

## บทที่ 4

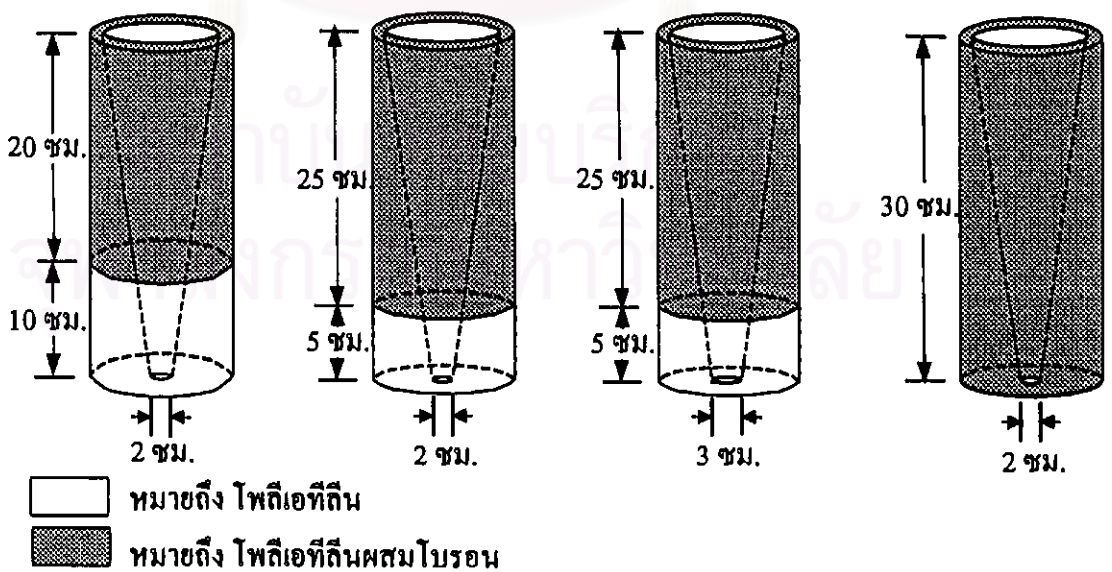
### ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการออกแบบและสร้างนิวตรอนคอลลิเมเตอร์

จากการออกแบบและสร้างนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ตามวิธีดำเนินการวิจัย 3.2.2 จะได้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์แบบไดเวอร์เจนต์ที่สร้างจากโพลิเอทิลีนและโบรอนทั้งหมด 4 อัน โดยมีองค์ประกอบและลักษณะแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติบางประการของนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่สร้างขึ้น

นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่	ความยาว (ซม.)	ส่วนของโพลิเอทิลีน (ซม.)	ส่วนของโพลิเอทิลีนผสมโบรอน (ซม.)	ทางเข้าของนิวตรอน (ซม.)	อัตราส่วน L/D
1	30	10	20	2	15
2	30	5	25	2	15
3	30	5	25	3	10
4	30	-	30	2	15



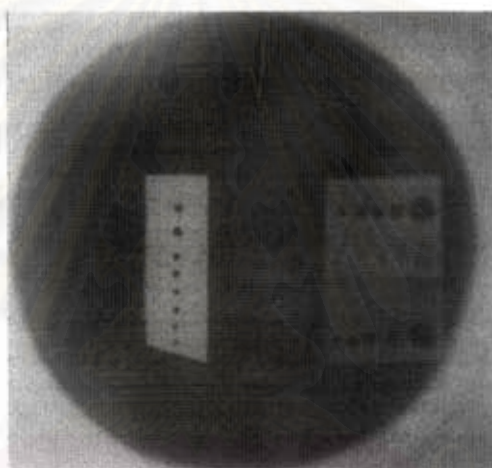
รูปที่ 4.1 แผนภาพนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่สร้างขึ้น

#### 4.2 ผลการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเปรียบเทียบระหว่างการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นเดียวและการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น

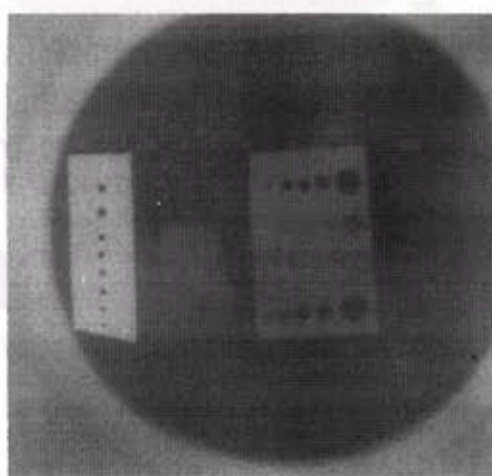
เมื่อถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟลูออโรโทเนียม - 238 / เบริลเลียม เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน ถ่ายภาพนาน 63 ชั่วโมง ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนจากการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนเพียงแผ่นเดียว และภาพถ่ายด้วยนิวตรอนที่ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข)

ค่าความดำที่ตำแหน่งต่างๆ ของฟิล์มที่ถ่ายภาพโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นเดียวเปรียบเทียบกับค่าความดำของฟิล์มที่ถ่ายภาพโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น แสดงดังตารางที่ 4.2

โพรไฟล์ค่าความดำสัมพัทธ์ของฟิล์มเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มทั้งสอง แสดงในรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข)



(ก) ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 1 แผ่น



(ข) ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนเปรียบเทียบระหว่างการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 1 แผ่น - และการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น

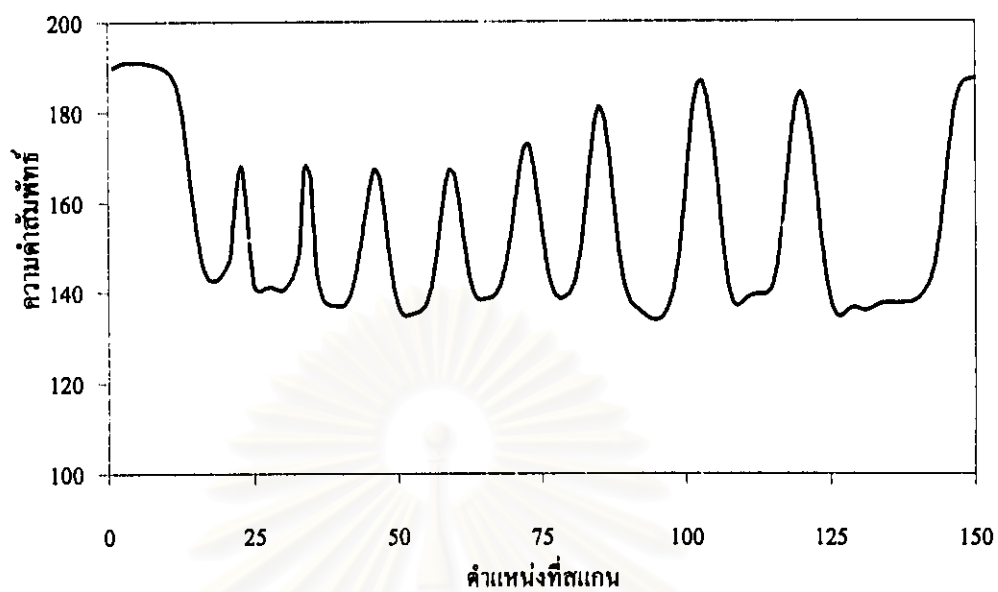
ตารางที่ 4.2 ค่าความดำของฟิล์มเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นเดียวและใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น

จำนวนฉาก เปลี่ยน นิวตรอน	ค่าความดำ				
	แบคกราวด์	แผ่นแคดเมียม	ไอซี	แผ่นอะคริลิก บาง	แผ่นอะคริลิก หนา
1	1.55	1.10	1.52	1.58	1.40
2	1.46	0.96	1.38	1.40	1.30

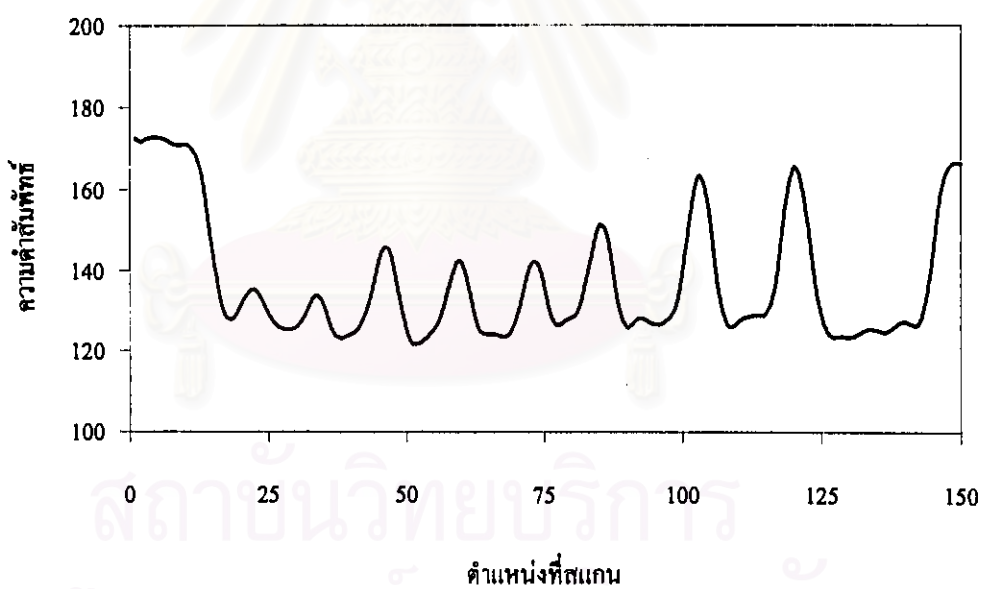
ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นเดียว ให้ความดำของฟิล์มสูงกว่าภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น อาจเนื่องมาจากความหนาของฉากเปลี่ยนนิวตรอนและสารดูดกลืนนิวตรอนในฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นหน้า ทำให้นิวตรอนที่ผ่านมาทำปฏิกิริยากับฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นหลังลดลง ประกอบกับฟิล์มที่ใช้เป็นฟิล์มเคลือบอิมัลชันด้านเดียว แสงที่ปลดปล่อยออกจากฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นหน้าจึงไม่มีผลต่อฟิล์มมากนัก

นอกจากนี้ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นเดียวยังมีความคมชัดกว่าการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น เนื่องจากการเพิ่มฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นหน้าจะทำให้ระยะระหว่างวัตถุตัวอย่างกับฟิล์มเพิ่มขึ้น จึงเกิดขอบเงามัว (penumbra) ของภาพมากขึ้น ดังที่อธิบายไว้ใน 2.4 ดังนั้นการวิจัยในขั้นตอนนี้ต่อไปจึงเลือกใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนวางด้านหลังเพียงแผ่นเดียว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 1 แผ่น



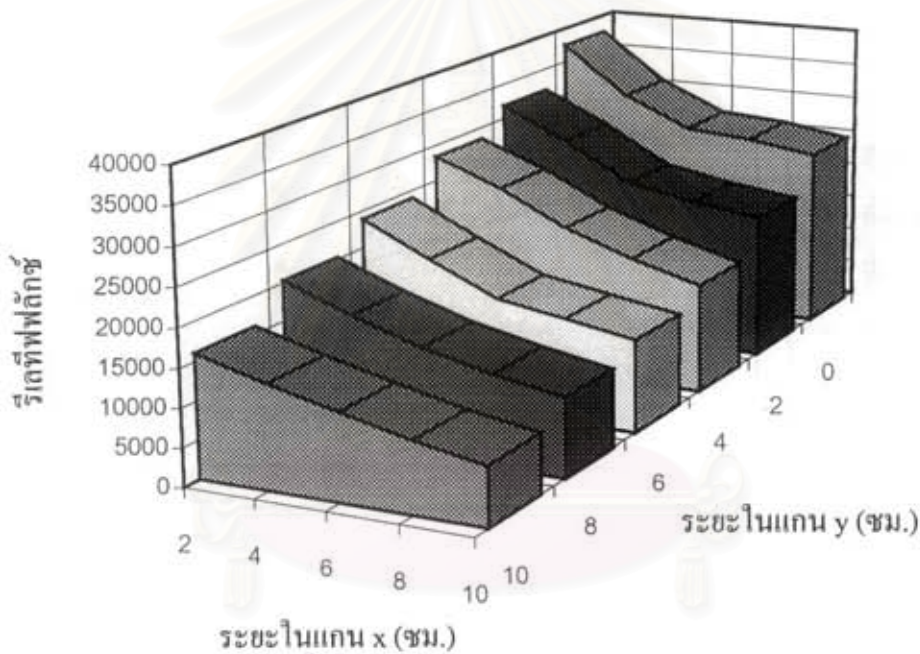
(ข) ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น

รูปที่ 4.3 โพรไฟล์ค่าความค่าสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่างการใชฉากเปลี่ยนนิวตรอน 1 แผ่น และการใชฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น

