



การศึกษาเชิงทฤษฎีของผลการเติมบิสมีทออกไซด์ และตะกั่วออกไซด์ต่อคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมาของแก้วระบบลิเทียมซิลิเกต

เพชร ปริสุทธิ^{1,2,5}, ภาดา ทองย้อย¹, วสุ ชิวสุชานนท์^{3,4}, ฌภัทร สาลีผล¹, นภัสวรรณ เดชคง¹,
นิชาพร ปรากฏผล¹, ปรวรรณ คารวะวิชัย¹, วุฒิชัย ไชยภักษา^{2,5} และเฉลิมพล มุรุวงศ์^{2,5*}

¹กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ โรงเรียนอ่าทองปทุมโรจน์วิทยาคม

²สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

³หน่วยวิจัยรังสีและการสร้างภาพทางการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

⁴สำนักงานบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

⁵ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*cmtuwong@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาผลการเติมบิสมีทออกไซด์ (Bi_2O_3) และตะกั่วออกไซด์ (PbO) ต่อคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมาของแก้วระบบลิเทียมซิลิเกต ($\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$) คุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมาของแก้ว 2 ชนิดได้แก่ $x\text{Bi}_2\text{O}_3 - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ และ $x\text{PbO} - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ (เมื่อ $x = 0, 5, 10, 15, 20$ และ 25 โมลเปอร์เซ็นต์) ถูกคำนวณด้วยโปรแกรม WinXCom และ Phy-X ในงานนี้ได้รายงานพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (μ_m) เลขอะตอมยังผล (Z_{eff}) และความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (N_{eff}) ที่พลังงาน 662 keV ผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO ที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: แก้วกำบังรังสี บิสมีทออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ WinXCom Phy-X

Theoretical study of the effect of adding bismuth and lead oxides on gamma-ray shielding properties of lithium silicate glass

Petch Borisut^{1,2,5}, Phalada Thongyoy¹, Wasu Cheewasukhanont^{3,4}, Napat Saleepol¹,
Napasawan Dachkong¹, Nichaporn Prakotpol¹, Porawan kharawawichai¹,
Wuttichai Chaiphaksa^{2,5} and Chalermpon Mutuwong^{2,5*}

¹Science learning group, Ang Thong Patthamarot Witthayakhom School, Ang Thong, 14000, Thailand

²Physics program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

³Center of Radiation Research and Medical Imaging, Department of Radiologic Technology, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

⁴Office of Research Administration, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

⁵Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

*cmutuwong@webmail.npru.ac.th

Abstract

The objective of this research is to investigate the effect of adding bismuth oxide (Bi_2O_3) and lead oxide (PbO) on the gamma-ray shielding properties of lithium silicate ($\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$) glass. The gamma-ray shielding properties of two different glass compositions: $x\text{Bi}_2\text{O}_3 - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ and the $x\text{PbO} - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ (when $x = 0, 5, 10, 15, 20$, and 25 mol%) were calculated by WinXCom and Phy-X programs. In this work, the parameters including mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), and electron density (N_{eff}) were reported at an energy of 662 KeV. The results demonstrated that the μ_m , Z_{eff} , and N_{eff} exhibited an upward trend with increasing concentrations of Bi_2O_3 and PbO . In addition, both glass were assessed in comparison to the mass attenuation coefficients of standard radiation shielding materials such as concrete.

Keywords: Radiation shielding glass, Bi_2O_3 , PbO , WinXCom, Phy-X

1. บทนำ

ปัจจุบันการก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในชีวิตมนุษย์ เทคโนโลยีการใช้รังสีเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่สำคัญที่สุดทั้งในด้านสุขภาพของมนุษย์ อุตสาหกรรม การแพทย์ และการเกษตร เนื่องจากรังสีเป็นอนุภาคที่ไม่สามารถสัมผัสได้เมื่อเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นในการปฏิบัติการทางรังสีจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีเพื่อความปลอดภัยของผู้ทำงานและผู้ที่เกี่ยวข้อง เวลาที่มักใช้งานมากที่สุดในการป้องกันรังสีคือวัสดุชนิดคอนกรีต เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถปรับใช้กับการออกแบบโครงสร้างใดๆ อย่างไรก็ตาม มีข้อเสียหลายประการที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานคอนกรีต เช่น ความแปรปรวนในส่วนผสมและเนื้อหาของน้ำ ความแปรปรวนนี้เป็นเหตุให้มีความไม่แน่นอนในการคำนวณสำหรับการออกแบบการป้องกันรังสีเพื่อการกระจายและการป้องกันรังสี นอกจากนี้ คอนกรีตไม่โปร่งแสงสีที่มองเห็นและดังนั้นมันเป็นไปยากที่จะมองผ่านชนิดของการป้องกันรังสีที่ใช้คอนกรีต วัสดุชนิดอื่นที่ใช้ในการป้องกันรังสีคือแก้วซึ่งมีสารตะกั่วออกไซด์ [1] แต่ในปัจจุบัน

มีการจำกัดการใช้งานในแอปพลิเคชันการป้องกันรังสีต่าง ๆ เนื่องจากการแสดงออกของสารพิษของตะกั่วต่อเด็กและผู้ใหญ่ รวมถึงอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและการปกป้องทางเศรษฐกิจของโลก

ในหลายปีมานี้ แก้วเป็นตัวเลือกที่ใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีเนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถใส่สารออกไซด์เหล็กหนักเพื่อ ดูดซับรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมา และมีราคาต่ำกว่าการผลิตจากตะกั่วอย่างมาก

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำบังรังสีของระบบแก้ว 2 ชนิด ที่ประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ได้แก่ $x\text{Bi}_2\text{O}_3 - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ และ $x\text{PbO} - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ โดยที่ $x = 0, 5, 10, 15, 20$ และ 25 โมลเปอร์เซ็นต์ พารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล ค่าความหนาครึ่งค่า และค่าเลขอะตอมยังผล จากนั้นคำนวณค่าพารามิเตอร์เพื่อทราบผลการกำบังรังสีก่อนเข้าสู่กระบวนการเตรียมสารเคมีและหลอมแก้ว ส่งผลให้ลดต้นทุนในการผลิตและย่นระยะเวลาในการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม WinXCom และ โปรแกรม Phy-X พบว่าสูตร $25\text{Bi}_2\text{O}_3 - 20\text{Li}_2\text{O} - 55\text{SiO}_2$ เป็นสูตรแก้วมีประสิทธิภาพในการกำบังรังสีได้ดีที่สุดจากสูตรแก้วทั้งหมดที่ศึกษา

2. ทฤษฎี

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

ค่าทฤษฎีของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ที่สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม WinXCom กับโปรแกรม Phy-X สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ ดังสมการที่ 1 [2]

$$\mu_m = \sum_i w_i (\mu_m)_i \quad (1)$$

โดยที่ μ_m = ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล
 w_i = สัดส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุ
 $(\mu_m)_i$ = ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุ

ค่าการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้

$$\mu_m = \frac{\ln \left[\frac{I_0}{I} \right]}{\rho t} \quad (2)$$

โดยที่ μ_m = ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล
 I_0 = จำนวนโฟตอนทั้งหมด
 I = จำนวนโฟตอนที่ถูกลดทอน
 ρ = ค่าความหนาแน่นของแก้ว
 t = ค่าความหนาของแก้ว

2.2 ความหนาครึ่งค่า

ความหนาครึ่งค่า (Half Value Layer หรือ HVL) ของวัสดุ คือความหนาของแก้วที่สามารถลดทอนความเข้มของรังสีลงครึ่งหนึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการต่อไปนี้ [3]

$$HVL = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (3)$$

โดยที่ HVL = ค่าความหนาครึ่งค่า
 $\ln(2)$ = natural logarithm ของ 2 (ประมาณ 0.693)
 μ = ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น

สมการนี้ใช้สำหรับคำนวณหาความหนาของวัสดุที่ใช้เพื่อลดความเข้มของรังสีที่ผ่านไปครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้นที่ไม่มีวัสดุกันใดๆ โดยค่าความหนาครึ่งค่าจะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น

2.3 ค่าเลขอะตอมยังผล

โอกาสที่โฟตอนจะเกิดอันตรกิริยากับตัวกลางจะแปรผันตรงกับเลขอะตอมของธาตุเดี่ยวในตัวกลางนั้นๆ ในขณะที่ของผสมมีเลขอะตอมที่หลากหลายเนื่องจากมีธาตุหลายธาตุผสมรวมกันจึงต้องระบุเลขอะตอมด้วยค่าเลขอะตอมยังผลซึ่งหมายถึงเลขอะตอมเฉลี่ยของผสมนั้นๆ โดยคำนวณผ่านสมการ

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (4)$$

โดยที่ Z_{eff} = ค่าเลขอะตอมยังผล

$\sigma_{t,a}$ = ค่าภาคตัดขวางเชิงอะตอมเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความน่าจะเป็นที่อะตอมหรือโมเลกุลจะเกิดอันตรกิริยากับรังสีมีหน่วยเป็น cm^2

$\sigma_{t,el}$ = ค่าภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอนเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความน่าจะเป็นที่อิเล็กตรอนจะเกิดอันตรกิริยากับรังสีมีหน่วยเป็น cm^2

2.4 ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน หมายถึงจำนวนอิเล็กตรอนของอะตอมในตัวกลางที่เป็นสารประกอบหรือของผสมต่อมวล 1 กรัม โดยการคำนวณผ่านสมการ

$$N_{eff} = \frac{\mu_m}{\sigma_{t,el}} \quad (5)$$

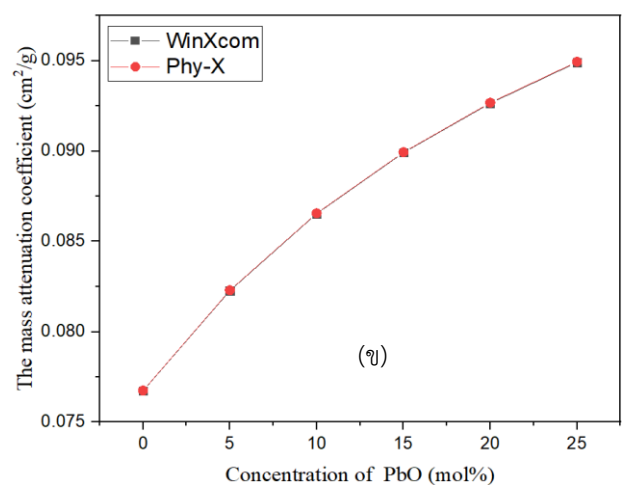
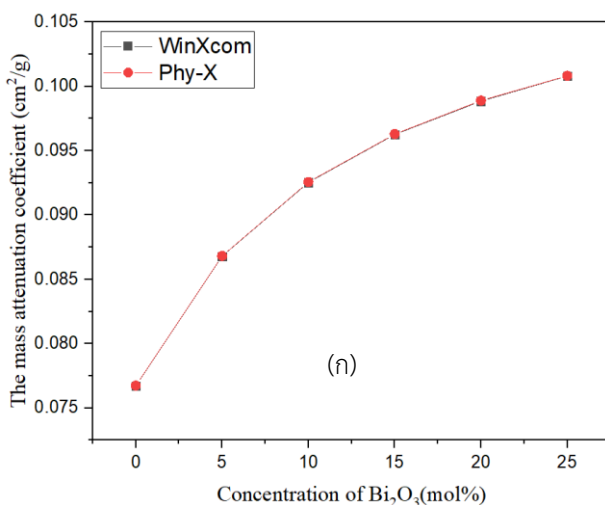
โดยที่ N_{eff} = ค่าความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอน

$\sigma_{t,el}$ = ค่าภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอนเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความน่าจะเป็นที่อิเล็กตรอนจะเกิดอันตรกิริยากับรังสีมีหน่วยเป็น cm^2

μ_m = ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลเป็นค่าที่ใช้เพื่อบอกถึงโอกาสในการลดความเข้มรังสีเมื่อผ่านวัสดุ

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล



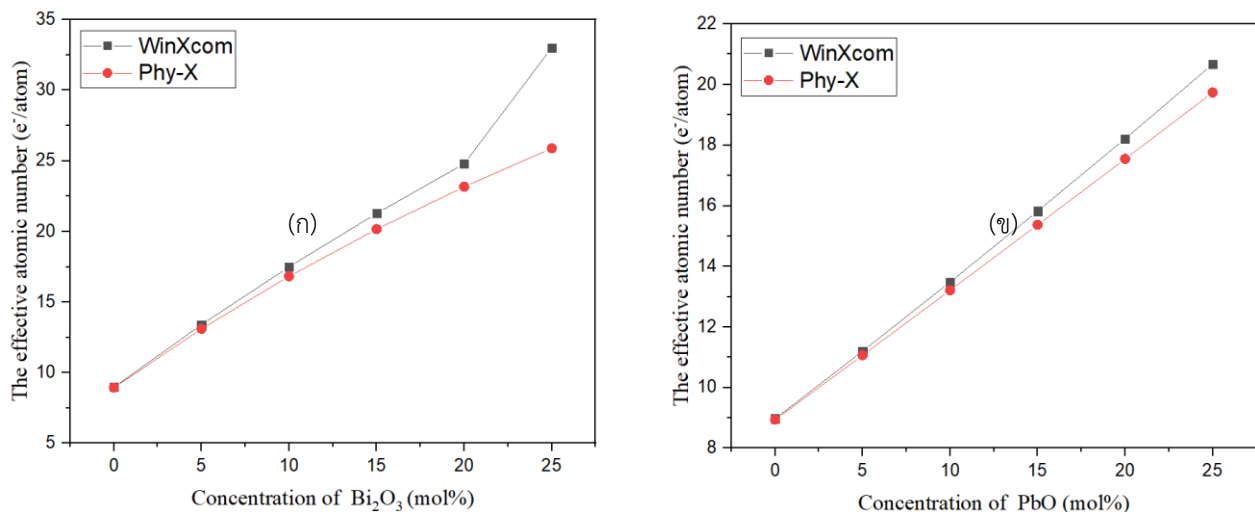
ภาพที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วตัวอย่างที่เจือด้วย Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) ที่ความเข้มข้นต่างๆ และถูกคำนวณผ่านโปรแกรม WinXCom และ Phy-X ตามลำดับ

จากภาพที่ 1 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างโปรแกรม WinXCom และ Phy-X พบว่ากราฟทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทั้งสองกราฟเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) ที่พลังงาน 662 KeV เนื่องจากขนาดอะตอมของ SiO_2 ในโครงข่ายแก้วถูกแทนที่ด้วยอะตอมของ Bi_2O_3 และ PbO ที่ขนาดใหญ่กว่า ส่งผลให้โอกาสในการเกิดอัตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้น

3.2 ค่าเลขอะตอมยังผล

จากภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขอะตอมที่มีประสิทธิภาพ (Z_{eff}) กับความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO แสดงให้เห็นว่า Z_{eff} มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณ Bi_2O_3 และ PbO ในวัสดุ การเพิ่มปริมาณ Bi_2O_3 และ PbO ทำให้ Z_{eff} สูงขึ้นเนื่องจาก Bi_2O_3 และ PbO มีเลขอะตอมสูงกว่าองค์ประกอบอื่นๆ ในวัสดุ โดยกราฟจะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ชัดเจนว่าเมื่อความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO เพิ่มขึ้น ค่า Z_{eff} ก็เพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถอธิบายได้จากการที่ Bi (บิสมาท) และ Pb (ตะกั่ว) มีเลขอะตอมสูงมาก เมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นในวัสดุ ทำให้เมื่อเพิ่ม Bi_2O_3 และ PbO เข้าไปในวัสดุ จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเลขอะตอมที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามไปด้วย กราฟจะมีแนวโน้มเชิงบวกที่ชัดเจน สะท้อนถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของ Bi_2O_3 , PbO และ Z_{eff} สรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO ในวัสดุจะส่งผลให้ค่า Z_{eff} เพิ่มขึ้นตามลำดับ



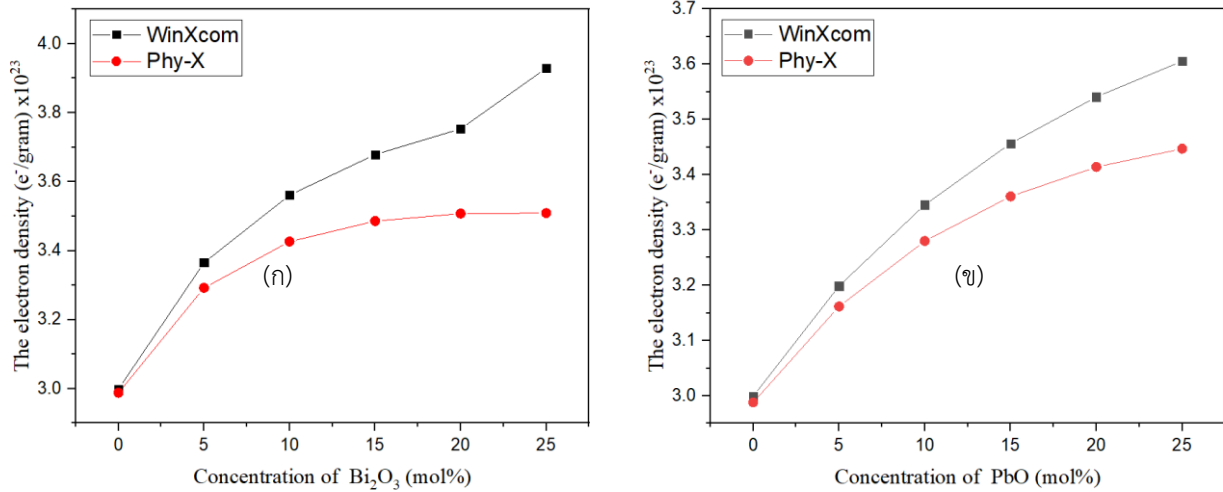
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่าเลขอะตอมยังผลกับที่เปลี่ยนแปลงตามเข้มข้นของ Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) และถูกคำนวณผ่านโปรแกรม WinXCom และ Phy-X ตามลำดับ

จากภาพที่ 2 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างโปรแกรม WinXCom และ Phy-X พบว่ากราฟทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน และพบว่า เลขอะตอมยังผลมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) ที่พลังงาน 662 keV เนื่องจากพลังงานของโฟตอนสามารถถ่ายโอนไปยังอิเล็กตรอนรอบๆ นิวเคลียสในแก้วจากงานวิจัยผ่านการอัตรกิริยาความสัมพันธ์ระหว่างเลขอะตอมยังผลที่มีผลกับความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO แสดงให้เห็นว่าในแก้วจากงานวิจัยที่มีค่าเลขอะตอมยังผลสูง โฟตอนที่เข้ามาจะถูกลดทอนอย่างมากแก้วตัวอย่างที่มีเลขอะตอมยังผลที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีความสามารถในการลดทอนรังสีจาก Cs-137 ได้ดีกว่า ทำให้ความเข้มข้นรังสีที่ผ่านแก้วตัวอย่างนั้นมีปริมาณลดลง

3.3 ค่าความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอน

จากภาพที่ 3 จะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของบิสมาทในตัวอย่างแก้ว โมเลกุลของแก้วจะมีการเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของแก้วจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Bi_2O_3 และ PbO ในแก้วตัวอย่าง ที่พลังงาน 662 keV โมเลกุลของแก้วจะมีการตอบสนองต่อโฟตอนที่เข้าสู่แก้ว โดยทำให้มีการสลักสลบระหว่างโอกาสของการเกิดอัตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนในโมเลกุลของแก้ว ซึ่งผลให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล (electron density) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Bi_2O_3

