

อิทธิพลของความหยาบผิวต่ออัตราการรั่วที่จุดเชื่อมต่อของอินเตอร์คอนเน็กเตอร์ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็งแบบแผ่น

Effect of Surface Roughness for Leak rate on Interconnector Joint Under Operating Condition of Planar Solid Oxide Fuel Cell

นิตินัย ปัญญาบุญกุล^{1*} กฤษณา บุญศิริ¹ สุมิตรา จรสโรจน์กุล² จารุวัตร เจริญสุข³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530 E-mail: nitinai_oak1@hotmail.com*, kboonsiri@hotmail.com

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 E-mail: sumittrc@mtec.or.th

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: kcjaruw@kmitl.ac.th

Nitinai Punbusayakul^{1*} Kritsada Boonsiri¹ Sumittra Charojrochkul² Jaruwat Charoensuk³

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology
Nong Chok, Bangkok 10530 Thailand E-mail: nitinai_oak1@hotmail.com*, kboonsiri@hotmail.com

² National Metal and Materials Technology Center

Pathumthani 12120, Thailand E-mail: sumittrc@mtec.or.th

³ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang Bangkok, Thailand. E-mail: kcjaruw@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ให้ความสนใจกับอิทธิพลของความหยาบผิวต่ออัตราการรั่วที่จุดเชื่อมต่อของอินเตอร์คอนเน็กเตอร์ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็งแบบแผ่น ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมา ปัญหาการรั่วซึมของแก๊สและอากาศที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างอินเตอร์คอนเน็กเตอร์กับเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel cell, SOFC) ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าลดลง และยังทำให้เกิดความร้อนสูงที่บริเวณที่เกิดการรั่ว (hotspot) ดังนั้นปัญหาของการป้องกันการรั่วที่บริเวณจุดเชื่อมต่อจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการวิจัย งานวิจัยนี้ทำการปรับเปลี่ยนค่าความหยาบผิวคือ Ra 0.9 1.6 6.3 และ Ra 25 μm ซึ่งอยู่ภายใต้แรงแบบ uniform load 0-2500 N กระทำกับอินเตอร์คอนเน็กเตอร์ วัสดุที่ใช้ทำคือเหล็กกล้าไร้สนิม 316 (Stainless Steel 316) อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 30-800 องศาเซลเซียส ร่องป้องกันการรั่วเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้าง 2 mm. ลึก 2 mm. วัสดุที่ใช้ผนึกคือ ไมก้า (mica) ผลการออกแบบการวัดการรั่วถูกวัดด้วย manometer ตามมาตรฐานของ (ASTM F 37-89) จากผลการทดลองพบว่าความหยาบผิวที่ Ra 25 มีอัตราการรั่วมากที่สุดคือ 110.72 cm^3/min และ Ra = 0.9 มีอัตราการรั่วที่น้อยที่สุด เท่ากับ 67.92 cm^3/min ซึ่งจะพบว่าการใช้

ค่าความหยาบผิวต่ำทำให้อัตราการรั่วต่ำ ซึ่งเหมาะกับการผนึกใน SOFC

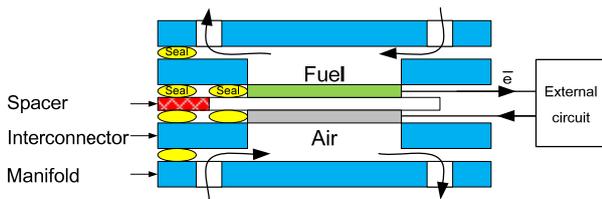
Abstract

Experiment had suggested that problem of gas leakage at the connecting point of the cell stack between the interconnecting zone and Solid Oxide fuel cell (SOFC) is one of the major issues in SOFC development. The gas leak leads to a deficit in overall efficiency, and temperature rise (hot spot). This paper focuses on the design of the connection at the part of fuel cell stack in order to prevent leakage of fuel gas. The design concept are based on surface roughness Ra 0.9 1.6 6.3 and Ra 25 μm and uniform load 500-2500 N. The interconnector is stainless steel 316. Operate temperature is 30-800 Degrees Celsius. The groove was made in order to prevent leakage which is a having a width of 6 mm and a depth of 2mm (square, shape). Mica was used for preventing leakage. Measurement leakage will be explained by manometer follow to base of ASTM F 37-89. The results show

that the leak rate is found as low as $67.3 \text{ cm}^3/\text{min}$ for surface roughness 0.9 at uniform loading condition and 2500 N.

1. บทนำ

การออกแบบ SOFC มีปัจจัยหลายอย่างเช่น Fuel processing, Power electronics, Stack/Systems performance & Modeling และ Cell/Stack Materials & Manufacturing โดยส่วนหนึ่งของการพัฒนา Cell/Stack Materials & Manufacturing คือ การผนึกเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการรั่วระหว่างอินเตอร์คอนเน็กเตอร์กับเซลล์ ซึ่งการรั่วจะส่งผลให้ประสิทธิภาพจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าลดลง ดังนั้นการป้องกันการรั่วที่จุดเชื่อมต่อจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาอินเตอร์คอนเน็กเตอร์ ทั้งนี้ตำแหน่งของการผนึกเซลล์ สามารถดูได้จากรูปที่ 1 ทั้งนี้มีการพัฒนาวัสดุกันรั่วในหลายรูปแบบ โดยทั่วไปแล้วในการวิจัยใช้แก้วโบโรซิลิเกต และ แก้วอลูมิโนซิลิเกตเป็นวัสดุกันรั่วเนื่องจากยึดติดได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิสูง แต่มีข้อเสีย คือใช้งานภายใต้ วัฏจักรทางความร้อนได้เพียงครั้งเดียว ขณะเดียวกันได้มีการศึกษาอิทธิพลของความหยาบของผิวต่อการยึดติดของ elastic solids โดยอธิบายอยู่ในรูปของ fractal dimension (D_f) [2] โดยพบว่าการยึดเกาะจะดีเมื่อมีผิวเรียบ Yataka Y [21] ได้อธิบายอิทธิพลของความหยาบผิวต่อการรั่วของวัสดุผนึกที่มีรูปทรงแบบหอนรอง ต่อการรั่วของ He gas



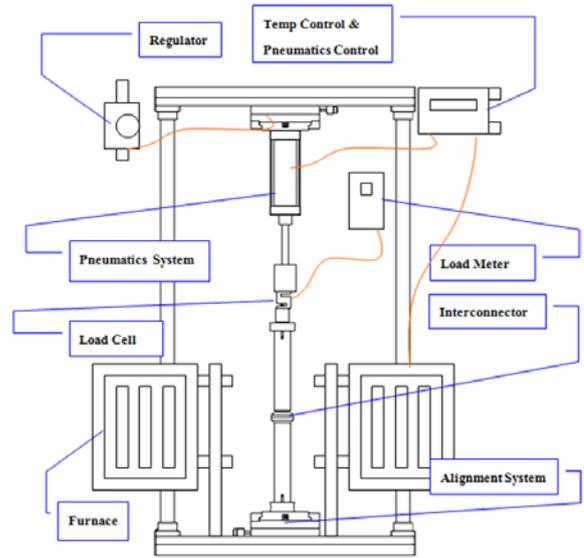
รูปที่ 1 ภาพประกอบของ single cell, Interconnector, Spacer and Manifold และ seal

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาจุดเชื่อมต่อที่อินเตอร์คอนเน็กเตอร์เพื่อป้องกันการรั่ว โดยการออกแบบอยู่บนพื้นฐานของ Compressive load ซึ่งสามารถพัฒนาให้อยู่ภายใต้วัฏจักรทางความร้อนได้ โดยรูปแบบของการกระจายแรงคือ uniform load ทั้งนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าความหยาบผิวคือ $Ra = 0.9$, $Ra = 1.6$, $Ra = 6.3$ และ $Ra = 25 \text{ }\mu\text{m}$ อุณหภูมิ 30-800 °C ร่องผนึกเป็นร่องสี่เหลี่ยม ความกว้าง 6 มม. ลึก 2 มม. วัสดุผนึกคือ Mica อัตราการรั่วถูกวัดด้วยமானอมิเตอร์ตามมาตรฐาน ASTM F 37-89

2. อุปกรณ์การทดลอง

2.1 ชุดป้อนแรงและเตาอบไฟฟ้า

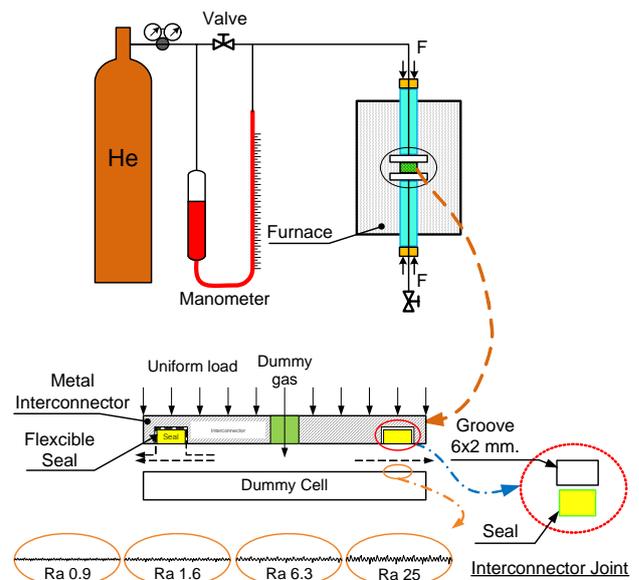
เตาอบไฟฟ้ารูปทรงกระบอกในแนวตั้ง ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงการวางท่อเซลล์เชื้อเพลิงในแนวตั้ง โดยท่อ inconnel ซึ่งถูกรองรับด้วย alignment system จะเป็นตัวส่งแรงไปยังหน้าสัมผัสของอินเตอร์คอนเน็กเตอร์เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันอย่างสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 2



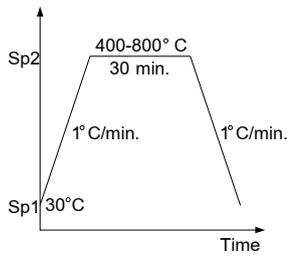
รูปที่ 2 โครงสร้างชุดป้อนแรง และฐานเตาอบไฟฟ้าแนวตั้ง

2.2 ชุดทดสอบการรั่วด้วย Manometer

ชุดวัดอัตราการรั่วถูกสร้างตามมาตรฐาน ASTM F 37-89 ดังรูปที่ 3 การควบคุมอุณหภูมิกระทำดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมกับปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างของวัสดุ ร่องผนึกมี OD 58 mm และ ID 46 mm วัสดุผนึก Mica จะถูกวางระหว่างผิวหน้าสัมผัสของอินเตอร์คอนเน็กเตอร์ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 316 อุปกรณ์ที่ประกอบสมบูรณ์แล้วจะถูกวางในเตาอบอัตราการรั่วถูกวัดที่ 30-800°C โดยคงอุณหภูมิไว้ 30 นาที และทำการวัดการรั่วเป็นเวลา 30 นาที ระหว่างนั้นจะทำการป้อน dummy gas (Nitrogen gas, 2 bar) เข้าไปในเตา ขณะนั้นวาล์วจะต้องถูกปิดลง และยอมให้ dummy gas ไหลผ่านไปยังமானอมิเตอร์ การทดลองจะอยู่ภายใต้ภาระที่ 0-2500 N



รูปที่ 3 Leak rate measurement setup



รูปที่ 4 การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบไฟฟ้า

2.3. การควบคุมความหยาบผิวที่ผิวหน้าของ Dummy cell

การสร้างความหยาบที่ผิวหน้าของ Dummy cell กระทำโดยใช้เครื่องพ่นทรายพ่นเม็ดทรายขนาดต่างๆ กัน สีขนาด ไปที่ผิวของ Dummy cell เพื่อทำให้เกิดค่าความหยาบผิวคือ Ra 0.9 1.6 6.3 และ 25 μm หลังจากนั้นชิ้นงานตัวอย่างจะถูกนำไปวัดค่าความหยาบด้วยเครื่องวัดค่าความหยาบดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 (a) การสร้างความหยาบผิว



รูปที่ 5 (b) การวัดค่าความหยาบผิว Ra 0.9-25 μm

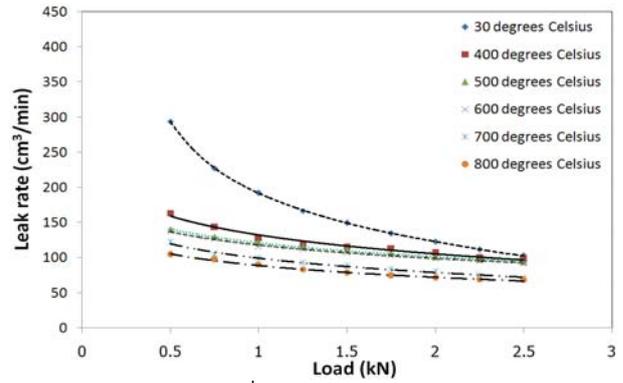
รูปที่ 5 (a) การสร้างความหยาบผิวด้วยเครื่องพ่นเม็ดทรายขนาดต่างๆ

(b) การวัดค่าความหยาบด้วยเครื่องวัดความหยาบที่ Ra 0.9-25 μm

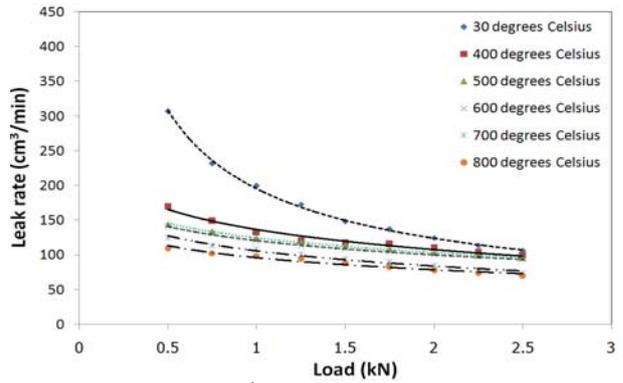
3. ผลการทดลองและการอภิปราย

3.1. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วกับแรงด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ค่าความหยาบผิวต่างๆ กัน

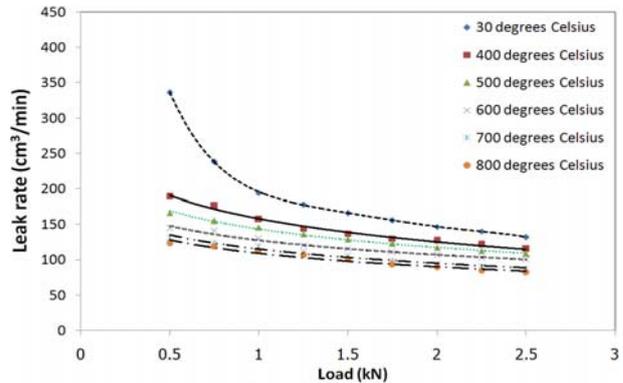
การทดลองอยู่ภายใต้แรงกดแบบ Uniform Load ขนาด 500–2500 N จากผลการทดลองดังรูป 6 จะเห็นว่าทุกเงื่อนไขของการทดลองอัตราการรั่วจะมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขนาดของ Uniform Load และลดลงตามการเพิ่มของอุณหภูมิ อัตราการรั่วที่ค่าความหยาบผิว 0.9 1.6 6.3 และ 25 μm (2.5 kN, 800 °C) คือ 67 69 82 and 110 cm^3/min ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นว่าค่าความหยาบผิวสูงทำให้มีอัตราการรั่วที่เพิ่มขึ้น



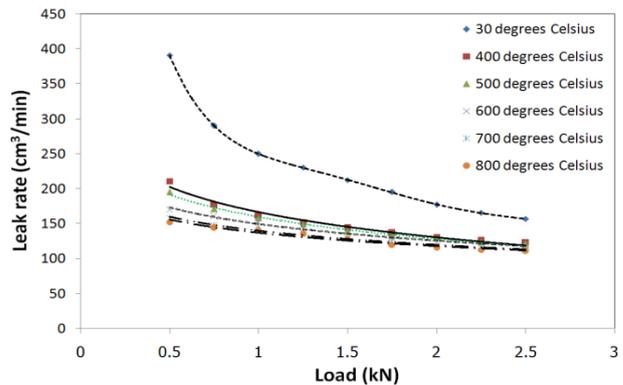
รูปที่ 6 (a) Ra 0.9 μm



รูปที่ 6 (b) Ra 1.6 μm



รูปที่ 6 (c) Ra 6.3 μm

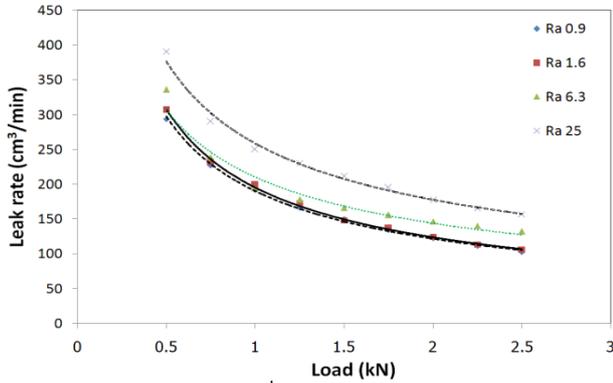


รูปที่ 6 (d) Ra 25 μm

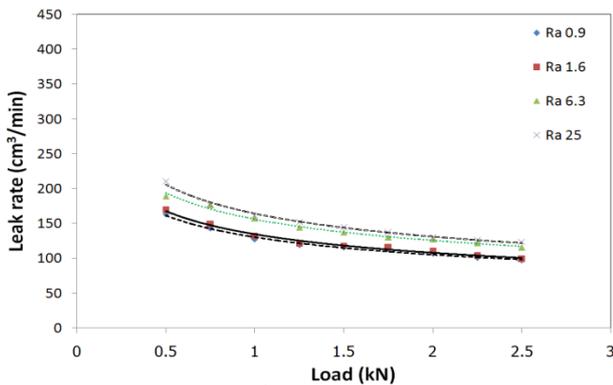
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วกับแรงด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ค่าความหยาบผิวต่างๆ กัน

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วกับแรงด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความหยาบผิว ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

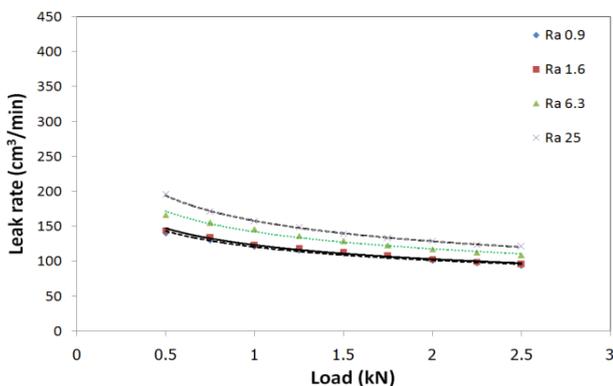
จากรูปที่ 7 พบว่าอัตราการรั่วลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเพิ่มแรงกดที่อุณหภูมิ 30 °C โดยอัตราการรั่วที่ค่าความหยาบผิวคือ 0.9 1.6 6.3 และ 25 μm อยู่ในช่วง 102-105 cm^3/min (2.5 kN) และ อัตราการรั่วลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเพิ่มแรงกดที่อุณหภูมิ 400-800 °C (2.5 kN). ซึ่งอยู่ในช่วง 124-69 cm^3/min . โดยอัตราการรั่วที่ค่าความหยาบผิว 25 จะสูงกว่าที่ค่าความหยาบผิว 0.9 อย่างเห็นได้ชัด



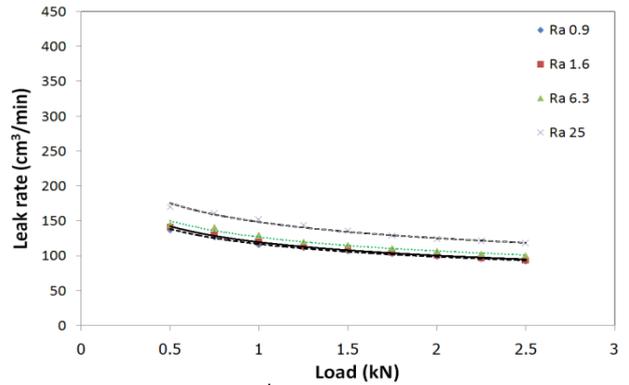
รูปที่ 7 (a) 30 °C



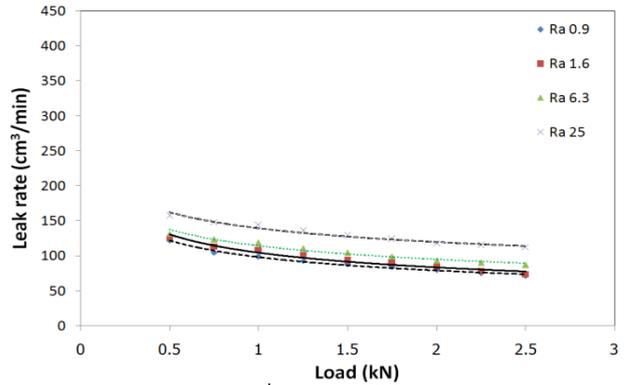
รูปที่ 7 (b) 400 °C



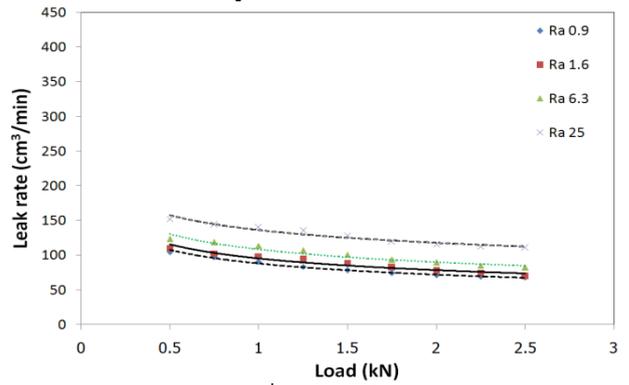
รูปที่ 7 (c) 500 °C



รูปที่ 7 (d) 600 °C



รูปที่ 7 (e) 700 °C

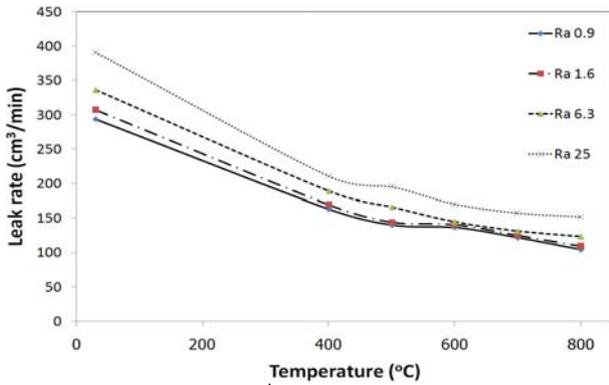


รูปที่ 7 (f) 800 °C

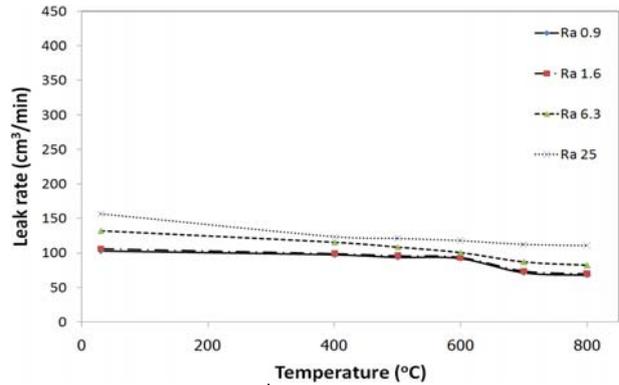
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วกับแรงด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความหยาบผิว ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วกับอุณหภูมิด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความหยาบผิว ที่แรงต่างๆ กัน

จากรูปที่ 8 แสดงอัตราการรั่วเมื่อมีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 30-800 °C พร้อมทั้งคงที่แรงไว้ พบว่าอัตราการรั่วเมื่อค่าความหยาบผิวต่างๆ จะเหมือนกันทุกเงื่อนไข นั่นคือ อัตราการรั่วจะคงที่หรือสูงขึ้นเล็กน้อยที่ 400-600 °C. โดยพบว่าอัตราการรั่วเมื่อค่าความหยาบผิว 6.3 และ 25 μm จะคงที่หรือสูงขึ้นเล็กน้อยที่ 400-500 °C. และที่ค่าความหยาบผิว 0.9 และ 1.6 μm จะคงที่หรือสูงขึ้นเล็กน้อยที่ 500-600 °C. ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเติบโตของ Thermal stress ที่เป็นฟังก์ชันกับสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของอินเทอร์คอนเน็กเตอร์ dummy cell และวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุฉนวน

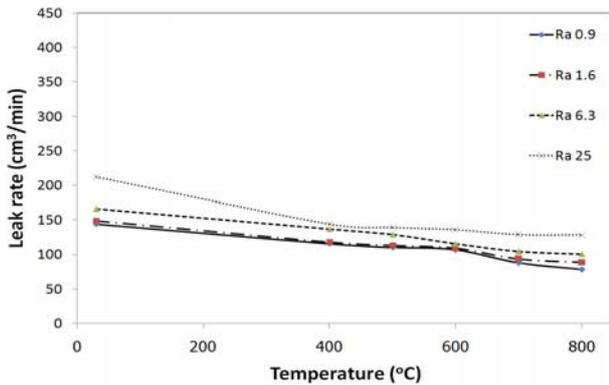


รูปที่ 8 (a) 500 N

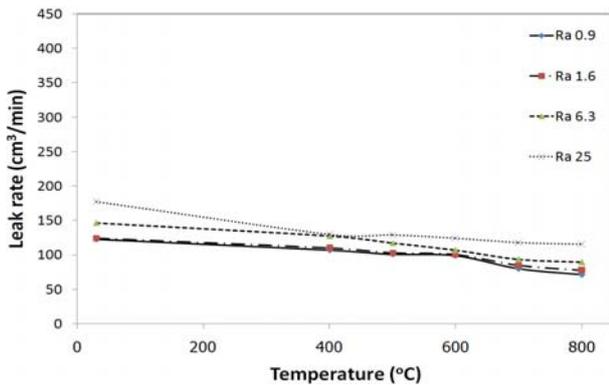


รูปที่ 8 (b) 2500 N

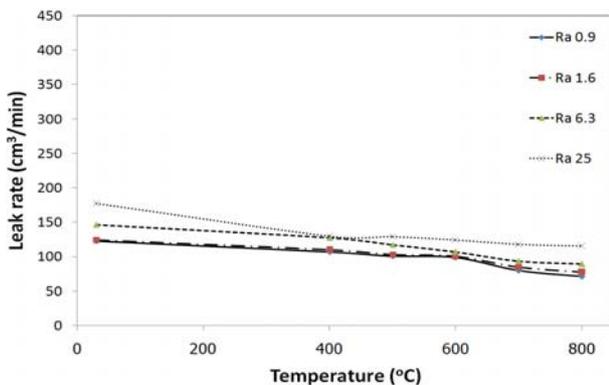
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วกับอุณหภูมิด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความหยาบผิว ที่แรงต่างๆ กัน



รูปที่ 8 (a) 1000 N



รูปที่ 8 (a) 1500 N



รูปที่ 8 (a) 2000 N

4. สรุปผลการทดลอง

การวิจัยอยู่บนพื้นฐานของ Compressive seal ซึ่งถูกภายใต้ thermal cycle ที่สภาวะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็ง จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าอัตราการรั่วจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มขนาดของ Uniform Load และเพิ่มของอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อินเตอร์คอนเน็กเตอร์ dummy cell และ วัสดุผนึก ซึ่งไม่มีคุณสมบัติเป็น rigid body เกิดการเสียรูป ทำให้ช่องว่างของพื้นผิวของ Dummy cell ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความหยาบมีขนาดเล็กลง การรั่วจึงลดน้อยลง โดยเมื่อค่าความหยาบผิวลดลงทำให้มีอัตราการรั่วลดน้อยลงจนอาจจะไม่เกิดการรั่วได้ ซึ่งค่าความหยาบผิวน้อยๆ จะเหมาะกับเงื่อนไขการทำงานของ SOFC โดยผลการทดลองที่ได้ก่อให้เกิดองค์ความรู้ในการพัฒนารูปแบบของการกันรั่ว ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สู่การใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ โดยในอนาคตจำเป็นต้องมีการปรับปรุงการทดลองให้อัตราการรั่วลดลงหรือไม่เกิดการรั่ว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานที่สนับสนุนตั้งนี้คือ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และ ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Azra Selimovic, Miriam Kemm, Tord Torisson, and Mohsen Assadi, (2005). Steady state and transient thermal stress analysis in planar solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, vol.145, April 2005, pp 463 - 469.
- [2] B.N.J. Persson, E Tosatti (2001). The effect of surface roughness on the adhesion of elastic solids, *Journal of chemical physics*, vol.115, September 2001, pp 5597- 5610.
- [3] Jinnapat A, Jiamsirilert S and Charojrochkul S. (2007). Study of Ceramic Seal for Solid Oxide Fuel Cells, *Journal of materials Online AZojomo*, vol 3, June 2007
- [4] K. Scott Weil, Christopher A. Coyle, Jens T. Darsell, Gordon G. Xia and John S. Hardy. (2005). Effects of thermal cycling and thermal aging on the hermeticity and strength of silver-

- copper oxide air-brazed seals, *Journal of Power Sources*, vol.152, March 2005, pp. 97-104.
- [5] Martin Bram, Stephan Reckers, Pere Drinovac, Josef M'önch, Rolf W. Steinbrech, Hans Peter Buchkremer and Detlev Stöver, (2004). Deformation behavior and leakage tests of alternate sealing materials for SOFC stacks, *Journal of Power Sources*, vol.145, August 2005, pp. 111 - 119.
- [6] Larminie J and Dicks A. (2003). *Fuel Cell Systems Explained*, WILEY, second edition, 2003.
- [7] Michael C. Tucker, Craig P. Jacobson, Lutgard C. De Jonghe and Steven J. Visco. (2006). A braze system for sealing metal-supported solid oxide fuel cells, *Journal of power sources*, February, 2006.
- [8] Montross C.S, Yokokawa H, and Dokiya M, (2002). Thermal stresses in planar solid oxide fuel cells due to thermal expansion differences, *British Ceramic Transactions*, vol.101(3), June 2002, pp. 85-93(9).
- [9] Murali Krishna M, Shunmugam M.S and Siva Prasad N. (2007). A study on the sealing performance of bolted flange joints with gaskets using finite element analysis, *Journal of Pressure Vessels and Pining*, vol.84, February 2007, pp. 349-357.
- [10] Punbusayakul N, Wongklang W, Wongtida K, Charoensuk J, and Charojrochkul S. (2008). Behavior of Various Glass Seal for Planar Solid Oxide Fuel Cell, paper presented in *SmartMat08 & IWOFM-2*, April 2008, Chiang Mai, THAILAND
- [11] Punbusayakul N, Wongklang W, Wongtida K, Charoensuk J, and Charojrochkul S. (2008). Behaviour of Various Glass Seal for Planar Solid Oxide Fuel Cell, *Advanced Materials Research*, vol. 55-57, April 2008, pp. 817-820.
- [12]. Punbusayakul N, Charojrochkul S, Charoensuk J, and Fungtammasan B (2008). Design and Development the Interconnector Joint of Planar Solid Oxide Fuel Cell, paper presented in Commission on Higher Education Congress I: University Staff Development Consortium, 5-7 September 2008, Ambassador City Jomtien Hotel, Chonburi, THAILAND
- [13]. Punbusayakul N, Charojrochkul S, Charoensuk J, and Fungtammasan B (2009). Design and Development the Interconnector Joint of Planar Solid Oxide Fuel Cell, paper presented in Commission on Higher Education Congress II: University Staff Development Consortium, 27-29 August 2552, Dusit Thani Pattaya Hotel, Chonburi, THAILAND
- [14]. Punbusayakul N, Wongklang W, Charojrochkul S, Charoensuk J, and Fungtammasan B (2009). Design and Development the Interconnector Joint of Planar Solid Oxide Fuel Cell, paper presented in The 23rd Conference of the Mechanical Engineering Net of Thailand, November 4-7, 2009, Chiang Mai, THAILAND
- [15]. Punbusayakul N, Charojrochkul S, Charoensuk J, and Fungtammasan B (2009). Effect of Load Distribution Patterns on a Non-Rigid-Body Interconnector Under Loading Condition of Planar Solid Oxide Fuel Cell, paper presented in *International Conference on Green and Sustainable Innovation 2009*, December 2-4, 2009, Chiang Rai, THAILAND
- [16] Robbe-Valloire F and Prat M. (2008). A model for face-turned surface microgeometry Application to the analysis of metallic static seals, *WEAR*, vol. 264, September 2008, pp. 980-989.
- [17] Sassoulas H, Morice L, Caplain P, Rouaudb C, Mirabel L and Beal F. (2006). Ageing of metallic gaskets for spent fuel casks: Century-long life forecast from 25,000-h-long experiments, *Nuclear Engineering and Design*, vol.236, February 2006, pp. 2411-2417.
- [18] Weil K.S, Hardy J.S, Rice J.P and Kim J.Y. (2005). Brazing as a means of sealing ceramic membranes for use in advanced coal gasification processes, *Fuel*, vol.85, September 2005, pp. 156-162.
- [19] Yakabe H, Baba Y, Sakurai T and Yoshitaka Y. (2004). Evaluation of the residual stress for anode-supported SOFCs, *Journal of Power Sources*, vol.135, July 2004, pp. 9-16.
- [20] Yeong-Shyung C, Stevenson J.W, Hard J, and Singh P. (2009). Long-term ageing and materials degradation of hybrid mica compressive seals for solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, vol. 191, August 2009, pp. 384-389.
- [21] Yutaka Yamanoi(A), Keizo Agari(A), Hiroaki Watanabe(A), Tetsuro Nakamura(B). (2007). Effect of surface roughness on leak tightness of pillow seal, *The 4th annual meeting of particle accelerator society of japan and the 32nd linear accelerator meeting in Japan*, vol. 191, August 2007, pp. 826-828.
- [22] สุมิตรา จรสโรจน์กุล และ ร.อ.อภิชาติ จินแพทย (2549). การศึกษาการใช้งานของวัสดุกันรั่วในเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง, *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 2, 22-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา*