

การศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและค่า Buildup factor ของรังสีแกมมาในอิฐมอญ

A Study of the Mass Attenuation Coefficients and Buildup Factors of Gamma Ray Photons in Red Bricks

วสุ ชีวสุขานนท์^{1*} พศุฒิปณ ภูมิกิจเจริญภรณ์¹ และจักรพงษ์ แก้วขาว²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

* wasu.kotzen@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และค่า Buildup factor จากอิฐมอญ โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Ba-133, Na-22, Cs-137, และ Co-60 ที่พลังงาน 356, 511, 662, 1173, และ 1332 keV และใช้โปรแกรม WinXCom คำนวณค่าทางทฤษฎี ผลการศึกษาพบว่า ค่าทฤษฎีและค่าจากการทดลองมีค่าสอดคล้องกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของอิฐมอญนั้นมีค่าลดลงตามพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น และค่า Buildup factor มีค่าลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจาก และผลของอันตรกิริยาคอมป์ตันมีค่าลดลงในช่วงพลังงานนี้

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น ค่า Buildup factor อันตรกิริยาของโฟตอน

Abstract

A study of the mass attenuation coefficients and the Buildup factors from red bricks were measured by using the radioactive source Ba-133, Na-22, Cs-137, and Co-60 at the energies 356, 511, 662, 1173, and 1332 keV respectively. It was found that the theoretical values shown good agreement with the experiment. The mass attenuation coefficients were decrease with the increasing of the energy and the Buildup factors show the decrease with the increasing of the energy too. The results of buildup factors were decrease due to the Compton decreasing of scattering in these energy range.

Keywords: linear attenuation coefficient, buildup factor, interaction of photon

1. บทนำ

โดยปกติแล้ว รังสีแกมมาจะถูกใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับรังสี เช่น ศูนย์วินิจฉัยโรคทางการแพทย์ ศูนย์วิจัยทางนิวเคลียร์ หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทางนิวเคลียร์ และอาวุธนิวเคลียร์ ทั้งหมดนี้ล้วนแล้วต้องการวัสดุที่สามารถกักรังสีเพื่อให้ความปลอดภัยในการทำงาน (K. Singh et al., 2002) ในการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุกักรังสี มุ่งหวังให้

รังสีนั้นเกิดอันตรกิริยากับสสารในวัสดุมากที่สุด การเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับสสารนั้น บ่งบอกถึงค่าการลดทอนของรังสีที่เกิดกับวัสดุ ดังนั้นค่าการลดทอนของรังสีในวัสดุ จึงมีความสำคัญ ในหลายๆงานวิจัยต้องการที่จะพัฒนาวัสดุที่มีค่าการลดทอนรังสีหรือค่าการกัมมันตรังสีให้มากที่สุด และสามารถนำมาใช้งานได้ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อรังสี และสามารถเป็นวัสดุกัมมันตรังสีได้ดี (N. Singh et al., 2006)

การศึกษาค่า Buildup factor ของวัสดุที่ใช้ในการกำบังรังสีแกมมานั้น เป็นค่าที่มีความสำคัญในการตรวจสอบวิธีการวัดและความสามารถของวัสดุที่ใช้ในการกำบังรังสี การวัดค่า Buildup factor ถูกใช้สำหรับวัดรังสีแกมมาที่จุดใดจุดหนึ่ง และยังสามารถบอกถึงอันตรกิริยาของโฟตอนได้หลังจากผ่านเข้าไปในเนื้อของสสาร และบอกถึงการตอบสนองของหัววัด (detector) ที่สามารถนับวัดได้ ซึ่งกฎของ Lambert-Beer ($I = I_0 e^{-\mu x}$) ยังคงสามารถใช้อธิบายถึงการดูดกลืนโดยอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ความเข้มของรังสีลดลง (K. Singh et al., 2013, K. Singh et al., 2016)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อิทธิพลมาทำการทดลอง ซึ่งอิทธิพลนั้นเป็นวัสดุมาตรฐานในงานด้านการก่อสร้าง ซึ่งในการศึกษางานด้านวัสดุกัมมันตรังสีจากอิทธิพลนั้น เป็นการศึกษาที่คุ้มค่าในการที่จะทำงานวิจัยจากวัสดุนี้ เพราะว่าเป็นวัสดุที่ใช้กันโดยทั่วไป และเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด และข้อดีของอิทธิพลคือน้ำหนักที่เบา และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (K. Singh et al., 2013) และแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ Ba-133, Na-22, Cs-137, และ Co-60 ที่พลังงาน 356, 511, 662, 1173, และ 1332 keV เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นและศึกษาค่า Buildup factor ของอิทธิพล และใช้โปรแกรม WinXCom คำนวณค่าทางทฤษฎี (L. Gerward et al., 2001, L. Gerward et al., 2004)

2. ทฤษฎี

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล

ค่าทฤษฎีของค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล ที่สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม WinXCom สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้

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

ค่าการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวล สำหรับรังสีแกมมาที่ผ่านเข้าไปในเนื้อของสสาร สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการของ Lambert's law (P. Limkitjaroenporn, 2013)

$$I = I_0 e^{-\mu_m \rho t} \quad (2)$$

กำหนดให้ I_0 , I , ρ และ t คือ ความเข้มของรังสีก่อนผ่านตัวกลาง, ความเข้มของรังสีหลังผ่านตัวกลาง, ความหนาแน่นของวัสดุ และความหนาของตัววัสดุ

2.2 ทฤษฎี Buildup Factor

การดูดกลืนรังสีของวัสดุมีปรากฏการณ์หลักคือ โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric) การกระเจิงคอมป์ตัน (Compton scattering) และ แพร่โปรดักชัน (Pair production) ซึ่งส่งผลทำให้รังสีลดลง เมื่อผ่านเข้าไปในเนื้อของวัสดุหรือสสาร เมื่อรังสีเคลื่อนที่ผ่านไปยังเนื้อของสสาร รังสีจะสามารถเคลื่อนผ่านได้หลายลักษณะ คือ พุ่งผ่านไปยังเนื้อของสสารแล้วเข้าสู่หัววัดรังสีซินทีเลชันโดยตรง หรือรังสีอาจจะเกิดการกระเจิงจากสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งส่งผลให้ค่าทางการทดลองนั้นมีความ

คลาดเคลื่อน จึงจำเป็นต้องใช้ค่า Buildup Factor ซึ่งขึ้นอยู่กับต้นกำเนิดรังสีแกมมา ความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดลองดังกล่าวได้จากสมการ (G. Gilmore, 2008)

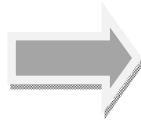
$$I = BI_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

จากการทดลอง ค่า Buildup Factor จะสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่าง Bad geometry และ Good geometry

3. วิธีการทดลอง



ภาพที่ 1 อิฐมอญ



ภาพที่ 2 เครื่องวิเคราะห์ X-ray fluorescence spectrometry (XRF)

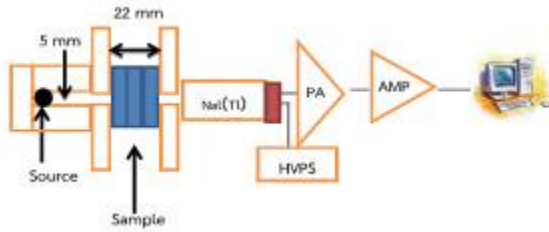
นำวัสดุอิฐมอญไปวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในเนื้อของสารหรือวัสดุ ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometry หรือเครื่อง (XRF) โดยได้องค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในเนื้อวัสดุดังแสดงในตารางที่ 1 โดยพบว่า SiO₂ เป็นองค์ประกอบหลักของอิฐมอญ และนำองค์ประกอบของธาตุไปคำนวณหาค่าอันตรกิริยาย่อยจากโปรแกรม WinXCom แสดงผลของค่าอันตรกิริยาย่อยในตารางที่ 2 โดยพบว่าอันตรกิริยาหลักในช่วงพลังงาน 356 keV ถึง 1332 keV คือการกระเจิงคอมป์ตัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ตารางแสดงองค์ประกอบของธาตุในอิฐมอญ

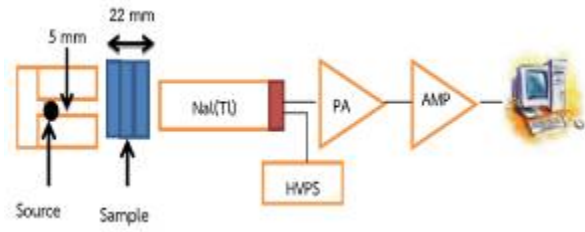
Compound	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
% weight	0.79564	0.03229	0.01522	0.01969	0.00193	0.13523

ตารางที่ 2 ตารางแสดงอันตรกิริยาย่อยที่พลังงานต่างๆ

Energy (keV)	Coherent (cm ² /g)	Compton (cm ² /g)	Photoelectric (cm ² /g)	μ_m (cm ² /g)
356	0.0014	0.0977	0.0011	0.1002
511	0.0006	0.0846	0.0004	0.0857
662	0.0004	0.0757	0.0002	0.0763
1173	0.0001	0.0577	0.00006	0.0579
1332	0.0001	0.0541	0.00005	0.0543



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมการวัดแบบ Good geometry



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมการวัดแบบ Bad geometry

ในการทดลองนี้ได้ใช้แหล่งกำเนิดรังสี Ba-133, Na-22, Cs-137, และ Co-60 ที่พลังงาน 356, 511, 662, 1173, และ 1332 keV ตามลำดับ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลองนี้ โดยการทดลองแบบ Good geometry แหล่งกำเนิดรังสีจะถูกทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการกระจายของรังสีที่ 0.5 มิลลิเมตร และมีฉากรั้วแหล่งกำเนิดรังสีไว้ และวางวัสดุตัวอย่างซึ่งมีความหนา 40 มิลลิเมตร ห่างจากจุดกำเนิดรังสี 15 ซม. โดยมีหัววัดรังสี NaI(Tl) ที่หุ้มด้วยฉากรั้ววางไว้หลังวัสดุตัวอย่าง และในการทดลองแบบ Bad geometry แหล่งกำเนิดรังสีจะถูกเปิดอย่างอิสระ และวางไว้ดังภาพที่ 6 และวางวัสดุตัวอย่างซึ่งมีความหนา 40 มิลลิเมตร ห่างจากจุดกำเนิดรังสี 15 ซม. เช่นกัน โดยทั้งสองวิธีจะใช้หัววัดรังสี NaI(Tl) ที่หุ้มด้วยฉากรั้ววางไว้หลังวัสดุตัวอย่าง และทำการนับวัดค่ารังสีที่ผ่านวัสดุตัวอย่างเข้าสู่หัววัด NaI(Tl) ที่ต่อกับแหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าสูง (HVPS) และแปลงสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อแปลค่า โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ Genie 2000

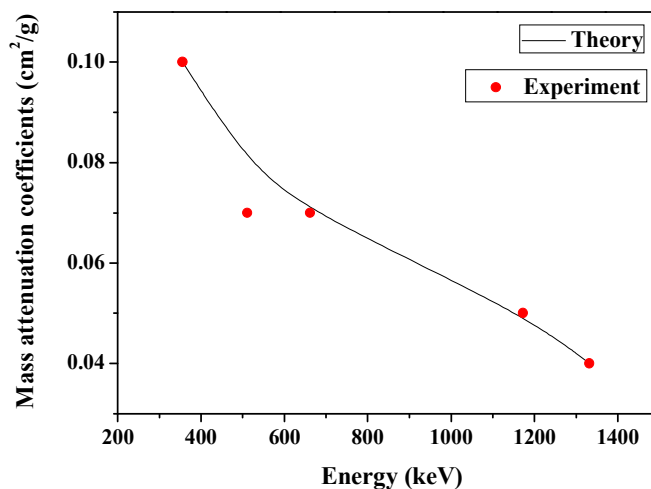


ภาพที่ 5 การวัดแบบ Good geometry



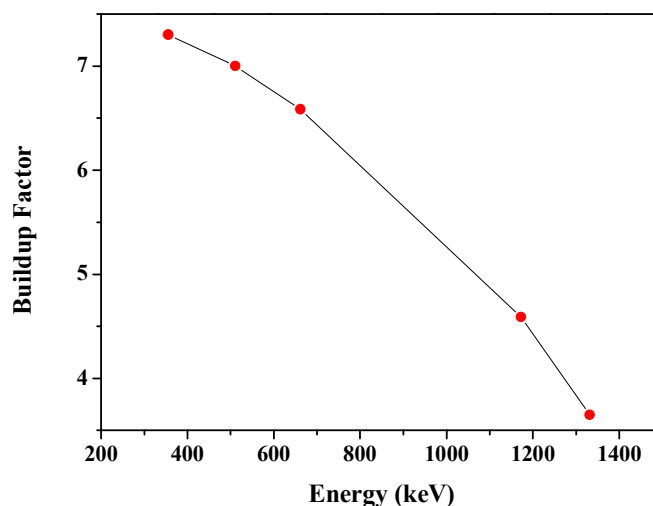
ภาพที่ 6 การวัดแบบ Bad geometry

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การทดลองเชิงเส้น

จากการทดลองแบบ Good geometry พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของอิฐมอญมีค่าสอดคล้องกันกับค่าทฤษฎีและมีค่าลดลงตามพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพลังงานที่เพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้พลังงานมีโอกาสนี้จะไม่ถูกดูดกลืน จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลนั้นลดลงตามพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น โดยการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้จากการทดลองสอดคล้องกับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม WinXCom



ภาพที่ 8 ค่า Buildup Factor

จากการทดลอง ค่า Buildup Factor จะสามารถหาได้จากอัตราส่วนของความเข้มรังสีระหว่างการวัด พบว่าค่า Buildup Factor มีค่าลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากผลของการกระเจิงเข้าสู่หัววัดรังสี ซึ่งสอดคล้องกับผลของการกระเจิงคอมป์ตัน ดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นอันตรกิริยาหลักในช่วงพลังงานนี้ด้วย (M.I. sayed et al., 2017)

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำอิฐมอญมาทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และค่า Buildup factor โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Ba-133, Na-22, Cs-137, และ Co-60 ที่พลังงาน 356, 511, 662, 1173, และ 1332 keV ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า

1. ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลของอิฐมอญที่ได้จากการทดลองแบบ Good geometry นั้นมีค่าลดลงตามพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลที่คำนวณได้จาก WinXCom และแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในระบบการวัดรังสีแบบ Good geometry

2. ค่า Buildup Factor สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่าง Bad geometry และ Good geometry พบว่า ค่า Buildup Factor มีค่าลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากผลของการกระเจิงเข้าสู่หัววัดรังสี ซึ่งสอดคล้องกับผลของการกระเจิงคอมป์ตันซึ่งเป็นอันตรกิริยาหลักในช่วงพลังงานนี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

K. Singh, et al., (2002). Gamma-ray attenuation coefficient in bismuth borate glasses: Nucl. Instr. and Meth. Vol. 194, pp. 1-6.

N. Singh, K. Singh, and H. Singh. (2006). Gamma-ray attenuation studies of PbO-BaO-B₂O₃ glass system: Rad. Meas. Vol. 41. pp. 84-88.

- K. Singh, et al., (2013). Gamma-ray Buildup factors study for deep penetration in some silicate: *Annals of Nuclear Energy*. Vol. 51, pp. 81-93.
- K. Singh, et al., (2016). Gamma-ray double-layered transmission exposure buildup factors of some engineering materials, a comparative study: *Radiat. Phys. Chem*. Vol. 125, pp. 27-40.
- K. Singh, et al., (2013). Investigations of some building materials for gamma-rays shielding effectiveness: *Radiat. Phys. Chem*. Vol. 87, pp. 26–25.
- L. Gerward, N. Guilbert, K.B. Jensen and H. Levring. (2001). X-ray absorption in matter: Reengineering XCOM Radiation Physics and Chemistry. Vol. 60, pp. 23–24.
- L. Gerward, N. Guilbert, K.B. Jensen and H. Levring. (2004). WinXCom-a program for calculating X-ray attenuation coefficients: *Radiat. Phys. Chem*. Vol. 60, pp. 23–24.
- P. Limkitjaroenporn, J. Kaewkhao and S. Asavavisithchai. (2013). Determination of mass attenuation coefficients and effective atomic numbers for Inconel 738 alloy for different energies obtained from Compton scattering, *Ann. Nucl. Energy*. Vol. 53, pp. 64-68
- G. Gilmore. (2008). *Practical gamma-ray spectrometry: 2nd edition*, nuclear training services Ltd, Warrington, UK
- M.I. sayed, and H. Elhouichet. (2017). Variation of energy absorption and exposure buildup factors with incident photon energy and penetration depth for boro-tellurite glasses: *Radiat. Phys. Chem*. Vol. 130, pp. 335–342.