

## คุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด

### Gamma Ray Shielding Properties of Lightweight Aggregates Concrete that Mixtures with Ground Rice Husk Ash (LACRA)

กิตติศักดิ์ ศรีวงศ์ษา<sup>1,2</sup>; กานต์พิชชา สมวิริยะพิบูลย์<sup>1</sup>; ธนบูรณ์ ริมดุสิต<sup>2</sup>; วีรดา วีรภาพสกุลวงศ์<sup>1</sup>; นิติพัฒน์ ธงศ์สุวรรณ<sup>2</sup>

มาริสสา ทองแก้ว<sup>2</sup>; ไพโรจน์ ผาสวรรณี<sup>1</sup>; สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์<sup>1</sup> และจุมพล ขอบขำ<sup>4</sup>

Kittisak Sriwongsa<sup>1,2</sup>; Kanpitcha Somwiryaphibul<sup>2</sup>; Thanaboon Rimdusit<sup>2</sup>; Teerada Teerapapsakunwong<sup>2</sup>

Nitipat Thongtuswattana<sup>2</sup>; Marissa Thongkaew<sup>2</sup>; Pairoj Pasuwan<sup>2</sup>; Sunantasak Ravangvong<sup>3</sup> and Chumphon Khobkham<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ผู้รับผิดชอบหลักสูตรฟิสิกส์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

<sup>2</sup> โรงเรียนสาธิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพชรบุรี 76000

<sup>4</sup> สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10460

<sup>1</sup> Lecturers responsible for Bachelor of Education Program in Physics, Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

<sup>2</sup> The demonstration school of Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

<sup>3</sup> Division of Science and Technology, Faculty of Science and Technilogy, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, 76000, Thailand

<sup>4</sup> General Education Affair Thonburi University, 10160, Thailand

\*Corresponding author; E-mail: Sriwongsa\_k@silpakorn.edu

Received: 05 May 2020 /Revised: 01 July 2020 /Accepted: 30 July 2020

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด (Lightweight aggregates concrete blended with ground rice husk ash (LACRA)) 4 ตัวอย่าง ในช่วงพลังงานตั้งแต่ 224.92 keV ถึง 662.00 keV วิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) และหาคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา โดยใช้โปรแกรม WinXCOM ผลการวิจัยพบว่า อิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 1 (อิฐมวลเบาที่ไม่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด) มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ค่าความหนาครึ่งค่า และเลขอะตอมยังผล ตีกว่าตัวอย่างอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดในอัตราส่วนต่างๆ อย่างไรก็ตาม อิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดมีแนวโน้มของความหนาแน่นลดลงตามอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบบดละเอียด ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำบังรังสีลดลง แต่อย่างไรก็ตามจากการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าในช่วงพลังงาน 224.92 keV ถึง 662.00 keV อิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อทำเป็นผนังกำบังรังสีได้ แต่ต้องพิจารณาความหนาจากค่าความหนาครึ่งค่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำบังรังสี

**คำสำคัญ :** อิฐมวลเบา สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าความหนาครึ่งค่า ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย

## Abstract

This research aims to study the attribute of shielding gamma-ray of lightweight aggregates concrete blended with ground rice husk ash (LACRA) for 4 examples in the energy range 224.92 keV to 662.00 keV. Analyzed by X-ray fluorescent technology (XRF) and WinXCOM program. The result showed that the LACRA1 (Lightweight concrete without ground rice husk ash 1) has better the mass attenuation coefficient ( $\mu_m$ ), mean free path (MFP), half-value layer (HVL), effective electron number ( $Z_{\text{eff}}$ ), effective electron density ( $N_{\text{el}}$ ) than the others. However, they tended to decrease the density according to the ratio of ground rice husk ash which resulting in the effectiveness of shielding radiation decreasing. This research indicates the that energy range 224.92 keV to 662 keV, the LACRA can apply to make as shielding radiation wall However, it is need to consider the thickness form half-value layer (HVL) to improve the shielding radiation effective.

**Keywords:** Rice husk ash, Mass attenuation coefficient, Half-value layer, Mean free path

## บทนำ

รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง ไม่มีมวลและประจุ จึงทำให้อำนาจทะลุทะลวงสูง ด้วยคุณสมบัตินี้ ทางวงการแพทย์จึงนำรังสีแกมมาใช้ในการรักษาและวินิจฉัยโรค [1] เช่น ทำลายเซลล์มะเร็ง และศึกษาการทำงานของต่อมไทรอยด์ เป็นต้น ในทางอุตสาหกรรมเกษตร ใช้รังสีแกมมาอาบผลผลิตทางการเกษตร ให้ปราศจากแมลง และเก็บไว้ได้นาน อย่างไรก็ตาม รังสีแกมมามีโทษส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับดีเอ็นเอ ทำให้เกิดหน่วยพันธุกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยเหตุนี้ การทำงานในห้องปฏิบัติการที่มีรังสีแกมมา จึงจำเป็นต้องมีชุดสวมใส่ และมีวัสดุที่ใช้กำบังรังสี วัสดุที่ใช้ในการกำบังรังสีประเภทนี้ คือ แผ่นตะกั่วหนา หรือกำแพงคอนกรีต เป็นต้น

จากหลักการทั่วไปในการส่งผ่านรังสีแกมมา ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุใดๆ จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับวัสดุ อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับพลังงาน โดยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นนั้น ได้แก่ การกระเจิงแบบโคฮีเลนต์ การกระเจิงแบบอินโคฮีเลนต์ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก และปฏิกิริยานิวเคลียสคู่ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล สัมพันธ์กับโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาในรูปแบบต่างๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำบังรังสี นอกจากนี้ยังมีตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการกำบังรังสี ได้แก่ เลขอะตอมยังผล ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล ค่าความหนาครึงค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติตัวแปรต่างๆ ดังอ้างอิง [2-9]

อิฐมวลเบา เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างเป็นผนังของห้อง เนื่องจากมีน้ำหนักเบา เป็น

จนวน และกันความร้อนได้ดี ส่วนประกอบหลักของอิฐมวลเบา ได้แก่ ทราย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว น้ำ ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียม [10-12] เป็นต้น

แกลบ (Rice husk) คือ สิ่งที่เหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกซึ่งทำให้เกิดเศษของเปลือกข้าวออกมา แกลบประกอบด้วยสารอินทรีย์ และซิลิกา ปริมาณสารอินทรีย์จะประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ประมาณ 51% ออกซิเจน 42% ส่วนที่เหลือจะเป็น ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ส่วนซิลิกาจะพบมากบริเวณผิวนอกของแกลบจึงทำให้แกลบมีความแข็งสูง การนำแกลบมาผสมคอนกรีตรายงานไว้ในอ้างอิง [13-14]

องค์ประกอบของธาตุที่ได้จากแกลบที่สามารถกำบังรังสีได้ คือ Si, K, Na, Ca, Fe, P และ S ซึ่งต่างก็เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูง [15] ส่งผลให้มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาสูงตามไปด้วย ทำให้สามารถกำบังรังสีได้ดี ดังนั้นคณะผู้จัดทำวิจัย จึงมีความสนใจที่จะนำอิฐมวลเบามาผสมกับแกลบ บดละเอียด ในอัตราส่วนต่างๆ แล้วหาคุณสมบัติในการกำบังรังสี โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ ค่าความเค้น และคุณสมบัติในการกำบังรังสี

### วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อศึกษาคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมแกลบ 4 ตัวอย่าง ในช่วงพลังงานตั้งแต่ 224.92 keV ถึง 662 keV

### วิธีการศึกษา

#### 1. วิธีการสร้างอิฐมวลเบา

ในการสร้างอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียด ได้ออกแบบ 4 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่าง มีอัตราส่วนผสม ดังตารางต่อไปนี้

Table 1. Showed ratio of ingredients of LACRA

Material	LACRA	LACRA	LACRA	LACRA
	1	2	3	4
Content (%)	Content (%)	Content (%)	Content (%)	Content (%)
Portland-cement	30	25	20	15
Rice husk ash	0	5	10	15
Sand	50	50	50	50
Ca (OH) <sub>2</sub>	9	9	9	9
Gypsum	9	9	9	9
Ca (ClO) <sub>2</sub>	2	2	2	2

Figure 1 แสดงตัวอย่างอิฐมวลเบาผสมแกลบ บดละเอียด ทั้ง 4 ตัวอย่าง



Figure 1 Show examples of mixture of LACRA

#### 2. วิธีหาค่าความหนาแน่น

หาความหนาแน่นโดยพิจารณาจากความหนาแน่นสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับน้ำ ดังสมการ

$$\rho_{Ex} = \frac{W_{air}}{W_{air} - W_{water}} \times \rho_{water} \quad (1)$$

