

บทที่ 4

ผลการวิจัย



4.1 การเปลี่ยนแปลงสีภายหลังการทดลองเผา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของพลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา , แหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา, แหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี และแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย หลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1000 °C ในสภาวะ reduction ในการวิจัยครั้งนี้ สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ผลที่ได้จากการเผาพลอยเพทายของแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา ซึ่งมีสีน้ำตาล ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า พลอยเพทายแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา ก่อนเผามีเฉดสีเขียว-เหลือง จนถึงน้ำตาล หลังเผาส่วนใหญ่มีสีซีดจางลง จนถึงไร้สี (colourless) พบบางตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อน พลอยเพทายสีน้ำตาลจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย หลังเผามีสีจางลงถึงไร้สี ส่วนพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย หลังเผาเปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อน

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของพลอยสปิเนลจากแหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม และแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา หลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 °C ในสภาวะ oxidation ในการวิจัยครั้งนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่ชัดเจนมากนัก เนื่องจากเป็นการทดลองเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ

4.1.1 พลอยเพทาย

4.1.1.1 พลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา

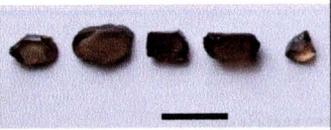
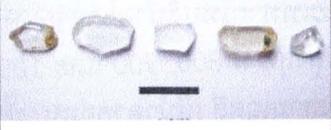
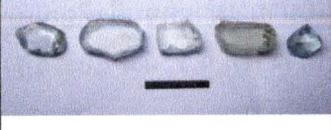
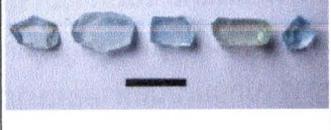
ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยเพทายโทนสีน้ำตาลจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชาในสภาวะรีดอกซิเจน (reduction) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 800, 900 และ 1000 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า พลอยเพทายทั้งสามเฉดสี (สีน้ำตาลอ่อน, น้ำตาลปานกลาง และน้ำตาลเข้ม) มีสีน้ำตาลที่ซีดจางลงจนเกือบขาวใสเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 800 °C บางตัวอย่างเริ่มปรากฏสีฟ้าอ่อนเล็กน้อย และมีสีฟ้าชัดเจนขึ้นเมื่อนำมาเผาต่อจนถึงที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 900 °C และสีฟ้าเข้มที่สุดเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 1000 °C (ตารางที่ 4.1, 4.4 และ 4.7) โดยกลุ่มตัวอย่างพลอยเพทายเฉดสีน้ำตาลเข้มจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าที่เข้มมากที่สุด

การทดลองเผาตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาลทั้งสามเฉดสี ในสภาวะรีดอกซิเจน (reduction) และเผาแช่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเริ่มเผาจนได้อุณหภูมิสูงสุดครั้งแรกที่ 900 °C พบว่าพลอยเพทายกลุ่มสีน้ำตาลอ่อน และน้ำตาลปานกลาง เปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อนมาก และมีสีฟ้าชัดเจนขึ้นเมื่อเผาซ้ำที่อุณหภูมิ 1000 °C ส่วนพลอยเพทายกลุ่มสีน้ำตาลเข้มพบว่าเปลี่ยนเป็นสีฟ้าชัดเจนกว่าพลอยเพทาย 2 กลุ่มแรก เมื่อเผาให้อุณหภูมิสูงสุดที่ 900 °C และมีสีฟ้าเข้มขึ้นเมื่อเผาซ้ำจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 1000 °C (ตารางที่ 4.2, 4.5 และ 4.8)

การทดลองเผาพลอยเพทายสีน้ำตาลทั้งสามเฉดสี ในสภาวะไร้ออกซิเจน (reduction) โดยเผาแซ่ที่อุณหภูมิสูงสุด 1000 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าพลอยเพทายทั้ง 3 กลุ่ม เปลี่ยนเป็นสีฟ้า โดยที่ตัวอย่างกลุ่มเฉดสีน้ำตาลเข้มจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเข้มมากที่สุด (ตารางที่ 4.3, 4.6 และ 4.9)

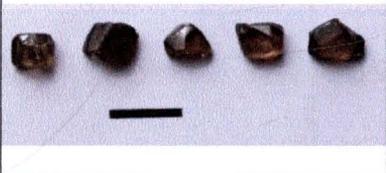
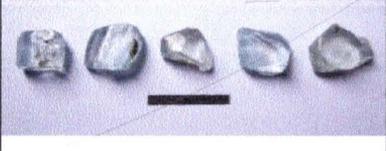
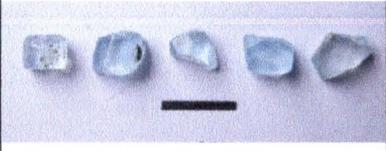
จากการทดลองเผาตัวอย่างพลอยเพทายโทนสีน้ำตาลจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา ทั้ง 3 เฉดสี พบว่า การทดลองเผาในแบบที่ 1 (800, 900 และ 1000 °C ตามลำดับ) แบบที่ 2 (900 และ 1000 °C ตามลำดับ) และแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิสูงสุด 1000 °C เพียงอุณหภูมิเดียว พบว่า พลอยเพทายสีน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าชัดเจนที่ อุณหภูมิ 1000 °C โดยที่ตัวอย่างที่มีเฉดสีน้ำตาลเข้มที่สุดจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าได้เข้มที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างพลอยเพทายที่มีเฉดสีน้ำตาลอ่อนและปานกลาง ซึ่งเปลี่ยนเป็นสีฟ้าได้ไม่แตกต่างกันนัก

ตารางที่ 4.1 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลอ่อนก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 °C

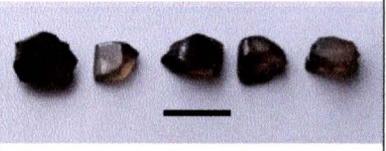
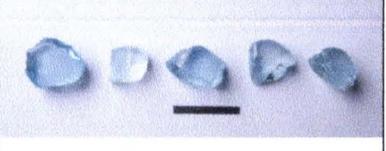
อุณหภูมิ	รูป	รหัสสี				
		Zr_Cam 1-1	Zr_Cam 1-2	Zr_Cam 1-3	Zr_Cam 1-4	Zr_Cam 1-5
unheated		oY 2/3				
800 °C		colourless	colourless	colourless	Y 2/2	colourless
900 °C		gB 2/2	gB 2/2	gB 2/2	YG/GY 2/1	gB 2/2
1000 °C		bG 2/3	bG 2/3	bG 2/3	G 2/2	gB 2/2

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.2 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลอ่อนก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 900 และ 1000 °C

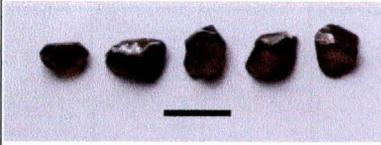
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 1-6	Zr_Cam 1-7	Zr_Cam 1-8	Zr_Cam 1-9	Zr_Cam 1-10
unheated		oY 2/3				
900 °C		GB/BG 2/2	gB 2/2	bG 2/3	GB/BG 2/2	YG/GY 2/1
1000 °C		gB 2/2	GB/BG 2/2	bG 2/3	gB 2/2	bG 2/3

ตารางที่ 4.3 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลอ่อนก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 1-11	Zr_Cam 1-12	Zr_Cam 1-13	Zr_Cam 1-14	Zr_Cam 1-15
unheated		oY 2/3				
1000 °C		vstgB 3/2	GB/BG 2/2	GB/BG 2/2	GB/BG 2/2	GB/BG 2/2

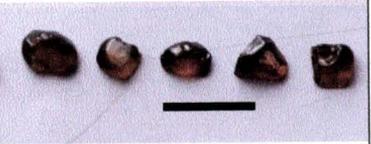
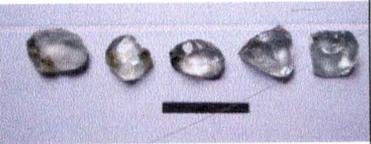
หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.4 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลปานกลางก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 °C

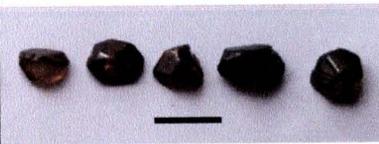
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 2-1	Zr_Cam 2-2	Zr_Cam 2-3	Zr_Cam 2-4	Zr_Cam 2-5
unheated		yO 6/3				
800 °C		Y 2/2	bG 2/3	YG/GY 2/1	Y 2/2	colourless
900 °C		YG/GY 2/1	bG 2/3	bG 2/3	colourless	bG 2/3
1000 °C		bG 2/3	Y 2/2	bG 2/3	bG 2/3	bG 2/3

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.5 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลปานกลางก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 900 และ 1000 °C

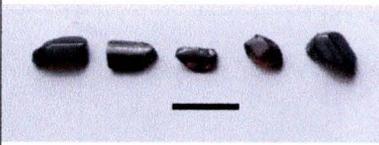
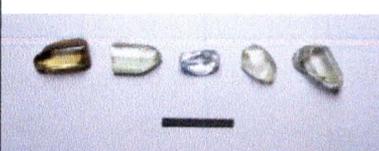
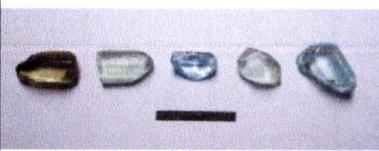
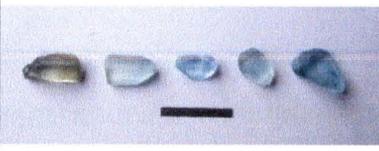
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 2-6	Zr_Cam 2-7	Zr_Cam 2-8	Zr_Cam 2-9	Zr_Cam 2-10
unheated		yO 6/3				
900 °C		colourless	colourless	colourless	colourless	colourless
1000 °C		gB 2/2				

ตารางที่ 4.6 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลปานกลางก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 2-11	Zr_Cam 2-12	Zr_Cam 2-13	Zr_Cam 2-14	Zr_Cam 2-15
unheated		yO 6/3				
1000 °C		gB 2/2	bG 2/3	vstgB 3/2	vstgB 3/2	gB 2/2

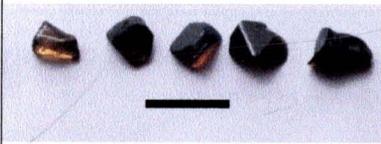
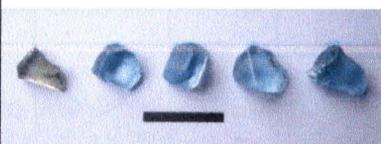
หมายเหตุ : ——— เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.7 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลเข้มก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 °C

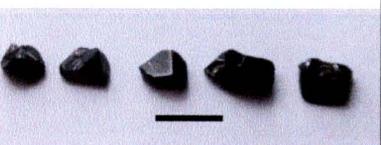
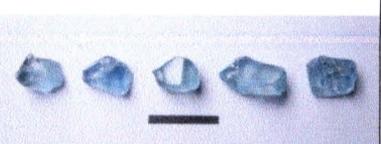
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 3-1	Zr_Cam 3-2	Zr_Cam 3-3	Zr_Cam 3-4	Zr_Cam 3-5
unheated		O 7/3				
800 °C		Y 5/4	YG/GY 2/1	bG 2/3	Y 2/2	YG/GY 2/1
900 °C		Y 4/3	vslbG 2/3	vstgB 2/3	gB 2/2	GB/BG 2/2
1000 °C		Y 2/2	vstbG2/3	vstgB 3/2	GB/BG 2/2	vstgB 3/2

หมายเหตุ : ——— เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.8 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลเข้มก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 900 และ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 3-6	Zr_Cam 3-7	Zr_Cam 3-8	Zr_Cam 3-9	Zr_Cam 3-10
unheated		O 7/3				
900 °C		YG/GY 2/1	gB 2/2	vslbG 2/3	GB/BG 2/2	vstbG 2/3
1000 °C		Y 2/2	vstgB 3/2	vstgB 2/3	vstgB 3/2	vstgB 2/3

ตารางที่ 4.9 พลอยเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา กลุ่มสีน้ำตาลเข้มก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

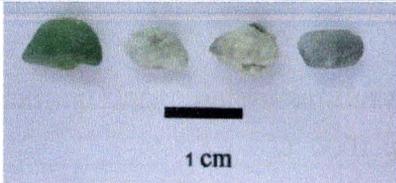
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Cam 3-11	Zr_Cam 3-12	Zr_Cam 3-13	Zr_Cam 3-14	Zr_Cam 3-15
unheated		O 7/3				
1000 °C		gB 2/2	vstgB 3/2	GB/BG 4/2	GB/BG 2/2	gB 2/2

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

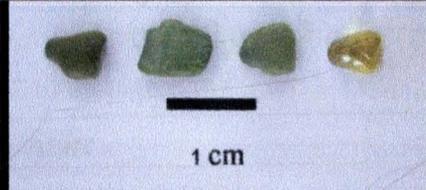
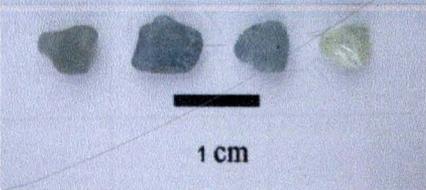
4.1.1.2 ผลอยเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยเพทายโทนสีเขียว-เหลือง และสีน้ำตาลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกาในสภาวะรีดอกซิเจน (reduction) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 1000 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า พลอยเพทายกลุ่มสีเขียว-เหลืองเข้ม มีสีซีดจางลงและบางตัวอย่างเปลี่ยนเป็นไร้สี (colourless) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 สำหรับพลอยเพทายกลุ่มสีเขียว-เหลืองอ่อน พบว่ามีสีอ่อนลง บางตัวอย่างเริ่มปรากฏสีฟ้าอ่อนเล็กน้อย (ตารางที่ 4.11) และพลอยเพทายกลุ่มสีน้ำตาลพบว่าสีซีดจางลงเปลี่ยนเป็นไร้สี (colourless) (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.10 พลอยเพทายแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา กลุ่มสีเขียว-เหลืองเข้ม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี			
		Zr_Sri 3-1	Zr_Sri 3-2	Zr_Sri 3-3	Zr_Sri 3-4
unheated		yG 7/3	Y 5/4	oY 4/4	Y 8/3
1000 °C		yG 7/3	colourless	Y 2/2	G 5/1

ตารางที่ 4.11 พลอยเพทายแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา กลุ่มสีเขียว-เหลืองอ่อน ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี			
		Zr_Sri 3-6	Zr_Sri 3-7	Zr_Sri 3-8	Zr_Sri 3-10
unheated		gY 7/3	YG/GY 6/3	Y 7/3	Y 5/4
1000 °C		G 5/1	GB/BG 6/1	GB/BG 6/1	YG/GY 2/1

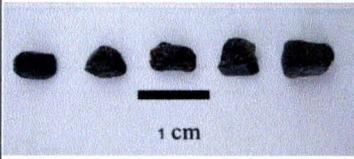
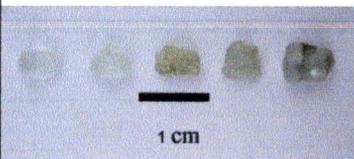
ตารางที่ 4.12 พลอยเพทายแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา กลุ่มสีน้ำตาล ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Zr_Sri 4-1	Zr_Sri 4-2	Zr_Sri 4-5
unheated		yO 7/3	yO 7/3	yO 7/3
1000 °C		near colourless	near colourless	near colourless

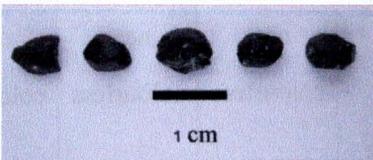
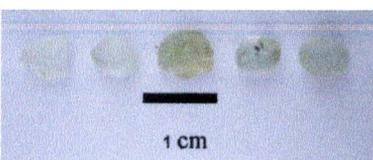
4.1.1.3 ผลอยเพทายจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาลจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ในสภาวะไร้ออกซิเจน (reduction) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 1000 °C โดย คงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า พลอยเพทาย มีสีซีดจางลงเป็นสีเหลืองอ่อน และบาง ตัวอย่างเปลี่ยนเป็นไร้สี (colourless) ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 พลอยเพทายสีน้ำตาล แหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ก่อนและหลัง การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Kan 2-1	Zr_Kan 2-2	Zr_Kan 2-3	Zr_Kan 2-4	Zr_Kan 2-5
unheated		○ 8/2	○ 8/2	○ 8/2	○ 8/2	○ 7/3
1000 °C		colourless	colourless	Y 2/2	Y 2/2	Y 2/2

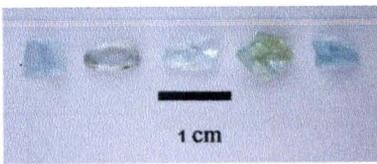
ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Kan 2-6	Zr_Kan 2-7	Zr_Kan 2-8	Zr_Kan 2-9	Zr_Kan 2-10
unheated		○ 7/3	○ 8/2	○ 8/2	○ 8/2	○ 8/2
1000 °C		colourless	colourless	Y 2/2	colourless	Y 2/2

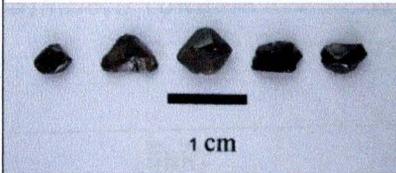
4.1.1.4 พลอยเพทายจากแหล่งบางกระจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยเพทายจากแหล่งบางกระจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย ในสภาวะรีดอกซิเจน (reduction) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 1000 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า พลอยเพทายกลุ่มสีน้ำตาลอ่อน เปลี่ยนเป็นสีฟ้าอมเขียวอ่อน (ตารางที่ 4.14) และกลุ่มสีน้ำตาลเข้ม เปลี่ยนเป็นสีฟ้า และมีบางตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีเขียว ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 พลอยเพทายสีน้ำตาลอ่อน แหล่งบางกระจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Chan 1-1	Zr_Chan 1-2	Zr_Chan 1-3	Zr_Chan 1-4	Zr_Chan 1-5
unheated		oY 2/3	oY 2/3	oY 2/3	Y 2/2	oY 6/3
1000 °C		gB 2/2	bG 2/3	gB 2/2	bG 2/3	vstgB 3/2

ตารางที่ 4.15 พลอยเพทายสีน้ำตาลเข้ม แหล่งบางกระจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย ก่อนและ
 หลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี				
		Zr_Chan 1-6	Zr_Chan 1-7	Zr_Chan 1-8	Zr_Chan 1-9	Zr_Chan 1-10
unheated		O 7/3	yO 7/3	yO 7/3	O 8/2	O 8/2
1000 °C		vstgB 3/2	vstgB 3/2	G 2/2	vstgB 3/2	vstgB 3/2

4.1.2 พลอยสปิเนล

4.1.2.1 พลอยสปิเนลจากแหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลจากแหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 °C พลอยสปิเนลกลุ่มสีชมพูอมส้ม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500 °C ตัวอย่างพลอยมีความใสมากขึ้น มีสีอ่อนลง แต่สามารถสังเกตเห็นสีชมพูชัดเจนขึ้น และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีอีกเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 600 °C (ตารางที่ 4.16)

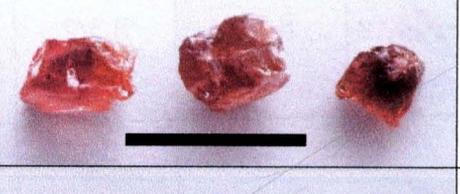
ตารางที่ 4.16 พลอยสปิเนลสีชมพูอมส้ม แหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY01	Sn_LY02	Sn_LY03
unheated		R 3/2	R 3/2	RO/OR 2/3
400 °C		R 3/2	R 3/2	R 3/2
500 °C		R 2/2	R 3/2	RO/OR 3/4
600 °C		R 2/2	R 3/2	RO/OR 3/4

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีแดงอมส้ม จากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดย คงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า บางตัวอย่าง (Sn_LY04) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี ชัดเจน และในบางตัวอย่าง (Sn_LY05 และ Sn_LY06) เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของสีโดยมีสีแดงชัดขึ้น เล็กน้อย เนื่องจากพลอยมีความใสมากขึ้น เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 °C และคงที่โดยไม่มีการ เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500 °C และ 600 °C (ตารางที่ 4.17)

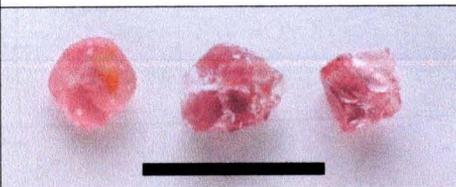
ตารางที่ 4.17 พลอยสปิเนลสีแดงอมส้ม แหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุง คุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY04	Sn_LY05	Sn_LY06
unheated		RO/OR 4/3	O 5/2	O 5/4
400 °C		RO/OR 4/3	RO/OR 4/3	rO 4/5
500 °C		RO/OR 4/3	RO/OR 4/3	RO/OR 4/3
600 °C		RO/OR 4/3	RO/OR 4/3	RO/OR 4/3

หมายเหตุ : ——— เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีชมพูอมแดง จากแหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า บางตัวอย่าง (Sn_LY04) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจน และในบางตัวอย่าง (Sn_LY05 และ Sn_LY06) เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของสีโดยมีสีแดงชัดขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากพลอยมีความใสสะอาดเพิ่มขึ้น เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 °C และคงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500 °C และ 600 °C (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 พลอยสปิเนลสีชมพูอมแดง แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY07	Sn_LY08	Sn_LY09
unheated		RO/OR 3/4	slpR 3/3	rO 4/3
400 °C		rO 3/4	slpR 3/3	RO/OR 3/4
500 °C		oR 3/4	slpR 3/3	RO/OR 3/4
600 °C		oR 3/4	slpR 3/3	RO/OR 3/4

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีแดง จากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดย คงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีลดลงเล็กน้อยเมื่อ เเผาที่อุณหภูมิ 400 °C และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นอีกเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 500 และ 600 °C (ตารางที่ 4.19)

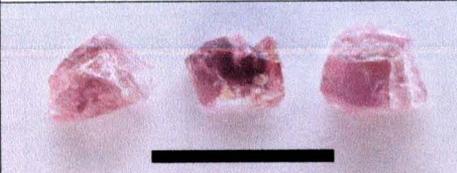
ตารางที่ 4.19 พลอยสปิเนลสีแดง แหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุง คุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY10	Sn_LY11	Sn_LY12
unheated		rO 8/3	RO/OR 6/3	rO 4/3
400 °C		RO/OR 4/3	oR 4/4	rO 4/3
500 °C		RO/OR 4/3	oR 4/4	RO/OR 4/3
600 °C		RO/OR 4/3	oR 4/4	RO/OR 4/3

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีชมพูอมม่วง จากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 °C ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี และเมื่อเผาที่ อุณหภูมิ 500 และ 600 °C สีชมพูชัดเจนขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากพลอยมีความใสมากขึ้น (ตารางที่ 4.20)

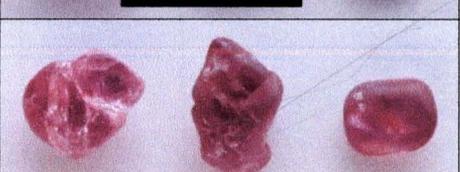
ตารางที่ 4.20 พลอยสปิเนลสีชมพูอมม่วง แหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY13	Sn_LY14	Sn_LY15
unheated		R 3/2	R 5/1	R 3/2
400 °C		RO/OR 2/2	R 5/1	R 3/2
500 °C		R 2/2	R 5/1	R 2/2
600 °C		R 2/2	R 5/1	R 2/2

หมายเหตุ : ——— เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีแดงอมม่วง จากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 °C ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี และเมื่อเผาที่ อุณหภูมิ 500 และ 600 °C พลอยมีความใสขึ้นเล็กน้อย จึงมีผลให้สีแดงชัดเจขึ้น (ตารางที่ 4.21)

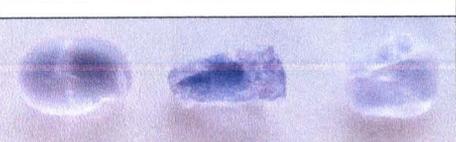
ตารางที่ 4.21 พลอยสปิเนลสีแดงอมม่วง แหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY16	Sn_LY17	Sn_LY18
unheated		R 5/2	oR 4/3	oR 4/4
400 °C		R 5/2	oR 4/3	oR 4/3
500 °C		R 5/2	R 5/2	oR 4/3
600 °C		R 5/2	R 5/2	oR 4/3

หมายเหตุ : ——— เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีม่วงอ่อน จากแหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี (ตารางที่ 4.22)

ตารางที่ 4.22 พลอยสปิเนลสีม่วงอ่อน แหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

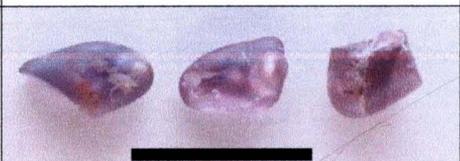
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY19	Sn_LY20	Sn_LY21
unheated		P 2/1	V 3/2	V 2/2
400 °C		P 2/1	V 3/2	V 2/2
500 °C		P 2/1	V 3/2	V 2/2
600 °C		P 2/1	V 3/2	V 2/2

หมายเหตุ : ——— เท่ากับ 1 เซนติเมตร

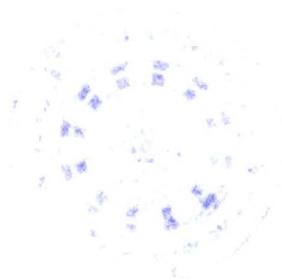


ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีม่วงอมชมพู จากแหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี (ตารางที่ 4.23)

ตารางที่ 4.23 พลอยสปิเนลสีม่วงอมชมพู แหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

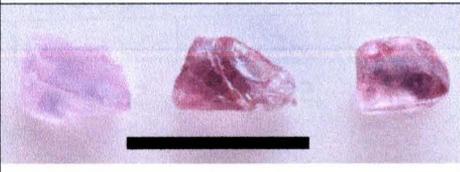
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY22	Sn_LY23	Sn_LY24
unheated		rP 5/3	rP 5/3	rP 5/3
400 °C		rP 5/3	rP 5/3	rP 5/3
500 °C		rP 5/3	rP 5/3	rP 5/3
600 °C		rP 5/3	rP 5/3	rP 5/3

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร



ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีม่วงอมแดง จากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดย คงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างที่ Sn_LY25 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี และ ตัวอย่างที่ Sn_LY26 และ Sn_LY27 มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 400 และ 500 °C และ คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเมื่อเผาที่ 600 °C (ตารางที่ 4.24)

ตารางที่ 4.24 พลอยสปิเนลสีม่วงอมแดง แหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุง คุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

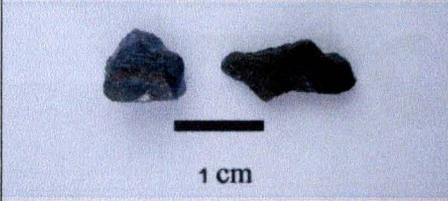
อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_LY25	Sn_LY26	Sn_LY27
unheated		P 3/1	R 5/2	slpR 3/3
400 °C		P 3/1	PR/RP 3/3	PR/RP 3/3
500 °C		P 3/1	PR/RP 3/3	PR/RP 4/2
600 °C		P 3/1	PR/RP 3/3	PR/RP 4/2

หมายเหตุ :  เท่ากับ 1 เซนติเมตร

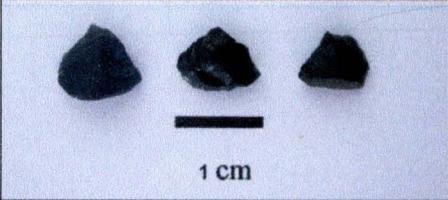
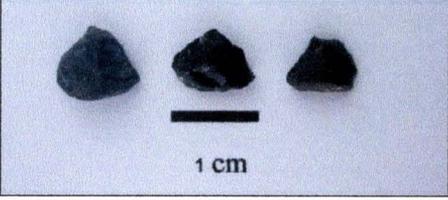
4.1.2.2 พลอยสปิเนลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา

ผลการทดลองปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างพลอยสปิเนลสีน้ำเงินเข้ม จากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา ในสภาวะมีออกซิเจน (oxidation) อุณหภูมิสูงสุด ที่ 400, 500 และ 600 °C โดยคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

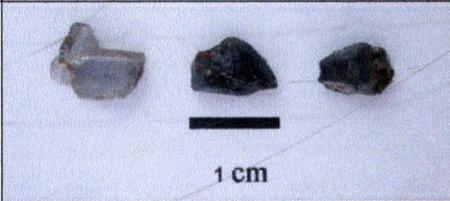
ตารางที่ 4.25 พลอยสปิเนลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี	
		Sn_Sri1	Sn_Sri2
unheated		B 8/3	vstbG 8/3
400 °C		B 7/2	vstbG 8/3

ตารางที่ 4.26 พลอยสปิเนลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_Sri3	Sn_Sri4	Sn_Sri5
unheated		B 7/2	gB 8/1	G 8/2
500 °C		vB 7/3	gB 8/1	G 7/1

ตารางที่ 4.27 พลอยสปิเนลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 600 °C

อุณหภูมิ	รูปตัวอย่าง	รหัสสี		
		Sn_Sri6	Sn_Sri7	Sn_Sri8
unheated		B 3/1	gB 8/1	GB/BG 6/1
600 °C		B 3/1	gB 8/1	GB/BG 6/1

4.2 การดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR

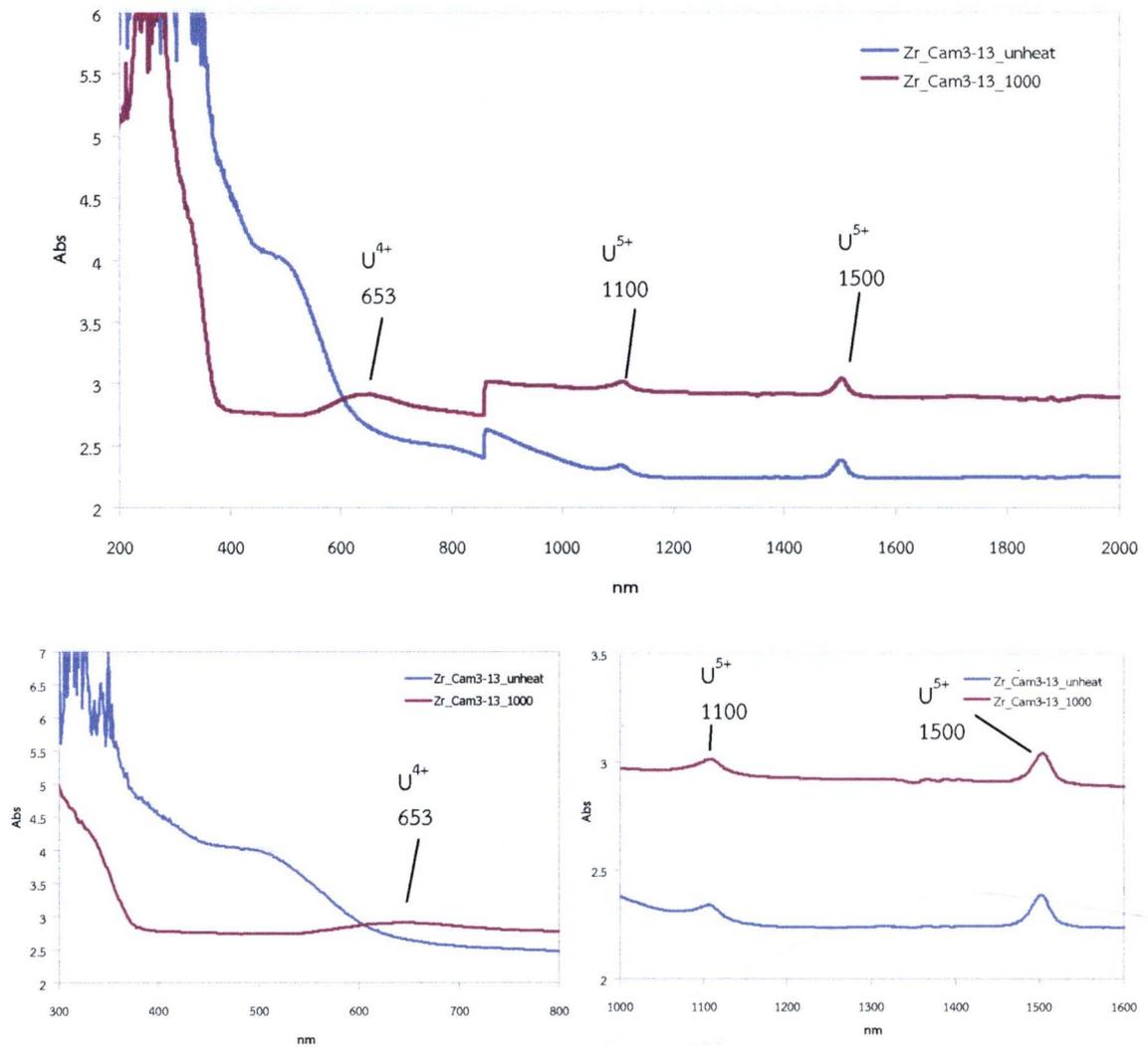
การศึกษาการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Lambda 900 ช่วงความยาวคลื่นที่วัดสเปกตรัมของตัวอย่างอยู่ในช่วง 200 ถึง 2000 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดแสงเป็น monochromatic light สามารถวัดค่าการดูดกลืนได้ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet; UV) ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น (visible) และช่วงอินฟราเรดช่วงใกล้ (near infrared; NIR) กำหนดให้มีความละเอียด (resolution) คงที่ที่ 2 นาโนเมตร อัตราเร็วการวัดความเข้มแสง (scan speed) 300 นาโนเมตรต่อนาที เพื่อศึกษาสาเหตุการเกิดสีจากลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของตัวอย่างพลอยเพทาย และสปิเนลก่อนและหลังเผา

4.2.1 พลอยเพทาย

4.2.1.1 พลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา

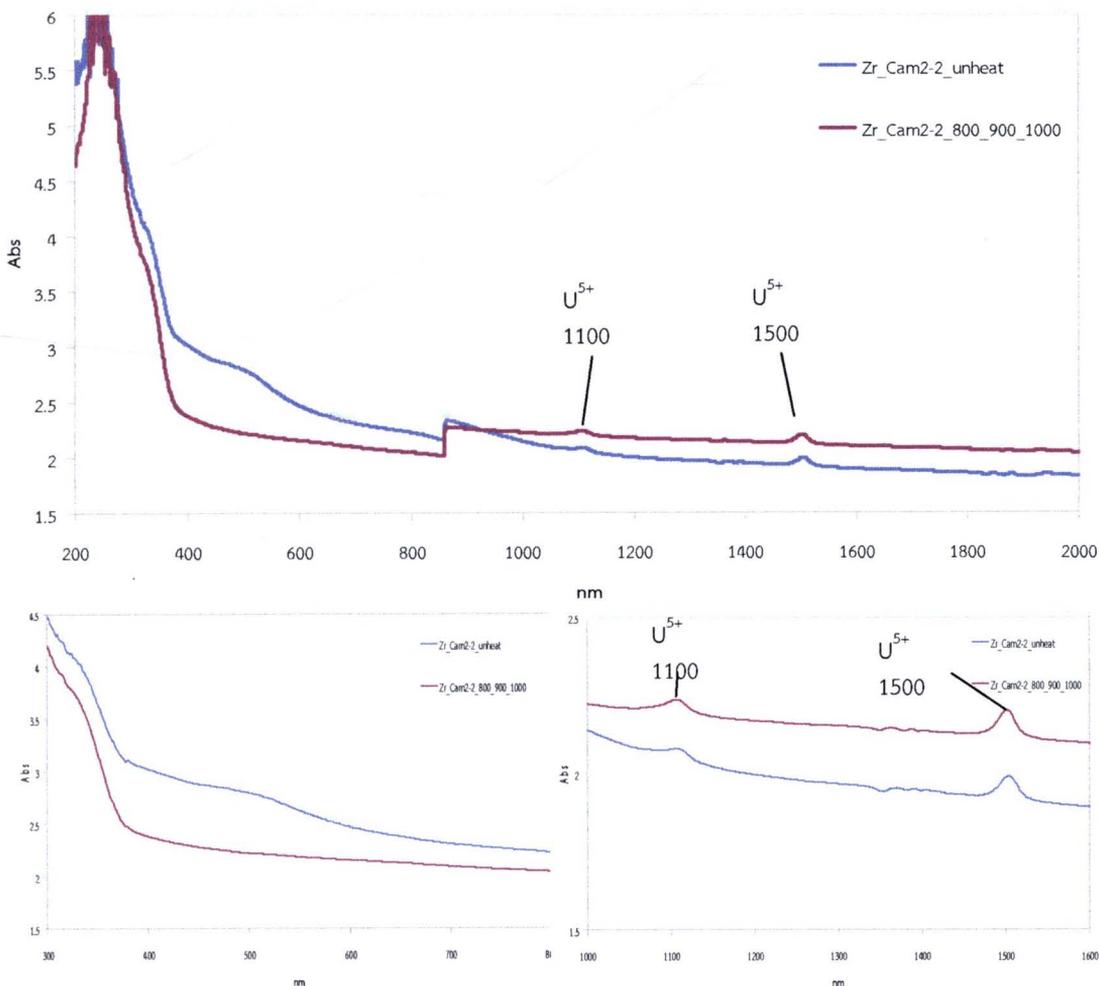
ตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาลจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา ก่อนเผา แสดงแถบการดูดกลืนแสง 2 ช่วงได้แก่ ช่วง 390-580 nm และ ช่วง 600-1000 nm นอกจากนี้ยังพบลักษณะการยกระดับของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงตั้งแต่ช่วง absorption edge ถึงประมาณ 400 nm และแสดงพีกการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 350 nm ซึ่งเป็นลักษณะการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก colour centre และพบ peak การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 1100 nm เพิ่มเข้ามาและแสดงพีกที่ 1500 nm ชัดเจนกว่า ซึ่งเป็นพีกที่บ่งบอกถึงการมี U^{5+} เป็นองค์ประกอบ (Zhang, et al., 2003) หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ซึ่งมีความเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนที่สุด พบว่าลักษณะการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก

colour centre หายไป แต่ปรากฏแถบการดูดกลืนแสงช่วง 653 nm ของ U^{4+} ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีฟ้าในพลอยเพทายหลังเผา เค้นชัด (รูปที่ 5.1)



