



## การจำลองคุณลักษณะกังหันลมด้วยโปรแกรมแลปวิว

### Simulation of Wind Turbine Characteristic Using LabVIEW

พงษ์ศิลป์ แก้วรัตนศรีโพธิ์<sup>1\*</sup> และ ปณิตดา แสงแก้ว<sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยรังสิต วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12000

Corresponding Author E-mail: phongsin.k@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article history:</p> <p>Received 16 May 2018</p> <p>Accept 19 July 2018</p> <p>Online 23 July 2018</p> <p><b>Keywords:</b> Characteristics of wind turbine, LabVIEW</p>	<p>This paper presents simulation of wind turbine characteristic using the LabVIEW. Inputs are wind speed and pitch angle to calculate power and torque. The power coefficient is repeatedly calculated in term of a tip speed ratio. The load can be adjusted via graphic user interface, that makes it easy to understand dynamic of a wind turbine. Simulation results show the operation of a wind turbine, that corresponds with its theoretical characteristics. The developed simulation is well suitable for education lab and renewable energy research.</p>

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมด้วยโปรแกรมแลปวิว โดยระบบจำลองการทำงานของกังหันลมจะรับตัวแปรอินพุท ความเร็วลม มุมพิช เพื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์กำลัง หลังจากนั้นก็คำนวณหา กำลังและแรงบิดทางกลเพื่อนำไปใช้ขับโหลด การปรับค่าแรงบิดโหลดและแสดงผลตัวแปรต่างๆด้วย

ส่วนติดต่อผู้ใช้กราฟิก(Graphic User Interface) ทำให้สามารถศึกษาและเข้าใจพลวัตของกังหันได้เป็นอย่างดี ผลการจำลองแสดงการทำงานสอดคล้องกับคุณลักษณะของกังหันลมได้ถูกต้อง ซึ่งสามารถนำไปใช้เพื่อการศึกษาและงานวิจัยด้านพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ:** คุณลักษณะกังหันลม, แลปวิว

### บทนำ

การศึกษาเกี่ยวกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า มีผู้สนใจมากขึ้นเพราะเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด ไม่ก่อมลพิษ และยังยืนยันว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิง ซึ่งจะหมดในอนาคตอันใกล้ สำหรับห้องปฏิบัติการที่ต้องการสร้างกังหันลม เพื่อการศึกษาคุณลักษณะกังหันลม จะมีราคาแพงและใช้พื้นที่มากในการติดตั้งกังหันลม และจะต้องมีความเร็วลมที่เพียงพอสำหรับการดำเนินงานของกังหันลม และเกิดความยากลำบากที่จะไปศึกษากังหันลมของจริงในสถานที่จริง เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ด้วยการจำลองกังหันลมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เลียนแบบคุณลักษณะกังหันลมจริง งานวิจัยกังหันลมจำลองที่ผ่านมา[1-5] จะนำมอเตอร์ไฟตรงแทนกังหันลมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และมีคำสั่งผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานตามคุณลักษณะกังหันลม โดยป้อนค่าความเร็วลม แต่[1], [4] มีการเปลี่ยนแปลงโหลดที่ต่อกับเครื่องกำเนิด ใน[5] เป็นการจำลองในคอมพิวเตอร์ ส่วนงานวิจัยนี้จะออกแบบการจำลองกังหันลมให้สามารถปรับแรงบิดโหลดได้เพื่อสะดวกต่อการศึกษาคุณลักษณะกังหันลม

### วิธีการดำเนินงาน

ดำเนินการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมี 2 เรื่องหลัก คือคุณลักษณะของกังหันลม และโปรแกรมแลปวิว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### คุณลักษณะของกังหันลม

กำลังทางกลของกังหันลมแนวแกนนอน 3 ใบ แสดงดังสมการที่(1)

$$P_{WT} = \frac{1}{2} A_{blade} \delta v_w^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (1)$$

เมื่อ

$A_{blade}$  คือพื้นที่กวาดใบของกังหันลม =  $\pi r^2$  (m<sup>2</sup>)

$\delta$  คือความหนาแน่นของอากาศ (=1.225 kg/m<sup>3</sup>)

$v_w$  คือความเร็วลม (m/s)

