

การศึกษาสมบัติการกำบังรังสีของแก้วโซเดียมแคลเซียมซิลิเกตที่เติมด้วยบิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) โดยเปรียบเทียบกับโปรแกรม WinXCom

ภลดา ทองย้อย¹, เพชร บริสุทธิ์^{1,2}, สรวินธุ์ โครพ¹, ศิริประภา ชูเชิด¹,
ชนัญชิตา ทรัพย์สุริต¹, อธิภัทร์ อักษรกริช¹, ประวรรณ คารวะวิชัย¹,
วสุ ชิวสุขานนท์^{3,4}, วุฒิชัย ไชยภักษา^{2,5} และเฉลิมพล มุฑวงค์^{2,5*}

¹กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ โรงเรียนอ่างทองปทุมโรจนวิทยา

²สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

³หน่วยวิจัยรังสีและการสร้างภาพทางการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

⁴สำนักงานบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

⁵ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*cmutu Wong@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้คือการศึกษาคุณสมบัติการกำบังรังสีของแก้วโซเดียมแคลเซียมซิลิเกตที่เติมด้วยบิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) แก้วสูตร $x\text{Bi}_2\text{O}_3 : (20-x)\text{SnO}_2 : 20\text{Na}_2\text{O} : 10\text{CaO} : 50\text{SiO}_2$ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (เมื่อ $x = 0, 5, 10, 15$ และ 20 เปอร์เซ็นต์โมล) ถูกเตรียมด้วยการหลอมเหลวทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (melt quenching technique) คุณสมบัติการกำบังรังสี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล (μ_m) ค่าความหนาครึ่งค่า (HVL) ค่าเลขอะตอมยังผล (Z_{eff}) และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล (N_{eff}) ที่มีพลังงาน 662 keV ถูกคำนวณโดยการวิธีการทดลองและวิธีทางทฤษฎี กัมมันตภาพรังสีซีเซียม-137 (Cs-137) เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลองนี้ ผลที่ได้จากค่าทางการทดลองนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีของค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลที่ถูกคำนวณจากโปรแกรม WinXCom ผลงานวิจัยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสมัทที่เพิ่มขึ้น และพบว่า ค่าความหนาครึ่งค่า (HVL) มีค่าลดลงตามความเข้มข้นของบิสมัทเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: แก้วโซเดียมแคลเซียมซิลิเกต แก้วกำบังรังสี บิสมัทออกไซด์

Study of radiation shielding properties of calcium-silicate glass adding with Bi_2O_3 by comparing with WinXCom program

Phalada Thongyoy¹, Petch Borisut^{1,2}, Sorawit korop¹, Siraparpa Choocherd¹,
Chananchida Sapsurit¹, Teerapat Auksonkirt¹, Porawan kharawawichai¹,
Wasu Cheewasukhanont^{3,4}, 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

This research aims to study the radiation shielding properties of sodium-calcium silicate glass added with bismuth oxide (Bi_2O_3). Glass formulas with $x\text{Bi}_2\text{O}_3$: $(20-x)\text{SnO}_2$: $20\text{Na}_2\text{O}$: 10CaO : 50SiO_2 at different concentrations (when $x = 0, 5, 10, 15$ and 20 mol percent) were prepared by melt quenching technique. Radiation shielding properties including mass attenuation coefficient (μ_m), half-value layer (HVL), effective atomic number (Z_{eff}), and effective electron density (N_{eff}) with an energy of 662 keV were calculated by experimental and theoretical methods. The Cesium-137 (Cs-137) was the radioactive source used in the experiment. The experimental results were compared with the theoretical values of the μ_m , HVL, Z_{eff} , and N_{eff} calculated from the WinXCom program. The research results found that μ_m , Z_{eff} , and N_{eff} increased with increasing bismuth concentration, and it was found that the HVL decreased with increasing bismuth concentration.

Keywords: Sodium calcium silicate glass, radiation shielding glass, Bi_2O_3

1. บทนำ

ความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องในเทคโนโลยีการป้องกันรังสีได้นำไปสู่การใช้รังสีแกมมาอย่างกว้างขวางในหลายภาคอุตสาหกรรม รวมถึงการเกษตร วิศวกรรม และการรักษาทางการแพทย์ การสัมผัสรังสีแกมมาเป็นเวลานานนั้นเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากมีความสามารถในการเจาะทะลุสูงและเป็นรังสีไอออไนซ์ เพื่อจัดการกับปัญหาเหล่านี้จึงมีความจำเป็นอย่างต่อเนื่องในการมีอุปกรณ์ป้องกันรังสีเพื่อปกป้องคนงานและผู้ที่เกี่ยวข้องจากผลกระทบที่เป็นอันตรายของการฉายรังสีแกมมา ตลอดหลายทศวรรษที่ผ่านมา คอนกรีตถูกใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสี เนื่องจากมีความหนาแน่นที่ยอมรับได้ และมีความแข็งแรงเชิงโครงสร้างสำหรับการลดทอนรังสีแกมมา แต่มีคุณสมบัติที่เป็นข้อเสียหลายประการ เช่น การเกิดรอยแตก ความแปรปรวนในปริมาณน้ำ และการไม่โปร่งแสงต่อแสงที่ตามองเห็น นอกจากนี้ ยังเป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุที่มี

ส่วนประกอบของตะกั่วเป็นวัสดุที่พบมากที่สุดในปัจจุบันที่ใช้ในการปกป้องคนงานจากรังสีที่เป็นอันตราย อย่างไรก็ตาม ความ เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมของตะกั่ว (Pb) และธรรมชาติที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์เป็นเรื่องที่น่างวลอย่างมาก [1, 2]

ปัจจุบัน แก้วได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุที่มีแนวโน้มในการใช้แทนคอนกรีตในฐานะวัสดุป้องกันรังสีแกมมาอย่างมี ประสิทธิภาพ เนื่องจากมีความโปร่งแสงต่อแสงที่ตามองเห็นและมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางแสงที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่ง สามารถปรับปรุงได้โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบและเทคนิคการเตรียม นอกจากนี้ แก้วที่มีโลหะหนัก เช่น บิสมัท ออกไซด์ (Bi_2O_3) ที่เติมในตัวสร้างแก้วเป็นออกไซด์ของโลหะหนักซึ่งมีความหนาแน่นสูง ดัชนีหักเหสูง ไม่มีพิษ มีความโปร่งใส ในช่วงอินฟราเรดยาว มีความไวทางแสงสูง มีความสามารถในการทำให้เกิดโพลาริเซชันสูง มีความทนทานทางเคมีที่ดีขึ้น มีความทนทานต่อรังสีสูงเนื่องจากมีเลขเชิงอะตอมสูงและมีความหนาแน่นสูง [3, 4, 5] นอกจากนี้ Bi_2O_3 เป็นออกไซด์ที่มี เจื่อนโซที่ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวสร้างเครือข่ายและตัวปรับเปลี่ยนเครือข่าย แก้วที่มี Bi_2O_3 จะแสดงการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ ต่อเนื่องเมื่อไอออน Bi^{3+} เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในบทบาทเชิงโครงสร้าง โดยทำหน้าที่เป็นตัวปรับเปลี่ยน (BiO_6) หรือเป็นตัวสร้างเครือข่าย (BiO_3) [6]

นอกจากนี้การใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปแบบแก้วบริสุทธิ์ (SiO_2) ไม่ดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ต ตามปกติของแก้วทั่วไป มันไม่มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบในระยะยาวและมีการเชื่อมโยงข้ามในโครงสร้างอะตอมสามมิติสูง ซึ่งทำให้มีสัมประสิทธิ์การ ขยายตัวทางความร้อนต่ำและเหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อมสูง [7] นอกจากนี้ ยังมีการเพิ่มธาตุอัลคาไลน์และอัล คาไลน์เอิร์ธเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพทางกลและทางเคมี [11] ในงานนี้ ธาตุอัลคาไลน์เอิร์ธ Na_2O และ CaO ได้ถูกเลือกเพื่อ เติมนลงในตัวอย่างแก้ว

