



246410



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิจัยลักษณะเฉพาะของอัญมณี เพื่อการปรับปรุงคุณภาพ Research on Characteristics of Gemstones for their Quality Enhancements

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

ผศ.ดร. พรสวาท วัฒนกุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายนามคณะผู้วิจัย

ดร. สมฤดี สาธิตคุณ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร. ภูวดล วรธนะชัยแสง

คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

ดร. วิวัฒน์ วงศ์ก่อเกื้อ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผศ.ดร. พงศกร จันทรัตน์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทง ลีลาวัฒนสุข

สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับ
แห่งชาติ (องค์การมหาชน)



246410



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิจัยลักษณะเฉพาะของอัญมณี เพื่อการปรับปรุงคุณภาพ Research on Characteristics of Gemstones for their Quality Enhancements

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

ผศ.ดร. พรสวาท วัฒนกุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายนามคณะผู้วิจัย

ดร. สมฤดี สาธิตคุณ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร. ภูวดล วรธนะชัยแสง

คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

ดร. วิวัฒน์ วงศ์ก่อเกื้อ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผศ.ดร. พงศกร จันทรัตน์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทงง สีลาวัฒนสุข

สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับ
แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2553

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยลักษณะเฉพาะของอัญมณี เพื่อการปรับปรุงคุณภาพ สำเร็จลงด้วยดี โดยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่เล็งเห็นความสำคัญ และให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2553 ซึ่งหากปราศจากทุนวิจัยนี้แล้ว คณะผู้วิจัยคงไม่สามารถดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ตามที่ตั้งใจไว้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พรสวาท วัฒนกุล ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการวิจัยแก่คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญ นักวิจัย และนิสิต หน่วยวิจัยเฉพาะด้านอัญมณีและวิทยาการแร่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) และภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัย อำนวยความสะดวก ให้ทุกขั้นตอนดำเนินไปได้อย่างราบรื่น สำเร็จลงได้ด้วยดี

ชื่อโครงการ การวิจัยลักษณะเฉพาะของอัญมณี เพื่อการปรับปรุงคุณภาพ
Research on Characteristics of Gemstones for their Quality
Enhancements

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2553 จำนวนเงิน 800,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 4 สิงหาคม 2553 ถึง 5 สิงหาคม 2554

ชื่อผู้วิจัย นางสมฤดี สาธิตคุณ¹, นายภูวตล วรรณนะชัยแสง², นายวิวัฒน์ วงศ์ก่อเกื้อ³,
นายพงศกร จันทรัตน์³, นายทง ลีลาวัฒน์สุข⁴

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โทรศัพท์: 0-2562-5444 ต่อ 1406

² คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพาวิทยาเขตจันทบุรี โทรศัพท์: 0-3931-0000

³ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โทรศัพท์: 02-562-5555

⁴ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) โทรศัพท์: 0-2634-4999

บทคัดย่อ

246410

พลอยเพทายและสปิเนล เป็นพลอยสีที่ได้รับความนิยมของตลาดอัญมณีเป็นอย่างมากในปัจจุบัน แต่มักมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับพลอยทั้งสองชนิด วิธีที่นิยมใช้คือการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน ซึ่งยังไม่เป็นที่เข้าใจกระบวนการการเปลี่ยนสีของพลอยดีนัก จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพเพทายด้วยความร้อนจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา และแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา แหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี และแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย พบว่าการเผาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสในสภาวะรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถเปลี่ยนสีเพทายจากสีน้ำตาลเป็นสีฟ้า โดยแหล่งที่ให้สีฟ้าเข้มที่สุดคือแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา และแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย โดยมี U^{4+} เป็นสาเหตุการเกิดสี ส่วนแหล่งอื่นๆ จะให้เพียงสีอ่อนเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกเพทายที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพได้โดยตรวจสอบการดูดกลืนคลื่นแสงช่วงอินฟราเรด ส่วนการปรับปรุงคุณภาพสปิเนลจากแหล่งลูกเอน ประเทศเวียดนาม และแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา ด้วยความร้อนพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีที่ชัดเจนจากการเผาที่สภาวะออกซิเดชัน เวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสปิเนล ทั้งนี้สามารถนำเทคนิค Raman spectroscopy มาใช้ในการจำแนกสปิเนลที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้