$C_p(\beta, \lambda)$  คือค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมซึ่งอยู่ในฟังก์ชันของค่ามุมพิช ( $\beta$ ) และค่าอัตราความเร็วเสริม (Tip Speed Ratio (TSR),  $\lambda = \frac{\omega r}{v_w}$ ) ดังแสดงไว้ที่สมการ (2) และ (3)

$$C_p(\beta, \lambda) = 0.5176 \left( \frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \quad (2)$$

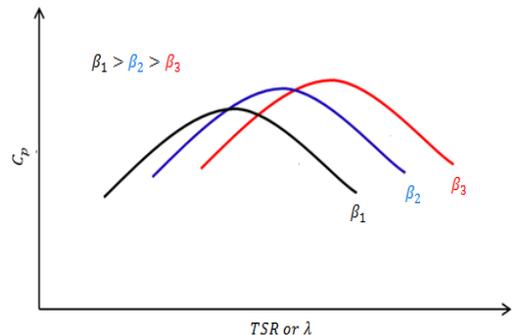
$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (3)$$

เมื่อ

$\omega$  คือความเร็วเชิงมุม (rad/sec)

$r$  คือรัศมีของใบกังหันลม (m)

โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมกับค่าอัตราความเร็วเสริมแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 คุณลักษณะสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

ซึ่งคำนวณค่าแรงบิดของกังหันลมได้ดังสมการที่ (4) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉื่อย แรงเสียดทานจากความหนืด ความเร็วเชิงมุม และแรงบิดแสดงได้ดังสมการที่ (5)

$$T_{WT} = \frac{P_{WT}}{\omega} = \frac{1}{2\lambda} \pi r^3 \delta v_w^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (4)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = T_{WT} - T_L \quad (5)$$

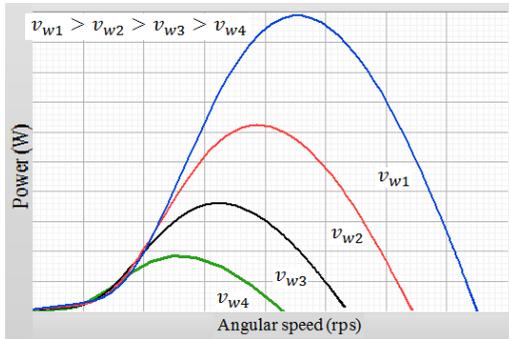
เมื่อ

$J$  คือแรงเฉื่อย (kgm<sup>2</sup>)

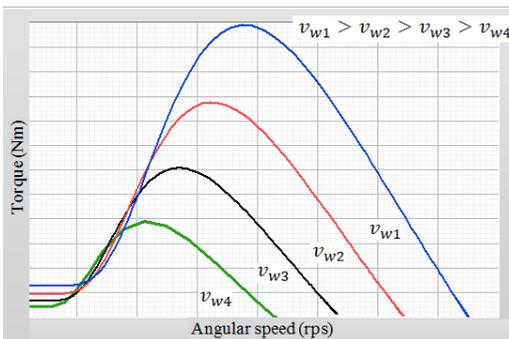
$B$  คือแรงเสียดทานจากความหนืด (Nms)

$T_L$  คือแรงบิดโหลด (Nm)

โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังของกังหันลมกับค่าความเร็วเชิงมุมที่ความเร็วลมต่างกันแสดงในรูปที่ 2 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดของกังหันลมกับค่าความเร็วเชิงมุม ที่ความเร็วลมต่างกันแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 คุณลักษณะกำลังของกังหันลม



รูปที่ 3 คุณลักษณะแรงบิดของกังหันลม

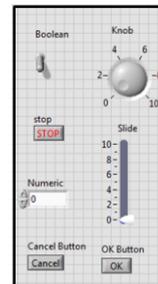
**แลปวิว**

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพ แลปวิวเป็นโปรแกรมประเภท Graphic User Interface (GUI) ลักษณะภาษาของโปรแกรมเป็นภาษารูปภาพ (Graphical Language) ซึ่งง่ายต่อการเขียนโปรแกรม มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรม โดยเฉพาะงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Port, DAQ (Data Acquisition) หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถ

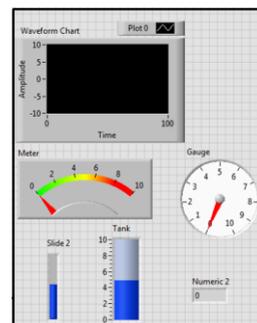
รวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูล เมื่อสร้างเสร็จผู้ที่นำไปใช้งานก็ง่ายต่อการเรียนรู้ โปรแกรมแลปวิวประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. Front Panel เป็นส่วนที่ใช้สื่อสารกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม มี 2 ส่วนคือ 1.1 ตัวควบคุม(Controls) เช่น ช่องสำหรับใส่ค่า, ปุ่มเลือกค่า, ปุ่มปรับค่า, สวิตช์เลือก 1.2 ตัวแสดงผล (Indicator) เช่นจอแสดงผล, กราฟ, เกจ, มิเตอร์

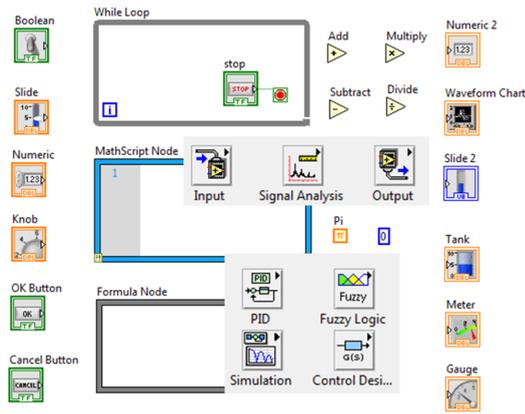
2. Block Diagram เป็นเสมือนกับ Source Code ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยแลปวิว สามารถที่จะทำงานได้ทันทีและมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ภายใน Block Diagram จะมีฟังก์ชันต่างๆ เช่น Measurement, Instrument, Vision and Motion, Connectivity, Mathematics, Signal Processing, Data Communication, Control & Simulation, FPGA Interface และอื่นๆ



รูปที่ 4 ตัวอย่างของตัวควบคุม

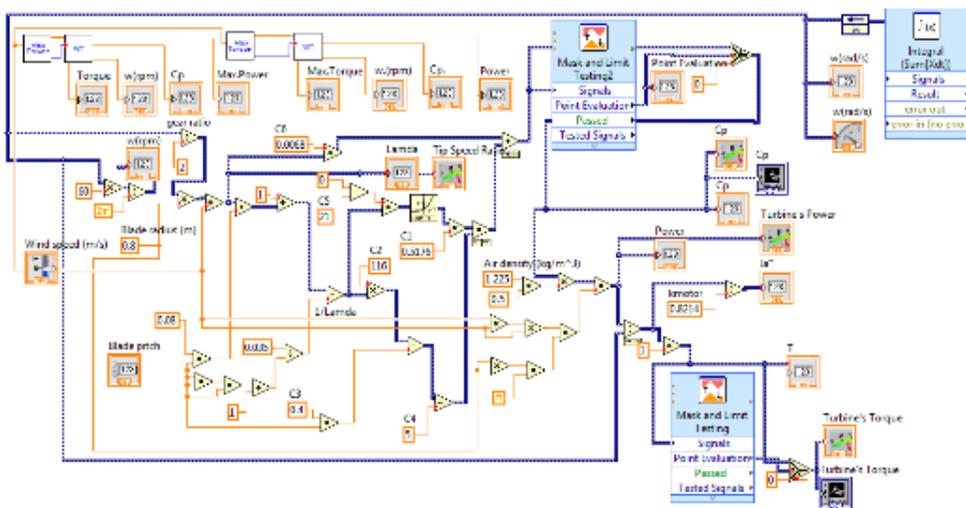


รูปที่ 5 ตัวอย่างของตัวแสดงผล



รูปที่ 6 ตัวอย่างภายใน Block Diagram

เมื่อดำเนินการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเสร็จแล้ว จึงดำเนินการออกแบบและเขียนโปรแกรมแบบจำลองตามสมการที่ 1 ถึง 5 ซึ่งกังหันลมเป็นแบบแนวแกนนอน 3 ใบ มีขนาดรัศมีของใบ 0.8 m, กำลังพิกัด 1 kW, ความเร็วลมพิกัด 12 m/s, ความเร็วลมตัดเข้า 4 m/s, ความเร็วลมตัดออก 25 m/s อัตราทดรอบ 1:2 และแรงเฉื่อย 0.15 kgm<sup>2</sup> แรงเสียดทานจากความหนืด 0.0001 Nms โดยใช้ฟังก์ชัน Mathematics, Structures และ Signal Analysis ในการเขียน แสดงดังรูปที่ 7 และการออกแบบ Front Panel แสดงดังรูปที่ 8 ทำการทดสอบและแก้ไขให้ถูกต้อง

