

# สาระ:



# ขวดเบียร์

## นำกลับมาใช้ใหม่ได้จริงหรือ

กนิษฐ์ ตะปะสา\*

ทราบกันหรือไม่ว่าขวดแก้วต่างๆสำหรับบรรจุเครื่องดื่มที่จำหน่ายในท้องตลาด ทั้งขวดน้ำเปล่าสีใส ขวดบรรจุแอลกอฮอล์ที่มีสีเขียวยและสีชา ส่วนหนึ่งเป็นขวดที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยโรงงานผลิตเครื่องดื่มจะนำขวดแก้วใช้แล้วมาทำความสะอาดผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Pasteurizing) ก่อนนำไปบรรจุเครื่องดื่ม ขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่เหล่านี้ส่วนใหญ่มีตำหนิ (Flaw) อันเนื่องจากการกระทบ ไม่ว่าจะเป็นตั้งแต่กระบวนการบรรจุ การขนส่ง การทิ้งขวดเปล่า ซึ่งตำหนินี้ อาจเป็นจุดกำเนิดของรอยแตก (Crack) ที่ทำให้ขวดแตกได้ ในระหว่างกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม ดังนั้นโรงงานผลิตต้องคัดเลือกขวดแก้วที่มีความแข็งแรงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ในทางปฏิบัติโรงงานผลิตไม่สามารถตรวจสอบผิวขวดแก้วได้ทุกขวด (ตรวจสอบเฉพาะบริเวณปากขวด) แต่สามารถคัดกรองขวดแก้วที่มีความแข็งแรงได้เบื้องต้น โดยขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่จะถูกล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยแรงดันสูงพอสมควร ถ้าววดแก้วที่ไม่แข็งแรงพอจะไม่สามารถรับแรงดันน้ำได้

อย่างไรก็ตามยังมีขวดแก้วจำนวนหนึ่งที่ผ่านกระบวนการล้าง แต่แตกในระหว่างกระบวนการบรรจุ บริษัทผลิตเบียร์แห่งหนึ่งจึงมีความต้องการศึกษาสาเหตุการแตกของขวดนำกลับมาใช้ใหม่ที่แตกในสายการผลิตเพื่อหาวิธีการคัดแยกขวดออกก่อนการบรรจุเบียร์ บริษัทซื้อขวดที่นำกลับมาใช้ใหม่จาก 2 บริษัท (A และ B) การแตกเกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการ Pasteurizing ลักษณะการแตกเนื่องจากแรงดัน

ภายใน (internal pressure) ซึ่งการแตกเกิดบริเวณข้างขวดแก้ว และการแตกแบบแรงกระแทกภายใน (Water hammer) ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณก้นขวดแก้ว แสดงในรูป 2 โดยขวดแก้วที่ซื้อจากบริษัท A มีปริมาณการแตกมากกว่าที่มาจากบริษัท B บริษัทผลิตเบียร์แห่งนี้นี้จึงร่วมมือกับห้องปฏิบัติการเชี่ยวชาญด้านแก้ว โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม วิเคราะห์หาสาเหตุของการแตกด้วยการวัดความเครียดตกค้าง (Residual stress) ในขวดแก้วโดยใช้เครื่อง StrainMatic™ ซึ่งใช้เทคนิคโพลาไรเซชัน (Polarization) วิเคราะห์ปริมาณ ความเครียด (Residual stress) ในเนื้อแก้ว แสดงในรูป 3-4 โดยการศึกษาครั้งนี้มีสมมติฐานว่ารอยตำหนิบนผิวขวดแก้วเป็นสาเหตุก่อให้เกิดการรวมตัวของ Residual stress ซึ่งทำให้ขวดแก้วสูญเสียความแข็งแรง



ภาพที่ 1 เก็บข้อมูลในโรงงานบรรจุเบียร์

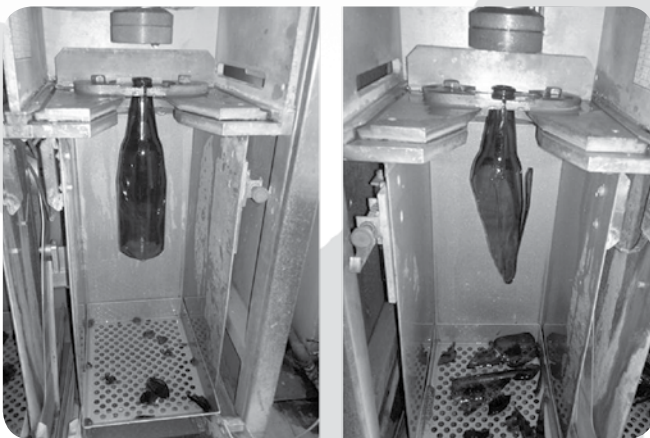
\* นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม

อีกทั้งยังศึกษาแนวทางการเพิ่มความแข็งแรงของผิวขวดเพื่อทนต่อแรงดันภายในขวด เนื่องจากขวดแก้วที่มีตำหนิที่ผิว จะทำให้ความแข็งแรงของขวดแก้วลดลง วิธีการเพิ่มความแข็งแรงให้ขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธี ดังต่อไปนี้

1) การเพิ่มความแข็งแรงด้วยความร้อน (Heat strengthening) คือ การทำให้แก้วแข็งแรงโดยทำให้เกิดความเค้นจากแรงอัด (Compressive stress) ที่ผิวแก้ว และความเค้นจากแรงดึง (Tensile stress) ในเนื้อแก้ว ซึ่งสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนแก่แก้วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Glass transition temperature,  $T_g$ ) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิอ่อนตัวของแก้ว (Softening point) แล้วทำให้ผิวแก้วเย็นตัวเร็วกว่าเนื้อแก้ว

2) การอบแก้ว (Annealing) คือ การอบเพื่อคลาย Residual stress ในเนื้อแก้ว โดยการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ  $T_g$  ประมาณ  $20-30^\circ\text{C}$

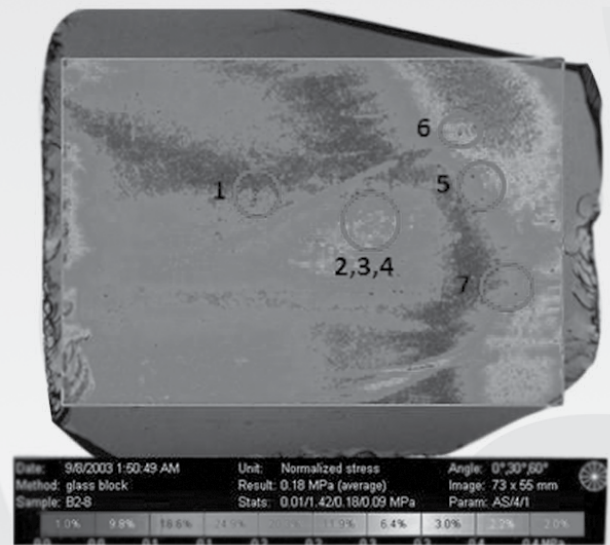
3) การเคลือบด้วยวิธีโซลเจล (Sol-gel coating) คือการเคลือบผิวแก้วด้วยสารโซลเจลปิดรอยตำหนิบนผิวแก้ว ไม่ให้น้ำแทรกเข้าไปในรอยแตกได้ เพราะถ้าน้ำเข้าไปในรอยแตกจะเป็นตัวกระตุ้นให้รอยแตกขยายตัว สารที่นิยมใช้ในการเคลือบผิวแก้วคือ TEOS (Tetraethyl Orthosilicate,  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ) แสดงในภาพ 5



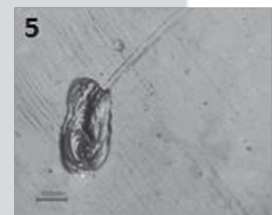
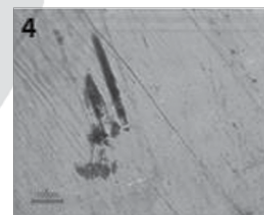
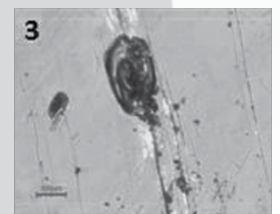
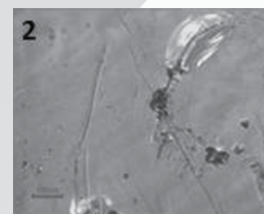
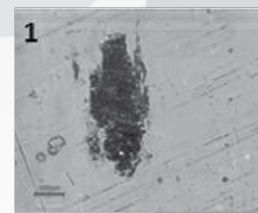
(a)

