

# การศึกษาค่าเลขอะตอมยังผลของแร่พรีไนท์

## Study of Effective Atomic Number of Prehnite

ยงยุทธ ทองสุข บุบผา สุคดี และ พงศพิศ ลี้มกิจเจริญภรณ์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Scorpion\_yut@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและค่าเลขอะตอมยังผลสำหรับการดูดกลืนรังสีของพรีไนท์ที่ระดับพลังงานต่างๆ โดยใช้เทคนิคการกระเจิงคอมป์ตันในการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทางทฤษฎีคำนวณจากโปรแกรม WinXCom พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทางทฤษฎีและการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น ค่าเลขอะตอมยังผลซึ่งคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล พบว่าค่าเลขอะตอมยังผลมีค่าประมาณ 11 ในช่วงพลังงาน 222.66 ถึง 564.99 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

**คำสำคัญ:** เลขอะตอมยังผล แร่พรีไนท์

### Abstract

The mass attenuation coefficients and the effective atomic numbers of Prehnite were measured at the different energy of  $\gamma$ -rays using the Compton scattering technique from Cs-137 (662 keV)  $\gamma$ -rays source. The theoretical value of mass attenuation coefficients were calculated from WinXCom program. The results show that, the experimental values of mass attenuation coefficient are in good agreement with the theoretical values. The mass attenuation coefficients were decrease with the increasing in gamma rays energies. The effective atomic numbers were calculated from the data of mass attenuation coefficients. The result showed that the effective atomic number about 11 ( $e^-/atom$ ) in energies the range 222.66 to 564.99 keV.

**Keywords:** Effective atomic numbers, Prehnite

### 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตและการค้าอัญมณีและเครื่องประดับที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก แต่ด้วยเหตุที่วัตถุดิบคืออัญมณีในประเทศมีไม่เพียงพอ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และพลอยนำเข้าที่ได้รับความนิยมจะต้องนำมาผ่านการปรับปรุงคุณภาพ รูปแบบต่างๆ เช่น การเผาพลอย การฉายรังสีเพื่อให้ได้สีสนที่งดงามขึ้น และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพลอย [1] การฉายรังสีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอัญมณีนั้นจำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอัญมณีชนิดต่างๆ ที่ต้องการจะฉายรังสี สำหรับพลอยนั้นในการนำมาปรับปรุงคุณภาพมักจะนำมาฉายรังสีแกมมา โดยรังสีแกมมา (Gamma-Rays) ที่ใช้ฉายรังสีนั้นใช้ไอโซโทปของ Cs-137 ที่ให้พลังงาน 660 keV และ Co-60 ที่ให้พลังงาน 1.3 MeV สามารถเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของอัญมณีบางชนิดที่ช่วงแสงที่ตามองเห็นมีผลให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำนี้อาจมีบางกรณีจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือเหลือง มีหลายกรณีสีที่เปลี่ยนแล้วไม่เสถียรเมื่อโดนแสงแดด[2] นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่สำคัญคือ ค่าเลขอะตอมยังผล

ซึ่งค่าของเลขอะตอมยังผลนั้นจะเป็นค่าที่บ่งบอกเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุชนิดต่างๆ อีกอย่างหนึ่ง โดยเฉพาะธาตุชนิดนั้นๆ แต่สำหรับการหาค่าเลขอะตอมยังผลนั้นจำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เพื่อนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่าเลขอะตอมยังผล ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลนั้นสามารถทำได้ด้วยเทคนิคการกระเจิงคอมป์ตัน ด้วยวิธีการนี้จะทำให้เราทราบค่าเลขอะตอมยังผลของธาตุชนิดต่างๆ ได้ ตัวอย่างของพลอยพรีไนท์ในประเทศไทยได้มีการศึกษาด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์อนุภาคด้วยรังสีอิเล็กตรอน(EPMA) ในการดูตกสลับแสง โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปี พบว่ามีธาตุหลักเกือบจะอยู่ในสเปกตรัมเป็นตัวบ่งบอกให้เห็นว่าเหล็กเป็นส่วนประกอบของพรีไนท์ ซึ่งเหล็กจะช่วยในการดูตกสลับแสง[3] ด้วยเหตุนี้จึงนำพลอยพรีไนท์มาปรับปรุงคุณภาพโดยการฉายรังสีแกมมา

