Thesis Title A Study of Water Droplets Presence in the Gas Flow Channels of Proton Exchange Membrane Fuel Cells *via* Visible and Terahertz Imaging

Author Mr. Pikad Buaphad

Degree Master of Science (Physics)

Thesis Advisor Asst. Prof. Dr. Chitrlada Thongbai

Abstract

Imbalanced water management in a proton exchange membrane (PEM) fuel cell significantly reduces the cell performance and durability. High membrane dehydration causing the proton conductivity to decrease sharply, and overabundance of water impeding the flow of reactant gases in the gas diffusion layer (GDL) as well as in the flow channels are two extreme conditions of water content in PEM fuel cells. Therefore, the visualization and quantitative measurement of water presence in PEM fuel cells can lead to greater comprehension of water distribution and transport processes. In this thesis, visible and terahertz (THz) imaging techniques have been investigated as tools to aid our understanding of the water distribution phenomena within the fuel cell. The prior purpose is to observe water in the flow channels, which leads to a custom design of PEM fuel cell such that both visible and THz light can access the area.

In visible imaging, we directly recorded water-droplet dynamics in the flow channels of PEM fuel cell through poly-methyl-methacrylate (PMMA) window. The results reveal that while the cell-voltage adjusts almost instantaneously to a change in drawn current, it takes approximately 10 seconds to noticeably alter the water distribution in the flow channel as a result of load changes. At a fixed drawn current,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

the water-droplets started to form and build up at 5 seconds after drawing the current, particularly at the bend of channel where the reactant gas was denser, i.e., more reactions. Land-touching droplets appear after 5 minutes of drawing current; some of them grow and expand until they become water column. The water removal process speeds up when the water droplets become smaller in size; some droplets eventually are removed from the cell. However, it is difficult to remove the water droplet at the bend of channel out of the cell due to wall adhesion effects.

For the THz imaging, the THz radiation known for being water sensitive is explored for possibility to detect water in a flow channel of PEM fuel cell. The THz radiation in the form of coherent transition radiation generated from femtosecond electron bunches is used as a source. The *ex situ* THz imaging experiment is performed on a model PEM fuel cell via reflective mode THz imaging. The THz images were obtained from two types of THz window materials: PMMA and silicon (Si) windows. Both windows can satisfactory distinguish water-filled region from the air-filled region in the machine-through-brass flow channel. Under the current setup with 30 degree of incident angle, insertion of a polarizer to our THz imaging system results in image resolutions of 2.3 ± 0.5 mm and 2.2 ± 0.5 mm for p-polarized and s-polarized THz radiation, respectively. Increasing incident angle should improve the resolution using the polarizer. Using metal mesh filtering is another way to improve the image resolution. The calculation suggests a higher mesh number will filter out more of lower frequency components in THz radiation, which results in smaller focusing beam size. The insertion of metal mesh in the THz imaging system is consistent with the calculation as the spatial resolution of 380x380 μm^2 mesh is 1.9 ± 0.5 mm, while that of 180x180 μm^2 mesh is 1.7 ± 0.5 mm. The THz imaging technique is proved to be a promising tool for studying water management in the PEM fuel cell.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การศึกษาหยดน้ำที่อยู่ในช่องทางเดินก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนด้วยภาพถ่ายและภาพเทราเฮิรตซ์

ผู้เขียน นายพิกัด บัวผัด

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. จิตรลดา ทองใบ

บทคัดย่อ

การจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ขาดความสมดุลส่งผลอย่างมากต่อการลดลงของสมรรถนะและอายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิง เมมเบรนที่แห้งทำให้สภาพนำโปรตอนลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่น้ำปริมาณมากเป็นอุปสรรคต่อการไหลของก๊าซทั้งในบริเวณชั้นการแพร่และภายในช่องทางเดินก๊าซ ปัญหาเหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องกับน้ำที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสิ้น ดังนั้นการสังเกตและวัดปริมาณน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจะนำไปสู่ความเข้าใจที่ดีขึ้นของการกระจายตัวของน้ำและกระบวนการลำเลียงน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง วิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคภาพถ่ายและภาพเทราเฮิรตซ์เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยศึกษาปรากฏการณ์การกระจายตัวของน้ำภายในช่องทางเดินก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิง โดยเริ่มจากการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงที่แสงที่มองเห็นได้และแสงเทราเฮิรตซ์สามารถเข้าถึงพื้นที่ช่องทางเดินก๊าซได้

งานวิทยานิพนธ์ในส่วนของภาพถ่าย เป็นการบันทึกพลวัตของหยดน้ำภายในช่องทางเดินก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิงผ่านหน้าต่างพลาสติก ภาพถ่ายแสดงให้เห็นว่าในขณะที่ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงเกือบทันทีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสที่ถูกดึง แต่ต้องใช้เวลาประมาณ 10 วินาที สำหรับการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของการกระจายตัวของน้ำภายในช่องทางเดินก๊าซที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ผลการสังเกตขณะดึงกระแสคงที่, หยดน้ำเริ่มก่อตัวขึ้นหลัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากดึงกระแสแล้ว 5 วินาที โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดวกกลับของช่องทางเดินก๊าซเป็นบริเวณที่มีก๊าซหนาแน่นทำให้บริเวณนี้มีการเกิดปฏิกิริยามาก หยดน้ำที่ติดกับผนังช่องทางเดินก๊าซปรากฏขึ้นหลังจากดึงกระแส 5 นาที หยดน้ำที่ติดกับผนังช่องทางเดินก๊าซบางส่วนจะขยายตัวขึ้นจนสัมผัสกับผนังของช่องทางเดินก๊าซอีกด้านหนึ่ง โดยกระบวนการไหลออกจากเซลล์เชื้อเพลิงของน้ำจะรวดเร็วขึ้นเมื่อหยดน้ำมีขนาดเล็กลง หยดน้ำบางหยดจะถูกผลักดันออกจากเซลล์เชื้อเพลิงได้ แต่ก็เป็นเรื่องยากที่จะกำจัดหยดน้ำที่บริเวณจุดวกกลับของช่องทางเดินก๊าซเนื่องจากผลของแรงยึดเกาะระหว่างหยดน้ำกับผนัง

สำหรับภาพเทราเฮิรตซ์, เนื่องด้วยรังสีเทราเฮิรตซ์มีความไวต่อน้ำ จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ถ่ายภาพเทราเฮิรตซ์ศึกษาการกระจายตัวของน้ำภายในช่องทางเดินก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิง รังสีเทราเฮิรตซ์ที่ใช้อยู่ในรูปรังสีทรานซิชันซึ่งผลิตจากอิเล็กตรอนสัมพัทธภาพห้วงเฟมโตวินาที ใช้การถ่ายภาพเทราเฮิรตซ์แบบสะท้อนของเซลล์เชื้อเพลิงจำลอง ภาพที่ได้จากทั้งหน้าต่างพลาสติกและหน้าต่างซิลิคอน สามารถแยกแยะบริเวณที่มีน้ำออกจากบริเวณที่ไม่มีน้ำภายในช่องทางเดินก๊าซได้ โดยชุดการทดลองที่ใช้ซึ่งมีลำแสงเทราเฮิรตซ์ทำมุมประมาณ 30 องศากับแนวตั้งฉากให้ ความละเอียดของภาพเทราเฮิรตซ์เป็น 2.3 ± 0.5 มม และ 2.2 ± 0.5 มม เมื่อใช้รังสีเทราเฮิรตซ์ที่โพลาไรซ์แบบขนานและแบบตั้งฉากตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มมุมตกกระทบของรังสีเทราเฮิรตซ์จะเพิ่มความละเอียดของภาพเทราเฮิรตซ์โพลาไรซ์ การใช้ตาข่ายโลหะกรองความถี่เป็นอีกวิธีที่จะปรับปรุงความละเอียดของภาพเทราเฮิรตซ์ได้ โดยช่องเปิดของรูตาข่ายที่เล็กจะทำให้รังสีเทราเฮิรตซ์ความถี่ต่ำไม่สามารถผ่านทะลุตาข่ายได้ และส่งผลให้ขนาดของลำแสงเทราเฮิรตซ์ ณ จุดโฟกัสมีขนาดเล็กด้วย ภาพเทราเฮิรตซ์ที่ได้จากการแทรกตาข่ายโลหะในระบบการถ่ายภาพให้ความละเอียดของภาพเป็น 1.9 ± 0.5 มม เมื่อใช้ตาข่ายช่องเปิดขนาด 380x380 ตารางไมครอน ในขณะที่เมื่อใช้ตาข่ายช่องเปิดขนาด 180x180 ตารางไมครอนให้ความละเอียดของภาพเป็น 1.7 ± 0.5 มม ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณเป็นอย่างดี เทคนิคภาพเทราเฮิรตซ์แบบสะท้อนได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่สามารถใช้ในการศึกษาการจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved