# แก้วสำหรับครัวเรือน

ดร. สุมาลี ลิขิตวนิชกุล

**บทนำ**

แก้วเป็นวัสดุที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์มานานกว่า 5,000 ปี เริ่มจากชาวอียิปต์นำแก้วมาทำเป็น ลูกปัดและพลอยเทียม เพื่อใช้บนเครื่องประดับต่างๆ และนำมาทำเป็นขวดหรือถ้วยขนาดเล็ก เพื่อใช้เป็นภาชนะบรรจุ ในยุคโรมันแก้วถูกนำมาทำเป็นภาชนะและของใช้ในครัวเรือนสำหรับชีวิตประจำวันมากขึ้น และเป็นที่นิยมในยุคต่อๆ มาตราบจนทุกวันนี้

ในยุคเริ่มแรกส่วนผสมในการทำแก้วมีเพียงทรายทะเลและขี้เถ้าจากไม้เท่านั้น แก้วโบราณในยุคนั้นจึงมักจะมีสีเขียวหรือคล้ำ เนื่องจากมีสิ่งสกปรกเจือปนมาก และเมื่อทิ้งไว้ในบรรยากาศซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นอยู่ตลอดเวลา แก้วจะมีลักษณะฝ้า หรือขุ่นที่ผิว ความต้องการแก้วที่มีความใส ไม่มีสีเจือปน พร้อมทั้งมีสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะกับการใช้งาน ทำให้มีการศึกษา วิจัย เพื่อปรับปรุงและพัฒนาส่วนผสมและกระบวนการผลิตมาอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันสมบัติทางกายภาพ เคมี เชิงกล และความร้อนของแก้วมีต่างๆ กันมากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตจึงสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อประโยชน์ใช้สอยที่หลากหลายได้มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผลิตภัณฑ์แก้วสำหรับครัวเรือน

ผลิตภัณฑ์แก้วที่ใช้ในชีวิตประจำวันอาจมีลักษณะใส ขุ่น หรือบางชนิดอาจโปร่งแสง ไม่ว่าจะมีลักษณะเช่นใดก็ตาม ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะต้องแข็งแรงพอที่จะไม่แตกง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทกหรือเมื่อถูกทำตก ในกรณีที่ต้องใช้บรรจุของที่มีความร้อน แก้วควรจะมีความทนทานต่อการแตกในช่วงอุณหภูมิ 100-150° ซ ด้วย

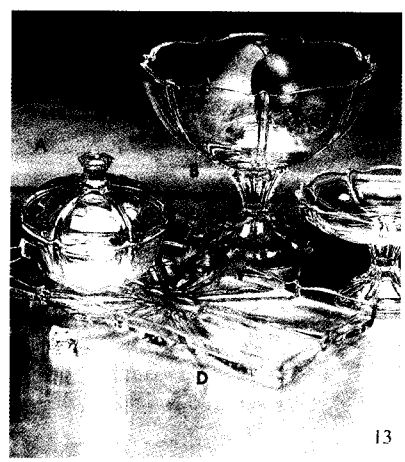
แก้วสำหรับใช้ในครัวเรือนจะต้องมีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี เนื่องจากจะต้องสัมผัสกับของเหลวที่มีสภาวะความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กันอยู่เสมอ ของเหลวเหล่านี้ได้แก่ น้ำยาล้างจานซึ่งมีความเป็นด่างสูง หรืออาหารที่มีรสเปรี้ยว ซึ่งมีความเป็นกรด สภาวะที่กล่าวมานี้สามารถละลายผิวหน้าของแก้วบางชนิดได้ ทำให้โครงสร้างของแก้วถูกทำลายและทำให้แก้วสูญเสียความแข็งแรง สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ เนื้อแก้วและสีที่ใช้ตกแต่ง ทั้งสองสิ่งนี้ไม่ควรมีส่วนผสมของสารที่เป็นพิษซึ่งอาจปนเปื้อนในอาหารขณะใช้งาน ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

ส่วนผลิตภัณฑ์สำหรับใช้บนเตาหรือในเตาอบนั้นต้องมีสมบัติพิเศษในเรื่องของความทนทานต่อการแตกเมื่อได้รับความร้อนในระดับสูง แก้วที่เหมาะสมกับการใช้งานประเภทนี้มีเพียงไม่กี่ชนิด โดยต้องมีส่วนผสมและผ่านกระบวนการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้แก้วที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ

เราสามารถจำแนกผลิตภัณฑ์แก้วสำหรับใช้ในครัวเรือนจากประโยชน์ใช้สอย ได้เป็น 4 ประเภท คือ ภาชนะบนโต๊ะอาหาร (tableware) ภาชนะสำหรับเครื่องดื่ม (drinkware) ภาชนะสำหรับใส่อาหารเข้าเตาอบ (ovenware) และภาชนะสำหรับใช้ตั้งบนเตาไฟ (top-of stove)

ภาชนะบนโต๊ะอาหาร มีทั้งที่มีลักษณะโปร่งใส ขุ่น และโปร่งแสง ทำจากแก้วที่มีส่วนผสมของซิลิกา ($SiO_2$) หรืออะลูมินา ($Al_2O_3$) ค่อนข้างสูง ประเภทแก้วโซดา-ไลม์ (Soda-lime glas) แก้วโอปอล (opal glass) แก้วลามิเนต (laminate glass) และ กลาส-เซรามิก (glass-ceramics) ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 ซึ่งมีองค์ประกอบ กรรมวิธีการผลิต และสมบัติต่างๆ กัน ดังนี้

**ภาพที่ 1**



**แก้วโซดา-ไลม์ (soda-lime glass)** เป็นแก้วที่ทำจากวัตถุดิบหลัก 3 ชนิด คือ ทราย โซดาแอช และ หินปูน ต้นทุนการผลิตแก้วประเภทนี้ไม่สูง เนื่องจากวัตถุดิบราคาค่อนข้างต่ำ หลอมที่อุณหภูมิปานกลาง คือ 1300-1400 °ซ และสามารถขึ้นรูปได้ด้วยเครื่องมือที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป เช่น การอัด การเหวี่ยง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแก้ว โซดา-ไลม์ มีลักษณะเป็นแก้วใส และสามารถทำให้มีสีต่างๆ ได้โดยการเติมสารประเภทออกไซด์ที่ให้สี

แก้วประเภทนี้มีความแข็งแรงและทนทานต่อการใช้งานทั่วๆ ไป แต่ความทนทานต่อสภาพกรด-ด่างนั้นยังไม่ดีนัก ถ้านำแก้วนี้ไปบรรจุสารที่มีความเป็นกรดมากเกินไป จะทำให้แก้วเกิดการละลาย และเกิดรอยฝ้าในบริเวณผิวที่สารสัมผัสแก้ว ในกรณีที่สารซึ่งสัมผัสกับแก้วมีความเป็นด่างสูง โครงสร้างของซิลิกาในแก้วจะถูกทำลาย และแก้วจะเกิดการละลายอย่างรุนแรง ในบริเวณที่สารสัมผัสกับแก้วจะมีฟิล์มสีขาวปรากฏขึ้น ลักษณะเช่นนี้จะพบได้หากนำแก้วไปแช่ในน้ำยาล้างจานนานเกินไป

แก้วโซดา-ไลม์ ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้บรรจุอาหารเพื่อเข้าเตาอบหรือใส่ของร้อน เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ การขยายตัวเมื่อร้อนค่อนข้างสูง โดยทั่วไปแก้วโซดา-ไลม์ จะเกิดการแตกร้าวหากเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน และมีความแข็งแรงปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับแก้วทั่วๆ ไป

**แก้วโอ-ปอล (opal glass)** เป็นแก้วที่มีลักษณะขุ่นหรือทึบ ซึ่งเกิดจากขบวนการ 2 ชนิด คือการตกผลึกของโอปอล (crystalline opal) ชนิดโซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ($CaF_2$) และการแยกเฟสของแก้วโอปอลออกเป็นแก้ว 2 ชนิด (liquid - liquid opal) ขณะที่แก้วเย็นตัวในระหว่างการผลิตหรือจากการผ่านกระบวนการความร้อนหลังการขึ้นรูป

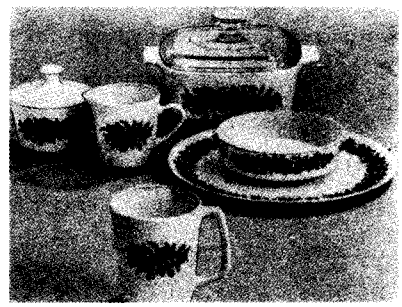
ความขุ่นของแก้วโอปอลจากการแยกเฟสจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 อย่าง คือค่าดัชนีหักเหของแก้วของทั้ง 2 ชนิดที่แยกเฟส ปริมาณการแยกเฟสที่เกิดขึ้น และขนาดและการกระจายตัวของเฟสที่มีปริมาณน้อยกว่าในเนื้อแก้ว

จุดเด่นของแก้วโอปอล คือ มีต้นทุนการผลิตต่ำ เนื่องจากราคาวัตถุดิบและอุณหภูมิหลอมที่ต่ำ รวมทั้งการขึ้นรูปที่ง่าย และมีความขุ่นซึ่งเป็นจุดที่ทำให้แก้วโอปอลมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากแก้วอื่นๆ

จุดด้อยของแก้วชนิดนี้คือไม่ทนต่อการแตกเมื่อได้รับความร้อน มีความทนทานต่อกรด-ด่าง และมีความแข็งแรงปานกลาง ซึ่งคล้ายคลึงกับแก้วโซดา - ไลม์ แก้วโอปอลที่มีความขุ่นหรือทึบมากเท่าใด จะยิ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีมากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากมักจะมีปริมาณอัลคาไลน์ หรือฟลูออกไรด์ในส่วนผสมมาก ความแข็งแรงของแก้วโซดา-ไลม์และแก้วโอปอลอาจเพิ่มขึ้นได้โดยการผ่านกระบวนการเทมเปอร์ (temper) คือกระบวนการให้ความร้อนแก่ผิวของผลิตภัณฑ์อย่างฉับพลัน ในช่วงอุณภูมิที่ใกล้เคียงอุณหภูมิอ่อนตัวของแก้ว (softening point) แล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว

**แก้วลามิเนต (laminate glass)** เป็นผลิตภัณฑ์แก้วในท้องตลาดที่มีชื่อทางการค้าว่า คอเรลล์ (Corell) ภาพที่ 2 เป็นแก้วที่มีลักษณะขุ่นหรือโปร่งแสง เกิดจากการพยายามพัฒนาแก้วโอปอลให้มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยการเคลือบคลุม (cladding) แก้วโอปอลประเภทแคลเซียมฟลูออไรด์ ($CaF_2$) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 71 x $10^{-7}$/°ซ ด้วยแก้วอัลคาไลน์เอิร์ทอะลูมิโนซิลิเกต ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่า 48 x $10^{-7}$/°ซ ดังแสดงในตารางที่ 2 ลักษณะเช่นนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ คอเรล์ลลามิเนตมีจุดเด่น 3 ประการ คือ

**ภาพที่ 2**



1. ผลิตภัณฑ์มีความทนทานต่อสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด-ด่าง เนื่องจากแก้วที่เคลือบผิวเชื่องช้าต่อการเกิดปฏิกิริยา
2. ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนระหว่างแก้วโอปอลและ แก้ว cladding ทำให้แก้วลามิเนตนี้ มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยมีค่าประมาณ 250 เมกะพัสคัล จากเดิมสำหรับแก้วโซดา-ไลม์ และแก้วโอปอลที่มีค่าประมาณ 70 เมกะพัสคัล
3. ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้สามารถผลิต ผลิตภัณฑ์จากแก้วลามิเนตให้บางลงและเบาขึ้นได้

**กลาส - เซรามิกส์ (glass-ceramics)** เป็นแก้วที่ผสมผสานแก้วและผลึกเซรามิกส์เข้าด้วยกัน โดยการควบคุมส่วนผสมและกระบวนการตกผลึกในแก้ว การผลิตกลาส - เซรามิกส์นั้นใช้วิธีหลอมและขึ้นรูปเช่นเดียวกับการทำแก้วทั่วๆ ไป แต่ต้องเพิ่มกระบวนการทางความร้อนเพื่อให้เกิดผลึกที่มีขนาดเล็ก มีการกระจายตัวและมีขนาดสม่ำเสมอและต้องมี

ปริมาณมากกว่า 50% โดยปริมาตร (ส่วนนี้เป็นข้อแตกต่างที่สำคัญที่ใช้จำแนกกลาส - เซรามิกส์จากแก้วโอปอล)

ชนิดของโครงสร้างผลึก การจัดเรียงตัวของผลึก ขนาดของผลึก และ ส่วนผสมของแก้วที่เหลืออยู่ (residual - glassy phase) หลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อน เป็นตัวกำหนดสมบัติของกลาส - เซรามิกส์ โดยทั่วไปกลาส-เซรามิกส์จะมีความแข็งแรง ทนทานต่อสารเคมี และทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันดีกว่าแก้วทั่ว ๆ ไป

ผลิตภัณฑ์กลาส - เซรามิกส์ที่ใช้เป็นภาชนะบนโต๊ะอาหารซึ่งมีความทนทานต่อสารเคมี และมีความแข็งแรงมาก ได้แก่ ไพโรเซอแรม (Pyroceram) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ เนฟิลีน (nepheline) และเซลเซียน (celsian) ชนิดที่สองประกอบด้วยผลึกของ คริสโตบาไลต์ (cristobalite) และ โปตัสเซียมฟลูออ-ริสเตอไรต์ (potassium fluorrichterite) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีเป็น เชนซิลิเกต (chain silicate) และมีโครงสร้างจุลภาคแบบรูปเข็ม (acicular) หรือแท่ง (rod-like) ที่เกาะล็อคกันซับซ้อน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีความแข็งแรงและแข็งแกร่งมาก ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของกลาส-เซรามิกส์ 2 ชนิดนี้มีค่าสูงประมาณ 95 x $10^{-7}$ /°ซ และ 115 x $10^{-7}$/°ซ ตามลำดับ จึงทำให้สามารถเลือกแก้วที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่ามาเคลือบที่ผิวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ได้ง่าย

ข้อด้อยของภาชนะบนโต๊ะอาหารที่ทำจากกลาส-เซรามิกส์ คือ มีราคาค่อนข้างแพง เนื่องจากต้องผ่านขั้นตอนการผลิตมากกว่าแก้วชนิดอื่น เช่น ต้องควบคุมกระบวนการความร้อนให้เกิดผลึกหลังการขึ้นรูป และต้องเคลือบผิวให้เงางาม นอกจากนี้อัตราการเสียหายขณะผ่านขั้นตอนต่าง ๆ นั้นก็มีมาก โดยเฉพาะการบิดเบี้ยวในขณะทำการควบคุมให้เกิดผลึก ยิ่งไปกว่านั้นยังต้องเพิ่มชิ้นส่วนสำหรับรองรับผลิตภัณฑ์ขณะผ่านกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ด้วย จึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์กลาสเซรามิกส์จะมีความแข็งแรงและทนทานกว่าผลิตภัณฑ์จากแก้วโซดา-ไลม์ และแก้วโอปอล มาก

**ภาชนะสำหรับเครื่องดื่ม (drinkware)** จะมีข้อกำหนดสมบัติต่าง ๆ คล้ายกับภาชนะบนโต๊ะอาหารแต่จะเน้นในเรื่องของความทนทานต่อสารที่มีความเป็นกรด-ด่างมากกว่าเรื่องความทนทานต่อการแตกเมื่อได้รับความร้อน แก้วสำหรับภาชนะกลุ่มนี้ ได้แก่ แก้วเทมเพอร์ดโซดา-ไลม์ (tempered soda-lime glass) แก้วตะกั่ว (lead glass) และแก้วอัลคาไลน์-เอิร์ทอะลูมิโนซิลิเกต (alkaline alumino silicate glass) ส่วนผสมแสดงในตารางที่ 3

**แก้วเทมเพอร์ดโซดา-ไลม์ (tempered soda-lime glass)** คือแก้วโซดา-ไลม์ ที่ผ่านขบวนการผลิตอีกหนึ่งขั้นตอน คือวิธีเทมเพอร์ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรงมากขึ้น แก้วกลุ่มนี้จะมีราคาถูกที่สุด

ภาพที่ 3

**แก้วตะกั่ว (lead glass)** หรือที่รู้จักกันในชื่อแก้วเจียรนัย (lead crystal) ภาพที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีราคาแพงที่สุด ในยุโรปแก้วที่จะจัดเป็นแก้วเจียรนัยได้จะต้องมีตะกั่วออกไซด์ (Pb0) อยู่ในส่วนผสมมากกว่า 24% โดยน้ำหนัก แต่สำหรับในสหรัฐอเมริกาไม่ได้มีการกำหนดปริมาณของตะกั่วออกไซด์ในส่วนผสมไว้อย่างชัดเจน ค่าดัชนีหักเหของแสงในแก้วตะกั่วสูงกว่าแก้วชนิดอื่นมาก จึงทำให้แก้วชนิดนี้มีประกายแวววาวที่สวยงาม การคัดเลือกวัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง จึงเป็นสิ่งที่สำคัญต่อความสวยงามของแก้วตะกั่วหากมีเหล็กออกไซด์เจือปนในวัตถุดิบ จะทำให้เกิดสีที่ไม่ต้องการ และทำให้ความแวววาวลดลง

**แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ทอะลูมิโนซิลิเกต (alkaline-earth alumino silicate glass)** มีส่วนผสมคล้ายแก้วโซดา-ไลม์ แต่มีออกไซด์ของกลุ่มอัลคาไลน์-เอิร์ท เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแบเรียมออกไซด์ (BaO) อยู่ในส่วนผสม ทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงกับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่า และมีความทนทานต่อสารที่มีความเป็นกรด-ด่างมากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย

แก้วทั้ง 3 กลุ่มนี้มีสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนอยู่ในช่วง 80-100x$10^{-7}$/°ซ มีความทนทานต่ออาการแตกเมื่อได้รับความร้อนต่ำ ส่วนความแข็งแรงนั้นแปรตามรูปร่างและการเทมเพอริ่ง (tempering)

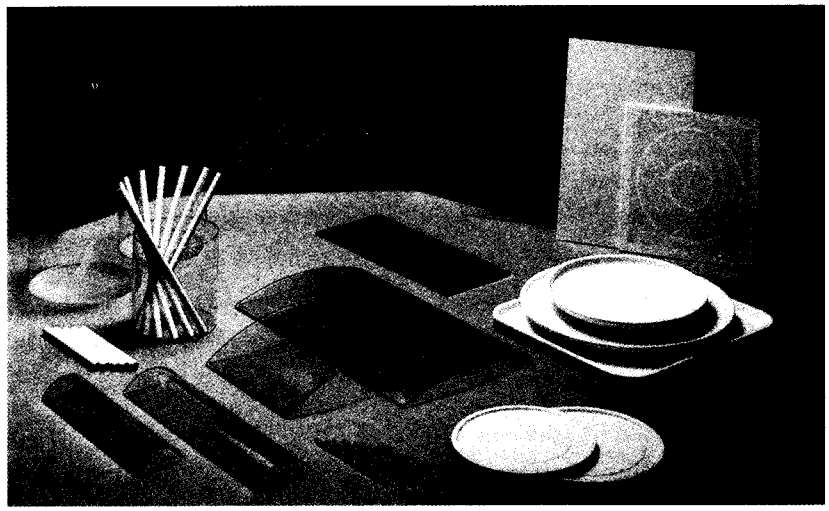
**ภาชนะสำหรับที่ใช้ในเตาอบได้ (ovenware)** สมบัติที่สำคัญ คือ มีความทนทานต่อการแตกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน โดยทั่วไปควรจะทนต่อการแตกเมื่อถูกทำให้เย็นตัวอย่างฉับพลัน (thermal-down shock) จากอุณหภูมิ 150°ซ แก้วในกลุ่มนี้ได้แก่ แก้วไพเรกซ์ (Pyrex) และกลาส-เซรามิกส์ ส่วนผสมแสดงในตารางที่ 4

**แก้วไพเรกซ์ ((Pyrex)** เป็นแก้วที่รู้จักกันดีสำหรับใช้ทำภาชนะสำหรับอบอาหาร มี 2 ชนิด คือ เทมเพอร์ค โซดา-ไลม์ และบอโรซิลิเกต สำหรับแก้วเทมเพอร์ด โซดา-ไลม์นั้น มีส่วนผสมและสมบัติไม่ต่างจากที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้แล้ว ส่วนบอโรซิลิเกตนั้นมีข้อดีหลายประการเหนือกว่าโซดา-ไลม์ การเติมบอริค-ออกไซด์ ($B_2O_3$) ลงในแก้วซิลิเกตให้ผล 2 ประการคือ (1). $B_2O_3$ ทำให้ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของแก้วซิลิเกตลดลงถึง 50% ส่งผลให้ความทนทานต่อการแตกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันดีขึ้น และ (2). $B_2O_3$ ทำให้เกิดการแยกเฟสขึ้นขณะที่แก้วเย็นตัว เกิดเป็นเฟสที่มีความเข้มข้นของโซเดียมบอเรตอยู่สูง และเฟสที่มีความเข้มข้นของซิลิกาอยู่สูงซึ่งเป็นเฟสที่กำหนดความทนทานของแก้ว

ส่วนผสมของบอโรซิลิเกตนี้ ทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์แก้ว ที่มีความทนทานใกล้เคียงกับแก้วซิลิกาได้ที่อุณหภูมิไม่สูงนัก แก้วไพเรกซ์นี้ยังคงลักษณะโปร่งใสอยู่แม้จะมีการแยกเฟสเกิดขึ้น ภาพที่ 4

**กลาส-เซรามิกส์ (glass-ceramics)** สำหรับทำภาชนะประเภทนี้ทำจากแก้วประเภทลิเธียมอะลูมิโนซิลิเกต ที่มีผลึกของ เบต้า-สะปอดูมีน (Beta-spodumene หรือ เบต้า-ควอรตซ์ (Beta-quartz) ที่ได้จากการควบคุมอุณหภูมิ และส่วนผสมของแก้ว ภาพที่ 5

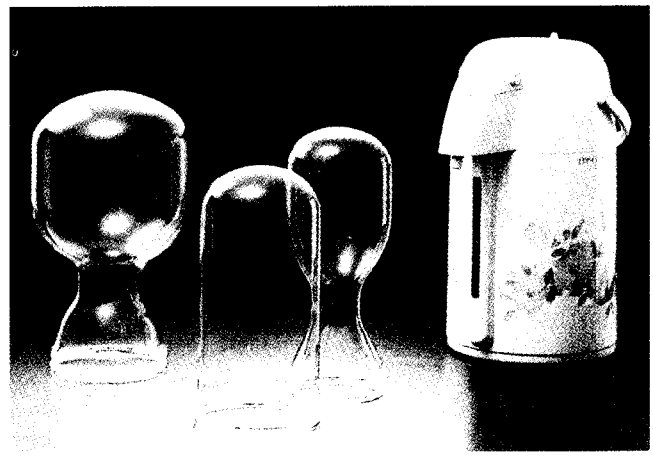
ผลิตภัณฑ์ที่มีผลึก เบต้า-สะปอดูมีน มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 12-15x $10^{-7}$/°ซ มักจะมีลักษณะทึบ และทนทาน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีผลึก เบต้า-ควอรตซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำมากหรือมีค่าติดลบ ขนาดของผลึกจะเล็กมากและเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสง จึงทำให้ภาชนะมีลักษณะโปร่งใส



ภาพที่ 5

**ภาชนะสำหรับใช้บนเตา (top-of-stove)** สำหรับภาชนะกลุ่มนี้สมบัติที่สำคัญที่สุด และต้องได้รับการควบคุมเป็นอย่างมากคือ ความทนทานต่อการแตกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจากอุณหภูมิ 500 °ซ แก้วที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้มีเพียง 2 ชนิด คือ กลาส-เซรามิกส์ (glass-ceramics) และแก้วอะลูมิโนซิลิเกต (alumino silicate glass) ภาพที่ 6

ภาพที่ 6



ภาพที่ 4

**กลาส-เซรามิกส์ (glass-ceramics)** เป็นชนิดที่มีผลึก เบต้า-ควอรตซ์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำและมีความเสถียรทางความร้อนเหมาะสำหรับการใช้งานบนเตา

**แก้วอะลูมิโนซิลิเกต (alumino silicate glass)** เป็นแก้วที่มีอะลูมินาและซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (softening point) สูง พอที่จะป้องกันการเสียรูปทรงเมื่อทำการเทมเพอร์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์

**โดยสรุป**แล้วแก้วที่ผลิตได้ในปัจจุบันเป็นผลจากการศึกษา วิจัยในเรื่องของส่วนผสมและกระบวนการผลิตแก้วอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการพัฒนาชนิดของแก้ว ซึ่งมีสมบัติต่างๆ ตามต้องการ มีทั้งที่มีลักษณะโปร่งใส ขุ่น หรือโปร่งแสง และมีสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก ต่อสภาวะกรด-ด่าง และต่อการเปลี่ยนทางความร้อนในระดับต่างๆ กัน โดยลักษณะเหล่านี้แปรตามส่วนผสม กระบวนการผลิต และโครงสร้างจุลภาค ส่งผลให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อประโยชน์ใช้สอยที่ต่างกันตามมา สำหรับแก้วในครัวเรือนสามารถแบ่งกลุ่มของภาชนะตามสมบัติและประโยชน์การใช้งานออกได้เป็น กลุ่มภาชนะบนโต๊ะอาหาร ภาชนะสำหรับเครื่องดื่ม ภาชนะสำหรับอาหาร และภาชนะสำหรับใช้บนเตา

**ตารางที่ 1 ส่วนผสมและสมบัติของภาชนะบนโต๊ะอาหาร**

| | Composition, wt% | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $SiO_2$ | 71.5 | 75.3 | 58.9 | 71.1 | 58.0 | 64.0 | 43.3 | 67.1 |
| $Al_2O_3$ | 5.6 | 3.2 | 10.5 | 1.6 | 15.0 | 6.0 | 29.8 | 1.8 |
| $B_2O_3$ | | 13.5 | 1.4 | | | 5.0 | 5.5 | 0.3 |
| $Li_2O$ | | | | | | | | 0.8 |
| $Na_2O$ | 13.0 | 6.6 | 8.4 | 14.2 | | 3.0 | 14.0 | 3.0 |
| $K_2O$ | | | | 0.5 | | 3.0 | | 4.8 |
| MgO | | | | 1.1 | 6.0 | 1.0 | | 14.3 |
| CaO | 0.0 | 0.7 | 5.8 | 9.8 | 15.0 | 15.0 | | 4.7 |
| BaO | 6.3 | | | | | | | |
| ZnO | | | 8.7 | | | | | |
| $TiO_2$ | | | | | | | 6.5 | |
| $P_2O_5$ | | | | | | | | 1.0 |
| $As_2O_3$ | | | | | | | 0.9 | |
| $Sb_2O_3$ | | | | | | | | 0.2 |
| Fluorine | 3.7 | 0.8 | 4.2 | | 3.0 | | | 3.5 |
| Softening point, °C | 715 | 764 | 792 | | 890 | | | |
| CTE x $10^7$/°C | 75 | 44 | 80 | | 48 | 71 | 95 | 118 |
| Type | NaF opal | Liquid-liquid opal | $CaF_2$ opal | Soda-lime | Borosilicate Cladding | $CaF_2$ opal core | Nepheline ceramic | K-richterite glass ceramic |

* at 25 - 300°C

**ตารางที่ 2 ส่วนผสมของแก้วสำหรับเคลือบภาชนะบนโต๊ะอาหาร**

| | Composition, wt% | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $SiO_2$ | 59.1 | 55.8 | 55.9 | 42.5 |
| $Al_2O_3$ | 13.5 | 7.4 | 9.6 | 7.0 |
| $B_2O_3$ | 4.3 | 5.5 | 6.0 | 8.9 |
| $LiO_2$ | 0.5 | ... | ... | ... |
| $Na_2O$ | 1.8 | 1.8 | 3.1 | 2.5 |
| $K_2O$ | 3.9 | 2.7 | 1.7 | ... |
| MgO | 1.0 | 0.6 | ... | ... |
| CaO | 11.8 | 9.2 | 7.7 | 3.1 |
| BaO | ... | 2.5 | ... | ... |
| SrO | 4.1 | 3.1 | ... | ... |
| ZnO | ... | 10.9 | ... | ... |
| $ZrO_2$ | ... | 0.6 | ... | 0.7 |
| PbO | ... | ... | 16.1 | 35.3 |

**ตารางที่ 3 ส่วนผสมและสมบัติของภาชนะสำหรับเครื่องดื่ม**

| | Composition, wt% | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $SiO_2$ | 59.9 | 72.6 | 68.4 | 69.4 | 69.4 |
| $Al_2O_3$ | ... | 1.3 | 0.2 | 0.6 | 1.4 |
| $Na_2O$ | 3.3 | 13.5 | 10.6 | 10.7 | 9.8 |
| $K_2O$ | 10.3 | ... | 5.5 | 7.2 | 5.6 |
| MgO | ... | 4.3 | ... | 1.2 | ... |
| CaO | 1.3 | 6.8 | 10.0 | 4.9 | 7.6 |
| BaO | ... | ... | 4.5 | 6.0 | 5.7 |
| PbO | 24.4 | ... | ... | ... | ... |
| $B_2O_3$ | ... | ... | 0.8 | ... | 0.7 |
| Softening point, °C | 647 | 736 | 695 | 682 | 704 |
| CTE x $10^7$/°C at 25-300°C | 89 | 86 | 98 | 99 | 89 |
| Type | Lead Crystal | Soda-lime | Alkaline earth-Silicate | Alkaline earth-Silicate | Alkaline earth-Silicate |

**ตารางที่ 4 ส่วนผสมและสมบัติของภาชนะสำหรับอบอาหาร**

| | Composition, wt% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $SiO_2$ | 76.4 | 74.0 | 82.0 | 69.7 | 68.8 | 66.1 |
| $Al_2O_3$ | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 17.8 | 19.2 | 20.2 |
| $B_2O_3$ | 14.7 | 0.8 | 12.0 | ... | ... | ... |
| $Li_2O$ | ... | ... | ... | 2.8 | 2.7 | 3.9 |
| $Na_2O$ | 5.4 | 13.5 | 4.0 | ... | 0.2 | 0.4 |
| $K_2O$ | ... | ... | ... | ... | 0.1 | ... |
| MgO | ... | ... | ... | 2.6 | 1.8 | 1.0 |
| CaO | 0.7 | 10.0 | ... | ... | ... | ... |
| BaO | ... | ... | ... | ... | 0.8 | 1.8 |
| ZnO | ... | ... | ... | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| $TiO_2$ | ... | ... | ... | 4.7 | 2.7 | 3.0 |
| $ZrO_2$ | ... | ... | ... | ... | 1.8 | 1.7 |
| $As_2O_3$ | 0.4 | ... | ... | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| $Sb_2O_3$ | ... | 0.2 | ... | ... | ... | ... |
| CTE (x $10^7$ /°C* | ... | 86 | 37 | 4-20 | 5-7 | 1 |
| Type | Tempered Borosilicate | Tempered Soda-lime | Tempered Borosilicate | B-spodumene Glass-ceramic | B-quartz Glass-ceramic | B-quartz Glass-ceramic |

* at 25-300°C

## เอกสารอ้างอิง

Doremus, R.H. **Glass science.** New York : Wiley, 1973.

Kurkjian, C.R. and Prindle, W.R. Perspective on the history of glass composition. **Journal of American Ceramic Society,** April, 1998. Vol. 81, no. 4, p. 795-813.

Mcmillan, P.W. **Glass-ceramics.** 2 nd ed. London : Academic Press, 1979.

Prindle, W.R, et. al. Edited by Schneider, S.J., et al. In **Engineered materials handbook Vol. 4** : Ceramics and glasses. Section 6 : glass processing. Metals Park, Oh.: ASM International, 1990.

Seward, T.P. III and Daneilson, P.S. Edited by Schneider, S.J,et.al In **Engineered Materials handbook. Vol. 4 : Ceramics and glasses.** Section 14 : applications of glasses. Metals Park, Oh : ASM International, 1990.

Strnad, Z. **Glass-ceramic materials.** Amsterdam : Elsevier, 1986.

โฆษณาแก้วเจียรนัยจากประเทศญี่ปุ่น. แผ่นภาพ.

โฆษณาเครื่องแก้วจากประเทศอิตาลี, แผ่นภาพ.