จากที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการที่จะศึกษาเกี่ยวกับค่าเลขอะตอมยังผลด้วยเทคนิคการกระเจิงคอมป์ตันของธาตุประเภทพลอยพรีไนท์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของการฉายรังสีให้ใช้ในปริมาณที่พอเหมาะในการปรับปรุงคุณภาพของพลอยพรีไนท์ อีกทั้งจะมีประโยชน์ต่อการเลือกซื้อพลอยประเภทพรีไนท์อีกด้วย

## 2. ทฤษฎี

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าดังสมการ[4,5]

$$\mu_m = \frac{\ln(I/I_0)}{x\rho} \quad (1)$$

เมื่อ  $x$  คือความหนาแน่นของแผ่นวัสดุ(cm) ;  $\rho$  คือความหนาแน่นของวัสดุ ( $\text{g/cm}^3$ ) ;  $I_0$  และ  $I$  คือ โฟตอนที่ตกกระทบ และส่งผ่านวัสดุตามลำดับ โดยค่าทางทฤษฎีของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของสารผสมจะเป็นไปตามกฎ mixture rule ดังสมการ[4,5]

$$\mu_m = \sum_i^n w_i (\mu_m)_i \quad (2)$$

เมื่อ  $\mu_m$  คือสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของสารผสม ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) ;  $w_i$  คืออัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแต่ละตัวของสารผสมนั้น โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสามารถนำไปคำนวณหาค่าภาคตัดขวางรวมเชิงอะตอม (total atomic cross-section ;  $\sigma_{t,a}$ ) ได้ดังสมการ[4,5]

$$\sigma_{t,a} = \frac{(\mu_m)_{alloy}}{N_A \sum_i^n (w_i/A_i)} \quad (3)$$

เมื่อ  $N_A$  คือเลขอโวกาโด ;  $A_i$  คือค่ามวลอะตอมของแต่ละธาตุที่ประกอบขึ้นมาเป็นสารผสม ค่าภาคตัดขวางรวมเชิงอะตอมสามารถนำไปหาค่าภาคตัดขวางรวมเชิงอิเล็กตรอน (total electronics cross-section ;  $\sigma_{t,e}$ ) ได้ดังสมการ[4,5]

$$\sigma_{t,e} = \frac{1}{N_A} \sum_i^n \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (4)$$

เมื่อ  $F_i$  คือจำนวนอะตอมของธาตุ  $i$  สัมพันธ์กับจำนวนอะตอมทั้งหมดของสารผสม ;  $Z_i$  คือค่าเลขอะตอมของแต่ละธาตุที่ประกอบขึ้นมาเป็นสารผสม จากนั้นเราจะสามารถหาค่าเลขอะตอมยังผลได้จากสมการ[4,5]

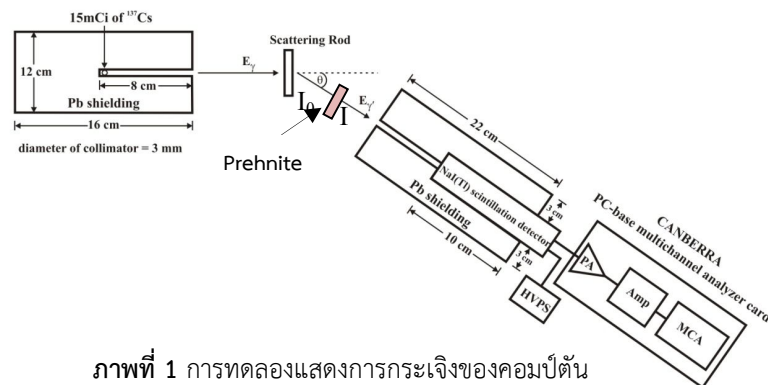
$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,e}} \quad (5)$$

### 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในพลอยพรีไนท์โดยใช้เครื่อง X – Rays Fluorescence Spectrometer (XRF) และหาค่าความหนาแน่นของพลอยพรีไนท์โดยใช้เครื่องชั่งตวงวัดชนิด 4 ตำแหน่งซึ่งในอากาศและในน้ำแล้วนำน้ำหนักทั้งสองมาคำนวณความหนาแน่นจากสมการ

$$\rho = \frac{W_a}{W_a - W_w} \times \rho_{\text{water}} \quad \text{g/cm}^3 \quad (6)$$

เมื่อ  $w_a$  คือ น้ำหนักในอากาศ (g)  $w_w$  คือ น้ำหนักในน้ำ (g)  $\rho_{\text{water}}$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ ( $\rho_{\text{water}} = 1 \text{ g/cm}^3$ )  
 จัดอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 1 ใช้หัววัดรังสี Canberra ชนิด NaI(Tl) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $2 \times 2 \text{ inch}^3$  1 หัว และแท่งกระเจิงอะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 cm และใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ในการวัดเราจะใช้การวัด 2 รอบคือวัดค่า  $I_0$  และค่า  $I$  โดยครั้งแรกจะวัด  $I_0$  ก่อนจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 1 แต่ยังไม่นำพลอยพรีไนท์มาดูดกลืนรังสี ตั้งค่าฟังก์ชันของเวลาในการทดลอง 10,000 วินาที แล้วทำการ Stat หัววัดรังสี NaI(Tl) ทำการนับวัดรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 องศา ตามลำดับ การวัดในแต่ละมุมต้องบันทึกผลหมายเลขช่องของพีคจำนวนเต็ม (Full Energy Peak) ที่นับวัดได้เพื่อนำไปหาค่าพลังงาน ในการวัดครั้งที่สองทำการทดลองเช่นเดียวกับครั้งแรกแต่นำพลอยพรีไนท์มาดูดกลืนรังสี



ภาพที่ 1 การทดลองแสดงการกระเจิงของคอมป์ตัน

### 4. ผลการวิจัยและอภิปราย

องค์ประกอบทางเคมีของพลอยพรีไนท์ในรูปแบบออกไซด์แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบที่สำคัญของพรีไนท์เป็น  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{CaO}$

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของพลอยพรีไนท์

ชื่อธาตุองค์ประกอบ	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{SO}_3$	$\text{CaO}$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
% by Weight	3.689	23.239	38.332	0.229	30.630	0.393	0.010	0.014	3.465

จากการทดลองวัดพลังงานของรังสีแกมมาที่ได้จากปรากฏการณ์คอมป์ตันนั้น ซึ่งวัดค่าพลังงานของรังสีแกมมา  $E'_{y, (exp)}$  ที่มุมกระเจิงต่างๆ พลังงานที่พบอยู่ในช่วงพลังงาน 222.66 – 564.99 keV. เปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบค่าทางทฤษฎีและค่าจากการทดลอง โดยค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างค่าทฤษฎีกับค่าจากการทดลองมีค่าสูงสุด 1.61 % ที่มุม  $105^\circ$  แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของระบบวัดคอมป์ตัน

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของพลอยพรีไนท์ แสดงในตารางที่ 3 หาได้จากค่าของโพตอนที่ถูกกระทบ ( $I_0$ ) และโพตอนที่ส่งผ่านวัตถุ ( $I$ ) ของแต่ละพลังงานของรังสีแกมมาและเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่ถูกคำนวณโดยโปรแกรม WinXCom พบว่าค่าพลังงานอยู่ในช่วง 222.66 – 564.99 keV. และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของพลอยพรีไนท์อยู่ในช่วง  $8 - 12 (\times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g})$  ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของพลอยพรีไนท์ที่ลดลงแปรผกผันกับค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้น

แสดงดังรูปที่ 2 โดยที่เส้นกราฟนั้นจะแสดงเส้นแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากโปรแกรม WinXCom ส่วนที่แสดงเป็นจุดนั้นคือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากการทดลอง จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากโปรแกรม WinXCom และค่าจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

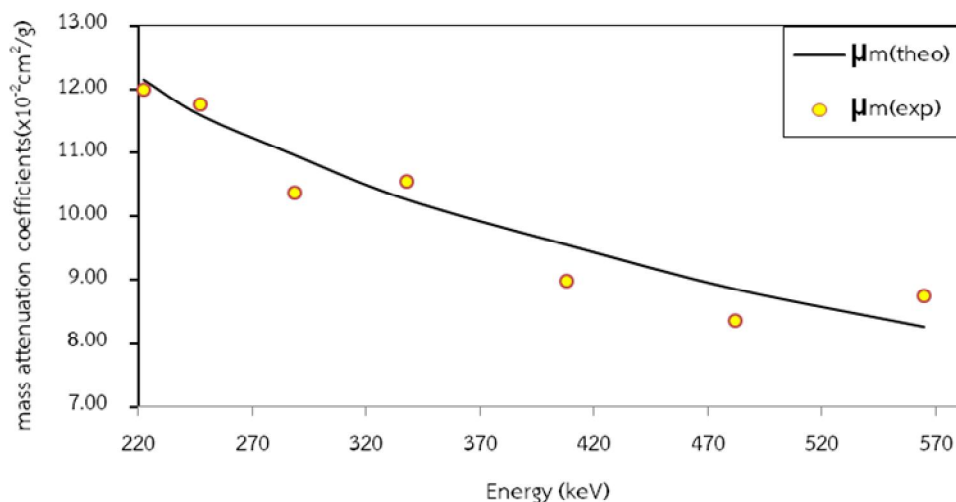
ค่าเลขอะตอมยังผลหาได้จากการคำนวณตามสมการ (5) เมื่อนำข้อมูล  $Z_{\text{eff}}$  ทั้งจากค่าที่คำนวณมาจากโปรแกรม WinXCom และค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบในตารางที่ 4 และแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งผลที่ได้จากเปรียบเทียบจากกราฟนั้นจะแสดงให้เห็นเส้นแนวโน้ม จะแสดงแทนค่าของเลขอะตอมยังผลที่ได้จากข้อมูลของโปรแกรม WinXCom มีค่าประมาณ 11 ( $e^-/\text{atom}$ ) ส่วนจุดที่ปรากฏนั้นจะแสดงค่าของค่าเลขอะตอมยังผลที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 10 -11 ( $e^-/\text{atom}$ ) หากพิจารณาเปรียบเทียบแล้วค่าของเลขอะตอมยังผลที่ได้จากข้อมูลของโปรแกรม WinXCom และค่าจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการวัดรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มุมต่างๆ

$\theta$ (Degree)	$E'_{\gamma, \text{(exp)}} \text{ (keV)}$	$E'_{\gamma, \text{(theo)}} \text{ (keV)}$	% RD
30	$564.99 \pm 23.87$	564.09	0.16
45	$481.77 \pm 16.94$	479.90	0.39
60	$407.98 \pm 14.03$	401.76	1.54
75	$337.63 \pm 12.94$	337.72	0.02
90	$288.72 \pm 11.12$	288.39	0.11
105	$247.54 \pm 9.66$	251.63	1.61
120	$222.66 \pm 9.66$	224.92	0.99

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่พลังงานรังสีแกมมาต่างๆ

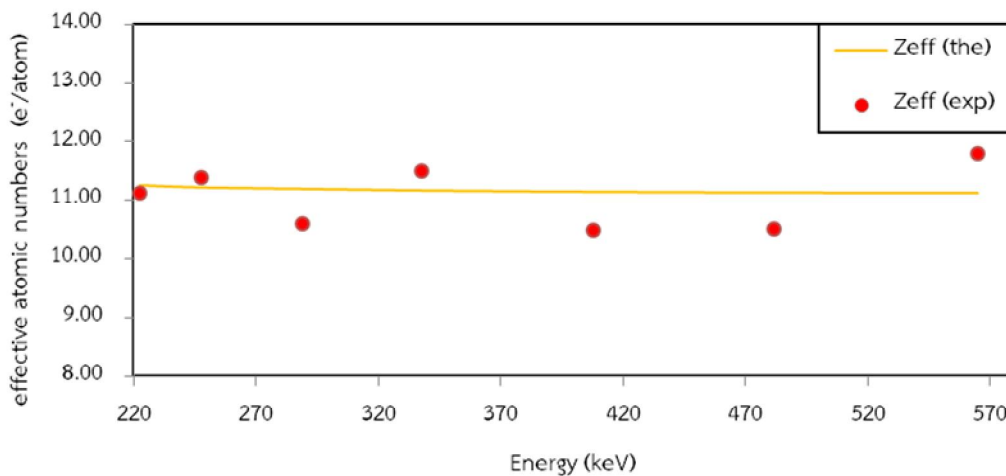
$\theta$ (Degree)	$E'_{\gamma, \text{(exp)}} \text{ (keV)}$	$\mu_{m, \text{(exp)}} \text{ (} \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{g})$	$\mu_{m, \text{(theo)}} \text{ (} \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{g})$	% RD
30	$564.99 \pm 23.87$	$8.753 \pm 0.406$	8.259	5.98
45	$481.77 \pm 16.94$	$8.356 \pm 0.746$	8.861	5.68
60	$407.98 \pm 14.03$	$8.991 \pm 0.389$	9.553	5.88
75	$337.63 \pm 12.94$	$10.56 \pm 0.84$	10.27	2.79
90	$288.72 \pm 11.12$	$10.38 \pm 0.74$	10.96	5.26
105	$247.54 \pm 9.66$	$11.77 \pm 0.44$	11.59	1.53
120	$222.66 \pm 9.66$	$12.00 \pm 0.25$	12.15	1.19



ภาพที่ 2 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับพลังงานรังสีแกมมา

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเลขอะตอมยังผลที่พลังงานรังสีแกมมาต่างๆ

$\theta$ (Degree)	$E'_{\gamma}$ (exp) (keV)	$Z_{\text{eff, (theo)}} (e^-/\text{atom})$	$Z_{\text{eff, (exp)}} (e^-/\text{atom})$
30	$564.99 \pm 23.87$	11.1358	$11.8022 \pm 0.4711$
45	$481.77 \pm 16.94$	11.1427	$10.5093 \pm 0.4479$
60	$407.98 \pm 14.03$	11.1544	$10.4981 \pm 0.4641$
75	$337.63 \pm 12.94$	11.1763	$11.4890 \pm 0.2211$
90	$288.72 \pm 11.12$	11.2008	$10.6113 \pm 0.4169$
105	$247.54 \pm 9.66$	11.2230	$11.3946 \pm 0.1213$
120	$222.66 \pm 9.66$	11.2544	$11.1205 \pm 0.0947$



ภาพที่ 3 กราฟการเปรียบเทียบค่าเลขอะตอมยังผลกับพลังงานรังสีแกมมา

## 5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบของพลอยพรีไนท์ด้วยเครื่อง X – Rays Fluorescence Spectrometer พบว่าพลอยพรีไนท์มีธาตุองค์ประกอบที่สำคัญคือ  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{CaO}$  ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของพลอยพรีไนท์ เป็นการวัดที่ใช้พลังงานแตกต่างกันของรังสีแกมมาโดยใช้เทคนิคการกระเจิงคอมป์ตัน พลังงานที่พบอยู่ในช่วงพลังงาน 222.66 – 564.99 keV. โดยค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างค่าทฤษฎีกับค่าจากการทดลองมีค่าสูงสุด 1.6 % มีความใกล้เคียงกันกันของพลังงานระหว่างค่าทางทฤษฎีและการทดลองเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความแม่นยำของเทคนิคการกระเจิงคอมป์ตัน ผลที่ได้แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลลดลงและค่าของเลขอะตอมยังผลก็ลดลงด้วยเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นของรังสีแกมมาสะท้อนให้เห็นถึงเลขอะตอมยังผลของพลอยพรีไนท์ได้ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมาในช่วงนี้

## 6. อ้างอิง

- [1] “การเพิ่มมูลค่าอัญมณีโดยการฉายรังสี” ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน)
- [2] “การเพิ่มคุณค่าอัญมณีโดยวิธีนิวเคลียร์” ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน)
- [3] N.C. Gangi Reddy และคณะ .,2005, Characterisation of prehnite by EPMA, Mossbauer,optical absorption and EPR spectroscopic methods.
- [4] จักรพงษ์ แก้วขาว และ วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล., 2551 , การพัฒนาเนื้อแก้วสำหรับใช้เป็นวัสดุกำบังรังสีแกมมา, นครปฐม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- [5] ศักดิ์สกุล คลังชนะ 2554, การศึกษาค่าเลขอะตอมยังผลของทัวร์มาลีน นครปฐม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.