

สัญญาเลขที่ RDG 5750131

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพอัญมณี

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ผศ. ดร. กันตพัฒน์ กิตติธวัชวาลย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ผศ. ดร. จักรพงษ์ แก้วขาว	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ผศ. ดร.ณัฐพล ศรีสุทธิโกศลกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ดร. ยศกิต เรืองทวีป	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ชื่อเรื่อง	: นวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพอัญมณี
ผู้วิจัย	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนต์พัฒน์ กิตติอัฐวาลย์
	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ แก้วขาว
	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ศรีสิทธิโกกุล
	: อาจารย์ ดร.ยศกิต เรืองทวีป
ปีที่วิจัย	: 2558

บทคัดย่อ

ในแผนงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 โครงการย่อยคือ การพัฒนาแก้วปลอดตะกั่วเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพลอย และการพัฒนาอัญมณีประดิษฐ์เปลี่ยนสีได้ชนิดใหม่ ซึ่งให้ผลของการดำเนินงานดังนี้

การพัฒนาแก้วปลอดตะกั่วเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพลอย โดยเลือกใช้บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) ที่ให้ค่าดัชนีหักเหสูง มีสีน้ำตาล และช่วยลดความหนืดของแก้ว แทนที่ตะกั่วออกไซด์ (PbO) สำหรับเตรียมแก้วตัวอย่างเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพลอย จากนั้นได้นำแก้วตัวอย่างไปเผาพร้อมกับพลอยทับทิมและพลอยสีเขียวที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางแสง ได้แก่ ลักษณะทั่วไปโดยการส่อง องค์ประกอบและโครงสร้างของพลอย ค่าการดูดกลืนแสงช่วงยูวี-วิสิเบิลและค่าสี ค่าความหนาแน่น สามารถสรุปได้ว่า แก้วสูตรที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะแก่เผาพร้อมกับพลอยทับทิมเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

สำหรับการพัฒนาอัญมณีประดิษฐ์เปลี่ยนสีได้ชนิดใหม่ ทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาสูตรแก้วใสให้มีสมบัติการเปลี่ยนสีได้ โดยการเติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 เข้าไปในโครงสร้างแก้วเพื่อศึกษาสมบัติการเปลี่ยนสี การวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่าทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ Ho_2O_3 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง พบว่าพีคของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 -1100 นาโนเมตร สามารถแบ่งออกเป็น 8 ช่วง คือ ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 360, 385, 420, 460, 480, 540, 640 และ 900 นาโนเมตร ตามลำดับ ในการทดสอบการเปลี่ยนสีในแก้ว เมื่อฉายแสงฟลูออเรสเซนต์ (แสงขาว) และแสงอินแคนเดสเซนต์ (แสงส้ม) ลงในชิ้นงานตัวอย่าง จะพบว่าเมื่อฉายแสงขาวแก้วที่ได้จะมีสีส้มแกมชมพู และฉายแสงสีส้มแก้วที่ได้จะมีสีเขียวอมเหลืองอ่อน จากนั้นนำแก้วเปลี่ยนสีที่ได้มาทำการเติมผสมด้วยธาตุอื่นที่ทำให้เกิดสีในแก้วได้แก่ Cr_2O_3 Fe_2O_3 MnO_2 CoO CuO และ NiO โดยเติมในปริมาณที่แตกต่างกัน และเติมในช่วงที่เหมาะสมในการเกิดสี เพื่อให้เกิดรูปแบบการเปลี่ยนสีที่หลากหลาย ซึ่งพบว่า

แก้วตัวอย่างเติม Cr_2O_3 ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพู ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 0.02 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ Cr_2O_3 ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีเขียวเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเขียวอ่อนทั้งหมด

แก้วที่เติม MnO_2 ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพูทั้งหมด และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเหลืองอ่อนทั้งหมด

แก้วที่เติม Fe_2O_3 ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพู ที่ความเข้มข้น 0.0 ถึง 0.4 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ Fe_2O_3 ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีเหลืองเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเหลืองอ่อนทั้งหมด

แก้วที่เติม CoO ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีฟ้าอ่อนค่อนข้างทางสีน้ำเงินจนกลายเป็นสีน้ำเงินเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเขียว และมีสีฟ้าอ่อนจนกลายเป็นสีน้ำเงินตามความเข้มข้นของปริมาณ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น

แก้วที่เติม NiO ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพู ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 0.02 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ NiO ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 0.01 สีของแก้วตัวอย่างที่ได้จะมีสีเขียว เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ NiO ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น

แก้วที่เติม CuO ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 0.0 ถึง 0.1 สีของแก้วตัวอย่างที่ได้จะมีสีส้มแกมชมพู เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ CuO ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีฟ้าเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเขียวอ่อนทั้งหมด

จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าสีของแก้วตัวอย่างที่ได้ กับค่าสีจากอัญมณีในธรรมชาติที่ใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากค่าสีในระบบ $\text{CIE L}^*\text{a}^*\text{b}^*$ ของแก้วตัวอย่าง จะพบว่า

ตัวอย่างแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้น 0.02 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Apatite สีเหลืองอมเขียว

ตัวอย่างแก้วที่เติม MnO_2 ที่ความเข้มข้น 0.8 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Amblygonite สีเหลืองอ่อน

ตัวอย่างแก้วที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้น 0.4 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Apatite สีเหลือง

ตัวอย่างแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้น 0.01 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Miscellaneous สีเหลืองอมเขียวอ่อน

ตัวอย่างแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้น 0.05 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Euclase สีเหลืองอมเขียวอ่อน

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปี 2551 อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการส่งออกสูงอยู่ใน 5 อันดับแรกของมูลค่าสินค้าส่งออกสำคัญ ของไทยในหมวดสินค้าอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดการพัฒนาของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกัน ตั้งแต่การทำเหมืองแร่ การเจียรไน การออกแบบ การทำและประกอบตัวเรือน การผลิตเครื่องมือเครื่องจักรในการเจียรไนพลอย และการทำวัสดุหีบห่อ เป็นต้น ก่อให้เกิดการจ้างงานสูงถึงประมาณ 8 แสน ถึง 1.3 ล้านคน มีโรงงานที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 939 โรง ด้วยจำนวนเงินลงทุน 17,633 ล้านบาท อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับจึงเป็นอุตสาหกรรมหลักประเภทหนึ่งที่สำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตและการค้าอัญมณี และเครื่องประดับที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลกโดยเฉพาะทับทิมและแซฟไฟร์จัดเป็นอัญมณีที่สำคัญ และมีมูลค่าการส่งออกมากที่สุดของประเทศนอกเหนือจากเพชรเจียรไน แต่ในปัจจุบันเป็นที่รู้กันดีในวงการค้าอัญมณีว่าแหล่งวัตถุดิบพลอยของเมืองไทยมีการผลิตได้น้อยมาก มีเหมืองพลอยไม่กี่แห่งที่ยังประกอบการอยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวัตถุดิบจากภายนอกประเทศนำเข้ามาเพิ่มมูลค่าด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อนำไปเจียรไนต่อไป แต่ในการเพิ่มมูลค่าพลอยนั้นยังเป็นการที่เป็นการเพิ่มความลับของนักเผาพลอยแต่ละคน การเผาพลอยเพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการจะใช้เวลาการลองผิดลองถูกเป็นเวลานาน ทำให้พลอยได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมากกว่าจะได้สีที่ดี พลอยที่ได้จากแหล่งต่างกันจะต้องมีวิธีการเผาต่างกัน เพื่อเป็นการหาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในด้านการเผาพลอยและให้เป็นที่ยอมรับของตลาด จึงควรมีการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การปรับปรุงคุณภาพพลอยโดยที่ไม่มีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจนนั้น จะมีผลกระทบต่อมูลค่าทางเศรษฐกิจและความเชื่อมั่นของพลอยที่ปรับปรุงจากประเทศไทยมาแล้ว เช่น กรณีการเผาพลอยด้วยแบริเลียมเป็นต้น ดังนั้นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะเป็นตัวที่สร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ประกอบการ และทำให้ประเทศไทยไม่ตกเป็นเบี้ยล่างการโจมตีจากต่างชาติ จนทำให้พลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดนกดราคาและได้รับความไม่เป็นธรรมนอกจากนั้นแล้วในวงการอัญมณีและเครื่องประดับ พลอยที่สามารถเปลี่ยนสีได้ (Color Change Stone) เช่น Alexandrite, Sapphire หรือ Garnet เป็นพลอยที่ได้รับความนิยมอย่างสูง และจะมีราคาค่อนข้างสูงและยังมีสีให้เลือกอยู่ในโทนสีน้อยมาก เนื่องจากเป็นพลอยที่เกิดจากธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาไปถึงการออกแบบเครื่องประดับ ซึ่งต้องอิงสีจากตัวพลอยเป็นหลัก จึงเสียโอกาสในการเพิ่มมูลค่า (Add Value) ของผลิตภัณฑ์ไปอย่างน่าเสียดาย ซึ่งคำตอบของการเปลี่ยนสีได้นี้ทางคณะผู้วิจัยได้ศึกษามาเบื้องต้นแล้วพบว่าเกิดจากธาตุหายาก (Rare Earth) บางชนิดที่ผสมอยู่ในโครงสร้างแก้วในปริมาณที่เหมาะสม และเป็นความลับในวงการอัญมณีเทียมและอัญมณีสังเคราะห์ที่ไม่ได้เปิดเผยองค์ความรู้แก่สากล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาอัญมณีเทียมจากเนื้อแก้วที่สามารถเปลี่ยนสีได้เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขแสงต่างชนิดกันด้วยโดยการเติมออกไซด์ของธาตุหายากแต่ละชนิด (ซึ่งไม่ค่อยมีการศึกษาการเกิดสีของแก้วจากธาตุหายากอยู่แล้ว แต่มักจะไปศึกษาจากธาตุทรานซิชันแทน) เข้าในโครงสร้างแก้วในปริมาณต่างกันเพื่อศึกษาผลการเกิดสี และการเปลี่ยนสีของแก้ว จากนั้นพัฒนาสูตรแก้วเปลี่ยนสีได้ให้มากที่สุด เพื่อใช้เป็นอัญมณีเทียมซึ่งเป็นจุดที่วงการอัญมณีเทียมตลาดคลอน รวมไปถึงพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องประดับและของตกแต่งจากงานวิจัยให้สามารถใช้ได้จริงเชิงพาณิชย์ได้ทันที เพื่อพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันด้านอัญมณีและเครื่องประดับที่ต้องปรับตัวอย่างสูงในปัจจุบัน

ประเทศไทยมีการทำงานวิจัยทางด้านอัญมณีน้อยมากดังนั้นหากมีการพัฒนา นักวิทยาศาสตร์ตลอดจนบุคลากรในสายงานจะเป็นประโยชน์ของประเทศชาติต่อไป ซึ่งผลจาก แผนงานการวิจัยนี้ยังได้ผลิตนักศึกษาระดับปริญญาเอก และคาดว่าจะมีบทความตีพิมพ์ในวารสาร ระดับนานาชาติได้อีก 2 บทความ อย่างเพื่อเป็นการยืนยันผลทางวิทยาศาสตร์จากคณะ วิทยาศาสตร์จากคณะผู้วิจัยที่มีความชำนาญอย่างสูงด้านการปรับปรุงคุณภาพอัญมณี สังเคราะห์อัญ มณี และคณะผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ อันจะส่งผลให้เกิด การยอมรับและพัฒนาวงการพลอย และการปรับปรุงคุณภาพพลอยในประเทศให้ก้าวหน้าและเป็นที่ยอมรับของสากล

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการเผาพลอยด้วยขั้นตอนและวิธีการทางวิทยาศาสตร์
2. เพื่อศึกษาและหาเงื่อนไขในการเผาพลอยที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มมูลค่าพลอย
3. เพื่อพัฒนาอัญมณีเทียมสำหรับทดแทนอัญมณีจริง

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำ ผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- พัฒนานองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของการปรับปรุงคุณภาพอัญมณีให้เป็นที่ยอมรับในระดับ สากลได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพอัญมณี
- พัฒนานักศึกษาระดับปริญญาเอกและบุคลากรในประเทศ
- ลดการเสียเปรียบทางการค้าอัญมณีกับต่างประเทศ
- ได้สูตรและเนื้ออัญมณีเทียมที่เปลี่ยนสีได้ เพื่อทดแทนอัญมณีจริง และลดการนำเข้าอัญมณี จากต่างประเทศ
- พัฒนานองค์ความรู้ด้านอัญมณีเทียมและอัญมณีสังเคราะห์ให้ทัดเทียมกับนานาชาติ

4. ผลการดำเนินการ

ในแผนงานนี้ประกอบด้วย 2 โครงการย่อยคือ การพัฒนาแก้วปลอดตะกั่วเพื่อใช้ในการ ปรับปรุงคุณภาพพลอย และ การพัฒนาอัญมณีประดิษฐ์เปลี่ยนสีได้ชนิดใหม่ ซึ่งให้ผลของการ ดำเนินงานดังนี้

การพัฒนาแก้วปลอดตะกั่วเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพลอย โดยเลือกใช้บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) ที่ให้ค่าดัชนีหักเหสูง มีสีน้ำตาล และช่วยลดความหนืดของแก้ว แทนที่ตะกั่วออกไซด์ (PbO) สำหรับเตรียมแก้วตัวอย่างเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพลอย จากนั้นได้นำแก้วตัวอย่าง ไปเผาพร้อมกับพลอยทับทิมและพลอยสีเขียวที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์ สมบัติทางกายภาพและทางแสง ได้แก่ ลักษณะทั่วไปโดยการส่อง องค์ประกอบและโครงสร้างของ พลอย ค่าการดูดกลืนแสงช่วงยูวี-วิสิเบิลและค่าสี ค่าความหนาแน่น สามารถสรุปได้ว่าแก้วสูตรที่ พัฒนาขึ้นนี้เหมาะแก่เผาพร้อมกับพลอยทับทิมเพื่อปรับปรุงคุณภาพพลอยโดยรายละเอียดได้แสดงไว้ใน รายงานของโครงการย่อยที่ 1

สำหรับการพัฒนาอัญมณีประดิษฐ์เปลี่ยนสีได้ชนิดใหม่ ทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาสูตรแก้วใส ให้มีสมบัติการเปลี่ยนสีได้ โดยการเติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 เข้าไปในโครงสร้างแก้วเพื่อศึกษา สมบัติการเปลี่ยนสี การวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่า ทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ Ho_2O_3 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง พบว่า

พิกของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 -1100 นาโนเมตร สามารถแบ่งออกเป็น 8 ช่วง คือ ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 360, 385, 420, 460, 480, 540, 640 และ 900 นาโนเมตร ตามลำดับ ในการทดสอบการเปลี่ยนสีในแก้ว เมื่อฉายแสงฟลูออเรสเซนซ์ (แสงขาว) และแสงอินแคนเดสเซนซ์ (แสงส้ม) ลงในชิ้นงานตัวอย่าง จะพบว่าเมื่อฉายแสงขาวแก้วที่ได้จะมีสีส้มแกมชมพู และฉายแสงสีส้มแก้วที่ได้จะมีสีเขียวอมเหลืองอ่อน

จากนั้นนำแก้วเปลี่ยนสีที่ได้มาทำการเติมผสมด้วยธาตุอื่นที่ทำให้เกิดสีในแก้วได้แก่ Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO_2 , CoO , CuO และ NiO โดยเติมในปริมาณที่แตกต่างกัน และเติมในช่วงที่เหมาะสมในการเกิดสี เพื่อให้เกิดรูปแบบการเปลี่ยนสีที่หลากหลาย ซึ่งพบว่า

แก้วตัวอย่างเติม Cr_2O_3 ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพู ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 0.02 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ Cr_2O_3 ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีเขียวเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเขียวอ่อนทั้งหมด

แก้วที่เติม MnO_2 ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพูทั้งหมด และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเหลืองอ่อนทั้งหมด

แก้วที่เติม Fe_2O_3 ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพู ที่ความเข้มข้น 0.0 ถึง 0.4 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ Fe_2O_3 ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีเหลืองเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเหลืองอ่อนทั้งหมด

แก้วที่เติม CoO ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีฟ้าอ่อนค่อนข้างไปทางสีน้ำเงินจนกลายเป็นสีน้ำเงินเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเขียว และมีสีฟ้าอ่อนจนกลายเป็นสีน้ำเงินตามความเข้มข้นของปริมาณ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น

แก้วที่เติม NiO ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ สีที่ได้มีสีส้มแกมชมพู ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 0.02 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ NiO ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 0.01 สีของแก้วตัวอย่างที่ได้จะมีสีเขียว เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ NiO ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น

แก้วที่เติม CuO ในปริมาณต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 0.0 ถึง 0.1 สีของแก้วตัวอย่างที่ได้จะมีสีส้มแกมชมพู เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ CuO ให้มากขึ้น แก้วตัวอย่างจะมีสีฟ้าเข้มมากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้แสงอินแคนเดสเซนซ์ สีที่ได้มีสีเขียวอ่อนทั้งหมด

จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าสีของแก้วตัวอย่างที่ได้ กับค่าสีจากอัญมณีในธรรมชาติที่ใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของแก้วตัวอย่าง จะพบว่า

- ตัวอย่างแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้น 0.02 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Apatite สีเหลืองอมเขียว
- ตัวอย่างแก้วที่เติม MnO_2 ที่ความเข้มข้น 0.8 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Amblygonite สีเหลืองอ่อน
- ตัวอย่างแก้วที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้น 0.4 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Apatite สีเหลือง

- ตัวอย่างแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้น 0.01 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Miscellaneous สีเหลืองอมเขียวอ่อน
- ตัวอย่างแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้น 0.05 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าระบบสีใกล้เคียงกับ Euclase สีเหลืองอมเขียวอ่อน

หลังจากทำการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้ว ทางผู้วิจัยได้ลองนำสูตรแก้วที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการผลิตจริงที่โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งพบว่าสามารถผลิตได้จริง อีกทั้งยังคงมีสมบัติการเปลี่ยนสีที่ชัดเจน

5. การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ทางโครงการวิจัยได้นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์โดยการเผยแพร่ใน 2 รูปแบบคือ

1. นำเสนอผลการวิจัยของโครงการย่อยที่ 1 และ 2 ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ICAPMA 2015 เมื่อวันที่ 28-30 พฤษภาคม 2558
2. จัดการประชุมเพื่อเผยแพร่ผลงานให้แก่ผลเกี่ยวข้องทั้งผู้ประกอบการ นักวิจัย อาจารย์ และนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ณ เกาะกอกญ์รือร์จ จังหวัดกาญจนบุรี เมื่อวันที่ 24 กันยายน 2558