

การตรวจสอบระบบแก้ว Bi-Pb โบโรซิลิเกตสำหรับการกำบังรังสี

An Investigation Bi-Pb Borosilicate Glass for Radiation Shielding Properties

กิตติศักดิ์ ศรีวงศ์ษา^{1,2,*} ธนาธร แท้วฒนาพานิชย์¹ จิรัชยาพร ศิริมงคลชัยกุล¹ ชัญญา สุกระศรี¹ ธมลนัท บุษปฤกษ์¹

ธนโชติ ชินวัฒน์โชติ¹ และสุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์³

Kittisak Sriwongsa^{1,2,*} Thanathorn Taewattanapanit¹ Jiratchayaporn Sirimongkolchaikul¹ Chanya Sukrasorn¹

Tamonnat Bussaparoek¹ Tanachot Chinvattanachot¹ and Sunantasak Ravangvong³

¹โรงเรียนสาธิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

²หลักสูตรฟิสิกส์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

³สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

¹The demonstration school of Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

²Education Program in Physics, Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

³Division of Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: Sriwongsa_k@silpakorn.edu

Received: 25 December 2020 /Revised: 21 February 2021 /Accepted: 28 April 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าพารามิเตอร์สำหรับการใช้งานของระบบแก้วกำบังรังสีในระบบ $\text{xBi}_2\text{O}_3-(50-x)\text{PbO}-20\text{B}_2\text{O}_3-30\text{SiO}_2$ โดย $x = 2, 4, 6, 8$, and $10 \text{ mol.}\%$ ซึ่งค่าต่าง ๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ความหนาครึ่งค่า และค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย โดยใช้ Phy-X/PSD ซอฟต์แวร์ ในช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV ผลการศึกษา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วตัวอย่างนี้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Bi_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น และลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะออกเป็น 3 ช่วงพลังงาน คือ อันตรกิริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงของคอมป์ตัน และการผลิตอันตรกิริยาคู่ ซึ่งเป็นอันตรกิริยาหลักที่เกิดในช่วงพลังงานระดับต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ และพบว่า ระบบแก้ว $10\text{Bi}_2\text{O}_3-40\text{PbO}-20\text{B}_2\text{O}_3-30\text{SiO}_2$ มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และเลขอะตอมยังผลสูงสุด ในขณะที่ความหนาครึ่งค่า และระยะทางอิสระเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างนี้มีความสามารถในการกำบังรังสีได้ดีที่สุด จึงแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแก้วนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกำบังรังสีได้ดีที่สุด

คำสำคัญ : แก้ว กำบังรังสี สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล



Abstract

In this research, we studied parameters of $x\text{Bi}_2\text{O}_3-(50-x)\text{PbO}-20\text{B}_2\text{O}_3-30\text{SiO}_2$ by $x = 2, 4, 6, 8$, and 10 mol.% glass system for radiation shielding. These parameters were mass attenuation coefficient, effective atomic number, half-value layer and mean free path. All parameters were estimated by using Phy-X/PSD software at an energy ranging from 10^{-3} to 10^5 MeV. The results were presented that mass attenuation coefficient was increased with increasing Bi_2O_3 content and decreased with increased energy. These events of radiation parameter were separated into three processes including photoelectric absorption, Compton scattering and pair production at low, medium and high energy ranging, respectively. The glass sample in $10\text{Bi}_2\text{O}_3-40\text{PbO}-20\text{B}_2\text{O}_3-30\text{SiO}_2$ formula had mass attenuation coefficient and effective atomic number highest value while the half-value layer and mean free path had the lowest value. These results indicated that this sample had excellent potential and could be applied as a radiation shielding material.

Keywords: Glass, Radiation shielding, Mass attenuation coefficient

บทนำ

รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ เป็นรังสีที่นำมาใช้
ในการแพทย์ เพื่อรักษาและวินิจฉัยโรค แต่เมื่อ
ได้รับรังสีทั้งสองเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดมะเร็ง
และเสียชีวิต ก่อให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม
คอนกรีตเป็นวัสดุพื้นฐานที่นำมาใช้เพื่อกำบังรังสีทั้ง
สอง (1) แต่ปัจจุบันพบว่าแก้วถูกนำมาประยุกต์ใช้
ในศูนย์ภาพวินิจฉัยห้องเอกซเรย์และการสแกน CT
แก้วที่ผสมโลหะหนักออกไซด์ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่
นำมาใช้ในการกำบังรังสีทั้งสองในห้องภาพทางการแพทย์
นอกจากนั้นแก้วยังมีต้นทุนต่ำและมีความ
โปร่งแสงสูง ซึ่งคุณสมบัติของแก้วมีข้อดีที่
น่าสนใจในการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น ด้านวัสดุ
กำบังรังสี แก้วควรมีองค์ประกอบของธาตุที่มีเลข
อะตอมสูง เช่น ตะกั่ว (Pb) หรือ บิสมัท (Bi) เป็น