ในส่วนของดีบุกออกไซด์ (SnO_2) มีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ทั้งทางแสง ทางไฟฟ้า และทางไม่เป็นเชิงเส้น จึงได้รับความสนใจใน การนำมาเป็นส่วนประกอบทางเคมีของแก้วตัวอย่างและถูกนำไปใช้ในในงานแก้วกำบังรังสีอย่างกว้างขวางเพราะมีส่วนช่วยเพิ่ม ความหนาแน่นและดูดซับรังสีได้ดี [12, 13]

ในการศึกษานี้ได้ตรวจสอบผลกระทบของการเติม Bi_2O_3 ต่อระบบแก้ว $\text{SnO}_2 : \text{Na}_2\text{O} : \text{CaO} : \text{SiO}_2$ โดยมีความ เข้มข้นของ Bi_2O_3 ที่ต่างกัน ซึ่งถูกผลิตขึ้นโดยกระบวนการ melt-quenching ซึ่งสมบัติในการป้องกันรังสีของตัวอย่างแก้ว รวมถึงสัมประสิทธิ์การลดทอนมวล ตัวเลขอะตอมที่มีผล (Effective Atomic Number) ความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่มีผล (Effective Electron Density) และ HVL (Half Value Layer) ได้ถูกวัดโดยใช้แหล่งกัมมันตรังสี Cs-137 สำหรับการทดลอง นี้ และได้ทำการเปรียบเทียบกับแนวทางทฤษฎีโดยโปรแกรม WinXCom [8] นอกจากนี้ ยังมีการเปรียบเทียบ HVL กับ คอนกรีตมาตรฐานและหน้าต่างแก้วที่พบใน 662 keV นอกจากนี้ สมบัติทางกายภาพได้ถูกศึกษาและพิจารณาในรูปของความ หนาแน่นและปริมาตรเชิงโมล

2. ทฤษฎี

ในการศึกษาปัจจุบันนี้ ผู้วิจัยได้คำนวณพารามิเตอร์การป้องกันรังสีแกมมา เพื่อประเมินประสิทธิผลในการป้องกัน รังสี กรอบทฤษฎีที่ใช้ในงานปัจจุบันถูกสรุปไว้ดังนี้

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแบบเชิงเส้น (linear attenuation coefficient) และการลดทอนมวล (mass attenuation coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแบบเชิงเส้น (linear attenuation coefficient) และการลดทอนมวล (mass attenuation coefficient) คือสองพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งบอกถึงความสามารถในการลดทอนของวัสดุต่อรังสี โดยทั่วไปมัก ใช้เพื่ออธิบายการทำงานของวัสดุเมื่อมีการสัมผัสกับรังสีแกมมา

Linear Attenuation Coefficient (μ): เป็นการวัดความสามารถในการลดทอนของวัสดุต่อหนึ่งหน่วยความยาว ของเส้นทางที่รังสีเดินทางผ่าน สามารถได้รับโดยการจัดเรียงสมการ (1) ดังนี้ [7]

$$\mu = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแบบเชิงเส้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแก้ว การระบุค่าสัมประสิทธิ์การ ลดทอนเชิงมวล (μ_m) มักจะสะดวกมากกว่า โดย μ_m สามารถหาได้โดยการหาร μ ด้วย ρ ของวัสดุซึ่งถูกแสดงในหน่วย g/cm^2 ค่าของสัมประสิทธิ์การลดทอนแบบมวลสามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้:

$$\mu_m = \frac{1}{\rho t} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (2)$$

ρt คือความหนาของมวลที่กำหนดให้เป็นมวลต่อหน่วยพื้นที่ ในกรณีที่มีองค์ประกอบผสม ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของวัสดุจะถูกประเมินโดยใช้กฎส่วนผสม

$$\mu_m = \sum_i W_i (\mu_m)_i \quad (3)$$

โดยที่ W_i และ $(\mu_m)_i$ คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุและค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุ ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแบบเชิงเส้นกับค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล [9]

$$\mu = \rho \mu_m \quad (4)$$

2.2 ค่าความหนาครึ่งค่า (Half Value Layer, HVL)