### 4.3 ผลการวัดรีเททีฟลักซ์และหาอัตราส่วนแคดเมียม

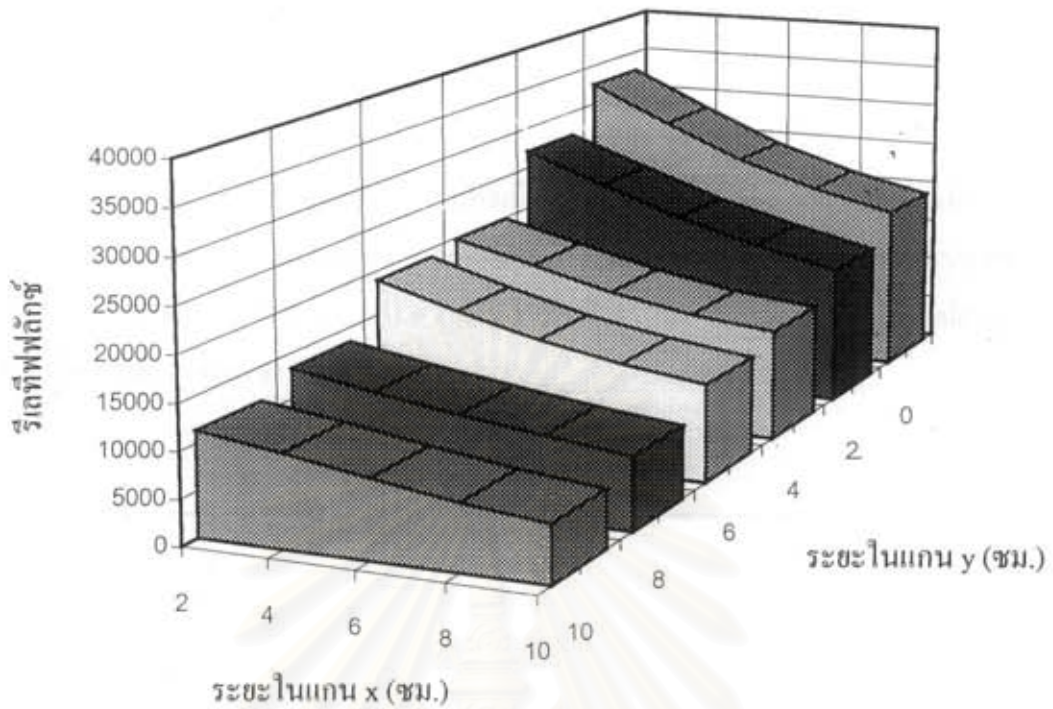
#### 4.3.1 ผลการวัดรีเททีฟลักซ์

จากการวัดรีเททีฟลักซ์ที่ได้จากนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ทั้ง 4 อัน โดยเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนและนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ ในแกน x เป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 เซนติเมตร และในแกน y เป็น 0 (ต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ระดับเดียวกับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์), 2, 4, 6, 8 และ 10 เซนติเมตร สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ของรีเททีฟลักซ์กับระยะระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนและนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ได้ดังรูปที่ 4.4 (ก) (ข) (ค) และ (ง)

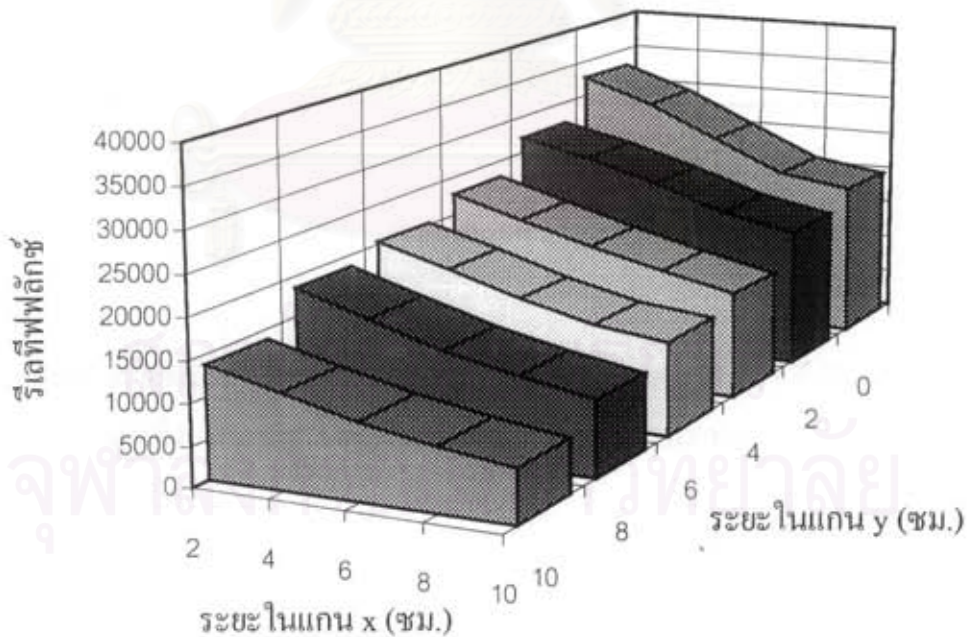


(ก) รีเททีฟลักซ์ที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ซึ่งมีความยาวของส่วนที่ไม่ผสมสารดูดกลืนนิวตรอนเท่ากับ 10 เซนติเมตร และมีอัตราส่วน  $L/D$  เท่ากับ 15

รูปที่ 4.4 รีเททีฟลักซ์ที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์แต่ละอัน

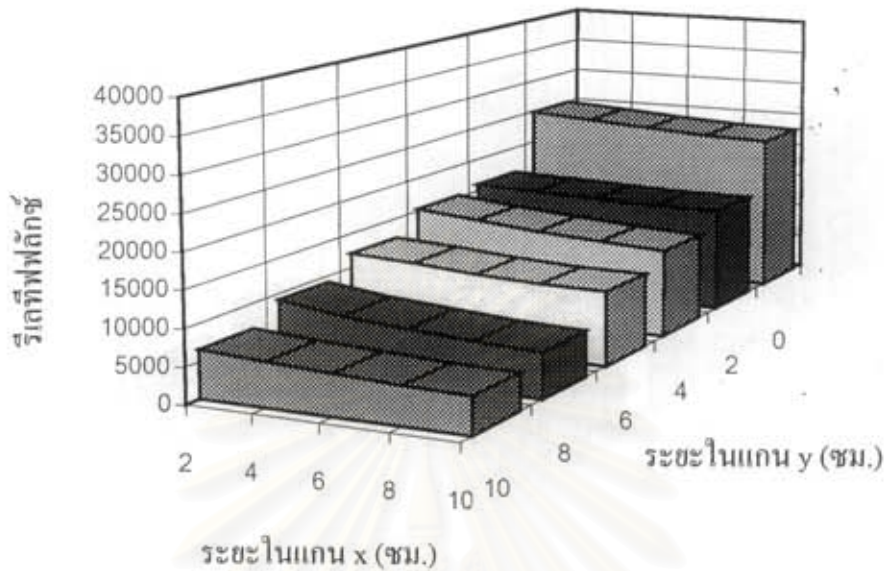


(ข) รีเลทีฟลักซ์ที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันดับที่ 2 ซึ่งมีความยาวของส่วนที่ไม่ผสมสารดูดกลืนนิวตรอนเท่ากับ 5 เซนติเมตร และมีอัตราส่วน  $L/D$  เท่ากับ 15



(ค) รีเลทีฟลักซ์ที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันดับที่ 3 ซึ่งมีความยาวของส่วนที่ไม่ผสมสารดูดกลืนนิวตรอนเท่ากับ 5 เซนติเมตร และมีอัตราส่วน  $L/D$  เท่ากับ 10

รูปที่ 4.4 (ต่อ)



(ง) รีเลทีฟฟลักซ์ที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 4 ซึ่งผสมสารดูดกลืนนิวตรอนตลอดทั้งอัน และมีอัตราส่วน  $L/D$  เท่ากับ 15

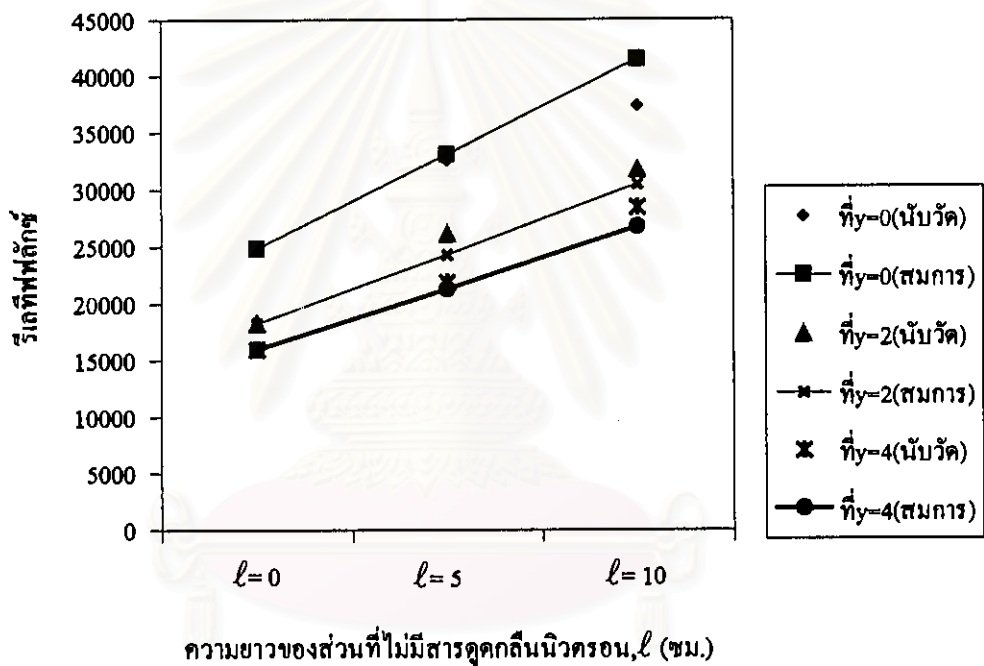
รูปที่ 4.4 (ต่อ)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 (ก) (ข) (ค) และ (ง) พบว่ารีเลทีฟฟลักซ์ของนิวตรอนแปรผกผันกับระยะระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ นั่นคือรีเลทีฟฟลักซ์ของนิวตรอนมีค่าลดลงเมื่อระยะระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์เพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีเพิ่มระยะในแกน x และกรณีเพิ่มระยะในแกน y ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Baheti, G. L. <sup>[4]</sup>

รีเลทีฟฟลักซ์ที่วัดได้จากการใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์ต่างกันมีค่าต่างกัน โดยนิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ให้รีเลทีฟฟลักซ์สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 อันที่ 2 และ อันที่ 4 ตามลำดับ เนื่องจากปลายด้านข้างของนิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 มีส่วนของโพลิเอทีลินยาว 10 เซนติเมตรซึ่งยาวกว่านิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันอื่น ๆ ทำให้นิวตรอนสามารถเข้าสู่นิวตรอนคอลลิเมเตอร์จากผนังด้านข้างได้จึงมีรีเลทีฟฟลักซ์สูง ส่วนในกรณีนิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 และอันที่ 3 ซึ่งมีส่วนของโพลิเอทีลินยาว 5 เซนติเมตรเท่ากัน แต่นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 ให้รีเลทีฟฟลักซ์สูงกว่านิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 เนื่องจากนิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 มีช่องเปิดด้านล่าง (D) กว้างกว่าคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 นิวตรอนจึงสามารถเข้าสู่คอลลิเม

เตอร์อันที่ 3 ได้มากกว่า สำหรับนิวตรอนคอลลิมเตอร์อันที่ 4 สร้างจากโพลิเอทีลินผสมโบรอน คอลลิมเตอร์อันนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดด้านข้างเพียง 2 เซนติเมตร จึงให้รีเลทีฟฟลักซ์ต่ำกว่านิวตรอนคอลลิมเตอร์อันอื่น ๆ ซึ่งสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีเลทีฟฟลักซ์ที่วัดได้กับความยาวของส่วนที่ไม่มีสารดูดกลืนนิวตรอนเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ (2.19) ดังรูปที่ 4.5

ดังนั้นถ้าต้องการรีเลทีฟฟลักซ์สูงที่สุดควรเลือกใช้นิวตรอนคอลลิมเตอร์อันที่ 1 และให้ตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีในแกน x เป็น 2 เซนติเมตร และในแกน y เป็น 0 เซนติเมตร



