

# การศึกษาอิทธิพลของเศษหลอดไฟต่อสมบัติทางความร้อนของแก้วโซดาไลม์

## Study of influence of the lighting cullet in thermal properties of soda-lime-silica glass

นายเทวินทร์ เทวกานนท์

ผศ.ดร.ดวงฤดี ฉายสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 Email: fengddc@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของเศษหลอดไฟต่อสมบัติทางความร้อนของแก้วโซดาไลม์ ส่วนผสมทางเคมีของแก้วโซดาไลม์ในการศึกษานี้คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ 71.5%, อะลูมิเนียมออกไซด์ 1.6%, แคลเซียมออกไซด์ 7.3%, แมกนีเซียมออกไซด์ 3.5 %, โซเดียมออกไซด์ 14.5 % เป็นสูตรมาตรฐานของภาชนะแก้ว และ 40 % ของเศษแก้วจะใส่ลงในส่วนผสม สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน อุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นแก้ว ( $T_g$ ) อุณหภูมิการอ่อนตัวและสมบัติทางความร้อนคือสิ่งที่เรศึกษา หลอดไฟจากหลอดแก้วที่ใช้ในการทดลองจะมีส่วนผสม 1.6-1.7 % ของ โบรอน การศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนระหว่างแก้วโซดาไลม์ที่หลอมจากส่วนผสม และมีเศษแก้ว 100 % และเศษแก้วจากหลอด ฟลูออเรสเซนต์ 100% ซึ่งจะได้ผลว่า เศษแก้วจากหลอดไฟ 100% จะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ที่สูงกว่าประมาณ  $0.55 \times 10^{-6} K^{-1}$  หรือประมาณ 6 % และมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนจากเป็นแก้ว และ อุณหภูมิการอ่อนตัวของแก้วต่ำลงประมาณ 10 องศาเซลเซียส และ 18 องศาเซลเซียส ปริมาณที่มากที่สุดของเศษหลอดไฟที่ใช้ในส่วนผสมได้ ที่ไม่ทำให้สมบัติทางความร้อนของแก้วโซดาไลม์เปลี่ยนแปลงไป

คำสำคัญ : เศษแก้ว, แก้วโซดาไลม์, สมบัติทางความร้อน

### Abstract

In this study the influence of lighting cullet in thermal properties of soda-lime-silica glass is investigated. Chemical composition of soda-lime-glass used in this study is 71.5wt% SiO<sub>2</sub>, 1.6wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7.3wt% CaO, 3.5wt% MgO, 14.5wt% Na<sub>2</sub>O which is normally for container glass. The 40% of cullet is added in batch. The coefficient of thermal expansion (COE), glass transition temperature ( $T_g$ ), softening temperature and viscosity properties are studied. The lighting lamp cullet used in the experiment contains 1.6 - 1.7wt% boron. The primary study was conducted to compare the thermal properties between the soda-lime-silica glass melted from the batch containing 100% glass cullet and that containing 100% light lamp cullet. It was found that the 100%-light lamp-cullet batch results in the

higher COE about  $0.55 \times 10^{-6} K^{-1}$  (6%), lower  $T_g$  and softening temperature about 10°C (2.6%) and 18°C (2.8%), respectively. The maximum amount of lighting lamp cullet that allow in the batch and does not alter the thermal properties of soda- lime- silica glass will be examined.

Keywords : submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

### 1. คำนำ

บรรจุภัณฑ์ที่เป็นขวดหรือโหลแก้วส่วนใหญ่สามารถนำ กลับมารีไซเคิลได้ 100% โดยคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะขวดหรือ โหลแก้วนั้นจะถูกรีไซเคิลมากี่ครั้งแล้วก็ตาม การรีไซเคิลแก้ว ใช้ เชื้อเพลิงในการหลอมแก้วน้อยกว่าการผลิตแก้วจากวัตถุดิบโดยตรง การ รีไซเคิลขวดแก้ว 1 ใบสามารถประหยัดพลังงานเพียงพอที่จะให้ความ สว่างกับหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ได้ถึง 4 ชั่วโมง หรือประหยัดไฟฟ้า เท่ากับการชมโทรทัศน์ 1 ชั่วโมงครึ่งเลยทีเดียว แต่ผลิตภัณฑ์แก้วบาง ชนิดไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ เนื่องจากการเติมสารบางอย่างลงไป ในกระบวนการผลิตเพื่อวัตถุประสงค์บางประการ เช่น แก้วเจียรนัย จะมี สารจำพวกตะกั่วออกไซด์ปนอยู่ ซึ่งจะทำให้การหักเหของแสงในแก้ว ชนิดนี้มีมากกว่าแก้วชนิดอื่น แก้วจึงมีความแวววาวสวยงาม นอกจากนี้ หลอดไฟและกระจกเงา ไม่สามารถรีไซเคิลได้ เนื่องจากมีสารที่เป็น อันตรายต่อสุขภาพ เช่น สารฟลูออเรสเซนต์ และปรอทเคลือบอยู่ใน การ รีไซเคิลแก้วนั้น ต้องแยกแก้วสีขา และแก้วสีเขียวออกจากแก้วใส

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการงาน

#### 2.1. หลอดฟลูออเรสเซนต์

เป็นหลอดไฟฟ้าที่จัดได้ว่า เป็นต้นกำเนิดแสงสว่างที่ได้รับ ความนิยมแพร่หลายมากที่สุด ถูกนำไปใช้ทดแทนแหล่งกำเนิดแสงสว่าง เดิมคือ หลอดมีไส้ (Incandescent) สำหรับให้ความสว่างทั่วไป

##### 2.1.1. หลักการทำงานเบื้องต้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์

นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบหลักการเบื้องต้นที่ก่อให้เกิดแสง

สว่างมานานหลายปี และจนกระทั่งปี พ.ศ. 2481 จึงได้มีการประดิษฐ์หลอดฟลูออเรสเซนต์ขึ้นมาเป็นหลอดแรก การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาศัยพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ไอปรอทที่บรรจุไว้ในก๊าซเฉื่อย เช่น พกแก๊สอาร์กอน คริปตอน หรือนีออน ที่ความดันต่ำ ได้รับการกระตุ้นจากแหล่งปลดปล่อยพลังงาน (Discharge Source) ให้ไอปรอทปลดปล่อยพลังงานออกมาแสงอัลตราไวโอเลตที่เปล่งออกมานี้จะกระทบเข้ากับผิวในหลอดแก้วที่ฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงที่เรียกว่าฟอสฟอรัส (Phosphor) หรือ Fluorescent Material ตัวสารเรืองแสงนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ให้กลายเป็นแสงสว่างที่ปรากฏแก่สายตาของมนุษย์

แก้วชนิดต่างๆ ถือเป็นเซรามิกประเภทหนึ่ง มีการใช้งานแตกต่างกัน เช่น เป็นภาชนะ กระดาษหน้าต่าง เลนส์เส้นใยแก้ว เป็นต้น แก้วนั้นประกอบด้วยโครงสร้างแบบไม่มีผลึกของซิลิเกตที่ผสมด้วยออกไซด์ต่างๆ เช่น  $\text{CaO}$   $\text{Na}_2\text{O}$   $\text{K}_2\text{O}$  และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ทำให้แก้วมีสมบัติแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น แก้วโซดาไลม์ ประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$  ประมาณ 70 โดยน้ำหนัก (wt%) ที่เหลือเป็น  $\text{NaO}$  (โซดา) และ  $\text{CaO}$  (ไลม์)

### 3. เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการงาน

#### 3.1.1. สารเคมี

ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ), แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ ), โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), เศษแก้วเหลือทิ้ง, เศษหลอดฟลูออเรสเซนต์, เจนเนอรัล อิเล็กทริก (General Electric), เศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ โตชิบา (Toshiba), เศษหลอดฟลูออเรสเซนต์, ฟิลิปส์ (Philips)

#### 3.1.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

เตาเผาอุณหภูมิสูง  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( High Temperature Chamber Furnace) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง, เครื่องขัดแก้ว ( Grinder Polisher), เครื่องตัดความเร็วต่ำ ( Low Speed Cutter), เครื่องวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Dilatometer), เครื่องวิเคราะห์ค่าความหนืดของแก้ว (Viscometer Fiber Elongation), เครื่องการวิเคราะห์การเรืองแสงของธาตุ X-ray Fluorescence Spectrometers, เครื่องวัดสีของแก้ว (UV-Visible Spectrophotometer), เครื่องบดตัวอย่าง, เครื่องอัดตัวอย่าง, ตู้ควบคุมความชื้น, ถ้วยอะลูมินา ( Alumina Crucible) ช้อนตักสาร (Spatula), ชุดกันความร้อน ประกอบด้วย เสื้อ รองเท้า หน้ากาก ถุงมือ เหล็ก, แผ่นให้ความร้อน ( Heating Plate), แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม แผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์  $75\text{ }\mu\text{m}$ ,  $45\text{ }\mu\text{m}$ ,  $6\text{ }\mu\text{m}$ , แผ่นสีกหลาดและน้ำยาขัด  $\text{CeO}_2$  (Ceria), กรรไกร (Scissors), ค้อน (Hammer)

### 4. วิธีการดำเนินโครงการงาน

#### 4.1. วิธีการทดลอง

##### 4.1.1. ขั้นตอนการเตรียมหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และเศษแก้ว

นำหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 (วัตต์) คือ จีอี, โตชิบา และฟิลิปส์ นำหลอดไฟมาหักบริเวณขั้วหลอดออกเพื่อป้องกันแรงดันจากการระเบิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้กรรไกรตัดหลอดไฟให้มีขนาดเล็ก ประมาณ 5 เซนติเมตรและใช้ค้อนทุบหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ละเอียด มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร จากนั้นนำเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์มาบดให้เล็กลงจนมีขนาด 1 เซนติเมตรใส่ถุงแยกตามชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์

##### 4.2. ขั้นตอนการเตรียมเศษหลอดไฟเพื่อวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง (XRF)

1. นำเศษแก้วใส่ในถ้วยบด แล้วนำไปใส่เครื่องบดจนได้ขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน เก็บผงแก้วและผงหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิดไว้ในถุงกันความชื้น
2. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 แต่เปลี่ยนชนิดของเศษแก้วไปเป็นหลอดไฟ จีอี, โตชิบา, และฟิลิปส์ ตามลำดับ
3. นำเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่บดละเอียดจนกลายเป็นผง ขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน มาชั่งส่วนผสมระหว่างเศษแก้ว, เศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของชิ้นงานที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF
4. ทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำอีก แต่เปลี่ยนส่วนผสมเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์จากจีอี เป็นโตชิบา และฟิลิปส์ ตามลำดับ
5. ส่วนผสมประกอบทั้งหมดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่ถ้วยอะลูมิเนียม จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัด แรงอัด 200 Psi กดค้างไว้เป็นเวลา 10 วินาที ได้ชิ้นงานสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF และหลอมแก้วจนได้สูตรแก้วทั้ง 3 ชนิด

##### 4.3. ขั้นตอนการหลอมแก้ว

1. ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบหลักประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ตามสูตรมาตรฐานของแก้ว
2. ชั่งส่วนผสมระหว่างเศษแก้วกับเศษหลอดไฟฟิลิปส์ โดยคิดเป็น 40 % ของส่วนผสมทั้งหมด
3. นำส่วนผสมทั้งหมดใส่ถ้วยอะลูมินาทนความร้อน แล้วนำเข้าเตาเผา (Carbolite) และให้ความร้อนด้วยอัตราเร็ว  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$  และคงอุณหภูมินั้นไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นให้ความร้อนต่อจนถึงอุณหภูมิ  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้ส่วนผสมหลอมเป็นน้ำแก้วและคงอุณหภูมิไว้ 60 นาที
4. หลังจากที่ได้ความร้อนเป็นระยะเวลา 50 นาที จะเริ่มให้ความร้อนแก่ อุปกรณ์ทำความร้อน (Hotplate) จนถึงอุณหภูมิประมาณ  $400\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$  หลังจากส่วนผสมหลอมเป็นน้ำแก้วอย่างสมบูรณ์แล้ว
5. ประกอบแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับประกอบเป็นแม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Hotplate) อุณหภูมิประมาณ  $400\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$
6. เทน้ำแก้วเทลงบนแม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส หลังจากนั้นนำแม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส แล้วรอให้แข็งตัวประมาณ 10-15 วินาที แล้วจึงรีบนำเข้าเตาอบเพื่อทำการอบอ่อน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อคลายความเครียดของแก้วเนื่องจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วในขณะที่

ทดลองบนแม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส 7. เก็บชิ้นงานใส่ถุงกันความชื้น (Desiccator) เพื่อเตรียมทดสอบในขั้นตอนต่อไป

#### 4.4. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

##### 4.4.1. วิเคราะห์สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (COE)

1. ชิ้นงานแก้วรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมาขัดผิวให้เรียบทั้งด้านบนและด้านล่าง (รูปที่ 23) ขัดด้วยเครื่องขัดแก้วใช้แผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 75  $\mu\text{m}$ . ถ้าไม่ขัดให้ชิ้นงานเรียบชิ้นงานแก้วจะลื่นและมีลักษณะโค้ง จึงยากต่อการจับยึดของเครื่องตัดแก้ว 2. เสร็จแล้วจึงนำแก้วเข้าเครื่องตัดแก้ว ตัดออกมาเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดประมาณ 1.0 x 1.0 x 50 มิลลิเมตร สูตรแก้วละ 2 ชิ้น 3. นำชิ้นงานของแก้วชิ้นที่ 1 มาขัดด้วยแผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 75  $\mu\text{m}$ . และ 45  $\mu\text{m}$ . ตามลำดับ จนได้ขนาด 0.5 x 0.5 x 40 มิลลิเมตร ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.04 มิลลิเมตร 4. นำชิ้นงานของแก้วไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ใช้เวลาวิเคราะห์ 2 ชั่วโมง 30 นาที ต่อ 1 ชิ้นงาน

##### 4.4.2. การวิเคราะห์ค่าความหนืดของแก้วด้วยเครื่อง Fiber elongation

1. นำชิ้นงานของแก้วทั้ง 3 ยี่ห้อเข้าเครื่องตัดแก้ว ตัดออกมาเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดประมาณ 1.0 x 1.0 x 50 มิลลิเมตร สูตรละ 1 ชิ้น เพื่อเตรียมทำชิ้นงานไปดึงเป็นเส้นใยแก้ว 2. นำแก้วไปดึงเป็นเส้นใยแก้วโดยใช้ความร้อนเป่าแล้วดึงออกมาเป็นเส้นใย ขนาด 0.5 x 0.5 x 8 มิลลิเมตร 3. นำชิ้นงานเข้าเครื่องวิเคราะห์ค่าความหนืดของแก้ว ใช้เวลาทดสอบประมาณ 30 นาทีต่อ 1 ชิ้นงาน

##### 4.4.3. การวิเคราะห์การวัดสีด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

1. นำชิ้นงานแก้วทั้ง 3 ยี่ห้อเข้าเครื่องตัดแก้ว ตัดออกมาเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดประมาณ 20 x 20 x 10 มิลลิเมตร สูตรละ 1 ชิ้น 2. ขัดให้ชิ้นงานเรียบโดยใช้ขัดด้วยเครื่องขัดแก้ว ใช้แผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 75  $\mu\text{m}$ , 45  $\mu\text{m}$ , และ 6 $\mu\text{m}$ . ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการขัดละเอียดด้วยแผ่นสักหลาด พร้อมหยดด้วย น้ำยาคัด  $\text{CeO}_2$  ทำการขัดจนแก้วมีความใสทั้งสองด้าน 3. นำแก้วที่ผ่านการขัดแล้วไปทำการวัดค่าสีด้วยเครื่อง UV-Visible เพื่อหาค่าสีเป็นตัวเลขจากระบบ CIE L\*a\*b ใช้เวลาทดสอบประมาณ 10 นาทีต่อ 1 ชิ้นงาน

#### 5. ผลการดำเนินโครงการและวิจารณ์

##### 5.1. ผลการวิเคราะห์การเรืองแสงของธาตุด้วยเครื่อง X-Ray

###### Fluorescence Spectrometry (XRF)

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ของสูตรแก้วพบว่า

- เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ปริมาณของ โซเดียมออกไซด์, อะลูมิเนียมออกไซด์ เพิ่มขึ้น
- เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ปริมาณของ แมกนีเซียมออกไซด์, ซิลิกอนไดออกไซด์, แคลเซียมออกไซด์ ลดลง

##### 5.2. ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ด้วยเครื่อง Dilatometer

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว มีแนวโน้มของอุณหภูมิที่เปลี่ยนโครงสร้างเป็นแก้วที่ต่ำลง เนื่องจากมีปริมาณของอัลคาไลด์ที่สูงขึ้นตามปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผสมเข้าไปในสูตรแก้ว ทำให้จุดหลอมเหลวของแก้วลดต่ำลง

##### 5.3. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิจุดอ่อนตัวของแก้ว (Softening Point) ด้วยเครื่อง Dilatometer

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว มีแนวโน้มของอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของแก้วที่ต่ำลง เนื่องจากมีปริมาณของอัลคาไลด์ที่สูงขึ้นตามปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผสมเข้าไปในสูตรแก้ว ทำให้จุดหลอมเหลวของแก้วลดต่ำลง

##### 5.4. ผลการวิเคราะห์หิวเคราะห์สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ด้วยเครื่อง Dilatometer

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของอัลคาไลด์ที่สูงขึ้นตามปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผสมเข้าไปในสูตรแก้ว ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเพิ่มมากขึ้น

##### 5.5. ผลการวิเคราะห์หิวเคราะห์จุดแข็งตัวของแก้ว ด้วยเครื่อง Fiber elongation

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลของอุณหภูมิจุดความเครียดของแก้วมีแนวโน้มลดต่ำลง

##### 5.6. ผลการวิเคราะห์หิวเคราะห์จุดอ่อนของแก้ว ด้วยเครื่อง Fiber elongation

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลของอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของแก้วมีแนวโน้มลดต่ำลง

##### 5.7. ผลการวิเคราะห์หิวเคราะห์จุดอ่อนตัวด้วยเทคนิค Dilatometric ด้วยเครื่อง Fiber elongation

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลของอุณหภูมิจุดอ่อนตัวด้วยเทคนิคของ Dilatometric ของแก้วมีแนวโน้มลดต่ำลง

##### 5.8. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิจุดอ่อนตัวของแก้ว ด้วยเครื่อง Fiber elongation

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลของอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของแก้ว มีแนวโน้มลดต่ำลง

##### 5.9. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิสำหรับการขึ้นรูปของแก้ว (Working Point) ด้วยเครื่อง Fiber elongation

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลของอุณหภูมิสำหรับการขึ้นรูปของแก้ว มีแนวโน้มลดต่ำลง

### 5.10. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิก่อนกลมของน้ำแก้ว ด้วยเครื่อง Fiber elongation

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลของอุณหภูมิปริมาณมากที่สุดสำหรับขึ้นรูปของแก้ว มีแนวโน้มลดต่ำลง

### 5.11. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของแก้ว ด้วยเครื่อง Fiber elongation

เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ผลของอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของแก้ว มีแนวโน้มลดต่ำลง

### 5.12. ผลการวิเคราะห์การส่องผ่านของแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

ผลการวิเคราะห์ค่าการส่องผ่านของแสงจากสูตรแก้ว 3 ยี่ห้อ พบว่า

- สูตรแก้วจีอี เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของเศษหลอดไฟ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ ค่าการส่องผ่านของแสง มีแนวโน้มจะลดลง
- สูตรแก้วโตชิบา เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของเศษหลอดไฟ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ ค่าการส่องผ่านของแสง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
- สูตรแก้วฟิลิปส์ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของเศษหลอดไฟ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ ค่าการส่องผ่านของแสง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

### 5.13. ผลการวิเคราะห์การวัดสีด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

- ค่า L มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงว่าชิ้นงานจากสูตรแก้วทั้ง 3 ยี่ห้อ มีค่าความสว่าง (Lightness) ของชิ้นงานใกล้เคียงกัน
- ค่า a จากสูตรแก้วทั้ง 3 ยี่ห้อ มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง -0.8 ถึง -1.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีค่าคลิบ วัตถุมีสีออกเขียว
- ค่า b จากสูตรแก้วทั้ง 3 ยี่ห้อ มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.96 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีค่าบวก วัตถุมีสีออกเหลือง

## 6. สรุป

1. ถ้าเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เพิ่มมากขึ้น จะเป็นการลดอุณหภูมิในการผลิต การหลอมแก้ว แต่จะต้องเพิ่มในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากการเพิ่มขึ้นเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า COE คือ ต้องสามารถนำไปใช้งานได้จริง ดังนั้นควรจะต้องใช้ปริมาณเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ 30-50 % ของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ฟิลิปส์
2. ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว ปริมาณของ โซเดียมออกไซด์ ,

อะลูมิเนียมออกไซด์ เพิ่มขึ้น ทำหน้าที่เป็น Flux (สารช่วยหลอม) ช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมแก้ว

3. เมื่อเพิ่มปริมาณเศษ หลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าไปในสูตรแก้ว มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน เพิ่มขึ้น

4. โดยเฉลี่ยนั้นทุกๆ สูตรแก้วมีค่าการส่องผ่านของแสง ที่ใกล้เคียงกัน

## 7. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศศ.ดร.ดวงฤดี ฉายสุวรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยให้คำปรึกษา และช่วยพิจารณางานให้ออกมาสำเร็จ ตลอดจนให้คำแนะนำ และวิธีการแก้ไขปัญหานั้น อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศศ.วิศิษฎ์ โฉมเจริญรัตน์ และ อ.ดร.อรทัย จงประทีป กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหานั้น ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้รับความกรุณาจาก ดร.กนิษฐ์ ติปะสาธาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์การทดสอบที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกลุ่มพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณ คุณพิพัฒน์ ภิรมสุข เจ้าหน้าที่ส่วนฟิสิกส์และวิศวกรรม ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับอุปกรณณ์เงินทุนสนับสนุนงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ น.ส.ธีรภา สุพรรณโรจน์ , น.ส.กรองกาญจน์ สิริกุลวัฒนา , น.ส.พรพิมล ชันธจินดา ในกลุ่มเซรามิก ที่คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี สม่่าเสมอ

## 8. การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

- J. Butler, P. Hooper / Resources, Conservation and Recycling 45 (2005) 331–355
- M. Marshall, J. Henderson, New approaches to the challenge of CRT recycling, in: T. Telford (Ed.), Recycling and Re-use of Glass Cullet, 2001, pp. 75–83
- F. Andreola, L. Barbieri, A. Corradi, I. Lancellotti, R. Falcone, S. Hreglich, Glass-ceramics obtained by the recycling of end of life cathode-ray tubes glasses, Waste Manage. 25 (2005) 183–189.