Half Value Layer (HVL) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วสำหรับการตรวจหาวัสดุกันรังสีที่ต้องการ และตัวแปรเหล่านี้จะลดระดับความเข้มของรังสีลงด้วยอัตราส่วนหนึ่งในสอง [6] ดังสมการ

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (5)$$

2.3 ค่าภาคตัดขวางเชิงอะตอม (Total atomic cross-section)

$$\sigma_{t,a} = \frac{\mu_m}{N_A \sum_i \left(\frac{W_i}{A_i}\right)} \quad (6)$$

โดยที่ $\sigma_{t,a}$ คือ ค่าภาคตัดขวางเชิงอะตอม, μ_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล, N_A คือ เลขอวกาโตร W_i คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุ และ A_i คือ เลขมวลของแต่ละธาตุ

2.4 ค่าภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน (Total electronic cross-section)

$$\sigma_{t,el} = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (7)$$

โดยที่ $\sigma_{t,el}$ คือ ค่าภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน, N_A คือ เลขอวกาโตร, f_i คือ สัดส่วนจำนวนอะตอม, A_i คือ เลขมวลของแต่ละธาตุ, Z_i คือ เลขอะตอมของแต่ละธาตุ และ $(\mu_m)_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุ

2.5 เลขอะตอมยังผล (Effective atomic number)

โอกาสที่โฟตอนจะเกิดอันตรกิริยากับตัวกลางจะแปรผันตรงกับเลขอะตอมของธาตุเดี่ยวในตัวกลางนั้นๆ ในขณะที่ของผสมมีเลขอะตอมที่หลากหลายเนื่องจากมีธาตุหลายธาตุผสมรวมกันจึงต้องระบุเลขอะตอมด้วยค่าเลขอะตอมยังผลซึ่งหมายถึงเลขอะตอมเฉลี่ยของผสมนั้นๆ

โปรแกรม WinXCom ใช้สำหรับการคำนวณ Effective atomic number (Z_{eff}) จำเป็นต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนมวล (mass attenuation coefficient) (cm^2/g) อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนของพลังงานที่เป็นของอนุภาคอะตอมทั้งหมดและอนุภาคอิเล็กตรอนทั้งหมดเรียกว่า Effective atomic number (Z_{eff}) [6]:

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (8)$$

โดยที่ Z_{eff} คือ ค่าเลขอะตอมยังผล, $\sigma_{t,a}$ คือ ค่าภาคตัดขวางเชิงอะตอม และ $\sigma_{t,el}$ คือ ค่าภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน

2.6 ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (Effective electron density)

ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน หมายถึง จำนวนอิเล็กตรอนของอะตอมในตัวกลางที่เป็นสารประกอบหรือของผสมต่อมวล 1 กรัม โดยการคำนวณผ่านสมการ

$$N_{eff} = \frac{\mu_m}{\sigma_{t,el}} \quad (9)$$

โดยที่ N_{eff} คือ ค่าความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอน, μ_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล และ $\sigma_{t,el}$ คือ ค่าภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน

2.8 WinXCom

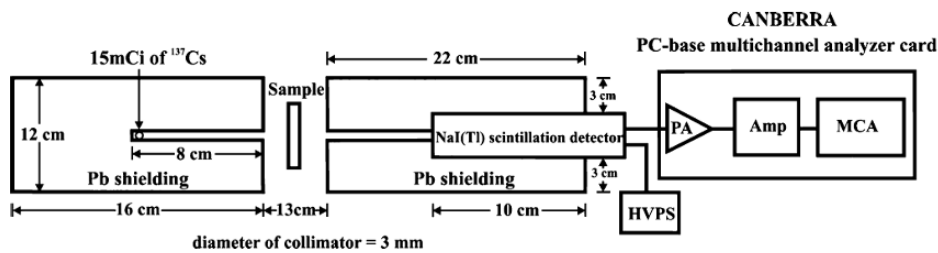
โปรแกรม WinXCom เวอร์ชันสำหรับ Windows เป็นฐานข้อมูลที่ได้รับคามนิยมสูงสุดสำหรับการคำนวณค่าพลังงานที่สูญเสียไปของรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา [6] โปรแกรมนี้มีความสามารถในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของธาตุชนิดใดๆ โดยใช้ฐานข้อมูล WinXCom โดยคำนึงถึงอัตราส่วนของพลังงานส่วนหนึ่งของการกระจายที่สะสมและการกระจายที่ไม่สะสมรวมถึงปฏิกิริยาที่เกิดจากการสะท้อนและการผลิตคู่สำหรับพลังงานของโฟตอนเข้ารับผลกระทบตั้งแต่ 1 keV ถึง 100 GeV ต่อมา โปรแกรม WinXCom ถูกใช้ในการคำนวณทฤษฎีเพื่อหาค่า μ_m ของตัวอย่างในการศึกษาปัจจุบันตามสมการที่ 3

3. การทำการทดลอง

3.1. การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างแก้วที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกผลิตขึ้นโดยวิธีการหลอมและดับเย็น (melt-quenching technique) มีสูตรแก้วดังนี้ $x\text{Bi}_2\text{O}_3 : (20-x)\text{SnO}_2 : 20\text{Na}_2\text{O} : 10\text{CaO} : 50\text{SiO}_2$ ที่ $x = 0, 5, 10, 15,$ และ 20 mol\% โดยเตรียมส่วนผสมของการหลอมแก้ว ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำมาใส่ในบ่หลอม เพื่อนำเข้าเตาไฟฟ้าโดยให้ความร้อนที่ต่อเนื่องถึงอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นเทแก้วลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ที่อุณหภูมิห้อง และทิ้งไว้จนกว่าแก้วจะเริ่มมีความแข็งแล้วนำออกจากแม่พิมพ์ และนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วที่เย็นมาตัดและขัดให้ได้ขนาด $1.5 \times 1.0 \times 0.3 \text{ cm}$ และนำไปขัดให้แก้วมีความใส

แผนภาพของการตั้งค่าการทดลองสำหรับการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลแสดงในภาพที่ 1 ทำการใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ที่มีพลังงาน 662 keV [10] เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ในการทดลองวัดค่ารังสีที่ผ่านตัวกลาง โดยแหล่งกำเนิดรังสีนี้ถูกหุ้มด้วยถ้ำตะกั่ว นำแก้วตัวอย่างวางห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี 15 ซม. และมีหัววัดรังสี NaI(Tl) ซึ่งหุ้มด้วยตะกั่ววางอยู่หลังแก้วตัวอย่าง ทำการนับและวัดค่ารังสีที่ส่งผ่านตัวอย่างแก้วเข้าสู่หัววัด NaI(Tl) หัววัดนี้ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (HVPS) และนำสัญญาณที่ได้แปลงเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลโดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ Genie 2000 และในภาพที่ 2 แสดงแก้วตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมซึ่งแก้วมีความโปร่งใส และในการทดลอง ใช้ Cs 137 ที่มี activity 555MBq ใช้เวลาวัด 100 วินาทีต่อ 1 ตัวอย่างแก้ว โดยมี photpeak area ประมาณ 77,343 count ซึ่งเพียงพอต่อการเก็บข้อมูลทางสถิติ



