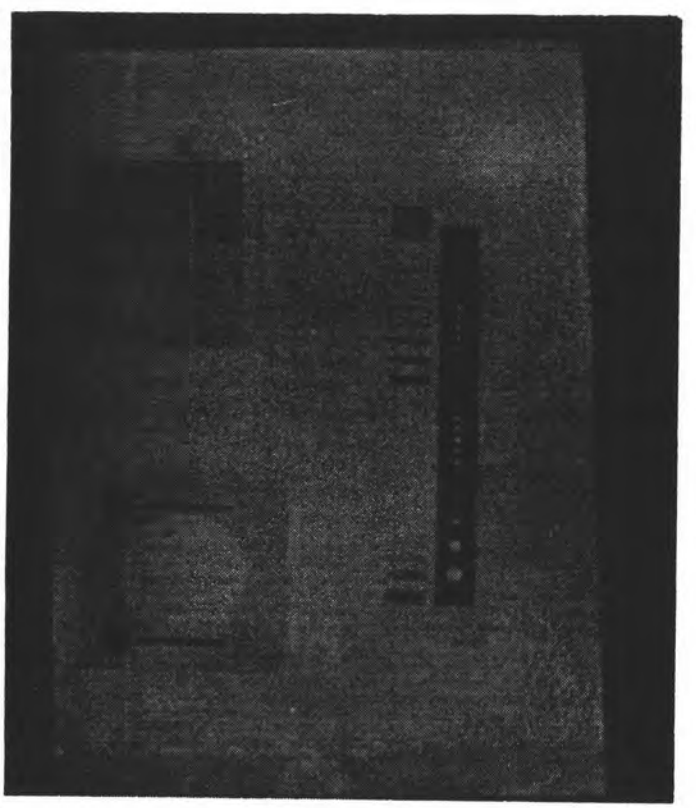
ตารางที่ 4.12 อัตราส่วนของกาวดูโรในฉากตัวอย่าง

หมายเลขตัวอย่าง	สังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ต่อลิเทียมเมตาบอเรต	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของกาวดูโร
2.1	1.5	17.32
2.2	1.5	23.15
2.3	1.5	36.99
2.4	1.5	49.21

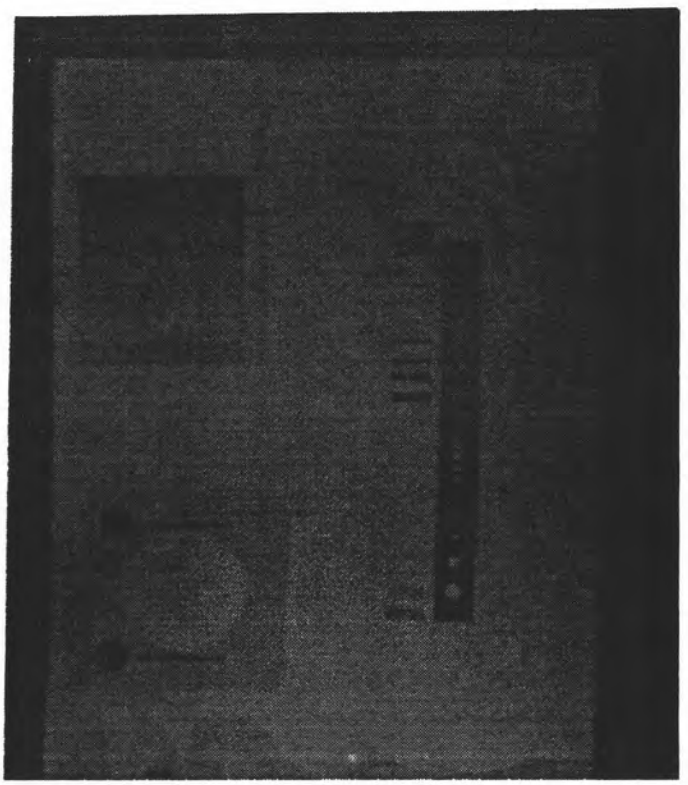
ทำการผสมสารทั้งสาม ให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปฉีดพ่นบนแผ่นอะลูมิเนียม หนา 1.0 มิลลิเมตรขนาด 10x12 เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเป็นเวลา 10 นาที โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 ซึ่งเดินเครื่องที่กำลัง 700 กิโลวัตต์ ที่ตำแหน่ง 90 เซนติเมตร จากปากท่อคอลิเมเตอร์ ซึ่งคำนวณนิวตรอนฟลักซ์ เท่ากับ 1.50×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที อัตราส่วนนิวตรอนต่อแกมมา เท่ากับ 1.10×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อมิลลิเรนเกนท์ และใช้วัสดุทดสอบคุณสมบัติของฉาก คือ BPI ,SI, IQI strips B ,แผ่นแคดเมียมเจาะรูขนาดต่างๆ และพลาสติกรูปขั้นบันได แล้วนำฟิล์มที่ได้ไปล้างโดยใช้น้ำยาสร้างภาพและน้ำยาคงสภาพ ของบริษัท โกดัก ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที และ 5 นาที ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังนี้



