การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ของสารเคมีโดยการบันทึกภาพบนฉากเรืองแสงด้วยกล้องดิจิทัล

DEVELOPMENT OF X-RAY IMAGING TECHNIQUE WITH CHEMICAL PRODUCT BY USING FLUOROSCOPIC IMAGES RECORDED WITH DIGITAL CAMERA

พณพณ สาวิโรจน์[1*], ญาณิศา แสนใจวุฒิ[2], วนัชพร เผื่อแผ่[3] และ สุประวีณ์ พาลึก[4]
Panapon Savirot[1*], Yanisa Saenjaiwut[2], Wanatchaphorn Phueaphae[3] and Suprawee Phaluek[4]

สาขาวิชารังสีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง[1,2,3,4]
Department of Radiological technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University[1,2,3,4]
Corresponding author email: panapon8961@gmail.com[1]

Received: December 1, 2024
Revised: March 13, 2025
Accepted: March 20, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ของสารเคมีโดยการบันทึกภาพบนฉากเรืองแสงด้วยกล้องดิจิทัล และ 2) การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางรังสีด้วยโปรแกรม Image J 3) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ วัสดุอุปกรณ์: เครื่องกำเนิดเอกซเรย์, ฉากเรืองรังสี, กล้องดิจิทัล, คอมพิวเตอร์ และสารตัวอย่างประกอบด้วย $BaSO_4$, $CaCl_2$, $CaCO_3$, $MgCl_2$, $MgSO_4$ และ $CaSO_4$ วิธีการศึกษา: ปรับระยะระหว่างเครื่องกำเนิดเอกซเรย์กับฉากเรืองรังสี 100 cm, ค่าแรงดันไฟฟ้า 90-130 kV, ค่าพารามิเตอร์ของกล้องดิจิทัล F=4.0 และ t=2.0, 2.5, 3,2s วางขวดสารละลายหน้าฉากเรืองรังสี และเก็บบันทึกภาพรังสีด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่าลดลง และเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีมากขึ้นเช่นกัน สรุปผลการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์เครื่องกำเนิดเอกซเรย์ และกล้องดิจิทัล จะต้องเลือกพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ และกระบวนการนี้สามารถสร้างภาพทางรังสี และสามารถนำไปประยุกต์ในเทคนิครูปแบบอื่นในอนาคตได้มากขึ้น

คำสำคัญ: ภาพถ่ายทางรังสี, กล้องดิจิทัล, สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

ABSTRACT

The objectives of this research were to 1) This research aims to develop of radiographic imaging technique with chemical product by using Fluoroscopic images recorded with digital camera and 2) Analyzed radiographic imaging by Image J and 3) To record attenuation coefficient value. Materials: X-ray generator, fluorescence screen, Digital camera, Computer device and solution sample consist of $BaSO_4$,

$CaCl_2$, $CaCO_3$, $MgCl_2$, $MgSO_4$ and $CaSO_4$. Method: The distance from X-ray generator to fluorescence screen was set at 100 cm, varying voltage 90-130 kV, parameters of digital camera were set at F=4.0 and shutter time=2.0, 2.5, 3.2s. We placed the bottom of sample in front of fluorescence screen was recorded radiographic imaging by computer device and analyzed radiographic imaging by attenuation coefficient value. Result The radiographic images have lower level of attenuation coefficient at high voltage. The result was the more concentrated sample solution the lower level of attenuation. Conclusion: It is important to adjust quality balance between all the settings of X-ray generator and digital camera by the term of attenuation coefficient value. The radiographic imaging system proposed in this research was an important basis for a development image processing system in the future.

Keywords: Radiographic imaging, Digital camera, Attenuation coefficient

บทนำ

หลายปีที่ผ่านมาบทบาทของกระบวนการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์มีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวัตถุ (Non-Destructive Testing) เป็นที่นิยมในกระบวนการอุตสาหกรรม และรังสีวิทยาทางการแพทย์ โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ทะลุผ่านวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ โดยอาศัยเทคนิคนี้ในการตรวจสอบความผิดปกติของวัตถุซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ในปัจจุบันมีการใช้แผ่นรับทางรังสี (Image Plate) เพื่อความสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น การป้องกันอันตรายจากรังสีเป็นอีกกระบวนการหนึ่ง ที่ต้องควบคุมคู่ไปกับการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีในด้านต่าง ๆ เนื่องจากพลังงานเอกซเรย์มีอำนาจทะลุทะลวงสูง โดยจะถูกปล่อยออกมาจากเครื่องกำเนิดรังสี ภาพถ่ายทางรังสีจะประกอบไปด้วยหน่วยเล็กๆ ที่เรียกว่าจุดภาพ (Pixel) ซึ่งจะเป็นพื้นที่เล็ก ๆ จุดหนึ่งในภาพ โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีเลขกำกับใช้บอกระดับความเข้มของแต่ละเฉด หากมีจุดหลายๆจุดภาพมาต่อกันก็จะกลายเป็นภาพที่มีขนาดและความยาวเกิดขึ้นโดยภาพถ่ายทางรังสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale image) คือภาพที่มีสีอยู่ในระดับสีเทาจะมีจำนวนสีที่เป็นได้ทั้งหมด 256 สี ตั้งแต่สีดำ (0) ถึงขาว (255) การสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ และเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในประเทศก่อให้เกิดงานวิจัยเรื่องนี้ขึ้น ในเรื่องของการศึกษาวัสดุลดทอนเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านของสารเคมีที่มีการใช้งานในห้องปฏิบัติการทั่วไป [1,2]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ของสารเคมีโดยการบันทึกภาพบนฉากเรืองแสงด้วยกล้องดิจิทัล และการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางรังสีด้วยโปรแกรม Image J เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ โดยประกอบด้วยเครื่องกำเนิดเอกซเรย์, แผ่นรับภาพทางรังสี, เครื่องอ่านภาพทางรังสี และโปรแกรมการวัดค่าเฉดสีด้วยโปรแกรม Image J [1]

สารเคมี หมายถึง สารอนินทรีย์ หรือสารอินทรีย์ที่สามารถระบุโมเลกุลของสารได้อาจปรากฏอยู่ในธรรมชาติ หรือถูกสังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาต่างๆ โดยทั่วไปแล้วสารเคมีจะมีสถานะอยู่ 3 สถานะเช่นเดียวกับสสาร ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สามารถเปลี่ยนสถานะได้เมื่อสภาวะหรือเงื่อนไขเปลี่ยนไป เช่น เปลี่ยนอุณหภูมิความดันโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีก็สามารถเปลี่ยนจากสารเคมีหนึ่งไปเป็นสารเคมีตัวใหม่ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์วัดค่าเฉดสีจากโปรแกรม Image J แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ เพื่อเป็นการพัฒนาเทคนิคอีกรูปแบบหนึ่งของการคัดกรองสารละลายจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ [1]

งานวิจัยนี้จึงทำการตรวจสอบการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ โดยใช้การรับภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลเพื่อใช้สำหรับการคัดกรองสารละลาย ซึ่งจะใช้รูปแบบการเก็บข้อมูลโดยใช้กล้องดิจิทัล ที่ควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB โดยใช้เทคนิควิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

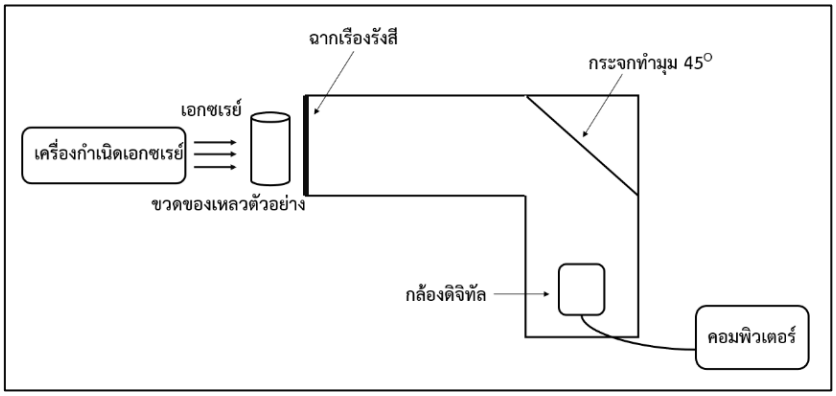
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ของสารเคมีโดยการบันทึกภาพบนฉากเรืองแสงด้วยกล้องดิจิทัล
2. เพื่อการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางรังสีด้วยโปรแกรม Image J
3. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบระบบการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์

ระบบการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ที่พัฒนาขึ้นแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย เครื่องกำเนิดเอกซเรย์, กล่องทึบที่ทำจากไม้อัดบุด้วยตะกั่วติดฉากเรืองรังสี, กล้องดิจิทัล และคอมพิวเตอร์สำหรับการบันทึกภาพ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์

การออกแบบของเหลวตัวอย่างสารเคมี โดยจะออกแบบสารเคมีแต่ละชนิดจำนวน 3 ความเข้มข้น ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบสูตรผสมเคมีของวัสดุตัวอย่าง

ความเข้มข้น	ชนิดของสาร		ความเข้มข้น	ชนิดของสาร
2M	$BaSO_4$		2M	$MgCl_2$
3M			3M	
4M			4M	
2M	$CaCl_2$		2M	$MgSO_4$
3M			3M	
4M			4M	
2M	$CaCO_3$		2M	$CaSO_4$
3M			3M	
4M			4M	

1. ขั้นตอนการเก็บข้อมูลวิจัยเพื่อหาค่าความเข้มของเฉดสี

2.1 วางขวดของสารละลายแต่ละชนิดหน้าฉากเรืองรังสี

2.2 ทำการเก็บภาพทางรังสีที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า คือ 90 kVp, 100 kVp, 110 kVp, 120 kVp และ 130 kVp ตามลำดับ ที่พารามิเตอร์ของกล้องดิจิทัล F=4.0

2.3 เปลี่ยนพารามิเตอร์ของ Shutter time ของเครื่องกำเนิดเอกซเรย์เป็น 2.0s, 2.5s และ 3.2s

2.4 ทำการเก็บภาพทางรังสีโดยเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า Shutter time และความเข้มข้นของสารเคมีจนครบทุกค่าการเปลี่ยนแปลง

2.5 บันทึกผลการทดลองของการวิจัย

2. การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

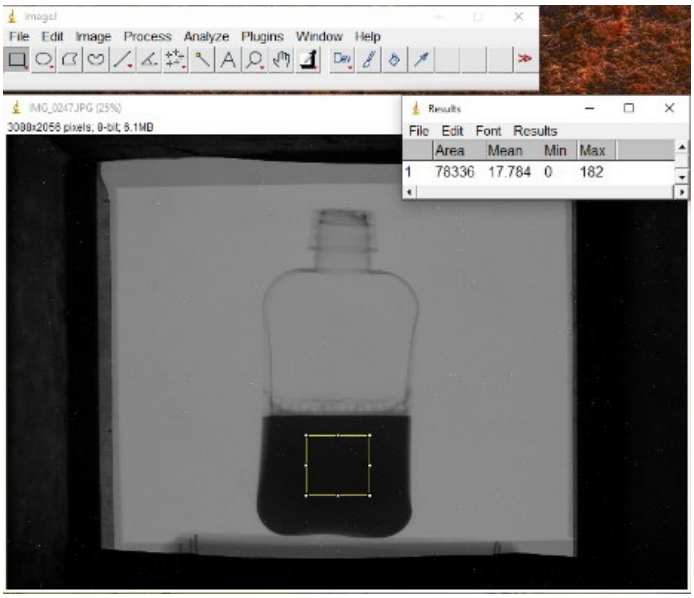
การวิเคราะห์ผลผ่านโปรแกรม Image J เพื่อต้องการหาเฉดสีขาว-ดำ ตามหลักการของ Gray scale

3.1 เมื่อนำภาพทางรังสีที่ได้มาแล้ว มาวิเคราะห์ผลกับโปรแกรม Image J และอ่านค่าความเข้มของภาพด้วยโปรแกรม Image J โดยใช้ขอบเขตของช่วงพิกเซลที่ต้องการอ่านค่า เรียกว่า Rest of interest (ROI) ตำแหน่งกลางของภาพทางรังสีโดยเป็นผลค่าเฉลี่ยความเข้มของภาพทางรังสีภายใน Rest of interest เพื่อดูค่าของเฉดสีระบบ RGB ตามความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของเครื่องเอกซเรย์ในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2

3.2 จากขั้นตอนที่ 1 ทำให้ได้ค่าของข้อมูลความเข้มของเฉดสีแต่ละความเข้มข้น ค่าความเข้มของเฉดสีจะมีความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า, Shutter time และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ทดสอบ

3.3 ค่าเฉดสีของภาพทางรังสีที่ได้นำมาคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนของพลังงานเอกซเรย์หลังจากผ่านวัตถุได้ ตามสมการ (1)

3.4 สร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและสัมประสิทธ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ตามตัวแปรของการทดลอง ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า, Shutter time และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 2 การวิเคราะห์กับโปรแกรม Image J

4. ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{1}{x}\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

เมื่อ x คือ ความหนาของขวดสารละลายเคมี

I_0 คือ ความเข้มของเอกซเรย์ (ความเข้มของเฉดสี) ก่อนทะลุผ่านตัวกลาง

I คือ ความเข้มของเอกซเรย์ (ความเข้มของเฉดสี) หลังทะลุผ่านตัวกลาง

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนความเข้มรังสีเชิงเส้น (linear attenuation coefficient)

เมื่อได้ค่า μ จะทำให้ทราบ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ในสารละลายแต่ละชนิด

ผลการวิจัย

1. การศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ของสารเคมีโดยการบันทึกภาพบนฉากเรืองแสงด้วยกล้องดิจิทัล

ในการออกแบบอุปกรณ์การรับภาพทางรังสี ได้ออกแบบการวิจัยในห้องเอกซเรย์ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพภายใต้กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่มาตรฐานในการใช้งานได้อย่างถูกต้อง โดยประกอบด้วย เครื่องกำเนิดเอกซเรย์, ฉากเรืองรังสี, กล้องดิจิทัล และคอมพิวเตอร์ เพราะฉะนั้นการถ่ายภาพแล้วรับภาพทางรังสีด้วยกล้องดิจิทัลนี้ สามารถใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางแผนไว้ ทำให้การถ่ายภาพทางรังสีสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

2. การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางรังสีด้วยโปรแกรม Image J

โปรแกรม Image J เป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานด้านการวิเคราะห์ภาพในทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้วยการเรียนรู้และเข้าได้ง่ายโดยนำมาประยุกต์การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงาของเอกซเรย์ โดยการวัดความเข้มของภาพ ที่ได้จากการถ่ายภาพเอกซเรย์แปรผันตรงกับความเข้มของรังสีที่ตกกระทบกับแผ่นรับภาพ ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความเข้มของเฉดสี Gray scale ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3. การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

จากการเก็บข้อมูลการวิจัย ทำการเก็บภาพทางรังสีที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า คือ 90 kVp, 100 kVp, 110 kVp, 120 kVp และ 130 kVp ตามลำดับ และพารามิเตอร์ของกล้องดิจิทัล F=4.0 ที่ t=2s, 2.5s และ 3.2s ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2, 3, 4

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของสารละลายแต่ละชนิดที่ F=4.0 และ t=2s

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น	90 kV	100 kV	110 kV	120 kV	130 kV
$BaSO_4$	2M	0.0588	0.0579	0.0553	0.0528	0.0505
	3M	0.0636	0.0617	0.0595	0.0579	0.0558
	4M	0.0662	0.0638	0.0626	0.0603	0.0574
$CaCl_2$	2M	0.0159	0.0151	0.0143	0.0140	0.0125
	3M	0.0166	0.0161	0.0154	0.0145	0.0151
	4M	0.0188	0.0178	0.0194	0.0167	0.0153

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น	90 kV	100 kV	110 kV	120 kV	130 kV
$CaCO_3$	2M	0.0103	0.0113	0.0109	0.0117	0.0106
	3M	0.0116	0.0141	0.0112	0.0109	0.0102
	4M	0.0146	0.0142	0.0133	0.0128	0.0115
$MgCl_2$	2M	0.0121	0.0121	0.0113	0.0113	0.0101
	3M	0.013	0.0124	0.0118	0.0108	0.0105
	4M	0.0137	0.0136	0.0123	0.0121	0.0110
$MgSO_4$	2M	0.0116	0.0106	0.0103	0.0097	0.0089
	3M	0.0121	0.0118	0.0108	0.0106	0.0101
	4M	0.0128	0.0125	0.0118	0.0115	0.0104
$CaSO_4$	2M	0.0097	0.0096	0.0090	0.0087	0.0079
	3M	0.0151	0.0156	0.0152	0.0138	0.0117
	4M	0.0184	0.0180	0.0165	0.0160	0.0146

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของสารละลายแต่ละชนิดที่ F=4.0 และ t=2.5s

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น	90 kV	100 kV	110 kV	120 kV	130 kV
$BaSO_4$	2M	0.0555	0.0539	0.0513	0.0493	0.0467
	3M	0.0600	0.0584	0.0553	0.0536	0.0516
	4M	0.0626	0.0602	0.0581	0.056	0.0536
$CaCl_2$	2M	0.0144	0.0133	0.0125	0.0118	0.0106
	3M	0.0150	0.0147	0.013	0.0122	0.0116
	4M	0.0174	0.0164	0.015	0.0144	0.0132
$CaCO_3$	2M	0.0085	0.0093	0.0082	0.0095	0.0085
	3M	0.0093	0.0096	0.009	0.0084	0.0078
	4M	0.0127	0.0116	0.0105	0.0106	0.0093
$MgCl_2$	2M	0.0113	0.0105	0.0097	0.0091	0.0082
	3M	0.0116	0.0105	0.0099	0.0095	0.0084
	4M	0.0122	0.0115	0.0103	0.0104	0.009
$MgSO_4$	2M	0.0101	0.0096	0.0089	0.0082	0.0078
	3M	0.0112	0.0103	0.0092	0.009	0.0083
	4M	0.0117	0.0111	0.0102	0.0096	0.0085
$CaSO_4$	2M	0.0087	0.0081	0.0074	0.0072	0.0065
	3M	0.0139	0.0132	0.0117	0.0116	0.0108
	4M	0.0163	0.0159	0.0141	0.0132	0.0126

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของสารละลายแต่ละชนิดที่ F=4.0 และ t=3.2s

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น	90 kV	100 kV	110 kV	120 kV	130 kV
$BaSO_4$	2M	0.0528	0.0502	0.0472	0.0445	0.0412
	3M	0.0567	0.055	0.0504	0.0492	0.0467
	4M	0.0581	0.0572	0.0542	0.0511	0.0489
$CaCl_2$	2M	0.0124	0.012	0.0102	0.0096	0.0089
	3M	0.0133	0.0129	0.0114	0.0103	0.0096
	4M	0.0153	0.0144	0.0127	0.0115	0.0111
$CaCO_3$	2M	0.0071	0.0077	0.0065	0.0069	0.0064
	3M	0.0074	0.0079	0.0072	0.0065	0.0060
	4M	0.0104	0.0094	0.0083	0.0076	0.0073
$MgCl_2$	2M	0.0095	0.0090	0.0078	0.0073	0.0067
	3M	0.0097	0.0092	0.0079	0.0076	0.0070
	4M	0.0106	0.0098	0.0088	0.0083	0.0084
$MgSO_4$	2M	0.0085	0.0083	0.0070	0.0069	0.0065
	3M	0.0090	0.0086	0.0076	0.0073	0.0068
	4M	0.0098	0.0096	0.0084	0.0078	0.0073
$CaSO_4$	2M	0.0071	0.0070	0.0063	0.0058	0.0053
	3M	0.0118	0.0117	0.0103	0.0093	0.0091
	4M	0.0143	0.0141	0.0123	0.0112	0.0107

จากผลการทดลองการวิจัยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของสารละลายแต่ละชนิดดังตารางที่ 2-4 ซึ่งตรงไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ เนื่องจากเซนเซอร์ของกล้องดิจิทัลคือ CMOS ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับหัววัดรังสีชนิด Semiconductors ทำให้สามารถตรวจวัดรังสีได้โดยดูจากภาพทางรังสีที่ได้มา และนำภาพทางรังสีเข้าสู่โปรแกรม Image J ภาพที่ได้จะเป็นแบบ Gray Scale image และนำไปคำนวณโดยใช้โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ตามสมการของ Beer-Lambert's Law เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของสารสารละลายทั้ง 6 ชนิด คือ $BaSO_4$, $CaCl_2$, $CaCO_3$, $MgCl_2$, $MgSO_4$ และ $CaSO_4$ ทำให้ทราบว่าองค์ประกอบของโครงสร้างทางเคมีของสารละลายมีผลต่อการลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ จะเห็นได้ว่าสารละลาย $BaSO_4$ สามารถลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ได้มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกันพบว่า เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า แสดงว่าคุณสมบัติการลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของสารละลายขึ้นกับชนิดของสารละลายในการดูดกลืนเอกซเรย์ กล่าวคือขึ้นกับปริมาณของสารดูดกลืนเอกซเรย์กับความเข้มข้นของสารตามสมการ Lambert’s law สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานของเอกซเรย์ และชนิดของตัวกลางที่ทะลุผ่าน

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

การสร้างเครื่องมือรับภาพในกระบวนการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ และเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล ในการออกแบบเครื่องมือการรับภาพทางรังสี ได้ออกแบบการทดลองการวิจัยในห้องเอกซเรย์ ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพภายใต้กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่มาตรฐานในการใช้งานได้อย่างถูกต้อง ชุดและอุปกรณ์ป้องกันการของเอกซเรย์ภายใต้ห้องมีการบุด้วยตะกั่วตามมาตรฐานสากล และสามารถป้องกันสิ่งรบกวนจากภายนอกที่เข้ามารบกวนได้ การใช้เทคนิคข้างต้นเป็นวิธีแนวใหม่ต่างจากรูปแบบเดิม เพราะมีการวิเคราะห์ความเข้มของภาพเอกซเรย์โดย Image J ซึ่งต่างจากรูปแบบเดิมที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง แต่รูปแบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะมีความสะดวก, รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากการสร้างภาพที่รวดเร็ว และสามารถเก็บไฟล์ของภาพเอกซเรย์ที่เป็นดิจิทัลได้ในระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีการใช้นามสกุล .JPG อีกทั้งไม่สูญเวลาในการถ่ายภาพและสะดวกต่อการใช้อุปกรณ์ในราคาไม่สูงมากอย่างเช่นฟิล์ม เป็นต้น ที่มีกระบวนยุ่งยากในการล้างฟิล์มโดยตลอดมา ฉะนั้นการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ เครื่องรับภาพและบันทึกภาพเอกซเรย์นี้สามารถใช้งานได้ดีตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางแผนไว้ ทำให้การถ่ายภาพสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

การวิเคราะห์หาความเข้มของภาพเอกซเรย์จากโปรแกรม Image J การพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ ควบคู่ไปกับการทดลองการวิจัยข้างต้น เพื่อออกแบบวิธีการทดลองและศึกษาการวิเคราะห์ความเข้มของภาพเอกซเรย์ ให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคตต่อไปได้ โปรแกรม Image J เป็นโปรแกรมที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในโลกปัจจุบัน ที่มีการประยุกต์ใช้ในทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ด้วยการเรียนรู้และเข้าได้ง่ายโดยนำมาประยุกต์การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงาของเอกซเรย์ หลักการทั่วไปเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้คือ การวัดความเข้มของภาพทางรังสีที่จากการถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยการบันทึกภาพบนแผ่นรับภาพทางรังสี ซึ่งความเข้มของภาพดิจิทัล ที่ได้จากการถ่ายภาพเอกซเรย์แปรผันตรงกับความเข้มของรังสีที่ตกกระทบกับแผ่นรับภาพ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มของภาพเหล่านี้เป็นตัวแทนของความเข้มของรังสีที่ตกกระทบผ่านได้ การพัฒนารูปแบบการทดลองสามารถนำหลักการเดียวกันนี้กับชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพและเครื่องเอกซเรย์ชนิดอื่นในอนาคตที่เหมาะสมและจัดหาได้ และผลการวัดด้วยเทคนิคเดียวกับอุปกรณ์นั้นๆ ก็จะเป็นการประยุกต์ใช้กับเครื่องกำเนิดเอกซเรย์กับเฉพาะเครื่องนั่น ไม่สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ มาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยนี้แต่ทุกระบบและกระบวนการสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ได้

การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานตามอัตราส่วนของสารละลายเคมี เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ของสารเคมีภัณฑ์โดยการบันทึกภาพบนฉากเรืองแสงด้วยกล้องดิจิทัล ฉะนั้นจากผลการทดลองทุกรูปทุกสารตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองการวิจัย ทำให้ทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ เทคนิครูปแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ในสารอื่นได้ โดยผลการทดลองทำให้ทราบว่า หากแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีแนวโน้มลดลง จากรูปแบบการวิจัยข้างต้นทำให้ทราบว่าสามารถนำไปใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่มีต้นทุนต่ำในเชิงพาณิชย์ได้สอดคล้องกับงานวิจัยนพรัตน์ แก้วใหม่ ได้พัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อจำแนกชนิดของเหลวที่ติดไฟได้และชนิดที่ติดไฟไม่ได้ โดยการใช้เครื่องกำเนิดเอกซเรย์ วิเคราะห์ผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถแยกชนิดของเหลวโดยของเหลวที่สามารถติดไฟได้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ และความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ และสอดคล้องกับงานวิจัยทิวาวัลย์ อธิชาติกุลและคณะ เพื่อศึกษาการผลิตวัสดุลดทอนเอกซเรย์ทดแทนโลหะตะกั่วโดยศึกษาจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าแผ่นคอมพอสิต PU/$BaSO_4$ ดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดี และเมื่อผสมแบเรียมซัลเฟตมากขึ้นทำให้การดูดกลืนเอกซเรย์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

1. รูปแบบการทดลองการวิจัยที่พัฒนาขึ้นอาจมีปัญหาของสาย USB ที่ต่อจากกล้องดิจิทัล อนาคตอาจปรับเปลี่ยนเป็นสาย Wireless ที่ง่ายต่อการติดตั้ง

2. การทดลองในงานวิจัยอาจเปลี่ยนเป็นสารเคมีชนิดอื่น ที่มีการทดลองทั่วไปในชีวิตประจำวัน เพื่อให้มีการทดสอบของข้อมูลการวิจัยที่มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] N. Kaewmai, “Development of x-ray imaging technique recorded by digital camera for liquid screening,” M.S. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand. (in Thai)

[2] P. Orachorn, “Development of technique for screening liquids in unopened bottle using low energy x-ray transmission,” D.Eng. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand. (in Thai)

[3] T. Atichatkul, “X-ray attenuation coefficient of PU/$BaSO_4$ composite sheet,” *Thai J. KMUTNB*, vol. 27, pp. 159–168, Apr. 2017. (in Thai)

[4] P. Gajaseni, “Monte Carlo simulation of x-ray generation in plasma focus machine,” M.S. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand. (in Thai)

[5] P. Savirot, “Development of X-ray computed tomography technique by using fluoroscopic images recorded with digital camera,” M.Sc. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand.

[6] J. Jamnian, “Calculation of concrete wall thickness for industrial x-ray radiography room,” M.S. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand.

[7] S. Tippayakaison, “Development of a high resolution scanning densitometer system for computed tomography,” M.S. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand.

[8] C. Polee, “Comparative investigation and improvement of film radiography speed for non-destructive inspection of industrial specimens,” D.Eng. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand.

[9] V. P. Singh, “Determination of mass attenuation coefficient for some polymers using Monte Carlo simulation,” *Vacuum*, vol. 119, pp. 284–288, 2015. doi: 10.1016/j.vacuum.2015.06.009

[10] Y. Wattanasriroj, “The effect of tube voltage and current on the CT number and relative electron density in computed tomography simulator,” *Thai J. Radiol. Technol.*, vol. 48, pp. 18–28, 2023. (in Thai)

[11] P. Pairodsantikul, “The development of application for general radiography in skull,” *Thai J. Radiol. Technol.*, vol. 48, pp. 60–70, 2023. (in Thai)

[12] R. Wongsoong, “Patient radiation dose in transcatheter arterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma using the hybrid angiography-computed tomography,” *Thai J. Radiol. Technol.*, vol. 49, pp. 86–94, 2023. (in Thai)

[13] T. Rosenfeld, “Medipix detectors in radiation therapy for advanced quality-assurance,” *Radiat. Meas.*, vol. 130, pp. 1–8, 2020. doi: 10.1016/j.radmeas.2019.106228

[14] A. Fujiwara, "Tailor-made 3D dosimeter using 3D printing technology," *Radiat. Meas.*, vol. 135, pp. 1–3, 2020. doi: 10.1016/j.radmeas.2020.106359

[15] S. Medici, "Use of portable gamma spectrometers for triage monitoring following the intake of conventional and novel radionuclides," *Radiat. Meas.*, vol. 136, pp. 1–8, 2020. doi: 10.1016/j.radmeas.2020.106374