การศึกษาความทนทานต่อสารละลายของผิวแก้วภายในของขวดแก้วสำหรับเครื่องดื่มบำรุงกำลัง
The studies of hydrolytic resistance of inner surfaces of glass containers for energy drinks

อุสุมา นาคนิคาม[1*], โสรดา ขุนโหน[1], เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล[1]
Usuma Naknikham[1*], Sorada Khunhon[1], Tepiwan Jitwatcharakomol[1]

บทคัดย่อ

ตลาดเครื่องดื่มบำรุงกำลังมีการเติบโตอย่างมากในปัจจุบัน ดังนั้นจึงความปลอดภัยของการใช้บรรจุภัณฑ์แก้ว ซึ่งอาจจะเกิดการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักและธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว เมื่อถูกทำละลายโดยเครื่องดื่มที่บรรจุอยู่ภายใน การทำให้เนื้อแก้วมีความทนทานต่อสารละลายเพิ่มขึ้นสามารถลดการปนเปื้อนเนื่องจากธาตุดังกล่าวได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความทนทานต่อสารละลายของขวดแก้วสำหรับเครื่องดื่มบำรุงกำลังโดยการปรับปรุงผิวภายในด้วยสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 และ 5 ที่เวลา 30 60 และ 120 วินาที ทดสอบความทนทานต่อน้ำตามมาตรฐาน ISO 4802-1 พบว่าความทนทานต่อน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากล้างผิวภายในขวดแก้วสีชาด้วยกรดอะซิติก สภาวะที่เหมาะสมในการล้างผิวภายในขวดแก้วสีชาคือใช้กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 30 วินาที นำขวดที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวบรรจุบรรจุด้วยกรดซิตริกที่มีค่า pH 3.5 (ใกล้เคียงกับค่า pH ของเครื่องดื่มบำรุงกำลัง) เก็บภายใต้อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส)และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 7 14 21 และ 28 วัน จากการตรวจสอบธาตุที่ถูกทำละลายออกมาด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ไม่พบธาตุโลหะหนัก ได้แก่ As Cd Cr Pb Hg Se และ Sb และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว ได้แก่ Ca และ K พบเฉพาะธาตุ Na ขวดทั้งสองแบบมีปริมาณธาตุโซเดียม (Na) ที่ถูกทำละลายออกมาไม่แตกต่างเมื่อเก็บภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน แต่ขวดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณโซเดียมสูงกว่าขวดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 21 ประมาณ 0.5 ppm แสดงว่าค่าความทนทานต่อสารละลายของผิวขวดลดลงกับอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงผิวภายในขวดแก้วโดยการล้างด้วยกรดอะซิติกไม่มีผลต่อการใช้งาน

Abstract

Nowadays, the market of the energy drinks is expanding quite substantially. From the safety point of view, the contamination of heavy elements and glass composition elements which might be dissolved by their solution is concerned. The glass with a high hydrolytic resistance property can decrease the contamination of those elements. The objective of this study was to improve the hydrolytic resistance of the energy drink glass containers by means of treating the inner surfaces with 1, 2, 3 and 5% of acetic acid. Hydrolytic tests were conducted in accordance with ISO 4802-1. It was found that the hydrolytic

resistance increased after the acid treating. The treatment condition of 3% of acetic acid for 30 second resulted in the highest hydrolytic resistance. The treated and un-treated bottles were filled up with citric acid solution at pH 3.5 (close to the pH of energy drink), kept at room temperature (about 25-27 °C) and 20 °C for 7, 14, 21 and 28 days soaking time. The leached elements were analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The results showed that the amount of leached heavy metals, i.e. As Cd Cr Pb Hg Se Sb, and Ca K which were the compositions in glass, were not found. Only leached Na was found. The results also showed that the contents of leached sodium from the treated and un-treated bottles were not different at the same storage temperature. However, the amount of leached sodium element (Na) of the bottles kept at room temperature was higher than those kept at 20 °C. The highest content of leached sodium was found at 21 days soaking time. In summary, the hydrolytic resistance of glass surfaces for the solution at pH 3.5 was decreased when the temperature and the soaking time were increased. average firing shrinkage, the standard deviation and the change of the shrinkage with temperature.