คำสำคัญ: พลอยเพทาย, พลอยสปิเนล, การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน

Nowadays, zircon and spinel are the famous gemstones in the market. Heat treatment is the most conventional method to improve their colour. Some zircon from Ratanakiri, Cambodia; Ratanpura, Sri Lanka; Bo Ploy, Kanchanaburi and Bangkacha, Chanthaburi Thailand, spinel from Luc Yen, Vietnam and from Ratanpura, Sri Lanka were sampled for experimental. Then physical properties and chemical composition of the samples were observed, measured and recorded before heating experiment. In addition, some absorption spectra were carried out using UV-Vis-NIR spectrophotometer, Fourier Transform spectrophotometer and Laser Raman spectroscopy. The most intense blue colour zircon samples from Ratanakiri, Cambodia and from Bangkacha, Chanthaburi Thailand have been increased after heating at 1000 °C in the reducing atmosphere for 1 hour soaking. Therefore, the U^{4+} is the cause of blue colour in zircon. Moreover, the FTIR spectrophotometer can be used to identify the heated zircon. All spinel samples showed the uniform colour after step heating up to 600 °C in oxidation atmosphere for 1 hour soaking. However, the Raman spectroscopy technique can be used to identify the high temperature heat treated spinel.

Keywords: zircon, spinel, heat treatment

สารบัญเรื่อง

หัวข้อ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

คำสำคัญ

สารบัญเรื่อง

สารบัญตาราง

สารบัญรูปภาพ

บทที่ 1 บทนำ

1.1	ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4	กรอบแนวความคิดของการวิจัย	2
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2

บทที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานของตัวอย่างที่ทำการศึกษา และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1	เพทาย	3
2.1.1	สมบัติทางกายภาพของเพทาย	3
2.2	สปิเนล	5
2.2.1	สมบัติทางกายภาพของสปิเนล	5
2.3	ธรณีวิทยาแหล่งพลอย	6
2.3.1	การกระจายตัวของเพทายและสปิเนลในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	6
2.3.2	ธรณีวิทยาแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	6
2.3.3	ธรณีวิทยาแหล่งพลอยรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	9
2.3.4	ธรณีวิทยาแหล่งพลอยลูกเอน ประเทศเวียดนาม	11
2.3.5	ธรณีวิทยาแหล่งพลอย อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย	14
2.3.6	ธรณีวิทยาแหล่งพลอยบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย	14
2.4	การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	16

บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

3.1	วิธีดำเนินการวิจัย	19
-----	--------------------	----

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1	การเปลี่ยนแปลงสีภายหลังการทดลองเผา	25
4.1.1	พลอยเพทาย	25
4.1.1.1	พลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	25

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย (ต่อ)	
4.1.1.2 พLOYเปทหายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	32
5.1.1.3 พLOYเปทหายจากแหล่งบ่อพLOY จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย	34
5.1.1.4 พLOYเปทหายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย	35
4.1.2 พLOYสปิเนล	37
4.1.2.1 พLOYสปิเนลจากแหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม	37
4.1.2.2 พLOYสปิเนลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	46
4.2 การดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR	47
4.2.1 พLOYเปทหาย	47
4.2.1.1 พLOYเปทหายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	47
4.2.1.2 พLOYเปทหายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	50
4.2.1.3 พLOYเปทหายจากแหล่งบ่อพLOY จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย	51
4.2.1.4 พLOYเปทหายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย	52
4.2.2 พLOYสปิเนล	53
4.2.2.1 พLOYสปิเนลจากแหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม	53
4.2.2.2 พLOYสปิเนลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	55
4.3 การศึกษาสมบัติทางสเปคโตรสโคปีของพLOYด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)	57
4.3.1 พLOYเปทหายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	57
4.3.2 พLOYเปทหายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	59
4.3.3 พLOYเปทหายจากแหล่งบ่อพLOY จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย	61
4.3.4 พLOYเปทหายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย	61
4.4 การวิเคราะห์พLOYเปทหายและสปิเนลก่อนและหลังเผาด้วยเทคนิค Raman Spectroscopy	63
4.4.1 พLOYเปทหาย	63
4.4.1.1 พLOYเปทหายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	64
4.4.1.2 พLOYเปทหายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	69
4.4.1.3 พLOYเปทหายจากแหล่งบ่อพLOY จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย	71
4.4.1.4 พLOYเปทหายจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย	72
4.4.2 พLOYสปิเนล	73
4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพLOYเปทหายโดยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)	76
4.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพLOYสปิเนลโดยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy (EDXRF)	78

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล	
5.1 พลอยเพทาย	80
5.1.1 ความแตกต่างระหว่างพลอยเพทายก่อนเผาและหลังเผา	80
5.1.2 การเกิดสีของเพทายหลังการเผา	80
5.2 พลอยสปิเนล	82
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 พลอยเพทาย	84
6.2 พลอยสปิเนล	85
บทที่ 7 บรรณานุกรม	86
ภาคผนวก	
องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทาย แหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	89
องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทายแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	96
องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทายแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย	98
องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทายแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย	100
ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัย	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.18	พลอยสปิเนลสีชมพูอมแดง แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	39
4.19	พลอยสปิเนลสีแดง แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	40
4.20	พลอยสปิเนลสีชมพูอมม่วง แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	41
4.21	พลอยสปิเนลสีแดงอมม่วง แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	42
4.22	พลอยสปิเนลสีฟ้าอมม่วง แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	43
4.23	พลอยสปิเนลสีม่วงอมน้ำเงิน แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	44
4.24	พลอยสปิเนลสีม่วงอมแดง แหล่งลูกเยน ประเทศเวียดนาม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	45
4.25	พลอยสปิเนลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C	46
4.26	พลอยสปิเนลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C	46
4.27	พลอยสปิเนลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 600 °C	47
4.28	ค่าตำแหน่งของพีกและความกว้างพีกของเพทายก่อนเผา จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope	66
4.29	ค่าตำแหน่งของพีกและความกว้างพีกของเพทายหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 °C จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope	66
4.30	ค่าตำแหน่งของพีกและความกว้างพีกของเพทายหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope	67
4.31	ค่าตำแหน่งของพีกและความกว้างพีกของเพทายหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope	67
4.32	ค่าตำแหน่งของพีกและความกว้างพีกของเพทายก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C จากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope	71
4.33	ค่าตำแหน่งของพีกและความกว้างพีกของเพทายก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C จากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.34	ปริมาณธาตุองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยของพลอยเพทายจากแหล่งต่างๆ	76
4.35	ปริมาณธาตุองค์ประกอบของพลอยสปิเนลจากแหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม	78
4.36	ปริมาณธาตุองค์ประกอบของพลอยสปิเนลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	79
ตารางภาคผนวก 1	องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทาย แหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	89
ตารางภาคผนวก 2	องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทายแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา	96
ตารางภาคผนวก 3	องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทายแหล่งป้อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย	98
ตารางภาคผนวก 4	องค์ประกอบเคมีของพลอยเพทายแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย	100

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	6
2.4	7
2.5	8
2.6	8
2.7	9
2.8	10
2.9	10
2.10	11
2.11	12
2.12	13
2.13	13
2.14	14
2.15	16
3.1	19
3.2	20
3.3	21
3.4	21
3.5	22
3.6	22
3.7	23

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
3.8	ตัวอย่างพลอยสปิเนลจากประเทศเวียดนาม ก่อนการทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน แบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม คือ (ก) กลุ่มสีชมพูอมส้ม (ข) สีแดงอมส้ม (ค) สีชมพูอมแดง (ง) สีแดง (จ) สีชมพูอมม่วง (ฉ) สีแดงอมม่วง (ช) สีฟ้าอมม่วง (ซ) สีม่วงอมน้ำเงิน (ฌ) สีม่วงอมแดง	23
3.9	ตัวอย่างพลอยสปิเนลจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา ก่อนการทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ (ก) กลุ่มสีน้ำเงินเข้ม (ข) สีน้ำเงินปานกลาง (ค) สีน้ำเงินอมเขียว	24
4.1	(ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam3-13) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam3-13) ก่อนเผา (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam3-13) ก่อนเผาและหลังเผา	48
4.2	(ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam2-2) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam2-2) (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Cam2-2) ก่อนเผาและหลังเผา	49
4.3	(ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีเขียวแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Zr_Sri3-7) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีเขียวแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Zr_Sri3-7) (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีเขียวแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Zr_Sri3-7) ก่อนเผาและหลังเผา	50
4.4	(ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย (Zr_Kan2-6) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย (Zr_Kan2-6) (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย (Zr_Kan2-6) ก่อนเผาและหลังเผา	51

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
4.5 (ก) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis-NIR ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย (Zr_Chan1-9) ก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C (ข) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง visible ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย (Zr_Chan1-9) (ค) แสดงการดูดกลืนแสงช่วง near-infrared ของพลอยเพทายสีน้ำตาลแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย (Zr_Chan1-9) ก่อนเผาและหลังเผา	52
4.6 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีชมพูอมส้ม แหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม (Sn_LY01)	53
4.7 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีแดงอมส้ม แหล่งลูกเขน ประเทศเวียดนาม (Sn_LY05) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ	54
4.8 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีน้ำเงิน แหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Sn_Sri1) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 400 °C	55
4.9 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีน้ำเงิน แหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Sn_Sri3) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 500 °C	56
4.10 spectra การดูดกลืนช่วงคลื่น UV-Vis ของตัวอย่างพลอยสปิเนลสีน้ำเงิน แหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกา (Sn_Sri6) ก่อนเผาและหลังเผาในสภาวะ oxidation ที่อุณหภูมิ 600 °C	56
4.11 การดูดกลืนในช่วง 2500 – 4000 cm ⁻¹ แสดงถึงความเป็นผลึกของเพทาย จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	58
4.12 แสดง peak การดูดกลืนในช่วง 4000-5000 cm ⁻¹ ในพลอยเพทายจากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา	59
4.13 การดูดกลืนในช่วง 2500 – 4000 cm ⁻¹ แสดงลักษณะสเปกตรัมแบบบรอดแบนด์ซึ่ง เกิดจากการสูญเสียโครงสร้างผลึกจากกระบวนการ Metamictization ของเพทาย จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Sri3-1)	60
4.14 การดูดกลืนในช่วง 2500 – 4000 cm ⁻¹ ของเพทาย จากแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา (Zr_Sri3-1) แสดงความเป็นระเบียบที่ดีขึ้นของโครงสร้าง	60
4.15 การดูดกลืนในช่วง 2500 – 4000 cm ⁻¹ แสดงถึงความเป็นผลึกของเพทาย	61
4.16 แสดง peak ของ OH stretching ที่ตำแหน่ง 4072 cm ⁻¹ และ 4262 cm ⁻¹ ในตัวอย่างพลอยเพทาย (Zr_Chan1-9) ก่อนเผาจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี	62
4.17 ตัวอย่างพลอยเพทาย (Zr_Chan1-9) เปลี่ยนเป็นสีฟ้าหลังการเผา peak OH stretching หายไป และปรากฏ peak การดูดกลืนของ U ⁴⁺ ที่ตำแหน่ง 4833 cm ⁻¹	62
4.18 raman spectrum ของตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาล (Zr_Cam1-1) ก่อนเผา	65

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_3 และค่า FWHM ของเพทายแหล่งรัตนคีรี ประเทศกัมพูชา ก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 °C	68
4.20	raman spectrum ของตัวอย่างพลอยเพทายสีน้ำตาล (Zr_Sri3-1) ก่อนเผา แสดง broadband spectrum บ่งชี้ลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน	69
4.21	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเพทายจากแหล่งรัตนปุระ ประเทศศรีลังกาก่อนและหลังการเผา ด้วยเครื่อง Laser Raman spectroscopy	70
4.22	Raman spectrum ของสปิเนล แสดงพีคที่สำคัญที่เกิดจากโครงสร้างของ normal spinel	73
4.23	รูปแบบการฟลูออเรสเซนซ์ ของโครเมียม (Cr^{3+}) ในโครงสร้างของ normal spinel	74
4.24	รูปแบบการฟลูออเรสเซนซ์ ของโครเมียม (Cr^{3+}) ในโครงสร้างของ normal spinel หลังเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ	75