



รายงานผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติของบิสมัทออกไซด์และแบเรียมซัลเฟตเป็นองค์ประกอบในยางซิลิโคน
สำหรับพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันรังสีในทางรังสีวินิจฉัย

Study the properties of Bi_2O_3 and BaSO_4 in silicone rubber for the developing
of diagnostic radiation shielding

โดย
อจ.กัญจนพร โตชัยกุล

สนับสนุนโดย
สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2565



รายงานผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติของบิสมัทออกไซด์และแบเรียมซัลเฟตเป็นองค์ประกอบในยางซิลิโคน
สำหรับพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันรังสีในทางรังสีวินิจฉัย

Study the properties of Bi_2O_3 and BaSO_4 in silicone rubber for the developing
of diagnostic radiation shielding

โดย
อจ.กัญจนพร โตชัยกุล

สนับสนุนโดย

สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2565

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะวิจัยขอขอบพระคุณ คณะที่มอาจารย์คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต และคณบดีที่
อำนวยความสะดวกทั้งสถานที่และอุปกรณ์ เครื่องมือ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

กัญจนพร โตชัยกุล

หัวหน้าโครงการวิจัย



ชื่อเรื่อง: การศึกษาคุณสมบัติของบิสมัทออกไซด์และแบเรียมซัลเฟตเป็นองค์ประกอบในยางซิลิโคนสำหรับพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันรังสีในทางรังสีวินิจฉัย

ผู้วิจัย: อจ.กัญจนพร โตชัยกุล

สถาบัน: คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีที่พิมพ์: 2565

สถานที่พิมพ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

แหล่งที่เก็บรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

จำนวนหน้างานวิจัย: 41 หน้า

คำสำคัญ: แบเรียมซัลเฟต, บิสมัทออกไซด์, อุปกรณ์ป้องกันรังสี, เอกซเรย์, รังสี

ลิขสิทธิ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

ในทางรังสีวิทยานั้นการป้องกันรังสีมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางรังสีวินิจฉัย ตัวอย่างเช่น เอกซเรย์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์รอยโรค แต่เอกซเรย์นั้นสามารถทำลายเซลล์และส่งผลต่อระดับดีเอ็นเอได้ ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันรังสีในปัจจุบันส่วนมากจะเป็นตะกั่ว แต่ก็มีข้อเสียเนื่องจากมีความพิษสูงและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ไม่มีส่วนผสมของสารตะกั่ว และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการป้องกันรังสี โดยศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีจากการแผ่รังสีปฐมภูมิ และทฤษฎีจากการวัสดุกำบังรังสีที่ประกอบด้วยยางซิลิโคนและแบเรียมซัลเฟตรวมถึงบิสมัทออกไซด์ในสัดส่วนที่ต่างกัน

ผลการวิจัยพบว่าวัสดุป้องกันรังสีที่ส่วนประกอบของ 70% แบเรียมซัลเฟตและบิสมัทออกไซด์ มีความสามารถในการป้องกันปริมาณรังสีจากรังสีเอกซ์ที่ระดับพลังงาน 120 เคอีวี และมีคุณสมบัติการลดทอนรังสีถึง 90.19, 94.87% ในรังสีปฐมภูมิและ 92.72, 97.48% ในรังสีรังสีทฤษฎีหรือรังสีกระเจิง นอกจากนี้วัสดุป้องกันยางซิลิโคนที่ผสมกับ แบเรียมซัลเฟตและบิสมัทออกไซด์ ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพการป้องกันที่ดีเยี่ยมในการลดการได้รับรังสีเอกซ์ในการวินิจฉัย

Title: Study the properties of Bi_2O_3 and BaSO_4 in silicone rubber for the developing of diagnostic radiation shielding
Researcher: Kanchanaporn Tochaikun
Institution: Faculty of Radiologic Technology, Rangsit University
Year of Publication: 2021
Publisher: Rangsit University
Sources: Rangsit University
No. of pages: 41 pages
Keywords: Barium sulphate, Bismuth oxide, Radiation shielding, X-ray, Radiatoin
Copyrights: Rangsit University

Abstract

In radiology, radiation shielding is important for protection especially with diagnostic radiation, such as diagnostic X-ray, because radiation exposure can damage cellular DNA. Currently, lead is the most common radiation shielding but it poses environmental hazards due to its toxicity. This research aims to study a non-lead radiation shielding and to evaluate its effectiveness of radiation protection. We studied radiation absorption properties from primary and secondary radiation from shielding composed of silicone rubber and BaSO_4 and Bi_2O_3 in different proportions. The results showed that the shielding material at 70% BaSO_4 and Bi_2O_3 has the ability to reduce radiation doses from 120 kVp X-rays and has absorption properties of 90.19, 94.87% in primary and 92.72, 97.48% in secondary radiation. In addition, the silicone rubber shielding materials mixed with BaSO_4 and Bi_2O_3 are environment friendly, flexible and have great shielding performance in reducing diagnostic X-ray exposure.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญแผนภูมิ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
สมมุติฐานของการวิจัย	1
ขอบเขตของการวิจัย	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	11
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	11
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	11
การเก็บรวบรวมข้อมูล	14
การวิเคราะห์ข้อมูล	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล	15
บทที่ 5 สรุป วิวิจารณ์ และข้อเสนอแนะ	23
สรุป	23
วิจารณ์	24
ข้อเสนอแนะ	25
เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	29
ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1. ตารางที่ 1 ปริมาณบิสมัท,แบเรียมซัลเฟตและยางซิลิโคนในแต่ละอัตราส่วน

11



สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
1. กรอบแนวคิดในการวิจัย	2
2. วัสดุกันรังสี (0–20 wt%) bismuth oxide (Bi_2O_3) และ epoxy resin ทดสอบการกันรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 23-100	6
3. ภาพจาก Scanning electron microscope (SEM) (a) without Bi_2O_3 , (b) 4 wt% of Bi_2O_3 , (c) 8 wt% of Bi_2O_3 , (d) 12 wt% of Bi_2O_3 , (e) 16 wt% of Bi_2O_3 , and (f) 20 wt% of Bi_2O_3	7
4. การลดทอนรังสีของ acrylic composites กับ Bi_2O_3 ที่สัดส่วนความเข้มข้นต่างๆ	8
5. การลดทอนรังสีของ epoxy resin (ER) และ bismuth oxide (Bi_2O_3) (10, 30, 50, and 65 wt %), เปรียบเทียบกับ 0.44 mm Pb	8
6. (a) ลักษณะกายภาพของ epoxy shielding material และ (b) The radiography of epoxy shielding material	9
7. ทดสอบความสามารถในการกำบังรังสีเอกซ์ของแผ่นยางซิลิโคน	13
8. วัด Secondary radiation (scatter ray) at 70 and 100 cm	13
9. The characteristic of silicone rubber shielding	15
10. The SEM image with Pure silicone for analysis of the homogeneity of the silicone rubber at 100x, 500x and 2000x.	16
11. The SEM image BaSO_4 with silicone for analysis of the homogeneity of the silicone rubber at 100x, 500x and 2000x.	17
12. The SEM image Bi_2O_3 with Pure silicone for analysis of the homogeneity of the silicone rubber at 100x, 500x and 2000x.	17
13. The X-ray dose measurement at different kVp.	18
14. The radiation absorption at (a) 80 kVp (b) 120 kVp.	19
15. Comparison of radiation absorption properties between the silicone rubber in composite of BaSO_4 and Bi_2O_3 70% with lead apron and lead glove.	20
16. Scatter radiation dose (a) The material shielding measured radiation doses at 70 and 100 cm from chest origin (b) Radiation absorption properties at 70 and 100 cm.	21

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในทางการแพทย์การใช้อุปกรณ์กำบังรังสีเป็นสิ่งจำเป็นขั้นพื้นฐานที่แต่ละสถานพยาบาลต้องมีสำหรับในทางรังสีวิทยา ซึ่งอุปกรณ์กำบังรังสีมีประโยชน์เป็นอย่างมากในทางการแพทย์ โดยในงานวิจัยส่วนใหญ่มีการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์กำบังรังสีค่อนข้างหลากหลายโดยเน้นอุปกรณ์ที่จะสามารถมาแทนที่ตะกั่วซึ่งมีความเป็นพิษสูง รวมถึงมีราคาถูก, มีน้ำหนักเบา และสามารถโค้งงอและขึ้นรูปได้ง่าย จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์กำบังรังสีที่สามารถทำได้ง่ายและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเลือกส่วนผสมระหว่าง Bismuth oxide (Bi_2O_3), Barium sulphate (BaSO_4) ที่มีเลขอะตอมสูงและ silicone rubber ที่สามารถขึ้นรูปและมีความยืดหยุ่น รวมถึงทำการศึกษาดูดกลืนรังสีเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการสร้างอุปกรณ์สำหรับป้องกันรังสีในทางรังสีวินิจฉัย

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการสร้างอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี โดยใช้ Bismuth oxide (Bi_2O_3), Barium sulphate (BaSO_4) และ silicone rubber ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจากรังสีใกล้เคียงกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่ผลิตจากตะกั่ว

สมมติฐานของการวิจัย

อุปกรณ์ป้องกันรังสีจากส่วนผสมของ Bismuth oxide (Bi_2O_3), Barium sulphate (BaSO_4) และ silicone rubber มีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีเทียบเท่าหรือแตกต่างจากอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่สร้างจากตะกั่วไปในทิศทางไหน

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง: ไม่มีกลุ่มตัวอย่าง และเป็นทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันรังสีโดยวัดปริมาณรังสีในหุ่นจำลองแทนผู้ป่วยจริง

