การเปรียบเทียบสมบัติทางแสงของขวดเบียร์ในท้องตลาด

นุชจรี คิ้วสกุลกาญจน์[1,2*], วุฒิชัย ไชยภักษา[1,2] และณัฐกฤตา จันทิมา[1,2**]

[1]สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*nuchjaree.kiw@hotmail.com, **natthakridta@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

ขวดเบียร์ 4 ยี่ห้อ (สีเขียว (G1, G2) และสีน้ำตาล (B1, B2)) ถูกนำมาตรวจสอบความหนาโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer (XRD)) ยืนยันลักษณะอสัณฐานของขวดแก้วตัวอย่าง การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่างได้ถูกตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือ X-ray fluorescence spectrometry (XRF) การสะท้อนแสง การส่องผ่านแสง และการดูดกลืนแสงของขวดตัวอย่างได้ถูกตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือ Shimadzu UV-3600 Spectrophotometer จากการตรวจสอบพบว่าขวดแก้วตัวอย่าง B1 มีการสะท้อนแสงได้สูงสุดและการส่องผ่านแสงต่ำสุด นอกจากนี้กราฟการดูดกลืนแสงของขวดแก้วตัวอย่างสีเขียว (G1 และ G2) พบพีคการดูดกลืนที่ 448 และ 657 นาโนเมตร และแถบความยาวคลื่น 1098 นาโนเมตร สำหรับขวดแก้วตัวอย่างสีน้ำตาล (B1 และ B2) จากการตรวจสอบขวดแก้วสีน้ำตาล B1 มีการสะท้อนแสงได้มากกว่า และส่องผ่านของแสงมีค่าที่ต่ำ อาจสรุปได้ว่าขวดแก้วสีน้ำตาล B1 มีการกันรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้มากกว่าขวดแก้วสีเขียว G1 G2 และสีน้ำตาล B2 ส่งผลกับรสชาติภายในขวด

คำสำคัญ: แก้ว การสะท้อนแสง การส่องผ่านแสง การดูดกลืนแสง รังสี

The comparison of optical properties for commercial beer glass bottles

Nuchjaree Kiwsakunkran[1,2*], Wuttichai Chaiphaksa[1,2] and Natthakridta Chanthima[1,2**]

[1]1Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University
[2]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University
*nuchjaree.kiw@hotmail.com, **natthakridta@webmail.npru.ac.th

Abstract

Four brands of beer bottles (green (G1, G2) and brown (B1, B2)) were examined for thickness using a micrometer. X-ray diffraction study (X-ray Diffractometer (XRD)) confirmed the amorphous nature of the samples. The analysis elements in the samples were determined using X-ray fluorescence spectrometry (XRF). The reflection, transmission and absorption of the samples were investigated using a Shimadzu UV-3600 Spectrophotometer. Inspection revealed that sample B1 glass bottles had the highest reflectance and lowest transmittance. In addition, the absorption curves of the green samples (G1 and G2) showed absorption peaks at 448 and 657 nm and a wavelength band of 1098 nm for the brown glass bottle sample (B1 and B2). Examination of the B1 brown glass bottle has higher reflectance and lower transmittance. It can be concluded that the B1 brown glass bottle has more protection from solar radiation than the green G1, G2 and B2 brown glass bottles, which affects the flavor inside the bottle.

Keywords: Glass, Reflection, Transmission, Absorption, Radiation

1. บทนำ

เบียร์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีมานานหลายศตวรรษ ประมาณศตวรรษที่ 17 แนวคิดเรื่องการใช้ขวดแก้วเริ่มแพร่หลายมากขึ้นเนื่องจากแก้วช่วยให้เบียร์สดอยู่เสมอ อย่างไรก็ตาม หลังจากทิ้งเบียร์ไว้ในขวดแก้วกลางแดดเป็นเวลานาน เบียร์จะเริ่มมีกลิ่นเหม็นเพราะรังสี UV สามารถทะลุกระจกใสได้ง่าย ผู้ผลิตหลายรายที่หันมาใช้ขวดแก้วแต่กลับต้องเผชิญกับความสับสนวุ่นวาย เนื่องจากไม่มีขวดสักที่แข็งแกร่งพอที่จะระงับแรงดัน CO_2 ที่เกิดจากเบียร์ และขวดแก้วก็จะแตกสลายไป กว่าร้อยปีมีการค้นพบขวดคอยาวเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาแรงกดดัน การแก้ปัญหาของขวดแก้วเบียร์ยังคงดำเนินต่อไปในประวัติศาสตร์เมื่อมีการค้นพบโรคของขวดแก้วใส สิ่งที่เกิดขึ้นคือเบียร์จะเสียและมีกลิ่นเหม็นเพราะรังสี UV ที่จะทะลุผ่าน ทำให้ผู้ผลิตสังเกตว่าปรากฏการณ์นี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเมื่อขวดถูกทิ้งไว้กลางแดด เมื่อเทียบกับขวดที่ถูกทิ้งไว้ในการจัดเก็บ เนื่องจากวิทยาศาสตร์และการวิจัยก้าวหน้าในเรื่องนี้มากขึ้น ปัญหารังสียูวีก็ถูกค้นพบ โดยพื้นฐานแล้วรังสีดวงอาทิตย์จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่รุนแรงซึ่งทำให้เกิดสารเคมีที่อาจเกี่ยวข้องกับกลิ่น ยิ่งไปกว่านั้นรสชาติแย่มากเช่นกัน อย่างไรก็ตามขวดแก้วสีน้ำตาลและสีเขียวยังไม่ถูกนำมาใช้ในตอนแรก [1-3] วิธีแก้ปัญหาคือพัฒนาฮ็อพที่มีความเสถียรเล็กน้อยซึ่งจะหยุดปรากฏการณ์นี้ แต่ต่อมาจะเปลี่ยนรสชาติ เมื่อฮ็อพ (hops) ในเบียร์สัมผัสกับแสง จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) ทำให้เกิดสารประกอบ 3-เมทิล-2-บิวทีน-1-ไทออล (3-methyl-2-butene-1-thiol) เพื่อป้องกันไม่ให้กระบวนการสกั๊งค์ (skunks) เกิดขึ้น ผู้ผลิตเบียร์จึงเลือกใช้ขวดแก้วที่มีสีเข้ม [4] นั่นเป็นสาเหตุว่าในปัจจุบันขวดเบียร์จำนวนมากมีสีน้ำตาล เมื่อขวดเบียร์สีน้ำตาลมีความต้องการสูง ผู้ผลิตหลายรายจึงหันมาเลือกใช้ขวดแก้วสีเขียว แต่ขวดสีเขียวไม่ได้ให้การปกป้องมากเท่ากับขวดสีน้ำตาล อย่างไรก็ตาม ความต้องการเบียร์มีสูงมากขึ้น และในขณะนั้นไม่มีทางเลือกอื่นมากนัก ผู้ผลิตจึงหันมาใช้ขวดสีเขียวที่ให้การปกป้องมากกว่าขวดแก้วใสซึ่งให้การปกป้องเป็นศูนย์ นอกจากนี้ขวดสีเขียวยังได้รับความนิยมมากขึ้นเพียงเพราะใช้เป็นเครื่องมือทางการตลาดเพื่อโปรโมตเบียร์ “พรีเมียม” แม้ว่าจะเป็นเพียงตัวเลือกที่สะดวกสำหรับผู้ผลิตในสมัยนั้นก็ตาม สิ่งนี้ทำให้เกิดกรอบความคิดที่ว่าขวดสีเขียวบ่งบอกถึงเบียร์ชั้นสูง และในไม่ช้าขวดสีเขียวก็ถูกมองว่าเป็นสัญลักษณ์ของสถานะเช่นกัน สุดท้ายสรุปได้ว่าขวดสีน้ำตาลปกป้องแอลกอฮอล์จากรังสี UV ที่เป็นอันตราย และช่วยให้เบียร์สดได้นานเท่าที่ต้องการ

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะเปรียบเทียบสมบัติทางแสงของขวดเบียร์ในท้องตลาด เพื่อศึกษาการป้องกันแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงที่ตามองเห็น และช่วงใกล้อินฟราเรด ที่อาจส่งผลกับรสชาติและกลิ่นของเบียร์ภายในขวด นอกจากนี้ การทบทวนความหมายของข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ อาจช่วยให้บุคคลที่สนใจเข้าใจถึงคุณสมบัติทางทฤษฎีและปฏิบัติของขวดแก้วในเชิงเทคนิคอันเป็นประโยชน์ โดยเฉพาะการเลือกใช้ขวดที่มีความหนาและสมบัติทางแสงที่เหมาะสม สามารถปกป้องคุณภาพของเบียร์และเพิ่มประสิทธิภาพในการกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีขึ้น

