

## การศึกษา อันตรกิริยาของโฟตอนต่อแก้วระบบ $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$ Photon Interaction Study of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$ Glass System

วสุ ชิวสุขานนท์<sup>1\*</sup> พฤฒิพล ลิมกิจเจริญภรณ์<sup>1</sup> และ จักรพงษ์ แก้วขาว<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

\*wasu.kotzen@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาคุณสมบัติการป้องกันรังสีโดยแก้ว โดยเตรียมแก้วตัวอย่างจากสูตรเปอร์เซ็นต์โมล  $x\text{Bi}_2\text{O}_3:20\text{Na}_2\text{O}:(80-x)\text{B}_2\text{O}_3$  (เมื่อ  $x = 0.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0$  และ  $30.0$  เปอร์เซ็นต์โมล) จากนั้นศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าโคเฮเรนต์ ค่าอินโคเฮเรนต์ และค่าโฟโตอิเล็กทริก โดยการคำนวณจากโปรแกรม WinXcom ผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล ค่าโคเฮเรนต์ อินโคเฮเรนต์ และค่าโฟโตอิเล็กทริก จะมีค่าลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น แต่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ค่าอินโคเฮเรนต์จะลดลง

**คำสำคัญ:** สัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล, แก้ว  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , โคเฮเรนต์, อินโคเฮเรนต์, การดูดกลืนรังสีโฟโตอิเล็กทริก

### Abstract

$\text{Bi}_2\text{O}_3$  - doped sodium borate glasses were prepared by melt quenching technique in composition  $x\text{Bi}_2\text{O}_3:20\text{Na}_2\text{O}:(80-x)\text{B}_2\text{O}_3$  (where  $x = 0.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0$  and  $30.0$  mol%). The total mass attenuation coefficient, Coherent, Incoherent and Photoelectric absorption of these prepared were studied using WinXcom program. The result of total mass attenuation coefficient, Coherent, Incoherent and Photoelectric absorption show decrease with increasing gamma energy. But incoherent value decrease with increasing concentration of  $\text{Bi}_2\text{O}_3$

**Keywords:** mass attenuation coefficient,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  glass, coherent, incoherent, photoelectric absorption

### 1. บทนำ

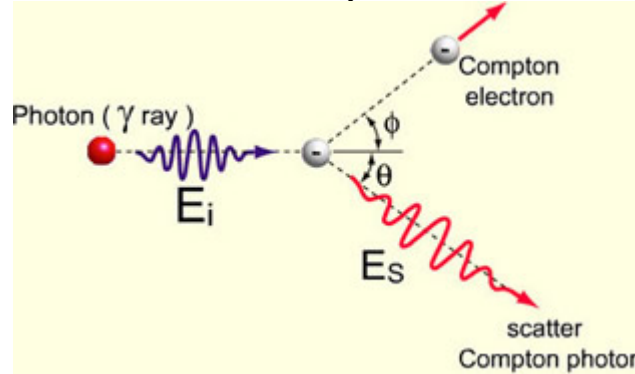
เนื่องจากมนุษย์เรานั้น มีโอกาสที่จะได้รับอันตรายจากรังสีได้ตลอดเวลา ทั้งในธรรมชาติ อุปกรณ์ และสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ เราจึงต้องมีการคิดค้นหาวัสดุอุปกรณ์ ที่สามารถป้องกันอันตรายจากรังสีได้ โดยทั่วไปแล้ว วัสดุที่นิยมใช้ในการป้องกันรังสีจะต้องมีความหนาของตัววัสดุมากๆ และมีน้ำหนักค่อนข้างเยอะ เช่น ตะกั่ว คอนกรีต แต่วัสดุเหล่านี้ก็มีข้อจำกัดบางประการ ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างครอบคลุม ซึ่งงานบางประเภทต้องใช้ป้องกันรังสีได้ มีน้ำหนักเบา และสามารถมองเห็นผ่านวัสดุป้องกันรังสีได้ และในงานวิจัยนี้จึงนำเอาวัสดุประเภทแก้ว ที่ทำจากส่วนผสมของบิสมีท ซึ่งบิสมีทนั้นมีคุณสมบัติป้องกันรังสีได้ เพราะเป็นธาตุหนัก และในแง่ดีของแก้วบิสมีทนั้น นอกจากการป้องกันรังสีแล้ว ยังมีลักษณะโปร่งแสง ซึ่งสามารถใช้ได้กับงานด้านการแพทย์ วิทยาศาสตร์ วิศวะ และอีกหลายๆด้าน ที่ต้องการคุณสมบัติของแก้วป้องกันรังสีนี้

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของแก้ว  $x\text{Bi}_2\text{O}_3-20\text{Na}_2\text{O}-(80-x)\text{B}_2\text{O}_3$  นี้ รวมถึงการเกิดอันตรกิริยาอื่นๆ เช่น Coherent Incoherent และ Photoelectric absorption โดยใช้โปรแกรมWinXcom(Gerward et al.2001) ที่สามารถคำนวณหาค่าทฤษฎีของสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของธาตุแต่ละธาตุได้ หรือแม้แต่ว่าสารประกอบและสารประกอบที่รวมกันเป็นวัสดุ โปรแกรม WinXcomก็สามารทำได้เช่นกัน

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 การกระเจิงคอมตัน (Compton scattering)

Scattered Compton photon ที่มีพลังงานสูงมุ่มที่ scatter จะแคบและมีทิศทางไปข้างหน้า (forward direction) ดังนั้นพลังงานของโฟตอนจะสูญเสียไปไม่มาก และ scattered Compton photon ที่มีพลังงานต่ำสุดจะ scatter ด้วยมุม 180 องศา หรือเรียก backscatter photon ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของ scatter Compton photon กับมุมที่เบี่ยงเบนไป มุมที่ scattered Compton photon เบี่ยงเบนจากทิศทางเดิมจะขึ้นกับพลังงานของโฟตอนที่เข้ามาทำปฏิกิริยา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_i - E_s = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos \theta)$$

โดย  $E_s$  เป็นพลังงานของโฟตอนที่ scatter ไป  $E_i$  เป็นพลังงานของโฟตอนที่เริ่มต้น  $\theta$  เป็นมุมที่โฟตอนเบี่ยงเบนไปและ  $h$  คือค่า Planck's constant

### 2.2 การกระเจิงแบบโคเฮเรนต์ (Coherent scattering)

การกระเจิงแบบโคเฮเรนต์ (coherent scattering) เป็นขบวนการที่รังสีโฟตอนพุ่งเข้าชนอะตอมแล้วเกิดการสูญเสียพลังงานน้อยมาก จนอาจไม่นำมาคิดก็ได้ ทิศทางของรังสีโฟตอนเกือบจะไม่เปลี่ยน ส่วนมากเป็นการพุ่งเข้าชนอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอกของอะตอมซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวกับอะตอมเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ขบวนการกระเจิงแบบโคเฮเรนต์ จะเกิดขึ้นเมื่อรังสีโฟตอนพลังงานต่ำพุ่งเข้าชนตัวกลางที่มีค่าเลขอะตอมสูง ([archive.lib.cmu.ac.th/full/T//2550](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T//2550))

### 2.3 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)

ปฏิกิริยา Photoelectric Effect (PE) เกิดจากโฟตอนทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจรวงใน และถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้อิเล็กตรอนในวงโคจรจนหมด ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรและเรียกอิเล็กตรอนนี้ว่า photoelectron (คล้ายกับการเกิด internal conversion) การเกิดปฏิกิริยา PE มักจะเกิดในสสารที่มีเลขอะตอม (Z) สูง นอกจากนี้ปฏิกิริยา PE มักจะเกิดกับโฟตอนที่มีพลังงานต่ำ < 100 keV ([archive.lib.cmu.ac.th/full/T//2550](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T//2550))

### 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล

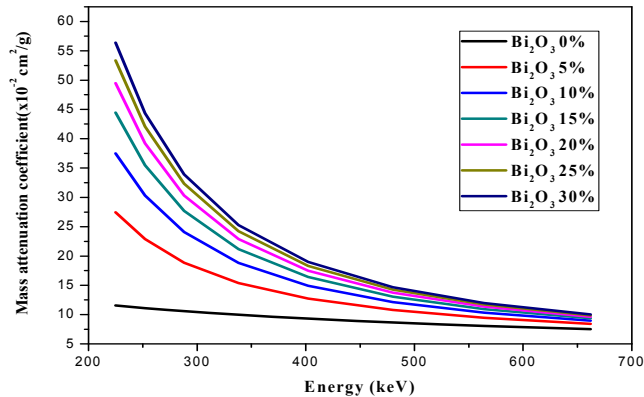
ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ (Limkitjaroenporn et al. 2011)

$$\mu_m = \ln \frac{I_0}{I} \frac{1}{\rho t}$$

### 3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของแก้ว $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ที่คำนวณจากโปรแกรม WinXcom

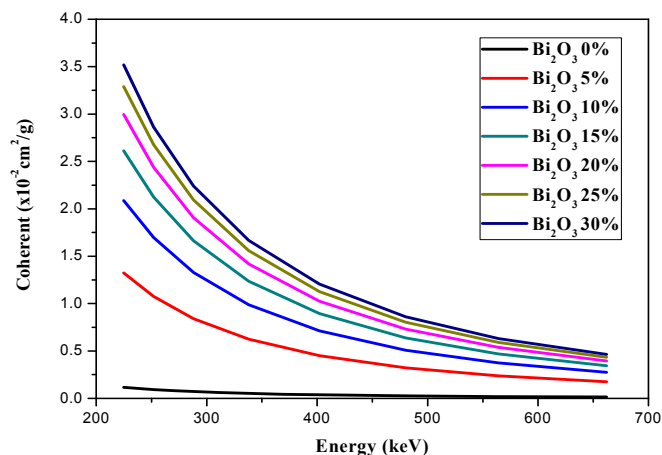
จากรูปภาพที่ 2 จะพบว่าที่ความเข้มข้นของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ที่ 0% ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลลดลง เมื่อเทียบกับพลังงานที่เพิ่มขึ้น และที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% 20% 25% 30% ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลสูงขึ้นตามลำดับ ณ ที่พลังงานเท่ากัน และมีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปภาพที่ 2



รูปภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลกับค่าพลังของคอมตัน

#### 3.2 ค่าโคเฮอเรนซ์ของแก้ว $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ที่คำนวณจากโปรแกรม WinXcom

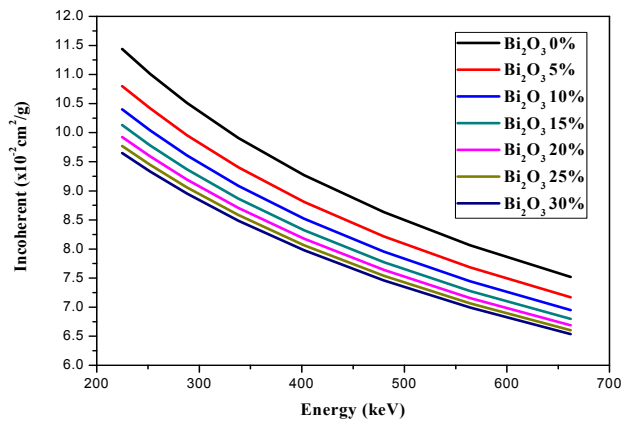
จากรูปภาพที่ 3 จะพบว่า ที่ความเข้มข้นของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ที่ 0% ค่าโคเฮอเรนซ์ของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ลดต่ำลง เมื่อเทียบกับพลังงานที่เพิ่มขึ้น และที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% 20% 25% 30% ค่าโคเฮอเรนซ์ของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  สูงขึ้นตามลำดับ ณ ที่พลังงานเท่ากัน และมีแนวโน้มของค่าโคเฮอเรนซ์ของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปภาพที่ 3



รูปภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง ค่าโคเฮอเรนซ์กับค่าพลังของคอมตัน

