

## การประเมินศักยภาพพลังงานลมเบื้องต้นของประเทศไทย

รัตเกล้า พันธุ์อร่าม <sup>1\*</sup>

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

ปรุจันท์ วงศ์วิเศษ <sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

สิทธิชัย พิมลศรี <sup>3</sup>

มหาวิทยาลัยพะเยา แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000

และ Meigen Zhang <sup>4</sup>

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, P.R.China

### บทคัดย่อ

การประเมินศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยทำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ ที่ชื่อว่า Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) คำนวณหาความเร็ว และทิศทางลมของแต่ละชั่วโมง ในพื้นที่ที่ระดับความสูง 30 50 70 100 150 200 เมตรเหนือระดับพื้นดิน ระหว่างปี พ.ศ.2548 ถึง พ.ศ.2550 ครอบคลุม พื้นที่ศึกษา จากลองจิจูด 94° E ถึง 110° E และละติจูด จาก 4° N ถึง 22° N โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของ National Centers for Environmental Prediction (NCEP) แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลจากสถานีตรวจวัด 5 แห่งของประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกัน ผลการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมดีที่สุดของปี มีอยู่ 2 ช่วงเวลา คือ ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงที่สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้รับอิทธิพล สูงจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในอีกช่วงหนึ่งคือระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือมีอิทธิพลสูงต่อสภาพอากาศของประเทศไทย ตัวอย่างพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูง ณ ระดับความสูง 50 ม.เหนือพื้นดิน ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคมพบว่าอยู่บริเวณด้านทิศตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัด กาญจนบุรี ราชบุรี ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7-8 ม./วินาที ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ รอยต่อจังหวัด ลพบุรี สระบุรี นครราชสีมา ชัยภูมิ ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7-8 ม./วินาที และภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตรัง รวมทั้ง แนวชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยที่สงขลาและปัตตานี ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8-9 ม./วินาที พบว่าจังหวัดนครศรีธรรมราช ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 9-10 ม./วินาที โดยมีศักยภาพพลังงานลมสูงสุดประมาณ 600-700 วัตต์/ตร.ม. พื้นที่ ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม อยู่ในพื้นที่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่จังหวัดชัยภูมิ ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ มุกดาหาร อานาจเจริญ ยโสธร อุบลราชธานี และในพื้นที่ภาคใต้ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ความเร็วลมสูงสุดระหว่าง 8-9 ม./วินาที มีศักยภาพพลังงานลมสูงสุดประมาณ 400-500 วัตต์/ตร.ม. นอกจากนี้พบว่า ที่ระดับความสูง 100 เมตรเหนือพื้นดินบริเวณที่มีความเร็วลมสูงจะมากกว่าที่ระดับความสูง 50 ม. พื้นที่ส่วนใหญ่ของ ประเทศไทยนอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ งานที่ทำเสร็จแล้วนี้ได้จัดทำอยู่ในระบบ GIS

**คำสำคัญ :** พลังงานลม / Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)

\* Corresponding author

<sup>1</sup> วิศวกร ฝ่ายก่อสร้างพลังงาน, <sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

<sup>3</sup> อาจารย์ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม, <sup>4</sup> Professor, Institute of Atmospheric Physics

## Preliminary Assessment of Wind Energy Resource over Thailand

**Rudklao Pan-Aram**<sup>1\*</sup>

Electricity Generating Authority of Thailand, Bangkruai, Nonthaburi 11130

**Prungchan Wongwises**<sup>2</sup>

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

**Sittichai Pimonsree**<sup>3</sup>

Phayao University, Phayao 56000, Thailand

**and Meigen Zhang**<sup>3</sup>

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, P.R.China

### Abstract

To assess wind energy resource over Thailand, the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) is used to simulate wind fields on an hourly basis at levels of 30, 50, 70, 100, 150, 200 m. above the ground in the period of 2005 to 2007. The study domain covers 94° E to 110° E in longitude and 4° N to 22° N in latitude with resolution 10 x 10 km. The model inputs are taken from the National Center for Environmental Prediction (NCEP). Simulation wind speeds, temperatures are in generally good agreement with the observed ones at 5 monitoring stations. Analysis shows that there are 2 time periods (June-August and December-March) in a year when wind is relatively strong. The first period is influenced by the South-West monsoon while the second by the North-East monsoon. During June to August the strongest winds at an average speed of 7-8 m./s at level 50 m. are in the west of the country, i.e. Kanchanaburi and Ratchaburi and in the North-East i.e border between Lop Buri, Saraburi, Nakhon Ratchasima, and Chaiyaphum provinces. The strongest wind speed of 8-9 m./s at level 50 m. are in area of the South, i.e Surat Thani, Nakhon Si Thammarat and Trung provinces including the coast of the Gulf of Thailand from Songkhla to Pattani, On average, the highest wind speed of 9-10 m./s at level 50 m. with wind power 600-700 W/m<sup>2</sup> is in Nakhon Si Thammarat. During December to March Chaiyaphum Roiet Kalasin Mukdaharn Amnat Charoen, Yasothon and Ubon Ratchathani provinces are the high potential wind area in the North-East. In the South the highest average wind speeds of 8-9 m./s at level 50 m. with wind power 400-500 W/m<sup>2</sup> are found in Surat Thani and Nakhon Si Thammarat. Moreover at level 100 m.the areas with the highest wind velocity greater than at level 50 m..The rest of the country is not suitable for wind farming. This work is already prepared in GIS.

**Keywords :** Wind Energy / Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)

---

\* Corresponding author

<sup>1</sup> Researcher, Hydropower Construction Division. <sup>2</sup> Associate Professor, The Joint Graduate School of Energy and Environment.

<sup>3</sup> Lecturer, School of Energy and Environment. <sup>4</sup> Professor, Institute of Atmospheric Physics.