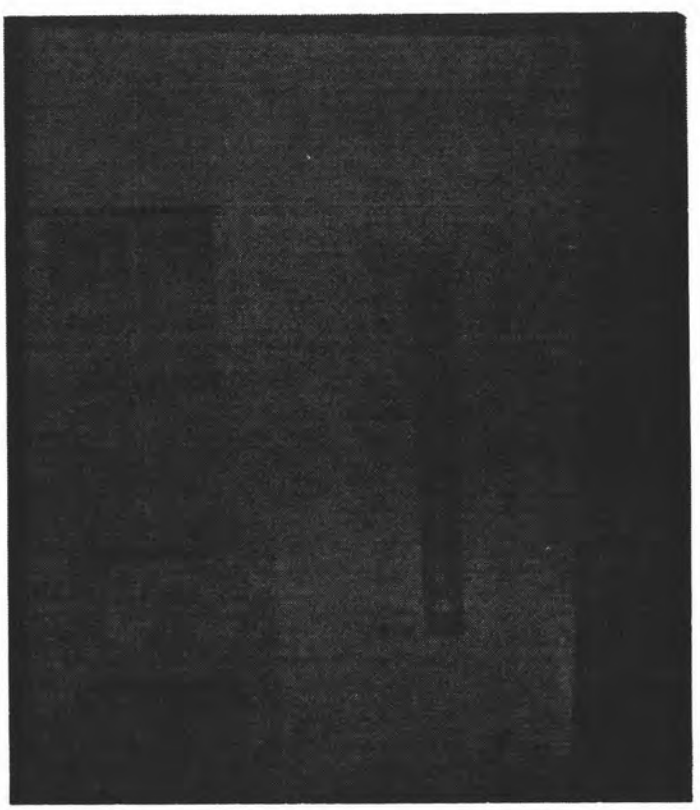
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยฉากหมายเลข 2.1



รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยฉากหมายเลข 2.2



รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยฉากหมายเลข 2.3



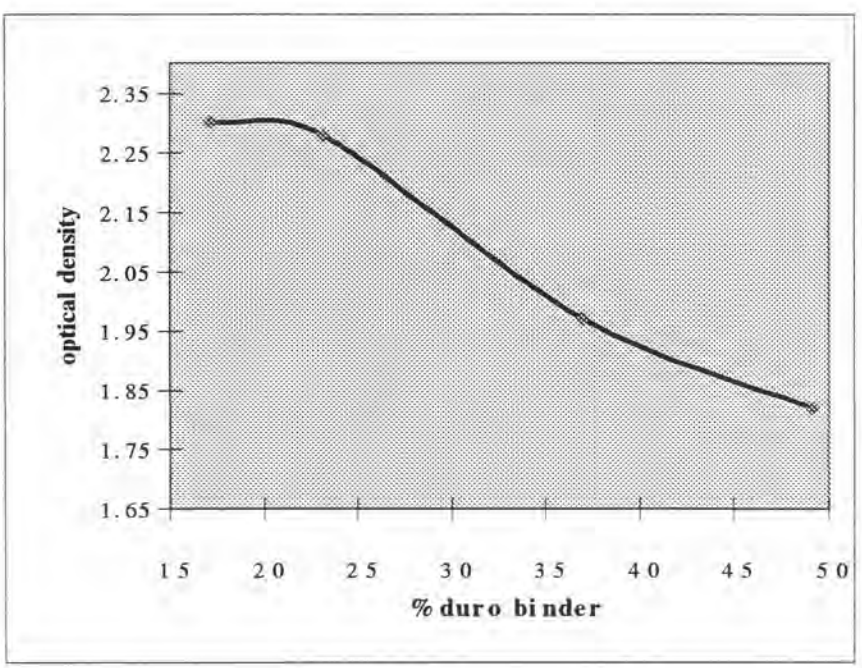
รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยฉากหมายเลข 2.4

4.6.1 การเปรียบเทียบค่าความดำ (density) บนแผ่นฟิล์ม

อ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์มจากรูปที่ 4.20 - 4.23 บริเวณรอบๆโดยอ่านค่าเฉพาะบริเวณที่นิวตรอนไม่ผ่านตัวอย่าง โดยใช้เครื่องเดนซิโตมิเตอร์ ของบริษัท แมคเบท รุ่น ทีดี 932 ได้ผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าความดำบนแผ่นฟิล์มเมื่อนำไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยใช้ฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1 -2.4

หมายเลขตัวอย่าง	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของกาวดูโร	ความดำบนแผ่นฟิล์ม
2.1	17.32	2.3
2.2	23.15	2.28
2.3	36.99	1.97
2.4	49.21	1.82



รูปที่ 4.24 ค่าความดำบนแผ่นฟิล์มภายหลังการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1-2.4

จากการทดลองจะเห็นว่าฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1 ให้ค่าความดำบนฟิล์มสูงสุด และเมื่อเพิ่มปริมาณกาวดูโรมากขึ้น จะเป็นผลให้ค่าความดำบนฟิล์มลดลง

4.6.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติ ของฉากโดยพิจารณาจากคุณภาพของลำรังสีนิวตรอน

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ คือ BPI หมายเลข E545 และทำการคำนวณตามสมการที่ (2.5)-(2.8) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1 -2.4

หมายเลขตัวอย่าง	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของกาวดูโร	NC	S	γ
2.1	17.32	17.31	0.9615	0
2.2	23.15	16.23	3.5087	0
2.3	36.99	15.38	2.0513	0
2.4	49.21	12.74	1.6484	0

เมื่อ NC คือ สัดส่วนของเทอร์มัลนิวตรอนที่อยู่ในลำรังสีนิวตรอน

S คือ สัดส่วนของนิวตรอนกระเจิงในลำรังสีนิวตรอน

γ คือ สัดส่วนของรังสีแกมมาในลำรังสีนิวตรอน

จากการทดลองสรุปได้ว่า เมือปริมาณกาวดูโรเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดกลืนนิวตรอน ของฉากตัวอย่างลดลง เนื่องจากกาวดูโรทำให้เกิดการกำบังรังสีอัลฟาที่จะไปกระตุ้นสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ให้ปล่อยแสง ที่เรียกว่าการดูดกลืนในตัวเอง(self absorption) ส่วน ปริมาณนิวตรอนกระเจิงมีปริมาณต่ำและไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณกาวดูโร ส่วนรังสีแกมมาไม่มีผลต่อการถ่ายภาพโดยใช้ฟิล์มอิลฟอร์ด เอช พี 5 พลัส และฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้น

4.6.3 การเปรียบเทียบความไวในการเกิดภาพ (sensitivity)ของฉากตัวอย่าง โดยพิจารณาจากความความดำบนแผ่นฟิล์ม

นิวตรอนฟลักซ์ = 1.50×10^{5} n/cm^{2}/sec

ความเข้มของนิวตรอนที่ตกกระทบฟิล์มแล้วทำให้เกิดความดำบนแผ่นฟิล์มเท่ากับ1

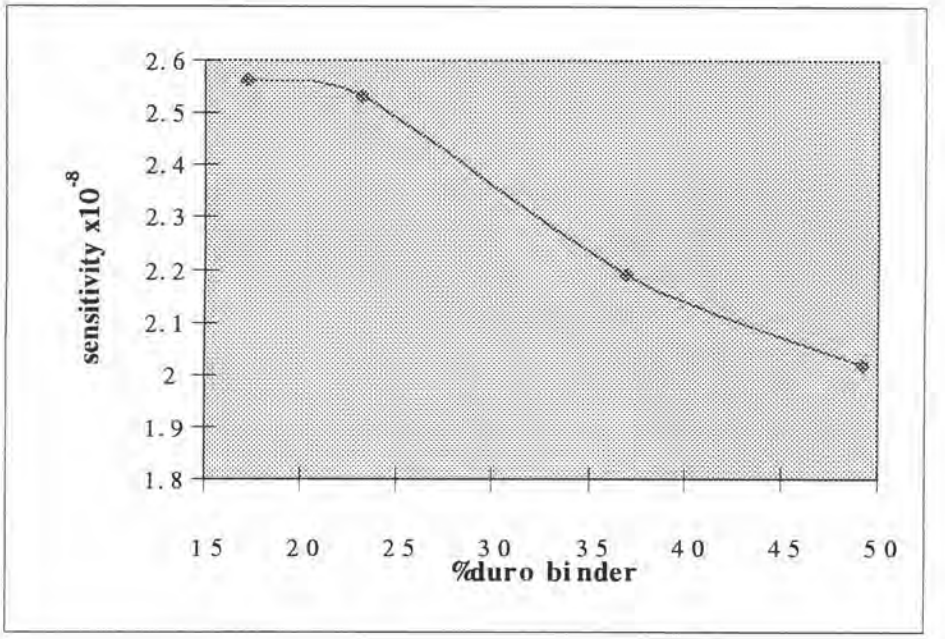
= 9.0×10^{7} n/cm^{2}

ดังนั้นค่าความไวของฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1-2.4 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดำบนแผ่นฟิล์มได้ผลดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ความไวของฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1-2.4

หมายเลขฉากตัวอย่าง	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของกาวดูโร	ความดำที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม	ความไว (1/n/cm^{2})
2.1	17.32	2.3	2.56×10^{-8}
2.2	23.15	2.28	2.53×10^{-8}
2.3	36.99	1.97	2.19×10^{-8}
2.4	49.21	1.82	2.02×10^{-8}

เมื่อฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1-2.4 มีอัตราส่วนของสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ต่อลิเทียมเมตาบอเรตเท่ากันคือ 1.5 แต่ปริมาณของกาวดูโรต่างกันจึงมีผลให้ความไวของฉากต่างกันและฉากตัวอย่างที่ให้ความไวสูงสุดมีปริมาณกาวดูโรอยู่ในช่วง 17.32-23.15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก



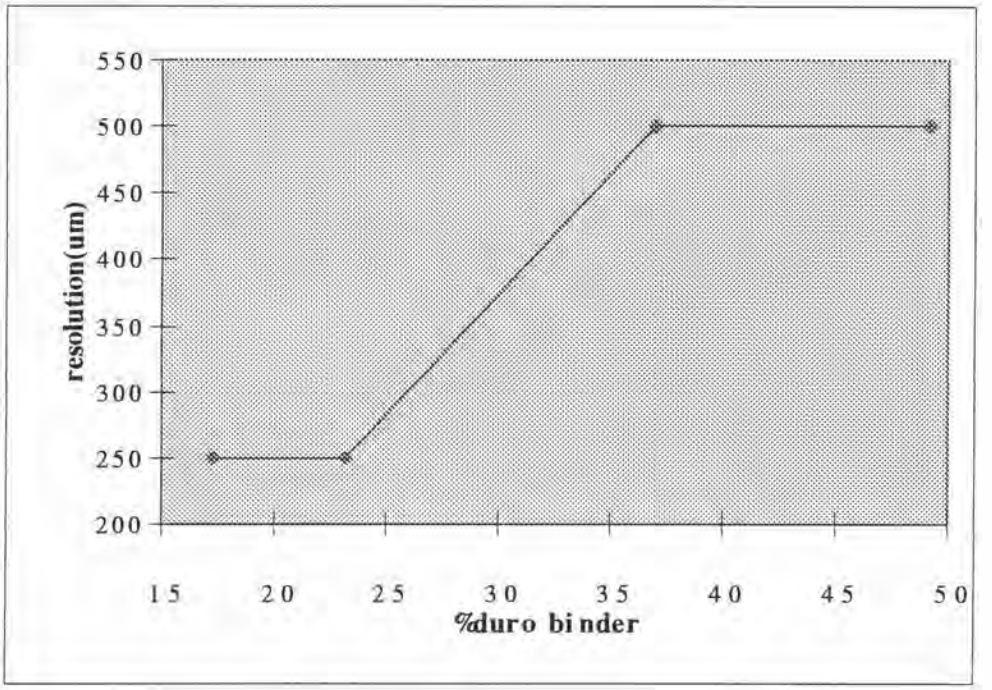
รูปที่ 4.25 ความไวบนฟิล์มภายหลังการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากตัวอย่าง หมายเลข 2.1-2.4

4.6.4 การเปรียบเทียบรีโซลูชันของภาพ

โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์รีโซลูชันของภาพคือ IQIs strip B ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การทดสอบรีโซลูชันของภาพในหน่วยมิลลิเมตร

หมายเลขตัวอย่าง	ขนาดของกลุ่ม D	ขนาดของกลุ่ม E	ขนาดของกลุ่ม F	ขนาดของกลุ่ม G
2.1	0.25	0.25	0.1	1.0
2.2	0.5	0.25	0.1	1.0
2.3	0.5	0.5	0.1	1.0
2.4	0.5	0.5	0.1	1.0



รูปที่ 4.26 รีโซลูชันของฉากตัวอย่างหมายเลข 2.1-2.4

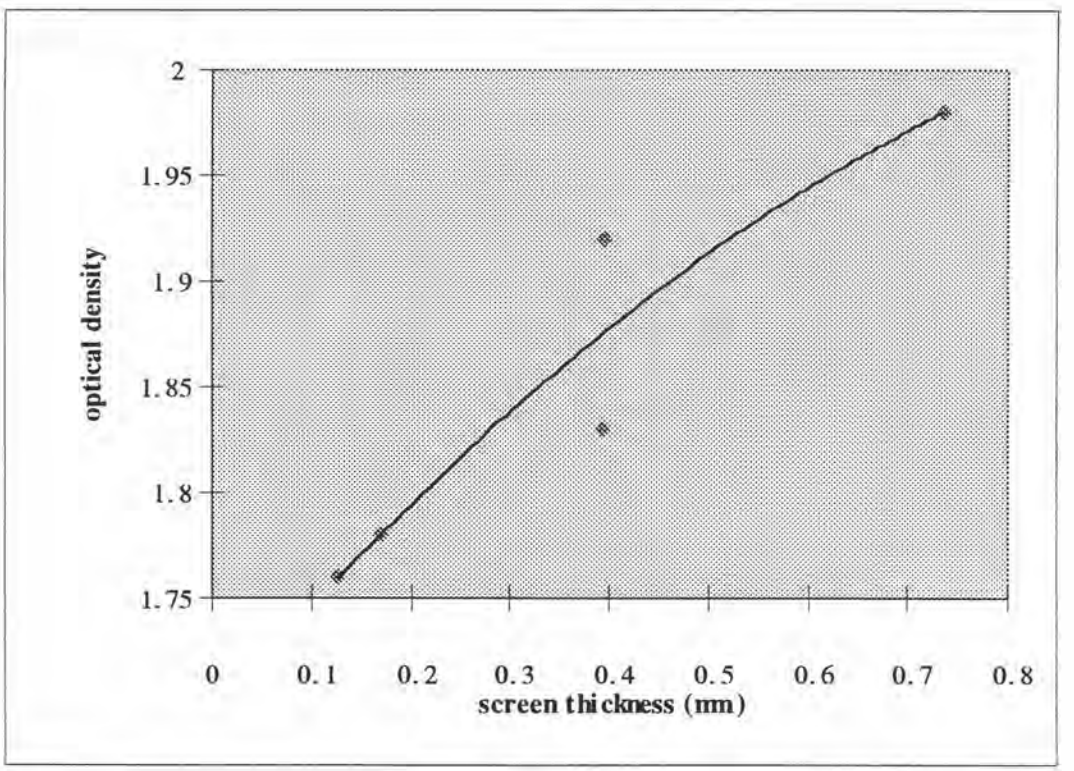
จากผลการทดลอง เห็นได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และลิเทียมเมตาบอเรต เท่ากับ 1.5 และปริมาณของกาวดูโรที่นำมาใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวไม่ควรมากเกินไป ควรใช้อยู่ในช่วง 20-24 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน มีความไวและรีโซลูชันของภาพดีที่สุด

4.7 การหาความหนาที่เหมาะสมของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

ทำการผสมฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และลิเทียมเมตาบอเรต ในอัตราส่วน 1.5 และกาวดูโรในปริมาณ 20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก แล้วนำไปฉีดพ่นลงบนแผ่นอะลูมิเนียมโดยควบคุมปริมาณ ของสารผสมทำให้ได้ค่า ความหนาต่างๆกันคือจากนั้นนำฉากตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 ซึ่งเดินเครื่องที่700 กิโลวัตต์ ที่ตำแหน่ง 90 เซนติเมตรจากปลายท่อคอลิเมเตอร์ เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.4 แล้วนำฟิล์มที่ได้ไปผ่านกระบวนการสร้างภาพโดยน้ำยาของบริษัท โกดัก ได้ผลดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าความดำบนแผ่นฟิล์มของฉากที่มีความหนาต่างกัน

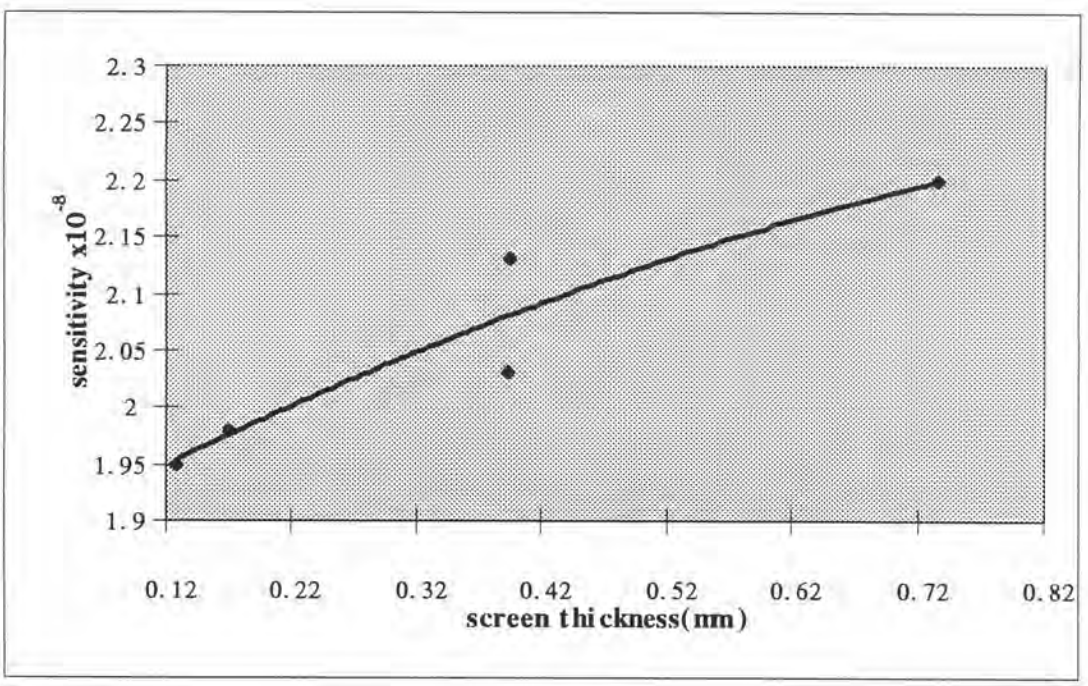
ความหนาของฉาก (มม.)	ค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม
0.1705	1.78
0.3933	1.83
0.1276	1.76
0.395	1.92
0.737	1.98



รูปที่ 4.27 ค่าความดำบนแผ่นฟิล์มภายหลังการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากที่มีความหนาต่างกัน

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าความไวในการเกิดภาพของฉากที่มีความหนาต่างกัน

ความหนาของฉาก	ความดำบนแผ่นฟิล์ม	ความไวในการเกิดภาพ ($1//n/cm^2$)
0.1705	1.78	$1.98x10^{-8}$
0.3933	1.83	$2.03x10^{-8}$
0.1276	1.76	$1.95x10^{-8}$
0.395	1.92	$2.13x10^{-8}$
0.737	1.98	$2.2x10^{-8}$



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าความไวในการเกิดภาพของฉากที่มีความหนาต่างกัน

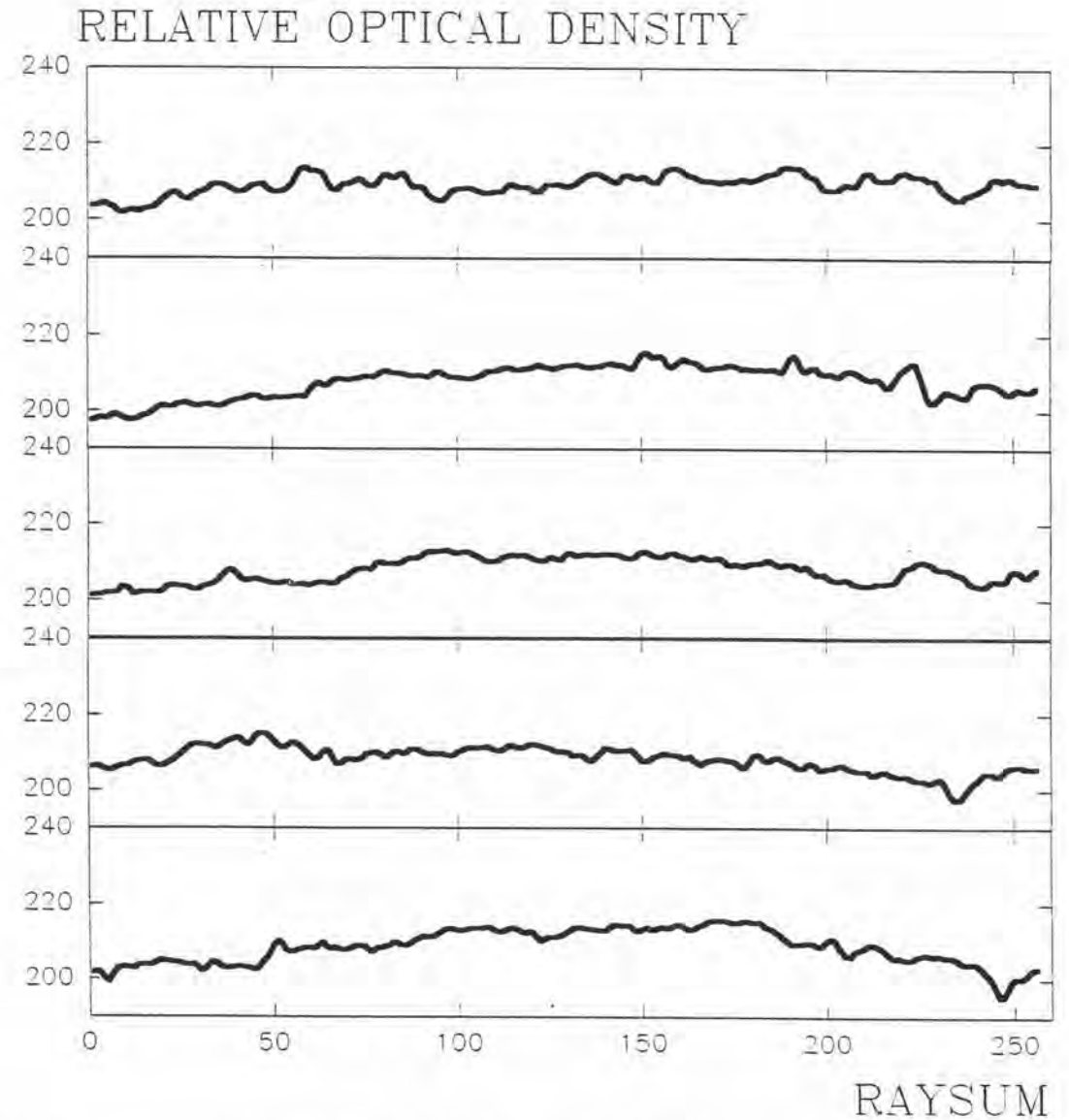
ตารางที่ 4.19 ค่ารีโซลูชันของฉากที่มีความหนาต่างกัน

ความหนาของฉาก	ขนาดของกลุ่ม D	ขนาดของกลุ่ม E	ขนาดของกลุ่ม F	ขนาดของกลุ่ม G
0.1705	0.25	0.25	0.1	1.5
0.3933	0.25	0.25	0.1	0.75
0.1276	0.25	0.25	0.1	1.0
0.395	0.25	0.25	0.1	0.45
0.737	0.25	0.25	0.1	1.0

จากการเปรียบเทียบค่ารีโซลูชัน ของฉากที่มีความหนาต่างกันจะเห็นว่าแม้ความหนาของฉากเพิ่มขึ้นแต่ค่ารีโซลูชันของภาพยังคงเดิมเท่ากับ 250 ไมครอน จะต่างกันที่คอนทรัสต์ของภาพโดยฉากที่มีความหนา 0.395 มิลลิเมตร จะให้คอนทรัสต์ของภาพดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ฉากที่มีความหนา 0.3955 มิลลิเมตร ดังนั้นฉากที่ให้ค่ารีโซลูชันและคอนทรัสต์สูงสุด ควรมีความหนาประมาณ 0.39 มิลลิเมตร

4.8 การตรวจสอบความสม่ำเสมอของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้น

ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย สังกะสีซัลไฟด์(เงิน) 15 ส่วน ลิเทียมเมตาบอเรต 10 ส่วน และกาวดูโร 6 ส่วน ภายหลังการนำฉากไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์ม อิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส แล้วนำมาอ่านค่าความดำที่ตำแหน่งต่างๆ ด้วยเครื่องสแกนอ่านค่าความดำอัตโนมัติ โดยการสแกนทั้งหมด 5 รอบ รอบละ 256 จุดได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.29 ผลที่ได้จากการอ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม โดยเครื่องสแกนอ่านค่าความดำอัตโนมัติ

4.9 ตัวอย่างการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้น

การถ่ายภาพตัวอย่างด้วยนิวตรอน เป็นขั้นตอนเพื่อทดสอบความสามารถของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้น โดยใช้ฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี 5 พลัส วางประกบกับฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้น แล้วนำไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่นิวตรอนฟลักซ์เท่ากับ $1.5x10^5$ นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย -1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 เป็นเวลา 10 นาที ตัวอย่างที่เลือกมาใช้ได้แก่

1.ไฟแชค

2. กระป๋องสเปรย์ขนาดเล็ก

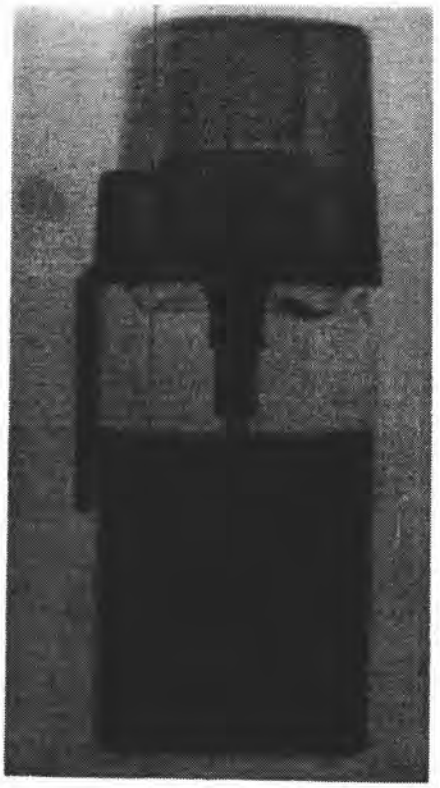
3.ไม้บรรทัดเจาะรูเป็นตัวอักษรขนาด 3.0 มิลลิเมตร

4. นาฬิกาข้อมือสายเป็นหนังสัตว์ 1 เรือน

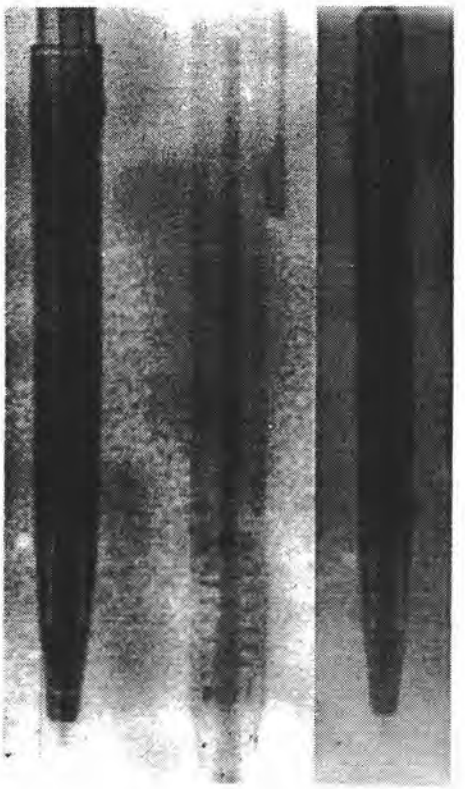
5.ดินขับปลอกร่มชูชีพแบบที่ใช้แล้วและยังไม่ได้ใช้

6.ปากกา

รูปที่ 4.30 ตัวอย่างที่นำมาใช้ทดลองถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้น

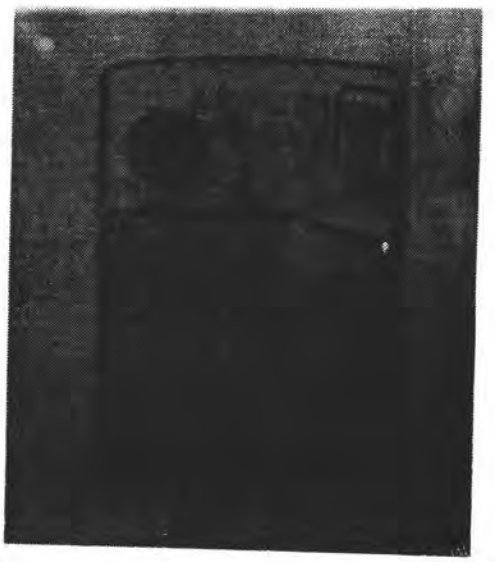


รูปที่ 4.31 ภาพถ่ายรังสีนิวตรอนของกระป๋องสเปรย์



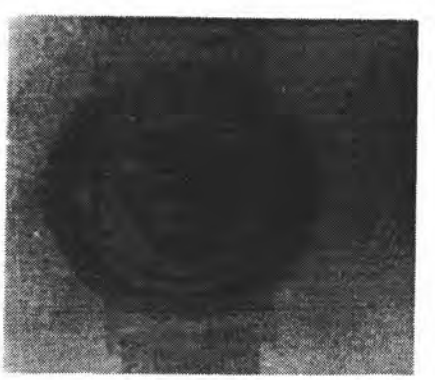
รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายรังสีนิวตรอนของปากกา

รูปที่ 4.33 ภาพถ่ายรังสีนิวตรอนของไม้บรรทัด



รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายรังสีนิวตรอนของไฟแชค

รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายรังสีนิวตรอนของดินขับปลอกร่มชูชีพ



รูปที่ 4.36 ภาพถ่ายรังสีนิวตรอนของนาฬิกาข้อมือ