ระยะเวลาในการทดลอง: 12 เดือน

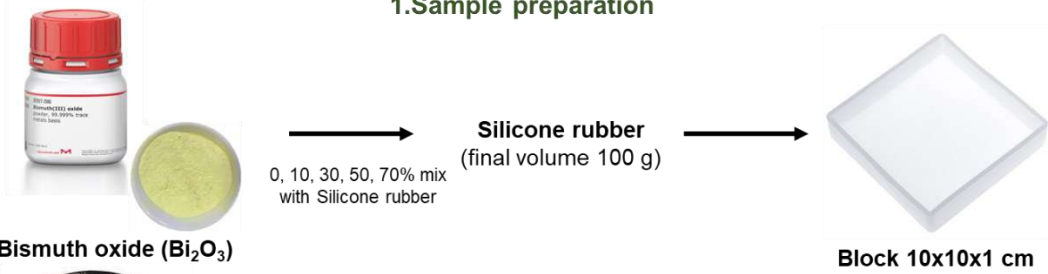
เนื้อหาที่ใช้ในการทดลอง: ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับความรู้ในการป้องกันรังสี เพื่อศึกษาวัสดุที่สามารถนำมาใช้ทดแทนตะกั่ว โดยคำนึงถึงสามารถขึ้นรูปง่าย ยืดหยุ่นได้ และไม่เป็นพิษต่อธรรมชาติ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

เป็นการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการสร้างอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี (Radiation protection equipment) โดยใช้ยาง silicone rubber ผสมกับ Bismuth oxide (Bi_2O_3) และ Barium sulphate (BaSO_4) ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจากรังสีใกล้เคียงกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่ผลิตจากตะกั่ว และทดสอบคุณสมบัติในการลดทอนรังสี (radiation absorption properties) ในห้องปฏิบัติการรวมถึงใช้หุ่นจำลอง (phantom) เพื่อดูผลการป้องกัน primary และ secondary radiation (scatter ray) โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับความรู้ในการป้องกันรังสี เพื่อศึกษาและพัฒนาวัสดุที่สามารถลดทอนรังสีในทางรังสีวินิจฉัยโดยคำนึงถึงสามารถขึ้นรูปง่าย ยืดหยุ่นได้และไม่เป็นพิษต่อธรรมชาติ ดังภาพที่ 1

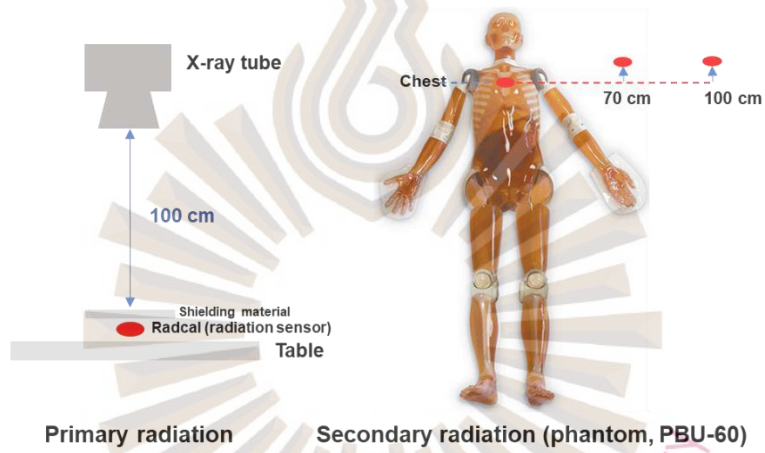


1. Sample preparation



2. Determination of radiation absorption

(primary and secondary radiation)
In diagnostic radiation 80-120 kVp



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

นิยามศัพท์เฉพาะ

อุปกรณ์ป้องกันรังสี	อุปกรณ์ที่สามารถป้องกันรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีในระยะปลอดภัย หรือทำให้ความเข้มของรังสีลดลง แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี
รังสีวินิจฉัย	สาขาหนึ่งที่สำคัญจะเกี่ยวข้องกับการสร้างภาพในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคโดยอาศัยเครื่องมือ พิเศษต่าง ๆ ในทางการแพทย์ โดยเฉพาะการใช้ รังสีเอกซ์ (x-ray)
เอกซเรย์	รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 5×10^{-9} เมตร ถึง 6×10^{-12} เมตร มีอำนาจการทะลุผ่านสูง สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนาๆ และประยุกต์นำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ทางอุตสาหกรรม เป็นต้น
รังสี	พลังงานที่แผ่มาจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่งซึ่งอาจสามารถทะลุผ่านวัตถุชนิดต่าง ๆ ได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษานี้ทำให้สามารถทราบถึงสัดส่วนที่เหมาะสมในการประดิษฐ์อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี โดยใช้ Bismuth oxide (Bi_2O_3) รวมถึง Barium sulphate (BaSO_4) ผสมกับ silicone rubber ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจากรังสีใกล้เคียงกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่ผลิตจากตะกั่ว รวมถึงการศึกษานี้สามารถเผยแพร่ในวารสารต่างประเทศและนำความรู้ในการวิจัยในครั้งนี้ต่อยอดในการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีหรืออาจเป็นการศึกษาองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับทางรังสีวิทยา ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนมีประโยชน์ต่อการสร้างสรรค์งานวิจัยและการเรียนการสอนเป็นอย่างยิ่ง

บทที่ 2

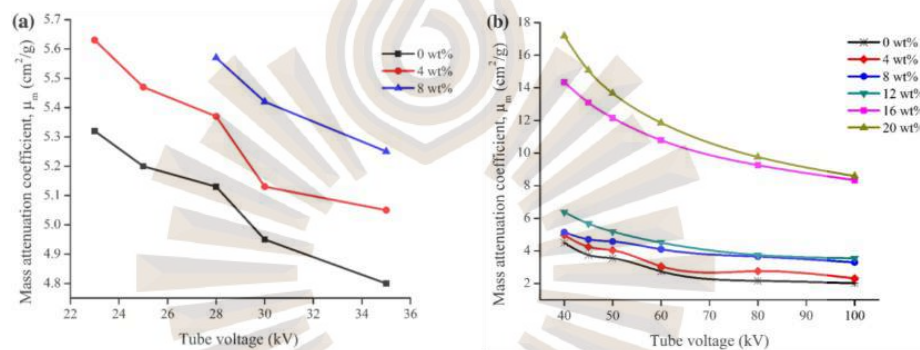
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสารทึบรังสี

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันและการพัฒนาประเทศในทุกๆ ด้าน แต่ในทางตรงกันข้ามนั้นความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับเทคโนโลยีอย่างแท้จริง ทำให้การนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ขาดการควบคุมดูแลให้ถูกต้องและเหมาะสมจึงเป็นผลให้เกิดอันตรายได้ เช่นเดียวกันกับการใช้รังสีทางแพทย์นั้นมีประโยชน์มากมาย แต่โทษที่อาจเกิดขึ้นจากรังสีนั้นก็มากและหลายระดับทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ ชนิดและระยะเวลาที่ได้รับรังสี เช่น ถ้าได้รับรังสีปริมาณสูงแบบเฉียบพลันอาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ หรือการรับรังสีที่อวัยวะสืบพันธุ์แล้วทำให้เป็นหมันรวมถึงการเปลี่ยนแปลงอันเป็นผลให้ลูกหลานที่เกิดมาผิดปกติ (Pollard, 2018) ดังนั้นความเข้าใจในการป้องกันอันตรายจากรังสีจึงเป็นสิ่งที่ควรตระหนักเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากรังสีได้อย่างคุ้มค่าและปลอดภัยที่สุด และในการศึกษาเพื่อหาวิธีสำหรับป้องกันรังสีเพื่อลดผลกระทบจากรังสีที่จะเกิดต่อผู้ปฏิบัติงาน ผู้รับบริการ หรือผู้เกี่ยวข้องต้องอาศัยหลักการที่เรียกว่า As low as reasonably achievable (ALARA) (Bryant, 2021) ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ด้าน ได้แก่ เวลา (Time), ระยะทาง (Distance) และ เครื่องกำบัง (Shield) โดยที่เครื่องกำบังรังสีนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก และยังคงมีการศึกษารวมถึงทำการวิจัยกันอย่างต่อเนื่อง โดยในปัจจุบันวัสดุกำบังรังสีที่นิยมใช้ในทางรังสีทั่วไป มักมีส่วนผสมของโลหะตะกั่ว (Lead, Pb) เพื่อลดทอนรังสี ซึ่งตะกั่วนี้สามารถลดทอนรังสีได้ดี (Shultis & Faw, 2000) เนื่องจากมีเลขอะตอมสูง (atom number of Lead=82) และมีความหนาแน่นสูงและตะกั่วเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นสูง ลักษณะดังกล่าวของตะกั่วทำให้มีน้ำหนักมาก ประกอบด้วยตะกั่วมีความเป็นพิษค่อนข้างสูง (AbuAlRoos, Amin, Zainon, & Chemistry, 2019)

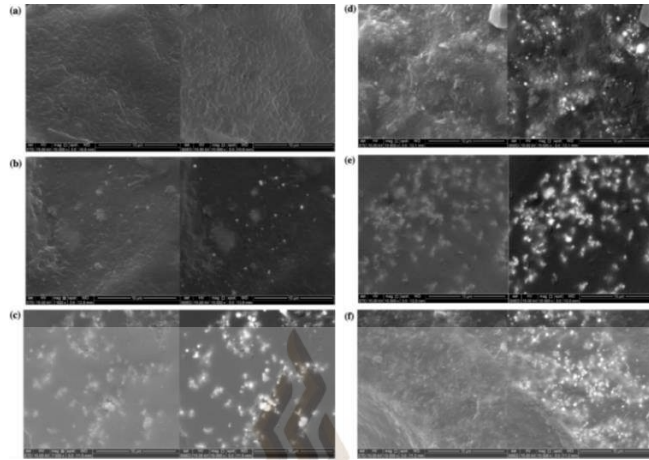
ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุสำหรับป้องกันรังสีอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีความปลอดภัยและสามารถประยุกต์ให้ใช้ได้จริงในการทำงาน โดยเลือกใช้องค์ประกอบที่มี atomic number สูงเป็นส่วนประกอบ เช่นในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเลือกใช้ tungsten oxide (WO_3) (atom number of tungsten=74) ผสมกับ epoxy resin เพื่อทดสอบการลดทอน X-ray ที่ระดับพลังงาน 40–127 kVp ซึ่งเป็นช่วงพลังงานต่ำและสูง โดยพบว่าผลการลดทอนรังสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มส่วนผสมของ tungsten oxide

(WO₃) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความความแข็งของวัสดุกันรังสีจะลดลงเมื่อเพิ่มส่วนผสมของ tungsten oxide (WO₃) มากกว่า 30% และยังพบว่ามีการเกาะตัวของส่วนผสมเมื่อส่วนผสมมากกว่า 50% ใน epoxy resin (Noor Azman, Siddiqui, & Low, 2013) รวมถึงยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการป้องกันรังสีของ bismuth oxide (Bi₂O₃) (atom number of tungsten=83) ผสมกับ epoxy resin และทดสอบการลดทอน X-ray ที่ระดับพลังงาน 23-100 kVp ผลการทดลองดังกล่าวพบว่าความสามารถในการลดทอนรังสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มส่วนผสมของ bismuth oxide (Bi₂O₃) และยังพบว่าที่ส่วนผสม 12 % ของ bismuth oxide (Bi₂O₃) สามารถป้องกันรังสีที่พลังงาน 23 และ 34 kVp โดยไม่พบปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นหลังวัสดุกันรังสี ซึ่งผลดังกล่าวสามารถนำส่วนผสมจากการศึกษานี้ไปใช้ป้องกันสำหรับ X-ray ระดับพลังงานต่ำได้ ดังภาพที่ 2 (Abunahel, Mustafa, & Noor Azman, 2018)



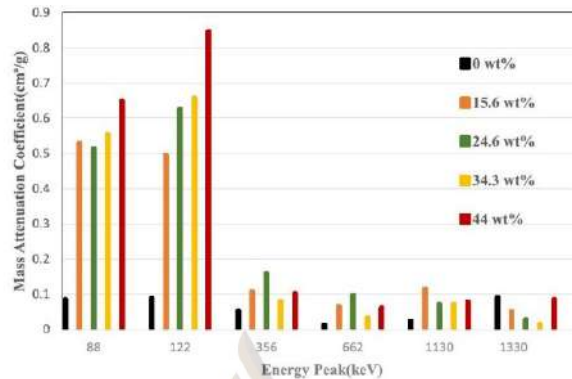
ภาพที่ 2 วัสดุกันรังสี (0-20 wt%) bismuth oxide (Bi₂O₃) และ epoxy resin ทดสอบการกันรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 23-100 (Abunahel et al., 2018)

จากวัสดุกันรังสีที่มีส่วนผสมของ atomic number สูงเป็นส่วนประกอบ ยังคงมีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการป้องกันรังสีของ bismuth oxide (Bi₂O₃) ผสมกับ epoxy resin รวมถึงดูลักษณะกายภาพของวัสดุกันรังสีโดยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) พบว่าสามารถลดทอนรังสีได้ดี แต่ว่าวัสดุกันรังสีดังกล่าวมีการเกาะตัวของส่วนประกอบเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ bismuth oxide (Bi₂O₃) ซึ่งส่งผลให้ bismuth oxide (Bi₂O₃) ไม่กระจายตัวในวัสดุ ดังภาพที่ 3 โดยพบการเกาะตัวกันของส่วนประกอบที่ความเข้มข้นของของ bismuth oxide (Bi₂O₃) มากกว่า ≥ 8 wt% (Abunahel et al., 2018)



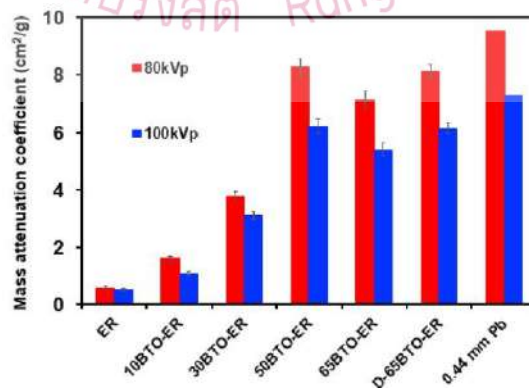
ภาพที่ 3 ภาพจาก Scanning electron microscope (SEM) (a) without Bi_2O_3 , (b) 4 wt% of Bi_2O_3 , (c) 8 wt% of Bi_2O_3 , (d) 12 wt% of Bi_2O_3 , (e) 16 wt% of Bi_2O_3 , and (f) 20 wt% of Bi_2O_3 (Abunahel et al., 2018)

นอกจากการศึกษาวัสดุสำหรับป้องกัน X-ray แล้ว ยังมีงานที่เกี่ยวข้องที่ทำการศึกษาป้องกัน Gamma ray ซึ่งเป็นรังสีในทางรังสีรักษาและมีพลังงานสูงและใช้หลักการสร้างวัสดุกันรังสีที่มีส่วนผสมของ atomic number สูงเป็นส่วนประกอบเช่นเดียวกัน โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาส่วนประกอบและวัสดุที่หลากหลายรวมถึงใช้หลักการขององค์ประกอบที่มี atomic number สูง เช่น tungsten oxide (WO_3), lead oxide (PbO), และ bismuth oxide (Bi_2O_3) ใน epoxy resin เพื่อการลดทอนรังสีของโคบอลต์ Cobalt 60 ($\text{Co } 60$) (พลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV), $\text{Cs}137$ (พลังงาน 663.8 keV) และ Ba (พลังงาน 355.9 keV) ผลการทดลองพบว่าส่วนประกอบที่มี lead oxide (PbO) และ bismuth oxide (Bi_2O_3) สามารถลดทอนรังสีได้สูงกว่า tungsten oxide (WO_3) ในงานวิจัยนี้จึงได้สรุปผลว่าส่วนประกอบในวัสดุกันรังสีที่ประกอบไปด้วย PbO และ Bi_2O_3 เหมาะสมในการป้องกันรังสีในปริมาณที่สูง (Verdipoor, Alemi, Mesbahi, & Chemistry, 2018) รวมถึงยังมีการศึกษา Bi_2O_3 ในส่วนประกอบอื่นเช่น poly (methyl methacrylate) (PMMA) หรือ acrylic composites ผลการทดสอบพบว่า วัสดุสามารถลดทอนรังสีที่เกิดจาก gamma sources เช่น $\text{Cs}-137$, $\text{Ba}-133$, $\text{Cd}-109$, $\text{Co}-57$ และ $\text{Co}-60$ ได้ดี ดังภาพที่ 4 (Cao, Yang, Bourham, Moneghan, & Technology, 2020) ดังภาพที่ 3



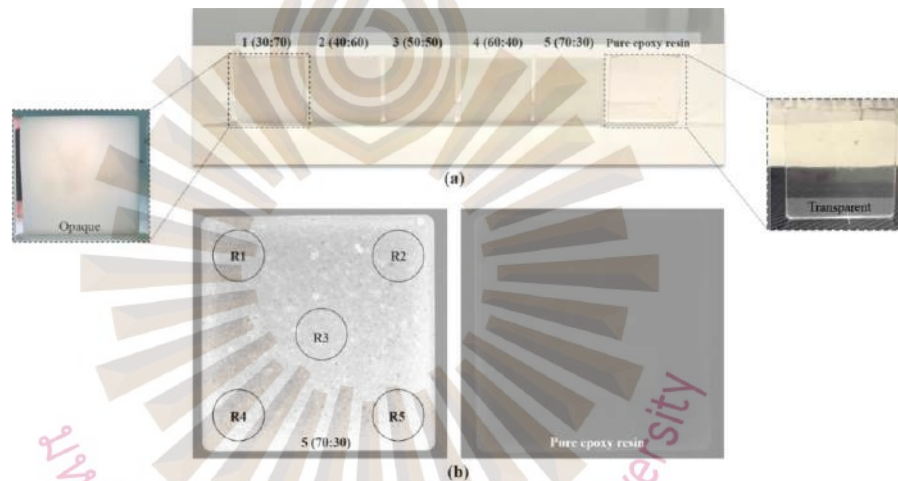
ภาพที่ 4 การลดทอนรังสีของ acrylic composites กับ Bi_2O_3 ที่สัดส่วนความเข้มข้นต่างๆ (Cao et al., 2020)

จะเห็นได้ว่าการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการคิดค้นวัสดุกันรังสี รวมถึงศึกษาหาวัสดุและสัดส่วนที่พอเหมาะสำหรับพัฒนาอุปกรณ์กันรังสี โดยไม่ใช่ตะกั่วซึ่งมีความเป็นพิษสูง รวมถึงในงานวิจัยส่วนมากเลือกใช้ส่วนประกอบที่มีเลขอะตอมสูงแทนส่วนประกอบของตะกั่ว ซึ่ง bismuth oxide (Bi_2O_3) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ลดทอนรังสีทั้งในทางรังสีวินิจฉัยและรังสีรักษา โดยในงานวิจัยส่วนใหญ่จะเลือกศึกษาความเข้มข้นต่างๆ ของ bismuth oxide (Bi_2O_3) จากน้อยไปหามาก เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการป้องกันรังสีได้ดีที่สุด รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ยังคงรูปอยู่ได้ เช่น เลือกใช้ความเข้มข้นช่วง 0-65 wt % ผสมใน epoxy resin พบว่าสามารถลดทอนรังสีที่พลังงาน 80 และ 100 kVp ได้ถึง 95-97% โดยคุณสมบัตินี้ทำให้สามารถนำไปลดทอนรังสีได้ในระดับที่ปลอดภัย รวมถึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Yu, Yap, Santos, Tran, & Losic, 2021) ดังภาพที่ 5 โดยความเข้มข้นของ Bi_2O_3 เพิ่มขึ้นส่งผลให้การลดทอนรังสีเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5 การลดทอนรังสีของ epoxy resin (ER) และ bismuth oxide (Bi_2O_3) (10, 30, 50, and 65 wt %), เปรียบเทียบกับ 0.44 mm Pb. (Yu et al., 2021)

จากการศึกษาในช่วงที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการใช้ epoxy resin สำหรับการขึ้นรูปกันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยร่วมกับส่วนผสมที่มี atomic number สูงเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากการใช้ epoxy resin สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีความแข็งแรง ดังภาพที่ 6 เป็นตัวอย่างส่วนผสมในการขึ้นรูปวัสดุกันรังสีของ epoxy resin กับ Barium sulphate ($BaSO_4$) (atom number of lead=56) ที่ความเข้มข้น 0-70% โดยผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้น Barium sulphate ($BaSO_4$) 70% สามารถลดทอนรังสีได้สูงสุดที่ 97% สำหรับที่พลังงาน 70-90 kVp ซึ่งเป็นพลังงานงานรังสีในปริมาณต่ำ จึงสรุปได้ว่าวัสดุกันรังสีดังกล่าวเหมาะสมสำหรับใช้ป้องกันรังสีในทางรังสีวินิจฉัยซึ่งมีปริมาณรังสีไม่สูงมากจนเกินไป (Danthanavat et al., 2021a)



ภาพที่ 6 (a) ลักษณะกายภาพของ epoxy shielding material และ (b) The radiography of epoxy shielding material. (Danthanavat et al., 2021a)

อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ทำจาก epoxy resin นั้นถึงแม้จะมีความแข็งแรง คงทน แต่ที่ว่าวัสดุดังกล่าวไม่สามารถโค้งงอ หรือยืดหยุ่นได้ รวมถึงในปัจจุบันได้เน้นพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถโค้งงอได้ เพื่อจะได้ประยุกต์ทำเป็นวัสดุกันรังสีชนิดอื่นๆ เช่น ถุงมือกันรังสีหรือที่ป้องกันรังสีบริเวณทรอยด์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวัสดุกำบังรังสีที่สามารถทดแทนตะกั่วได้, ขึ้นรูปได้ง่าย, ราคาถูกกว่าตะกั่ว, เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, สามารถโค้งงอได้ รวมถึงกระบวนการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้งานแผ่นที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันทางรังสี โดยการทบทวนวรรณกรรมในช่วงที่ผ่านมาจะเห็นว่า bismuth oxide (Bi_2O_3) เป็นส่วนประกอบนั้นมีเลขอะตอมที่สูงกว่าตะกั่วและในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและมีเผยแพร่ในงานวิจัยว่าสามารถลดทอน X-ray ได้ และที่สำคัญที่สุดคือไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

(Pavlenko, Cherkashina, & Yastrebinsky, 2019) รวมถึงวัสดุที่นิยมนำมาขึ้นรูปสำหรับสร้างชิ้นงานที่นิยมในปัจจุบันได้แก่ silicone rubber มีคุณสมบัติที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย, มีความคงทนสูงและสามารถโค้งงอได้หลังจากการขึ้นรูป (Shit & Shah, 2013) โดยในการศึกษาคั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ bismuth oxide (Bi_2O_3) ที่ความเข้มข้นต่างๆระหว่าง 0, 10, 30, 50, 70% ใน silicone rubber และศึกษาการลดทอนรังสีในทางรังสีวินิจฉัยที่พลังงาน 80, 120 kVp ทั้งใน primary radiation และ secondary radiation (ในหุ่นจำลอง phantom, PBU-60, Kyoto Kagaku Co. Ltd., Kyoto, Japan) รวมถึงศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุกันรังสีโดย scanning electron microscope, SEM



บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

โครงการวิจัยนี้ได้ผ่านการขอจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยรังสิต รหัสโครงการวิจัย RSU-ERB2022-065 โดยเป็นการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการสร้างอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี (Radiation protection equipment) โดยใช้ยาง silicone rubber ผสมกับ Bismuth oxide (Bi_2O_3) และ Barium sulphate (BaSO_4) ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจากรังสีใกล้เคียงกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่ผลิตจากตะกั่ว และทดสอบคุณสมบัติในการลดทอนรังสี (radiation absorption properties) ในห้องปฏิบัติการรวมถึงใช้หุ่นจำลอง (phantom) เพื่อดูผลการป้องกัน primary และ secondary radiation (scatter ray) โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับความรู้ในการป้องกันรังสี เพื่อศึกษาและพัฒนาวัสดุที่สามารถลดทอนรังสีในทางรังสีวินิจฉัยโดยคำนึงถึงสามารถขึ้นรูปง่าย ยืดหยุ่นได้และไม่เป็นพิษต่อธรรมชาติ

ประชากร (Population: N): ไม่มี และ กลุ่มตัวอย่าง (Sample: n): ไม่มี

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

1) การเตรียมชิ้นงานระหว่างบีสมีตและยางซิลิโคน

- เตรียมชิ้นงานเพื่อหาสัดส่วนของ bismuth oxide, Bi_2O_3 หรือ Barium sulphate (BaSO_4) และ silicone rubber ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณบีสมีตและยางซิลิโคนในแต่ละอัตราส่วน

ชิ้นงาน	Bismuth oxide, Bi ₂ O ₃ (%) or Barium sulphate (BaSO ₄)	Silicone rubber (%)
แผ่นที่ 1	-	100
แผ่นที่ 2	10	90
แผ่นที่ 3	30	70
แผ่นที่ 4	50	50
แผ่นที่ 5	70	30

*ใช้น้ำยาเร่ง activated ที่ 2% ทุกชิ้นงาน

- b) ผสมส่วนประกอบต่างๆ โดยเทผงบิสมัทลงในยางซิลิโคนเป็นเวลา 10 นาที และเทส่วนผสมในแต่ละอัตราส่วนลงบนแท่นพิมพ์ที่มีขนาดกว้าง x ยาว x สูงเท่ากับ 10 x 10 x 1 เซนติเมตร แล้วขึ้นงานประมาณ 3-5 วัน จนส่วนผสมทั้งหมดแห้งสนิทและสามารถลอกออกจากแท่นพิมพ์ได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีในขั้นตอนต่อไป

2) The physical properties of silicone rubber shielding material

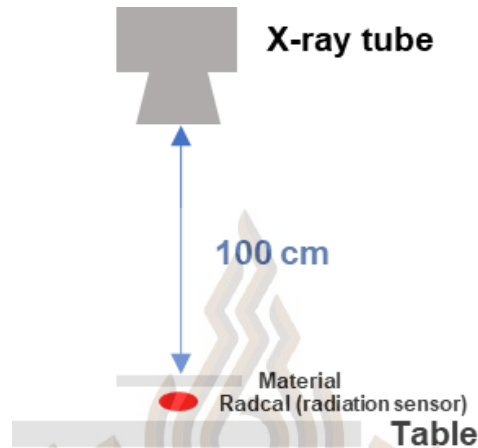
- a) วัด Weight (g) และ Density (g/cm³) (จากการคำนวณ)
- b) วัด Homogeneity เพื่อดูกระจายตัวของ Bismuth oxide, Bi₂O₃ และ Barium sulphate (BaSO₄) โดย Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer + SEM Model: JEOL JSM-IT300 (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) และ Radiography ด้วยเครื่องเอกซเรย์ (คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต)

3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ทดสอบความสามารถในการลดทอน X-ray ของ silicone rubber shielding material

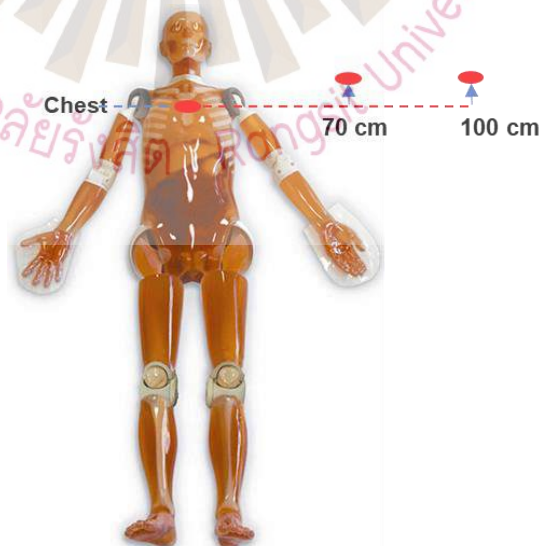
Primary radiation: จัดระบบหัววัด X-ray โดยจัดวางอุปกรณ์วัดรังสี Radcal accu-gold และระบบวัดให้ตรงกับ Collimator ของเครื่องกำเนิด X-ray เปิด field size ให้ครอบคลุมบริเวณ effective

area ของหัววัด และตั้งค่า Exposure ที่ 80, 120 kVp 10 mAs แล้วทำการวัดค่ารังสีเริ่มต้นที่ไม่มีวัสดุใดกั้นและมีวัสดุกันรังสี จากนั้นจดบันทึกค่าที่อ่านได้ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ทดสอบความสามารถในการกำบังรังสีเอกซ์ของแผ่นยางซิลิโคน

Secondary radiation: ทำการวัดรังสีกระเจิงโดยวางหัววัดรังสีห่างจากหุ่นจำลอง phantom ที่ระยะ 70 และ 100 cm โดยเลือกใช้ origin organ คือ chest (center: mid sternum) เนื่องจากเป็นอวัยวะที่ใช้ในการถ่าย X-ray บ่อยที่สุด (Renger et al., 2016) ดังภาพที่ 8 แล้วทำการวัดค่ารังสีเริ่มต้นที่ไม่มีวัสดุใดกั้นและมีวัสดุกันรังสี จากนั้นจดบันทึกค่าที่อ่านได้



ภาพที่ 8 วัด Secondary radiation (scatter ray) at 70 and 100 cm

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

Measurement the shielding material efficiency

- a) คำนวณค่าการลดทอนรังสี (radiation absorption) ของวัสดุ โดยคำนวณจากสมการที่ 1

$$\frac{(A1-A2)}{A2} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 1})$$

where **A1** is the absorption dose without silicone rubber shielding material; **A2** is the absorption dose with silicone rubber shielding material (Danthanavat et al., 2021b).

- b) เปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีระหว่างแผ่นกันรังสี Lead กับ Silicone rubber shielding: โดยคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณรังสีระหว่าง Lead glove และ lead apron กับแผ่น Silicone rubber shielding ที่ผสม Bi_2O_3 ที่ได้จากงานวิจัย จากการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 2

$$\% \text{ Different} = \frac{\text{Silicone rubber}-\text{Lead}}{\text{Lead}} \times 100 \times \quad (\text{สมการที่ 2})$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพโดยดูปัจจัยจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุและเชิงปริมาณโดยศึกษา shielding material efficiency โดยใช้ค่า mean, SD และ Student's t-test วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุมปกติกับกลุ่มที่ทดสอบการกันรังสี ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

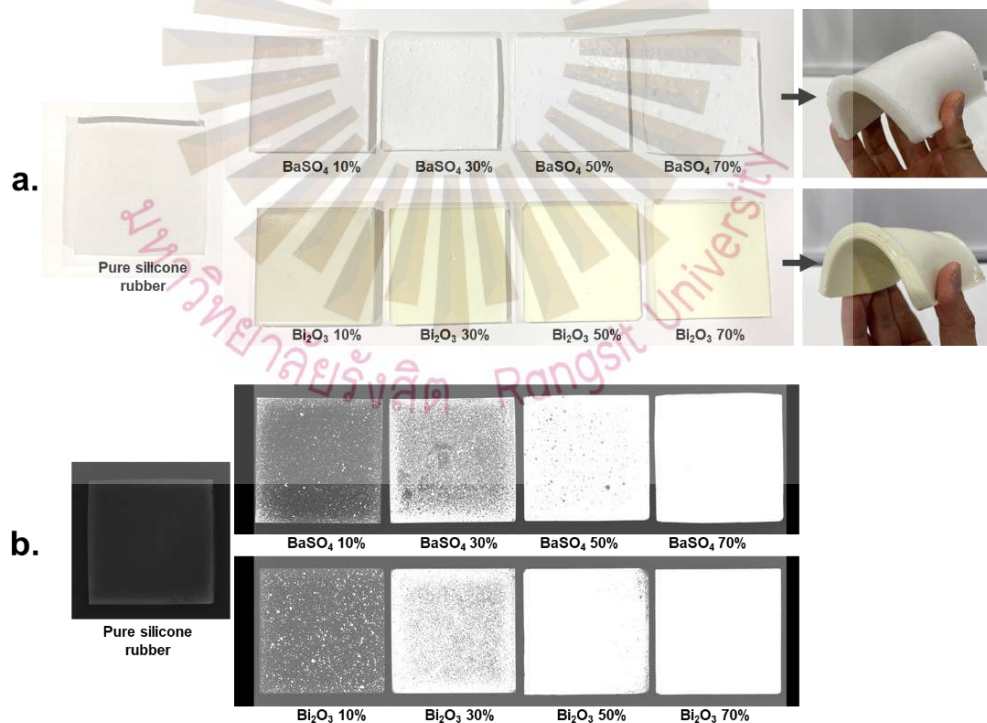
บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

ผลการทดลอง

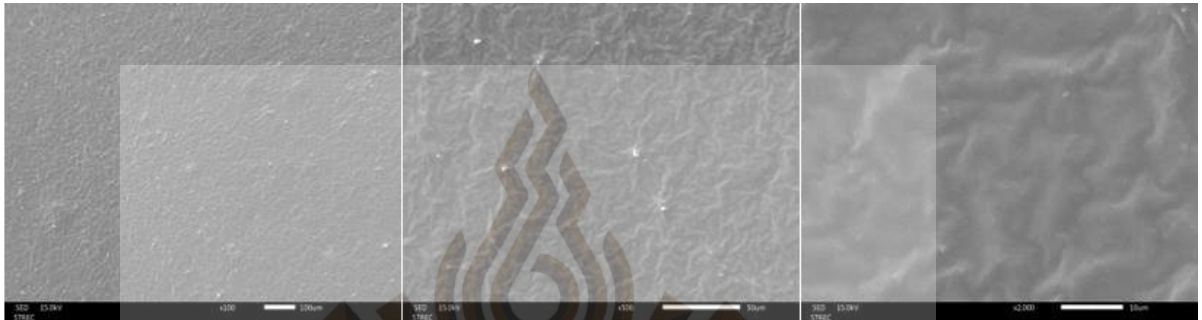
The structural characterization of silicone rubber shielding

จากผลทดลองหลังจากการขึ้นรูปวัสดุกันรังสีทั้งในส่วนผสม Bi_2O_3 หรือ BaSO_4 กับซิลิโคน เมื่อแห้งตัวแล้วจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นแผ่น สามารถบิดโค้งงอได้ ดังภาพที่ 9a และเมื่อไปนำทดสอบด้วยการถ่ายภาพทางรังสี ดังภาพที่ 9b จะเห็นว่าเนื้อสารจะมีการกระจายตัวแตกต่างกันทั้งใน Bi_2O_3 หรือ BaSO_4 แต่จะเห็นได้ชัดที่สัดส่วน Bi_2O_3 หรือ BaSO_4 70% จะมีการกันรังสีได้ดี โดยพิจารณาจากรูปที่เป็นสีขาว เนื่องจากรังสีผ่านไปตกกระทบยังตัวรับภาพได้น้อยลงส่งผลให้ภาพเป็นสีขาว



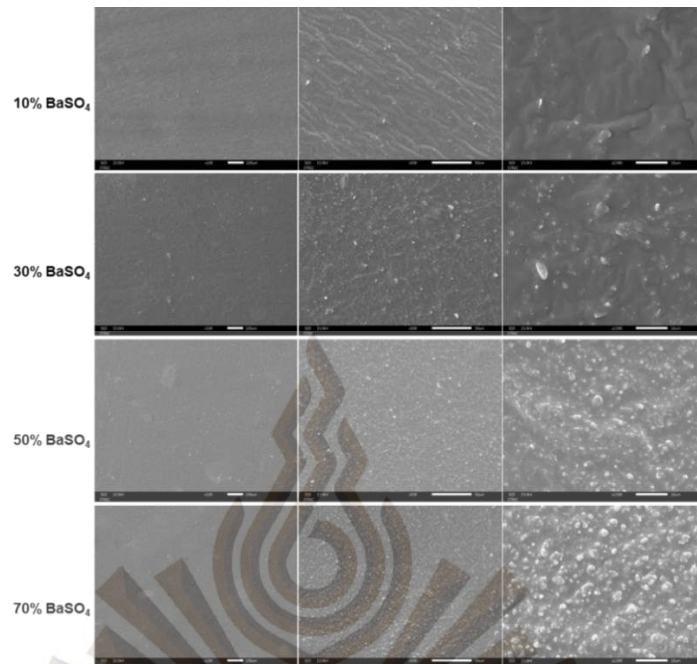
ภาพที่ 9 The characteristic of silicone rubber shielding

จากนั้นมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อดูลักษณะของวัสดุโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (scanning electron microscope, SEM) ทั้งในส่วนผสม Bi_2O_3 หรือ BaSO_4 เพื่อดูลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุที่สัดส่วนต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของ pure silicone ดังภาพที่ 10

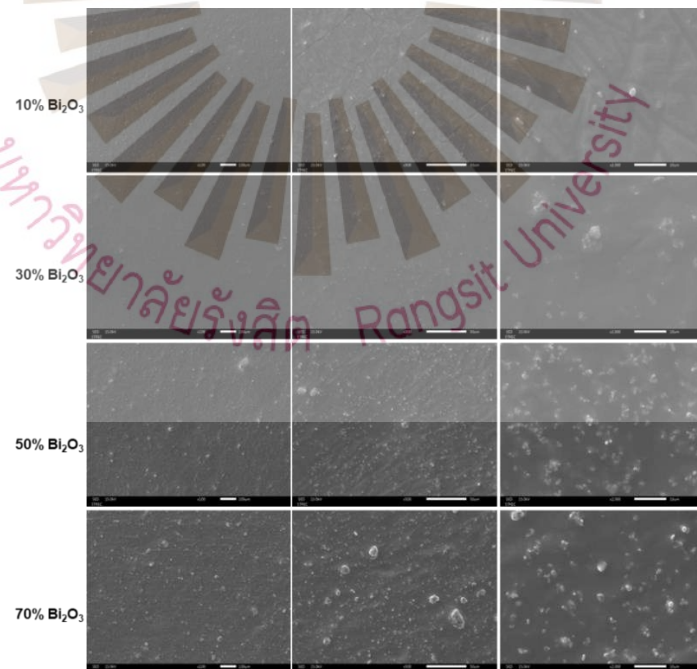


ภาพที่ 10 The SEM image with Pure silicone for analysis of the homogeneity of the silicone rubber at 100x, 500x and 2000x.

โดยวัสดุกันรังสีจากส่วนผสมระหว่าง silicone และ BaSO_4 (ดังภาพที่ 11) หรือ Bi_2O_3 (ดังภาพที่ 12) พบว่าลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันจะน้อยกว่า pure silicone เนื่องจากทั้ง BaSO_4 and Bi_2O_3 มีลักษณะเป็นแป้ง (powder) ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเกาะรวมกันเป็นก้อนๆ ดังจะเห็นในภาพที่ 11 และ 12 พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นระหว่าง BaSO_4 and Bi_2O_3 สูงขึ้น จะพบการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มใหญ่ขึ้นตามความเข้มข้น หรือมีการรวมกลุ่มกันแบบ aggregation เกิดขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 50% ขึ้นไป จะเห็นการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 11 The SEM image BaSO₄ with silicone for analysis of the homogeneity of the silicone rubber at 100x, 500x and 2000x.

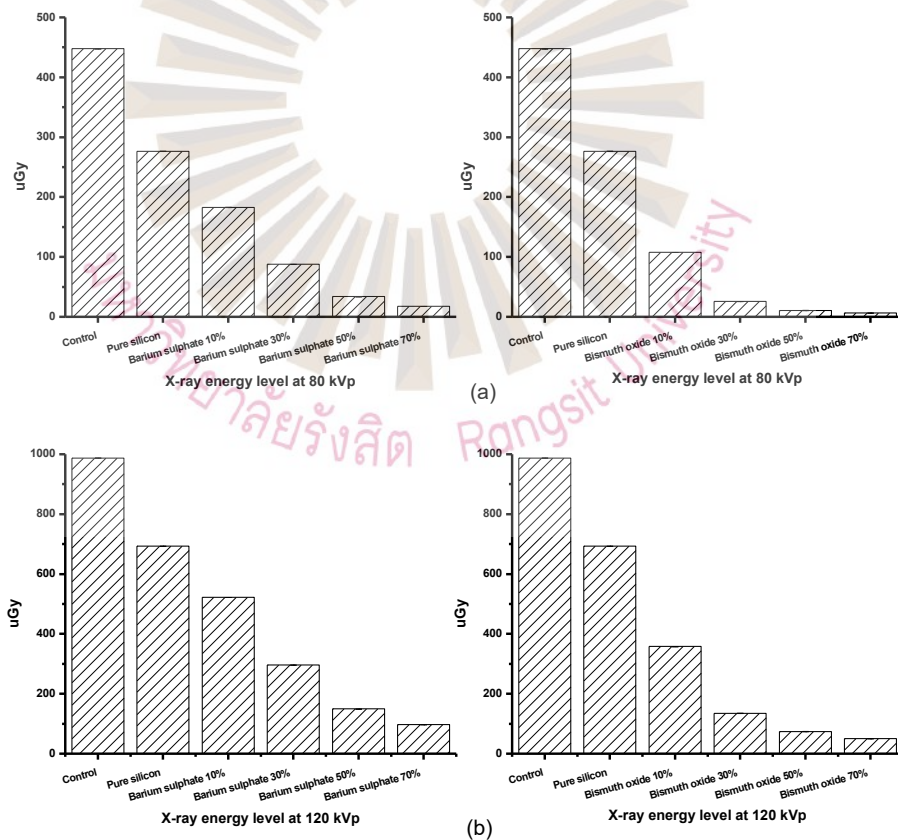


ภาพที่ 12 The SEM image Bi₂O₃ with Pure silicone for analysis of the homogeneity of the silicone rubber at 100x, 500x and 2000x.

จากลักษณะการรวมกลุ่มกันแบบ aggregation เกิดขึ้น จะเห็นว่าอาจจะส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นวัสดุกันรังสี เนื่องจากการมีส่วนผสมต่างๆ ทำให้ลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันลดน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม วัสดุกันรังสีดังกล่าวยังคงความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ รวมถึงกระบวนการขึ้นรูปไม่ก่อให้เกิดมลพิษและวัสดุไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

X-ray shielding properties

ทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสีเอกซ์ที่ระดับพลังงาน 80 และ 120 kVp ในหน่วยเกรย์ (Gy) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม (ไม่มีวัสดุกำบังรังสี) และ pure silicon จะเห็นว่าวัสดุที่เพิ่มส่วนผสม Bi_2O_3 หรือ BaSO_4 จะสามารถกันรังสีเอกซ์ได้มากกว่า โดยสามารถลดปริมาณรังสีจาก 450 uGy (80 kVp) เหลือเพียง 10-20 uGy และ 980 uGy (120 kVp) เหลือเพียง 50-60 uGy ดังภาพที่ 13

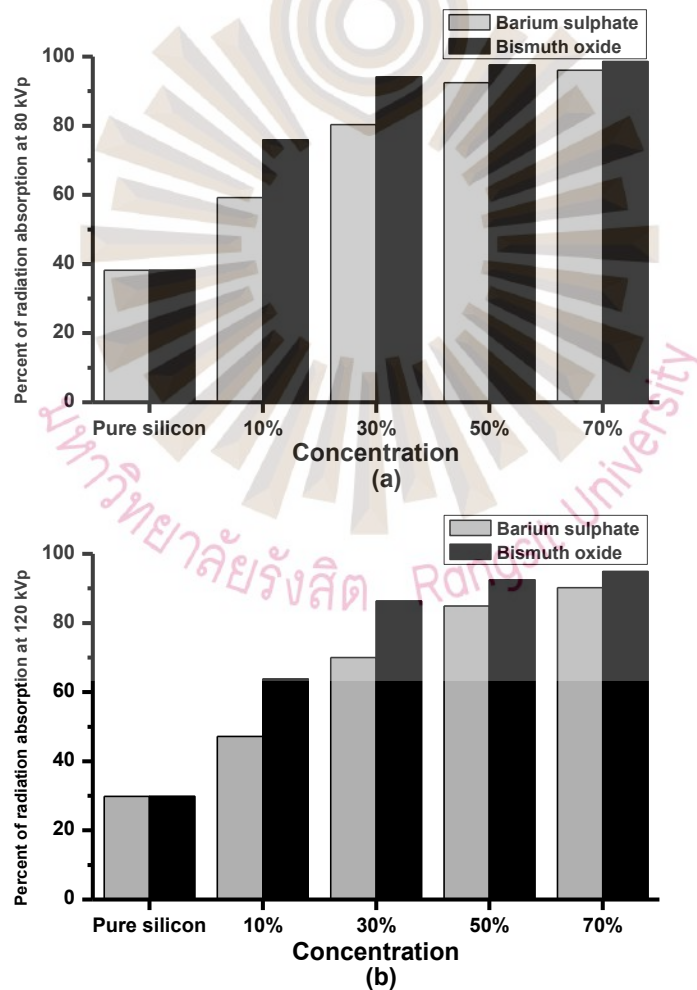


ภาพที่ 13 The X-ray dose measurement at different kVp.

ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นว่าส่วนผสม BaSO₄ หรือ Bi₂O₃ ที่เพิ่มขึ้นในซิลิโคนส่งผลให้คุณสมบัติในการป้องกันรังสีเพิ่มขึ้นทั้งในระดับพลังงาน 80 และ 120 kVp โดยที่สัดส่วนความเข้มข้นที่ 70% BaSO₄ หรือ Bi₂O₃ ในซิลิโคน สามารถป้องกันรังสีได้มากที่สุด

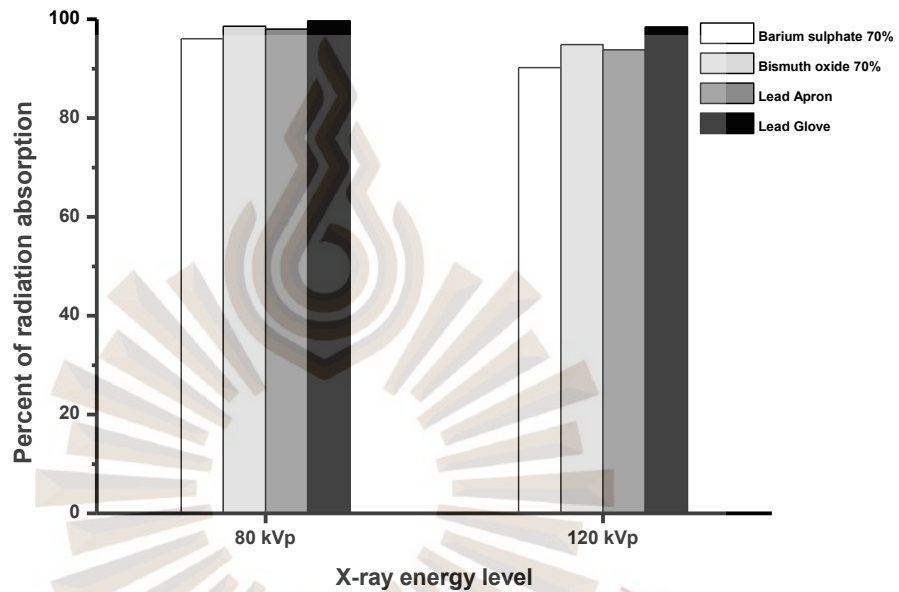
Radiation absorption properties

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการลดทอนรังสีหรือ radiation absorption จะเห็นได้ว่า ซิลิโคนที่มีส่วนผสม Bi₂O₃ 70% จะสามารถลดทอนรังสีได้ดีที่สุด โดยมีค่า radiation absorption สูงที่สุดทั้ง 2 ค่าพลังงานพลังงาน (80 และ 120 kVp) ดังภาพที่ 14 และส่วนผสม BaSO₄ 70% มีค่า radiation absorption น้อยกว่าเล็กน้อย



ภาพที่ 14 The radiation absorption at (a) 80 kVp (b) 120 kVp.

จากนั้นทางทีมผู้วิจัยได้เลือกวัสดุที่มีความสามารถในการลดทอนรังสีมากที่สุดนั่นคือ ซิลิโคนที่มีส่วนผสม Bi_2O_3 70% มาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กันรังสีที่ใช้ในสถานพยาบาลทั่วไป ซึ่งทำจากตะกั่วได้แก่ lead apron และ lead glove ที่ระดับพลังงาน 80 และ 120 kVp พบว่าสามารถลดทอนรังสีได้ดีกว่า lead apron (เสื้อตะกั่ว) แต่ลดทอนรังสีได้น้อยกว่า lead glove (ถุงมือตะกั่ว) ดังภาพที่ 15

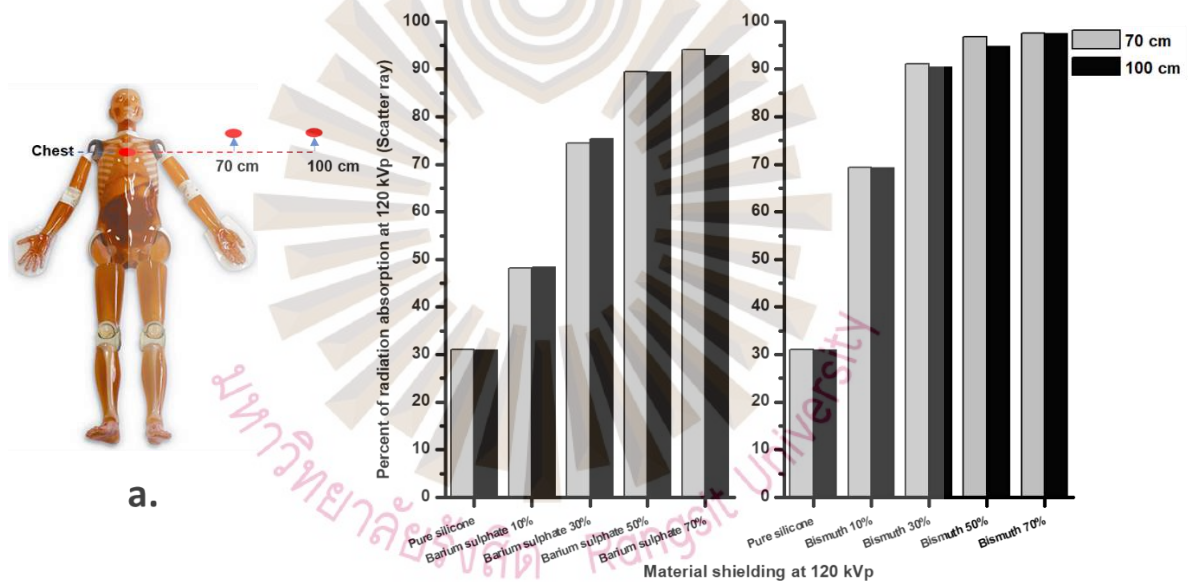


ภาพที่ 15 Comparison of radiation absorption properties between the silicone rubber in composite of BaSO_4 and Bi_2O_3 70% with lead apron and lead glove.

