

# การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ชนิดการเข้าออกของสารเกิดขึ้นอย่างอิสระ

## The Development of the Passive Direct Ethanol Fuel Cell Mathematical Model

ปกปชิตี คงได้<sup>1</sup> และ เพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์<sup>2</sup>

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ<sup>1,2</sup>

E-mail: papopchote@gmail.com<sup>1</sup>, penyarat@gmail.com<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับนำมาใช้เป็นพลังงานที่ยั่งยืนในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแบบพกพาต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง โดยสนใจศึกษาผลจากการผสมเอทานอลจำนวน 3 ตัวอย่าง คือเอทานอลผสมกับน้ำประปา เอทานอลผสมกับน้ำดื่ม และเอทานอลผสมกับน้ำกลั่น และทดสอบความแม่นยำของสมการทำนายค่าความต่างศักย์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง เพื่อนำสมการการคำนวณไปใช้ทำนายความต่างศักย์ในเงื่อนไขอื่น ๆ นอกเหนือจากการทดลอง ซึ่งจะสอดคล้องกับ การนำ ความรู้ ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยโดยผ่านการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์และกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ได้ทำการทดลองไว้แล้วเขียนโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดและเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลอง เมื่อพิจารณาแผนภูมิเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณพบว่า กรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์, น้ำดื่มทั่วไป และน้ำประปาที่ความเข้มข้น 5 ml พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเมื่อเอทา

นอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 19% และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเมื่อ เอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปหรือน้ำประปาจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 26% และเมื่อพิจารณากภาพความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำงานกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับผลการคำนวณกรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์, น้ำดื่มทั่วไป และน้ำประปา ที่ความเข้มข้น 7 ml, 9 ml, 11 ml, 13 ml และ 15 ml พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเมื่อเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 20% และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเมื่อเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปหรือน้ำประปาจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 24% จากกราฟที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในกรณีเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปหรือน้ำประปาที่ความเข้มข้นใด ๆ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันที่ทุก ๆ อุณหภูมิทำงาน ซึ่งทั้ง 2 กรณีมีความน่าสนใจที่จะนำไปพัฒนาต่อหรือทำการวิจัยต่อถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้งานจริง

## Abstract

Ethanol is the interested fuel because it is low toxic and has higher energy density and it can produce from biomass. Direct ethanol fuel cell is the alternative fuel cell that is the sustainable energy for the portable electronic device. Now it is not easy to control the level of energy because the oxidation reduction reaction is very slow and the crossover of water and ethanol. So this research study the performance of direct ethanol fuel cell and interest to study 3 conditions consist of ethanol blended with tap water, ethanol blended with drinking water and ethanol blended with pure distilled water and the effect of working temperature. From which the researcher conducted the experiment to analyze the optimization of the performance of the passive direct ethanol fuel cell for the portable electronic device. This research will predict a trend of electrical potential when it is out of the condition of the experiment. By using a knowledge of engineering to make a mathematical model and find out the optimize condition and compare with the result of experiment. When we compared the result from the experiment and calculation we found that the working temperature increased and the electrical potential from both the experiment and calculation be increased too. When considering the comparison chart of the electric potential

difference between the experiment and the calculation results, it was found that In the case of ethanol mixed with distilled water, general drinking water and tap water at a concentration of 5 ml, it is found that the electric potential difference obtained from the calculation when ethanol mixed with pure distilled water is higher than the value obtained from the experiment about 19% and the electric potential difference calculated Ethanol mixed with general drinking water or tap water is approximately 26% higher than the value obtained from the experiment. When considering the graph of the relationship between the working temperature and the electric potential obtained from the experiment compared with the calculation results In the case of ethanol mixed with distilled water, general drinking water and tap water at concentrations of 7 ml, 9 ml, 11 ml, 13 ml and 15 ml, it is found that the electric potential difference obtained from the calculation when ethanol The amount of distilled water mixed with distilled water was approximately 20% higher than the value obtained from the experiment. And the electric potential difference calculated from Ethanol mixed with general drinking water or tap water will be approximately 24% higher than the value obtained from the experimental results from the graph above. In the case of ethanol mixed with general drinking water or tap

water at any concentration It will be found that the electric potential difference from the experiment will have the same properties at every working temperature. In both cases, it is interesting to be further developed or further research into the suitability in actual usage.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านพลังงานได้สร้างผลกระทบกับหลายภาคส่วน ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รัฐบาลได้กำหนดให้การประหยัดพลังงานเป็นมาตรการระดับชาติ ซึ่งแนวทางที่จะทำให้บรรลุเป้าหมายของการประหยัดพลังงาน คือ การใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ลดการใช้พลังงานไปอย่างสิ้นเปลือง หันมาใช้พลังงานทดแทน บริเวณพลังงานอย่างพอดี โดยมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการใช้งาน และหาทางเลือกในการใช้พลังงานในอนาคต สำหรับเทคโนโลยี เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีบทบาทในชีวิตประจำวัน โดยพบว่างานวิจัยที่มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนา เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cells, DMFCs) แต่ ยังมีข้อบกพร่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้า และเกิดการข้ามขั้วของน้ำ (Crossover) ที่เยื่อเลือกผ่านแนฟฟิออน [1] ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง ทั้งยังทำให้ศักยภาพการผสมของเชื้อเพลิงในขั้วลดลงและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง [2] (Matsuoka และคณะ) [3] รายงานว่า เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเมทานอลโดยตรงที่ขั้วไฟฟ้าเกิดปฏิกิริยาช้า

เนื่องมาจากการขัดขวางของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม (Pt) ที่อุณหภูมิต่ำ และคุณภาพผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาของเยื่อเลือกผ่านเมมเบรน เนื่องจากเมทานอลใช้แล้วหมดไปมีความผันผวนและความไวไฟสูง การใช้เมทานอลอาจส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ หากนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เมทานอลมีข้อได้เปรียบเมทานอลในเรื่องความหนาแน่นของพลังงานต่อมวลที่มากกว่า ทั้งยังพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการไฟฟ้าเคมียังสามารถบำบัดได้โดยธรรมชาติ นอกจากนี้ยังง่ายต่อการทำให้บริสุทธิ์และการขนส่ง ทำให้เมทานอลเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในช่วงที่ผ่านมา การพัฒนาโปรแกรมการคำนวณเพื่อทำนายสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเมทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา เพื่อให้เราสามารถทำนายความเป็นไปได้ของผลที่จะเกิดขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้นในแนวโน้มต่าง ๆ ผลที่ได้จากการคำนวณจะช่วยให้เราสามารถทำนายสมรรถนะและพฤติกรรมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงได้อย่างแม่นยำ

S.Penyarat [4] ได้ทำการทดลองศึกษาถึงเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเมทานอลโดยตรงจะพบว่าอุณหภูมิทำงานนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ทั้งนี้ผลกระทบดังกล่าวไม่เป็นผลเท่าใดนัก เนื่องจากมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ในระหว่างการทดลอง ในการทดลองส่วนผสมของเมทานอลกับน้ำทั้ง 3 ตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จะพบว่าไม่ค่อยมีผลกระทบต่อ

ศักยภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเท่าใดนัก จากผลการทดลองของส่วนผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำประปา เนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของน้ำประปาจึงมีผลของการข้ามขั้วของน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงทำให้ความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำที่สุด การข้ามขั้วของเอทานอลที่ต่ำเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอทานอลที่สูงเป็นสิ่งสำคัญในการประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแบบพกพา

J.Nandeha และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงชนิดการเข้าออกของสารเกิดขึ้นอย่างอิสระ โดยการทดลองจะทำที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการใช้สาร Pt3Sn/C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เอทานอลความเข้มข้นระหว่าง 0.1 ถึง 2.0 โมลต่อลิตร มาใช้ในการทดลอง โดยผลการทดลองจะชี้ให้เห็นว่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มมากขึ้น อันเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยของการเคลื่อนไหวร่วมกับการแพร่ อย่างไรก็ตามผลกระทบของการเพิ่มความเข้มข้นเมื่อเพิ่มมากกว่า 1 โมลต่อลิตร มีผลทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง และเพิ่มการข้ามขั้วของเอทานอล จากที่มีผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาสมรรถนะที่เหมาะสมของการทำงานในเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงชนิดการเข้าออกของสารเกิดขึ้นอย่างอิสระ เพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาไว้แล้วนั้น ทำให้เกิดข้อสงสัยว่าทำอย่างไรจึงจะพิสูจน์ได้ว่าผลการทดลองที่ได้นั้นจะมีแนวโน้มการผลิตค่าทางไฟฟ้าเป็นอย่างไรต่อไปได้อีก เมื่ออยู่นอกเหนือเงื่อนไขที่

กำหนดในการทดลองไปแล้ว ซึ่งจะสอดคล้องกับการนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยโดยผ่านการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์และเขียนโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดและเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลอง

## 2. การคำนวณทางทฤษฎี

### 2.1 การคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้า

กฎของก๊าซในอุดมคติจากสมการสถานะ (Equation of State) มีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล (N) และปริมาตร (V) [12-6]

$$PV = nRT \quad (1)$$

$P$ : ความดันบรรยากาศ (atm)

$V$ : ปริมาตรของเชื้อเพลิง (L)

$n$ : จำนวนโมล (mol)

$R$ : Universal Gas Constant ค่าคงที่ 0.082 (L·atm/mol·K)

$T$ : อุณหภูมิ (K)

$$n = \frac{PV}{RT} \quad (2)$$

ค่าของกระแสไฟฟ้า ( $i$ ) ได้จากสูตร ก๊าซไฮโดรเจน 1 โมล สามารถถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้ 2 ตัว ดังนั้นอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) [3]

$$N_{H_2} = i/2F \quad (3)$$

$i$ : ค่าของกระแสไฟฟ้า (A)

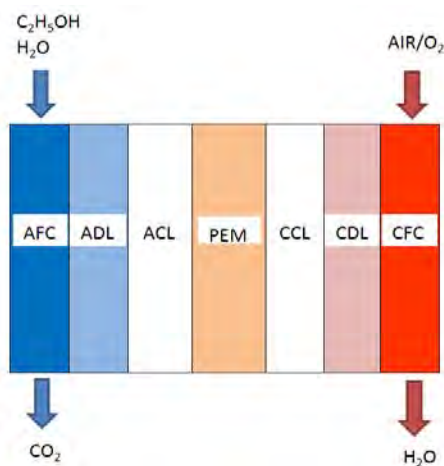
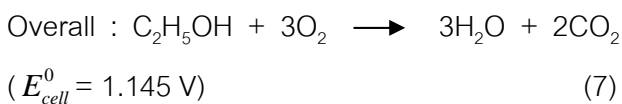
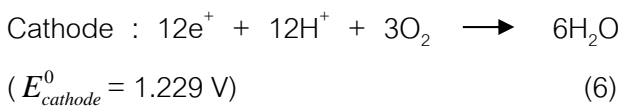
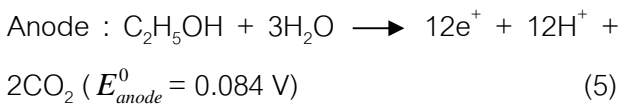
$F$ : ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (Faraday constant) =  $9.64853 \times 10^4$  (C/mol)

ก๊าซออกซิเจน 1 โมล สามารถรับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้ 4 ตัว ดังนั้นอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนจะมีค่าเท่ากับ

$$N_{O_2} = \frac{i}{4F} \quad (4)$$

## 2.2 การคำนวณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

ค่าความต่างศักย์ของ Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC) เซลล์เดียวตามทฤษฎีที่อัตราการป้อนเอทานอล 25 (°C) และ 1 ความดันบรรยากาศ (atm) ป้อนเอทานอลที่ขั้วบวก และ ก๊าซออกซิเจนที่ขั้วลบ ดังรูปที่ 1 โดยปฏิกิริยาเคมีแสดงดังต่อไปนี้ [13-7]



รูปที่ 1 แสดงระบบภายในของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงชนิดการเข้าออกของสารเกิดขึ้นอย่างอิสระ

- PEM: เยื่อเลือกผ่านเมมเบรน
- CDL: ชั้นการแพร่ของแก๊สขั้วลบ
- ADL: ชั้นการแพร่ของแก๊สขั้วบวก
- CCL: ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วลบ
- ACL: ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วบวก
- CFC: แผ่นประกบขั้วลบ
- AFC: แผ่นประกบขั้วบวก

การคำนวณแรงดันไฟฟ้าใน DEFC แบบเซลล์เดียว สำหรับ อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ แบบพกพา แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสดงในสมการที่ (8) ดังนี้

$$E_{cell} = E_{cell}^0 - \eta_{conc} - \eta_{ohmic} - \eta_{act} \quad (8)$$

$E_{cell}$  : ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง (V)

$E_{cell}^0$  : ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของ DEFC ตามทฤษฎี (V)

$\eta_{conc}$  : ค่าการสูญเสียความเข้มข้นของศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา (V)

$\eta_{ohmic}$  : ค่าการสูญเสียความต้านทาน (V)

$\eta_{act}$  : ค่าการสูญเสียการเกิดปฏิกิริยาของศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับจลนศาสตร์ (V)

1) การคำนวณค่าการสูญเสียความเข้มข้นของศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา เกิดการเคลื่อนย้ายของสารตั้งต้นบนชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วบวกและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วลบ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความเข้มข้นภายในเซลล์ คำนวณได้จากสมการที่ (9) [14-8]

$$n_{conc} = \frac{RT}{zF} \ln\left(\frac{I_{lim}}{I_{lim} - i}\right) \quad (9)$$

ในขณะที่  $I_{lim}$  เป็นข้อจำกัดของการไหลกระแสไฟฟ้า แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$I_{lim} = Z_a F D_b^{eff} \frac{C_b}{L_b} \quad (10)$$

$Z_a$  : จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องในระบบ

$D_b^{eff}$  : ค่าประสิทธิภาพสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของเอทานอลที่ขั้วบวก

$C_b$  : ค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ขั้วบวก

$L_b$  : ค่าความกว้างของช่องทางการไหลขั้วบวก (mm)

2) การคำนวณค่าการสูญเสียความต้านทาน แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_{ohm} = iR_{total} \quad (11)$$

$$R_{total} = \eta_{member} + \eta_{contact} \quad (12)$$

$$\eta_{member} = \frac{l_m}{K_m} i \quad (13)$$

$$\eta_{contact} = \frac{l_m + 2l_c}{K_s} \quad (14)$$

3) การคำนวณค่าการสูญเสียการเกิดปฏิกิริยาของศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับจลนศาสตร์สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ [15-9]

$$\eta_{act,anode} = \frac{RT}{\alpha_a z_a F} \ln\left(\frac{i}{i_o}\right) \quad (15)$$

$$\eta_{act,cathode} = \frac{RT}{\alpha_c z_c} \ln\left(\frac{i}{i_o}\right) \quad (16)$$

จากสมการที่ 8 การคำนวณแรงดันไฟฟ้าใน DEFC เซลล์เดี่ยว จะได้ดังนี้

$$E_{cell} = E_{cell}^0 - \eta_{conc} - \eta_{ohmic} - \eta_{act} \quad (17)$$

### 3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็กแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง
2. เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงเอทานอล ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็กแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง
3. เขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

### 4. ขอบเขตของงานวิจัย

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ผลและทำนายสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงชนิดการเข้าออกของสารเกิดขึ้นอย่างอิสระ เพื่อมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมานั้นมีความถูกต้องแม่นยำจะได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของผลที่ได้เทียบกับผลการทดลองที่ได้มีผู้ทำการทดลองไว้ก่อนหน้านี้และเมื่อเงื่อนไขต่าง ๆ แตกต่างออกไปจากการทดลอง ต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด พร้อมทั้งประเมินถึงแนวโน้มของผลที่จะได้ว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไร

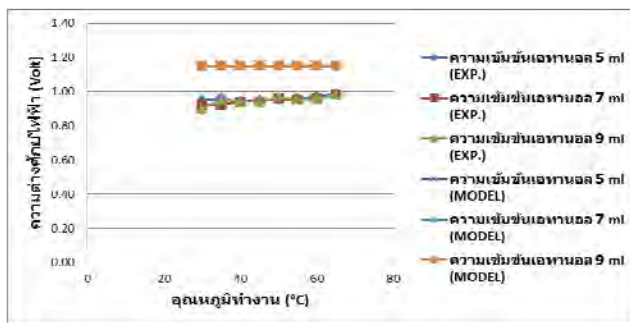
## 5. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองเทียบกับผลการคำนวณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์

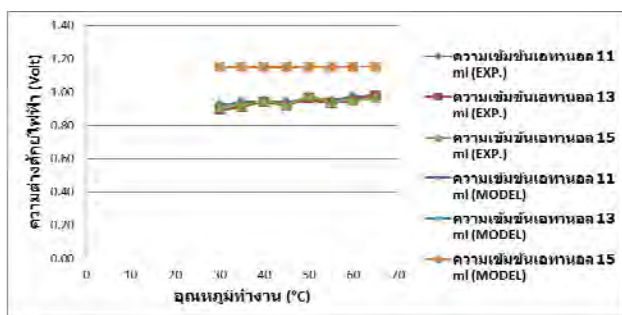
ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)								
อุณหภูมิทำงาน (°C)	30	35	40	45	50	55	60	65
ความเข้มข้นเอทานอล 5 ml (EXP.)	0.950	0.960	0.940	0.950	0.950	0.960	0.970	0.990
ความเข้มข้นเอทานอล 7 ml (EXP.)	0.920	0.920	0.940	0.940	0.960	0.950	0.960	0.980
ความเข้มข้นเอทานอล 9 ml (EXP.)	0.900	0.950	0.940	0.940	0.970	0.950	0.960	0.980
ความเข้มข้นเอทานอล 11 ml (EXP.)	0.920	0.940	0.940	0.940	0.960	0.950	0.970	0.980
ความเข้มข้นเอทานอล 13 ml (EXP.)	0.890	0.910	0.940	0.920	0.960	0.930	0.950	0.980
ความเข้มข้นเอทานอล 15 ml (EXP.)	0.910	0.920	0.950	0.920	0.980	0.940	0.950	0.960
ความเข้มข้นเอทานอล 5 ml (MODEL)	1.149	1.149	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.151
ความเข้มข้นเอทานอล 7 ml (MODEL)	1.150	1.151	1.149	1.151	1.150	1.151	1.151	1.151
ความเข้มข้นเอทานอล 9 ml (MODEL)	1.150	1.150	1.150	1.150	1.151	1.150	1.151	1.151
ความเข้มข้นเอทานอล 11 ml (MODEL)	1.149	1.151	1.150	1.150	1.152	1.151	1.151	1.151
ความเข้มข้นเอทานอล 13 ml (MODEL)	1.149	1.151	1.150	1.151	1.152	1.151	1.151	1.152
ความเข้มข้นเอทานอล 15 ml (MODEL)	1.149	1.151	1.150	1.151	1.152	1.150	1.151	1.151

หมายเหตุ : EXP หมายถึง ผลที่ได้จากการทดลอง

MODEL หมายถึง ค่าที่ได้จากการคำนวณ



(ก)

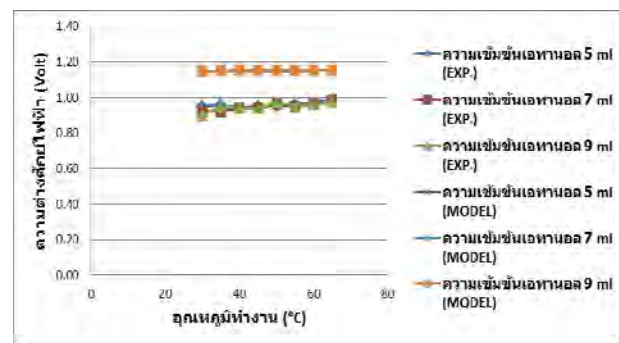


(ข)

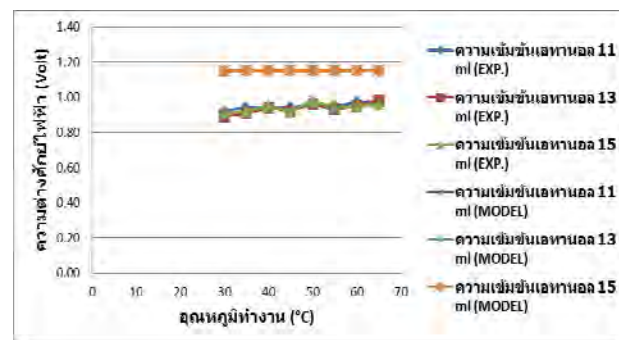
รูปที่ 2 (ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำงานกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับผลการคำนวณ กรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 5 ml, 7 ml และ 9 ml (ข) กรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 11 ml, 13 ml และ 15 ml

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองเทียบกับผลการคำนวณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากรณีเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไป

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)								
อุณหภูมิทำงาน (°C)	30	35	40	45	50	55	60	65
ความเข้มข้นเอทานอล 5 ml (EXP.)	0.860	0.830	0.890	0.900	0.910	0.910	0.910	0.910
ความเข้มข้นเอทานอล 7 ml (EXP.)	0.860	0.900	0.910	0.900	0.930	0.920	0.920	0.920
ความเข้มข้นเอทานอล 9 ml (EXP.)	0.870	0.930	0.900	0.900	0.930	0.920	0.920	0.920
ความเข้มข้นเอทานอล 11 ml (EXP.)	0.870	0.910	0.920	0.900	0.930	0.920	0.920	0.920
ความเข้มข้นเอทานอล 13 ml (EXP.)	0.860	0.910	0.900	0.900	0.910	0.930	0.920	0.920
ความเข้มข้นเอทานอล 15 ml (EXP.)	0.870	0.930	0.900	0.910	0.920	0.920	0.920	0.920
ความเข้มข้นเอทานอล 5 ml (MODEL)	1.147	1.151	1.152	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151
ความเข้มข้นเอทานอล 7 ml (MODEL)	1.148	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.152
ความเข้มข้นเอทานอล 9 ml (MODEL)	1.148	1.151	1.152	1.152	1.151	1.151	1.151	1.152
ความเข้มข้นเอทานอล 11 ml (MODEL)	1.148	1.151	1.152	1.152	1.152	1.152	1.152	1.153
ความเข้มข้นเอทานอล 13 ml (MODEL)	1.149	1.152	1.152	1.152	1.152	1.153	1.153	1.154



(ก)

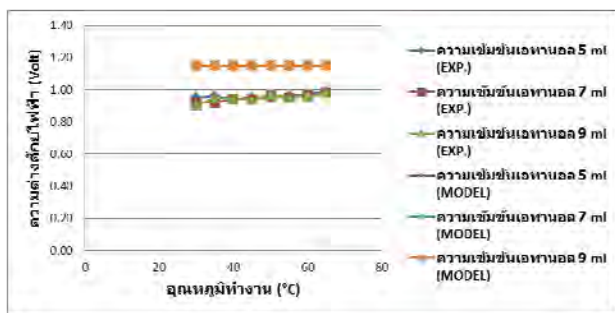


(ข)

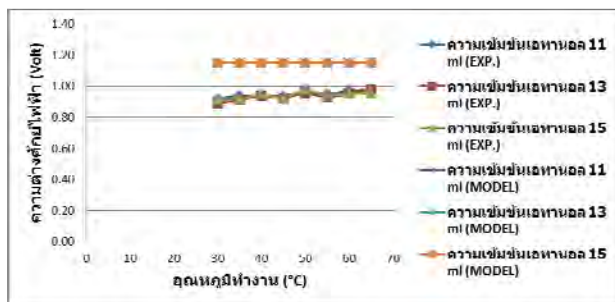
รูปที่ 3 (ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำงานกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับผลการคำนวณ กรณีเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปที่ความเข้มข้น 5 ml, 7 ml และ 9 ml (ข) กรณีเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปที่ความเข้มข้น 11 ml, 13 ml และ 15 ml

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองเทียบกับผลการคำนวณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากรณีเอทานอลผสมกับน้ำประปา

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)								
อุณหภูมิทำงาน (°C)	30	35	40	45	50	55	60	65
ความเข้มข้นเอทานอล 5 ml (EXP.)	0.880	0.880	0.880	0.890	0.880	0.880	0.880	0.880
ความเข้มข้นเอทานอล 7 ml (EXP.)	0.880	0.880	0.880	0.870	0.820	0.880	0.880	0.880
ความเข้มข้นเอทานอล 9 ml (EXP.)	0.870	0.880	0.870	0.870	0.870	0.880	0.880	0.880
ความเข้มข้นเอทานอล 11 ml (EXP.)	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880
ความเข้มข้นเอทานอล 13 ml (EXP.)	0.870	0.870	0.870	0.880	0.880	0.870	0.870	0.870
ความเข้มข้นเอทานอล 15 ml (EXP.)	0.870	0.880	0.870	0.880	0.870	0.880	0.880	0.880
ความเข้มข้นเอทานอล 5 ml (MODEL)	1.149	1.149	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150
ความเข้มข้นเอทานอล 7 ml (MODEL)	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.150	1.150
ความเข้มข้นเอทานอล 9 ml (MODEL)	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.150
ความเข้มข้นเอทานอล 11 ml (MODEL)	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150
ความเข้มข้นเอทานอล 13 ml (MODEL)	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.151	1.151	1.151
ความเข้มข้นเอทานอล 15 ml (MODEL)	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.150	1.150



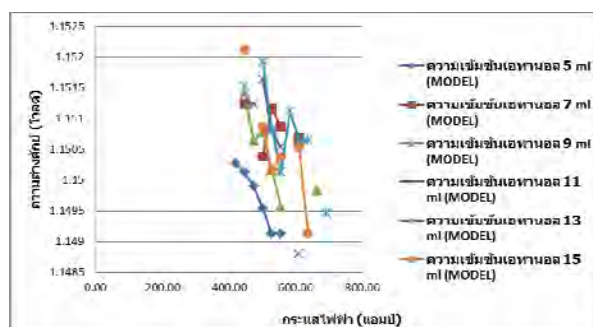
(ก)



(ข)

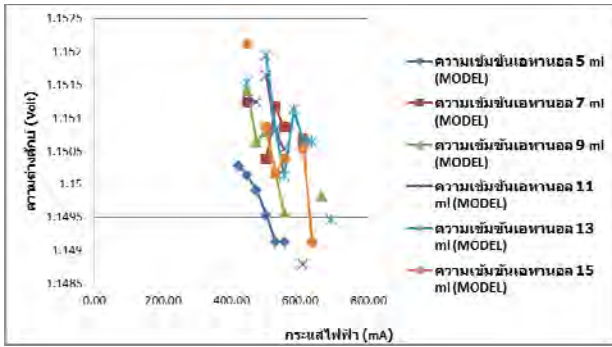
รูปที่ 4 (ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำงานกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับผลการคำนวณ กรณีเอทานอลผสมกับน้ำประปาที่ความเข้มข้น 5 ml, 7 ml และ 9 ml (ข) กรณีเอทานอลผสมกับน้ำประปาที่ความเข้มข้น 11 ml, 13 ml และ 15 ml

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำงานกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับผลการคำนวณกรณีเอทานอลผสมกับน้ำประปาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จะคล้ายกันกับกรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์และเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไป กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณพบว่ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลและอุณหภูมิในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลและอุณหภูมิการผลิตค่าทางไฟฟ้าของชุดเซลล์เชื้อเพลิงนั้นแปรผันตามการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลและอุณหภูมิ โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน โดยการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลและอุณหภูมิ ชุดเซลล์เชื้อเพลิงจะค่อยๆ ทำปฏิกิริยาผลิตค่าทางไฟฟ้าออกมา เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดค่าหนึ่งแล้วก็จะลดลงจนเชื้อเพลิงที่ป้อนหมดไป

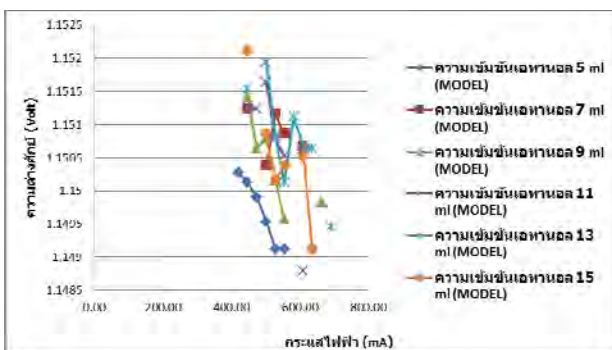


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ กรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 5 ml, 7 ml, 9 ml, 11 ml, 13 ml และ 15 ml ตามลำดับ





รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ กรณีเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปที่ความเข้มข้น 5 ml, 7 ml, 9 ml, 11 ml, 13 ml และ 15 ml ตามลำดับ



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ กรณีเอทานอลผสมกับน้ำประปาที่ความเข้มข้น 5 ml, 7 ml, 9 ml, 11 ml, 13 ml และ 15 ml ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิในรูปที่ 5, 6 และ 7 ซึ่งเป็น แผนภูมิ แสดง ความ สัม พันธ์ ระหว่าง กระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ กรณีเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ น้ำดื่มทั่วไปและน้ำประปา พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงจะแปรผกผันกับความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งสอดคล้องกับสมการของพลังไฟฟ้า  $P = V \times I$  นั่นเอง

## 6. สรุปผล

เมื่อพิจารณาแผนภูมิเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณพบว่า เมื่ออุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากการทดลองจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้มากขึ้น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองก็ยังคงเพิ่มขึ้น และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการคำนวณเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลนั้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยแนวโน้มของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการคำนวณของเอทานอลผสมกับน้ำประปาจะเพิ่มขึ้น 0.20 % เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการคำนวณของเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์จะเพิ่มขึ้น 0.30 % และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการคำนวณของเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปจะเพิ่มขึ้น 0.60 % และเมื่อดูจากแนวโน้มของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองจะพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล 5 ml - 11 ml ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นตามด้วยเช่นกัน การเกิดปฏิกิริยารวมของน้ำจากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปยังขั้วไฟฟ้าหนึ่งของเชื้อเพลิงเอทานอลเกิดขึ้นน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตค่าทางไฟฟ้าของชุดเซลล์เชื้อเพลิงทำได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การผลิตค่าทางไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลมากกว่า 13 ml การผลิตค่าทางไฟฟ้ากลับลดลงเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยารวมของน้ำจากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปยังขั้วไฟฟ้าหนึ่งของเชื้อเพลิงเอทา

นอลทำให้การผลิตค่าทางไฟฟ้าของชุดเซลล์เชื้อเพลิงออกมาไม่มีประสิทธิภาพเท่าใดนัก ทั้งนี้จากกราฟที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในกรณีเอทานอลผสมกับน้ำดื่มทั่วไปหรือน้ำประปาที่ความเข้มข้นใด ๆ จะพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันที่ทุก ๆ อุณหภูมิทำงานซึ่งมีความเป็นไปได้ที่น้ำประปาในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำดื่มที่ผู้ผลิตนำออกมาจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการเปรียบเทียบผลของการทดลองเทียบกับผลการคำนวณทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะเป็นข้อมูลที่ช่วยสนับสนุนในการวิจัยต่อยอดถึงการนำสารละลายเอทานอลที่ผสมกับน้ำประปานี้ไปศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเอทานอลบริสุทธิ์ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงชนิดการเข้าออกของสารเกิดขึ้นอย่างอิสระในระดับต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อำนวยความสะดวกในการจัดเตรียมสถานที่ในการทำงานวิจัยและครอบครัวที่เป็นกำลังใจสำคัญในการทำงานวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

[1] Wongyao N, Therthianwong A, and Therthianwong S. "Performance of Direct Alcohol Fuel Cells Fed with Mixed Methanol/Ethanol Solutions" Energy

Conversion and Management 2011; 52 : 2676-2681.

- [2] Xu Q, Zhao T, Yang W, and R Chen R. "A Flow Field Enabling Operating Direct Methanol Fuel Cells with Highly Concentrated Methanol" International Hydrogen Energy 2011; 36 : 830-838.
- [3] Matsuoka K, Iriyama Y, Abe T, Matsuoka M, and Oguni Z. "Alkaline Direct Alcohol Fuel Cells Using an Anion Exchange Membrane" Journal of Power Sources 2005; 150 : 27-31.
- [4] Saisirirat P. "The Passive Direct Ethanol Fuel Cell Performance Investigation For Applying With The Portable Electronic Devices" IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) 2018; 57-68.
- [5] Nandenha J, Spinacé E.V. "The effect of ethanol concentration on the direct ethanol fuel cell performance and products distribution: A study using a single fuel cell attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy" Journal of Power Sources 253 2014; 392-396.
- [6] มะลิ หุ่นสม "เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มและการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า" สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ครั้งที่ 1 พ.ศ.2555
- [7] Abdullah S, and Kamarudin S.K. "Development of a Conceptual Design Model of a Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC)"

- International Journal of Hydrogen Energy 2015; 119 : 43-48.
- [8] Andreadis G.M, Podias A.K.M, and Tsiakaras P.E. "The Effect of the Parasitic Current on the Direct Ethanol PEM Fuel Cell Operation" Journal of Power Sources 2008; 181 : 214-227.
- [9] Zhu H, and Kee R.J. "A General Mathematical Model for Analyzing the Performance of Fuel-Cell Membrane-Electrode Assemblies" Journal of Power Sources 2003; 117 : 61-74.