การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

Statistical Analyses of Wind Energy and Solar Energy for Nakhonratchasima Thailand

ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ*[1] สงวน ปัทมธรรมกุล[2] ธำรง เปรมปรีดิ์[3]
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ถนนมิตรภาพ ตำบลบ้านเกาะ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย Email: KEAWSA2000@YAHOO.COM

Yuttachai Keawsuntia*[1] Sanguan Patamatamkul[2] Thamrong Prempridi[3]
Department of Engineering Management, Faculty of Engineering,
Vongchavalitkul University, Muang, Thailand, 30000 Email: keawsa2000@yahoo.com

บทคัดย่อ

พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงและเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด บทความนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งวัดได้ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2540 – พ.ศ.2550) โดยใช้หลักการทางสถิติรวมถึงสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นกับค่าพลังงานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการศึกษาพบว่า พลังงานลมมีการแจกแจงข้อมูลแบบ Exponential ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9855 และมีสมการฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นคือ $f(x)=0.0868e^{-(x/11.52)}$ ในส่วนพลังงานแสงอาทิตย์มีการแจกแจงข้อมูลแบบ Maximum Extreme ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.991 และมีสมการฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นคือ $f(x)=0.749e^{-(x-17.191)/1.333}$ ค่าเฉลี่ยพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาเท่ากับ 11.521 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 16.421 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ

Abstract

Wind energy and the solar energy are alternative energy for compensate the fuel energy, that does not cause pollution. Due to both of them are clean and renewable energy source whose applications exist worldwide. This paper describes a study of the wind energy and the solar energy was measured during the year 1997 – 2007 at Nakhonratchasima province, Thailand, by using the probability distribution method. Equation of probability density function and their correlation coefficients were analyzed using monthly average. From the studies results, wind energy can be fitted with an Exponential distribution to the data, the correlation coefficient was 0.985; the equation of probability density function was $f(x)=0.0868e^{-(x/11.52)}$. The solar energy can be fitted with a Maximum Extreme distribution to the data, the correlation coefficient was 0.991; the equation of probability density function was $f(x)=0.749e^{-(x-17.191)/1.333}$. The average energy in the wind and the average of solar energy are equal 11.521 W/m^2 and 16.421 MJ/ (m^2 .day) respectively.

1. บทนำ

ปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคต นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งจากการเผาไหม้โดยตรงและผลกระทบทางอ้อม ทุกประเทศรวมถึงประเทศไทยจึงได้ให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนโดยเฉพาะพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกมากขึ้น การใช้พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งเป็นผลให้โลกร้อนขึ้น รวมทั้งช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากภายนอกประเทศได้อีกทางหนึ่ง สำหรับศักยภาพของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถประมาณค่าเบื้องต้นได้จากข้อมูลของสถานีตรวจวัดอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร [1] ซึ่งข้อมูลที่ได้จะใช้สำหรับการพยากรณ์อากาศรวมถึงการคมนาคมทางอากาศเป็นหลัก แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องความไม่แน่นอนและความ

แปรปรวนของข้อมูลเนื่องจากยังไม่ได้มีการวิเคราะห์โดยใช้หลักสถิติ ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ออกแบบอุปกรณ์เช่น กังหันลมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อรองรับการใช้พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นการจัดทำข้อมูลจึงมีความสำคัญต่อการออกแบบอุปกรณ์สำหรับนำมาใช้งานกับแหล่งพลังงานประเภทนี้ เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถออกแบบได้ภายใต้ความแปรปรวนของข้อมูลสภาพอากาศดังกล่าว การจัดทำข้อมูลจึงเป็นวิธีการปรับข้อมูลที่แปรปรวนให้เป็นที่ยอมรับได้ในขั้นตอนการออกแบบ สำหรับการวิเคราะห์ค่าพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีผู้ทำการศึกษาก่อนนี้บางส่วนโดยเป็นการศึกษาเฉพาะพื้นที่เช่น พื้นที่จังหวัดกรุงเทพฯ ดังเอกสารหมายเลข [2],[3] และพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ [4]

