IR 27

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

เรื่องน่ารู้ของอุตสาหกรรมแก้วและกระจก กับการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

(Glasses industry with quality audit of products)

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

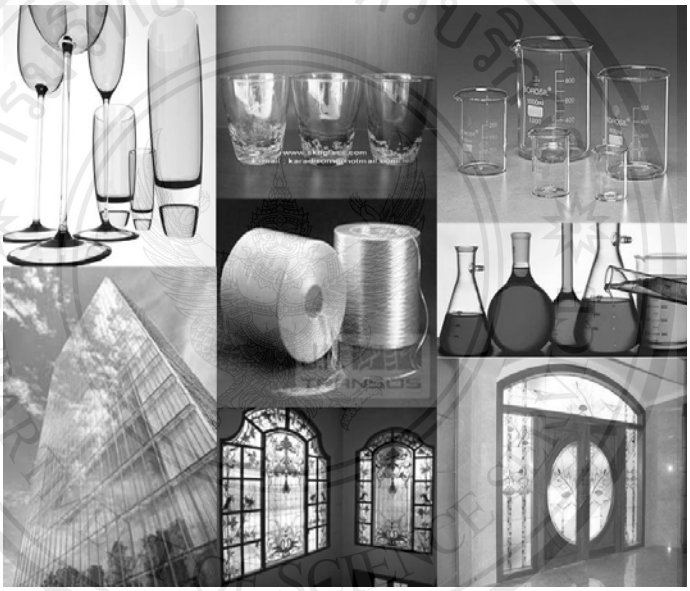
มกราคม 2555

IR 27

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

เรื่องน่ารู้ของอุตสาหกรรมแก้วและกระจก กับการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

(Glasses industry with quality audit of products)



สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มกราคม 2555

คำนำ

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เรื่อง “เรื่องน่ารู้ของอุตสาหกรรมแก้วและกระจกกับการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Glasses industry with quality audit of products)” ฉบับนี้ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้จัดทำขึ้นภายใต้โครงการเครือข่ายห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ โครงการย่อยที่ 2 โครงการเพิ่มศักยภาพการเข้าถึงสารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบ Digital Library กิจกรรมย่อย 2.5 ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ (Information Repackaging) ในส่วนของสาระน่ารู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้นี้ให้ผู้ใช้ได้เข้าถึงสารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายและสะดวกพร้อมใช้ เอกสารประมวลพร้อมใช้ฉบับนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแก้วและกระจก การจัดเรียงโครงสร้างอะตอมของแก้ว องค์ประกอบของแก้วและกระจก คุณสมบัติของแก้วและกระจก เป็นต้น

คณะผู้จัดทำหวังว่า ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับแก้วและกระจก โดยเอกสารฉบับเต็มที่ใช้ในการเรียบเรียงประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ได้รวบรวม จัดเก็บ และให้บริการ ณ บริเวณห้องอ่านชั้น 1

ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มกราคม 2555

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	1
คำสำคัญ	1
บทนำ	2
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแก้ว	3
การจัดเรียงโครงสร้างอะตอมของแก้ว	3
องค์ประกอบของแก้วและกระจก	5
คุณสมบัติของแก้วและกระจก	6
กระบวนการผลิตแก้วและกระจก	8
ชนิดของแก้วและกระจก	9
หน่วยงานที่รับผิดชอบในการวิเคราะห์และตรวจสอบวัสดุแก้วและกระจก	13
บทสรุป	14
เอกสารอ้างอิง	15

กรมวิทยาศาสตร์บริการ DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

เรื่องน่ารู้ของอุตสาหกรรมแก้วและกระจกกับการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

(Glasses industry with quality audit of products)

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์จากแก้วและกระจกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีหลากหลายประเภท สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน บรรจุภัณฑ์ต่างๆ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์สำหรับรถยนต์ ฯลฯ เรียกได้ว่าตั้งแต่อุปกรณ์ในครัวเรือนที่มีขนาดเล็กจนกระทั่งผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ในระดับอุตสาหกรรม ปัจจุบันอุตสาหกรรมแก้วและกระจกกำลังได้รับความนิยมค่อนข้างมากในระดับผู้ประกอบการ เนื่องจากหาวัตถุดิบในการผลิตได้ง่าย ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อมและสร้างรายได้จำนวนมาก หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์จากแก้วและกระจกเป็นที่ต้องการและยอมรับจากทั่วโลกจึงควรมีการนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานรวมทั้งสามารถขอคำปรึกษาและแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้ที่ศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว กรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ : แก้ว/กระจก; ทรายซิลิกา; การตกผลึก

Keyword : Glasses; Silica sand; Crystallization

DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

เรื่องน่ารู้ของอุตสาหกรรมแก้วและกระจกกับการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

(Glasses industry with quality audit of products)

1. บทนำ

มนุษย์รู้จักการใช้แก้วตั้งแต่หลายพันปีที่ผ่านมา โดยการนำแร่ Obsidian ซึ่งเป็นแร่ที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของแข็ง เมื่อแตกหักจะมีลักษณะแหลมคมไปใช้ในการล่าสัตว์หรือประกอบอาหารได้ และได้มีการใช้แก้วกันอย่างแพร่หลายทั้งแก้วที่มาจากธรรมชาติและแก้วที่ผลิตจากฝีมือมนุษย์และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกลายมาเป็นแก้วที่มีรูปร่างต่างๆ ในปัจจุบัน

แก้วเป็นวัสดุที่มีลักษณะใสและโปร่งแสง เป็นหนึ่งในวัสดุที่มีความทนทานที่สุด แต่หากอยู่ในสภาวะความเครียดจะมีความต้านทานที่จำกัดและทำให้แก้วแตกได้ง่าย เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่ตกผลึก ซึ่งแตกต่างจากเหล็กและอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงมากกว่า คุณสมบัติที่สำคัญของแก้วคือ มีความต้านทานในการกัดกร่อนของน้ำและกรด (So, AKW., Lee, A., and Chan, SL., 2005) สำหรับองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตแก้ว ได้แก่ ทรายซิลิกา แก้วสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นตามลักษณะการใช้งานหรือตามองค์ประกอบของแก้วและอื่นๆ

อุตสาหกรรมแก้วและกระจกเป็นอุตสาหกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมอโลหะ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยและสร้างรายได้ให้กับประเทศจำนวนมาก อุตสาหกรรมอโลหะแบ่งออกตามองค์ประกอบภายในได้เป็นกลุ่มของอินทรีย์เคมี (Organic Chemistry) และกลุ่มอนินทรีย์เคมี (Inorganic Chemistry) โดยอุตสาหกรรมแก้วและกระจกจัดอยู่ในกลุ่มอนินทรีย์เคมีเช่นเดียวกับอุตสาหกรรมซีเมนต์และอุตสาหกรรมเซรามิก นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งอุตสาหกรรมแก้วและกระจกออกเป็นกลุ่มย่อยได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตกระจกแผ่นเรียบ อุตสาหกรรมเครื่องแก้ว อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์จากแก้วและอุตสาหกรรมฉนวนใยแก้ว โดยมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และวิธีการผลิต ปัจจุบันกรมวิทยาศาสตร์บริการได้จัดตั้งศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้วขึ้น เพื่อให้ผู้ประกอบการได้นำแก้วและกระจกมาวิเคราะห์ทดสอบในด้านต่างๆ เพื่อความมีประสิทธิภาพและให้เกิดความพึงพอใจแก่ผู้บริโภคมากที่สุด นอกจากนี้อุตสาหกรรมแก้วและกระจกของไทยยังเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สร้างรายได้ให้กับประเทศจำนวนมาก ดังนั้นการส่งออกผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพย่อมส่งผลให้ลูกค้าพึงพอใจและอาจกลายเป็นตลาดส่งออกแก้วและกระจกขนาดใหญ่ของโลกในอนาคตอันใกล้

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแก้ว (Almirall, J., et al., 2000)

แก้ว (Glass) คือ สารประกอบอนินทรีย์ชนิดหนึ่ง เมื่อถูกเผาให้หลอมละลายเป็นของเหลวแล้วทำให้เย็นตัวลงจะกลายเป็นของแข็งที่ไม่ตกผลึก จากคุณสมบัติของแก้วที่เป็นวัสดุที่ไม่ตกผลึกนี้เองจึงจัดให้แก้วเป็นวัสดุอสัณฐานชนิดหนึ่งซึ่งหมายถึง วัสดุที่มีโครงสร้างไม่แน่นอน หรือมีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึก (Non-crystalline Solid) นั่นเอง

แก้วที่ถูกนำมาใช้ครั้งแรกเป็นแก้วที่เกิดจากธรรมชาติ ได้แก่ แร่ obsidian เมื่อแตกหักจะมีความแหลมคมจึงสามารถนำไปใช้ในการทำอาหารหรือล่าสัตว์ มีความเชื่อว่า แก้วมีต้นกำเนิดอยู่ในภูมิภาคอิยิปต์และอิรัก เมื่อประมาณ 3,500 ปีที่ผ่านมา Pilny นักประวัติศาสตร์ชาวโรมันได้เล่าว่า มีลูกเรือชาว Phoenician ได้นำหม้อปรุงอาหารไปตั้งไฟ โดยเขาได้ใช้ก้อนเนทรอน (natron) 2 ก้อนเป็นฐานรองหม้อ พวกเขาสังเกตเห็นว่า เมื่อก้อนเนทรอนถูกไฟเผาก็เกิดการหลอมละลายกลายเป็นของเหลวและรวมตัวกับพื้นทรายด้านล่าง เมื่อเย็นตัวลงจะมีลักษณะเป็นของแข็ง นั่นคือ “แก้ว” ที่รู้จักกันในปัจจุบันและได้กลายเป็นจุดเริ่มต้นของการผลิตแก้วโดยมนุษย์ในเวลาต่อมา

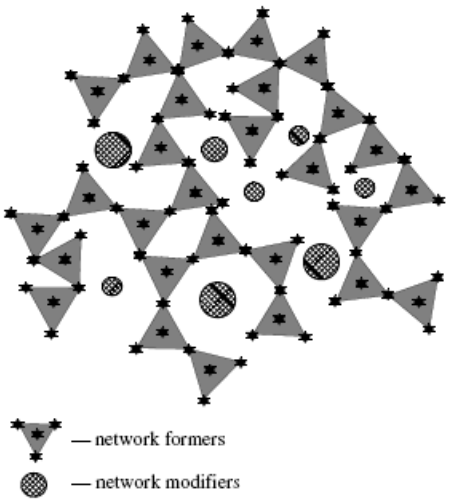
3. การจัดเรียงโครงสร้างอะตอมของแก้ว

แก้วเกิดจากการสร้างระหว่าง Network formers และ Network modifiers (So, AKW., Lee, A., and Chan, S-L., 2005) และ (Luangvaranunt, T., 2011) ดังภาพที่ 2 โดยที่

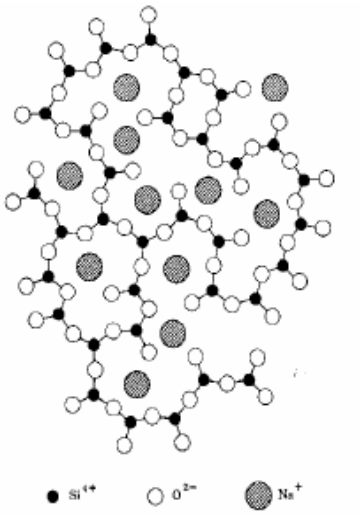
Network formers คือ ธาตุประจุบวกที่สร้างพันธะกับออกซิเจนเกิดเป็นโครงข่าย โดยมีการเชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรง เช่น ซิลิกอน (Si), โบรอน (B), เจอร์เมเนียม (Ge)

Network modifiers คือ ธาตุประจุบวกที่กระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างอย่างไม่มีแบบแผน ช่วยทำให้ประจุเป็นกลาง เพิ่มออกซิเจน ได้แก่ ธาตุหมู่ 1, 2 เช่น โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)

ตัวอย่างเช่น ซิลิกอนและไอออนของออกซิเจนเชื่อมเข้าด้วยกัน (former) สร้างเป็นโครงข่าย 3 มิติ ไอออนของโซเดียม (modifier) จะกระจายทั่วไปภายในโครงข่าย former ของซิลิกอน-ออกซิเจน ดังภาพที่ 3

