

การประดิษฐ์อุปกรณ์ป้องกันรังสีจากยางธรรมชาติผสมบิสมัทปริมาณสูง สำหรับงานรังสีวินิจฉัย

The invention of natural rubber mixed with high loading bismuth for radiation protection in diagnostic radiology

เสาวภาคย์ ภูศิริ^{1*} • แสงเชาว์ ทองสินธุ์² • สุมาตี สายโสม¹ • นิจวรีย์ จันทรมณี¹

¹ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²ภาควิชาเทคโนโลยีและวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Saowapark Poosiri^{1*} • Saengchao Thongseenuch² • Sumadee Saisom¹ • Nitwaree Chanmanee¹

¹Department of Radiology, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University

²Department of Materials Science and Technology, Faculty of Sciences, Prince of Songkla University

*Correspondence to: lovelyng1@hotmail.com (Saowapark Poosiri)

Thai J Rad Tech 2019;44(1):8-14

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำรังสีเอกซ์มาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ทั้งด้านการวินิจฉัยและการรักษา แต่อย่างไรก็ตามรังสีเอกซ์อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย เช่น คลื่นไส้ อาเจียนและการเพิ่มอัตราเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น ในการทำงานที่เกี่ยวข้องด้านรังสีจึงต้องมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีอย่างเหมาะสมซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ตะกั่วหรืออุปกรณ์ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบเพราะมีประสิทธิภาพในการลดทอนปริมาณรังสี ถึงอย่างไรก็ตามตะกั่วจัดเป็นสารที่อันตรายเนื่องจากในกระบวนการผลิตอาจจะมีปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายแก่สิ่งแวดล้อมและนำไปสู่การเกิดปัญหาสุขภาพได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์แผ่นป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติและบิสมัทปริมาณสูงทดแทนการใช้ตะกั่วเป็นส่วนผสม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีของแผ่นป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของยางแท่งและบิสมัทปริมาณต่าง ๆ กับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร โดยทำการทดลองตัวอย่างแผ่นยางที่เตรียมจากสูตรยางธรรมชาติผสมบิสมัททั้งหมด 6 สูตร คือ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 phr (หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่าง ๆ เมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วน โดยน้ำหนัก) โดยที่ตัวอย่างแผ่นยางมีความหนาตั้งแต่ 1 ถึง 5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการลดทอนปริมาณรังสีโดยใช้ค่าเอกซโพเชอร์ที่ความต่างศักย์ในช่วง 50 ถึง 120 เควีพี และค่ากระแสหลอด-เวลา 20 เอ็มเอเอส จากผลการทดลองพบว่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของบิสมัทที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร กับแผ่นป้องกันรังสีที่ประดิษฐ์ขึ้นพบว่าแผ่นยางสูตรที่ผสมตะกั่ว 300 phr ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีเท่ากับ 97.33 ที่ 100 เควีพี ซึ่งใกล้เคียงกับกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร และเมื่อเพิ่มปริมาณบิสมัทเป็น 400 และ 500 phr ประสิทธิภาพการลดทอนปริมาณรังสีได้ดีกว่าอุปกรณ์เปรียบเทียบที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: การลดทอนปริมาณรังสี, บิสมัท, ยางธรรมชาติ

Abstract

Currently, x-rays use for medical purposes in both diagnosis and treatment. However, radiation can result in biological effects such as nausea, vomiting and an increasing risk of cancer. Workers who dealing with radiation should be used the protective equipment in order to reduce the radiation risk. Although lead is a

commonly used material or ingredient for radiation shielding due to its effective in radiation attenuation, it considers as a hazardous substance to the environment and lead to health problems. Therefore, this research aimed to fabricate a radiation protection sheet using natural rubber mixed with high loading bismuth in order to replace lead. Moreover, attenuation efficiency between radiation protection sheet at various quantities of bismuth and the commercial radiation protection equipment with 0.5-mm lead equivalent thickness was compare. The rubber sheets were prepared form six compounded rubber which bismuth content were 0, 100, 200, 300, 400, and 500 phr (parts per hundred of rubber), respectively, and the thickness of the sheets were between 1 to 5 mm. Radiation attenuation efficiency was tested using exposure parameters between 50 to 120 kVp, and tube current-time of 20 mAs. The results showed that when increasing the amount of bismuth in rubber, the percentage of radiation attenuation was increased. In conclusion, the invented radiation protection equipment in this study was comparable with 0.5 mm lead equivalent thickness. The 300 phr rubber sheets with 3 mm thickness had 97.33 percentage of radiation attenuation at 100 kVp which is an equivalent lead thickness at 0.5 mm. Furthermore, radiation attenuation of rubber sheets which bismuth content of 400 and 500 phr was better than that commercial radiation protection where the thickness was 3 mm.

Keywords: Attenuation, Bismuth, Natural rubber

บทนำ

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับคลื่นไมโครเวฟ อินฟราเรด และรังสีแกมมา มีความถี่และพลังงานสูง มีอำนาจในการทะลุทะลวงและสามารถนำมาสร้างภาพทางการแพทย์ได้ ปัจจุบันมีการนำรังสีเอกซ์มาใช้ประโยชน์ในด้านการวินิจฉัย เช่น การตรวจหามะเร็งปอด นิ้วในไต การถ่ายภาพโครงสร้าง กระดูกและฟัน ตลอดจนนำมาใช้ในด้านการรักษา อย่างไรก็ตามรังสีเอกซ์จะก่อให้เกิดผลกระทบทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิตได้แก่ ผลชัดเจน (deterministic effect) จะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับรังสีปริมาณเกินค่าใดค่าหนึ่งและจะแปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับ เช่น เกิดเป็นผื่นแดงขึ้นตามผิวหนัง ผมร่วง เซลล์ตาย มะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) ต้อกระจก (cataracts) เป็นต้น และผลไม่ชัดเจน (stochastic effect) เป็นผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิตที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของผู้ได้รับรังสีที่ปริมาณน้อย ๆ ในระยะเวลาที่นาน ๆ ได้แก่ การเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว, มะเร็งผิวหนัง เป็นต้น^[1,2]

สำหรับการทำงานของบุคลากรที่ทำงานด้านรังสีมีหลักการในการป้องกันอันตรายจากรังสีเพื่อให้มีความปลอดภัยโดยยึดหลักการปฏิบัติ 3 ประการอย่าง คือ การปฏิบัติงานต้องได้รับปริมาณรังสีให้น้อยที่สุด ใช้เวลาให้น้อยที่สุดและอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำงานได้ และที่สำคัญจะต้องมีวัสดุกำบังรังสีที่ลดทอนความเข้มของรังสีที่จะมาตกกระทบร่างกาย อุปกรณ์

กำบังรังสีส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัสดุที่มีมวลอะตอมสูง^[3] เช่น ตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว ซึ่งมีความสามารถในการลดทอนรังสีได้ดี จึงใช้วัสดุเหล่านี้ในการป้องกันรังสีและประสิทธิภาพการป้องกันรังสีจะเพิ่มตามสัดส่วนของตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว อย่างไรก็ตามตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วจัดเป็นสารที่ต้องห้ามเพราะในกระบวนการผลิตอาจจะปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายแก่สิ่งแวดล้อมและนำไปสู่การเกิดปัญหาสุขภาพ เช่น เมื่อตะกั่วใช้งานกับรังสีเป็นเวลานานจะทำให้เกิดตะกั่วของตะกั่วปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายและเกิดการสะสม เช่น ตะกั่วออกไซด์ ตะกั่วอะซีเตต จะทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในร่างกายนำไปสู่ปัญหาสุขภาพที่ร้ายแรง ได้แก่ อาการผิดปกติทางระบบประสาท ไตวาย การลดลงของฮีโมโกลบินและเม็ดเลือดแดง^[4] และนอกจากนี้วัสดุกำบังรังสีที่ทำจากตะกั่วโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักมากทำให้ไม่ได้รับความสะดวกในการใช้งานและอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวได้ เช่น อาการปวดหลัง เป็นต้น

จากงานวิจัยของธิดารัตน์ ทวีสุข มีการใช้ยางธรรมชาติผสมด้วยตะกั่วออกไซด์ (lead oxide) ในปริมาณสูงทำให้ยางที่ได้มีคุณสมบัติในการลดทอนปริมาณรังสีได้^[5] แต่อย่างไรก็ตามตะกั่วออกไซด์แม้มีความเสถียรแต่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายและสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต ในขณะที่บิสมีทเป็นเป็นสารที่มีเลขอะตอมสูงและมีความเป็นพิษต่ำ ขณะที่ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีราคาไม่

แพ่ง สามารถหาได้ง่ายในภูมิภาคใต้ การใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ช่วยให้มีการใช้ยางธรรมชาติมากขึ้นจะช่วยเสริมให้เกษตรกรชาวสวนยางมีรายได้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยางธรรมชาติยังมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการขึ้นรูปและคงสภาพยืดหยุ่นได้ดีเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปร่างต่าง ๆ ได้ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อประดิษฐ์แผ่นป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติและบิสมีทปริมาณสูง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีของแผ่นยางป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติและบิสมีทปริมาณต่าง ๆ กับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อประดิษฐ์อุปกรณ์ป้องกันรังสีจากยางธรรมชาติผสมบิสมีทปริมาณสูงสำหรับงานด้านรังสีวินิจฉัย โดยการหาสูตรส่วนผสมระหว่างยางธรรมชาติและบิสมีทที่เหมาะสมที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีเทียบเท่ากับกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ การเตรียมแผ่นยางและการวัดค่าการดูดกลืนและการกันรังสีของแผ่นยางวัลคาไนซ์

การทดลองนี้ใช้ยางธรรมชาติและผงบิสมีทผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยจะมีส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic acid) และ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (activator) Tetramethylthiuram Disulfide (TMTD) เป็นสารตัวเร่ง (accelerator) เพื่อเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติเกิดการเชื่อมขวางกันทำให้ยางธรรมชาติคงรูปมีความยืดหยุ่นมากขึ้น กำมะถัน (Sulphur) เป็นสารที่มีหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ ทำให้อย่างคงรูปหรืออย่างสุกและจะทำให้สมบัติทางกายภาพของยางเกิดการเปลี่ยนแปลงคือทำให้ยางอยู่ในสถานะที่ยืดหยุ่นได้สูง ในการทดลองนี้ใช้เครื่องเอกซเรย์ Samsung รุ่น GC85A และเครื่องวัดปริมาณรังสี Raysafe X2 R/F เพื่อวัดค่าการดูดกลืนรังสีของยางวัลคาไนซ์และอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัย มีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดทอนปริมาณรังสีเมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ที่ 100 เควีพี เท่ากับ 97 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมแผ่นยาง

ตัวอย่างแผ่นยางทดสอบเตรียมจากยางคอมพาวนด์ 6 สูตร ซึ่งมีส่วนผสมของบิสมีทปริมาณเท่ากับ 0, 100, 200,

300, 400 และ 500 phr (parts per hundred of rubber) ดังแสดงในตารางที่ 1 บดผสมยางธรรมชาติกับผงบิสมีทและสารเคมีอื่นด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) จากนั้นรีดเป็นแผ่นพักทิ้งไว้เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวเกิดความสมดุลทั่วแผ่นยางคอมพาวนด์ และหาค่าเวลาการการวัลคาไนซ์หรือเวลาการสุกของยางคอมพาวนด์ (Cure time, TC95) ด้วยเครื่อง Moving die rheometer อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส แล้วนำยางคอมพาวนด์ขึ้นรูปด้วยเครื่อง compression molding ตามเวลาการสุกที่วัดได้ โดยใช้แม่พิมพ์ขนาด กว้าง 13 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร ความหนา 0.1 และ 0.2 เซนติเมตร เมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้วได้ตัวอย่างแผ่นยางทดสอบดังแสดงในภาพที่ 1 จากนั้นนำไปทดสอบความแข็งของแผ่นยางตัวอย่าง



ภาพที่ 1 แผ่นยางวัลคาไนซ์

การวัดค่าการดูดกลืนรังสีของยางวัลคาไนซ์

การวัดค่าการดูดกลืนรังสีของยางวัลคาไนซ์ในการทดลองนี้เป็นการวัดค่าการดูดกลืนรังสีปฐมภูมิของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางคอมพาวนด์ทั้งหมด 6 สูตร ซึ่งมีส่วนผสมของบิสมีทความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 phr ปรับความหนาของแผ่นยางทดสอบโดยซ้อนแผ่นยางที่มีความหนา 0.1 และ 0.2 มิลลิเมตร ให้แผ่นยางมีความหนารวม 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในการทดสอบการดูดกลืนรังสี จะจัดระยะห่างระหว่างจุดโฟคอลสปีดของหลอดเอกซเรย์และจุดกึ่งกลางของหัววัดปริมาณรังสี 67 เซนติเมตร และระยะระหว่างจุดโฟคอลสปีดของหลอดเอกซเรย์กับแผ่นยาง 33 เซนติเมตร จากนั้นเปิดลำแสงคอลลิเมเตอร์ให้มีความกว้าง 7.5 x 7.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 และตั้งค่าความต่างศักย์หลอดที่ 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 และ 120 เควีพี ค่ากระแสหลอดตั้งค่าที่ 100 มิลลิแอมแปร์ และตั้งค่าเวลาในการถ่ายภาพเอกซเรย์ที่ 20 มิลลิวินาที แล้วบันทึกปริมาณรังสีที่วัดได้ใน

หน่วยไมโครเกรย์ (μGy) จากนั้นคำนวณร้อยละของการลดทอนปริมาณรังสี โดยใช้สมการดังนี้:

ร้อยละของการลดทอนปริมาณรังสี = $100 - (\text{ปริมาณรังสีหลังนำวัสดุบัง/ปริมาณรังสีก่อนนำวัสดุบัง} \times 100)$

และนำผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบแผ่นยางมาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัยซึ่งมีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 1 สูตรยางคอมพาวนด์จากยางธรรมชาติผสมบิสมีทที่ปริมาณต่าง ๆ โดยใช้ระบบวัลคาไนซ์แบบปกติ

ส่วนผสม (phr)*	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
STR5L	100	100	100	100	100	100
สมีท	-	100	200	300	400	500
ZnO	3	3	3	3	3	3
Stearic Acid	2	2	2	2	2	2
Sulphur	4	4	4	4	4	4
TMTD	1	1	1	1	1	1

*phr ย่อมาจาก parts per hundred of rubber หมายถึง หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่าง ๆ เมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก)



ภาพที่ 2 การจัดวางอุปกรณ์และหัววัดรังสีในการทดสอบรังสีปฐมภูมิ

ผลการศึกษา

จากการทดสอบหาค่าการสุกของยางผสมบิสมีทในปริมาณต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 150°C พบว่าปริมาณบิสมีทมีผลต่อค่า TC95 ซึ่งคำนวณเวลาจากการสุกของยางที่ร้อยละ 95 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยางเกิดการสุกหรือเป็นเวลาที่ยางเกิดการคงรูปได้ดีที่สุด จากการทดลองค่าการสุกตัวของยางบิสมีทพบว่ายางผสมบิสมีทที่ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 phr ใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่ TC95 ที่ 4.01, 6.01, 5.59, 7.36, 7.12 และ 6.54 นาที ตามลำดับ ยาง

คอมพาวนด์สูตรที่มีการผสมบิสมีทปริมาณมากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์มากขึ้นโดยสามารถเห็นได้จากยางผสมบิสมีท 500 phr จะเกิดการวัลคาไนซ์ได้ช้ากว่ายางที่ไม่ผสมบิสมีทเนื่องจากนั้นคือการผสมบิสมีทจะทำให้ยางใช้เวลาในการเกิดการคงรูปมากขึ้น

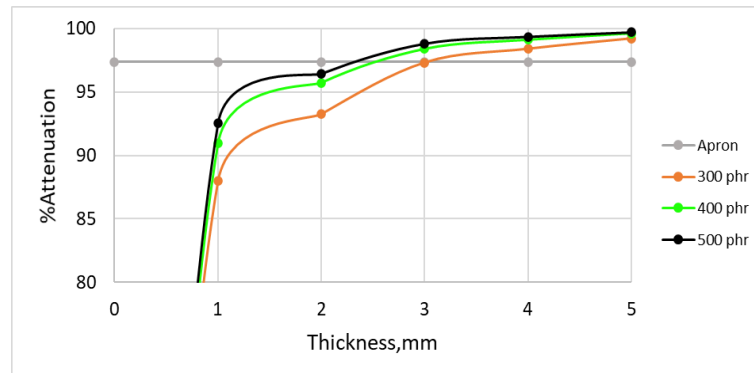
เมื่อทำการทดสอบความแข็งของแผ่นยางตัวอย่างพบว่าเมื่อปริมาณของบิสมีทที่ผสมกับยางธรรมชาติมีปริมาณมากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งที่อ่านได้มีค่ามากขึ้น นั่นคือปริมาณของบิสมีทที่มากขึ้นจะทำให้ยางมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น โดยที่สูตรยางที่ 500 phr จะมีค่าความแข็ง (Shore A) มากที่สุด คือ 65 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายางมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นที่น้อยลงเมื่อปริมาณบิสมีทเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งของยาง (Shore A) ของแต่ละสูตร

ปริมาณของบิสมีท (phr)	ค่าที่อ่านได้ (Shore A)
0 phr	46.5
100 phr	51.0
200 phr	55.0
300 phr	61.0
400 phr	63.0
500 phr	65.0

เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นยางตัวอย่างพบว่าเมื่อเพิ่มความหนาจะทำให้ร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น และแผ่นยางสูตร 300 phr ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร จะมีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีใกล้เคียงกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5

มิลลิเมตรและร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความหนาและเพิ่มปริมาณบิสมีทที่ผสมกับยาง เห็นได้จากที่ยางสูตร 500 phr หนา 5 มิลลิเมตร จะมีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปริมาณการดูดกลืนรังสีของยางวัลคาไนซ์ที่ 300, 400 และ 500 phr ที่ความต่างศักย์ 100 kVp

จากการทดลองปริมาณรังสีที่วัดได้ที่ค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ ในยางธรรมชาติผสมบิสมีทแต่ละสูตรที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ในแผ่นยางตัวอย่างทั้ง 5 สูตร ซึ่งมีบิสมีทปริมาณ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 phr เมื่อฉายรังสีที่ 100 kVp วัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้ 272.80, 88.21, 49.67, 34.67, 26.09 และ 21.49 uGy ตามลำดับ และสูตรยางที่มีบิสมีทปริมาณ 500 phr สามารถวัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้น้อยที่สุด และแผ่นยางตัวอย่างที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เมื่อวัดปริมาณรังสีเมื่อผ่านแผ่นยางทั้ง 6 สูตร พบว่ายางสูตรที่มีปริมาณบิสมีท 0, 100, 200 และ 300 phr ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp วัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้ 251.80, 31.94, 14.17 และ 7.69 uGy ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตรซึ่งวัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้ 7.56 uGy แต่สูตรยางที่มีบิสมีท 400 phr วัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้ 4.57 uGy ขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณบิสมีทเป็น 500 phr สามารถวัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้เพียง 3.36 uGy ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางที่เตรียมจากทุกสูตรและน้อยกว่าอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัยซึ่งมีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร

ปริมาณรังสีที่วัดได้เมื่อฉายรังสีที่มีค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ ในยางธรรมชาติแต่ละสูตรที่แผ่นยางตัวอย่างมีความหนา 5 มิลลิเมตร เมื่อวัดปริมาณรังสีเมื่อผ่านแผ่นยางทั้ง 6 สูตร โดยพบว่าสูตรยางที่มีปริมาณบิสมีท 0 และ 100 เมื่อฉายรังสีที่ 100 kVp วัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้ถึง

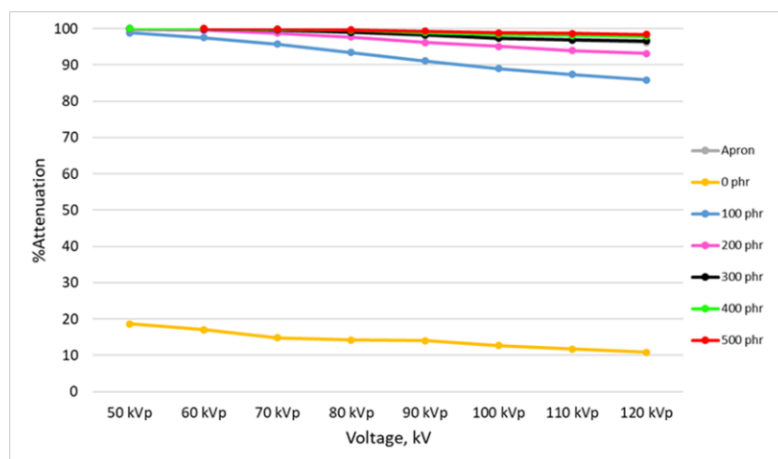
231.90 และ 49.67 uGy ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตรซึ่งวัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้เท่ากับ 7.56 uGy และสูตรยางที่มีปริมาณบิสมีท 200, 300 และ 400 phr วัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้เพียง 5.67, 2.23 และ 1.05 uGy ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัยซึ่งมีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร และที่ 500 phr สามารถวัดค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้เพียง 0.78 uGy เท่านั้น ซึ่งเป็นค่าปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านน้อยที่สุดในแผ่นยางทุกสูตร

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากการนำแผ่นยางที่ขึ้นรูปไปทดสอบวัดค่าการดูดกลืนปริมาณรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณบิสมีทในยางธรรมชาติทำให้ปริมาณรังสีที่วัดได้มีค่าลดลงตามปริมาณของบิสมีทที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของบิสมีทในยางธรรมชาติสม่ำเสมอและบิสมีทมีเลขอะตอม (Atomic number) ที่สูงจึงสามารถดูดกลืนและกันรังสีได้ แสดงให้เห็นว่าบิสมีทมีคุณสมบัติในการลดทอนปริมาณรังสีสองคล้องกับงานวิจัยของนิพัทธ์ เขาทอง และคณะ^[6] โดยเมื่อปริมาณของบิสมีทเพิ่มขึ้นจะสามารถลดทอนรังสีได้มากขึ้นและการเพิ่มความหนาของแผ่นยางจะทำให้ปริมาณรังสีที่วัดได้มีค่าน้อยลงสอดคล้องกับงานวิจัยของธิดารัตน์ ทวีสุก และคณะ^[5] จากผลทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นยางจะทำให้ความสามารถในการดูดกลืนรังสีมากขึ้น

แผ่นยางที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เมื่อผสมบิสมันท์ ปริมาณ 300 phr สามารถลดทอนปริมาณรังสีได้ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัยซึ่งมีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร และมีความสามารถในการลดทอนปริมาณรังสีที่ 100 kVp ได้ร้อยละ 97 จากผลการทดลองเห็นได้ชัดว่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีของยางที่

ผสมบิสมันท์ปริมาณ 300 phr เมื่อเตรียมให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร ขณะที่ฉายรังสีด้วยความต่างศักย์ 100 kVp มีค่าเท่ากับ 97.331 และมีค่าร้อยละในการลดทอนปริมาณรังสีใกล้เคียงกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร ที่สุดในทุกค่าความต่างศักย์ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีเมื่อฉายรังสีที่ความต่างศักย์ต่างๆของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ผสมบิสมันท์ปริมาณต่างๆ ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร และอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัย

สำหรับยางวัลคาไนซ์ที่ไม่มีส่วนผสมบิสมันท์ ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์มีค่าน้อยเป็นปกติเนื่องจากไม่มีอนุภาคของวัตถุใดขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติ ในสูตรที่มีการผสมบิสมันท์ลงไปจะทำให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์มากขึ้นโดยสามารถเห็นได้ชัดเจนสำหรับสูตรยางที่ผสมบิสมันท์ 500 phr ซึ่งเห็นได้ว่าการวัลคาไนซ์เกิดได้ช้ากว่ายางที่ไม่ผสมบิสมันท์ นั้นแสดงว่าการผสมบิสมันท์จะทำให้ยางใช้เวลาในการเกิดการคงรูปมากขึ้นโดยบิสมันท์จะเป็นตัวชะลอการสุกของยาง อาจเป็นเพราะโมเลกุลของยางธรรมชาติถูกแทรกด้วยอนุภาคของบิสมันท์ทำให้ปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของยางเกิดได้ยากขึ้นจึงต้องใช้เวลามากขึ้นนั่นเอง การผสมบิสมันท์กับยางแห้งมีข้อดีในการผสมคือสามารถลดการเกิดฟองอากาศในเนื้อยางได้ และใช้เวลาในการผสมได้รวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือเกิดการฟุ้งกระจายของผงบิสมันท์ และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของบิสมันท์ที่ผสมกับยางธรรมชาติจะทำให้ยางมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นที่น้อยลงเนื่องจากบิสมันท์เป็นของแข็ง เมื่อผสมของแข็งลงไปยางจะทำให้ยางมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างผิวของอนุบิสมันท์และโมเลกุลของยางธรรมชาติเกิดได้ไม่ดี เมื่อเพิ่มปริมาณของบิสมันท์จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและระยะยืด

เมื่อขาดของยางมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ายางมีคุณสมบัติในการทนต่อแรงดึงที่น้อยลงและมีระยะยืดที่น้อยลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของบิสมันท์จะทำให้แผ่นยางมีค่าความถ่วงจำเพาะที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากบิสมันท์มีความหนาแน่นสูงจึงทำให้ตัวอย่างยางมีความหนาแน่นสูงด้วย

จากการพิจารณาผลทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณบิสมันท์ในยางทำให้ร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของบิสมันท์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัยซึ่งมีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร กับแผ่นป้องกันรังสีที่ประดิษฐ์ขึ้นพบว่าแผ่นยางที่มีบิสมันท์เป็นส่วนผสมปริมาณ 300 phr เมื่อเตรียมให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร สามารถลดทอนปริมาณรังสีที่ฉายด้วยความต่างศักย์ 100 kVp ได้ถึงร้อยละ 97.33 ซึ่งเทียบเท่ากับกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการรังสีวินิจฉัยซึ่งมีสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร และเมื่อคำนวณเชิงปริมาตร น้ำหนักของยางวัลคาไนซ์ที่มีส่วนประกอบของบิสมันท์ปริมาณ 300 phr ที่เตรียมให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร และเลื้อยตะกั่วแบบชุดยาว พบว่ามีน้ำหนักไม่แตกต่างกัน อีกทั้งต้นทุนการผลิตของยางวัลคาไนซ์ที่มีส่วนประกอบบิสมันท์ยังมีส่วนต้นทุนการผลิตน้อย และลดการหักงอของวัสดุเนื่องจากยางพารามีความยืดหยุ่นและมีค่าความแข็งแรงดึงสูง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการใช้ยางวัลคาไนซ์ที่มีส่วนประกอบบิสมีทเพื่อประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ป้องกันรังสีสำหรับงานด้านรังสีวินิจฉัย ซึ่งแบ่งสูตรการผสมออกเป็น 6 สูตร คือ ที่ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 phr และทำการขึ้นรูปได้เป็นแผ่นยางผสมบิสมีทแล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการลดทอนปริมาณรังสีพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณบิสมีทในยางทำให้ร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของบิสมีทที่เพิ่มขึ้น และพบว่าแผ่นยางสูตร 300 phr ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตรมีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสี คือ 97.33 ที่ 100 เควีพี ซึ่งใกล้เคียงกับกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีความหนาสมมูลตะกั่ว 0.5 มิลลิเมตร

