



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนาระบบวัดทางแสงต้นทุนต่ำสำหรับตรวจสอบส่วนผสมของเมทานอลกับเอทานอล Development of low-cost optical measurement system for methanol – ethanol mixtures

สุชิน ไตรรงค์จิตเหมาะ* ปัญญา ยาดี ปิยะพงษ์ ทองแสน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Suchin Trirongjitmoah* Panya Yadee Piyapong Thongsan

Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University,
Ubon Ratchathani 34190

* Corresponding author.

E-mail: suchin.t@ubu.ac.th; Telephone: 0 4535 3328

วันที่รับบทความ 24 พฤษภาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 13 กรกฎาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 26 สิงหาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 22 ตุลาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบวัดทางแสงที่มีต้นทุนต่ำเพื่อตรวจสอบส่วนผสมของเมทานอลในเอทานอล โดยใช้เลเซอร์ไดโอด โฟโตไดโอดและคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียวเป็นแหล่งกำเนิดแสง ตัวรับแสงและหน่วยประมวลผล ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าความขุ่นของเทปกาวใสเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของเมทานอลในสารผสม โดยพบว่าค่าความเข้มแสงส่องผ่านที่วัดด้วยอุปกรณ์มาตรฐานและค่าความเข้มแสงสะท้อนที่วัดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของเมทานอลในสารผสมสูงขึ้น และการวัดแสงสะท้อนด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีการตอบสนองต่อส่วนผสมของเมทานอลในเอทานอลไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีความไวสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการวัดนานขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการตรวจสอบส่วนผสมของเมทานอลและเอทานอลด้วยการวัดแสงสะท้อนโดยใช้ระบบวัดที่มีต้นทุนต่ำซึ่งสามารถทำได้ง่ายและใช้งานสะดวก

คำสำคัญ

เทปกาวใส เอทานอล เมทานอล เลเซอร์

Abstract

This research presents the development of a low-cost optical measurement system for the detection of methanol in the methanol – ethanol mixtures. The developed system consists of a laser diode, photodiode, and single-board computer as light source, photodetector, and processing unit, respectively. In the experiment, the transparent adhesive tape becomes translucent tape when exposed to vapors from the methanol-ethanol mixture. The rate of change to translucent tape varies with the concentration of methanol in the mixture. It was found that both the transmitted light intensity obtained from a commercial device and the reflected light intensity obtained from a developed system decrease when the concentration of methanol in the mixtures increases. In addition, a developed system has a nonlinear response, while extending the measurement time increases the sensitivity of the system. These results show the feasibility to detect methanol in a methanol-ethanol mixture using a developed system, which is low-cost, simple, and easy to use.

Keywords

transparent adhesive tape; ethanol; methanol; laser

1. คำนำ

เอทานอล (C_2H_6O) และเมทานอล (CH_3OH) เป็นแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นของเหลวไม่มีสีและมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกันมาก เอทานอลเกิดจากการนำเอาพืชมาหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อยเพื่อเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถบริโภคได้ ในขณะที่เมทานอลเป็นผลิตภัณฑ์จากการสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียหลายชนิดซึ่งระเหยง่ายและมีความเป็นพิษ โดยนิยมใช้เป็นตัวทำละลายและใช้เป็นเชื้อเพลิงในธรรมชาติ แต่เนื่องจากเมทานอลมีราคาถูกกว่าเอทานอล ทำให้เกิดการปลอมปนโดยการผสมเมทานอลในเอทานอลเพื่อลดต้นทุน [1, 2] ซึ่งเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมายและยังเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเนื่องจากเมทานอลมีความเป็นพิษสูง ถ้าสัมผัสโดยตรงจะมีอาการระคายเคืองผิวหนัง หากสูดดมเมทานอลเป็นจำนวนมาก จะให้เกิดอาการเวียนหัวคลื่นไส้ ที่สำคัญการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของเมทานอล ผู้บริโภคจะมีอาการมึนเมาอย่างรุนแรงและอาจเสียชีวิตได้ การตรวจการปนเปื้อนของเมทานอลในเอทานอลนั้นอาจทำได้โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography; GC) [1–3] ซึ่งสามารถวัดค่าเชิงปริมาณได้และมีความแม่นยำสูง แต่เนื่องจากขั้นตอนการตรวจที่ซับซ้อนและใช้เวลายาวนาน อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีราคาแพง และต้องใช้บุคลากรที่เชี่ยวชาญเฉพาะ สำหรับการใช่วิธี Colorimetric นั้นเป็นการเปรียบเทียบสีของสารผสมเมื่อทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เติมลงไป โดยถูกนำมาประยุกต์ใช้ตรวจวัดปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลและใช้การวิเคราะห์ภาพสีซึ่งเป็นวิธีทำได้รวดเร็ว [4] และถูกพัฒนาใช้ในการตรวจหาเมทานอลในเครื่องดื่มด้วย [5] ในประเทศไทยได้มีการพัฒนาชุดทดสอบเมทานอลในผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์สำหรับทำความสะอาดมือซึ่งอาศัยวิธีการเปรียบเทียบสีเช่นกัน [6] แต่วิธีการเหล่านี้ต้องใช้เวลาในการเติมสารเคมีซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการวัดต่อครั้งและไม่สะดวกสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป เนื่องจากชุดทดสอบไม่สามารถใช้ซ้ำได้ทำให้มีต้นทุนการวัดต่อครั้งสูง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดการปนเปื้อนเมทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สะดวกแก่การพกพาโดยใช้เซนเซอร์ก๊าซ (Gas sensor) สามารถวัดเมทานอลความเข้มข้นต่ำได้อย่างแม่นยำ ด้วยระบบวัดที่มีความจำเพาะโดยใช้ปั๊มดูด