(b)

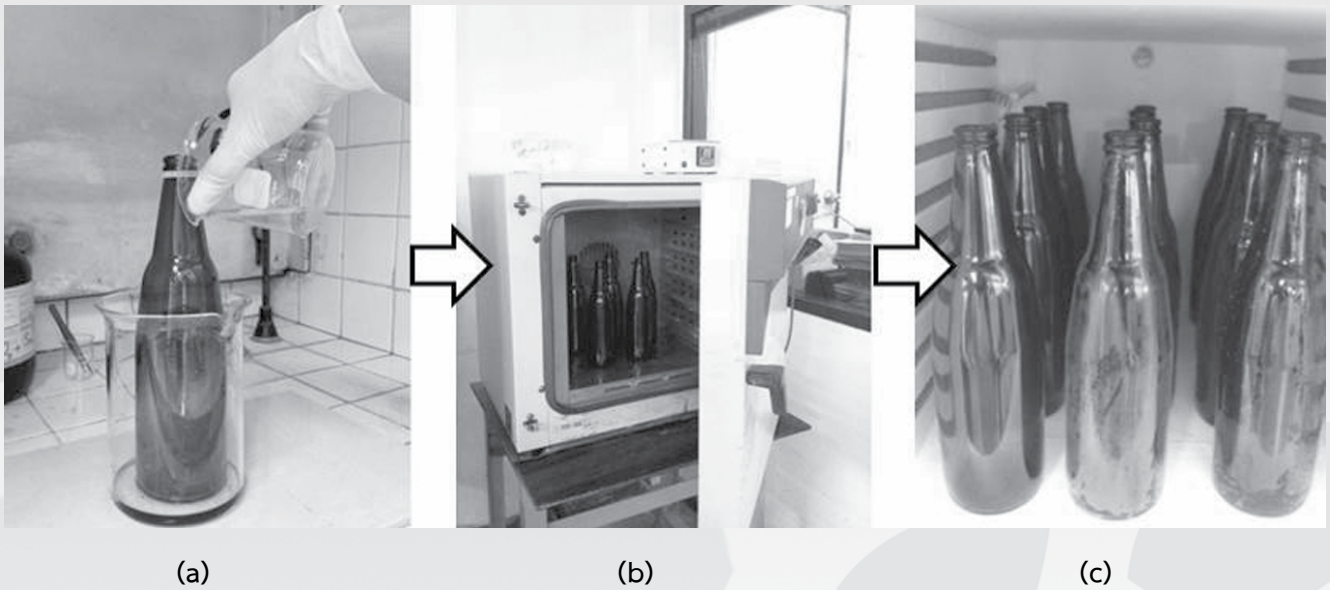
ภาพที่ 2 ลักษณะการแตกเป็นแบบ (a) Internal pressure และ (b) Water hammer



ภาพที่ 3 ผลการวัด Residual stress



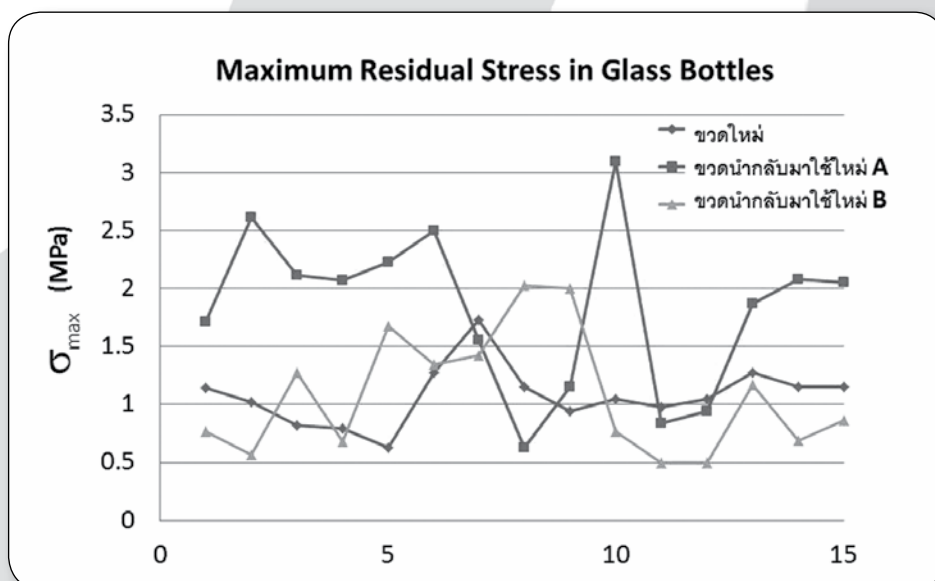
ภาพที่ 4 รอยตำหนิบนผิวขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่ในรูปที่ 3



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการเคลือบผิวแก้วด้วย TEOS (a) การนำขวดไปจุ่มในสาร TEOS (b) ให้ความร้อนขวดแก้ว (c) ปล่อยให้เย็นตัว

การศึกษาได้สุ่มขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่จาก 2 บริษัท และขวดแก้วที่ไม่เคยผ่านการใช้งาน จำนวนแห่งละ 15 ขวด ผลการวิเคราะห์หา Residual stress ในขวดแก้ว และนำขวดแก้วทั้งหมดกลับไปบรรจุเปรี๊ยะในสายการผลิต พบว่าปริมาณ Residual stress ของขวดแก้วไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับการแตกของขวด บางขวดที่แตกมี Residual stress น้อย แต่บางขวดที่มี Residual stress มากกลับไม่แตก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่อง StrainMatic™ ไม่สามารถบ่งชี้การกระจุกตัวของ Residual

stress ที่เกิดจากรอยแตกขนาดเล็กบนผิวแก้วได้ อย่างไรก็ตาม ผลจากการวัด Residual stress สูงสุด ( $\sigma_{max}$ ) ในรูป 6 แสดงให้เห็นว่าขวดแก้วใช้แล้วมี Residual stress ในเนื้อแก้วมากกว่าขวดแก้วใหม่ และเมื่อสุ่มขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่จากบริษัท A และ B จำนวนแห่งละ 15 ขวด มาวิเคราะห์ Residual stress พบว่าขวดจากบริษัท A มีจำนวนขวดที่มี  $\sigma_{max}$  มากกว่าขวดจากบริษัท B ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการแตกของขวดจากบริษัท A ในสายการผลิต



ภาพที่ 6 ผลการวัด Residual stress ในขวดแก้ว



จากผลการทดสอบความทนทานต่อ Internal pressure ของขวดแก้วที่ทดลองเพิ่มความแข็งแรงด้วยวิธี Heat strengthening ที่ Annealing และการเคลือบผิวด้วย TEOS พบว่าการทำ Heat strengthening มีแนวโน้มเพิ่มความแข็งแรงให้ขวดแก้วได้มากที่สุด เนื่องจากมีค่าความทนทานต่อ Internal

pressure ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการทำ Heat strengthening ให้กับขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่ในสายการผลิตทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น บริษัทผลิตเบียร์ต้องพิจารณาเลือกวิธีการที่มีและมีการเพิ่มต้นทุนการผลิตต่ำสุดมากที่สุด

### เอกสารอ้างอิง

- COORS BREWING COMPANY. *Acoustic bottle tester*. Inventor: Phillip J. LUCAS. 14 March 2000. Appl: 14 April, 1998. US patent 6035718 A.
- FRECHETTE, V.D. Common Conditions of Failure. In : *Failure Analysis of Brittle Materials : Advances Ceramic Volume 28*. Ohio : American Ceramic Society, 1990, pp. 93-109.
- GRIFFITH, A.A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1920, 221 (A), 169
- KARLSSON, S. and B. JONSON. The technology of chemical Glass strengthening-a review. *Glass Technology - European Journal of Glass Science and Technology Part A*, 2010, 51(2), 41
- KEPPLER J. B. and J. S. WASYLYK. Fracture of glass containers. In : R., C. and TRESSLER, R. E., eds. *Fractography of Glass*. Bradt. New York : Plenum Press, 1994, pp. 207-252.
- MOULD, R.E. The Strength of inorganic glasses. In: BONIS, L., ed. *Fundamental Phenomena in The Material Sciences Volume 4*. New York : Plenum Press, 1967, pp. 119-149.
- NAVARRETE, M., et al. Photoacoustic measurements of laser induced microcracks formation in glass. *Optics and Lasers in Engineering*. 2003, 40, 5