

# การศึกษาวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีแกมมา

## A Study of Aluminum A356 Metallic Foam Material Applied for Gamma Ray Shielding Materials

วุฒิชัย ไชยภักษา<sup>1,2\*</sup> วิราภรณ์ หงษ์ทอง<sup>1,2</sup> พฤติพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์<sup>1,2</sup> และจักรพงษ์ แก้วขาว<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศ ทางแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

\*wuttichai@webmail.npru.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติการกักรังสีแกมมาของวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 ในช่วงระดับพลังงาน 1 keV ถึง 10 GeV โดยใช้โปรแกรม WinXCom ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในทางทฤษฎี จากการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุลดลงเมื่อระดับพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าที่พลังงาน 1.56 keV จะมีความไม่ต่อเนื่องของกราฟเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดขอบซอร์พชันเอจ (absorption edge) ของอิเล็กตรอนในชั้น K ของธาตุอลูมิเนียม ผลของค่าเลขอะตอมยังผลและค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะมีลักษณะกราฟที่เหมือนกัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 กับวัสดุกักรังสีมาตรฐานบางชนิด เช่นคอนกรีตชนิดต่าง ๆ และกระจกทั่วไป ที่ระดับพลังงาน 662 keV พบว่าวัสดุโลหะโฟมอลูมิเนียม A 356 มีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าวัสดุกักรังสีมาตรฐาน

**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 decreased with increasing of gamma ray energies and found to be the graph discontinuities corresponds to K absorption edge from aluminum of the energy at 1.56 keV. The effective atomic number and the electron densities found to be the same trend. The half value layers of material at 662 keV have been compared with some standard concretes and commercial window. The result found that, HVL value lower than some standard concretes and commercial window.

**Keywords:** aluminum a356 metallic foam material, mass attenuation coefficients, gamma ray, winxcom program

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันสารกัมมันตรังสีถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ทั้งทางด้านการเกษตร การแพทย์หรือทางอุตสาหกรรม รวมไปถึงการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ (รังสรรค์ ศรีสาคร, 1999) แต่อย่างไรก็ตามกัมมันตรังสีสามารถทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ หากได้รับปริมาณรังสีเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก อาจทำให้เสียชีวิตได้ในที่สุด ดังนั้นผู้ที่ปฏิบัติเกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสีจึงจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านวิธีการป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีเป็นอย่างดี ซึ่งหลักการป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี คือ ใช้เวลาในการทำงานในบริเวณที่มีรังสีให้สั้นที่สุด ครอบอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมากๆ และควรใช้เครื่องกำบังกั้นระหว่างคนกับแหล่งกำเนิดรังสี (Raymond L. M., 2009)

เครื่องกำบัง (shielding) ถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากในการป้องกันอันตรายจากกัมมันตรังสี โดยส่วนใหญ่เครื่องกำบังรังสี จะเป็นพวกโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนัก จะมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้รังสีเมื่อวิ่งมาชนกับอิเล็กตรอนแล้วจะสูญเสียพลังงานไปหมด ตัวอย่างของเครื่องกำบังเช่น แผ่นตะกั่ว แผ่นเหล็ก แผ่นคอนกรีต ใช้เป็นเครื่องกำบังรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวัสดุชนิดอื่น เพื่อใช้เป็นวัสดุกำบังรังสี เช่น โลหะ โลหะผสม เซรามิก พอลิเมอร์ และวัสดุโฟมโลหะ เป็นต้น (Kulwinder SinghMann., 2017)

