บทที่ 3

การดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 ฟิล์ม ฟิล์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ประเภทคือ ฟิล์มทดลองกับฟิล์มมาตรฐาน

3.1.1.1 ฟิล์มทดลอง เป็นฟิล์มถ่ายรูปขาวดำแบบม้วน ขนาด 35 มม. ซึ่งผลิตโดยบริษัทต่างกันเท่าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ในการทดลองเลือกใช้ฟิล์มดังกล่าวที่มีความไวต่างกัน คือ KODAK (ASA 400, 125, 32), AGFA (ASA 400, 200, 100), ILFORD (ASA 400-650, 125) และ FUJI (ASA 100)

3.1.1.2 ฟิล์มมาตรฐาน เป็นฟิล์มที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณรังสีของฟิล์มทดลอง ฟิล์มมาตรฐานที่ใช้เป็นของ Kodak Radiation Monitoring Film Type 2 เป็นฟิล์มที่นิยมใช้แพร่หลายในงานด้านบันทึกปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล ฟิล์มมาตรฐานชนิดนี้ ได้รับการออกแบบเฉพาะบันทึกปริมาณรังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา แผ่นฟิล์มบรรจุอยู่ในห่อกระดาษขนาด 30 x 45 มม. ผิวกระดาษด้านนอกสีขาวและด้านในสีดำ บนแผ่นฟิล์มเคลือบด้วยอิมัลชัน 2 ชั้น ซึ่งมีความไวต่างกัน คือ ชั้นบนเป็นอิมัลชันที่มีความไวสูง และชั้นล่างเป็นอิมัลชันความไวต่ำ มีช่วงการบันทึกปริมาณรังสีกว้างมาก ตั้งแต่ 15 มิลลิเรินท์เกน ถึง 1,800 เรินท์เกน

3.1.2 ต้นกำเนิดรังสี ใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ของบริษัท Siemens รุ่น Stabilipan (300 kV, 20 mA) ที่กองป้องกันรังสี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และต้นกำเนิดรังสีแกมมา ได้แก่ ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{226}Ra-Be และ ^{192}Ir กองสุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

