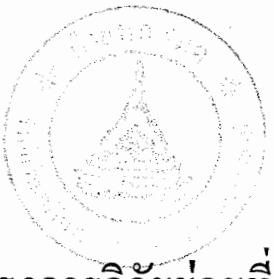
รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชุดโครงการวิจัย การพัฒนาขีดความสามารถในการสร้างชิ้นงานหัตถกรรมแก้วศิลป์ เพื่อสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจระดับชุมชน



โครงการวิจัยย่อยที่ 3

การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลขยะแก้วเพื่อสร้างเป็นชิ้นงานแก้วศิลป์

โดย

รศ. จินตนา เหล่าไพบูลย์ และคณะ

ตุลาคม 2551

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชุดโครงการวิจัย การพัฒนาขีดความสามารถในการสร้างชิ้นงานหัตถกรรมแก้วศิลป์ เพื่อสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจระดับชุมชน

Performance Enhancement of the Glass Handicraft to strengthening the Local Economics

โครงการวิจัยย่อยที่ 3

การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลขยะแก้วเพื่อสร้างเป็นชิ้นงานแก้วศิลป์

Development of Recycle Process of Glass Waste for Used as Raw Material in the Art Works

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. รศ. จินตนา เหล่าไพบูลย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. รศ. เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2549 – 2551

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย ม.อุบลฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยชุดบูรณาการ เรื่อง การพัฒนาขีดความสามารถในการสร้างชิ้นงานหัตถกรรมแก้วศิลป์ เพื่อสร้างความแข็งแข็งทางเศรษฐกิจระดับชุมชน (Performance Enhancement of the Glass Handicraft to Strengthening the Local Economics) ประกอบด้วยโครงการย่อย 4 โครงการ คือ

1. การพัฒนาเตาต้นแบบสำหรับการผลิตแท่งแก้วในระดับชุมชน
   (Development of the Prototype Furnace for Colored Glass Production in a Local Scale)
2. การพัฒนาเนื้อแก้วสำหรับงานศิลป์โดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นภาคอีสาน
   (Development of Colored Glass for the Art Glass by Using Local Raw Materials of North-Eastern Thailand)
3. การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลขยะแก้วเพื่อสร้างเป็นชินงานแก้วศิลป์
   (Process Development Glass for Used as Raw Material in the Art Works)
4. การพัฒนาการออกแบบและการสร้างชิ้นงานแก้วศิลป์ เพื่อเป็นสินค้า Smart OTOP
   (Development of Product Designs of the Art Glass as the Smart OTOP Production)

ในโครงการย่อยที่ 3 นั้น คณะผู้วิจัยฯได้นำขยะรีไซเคิลประเภทต่าง ๆเช่น ขวดเบียร์ลีโอ ขวดเบียร์ไฮนาเก้น ขวดน้ำ ขวดน้ำปลา ฯลฯ และนำขยะเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์มาทำการศึกษาและวิจัยพัฒนาเป็นเนื้อแก้วสำหรับงานศิลป์ ปรากฏว่าได้แก้วสีจำนวน 18 สี เนื้อแก้วที่ได้สามารถนำไปเจียรไนและนำไปเป็นเครื่องประดับประเภท แหวน จี้ และต่างหูที่มีความสวยงาม อีกทั้งกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการทดลองดึงเนื้อแก้วให้เป็นแท่งเพื่อนำไปใช้ในการสร้างศิลปะบนลูกปัดแก้ว พบว่า เนื้อแก้วที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสร้างชิ้นงานลูกปัดแก้วร่วมสมัยได้อย่างสวยงามไม่เกิดรอยร้าว ไม่แตกต่างจากการนำแท่งแก้วสีที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพง ซึ่งผลงานที่ได้จากการวิจัยทางกลุ่มวิจัยได้มีโอกาสไปจัดแสดงนิทรรศการต่าง ๆ เพื่อเป็นการเผยแพร่ผลงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง เช่น ในระหว่างวันที่ 9 – 13 มกราคม 2550 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการถนนคนเดิน ที่ชื่อว่า เส้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพ ฯ โดยมี ศ.ดร.ยงยุทธ ยุทธวงศ์ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นประธานเปิดงานนิทรรศการเนื่องในสัปดาห์วันเด็กแห่งชาติ ในระหว่างวันที่ 2 – 11 มีนาคม 2550 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการในงานวันเกษตรแห่งชาติ ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีรัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ท่านธีระ สูตะบุตร เป็นประธานในพิธีเปิดงาน ในวันที่ 26 ธันวาคม 2550 ถึง วันที่ 7 มกราคม 2552 กลุ่มผู้วิจัยได้ถูกเชิญให้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการในงานกาชาด ประจำปี 2551 ณ บริเวณทุ่งศรีเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ในวันที่ 27

กุมภาพันธ์ 2551 ผู้วิจัยได้ถูกเชิญให้เข้าร่วมสัมมนาและนำผลงานที่เกิดจากการทำวิจัยไปจัดนิทรรศการแลกเปลี่ยนเรียนรู้การทบทวนและขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การจัดการขยะ ณ ห้องประชุมรามอินทรา 1 โรงแรมหลุยส์เทเวิร์น กรุงเทพ ฯ ในงานดังกล่าวเป็นการนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะ โดยการนำขยะมาทำการรีไซเคิลเพื่อดัดแปลงและเพิ่มมูลค่าของขยะให้เป็นสินค้าจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งในงานดังกล่าวมีผู้ที่ให้ความสนใจและสอบถามข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลงานวิจัยเป็นจำนวนมาก และในระหว่างวันที่ 12-16 กันยายน 2551 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการในงาน การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2551 (Thailand Research Expo 2008) ณ ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทัลเวิลด์ราชประสงค์ กรุงเทพ ฯ จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ซึ่งจากการนำเสนอผลงานวิจัยไปนำเสนอในงานต่าง ๆ นั้น ได้รับความสนใจจากผู้เข้าร่วมงานเป็นจำนวนมาก และผลสำเร็จอีกประการจากชุดบูรณาการดังกล่าวยังส่งผลให้เกิดผู้ประกอบการที่ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากงานวิจัยและนำเทคโนโลยีที่ได้ไปทำการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จัดจำหน่ายภายใต้ชื่อบริษัท U.B. Glass โดยมีหน่วยบ่มเพาะวิสาหกิจ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นผู้ให้การสนับสนุน เพื่อผลักดันให้เกิดการนำเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยออกสู่เชิงพาณิชย์

1. **วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

เพื่อสังเคราะห์แก้วสีให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้สร้างเป็นชิ้นงานหัตถกรรมแก้วศิลป์ โดยใช้วัตถุดิบเป็นขวดแก้วใช้แล้วและเศษแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นวัตถุดิบ โดยใช้เทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง

2. **ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ**

2.1 ได้เทคโนโลยีในการหลอมเศษวัสดุประเภทแก้วให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในงานหัตกรรมแก้วศิลป์

2.2 ประโยชน์ในด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการนำเศษแก้วกับมาใช้ใหม่เป็นการลดปริมาณขยะที่ย่อยสลายยาก ซึ่งทำให้ความเป็นมลพิษลดลงและลดงบประมาณที่จะต้องลงทุนสำหรับการกำจัดขยะประเภทนี้

2.3 ประโยชน์ในด้านการพัฒนาความเป็นอยู่ของชุมชนโดยการมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการกำจัดและเพิ่มมูลค่าของสิ่งเหลือทิ้งจะยังประโยชน์โดยตรงต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนและเป็นการส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดี

3. **ระเบียบวิธีวิจัย**

3.1 รวบรวมขยะแก้วและทำการแยกคัดแยกประเภท

ทำการรวบรวมขยะแก้วจากขวดแก้วที่ใช้บรรจุเครื่องบริโภคต่าง ๆ และทำการคัดแยกประเภทขยะแก้วเหล่านั้น โดยพิจารณาสีของขวดบรรจุภัณฑ์

3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วแต่ละประเภท

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะแก้วที่ทำการคัดแยกแล้วด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

3.3 ออกแบบส่วนผสมเพิ่มเติมและเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง

หาสูตรแก้วรีไซเคิลเพื่อเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง

3.4 การปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมลงในสูตรแก้วรีไซเคิล

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแก้วที่เตรียมได้ เพื่อปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมของเนื้อแก้ว

3.5 ปรับแต่งส่วนผสมและเทคนิคการหลอมให้แก้วมีคุณสมบัติเหมาะสมมากกว่าเดิม

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแก้วที่ปรับแต่งส่วนผสมและเทคนิคการหลอม เพื่อทำให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานทางด้านแก้วศิลป์

3.6 นำแก้วตัวอย่างที่ได้ผลิตชิ้นงานแก้วศิลป์

นำแก้วตัวอย่างที่ได้ผลิตเป็นลูกปัดแก้วต้นแบบ

3.7 เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.8 สรุปและเขียนรายงานการวิจัย

4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 เป็นการรีไซเคิลแก้วสีที่เป็นขยะแก้วโดยใช้กระบวนการหลอม

4.2 ใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ วิเคราะห์องค์ประกอบของแก้ว

4.3 ใช้หลักการของอาร์เคมิดิสหาค่าความหนาแน่นของแก้ว

4.4 ใช้เทคนิคคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิคทดสอบคุณสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

- โมดูลัสตามยาว
- โมดูลัสเฉือน
- โมดูลัสเชิงปริมาตร
- ค่ายังโมดูลัส
- ค่าความแข็ง

4.5 ปรับแต่งองค์ประกอบของแก้วโดยการเติมทรายแก้ว สารอื่นที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของขยะแก้วและดึงแก้วเพื่อเตรียมไว้ใช้งานในการเป่าแก้วศิลป์

5. ระยะเวลาการทำวิจัย

ระยะการทำวิจัย จำนวน 3 ปี (ปีงบประมาณ 2549-2551)

สถานที่ทำการทดลอง และหรือเก็บข้อมูล

: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. งบประมาณการวิจัย

งบประมาณการวิจัยรวมเท่ากับ 887,100 บาท โดยเป็นงบประมาณที่ได้รับจัดสรรในปี 2549 เป็นจำนวนเงิน 292,100 บาท (สองแสนเก้าหมื่นสองพันหนึ่งร้อยบาทถ้วน) งบประมาณที่ได้รับจัดสรรในปี 2550 เป็นจำนวนเงิน 321,600 (สามแสนสองหมื่นหนึ่งพันหกร้อยบาทถ้วน) และงบประมาณที่ได้รับจัดสรรในปี 2551 เป็นจำนวนเงิน 273,400 (สองแสนเจ็ดหมื่นสามพันสี่ร้อยบาทถ้วน)

7. **ผลสำเร็จที่ได้**

ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยในปีงบประมาณ 2549 คือ

- ได้เทคโนโลยีการรีไซเคิลขยะที่เป็นแก้วโซดาไลม์ ทั้งแก้วสีและแก้วใสจำนวน 3 สูตรสี
- ได้สูตรการปรับแต่งแก้วสีให้มีคุณสมบัติที่ดีเหมาะที่จะนำไปใช้งานศิลป์

ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยในปีงบประมาณ 2550

- ได้เทคโนโลยีการรีไซเคิลขยะแก้วที่เป็นแก้วโซดาไลม์ ทั้งแก้วสีและแก้วใสจำนวน 3 สูตรสี
- ได้สูตรการปรับแต่งแก้วสีให้มีคุณสมบัติที่ดีเหมาะที่จะนำไปใช้งานศิลป์
- ได้เทคโนโลยีการรีไซเคิลขยะแก้วที่เป็นแก้ววิทยาศาสตร์
- ร่วมประชุมสัมนาเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย

ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยในปีงบประมาณ 2551

- ได้ข้อมูลต้นทุนการผลิตเป็นราคาแท่งแก้วที่ได้จากการวิจัยเทียบกับราคาแท่งแก้วที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ
- ได้ตัวอย่างลูกปัดแก้วร่วมสมัยที่ใช้แก้วที่พัฒนาจากแก้วรีไซเคิล
- ได้ตัวอย่างเครื่องประดับแก้วเจียระไนที่ใช้แก้วที่พัฒนาจากแก้วรีไซเคิล
- ร่วมประชุมสัมนาเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยชุดโครงการวิจัยเรื่อง "การพัฒนาขีดความสามารถในการสร้างชิ้นงานหัตถกรรมแก้วศิลป์ เพื่อสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจระดับชุมชน" ใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อผู้ที่มีส่วนให้การสนับสนุนในโครงการวิจัยดังนี้

ผศ.ดร.กังวาล ธรรมแสง รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย (พ.ศ. 2549 - ปัจจุบัน) และ รศ.สมหมาย ชินนาค รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย (พ.ศ. 2547 - 2548) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2549 - 2551 ทำให้สามารถดำเนินการวิจัยได้อย่างต่อเนื่อง

คุณ อภิญญา พิทักษา นักวิชาการเงินและบัญชี ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ช่วยให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการทำเอกสารเบิกจ่ายเงินโครงการวิจัยให้เป็นไปตามระเบียบราชการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณหน่วยงานที่ทำให้งานวิจัยนี้เกิดขึ้น คือ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2549 ถึงปีงบประมาณ 2551 ทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์แก้วสีให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้สร้างเป็นชิ้นงานหัตถกรรมแก้วศิลป์ โดยใช้วัตถุดิบเป็นขวดแก้วใช้แล้วและเศษแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นวัตถุดิบ โดยใช้เทคนิคการหลอมที่อุณภูมิสูง และใช้สารเติมแต่งเพื่อให้คุณภาพแก้วที่ดี ผลการวิจัยทำได้ทำการแยกขยะแก้วออกเป็น 6 ประเภท คือ แก้วใส แก้วสีเขียว แก้วสีน้ำตาล แก้วสีน้ำเงิน แก้วสีฟ้าและแก้ววิทยาศาสตร์ และเมื่อนำขยะแก้วไปทำการศึกษาหาองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ได้ผลการศึกษาดังนี้

แก้วใสมีองค์ประกอบทางเคมีคือ Si, Na, Mg, Al, S, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr, และ Cl

แก้วสีเขียวมีองค์ประกอบทางเคมีคือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Sr, As, Zr และ Pb

แก้วสีน้ำตาลมีองค์ประกอบทางเคมีคือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr และ Cl

แก้วสีน้ำเงินมีองค์ประกอบทางเคมีคือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Sr, Zr และ Co

แก้วสีฟ้ามีองค์ประกอบทางเคมีคือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Sr, Zr, Pb, Cl, Co และ Cu

แก้ววิทยาศาสตร์มีองค์ประกอบทางเคมีคือ Si, Na, Al, K, O และ B

เมื่อนำแก้วใสมาปรุงส่วนผสมและเติมโลหะออกไซด์จะได้แก้วสีต่าง ๆ ดังนี้คือ สีฟ้าเติมโลหะออกไซด์ของทองแดง สีเขียวเติมโลหะออกไซด์ของโครเมียม สีน้ำตาลเติมโลหะออกไซด์ของเหล็ก สีน้ำเงินเติมโลหะออกไซด์ของโคบอลท์

ส่วนผสมของแก้วรีไซเคิลที่เหมาะสมมีอยู่ 3 แบบคือ

1) เศษแก้วชนิด X (เศษแก้วใส/เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน) : โซเดียมคาร์บอเนต เป็น 1.50:1.00

2) เศษแก้วสี Y (เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน) :เศษแก้วสี Z (เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน) : โซเดียมคาร์บอเนต เป็น 0.70:0.70:1.00

3) เศษแก้วใส: โซเดียมคาร์บอเนต: ตะกั่วออกไซด์: ออกไซด์โลหะอื่น เป็น 1.40:1.00:0.40:(0.05-0.20) ซึ่งปริมาณออกไซด์โลหะที่เติมจะมีผลต่อความเข้มข้นของสีแก้วที่ได้

ความหนาแน่นของแก้วอยู่ในช่วง 2.5906-2.9475 g/cm^3 ค่าโมดูลัสตามยาวอยู่ในช่วง 82.0284-100.0946 MPa ค่าโมดูลัสเฉือนอยู่ช่วง 26.2975-48.2637 MPa ค่าบัดโมดูลัสอยู่ในช่วง 32.4300-69.5103 MPa ค่าปัวซองอยู่ในช่วง 0.0359-0.2684 MPa ค่ายังโมดูลัสอยู่ในช่วง 38.4785-92.8304 MPa และค่าความแข็งอยู่ในช่วง 2.3420-12.5544 MPa

แก้วสีที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีคือ มีสีและความแวววาวที่สวยงามสามารถนำไปเป่าขึ้นรูปเป็นลูกปัดและนำไปเจียระไนเป็นเครื่องประดับที่มีความงดงามและมีราคาของเนื้อแก้วต่ำกว่าแก้วที่นำเข้าจากต่างประเทศ

Abstract

The objective of this research was to synthesize the color of glass in order for it to be suitable for producing handicraft artwork by extensively using recycled glass bottles and recycled glass. Using this glass in a laboratory as a raw material via high temperature melting techniques and using additives in order to produce the best quality of glass. From the research, it was shown that glass rubbish could be separated into 6 types i.e. transparent glass, green glass, brown glass, navy blue glass, light blue glass and scientific glass and when these glasses were studied to find the elemental composition, by using X-ray fluorescence, the result were as follows:

Transparent glass is composed of chemicals as follows: Si, Na, Mg, Al, S, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr and Cl

Green glass is composed of chemicals as follows: Si, Na, Mg, Al, K , Ca, Ti, Cr, Fe, Sr, As, Zr and Pb

Brown glass is composed of chemicals as follows: Si, Na, Mg, Al, K , Ca, Ti, Fe, Sr, Zr and Cl

Navy blue glass is composed of chemicals as follows: Si, Na, Mg, Al, K , Ca, Fe, Sr, Zr and Co

Blue glass it composed of chemicals as follows: Si, Na, Mg, Al, K , Ca, Fe, Sr, Zr, Pb, Cl, Co and Cu

Science glass is composed of chemicals as follows: Si, Na, Al, K, O, and B

When the transparent glass mixture was adjusted and filled with metal oxides, it produced various colors of glass as follows:

Metal oxide of copper produced blue

Metal oxide of chromium produced green

Metal oxide of iron produced brown

Metal oxide of cobalt produced navy blue

The 3 types of recycled glass mixture were as follows :

1) Glass fragments type X (transparent glass fragments/blue glass fragments/brown glass fragments/navy blue glass fragments): Sodium carbonate = 1.50:1.00

2) Colored glass fragments type Y (blue glass fragments/brown glass fragments/navy blue glass fragments): Colored glass fragments type Z (blue glass fragments/brown glass fragments/navy blue glass fragments): Sodium carbonate = 0.70:0.70:1.00

3) Transparent glass fragments: Sodium carbonate: Lead oxide: other metal oxides = 1.40:1.00:0.40: (0.05-0.20) that the quantity of added metal oxides affect the concentration of color in the glass.

The density of glass was 2.5906-2.9475 g/cm^3 Modulus lengthwise was 82.0284-100.0946 MPa, Shear modulus was 26.2975-48.2637 MPa, Bulk modulus was 32.4300-69.5103 MPa

Poisson's Ratio was 0.0359-0.2684 MPa, Young modulus was 38.4785-92.8304 MPa

Hardness was at 2.3420-12.5544 MPa.

The physical attributes of glass are color and sparkle and these attributes can be used in making glass beads which, when polished, become beautiful ornaments but the costs, locally, are lower than glass products from abroad.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	i
บทคัดย่อ	v
Abstract	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Reviewed Literature): ทฤษฎี สมมติฐานหรือ กรอบแนวความคิด (Conceptual Framework) ของโครงการวิจัย	2
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	5
บทที่ 2 การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลขยะแก้ว	6
2.1 การคัดแยกประเภทขยะ	6
2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะแก้วแต่ละประเภท	7
2.3 การพัฒนาเนื้อแก้วรีไซเคิลสำหรับงานศิลป์	12
2.3.1 ออกแบบส่วนผสมเพิ่มเติมและเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง	12
2.3.2 การปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมลงในสูตรแก้วรีไซเคิล	12
2.3.3 ปรับแต่งส่วนผสมและเทคนิคการหลอมแก้วให้มีคุณสมบัติเหมาะสมมากกว่าเดิม	13
2.4 ทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างแก้ว	14
2.4.1 การหาค่าความหนาแน่นของแก้วโดยใช้หลักอาร์คีมิดิส	14
2.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค	15
2.5 การขึ้นรูปและนำแก้วรีไซเคิลไปใช้สำหรับงานศิลป์	18
2.6 ข้อมูลต้นทุนการผลิตแท่งแก้ว เปรียบเทียบกับแท่งแก้วที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์	21
2.7 สรุปและข้อเสนอแนะ	21
บรรณานุกรม	23
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การนำเสนอผลงานวิจัย	
ภาคผนวก ข ประวัตินักวิจัย	

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.2.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของธาตุด้วยวิธี Standard less โดยใช้โปรแกรม IQ 7

ตารางที่ 2.2.2 ปริมาณและองค์ประกอบของธาตุที่พบในตัวอย่างขยะแก้วประเภทต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ 10

ตารางที่ 2.2.3 ปริมาณและองค์ประกอบของธาตุที่พบในตัวอย่างขยะแก้วประเภทเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ 11

ตารางที่ 2.3.1 อัตราส่วนผสมของแก้วรีไซเคิล 14

ตารางที่ 2.4.1 ชนิดและปริมาณของโลหะออกไซด์ในแก้วรีไซเคิลกับค่าความหนาแน่นและสีแก้วที่ได้เมื่อผ่านกระบวนการหลอมและเทใสแบบ 15

ตารางที่ 2.4.2 ชนิดและปริมาณของโลหะออกไซด์ในแก้วรีไซเคิลและสมบัติยืดหยุ่น 17

ตารางที่ 2.6.1 ราคาแท่งแก้วรีไซเคิลเปรียบเทียบกับแท่งแก้วที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ 21

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1.1 ขยะแก้วประเภทต่าง ๆ 6

รูปที่ 2.1.2 ขยะแก้ววิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ (Borosilicate Glass) 6

รูปที่ 2.2.2 เครื่อง X-Ray Fluorescence ของ Philips รุ่น Magix 2400 XRF Spectrometer 7

รูปที่ 2.2.3 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุซิลิกอน ในตัวอย่าง ขยะแก้วใส 8

รูปที่ 2.2.4 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุโครเมียม ในขยะแก้วสีเขียว 8

รูปที่ 2.2.5 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุคอปเปอร์ ในขยะแก้วสีฟ้า 9

รูปที่ 2.2.6 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุโคบอลท์ ในขยะ แก้วสีน้ำเงิน 9

รูปที่ 2.2.7 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุเหล็กใน ขยะแก้วสีน้ำตาล 10

รูปที่ 2.3.1 ตัวอย่างแก้วสีและแก้วใสที่ได้จากการหลอมแก้วรีไซเคิล 12

รูปที่ 2.3.2 เนื้อแก้วใสที่ได้จากการหลอมและปรับแต่งส่วนผสมให้มีความเหมาะสม 12

รูปที่ 2.3.3 ตัวอย่างแก้วใสที่เติมโลหะออกไซด์บางชนิด 13

รูปที่ 2.5.1 เนื้อแก้วสีที่ได้จากการหลอมและปรับแต่งส่วนผสมให้มีความเหมาะสมและ นำมาดึงเป็นเส้น 19

รูปที่ 2.5.2 แท่งแก้วสีจากแก้วรีไซเคิล 19

รูปที่ 2.5.3 ตัวอย่างลูกปัดแก้วจากแก้วรีไซเคิล 20

รูปที่ 2.5.4 ตัวอย่างเครื่องประดับตกแต่งจากแก้วรีไซเคิลนำไปเจียรไน 20

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

วัสดุแก้วถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในหลาย ๆ ด้าน ผลที่ตามมาคือขยะที่เกิดจากการใช้แก้ว ซึ่งมีที่มา 2 แหล่ง คือ การเกิดเศษแก้วในขบวนการผลิตแก้วหรือกระจก และการเกิดขยะจากการใช้แก้วเป็นวัสดุตกแต่งและบรรจุภัณฑ์ เป็นที่ทราบกันดีว่าแก้วนั้นสามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งในวงการพาณิชย์ก็มีการดำเนินการเป็นอย่างดี ดังกรณีของการซื้อคืนขวดน้ำอัดลมเพื่อนำไปบรรจุใหม่ หรือแม้แต่ขวดประเภทต่าง ๆ ที่สามารถนำไปบรรจุใหม่ได้ และทำให้เกิดอาชีพซื้อ-ขายของเก่า

อย่างไรก็ตาม ในกรณีนี้ขวดแก้วต้องอยู่ในสภาพดี เช่นเดิม ถ้าหากมีจุดบกพร่องก็จะกลายเป็นสิ่งไร้ค่าไปในที่สุด เมื่อพิจารณาในวงกว้างแล้วจะเห็นว่าประเทศไทยใช้ผลิตภัณฑ์แก้วในปริมาณที่มาก แน่นอนว่า ขยะที่เกิดตามมาก็มากเช่นเดียวกัน เทคนิคการกำจัดขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คือ การเผาและการฝังกลบ แต่เทคนิคทั้งสองนี้ใช้ไม่ได้สำหรับการกำจัดขยะแก้ว เพราะแก้วไม่เป็นวัสดุติดไฟและย่อยสลายยาก เพราะมันมีครึ่งชีวิตที่ยาวมาก การรีไซเคิลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์ นอกจากจะเป็นการลดปริมาณขยะ เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน

สำหรับกรณีของขยะแก้วที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต จะถูกนำไปหลอมใหม่ในโรงงานที่ผลิตนั้น ขยะแก้วในส่วนนี้จึงถูกกำจัดไปในทันที แต่สำหรับขยะแก้วที่เกิดในชีวิตประจำวันนั้นรัฐต้องเสียงบประมาณสำหรับการกำจัด และอาจต้องเปลืองงบประมาณสำหรับการทำความสะอาด หากแก้วนั้นปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองทางเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามการนำขยะแก้วมาหลอมเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นใหม่ที่มีคุณสมบัติเช่นเดิมนั้นต้องใช้ต้นทุนที่ค่อนข้างสูง เช่น การนำขวดแตกมาหลอมใหม่ แล้วทำเป็นขวดเช่นเดิม ราคาต่อหน่วยของขวดใหม่นี้จะสูงกว่าเดิม ซึ่งหากพิจารณาข้อจำกัดอันนี้แล้ว จะเห็นว่าเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งที่ไม่เอื้อต่อการนำ แก้วมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามหากมีการพัฒนาคุณสมบัติของแก้วนั้นให้ดีขึ้นหรือเหมาะต่อการนำไปผลิตชิ้นงานด้านอื่น โดยการใช้เทคนิคที่เหมาะสม ก็จะเป็นหนทางอันหนึ่งที่ทำให้แก้วมีมูลค่าเพิ่มขึ้น และเอื้อต่อการนำแก้วกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้ขยะแก้วมีปริมาณลดลงได้ในอนาคต

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อนำขยะแก้วมาหลอมใหม่ และเพิ่มมูลค่าโดยการทำเป็นแก้วสี ที่เหมาะสมในงานหัตกรรมแก้วศิลป์ ซึ่งในเบื้องต้นจะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำมาใช้ใหม่ของขยะแต่ละชนิด หลังจากนั้นการศึกษาจะมุ่งเน้นที่การพัฒนาเทคนิคการรีไซเคิล การพัฒนาคุณสมบัติของแก้ว และการทดสอบคุณสมบัติของแก้วในระดับห้องปฏิบัติการ ก่อนที่จะขยาย

ครอบคลุมไปสู่ระดับการผลิต การพัฒนาแก้วสีสำหรับงานหัตถกรรมดังกล่าว จะสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่ ให้การสนับสนุนโครงการ "หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์" เพื่อเสริมสร้างให้ชุมชนได้ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นพัฒนาคุณภาพและยกระดับคุณภาพชีวิตโดยการสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่น เพื่อจำหน่ายสู่ตลาดผู้บริโภค ฉะนั้นโครงการวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยชุมชนจึงเป็นโครงการที่มีความสำคัญและจำเป็นเพื่อให้เกิดความสอดคล้องและสนับสนุนในด้านมาตรฐานและการรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยที่ได้จะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและประกันคุณภาพให้กับผู้บริโภค ซึ่งเป็นแนวทางที่เชื่อมโยงผลิตภัณฑ์จากชุมชนสู่ตลาดผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการนำขยะแก้วมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการลด ปริมาณขยะ ประเภทแก้วที่จะถูกทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม และลดมลภาวะ

1.2.2 เพื่อพัฒนาแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่องานหัตถกรรมแก้วศิลป์

1.2.3 เพื่อนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นถ่ายทอดสู่สังคม

1.3 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้เทคโนโลยีในการหลอมเศษวัสดุประเภทแก้ว ให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในงานหัตถกรรมแก้วศิลป์

1.3.2 ประโยชน์ในด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการนำเศษแก้วกลับมาใช้ใหม่ เป็นการลดปริมาณขยะที่ย่อยสลายยาก ซึ่งทำให้ความเป็นมลพิษลดลง และลดงบประมาณที่จะต้องลงทุนสำหรับการกำจัดขยะประเภทนี้

1.3.3 ประโยชน์ในด้านพัฒนาความเป็นอยู่ของชุมชนโดยการมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการกำจัดและ เพิ่มมูลค่าของสิ่งเหลือทิ้ง จะยังประโยชน์โดยตรงต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน และเป็นการส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดี

1.4 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Reviewed Literature): ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework) ของโครงการวิจัย

แก้วเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษได้เปรียบวัสดุชนิดอื่นในเทอมของการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิล ทั้งนี้เพราะแก้วมีองค์ประกอบที่ยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนทั้งปริมาณและชนิดของส่วนผสม วัตถุดิบสำหรับการผลิตจึงมีขอบเขตที่กว้าง ไม่จำกัดอยู่ที่วัตถุดิบตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น ความหลากหลายในองค์ประกอบนี้เองทำให้เราสามารถนำแก้วกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยไม่จำเป็นต้อง

ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับวัสดุเซรามิกส์ทั่วไปแล้ว มีขีดจำกัดของการนำกลับมาใช้ใหม่ค่อนข้างมาก

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ แก้วเป็นวัสดุที่มีสถานะของแข็ง แต่ถ้าพิจารณาในทางเทอร์โมไดนามิกส์ แก้วมีลักษณะเป็นของเหลว การมีคุณสมบัติดังกล่าวทำให้แก้วมีลักษณะที่แข็งแต่เปราะ และแตกร้าวได้ง่าย อย่างไรก็ตามแก้วเมื่อถูกใช้งานแล้ว จะกลายเป็นขยะที่ย่อยสลายได้ยาก และมีครึ่งชีวิตที่ยาวนานหลายพันปี ดังจะเห็นได้จากชิ้นส่วนวัตถุโบราณที่ทำมาจากแก้วจะคงสภาพเช่นเดิมอย่างสมบูรณ์ แต่สำหรับโลหะบางชนิดนั้นเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมได้ง่าย ดังตัวอย่างการเกิดสนิมของเหล็ก ในปัจจุบันเราใช้งานแก้ว และกระจกในหลาย ๆ ด้าน ทั้งการก่อสร้าง การตกแต่ง บรรจุภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงพบแก้วที่เป็นเศษขยะมากมายในแต่ละปี การกำจัดนั้นก็มิอาจจะเผาแบบธรรมดาได้ ถึงแม้การฝังกลบก็มิอาจทำให้ย่อยสลายได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิจัยเพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสม สำหรับการรีไซเคิลขยะแก้ว

นักวิจัยบางกลุ่มได้นำเอาเศษแก้วจากโรงงานผลิตผสมกับส่วนเหลือทิ้งของโรงงานถลุงโลหะมาหลอมขึ้นรูปเป็นแก้วชนิดใหม่ที่สามารถนำไปห่อหุ้มขยะที่เกิดจากงานด้านนิวเคลียร์ ในหลาย ๆ ประเทศทั้งอเมริกา ยุโรป หรือ แม้แต่ประเทศอุตสาหกรรมในเอเชียก็ให้ความสำคัญต่อการกำจัดขยะแก้วโดยการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยรัฐบาลของแต่ละประเทศจะกำหนดนโยบายและมาตรการจูงใจต่าง ๆ เพื่อให้ภาคอุสาหกรรมเห็นความสำคัญ ดังตัวอย่างของไต้หวัน มีการวิจัยเพื่อการจัดการขบวนการรีไซเคิลวัสดุที่นำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น แก้ว พลาสติก การวิจัยยังได้ขยายไปสู่แก้วในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อาทิเช่น จอทีวี จอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นแก้วที่มีส่วนประกอบของตะกั่วออกไซด์ และถ้าหากกำจัดไม่ถูกวิธีแล้วอะตอมของตะกั่วซึ่งเป็นพิษก็อาจรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อมได้ กรณีประเทศอเมริกา การรีไซเคิลขยะแก้วมีระบบที่มีประสิทธิภาพสูง มีองค์กรที่ปรึกษาสำหรับการรีไซเคิลโดยเฉพาะ และบางหน่วยงานยังสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการนำขยะแก้วไปเป็นส่วนผสมสำหรับการทำถนน การรีไซเคิลขยะแก้วที่ผลิตในโรงงาน ภาคเอกชนจะเป็นผู้ลงทุนหลัก ทั้งขยะแก้วทั่วไป และขยะขวดแก้วซึ่งมีสัดส่วนค่อนข้างมาก เมื่อมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง การรีไซเคิลขยะแก้วก็สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ทั้งการเป็นบรรจุภัณฑ์ หน้าต่าง หลอดไฟ กระจกรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างที่เห็นชัดคือผลิตภัณฑ์แก้วรีไซเคิลของบริษัท Dlubak Glass company

การรีไซเคิลขยะแก้วต้องเริ่มต้นที่การคัดแยกชนิดตามส่วนผสมหลักของแก้ว โดยเฉพาะแก้วที่มีสีต่างกันต้องตัดแยกให้ชัดเจน จากนั้นการวิเคราะห์เชิงเคมีจะถูกนำมาหาปริมาณสัมพันธ์ขององค์ประกอบ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับแต่งส่วนผสมให้เหมาะสม ในกรณีการปรับแต่งสีของแก้ว การเลือกสารให้สีที่เหมาะสมและสามารถหลอมได้ดีกับแก้วเดิมเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปทดลองในระดับการผลิต โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของแก้วคือ SiO_2 รวมกับออกไซด์อื่น ๆ เช่น Al_2O_3, MgO, CaO, K_2CO_3,

B_2O_3 เป็นต้น ดังนั้นการปรับแต่งส่วนผสมของขยะแก้วสามารถทำได้อย่างง่าย ๆ โดยการเพิ่มหรือลดสัดส่วนออกไซด์เหล่านั้น ซึ่งการจะปรับอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบแก้วที่ต้องการให้มีคุณสมบัติเด่นอย่างไร เพราะแต่ละออกไซด์จะมีผลต่อคุณสมบัติที่แตกต่างกันเช่น การเพิ่ม B_2O_3 ทำให้แก้วมีจุดหลอมเหลวต่ำลง และหนืดมากขึ้น การเพิ่มสัดส่วนของ PbO เป็นการเพิ่มดัชนีหักเหของแก้ว

การรีไซเคิลแก้วเพื่อนำไปผลิตแก้วสีนั้นสามารถทำได้โดยตรง ไม่ต้องมีการปรับแต่งส่วนประกอบ เพราะขยะแก้วบางจำพวก เช่น ขวด นั้น ก็มีสีหลายสีอยู่แล้ว ได้แก่ สีน้ำตาล เขียว และฟ้า อย่างไรก็ตามขยะแก้วนั้นมาจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากโรงงานที่ต่างกัน ส่วนผสมก็ต่างกัน การนำส่วนขยะเหล่านี้มาปนกันทำให้ความเข้มข้นของหมู่อะตอมที่ให้สีมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้สีที่ปรากฏมีการเปลี่ยนด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้ได้แก้วสีที่มีสีตามต้องการต้องมีการทดลองปรับแต่งส่วนประกอบเหล่านั้น โดยเฉพาะการทดลองเติมสารให้สี นอกเหนือจากการปรับแต่งส่วนผสมแล้ว ขบวนการอื่นก็อาจนำมาประกอบด้วยเพื่อให้ได้แก้วที่มีคุณภาพ I. I. Tarasova และทีมงาน ได้นำขบวนการ leaching by acid มาใช้สำหรับการลดปริมาณเหล็กออกไซด์ในทรายที่ใช้ผลิตแผ่นกระจกเทคนิค leaching นี้ยังถูกนำไปใช้สำหรับการขจัดสิ่งเจือปนในขบวนการรีไซเคิลขยะเส้นใยนำแสงที่เกิดจากกระบวนการผลิต เศษแก้วที่กล่าวถึงข้างต้นนั้นเป็นเศษที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ในกระบวนการผลิตยังมีเศษแก้วอีกประเภทหนึ่ง แก้วเหลือทิ้งจากการหลอม ซึ่งมีปริมาณมากเช่นเดียวกัน และวิธีการรีไซเคิลก็จะแตกต่างออกไป

เมื่อเลือกส่วนประกอบที่เหมาะสมสำหรับการรีไซเคิลแล้ว กระบวนการต่อไปซึ่งเป็นหัวใจหลักคือ การหลอมแก้ว โดยการหลอมนั้นต้องเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม เพราะสภาวะขณะแก้วหลอมนั้นมีผลต่อสมดุลของไอออนที่ให้สี ซึ่งสมดุลที่ต่างกันจะให้สีที่ต่างกัน โดยเฉพาะไอออนของธาตุทรานซิชัน ที่มีหลายวาเลนซ์ (เช่นอะตอมของ Fe มี 2 วาเลนซ์ คือ Fe^{2+} และ Fe^{3+}) และแต่ละวาเลนซ์ก็ให้สีคนละสี ดังนั้นสีที่ปรากฏสุดท้ายจะไวต่อเงื่อนของกระบวนการหลอม

กระบวนการนำขยะแก้วกลับมาใช้ใหม่เป็นแนวทางการลดมลภาวะ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของสิ่งเหลือทิ้ง โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของขยะแก้วเหล่านั้น เราสามารถปรับแต่งองค์ประกอบได้โดยการเพิ่มสารบางชนิด และศึกษากลไกการเกิดสีของแก้วที่ถูกหลอมใหม่ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสง ประกอบกับคุณสมบัติทางกายภาพ จะทำให้เราทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการนำแก้วมาใช้ใหม่ และเกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่สำหรับการพัฒนาชิ้นงานแก้วศิลป์

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 รวบรวมขยะแก้วและทำการคัดแยกประเภท

ทำการรวบรวมขยะแก้วจากขวดแก้วที่ใช้บรรจุเครื่องบริโภคต่าง ๆ และทำการคัดแยกประเภทขยะแก้วเหล่านั้น โดยพิจารณาสีของขวดบรรจุภัณฑ์

1.5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วแต่ละประเภท

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะแก้วที่ทำการคัดแยกแล้วด้วยเทคนิค XRF

1.5.3 ออกแบบส่วนผสมเพิ่มเติมและเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง

หาสูตรแก้วรีไซเคิลเพื่อเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง

1.5.4 การปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมลงในสูตรแก้วรีไซเคิล

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแก้วที่เตรียมได้ เพื่อปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมของเนื้อแก้ว

1.5.5 ปรับแต่งส่วนผสมและเทคนิคการหลอมให้แก้วมีคุณสมบัติเหมาะสมมากกว่าเดิม

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแก้วที่ปรับแต่งส่วนผสมและเทคนิคการหลอมเพื่อทำให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานด้านแก้วศิลป์

1.5.6 นำแก้วตัวอย่างที่ได้ผลิตชิ้นงานแ ก้วศิลป์

นำแก้วตัวอย่างที่ได้ผลิตเป็นลูกปัดแก้วต้นแบบ

1.5.7 เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อที่ 1.5.1 ถึง 1.5.6 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล

1.5.8 สรุปและเขียนรายงานการวิจัย

1.6 ขอบเขตของการวิจัย

1.6.1 เป็นการรีไซเคิลแก้วสีที่เป็นขยะแก้วโดยใช้กระบวนการหลอม

1.6.2 ใช้เทคนิคการวัดเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)วิเคราะห์องค์ประกอบของแก้ว

1.6.3 ใช้หลักของอาร์คิมิดีสหาค่าความหนาแน่นของแก้ว

1.6.4 ใช้เทคนิคคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิคทดสอบคุณสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

- โมดูลัสตามยาว
- โมดูลัสเฉือน
- โมดูลัสเชิงปริมาตร
- ค่ายังโมดูลัส
- ค่าความแข็ง

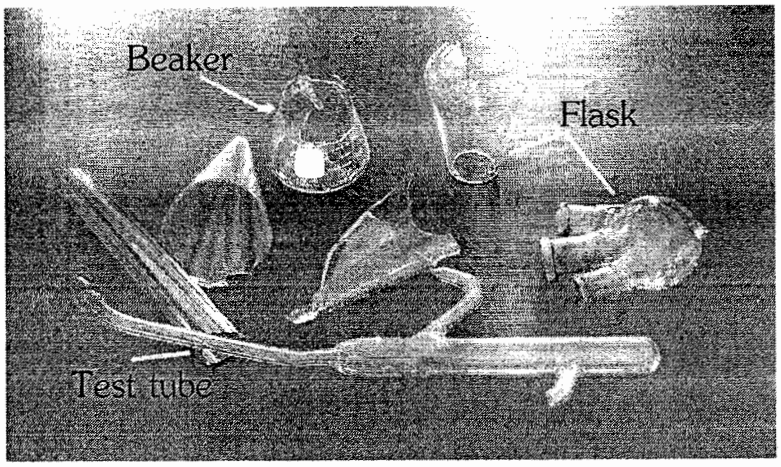
1.6.5 ปรับแต่งองค์ประกอบของแก้วโดยการเติมทรายแก้ว สารอื่นที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของขยะแก้ว หลอมแก้วและดึงแก้วเพื่อเตรียมไว้ใช้งานในการเป่าแก้วศิลป์

บทที่ 2
การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลขยะแก้ว

2.1 การคัดแยกประเภทขยะ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการคัดแยกประเภทขยะแก้วรีไซเคิล โดยพิจารณาสีของขยะแก้วดังนี้ ขวดแก้วใส (Soda Lime Glass) ขวดแก้วสีน้ำตาล ขวดแก้วสีเขียว ขวดแก้วสีน้ำเงิน ขวดแก้วสีฟ้า และแก้ววิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ (Borosilicate Glass) ดังรูปที่ 2.1.1 และ 2.1.2

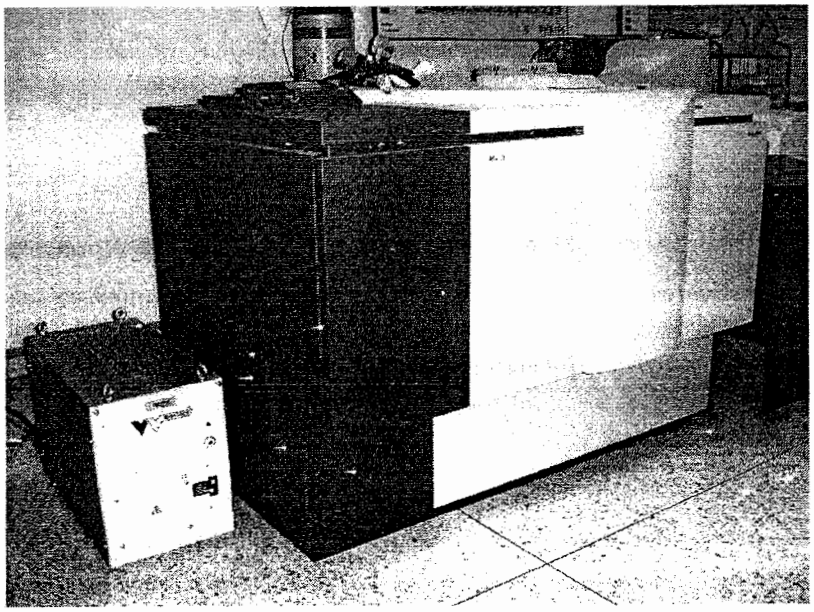
รูปที่ 2.1.1 ขยะแก้วประเภทต่าง ๆ



รูปที่ 2.1.2 ขยะแก้ววิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ (Borosilicate Glass)

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะแก้วแต่ละประเภท

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะแก้วประเภทต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์(X-Ray Fluorescence) ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง XRF ของ Philips รุ่น Magix 2400 XRF Spectrometer ในระบบกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence: WDXRF) ดังรูปที่ 2.2.1 ซึ่งหลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้เป้าเป็นธาตุโรเดียม (Rh) มีผลึกวิเคราะห์ (Analysis Crystals) 4 ชนิด คือ PX1, PE, Ge และ LiF 200 ส่วนหัววัดรังสีที่ใช้มี 2 แบบ คือ Flow detector และ Duplex detector โดยมีเงื่อนไขทั้งหมดดังตารางที่ 2.2.2

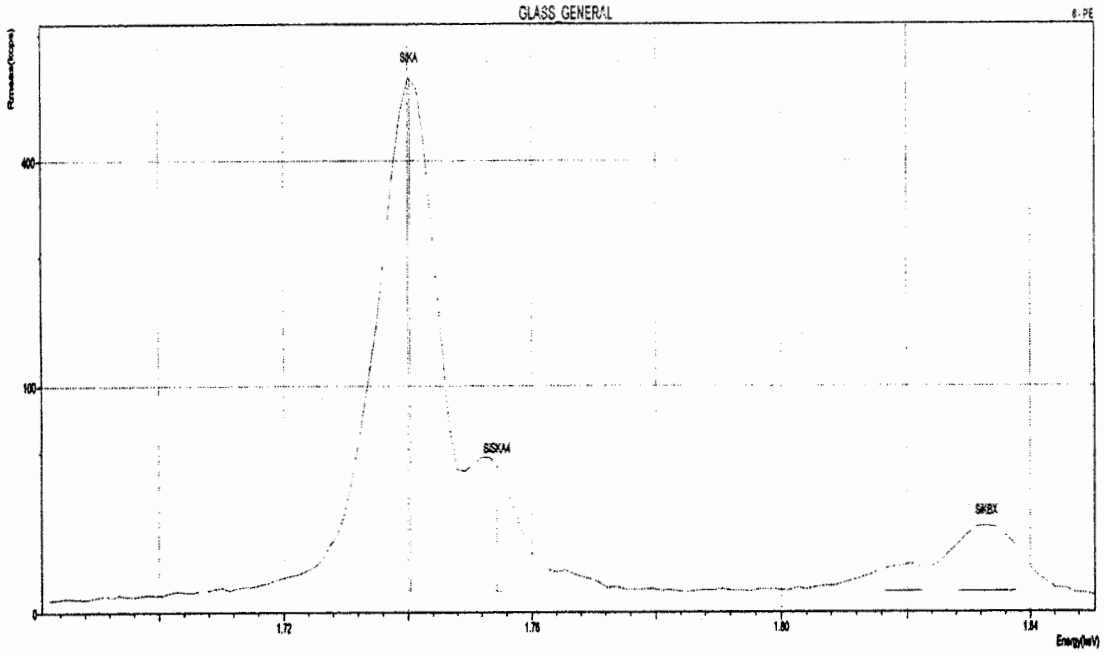


รูปที่ 2.2.2 เครื่อง X-Ray Fluorescence ของ Philips รุ่น Magix 2400 XRF Spectrometer

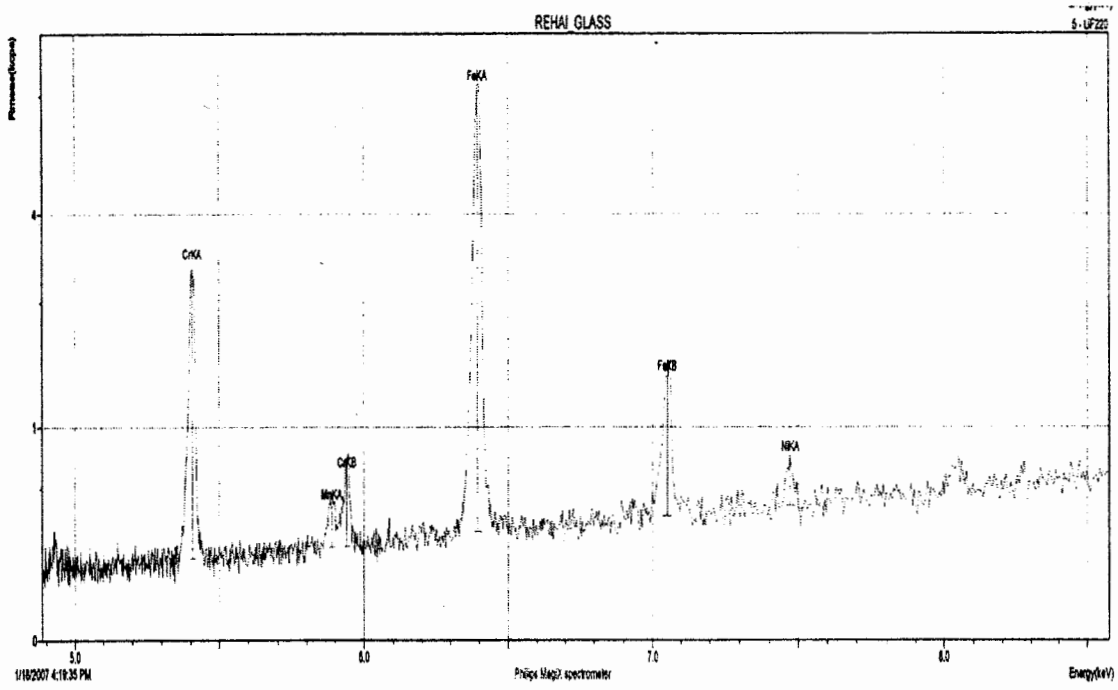
ตารางที่ 2.2.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของธาตุด้วยวิธี Standard less โดยใช้โปรแกรม IQ $^{+}$

Z	Elements	Line	Crystal	Detector	Collimator(μm)	kV	mA
12	Mg	K_α	PX1	Flow	4000	24	125
13	Al	K_α	PE	Flow	300	24	125
14	Si	K_α	PE	Flow	300	24	125
15	P	K_α	Ge	Flow	300	24	125
19	K	K_α	LiF200	Flow	300	24	125
20	Ca	K_α	LiF200	Flow	300	30	100
22	Ti	K_α	LiF200	Flow	300	40	75
25	Mn	K_α	LiF200	Duplex	300	60	50
26	Fe	K_α	LiF200	Duplex	300	60	50
40	Zr	K_α	LiF200	Duplex	150	30	30

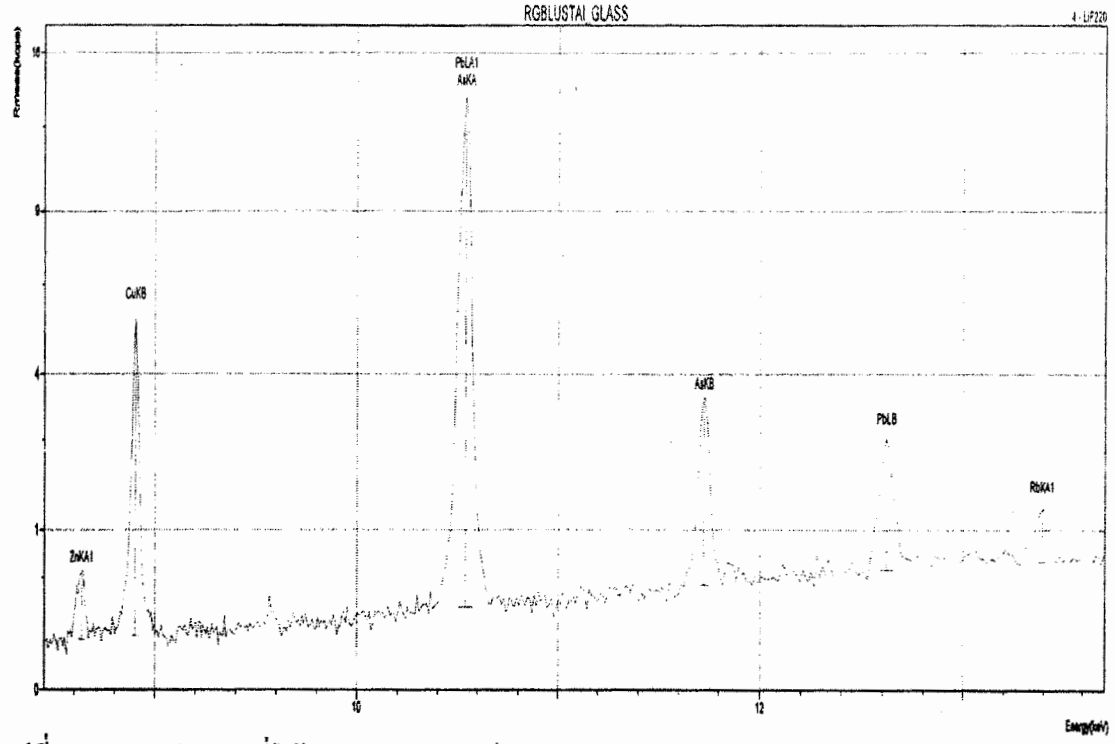
นำตัวอย่างขยะแก้วแต่ละประเภทที่คัดแยกวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของธาตุด้วยวิธี Standard less โดยใช้โปรแกรม IQ $^{+}$ ดังรูปที่ 2.2.3 และ 2.2.4 ซึ่งเป็นตัวอย่างสเปคตรัมของธาตุบางชนิดและตารางที่ 2.2.2 ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุในตัวอย่างขยะแก้วแต่ละประเภท



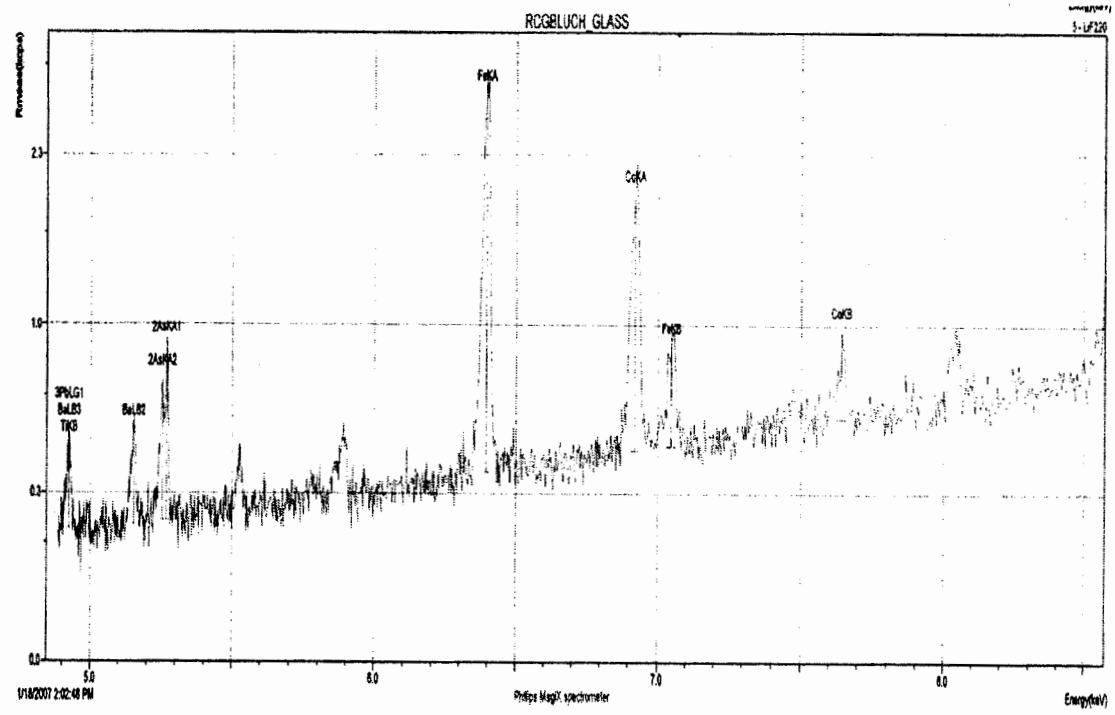
รูปที่ 2.2.3 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุซิลิกอนในตัวอย่าง ขยะแก้วใส



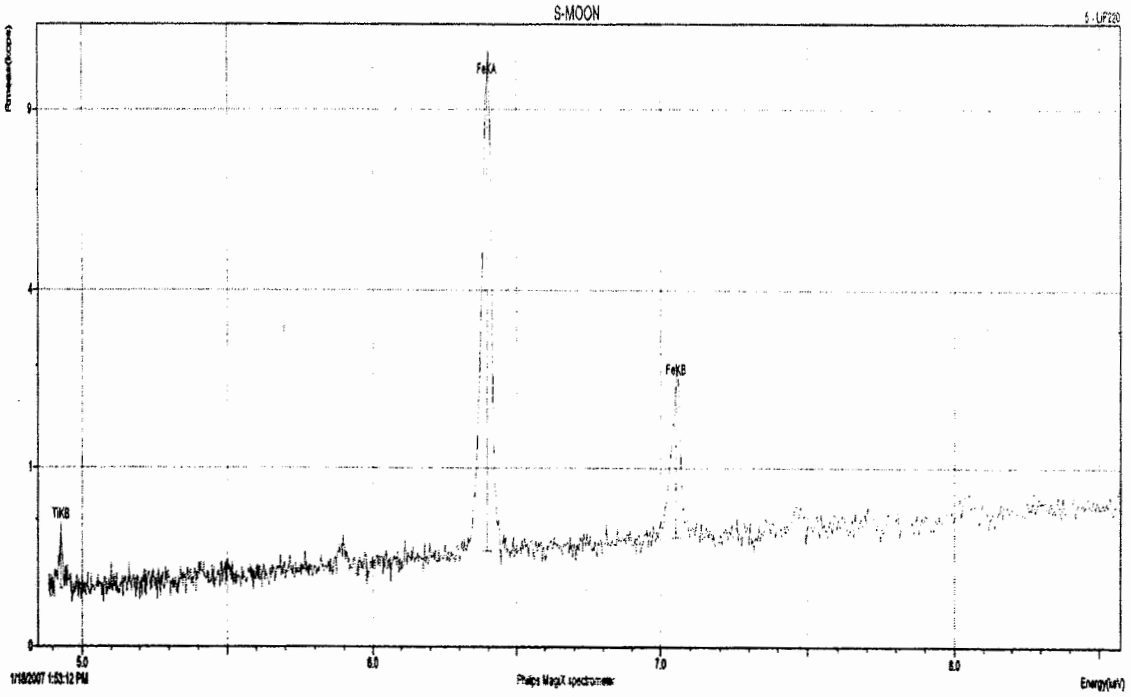
รูปที่ 2.2.4 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุโครเมียมในขยะแก้วสีเขียว



รูปที่ 2.2.5 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุคอปเปอร์ในขยะแก้วสีฟ้า



รูปที่ 2.2.6 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุโคบอลท์ในขยะแก้วสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.2.7 สเปคตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค XRF ของธาตุเหล็กในขยะแก้วสีน้ำตาล

ตารางที่ 2.2.2 ปริมาณและองค์ประกอบของธาตุที่พบในตัวอย่างขยะแก้วประเภทต่าง ๆ ด้วยเทคนิค การเรืองรังสีเอกซ์

ธาตุที่พบ Concentration (%)	ประเภทของขยะแก้ว				
	แก้วใส	แก้วสีเขียวจากขวดเบียร์ไฮนาเก้น	แก้วสีน้ำตาลจากขวดเบียร์ลีโอ	แก้วสีน้ำเงินจากขวดน้ำต่างประเทศ	แก้วสีฟ้าจากขวดน้ำต่างประเทศ
O	49.26	49.05	49.05	50.89	50.22
Na	0.27	0.29	0.23	0.34	0.38
Mg	0.77	0.29	0.88	-	-
Si	37.63	37.53	37.19	42.00	38.68
P	0.52	0.54	0.52	0.52	0.62
S	0.11	<<	<<	0.00	<<
Cl	0.00	0.00	0.00	0.25	0.24
K	0.13	0.27	0.13	1.82	0.89
Ca	10.35	10.46	10.47	2.48	2.47
Ti	0.07	0.07	0.07	<<	<<
Fe	0.11	0.37	0.36	0.15	0.14

ตารางที่ 2.2.2 (ต่อ)

ธาตุที่พบ Concentration (%)	ประเภทของขยะแก้ว				
	แก้วใส	แก้วสีเขียวจากขวดเบียร์ไฮนาเก้น	แก้วสีน้ำตาลจากขวดเบียร์ลีโอ	แก้วสีน้ำเงินจากขวดน้ำต่างประเทศ	แก้วสีฟ้าจากขวดน้ำต่างประเทศ
Cu	-	<<	-	-	1.48
Rb	-	-	-	<<	<<
Sr	-	0.00	0.00	0.00	<<
Zr	0.00	0.00	0.00	<<	<<
Cr	-	0.29	-	-	-
Mn	-	<<	-	-	-
Zn	-	-	-	0.00	<<
Pb	<<	0.00	<<	0.00	0.00
As	<<	0.00	-	0.00	0.00
Co	-	-	-	0.06	-

หมายเหตุ : – **หมายถึง** ไม่พบธาตุดังกล่าว

<< **หมายถึง** ธาตุมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถเปรียบเทียบกับโปรแกรม IQ

0.0 หมายถึง ธาตุมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถเปรียบเทียบกับโปรแกรม IQ

จากข้อมูลของขยะแก้วรีไซเคิลที่ได้จากขยะเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ของบริษัท Schott Duran ที่เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทบีกเกอร์ และหลอดแก้วชนิดต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่า มีองค์ประกอบของธาตุดังตารางที่ 2.2.3

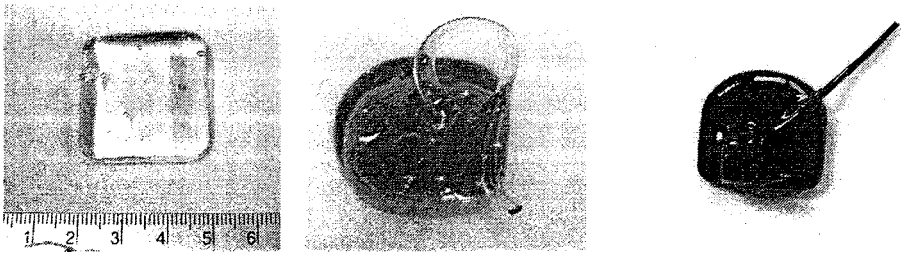
ตารางที่ 2.2.3 ปริมาณและองค์ประกอบของธาตุที่พบในตัวอย่างขยะแก้วประเภทเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

ธาตุที่พบ Concentration (%)	
B	4.006
O	53.956
Na	2.819
Al	1.164
Si	37.722
K	0.332

2.3 การพัฒนาเนื้อแก้วรีไซเคิลสำหรับงานศิลป์

2.3.1 ออกแบบส่วนผสมเพิ่มเติมและเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเตรียมแก้วตัวอย่างนำไปหลอมโดยใช้สูตรต่าง ๆ โดยกำหนดแก้วสีจากแก้วรีไซเคิลและแก้วใส เพื่อเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.3.1

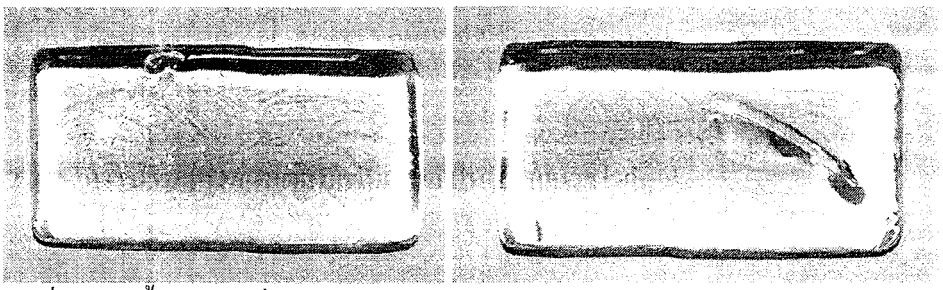


รูปที่ 2.3.1 ตัวอย่างแก้วสีและแก้วใสที่ได้จากการหลอมแก้วรีไซเคิล

ผลการทดลองจะเห็นว่าแก้วสีและแก้วใสบางตัวอย่างจะมีฟองอากาศทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กกระจายในเนื้อแก้วและมีความหนืดจึงส่งผลให้ยากต่อการขึ้นรูปด้วยมือไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเนื้อแก้วสำหรับงานศิลป์ จึงจำเป็นต้องปรับแต่งส่วนผสมของแก้วรีไซเคิลต่อไป

2.3.2 การปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมลงในสูตรแก้วรีไซเคิล

ผลจากข้อ 2.3.1 ที่ได้นำตัวอย่างแก้วมาปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมลงในสูตรแก้วรีไซเคิลเนื่องจากแก้วตัวอย่างที่ได้มีฟองอากาศในบางตัวอย่างและแก้วตัวอย่างมีขนาดเล็กซึ่งเกิดจากการหลอมแก้วที่มีความหนืดมากจึงไม่สามารถเทแก้วออกจากเบ้าหลอมได้หมด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงดำเนินการปรับแต่งส่วนผสมโดยการเติมสารลดความหนืดซึ่งจะส่งผลให้สามารถเทแก้วได้ง่ายและตัวอย่างแก้วมีขนาดใหญ่ขึ้นได้เนื้อแก้วปริมาณมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3.2

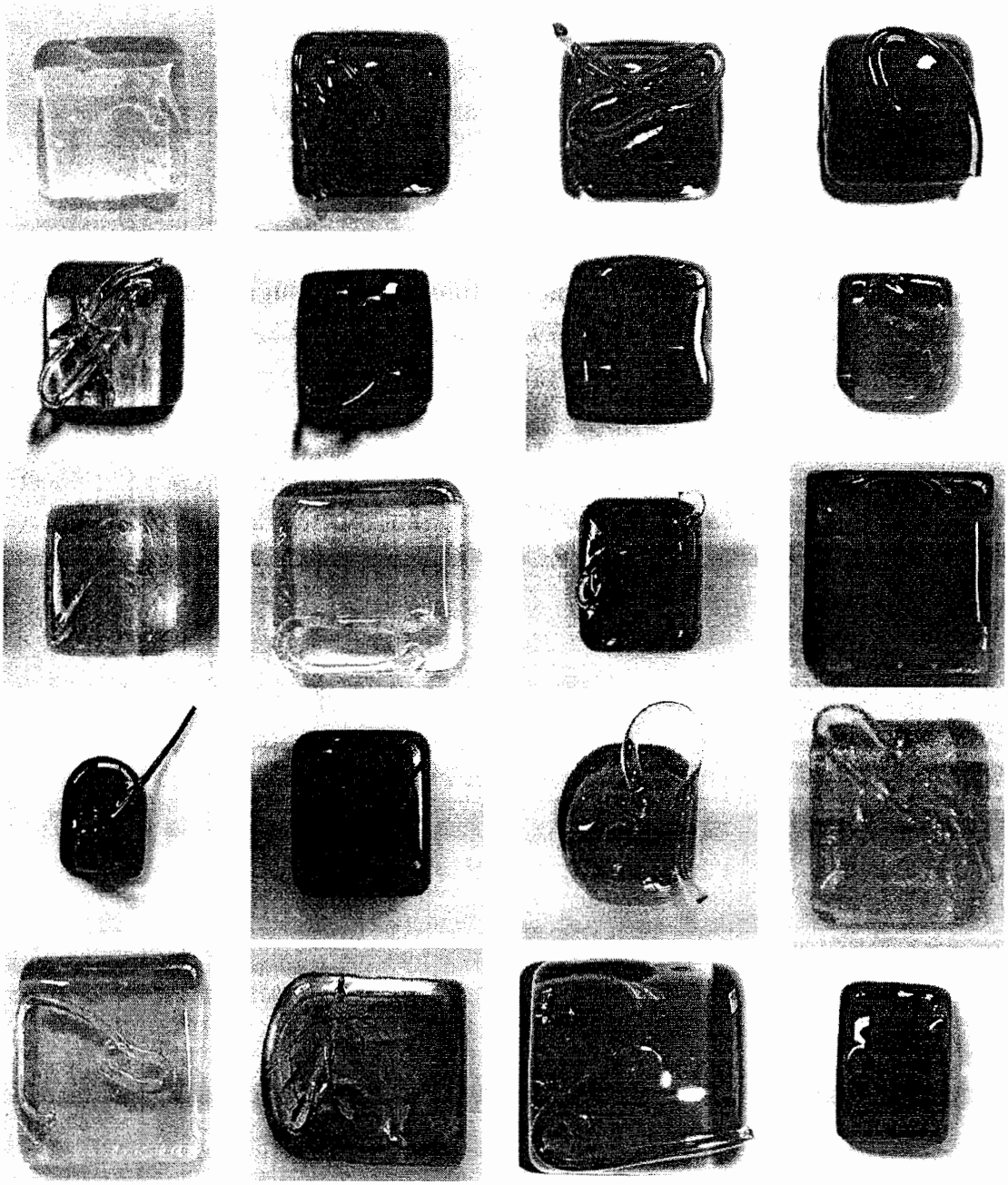


รูปที่ 2.3.2 เนื้อแก้วใสที่ได้จากการหลอมและปรับแต่งส่วนผสมให้มีความเหมาะสม

จากผลการทดลองเมื่อทำการปรับแต่งส่วนผสมจะพบว่าแก้วที่ได้ยังมีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่บ้างและในแก้วบางตัวอย่างยังมีความหนืดอยู่จึงปรับแต่งส่วนผสมและเทคนิคการหลอมเพิ่มเติม

2.3.3 ปรับแต่งส่วนผสมและเทคนิคการหลอมแก้วให้มีคุณสมบัติเหมาะสมมากกว่าเดิม

เนื่องจากแก้วที่ได้จากการหลอมแก้วรีไซเคิลจะมีสีไม่หลากหลาย ซึ่งถ้ามีความต้องการนำแก้วไปใช้งานทางด้านงานศิลป์จะต้องมีการเติมโลหะออกไซด์บางชนิดลงไปเพื่อให้ได้แก้วสีต่าง ๆ ดังนั้นขณะผู้วิจัยจึงนำแก้วสีที่สามารถหาได้และแก้วใสมาปรับปรุงใหม่ทำให้แก้วที่ได้มีสีสรรหลากหลายขึ้น ดังรูปที่ 2.3.3



รูปที่ 2.3.3 ตัวอย่างแก้วใสที่เติมโลหะออกไซด์บางชนิด

สำหรับส่วนผสมที่เหมาะ ดังแสดงในตารางที่ 2.3.1 โดยหลอมแก้วที่อุณหภูมิ 1250°C นาน 6 ชั่วโมง เพื่อให้ได้แก้วที่จะทดสอบคุณสมบัติและนำไปสร้างแก้วศิลป์ต่อไป

ตารางที่ 2.3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของแก้วรีไซเคิล

สูตรแก้วรีไซเคิล	อัตราส่วนผสม (กรัม)
เศษแก้วชนิด X :โซเดียมคาร์บอเนต	1.50:1.00
เศษแก้วสี Y :เศษแก้วสี Z :โซเดียมคาร์บอเนต	0.70:0.70:1.00
เศษแก้วใส:โซเดียมคาร์บอเนต:ตะกั่วออกไซด์+ออกไซด์โลหะ	1.40:1.00:0.40:(0.05-0.20)

หมายเหตุ: เศษแก้วชนิด X คือ เศษแก้วใส/เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน
เศษแก้วชนิด Y คือ เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน
เศษแก้วชนิด Z คือ เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน
ออกไซด์ของโลหะ คือ เหล็ก ทองแดง ยูเรเนียม แมงกานีส ซีเรียม โคบอลท์ โครเมียม และซีรีเนียม

จากผลการทดลองเมื่อทำการปรับแต่งส่วนผสมของแก้วรีไซเคิลที่ได้พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมมีอยู่ 3 แบบคือ

1) เศษแก้วชนิด X: โซเดียมคาร์บอเนต เป็น 1.50:1.00
2) เศษแก้วสี Y:เศษแก้วสี Z :โซเดียมคาร์บอเนต เป็น 0.70:0.70:1.00 และ
3) เศษแก้วใส:โซเดียมคาร์บอเนต:ตะกั่วออกไซด์:ออกไซด์โลหะอื่น เป็น 1.40:1.00:0.40: (0.05-0.20) ซึ่งปริมาณออกไซด์โลหะที่เติมจะมีผลต่อความเข้มของสีแก้วที่ได้