## 1. บทนำ

สถานการณ์ของราคาน้ำมันและผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญที่จะต้องหาทางออกและศึกษาวิจัยเพื่อเตรียมรับผลกระทบทางด้านวิกฤติการณ์ด้านพลังงานขาดแคลนของประเทศที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต การแก้ปัญหาอย่างยั่งยืนจะต้องลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานนำเข้าจากต่างประเทศและหันมาพัฒนาหรือใช้พลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศให้มากขึ้น รวมทั้งต้องลดการใช้พลังงานฟอสซิลโดยการหันไปใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มมากขึ้นแทน

เมื่อพิจารณาถึงพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสามารถพัฒนานำมาใช้ประโยชน์ทดแทนพลังงานฟอสซิลที่สำคัญคือพลังงานน้ำ เนื่องจากมีราคาต้นทุนต่ำกว่าพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่นๆ และที่รองลงมาคือพลังงานลมที่มีราคาต้นทุนต่ำถัดจากพลังงานน้ำ นอกจากนี้ยังมีพลังงานชีวมวล ส่วนพลังงานแสงอาทิตย์แม้จะเป็นพลังงานที่ยั่งยืนแต่ยังมีราคาต้นทุนสูงอยู่มาก โดยมีราคาระหว่าง 10-20 บาทต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้า (kWh)

ปัจจุบันพลังงานลมนับได้ว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่เริ่มมีบทบาทมากสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในหลายๆ ประเทศทั่วโลก แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้กังหันลมที่เหมาะสม รวมไปถึงการเลือกสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังลม ควรอาศัยข้อมูลด้านศักยภาพพลังงานลมที่มีความแม่นยำและละเอียดเพียงพอมาประกอบการพิจารณา ในอดีตที่ผ่านมาการประเมินศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดและใช้การประมาณค่าช่วง (Interpolate) สถิติศาสตร์หรือสมการกระบวนการฟิสิกส์อย่างง่าย ในการประมาณค่าความเร็วลมในตำแหน่งและช่วงเวลาที่ไม่มีการตรวจวัด [1-4] เพื่อจัดทำเป็นแผนที่พลังงานลมของประเทศไทย นอกจากนี้การตรวจวัดสภาพอากาศไม่ได้ทำการตรวจวัดเป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง และส่วนใหญ่ไม่ได้ตรวจวัดข้อมูลที่ระดับความสูงเกินกว่า 50 ม. อีกทั้งสถานีตรวจวัดอากาศล้วนอยู่ใกล้กับชุมชนเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งจำนวนสถานีที่ตรวจวัดมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย ดังนั้นแผนที่ศักยภาพพลังงานลมที่ได้ดังกล่าวจึงถือได้ว่าเป็นเพียงการประเมินศักยภาพของพลังงานลมเบื้องต้นโดยรวมของประเทศ

เท่านั้น ไม่อาจนำมาใช้สำหรับการประเมินศักยภาพของพลังงานลมในแต่ละภูมิภาคหรือท้องถิ่นโดยละเอียดได้

จากการสำรวจข้อมูลที่พบในหลายๆ ประเทศที่มีแผนการดำเนินงานโรงไฟฟ้าพลังงานลมอย่างเป็นทางการได้ทำการประเมินศักยภาพพลังงานลมโดยพัฒนา Three-dimensional meso-scale meteorological model มาใช้งาน โดยแบบจำลองดังกล่าวจะทำการคำนวณหาผลลัพธ์จากชุดสมการของ Atmospheric physic process ซึ่งสัมพันธ์กับหลักการด้านพลศาสตร์ (Dynamic) เทอร์โมไดนามิก (Thermodynamic) ไมโครฟิสิกส์ (Microphysic) และการเปลี่ยนแปลงสถานะของความชื้นในบรรยากาศ (Moisture phase change) ผลลัพธ์ที่ได้จาก Three-dimensional meso-scale meteorological model คือข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น ในพื้นที่ที่ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละชั่วโมง

Sturman et al. [5] ได้เสนอแนวทางในการประเมินศักยภาพพลังงานลมของประเทศนิวซีแลนด์โดยใช้ Meso-scale meteorological model ได้กล่าวถึงข้อดีของการใช้แบบจำลองไว้ดังนี้

- Meso-scale meteorological model ใช้หลักการบนพื้นฐานกระบวนการของบรรยากาศจริงไม่ใช่การประมาณค่าช่วงอย่างง่าย หรือการหาความสัมพันธ์จากข้อมูลตรวจวัด

- ให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือและเป็นสากลมากกว่า และให้แผนที่พลังงานลมที่สอดคล้องกันที่ความละเอียดของกริดสูง ขณะที่ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดบ่อยครั้งที่มีปัญหาเรื่องที่ตั้งของสถานีตรวจวัดและข้อมูลที่ได้

- เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วในการหาศักยภาพของพื้นที่สำหรับติดตั้งกังหันลม

- เป็นข้อมูลที่เหมาะนำไปใช้ในการตัดสินใจเบื้องต้นในการหาความเป็นไปได้ของการติดตั้งกังหันลม โดยไม่จำเป็นต้องมีการตรวจวัด นั่นคือ ไม่ต้องลงทุนอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีราคาแพงและเสียเวลาในการเก็บข้อมูลเป็นแรมปี

- ผลลัพธ์จาก Meso-scale meteorological อยู่ในรูปแบบที่นำไปใช้สร้างแผนที่ศักยภาพพลังงานลมได้ง่ายด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่ในท้องตลาด เช่น โปรแกรม WASP

นอกจากนี้ Finardi et al. [6] ได้กล่าวถึงข้อดีของการใช้แบบจำลองไว้อีกว่า เป็นเครื่องมือเบื้องต้นที่ช่วยเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมและคุ้มค่าในการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา พบการนำ Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) ไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพพลังงานลมดังต่อไปนี้

Yamaguchi et al. [7] ศึกษาการกระจายตัวของลมนอกชายฝั่งประเทศญี่ปุ่นโดยใช้แบบจำลอง RAMS ขนาดความละเอียดของกริด 8 กม. และ 2 กม. ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วและทิศทางลมจาก RAMS สามารถคำนวณให้ผลลัพธ์ที่ดี มีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัด มีค่าผิดพลาดของค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปีเพียงร้อยละ 4.8

Lebassi and Buskirk [8] ใช้แบบจำลอง RAMS ประเมินศักยภาพพลังงานลมใน Eritrea ตะวันออกเฉียงใต้แถบตะวันออกของแอฟริกา ในช่วงฤดูลมแรงในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545 ผลจากแบบจำลองสามารถบอกได้ว่าแหล่งพลังงานลมแหล่งไหนดีกว่ากันระหว่างบนภูเขาหรือในทะเล บอกได้ว่าระยะห่างจากฝั่งเท่าใดจึงเป็นแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดี และสามารถให้ข้อมูลความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละพื้นที่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความคุ้มค่าของการติดตั้งกังหันลมระดับสูง นอกจากนี้ยังสามารถบอกได้ว่าพื้นที่ใดเป็นแหล่งศักยภาพพลังงานลมดีที่สุด ผลของการใช้แบบจำลอง RAMS ที่ขนาดของกริดละเอียดถึง 0.7 กม. พบว่าผลจากแบบจำลองสอดคล้องอย่างดีกับค่าตรวจวัด

