

การศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วบิสมัทบอโรฟอสเฟต Mass Attenuation Coefficient Studies on Bismuth Borophosphate Glass System

ณัฐชยา โพธิ์ทองแก้ว^{1*} ณัฐกฤตา จันทิมา^{2,3} สุนิสา สาระไชย^{2,3}
จักรพงษ์ แก้วขาว^{2,3} และณรงค์ สัจวารณะที่¹

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

³ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

* natthakridta@webmail.npru.ac.th and preawprrie123@gmail.com

บทคัดย่อ

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วบิสมัทบอโรฟอสเฟตที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของฟอสเฟตออกไซด์ และ โบรอนออกไซด์ ที่ปริมาณความเข้มข้น 3.4, 6.8, 10.2, 13.6 และ 17.0 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ ตัวแปรนี้ถูกคำนวณทาง ทฤษฎีด้วยโปรแกรม WinXCom ที่พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ผลการทดลองถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟแบบ อันตรกิริยารวม เลขอะตอมยังผล ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และอันตรกิริยาลดทอน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การ ลดทอนเชิงมวลของแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสเฟตออกไซด์เพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของโบรอนออกไซด์ เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลประกอบด้วย 3 กระบวนการคือ การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิง แบบคอมป์ตัน และการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก ตามลำดับ

คำสำคัญ: แก้ว สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล อันตรกิริยาของโฟตอน

Abstract

The mass attenuation coefficients of bismuth borophosphate glass were studied which varies the concentration of phosphate oxide and boron oxide at 3.4, 6.8, 10.2, 13.6 and 17.0 mol% respectively. This parameter has been calculated by theoretical approach using WinXCom program at photon energy 662 keV. The results of present investigation are shown graphically for total photon interactions, effective atomic number, effective electron density and partial photon interactions. It was observed that the mass attenuation coefficients of glass were increased with increasing concentration of phosphate oxide and or decreased with increasing concentration of boron oxide. The variations of mass attenuation coefficient consist three process are coherent scattering, incoherent scattering and photoelectric absorption respectively.

Keywords: glass, mass attenuation coefficient, photon interaction

1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการป้องกันรังสีได้ถูกพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากผลกระทบของรังสีที่ส่งผลต่อมนุษย์และ การใช้งานรังสีในด้านต่างๆ เช่น ภาควิทยาศาสตร์ การเกษตร การแพทย์ เป็นต้น

แก้วเป็นวัสดุที่มีลักษณะโปร่งใส ต้นทุนการผลิตต่ำสามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งาน ง่าย ต่อการรักษา มีความทนต่อสภาพกรดและเบส และมีความทนต่อรังสี (J. Kaewkhao al., 2010: 38) แก้วฟอสเฟตเป็นหนึ่งใน แก้วที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่โดดเด่น (M.A. Marzouk al., 2017: 454) แต่เนื่องจาก แก้วฟอสเฟตมีความทนทานต่อสารเคมีค่อนข้างต่ำ ซึ่งมักเป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ (K. El-Egilet al., 2003: 237) จึง ได้มีการเพิ่มออกไซด์ของธาตุโลหะหนักหรือธาตุที่มีมวลมาก (S. Damodaraiah et al., 2017: 14) โดยทั่วไปวัสดุกำบังรังสี จะ มีส่วนประกอบเป็นออกไซด์ของตะกั่ว (PbO) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ จึงได้มีการนำบิสมัทออกไซด์ มาใช้แทนที่ออกไซด์ของตะกั่ว โดยที่บิสมัทออกไซด์มีคุณสมบัติที่โดดเด่น เช่น ความหนาแน่นสูง ค่าการหักเหสูง และความ เป็นพิษน้อยเมื่อเทียบกับตะกั่ว (M.G. Dong et al., 2017: 12)

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวมและอันตรกิริยาย่อยของแก้วบิสมัทบอโร ฟอสเฟตที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของฟอสเฟตออกไซด์และโบรอนออกไซด์ ที่ปริมาณความเข้มข้น 3.4, 6.8, 10.2, 13.6 และ 17.0 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ ที่พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) โดยใช้โปรแกรม WinXcom (Gerward et al., 2001: 23, Gerward et al., 2004: 653) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแบบรวม (total attenuation interaction) และสัมประสิทธิ์การลดทอนย่อย (partial attenuation interaction) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาดูแลอื่นๆ ใน ด้านสมบัติทางรังสีของวัสดุต่อไป

2. วิธีการคำนวณการวิจัย

สูตรแก้วบิสมัทบอโรฟอสเฟตที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของฟอสเฟตออกไซด์และโบรอนออกไซด์ที่ใช้ ในการคำนวณคือ $66\text{Bi}_2\text{O}_3 : (34-x)\text{B}_2\text{O}_3 : x\text{P}_2\text{O}_5$ ตัวย่อที่ใช้คือ BiBP1 และ $66\text{Bi}_2\text{O}_3 : (34-x)\text{P}_2\text{O}_5 : x\text{B}_2\text{O}_3$ ตัวย่อที่ใช้คือ BiBP2 โดยที่ x คือปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 3.4, 6.8, 10.2, 13.6 และ 17.0 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ สูตรแก้วจะถูก นำไปคำนวณหาค่าสัดส่วนโดยน้ำหนัก (fraction by weight) ของแต่ละธาตุ ซึ่งค่าสัดส่วนโดยน้ำหนักนี้จะถูกนำไปคำนวณหา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (μ/ρ) สำหรับสารเคมีใดๆ หรือสารผสมของธาตุ สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การ ลดทอนเชิงมวลได้จาก “กฎการผสม (mixture rule)” ดังสมการที่ (1) ตามสูตร (Jackson and Hawkes, 1981: 169)

$$\mu/\rho = \sum w_i(\mu/\rho)_i \quad (1)$$

เมื่อ w_i คือสัดส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุ

$(\mu/\rho)_i$ คือสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุในสารประกอบ

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทั้งแบบอันตรกิริยารวมและอันตรกิริยาย่อยของแต่ละธาตุที่นำมาใช้ในการคำนวณได้รับมาจาก โปรแกรม WinXCom ค่าภาคตัดขวางเชิงอะตอม ($\sigma_{t,a}$) และภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน ($\sigma_{t,el}$) สามารถคำนวณได้จาก สมการ

$$\sigma_{t,a} = \frac{1}{N_A} \sum f_i A_i (\mu/\rho)_i \quad (2)$$

$$\sigma_{t,el} = \frac{1}{N_A} \sum \frac{f_i A_i (\mu/\rho)_i}{Z_i} \quad (3)$$

เมื่อ	N_A	คือเลข Avogadro's number (6.02×10^{23})
	f_i	คือค่าอะตอมของแต่ละธาตุ ซึ่ง i แสดงถึงผลรวมของเลขอะตอมของธาตุ
	A_i	คือน้ำหนักอะตอมของแต่ละธาตุในสารประกอบ
	Z_i	คือเลขอะตอมของแต่ละธาตุในสารประกอบ

เลขอะตอมยังผล (Z_{eff}) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างภาคตัดขวางเชิงอะตอม ($\sigma_{t,a}$) และภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน ($\sigma_{t,el}$) ดังสมการ

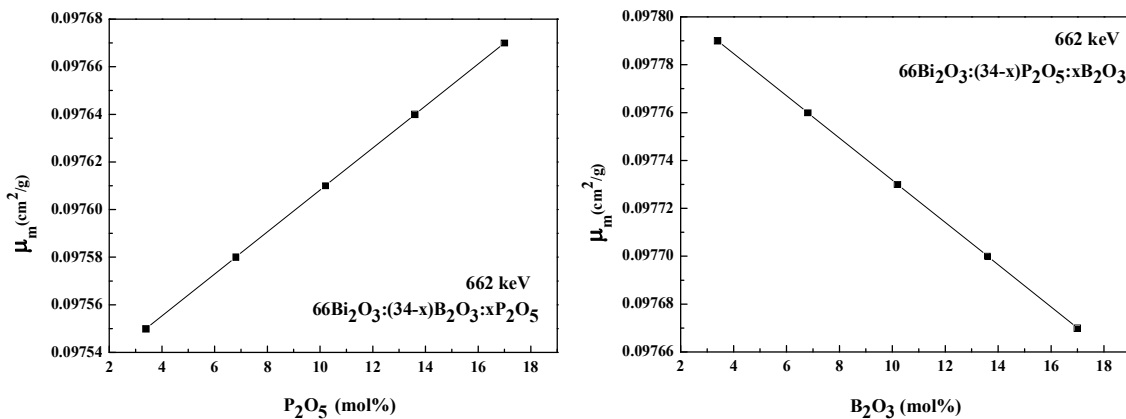
$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (4)$$

และความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอน (N_{el}) สามารถคำนวณได้จากสมการ

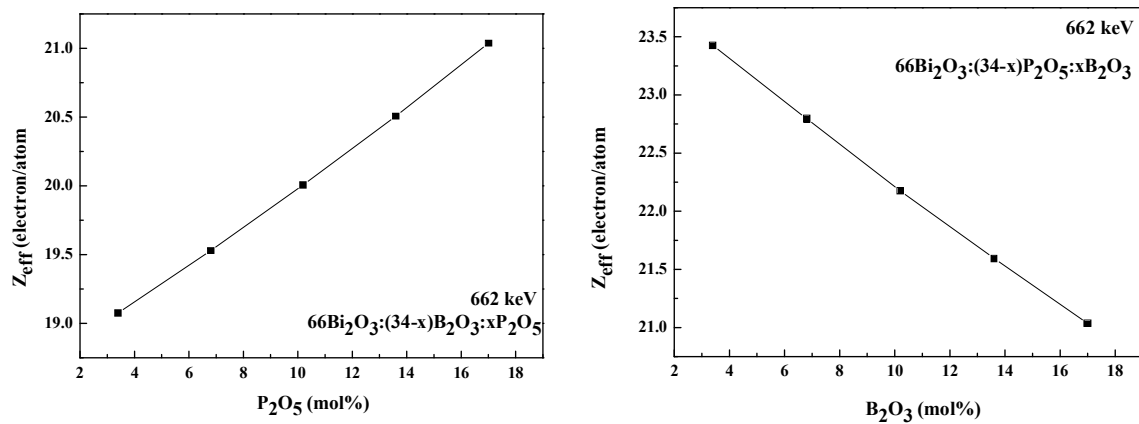
$$N_{el} = N_A \frac{Z_{eff}}{\sum f_i A_i} \quad (5)$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลแกว้บิสมัทบอโรฟอสเฟต BiBP1 และ BiBP2 ในลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นร้อยละโดยโมลและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับอันตรกิริยารวม ที่พลังงาน 662 keV แสดงได้ดังภาพที่ 1 ของแกว้ BiBP1 และ BiBP2 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแกว้ BiBP1 มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของฟอสเฟตออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแกว้ BiBP2 จะมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของโบรอนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น

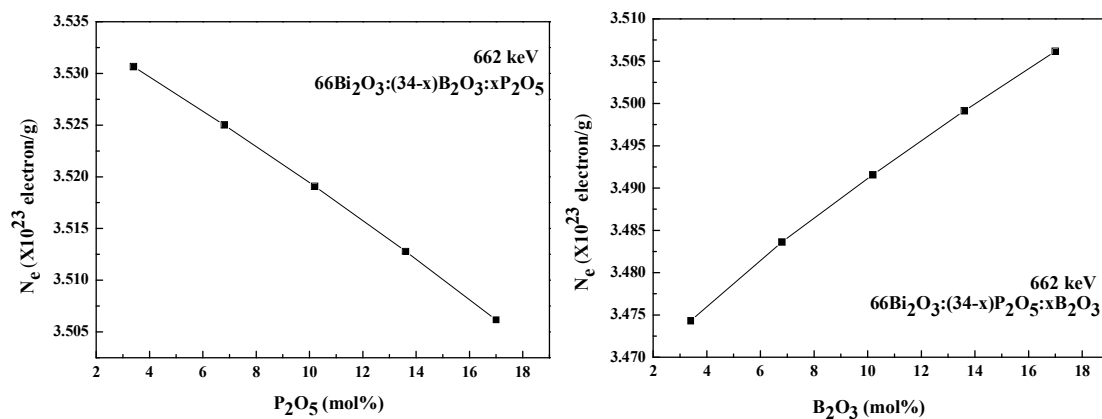


ภาพที่ 1 สัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของแกว้ BiBP1 (ซ้าย) และ BiBP2 (ขวา)



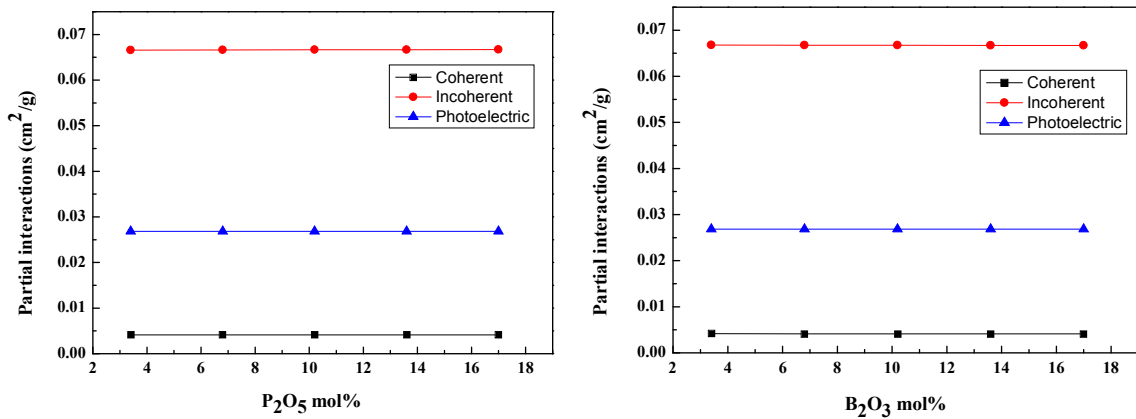
ภาพที่ 2 เลขอะตอมยังผลของแก้ว BiBP1 (ซ้าย) และ BiBP2 (ขวา)

ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของแก้ว BiBP1 และ BiBP2 ที่ได้สามารถนำไปคำนวณหาค่าเลขอะตอมยังผลได้จากสมการที่ 4 แสดงได้ดังภาพที่ 2 พบว่าค่าเลขอะตอมยังผลของแก้ว BiBP1 มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของฟอสเฟตออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าเลขอะตอมยังผลของแก้ว BiBP2 มีค่าลดลงตามความเข้มข้นของโบรอนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 ความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนของแก้ว BiBP1 (ซ้าย) และ BiBP2 (ขวา)

ความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนพบว่าแก้ว BiBP1 มีค่าความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนลดลงตามความเข้มข้นของฟอสเฟตออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่แก้ว BiBP2 จะมีค่าความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโบรอนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 4 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับอันตรกิริยาย่อยของแก้ว BiBP1 (ซ้าย) และ BiBP2 (ขวา)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่เกิดขึ้นสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้ว BiBP1 และ BiBP2 มาจากกระบวนการเกิดอันตรกิริยาย่อยที่แตกต่างกัน 3 ปราณการณ์ ได้แก่ การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงคอมป์ตัน และการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก ที่พลังงาน 662 keV ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4 สามารถสังเกตได้ว่าอันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นคือการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวม เลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอน ที่พลังงาน 662 keV ของระบบแก้วบิสมาทอโรฟอสเฟตที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของฟอสเฟตออกไซด์ (BiBP1) และโบรอนออกไซด์ (BiBP2) ทั้งสองสูตร พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวมมาจากอันตรกิริยาย่อยซึ่งประกอบด้วย 3 กระบวนการคือ การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก ตามลำดับ โดยที่แก้ว BiBP1 สามารถกำบังรังสีได้ดีกว่าแก้ว BiBP2 เนื่องจากมีค่าการศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวม เลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนที่มากกว่าหรือดีกว่า แก้ว BiBP1 จึงมีโอกาสนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกำบังรังสี

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา สำหรับความร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี และ Professor L. Gerward สำหรับโปรแกรม WinXCom

6. เอกสารการอ้างอิง

Kaewkhao, J., Pokaipisit, A. and Limsuwan, P., 2010, "Study on borate glass system containing with Bi₂O₃ and BaO for gamma-rays shielding materials: Comparison with PbO", **Journal of Nuclear Materials**, Vol. 339, pp. 38-40.

- Marzouk, M.A., ElBatal, F.H., ElBatal, K.M. and ElBatal, H.A., 2017, "Optical, structural and thermal properties of sodium metaphosphate glasses containing Bi₂O₃ with interactions of gamma rays", **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Vol. 117, pp. 454-460.
- El-Egili K., Doweidar, H., Moustafa, Y.M. and Abbas, I., 2003 "Structure and some physical properties of PbO–P₂O₅ glasses", **Physica B: Condensed Matter**, Vol. 339, pp. 237-245.
- Damodaraiah S., Reddy Prasad, V., Babu, S. and Ratnakaram, Y.C., 2017 "Structural and luminescence properties of Dy³⁺ doped bismuth phosphate glasses for greenish yellow light applications", **Optical Materials**, Vol. 67, pp. 14-24.
- Dong, M.G., Sayyed, M.I., Lakshminarayana, G., Çelikbilek Ersundu, M., Ersundud, A.E. and Nayar, M.A. Mahdi., 2017, "Investigation of gamma radiation shielding properties of lithium zinc bismuth borate glasses using XCOM program and MCNP5 code", **Journal of Non-Crystalline Solids**, Vol. 468, pp. 12-16.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B. & Levring, H. (2001). X-Ray Absorption in Matter. Reengineering XCOM. **Radiation Physics and Chemistry**, Vol. 60, 23-24.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B. & Levring, H. (2004). WinXCom-a Program for Calculating X-Ray Attenuation Coefficients. **Radiation Physics and Chemistry**, Vol. 71, 653-654.
- Jackson, D.F. & Hawkes, D.J. (1981). X-ray Attenuation Coefficients of Elements and Mixtures", **Physics Reports**. Vol. 70, 169-233.