วัสดุโลหะโฟม (Composite metal foams หรือ CMF) ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุที่เป็นแผ่นโลหะต่างๆ เนื่องจากโฟมโลหะมีสมบัติเด่น คือ มีความหนาแน่นที่ต่ำ มีความแข็งแรงทนทาน สามารถดูดซับพลังงานและถ่ายเทความร้อนได้ดี (Shuo Chen et al., 2014) อีกทั้งยังมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการพัฒนาวัสดุโลหะโฟม และค้นพบว่าวัสดุชนิดนี้สามารถป้องกันรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา หรือรังสีนิวตรอนได้ดีอีกด้วย วัสดุโลหะโฟมมีหลายชนิดด้วยกันแต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ โฟมอะลูมิเนียม (John Banhart., 2017)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวัสดุโลหะโฟมที่ผสมอะลูมิเนียมเกรด A356 ซึ่งเป็นอะลูมิเนียมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์และยานอวกาศ (ณัฐวดี ถมจ้อหอ, 2000) โดยทำการศึกษาสมบัติการกำบังรังสีของวัสดุซึ่งได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม WinXCom ค่าเลขอะตอมยังผลค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และค่าความหนาแน่นจริงค่าของวัสดุ

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass Attenuation Coefficient)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุ สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม WinXCom ซึ่งได้มาจากสมการที่ (1)

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

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

### 2.2 การหาค่าเลขอะตอมยังผล (Effective Atomic Number)

ค่าเลขอะตอมยังผลจากทฤษฎีนั้นได้มาจากการนำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากทฤษฎีในขั้นตอนที่ 3.1 และมาคำนวณหาค่าภาคตัดขวางรวมเชิงอะตอม และค่าภาคตัดขวางรวมเชิงอิเล็กตรอน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ

(3) ตามลำดับ เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าเลขอะตอมยังผลต่อไป ซึ่งค่าเลขอะตอมยังผลของวัสดุสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\sigma_{t,a} = \frac{(\mu_m)_{alloy}}{N_A \sum_i^n (W_i/A_i)} \quad (2)$$

เมื่อ  $\sigma_{t,a}$  หมายถึง ค่าภาคตัดขวางรวมเชิงอะตอม (brans/atom)

$$\sigma_{t,el} = \frac{1}{N_A} \sum_i^n \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (3)$$

เมื่อ  $\sigma_{t,el}$  หมายถึง ค่าภาคตัดขวางรวมเชิงอิเล็กตรอน (brans/atom)

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (4)$$

เมื่อ  $Z_{eff}$  หมายถึงค่าเลขอะตอมยังผล (electron/atom),  $N_A$  หมายถึง เลขอะโวกาโดร ค่าเท่ากับเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  (atom/mol),  $A_i$  หมายถึง เลขอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในตัวกลาง (g/mol) และ  $f_i$  หมายถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละธาตุในตัวกลางต่อมวล 1 กรัมกับจำนวนอะตอมทั้งหมดของตัวกลางต่อมวล 1 กรัมได้มาคำนวณในสมการที่ (2) (Limkitjaroenporn et al., 2011)

### 2.3 การหาความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (Effective Electron Density)

ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$N_{el} = \frac{\mu_m}{\sigma_{t,el}} \quad (5)$$

เมื่อ  $N_{el}$  หมายถึง ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (electron/gram) (Kaewkhao et al., 2008)

### 2.4 การหาค่าความหนาแน่นครึ่งค่าของวัสดุ (Half Value Layer)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$HVL = 0.693/\mu \quad (6)$$

เมื่อ HVL หมายถึง ค่าความหนาแน่นครึ่งค่า (cm) และ  $\mu$  หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น ( $cm^{-1}$ ) คำนวณได้จาก  $\mu_m \times \rho$  (Kaewjang et al., 2014)

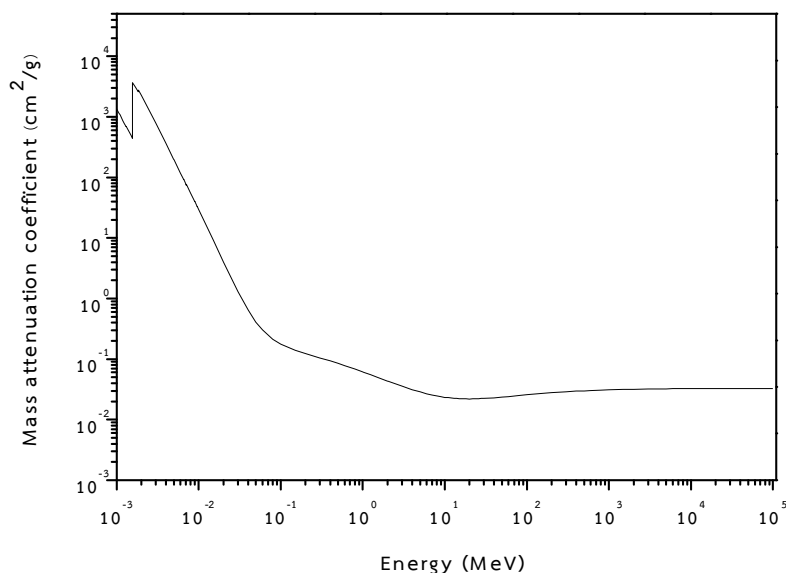
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A356 (Shuo Chen et al., 2014)

