

การศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางตามอัตราส่วนของ แบเรียมซัลเฟตโดยการบันทึกภาพบนแผ่นเรืองรังสีด้วยกล้องดิจิตอล

พนพน สาวีโรจน์^{1*} นกเกตน์ สารรัตน์² ปุญญา ศรีสกุล³ และ นวบดินทร์ ธนภคินธยาน์⁴

^{1,2,3,4}สาขาวิชารังสีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

Email: ^{1*}panapon8961@gmail.com, ²61noppagate.s@gmail.com,

³61punyisa.k@gmail.com, ⁴61nawabordin.d@gmail.com

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบันได้มีการนำเอกซเรย์มาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์มากมาย ในการทำงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีอย่างเหมาะสม แต่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้ งานวิจัยนี้มีจึงวัตถุประสงค์ศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต โดยการบันทึกภาพบนฉากเรืองรังสีด้วยกล้องดิจิตอล วิธีการวิจัย การผลิตแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟต 0, 5, 10, 15 และ 20 phr และความหนา 3, 6 และ 9 mm ด้วยระบบการถ่ายภาพเอกซเรย์ประกอบด้วย เครื่องเอกซเรย์, ฉากเรืองรังสี, กล้องดิจิตอล และคอมพิวเตอร์ในการบันทึกภาพ โดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์จากโปรแกรม ImageJ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานมีค่าน้อยลง และเมื่ออัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต และแผ่นยางพารามีความหนามากขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย สรุปผลการวิจัย แผ่นยางพาราคอมพอสิตสามารถเป็นอุปกรณ์การป้องกันอันตรายจากรังสี และสามารถเป็นแนวทางการสร้างอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีที่มีเทคนิคแตกต่างกันได้

คำสำคัญ: แบเรียมซัลเฟต ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงาน กล้องดิจิตอล แผ่นยางคอมพอสิต

* Corresponding author, e-mail: panapon8961@gmail.com

A Study of Intensity Radiographic Image Attenuated with Barium Sulfate Filled Rubber Compound by Using Fluoroscopic Images Recorded with Digital Camera

Panapon Saviro^{1*}, Noppagate Sararut², Punyisa Khrueakhun³
and Naeabordin Thanapakinthaya⁴

^{1,2,3,4}Radiological Technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

Email: ^{1*}panapon8961@gmail.com, ²1noppagate.s@gmail.com,

³61punyisa.k@gmail.com and ⁴61nawabordin.d@gmail.com

Abstract

Actual progress of applied radiation plays a highly important role in medical radiology. In practice, generated materials optimize the process by decreasing the level of X-ray absorption. It has negative environmental effects. The objective of this study was to investigate the intensity radiographic image attenuated by barium sulfate filled rubber compound by using fluoroscopic images recorded with a digital camera. Method: formation of a barium sulfate filled rubber compound 0, 5, 10, 15, 20 phr into 3, 6, 9 mm thick sheets. The image processing consisted of an x-ray generator, fluoroscopic images, digital camera and computer device. Analysis process of method from intensity radiographic image using the ImageJ program. Result: analysis of the attenuation coefficient value from the voltage value presented lower levels of attenuation coefficient than those of the lowest voltage. Moreover, a greater ratio of the barium sulfate filled rubber compound and thicker had higher levels attenuation coefficient. It can therefore be concluded that the rubber-compounded barium sulphate could be used as a guide to create radiation protection equipment and to develop radiation protection for other research techniques.

Keywords: Barium sulfate, Attenuation coefficient value, Digital camera, Rubber compound

* Corresponding author, e-mail: panapon8961@gmail.com

1. ที่มาและความสำคัญ

หลายปีที่ผ่านมากระบวนการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์มีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวัตถุ (Non-Destructive Testing, NDT) ซึ่งเป็นที่นิยมในกระบวนการอุตสาหกรรม และรังสีทางการแพทย์ โดยอาศัยเอกซเรย์ทะลุผ่านวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ ความผิดปกติของวัตถุซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ในปัจจุบันมีการใช้แผ่นรับภาพทางรังสี (Imaging plate) เพิ่มความสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น ส่วนการป้องกันอันตรายจากรังสีเป็นอีกกระบวนการหนึ่งซึ่งต้องคำนึงถึง ควบคู่กับการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีในด้านต่าง ๆ เนื่องจากพลังงานของเอกซเรย์มีอำนาจทะลุทะลวงสูง โดยเอกซเรย์จะถูกปล่อยออกมาจากเครื่องกำเนิดรังสีและกระทบกับวัตถุที่ต้องการ การทดสอบวัตถุเพื่อรับรังสีจะเกิดการดูดกลืนไว้บางส่วน และยอมให้รังสีบางส่วนทะลุผ่าน รังสีที่ทะลุผ่านจะถูกกรองรับด้วยแผ่นรับภาพ ภาพถ่ายทางรังสีจะประกอบไปด้วยหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่าจุดภาพ (Pixel) ซึ่งจะเป็นพื้นที่เล็ก ๆ จุดหนึ่งในภาพ โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีเลขกำกับ ใช้อบกระดั้บความเข้มของแต่ละเฉดสี หากมีจุดหลาย ๆ จุดภาพมาต่อกันก็จะกลายเป็นภาพที่มีขนาดและความยาวเกิดขึ้น โดยภาพถ่ายทางรังสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale image) คือ ภาพที่มีสีอยู่ในโทนสีเทา จะมีจำนวนสีที่เป็นได้ทั้งหมด 256 สี ตั้งแต่สีดำ (0) ถึงขาว (255) อีกทั้งในสถานพยาบาลในปัจจุบันนั้น ผู้ป่วยที่เข้ารับการบริการเอกซเรย์ในหอผู้ป่วยมีจำนวนมาก ทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองเพื่อการสร้างภาพทางรังสีนั้น ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางของการสร้างอุปกรณ์การป้องกันอันตรายจากรังสีจากอุปกรณ์ที่มีอยู่หรือหาได้ง่าย [1-7]

ปัจจุบันอุปกรณ์ป้องกันรังสีส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัสดุที่มีมวลอะตอมสูง เช่น ตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว ซึ่งตะกั่วมีความสามารถในการลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ได้ จึงใช้วัสดุเหล่านี้ในการป้องกันเอกซเรย์ให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่จำเป็นต้องเข้ารับการวินิจฉัยโรคและรักษาโดยใช้รังสี ซึ่งประสิทธิภาพการป้องกันรังสีจะมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มของตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว อย่างไรก็ตามตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วจัดเป็นสารที่อันตรายแก่สิ่งแวดล้อมและปัญหาต่อสุขภาพ อีกทั้งตะกัวยังมีความเป็นพิษสูง แดกหักได้ง่าย และมีน้ำหนักมาก ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน และอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่เกี่ยวข้องได้ [1]

จากสารประกอบตะกั่วที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะใช้แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) แทนการใช้ตะกั่ว เนื่องจากแบเรียมซัลเฟตเป็นสารที่รังสี ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีได้ดี และละลายน้ำได้น้อยจึงไม่เกิดการดูดซับของร่างกาย และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย ยางพารา (Natural Rubber) เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความยืดหยุ่นสูง มีความต้านทานต่อแรงดึงและการฉีกขาด การผสมวัสดุหรือสารประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในยางพาราบริสุทธิ์ จะทำให้ยางพารากลายเป็นยางคอมพอสิต (Rubber compound) ผู้วิจัยจึงมีการประดิษฐ์แผ่นยางคอมพอสิตป้องกันรังสีที่ปราศจากสารตะกั่วที่มีความยืดหยุ่น มีน้ำหนักเบา สามารถกำบังรังสีได้ มีความคงทนต่อแรงดึงและการฉีกขาด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะใช้แผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต และศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์ โดยวัดค่าเฉดสีผ่านโปรแกรม ImageJ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต เพื่อเป็นแนวทางการป้องกันอันตรายของเอกซเรย์จากเดิมได้มากขึ้น [1]

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ทะลุแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต
- 2.2 เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ทะลุแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์

ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดเอกซเรย์ Rigaku radioflex รุ่น RF-200EGM2, กล้องทึบแสงสำหรับการถ่ายภาพทางรังสี ฉากเรืองรังสี (Fluorescence screen) กล้องดิจิทัล Canon รุ่น EOS1100D

3.2 ขั้นตอนวิธีการวิจัย

การเตรียมแผ่นยางคอมพอสิต ตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต โดยการออกแบบแผ่นยางคอมพอสิตทั้งหมด 5 สูตร คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 phr (หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่างเทียบกับยาง 100 ส่วนโดยน้ำหนัก) และแผ่นยางคอมพอสิตแต่ละแผ่นจะมีความหนา 3, 6 และ 9 mm ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นยางคอมพอสิตโดยการผสมสารแต่ละสูตรในเครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) ได้แผ่นยางคอมพอสิตที่ผสมตามสูตร ดังรูปที่ 1(A) ตามด้วยขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นยางคอมพอสิตด้วยเครื่องอัดในแม่แบบ (compression moulding) และหลังเสร็จสิ้นการหลอมขึ้นรูปแผ่นยางคอมพอสิต ใช้อุณหภูมิ 170°C เวลา, preheat 2 นาที, heat 3 นาที, pressure 10 psi และ cooling 3 min to 50°C ดังรูปที่ 1(B) และได้ขนาดของแผ่นยางคอมพอสิตตามที่ต้องการที่มีความหนา 3 mm ดังรูปที่ 1(C)

ตารางที่ 1 การเตรียมแผ่นยางพาราที่ตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต

สูตรผสมเคมี	ปริมาณสาร (phr)				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
ยางธรรมชาติ	100	100	100	100	100
Stearic acid	1	1	1	1	1
ZnO	3	3	3	3	3
ZDEC	1	1	1	1	1
กำมะถัน	2	2	2	2	2
BaSO ₄	0	5	10	15	20



(A)



(B)



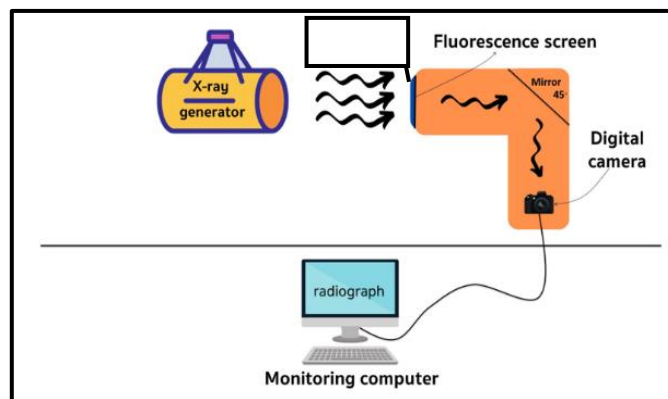
(C)

รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นยางคอมพอสิต

3.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลวิจัย

3.2.1 เก็บภาพถ่ายทางรังสีโดยวางแผ่นยางคอมพอสิตไว้ด้านหน้าฉากเรืองรังสี

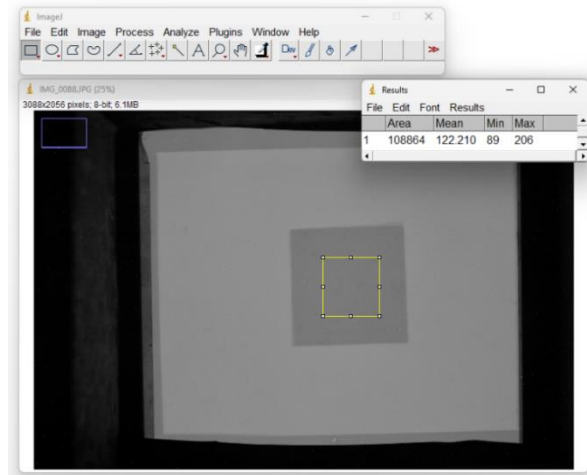
3.2.2 ทำการเก็บภาพทางรังสีของแผ่นยางพาราผสมแบเรียมซัลเฟตเหมือนกับ 1) ซึ่งแผ่นยางพาราผสมแบเรียมซัลเฟตในแต่ละสูตรได้แก่ 0 phr, 5 phr, 10 phr, 15 phr และ 20 phr ตามความหนาของแผ่นยางคอมพอสิต 3, 6 และ 9 mm ดังภาพที่ 2 และแต่ละแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การออกแบบการสร้างภาพทางรังสี

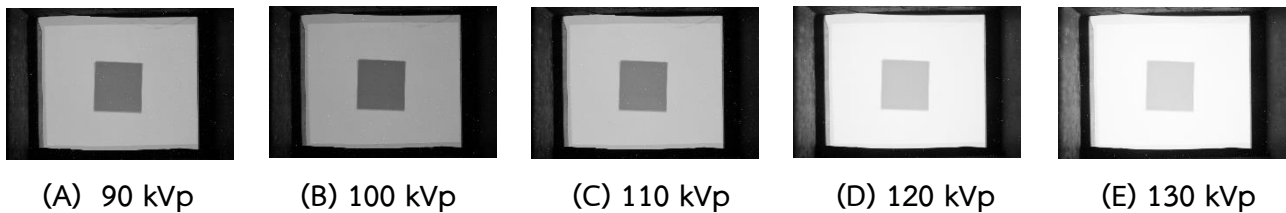
3.2.3 วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ImageJ

3.2.4 นำภาพทางรังสีที่ได้มาวิเคราะห์ภาพทางรังสีด้วยโปรแกรม ImageJ โดยการวาด ROI บนภาพที่ต้องการจะหาค่า เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยขาว-ดำ ตามระบบ Gray scale ตามความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดเอกซเรย์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วิเคราะห์ภาพทางรังสีด้วยโปรแกรม ImageJ

3.2.5 บันทึกค่าเฉลี่ยของแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟต ค่าความเข้มของเฉดสีจะมีความสัมพันธ์กับค่าแรงดันไฟฟ้า, ความหนาแน่นของแผ่นยางคอมพอสิต และพารามิเตอร์ของกล้องดิจิตอล



รูปที่ 4 ภาพถ่ายทางรังสีแต่ละแรงดันไฟฟ้า

3.4 หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของภาพรังสีที่ได้ นำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางคอมพอสิต ตามสมการของแลมเบิร์ต (Lambert's Law)

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

จาก

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

ดังนั้น

เมื่อ I คือ ความเข้มของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟต

I_0 คือ ความเข้มของเอกซเรย์ที่ยังไม่ผ่านแผ่นยางคอมพอสิต

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

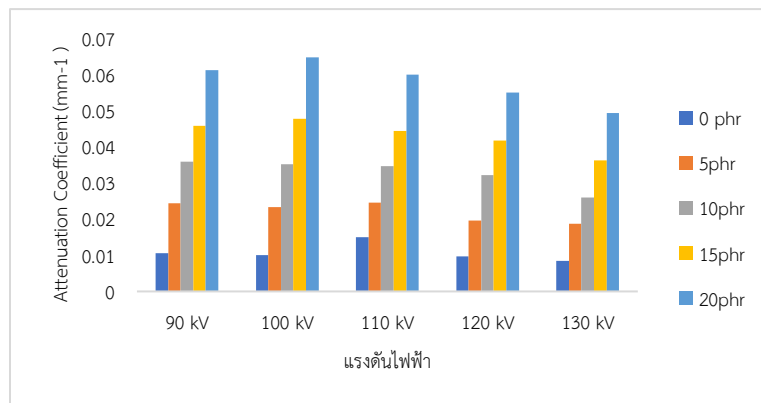
x คือ ค่าความหนาของแผ่นยางคอมพอสิต

3.5 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ตามความหนาของแผ่นยางคอมพอสิต

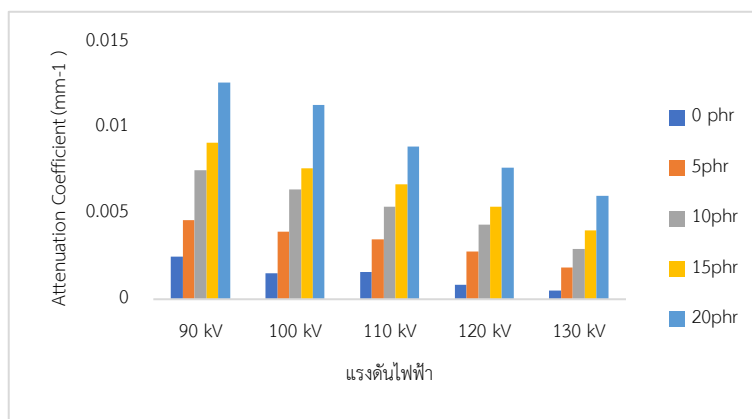
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ความหนา 3 mm

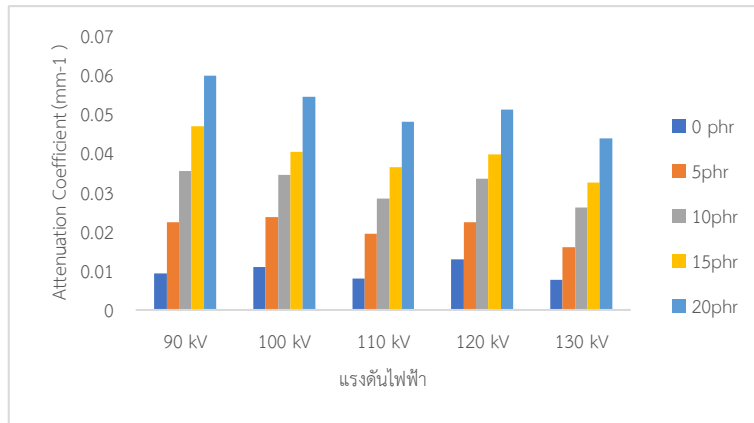
จากการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 90-130 kV บนแผ่นเรซินรังสี โดยมีแผ่นยางพาราผสมแบเรียมซัลเฟตที่มีความหนา 3 mm และอ่านค่าความเข้มของภาพด้วยโปรแกรม ImageJ ที่ตำแหน่งตรงกลางของภาพเอกซเรย์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางตามอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟต ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 5-10



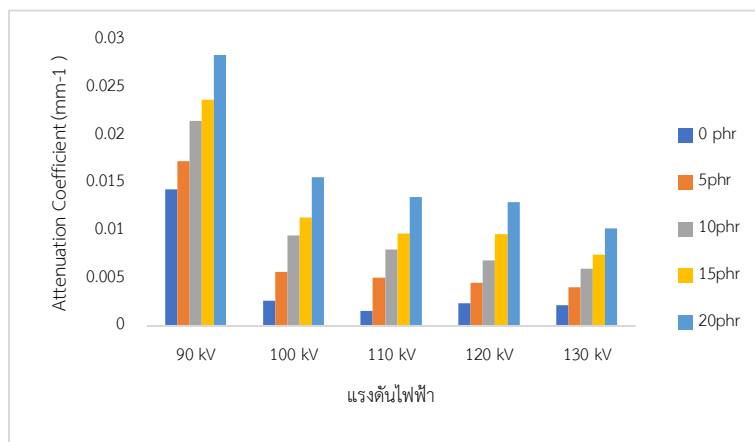
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 2.0$ s และที่ความหนา 3 mm