คำสำคัญ : ความทนทานต่อสารเคมี, บรรจุภัณฑ์แก้ว, การทดสอบความทนทานต่อน้ำ
Keywords : Chemical Resistance, Glass Container, Hydrolytic test

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ
*Corresponding author E-mail address : usuma@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction

แก้วเป็นวัสดุที่มีความเสถียรสูง ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่น จึงนิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง และยารักษาโรค แก้วชนิดโซดาไลม์เป็นแก้วที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แต่ยังคงต้องคำนึงถึงเรื่องความเสถียร เพราะสามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบได้ง่าย ดังสมการ (1) — (4) กระบวนการเหล่านี้เกิดอย่างต่อเนื่องแต่ในอัตราที่ช้ามากๆ จนเหมือนไม่ได้เกิดขึ้น ปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยาของแก้วกับสารละลายขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของสารละลาย (1) สมการการเกิดปฏิกิริยาของแก้วและน้ำ (2)

$$(Si - O - Na)_{glass} + H_2O \longrightarrow (Si - O - H)_{glass} + Na^+_{solution} + OH^-_{solution} \quad (1)$$

$$2(Si - O - H)_{silanol} \longrightarrow (Si - O - Si)_{gel} + H_2O \quad (2)$$

$$(Si - O - Si) + OH^- \longrightarrow (Si - OH) + (Si - O^-) \quad (3)$$

$$(Si - O^-) + H_2O \longrightarrow (Si\text{-}OH) + OH^- \quad (4)$$

เครื่องดื่มบำรุงกำลังส่วนมากนิยมบรรจุในขวดแก้วขนาดเล็กซึ่งผลิตจากแก้วโซดาไลม์และมีสีชาเพื่อป้องกันแสงไม่ให้เกิดปฏิกิริยาหรือทำลายองค์ประกอบบางอย่างในเครื่องดื่ม ภายใต้สภาวะการใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการฆ่าเชื้อ ความเป็นกรด — ด่างและความเข้มข้นของเครื่องดื่ม สินค้าตกค้างบนชั้นวางเป็นเวลานาน การสัมผัสกับแสงแดดในระหว่างการขนส่งหรือวางจำหน่าย เป็นต้น และองค์ประกอบทางเคมีของแก้วที่มีปริมาณโซเดียมสูง สาเหตุเหล่านี้มีผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีที่ผิวแก้วเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าขวดแก้วที่มีสีให้ปริมาณสารที่ละลายออกมา เช่น Cr, Th, La, Zr, Nd, Ce, Pr, Nb, Ti, Fe, Co และ Er. สูงกว่าขวดแก้วใส (3)

ธีรศักดิ์ฯ (4) ล้างผิวภายในของขวดแก้วด้วยกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3...6 ทำให้ปริมาณโซเดียมไอออน (Na+) ที่ผิวแก้วลดลงได้ โดยเมื่อความเข้มข้นของกรดที่ใช้ล้างขวดแก้วเพิ่มขึ้นปริมาณ Na+ ที่ผิวแก้วลดลง และสามารถลดปริมาณ Na+ ที่ถูกละลายออกมาได้สูงสุดประมาณร้อยละ 20 ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงความทนทานต่อสารละลายของผิวภายในของขวดเครื่องดื่มบำรุงกำลังโดยการล้างผิวภายในของขวดแก้วสำหรับเครื่องดื่มบำรุงกำลังด้วยสารละลายกรดอะซิติกโดยศึกษาผลกระทบเนื่องจากความเข้มข้นและระยะเวลาในการล้างขวดต่อความทนทานต่อน้ำ พร้อมทั้งศึกษาการทำละลายธาตุโลหะหนักและธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว

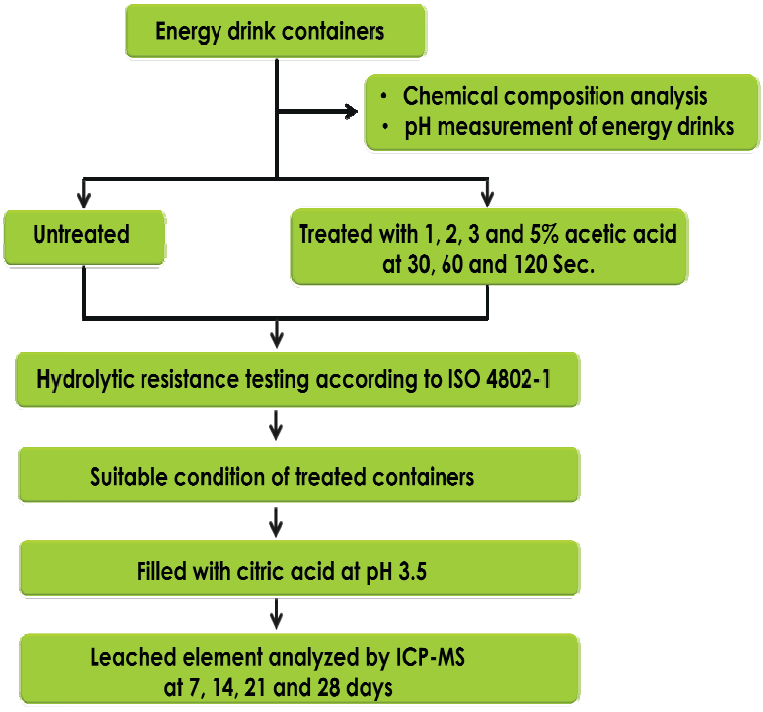
2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้ว สำหรับบรรจุเครื่องดื่ม 2 ชนิด ได้แก่ ขวดแก้วสีใสและขวดแก้วสีชา (สำหรับบรรจุเครื่องดื่มบำรุงกำลัง) ด้วยเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence ยี่ห้อ Bruker รุ่น Tiger) โดยการสุ่มตัวอย่างเครื่องดื่มบำรุงกำลังซึ่งบรรจุในขวดแก้วสีชาที่วางขายในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ (ยี่ห้อ A B และ C) และขวดแก้วสีใสสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม 1 ยี่ห้อ วัดค่า pH ของเครื่องดื่มบำรุงกำลังด้วยเครื่อง pH meter ค่า pH ที่ได้นี้ นำไปเตรียมสารละลายเพื่อศึกษาธาตุที่ถูกทำละลาย ข้อ 2.3

2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการล้างขวดแก้วสีชา โดยนำขวดแก้วสีชา ยี่ห้อ A ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาล้างผิวภายในด้วยสารละลายกรดอะซิติก (ชนิด AR Grade ยี่ห้อ Merck) ความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3 และ 5 ที่เวลา 30 60 และ 120 วินาที ล้างขวดให้สะ

อาดด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (DI Water) ทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในขวดตามมาตรฐาน ISO 4802-1 (5) เปรียบเทียบความทนทานต่อน้ำของขวดแก้วสีชา ที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างผิวด้วยกรดที่ความเข้มข้นและเวลาที่ต่างกัน เพื่อเลือกใช้ความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างขวดแก้วสีชา

2.3 ศึกษาธาตุที่ถูกทำละลายออกจากขวดแก้วสีชา นำขวดแก้วสีชา ที่ผ่านการล้างผิวและไม่ผ่านการล้างผิวด้วยกรดมาบรรจุสารละลายกรดซิตริก (ชนิด AR Grade ยี่ห้อ Merck) ที่ค่า pH 3.5 เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส) และในตู้แช่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน นำสารละลายมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7500 ce) สรุปวิธีการวิจัยดังแผนผังที่แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังการวิจัย

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม

องค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่มที่นำมาศึกษาแสดงในตารางที่ 1 พบว่าขวดแก้วทั้ง 2 สีเป็นแก้วชนิดโซดาไลม์และมีองค์ประกอบทางเคมีหลักไม่แตกต่างกัน มีเฉพาะ Na_2O CaO Cr_2O_3 และ MnO ที่แตกต่าง โดยขวดแก้วสีชาทั้ง 3 ยี่ห้อ (A B และ C) มี Na_2O สูงกว่าขวดแก้วสีใส ประมาณ 1.86 — 2.36 %Wt แต่มี CaO ต่ำกว่าประมาณ 2.52 — 2.75 %Wt นอกจากนี้ยังพบ Cr_2O_3 0.084 — 0.01 %Wt และ MnO 0.0037 — 0.0049 %Wt เฉพาะในขวดแก้วสีชา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม

องค์ประกอบทางเคมี	ขวดแก้วสีใส	ขวดแก้วสีชา, %Wt		
		ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C
SiO_2	71.50	71.06	71.49	70.42
Na_2O	11.64	14.01	13.77	13.51
CaO	13.27	10.75	10.66	10.52
MgO	1.07	1.67	1.51	2.79
Al_2O_3	1.67	1.82	1.81	2.02
K_2O	0.27	0.17	0.26	0.21
P_2O_5	0.02	0.02	0.02	0.02
SO_3	0.18	0.04	0.05	0.04
TiO_2	0.08	0.09	0.08	0.07
Fe_2O_3	0.14	0.28	0.26	0.30
SrO	0.07	0.01	0.01	0.01
ZrO_2	0.03	0.02	0.02	0.02
BaO	0.04	-	-	-
Cr_2O_3	-	0.01	0.0084	0.0089
MnO	-	0.0049	0.0045	0.0037
PbO	0.01	0.007	0.0077	0.0075

3.2 ค่า pH ของเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

ค่า pH ของเครื่องดื่มบำรุงกำลังที่นำทดสอบ 3 ยี่ห้อ มีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.30 — 3.69 เฉลี่ยได้ 3.48 แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า pH ของเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

เครื่องดื่มบำรุงกำลัง	ค่า pH
ยี่ห้อ A	3.45
ยี่ห้อ B	3.69
ยี่ห้อ C	3.30
เฉลี่ย	3.48

3.3 ความทนทานต่อน้ำของขวดแก้วสีชา

การทดสอบความทนทานต่อน้ำเป็นการทดสอบความสามารถในการละลายออกมาของโซเดียมจากผิวแก้ว งานวิจัยนี้ใช้มาตรฐาน ISO 4802-1 เนื่องจากเป็นการทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในของขวดแก้ว โดยใช้น้ำสกัดธาตุกลุ่มด่างจากขวดแก้ว นำสารละลายที่ได้มาติเตรตกับสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์เพื่อหาจุดยุติของสารละลายกรด HCl และธาตุกลุ่มด่างซึ่งอนุมานเป็น Na^+ ในสารละลายที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากันโดยสมบูรณ์ดังสมการที่ 5

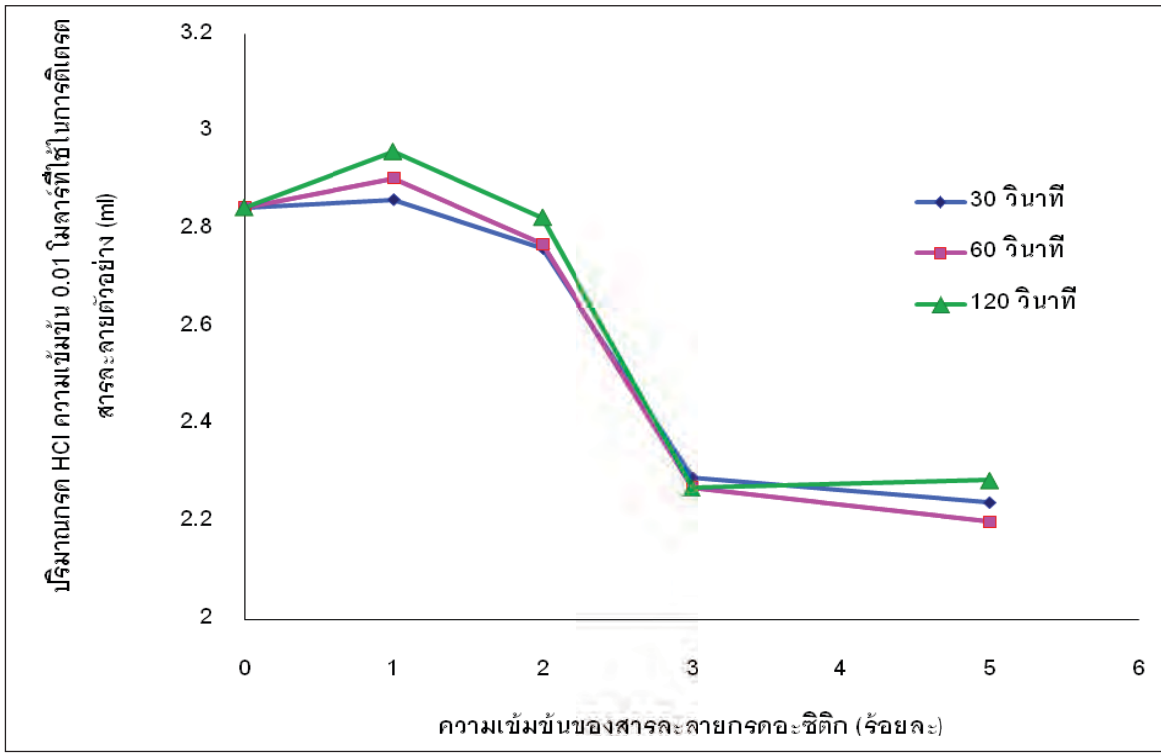
$$Cl^- + Na^+_{(solution)} \longrightarrow NaCl \quad (5)$$

จากสมการ (5) Cl^- จากสารละลายกรด HCl ทำปฏิกิริยากับ Na^+ ในสารละลายตัวอย่างอัตราส่วน 1:1 ดังนั้นปริมาณสารละลายกรด HCl ที่ใช้ในการติเตรตสารละลายที่สกัดได้จากขวดแก้วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของ Na^+ ในสารละลาย ขวดแก้วที่มี Na^+ ละลายออกมาน้อยจะมีการใช้สารละลายกรด HCl ในการติเตรตน้อย หมายถึงขวดแก้วมีความทนทานต่อน้ำสูงหรืออีกนัยหนึ่งคือแก้วมีความทนทานต่อสารละลายสูงขึ้น

ผลการทดสอบความทนทานต่อน้ำของขวดแก้วสีชาที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเปรียบเทียบระหว่างขวดที่ผ่านและไม่ผ่านการล้างผิวภายในด้วยสารละลายกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นและเวลาล้างต่างกัน แสดงในรูป 2 พบว่าขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างผิวด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 มีปริมาณธาตุ Na ที่ถูกทำละลายออกมาใกล้เคียงกัน แต่ขวดแก้วสีชาที่ล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 มีปริมาณธาตุNa ที่ถูกทำละลายออกมาน้อยกว่า แสดงว่ากรดอะซิติกความเข้มข้นสูงสามารถล้างธาตุ Na ที่ผิวแก้วได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ และขวดแก้วสีชาที่ล้างด้วยกรดความเข้มข้นร้อยละ 3 มีปริมาณธาตุ Na ที่ถูกทำละลายออกมาไม่แตกต่างจากการใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 5 ในทุกช่วงเวลา สรุปได้ว่าเวลาในการล้างผิวแก้วไม่มีผลต่อปริมาณธาตุ Na ที่ถูกล้างออกจากผิวแก้ว

ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 และเวลาที่น้อยที่สุดคือ 30 วินาที ในการล้างขวดแก้วสีชา

พิจารณาโครงสร้างแก้ว ธาตุ Na ซึ่งเป็นธาตุขนาดเล็กนิยมอยู่บริเวณผิวแก้วมากกว่าธาตุอัลคาไลน์อื่น ๆและไม่เกิดพันธะกับซิลิกาเพียงแต่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างแก้วเท่านั้น (1) จึงสามารถกำจัดได้ง่าย จากงานวิจัยเห็นได้จากการใช้สารละลายกรดอะซิติกล้างผิวด้านในของขวดแก้วสีชาสามารถลดปริมาณธาตุ Na ที่ผิวแก้วได้ โดยขวดที่ผ่านการล้างผิวแล้วเมื่อทดสอบปริมาณ Na^+ ที่ถูกทำละลายออกจากผิวแก้วตามมาตรฐาน ISO 4802-1 พบว่ามีปริมาณของธาตุ Na ลดลงเทียบกับขวดที่ไม่ผ่านการล้างผิว ซึ่งบ่งชี้ด้วยปริมาณของสารละลายกรด HCl ที่ใช้ในการติเตรตสารละลายที่สกัดได้จากขวดแก้วสีชาลดลง



รูปที่ 2 การทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในของขวดแก้วสีชา ตามมาตรฐาน ISO 4802-1