องค์ประกอบในปริมาณที่มาก หรือด้านการกำบัง
นิวตรอน แก้วที่ใช้ควรมีองค์ประกอบของเลขอะตอม
ต่ำ ๆ ในปริมาณที่มาก. (2-4) วัสดุที่เหมาะสม
สำหรับการใช้งานด้านการกำบังรังสีต้องมีคุณสมบัติ
ที่สำคัญบางประการ เช่น มีกระบวนการผลิตง่าย
น้ำหนักเบา เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และมีความ
สามารถในการกำบังรังสีที่ดี (เช่น มี
สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่สูง มีระยะทาง
เฉลี่ยที่ต่ำ และมีค่าเลขอะตอมยังผลที่สูง) จาก
งานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติของ
แก้วที่มีตะกั่วและบิสมัทเป็นองค์ประกอบหลัก และ
แสดงให้เห็นถึงสมบัติต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการ
กำบังรังสี และด้านโครงสร้างของแก้ว พบว่า แก้วที่มี
องค์ประกอบหลักเป็นตะกั่วและบิสมัทแสดง

คุณสมบัติทั้งสองด้านที่กล่าวมาก่อนหน้าที่ดีมาก (5–7)

ซอฟต์แวร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติต่อการกำบังรังสีของวัสดุ ซึ่งได้แก่ WinXCOM (8–9) ต่อมาได้ถูกพัฒนาเป็น XCOM (10) และ XMuDat (11) ซอฟต์แวร์ทั้งหมดได้รับการพัฒนาสำหรับการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุ สารประกอบ และสารผสมในช่วงพลังงานต่อเนื่อง เมื่อไม่นานมานี้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับพลังงานสำหรับเนื้อเยื่อของร่างกายที่มีน้ำหนักที่แตกต่างกัน (12) หลังจากนั้นนักวิจัยหลายคนได้ใช้ความพยายามในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอันตรกิริยาฟิสิกส์อื่น ๆ คือ เลขอะตอมยังผล (Z_{eff}) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการการเกิดอันตรกิริยาของรังสี ตัวอย่างเช่น โปรแกรม Auto- Z_{eff} ได้รับการพัฒนาขึ้นมา ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถคำนวณหา Z_{eff} ของวัสดุต่าง ๆ ที่มีพลังงานต่างกัน (13) ซอฟต์แวร์ Direct- Z_{eff} ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล, Z_{eff} และความหนาแน่นอิเล็กตรอน (N_{eff}) โดยพารามิเตอร์ทั้งหมดจะเกี่ยวข้องกับการเกิดอันตรกิริยาฟิสิกส์ระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับวัสดุ เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในวัสดุ เช่น การกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ และ โคฮีเรนต์ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก และการผลิตอันตรกิริยาข้อมูลแสดงออกมาเป็นแฮตพุต (14) ซอฟต์แวร์ XCOM (15) ได้พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญบางประการของ Z_{eff} และ N_{eff} ในปี 2019 ที่ผ่านมานี้มีกลุ่มนักวิจัยได้พัฒนาซอฟต์แวร์ XCOM

เพื่อใช้คำนวณพารามิเตอร์ EBF และ EABF สำหรับสารประกอบและของผสม (16) อย่างไรก็ตามซอฟต์แวร์ที่สามารถคำนวณพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการกำบังรังสีของวัสดุต่าง ๆ คือซอฟต์แวร์ PSD ได้รับการพัฒนาขึ้นมา ซึ่งซอฟต์แวร์นี้สามารถคำนวณค่าการกำบังรังสีและพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นทั้งหมดในช่วงพลังงานต่อเนื่องและพลังงานที่เลือกได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำสำหรับวัสดุที่แตกต่างกัน และสามารถคำนวณคุณสมบัติของวัสดุได้ทีละหลาย ๆ ชิ้น (17)

ระบบแก้ว Bi-Pb โบโรซิลิเกต ที่มีสูตรแก้ว $x\text{Bi}_2\text{O}_3-(50-x)\text{PbO}-20\text{B}_2\text{O}_3-30\text{SiO}_2$ โดย $x = 2, 4, 6, 8, \text{ and } 10 \text{ mol.}\%$ ถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่อการกำบังรังสี พารามิเตอร์พื้นฐานที่จะวิเคราะห์คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ค่าความหนาแน่นครีต และค่าระยะทางเฉลี่ย โดยพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะถูกวิเคราะห์โดยโปรแกรม Phy-X/PSD ที่ช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV

วิธีการวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีและความหนาแน่นของระบบแก้ว $x\text{Bi}_2\text{O}_3-(50-x)\text{PbO}-20\text{B}_2\text{O}_3-30\text{SiO}_2$ โดยที่ $x = 2, 4, 6, 8, \text{ and } 10 \text{ mol.}\%$ ซึ่งจะได้จากสูตรดังกล่าวเป็นการลดการใช้ตะกั่วและแสดงใน Table 1 (18)

Table 1 The chemical compositions and density of glasses system

Code	Bi ₂ O ₃	PbO	B ₂ O ₃	SiO ₂	Density (± 0.01 g/cm ³)
Ex1	2	48	20	30	4.27
Ex2	4	46	20	30	4.30
Ex3	6	44	20	30	4.33
Ex4	8	42	20	30	4.35
Ex5	10	40	20	30	4.37

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อการกำบังรังสีของระบบแก้วในการวิจัยนี้จะถูกวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Phy-X/PSD ที่ช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV

ผลการศึกษา

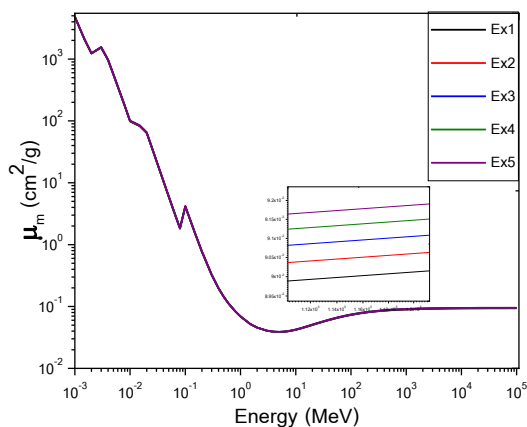


Figure 1. MAC of Exs at energy range 10^{-3} to 10^5 MeV

การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงของคอมป์ตัน และการผลิตอันตรกิริยาคู่ เกิดขึ้นจากการที่พลังงานโฟตอนจากแหล่งกำเนิดรังสีผ่านเข้าไปในแก้ว ทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างพลังงานโฟตอนกับแก้ว เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ใช้อธิบายค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลรวมกับพลังงานโฟตอนดังแสดงใน Figure 1 ระบุแสดงให้เห็นว่าที่พลังงานต่ำตั้งแต่ช่วงพลังงานที่น้อยกว่า 10^{-1} MeV อันตรกิริยาหลัก คือ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก ที่ช่วงพลังงานนี้กราฟจะไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากอยู่ในช่วงของขอบเขตของการดูดกลืนพลังงานในวงโคจรอิเล็กตรอนชั้น K ของ Pb และ Bi ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบหลักของระบบแก้วนี้ ซึ่งจะแปรผันตามความสัมพัทธ์ $E^{-3.5}$ ที่ช่วงพลังงาน 10^{-1} ถึง 10^1 MeV กราฟมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงและเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากเป็นผลจากอันตรกิริยาหลัก คือ การกระเจิงของคอมป์ตัน และช่วงพลังงานตั้งแต่ 10^1 ถึง 10^5 MeV กราฟแสดงแนวโน้มแบบคงที่ ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาหลัก คือ การผลิตอันตรกิริยาคู่ อย่างไรก็ตามที่ช่วงพลังงานตั้งแต่ 10^1 ถึง 10^5 MeV แก้วตัวอย่างที่ 5 มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่สูงกว่าแก้วตัวอย่างอื่น ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า Bi₂O₃ มีอิทธิพลต่อการกำบังรังสีของแก้ว แต่เนื่องจากในวัสดุตัวอย่างนี้ส่วนผสมของแก้วมีค่าไม่ต่างกันมากนัก จึงทำให้แสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ใกล้เคียงกันมาก

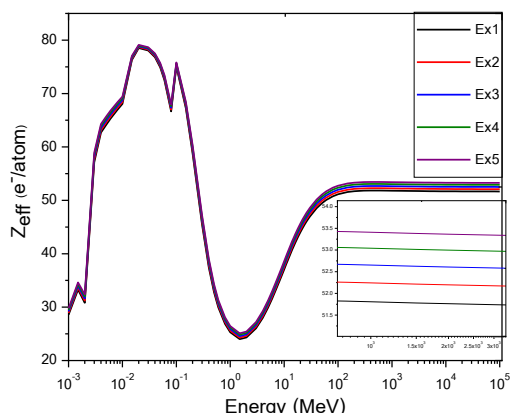


Figure 2. Z_{eff} of Exs at energy range 10^{-3} to 10^5 MeV

Figure 2 แสดงค่าเลขอะตอมยังผลของระบบ แก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV ซึ่งเลขอะตอมยังผลเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้เกี่ยวกับพฤติกรรม การป้องกันการแผ่รังสีของแก้ว ถ้าแก้วตัวอย่างใดมีค่า เลขอะตอมยังผลสูงกว่าแก้วตัวอย่างอื่น ๆ หมายความว่าแก้วตัวอย่างนั้นสามารถกำบังรังสีได้ดี กว่าแก้วตัวอย่างอื่น ๆ ค่าเลขอะตอมยังผลจะ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของระบบแก้วซึ่งแก้วตัวอย่าง ที่ 5 (Ex5) มีปริมาณ Bi_2O_3 สูงสุด นอกจากนี้นักราย ยังมียุคสูงสุดที่พลังงาน 2.00×10^{-2} MeV ผลที่เป็น เช่นนี้เพราะอยู่ในช่วงของขอบดูดกลืน K ของ Pb และ Bi ตามลำดับ ที่ช่วงพลังงานต่ำเลขอะตอมยัง ผลมีค่าสูงเพราะมีอันตรกิริยาหลัก คือ อันตรกิริยา ดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกที่พลังงานระดับกลางเลข อะตอมยังผลมีค่าต่ำสุดซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาหลัก คือ การกระเจิงของคอมป์ตัน หลังจากนั้นเลขอะตอม ยังผลจะเพิ่มค่าเกือบคงที่เพราะอันตรกิริยาหลัก คือ อันตรกิริยาการผลิทดิวต์ ผลจากการทดลองนี้ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

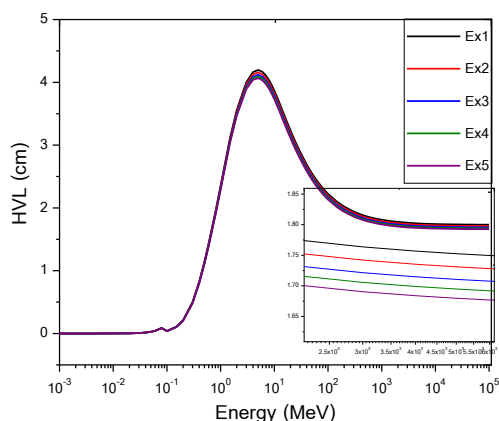


Figure 3. HVL of Exs at energy range 10^{-3} to 10^5 MeV

Figure 3 แสดงค่าความหนาครึ่งค่าของระบบ แก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV ซึ่งค่าความ หนาครึ่งค่าเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงค่าความ หนาของแก้วที่สามารถทำให้รังสีที่ส่งผ่านได้โดยค่า ความเข้มของรังสีจะลดลงครึ่งหนึ่งจากความเข้มของ รังสีจากแหล่งกำเนิดรังสี ถ้าแก้วตัวอย่างใดมีค่า ความหนาครึ่งค่าต่ำหมายความว่าแก้วตัวอย่างนั้น สามารถกำบังรังสีได้ดี ค่าความหนาครึ่งค่าจะขึ้นอยู่กับโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพลังงานรังสี เมื่อผ่านเข้าไปในวัสดุ ซึ่งองค์ประกอบของระบบแก้ว ตัวอย่างที่ 5 (Ex5) ที่มีปริมาณ Bi_2O_3 สูงสุดมีค่า ความหนาครึ่งค่าที่ต่ำ ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าแก้ว ตัวอย่างที่ 5 (Ex5) สามารถกำบังรังสีได้ดีกว่าแก้ว ตัวอย่างอื่น ๆ โดยผลที่ได้นี้สัมพันธ์กับค่า สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และเลขอะตอมยัง ผล

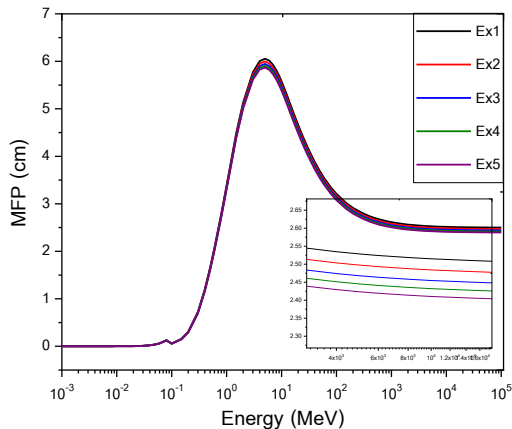


Figure 4. MFP of Exs at energy range 10^{-3} to 10^5 MeV

Figure 4 แสดงค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยของระบบแก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV ซึ่งค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงระยะทางที่รังสีแกมมาผ่านเข้าไปในเนื้อแก้วแล้วไม่เกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับแก้ว ถ้าแก้วตัวอย่างใดมีค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยต่ำหมายความว่าแก้วตัวอย่างนั้นสามารถกำบังรังสีได้ดี ค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพลังงานรังสีเมื่อผ่านเข้าไปในวัสดุ ซึ่งองค์ประกอบของระบบแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) ที่มีปริมาณ Bi_2O_3 สูงสุดมีค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยที่ต่ำ ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาเมื่อมีรังสีผ่านเข้าไปดีกว่าแก้วตัวอย่างอื่น ๆ โดยผลที่ได้นี้สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล และค่าความหนาแน่นค่า

อภิปรายผล

ค่าความหนาแน่นกับปริมาณของ Bi_2O_3 ของตัวอย่างแก้วทั้ง 5 พบว่า ความหนาแน่นของแก้วก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Bi_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Bi_2O_3 เป็นเป็นออกไซด์ของโลหะหนัก (HMO) มีความแข็งแรงของสนามที่ต่ำ มีความหนาแน่นสูง ดัชนีหักเหสูง และความสามารถในการเกิดโฟลาริซสูง (5-7)

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของตัวอย่างแก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV พบว่าลักษณะของกราฟมีแนวโน้มลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ดัง Figure 1 และสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของการเกิดอันตรกิริยาในแต่ละช่วงพลังงาน คือ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกเกิดขึ้นในช่วงพลังงานต่ำ การกระเจิงของคอมป์ตันจะเกิดที่พลังงานปานกลาง และการผลิตคู่จะเกิดที่พลังงานระดับสูง (19)

ผลการศึกษาเลขอะตอมยังผลของตัวอย่างแก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการดูดกลืนของการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก โดยพบจุดสูงสุดของค่าเลขอะตอมยังผลที่พลังงาน 2.00×10^{-2} MeV และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงจุดต่ำสุดในช่วงพลังงานประมาณ 1 MeV ซึ่งเป็นช่วงอันตรกิริยาการกระเจิงแบบ คอมป์ตัน หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับพลังงานสูงขึ้น และเริ่มคงที่ ดัง Figure 2 เกิดจากอันตรกิริยาหลัก คือ อันตรกิริยาการผลิตคู่ (19)

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นค่าและระยะทางอิสระเฉลี่ยของตัวอย่างแก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 MeV ดัง Figure 2 และ Figure 3 พบว่า ตัวอย่างแก้วที่ 5 (Ex5) มีค่าต่ำกว่าวัสดุกำบัง

รังสีตัวอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแก้วนี้มีคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีกว่าแก้วตัวอย่างอื่น ๆ (5–7)

สรุป

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้ว $x\text{Bi}_2\text{O}_3-(50-x)\text{PbO}-20\text{B}_2\text{O}_3-30\text{SiO}_2$ โดย $x = 2, 4, 6, 8$, และ $10 \text{ mol.}\%$ นั้นพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วตัวอย่างนี้มีค่าลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน 3 ช่วงพลังงาน ขึ้นกับพลังงานในแต่ละช่วงพลังงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ อันตรกิริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการผลิตคู่ ซึ่งเป็นอันตรกิริยาหลักที่จะเกิดในช่วงพลังงานที่ระดับต่ำ กลาง และสูงตามลำดับ และพบว่า ระบบแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและเลขอะตอมยังผลสูงสุด ในขณะที่ความหนาครึ่งค่า และระยะทางอิสระเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบแก้วตัวอย่างนี้มีความสามารถในการกำบังรังสีได้ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Thailand Science Research and Innovation (TSRI) ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Almohiy H, Saad M, Shaaban ER, Abou Deif YM, Reben M, Yousef E. Raman structural and gamma radiation shielding features for amorphous materials

TLBLa(Nb/Ti)Chalcogenide Letters
2020;17(8):397–403.

2. Kaewjaeng S, Kothan S, Chaiphaksa W, Chanthima N, Rajaramakrishna R, Kim H, Kaewkhao J. High transparency La_2O_3 - $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ glass for diagnosis x-rays shielding material application. Radiat. Phys Chem 2019;160:41–7.
3. Alharbi T, Mohamed HF, Saddeek YB, El-Haseib AY, Shaaban KS. Study of the TiO_2 effect on the heavy metals oxides borosilicate glasses structure using gamma-ray spectroscopy and positron annihilation technique. Radiat. Phys Chem 2019;164:108345.
4. Takai ZI, Kaundal RS, Mustafa MK, Asman S, Idris A, Shehu Y, Mohammad J, Idris MG, Said M. Gamma Ray and FTIR Studies in Zinc Doped Lead Borate Glasses for Radiation Shielding Application. Mater Res 2018;22(1):1–4.
5. Kaky KM, Sayyed M, Laariedh F, Abdalsalam AH, Tekin H, Baki S. Structural, optical and radiation shielding properties of zinc boro-tellurite alumina glasses. Appl Phys A 2019;125(1):32.
6. Sayyed M, Askin A, Ali AM, Kumar A, Rashad M, Alshehri AM, Singh M. Extensive study of newly developed highly dense transparent $\text{PbO-WO}_3\text{-BaO-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$



- glasses for radiation shielding applications. *J Non-Crystal Solids* 2019;521:119521.
7. Kaur P, Singh K, Kurudirek M, Thakur S. Study of environment friendly bismuth incorporated lithium borate glass system for structural, gamma-ray and fast neutron shielding properties. *Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectroscopy* 2019;117309.
 8. Gerward L, Guilbert N, Bjorn Jensen K, Levring H. X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM. *Radiat Phys Chem* 2001;60:23–4.
 9. Gerward L, Guilbert N, Jensen KB, Levring H. WinXCom - a program for calculating X-ray attenuation coefficients. *Radiat Phys Chem* 2004;71:653–4.
 10. Berger MJ, Hubbell JH. 1987/1999. XCOM: photon cross sections database, Web Version 1.2, available at <http://physics.nist.gov/xcom>. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA. (Originally published as NBSIR 87-3597 "XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer").
 11. Nowotny R. XMuDat: Photon attenuation data on PC. IAEA-NDS-195 International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria; 1998.
 12. Okunade A. Parameters and computer software for the evaluation of mass attenuation and mass energy absorption coefficients for body tissues and substitutes. *J Med Phys* 2007;32:124–32.
 13. Taylor ML, Smith RL, Dossing F, Franich RD. Robust calculation of effective atomic numbers: the Auto-Z(eff) software. *Med Phys* 2012;39:1769–78.
 14. Un A, Caner T. The Direct- Z(eff) software for direct calculation of mass attenuation coefficient, effective atomic number and effective electron number. *Ann Nucl Energy* 2014;65:158–65.
 15. Yalcin Z, Icelli O, Okutan M, Boncukcuoglu R, Artun O, Orak S. A different perspective to the effective atomic number (Z(eff)) for some boron compounds and trommel sieve waste (TSW) with a new computer program ZXCOM. *Nucl Instrum Methods A* 2012;686:43–7.
 16. Eyecioğlu Ö, El-Khayatt A, Karabul Y, Çağlar M, Toker O, İçelli O. BXCOM: a software for computation of radiation sensing. *Radiat Eff Defects Solids* 2019;174:506–18.
 17. Erdem Şakar, Özgür Fırat Özpolat, Bünyamin Alım, Sayyed MI, Murat Kurudirek. Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry. *Radiation Physics and Chemistry* 2020;166:1–12.



18. El-Sayed A. Waly, Mohamed A. Bourham.
Comparative study of different concrete
composition as gamma-ray shielding
materials. *Annals of Nuclear Energy* 2015;
85:306–10.

19. Abdel-Latif AM, Sayyed MI, Tekin HO,
Kassab MM. Optimizing the shielding
properties of strength-enhanced concrete
containing marble. *Papers in Physics*
2020;12,120005.