จากผลการทดลองจะพบว่าคุณสมบัติในการลดทอนรังสีของซิลิโคนที่ผสม BaSO_4 หรือ Bi_2O_3 มีเปอร์เซ็นต์ในการลดทอนรังสีสูงขึ้นโดยแปรผันตรงกับส่วนผสมของ BaSO_4 หรือ Bi_2O_3 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่ผลิตจากตะกั่วซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด จะเห็นว่าความสามารถในการลดทอนรังสีของซิลิโคนที่มีส่วนผสม 70% Bi_2O_3 มีประสิทธิภาพดีกว่า lead apron จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เพื่อให้เกิดคุณค่าแก่วัสดุได้

The scatter radiation dose

ทำการทดสอบคุณสมบัติการลดรังสีกระเจิง (scatter radiation dose or secondary radiation) โดยทำการทดสอบกับหุ่นจำลอง Whole Body Phantom "PBU-60" | KYOTO KAGAKU จาก chest organ (ใช้หุ่นจำลองที่มีลักษณะเนื้อสมมูลใกล้เคียงกับมนุษย์) ที่ระยะห่าง 70 และ 100 cm ดังภาพที่ 16a โดยเลือกใช้พลังงานที่เยอะที่สุดคือ 120 kVp จะเห็นว่าที่ระยะ 70 และ 100 cm วัสดุที่ ส่วนผสมของ 70% Bi_2O_3 สามารถลดทอนรังสีได้ดีที่สุด โดยมีค่า %Radiation absorption สูงถึง 98% ซึ่งเป็นระดับที่สามารถกันรังสีได้อย่างปลอดภัย ดังภาพที่ 16b โดยที่ 70% BaSO_4 มีคุณสมบัติของการลดทอนรังสีน้อยกว่า Bi_2O_3 เล็กน้อย



ภาพที่ 16 Scatter radiation dose (a) The material shielding measured radiation doses at 70 and 100 cm from chest origin (b) Radiation absorption properties at 70 and 100 cm.

จากผลการทดลองการป้องกันรังสีกระเจิง (Scattered radiation) โดยรังสีกระเจิงจะเกิดจากรังสีในลำรังสีหรือที่เรียกว่ารังสีปฐมภูมิตกกระทบตัวกลาง เช่น ผู้ป่วย คอลลิเมเตอร์ ฟันเตียง ฟันและผนังห้อง

แล้วกระเจิง ซึ่งสามารถกระเจิงได้หลายทิศทางทั้งในแนวตรง ซึ่งถือว่าอาจจะเพิ่มปริมาณรังสีให้แก่ตัวผู้ป่วยเองหรือผู้ปฏิบัติงานที่ต้องอยู่ในห้องเอกซเรย์ โดยวัสดุดังกล่าวสามารถลดทอนปริมาณรังสีกระเจิงจากค่าพลังงานมากที่สุดที่ 120 kVp ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ สรุปจากงานวิจัยในครั้งนี้ที่ใช้วัสดุกำบังรังสีที่ปราศจากตะกั่ว จะเห็นว่าสามารถลดทอนปริมาณรังสีทั้งในรังสีปฐมภูมิและทุติยภูมิให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย รวมถึงวัสดุสามารถยืดหยุ่นโค้งงอได้เหมาะสมในการทำรูปทรงต่างๆและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม



บทที่ 5
สรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

สรุป

โดยสรุปการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันรังสีที่ปลอดภัยและมีความยืดหยุ่นในการป้องกันรังสีเอกซ์ โดยเน้นที่การดูดกลืนรังสีคุณสมบัติของรังสีปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยใช้หลักวัสดุที่มีเลขอะตอมสูง เช่น BaSO_4 และ Bi_2O_3 ผสมกับยางซิลิโคน เพื่อประโยชน์ต่องานวิจัยและยังใช้สำหรับป้องกันรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับในทางการแพทย์ได้



วิจารณ์

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นการศึกษาไปที่วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการลดทอนรังสี มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเบาและปราศจากสารตะกั่ว โดยผสมซิลิโคนกับวัสดุที่มีเลขอะตอมสูง เช่น BaSO_4 และ Bi_2O_3 (Abdolazadeh, Morshedian, & Ahmadi, 2022) โดยพบว่าวัสดุที่ศึกษาจากยางซิลิโคนผสมด้วย ส่วนประกอบของ BaSO_4 และ Bi_2O_3 มีองค์ประกอบเบื้องต้นที่ดีและเหมาะกับการป้องกันรังสี โดยในงานวิจัยนี้ยังได้มีการใช้หุ่นจำลอง (phantom) ที่มีลักษณะเนื้อสมมูลใกล้เคียงกับร่างกายมนุษย์สำหรับศึกษาคุณสมบัติในการลดทอนรังสีกระเจิงแทนมนุษย์จริง เนื่องจากรังสีอาจจะทำให้เกิดความเสี่ยงและอันตรายต่อตัวมนุษย์ได้ รวมถึงมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติรวมกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีตะกั่วและมีจำหน่ายในท้องตลาด เช่น เสื้อตะกั่วกันรังสี (lead apron) และถุงมือตะกั่วกันรังสี (lead glove) การศึกษานี้พบว่าประสิทธิภาพการลดทอนปริมาณรังสีของวัสดุที่สร้างขึ้นด้วยซิลิโคนและส่วนประกอบของ BaSO_4 และ Bi_2O_3 ยังน้อยกว่าแผ่นตะกั่วที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์ แต่วัสดุที่สร้างขึ้นสามารถลดทอนรังสีปฐมภูมิจนถึงป้องกันรังสีกระเจิงที่ระยะ 70 และ 100 เซนติเมตร ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการลดทอนรังสีสอดคล้องกับการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของ BaSO_4 และ Bi_2O_3 ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้สำหรับผสมกับวัสดุหลายชนิด เช่น คอนกรีต (Kaplan, 1989) อีพอกซีเรซิน (Thibeault et al., 2015) และผ้า (Maghrabi et al., 2016) จากข้อดีในการขึ้นรูป ส่งผลให้ผู้วิจัยในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ส่วนประกอบของ BaSO_4 และ Bi_2O_3 ในยางซิลิโคนที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด และมีความสามารถในการยืดหยุ่น โค้งงอได้นอกจากนั้นเมื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุแล้วยังสามารถลดทอนปริมาณรังสีจากรังสีเอกซ์ในทางรังสีวินิจฉัย ตั้งแต่ช่วงพลังงานต่ำ (80 kVp) และพลังงานสูง (120 kVp) รวมถึงข้อดีต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ส่วนประกอบของวัสดุเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถป้องกันรังสีเอกซ์ได้ใกล้เคียงกับกับตะกั่ว

แต่ทั้งนี้มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับการป้องกันรังสีโดยใช้ยางซิลิโคนผสมกับส่วนประกอบที่มีเลขอะตอมสูง เช่น ทังสเตนออกไซด์ (WO_3) สำหรับการป้องกันรังสีจากกัมมันตรังสีเช่น Cs-137, Co-60 (Al-Ghamdi et al., 2022) และบิสมีทสำหรับการป้องกันพลังงานรังสีแกมมาที่ปล่อยออกมาจาก Thorium-232 (El-Fiki et al., 2015) ซึ่งเป็นงานวิจัยทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์และรังสีรักษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการสร้างวัสดุกันรังสีสำหรับใช้ในรังสีวินิจฉัย ซึ่งเป็นรังสีใช้กันอย่างแพร่หลายในสถานพยาบาลเพื่อติดตามและวิเคราะห์รอยโรค การศึกษานี้จึงเป็นประโยชน์ในการเลือกวัสดุสำหรับป้องกันรังสีในช่วงพลังงานต่างๆ โดย BaSO_4 มีราคาถูกและมีความสามารถในการป้องกันรังสีพลังงานต่ำได้ดี สำหรับ Bi_2O_3 จะมีความแพงกว่าและสามารถป้องกันรังสีพลังงานสูงได้ดีกว่า แต่โดยรวมแล้ววัสดุทั้งสองมีราคาถูกกว่า

ตะกั่วและไม่เป็นพิษในกระบวนการขึ้นรูป

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยที่ทำการศึกษาในครั้งนี่ยังได้เปรียบเทียบวัสดุป้องกันรังสีซีลีโคนกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบ พบว่าวัสดุกันรังสีที่ประกอบด้วย $BaSO_4$ มีความสามารถในการลดทอนรังสีน้อยกว่า Lead apron 3.61% และ Lead glove 8.2% ในทางตรงกันข้าม วัสดุที่มีส่วนประกอบของ Bi_2O_3 มีความสามารถในการลดทอนรังสีมากกว่า lead apron 1.07% แต่ยังคงน้อยกว่า lead glove 3.52% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อดูลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าซีลีโคนที่ไม่มีส่วนผสมของ $BaSO_4$ และ Bi_2O_3 มีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า แต่เมื่อมีการผสม $BaSO_4$ และ Bi_2O_3 เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนจะพบว่าลักษณะเนื้อของวัสดุจะเริ่มมีการเกาะรวมกันเป็นกลุ่มๆ ซึ่งในอนาคตอาจจะต้องเพิ่มกระบวนการขึ้นรูปเพื่อให้วัสดุมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น เพื่อที่จะสามารถพัฒนาวัสดุดังกล่าวให้ใกล้เคียงกับวัสดุที่สร้างจากตะกั่วและมีข้อดีในด้านการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เป็นพิษต่อธรรมชาติ

ข้อเสนอแนะ

การทดลองในครั้งนี้เป็นการศึกษาในระดับงานวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุสำหรับป้องกันรังสี โดยศึกษาจากวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศและอ้างอิงคุณสมบัติจากงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันรังสี การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ได้วัสดุที่สามารถป้องกันรังสีได้ โดยเฉพาะรังสีพลังงานต่ำที่ 80 kVp และพลังงานสูงที่ 120 kVp แต่กลับพบว่าลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุกลับลดลงเมื่อเพิ่มส่วนประกอบของ $BaSO_4$ และ Bi_2O_3 ดังนั้นการศึกษาในอนาคตอาจจะต้องเพิ่มกระบวนการขึ้นรูปและพัฒนารูปแบบวัสดุร่วมกับองค์กรหรือบริษัทที่เกี่ยวข้องกับการสร้างวัสดุกันรังสี เพื่อให้ชิ้นงานเป็นประโยชน์ในทางการวิจัยและมีคุณค่าในเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

- Abdolahzadeh, T., Morshedian, J., & Ahmadi, S. J. P. J. (2022). Preparation and characterization of nano WO₃/Bi₂O₃/GO and BaSO₄/GO dispersed HDPE composites for X-ray shielding application.
- AbuAlRoos, N. J., Amin, N. A. B., Zainon, R. J. R. P., & Chemistry. (2019). Conventional and new lead-free radiation shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: A review. 165, 108439.
- Abunahel, B. M., Mustafa, I. S., & Noor Azman, N. Z. J. A. P. A. (2018). Characteristics of X-ray attenuation in nano-sized bismuth oxide/epoxy-polyvinyl alcohol (PVA) matrix composites. 124(12), 1-7.
- Al-Ghamdi, H., Hemily, H. M., Saleh, I., Ghataas, Z., Abdel-Halim, A., Sayyed, M., . . . Elsafi, M. J. M. (2022). Impact of WO₃-nanoparticles on silicone rubber for radiation protection efficiency. 15(16), 5706.
- Bryant, P. A. (2021). *Radiation Protection Optimisation in New Nuclear Build: Challenges in the application of the As Low As Reasonably Achievable (ALARA) Principle*. University of Surrey,
- Cao, D., Yang, G., Bourham, M., Moneghan, D. J. N. E., & Technology. (2020). Gamma radiation shielding properties of poly (methyl methacrylate)/Bi₂O₃ composites. 52(11), 2613-2619.
- Danthanavat, N., Mongkolsuk, M., Tochaikul, G., Sriwongta, S., Piyajaroenporn, A., Lithreungnam, C., . . . Solids, D. i. (2021a). Study of epoxy shielding material with barium sulphate for development of radiation protection materials in low-dose diagnostic X-ray. 176(9-10), 887-895.
- Danthanavat, N., Mongkolsuk, M., Tochaikul, G., Sriwongta, S., Piyajaroenporn, A., Lithreungnam, C., . . . Solids, D. i. (2021b). Study of epoxy shielding material with

barium sulphate for development of radiation protection materials in low-dose diagnostic X-ray. 1-9.

- El-Fiki, S., El Kameesy, S., Nashar, D., Abou-Leila, M., El-Mansy, M., & Ahmed, M. J. I. J. A. R. (2015). Influence of bismuth contents on mechanical and gamma ray attenuation properties of silicone rubber composite. 3(6), 1035-1041.
- Kaplan, M. F. (1989). Concrete radiation shielding.
- Maghrabi, H. A., Vijayan, A., Mohaddes, F., Deb, P., Wang, L. J. F., & Polymers. (2016). Evaluation of X-ray radiation shielding performance of barium sulphate-coated fabrics. 17(12), 2047-2054.
- Noor Azman, N. Z., Siddiqui, S. A., & Low, I. M. J. A. P. A. (2013). Synthesis and characterization of epoxy composites filled with Pb, Bi or W compound for shielding of diagnostic x-rays. 110(1), 137-144.
- Pavlenko, V., Cherkashina, N., & Yastrebinsky, R. J. H. (2019). Synthesis and radiation shielding properties of polyimide/Bi₂O₃ composites. 5(5), e01703.
- Pollard, E. (2018). Effect of radiation at the cellular and tissue level. In *Preservation of food by ionizing radiation* (pp. 219-244): CRC Press.
- Renger, B., Brieskorn, C., Toth, V., Mentrup, D., Jockel, S., Lohöfer, F., . . . Noël, P. B. J. R. p. d. (2016). Evaluation of dose reduction potentials of a novel scatter correction software for bedside chest x-ray imaging. 169(1-4), 60-67.
- Shit, S. C., & Shah, P. J. N. a. s. l. (2013). A review on silicone rubber. 36(4), 355-365.
- Shultis, J. K., & Faw, R. E. (2000). *Radiation shielding* (Vol. 555): American Nuclear Society La Grange Park, Illinois.
- Thibeault, S. A., Kang, J. H., Sauti, G., Park, C., Fay, C. C., & King, G. C. J. M. B. (2015). Nanomaterials for radiation shielding. 40(10), 836-841.
- Verdipoor, K., Alemi, A., Mesbahi, A. J. R. P., & Chemistry. (2018). Photon mass attenuation coefficients of a silicon resin loaded with WO₃, PbO, and Bi₂O₃ Micro and Nano-particles for radiation shielding. 147, 85-90.
- Yu, L., Yap, P. L., Santos, A., Tran, D., & Losic, D. J. A. A. N. M. (2021). Lightweight Bismuth

Titanate ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) Nanoparticle-Epoxy Composite for Advanced Lead-Free X-ray Radiation Shielding. 4(7), 7471-7478.



ภาคผนวก

ประวัติผู้วิจัย

คำนำหน้า นาย นาง นางสาว

ตำแหน่งทางวิชาการ ศ. รศ. ผศ. อื่นๆ

ชื่อผู้วิจัย กัญจนพร

นามสกุลผู้วิจัย โตชัยกุล

ชื่อภาษาอังกฤษ GUNJANAPORN

นามสกุลภาษาอังกฤษ TOCHAIKUL

วัน/เดือน/ปี เกิด 28/03/2538

ที่อยู่(บ้าน) 293 ถ.ลาดพร้าว ซ.ลาดพร้าว 101 แยก 17 เขต วังทองหลาง แขวง คลองเจ้าคุณสิงห์

จังหวัด(บ้าน) กรุงเทพฯ

รหัสไปรษณีย์(บ้าน) 10310

โทรศัพท์(บ้าน) -

แฟกซ์(บ้าน) -

ที่อยู่(ที่ทำงาน) คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 พหลโยธิน 87 ถ.พหลโยธิน อ.เมือง

จังหวัด(ที่ทำงาน) ปทุมธานี

รหัสไปรษณีย์(ที่ทำงาน) 12000

โทรศัพท์(ที่ทำงาน) 02-791-6000 ต่อ 1723

แฟกซ์(ที่ทำงาน) 02-791-6000 ต่อ 1723

E-Mail Address: gunjanaporn.t@rsu.ac.th

ปริญญาตรี

สาขา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (รังสีเทคนิค)

ปีที่จบ 2559

สถาบัน คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ประเทศ ไทย

ปริญญาโท

สาขา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์การแพทย์)

ปีที่ยื่น 2562

สถาบัน คณะแพทยศาสตร์รามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

ประเทศไทย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารภายในประเทศ

1. Gunjanaporn Tochaikul, Krissanat Chuamsaamarkkee, Chayanit Jumpee, Jatechan Channuie, Phongyut Sriploy, Daranee Piriyaasang, Putthiporn Charoenphun .*Monte Carlo simulation of 106Ru/106Rh plaque radiation dose in ophthalmic brachytherapy* 2020 page FP1-1 ถึง 1-4

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารต่างประเทศ

1. Moonkum, N.*, Wongpiem, U., Sriwongta, S., Danthanawat, N., Tochaikul, G., & Pilapong, C. (2021, January). Effect of X-ray diagnostic energy to peripheral blood mononuclear cells and CD34+/CD133+ expression: an in vitro study. *Journal of Current Science and Technology*, 11(1), 24-31
2. Tochaikul, G., Moonkum, N., Sriwongta, S., Neamchumnan, M., Thawornnittayakul, A., & Danthanawat, N.* (2021, May) Determination of appropriate proportional in-house flexible radiation shielding material using bismuth powder and natural-silicon rubber compounds. *Journal of Current Science and Technology*, 11(2), 277-286
3. Danthanawat, N., Mongkolsuk, M., Tochaikul, G., Sriwongta, S., Piyajaroenporn, A., Lithreungnam, C., & Moonkum, N. (2021). Study of epoxy shielding material with barium sulphate for development of radiation protection materials in low-dose diagnostic X-ray. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-9. doi:10.1080/10420150.2021.1972113
4. Tochaikul, G., Phattanasub, A., Khemkham, P., Saengthamthawee, K., Danthanawat, N., & Moonkum, N. (2022). Radioactive waste treatment technology: a review. *Kerntechnik*.

ผลงานที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการภายในประเทศ

-

ผลงานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการในต่างประเทศ

1. Nutthapong Moonkum, T. P., **Gunjanaporn Tochaikul**, Nuttapong Danthanavat, Natthawat Kimkitwanitand Maaridee Cheloh. (2020). EFFECT OF REPEATED CHEST X-RAY ON CHARACTERISTIC OF PERIPHERAL BLOOD MONONUCLEAR CELLS. The 4th International Conference on Nation-Building 2020
2. **Gunjanaporn Tochaikul**; Nutthapong Moonkum; Thipjutha Phatruengdet; Monchuporn Neamchumnan; Aksarapak Thawornnittayakul; Nuttapong Danthanavat. Flexible Radiation Shielding Composing of Natural Rubber and Bismuth Powder. *THE 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCES AND TECHNOLOGY*

ผลงานวิจัยที่ได้รับรางวัล

-

สาขาวิชาที่นักวิจัยเชี่ยวชาญ

- 1) Radiation Physics
- 2) Radiation Dosimetry
Brachytherapy

