



งานประชุมวิชาการ
นำเสนอผลงานวิจัย
ระดับบัณฑิตศึกษา
แห่งชาติ
ครั้งที่ 50

The 50th National Graduate
Research Conference

6-7 มิถุนายน 2563 

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง 

ngrc50@kmitl.ac.th 

www.ngrc50.org 

รายงานสืบเนื่องจากการประชุม
Conference Proceedings

การกำบังรังสีเอกซ์และสมบัติเชิงกลของถุงมือยางธรรมชาติที่เติมสารตัวเติมนานาไบสมัทออกไซด์

X-ray Shielding and Mechanical Properties of Natural Rubber Latex Gloves with the Addition of Nano-Bismuth Oxide Filler

อัศวพล ทุมวงศ์¹ เอกชัย วิมลมาลา² และ ดร.เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง³

Arkapol Thumwong¹ Ekachai Wimolmala² and Dr.Kiadtisak Saenboonruang³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษา พัฒนาและทดสอบการกำบังรังสีเอกซ์และสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติและสารตัวเติมชนิดนาโนไบสมัทออกไซด์ (nano Bi₂O₃) ที่ปริมาณ 0, 50, 100, 150 และ 200 ส่วนต่อน้ำหนักยางร้อยละ (phr) โดยใช้กระบวนการคงรูปยางแบบก้ำมะถัน และการขึ้นรูปถุงมือยางแบบจุ่ม (dipping process) ผลการวิจัยพบว่าค่าร้อยละการลดทอนความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ระดับความต่างศักย์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 100 kV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ nano Bi₂O₃ ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการลดทอนรังสีเอกซ์ของถุงมือยางธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นกับถุงมือยางป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้าพบว่าปริมาณ nano Bi₂O₃ ที่ 150 phr ของถุงมือยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (μ) ของรังสีเอกซ์สูงกว่าถุงมือยางกำบังรังสีเอกซ์เกรดการค้า นอกจากนี้การเติมสารตัวเติม nano Bi₂O₃ ในน้ำยางธรรมชาติ ส่งผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดึง และค่าการต้านทานแรงดึงของถุงมือยางมีค่าลดลงที่ปริมาณ 50 phr เมื่อเปรียบเทียบกับถุงมือยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม แต่เริ่มมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณที่สูงขึ้น (ตั้งแต่ 100 phr ขึ้นไป) ผลการวิจัยสรุปได้ว่าถุงมือยางธรรมชาติที่เติมสารตัวเติม nano Bi₂O₃ มีสมบัติด้านการกำบังรังสีเอกซ์และเชิงกลที่ดี จึงเหมาะในการนำมาผลิตหรือพัฒนาเป็นถุงมือยางกำบังรังสีเอกซ์ที่มีประสิทธิภาพได้

คำสำคัญ : ถุงมือยางธรรมชาติ บิสมัทออกไซด์ กำบังรังสีเอกซ์ สมบัติเชิงกล

Abstract

This work studied, developed, and characterized X-ray shielding and mechanical properties of latex gloves, which were produced from natural rubber latex and nano bismuth oxide (nano Bi₂O₃) with varying contents of 0, 50, 100, 150, and 200 parts per hundred part of rubber by weight (phr) using the sulfur vulcanizing system and dipping process to form the testing specimens. The results showed that the

¹ นักศึกษา ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Student, Department of Applied Radiation and Isotopes, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

² รองศาสตราจารย์ หลักสูตรเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140 ประเทศไทย

Associate Professor, Materials Technology Program, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Associate Professor, Department of Applied Radiation and Isotopes, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

percentage of x-ray attenuation, in which the x-rays was emitted from a 100-kV x-ray generator, increased with increasing nano Bi_2O_3 contents. Furthermore, when comparing the ability to attenuate x-rays of the developed latex gloves in this work with the referenced commercial x-ray latex gloves, the results indicated that our samples with the nano Bi_2O_3 content of 150 phr had higher linear attenuation coefficients (μ) values than the commercial ones. In terms of mechanical properties, the results revealed that the addition of nano Bi_2O_3 decreased the tensile modulus and tensile strength of the composites, especially at the content of 50 phr, however the values were slightly increased at higher contents (but still lower than the pristine sample). Based on the overall results, it could be concluded that the developed natural rubber latex gloves with the addition of nano Bi_2O_3 had promising x-ray shielding and mechanical properties that were suitable to be developed as an efficient x-ray shielding latex gloves.

