สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะอาด

การจำลอง การออกแบบ และการวิเคราะห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ห้องสมุดเทเวศร์
401016223

อมรชัย อาภรณ์วิชานพ

คำนำ

ปัจจุบันปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม และการขยายตัวของจำนวนประชากร ประกอบกับการเข้ามามีบทบาทมากขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต อย่างไรก็ตาม การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยกระบวนการเชิงความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีข้อจำกัดทางด้านประสิทธิภาพและก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การพัฒนาและส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น

เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน และคาดว่าจะเข้ามามีบทบาทในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่สะสมในก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีเพียงน้ำ จึงเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการเผาไหม้

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง (solid oxide fuel cell) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงประเภทหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ทั้งยังสามารถออกแบบระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งให้สามารถผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม ทำให้ประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยรวมของระบบสูงขึ้น ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง

หนังสือระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะอาด : การจำลอง การออกแบบ และการวิเคราะห์ เล่มนี้จึงมีเป้าหมายที่จะทำให้ผู้อ่านเข้าใจถึงหลักการ ความสำคัญ และความก้าวหน้าของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์

ของแข็ง รวมทั้งการออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าผ่านการจำลองการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง และที่สำคัญ เป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ผู้เขียนได้รับจากการทำงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมกระบวนการ (process engineering) ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งมามากกว่า 10 ปี หนังสือเล่มนี้มีจุดเด่นตรงที่อธิบายการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งทั้งระบบ เริ่มตั้งแต่ การดำเนินการของเซลล์เชื้อเพลิง กระบวนการจัดการเชื้อเพลิงเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนสำหรับใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง ระบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อจัดการความร้อนและใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงที่เหลือและสุดท้าย การวิเคราะห์เชิงพลังงานและเอกเซอร์จีของระบบเซลล์เชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังได้แสดงภาพและตัวอย่างประกอบเนื้อหา ทำให้ผู้อ่านเข้าใจและสามารถจำลอง ออกแบบ และวิเคราะห์การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งได้ รวมทั้งสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนากระบวนการทางด้านวิศวกรรมเคมีอื่น ๆ ได้

หนังสือเล่มนี้เหมาะสำหรับนิสิตนักศึกษา อาจารย์ นักวิจัย วิศวกร รวมทั้งบุคคลทั่วไป ที่สนใจเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งและเทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปพลังงาน สามารถใช้เป็นหนังสืออ้างอิงและแหล่งข้อมูลในการศึกษา วิจัย และพัฒนาระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งการวิเคราะห์เชิงพลังงานและเอกเซอร์จีของกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงาน หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งสิ้น 7 บท บทที่ 1-3 เหมาะสำหรับผู้อ่านทั่วไป ที่ต้องการทราบเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง และการจำลองการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง ส่วนบทที่ 4-7 เหมาะสำหรับผู้อ่านที่ต้องการทราบรายละเอียดที่เกี่ยวกับการศึกษาและพัฒนา รวมทั้งความก้าวหน้าของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง โดยเนื้อหาในแต่ละบทมีรายละเอียด สรุปได้ดังนี้

บทที่ 1 อธิบายสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน กระบวนการผลิตไฟฟ้าเชิงความร้อน มีการอธิบายพร้อมยกตัวอย่างโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ นอกจากนี้ยังกล่าวถึง โรงไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนซึ่งปัจจุบันได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากภาครัฐ รวมทั้งชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดของกระบวนการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาและประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิง บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งซึ่งเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่หนังสือเล่มให้ความสำคัญ เนื้อหาในบทนี้อธิบายปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิง ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งเชิงพาณิชย์ในรูปแบบต่าง ๆ บทที่ 3 อธิบายถึงการพัฒนาแบบจำลองและการจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง

โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อนำแบบจำลองที่ได้มาใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

บทที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง เนื้อหาครอบคลุมถึงโครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง การปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงผลการออกแบบโครงสร้างรองรับเซลล์เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน และการพัฒนาวัสดุอิเล็กโทรไลต์ สุดท้ายจะอธิบายถึงรูปแบบการดำเนินการของเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจน บทที่ 5 จะเน้นในส่วนกระบวนการจัดการเชื้อเพลิงเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนสำหรับใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงหมุนเวียน เทคโนโลยีก้าวหน้าที่นำมาใช้ในการผลิตไฮโดรเจน เช่น เครื่องปฏิกรณ์แบบเยื่อเลือกผ่าน กระบวนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการเคมิคอลลูปปิง บทที่ 6 อธิบายรายละเอียดทางด้านระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง โดยกล่าวถึงการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งร่วมกับเครื่องกังหันก๊าซ และเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังได้อธิบายรูปแบบการนำก๊าซทิ้งที่ออกจากเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้ประโยชน์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และความเย็นร่วม ส่วนบทที่ 7 ซึ่งเป็นบทสุดท้าย เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เชิงพลังงานและเอกเซอร์จีของระบบเซลล์เชื้อเพลิง เนื้อหาอธิบายถึงดุลพลังงานและเอกเซอร์จี และการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์เชื้อเพลิง ทั้งนี้จะชี้ให้เห็นถึงการนำผลการวิเคราะห์เชิงพลังงานและเอกเซอร์จีที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง

นอกจากเนื้อหาทั้ง 7 บท ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น หนังสือเล่มนี้ยังได้อธิบายการวิเคราะห์กระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาเคมีที่สภาวะสมดุล โดยอาศัยหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ ในภาคผนวก ก พร้อมทั้งยกตัวอย่างการคำนวณประกอบเพื่อทำให้ผู้อ่านเข้าใจมากขึ้น วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวได้นำมาใช้ในศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกระบวนการต่าง ๆ ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง เมื่อสภาวะการดำเนินการเปลี่ยนไป ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการ ดังที่ได้อธิบายไว้ในเนื้อหาบทต่าง ๆ ของหนังสือเล่มนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณหน่วยงานต้นสังกัด ทั้งในส่วนของ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง ขอขอบคุณ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ ดร.สุมิตรา จรสโรจน์กุล ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำในการปรับปรุงเนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ให้สมบูรณ์ ขอขอบคุณทีมวิจัยที่ประกอบด้วย นิสิตระดับปริญญาตรี โท และเอก ทั้งที่กำลังศึกษาและสำเร็จการศึกษาแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธิดา อรรถยานันทน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แดง แซ่เบ๊ และ ดร.พนิชา ทิพวรรณ ที่ได้ร่วมทำงานวิจัย และสร้างสรรค์ผลงานวิจัยที่ดีและเป็นประโยชน์ รวมทั้งช่วยตรวจทานต้นฉบับหนังสือให้ถูกต้อง ขอขอบคุณนายจุติพงศ์ ภูสุมาศ ที่ช่วยจัดรูปเล่มและออกแบบปกหนังสือ และนางสาวภาสิตา พฤกภูษณ ที่ช่วยวาดภาพประกอบในหนังสือ ผู้เขียนขอขอบคุณโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือ/คู่มือ ของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุน และหนังสือเรื่อง “ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะอาด : การจำลอง การออกแบบและการวิเคราะห์” เล่มนี้ เป็นหนังสือเล่มที่ 31 ในโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือ/คู่มือ ของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบคุณสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยประสานงานและให้การสนับสนุนอย่างมากในการจัดทำหนังสือเล่มนี้ และที่สำคัญที่สุด ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ เปิดโอกาส และสนับสนุนในการทำงานให้ประสบผลสำเร็จ

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน สามารถนำข้อมูลและองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ของผู้อ่านแต่ละท่าน หากมีข้อบกพร่องในหนังสือที่ควรปรับปรุง ผู้เขียนขอน้อมรับและจะนำไปแก้ไขให้ถูกต้องต่อไป

อมรชัย อาภรณ์วิชานพ
หน่วยปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมกระบวนการเชิงคำนวณ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สิงหาคม 2561

Computational Process Engineering

" สำหรับนักศึกษาใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น "

สารบัญ

คำนำ
สารบัญ

1. พลังงานไฟฟ้า 1
1.1 สถานการณ์การใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน 1
1.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย 2
1.2.1 โรงไฟฟ้าพลังความร้อน 4
1.2.2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม 6
1.3 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน 9
1.3.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ 9
1.3.2 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 11
1.3.3 โรงไฟฟ้าพลังงานลม 13
1.3.4 โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล 16
1.3.5 โรงไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพ 17
1.3.6 โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ 17
1.4 ข้อจำกัดของกระบวนการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันและแนวทางการแก้ไขปัญหา 18
1.5 เซลล์เชื้อเพลิง 21
1.5.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ 23
1.5.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน 24
1.5.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 25
1.5.4 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก 26
1.5.5 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว 27
1.6 บทสรุป 30
1.7 เอกสารอ้างอิง 30

" สำหรับแผ่นการศึกษาเพื่อการอ้างอิงเท่านั้น "

2. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง **33**

2.1 หลักการทำงาน 34

2.2 ศักย์ไฟฟ้าจริงของเซลล์เชื้อเพลิง 38

2.3 คุณลักษณะเชิงไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง 43

2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง 45

2.5 รูปร่างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 46

2.6 การประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 48

2.7 บทสรุป 54

2.8 เอกสารอ้างอิง 55

---

3. การจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ 57

3.1 การสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 58

3.1.1 การกำหนดข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างแบบจำลอง 61

3.1.2 การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ด้านขั้วแอโนด 64

3.1.3 การคำนวณปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้สำหรับปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี 64

3.1.4 การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า 67

3.1.5 การคำนวณดุลพลังงานและปริมาณอากาศที่ต้องใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง 70

3.2 ขั้นตอนการจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 74

3.3 ตัวอย่างการจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ 76

3.4 บทสรุป 79

3.5 เอกสารอ้างอิง 80

---

4. การดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 81

4.1 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 81

4.2 อุณหภูมิการดำเนินการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 83

4.3 การปรับปรุงเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 84

4.3.1 การออกแบบโครงสร้างรองรับเซลล์เชื้อเพลิง 84

4.3.2 การพัฒนาวัสดุอิเล็กโทรไลต์ 93

4.3.2.1 การใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำไอออน 93

4.3.2.2 การใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีความสามารถในการนำโปรตอน 95

4.4 รูปแบบการดำเนินการ 113
4.4.1 การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องรีฟอร์มเมอร์ภายนอก 113
4.4.2 การเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงภายในเซลล์เชื้อเพลิง 114
4.4.2.1 การเกิดการรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยอ้อม 114
4.4.2.2 การเกิดการรีฟอร์มมิงภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง 114
4.5 แนวโน้มการพัฒนา 133
4.6 บทสรุป 134
4.7 เอกสารอ้างอิง 134

5. กระบวนการจัดการเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 137
5.1 การผลิตไฮโดรเจน : เชื้อเพลิงและกระบวนการผลิต 137
5.1.1 กระบวนการผลิตไฮโดรเจน 138
5.1.1.1 กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ 138
5.1.1.2 กระบวนการเผาไหม้บางส่วน 144
5.1.1.3 กระบวนการรีฟอร์มมิงแบบออโตเทอร์มัล 147
5.1.1.4 กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 153
5.1.1.5 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน 156
5.1.2 เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฮโดรเจน 164
5.1.2.1 แหล่งพลังงานปิโตรเลียม 164
5.1.2.2 แหล่งพลังงานหมุนเวียน 166
5.2 เทคโนโลยีก้าวหน้าสำหรับการผลิตไฮโดรเจน 186
5.2.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบเยื่อเลือกผ่าน 187
5.2.2 กระบวนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 193
5.2.3 กระบวนการเคมิคอลลูปปิง 202
5.2.3.1 กระบวนการเผาไหม้แบบเคมิคอลลูปปิง 203
5.2.3.2 กระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมิคอลลูปปิง 204
5.2.3.3 กระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมิคอลลูปปิง ที่เสริมด้วยตัวดูดซับ 206
5.2.4 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส 208
5.3 แนวโน้มการพัฒนา 216
5.3.1 กระบวนการผลิตไฮโดรเจนในปัจจุบัน 216
5.3.2 เทคโนโลยีก้าวหน้าสำหรับการผลิตไฮโดรเจน 218
5.4 บทสรุป 221
5.5 เอกสารอ้างอิง 222

" สำหรับเผยแพร่ ลิขสิทธิ์ของผู้เขียน ห้ามใช้เพื่อการค้า "

6. ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 231
6.1 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียน 232
6.1.1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับการรีฟอร์มมิงเชื้อเพลิง 232
6.1.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิง 233
6.1.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียนชนิดต่าง ๆ 234
6.2 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ทำงานร่วมกับเครื่องกังหันก๊าซ 239
6.2.1 เครื่องกังหันก๊าซ 240
6.2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องกังหันก๊าซ 240
6.2.1.2 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกังหันก๊าซ 241
6.2.2 โครงสร้างของการทำงานร่วมกันระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงและเครื่องกังหันก๊าซ 243
6.2.2.1 โครงสร้างระบบที่มีการใช้ความร้อนร่วมกันโดยตรง 244
6.2.2.2 โครงสร้างระบบที่มีการใช้ความร้อนร่วมกันโดยอ้อม 247
6.2.3 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงและเครื่องกังหันก๊าซ 248
6.3 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ทำงานร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ 250
6.3.1 ระบบร่วมของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แตกต่างกัน 251
6.3.2 ระบบร่วมของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งและเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน 256
6.3.3 ระบบร่วมของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งและเซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว 257
6.4 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่มีการนำก๊าซที่ออกจากเซลล์เชื้อเพลิงกลับมาใช้ประโยชน์ 263
6.4.1 การรีไซเคิลก๊าซเชื้อเพลิง 263
6.4.2 การรีไซเคิลอากาศ 271
6.5 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และความเย็น 279
6.5.1 คุณภาพของความร้อนเหลือทิ้ง 280
6.5.2 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม 280
6.5.3 การประยุกต์ใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 282
6.6 แนวโน้มการพัฒนา 284
6.7 บทสรุป 287
6.8 เอกสารอ้างอิง 287

7. การวิเคราะห์เชิงพลังงานและเอกเซอร์จีระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 291

7.1 ความสำคัญของการวิเคราะห์เชิงพลังงานและเอกเซอร์จี 291

7.2 ดุลพลังงานและเอกเซอร์จี 299

7.2.1 ดุลมวล 300

7.2.2 ดุลพลังงาน 300

7.2.3 ดุลเอกเซอร์จี 303

7.2.3.1 เอกเซอร์จีของงาน 303

7.2.3.2 เอกเซอร์จีของความร้อน 304

7.2.3.3 เอกเซอร์จีของสารที่มีการไหล 304

7.2.4 ตัวอย่างการคำนวณ 307

7.2.4.1 ดุลพลังงานและเอกเซอร์จีของกระบวนการผลิตไฮโดรเจน 307

7.2.4.2 ดุลพลังงานและเอกเซอร์จีของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 314

7.3 การวิเคราะห์เชิงพลังงานและเอกเซอร์จีของระบบเซลล์เชื้อเพลิง 318

7.3.1 กระบวนการผลิตไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง 318

7.3.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง 330

7.3.3 ระบบการนำความร้อนกลับ 336

7.4 แนวโน้มการพัฒนา 341

7.5 บทสรุป 345

7.6 เอกสารอ้างอิง 345

ภาคผนวก 347

ก. สมดุลเคมี 347

ก.1 วิธีที่ต้องใช้เลขดุลโมลของปฏิกิริยา 347

ก.2 วิธีที่ไม่ต้องใช้เลขดุลโมลของปฏิกิริยา 352

ก.3 เอกสารอ้างอิง 358

บรรณานุกรม 359

ดัชนี 365

ประวัติผู้เขียน 375

สำหรับเพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น

สามารถยืมและติดตามหนังสือใหม่ได้ที่ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ Walai Autolib

http://lib.rmutp.ac.th/catalog/BibItem.aspx?BibID=b00104502

Multi view View map

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะอาด : การจำลอง การออกแบบ และการวิเคราะห์ / อมรชัย อาภรณ์วิชานพ.

Author	อมรชัย อาภรณ์วิชานพ
Published	กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561
Edition	พิมพ์ครั้งที่ 1
Detail	376 หน้า : ภาพประกอบ ; 26 ซม.
Subject	พลังงานสะอาด(+) เซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็ง(+) เซลล์เชื้อเพลิง(+) แบบจำลองทางวิศวกรรม(+)
ISBN	9789740337980
ประเภทแหล่งที่มา	Book

" สำหรับเพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น "