

อันตรกิริยาย่อยและค่า TVL ของวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุ กำบังรังสีแกมมา

The partials Interaction and TVL of Aluminum A356 Metallic Foam Material Applied for Gamma Ray Shielding Materials

วุฒิชัย ไชยภักษา^{1,2*} วิราภรณ์ หงษ์ทอง^{1,2} พฤตพิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์^{1,2} และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

² ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

* wuttichai@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษสมบัติการกำบังรังสีแกมมาของวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 ในช่วงระดับพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV โดยใช้โปรแกรม WinXCom ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทางทฤษฎีและอันตรกิริยาย่อยต่าง ๆ ได้แก่ อันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ อันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตัน อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก และอันตรกิริยาแพร์โปรดักชัน จากการศึกษาพบว่าอันตรกิริยาทั้งหมดมีค่าสัมประสิทธิ์ในการเกิดอันตรกิริยาลดลงเมื่อระดับพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกจะมีค่าสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันที่พลังงาน 1.56 keV ซึ่งตรงกับขอบการดูดกลืนของอลูมิเนียม ส่งผลทำให้กราฟเกิดความไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดแอบซอร์พชันเอจ (absorption edge) ของอิเล็กตรอนในชั้น K ของธาตุอลูมิเนียม เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนาของวัสดุที่ลดลง 10 เท่าของวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 กับวัสดุกำบังรังสีมาตรฐานบางชนิด เช่น คอนกรีตชนิดต่าง ๆ และกระจกทั่วไป ที่ระดับพลังงาน 662 keV พบว่าวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 มีค่าความหนาต่ำกว่าวัสดุกำบังรังสีมาตรฐาน

คำสำคัญ: วัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A356, ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล รังสีแกมมา โปรแกรม WinXCom

Abstract

This article presents, the gamma-ray shielding properties of aluminum A356 metallic foam material have been calculated using WinXCom program in the energy ranges of 1 keV to 100 GeV. The results showed that, the mass attenuation coefficients and partials interaction such as coherent scattering, Compton scattering, photoelectric and pair production decreased with increasing of gamma ray energies and the interaction of photoelectric will be raised suddenly of the energy at 1.56 keV that have been corresponding to the absorption edge of aluminum. These graph show discontinuities and show the same trend of the mass attenuation coefficients. The result of TVL found that the values lower than some standard concretes and commercial window.

Keywords: aluminum A356 metallic foam material, mass attenuation coefficients, gamma ray, WinXCom program

1. บทนำ

ในปัจจุบันสารกัมมันตรังสีถูกนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร การแพทย์หรือทางอุตสาหกรรมรวมถึงการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์อย่างแพร่หลาย (รังสรรค์ ศรีสาคร, 1999) แต่อย่างไรก็ตามหากร่างกายได้รับปริมาณรังสีปริมาณมากเกินไป กัมมันตรังสีสามารถทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ และอาจทำให้เสียชีวิตได้ในที่สุด ดังนั้นผู้ที่ปฏิบัติเกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสีจึงจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านวิธีการป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี ซึ่งหลักการป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี คือใช้เวลาในการทำงานในบริเวณที่มีรังสีให้สั้นที่สุด ควรอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมาก ๆ และควรใช้เครื่องกำบังกั้นระหว่างคนกับแหล่งกำเนิดรังสี (Raymond L. M., 2009)

เครื่องกำบัง (shielding) ถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากในการป้องกันอันตรายจากกัมมันตรังสี เครื่องกำบังรังสีส่วนใหญ่ นิยมทำจากโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนัก จะมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้รังสีเมื่อวิ่งมาชนกับอิเล็กตรอนแล้วจะสูญเสียพลังงานไปหมด ตัวอย่างของเครื่องกำบังเช่น แผ่นตะกั่ว แผ่นเหล็ก แผ่นคอนกรีต ใช้เป็นเครื่องกำบังรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุชนิดอื่นสำหรับใช้เป็นวัสดุกำบังรังสี เช่น โลหะ โลหะผสม เซรามิก พอลิเมอร์ และวัสดุโฟมโลหะ เป็นต้น (Kulwinder SinghMann., 2017)

วัสดุโลหะโฟม (Composite metal foams หรือ CMF) ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุที่เป็นแผ่นโลหะต่าง ๆ เนื่องจากโฟมโลหะมีสมบัติเด่น คือ มีความหนาแน่นที่ต่ำ มีความแข็งแรงทนทาน สามารถดูดซับพลังงานและถ่ายเทความร้อนได้ดี (Shuo Chen et al., 2014) อีกทั้งนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการพัฒนาวัสดุโลหะโฟม และค้นพบว่าวัสดุชนิดนี้สามารถป้องกันรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา หรือรังสีนิวตรอนได้ดี ซึ่งวัสดุโลหะโฟมที่นิยมใช้มากที่สุดคือ โฟมอะลูมิเนียม (John Banhart., 2017)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวัสดุโลหะโฟมที่ผสมอะลูมิเนียมเกรด A356 ซึ่งเป็นอะลูมิเนียมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์และยานอวกาศ (ณัฐวุฒิ ถมจจอหอ, 2000) โดยทำการศึกษาสมบัติการกำบังรังสีของวัสดุซึ่งได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม WinXCom อันตรกิริยาอย่างต่าง ๆ และค่าความหนาของวัสดุที่ลดลง 10 เท่าของวัสดุ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานิวตรอนกิริยาอย่างต่างและค่าTVLของวัสดุโลหะโฟมอะลูมิเนียม A 356 ที่ระดับพลังงาน 1 keV – 100 GeV โดยการคำนวณจากโปรแกรม WinXcom ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและอันตรกิริยาอย่างต่าง ๆ ของธาตุ สารประกอบ หรือสารผสมได้ เช่น การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตัน อันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก กรอันตรกิริแพร์โปรดักชัน เป็นต้น

2.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass Attenuation Coefficient)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุ สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม WinXCom ซึ่งได้มาจากสมการที่ (1)

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

เมื่อ μ_m หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (cm^2/g), $(\mu_m)_i$ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเฉพาะตัวของธาตุในสารประกอบ และ w_i หมายถึง เศษส่วนโดยน้ำหนัก Weight Fraction(ของธาตุในสารประกอบ (Limkitjaroenporn et al., 2011)

2.2 การหาค่าความหนาของวัสดุที่ลดลง 10 เท่า (Tenth Value Layer)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$TVL = 2.3026/\mu \quad (2)$$

เมื่อ TVL หมายถึง ความหนาของวัสดุที่จะลดปริมาณรังสีเหลือ 1/10 ของปริมาณรังสีที่เข้ามา และ μ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (cm^{-1}) คำนวณได้จาก $\mu_m \times \rho$ (Kaewjang et al., 2014)

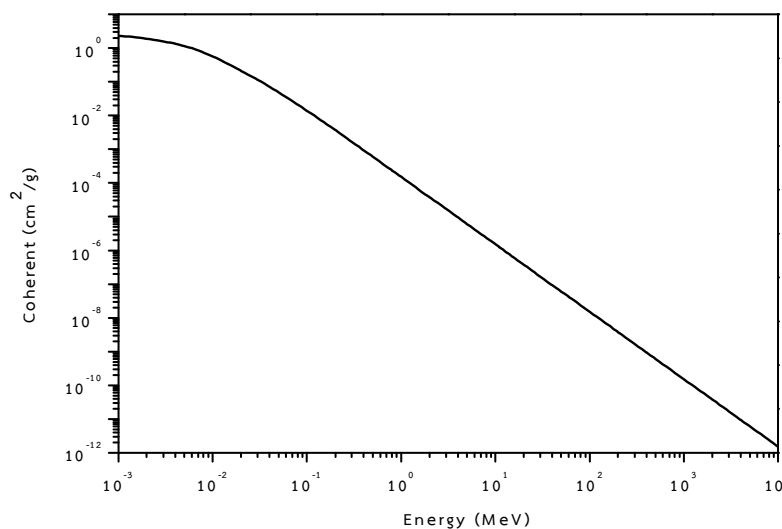
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A356 (Shuo Chen et al., 2014)

ธาตุ	อัตราส่วน (%โดยน้ำหนัก)
Mn	0.28
Si	7.01
Cr	0.02
Cu	0.11
Fe	0.5
Mg	0.39
Ti	0.09
Zn	0.06
Al	91.54

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

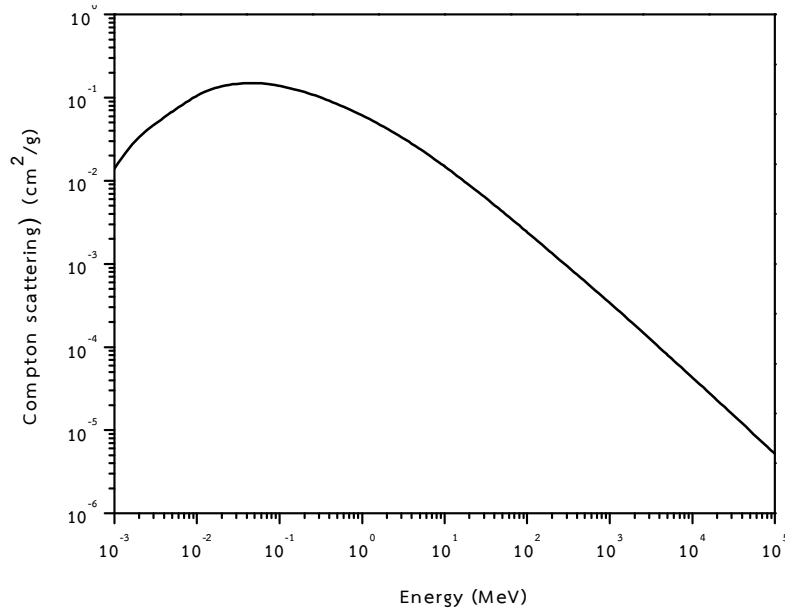
3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและอันตรกิริยาย่อยต่าง ๆ จากโปรแกรม WinXCom

การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและอันตรกิริยาย่อย ได้แก่ การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตัน อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก และอันตรกิริยาแพร์โปรดักชันของวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A 356 ที่มีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้โปรแกรม WinXCom ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV แสดงผลดังภาพที่ 1-6

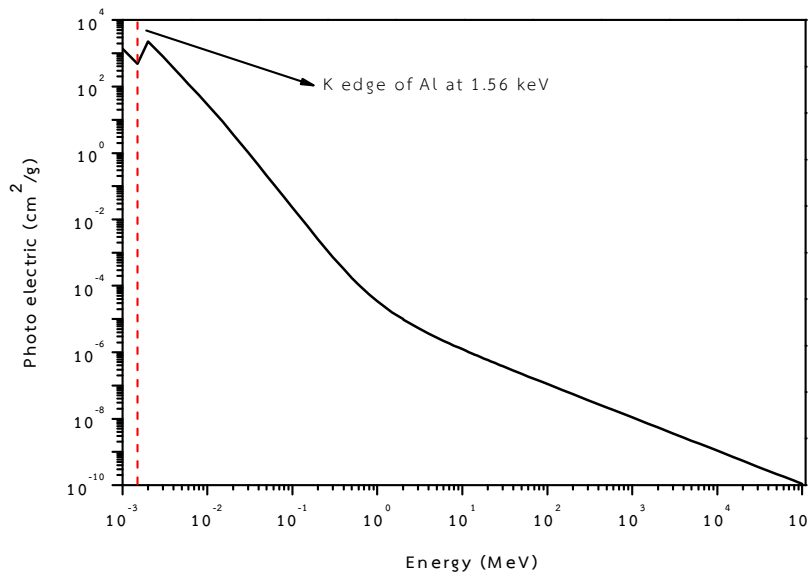


ภาพที่ 1 อันตรกิริยาการเจิงโคฮีเรนต์ของโลหะโพมอลูมิเนียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV

จากภาพที่ 1-2 พบว่าอันตรกิริยาการกระเจิงไอซีเรนท์และการกระเจิงแบบคอมป์ตันจะมีค่าลดลงเมื่อระดับพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก ดังแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อระดับพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้นและพบว่ามีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันที่พลังงาน 1.56 keV ซึ่งตรงกับขอบการดูดกลืนของอลูมิเนียม ส่งผลทำให้กราฟเกิดความไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดแอบซอร์พชันเอจ (absorption edge) ของอิเล็กตรอนในชั้น K ของธาตุอลูมิเนียมซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของวัสดุ



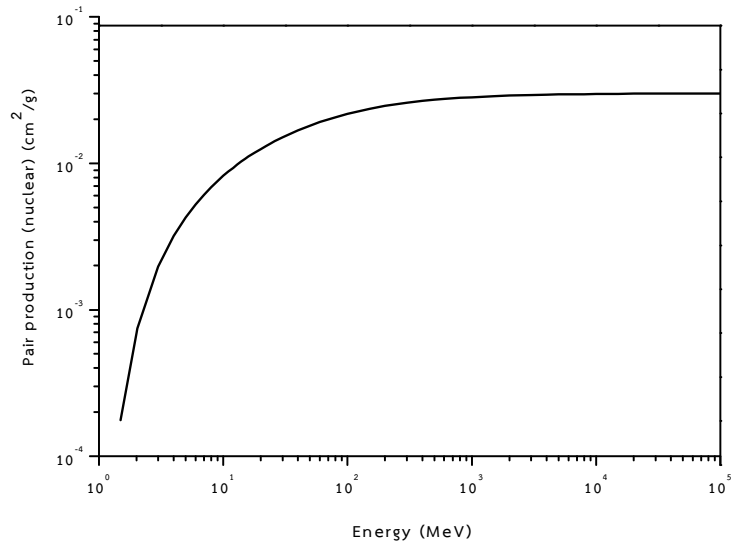
ภาพที่ 2 อันตรกิริยาการกระเจิงคอมป์ตันของโลหะโพแทสเซียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV



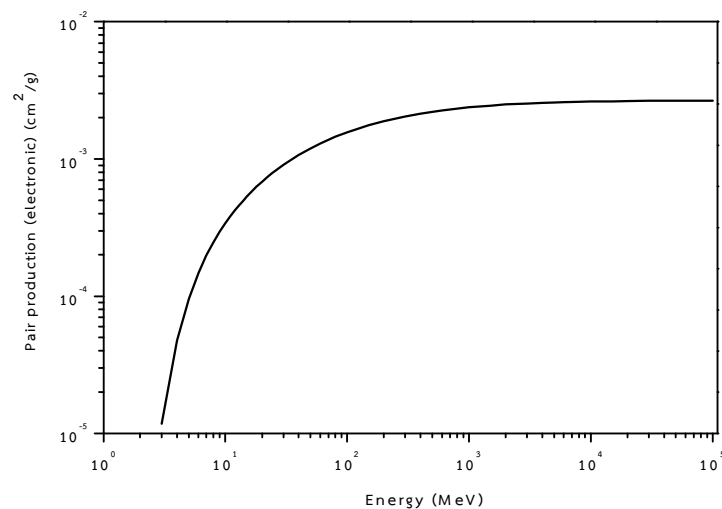
ภาพที่ 3 อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกของโลหะโพแทสเซียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV

อันตรกิริยาแฟร์โปรดักชันของวัสดุแสดงในรูปที่ 4-5 มีแนวโน้มของกราฟไปในทางเดียวกันคือ อันตรกิริยาของวัสดุมีค่าลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น และจากการศึกษาพบว่า อันตรกิริยาแฟร์โปรดักชันจะเกิดขึ้นที่ระดับพลังงาน 1.02 MeV เป็นต้นไป

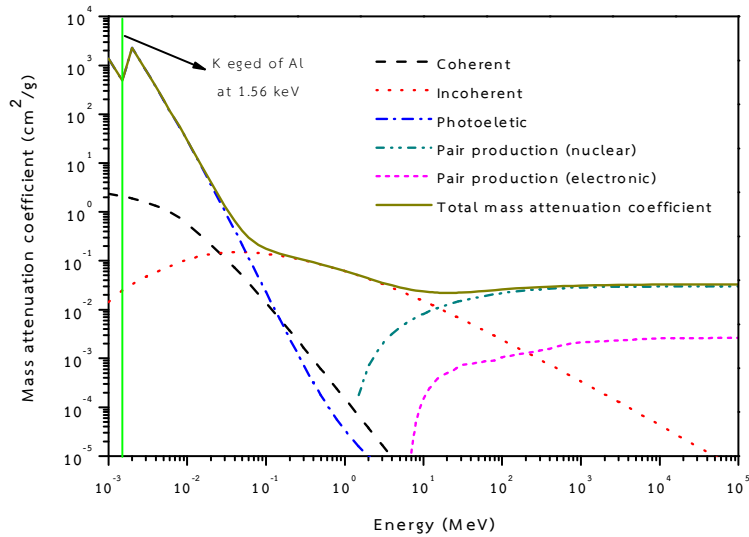
จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลลดลงเมื่อระดับพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับอันตรกิริยาย่อยอื่น ๆ และพบว่าที่พลังงาน 1.56 keV จะมีค่าสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน เนื่องจากเกิดแอบซอร์พชันเอจ (absorption edge) ของอิเล็กตรอนในชั้น (K ของธาตุอลูมิเนียมสอดคล้องกับอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกเป็นอันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้น และอันตรกิริยารวมของวัสดุแสดงดังรูปที่ 6



ภาพที่ 4 อันตรกิริยาแพร่โปรตักชัน (nuclear) ของโลหะฟิมอลูมิเนียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV



ภาพที่ 5 อันตรกิริยาแพร่โปรตักชัน (electric) ของโลหะฟิมอลูมิเนียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV



ภาพที่ 6 อัตรากิริยารวมของโลหะโพมอลูมิเนียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV

3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาของวัสดุที่ลดลง 10 เท่า (Tenth Value Layers)

การวิเคราะห์ค่าความหนาครั้งค่าของโลหะโพมอลูมิเนียม A 356 ที่ระดับพลังงาน 662 keV จากสมการที่ (2) พบว่าเมื่อนำค่าที่วิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่าความหนาที่ลดลง 10 เท่าของคอนกรีตมาตรฐานและกระจกทั่วไป พบว่าวัสดุมีความหนาน้อยกว่าคอนกรีตมาตรฐานและกระจกทั่วไป การที่วัสดุมีค่าน้อยนั้นแสดงให้เห็นถึงการเกิดอันตรกิริยากับรังสีแกมมาเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุคอนกรีตมาตรฐานรวมทั้งกระจกทั่วไป นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าโลหะโพมอลูมิเนียม A 356 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในส่วนของการกำบังรังสีแกมมาได้ดีกว่าคอนกรีตมาตรฐานและกระจกทั่วไป

ตารางที่ 2 ค่า TVL ของโลหะโพมอลูมิเนียม A356 ที่ระดับพลังงาน 662 keV เปรียบเทียบกับกระจกทั่วไปคอนกรีต เซอร์เพนไทน์ คอนกรีตมาตรฐาน และคอนกรีตเฮมาไทต์

ชนิดของวัสดุ	TVL (cm)
Aluminum A356	10.08
Commercial window	13.93
iSerpentile	12.05
Ordinary concrete	11.34
Hematite	10.58

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอันตรกิริยาลดลงต่าง ๆ ได้แก่ การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตัน อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก และอันตรกิริยาแพร์โปรดักชัน ของวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A356 โดยใช้โปรแกรม WinXCom ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV พบว่าอันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นคืออันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น และที่พลังงาน 1.56 keV จะมีค่าสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ซึ่งตรงกับขอบการดูดกลืนของออลูมิเนียมส่งผลให้การพบเกิดความไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดแอบซอร์พชันเอจ (absorption edge) ของอิเล็กตรอนในชั้น K ของธาตุ

อลูมิเนียม เช่นเดียวกับการกระเจิงแบบโคฮีเรนท์ การกระเจิงแบบคอมป์ตันที่มีค่าลดลงเมื่อระดับพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น ส่วนอันตรกิริยาแฟร์โปรดักชันจะเกิดขึ้นที่ระดับพลังงาน 1.02 MeV เป็นต้นไป และมีค่าลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับอันตรกิริยาอื่น ๆ

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของโลหะโพลีออลูมิเนียม A356 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุจะลดลงเมื่อระดับพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าที่พลังงาน 1.56 keV จะมีค่าสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ทำให้กราฟเกิดความไม่ต่อเนื่องสอดคล้องกับอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกที่เกิดขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนาของวัสดุที่ลดลง 10 เท่า ของวัสดุโลหะโพลีออลูมิเนียม A356 กับวัสดุกำบังรังสีมาตรฐานบางชนิด เช่นคอนกรีตชนิดต่าง ๆ และกระจกทั่วไป ที่ระดับพลังงาน 662 keV พบว่าวัสดุโลหะโพลีออลูมิเนียม A356 มีค่าความหนาต่ำกว่าวัสดุกำบังรังสีมาตรฐาน และกระจกทั่วไป แสดงให้เห็นว่าโลหะโพลีออลูมิเนียม A 356 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุกำบังรังสีแกมมาได้

5. เอกสารอ้างอิง

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (1999). **พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย**. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2560 จาก https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/page1_physics.htm
- ณัฐวุฒิ ถมจ้อห่อ. (2000). อลูมิเนียมหล่อผสม. ค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2560 จาก <http://www.aluminiumlearning.com>
- Raymond L. M. (2009). Chapter 21 – Radiation Protection. **Nuclear energy (sixth edition)**, 2009: 339–360.
- Kulwinder S. M. (2017). γ -ray shielding behaviors of some nuclear engineering materials. **Nuclear Engineering and Technology**, 2014 (49), 792-800.
- Shuo, C., Mohamed, B. & Afsaneh, R. (2014). Novel light-weight materials for shielding gamma ray. **Radiation Physics and Chemistry**, 2014 (96), 27–37.
- John B. (2017). Manufacture characterization and application of cellular metals and metal foams. **Progress in Materials Science**, 46: 559–632.
- Limkitjaroenporn, P., Kaewkhao, J., Limsuwan, P. & Chewpraditkul, W. (2011). Physical, optical, structural and gamma-ray shielding properties of lead sodium borate glasses. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, 2011 (72), 245–251.
- Kaewjang, S., Maghanemi, U., Kothan, S., Kim, H.J., Limkitjaroenporn, P. & Kaewkhao, J. (2014). New gadolinium based glasses for gamma-rays shielding materials. **Nuclear Engineering and Design**, 2014 (280), 21–26.