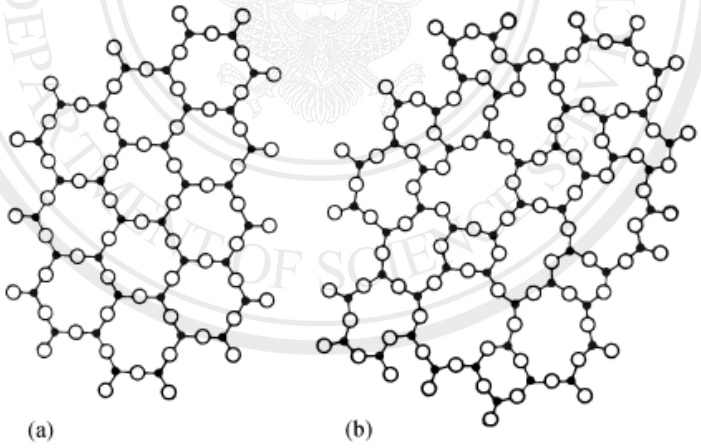


ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของ Network formers และ Network modifiers (So, AKW., Lee, A., and Chan, S-L., 2005)



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างการจัดเรียงอะตอมของแก้ว (Luangvaranunt, T., 2011)

การจัดเรียงโครงสร้างอะตอมระหว่างวัสดุที่ตกผลึกกับแก้วซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ตกผลึกจะมีความแตกต่างกัน นั่นคือ การจัดเรียงโครงสร้างอะตอมของวัสดุที่ตกผลึกจะมีระเบียบแบบแผน ส่วนโครงสร้างของแก้วจะไม่มีระเบียบและไม่มีรูปร่างที่แน่นอน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงความแตกต่างในการเรียงตัวของอะตอมระหว่างวัสดุที่ตกผลึกและแก้วแบบ 2 มิติ โดยที่ a) วัสดุที่ตกผลึก b) แก้ว (Yamane, M., and Asahara, Y., 2011)

นอกจากนี้ยังจัดให้แก้วเป็นไอโซโทรปิก (isotropic) คือ มีคุณสมบัติไม่ขึ้นกับทิศทาง ซึ่งแตกต่างจากวัสดุที่มีโครงสร้างตกผลึกจัดเป็นแอนไอโซโทรปิก (anisotropic) นั่นคือ มีคุณสมบัติการรับแรงของวัสดุนั้นขึ้นกับทิศทางนั่นเอง

4. องค์ประกอบของแก้ว (GSAT, 2011 และ บ.กระจกไทย –อาซาฮี จำกัด, 2527)

แก้วเกิดจากองค์ประกอบหลายชนิดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแก้วโดยมีคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. ทรายซิลิกา (ซิลิกอนไดออกไซด์: SiO_2) ทรายซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตแก้ว แก้วที่มีปริมาณทรายซิลิกาสูงจะมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทนทานต่อความร้อนและสารเคมี เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง แต่จะผลิตและขึ้นรูปได้ยาก

2. โซดาแอช (Soda Ash : Na_2CO_3) เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมของแก้ว โดยสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 800 องศาเซลเซียสระหว่างการหลอม ทำให้การหลอมง่ายขึ้น ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้มาก โดยจะผสมกับทรายในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 10-15 (สุจินดา โชติพานิช, 2531)

3. หินปูน (limestone) ทำหน้าที่ในการช่วยลดอัตราการละลายน้ำ เพราะแก้วที่มาจากการผสมระหว่างทรายและโซดาแอชจะเป็นแก้วที่ละลายน้ำได้ง่าย (สุจินดา โชติพานิช, 2531)

4. หินฟันม้า (Feldspar) เนื่องจาก Caleined Alumina ซึ่งเป็นตัวช่วยให้แก้วมีความทนทานมากยิ่งขึ้นมีราคาแพงขึ้นเรื่อยๆ จึงมีการนำหินฟันม้าซึ่งให้อลูมินาที่มีคุณสมบัติที่ทำให้แก้วมีความคงทนเช่นกันมาใช้ทดแทน (ชัยยันต์ วุตตาอภัย, 2525)

5. โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) แก้วที่มีปริมาณโซเดียมออกไซด์สูงจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เปราะแตกง่ายและไม่ทนต่อสารเคมี

6. โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ช่วยให้การตกผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ผลึกเรียงตัวสวยงาม

7. แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือ แบเรียมออกไซด์ (CaO : MgO : BaO) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการขึ้นรูปเร็วขึ้นและช่วยให้ทนต่อสารเคมีมากขึ้น

8. อลูมินัมออกไซด์ (อลูมินา : Al_2O_3) ช่วยให้แก้วมีความทนทานต่อการสึกกร่อนและสารเคมีได้ดีขึ้น

9. โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) เป็นตัวที่ช่วยให้แก้วมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ ทำให้ทนทานต่อสภาวะความเป็นกรด-ด่าง และความร้อน มักใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ในครัวเรือน หรือไฟหน้าของรถยนต์ (Almirall, J., et al., 2000)

10. เลดออกไซด์ (PbO) ช่วยให้เนื้อแก้วใส วาว เวลาเคาะจะมีเสียงกังวาน ไม่แข็งกระด้าง เนื่องจากมีค่าดัชนีหักเหสูง

11. เหล็กออกไซด์ (เร็ดเฮมาไตท์ : Fe_2O_3) ช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการหลอม แต่จะทำให้เนื้อกระจกมีสีค่อนไปทางเขียว

12. ออกไซด์อื่นๆ เนื่องจากแก้วมีคุณสมบัติโปร่งแสงและใส หากต้องการให้แก้วหรือกระจกมีสีสันต่างๆ เพื่อเพิ่มความสวยงาม สามารถเติมสารดังต่อไปนี้

- โครเมียมออกไซด์ (Chromium Oxide : Cr_2O_3) ให้สีเขียว
- โคบอลท์ออกไซด์ (Cobalt Oxide : CoO) ให้สีน้ำเงิน
- ยูเรเนียม (Uranium : U) ให้สีเหลือง

- นิกเกิล (Nickle : Ni) ให้สีน้ำตาล
- คาร์บอน - ซัลเฟอร์ - ไอรอน (C-S-Fe) ให้สีอำพัน
- แมงกานีส (Manganese : Mn) ให้สีชมพู

จากองค์ประกอบชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการผลิตแก้วข้างต้นนี้ โดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายคลึงกันแต่จะแตกต่างกันตรงสัดส่วน โดยองค์ประกอบที่ต่างกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสัดส่วนที่ใช้ ผลิตภัณฑ์หนึ่งอาจมีองค์ประกอบหนึ่งแต่อีกผลิตภัณฑ์หนึ่งอาจไม่มี แสดงตัวอย่าง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนร้อยละขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก้วและกระจกชนิดต่างๆ

หน่วย : ร้อยละ

ส่วนผสม	ภาชนะบรรจุ	หลอดไฟฟ้า	กระจกแผ่น	แก้วเจียระไน	แก้วทนไฟ	ฉนวนใยแก้ว
1. SiO_2	71.5-73.5	70.0-72.5	71.0-73.0	55.0-56.0	80.0-81.0	54.0-55.0
2. Al_2O_3	0.4-2.2	0.3-2.6	0.5-1.5	0.0-0.2	2.2-3.1	14.0-15.0
3. CaO	7.8-10.8	5.4-6.5	8.0-11.0	0.0-0.2	0.0-0.2	17.0-22.0
4. MgO	0.1-3.6	3.0-4.5	1.0-4.0	-	-	4.0-9.0
5. BaO	0.0-0.5	-	-	-	-	-
6. PbO	-	-	-	31.0-33.0	-	-
7. Na_2O	12.5-15.5	15.8-17.0	13.0-15.0	0.0-0.2	3.9-4.5	-
8. K_2O	0.4-1.0	0.3-1.2	0.3-0.8	11.0-12.0	0.0-0.3	-
9. B_2O_3	0.0-0.2	0.0-0.5	-	-	12.0-13.0	8.0-10.0
10. Fe_2O_3	0.04-0.05	0.03-0.04	0.06-0.10	0.03	0.07-0.09	-

ที่มา : (บริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด, 2527)

5. คุณสมบัติของแก้วและกระจก (Philips, CJ., 1960)

แก้วและกระจก มีคุณสมบัติโดยรวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่สำคัญ ดังนี้

(1) ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นเป็นค่าที่บอกความหนักเบาของวัสดุ สามารถวัดค่าความหนาแน่นได้ง่าย ตัวอย่างค่าความหนาแน่นของแก้วชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า Silica glass มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.203 เป็นชนิดที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด Lime glass มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 2.46-2.49 Lead glass มีความหนาแน่นระหว่าง 2.85-4.28 แต่มีโอกาสที่จะมีค่าสูงถึง 6 มีเพียงไม่กี่ชนิดที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า fused silica ส่วน

(2) ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตแก้วและกระจก เป็นค่าที่บ่งบอกคุณสมบัติการต้านการไหลของของเหลว ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลของความหนืดในแก้วหลากหลายชนิด โดยพบว่า ค่าความหนืดของแก้วชนิด silica มีค่าสูงสุดคือ 96% รองลงมาคือ aluminosilicates, borosilicates, aluminoborosilivates, soda-lime glasses และต่ำที่สุดคือ lead-alkali silicates

(3) คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนของแก้วและกระจกนั้นแบ่งออกเป็นหลายข้อด้วยกัน เช่น ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Expansion) แต่ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในด้านคุณสมบัติทางความร้อน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน มีลักษณะดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (linear coefficient of expansion) เป็นดัชนีที่ใช้บอกความมากน้อยของการขยายตัวของวัสดุระหว่างการส่งผ่านความร้อน พลังงานที่สะสมอยู่ในแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลนั้นจะเปลี่ยนแปลงเมื่อพลังงานที่เก็บไว้เพิ่มขึ้น ความยาวของพันธะก็จะมากขึ้นตาม ดังนั้นของแข็งจึงขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนและหดตัวเมื่อเย็นตัวลง การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยวัดจากการยืดออกต่อหน่วยความยาวเมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิทุก $1^{o}C$ โดยทั่วไปค่านี้จะวัดที่อุณหภูมิในช่วง 20-300^{o}C (GSAT, 2011) สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเขียนได้หลายแบบ ได้แก่ $90x10^{-7}$ in./in. $^{\circ}$C, or $90x10^{-7}$ cm./cm. $^{\circ}$C, or $90x10^{-7}$ ft./ft. $^{\circ}$C ความสำคัญของสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนมีความสำคัญคือ เมื่อความต้านทานความร้อนสูง ค่าสัมประสิทธิ์จะต่ำและเมื่อความเค้นภายในสูง ค่าสัมประสิทธิ์จะมาก ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนในแก้วชนิดต่างๆ เช่น fused silica มีค่าเท่ากับ $5.5x10^{-7}$ per $^{\circ}$C และ lime glassed มีค่าเท่ากับ $80\text{-}90\ x10^{-7}$ per $^{\circ}$C

นอกจากคุณสมบัติทั้ง 3 ข้อดังกล่าวข้างต้นแล้ว แก้วและกระจกยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญ อาทิ คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties) ได้แก่ ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริค (Dielectric Constance) ความทนทานของฉนวนไฟฟ้า (Dielectric Strength) และคุณสมบัติทางแสง (Optical Properties) ได้แก่ การหักเหและการแพร่กระจายของแสง (Refraction and Dispersion) การสะท้อนแสง (Reflection) การดูดซึม (Absorption) และการส่งผ่านแสง (Transmission) เป็นต้น

คุณสมบัติข้างต้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะในด้านต่างๆ ของแก้วและกระจก สำหรับคุณสมบัติโดยรวมทั่วไปของแก้วและกระจกเป็นดังนี้ (กรมการสนเทศ, 2502)

1. มีความโปร่งและใส จากคุณสมบัติที่แก้วมีความโปร่งและใสนั้น เนื่องจากขณะที่แก้วกำลังหลอมตัวอยู่ เมื่อทำให้เย็นจนถึงจุดแข็งตัวของมันโดยเร็ว มันจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็งโดยไม่มีการตกผลึก

2. มีรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการ การกำหนดให้แก้วมีรูปร่างต่างๆ ได้นั้น เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนืด เมื่ออุณหภูมิของแก้วที่กำลังหลอมตัวอยู่ลดลง ความต้านทานการไหลจะเพิ่มขึ้น การควบคุมอุณหภูมิในการผลิตแก้วจึงมีความสำคัญที่สุดและทำให้เกิดแก้วที่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน

3. มีความต้านทานดี แก้วเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีความต้านทานต่อปฏิกิริยาทางเคมีได้ดี เช่น ความต้านทานต่อการขูดขีด ต้านทานต่อเคมีภัณฑ์ต่างๆ เช่น กรดหรือด่าง ต้านทานความร้อน กำลังไฟฟ้า กำลังเครื่องจักรและคุณสมบัติทางแสง

6. กระบวนการผลิตแก้วและกระจก (กระทรวงพลังงาน, 2554)

การผลิตแก้วและกระจกมีวิธีการที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมและการผสมวัตถุดิบ (Batch & Mixing)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำวัตถุดิบชนิดต่างๆ ประกอบด้วย ทรายแก้ว โซดาแอช หินโดโลไมท์ หินฟันม้า และอื่นๆ วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกนำไปไว้ในไซโลของอาคารเตรียมวัตถุดิบ หลังจากผ่านการตรวจสอบคุณภาพ โดยจะแยกตามชนิดของวัตถุดิบ หลังจากนั้นวัตถุดิบเหล่านี้จะถูกนำมาชั่งและนำมาผสมกันในอัตราส่วนตามสูตรการผลิตและถูกลำเลียงไปตามสายพานเข้าสู่เตาหลอมต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การหลอมวัตถุดิบ (Melting)

ขั้นตอนนี้ ส่วนผสมวัตถุดิบและเศษแก้ว (cullet) ในเตาหลอมจะถูกหลอมละลายเป็นน้ำแก้วโดยใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติหรือไฟฟ้า ที่อุณหภูมิประมาณ 1,300 – 1,500 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 3 การขึ้นรูป (Forming)

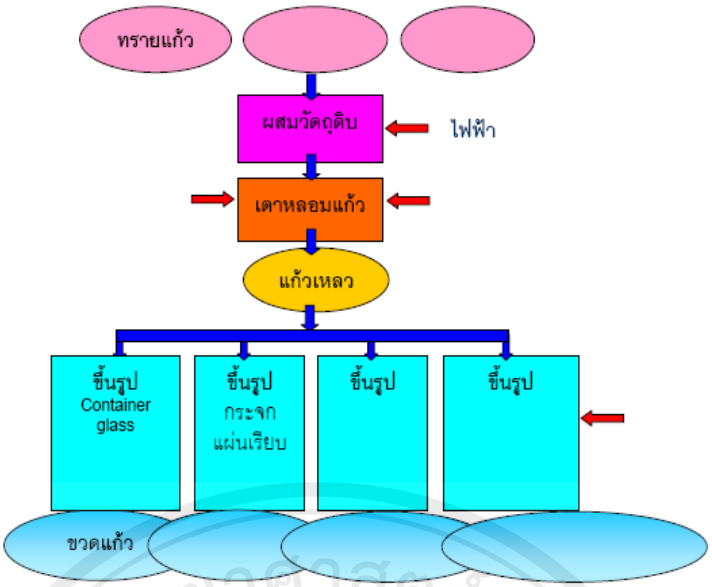
ขั้นตอนนี้เป็นการนำน้ำแก้วที่ได้มาขึ้นรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามต้องการในเครื่องขึ้นรูป การขึ้นรูปมีหลายวิธีตามรูปร่าง ขนาดและชนิดของผลิตภัณฑ์แก้ว

ขั้นตอนที่ 4 การอบแก้ว (Annealing)

การอบเป็นวิธีการช่วยให้แก้วลดความเครียด (strain) ในเนื้อแก้ว โดยมีสาเหตุมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวภายในและภายนอกเนื้อแก้ว ทำให้แก้วเกิดรอยร้าวหรือแตก การอบแก้วจะทำให้แก้วเย็นตัวลงอย่างช้าๆ

ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบและบรรจุ (Inspection & Packaging)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำผลิตภัณฑ์แก้วที่ผ่านกระบวนการอบแล้ว ไปตรวจสอบด้วยสายตาหรือใช้เครื่องจักร เช่น การตรวจสอบรูปทรง รอยร้าว ความใส หรือข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดขึ้น หากผลิตภัณฑ์ชิ้นใดไม่ผ่านเกณฑ์จะถูกนำไปบดเป็นเศษแก้ว แล้วนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไป



ภาพที่ 5 แสดงกระบวนการผลิตแก้วและกระจก (กระทรวงพลังงาน, 2554)

7. ชนิดของแก้วและกระจก (บริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด, 2527)

ถึงแม้ว่าแก้วจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่มีองค์ประกอบทางเคมีและกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันออกไป สามารถแยกออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว (Glass products)

ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้วเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย ประมาณ 85% ของผลิตภัณฑ์เครื่องแก้วเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะบรรจุ แก้วสำหรับงานไฟฟ้าและเครื่องแก้วต่างๆ ซึ่งมีดังตัวอย่างต่อไปนี้

1) ภาชนะเครื่องแก้วที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น แก้ว ขวดต่างๆ

2) แก้วสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และทางการแพทย์ เช่น แก้วทนไฟ หลอดยา

3) แก้วสำหรับงานไฟฟ้าและอิเล็คทรอนิคส์ เช่น หลอดไฟฟ้า หลอดวิทยุ

4) แก้วสำหรับงานด้านทัศนศาสตร์ เช่น เลนส์

2. ผลิตภัณฑ์กระจกแผ่น (Flat glass) มีดังตัวอย่างต่อไปนี้ (บริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด, 2527)

1) กระจกชีท (Sheet glass) เป็นกระจกแผ่นเรียบที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ หน้าต่างตามอาคารบ้านเรือน กรอบรูป เป็นต้น

2) กระจกโฟลทและกระจกขัดผิว เป็นกระจกโปร่งใสคุณภาพสูง ใช้ทำหน้าต่างอาคาร กระจกห้องโชว์ ตู้โชว์ กระจกเงา จนกระทั่งกระจกนิรภัยที่ใช้กับรถยนต์ ที่สำคัญมักนำไปใช้กับการก่อสร้างระดับสูงหรืออาคารขนาดใหญ่

3) กระจกสะท้อนแสง เป็นกระจกโฟลทที่มีการเคลือบผิวด้วยแผ่นออกไซด์ของโลหะ มีคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสงได้ดีคล้ายกระจกเงา นิยมนำไปใช้กับอาคารขนาดใหญ่หรือตึกระฟ้า สร้างความสวยงามให้กับผู้พบเห็นภายนอก เนื่องจากสะท้อนให้เห็นท้องฟ้าและบริเวณข้างเคียง

4) กระจกนิรภัยหลายชั้น เป็นการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาอัดติดกัน โดยมีแผ่นฟิล์ม Polyvinylbutyral (PVB) ที่เหนียวและแข็งแรงซ้อนอยู่ระหว่างกลาง ช่วยให้กระจกทั้งสองแผ่นติดกัน เมื่อถูกกระแทกให้แตก กระจกจะมีเพียงรอยร้าวคล้ายใยแมงมุมเท่านั้น ไม่หลุดออกมาทำอันตรายกับมนุษย์

5) กระจกนิรภัยเทมเปอร์ กระจกชนิดนี้มีความหนากว่ากระจกธรรมดา 3-5 เท่า เมื่อแตกจะแตกละเอียดเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเมล็ดข้าวโพดที่ไม่มีคม ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ นิยมนำไปใช้กับรถยนต์ ประตูทางเข้าหรือส่วนของอาคารที่ง่ายต่อการถูกกระทบกระแทกอยู่เสมอ

6) กระจกฉนวน เป็นกระจกที่มีคุณภาพมากกว่ากระจกธรรมดาถึง 2 เท่า เป็นกระจกที่ช่วยในด้านการประหยัดพลังงาน ป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร ไม่ทำให้เกิดฝ้าหรือหยดน้ำ แม้ว่าอุณหภูมิภายในกับภายนอกจะต่างกัน มักนำไปใช้กับอาคารปรับอากาศ บ้านเรือนในเมืองหนาว หน้าต่างรถไฟ ตู้แช่ที่ต้องการโชว์สินค้า เป็นต้น

3. ผลิตภัณฑ์ใยแก้ว (Glass Fiber Product)

ผลิตภัณฑ์จากใยแก้วเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะค่อนข้างแตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น เพราะสามารถดึงแก้วออกมาเป็นเส้นใยได้ ใยแก้วเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมาก อาจมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้าหากนำมาถักขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีลักษณะเบาและอ่อนนุ่ม สามารถงอไปมาได้ มีคุณสมบัติในการทนความร้อนได้ถึง 538 องศาเซลเซียส (1,000 องศาฟาเรนไฮต์) มีความคงทนไม่เป็นสนิม เนื่องจากใยแก้วสามารถเก็บเสียงทางไฟฟ้าและทางความร้อนได้ดีนิยมนำมาทำเป็นผนังกันความร้อน ที่กรองอากาศ ผลิตภัณฑ์ใยแก้วแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ 1) Continuous fibers 2) Short fibers 3) Optical fibers 4) Alkali-resistant fibers

จากการแบ่งแก้วและกระจกออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่มข้างต้น ยังสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้ (GSAT, 2011) และ (อุตตรากร วรวรรณ, 2523)

1) ตามลักษณะการใช้งาน

การแบ่งวัสดุแก้วและกระจกตามลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1.1 แก้วในงานศิลปะ (Arts glass) นิยมเรียกว่า แก้วเจียระไน มักนิยมใส่ตะกั่วลงไปในส่วนผสมเพื่อให้แก้วมีความแวววาวสูง หากต้องการเพิ่มสีสันของแก้วให้เติมออกไซด์ลงไปเพื่อเพิ่มความสวยงาม

1.2 แก้วในงานก่อสร้าง (Construction) เช่น กระจกแผ่น กระจกลาย อิฐแก้ว (glass block) ใช้อำนวยความสะดวกทางด้านแสงสว่าง

1.3 แก้วบรรจุภัณฑ์ (Containers) เช่น ขวด แก้วน้ำ และภาชนะต่างๆ

1.4 แก้วที่ผ่านการแปรรูป (Specialty glass) เช่น กระจกนิรภัยชนิดต่างๆ กระจกฉนวน กระจกเสริมลวด

1.5 แก้วเครื่องประดับตกแต่ง (Ornament & Figurines) เช่น แก้วคริสตัล ของชำร่วยต่างๆ แก้วสลัก

1.6 แก้วในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics & Electrical glass) เช่น Cathode-ray tubes, capacitors

1.7 แก้วในงานทางแสง (Optical glass) เช่น หลอดไฟ เลนส์

1.8 แก้วที่นำมาใช้ในวงการวิทยาศาสตร์ แก้วประเภทนี้จะมีราคาสูงมาก ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในงานเฉพาะกิจ เช่น บิวเรต (Burette) ปิเปต (Pipette) บีกเกอร์ (Beaker) สำหรับแก้ว Pyrex เป็นแก้วที่ทนต่ออุณหภูมิสูงและทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ นอกจากจะนำมาใช้งานด้านวิทยาศาสตร์แล้ว ยังนำมาใช้ในครัวเรือนอีกด้วย เช่น ใช้เป็นภาชนะในการอบขนม

1.9 ภาชนะแก้วสำหรับใส่ยา (Neutral glass) เป็นแก้วที่ผลิตขึ้นเป็นพิเศษนำมาทำเป็นหลอดฉีดยา (Ampoule) หรือขวดใส่น้ำเกลือ (Saline) โดยเนื้อแก้วที่นำมาทำจะต้องไม่มีการละลายตัวและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือด่าง

1.10 ใยแก้ว (Fiber glass) เกิดจากการหลอมแก้วโดยการดึงแก้วเหลวให้เป็นเส้นใย เมื่อได้ขนาดตามต้องการแล้วจึงนำมาทอเป็นรูปแบบต่างๆ ที่ต้องการ

1.11 Foam glass แก้วชนิดนี้ทำจากแก้วบดละเอียดผสมกับถ่านบด นำส่วนผสมที่ได้ไปหลอมที่อุณหภูมิสูง เมื่อหลอมละลายจะเกิดการขยายตัวมีฟองสีดำเกิดขึ้น (black foam) จากนั้นเทลงในแบบและปล่อยให้แข็งตัวจะได้เป็นวัสดุแข็ง (rigid) ประกอบด้วยเซลล์ต่างๆ นับล้านเซลล์รวมกันเป็นแบบรังผึ้ง (honey comb) แก้วชนิดนี้มีน้ำหนักเบามาก ทนไฟ ทนความร้อนได้ถึง 426 องศาเซลเซียส ไม่มีกลิ่น นิยมนำไปใช้ในห้องเย็น ตู้เย็นหรือใช้ในงานก่อสร้าง

1.12 แก้วในงานอื่นๆ (Other glass) ได้แก่ ถ้วยชามแก้วสำหรับโต๊ะอาหาร ถ้วยชามแก้วทนไฟชนิดพิเศษ (สุจินดา โชติพานิช, 2531)

2) ตามองค์ประกอบของแก้ว ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การแบ่งวัสดุแก้วและกระจกตามองค์ประกอบของแก้ว สามารถแบ่งได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.1 แก้วโซดาไลม์ (Soda-lime glass) แก้วชนิดนี้พบได้ทั่วไปและถูกนำไปใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมแก้ว ผลิตจากวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ทรายซิลิกา (Silica) ประมาณ 63-74% โซดาแอช (Soda Ash : Na_2CO_3) ประมาณ 12-16% ปูนขาว (limestone : CaO) ประมาณ 7-14% และเศษแก้ว (Cullet) (Almirall, J., et al., 2000) ใช้อุณหภูมิปานกลางในการหลอมประมาณ 1,300-1,400 องศาเซลเซียส แก้วชนิดนี้มีความทนทานอยู่ในระดับกลาง แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ (ศูนย์ปฏิบัติการแก้วและกระจก (วศ.), 2554) นิยมนำไปใช้ในการผลิตหน้าต่าง (flat glass) สำหรับก่อสร้าง รถยนต์และบรรจุภัณฑ์หลายชนิด เช่น แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ ฯลฯ หากต้องการให้แก้วมีสีสันสวยงามสามารถเติมออกไซด์ที่มีสีลงไปได้

2.2 แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) หรือ Pyrex เป็นแก้วชนิดพิเศษที่มีการเติมบอริค-ออกไซด์ (B_2O_3) ลงไป ซึ่งทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของแก้วซิลิเกตลดลงถึง 50% ส่งผลให้ความทนทานต่อการแตกดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันและทำให้เกิดการแยกเฟสขึ้นขณะที่แก้วเย็นตัว เกิดเป็นเฟสที่มีความเข้มข้นของโซเดียมบอเรตและซิลิกาอยู่สูง แก้วชนิดนี้มักนำไปใช้ทำเครื่องแก้วทางวิทยาศาสตร์ ภาชนะแก้วสำหรับใส่ในเตาไมโครเวฟ เทอร์โมมิเตอร์ เป็นต้น

2.3 แก้วตะกั่ว (Lead glass) หรือแก้วคริสตัล แก้วชนิดนี้จะมีตะกั่วออกไซด์มากกว่า 24% โดยน้ำหนัก เป็นแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงกว่าแก้วชนิดอื่น มีความเป็นประกายแวววาวสวยงาม แกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ ได้ ใช้ในการทำเครื่องแก้วที่มีราคาแพง แก้วประเภทนี้มีความหนาแน่น 8.00 มีน้ำหนักมาก มีค่าดัชนีหักเห (Refective Index) อยู่ระหว่าง 1.507-2.179 (อุตตรากร วรวรรณ, 2523) ความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตแก้วชนิดนี้มีความสำคัญมาก เพราะหากมีการปนเปื้อนของสารอื่นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป เช่น มีการเจือปนของเหล็กออกไซด์ในวัตถุดิบก็จะทำให้สีที่ต้องการผิดแปลกไปและความสวยงามแวววาวลดลง (ศูนย์ปฏิบัติการแก้วและกระจก (วศ.), 2554)

2.4 แก้วโอปอล์ (Opal glass) แก้วชนิดนี้มีความขุ่นหรือทึบแสง เนื่องจากมีการเติมสารบางชนิด เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ลงไป ทำให้เกิดการตกผลึกหรือการแยกเฟสขึ้นในเนื้อแก้ว ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ เนื่องจากหลอมขึ้นรูปได้ง่าย นอกจากนี้ลักษณะเฉพาะตัวของแก้วชนิดนี้คือ มีความขุ่นซึ่งแตกต่างจากแก้วชนิดอื่น แต่หากมีความขุ่นหรือทึบมากเท่าใด ก็จะยิ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีมากขึ้นเท่านั้นเช่นกัน (ศูนย์ปฏิบัติการแก้วและกระจก (วศ.), 2554)

2.5 แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate glass) แก้วชนิดนี้มีส่วนผสมของอลูมินาและทรายซิลิกาเป็นหลัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำและมีจุดอ่อนตัว (softening point) ของแก้วสูง สามารถป้องกันการเสียรูปทรงเมื่อทำการอบและเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์

2.6 แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ท อลูมิโน ซิลิเกต (alkaline-earth alumino silicate) แก้วชนิดนี้มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์หรือแบเรียมออกไซด์ ทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายและมีความทนทานต่อกรดและด่างมากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย

2.7 กลาส-เซรามิกส์ (glass-ceramics) เป็นแก้วประเภทลิเธียมอลูมิโนซิลิเกตที่มี ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือ เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ทำให้แก้วมีความทึบแสงหรือโปร่งใสขึ้นกับชนิดของผลึก แก้วชนิดนี้จะทนทานและมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมากสามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้มหรือเป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของแก้วบางชนิดตามองค์ประกอบของแก้ว รวมทั้งกล่าวถึงลักษณะและการนำไปใช้ของแก้วชนิดนั้นๆ

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบต่างๆ รวมทั้งลักษณะและประโยชน์ของแก้วแต่ละชนิด

องค์ประกอบ (wt%)							
ชนิดของแก้ว	SiO_2	Na_2O	CaO	Al_2O_3	B_2O_3	Other	ลักษณะและการนำไปใช้
Fused silica	>99.5						- ใช้อุณหภูมิในการหลอมละลายสูง สิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก - ใช้ทำเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
96% Silica (Vycor)	96				4		ารเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลัน - ทนต่อสารเคมี - ใช้ทำเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
Borosilicate (Pyrex)	81	3.5		2.5	13		ารเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลัน - ทนต่อสารเคมี เทอร์โมมิเตอร์ เลนส์กล้องโทรทรรศน์ ฯลฯ
Container (soda-lime)	74	16	5	1		4MgO	- ใช้อุณหภูมิในการหลอมละลายต่ำ - ง่ายต่อการใช้งานและมีความทนทาน - ใช้ทำขวดและแผ่นกระจกหน้าต่าง
Fiberglass	55		16	15	10	4MgO	- ง่ายในการทำให้เป็นเส้นใย-แก้ว-เรซิน
Optical flint	54	1				37PbO, $8K_2O$	- มีความหนาแน่นและค่าดัชนีการหักเหของแสงสูง - ใช้ทำเลนส์สายตา
Glass-ceramic (Pyroceram)	43.5	14		30	5.5	$6.5TiO_2$, $0.5As_2O_3$	- มีความแข็งแรง ารเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลัน - ใช้ทำอุปกรณ์สำหรับเตาอบ

ที่มา : (Luangvaranunt, T., 2011 และ มณีรัตน์ อุ่นจิตต์วรรธนะ, 2554)

8. หน่วยงานที่รับผิดชอบในการวิเคราะห์และตรวจสอบวัสดุแก้วและกระจก (วลัยพร ร่มรื่น, 2554)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้จัดตั้งศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้วแห่งแรกของไทยและแห่งแรกของอาเซียนขึ้นในวันที่ 8 กันยายน 2553 (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2554) โดย

้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการมีบทบาทในการให้บริการต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่

- การให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ ที่ได้พัฒนาศักยภาพการให้บริการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติสำคัญของวัสดุแก้วได้ครบทั้งหมด ได้แก่ การหาค่าความหนืดของแก้ว ความเครียดของแก้ว รวมทั้งการวิเคราะห์สิ่งที่บกพร่องในเนื้อแก้วและสาเหตุของการแตก เป็นต้น
- การวิจัยพัฒนาในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น ในระดับชุมชนมีการวิจัยพัฒนาการทำผลิตภัณฑ์แก้วสำหรับการตกแต่งและการทำลูกปัดแก้ว โดยมีผู้สนใจเข้าร่วมอบรมและได้รับความนิยมเป็นจำนวนมาก
- การให้คำปรึกษาในเชิงวิชาการที่เกี่ยวเนื่องกับผลวิเคราะห์ทดสอบ เช่น ในเรื่องการปรับปรุงสูตรแก้วเนื่องจากการใช้วัตถุดิบมากเกินจำเป็น เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตให้น้อยลง
- แก้ไขปัญหาและพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากการที่ศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้วเป็นแห่งแรกของไทยและแห่งเดียวของอาเซียนที่ทำการวิเคราะห์ทดสอบแก้ว ทำให้ประเทศผู้นำเข้าสินค้าแก้วจากไทยให้การยอมรับในเรื่องของคุณภาพและมาตรฐานของสินค้าแก้วที่ได้ผ่านการรับรองจากศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว กรมวิทยาศาสตร์บริการแห่งนี้ ซึ่งนับว่าประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง

9. บทสรุป

มนุษย์รู้จักการใช้แก้วและกระจกมาตั้งแต่อดีตและพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน ปัจจุบันอุตสาหกรรมแก้วและกระจกเป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่ได้รับความนิยมในแวดวงผู้ประกอบการ เนื่องจากสร้างรายได้ในปริมาณมาก มีวัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากนัก วัสดุจากแก้วและกระจกจึงจัดอยู่ในวัสดุที่มีความสำคัญและจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างหนึ่ง เพราะไม่ว่าจะอยู่ที่ใดเรามักจะเห็นวัสดุเหล่านี้อยู่เสมอ นอกจากนี้ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องทางอุตสาหกรรมด้านแก้วและกระจกสามารถส่งวัสดุแก้วและกระจกมาตรวจสอบเพื่อยืนยันคุณภาพของผลิตภัณฑ์มายังศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผู้บริโภคเกิดความมั่นใจมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอโลหะ. **[ออนไลน์]** [อ้างถึง 28 มีนาคม 2554] เข้าถึงได้จาก http://www2.dede.go.th

กรมการสนเทศ. คุณสมบัติของแก้ว. **อุตสาหกรรมของประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2, 2502, หน้า 26. (338 ก27 2502)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรมวิทยาศาสตร์บริการเปิดศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้วแห่งแรกของไทย. **[ออนไลน์]** [อ้างถึง 28 มีนาคม 2554] เข้าถึงได้จาก http://www.dss.go.th/dssweb/download/PressRelease31-2_8-9-53.pdf

ชัยยันต์ วุตตาอภัย. เกร็ดความรู้เกี่ยวกับวัตถุดิบและองค์ประกอบทางเคมีของแก้ว. **วารสารวัสดุศาสตร์**, เมษายน, 2525, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, หน้า 25-29. [แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF 31), A9]

บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (Glass Science and Technology Information Services : GSAT). วัสดุแก้ว. **[ออนไลน์]** [อ้างถึง 27 เมษายน 2554] เข้าถึงได้จาก http://www2.mtec.or.th/th/research/GSAT/glassweb/define.html

บริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด. **กระจก**. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์เจริญผล, 2527, หน้า 7, 10-11, 19-20, 34-35, 38-41.

มณีรัตน์ อุ่นจิตต์วรรธนะ. ประเภทของแก้ว. **[ออนไลน์]** [อ้างถึง 30 มีนาคม 2554] เข้าถึงได้จาก http://lab.pcd.go.th/enlab/Journal/Glass%20Type.pdf

วลัยพร ร่มรื่น. กรมวิทยาศาสตร์บริการ เปิดศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้วแห่งแรกของไทย. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, กันยายน, 2553, ปีที่ 58, ฉบับที่ 184, หน้า 56.

ศูนย์ปฏิบัติการแก้วและกระจก กรมวิทยาศาสตร์บริการ (วศ.). แก้วสำหรับครัวเรือน. **[ออนไลน์]** [อ้างถึง 29 มีนาคม 2554] เข้าถึงได้จาก http://ceramic.dss.go.th/glass/ARTICLEpic/k0076.pdf

สุจินดา โชติพานิช. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แก้ว. **ประมวลข่าวกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน**, เมษายน, 2531, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 5-6. [แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF 31), A32]

อุตตรากร วรวรรณ. ผลิตภัณฑ์แก้ว. **วารสารวัสดุศาสตร์**, ธันวาคม, 2523, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 49-56. [แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF), A39]

Almirall, J., et al. Examination of glass. Edited by Hicks, TN., Buckleton, JS., and Curran, JM. In **Forensic interpretation of glass evidence**. CRC Press, 2001.

Luangvaranunt, T. Glass. **[Online]** [cited 4 April 2011] Available from Internet : http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/335/glass.pdf

Philips, CJ. Physical and chemical properties. **Glass -its industrial application**. New York, Chapman & Hall, LTD., 1960, p. 63-88. (666.1 PHIi)

So, AKW., Lee, A., and Chan, S-L. Glass structure. Edited by Chen, W-F. and Lui, EM. In **Handbook of structural engineering**. 2nd Edition. CRC Press, 2005, p. 1-11.

Yamane, M. and Asahara, Y. Glass properties. **[Online]** [cited 28 March 2011] Available from Internet : www.cambridge.org

กรมวิทยาศาสตร์บริการ DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE