บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยของเราต้องสั่งนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศปีละมหาศาล ทั้งนี้เนื่องจากเราไม่มีแหล่งพลังงานเป็นของตนเองเพียงพอ และความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการพัฒนาประเทศก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ในสถานะที่ประเทศไทยต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ ดังนั้น ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security) จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อนโยบายเศรษฐกิจของประเทศ [1] การเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงและวิกฤตการณ์ราคาน้ำมัน เป็นบทเรียนที่สำคัญสำหรับประเทศไทย ที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงานของประเทศให้เป็นไปอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น แม้ว่ารัฐบาลจะได้ทำการสำรวจและพัฒนาแหล่งพลังงานในประเทศมาใช้ประโยชน์มากขึ้นกว่าในอดีต แต่เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งสำรองพลังงานไม่มากนัก จึงยังต้องพึ่งพาพลังงานจากภานนอกประเทศ ปัจจุบันประเทศส่วนใหญ่ซึ่งรวมถึงประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากวิกฤตการณ์น้ำมันและวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ราคาก๊าซธรรมชาติก็ยังคงต้องอิงกับราคาเชื้อเพลิง ทำให้ขาดเสถียรภาพทางด้านราคา ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณที่จำกัด ทำให้มีการคาดการณ์กันว่าอาจจะมีโอกาสหมดไปจากโลกในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ดังนั้นนโยบายด้านพลังงานทดแทน (Renewable energy) ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานได้ จึงเป็นอีกหนึ่งนโยบายที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงานของประเทศให้เป็นไปอย่างยั่งยืน

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสนใจในงานค้นคว้าวิจัยและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีมากมายมหาศาล กึ่งไม่หมด และยังเป็นพลังงานสะอาด พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในรูปของแสงแดดสามารถเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า *เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์ (Solar cells) หรือ โฟโตโวลตาอิคส์ (Photovoltaics)* เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเรามีค่ามหาศาล บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราจะได้พลังงานประมาณ 1,000 วัตต์ ดังนั้นถ้าเราใช้พื้นที่ประมาณร้อยละ 0.3 ของประเทศไทย เราก็จะสามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการทั้งประเทศ [2] อย่างไรก็ตามแม้ว่าเราจะสามารถผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นได้เองภายในประเทศแล้วก็ตาม แต่ปริมาณที่ผลิตได้ก็ยังน้อยมากๆเมื่อเทียบกับความต้องการภายในประเทศ อีกทั้งยังมีราคาแพง เพราะเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นเทคโนโลยีที่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ และเป็นเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีข้อจำกัดทั้งในเรื่องของกำลังในการผลิตและราคาต้นทุน

ด้วยปัญหาดังกล่าวข้างต้น คณะวิจัยจึงขอเสนอแนวทางการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized solar cells; DSSCs) ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ 1) มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูง (เซลล์ขนาดเล็ก ~11%), 2) มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ นอกจากนี้ 3) ยังสามารถ

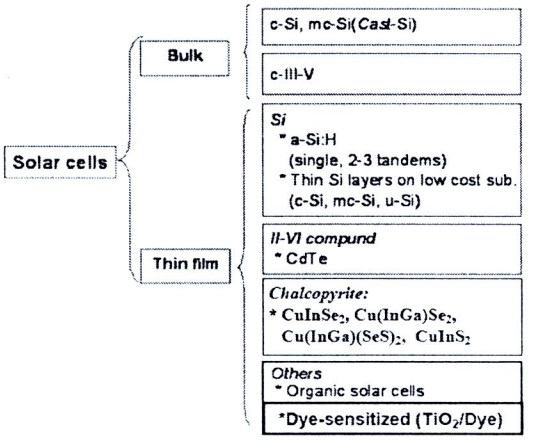
สร้างเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เบาและโค้งงอได้ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในอนาคต โดยงานวิจัยนี้จะพัฒนาขั้นตอนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคพิมพ์สกรีน ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ เพื่อให้สามารถสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ แต่มีประสิทธิภาพที่สูง เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

ศึกษาวิจัยและพัฒนาวิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์โดยเทคนิคการพิมพ์สกรีนซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ใช้ระบบสุญญากาศ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

1.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

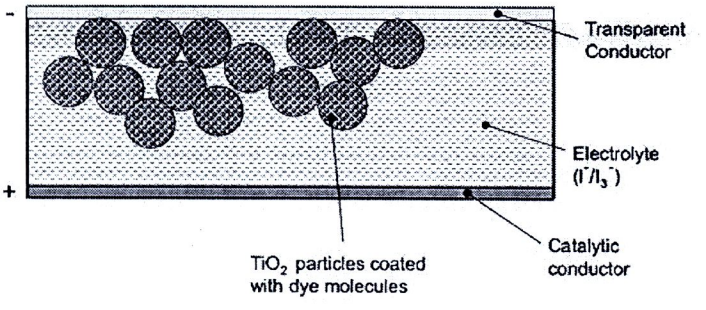
โดยทั่วไป เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ 1) ชนิดบัลค์ (Bulk) และ 2) ชนิดฟิล์มบาง (Thin-film) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ส่วนใหญ่ทำมาจากซิลิคอน (Si) แผ่นซิลิคอนที่ใช้ดูดซับแสงอาทิตย์นั้นได้จากการสไลด์แท่งผลึกซิลิคอนบัลค์ให้เป็นแผ่นบางๆ โดยจะต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 300 μm เพื่อให้สามารถดูดซับแสงอาทิตย์ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากซิลิคอนมีสัมประสิทธิ์การดูดซับแสงที่ต่ำ ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (Conversion efficiency) ที่สูงก็ตาม แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เครื่องจักรและวัสดุที่มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์สูงตาม ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางไม่ว่าจะเป็น Amorphous Si (a-Si), CdTe, $CuInX_2$ (โดยที่ X=Se, Te, S) หรือ ดายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized) ใช้ความหนาของฟิล์มเพียงหลักสิบไมครอน ยิ่งไปกว่านั้น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางยังสามารถสร้างบนแผ่นฐานรองที่มีราคาถูกเช่น แผ่นกระจก แผ่นพลาสติกหรือแผ่นโพลิเมอร์ได้อีกด้วย ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ และยังมี EPT (Energy payback time) ที่น้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์อีกด้วย



รูปที่ 1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized solar cells; DSSCs) หรือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เป็นหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทฟิล์มบางที่นักวิจัยทั่วโลกต่างศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์มีข้อดีหลายอย่าง เช่น 1) มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูง (ปัจจุบันเซลล์ขนาดเล็ก ~11%) [3], 2) มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ (จากการคาดการณ์: สามารถผลิตโมดูลในราคาประมาณ 1€/Wp ได้) [4] 3) สามารถคืนทุนพลังงาน (energy payback time) ในเวลาเพรียง 1 ปี [5] เนื่องจากใช้พลังงานในการสร้างที่ต่ำ (อุณหภูมิในขั้นตอนการผลิตโดยทั่วไปไม่เกิน 600°C และไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ) นอกจากนี้ 4) ยังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีในอนาคตที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่เบาและสามารถโค้งงอได้

DSC ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้หลักการของโฟโตอิเล็กโตรเคมิคัลเซลล์ (photoelectrochemical) รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของ DSC ซึ่งประกอบด้วย (1) .ตัวนำโปร่งแสงนำไฟฟ้า (เช่น fluorine-doped SnO_2) ที่ถูกเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำระดับนาโนเมตร (โดยส่วนมากมักใช้ TiO_2 ที่มีลักษณะพรุน) ทำหน้าที่เป็นเป็นพื้นผิวสำหรับการยึดยึดเกาะของดายส์ และเป็นขั้วแอโนด (photo-anode) เพื่อและส่งผ่านอิเล็กตรอนจากดายส์ไปยังภายนอก, (2) โมเลกุลดายส์ (เช่น ดายส์ที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ (bipyridine Ru)) จับยึดอยู่ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับพลังงานแสงเกิดเป็นพาหะอิเล็กตรอนซึ่งจะส่งต่อไปยังสารกึ่งตัวนำ, (3) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (redox mediators/electrolyte; เช่น iodide/triiodide (I^-/I_3^-)) ทำหน้าที่รีดักชั่นดายส์ที่ถูกออกซิไดซ์ และ (4) เคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (counter electrode, มักใช้ Pt) เป็นขั้วไฟฟ้าส่งผ่านอิเล็กตรอนทำให้วงจรครบลูปและเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 1.2 โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์ (DSC) (http://telavivbarcrawler.blogspot.com)

เนื่องจากขั้วแอโนดทำหน้าที่ให้ดายส์ยึดเกาะและส่งผ่านอิเล็กตรอนจากดายส์ไปยังภายนอก ดังนั้น ประสิทธิภาพของเซลล์จึงขึ้นอยู่กับปริมาณดายส์ที่ยึดเกาะบนขั้วแอโนด โดยขั้วแอโนดจะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นกระแสลัดวงจร (Short-circuit current density; J_{sc}) และแรงดันวงจรเปิด (Open circuit voltage; V_{oc})

ในบรรดาสารกึ่งตัวนำ TiO_2 ที่มีขนาดระดับนาโนเมตร (nc-TiO_2, E_g: 3.2eV) เป็นวัสดุที่ถูกใช้เป็นขั้วแอโนดใน DSC มากที่สุดเนื่องจากมีพื้นผิวให้ดายส์ยึดเกาะในปริมาณที่สูง แม้ว่าการเพิ่มความหนาของฟิล์มจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้ดายส์เกาะก็ตาม แต่ก็ทำให้การสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างขนส่งผ่านชั้นฟิล์ม (ซึ่งภายในประกอบไปด้วยอนุภาคระดับนาโนเมตรที่เชื่อมต่อถึงกันเป็นเครือข่ายแบบ Random) ก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากผลของแนวเขตเกรน (grain boundaries) และ recombination centers ที่เพิ่มขึ้นและเกินค่า diffusion length [6] โดยทั่วไปแล้วขั้ว TiO_2 ใน DSC จะเป็นฟิล์มกึ่งโปร่งแสงที่หนาประมาณ 5-15 μm ที่ภายในประกอบไปด้วยอนุภาคระดับนาโนเมตร (15-50nm) ที่เชื่อมต่อถึงกันเป็นเครือข่าย โดยที่ความขรุขระของผิว (roughness factor) อยู่ในระดับ 100/μm และความพรุน (porosity) ของฟิล์มอยู่ที่ประมาณ 50% ถึง 70% [7] นอกเหนือจากนี้แล้ว ยังมีความพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของ DSC โดยการ post-treatment ชั้นฟิล์ม TiO_2 ด้วย $TiCl_4$ [8], เคลือบชั้นฉนวนโลหะออกไซด์บางๆ เช่น Al_2O_3 [9] หรือ MgO [5,6,10] และ บนผิวของ TiO_2

การดัดแปลงชั้นฟิล์ม TiO_2 ให้มีอนุภาคระดับซับไมครอนปนรวมอยู่ในอนุภาคระดับนาโน [7] หรือการเพิ่มชั้นของอนุภาคระดับซับไมครอนบนชั้นของอนุภาคระดับนาโน [11] ก็สามารถทำให้ความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากผลของการกระเจิงแสง (scattering) ของอนุภาคซึ่งทำให้โฟตรอนเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกระเจิงของแสงขึ้นกับขนาด, ดรรชนีหักเห (refractive index) และตำแหน่งของอนุภาค และความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ [12]

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเพิ่มหรือลดลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการดูดซับโมเลกุลสีย้อมไวแสง ความหนาของฟิล์มที่เหมาะสม ความเข้มข้นของสีย้อมไวแสง และอุณหภูมิในการอบฟิล์ม ซึ่งประกอบไปด้วยการทดลองดังต่อไปนี้

1) การทดลองที่ 1 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก NECTEC
2) การทดลองที่ 2 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix
3) การทดลองที่ 3 การศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลาย เอทานอล ที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์
4) การทดลองที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล เพื่อไล่

ความชื้นออกจากฟิล์ม ลดรอยแตกร้าวจากการเผาที่อุณหภูมิสูง

หลังจากเสร็จแต่ละการทดลองแล้วนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปวัดผลและวิเคราะห์ 1) ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่อง Step Profile, 2) คุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติ I-V ภายใต้แสง AM 1.5 มาตรฐานที่ความเข้มแสง 100mW/cm^2 และ 3) พื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM)

เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.eppo.go.th/vrs/VRS52-01-import.html

[2] ดร.เอกรินทร์ วาสนาส่ง, "พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับคนยุคใหม่", http://www.energy.go.th/en/forumDetail.asp

[3] B. C. O'Regan and M. Gratzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO2 films," Nature 353 (1991) 737–740.

[4] J. M. Kroon, N. J. Bakker, H. J. P. Smit, et al., "Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance," Progress in Photovoltaics: Research and Applications 15 (2007), 1–18.

[5] T. Veltkamp, J. M. Kroon, P. Sommeling, and M. Wild-Scholten, "Dye sensitised solar cells for large-scale photovoltaics: determination of durability and environmental profile," in Proceedings of Renewable Energy, Chiba, Japan, October 2006.

[6] B. A. Gregg, Coord. Chem. ReV. 248 (2004), 1215.

[7] C. J. Barbe, F. Arendse, P. Comte, et al., "Nanocrystalline titanium oxide electrodes for photovoltaic applications," Journal of the American Ceramic Society 80 (1997), 3157–3171.

[8] P. M. Sommeling, B. C. O'Regan, R. R. Haswell, et al., "Influence of a TiCl4 post-treatment on nanocrystalline TiO2 films in dye-sensitized solar cells," Journal of Physical Chemistry B 110 (2006), 19191–19197.

[9] E. Palomares, J. N. Clifford, S. A.Haque, T. Lutz, and J. R. Durrant, "Slow charge recombination in dye-sensitised solar cells (DSSC) using Al2O3 coated nanoporous TiO2 films," Chemical Communications 14 (2002), 1464–1465.

[10] A. Kay and M. Gratzel, "Dye-sensitized core-shell nanocrystals: improved efficiency of mesoporous tin oxide electrodes coated with a thin layer of an insulating oxide," Chemistry of Materials 14 (2002), 2930–2935.

[11] (a) S. Ito, S.M. Zakeerudiin, R. Humphry-Baker, P. Liska, P. Charvet, P. Comte, M.K. Nazeeruddin, P. Pechy, M. Takata, H. Miura, S. Uchida, M.Gratzel, Adv. Mater. 18 (2006) 1202.

(b) S. Hore, C. Vetter, R. Kern, H. Smit, A. Hinsch, Solar Energy Mater. Solar Cells 90 (2006) 1176.

[12] H.J. Koo, J. Park, B. Yoo, K. Yoo, K. Kim, N.G. Park, "Size-dependent scattering efficiency in dye-sensitized solar cell", Inorganica Chimica Acta 361 (2008), 677–683, and references cited therein.