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 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจาก โปรแกรม WinXCom

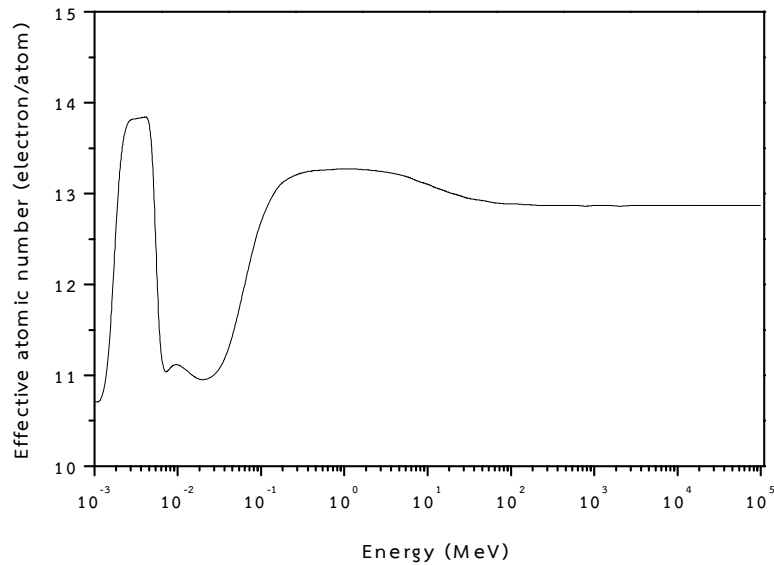
การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A 356 ที่มีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้โปรแกรม WinXCom ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV แสดงผลดังภาพที่ 1 ผลการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุจะลดลงเมื่อระดับพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุสามารถกำบังรังสีได้ดี และพบว่าที่พลังงาน 1.56 keV จะมีความไม่ต่อเนื่องของกราฟเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดแอมซอร์พชันเอ็ดจ์ (absorption edge) ของอิเล็กตรอนในชั้น K ของธาตุอลูมิเนียม



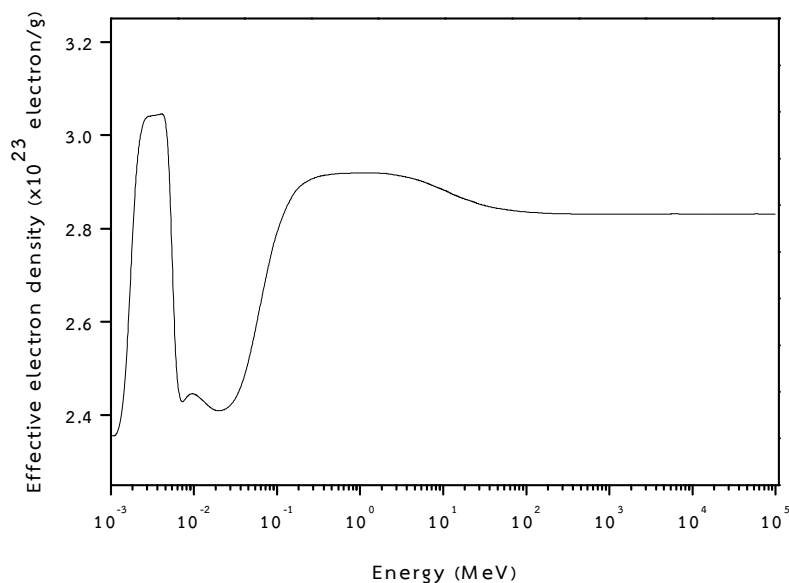
ภาพที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของโลหะโพมอลูมิเนียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเลขอะตอมยังผลและความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

