

**สัญญาเลขที่ RM 30/2551**  
**“โครงการลักษณะโครงสร้างมลทินระดับไมโคร-นาโน ในพลอยคอรันดัม”**  
**รายงานสรุปผลการดำเนินงานของโครงการ**

---

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 21 กรกฎาคม 2552 ถึงวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2552

หน่วยงานภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## 1. การดำเนินงาน

การศึกษาโครงสร้างมลทินระดับไมโคร-นาโน ในพลอยคอรันดัมครั้งนี้ ได้ศึกษาในตัวอย่าง จำนวน 2 แหล่งที่สำคัญ ได้แก่ แซปไฟร์แหล่งศรีลังกา และทับทิมแหล่งมองซู, พม่า และได้มีการศึกษา ในตัวอย่างทับทิมจากแหล่งกีนีเพิ่มเติม เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะบางประการ โดยแบ่ง การศึกษาเป็น 4 ด้าน คือ 1. Optical microscope โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ 2. Electron microscopy โดยใช้เครื่องมือ SEM, TEM และ EPMA เพื่อการเปรียบเทียบ 3. Spectroscopy โดยใช้เครื่องมือในการ ศึกษาได้แก่ FTIR, UV-Vis-NIR, Laser Raman spectroscopy 4. Chemical analysis โดยใช้ เครื่องมือ EDXRF, SEM-EDS และ LA-ICP-MS ประกอบการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เพื่อนำผลการศึกษา มาบ่งชี้ถึงลักษณะเฉพาะทางโครงสร้างและมลทินแร่ในระดับที่เล็กมาก และสามารถนำมาอธิบาย ลักษณะปรากฏ และกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาของพลอยคอรันดัมแหล่งต่างๆ ได้

## 2. รายนามคณะผู้วิจัย

ผศ. ดร. พรสวาท วัฒนกุล	หัวหน้าโครงการ
นางวิลาวุฒย์ อติชาติ	ที่ปรึกษาโครงการ
รศ. ดร. วิสุทธิ์ พิสุทธอนนท์	ที่ปรึกษาโครงการ
นายบุญทิวี ศรีประเสริฐ	ที่ปรึกษาโครงการ
นายทนต์ ลีลาวฒนสุข	นักวิจัย
ดร. พงศกร จันทรัตน์	นักวิจัย
พ.ท. ดร. พิศุทธิ์ ดารารัตน์	นักวิจัย
นายสรพงศ์ พงศ์กระพันธ์	นักวิจัย
นายณัฐพงศ์ ไม่นถมิตร	นักวิจัย
นางสาววีรารวรรณ วิจิตรรัญจวน	นักวิจัย
ดร. วิวัฒน์ วงศ์ก่อเกื้อ	นักวิจัยสมทบ
นางสาวชนิษฐา ใจจ้อง	นักวิจัยสมทบ

นางสาวประจุพร มณีรัตนสาร  
นางสาวมนฤดี ภาวรมงคลกิจ  
นางสาวเสริมรักษ์ อิงคะวณิช

นักวิจัยสมทบ  
นักวิจัยและเลขานุการ  
นักวิจัยและผู้ช่วยเลขานุการ

3. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี พ.ศ. 2551 จำนวนเงิน 1,000,000.00 บาท

4. ระยะเวลาทำการวิจัย 7 เดือน เริ่มทำการวิจัยเมื่อ กรกฎาคม 2551

5. รายละเอียดเกี่ยวกับผลการวิจัย

### 5.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อให้มีองค์ความรู้ใหม่ในระดับลึกที่สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะเฉพาะทางโครงสร้างและมลทินแร่ในขนาดที่เล็กมาก ระดับไมโครถึงนาโนเมตรในโครงสร้างของพลอยคอร์นดัม ที่สามารถนำมาอธิบายลักษณะปรากฏ และกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาของพลอยคอร์นดัมแหล่งต่างๆ ได้

5.2 ตารางแสดงเปรียบเทียบผลการดำเนินงานตามแผนการดำเนินงานวิจัยที่เสนอไว้ (ปี พ.ศ. 2551)

กิจกรรมตามแผน	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน
<ul style="list-style-type: none"> <li>รวบรวมข้อมูลเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง</li> <li>เลือกและจัดหาตัวอย่างพลอยคอร์นดัมจากแหล่งที่น่าสนใจ</li> <li>ตรวจสอบสมบัติพื้นฐานของอัญมณี</li> <li>เตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วยเครื่องมือขั้นสูง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีข้อมูลเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย</li> <li>มีตัวอย่างพลอยคอร์นดัมจากแหล่งที่น่าสนใจอย่างน้อย 2 แหล่ง</li> <li>มีการตรวจสอบสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างคอร์นดัม</li> <li>มีการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในรูปแบบเอกสารเชิงวิชาการ และองค์ความรู้จากการวิจัยในอดีต</li> <li>มีตัวอย่างพลอยคอร์นดัมดิบจากแหล่ง Sri Lanka, ตัวอย่างทับทิมจาก แหล่ง Mong Hsu, Myanmar, ทับทิมจากแหล่ง Guinea และตัวอย่างคอร์นดัมสังเคราะห์ เพื่อการเปรียบเทียบ</li> <li>ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐาน ถ่ายภาพ และจัดทำระเบียนตัวอย่าง</li> <li>มีการเตรียมตัวอย่างโดยการตัดแบ่ง และขัดผิวเรียบ เตรียมเป็นตัวอย่างเพื่อวิจัยด้วยเครื่องมือขั้นสูง</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>● ศึกษาลักษณะและชนิดมลทินภายในตัวอย่าง</li> <li>● การทดลองเผาตัวอย่างภายใต้สภาวะ reducing หรือ oxidizing</li> <li>● ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพทางแสงโดยใช้เครื่องมือขั้นสูง เช่น FTIR, UV-Vis-NIR และเคมีเพื่อหาปริมาณธาตุร่องรอยในตัวอย่างพลอย โดย LA-ICP-MS</li> <li>● วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ SEM และ TEM</li> <li>● ศึกษารรณวิทยาแหล่งพลอยที่สำคัญ</li> <li>● ศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้เครื่องมือขั้นสูงในสถาบันต่างๆ ในต่างประเทศ</li> </ul> <p>วิเคราะห์และประเมินผลการวิจัยสรุปและวิจารณ์ผลการวิจัยและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● มีการศึกษาลักษณะและชนิดของมลทินภายในตัวอย่างที่ได้คัดเลือก</li> <li>● มีการทดลองเผาตัวอย่างภายใต้สภาวะ reducing หรือ oxidizing และศึกษามลทินในระดับไมโคร - นาโน</li> <li>● มีผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพทางแสงโดยใช้เครื่องมือขั้นสูง เช่น FTIR, UV-VIS-NIR และเตรียมวิเคราะห์ทางเคมี โดย LA-ICP-MS</li> <li>● มีผลการศึกษาตัวอย่างโดยเครื่องมือ SEM-EDS และ TEM</li> <li>● รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับธรณีวิทยาแหล่งพลอยที่คัดเลือกเป็นตัวอย่างในการศึกษา</li> <li>● มีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยเครื่องมือขั้นสูงกับสถาบันต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบ หรือยืนยันผลการวิจัย</li> <li>● รวบรวมผลการศึกษาวิจัยวิเคราะห์และประเมินผลการวิจัยพร้อมจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ทราบชนิดและความบกพร่องของโครงสร้างภายในตัวอย่างที่ได้คัดเลือก</li> <li>● นำตัวอย่างที่มีการตัดแบ่งส่วนหนึ่งนำมาเผาภายใต้สภาวะ oxidizing และอยู่ในระหว่างศึกษาชนิดและความบกพร่องของโครงสร้างในตัวอย่างส่วนหลังเผา</li> <li>● มีผลการวิเคราะห์เครื่องมือขั้นสูง ได้แก่ FTIR, UV-Vis-NIR และอยู่ในระหว่างติดต่อใช้เครื่องมือ LA-ICP-MS</li> <li>● มีผลการศึกษาตัวอย่างโดยเครื่องมือ SEM-EDS และ TEM เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึก และความบกพร่องในโครงสร้าง รวมทั้งมลทินต่างๆ และกำลังดำเนินการเพื่อทดลองเผาต่อไป</li> <li>● มีข้อมูลธรณีวิทยาแหล่งพลอย Sri Lanka และ Guinea</li> <li>● ได้นำตัวอย่างส่งไปวิเคราะห์เครื่องมือขั้นสูงเพื่อการเปรียบเทียบกับสถาบันต่างประเทศ ได้แก่ Institute of Mineralogy and Crystallography, University of Vienna และ Institute for Earth Sciences, University of Graz ประเทศออสเตรีย, Hanyang University ประเทศเกาหลีใต้ , และ Macquarie University ประเทศออสเตรเลีย</li> <li>● มีผลการวิจัยจากการศึกษาด้วยเครื่องมือพื้นฐานและเครื่องมือขั้นสูง ประมวลผลการวิจัย สรุป และวิเคราะห์วิจารณ์จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์</li> </ul>
--	---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>● เผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ได้เตรียม Abstracts เพื่อเสนอผลงานทางวิชาการในการประชุมนานาชาติ The 2<sup>nd</sup> International Gem &amp; Jewelry Conference (GIT 2008) ระหว่างวันที่ 9-10 มีนาคม 2552 จำนวน 2 เรื่อง ในหัวข้อ “TEM Investigations of Inclusions in Sapphire Samples from Sri Lanka” และ “What is Really in the Dark Core of Mong Hsu Ruby?”</li> </ul>
--	---	---

### 5.3 ผลการดำเนินงานวิจัยโดยสรุป

การศึกษาลักษณะโครงสร้างมลทินระดับไมโคร-นาโน ในพลอยคอรัันดัมครั้งนี้ ได้คัดเลือกตัวอย่างแซปไฟร์สีชุ่นจากแหล่งศรีลังกา และทับทิมแกนดำแหล่งมอญู, พม่า

จากการศึกษาในแซปไฟร์สีชุ่นจากศรีลังกานั้น พบว่า มีแนวโน้มที่ว่าการเกิดมลทินในพลอยคอรัันดัมในระดับที่เล็กมาก (ขนาดเป็นนาโนเมตร หรือไม่กี่สิบล้านไมโครเมตร) ที่เป็นมลทินแร่ที่เกิดขึ้นพร้อมกับพลอย (syngenetic) น่าจะเกี่ยวข้องกับการเกิดสีในพลอยคอรัันดัมหลังการเผา มิใช่เป็นมลทินขนาดเป็นร้อยๆ ไมโครเมตรที่มักเกิดขึ้นก่อนผลึกพลอย (progenetic inclusion) หรือมลทินทุติยภูมิ (secondary inclusion) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาด้วยเครื่องมือต่างๆ ล้วนมีความสอดคล้องและยืนยันในสมมติฐานนี้ได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ จากผลการศึกษาแซปไฟร์สีชุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า มีมลทินขนาดเล็ก อาทิเช่น แร่รูไทล์ (rutile) อยู่กระจัดกระจายมากมายทั้งในรูปผลึกและในรูปของมลทินที่มีลักษณะคล้ายเส้นเข็ม (rutile needle) ร่วมกับมลทินของแร่อื่นๆ เช่น แร่อะพาไทต์ (apatite) ควอตซ์ (quartz) ไมกา (mica) และสปิเนล (spinel) เป็นต้น อีกทั้งยังพบมลทินอื่นๆ เช่น มลทินคล้ายรอยนิ้วมือ (finger print) กลุ่มของมลทินของไหล (fluid inclusion) มลทินช่องว่างในโครงสร้าง (negative inclusion) เกิดขึ้นร่วมด้วย เป็นต้น เนื่องจากมลทินต่างๆ เหล่านี้เป็นมลทินขนาดเล็กมาก ภายใต้กล้องจุลทรรศน์จึงทำให้มองเห็นลักษณะและชนิดของมลทินบางอย่างได้ไม่ชัดเจน จึงนำตัวอย่างแซปไฟร์ดังกล่าวมาขัดเพื่อให้เห็นมลทินชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นนำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS) ในบริเวณที่มีมลทินพุ่งฝังตัวอยู่ (micro pit) ผลปรากฏว่าสิ่งที่ทำให้แซปไฟร์มีความชุ่น / ความโปร่งน้อยหรือมีหม่นนั้น เป็นมลทินที่มีขนาดเล็กมากของ rutile ( $TiO_2$ ) และ/หรือ เป็นมลทินแร่อื่นๆ เช่น ilmenite ( $FeTiO_3$ )-haematite ( $Fe_2O_3$ ) หรือ spinel [ $(Mg, Fe) Al_2O_4$ ] / ulvospinel ( $Fe_2TiO_4$ ) และ apatite  $Ca_5(PO_4)_3$  เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยเครื่องมือ Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) กล่าวคือ จะพบแร่รูไทล์ขนาดเล็กอยู่มากมายซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นแร่รูไทล์ที่เกิดการแยกตัวออกจาก host (corundum) นอกจากนี้ใน

การศึกษาด้วยเครื่อง SEM-EDS ยังพบธาตุบางชนิด เช่น Si Fe, Ti และ Mg กระจายบนผิวของตัวอย่างแชปไฟร์ จึงได้นำตัวอย่างแชปไฟร์บางตัวอย่างไปศึกษาต่อด้วยการใช้อิเล็กตรอนสำรวจแบบส่องผ่าน โดยใช้เครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) ทั้งนี้นอกจากการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของตัวอย่างแชปไฟร์พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบรอมโบฮีดรอน (rhombohedral crystal structure) แล้ว ยังสำรวจพบ บริเวณที่เกิดข้อบกพร่องของอะตอมเชิงเส้น (dislocation defect) ในโครงสร้างผลึกอีกด้วย รวมทั้งมีโครงสร้างอณูฐานอยู่ในโครงสร้างผลึก ซึ่งบ่งบอกถึงธาตุทรานซิชันที่มาจากมลทิน อันเป็นสาเหตุของการเกิดสีฟ้าในแชปไฟร์ ส่วนสาเหตุการเกิดสีชุนนั้นน่าจะมาจากการมีพหุผลึก (poly crystalline) ขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่ในโครงสร้างของแชปไฟร์เป็นสำคัญ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาในเชิง Spectrophotometry ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่า ตัวอย่างแชปไฟร์แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น  $3400 - 3900 \text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะเฉพาะของน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ในตัวอย่างพลอย ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้ว่า มีมลทินของเหลว (liquid inclusions) และ มลทินของไหล สองสถานะ (fluid inclusions) อยู่ในเนื้อพลอยจำนวนมาก อีกทั้งยัง แสดงการดูดกลืนอย่างชัดเจนที่ตำแหน่งความยาวคลื่น  $2124 \text{ cm}^{-1}$  ของโบฮีไมต์ ( $\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$ ) ซึ่งเป็นสิ่งเฉพาะตัวที่พบในแชปไฟร์จากแหล่งศรีลังกา สำหรับการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่น  $2340\text{-}2365 \text{ cm}^{-1}$  ของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) นั้น เป็นสาเหตุจากการปนเปื้อนจากบรรยากาศ ส่วนการดูดกลืนในช่วง  $2800\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับการมีธาตุที่มีประจุ  $\text{M}^{4+}$  เกิดขึ้นในแชปไฟร์ ที่มีธาตุเบริลเลียมปะปนอยู่โดยธรรมชาติซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาคู่ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง LA-ICPMS บ่งบอกถึงลักษณะของ nano structural defect ที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดความขุ่นในแชปไฟร์อีกด้วย ส่วนผลการศึกษาลักษณะการดูดกลืนในช่วง UV-Vis-NIR สรุปได้ว่า แชปไฟร์แหล่งศรีลังกาซึ่งมีการเกิดสัมพันธ์กับแหล่งหินแปร แสดงการดูดกลืนที่ตำแหน่ง  $388 \text{ nm}$  เป็นผลจาก  $\text{Fe}^{3+}$  ที่เป็นธาตุเจือปน และแสดงการดูดกลืนที่ประมาณ  $575$  และ  $588$  นาโนเมตร เนื่องมาจากการเกิด charge transfer ของ  $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$  รวมไปถึงสเปกตรัมแสดงการดูดกลืน เล็กๆ บริเวณตำแหน่ง  $405, 410$  นาโนเมตร ซึ่งบ่งบอกถึงการเจือปนอยู่เล็กน้อยของธาตุโครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ )

ในตัวอย่างทับทิมแกนดำแหล่งมอญพบว่าแกนสีเข้มหรือดำเกิดจากความบกพร่องในโครงสร้างระดับไมโคร-นาโนเมตรในบริเวณที่มีสีดำ มีน้ำใช้เกิดจากการมีธาตุให้สี เช่น Cr, Fe และ/หรือ Ti ในปริมาณที่ต่างกัน ทั้งนี้ ตัวอย่างที่นำมาศึกษามีลักษณะเฉพาะตัว คือ มีแกนสีดำ (dark core) วางตัวในแนวขนานกับแกนผลึกในบริเวณส่วนกลางของตัวอย่าง นอกจากนี้บางครั้งยังพบ blue zone patch อีกด้วย จากการศึกษาวิจัยพบว่า ในบริเวณที่เป็น core มักพบรอยแตก (healing fracture) และ micro pits จำนวนมาก เมื่อเทียบกับในบริเวณที่เป็น blue patch และ red rim ซึ่งพบรอยแตกและ micro pits น้อยรองลงมา ตามลำดับ ซึ่งรอยแตกและ micro pits ขนาดเล็กมากเหล่านั้น

หรืออาจเรียกว่า ความบกพร่องของโครงสร้างระดับไมโคร-นาโนเมตร (micro-nano defect) มีความเกี่ยวข้องกับโครงสร้างบริเวณแกนของผลึกทับทิมจากแหล่ง Mong Hsu อย่างมีนัยสำคัญ

ในส่วนของ Spectroscopy ของทับทิมแหล่งนี้ รูปแบบการดูดกลืนของคลื่นแสงในช่วง Infrared ของพลอยแหล่ง Mong Hsu ทั้ง 4 กลุ่ม คือ 1.กลุ่ม core 2. กลุ่ม blue patch 3.กลุ่ม red rim และ 4. กลุ่ม core and red rim ไม่มีความความแตกต่างกันมากนัก

แต่พลอยกลุ่มที่ 1 หรือบริเวณ dark core ไม่พบการดูดกลืนของคลื่นแสงในตำแหน่ง 3309, 3078  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงถึง O-H stretching และมีการดูดกลืนของคลื่นแสง ในตำแหน่งอื่นๆ น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพลอยกลุ่มอื่น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากตัวอย่างมีรอยแตกมากและทึบแสง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า defect มีผลต่อการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง Infrared ของตัวอย่างทับทิม

ส่วนรูปแบบการดูดกลืนรังสี UV-Vis-NIR ของทับทิมแหล่ง Mong Hsu ทั้งสี่กลุ่มดังที่กล่าวไว้เบื้องต้น มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดในการดูดกลืนรังสีที่ตำแหน่งที่ 405 nm และ 554 nm โดยกลุ่ม dark core จะมีช่วงแถบการดูดกลืนที่ค่อนข้างกว้างเมื่อเทียบกับตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ โดยที่พลอยกลุ่มที่ 2 blue patch มีแถบการดูดกลืนที่กว้างเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างกลุ่มที่ 3 red rim และ 4 core and red rim มีแถบการดูดกลืนที่แคบ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากจำนวนมากน้อยของ defects ที่พบในบริเวณนั้นๆ และ defect ยังส่งผลต่อคุณสมบัติความโปร่งแสง (transparent) ของตัวอย่างทับทิมอีกด้วย

ส่วนในช่วงการดูดกลืนรังสีย่าน 600-800 nm ตัวอย่างกลุ่มที่ 2 blue patch แสดงพีคที่ตำแหน่ง 659, 675 และ 693 nm อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกลุ่ม 1 core และ กลุ่ม 4 core and red rim แต่ในตัวอย่างกลุ่มที่ 3 red rim พบพีคเฉพาะตำแหน่งที่ 693 nm ไม่พบพีคที่ตำแหน่งที่ 659 และ 675 nm

นอกจากนี้ในช่วง 300-400 nm ความชันของ UV-Vis-NIR spectra ของตัวอย่างทับทิมทั้ง 4 กลุ่มมีความแตกต่างกัน โดยตัวอย่างกลุ่มที่ 3 red rim จะมีความชันมากที่สุด ตัวอย่างกลุ่มที่ 2 blue patch และตัวอย่างกลุ่มที่ 4 core and red rim มีความชันซึ่งคล้ายกันรองลงมา ส่วนตัวอย่างกลุ่มที่ 1 core มีความชันน้อยที่สุด ทั้งนี้ปริมาณ defect ส่งผลต่อความชันของ spectra โดยตัวอย่างซึ่งมีปริมาณ defect มากความชันในช่วง 300-400 nm จะน้อย ส่วนตัวอย่างที่มีปริมาณ defect น้อยความชันในช่วง 300-400 nm จะมีค่ามาก

#### 5.4 คำชี้แจงเกี่ยวกับปัญหาและหรืออุปสรรค

- งาน Micro-Nano จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่อยู่ต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่
- การเตรียมตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ TEM ต้องอาศัยเวลาและความสามารถที่สูง

(ลงชื่อ).....หัวหน้าโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรสวาท วัฒนกุล)