



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การพัฒนาระเบียบวิเคราะห์กระแสลมในพื้นที่ซับซ้อนโดยใช้หลักการพลศาสตร์ของไหลเพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลม : กรณีศึกษา ณ เขื่อนลำตะคอง

The development of simulation process of air flow in rough terrain by using computational fluid dynamics to assess the wind energy potential : Case study at Lam Ta Khong

ปานุมาศ สีนอ และ อัครพล จันทร์อ่อน*

Panumas Srinor and Akraphon Janon*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 40002

Received August 2012

Accepted April 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการไหลของอากาศบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำตอนบนของโรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา ที่ความสูงเหนือพื้นดิน 60 เมตร ซึ่งพื้นที่โดยรอบนั้นมีลักษณะเป็นภูเขาสลับซับซ้อน ด้วยการสร้างพื้นผิวจำลองสามมิติและทำการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้หลักการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งสามารถบอกได้ถึงพื้นที่ที่มีความเร็วลมสูง เพื่อเสนอบริเวณติดตั้งกังหันลมให้สามารถผลิตพลังงานต่อปีได้สูงที่สุด โดยจำลองให้มีการไหลของอากาศผ่านพื้นที่ลำตะคอง ค่าความเร็วในการไหลของอากาศผ่านพื้นที่นั้นจะถูกกำหนดจากความเร็วลมขาเข้าตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นข้อมูลจากการวัดที่นำมาจากเสาวัดความเร็วลมลำตะคอง ผลที่ได้พบว่า ความเร็วลมสูงสุดนั้นเกิดขึ้นในพื้นที่ด้านบนสุดไล่ไปตามแนวยอดเขา จากการวิเคราะห์พลังงานจลน์ของการปั่นป่วนพบว่าพื้นที่ด้านรับลมไปจนถึงยอดเขานั้นมีพลังงานจลน์จากการปั่นป่วนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยความเร็วลมสูงสุดมีค่าเป็น 2.13 เท่าของความเร็วลมเริ่มต้นและมีพลังงานจลน์จากการปั่นป่วนเกิดขึ้น 0.054 จูลต่อกิโลกรัม พลังงานจลน์จากการปั่นป่วนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านร่องหุบเขาทำให้ไม่เหมาะแก่การติดตั้งกังหันลม ซึ่งแตกต่างจากการไหลของอากาศผ่านเนินเขาเรียบ สรุปได้ว่าพื้นที่ที่มีความเร็วลมเกิดขึ้นสูงที่สุดและมีความปั่นป่วนน้อยจะอยู่ในส่วนด้านบนสุดไล่ไปตามแนวพื้นที่ยอดเขา ดังนั้น พื้นที่ดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมที่จะทำการติดตั้งกังหันลม

คำสำคัญ : กังหันลม ศักยภาพพลังงานลม การปั่นป่วน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

This research studies the airflow at Lam Ta Khong upper reservoir areas at the height of 60 meters above ground level. The surrounding areas are complex terrains. By creating a three-dimensional surface model and using Computational Fluid Dynamics (CFD), we can identify areas with high airflow. The areas are suggested for installing of wind turbines, which can produce the maximum energy per year. Parameters of the air that flows through to the areas are calculated by fixing the incoming wind speed from 1 to 5 m/s. These wind speeds are the norm extracted

*Corresponding author. Tel.: +66-0432-02845; fax: +66-043-202849

Email address: akraphon@kku.ac.th

from the measured data from the anemometer mast in Lam Ta Khong. The airflow is modeled to flow into Lam Ta Khong. The results show that the highest wind speed is found at the top and toward the upwind face of the hill. The airflow speeds up to 2.13 times the input wind speeds. In addition, the analysis of the turbulence kinetic energy of the wind suggests that the upwind face has insignificant turbulence. The turbulence kinetic energy is 0.054J/kg at the location where the highest wind speed occurs. The turbulence kinetic energy increases when air flows toward the lee side of the mountain, which is not suitable for a wind turbine installation. Unlike an airflow over a smooth hill, it is concluded that the highest wind speeds and low turbulence can be found in locations around the top and toward the upwind face of the hill are the areas. As a result, they are the most suitable areas to install wind turbines.

Keywords : Wind turbine, Wind energy potential, Turbulence, Mathematical model

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพลังงานมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อหาพลังงานทดแทน โดยพลังงานลมนั้นเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทน เป็นพลังงานสะอาดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานลมอาจมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาล การรับรังสีจากดวงอาทิตย์ หลายประเทศมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมโดยใช้กังหันลมเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ในการติดตั้งกังหันลมนั้นควรอยู่ในตำแหน่งที่มีความเร็วลมสูงที่สุดเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้มากที่สุด ในประเทศไทยได้มีการศึกษาหาตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมในภาคเหนือและภาคใต้ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WASP ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวนั้นมีลักษณะเป็นภูเขาสลับซับซ้อน [1,2]

การศึกษาถึงข้อจำกัดของโปรแกรม Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) (ใช้สมการที่ได้จากการทดลอง) พบว่าโปรแกรมนี้มีความแม่นยำเมื่อใช้ในพื้นที่ที่ไม่เป็นภูเขาสลับซับซ้อน การใช้โปรแกรม WASP เพื่อวิเคราะห์การไหลของอากาศในพื้นที่ภูเขาสลับซับซ้อนนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากโปรแกรมนี้มีความแม่นยำเมื่อค่า critical slope (θ_c) ไม่เกิน 0.3 หรือ 17 องศา เพราะอากาศที่ไหลผ่านบริเวณนั้นจะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน หากใช้ Computational Fluid Dynamics (CFD) เป็นโปรแกรมวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณจะสามารถวิเคราะห์การไหลของอากาศแบบปั่นป่วนได้ [3-6] ดังนั้นการใช้ CFD จึงมีความเหมาะสมมากกว่าในกรณีที่เป็น

พื้นที่ซับซ้อน เนื่องจากโปรแกรม WASP นั้นไม่สามารถวิเคราะห์การไหลของอากาศแบบปั่นป่วนที่เป็นผลมาจากการไหลผ่านวัตถุหรือพื้นที่ที่มีความซับซ้อน แต่ CFD นั้นสามารถทำได้

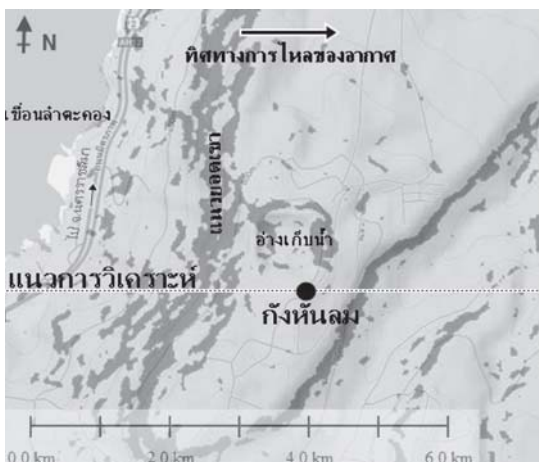
Russell [7] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ CFD ในการวิเคราะห์การไหลของอากาศ โดยการจำลองการไหลของอากาศผ่านพื้นที่ยอดเขา Cinder Cone Butte ที่รัฐไอดาโฮ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\epsilon$ เพื่อหาความเร็วลมที่เกิดขึ้นบริเวณยอดเขา ผลที่ได้ปรากฏว่าการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD นั้น ทำให้มีความเร็วลมที่ยอดเขาสูงกว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WASP อยู่ประมาณ 23 ถึง 24% แต่ไม่ได้มีการวิเคราะห์ถึงค่าความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น ข้อมูลจึงยังไม่เพียงพอสำหรับการติดตั้งกังหันลม

Boonterm [8] ทำการศึกษาการไหลของอากาศผ่านภูมิประเทศซับซ้อนที่เขาค้อ จังหวัดลพบุรี ซึ่งเป็นสถานที่ฝึกลงจอดเครื่องบินของศิษย์การบินทหารบก โดยใช้ CFD ในการวิเคราะห์ ด้วยแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด RNG $k-\epsilon$ กับ standard and SIMPLEX โดยมีลมมาปะทะในทิศทาง 90 องศา ความเร็วลมในแบบจำลอง 30 40 และ 50 เมตรต่อวินาที ผลการศึกษาวิเคราะห์พบว่า โปรไฟล์ความเร็วของอากาศที่ได้จาก CFD มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน สามารถนำเอาผลที่ได้ไปทำนายการไหลของอากาศผ่านเขาพุดาซึ่งมีลักษณะเป็นภูเขาสลับซับซ้อนได้ แต่กลับไม่มีการวิเคราะห์ถึงค่าความปั่นป่วนของอากาศที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เครื่องบินตกหรือหากทำการติดตั้งกังหันลมก็อาจทำให้เกิดความเสียหายได้

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะทำการศึกษาดังจุดที่ตั้งของกังหันลมอย่างละเอียด ณ บริเวณโดยรอบอ่างเก็บน้ำตอนบนโรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา โดยการใช้ CFD เพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์หาบริเวณที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งกังหันลม ให้สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุด โดยจะทำการพิจารณาความเร็วลมและความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น เพื่อให้การคำนวณมีความแม่นยำจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความละเอียดกริดและกำหนดการเข้าสู่ที่ค่าความผิดพลาดให้เหมาะสม ไม่เช่นนั้นค่าที่คำนวณได้จะไม่สามารถนำไปวิเคราะห์การไหลได้ เนื่องจากผลการคำนวณที่ได้จะยังไม่เข้าสู่สมดุล และหากมีการใช้กริดที่มีความละเอียดมากขึ้นก็ต้องกำหนดการเข้าสู่ที่ค่าความผิดพลาดให้ลดน้อยลงไปอีกซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณเป็นอย่างมาก [9]

2. พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่บริเวณโดยรอบอ่างเก็บน้ำตอนบนโรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา เพื่อทำการศึกษาการไหลของอากาศ พื้นที่ศึกษามีขนาด 6x6 ตารางกิโลเมตร ซึ่งลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสลับซับซ้อน โดยพิจารณาการไหลของอากาศในช่วงเดือนสิงหาคม มีลมพัดมาในทิศทาง 270 องศา (ลมพัดมาจากทางทิศตะวันตก) มาปะทะกับแนวยอดเขา โดยทำการศึกษาที่ความสูง 60 เมตร เนื่องจากเป็นระดับความสูงที่ใกล้เคียงกับความสูงของกังหันลม แล้วพิจารณาความเร็วลมที่เกิดขึ้นตามแนวของกังหันลม เพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับใช้ศึกษาในแนวอื่นๆ ว่าบริเวณใดมีความเร็วลมพัดผ่านมากที่สุดตามแนวนั้นๆ ดังรูปที่ 1 โดยแถบสีดำแสดงถึงบริเวณที่มีค่าความชันมากกว่า



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

17 องศา ซึ่งอากาศที่ไหลผ่านบริเวณนั้นจะเกิดการปั่นป่วนซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของการวิเคราะห์ด้วย CFD

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

งานวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมที่พัดผ่านยอดเขาสูงเพียงทิศทางเดียว โดยทำการวิเคราะห์ในทิศทางที่มีลมพัดผ่านเฉลี่ยตลอดทั้งปีมากที่สุด ดังนั้นจึงกำหนดให้มีการไหลเป็นแบบคงตัว (Steady case) ซึ่งพฤติกรรมการไหลของอากาศในการศึกษาค้นคว้านี้ประกอบด้วยสมการหลัก 2 สมการคือ สมการกฏทรงมวล (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) การประยุกต์ใช้หลักการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณกับการไหลของอากาศจะใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\epsilon$ [10]

สมการกฏทรงมวล (Continuity Equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \bar{u}_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

$$\frac{\partial (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j)}{\partial x_i} = -\rho \delta_{ij} g - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j')}{\partial x_j} \quad (2)$$

สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Turbulent Kinetic Energy Equation)

$$\frac{\partial (\rho k \bar{u}_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \overline{\rho u_i u_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} - \rho \epsilon \quad (3)$$

สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Dissipation Rate Equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial (\rho \epsilon \bar{u}_i)}{\partial x_i} = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] \\ & - C_{\epsilon 1} \left(\frac{\epsilon}{k} \right) \overline{\rho u_i u_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (4)$$

โดย

$$\mu_t = \rho^* C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (5)$$

$$I = 0.16(\text{Re}_{D_H})^{(-1/8)} \quad (6)$$

$$\text{Re}_{D_H} = \frac{\rho V D_H}{\mu} \quad (7)$$

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad (8)$$

เมื่อ

I คือ turbulence intensity

Re คือ Reynolds number

V คือ velocity

D_H คือ hydraulic diameter

A คือ area section

P คือ wetted perimeter

ความสัมพันธ์ระหว่าง Turbulent Kinetic Energy และ Turbulent Intensity

$$k = \frac{3}{2}(u_{avg} I)^2 \quad (9)$$

ค่าคงที่สำหรับการคำนวณการไหลของอากาศยังไม่มีค่าที่แน่นอน Alinot and Masson, 2002 [11] ได้ศึกษาการไหลของอากาศเพื่อหาค่าคงที่ที่ให้ผลการทำนายที่แม่นยำยิ่งขึ้นดังตารางที่ 1

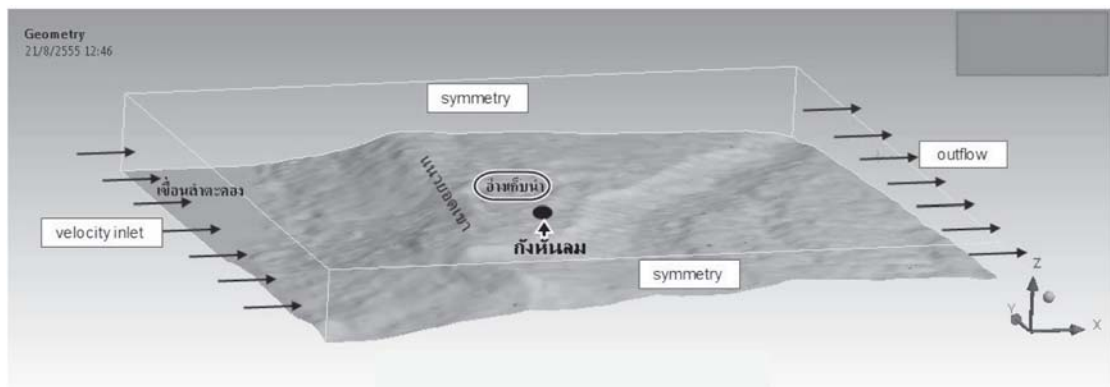
3.2. การกำหนดค่าความหยาบของพื้นผิว

เนื่องจาก CFD นั้นถูกออกแบบมาสำหรับวิเคราะห์การไหลภายในท่อ ค่าคงที่ของโปรแกรมนี้จึงยังไม่สามารถใช้กับการไหลของอากาศผ่านผิวดินได้ ซึ่ง Pattanapol et al., [12] ได้ทำการศึกษาหาค่าคงที่ของความหยาบที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การไหลของอากาศด้วย CFD ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 2 ซึ่งถูกนำมากำหนดใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

3.3. การวิเคราะห์ขนาดกริดที่เหมาะสม

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\epsilon$

$k-\epsilon$ Constant	$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	C_{μ}	σ_k	σ_{ϵ}
Standard	1.44	1.92	0.09	1.0	1.3
Alinot-Masson	1.176	1.92	0.03329	1.0	1.3



รูปที่ 2 พื้นผิวจำลองสามมิติและเงื่อนไขขอบเขต

ตารางที่ 2 Roughness Height และ Roughness Constant

Model Parameter	FLUENT Default	Pattanapol et al.
Roughness Height	z (m)	30*z (m)
Roughness Constant	0.5	0.327

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการไหลของอากาศผ่านพื้นที่เสมือนจริงโดยพิจารณาให้อากาศมีทิศทางการไหลในทิศ 270 องศา โดย

3.3.1 นำข้อมูล Digital Elevation Model มาสร้างเป็นพื้นผิวจำลองสามมิติเสมือนจริงขึ้นมาดังรูปที่ 2 แล้วทำการวิเคราะห์โดยกำหนดเงื่อนไขขอบ ดังตารางที่ 3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

ตารางที่ 3 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต

เงื่อนไขขอบเขต	ลักษณะ
ทางเข้า	Velocity inlet
ทางออก	Out Flow
ด้านข้างและด้านบน	Symmetry
พื้นผิวแบบจำลอง	Wall with wall function

ให้ความเร็วขาเข้าของอากาศคงที่และคงตัว กำหนดเป็น Velocity inlet

เมื่อไม่ทราบค่าความดัน (Pressure) และค่าความเร็ว (Velocity) ของอากาศขาออก กำหนดเป็น Out Flow

งานวิจัยนี้สมมุติให้เป็นการไหลที่ไม่มีลมพัดมาจากด้านข้าง (Cross wind) ฉะนั้นจึงพิจารณาการไหลของอากาศ

ผ่านพื้นผิวจำลองเป็นแบบสมมาตรตามแนวยาวของพื้นที่ทั้งผนังด้านข้าง (Side wall) และด้านบน (Upper wall) กำหนดเป็น Symmetry เพื่อลดอิทธิพลของผนังที่มีต่อการไหล

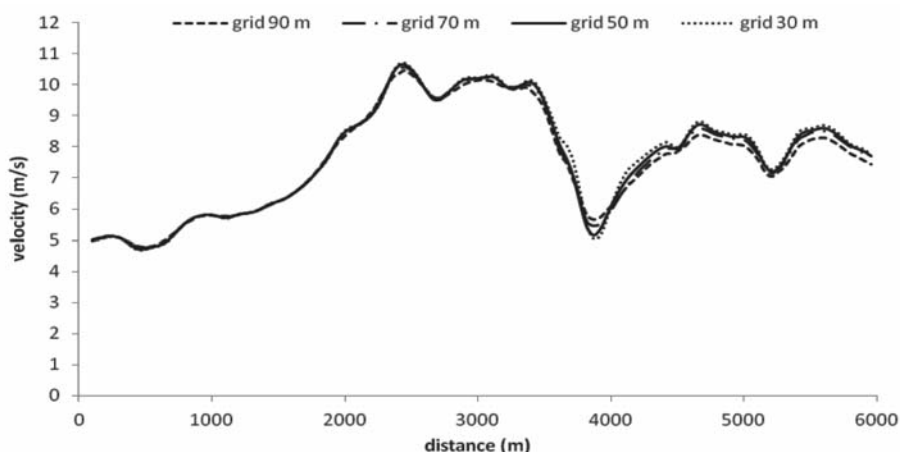
พื้นผิวแบบจำลองจะไม่มีการเคลื่อนที่ (no slip) และกำหนดให้ค่าความหยาบเท่ากันทั้งพื้นที่ โดยกำหนดค่า Roughness Height เป็น 1.5 เมตร และ Roughness Constant เป็น 0.327

3.3.2 ทำการสร้างกริดโดยให้ชั้นล่างสุดซึ่งอยู่ในส่วนที่ต้องการศึกษามีความละเอียดมากที่สุด และทำการหาขนาดกริดพื้นผิวที่เหมาะสมกับลักษณะรูปร่างของพื้นที่ เนื่องจากยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน จึงต้องทำการทดลองหาขนาดและจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนเอลิเมนต์ที่เกิดจากการกำหนดขนาดกริดที่ผิวขนาดต่างๆ กัน

ขนาดกริดที่ผิว (เมตร)	30	50	70	90
จำนวนเอลิเมนต์	841960	304200	156240	94900

จากการกำหนดขนาดกริดที่ผิวแตกต่างกันสี่ขนาดคือ 30 50 70 และ 90 เมตร พบว่า ผลของความเร็วมวลที่ได้จากการกำหนดขนาดกริดที่ผิวเป็น 30 และ 50 เมตร นั้นมีค่าเฉลี่ยของความเร็วมวลแตกต่างกันไม่ถึง 5% ดังรูปที่ 3 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ขนาดกริดที่ผิวเป็น 50 เมตร เนื่องจากมีจำนวนเอลิเมนต์เพียง 304200 เอลิเมนต์ ในขณะที่การกำหนดกริดที่ผิวเป็น 30 เมตร นั้นมีจำนวนมากถึง 841960 เอลิเมนต์ ซึ่งทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมน้อยกว่ามาก

**รูปที่ 3** ความเร็วมวลที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X จากการกำหนดขนาดกริดที่ผิว ขนาดต่างๆ กัน

4. วิธีการคำนวณ

งานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้หลักการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ วิธีการผลต่าง (Differencing Scheme) ที่ใช้ในการหาค่าความดันคือ Presto การเลือกใช้วิธีผลต่างในการคำนวณสำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธี First Order Upwind เนื่องจากให้ผลการคำนวณที่รวดเร็วและยังมีความเสถียรมากกว่า Second Order Upwind และกำหนดค่า Turbulence intensity ที่ทางเข้าจากสมการที่ (6) โดยแบบจำลองทั้งหมดกำหนดการลู่เข้าที่ค่าความผิดพลาด 10^{-5}

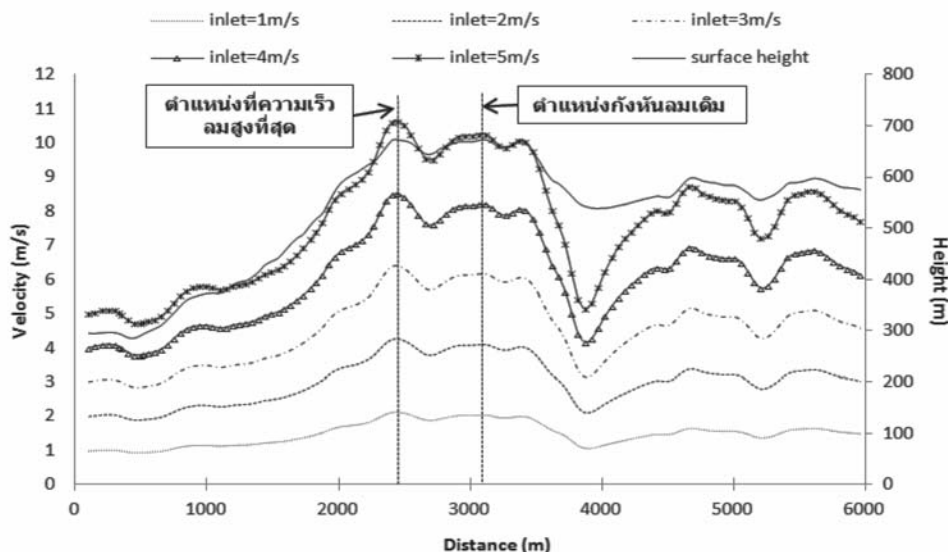
5. ผลการวิเคราะห์

ความเร็วลมที่ได้จากการกำหนดค่าความเร็วลมขาเข้าในช่วงความเร็วลมตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากการวัดจริงเพื่อหาความเร็วลมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ได้ทำการติดตั้งกังหันลมไปแล้วคือที่ระยะทาง 3,090 เมตร ตามแนวแกน X ดังตารางที่ 5 ผลที่ได้ นั้นพบว่า ความเร็วลมมีค่าประมาณ 2.04 เท่าของความเร็วลมขาเข้า บริเวณที่เป็นส่วนยอดเขาจะมีความเร็วลมมากที่สุดแปรตามความสูงของพื้น จุดที่มีความเร็วลมสูงที่สุดอยู่ที่ระยะทาง 2450 เมตร มีค่าความเร็วลมเกิดขึ้นประมาณ 2.13 เท่าของความเร็วลมขาเข้า ดังรูปที่ 4

จากแบบจำลองที่ได้พบว่า บริเวณที่มีความเร็วในการไหลของอากาศสูงที่สุดนั้นจะอยู่ในส่วนของยอดเขาที่อยู่ติดกับพื้นที่ลาดชันด้านรับลม ดังนั้นหากจะทำการติดตั้งกังหัน

ลมเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้สูงที่สุดนั้นจึงควรที่จะติดตั้งในบริเวณที่เป็นสีแดงดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นจุดที่มีความเร็วลมพัดผ่านสูงที่สุด และจากการวิเคราะห์การปั่นป่วนของอากาศยังพบว่าบริเวณยอดเขาด้านรับลมนั้นมีการปั่นป่วนของอากาศเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยที่ระยะ 2450 เมตรนั้น มีค่าความเร็วลมเกิดขึ้นสูงที่สุด และมีค่า Turbulent Kinetic Energy 0.054J/kg ดังรูปที่ 6 หรือคิดเป็น Turbulent intensity 2.24% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการติดตั้งกังลม โดยมาตรฐานการติดตั้งกังหันลมกำหนดไว้ไม่เกิน 8% [13] ดังนั้นจึงเป็นจุดที่มีความเหมาะสมที่สุดที่จะทำการติดตั้งกังหันลม

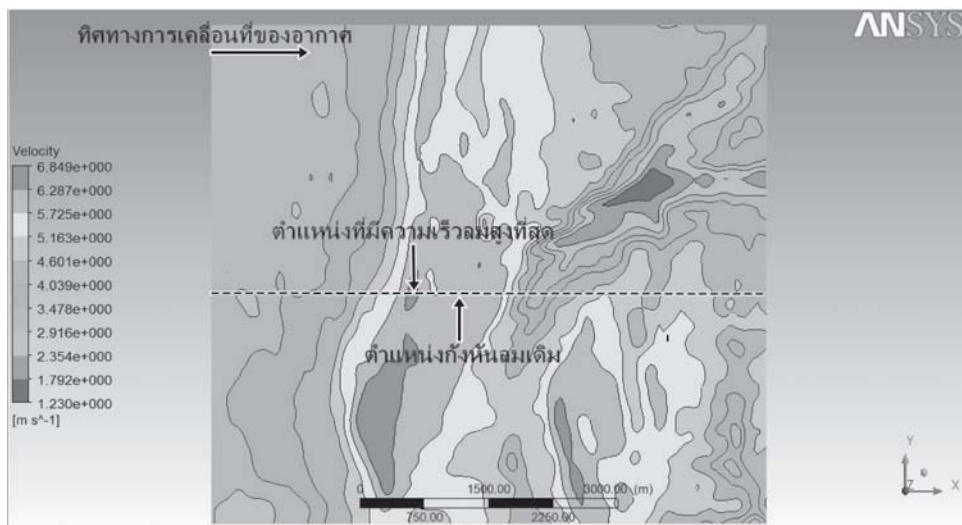
เมื่อพิจารณาความเร็วลมในตำแหน่งที่ได้มีการติดตั้งกังหันลมไปแล้ว พบว่ายังไม่ใช่ตำแหน่งที่ดีที่สุด เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวไม่อยู่ติดกับยอดเขาด้านรับลมจึงไม่ใช่ตำแหน่งที่มีลมความเร็วลมพัดผ่านสูงที่สุด ดังนั้นหากจะทำการติดตั้งกังหันลมเพิ่มเติมจึงควรติดตั้งในบริเวณพื้นที่ยอดเขาสูงติดกับด้านรับลมเนื่องจากมีความเร็วลมสูงที่สุด และยังเป็นพื้นที่ที่เกิดการปั่นป่วนของกระแสลมน้อย เมื่อพิจารณากังหันลมที่ได้ทำการติดตั้งไปแล้วนั้น พบว่าสามารถผลิตพลังงานต่อปีได้เป็น 2,323,697 kWh โดยมีค่า capacity factor เป็น 14.9% แต่ถ้าหากทำการย้ายตำแหน่งในการติดตั้งมาอยู่ที่ระยะ 2450 เมตร จะสามารถผลิตพลังงานต่อปีได้เป็น 2,614,015 kWh โดยมีค่า capacity factor เป็น 16.8% หรือทำให้สามารถผลิตพลังงานต่อปีเพิ่มขึ้น 290,318 kWh ต่อกังหันลม 1 ตัว



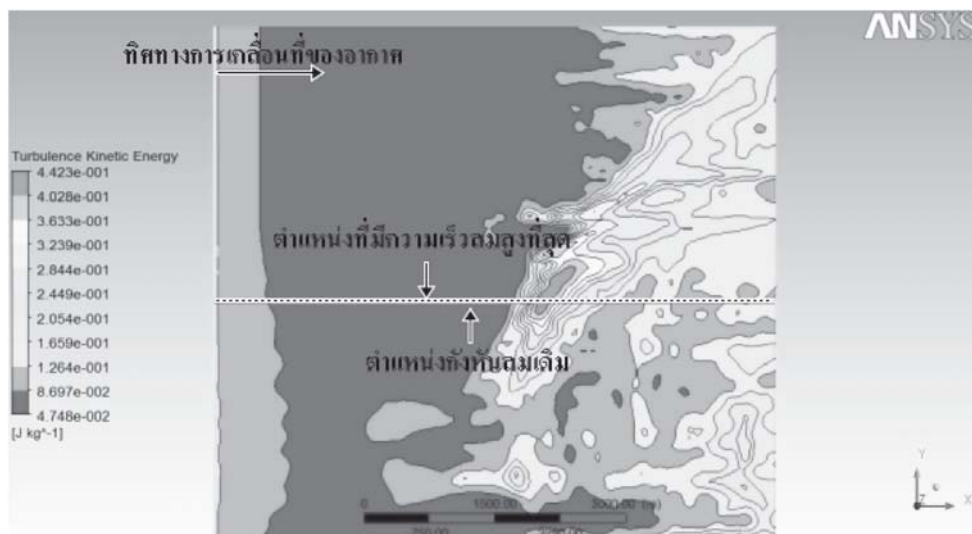
รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X กับระดับความสูงของพื้นที่

ตารางที่ 5 ความเร็วลมที่ตำแหน่งของกังหันลมเดิมเมื่อมีความเร็วลมขาเข้าตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตรต่อวินาที

Velocity inlet (u, m/s)	u'/u at turbine position (Distance 3090m)	u'/u at highest wind speed (Distance 2450m)
1	2.03	2.13
2	2.04	2.13
3	2.04	2.13
4	2.04	2.13
5	2.04	2.13



รูปที่ 5 ความเร็วลมที่เกิดขึ้น ณ บริเวณต่างๆ ที่ความสูง 60 เมตร จากการกำหนดความเร็วลมขาเข้าเป็น 3m/s



รูปที่ 6 พลังงานจลน์ของความปั่นป่วนของอากาศที่เกิดขึ้น ณ บริเวณต่างๆ ที่ความสูง 60 เมตร

6. สรุป

ผลของความเร็วมวลที่เกิดขึ้นนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความสูงของพื้นที่ โดยที่ความเร็วมวลสูงสุดนั้นจะเกิดขึ้นที่ยอดเขาเพราะเป็นตำแหน่งที่สูงที่สุดของพื้นที่ จึงเป็นจุดที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมมากที่สุด ส่วนการปั่นป่วนจะเกิดขึ้นสูงในด้านตรงข้ามกับภูเขาด้านรับลม จึงไม่ควรทำการติดตั้งกังหันลมไว้ในตำแหน่งดังกล่าว เพราะมีความเร็วลมต่ำและยังทำให้อายุการใช้งานของกังหันลมลดลง อันเนื่องมาจากการปั่นป่วนของอากาศ โดยที่ผลการวิเคราะห์นั้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ จึงสรุปได้ว่า การใช้ CFD นั้นมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์เพื่อทำการติดตั้งกังหันลมในพื้นที่ซับซ้อน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dussade N, Kiatsirirot T. Study on Potential of Power Generation from Wind Energy in Upper Northern Region. Maejo University, 2006. (In Thai).
- [2] Waewsak J, Kongruang C, Tirawanichakul S, Tirawanichakul Y, Matan N. et al. The feasibility study of wind farm power plants along the coastal lines of southern Thailand. Thaksin University, Engineering C; 2007. (In Thai).
- [3] Mortensen NG, Bowen AJ, Antoniou I. Improving WAsP predictions in (too) Complex Terrain. New Zealand: Mechanical Engineering Department University of Canterbury Christchurch; 2006.
- [4] Oke TR. Boundary Layer Climates. Boundary Layer Climates. University Press, Cambridge 1978. p. 182-9.
- [5] Pereira R, Guedes R, Santos CS, editors. Comparing WAsP and CFD wind resource estimates for the "regular" user. Proceedings from EWEK 2010; Warsaw: Poland; 2010.
- [6] Theodoropoulos P. Validation and Comparison between CFD and Linear WAsP model performance in vertical profile estimation using measurements from a 65m tall mast. Laboratory of Istos Renewables Ltd; 2008.
- [7] Russell A. Computational Fluid Dynamics Modeling of Atmospheric Flow Applied to Wind Energy Research. USA: Boise State University College of Engineering; 2009.
- [8] Boonterm T, Kittichaikarn C. Analysis and Simulation of Air Flow over Complex Terrain Case study: Air Flow over Phuka Mountain in Lopburi, Thailand. ME-NETT 23rd; 4-7 November 2009; Chiang Mai; 2009. (In Thai).
- [9] Siriboonluckul N, Juntasaro E, Juntasaro V. Application of $k-\omega$ Turbulence Model for Particle-Laden Flows. ME NETT 18th; 18-20 October: Khonkaen; 2004.
- [10] Russell A, Dawson P, Haynes T. Application of Fluent for Atmospheric Flow: Comparison to WAsP in Complex Terrain. AWEA 2008; USA: Boise State University College of Engineering; 2008.
- [11] Alinot C, Masson C. Aerodynamic Simulations of Wind Turbines Operating in Atmospheric Boundary Layer with Various Thermal Stratifications. AIAA-2002-42 ASME Wind Energy Symposium 40th collection of technical papers: Reno; 2002.
- [12] Pattanapol W, Wakes SJ, Hilton MJ, Dickinson. KJM, editors. Modeling of Surface Roughness for Flow Over a Complex Vegetated Surface. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology 2007 December; 2007.
- [13] Tong W. Wind Power Generation and Wind Turbine Design. British Library: WIT Press; 2010. 725 p.