Keyword: natural rubber gloves, bismuth oxide, x-rays shielding, mechanical properties

บทนำ

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงที่มีพลังงานตั้งแต่ $10^{-1} - 10^4$ keV สามารถเคลื่อนที่ทะลุทะลวงผ่านตัวกลางได้ดี ไม่เกิดการเลี้ยวเบนภายใต้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า โดยในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้รังสีเอกซ์ในงานด้านต่างๆ เช่น ด้านการเกษตร (การทำหมันแมลง การปรับปรุงพันธุ์พืช และการฆ่าหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคในผลผลิตการเกษตร) ด้านอุตสาหกรรม (การตรวจสอบรอยร้าวของวัสดุปีกเครื่องบินหรือรอยเชื่อมของแผ่นโลหะ) และด้านการแพทย์ (การรักษาและวินิจฉัยโรคต่างๆ) เป็นต้น (Waltar, 2003) ทั้งนี้เมื่อรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นรังสีชนิดก่อประจุ (ionizing radiation) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เกิดการถ่ายเทพลังงานบางส่วนหรือทั้งหมดให้กับโมเลกุลของตัวกลางเหล่านั้น ส่งผลทำให้โมเลกุลของตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นประจุ ตัวอย่างการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์และตัวกลางที่สำคัญ เช่น อันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับโมเลกุลของน้ำที่เป็นองค์ประกอบหลักของร่างกายมนุษย์ โดยรังสีเอกซ์พลังงาน 12-40 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) สามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลโดยรอบเซลล์ และอาจทำให้เกิดความเสียหายกับเซลล์ต่างๆ ภายในร่างกาย ซึ่งสามารถนำไปสู่การเกิดเซลล์มะเร็งหรือการเสียชีวิตได้ (Truong *et al.*, 2009) ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากการได้รับรังสีเอกซ์ในปริมาณที่สูงเกินกำหนด ผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีต้องปฏิบัติตามหลักความปลอดภัย “As Low As Reasonable Achievable” หรือ “ALARA” ซึ่งเป็นแนวทางให้ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ใช้ประโยชน์จากรังสีเอกซ์ได้รับผลกระทบจากรังสีเอกซ์ให้น้อยที่สุด โดย ALARA ประกอบด้วยหลักการสำคัญ 3 ประการ คือ การใช้เวลาอยู่กับแหล่งกำเนิดรังสีให้น้อยที่สุด การอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุด และการใช้วัสดุกำบังรังสีที่มีประสิทธิภาพ (Munro, 2004) ซึ่งในกรณีของวัสดุกำบังรังสีเอกซ์นั้น วัสดุที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ โลหะหรือสารประกอบตะกั่ว ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมและมีความหนาแน่นสูง ($\sim 11.34 \text{ g/cm}^3$) (Poltabtim *et al.*, 2018) ส่งผลให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับรังสีเอกซ์ได้ดี ทั้งนี้อันตรกิริยาหลักที่สำคัญของรังสีเอกซ์กับตัวกลางต่างๆ ได้แก่ photoelectric absorption และ compton scattering (Nikjoo *et al.*, 2012) ซึ่งอันตรกิริยาทั้งสองประเภทสามารถช่วยลดความเข้มของรังสีเอกซ์ลงได้ แต่ทั้งนี้พบว่าการใช้ตะกั่วในการผลิตเป็นวัสดุกำบังรังสีเอกซ์นั้น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้วัสดุ เนื่องจากตะกั่วเป็นโลหะหนักมีความเป็นพิษสูง โดยหากสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลทำให้ระบบไหลเวียนโลหิตเกิดความผิดปกติ เกิดภาวะโลหิตจาง และมีผลกระทบต่อระบบประสาทและสมองขึ้นได้ (WHO,

2011) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำสารตะกั่วมาใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุกำบังรังสีเอกซ์โดยเฉพาะกับการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งรวมไปถึง ชุดกำบังรังสี ฉากกันกำบังรังสี และถุงมือยางกำบังรังสี เป็นต้น ซึ่งในกรณีของถุงมือยางกำบังรังสีเอกซ์นั้น เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อบุคลากรทางการแพทย์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากบุคคลเหล่านี้อาจได้รับรังสีเอกซ์ระหว่างปฏิบัติงาน จากการสะท้อนของรังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์หรือจากเวชภัณฑ์ที่มีการใช้สารรังสีในการตรวจวินิจฉัยโรค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะพัฒนาถุงมือยางป้องกันรังสีเอกซ์ที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยจากสารตะกั่ว สำหรับเจ้าหน้าที่และบุคลากรทางการแพทย์

จากงานวิจัยที่มีการเติมสารตัวเติมประเภทตะกั่ว (Pb) บิสมัท (Bi) และทังสเตน (W) ในวัสดุเชิงประกอบอีพอกซี (epoxy) สำหรับใช้ในการกำบังรังสีเอกซ์ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารตัวเติมที่ 10, 30, 50 และ 70 ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.) และทดสอบการกำบังรังสีเอกซ์ในช่วงความต่างศักย์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 40-127 kV พบว่าเมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าการเคลื่อนที่ผ่านวัสดุกำบังของรังสีเอกซ์ (x-ray transmission) มีแนวโน้มลดลง และพบว่าค่ามอดุลัสแรงดัด (flexural modulus) และค่าความแข็ง (hardness) ของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติม ส่วนค่าการต้านทานต่อการโค้งงอ (flexural strength) มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมสารตัวเติมในปริมาณตั้งแต่ 30%wt. ขึ้นไป (Noor Azman *et al.*, 2012) นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่ศึกษาวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและบิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) ที่ปริมาณ 0, 10, 20, 40, 80, 120 และ 150 ส่วนต่อน้ำหนักยางร้อยละ (phr) พบว่าเมื่อเติมสาร Bi_2O_3 ปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดัด และค่าความแข็งของวัสดุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลง ส่วนผลการทดสอบสมบัติการกำบังรังสีเอกซ์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์เชิงเส้น (μ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น (Intom *et al.*, 2020) ซึ่งจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่า สารตัวเติมของกลุ่มบิสมัทมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารตัวเติมแทนการใช้วัสดุประเภทตะกั่ว เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำบังรังสีเอกซ์ได้ดี มีความปลอดภัย และไม่พบความเป็นพิษที่มีต่อร่างกายมนุษย์

ดังนั้นงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาสูตร/กระบวนการผลิตถุงมือยางธรรมชาติเพื่อใช้ในการกำบังรังสีเอกซ์ที่ปราศจากการใช้สารตะกั่ว จากวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติและนาโนบิสมัทออกไซด์ (nano Bi_2O_3) ที่ปริมาณ 0, 50, 100, 150 และ 200 phr โดยเตรียมขึ้นรูปถุงมือยางธรรมชาติด้วยกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์ (dipping process) ที่ไม่มีแป้งด้วยเทคนิคคลอรีเนชัน (chlorination) และกระบวนการคงรูปยางแบบกัมมะถัน โดยมุ่งหวังผลจากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตถุงมือยางธรรมชาติ สำหรับการใช้งานกำบังรังสีเอกซ์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีความยืดหยุ่นที่ดี และมีความปลอดภัย สำหรับการใช้งานของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีเอกซ์หรือบุคลากรทางการแพทย์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตถุงมือยางธรรมชาติสำหรับการป้องกันรังสีเอกซ์ที่ปราศจากสารตะกั่ว
2. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล และสมบัติการกำบังรังสีเอกซ์ของวัสดุเชิงประกอบจากน้ำยางธรรมชาติและ nano Bi_2O_3 สำหรับผลิตภัณฑ์ถุงมือยางธรรมชาติป้องกันรังสีเอกซ์

