ผลของความเข้มของรังสีแกมมาต่อสี ธาตุองค์ประกอบ และโครงสร้างผลึกของพรีไนต์

Effect of Gamma Radiation Intensity on Color, Chemical Composition, and Crystal Structure of Prehnite

จุฑาภัท หวังอ้อมกลาง เพียงดาว หนีพาล และ พัฒนพงษ์ จำรัสประเสริฐ*

Juthapat Wangomklang Piangdao Nheeparn and Pattanapong Jumrusprasert*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

General Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

*E-mail: janjuthapat@gmail.com

Received: May 02, 2026

Revised: Jun 23, 2026

Accepted: Jul 02, 2026

บทคัดย่อ

พรีไนต์เป็นแร่ที่ถูกนำมาทำเป็นเครื่องประดับ แต่เนื่องจากพรีไนต์ส่วนมากมีสีเขียวอ่อนและมีความซีดจาง ทำให้เครื่องประดับที่ทำมาจากพรีไนต์มีมูลค่าต่ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มของรังสีแกมมาที่มีต่อสี องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างผลึกของพรีไนต์ก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา โดยนำพรีไนต์จำนวน 15 ตัวอย่างมาฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลเกรย์ ผลการศึกษาพบว่า หลังการฉายรังสีแกมมา พรีไนต์มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 300-400 นาโนเมตร ส่งผลให้สีของแร่เปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีเขียวเข้มและสีน้ำตาลตามระดับความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF) พบว่า ก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา องค์ประกอบหลักของพรีไนต์ได้แก่ Ca, Si, Fe, และ Al ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง โดยธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทต่อการเกิดสี ทั้งนี้ รังสีแกมมาส่งผลให้ไอออน Fe^{2+} ถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{3+} ทำให้เกิดศูนย์กำเนิดสี (color center) และส่งผลให้พรีไนต์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) พบว่า โครงสร้างผลึกของพรีไนต์ก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมาไม่เปลี่ยนแปลง โดยยังคงอยู่ในระบบผลึกออร์โธรอมบิกและมีสเปซกรุ๊ป P2cm สรุปได้ว่า การฉายรังสีแกมมาสามารถปรับเปลี่ยนสีของพรีไนต์ได้โดยไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึก ซึ่งน่าจะมีระโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับพรีไนต์ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับต่อไป

คำสำคัญ: พรีไนต์ รังสีแกมมา ความเข้มรังสี องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างผลึก

Abstract

Prehnite is a mineral used to make jewelry. Since most prehnite is light green and faded, this causes jewelry made from prehnite having low value. This research aimed to study the effect of gamma radiation intensity on the color, chemical composition, and crystal structure of prehnite before and after gamma irradiation. Fifteen prehnite samples were irradiated with gamma rays at intensities of 200, 400, 600, 800, and 1,000 kGy. The results revealed that after gamma irradiation, prehnite exhibited increased light absorption in the 300-400 nm wavelength range, resulting in a color change from light green to dark green and brown, depending on the increasing radiation intensity. The analysis of chemical composition by X-ray fluorescence (XRF) technique demonstrated that the main components of prehnite, including Ca, Si, Fe, and Al, remained unchanged before and after gamma irradiation. Iron was an important element involved in coloration. In this process, gamma

irradiation oxidized Fe^{2+} into Fe^{3+}, which created a color center, causing the prehnite to become darker brown. X-ray diffraction (XRD) analysis showed that the crystal structure of prehnite remained unchanged before and after gamma irradiation, retaining its orthorhombic crystal system with the space group P2cm. In conclusion, the gamma irradiation could alter the color of prehnite without affecting its chemical composition and crystal structure, which could be useful for adding value to prehnite in the gem and jewelry industry.