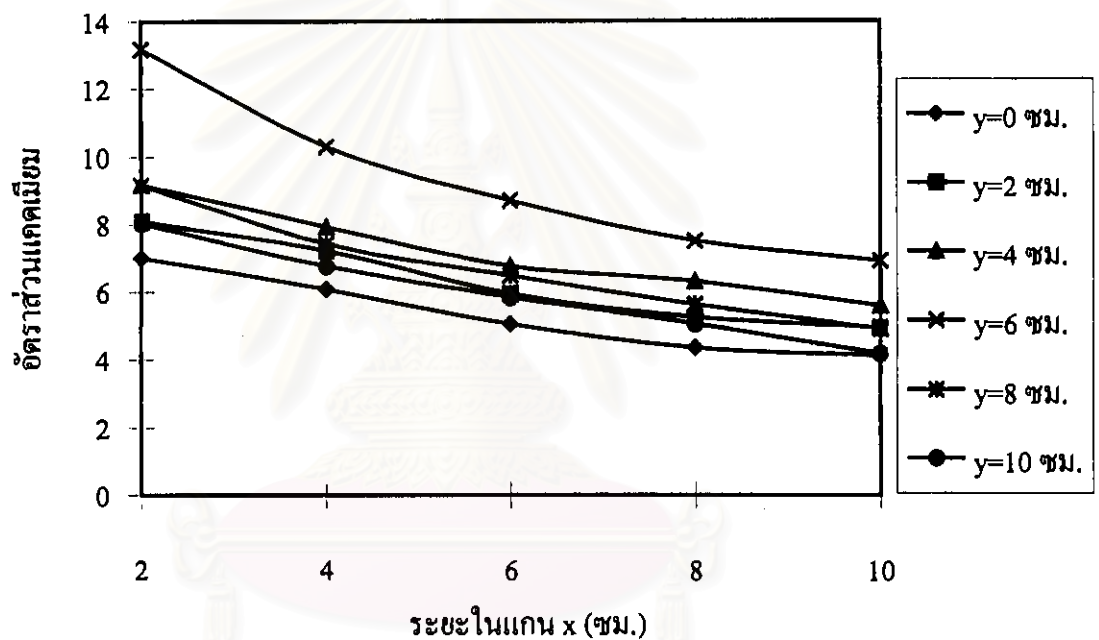
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีเลทีฟฟลักซ์ที่ได้จากการนับวัดกับความยาวของส่วนที่ไม่มีสารดูดกลืนนิวตรอนของนิวตรอนคอลลิมเตอร์เปรียบเทียบกับค่ารีเลทีฟฟลักซ์ที่คำนวณได้จากสมการ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 พบว่า รีเลทีฟฟลักซ์ของนิวตรอนแปรตามความยาวของส่วนที่ไม่มีสารดูดกลืนนิวตรอนของนิวตรอนคอลลิมเตอร์ ซึ่งสอดคล้องกับสมการ (2.19) แต่มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ได้จากการคำนวณเล็กน้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการจัดระบบวัดนิวตรอนช้า และประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด

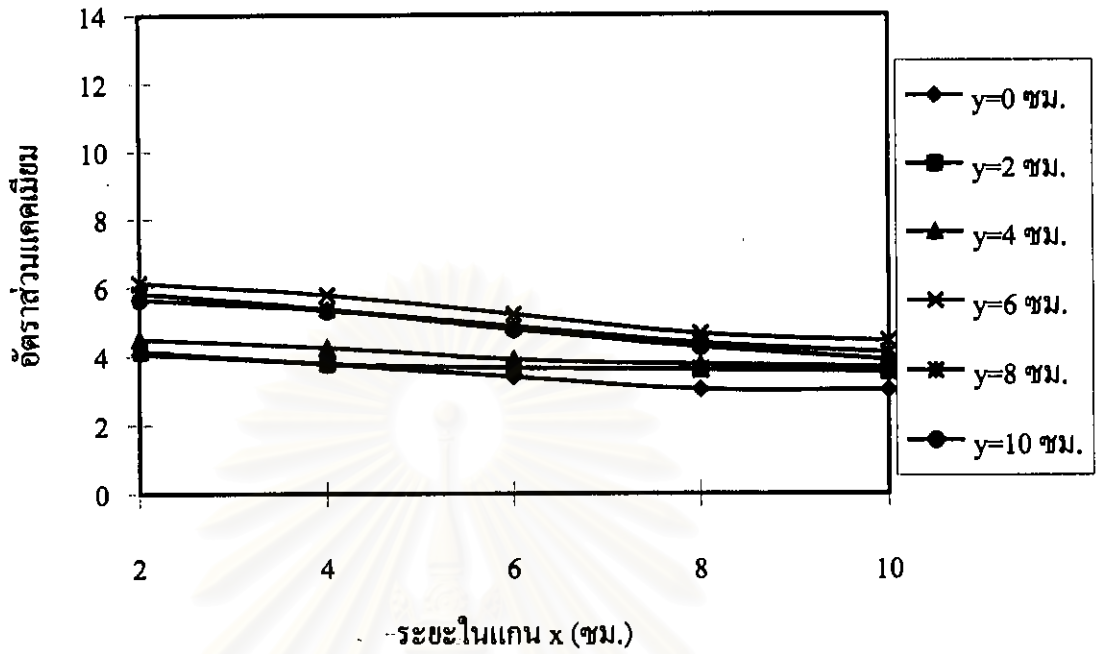


#### 4.3.2 ผลการคำนวณอัตราส่วนแคคเมียม

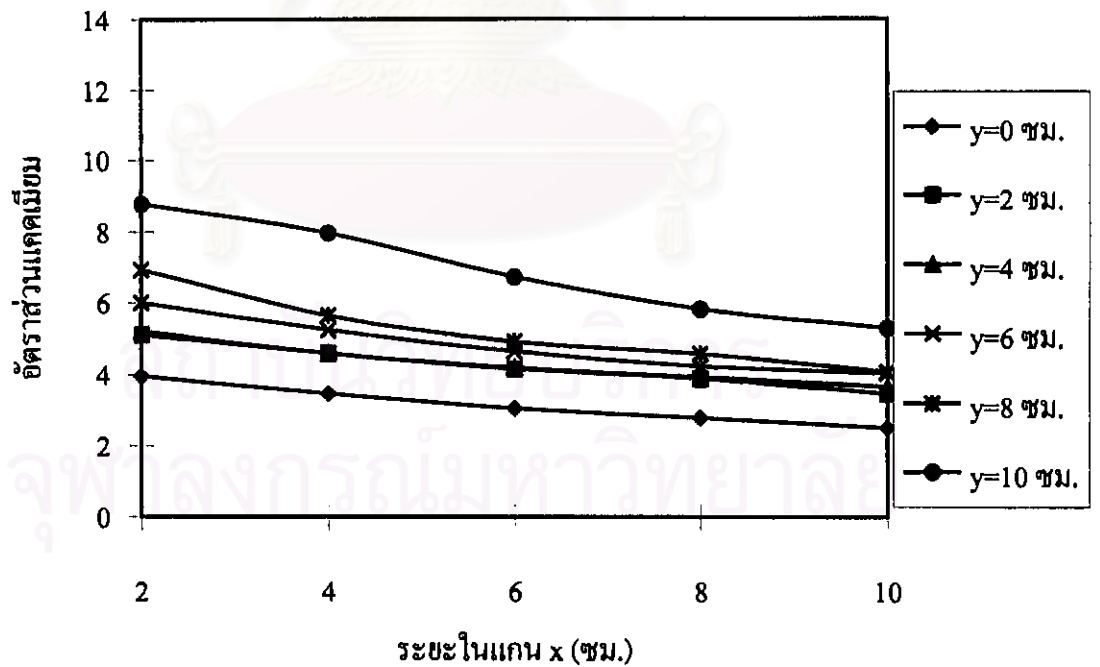
จากการคำนวณอัตราส่วนแคคเมียมเมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์แต่ละอัน และ ตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x และ ในแกน y ต่างกัน สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแคคเมียมกับระยะระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอน สำหรับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์แต่ละอัน ได้ดังรูปที่ 4.5 (ก) (ข) (ค) และ (ง)



- (ก) อัตราส่วนแคคเมียมที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ซึ่งมีส่วนที่ไม่ผสมสารดูดกลืนนิวตรอนยาว 15 เซนติเมตร และมีอัตราส่วน L/D เท่ากับ 15
- รูปที่ 4.6 อัตราส่วนแคคเมียมที่ระยะต่าง ๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์แต่ละอัน

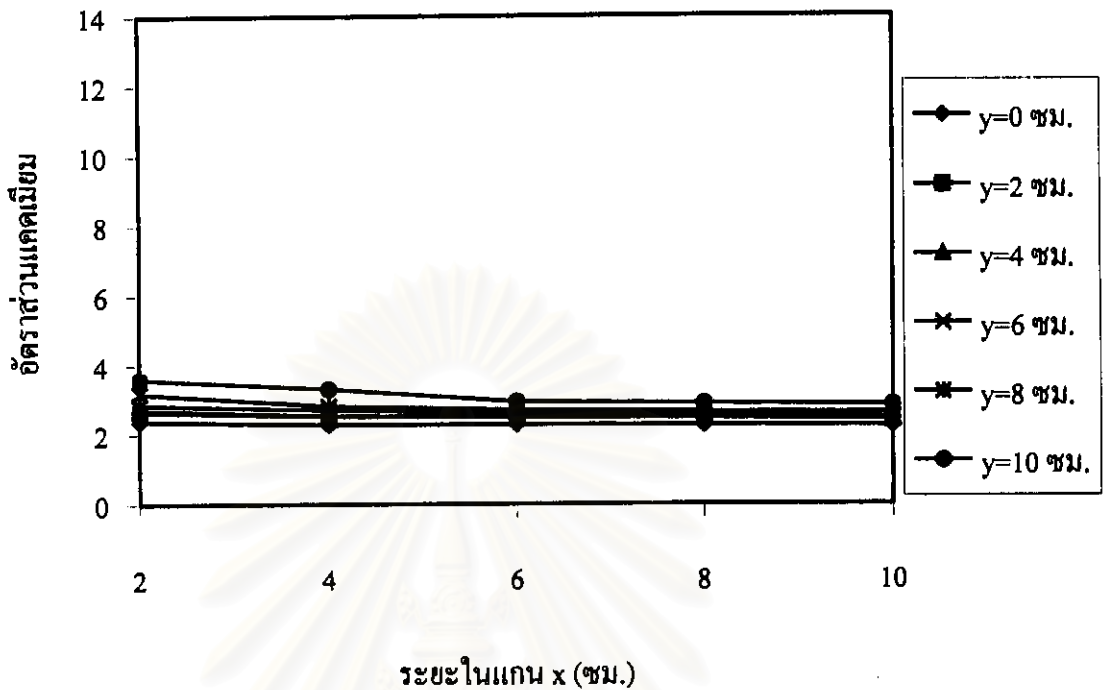


(ข) อัตราส่วนแคดเมียมที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 ซึ่งมีส่วนที่ไม่ผสม สารดูดกลืนนิวตรอนยาว 10 เซนติเมตร และมีอัตราส่วน L/D เท่ากับ 15



(ค) อัตราส่วนแคดเมียมที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 ซึ่งมีส่วนที่ไม่ผสม สารดูดกลืนนิวตรอนยาว 5 เซนติเมตร และมีอัตราส่วน L/D เท่ากับ 10

รูปที่ 4.6 (ต่อ)



(ง) อัตราส่วนแคะเมียมที่ระยะต่างๆ เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 4 ซึ่งผสมสารดูดกลืนนิวตรอนตลอดทั้งอัน และมีอัตราส่วน L/D เท่ากับ 15

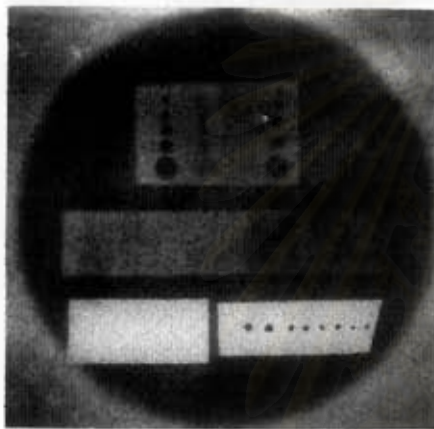
รูปที่ 4.6 (ต่อ)

อัตราส่วนแคะเมียมที่คำนวณได้เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนแคะเมียมที่คำนวณได้เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 อันที่ 2 และอันที่ 4 ตามลำดับ เมื่อระยะระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนและนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ในแนวแกน x เพิ่มขึ้น อัตราส่วนแคะเมียมมีแนวโน้มลดลง และเมื่อเพิ่มระยะในแนวแกน y อัตราส่วนแคะเมียมจะสูงขึ้นจนถึงระยะ y เท่ากับ 6 เซนติเมตร แล้วจึงลดลงเมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 และอันที่ 2 ส่วนอัตราส่วนแคะเมียมที่ได้จากการใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 และอันที่ 4 มีค่ามากขึ้นเมื่อระยะในแกน y มากขึ้น

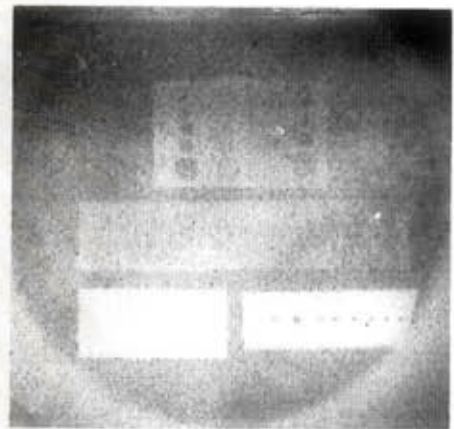
ดังนั้นถ้าต้องการให้อัตราส่วนแคะเมียมสูงที่สุด ควรเลือกใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 และให้ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน x เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 6 เซนติเมตร

#### 4.4 ผลการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเพื่อเลือกตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนและนิวตรอนคออลิเมเตอร์ที่เหมาะสม

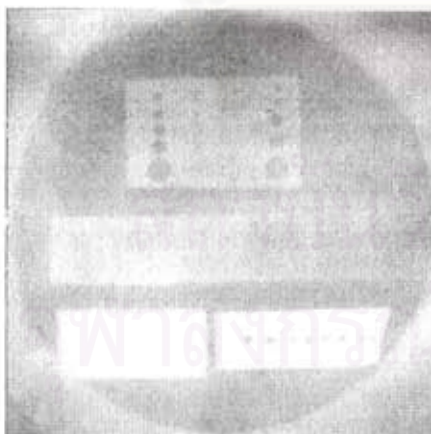
เมื่อถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคออลิเมเตอร์ และตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีต่างกัน โดยเลือกถ่ายภาพที่ตำแหน่งที่ให้รีเลทีฟฟลักซ์สูงและให้อัตราส่วนแคดเมียมสูงที่สุดและต่ำที่สุด ได้ภาพถ่ายดังรูปที่ 4.7



(ก) ฟิล์มที่ 1



(ข) ฟิล์มที่ 2

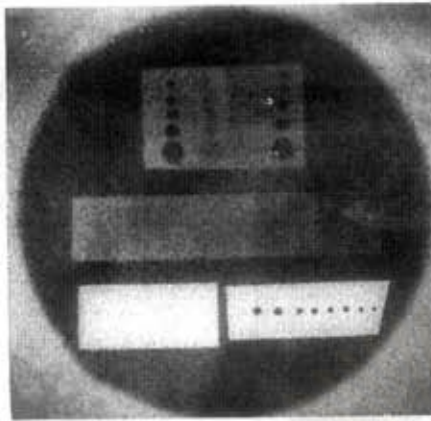


(ค) ฟิล์มที่ 3

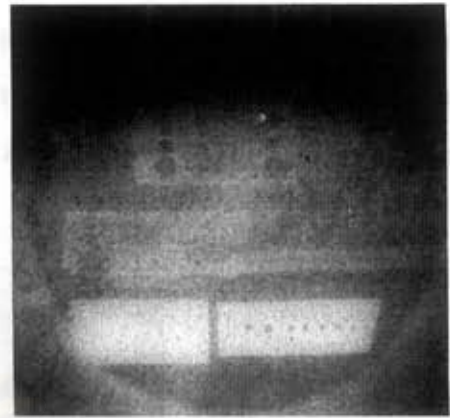


(ง) ฟิล์มที่ 4

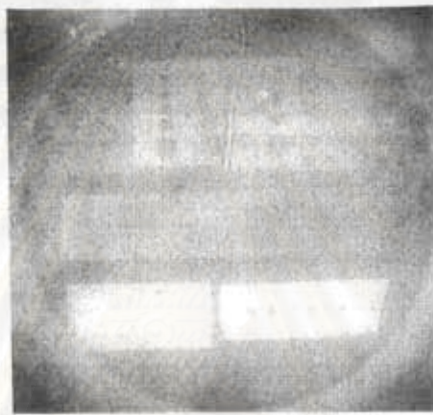
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายเปรียบเทียบเมื่อใช้นิวตรอนคออลิเมเตอร์และตำแหน่งถ่ายภาพต่างกัน



(จ) फिल्मที่ 5



(ฉ) फिल्मที่ 6

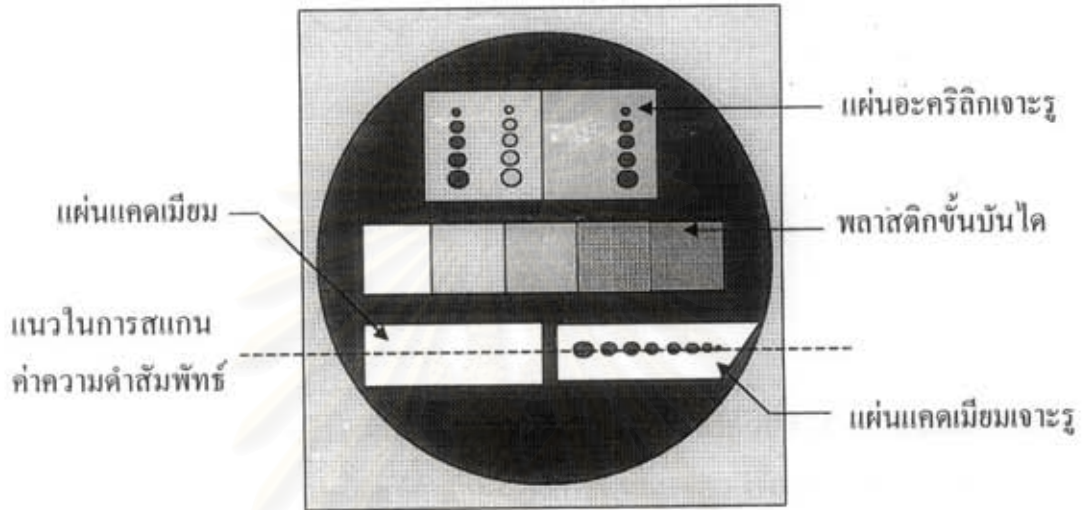


(ช) फिल्मที่ 7

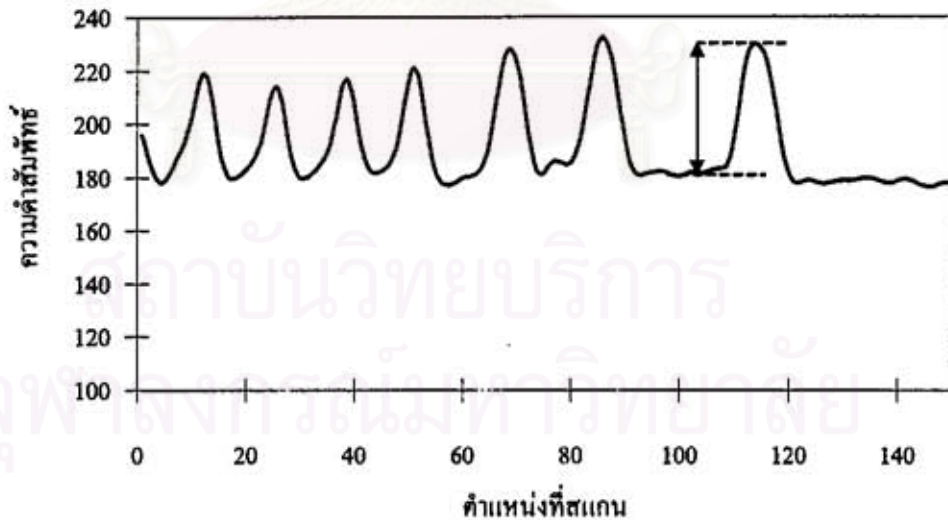
- (ก) फिल्मที่ 1 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 13.18 ใช้เวลาถ่ายภาพ 20 ชั่วโมง
- (ข) फिल्मที่ 2 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 4.13 ใช้เวลาถ่ายภาพ 19 ชั่วโมง 27 นาที
- (ค) फिल्मที่ 3 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 6.12 ใช้เวลาถ่ายภาพ 25 ชั่วโมง 14 นาที
- (ง) फिल्मที่ 4 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 3.02 ใช้เวลาถ่ายภาพ 25 ชั่วโมง 12 นาที
- (จ) फिल्मที่ 5 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 8.78 ใช้เวลาถ่ายภาพ 34 ชั่วโมง 38 นาที
- (ฉ) फिल्मที่ 6 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 2.51 ใช้เวลาถ่ายภาพ 24 ชั่วโมง 16 นาที
- (ช) फिल्मที่ 7 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 4 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 3.60 ใช้เวลาถ่ายภาพ 72 ชั่วโมง

รูปที่ 4.7 (ต่อ)

เมื่อนำภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิมิเตอร์และตำแหน่งคั่นกำเนิดนิวตรอนต่างกันทั้ง 7 ภาพ ไปสแกนอ่านค่าความดำสัมพันธ์ด้วยระบบสแกนค่าความดำของฟิล์ม โดยสแกนผ่านแผ่นแคดเมียมเจาะรูตามแนวสแกนดังรูปที่ 4.8 แล้วนำค่าความดำสัมพันธ์ไปสร้างกราฟ จะได้โพรไฟล์ค่าความดำสัมพันธ์ของฟิล์มดังรูปที่ 4.9

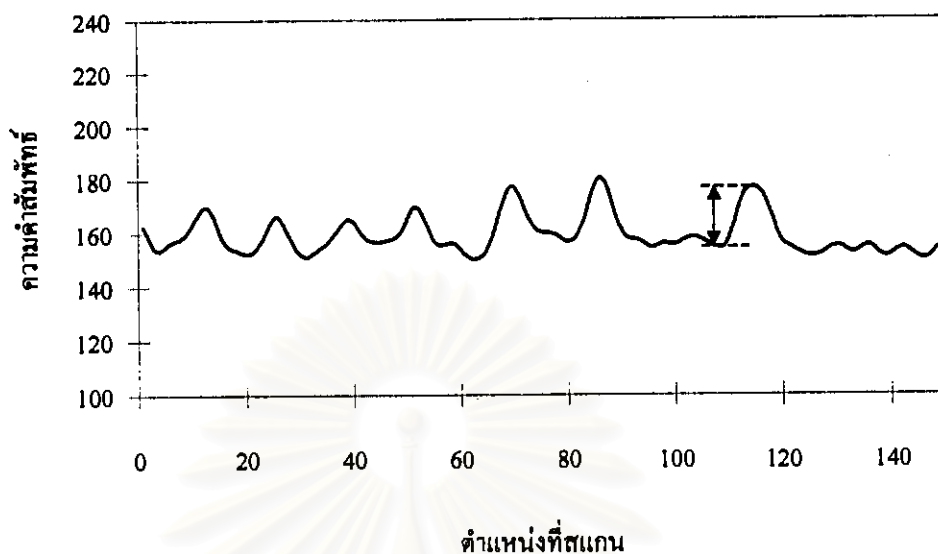


รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงแนวในการสแกนค่าความดำสัมพันธ์

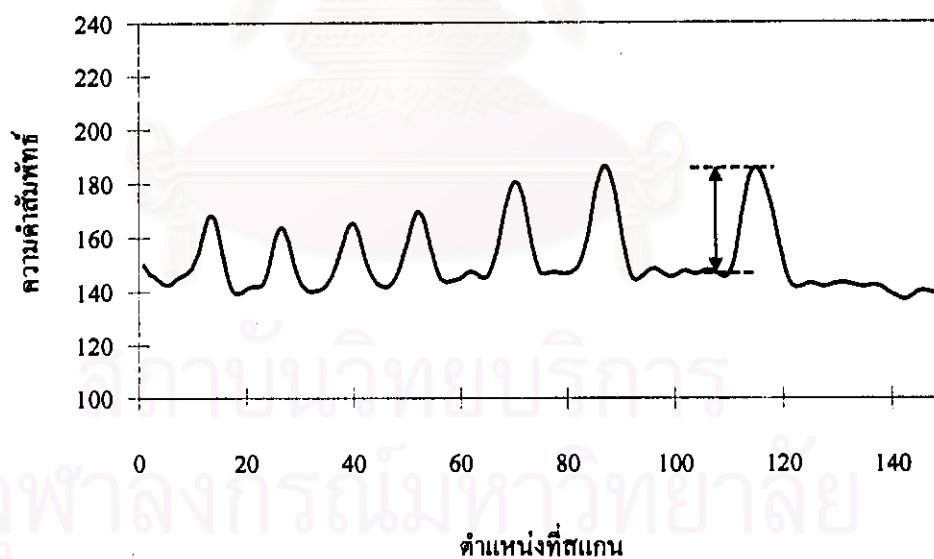


- (ก) ฟิล์มที่ 1 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิมิเตอร์อันที่ 1 ( $l=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 13.18 ใช้เวลาถ่ายภาพ 20 ชั่วโมง

รูปที่ 4.9 โพรไฟล์ค่าความดำสัมพันธ์ของฟิล์ม

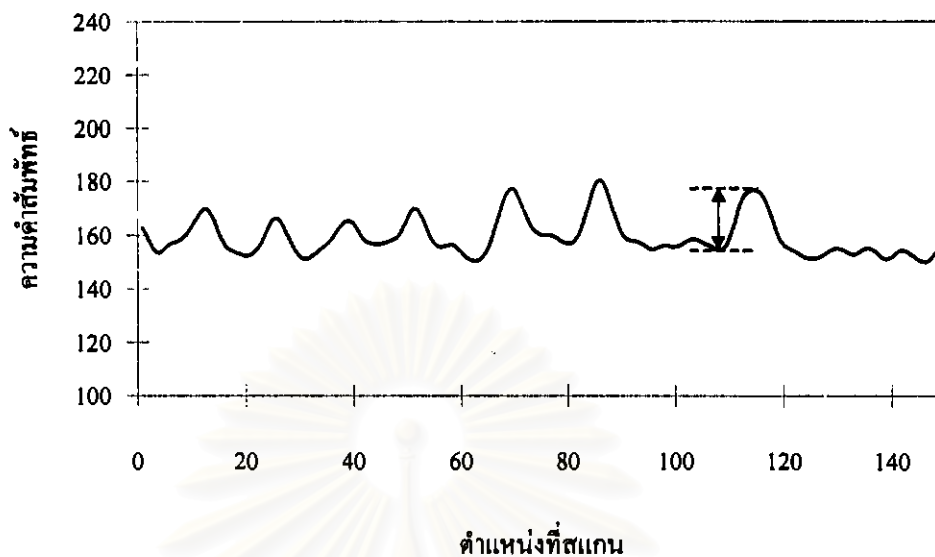


- (ข) พลาสติกที่ 2 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 4.13 ใช้เวลาถ่ายภาพ 19 ชั่วโมง 27 นาที

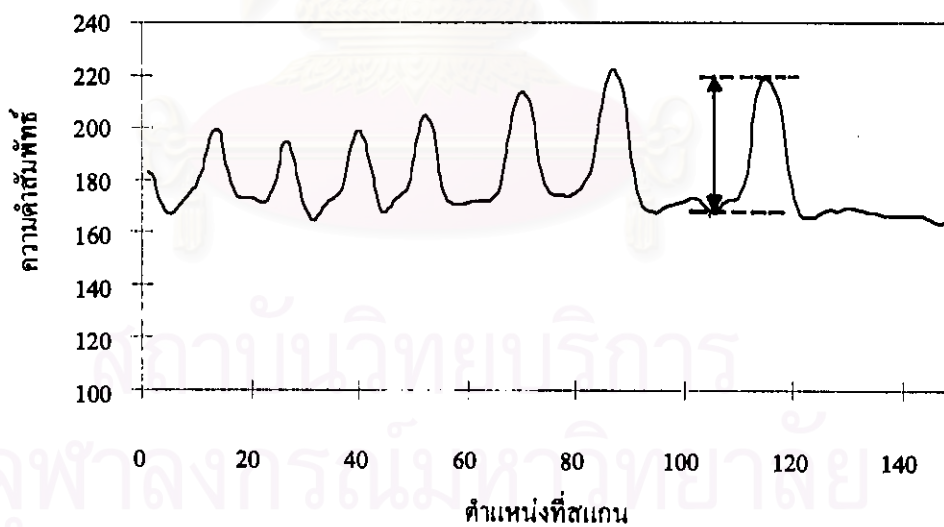


- (ค) พลาสติกที่ 3 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 2 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 6.12 ใช้เวลาถ่ายภาพ 25 ชั่วโมง 14 นาที

รูปที่ 4.9 (ต่อ)

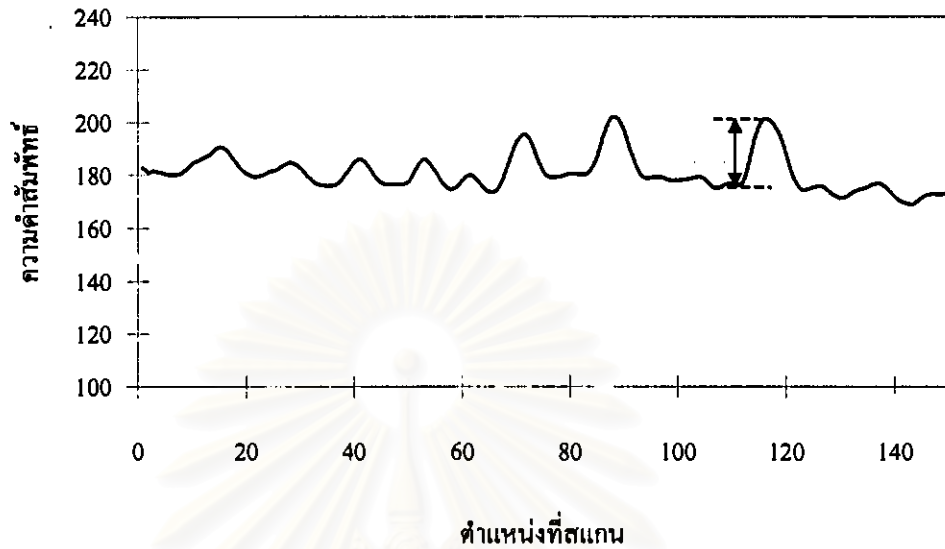


- (ง) फिल्मที่ 4 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันดับที่ 2 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 3.02 ใช้เวลาถ่ายภาพ 25 ชั่วโมง 12 นาที

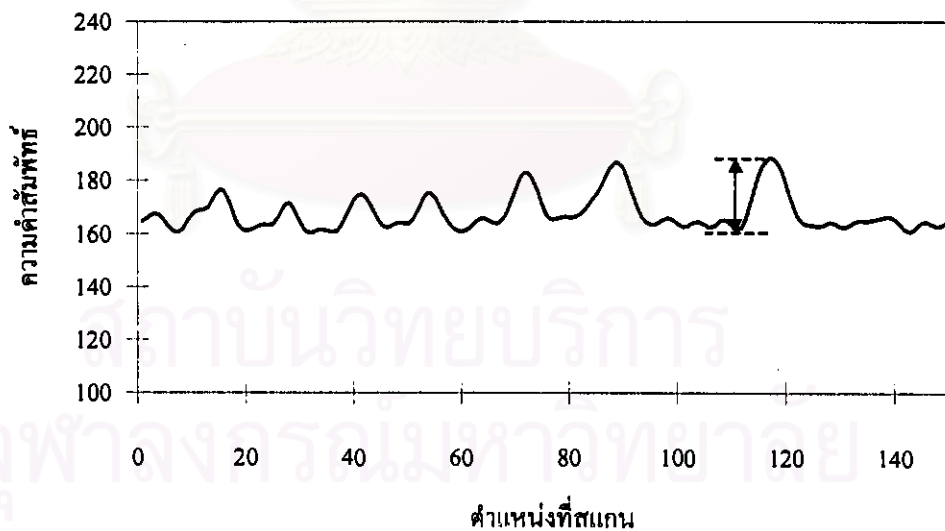


- (จ) फिल्मที่ 5 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันดับที่ 3 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 8.78 ใช้เวลาถ่ายภาพ 34 ชั่วโมง 38 นาที





- (ณ) फिल्मที่ 6 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันดับที่ 3 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 2.51 ใช้เวลาถ่ายภาพ 24 ชั่วโมง 16 นาที



- (ข) फिल्मที่ 7 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันดับที่ 4 ( $\ell=10$  เซนติเมตร และ  $L/D=15$ ) อัตราส่วนแคดเมียมที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 3.60 ใช้เวลาถ่ายภาพ 72 ชั่วโมง  
รูปที่ 4.9 (ต่อ)

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายด้วยนิวตรอนและโพรไฟล์ค่าความดำสัมพัทธ์ของฟิล์มทั้ง 7 ภาพ ซึ่งถ่ายภาพโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์ และตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนต่างกัน พบว่าภาพถ่ายที่ตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนแคดเมียมสูง จะให้ความแตกต่างของค่าความดำสัมพัทธ์ระหว่างแบบกราวด์ และแผ่นแคดเมียมสูง นั่นคือ ให้ความเปรียบต่างของภาพสูง

ฟิล์มที่ 1 ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 มีอัตราส่วน  $L/D$  เท่ากับ 15 ตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน  $x$  เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน  $y$  เท่ากับ 6 เซนติเมตร ซึ่งให้อัตราส่วนแคดเมียมสูงที่สุด 13.18 จึงมีความเปรียบต่างของฟิล์มสูงที่สุด และเป็นตำแหน่งที่ให้รีเลทีฟลักซ์ค่อนข้างสูง ใช้เวลาในการถ่ายภาพไม่นานจนเกินไป (20 ชั่วโมง) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ 5 ซึ่งถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 3 มีอัตราส่วน  $L/D$  เท่ากับ 10 อัตราส่วนแคดเมียมเท่ากับ 8.78 ให้ภาพถ่ายที่มีความเปรียบต่างสูงเช่นเดียวกัน แต่ใช้เวลาในการถ่ายภาพเพื่อให้ได้ความดำของฟิล์มใกล้เคียงกับฟิล์มที่ 1 ถึง 34 ชั่วโมง 38 นาที ดังนั้นการถ่ายภาพในขั้นตอนต่อ ๆ ไป จึงเลือกใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์อันที่ 1 และกำหนดตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในแกน  $x$  เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน  $y$  เท่ากับ 6 เซนติเมตร

#### 4.5 ผลการหาระดับความดำบนฟิล์มที่เหมาะสมเพื่อทำฟรี-เอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์หรือแสงจากเครื่องขยายภาพ

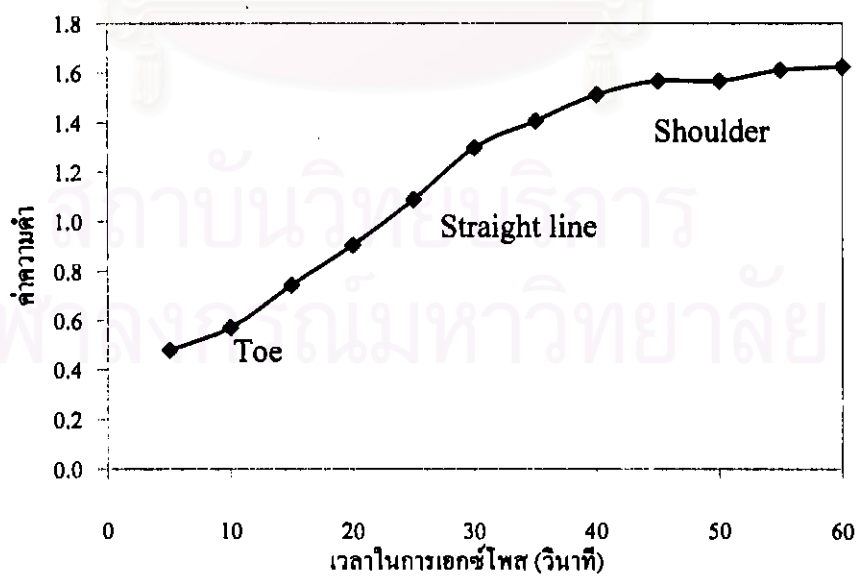
##### ก. ผลการฟรี-เอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์

ค่าความดำของฟิล์มเมื่อเอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์ในเวลาต่าง ๆ กัน แสดงในตารางที่ 4.3 และสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic curve, H&D curve) ของฟิล์ม ได้ดังรูปที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าความดำของฟิล์มเมื่อเอกซโพสด้วยรังสีเอกซ์ 100 kVp 3 มิลลิแอมแปร์ ที่เวลาต่างๆกัน

เวลาในการเอกซโพส (วินาที)	ค่าความดำ
5	0.480
10	0.572
15	0.742
20	0.904
25	1.089
30	1.298
35	1.406
40	1.513
45	1.567
50	1.568
55	1.612
60	1.625

