

# การศึกษาอันตรกิริยาของโฟตอนในโลหะผสมเซอร์โคเนียมที่พลังงาน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV

## Study on Interaction of Photon for Zirconium Alloy at 1 keV to 10<sup>5</sup> keV

จุมพล ขอบขำ<sup>1,3\*</sup>, พฤทธิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์<sup>1</sup> และจักรพงษ์ แก้วขาว<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>3</sup>มหาวิทยาลัยธนบุรี

\*chumphon@thonburi-u.ac.th

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอันตรกิริยาของโฟตอนในช่วงพลังงานรังสีแกมมา 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV กับโลหะผสมเซอร์โคเนียม Zr<sub>2</sub>(Fe,Ni) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและอันตรกิริยาลดทอนโดยใช้โปรแกรม WinXCom พลังงานรังสีแกมมา 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV ศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบอินโคฮีเรนท์ และการเกิดแพร์โปรดักชัน ผลการคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบโคฮีเรนท์ เกิดขึ้นน้อยมากมีค่าลดลงเมื่อพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนท์ เพิ่มขึ้นที่ 10 keV และลดลงที่ 100 keV และการเกิดแพร์โปรดักชันที่พลังงานมากกว่า 10<sup>3</sup> keV ขึ้นไป

**คำสำคัญ:** สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล, โลหะผสมเซอร์โคเนียม, WinXcom

### Abstract

The total mass attenuation coefficient and partial interaction for zirconium alloy have been theoretical calculated by WinXCom program as a function of incoming 1 keV-10<sup>5</sup> keV gamma ray energies. Zr<sub>2</sub>(Fe, Ni) alloys was studied for total mass attenuation coefficient, Photoelectric absorption, incoherent, and pair production process. These results the total mass attenuation coefficient and photoelectric absorption decreased with increasing of gamma rays energy. The incoherent scattering first increased at 10 keV, and then decreased at 100 keV with the increase in the photon energy. The pair production starts at energy greater than 10<sup>3</sup> keV.

**Keywords:** mass attenuation coefficients, zirconium alloy, WinXCom program

### 1. บทนำ

โลหะผสมเซอร์โคเนียมเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในทางนิวเคลียร์ เนื่องจากองค์ประกอบคุณสมบัติเชิงกลดีเช่น มีความแข็งแรงสูงมากและ มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง มีความทนทานต่อการกัดกร่อนและโอกาสที่จะไปจับกับนิวตรอนต่ำ (low neutron capture cross – section) (Z. E. Celiz et al., 2015) โลหะผสมเซอร์โคเนียมใช้เป็นวัสดุป้องกันการแผ่รังสีและเป็นวัสดุที่ใช้หุ้มในปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง (T. Kim et al., 2005)

ในการศึกษาอันตรกิริยาของโฟตอนในวัสดุนั้น มีความสำคัญสำหรับทางประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น การประยุกต์ใช้งานทางด้านทางการแพทย์ โรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในการบำบัดรังสี ของการประยุกต์ใช้งานกับรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่มีความสำคัญทางด้านฟิสิกส์รังสี ค่าเลขอะตอมยังผล และค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (U. Cevic et al., 2005)

ค่าทางทฤษฎีของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล และค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนนั้นได้ถูกคิดค้นพัฒนาโดย Hubbell และ Setzer (J.H. Hubbel et al., 1995) ซึ่งได้พัฒนาต่อให้คำนวณได้จากคอมพิวเตอร์ โดย Berger และ Hubbell เรียกโปรแกรมว่า Xcom ซึ่งสามารถหาค่าของสารทั้งที่เป็นแบบธาตุ สารประกอบและสารผสม ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 100 GeV และ Gerward ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้น โดยเรียกโปรแกรมว่า WinXcom (L. Gerward et al., 2004)

ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล Gowda et al. ได้ศึกษาค่าเลขอะตอมยังผล และค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของ amino acids ในช่วงพลังงาน 30 keV -1333 keV (Gowda, et al., 2005) El-Kateb et al. ได้ศึกษาภาคตัดขวางและเลขอะตอมยังผลของโลหะผสม (alloy) โดยเฉพาะทองเหลือง (Cu/Zn) ในอัตราส่วน 81.621%/18.379% (A.H. El-Kateb et al., 2001) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอันตรกิริยาย่อยของโลหะผสมเซอร์โคเนียม  $Zr_2(Fe, Ni)$  ในช่วงพลังงานโฟตอน 1 keV ถึง  $10^5$  keV โดยใช้การคำนวณจากโปรแกรม WinXcom

## 2. ทฤษฎี

### ค่าการคำนวณทางทฤษฎีการลดทอนเชิงมวล

สำหรับการคำนวณทางทฤษฎีสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของโลหะผสมเซอร์โคเนียมโดยใช้โปรแกรม WinXCom ได้ตามความสัมพันธ์ของสมการ 1

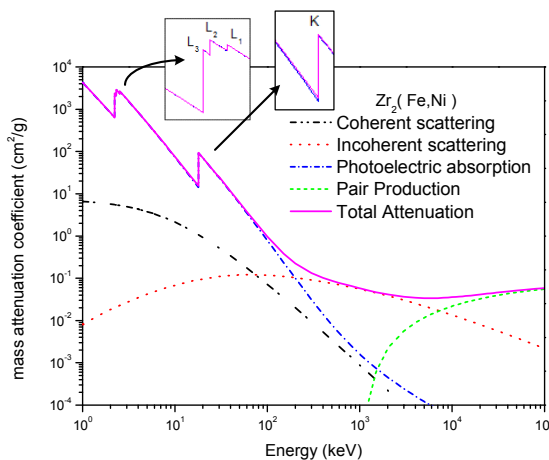
$$\mu_m = \sum_i^n w_i (\mu_m)_i \quad (1)$$

เมื่อ  $\mu_m$  หมายถึง สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล,  $(\mu_m)_i$  หมายถึง สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุองค์ประกอบ, และ  $w_i$  หมายถึง อัตราส่วนโดยน้ำหนักในโลหะผสม (J. Kaewkhao et al., 2008)

## 3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

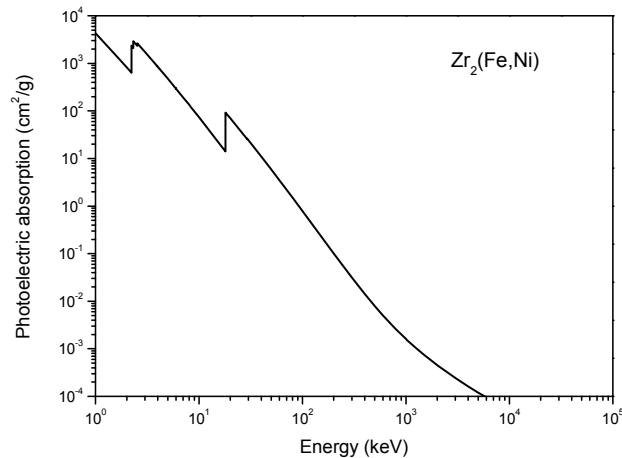
ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสมเซอร์โคเนียม  $Zr_2(Fe, Ni)$  องค์ประกอบหลักของโลหะผสมเซอร์โคเนียมคือ Zr โลหะ Sn, Fe, Cr และ Ni เป็นองค์ประกอบย่อย

Element	Zr	Sn	Fe	Cr	Ni
Weight %	0.98264	0.01470	0.00123	0.00087	0.00056



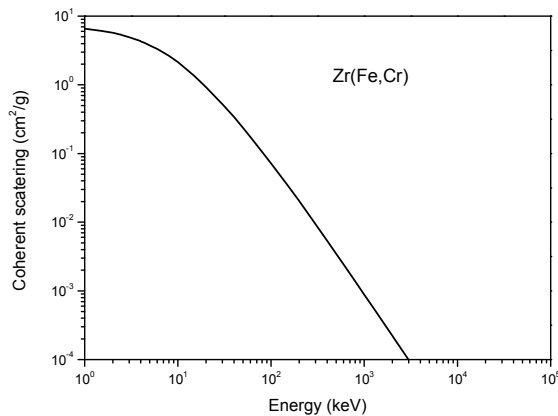
รูปภาพที่ 1 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของโลหะผสมเซอร์โคเนียม กับพลังงานโฟตอน 1 keV ถึง  $10^5$  keV จากโปรแกรม WinXCom

ผลของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและอันตรกิริยาอ่อนของโลหะผสมเซอร์โคเนียมจากโปรแกรม WinXCom ผลที่ได้ตามรูปภาพที่ 1 ในช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 10<sup>2</sup> keV พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าลดลง แต่ในบางพลังงานมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก โดยในช่วงพลังงานนี้อันตรกิริยาหลักคือโฟโตอิเล็กตริก ในช่วงพลังงาน 10<sup>2</sup> keV ถึง 10<sup>4</sup> keV พบว่าอันตรกิริยาหลักคือ อินโคฮีเรนท์ และที่พลังงานมากกว่า 10<sup>3</sup> keV อันตรกิริยาหลักคือแฟร์โปรดักชัน



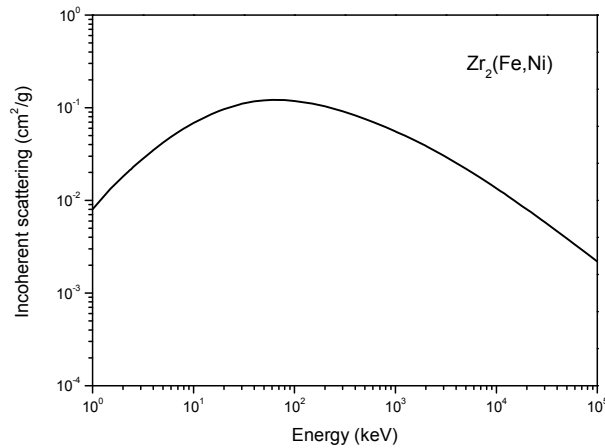
รูปภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กตริก ช่วงพลังงานโฟตอน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV

จากรูปภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กตริก กับพลังงานโฟตอน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV พบว่าการดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กตริกมีค่าลดลงเมื่อพลังงานโฟตอนเพิ่มขึ้นและมีขอบการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (absorption edge) ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก Zr (L<sub>3</sub> 2.22 keV, L<sub>2</sub> 2.31 keV, L<sub>1</sub> 2.53 keV and 18.0 keV)



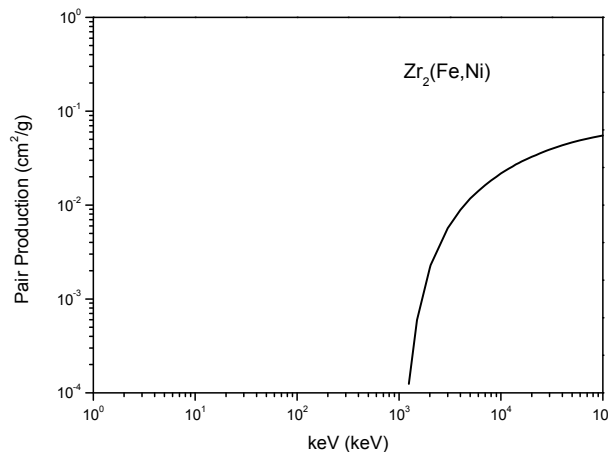
รูปภาพที่ 3 กราฟการกระเจิงแบบโคฮีเรนท์ ช่วงพลังงานโฟตอน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV

จากรูปภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระเจิงแบบโคฮีเรนท์ กับพลังงานโฟตอน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV ของโลหะผสมเซอร์โคเนียมพบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม WinXCom พบว่ามีค่าสูงเมื่อพลังงานของโฟตอนต่ำ ช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 10 keV และจะไม่พบอันตรกิริยาคอฮีเรนท์ที่พลังงานสูงกว่า 2×10<sup>3</sup> keV



รูปภาพที่ 4 กราฟการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนท์พลังงานโฟตอน ช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV

จากรูปภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนท์ของโลหะผสมเซอร์โคเนียมจากการคำนวณด้วยโปรแกรม WinXCom ที่พลังงานโฟตอน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV พบว่าช่วงพลังงาน 10 keV ถึง 10<sup>2</sup> keV จะเป็นอันตรกิริยา ลักษณะเดียวกันกับสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ช่วงพลังงาน 10<sup>2</sup> keV ถึง 10<sup>4</sup> keV และอันตรกิริยาเกิดอันตรกิริยามีค่าลดลงเมื่อพลังงานโฟตอนมากกว่า 10<sup>4</sup> keV



รูปภาพที่ 5 กราฟแฟร์โปรดักชัน ช่วงพลังงาน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV

จากรูปภาพที่ 5 ความสัมพันธ์การเกิดแฟร์โปรดักชัน ของโลหะผสมเซอร์โคเนียมพบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม WinXCom ที่พลังงานโฟตอน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV พบว่าการเกิดแฟร์โปรดักชันเริ่มต้นตั้งแต่พลังงาน 1022 keV และจะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น

#### 4. สรุปผล

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของโลหะผสมโลหะผสมซีโคเนียม Zr<sub>2</sub>(Fe,Ni) จากการคำนวณด้วยโปรแกรม WinXCom ที่พลังงานโฟตอน 1 keV ถึง 10<sup>5</sup> keV อันตรกิริยาลดทอนเชิงมวลแบบโฟโตอิเล็กตริก อันตรกิริยาการกระเจิงโคฮีเรนท์ และอันตรกิริยาการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนท์มีค่าลดลงเมื่อพลังงานโฟตอนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการเกิดแฟร์โปรดักชันเกิดขึ้นเมื่อพลังงานสูงกว่า 1022 keV เกิดมีขอบการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (absorption edge) ของโลหะองค์ประกอบหลัก Zr จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก

## 6. เอกสารอ้างอิง

- Celiz, Z. E., Lani Sani Saumell, M., Veraci, R. A. & Bozzano, P.B. (2015) Microstrutural Characterization of Excel Zirconium Alloy. **Procedia Materials Science** 8 442 – 450.
- Taeho, Kim., Jongjion Kim, Kyoung Joon, Choi., Seung Chang, Yoo. & Seunghyun, Kim. (2015). Phase Transformation of oxide film in zirconium alloy in high temperature hydrogenated water. **Conosion Science** 99 134-144.
- Cevic, U., Baltus, H., Celik, S., Karaca, I., Kopya, Al. (2005). Measurement of mass attenuation coefficient for YBaCuO superconductor at different energies, **Superconductor Science & Technology**, 18, 101–106
- Hubbell, JH., & Seltzer, SM. (1995), Tables of X-ray mass attenuation coefficients from 1 keV to 20 MeV for elements Z =1–92, **National Institute of Standards and Technology (IR) Report**, 5632.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, KB., & Leving, H. (2004). WinXCom-a program for calculating X-ray attenuation coefficients, **Rad Phys and Chem**, Vol. 71, 653-654
- El-Kateb, AH., Rizk, RAM., & Abdul-Kader, AM. (2000). Determination of atomic cross-sections and effective atomic numbers for some alloys, **Annals of Nuclear Energy**, Vol. 27, 1333–1343
- Kaewkhao, J., Cevic, U., Laopaiboon, J. & Chewproditkul, W. (2008). Determination of atomic numbers and effective electrol densities for Cu/Zn alloy. **Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer**, 109 1260-1265