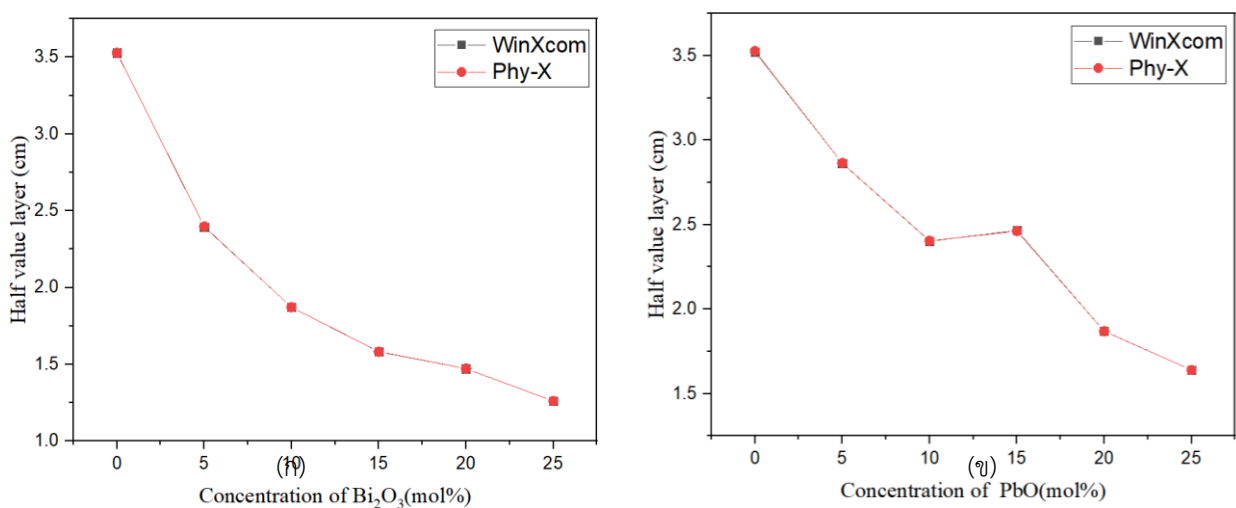
และ PbO นั้นหมายความว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของแก้วตัวอย่างมากขึ้น เมื่อมีจำนวนอิเล็กตรอนมากขึ้น การเกิดปฏิกิริยาระหว่างโฟตอนกับแก้วจะมีมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลให้มีการลดทอนมวลของรังสีอย่างมากขึ้น เนื่องจากโอกาสของการสัมผัสโฟตอนด้วยอิเล็กตรอนมีแนวโน้มที่มากขึ้น ดังนั้น การเพิ่มปริมาณของ Bi_2O_3 และ PbO จะทำให้มีค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลที่พลังงาน 662 keV ของแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่เปลี่ยนแปลงตามเข้มข้นของ Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) และถูกคำนวณผ่านโปรแกรม WinXCom และ Phy-X ตามลำดับ

จากภาพที่ 3 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างโปรแกรม WinXCom และ Phy-X พบว่ากราฟทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน และพบว่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) เพิ่มขึ้น ที่พลังงาน 662 keV และในทุกความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นในช่วงพลังงานนี้ พบว่ามีแนวโน้มเดียวกันกับสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทั้งหมดและเลขอะตอมที่มีประสิทธิผล ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าโอกาสที่โฟตอนจะเกิดอัตรกิริยากับแก้วตัวอย่างมีมากขึ้น

3.4 ค่าความหนาแน่นครึ่งค่า



ภาพที่ 4 ค่าความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่าความหนาแน่นครึ่งค่าที่เปลี่ยนแปลงตามเข้มข้นของ Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) และถูกคำนวณผ่านโปรแกรม WinXCom และ Phy-X ตามลำดับ

จากภาพที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างโปรแกรม WinXCom และ Phy-x จะพบว่า เมื่อความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ภาพ (ก) และ PbO ภาพ (ข) เพิ่มขึ้น ค่า HVL จะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงเส้นดังสมการที่ 3 และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ส่งผลให้การกำบังรังสีของแก้วในงานวิจัยมีค่าเพิ่มขึ้นตามความการเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO ซึ่งการลดลงของค่า HVL นี้ชี้ให้เห็นว่าความเข้มของรังสีสามารถถูกลดทอนลงครึ่งหนึ่งได้โดยใช้ความหนาของแก้วที่น้อยลง

4.สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำสูตรแก้วสองชนิดได้แก่ $x\text{Bi}_2\text{O}_3 - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ และ $x\text{PbO} - 20\text{Li}_2\text{O} - (80-x)\text{SiO}_2$ นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการกำบังรังสีโดยการเปรียบเทียบผลการคำนวณจากโปรแกรม WinXCom และ Phy-X ได้ข้อสรุปดังนี้

1. ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วในงานวิจัยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO ลงในแก้วทั้ง 2 ชนิดตามลำดับ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าเมื่อขึ้นตามความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO เนื่องจาก SiO_2 ในโครงข่ายแก้วถูกแทนที่ด้วยอะตอมที่ใหญ่กว่าส่งผลให้โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาเพิ่มขึ้น

2. ผลการคำนวณค่าเลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนของแก้วในงานวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO ลงในแก้วทั้ง 2 ชนิดตามลำดับ ส่งผลให้ค่าเลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มแบบเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ซึ่งช่วยเพิ่มโอกาสการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนและแก้วในงานวิจัย

3. ผลการคำนวณค่า HVL พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO ลงในแก้วทั้งสองชนิดตามลำดับส่งผลให้ค่า HVL มีค่าลดลงชี้ให้เห็นว่า สามารถใช้แก้วที่มีความหนาน้อยลงสำหรับลดทอนความเข้มของรังสีลงครึ่งหนึ่งกล่าวโดยง่ายคือการเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 และ PbO ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแก้วกำบังรังสีในงานวิจัยนี้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ μ_m , Z_{eff} และ N_{eff}

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] I.I. Bashter. (1997). Calculation of radiation attenuation coefficient for shielding concrets. *Annals Nuclear Engineering*, (24), 1389-1401.
- [2] E. Kavaz, N. Ekin, H.O. Tekin, M.I. Sayyed, B. Aygün, U. Perişanoğlu, Estimation of gamma radiation shielding qualification of newly developed glasses by using WinXCOM and MCNPX code, *Progress in Nuclear Energy* 115 (2019) 12–20
- [3] Tekin, H.O., Altunsoy, E.E., Kavaz, E., Sayyed, M.I., Agar, O., Kamislioglu, M., 2019. Photon and neutron shielding performance of boron phosphate glasses for diagnostic radiology facilities. *Results in Physics* 12, 1457–1464.
- [4] Natthakridta Chanthima. Johnny Tongdang, Suwimon Reungsri, & Jakrapong Kaewkhao. (29-30 March, 2018). Determination of Radiation Attenuation Coefficient on Lithium Barium Bismuth Phosphate Glasses at 662 keV. [Paper Presentation], NPRU National Academic Conference, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand. (In Thai)
- [5] J. Kaewkhao, W. Chewpraditkul, & P. Limsuwan. (2-3 July, 2009). Interaction of Lead Borate Glass at 662 keV Gamma Rays. [Paper Presentation], 11th nuclear science and technology academic conference, Bangkok, Thailand. (In Thai)
- [6] V.P. SINGH, N.M. BADIGER. (19 April, 2013). Study of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities of carbon steel and stainless steels. *Radioprotection* 2013, Vol. 48, pp.431-433.
- [7] Alessandra Galvão Menezes dos Santos, Roos Sophia de Freitas Dam, William Luna Salgado, & César Marques Salgado. (2021). Determination of mass attenuation coefficient in aluminum alloys using



code MCNP6. ISSSD 2021 ONLINE, Vol. 1, pp.384-394.

- [8] E Salama, Abeer Maher. (2019). Application of GATE/GEANT 4 code in investigation of gamma shielding effectiveness of glass materials. IOP Publishing, pp.1-6.
- [9] W. Cheewasukhanont, P. Limkitjaroenporn, S. Kaewjaeng, W. Chaiphaksa, W. Hongtong, & J. Kaewkhao. (2021). Development of bismuth sodium borate glasses for radiation shielding material. ScienceDirect.