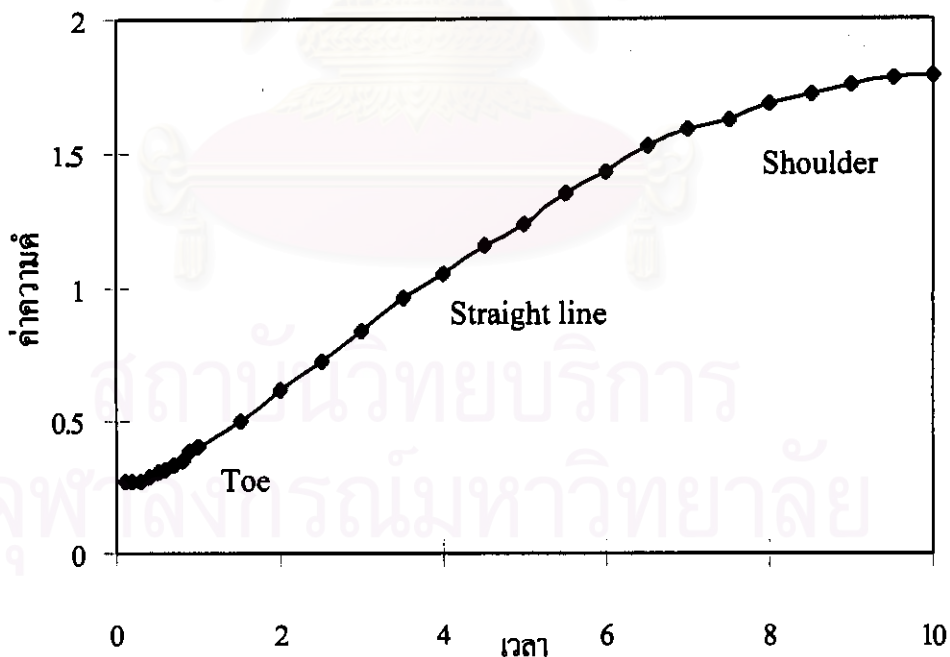


รูปที่ 4.10 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม เมื่อเอกซโพสด้วยรังสีเอกซ์ 100 kVp 3 มิลลิแอมแปร์

จากกราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มเมื่อเอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์ ค่าความดำของฟิล์มของฟิล์มในช่วงแรกสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเอกซ์โพส เรียกช่วงนี้ว่า “Toe” ส่วนในช่วง “Straight line” ค่าความดำจะสูงขึ้นมากเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเอกซ์โพสเพียงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเอกซ์โพสนานขึ้นอีกค่าความดำของฟิล์มจะเริ่มคงที่เรียกช่วงนี้ว่า “Shoulder” แต่กราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มเมื่อเอกซ์โพสด้วยรังสีเอกซ์นี้ มีช่วง “Toe” ที่ไม่ชัดเจน เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่ใช้มีความเข้มสูง และความสามารถในการตั้งเวลาของเครื่องอยู่ในระดับนาทิจึงไม่สามารถถ่ายด้วยเอกซ์โพเซอร์ต่ำ ๆ ได้

#### ข. ผลการพรี-เอกซ์โพสด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพ

ค่าความดำของฟิล์มเมื่อเอกซ์โพสด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพที่เวลาต่าง ๆ กัน แสดงในตารางที่ 4.4 และกราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มที่สร้างจากค่าความดำของฟิล์มจากการเอกซ์โพสด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพและเวลาในการเอกซ์โพส แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มเมื่อเอกซ์โพสด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพ

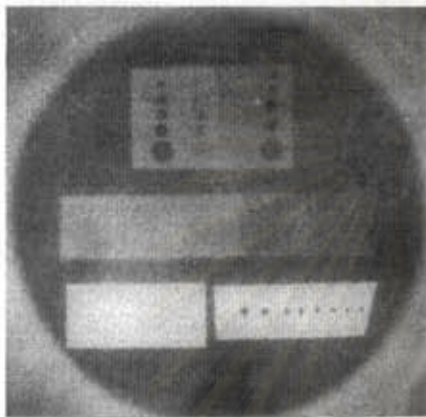
ตารางที่ 4.4 ค่าความดำของฟิล์มเมื่อเอกซโพสด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพ

เวลาในการเอกซโพส (วินาที)	ค่าความดำ	เวลาในการเอกซโพส (วินาที)	ค่าความดำ
0.1	0.275	3.5	0.962
0.2	0.276	4.0	1.048
0.3	0.277	4.5	1.154
0.4	0.289	5.0	1.233
0.5	0.305	5.5	1.348
0.6	0.319	6.0	1.427
0.7	0.337	6.5	1.524
0.8	0.356	7.0	1.586
0.9	0.389	7.5	1.620
1.0	0.406	8.0	1.678
1.5	0.502	8.5	1.722
2.0	0.620	9.0	1.754
2.5	0.721	9.5	1.781
3.0	0.837	10.0	1.789

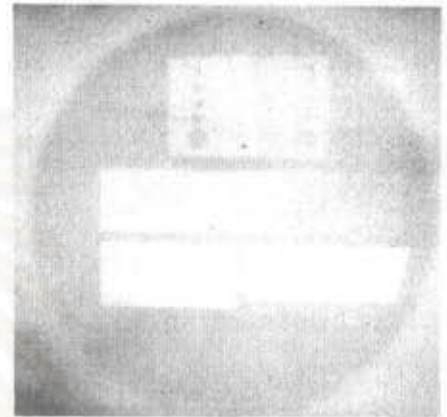
กราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มเมื่อเอกซโพสด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพ มีลักษณะคล้ายกับกราฟที่ได้เมื่อเอกซโพสด้วยรังสีเอกซ์ แต่มีช่วง toe ที่ชัดเจนกว่า คือที่ค่าความดำประมาณ 0.275 ถึง 0.406 และใช้เวลาในการเอกซโพสเพียง 0.4 ถึง 1.0 วินาที ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้พรี-เอกซโพสฟิล์มเพื่อให้มีระดับความดำต่ำ ๆ ก่อน แล้วจึงนำไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอน นอกจากนี้การพรี-เอกซโพสฟิล์มด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพยังมีวิธีการที่สะดวกกว่าการพรี-เอกซโพสด้วยรังสีเอกซ์ ดังนั้นจึงเลือกใช้การพรี-เอกซโพสฟิล์มด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพในการวิจัยขั้นตอนต่อไป

#### 4.6 ผลการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคฟรี-เอกซ์โพเซอร์

ภาพถ่ายเปรียบเทียบระหว่างภาพถ่ายด้วยนิวตรอน โดยเทคนิคปกติกับภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคฟรี-เอกซ์โพเซอร์ที่เวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.12



(ก) ใช้เทคนิคปกติ  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 26 ชั่วโมง



(ข) ใช้เทคนิคปกติ  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

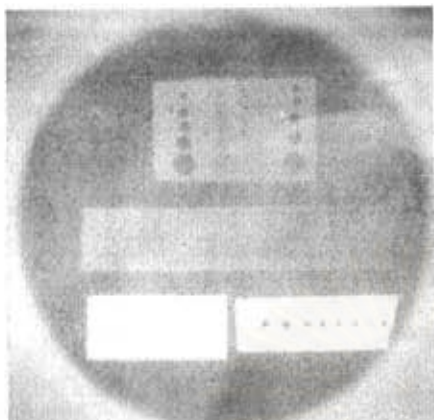


(ค) ฟรี-เอกซ์โพส 0.4 วินาที  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

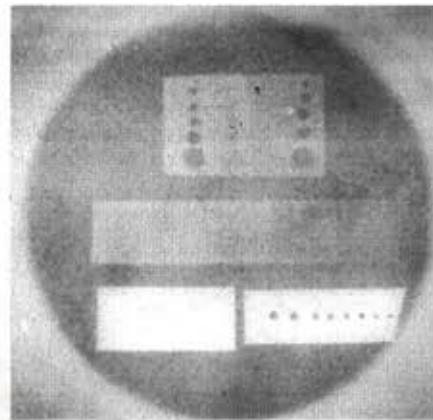


(ง) ฟรี-เอกซ์โพส 0.5 วินาที  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายเปรียบเทียบระหว่างการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคปกติ และเทคนิคฟรี-เอกซ์โพเซอร์



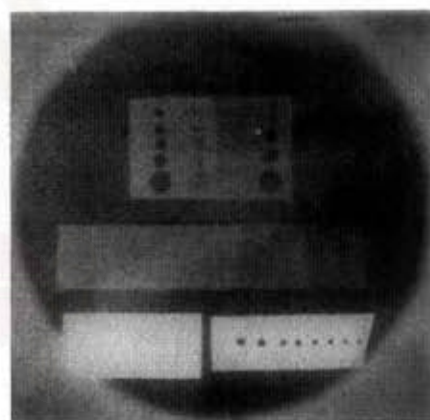
(จ) ฟรี-เอกซ์โพส 0.6 วินาที  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง



(ฉ) ฟรี-เอกซ์โพส 0.7 วินาที  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

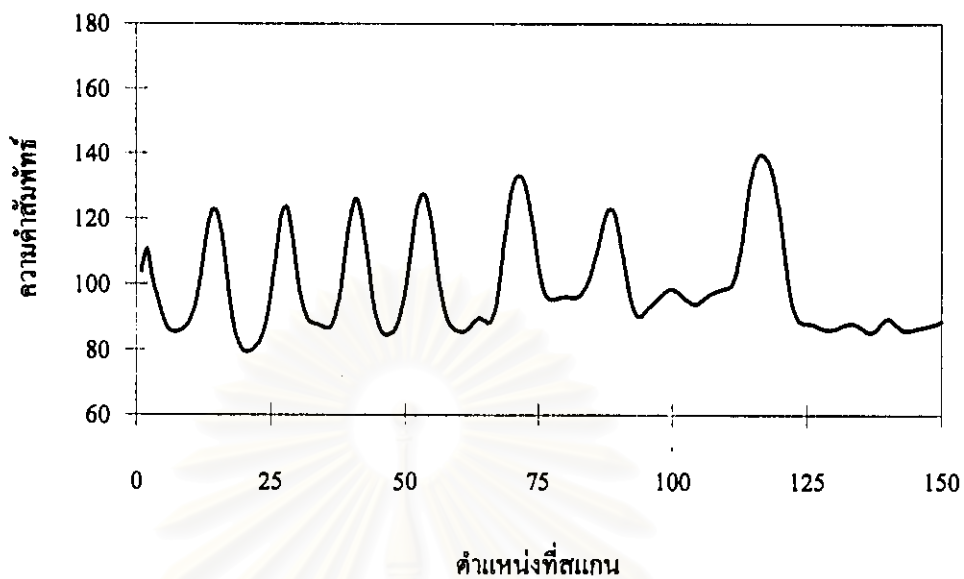


(ช) ฟรี-เอกซ์โพส 0.8 วินาที  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

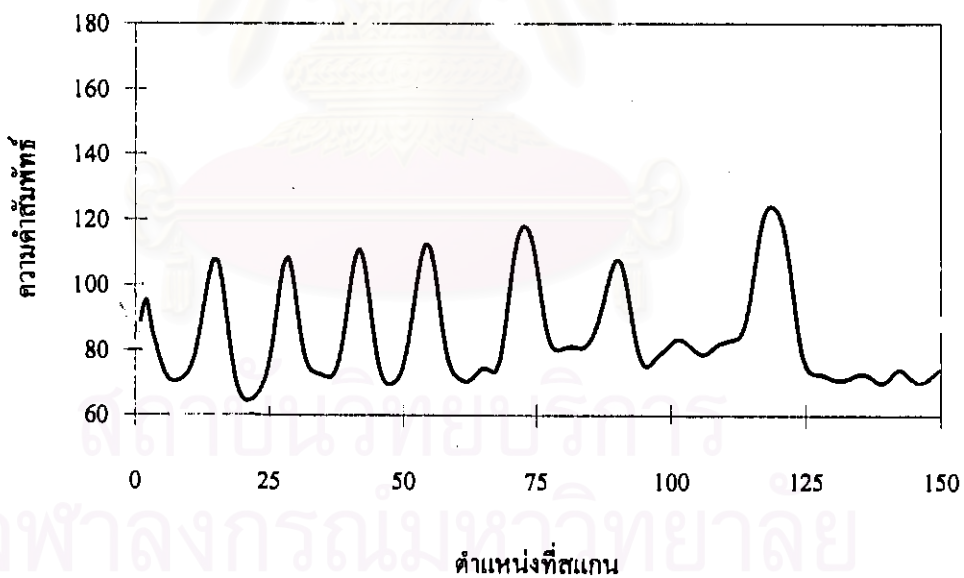


(ซ) ฟรี-เอกซ์โพส 1.0 วินาที  
ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

รูปที่ 4.12 (ต่อ)



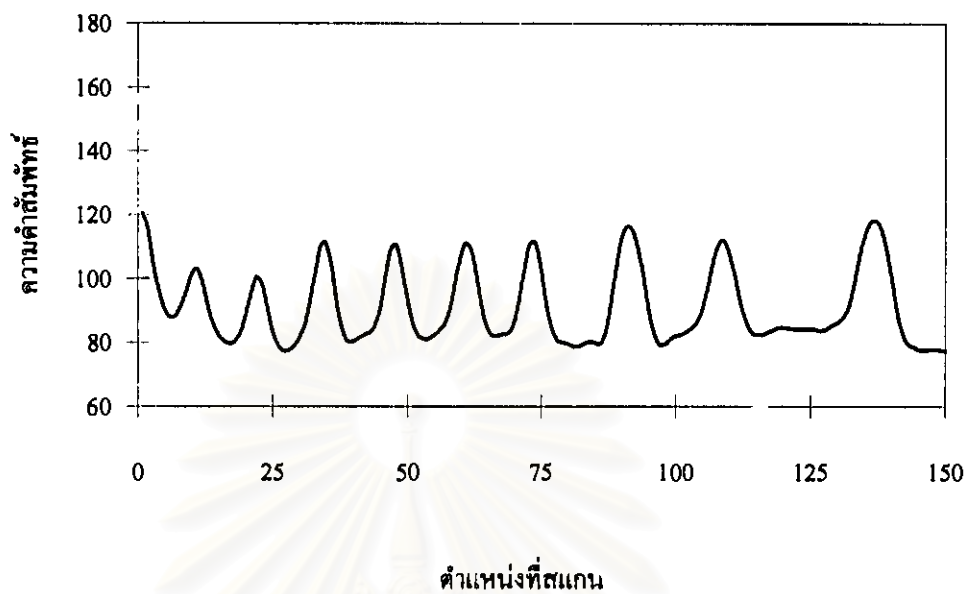
(ก) ใช้เทคนิคปกติ ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 26 ชั่วโมง



