บทที่ 2
พลังงานลมและกังหันลม

2.1 บทนำ

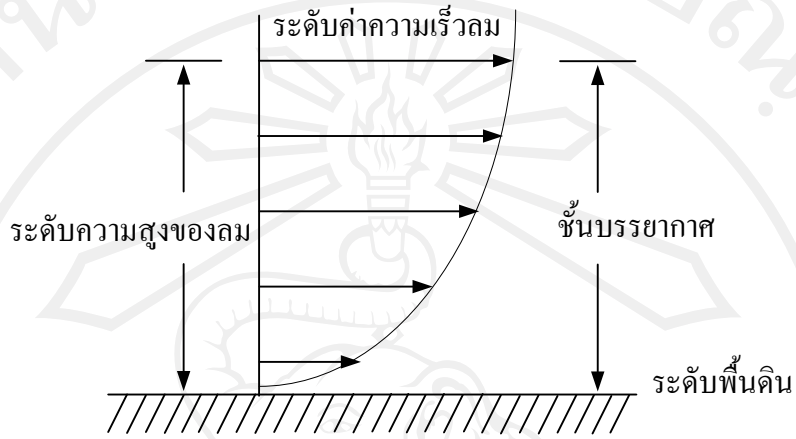
บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องจำลองกังหันลม การเกิดกำลังทางกลของกังหันลมเมื่อมีลมพัดเข้าสู่ใบพัด กำลังทางกลที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์กำลัง รัศมีของใบพัด และค่าความเร็วลมโดยกำหนดให้มุมบิดของใบพัดคงที่ เมื่อมีกำลังทางกลเกิดขึ้นก็จะสร้างแรงบิดเพื่อขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งแรงบิดที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดโดยมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราส่วนความเร็วเสริม กังหันลมจะทำงานเมื่อมีค่าความเร็วลมที่เหมาะสม ถ้ามีค่าความเร็วลมต่ำกังหันลมจะไม่ทำงานและถ้ามีค่าความเร็วลมสูงเกินไปกังหันลมก็จะหยุดทำงานเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อกังหันลมและได้สร้างแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่เพื่อให้เห็นคุณลักษณะการทำงานของกังหันลม

2.2 เทคโนโลยีกังหันลม

ลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติทั่วโลก ลมที่มักจะได้ยินชื่ออยู่บ่อยๆ ก็คือ ลมมรสุม ซึ่งหมายถึงลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางกับการเปลี่ยนฤดูคือฤดูร้อนจะพัดอยู่ในทิศทางหนึ่งและจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว นอกจากนี้ลมยังอาจเกิดขึ้นจากอิทธิพลของภูมิประเทศ และความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งเรียกลมชนิดนี้ว่าลมประจำถิ่น ซึ่งลมประจำถิ่นยังสามารถแบ่งออกเป็น ลมบกและลมทะเล ลมภูเขาและลมหุบเขา นอกจากนี้ในประเทศไทยยังมีลมประจำถิ่นที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ ลมตะเภาและลมว่าว กังหันลมจะใช้ประโยชน์จากลมที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมพื้นผิว หมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตร เหนือพื้นดินเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศและมีแรงฝืดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วยในระดับต่ำ แต่ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงต้านจะลดลงและความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นจากรูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงฝืด กังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้นก็จะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ที่ความเร็วลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เท่าๆ กันแต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกันเมื่อพุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพธ์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 ลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ

2.2.1 ชนิดของกังหันลม

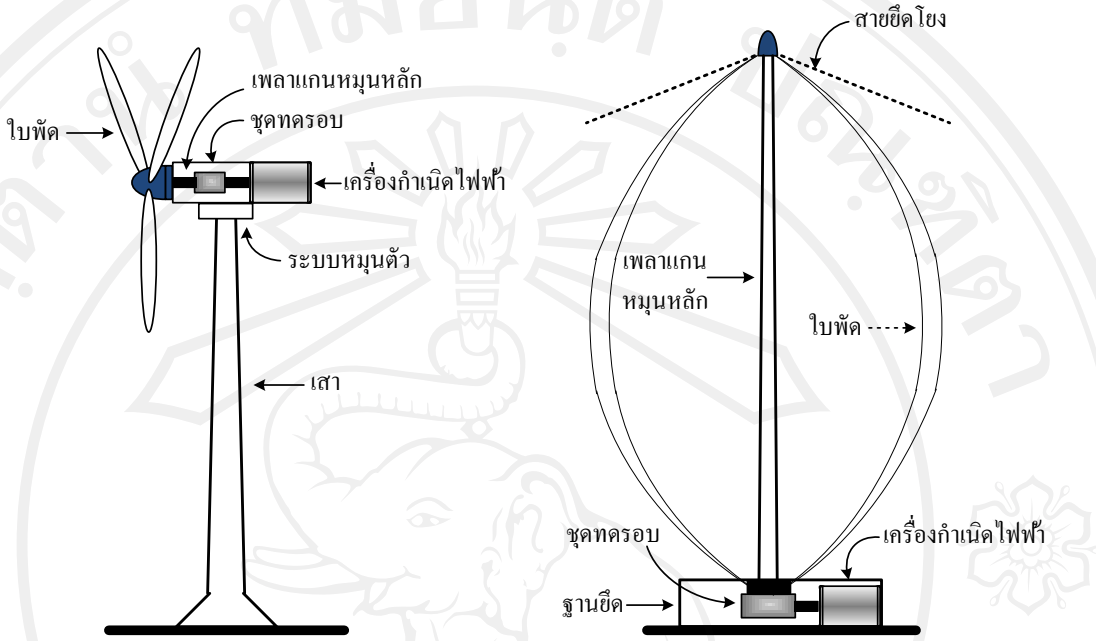
จากรูปที่ 2.2 กังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ กังหันลมแกนตั้ง (Vertical-axis type wind turbine, VAWT) และกังหันลมแกนนอน (Horizontal-axis type wind turbine, HAWT) กังหันลมส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบแกนนอน ซึ่งต้องติดตั้งอยู่บนเสาสูง และมีอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้กังหันลมสามารถหันหน้าเข้าหาลมและรับลมได้ทุกทิศทาง

การแบ่งชนิดของกังหันลมแกนนอน ออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) กังหันลมแบบความเร็วคงที่ชนิดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

กังหันลมแบบความเร็วคงที่ชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด, ชุดทดรอบซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำและชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้าดังรูปที่ 2.3 (ก) ในความเป็นจริงแล้วกังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมากประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมักจะดึงกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากระบบสายส่งไฟฟ้ามาใช้สำหรับกรณีที่ระบบสายส่งไฟฟ้าที่ไม่เสถียรภาพสามารถแก้ไขได้โดยการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากตัวเก็บประจุที่ติดตั้งอยู่ภายในตัวกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิดนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) กังหันลมแกนนอน (ข) กังหันลมแกนตั้ง

รูปที่ 2.2 กังหันลมแกนนอนและแกนตั้ง

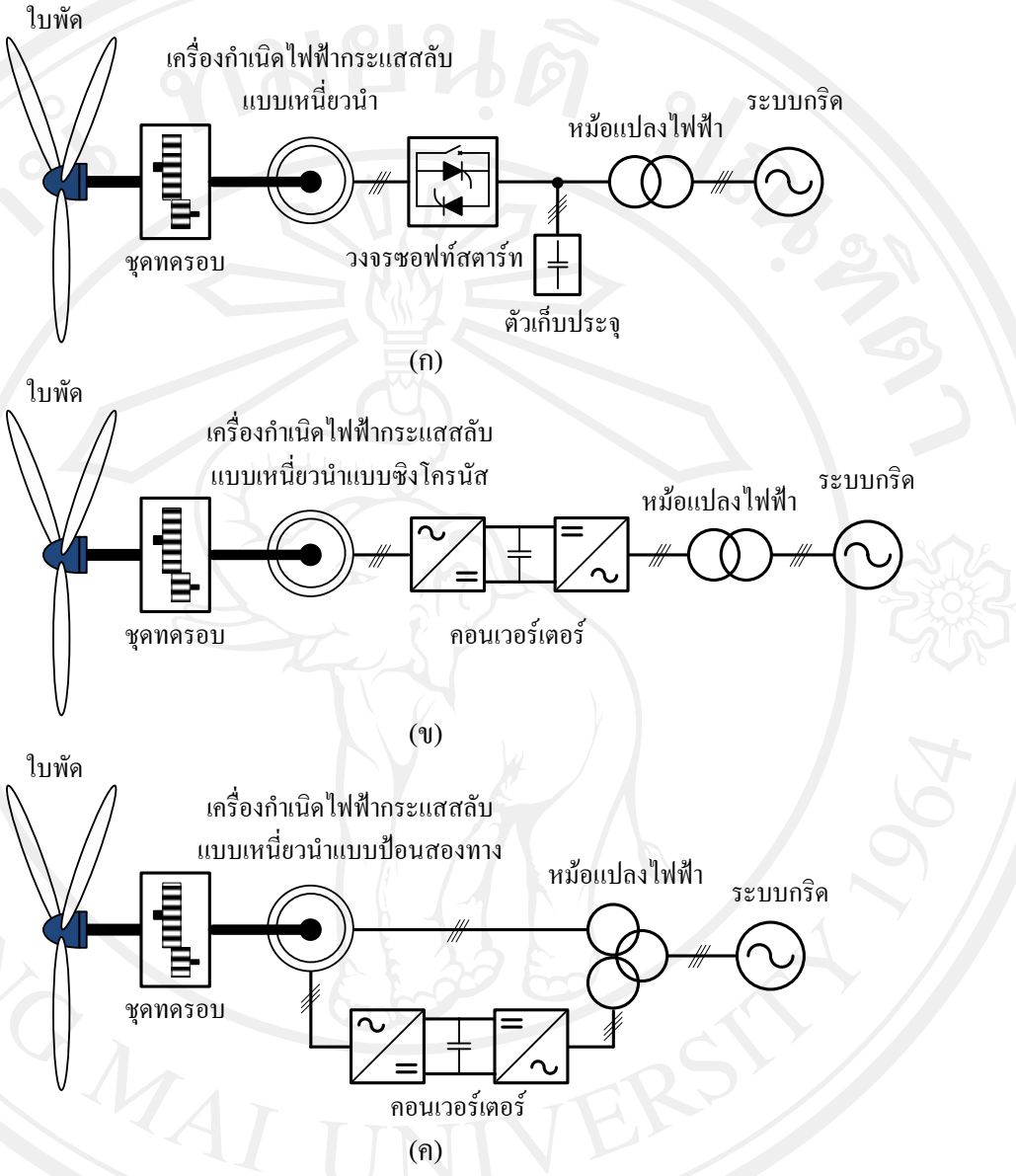
2) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงกังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วยใบพัดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรงและมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.3 (ข)

3)กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทาง

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด, ชุดทดรอบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทาง ขดลวดสเตเตอร์ต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้า ขดลวดโรเตอร์ต่อกับคอนเวอร์เตอร์แบบหันหลังชิดกัน กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้แสดงดังรูปที่ 2.3 (ค)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 ชนิดของกังหันลมแกนนอนที่เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

(ก) กังหันลมแบบความเร็วคงที่ชนิดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

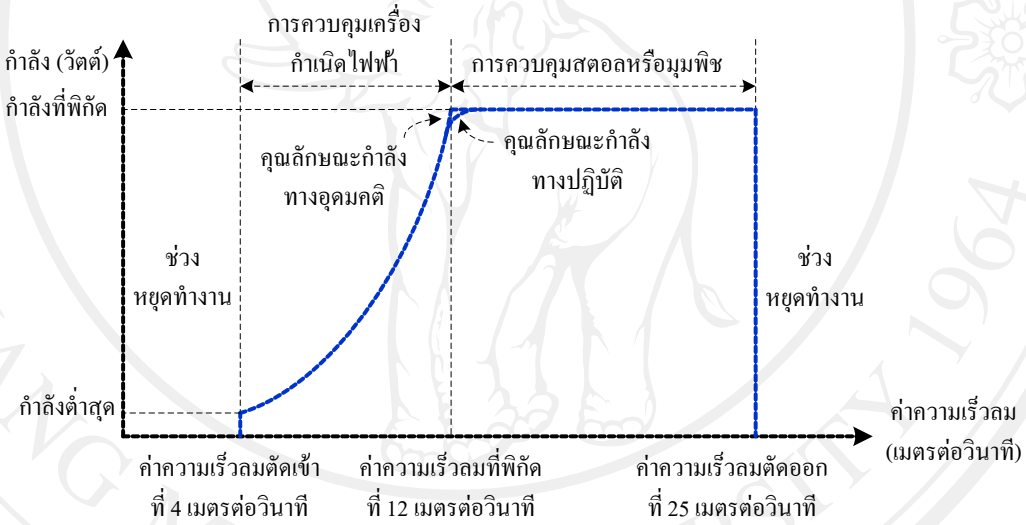
(ข) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

(ค) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ แบบเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 คุณลักษณะกำลังของกังหันลม

จากรูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของกังหันลมเมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วลมตัดเข้ากังหันลมจะไม่ทำงานเช่นเดียวกับความเร็วลมที่มีค่าสูงเกินกว่าค่าความเร็วลมตัดออกเนื่องจากจะทำให้กังหันลมเกิดความเสียหายต่อกลไกโดยกังหันลมจะถูกให้หยุดทำงานทันที กังหันลมจะทำงานเมื่อความเร็วลมอยู่ระหว่างค่าความเร็วลมตัดเข้าถึงค่าความเร็วลมตัดออกเนื่องจากเมื่อค่าความเร็วลมอยู่ภายใต้พิกัดกำลังที่ผลิตได้จะแปรผันกับความเร็วลมกำลังสาม เมื่อค่าความเร็วลมสูงกว่าพิกัด กำลังงานที่ผลิตได้จะถูกจำกัดให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดกำลัง ในที่นี้พิจารณาเฉพาะกังหันลมที่ไม่มีการปรับมุมพิช ดังนั้นมุมพิชจะคงที่ที่ค่าๆหนึ่งเท่านั้น

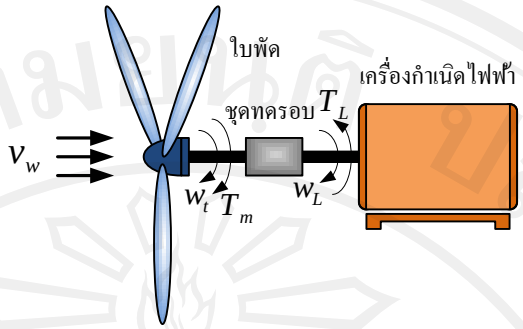


รูปที่ 2.4 การทำงานของกังหันลม

2.3 กำลังและแรงบิดทางกลของกังหันลม

เมื่อมีลมพัดเข้าสู่กังหันลมจะเกิดกำลังทางกลขึ้นที่กังหันลมสามารถสร้างแรงบิดขึ้นเพื่อให้กังหันลมหมุนได้และนำการหมุนของกังหันลมไปเป็นต้นกำลังในการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมา จากรูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของกังหันลม คือ ใบพัดซึ่งทำหน้าที่สกัดพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานกลเพื่อสร้างแรงบิดและความเร็วรอบไปยังชุดทดรอบทำหน้าที่ปรับความเร็วให้เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหน้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของกังหันลม

กำลังทางกลในตัวโรเตอร์ของเครื่องจำลองการทำงานของกังหันลม สามารถวิเคราะห์สมการกำลังทางกลของกังหันลมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งกำลังทางกลดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ [18]-[20]

$$P_m = \frac{1}{2} \pi \rho C_p(\lambda, \beta) r^2 v_w^3 \qquad (2.1)$$

เมื่อ P_m คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นบนกังหันลม (วัตต์)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นอากาศ มีค่าประมาณ 1.225 (กิโลกรัมต่อเมตร^3)

r คือ รัศมีของใบพัด (เมตร)

v_w คือ ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

$C_p(\lambda, \beta)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

λ คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัด (เมตรต่อวินาที) ต่อความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

β คือ มุมบิดของใบพัด (องศา)

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม $\left(C_p(\lambda, \beta)\right)$ จะขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วเสริมและมุมบิดของใบพัดดังแสดงได้จาก [18]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$C_p(\lambda,\beta) = c_1\left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3\beta - c_4\right)e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6\lambda \tag{2.2}$$

กำหนดให้ c_1= 0.5176, c_2=116, c_3= 0.4, c_4= 5, c_5= 21 และ c_6= 0.0068 ตามลำดับ และ ความสัมพันธ์ของ λ_i จะขึ้นอยู่กับ

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \tag{2.3}$$

จากสมการที่ (2.1) ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง $\left(C_p(\lambda,\beta)\right)$ จะขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะตัวใบพัดของกังหันลม โดยที่จะถูกกำหนดได้จากค่าอัตราความเร็วเสริม และค่ามุมบิดของใบพัด ซึ่งค่าอัตราความเร็วเสริม (λ) สามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{\omega_t\, r}{v_w} \tag{2.4}$$

ในส่วนของแรงบิดทางกล (T_m) ที่กังหันลมสร้างขึ้นนั้น จะพิจารณาได้จากกำลังทางกลในสมการที่ (2.1) ซึ่งสามารถนำมาอธิบายแรงบิดทางกลของกังหันลมในเทอมของสัมประสิทธิ์แรงบิด $\left(C_t(\lambda,\beta)\right)$ ได้คือ

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_t} = \frac{1}{2}\,\pi\,\rho\,C_t(\lambda,\beta)\,r^3\,v_w^2 \tag{2.5}$$

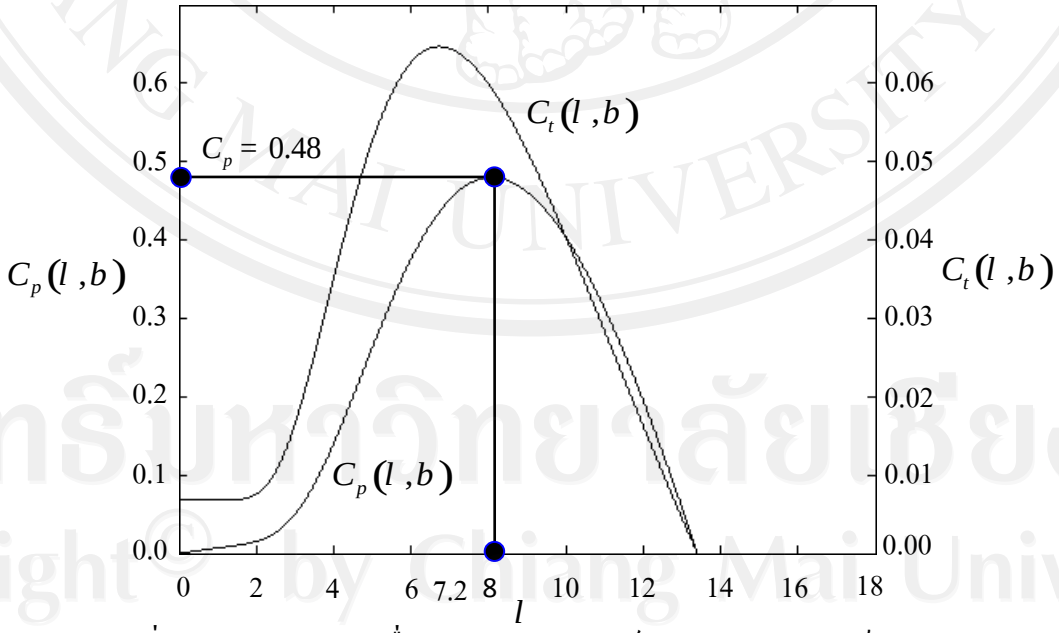
ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด $\left(C_t(\lambda,\beta)\right)$ และค่าสัมประสิทธิ์กำลัง $\left(C_p(\lambda,\beta)\right)$ สามารถแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda,\beta) = \frac{P_m}{\frac{\pi}{2}\,\rho\,r^2\,v_w^3} = \frac{\omega_t\, r}{v_w}\,C_t(\lambda,\beta) = \lambda\,C_t(\lambda,\beta) \tag{2.6}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

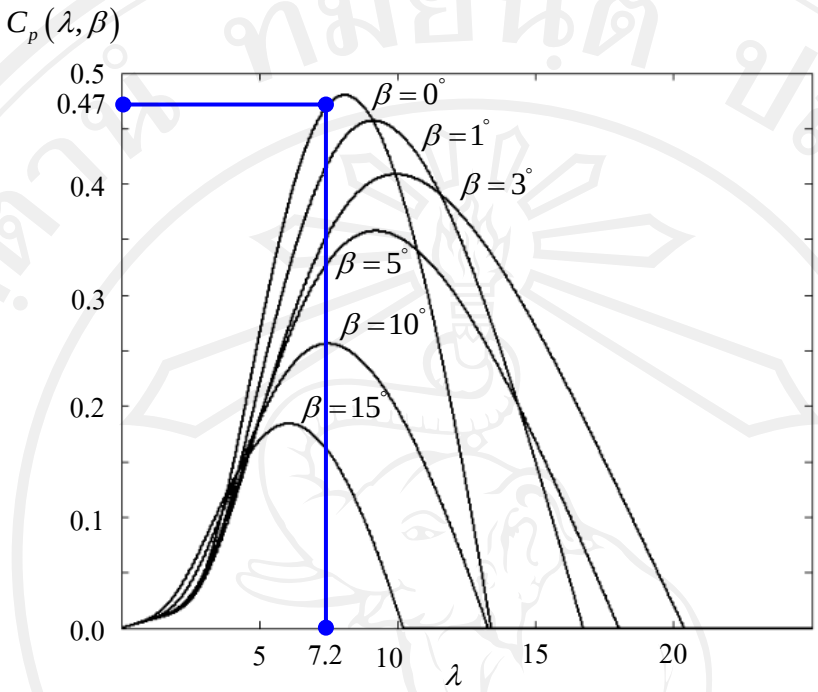
จากรูปที่ 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วเสริมกับค่าสัมประสิทธิ์กำลังและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วเสริมกับค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วเสริมกับค่าสัมประสิทธิ์กำลังสามารถหาอัตราความเร็วเสริมที่เหมาะสมได้คือ 8.1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่ 0.48 นอกจากค่าสัมประสิทธิ์กำลังจะมีความสัมพันธ์กับอัตราความเร็วเสริมแล้วยังมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดด้วย

จากรูปที่ 2.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมบิดใบพัด (β) กับค่าสัมประสิทธิ์กำลัง เมื่อกำหนดให้มุมบิดใบพัดมีค่าเท่ากับ 0°, 1°, 3°, 5°, 10°, 15° และ 20° ทำให้ได้คุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราความเร็วเสริม จะเห็นได้ว่าที่มุมบิดใบพัดเท่ากับ 0° จะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด และเมื่อมุมบิดใบพัดมีค่าเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์กำลังก็จะลดลงตามลำดับ ดังนั้นในงายวิจัยนี้จึงเลือกมุมบิดใบพัดให้มีค่า $\beta = 0^{\circ}$ เพราะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังมากที่สุด เมื่อกำหนดให้เครื่องจำลองกังหันลมมีพิกัดความเร็วรอบ 2055 รอบต่อนาที จะสามารถหาอัตราความเร็วเสริมได้ 7.2 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ 0.47



รูปที่ 2.6 ผลการจำลองคลื่นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วเสริมกับค่าสัมประสิทธิ์กำลังและค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.7 ผลการจำลองคลื่นกราฟความสัมพันธ์อัตราความเร็วเสริม
กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังเมื่อมุมบิดใบพัดเปลี่ยนแปลง

2.4 การออกแบบเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

จากหลักการที่ได้นำเสนอมาข้างต้นสามารถนำมาสร้างแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่โดยใช้สมการที่ (2.1) ด้วยการเลือกขนาดของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกที่มีพิกัดที่ 1 กิโลวัตต์ ที่ค่าความเร็วรอบที่ 2055 รอบต่อนาที ทำการออกแบบรัศมีใบพัดที่ 0.8 เมตรและกำหนดค่าความเร็วลมที่พิกัดที่ 12 เมตรต่อวินาทีเพื่อให้เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่สามารถทำงานที่พิกัดได้ที่ 1 กิโลวัตต์เช่นเดิม และออกแบบอัตราทดรอบให้ค่าความเร็วรอบลดลงมาครึ่งหนึ่งเนื่องจากมีค่าความเร็วรอบที่สูงเกินไปจึงเลือกอัตราทดรอบที่ 2 จากสมการที่ (2.1) เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้วสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังได้ 0.47 โดยแสดงรายละเอียดของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2.1