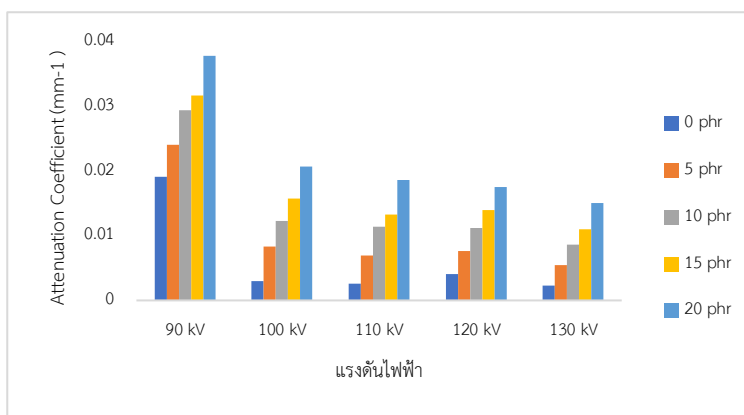
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 2.5$ s และที่ความหนา 3 mm



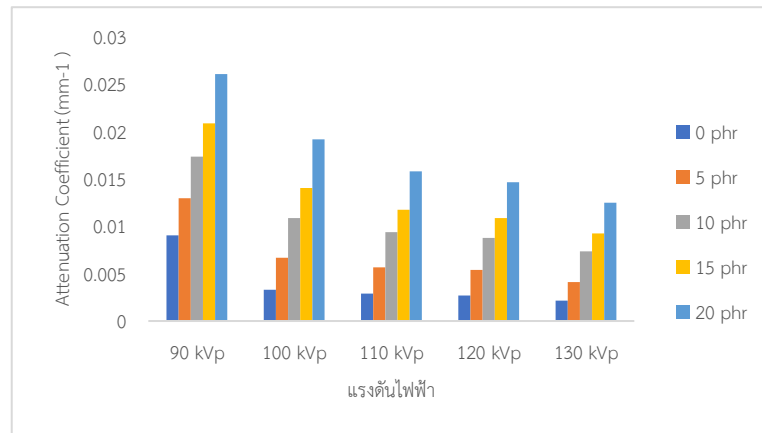
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 3.2$ s และที่ความหนา 3 mm



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 2.0$ s และที่ความหนา 3 mm



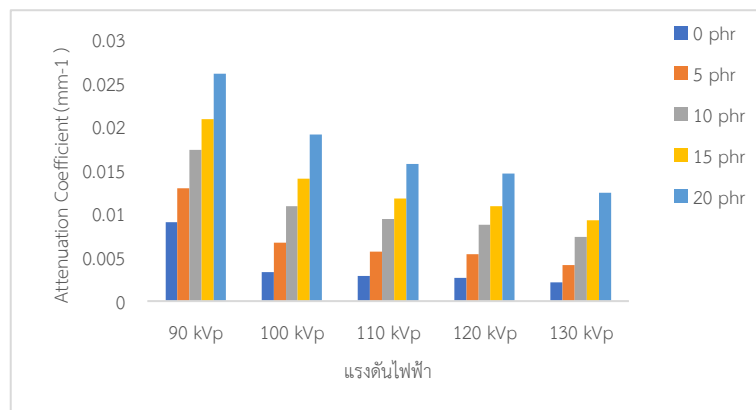
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 2.5$ s และที่ความหนา 3 mm



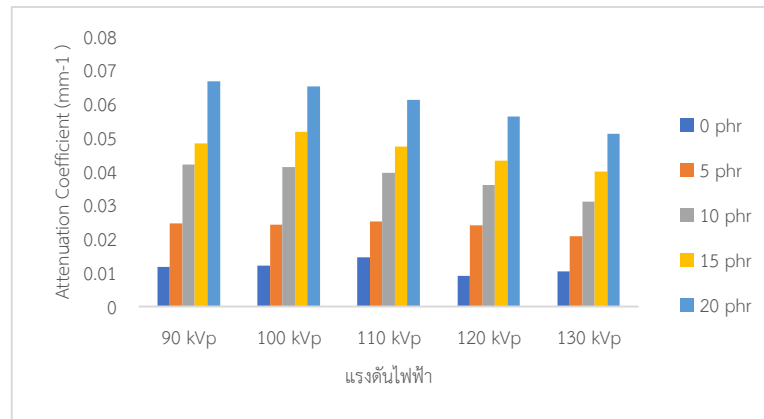
รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 3.2$ s และที่ความหนา 3 mm

4.2 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ความหนา 6 mm

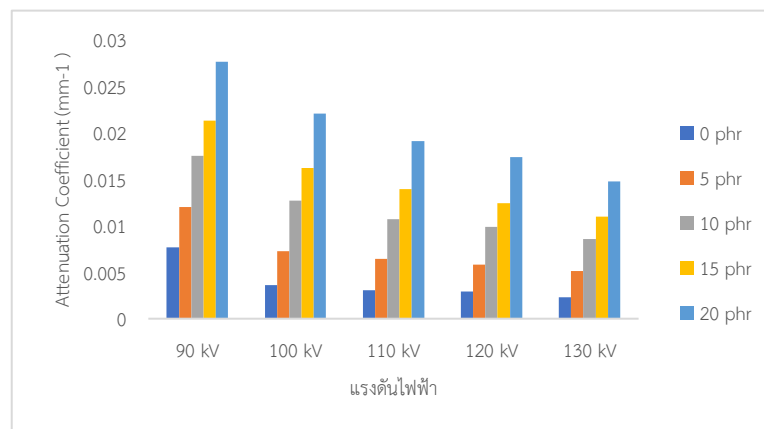
จากการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 90-130 kV บนแผ่นเรืองรังสี โดยมีแผ่นยางพาราผสมแบเรียมซัลเฟตที่มีความหนา 6 mm และอ่านค่าความเข้มของภาพด้วยโปรแกรม ImageJ ที่ตำแหน่งตรงกลางของภาพเอกซเรย์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางตามอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟต ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 11-16



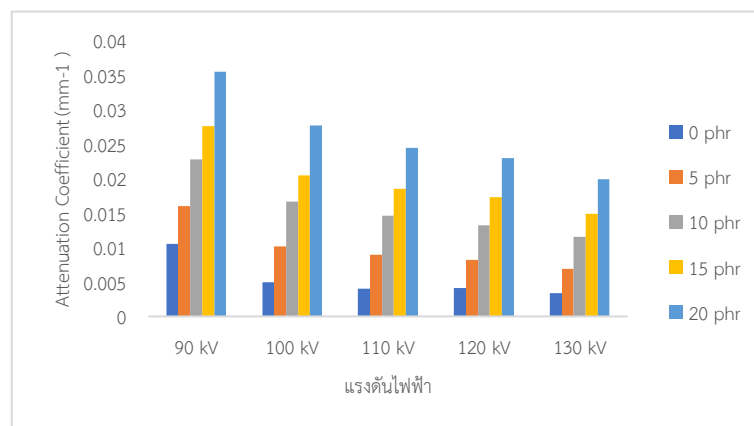
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 2.0$ s และที่ความหนา 6 mm



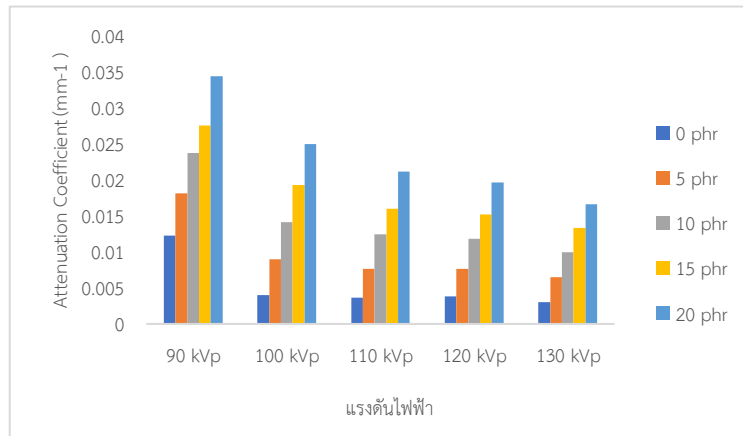
รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 2.5$ s และที่ความหนา 6 mm



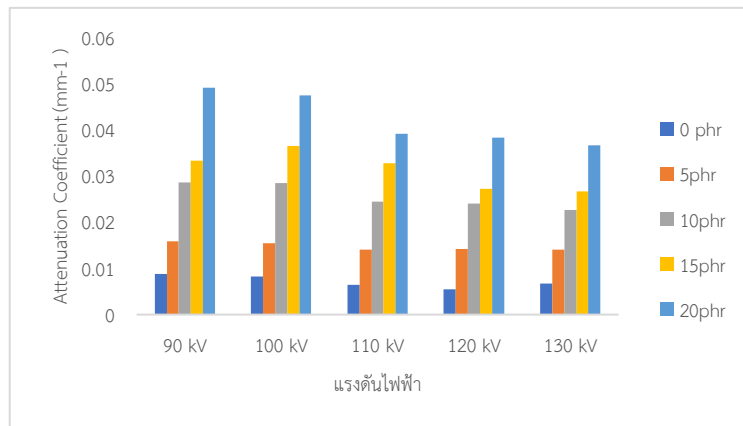
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 3.2$ s และที่ความหนา 6 mm



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 2.0$ s และที่ความหนา 6 mm



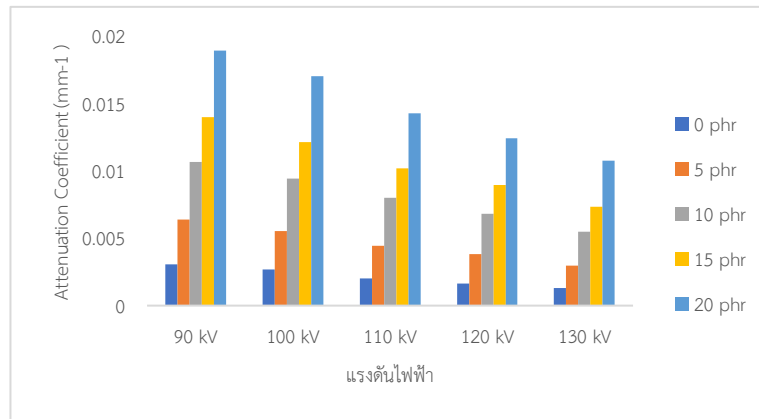
รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 2.5$ s และที่ความหนา 6 mm



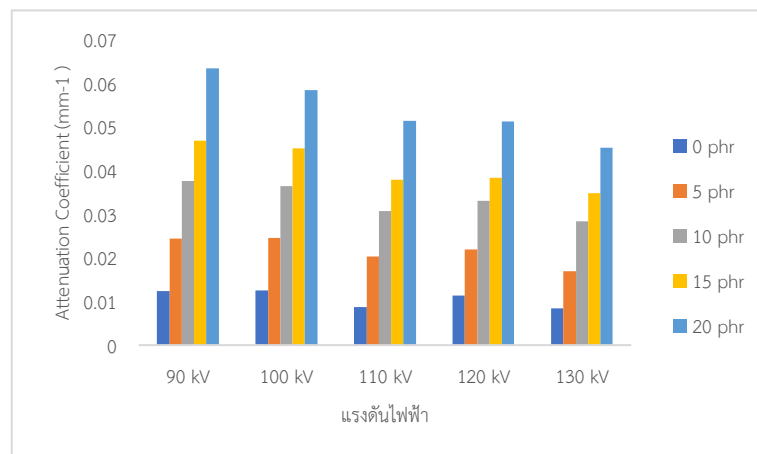
รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 3.2$ s และที่ความหนา 6 mm

4.3 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ความหนา 9 mm

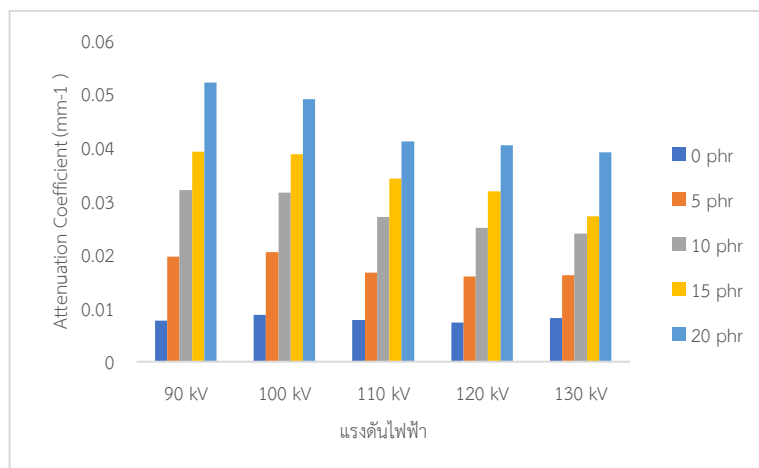
จากการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 90-130 kV บนแผ่นเรซินรังสี โดยมีแผ่นยางพาราผสมแบเรียมซัลเฟตที่มีความหนา 9 mm และอ่านค่าความเข้มของภาพด้วยโปรแกรม ImageJ ที่ตำแหน่งตรงกลางของภาพเอกซเรย์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านแผ่นยางตามอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟต ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 17-22



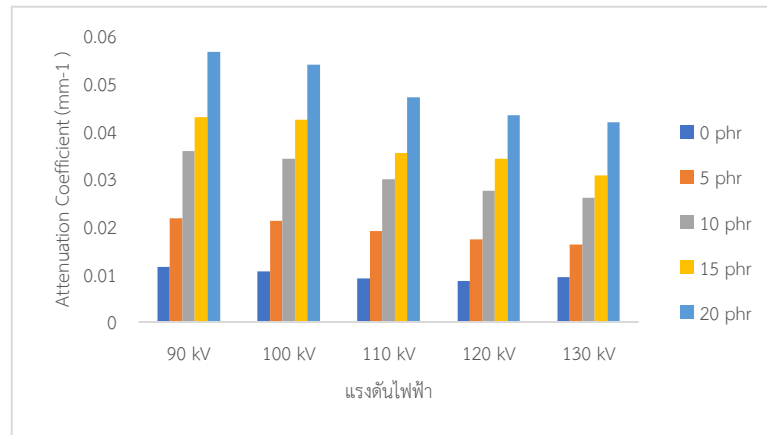
รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 2.0$ s และที่ความหนา 9 mm



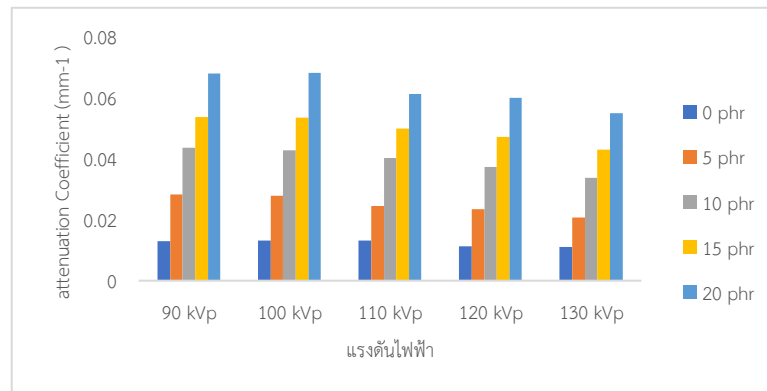
รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 2.5$ s และที่ความหนา 9 mm



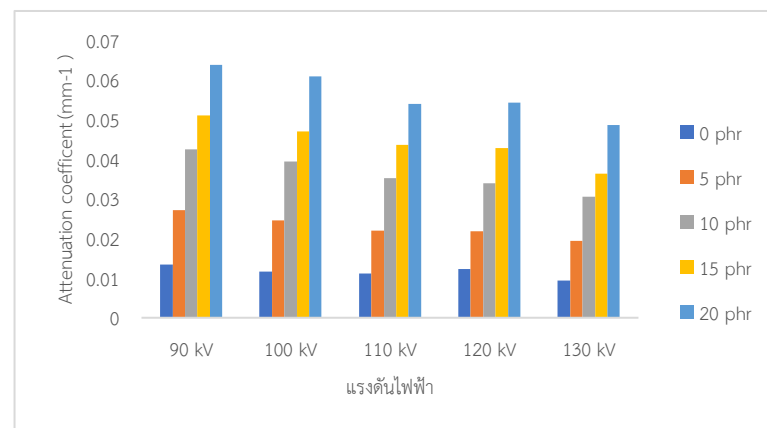
รูปที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 2.0$, $t = 3.2$ s และที่ความหนา 9 mm



รูปที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 2.0$ s และที่ความหนา 9 mm



รูปที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 2.5$ s และที่ความหนา 9 mm



รูปที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์
ที่ $F = 4.0$, $t = 3.2$ s และที่ความหนา 9 mm

จากรูปที่ 5-22 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ทะลุผ่านแผ่นยางคอมพอสิต ทำให้ทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง กล่าวคือที่อัตราส่วนเดียวกัน มีความสามารถในการลดทอนของเอกซเรย์ได้เพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้าเดียวกัน แผ่นยางคอมพอสิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตมากกว่า จะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากกว่าอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตที่น้อยกว่า กล่าวคือ แผ่นยางคอมพอสิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต 0 phr มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์น้อยที่สุด และแผ่นยางคอมพอสิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต 20 phr มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากที่สุด

จากการทดลองทดสอบการดูดกลืนพลังงานของเอกซเรย์ ด้วยแรงดันไฟฟ้า 90, 100, 110, 120 และ 130 kVp โดยองค์ประกอบภายในยางคอมพอสิต ได้แก่ C, O, H และ S (เลขมวลเท่ากับ 12, 16, 1 และ 32 g ตามลำดับ) เมื่อนำแผ่นยางคอมพอสิตเติมสารแบเรียมซัลเฟต พบว่าสามารถดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดี และเมื่อผสมแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น ทำให้เกิดการลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าสมบัติการลดทอนของเอกซเรย์ของแผ่นยางคอมพอสิต ซึ่งมีการเติมแบเรียมซัลเฟต ขึ้นกับความหนาแน่นของสารดูดกลืนเอกซเรย์ กล่าวคือ ขึ้นกับปริมาณของสารดูดกลืนเอกซเรย์กับความหนาแน่นของแผ่นคอมพอสิตตามสมการ Lambert's law สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานของเอกซเรย์ และชนิดของตัวกลางที่ทะลุผ่าน

เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดแรงดันไฟฟ้าต่างกันพบว่า ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานมากกว่า ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า เนื่องจากมาจากพลังงานของเอกซเรย์มีอำนาจทะลุทะลวงวัตถุ เมื่อพลังงานสูงขึ้นเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานมีค่าน้อยลง และแผ่นยางคอมพอสิตที่ผสมอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ BaSO_4 ในแผ่นยางคอมพอสิตที่อัตราส่วนของ BaSO_4 น้อยกว่า จะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานน้อยกว่า อัตราส่วนของ BaSO_4 มากกว่า เนื่องจากจะมีอะตอมของแบเรียมซัลเฟตซึ่งดูดกลืนเอกซเรย์ได้มากขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์จะมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมีมวลโมเลกุล 233.4 g/mol และ ความหนาแน่น 4.5 g/cm³ มีความสามารถในการดูดซับเอกซเรย์ที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ ซึ่งถือเป็นวัสดุที่สามารถลดทอนรังสีได้ โดยที่แผ่นยางคอมพอสิต 20 phr 90 kVp $F = 4.0$, $t = 3.2$ s และที่ความหนา 9 mm มีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสี 20.28% โดยมีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีมากที่สุดในการทดลอง

จากการผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า แผ่นยางคอมพอสิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต ถ้ามีอะตอมของแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น จะทำให้ดูดกลืนพลังงานของเอกซเรย์มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเอกซเรย์ เนื่องจากมีอำนาจทะลุทะลวงต่อวัตถุ เมื่อพลังงานสูงแสดงว่าอำนาจทะลุทะลวงสูง เป็นผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่าน้อยลงตามไปด้วย

5. สรุปผลการศึกษา

5.1 การสร้างเครื่องมือในการสร้างภาพทางรังสี และเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล

โดยการนำกล้องดิจิทัลมาใช้ร่วมกับฉากเรืองรังสี และมีการวิเคราะห์ความเข้มของภาพด้วยโปรแกรม ImageJ แตกต่างจากวิธีการถ่ายภาพทางรังสีแบบเดิมที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เช่น ฟิล์ม ที่มีกระบวนการยุ่งยาก และใช้เวลานานในการล้างฟิล์ม ตลอดจนการถ่ายภาพทางรังสี และเก็บข้อมูลภาพในรูปแบบดิจิทัลนี้ สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ ทำให้การถ่ายภาพทางรังสีได้

5.2 การวิเคราะห์หาความเข้มของภาพเอกซเรย์จากโปรแกรม ImageJ และประยุกต์ใช้งาน

การวัดความเข้มของภาพเอกซเรย์ จากการถ่ายภาพรังสีจากฉากเรืองรังสี โดยการวาด ROI บนภาพดิจิทัล ซึ่งความเข้มของภาพดิจิทัลที่ได้จากการถ่ายภาพทางรังสีจะแปรผันตรงกับความเข้มของรังสีที่ตกกระทบกับฉากเรืองรังสี ดังนั้นสามารถใช้ความเข้มของภาพเอกซเรย์นี้เป็นความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านได้

การประยุกต์ใช้เทคนิคข้างต้น สามารถใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องกำเนิดเอกซเรย์ และอุปกรณ์ถ่ายภาพชนิดอื่นที่เหมาะสมและจัดหาได้ และผลการวัดด้วยเทคนิคเดียวกันนี้กับอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยวิธีนี้ เป็นการประยุกต์ใช้งานเฉพาะเจาะจงกับเครื่องกำเนิดเอกซเรย์และอุปกรณ์ถ่ายภาพทางรังสีด้วยรูปแบบนี้

5.3 การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต

จากผลการทดลองพบว่า โปรแกรมสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ได้ โดยการคำนวณตามหลักสมการของแลมเบิร์ต ซึ่งในอนาคตสามารถเป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี จากการที่ประยุกต์ใช้กับเครื่องกำเนิดเอกซเรย์ และชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพแบบดิจิทัลที่ใช้ข้างต้น มีความสะดวกรวดเร็ว ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักเบาและสามารถลดการหักงอของวัสดุได้ เนื่องจากแผ่นยางพารา มีความยืดหยุ่น มีความต้านทานต่อแรงดึงและการฉีกขาดสูง สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีที่อุณหภูมิห้อง อีกทั้งยังสามารถผสมกับแบเรียมซัลเฟตได้ ซึ่งเป็นสารที่รังสีที่ใช้ในทางการแพทย์และมีคุณสมบัติดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดี [1,7]

การผลิตอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีด้วยตะกั่ว มีความเป็นอันตรายต่อร่างกาย การนำแบเรียมซัลเฟตนี้มีอะตอมของโลหะทำหน้าที่ดูดกลืนเอกซเรย์เป็นหลัก มีความหนาแน่นเพียง 4.5 g/cm^3 จึงเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นสารดูดกลืนเอกซเรย์ในแผ่นคอมพอสิตทดแทนการใช้ตะกั่ว

จากผลการวิจัยการเตรียมแผ่นยางคอมพอสิตผสมปริมาณแบเรียมซัลเฟต 0, 5, 10, 15 และ 20 phr พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่ามากขึ้น และเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นยางคอมพอสิต จะทำให้สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่ามากขึ้นด้วย และเมื่อพลังงานของเอกซเรย์มากขึ้น มีผลทำให้สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่าน้อยลง จากผลการวิจัย ทำให้เป็นประโยชน์ในการสร้างอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี ดังนั้นแผ่นยางธรรมชาติที่มีการผสมแบเรียมซัลเฟตในอัตราส่วนสามารถกำบังเอกซเรย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของแผ่นยางคอมพอสิต ที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ของกล้องดิจิตอล $F = 2.0$ และ $F = 4.0$ และความเร็วชัตเตอร์ ได้แก่ $t = 2.0, 2.5$ และ 3.2 s โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์ตามอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟต มีค่าลดลงตามแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับแรงไฟฟ้าเดียวกัน แผ่นยางคอมพอสิตที่มีแบเรียมซัลเฟตมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากกว่าอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟตน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

พบว่าแผ่นยางคอมพอสิตนี้สามารถดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดี เมื่ออัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น ทำให้การดูดกลืนเอกซเรย์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน กล่าวคือคุณสมบัติการลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของแผ่นยางคอมพอสิตขึ้นกับความหนาแน่นของสารดูดกลืนเอกซเรย์ โดยขึ้นกับปริมาณของสารดูดกลืนเอกซเรย์กับความหนาของแผ่นยางคอมพอสิต โดยเอกซเรย์ผ่านแผ่นยางคอมพอสิตจะดูดกลืนเอกซเรย์ไว้บางส่วน เอกซเรย์ที่เหลือจะส่งผ่านออก ความสามารถลดทอนพลังงานเอกซเรย์ของแผ่นยางคอมพอสิตขึ้นกับอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ของตัวกลาง อุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัยซึ่งมีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร และมีความสามารถในการลดทอนปริมาณรังสีที่ 100 kVp ได้ 97% สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาควิทยา อรรถ [2] ศึกษาการใช้เอกซเรย์พลังงานต่ำในช่วง 13.6 - 43.5 keV ที่ได้จากต้นกำเนิดรังสี ^{238}Pu โดยใช้ การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของของเหลวชนิดต่างๆที่มีค่าขึ้นกับพลังงาน ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า สามารถคัดแยกของเหลวชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำ น้ำมัน แอลกอฮอล์ ออกจากกันได้แม้อยู่ในขวดแก้วแบบปิดและภาชนะที่มีขนาดต่างๆ กัน, ทิวาวัลย์ และคณะ [7] ศึกษาการผลิตวัสดุลดทอนเอกซเรย์ทดแทนโลหะตะกั่ว โดยผลการวิจัยพบว่า การดูดกลืนเอกซเรย์ของแผ่นพอลิยูริเทน (PU) ที่มีความหนา 2 mm ด้วยพลังงานของเอกซเรย์เท่ากับ 60 kV พบว่าเอกซเรย์ที่ผ่านแผ่น PU มีค่าใกล้เคียงกับเอกซเรย์ที่ผ่านอากาศแสดงให้ว่า ความสามารถในการลดทอนเอกซเรย์ของแผ่น PU มีค่าน้อยมาก พบว่าแผ่นคอมพอสิต PU/ BaSO_4 ดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดี, เสาวภาคย์ และคณะ [8] ศึกษาแผ่นป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติและบิสมีทปริมาณสูงทดแทนการใช้ตะกั่วเป็นส่วนผสม โดยทำการทดลองตัวอย่างแผ่นยางที่เตรียมจากสูตรยางธรรมชาติผสมบิสมีท ทั้ง 6 สูตร คือ $0, 100, 200, 300, 400$ และ 500 phr โดยที่ตัวอย่างแผ่นยางมีความหนาตั้งแต่ 1 ถึง 5 mm ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการลดทอนปริมาณรังสีโดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 50 ถึง 120 kVp และค่ากระแสหลอด 20 mAs ผลการวิจัยพบว่า ร้อยละการลดทอนปริมาณรังสี มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของบิสมีทที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 mm กับแผ่นป้องกันรังสีที่ประดิษฐ์ขึ้นพบว่าแผ่นยางสูตรที่ผสมตะกั่ว 300 phr มีความหนา 3 mm มีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสี 97.33 ที่ 100 kVp, ศิริลักษณ์ อินต้อม [9] เป็นการเตรียมอลามโตเมอร์กำบังรังสีปลอดตะกั่วจากคอมพอสิตระหว่างยางธรรมชาติกับสารเติมสำหรับการบำรุงรังสีรังสี พบว่า การใช้ยางธรรมชาติผสมกับบิสมีทออกไซด์ปริมาณ 150 ส่วนโดยร้อยละส่วนเมื่อเทียบกับยาง มีประสิทธิภาพในการกำบังรังสีแกมมาได้ดีกระเจกเชิงพาณิชย์ เซอร์เพนไทน์ คอนกรีต และเฮมาไทด์-เซอร์เพนไทน์ และมีประสิทธิภาพในการกำบังเอกซเรย์ได้ดีกว่ากระเจกเชิงพาณิชย์ และ V.P.Singh et al. [10] ที่ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม Monte Carlo ด้วยพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบต่างๆ เช่น H, C, N, O และ F พบว่าผลการวิจัยในการทดลองผ่านวัสดุที่มีองค์ประกอบของ Polypropylene, Perspex และน้ำ ด้วยพลังงานรังสีแกมมา เมื่อค่าพลังงานมากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานมีค่าน้อยลงลงตามไปด้วย

การศึกษาการเตรียมสูตรยางพาราผสมแบเรียมซัลเฟต ผลการศึกษาการเตรียมคอมพอสิตของยางธรรมชาติที่มีการเติมแบเรียมซัลเฟตที่มีปริมาณ 20 phr พบว่าส่งผลให้สมบัติในการลดทอนของเอกซเรย์มากที่สุด เนื่องจากจะมีอะตอมของแบเรียมซัลเฟตซึ่งดูดกลืนเอกซเรย์ได้มากขึ้น จากผลการวิจัยข้างต้น ทำให้เป็นประโยชน์ในแนวทางการสร้างอุปกรณ์การป้องกันอันตรายจากรังสีได้จากวัสดุและอุปกรณ์ข้างต้น ฉะนั้นแล้วแผ่นยางคอมพอสิตที่มีการเติมตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต และสามารถกักเอกซเรย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยแผ่นยางคอมพอสิตที่จัดทำขึ้นสามารถกักบังรังสีได้ในอัตราต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าในเชิงพาณิชย์ได้ การประยุกต์ใช้เทคนิคที่ได้นำเสนอข้างต้น สามารถนำหลักการเดียวกันนี้กับชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพและเครื่องเอกซเรย์ชนิดอื่นในอนาคตที่เหมาะสมและจัดหาได้ และกระบวนการสามารถคัดกรองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พณพณ สาวิโรจน์. (2566). การศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตด้วยแผ่นรับภาพทางรังสี. กรุงเทพฯ: วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. ปีที่ 3 ฉบับที่ 1, มกราคม – มิถุนายน 2566
- [2] Parkphum O. (2017). *Development of technique for screening liquids in unopened bottle using low energy x-ray transmission* [Doctoral Dissertation, Chulalongkorn University].
- [3] Nopparat K. (2018). *Development of x-ray imaging technique recorded by digital camera for liquid screening* [Masteral Dissertation, Chulalongkorn University].
- [4] Chalermpong P. (2015). *Comparative Investigation and Improvement of Film Radiography Speed for Non-Destructive Inspection of Industrial Specimens*. [Doctoral Dissertation, Chulalongkorn University].
- [5] Panapon S. (2018). *Development of X-ray computed tomography technique by using fluoroscopic images recorded with digital camera* [Masteral Dissertation, Chulalongkorn University].
- [6] Panapon S. (2018). A study of radiation measurement using CMOS camera in smartphones digital camera. *Rattanakosin Journal of Science and Technology*. 6(1), 91-99: 2024.
- [7] ทิววาลัย อธิชาติ, นพวรรณ ชนัญพนิช, วิจิต พึ่งกัน, ชลธิดา สุวรรณบุรณ์. (2560). สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ของผ่านแผ่นคอมพอสิต PU/BaSO₄ กรุงเทพฯ: วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 27 ฉบับที่ 1, มกราคม - เมษายน 2560
- [8] Saowapark P., Saengchao T., Sumadee S., Nitwaree C. (2019). The invention of natural rubber mixed with high loading bismuth for radiation protection in diagnostic radiology. *The Thai Journal of Radiological Technology*. 44(1), 8-15: 2019.
- [9] Sirilak I. (2019). *Preparation of Lead-Free Radiation Shielding Elastomer Based on Natural Rubber/Metal Oxides Composites* [Masteral Dissertation, Prince of University].
- [10] V. P. Singh et al. (2015). Determination of mass attenuation coefficient for some polymers using Monte Carlo simulation. *Vacuum journal*, 119, 284-288.

- [11] Muhammadsu S. (2013). *Development of a Computer Program to Calculate Concrete Thickness for Gamma-ray Shielding* [Masteral Dissertation, Chulalongkorn University].
- [12] Suteera S. (2011). *Development of an x-ray imaging system using fiber optic scintillator with digital camera* [Masteral Dissertation, Chulalongkorn University].
- [13] J. T. and B. (2012). *The essential physics of medical imaging*. 3th ed., Wolters Kluwers business. USA.
- [14] Thunyarat C., Titipong K. (2018). An exposure indicator in digital radiography systems. *The Thai Journal of Radiological Technology*. 43(1), 21-28: 2018.