$\rho_{Ex}$  หมายถึง ความหนาแน่นของตัวอย่างอิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียด ( $g/cm^3$ )  
 $\rho_{water}$  หมายถึง ความหนาแน่นของน้ำ ( $g/cm^3$ )  
 $W_{air}$  หมายถึง น้ำหนักของอิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียดที่ชั่งในอากาศ (g) และ  $W_{water}$  หมายถึง น้ำหนักของอิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียดที่ชั่งในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ดัง Figure 2



Figure 2 Show density scales

### 3. วิธีการหาค่าประกอบทางเคมีของอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียดในสัดส่วนร้อยละ น้ำหนักขององค์ประกอบ

นำตัวอย่างอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่างมาบดให้ละเอียด แล้วนำมั่งที่

ได้จากทั้ง 4 ตัวอย่างไปวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ดัง Figure 3



Figure 3 Show X-ray fluorescence (XRF)

### 4. วิธีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบแบบบดละเอียด

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อที่ 3 มาวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบแบบบดละเอียด ซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล ค่าความหนาครึ่งค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยคำนวณโดยใช้โปรแกรม WinXCOM

### 5. วิธีการวิเคราะห์หาค่าความเค้น ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบแบบบดละเอียด

หาค่าความเค้นโดยนำของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด 4 ตัวอย่าง ขนาด  $5 \times 5 \times 5$  นิ้ว ไปวัดหาค่าความเค้น โดยใช้เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซลหรือเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) ดัง Figure 4



Figure 4 Universal testing machine

### ผลการศึกษา

ความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบ บดละเอียด 4 ตัวอย่าง แสดงใน Table 2

Table 2. The density of LACRA.

Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )
LACRA1	1.4465
LACRA2	1.3616
LACRA3	1.2284
LACRA4	1.2080

จาก Table 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมที่เป็นเถ้าแกลบบดละเอียดกับอิฐมวลเบา ส่งผลให้อิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียดมีความหนาแน่นลดลง ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของ 4 ตัวอย่าง ผลที่ได้สะท้อนให้เห็นว่า LACRA1 มีน้ำหนักมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ 3 และ 4 แสดงค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันมาก

Table 3. The chemical compositions of LACRA in wt.% fraction of elements

Wt. (%)	LACRA1	LACRA2	LACRA3	LACRA4
Si	22.389	24.496	26.403	32.768
Cl	4.427	3.770	4.545	5.049
Ca	33.345	35.063	36.137	39.988
Fe	36.034	34.120	29.949	19.499
Cu	1.919	1.779	1.604	1.641
Zn	1.886	0.773	1.362	1.060

จาก Table 3 แสดงให้เห็นว่า Wt. (%) ของธาตุซิลิกอน (Si) เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบบดละเอียดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบบดละเอียดที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ Wt. (%) ของธาตุเหล็ก (Fe) ลดลง ในกรณีธาตุอื่นๆ LACRA ทุกตัวอย่าง มีค่า Wt. (%) ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งวัสดุที่สามารถกำบังรังสีได้ดีต้องมีเลขอะตอม และความหนาแน่นสูง จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของธาตุหลักของอิฐมวลเบาทั้ง 4 ก้อน คือ Si, Ca และ Fe ซึ่งมีเลขอะตอมที่สูง และมีองค์ประกอบของธาตุที่เหมาะสมในการกำบังรังสี [15]

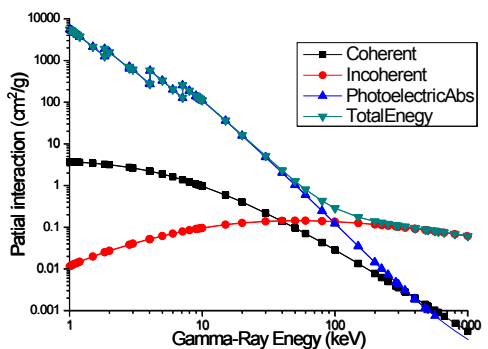


Figure 5. The partial interaction of LACRA1

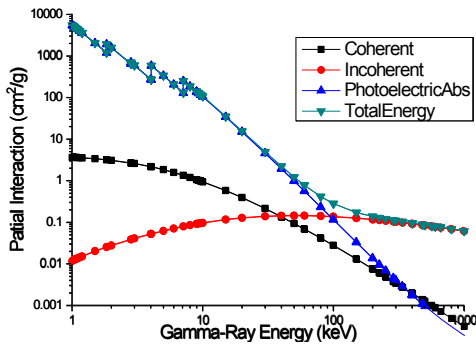


Figure 6. The partial interaction of LACRA 2

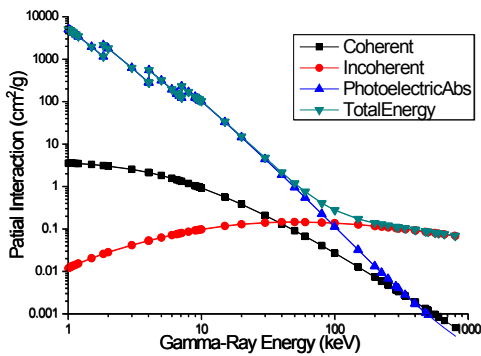


Figure 7. The partial interaction of LACRA3

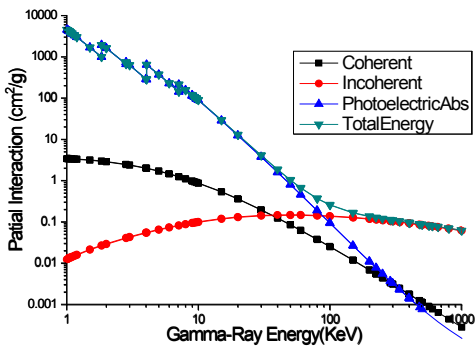


Figure 8. The partial interaction of LACRA 4

จาก Figure 5-8 แสดงให้เห็นว่าในช่วงพลังงานรังสีแกมมา น้อยกว่า 100 keV อันตรกิริยาหลัก คือ อันตรกิริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก และในช่วงพลังงาน 101 keV ถึง 662 keV อันตรกิริยาหลัก คือ การกระเจิง

แบบอินโคฮีเลนต์ โดยที่อิฐมวลเบาผสมแกลบ บดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงแนวโน้มอันตรกิริยา ย่อยคล้ายกัน ดังนั้น ในช่วงพลังงาน 224.92keV ถึง 662 keV อันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้น คือ การกระเจิงแบบ อินโคฮีเลนต์ (การกระเจิงคอมป์ตัน)

Table 4. The mass attenuation coefficient of LACRA in the energy range 224.92-662.00 keV.

Energy (keV)	The mass attenuation coefficient (cm <sup>2</sup> /g)			
	LACRA	LACRA	LACRA	LACRA
	1	2	3	4
224.92	0.129	0.128	0.128	0.127
251.63	0.121	0.121	0.120	0.120
288.39	0.112	0.112	0.112	0.112
337.72	0.104	0.104	0.104	0.104
401.76	0.096	0.096	0.098	0.096
479.90	0.088	0.088	0.088	0.088
564.09	0.082	0.082	0.082	0.082
662.00	0.076	0.076	0.076	0.077

จาก Table 4 แสดงให้เห็นว่าอิฐมวลเบาผสม แกลบบดละเอียด ทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าสัมประสิทธิ์การ ลดทอนเชิงมวลที่ใกล้เคียงกันมาก ผลจากการทดลอง สะท้อนให้เห็นว่าอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียด ทั้ง 4 ตัวอย่าง มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่ง ส่งผลให้มีโอกาสในการกำบังรังสีที่ใกล้เคียงกันในช่วง พลังงานรังสีแกมมา 224.92 keV ถึง 662.00 keV อันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในช่วงพลังงานที่ศึกษานี้ ได้แก่ อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบอิน โคฮีเลนต์ และการกระเจิงแบบโคฮีเลนต์

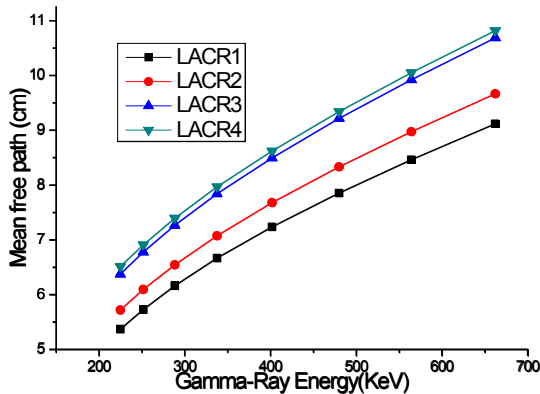


Figure 9. Mean free path of LACRA

จาก Figure 9 แสดงให้เห็นว่า LACRA1 มีค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากมี Wt. (%) ของธาตุเหล็ก (Fe) มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ส่งผลให้มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยามากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในช่วงพลังงานนี้ ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลใน Table 7 แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตตัวอย่างที่ 3 และ 4 มีค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งส่งผลทำให้มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาที่ใกล้เคียงกัน

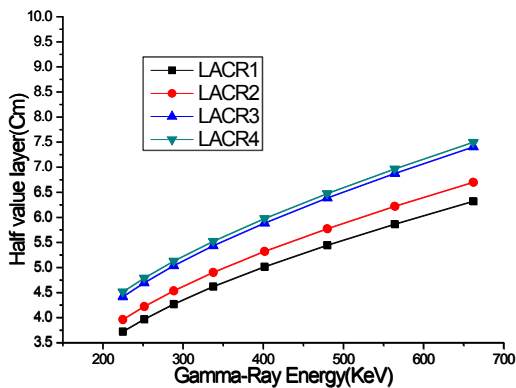


Figure 10. Half value layer of LACRA

จาก Figure 8 แสดงให้เห็นว่า LACRA1 มีค่าความหนาครั้งค่าน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลใน Table 4 และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยจาก Figure 9 ผลที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาของอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสร้างผนังกั้นรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีในช่วงพลังงานต่างๆ ได้

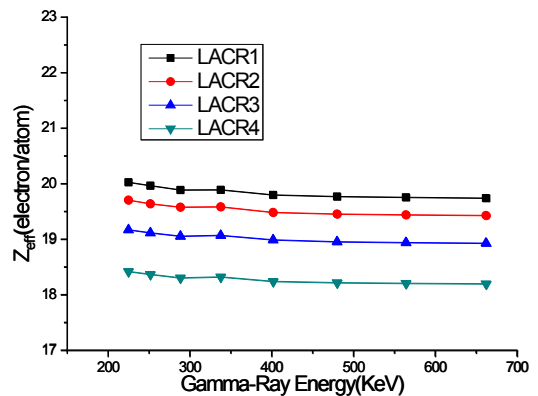


Figure 11.  $Z_{eff}$  of LACRA

จาก Figure 11 แสดงให้เห็นว่า LACRA1 มีเลขอะตอมยังผลสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลใน Table 7 ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยใน Figure 9 และค่าความหนาครั้งค่านใน

Figure 10

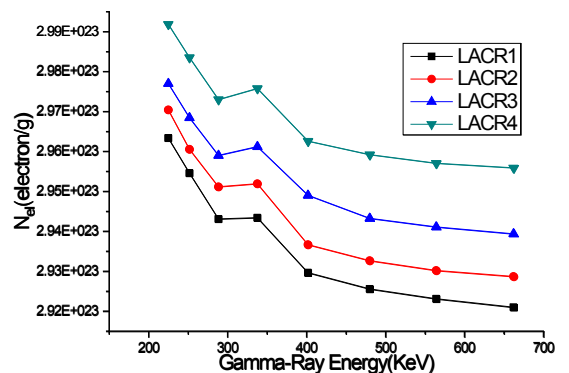


Figure 12.  $N_{eff}$  of LACRA

จาก Figure 12 แสดงให้เห็นว่า LACRA4 มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผลสูงกว่าของตัวอย่างอื่นๆ ในช่วงพลังงานนี้ อย่างไรก็ตามอิทธิพลเบาผสมเข้าแก่ลบบดละเอียดแสดงแนวโน้มว่ามีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผลลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้น

Table 5. The stress of LACRA

Material		Load (N)	Stress (N/cm <sup>2</sup> )
LACRA1	Peak	12085.0	83.923
	Break	9137.0	63.451
LACRA2	Peak	10382.1	72.098
	Break	8215.3	57.051
LACRA3	Peak	5633.5	39.122
	Break	4284.7	29.755
LACRA4	Peak	4846.2	33.654
	Break	3656.0	25.389

จาก Table 5 พบว่าถ้าเพิ่มอัตราส่วนเข้าแก่ลบบดละเอียดทำให้อิทธิพลเบาผสมเข้าแก่ลบบดละเอียดตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ทำให้อิทธิพลเบาผสมเข้าแก่ลบบดละเอียดและเมื่อเทียบค่าความเค้นที่จุดสูงสุดพบว่าอิทธิพลเบาผสมเข้าแก่ลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าในช่วงที่สามารถนำไปก่อสร้างเป็นผนังเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในห้องที่มีรังสีได้ [16]

## สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติในการกำบังรังสีแกมมาของอิทธิพลเบาผสมเข้าแก่ลบบดละเอียด 4 ตัวอย่าง ที่ช่วงพลังงาน 224.92 keV ถึง 662.00 keV ผลจากการวิจัยพบว่า อิทธิพลเบาตัวอย่าง

ที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ค่าความหนาแน่นค่า และเลขอะตอมยังผลดีกว่าตัวอย่างอิทธิพลเบาตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลเบาผสมเข้าแก่ลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าตัวแปรที่สำคัญต่อการกำบังรังสีที่ใกล้เคียงกันมาก และมีค่าความเค้นลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเข้าแก่ลบบดละเอียด อย่างไรก็ตามค่าความเค้นที่วัดได้อยู่ในช่วงที่สามารถนำไปก่อสร้างเป็นผนังได้ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า อิทธิพลเบาผสมเข้าแก่ลบบด 4 ตัวอย่างนี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อทำเป็นผนังกำบังรังสีได้ในช่วงพลังงานที่ศึกษา

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดสอบหาประสิทธิภาพในการกำบังรังสี และทดสอบหาค่าความเค้นในงานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

- 1 Meisinger, Q.C., Stahl, C.M., Andre, M.P., Kinney, T.B., Newton, I.G. 2016. Radiation protection for the fluoroscopy operator and staff. *Am. J. Roentgenol.* 207: 745-754.
- 2 Limkitjaroenporn, P., Kaewkhaoa, J., Chewpraditkul, W. and Limsuwan, P. 2012. Mass Attenuation Coefficient and Effective Atomic Number of Ag/Cu/Zn Alloy at Different Photon Energy by Compton Scattering



- Technique. *Procedia Engineering*, vol.32: 847-854.
- 3 Önder, P., Tursucu, A., Demir, D. and Gürol, A. 2012. Studies on mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some thermoluminescent dosimetric compounds. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, vol.292: 1-10.
- 4 Bonnin, A., Duvauchelle, P., Kaftandjian, V. and Ponard, P. 2014. Concept of effective atomic number and effective mass density in dual-energy X-ray computed tomography. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, vol.318: 223-231.
- 5 Akman, F., Durak, R., Turhan, M. F. and Kaçal, M.R. 2015. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. *Applied Radiation and Isotopes*, vol.101: 107-113.
- 6 Lama, L. S. D., Soares, L. D. H., Antoniassi, M. and Poletti, M. E. 2015. Effective atomic numbers for materials of medical interest at low photon energy using the Rayleigh to Compton scattering ratio. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, vol.784: 597-601.
- 7 Kumar, A. 2016. Studies on effective atomic numbers and electron densities of nucleobases in DNA. *Radiation Physics and Chemistry*, vol.127: 48-55.
- 8 Issa, S. A. M. 2016. Effective atomic number and mass attenuation coefficient of PbO-BaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass system. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 120: 33-37.
- 9 Chaiphaksa, W., Limkitjaroenporn, P., Kim, H.J., Kaewkhao, J. 2016. The mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for GAGG:Ce and CaMoO<sub>4</sub> scintillators. *Progress in Nuclear Energy*, vol.92: 48-53.
- 10 Rossignolo, J.A., Agnesini, M.V.C., Morais, J.A. 2003. Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. *Cem. Concr. Compos.* 25: 77-82.
- 11 Ke, Y., Ortola, S., Beaucour, A.L., Dumontet, H. 2010. Identification of microstructural characteristics in lightweight aggregate concretes by micromechanical modelling including the interfacial transition zone (ITZ). *Cem.Concr.Res.*40: 1590-1600.
- 12 Yoon, J., Kim, J., Hwang, Y., Shin, D. 2015. Lightweight concrete produced using a two stage casting process. *Materials(Basel)*.8: 1384-1397.
- 13 Chabannes, M., Bénézet, J.-C., Clerc, L., Garcia-Diaz, L. 2014. Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application.



- Construction and Building Materials*.70: 428-438.
- 14 Chabi, E., Lecomte, A., Adjovi, E.C., Dieye, A., Merlin, A. 2018. Mix design method for plant aggregates concrete: Example of the rice husk. *Construction and Building Materials*.174: 233-243.
- 15 Mukhtar O. A., Shamsad A., Salah U. Al-Dulajjan , Mohammed M., and Akhtar A. N. 2019. Radiation shielding performance of heavy-weight concrete mixtures. *Construction and Building Materials*. 224: 284-291
- 16 ชวลิต อ้อเจริญ และ รชพล อินทิพย์. 2559. การศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบ 2 ทิศทาง: ปริญญวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิต ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา