

## การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมาทับอิฐมอญและอิฐมวลเบาโดยใช้โปรแกรม XCOM ระหว่างช่วงพลังงาน 1 keV-10<sup>7</sup> keV

### Study of Gamma Ray Interaction with Clay Brick and Autoclaved Aerated Concrete by XCOM Program with Energy Range from 1 keV to 10<sup>7</sup> keV.

กิตติพงษ์ เสียงเสนาะ<sup>1, 2\*</sup>, พฤทธิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์<sup>1, 2</sup> และจักรพงษ์ แก้วขาว<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

\*first\_f@windowslive.com

#### บทคัดย่อ

การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมาทับอิฐมอญและอิฐมวลเบาโดยการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในของอิฐมอญและอิฐมวลเบาด้วยเครื่อง XRF ในสารตัวอย่างและนำผลที่ได้ไปคำนวณด้วยโปรแกรม XCOM ระหว่างช่วงพลังงาน 1 keV-10<sup>7</sup> keV จากผลที่ได้พบว่าอิฐมอญมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่มากกว่าอิฐมวลเบาที่พลังงานงานของรังสีแกมมาที่เท่ากันที่ 1 keV

**คำสำคัญ:** อันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมาทับอิฐ, โปรแกรม XCOM, อิฐมอญ, อิฐมวลเบา

#### Abstract

Study of Gamma Ray Interaction with Clay Brick and Autoclaved Aerated were analyzed by XRF. The result from XRF show quantity of element in samples, then calculate by XCOM Program with Energy Range from 1 keV to 10<sup>7</sup> keV. That result show Clay Brick have more the mass attenuation coefficient than Autoclaved Aerated at the same gamma ray energy 1 keV.

**Keywords:** gamma ray interaction with bricks, XCOM program, clay brick, autoclaved aerated concrete

#### 1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ทั้งทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม รวมไปถึงทางการแพทย์ ซึ่งสาขาต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแต่ใช้ประโยชน์จากรังสีไม่ว่าทางใดก็ทางหนึ่งถึงแม้มนุษย์จะนำประโยชน์จากรังสีมาใช้ในงานในด้านต่าง ๆ มากขึ้นในปัจจุบัน ถ้าปราศจากความระมัดระวังและการป้องกันที่ดีรังสีก็อาจมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้เช่นกัน มนุษย์เราในฐานะที่เป็นคนใช้งานเกี่ยวกับรังสี จึงควรตระหนักถึงการป้องกันอันตรายจากรังสีเพื่อลดปัจจัยเสี่ยงในการได้รับรังสีโดยไม่จำเป็น

เนื่องจากรังสีเป็นอันตราย จึงมีองค์กรป้องกันอันตรายจากรังสีนานาชาติจึงกำหนดหลักการ ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ด้วยการใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อยที่สุด ใช้ระยะทางไกลที่สุด และใช้อุปกรณ์กำบังรังสีเพื่อป้องกันมิให้ร่างกายได้รับรังสีเกินมาตรฐานที่กำหนด จากหลักการดังกล่าวหากมีวัสดุกำบังรังสีที่ดี จะสามารถปฏิบัติงานได้สะดวกและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น วัสดุที่ใช้ในการกำบังรังสีปัจจุบันนิยมใช้วัสดุจากตะกั่ว หรือ คอนกรีตผสมตะกั่ว ในการป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ในงานศึกษานี้จึงได้ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมาทับอิฐมอญและอิฐมวลเบาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาคุณสมบัติของการกำบังรังสีต่อไป

(Singh et al., 2004) ศึกษาที่ระดับพลังงาน 10 keV-100 GeV เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและอันตรกิริยาต่าง ๆ ของซีเมนต์, ซีเมนต์, คอนกรีต, หินอ่อน, แก้วและปูน ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับพลังงานต่ำ เมื่อความเข้มข้นของวัสดุต่าง ๆ เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลลดลงต่ำลง และที่พลังงานประมาณ  $10^5$  keV พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของวัสดุต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

(Akkurt et al., 2009) ได้ศึกษาคอนกรีตที่เติมแบเรียม (BaSO<sub>4</sub>) การกำบังรังสีชนิดแกมมาที่ระดับพลังงาน 1 keV-100 GeV โดยใช้โปรแกรม XCOM ช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ระดับพลังงาน 0.66 และ 1.25 MeV หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับครั้งกับคอนกรีตที่ใช้งานทั่วไป ผลการศึกษาพบว่า ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่เติมแบเรียมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเพิ่มขึ้น ซึ่งค่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งทฤษฎีและการทดลอง และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของคอนกรีตที่เติมแบเรียมมีค่ามากกว่าคอนกรีตทั่วไป

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากรังสีแกมมาอย่างกว้างขวาง ทั้งทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และด้านการแพทย์ นอกจากประโยชน์ของรังสีแกมมาแล้ว อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตด้วย การป้องกันอันตรายจากรังสีแกมมา จึงเป็นสิ่งจำเป็นควบคู่กันไป ที่อยู่อาศัยเป็นปัจจัยสี่ที่เป็นประโยชน์อย่างหนึ่งในการป้องกันอันตรายจากรังสีในกรณีที่ไม่สามารถเลี่ยงได้เช่นที่อยู่อาศัยที่อยู่ติดกับแหล่งเกษตรกรรม โรงงานอุตสาหกรรม หรือสถานการแพทย์ที่มีการใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ดังนั้นที่อยู่อาศัยจึงกลายเป็นวัสดุที่ใช้ในการกำบังรังสีด้วย ในการศึกษาครั้งนี้จึงสนใจวัสดุที่เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ที่ใช้ในการสร้างบ้านคืออิฐ ดังนี้ อิฐมอญ(Clay brick) หรืออิฐมวลเบา(Autoclaved Aerated Concrete : AAC) ซึ่งอิฐทั้งสองประเภทนี้ยังคงเป็นที่นิยมในการนำมาสร้างบ้าน โดยในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในอิฐทั้งสองโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์(X-Ray Fluorescence Spectrometry : XRF) และนำผลการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นส่วนประกอบอิฐทั้งสองมาทำการศึกษา อันตรกิริยาระหว่างรังสีกับอิฐทั้งสองชนิด จากนั้นนำผลจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม XCOM มาเปรียบเทียบกับที่ช่วงพลังงานตั้งแต่ 1 keV- $10^7$  keV

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อตัวกลาง

#### 2.1.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อตัวกลาง

การไอออนไนซ์หรือการกระตุ้นไม่อาจเกิดในสสาร เนื่องจากรังสีแกมมาไม่มีประจุ ตามปกติรังสีทุกชนิดเมื่อผ่านเข้าไปในเนื้อสสาร จะเกิดการชนกับอะตอมของสารทำให้เสียพลังงานไปตลอดเวลาที่เคลื่อนที่ไป จนกระทั่งพลังงานจลน์หมดไปและถูกสสารดูดกลืนในที่สุด รังสีแกมมาที่เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อมีปริมาณรังสีจำนวนหนึ่งผ่านเข้าไปในเนื้อสสาร บางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ บางส่วนจะผ่านออกมาได้ โดยไม่มีอันตรกิริยา การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสารก่อให้เกิดปรากฏการณ์ได้แก่การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และ แพร่โพดักชัน(Pair production) นอกจากนี้ยังพบว่าอาจเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Photonuclear reactions) ได้หากรังสีแกมมามีพลังงานสูงพอ

#### 2.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient: $\mu_m$ )

เมื่อรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางขึ้นกับจำนวนอะตอมต่อปริมาตร ซึ่งขึ้นกับอะตอมความหนาแน่นของตัวกลาง อธิบายได้ว่าถึงแม้เป็นตัวกลางชนิดเดียวกัน ถ้าความหนาแน่นต่างกันจะได้สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลต่างกัน ดังสมการที่ 1

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

เมื่อ	$\mu_m$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล
	$w_i$	คือ	สัดส่วนน้ำหนักของธาตุในอิฐ
	$(\mu_m)_i$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุในอิฐ

### 3. การทดลอง

#### 3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในอิฐมอญและอิฐมวลเบา

นำอิฐมอญและอิฐมวลเบาทั้งสองชนิดไปวิเคราะห์ปริมาณของธาตุโดยใช้เครื่อง X-ray fluorescence spectrometer; EDXRF รุ่น PANalytical MiniPal 4 มีโรเตียมเป็นแอโนดในการกำเนิดรังสีเอกซ์

#### 3.2 ขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม XCOM

โปรแกรม XCOM เป็นฐานข้อมูลที่สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลตามสมการ(1) และอันตรกิริยา ย่อยต่าง ๆ ของธาตุ สารประกอบ หรือสารผสม โดยคำนวณที่ระดับพลังงานตั้งแต่ 0.001 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) ถึง 10000 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV)

### 4. ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุในของอิฐมอญและอิฐมวลเบา

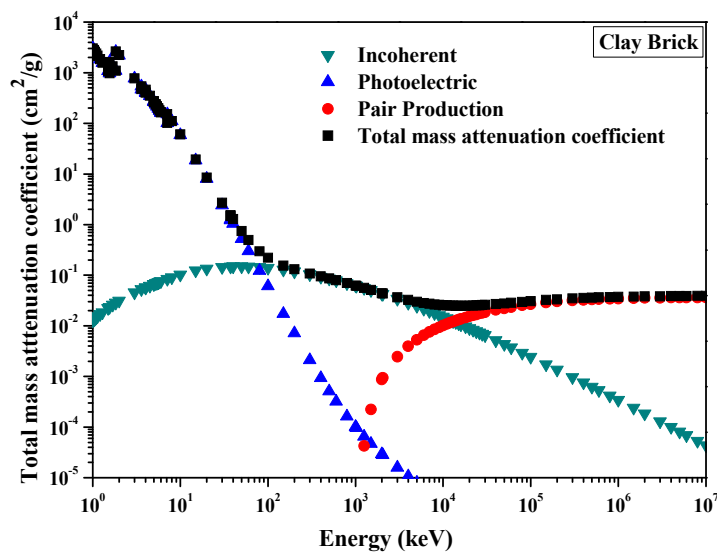
จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุในของอิฐมอญและอิฐมวลเบาด้วย XRF ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุก่อสร้าง

Compound	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Fe (%)	Ba (%)	S (%)
- Clay Brick	0.182	0.526	0.065	0.069	0.014	0.140	0.001	-
- Autoclaved Aerated Concrete	-	0.236	-	0.727	0.003	0.023	-	0.011

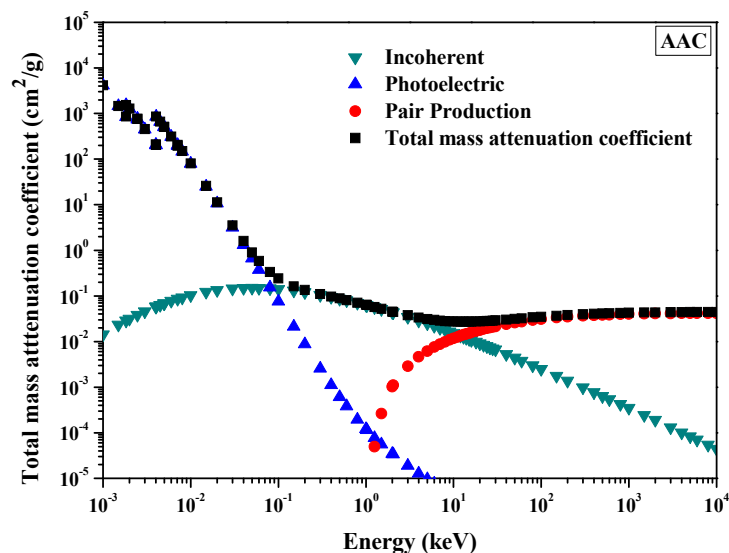
#### 4.2 ผลการหาโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาของอิฐมอญและอิฐมวลเบา

เมื่อชนิดและปริมาณของธาตุในของอิฐมอญและอิฐมวลเบาจากผลในตารางที่ 1 แล้วนำองค์ประกอบทางเคมีของอิฐมอญและอิฐมวลเบา มาหาโอกาสในการเกิดอันตรกิริยา ต่าง ๆ ดังนี้ การเกิดโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน กระบวนการเกิดแพร์โฟटकั้นรวมไปถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล โดยใช้โปรแกรม XCOM แสดงดังรูปภาพที่ 1 และรูปภาพที่ 2 ตามลำดับ



รูปภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับพลังงานของรังสีแกมมาของอิฐมอญ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับพลังงานของรังสีแกมมาของอิฐมวลเบาในรูปภาพที่ 1 จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวมจะมีค่าลดลงเมื่อพลังงานของรังสีแกมมามีค่ามากขึ้นและจะเริ่มลดลงอย่างช้า ๆ และคงที่ที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 1,000 keV และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของโฟโตอิเล็กทริกเกิดขึ้นที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 1 keV และมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลลดลงเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้นจนไม่สามารถพบการเกิดโฟโตอิเล็กทริกที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 10,000 keV และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคอมป์ตันพบที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 1 keV แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่น้อยกว่าการเกิดโฟโตอิเล็กทริกอยู่ประมาณ  $1,000 \text{ cm}^2/\text{g}$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้นจนพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าสูงสุดที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 100 keV จากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของการเกิดกระเจิงแบบคอมป์ตันมีค่าลดลงเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้น และอันตรกิริยาสุดท้ายพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของแพร็พดักชันมีค่าเพิ่มขึ้นจากพลังงานของรังสีแกมมาที่ประมาณ 1,000 keV โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีแกมมามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมาต่อตัวกลางในช่วงของพลังงานของรังสีแกมมาที่เหมาะสมก็จะสามารถเกิดอันตรกิริยาได้แตกต่างกันโดยเรียงลำดับจากพลังงานของรังสีแกมมาที่มีค่าน้อยไปหาพลังงานของรังสีแกมมาที่มีค่ามากดังที่ได้กล่าวในหัวข้อทฤษฎีที่ 2.1.1 เรื่อง อันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อตัวกลาง



รูปภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับพลังงานของรังสีแกมมาของอิฐมวลเบา

และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับพลังงานของรังสีแกมมาของอิฐมวลเบาในรูปภาพที่ 2 พบว่าลักษณะของอันตรกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดมีความคล้ายกับความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับพลังงานของรังสีแกมมาของอิฐมวลเบาในรูปภาพที่ 1 แต่พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าคงที่ที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 1 keV และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของโฟโตอิเล็กทริกเกิดขึ้นที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 0.001 keV และไม่สามารถพบการเกิดโฟโตอิเล็กทริกที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณเกือบ 10 keV และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคอมป์ตันพบที่พลังงานของรังสีแกมมาประมาณ 0.001 keV แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่น้อยกว่าการเกิดโฟโตอิเล็กทริกอยู่ประมาณ  $1,000 \text{ cm}^2/\text{g}$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่มีค่าสูงสุดที่พลังงานของรังสีแกมมาเท่ากับ 0.1 keV และจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลลดลงเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้น และอันตรกิริยาสุดท้ายพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของแพร็พดักชันมีค่าเพิ่มขึ้นจากพลังงานของรังสีแกมมาที่ประมาณ 1 keV และมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอิฐมวลเบาและอิฐมวลเบามีช่วงของพลังงานของรังสีแกมมาที่ทำให้เกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ที่พลังงานที่แตกต่างกันแต่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของอันตรกิริยาต่าง ๆ มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมาที่บอรัมมอลและอรัมมอลเบาโดยใช้โปรแกรม XCOM ระหว่างช่วงพลังงาน 1 keV-10<sup>7</sup> keV พบโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ดังนี้ การเกิดโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน กระบวนการเกิดแพร์โฟตตันรวมไปถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลโดยใช้โปรแกรม XCOM ซึ่งพบว่าอรัมมอลและอรัมมอลเบาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับแต่ละโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ แต่เกิดขึ้นที่พลังงานของรังสีแกมมาที่แตกต่างกัน ที่พลังงานของรังสีแกมมาที่เท่ากันอรัมมอลมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวมที่มากกว่าซึ่งทำให้มีโอกาสในการกำบังรังสีได้ดีกว่า และจากผลการศึกษานี้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติในการกำบังรังสีที่เหมาะสมกับการใช้งานและความแรงของรังสีต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- M. Singh and G.S Mudahar. (1992). Energy dependence of total photon attenuation coefficients of composite materials. *Int. J. Appl. Radiat. Isot*, 43, 907.
- I. Akkurt, et al. (2009). Investigation of photon attenuation coefficient for pumice. *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 4 (10), 588-591
- K. C. Barron, B.Sc. (2005). Thesis. Massachusetts Ave. Cambridge. United States.
- J. Tani, H. Kido, (2008). *Computational Materials Science*, 42, 531-536.
- P. Jund, R. Viennois, C. Colinet, G. Hug, M. Fèvre and J. Tédénac, (2013). *Journal of Physics*. 25(3).
- A. Sellitto, V.A. Cimmelli and D. Jou, (2015). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 80, 344-352.
- T. M. Tritt and M.A. Subramanian, (2006). *MRS Bullitin*, 31, 188-198.
- N. Chanthima, J. Kaewkhao, P. Limsuwan. (2012). *Ann Nucl Energy*, 41, 119-124.
- N. Chanthima and J. Kaewkhao, (2012). *38th Congress on Science and Technology of Thailand (STT38)*, Oct, 17-19, ChiangMai, Thailand.
- L. Gerward, N. Guilbert, KB. Jensen and H. Levring, (2004). *Rad. Phys. Chem*, 71, 653-654.