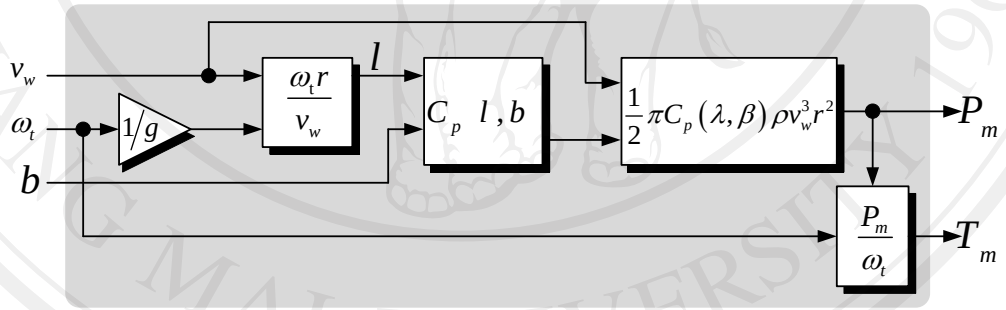
การออกแบบแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2.1 ทำการออกแบบให้เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ผลิตกำลังงานทางกลได้สูงสุด 1 กิโลวัตต์ ใบพัดที่มีรัศมี 0.8 เมตร มีความเร็วรอบพิกัด 2055 รอบต่อนาที มีค่าความเร็วลมที่ 4-12 เมตรต่อวินาที กำลังทางกลของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการที่ (2.2) และ (2.3) โดยค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะตัวใบพัดของกังหันลม ถูกกำหนดได้จากค่าอัตราความเร็วเสริม $\lambda = 7.2$ และค่ามุมบิดของใบพัดเท่ากับ $0°$ สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมแบบจำลองได้ดังรูปที่ 2.8

ตารางที่ 2.1 พิกัดการทำงานของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

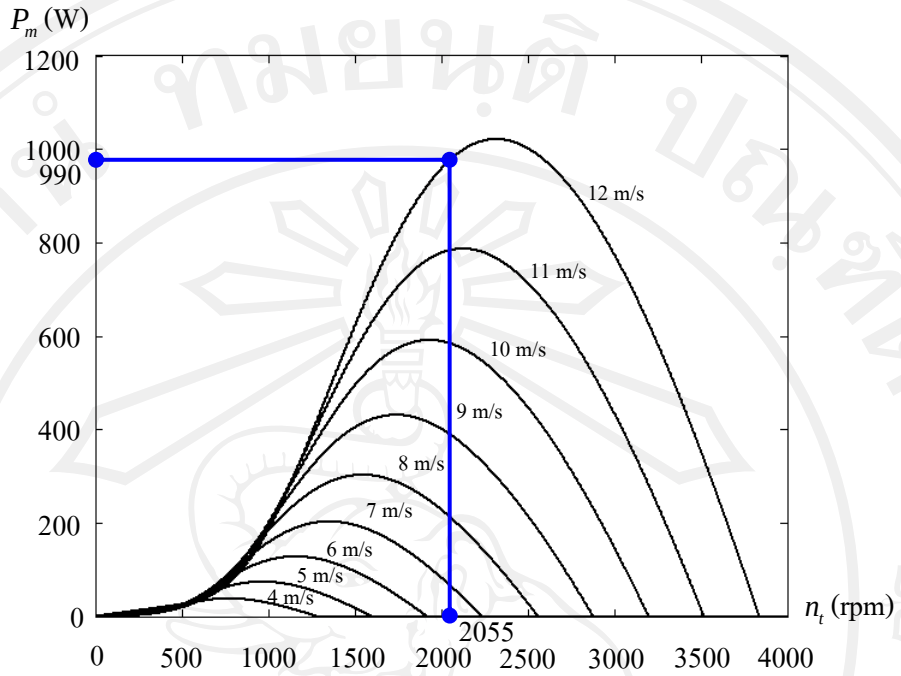
กำลังพิกัด (Rated power)	1 กิโลวัตต์
รัศมีใบพัด (Radius)	0.8 เมตร
ความเร็วรอบพิกัด (Rated rotational speed)	2055 รอบต่อนาที
ความเร็วลมตัดเข้า (Cut-in speed)	4 เมตรต่อวินาที
ความเร็วลมตัดออก (Cut-out speed)	25 เมตรต่อวินาที
ความเร็วลมที่พิกัด (Rated speed)	12 เมตรต่อวินาที
อัตราทดรอบ	2



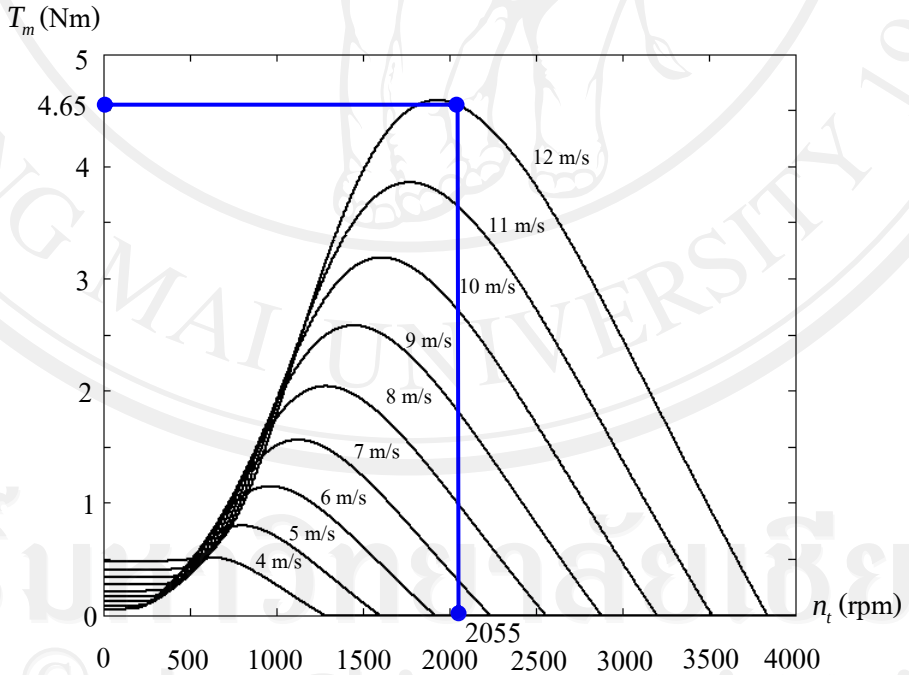
รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

จากรูปที่ 2.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันลมกับกำลังที่ค่าความเร็วลมตั้งแต่ 4-12 เมตรต่อวินาทีโดยค่ากำลังของกังหันลมจะมีค่ามากขึ้นตามค่าความเร็วลม ซึ่งที่ค่าความเร็วลมที่ 12 เมตรต่อวินาทีที่ค่าความเร็วรอบของกังหันลมเท่ากับ 2055 รอบต่อนาที จะได้พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 1 กิโลวัตต์ ตามพิกัดการทำงานดังแสดงในตารางที่ 2.1 ในรูปที่ 2.10 ได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันลมกับแรงบิดที่ความเร็วลมตั้งแต่ 4-12 เมตรต่อวินาทีเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดพิกัด 1 กิโลวัตต์ ซึ่งหมุนที่ความเร็วรอบที่พิกัดคือ 2055 รอบต่อนาทีจะได้ค่าแรงบิดตามพิกัด (T_{rated}) คือ 4.65 นิวตันเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.9 ผลการจำลองคลื่นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันลมกับกำลังทางกล



รูปที่ 2.10 ผลการจำลองคลื่นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันลม กับแรงบิดทางกล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 สรุป

จากการวิเคราะห์การทำงานของแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ทำให้ทราบว่ากำลังของแบบจำลองกังหันลมจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังซึ่งมีค่าอัตราความเร็วเสริมและมุมบิดใบพัดเป็นตัวแปรสำคัญโดยค่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงสุดเมื่อมุมบิดใบพัดมีค่า $\beta = 0^{\circ}$ มีผลทำให้กำลังของแบบจำลองกังหันลมมีค่าสูงสุด และยังมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดทำให้แรงบิดของแบบจำลองกังหันลมมีค่าสูงตามไปด้วย และจากแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่สามารถแสดงการทำงานของกังหันลมได้ตามพิกัดดังตารางที่ 2.1 เพื่อนำแรงบิดของแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ไปใช้ในการออกแบบระบบขับกระแสตรงให้กับมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกในบทถัดไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved