Received: October 22, 2023 Revised: December 12, 2023
Accepted: December 25, 2023 Published: December 31, 2023

ผลของความยาวคลื่นและความเข้มข้นต่อค่าดัชนีหักเหในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
Effect of Wavelength and Concentration on Refractive Index in Sodium Chloride Solution

ชีวะ ทัศนา[1*] นวพร ค้าพริกไทย[2] และ อรนิดา วรรณรัตน์[2]
Chewa Thassana[1*] Nawaporn Khapringthai[2] and Onnida Wannarat[2]

[1] ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000 ไทย
[2] หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000 ไทย
[1] Department of Physics and General Science Faculty of Science and Technology Rambhai Barni Rajabhat University
[2] Bachelor of Education Program in Physics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University
[*] chewa.t@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นของสารละลายและความยาวคลื่นแสงต่อค่าดัชนีหักเหในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5–25 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงสีแดงความยาวคลื่น 650±10 นาโนเมตร สีน้ำเงิน 532±10 นาโนเมตร และสีเขียว 450±10 นาโนเมตร ผลการศึกษาพบว่า ในทุกความยาวคลื่น ดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย โดยค่าดัชนีหักเหจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น ในขณะที่ค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์แปรผกผันกับความยาวคลื่นของแสง โดยค่าดัชนีหักเหจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความยาวคลื่น ซึ่งสอดคล้องกับกฎการหักเหของสเนลล์ เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายจะมีความหนาแน่นหรือปริมาณโมเลกุลมากขึ้น ทำให้แสงเดินทางในสารละลายได้ช้าลงจึงทำให้แสงเกิดการหักเหมากขึ้น ดังนั้นค่าดัชนีหักเหจึงเพิ่มขึ้น และคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าจะมีพลังงานต่ำกว่า ดังนั้นโมเลกุลของสารละลายจึงเกิดการสั่นสะเทือนด้วยพลังงาน ต่ำกว่าจึงทำให้แสงเกิดการหักเหลดลง ส่งผลให้ค่าดัชนีหักเหลดลง

คำสำคัญ: ดัชนีหักเห, สารละลายโซเดียมคลอไรด์, ความยาวคลื่น, ความเข้มข้น

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of solution density and wavelength of light on refract index in sodium chloride solution concentrations of 5–25% by mass at 25 degrees Celsius and using a laser as a red light source with wavelength of 650±10 nm. Blue 532±10 nm. and Green 450±10 nm. The results of the study showed that: At all wavelengths, the refractive index of sodium chloride solution increases linearly in direct

proportion to the solution concentration. The refractive index increases with the increase in concentration, while the refractive index of sodium chloride solution is inversely proportional to the wavelength of light. The refractive index decreases with the increase in wavelength. This is consistent with Snell's law of refraction. When the solution becomes more concentrated, the solution has a greater density or molecular content. This slows down the light travel in the solution, thus causing the light to be more refracted. Therefore, the refractive index increases, and light waves with longer wavelengths have lower energy, so the molecules of the solution vibrate with energy. lower, thus reducing light refraction. As a result, the refractive index value decreases.

Keywords: refraction index, NaCl solution, wavelength, concentrate

บทนำ

ดัชนีหักเหเป็นสมบัติทางแสงอย่างหนึ่งของวัสดุ แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศกับความเร็วของแสงในวัสดุนั้น ๆ ซึ่งบ่งบอกถึงสมบัติการกระจายแสงของวัสดุนั้น ๆ ดัชนีหักเหของวัสดุจะแปรผันตามปัจจัยหลายประการ เช่น ความหนาแน่นของวัสดุ ความยาวคลื่นของแสง และอุณหภูมิของวัสดุ ดังนั้นการศึกษาดัชนีหักเหจึงเป็นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของแสงและคุณสมบัติทางแสงของตัวกลางนั้น ๆ ได้ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น การวัดความเข้มข้นของสาระลาย หรือความหวานของสารละลาย ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าในสารละลายหนึ่ง มีปริมาณตัวถูกละลายจำนวนเท่าไหร่ เช่น น้ำเกลือ ประกอบด้วยน้ำเป็นตัวทำละลายและเกลือเป็นตัวถูกละลาย และความเข้มข้นของสารละลายยังสามารถหาได้หลายวิธี ในกรณีที่สารละลายเป็นของเหลวโปร่งใสนั้น สามารถหาค่าความเข้มข้นของสารละลายได้ด้วยวิธีการหาค่าดัชนีหักเห โดยใช้กฎของสเนลล์ (Snell’s law) ที่กล่าวว่า เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่ 1 (n_1) ไปยังตัวกลางที่ 2 (n_2)พบว่า แนวทางการเดินของรังสีหักเหของแสงจากตัวกลางที่ 1 ผ่านไปยังตัวกลางที่ 2 มีการเปลี่ยนไปจากแนวรังสีตกกระทบเดิม ซึ่งเรียกว่า การหักเหของแสง ถ้าให้ (θ_i) คือมุมที่รังสีตกกระทบกับเส้นปกติ และ (θ_r)คือมุมที่รังสีหักเหทำกับเส้นปกติ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ กับมุมหักเห และค่าดัชนีหักเหในตัวกลางทั้งสอง $n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_r$