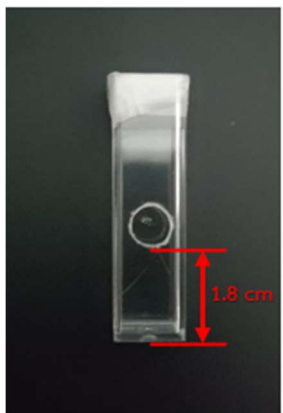
ไอผ่านคอลัมน์สำหรับแยกเมทานอลและเอทานอลเพื่อส่งไปยังเซนเซอร์ [6, 7] ในขณะที่มีการศึกษางานวิจัยการตรวจสอบส่วนผสมเมทานอลและเอทานอล ด้วยกระบวนการวัดค่าความเข้มของแสงส่องผ่านเทปกาวที่สัมผัสกับไอระเหยของแอลกอฮอล์ [8] พบว่าอัตราการบวมของเทปกาวสัมพันธ์กับอัตราส่วนของเมทานอลซึ่งส่งผลให้ความเข้มแสงถูกลดทอนลงเนื่องจากระบบมีองค์ประกอบไม่ซับซ้อนและมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาระบบที่มีต้นทุนต่ำและมีขนาดเหมาะสมเพื่อเคลื่อนย้ายไปยังจุดวัดได้สะดวก ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้พัฒนาระบบวัดแสงสะท้อนด้วยอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายทั่วไปซึ่งมีต้นทุนต่ำ โดยทำการทดลองตรวจวัดปริมาณเมทานอลในสารผสมเอทานอลและเมทานอลด้วยทั้งระบบวัดที่พัฒนาจากอุปกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการและระบบวัดที่พัฒนาขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 สารผสมเอทานอลและเมทานอล

สารผสมแอลกอฮอล์หรือสารผสมของเอทานอลและเมทานอลสำหรับศึกษานี้เตรียมจากเมทานอลความเข้มข้น 99.8% (VWR Chemicals BDH®, USA) และเอทานอลความเข้มข้น 95% (Ubon bioethanol, Thailand) โดยผสมเมทานอลและเอทานอลด้วยสัดส่วนที่ต่างกันให้ได้สารผสมปริมาตร 0.5 ml และกำหนดชื่อของสารผสมตามร้อยละของเมทานอล เช่น M0 หมายถึงสารผสมแอลกอฮอล์ที่มีเอทานอลเท่านั้น ส่วน M50 หมายถึงสารผสมแอลกอฮอล์ที่มีเอทานอล 50% เมทานอล 50% และ M100 หมายถึงสารผสมแอลกอฮอล์ที่มีเมทานอลเท่านั้น เป็นต้น

โดยนำสารผสมใส่ควมวาทพลาสติกใสขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ที่เจาะรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm สูงจากฐาน 1.8 cm เตรียมไว้แล้ว และปิดด้านบนด้วยพาราฟิล์มดังรูปที่ 1 จากนั้นปิดรูที่เจาะด้วยเทปกาวใส (Scotch 550, 3M) และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ $25 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 1 การเตรียมคิวเวทท์

2.2 ระบบวัดระดับห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษานี้ได้ยืนยันความสามารถในการในตรวจวัดปริมาณเมทานอลที่ผสมกับเอทานอลด้วยเทปขาวด้วยระบบวัดที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ซึ่งเครื่องมือวัดและเซนเซอร์ได้รับการสอบเทียบมาแล้ว ซึ่งประกอบด้วยโมดูลเลเซอร์ไดโอด ความยาวคลื่น 635 nm มีกำลัง 4.5 mW (CPS635, Thorlabs) โฟโตนิกไดโอด (S130C, Thorlabs) และเครื่องวัดกำลังแสง (Optical power meter, PM100D, Thorlabs) โดยทำการตรวจแบบวิธีแสงส่องผ่านเช่นเดียวกับในงานวิจัยของ [9] โดยแสงเลเซอร์จะส่องผ่านเทปขาวและตกกระทบยังโฟโตนิกไดโอดซึ่งวางห่างจากเทปขาว 55 cm และแสดงค่าความเข้มของแสงด้วยเครื่องวัดกำลังแสงดังรูปที่ 2

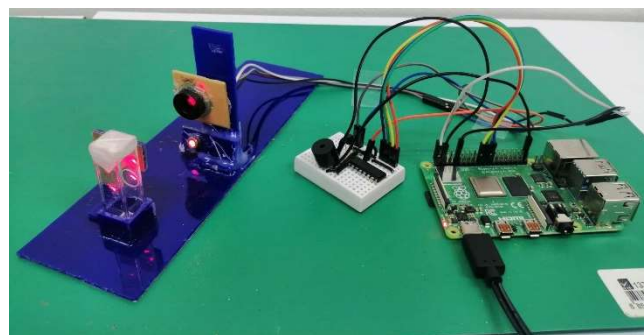


รูปที่ 2 ระบบวัดโดยใช้อุปกรณ์มาตรฐาน

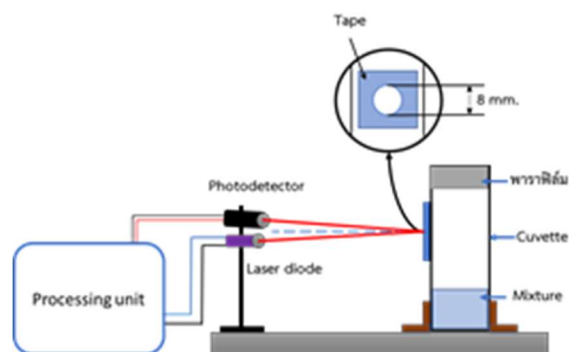
2.3 ระบบวัดที่พัฒนาขึ้น

ระบบวัดที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 3(ก) ประกอบด้วย เลเซอร์พอยน์เตอร์ (Laser pointer) ความยาวคลื่น 635 nm กำลัง 5 mW เป็นแหล่งกำเนิดแสง โฟโตนิกไดโอด (SFH2440, Osram) เป็นตัวรับแสงและใช้คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (Raspberry Pi 4 Model B) เป็นหน่วยประมวลผล

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะทำการวัดแสงสะท้อนกลับจากเทปขาวโดยวางแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงอยู่ฝั่งเดียวกันเพื่อลดขนาดของระบบวัด ดังรูปที่ 3(ข) เนื่องจากขณะทำการวัดระดับกระแสของโฟโตนิกไดโอดมีค่าต่ำ จึงใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขยายสัญญาณและแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย IC mcp3008 ดังวงจรในรูปที่ 4 โดยทำการบันทึกค่าแรงดัน 10 ค่า/วินาที ในช่วงเวลา 300 วินาที โดยข้อมูลที่วัดได้จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละวินาทีซึ่งจะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลา 300 วินาที และทำการนอร์มอลไลซ์ (Normalization) ด้วยขนาดสัญญาณสูงสุด

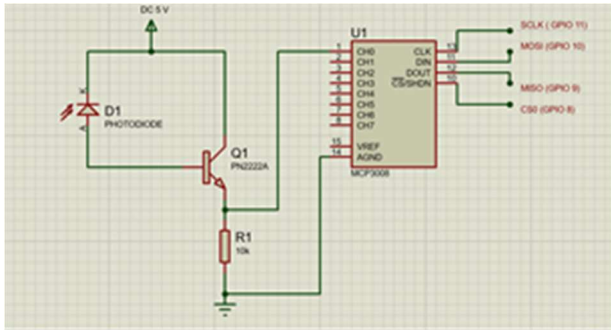


(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ระบบวัดที่พัฒนาขึ้น (ก) องค์ประกอบของระบบวัด (ข) การจัดวางอุปกรณ์สำหรับวัดแสงสะท้อนกลับ



รูปที่ 4 วงจรโฟโตไดโอดและวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

2.4 สัญญาณสัมพันธ์

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การหาค่าตัวแทนข้อมูลด้วยการค่าสัญญาณสัมพันธ์ (Relative signal) ดังงานวิจัยของ Angulo et al. [9] โดยสามารถหาค่าสัญญาณสัมพันธ์ดังสมการ

$$\left[\frac{P_1 - P_n}{P_1} \right] \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ P_1 และ P_n คือระดับสัญญาณ ณ วินาทีที่ 1 และวินาทีที่ n ตามลำดับ

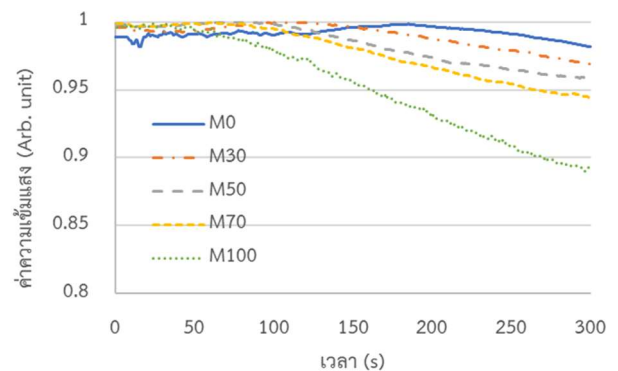
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวัดด้วยอุปกรณ์มาตรฐาน

การวัดความเข้มแสงส่องผ่านเทปกาวด้วยโฟโตไดโอดและเครื่องวัดกำลังแสงดังรูปที่ 2 นั้น ได้ใช้สารผสมแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของเมทานอลและเอทานอล 5 สัดส่วน คือ M0 M30 M50 M70 และ M100 โดยทำการเตรียมสารผสมสำหรับการวัดซ้ำ 3 ครั้ง และทำการนอร์มอลไลซ์ค่าความเข้มแสงที่วัดได้แต่ละครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของผลการวัดทั้งสามครั้ง สัญญาณเฉลี่ยที่ได้จากการวัดสารผสมแอลกอฮอล์ทั้ง 5 ส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 5

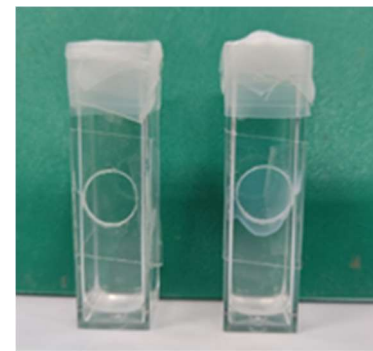
จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อค่าความเข้มแสงจะมีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงตามเวลา โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเมทานอลในสารผสมแอลกอฮอล์ กล่าวคือเมื่อปริมาณเมทานอลในสารผสมมาก ค่าความเข้มแสงที่วัดได้เปลี่ยนแปลงลดลงมาก ในขณะที่การวัดสารผสม M0 ซึ่งไม่มีเม

ทานอลเลย ค่าความเข้มแสง (เส้นทึบ) ที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ เท่านั้น



รูปที่ 5 ค่าความเข้มแสงส่องผ่านในช่วงเวลา 300 วินาที ของสารผสมเมทานอลกับเอทานอลในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อทำการสังเกตเปรียบเทียบเทปกาวของกรณีสารผสม M0 ซึ่งเทปกาวจะได้รับไอของเอทานอลเท่านั้นกับกรณีสารผสม M100 ซึ่งเทปกาวจะได้รับไอของเมทานอลเท่านั้นพบว่าเทปกาวของกรณีสารผสม M100 มีความขุ่นกว่าของกรณีสารผสม M0 ดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเทปกาวมีความขุ่นมากขึ้นแสงจะผ่านเทปกาวได้น้อยลงส่งผลให้ค่าความเข้มแสงที่วัดได้มีค่าลดลงดังผลการทดลองในรูปที่ 5



(ก) (ข)

รูปที่ 6 ลักษณะของเทปกาว Scotch 550 ในการวัดสารผสม (ก) M0 (ข) M100

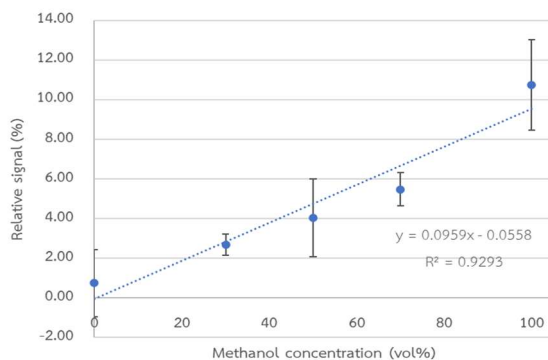
จากรูปที่ 6 แม้ว่าความขุ่นของเทปกาวของแต่ละสารผสมจะแตกต่างกัน แต่การสังเกตเปรียบเทียบด้วยตายังไม่สามารถแยกแยะหรือระบุปริมาณของเมทานอลที่อยู่ในสารผสมแอลกอฮอล์นั้นได้ จึงทำการหาค่าสัญญาณสัมพันธ์ตามสมการที่ (1) โดยกำหนดเลือกใช้ค่าความเข้มแสงที่วินาทีที่ 300 วินาที ($n = 300$) ดังงานวิจัยของ Angulo et al. [9] จากนั้นทำการ

หาค่าสัญญาณสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของแต่ละสารผสมจากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง ดังแสดงค่าในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัญญาณสัมพัทธ์เฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ S.D.) ณ เวลา 300 วินาที

สารผสม	ระดับสัญญาณสัมพัทธ์ (%)
M0	0.75 $\pm$ 1.69%
M30	2.69 $\pm$ 0.52%
M50	4.03 $\pm$ 1.96%
M70	5.47 $\pm$ 0.84%
M100	10.75 $\pm$ 2.28%

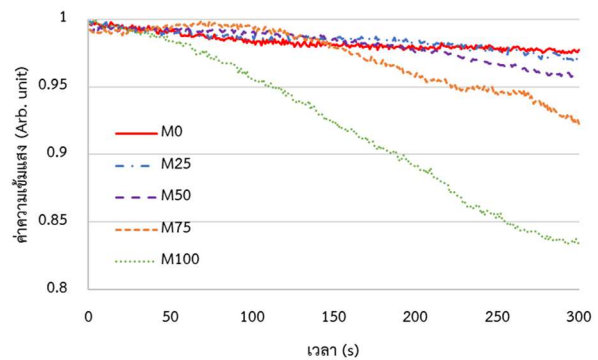
โดยความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณสัมพัทธ์กับอัตราส่วนของเมทานอลที่ผสมอยู่กับเอทานอลแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นคือ $y = 0.1258x + 3.5563$ เมื่อ x คือร้อยละเมทานอลในสารผสม และ y คือ ระดับสัญญาณสัมพัทธ์ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9293



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณสัมพัทธ์กับอัตราส่วนของเมทานอลในเอทานอล

3.2 การวัดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น

ในการทดสอบระบบวัดที่พัฒนาขึ้นจะทำการวัดความเข้มแสงสะท้อนจากเทปกาวดังรูปที่ 3 (ก) และทำการวัดสารผสมแอลกอฮอล์ 5 สัดส่วน คือ M0 M25 M50 M75 และ M100 โดยทำการวัดซ้ำสัดส่วนละ 3 ครั้ง และทำการนอร์มอลไลเซชันและหาค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.1 ซึ่งแสดงค่าความเข้มแสงสะท้อนเฉลี่ยได้ดังรูปที่ 8



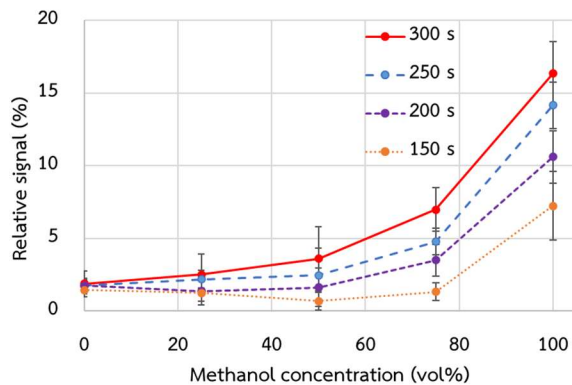
รูปที่ 8 ค่าความเข้มแสงสะท้อนในช่วงเวลา 300 วินาที ของสารผสมเมทานอลกับเอทานอลในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่วัดด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

จากรูปที่ 8 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มแสงสะท้อนมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของเมทานอลในสารผสม แอลกอฮอล์เช่นเดียวกับผลการทดลองในหัวข้อ 3.1 และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงในรูปที่ 5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในรูปที่ 8 ลดลงมากกว่า เนื่องจากการสูญเสียพลังงานของแสงที่เดินทางผ่านเทปกาวสองครั้ง แต่อย่างไรก็ตามจะสังเกตพบว่าเมื่อสารผสมมีเมทานอลในสัดส่วนที่น้อยจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดระยะเวลาในการวัดจึงเปรียบเทียบค่าสัญญาณสัมพัทธ์เฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ เวลา 150 วินาที 200 วินาที 250 วินาที และ 300 วินาที ดังตารางที่ 2 จะเห็นว่าระดับสัญญาณสัมพัทธ์ของสารผสม M0 M25 และ M50 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าต่างกันมากขึ้นเมื่อเวลาการวัดยาวนานขึ้น โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณสัมพัทธ์กับอัตราส่วนของเมทานอลในสารผสมแอลกอฮอล์ได้ดังรูปที่ 9

ตารางที่ 2 ค่าสัญญาณสัมพัทธ์เฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ S.D.) ณ เวลา ต่าง ๆ ที่วัดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น

สารผสม	ระดับสัญญาณสัมพัทธ์ (%)			
	150 s	200 s	250 s	300 s
M0	1.45 $\pm$ 0.26	1.76 $\pm$ 0.38	1.75 $\pm$ 0.50	1.88 $\pm$ 0.88
M25	1.26 $\pm$ 0.85	1.38 $\pm$ 0.69	2.19 $\pm$ 0.62	2.51 $\pm$ 1.39
M50	0.68 $\pm$ 0.62	1.63 $\pm$ 1.32	2.47 $\pm$ 1.85	3.59 $\pm$ 2.22
M75	1.33 $\pm$ 0.62	3.50 $\pm$ 1.09	4.77 $\pm$ 0.92	6.99 $\pm$ 1.49
M100	7.24 $\pm$ 2.35	10.60 $\pm$ 1.8	14.16 $\pm$ 1.6	16.34 $\pm$ 2.1

จากรูปที่ 9 พบว่าค่าสัญญาณสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเมทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นตามกันเช่นเดียวกับผลการวัดด้วยอุปกรณ์มาตรฐานในหัวข้อก่อนหน้า แต่ผลการทดลองด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีความไม่เป็นเชิงเส้น และพบว่าค่าสัญญาณสัมพันธ์ ณ เวลา 300 วินาที มีความไวสูงกว่า ณ เวลาอื่น ๆ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ด้วยฟังก์ชันพหุนามกำลังสองคือ $y = 0.0023x^2 - 0.0923x + 2.409$ เมื่อ x คือร้อยละเมทานอลในสารผสม และ y คือ ระดับสัญญาณสัมพันธ์ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9785



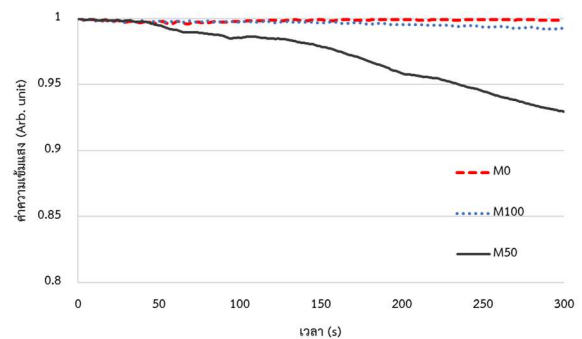
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณสัมพันธ์แบบแสงสะท้อนกับอัตราส่วนของเมทานอลในเอทานอล

3.3 ผลการทดสอบเทปกาวรุ่นอื่น

ผลการทดลองในหัวข้อ 3.1 แสดงให้เห็นว่าเทปกาวใสยี่ห้อ 3M รุ่น Scotch 550 มีความโปร่งแสงน้อยลงหรือขุ่นขึ้นเมื่อได้รับไอของเมทานอล แม้ว่าเทปกาวใสรุ่นนี้จะมีจำหน่ายในประเทศแต่ค่อนข้างหาแหล่งจำหน่ายได้ยาก ในขณะที่เทปกาวใสยี่ห้อ 3M รุ่น Scotch 500 จะมีจำหน่ายทั่วไป ด้วยเหตุนี้จึงทำการทดสอบเทปกาวใสยี่ห้อ 3M รุ่น Scotch 500 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ทดแทน โดยใช้อุปกรณ์วัดมาตรฐานดังหัวข้อ 3.1 และทำการทดลองด้วยสารผสม M0 M50 และ M100 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 10

จากรูปที่ 10 พบว่าระดับความเข้มแสงของสารผสม M0 และ M100 มีค่าค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกัน ในขณะที่ระดับความเข้มแสงของสารผสม M50 มีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงค่อนข้างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เทปกาวยี่ห้อ 3M รุ่น

Scotch 500 สำหรับการตรวจวัดเมทานอลนั้นยังไม่สามารถทำได้



รูปที่ 10 ค่าความเข้มแสงส่องผ่านเทปกาวรุ่น Scotch 500 ในช่วงเวลา 300 วินาที ของสารผสมแอลกอฮอล์ที่วัดด้วยอุปกรณ์มาตรฐาน

4. การอภิปรายผล

4.1 ความโปร่งแสงของเทปกาว

เมื่อพิจารณาผลการทดลองสารผสม M0 ซึ่งเป็นสารผสมที่มีเฉพาะเอทานอลเท่านั้น จะพบว่าระดับสัญญาณสัมพันธ์ของ M0 ทั้งในหัวข้อ 3.1 และ 3.2 มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อย โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระดับสัญญาณสัมพันธ์ของสารผสม M0 ที่วัดด้วยอุปกรณ์มาตรฐานในตารางที่ 1 พบว่ามีค่าในระดับเดียวกับผลการทดลองของ Angulo et al. [9] ซึ่งได้ให้เหตุผลว่ามวลโมเลกุลของเอทานอลมีขนาดเล็กใกล้เคียงกับของกาวที่ทำจากโพลีเมอร์อะคริลิก (Acrylic polymer) ทำให้สามารถจับยึดกันได้ดี โดยเมื่อเทปกาวได้รับไอของเอทานอลเป็นผลให้เทปกาวบวมขึ้นส่งผลให้กำลังของแสงส่องผ่านลดลง แต่เมื่อความเข้มข้นของเมทานอลในสารผสมมีค่าสูงขึ้นพบว่าผลการทดลองมีความแตกต่างกันกล่าวคือผลการวิจัยที่รายงานโดย Angulo et al. [9] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณสัมพันธ์แปรผกผันกับความเข้มข้นของเมทานอล โดยระดับสัญญาณสัมพันธ์ของสารผสมเมทานอลมีค่าประมาณ 1% ในขณะที่ผลการศึกษานี้พบว่าระดับสัญญาณสัมพันธ์แปรผันกับความเข้มข้นของเมทานอลในสารผสมโดยมีค่าประมาณ 14% เนื่องจากการศึกษานี้พบว่าความโปร่งแสงของเทปกาวใสรุ่น 550 (รูปที่ 6) เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของเมทานอลส่งผลให้ความเข้มแสงเลเซอร์ที่ส่องผ่านเทปกาวมีค่าลดลง เนื่องจาก

สารผสมเมทานอลมีความดันไอ (Vapor pressure) สูงกว่าเอทานอล และจุดเดือดของเมทานอล (64.6°C) ต่ำกว่าจุดเดือดของเอทานอล (78.5°C) เมทานอลจึงระเหยเป็นไอได้ง่ายกว่าเอทานอล และความดันไอของสารผสมระหว่างเอทานอลและเมทานอลจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารทั้งสอง ซึ่งจะมีความดันไอของสารผสมจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเมทานอลในสารผสม และจากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงส่องผ่านที่วัดได้มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเมทานอลในสารผสมมากขึ้น จึงสามารถกล่าวได้ว่าความขุ่นของเทปกาวนั้นสัมพันธ์กับความดันไอของเมทานอล ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความโปร่งแสงหรือความขุ่นของเทปกาวส่งผลต่อการวัดมากกว่าผลของการบวมของเทปกาว นอกจากนี้ในการศึกษาของ Angulo et al. [9] ไม่ได้รายงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความโปร่งแสงหรือสีขุ่นของเทปกาวนี้ ข้อค้นพบที่ขัดแย้งกันนี้อาจมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติหรือวัสดุที่ใช้ในผลิตเทปกาวที่อาจแตกต่างกันตามรุ่นการผลิตซึ่งต้องศึกษาคุณสมบัติทางเคมีเพิ่มเติมต่อไป

4.2 วัสดุของเทปกาว

ในขณะที่ผลการทดลองในหัวข้อ 3.3 ซึ่งใช้เทปกาวรุ่น 500 ซึ่งมีเนื้อกาวที่มีส่วนผสมของอะคลิลิกเช่นกัน แต่มีแผ่นฟิล์มต่างกัน กล่าวคือ เทปกาวรุ่น Scotch 550 ใช้ Biaxially oriented polypropylene (BOPP) ในขณะที่เทปกาวรุ่น Scotch 500 ใช้ Oriented polypropylene (OPP) จะพบว่าระดับสัญญาณสัมพันธ์ของสารผสม M0 และ M100 มีการเปลี่ยนแปลงน้อย หรือกล่าวได้ว่าไอของเอทานอลและไอของเมทานอลไม่ส่งผลให้เทปกาวขุ่นขึ้น แต่ในขณะที่ระดับสัญญาณสัมพันธ์ของสารผสม M50 มีการเปลี่ยนแปลงมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความไม่บริสุทธิ์ของเอทานอลและเมทานอลที่ใช้ในการศึกษานี้จึงทำให้เกิดน้ำขึ้น โดยไอน้ำส่งผลต่อสภาพแผ่นฟิล์มของเทปกาวทำให้เกิดการลดทอนกำลังแสง จึงยังไม่สามารถใช้เทปกาวรุ่น 500 ในการตรวจวัดปริมาณเมทานอลในสารผสมได้ ซึ่งเป็นข้อสังเกตว่าแม้จะเป็นเทปกาวที่มีส่วนผสมอะคลิลิกในเนื้อกาวเช่นกันก็ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน

4.3 ความเป็นเชิงเส้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของระบบวัดมาตรฐาน (หัวข้อ 3.1) และระบบที่พัฒนาขึ้น (หัวข้อ 3.2) นั้นจะพบว่าการวัดด้วยระบบวัดมาตรฐานจะมีความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเมทานอลเป็นเชิงเส้น ในขณะที่ผลการทดลองของระบบวัดที่พัฒนาขึ้นจะมีความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่เชิงเส้น อาจเกิดจากการลดทอนความเข้มแสง (α) ในการวัดแบบสะท้อนที่เดินทางผ่านเทปกาวสองครั้ง ดังนั้นความเข้มแสงที่เดินทางมาถึงตัวรับแสงในการวัดแบบสะท้อนจึงถูกลดทอนด้วยสัดส่วน α^2 ในขณะที่การวัดแบบส่องผ่านจะความเข้มแสงจะถูกลดทอนด้วยสัดส่วน α ส่งผลให้ผลการทดลองในกรณีของการวัดแบบสะท้อนไม่เป็นเชิงเส้น

4.4 ระยะเวลาการวัด

ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการตรวจวัดเมทานอลในสารผสมของเอทานอลและเมทานอลด้วยระบบวัดที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าความไวในการวัดจะสูงขึ้นเมื่อวัดนานขึ้น เนื่องจากช่วงเวลาที่เทปกาวสัมผัสกับไอเมทานอลนานขึ้น ทำให้มีความขุ่นมากขึ้น ระดับสัญญาณสัมพันธ์จึงแตกต่างกันมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ในการลดระยะเวลาการวัดให้สั้นลงได้สำหรับการประยุกต์ใช้ตรวจสอบคุณภาพของเมทานอลความเข้มข้นสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเทปกาวจะเกิดขึ้นเร็วเมื่อเมทานอลมีความเข้มข้นสูงขึ้น

4.5 ต้นทุนของระบบวัด

ต้นทุนของระบบที่ใช้อุปกรณ์มาตรฐานกับระบบวัดที่พัฒนาขึ้น แสดงดังตารางที่ 3 โดยคิดมูลค่าเฉพาะส่วนประกอบหลักของระบบคือ แหล่งกำเนิดแสง ตัวรับแสงและหน่วยประมวลผล โดยมูลค่าที่แสดงเป็นราคาโดยประมาณเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนของระบบทั้งสอง สำหรับระบบวัดมาตรฐานนั้นคำนวณราคาจากหน่วยดอลลาร์สหรัฐ (USD) เป็นบาทด้วยอัตราแลกเปลี่ยน 34 บาท/USD โดยจะเห็นว่าต้นทุนของระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อการตรวจวัดเมทานอลในสารผสมแอลกอฮอล์จะน้อยกว่าการใช้เครื่องมือมาตรฐานที่สามารถทำงานได้ประมาณ 27 เท่า ซึ่งมีต้นทุนประมาณ 2,300 บาท โดยหากเปลี่ยนหน่วยประมวลผลเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีราคา

ประมาณ 300 – 400 บาท จะทำให้ระบบวัดมีต้นทุนประมาณ 500 บาท

ตารางที่ 3 ต้นทุนของระบบวัด

ระบบมาตรฐาน	ราคา (บาท)	ระบบที่พัฒนาขึ้น	ราคา (บาท)
โมดูลเลเซอร์ไดโอด (CPS635,Thorlabs)	3,400	เลเซอร์ไดโอด	50
โฟโตไดโอด (S130C, Thorlabs)	19,000	โฟโตไดโอด (SFH2440, Osram)	50
เครื่องวัดกำลังแสง (PM100D, Thorlabs)	40,000	Raspberry Pi 4B 4GB และไอซี	2,200
รวม	62,400	รวม	2,300

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนากระบวนการวัดเมทานอลในสารผสมเอทานอลและเมทานอลโดยวิธีทางแสงด้วยอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำและมีขนาดเหมาะสมเพื่อเคลื่อนย้ายไปยังจุดวัดได้สะดวก จากการศึกษาพบว่าความชันของเทปกาวในบริเวณที่สัมผัสกับไอของสารผสมเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของเมทานอลในสารผสม โดยการเปลี่ยนแปลงความชันของเทปกาวใส่ต่างรุ่นกันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต่างกัน โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงความชันของเทปกาวส่งผลต่อการวัดมากกว่าการบวมของเทปกาว ซึ่งจากผลการวัดค่าความเข้มแสงแบบส่องผ่านด้วยอุปกรณ์มาตรฐานพบว่าระดับสัญญาณสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเมทานอลในสารผสมแบบเชิงเส้น ในขณะที่ผลการวัดความเข้มแสงสะท้อนที่วัดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่เชิงเส้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบส่วนผสมของเมทานอลในเอทานอลได้ โดยการตรวจวัดเมทานอลความเข้มข้นต่ำต้องการระยะเวลาการวัดยาวนานเพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงความชันของเทปกาวใส ทั้งนี้กลไกการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเทปกาวหลังสัมผัสไอของสารผสมเป็นประเด็นที่ต้องศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนงบประมาณและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zamani N, Rafizadeh A, Hassanian-Moghaddam H, Akhavan-Tavakoli A, Ghorbani-Samin M, Akhgari M, et al. Evaluation of methanol content of illegal beverages using GC and an easier modified Chromotropic acid method; a cross sectional study. *Substance Abuse Treatment, Prevention, and Policy*. 2019;14(1):1–7.
- [2] Arslan MM, Zeren C, Aydin Z, Akcan R, Dokuyucu R, Keten A, et al. Analysis of methanol and its derivatives in illegally produced alcoholic beverages. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2015;33:56–60.
- [3] Jacobs P, Dewe W, Flament A, Gibella M, Ceccato A. A new validation approach applied to the GC determination of impurities in organic solvents. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2006;40(2):294–304.
- [4] Soares S, Torres KG, Pimentel EL, Martelli PB, Rocha FR. A novel spot test based on digital images for determination of methanol in biodiesel. *Talanta*. 2019; 195:229–235.
- [5] Jornet-Martínez N, Gómez-Ojea R, Tomás-Huercio O, Herráez-Hernández R, Campíns-Falcó P. Colorimetric determination of alcohols in spirit drinks using a reversible solid sensor. *Food Control*. 2018;94:7–16.
- [6] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ พัฒนาชุดทดสอบเมทานอลในผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์สำหรับทำความสะอาดมือ [Internet]. 2020. Available from: <https://gnews.apps.go.th/news?news=585561>
- [7] van den Broek J, Abegg S, Pratsinis SE, Güntner AT. Highly selective detection of methanol over

ethanol by a handheld gas sensor. *Nat Commun.* 2019;10(1):4220.

- [8] Abegg S, Magro L, van den Broek J, Pratsinis SE, Güntner AT. A pocket-sized device enables detection of methanol adulteration in alcoholic beverages. *Nature Food.* 2020;1(6):351–354.
- [9] Barrios CA. Scotch Tape Optical Vapor Sensor for Ethanol–Methanol Mixtures. *Sensors.* 2019; 19(24):5381.