Keywords: Prehnite, Gamma ray, Radiation intensity, Chemical composition, Crystal structure

1. บทนำ

ปัจจุบันอัญมณีมีค่าและเป็นที่นิยมอย่างมาก มีความต้องการทางตลาดสูง มีคุณสมบัติหลายประการ เช่น มีความสวยงามและมีความหลากหลายของสีสัน ซึ่งประเทศไทยนับเป็นประเทศหนึ่งที่มีชื่อเสียงในเรื่องของรัตนชาติและอัญมณีเป็นอย่างมากอัญมณียังเป็นเป็นสินค้าส่งออกที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งของระบบเศรษฐกิจที่สามารถทำรายได้ให้กับประเทศเป็นอย่างมาก พรีไนต์ (Prehnite) จัดอยู่ในระบบผลึกแบบออร์โธรอมบิก (Orthorhombic crystal system) มีสูตรเคมี คือ $Ca_2Al(AlSiO_{10})(OH)_2$ ปัจจุบันพรีไนต์เป็นอัญมณีที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากมีสีสันที่เป็นเอกลักษณ์ สีของพรีไนต์จะมีความแตกต่างกันไป โดยสีที่สามารถพบเห็นได้มากนั้น คือพรีไนต์สีเขียว ส่วนพรีไนต์ที่หาได้ยากและไม่ค่อยพบเห็นนั้น คือ พรีไนต์สีเหลือง [1] เนื่องจากมีความต้องการอัญมณีที่เพิ่มขึ้นในขณะที่มีแหล่งวัตถุดิบและการผลิตที่ลดลง จึงมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในกระบวนการทางธรรมชาติให้มีความรวดเร็วมากขึ้น โดยการเพิ่มคุณภาพของอัญมณี ซึ่งมีกรรมวิธีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การฟอกสี การแต่งสี การย้อมสี การบำบัดด้วยความร้อน ตัวอย่างเช่น ทัวร์มาลีน (Tourmaline) สีน้ำตาลที่มีธาตุเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ถูกนำไปปรับปรุงสีด้วยกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ทำให้สีน้ำตาลจางลง แต่มีความโปร่งใสมากยิ่งขึ้น [2] ซึ่งเป็นแนวทางให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิธีการดังกล่าวมีข้อเสีย คือ อาจไม่ประสบความสำเร็จทุกเม็ด การเพิ่มคุณภาพและมูลค่ามีการพัฒนามากขึ้นจึงมีการปรับปรุงสีของอัญมณีด้วยการฉายรังสีโดยกระบวนการฉายรังสีมีประสิทธิภาพและให้สีอัญมณีที่ถาวร มีผู้ให้ความสนใจในการเพิ่มคุณภาพและมูลค่าของอัญมณีมากขึ้นโดยการนำอัญมณีที่มีราคาถูกมีสีสันไม่สวยงามมาผ่านกระบวนการฉายรังสี เพื่อเพิ่มคุณภาพและสีสันของอัญมณีให้สวยงามตามความต้องการของตลาดและสามารถเพิ่มมูลค่าอัญมณีให้สูงขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีการฉายรังสีที่ใช้ในการเปลี่ยนสีอัญมณีนั้นมีทั้ง การฉายรังสีแกมมา รังสีนิวตรอน รังสีเอ็กซ์ และรังสีอิเล็กตรอน [3] เช่น ทัวร์มาลีนสีชมพูจากไนจีเรียได้รับการฉายรังสีอิเล็กตรอนและฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีเท่ากัน การฉายรังสีอิเล็กตรอนทำให้เกิดสีที่เข้มกว่าการฉายรังสีแกมมา [4] แต่การฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดสีที่ไม่สม่ำเสมอ และรังสีอิเล็กตรอนจะมีสารกัมมันตรังสีตกค้างซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานในการรอให้สารกัมมันตรังสีเจือจาง ส่วนการฉายรังสีแกมมาทำให้เกิดสีที่สม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนโดยไม่มีสารกัมมันตรังสีตกค้าง เนื่องจากการฉายรังสีแกมมาจะใช้พลังงานต่ำกว่าการฉายรังสีอิเล็กตรอน [5] เช่น นำควอตซ์ (Quartz) ไปฉายรังสีแกมมา ควอตซ์จะเปลี่ยนจากไม่มีสีไปเป็นสีควันและจะมีสีที่สม่ำเสมอทั้งก้อนและเทคโนโลยีการเปลี่ยนสีอัญมณีโดยการฉายรังสีแกมมาเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับ ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีอัญมณีเพื่อเพิ่มมูลค่า ทำให้ผู้ค้าสามารถขายอัญมณีได้ในราคาที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอัญมณีที่มีสีเดิม [3] ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มของรังสีแกมมาที่มีผลต่อสี องค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของพรีไนต์ก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมา

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. การเตรียมพรีไนต์

เตรียมตัวอย่างพรีไนต์จากแหล่งตัวอย่างเดียวกัน จากนั้นนำมาตัดแบ่งให้มีขนาดประมาณ 1x1 มิลลิเมตร จนได้จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง โดยกำหนดสัญลักษณ์ ดังนี้ Pn-1, Pn-2, Pn-3, Pn-4, Pn-5, Pn-6, Pn-7, Pn-8, Pn-9, Pn-10, Pn-11, Pn-12, Pn-13, Pn-14 และ Pn-15 จากนั้นนำตัวอย่างพรีไนต์ทั้ง 15 ตัวอย่าง ไปฉายรังสีแกมมาที่ระดับความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลเกรย์ โดยในแต่ละระดับความเข้มรังสีจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะใช้พรีไนต์จำนวน 1 ตัวอย่าง เพื่อความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของผลการทดลอง

2.2. การฉายรังสีแกมมา

นำพรีไนต์มาฉายรังสีแกมมาที่ระดับความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลเกรย์ด้วยเครื่องต้นกำเนิดรังสีแกมมาโคบอลท์-60 ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยแต่ละระดับความเข้มของรังสีทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยการฉายรังสีจะดำเนินการภายในห้องฉายรังสีที่เป็นระบบปิดและอุณหภูมิห้องอยู่ในช่วงประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส

2.3. การวิเคราะห์สีของพรีไนต์

นำพรีไนต์ทั้งก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมามาวิเคราะห์ เพื่อหาสีของพรีไนต์ที่เปลี่ยนไปโดยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

2.4. การวิเคราะห์องค์ประกอบของพรีไนต์

นำพรีไนต์ทั้งก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมาไปบดให้เป็นผง จากนั้นนำผงของพรีไนต์ทั้งก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมาไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักของธาตุโดยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

2.5. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของพรีไนต์

นำผงของพรีไนต์ทั้งก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมา ไปวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของพรีไนต์โดยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

3. ผลการวิจัย

3.1. ผลการวิเคราะห์สีของพรีไนต์ก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา

จากการวิเคราะห์สีของพรีไนต์ด้วยตาเปล่าก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา พบว่า Pn-01 มีสีที่เปลี่ยนไปเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 200 กิโลเกรย์ โดยเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีเขียวเข้ม Pn-04 มีสีที่เปลี่ยนไปเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 400 กิโลเกรย์ โดยเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีเขียว Pn-07 มีสีที่เปลี่ยนไปเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 600 กิโลเกรย์ โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลือง Pn-10 มีสีที่เปลี่ยนไปเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 800 กิโลเกรย์ โดยเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีน้ำตาล Pn-13 มีสีที่เปลี่ยนไปเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 1,000 กิโลเกรย์ โดยเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีน้ำตาล ดังแสดงใน Figure 1

