การจำลองกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบนำโปรตอนที่ป้อนด้วยเชื้อเพลิงเหลว

นายกฤษกร กล้าหาญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SIMULATION OF PROTON CONDUCTING SOLID OXIDE FUEL CELL FUELLED BY LIQUID FUEL

KRISSAKORN KLAHAN

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบนำโปรตอนที่ป้อนด้วยเชื้อเพลิงเหลว

โดย นายกฤษกร กล้าหาญ
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ
ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

ญาณีพร .....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์)

TEERAPORN .....กรรมการ
(ผศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบนำโปรตอนที่ป้อนด้วยเชื้อเพลิงเหลว
โดย นายกฤษกร กล้าหาญ
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2563
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาการจำลองกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่ป้อนด้วยเชื้อเพลิงเหลวสองชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล โดยใช้โปรแกรม AspenPlus™ เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุด โดยการคำนวณทางไฟฟ้าเคมีพิจารณาศักย์ไฟฟ้าสูญเสีย 3 ชนิด ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี และศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวล และทำการศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ผลการจำลองพบว่าสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมของทั้งสองเชื้อเพลิง คือ อุณหภูมิที่ 1073.15 เคลวิน ความดัน 4 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 12,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิงแตกต่างกัน พบว่าการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Project Title Simulation of Proton Conducting Solid Oxide Fuel Cell Fuelled by Liquid Fuel
By Mr. Krissakorn Klahan
Degree Bachelor of Engineering
Program Chemical Engineering
Year 2020
Advisor Assoc. Prof. Dr. Yaneeporn Patcharavorachot

Abstract

This project studied the performance of direct internal steam reforming proton conducting solid oxide fuel cell (SOFC-H^+) that fueled with different liquid fuels, i.e., methanol and ethanol to determine the operating conditions of SOFC-H^+ that provide maximum SOFC-H^+ electrical efficiency. The electrochemical calculation considers three types of voltage losses, i.e., ohmic, activation, and concentration losses. The effects of operating conditions of direct internal steam reforming SOFC-H^+, i.e., temperature, pressure, and current density on SOFC-H^+ preformance were studied. The simulation results revealed that the optimal operating conditions for both fuels were temperature of 1073.15 K, pressure of 4 atm and a current density of 12,000 A/m^2. When the SOFC-H^+ electrical efficiencies with different fuels were compared, it was found that SOFC-H^+ fueled by ethanol can provide higher efficiency than that by methanol.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนให้การสนับสนุนในทุกด้านจนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์ และ ผศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์ ที่เสนอแนะความคิดเห็นเพิ่มเติม ให้คำแนะนำ ทำให้ปริญญานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้โอกาสศึกษาเล่าเรียนในสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี และคอยให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณทุกท่าน ที่มิได้กล่าวนามในที่นี้ซึ่งมีส่วนช่วยให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คุณงามความดีและประโยชน์อันใดที่เกิดขึ้นจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดามารดา ครูอาจารย์ และทุกท่านที่ข้าพเจ้าได้กล่าวมาข้างต้น

นายกฤษกร กล้าหาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคิดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ฉ

สารบัญรูป.....ช

สัญลักษณ์.....ซ

บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 เซลล์เชื้อเพลิง 4

2.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) 6

2.3 การคำนวณสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง..... 9

2.4 เชื้อเพลิงที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง 13

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 16

บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินการ 18

3.1 แบบจำลองแบบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง 18

3.2 วิธีการจำลองกระบวนการ..... 20

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน..... 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

4.1 ผลของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง 23

4.2 ผลของความดันในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง 25

4.3 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง 27

4.4 สภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ 29

บทที่ 5 สรุปผลการจำลองกระบวนการ 30

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 30

5.2 ข้อเสนอแนะ 30

บรรณานุกรม 31

ภาคผนวก 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองและสภาวะการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง..... 19

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลองกระบวนการที่ภาวะเริ่มต้น 22

ตาราที่ 4.1 ผลของการจำลองกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง อุณหภูมิเท่ากับ 1073.15 เคลวิน ความดันเท่ากับ 4 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 12,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 29

ตารางที่ ก.1 ผลของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....35

ตารางที่ ก.2 ผลของความดันในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....36

ตารางที่ ก.3 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน ความดัน 1 บรรยากาศ.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แบบนำออกซิเจนไอออน8
รูปที่ 2.2 หลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แบบนำโปรตอน..... 9
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง..... ฉ
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอก..... 14
รูปที่ 2.5 การเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยอ้อม 14
รูปที่ 2.6 การเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง 15
รูปที่ 3.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง..... 18
รูปที่ 3.2 แผนผังจำลองกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายใน 21
รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่ความดัน 1 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 24
รูปที่ 4.2 ผลของความดันในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 26
รูปที่ 4.3 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน และความดัน 1 บรรยากาศ..... 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
T	อุณหภูมิ	K
P	ความดัน	atm
R	ค่าคงที่ของแก๊ส	J/mol k
F	ค่าคงที่ฟาราเดย์	C/mol
E^{OCV}	ศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎี	V
E^{0}	ศักย์ไฟฟ้ามาตฐาน	V
V	ศักย์ไฟฟ้าจริง	V
i	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	A/m^2
$i_{0,anode}$	ค่าความหนาแน่นกระแสแลกเปลี่ยนที่ขั้วแอโนด	A/m^2
$i_{0,cathode}$	ค่าความหนาแน่นกระแสแลกเปลี่ยนที่ขั้วแคโทด	A/m^2
$\tau_{eletrolyte}$	ความหนาของอิเล็กโทรไลต์	m
$\sigma_{eletrolyte}$	ค่าการนำไอออนของวัสดุอิเล็กโทรไลต์	Ω/m
$k_{electrode}$	ค่าคงที่ pre-exponential สำหรับไฟฟ้าเคมี	A/m^2
$E_{eletrode}$	ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี	J/mol
p_i^l	ความดันย่อยขององค์ประกอบ i ณ บริเวณที่เกิดปฏิกิริยา	atm
p_i	ความดันย่อยขององค์ประกอบ i	atm
$D_{an,eff}$	สัมประสิทธิ์การแพร่จริงของแก๊สที่ขั้วแอโนด	m^2/s
$D_{ca,eff}$	สัมประสิทธิ์การแพร่จริงของแก๊สที่ขั้วแคโทด	m^2/s
P_w	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า	W/m^2
α	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนประจุ	
n	จำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกถ่านโอน	
ε_{SOFC-H^+}	ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง	%
A_{cell}	พื้นที่ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ขั้วอิเล็กโทรดสัมผัสกับสารตั้งต้น	m^2
$\dot{n}_{Fuel_{in}}$	อัตราการไหลเชิงโมลของเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง	Kmol/hr
LHV_{Fuel}	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	J/mol
η_{ohm}	ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า	V
η_{act}	ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี	V
η_{conc}	ศักย์ไฟฟ้าฟ้าสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวล	V
S/C	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำเหนือวิกฤตต่อคาร์บอน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

ที่มาและความสำคัญ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการผลิตพลังงานในปัจจุบันก่อให้เกิดการปลดปล่อยแก๊สมลพิษ เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ออกสู่ชั้นบรรยากาศจนนำไปสู่ปัญหาโลกร้อน ดังนั้นจึงควรพิจารณาการผลิตพลังงานทางเลือกใหม่ที่ช่วยลดปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ โดยเซลล์เชื้อเพลิงก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่มีความน่าสนใจ โดยเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สไฮโดรเจน และพลังงานไฟฟ้าออกมาโดยไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงมีการปลดปล่อยมลพิษออกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณที่ต่ำมาก ซึ่งเป็นจุดเด่นสำคัญที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเหมาะสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางเลือกใหม่ในอนาคต [1]

ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิดโดยแบ่งตามชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ เมื่อทำการพิจารณาจุดเด่นของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดแล้วพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) เหมาะสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าที่นำมาใช้ทั้งในภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรมมาก เนื่องจากเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานที่อุณหภูมิสูง (600 - 1000 องศาเซลเซียส) ทำให้ประสิทธิภาพที่ได้นั้นสูงเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายชนิด และยังไม่จำเป็นต้องใช้โลหะราคาแพงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [2,3] สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งนั้นสามารถใช้อิเล็กโทรไลต์ได้สองแบบ คือ อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำออกซิเจนไอออน (Oxygen ion conducting electrolyte) ซึ่งมีค่าการนำไอออนที่ดีในช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ 800 องศาเซลเซียส ทำให้มีเสถียรภาพทางเคมีสูงและมีความต้านทานต่ำ และอิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำโปรตอน (Proton conducting electrolyte) ซึ่งจะนำไอออนได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิในช่วงที่ต่ำลงมาในช่วง 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส ทำให้วัสดุที่ใช้มีราคาที่ถูกลง ในโครงงานนี้เลือกศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอน เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนจะได้น้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาที่ขั้วแคโทด น้ำจึงไม่ไปเจือจางความเข้มข้นของเชื้อเพลิงไฮโดรเจน ทำให้มีค่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีที่สูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำออกซิเจนไอออน [3]

เนื่องจากการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนั้นมีปัญหาการขนส่ง เพราะการขนส่งไฮโดรเจนในรูปแบบของเหลวจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำหรือความดันสูงซึ่งใช้พลังงานในปริมาณมาก ซึ่งตามมาด้วยค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นจึงพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นมาแทนแก๊สไฮโดรเจน โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เชื้อเพลิงที่นำมาใช้ควรมีความเหมาะสมแก่การเปลี่ยนรูปภายในเซลล์เชื้อเพลิง (Internal reforming) และเชื้อเพลิงสามารถเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สไฮโดรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ราคาถูก หาได้ง่ายในประเทศ และง่ายต่อการจัดเก็บและขนส่ง โดยในโครงงานนี้สนใจศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง (Direct internal reforming in proton conducting solid oxide fuel cell, DIR-SOFC-H^+) ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวสองชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล และมุ่งเน้นที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่มีการเปลี่ยนรูปภายในเมื่อใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน เพื่อให้ทราบถึงชนิดของเชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมต่อการดำเนินงานของเชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่มีการเปลี่ยนรูปภายใน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวสองชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ออกแบบแบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus™

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวสองชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล และพิจารณาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าเมื่อใช้เชื้อเพลิงเหลวที่แตกต่างกัน

1.3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่ป้อนด้วยเชื้อเพลิงเหลวสองชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถออกแบบแบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus™ ได้

1.4.2 ทราบถึงสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อใช้เชื้อเพลิงเหลวเป็นสารป้อน

1.4.3 ทราบถึงชนิดของเชื้อเพลิงเหลวที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์เชื้อเพลิง

2.1.1 เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลง (Fuel cell) เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจะดำเนินการผ่านกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า จากการแปลงพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งเป็นจุดเด่นของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำให้มีการปลดปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณต่ำ ในเซลล์เชื้อเพลิงหนึ่งหน่วยจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ขั้วแอโนด (Anode) ขั้วแคโทด (Cathode) และ อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สำหรับสารตั้งต้นในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ เชื้อเพลิง และสารออกซิแดนท์ โดยเชื้อเพลิงที่นิยมใช้จะเป็นแก๊สไฮโดรเจน และสารออกซิแดนท์จะเป็นออกซิเจนหรืออากาศ โดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขึ้นแล้วจะได้กระแสไฟฟ้าและน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ [1,2]

2.1.2 ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง

ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงมีหลายประเภท โดยการแบ่งประเภทจะขึ้นอยู่กับชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.1.2.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแรกที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้อย่างแพร่หลายในเทคโนโลยีด้านอวกาศในตอนแรก โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ผสมกับน้ำเป็นอิเล็กโทรไลต์ ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นนิเกิล แต่เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ไวต่อการเสื่อมสภาพจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แม้แต่คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพียงเล็กน้อยก็สามารถเข้าไปละลายในอิเล็กโทรไลต์ ทำให้ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนต่ำลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งหน่วยแยกแก๊สเพื่อทำให้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเซลล์มีความบริสุทธิ์ โดยเซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์ทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส [1,3,4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนใช้วัสดุโพลิเมอร์เป็นชั้นของอิเล็กโทรไลต์ โดยทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านไอออนของโปรตอน ซึ่งทำให้โปรตอนสามารถแพร่ผ่านจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดได้เท่านั้น เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักเบาและขนาดเล็ก จึงเหมาะกับการนำไปใช้ในยานพาหนะหรืออุปกรณ์พกพา [1,3,4]

2.1.2.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริกใช้กรดฟอสฟอริกเป็นอิเล็กโทรไลต์บรรจุในวัสดุคาร์ไบด์ซิลิคอน และขั้วอิเล็กโทรดทำจากคาร์บอนที่ผสมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม มีความทนทานต่อสิ่งสกปรกในเชื้อเพลิงฟอสซิล ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าอย่างเดียวประมาณ 37-42 เปอร์เซ็นต์ แต่หากนำความร้อนกลับมาใช้จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ทำงานที่อุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส ถือเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ทันสมัยและทนทานสุด เป็นเซลล์เชื้อเพลิงแรกที่ใช้ในที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ [1,3,4]

2.1.2.4 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)

เซลล์เชื้อเพลงชนิดออกไซด์ของแข็งใช้วัสดุแข็งประเภทเซรามิกที่ไม่มีรูพรุนเป็นอิเล็กโทรไลต์ทำให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุประกอบเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งคุณสมบัติการทดต่อการกัดกร่อนนี้ทำให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย เช่น แก๊สธรรมชาติ แก๊สชีวภาพ และแก๊สที่มาจากถ่านหิน โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 600-1000 องศาเซลเซียส ซึ่งการทำงานที่อุณหภูมิสูงทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ไว ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาตระกูลโลหะซึ่งมีราคาแพง และยังสามารถนำความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์อื่นต่อได้ เช่น การนำไปผลิตไฟฟ้าต่อ หรือนำมาใช้ในระบบได้อีกครั้ง [1,3,4]

2.1.2.5 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลวใช้เกลือคาร์บอเนตหลอมเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กับขั้วอิเล็กโทรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทั่วไป เช่น นิกเกิล ทำให้มีต้นตุนต่ำ กำลังได้รับการพัฒนาสำหรับโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติและถ่านหินเพื่อการใช้งานด้านไฟฟ้าอุตสาหกรรมและการทหาร โดยประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลวอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประมาณ 37-42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรวมกับกังหันไอน้ำประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 65เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำความร้อนกลับไปใช้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ทำงานที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส [1,3,4]

2.1.3 ข้อดีของการใช้เซลล์เชื้อเพลิง

1) เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงกว่าการผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการทั่วไปที่ใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิล (เช่น น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน) โดยทั่วไปประสิทธิภาพจะอยู่ที่ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ [4]

2) เซลล์เชื้อเพลิงถือว่าเป็นอุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้าพลังงานสะอาดสูงเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการทั่วไป เนื่องจากผลผลิตที่ได้จะมีเพียงไฟฟ้า ความร้อน และ น้ำ นอกจากกนี้ยังลดการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ได้ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน [5]

3) เซลล์เชื้อเพลิงมีเสียงขณะทำงานที่เงียบกว่าโรงผลิตไฟฟ้าแบบอื่น [6]

4) หากเทียบขนาดกับประสิทธิภาพที่ได้ เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบตเตอรี่ที่ขนาดเท่ากัน [4]

2.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)

เมื่อเปรียบเทียบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก โดยในหัวนี้ได้รวบรวมข้อดีและข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง รวมถึงหลักการทำงาน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งมีข้อดี ดังนี้

1) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไว จึงไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะมีตระกูลซึ่งมีราคาแพง ทำให้ลดต้นทุนตรงนี้ไปได้

2) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งมีประสิทธิภาพการทำงานสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งดำเนินงานที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถนำความร้อนที่เกิดขึ้นมาใช้ในหน่วยปฏิบัติการอื่นในระบบได้อีก ซึ่งถ้านำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์จะทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นถึง 80-90 เปอร์เซ็นต์ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งใช้ออกไซด์แข็งเป็นอิเล็กโทรไลต์ จึงมีความทนทานต่อการกัดกร่อน และยังป้องกันการแพร่ของเชื้อเพลิงจากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปอีกขั้วไฟฟ้าหนึ่งได้ด้วย

4) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณมากถึง 1-2 เมกะวัตต์ [4]

5) เนื่องจากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่สูงของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ทำให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย เพราะเชื้อเพลิงสามารถเกิดการเปลี่ยนรูปภายใน (Internal reforming) เซลล์เชื้อเพลิงได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องนำเชื้อเพลิงมาเปลี่ยนรูปในเครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอก (External reformer)

อย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งก็มีข้อเสียอยู่บ้าง ดังนี้

1) เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งดำเนินงานที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้วัสดุเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย ซึ่งวัสดุที่ใช้ภายใต้อุณหภูมิสูงมีราคาแพง

2) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งจำเป็นต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นดำเนินงานนานกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น

2.2.2 หลักการทำงาน [5]

โดยทั่วไปเซลล์เชื้อเพลิงจะประกอบไปด้วยหน่วยย่อยหลายๆหน่วยรวมกัน โดยในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งหนึ่งหน่วยจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก คือ

2.2.2.1 ขั้วแอโนด (Anode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุลบกับเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเข้าไปยังขั้วแอโนดแล้วจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และได้อิเล็กตรอนออกมา โดยอิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกวิ่งเข้าสู่ขั้วแคโทด

2.2.2.2 ขั้วแคโทด (Cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุบวก (รับอิเล็กตรอน) กับเซลล์เชื้อเพลิง โดยเมื่อรับอิเล็กตรอนที่วิ่งมาจากวงจรไฟฟ้าภายนอก จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ให้ไอออนเพื่อทำปฏิกิริยาต่อไป

2.2.2.3 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ทำหน้าที่คอยอมให้ไอออนประจุบวกหรือประจุลบเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปอีกขั้วหนึ่ง สำหรับประเภทของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ใช้แบ่งได้ 2 ประเภท

1) อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำออกซิเจนไอออน (Oxygen ion conducting electrolyte) จากหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำออกซิเจนไอออนดังรูปที่ 2.1 จะเริ่มจากการป้อนแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในช่องทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การไหลของเชื้อเพลิงฝั่งขั้วแอโนด และป้อนแก๊สออกซิเจน (หรืออากาศ) ฝั่งขั้วแคโทด แก๊สไฮโดรเจนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนไอออน ได้น้ำและอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนจะไหลผ่านวงจรภายนอกจากขั้วแอโนดไปขั้วแคโทดและได้กระแสไฟฟ้าออกมา ในขณะเดียวกันออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ออกซิเจนไอออน โดยที่ไอออนจะวิ่งผ่านอิเล็กโทรไลต์จากขั้วแคโทดไปขั้วแอโนด จากรูปที่ 2.1 เห็นได้ว่าน้ำจะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขั้วแอโนด ซึ่งส่งผลให้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนนั้นถูกเจือจาง และทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าลดลง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้วแอโนดและแคโทด และปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิง เป็นดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ขั้วแอโนด)

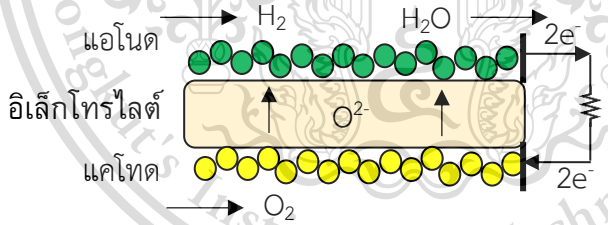
$$H_2 + O^{2-} \longrightarrow H_2O + 2e^- \tag{2.1}$$

ปฏิกิริยารีดักชัน (ขั้วแคโทด)

$$\frac{1}{2}O_2 + 2e^- \longrightarrow O^{2-} \tag{2.2}$$

ปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิง

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.1 หลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แบบนำออกซิเจนไอออน

2) อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำโปรตอน (Proton conducting electrolyte) สำหรับหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แบบนำโปรตอนดังแสดงในรูปที่ 2.2 เชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าทางด้านขั้วแอโนด และแก๊สออกซิเจน (หรืออากาศ) จะถูกป้อนเข้าทางด้านขั้วแคโทดเช่นเดียวกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แบบนำออกซิเจนไอออน แต่สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แบบนำโปรตอน เมื่อแก๊สไฮโดรเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะได้อิเล็กตรอนและโปรตอนออกเป็นผลิตภัณฑ์ โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกไฟที่ขั้วแคโทด ในขณะเดียวกันโปรตอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วแคโทด เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น (กระแสตรง) โดยทางด้านขั้วแคโทด โปรตอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

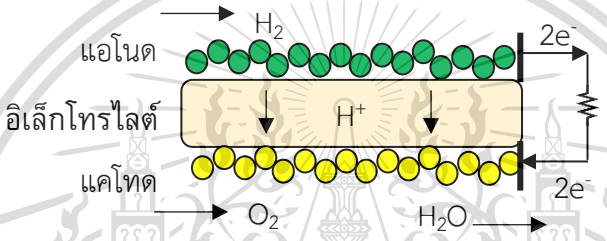
อิเล็กตรอนเกิดเป็นน้ำขึ้น สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด จะเป็นไปตามสมการที่ (2.4) และ (2.5) ส่วนปฏิกิริยารวมเป็นไปดังสมการที่ (2.3) จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้น้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นทางด้านขั้วแคโทด จึงไม่ทำให้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนนั้นถูกเจือจางลง โดยเมื่อเชื้อเพลิงไฮโดรเจนมีความเข้มข้นที่สูง จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นสูงไปด้วย

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ขั้วแอโนด)

$$H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^- \tag{2.4}$$

ปฏิกิริยารีดักชัน (ขั้วแคโทด)

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O \tag{2.5}$$



รูปที่ 2.2 หลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แบบนำโปรตอน

2.3 การคำนวณสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง [5]

2.3.1 ศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎี (Theoretical potential หรือ Open-circuit voltage, E^{OCV})

เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าขณะยังไม่ได้จ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบนำโปรตอนจะทำได้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.7)

$$E^{OCV} = E^0 + \frac{RT}{2F}\ln\left(\frac{p_{H_2}p_{O_2}^{0.5}}{p_{H_2O}}\right) \tag{2.6}$$

โดย E^0 คือ ศักย์ไฟฟ้ามาตฐาน มีหน่วย โวลต์ หาได้จากสมการ

$$\mathrm{E^0} = 1.253 - 2.4516\mathrm{x}10^{-4}\mathrm{T} \tag{2.7}$$

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 8.314 จูล โมล$^{-1}$ เคลวิน$^{-1}$

T คือ อุณหภูมิในการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิง มีหน่วย เคลวิน

F คือ ค่าคงที่ฟาราเดย์ มีค่าเท่ากับ 9.6485x10^{-4} คูลอมบ์ โมล$^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 ศักย์ไฟฟ้าจริง (Actual voltage หรือ Operating voltage, V)

ศักย์ไฟฟ้าจริงจะมีค่าต่ำกว่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีเสมอ เนื่องจากเกิดความต้านทานภายในและศักย์ไฟฟ้าสูญเสียภายในเซลล์เชื้อเพลิง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.8)

$$V = E^{OCV} - (\eta_{ohm} + \eta_{act} + \eta_{conc}) \quad (2.8)$$

โดยค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียภายในเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า (η_{ohm}) คือ การสูญเสียเนื่องจากเกิดความต้านทานการไหลของไอออนภายในอิเล็กโทรไลต์ ดังสมการที่ (2.9)

$$\eta_{ohm} = i\frac{\tau_{eletrolyte}}{\sigma_{eletrolyte}} \quad (2.9)$$

โดย i คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า มีหน่วย แอมแปร์ ตารางเมตร$^{-1}$

$\tau_{eletrolyte}$ คือ ความหนาของอิเล็กโทรไลต์ มีหน่วย เมตร

$\sigma_{eletrolyte}$ คือ ค่าการนำไอออนของวัสดุอิเล็กโทรไลต์ มีหน่วย โอห์ม$^{-1}$ เมตร$^{-1}$

2) ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (η_{act}) คือ การสูญเสียจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีบริเวณผิวของขั้วไฟฟ้า เมื่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยามีพลังงานสูงกว่าพลังงานกระตุ้น จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10)

$$i = i_{0,electrode}\left[exp\left(\frac{\alpha nF}{RT}\eta_{act,eletrode}\right) - exp\left(-\frac{(1-\alpha)nF}{RT}\eta_{act,eletrode}\right)\right] \quad (2.10)$$

โดย α คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนประจุ

n คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกถ่านโอน

$i_{0,electrode}$ คือ ค่าความหนาแน่นกระแสแลกเปลี่ยน มีหน่วย แอมแปร์ ตารางเมตร$^{-1}$

โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.11)

$$i_{0,electrode} = \frac{RT}{nF}k_{electrode}exp\left(-\frac{E_{eletrode}}{RT}\right) \quad (2.11)$$

โดยที่ electrode คือ anode หรือ cathode

$k_{electrode}$ คือ ค่าคงที่ pre-exponential สำหรับไฟฟ้าเคมี มีหน่วย แอมแปร์ ตารางเมตร$^{-1}$

$E_{eletrode}$ คือ ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี มีหน่วย จูล โมล$^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) ศักย์ไฟฟ้าฟ้าสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวล (η_{conc}) คือ การสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวลสารผ่านอิเล็กโทรดที่มีรูพรุน ทำให้ความเข้มข้นของสารในช่องทางการไหลของแก๊สภายในเซลล์เชื้อเพลิงและบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เป็นผิวสัมผัสระหว่างสารตั้งต้น อิเล็กโทรไลต์ และขั้วอิเล็กโทรดแตกต่างกัน สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.12)

$$\eta_{conc} = \frac{RT}{2F}\ln\left(\frac{p_{H_2}}{p^I_{H_2}}\right) + \frac{RT}{2F}\ln\left(\left(\frac{p_{O_2}}{p^I_{O_2}}\right)^{0.5} + \frac{p^I_{H_2O}}{p_{H_2O}}\right) \quad (2.12)$$

โดยที่ค่าความดันย่อยของไฮโดรเจน ออกซิเจน และน้ำ บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรดคำนวณได้ตามสมการ (2.13) – (2.15) ตามลำดับ

$$p^I_{H_2} = P - (P - p_{H_2(an)})exp\left(\frac{RT\tau_{an}}{2FD_{an,eff}P}i\right) \quad (2.13)$$

$$p^I_{O_{2(ca)}} = p_{O_2(ca)} - \frac{RT\tau_{ca}}{2FD_{ca,eff}}i \quad (2.14)$$

$$p^I_{H_2O_{(ca)}} = p_{H_2O(ca)} + \frac{RT\tau_{ca}}{4FD_{ca,eff}}i \quad (2.15)$$

โดยที่ P คือ ความดัน มีหน่วย บรรยากาศ

p^I_i คือ ความดันย่อยขององค์ประกอบ i ที่ผิวสัมผัสระหว่างเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรด มีหน่วย บรรยากาศ

$D_{an,eff}$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่จริงของแก๊สที่ขั้วแอโนด มีหน่วย ตารางเมตร วินาที$^{-1}$

$D_{ca,eff}$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่จริงของแก๊สที่ขั้วแคโทด มีหน่วย ตารางเมตร วินาที$^{-1}$

2.3.3 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power density, P_w)

ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า คือ ผลคูณระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$P_w = iV \tag{2.16}$$

โดย i คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า มีหน่วย แอมแปร์ ตารางเมตร $^{-1}$

V คือ ศักย์ไฟฟ้าจริง มีหน่วย โวลต์

2.3.4 ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง (SOFC-H$^+$ electrical efficiency, ε_{SOFC-H^+})

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นการบอกถึงความสามารถของเซลล์เชื้อเพลิงในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีแก๊สเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.17)

$$\varepsilon_{SOFC-H+} = \frac{iVA_{cell}}{\left(\dot{n}_{Fuel_{in}} LHV_{Fuel}\right)} \times 100\% \tag{2.17}$$

โดย A_{cell} คือ พื้นที่ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ขั้วอิเล็กโทรดสัมผัสกับสารตั้งต้น มีหน่วย ตารางเมตร

$\dot{n}_{Fuel_{in}}$ คือ อัตราการไหลเชิงโมลของเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง มีหน่วย กิโลโมล ชั่วโมง$^{-1}$

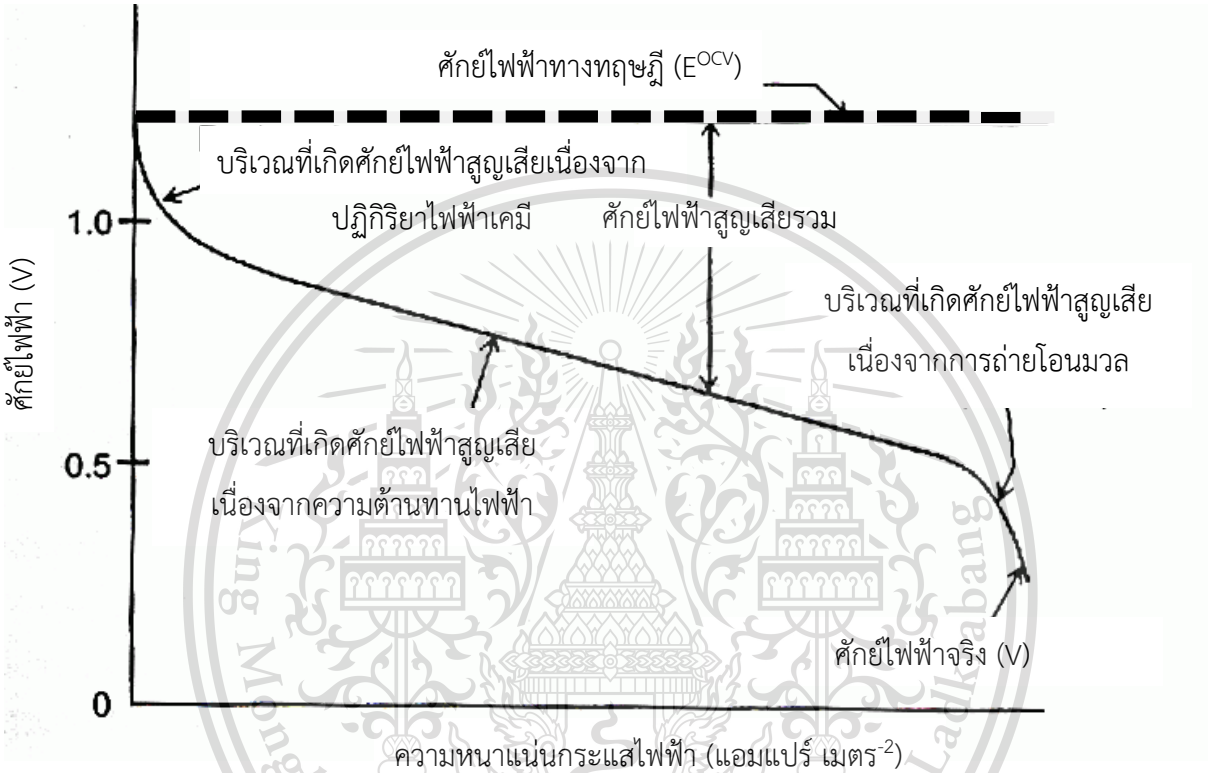
LHV_{Fuel} คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง มีหน่วย จูล โมล$^{-1}$

2.3.5 กราฟสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง

การพิจารณาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถพิจารณาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสามารถสร้างได้จากการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงหรือการคำนวณจากหัวข้อก่อนหน้าที่ได้กล่าวไปแล้ว จากรูปที่ 2.3 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าได้ว่า เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด ค่าศักย์ไฟฟ้าจริงจะลดลงจากค่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีเนื่องจากมีการสูญเสียศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ โดยที่ค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียแต่ละชนิดจะมีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าจริง และจะมีผลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า โดยในช่วงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำๆ ค่าศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจะมีผลมากที่สุด เนื่องจากต้องมีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ในขณะที่ช่วงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากลางๆผลของค่าศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าจะเด่นขึ้นมา เนื่องจากเมื่ออิเล็กตรอนไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดและไอออนไหลผ่านอิเล็กโทรไลต์แล้วจะเกิดความต้านทานทางไฟฟ้าในขั้วอิเล็กโทรดและเกิดความต้านทานการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไหลของไอออนในอิเล็กโทรไลต์ ส่วนในช่วงความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงๆ ค่าศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากการถ่ายโอนมวลสารผ่านอิเล็กโทรดที่มีรูพรุนจะมีผลสำคัญขึ้นมา เนื่องจากมีความแตกต่างกันของความเข้มข้นของสารในช่องทางการไหลของแก๊สภายในเซลล์เชื้อเพลิงและบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ผิวรอยต่อระหว่างอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรด



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง [5]

2.4 เชื้อเพลิงที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง

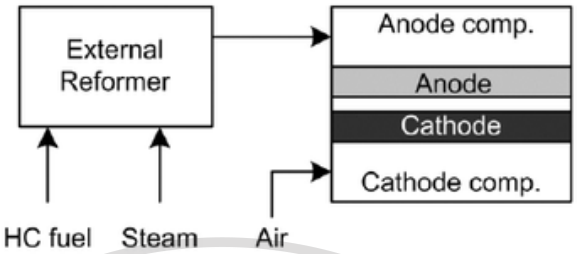
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งมีข้อดีที่เหนือกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นตรงที่สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย เนื่องจากการดำเนินงานที่อุณหภูมิสูงทำให้เชื้อเพลิงสามารถเกิดการเปลี่ยนรูปภายในเซลล์เชื้อเพลิงได้ โดยไม่จำเป็นต้องนำเชื้อเพลิงมาเปลี่ยนรูปในเครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอก ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงอธิบายเกี่ยวกับรูปแบบการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และยกตัวอย่างขนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ได้ในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง [2]

2.4.1 การดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน

2.4.1.1 การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอก (External reformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การดำเนินการในลักษณะนี้จะมีเครื่องรีฟอร์มเมอร์แยกออกจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปจะมีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องรีฟอร์มเมอร์ก่อน โดยภายในเครื่องรีฟอร์มเมอร์จะเกิดการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจน จากนั้นจะนำแก๊สที่ได้ป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง [7]



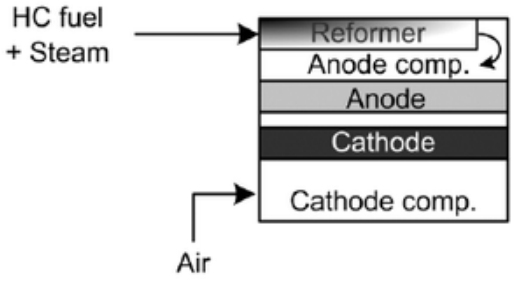
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอก [7]

2.4.1.2 การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงภายในเซลล์เชื้อเพลิง (Internal reformer)

เนื่องจากอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงของเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นในช่วง 600-1000 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิเดียวกับการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ทำให้ปฏิกิริยารีฟอร์มมิงสามารถเกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงได้เลยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอก ซึ่งการเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

(1) การเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยอ้อม (Indirect internal reforming)

สำหรับการเกิดรีฟอร์มมิงของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยอ้อม บริเวณการเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงจะติดอยู่กับตัวเซลล์เชื้อเพลิงบริเวณขั้วแอโนด แสดงดังรูปที่ 2.5 ข้อเสียคือเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนจะเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนได้น้อยกว่าการเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง แต่ข้อดีคือไม่มีการกระทบกันทางกายภาพโดยตรงของบริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงกับส่วนช่องการไหลของเชื้อเพลิง [7]

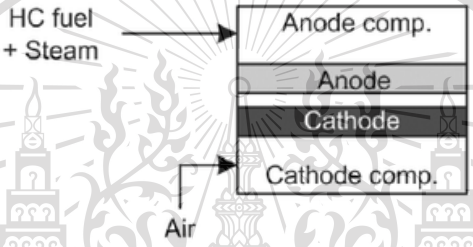


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.5 การเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยอ้อม [7]

(2) การเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง (Direct internal reforming)

รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดรีฟอร์มมิงของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง ซึ่งเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าไปยังขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง และปฏิกิริยารีฟอร์มมิงจะเกิดที่ขั้วแอโนดภายในเซลล์เชื้อเพลิง ข้อดีคือสามารถนำความร้อนจากปฏิกิริยามาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีนั้นก็สามารถนำมาใช้ในปฏิกิริยารีฟอร์มมิงได้โดยตรงอีกด้วย และนอกจากนี้ยังมีการใช้ไฮโดรเจนอย่างต่อเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ส่งผลให้ค่าการเปลี่ยน (Conversion) ของเชื้อเพลิงสูงขึ้น เนื่องจากสมดุลเคมีของปฏิกิริยารีฟอร์มมิงของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนถูกเลื่อนไปทางด้านผลิตภัณฑ์มากขึ้น ไฮโดรเจนที่ได้จึงมากขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยารีฟอร์มมิงยังเป็นสามารถนำมาใช้ควบคุมอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงได้อีกด้วย [4,6]



รูปที่ 2.6 การเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง [7]

จากรูปแบบการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนข้างต้น สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียได้ ดังนี้

1) การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงโดยเครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอกนั้นจะช่วยลดการสะสมของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา [7]

2) การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากระบบมาใช้มากขึ้น และปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จะมีปริมาณมากกว่า [4,6]

2.4.2 เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง

โดยทั่วไปไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากเชื้อเพลิงที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงหมุนเวียน โดยเชื้อเพลิงที่มีความน่าสนใจมีดังนี้

2.4.2.1 เมทานอล (Methanol) เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) มีสูตรเคมี คือ CH_3OH เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ เป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากกระบวนการการกลั่นปิโตรเคมี เนื่องจากเมทานอลมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง จึงง่ายต่อการขนส่งและมีราคาไม่สูง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2.2 เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) สูตรเคมี คือ C_2H_5OH เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงเหลวประเภทแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากวัตถุดิบที่ได้จากการเกษตรหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงมีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีความปลอดภัยกว่าเมทานอล และมีความหนาแน่นของพลังงานมากกว่าเมทานอลด้วย [8]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Operation of a solid oxide fuel cell under direct internal reforming of liquid fuels [9]

P. Leonec และคณะ (2012) ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ที่มีการเกิดรีฟอร์มมิงของเชื้อเพลิงเหลวภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง โดยใช้แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ซึ่งใช้เชื้อเพลิงเป็นเมทานอลและเอทานอลตามลำดับ โดยในการทดลองจะมีการนำข้อมูลการดำเนินการผลิตของทั้งสองเชื้อเพลิงไปเปรียบเทียบการทำงานกับโรงไฟฟ้าทั่วไปที่ใช้มีเทนเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาการระเหยภายในหรือภายนอกของเชื้อเพลิงเหลวรวมทั้งการอุ่นเชื้อเพลิงเหลวด้วย สำหรับค่า lower heating value ประสิทธิภาพการแปลงเป็นไฟฟ้าของมีเทน เมทานอล และเอทานอล มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 51 ถึง 56 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้อสรุปของการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานแบบการเกิดรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง เมทานอลนั้นสามารถเปลี่ยนได้ง่ายทั้งอุณหภูมิ 800 และ 1000 องศาเซลเซียส เมื่อป้อนไปยังนิเกิลแอโนด แต่เอทานอลนั้นเหมาะกับการดำเนินงานที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

2.5.2 Operation of solid oxide fuel cells with alternative hydrogen carriers [10]

A. Hagen และคณะ (2019) ศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นแอมโมเนียและแก๊สชีวภาพ โดยแบบจำลองการคำนวณทางอุณหพลศาสตร์จากโปรแกรม FactSage จากการศึกษาพบว่าแอมโมเนียและแก๊สชีวภาพมีความเหมาะสมแก่การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงจริง แม้ไม่ได้มีการปรับพารามิเตอร์ใดก็ตาม แต่ประสิทธิภาพนั้นอยู่ที่ 40-50 เปอร์เซ็นต์และยังมีความเสถียรอีกด้วย

2.5.3 Analysis and performance assessment of NH_3 and H_2 fed SOFC with proton-conducting electrolyte [11]

Y. Kalinci และ I. Dincer (2017) ศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบที่อิเล็กโทรไลต์มีความสามารถในการนำโปรตอน โดยใช้แบบจำลองสภาวะคงตัวหนึ่งมิติ ควบคู่กับแบบจำลองทางเคมีไฟฟ้าอย่างละเอียด ซึ่งใช้เชื้อเพลิงเป็นไฮโดรเจนและแอมโมเนียและเกิดรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยตรง ในงานนี้ได้ทำการศึกษาผลของการปฏิรูปของแอมโมเนียและผลกระทบของพารามิเตอร์การดำเนินงานบางตัว เช่น ค่าความดันที่ใช้ อุณหภูมิ และการใช้สารออกซิแอนท์ สำหรับความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดคำนวณได้เป็น 3212 และ 3113 วัตต์/ตารางเมตร ที่ 1073 เควิน ที่ 1 ความดันบรรยากาศ สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรเจนและแอมโมเนียตามลำดับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงไฮโดรเจนให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแอมโมเนีย แต่ที่ความดันบางส่วนเหมือนกัน

2.5.4 Simulation of a tubular solid oxide fuel cell stack using Aspen Plus™ unit operation models [12]

W. Zhang และคณะ (2005) วิเคราะห์ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน กังหันไอน้ำ และระบบโคเจนเนอเรชั่นวัฏจักรล่าง เป็นต้น โดยการวิเคราะห์ระบบดังกล่าว จะใช้โปรแกรม Aspen Plus™ แม้ว่าในโปรแกรม Aspen Plus™ จะไม่มีโมเดลของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบสแต็กพื้นฐาน โดยในงานวิจัยนี้ได้ได้มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้ฟังก์ชันและแบบจำลองของหน่วยปฏิบัติการ (Unit operation models) ที่มีอยู่โปรแกรม Aspen Plus™ เพื่อมาเป็นตัวแทนในการคำนวณประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแทนโปรแกรมอื่น โดยผลการนำ Aspen Plus™ มาวิเคราะห์นั้นสามารถวิเคราะห์รายละเอียดทางอุณหพลศาสตร์และตัวแปรของการดำเนินงานได้อย่างง่ายดาย โดยแบบจำลองนี้ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลประสิทธิภาพที่มีการเผยแพร่ จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์มีค่าสูงสุด 52 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง มีค่า 0.85 นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ขั้วบวกด้วย

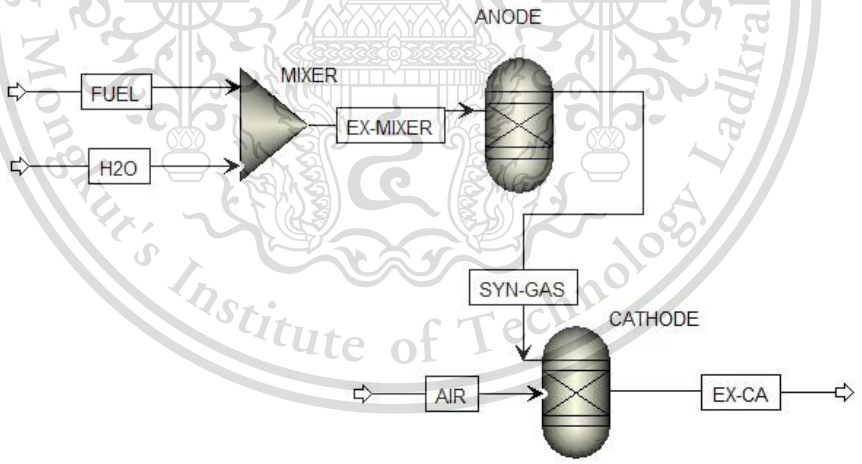
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีการดำเนินการ

โครงการนี้สนใจศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวต่างชนิดกันสามชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus™ เพื่อศึกษาผลสภาวะการดำเนินงานและการใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อพลิง โดยในหัวข้อที่ 3.1 แสดงรายละเอียดแบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง และในหัวข้อที่ 3.2 จะแสดงถึงวิธีการจำลองกระบวนการ

3.1 แบบจำลองแบบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 3.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองและสภาวะการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง

หน่วยปฏิบัติการ	แบบจำลอง	สภาวะการดำเนินงาน	
		มาตรฐาน	ช่วงที่ศึกษา
MIXER	Mixer	1 บรรยากาศ	1 - 4 บรรยากาศ
ANODE	RGibbs reactor	973.15 เคลวิน 1 บรรยากาศ	873.15 – 1073.15 เคลวิน 1 - 4 บรรยากาศ
CATHODE	RGibbs reactor	973.15 เคลวิน 1 บรรยากาศ	873.15 – 1073.15 เคลวิน 1 - 4 บรรยากาศ

3.1.1 สารตั้งต้น

สารตั้งต้นซึ่งประกอบด้วยเชื้อเพลิงเหลวและไอน้ำ ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องให้ความร้อน (Heater) เพื่อทำการปรับอุณหภูมิให้มีสภาวะที่ต้องการก่อนเข้าไปทำปฏิกิริยาต่อไปที่เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอน โดยในโครงงานนี้จะศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อใช้เชื้อเพลิงเหลว 2 ชนิด คือ เมทานอล และเอทานอล ซึ่งในแต่ละการศึกษาจะพิจารณาว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์โดยโมล

3.1.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง

เมื่อของผสมระหว่างเชื้อเพลิงเหลวและไอน้ำถูกป้อนเข้าทางขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอน จะเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงของเชื้อเพลิงเหลว โดยเมื่อเมทานอล และเอทานอลถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง ก็จะเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำของเมทานอล และเอทานอล ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$CH_3OH + H_2O \longleftrightarrow CO_2 + 3H_2 \quad (3.1)$$

$$C_2H_5OH + 3H_2O \longleftrightarrow 2CO_2 + 6H_2 \quad (3.2)$$

โดยขั้วแอโนดจะถูกจำลองโดยใช้แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์ RGibbs จากนั้นแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีฟอร์มมิงที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีกับออกซิเจนในอากาศที่ป้อนเข้าทางขั้วแคโทด และเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบนำโปรตอนมีน้ำเกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขั้วแคโทด ดังนั้นที่ ขั้วแคโทดจะใช้แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์ RGibbs ในการจำลองกระบวนการ

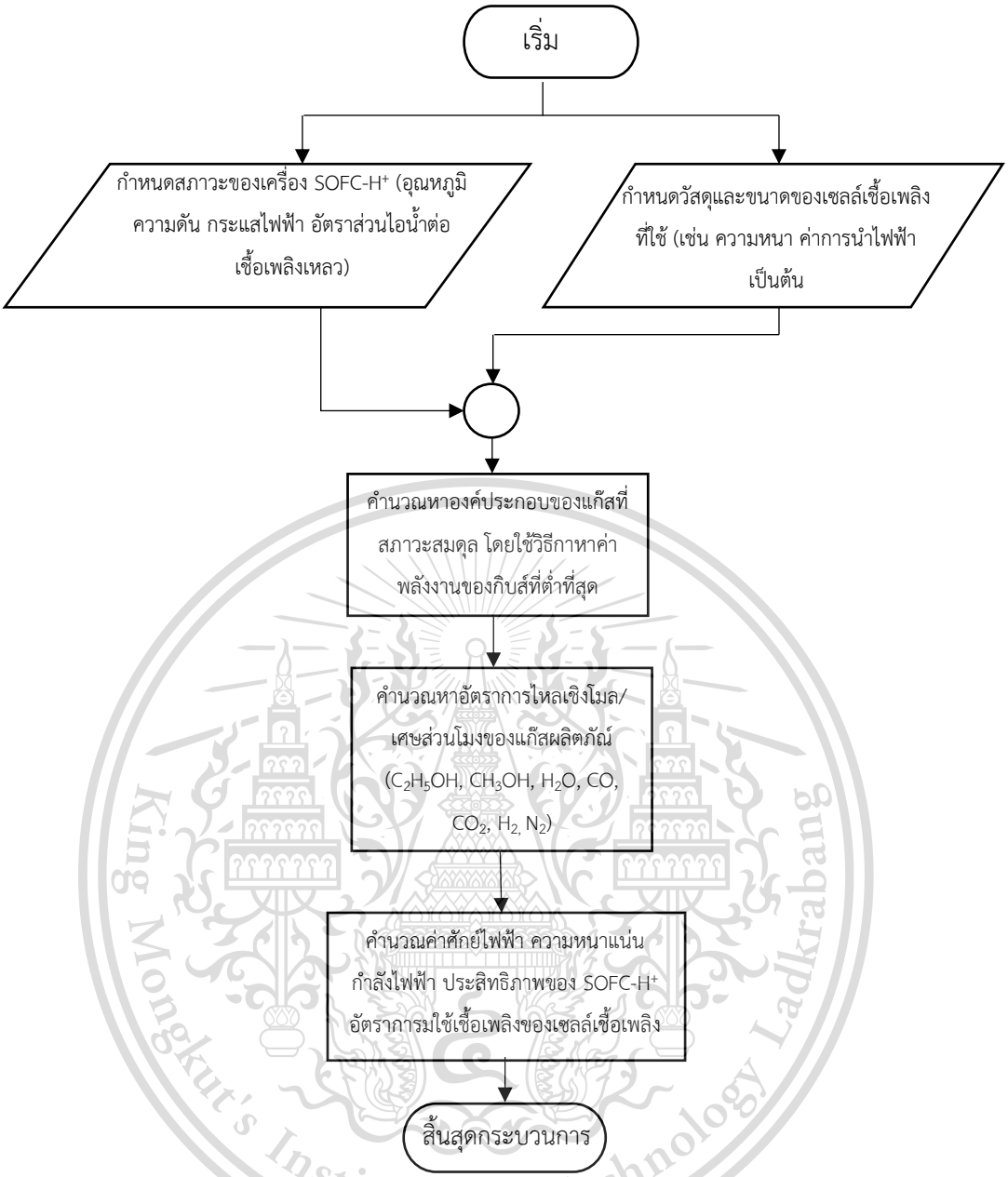
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 วิธีการจำลองกระบวนการ

โครงการนี้เป็นการจำลองกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวต่างชนิดกันสองชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม AspenPlus™ ขั้นตอนการจำลองกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงจะแสดงดังรูป 3.2 โดยในส่วนของการจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดของแข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในจะเริ่มจากกำหนดสภาวะการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิง (ตารางที่ 3.1) เช่น อุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและโครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอน (ตารางที่ 3.2) เช่น ความหนาของขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์ สัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สที่ขั้ว จากนั้นใช้การคำนวณองค์ประกอบของแก๊สที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและแคโทดจะใช้วิธีการหาค่าพลังงานของกิบส์ที่ต่ำที่สุด (Minimization of Gibbs free energy) และใช้สมการ Soave-Redliche-Kwong (SRK) ซึ่งจะทำให้ทราบค่าอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงได้จากสมการทางไฟฟ้าเคมีที่แสดงไว้ในหัวข้อ 2.3 (สมการที่ (2.6) ถึง (2.17)) โดยจะเขียนสมการดังกล่าวใน EXCEL ภายใน Calculator block ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่อยู่ในโปรแกรม Aspen Plus

ในการพิจารณาสมรรถนะของระบบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายใน เมื่อกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและสภาวะการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิง รวมกับเศษส่วนโมลของไฮโดรเจน น้ำ และออกซิเจนที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง จะสามารถคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าจริง ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงได้ ดังสมการที่ (2.8), (2.16) และ (2.17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 แผนผังจำลองกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลองกระบวนการที่ภาวะเริ่มต้น[13]

ตัวแปร	ค่าตัวแปร
ความหนาของขั้วแอโนด (τ_{anode}, m)	500×10^{-6}
ความหนาของขั้วแคโทด (τ_{cathode}, m)	50×10^{-6}
ความหนาของอิเล็กโทรไลต์ ($\tau_{eletrolyte}$, m)	20×10^{-6}
สัมประสิทธิ์การแพร่จริงของแก๊สที่ขั้วแอโนด ($D_{an,eff}$, $m^2\ sec^{-1}$)	1.05×10^{-4}
สัมประสิทธิ์การแพร่จริงของแก๊สที่ขั้วแคโทด ($D_{ca,eff}$, $m^2\ sec^{-1}$)	4.49×10^{-5}
ค่าการนำโปรตอนของวัสดุอิเล็กโทรไลต์ ($\sigma_{eletrolyte}$, 1/Ωm)	$\frac{4.47\times10^{3}}{T}\exp\left(\frac{-1.8292}{T}\right)$
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแลกเปลี่ยนที่ขั้วแอโนด (i_{anode}, A/m^2)	12,000
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแลกเปลี่ยนที่ขั้วแคโทด ($i_{cathode}$, A/m^2)	9,000
ค่าความร้อนต่ำของเอทานอล ($LHV_{ethanol}$, kJ/mol)	1,239.7
ค่าความร้อนต่ำของเมทานอล ($LHV_{methanol}$, kJ/mol)	638.1

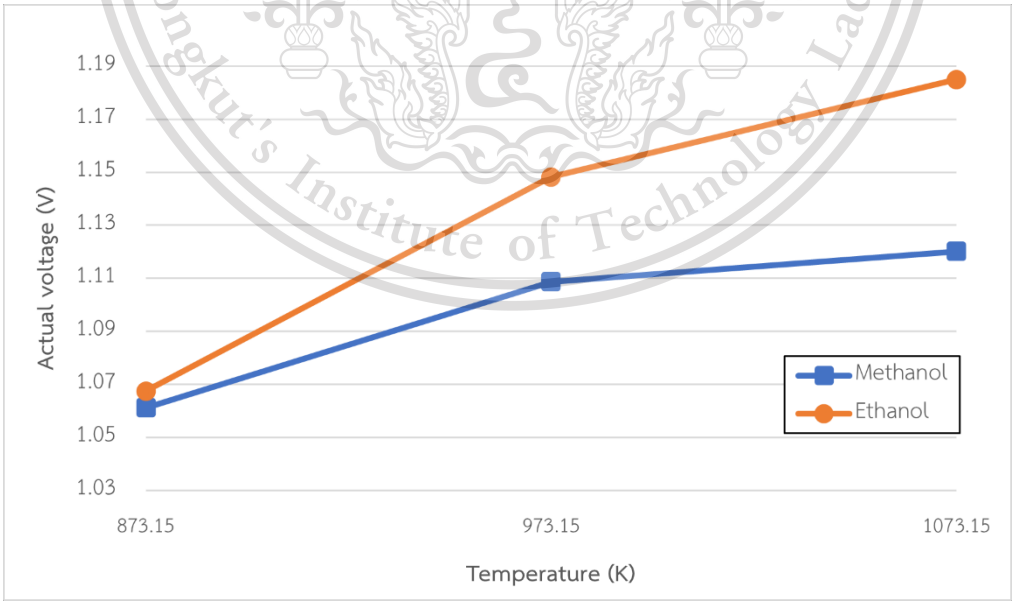
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

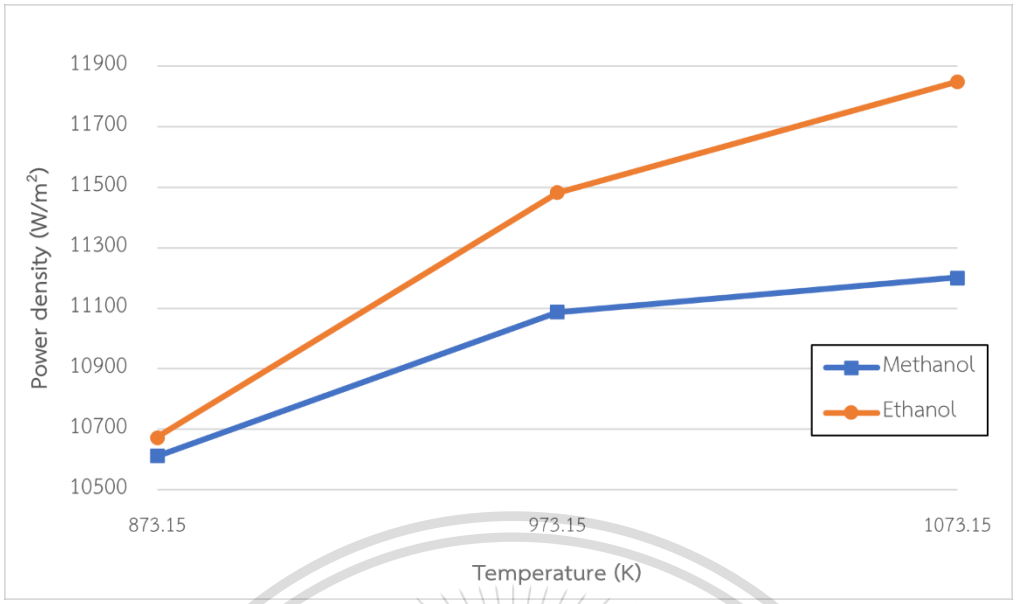
โครงงานนี้ศึกษาการจำลองกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ที่ป้อนด้วยเชื้อเพลิงเหลวสองชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล โดยใช้โปรแกรม AspenPlus™ เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและเหมาะสมกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง โดยการคำนวณทางไฟฟ้าเคมีพิจารณาศักย์ไฟฟฟ้าสูญเสีย 3 ชนิด ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทางไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี และศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวล โดยในส่วนของหัวข้อที่ 4.1 เป็นการแสดงผลการศึกษาของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิง ในส่วนหัวข้อที่ 4.2 เป็นการแสดงผลการศึกษาผลของความดันของเซลล์เชื้อเพลิง ในส่วนหัวข้อที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาผลของความหนาแน่นไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง และในหัวข้อที่ 4.4 แสดงสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

4.1 ผลของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

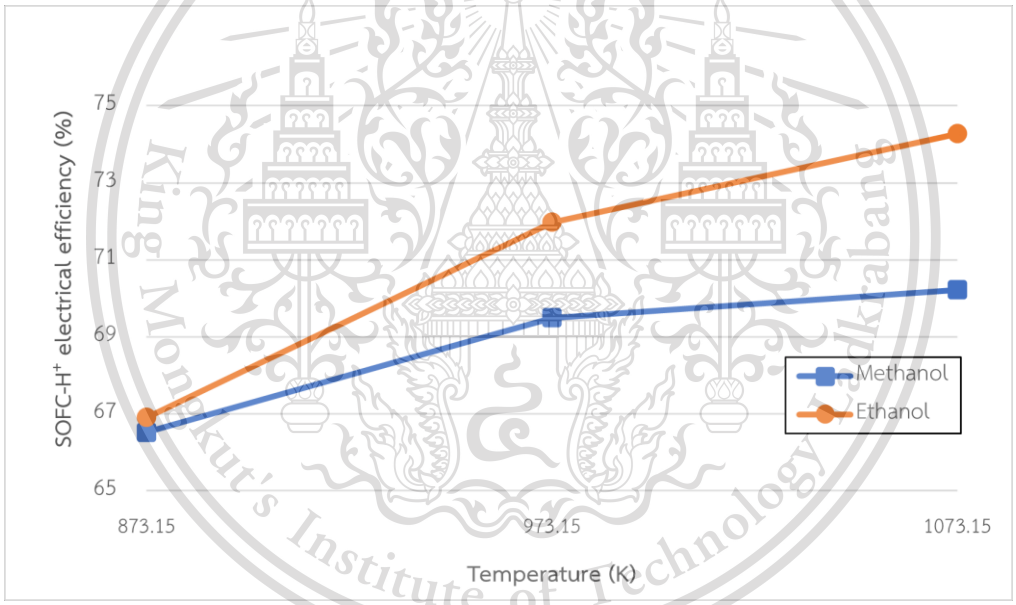


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อ : (ก) ศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิง (ข) ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง และ (ค) ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่ความดัน 1 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

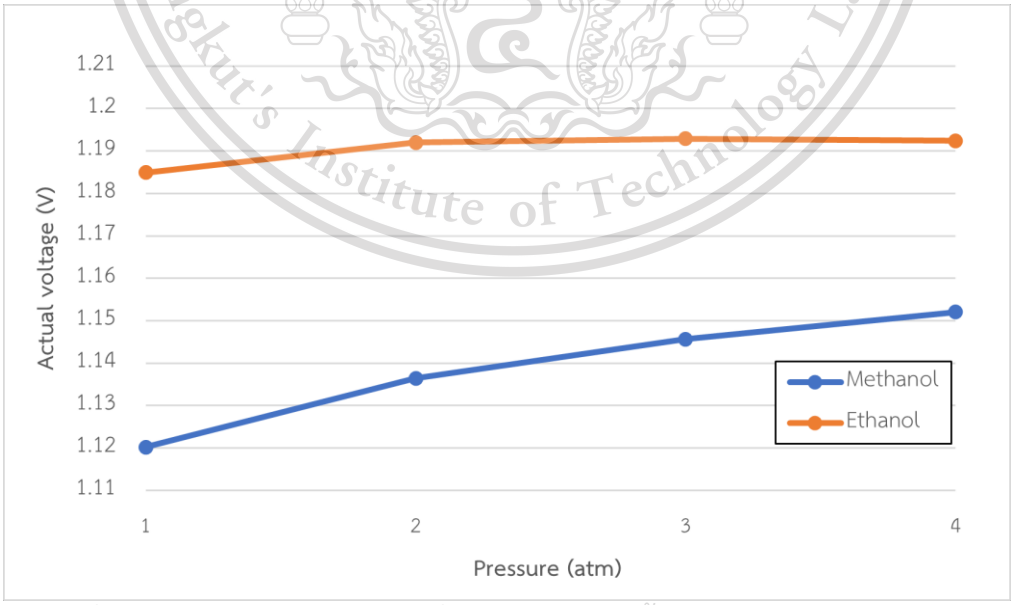
รูปที่ 4.1 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 873.15 ถึง 1073.15 เคลวิน และกำหนดให้เซลล์เชื้อเพลิงดำเนินงานที่ความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จากรูปที่ 4.1 (ก) ถึง (ค) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิง ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้น เป็นผลเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นให้ค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียลดน้อยลง โดยค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเป็นอย่างมาก ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีและศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวลนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียมีค่าลดน้อยลงจึงส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้นตามไปด้วย

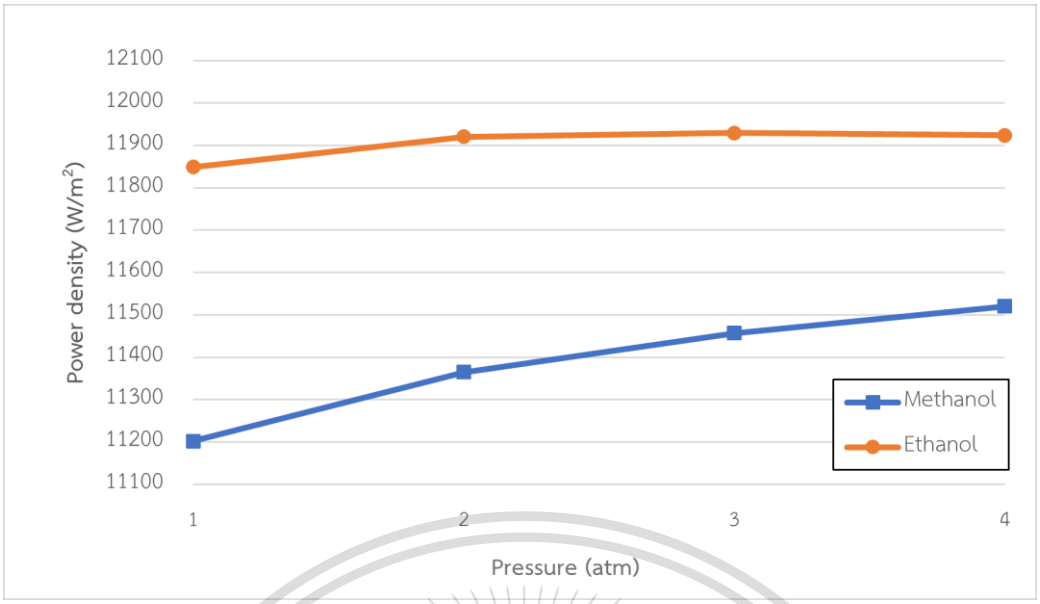
นอกจากนี้ผลการจำลองกระบวนการยังแสดงให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากจำนวนไฮโดรเจนของเอทานอลมีจำนวนมากกว่าเมทานอลทำให้เมื่อแก๊สไฮโดรเจนที่เข้าไปยังเซลล์เชื้อเพลิงมากกว่าเมทานอลจึงเป็นผลให้ศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีมากตามไปด้วย นอกจากนี้แก๊สไฮโดรเจนที่มีปริมาณมากขึ้นทำให้การแพร่ของแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปที่ยังบริเวณผิวสัมผัสระหว่างขั้วแอโนดและอิเล็กโทรไลต์ง่ายขึ้น ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวลมีค่าลดลง ค่าศักย์ไฟฟ้าจริง07’มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้นตามไปด้วย

4.2 ผลของความดันในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

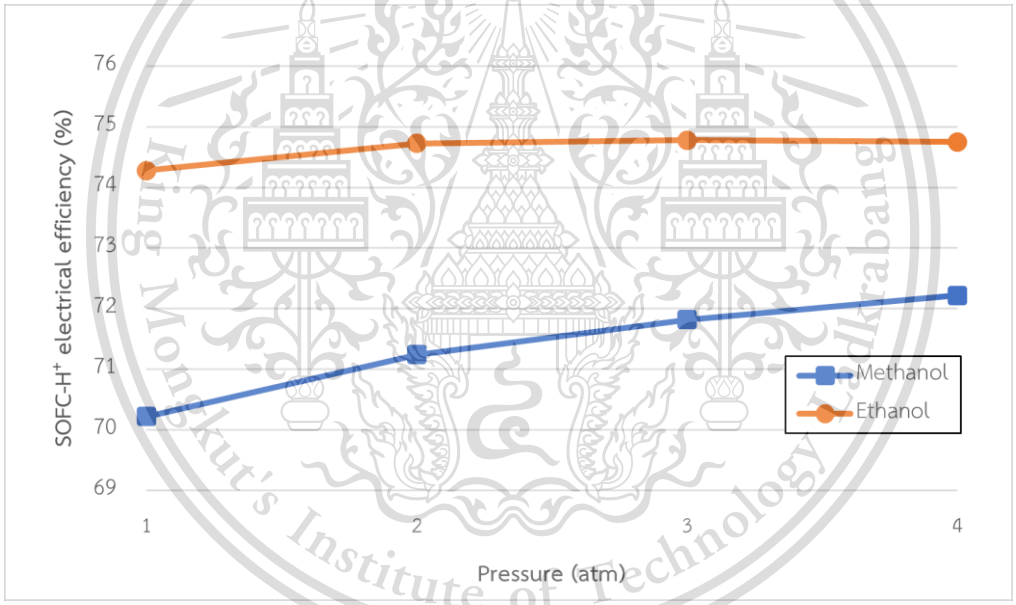


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ผลของความดันในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อ : (ก) ศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิง (ข) ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง และ (ค) ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

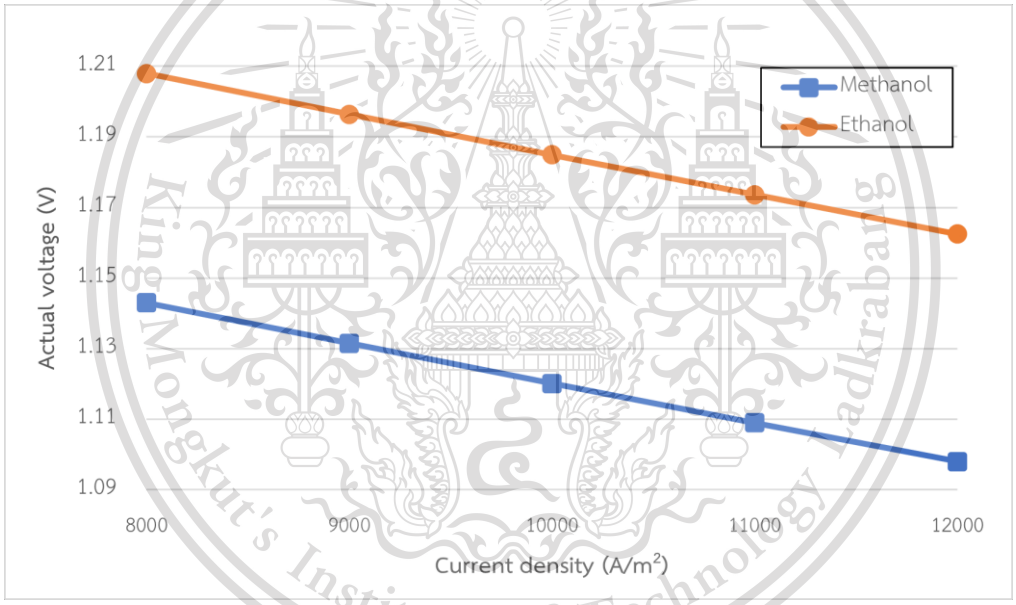
รูปที่ 4.2 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความดันในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยทำการศึกษาในช่วงความดัน 1 ถึง 4 บรรยากาศ และกำหนดให้เซลล์เชื้อเพลิงดำเนินงานที่ อุณหภูมิ 1073.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เคลวิน และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จากรูปที่ 4.2 (ก) ถึง (ค) พบว่าเมื่อความดันสูงขึ้นส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าจริงสูงขึ้น เป็นผลมาจากเพิ่มความดันจะส่งผลให้ความดันย่อยของแก๊สไฮโดรเจน และแก๊สออกซิเจนสูงขึ้น ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีสูงขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของความดันยังทำให้แก๊สไฮโดรเจน แก๊สออกซิเจน และน้ำสามารถแพร่เข้าไปยังหน้าผิวสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็กโทดและอิเล็กโทรไลต์ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าจริงเพิ่มขึ้นและเมื่อศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงตามไปด้วย

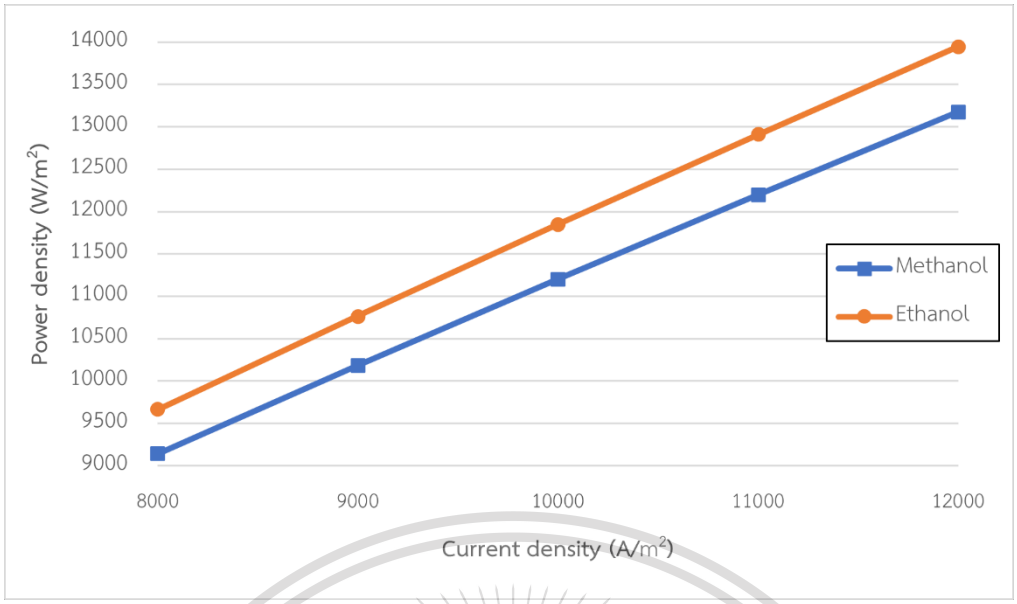
นอกจากนี้ผลการจำลองกระบวนการยังแสดงให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับหัวข้อที่ 4.1

4.3 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

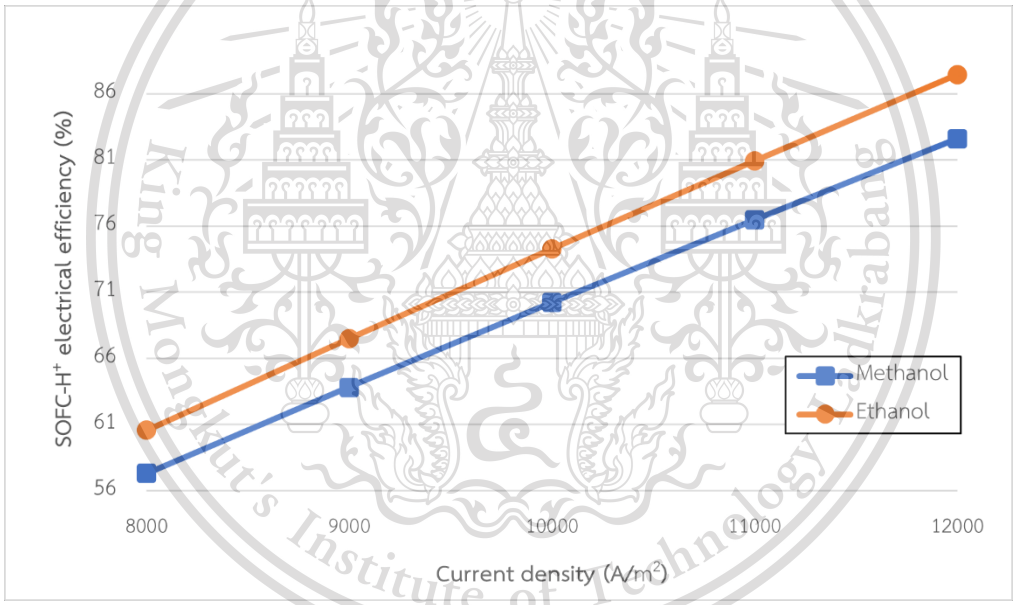


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อ : (ก) ศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิง (ข) ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง และ (ค) ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน และความดัน 1 บรรยากาศ

รูปที่ 4.3 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยทำการศึกษาในช่วงความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 8,000 ถึง 12,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กำหนดให้เซลล์เชื้อเพลิงดำเนินงานที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน และความดัน 1 บรรยากาศ จากรูปที่ 4.3 (ก) พบว่าเมื่อค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าจริงลดลง เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียทั้ง 3 ค่า ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี และศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนมวลแม้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และจากรูป 4.3 (ข) และ (ค) เมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

นอกจากนี้ผลการจำลองกระบวนการยังแสดงให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับหัวข้อที่ 4.1

4.4 สภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

จากผลการจำลองกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ดังหัวข้อที่ 4.1 – 4.3 จะเห็นได้ว่าสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการใช้เอทานอลและเมทานอลเป็นเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากัน คือ ที่อุณหภูมิเท่ากับ 1073.15 เคลวิน ความดันเท่ากับ 4 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 12,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ซึ่งภายใต้สภาวะการดำเนินการดังกล่าวจะได้ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าที่แท้จริง ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของการจำลองกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง อุณหภูมิเท่ากับ 1073.15 เคลวิน ความดันเท่ากับ 4 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 12,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง	เอทานอล	เมทานอล
ค่าศักย์ไฟฟ้าจริง (โวลต์)	1.233	1.130
ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (วัตต์ต่อตารางเมตร)	14803.96	13559.67
ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง (%)	92.80	85.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการจำลองกระบวนการ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงงานนี้ทำการจำลองกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้เชื้อเพลิงแตกต่างกันสองชนิด ได้แก่ เอทานอล และเมทานอล เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะการดำเนินงานและเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง โดยศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าการดำเนินงานของแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง 3 ค่า ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ผลการจำลองพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิ และความดันของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง จะส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าจริง ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจะส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าจริงลดลง แต่ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยเมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงสภาวะการดำเนินการทั้ง 3 ค่า ได้ผลการจำลองกระบวนการที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันว่า การใช้เอทานอลจะให้ค่าค่าศักย์ไฟฟ้าจริง ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ด้วยเมทานอล โดยสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดของการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด คือ อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน ความดัน 4 บรรยากาศ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 12,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เอทานอลและเมทานอลเท่ากับ 92.80 เปอร์เซ็นต์ และ 85.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการจำลองกระบวนการสรุปได้ว่า เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงมากที่สุด เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการจำลองกระบวนการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบที่มีความสามารถในการนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง ระบบดังกล่าวสามารถทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากไอน้ำได้ โดยการนำไอน้ำที่เหลือจากเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

[1] อรณิช เผือกคง, “เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cells),” *scimath*, Sep. 2560. https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7156-fuel-cells (accessed Apr. 20, 2020).

[2] Office of Renewable Energy, “Types of Fuel Cells | Department of Energy,” *U.S. Office of energy efficiency and renewable energy*, 2017. https://www.energy.gov/eere/fuelcells/types-fuel-cells (accessed Apr. 30, 2020).

[3] A. Arpornwichanop and Y. Patcharavorachot, “Investigation of a proton-conducting SOFC with internal autothermal reforming of methane,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 91, no. 8, pp. 1508–1516, 2013, doi: 10.1016/j.cherd.2013.05.008.

[4] “Fuel Cells | Department of Energy.” https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells (accessed Apr. 20, 2020).

[5] อมรชัย อาภรณ์วิชานพ, *ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะอาด*, พิมพ์ครั้ง. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.

[6] S. Shah, “Advantages and Disadvantages of Fuel Cells & Applications | Green World Investor,” *green world investor*, 2018. http://www.greenworldinvestor.com/2018/05/22/advantages-and-disadvantages-of-fuel-cells-applications/ (accessed Apr. 20, 2020).

[7] M. Cimenti and J. Hill, “Direct Utilization of Liquid Fuels in SOFC for Portable Applications: Challenges for the Selection of Alternative Anodes,” *Energies*, vol. 2, no. 2, pp. 377–410, Jun. 2009, doi: 10.3390/en20200377.

[8] ฝ่ายสื่อสารองค์กร (มหาชน) บริษัท ปตท. จำกัด, *เปิดโลกปิโตรเลียมและพลังงานทดแทน*, พิมพ์ครั้ง. กรุงเทพ: เกียวโด-เนชั่น-พริ้นติ้ง เซอร์วิส จำกัด, 2553.

[9] P. Leone, A. Lanzini, G. A. Ortigoza-Villalba, and R. Borchiellini, “Operation of a solid oxide fuel cell under direct internal reforming of liquid fuels,” *Chem. Eng. J.*, vol. 191, pp. 349–355, May 2012, doi: 10.1016/j.cej.2012.03.030.

[10] A. Hagen, H. Langnickel, and X. Sun, “Operation of solid oxide fuel cells with alternative hydrogen carriers,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 33, pp. 18382–18392, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.05.065.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[11] Y. Kalinci and I. Dincer, “Analysis and performance assessment of NH 3 and H 2 fed SOFC with proton-conducting electrolyte,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 11, pp. 5795–5807, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.07.234.

[12] W. Zhang, E. Croiset, P. L. Douglas, M. W. Fowler, and E. Entchev, “Simulation of a tubular solid oxide fuel cell stack using AspenPlusTM unit operation models,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 46, no. 2, pp. 181–196, Jan. 2005, doi: 10.1016/j.enconman.2004.03.002.

[13] D. Saebea, A. Arpornwichanop, and Y. Patcharavorachot, “Thermodynamic analysis of a proton conducting SOFC integrated system fuelled by different renewable fuels,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 20, pp. 11445–11457, 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.07.264.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

จำลองกระบวนการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.1 ผลของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

เชื้อเพลิง	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ศักย์ไฟฟ้าจริง (โวลต์)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง (%)
เอทานอล	873.15	1.067	10,674.24	66.91
	973.15	1.148	11,481.89	71.97
	1073.15	1.185	11,849.15	74.27
เมทานอล	873.15	1.061	10,611.60	66.52
	973.15	1.109	11,086.80	69.49
	1073.15	1.120	11,201.84	70.22

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.2 ผลของความดันในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

เชื้อเพลิง	ความดัน (บรรยากาศ)	ศักย์ไฟฟ้าจริง (โวลต์)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง (%)
เอทานอล	1	1.185	11,849.15	74.27
	2	1.192	11,920.28	74.72
	3	1.193	11,929.23	74.78
	4	1.192	11,924.18	74.75
เมทานอล	1	1.120	11,201.84	70.22
	2	1.137	11,364.64	71.24
	3	1.146	11,456.83	71.82
	4	1.152	11,520.15	72.22

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.3 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบนำโปรตอนที่เกิดการรีฟอร์มมิงโดยตรงภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1073.15 เคลวิน ความดัน 1 บรรยากาศ

เชื้อเพลิง	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์ต่อตารางเมตร)	ศักย์ไฟฟ้าจริง (โวลต์)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง (%)
เอทานอล	8,000	1.208	9,663.83	60.58
	9,000	1.196	10,767.34	67.50
	10,000	1.185	11,849.15	74.28
	11,000	1.174	12,909.79	80.93
	12,000	1.163	13,949.80	87.45
เมทานอล	8,000	1.143	9,143.94	57.32
	9,000	1.132	10,183.62	63.84
	10,000	1.120	11,201.84	70.22
	11,000	1.109	12,199.15	76.47
	12,000	1.098	13,176.08	82.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.