งานวิจัยนี้ได้เลือกจังหวัดนครราชสีมาเป็นพื้นที่ศึกษา โดยมุ่งเน้นถึงการศึกษาและวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาซึ่งวัดได้ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2540 – พ.ศ.2550) โดยใช้หลักการทางสถิติรวมถึงสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นกับค่าพลังงานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับเป็นตัวแทนค่าพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครราชสีมา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

2. รูปแบบการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของศักยภาพพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งนี้ ได้ใช้รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นทั้งหมด 6 รูปแบบ คือ การแจกแจงแบบ Exponential, Weibull, Minimum Extreme Value, Maximum Extreme Value, Normal และ Log Normal ซึ่งแต่ละรูปแบบการแจกแจงมีรายละเอียดดังนี้ [5]

2.1 การแจกแจงแบบ Exponential มีค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$F(x) = 1 - exp(-x/\theta) \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\theta} e(-x/\theta) \quad (2)$$

เมื่อ θ คือ พารามิเตอร์ขนาด (Scale Parameter) ค่าเฉลี่ย (μ) ของข้อมูลหาได้จากสมการที่ (3)

$$\mu = \theta \quad (3)$$

2.2 การแจกแจงแบบ Weibull มีค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$F(t) = 1 - exp\left[-(t/\theta)^m\right] \quad (4)$$

$$f(t) = \frac{m}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1} exp\left[-(t/\theta)^m\right] \quad (5)$$

เมื่อ θ คือ พารามิเตอร์ขนาด (Scale Parameter) และ m คือ พารามิเตอร์บอกลักษณะ (Shape Parameter) ค่าเฉลี่ย (μ) ของข้อมูลหาได้จากสมการที่ (6)

$$\mu = \theta\Gamma(1+1/m) \quad (6)$$

2.3 การแจกแจงแบบ Minimum Extreme Value มีค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$F(x) = 1 - exp\left[-exp\left((x-u)/\Theta\right)\right] \quad (7)$$

$$f(x) = \frac{1}{\Theta} exp\left[(x-u)/\Theta\right] exp\left[-exp\left((x-u)/\Theta\right)\right] \quad (8)$$

เมื่อ Θ คือ พารามิเตอร์ขนาด (Scale Parameter) และ u คือ พารามิเตอร์บอกตำแหน่ง (Location Parameter) ค่าเฉลี่ย (μ) ของข้อมูลหาได้จากสมการที่ (9)

$$\mu = u - \gamma\Theta \quad (9)$$

โดยที่ γ เท่ากับ 0.5772157

2.4 การแจกแจงแบบ Maximum Extreme Value มีค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังสมการที่ (10) และ (11) ตามลำดับ

$$F(x) = exp\left[-exp\left(-(x-u)/\Theta\right)\right] \quad (10)$$

$$f(x) = \frac{1}{\Theta} exp\left[-(x-u)/\Theta\right] exp\left[-exp\left(-(x-u)/\Theta\right)\right] \quad (11)$$

ค่าเฉลี่ย (μ) ของข้อมูลหาได้จากสมการที่ (12)

$$\mu = u + \gamma\Theta \quad (12)$$

2.5 การแจกแจงแบบ Normal มีค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังสมการที่ (13) และ (14) ตามลำดับ

$$F(x) = \Phi\left[(x-\mu)/\sigma\right] \quad (13)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (14)$$

เมื่อ $\Phi(\bullet)$, μ และ σ คือ ค่าฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามลำดับ

2.6 การแจกแจงแบบ Log Normal มีค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) และมีฟังก์ชันการแจกแจง

ความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังสมการที่ (15) และ (16) ตามลำดับ

$$F(t) = \Phi\left[\frac{1}{\omega} ln(t/t_0)\right] \quad (15)$$

$$f(t) = \frac{1}{t\omega} exp\left\{-\frac{1}{2\omega^2}[ln(t/t_0)]^2\right\} \quad (16)$$

ค่าเฉลี่ย (μ) ของข้อมูลหาได้จากสมการที่ (17)

$$\mu = y_0 \, exp(\omega^2/2) \quad (17)$$

3. การแปลงรูปแบบการแจกแจงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น

หลังจากรวบรวมข้อมูลพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2550 จากนั้นได้หาค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ในแต่ละเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2540 -2550