การวิเคราะห์หาค่าเลขอะตอมยังผลและความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของโลหะโพแทสเซียม A356 โดยใช้สมการที่ (2) และสมการที่ (5) ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV จากภาพที่ 2 แสดงค่าเลขอะตอมยังผลของวัสดุ พบว่าค่าเลขอะตอมยังผลในช่วงพลังงานเริ่มต้นที่ 1.56 keV จะมีความไม่ต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละพลังงานของ โฟตอนที่เกิดขึ้นโดยวัสดุโลหะโพแทสเซียม A356 จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกรอบๆขอบการดูดกลืนพลังงานชั้น K ของธาตุโพแทสเซียม และจากภาพที่ 3 แสดงค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน พบว่ากราฟจะมีลักษณะความไม่ต่อเนื่อง ในช่วงพลังงานเริ่มต้นเหมือนกับค่าเลขอะตอมยังผล



ภาพที่ 2 ค่าเลขอะตอมยังผลของโลหะโพแทสเซียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV



ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของโลหะโพแทสเซียม A356 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV

### 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นครึ่งค่า (Half Value Layers)

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นครึ่งค่าของโลหะโพแทสเซียม A 356 ที่ระดับพลังงาน 662 keV จากสมการที่ (6) พบว่าเมื่อนำค่าที่วิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นครึ่งค่าของคอนกรีตมาตรฐานและกระจกทั่วไป พบว่าวัสดุมีความหนาแน่นครึ่ง

ค่าน้อยกว่าคอนกรีตมาตรฐานและกระจกทั่วไป การที่ค่าความหนาครึ่งค่ามีค่าน้อยนั้นแสดงให้เห็นถึงการเกิดอันตรกิริยากับรังสีแกมมาเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุคอนกรีตมาตรฐานรวมทั้งกระจกทั่วไป นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าโลหะโพมอลูมิเนียม A 356 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในส่วนของการกำบังรังสีแกมมาได้ดีกว่าคอนกรีตมาตรฐานและกระจกทั่วไป

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

ชนิดของวัสดุ	HVL (cm)
Aluminuim A356	3.43
Commercial window	4.74
Serpentile	4.10
Ordinary concrete	3.86
Hematite	3.60

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของโลหะโพมอลูมิเนียม A356 โดยใช้โปรแกรม WinXCom ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัสดุจะลดลงเมื่อระดับพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าที่พลังงาน 1.56 keV จะมีความไม่ต่อเนื่องของกราฟเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดแอบซอร์พชันเอ็ดจ์ (absorption edge) ของอิเล็กตรอนในชั้น K ของธาตุอลูมิเนียม

ค่าเลขอะตอมยังผลของวัสดุ พบว่าค่าเลขอะตอมยังผลในช่วงพลังงานเริ่มต้นที่ 1.56 keV จะมีความไม่ต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละพลังงานของโฟตอนที่เกิดขึ้นโดยวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A356 จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกรอบๆขอบการดูดกลืนพลังงานชั้น K ของธาตุอลูมิเนียม และค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน พบว่ากราฟจะมีลักษณะความไม่ต่อเนื่อง ในช่วงพลังงานเริ่มต้นเหมือนกับค่าเลขอะตอมยังผล

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนาครึ่งค่าของวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A356 กับวัสดุกำบังรังสีมาตรฐานบางชนิด เช่นคอนกรีตชนิดต่างๆ และกระจกทั่วไป ที่ระดับพลังงาน 662 keV พบว่าวัสดุโลหะโพมอลูมิเนียม A356 มีค่าความหนาครึ่งค่าต่ำกว่าวัสดุกำบังรังสีมาตรฐาน และกระจกทั่วไป

#### 5. เอกสารอ้างอิง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (1999). **พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย**. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2560

จาก [https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/page1\\_physics.htm](https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/page1_physics.htm)

ณัฐวุฒิ ถมจ้อหอ. (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).  $\square$ -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.