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมขวดแก้วตัวอย่าง

เก็บขวดแก้วตัวอย่างจำนวน 4 ยี่ห้อ คือ สีเขียว 2 ยี่ห้อ (G1 และ G2) และสีน้ำตาล 2 ยี่ห้อ (B1 และ B2) แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ขวดแก้วตัวอย่างจำนวน 4 ยี่ห้อ

2.2 การหาความหนาของขวดแก้วตัวอย่าง

นำขวดแก้วตัวอย่างมาตัดให้มีขนาดเหมาะสมกับเครื่องมือวัดความหนา โดยเครื่องไมโครมิเตอร์ (micrometer) แสดงดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 เครื่องไมโครมิเตอร์ (micrometer)

2.3 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของขวดแก้วตัวอย่าง

ลักษณะอสัณฐานของขวดแก้วตัวอย่างมีลักษณะเฉพาะโดยการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ X-Rays diffractometer (XRD) ที่ใช้รังสี Cu แสดงดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 เครื่อง X-Rays diffractometer (XRD) (Shimazdu XRD-6100)

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในขวดแก้วตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในขวดแก้ว ถูกวัดโดยใช้เครื่อง X-rays fluorescence spectrometer แสดงดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 เครื่อง X-rays fluorescence spectrometer (XRF) (Minipal-4, Panalytical)

2.5 การสะท้อนแสง การส่องผ่านแสงและการดูดกลืนแสงของขวดแก้วตัวอย่าง

การสะท้อนแสง การส่องผ่านแสงและการดูดกลืนแสงของขวดแก้ว ถูกวัดโดยใช้เครื่อง Shimadzu UV-3600 Spectrophotometer แสดงดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer (Shimazdu UV-3600)

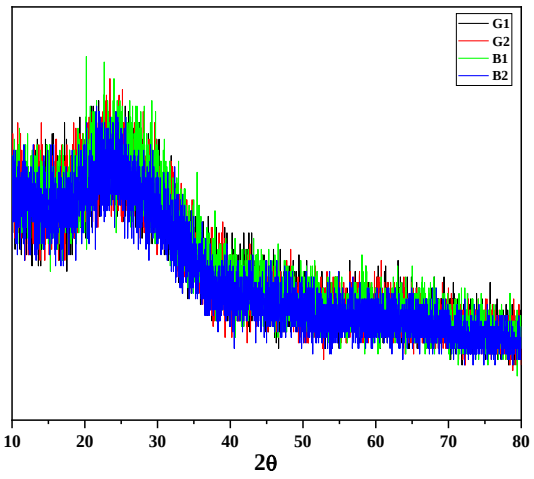
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ความหนาของขวดแก้วตัวอย่าง

ความหนาของขวดแก้ว G1 G2 B1 และ B2 มีความหนาอยู่ที่ 0.309 0.305 0.277 และ 0.222 มิลลิเมตร (mm) ตามลำดับ

3.2 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของขวดแก้วตัวอย่าง

ลักษณะอสัณฐานของขวดแก้วตัวอย่าง ได้รับการตรวจสอบโดยการบันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และรูปแบบ XRD ของตัวอย่างที่ได้เป็นแสดงอยู่ในภาพที่ 6 โดยสังเกตจากภาพดังกล่าว ไม่พบเฟสของผลึกใด ๆ และการกระเจิงในวงกว้างที่มุม 20°- 40° บ่งบอกถึงความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างภายในขวดแก้ว ดังนั้นจึงยืนยันถึงลักษณะอสัณฐาน (ไม่มีรูปร่าง)



ภาพที่ 6 กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของขวดแก้ว

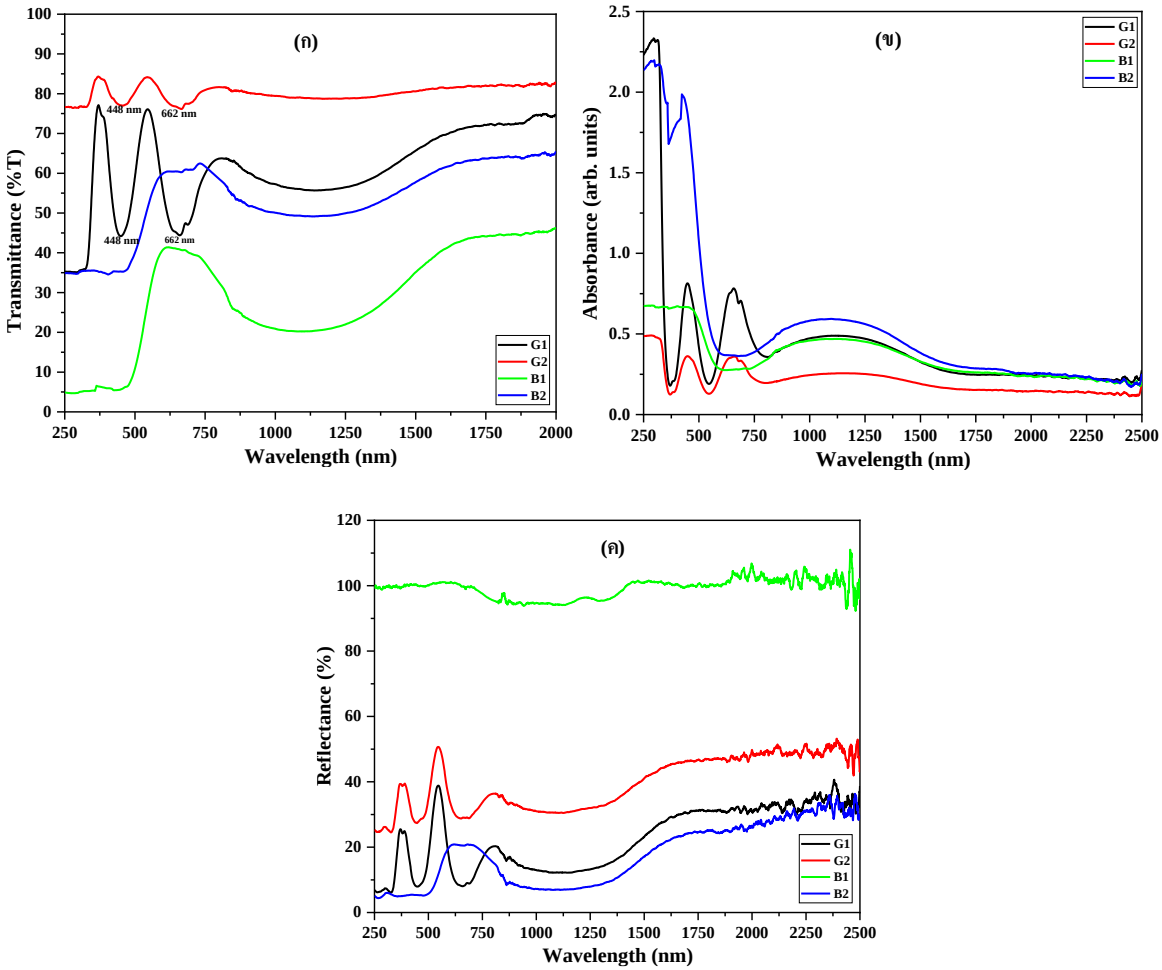
3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในขวดแก้วตัวอย่าง

การวิเคราะห์ XRF (Minipal-4, Panalytical) ดำเนินการเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบภายในขวดแก้วตัวอย่าง ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 1 จากข้อมูลในตารางพบว่าองค์ประกอบภายในขวดแก้วตัวอย่างมีองค์ประกอบที่เหมือนกัน แตกต่างกันที่สัดส่วนของแต่ละยี่ห้อ ซึ่งองค์ประกอบหลักของขวดแก้วเบียร์ในท้องตลาดทั้ง 4 ยี่ห้อนี้ คือ โซเดียมออกไซด์ (Sodium oxide; Na_2O) ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide; SiO_2) และแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide; CaO) นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบตัวอื่นที่ทำให้ขวดแก้วมีสี คือ โครเมี่ยมออกไซด์ (Chromium oxide; Cr_2O_3) และไอเอิร์นออกไซด์ (Iron oxide; Fe_2O_3) ซึ่งจะพบพีคหรือแถบการดูดกลืนแสง โดยสมบัติทางแสงได้ทำการวิเคราะห์ในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 1 ข้อมูล XRF ของขวดแก้วตัวอย่าง

องค์ประกอบ	ขวดแก้วตัวอย่าง			
	G1	G2	B1	B2
Na_2O	25.934 %	26.515 %	24.753 %	25.314 %
SiO_2	48.696 %	48.831 %	49.886 %	49.987 %
CaO	22.683 %	21.926 %	23.687 %	23.028 %
TiO_2	0.275 %	0.276 %	0.319 %	0.280 %
Cr_2O_3	0.953 %	0.919 %	0.066 %	0.064 %
MnO	0.026 %	0.026 %	0.017 %	0.014 %
Fe_2O_3	1.225 %	1.182 %	1.071 %	0.953 %
As_2O_3	0.007 %	0.011 %	0.006 %	0.006 %
WO_3	0.201 %	0.313 %	0.194 %	0.354 %

3.4 การส่องผ่านแสง การดูดกลืนแสง และการสะท้อนแสงของขวดแก้ว



ภาพที่ 7 กราฟการส่องผ่านแสง (ก) การดูดกลืนแสง (ข) และการสะท้อนแสง (ค) ของขวดแก้วตัวอย่าง

การส่องผ่านแสง (Transmission) การดูดกลืนแสง (Absorption) และการสะท้อนแสง (Reflection) ของขวดแก้วตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 7 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ และข้อมูลในการวิเคราะห์ผล แสดงดังตารางที่ 2 สำหรับค่าการส่องผ่านและสะท้อนแสงของขวดแก้วในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ จากข้อมูลในตารางพบว่า ตัวอย่าง B1 มีการส่องผ่านแสงที่ต่ำและสะท้อนแสงได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขวดแก้วตัวอย่างอื่น ๆ อาจสรุปได้ว่าขวดแก้วตัวอย่าง B1 มีกันการความร้อนหรือแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าขวดแก้วยี่ห้ออื่น ๆ ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ นอกจากนี้จากกราฟการดูดกลืนแสง (ภาพที่ 7 (ข)) จะพบว่าขวดแก้วสีเขียว (G1 และ G2) พบพีคการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 447 และ 659 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของ Cr_2O_3 จากระดับชั้นพลังงาน $^4A_{2(F)} \rightarrow {}^4T_{1(F)}$ และ $^4A_{2(F)} \rightarrow {}^4T_{2(F)}$ ตามลำดับ [5] นอกจากนี้ยังพบแถบการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น 700 – 1500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแถบการดูดกลืนของ Fe^{2+} [6] สามารถพบได้ในขวดแก้วตัวอย่างทั้ง 4 ขวด นอกจากนี้สมบัติการสะท้อนแสงของขวดแก้วตัวอย่างจะพบว่าที่ขวดแก้วสีน้ำตาล (B1 และ B2) (ภาพที่ 7 (ค)) นั้น มีความแตกต่างกันแม้ว่าขวดแก้วจะมีสีน้ำตาลเหมือนกัน อาจเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสะท้อนแสง (reflection) ของพื้นผิวขวด เช่น คุณสมบัติวัสดุ: ขวดแก้วที่มีสีเหมือนกันอาจมีวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น การใช้แก้วที่มีเนื้อวัสดุที่มีความเข้มหรือความละเอียดที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันไป ความลึกของสี: บางครั้งความลึกของสีหรือชั้นเคลือบบนพื้นผิวขวดแก้วอาจไม่เหมือนกัน ทำให้มีการสะท้อนแสงที่มีความเข้มหรือละเอียดต่างกันไป และการผลิต: ขั้นตอนการผลิตของแต่ละขวดอาจมีความแตกต่างกันที่อาจส่งผลต่อคุณสมบัติการสะท้อนแสงของขวดได้

ตารางที่ 2 ข้อมูลการส่องผ่านแสงและการสะท้อนแสงของขวดแก้วตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

ขวดแก้วตัวอย่าง	สมบัติทางแสง	ช่วงความยาวคลื่น		
		อัลตราไวโอเลต (ultraviolet)	แสงที่ตามองเห็น (visible)	ใกล้อินฟราเรด (near infrared)
G1	การส่องผ่านแสง	35%	75%	65 – 70%
	การสะท้อนแสง	8%	25 – 39%	20 – 30%
G2	การส่องผ่านแสง	77%	85%	80 – 83%
	การสะท้อนแสง	25%	40 – 50%	38 – 50%
B1	การส่องผ่านแสง	5%	40%	20 – 40%
	การสะท้อนแสง	98%	90 – 98%	99 – 100%
B2	การส่องผ่านแสง	35%	60%	47 – 60%
	การสะท้อนแสง	5%	20%	8 – 28%

4. บทสรุป

จากการวิจัยที่ทำการตรวจสอบความหนาและสมบัติทางแสงของขวดแก้วเบียร์ในตลาด พบว่าความหนาของขวดแก้วสีเขียว (G1 และ G2) ที่มีความหนาเท่ากันที่ 0.3 มิลลิเมตร มากกว่าขวดแก้วสีน้ำตาล (B1 และ B2) ที่มีความหนาเพียง 0.2 มิลลิเมตรเท่านั้น การวิเคราะห์ดูดกลืนแสงพบว่ามีพีคการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของ Cr_2O_3 ในขวดแก้วสีเขียว และพบแถบการดูดกลืนของ Fe^{2+} ในทุกตัวอย่างของขวดแก้วนี้ด้วยเมื่อนำข้อมูลไปตรวจสอบค่าการส่องผ่านแสงและสะท้อนแสง พบว่าขวดแก้วตัวอย่างสีน้ำตาล B1 มีการส่องผ่านแสงที่ต่ำและสะท้อนแสงที่มากที่สุด นั่นหมายความว่าขวดแก้วสีน้ำตาล B1 มีความสามารถในการกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าขวดแก้วยี่ห้ออื่นในตลาดที่ได้รับการเปรียบเทียบ การทบทวนความหมายของข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ ช่วยให้บุคคลที่สนใจเข้าใจถึงคุณสมบัติทางทฤษฎีและปฏิบัติของขวดแก้วในเชิงเทคนิคอันเป็นประโยชน์ โดยเฉพาะการเลือกใช้ขวดที่มีความหนาและสมบัติทางแสงที่เหมาะสม สามารถปกป้องคุณภาพของเบียร์และเพิ่มประสิทธิภาพในการกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) รุ่นที่ 23 ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Mark Simons (2023). Why Are Beer Bottles Green and Brown? What Science Says. Search April 30 2023. https://thebeerexchange.io/why-are-beer-bottles-green-and-brown/

[2] USA beer rating by BEVERAGE TRADE NETWORK (2021). A Quick Guide to Beer Color: What Determines the Color of Beer? Search April 30 2023. https://usabeerratings.com/en/blog/insights-1/a-quick-guide-to-beer-color-what-determines-the-color-of-beer-94.htm

[3] Editorial-Brewer World (2021). Factors That Influence The Colour Of Your Beer. Search April 30 2023. https://www.brewer-world.com/factors-that-influence-the-colour-of-your-beer/

[4] CTV News (2022). Why beer bottles are usually brown glass. Search April 30 2023. https://www.ctvnews.ca/sci-tech/why-beer-bottles-are-usually-brown-glass-1.5850357#:~:text=When%20hops%20in%20beer%20are%20exposed%20to%20strong,so%20many%20beers%20in%20brown%20glass%20bottles%20today.

[5] Singkiburin, N. Mahingsa, N. Srisittipokakun, N. Luewarasirikul, N. Rajaramakrishna, R. Kothan, S. Kedkaew, C. Kaewkhao, J. (2023) Physical, Optical, and Photoluminescence Properties of Cr_2O_3 in Borosilicate Glasses, Integrated Ferroelectrics, 238:1, 343-355, https://doi.org/10.1080/10584587.2023.2234583

[6] Singkiburin, N. Srisittipokakun, N. Sangsawat, Y. Boonpa, W. Kim, H.J. Prasatkhetragarn, A. Rajagukguk, J. Thowladda, W. Kaewkhao, J. (2022) Effect of Soaking Time and Sb_2O_3 Concentration on Number of Bubble and Optical Properties of Borosilicate Glasses, Integrated Ferroelectrics, 223:1, 10-17, https://doi.org/10.1080/10584587.2021.1964280