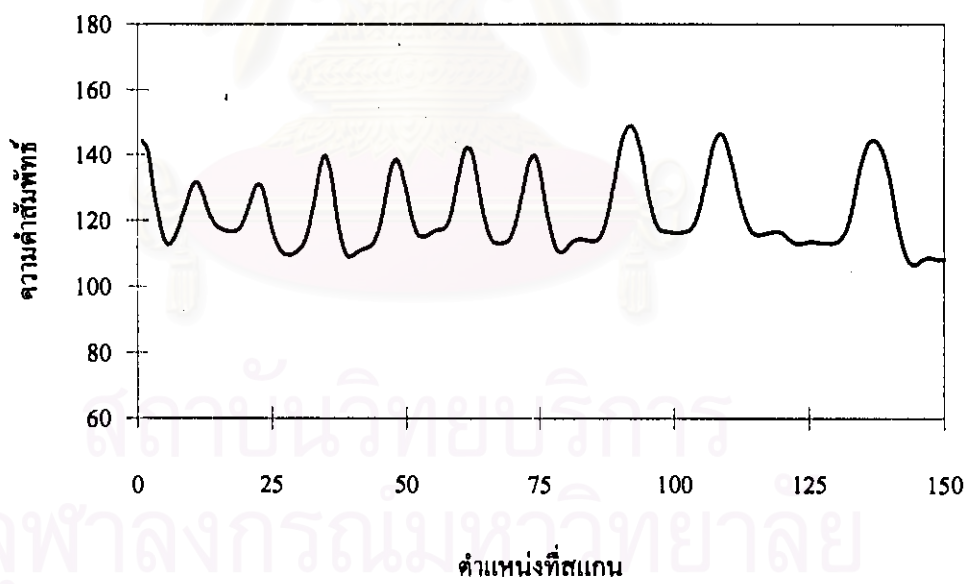
(ข) ใช้เทคนิคปกติ ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

รูปที่ 4.13 โพรไฟล์ค่าความเข้มสัมพัทธ์ของฟิล์มจากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยเทคนิคปกติและเทคนิคฟรี-เอกซ์โพเชอร์ที่เวลาต่างๆ กัน



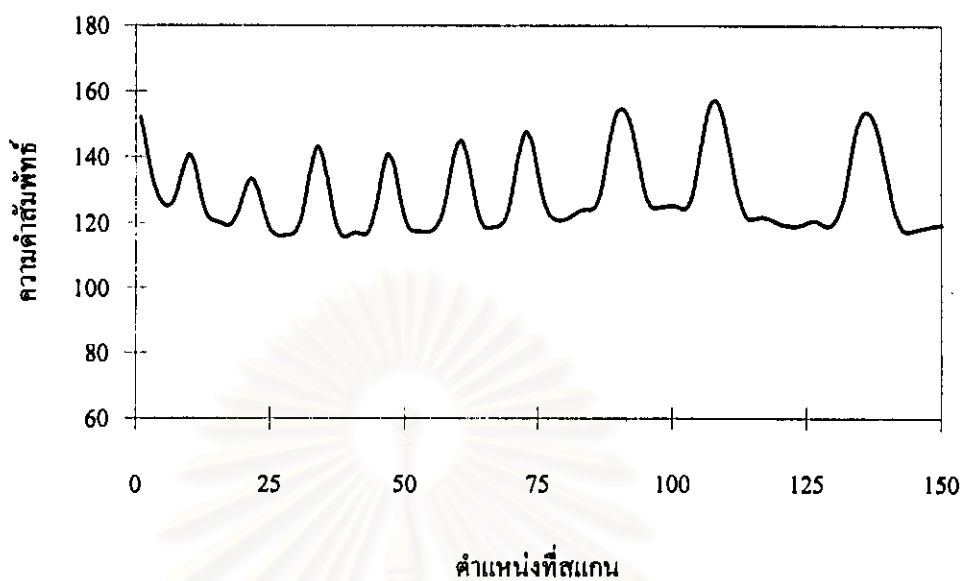


(ค) ฟรี-เอกซ์โพส 0.4 วินาที ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

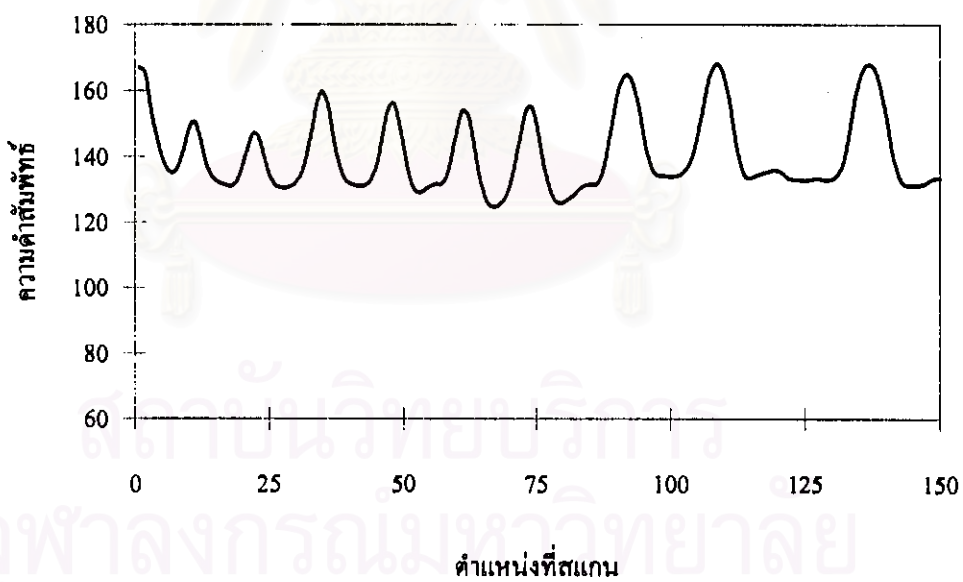


(ง) ฟรี-เอกซ์โพส 0.5 วินาที ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

รูปที่ 4.13 (ต่อ)

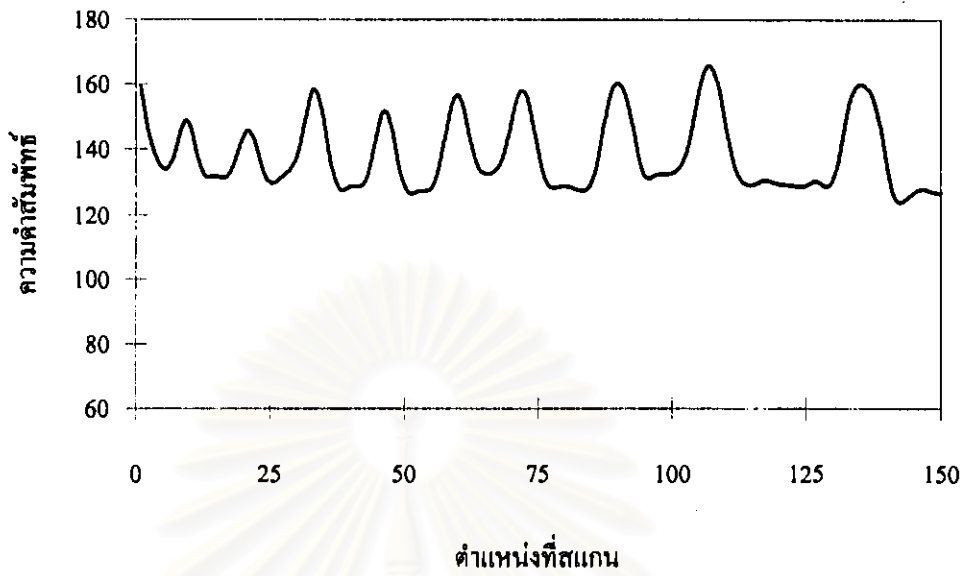


(จ) พรี-เอกซ์โพส 0.6 วินาที ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

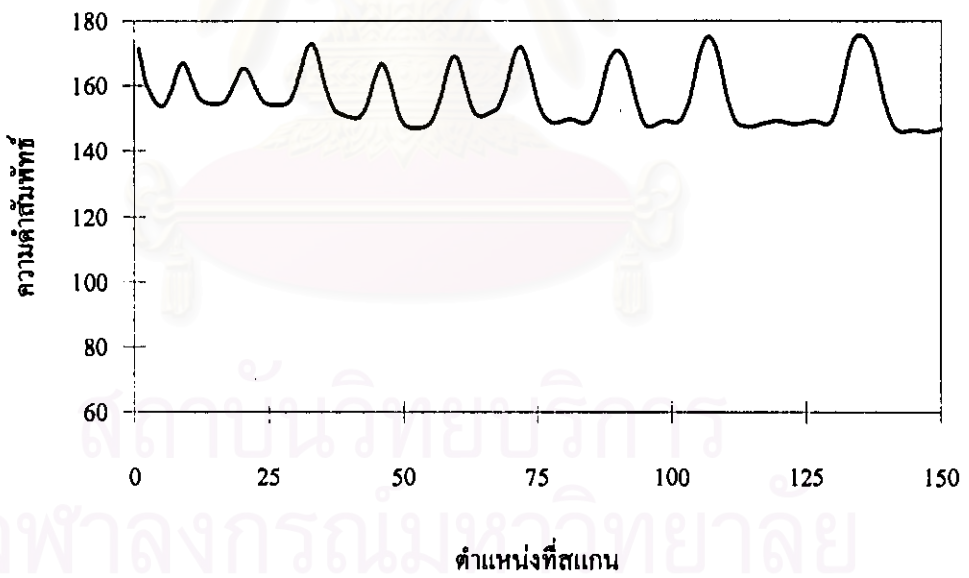


(ฉ) พรี-เอกซ์โพส 0.7 วินาที ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

รูปที่ 4.13 (ต่อ)



(ข) พรี-เอกซ์โพส 0.8 วินาที ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง



(ค) พรี-เอกซ์โพส 1.0 วินาที ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน 13 ชั่วโมง

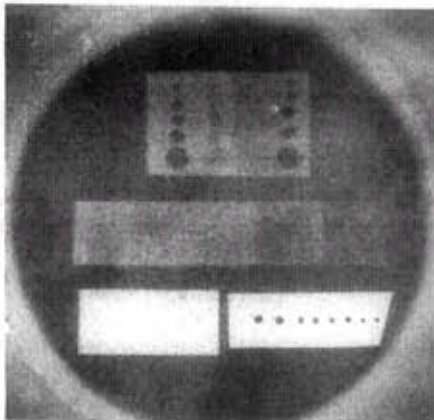
รูปที่ 4.13 (ต่อ)

ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้เทคนิคฟรี-เอกซ์โพเซอร์ที่เวลา 0.4 ถึง 1.0 วินาที ให้ความค่าของฟิล์มสูงกว่าภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เมื่อใช้เวลาในการถ่ายภาพ 13 ชั่วโมงเท่ากัน เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 (ก) (ค) และรูปที่ 4.13 (ก) (ค) จะเห็นว่า ภาพถ่ายทั้งสองมีความค่าใกล้เคียงกัน แต่ภาพถ่ายด้วยเทคนิคฟรี-เอกซ์โพเซอร์ใช้เวลาในการถ่ายภาพเพียง 13 ชั่วโมง ในขณะที่ ภาพถ่ายด้วยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไปใช้เวลาในการถ่ายภาพถึง 26 ชั่วโมง เนื่องจากการฟรี-เอกซ์โพเซอร์เป็นการทำให้ฟิล์มทำปฏิกิริยากับแสงหรือรังสีให้มีระดับความดำในช่วง toe ซึ่งไม่มีผลต่อการเกิดภาพบนฟิล์มมากนัก แต่ใช้เวลาในการเอกซ์โพสด้วยนิวตรอนนาน การฟรี-เอกซ์โพเซอร์ด้วยต้นกำเนิดแสงหรือรังสีชนิดอื่นจึงสามารถลดระยะเวลาในการเกิดภาพในช่วง toe โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนความเข้มต่ำได้มาก เมื่อนำฟิล์มไปถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจึงใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อยลง