ในประเทศไทย Sathikunarat et al. [9] ได้ใช้แบบจำลอง RAMS คำนวณลมและอุณหภูมิ ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝนในจังหวัดเชียงใหม่ โดยกำหนดขนาดของกริด 2 กม. พบว่า RAMS สามารถคำนวณความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิ ได้สอดคล้องกับค่าตรวจวัด

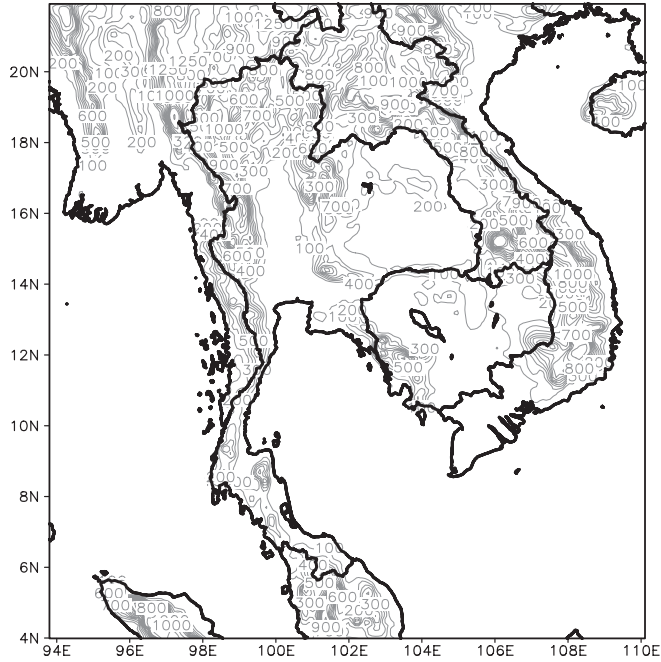
จากเหตุผลข้างต้น ดังนั้นการประเมินศักยภาพพลังงานลมโดยใช้ Three-dimensional meso-scale meteorological model จะทำให้สามารถกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลมของประเทศ การกำหนดขนาดของโรงไฟฟ้าพลังงานลมในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการคัดเลือกเครื่องกังหันลมที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ทำการประเมินศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ (Three-dimensional meso-scale meteorological model) ที่ชื่อว่า Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)

## 3. ขอบเขตการศึกษา

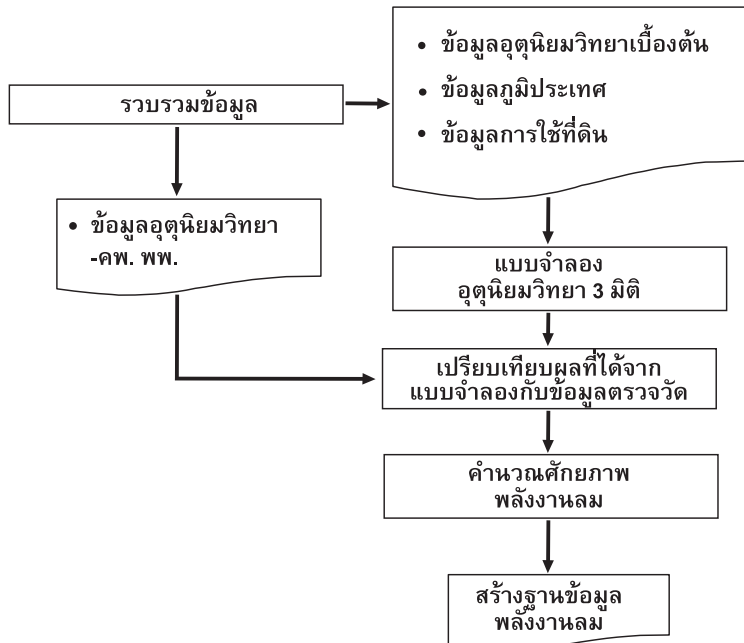
พื้นที่ที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย รวมทั้งพื้นที่โดยรอบ คิดเป็นพื้นที่ 1,800 x 2,000 ตร.กม. โดยใช้กริดขนาด 10 กม. x 10 กม. จากละติจูด 4°N ถึง 22°N และ จากลองจิจูด 94°E ถึง 110°E ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมและลักษณะภูมิประเทศ

#### 4. วิธีการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนในการดำเนินงานต่างๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการวิจัย

โดยประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. คำนวณข้อมูลลมเฉลี่ยรายชั่วโมงของปี พ.ศ. 2548 2549 และ 2550 รวมจำนวนทั้งสิ้น 17,702 ชม. หรือ 30 เดือน (เดือนมกราคม-เดือนธันวาคม ของปี พ.ศ. 2548 2549 และเดือนมกราคม-เดือนมิถุนายน ของปี พ.ศ. 2550) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ (3-D meso-scale meteorological model) ที่มีชื่อว่า Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) คำนวณข้อมูลลมของประเทศไทย โดยใช้กริดมีขนาด 10 กม. x 10 กม. และใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเริ่มต้นจาก National Center for Environmental Prediction (NCEP) ซึ่งเป็นหน่วยงานรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วย ข้อมูลภูมิประเทศ (Topography) ลักษณะการใช้ที่ดิน (Land use) ความเร็วลม (Wind speed) ทิศทางลม (Wind direction) อุณหภูมิ (Temperature) ความดันบรรยากาศ (Pressure) และความชื้น (Humidity) อนึ่งข้อมูลจาก NCEP เป็นข้อมูลที่ครบถ้วนทุกระดับความสูงและทุกระดับกริดที่ใช้ในแบบจำลอง ซึ่งกรมอุตุนิยมวิทยามีข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ไม่ครบถ้วน

2. เปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลตรวจวัดเพื่อประเมินความแม่นยำของผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดลมของกรมควบคุมมลพิษ 5 สถานี ได้แก่ สถานีในเขตจตุจักร กรุงเทพฯ, สถานีคุ้มครองสวัสดิภาพเด็กภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดระยอง, องค์การสื่อสารมวลชนแห่งประเทศไทย จังหวัดขอนแก่น, โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่จังหวัดสงขลา และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

3. สร้างแผนภาพความเร็วลม ทั้งนี้เพื่อจะเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปใช้งานในการเลือกใช้กังหันให้เหมาะสม และสำหรับการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงานลมและกังหันลมต่อไป

4. สร้างแผนภาพพลังงานลม เนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงานจลน์จากลมไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยกังหันลม มีสมการพื้นฐานในการคำนวณ คือ

