การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณความหนาของคอนกรีตสำหรับกำบังรังสีแกมมา

Development of a Computer Program to Calculate Concrete Thickness for Gamma-ray Shielding

มูฮำหมัดซู สุหลง (Muhammadsu Sulong)* สมยศ ศรีสถิตย์ (Somyot Srisatit)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณความหนาผนังคอนกรีตสำหรับกำบังรังสีแกมมา โดยการทดลองวัดหาค่า Build up factor และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแผ่นคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 2.71 g/cm^3 และความหนาในช่วง 0 – 30 ซม ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจาก Cs-137 พลังงาน 0.662 MeV และ Co-60 พลังงานเฉลี่ย 1.25 MeV เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาใช้ในการคำนวณความหนาของผนังคอนกรีตด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่าสะดวกรวดเร็วและได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เหมาะสำหรับใช้ในการคำนวณความหนาของผนังคอนกรีต

ABSTRACT

This research was developed a computer program to calculated concrete wall thickness for gamma-ray shielding. The input data was from the measurement of buildup factor and linear attenuation coefficient of concrete slabs at density of 2.71 g/cm^3, the thickness between 0 – 30 cm. The used gamma-ray source were Cs-137, 0.662 MeV of energy and Co-60, 1.25 MeV of average energy. The result of calculation by using the developed program and the data set were satisfactory and convenience to be applied to find the concrete wall thickness.

คำสำคัญ: สิ่งกำบังรังสีแกมมา Build up factor คอนกรีต

Keywords: Gamma ray Shielding, Build up factor, Concrete

*นิสิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

รังสีแกมมาเป็นรังสีชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากรังสีแกมมา มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง เหมาะแก่การฉายรังสีผ่านวัสดุที่หนาและมีปริมาณมากๆได้ ซึ่งสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อมีการใช้รังสีแกมมา คือ สิ่งกำบังรังสีเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและบุคคลทั่วไป การกำบังรังสีแกมมาจะต้องเป็นวัสดุที่มีค่าเลขอะตอมสูงๆ เช่น ตะกั่ว เหล็ก เป็นต้น ในการฉายรังสีแกมมาของโรงงานอุตสาหกรรมหรือศูนย์ฉายรังสี ผนังห้องหรืออาคารจะต้องมีความหนาและเป็นวัสดุที่สามารถป้องกันรังสีแกมมาได้ ซึ่งสิ่งที่นิยมนำมาเป็นวัสดุในการสร้างผนังคือ คอนกรีต โดยจะต้องมีความหนาและความหนาแน่นเหมาะสมกับพลังงานและความแรงของรังสีที่สามารถป้องกันรังสีแกมมาได้ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยสูงสุดของผู้ปฏิบัติงานขณะทำการฉายรังสี โดยการกำบังรังสีจะต้องมีการพิจารณาอัตราการได้รับปริมาณรังสีที่เป็นไปตามมาตรฐานที่ ICRP (International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนด การสร้างกำบังรังสีแกมมาจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนาของวัสดุ ชนิดของวัสดุ ความเข้มและพลังงานของต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วัสดุกำบังรังสีแกมมาเป็นคอนกรีตนั่นเอง

ปัจจุบันเป็นยุคที่เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทอย่างสูงในการใช้ชีวิตประจำวัน ทำให้การเข้าถึงสิ่งต่างๆ เป็นไปได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนาเทคโนโลยีโดยการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณความหนาของคอนกรีตเพื่อความสะดวกรวดเร็ว แม่นยำ และสามารถตอบสนองกับชีวิตในยุคปัจจุบันของผู้ปฏิบัติงาน

การลดทอนรังสีแกมมา (Gamma-ray Attenuation)

การทะลุผ่านของรังสีแกมมาผ่านวัสดุ ที่ไม่มีการเกิดอันตรกิริยากับวัสดุ สามารถหาความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านได้จากสมการดังนี้

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

และการทะลุผ่านของรังสีแกมมาผ่านวัสดุ ที่มีการเกิดอันตรกิริยากับวัสดุ สามารถคำนวณหาความเข้มของรังสีได้จากสมการดังนี้

$$I = B I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

โดยที่ I คือ ความเข้มรังสี เมื่อผ่านวัสดุหรือสิ่งกำบังรังสี, I_0 คือ ความเข้มรังสี เมื่อไม่มีวัสดุหรือไม่มีสิ่งกำบังรังสี, B คือ ค่า Build-up factor, μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear Attenuation Coefficient) มีหน่วยเป็น cm^{-1}และ x คือ ความหนาของวัสดุหรือสิ่งกำบังรังสี มีหน่วยเป็น cm

Build-up factor (B)

เนื่องจากรังสีแกมมา เมื่อทำอันตรกิริยากับวัสดุจะมีทั้งการทะลุผ่านและการกระเจิง ปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัสดุ จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการคำนวณจึงต้องพิจารณาค่า Build-up factor ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นที่เกิดจากการกระเจิงของรังสี ลักษณะดังกล่าวจะเกิดกับการจัดระบบวัดแบบไม่บังคับลำรังสี (Broad Beam - Poor Geometry)

$B = \frac{I+I_s}{I}$ ค่า Build-up factor หมายถึง อัตราปริมาณรังสีรวมที่ทะลุผ่านและรังสีกระเจิงต่อปริมาณรังสีที่ทะลุผ่าน ดังนั้นค่า Build-up factor จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 เสมอ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

(3)

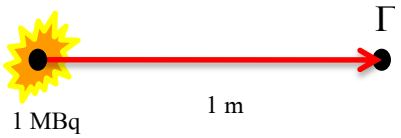
โดยที่ I คือ ปริมาณรังสีรวมที่ทะลุผ่านวัสดุ, I_s คือ ปริมาณรังสีกระเจิง และ B คือ ค่า Build-up factor

Source Strength (Specific Gamma-ray Emission)

เป็นการวัดปริมาณรังสีที่ระยะ 1 เมตร จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา โดยไม่มีสิ่งกำบังรังสี จะเรียกปริมาณ

รังสีที่วัดได้ว่า Source Strength หรือ Specific Gamma-ray Emission และสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

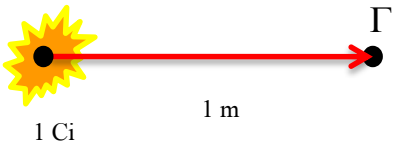
<u>สำหรับหน่วย SI</u>



ภาพที่ 1 แสดงค่า Source Strength (Specific Gamma-ray Emission) ที่ระยะ 1 เมตร จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา ในหน่วย MBq สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4

$$\Gamma = 3.65 \times 10^{-9} \sum_i f_i \times E_i \frac{\left(\frac{C}{kg}\right)}{MBq - hr} \; at\ 1\ m \qquad (4)$$

<u>สำหรับหน่วยเก่า</u>



ภาพที่ 2 แสดงค่า Source Strength (Specific Gamma-ray Emission) ที่ระยะ 1 เมตรจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา ในหน่วย **Ci** สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 5

$$\Gamma = 0.5 \sum_i f_i \times E_i \frac{R}{Ci - hr} \; at\ 1\ m \qquad (5)$$

โดย Γ คือ Source Strength หรือ Specific Gamma-ray Emission, f คือ เปอร์เซ็นต์การสลายตัวให้แต่ละพลังงาน , E คือ พลังงานของต้นกำเนิดรังสีแกมมา มีหน่วยเป็น MeV

จากค่า Source Strength หรือ Specific Gamma-ray Emission (Γ) ทำให้สามารถคำนวณปริมาณรังสีที่ระยะต่างๆได้ โดยใช้กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) จะได้

$$\dot{X} = \frac{\Gamma \times A}{d^2}$$

(6) โดย $\dot{X}$ คือ Exposure rate มีหน่วยเป็น $\frac{C/kg}{hr-m^2}$ หรือ $\frac{R}{hr-m^2}$, A คือ ความแรงรังสี มีหน่วยเป็น MBq หรือ Ci, d คือ ระยะจากต้นกำเนิดรังสีไปถึงจุดที่ต้องการวัดปริมาณรังสี มีหน่วยเป็น เมตร (m)

วัตถุประสงค์การวิจัย

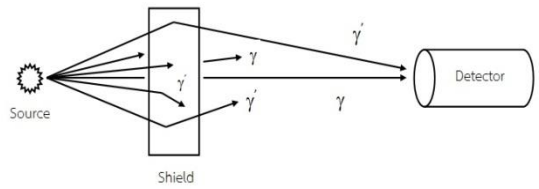
เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณความหนาของคอนกรีตสำหรับกำบังรังสีแกมมา

วิธีการวิจัย

1. เทคนิคการหาค่า Build-up factor

การหาค่า Build-up factor ของคอนกรีต โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจาก Cs-137 และ Co-60 มีขั้นตอนดังนี้

ทำการจัดระบบวัดแบบไม่บังคับลำรังสี(Broad Beam - Poor Geometry) ทำให้รังสีเกิดอันตรกิริยากับแผ่นคอนกรีต เมื่อรังสีเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมพ์ตันกับคอนกรีต และเข้าสู่หัววัดรังสี ทำให้หัววัดได้นับวัดค่าความเข้มของรังสี ดังนั้นรังสีที่เข้าสู่หัววัด จะมีทั้งรังสีที่ไม่เกิดอันตรกิริยากับคอนกรีต และรังสีที่เกิดจากการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน ทำให้เราสามารถหาค่า Build-up factor ได้ ดังภาพที่ 3

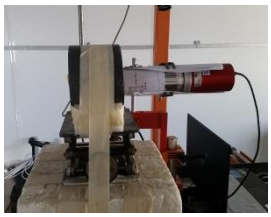


ภาพที่ 3 แสดงระบบวัดรังสีแกมมาแบบไม่บังคับลำรังสี (Broad Beam - Poor Geometry)

จากนั้นทำการวัดค่าความเข้มของรังสี โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 พลังงาน 0.662 MeV อัตราปริมาณรังสี 3400 mR/hr ที่ระยะ 1 เมตร (ณ วันที่

29/5/58) โดยวางหัววัด NaI ขนาด 2×2 นิ้ว ห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะ 5 เมตร และทำการวัดโดยใช้เวลา 60 วินาทีต่อครั้ง บันทึกผล

(a)



(b) (c)

ภาพที่ 4 แสดงการจัดระบบวัดที่ใช้ในการวิจัย

(a) แสดงตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีแกมมาและแผ่นคอนกรีตจำนวน 10 แผ่น

(b) แสดงหัววัดรังสีแกมมา NaI(Tl) ขนาด 2×2 นิ้ว

(c) แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

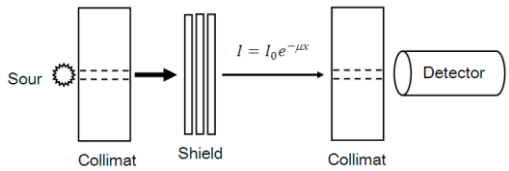
นำแผ่นคอนกรีตที่เตรียมไว้ มาวางเป็นสิ่งกำบังรังสีระหว่างต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสี โดยขนาดของแผ่นคอนกรีตที่ใช้คือ 30 ซม.×30 ซม.×3 ซม. จำนวน 10 แผ่น และส่วนผสมของคอนกรีตโดยปริมาตรเป็น 1:2:3 คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน จากนั้นทำการวัดโดยเพิ่มความหนาของแผ่นคอนกรีตทีละแผ่น และฉายรังสีนาน 60 วินาทีต่อครั้ง บันทึกค่า integral ของสเปกตรัมทั้งหมด(R) และค่า integral จาก Photo peak (I) ของต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ทำการวัดซ้ำเมื่อมีการเพิ่มความหนาของคอนกรีต และสำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ทำตามขั้นตอนเหมือนขั้นตอนในการใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137

จากนั้นนำค่า integral ของสเปกตรัมทั้งหมด(R) มาลบกับค่า integral จาก Photo peak (I) ที่ความหนาต่างๆ จะได้ส่วนเฉพาะสเปกตรัมที่เกิดการกระเจิง(R-I) จากนั้นนำค่า R-I ที่ความหนานั้นๆ ไปลบกับ R-I ที่ไม่มีแผ่นคอนกรีตหรือไม่มีสิ่งกำบังรังสีนั่นเอง ดังนั้นสิ่งที่ได้ คือส่วนที่เป็นการกระเจิงจริงๆนั่นเอง(I_s)

และนำค่า I และ I_s มาคำนวณหาค่า Build-up factor ตามสมการที่ 3 และได้ค่า Build-up factor ดังตารางที่ 1 และ 2

2. เทคนิคการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear Attenuation Coefficient)

จัดระบบวัดรังสีแกมมาแบบบังคับลำรังสี (Narrow Beam - Good Geometry) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์กรลดทอนเชิงเส้นของคอนกรีต ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงระบบวัดรังสีแกมมาแบบบังคับลำรังสี (Narrow Beam - Good Geometry)

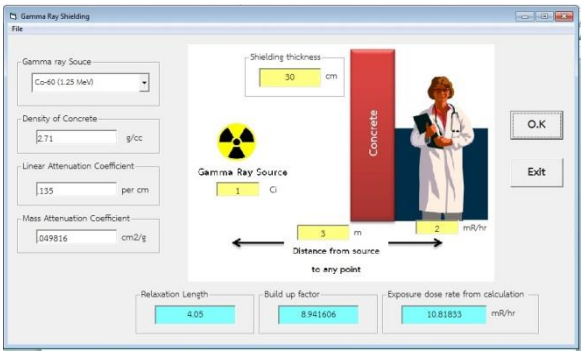
นำค่าความหนาของคอนกรีตและความเข้มรังสี (I) ตามข้อมูลในการหาค่า Build-up factor มาเขียนกราฟ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear Attenuation Coefficient) ได้จากความชันของกราฟ ซึ่งได้แสดงในกราฟที่ 1 และ 2 ในหัวข้อผลการวิจัย

3. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณความหนาของคอนกรีตสำหรับกำบังรังสีแกมมา

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้าง คือ โปรแกรม Visual Basic 6 โดยการสร้างโปรแกรมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง เป็นหน้าจอของโปรแกรม เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้ เรียกว่า user interface และส่วนที่สอง เป็นการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ

ของระบบควบคุม บนฟอร์มให้เหมาะสมและเขียนคำสั่งตอบสนองโปรแกรมที่สร้างขึ้น

จากงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาโปรแกรมคำนวณความหนาของคอนกรีตสำหรับกำบังรังสีแกมมา โดยการเขียนคำสั่งให้โปรแกรมได้คำนวณตามที่เราต้องการ และมีฟังก์ชั่นการใช้งานต่างๆ โดยมีหน้าต่างโปรแกรมดังภาพที่ 6



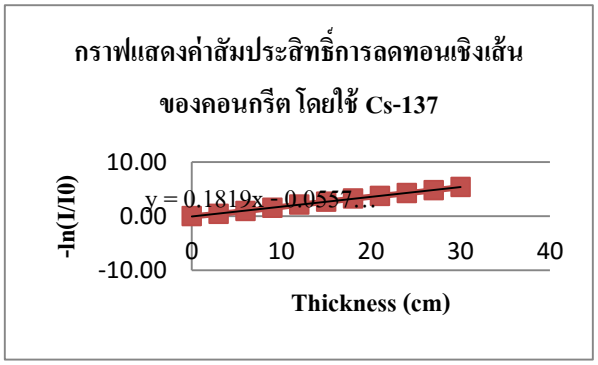
ภาพที่ 6 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมคำนวณความหนาของคอนกรีต

ผลการวิจัย

จากการทดลองหาค่า Build-up factor และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น(Linear Attenuation Coefficient) ของแผ่นคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 2.71 g/cm^3 โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจาก Cs-137 พลังงาน 0.662 MeV และ Co-60 พลังงานเฉลี่ย 1.25 MeV พบว่าได้ค่า Build-up factor และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นตามข้อมูลข้างล่างนี้

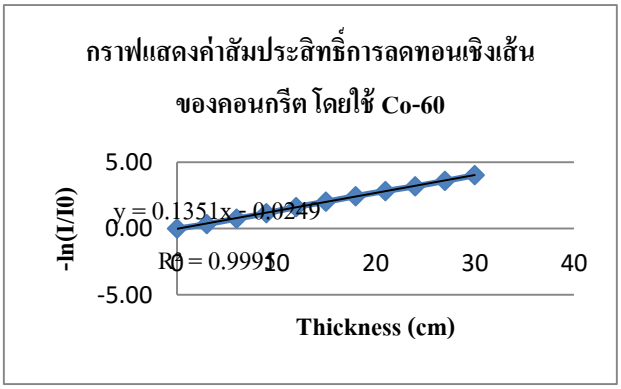
ตารางที่ 1 แสดงค่า Build up factor ของคอนกรีต จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 และ Co-60

Thickness (cm)	Build-up factor	
	Cs-137	Co-60
3	2.270796	4.817990
6	2.500073	5.070752
9	2.801063	5.370746
12	3.146934	5.848723
15	3.530907	6.228187
18	4.107140	6.739431
21	4.802982	7.253384
24	5.751715	7.792628
27	7.311224	8.703226
30	7.494260	8.941606



ภาพที่ 7 แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของคอนกรีต โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 พลังงาน 0.662 MeV

จากภาพที่ 7 เป็นกราฟระหว่างค่า $-\ln(I/I_0)$ กับค่าความหนาของคอนกรีต ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเท่ากับ 0.1819 cm^{-1}



