

ประสิทธิภาพการกำบังรังสีแกมมาของคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์โดยใช้ โปรแกรมจำลองมอนติคาร์โล

ศุภกิตต์ ยลพันธ์^{1,2*}, เฉลิมพล มุรุษวงศ์^{1,2}, ณัฐกฤตา จันทิมา^{1,2} และวุฒิชัย ไชยภักษา^{1,2}

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม

*supakit.sc.phy@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินประสิทธิภาพของคอนกรีต (Ordinary concretes) และคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ (Magnetite steel concretes) สำหรับใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV ซึ่งใช้โปรแกรม PHITS สำหรับการจำลองแบบมอนติคาร์โล โดยใช้หุ่นจำลองมนุษย์เพศชาย (Adult Male Mesh-type reference computational phantom : MRCP-AM) เพื่อเป็นตัวแทนมนุษย์เพศชาย ผลจากการจำลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผลและค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล ของเหล็กแมกนีไทต์มากกว่าคอนกรีตบ่งบอกถึงความสามารถในการป้องกันรังสีที่ดีกว่า นอกจากนี้ ภาพการจำลองปริมาณรังสีดูดกลืนในอวัยวะต่างๆ ในร่างกายแสดงให้เห็นว่า การใช้คอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์เป็นวัสดุป้องกันรังสี สามารถช่วยลดการดูดกลืนปริมาณรังสีในแต่ละอวัยวะได้ดี โดยอวัยวะที่มีปริมาณรังสีดูดกลืนมากที่สุดคืออวัยวะ หัวใจ ปอด ตับ และสมอง ตามลำดับ จากผลการวิจัยทั้งหมดสรุปได้ว่าคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีศักยภาพในการป้องกันรังสีแกมมามากกว่าคอนกรีตจึงเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีแกมมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: รังสีแกมมา มอนติคาร์โล คอนกรีต PHITS Computational phantom

The efficiency of concrete and magnetite steel concrete for gamma-ray shielding using the Monte Carlo simulation program

Supakit Yonphan^{1,2,*}, Chalermpon Mutuwong^{1,2}, Natthakridta Chanthima^{1,2} and Wuttichai Chaiphaksa^{1,2}

¹Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

²Center of Excellence in Glass Technology (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

*supakit.sc.phy@gmail.com

Abstract

This research aims to evaluate the efficiency of ordinary concrete and magnetite steel concrete as materials for gamma-ray shielding at an energy of 662 keV using the PHITS program, which is a Monte Carlo simulation software. The Adult Male Mesh-type reference computational phantom (MRCP-AM) was used as a digital human model. The simulation results indicate that magnetite steel concrete exhibits higher values for mass attenuation coefficient, atomic number, and electron density compared to ordinary concretes, suggesting a superior ability to shield gamma radiation. Furthermore, the effective dose rate demonstrates that employing magnetite steel concretes as a shielding material helps to reduce absorbed dose in various organs of the body. The organs with the highest absorbed dose are the testis, heart, lungs, liver, and brain, respectively. These findings indicate that magnetite steel concretes offer greater potential for gamma-ray shielding compared to ordinary concrete, rendering it suitable for use as an efficient and radiation shielding material.

Keywords: Gamma ray, Monte Carlo, Concretes, PHITS, Computational phantom

1. บทนำ

ในปัจจุบันรังสีถูกนำมาใช้งานในด้านต่างๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรม การแพทย์ และการวิจัยทางการแพทย์ [1] แต่หากไม่มีการป้องกันที่ดีก็มีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอันตรายจากการใช้งานได้ เนื่องจากรังสีสามารถส่งผลกระทบต่ออวัยวะต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ โดยปริมาณรังสีที่ได้รับในอวัยวะสำคัญเช่น สมอง ปอด หัวใจ ตับ และต่อมไทรอยด์ จะมีผลโดยตรงต่อสุขภาพ ซึ่งปริมาณรังสีที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น มะเร็ง หรือความผิดปกติทางพันธุกรรมได้ ดังนั้นการป้องกันรังสีจึงเป็นสิ่งสำคัญในการลดความเสี่ยงดังกล่าว [2] โดยหลักการป้องกันรังสีเบื้องต้นมี 3 ข้อหลัก คือ เวลา ระยะทาง และการกำบัง (Time, Distance, and Shielding) การลดเวลาการสัมผัสรังสี การเพิ่มระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี และการใช้วัสดุที่สามารถป้องกันรังสีได้อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดปริมาณรังสีที่ได้รับ [3] ดังนั้นการพัฒนาวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีจึงมีความสำคัญ เนื่องจากสามารถช่วยลดความเสี่ยงที่เกิดจากรังสีแกมมาได้ [4] โดยทั่วไปคอนกรีตเป็น

วัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้าง และมักถูกใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีเนื่องจากมีความหนาแน่นและความสามารถในการลดทอนรังสีที่ดี [5] การวิจัยเกี่ยวกับวัสดุป้องกันรังสีมีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง มีการศึกษาและพัฒนาวัสดุใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีสูง และหนึ่งในวัสดุที่มีความน่าสนใจคือ คอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ (Magnetite steel concrete) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบของแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ซึ่งเป็นแร่เหล็กออกไซด์ที่มีคุณสมบัติพิเศษในการป้องกันรังสีและความหนาแน่นสูง คอนกรีตชนิดนี้มักใช้ในงานที่ต้องการการป้องกันรังสีอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ห้องทดลองทางการแพทย์ที่ใช้รังสี หรือสิ่งปลูกสร้างที่เกี่ยวข้องกับการใช้รังสีในอุตสาหกรรม [6] จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพระหว่างคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ในการใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV โดยใช้โปรแกรม PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) สำหรับการจำลองแบบมอนติคาร์โล ซึ่งโปรแกรม PHITS เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคและไอออนหนักในวัสดุต่างๆ และสามารถใช้วิเคราะห์และประเมินผลกระทบของรังสีในหลายๆ ด้าน ในการจำลองครั้งนี้ได้เลือกใช้หุ่นจำลองมนุษย์เพศชาย (Adult Male Mesh-type reference computational phantom: MRCP-AM) เพื่อเป็นตัวแทนของมนุษย์เพศชายสำหรับศึกษาและประเมินผลกระทบของรังสีต่อร่างกายมนุษย์ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ [7]

2. ทฤษฎี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษ้อันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมาเพื่อการประเมินประสิทธิภาพของคอนกรีต (Ordinary concretes) และคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ (Magnetite steel concretes) โดยใช้ PHITS สำหรับการจำลองแบบมอนติคาร์โล เพื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล โดยสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้จากสมการที่ 1

$$\mu_m = \frac{\ln(i_0/i)}{\rho t} \quad (1)$$

เมื่อ ρ และ t คือ ความหนาแน่น (g/cm^3) และความหนาของวัสดุดูดซับ (cm) ตามลำดับ ในขณะที่ i_0 คือความเข้มของรังสีที่ตกกระทบก่อนผ่านวัสดุและ i คือความเข้มของรังสีที่ผ่านวัสดุออกมา [8]

การคำนวณค่าเลขอะตอมยังผล ซึ่งมีนิยามคือ ค่าเฉลี่ยของเลขอะตอมในสสารที่เป็นสารประกอบหรือของผสมซึ่งอาจมีค่าไม่คงที่ขึ้นกับอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนจากรังสีตกกระทบของสสารนั้น นิยามจากสมการ

$$Z_{eff} = \frac{\delta_{t,a}}{\delta_{t,el}} \quad (2)$$

โดย $\delta_{t,a}$ คือ ภาคตัดขวางรวมของอันตรกิริยาทั้งหมดต่ออะตอมซึ่งมีสมการเป็น

$$\delta_{t,a} = \frac{\mu_m}{N_A \sum_i (w_i / A_i)} \quad (3)$$

และ $\delta_{t,el}$ คือ ภาคตัดขวางรวมของอันตรกิริยาทั้งหมดต่ออิเล็กตรอนซึ่งมีสมการเป็น

$$\delta_{t,el} = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (4)$$

เมื่อ N_A คือ เลขอะโวกาโดร มีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23}

A_i คือ เลขมวลของธาตุแต่ละชนิดในสสาร

Z_i คือ เลขอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในสสาร

f_i คือ อัตราส่วนของอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในสารต่อมวล 1 กรัม กับจำนวนอะตอมทั้งหมดของสารต่อมวล 1 กรัม

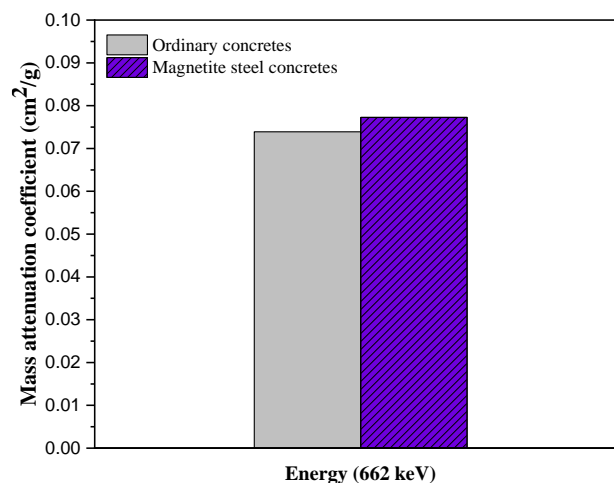
การคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$N_e = \frac{\mu_m}{\delta_{t,el}} \quad (5)$$

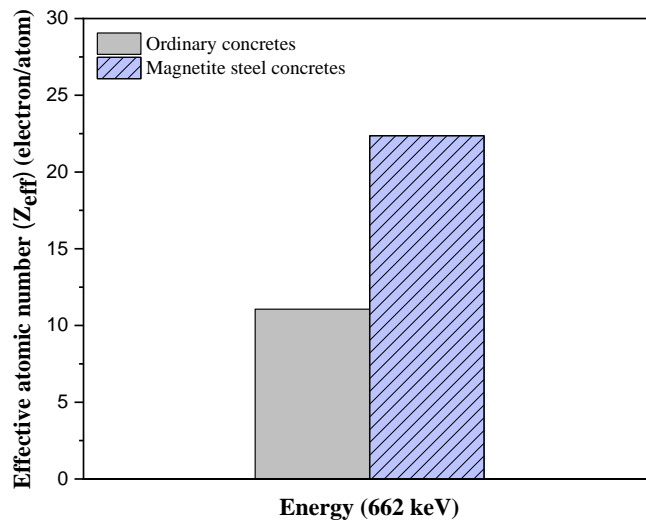
เมื่อ μ_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (cm^2/g) และ $\delta_{t,el}$ คือ ภาคตัดขวางรวมของอันตรกิริยาทั้งหมดต่ออิเล็กตรอน

3. ผลการวิจัย

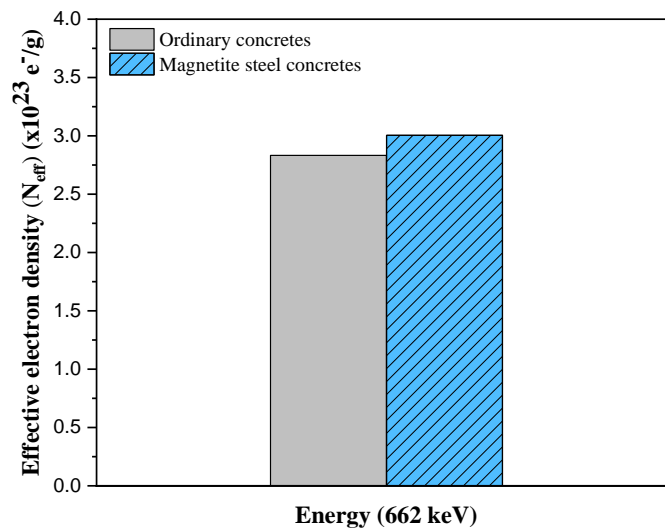
การป้องกันรังสีต้องอาศัยพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีของวัสดุ โดยที่วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสูงบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีได้ดี จากภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลซึ่งบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นของการเกิดอันตรกิริยาในวัสดุ พบว่าคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา ในทำนองเดียวกัน ภาพที่ 2 และ 3 แสดงค่าเลขอะตอมยังผล และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล โดยพบว่าทั้งสองค่ามีแนวโน้มกราฟไปในทิศทางเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล โดยที่ค่าเลขอะตอมยังผลและค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลของคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มแมกนีไทต์ในคอนกรีตช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันรังสีได้ดีขึ้น เนื่องจากเหล็กแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) มีองค์ประกอบของธาตุเหล็กที่มีความหนาแน่นสูง ส่งผลให้โอกาสการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับวัสดุเพิ่มมากขึ้น ประกอบด้วยการดูดกลืนโฟตอนแบบโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Absorption) การกระเจิงของคอมป์ตัน (Compton Scattering) และการผลิตคู่ (Pair Production) จากผลการเปรียบเทียบทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีความเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสี



ภาพที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์



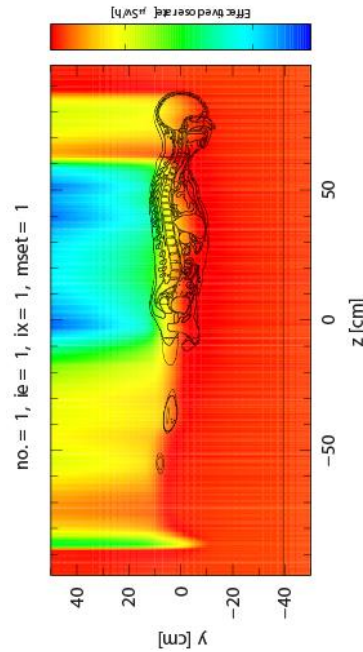
ภาพที่ 2 ค่าเลขอะตอมยังผลของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์



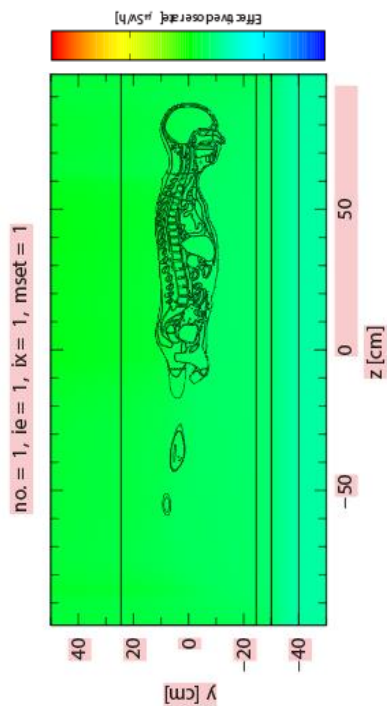
ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์

จากภาพที่ 4 ภาพจำลองปริมาณรังสีที่ได้รับในร่างกายมนุษย์ จากผลการจำลองนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้วัสดุป้องกันรังสีที่แตกต่างกัน โดยในกรณีที่ไม่มีการใช้วัสดุป้องกัน (ก) ภาพการจำลองแสดงว่าร่างกายดูดกลืนรังสีในปริมาณสูงที่สุด ในขณะที่การใช้คอนกรีตธรรมดา (ข) ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีดูดกลืนในร่างกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการป้องกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้คอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ (ค) แสดงให้เห็นปริมาณรังสีดูดกลืนในร่างกาย ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับทั้งสองกรณี แสดงถึงประสิทธิภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ในการป้องกันรังสีแกมมา ภาพที่ 5 แสดงปริมาณรังสีดูดกลืนในอวัยวะต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าปริมาณรังสีดูดกลืนของทุกอวัยวะเมื่อใช้คอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คอนกรีตธรรมดา ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบรังสีดูดกลืนในแต่ละอวัยวะพบว่า อวัยวะที่มีปริมาณรังสีดูดกลืนมากที่สุดคือ ต่อมไทรอยด์ หัวใจ ปอด

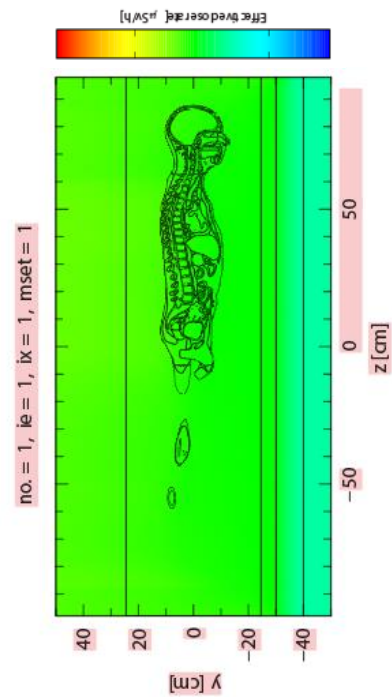
ดับ และสมอง ตามลำดับ จากผลการวิจัยทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มเหล็กแมกนีไทต์ในคอนกรีตช่วยเพิ่มความสามารถในการลดทอนรังสีได้ดีมากขึ้น การศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์และประสิทธิภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ในการป้องกันรังสีซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานด้านการป้องกันรังสีในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ



(ก.) ไม่มีการป้องกัน

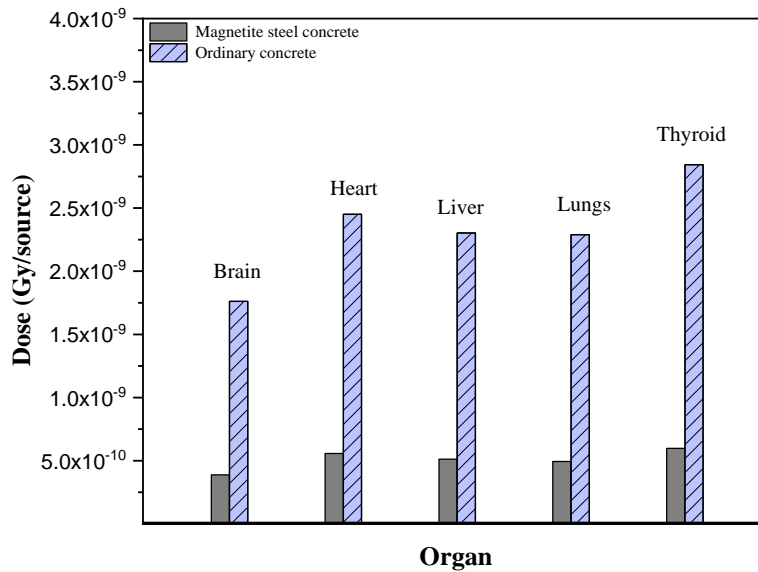


(ข.) คอนกรีตธรรมดา



(ค.) คอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์

ภาพที่ 4 ภาพจำลองปริมาณรังสีที่ได้รับในร่างกายมนุษย์



ภาพที่ 5 ปริมาณรังสีดูดกลืนในอวัยวะต่างๆ ของร่างกายมนุษย์

4. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาและการประเมินประสิทธิภาพของคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ในการป้องกันรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV โดยใช้โปรแกรม PHITS สำหรับการจำลองแบบมอนติคาร์โล โดยใช้หุ่นจำลองมนุษย์เพศชายเป็นตัวแทน ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลหอะตอมยังผล และความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลมากกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากเหล็กแมกนีไทต์มีองค์ประกอบของธาตุเหล็กที่มีความหนาแน่นสูงส่งผลให้โอกาสการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับวัสดุเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถของคอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ในการป้องกันรังสีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าคอนกรีตธรรมดา จากภาพการจำลองปริมาณรังสีดูดกลืนในอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย แสดงให้เห็นว่าการใช้คอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์ช่วยลดปริมาณรังสีดูดกลืนในแต่ละอวัยวะได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยอวัยวะที่มีปริมาณรังสีดูดกลืนมากที่สุดคือ ต่อมไทรอยด์ หัวใจ ปอด ตับ และสมอง ตามลำดับ จากการวิจัยทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตเสริมเหล็กแมกนีไทต์มีความสามารถในการป้องกันรังสีแกมมาดีกว่าคอนกรีต เหมาะสำหรับการไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีแกมมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครปฐม และงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาเอก (NRCT5-RRI63015-P19)

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Liu, X., & Zhang, Y. (2020). Applications and developments of radiation shielding materials. Journal of Radiation Protection, 35(3), 123-135.



- [2] Brenner, D.J., & Hall, E.J. (2007). "Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure." *New England Journal of Medicine*, 357, 2277-2284.
- [3] Turner, J.E. (2007). "Atoms, Radiation, and Radiation Protection." 3rd Edition, Wiley-VCH, Weinheim.
- [4] Chen, Y., et al. (2019). *Advances in Gamma Ray Shielding Materials. Radiation Physics and Chemistry*, 162, 1-10.
- [5] Nguyen, T., et al. (2021). *Enhanced Gamma Ray Shielding with Magnetite Concrete. Construction and Building Materials*, 310, 125-133.
- [6] Abdullah, M.A.H., Rashid, R.S.M., Amran, M., Hejazii, F., Azreen, N.M., Fediuk, R., Voo, Y.L., Vatin, N.I., & Idris, M.I. (2022). Recent trends in advanced radiation shielding concrete for construction of facilities: Materials and properties. *Polymers*, 14(2830).
- [7] Sato, T., et al. (2013). Overview of the PHITS code. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 50(9), 913-923.
- [8] Kore, S. D., Patil, R. P., Mohod, V. M., Deshpande, A. V., & Vaidya, P. V. (2014). Measurement of mass attenuation coefficient of soil samples from different places in Maharashtra state (India) by using gamma ray spectrometry. *Radiation Physics and Chemistry*, 97, 278-282