รูปที่ 4.1 (ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam3-13) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ซึ่งพลอยเปลี่ยนเป็นสีฟ้า (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam3-13) ก่อนเผาพบการดูดกลืนอันเนื่องมาจาก colour centre ของพลอยเพทายสีน้ำตาล และหลังเผา colour centre หายไป ปรากฏแถบการดูดกลืนประมาณ 653 nm ของ U^{4+} ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีฟ้าในพลอยเพทาย (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam3-13) ก่อนเผาและหลังเผา แสดงการดูดกลืนแสงที่เด่นชัดของ U^{5+} บริเวณ 1100 และ 1500 nm

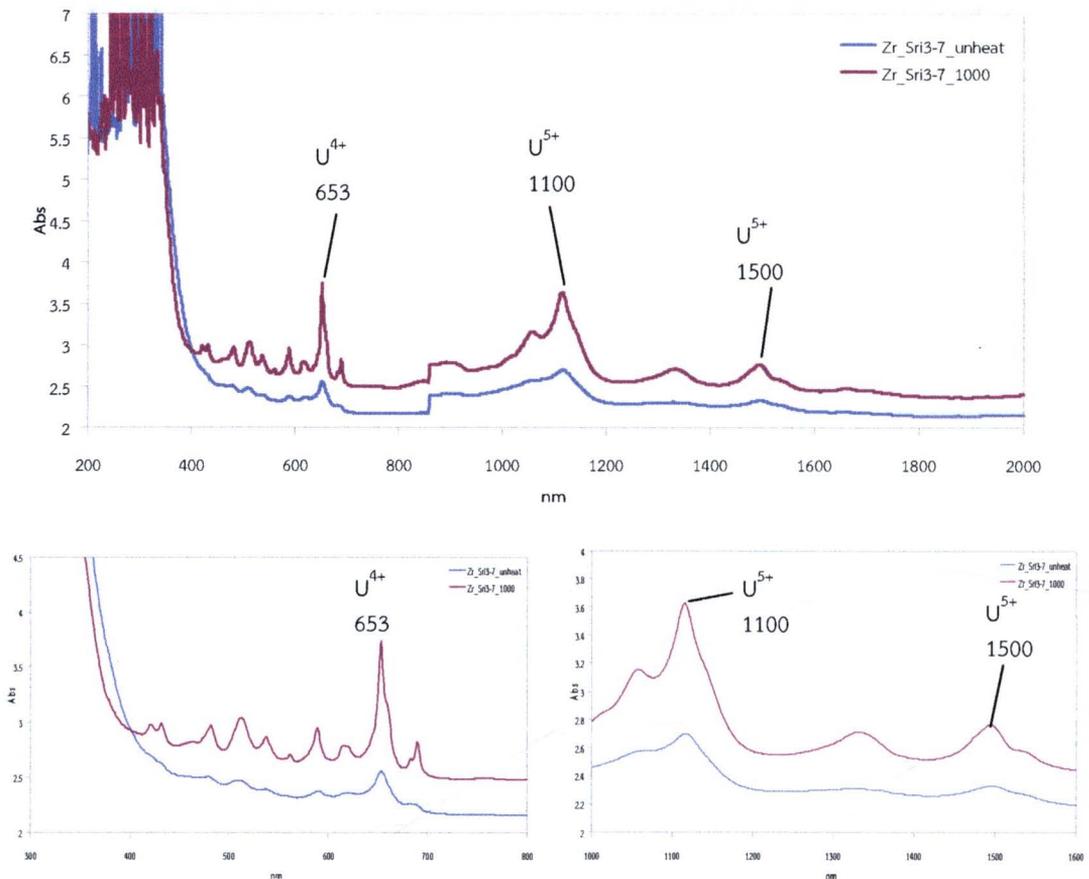
จากการวิจัยพบว่าพลอยเพทายสีน้ำตาลจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชาบางตัวอย่าง (Zr_Cam2-2) หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน เกือบไร้สี แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงช่วง visible ที่ตำแหน่ง 350 nm ซึ่งเป็นลักษณะการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก colour centre และพบ peak การดูดกลืนช่วง near-infrared ที่ตำแหน่ง 1100 nm และ 1500 nm ซึ่งเป็นพีคที่บ่งบอกถึงการมี U^{5+} เป็นองค์ประกอบ (Zhang, et al., 2003) หลังการเผา พบว่าลักษณะการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก colour centre หายไป คงเหลือ peaks การดูดกลืนช่วง near-infrared ที่ตำแหน่ง 1100 nm และ 1500 nm ของ U^{5+} (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 (ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam2-2) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ซึ่งพลอยเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน เกือบไร้สี (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam2-2) ก่อนเผาพบการดูดกลืนอันเนื่องมาจาก colour centre ของพลอยเพทายสีน้ำตาล และหลังเผา colour centre หายไป (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam2-2) ก่อนเผาและหลังเผา แสดงการดูดกลืนของ U^{5+} บริเวณ 1100 และ 1500 nm

4.2.1.2 พลอยเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา

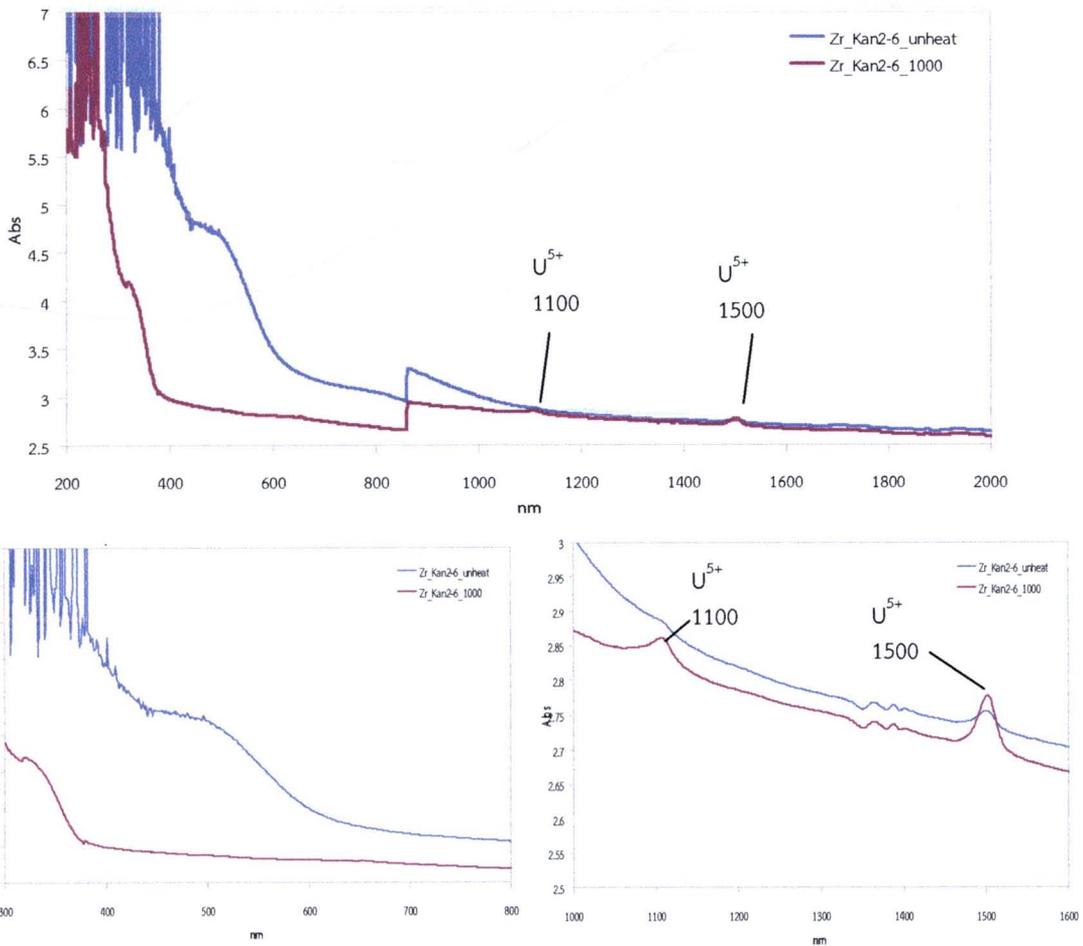
พลอยเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่แตกต่างจากตัวอย่างเพทายสีน้ำตาลแดงจากแหล่งอื่นๆ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเพทายจากรัตนปุระแสดงพีค (peak) ที่ตำแหน่ง 650 nm แสดงแถบการดูดกลืนแสงแคบ ๆ (narrow absorption band) ความเข้มต่ำ (low intensity) ช่วง 350-450 nm และช่วง 1000-1180 nm บางตัวอย่างแสดงลักษณะการดูดกลืนแสงเสริมกันกับการดูดกลืนแสงอันเนื่องมาจาก color centre ทำให้เกิดการยกตัวของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงประมาณ absorption edge - 400 nm (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 (ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีเขียวแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Zr_Sri3-7) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ซึ่งพลอยเปลี่ยนเป็นสีฟ้า (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีเขียวแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Zr_Sri3-7) ก่อนเผาพบ peak การดูดกลืนที่ 653 nm ของ U^{4+} และหลังเผา peak การดูดกลืนของ U^{4+} เติบโตขึ้น (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีเขียวแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Zr_Sri3-7) ก่อนเผาและหลังเผา แสดงการดูดกลืนแสงของ U^{5+} บริเวณ 1100 และ 1500 nm ซึ่งเติบโตขึ้นหลังการเผาที่ 1000 °C และ การดูดกลืนแสงของ U^{4+} ที่ตำแหน่ง 1058 และ 1346 nm

4.2.1.1 พลอยเพทายจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

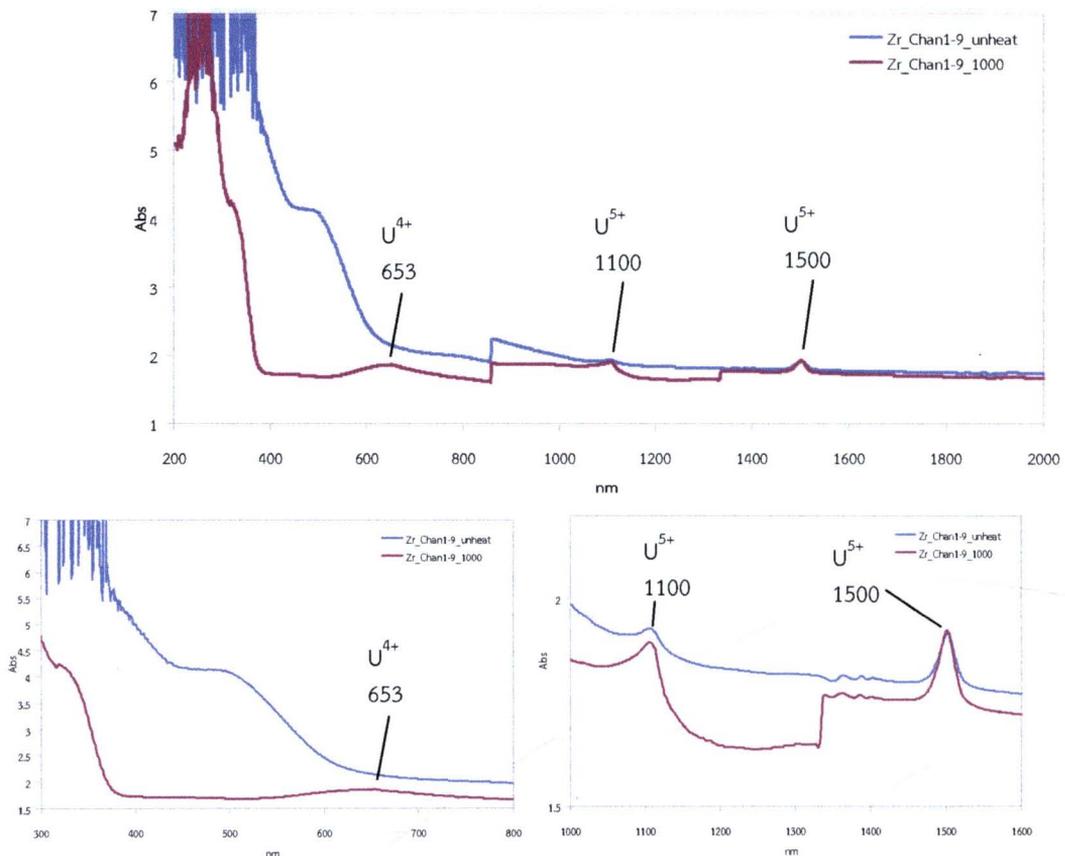
ตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาลจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ก่อนเผา แสดง absorption band บริเวณ 500-600 nm ซึ่งเป็นลักษณะการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก colour centre และพบ peak การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 1100 nm และ 1500 nm ของ U^{5+} (Zhang, et al., 2003) หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นไม่มีสี และพบว่า ลักษณะการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก colour centre หายไป คงเหลือการดูดกลืนแสงของ U^{5+} ที่ตำแหน่ง 1100 และ 1500 nm (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 (ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย (Zr_Kan2-6) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ซึ่งพลอยเปลี่ยนเป็นไม่มีสี (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาล แหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย (Zr_Kan2-6) ก่อนเผาพบ absorption band เนื่องจาก colour centre ซึ่งหายไปหลังการเผาที่ 1000 °C (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย (Zr_Kan2-6) ก่อนเผาและหลังเผา แสดงการดูดกลืนแสงของ U^{5+} บริเวณ 1100 และ 1500 nm ซึ่งเด่นชัดขึ้นหลังการเผาที่ 1000 °C

4.2.1.4 ผลอยเพทายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย

ตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาลจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทยก่อนเผา แสดงแถบการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก colour centre ในช่วง visible light และพบ peak การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 1100 และ 1500 nm ซึ่งเป็นพีคที่บ่งบอกถึงการมี U^{5+} เป็นองค์ประกอบ (Zhang, et al., 2003) หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อน พบว่าลักษณะการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก colour centre หายไป แต่ปรากฏแถบการดูดกลืนแสงช่วง 653 nm ของ U^{4+} ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีฟ้าในพลอยเพทายหลังเผา และมี peak การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 1100 และ 1500 nm ของ U^{5+} เด่นชัดขึ้น (รูปที่ 4.5)

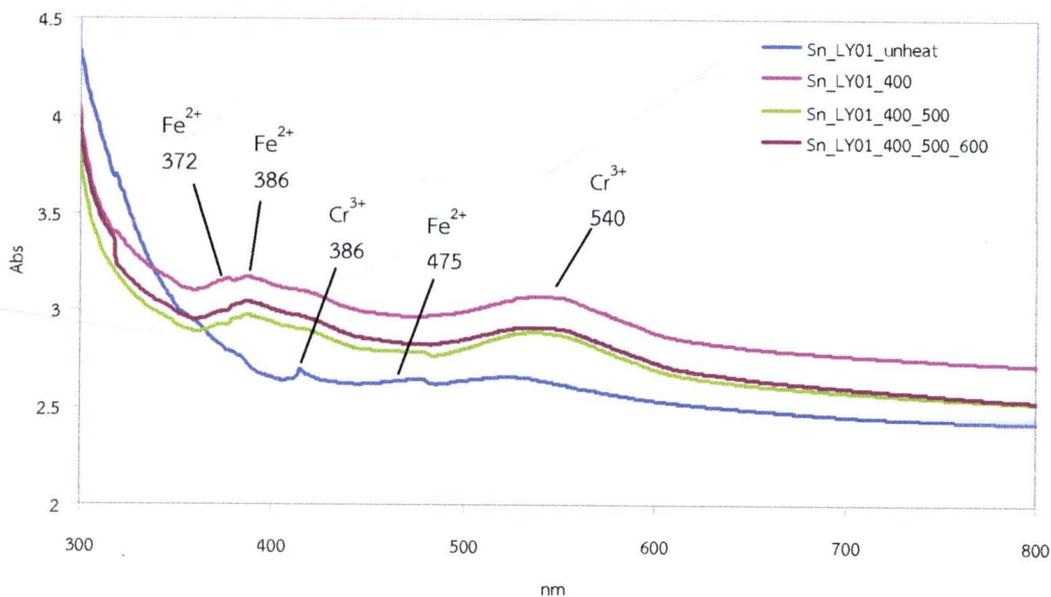


รูปที่ 4.5 (ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย (Zr_Chan1-9) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ซึ่งพลอยเปลี่ยนเป็นสีฟ้า (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย (Zr_Chan1-9) ก่อนเผาพบ absorption band เนื่องจาก colour centre ซึ่งหายไปหลังการเผาที่ 1000 °C และมี peak ของ U^{4+} ที่ 653 nm เพิ่มขึ้น (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย (Zr_Chan1-9) ก่อนเผาและหลังเผา แสดงการดูดกลืนแสงของ U^{5+} บริเวณ 1100 และ 1500 nm ซึ่งเด่นชัดขึ้นหลังการเผาที่ 1000 °C

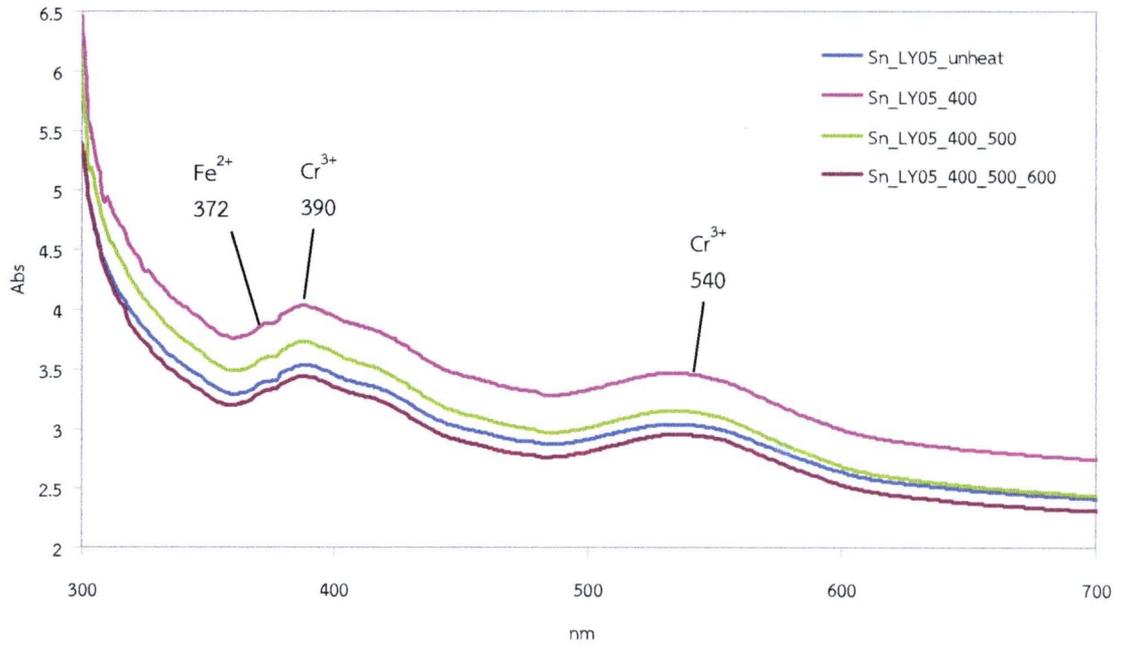
4.2.2 พลอยสปิเนล

4.2.2.1 พลอยสปิเนลจากแหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม

การศึกษานี้ศึกษาสาเหตุการเกิดสีในตัวอย่งพลอยสปิเนล พบว่ามีความสัมพันธ์กับธาตุ transition เช่น โครเมียม (Cr) และเหล็ก (Fe) ซึ่งมีตำแหน่งการดูดกลืนอยู่ในช่วง visible เป็นส่วนใหญ่ การศึกษานี้ศึกษาสาเหตุการเกิดสีในสปิเนล ในการวิจัยครั้งนี้จึงเน้นศึกษาลักษณะการดูดกลืนช่วงคลื่น visible ตัวอย่าง spectra การดูดกลืนดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7



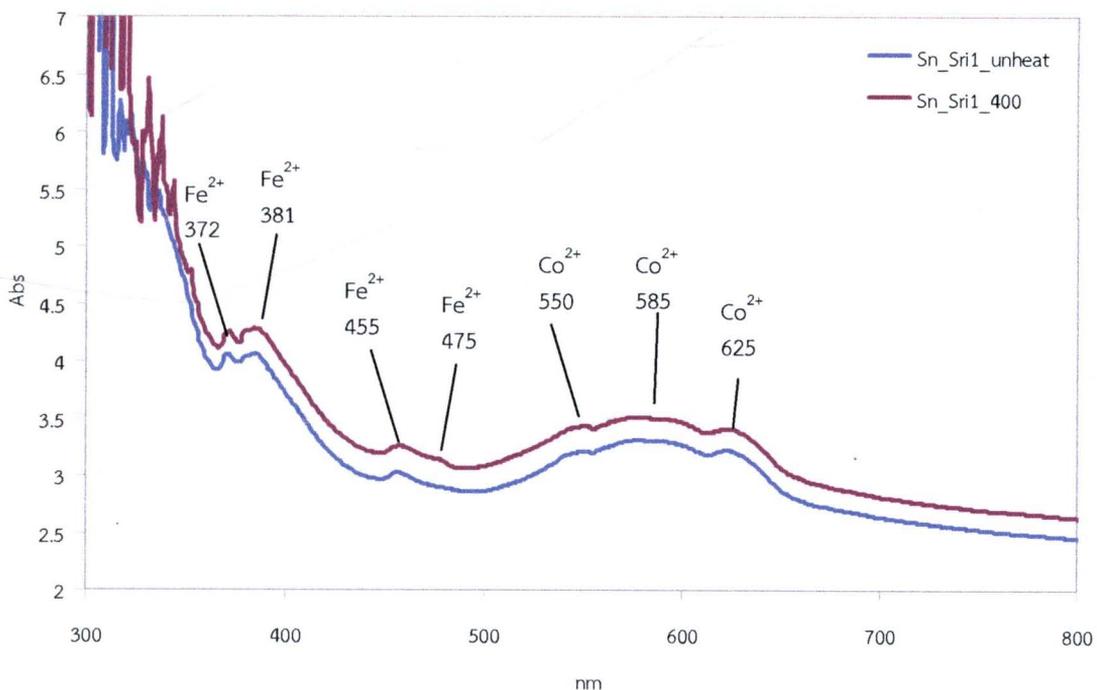
รูปที่ 4.6 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีชมพูอมส้ม แหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม (Sn_LY01) ก่อนเผาแสดง peak การดูดกลืนของ Cr^{3+} (386 nm) และ Fe^{2+} (475 nm) หลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ แสดง peaks ของ Fe^{2+} (372 และ 386 nm) และ Cr^{3+} (540 nm)



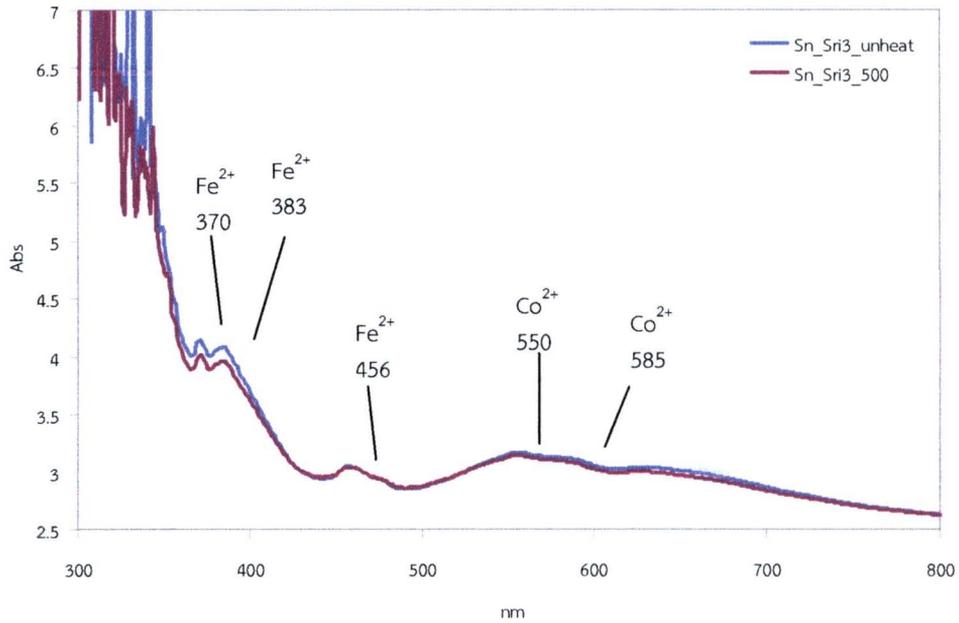
รูปที่ 4.7 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีแดงอมส้ม แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม (Sn_LY05) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ แสดง peak การดูดกลืนของ Fe^{2+} (372 nm) และ Cr^{3+} (390 และ 540 nm) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีในพลอย

4.2.2.2 พลอยสปิเนลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา

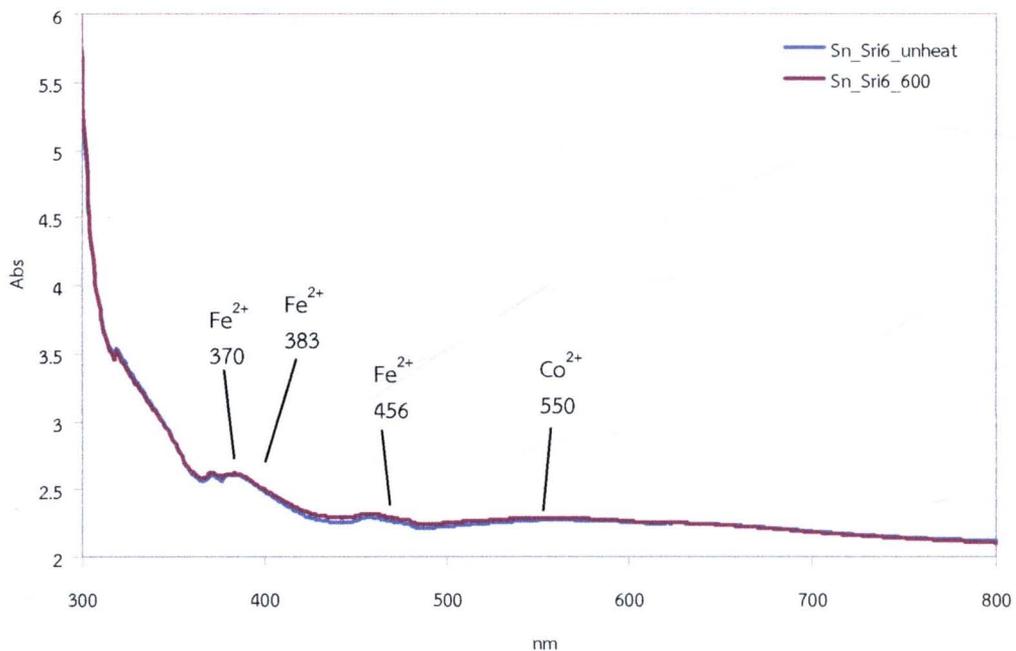
การศึกษาการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดสีในพลอยสปิเนลสีน้ำเงินจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา พบว่ามีธาตุ transition ซึ่งมีผลให้เกิดสีอยู่ในโครงสร้างของพลอยสปิเนล เช่น โครเมียม (Cr) เหล็ก (Fe) และโคบอลต์ (Co) ซึ่งแสดง peak การดูดกลืนอยู่ในช่วง visible เมื่อทดลองเผาพลอยสปิเนลที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสี สอดคล้องกับ spectra การดูดกลืนคลื่นแสงช่วง UV-Vis ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูป 4.8 – 4.10



รูปที่ 4.8 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีน้ำเงิน แหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Sn_Sri1) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 400 °C แสดง peak การดูดกลืนของ Fe^{2+} (372, 381, 455 และ 475 nm) และ Co^{2+} (550, 585 และ 625 nm) หลังเผาพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีในพลอย



รูปที่ 4.9 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปีเนลสีน้ำเงิน แหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Sn_Sri3) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 500 °C แสดง peak การดูดกลืนของ Fe^{2+} (370, 383 และ 456 nm) และ Co^{2+} (550 และ 585 nm) หลังเผาพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีในพลอย



รูปที่ 4.10 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปีเนลสีน้ำเงิน แหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Sn_Sri6) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 600 °C แสดง peak การดูดกลืนของ Fe^{2+} (370, 383 และ 456 nm) และ Co^{2+} (550 nm) หลังเผาพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีในพลอย

4.3 การศึกษาสมบัติทางสเปกโตรสโคปีของเพทายด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

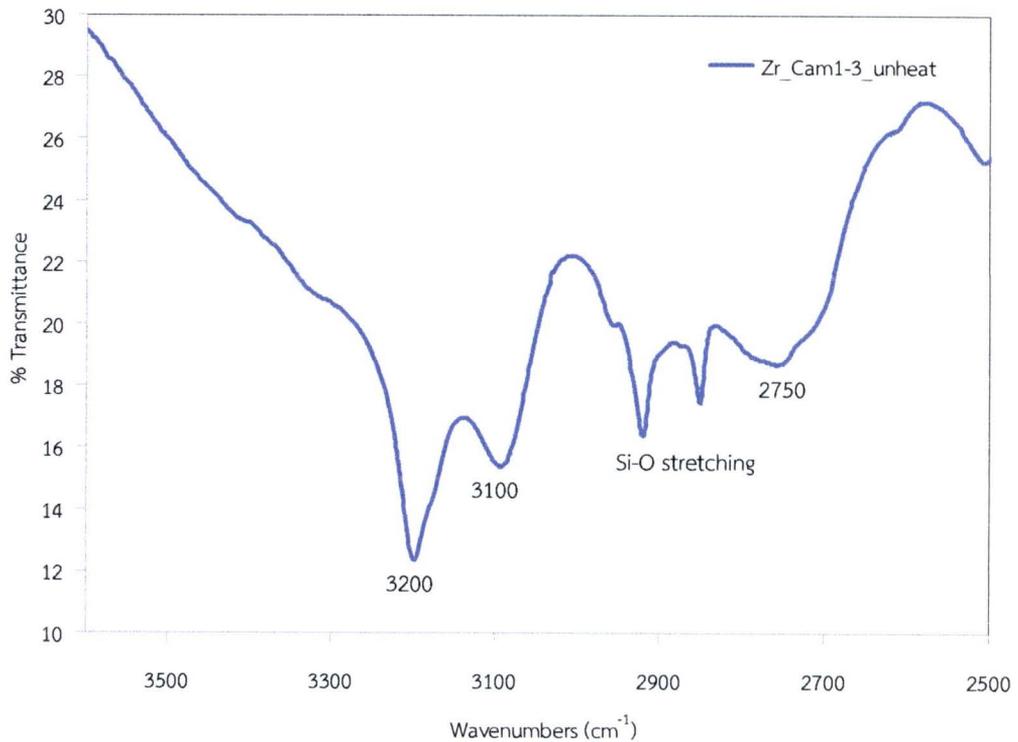
การศึกษาการดูดกลืนแสงช่วง infrared โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) เพื่อศึกษาพันธะของ Hydroxyl group (-OH) ภายในโครงสร้างของเพทาย Hydroxyl group (-OH) สามารถแทรกอยู่ในช่องว่างของโครงสร้างแบบ Tetrahedral ทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงในช่วง $2500-4000\text{ cm}^{-1}$ โดยปกติจะเจอพีคที่ประมาณ 3510 cm^{-1} นอกจากนี้ยังสามารถพบ OH group ในโครงร่าง Tetrahedral ของ Si ที่ 3420 cm^{-1} ตามแนวขนานแกนแสง และ 3385 cm^{-1} ตามแนวตั้งฉากกับแกนแสง ในรูปของ $4(\text{OH}) = (\text{SiO}_4)^{4-}$ ปริมาณของ OH-bearing ในโครงสร้างที่เกิดจากกระบวนการ Metamictization อาจมีปริมาณสูงถึงประมาณ 0.1% peak อื่นๆ ที่นอกเหนือจากนี้คือ peak ของ combination mode ที่ 2750 cm^{-1} , 3100 cm^{-1} , 3200 cm^{-1} ซึ่งเป็นส่วนของ OH-stretching mode ใน lattice vibration combination mode (Woodhead et al., 1991)

Woodhead et al. (1991) และ Zhang et al. (2002) ได้ศึกษาการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง $1400-2000\text{ cm}^{-1}$ และ $2500-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่ารูปแบบการดูดกลืนคลื่นแสงของ Si-O stretching สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่า Degree of metamictization โดยหากพบว่ามีรูปแบบการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นเป็นพีคชัดเจนในช่วงดังกล่าว แสดงว่าเพทายนั้นๆ ยังคงมีความเป็นผลึกสูง แต่หากแสดงการดูดกลืนแสงที่เป็นลักษณะ broadband เท่านั้น แสดงว่าโครงสร้างของเพทายได้ถูกทำลายไปแล้ว (metamict zircon)

จากการรายงานของ Zhang et al. (2003) กล่าวถึงการดูดกลืนคลื่นแสงช่วง infrared ซึ่งเกิดจาก OH-stretching ในช่วง $4000 - 4500\text{ cm}^{-1}$ โดยจะปรากฏพีคขึ้น 2 ตำแหน่งในช่วงนี้ คือ ที่ 4072 cm^{-1} และ 4262 cm^{-1} ซึ่ง peak ทั้ง 2 ตำแหน่งเกิดขึ้นจาก Electronic transition ของ U ions หรือจาก OH-stretching ภายในโครงสร้างของเพทาย และหลังการเผา peak ทั้ง 2 ตำแหน่งจะหายไป (อรุณีและคณะ, 2550)

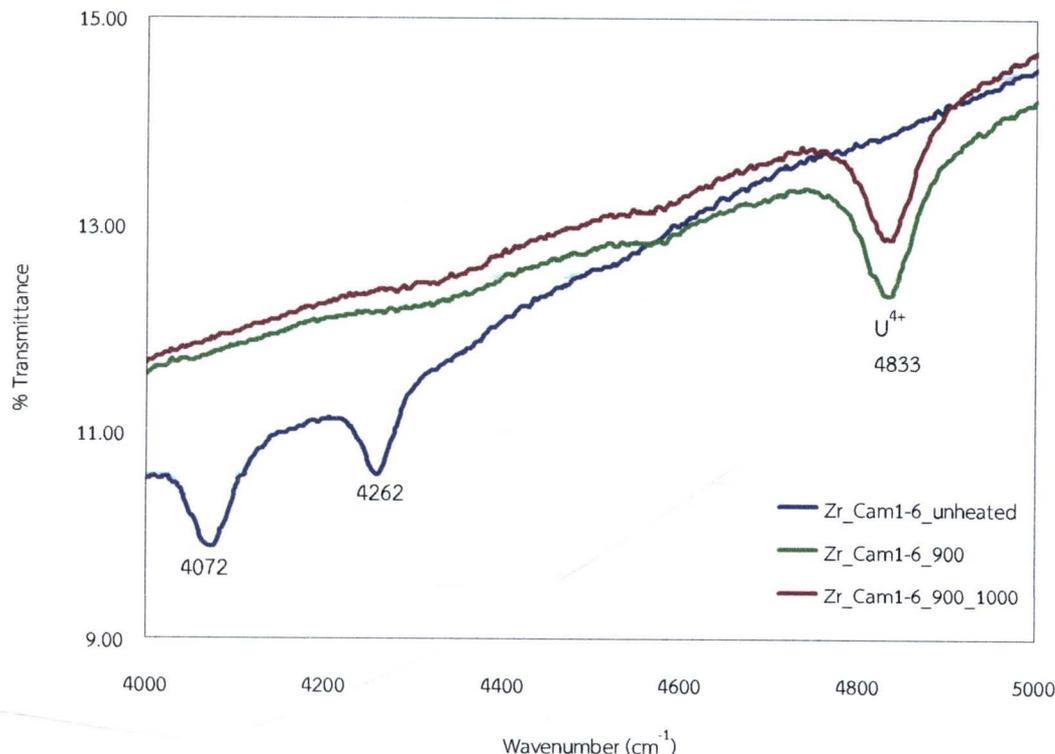
4.3.1 ผลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา ในการศึกษาวิจัยนี้ พบการดูดกลืนแสงในช่วง $2500-4000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงว่ามีการดูดกลืนของ OH stretching และ V_1 symmetric SiO_4 stretching และ V_3 antisymmetric SiO_4 stretching mode ร่วมกับ OH group ช่วงการดูดกลืนนี้สามารถใช้ในการประมาณ Degree of metamictization ได้จากการศึกษาตัวอย่างเพทายก่อนเผาพบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR spectrophotometer ของเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา มีการดูดกลืนคลื่นช่วง infrared ของ Si-O stretching แสดงพีคที่มีรูปร่างชัดเจนในช่วง $2500-4000\text{ cm}^{-1}$ บ่งชี้ว่าเพทายจากแหล่งดังกล่าวมีความเป็นผลึกสูง (รูปที่ 4.11) สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Raman spectroscopy



รูปที่ 4.11 การดูดกลืนในช่วง $2500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งปรากฏพีคของ combination mode ของ OH-stretching mode ใน lattice vibration ที่ 2750 cm^{-1} , 3100 cm^{-1} , 3200 cm^{-1} และ Si-O stretching ที่ชัดเจนแสดงถึงความเป็นผลึกของเพทาย จากแหล่งรัตนคิริ ประเทศกัมพูชา

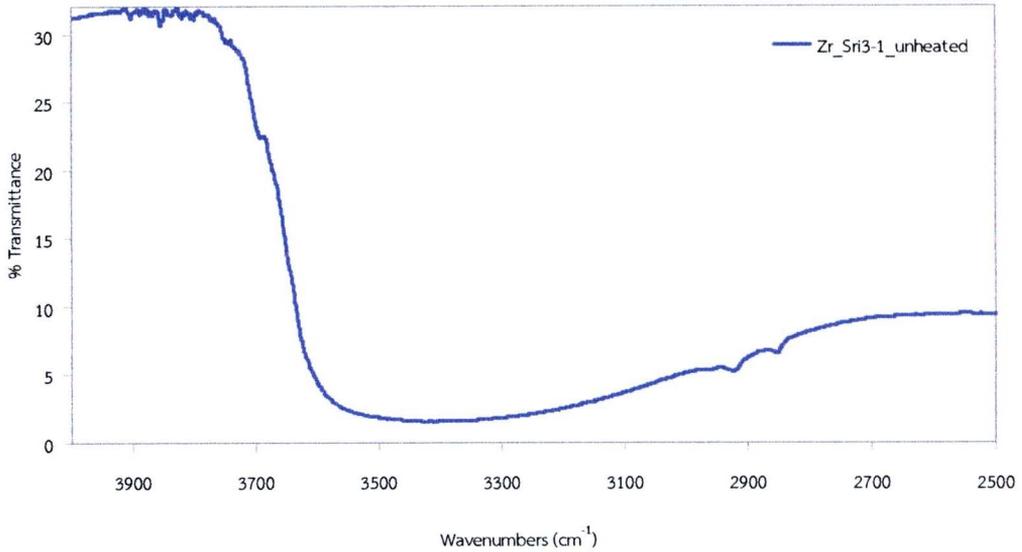
ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ พบ peak ในตำแหน่ง 4072 cm^{-1} และ 4262 cm^{-1} ในพลอยเพทายจากแหล่งรัตนคิริ ประเทศกัมพูชา ก่อนเผาทุกตัวอย่าง และ peak ทั้ง 2 ตำแหน่งดังกล่าวจะหายไปหลังการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่า พลอยเพทายได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผาหรือไม่ นอกจากนี้ยังพบ peak ที่ตำแหน่ง 4833 cm^{-1} ซึ่งเป็นการการดูดกลืนแสงช่วง infrared ของ U^{4+} (Richman et al., 1967; Vance and Mackey, 1974, 1975 และ 1978; Zhang et al., 2003) สามารถพบในตัวอย่างพลอยเพทายสีฟ้าที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผา (รูปที่ 4.12)



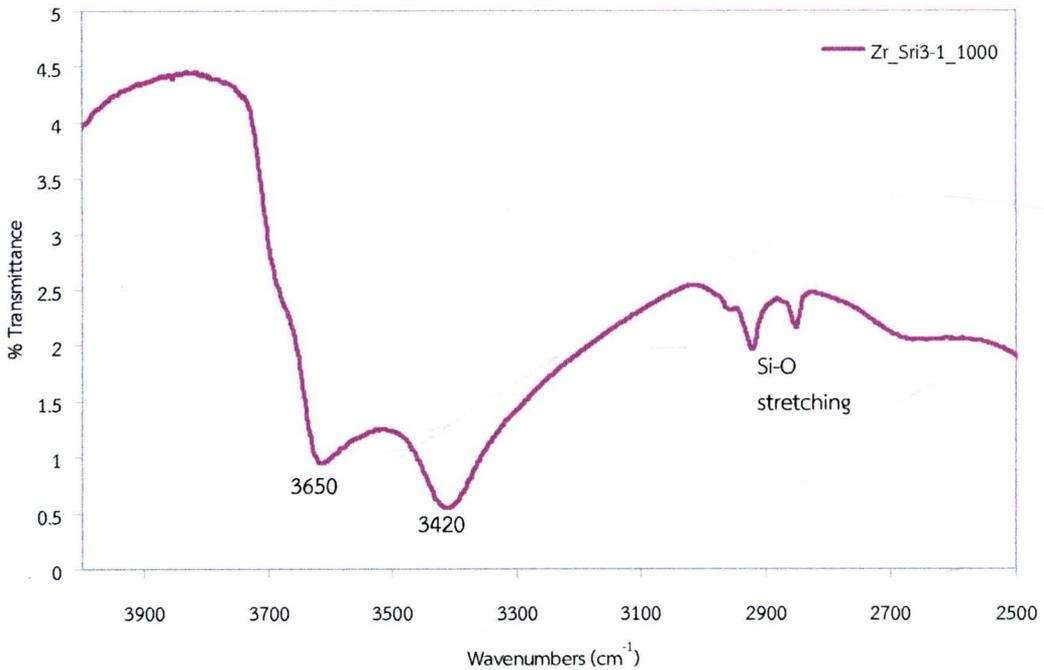
รูปที่ 4.12 แสดง peak การดูดกลืนในช่วง 4000-5000 cm⁻¹ ซึ่งปรากฏ peak ของ OH stretching ที่ตำแหน่ง 4072 cm⁻¹ และ 4262 cm⁻¹ ในพลอยเพทายก่อนเผาจากแหล่งรัตนคิริ ประเทศกัมพูชา และ peak ทั้ง 2 ตำแหน่งดังกล่าวจะหายไปหลังการเผา และปรากฏ peak การดูดกลืนของ U⁴⁺ ที่ตำแหน่ง 4833 cm⁻¹ เพิ่มขึ้น

4.3.2 พลอยเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา ในการศึกษาวิจัยนี้ พบการดูดกลืนแสงในช่วง 2500-4000 cm⁻¹ แสดงลักษณะสเปกตรัมแบบบรอดแบนด์ซึ่งเกิดจากการสูญเสียโครงสร้างผลึกจากกระบวนการ Metamictization (รูปที่ 4.13) ลักษณะการดูดกลืนดังกล่าวเนื่องจากพันธะภายในโครงสร้างมีความไม่เป็นระเบียบของพันธะ หลังจากเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C พบการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสเปกตรัมชัดเจนขึ้น (รูปที่ 4.14) โดยพบว่าพีคที่ 3420 cm⁻¹, 3650 cm⁻¹ แยกกันชัดเจน แสดงถึงความเป็นระเบียบที่ดีขึ้นของโครงสร้าง และพีคที่ 4833 cm⁻¹ มีลักษณะของพีคที่ชัดเจนขึ้นเช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.15) แสดงถึงการเริ่มตกผลึกใหม่ของเพทายที่มีปริมาณ U⁴⁺ มาก ซึ่ง U⁴⁺ สามารถเข้าแทนที่ Zr⁴⁺ ในโครงสร้างได้



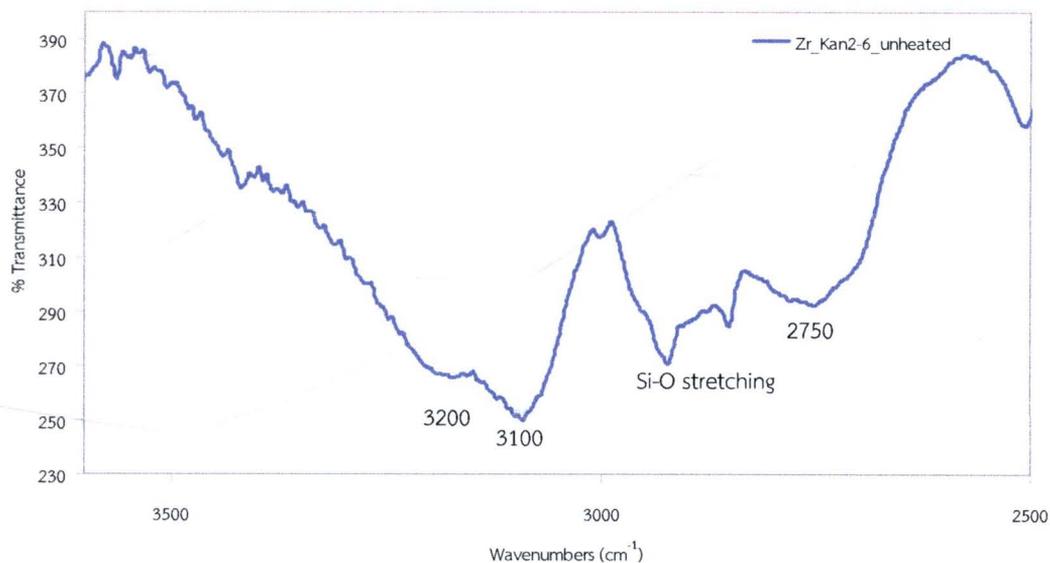
รูปที่ 4.13 การดูดกลืนในช่วง $2500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ แสดงลักษณะสเปกตรัมแบบบรอดแบนด์ซึ่งเกิดจากการสูญเสียโครงสร้างผลึกจากกระบวนการ Metamictization ของเพทาย จากแหล่งรัตนศิรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Sri3-1)



รูปที่ 4.14 การดูดกลืนในช่วง $2500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ของเพทาย จากแหล่งรัตนศิรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Sri3-1) หลังเผาที่อุณหภูมิ $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ พบการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสเปกตรัมชัดเจนขึ้น พีคที่ 3420 cm^{-1} , 3650 cm^{-1} แยกกันชัดเจน แสดงถึงความเป็นระเบียบที่ดีขึ้นของโครงสร้าง

4.3.3 พลายเพทายจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

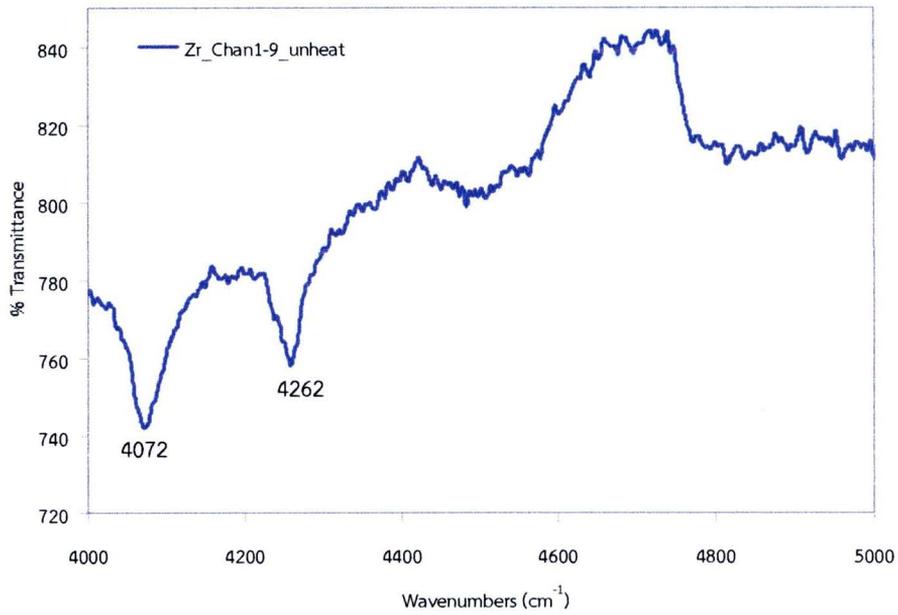
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างพลายจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ในการศึกษาวิจัยนี้ พบการดูดกลืนแสงในช่วง $2500-4000\text{ cm}^{-1}$ ของการดูดกลืนคลื่นช่วง infrared ของ Si-O stretching ซึ่งแสดงพีคที่มีรูปร่างค่อนข้างชัดเจน บ่งชี้ว่าพลายจากแหล่งดังกล่าวยังมีความเป็นผลึกสูง (รูปที่ 4.15)



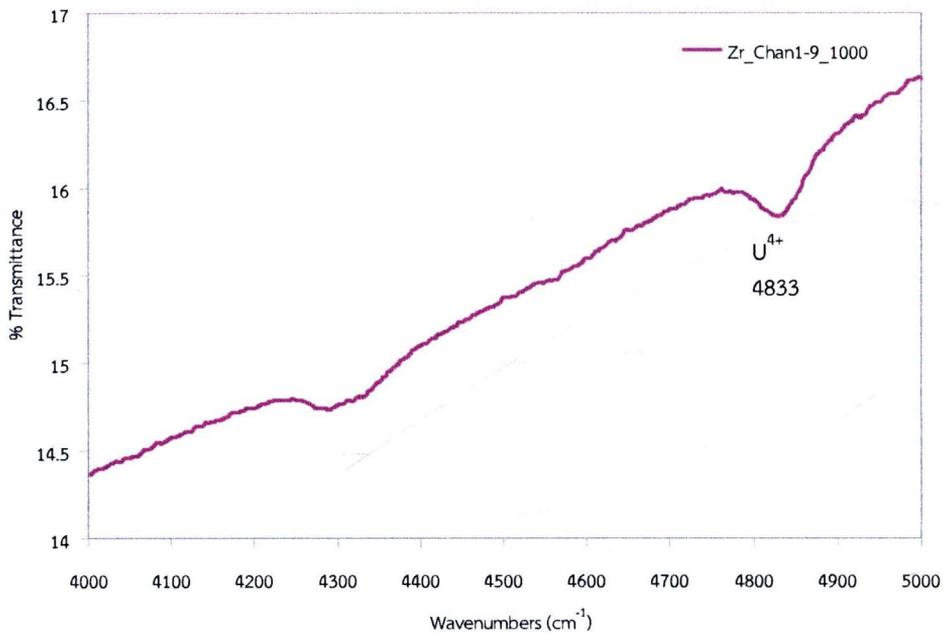
รูปที่ 4.15 การดูดกลืนในช่วง $2500 - 4000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งปรากฏพีคของ combination mode ของ OH-stretching mode ใน lattice vibration ที่ 2750 cm^{-1} , 3100 cm^{-1} , 3200 cm^{-1} และ Si-O stretching ที่ชัดเจนแสดงถึงความเป็นผลึกของพลาย

4.3.4 พลายเพทายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างพลายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทยในการศึกษาวิจัยนี้ พบการดูดกลืนแสงในช่วง $2500-4000\text{ cm}^{-1}$ ของการดูดกลืนคลื่นช่วง infrared ของ Si-O stretching ซึ่งแสดงพีคที่มีรูปร่างค่อนข้างชัดเจน บ่งชี้ว่าพลายจากแหล่งดังกล่าวยังมีความเป็นผลึกสูง ตัวอย่างพลายเพทายก่อนเผา (Zr_Chan1-9) มี peak ของ OH stretching ที่ตำแหน่ง 4072 cm^{-1} และ 4262 cm^{-1} (รูปที่ 4.16) หลังเผาที่อุณหภูมิ $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ พลายเพทายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า และ peak ของ OH stretching ทั้ง 2 ตำแหน่งหายไป และปรากฏ peak การดูดกลืนของ U^{4+} ที่ตำแหน่ง 4833 cm^{-1} เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.16 แสดง peak ของ OH stretching ที่ตำแหน่ง 4072 cm⁻¹ และ 4262 cm⁻¹ ในตัวอย่างพลอยเพทาย (Zr_Chan1-9) ก่อนเผาจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างพลอยเพทาย (Zr_Chan1-9) เปลี่ยนเป็นสีฟ้าหลังการเผา peak OH stretching หายไป และปรากฏ peak การดูดกลืนของ U⁴⁺ ที่ตำแหน่ง 4833 cm⁻¹

4.4 การวิเคราะห์พลอยเพทายและสปิเนลก่อนและหลังเผาด้วยเทคนิค Raman Spectroscopy

4.4.1 พลอยเพทาย

เพทายมีองค์ประกอบหลัก คือ $ZrSiO_4$ แต่มักมีธาตุที่มีขนาดใกล้เคียงกับ Zr (Zirconium) เข้าแทนที่ในโครงสร้าง โดยธาตุที่สามารถเข้าแทนที่ได้คือ Hf (Hafnium), Th (Thorium), U (Uranium) และธาตุรองอื่นๆ สิ่งสำคัญที่ทำให้เพทายมีคุณสมบัติแตกต่างจากแร่อื่นคือ การมีธาตุกัมมันตภาพรังสีเข้าแทนที่ในโครงสร้าง ซึ่งส่งผลให้เกิดการทำลายโครงสร้างผลึกภายในของเพทาย ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพเกิดขึ้น เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำลง ค่าดัชนีหักเหที่ต่ำลง อันเนื่องมาจากโครงสร้างผลึกถูกทำลายจนอยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous) โดยกระบวนการการทำลายโครงสร้างดังกล่าวจะเรียกว่า กระบวนการ metamictization ทั้งนี้ กระบวนการดังกล่าวจะรุนแรงมากเพียงใดขึ้นอยู่กับ ปริมาณธาตุกัมมันตภาพรังสีที่ปะปน เวลาที่โครงสร้างถูกกัมมันตรังสี สภาพธรณีวิทยาที่มีการสะสมตัวของแร่ และอุณหภูมิที่มากกระทำโดยตรงกับเพทาย

Metamict zircon หรือเพทายที่โครงสร้างผลึกถูกทำลาย จะสามารถสังเกตได้โดยง่ายด้วยคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนไป โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากความถ่วงจำเพาะที่ลดลง ตั้งแต่ 4.7 (well crystalline zircon) ถึง 3.9 (amorphous zircon) ค่าดัชนีหักเหลดลงตั้งแต่ 2.015 (well crystalline zircon) ถึง 1.92 (amorphous zircon) นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตจากภาพทางแสงของโครงสร้างที่เปลี่ยนไป การหายไปของการเกิดการหักเหคู่ (double refraction) และสิ่งที่สำคัญคือสีน้ำตาลอมแดงในเพทายที่มักจะเปลี่ยนสีไปเมื่อเผาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิพอเหมาะ

การวิเคราะห์โครงสร้างของเพทายสามารถทำได้หลายวิธี เช่น X-ray powder diffractometry, single-crystal X-ray diffraction, high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM) และ raman microprobe analysis แต่เนื่องจากวิธี X-ray powder diffractometry นั้น ต้องการปริมาณของเพทายที่มากเพียงพอในการบดและนำไปวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการทำลายตัวอย่าง ไม่เหมาะในการนำตัวอย่างไปเผาเพื่อเปรียบเทียบสีหลังการเผา และไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูงอื่นๆ ได้ วิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ในการวิจัยนี้ ส่วนเครื่อง HRTEM เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบเฉพาะจุด ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลเพียงพื้นที่เล็กๆ (Nasdala, et al., 1996) ดังนั้นการวิเคราะห์ตัวอย่างเพทายด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscopy เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง (Nasdala, et al., 1995) จึงเหมาะสมที่สุดในการนำมาวิเคราะห์ในการทดลองนี้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผาเพื่อเปรียบเทียบกันได้ และผลที่ได้ยังเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย (Nasdala, et al., 1995; Zhang, et al., 2000; Geisler and Pidgeon, 2002 และ Titorenkova, et al., 2006) นอกจากนี้ยังสามารถนำตัวอย่างเพทายไปวิเคราะห์กับเครื่องมือขั้นสูงอื่นๆ ได้อีกด้วย

แร่มีลักษณะเฉพาะโดยนิยาม คือ เป็นของแข็งที่มีโครงสร้างผลึกที่แน่นอน มีสูตรเคมีเฉพาะตัวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในวงจำกัด และมีโครงสร้างผลึก แร่แต่ละชนิดจะมีสมบัติ

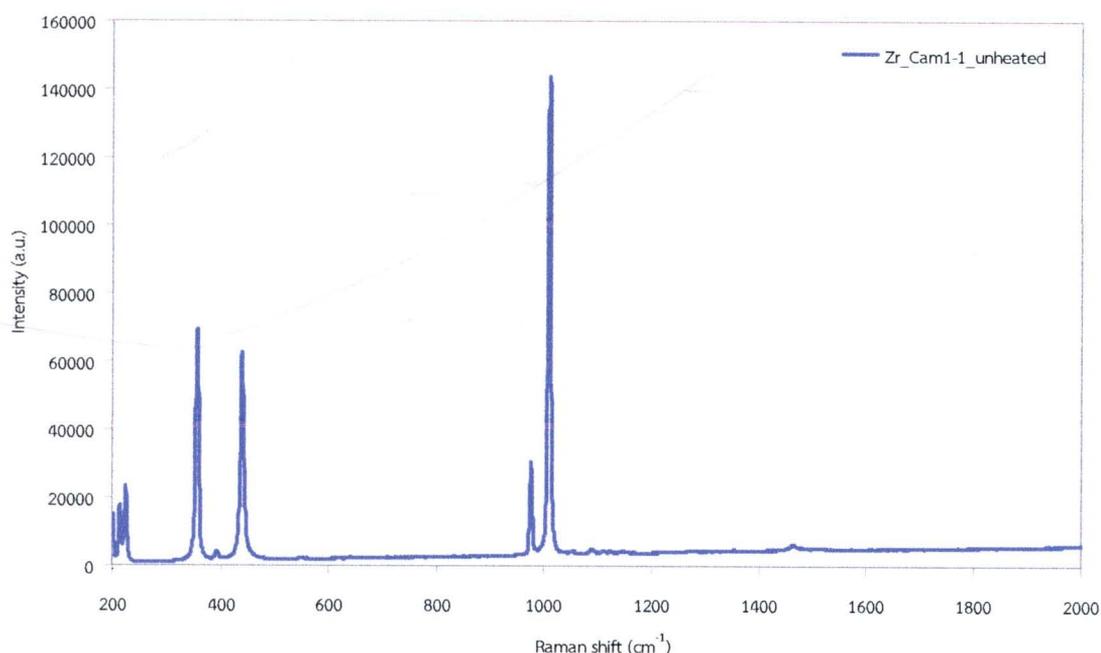
ดังกล่าวเฉพาะตัว ทำให้สามารถใช้คุณสมบัติดังกล่าวในการวิเคราะห์ชนิดของแร่ได้ พันธะที่เกิดขึ้นในแร่ที่มีความเป็นผลึกสูง โครงสร้างของแร่จะมีความเป็นระเบียบสูง เมื่อมีการให้พลังงานเข้าไปในโครงสร้าง พลังงานดังกล่าวจะสูญเสียไปเนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานในรูปแบบการสั่นระหว่างพันธะ ซึ่งเมื่อมีความเป็นระเบียบของพันธะสูงจะมีแรงยึดเหนี่ยวสูงและสม่ำเสมอ ทำให้มีช่วงของระดับพลังงานที่สูญเสียไปในช่วงแคบๆ มีค่าพลังงานที่สูญเสียไปของการสั่นใกล้เคียงกันทั้งหมด เมื่อนำค่าพลังงานที่เหลือไปสร้างกราฟสเปกตรัมจะได้พีคที่มีรูปร่างแคบ (narrow peak) ในขณะเดียวกันหากวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการสั่นของพันธะในแร่เดียวกันที่อยู่ในรูปอสัณฐาน การสูญเสียพลังงานจากแร่ดังกล่าวของพันธะเดียวกันซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างพันธะที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อนำผลที่ได้ไปสร้างกราฟจะได้กราฟที่มีความกว้างมาก (broadband) เนื่องจากพันธะดังกล่าวมีการเรียงตัวที่ไม่มีระเบียบ ไม่สม่ำเสมอและไม่เรียงชิดติดกันที่สุด ส่งผลให้มีการสูญเสียพลังงานเป็นช่วงกว้าง ฉะนั้นหากพิจารณาผลของการวิเคราะห์ที่ได้ความกว้างของกราฟที่อยู่ในช่วงระหว่างสองรูปแบบนี้ จะสามารถวัดระดับความไม่เป็นระเบียบของพันธะดังกล่าวได้ ซึ่งสามารถนำสมบัตินี้มาวัดระดับการถูกทำลายของพันธะ และโครงสร้างที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตภาพที่อยู่ในโครงสร้างของแร่เพทาย และผลที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างหลังได้รับความร้อนจากการเผา

จากการศึกษาของ Nasdala et al. (1995) พบว่า ในการตรวจสอบ Degree of Metamictization ของเพทายที่ดีที่สุดด้วยเทคนิค Raman spectroscopy ควรใช้พีคที่ตำแหน่ง 1008 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ $V_3 (\text{SiO}_4)$ ทั้งนี้เพราะเป็นพีคที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดความเสียหายของโครงสร้าง ZrSiO_4 ที่ชัดเจนที่สุด และในผลึกเพทายที่ยังคงความเป็นผลึกสูง พีค $V_3 (\text{SiO}_4)$ จะพบอยู่ที่ตำแหน่งประมาณ 1008 cm^{-1} และความกว้างของพีคนี้จะมีค่าความกว้างที่สุดที่จุดกึ่งกลางของพีค (FWHM, Full Width at Half Maximum) ประมาณ 3 cm^{-1} และหากเพทายดังกล่าวอยู่ในรูปอสัณฐาน พีค $V_3 (\text{SiO}_4)$ จะพบว่าพีคขยับไปทางซ้ายที่ตำแหน่งต่ำกว่า 1000 cm^{-1} และมีความกว้างมากกว่า 100 cm^{-1} ดังนั้น หากผลการวัดของแร่เพทายแสดงผลของ $V_3 (\text{SiO}_4)$ ที่ตำแหน่งต่ำกว่า 1008 cm^{-1} หรือมีค่า FWHM มากกว่า 3 cm^{-1} แสดงว่าโครงสร้างภายในของแร่เพทายนั้นได้เกิดการถูกทำลายขึ้นแล้ว ทั้งนี้ระดับการถูกทำลายโครงสร้างภายในนี้ โดยสามารถประมาณได้จากการเปลี่ยนแปลงไปของทั้ง 2 กรณีควบคู่กันไป กล่าวคือ หากตำแหน่งของ $V_3 (\text{SiO}_4)$ ลดต่ำกว่า 1008 cm^{-1} จะส่งผลให้ค่า FWHM มีค่ามากขึ้น คือ มากกว่า 3 cm^{-1} โดยที่ค่าทั้งสองนี้ จะแสดงผลที่สอดคล้องกันหรือสัมพันธ์กันในรูปแบบสมการเส้นตรง (Nasdala, et al. 1995; Wanthanachaisaeng et al., 2006) ดังนั้นเมื่อโครงสร้างภายในถูกทำลายไปมาก ตำแหน่งของพีคจะมีค่าลดลงไปมากเช่นกัน ในขณะที่ค่า FWHM มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นด้วย

4.4.1.1 พLOYเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา

จากผลการวิเคราะห์รามานสเปกตรัมของตัวอย่างพLOYเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา พบว่าค่า V_3 ของ peak ที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ในช่วง $1007.7 - 1009.0 \text{ cm}^{-1}$ และค่า FWHM ที่ได้อยู่ในช่วงที่ประมาณ $4.6 - 8.9 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งบ่งชี้ว่าโครงสร้างยังมีความเป็นผลึกสูงและอาจมีบางส่วนที่โครงสร้างผลึกถูกทำลายไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณธาตุกัมมันตภาพรังสีที่กระจายตัวอยู่ในผลึกแร่ ทั้งนี้จากการศึกษาของ Nasdala et al. (1995) พบว่า

ถ้าค่าความกว้างของพีคมีค่ามากกว่า 20 cm^{-1} จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าเป็นเพทายที่โครงสร้างผลึกถูกทำลายไปมาก (metamict zircon) ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ตำแหน่งและความกว้างของพีคดังกล่าว จึงสามารถสรุปได้ว่า เพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชายังมีความเป็นผลึกที่ดี แต่โครงสร้างผลึกอาจถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากธาตุกัมมันตรังสีที่พบเป็นองค์ประกอบอยู่ในเพทาย (รูปที่ 4.18) อาจเรียกว่าเกิด defect ขึ้น และน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในเพทาย (ตารางที่ 4.28)



รูปที่ 4.18 raman spectrum ของตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาล (Zr_Cam1-1) ก่อนเผา แสดง peak ที่มีรูปร่างแคบ (narrow peak) ที่ตำแหน่ง 1008 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ $V_3 (\text{SiO}_4)$ บ่งชี้ว่าโครงสร้างมีความเป็นผลึกสูง

การวิเคราะห์ตัวอย่างพลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา หลังการเผาที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 °C ด้วยเครื่อง Laser Raman spectroscopy พบว่าค่าตำแหน่งและความกว้างของพีค V_3 มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1000 °C (ตารางที่ 4.29 – 4.31 และรูปที่ 4.19) ทั้งนี้เนื่องจากเพทายจากแหล่งรัตนคีรีมีความเป็นผลึกสูง แต่มีความบกพร่องทางโครงสร้างเล็กน้อยเนื่องจากธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในโครงสร้าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โดยค่า FWHM มีค่าต่ำลง แสดงถึงการที่ความบกพร่องทางโครงสร้างลดลง แต่การเผาให้ความร้อนในระดับที่ไม่เกิน 1400 °C จะไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักของเพทาย (Vaczi, et al., 2007)

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าตำแหน่งของพีคและความกว้างพีคของเพทายก่อนเผา จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope

Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)
zr1-1	1008.91	6.10	zr2-1	1008.33	8.56	zr3-1	1008.44	4.61
zr1-2	1008.72	5.30	zr2-2	1008.67	5.85	zr3-2	1008.86	5.85
zr1-3	1008.79	5.50	zr2-3	1008.98	5.54	zr3-3	1008.92	5.45
zr1-4	1008.86	5.45	zr2-4	1008.47	4.65	zr3-4	1008.46	6.69
zr1-5	1008.76	4.75	zr2-5	1008.55	5.06	zr3-5	1008.55	5.04
zr1-6	1008.50	6.69	zr2-6	1008.57	5.37	zr3-6	1007.72	4.97
zr1-7	1008.91	5.13	zr2-7	1008.41	5.45	zr3-7	1008.54	5.63
zr1-8	1008.47	4.61	zr2-8	1008.42	4.66	zr3-8	1008.46	4.85
zr1-9	1009.16	5.43	zr2-9	1008.01	4.91	zr3-9	1007.77	5.41
zr1-10	1008.23	5.11	zr2-10	1008.30	4.99	zr3-10	1008.39	8.92
zr1-11	1008.66	6.21	zr2-11	1008.11	5.76	zr3-11	1008.63	6.01
zr1-12	1008.68	6.01	zr2-12	1008.75	5.17	zr3-12	1008.55	5.30
zr1-13	1009.65	7.31	zr2-13	1008.30	4.68	zr3-13	1008.35	5.62
zr1-14	1008.59	5.68	zr2-14	1009.13	5.03	zr3-14	1009.00	6.70
zr1-15	1008.79	5.23	zr2-15	1008.51	6.52	zr3-15	1008.70	5.38

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าตำแหน่งของพีคและความกว้างพีคของเพทายหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 °C จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope

Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)
Zr1-1 800	1008.75	4.53
Zr1-2 800	1009.01	5.80
Zr1-3 800	1008.46	4.74
Zr1-5 800	1008.82	5.19
Zr2-2 800	1008.14	4.74
Zr2-3 800	1009.18	5.10
Zr2-4 800	1008.14	5.40
Zr2-5 800	1008.88	6.12
Zr3-1 800	1007.98	4.92
Zr3-2 800	1008.10	5.49
Zr3-3 800	1007.90	4.85
Zr3-4 800	1008.91	6.12
Zr3-5 800	1008.97	5.72



ตารางที่ 4.30 แสดงค่าตำแหน่งของพีคและความกว้างพีคของเพทายหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscopy

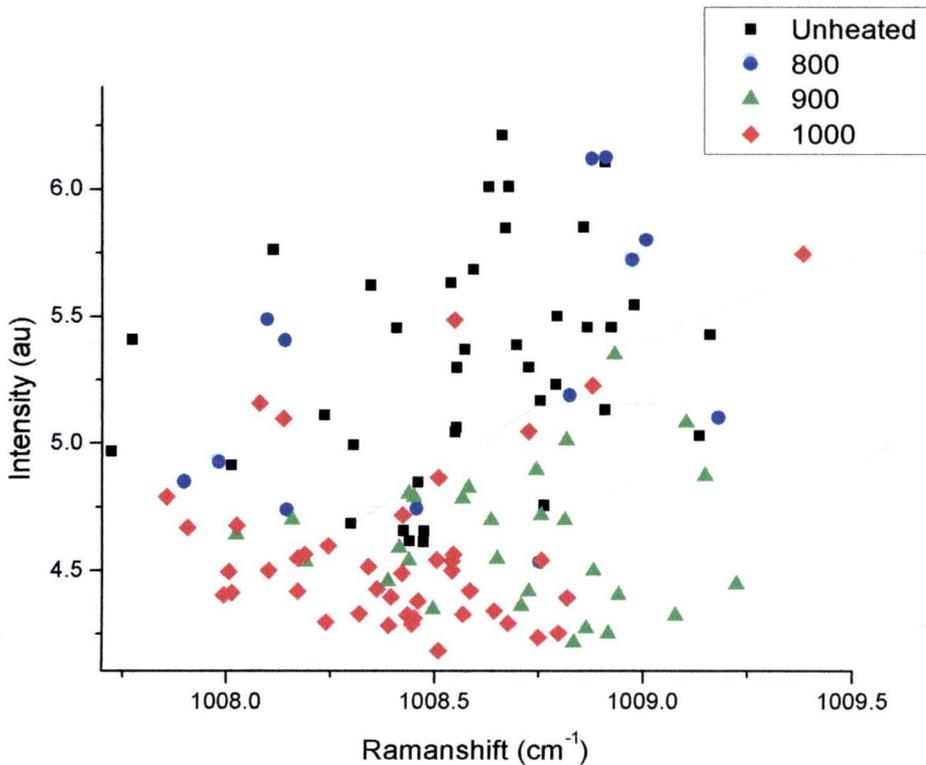
Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)
Zr1-1 900	1009.10	5.08	Zr2-1 900	1008.83	4.21	Zr3-1 900	1008.02	4.64
Zr1-2 900	NA	NA	Zr2-2 900	1008.16	4.70	Zr3-2 900	1008.74	4.89
Zr1-3 900	1008.45	4.79	Zr2-3 900	1009.08	4.32	Zr3-3 900	1008.72	4.42
Zr1-4 900	1008.82	5.01	Zr2-4 900	1008.65	4.54	Zr3-4 900	1008.50	4.35
Zr1-5 900	1008.86	4.27	Zr2-5 900	1008.41	4.59	Zr3-5 900	1008.63	4.70
Zr1-6 900	1008.81	4.70	Zr2-6 900	1008.75	4.72	Zr3-6 900	1008.58	4.82
Zr1-7 900	1008.71	4.36	Zr2-7 900	1008.88	4.50	Zr3-7 900	1009.15	4.87
Zr1-8 900	1008.39	4.46	Zr2-8 900	1008.93	5.35	Zr3-8 900	1008.19	4.53
Zr1-9 900	1008.94	4.40	Zr2-9 900	1008.44	4.54	Zr3-9 900	1008.57	4.78
Zr1-10 900	1009.22	4.44	Zr2-10 900	1008.92	4.25	Zr3-10 900	1008.44	4.80

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าตำแหน่งของพีคและความกว้างพีคของเพทายหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscopy

Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)
Zr1-1 1000	1008.32	4.33	Zr2-1 1000	1008.82	4.39	Zr3-1 1000	1008.17	4.55
Zr1-2 1000	NA	NA	Zr2-2 1000	1008.50	4.54	Zr3-2 1000	1008.10	4.50
Zr1-3 1000	1008.42	4.49	Zr2-3 1000	1008.54	4.56	Zr3-3 1000	1007.85	4.79
Zr1-4 1000	1009.38	5.74	Zr2-4 1000	1008.75	4.23	Zr3-4 1000	1008.17	4.42
Zr1-5 1000	1008.54	4.54	Zr2-5 1000	1008.80	4.25	Zr3-5 1000	1008.08	5.16
Zr1-6 1000	1008.45	4.31	Zr2-6 1000	1008.43	4.32	Zr3-6 1000	1007.90	4.67
Zr1-7 1000	1008.54	4.50	Zr2-7 1000	1008.24	4.29	Zr3-7 1000	1008.02	4.68
Zr1-8 1000	1008.39	4.39	Zr2-8 1000	1008.51	4.18	Zr3-8 1000	1007.99	4.40
Zr1-9 1000	1008.00	4.49	Zr2-9 1000	1008.75	4.54	Zr3-9 1000	1008.14	5.10

ตารางที่ 4.31 (ต่อ)

Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Sample No.	ν_3 (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)
Zr1-10 1000	1008.51	4.86	Zr2-10 1000	1008.75	4.54	Zr3-10 1000	1008.88	5.22
Zr1-11 1000	1008.68	4.29	Zr2-11 1000	1008.57	4.33	Zr3-11 1000	1008.34	4.51
Zr1-12 1000	1008.46	4.38	Zr2-12 1000	1008.42	4.72	Zr3-12 1000	1008.19	4.56
Zr1-13 1000	1008.64	4.34	Zr2-13 1000	1008.44	4.29	Zr3-13 1000	1008.01	4.41
Zr1-14 1000	1008.36	4.42	Zr2-14 1000	1008.39	4.28	Zr3-14 1000	1008.24	4.60
Zr1-15 1000	1008.72	5.05	Zr2-15 1000	1008.58	4.42	Zr3-15 1000	1008.55	5.48

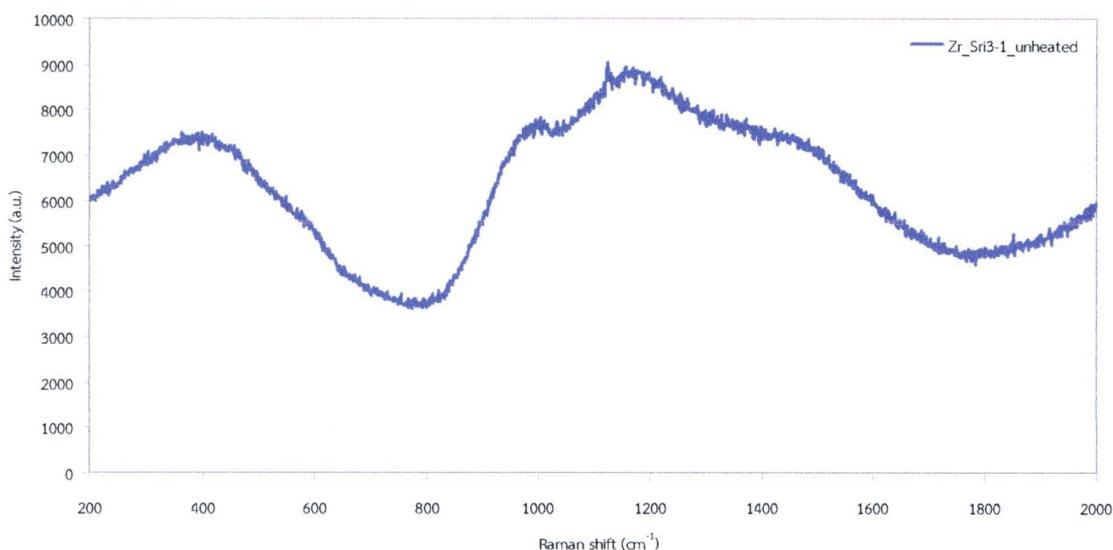


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ν_3 และค่า FWHM ของเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา ก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 °C

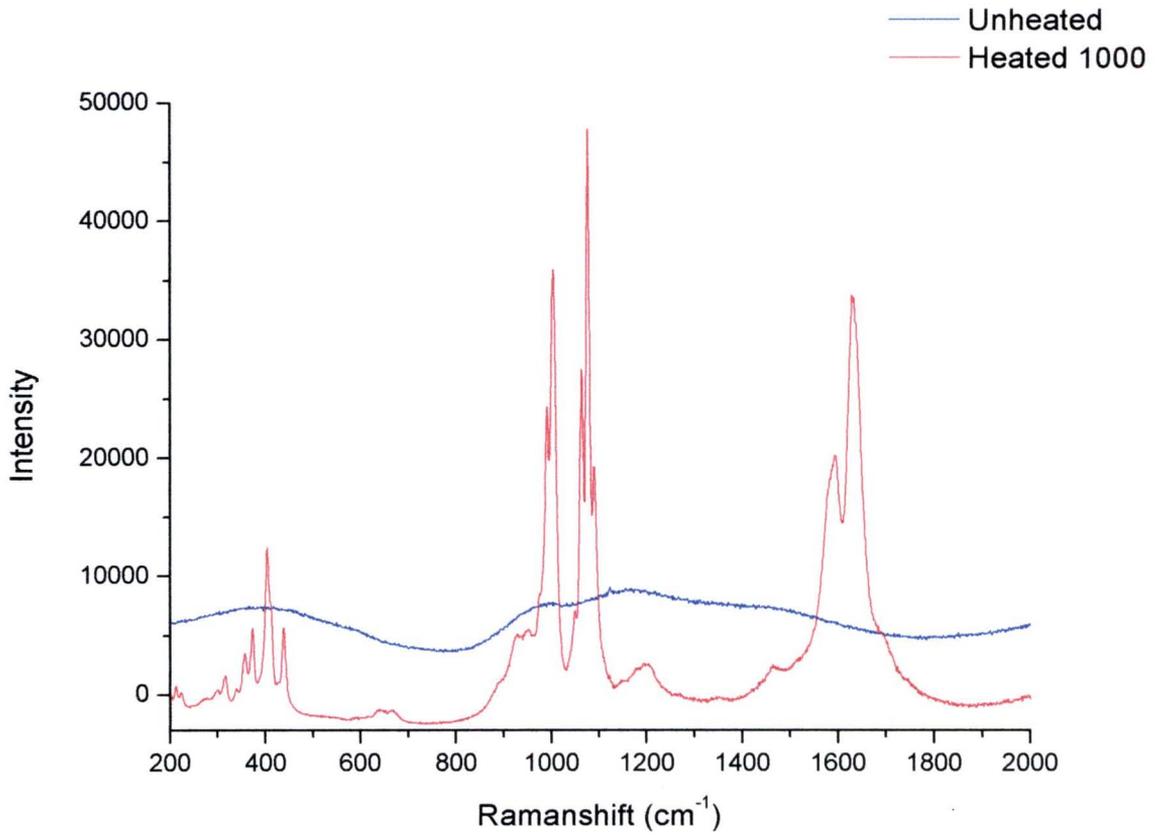
4.4.1.2 พลายพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา

จากการวิเคราะห์พทายจากประเทศศรีลังกา พบว่าสเปกตรัมที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันไป พบว่าบางตัวอย่าง (Zr_Sri3-1) แสดง raman spectrum ที่มีความกว้างมาก (broadband) ดังแสดงในรูป 4.20 เนื่องจากพันธะระหว่างอะตอมในโครงสร้างมีการเรียงตัวที่ไม่มีระเบียบ ไม่สม่ำเสมอและไม่เรียงชิดติดกัน มีระยะห่างระหว่างพันธะที่ไม่สม่ำเสมอ อยู่ในรูปอสัณฐาน บางตัวอย่างสามารถวัดค่า V_3 ของ peak ซึ่งมีความกว้างมากกว่า 20 cm^{-1} และมีตำแหน่งต่ำกว่า 1000 cm^{-1} บ่งบอกถึงโครงสร้างของผลึกของพทายจากแหล่งนี้ถูกทำลายอย่างมาก เกิดจากการที่มีองค์ประกอบของธาตุกัมมันตรังสีอยู่ในองค์ประกอบมากกว่าพทายจากแหล่งอื่น (ดูผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EPMA) นอกจากนี้ยังอาจส่งผลให้เกิดสีเขียว ซึ่งเป็นสีที่แตกต่างจากแหล่งอื่นๆ อีกด้วย และเนื่องจากค่า FWHM ที่สูงมากจนไม่สามารถหาค่าที่แน่นอนได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมิได้หาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของ V_3 พิกัดกับค่า FWHM

พลายพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา หลังเผาที่อุณหภูมิ $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในสภาวะ reduction เมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman spectroscopy พบว่า peak V_3 มีความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างชัดเจน โดย peak ที่มีลักษณะเป็น broadband แสดงความเป็น peak มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยจะมีฐานที่แคบและค่าตำแหน่งของ peak ที่มากขึ้น บ่งบอกถึงการเกิดการตกผลึกใหม่ (Recrystallization) ของโครงสร้างพทายที่ถูกทำลาย (รูปที่ 4.21) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในของแร่พทายอย่างชัดเจน การที่ค่า V_3 แสดงถึงการที่การจับตัวของพันธะ Si-O มีความยาวลดลง ส่งผลให้มีการสูญเสียพลังงานในการสั่นของพันธะมากขึ้น แสดงถึงว่าในการเผาพทายในสภาวะ reduction มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายใน ซึ่งน่าจะมีการสัมพันธ์กับการเกิดการเปลี่ยนสีของพทาย



รูปที่ 4.20 raman spectrum ของตัวอย่างพลายพทายสีน้ำตาล (Zr_Sri3-1) ก่อนเผา แสดง broadband spectrum บ่งชี้ลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน



รูปที่ 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างพោยจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกาก่อนและหลังการเผาด้วยเครื่อง Laser Raman spectroscopy

4.4.1.3 พลายเพทายจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

การวิเคราะห์รามานสเปกตรัมของตัวอย่างพลอยเพทายจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย พบว่าค่า ν_3 ของพีคที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ในช่วง $1007.7 - 1009.0 \text{ cm}^{-1}$ และค่า FWHM ที่ได้อยู่ในช่วงที่ประมาณ $4.7 - 6.7 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งบ่งชี้ว่าโครงสร้างมีความเป็นผลึกสูงและอาจมีบางส่วนที่โครงสร้างผลึกถูกทำลายไปเพียงเล็กน้อย การวิเคราะห์ตัวอย่างพลอย หลังการเผาที่อุณหภูมิ $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ พบว่าค่า FWHM น้อยลง แสดงถึงการที่ความบกพร่องทางโครงสร้างลดลง (ตารางที่ 4.32) เช่นเดียวกับตัวอย่างพลอยเพทายแหล่งรัตนปุระ ประเทศกัมพูชา

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าตำแหน่งของพีคและความกว้างพีคของเพทายก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ จากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscopy

Sample No.	$\nu_3 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	FWHM $\text{(cm}^{-1}\text{)}$	Sample No.	$\nu_3 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	FWHM $\text{(cm}^{-1}\text{)}$
Zr_kan2-1	1007.98	5.01	Zr_kan 2-1 1000	1008.20	4.41
Zr_kan2-2	1009.02	5.20	Zr_kan 2-2 1000	1007.66	4.23
Zr_kan2-3	1008.49	6.15	Zr_kan 2-3 1000	1008.32	5.57
Zr_kan2-4	1007.74	5.71	Zr_kan 2-4 1000	1006.69	6.19
Zr_kan2-5	1008.64	4.73	Zr_kan 2-5 1000	1007.95	4.14
Zr_kan2-6	1008.08	5.28	Zr_kan 2-6 1000	1008.17	5.14
Zr_kan2-7	1008.85	6.79	Zr_kan 2-7 1000	1008.46	5.28
Zr_kan2-8	1008.18	5.97	Zr_kan 2-8 1000	1008.24	6.10
Zr_kan2-9	1008.34	4.87	Zr_kan 2-9 1000	1007.92	5.68
Zr_kan2-10	1008.53	4.91	Zr_kan 2-10 1000	1008.00	4.65

4.4.1.4 พลายเพทายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย

การวิเคราะห์รามานสเปกตรัมของตัวอย่างพลอยเพทายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย พบว่าค่า ν_3 ของพีคที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ในช่วง $1007.7 - 1008.8 \text{ cm}^{-1}$ และค่า FWHM ที่ได้อยู่ในช่วงที่ประมาณ $4.3 - 5.1 \text{ cm}^{-1}$ บ่งชี้ว่าโครงสร้างมีความเป็นผลึกสูงและอาจมีบางส่วนที่โครงสร้างผลึกถูกทำลายไปเพียงเล็กน้อย การวิเคราะห์ตัวอย่างพลอย หลังการเผาที่อุณหภูมิ $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ พบว่าค่า FWHM น้อยลง แสดงถึงการที่ความบกพร่องทางโครงสร้างลดลง (ตารางที่ 4.33) เช่นเดียวกับตัวอย่างพลอยเพทายแหล่งรัตนपुर ประเทศกัมพูชา และพลอยเพทายจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

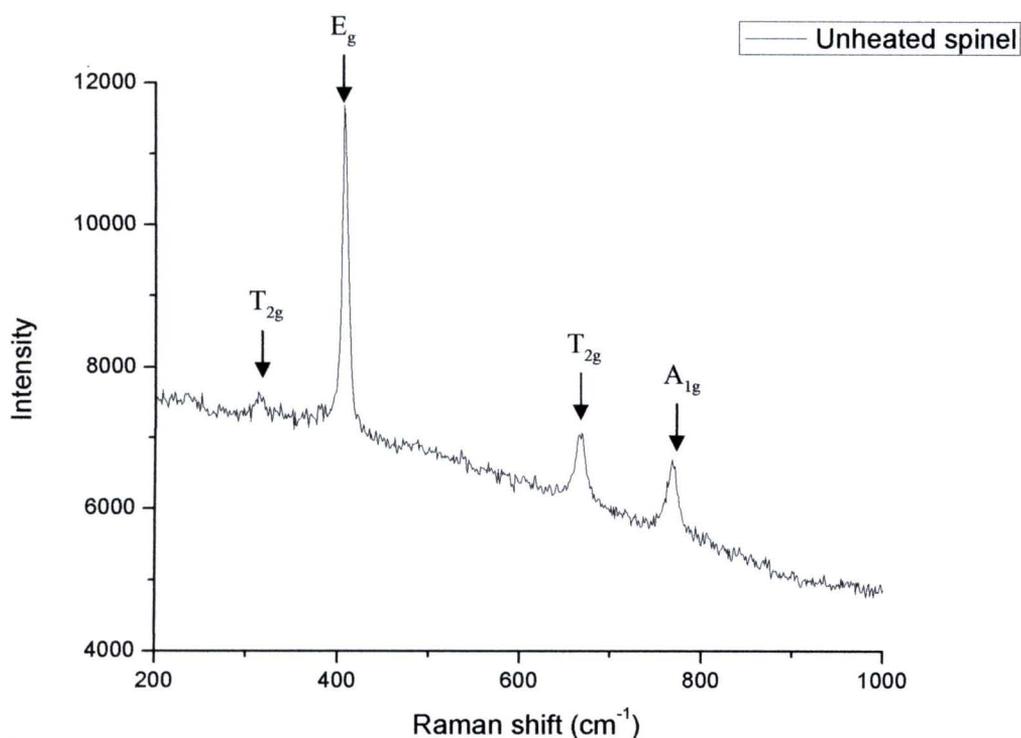
ตารางที่ 4.33 แสดงค่าตำแหน่งของพีคและความกว้างพีคของเพทายก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ จากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscopy

Sample No.	ν_3 (cm^{-1})	FWHM (cm^{-1})	Sample No.	ν_3 (cm^{-1})	FWHM (cm^{-1})
Zr_chan1-1	1008.45	4.83	Zr_chan1-1 1000	1009.16	5.60
Zr_chan1-2	1008.28	4.51	Zr_chan1-2 1000	1007.88	4.19
Zr_chan1-3	1008.22	4.31	Zr_chan1-3 1000	1007.93	4.96
Zr_chan1-4	1007.69	4.36	Zr_chan1-4 1000	1007.94	4.01
Zr_chan1-5	1008.34	4.58	Zr_chan1-5 1000	1008.54	5.43
Zr_chan1-6	1007.91	4.54	Zr_chan1-6 1000	1007.76	4.35
Zr_chan1-7	1007.83	4.90	Zr_chan1-7 1000	1007.87	4.24
Zr_chan1-8	1008.37	4.95	Zr_chan1-8 1000	1007.97	4.69
Zr_chan1-9	1007.99	4.83	Zr_chan1-9 1000	1008.24	4.47
Zr_chan1-10	1008.80	5.16	Zr_chan1-10 1000	1007.66	5.40

4.4.2 พลอยสปิเนล

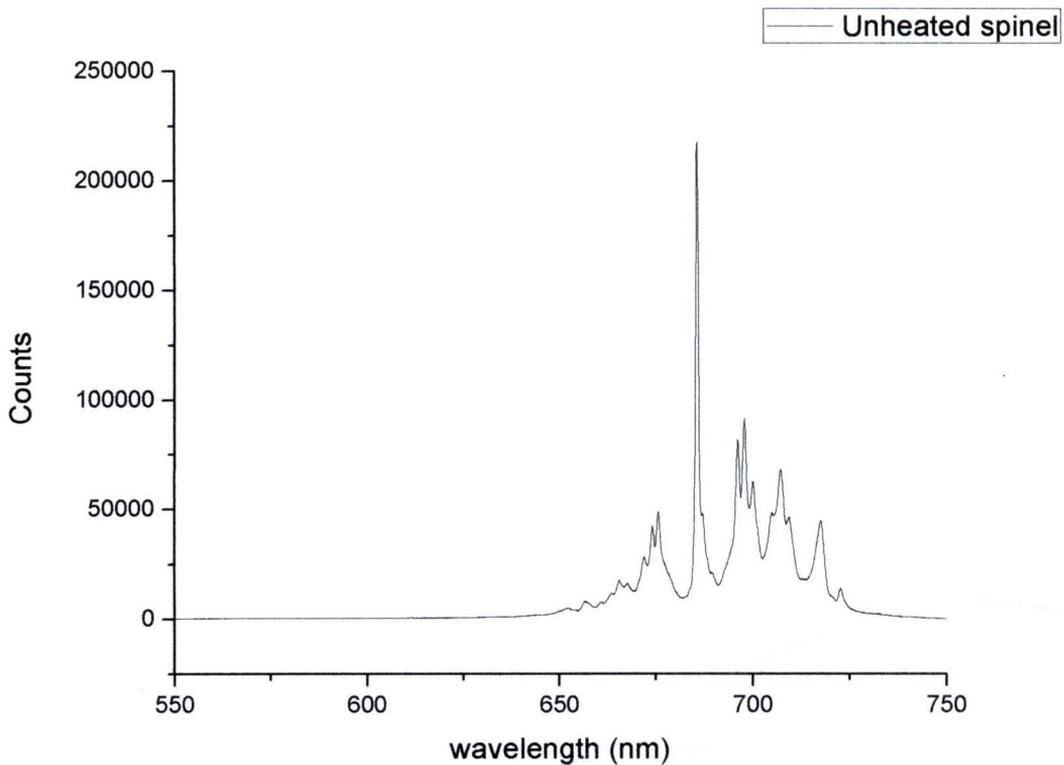
สปิเนล ($MgAl_2O_4$) เป็นแร่ที่อยู่ในระบบผลึก Isometric โดยในธรรมชาติทั่วไปจะพบสปิเนลอยู่ในรูปปกติ (normal spinel) คือการที่มี Mg อยู่ในตำแหน่งของ Tetrahedron coordination และ Al อยู่ในตำแหน่งของ Octahedron coordination แต่อาจพบสปิเนลในรูปของ inverse spinel ได้เช่นเดียวกัน คือ จะสามารถพบ Al กระจายอยู่ทั้งใน tetrahedron site และ octahedron site โดยปกติมักพบสปิเนลในธรรมชาติในรูป normal spinel แต่หากสปิเนลถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า $800\text{ }^{\circ}C$ โครงสร้างจะเปลี่ยนไปเป็น inverse spinel ได้ (Tuyen, 2005 และ Saeseaw, et al., 2009)

การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของสปิเนล สามารถวิเคราะห์ได้โดยเทคนิค Raman spectroscopy และ Fluorescence spectroscopy การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman spectroscopy ใน normal spinel จะพบพีคหลักเกิดขึ้น 4 พีค คือ E_g (413 cm^{-1}), A_{1g} (770 cm^{-1}), T_{2g} (312 cm^{-1} และ 664 cm^{-1}) พีคที่สำคัญที่นำมาใช้ในการตรวจสอบความเป็นระเบียบของผลึกจะใช้พีค E_{2g} ที่ตำแหน่ง 413 cm^{-1} ในการวิเคราะห์ (รูปที่ 4.22) โดยปกติพีคดังกล่าวจะมีค่าความกว้างสุดของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของพีค (Full width at half maximum; FWHM) อยู่ในช่วง $7\text{--}8\text{ cm}^{-1}$ หากมีค่ามากกว่านี้มีแนวโน้มว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่โครงสร้างแบบ inverse spinel (Tuyen, 2005 และ Saeseaw, et al., 2009) ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นได้เมื่อสปิเนลมีการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ $700\text{ }^{\circ}C$



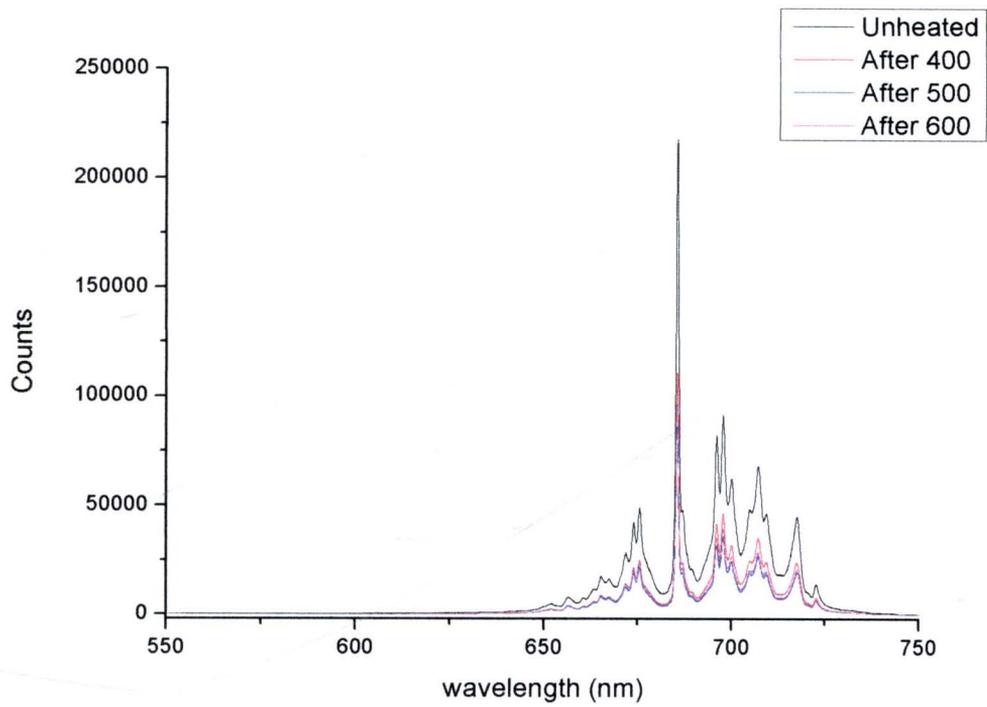
รูปที่ 4.22 Raman spectrum ของสปิเนล แสดงพีคที่สำคัญที่เกิดจากโครงสร้างของ normal spinel

นอกจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman spectroscopy แล้ว ยังอาจสามารถหาตัวบ่งชี้ในการวิเคราะห์สปีเนลว่ามีโครงสร้างแบบ normal หรือ inverse ได้โดยการใช้เทคนิค Fluorescence spectroscopy ซึ่งหากมีโครเมียมเป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของ normal spinel จะให้รูปแบบการฟลูออเรสเซนซ์ดังรูปที่ 4.23 โดยแสดงพีคที่ตำแหน่ง 685.52 cm^{-1} และมีค่า FWHM 0.7 nm ซึ่งหากโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ รูปแบบของการฟลูออเรสเซนซ์จะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไปเป็น inverse spinel (Tuyen, 2005 และ Saeseaw, et al., 2009)



รูปที่ 4.23 รูปแบบการฟลูออเรสเซนซ์ ของโครเมียม (Cr^{3+}) ในโครงสร้างของ normal spinel

จากการวิเคราะห์สปีเนลก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าโครงสร้างของสปีเนลยังไม่มีเปลี่ยนแปลงไปเป็น inverse spinel ซึ่งสอดคล้องกับผลสรุปของ Tuyen, 2005; Saeseaw, et al., 2009 (รูปที่ 4.24)



รูปที่ 4.24 รูปแบบการฟลูออเรสเซนซ์ ของโครเมียม (Cr^{3+}) ในโครงสร้างของ normal spinel หลังเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ

4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยเพทายโดยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยเพทายในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในพลอยเพทายด้วยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ที่ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยวิเคราะห์ตัวอย่างเพทายจากแหล่งต่างๆ ตัวอย่างละ 3 จุด ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ รวบรวมแสดงไว้ในภาคผนวก และค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุองค์ประกอบของแต่ละกลุ่มสีแสดงในตารางที่ 4.34 พบว่าองค์ประกอบหลักคือ SiO_2 และ ZrO_2 และจะพบว่ามีองค์ประกอบของ UO_2 และ ThO_2 ซึ่งยืนยันการมีธาตุกัมมันตรังสีภายในโครงสร้าง แต่เนื่องจากปริมาณของ UO_2 และ ThO_2 มีปริมาณน้อยมาก และข้อจำกัดของเครื่อง EPMA ซึ่งไม่สามารถวัดค่า REE (rare earth elements) ได้ละเอียดพอ

ตารางที่ 4.34 ปริมาณธาตุองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยของพลอยเพทายจากแหล่งต่างๆ

Localities/ Colour	Al_2O_3	SiO_2	UO_2	FeO	Y_2O_3	ThO_2	ZrO_2	HfO_2	Er_2O_3	Ce_2O_3	Total
Cambodia/ brown	0.01	31.85	0.03	0.01	0.03	0.14	67.08	0.73	0.02	0.022	99.93
Sri-Lanka/ green-yellow	0.01	31.13	0.26	0.02	0.06	0.28	66.40	1.37	0.03	0.038	99.60
Sri-Lanka/ brown	0.00	30.61	0.05	0.01	0.01	0.16	67.02	1.01	0.01	0.02	98.91
Kanchanaburi/ brown	0.01	32.01	0.02	0.01	0.04	0.30	67.15	0.71	0.024	0.023	100.30
Chanthaburi/ brown	0.01	32.31	0.03	0.02	0.04	0.28	66.84	0.72	0.04	0.02	100.31

จากตารางที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุองค์ประกอบของพลอยเพทายทั้ง 4 แหล่ง พบว่า พลอยเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา โดยเฉพาะกลุ่มสีเขียว-เหลือง มีปริมาณ UO_2 เฉลี่ย มากกว่าพลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา แหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี และแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย ปริมาณ UO_2 ดังกล่าว เป็นสาเหตุให้พลอยเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกามีสีเขียว-เหลือง สอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างด้วยเทคนิค Raman spectroscopy ซึ่งพบลักษณะโครงสร้างถูกทำลายโดยธาตุกัมมันตรังสี จึงมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous)

พลอยเพทายสีน้ำตาลอ่อน จากแหล่งรัตนปุระ ประเทศกัมพูชา ตัวอย่างที่ Zr_Cam1-4 (ตารางที่ 4.1) หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน (G2/2) พบว่ามีปริมาณ UO_2 0.08 wt% พลอยเพทายสีน้ำตาลปานกลาง (Zr_Cam2-2; ตารางที่ 4.4) มีปริมาณ UO_2 0.06 wt% หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน (Y2/2) เช่นเดียวกับพลอยเพทายสีน้ำตาลเข้ม (Zr_Cam3-1; ตารางที่ 4.7 และ Zr_Cam3-6; ตารางที่ 4.8) ซึ่งมีปริมาณ UO_2

0.07 wt% และ 0.10 wt% ตามลำดับ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน (Y2/2) ซึ่งปริมาณ UO_2 ในตัวอย่างพลอยเพทายที่กล่าวมาสูงกว่าปริมาณเฉลี่ยของ UO_2 ในพลอยเพทายจากแหล่งเดียวกัน เปรียบเทียบกับพลอยเพทายสีน้ำตาลเข้ม (Zr_Cam3-10; ตารางที่ 4.8 หรือ Zr_Cam3-12; ตารางที่ 4.9) มีปริมาณ UO_2 0.02 – 0.03 wt% ตามลำดับ หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนเป็นสีฟ้าเข้ม (vstgB 2/3 และ vstgB 3/2) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาการดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ในพลอยเพทายหลังเผาที่เปลี่ยนเป็นสีฟ้า จะแสดง peak การดูดกลืนของ U^{4+} ในขณะที่พลอยเพทายหลังเผาที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองจะแสดง peak ของ U^{5+} ชัดเจน ดังที่ได้รายงานไว้ข้างต้น

ตัวอย่างพลอยเพทายสีเขียว (Zr_Sri3-1; ตารางที่ 4.10) จากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา มีปริมาณ UO_2 ประมาณ 0.6 wt% หลังเผาที่ 1000 °C ยังคงแสดงสีเขียว (yG7/3) เช่นเดิม และพลอยเพทายสีเขียว-เหลือง (Zr_Sri3-7 และ Zr_Sri3-8; ตารางที่ 4.11) เปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อน (GB/BG 6/1) หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C พบว่ามีปริมาณ UO_2 ประมาณ 0.2 wt% สอดคล้องกับการศึกษาการดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ในตัวอย่างพลอยเพทายดังกล่าว ซึ่งแสดง peak การดูดกลืนของ U^{4+} ชัดเจนขึ้นหลังการเผา สำหรับพลอยเพทายสีน้ำตาล (Zr_Sri4-1, Zr_Sri4-2 และ Zr_Sri4-5; ตารางที่ 4.12) มีปริมาณ UO_2 ประมาณ 0-0.1 wt% ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณ UO_2 ในตัวอย่างพลอยเพทายในแหล่งเดียวกัน หลังเผาที่ 1000 °C สีน้ำตาลจางลงจนเกือบไม่มีสี (near colourless)

พลอยเพทายสีน้ำตาล จากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ตัวอย่างที่ Zr_Kan2-3 (ตารางที่ 4.13) มีปริมาณ UO_2 ประมาณ 0.1 wt% หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้ม เป็นสีเหลืองอ่อน (Y2/2) และตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาล (Zr_Kan2-1, Zr_Kan2-7 และ Zr_Kan2-9; ตารางที่ 4.13) มีปริมาณ UO_2 ประมาณ 0-0.02 wt% หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นไม่มีสี (colourless)

ตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาลเข้ม (Zr_Chan1-8; ตารางที่ 4.15) จากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย มีปริมาณ UO_2 ประมาณ 0.1 wt% หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้ม เป็นสีเขียวอ่อน (G2/2) ส่วนพลอยเพทายตัวอย่างที่ Zr_Chan1-5 (ตารางที่ 4.14) และ Zr_Chan1-9 (ตารางที่ 4.15) มีปริมาณ UO_2 ประมาณ 0 – 0.04 wt% หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เปลี่ยนเป็นสีฟ้า (vstgB 3/2)

4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยสปีเนลโดยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy (EDXRF)

การศึกษานิตและปริมาณธาตุองค์ประกอบของพลอยสปีเนลในการวิจัยครั้งนี้ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy (EDXRF) ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยวิเคราะห์ตัวอย่างสปีเนลจากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม และแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา ดังแสดงในตารางที่ 4.35 และ 4.36 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.35 ปริมาณธาตุองค์ประกอบของพลอยสปีเนลจากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม

Samples	MgO	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO	Ga ₂ O ₃
SLY01	19.80	78.41	0.10	0.11	0.71	0.80	0.08
SLY02	20.22	78.68	0.11	0.11	0.77	0.05	0.06
SLY03	20.28	78.47	0.29	0.23	0.63	0.07	0.04
SLY04	21.25	76.78	0.42	0.40	0.65	0.43	0.06
SLY05	21.04	77.28	0.43	0.20	0.99	0.03	0.03
SLY06	20.07	77.74	0.72	0.34	0.95	0.15	0.04
SLY07	20.39	78.57	0.20	0.23	0.36	0.21	0.04
SLY08	19.75	77.52	0.07	0.41	0.97	1.21	0.08
SLY09	20.57	78.12	0.37	0.24	0.57	0.09	0.05
SLY10	19.83	77.64	0.37	0.70	0.86	0.51	0.08
SLY11	19.54	77.88	0.23	1.32	0.93	0.06	0.04
SLY12	19.99	78.12	0.27	0.65	0.87	0.08	0.03
SLY13	19.79	77.83	0.06	0.13	0.53	1.60	0.05
SLY14	20.03	78.41	0.08	0.12	0.91	0.40	0.05
SLY15	18.58	77.69	0.03	0.04	1.92	1.67	0.06
SLY16	20.87	77.75	0.07	0.26	0.93	0.08	0.04
SLY17	18.83	77.55	0.04	0.14	3.14	0.27	0.03
SLY18	20.04	77.79	0.25	0.32	0.85	0.71	0.04
SLY19	20.58	78.24	0.03	0.01	1.04	0.07	0.04
SLY20	19.49	77.50	0.02	0.02	2.49	0.43	0.05
SLY21	20.15	78.28	0.01	0.01	1.19	0.31	0.04
SLY22	20.31	77.75	0.08	0.02	1.56	0.25	0.03
SLY23	18.74	77.70	0.01	0.10	3.25	0.18	0.02
SLY24	19.96	78.42	0.10	0.07	1.16	0.19	0.09
SLY25	19.95	76.93	0.02	0.02	1.80	1.23	0.06
SLY26	20.17	75.01	0.06	0.18	1.19	3.28	0.12
SLY27	18.92	78.98	0.07	0.13	1.69	0.18	0.03

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของพลอยสปีเนลแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม ทั้ง 9 กลุ่มสี พบว่าตัวอย่างสปีเนล มีปริมาณ Al_2O_3 และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก และมีปริมาณ Fe_2O_3 และ Cr_2O_3 ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดสีในสปีเนล โดยพลอยสปีเนลกลุ่มสีแดง (SLY10 – SLY12) มีปริมาณ Cr_2O_3 ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีแดงมากกว่าในสปีเนลกลุ่มอื่น ส่วนพลอยสปีเนลกลุ่มที่มี โทนสีม่วงปนจะมีปริมาณ Fe_2O_3 มากกว่ากลุ่มอื่น

ตารางที่ 4.36 ปริมาณธาตุองค์ประกอบของพลอยสปีเนลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา

Samples	MgO	Al_2O_3	V_2O_5	Cr_2O_3	Fe_2O_3	ZnO	Ga_2O_3
Sn_Sri1	20.06	75.63	0.06	0.09	1.05	0.54	0.06
Sn_Sri2	20.15	74.18	0.04	0.03	1.90	0.64	0.03
Sn_Sri3	18.83	74.45	0.00	0.02	3.60	0.08	0.03
Sn_Sri4	19.72	73.69	0.10	0.09	2.26	0.71	0.04
Sn_Sri5	20.25	72.12	0.04	0.06	2.11	0.74	0.03
Sn_Sri6	20.32	75.66	0.03	0.01	0.98	0.08	0.07
Sn_Sri7	19.58	72.23	0.09	0.02	2.52	0.17	0.05
Sn_Sri8	20.25	74.19	0.08	0.01	1.45	0.16	0.10

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของพลอยสปีเนลสีน้ำเงินแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา พบว่าตัวอย่างสปีเนล มีปริมาณ Al_2O_3 และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก และมีปริมาณ Fe_2O_3 สูงซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดสีน้ำเงินในพลอยสปีเนล