#### 3.3 ค่าอินโคเฮอเรนซ์ของแก้ว $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ที่คำนวณจากโปรแกรม WinXcom

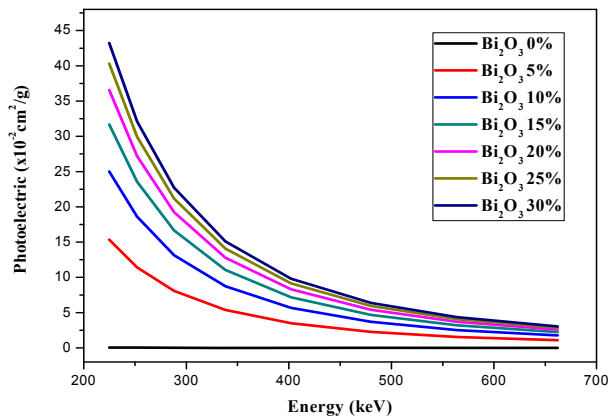
จากรูปภาพที่ 4 จะพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ที่ 0% ค่าอินโคเฮอเรนซ์ของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  เพิ่มสูงขึ้นที่ระดับพลังงานเท่ากัน และจะค่อยๆ ลดลงตามความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้แก้ว  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  มีค่าอินโคเฮอเรนซ์ลดลง เมื่อเทียบกับพลังงานที่เพิ่มขึ้น และที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% 20% 25% 30% ค่าอินโคเฮอเรนซ์ของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ต่ำลงตามลำดับ ณ ที่พลังงานเท่ากัน และมีแนวโน้มของค่าอินโคเฮอเรนซ์ของ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปภาพที่ 4



รูปภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง ค่าอินโคเฮเรนท์กับค่าพลังของคอมตัน

### 3.4 ค่าการดูดซับรังสีโฟโตอิเล็กทริกของแก้ว Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่คำนวณจากโปรแกรม WinXcom

จากรูปภาพที่ 5 จะพบว่า ที่ความเข้มข้นของ Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ 0% ค่าการดูดซับรังสีโฟโตอิเล็กทริกของ Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ลดต่ำลง เมื่อเทียบกับพลังงานที่เพิ่มขึ้น และที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% 20% 25% 30% ค่าการดูดซับรังสีโฟโตอิเล็กทริกของ Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> สูงขึ้นตามลำดับ ณ ที่พลังงานเท่ากัน และมีแนวโน้มของค่าการดูดซับรังสีโฟโตอิเล็กทริกของ Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปภาพที่ 5



รูปภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง ค่าการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกกับค่าพลังของคอมตัน

## 4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษางานวิจัยนี้ ได้ศึกษา อันตรกิริยาของโฟตอนต่อแก้วระบบ Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> โดยคำนวณจากโปรแกรม WinXcom สรุปผลการวิจัยได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล ค่าโคเฮเรนท์อินโคเฮเรนท์ และค่าโฟโตอิเล็กทริก จะมีค่าลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น แต่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ค่าอินโคเฮเรนท์จะลดลง

## 5. เอกสารอ้างอิง

- นายกิตติพงษ์ เสียงเสนาะ. (พ.ศ.2554).การศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของธาตุบริสุทธิ์. ปรินญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นายวุฒิชัย ไชยภักษา.(พ.ศ.2554).การศึกษาโครงสร้างและสมบัติแม่เหล็กของแก้วบอโรซิลิเกตที่เติม  $Fe_2O_3$  ในปริมาณสูง. ปรินญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- P.Limkitjaroenporn ,J.Kaewkhao,S.Asavavisitchai. Determination of mass attenuation coefficients and effective atomic numbers for Inconal 738 alloy for different energies obtained from Compton scattering .journal , 2013 (53) , 64-68
- CherdsakBootjomchaia, JintanaLaopaiboona, ChadetYenchaib, RaewatLaopaiboon.Gamma-ray shielding and structural properties of barium–bismuth–borosilicate glasses .Volume 81, Issue 7, July 2012, Pages 785–790
- AlySaeeda, R.M. El shazlya,Y.H. Elbashara, A.M. Abou El-azma, M.M. El-Okra .Gamma ray attenuation in a developed borate glassy system .Volume 102, September 2014, Pages 167–170
- P. Yasakaa, N. Pattanaboonmeeaa, H.J. Kimb, P. Limkitjaroenpornc, J. Kaewkhao .Gamma radiation shielding and optical properties measurements of zinc bismuth borate glasses .Volume 68, June 2014, Pages 4–9