เดือน	พลังงานลม (W/m^2)	พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ/m^2 .day)
มกราคม	8.2944	16.61925
กุมภาพันธ์	6.3888	17.787
มีนาคม	4.8	18.52475
เมษายน	2.4576	20.5176
พฤษภาคม	4.8	19.5235
มิถุนายน	13.1712	19.0086
กรกฎาคม	19.6608	18.2638
สิงหาคม	30.3918	17.5156
กันยายน	4.1154	16.21675
ตุลาคม	8.2944	17.4846
พฤศจิกายน	16.2	16.7698
ธันวาคม	21.5622	16.1226

ในการวิเคราะห์หารูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งนี้ ได้ทำการแปลงรูปแบบการแจกแจงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นดังสมการที่ (18) เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, R^2 ดังสมการที่ (19)

สมการเชิงเส้น

$$y = ax + b \quad (18)$$

เมื่อ $$a = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

สมการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, R^2

$$R^2 = \frac{\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i y_i) - \bar{x}\cdot\bar{y}\right)^2}{\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - \bar{x}^2\right)\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}y_i^2 - \bar{y}^2\right)} \quad (19)$$

ในการแปลงการแจกแจงแต่ละรูปแบบให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นสามารถแปลงได้ดังนี้

3.1 การแจกแจงแบบ Exponential จากสมการที่ (1) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$y = ln\left[\frac{1}{1-F(x)}\right] \quad (20)$$

$$\frac{1}{\theta} = a \quad (21)$$

3.2 การแจกแจงแบบ Weibull จากสมการที่ (4) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$y = ln\,ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right] \quad (22)$$

$$x = ln\,t \quad (23)$$

$$m = a \quad (24)$$

$$\theta = exp(-b/a) \quad (25)$$

3.3 การแจกแจงแบบ Minimum Extreme Value จากสมการที่ (7) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$y = ln\,ln\left[\frac{1}{F(x)}\right] \quad (26)$$

$$\Theta = -1/a \quad (27)$$

$$u = -b/a \quad (28)$$

3.4 การแจกแจงแบบ Maximum Extreme Value จากสมการที่ (10) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$y = ln\,ln\left[\frac{1}{F(x)}\right] \quad (29)$$

$$\Theta = -1/a \quad (30)$$

$$u = -b/a \quad (31)$$

3.5 การแจกแจงแบบ Normal จากสมการที่ (13) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$y = \Phi^{-1}(F(x)) \quad (32)$$

$$\sigma = 1/a \quad (33)$$

$$\mu = -b/a \quad (34)$$

3.6 การแจกแจงแบบ Log Normal จากสมการที่ (15) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

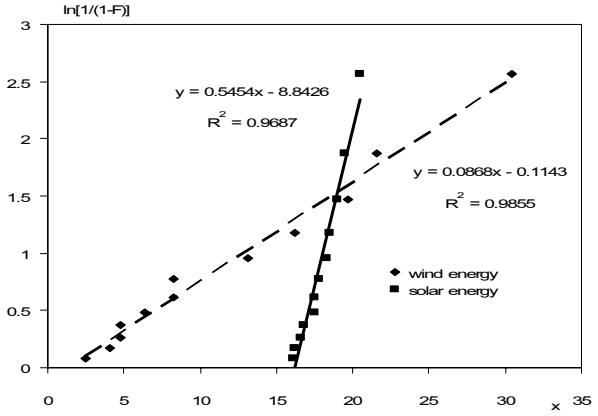
$$y = \Phi^{-1}(F(t)) \quad (35)$$

$$\omega = 1/a \quad (36)$$

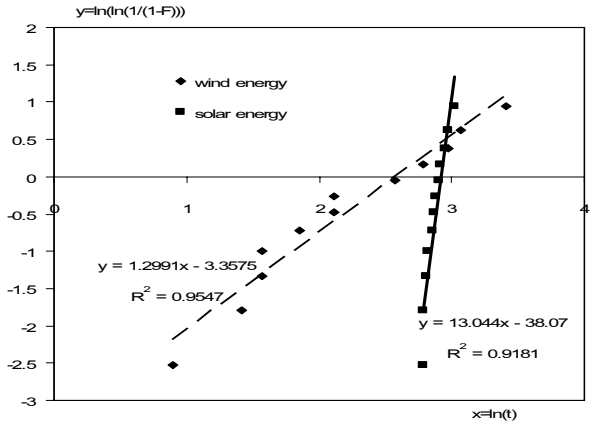
$$t_0 = exp(-b/a) \quad (37)$$

4. ผลการศึกษา

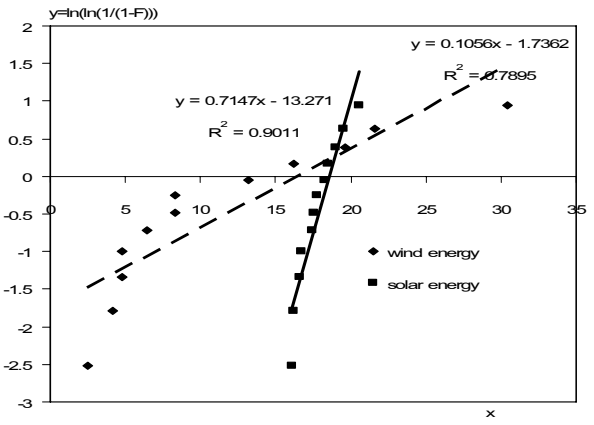
จากข้อมูลพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครราชสีมาในระหว่างปี พ.ศ. 2540 – พ.ศ.2550 เมื่อนำมาปรับให้เป็นสมการเชิงเส้นตามรูปแบบการแจกแจงดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ถึง รูปที่ 6



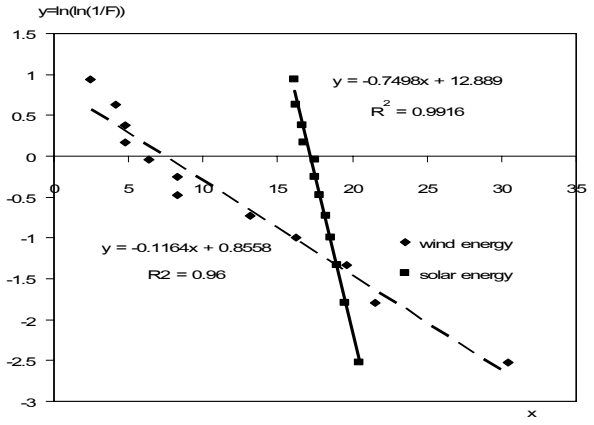
รูปที่ 1 การแจกแจงแบบ Exponential



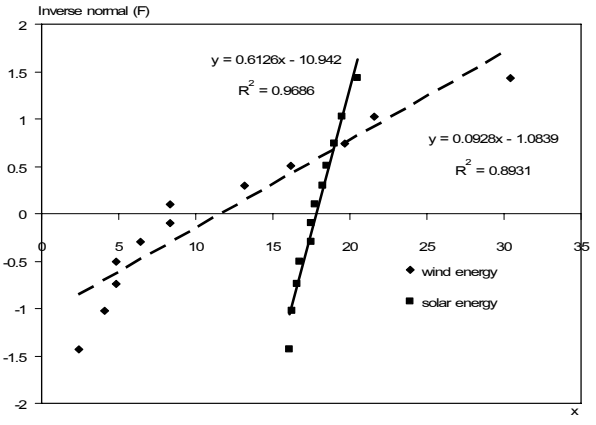
รูปที่ 2 การแจกแจงแบบ Weibull



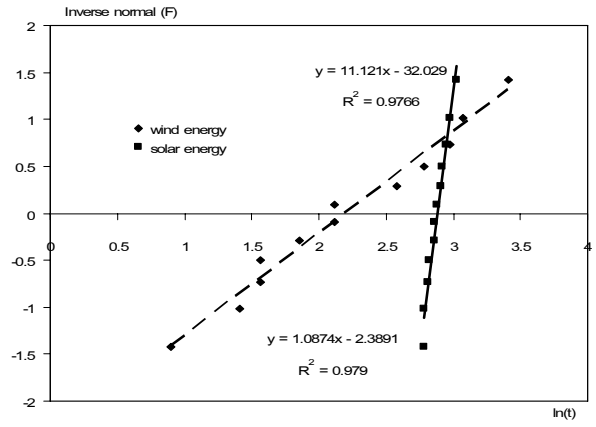
รูปที่ 3 การแจกแจงแบบ Minimum Extreme Value



รูปที่ 4 การแจกแจงแบบ Maximum Extreme Value



รูปที่ 5 การแจกแจงแบบ Normal



รูปที่ 6 การแจกแจงแบบ Log Normal

จากรูปที่ 1 ถึง 6 แสดงการแจกแจงข้อมูลพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในรูปสมการเชิงเส้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ a, b และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 ในแต่ละการแจกแจงข้อมูลของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ได้แสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การแจกแจงข้อมูลพลังงานลม

การแจกแจงข้อมูล	สัมประสิทธิ์ a	สัมประสิทธิ์ b	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2
Exponential	0.0868	- 0.1143	0.9855
Weibull	1.2991	- 3.3575	0.9547
Maximum Extreme	- 0.1164	0.8558	0.96
Minimum Extreme	0.1056	- 1.7362	0.7895
Normal	0.6126	- 10.942	0.9686
Log Norma	11.121	-32.029	0.9766

ตารางที่ 3 การแจกแจงข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์

การแจกแจงข้อมูล	สัมประสิทธิ์ a	สัมประสิทธิ์ b	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2
Exponential	0.5454	- 8.8426	0.9687
Weibull	13.044	- 38.07	0.9181
Maximum Extreme	- 0.7498	12.889	0.9916
Minimum Extreme	0.7147	- 13.271	0.9011
Normal	0.6126	- 10.942	0.9686
Log Normal	11.121	-32.029	0.9766

จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่า ข้อมูลพลังงานลมในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาสามารถเข้ารูปสนิทกับการแจกแจงแบบ Exponential ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9855 โดยค่าสัมประสิทธิ์ a และ b มีค่าเท่ากับ 0.0868 และ -0.1143 ตามลำดับ เมื่อนำค่า a และ b แทนลงในสมการที่ (21) จากนั้นนำค่า θ ที่ได้แทนในสมการที่ (3) และ (2) สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยพลังงานลมได้เท่ากับ 11.521 วัตต์ต่อตารางเมตร และได้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของพลังงานลมคือ $f(x) = 0.0868e^{-(x/11.52)}$ ตามลำดับ ส่วนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเข้ารูปสนิทกับการแจกแจงแบบ Maximum Extreme Value ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9916 โดยค่าสัมประสิทธิ์ a และ b มีค่าเท่ากับ – 0.7498 และ 12.889 ตามลำดับ เมื่อนำค่า a และ b แทนลงในสมการที่ (30) และ (31) จากนั้นนำค่า u และ Θ ที่ได้แทนในสมการที่ (12) และ (11) สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 16.421 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และได้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของพลังงานแสงอาทิตย์คือ $f(x) = 0.749e^{-(x-17.191)/1.333}$

5. สรุป

จากการศึกษาศักยภาพพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างปี พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2550 โดยอาศัยหลักการทางสถิติ พบว่า พื้นที่จังหวัดนครราชสีมามีพลังงานลมเฉลี่ยเท่ากับ 11.521 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นคือ $f(x) = 0.0868e^{-(x/11.52)}$ ส่วนพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 16.421 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นคือ $f(x) = 0.749e^{-(x-17.191)/1.333}$

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมอุตุนิยมวิทยา www.tmd.go.th

[2] เสริม จันทร์ฉาย “ลักษณะทางสถิติของพลังงานแสงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ” ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2532

[3] พิชัย นามประกาย, ศิริชัย เทพา และคณะ “การประมาณทางสถิติของค่ารังสีอาทิตย์สำหรับกรุงเทพ ฯ” คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2532

[4] เดช ดำรงศักดิ์ และ ยงยศ วุฑฒิโกวิทย, “การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, 18-20 ตุลาคม 2547

[5] E. E. Lewis,”Introduction to Reliability Engineering” Department of Mechanical Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois, 1994.