เมื่อทำการฟรี-เอกซ์โพสนานขึ้น ความดำของฟิล์มจะเพิ่มขึ้น นั่นคือ การฟรี-เอกซ์โพสเป็นเวลานานสามารถลดระยะเวลาในการถ่ายภาพเพื่อให้ได้ระดับความดำที่ต้องการได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การฟรี-เอกซ์โพสเป็นเวลานาน จะทำให้ความเปรียบต่างของภาพจะเสียไปด้วย เนื่องจากฟิล์มจะมีความเข้มของแบคกราวด์เพิ่มขึ้นทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างแบคกราวด์กับชิ้นงานน้อยลง

#### 4.7 ผลจากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก

จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก เปรียบเทียบกับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้ผลดังรูปที่ 4.14 (ก) และ (ข) ผลการวัดค่าความดำสัมพัทธ์แสดงดังรูปที่ 4.15 (ก) และ (ข)

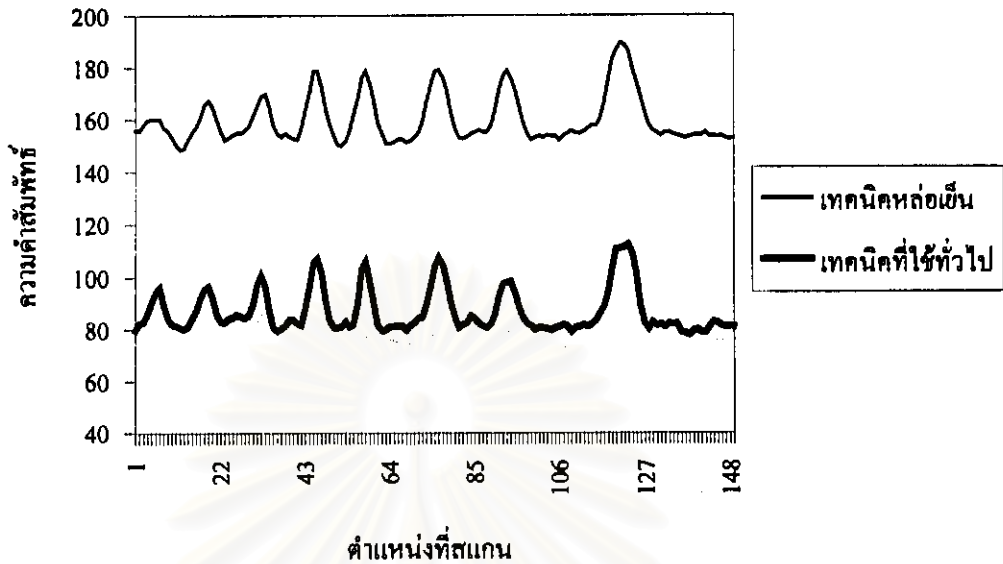


(ก) ใช้เทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก



(ข) ใช้เทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก กับเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป



รูปที่ 4.15 โพรไฟล์ค่าความดำสัมพัทธ์ของฟิล์มเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคหล่อเย็นฟิล์มและฉาก กับเทคนิคปกติ

จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคหล่อเย็น โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง  $-20$  ถึง  $-40$  องศาเซลเซียส พบว่า ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้เทคนิคหล่อเย็นฟิล์มและฉาก มีความดำของฟิล์มสูงกว่าภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเกือบ 2 เท่าเมื่อใช้เวลาในการถ่ายภาพเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $-10$  องศาเซลเซียส มีผลทำให้อิมัลชันของฟิล์มจะทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น<sup>[4,23]</sup> ทำให้ฟิล์มมีความไวสูง จึงสามารถบันทึกภาพได้ในระยะเวลาที่สั้นลง

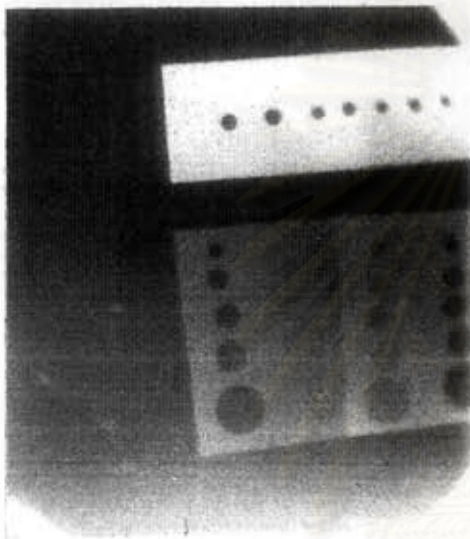
อย่างไรก็ดีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคหล่อเย็นฟิล์มและฉากที่พัฒนาขึ้นนี้ ยังพบปัญหาในเรื่องความชื้น และการเกาะตัวของน้ำแข็งบนตลับใส่ฟิล์ม จึงทำให้ฟิล์มฟ็อก (fog)

#### 4.8 ผลการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กล้องถ่ายภาพ

ก. ใช้ พลูโทเนียม-238/เบริลเลียม และ อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน  
จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายภาพ เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำฟิล์มไปล้าง ปรากฏว่าฟิล์มไม่เกิดภาพ

ข. ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน

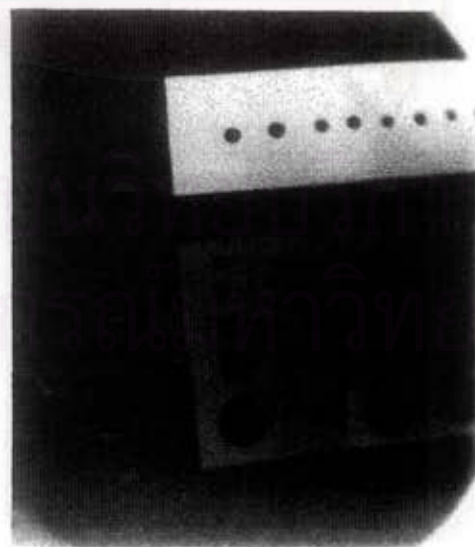
เมื่อถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายภาพ ที่กำลังเครื่อง 150 กิโลวัตต์ นิวตรอนฟลักซ์  $8.81 \times 10^4$  นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที ฟิล์มไม่เกิดภาพ ส่วนที่กำลังเครื่อง 700 กิโลวัตต์ นิวตรอนฟลักซ์  $7.85 \times 10^5$  นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีเวลา 10, 20 และ 25 นาที ได้ภาพถ่ายดังรูปที่ 4.16



(ก) 10 นาที



(ข) 20 นาที



(ค) 25 นาที

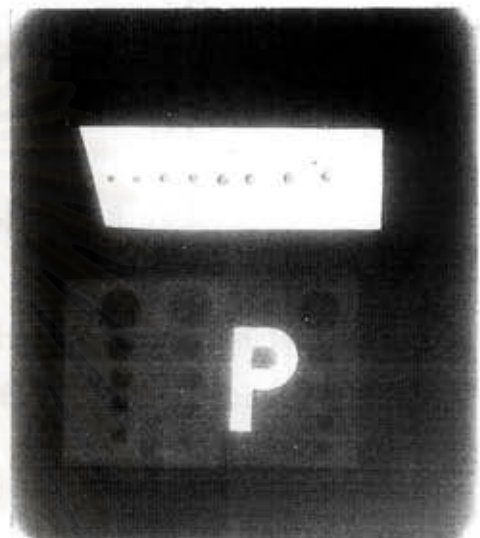
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายภาพ

ค. ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป

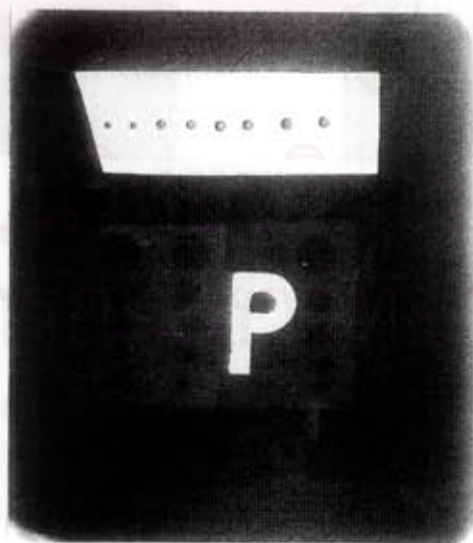
การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ 100 kVp 3 มิลลิแอมแปร์ โดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป และฉากปลดปล่อยแสง NE-426 เวลาในการถ่ายภาพ 10, 20 และ 30 วินาที ให้ภาพถ่ายที่คมชัด ดังรูปที่ 4.17



(ก) 10 วินาที



(ข) 20 วินาที



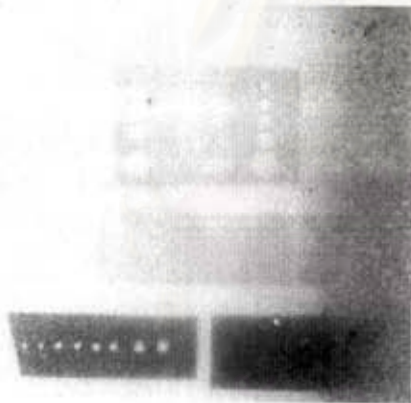
(ค) 30 วินาที

รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้เทคนิคกล้องถ่ายรูป

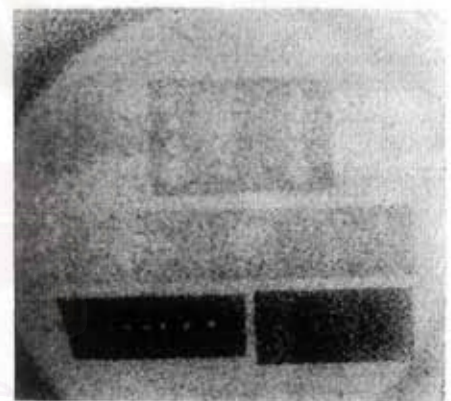
จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายภาพ จากต้นกำเนิดนิวตรอนทอโทเนียม-238/เบริลเลียมและอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม พบว่าไม่เกิดภาพ เนื่องจากต้นกำเนิดนิวตรอนมีความเข้มต่ำ ระยะทางระหว่างฉากเปลี่ยนนิวตรอนกับฟิล์มบันทึกภาพอยู่ห่างกันมาก และใช้กระจกเพียงทำมุม 45 องศาในการสะท้อนภาพ ทำให้มีการสูญเสียปริมาณแสงไปมากก่อนจะตกกระทบกับฟิล์ม เมื่อทำการทดลองวางฟิล์ม 1 แผ่นไว้กับฉากเปลี่ยนนิวตรอนและถ่ายภาพพร้อมกับฟิล์มในกล้องถ่ายภาพ นำมาวัดความดำของฟิล์ม และคำนวณปริมาณแสง พบว่า ฟิล์มที่วางติดกับฉากเปลี่ยนนิวตรอนได้รับปริมาณแสงมากกว่าประมาณ 20 เท่า

#### 4.9 ผลการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี

ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู และต้นกำเนิดนิวตรอนทอโทเนียม-238/เบริลเลียมและอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม โดยใช้ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี แสดงดังรูปที่ 4.18



(ก) ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู  
เวลาในการถ่ายภาพ 1 วินาที



(ข) ใช้ไอโซโทปปรังสี  
เวลาในการถ่ายภาพ 1 ชั่วโมง

รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี

เมื่อถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มฟูจิเอฟพี-3000บี ในการบันทึกภาพ สามารถถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างได้ในระยะเวลาสั้น ภาพถ่ายที่ได้สามารถแยกรายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง และมองเห็นรูของแผ่นแคดเมียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตรได้

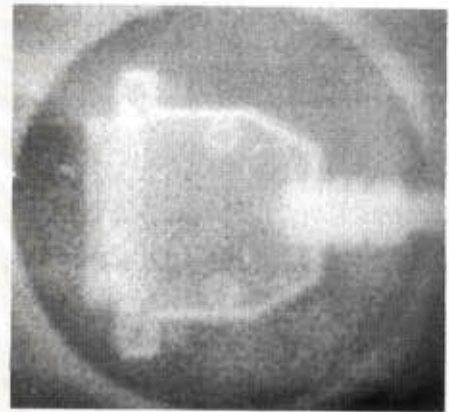


#### 4.10 ผลการถ่ายภาพคอนเนคเตอร์ด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น

ภาพถ่ายคอนเนคเตอร์ด้วยนิวตรอน โดยใช้เทคนิคฟรี-เอกซ์โพเซอร์ เทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก และเทคนิคการบันทึกภาพด้วยฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี ได้ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนดังรูปที่ 4.19 (ก) (ข) และ (ค) ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างภายในของคอนเนคเตอร์ RS-232 ได้



(ก) ใช้เทคนิคฟรี-เอกซ์โพเซอร์



(ข) ใช้เทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก



(ค) ใช้เทคนิคบันทึกภาพด้วยฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี

รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายคอนเนคเตอร์โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น