

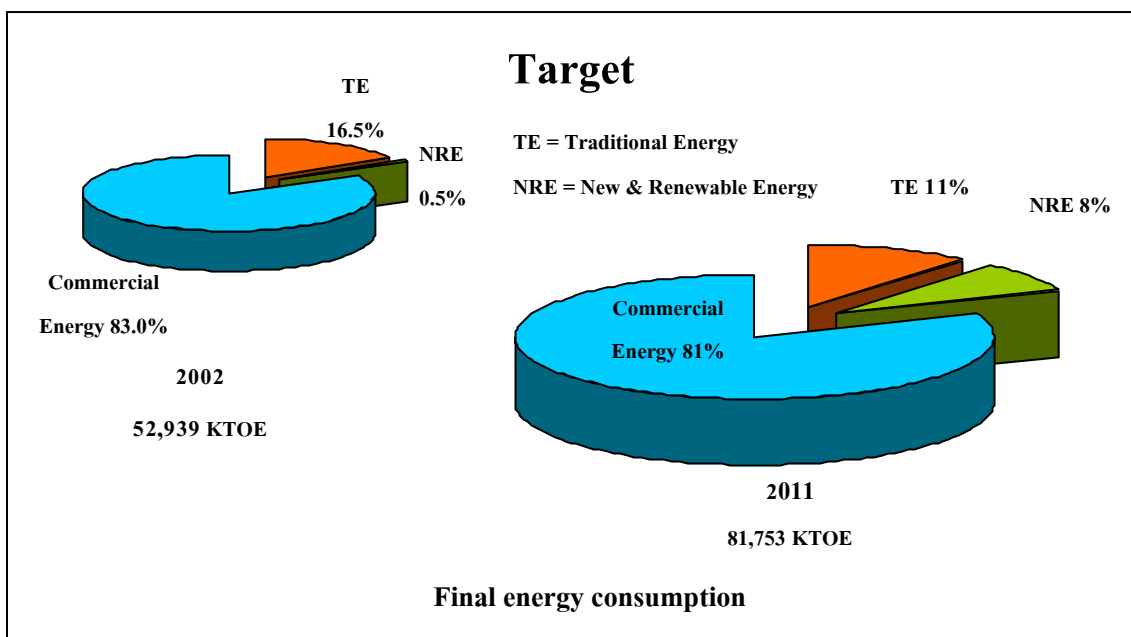
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการค้นคว้าและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม และชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดทั้ง 3 ชนิด

1. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
2. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม
3. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง

พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมและพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง เป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจมาก เพราะในประเทศไทย มีการวิจัยและจัดทำข้อมูลศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมไว้เมื่อปี 2546 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

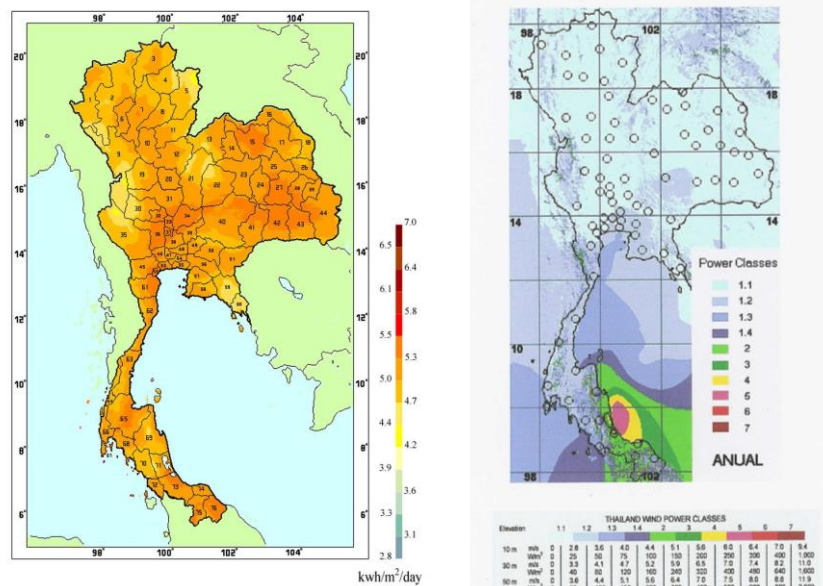


รูปที่ 2.1 กราฟแสดงเป้าหมายของยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของประเทศไทย [1]

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ทั่วทั้งประเทศ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ

ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 MJ/m²-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m²-d จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

สำหรับศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยนั้น พบว่าแหล่งพลังงานลมที่ดีอยู่บริเวณชายทะเลตะวันออกของจังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และพังงา และเขตภาคเหนือที่ดอยอินทนนท์ และจังหวัดตาก และบริเวณภาคกลาง คือ จังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรี มีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปี ตั้งแต่ระดับ 1.3 ถึง ระดับ 2 (Class 1.3 – Class 2) ความเร็ว 4.4 เมตร/วินาที คือที่จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี เชียงใหม่ เพชรบูรณ์ เลย จันทบุรี และระยอง นั้นหมายความว่าศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยมีสูงพอที่จะนำระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม (Wind turbine generator) มาใช้ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมในประเทศไทย

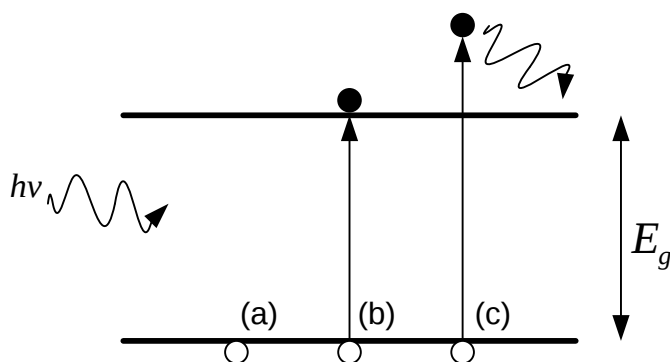
สำหรับจังหวัดนนทบุรี และจังหวัดอื่นๆ ในภาคกลาง เมื่อพิจารณารูปที่ 2.2 จะพบว่าศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดนนทบุรี มีค่าอยู่ในระดับที่ 1.2 ถึง 1.3 (Class 1.2 – Class 1.3) ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ย 3.6 เมตร/วินาที ถึง 5.1 เมตร/วินาที ที่ความสูง 50 เมตร ซึ่งสามารถติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก ดังนั้นในการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องศึกษาในเรื่องของการดูดกลืนแสง โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น พารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ จนถึงวงจรสมมูลย์ของระบบ

2.1.1 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ

โครงสร้างหลักโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่หัวต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Si) เมื่อมีการเติมสารเจือฟอสฟอรัส (P) จะมีสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบและเมื่อซิลิคอนเติมด้วยสารเจือโบรอน (B) จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก



รูปที่ 2.3 การเกิดคู่อิเล็กตรอน - โฮลในสารกึ่งตัวนำ

กรณีที่ 1 พลังงานโฟตอน ($h\nu$) มีค่าน้อยกว่าค่าแถบความกว้างของพลังงาน (Energy gap) ในสารกึ่งตัวนำแสงจะส่องทะลุผ่านสารกึ่งตัวนำไปเลย เนื่องจากโฟตอนจะไม่ถูกดูดกลืนในสารกึ่งตัวนำเพราะไม่มีระดับพลังงาน (Energy State) ในแถบพลังงานต้องห้าม (Forbidden Band)

กรณีที่ 2 พลังงานโฟตอน ($h\nu$) มีค่าเท่ากับค่าแถบความกว้างในพลังงาน โฟตอนจะถูกดูดกลืนและสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น

กรณีที่ 3 พลังงานโฟตอน ($h\nu$) มีค่ามากกว่าค่าแถบความกว้างพลังงาน นอกจากโฟตอนจะถูกดูดกลืนและสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นแล้ว พลังงานส่วนที่เกินมานี้จะแผ่กระจายออกไปในรูปของความร้อน

ความสามารถของสารกึ่งตัวนำในการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน กำหนดด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ตามกฎของแลมเบิร์ต ดังสมการ

$$F(x) = F_0 \exp(-\alpha(\lambda)x) \quad (2.1)$$

โดยที่ x คือ ระยะจากผิวของสารกึ่งตัวนำ
 F_0 คือ จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำ ต่อตารางเซนติเมตร
 $\alpha(\lambda)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำที่มีความยาวคลื่นใดๆ

ดังนั้นเมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาต่อกันจะเกิดหัวต่อพีเอ็น โครงสร้าง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน จึงทำจากผลึกซิลิคอนเป็นฐานหนาประมาณ 300 ไมครอน (หรือประมาณ 0.3 มิลลิเมตร) ด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึม (Diffused Layer) ที่มีการนำไฟฟ้าตรงข้ามกับฐานซึ่งหนาเพียง 0.5 ไมครอน เพื่อต้องการให้แสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทะลุลงถึงหัวต่อให้ได้มากที่สุด หากหัวต่อพีเอ็นอยู่ลึกเกินไป จะทำให้จำนวนพาหะไฟฟ้าที่เกิดจากการดูดกลืนแสงแพร่ซึมถึงหัวต่อพีเอ็นได้น้อยลงส่งผลให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้มีจำนวนน้อยลงไปด้วย

จากสมการที่ 2.1 อิเล็กตรอน-โฮลถูกสร้างเพื่อดูดกลืนโฟตอนโดยมีอัตราการเกิด (Generation Rate) เท่ากับ

$$G(\lambda, x) = \alpha(\lambda)F_0(\lambda) \exp(-\alpha(\lambda)x) \quad (2.2)$$

เมื่อผิวมีการสะท้อนแสงเกิดขึ้นที่สมการที่ 2.2 จะเปลี่ยนเป็น

$$G(\lambda, x) = \alpha(\lambda)F_0(\lambda)(1 - R) \exp(-\alpha(\lambda)x) \quad (2.3)$$

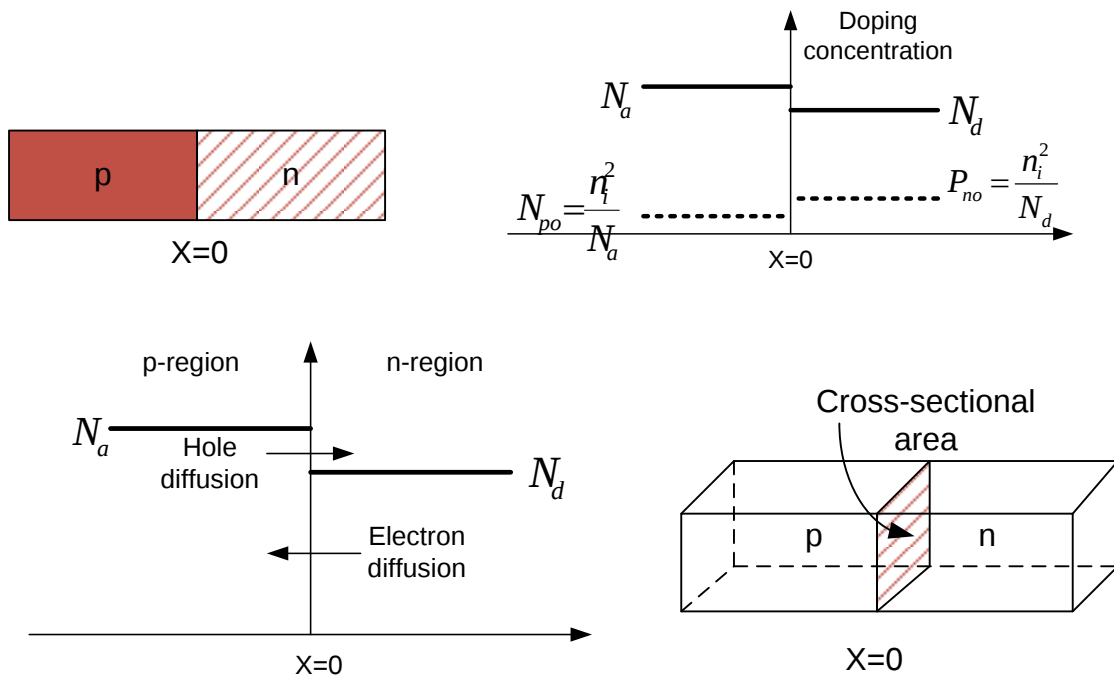
เมื่อ R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Reflection Coefficient)

2.1.2 ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกของเซลล์แสงอาทิตย์

1. รอยต่อ pn (pn Junction) การนำสารกึ่งตัวนำชนิด n และ p มาต่อกันนั้น คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยต่อ นั้นเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้มีการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย มาทำความเข้าใจหลักการและทฤษฎีที่ใช้อธิบาย สิ่งที่เกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อ ออก่อน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาสถานะสมดุลของรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ

สถานะสมดุลของรอยต่อ pn (Equilibrium pn-Junction) สถานะสมดุลคือกรณีที่รอยต่ออยู่ในสถานะที่ไม่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าจากภายนอกมากระทำและอุณหภูมิทุกบริเวณประมาณเท่ากัน (Thermal equilibrium) รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของพาหะ (อิเล็กตรอนหรือโฮล) ฝั่งของรอยต่อของรูปแสดงให้เห็นถึงระดับความเข้มข้นของโฮล

(Na) ซึ่งเป็□นพาหะ□างมากของสารชนิด P ส□วนฝ□□ง ขวามือบ□งบอกถึงระดับความเข□มข□
□นของอิเล็กตรอน (Nd) ซึ่งเป็□นพาหะ□างมากของสาร ชนิด N

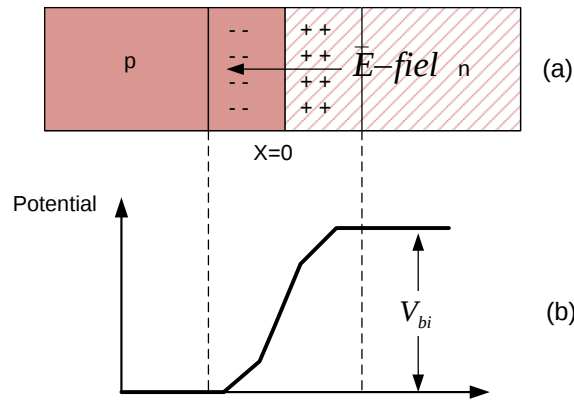


รูปที่ 2.4 แสดงรอยต□อ pn (DAN)

Metallurgical junction คือ รอยต□อของ pn ณ จุดที่ $x=0$ การที่นำสารชนิด P และ N มาต□
อกันนั้น บริเวณรอยต□อจะเกิดการเคลื่อนที่ของพาหะทั้ง สองฝ□□ง โดยการแพร่ การเคลื่อนโดย
การแพร□ นั้นมีเหตุจากความแตกต□างกันของความ เข□มข□นของพาหะทั้งสองด□าน คือด□าน
ที่มีโฮลอยู□มาก (สารชนิด P) และด□านที่มีอิเล็กตรอน อยู่□มาก (สารชนิด N) การเคลื่อนที่ของพาหะ
เมื่อพาหะ (ประจุที่ เคลื่อนที่ได□) ได□ เคลื่อนที่ไปแล□วสิ่งที่หลงเหลือไว□ที่ผลึกนั้นก็คือไอออน
(ประจุที่ไม่□สามารถ เคลื่อนที่ได□) เพื่อให้□เข□าใจ□ายขึ้น พิจารณาจากด□าน p □อน

“พาหะข□างมาก = โฮล (ประจุบวก)”

อะตอมของสารชนิด P ที่สูญเสียพาหะไป มีสถานะเป็□น “ไอออนลบ” ซึ่งมีศักย□ทางไฟฟ□า เป็□
นลบ การพิจารณาทางด□าน N ใช□หลักการเดียวกัน โดยทางรอยต□อทางด□าน N จะมี ไอออน
บวกในบริเวณที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป การเปลี่ยนแปลงของศักย□ บริเวณรอยต□อ แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ศักย์ไฟฟ้าภายในบริเวณรอยต่อ pn (DAN)

Space-charge region (SCR) / Depletion region คือ เขตปลอดพาหะ (อิเล็กตรอน หรือ โฮล) เขตนี้ประกอบไปด้วยวัสดุที่มีไอออนบวกและไอออนลบในบริเวณรอยต่อ

Built-in potential คือ ความต่างศักย์บริเวณรอยต่อ (V) ที่ก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณรอยต่อ

$$V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{NaNd}{n_i^2} \right) \quad (2.4)$$

โดยที่	Na	คือ ค่าความเข้มข้นของโฮลของสารชนิด P
	Nd	คือ ค่าความเข้มข้นของอิเล็กตรอนของสารชนิด N
	n	คือ ค่าความเข้มข้นของอิเล็กตรอน/โฮล ของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์
	k	คือ ค่าคงที่ของ Boltzman
	T	คือ อุณหภูมิ (Kelvin)
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอน

2. การไบอัสแบบผันกลับ (Reverse-Biased pn-Junction) คือการป้อนสนามไฟฟ้า (electric field) จากภายนอก (E) ที่มีทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อ pn (สนามไฟฟ้าจากภายนอกที่ป้อนนั้นโดยสวิตช์ขนาดใหญ่จะตกคร่อมบริเวณรอยต่อ pn อันเนื่องมาจากความต้านทานที่บริเวณ p และ n นั้นต่ำมากจึงประมาณว่าแทบไม่มีสนามไฟฟ้าตกคร่อมอยู่เลย) E นั้นจะเสริมกันกับ E -field ทำให้สนามไฟฟ้าบริเวณรอยต่อยิ่งมีความแรงมากขึ้น จึงเป่าให้โฮล อิเล็กตรอนและโฮลที่อยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่ โดยที่อิเล็กตรอนวิ่งสวนทางกับสนามไฟฟ้า ขณะที่โฮลวิ่งทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้าเหลือไว้เพียงไอออนบวกและไอออนลบที่มีศักย์ไฟฟ้าเป่าให้บริเวณเขตปลอดพาหะ (depletion region) ยิ่งมีระยะ (W) กว้างขึ้น ในกรณีการไบอัสแบบผันกลับ

2.1.3 พารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวชี้วัดที่ใช้แสดงประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724 การวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ในการประเมินครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคโดยอ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power System TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task2) ซึ่งได้กำหนดให้มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้ [2]

1. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_A = E_a / P_O \quad (2.5)$$

Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

E_a คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_O คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

2. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_r = H_i / G_{STC} \quad (2.6)$$

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC=1 kW/m²

3. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_f = E_{tot} / P_O \quad (2.7)$$

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

E_{tot} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

P_O คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

4. พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses) หาได้จากสมการ

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (2.8)$$

L_C คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

5. พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses) หาได้จากสมการ

$$L_S = Y_A - Y_f \quad (2.9)$$

L_S คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

6. สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio ,PR) หาได้จากสมการ

$$PR = Y_f / Y_r \quad (2.10)$$

7. ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_a = E_a / H_i A_A \quad (2.11)$$

η_a คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

A_A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

8. ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Total Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{tot} = E_{tot} / H_i A_A \quad (2.12)$$

η_{tot} คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

9. พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (E_a : kWh)

$$E_a = V_{dc} \times I_{dc} \times \text{Time} \quad (2.13)$$

V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของ PV array

I_{dc} คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายจาก PV array

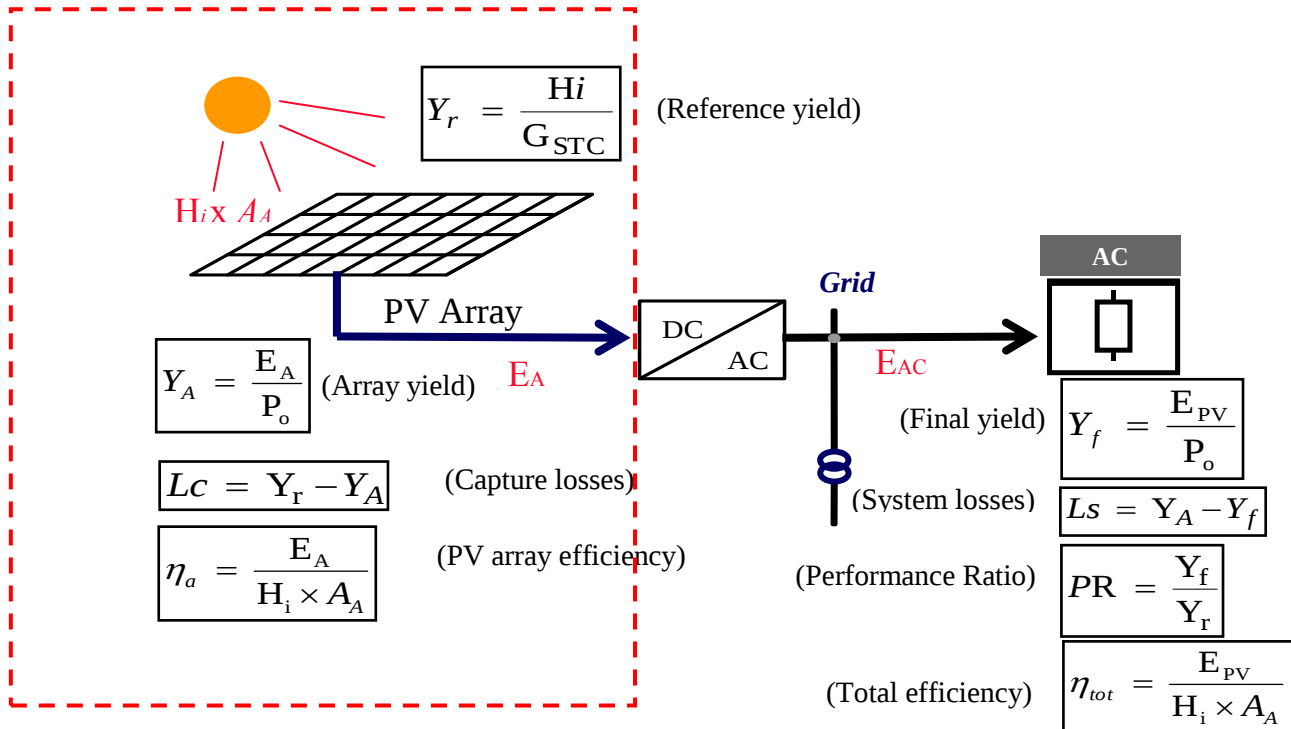
Time คือ ระยะเวลาที่ PV array จ่าย V_{dc} และ I_{dc}

10. พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (H_i : kWh/ m^2)

$$H_i = G_i \cdot \text{Time} \quad (2.14)$$

G_i คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ PV array ได้รับจริง (kW/m^2)
 Time คือ ระยะเวลาที่ PV array ได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จริง

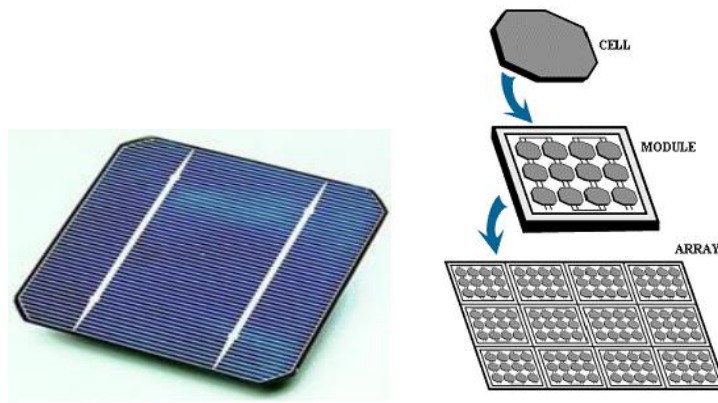
แสดงค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพและสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ บน โคอะแกรมในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โคอะแกรมประสิทธิภาพและสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์

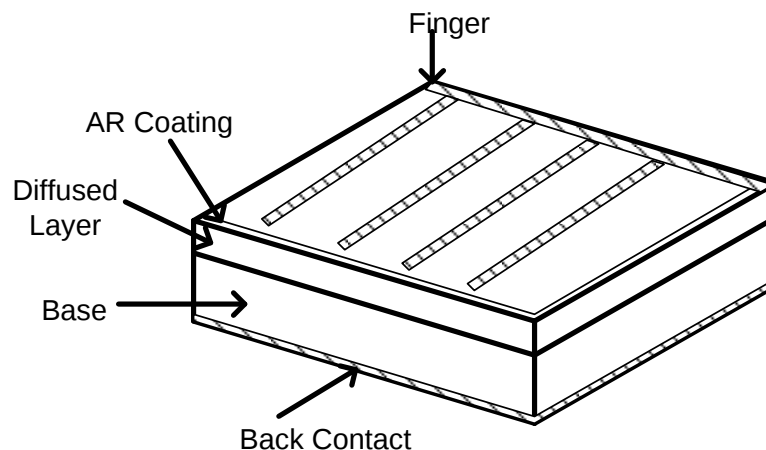
2.1.4 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

แผงโซลาเซลล์ (Photovoltaic Cell: PV) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถ เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกโดย แชปปีน(Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียสัน (Pearson) ในปี ค.ศ. 1954 ซึ่งทำงานที่บริษัท เบลเทโลโฟน (Bell Telephone) ซึ่งได้ค้นพบเทคโนโลยี การสร้างรอยต่อ P-N ของผลึกซิลิคอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาเป็นครั้งแรกในโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6 % โดยในระยะเวลาต่อมา มีการพัฒนามาขึ้นมากกว่า 15 % ในระยะแรกเริ่มมีการนำไปใช้งานในการผลิตพลังงาน ไฟฟ้าทางด้านอวกาศ ดาวเทียม ระบบสื่อสารต่างๆ จนในปัจจุบันมีการผลิตใช้งานอย่างแพร่หลาย มีราคาถูกลง และประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.7 Solar Cell [3]

เซลล์แสงอาทิตย์ทำจากซิลิคอนที่ใช้วัสดุเช่นเดียวกัน ทรานซิสเตอร์ และวงจรรวม (Integrated Circuit :IC) โดยผลึกซิลิคอนจะถูกทำให้ไม่บริสุทธิ์ โดยการเติมธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดในกลุ่ม 3 และ 5 ซึ่งจะ ได้ผลึกซิลิคอนที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน (P-Type และ N-type) เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันด้วยกรรมวิธีการแพร่ สารระหว่างผลึกทำให้ระหว่างรอยต่อมีสถานะที่เป็นกลาง (Depletion Region) ผลึกซิลิคอนจะวางซ้อนกันเป็นชั้น บาง (Layer) เมื่อมีอนุภาคโฟตอน (Photon) มาตกกระทบแผ่นชั้นซิลิคอน อิเล็กตรอนที่ได้รับจะทำให้แผ่นธาตุ ซิลิคอนมีอิเล็กตรอนที่มีอยู่ไม่สมดุลกันระหว่างชั้นเซลล์ เมื่อมีการต่อเชื่อมขั้วไฟฟ้าออกไปก็จะเกิดการความต่าง ศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้านั้น เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรไฟฟ้าก็จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างขั้ว เกิดมี กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาได้



รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์หัวต่อแบบ พี เอ็น [4]

โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ จากรูปประกอบไปด้วยแผ่นผลึกซิลิคอนที่เป็นฐานจะมีความหนาประมาณ 200 – 300 μm . ด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีชนิดการนำไฟฟ้าตรงข้ามกับฐานที่มีความหนาประมาณ 0.5 μm . การออกแบบความลึกของผลึกให้มีค่าน้อยๆ เพราะต้องการให้แสงตกผลึก

กระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทะลุถึงหัวต่อให้มากที่สุด หากหัวต่อของสาร p n อยู่ลึกเกินไปทำให้จำนวนพาหะที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนแสงแพร่ซึมไปถึงหัวต่อได้น้อยลง ทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้รับมีปริมาณน้อยลง ดังนั้นข้อไขว้โลหะของการรับแสงจะถูกออกแบบให้เป็นรูปนิ้วมือ หรือเป็นรูปอื่นๆเพื่อให้ได้รับแสงมากที่สุด บนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพื้นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก ซึ่งฉาบไว้เต็มหน้า และผิวด้านหน้ายังต้องมีการป้องกันการเกิดการสะท้อนของแสง มาปิดทับเพื่อประสิทธิภาพของการดูดกลืนแสง ให้ได้คุณภาพดีต่อไป

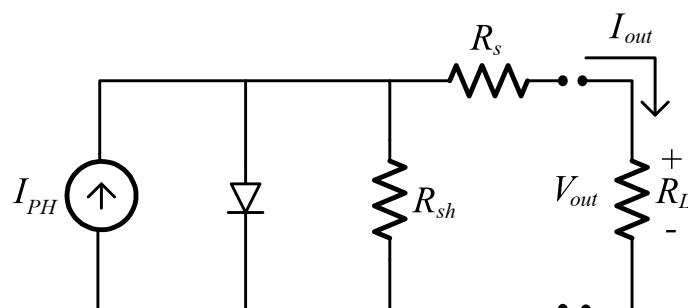
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบจากแผงเซลล์หลายแผงต่อกันแบบขนานและอนุกรมเพื่อเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอให้กับขนาดของระบบที่ต้องการ หน่วยวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์คือ วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิตได้ 3 ชนิด คือ และแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการใช้งานในห้องทดลองและใช้งานจริงแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแผงเซลล์แบ่งตามวัสดุและประสิทธิภาพการใช้งานในห้องทดลองและใช้งานจริง [4]

วัสดุ	ประสิทธิภาพการใช้งาน ในห้องทดลอง (%)	ประสิทธิภาพการใช้งาน ในงานจริง (%)
Monocrystalline Silicon	24	14-17
Polycrystalline Silicon	18	13-15
Amorphous Silicon	13	5-7

2.1.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ใช้งาน



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อ R_s คือ ความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์
 R_{sh} คือ ความต้านทานขนานของเซลล์แสงอาทิตย์
 R_L คือ ความต้านทานของโหลด

I_{PH}	คือ กระแสไฟฟ้าโฟโต้ของเซลล์แสงอาทิตย์
I_{sh}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานขนาน
I_{out}	คือ กระแสไฟฟ้าขาออกเมื่อต่อโหลด

R_s กำหนดได้จากค่าความต้านทานของผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง รวมกับค่าความต้านทานของผลึกฐานและชั้นแพร่ซึมของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้น

R_{sh} กำหนดได้จากสภาพของหัวต่อที่ทำขึ้น เช่นการเกิดกระแสรั่วตามขอบเซลล์แสงอาทิตย์ ความไม่สม่ำเสมอของหัวต่อ ได้แก่ Diffusion Spike เนื่องจากความบกพร่องของผลึกต่างๆ หรือเกิดรอยเชื่อมตามรอยแยกขนาดจิ๋ว (Micro crack) ตามขอบของเกรน (Grain Boundary) หรือจุดบกพร่องทางผลึก (Crystal Defect) ที่สะสมกันมาหลังจากการทำขั้วโลหะ

I_{PH} เป็นกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการฉายแสงลงมาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาจากวงจรสมมูล จะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ในทางอุดมคติความเป็นไดโอดที่หัวต่อมีคุณภาพดี โดยมีค่า R_{sh} เป็น ∞ และค่า R_s เป็น 0Ω แต่ในความเป็นจริงเป็นไปได้ยาก เพราะผลึกของสารกึ่งตัวนำมีจุดบกพร่องของตัวเองอยู่แล้ว และเมื่อนำมาทำหัวต่อที่มีพื้นที่กว้างโดยการเติมสารเจือปนที่มีอุณหภูมิสูง จะได้หัวต่อที่มีความสม่ำเสมอได้ดีด้วยขีดจำกัดขนาดหนึ่งเท่านั้นเพราะจะเกิด Diffusion Spike ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกระแสรั่ว ทำให้ค่า R_{sh} ไม่เป็น ∞ ส่วนค่า R_s ไม่เป็น 0Ω

ดังนั้นในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดคือพยายามให้ค่า R_{sh} มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ R_s มีค่าน้อยที่สุด

จากรูปสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I_{out} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.15)$$

โดยที่ I_d คือ กระแสไฟฟ้ามืด (Dark Current) มีค่าเท่ากับ

$$I_d = I_s [\exp((V_{out} + I_{out}R_s) / nV_T) - 1] \quad (2.16)$$

เมื่อ	I_s	คือ กระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับขณะไม่ฉายแสง Reverse Saturation Current
	V_{out}	คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก Output Voltage
	I_{out}	คือ กระแสไฟฟ้าขาออก Output Current
	V_T	คือ แรงดันไฟฟ้าเทอร์มอล Thermal Voltage มีค่าประมาณ 26 mV. ที่อุณหภูมิ 300 °K
	q	คือ ค่าประจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.6023×10^{-19} Coulomp

n คือ ค่าแสดงความไม่เป็นอุดมคติ

$$I_{sh} = (V_{out} + I_{out}R_s) / R_{sh} \quad (2.17)$$

ในกรณีที่ V_{out} มีค่ามากกว่า V_T มากๆ สมการที่ () สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้คือ

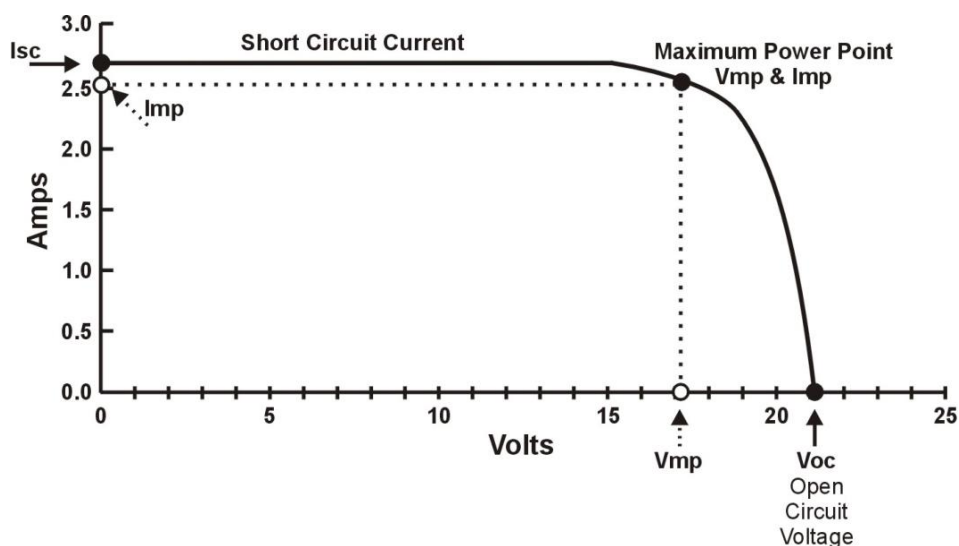
$$I_d = I_s [\exp((V_{out} + I_{out}R_s) / nV_T)] \quad (2.18)$$

แทนสมการที่ () และ () ลงในสมการที่ () ดังนั้นสมการที่ () จะกลายเป็น

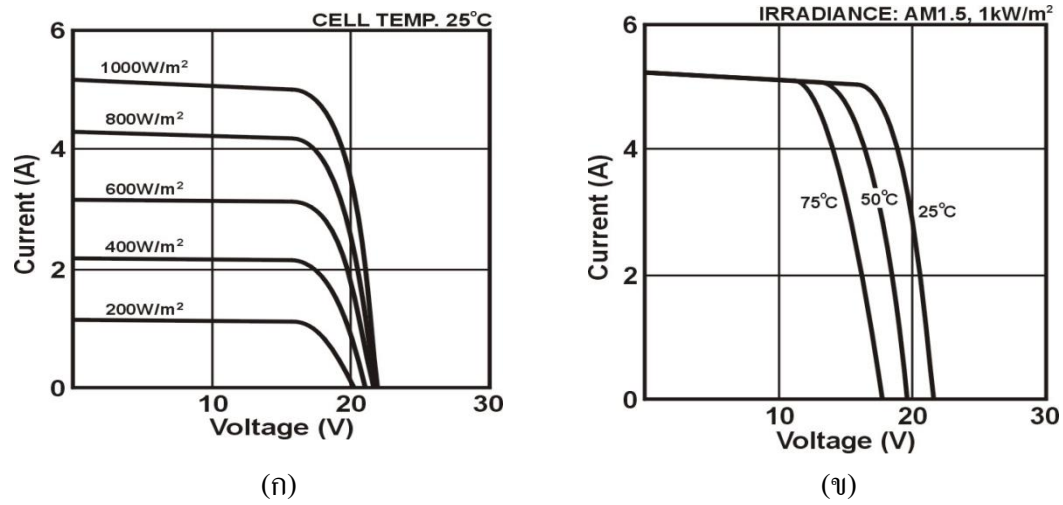
$$I_{out} = I_{ph} - I_s [\exp((V_{out} + I_{out}R_s) / nV_T)] - (V_{out} + I_{out}R_s) / R_{sh} \quad (2.19)$$

2.1.6 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง กระแสที่ผลิตออกจากแผงเซลล์จะเป็นแปดผันตามภาระทางไฟฟ้าและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์ได้รับซึ่งเป็นขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ สามารถศึกษาลักษณะการจ่ายกระแสและแรงดันไฟฟ้า (V-I Curve) ได้จากรูปที่ 2.10 กระแสไฟฟ้าสูงสุดของ V-I Curve ที่ปรากฏบนแกนตั้งคือกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ปรากฏบนแกนแนวนอนคือค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์ขณะเปิดวงจร (V_{oc}) จุดที่ทำให้เกิดกำลังการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดคือจุดที่มีผลคูณของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากแผงเซลล์มีค่าสูงที่สุด (Maximum Power Point : MPP) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิพลังงานที่แผงเซลล์ผลิตได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.11 จะเห็นว่า V-I Curve ของแผงเซลล์จะแตกต่างกันเมื่อมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลให้ MPP เปลี่ยนแปลงไปด้วย แผงเซลล์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน ซึ่งมีข้อด้อยเรื่องประสิทธิภาพคือ ประสิทธิภาพในห้องทดลองประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์และมีประสิทธิภาพการใช้งานจริงประมาณ 5-7 เปอร์เซ็นต์ แต่ข้อดีของแผงเซลล์ชนิดนี้คือ มีการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาน้อยเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้น [2] และมีราคาถูกกว่าแผงเซลล์ชนิดอื่น



รูปที่ 2.10 กราฟลักษณะสมบัติการจ่ายกระแสและแรงดันเมื่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ [1]



รูปที่ 2.11 กราฟลักษณะสมบัติการจ่ายกระแสและแรงดัน (V-I Curve)

(ก) เมื่อได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ระดับต่างๆ

(ข) และเมื่อได้รับอุณหภูมิเปลี่ยนไปที่ระดับต่างๆ [5]

2.2 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมีต้นทุนต่ำลงมากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา พลังงานลมจึงเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ขยายตัวเร็วที่สุดในโลก โดยกำลังผลิตติดตั้งของพลังงานลมทั่วโลกเพิ่มจาก 1,743 เมกะวัตต์ในปี 2533 เป็น 94,005 เมกะวัตต์ในปลายปี 2550 ในขณะที่ประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมอยู่ในระดับ 4 เมกะวัตต์เท่านั้น แต่ปัจจุบันกำลังการผลิตจากกังหันลมทั้งประเทศก็มีเพียง 20 กิโลวัตต์หรือเพียง 7 ในล้าน ส่วนของกำลังผลิตทั้งหมดเท่านั้นต่ำสุดผลการศึกษาของธนาคารโลก (ค้นได้จาก google.com ภายใต้ชื่อ Wind Energy Resource Atlas Southeast Asia) พบว่า “ความเร็วลมที่ระดับความสูง 65 เมตรในประเทศไทยอยู่ใน ระดับดีถึงดีมาก(ความเร็วลมเฉลี่ย 7.0 ถึง 7.5 เมตรต่อวินาที) รวมกันถึง 761 ตารางกิโลเมตรและมีศักยภาพที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 3,044 เมกะวัตต์” [6]

2.2.1 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจ โดยเฉพาะในทวีปยุโรป เช่น ประเทศเดนมาร์ก กังหันลมที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมานั้นจะมีลักษณะและรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่ถ้าจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันจะได้ 2 แบบ คือ

1. กังหันลมแบบแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแนวนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ กังหันลมใบเลื่อยลำแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกังล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอปเพลเลอร์



รูปที่ 2.12 กังหันลมแบบแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

2. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทางกังหันลมแบบแนวแกนตั้งเป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนมากออกแบบให้เป็นชนิดที่จับใบกังหัน

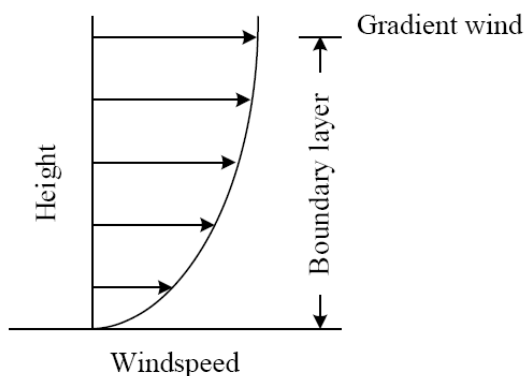
ด้วยแรงยก แต่อย่างไรก็ตาม กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง ซึ่งได้รับการพัฒนามากในระลอกหลังก็ได้รับความนิยมมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีที่แบบแนวแกนนอนคือ ในแบบแนวแกนตั้งนั้นไม่ว่าลมจะเข้ามาทิศไหนก็ยังหมุนได้ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม นอกจากนี้แล้วแบบแนวแกนตั้งนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการส่งกำลังวางไว้ใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแกนนอน เวลาเกิดปัญหาแก้ไขง่ายกว่าแบบแกนนอนที่ติดตั้งบนหอคอยสูง



รูปที่ 2.13 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

2.2.2 หลักการทำงานของกังหันลม [7]

1. เทคโนโลยีกังหันลม กังหันลมจะใช้ประโยชน์จากลมที่อยู่ใกล้ผิวโลก ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศและมีแรงเสียดทานเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วยในระดับต่ำ แต่ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป แรงต้านจะลดลงและความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.14 ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทานเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กักระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ



รูปที่ 2.14 ลักษณะของความเร็วมวลภายใต้ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere boundary layer)

2. การคำนวณปริมาณ

กำลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V ผ่านพื้นที่หน้าตัด A คือ

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.20)$$

เมื่อ	P_w	คือ	กำลังของลม (W)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัด (m^2)
	V	คือ	ความเร็วมวล (m/s)

ความหนาแน่นของอากาศเป็นฟังก์ชันของความกดอากาศ และอุณหภูมิที่ระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเล ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho(z) = \frac{P_o}{(RT) \exp\left(\frac{-gz}{RT}\right)} \quad (2.21)$$

เมื่อ	$\rho(z)$	คือ	ความหนาแน่นของอากาศซึ่งเป็นฟังก์ชันของระดับความสูง (kg/m^3)
	P_o	คือ	ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลมาตรฐาน (kg/m^2)
	R	คือ	ค่าคงที่ของอากาศ (Specific gas constant of air) (J/K mol)
	T	คือ	อุณหภูมิ (K)
	G	คือ	ค่าแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)
	z	คือ	ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)

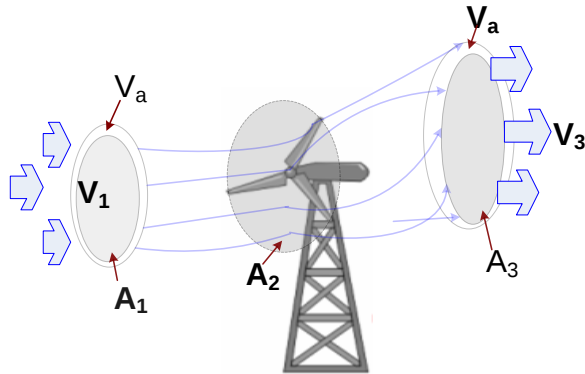
พลังงานลมถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลของแกนหมุนกังหันลม มวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะเคลื่อนที่ช้าลง ในทางปฏิบัติแล้วพลังงานจากลมไม่สามารถถ่ายเทให้กับกังหันลมได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจริงจะหมายความว่ามวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะต้องหยุดสนิทอยู่กับที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันทั้งหมด สมการที่ (3) ใช้ในการอธิบายพลังงานทั้งหมดที่กังหันลมสามารถเปลี่ยนรูปได้จากพลังงานลม

$$P_{WT} = P_w C_p = \frac{\rho}{2} A_R V^3 C_p \quad (2.22)$$

เมื่อ	P_{WT}	คือ	กำลังของกังหันลม (W)
	C_p	คือ	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของกังหันลม

A_R คือ พื้นที่กวาดของใบกังหัน (m^2)

จากสมการสามารถอธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ คือ พลังงานลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่ความเร็วค่าหนึ่ง(พลังงานจลน์)เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานทางกลด้วยแรงบิดและความเร็วรอบของแกนหมุนกังหัน (Torque and speed conversion) พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม



รูปที่ 2.15 ปริมาตรการไหลของอากาศที่ไหลผ่านกังหันลม

สมการพลังงานลมที่กังหันลมสามารถสกัดได้ดังนี้

$$W_w = V_a \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_3^2) \quad (2.23)$$

เมื่อ W_w = พลังงานลมที่กังหันลมสกัดได้
 V_a = ปริมาตรของอากาศ
 V_1 = ความเร็วลมของพื้นที่หน้าตัด A_1
 V_3 = ความเร็วลมของพื้นที่หน้าตัด A_3

จะได้สมการของพลังงานลมที่กังหันสามารถสกัดได้ต่อหน่วยเวลา

$$P_w = \frac{dW_w}{dt} = \frac{dV_a \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_3^2)}{dt} \quad (2.24)$$

ปริมาตรการไหลของอากาศในพื้นที่หน้าตัดของกังหันลม ($A_2 = A_{turb}$)

$$\frac{dV_a}{dt} = A_{\text{turb}} V_2 \quad (2.25)$$

ฉะนั้นจะได้

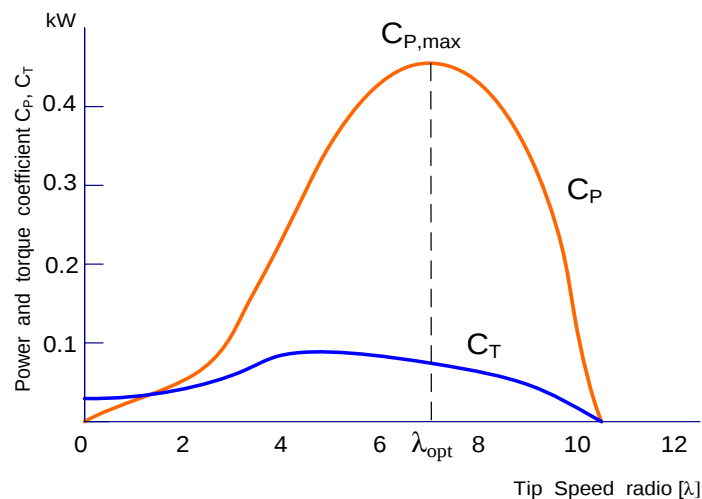
$$P_w = A_{\text{turb}} \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_3^2) V_2 \quad (2.26)$$

ปริมาณกำลังงานที่กังหันลมสามารถได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่หน้าตัดของกังหันลม A_{turb} ความเร็วลมและลักษณะของใบพัดของกังหันลม ตามทฤษฎีของเบทซ์ (Betz) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กังหันลมสกัดได้คือ

$$P_w^{\text{max}} = \frac{16}{27} A_{\text{turb}} \frac{\rho}{2} V_1^3 \quad (2.27)$$

โดยมีความสัมพันธ์ความเร็วลม

$$V_2 = \frac{2}{3} V_1 \quad \text{และ} \quad V_3 = \frac{1}{3} V_1 \quad (2.28)$$



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง สัมประสิทธิ์แรงบิด กับ แลมด้า

C_p เป็นค่าสัมประสิทธิ์กำลัง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงส่วนของกำลังงานที่กังหันลม สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยได้จากภาพที่ 2.5 คุณลักษณะ C_p, C_T โดยเป็นคุณสมบัติเฉพาะของใบพัดนั้นๆ

$$P_w = P_{\text{wind}} \times C_p \quad (2.29)$$

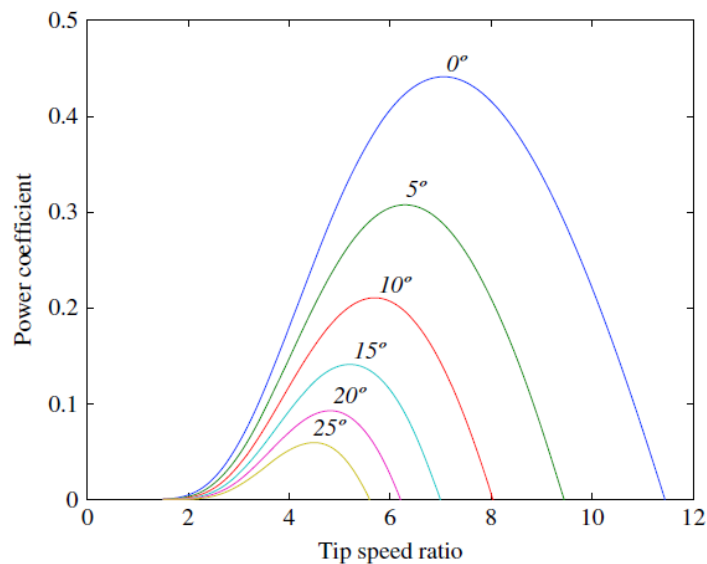
หรือ

$$P_w = \frac{\rho}{2} A_{\text{turb}} V_1^3 \times C_p \quad (2.30)$$

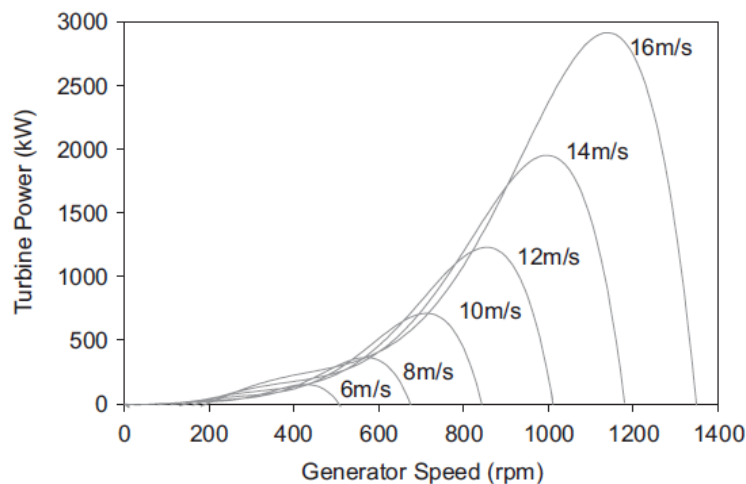
เมื่อ C_p คือค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (Power coefficient) ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับกังหันลมแต่ละตัว ซึ่งค่า C_p จะเปลี่ยนตามค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกหนึ่งตัว คือ แลมด้า (λ) หรือ Tip speed ratio โดย

1 จะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของความเร็วปลายใบพัดของกังหันลมต่อความเร็วลม จากการศึกษพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_p และ λ ของกังหันลมชนิด 3 ใบพัด จะมีลักษณะตามรูปที่ 2.15

จากรูปที่ 2.16 พบว่า กังหันลมจะให้ค่า C_p สูงสุดที่ λ ค่าหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นถ้าเราต้องการกำลังงานสูงสุดจากกังหันลมเราจะต้องควบคุมให้ได้ค่า C_p สูงสุดของทุกความเร็วลม นั่นก็หมายความว่า จะต้องมีการควบคุมความเร็วรอบของกังหันให้สัมพันธ์กับความเร็วลม ส่วนรูปที่ 2.17 แสดงความสามารถในการจ่ายกำลังงานกังหันลมชนิดหนึ่งที่มีความเร็วลมค่าต่าง ๆ

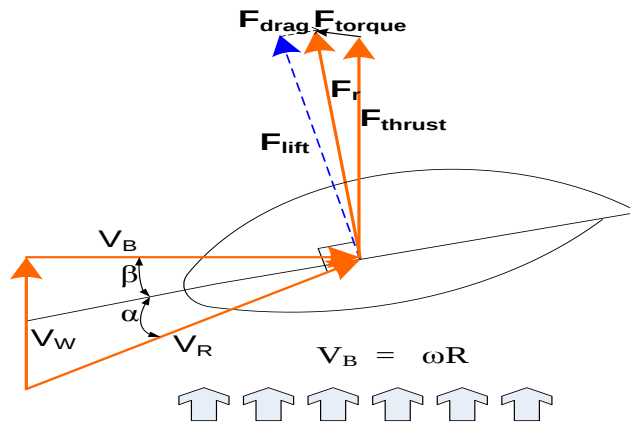


รูปที่ 2.16 ประสิทธิภาพที่ Tip speed ratio ต่างๆ



รูปที่ 2.17 เส้นทางการควบคุมกังหันลม ณ ความเร็วลมต่างๆ

3. ใบพัดกังหันลม ประเภทของการจำกัดพลังงาน , กังหันลม 3 ใบพัด



รูปที่ 2.18 กระบวนการเกิดทอร์กอากาศพลศาสตร์

V_W = ความเร็วลมที่กระทำต่อใบพัดด้านหน้า (ทวนเข็มนาฬิกา)

V_B = ความเร็วลมตรงข้ามกับการหมุน

V_R = เวกเตอร์ความเร็วลมลัพธ์ (Resulting Wind Speed)

$$V_R = V_W + V_B \quad (2.31)$$

โดยขนาดของแรงยก (Lifting Force , F_{lift}) และแรงดูด (Drag Force , F_{drag}) จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของใบพัด และขนาดของ V_R

F_{lift} = แรงยก (Lifting Force) กระทำกับใบพัดในทิศทางตั้งฉากกับ V_R

F_{drag} = แรงดูด (Drag Force) กระทำกับใบพัดในทิศทางเดียวกับ V_R

$$F_r = F_{lift} + F_{drag} \quad (2.32)$$

แรงสร้างทอร์ก (Tangential or Torque Force , F_{torque}) กระทำต่อใบพัดทิศทางเดียวกับการหมุน

$$F_{torque} = F_r + F_{thrust} \quad (2.33)$$

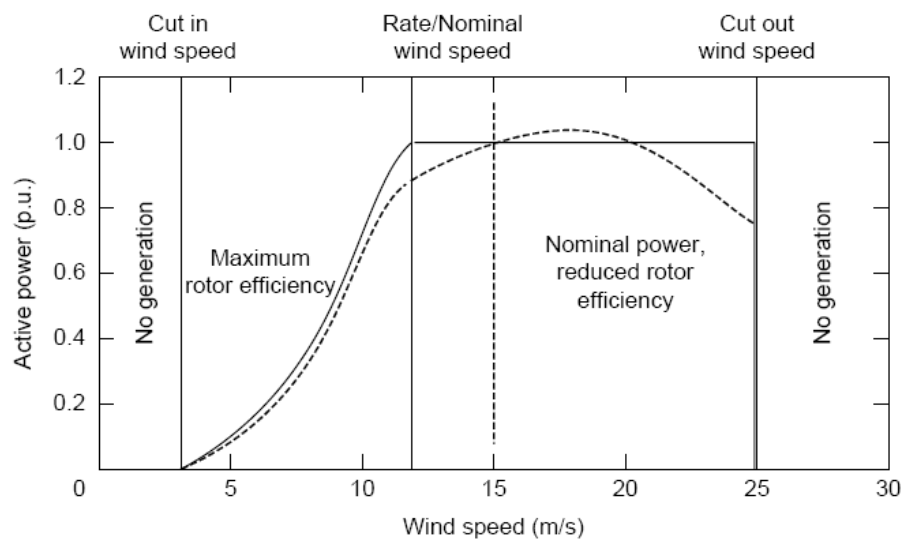
F_{thrust} คือแรงผลัก (Thrust Force) กระทำต่อใบพัดในทิศทางเดียวกับความเร็วลม มีผลโดยตรงกับเสาของกังหันลม (Tower)

β คือมุมที่ V_B กระทำต่อแนวแกนใบพัด เรียกว่ามุมพิช (Pitch Angle) สามารถปรับมุมได้โดยการเบี่ยงองศาของใบพัด

ขนาดของทอร์กที่กระทำต่อใบพัด สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยการควบคุมเวกเตอร์ V_R จะสามารถควบคุมได้โดยมุม β, α

α คือมุมที่ V_R กระทำต่อแนวแกนใบพัด เรียกว่ามุมปะทะ (Attack angle) เราสามารถทำได้ 2 วิธี โดยวิธีแรกปรับมุม เช่นเดียวกับ β โดยการปรับองศาของใบพัด วิธีที่สองปรับเวกเตอร์ V_R โดยประกอบด้วย V_w และ V_B แต่เนื่องจาก V_w ไม่สามารถปรับใบพัดในทิศทางตั้งฉากได้จึงไม่สามารถควบคุมขนาดและทิศทางได้ส่วน V_B จะสามารถควบคุมความเร็วของลมที่ใบพัดเมื่อเกิดการหมุน โดยการปรับความเร็วระบบของกังหันลม ซึ่งส่งผลต่อเวกเตอร์ V_R โดยตรง

4. ความเร็วลมของกังหันลม พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วม แต่ความสัมพันธ์ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำ (1 - 3 เมตร/วินาที) กังหันลมจะยังไม่ทำงาน ในช่วงความเร็วลมนี้กังหันลมจะยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5 - 5 เมตร/วินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่า “cut in wind speed” ที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12 - 15 เมตร/วินาที เป็นช่วงที่เรียกว่า “nominal หรือ rate wind speed” ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตนเอง ค่าความเร็วลมที่แน่นอนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดของใบพัดและการออกแบบ ที่จุดต่ำกว่า nominal คือ “maximum rotor efficiency” 2.19 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับ “tip speed ratio” [7] ในช่วงความเร็วลมที่สูงกว่า 25 เมตร/วินาที กังหันลมจะหยุดทำงาน เนื่องจากความเร็วลมที่สูงเกินไปจนอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้



รูปที่ 2.19 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบ Stall limit (เส้นประ)

และแบบ pitch control (เส้นทึบ) (Siegfried, 1998)

2.2.4 ส่วนประกอบของกังหันลมในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่นนั้น ๆ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง

ตารางที่ 2.2 ขนาดของกังหันลม

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m ²)
ขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5-2.0	3-10	7-80
ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20-200	10-25	80 - 500
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200-1,500	25-70	50-3,850
ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

- กังหันลมขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ และใช้กับโหลดขนาดเล็ก เช่น การใช้กับเครื่องมือสื่อสาร หรือแสงสว่างในบางเวลา

- กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.5-20 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ สามารถนำมาใช้กับโหลด ตามครัวเรือนหรือสำนักงานขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล

- กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 20-200 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในระบบผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น ระบบผสมผสานดีเซล-เซลล์แสงอาทิตย์-กังหันลม เพื่อใช้ในระบบ Mini grid ตามชุมชนห่างไกล

- กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 200-1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ้งกังหันลมบนฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

- กังหันลมขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตมากกว่า 1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ้งกังหันลมบนฝั่งและนอกชายฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

1. ประเทใบพัด (Blade) เป็นส่วนที่ยึดติดกับแกนหมุน (Rotor Hub) ทำหน้าที่รับพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการเคลื่อนที่ของลม และหมุนแกนหมุนเพื่อส่งถ่ายกำลังไปยังเพลากล้นหลัก ถูกออกแบบโดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของอากาศ เพื่อให้มีน้ำหนักเบาพอเหมาะและเหนียวทนทานรับกับแรงลมได้ดี ใบกังหันลม เป็นหัวใจของกังหันลมผลิตไฟฟ้าและมีความละเอียดสูงในการออกแบบ เพราะหากสามารถออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง ก็จะทำให้กังหันลมสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีที่ความเร็วเปลี่ยนไปวัสดุที่ใช้ทำใบกังหันควรจะเป็นวัสดุเบาและแข็งแรงซึ่งอาจเป็นอลูมิเนียมอัลลอยด์ แผ่นเหล็ก ไม้ และไฟเบอร์กลาส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

เนื่องจากว่าความเร็วของลมในทุกพื้นที่ในประเทศไทยจะอยู่ที่ประมาณ 2-3 m/s ดังนั้นใบพัดที่เหมาะสมกับลมบ้านเราจะเป็นแบบ A, B, C และ D

แบบ A คือ ใบพัดกังหันลมแบบแนวตั้ง

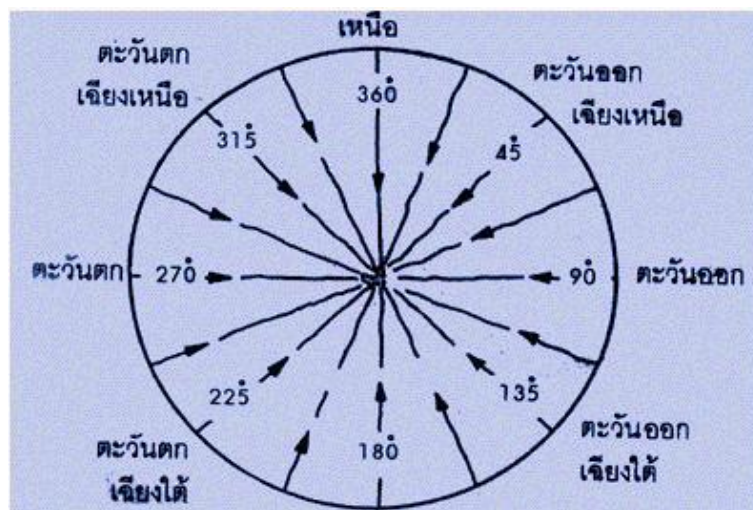
แบบ B คือ ใบพัดกังหันลมแบบแนวนอน เหมาะสำหรับปั้มน้ำ

แบบ C คือ ใบพัดกังหันลมแบบแนวนอน บริเวณพื้นที่ที่พบคือภาคเหนือจังหวัดสมุทรสาคร

การผลิตใบพัดกังหันลมแบบ A,B ,C หรือ D สามารถนำไปใช้ได้ทั่วประเทศ เนื่องจากความเร็วลมในประเทศไทยมีความเร็วไม่สูงนัก ทำให้กังหันลมที่นำมาใช้หมุนด้วยความเร็วรอบที่ไม่สูง และเมื่อปริมาณมากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาก ถ้ามีปริมาณลมน้อยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้ก็น้อยเช่นกัน

2. การวัดลม มี 2 วิธี คือ วัดทิศลม และวัดความเร็วลม

- วัดทิศลม เรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัดทิศลมตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น ทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ส่วนการวัดทิศลมที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริง ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เครื่องมือวัดที่ใช้เรียกว่า วินด์เวน (Wind Vane) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาว ซึ่งมีความยาวเป็นแผ่น ทางตั้งเห็นตัวบังคับให้ปลายศรลมชี้ในทิศทางที่ลมพัดเข้ามา โดยมีแกนของศรลมหมุนไปโดยรอบและต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า อ่านทิศทางลมตามที่ปลายศรลมชี้ไปที่หน้าปัดของเครื่อง



รูปที่ 2.20 ทิศทางลมสำหรับเขียนแผนที่อากาศ ใช้รายงานเป็นองศา

- วัดความเร็วลม ความเร็วลมคือ การเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง หรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก และแรงหรือความกดเป็นสัดส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม เครื่องมือวัดที่ใช้ เรียกว่าอะนิโมมิเตอร์ (Anemometer) ประกอบด้วยแผ่นโลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแขวนติดอยู่กับแกน และแกนนี้ติดอยู่กับเสาในแนวตั้ง แผ่นโลหะนี้หมุนรอบแกนได้อย่างอิสระ และตั้งฉากกับทิศทางลมเสมอ เมื่อมีลมพัดปะทะกับแผ่นโลหะ ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโลหะจะกระดกขึ้น มุมที่แผ่นโลหะทำกับแนวตั้งนั้น จะขึ้นอยู่กับความแรงของลม ถ้าลมนั้นแรงมากมุมที่ทำจะใหญ่ขึ้น ความเร็วลมอ่านได้จากสเกลที่ทำไว้บนโลหะโค้งที่ติดอยู่กับแกนของแผ่นโลหะ ปัจจุบันแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ แบบลูกถ้วย (Cup Anemometer) ประกอบด้วยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 3 หรือ 4 ใบ ติดอยู่กับเพลาในแนวตั้ง ความกดที่แตกต่างกันจากด้านหนึ่งของลูกถ้วยใบหนึ่ง ไปยังลูกถ้วยอีกใบหนึ่ง เป็นเหตุให้ลูกถ้วยหมุนรอบๆ เพลา อัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนตรงต่อความเร็วลม การหมุนของลูกถ้วยปกติจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นความเร็วลมผ่านระบบเกียร์ และสามารถอ่านความเร็วลมได้จากหน้าปัด หรือส่งไปยังเครื่องบันทึกเวลา

2.3 เซลล์เชื้อเพลิง

2.3.1 ส่วนประกอบของระบบเซลล์เชื้อเพลิง

การออกแบบระบบเซลล์เชื้อเพลิง สามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและการนำไปใช้งาน ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้จะประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐาน 4 อย่างด้วยกันคือ Fuel Cell Stack Fuel Cell Processor ตัวแปลงกระแส (Current Converter) และระบบชดเชยความร้อน (Heat Recovery System)

1. Fuel Cell Stack เป็นหัวใจสำคัญของระบบกำลังของเซลล์เชื้อเพลิง หน้าที่หลักคือการก่อให้เกิดไฟฟ้าขึ้น โดยจะอยู่ในรูปแบบของกระแสตรง (DC) จากปฏิกิริยาทางเคมีที่ถูกบรรจุอยู่ในเซลล์เชื้อเพลิง โดยในหนึ่งเซลล์เชื้อเพลิง เพียงพอที่จะสร้างกระแสไฟฟ้าสำหรับการนำไปใช้งานได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะฉะนั้น เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละตัวจะถูกประกอบรวมกันเป็นแบบอนุกรมบรรจุอยู่ใน Fuel Cell Stack ซึ่งแต่ละแบบของ Fuel Cell Stack อาจจะถูกบรรจุเซลล์เชื้อเพลิงไว้หลายร้อยเซลล์เลยทีเดียว โดยจำนวนของกำลังไฟฟ้าที่ถูกผลิตได้จากเซลล์เชื้อเพลิงนั้น จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง ขนาดของเซลล์ อุณหภูมิในการทำงาน และแรงดันของแก๊สที่ถูกป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น

2. Fuel Processor ทำหน้าที่แปลงเชื้อเพลิงให้เข้าสู่รูปแบบที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถนำไปใช้ได้ ถ้าไฮโดรเจนถูกป้อนเข้าสู่ระบบแล้ว ตัวโปรเซสเซอร์อาจจะไม่มีความจำเป็นต้องใช้อีก หรือทำหน้าที่เพียงแค่กรองของเสียออกจากแก๊สไฮโดรเจนเท่านั้น ถ้าระบบใช้การผลิตจากเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ได้มาจาก เมธานอล เบนซิน (Gasoline) ดีเซล หรือก๊าซที่ได้จากถ่านหินแล้ว ก็จะมีตัวเปลี่ยนรูปซึ่งจะแปลงไฮโดรคาร์บอนที่เข้าสู่ตัวผสมแก๊สระหว่างส่วนประกอบไฮโดรเจนและคาร์บอน เราเรียกว่า การเปลี่ยนรูป (Reformate)

3. ตัวแปลงกระแส และตัวปรับสภาพ (Current Inverters and Conditioners) จะทำการแปลงกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานโดยทั่วไป เช่น ไฟฟ้าที่นำไปใช้กับมอเตอร์ หรือไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการสาธารณประโยชน์ของการไฟฟ้า เป็นต้น เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาในรูปของไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในวงจรกระแสตรง ไฟฟ้าจะไหลเป็นทิศทางเดียว แต่การใช้งานในบ้านเรือนจริง ๆ จะอยู่ในรูปแบบของกระแสสลับ (AC) ซึ่งจะไหลสลับสองทิศทางเป็นไซเคิล ถ้าเซลล์เชื้อเพลิงใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟ AC ก็จะต้องถูกแปลงกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อน ทั้งไฟ AC และ DC จะเป็นสภาวะของการรวมเอาการควบคุมการไหลของกระแส (Amperes), แรงดัน, ความถี่ และคุณสมบัติอื่น ๆ ของกระแสไฟฟ้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เมื่อทำการแปลงและปรับสภาพกระแสไฟฟ้าแล้วจะทำให้ลดประสิทธิภาพของระบบลงมาเล็กน้อย (ประมาณ 2-6 เปอร์เซ็นต์)

4. ระบบชดเชยความร้อน (Heat Recovery System) ระบบของเซลล์เชื้อเพลิงไม่ใช่ระบบแบบดั้งเดิมที่ถูกใช้ในการกำเนิดความร้อน แต่อย่างไรก็ตามก็มีจำนวนพอสมควรที่ความร้อนถูกก่อให้เกิดขึ้นจากระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปฏิบัติงานในสภาวะอุณหภูมิสูง อย่างเช่นระบบที่ใช้ ออกไซด์แข็ง หรือคาร์บอนเหลว พลังงานที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเหล่านี้สามารถที่จะนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อน หรือเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าด้วยกังหันแก๊สหรือเทคโนโลยีอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานทั้งหมดของระบบ

2.3.2 หลักการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง

หลักการทำงานคล้ายกับการทำงานของแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมี นั่นคือ สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมี จากปฏิกิริยาเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แตกต่างจากแบตเตอรี่ตรงที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้จากปฏิกิริยาเคมีของก๊าซไฮโดรเจน (ก๊าซเชื้อเพลิง) และก๊าซออกซิเจนจากอากาศ และยังสามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีการชาร์ตใหม่ トラบแท่ที่มีก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนป้อนเข้าสู่ตัวเซลล์ ก็จะทำให้เรามีไฟฟ้าเกิดขึ้นตลอดเวลา หลักการของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งที่อาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีดังกล่าวโดยเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออนกับอิเล็กตรอน ที่ขั้วแอโนดและออกซิเจนจากอากาศจะจับไฮโดรเจนไอออน ที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์มายังแคโทด ทำให้เกิดน้ำ และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะไหลเวียนในระบบ

2.3.3 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงถูกจำแนกแยกแยะตามชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ การกำหนดนี้จะแยกตามชนิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ถูกใส่ในเซลล์ ตามชนิดความต้องการของสารเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ย่านของอุณหภูมิในขณะที่เซลล์ทำงาน ความต้องการของเชื้อเพลิง และปัจจัยอื่น ๆ ด้วยคุณลักษณะเช่นนี้ บางครั้งการนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย จะต้องมีความเหมาะสมที่สุด นั่นคือจะต้องคำนึงถึงเซลล์เชื้อเพลิงหลาย ๆ ชนิด ภายใต้การพัฒนาในปัจจุบัน แต่ละข้อได้เปรียบตามแต่ละชนิดข้อจำกัดและศักยภาพในการใช้งาน

1. เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid) ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ มีข้อดี คือ เป็นเซลล์ที่สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิดแม้แต่น้ำมันเชื้อเพลิง แต่ต้องกำจัดกำมะถันในน้ำมันออกให้เหลืออยู่น้อยที่สุดก่อน อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องใช้โลหะแพลทินัมที่มีราคาสูงเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และตัวเซลล์ยังมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำเมื่อเทียบกับเซลล์ชนิดอื่นและจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดได้ดี

2. เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane - PEM) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ในรูปแบบแผ่นโพลิเมอร์บาง มีข้อดี คือ เซลล์ชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิต่ำและใช้สารอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งจึงไม่มีปัญหาการรั่วซึมและเกิดการกัดกร่อนน้อย จึง

เหมาะสำหรับการใช้งานในอาคารบ้านเรือนและรถยนต์ แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีความบริสุทธิ์สูงเท่านั้น และโลหะแพลทินัม และแผ่นเมมเบรนมีราคาสูง

3. เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide) เซลล์ชนิดนี้ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของแข็งทำจากสารประกอบเซรามิก เช่น เซอร์โคเนียออกไซด์ เป็นต้น มีข้อดี คือ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูงมากจึงไม่จำเป็นต้องใช้โลหะแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายชนิดเพราะเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดี แต่มีข้อด้อย คือ ต้องเสียเวลาในการอุ่นเครื่องนาน และจำเป็นต้องสร้างผนังหนาเพื่อป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมา

4. เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ องค์การนาซาใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและน้ำให้กับยานอวกาศในโครงการอพอลโล และโครงการเจมินี เซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าสูง และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งมีราคาถูก แต่มีข้อเสีย คือ จำเป็นต้องใช้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงมากซึ่งมีราคาแพงมาก และต้นทุนการผลิตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีราคาแพง ทำให้การใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จำกัดอยู่เฉพาะงานในด้านอวกาศเท่านั้น

5. เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้สารลิเทียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมคาร์บอเนต หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนตที่หลอมเหลวเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ สามารถประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้หลายชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซโพรเพน น้ำมันดีเซล เป็นต้น แต่มีข้อเสีย คือ ที่สภาวะอุณหภูมิสูงจะมีการกัดกร่อนค่อนข้างมากจึงไม่เหมาะกับการใช้งานขนาดเล็ก

6. เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol) เป็นเซลล์ที่เพิ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจากแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากเมทานอลได้โดยไม่ต้องผ่านสารเข้าระบบรีฟอร์มเมอร์ ซึ่งแตกต่างจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นที่จะทำงานโดยการป้อนไฮโดรเจนเข้าระบบโดยตรง เซลล์ชนิดนี้ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิก่อนข้างต่ำจึงเหมาะสมที่จะพัฒนาให้เป็นแหล่งพลังงานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป โทรศัพท์มือถือ หรือนำมาใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าแบบเติมเมทานอลด้วย

7. เซลล์เชื้อเพลิงแบบระบบหมุนเวียนน้ำ (Regenerative) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานแบบหมุนเวียนน้ำในระบบ น้ำจะถูกแยกด้วยไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ได้จะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนระบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิต

กระแสไฟฟ้าออกมา ซึ่งนอกจากกระแสไฟฟ้าแล้วยังได้ความร้อนและน้ำเป็นผลิตร่วมด้วย น้ำที่ได้จะถูกนำไปแยกด้วยกระแสไฟฟ้าอีกครั้ง ดังนั้นน้ำจึงถูกหมุนเวียนอยู่ในระบบปิดตลอด ซึ่งหากมีความสมบูรณ์ก็จะเป็นแหล่งพลังงานสะอาดอย่างแท้จริงอีกแหล่งหนึ่ง ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ยังอยู่ในขั้นการวิจัยและพัฒนาโดยองค์การนาซาและสถาบันอื่น ๆ ทั่วโลกอย่างต่อเนื่อง

8. เซลล์เชื้อเพลิงแบบสังกะสี-อากาศ (Zinc-Air) เซลล์เชื้อเพลิงสังกะสี-อากาศใช้โลหะสังกะสีเป็นขั้วแอโนด เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ก๊าซไฮโดรเจนหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนก็ได้ ขั้วแคโทดเป็นอากาศและใช้แผ่นกรองสำหรับแยกก๊าซออกซิเจนออกมาจากอากาศเพื่อป้อนเข้าระบบ เซลล์ชนิดนี้ใช้สารโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิการทำงานของระบบอยู่ในช่วงประมาณ 700 องศาเซลเซียส เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีข้อดี คือ โลหะสังกะสีที่ใช้ทำขั้วแอโนดมีราคาถูก เซลล์ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยา และยังสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายรูปแบบตั้งแต่ก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์จนถึงน้ำมันเชื้อเพลิง แต่เซลล์ชนิดนี้จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแผ่นสังกะสีใหม่เรื่อยๆ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โลหะสังกะสีเปลี่ยนเป็นซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

2.3.4 ระบบควบคุมและทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ในการป้อนก๊าซและการระบายความร้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิงดังนั้น ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจึงประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน (PEMFC) กำลังได้รับความสำคัญเป็นอย่างมากโดยเป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับการใช้งานหลายอย่าง เนื่องจากมีอุณหภูมิระหว่างการทำงานต่ำให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูง ให้กำลังไฟฟ้าที่สูง อายุการใช้งานนาน มีความทนทาน และมีไดนามิกส์ที่สูง เซลล์เชื้อเพลิงได้ถูกพัฒนาสำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟที่พกพาได้และโรงจักรไฟฟ้า เซลล์เชื้อเพลิงกำลังถูกนำไปใช้งานในรถบัส

ตารางที่ 2.3 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง อุณหภูมิการทำงาน เชื้อเพลิงและออกซิเจนที่ อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ กระบวนการในอิเล็กโทรไลต์ เป้าหมายขนาดกำลังผลิต การประยุกต์ใช้และผู้จำหน่าย

ชนิด	อุณหภูมิ ทำงาน (°C)	เชื้อเพลิงและ ออกซิเจนที่	อิเล็กโทรไลต์	กระบวนการ ในอิเล็กโทร ไลต์	เป้าหมาย ขนาด กำลังผลิต	การประยุกต์ใช้ และผู้จำหน่าย
อัลคาไลน์ (AFC)	50-200 (60-90)*	ไฮโดรเจน/ ออกซิเจน	โพตัสเซียมไฮ ดรอกไซด์(KOH)	$\text{OH}^\circ \leftarrow$	20-100 kW	ด้านอวกาศ (ZeTek)
กรดฟอสฟอ ริก (PAFC)	160-210 (60-120)*	ก๊าซ ธรรมชาติ/ อากาศ	กรดฟอสฟอริก	$\text{H}^\circ \rightarrow$	50-kW- 20MW	การศึกษาความ เป็นไปได้ทาง เทคนิค (ONSI)
คาร์บอนเนต เหลว (MCFC)	630-650 (ca, 400)*	ก๊าซ ธรรมชาติ/ อากาศ	เกลือเหลว (เกลือ ไนเตรด, เกลือ ซัลเฟต, คาร์บอนเนต)	$\text{CO}_2 \leftarrow$	300kW- 3MW	ทดสอบ ภาคสนาม (MC Power, FCE, MTU)
โซลิดออก ไซด์ (SOFC)	600-1000 (300-600)*	ก๊าซ ธรรมชาติ/ อากาศ	ออกไซด์เซอร์โคเนีย ยม เสถียรและการโคป เพอร์ฟอสเฟต	$\text{O}^\circ \leftarrow$	2kW- 300 MW	ทดสอบ ภาคสนาม (Siemens, Sulzer- Hexis)
โปรตรอน เอ็ก เชนจ์เมม เบรน (PEMFC)	50-80 (<75)*	ไฮโดรเจน, เมทานอล/ อากาศ	โพลีเมอร์, โปรตรอนเอ็ก เชนจ์เมมเบรน	$\text{H}^\circ \rightarrow$	2 – 250 kW	ต้นแบบ (Ballard, LFC, DeNora, H- Power, plug power)
ไดเร็กเมทา นอล (DMFC)	60-200	เมทานอล/ อากาศ	โพลีเมอร์	$\text{H}^\circ \rightarrow$	N/A	งานวิจัยพื้นฐาน
กรดซัลฟูริก (SAFC)	80-90	แอลกอฮอล์, ไฮโดรเจน/ อากาศ	กรดซัลฟูริก	$\text{H}^\circ \rightarrow$	N/A	N/A
โซลิดโพลิ เมอร์ (SPFC)	90	ไฮโดรเจน/ อากาศ	โซลิดซัลโฟเนต โพลีไตรีน	$\text{H}^\circ \rightarrow$	N/A	N/A

ที่มา: Stambouli and Traversa, 2002 / Erdmann, 2003*

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง	ข้อดี	ข้อเสีย
โปรตรอนเอ็กเชนจ์เมมเบรน (PEMFC)	- มีอิเล็กโทรดเป็นของแข็งซึ่งลดการกัดกร่อน และการแก้ไขปัญหาก็ทำได้ง่าย - อุณหภูมิทำงานต่ำ - การเริ่มต้นทำงานของระบบทำได้รวดเร็ว (quick start-up)	- การทำงานที่อุณหภูมิต่ำต้องใช้ตัว catalyst ที่มีราคาสูง - มีความอ่อนไหวต่อความบริสุทธิ์ของเชื้อเพลิงสูง
อัลคาไลน์ (AFC)	- การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดไวมากในอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์ ทำให้มีประสิทธิภาพสูง	- ต้นทุนในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเชื้อเพลิงสูง และต้อง การระบบอัดอากาศ
กรดฟอสฟอริก (PAFC)	- ประสิทธิภาพสูงสุดถึง 85% สำหรับทำงานแบบระบบผลิตร่วมระหว่างไฟฟ้าและความร้อน - สามารถใช้กับเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ไม่บริสุทธิ์ได้	- ต้องการ platinum catalyst - ให้กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ต่ำ - ขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก
คาร์บอนเนตเหลว (MCFC)	- ประสิทธิภาพสูง - ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด - สามารถใช้ catalyst ได้หลายแบบ	- ทำงานที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการสึกกร่อนและเซลล์เสียหายได้ง่าย
โซลิดออกไซด์ (SOFC)	- ประสิทธิภาพสูง - ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด - สามารถใช้ catalyst ได้หลายแบบ - มีอิเล็กโทรดเป็นของแข็งซึ่งลดการกัดกร่อน และการแก้ไขปัญหาก็ทำได้ง่าย - อุณหภูมิทำงานต่ำ - การเริ่มต้นทำงานของระบบทำได้รวดเร็ว	- ทำงานที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการสึกกร่อนและเซลล์เสียหายได้ง่าย

ที่มา: U.S. Department of Energy, 2005

ข้อดีและข้อจำกัดของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความมั่นคงทางด้านพลังงาน: การใช้เซลล์เชื้อเพลิงช่วยลดการใช้น้ำมัน ลดการนำเข้า และเพิ่มความเป็นไปได้ของจัดหาไฟฟ้าในหลายๆ ประเทศ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงซึ่งสามารถจัดหาและผลิตได้จากหลายแหล่ง เช่น จากก๊าซธรรมชาติ น้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านหิน ชีวมวล น้ำ และสารเคมี(McLellan et al., 2005)

- ความมั่นคงของระบบสูง: ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบสูงกว่า 90% ความมั่นคงและความสม่ำเสมอของการจ่ายพลังงานกว่า 99.99%

- ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ: เซลล์เชื้อเพลิงมีต้นทุนในการเดินระบบต่ำมากหากเทียบกับเทคโนโลยีพลังงานอื่น โดยเฉพาะหากมีการผลิตและใช้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบในระบบเซลล์เชื้อเพลิงแล้วจะพบว่าไม่มีความสลับซับซ้อน และไม่มีส่วนใดเลยของระบบที่มีการเคลื่อนไหวระหว่างทำงาน (nomoving parts)

- สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง: สามารถเดินระบบได้อย่างต่อเนื่องต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองชนิดอื่น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องชนิดดีเซล หรือ เครื่องจ่ายไฟสำรอง(Uninterrupted PowerSupply; UPS) เซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานอย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่มีเชื้อเพลิงป้อนให้ระบบ ไม่ต้องการการซ่อมบำรุงและมีรอบการดูแลรักษาระบบเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

- สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด: เช่น ไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ โพรเพน บิวเทน เมทานอล และน้ำมันดีเซล เป็นต้น

- เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม: เซลล์เชื้อเพลิงเป็นพลังงานที่สะอาดมากมีการปลดปล่อยมลพิษที่ต่ำกว่า 100-1,000 เท่าเมื่อเทียบกับมาตรฐานของ American Clean Bus Standard 1998 (15 ppmv of CO₂) และเมื่อเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีในปัจจุบัน

- ไม่มีเสียงดังระหว่างทำงาน: การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีเสียงดังรบกวนเหมือนกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน สามารถติดตั้งภายในอาคาร ไม่ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเสียงดัง เปรียบเทียบระดับเสียงจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่นๆ

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบระดับเสียงจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่นๆ

รายการ	โรงไฟฟ้าก๊าซ	ไมโครเทอร์ไบน์	โรงไฟฟ้าดีเซล	เซลล์เชื้อเพลิง	มาตรฐานในเขตชุมชน
ระดับเสียง	ดัง	ปานกลาง	ดัง	เบา	เบา
ระดับป้องกันเสียง	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ

* ระดับเสียงเดียวกับเซลล์เชื้อเพลิง

ที่มา : Stambouli and Traversa, 2002

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ

รายการ	โรงไฟฟ้าก๊าซ	ไมโครเทอร์ไบน์	โรงไฟฟ้าดีเซล	เซลล์เชื้อเพลิง
ประสิทธิภาพ	20 %	24 %	32 %	90 % (รวมการใช้ความร้อน

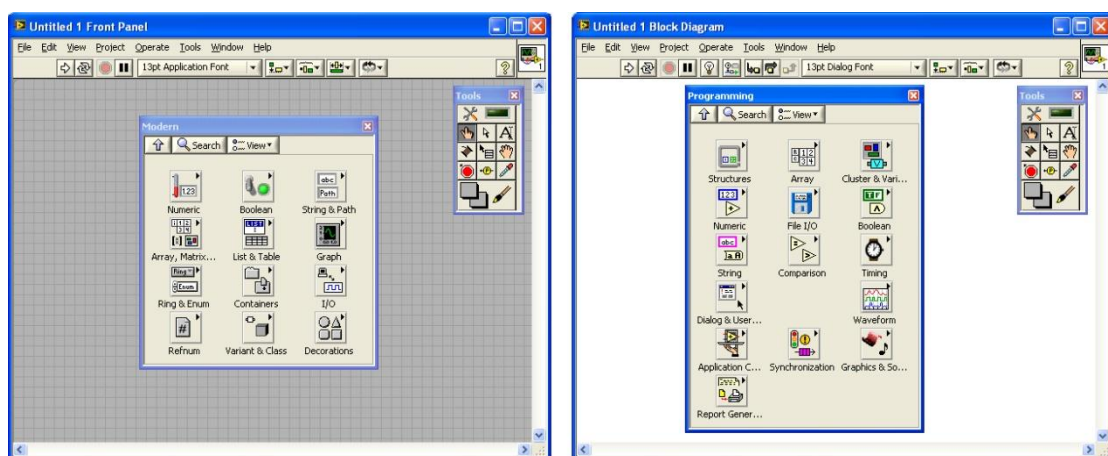
ที่มา: Stambouli and Traversa, 2002

- ประสิทธิภาพสูง: ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานสูงถึง 50 – 70% สำหรับการเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้าและ 90% หากรวมพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่นๆ และรูปที่ 2-20 เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโซลิดออกไซด์ (Solid Oxide Fuel Cell; SOFC) ขนาด 1.0 kW_e และชนิดโปรตอนเอ็กเชนจ์เมมเบรน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell; PEMFC) ขนาด 4.5 kW_e ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงต้องการออกซิเจนและไฮโดรเจนในการผลิตไฟฟ้า โดยปกติออกซิเจนจะได้มาจากอากาศประมาณ 20% ซึ่งต่างจากไฮโดรเจนที่มีข้อจำกัดในเรื่องของการกักเก็บและการขนส่งจากเหตุผลดังกล่าวทำให้มีการศึกษาและวิจัยการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ทดแทนการใช้ไฮโดรเจนโดยตรง เช่น แอลกอฮอล์ และสารไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ซึ่งปัจจุบันได้เริ่มมีการนำมาใช้งานแล้ว แต่การใช้เชื้อเพลิงในลักษณะนี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เปลี่ยนรูป (reformer) เชื้อเพลิงเหล่านั้นให้เป็ไฮโดรเจนเพื่อป้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงบางตัวทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการจัดการอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte management) เช่น อิเล็กโทรไลต์แบบของเหลวมีปัญหาเรื่องการกัดกร่อน อิเล็กโทรไลต์แบบของแข็งบางชนิดมีราคาที่สูงมาก เช่น แพลทินัมในเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEMFC อิเล็กโทรไลต์บางประเภทต้องการอุณหภูมิทำงานที่สูงมาก เช่น SOFC และ Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

2.4 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อสร้างโปรแกรมสำหรับการเก็บข้อมูล การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดและการควบคุมระบบต่างๆ LabVIEW จะใช้ภาษากาแฟในการสร้างโปรแกรม ซึ่งแตกต่างจากโปรแกรมอื่นที่ใช้ตัวอักษรเพื่อสร้างโปรแกรม เช่น C/C++, Visual C++, Visual Basic เป็นต้น โปรแกรม มีฟังก์ชันและเครื่องมือดังรูปที่ 2.9 เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถนำมาสร้างโปรแกรมสำหรับงานประยุกต์ต่างๆ โปรแกรม LabVIEW โดยปกติจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Front Panel และ Block Diagram ดังรูปที่ 2.9 โดยแต่ละส่วนจะใช้สำหรับวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน



รูปที่ 2.21 Front Panel และ Block Diagram [8]

Tools เป็นตัวช่วยที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม LabVIEW โดย Tools สามารถใช้ทั้งที่ Front Panel และ Block Diagram โดยจะมีรูปแบบต่างๆ เช่น

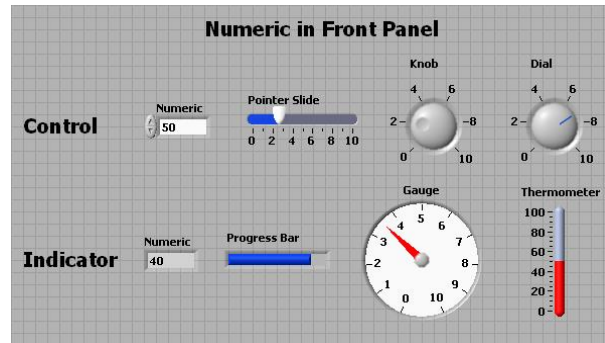
-  ใช้สำหรับป้อนค่าหรือเลือกเงื่อนไข
-  ใช้สำหรับเลือกและจัดวางตำแหน่งของตัวฟังก์ชันหรือปุ่มต่างๆ
-  ใช้สำหรับแก้ไขหรือเพิ่มคำอธิบายที่เป็นตัวหนังสือ
-  ใช้สำหรับเชื่อมต่อฟังก์ชันที่ใช้ใน Block Diagram

2.4.1 Front Panel

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน สำหรับใส่ค่าและแสดงผลของตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้นมา โดยส่วนของการใส่ค่าจะเรียกว่า “Control” ส่วนการแสดงผลจะเรียกว่า “Indicator” ที่ถูกนำมาใช้ใน Front Panel ซึ่งจะมีจุดต่อเชื่อมปรากฏอยู่ที่ Block Diagram ด้วย เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานตัว Control ที่ Front Panel จะทำการส่งข้อมูลผ่านไปยัง Block Diagram และตัวแสดงผลจะส่ง

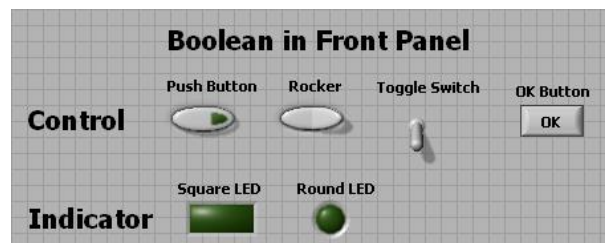
ถ้าจาก Block Diagram กลับมาแสดงผลที่ Front Panel ผ่านตัว Indicator ที่กำหนดไว้ ข้อมูลที่ใช้ในตัว Control และ Indicator มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบดังนี้

1. Numeric มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ตัวเลขดิจิทัล, แถบเลื่อน, ปุ่มหมุน, เกจ หรือสเกลในรูปแบบต่างๆ



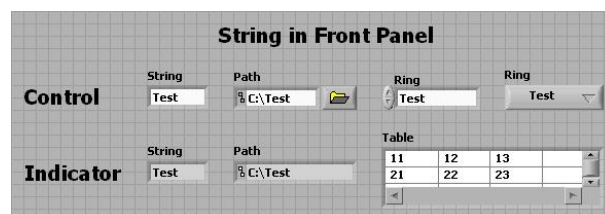
รูปที่ 2.22 ฟังก์ชัน Control และ Indicator แบบ Numeric ใน Front Panel

2. Boolean เป็นเงื่อนไข มี 2 สถานะคือ On/Off หรือ True/False รูปแบบของ Boolean จะเป็นปุ่มสไล, ปุ่มกดหยุดหรือปุ่มเลื่อนเปิด/ปิด



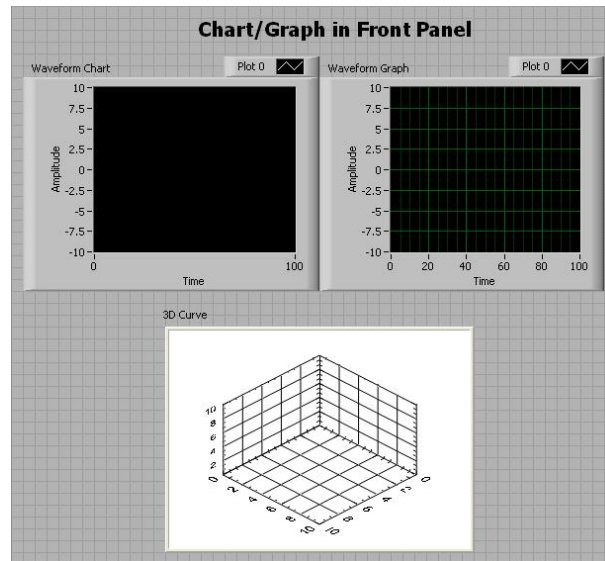
รูปที่ 2.23 ฟังก์ชัน Control และ Indicator แบบ Boolean ใน Front Panel

3. String เป็นตัวอักษรที่ใช้สำหรับป้อนค่า แสดงผลข้อมูลไว้ในรูปของไฟล์



รูปที่ 2.24 ฟังก์ชัน Control และ Indicator แบบ String ใน Front Panel

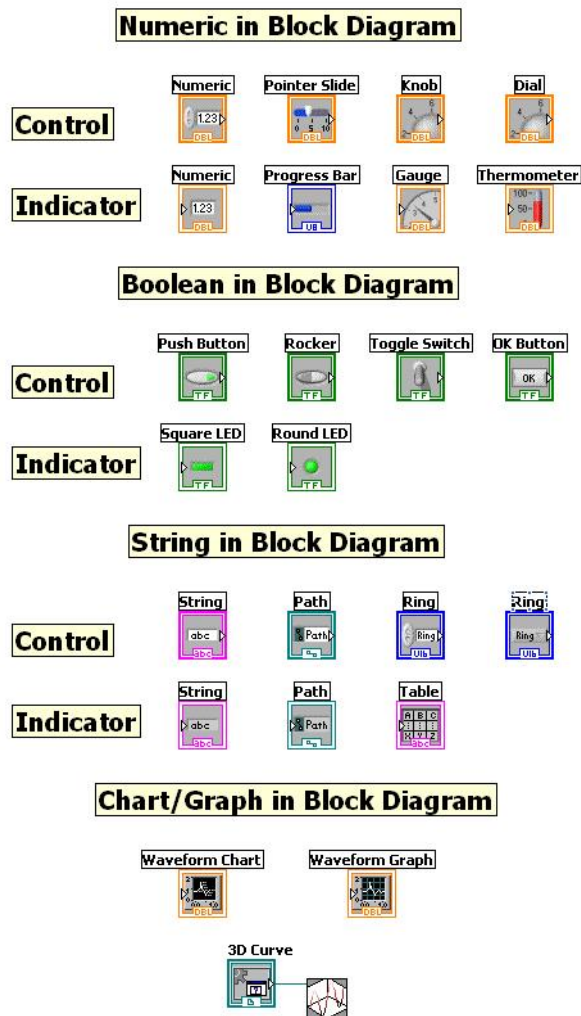
4. Chart/Graph เป็น Indicator ที่ใช้แสดงข้อมูลเทียบกับเวลา มีทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ



รูปที่ 2.25 ฟังก์ชัน Indicator แบบ Chart/Graph ใน Front Panel

2.4.2 Block Diagram

เป็นส่วนที่เก็บ Source code ของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งตัวโปรแกรม LabVIEW จะเรียกว่า “VI” ตัว Code ในโปรแกรม LabVIEW เป็นกราฟฟิกที่เรียกกันว่า Graphical Programming หลักการของโปรแกรมจะเชื่อมต่อตัวจุดเชื่อมต่างๆ เข้าด้วยกันแทนที่จะเขียนโดยใช้คำสั่งต่างๆ ดังที่ใช้ทั่วไปในโปรแกรมอื่นๆ เช่น C/C++, Visual C++ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า LabVIEW ใช้หลักการเดียวกับการเขียน Flow chart ลักษณะของ Numeric, Boolean, String และ Chart/Graph ใน Block Diagram มีรูปแบบแตกต่างกันดังในรูปที่ 2.14

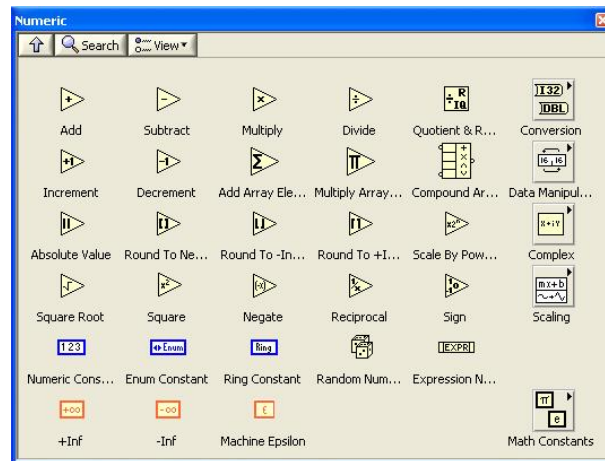


รูปที่ 2.26 ฟังก์ชัน Numeric, Boolean, String และ Chart/Graph ใน Block Diagram

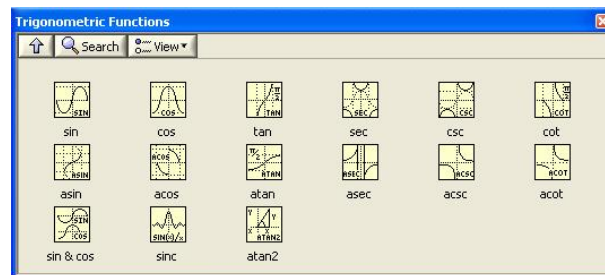
2.4.3 ฟังก์ชันอื่นๆ

โปรแกรม LabVIEW มีฟังก์ชันต่างๆ ที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมที่มีความซับซ้อน เช่น Operation (+, -, *, /, ^) ค่าคงที่ (π , e, ln2, lne, log10) ฟังก์ชันตรีโกณมิติ (sin, cos, tan) Loop & Case Structure (While Loop, For Loop, Case) และฟังก์ชัน File Input/Output (File I/O)

1. Operation เป็นฟังก์ชันที่ใช้ช่วยเพื่อสร้างสมการหรือคำสั่งในโปรแกรม LabVIEW

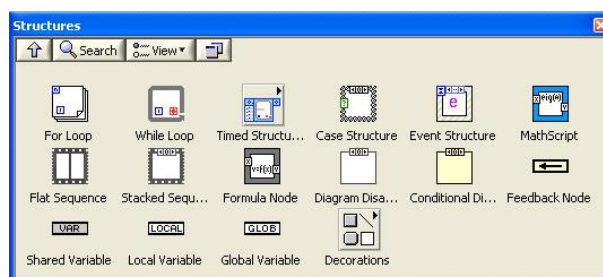


รูปที่ 2.27 ฟังก์ชัน Operation



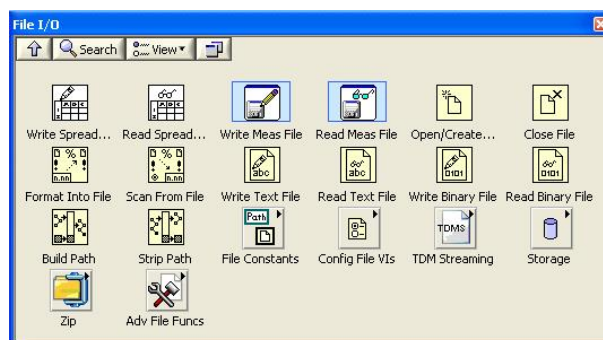
รูปที่ 2.28 ฟังก์ชันตรีโกณมิติ

2. Loop & Case Structure เป็นฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการเขียนโปรแกรม ซึ่งมีไว้ช่วยสำหรับการเขียนโปรแกรมที่ต้องมีขั้นตอนการทำงานซ้ำหลายๆ ครั้ง โดยรูปแบบของฟังก์ชันขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการเช่น While Loop เป็นการซ้ำตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ For Loop เป็นการซ้ำตามจำนวนครั้งที่กำหนดและ Case Structure จะทำเมื่อค่าเริ่มต้นตรงตามข้อกำหนดของเงื่อนไขนั้นๆ



รูปที่ 2.29 Loop & Case Structure

3. File Input / Output เป็นฟังก์ชันที่สามารถนำมาใช้เพื่อจัดเก็บข้อมูลในรูปของไฟล์ โดยสามารถนำมาวิเคราะห์และจัดทำรายงานหรือกราฟในภายหลังได้ ฟังก์ชันนี้ประกอบด้วยฟังก์ชันอ่านข้อมูลจากไฟล์และจัดเก็บข้อมูลในรูปของไฟล์



รูปที่ 2.30 ฟังก์ชัน File Input/Output สำหรับข้อมูลแบบต่างๆ

2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ Data Acquisition

Data Acquisition หรือ DAQ คือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแบบแอนะล็อก แล้วนำมาเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด วิเคราะห์ จัดเก็บหรือแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์ โดย DAQ แบบพื้นฐานจะสามารถทำหน้าที่ได้หลายหน้าที่พร้อมกัน โดยมีหน้าที่หลักคือ

Analog Input สำหรับรับสัญญาณอนาล็อก ใช้วัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ

Analog Output สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อกทั้งแบบ DC และ AC ที่เป็น Waveform

Digital I/O ใช้ในการรับหรือสร้างสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอก

Counter I/O ทำหน้าที่วัดสัญญาณจาก Encoder หรือสร้างสัญญาณ Pulse



รูปที่ 2.31 Data Acquisition รุ่น NI USB-6008 [9]

ในการใช้งาน Data Acquisition นั้น โครงการนี้จะใช้ NI USB-6008 ในการอ่านค่าสัญญาณ ที่ได้จากการวัด โดยตัว NI USB-6008 นั้นมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 2.3

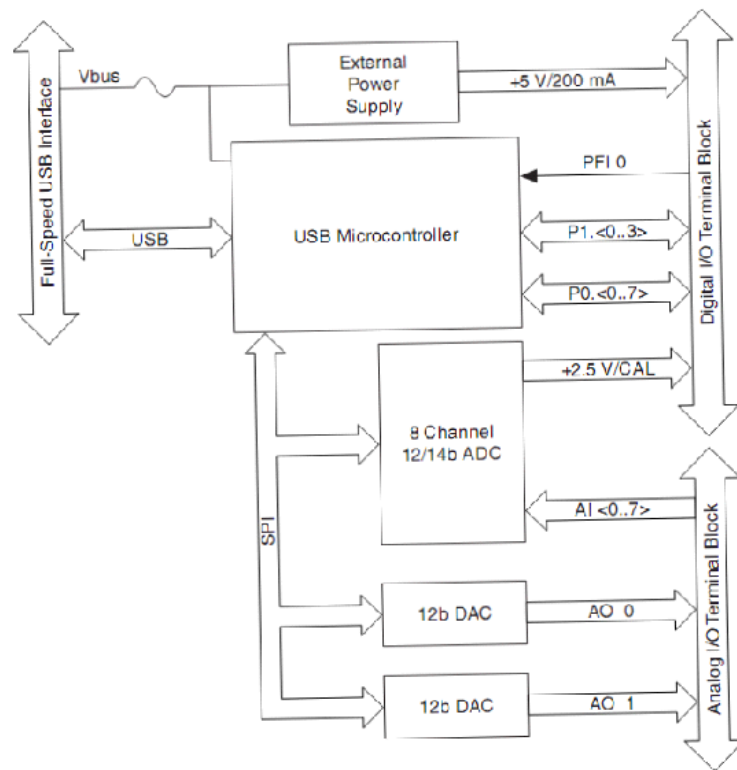
ตารางที่ 2.7 ข้อมูลจำเพาะของ NI USB-6008

Analog Input			Digital I/O	
Channels	Single-Ended	8 Channels	Bidirectional Channels	12 Channels
	Differential	4 Channels	Current Drive Single	8.5 mA
Resolution		12 bits	Current Drive All	102 mA
Sample Rate		10 kS/s	Maximum Input Range	0 - 5 V
Maximum Voltage Range		± 10 V	Maximum Input Range	0 - 5 V
Analog Output			Counter/Timers	
Channels		2 Channels	Counters	1
Resolution		12 bits	Maximum Range	0 - 5 V
Maximum Voltage Range		0 - 5 V	Max Source Frequency	5 MHz
Update Rate		150 S/s	Minimum Input Pulse Width	100 ns
Current Drive Single		5 mA	Resolution	32 bits
Current Drive All		10 mA	Timebase Stability	50 ppm

โดยในทางด้าน Analog Input สามารถระบุการต่อไว้ได้ทั้ง 2 แบบดังนี้

แบบ Single-Ended โดยอินพุตของ Data Acquisition ที่เป็น Single-Ended นั้นจะอ้างอิงกับกราวด์จุดเดียวกันทั้งหมด อินพุตแบบนี้จะใช้ในกรณีสัญญาณอินพุตมีระดับสูงมากกว่า 1 โวลต์ และใช้สายวัดสั้นๆ ไม่เกิน 15 ฟุต

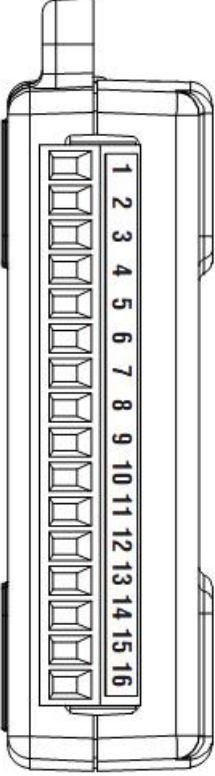
แบบ Differential แต่ละอินพุตจะมีกราวด์ของตัวเอง ซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะเป็นการลดสัญญาณรบกวน Common-mode ได้



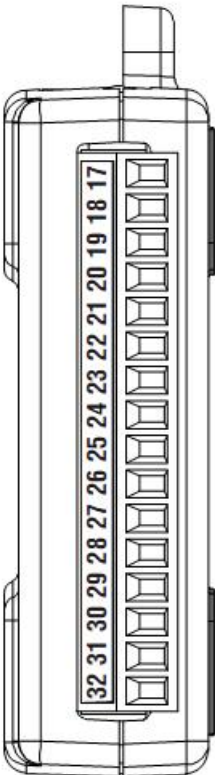
รูปที่ 2.20 ไคอะแกรมการทำงานของ NI USB-6008

ในการใช้งาน NI-USB 6008 นั้นจะมีการต่อสายที่แตกต่างกันไปตามการใช้งาน ซึ่งสามารถจำแนกช่องสัญญาณแต่ละจุดต่อแต่ละฝั่งได้ดังตารางที่ 2.8 และตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.8 ช่องสัญญาณของจุดต่อฝั่งนอก

ลักษณะช่องสัญญาณ	จุดต่อ	สัญญาณแบบ Single-Ended	สัญญาณแบบ Differential
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

ตารางที่ 2.9 ช่องสัญญาณของจุดต่อฝั่งดิจิทัล

ลักษณะช่องสัญญาณ	จุดต่อ	สัญญาณ
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

ตารางที่ 2.10 รายละเอียดของช่องสัญญาณ

สัญญาณ	จุดอ้างอิง	ทิศทางข้อมูล	รายละเอียด
GND	-	-	เป็นจุดอ้างอิงการต่อแบบ Single-Ended และเป็นจุดไบอัสกระแสกลับในการต่อแบบ Differential, Analog Output, Digital I/O, +5VDC Supply และ +2.5 VDC
AI <0..7>	ไม่แน่นอน	รับข้อมูล	เป็นจุดรับข้อมูลของการต่อแบบ Single-Ended และแบบ Differential
AO 0	GND	ส่งข้อมูล	เป็นจุดส่งข้อมูลของ AO 0
AO 1	GND	ส่งข้อมูล	เป็นจุดส่งข้อมูลของ AO 1
PI.<0..3> PO.<0..7>	GND	รับ/ส่งข้อมูล	สามารถเลือกให้รับ/ส่งข้อมูลได้
+2.5 V	GND	ส่งข้อมูล	เป็นจุดอ้างอิงของการ Wrap-back testing
+5 V	GND	ส่งข้อมูล	เป็นแหล่งจ่าย +5 V/200 mA
PFI 0	GND	รับข้อมูล	ใช้สำหรับทริกสัญญาณดิจิทัลหรือการนับ