เอกสารอ้างอิง

1. Mettler FA. Medical effects and risks of exposure to ionising radiation. J Radiol Prot 2012; 32(1): 9-13.
2. Wagner LK, Eifel PJ, Geise RA. Potential Biological Effects Following High X-ray Dose Interventional Procedures. J Vasc Interv Radiol 1994; 5(1): 71-84.
3. ราชกิจจานุเบกษา. พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์ พ.ศ. ๒๕๕๙. [อินเทอร์เน็ต] [เข้าถึงเมื่อ ๑๒ ธ.ค. ๒๕๕๙] เข้าถึงได้จาก; <http://www.oap.go.th/images/documents/about-us/regulations/nuclear-energy-act-2559.PDF>.
4. Sudjai W. Inlight optically stimulated luminescence for occupational monitoring service in Thailand. Bull Dept Med Sci 2012; 54(2): 110-116.
5. Agyingi EO, Mobit PN, Sandison GA. Energy response of an aluminium oxide detector in kilovoltage and megavoltage photon beams: an EGSnrc Monte Carlo simulation study. Radiat Prot Dosimetry 2006; 118(1): 28-31.
6. McKeever SWS, Akselrod MS. Radiation dosimetry using pulsed optically stimulated luminescence of Al₂O₃:C. Radiat Prot Dosimetry 1999; 84(1-4): 317-320.
7. Bauhs JA, Vrieze TJ, Primak AN, Bruesewitz MR, McCollough CH. CT dosimetry: comparison of measurement techniques and devices. Radiographics 2008; 28(1): 245-253.
8. Landauer Inc. Dosimeters: InLight® Systems Dosimeters. [Internet]. 2005. [cited 2017 May 20]. Available from: <https://www.nagase-landauer.co.jp/english/inlight/pdf/Dosimeters/inlightdosimeters.pdf>
9. ยุทธนา บางม่วง, วราภรณ์ สุดใจ. การสำรวจปริมาณรังสีพื้นหลังของประเทศโดยใช้แผ่นวัดรังสีชนิดโอเอสแอล. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. ๒๕๕๖;๕๕:๓๑-๓๘.



วารสารรังสีเทคนิค

The Thai Journal of Radiological Technology

การประดิษฐ์อุปกรณ์ป้องกันรังสีจากยางธรรมชาติผสมบิสมัท
ปริมาณสูงสำหรับงานรังสีวินิจฉัย

The invention of natural rubber mixed with high loading bismuth
for radiation protection in diagnostic radiology

เสาวภาคย์ ภูศิริ • แสงขาว ทองสินธุ์ • สุมาตี สายโสม • นิจวรีย์ จันทรมณี

Thai J Rad Tech 2019;44(1):8-14

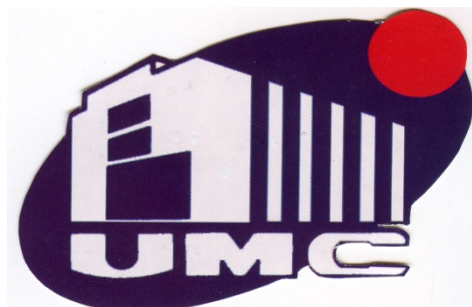
วารสารรังสีเทคนิค

วารสารวิชาการของสมาคมรังสีเทคนิคแห่งประเทศไทย

ภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล

แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กทม. 10700

Sponsored by



บริษัท เอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์อุรุพงษ์ จำกัด