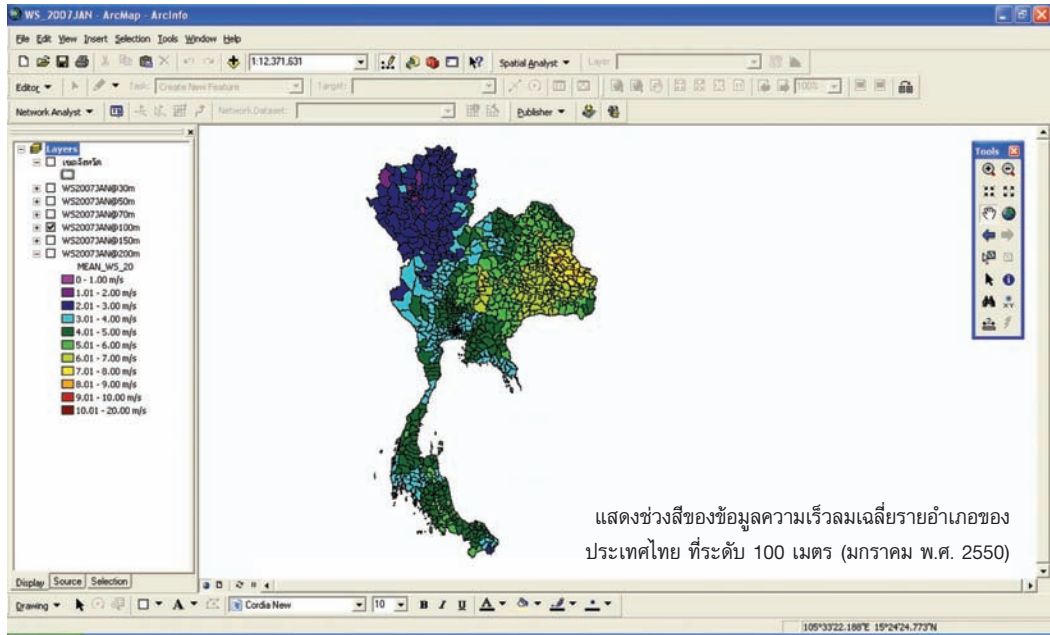
$$P_w = \frac{1}{2}(\rho AV^3) \quad (1)$$

เมื่อ  $P_w$  คือพลังงานลมสูงสุด ซึ่งแสดงในเทอมของความหนาแน่นของอากาศ  $\rho$ , ความเร็วลม  $V$  และพื้นที่หน้าตัด  $A$  ซึ่งเมื่อเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนพลังงานลมต่อพื้นที่หน้าตัด จะได้ดังสมการต่อไปนี้

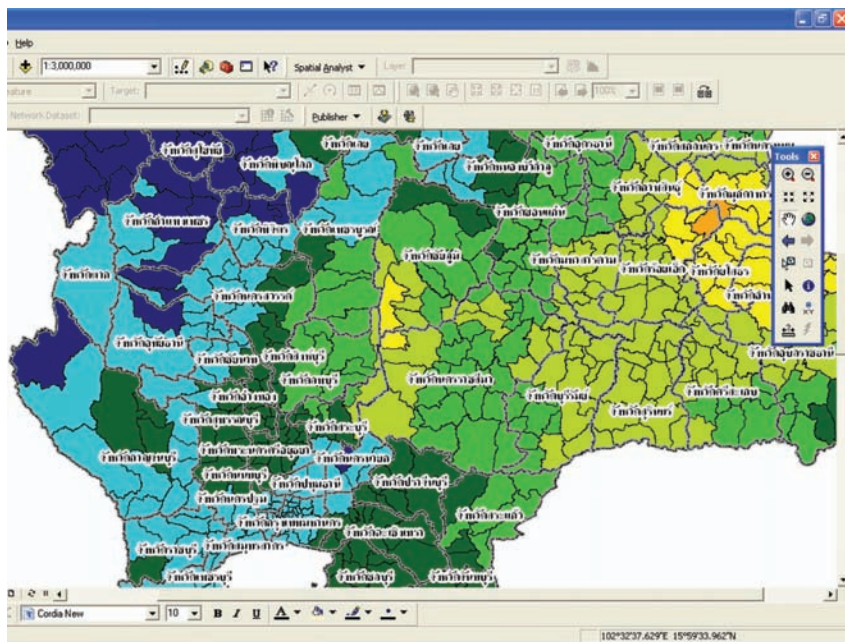
$$\frac{P_w}{A} = \frac{1}{2}\rho V^3 \quad (2)$$

เทอม  $\frac{P_w}{A}$  เรียกว่า “Wind Power Density” ซึ่งก็คือพลังงานลมสูงสุดต่อ 1 หน่วยพื้นที่กวาด (swapt area) ของกังหันลม ดังนั้น จึงมีหน่วยเป็น “วัตต์/ตร.ม.” ( $\text{Watt/m}^2$ ) แผนภาพพลังงานลมสร้างโดยการคำนวณ Wind Power Density จากข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง ทุกๆ ชั่วโมง แล้วหาค่าผลรวมในแต่ละเดือนนั้นๆ จากนั้นจึงสร้างเป็นแผนภาพพลังงานลมขึ้นมา โดยแบ่งชั้นพลังงานลมเป็นช่วงละ 100 วัตต์/ตร.ม.

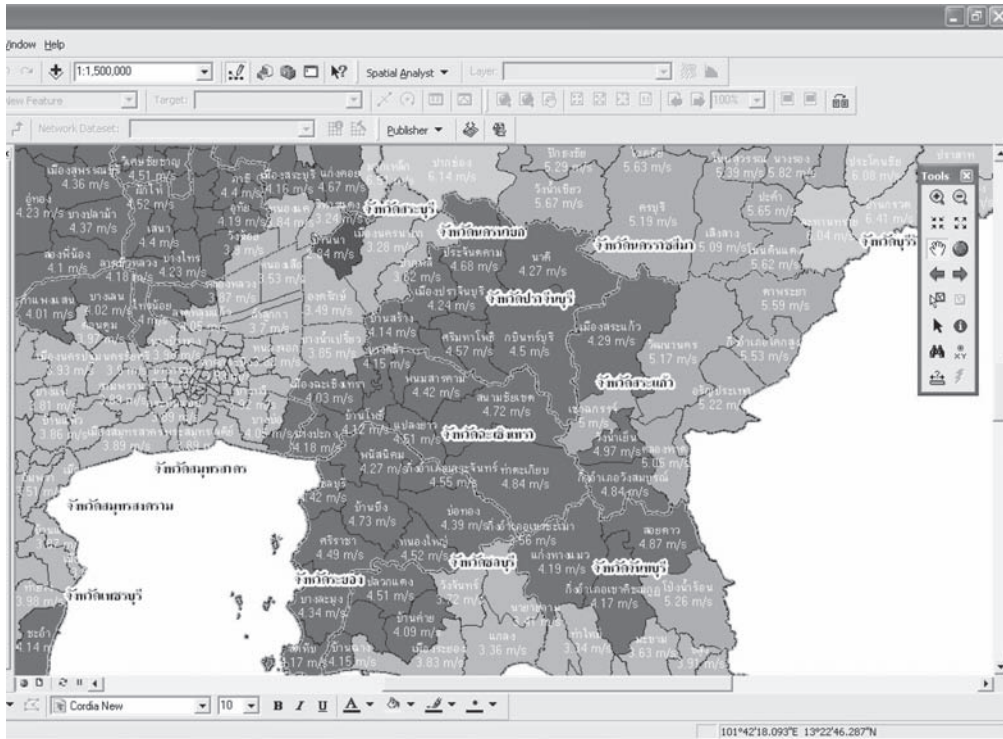
5. จัดเก็บฐานข้อมูลความเร็วลมและพลังงานลมในระบบ GIS เนื่องจากข้อมูลความเร็วลมและพลังงานลมที่ทำการศึกษามีจำนวนมาก เมื่อนำมาแสดงผลด้วยรูปแผนภาพพลังงานลมของทั้งประเทศไทยแล้ว ยังอาจไม่ให้อารยะละเอียดของข้อมูลมากพอสำหรับผู้ที่ต้องการจะนำไปใช้งานจริง ดังนั้นจึงได้ทำการจัดเก็บข้อมูลความเร็วลมและพลังงานลมที่ระดับความสูงต่างๆ ได้แก่ 30, 50, 70, 100, 150 และ 200 ม. ในระบบ GIS โดยมีการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลอื่นๆ ได้แก่ เขตการปกครอง ทางหลวง ทางรถไฟ ทางน้ำ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้โดยสะดวก ซึ่งฐานข้อมูลดังกล่าวได้ดำเนินการจัดส่งให้สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับเผยแพร่ให้กับผู้ที่ต้องการข้อมูลต่อไป ตัวอย่างของข้อมูลความเร็วลมและพลังงานลมในระบบ GIS แสดงอยู่ในรูปที่ 3



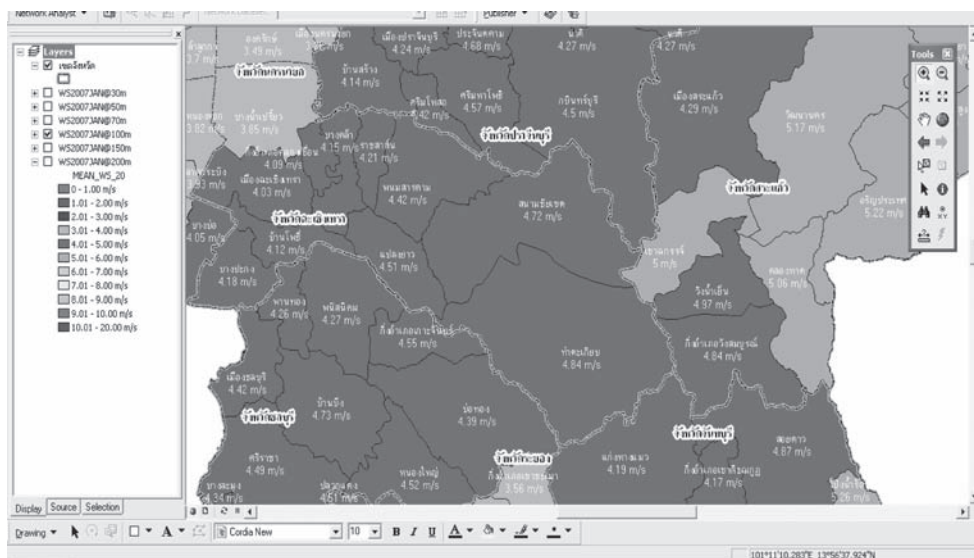
รูปที่ 3 ตัวอย่างฐานข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยเดือนมกราคม พ.ศ. 2550 บนระบบ GIS



รูปที่ 4 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลลมเฉลี่ยรายอำเภอที่มาตราส่วน 1:3,000,000



รูปที่ 5 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลลมเฉลี่ยรายอำเภอที่มาตราส่วน 1:1,500,000



รูปที่ 6 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลลมเฉลี่ยรายอำเภอที่มาตราส่วน 1:750,000



## 5. ผลการวิจัย

เพื่อประเมินความแม่นยำของผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ จึงนำผลการคำนวณความเร็วลมของปี พ.ศ. 2548-2550 ทุกๆ ชั่วโมงเปรียบเทียบกับสถานีตรวจวัดลมของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานีในเขตจตุจักร กรุงเทพฯ, สถานีคุ้มครองสวัสดิภาพเด็กภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดระยอง, องค์การสื่อสารมวลชนแห่งประเทศไทย จังหวัดขอนแก่น, โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีการตรวจวัดลมอยู่ 3 ระดับความสูง คือที่ระดับความสูง 10, 50 และ 100 ม. มาใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ ซึ่งพบว่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 ม. ทั้งจากข้อมูลการตรวจวัดและผลการคำนวณพบว่าอยู่ในระดับศักยภาพพลังงานลมต่ำ (Poor) เนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยส่วนใหญ่ไม่เกิน 2 ม./วินาที ซึ่งความเร็วลมขนาดนี้ไม่มีความสำคัญที่จะประเมินศักยภาพพลังงานลม เพราะโดยทั่วไปจะถูกประเมินว่าไม่มีศักยภาพ ดังนั้น จึงทำการเปรียบเทียบผลความเร็วลมที่ระดับ 50 และ 100 ม. เท่านั้น

ผลการเปรียบเทียบความเร็วลมพบว่า ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมีความสอดคล้องอย่างดีกับผลการตรวจวัดข้อมูลจริงที่ระดับความสูง 50 และ 100 ม. โดยการเปรียบเทียบผลใช้ดัชนี Factor of Two (FA2)[10] ซึ่งเป็นดัชนีที่นิยมใช้สำหรับการประเมินความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ  $FA2 = S_i/O_i$  โดยที่  $S_i$  คือข้อมูลลมจากการคำนวณ  $O_i$  คือ ข้อมูลจากการตรวจวัด และ  $i$  คือ จำนวนข้อมูลการตรวจวัด ถ้า  $0.5 \leq FA2 \leq 2$  จะถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ ส่วนร้อยละของ FA2 คำนวณมาจากร้อยละของจำนวนค่าที่ตกอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลการคำนวณจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อร้อยละของ FA2 มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 60 ขึ้นไป [2-10] ผลการเปรียบเทียบข้อมูลลมจากการคำนวณกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริงในแต่ละเดือนพบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในดัชนี FA2 เกินกว่าร้อยละ 75 ดังรายละเอียดตามตารางที่ 1 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติที่ใช้ในการศึกษาและวิจัยนี้ มีความแม่นยำสูงสำหรับการศึกษาข้อมูลลม

**ตารางที่ 1** ร้อยละของผลการเปรียบเทียบความเร็วลมจากคำนวณด้วยแบบจำลอง RAMS กับค่าการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดเสาสูง 5 สถานี ของกรมควบคุมมลพิษที่ระดับความสูง 50 ม. และ 100 ม. ที่อยู่ในดัชนี Factor of Two ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2550

	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2	FA2
50 ม.	75	73	73	72	76	85	90	87	75	71	68	77
100 ม.	78	74	73	68	72	83	88	84	69	65	64	78

หมายเหตุ จำนวนชุดข้อมูลที่เปรียบเทียบขึ้นกับข้อมูลการตรวจวัด หากไม่มีข้อมูลตรวจวัดในชั่วโมงใด ข้อมูลชั่วโมงนั้นจะไม่มีการเปรียบเทียบผล

ผลการวิจัยพบว่าช่วงเวลาที่ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมดีที่สุดของปีมีอยู่ 2 ช่วงเวลา คือ ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีอิทธิพลสูงต่อสภาพภูมิอากาศของประเทศ และในอีกช่วงหนึ่งคือ เดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีอิทธิพลสูง พื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือน

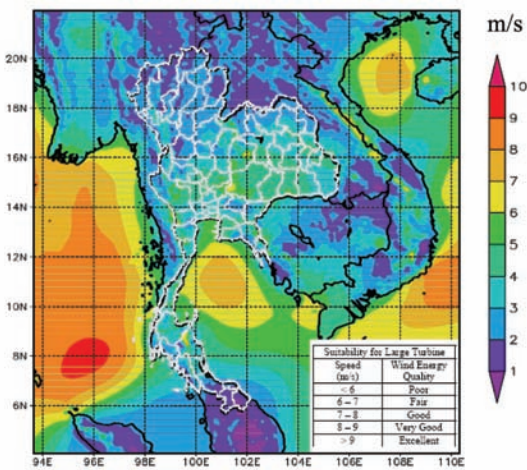
สิงหาคมพบว่าอยู่บริเวณด้านทิศตะวันตกของประเทศ ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี โดยที่ระดับความสูง 50 ม.เหนือพื้นดิน มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 7-8 ม./วินาที ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ร้อยต่อจังหวัด ลพบุรี สระบุรี นครราชสีมา ชัยภูมิ ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 7-8 ม./วินาที และภาคใต้ ได้แก่ จังหวัด สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ตรัง รวมทั้ง แนวชายฝั่ง

ทะเลด้านอ่าวไทยที่สงขลาและปัตตานี มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 8-9 ม./วินาที ส่วนที่จังหวัดนครศรีธรรมราชความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 9-10 ม./วินาที โดยมีศักยภาพพลังงานลมสูงสุดประมาณ 600-700 วัตต์/ตร.ม. พื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดชัยภูมิ ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ มุกดาหาร อำนาจเจริญ ยโสธร อุบลราชธานี และภาคใต้ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดระหว่าง 8-9 ม./วินาที มีศักยภาพพลังงานลม

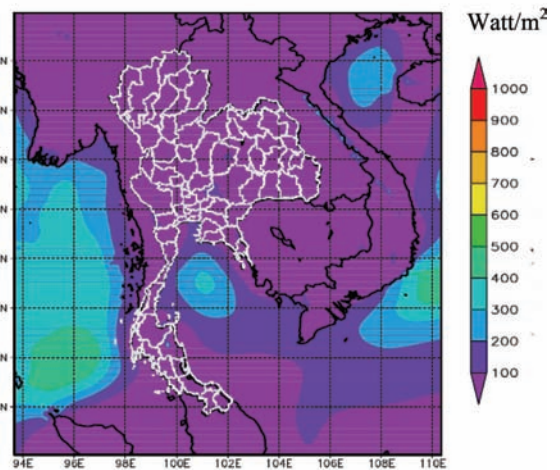
สูงสุดประมาณ 400-500 วัตต์/ตร.ม. นอกจากนี้พบว่าที่ระดับความสูง 100 ม.เหนือพื้นดินบริเวณที่ความเร็วลมเฉลี่ยสูงจะมากกว่าบริเวณที่มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 50 ม. พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยนอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ แผนที่ความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนดูได้จากระบบ GIS ซึ่งได้จัดทำลงบนแผ่นซีดี

ตัวอย่างแผนภาพความเร็วลมและพลังงานลม แสดงอยู่ในรูปที่ 7 – รูปที่ 9

แผนภาพความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน

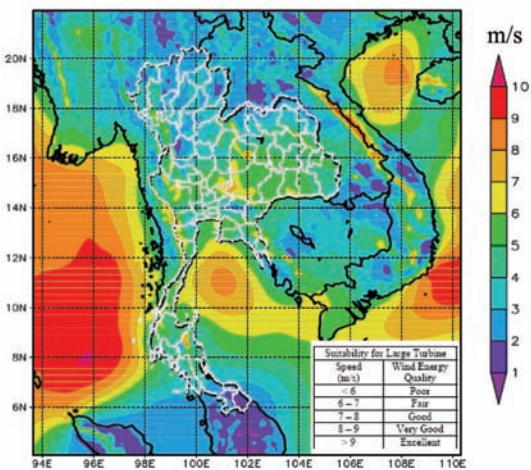


แผนภาพพลังงานลมรายเดือน

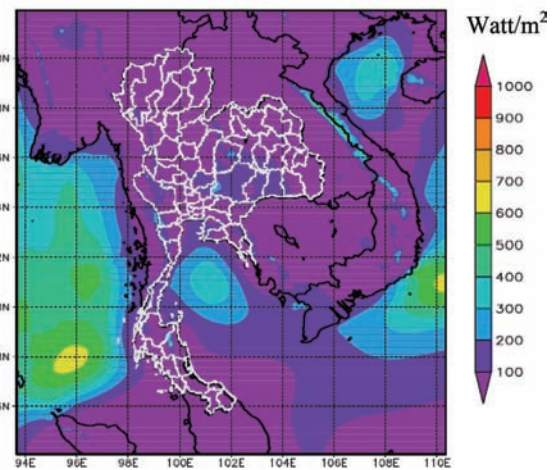


ก. ที่ระดับความสูง 50 ม.

แผนภาพความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน



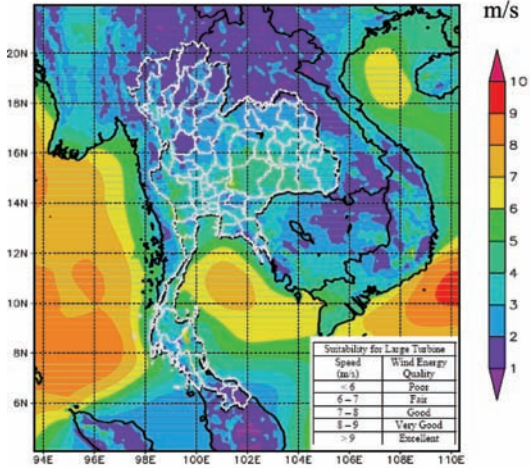
แผนภาพพลังงานลมรายเดือน



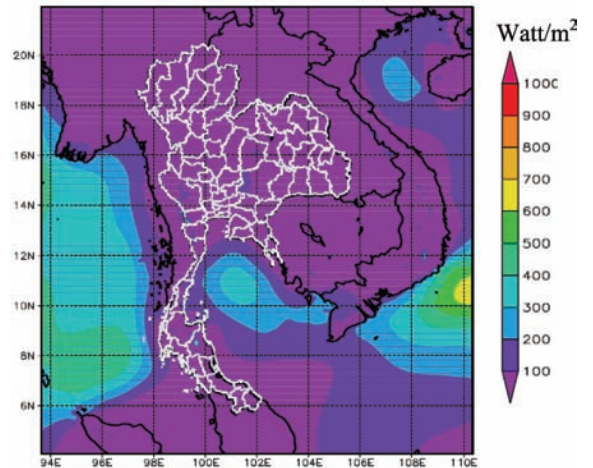
ข. ที่ระดับความสูง 100 ม.

รูปที่ 7 แผนภาพความเร็วลมและพลังงานลม เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2548

แผนภาพความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน

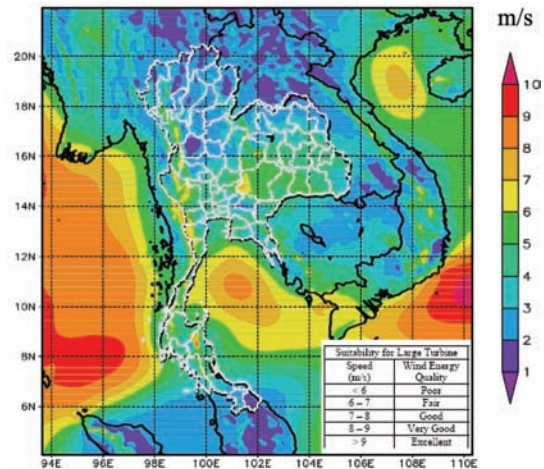


แผนภาพพลังงานลมรายเดือน

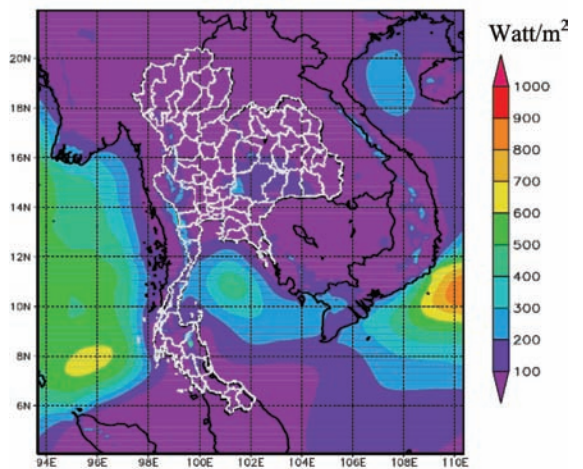


ก. ที่ระดับความสูง 50 ม.

แผนภาพความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน



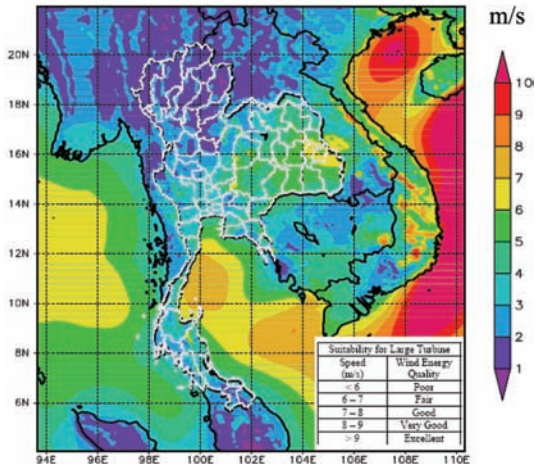
แผนภาพพลังงานลมรายเดือน



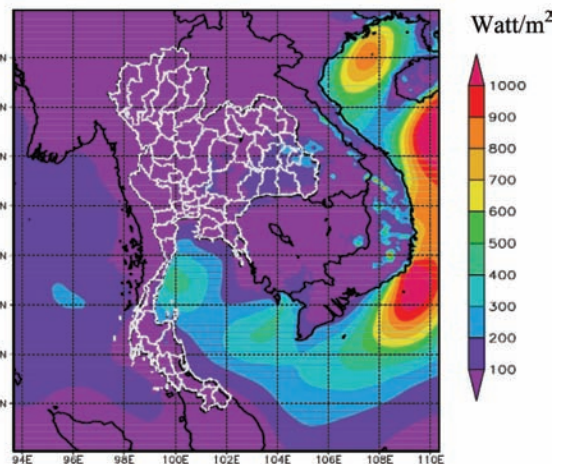
ข. ที่ระดับความสูง 100 ม.

รูปที่ 8 แผนภาพความเร็วลมและพลังงานลม เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548

แผนภาพความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน

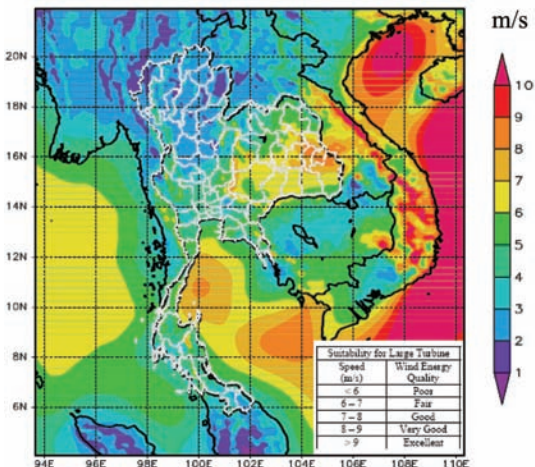


แผนภาพพลังงานลมรายเดือน

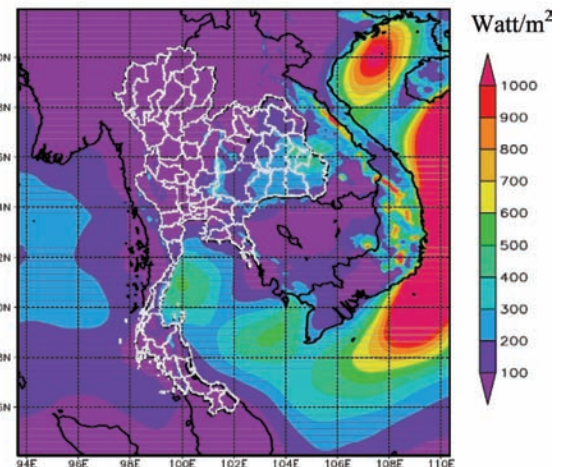


ก. ที่ระดับความสูง 50 ม.

แผนภาพความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน



แผนภาพพลังงานลมรายเดือน



ข. ที่ระดับความสูง 100 ม.

รูปที่ 9 แผนภาพความเร็วลมและพลังงานลม เดือนธันวาคม พ.ศ. 2548

## 6. สรุปผลการศึกษา

ผลจากการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลของศักยภาพพลังงานลม และแหล่งพลังงานลมของประเทศไทย โดยคาดว่าข้อมูลที่ได้ดังกล่าวจะมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการศึกษาที่ได้ดำเนินการไว้ก่อนหน้านี้ ทั้งนี้จากการที่การออกแบบกังหันลมจะต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีลักษณะของลมในพื้นที่ และความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์มาประกอบกัน ดังนั้นหากข้อมูลลมของประเทศไทยมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น การดำเนินการออกแบบ และการประเมินการลงทุนจะสามารถทำได้แม่นยำมากยิ่งขึ้นไปด้วย ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของราคากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกระแสลม และจะส่งผลต่อราคาค่ากระแสไฟฟ้าของประเทศต่อไปในอนาคต ดังนั้นหากต้องการลดต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมให้ต่ำสุด จะต้องรู้ข้อมูลคุณลักษณะของลม เพื่อให้สามารถออกแบบกังหันลมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั่นเอง

## 7. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1. ควรส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องกังหันลมขนาดเล็กที่เหมาะสมกับความเร็วลมของประเทศไทย อย่างเป็นรูปธรรม
2. การศึกษานี้ทำให้ทราบแหล่งที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงในประเทศไทย อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ทำการคำนวณที่ความละเอียด 10 x 10 กม. ซึ่งควรใช้แบบจำลองทำการคำนวณเพิ่มเติมที่ละเอียดในระดับความละเอียดอย่างน้อย 1 กม. เพื่อการคำนวณ จะได้รวมกระบวนการในบรรยากาศที่มีขนาดเล็ก (Small-scale atmospheric process) และได้ทราบถึงตำแหน่งติดตั้งที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
3. การพิจารณาความเหมาะสมในการติดตั้งกังหันลม ควรศึกษาร่วมกับปัจจัยด้านอื่นๆ เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ความสะดวกในการเข้าถึง จุดเชื่อมต่อกับสายส่ง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
4. ควรมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยละเอียดเพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนการใช้กังหันลมในพื้นที่ที่เป็นแหล่งที่มีศักยภาพพลังงานลมดี

## 8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยประเภทโครงการต่อยอดผลงานวิจัยและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ไปสู่การใช้ประโยชน์ประจำปีงบประมาณ 2551 อนึ่ง งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงอย่างดีเนื่องด้วยการสนับสนุนข้อมูลสำหรับการวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และกรมควบคุมมลพิษ (คพ.) คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

## 9. เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544, แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย
2. Sopian, K., Othman, M.Y.H., and Wirsat, A., 2005, "The Wind Energy Potential of Malaysia", *Renewable Energy*, Vol. 6, No. 8, pp. 1005-1016.
3. Algifri, A.H., 1998, "Wind Energy Potential in Aden-Yemen", *Renewable Energy*, Vol. 13, No. 2, pp. 255-260.
4. Chang, T.-J., Wu, Y.T., Hsu, H.Y., Chu, C.R. and Liao, C.M., 2003, "Assessment of Wind Characteristics and Wind Turbine Characteristics in Taiwan", *Renewable Energy*, Vol. 28, No. 6, pp. 851-871.
5. Sturman, A.P., Zawar-Reza, P., Green, M.P., and Titov, M., 2005, "Developments in the Analysis and Forecasting of the Wind Energy Resource in New Zealand", *The 4<sup>th</sup> Annual Wind Energy Association Conference*, 3-4 November 2005. Melbourne, Australia.
6. Finardi, S., Tinarelli, G., Faggian, P., and Brusasca, G., 1998, "Evaluation of Different Wind Field Modeling Techniques for Wind Energy Applications over Complex Topography", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 74-76, pp. 283-294.

7. Yamaguchi, A., Ishiharat, T., and Fujino, Y., 2003, "An Assessment of Offshore Wind Energy Potential using Mesoscale Model and GIS", *European Wind Energy Conference*.
8. Lebassi, B. and Buskirk, R.V., *Numerical Simulation of Wind Distributions for Resource Assessment in Southeastern Eritrea, East Afirica* [cited; Available from: <http://water-energy.lbl.gov/index.php?windenergyforwatersupplyineritrea>.
9. Sathitkunararat, S., Zhang, M., Pan-Aram, R., and Wongwises, P., 2006, "Carbon Monoxide Emission and Concentration Models for Chiang Mai Urban Area", *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. 23, No. 6, pp. 901-908.
10. Chang, J.C. and Hanna, S.R., 2005, *Technical Descriptions and User's Guide for the BOOT Statistical Model Evaluation Software Package, Version 2.0*.