3.1.3 เครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐาน ในการวัดปริมาณรังสีเอกซ์ ใช้หัววัดแบบห้องแตกตัวและเครื่องวัดของ Electronic Instrument Ltd. : EIL, Model 37C ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งปริมาณรังสีและอัตราปริมาณรังสี มีความคลาดเคลื่อน ± 10 % สำหรับเครื่องวัดปริมาณรังสีแกมมา ใช้ Victoreen, Condenser r-meter Model 570 ความคลาดเคลื่อน ± 5 %

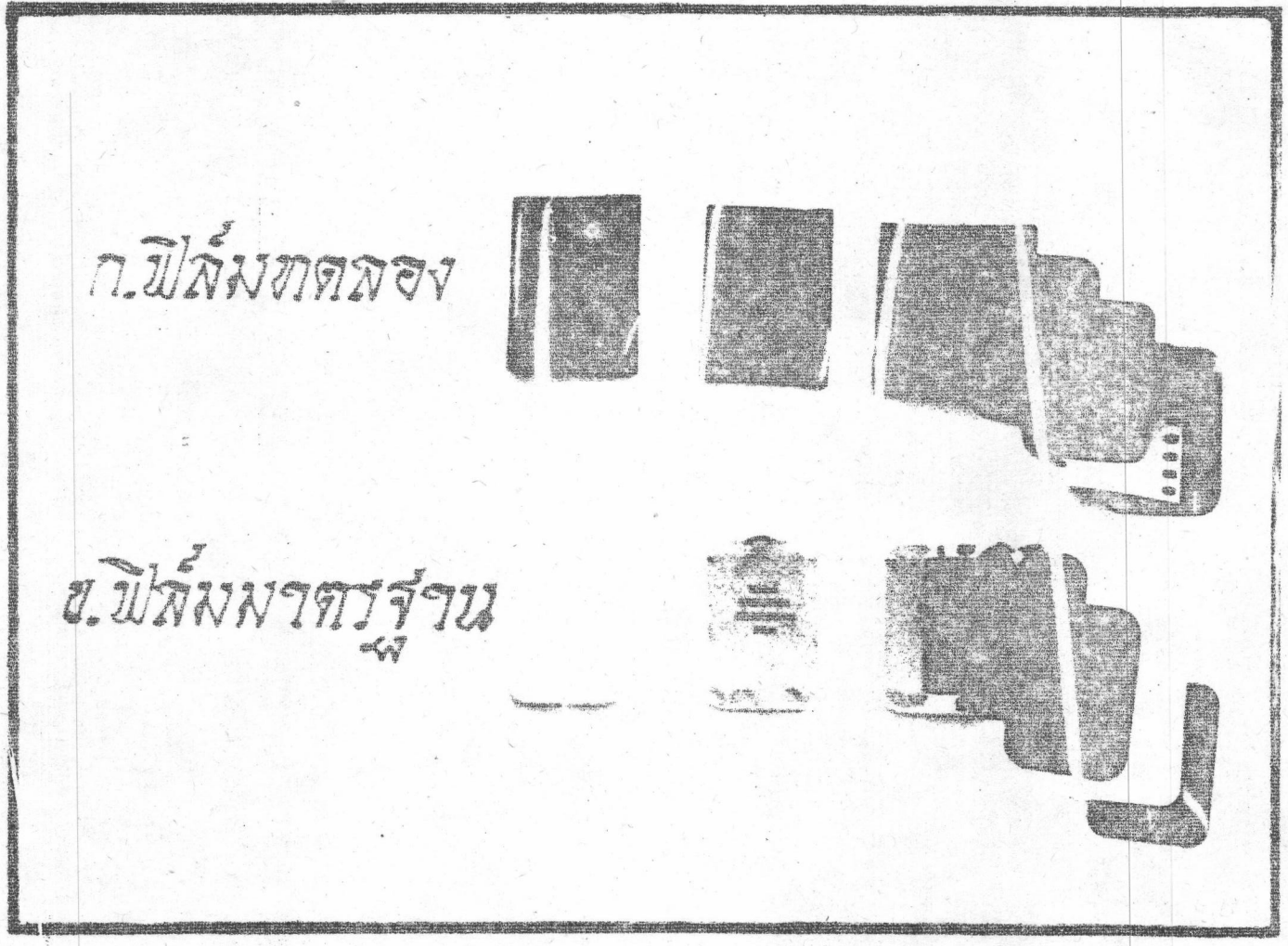
3.1.4 เซ็นซิโตมิเตอร์ (Sensitometer) เป็นเครื่องมือสำหรับการแยกวัดรังสีเอกซ์ปริมาณต่าง ๆ กัน สำหรับการอาบรังสีเพียงครั้งเดียว ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสม และสามารถในการปฏิบัติเกี่ยวกับการวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์ม เครื่องนี้เป็นแบบล้อหมุน ดังภาพที่ 3 - 4 ลักษณะที่สำคัญคือ ส่วนหน้ามีที่สอดฟิล์ม และส่วนที่หมุนได้ ส่วนที่หมุนได้นี้เอง เจาะช่องให้สำรังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปถูกฟิล์ม ได้อัตราส่วน 2, 5, 10 และ 20 มิลลิเรินท์เกน ตามลำดับ ในขณะปฏิบัติการส่วนที่หมุนได้นี้ จะหมุนด้วยความเร็วคงที่ คือ หมุน 100 รอบต่อนาที ส่วนที่หมุนไม่ได้จะมีช่องสำหรับใส่ฟิล์มซึ่งมีทั้งหมด 10 ช่อง รังสีเอกซ์ที่มา จากต้นกำเนิดก็จะผ่านไปถูกฟิล์ม เป็นปริมาณรังสีตามอัตราส่วนดังกล่าว

3.1.5 อุปกรณ์สำหรับล้างฟิล์ม การล้างฟิล์มสำหรับการทดลองนี้ กระทำที่ห้องมืด ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

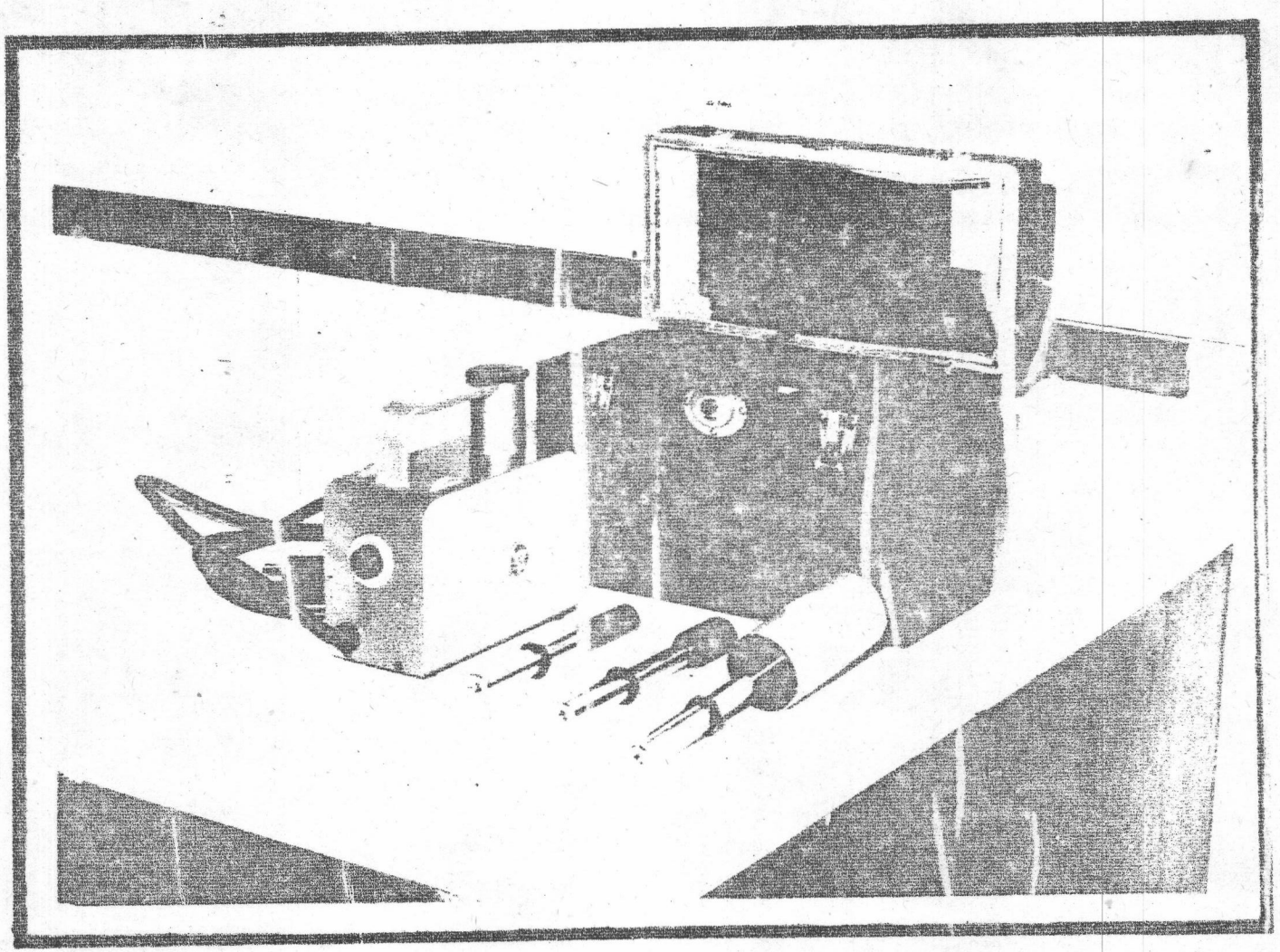
3.1.5.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้สภาพการล้างฟิล์มมีลักษณะเดียวกัน สิ่งสำคัญก็คือ ต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำยาเคมีที่ใช้ล้างฟิล์มให้คงที่ตลอดไป การทดลองนี้ใช้ Refrigerated & Heated Bath & Circulation Model 2095-2 ของ Forma Scientific Inc. มีช่วงการควบคุมตั้งแต่ -30°C ถึง 70°C และมีความคลาดเคลื่อน ± 0.5 °C

3.1.5.2 น้ำยาเคมี น้ำยาเคมีที่ใช้ในการล้างฟิล์มสำหรับการทดลองนี้ มีน้ำยาล้างฟิล์ม และน้ำยาคงสภาพ ซึ่งมีหลายชนิด เลือกใช้น้ำยาและปฏิบัติตามคำแนะนำเฉพาะฟิล์มแต่ละชนิด ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ภาพของฟิล์มเนกาตีฟที่สมบูรณ์ที่สุด รายการน้ำยาเคมี และแนวการปฏิบัติได้แสดงไว้ในตาราง-ที่ 3.1 หน้า 40

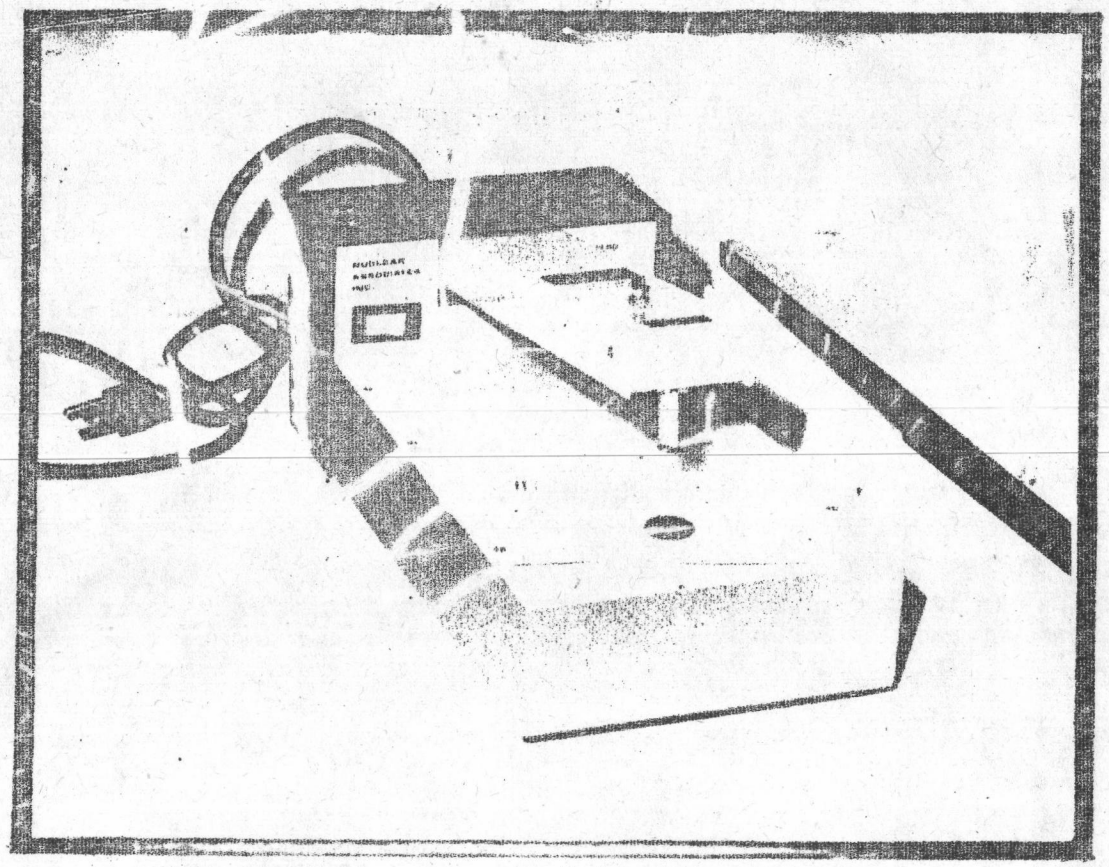
1167283917



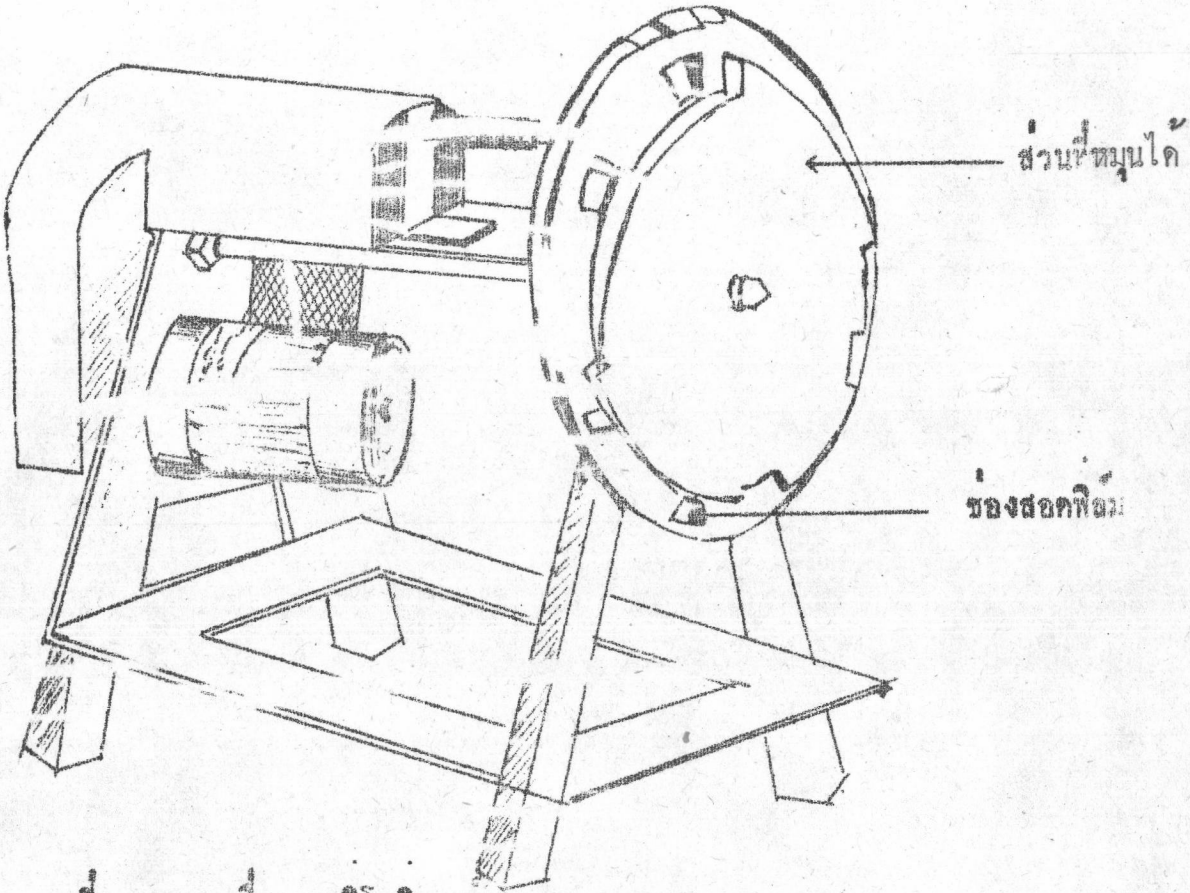
ภาพที่ 3-1 แสดงการเตรียมฟิล์มทดลองเทียบกับฟิล์มมาตรฐาน



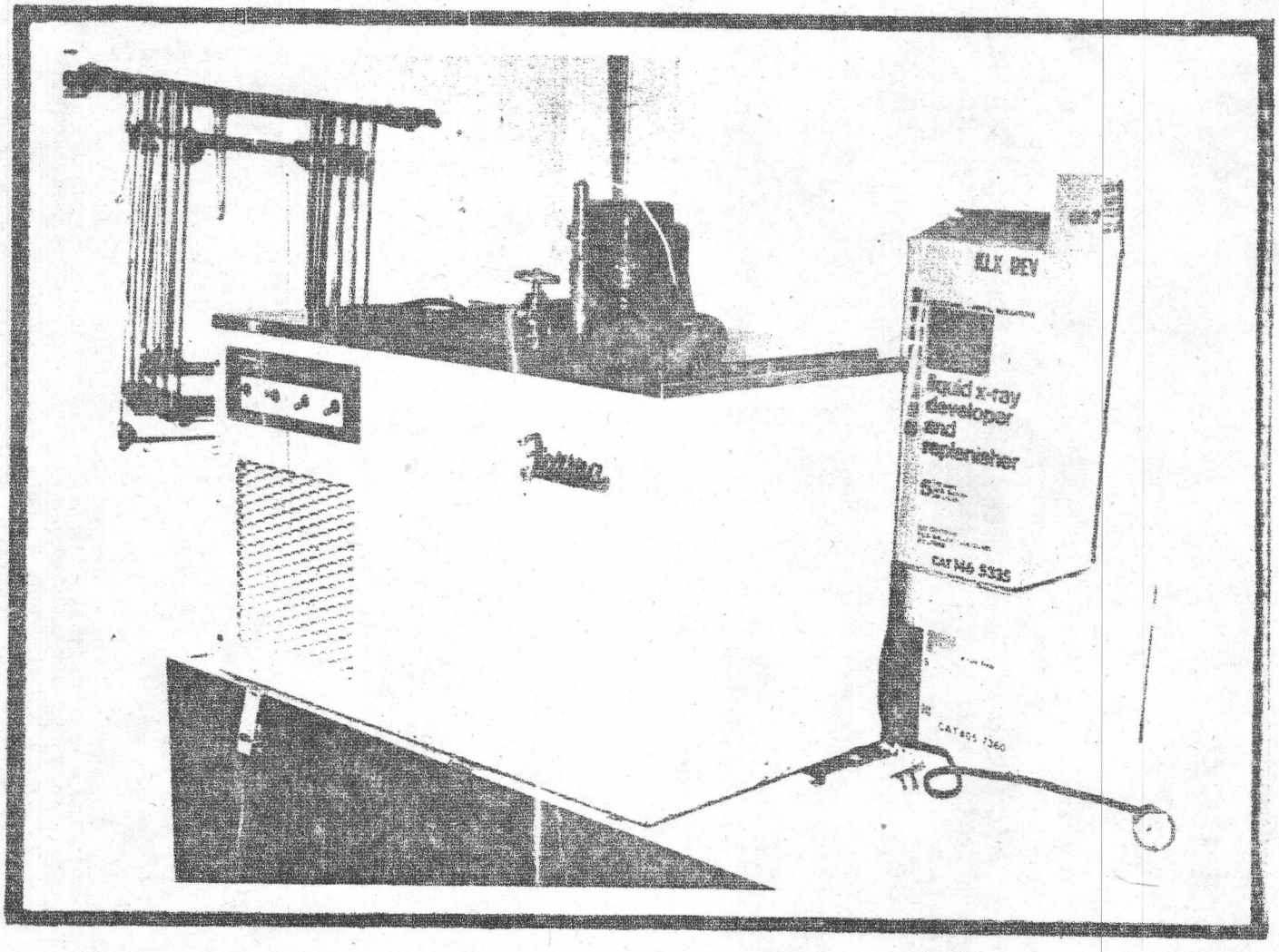
ภาพที่ 3-2 เครื่องวัดรังสีแกมมา (Victoreen, Condenser r-meter Modal 570)



ภาพที่ 3-3 เครื่องเดนซิโตมิเตอร์ (Densitometer)



ภาพที่ 3-4 เครื่องเซนซิโตมิเตอร์ (Sensitometer)



ภาพที่ 3-5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.1. แสดงการใช้น้ำยาเคมีในกระบวนการล้างฟิล์มของฟิล์มแต่ละชนิด

ชื่อฟิล์ม	ความไว ASA	น้ำยาล้างฟิล์ม		น้ำยาคงสภาพ	
		ชื่อน้ำยา	เวลาที่ใช้ ($20^{\circ}C$) นาที	ชื่อน้ำยา	เวลาที่ใช้ $20^{\circ}C$) นาที
Kodak Tri-X-Pan	400	Microdol-X	11	Kodak fixer	15
Kodak Plus-X-Pan	125	Microdol-X	8	Kodak fixer	10
Kodak Panatomic-X	32	Microdol-X	9	Kodak fixer	4
Ilford HP 4	400-650	Microdol-X	11	Kodak fixer	15
Ilford FP 4	125	Microdol-X	8	Kodak fixer	10
Agfapan 400, Professional	400	Rodinal	10	Acidofix	10
Agfa Super Pan	200	Rodinal	7	Acidofix	10
Agfa Isopan ISS	100	Rodinal	6	Acidofix	10
Fuji film, Neopan SS	100	Fuji microfine	9.5	Fujifix	10

หมายเหตุ

(1) การเตรียมน้ำยาเคมีแต่ละชนิด ปฏิบัติตามคำแนะนำของแต่ละบริษัทผู้ผลิต

(2) ในการทดลองนี้ใช้วิธีการล้างในน้ำที่ถ่ายเทตลอดเวลา 2 นาที แทนการแช่น้ำยาหยุดภาพ

(3) การปฏิบัติในห้องมืดทุกครั้งไม่ใช้ตะเกียงนิรภัย (Safety lamp) อย่างใด

Dose rate table (measured without cone at focus-chamber distance of 50 cm)

Tube voltage (kV)	Tube current (mA)	Total filtration	Siemens		R.P.S.	
			Dose rate R/min	M.V.L.	Dose rate R/min	M.V.L.
60	20	approx.2 mm.Al (nofilter)	30	1.6 mm.Al	17.4	2.0_5 mm.Al
80	20	approx.2 mm.Al (nofilter)	50	2.0 mm.Al	27.7	2.6_0 mm.Al
100	20	approx.2 mm.Al (nofilter)	73	2.5 mm.Al	41.3	3.2_0 mm.Al
100	20	4 mm.Al	38	3.8 mm.Al	27.6	4.3_5 mm.Al
120	20	approx.2mm.Al (nofilter)	96	3.0 mm.Al	57.7	3.7_5 mm.Al
120	20	4 mm.Al	56	4.5 mm.Al	41.2	5.0_9 mm.Al
120	20	0.2 mm.Cu	42	0.3 mm.Cu	32.5	0.30_6 mm.Cu
140	20	0.2 mm.Cu	59	0.35 mm.Cu	46.6	0.40_0 mm.Cu
140	20	0.5 mm.Cu	30	0.65 mm.Cu	25.8	0.73_0 mm.Cu
160	20	0.2 mm.Cu	78	0.45 mm.Cu	62.5	0.46_8 mm.Cu
160	20	0.5 mm.Cu	45	0.8 mm.Cu	37.3	0.85_2 mm.Cu
180	20	1.0 mm.Cu	40	1.3 mm.Cu	33.8	1.3_9 mm.Cu
200	20	0.5 mm.Cu	76	1.05 mm.Cu	67.3	1.1_8 mm.Cu
200	20	1.0 mm.Cu	53	1.45 mm.Cu	46.5	1.6_0 mm.Cu
200	20	Thoraeus I*	36	2.10 mm.Cu	34.6	2.0_6 mm.Cu
220	18	0.5 mm.Cu	86	1.2 mm.Cu	78.6	1.3_0 mm.Cu
220	18	1.0 mm.Cu	60	1.7 mm.Cu	56.5	1.8_2 mm.Cu
220	18	Thoraeus I*	46	2.2 mm.Cu	43.1	2.3_4 mm.Cu
250	15	0.5 mm.Cu	95	1.5 mm.Cu	88.5	1.5_0 mm.Cu
250	15	1.0 mm.Cu	70	2.2 mm.Cu	66.1	2.1_4 mm.Cu
250	15	Thoraeus I*	53	2.7 mm.Cu	52.9	2.6_6 mm.Cu
250	15	Thoraeus II*	39	3.6 mm.Cu	39.5	3.2_6 mm.Cu
300	12	0.5 mm.Cu	115	1.8 mm.Cu	111.5	1.9_3 mm.Cu
300	12	1.0 mm.Cu	86	2.5 mm.Cu	87.5	2.5_3 mm.Cu
300	12	Thoraeus I*	75	3.3 mm.Cu	74.0	3.1_0 mm.Cu
300	12	Thoraeus II*	56	3.8 mm.Cu	57.8	3.8_5 mm.Cu
300	12	Thoraeus III*	48	4.2 mm.Cu	49.3	4.1_3 mm.Cu

Thoraeus I = 0.4 mm Sn + 0.25 mm Cu + 1.0 mm Al
Thoraeus II = 0.8 mm Sn + 0.25 mm Cu + 1.0 mm Al
Thoraeus III = 1.2 mm Sn + 0.25 mm Cu + 1.0 mm Al

3.1.5.3 อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา 1 เครื่อง, เทอร์โมมิเตอร์,แผงสำหรับหนีบฟิล์ม 6 อัน, ถังเหล็กกล้าสำหรับใส่น้ำยาเคมี 2 ใบ เป็นต้น

3.1.6 เดนซิโตมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดความดำ หรือความหนาแน่นทึบแสงของภาพบนฟิล์มเนกาตีฟ ในการทดลองนี้ ใช้ Digital densitometer Model 07-424 ของ Nuclear Associates Inc. สามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-3.5 หน่วย มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด ± 0.11 หน่วย

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมฟิล์ม เพื่อความเหมาะสมสำหรับในการเปรียบเทียบผลการทดลองของฟิล์มทดลองกับฟิล์มมาตรฐาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดเตรียมฟิล์มทดลองให้มีขนาดและลักษณะเดียวกับฟิล์มมาตรฐาน กล่าวคือ แผ่นฟิล์มทดลองต้องมีขนาด 30 x 35 มม., มีแผ่นกระดาษสีดำป้องกันการสะท้อนหลายหนสำหรับประกบกับแผ่นฟิล์ม จำนวน 3 แผ่น แล้วจัดใส่ในซองกระดาษสีดำที่สามารถป้องกันมิให้ฟิล์มถูกแสงได้ ซองมีขนาด 35 x 50 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของซองของฟิล์มมาตรฐาน ดังภาพที่ 3-1 หน้า 36 ในการจัดเตรียมฟิล์มทดลองดังกล่าวนี้ได้กระทำในห้องมืดสนิทที่มีอุณหภูมิ 22 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 65-70 %

3.2.2 การหาผลสนองตอบของฟิล์มต่อรังสีเมื่อผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ที่ใช้อุณหภูมิควบคุมต่างกัน นำฟิล์มที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.1 ไปอาบรังสีที่พลังงานใด ๆ โดยให้ได้รับปริมาณรังสีเท่ากันและในลักษณะเดียวกันทุกประการ จากนั้นนำฟิล์มเหล่านั้นมาผ่านกระบวนการล้างฟิล์มที่ใช้อุณหภูมิควบคุมต่างกัน โดยปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตทุกประการ

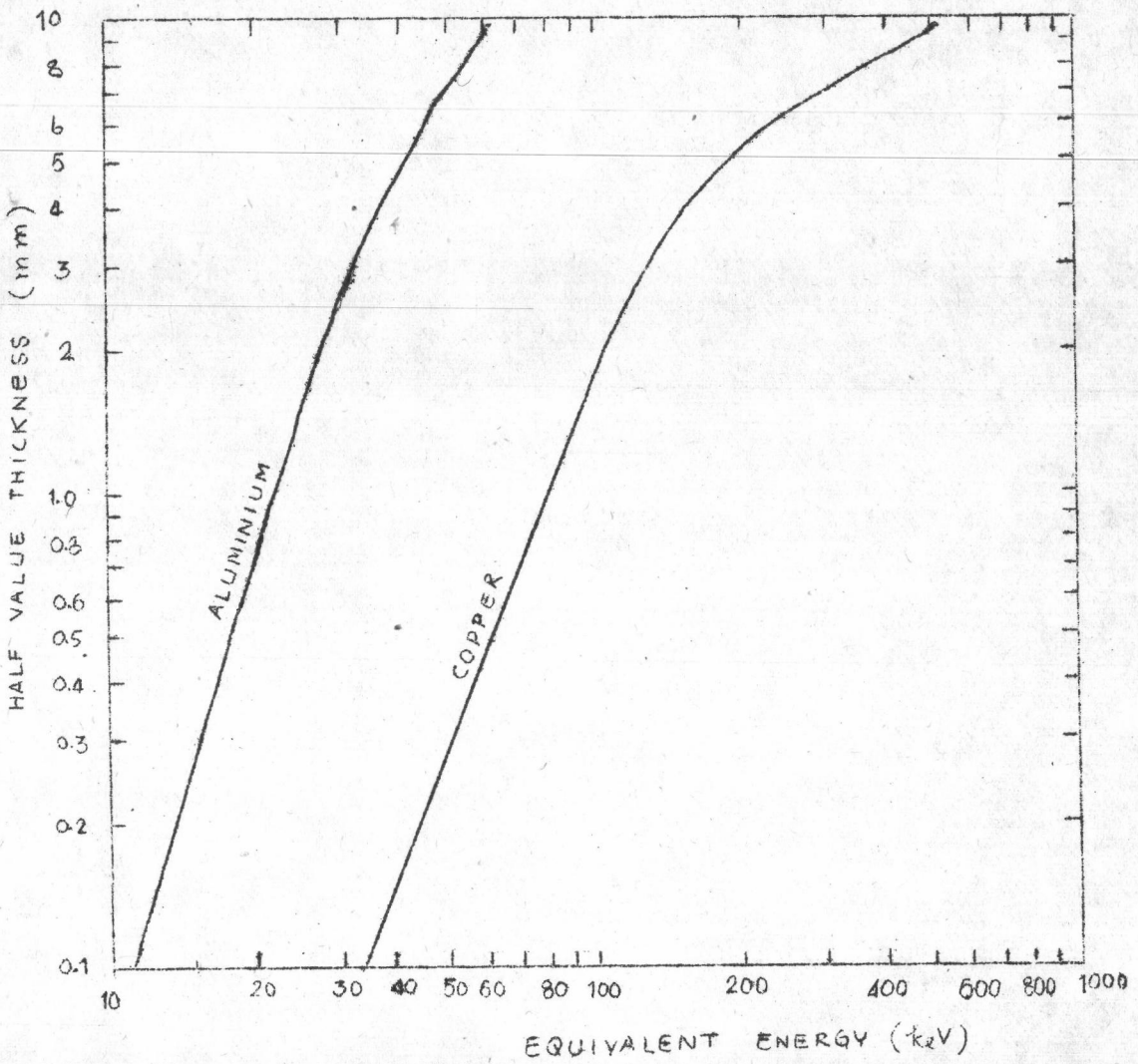
ในการทดลองนี้ใช้ฟิล์ม Kodak Tri-X-Pan (ASA 400) อาบด้วยรังสีเอกซ์พลังงาน 64 keV ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน และนำมาล้างฟิล์มด้วยน้ำยา Microdol-X และ Kodak fixer ดังนี้คือ ที่อุณหภูมิ 18°C (ล้างฟิล์มนาน 13 นาที) ที่ 20°C (นาน 11 นาที), ที่ 21°C (นาน 10 นาที), ที่ 22°C (นาน 9 นาที) ที่ 24°C (นาน 8 นาที) ทั้งนี้ทำให้คงสภาพนาน 13 นาที ซึ่งผลจากการวัดความหนาแน่นทึบแสงของภาพบนฟิล์มเนกาตีฟกับปริมาณรังสี จะได้ผลสนองตอบของฟิล์มต่อการล้างที่อุณหภูมิควบคุมต่างกัน

3.2.5 การวัดหาความไวต่อรังสีของฟิล์ม สามารถกระทำได้โดยนำฟิล์มที่เตรียมไว้แล้วนั้น สอดลงในช่องใส่ฟิล์มของเครื่องเซ็นซิโตมิเตอร์ จากนั้นนำไปอาบรังสีที่พลังงานคงที่ระดับหนึ่ง เครื่องเซ็นซิโตมิเตอร์จะทำให้ฟิล์มแต่ละส่วนได้รับรังสีต่างกันตามอัตราส่วน 2, 5, 10 และ 20 ตามลำดับ (ปริมาณรังสีสูงสุดอ่านได้จากเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน) จากนั้นนำฟิล์มที่อาบรังสีแล้วมาผ่านกระบวนการล้างฟิล์มพร้อม ๆ กับ ฟิล์มชนิดเดียวกันที่ไม่ได้อาบรังสีจำนวน 1 แผ่น นำฟิล์มเนกาตีฟไปวัดค่าความหนาแน่นทึบแสงจากเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ จากค่าความหนาแน่นทึบแสงสุทธิ (Net optical density) และปริมาณรังสี สามารถเขียนเป็นกราฟแสดงผลสนองตอบของฟิล์มต่อพลังงานนั้นได้ จากการแปรค่าของพลังงานให้ต่างกันออกไป จะได้กลุ่มของเส้นกราฟนี้จำนวนหนึ่ง และจากกลุ่มของเส้นกราฟนี้เอง พบว่า สำหรับค่าความหนาแน่นทึบแสงคงที่ใด ๆ จะได้ค่าปริมาณรังสีไม่เท่ากัน และจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับพลังงานของรังสีสำหรับค่าความหนาแน่นคงที่ใด ๆ จะทำให้ทราบถึงความไวต่อรังสีของฟิล์มชนิดนั้น ๆ ได้

ในการทดลองนี้ ช่วงพลังงานต่ำได้จากรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถแปรค่าของพลังงาน โดยการใช้แผ่นกรองรังสีต่างชนิดกัน จากค่าชั้นความหนาที่ทำให้ปริมาณรังสีลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Value Layer) ของแผ่นกรองรังสี สามารถหาค่าพลังงานเทียบเท่าหรือพลังงานประสิทธิผล (Equivalent energy หรือ Effective energy) ซึ่งอนุโลมเทียบได้เท่ากับค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบแผ่นฟิล์ม ตามตาราง หน้า 41 และภาพที่ 3-6 [1] อย่างไรก็ตามได้ทดลองเทียบกับรังสีแกมมาจากสารกัมมันตรังสีมาตรฐานด้วย ได้แก่ ^{137}Cs(662 keV), ^{226}Ra-Be (เฉลี่ย 840 keV), ^{192}Ir(เฉลี่ย 600 keV) และ ^{60}Co (เฉลี่ย 1250 keV)

---

1 John B. Massey, Manual of Dosimetry in Radiotherapy. (Vienna : International Atomic Energy Agency. 1970). Technical report series no 110, p 22.



ภาพที่ 3-6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalent energy และ Half value thickness

3.2.4 ศึกษาการจางหายของภาพแฝง นำฟิล์มที่ต้องการศึกษาการจางหายของภาพแฝง จำนวน 2 ชุด ชุดละ 48 แผ่น เอาฟิล์มชุดแรกไปอาบรังสีแกมมาจาก ^{192}Ir ให้ฟิล์มแต่ละแผ่นได้รับปริมาณรังสีเท่ากันที่ 30 เรินท์เกน แล้วนำฟิล์มที่อาบรังสีแล้วไปเก็บไว้ในห้องที่มีสภาพความชื้นและอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยแบ่งฟิล์มชุดแรกออกเป็น 6 กลุ่ม แยกเก็บเป็นกลุ่ม ๆ พร้อมฟิล์มชุดที่ 2 (ไม่ได้อาบรังสี) ขั้นแบ่งลักษณะเดียวกัน ดังนี้

ก. ที่อุณหภูมิห้องตามปกติ25-35 °C ความชื้นสัมพันธ์40-70 %

ข. ที่อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพันธ์ 30-40 %

ค. ที่อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพันธ์ 75-85 %

ง. " 15°C " " 80-90 %

จ. " 10°C " " 85-100 %

ฉ. " 3°C " " 90-100 %

จากนั้นนำฟิล์มที่แยกเก็บไว้ตามห้องต่าง ๆ ห้องละ 2 แผ่น (อาบรังสี 1 แผ่น และไม่ได้อาบรังสี 1 แผ่น) มาผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม นำฟิล์มเนกาตีฟที่ได้ไปวัดความหนาแน่นทึบแสงจากเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ ครั้งต่อไปเว้นช่วงเวลาการล้างครั้งละ 5-10 วัน จากการบันทึกความหนาแน่นทึบแสง และช่วงเวลาการล้าง จะทำให้ทราบอัตราการจางหายของภาพแฝงได้

3.2.5 การเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณรังสีของฟิล์มตัวอย่างกับฟิล์มมาตรฐาน นำฟิล์มตัวอย่างและฟิล์มมาตรฐานจำนวนหนึ่งไปอาบรังสีแกมมาจาก ^{60}Co ให้ได้รับปริมาณรังสีต่าง ๆ กันซึ่งทราบค่าแน่นอนแล้ว (โดยการใช้เครื่องวัดรังสีมาตรฐาน Victoreen) สำหรับฟิล์มชุดนี้ หลังจากผ่านกระบวนการล้างฟิล์มและการวัดความหนาแน่นทึบแสงแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ที่เป็นมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นทึบแสงและปริมาณรังสี นำฟิล์มตัวอย่างและฟิล์มมาตรฐานอีกชุดหนึ่งไปอาบรังสีแกมมาจาก ^{60}Co เหมือนเดิมแต่เปลี่ยนตำแหน่งใหม่ จากการอาบรังสีในอัตราปริมาณรังสีเดียวกัน เทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน และการได้รับปริมาณรังสีเป็นเวลานานต่างกัน ก็สามารถเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณรังสีของฟิล์มทดลองและฟิล์มมาตรฐานได้