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิด ปริมาณและหน้าที่ของวัตถุดิบ/สารเคมี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิด ปริมาณและหน้าที่ของวัตถุดิบ/สารเคมี ที่ใช้ในงานวิจัย (Tangboriboon *et al.*, 2019)

วัตถุดิบ/เคมีภัณฑ์	ปริมาณ (phr*)	หน้าที่
60% Natural rubber latex, NRL	100 ส่วน	วัสดุหลัก
10% Potassium hydroxide, KOH	0.2	สารเพิ่มความคงตัว
10% Teric 16A16	0.02	สารเพิ่มความคงตัว
50% Sulfur, S	0.8	สารช่วยคงรูปยาง
50% Zinc diethyl dithiocarbamate, ZDEC	0.4	สารเร่งปฏิกิริยาคงรูป
50% Zinc-2-mercaptobenzthiazole, ZMBT	0.4	สารเร่งปฏิกิริยาคงรูป
50% Wingstay L, WsL	1	สารป้องกันการเสื่อมสภาพ
50% Titanium dioxide, TiO ₂	1	สารให้สี
50% Nano bismuth oxide, nano Bi ₂ O ₃	0, 50, 100, 150 และ 200	สารป้องกันรังสีเอกซ์
50% Zinc oxide, ZnO ₂	1	สารกระตุ้นปฏิกิริยา
Water, H ₂ O	170.5	สารทำละลาย

*phr: parts per hundred of rubber by weight

การเตรียมสารละลาย nano Bi₂O₃ ความเข้มข้นร้อยละ 50

การเตรียมสารเคมีตามสูตร ดังแสดงในตารางที่ 2 ด้วยเครื่องบดแบบลูกบอลล (ball mill) เวลา 48 ชั่วโมง เพื่อลดการเกาะตัวของสารตัวเติม nano Bi₂O₃ ในระหว่างการผสมสารตัวเติมน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งทำให้สารตัวเติมกระจายตัวในน้ำยางธรรมชาติได้ดียิ่งขึ้น และเป็นการช่วยลดการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยางธรรมชาติ

ตารางที่ 2 สูตรเตรียมสารละลาย nano Bi₂O₃ ความเข้มข้นร้อยละ 50

สารเคมี	น้ำหนัก (กรัม)	หน้าที่
nano Bi ₂ O ₃	50	สารป้องกันรังสีเอกซ์
วัลตามอล (vultamol)	1	สารช่วยการกระจายตัว
เบนโทไนท์ (bentonite)	1	สารป้องกันการตกตะกอน
น้ำกลั่น	48	สารทำละลาย

การเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานถึงมือยาง

ผสมน้ำยางธรรมชาติและสารเคมี ตามสูตรแสดงในตารางที่ 1 ด้วยเครื่องกวนสาร รุ่น Eurostar 60 digital บริษัท IKA โดยเติมสารเคมีแต่ละชนิดในน้ำยางธรรมชาติที่เวลาห่างกันทุก 2 นาที หลังจากนั้นทำการกวนสารประกอบน้ำยางธรรมชาติต่อเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และบรรจุใส่ภาชนะปิดตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72-96 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบน้ำยางธรรมชาติเกิดการพรีวัลคาไนซ์ ทั้งนี้สามารถทำการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางธรรมชาติด้วยวิธีการผสมกับคลอโรฟอร์ม (chloroform) ในอัตราส่วน 1:1 ให้ได้ระดับการพรีวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนการจุ่มแบบพิมพ์ (dipping process) เพื่อขึ้นรูปถุงมือยาง

นำแบบพิมพ์ทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาด ก่อนนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 40 นาที จุ่มแบบพิมพ์ในสารช่วยจับพิมพ์ยาง (coagulant) หลังจากนั้นนำแบบพิมพ์อบที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 2 นาที แล้วจึงนำมาจุ่มสารประกอบน้ำยางธรรมชาติเพื่อขึ้นรูปถุงมือยาง โดยใช้เวลาในการจุ่ม 40 วินาที อบคงรูปถุงมือยางที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 40 นาที ถอดถุงมือยางออกจากแบบพิมพ์ โดยใช้แปรงทาบริเวณโดยรอบถุงมือยางเพื่อป้องกันการติดกันของถุงมือ ต่อจากนั้นกำจัดผงแป้งที่ติดกับถุงมือยางด้วยเทคนิคคลอรีนชัน โดยการจุ่มถุงมือยางในสารละลายคลอรีนที่เตรียมจากโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และน้ำ อัตราส่วน 2:1:100 โดยปริมาตร และจุ่มถุงมือยางในสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 2% และล้างด้วยน้ำกลั่น โดยแต่ละขั้นตอนใช้เวลาในการจุ่มถุงมือยางประมาณ 1 นาที ก่อนนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 50°C เพื่ออบแห้งถุงมือยาง (Radabutra *et al.*, 2009)

การทดสอบสมบัติการกำบังรังสีเอกซ์

นำตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติและ nano Bi₂O₃ ขนาด 15x15 ตารางเซนติเมตร ความหนาเฉลี่ย 0.2 มิลลิเมตร ทดสอบสมบัติการกำบังรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่มีความต่างศักย์ 100 kV โดยใช้ลำรังสีเอกซ์ขนาดแคบ (narrow beam) ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ รุ่น GE Isovolt Titan E-320 ณ ลำนำรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข โดยมีระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์และหัววัดรังสีเท่ากับ 100 เซนติเมตร เมื่อความเข้มของรังสีเอกซ์เริ่มต้น (I_0) เคลื่อนที่ผ่านวัสดุกำบังที่มีความหนา (x) ทำให้ความเข้มของรังสีที่ผ่านวัสดุกำบังเปลี่ยนแปลงไป (I) คำนวณหาค่าร้อยละการลดทอนรังสีเอกซ์ (%x-ray attenuation) ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (μ) ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (μ_m) ค่าความหนาครึ่งค่าของวัสดุ (HVL) และค่าความหนาสิบเท่าของวัสดุ (TVL) แสดงสมการดังนี้

$$x\text{-ray attenuation (\%)} = (1 - \frac{I}{I_0}) \times 100 \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\ln(\frac{I_0}{I})}{x} \quad (2)$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

$$HVL = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (4)$$

$$TVL = \frac{\ln(10)}{\mu} \quad (5)$$

การทดสอบสมบัติเชิงกล

นำตัวอย่างถุงมือยางที่เตรียมได้ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ มอดุลัสแรงดึงที่การยืดตัว 500% (tensile modulus at 500% elongation) ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I 5kN ประเทศญี่ปุ่น ณ ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัย P-PROF คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มจร. โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบลักษณะดัมเบลล์ (dumbbell - die C) ทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้ความเร็วในการดึงที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM D412-06

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และความหนาแน่น

ตรวจสอบการกระจายตัวของ nano Bi₂O₃ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray, SEM-EDS) ของบริษัท FEI รุ่น Quanta 450 ประเทศญี่ปุ่น โดยการเคลือบทองคำลงบนพื้นผิวของตัวอย่างชิ้นงานขนาด 1x1 ตารางเซนติเมตร ด้วยเครื่องเคลือบผงทอง (sputter coater) รุ่น SC7620 ของบริษัท Polaron ประเทศอังกฤษ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และการทดสอบความหนาแน่น โดยการเตรียมตัวอย่างถ่วงมวลอย่างกำบังรังสีเอกซ์ ขนาด 2x2 ตารางเซนติเมตร ความหนาเฉลี่ย 0.2 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้นต่อตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งทศนิยมละเอียด 4 ตำแหน่ง ของบริษัท Sartorius รุ่น Practum224-1S ประเทศเยอรมัน และคำนวณหาความหนาแน่น จากสมการ (ρ) ในหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³)

$$\text{ความหนาแน่น } (\rho) = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรเฉลี่ยของตัวอย่าง}} \quad (6)$$

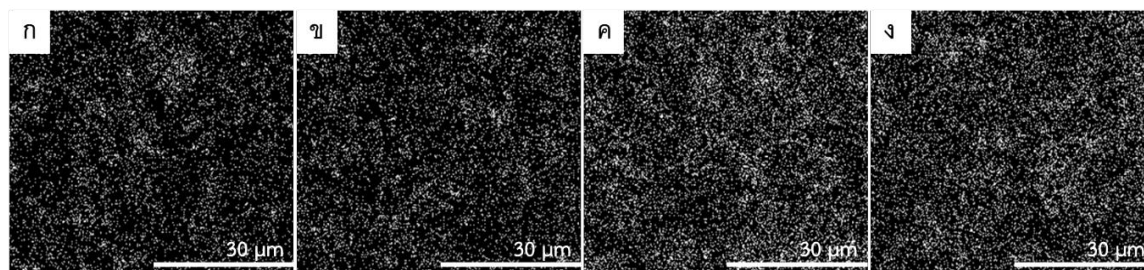
ผลและการวิจารณ์

ตารางที่ 3 ความหนาแน่น และสมบัติการกำบังรังสีเอกซ์ของวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติและ nano Bi₂O₃ ที่ปริมาณ 0, 50, 100, 150 และ 200 phr และถ่วงมวลอย่างป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้า

Nano Bi ₂ O ₃ content (phr)	ρ (g/cm ³)	μ (1/cm)	μ_m (cm ² /g)	HVL (cm)	TVL (cm)
0	0.90 ± 0.04	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.01	6.92 ± 0.14	23.00 ± 0.46
50	1.25 ± 0.06	1.40 ± 0.03	1.12 ± 0.02	0.50 ± 0.01	1.65 ± 0.03
100	1.30 ± 0.01	1.73 ± 0.03	1.32 ± 0.03	0.40 ± 0.01	1.33 ± 0.03
150	1.59 ± 0.11	3.15 ± 0.06	1.98 ± 0.04	0.22 ± 0.01	0.73 ± 0.01
200	1.89 ± 0.03	4.33 ± 0.09	2.29 ± 0.05	0.16 ± 0.01	0.53 ± 0.01
Commercial grade	1.81 ± 0.01	2.52 ± 0.05	1.39 ± 0.03	0.28 ± 0.01	0.91 ± 0.02

ผลการทดสอบการกำบังรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 100 kV และความหนาแน่น (ρ) ของวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติและ nano Bi₂O₃ ที่ปริมาณ 0, 50, 100, 150 และ 200 phr และถ่วงมวลอย่างป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้า แสดงดังตารางที่ 3 พบว่ายางธรรมชาติที่มีการเติมสาร nano Bi₂O₃ มีค่า ρ และความสามารถในการลดทอนความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านวัสดุกำบังรังสีที่ดีขึ้น โดยมีค่า μ และค่า μ_m เพิ่มขึ้น และค่า HVL/TVL ลดลงตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติม nano Bi₂O₃ ในน้ำยางธรรมชาติ ส่งผลทำให้รังสีเอกซ์สามารถเกิดอันตรกิริยากับอนุภาค Bi ได้มากขึ้น จึงทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอมของ nano Bi₂O₃ ส่งผลต่อความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เคลื่อนที่ผ่านวัสดุกำบังลดลง สอดคล้องกับการกระจายตัวของธาตุ Bi ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM-EDS แสดงดังรูปที่ 1 (ก - ง) แสดงให้เห็นว่าอะตอมของธาตุ Bi ในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ มีการกระจายตัวในน้ำยางธรรมชาติที่สม่ำเสมอ โดยการเติม nano Bi₂O₃ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความหนาแน่นต่อพื้นที่ของอะตอม Bi มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้การกำบังรังสีเอกซ์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบมอดูลัสของในงานวิจัยนี้กับมอดูลัสของกำบังรังสีเอกซ์เกรดการค้า พบว่า ค่า μ , μ_m , HVL และ TVL ของมอดูลัสในงานวิจัย ที่เติมสารตัวเติม nano Bi_2O_3 ปริมาณ 150 และ 200 phr มีค่าสมบัติการกำบังรังสีเอกซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอดูลัสของมอดูลัสป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้า



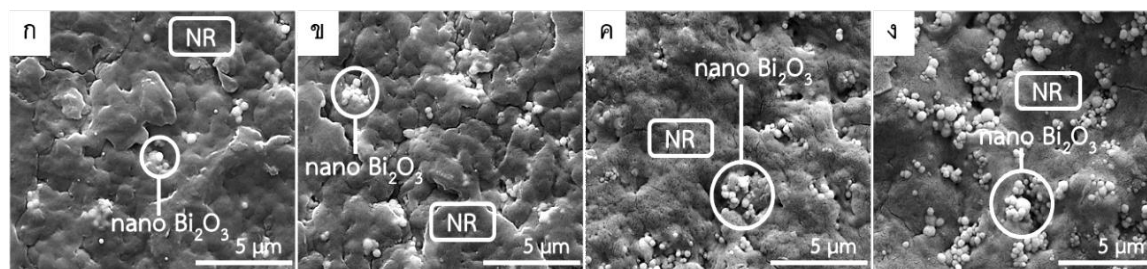
รูปที่ 1 การกระจายตัวของอะตอม Bi (ปริมาณ nano Bi_2O_3) ในวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติ (ก) 50 phr (ข) 100 phr (ค) 150 phr และ (ง) 200 phr

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติที่เติม nano Bi_2O_3 ปริมาณ 0, 50, 100, 150 และ 200 phr และมอดูลัสป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้า

Nano Bi_2O_3 content (phr)	Mechanical properties		
	Tensile modulus at elongation (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
0	0.33 ± 0.02	29.43 ± 1.55	2243 ± 49
50	0.19 ± 0.01	4.65 ± 0.95	1681 ± 122
100	0.22 ± 0.01	7.23 ± 1.49	1832 ± 167
150	0.33 ± 0.03	7.07 ± 1.87	1454 ± 210
200	0.39 ± 0.05	6.85 ± 0.75	1292 ± 135
Commercial grade	0.42 ± 0.02	9.60 ± 0.49	1674 ± 77

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติและ nano Bi_2O_3 ที่ปริมาณ 0, 50, 100, 150 และ 200 phr และมอดูลัสป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้า แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าการเติมสารตัวเติม nano Bi_2O_3 ที่ปริมาณ 50-200 phr ส่งผลทำให้ค่าการต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับมอดูลัสของธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติม (0 phr) ทั้งนี้เนื่องจาก สารตัวเติม Bi_2O_3 เกิดการเกาะกลุ่มระหว่างสารตัวเติมด้วยกันเอง (filler-filler interaction) มีช่องว่างระหว่างเฟสของยางธรรมชาติกับสารตัวเติมมาก ทำให้ชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบมีความต่อเนื่องของเฟสลดลง แสดงดังรูปที่ 2 (ก-ง) นอกจากนี้ พบว่าการเติมสารตัวเติม nano Bi_2O_3 ที่ปริมาณ 50-150 phr ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติม nano Bi_2O_3 ที่ 200 phr พบว่าค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก nano Bi_2O_3 ที่เติมในวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติมีความแข็งแรง (rigidity) ที่สูง จึงส่งผลทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงโดยรวมเพิ่มขึ้น

