

ศักยภาพพลังงานลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช Wind Resource Potential at Pak Panang and Chian Yai Districts of Nakhon Si Thammarat Province

สมพล ชีวมงคลกานต์^{1*} จอมภพ แววงศ์ดี² และ ธเนศ ไชยชนะ³
Somphol Chiwamongkhonkarn^{1*}, Jompob Waewsak² and Tanate Chaichana³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของ จังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและข้อมูลอินพุตจากการวัดแบบทิวด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ WindSim 5.0.1 รวมไปถึงได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาคจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงและการคำนวณด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ ของไหลเชิงคำนวณ โดยทำการตรวจวัดอัตราเร็วลมและทิศทางลมทุกๆ 10 นาทีที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 ผลการศึกษาพบว่าอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร มีค่าเท่ากับ 3.94 เมตรต่อวินาที 4.12 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ณ สถานีวัดลมปากพนัง และมีค่าเท่ากับ 3.84 เมตรต่อวินาที 4.06 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ณ สถานีวัดลมเชียรใหญ่ การวิเคราะห์ความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาคพบว่าค่าร้อยละความแตกต่างของทั้ง 2 สถานีมีค่าไม่เกินร้อยละ 5

คำสำคัญ : ศักยภาพ พลังงานลม พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ระดับจุลภาค

Abstract

This research presents an analysis of wind energy potential at Pakpanang and Chianyai districts in Nakhon Si Thammarat province using computational fluid dynamics modeling and bi-measured input data in WindSim 5.0.1. computer program. Microscale wind resource maps were verified by the comparison of the observed wind speed and the predicted wind speed in order to analyse an error. Wind speed and direction at 60 m, 70 m, and 80 m were measured every 10 min between January to December 2010. Results showed that wind speed at 60 m, 70 m and 80 m was 3.94 m/s, 4.12 m/s and 4.23 m/s at Pakpanang district and was 3.84 m/s, 4.06 m/s and 4.23 m/s at Chianyai district. Microscale wind resource map verification found that an percentage of discrepancy was less than 5%

Keywords: Potential, Wind Energy, Computational Fluid Dynamics, Microscale

¹ นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

³ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

* Corresponding author: ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม โทรศัพท์/โทรสาร 0-7469-3975 อีเมล dung_ding19@hotmail.com

บทนำ

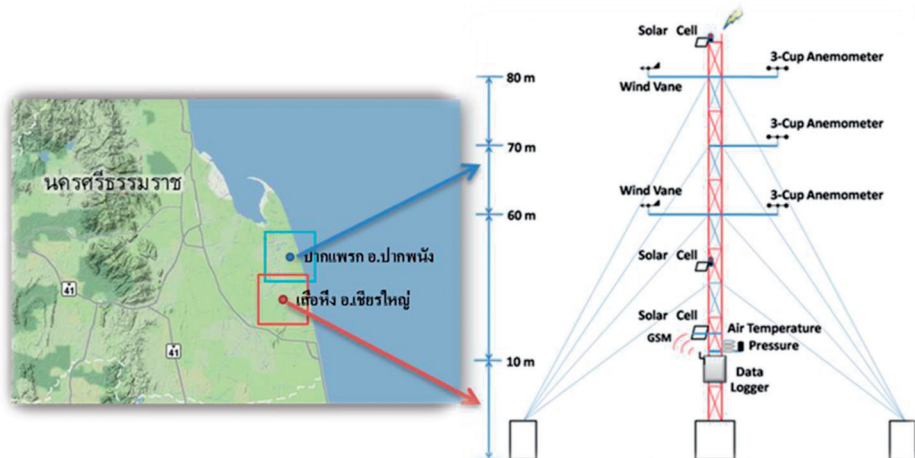
ประเทศไทยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการขยายตัวของเมืองหลักๆ และอุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี จึงจำเป็นต้องมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในรูปแบบการผลิตที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ แหล่งพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเริ่มจากการใช้น้ำมันและถ่านหินเป็นหลัก ต่อมาก็ปรับเปลี่ยนเป็นก๊าซธรรมชาติ รวมถึงพลังงานจากน้ำที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระหว่างดำเนินการผลิตน้อยลง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้ทันและตอบสนองต่อความต้องการพลังงานในขณะนั้น ซึ่งในปัจจุบันมีเสียงเรียกร้องจากภาคประชาชนต่อผู้ผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานที่สะอาด เพื่อลดมลภาวะในด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านคุณภาพอากาศ การอนุรักษ์พลังงานมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงพลังงาน การลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน การลดต้นทุนการผลิตและบริการ การลดการเสียดุลการค้าและการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนการลดการปลดปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม (Wind Power) ถือเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานที่สะอาด (Clean Energy) และเป็นพลังงานทดแทน (Renewable Energy) ที่มีความยั่งยืนทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและการทดแทนแบบไม่สิ้นสุด [1] การดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมสามารถทำได้โดยเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้พลังงานอื่นๆ ทั้งในกระบวนการก่อสร้างและในระยะเปิดดำเนินการ โดยในหลายๆ พื้นที่ในประเทศไทยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมตามความเหมาะสมและตามศักยภาพของแหล่งพลังงานลมในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานลมเสียก่อน จากงานวิจัยแผนที่ศักยภาพลมของประเทศไทยที่ผ่านมาชี้ว่าภาคใต้ของประเทศไทยมีศักยภาพพอที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า [2-3] ถึงแม้ว่าในประเทศไทยได้มีการประเมินศักยภาพพลังงานลมกันมาแล้วบ้างในอดีต แต่ในการพัฒนาเทคนิคด้านการประเมินศักยภาพพลังงานลมยังคงต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพราะมีความสำคัญสำหรับขั้นตอนการลงทุนติดตั้งกังหันลมต่อไป [4]

อุปกรณ์และวิธีการ

เสาสูง 80 เมตร ถูกใช้ในการติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราเร็วและทิศทางของลม ณ ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง และตำบลเสื่อหิง อำเภอเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีพิกัดแสดงดังตารางที่ 1 โดยทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราเร็วชนิด 3 ลูกถ้วยรุ่น NRG#40C ที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร และเซนเซอร์วัดทิศทางลมรุ่น SP200 ติดตั้งที่ระดับความสูง 60 เมตร และ 80 เมตร พร้อมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความกดอากาศ อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ ทำการตรวจวัดทุกๆ 1 นาที และบันทึกข้อมูลทุกๆ 10 นาที โดยเริ่มตรวจวัดและบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 1 มกราคม-ธันวาคม 2553 แล้วนำข้อมูลที่ตรวจวัดมาจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาค การจัดทำแผนที่นี้ไม่ได้นำค่าข้อมูลอุณหภูมิมาวิเคราะห์ร่วมด้วยเนื่องจากข้อมูลนี้ไม่ครบเนื่องจากเกิดจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจวัด

ตารางที่ 1 พิกัดของสถานีวัดลมปากแพรกและสถานีวัดลมเชียรใหญ่

GPS	พื้นที่ศึกษา	
	ปากพนัง	เชียรใหญ่
ละติจูด	N 08°14'56"	N 08°9'15.1"
ลองจิจูด	E 100°13'57"	E 100°12'34.1"
UTMX	635746	633242
UTMY	912023	901543



ภาพที่ 1 ตำแหน่งและส่วนประกอบของสถานีวัดลม

1. แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ในการศึกษาศักยภาพพลังงานลมนี้ใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการวิเคราะห์โดยโปรแกรม WindSim 5.0.1 แบบจำลองนี้มีความสามารถในการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนที่อยู่ใกล้พื้นผิวของภูมิประเทศ โดยการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ ภายใต้สมมุติฐานของของเหลวแบบอัดตัวไม่ได้ ความปั่นป่วนจะถูกนำมาพิจารณาโดยแบบจำลอง $k-\epsilon$ [5] การแก้สมการ Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) สำหรับการอนุรักษ์ของมวลเฉลี่ยและโมเมนตัมแสดงดังสมการต่อไปนี้ [6]

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (1)$$

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial X_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[v \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] \quad (2)$$

Reynolds stresses $\overline{u_i u_j}$ ประเมินผลจากสมมุติฐาน Boussinesq

$$\overline{u_i u_j} = -v_T \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (3)$$

เมื่อ k คือ พลังงานจลน์ปั่นป่วน
 v_T คือ ความหนืดปั่นป่วน

ความแตกต่างของความปั่นป่วนอาจนำมาใช้ในการศึกษาโดยใช้ค่า $k - \varepsilon$ ใช้ค่ามาตรฐานจากรูปแบบคงที่ [7]

$$v_T = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + P_k - \varepsilon \quad (6)$$

ในการป้อนข้อมูลที่จำเป็นสำหรับโปรแกรม WindSim ได้แก่ ภูมิประเทศแบบดิจิทัล (digital terrain) ความสูงขรุขระ (roughness height) และภูมิอากาศวิทยาของลมจากสถานีวัดลมในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ขั้นตอนของการประเมินศักยภาพพลังงานลมสามารถสรุปได้แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนของการประเมินศักยภาพพลังงานลมด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

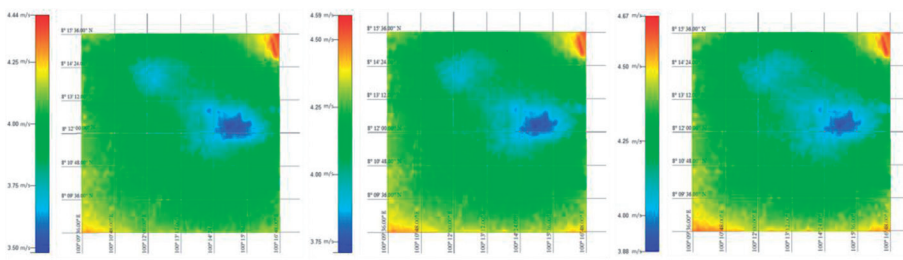
ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนี้จะใช้การเปรียบเทียบอัตราเร็วลมจากการตรวจวัดกับการทำนายค่าโดยโปรแกรม WindSim และนำมาหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์และร้อยละความผิดพลาดสัมพัทธ์ ของทั้งสองสถานีวัดลม คือ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบข้อมูลอัตราเร็วลมที่วัดได้จากสถานีวัดลมปากพนังกับข้อมูลอัตราเร็วลมที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลลม ณ สถานีวัดลมเชียรใหญ่และข้อมูลอัตราเร็วลมที่วัดได้จากสถานีวัดลมเชียรใหญ่กับข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลลม ณ สถานีวัดลมปากพนัง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

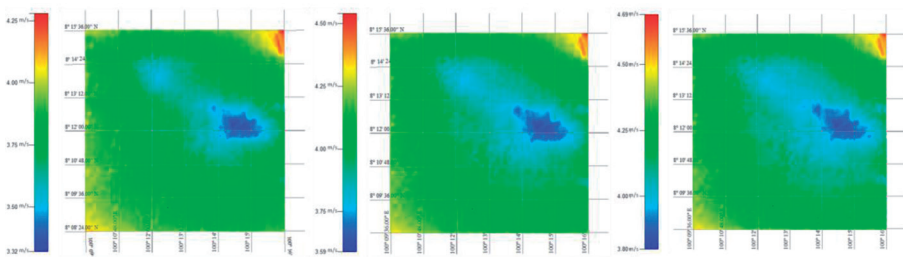
ผลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลลมเฉลี่ยจำนวน 12 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2553 ที่ระดับความสูง 60 70 และ 80 เมตร โดยทำการประเมินศักยภาพพลังงานลมที่ความแยกชัด 90×90 เมตร ด้วยโปรแกรม WindSim แผนที่ศักยภาพพลังงานลมโดยอินพุตข้อมูล 1 สถานี และอินพุตแบบทวี และฝั่งลม 2 ระดับ แสดงดังภาพที่ 3-7 และอัตราเร็วลมของทั้ง 2 สถานีแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่าอัตราเร็วลมบริเวณปากพนังมีค่าอยู่ในช่วง 3.50-4.67 เมตรต่อวินาที และบริเวณเชียรใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 3.32-4.69 เมตรต่อวินาที

ผลการคำนวณร้อยละความผิดพลาดด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลอัตราเร็วลมที่ได้จากการวัดกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแสดงดังภาพที่ 8 พบว่าค่าร้อยละความผิดพลาดของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือไม่เกินร้อยละ 10 [8] แสดงดังตารางที่ 2

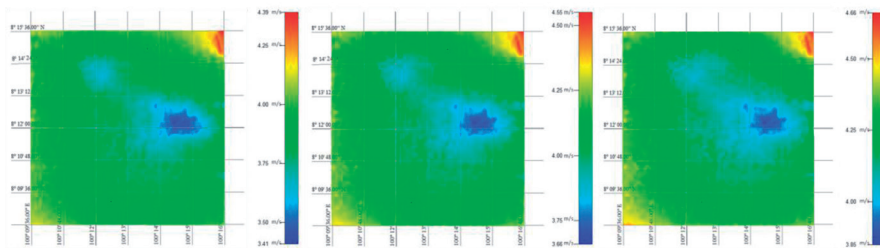
จากนั้นจัดทำแผนที่ความแตกต่างของอัตราเร็วลมโดยนำค่าอัตราเร็วลมจากการวัดของแต่ละสถานีมาหาความแตกต่างโดยเปรียบเทียบกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมแบบทวีที่ระดับความสูง 80 เมตร พบว่าค่าความแตกต่างของความเร็วลมที่ระดับความสูง 80 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง - 0.18 ถึง 0.27 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าไม่มากนักแสดงดังภาพที่ 9



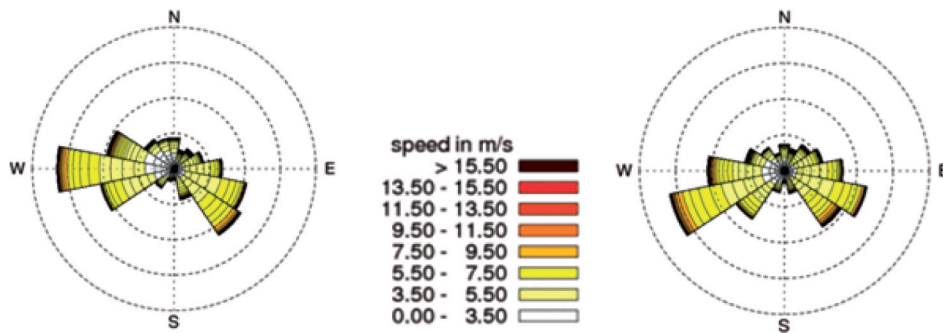
ภาพที่ 3 แผนที่อัตราเร็วลมระดับจุลภาคสถานีปากพนัง (เมตรต่อวินาที) ที่ระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 70 เมตร (กลาง) และ 80 เมตร (ขวา) (ความแยกชัด 90 เมตร)



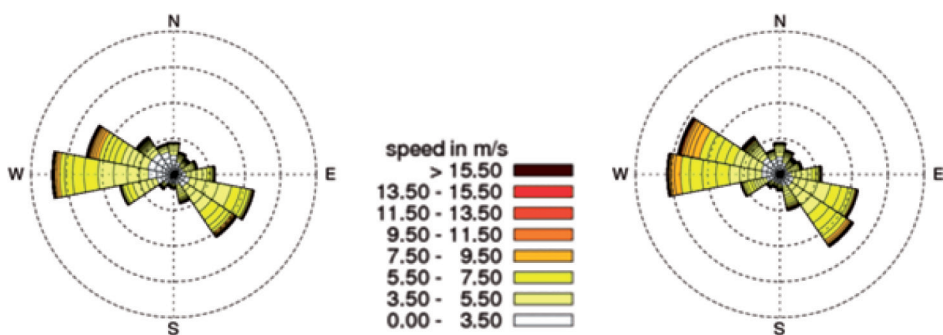
ภาพที่ 4 แผนที่อัตราเร็วลมระดับจุลภาคสถานีเชียรใหญ่ (เมตรต่อวินาที) ที่ระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 70 เมตร (กลาง) และ 80 เมตร (ขวา) (ความแยกชัด 90 เมตร)



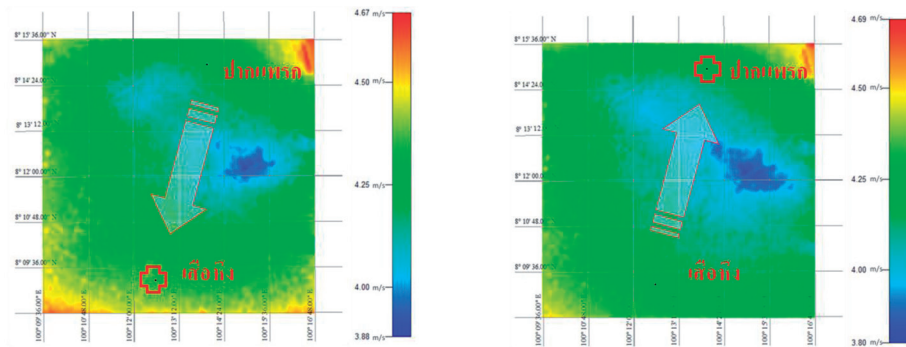
ภาพที่ 5 แผนที่อัตราเร็วลมระดับจุลภาคแบบทวี (เมตรต่อวินาที) ที่ระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 70 เมตร (กลาง) และ 80 เมตร (ขวา) (ความแยกชัด 90 เมตร)



ภาพที่ 6 ผังลมระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) และ 80 เมตร (ขวา) สถานีวัดลมปากแพรก



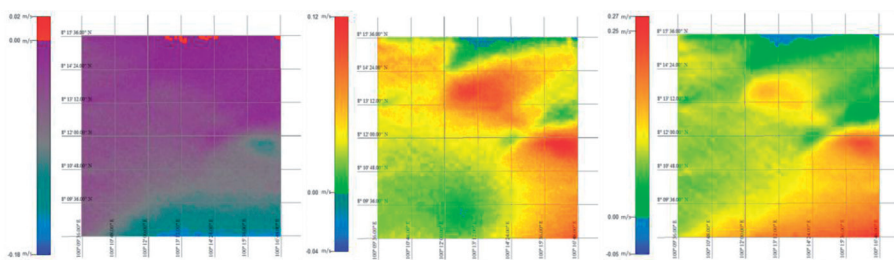
ภาพที่ 7 ผังลมระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) และ 80 เมตร (ขวา) สถานีวัดลมเสื่อหิง



ภาพที่ 4 แผนที่ศักยภาพลมโดยใช้ข้อมูลจากสถานีปากแพรกคำนวณอัตราเร็วลมไปที่สถานีเสือหิ่ง ความผิดพลาด 1% (ซ้าย) และแผนที่ศักยภาพลมโดยใช้ข้อมูลจากสถานีเสือหิ่งคำนวณอัตราเร็วลมไปที่สถานีปากแพรกความผิดพลาด 3% (ขวา)

ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพทั้งสองสถานีแสดงดังตารางที่ 2
ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัด การทำนายและร้อยละความผิดพลาด

ค่าสำคัญ	ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง			ตำบลเสือหิ่ง อำเภอเชียรใหญ่		
	60 เมตร	70 เมตร	80 เมตร	60 เมตร	70 เมตร	80 เมตร
ค่าอัตราเร็วลมจากการตรวจวัด (เมตรต่อวินาที)	3.95	4.12	4.23	3.84	4.06	4.23
ค่าอัตราเร็วลมจากการทำนาย (เมตรต่อวินาที)	3.80	4.03	4.20	4.03	4.23	4.34
Absolute Error	-0.15	-0.09	-0.03	0.19	0.17	0.11
Percent Relative Error	-4%	-2%	-1%	5%	4%	3%



ภาพที่ 9 แผนที่ความแตกต่างระหว่างแผนที่ศักยภาพพลังงานลมปากแพรกกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมแบบทวี (ซ้าย) แผนที่ศักยภาพพลังงานลมเสือหิ่งกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมแบบทวี (กลาง) และแผนที่ศักยภาพพลังงานลมปากแพรกกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมเสือหิ่ง (ขวา)

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและข้อมูลอินพุตจากการวัดแบบทวิสามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราเร็วลม ณ ตำบลปากแพรกที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร มีค่าเท่ากับ 3.94 เมตรต่อวินาที 4.12 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ส่วนที่ตำบลเสื่อหึ่ง มีค่าเท่ากับ 3.84 เมตรต่อวินาที 4.06 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งอัตราเร็วลมขนาดนี้สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้ขึ้นอยู่กับระดับ (Class) ของกังหันลมที่เหมาะสมกับอัตราเร็วดังกล่าว

2. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของอัตราเร็วลมพบวาระหว่างค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการทำนายให้ค่าความแตกต่างตามระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร ที่สถานีวัดลมปากแพรกเท่ากับร้อยละ -4 ร้อยละ -2 และ ร้อยละ -1 ตามลำดับ ส่วนที่สถานีวัดลมเสื่อหึ่งเท่ากับร้อยละ 5 ร้อยละ 4 และร้อยละ 3 ตามลำดับ

3. แผนที่ความแตกต่างของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 80 เมตร พบว่าค่าความแตกต่างของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 80 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง - 0.18 ถึง 0.27 เมตรต่อวินาที

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยมหาบัณฑิต ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) และขอขอบคุณศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. นโยบายและแนวทางการปรับปรุงแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573. กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพฯ, 2553.
- [2] เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์, อริย์วัฒน์ พระบำรุง, วัณวิสาข์ ชนะประเสริฐ, ณัฐธิ ราชปรีชา, ฟาน ทาน พง. (2553). การประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานลมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์ด้านภูมิศาสตร์สารสนเทศ. กรุงเทพฯ : รายงานวิจัยของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [3] เสริม จันทรฉาย, จรุงแสง ลักษณะบุณส่ง, Norbert Karlthoff, Inge Bischoff-Gauss, อิสระ มะศิริ, จินดา แก้วเขียว, ทัศนวรรณ ศูนย์กลาง, วรภาส พรหมเสน. (2553). โครงการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมสำหรับประเทศไทย. นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [4] อาปิติน จิเหลา ดุษฎี ศุขวัฒน์ ฤทธิพงษ์ กิรติกร และชาย ชีวะเกตุ. (2552). การประเมินศักยภาพเฉพาะแหล่งในการผลิตไฟฟ้าแบบกังหันลมในพื้นที่ภาคอีสานของประเทศไทย. KMUTT Graduate Poster Forum ครั้งที่ 1 22 เมษายน 2552
- [5] สมพล ชีวมงคลกานต์. (2554). การวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและข้อมูลอินพุตจากการวัดแบบทวิ. วิทยานิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [6] Schaffner, Gravidahl. (2003). Wind Modeling in Mountains: Inter Comparison and Validation of Model. EWEA European Wind Energy Conference. 16-19 June 2003, Madrid, Spain
- [7] Anderson, D.A., Tannehill, J.C. and Pletcher, R.H. (1984). Computation Fluid Dynamic and Heat Transfer, Hemisphere Publishing Corporation.
- [8] Rodi W. (1980). Turbulence Models and Their Applications in Hydraulic – A State of the Art Review, IAHR Monograph, Delft of the Netherlands.
- [9] Cuttin, R., Schaffner, B., Kunz, S. Validation of CFD Wind Modeling in Highly Complex Terrain, [Online], Available : www.windsim.com