# คำนำ

โครงการวิจัยเรื่อง การแปรสภาพของเส้นเข็มรูไทล์ในแซปไฟร์จากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมลทินเส้นไหมหลังการเผาและหาหลักฐานที่เป็นตัวบ่งชี้พลอยคอรันดัมที่ผ่านการเผา ในร่างรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ประกอบไปด้วยผลงานวิจัยจำนวน 5 บท ในบทที่ 1 เป็นบทนำที่กล่าวถึงที่มา หลักการและเหตุผล และทฤษฎี และขั้นตอนการวิจัยที่ทำให้มีการศึกษาครั้งนี้ขึ้น ในบทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงตัวอย่างของแซฟไฟร์ที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด เทคนิคและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและมลทินภายในของแซฟไฟร์ ในบทที่ 3 เป็นผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EPMA เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีก่อนและหลังเผาของมลทินเส้นเข็มรูไทล์ ในบทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงการศึกษาการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer เพื่อศึกษาสาเหตุการเกิดสีของแซปไฟร์ ในบทที่ 5 เป็นการอภิปรายและสรุปผลของการแปรสภาพของเส้นเข็มรูไทล์ในแซปไฟร์จากแหล่งบางกะจะ

คณะทำงาน

# บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพแซฟไฟร์ในตลาดการค้าอัญมณีเป็นภูมิปัญญาที่ทำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพมีความสำคัญในการพัฒนาเทคนิคและวิธีเพื่อให้สามารถปรับปรุงคุณภาพแซฟไฟร์ให้ดียิ่งขึ้น มลทินเส้นไหมในแซฟไฟร์จากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีและความใสหลังการเผาได้มากขึ้น ผลการศึกษาพบว่ามลทินเส้นไหมสีน้ำตาลเข้มเป็นแร่ในกลุ่ม hematite-ilmenite series มีการเรียงตัวอย่างหนาแน่นของมลทินเส้นไหมตามแนวแกนผลึกของแซฟไฟร์ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1650 องศาเซลเซียส มลทินเส้นไหมจะสลายตัวเป็นผลึกขนาดเล็กตามแนวเส้นไหม และเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีขาว ซึ่งพบว่ามีองค์ประกอบของไทเทเนี่ยมสูงในขณะที่ปริมาณของเหล็กลดลงอย่างเห็นได้ชัด การเผาแซฟไฟร์จากแหล่งบางกะจะจังหวัดจันทบุรีร่วมกับธาตุเบริลเลี่ยมหลังการเผาที่อุณหภูมิสูงจะพบการแพร่ของสีเหลืองจากขอบของตัวอย่างเข้าสู่แกนกลางอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสลายตัวของมลทินเส้นไหมที่ชัดเจนกว่าการเผาแบบปกติ ส่งผลให้แซฟไฟร์มีความใสมากขึ้น ผิวที่หลอมละลายของแซฟไฟร์ที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในรูปของ $BeO\text{-}Al_2O_3$ หากพบเป็นร่องรอยการหลอมในแซฟไฟร์ที่เจียระไนแล้ว สามารถใช้เทคนิค fluorescence spectroscopy ในการบ่งชี้การเผาของแซฟไฟร์ร่วมกับธาตุเบริลเลี่ยมได้

## Abstract

The knowhow of sapphire enhancement in the gems market is an importance revenue of Thailand. The study of gems treatment can be improved the technique and process to develop the enhancement quality of sapphire. Silk inclusion in sapphire from Bangkacha area, Chanthaburi is a typical inclusion that influence the changing of color and transparency of sapphire after heat treatment. The result of this study found that the silk inclusion is the hematite-ilmenite series mineral. It can be found very dense silk along the crystal axis of sapphire. After the heat treatment at 1650 degree Celsius, the silk inclusion dissolved to the minute dissolved particle and also the color of the inclusion change from the reddish brown to white color. The result of the chemistry analysis of the inclusion found the increase of titanium and decrease of iron. The heat treatment of Bangkacha sapphire with beryllium affect the yellow color rim of the treated sapphire. Moreover, it can be found that the dissolved of silk inclusion show more transparency than the traditional heat treatment. The melted surface after heat treated at high temperature caused by the chemistry reaction of $BeO\text{-}Al_2O_3$. The remnant of melted surface in the faceted sapphire can be verified the beryllium treatment by fluorescence spectroscopy technique.

# บทสรุปผู้บริหาร

**รายงานในช่วงตั้งแต่** 1 เมษายน 2554 ถึงวันที่ 31 มกราคม 2556

**ชื่อหัวหน้าโครงการ** ดร. ภูวดล วรรธนะชัยแสง

**หน่วยงาน** คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

**วัตถุประสงค์ของโครงการ**

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมลทินเส้นไหมหลังการเผา
2. เพื่อหาหลักฐานที่เป็นตัวบ่งชี้พลอยคอรันดัมที่ผ่านการเผา

รายละเอียดผลการดำเนินงานของโครงการตามแผนงานโดยสรุป

| กิจกรรม | ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน) | ผลการดำเนินงาน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| 1. รวบรวมและศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และแนวทางการวิจัยที่ผ่านมา และแนวทางการเผาพลอยคอรันดัม | มีข้อมูลที่เกี่ยวข้อง | มีข้อมูลเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในรูปแบบเอกสารเชิงวิชาการและองค์ความรู้จากการประชุมที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญ | |
| 2. จัดหาและคัดเลือกตัวอย่างพลอยคอรันดัมดิบจาก อำเภอบางกะจะ และเตรียมตัวอย่างคอรันดัม | ได้ตัวอย่างพลอยคอรันดัมดิบจากเหมืองบางกะจะจังหวัดจันทบุรี | จัดซื้อตัวอย่างคอรันดัมดิบจากเหมืองและเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์วิจัย | |
| 3. ตรวจสอบสมบัติพื้นฐานทางอัญมณี | ได้ข้อมูลพื้นฐานของพลอยที่นำมาวิเคราะห์ | จากการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลพื้นฐานที่ได้ไม่แตกต่างจากข้อมูลทั่วไปของคอรันดัม | |
| 4. ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือชั้นสูงก่อน | วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR | มีการปรับเปลี่ยนเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์เพื่อความเหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| และหลังการเผา | spectrophotometer, FTIR spectrophotometer, LA-ICP-MSและ SEM | ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer, EPMA และ Raman spectrometer เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีให้ผลวิเคราะห์ที่ดีกว่า | |
| 5. วิเคราะห์และประเมินผลการวิจัย | มีผลการวิเคราะห์วิจัย | มีผลการวิเคราะห์วิจัย | |
| 6. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัยและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ | ผลสรุปและวิจารณ์ผลการวิจัยและรายงานฉบับสมบูรณ์ | ผลสรุปและวิจารณ์ผลการวิจัยและรายงานฉบับสมบูรณ์ | |
| 7. เผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ | เผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ | Determination of Be treated sapphire by Luminescence spectroscopy, Burapha University International Conference 2012 Burapha University, Thailand July 9-11, 2012 | |

**ผลการดำเนินการวิจัยโดยสรุป**

การศึกษามลทินเส้นไหมในแซฟไฟร์จากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี แซฟไฟร์ส่วนใหญ่จะมีสีเขียวอมน้ำเงิน และสีเหลืองมักมีมลทินเส้นไหมสีน้ำตาลทำให้แซฟไฟร์ที่พบมีสีและความใสที่ไม่เหมาะสมจะนำมาทำเป็นอัญมณี การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพที่ได้รับความนิยมและประสบความสำเร็จในการปรับปรุงคุณภาพสีและความใสของแซฟไฟร์

ผลการวิจัยของโครงการพบว่า มลทินเส้นไหมสีน้ำตาลมีการเรียงตัวตามแนวแกนผลึก ประกอบไปด้วยธาตุเหล็กและธาตุไทเทเนียม ในรูปของ ilmanite-hematite solid solution เมื่อทำการเผาแซฟไฟร์ที่อุณหภูมิ 1650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในสภาวะบรรยากาศ พบว่ามลทินเส้นไหมสีน้ำตาลเปลี่ยนสภาพไปเป็นมลทินผลึกขนาดเล็กสีขาว แซฟไฟร์มีความใสขึ้นอย่างชัดเจนและมีสีน้ำเงินเกิดขึ้นตามแนวเส้นสีเดิมตามแนวแกนผลึก และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ปริมาณของธาตุเหล็กในบริเวณที่เคยเป็นมลทินเส้นไหมลดลงอย่างมาก ในบางจุดไม่ปรากฏธาตุเหล็กเด่นชัด และมลทินผลึกขนาดเล็กสีขาว

ที่เหลือจากการเปลี่ยนสภาพของมลทินเส้นไหมมีองค์ประกอบของไทเทเนียมเป็นหลัก จากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงพบว่า มีการดูดกลืนแสงของ $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ IVCT หลังการเผา ซึ่งให้สีน้ำเงิน สอดคล้องกับการแพร่ของธาตุเหล็กเข้าสู่โครงสร้างของแซฟไฟร์ จึงน่าจะเป็นสาเหตุการเกิดสีที่เกิดขึ้นหลังการเผา

การวิเคราะห์การเผาแซฟไฟร์จากแหล่งบางกะจะร่วมกับธาตุเบริลเลี่ยม พบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ (Pisutha-Arnond*et al*., 2006) การเปลี่ยนแปลงของสีของแซฟไฟร์เกิดจากการแพร่ของเบริลเลี่ยมเข้าสู่โครงสร้างของแซฟไฟร์ สามารถเห็นสีเข้มตามขอบของตัวอย่างหลังเผาได้อย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากการแพร่ของเบริลเลี่ยมจากภายนอกเข้าสู่ภายใน ซึ่งหากนำไปเผาซ้ำร่วมกับธาตุเบริลเลี่ยม จะทำให้สีที่ได้สม่ำเสมอหลังเผา แสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณเบริลเลี่ยมที่แพร่เข้าสู่โครงสร้าง ซึ่งหากมีปริมาณที่มากกว่าปริมาณของธาตุเหล็กและไทเทเนียมในโครงสร้าง จะมีอิทธิพลในการเป็นสาเหตุการเกิดสีเหลืองในแซฟไฟร์จากบางกะจะได้

การวิเคราะห์แซฟไฟร์ที่ผ่านการเผาร่วมกับธาตุเบริลเลี่ยม สามารถทำได้โดยใช้เทคนิค Luminescence spectrometer กับตัวอย่างแซฟไฟร์ที่มีผิวที่เกิดจากการหลอมละลายและตกผลึกใหม่จากการเผา จะพบสเปกตรัมของการ luminescence ของ Cr3+ ในโครงสร้างของ alexandrite ซึ่งเกิดจากการเกิดผลึกใหม่ของ $BeO+Al_2O_3$ ซึ่งเป็นถือเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์แซฟไฟร์ที่เผาร่วมกับธาตุเบริลเลี่ยมโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

**คำชี้แจงเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรค**

การดำเนินการวิจัยมีความล่าช้าเนื่องจากการใช้เครื่องมือชั้นสูงหลายเครื่องในการวิเคราะห์ และแต่ละเครื่องมีผู้ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างมาก ทั้งยังประสบปัญหาเครื่องเสีย ต้องรอการแก้ไขซ่อมแซม และใช้เวลาในการรออะไหล่นาน