ในการเปรียบเทียบค่าการป้องกันรังสีและสมบัติเชิงกลของถุงมือยางจากงานวิจัยกับถุงมือยางป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้า พบว่า ถุงมือยางจากงานวิจัยที่เติมปริมาณ nano Bi_2O_3 ตั้งแต่ที่ 150 phr มีความสามารถในการกำบังรังสีเอกซ์สูงกว่าถุงมือยางเกรดการค้า ส่วนสมบัติเชิงกลโดยรวมมีค่าต่ำกว่าถุงมือยางเกรดการค้าเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 2 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติที่เติม nano Bi_2O_3 ที่ปริมาณ (ก) 50 phr (ข) 100 phr (ค) 150 phr และ (ง) 200 phr

สรุป

1. สูตรวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติผสม nano Bi_2O_3 ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ มีกระบวนการผลิตแบบจุ่ม (dipping) ที่สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถุงมือยางป้องกันรังสีเอกซ์ ที่ปราศจากการใช้สารตัวเติมชนิดตะกั่วได้
2. การเติมสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติและ nano Bi_2O_3 ที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้มีความสามารถลดทอนรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นที่สูงกว่าถุงมือยางป้องกันรังสีเอกซ์เกรดการค้า ส่วนสมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มลดลง โดยมีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าถุงมือยางเกรดการค้าเพียงเล็กน้อย

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และบริษัท ฟิวเจอร์เดคคอร์เรชั่น กรุ๊ป จำกัด ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) เลขที่ MSD61I0103 กลุ่มวิจัย P-PROF คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสถาบันวิจัยยาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- Intom S, Kalkornsurapranee E, Johns J, Kaewjaeng S, Kothan S, Hongtong W, Chaiphaksa W and Kaewkhao J. 2020. Mechanical and radiation shielding properties of flexible material based on natural rubber/ Bi_2O_3 composites. *Radiation Physics and Chemistry*. 108772
- Munro L. 2004. Basics of Radiation Protection: How to achieve ALARA: working tips and guidelines. Geneva : World Health Organization
- Nikjoo H, Uehara S and Emfietzoglou D. 2012. Interaction of Radiation with Matter. Boca Raton: Taylor & Francis
- Noor Azman NZ, Siddiqui SA and Low IM. 2013. Synthesis and characterization of epoxy composites filled with Pb, Bi or W compound for shielding of diagnostic x-rays. *Applied Physics A*. 137-144.

- Poltabtim W, Wimolmala E and Saenboonruang K. 2018. Properties of lead-free gamma-ray shielding materials from metal oxide/EPDM rubber composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 150. 1-9
- Raddabutra S, Thanawan S and Amornsakchai T. 2009. Chlorination and characterization of natural rubber and its adhesion to nitrile rubber. *European Polymer Journal*, 45. 2017-2022.
- Tangboriboon N, Takkire R, Sangwan W, Changkhamchom S and Sirivat A. 2019. Bio-CaCO₃ from raw eggshell as additive in natural rubber latex gloves films. *Rubber Chemistry and Technology*. 558-577
- Truong SY, Yencha AJ, Juarez AM, Cavanagh SJ, Bolognesi P and King GC. 2009. Threshold photoelectron spectroscopy of H₂O and D₂O over the photon energy range 12-40 eV. *Chemical Physics*. 183-193.
- Waltar AE. 2003. The medical, agricultural, and industrial applications of nuclear technology. *Pacific Northwest National Laboratory*. 22-33.
- World Health Organization. 2011. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. [Online]. Available: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42501>.