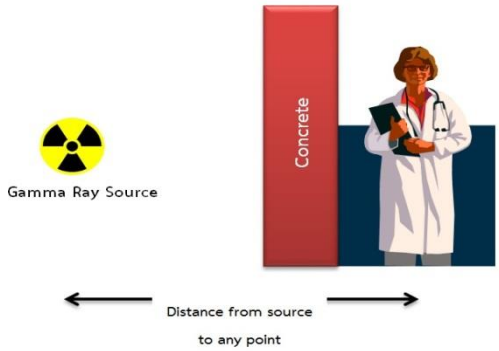
ภาพที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของคอนกรีต โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 พลังงานเฉลี่ย 1.25 MeV

จากภาพที่ 8 เป็นกราฟระหว่างค่า $-\ln(I/I_0)$ กับค่าความหนาของคอนกรีต ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเท่ากับ 0.1351 cm^{-1}

จากนั้นนำค่าที่ได้เป็นข้อมูลในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์แก่ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีที่ต้องใช้รังสีแกมมาในการทำงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ผลการคำนวณ

เป็นการแสดงตัวอย่างผลที่มาจากการคำนวณในโปรแกรมคำนวณความหนาผนังคอนกรีตสำหรับกำบังรังสีแกมมาที่ถูกพัฒนาขึ้น

เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 พลังงาน 0.662 MeV และ Co-60 พลังงานเฉลี่ย 1.25 MeV ความแรงรังสี 1 Ci ที่ระยะ 3 เมตร และความหนาแน่นของคอนกรีตเท่ากับ 2.71 g/cm^3 ได้ค่าความหนาของคอนกรีตและค่า Exposure Dose Rate (mR/hr) ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 9 แสดงตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีกับจุดวัดรังสีแกมมา

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาของผนังคอนกรีต (cm) กับ Exposure Dose Rate (mR/hr) โดยใช้ความแรงรังสี 1 Ci ที่ระยะ 3 เมตร

ความหนาของคอนกรีต (cm)	ค่า Exposure Dose Rate (mR/hr)	
	สำหรับ Cs-137	สำหรับ Co-60
3	48.377	223.159
6	30.852	156.650
9	20.023	110.664
12	13.031	80.379
15	8.469	57.089
18	5.707	41.203
21	3.866	29.577
24	2.682	21.194
27	1.974	15.788
30	1.172	10.818

อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณความหนาผนังคอนกรีตสำหรับกำบังรังสีแกมมา โดยการทดลองวัดหาค่า Build up factor และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแผ่นคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 2.71 g/cm^3 และความหนาในช่วง 0 – 30 ซม. ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจาก Cs-137 พลังงาน 0.662 MeV และ Co-60 พลังงานเฉลี่ย 1.25 MeV ซึ่งได้ข้อมูลค่า Build up factor ดังตารางที่ 1 และค่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแผ่นคอนกรีตมีค่า 0.1819 cm^{-1} เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 และค่า 0.1351 cm^{-1} เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 และเมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาใช้ในการคำนวณความหนาของผนังคอนกรีตด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่าสะดวกรวดเร็วและได้ผลเป็นที่น่าพอใจเหมาะสำหรับใช้ในการคำนวณความหนาของผนังคอนกรีต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.สมยศ ศรีสถิตย์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน และขอขอบคุณสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Glenn F. knoll. Radiation Detection and Measurement. U.S. : John Wiley & Sons, Inc., 1999.

Charanjeet Singh, Gurdeep S Sidhu, Ashok Kumar, Parjit S Singh and Gurmel S Mudahar. Simultaneous effect of collimator size and absorber thickness on the gamma ray build-up factor. Indian Journal of Pure and Applied Physics 42(2004): 475-478.

Adnan A. Abdulfattah. Effect of exposure Build-up factor on Reactor Shielding. Journal of Al-Nahrain University 13(2010): 73-83

S.J. Stankovic. Gamma Radiation Absorption Characteristics of Concrete with Components of Different Type Materials. ACTA PHYSICA POLONICA A 117(2010): 812-816

H.J. Dunster, R.E. Ellis, B.E. Jones, E.W. Jones, J.M. Rees, Handbook of Radiological Protection-Part 1: Data, Radioactive Substances Advisory Committee, HMSO London, 1971.

F.S. Kirn, R.J. Kennedy, H.O.Wyckoff, Radiology 63, 94 (1954).

Oak Ridge National Laboratory. Specific Gamma-Ray Dose Constants for Nuclides Important to Dosimetry and Radiological Assessment. U.S. : Oak Ridge National Laboratory, 1982