ภาพที่ 1 การตั้งค่าการทดลองสำหรับการวัด μ_m

ตารางที่ 1 การเตรียมสารเพื่อหลอมแก้วตัวอย่าง

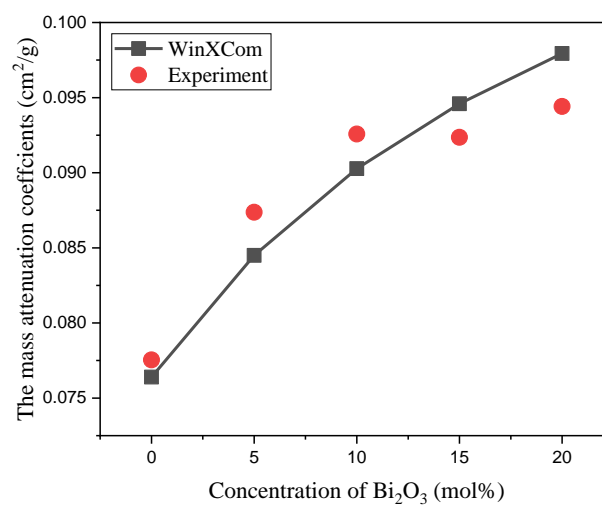
Bi ₂ O ₃ (mol%)	SnO ₂ (mol%)	Na ₂ O (mol%)	CaO (mol%)	SiO ₂ (mol%)
0	20	20	10	50
5	15	20	10	50
10	10	20	10	50
15	5	20	10	50
20	0	20	10	50


 ภาพที่ 2 แสดงภาพตัวอย่างแก้วที่มีความเข้มข้น Bi₂O₃ ที่แตกต่างกัน

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

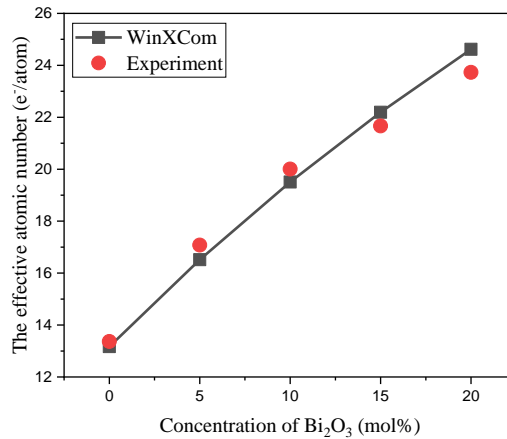
4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

สัมประสิทธิ์การลดทอนมวลรวมของตัวอย่างแก้วแสดงในรูปที่ 3 โดยโปรแกรม WinXCom ถูกใช้ในการคำนวณค่าทางทฤษฎีของสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลรวมและเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่พลังงาน 662 keV พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีความสอดคล้องกันตามสมการที่ (2) และ (3) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Bi₂O₃ เพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดอะตอมของ SnO₂ ในโครงข่ายแก้วถูกแทนที่ด้วยอะตอมของ Bi₂O₃ ที่ขนาดใหญ่กว่า [9] ทำให้ความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ออกาสที่โฟตอนจะเกิดการอันตรกิริยาเพิ่มขึ้นในทุกความเข้มข้นของ Bi₂O₃ นอกจากนี้พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี [10]


 ภาพที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของ Bi₂O₃ ต่าง ๆ กัน

4.2 ค่าเลขอะตอมยังผล

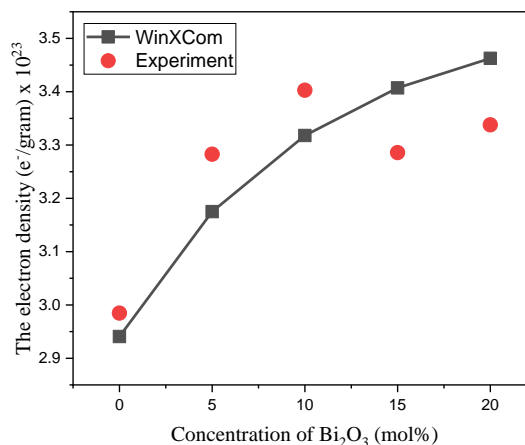
จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่าเลขอะตอมยังผล (Z_{eff}) มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Bi_2O_3 สูงขึ้น ที่พลังงาน 662 keV เนื่องจาก Bi_2O_3 มีเลขอะตอมที่สูงกว่าสูงเมื่อเติมเข้าไปในระบบแก้วทำให้ความหนาแน่นของแก้วเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้เลขอะตอมยังผล (Z_{eff}) ของตัวอย่างแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ที่เพิ่มขึ้นสามารถลดพลังงานรังสีแกมมา เนื่องจากพลังงานของโฟตอนสามารถถ่ายโอนไปยังอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสในสารต่าง ๆ แก้วตัวอย่างที่มีเลขอะตอมยังผลที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีความสามารถในการลดทอนรังสีจาก Cs-137 ได้ดีกว่า ทำให้ความเข้มโฟตอนที่ผ่านแก้วตัวอย่างนั้นมีปริมาณลดลง [6, 10]



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่าเลขอะตอมยังผลกับค่าความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ต่างกัน

4.3 ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

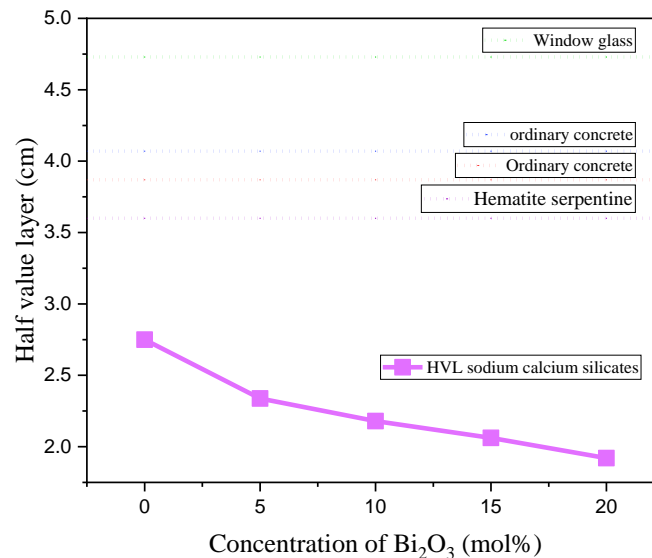
จากรูปภาพที่ 5 ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอน (N_{eff}) หมายถึงจำนวนอิเล็กตรอนต่อหน่วยมวล โดยค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ Bi_2O_3 เพิ่มขึ้นพบว่าเป็นแนวโน้มเดียวกันกับสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลรวมและค่าอะตอมยังผล ค่า N_{eff} ที่สูงกว่าแสดงถึงความน่าจะเป็นในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนในโมเลกุลของแก้ว ซึ่งค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลที่พลังงาน 662 keV ของแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลที่ได้จากโปรแกรม WinXCom โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปแนวทางเดียวกัน [10]



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนกับค่าความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ต่าง ๆ กัน

4.4 ค่าความหนาครึ่งค่า

โดยจากรูปภาพที่ 6 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ Bi_2O_3 เพิ่มขึ้น ค่า HVL จะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงเส้นตามสมการที่ 5 และสัมพันธ์กับความสามารถในการกำบังรังสีที่เพิ่มขึ้น ณ ที่พลังงานเดียวกัน คือ 662 keV ค่า HVL จะลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลที่เพิ่มขึ้นและการที่อะตอมของบิสมัทเข้าไปแทนที่อะตอมของ SnO_2 จึงส่งผลให้ค่าความหนาครึ่งค่าสามารถลดลงได้ที่พลังงานเท่ากันเมื่อเทียบกับวัสดุมาตรฐานที่ใช้ในการกำบังรังสี โดยเมื่อค่า HVL ลดลงส่งผลให้วัสดุกำบังรังสีสามารถลดการสะท้อนของรังสีที่เข้าสู่หรือผ่านผ่านวัสดุนั้น ๆ ทำให้มีความสามารถในการต้านทานการผ่านของรังสีที่มากขึ้น [10]



ภาพที่ 6 ค่าความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง ค่า HVL กับค่าความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ต่างกัน

5.สรุปผลการทดลอง

5.1 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ในแก้วตัวอย่างและวัดความเข้มของรังสีที่พลังงาน 662 keV ด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์จากแหล่งกำเนิด Cs-137 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 พบว่าคุณสมบัติการกำบังรังสีมีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งสอดคล้องตามค่าทฤษฎีที่คำนวณจาก WinXCom

2.2 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 มากขึ้น ส่งผลให้เลขอะตอมยังผลเพิ่มขึ้น เนื่องจากโฟตอนสามารถถ่ายโอนพลังงานไปยังอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสในแก้วตัวอย่างผ่านการเกิดอันตรกิริยา ทำให้รังสีที่เข้ามาถูกลดทอนอย่างมากในแก้วตัวอย่างที่มีเลขอะตอมยังผลสูง ซึ่งทำให้ความเข้มของรังสีที่ผ่านแก้วตัวอย่างมีค่าลดลงตามไปด้วย

5.3 ค่าความหนาแน่นเชิงอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 ในแก้วตัวอย่างส่งผลให้โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

5.4 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 เพิ่มขึ้น ค่าความหนาครึ่งค่าจะมีค่าลดลง แสดงว่าประสิทธิภาพในการกำบังรังสีมากขึ้น

5.5 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Bi_2O_3 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในทางการออกแบบป้องกันรังสีเนื่องจากวัสดุแก้วจะมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Tomar, B.S., Kumar, S., Shrikhande, V.K., & Kothiyal, G.P. (2005). Study of cesium diffusion in borosilicate glass by heavy ion Rutherford backscattering spectrometry. 227



- [2] El-bashir, B.O., Sayyed, M.I., Zaid, M.H.M., & Matori K.A. (2017). Comprehensive study on physical, elastic and shielding properties of ternary BaO-Bi₂O₃-P₂O₅ glasses as a potent radiation shielding material. 468
- [3] Kaushik, C.P., Mishra, R.K., Kumar, S., Tomar, B.S., Tyagi, A.K., Raj, K., Manchanda, V.K. (2005) Effect of barium on diffusion of sodium in borosilicate glass. 156
- [4] Lakshminarayana, G., Baki, S.O., Kaky, K.M., Sayyed, M.I., Tekin, H.O., Lira, A., Kityk, I.V., & Mahdi, M.A. (2017). Investigation of structural, thermal properties and shielding parameters for multicomponent borate glasses for gamma and neutron radiation shielding applications. 471
- [5] Bootjomchai, C., Laopaiboon, J., Yenchai, C., & Laopaiboon, R. (2012). Gamma-ray shielding and structural properties of barium–bismuth–borosilicate glasses. 81
- [6] More, C.V., Alavian, H., & Pawar, P.P. (2020). Evaluation of gamma-ray attenuation characteristics of some thermoplastic polymers: Experimental, WinXCom and MCNPX studies. 546
- [7] Kirdsiri, K., Kaewkhao, J., Chanthima, N., & Limsuwan, P. (2011). Comparative study of silicate glasses containing Bi₂O₃, PbO and BaO: Radiation shielding and optical properties. 38
- [8] Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., Leving, H., (2004). WinXCom—a program for calculating X-ray attenuation coefficients. 71
- [9] Kavas, E., Ekinci, N., Tekin, H.O., Sayyed, M.I., Aygün, B., & Perişanoğlu, U. (2019). Estimation of gamma radiation shielding qualification of newly developed glasses by using WinXCOM and MCNPX code, 115
- [10] Cheewasukhanont, W., Limkitjaroenporn, P., & Kaewkhao, J. (2021). Development of bismuth sodium borate glasses for radiation shielding material. 43
- [11] Luewarasirikul, N., & Kaewkhao J. (2018). The effect of alkaline earth on luminescence properties of A-Na-B glasses (A = Mg, Ca, Sr and Ba) doped with Dy₂O₃. 5
- [12] Hannachi, E., Sayyed, M.I., Albarzan, B., Almuqrin, A.H., & Mahmoud, K.A. (2021). Synthesis and study of structural, optical and radiation-protective peculiarities of MTiO₃ (M =Ba, Sr) metatitanate ceramics mixed with SnO₂ oxide. 47
- [13] Senthil S., Srinivasan S., Thangeeswari T., Madhu B. J., & Silambarasan M. (2020). Enhanced dielectric, EM shielding effectiveness, linear and nonlinear optical properties of CdO/SnO₂ nanocomposites, 24