3.4 ธาตุที่ถูกทำละลายออกจากขวดแก้วสีชา

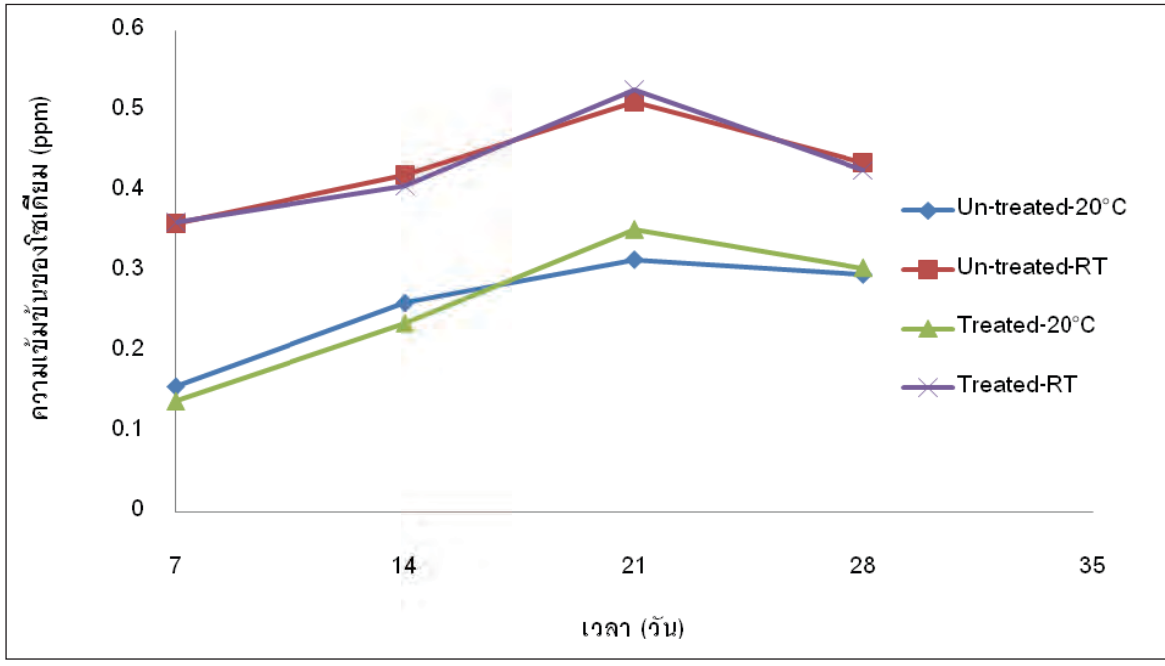
ขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้าง (un-treated) และผ่านการล้าง (Treated) ด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 ถูกบรรจุด้วยสารละลายกรดซิตริก pH 3.5 นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ 20 องศาเซลเซียส ในเวลาต่างๆ ผลการวิเคราะห์ธาตุที่ถูกทำละลายในสารละลายกรดซิตริกเปรียบเทียบระหว่างขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้าง (un-treated) และผ่านการล้าง (Treated) ด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 ด้วยเครื่อง ICP- MS ไม่พบธาตุโลหะหนัก ได้แก่ As Cd Cr Pb Hg Se และ Sb และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว ได้แก่ Ca และ K พบเฉพาะธาตุ Na โดยปริมาณของธาตุ Na ที่พบแสดงในรูป 3 สารละลายกรดซิตริกที่บรรจุในขวดแก้วสีชาและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (RT) มีธาตุ Na ถูกทำละลายมากกว่าขวดแก้วสีชาที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณของธาตุ Na ที่ถูกทำละลายออกมาระหว่างขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 มีปริมาณธาตุ Na ที่ถูกทำละลายไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าธาตุ Na ถูกทำละลายได้มากที่สุดที่เวลา 21 วัน มีความเข้มข้นประมาณ 0.5 ppm หลังวันที่ 21 ไปแล้วปริมาณธาตุ Na ลดลงเล็กน้อย

กลไกการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง H^+ และ Na^+ บริเวณผิวแก้วเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาและเกิดเป็นชั้นเจลที่เรียกว่า Silanol บริเวณผิวแก้ว ชั้นเจลนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่ง Na^+ ที่ผิวแก้วเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับ H^+ ของสารละลาย ทำให้สารละลายมี Na^+ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนไม่สามารถแพร่ออกมาได้อีก ดังรูป 3 ในช่วงระยะเวลา 7 — 21 วัน หลังจากนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนไปมาระหว่าง H^+ และ Na^+ ไปมาที่บริเวณนี้ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณ Na^+ ลดลง กลไกการเกิดปฏิกิริยา แสดงในสมการ (6) (6)

$$2(Si - O - H)_{silanol} + 2Na^+ \longleftrightarrow 2(Si - O - Na) + 2H^+ \qquad (6)$$

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสีชาพบ Cr_2O_3 MnO และ PbO แต่เมื่อศึกษาธาตุที่ถูกทำละลายออกมาจากขวดแก้วสีชาที่ pH 3.5 พบเฉพาะธาตุ Na แต่ไม่พบธาตุโลหะหนัก แสดงว่าธาตุโลหะหนักในโครงสร้างแก้วไม่ได้ถูกทำละลายออกมาปนเปื้อนในเครื่องดื่ม

มาของธาตุ Na ไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือค่าความทนทานต่อการละลายของผิวขวดคงเดิม แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิห้อง และระยะเวลาที่เก็บขวดนานขึ้น (0 — 21 วัน) พบการละลายของธาตุ Na เพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายถึงค่าความทนทานต่อสารละลายของผิวขวดลดลงกับอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 การทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในของขวดแก้วสีชา ตามมาตรฐาน ISO 4802-1

4. สรุป (Conclusion)

ขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่มทั้งขวดแก้วสีใสและขวดแก้วสีชามีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน แต่ขวดแก้วสีชามีปริมาณ Na_2O Cr_2O_3 และ MnO สูงกว่า ทดสอบความทนทานต่อน้ำตามมาตรฐาน ISO 4802-1 พบว่าความทนทานต่อน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากล้างผิวภายในขวดแก้วสีชาด้วยสารละลายกรดอะซิติก สภาวะที่เหมาะสมในการล้างผิวภายในขวดแก้วคือใช้กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 30 วินาที

ที่อุณหภูมิเดียวกันคืออุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิห้อง พบว่าการล้างและไม่ล้างผิวภายในขวดแก้วสีชาด้วยสารละลายกรดอะซิติกแล้วบรรจุด้วยสารละลายกรดซิตริก pH 3.5 มีปริมาณการละลายออก

การปรับปรุงผิวแก้วด้วยการล้างด้วยกรดอะซิติกครั้งนี้ไม่มีผลต่อการใช้งาน และมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง (pH 3.5) ที่บรรจุในขวดแก้วสีชามีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนของโลหะหนักและควรเก็บเครื่องดื่มบำรุงกำลังไว้ในตู้แช่ (20 องศาเซลเซียส) ตลอดเวลา การเก็บเครื่องดื่มบำรุงกำลังเป็นเวลานานปริมาณโซเดียมถูกทำละลายมากขึ้นแม้เก็บในตู้แช่ อาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น และรสของเครื่องดื่ม

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้ทุนวิจัยและบริษัท สยามกลาส อินดัสทรี (อยุธยา) จำกัด ในการให้ความอนุเคราะห์ขวดแก้วสำหรับทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) SHELBY, J. E. Introduction to glass science and technology, 2nd ed., UK : The Royal Society of Chemistry, 2005.

(2) เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล. สาเหตุและการป้องกันสนิมแก้วในอุตสาหกรรมแก้ว. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีวัสดุ). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายสำเนา. (2539).

(3) REIMANN, C., M. BIRKE and P. FILZMOSER. Bottled drinking water: water contamination from bottle materials (Glass, Hard PET, Soft PET), the influence of colour and acidification (Online). (Viewed 12 July 2012). Available from: http://www.statistik. tuwien.ac.at/ public/filz/papers/10APGEO.pdf.

(4) ธีรศักดิ์ ตั้งกิจติมศักดิ์. การเพิ่มความทนทานต่อสารเคมีของบรรจุภัณฑ์แก้วสำหรับเครื่องดื่ม โครงงานวิศวกรรมวัสดุ. วศ.บ. (วิศวกรรมวัสดุ). กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

(5) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4802-1: 2010, Glassware-Hydrolytic resistance of the interior surfaces of glass containers — Part 1: Determination by titration method and classification.

(6) CONRADT, R. Chemical durability of glass (Online). (Viewed 8 April 2013). Available from: http://lib3.dss.go.th/fulltext/glass/WEB/web_dr_kanit/CU_GLASS_COURSE_DURABILITY.pdf