Engng.J.CMU.[200] 14 (2-3),64-73

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การประเมินศักยภาพการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อการพาณิชย์ในประเทศไทย

Evaluation of Fuel Cell Production Potential for Commercialization in Thailand

วัสสนัย วรรธนัจฉริยา และ รัตติกาล กองบุญ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ในการวิเคราะห์แนวทางการวิจัยและพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane: PEM) สำหรับยานพาหนะเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า (Customer needs) และสามารถผลิตเพื่อการพาณิชย์ในประเทศไทยได้ เริ่มแรกรวบรวมความต้องการของลูกค้า พบว่า ความต้องการที่ลูกค้าให้ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญ (Important rating: IMP) มากที่สุด คือ ความปลอดภัย มีค่าคะแนน 4.65 รองลงมา คือ ความทนทานและอายุการใช้งาน มีค่าคะแนนเท่ากันคือ 4.64 อันดับที่ 3 ราคายานพาหนะ มีค่าคะแนน 4.36 จากนั้นแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรมใน QFD เมตริกที่ 1 หรือเรียกว่า บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ทำให้ทราบถึงข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญในการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิง PEM สำหรับยานพาหนะ ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญ 3 อันดับที่ได้จากบ้านแห่งคุณภาพ คือ วัสดุที่ใช้ในการผลิต มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 15.33 อันดับสองได้แก่ การออกแบบระบบ มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 11.11 อันดับที่ 3 คือ จำนวนชิ้นส่วน มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 9.77 จากข้อกำหนดทางเทคนิคในบ้านแห่งคุณภาพนำไปสู่ QFD เมตริกที่ 2 คือการแปลงการออกแบบ (Design deployment) ซึ่งเป็นการถ่ายทอดคุณลักษณะทางวิศวกรรมให้เป็นคุณลักษณะของชิ้นส่วน (Part characteristics) พบว่า การออกแบบกระบวนการประกอบและการทดสอบหอเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell stack) มีค่าน้ำหนักมากที่สุดคือ 19.08% อันดับสองคือ การพัฒนาไบโพลาร์เพลต (Bipolar plate) มีค่า 15.37% อันดับที่สาม คือ การพัฒนาชุดประกอบเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane electrode assembly: MEA) มีค่า 14.86% จากการศึกษา QFD พบว่า บุคคลทั่วไปและบริษัทผู้ผลิตรถยนต์มีผลการวิเคราะห์ QFD ที่สอดคล้องกัน คือ การออกแบบกระบวนการประกอบและการทดสอบหอเซลล์เชื้อเพลิง PEM มีความสำคัญมากที่สุด คือ ต้องวิจัยและพัฒนาให้ได้รูปแบบการผลิตหอเซลล์เชื้อเพลิงที่เป็นมาตรฐานเดียวกันและผลิตให้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนด เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้สามารถผลิตหอเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อการพาณิชย์ จากนั้นจึงวิจัยและพัฒนาส่วนประกอบอื่น ๆ ของหอเซลล์เชื้อเพลิง PEM ต่อไป

จากการประเมินศักยภาพการผลิต พบว่า ประเทศไทยมีความเป็นไปได้ทางการตลาด แนวโน้มความต้องการการใช้ยานพาหนะเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มีความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค เพราะการวิจัยและพัฒนาของไทยยังเป็นช่วงเริ่มต้น ทำให้ยังไม่ประสบผลสำเร็จ ปัจจุบันทางด้านเทคนิคจึงเป็นการลองผิดลองถูก เพื่อให้ได้เทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในประเทศไทย ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ทางเศรษฐศาสตร์จึงยังไม่มีความเป็นไปได้เช่นกัน เซลล์เชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ ที่ยังอยู่ในขั้นของการวิจัยและพัฒนา ปัจจุบันงานวิจัยและพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงของประเทศไทยนั้นยังล้าหลังกว่าประเทศอื่น ๆ

ด้วยเหตุนี้การกำหนดแนวทางในการวิจัยและพัฒนาของประเทศไทยจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในการที่จะจัดสรรงบประมาณซึ่งควรเน้นเฉพาะส่วนที่ประเทศไทยมีศักยภาพสามารถพัฒนาได้ ดังนั้น ภาครัฐต้องให้การสนับสนุนอย่างจริงจังเพื่อให้สามารถผลิตเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะภายในประเทศไทยได้ ซึ่งจะทำให้เกิดผลประโยชน์ต่อประเทศชาติอย่างมาก

ABSTRACT

The objective of this research was to apply the Quality function deployment (QFD) technique for research and development of PEM fuel cell to reach the customer needs and for commercialization in Thailand. The study found that the customer placed the important rating at the highest level to safety at 4.65, durability and duration at 4.64, vehicle cost at 4.36, respectively. Then, the customer needs were converted as engineering characteristics in QFD metric 1 or House of Quality (HOQ). It was signified the important technical requirement for PEM fuel cell design. The first three important technical requirements were raw materials (15.33%), system design (11.11%), and the number of components (9.77%). For the 2nd metric, design deployment was engineering characteristic properties transformation to Part characteristics. It was found that process design and fuel cell test stack received the highest score (19.8%), then, bipolar plate (15.37%), and Membrane electrode assembly (14.86%), respectively.

It was found from the study of QFD that for both the public and car manufacturers the results of the analysis of QFD was compatible, that was the design of the manufacturing process and the test station of PEM fuel cell were most important. Research and development has to be done in order to reach a uniformed manufacturing of fuel cell which yields result according to standard specification. This is to reduce the cost of the manufacturing of fuel cell for commercial production. Further research and development for other elements of PEM fuel cell should be done after this stage.

From the evaluation of the production potential, it was found that there were marketing opportunities for Thailand as there was more demand for automobiles. However, technically it was not feasible because research and development in Thailand were still at the beginning stage. At this stage technical side of the manufacturing was only on the trial basis in order to find the most appropriate techniques for manufacturing in Thailand. This made it not feasible economically as well. Fuel cell is a new technology in Thailand and is still at the research and development phase. In addition, research and development in this area in Thailand is outdated compared to that in other countries. Therefore it is important to set a direction for research and development in Thailand, especially in allocation of funds which should focus on the areas that Thailand shows potential for development. The government should play a role in supporting the ability for Thailand to produce automobiles in Thailand. This will benefit Thailand greatly.

1. บทนำ

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาแหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากน้ำมันเชื้อเพลิง แต่เนื่องจากความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้น และแหล่งผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำมัน ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาในเรื่องการซื้อน้ำมันดิบจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าหลายแสนล้านบาทต่อปี อีกทั้งมีแนวโน้มที่จะมีราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดจนปัญหาเรื่องมลภาวะในอากาศและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งทำให้โลกมีอากาศร้อนขึ้นเรื่อย ๆ สาเหตุสำคัญเกิดจากภาคการขนส่ง ซึ่งปัจจุบันยานพาหนะกลายเป็นเสมือนปัจจัยที่ 5 สำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ จึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาค้นคว้าและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิด แลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange- membrane: PEM) จึงเป็นที่สนใจในการนำมาขับเคลื่อนยานพาหนะแทนรถยนต์เครื่องสันดาปภายใน

ปัจจุบันการออกแบบผลิตภัณฑ์มีปัญหาหลักคือลูกค้ามีความต้องการต่าง ๆ กัน และความต้องการนี้จะต้องได้รับการตอบสนองโดยวิศวกรออกแบบ ซึ่งต้องทำการตัดสินใจทางเทคนิคเป็นจำนวนมาก ในทางปฏิบัติวิศวกร

ออกแบบจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้หมด เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลา เงินทุน และทรัพยากรอื่น ๆ ด้วยเหตุผลนี้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) จึงเป็นวิธีที่ช่วยให้ฝ่ายออกแบบสามารถตัดสินใจในแนวทางที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีที่สุดตามกำลังทรัพยากรที่มีอยู่ QFD เป็นการประกันคุณภาพในการออกแบบโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อความพึงพอใจของลูกค้าและถ่ายทอดความต้องการของลูกค้าให้เป็นเป้าหมายของการออกแบบผลิตภัณฑ์ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงPEM เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่นำมาประยุกต์ใช้ในยานพาหนะ ซึ่งในประเทศไทยปัจจุบันยังคงอยู่ในช่วงการวิจัยและพัฒนา ด้วยเหตุนี้ ผู้ศึกษาจึงนำเทคนิค QFD มาเป็นเครื่องมือเพื่อใช้หาแนวทางในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิง PEM ที่มีคุณสมบัติสำหรับการนำไปขับเคลื่อนยานพาหนะได้จริง โดยผลจากการวิเคราะห์ QFD จะทำให้ทราบว่าส่วนประกอบใดเป็นส่วนที่สำคัญที่จะนำมาออกแบบวางแผนและพัฒนาเพื่อให้ได้เซลล์เชื้อเพลิง PEM สำหรับยานพาหนะ ซึ่งผลจากการวิจัยนี้หน่วยงานวิจัยด้านเซลล์เชื้อเพลิง PEM ในประเทศไทยสามารถนำไปเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนา ตลอดจนภาครัฐที่จะพิจารณาให้การสนับสนุนหรือส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาในส่วนที่เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งจะทำให้การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิง PEM เป็นไปอย่างรวดเร็วทันกับประเทศอื่นที่มีการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิง PEM เพื่อการพาณิชย์

2. ทฤษฎี

การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ หรือ Quality Function Deployment (QFD) เป็นเทคนิคหรือวิธีการสำหรับจัดโครงสร้างในการวางแผนผลิตภัณฑ์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยจะช่วยให้สามารถระบุความต้องการของลูกค้าได้อย่างชัดเจน และแปลงความต้องการนั้นให้อยู่ในรูปคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือบริการ แล้วทำการประเมินความสามารถของผลิตภัณฑ์หรือบริการแต่ละชนิดที่นำเสนอไป ในรูปของผลกระทบที่มีต่อความต้องการต่าง ๆ

QFD พัฒนาขึ้นโดย Dr. Yoji Akao ซึ่งได้นำมาใช้เป็นครั้งแรกในอู่ต่อเรือของบริษัทมิตซูบิชิประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี ค.ศ. 1972 หลังจากนั้น บริษัทโตโยต้าได้นำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้ จนกระทั่งแพร่หลายไปถึงผู้ผลิตชิ้นส่วนให้กับบริษัท โดยโตโยต้าบังคับให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดใช้ QFDเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในปัจจุบัน QFD ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วญี่ปุ่น แม้แต่อุตสาหกรรมบริการก็พบว่า QFD สามารถช่วยให้บริษัทเห็นความสำคัญของคุณภาพยิ่งขึ้น

สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา QFD เริ่มต้นขึ้นประมาณปี ค.ศ. 1984 โดยบริษัท ฟอร์ดมอเตอร์ ซึ่งต่อมาได้จัดตั้ง Ford Supplier Institute ขึ้นเพื่อพัฒนาคุณภาพของชิ้นส่วนที่ผลิตโดยผู้ผลิตชิ้นส่วนให้แก่ฟอร์ด ต่อมาสถาบันดังกล่าวได้กลายเป็นองค์กรอิสระที่ไม่แสวงหากำไรชื่อ American Supplier Institute (ASI) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้การฝึกอบรมและให้คำปรึกษาด้าน QFD และเป็นสถาบันที่มีบทบาทอย่างสูงในการทำให้ QFD เป็นที่นิยมในประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเทศไทย เพิ่งจะมีการนำวิธี QFD มาใช้ในช่วงเจ็ดแปดปีที่ผ่านมานี้ โดยบริษัทผลิตอิฐทนไฟแห่งหนึ่งในเครือซีเมนต์ไทย ซึ่งมีความพยายามที่จะตอบสนองความต้องการอันหลากหลายของลูกค้า สำหรับบริษัทอื่น ๆ นอกจากเครือซีเมนต์ไทยแล้ว วิธีนี้ยังไม่ค่อยแพร่หลายมากนักเนื่องจากส่วนใหญ่มักจะเข้าใจว่าวิธีนี้เหมาะสำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่เท่านั้น [1]

รูปแบบการทำ QFD โดยทั่วไปแล้วจะไม่มีรูปแบบที่ตายตัว แต่พอจะแบ่งวิธีการทำ QFD ได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่นิยมใช้ในประเทศตะวันตก หรือ QFD 4 เฟส (Four Phase Model) และแบบที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่น (Matrix of Matrices) วิธีการทำ QFD ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันมากนัก จุดมุ่งหมายหลักคือ การแปลงความต้องการของลูกค้า (what) ให้ละเอียด

ขึ้นเป็นลำดับ จนกระทั่งถึงขั้นตอนการผลิต (how) แบบที่นิยมใช้ในประเทศตะวันตกมีการสร้างตารางน้อยกว่า ส่วนแบบที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นจะมีการใช้ตารางจำนวนมากถึง 30 ตาราง เพื่อให้ครอบคลุมถึงกิจกรรมอื่น ๆ เช่น วิศวกรรมคุณค่า การวิเคราะห์ต้นทุน การควบคุมคุณภาพ วิศวกรรมน่าเชื่อถือ

QFD แบบ 4 เฟส ซึ่งนิยมใช้ในประเทศตะวันตกนี้ เป็นส่วนหนึ่งของวิธีแบบญี่ปุ่น วิธีนี้ประกอบด้วยตารางทั้งหมด 4 ตาราง เริ่มต้นจากเสียงของผู้บริโภค (Voice of Customer) ไปจนถึงรายละเอียดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการปฏิบัติการผลิตโดยทั่วไปแล้วบริษัทส่วนใหญ่ที่ใช้ QFD มักสร้างเพียงแค่ตารางแรก หรือตารางที่ 2 เท่านั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลาและความพร้อมของข้อมูล [3]

เซลล์เชื้อเพลิง คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงผันพลังงานเคมีของไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการของเซลล์เชื้อเพลิงทำงานคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่แตกต่างจากแบตเตอรี่คือ กำลังจะไม่ลดลงและไม่มีการประจุไฟใหม่ เซลล์เชื้อเพลิงจะให้กระแสไฟฟ้า ความร้อน และน้ำ ตราบเท่าที่เชื้อเพลิงและออกซิเจนยังป้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน(Proton exchange membrane: PEM) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการขนส่ง เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ให้ความหนาแน่นพลังงานสูงและมีข้อได้เปรียบที่น้ำหนักเบาและปริมาตรน้อยเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น เซลล์เชื้อเพลิง PEM ใช้พอลิเมอร์แข็งเป็นอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้าบรรจุทองคำขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการแยกอิเล็กตรอนและโปรตอนของไฮโดรเจน เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ต้องการไฮโดรเจน ออกซิเจนจากอากาศ และน้ำเท่านั้นในการทำงาน โดยทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 80 องศาเซลเซียส การทำงานที่อุณหภูมิต่ำทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเริ่มต้นทำงานได้เร็ว อุปกรณ์ในระบบสึกหรอน้อย ช่วงอายุการใช้งานดีกว่า แต่การใช้ทองคำขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้มีราคาแพง และทองคำขาวมีความไวต่อคาร์บอนมอนนอกไซด์ ปัจจุบันนักพัฒนากำลังคิดค้นตัวเร่งปฏิกิริยา platinum/ruthenium ที่มีความทนทานต่อคาร์บอนมอนนอกไซด์

ส่วนประกอบของระบบเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ หอเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell stack) ระบบสนับสนุน (Balance-of-plant, BOP) และระบบควบคุม (System controls) ส่วนที่เป็นหัวใจสำคัญของระบบคือ หอเซลล์เชื้อเพลิง

3. วิธีการวิจัย

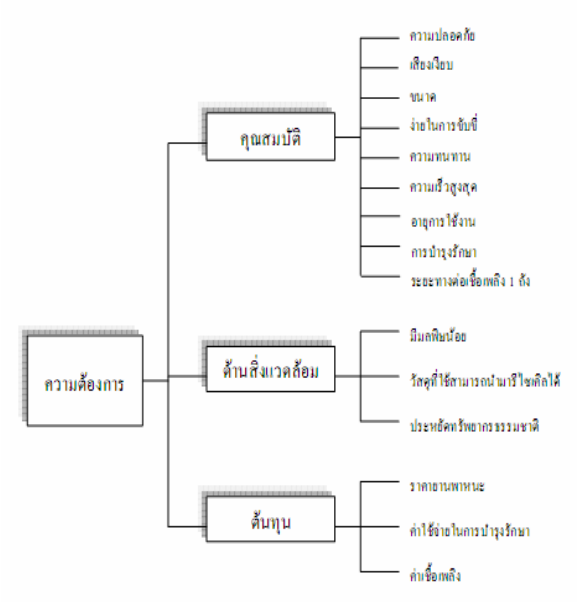
ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ QFD แบบ 4 เฟส โดยทำในเฟส 1 และเฟส 2 เท่านั้น งานวิจัยเริ่มจากการสำรวจความต้องการของลูกค้าที่มีต่อยานพาหนะเซลล์เชื้อเพลิง นำมาจัดกลุ่มความต้องการของลูกค้าโดยใช้แผนผังต้นไม้ (Tree diagram) สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ (1) คุณสมบัติ (2) สิ่งแวดล้อม (3) ต้นทุน แสดงได้ดังรูปที่ 1

จากนั้นนำมาจัดทำแบบสอบถาม แล้วให้กลุ่มเป้าหมายเป็นผู้ตอบแบบสอบถาม โดยกำหนดกลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มบุคคลทั่วไป จำนวน 400 คน และกลุ่มบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน ผลจากแบบสอบถามนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญความต้องการของลูกค้า (Importance to Customer) โดยคำนวณได้ดังนี้

N = ค่าของข้อมูลใด ๆ

$$\text{ค่าเฉลี่ยความสำคัญ} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \ldots + N_{400}}{400}$$

ผลจากการคำนวณค่าเฉลี่ยความสำคัญความต้องการของลูกค้า แสดงได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแผนผังต้นไม้ความต้องการของลูกค้า

ตารางที่ 1 แสดงค่าระดับคะแนนความสำคัญ

ความต้องการของลูกค้า		ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญ (IMP)
คุณสมบัติ	ความปลอดภัย	4.65
	ขนาด	3.58
	เสียงเงียบ	3.91
	ง่ายในการขับขี่	4.22
	ความทนทาน	4.64
	ความเร็วสูงสุด	3.74
	อายุการใช้งาน	4.64
	การบำรุงรักษา	4.20
	ระยะที่ใช้งาน/เชื้อเพลิง 1 ถัง	4.34
สิ่งแวดล้อม	มีมลพิษน้อย	4.02
	วัสดุสามารถรีไซเคิลได้	3.82
	ประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ	4.29
ต้นทุน	ราคายานพาหนะ	4.36
	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	3.89
	ค่าเชื้อเพลิง	3.95

นำความต้องการจากแบบสอบถามแปลงเข้าสู่ QFD ในเฟสที่ 1 หรือบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality:HOQ) โดยเริ่มแรกต้องมีการกำหนดค่าเป้าหมายของข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเป้าหมายของข้อกำหนดทางเทคนิค

ข้อกำหนดทางด้านเทคนิค	ค่าเป้าหมาย	ทิศทางการเคลื่อนที่
ความเข้มของเสียง	<60 เดซิเบล	↓
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	<0.12 กรัม / เมตร	↓
น้ำหนัก	ขนาดกะทัดรัด (compact size)	↓
จำนวนชิ้นส่วน	ให้มีจำนวนน้อยชิ้น	↓
ความเร็ว	≥150 กิโลเมตร / ชั่วโมง	↑
ปริมาตรถังบรรจุเชื้อเพลิง	≥156.6 ลิตร / 1 ถัง	↑
วัสดุที่ใช้ในการผลิตเซลล์เชื้อเพลิง	คุณภาพสูง (high quality)	↓
อายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิง	≥5,000 ชั่วโมง (250,000 กม.)	↑
ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิง	≥355 กิโลเมตร / 1 ถัง	↑
Operating Cost	<20 บาท/ลิตร (ถูกกว่าน้ำมัน)	↓
System design	มีความปลอดภัยต่อการระเบิด	↑
ตรวจเช็คสภาพ	2 ครั้ง / ปี	↓
Start up condition	ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	↓
ต้นทุนในการผลิต	<1,400 บาท / กิโลวัตต์ (ถูกกว่า ICE)	↓

โดยค่าเป้าหมายได้อ้างอิงข้อมูลจากโครงการเซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนแห่งชาติ [2] ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเทคโนโลยี และสาธิตแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ขนาดเบา และใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับความเข้มของเสียงอ้างอิงตามกฎหมายของประเทศไทยที่กำหนดให้รถยนต์ที่วิ่งบนท้องถนนต้องมีเสียงไม่เกิน 60 เดซิเบล ในส่วนของความเร็วและปริมาตรถังบรรจุเชื้อเพลิงได้อ้างอิงค่าจากรถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงฮอนด้า FCX [5] ในส่วนของบ้านแห่งคุณภาพแสดงได้ดังรูปที่ 2

สำหรับ QFD ในเฟสที่ 2 คุณลักษณะของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) การกำหนดค่าเป้าหมายรายละเอียดข้อกำหนด แสดงได้ดังตารางที่ 3 และ QFD เฟสที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดข้อกำหนด

คุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบ	รายละเอียดข้อกำหนดคุณสมบัติส่วนประกอบ	ค่าเป้าหมาย
สแตกเซลล์ (Stack Cell)	พัฒนาเมมเบรน	ทำงานที่ T ≥ 120°C และ P ≤ 1.5 kPa, H^+ conductivity 0.10 S/cm
	ลดปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในอิเล็กโทรด	Pt ≤ 0.3 mg / cm^2 หรือใช้ตัวเร่งอื่นแทน
	ควบคุมความหนาของ GDL	100-300[1] µm
	พัฒนาวัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นเก็บ	ทนความร้อน ≥ 150°C, ทนกรดและกันก๊าซรั่ว
	พัฒนาไบโพลาร์เพลต	น้ำหนัก < 0.4 kg/kW, ค่าการนำไฟฟ้า > 100 S/cm
	พัฒนาชุดประกอบเมมเบรนอิเล็กโทรด (MEA)	ทำงานที่ T ≥ 120°C และ P ≤ 1.5 kPa, อายุการใช้งาน ≥ 5,000 ชั่วโมง
	ออกแบบกระบวนการประกอบและการทดสอบ stack	กำลังไฟฟ้า ≥ 50 กิโลวัตต์, อายุการใช้งาน ≥ 5,000 ชั่วโมง
ระบบสนับสนุน (Balance-of-plant: BOP)	เพิ่มประสิทธิภาพระบบการจัดการอากาศ น้ำ และอุณหภูมิ	ค่าเป้าหมายตามที่ DOE กำหนด
	พัฒนาระบบ sensor สำหรับวัดคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี	ค่าเป้าหมายตามที่ DOE กำหนด
ถังเชื้อเพลิง	พัฒนาถังเก็บก๊าซไฮโดรเจน	ความจุ ≥ 156.6 ลิตร[2]

ในส่วนของค่าเป้าหมายอ้างอิงจากค่าเป้าหมายตามที่ DOE กำหนดสำหรับปี 2010 [4]

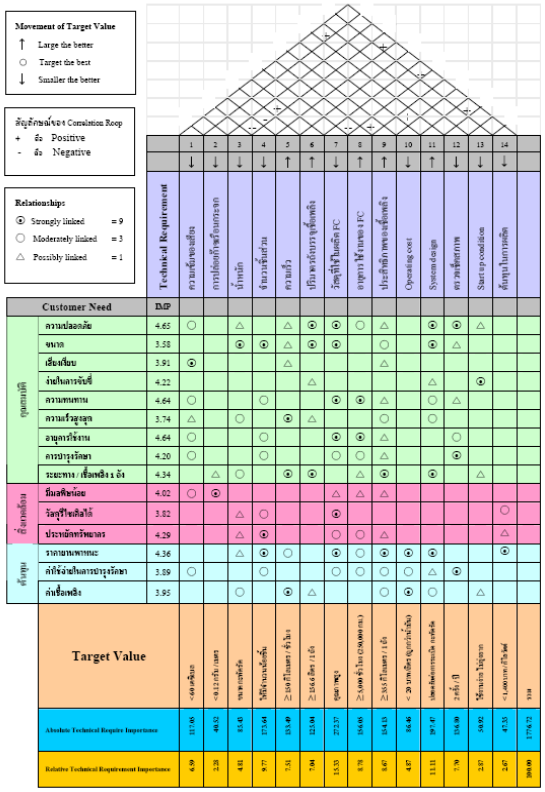
[1] อ้างอิงค่าจาก Viral Mehta, Joyce Smith Cooper [6] และ

[2] อ้างอิงค่าจาก รถยนต์ Honda FCX [5]

ผลจาก QFD นำไปวางแนวทางในการวิจัยและพัฒนาสำหรับประเทศไทย ให้สามารถผลิตยานพาหนะเซลล์เชื้อเพลิงได้จริงภายในประเทศ

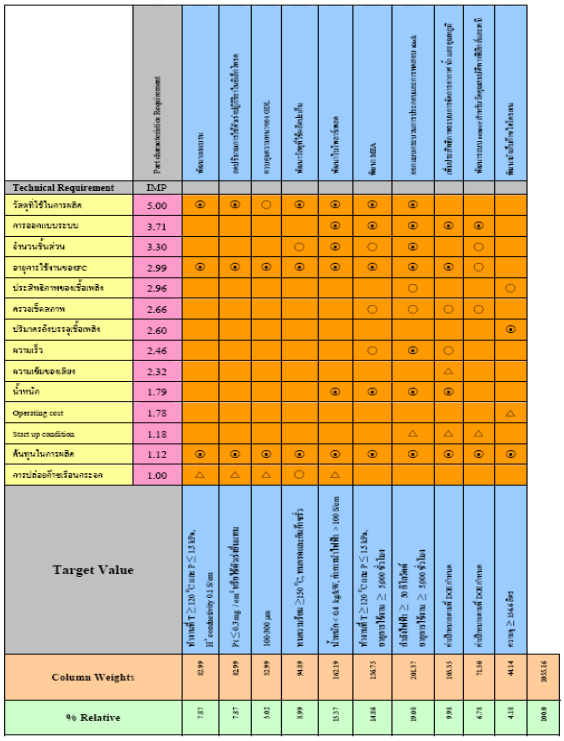
4. ผลการวิจัย

ผลจากแบบสอบถาม พบว่า ความต้องการที่ลูกค้าให้ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญ (Important rating: IMP) มากที่สุด คือ ความปลอดภัย มีค่าคะแนน 4.65 รองลงมาคือ ความทนทานและอายุการใช้งาน มีค่าคะแนนเท่ากันคือ 4.64 อันดับที่ 3 ราคายานพาหนะ มีค่าคะแนน 4.36 จากนั้นแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรมใน QFD เมตริกที่ 1 หรือเรียกว่า บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ทำให้ทราบถึงข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญในการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิง PEM สำหรับยานพาหนะ ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญ 3 อันดับที่ได้จากบ้านแห่งคุณภาพ คือ วัสดุที่ใช้ในการผลิต มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 15.33 อันดับสองได้แก่ การออกแบบระบบ มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 11.11 อันดับที่ 3 คือ จำนวนชิ้นส่วน มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 9.77



รูปที่ 2 แสดงบ้านแห่งคุณภาพ

จากข้อกำหนดทางเทคนิคในบ้านแห่งคุณภาพ นำไปสู่ QFD เมตริกที่ 2 คือการแปลงการออกแบบ (Design deployment) ซึ่งเป็นการถ่ายทอดคุณลักษณะทางวิศวกรรมให้เป็นคุณลักษณะของชิ้นส่วน (Part characteristics) พบว่า การออกแบบกระบวนการประกอบและการทดสอบหอเซลล์เชื้อเพลิง มีค่าน้ำหนักมากที่สุดคือ 19.08% อันดับสองคือ การพัฒนาไบโพลาร์เพลต มีค่า 15.37% อันดับที่สาม คือ การพัฒนาชุดประกอบเมมเบรนอิเล็กโทรด มีค่า 14.86%



รูปที่ 3 แสดง QFD เฟส 2

จากการศึกษา QFD พบว่า บุคคลทั่วไปและบริษัทผู้ผลิตรถยนต์มีผลการวิเคราะห์ QFD ที่สอดคล้องกัน คือ การออกแบบกระบวนการประกอบและการทดสอบหอเซลล์เชื้อเพลิง PEM มีความสำคัญมากที่สุด คือ ต้องวิจัยและพัฒนาให้ได้รูปแบบการผลิตหอเซลล์เชื้อเพลิงที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Uniform) และผลิตให้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนด (Specification) เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้สามารถผลิตหอเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อการพาณิชย์ จากนั้นจึงวิจัยและพัฒนาส่วนประกอบอื่น ๆ ของหอเซลล์เชื้อเพลิง PEM ต่อไป

6. สรุป

6.1 การวิจัยและพัฒนายานพาหนะเซลล์เชื้อเพลิง

QFD เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการรวบรวมความต้องการของผู้บริโภคเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ได้ตามความต้องการ เมื่อนำมาใช้แล้วจะสามารถทำให้การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นไปอย่างรวดเร็ว และต้นทุนรวมการออกแบบจะต่ำลงด้วย ทุกวันนี้ประเทศไทยยังคงอยู่ในช่วงของการวิจัยและพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิง ผลวิเคราะห์จาก QFD สามารถนำมาเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงให้มีความชัดเจน และมีเป้าหมายเหมือนกัน อีกทั้งทำงานอย่างเป็นระบบ รวมถึงสามารถจัดสรรงบประมาณอย่างคุ้มค่าที่สุด การวิจัยและพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงในประเทศไทยจะต้องมีแนวทางที่ชัดเจนว่าใครทำอะไร อย่างไร ที่ไหน รวมถึงให้การสนับสนุนต่อกัน เพื่อให้การพัฒนาเป็นไปในแนวทางเดียวกัน และลดเวลา ลดต้นทุน ในการวิจัยและพัฒนา จากผลการศึกษา QFD ทำให้ทราบว่าทิศทางในการวิจัยและพัฒนา PEM ควรจะมุ่งเน้นพัฒนาการออกแบบกระบวนการประกอบและการทดสอบ PEM ให้ได้มาตรฐานสามารถนำมาใช้งานได้จริงและสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ให้ได้ก่อน แล้วจึงวิจัยและพัฒนาส่วนประกอบส่วนอื่น ๆ ของ PEM ต่อไป

6.2 การวิเคราะห์ SWOT

จุดแข็ง (Strengths)

1. จากการที่ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีความเข้มแข็งด้วยยอดขายที่เติบโตขึ้นเรื่อย ๆ และมีแนวโน้มจะขยายตัวไปได้อีกมาก มีการย้ายฐานการผลิตเข้ามาตั้งโรงงานผลิตรถยนต์ในประเทศไทยของผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่จากทั่วโลก มีการสนับสนุนเพื่อผลักดันให้ประเทศไทยก้าวขึ้นสู่การเป็นศูนย์กลางการผลิตรถยนต์ในระดับภูมิภาค หรือ เรียกกันว่าดีทรอยด์แห่งเอเชีย (Detroit of Asia) ทำให้เป็นโอกาสอันดีในการที่ประเทศไทยจะผลิตเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อการพาณิชย์ ซึ่งอาจจะผลิตเพื่อเป็นผู้จัดส่งสินค้าให้กับบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ ในปัจจุบัน

2. มีศักยภาพทางด้านการผลิต เพราะได้ทำการประกอบการในอุตสาหกรรมนี้มานานตั้งแต่สมัยเริ่มต้นปีที่ 2504 จนถึงปัจจุบันเป็นเวลากว่า 40 ปี ทำให้เกิดความชำนาญ และมีความพร้อมรับต่อการปรับตัวได้เร็ว

3. มีกำลังการผลิตสูง เนื่องจากประเทศไทยยังมีกำลังการผลิตส่วนเกินอยู่มาก ที่สามารถรองรับการขยายตัวทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศได้อีก

4. นโยบายส่งเสริมการส่งออกเอื้อประโยชน์ต่อผู้ผลิต อีกทั้งการให้สิทธิพิเศษกับผู้ประกอบการที่ผลิตเพื่อส่งออก ดังนั้นถ้าจะผลิตเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อการพาณิชย์ ก็สามารถที่จะส่งออกไปยังต่างประเทศได้

5. มีผู้ประกอบการระดับ SME อยู่มาก สำหรับสนับสนุนอุตสาหกรรมด้านยานยนต์ ทำให้ประเทศไทยพร้อมที่จะรองรับกับการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ในประเทศได้เป็นอย่างดี

จุดอ่อน (Weakness)

1. บุคลากรยังขาดทักษะในการทำงานโดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีและการออกแบบขั้นสูง เนื่องจากการที่ผู้ประกอบการในไทยต้องดำเนินกิจการตามขั้นตอนที่ถูกกำหนดจากบริษัทแม่ ทำให้ไม่มีความคิดสร้างสรรค์

2. องค์กรต่าง ๆ ในประเทศไทยไม่ได้ให้ความสำคัญกับหน่วยงานที่ทำการวิจัยและพัฒนา (R&D) ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เป็นไปอย่างล่าช้า อีกทั้งการจัดการเทคโนโลยีในประเทศไทยยังไม่มีการดำเนินงานที่มีแผนชัดเจนและเหมาะสม ทำให้ขาดหน่วยงานในการวิจัยและพัฒนา(R&D) ซึ่งองค์กรในประเทศไทยส่วนมากมักจะมองว่าหน่วยงานนี้เป็นหน่วยงานที่ทำให้สิ้นเปลืองต้นทุน หรือบางองค์กรที่มีก็จะมอบหมายงานไม่ตรงตามวัตถุประสงค์

3. ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ทำให้ถูกจำกัดการถ่ายทอดเทคโนโลยี อีกทั้งประเทศไทยยังขาดเทคโนโลยีชั้นสูง

4. ปัจจุบันต้นทุนในการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงยังสูงมาก ทำให้ราคาของยานพาหนะยังอยู่ในระดับราคาที่สูง ส่งผลให้ความต้องการของผู้บริโภคต่อยานพาหนะเซลล์เชื้อเพลิงลดลง รวมถึงการสร้างสถานีเติมเชื้อเพลิงที่จะต้องสามารถหาเติมก๊าซไฮโดรเจนได้ง่ายและสะดวกเหมือนน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก ทำให้ราคาของไฮโดรเจนยังมีราคาที่สูงกว่าราคาน้ำมันในปัจจุบัน

5. การผลิตของประเทศไทยยังไม่สามารถรักษาระดับคุณภาพได้คงที่ เนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผู้บริโภคเป็นอย่างมากในการตัดสินใจซื้อ ดังนั้นถ้าจะทำการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงต้องสามารถรักษาระดับคุณภาพได้

6. ด้านความปลอดภัย เป็นปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ถ้าการผลิตของประเทศไทยยังรักษาระดับคุณภาพในการผลิตได้ไม่ดีพอ จะทำให้ผู้บริโภคขาดความเชื่อมั่นในตัวสินค้าที่ผลิตจากประเทศ เนื่องจากยานพาหนะเซลล์เชื้อเพลิงต้องพิจารณาในเรื่องความปลอดภัย เพราะมีการใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่สามารถระเบิดได้ ดังนั้นคุณภาพในการผลิตเป็นเรื่องสำคัญ

โอกาส (Opportunities)

1. นโยบายส่งเสริมจากภาครัฐ ที่ให้ความสำคัญและสนับสนุนการพัฒนาพลังงานทดแทน จากการที่กระทรวงพลังงานได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาพลังงานทดแทน โดยกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นโอกาสใหม่ของประเทศไทย โดยมีเป้าหมายให้เพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน จากร้อยละ 0.5 ในปี พ.ศ. 2545 ไปเป็นร้อยละ 8.0 ในปี พ.ศ. 2554

2. ปัจจัยที่เกิดจากภายนอกประเทศเอื้อผลประโยชน์ให้กับเซลล์เชื้อเพลิง คือ วิกฤตการณ์น้ำมัน (Oil Crisis) ที่มีราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ใกล้จะหมด ดังนั้นทั่วโลกจึงให้ความสนใจในการนำพลังงานทดแทนมาใช้ ส่วนด้านยานพาหนะทั่วโลกให้ความสนใจเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากเป็นพลังงานที่ให้ประสิทธิภาพสูง

3. พันธสัญญาระหว่างประเทศ โดยเฉพาะพิธีสารโตเกียว (Kyoto Protocal) ซึ่งมีผลบังคับใช้เป็นวันแรก เมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2548 โดยพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocal) หรือชื่อเป็นทางการก็คือ “Kyoto Protocal to the United Nations Framework Convention on Climate Change” ซึ่งเป็นการลง

สัตยาบันของนานาประเทศที่จะร่วมมือกันยับยั้งสถานการณ์โลกร้อน ด้วยการลดปริมาณการก่อให้เกิดก๊าซอันจะทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Green House Effect) โดยให้ลดปริมาณการใช้สารลงให้ได้อย่างน้อย 5.2 % ในปี พ.ศ. 2555 และต้องลดก๊าซเรือนกระจกให้ได้ถึง 75% ในปี พ.ศ. 2593 ทั้งนี้ ประเทศไทยของเราก็เป็นประเทศหนึ่งที่ร่วมลงนามในพิธีสารนี้เช่นกัน ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมาจากยานพาหนะ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการผลักดันการพัฒนายานพาหนะเซลล์เชื้อเพลิง

4. ตลาดภายในประเทศมีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เพราะยังมีความต้องการรถยนต์สูง ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์นั่งหรือรถยนต์เชิงพาณิชย์ สังเกตได้จากยอดการผลิต และยอดขายที่มีการเพิ่มขึ้นจากปีก่อน ๆ อีกทั้งจากการพิจารณา QFD ทำให้ทราบว่าประชาชนทั่วไปมีความต้องการที่จะให้ประเทศไทยสามารถผลิตรถยนต์ได้เอง

5. จากแนวโน้มการส่งออกที่เพิ่มขึ้น จะเห็นว่าถ้าบริษัทต่าง ๆ รวมถึงบริษัทของคนไทยที่จะเกิดขึ้นใหม่ในอุตสาหกรรมด้านการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ นั้นสามารถที่จะแทนที่ตลาดรถยนต์ในปัจจุบันได้

6. ความตื่นตัวของคนในประเทศ เนื่องจากภาวะราคาน้ำมันที่สูงขึ้น ทำให้ได้รับผลกระทบ จึงให้ความสนใจในเรื่องของพลังงานทดแทนมากขึ้น อาทิเช่น การติดตั้งก๊าซในรถยนต์ ซึ่งปัจจุบันมีประชาชนให้ความสนใจเนื่องจากจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ในระดับหนึ่ง

อุปสรรค (Threats)

1. ถึงแม้ว่าประเทศไทยมีประสบการณ์ด้านพลังงานทดแทนมายาวนาน แต่เนื่องจากที่ผ่านมาอุตสาหกรรมไม่มีความต้องการผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้มากนัก ทำให้การผลิตบุคลากรในสถาบันการศึกษาจึงมีอยู่อย่างจำกัด จึงขาดบุคลากรในการพัฒนาและสร้างสรรค์นวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ ๆ

2. หน่วยงานราชการหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ไม่มีหน่วยงานไหนที่มีอำนาจเบ็ดเสร็จในการกำหนดนโยบายและดำเนินการ ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีเป็นไปอย่างช้า ๆ แม้ว่าในปัจจุบันกระทรวงพลังงานจะมีอำนาจหน้าที่ในการกำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน แต่ไม่ได้มีการทำงานร่วมกับกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งการทำงานร่วมกันระหว่างกระทรวงเป็นสิ่งที่สำคัญ ในการผลักดันให้เทคโนโลยีมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว

3. ต้นทุนการทำวิจัยยังอยู่ในระดับที่สูง เนื่องจากวัตถุดิบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งรัฐบาลไม่มีแผนพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อทดแทนการนำเข้าที่ชัดเจน เพราะถ้าวัตถุดิบ อุปกรณ์และเครื่องจักรจะมีราคาถูกลงอย่างมากถ้าสามารถหาได้ในประเทศ

4. สำหรับผู้ประกอบการรายใหม่ที่สนใจในการทำโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเซลล์เชื้อเพลิงด้านยานพาหนะจะประสบปัญหาในเรื่องของต้นทุนที่มีราคาสูงมาก มีปัญหาในด้านการเงิน ขาดแหล่งเงินทุน

5. นโยบายทางด้านอุตสาหกรรมไม่ต่อเนื่อง ความชัดเจนของเป้าหมายในการพัฒนาพลังงานทดแทนไม่สามารถถูกกระทำด้วยนโยบายและมาตรการที่ต่อเนื่อง อีกทั้งเงินทุนในการวิจัยและพัฒนาที่รัฐบาลให้นั้นยังมีจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับต่างประเทศ

6. การเปิดเสรีทางการค้า ทำให้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศอาจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศมากกว่าในประเทศ เนื่องจากไม่มีความเชื่อมั่นในตัวผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย

7. ปัญหาการเข้ามาควบคุม การเป็นเจ้าของกิจการของชาวต่างชาติ ผลพวงมาจากวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการดำเนินงานทั้งหมดถูกกำหนดจากต่างประเทศ บุคลากรที่ทำงานไม่มีการพัฒนาเพราะต้องทำตามที่บริษัทแม่กำหนดมาเท่านั้น

6.3 ศักยภาพการผลิตในประเทศไทย

จากการประเมินศักยภาพการผลิต พบว่า ประเทศไทยมีความเป็นไปได้ทางการตลาด แนวโน้มความต้องการการใช้ยานพาหนะเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มีความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค เพราะการวิจัยและพัฒนาของไทยยังเป็นช่วงเริ่มต้น ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ทางเศรษฐศาสตร์จึงยังไม่มีความเป็นไปได้เช่นกัน เซลล์เชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ ที่ยังอยู่ในขั้นของการวิจัยและพัฒนา ดังนั้นการกำหนดแนวทางในการวิจัยและพัฒนาของประเทศไทยจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยเน้นเฉพาะส่วนที่ประเทศไทยมีศักยภาพสามารถพัฒนาเพื่อการพาณิชย์ได้ ตัวขับเคลื่อนที่สำคัญ คือ ภาครัฐต้องให้การสนับสนุนอย่างจริงจัง

เอกสารอ้างอิง

[1] เดือนรุ่ง อุบาลี. การใช้การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อหารูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตไวน์มะเม่า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.

[2] ถิรพัฒน์ วิลัยทอง และคณะ. โครงการเซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอนแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.

[3] มณฑลี ศาสนนันทน์. การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและวิศวกรรมย้อนรอย. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546: หน้า 47-103.

[4] E.J. Carlson, P. Kopf, J. Sinha, S. Sriramulu and Y. Yang, 2005. "Cost Analysis of PEM Fuel Cell System for Transportation", Subcontract Report NREL/SR-560-39014, National Renewable Energy Laboratory, Colorado.

[5] Honda. "Fuel Cell: FCX". [Online]. Available http://world.honda.com/FuelCell/FCX/ (26/ July 2006)

[6] Viral Mehta, Joyce Smith Cooper: Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing. Journal of Power Sources, 114: 32-53, 2003.