2.4 ทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างแก้ว

2.4.1 การหาค่าความหนาแน่นของแก้วโดยใช้หลักอาร์คีมิดิส

หลักการของอาร์คีมิดิส (Archimedes Principle) เป็นไปตามตามสมการที่ (2.1)

$$\rho = \frac{w_1}{w_1 - w_2} x0.661 \qquad (2.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น (g/cm^3)

w_1 คือ น้ำหนักของแก้วเมื่อชั่งในอากาศ (g)

w_2 คือ น้ำหนักของแก้วเมื่อชั่งใน n-hexane (g)

0.661 คือ ความหนาแน่นของ n-hexane (g/cm^3)

ตารางที่ 2.4.1 ชนิดและปริมาณของโลหะออกไซด์ในแก้วรีไซเคิลกับค่าความหนาแน่นและสีแก้ว ที่ได้เมื่อผ่านกระบวนการหลอมและเทใสแบบ

ชนิดแก้ว	ความหนาแน่น (g/cm^3)	สี
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต	2.5906	ใส
แก้วน้ำตาล+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6212	น้ำตาล
แก้วสีเขียว+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6240	เขียว
แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6133	น้ำเงิน
แก้วสีฟ้า+แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6208	น้ำเงิน
แก้วสีน้ำตาล+แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6239	น้ำเงิน
แก้วสี ฟ้า+แก้วสีตาล+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6183	ฟ้า-เขียว
แก้วสีเขียว+แก้วสีฟ้า+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6236	เขียวมรกต
แก้วสีเขียว+แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6261	เขียวมรกต
แก้วสีเขียว+แก้วสีน้ำตาล+โซเดียมคาร์บอเนต	2.6310	เขียว
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+โครเมียมออกไซด์	2.8736	เขียว
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+แมงกานีสออกไซด์	2.8710	ม่วง
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+เหล็กออกไซด์	2.8799	น้ำตาล
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+โคบอลท์ออกไซด์	2.8937	น้ำเงิน
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ทองแดงออกไซด์	2.9120	ฟ้า
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ซีรีเนียมออกไซด์	2.8892	ใส
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ซีเรียมออกไซด์	2.9213	ใส
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ยูเรเนียมออกไซด์	2.9475	เหลือง

จากการหาความหนาแน่นของแก้วรีไซเคิล ดังตารางที่ 2.4.1 พบว่าค่าความหนาแน่นของแก้วรีไซเคิลขึ้นอยู่ชนิดและปริมาณของออกไซด์โลหะที่เติม ถ้าออกไซด์โลหะมีเลขอะตอมสูงก็จะมีแนวโน้มให้ค่าความหนาแน่นสูงทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณที่เติมเข้าไปด้วย แก้วรีไซเคิลในกลุ่มที่มีการเติมตะกั่วออกไซด์จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่ากลุ่มที่ไม่เติมและทำให้ขั้นตอนการเทแก้วง่ายขึ้นเพราะทั้งโซเดียมคาร์บอเนตและตะกั่วออกไซด์เป็น ฟลักซ์ (flux)

2.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้คลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค

นำตัวอย่างแก้วที่ได้ขัดให้มีผิวหน้าเรียบและขนานกัน โดยใช้กระดาษทรายเบอร์120, 240, 400, 600, 800 และ 1,000 ตามลำดับ จากนั้นขัดด้วยผงอลูมินาให้ผิวหน้าเรียบ

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

และใสทดสอบสมบัติเชิงกลของแก้วตัวอย่างโดยใช้คลื่นเสียงอัลตร้าโซนิกหัววัดความถี่ 4 MHz และเทคนิคพัลซ์เอคโควัดที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาความเร็วคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิกตามยาวและความเร็วคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิกตามขวาง เพื่อใช้คำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. โมดูลัสตามยาว (longitudinal modulus: L)

$$L = \rho V_l^2 \tag{2.2}$$

เมื่อ L คือ โมดูลัสตามยาว (longitudinal modulus) (GPa)

ρ คือ ความหนาแน่นของแก้ว (g/cm^3)

V_l คือ ความเร็วคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิกตามยาว (longitudinal ultrasonic velocity) (m/s)

2. โมดูลัสเฉือน (shear modulus:G)

$$G = \rho V_s^2 \tag{2.3}$$

เมื่อ G คือ โมดูลัสเฉือน (shear modulus)

V_s คือ ความเร็วคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิกตามขวาง (transverse ultrasonic velocity) (m/s)

3. โมดูลัสเชิงปริมาตร (bulk modulus:K)

$$K = L - \left(\frac{4}{3}\right)G \tag{2.4}$$

เมื่อ K คือ บัคโมดูลัส (bulk modulus)

4. ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio: μ)

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} - \left(\frac{C_T}{C_L}\right)^2}{1 - \left(\frac{C_T}{C_L}\right)^2} \tag{2.5}$$

เมื่อ μ คือ อัตราส่วนปัวซอง

5. ค่ายังโมดูลัส (Young's modulus: E)

$$E = 2G(1 + \mu) \tag{2.6}$$

เมื่อ E คือ ยังโมดูลัส (Young's modulus)

μ คือ อัตราส่วนปัวซอง

6. ค่าความแข็ง (Hardness: H)

$$H = (1-2\mu)\frac{E}{6}(1+\mu) \qquad (2.7)$$

เมื่อ H คือ ค่าความแข็ง (Hardness)

ตารางที่ 2.4.2 ชนิดและปริมาณของโลหะออกไซด์ในแก้วรีไซเคิลและสมบัติยืดหยุ่น

ชนิดและปริมาณของโลหะออกไซด์	V_l (m/s)	V_s (m/s)	L (MPa)	G (MPa)	K (MPa)	μ (MPa)	E (MPa)	H (MPa)
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต	5967.0	3624.0	92.2385	34.0233	66.7210	0.2077	53.9133	4.3496
แก้วน้ำตาล+โซเดียมคาร์บอเนต	5799.0	3805.5	88.1468	37.9598	59.6770	0.1219	66.6650	7.4891
แก้วสีเขียว+โซเดียมคาร์บอเนต	6083.5	4215.0	100.5386	48.2637	64.3408	0.0383	92.8304	13.7596
แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	5876.0	3485.5	90.2304	31.7482	66.4193	0.2285	48.9875	3.6088
แก้วสีฟ้า+แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	6180.0	3938.5	100.0946	40.6533	69.5100	0.1581	68.4520	6.7362
แก้วสีน้ำตาล+แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	5884.5	3732.0	90.8587	36.5452	63.4498	0.1636	61.1328	5.8912
แก้วสี ฟ้า+แก้วสีตาล+โซเดียมคาร์บอเนต	5894.5	3515.6	90.9732	32.3607	66.7027	0.2240	50.2238	3.7750
แก้วสีเขียว+แก้วสีฟ้า+โซเดียมคาร์บอเนต	6064.5	3834.0	96.4912	38.5658	67.5669	0.1671	64.2429	6.1081
แก้วสีเขียว+แก้วสีน้ำเงิน+โซเดียมคาร์บอเนต	5815.5	3569.5	88.7995	33.4600	63.7045	0.1978	53.6832	4.5147
แก้วสีเขียว+แก้วสีน้ำตาล+โซเดียมคาร์บอเนต	5852.5	3775.5	90.1164	37.5033	61.9889	0.1435	64.2432	6.6762
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์	5714.0	3745.0	88.3307	37.9433	37.7396	0.1234	66.5222	7.3744
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+แมงกานีสออกไซด์	5378.5	3026.5	83.0376	26.2975	47.9743	0.2684	38.4785	2.3420

ตารางที่ 2.4.2 (ต่อ)

ชนิดและปริมาณของโลหะออกไซด์	V_l (m/s)	V_s (m/s)	L (MPa)	G (MPa)	K (MPa)	μ (MPa)	E (MPa)	H
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+เหล็กออกไซด์	5607.5	3514.5	90.5557	35.5177	63.9174	0.1765	58.4977	5.3617
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+โคบอลท์ออกไซด์	5487.5	3342.5	87.1370	32.3293	62.8900	0.2051	51.3971	4.1925
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ทองแดงออกไซด์	5524.5	3581.5	88.8745	37.3526	60.8670	0.1375	64.4332	6.8444
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ซีรีเนียมออกไซด์	5399.0	3694.5	84.2179	39.4356	54.6412	0.0596	74.1705	10.2758
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ซีเรียมออกไซด์	5299.0	3081.5	82.0284	27.7396	45.0423	0.2445	41.9145	2.8684
แก้วใส+โซเดียมคาร์บอเนต+ตะกั่วออกไซด์+ยูเรเนียมออกไซด์	5543.0	3846.0	90.5615	43.5986	32.4300	0.0359	84.0668	12.5544

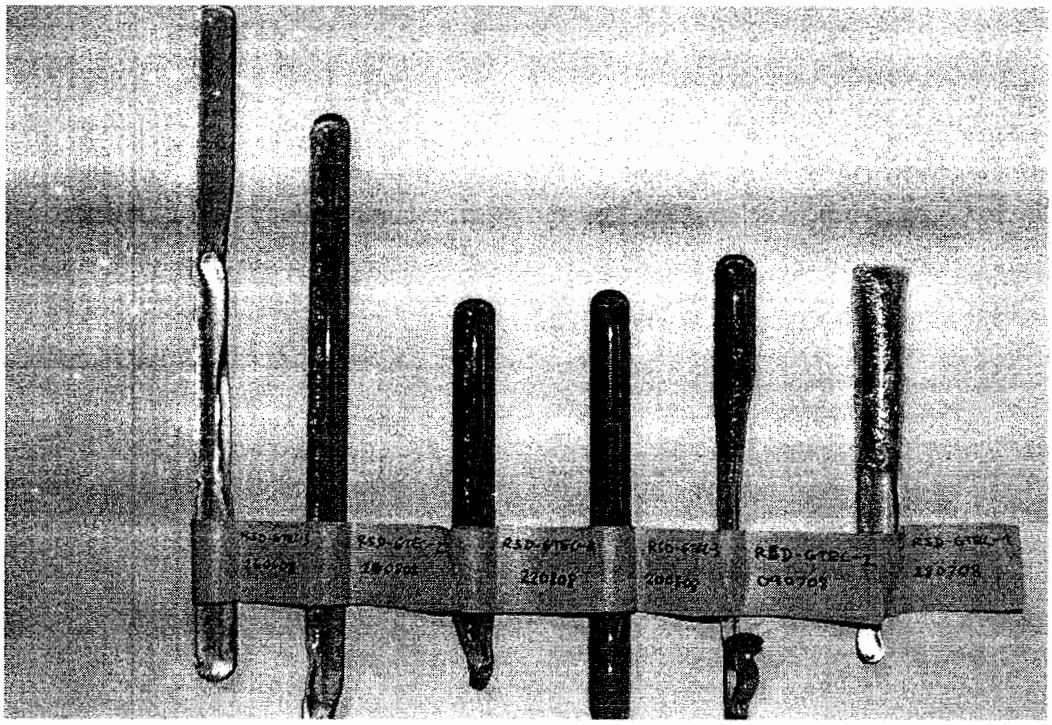
จากการหาค่าสมบัติทางกลของแก้วรีไซเคิล ดังตารางที่ 2.4.2 พบว่าคุณสมบัติทางกลของแก้วรีไซเคิลขึ้นอยู่ชนิดและปริมาณของออกไซด์โลหะที่เติม รวมถึงสารเจือปนที่อยู่ในขยะแก้วแต่ละชนิดด้วย

2.5 การขึ้นรูปและนำแก้วรีไซเคิลไปใช้สำหรับงานศิลป์

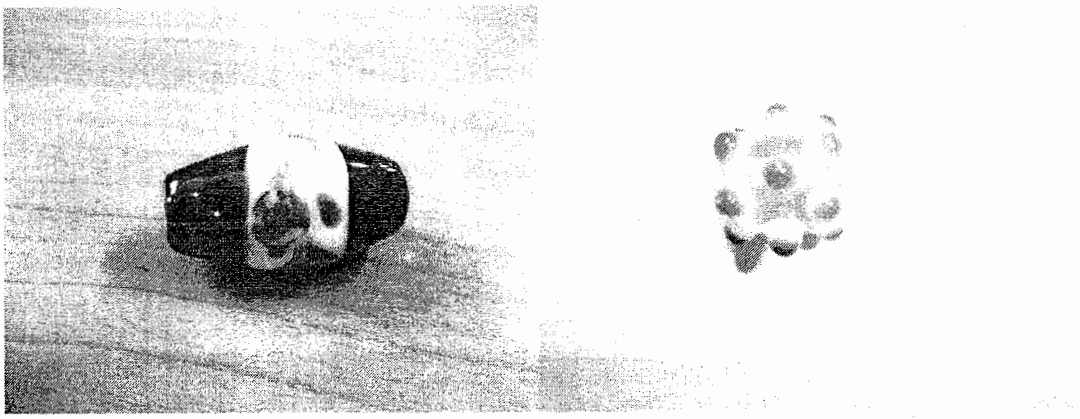
จากการดำเนินโครงการวิจัยสามารถขึ้นรูปแก้วรีไซเคิลเป็นแท่งแก้วดังรูปที่ 2.5.1 และนำไปใช้ในงานศิลป์ทำเป็นเครื่องประดับและเครื่องประดับตกแต่งดังรูปที่ 2.5.2 ถึง 2.5.3 โดยแบบต่าง ๆ ที่ได้จะมีรายละเอียดดังโครงการย่อยที่ 4 เรื่อง การพัฒนาการออกแบบและสร้างชิ้นงานแก้วศิลป์ เพื่อเป็นสินค้า Smart OTOP (Development of Product Designs of the Art Glass as the Smart OTOP Production) ของชุดบูรณาการ การพัฒนาขีดความสามารถในการสร้างชิ้นงาน

หัตถกรรม แก้วศิลป์ เพื่อสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจระดับชุมชน (Performance Enhancement of the Glass Handicraft to Strengthening the Local Economics)

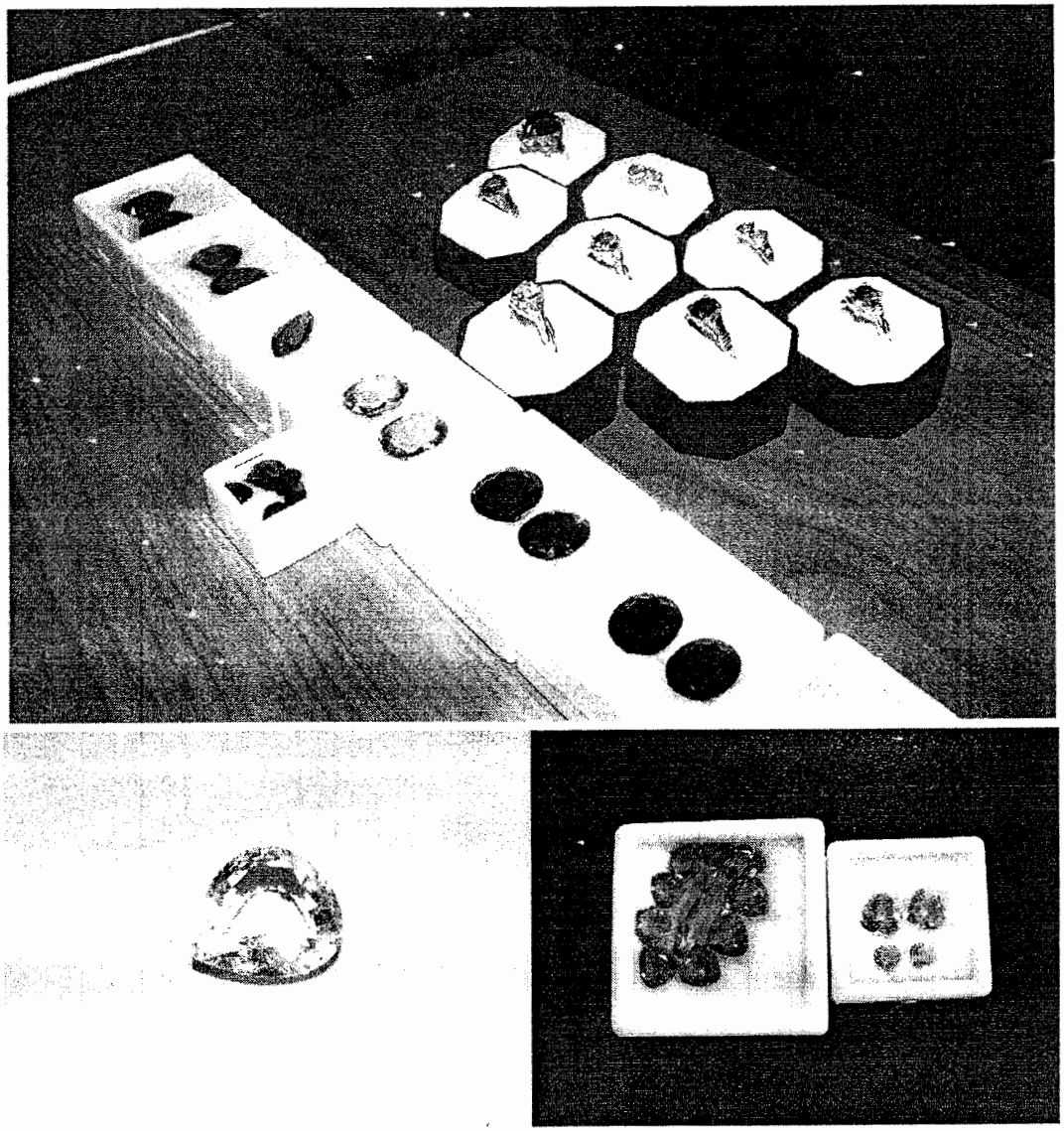
รูปที่ 2.5.1 เนื้อแก้วสีที่ได้จากการหลอมและปรับแต่งส่วนผสมให้มีความเหมาะสมและนำมาดึงเป็นเส้น



รูปที่ 2.5.2 แท่งแก้วสีจากแก้วรีไซเคิล



รูปที่ 2.5.3 ตัวอย่างลูกปัดแก้วจากแก้วรีไซเคิล



รูปที่ 2.5.4 ตัวอย่างเครื่องประดับตกแต่งจากแก้วรีไซเคิลที่นำไปเจียรไน

2.6 ข้อมูลต้นทุนการผลิตแท่งแก้ว เปรียบเทียบกับแท่งแก้วที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์

จัดทำข้อมูลต้นทุนในการผลิตแท่งแก้วรีไซเคิล โดยเปรียบเทียบกับแท่งแก้วที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ โดยแบ่งเป็นแก้วสีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.6.1

ตารางที่ 2.6.1 ราคาแท่งแก้วรีไซเคิลเปรียบเทียบกับแท่งแก้วที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์

ชนิด / สูตร	ราคาแท่งแก้วที่ขายในท้องตลาด (ราคา บาท/1 กิโลกรัม)	เศษแก้วรีไซเคิล	
		ราคาใช้สาร AR Grade (ราคา บาท/1 กิโลกรัม)	ราคาใช้สาร* Commercial Grade (ราคา บาท/1 กิโลกรัม)
ฟ้า(บลูโทแพส)	2,500	261.33	63.00
ม่วงเอเมทิสตร์	2,500	253.33	21.67
เหลืองซิทริน	2,500	694.00	126.33
น้ำเงินบลูแซปไฟร์	2,500	244.33	49.00
เขียวเข้ม	2,500	231.67	37.00
เหลืองอมน้ำตาล	2,500	1,025.00	197.67

หมายเหตุ: *ข้อมูลราคา Comercial Grade จากบริษัท M &G SUPPLY

2.7 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผู้วิจัยได้ทำการแยกขยะแก้วออกเป็น 6 ประเภท คือ แก้วใส แก้วสีเขียว แก้วสีน้ำตาล แก้วสีน้ำเงิน แก้วสีฟ้าและแก้ววิทยาศาสตร์ และเมื่อนำขยะแก้วไปทำการศึกษาหาองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ได้ผลการศึกษาดังนี้คือ

แก้วใสมีองค์ประกอบทางเคมี คือ Si, Na, Mg, Al, S, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr และ Cl

แก้วสีเขียวมีองค์ประกอบทางเคมี คือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Sr, As, Zr และ Pb

แก้วสีน้ำตาลมีองค์ประกอบทางเคมี คือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr และ Cl

แก้วสีน้ำเงินมีองค์ประกอบทางเคมี คือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Sr, Zr และ Co

แก้วสีฟ้ามีองค์ประกอบทางเคมี คือ Si, Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Sr, Zr, Pb, Cl, Co และ Cu

แก้ววิทยาศาสตร์มีองค์ประกอบทางเคมี คือ Si, Na, Al, K, O และ B

เมื่อนำแก้วใสมาปรับปรุงส่วนผสมและเติมโลหะออกไซด์จะได้แก้วสีต่าง ๆ ดังนี้คือ สีฟ้าเติมโลหะออกไซด์ของทองแดง สีเขียวเติมโลหะออกไซด์ของโครเมียม สีน้ำตาลเติมโลหะออกไซด์ของเหล็ก สีน้ำเงินเติมโลหะออกไซด์ของโคบอลท์

ส่วนผสมของแก้วรีไซเคิลที่เหมาะสมมีอยู่ 3 แบบคือ 1) เศษแก้วชนิด X (เศษแก้วใส/เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน) :โซเดียมคาร์บอเนต เป็น 1.50:1.00 2) เศษ

แก้วสี Y(เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน):เศษแก้วสี Z (เศษแก้วสีฟ้า/เศษแก้วสีน้ำตาล/เศษแก้วสีน้ำเงิน) : โซเดียมคาร์บอเนต เป็น 0.70:0.70:1.00 และ 3) เศษแก้วใส:โซเดียมคาร์บอเนต:ตะกั่วออกไซด์:ออกไซด์โลหะอื่น เป็น 1.40:1.00:0.40: (0.05-0.20) ซึ่งปริมาณออกไซด์โลหะที่เติมจะมีผลต่อความเข้มของสีแก้วที่ได้

ความหนาแน่นของแก้วอยู่ในช่วง 2.5906-2.9475 g/cm^3 ค่าโมดูลัสตามยาวอยู่ในช่วง 82.0284-100.0946 MPa ค่าโมดูลัสเฉือนอยู่ในช่วง 26.2975-48.2637 MPa ค่าบัคโมดูลัสอยู่ในช่วง 32.4300-69.5103 MPa ค่าปัวซองอยู่ในช่วง 0.0359-0.2684 MPa ค่ายังโมดูลัสอยู่ในช่วง 38.4785-92.8304 MPa และค่าความแข็งอยู่ในช่วง 2.3420-12.5544 MPa

นำก้อนแก้วรีไซเคิลที่ได้ไปผ่านกระบวนการดึงเป็นเส้นพบว่า สามารถนำแท่งแก้วที่ได้ไปใช้ในงานศิลป์ โดยทำเป็นเครื่องประดับและเครื่องประดับตกแต่งได้แก่ สร้อยข้อมือ สร้อยคอ ตุ้มหู อีกทั้งยังนำก้อนแก้วที่ได้จากโครงการวิจัยไปผ่านการเจียรไนและเข้าตัวเรือน

จากโครงการที่ได้ดำเนินการมาควรมีการพิจารณาในเรื่องต้นทุนการผลิตและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลต่อราคาสินค้าเพื่อผลิตสินค้า Smart OTOP

บรรณานุกรม

[1] A. R. Boccaccini , E. Bernardo , L. Blain and D. N. Boccaccini, *Journal of Nuclear Materials*, **327**, Issues 2-3. (2004). 148.

[2] Wenhai Huang , Delbert E. Day , Chandra S. Ray , Cheol-Woon Kim and Andrea Mogus-Mil, *Journal of Nuclear Materials*, **327**, Issue 1, (2004), 46.

[3] P. Y. Shih, *Materials Chemistry and Physics*, **80**, Issue 1, (2003), 299.

[4] Y. J. Bor, Y. L. Chien and E. Hsu, *Enviromental Science & Policy* **7** (2004), 509.

[5] C. H. Lee, S-Li. Chang, K. M. Wang and L. C. Wen, *Journal of Harzardous Materials*, **A73** (2000), 209.

[6] N. Menad, Resources, *Conservation and Recycling* **26** (1999), 143.

[7] http://www.cwc.org

[8] http://www.metroke.gov.

[9] http://www.usglassmag.com

[10] http://www.glasswork.org

[11] http://www.gpi.org

[12] http://www.ballfoster.com

[13] http://www.o-i.com

[14] http://www.jm.com/insulation

[15] http://www.dlubak.com

[16] Fanderlik (Ed.), *Glass Science and Technology 11: Silica Glass and its Application*, Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 1990.

[17] J. E. Shelby, *Introduction to Glass Science and Technology*, Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997.

[18] I. I. Tarasova, A. W. l. Dudeney and S. Pilurzu, *Minerals Enginerring* **14** (2001), 639.

[19] http://www.es.anl.gov/Process%20Engineering/Technologies/Documents/8-Glass%20Recycling-2003.pdf

[20] G. H. Edwards, *Journal of Cleaner Production*, **4**, (1996), 260.

[21] D.J. Duval, B. L. Philips, M. J. E. Terjak and S. H. Risbud, *Journal of Solid State Chemistry*, **131** (1997), 173.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. การนำเสนอผลงานวิจัย

ในระหว่างวันที่ 9 - 13 มกราคม 2550 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการถนนคนเดิน ที่ชื่อว่า เส้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพ ฯ โดยมี ศ.ดร.ยงยุทธ ยุทธวงศ์ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นประธานเปิดงานนิทรรศการถนนคนเดินเส้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เนื่องในสัปดาห์วันเด็กแห่งชาติ

รูปที่ 1 ศ.ดร.ยงยุทธ ยุทธวงศ์ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นประธานเปิดงานนิทรรศการถนนคนเดินเส้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รูปที่ 2 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นประธานเปิดงานนิทรรศการ

รูปที่ 3 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เข้าชมทิทรรศการการนำขยะแก้วมาทำลูกปัดแก้วรีไซเคิล

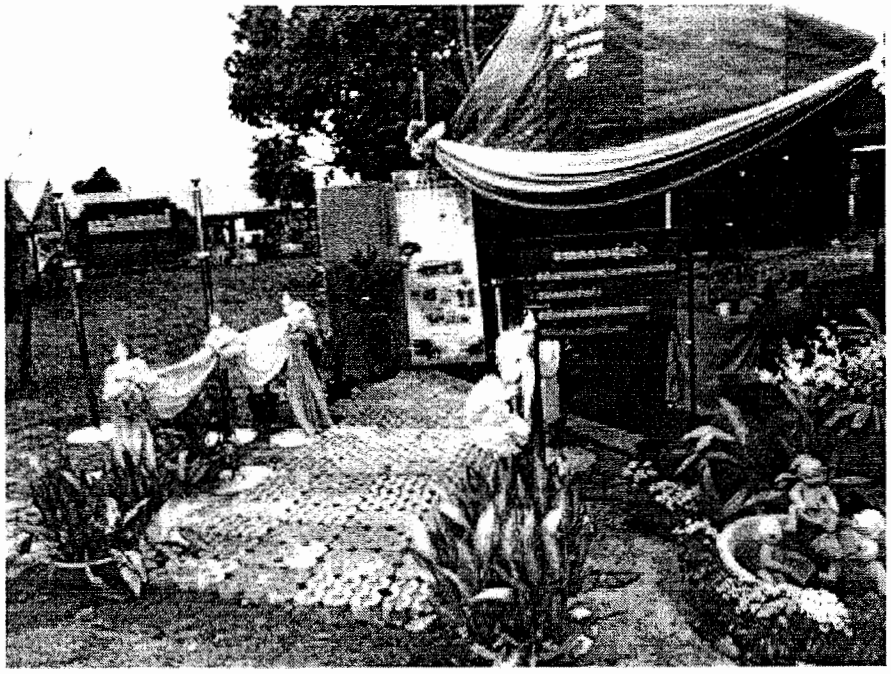
รูปที่ 4 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทดลองเป่าลูกปัดแก้วจากขยะแก้วรีไซเคิล

รูปที่ 5 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป่าลูกปัดแก้วจากขยะแก้วรีไซเคิล (ต่อ)

รูปที่ 6 ผู้เข้าชมนิทรรศการให้ความสนใจกับการเป่าลูกปัดแก้วจากขยะแก้วรีไซเคิล

ในระหว่างวันที่ 2-11 มีนาคม พ.ศ. 2550 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการในงานวันเกษตรแห่งชาติ ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีรัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ท่านธีระ สูตะบุตร เป็นประธานในพิธีเปิดงาน

รูปที่ 7 บรรยากาศทางเข้างานเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2550



รูปที่ 8 บรรยากาศการจัดงานเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2550

รูปที่ 9 นักวิจัยนำเสนอผลการวิจัยในงานเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2550

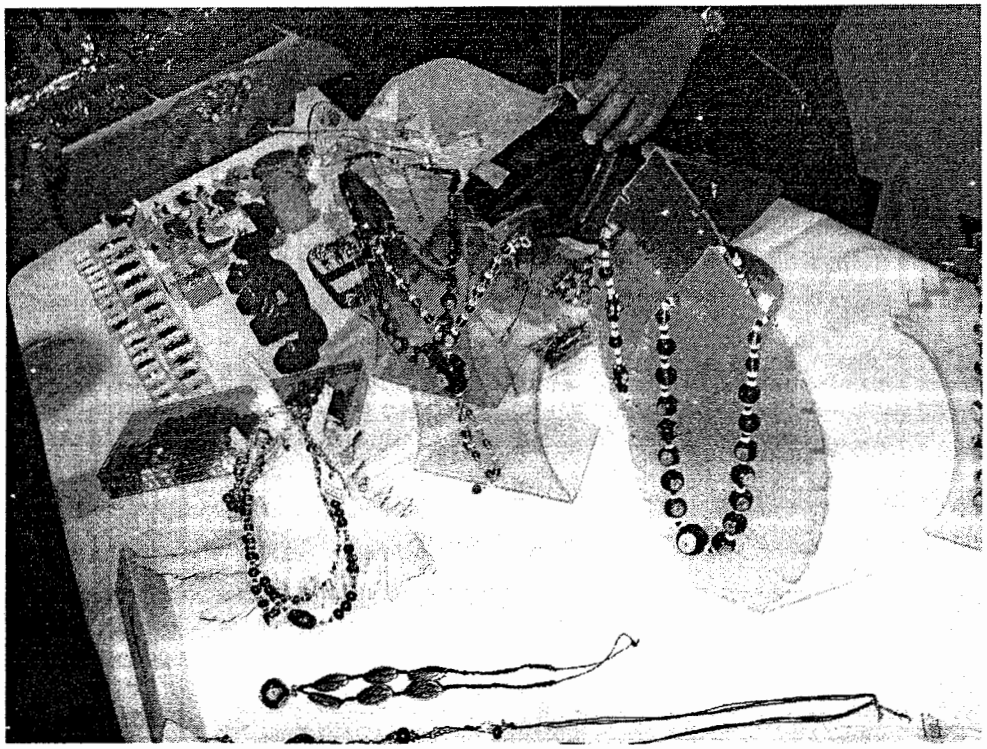
รูปที่ 10 กลุ่มนักวิจัยถ่ายรูปเป็นที่ระลึกในงานเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2550

ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2551 ผู้วิจัยได้ถูกเชิญให้เข้าร่วมสัมมนาและนำผลงานที่เกิดจากการทำวิจัยไปจัดนิทรรศการแลกเปลี่ยนเรียนรู้การทบทวนและขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การจัดการขยะ ณ ห้องประชุมรามอินทรา 1 โรงแรมหลุยส์เทเวิร์น กรุงเทพฯ

ในงานดังกล่าวเป็นการนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะโดยการนำขยะมาทำการรีไซเคิลเพื่อดัดแปลงและเพิ่มมูลค่าของขยะให้เป็นสินค้าจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งในงานดังกล่าวมีผู้ให้ความสนใจและสอบถามข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลงานวิจัยเป็นจำนวนมาก

รูปที่ 11 ภาพบรรยากาศทั่วไปภายในงานนิทรรศการแลกเปลี่ยนเรียนรู้การทบทวนและขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การจัดการขยะ

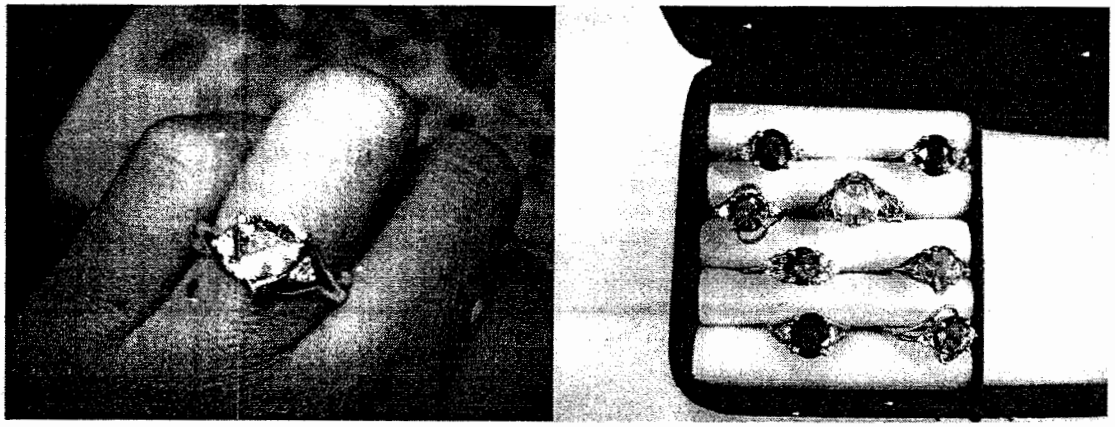
รูปที่ 12 นักวิจัยอธิบายและนำเสนอผลงานวิจัยให้กับผู้ที่สนใจ



รูปที่ 13 ผลงานประเภทลูกปัดแก้วที่ได้จากขยะแก้วรีไซเคิล ที่กลุ่มนักวิจัยนำไปแสดงในงาน

รูปที่ 14 ผลงานประเภทลูกปัดแก้วที่ได้จากขยะแก้วรีไซเคิล ที่กลุ่มนักวิจัยนำไปแสดงในงาน (ต่อ)

รูปที่ 15 ผลงานประเภทแก้วที่ผ่านการเจียรไนจากขยะแก้วรีไซเคิล ที่กลุ่มนักวิจัยนำไปร่วมแสดงในงาน

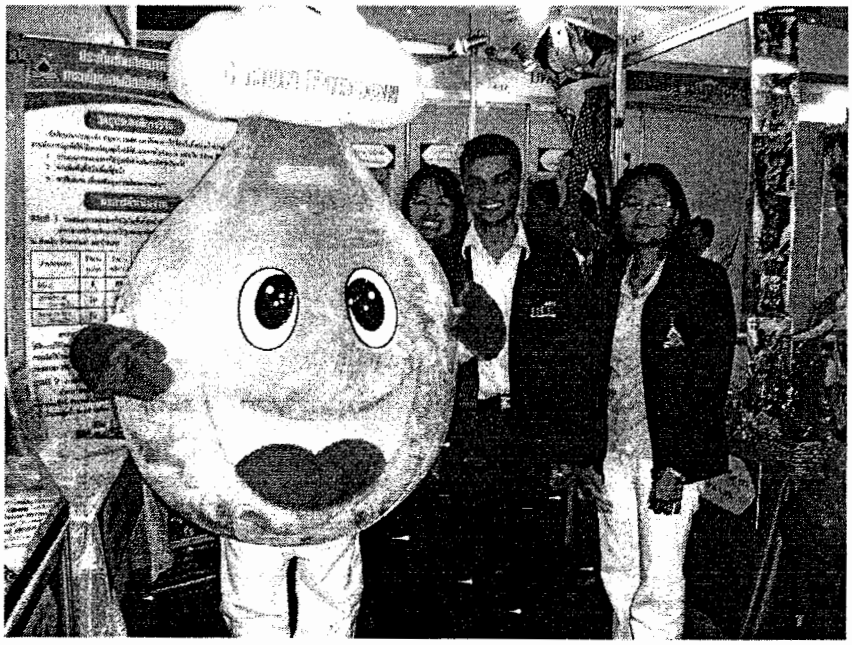


รูปที่ 16 ผลงานประเภทแก้วที่ผ่านการเจียรไนจากขยะแก้วรีไซเคิล ที่กลุ่มนักวิจัยนำไปร่วมแสดงในงาน (ต่อ)

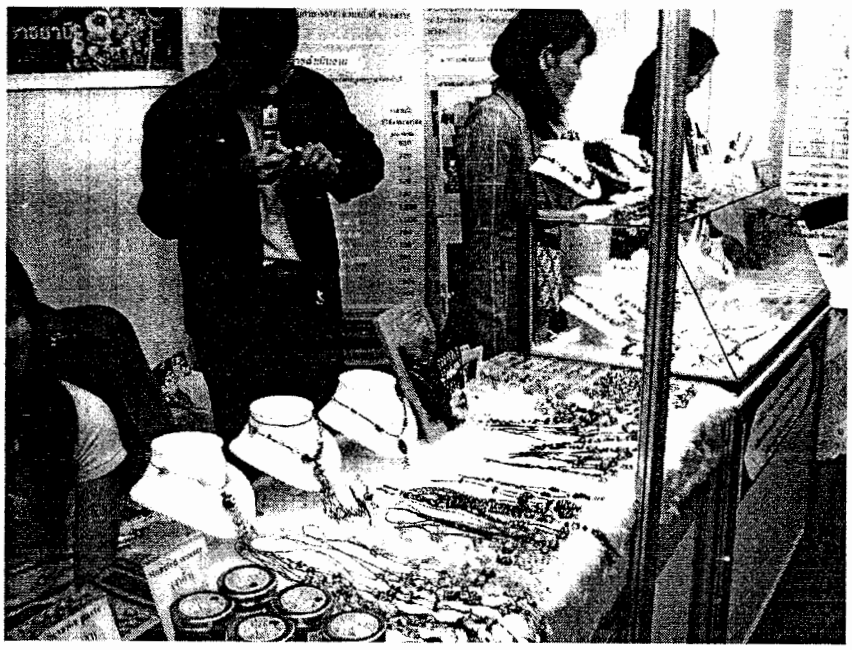
รูปที่ 17 กลุ่มนักวิจัยถ่ายภาพร่วมกัน

รูปที่ 18 วิทยากรผู้จัดงานร่วมถ่ายภาพกับกลุ่มนักวิจัย

ในระหว่างวันที่ 12 – 16 กันยายน 2551 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการในงานการนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2551 (Thailand Research Expo 2008) ณ ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทัลเวิลด์ราชประสงค์ กรุงเทพฯ ซึ่งจัดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ซึ่งจากการนำผลงานการวิจัยไปนำเสนอในงานต่าง ๆ นั้นจะได้รับความสนใจจากผู้เข้าร่วมงานเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 1 วิทยากรผู้จัดงานร่วมถ่ายภาพกับกลุ่มนักวิจัย



รูปที่ 2 ผลงานที่กลุ่มนักวิจัยนำไปร่วมจัดแสดงในงาน

2. ตารางเปรียบเทียบการดำเนินงานที่เสนอไว้ในแผนงานวิจัยกับงานวิจัยที่ได้

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ*
1. รวบรวมขยะแก้วและทำการคัดแยกประเภท	ได้ขยะแก้วแต่ละประเภท	แยกขยะรีไซเคิล เช่น แก้วเบียร์ลีโอเบียร์ ช้าง และแก้ววิทยาศาสตร์	
2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะแต่ละประเภท	ทราบองค์ประกอบของขยะแก้วและนำไปวางแผนการเตรียมแก้วที่จะหลอม	ตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF เพื่อพิจารณาองค์ประกอบ ในแก้วตัวอย่าง และวางแผนการเตรียมแก้วที่จะหลอมต่อไป	
3. ออกแบบส่วนผสมเพิ่มเติมและเตรียมชิ้นงานแก้วตัวอย่าง	ได้ชิ้นงานแก้วตัวอย่างที่เตรียมเป็นชิ้นงานแก้วสี	ทดสอบคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer	
4. วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของแก้วที่เตรียม นำข้อมูลมาประกอบเพื่อการปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติม	ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานแก้วตัวอย่าง	ทดสอบความหนาแน่นของแก้ว และทดสอบคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer	
5. ปรับแต่งส่วนผสม และเทคนิคการหลอมให้แก้วมีคุณสมบัติเหมาะสมมากกว่าเดิม	สามารถเตรียมแก้วจากขยะแก้วได้จากส่วนผสมที่ออกแบบในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม	ได้แก้วจากขยะแก้วในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นแก้วใสและแวววาว	
6. ทดลองนำชิ้นแก้วตัวอย่างที่ได้จากการนำกลับมาใช้ใหม่ในการผลิตชิ้นงานแก้วศิลป์	สามารถสร้างอัญมณีสังเคราะห์จากขยะแก้วและสามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้	ได้ทดลองนำอัญมณีสังเคราะห์จากขยะแก้วต้นแบบที่ผ่านการเจียระไนและทำเครื่องประดับ (ซึ่งอยู่ในโครงการย่อยที่ 4)	
7. ทำการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการการนำขยะแก้วมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะ ประเภทแก้วที่ถูกทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม และเป็นการลดมลภาวะ	มีผู้สนใจและเชิญเข้าร่วมสัมมนาและจัดนิทรรศการเกี่ยวการจัดการขยะ	ได้เข้าร่วมสัมมนาและจัดนิทรรศการต่างๆ เช่น ในระหว่างวันที่ 9 - 13 มกราคม 2550 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการถนนคนเดิน ที่ชื่อว่า เส้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพ ฯ โดยมี ศ.ดร.ยงยุทธ ยุทธวงศ์ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นประธานเปิดงานนิทรรศการถนนคนเดินเส้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เนื่องในสัปดาห์วันเด็ก	

		แห่งชาติ ในระหว่างวันที่ 2-11 มีนาคม พ.ศ. 2550 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการในงานวันเกษตรแห่งชาติ ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีรัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ท่านธีระ สูตะบุตร เป็นประธานในพิธีเปิดงาน ในระหว่างวันที่ 2-11 มีนาคม พ.ศ. 2550 กลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมจัดนิทรรศการในงานวันเกษตรแห่งชาติ ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีรัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ท่านธีระ สูตะบุตร เป็นประธานในพิธีเปิดงาน ในวันที่ 26 ธันวาคม 2550- 7 มกราคม 2551 ผู้วิจัยได้ถูกเชิญให้นำผลงานที่งานวิจัยไปจัดนิทรรศการในงานกาชาด ประจำปี 2551 ณ บริเวณทุ่งศรีเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งทางกลุ่มนักวิจัยได้นำผลงานต่าง ๆ ที่ได้จากการวิจัยไปจัดแสดง และได้เข้าร่วมสัมมนาและจัดนิทรรศการแลกเปลี่ยนเรียนรู้การทบทวนและขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การจัดการขยะ ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2551 ณ ห้องประชุมรามอินทรา 1 โรงแรมหลุยส์เทเวิร์น กรุงเทพฯ	

รายงานการใช้เงิน

ในปีงบประมาณ 2549 ใช้งบประมาณไปทั้งสิ้น 292,100 บาท (สองแสนเก้าหมื่นสองพันหนึ่งร้อยบาทถ้วน)
ในปีงบประมาณ 2550 ใช้งบประมาณไปทั้งสิ้น 321,600 บาท (สามแสนสองหมื่นหนึ่งพันหกร้อยบาทถ้วน)
ในปีงบประมาณ 2551 ใช้งบประมาณไปทั้งสิ้น 273,400 บาท (สองแสนเจ็ดหมื่นสามพันสี่ร้อยบาทถ้วน)
รวมงบประมาณที่ใช้ตลอดโครงการวิจัยทั้งหมดเท่ากับ 887,100 บาท (สองแสนเจ็ดหมื่นสามพันสี่ร้อยบาทถ้วน)