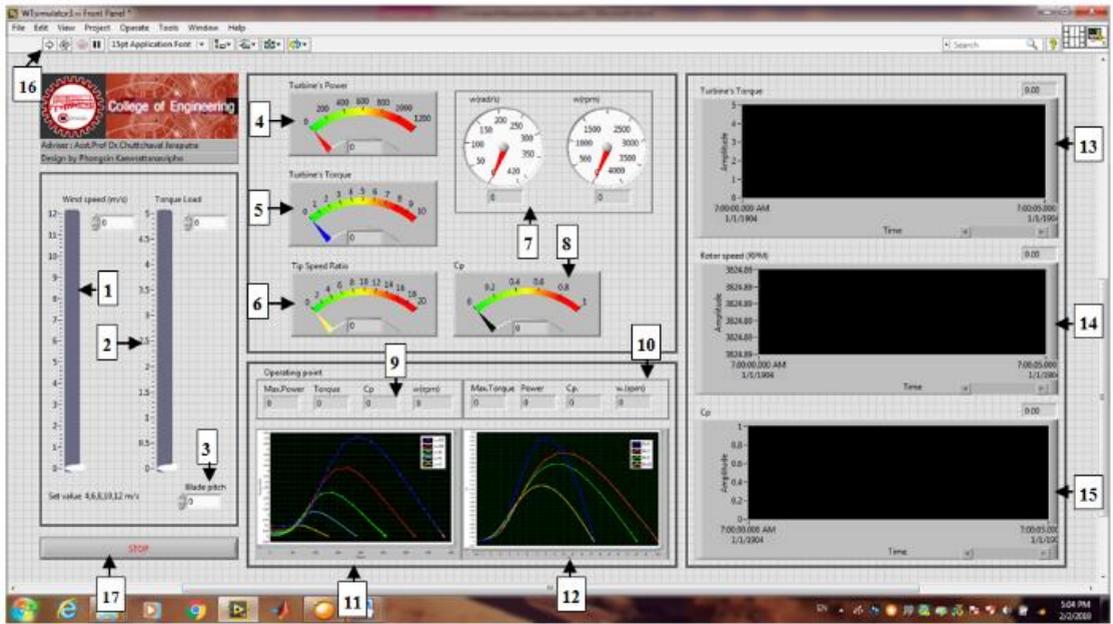


รูปที่ 7 Block Diagram ของโปรแกรมจำลองกังหันลมที่สร้างขึ้น

**ผลการทดลอง**

เมื่อป้อนความเร็วลมพิกัด 12 m/s และยังไม่ปรับแรงบิดโหลด และสตาร์ทโปรแกรมได้ผลการจำลองขณะเริ่มทำงานเป็นคุณลักษณะแรงบิด ความเร็วและสัมประสิทธิ์กำลังดังรูปที่ 9 เมื่อมีความเร็วลม 12, 10, 8, 6 และ 4 m/s ตามลำดับและปรับค่าแรงบิดโหลดที่ค่าต่างๆ ได้ผลการจำลองคุณลักษณะกำลังของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วเชิงมุม ที่ความเร็วลม 12, 10, 8, 6 และ 4 m/s ดังรูปที่ 10 และนำผลการจำลอง

คุณลักษณะกำลังของกังหันลมมาเปรียบเทียบกับค่าความทนทางทฤษฎีพบว่ามีความถูกต้อง 100%, ได้คุณลักษณะแรงบิดของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วเชิงมุม ที่ความเร็วลม 12, 10, 8, 6 และ 4 m/s ดังรูปที่ 11 และนำผลการจำลองคุณลักษณะแรงบิดของกังหันลมมาเปรียบเทียบกับค่าความทนทางทฤษฎีพบว่ามีความถูกต้อง 100% และได้กราฟแสดงความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมกับค่าอัตราความเร็วเสริม (TSR) ที่มุมพิช 0, 3, 5 และ 10 องศา ดังรูปที่ 12



รูปที่ 8 หน้าต่าง front panel ของโปรแกรมจำลองกังหันที่สร้างขึ้น

ในรูปที่ 8 เป็น Front panel ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับตัวโปรแกรม มีรายละเอียดดังนี้

- หมายเลข 1 สำหรับปรับค่าความเร็วลม
- หมายเลข 2 สำหรับปรับแรงบิดโหลด
- หมายเลข 3 สำหรับใส่ค่ามุมพิช
- หมายเลข 4 สำหรับแสดงค่ากำลังของกังหันลม
- หมายเลข 5 สำหรับแสดงค่าแรงบิดของกังหันลม
- หมายเลข 6 สำหรับแสดงค่าอัตราความเร็วเสริม(TSR)
- หมายเลข 7 สำหรับแสดงค่าความเร็วของกังหันลมซึ่งแสดงเป็น rpm และ rad/s
- หมายเลข 8 สำหรับแสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม
- หมายเลข 9 สำหรับแสดงค่าแรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และความเร็วขณะที่กำลังเต็มพิกัด
- หมายเลข 10 สำหรับแสดงค่ากำลัง สัมประสิทธิ์กำลัง และความเร็วเชิงมุม ขณะที่แรงบิดเต็มพิกัด

หมายเลข 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วเชิงมุมของกังหันลม เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง

หมายเลข 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง กับอัตราความเร็วเสริม (TSR) เมื่อมุมพิชเปลี่ยนแปลง

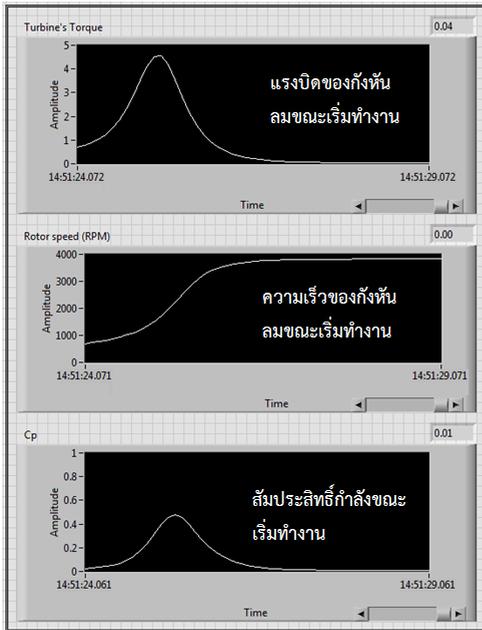
หมายเลข 13 สำหรับแสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงบิดของกังหันลม

หมายเลข 14 สำหรับแสดงรูปคลื่นสัญญาณความเร็วของกังหันลม

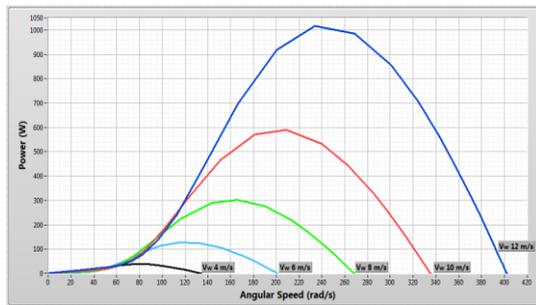
หมายเลข 15 สำหรับแสดงรูปสัญญาณสัมประสิทธิ์กำลัง

หมายเลข 16 ปุ่มเริ่มการทำงาน

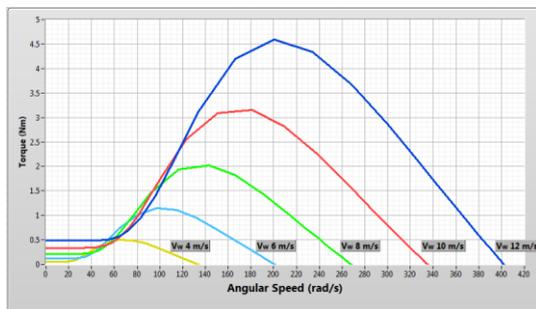
หมายเลข 17 ปุ่มหยุดการทำงาน



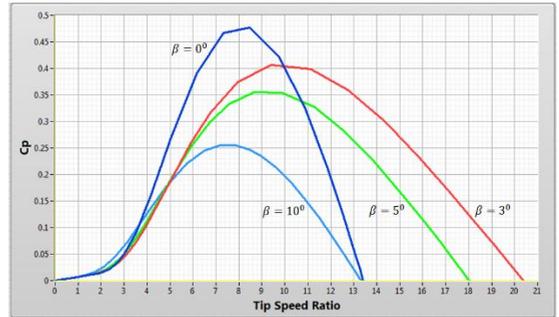
รูปที่ 9 แรงบิด ความเร็ว และสัมประสิทธิ์กำลังเมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน



รูปที่ 10 คุณลักษณะกำลังของกังหันลมที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 11 คุณลักษณะแรงบิดของกังหันลมที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_p$  กับ TSR ที่มุมพิชต่างๆ

### สรุปผล

คุณลักษณะของกังหันลมคือความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังของกังหันลมกับความเร็วเชิงมุม ที่ความเร็วลมต่างๆ, ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดของกังหันลมกับความเร็วเชิงมุม ที่ความเร็วลมต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมกับอัตราความเร็วเสริม ที่มุมพิชต่างๆ โดยการจำลองคุณลักษณะกังหันลมดำเนินการจำลองบนโปรแกรมแลปวิว มีผลการจำลองมีความถูกต้อง 100% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎี ทำให้สามารถนำไปใช้ศึกษาคุณลักษณะของกังหันลมบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมแลปวิวได้เป็นอย่างดี การใช้งานก็ทำได้ง่ายและสะดวก สามารถโต้ตอบระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมได้ทันที โดยไม่ต้องสร้างกังหันลมหรือเดินทางไปศึกษาในสถานที่ที่กังหันลมติดตั้งอยู่ ถ้าต้องการเห็นรูปธรรมมากขึ้น ก็ใช้มอเตอร์มาควบคุมการทำงานให้เหมือนกังหันลม ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด

### เอกสารอ้างอิง

[1] Sahoo, N. C., A. S. Satpathy, N. K. Kishore, and B. Venkatesh (2013). DC motor-based wind turbine emulator using LabVIEW for wind energy conversion system laboratory

- setup. **International Journal of Electronics and Electrical Engineering**, 50, (2), 111-126.
- [2] Hardy, T. and W. Jewell. (2011). Emulation of a 1.5 MW wind turbine with a d.c. motor. **IEEE Power & Energy Society General Meeting**,1-8.
- [3] Monfareda, M., H. M. Kojabadi, and H. Rastegar. (2008). Static and dynamic wind turbine simulator using a converter controlled d.c. motor. **Renewable Energy**, 906-913.
- [4] Phlearn, J. (2013). **Fixed-pitch angle wind turbine simulator using four quadrant direct current drive systems**. Master's thesis, Chiangmai University.
- [5] Koson, C., K. Suthamno, K. Areerak and K. Areerak. (2014). Wind turbine simulator using DC motor. **EECON -37**, 401-404.
- [6] Weiwei, L., D. Xu, W. Zhang and H. Ma. (2017). Research on wind turbine emulation based on DC Motor. **IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**, 2589-2593.
- [7] Neammanee, B., S. Sirisumranukul, and S. Chatratana. (2006). Control performance analysis of feedforward and maximum peak power tracking for small and medium sized fixed pitch wind turbine. **IEEE Conference on control, Automation, Robotics and Vision**, 1-7.
- [8] Gong, B. and D. Xu, (2008) Real time wind turbine simulator for wind energy conversion system. **IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**, 1110-1114.
- [9] Gao L., Y. Luo. (2009) Simulation of imitation of the characteristics of wind turbine based on DC motor with Matlab. **EEE Conference on Sustainable Power Generation and Supply**, 1-5.
- [10] Mohamed A. El-Sharkawi, (2014). **Wind energy**. CRC Press Taylor & Francis Group.
- [11] National Instruments Corporate. 2 0 0 3 . **LabVIEW user manual**. Austin.
- [12] Bitter, R. (2001). **Introduction to LabVIEW**. LabVIEW Advanced Programming Techniques Boca Raton: CRC Press.