วาวล์ควบคุมอัตราการไหลราคาประหยัดสำหรับชุดสาธิตเซลล์เชื้อเพลิง
Low-Cost Flow Control Valve for Fuel Cell Demonstration Set

วัฒนา แก้วมณี [1,2] บุรินทร์ ยอดวงศ์ [1] กิตติพัฒน์ เจริญกุล [2] และ วราวุฒิ อุดถา [2]

[1] ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
E-mail: wattanak, buriny@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างต้นแบบวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเซลล์เชื้อเพลิงในราคาประหยัด โดยการออกแบบจะใช้ชุดโซลินอยด์วาล์วสี่ตัวในการควบคุมอัตราการไหล โดยวาล์วแต่ละตัวจะต่ออนุกรมกับวาล์วปรับลดอัตราการไหลแบบปรับด้วยมือและทำการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวาล์วที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ดี โดยการทำงานจะสามารถควบคุมอัตราการไหลได้ 16 ระดับและมีค่าผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 10 ของค่าเต็มสเกล ซึ่งเพียงพอในการใช้ร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิง

คำสำคัญ: เซลล์เชื้อเพลิง วาล์วควบคุมอัตราการไหล

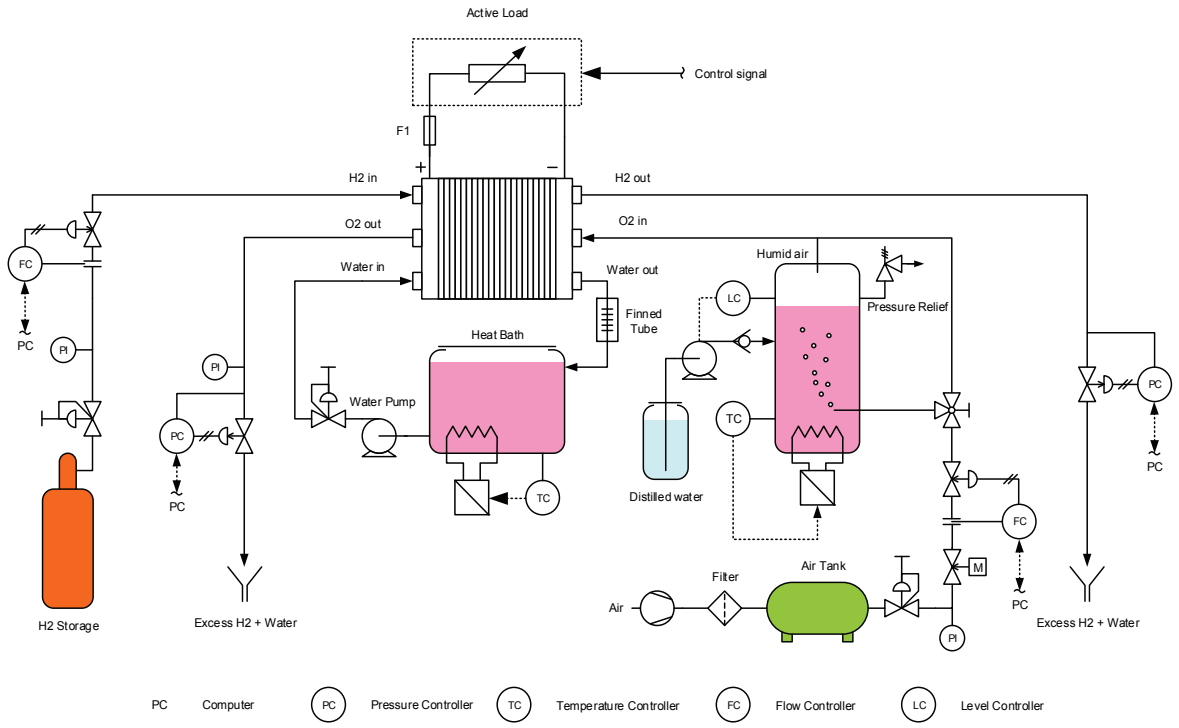
Abstract

This paper presents a prototype of low-cost flow control valve for fuel cell. The valve uses 4 solenoid valves connected with the manual adjusted flow control valves and controlled with microcontroller. A proper adjusted of the manual control valves and a combination of the on-off scheme results in a 16 different level of air flow. The experimental result has shown that the valve can function properly with the error less than 10 percent of the full scale value which is more than enough for the conventional fuel cell demonstration set.

Keyword: Fuel Cell, Flow Control Valve

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่ามนุษย์มีแนวโน้มจะเข้าสู่ยุคขาดแคลนในอนาคตอันใกล้ [1-2] ข้อเท็จจริงดังกล่าวส่งผลให้มนุษย์ต้องมองหาพลังงานอื่นที่ยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานจากเชื้อเพลิงมวลชีวภาพ มาแทนที่แหล่งพลังงานเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ดี ด้วยข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีทำให้เรายังไม่สามารถนำอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลมมาติดตั้งบนยานพาหนะและใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพได้ จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์พบว่าเทคโนโลยีที่เป็นความหวังในการ



ภาพที่ 1 : แผนผังชุดสาธิตเซลล์เชื้อเพลิง [6]

เชื่อมช่องว่างของแหล่งพลังงานสะอาดเข้ากับความต้องการในการใช้ยานพาหนะเพื่อการเดินทางและขนส่งของมนุษย์คือเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงนั่นเอง [3-5]

ด้วยความสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงที่กล่าวมาทำให้เริ่มมีการเรียนการสอนเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงในชั้นเรียน และเริ่มมีการทำชุดสาธิตเกี่ยวกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมาจำหน่ายให้กับสถานศึกษาชั้นนำต่างๆ อย่างไรก็ดีการเข้าถึงชุดสาธิตเซลล์เชื้อเพลิงยังไม่แพร่หลายเนื่องจากชุดสาธิตจะมีราคาสูงมากเพราะชุดสาธิตเซลล์เชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ประกอบรอบข้างหลายชิ้นดังแสดงในภาพที่ 1 แนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนชุดสาธิตเซลล์เชื้อเพลิงคือการลดต้นทุนจากอุปกรณ์รอบข้างของเซลล์เชื้อเพลิง อุปกรณ์หนึ่งที่มีราคาสูงและสามารถพัฒนาให้มีราคาต่ำลงได้คือวาวล์ควบคุมอัตราการไหล

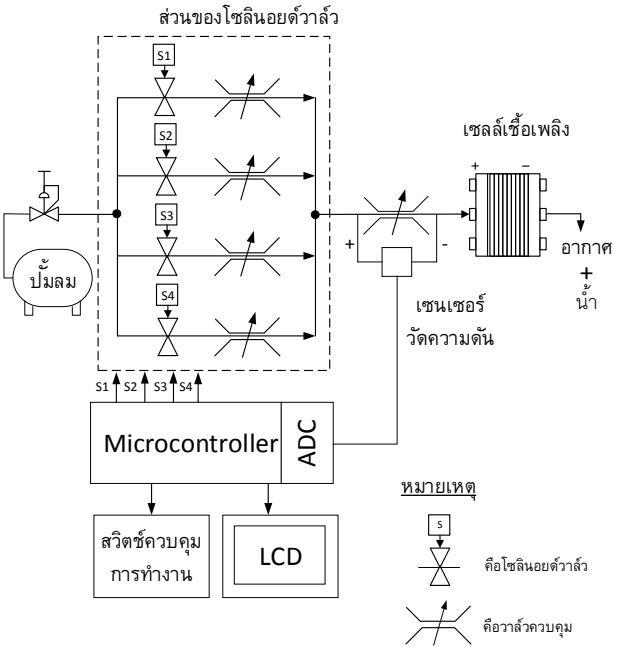
วาวล์ควบคุมอัตราการไหลทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สหรืออากาศที่ไหลเข้าเซลล์เชื้อเพลิงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะเป็นวาวล์แบบเชิงเส้นซึ่งมีเซนเซอร์และการควบคุมป้อนกลับอยู่ภายในทำให้ปรับอัตราการไหลได้ 0-100% ซึ่งการควบคุมโดยละเอียดเช่นนั้นเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น

งานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้โซลินอยด์วาวล์ซึ่งมีการทำงานในลักษณะเปิด-ปิดจำนวน 4 ตัวมาต่อร่วมกับตัวปรับลดอัตราการไหลแบบคงที่และจัดเป็นชุดวาวล์เพื่อควบคุมการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเซลล์เชื้อเพลิงโดยการควบคุมจะสามารถปรับได้ 16 ระดับ ซึ่งจำนวนระดับดังกล่าวเพียงพอต่อการใช้งานในชุดสาธิตเซลล์เชื้อเพลิง

2. การออกแบบและสร้างระบบวาวล์ควบคุมอัตราการไหล

2.1 แนวคิดในการสร้างวาวล์ควบคุมอัตราการไหล

แนวคิดของระบบวาล์วควบคุมอัตราการไหลแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจะใช้ชุดโซลินอยด์วาล์วสี่ตัวในการควบคุมอัตราการไหลโดยวาล์วแต่ละตัวจะต่ออนุกรมกับวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยมือ โดยเมื่อป้อนอากาศความดัน 2 บาร์ที่ต้นทาง จะทำการปรับตั้งให้วาล์วตัวที่ 1 มีอัตราการไหลเท่ากับ 1/16 ของค่าเต็มสเกล (ซึ่งค่าเต็มสเกลสำหรับงานวิจัยนี้ใช้ค่า 5 ลิตรต่อนาที) วาล์วตัวที่ 2 มีอัตราการไหลเท่ากับ 1/8 ของค่าเต็มสเกล วาล์วตัวที่ 3 มีอัตราการไหลเท่ากับ 1/4 ของค่าเต็มสเกลและวาล์วตัวที่ 4 มีอัตราการไหลเท่ากับ 1/2 ของค่าเต็มสเกล เมื่อนำวาล์วทุกตัวมาใช้ร่วมกันเราจะสามารถจัดตาราง

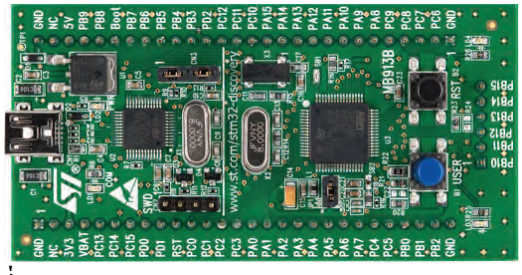


ภาพที่ 2 : แนวคิดของระบบวาล์วควบคุมอัตราการไหล

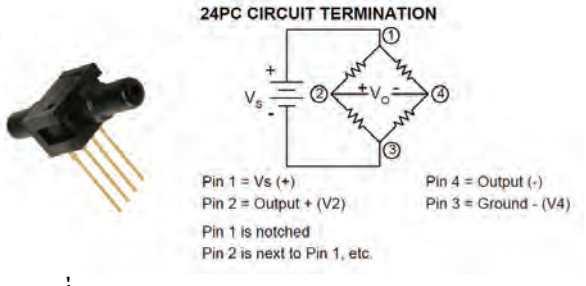
ตารางที่ 1 รูปแบบการเปิดและปิดโซลินอยด์วาล์ว

Level	S4	S3	S2	S1
0	OFF	OFF	OFF	OFF
1	OFF	OFF	OFF	ON
2	OFF	OFF	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	OFF	ON	OFF	OFF
5	OFF	ON	OFF	ON
6	OFF	ON	ON	OFF
7	OFF	ON	ON	ON
8	ON	OFF	OFF	OFF
9	ON	OFF	OFF	ON
10	ON	OFF	ON	OFF
11	ON	OFF	ON	ON
12	ON	ON	OFF	OFF
13	ON	ON	OFF	ON
14	ON	ON	ON	OFF
15	ON	ON	ON	ON

การเปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์วให้ผลรวมของอัตราการไหลมีค่าเรียงลำดับเป็น 16 ขั้นได้ตามตารางที่ 1 การควบคุมจะทำในลักษณะลูปปิดโดยมีการวัด ประมวลผลและสั่งเปิด-ปิดวาล์วโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM โดยในงานวิจัยนี้ใช้เบอร์ STM32F100RB ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 : บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F100RB



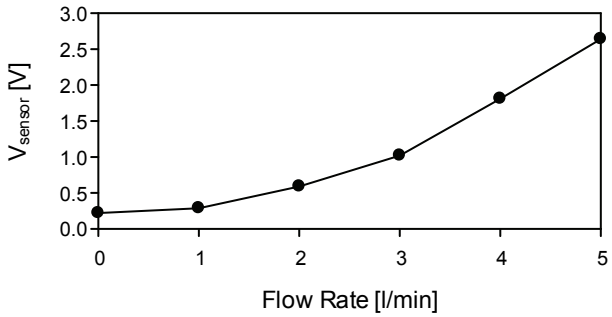
ภาพที่ 4 : เซนเซอร์วัดความดันแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลรุ่น 24PCE

2.2 ตัวตรวจวัดอัตราการไหล

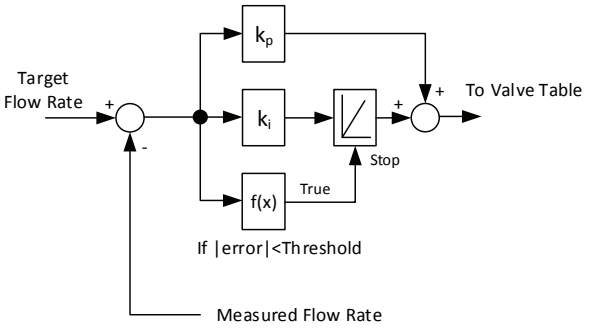
เนื่องจากระบบควบคุมที่ใช้เป็นแบบลูปปิดระบบจึงต้องมีเซนเซอร์เป็นส่วนประกอบ เซนเซอร์วัดอัตราการไหลเป็นอุปกรณ์อีกอย่างหนึ่งในระบบที่มีราคาสูง เซนเซอร์ราคาถูกในท้องตลาดที่ใช้การนับรอบการหมุนของใบพัดจะไม่สามารถใช้ได้ในงานนี้ เนื่องจากอากาศมีสถานะเป็นแก๊สและปริมาณการไหลค่อนข้างต่ำทำให้ไม่สามารถผลักใบพัดให้หมุนได้

การแก้ปัญหาทำโดยการให้อากาศไหลผ่านท่อทางขนาดเล็กและวัดความแตกต่างของความดันในแต่ละด้านของท่อทาง โดยเซนเซอร์ที่ใช้วัดความดันจะเป็นของ Honeywell ตระกูล 24PCE ซึ่งภายในจะมีวงจรบริดจ์ตัวต้านทาน สามารถนำไปต่อใช้กับวงจรอินสตรูเมนท์แอมป์เพื่อแปลงความดันเป็นแรงดันไฟฟ้าได้ทันที รูปร่างและโครงสร้างของเซนเซอร์วัดความดันแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลที่เลือกใช้แสดงในภาพที่ 4

อย่างไรก็ดีตามหลักฟิสิกส์แล้วความดันกับอัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นต่อกัน [6] ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ได้จากเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นและอัตราการไหลจริงแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งการแก้ปัญหาสามารถทำในซอฟท์แวร์ได้โดยใช้เทคนิคการทำ Function Mapping ร่วมกับการทำ Interpolation เพื่อแปลงค่าที่วัดได้ให้เป็นค่าอัตราการไหลที่ถูกต้อง



ภาพที่ 5 : เปรียบเทียบแรงดันที่ได้จากเซนเซอร์และอัตราการไหลจริง



ภาพที่ 6 : ตัวควบคุมแบบพีไอที่มีการดัดแปลงสำหรับการควบคุมวาล์ว

2.3 การควบคุม

ในการควบคุมจะคล้ายกับการควบคุมแบบลูปปิดโดยทั่วไป ซึ่งใช้คัวควบคุมแบบพีไอ แต่ด้วยข้อจำกัดที่เกิดจากการใช้ชุดวาล์วซึ่งมีการทำงานแบบเปิด-ปิดมาเป็นตัว Actuator ทำให้ค่าอัตราการไหลที่ทำได้มีลักษณะกระโดดเป็นขั้นๆและไม่เท่ากับค่าเป้าหมายที่สั่งมาจากผู้ใช้ การใช้ตัวควบคุมแบบพีไอแบบปกติจะส่งผลให้เกิดการเปิดและปิดของวาล์วตัวที่ 1 ซ้ำๆอย่างไม่รู้จบซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของวาล์ว การแก้ไขทำโดยการกำหนดเงื่อนไขให้ตัวอินทีเกรททหยุดทำงานเมื่อค่าผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายและค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ต่างกันน้อยกว่า +- 1/16 ของค่าเต็มสเกล ไดอะแกรมของการควบคุมแสดงในภาพที่ 6

3. ผลการดำเนินงาน

ผลการสร้างวาวล์วควบคุมอัตราการไหลทำให้ได้วาล์วซึ่งมีลักษณะภายนอกดังภาพที่ 7 ในการทดสอบการทำงานจะทำโดยการต่อท่ออากาศซึ่งมีความดัน 2.5 บาร์เข้าที่ท่อขาเข้าของวาล์วที่สร้างขึ้นส่วนทางด้านขาออกนำไปต่อกับตัววัดอัตราการไหลยี่ห้อ Burkert ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการ Calibrate สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศโดยเฉพาะซึ่งจะให้เอาท์พุต

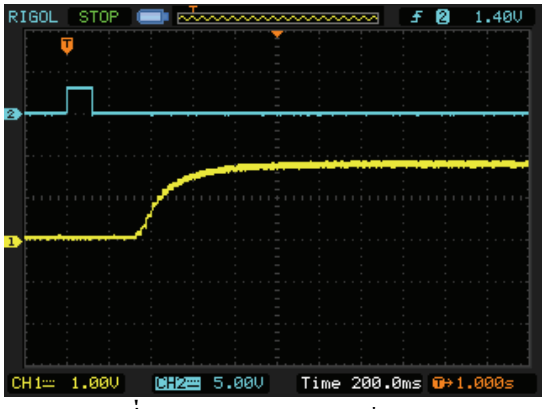
ภาพที่ 7 : ลักษณะภายนอกด้านหน้าของวาล์วที่สร้างขึ้น

เป็นแรงดันไฟฟ้าโดยแรงดัน 1 โวลต์จะเท่ากับอัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที จากนั้นอากาศที่ถูกควบคุมจะถูกป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงต่อไป

การทดสอบที่ 1 3 และ 5 ลิตรต่อนาทีแสดงในภาพที่ 8 9 และ 10 ตามลำดับ โดยในภาพสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมด้านบนแสดงจังหวะที่สั่งให้วาล์วเริ่มทำงานและสัญญาณด้านล่างคืออัตราการไหลที่วัดโดยเซนเซอร์ของ Burkert

ภาพที่ 8 : การตอบสนองต่อคำสั่ง 1 ลิตรต่อนาที

ภาพที่ 9 : การตอบสนองต่อคำสั่ง 3 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 10 : การตอบสนองต่อคำสั่ง 5 ลิตรต่อนาที

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบวาล์วที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมการไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ภายใน 1 วินาที ในด้านความแม่นยำพบว่าวาล์วจะมีความผิดพลาดประมาณไม่เกิน 10% ของค่าเต็มสเกล ซึ่งเกิดจากระบบควบคุมที่ต้องป้องกันการออสซิเลทของโซลินอยด์วาล์ว ค่าผิดพลาดนี้เป็นสิ่งที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้าแล้วและไม่มีผลกระทบใดๆกับการทำงานของเซลล์

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างต้นแบบวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเซลล์เชื้อเพลิงในราคาประหยัด โดยทำการเปลี่ยนวาล์วเชิงเส้นซึ่งมีราคาแพงและมีความละเอียดเกินความจำเป็นโดยเปลี่ยนมาใช้ใช้ชุดโซลินอยด์วาล์วสี่ตัวในการควบคุมอัตราการไหลโดยวาล์วแต่ละตัวจะต่ออนุกรมกับวาล์วปรับลดอัตราการไหลแบบปรับด้วยมือและทำการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวาล์วที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ดีโดยวาล์วทั้งระบบจะมีต้นทุนประมาณ 7,000 บาท ซึ่งจะถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบเชิงเส้นซึ่งมีราคาในท้องตลาดประมาณ 60,000 บาท

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] R. Heinberg, The Party's Over: Oil, War and the Fate of Industrial Societies. Gabriola Island: New Society, 2005.
[2] B. Sørensen, Renewable Energy: Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects, 3rd Ed. New York: Elsevier, 2004.
[3] J. Larminie and A. Dicks, Fuel Cell Systems Explained, 2nd ed. NJ: John Wiley & Sons, 2003.
[4] T. Matsuura, Polymer Membranes for Fuel Cells. New York: Springer Science + Business, 2009.
[5] G. Fontes, et al., "A Large-Signal and Dynamic Circuit Model of a H2/O2 PEM Fuel Cell: Description, Parameter Identification, and Exploitation," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 57, pp. 1874-1881, 2010.
[6] W. Kaewmanee, et al., “Single-Cell PEMFC Test Bench Development at Thai-French Innovation Institute,” The 3rd National Conference on Technical Education, pp.99-104. 25-26 Aug 2010.
[7] H. Bruus, Theoretical Microfluidics. New York: Oxford University Press, 2008.