Jassim and Noor (2015) ได้หาค่าความเข้มข้นจากดัชนีหักเหโดยใช้ Michelson Interferometer พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายจะมีผลต่อดัชนีหักเห ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย ทำให้ทราบว่า ค่าดัชนีหักเหสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารละลายได้อีกด้วย และ Belay and Assefa (2018) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีหักเหกับความยาวคลื่น ความเข้มข้นของสารสลายน้ำตาล และอุณหภูมิ แล้วพบว่าดัชนีหักเหของสารละลายน้ำตาลจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ความเข้มข้นของสารละลาย และอุณหภูมิด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความยาวคลื่นกับดัชนีหักเหแสงของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โดยออกแบบและสร้างชุดทดลองอย่างง่ายเพื่อวัดดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับดัชนีหักเหแสงของสารละลายโซเดียมคลอไรด์
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับดัชนีหักเหแสงของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

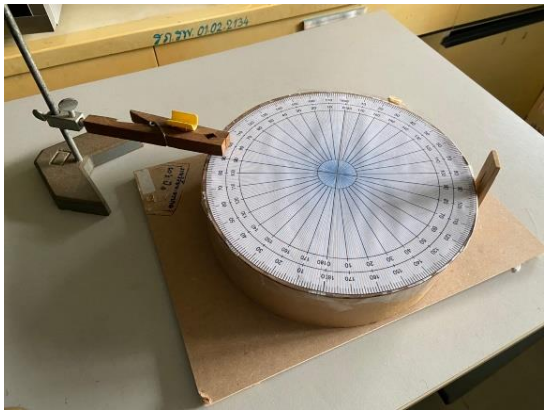
วิธีดำเนินการวิจัย

1 ขั้นเตรียมชุดการทดลอง

1.1 นำไม้อัดมาตัดเป็นทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 เซนติเมตร มาต่อกับฐานวางที่หมุนได้ เพื่อปรับค่ามุมตกกระทบที่ต้องการ พร้อมกับติดแผ่นโปรแทรกเตอร์เพื่ออ่านค่ามุมตกกระทบและมุมหักเหที่ได้

1.2 นำเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่ต้องการใช้ในการทดลองติดกับขาตั้งเลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

1.3 เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยมวล



รูปที่ 1 ชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว

2 ขั้นการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์จากการวัดค่าดัชนีหักเห

2.1 จัดตั้งชุดทดลองและนำเลเซอร์สีแดงซึ่งมีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร มาติดตั้งเข้ากับขาตั้งเลเซอร์และทำการปรับแสงเลเซอร์ให้เท่ากับมุมตกกระทบที่ต้องการ ซึ่งมุมตกกระทบที่เลือกใช้ในการทดลองนี้มี 5 มุมตกกระทบ คือ 25 30 45 50 และ 60 องศา ตามลำดับ

2.2 นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล ที่เตรียมไว้ใส่ในภาชนะกล่องพลาสติกบางใส แล้วแยแสงเลเซอร์ไปยังสารละลายด้วยมุมตกกระทบตามที่กำหนด แสงจากเลอเซอร์จะเดินทางผ่านอากาศ (ตัวกลางที่ 1) ไปยังสารละลาย (ตัวกลางที่ 2) ซึ่งแสงที่เดินทางผ่านเข้าไปในสารละลายจะเกิดการหักเห บันทึกค่ามุมหักเหในตารางบันทึกผล

2.3 เมื่อได้ค่ามุมตกกระทบ และมุมหักเหแล้ว สามารถคำนวณค่าดัชนีหักเหได้จากค่าความชันจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\sin$ ของมุมหักเห (θ_r) กับ $\sin$ ของมุมตกกระทบ (θ_i) จะได้ค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยที่อุณหภูมิขณะนั้น ทำการบันทึกผลและคำนวณหาค่าดัชนีหักเหเฉลี่ย

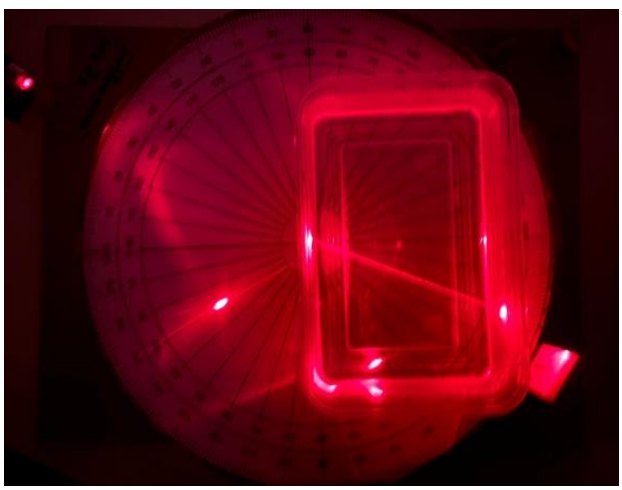
2.4 ทำการทดลองใหม่ตามข้อ 1-3 ซ้ำอีก 4 ครั้ง โดยในข้อ 2 ให้เปลี่ยนเป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นความเข้มข้นร้อยละ 10 15 20 และ 25 โดยมวล ตามลำดับ

2.5 นำค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยความเข้มข้นร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยมวล มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับดัชนีหักเหแสง

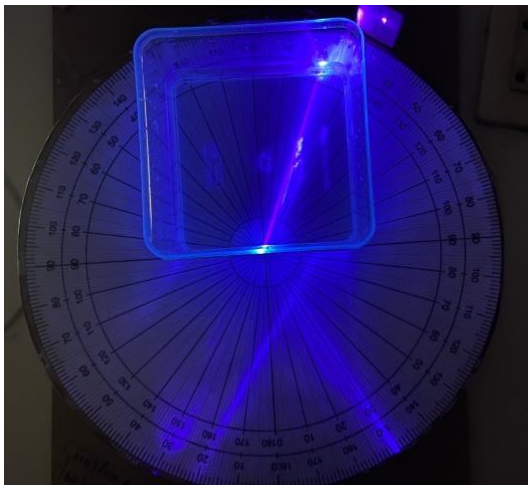
2.6 ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับดัชนีหักเหที่ได้

2.7 ทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ข้อ 1-6 ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยในข้อ1 ให้เปลี่ยนค่าความยาวคลื่นเป็น 532 และ 450 นาโนเมตร เมื่อทำการทดลองครบแล้ว นำค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของเส้นแนวโน้มที่ได้จากทั้งสามกราฟ มาสรุปผลการทดลอง

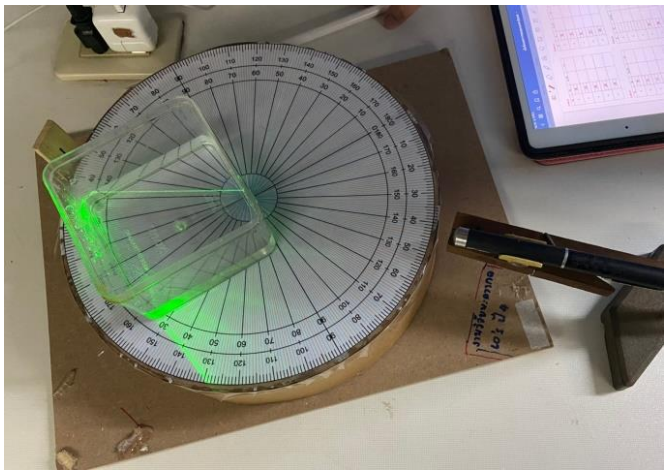
2.8. นำผลการทดลองที่ได้จากการวัดค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยที่ความเข้มข้น 5 10 15 20 และ 25%W/W และที่ความยาวคลื่น 450±10 532±10 และ 650±10 นาโนเมตร มาบันทึกผลลงตาราง เพื่อนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับดัชนีหักเหที่ความเข้มข้นเดียวกัน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2 ชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับหาค่าดัชนีหักเหของของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นเมื่อที่แสงกระทบมีความยาวคลื่น (ก) 650 $\pm$10 (ข) 450 $\pm$10 (ค) 532$\pm$10 นาโนเมตร ตามลำดับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของความเข้มข้นต่อค่าดัชนีหักเหของสารละลาย

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5-25 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ดัชนีหักเหแสงของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลาย แสดงในรูปที่ 3 โดยค่าดัชนีหักเหแสงของสารละลายที่ได้จากเลเซอร์แสงสีน้ำเงิน (450±10 นาโนเมตร) สีเขียว (ความยาวคลื่น 532±10 นาโนเมตร) และสีแดง (650±10 นาโนเมตร) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.3549–1.4031 1.3529–1.3813 และ 1.3322-1.3707 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากตัวกลางที่มีความเข้มข้นมากจะมีอนุภาคอยู่หนาแน่นจึงทำแสงเดินทางได้ช้าลงส่งผลให้สารละลายมีค่าดัชนีหักเหแสงเพิ่มขึ้น ตามสมการ $n = c / v$ เมื่อ n คือ ดัชนีหักเหของสารละลาย c และ v อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศและตัวกลาง (สารละลาย) ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า ค่าดัชนีหักเหแสงของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5-25 โดยมวล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลาย โดยเขียนเป็นสมการได้เป็น

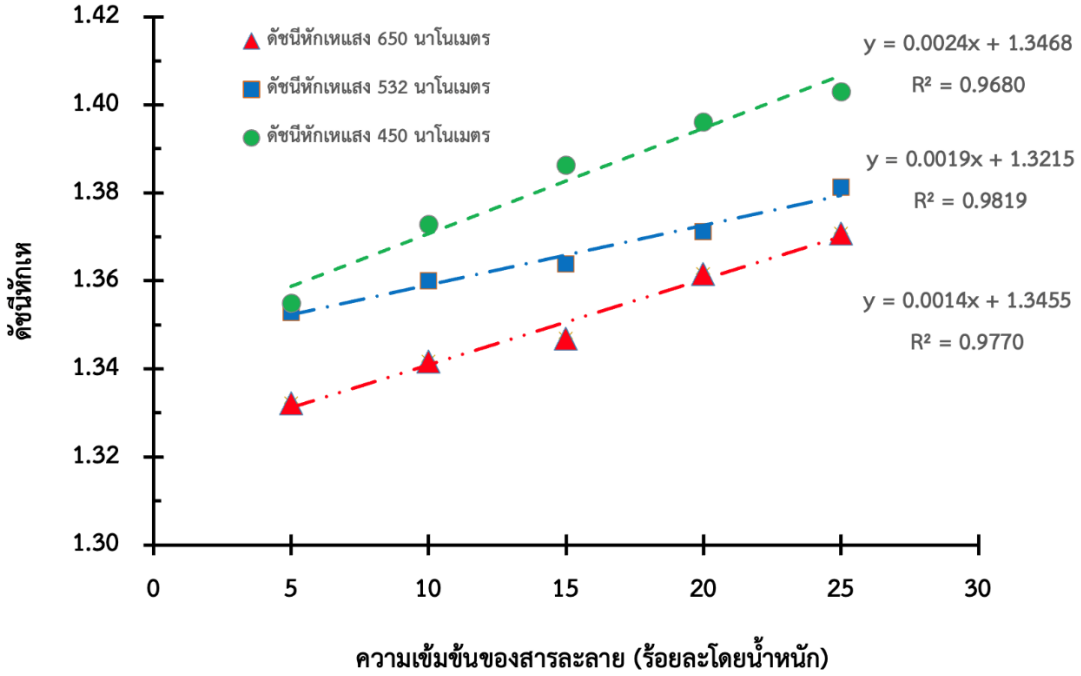
$$n_{450nm} = 2.4\times10^{-3}C_{NaCl}+1.3468 \quad (1)$$

$$n_{532nm} = 1.9\times10^{-3}C_{NaCl}+1.3215 \quad (2)$$

$$n_{650nm} = 1.4\times10^{-3}C_{NaCl}+1.3455 \quad (3)$$

เมื่อ C_{NaCl} คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก

n_{450nm} n_{532nm} และ n_{650nm} คือ ดัชนีหักเหแสงของสารละลายที่ได้จากแสงเลเซอร์สีน้ำเงิน สีเขียวและสีแดงตามลำดับ



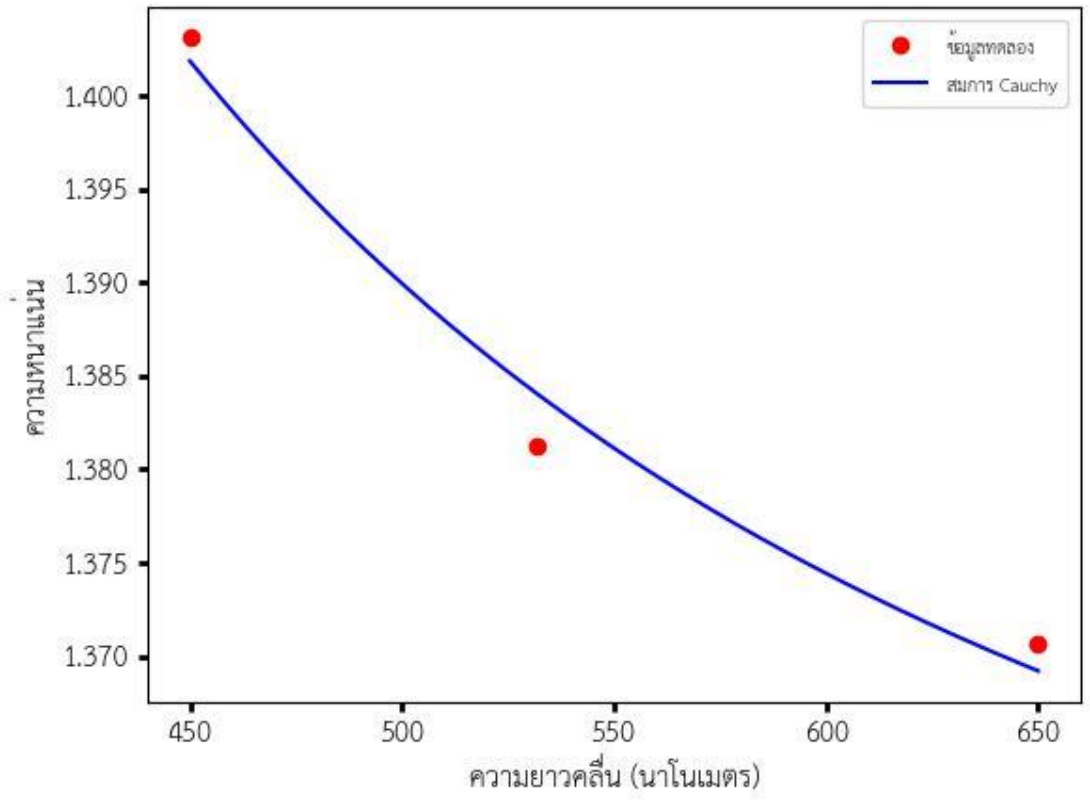
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์กับความเข้มข้นของสารละลาย

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายจะเห็นได้ว่าค่าดัชนีหักเหของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น เมื่อใช้แสงสีแดง (650±10 นาโนเมตร แสงสีเขียว (ความยาวคลื่น 532±10 นาโนเมตร) และแสงสีน้ำเงิน (450±10 นาโนเมตร) ค่าดัชนีหักเหของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.3332 เป็น 1.3707 1.3529 เป็น 1.3813 และ 1.3549 เป็น 1.4031 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นหรือปริมาณโมเลกุลของสารละลายเพิ่มขึ้นทำให้แสงเกิดการหักเหมากขึ้ ค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษานี้สามารถอธิบายได้จากการที่สารละลายโซเดียมคลอไรด์มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำบริสุทธิ์ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของสารละลายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ดัชนีหักเหของสารละลายเพิ่มขึ้น

2. ผลของความยาวคลื่นแสงตกกระทบต่อค่าดัชนีหักเหของสารละลาย

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 25 โดยมวล กับความยาวคลื่น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าดัชนีหักเหของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงแบบผกผันกับความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบสารละลาย เมื่อฉายแสงความยาวคลื่น 450±10 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) 532±10 นาโนเมตร (สีเขียว) และ 650±10 นาโนเมตร (สีแดง) ตกกระทบสารละลายแล้วนำมุมหักเหไปคำนวณค่าดัชนีหักเหตามกฎของสเนลส์ พบว่า ดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 25 โดยมวล กับความยาวคลื่นแสง

สมการของ Cauchy เป็นสมการเชิงประจักษ์ที่อธิบายเกี่ยวกับ ดัชนีหักเห (n) ของวัสดุที่แปรผันตามความยาวคลื่น λ ว่าเป็นอย่างไร ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $n(\lambda) = A + (B/\lambda^2)$ เมื่อ $n(\lambda)$ คือ ดัชนีหักเหที่ความยาวคลื่น λ ในขณะที่ A และ B เป็นค่าคงที่เฉพาะเจาะจงของวัสดุ

ค่าคงที่ A และ B ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สามารถหาได้จากผลการทดลอง โดยทำการวัดดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จากนั้นนำผลการทดลองมาใส่ในสมการของ Cauchy เพื่อหาค่า A และ B ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยมวล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีค่า A=1.339 และ $B=1.2698 \times 10^{-14}$ ทั้งนี้ค่าคงที่ A ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าใกล้เคียงกับดัชนีหักเหของน้ำบริสุทธิ์ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดค่าคงที่ A โดยทั่วไป ค่าคงที่ B ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าเป็นบวก หมายความว่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความยาวคลื่น

ค่าคงที่ A และ B ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สามารถใช้ในการทำนายดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความยาวคลื่นอื่นๆ ได้ โดยสามารถใช้สมการของ Cauchy ดังนี้

$$n(\lambda) = 1.3392 + 1.2698 \times 10^{-14}/\lambda^2 \qquad (4)$$

เมื่อนำความยาวคลื่น λ 450 532 และ 650 นาโนเมตร แทนในสมการ (4) จะได้ค่าดัชนีหักเหของสารละลายเท่ากับ 1.4019 1.3840 และ 1.3692 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาการทดลอง (1.4031 1.3813 และ 1.3707) ดังแสดงในรูปที่ 4 และสอดคล้องกับทฤษฎีโดยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าจะมีพลังงานสูงกว่าโมเลกุลของสารละลายจึงเกิดการสั่นสะเทือนด้วยพลังงานสูงกว่าทำให้แสงเกิดการหักเหมากขึ้นจึงทำให้ค่าดัชนีหักเหลดลง

ทั้งนี้ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นและความยาวคลื่นของแสงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งความรู้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์โดยใช้เทคนิคการวัดดัชนีหักเหได้

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความยาวคลื่นของแสงตกกระทบต่อค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5-25% โดยมวล และความยาวคลื่นของแสงตกกระทบ 450±10 532±10 และ 650±10 นาโนเมตร ด้วยชุดทดลองอย่างง่าย พบว่า ดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลาย และมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความยาวคลื่นของแสงตกกระทบสอดคล้องกับทฤษฎี นอกจากนี้ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์โดยใช้เทคนิคการวัดดัชนีหักเหและคำนวณค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความยาวคลื่น ใดก็ได้ โดยใช้สมการของ Cauchy ร่วมกับค่าคงที่ A และ B ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งผลการศึกษาค่าคงที่ A และ B ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 25% โดยมวล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า $A = 1.339$ และ $B = 1.2698 \times 10^{-14}$

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นและความยาวคลื่นของแสงต่อค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ นอกจากนี้ ควรทำการทดลองกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นอื่นๆ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความยาวคลื่นของแสงต่อค่าดัชนีหักเหของสารละลายโซเดียมคลอไรด์อย่างละเอียดยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Belay, A. and Assefa, G. (2018). Concentration, wavelength and temperature dependent refractive index of sugar solutions and methods of determination contents of sugar in soft drink beverages using laser lights. *Journal of Laser, Optics & Photonics*, *5*(2): 1-5.

Grange, B. W., Stevenson, W. H. and Viskanta, R. (1976). Refractive index of liquid solutions at low temperatures: an accurate measurement. *Applied Optics*, *15*(4): 858- 859.

Jassim, M. J. and Noor, S. K. (2015). Study the effective a temperature and concentration on refractive index of water by using Michelson interferometer. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*, *3*(11): 27 -30.

Shao, D., Tian, L., Chen, J. and Chen, X. (2010). Improved retroreflection method for measuring the refractive index of liquids. *Applied Optics*, *49*(16): 3049-3052.

Tan, C. Y. and Huang, Y. X. (2015). Dependence of refractive index on concentration and temperature in electrolyte solution, polar solution, nonpolar solution, and protein solution. *Journal of Chemical & Engineering Data*, *60*(10): 2827-2833.