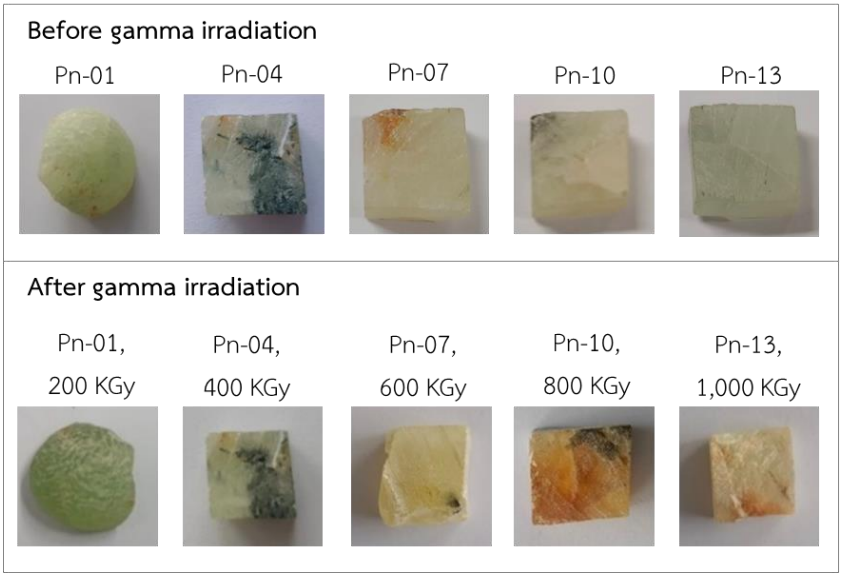


Figure 1 Color analysis of prehnites before and after gamma irradiation at different intensities

3.2. ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของพรีไนต์ก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา

จากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของพรีไนต์ก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมาด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer พบว่า Pn-01ก่อนการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 290 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และหลังการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 350 นาโนเมตร ซึ่งจะดูดกลืนแสงสีม่วง ทำให้มองเห็นเป็นสีเหลือง Pn-04 ก่อนการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 240 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และหลังการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 250 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า Pn-07 ก่อนการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และหลังการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 350 นาโนเมตร ซึ่งจะดูดกลืนแสงสีม่วง ทำให้มองเห็นแร่เป็นสีเหลือง Pn-10 ก่อนการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และหลังการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 380 นาโนเมตร ซึ่งจะดูดกลืนแสงสีม่วง ทำให้มองเห็นเป็นสีเหลือง Pn-13 ก่อนการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และหลังการฉายรังสีแกมมามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 350 nm ซึ่งจะดูดกลืนแสงสีม่วง ทำให้มองเห็นเป็นสีเหลือง ดังแสดงใน Figure 2

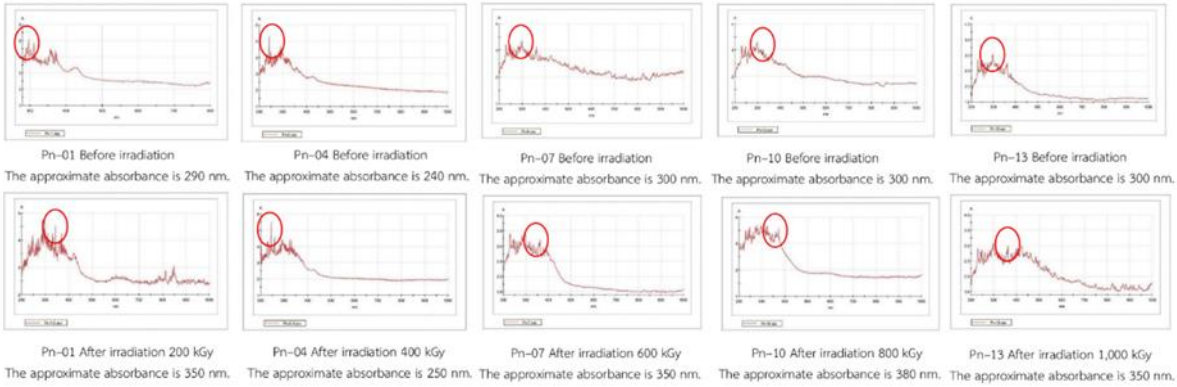


Figure 2 Absorbance analysis of prehnites before and after gamma irradiation at different intensities

3.3. ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของพรีไนต์ก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของพรีไนต์ก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายด้วยเครื่อง X-Ray fluorescence (XRF) พบว่าก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา (ที่ความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลเกรย์) พรีไนต์มีธาตุองค์ประกอบ คือ Ca (แคลเซียม) 63%, Si (ซิลิคอน) 19%, Fe (เหล็ก) 8%, และ Al (อะลูมิเนียม) 8% เป็นองค์ประกอบหลัก การวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสีแกมมาไม่มีผลต่อองค์ประกอบธาตุหลักของพรีไนต์ (Table 1)

Table 1 Elemental composition analysis of prehnites before and after gamma irradiation at different intensities

Radiation intensity	Trial No.	Element (%)									
		Ca	Si	Fe	Al	Ti	Mn	V	Cu	S	Ga
before irradiation	-	62.69	19.05	8.84	8.77	0.26	0.05	0.20	0.06	0.04	0.42
After Irradiation											
200 kGy	1	50.03	17.54	24.36	7.59	-	0.06	-	-	0.06	-
	2	63.05	19.04	8.65	8.82	0.17	-	0.19	0.05	-	0.04
	3	66.86	19.16	3.94	8.59	-	-	0.61	0.05	0.06	0.04
400 kGy	1	51.95	17.71	22.27	7.48	0.42	0.06	-	0.05	0.06	-
	2	63.28	19.14	8.01	8.99	0.19	0.09	0.06	0.05	0.05	-
	3	60.75	18.88	18.88	8.44	0.25	0.10	-	0.05	0.03	0.04
600 kGy	1	60.32	19.08	11.35	8.76	0.23	-	0.16	0.05	-	-
	2	63.69	19.17	9.27	7.11	0.30	0.06	0.20	0.06	0.01	0.04
	3	66.13	19.54	6.16	7.18	0.29	0.08	0.35	0.06	-	-
800 kGy	1	63.53	18.93	8.20	7.50	-	0.06	0.39	0.05	0.02	0.03
	2	63.20	19.51	7.47	8.53	0.31	0.11	0.07	0.05	0.06	0.04
	3	67.73	19.23	3.31	8.75	-	0.06	0.32	0.05	0.05	0.04
1,000 kGy	1	61.59	18.40	11.26	7.93	0.31	0.13	0.13	0.06	0.11	0.03
	2	59.43	17.38	14.88	7.52	0.26	0.05	0.07	-	0.06	-
	3	66.80	18.76	5.00	8.38	-	0.06	0.41	0.05	0.04	0.04

3.4. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของพรีไนต์ก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของพรีไนต์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) ของตัวอย่าง Pn-16 ก่อนฉายรังสีและตัวอย่าง Pn-1, Pn-4, Pn-7, Pn-10 และ Pn-13 หลังการฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลเกรย์ พบว่า ตำแหน่งพีคเลี้ยวเบนไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยทุกพีคยังอยู่ตำแหน่งเดิม ไม่ปรากฏสิ่งเจือปนหรือแร่เฟสใหม่เกิดขึ้น (Impurities) และลักษณะของพีคมีความแหลมสูง (Sharp peaks) ที่เห็นได้อย่างชัดเจนและคงเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลึกของพรีไนต์ยังคงจัดเรียงตัวเป็นระเบียบเหนียวแน่นเหมือนเดิมทั้งก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา (Figure 3)

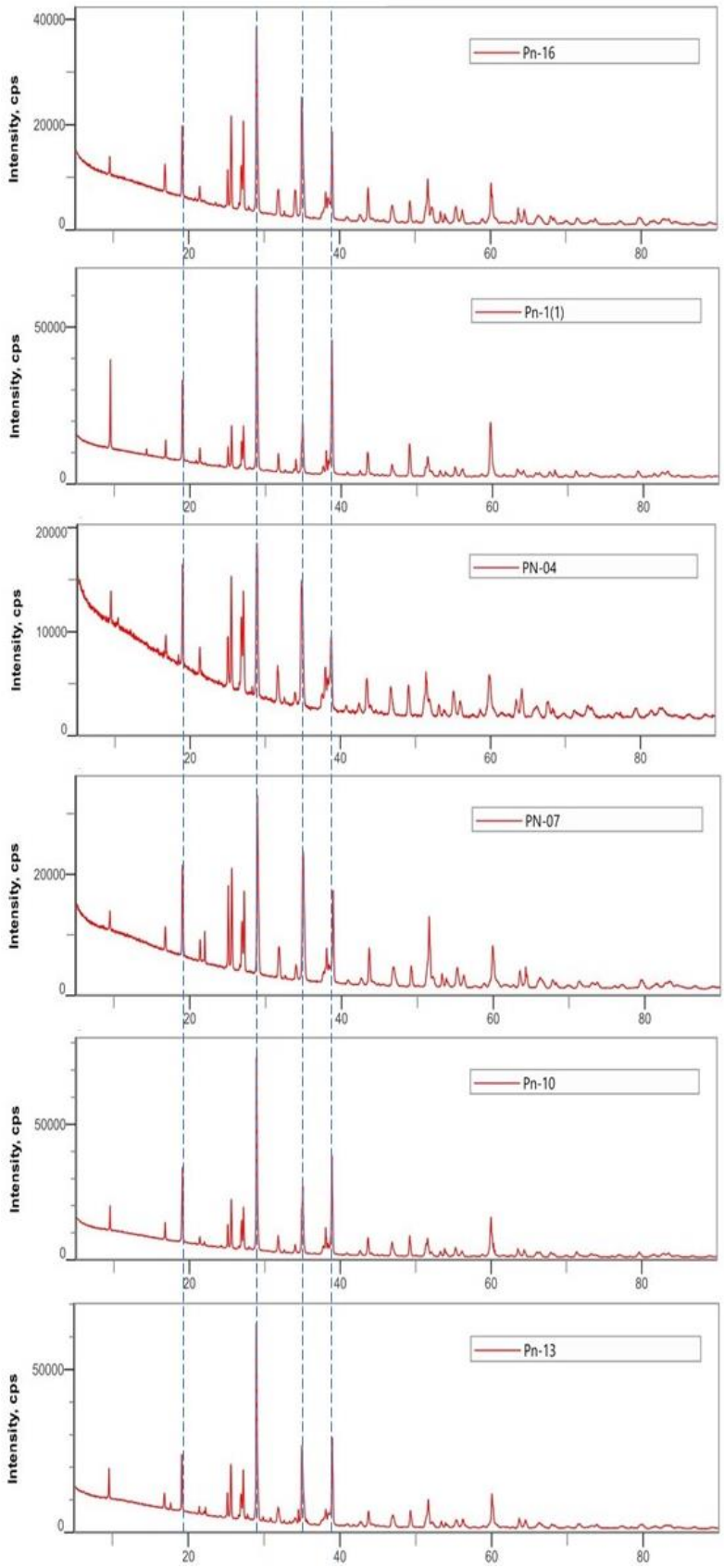


Figure 3 Crystal structure analysis of prehnite Pn-16 before gamma irradiation and prehnites Pn-1, Pn-4, Pn-7, Pn-10, and Pn-13 after gamma irradiation with intensities of 200, 400, 600, 800, and 1,000 kGy, respectively

4. อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาที่ระดับความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800,และ 1,000 กิโลเกรย์ ต่อการเปลี่ยนสีของพรีไนต์ พบว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของไอออนเหล็กเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี เมื่อพรีไนต์ได้รับการฉายรังสีแกมมา ไอออนของเหล็ก Fe^{2+} ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) จะถูกกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปสู่ระดับที่สูงขึ้นและถูกออกซิไดซ์กลายเป็น Fe^{3+} โดย Fe^{3+} เดิมทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) ปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ส่งผลให้พรีไนต์เปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนไปเป็นสีน้ำตาล โดยความเข้มของสีน้ำตาลจะแปรผันตรงกับปริมาณ Fe^{3+} ที่เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มของรังสีแกมมา ซึ่งสอดคล้องกับสมการ $\Delta E = hv$ โดยรังสีแกมมาเป็นโฟตอน (Photon) ที่มีพลังงานสูง เมื่อฉายเข้าสู่พรีไนต์ พลังงานจะเข้าชนและกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของ Fe^{2+} หลุดออกจากวงโคจรเดิมส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เปลี่ยนสภาพไอออนเหล็กไปเป็น Fe^{3+} และตามทฤษฎีสนามผลึก (Crystal field theory) ไอออน Fe^{3+} ที่เกิดขึ้นใหม่จะมีการจัดเรียงพลังงานภายในอะตอมขึ้นมาใหม่ซึ่งมีระดับช่องว่างพลังงานที่พอดีกับการดูดกลืนแสงในช่วง 300-400 นาโนเมตร โดยการดูดกลืนแสงเฉพาะในช่วงนี้ทำหน้าที่เป็นศูนย์สี (Color theory) ที่ส่งผลให้พรีไนต์เปลี่ยนสีจากสีเขียวอ่อนไปเป็นสีน้ำตาลที่เห็นได้อย่างชัดเจน [6], [7]

เมื่อนำผลการดูดกลืนแสงของพรีไนต์ที่ได้จากเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Ross et al. [8] พบว่ามีความสอดคล้องกัน โดยเมื่อนำพรีไนต์สีเหลืองอมเขียวไปเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศออกซิไดซ์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นภายในโครงสร้างผลึกส่งผลให้ไอออน Fe^{2+} เปลี่ยนสภาพไปเป็น Fe^{3+} ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Fe^{3+} ส่งผลให้ลักษณะปรากฏเชิงสีของตัวอย่างพรีไนต์จากสีเหลืองอมเขียวเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลอย่างชัดเจน

จากการศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมีของพรีไนต์ โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมาที่ระดับความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800, และ 1,000 กิโลเกรย์ พบธาตุ Ca (แคลเซียม) 63%, Si (ซิลิคอน) 19%, Fe (เหล็ก) 8%, และ Al (อะลูมิเนียม) 8% ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีของพรีไนต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิจัยของ Ross et al. [8] พบว่า Ca, Al, Fe เป็นธาตุองค์ประกอบหลักทางเคมีของพรีไนต์ ส่วนธาตุ Fe เป็นตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีในพรีไนต์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของไอออน จากผลการวิเคราะห์ทั้งก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมา พบว่า พรีไนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีไปจากเดิม

จากการศึกษาโครงสร้างผลึกของพรีไนต์โดยใช้เทคนิค X-Ray diffractometer (XRD) พบว่า โครงสร้างผลึกของพรีไนต์เป็นแบบออร์โธรอมบิก (Orthorhombic) ใน space group Pncm และ P2cm และจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยการฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลเกรย์ ตำแหน่งพีคเลี้ยวเบนไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่มีการปรากฏของเฟสแปลกปลอม (Impurities) และลักษณะของพีคมีความแหลมสูง (Sharp peaks) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างผลึกแบบออร์โธรอมบิกของแร่พรีไนต์มีความเสถียรต่อรังสีสูง ซึ่งการฉายรังสีแกมมาในช่วงความเข้มรังสี 200, 400, 600, 800 และ 1,000 กิโลเกรย์ ตามลำดับนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อการจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงสร้างผลึกหลักทั้งก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังการฉายรังสีแกมมา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. [1] ซึ่งรายงานว่า เมื่อให้ความร้อนแก่พรีไนต์ที่อุณหภูมิ 25, 180, 335, 490, 645, 800 และ 850 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า ไม่มีการปรากฏของพีคการเลี้ยวเบนใหม่ (New diffraction peaks) ไม่มีการหายไปของพีคเดิมและไม่มีสิ่งเจือปนหรือแร่เฟสใหม่เกิดขึ้น แสดงให้เห็นโครงสร้างผลึกของพรีไนต์ที่มีความทนทานต่อความร้อนสูงมาก โดยไม่สูญเสียความเป็นผลึก (Crystallinity)

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของความเข้มของรังสีแกมมาที่มีต่อการเปลี่ยนสีของพรีไนต์ เพื่อศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของพรีไนต์ก่อนการฉายรังสีแกมมาและหลังฉายรังสีแกมมา และเพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของพรีไนต์ก่อนการฉายและหลังการฉายรังสีแกมมา จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อฉายรังสีแกมมาด้วยความเข้มมากขึ้นตามลำดับ สามารถเปลี่ยนสีของพรีไนต์จากสีเขียวอ่อนเป็นสีน้ำตาล และธาตุองค์ประกอบทางเคมีของพรีไนต์ก่อนฉายและหลังฉายไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดย เหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้พรีไนต์เปลี่ยนสี รวมทั้งโครงสร้างผลึกก่อนฉายและหลังฉายรังสีแกมมาของพรีไนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยพรีไนต์มีโครงสร้าง

ผลึกอยู่ใน Space group P2cm ซึ่งจัดอยู่ในระบบผลึกแบบออร์โธรอมบิก (Orthorhombic) และหลังจากการฉายรังสีแกมมา โครงสร้างผลึกหลักใน Space group จะไม่มีการเปลี่ยนระบบผลึกไปเป็นแบบอื่น เนื่องจากโครงสร้างหลักมีความเสถียรและทนทานต่อรังสีสูงมาก

จากผลการศึกษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของพรีไนต์ภายหลังการฉายรังสีแกมมามีความสัมพันธ์กับกระบวนการออกซิเดชันของไอออน Fe^{2+} ภายในโครงสร้างผลึก ซึ่งส่งผลให้เกิดสีเขียวและสีน้ำตาลที่มีความสม่ำเสมอและกระจายตัวอย่างทั่วถึงในเนื้อแร่ อย่างไรก็ตาม สีที่เกิดขึ้นดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดด้านเสถียรภาพในระยะยาว เนื่องจากศูนย์สี (Color centers) และสถานะออกซิเดชันที่เกิดขึ้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อได้รับพลังงานความร้อน

ผลการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสีแกมมาสามารถเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงคุณภาพสีของพรีไนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพสีของอัญมณีและแร่ในกลุ่มซิลิเกตชนิดอื่น ๆ ในเชิงพาณิชย์ เพื่อเพิ่มมูลค่าและศักยภาพทางเศรษฐกิจของทรัพยากรแร่ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุสำหรับตรวจวัดปริมาณรังสีสะสม (Dosimetric materials) ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงหรือสีภายหลังการได้รับรังสี ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมนิวเคลียร์และงานด้านการป้องกันรังสีในอนาคต

อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต่อยอดเกี่ยวกับเสถียรภาพของสีที่เกิดขึ้นภายหลังการฉายรังสีแกมมา โดยเฉพาะกลไกการเกิดและการสลายตัวของศูนย์สี (Color centers) ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการได้รับแสงเป็นระยะเวลานาน เพื่อหาแนวทางในการทำให้สีที่เกิดขึ้นมีความคงทนและถาวรมากยิ่งขึ้น รวมทั้งศึกษาวิธีการปรับสภาพภายหลังการฉายรังสี (Post-irradiation treatment) ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของสีและขยายโอกาสในการนำไปใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างยั่งยืน

6. References

[1] Wang, Q. and et al. 2022. Study of the mechanism of color change of prehnite after heat treatment. **RSC Advances.** 12(5): 3044-3054.

[2] Li, K. and Yue, S. 2025. Mechanisms of thermal color change in brown elbaite-fluorelbait tourmaline: Insights from trace elements and spectral signatures. **Minerals.** 15(10): 1032.

[3] Iqbal, Z. and et al. 2019. Value addition of quartz gemstones through gamma irradiation. **International Journal of Energetic Materials.** 5(2): 61-67.

[4] Suwanmanee, W. and et al. 2021. Colour enhancement of pink tourmaline from Nigeria by electron-beam and gamma irradiation. **The Journal of Gemmology.** 37(5): 514-526.

[5] Bunnag, N. and Sripoonjan, T. 2019. Gamma irradiation on rubellite tourmaline. **Chiang Mai Journal of Science.** 46(6): 1249-1255.

[6] Lemons, D.S. and et al. 2022. **On the Trail of Blackbody Radiation: Max Planck and the Physics of His Era.** Cambridge: MIT Press.

[7] Song, Z. and Liu, Q. 2022. Basic crystal field theory-A simple and useful tool to understand the structure-property relationship in luminescent materials. **Optical Materials: X.** 16: 100189.

[8] Ross, N.L., Detrie, T.A. and Liu, Z. 2020. High-pressure raman and infrared spectroscopic study of prehnite. **Minerals.** 10(4): 312.