

การจัดหาข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานของกรุงเทพมหานคร The Selection of Standard Meteorological Data of Bangkok

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

ข้อมูลภูมิอากาศรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานครที่ทำการตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 16 ปี ถูกนำมาคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับใช้เป็นข้อมูลขาเข้าของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณการใช้พลังงานของอาคารตลอดปี การคัดเลือกกระทำโดยวิธี 2 วิธี คือ วิธี Test Reference Year (TRY) และวิธี Typical Meteorological Year (TMY) จากการคัดเลือกแบบ TRY โดยใช้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเป็นพารามิเตอร์ในการเลือกจะได้ข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ. 2537 เป็นข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน ในขณะที่หากเลือกใช้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์เป็นพารามิเตอร์ในการเลือกจะได้ข้อมูลภูมิอากาศ ปี พ.ศ. 2527 เป็นข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน สำหรับการคัดเลือกด้วยวิธีแบบ TMY จะมีการนำเอารังสีแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพารามิเตอร์หลักในการเลือก รวมทั้งใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง จุดน้ำค้าง และความเร็วลม เป็นพารามิเตอร์ประกอบในการเลือกที่มีความสำคัญน้อยกว่า การเลือกจะใช้การถ่วงน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ที่พิจารณา และวิธีทางสถิติ อาทิเช่น การใช้ค่าความถี่ยี่สิบสองค่า Root Mean Square Difference และสมการทางสถิติอื่นๆ เป็นต้น จากการวิเคราะห์จะได้ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานที่มีตัวแทนเป็นข้อมูลภูมิอากาศของแต่ละเดือนแต่ละปีที่เหมาะสมในปีที่ต่างๆ กันไป

Abstract

16 years of meteorological data of Bangkok collected by the Meteorological Department are used to

select as the standard meteorological data. The data are then used as input data to the energy simulation computer program for building to calculate the yearly energy usage. Two methods of selection are performed to find the standard meteorological data. They are Test Reference Year (TRY) method and Typical Meteorological Year (TMY) method. With the TRY method, the meteorological data of the year 2537 is chosen as the standard meteorological data when the dry bulb temperature is used as the key parameter in the selection process. While the meteorological data of the year 2527 is chosen as the standard meteorological data when the solar radiation is used as the key parameter in the selection process. For the TMY method, the solar radiation becomes the key parameter while the dry bulb temperature, dew point, and wind velocity become the less priority parameters. The selection involves the process of applying different weighting factors to certain parameters and also involves the statistical evaluation methods such as cumulative frequency distribution function, root mean square difference, and other related statistical equations, etc. From the analysis, the standard meteorological data for selected month in different years are obtained.

1. บทนำ

ในการทำนายการใช้พลังงานของอาคารหรือการวิเคราะห์หาสมรรถนะของหน่วยผลิตพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นข้อมูลหนึ่งของข้อมูลภูมิอากาศจะเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ถูกใช้ในการวิเคราะห์ และเนื่องจากข้อมูลภูมิอากาศนั้นมักจะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละปี ปัญหาจึงเกิดขึ้นตรงที่ว่าจะใช้ข้อมูลภูมิอากาศปีใดเป็นตัวแทนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งการนำข้อมูลภูมิอากาศจำนวนหลายปีมาเฉลี่ยไม่นับว่าเป็นวิธีที่เหมาะสม การหาตัวแทนของข้อมูลภูมิอากาศที่เหมาะสมสามารถทำได้หลายรูปแบบแล้วแต่เงื่อนไขของการนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ ASHRAE [1] ได้เสนอวิธีการหาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเพื่อเป็นตัวแทนที่ใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศ โดยทำการเลือกค่าอุณหภูมิที่เป็นค่าสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นเพียง 0.4% 1.0% และ 2.0% ของกลุ่มข้อมูลอุณหภูมิตลอดทั้งปี ในขณะที่หากต้องการใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายชั่วโมงตลอดปี (8760 ชั่วโมง) เป็นตัวแทนไปใช้ในการหาค่าการใช้พลังงานตลอดปีของอาคารนั้นจะต้องใช้วิธีที่แตกต่างกันไป ดังนั้นในบทความนี้จะกล่าวถึงการจัดหาข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานที่ถูกคัดเลือกโดยวิธี Test Reference Year (TRY) และ Typical Meteorological Year (TMY)

2. ฐานข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศที่นำมาวิเคราะห์ในบทความนี้จะเป็ข้อมูลภูมิอากาศที่ทำการตรวจวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2524 ถึง 2539 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ ข้อมูลรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวในแนวนอน (global radiation) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิหยาดน้ำค้าง (dew point temperature) ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า (cloud cover) ช่วงเวลาส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (sunshine duration) และค่าทัศนวิสัย (visibility) ข้อมูลภูมิอากาศที่จัดเก็บนี้มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ จัดเก็บในรูปแบบของค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงสำหรับข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ระหว่างปี พ.ศ. 2524 ถึง 2530 และการจัดเก็บในรูปแบบเฉลี่ยรายชั่วโมงสำหรับข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ระหว่างปี พ.ศ. 2531 ถึง 2539 เนื่องจากข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้มีจำนวนมาก และมีข้อมูลสูญหายไปบ้างในช่วงเวลา 16 ปี การซ่อมแซมข้อมูลจะใช้การประมาณค่าใน

ช่วงด้วยสมการเชิงเส้นตรงโดยใช้ข้อมูลก่อนและหลังข้อมูลที่สูญหายเป็นตัวแปรต้น

3. การคัดเลือกตัวแทนข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน

การคัดเลือกข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานในการศึกษานี้จะกระทำด้วยวิธี 2 วิธี คือ

3.1 วิธีคัดเลือกแบบ Test Reference Year (TRY)

3.2 วิธีคัดเลือกแบบ Typical Meteorological Year (TMY)

3.1 วิธีคัดเลือกแบบ Test Reference Year เป็นวิธีที่ทาง ASHRAE [1] เสนอโดยจะทำการคัดเลือกปีมาตรฐานจากข้อมูลภูมิอากาศที่ถูกบันทึกไว้จำนวนหลายปี โดยจะคัดเลือกตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความสำคัญต่อการประมาณค่าการใช้พลังงานของอาคารมาเป็นตัวแปรที่ใช้พิจารณา ในการศึกษานี้จะใช้ตัวแปร 2 ตัวแปรคือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม ในกรณีที่เลือกตัวแปรหลักเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ขั้นตอนในการคัดเลือกสามารถกระทำดังนี้

1. คำนวณค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละเดือน โดยพิจารณาจากค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละวัน แล้วนำค่ามาเฉลี่ยในหนึ่งเดือน
2. ลำดับความสำคัญของแต่ละเดือนที่มีต่ออัตราการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งสำหรับกรุงเทพมหานคร เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุด จึงถือว่าเป็นเดือนที่มีความสำคัญมากที่สุด และให้เดือนที่อยู่ใกล้เคียงเดือนเมษายนมากที่สุดเป็นเดือนที่มีความสำคัญอันดับรองลงมา ในขณะที่เดือนที่อยู่ห่างออกไปก็จะมีค่าน้อยลง ตารางที่ 1 แสดงถึงการเรียงลำดับความสำคัญของเดือน
3. นำค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละเดือนของข้อมูลภูมิอากาศในแต่ละปีมาบรรจุในตารางที่ 2 จนครบทุกปี
4. เนื่องจากข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานควรเป็นปีที่มีระดับของพลังงานอยู่ในระดับปานกลาง จึงต้องทำการขจัดเดือนที่มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุด และต่ำสุดออก โดยเริ่มขจัดจากเดือนที่มีความสำคัญสูงสุดและไล่มาจนถึงเดือนที่มีความสำคัญรองลงมาจนถึงเดือนที่มีความสำคัญน้อยสุด จากนั้นก็ทำการขจัด

เดือนที่มีค่าอุณหภูมิต่ำสุด เริ่มจากเดือนที่มีความสำคัญสูงสุดไล่ลงมาตามความสำคัญของแต่ละเดือน

5. เมื่อขจัดเดือนที่มีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห่งสูงสุดและต่ำสุดรอบแรกแล้ว (ตัดออกจำนวน 24 ครั้ง) จึงพิจารณาว่ามีปีไหนบ้างที่ไม่มีเดือนใดในปีนั้นถูกขจัดออกบ้าง ในกรณีที่ยังเหลือปีที่ไม่ถูกขจัดมากกว่าหนึ่งปี ให้กระทำซ้ำจนกระทั่งเหลือเพียงปีเดียว สำหรับในการศึกษาครั้งนี้เมื่อเลือกอุณหภูมิกระเปาะแห่งเป็นตัวแปรหลักจะได้ข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ. 2537 เป็นข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน และหากเลือกรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมเป็นตัวแปรหลัก จะได้ข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ. 2527 เป็นข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน ตารางที่ 3 แสดงถึงข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่บรรจุลงในตารางเพื่อทำการคัดเลือกตามขั้นตอนที่ได้บรรยายในข้อที่ 1 ถึง 5

3.2 วิธีคัดเลือกแบบ Typical Meteorological Year Sandia National Laboratories ได้เสนอเกณฑ์การคัดเลือกปีมาตรฐานด้วยการคัดเลือกเดือนที่เหมาะสมจำนวน 12 เดือนที่เรียกว่า Typical Meteorological Month (TMM) จากข้อมูลภูมิอากาศที่ตรวจวัดที่สถานีตรวจอากาศจำนวนหลายปีด้วยวิธีทางสถิติ ส่งผลให้เดือนที่เหมาะสมอาจมาจากข้อมูลภูมิอากาศต่างปีก็ได้ ซึ่งช่วงต่อของเดือนอาจมีความไม่ต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องมีการประมาณค่าตรงช่วงต่อช่วง 6 ชั่วโมงก่อนและหลังจุดต่อของเดือนด้วยการประมาณแบบ cubic spline interpolation

การคัดเลือกปีมาตรฐาน TMY นั้นกระทำโดยอ้างอิงแนวทางของ Pissimanis et.al [2] และ Hall [3] ตัวแปรที่ใช้เลือกจะมีจำนวน 13 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ยสูงสุด ต่ำสุด ค่าความแตกต่างระหว่างค่ามากที่สุดกับค่าน้อยสุดรายวันของข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ข้อมูลอุณหภูมิหยาดน้ำค้าง ข้อมูลความเร็วลม และข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม ขั้นตอนการเลือกเดือน TMM ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการคัดเลือก candidate year จำนวน 5 ปี และขั้นตอนการคัดเลือกเดือนมาตรฐาน (TMM) จาก candidate year

ขั้นตอนการเลือก candidate year กระทำโดยการเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันความถี่สะสม (cumulative frequency distribution function CFD) ของข้อมูลแต่ละแบบของแต่ละเดือนในหนึ่งปีกับค่าฟังก์ชันความถี่สะสมระยะยาวของข้อมูลทุกปี (long term cumulative distribution function) โดยใช้สมการทางสถิติที่เสนอโดย Finkelstein และ Schafer (FS)

[4] โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลของตัวแปร x ที่ได้จากการตรวจวัด และข้อมูลเหล่านี้ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ค่าความถี่สะสมของตัวแปรกำหนดเป็น $S_n(x)$ โดยที่

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < x_{(1)} \\ (k-0.5)/n & \text{for } x_{(k)} \leq x < x_{(k+1)} \\ 1 & \text{for } x \geq x_{(n)} \end{cases} \quad (1)$$

ค่า $S_n(x)$ เป็นฟังก์ชันเพิ่มแบบคงที่ด้วย Step size เท่ากับ $1/n$ ที่ข้อมูล x_k โดยจะมีขอบเขตของอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ค่าความถี่สะสมระยะยาว (S_n) ของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำเดือนมกราคมซึ่งถูกเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2539 จะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 1 เป็นตัวอย่าง ส่วนค่า FS สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$FS = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (2)$$

เมื่อ δ_i เป็นค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่าความถี่สะสมของข้อมูลทุกปีของเดือนที่กำลังพิจารณากับค่าความถี่สะสมของข้อมูลแต่ละปีที่เดือนเดียวกัน ค่า FS ถูกใช้เป็นตัวแทนของการเปรียบเทียบของข้อมูลในแต่ละเดือนของแต่ละปีสำหรับตัวแปรทางสถิติทั้งหมด 13 ตัวแปร แต่เนื่องจากตัวแปรแต่ละตัวแปรมีความสำคัญต่อประเด็นวิเคราะห์ (การใช้พลังงานของอาคาร) ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องมีการถ่วงน้ำหนักให้กับค่า FS ของตัวแปรแต่ละตัวแปรเพื่อหาค่า Weighting Sum (WS) ตามสมการ

$$WS = \sum_{j=1}^m w_j \cdot FS_j \quad (3)$$

เมื่อ m คือ จำนวนของตัวแปรของข้อมูลสภาพบรรยากาศ และ w_j เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละตัวแปร จากการศึกษาของ Hall [3] พบว่า ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาจำนวน 4 ตัวแปรจากตัวแปรอุตุนิยมวิทยาจำนวน 13 ตัวแปรมีความสำคัญน้อยมากจนสามารถสมมติให้ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปรเหล่านี้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้ ตัวแปรเหล่านั้นได้แก่ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่มากที่สุดกับค่าน้อยที่สุดรายวันของค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ค่าอุณหภูมิหยาดน้ำค้าง และค่าความเร็วลม รวมทั้งหมด 3 ตัวแปร และ ค่าความเร็วลมต่ำสุดรายวันอีก 1 ตัวแปร ซึ่งจะเหลือตัวแปรที่ต้องมีการถ่วงน้ำหนักอีก 9 ตัวแปร และในการวิเคราะห์นี้จะถือว่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมมีความสำคัญสูงสุด ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่า

ถ่วงน้ำหนักของค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์มีค่าสูงสุด คือ 12 ส่วนใน 24 ส่วน และ ข้อมูลอื่นๆที่มีความสำคัญน้อยกว่าก็จะกำหนดให้มีค่าถ่วงน้ำหนักลดน้อยลงตามลำดับ โดยที่ค่าถ่วงน้ำหนักดังกล่าวจะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4

หลังจากถ่วงน้ำหนักให้กับค่า FS ตามสมการที่ 3 แล้ว จึงทำการคัดเลือก Candidate year โดยเลือกปีที่มีค่า WS น้อยที่สุดของแต่ละเดือนจำนวน 5 ปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 จากนั้นก็เข้าสู่การคัดเลือกเดือนมาตรฐาน TMM จากปี Candidate year จำนวน 5 ปี โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติจำนวน 3 ค่า คือ ค่า Root mean square difference ($RMSD$) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์รายชั่วโมงของแต่ละเดือนของ Candidate year กับค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์ของข้อมูลทุกปี ค่า FS ของค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในหนึ่งวัน และค่า FS ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะแห้งในหนึ่งวัน

ค่า Root mean square difference ($RMSD$) สามารถเขียนได้เป็น

$$RMSD = \left[\sum_{l=1}^N (x_{kl} - \bar{x}_l)^2 / N \right]^{1/2} \quad (4)$$

เมื่อ k และ l หมายถึง ปี และ ชั่วโมงในแต่ละวันตามลำดับ และ N คือ จำนวนชั่วโมงในหนึ่งวันที่ค่ารังสีดวงอาทิตย์ไม่เท่ากับศูนย์ ส่วนการคัดเลือกปีที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไปนั้นจะเลือกปีที่มีค่า $RMSD$ อยู่ในช่วง $0.02 \text{ MJ/m}^2/\text{hour}$ ของค่าที่น้อยที่สุดที่ปรากฏใน Candidate year (ค่า $RMSD$ น้อยกว่า 4% ของค่าเฉลี่ยของรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมงของ 12 เดือน) ซึ่งจะถูกแสดงดังตารางที่ 6

จากนั้นจะทำการคัดเลือกค่า FS ของค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในหนึ่งวันของ Candidate year ซึ่งอยู่ในช่วง $0.03 \text{ MJ/m}^2/\text{hour}$ ของค่าที่น้อยที่สุด ซึ่งจะถูกแสดงดังตารางที่ 7

ในกรณีที่ผ่านการคัดเลือกขั้นตอนย่อยทั้งสองขั้นตอนแล้วยังมี Candidate year เหลือมากกว่าหนึ่งปี ให้เลือกปีที่มีค่า FS ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะแห้งในหนึ่งวันที่มีค่าน้อยที่สุด ค่า FS ดังกล่าวถูกแสดงไว้ในตารางที่ 8 โดยค่าที่ถูกขีดเส้นใต้ในตารางจะเป็นค่า FS ที่น้อยที่สุดของ Candidate year ที่เหลืออยู่ ซึ่งจะถูกละเลือกให้เป็นเดือนมาตรฐาน (TMM) ตารางที่ 9 จะแสดงถึงเดือนมาตรฐานที่ประกอบเป็นปีมาตรฐานแบบ TMY

4. สรุป

จากการวิเคราะห์ในการศึกษานี้ทำให้ได้ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับกรุงเทพมหานคร ที่มีการคัดเลือกด้วยวิธี 2 วิธี โดยทั้ง 2 วิธีมุ่งเน้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อการคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารตลอดปี ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานที่ทำการคัดเลือกด้วยวิธี TRY จะเป็นการคัดเลือกข้อมูลแบบทั้งปี ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเป็นตัวแปรสำคัญจะได้ข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ. 2537 เป็นข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน ในขณะที่ใช้รังสีแสงอาทิตย์แบบรวมเป็นตัวแปรสำคัญจะได้ข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ. 2527 เป็นข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน ส่วนการคัดเลือกแบบ TMY จะเป็นการคัดเลือกข้อมูลภูมิอากาศของเดือนที่เหมาะสมจากฐานข้อมูลภูมิอากาศ และมีการพิจารณาตั้งแปรทางอุตุนิยมวิทยาถึง 13 ตัว และมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้มีความสำคัญตัวแปรที่ต่างกัน ก็จะได้ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานของกรุงเทพมหานครที่คัดเลือกแบบ TMY ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานที่ได้หากมีการนำไปจัดอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมโดยใช้ค่ารังสีแสงอาทิตย์ครบทั้ง 3 องค์ประกอบ กล่าวคือ รังสีแสงอาทิตย์แบบรวม แบบตรงตั้งฉาก และแบบกระจาย มาเป็นข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำนายการใช้พลังงานของอาคาร อาทิ โปรแกรม DOE 2.1E เป็นต้น ก็จะสามารถให้ผลเฉลยในการทำนายที่แม่นยำได้[5] ซึ่งจะมีผลทำให้การอนุรักษ์พลังงานในอาคารมีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณการอนุเคราะห์ของข้อมูลภูมิอากาศจาก คุณนพกุล ปลื้มถนอม คุณสมควร ช้างเอม กรมอุตุนิยมวิทยา และ Prof. Sribas Chandra Bhattacharya รศ.ดร.สุพงศ์ จิระรัตนานนท์ รศ.ดร.เอส कुमार นายพิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และ นายมนต์ชัย สุระรัตน์ชัย นายนิพนธ์ ปุณโณปกรณ์ นายสหพล วรณสุศรี ที่ช่วยประมวลข้อมูลและแบบจำลองเบื้องต้นของข้อมูลภูมิอากาศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1997 *ASHRAE Handbook Fundamental*, USA, 1997
- [2] Pissimanis, D., Karras, G., Notaridou, V., and Gavra, K. The generation of a "typical Meteorological Year" for the city of Athens *Solar Energy* Vol. 4.0 No.5, (1988):pg 405-411
- [3] Hall, I.J., Generation of Typical Meteorological Year *Proceeding of the 1978 annual meeting of AS of ISES*, Denver, CO, 1978
- [4] Finkelstein, J.M. and Schafer, R.E. Improved goodness of fit tests *Biometrika* Vol. 58, (1971) pg 641-645
- [5] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์ และ สุรสิทธิ์ ทองจันทร์พย์ รายงานฉบับสมบูรณ์ ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำนายการใช้พลังงานของอาคาร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้สัญญาเลขที่ RDG5/0002/42 ธันวาคม พ.ศ. 2542

ตารางที่ 1 การเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละเดือนจากความสำคัญมากไปความสำคัญน้อยตามลำดับ

สูงสุด	เมษายน	ต่ำสุด
สูงสุด	พฤษภาคม	ต่ำสุด
สูงสุด	มีนาคม	ต่ำสุด
สูงสุด	มิถุนายน	ต่ำสุด
สูงสุด	กุมภาพันธ์	ต่ำสุด
สูงสุด	กรกฎาคม	ต่ำสุด
สูงสุด	มกราคม	ต่ำสุด
สูงสุด	สิงหาคม	ต่ำสุด
สูงสุด	ธันวาคม	ต่ำสุด
สูงสุด	กันยายน	ต่ำสุด
สูงสุด	พฤศจิกายน	ต่ำสุด
สูงสุด	ตุลาคม	ต่ำสุด

ตารางที่ 2 การคัดเลือกปีมาตรฐานแบบ TRY เมื่อใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่รวบรวมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ.

2539 (หน่วย °C)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
max. of 2524	28.62	29.28	30.19	30.92	30.37	29.96	29.63	29.98	29.50	29.10	29.29	27.77
min. of 2524	21.23	25.53	28.13	25.47	26.05	27.06	27.04	25.99	26.05	25.63	23.90	21.78
max. of 2525	27.14	29.35	30.65	31.58	31.75	30.10	29.32	29.71	29.88	29.31	29.43	27.80
min. of 2525	23.31	26.77	24.70	26.47	26.23	26.84	26.61	25.14	24.22	25.07	26.61	20.00
max. of 2526	28.45	28.72	30.84	31.84	32.95	31.45	30.95	29.83	29.58	29.45	29.16	28.83
min. of 2526	20.22	26.40	25.27	29.53	28.09	26.81	27.34	25.79	25.29	23.97	20.93	21.56
max. of 2527	29.35	29.29	30.51	31.58	31.89	30.27	29.80	29.62	28.69	29.06	29.26	28.61
min. of 2527	20.59	24.70	27.14	28.20	27.29	26.33	25.15	27.48	26.52	25.71	25.08	24.80
max. of 2528	28.08	30.13	30.80	32.13	31.87	29.99	29.63	29.27	28.80	29.44	28.90	28.88
min. of 2528	24.28	26.80	26.97	26.18	26.93	27.48	25.61	26.88	25.74	25.65	25.90	21.38
max. of 2529	28.18	28.63	30.32	31.23	30.64	31.10	30.40	29.73	30.01	29.92	28.88	28.17
min. of 2529	20.78	25.64	24.17	26.67	25.09	27.00	26.00	26.48	25.47	25.27	23.93	21.56
max. of 2530	28.46	29.24	30.28	31.57	31.87	30.57	31.15	31.57	30.67	29.74	29.72	27.62
min. of 2530	24.19	24.54	25.29	27.38	27.55	27.16	27.53	27.88	25.10	26.47	26.15	20.61
max. of 2531	29.35	29.47	31.21	31.73	31.45	30.63	30.24	29.77	30.88	29.33	28.04	27.68
min. of 2531	25.00	26.16	27.99	26.37	26.21	26.88	26.82	26.90	25.86	25.39	23.86	22.89
max. of 2532	28.96	28.80	30.11	31.84	32.27	30.48	30.30	29.90	29.10	29.70	29.54	27.35
min. of 2532	25.99	26.15	24.15	29.79	27.30	25.98	25.26	26.35	26.32	25.64	24.18	22.99
max. of 2533	28.63	29.14	30.60	32.51	31.55	30.59	30.38	30.60	30.27	29.05	29.49	28.52
min. of 2533	25.91	26.99	26.30	28.38	26.89	28.01	25.36	26.50	26.28	23.85	24.02	22.29
max. of 2534	29.25	29.87	31.32	32.07	32.30	30.71	30.83	30.20	30.35	28.84	28.97	0.00
min. of 2534	26.30	25.71	29.20	26.43	27.53	27.78	27.07	26.43	26.22	25.12	24.41	0.00
max. of 2535	28.00	28.87	30.49	32.07	32.88	32.44	31.12	29.52	29.64	28.93	28.67	28.88
min. of 2535	0.00	25.10	28.01	30.09	29.09	27.53	25.88	27.06	25.90	23.18	22.65	18.47
max. of 2536	27.98	28.67	30.23	31.91	32.16	31.63	30.84	29.38	29.44	28.65	29.39	28.89
min. of 2536	20.71	24.05	26.24	25.94	26.19	27.93	27.78	26.39	25.63	25.73	24.34	21.72
max. of 2537	28.27	29.88	30.24	31.88	32.10	30.64	30.06	30.17	29.75	28.98	29.04	28.91
min. of 2537	23.55	27.93	24.61	28.73	26.05	26.34	26.79	26.40	26.53	24.12	25.90	24.86
max. of 2538	28.30	29.46	31.03	32.03	32.42	31.01	31.11	30.14	29.98	29.96	29.74	29.55
min. of 2538	21.57	23.10	27.52	28.32	28.17	28.11	26.87	26.85	26.51	25.55	25.20	22.08
max. of 2539	29.77	29.37	31.72	32.35	31.43	31.03	31.05	31.10	29.75	30.62	29.46	29.38
min. of 2539	22.79	24.51	27.38	26.59	26.93	27.70	26.51	26.27	26.50	26.36	25.47	23.74

xxx แถบแสดงค่าสูงสุดในการจัดรอบแรก

xxx แถบแสดงค่าสูงสุดในการจัดรอบสอง

xxx แถบแสดงค่าต่ำสุดในการจัดรอบแรก

xxx แถบแสดงค่าต่ำสุดในการจัดรอบสอง

ตารางที่ 3 การคัดเลือกปีมาตรฐานแบบ TRY จากค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์ ที่รวบรวมตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2539 (หน่วย $\times 100 \text{ MJ/m}^2 \text{ per day}$)

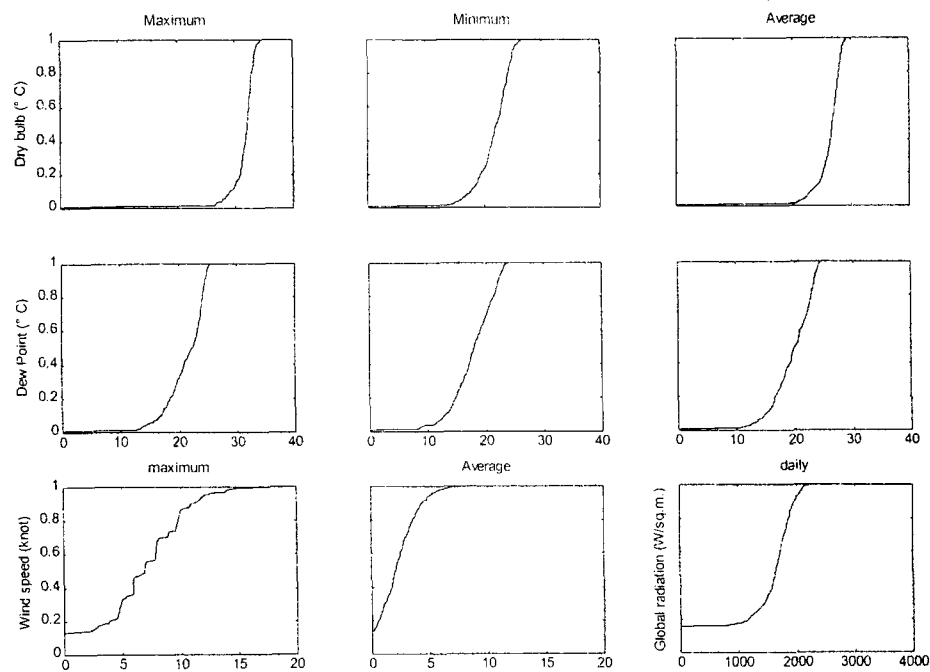
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
max. of 2524	1911	1968	2473	2449	2578	2365	2259	2028	2177	2264	2042	2428
min. of 2524	1160	527	1163	858	320	232	576	372	572	398	342	637
mis. of 2524	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2525	2299	2024	2122	2439	2669	2472	2467	2093	2531	2435	2326	2123
min. of 2525	1020	859	201	911	365	730	761	534	294	293	621	828
mis. of 2525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2526	1951	2152	2306	2410	2615	2494	2512	2452	2189	1965	1921	1964
min. of 2526	1124	1590	956	1698	830	748	926	735	484	270	633	688
mis. of 2526	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2527	1950	2047	2295	2480	2482	2311	2632	2197	2186	2103	1965	1868
min. of 2527	1040	1144	570	872	721	704	863	971	920	793	911	1121
mis. of 2527	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2528	1919	2249	2290	2500	2446	2379	2262	1879	2033	1838	1997	1827
min. of 2528	767	1069	999	606	847	515	846	1132	736	541	840	1350
mis. of 2528	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2529	1762	1996	2314	2507	2499	2486	2117	2345	2442	2000	1978	1867
min. of 2529	1083	505	1261	714	244	1027	712	897	780	672	979	434
mis. of 2529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2530	1882	1904	2246	2374	2531	2279	2362	2415	2159	2097	1773	1876
min. of 2530	697	206	43	1186	613	818	937	897	444	698	869	1025
mis. of 2530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2531	2139	2560	2778	2606	2877	2796	2646	2654	2763	2335	2280	2192
min. of 2531	1428	869	1161	762	377	1209	1084	533	486	752	838	1647
mis. of 2531	15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
max. of 2532	2108	2413	2751	2916	2834	2823	2870	2672	2427	2433	2222	2435
min. of 2532	866	926	490	1721	941	799	709	848	1186	948	1076	652
mis. of 2532	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
max. of 2533	2051	2578	2775	2836	2837	2629	2864	2928	2458	2289	2257	2177
min. of 2533	1332	915	1251	1206	658	1194	934	1032	846	340	841	1244
mis. of 2533	0	3	0	1	0	0	2	0	1	0	0	1
max. of 2534	2099	2326	2748	2986	2895	2871	2706	2731	2388	2200	2182	1928
min. of 2534	881	1037	1731	888	1320	1130	1051	609	718	712	1019	1057
mis. of 2534	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
max. of 2535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2048	2297	2164
min. of 2535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	569	1333	464
mis. of 2535	31	29	31	30	31	30	31	31	30	12	0	0
max. of 2536	2215	2463	2817	2924	2872	2840	2711	2447	2543	2323	2130	2046
min. of 2536	817	1792	1346	402	624	769	1043	917	605	690	923	625
mis. of 2536	4	1	2	0	1	1	0	2	0	2	1	0
max. of 2537	2073	2387	2723	2896	2936	2680	2471	2817	2619	2510	2265	2162
min. of 2537	1610	1141	895	1697	826	847	992	1018	1036	1118	1026	1189
mis. of 2537	0	8	0	5	7	0	0	0	2	4	0	0
max. of 2538	2148	2537	2521	2693	2490	2306	2310	1849	1545	0	0	0
min. of 2538	1086	1718	1471	1258	997	1131	1267	670	705	0	0	0
mis. of 2538	0	0	0	0	0	0	0	1	3	31	30	31
max. of 2539	0	0	2716	2840	2723	2803	2911	2800	2504	2534	2327	5085
min. of 2539	0	0	2111	911	831	710	616	866	718	742	500	4314
mis. of 2539	31	29	20	0	4	2	2	1	7	1	1	0

xxx แถบแสดงค่าสูงสุดในการจัดรอบแรก

xxx แถบแสดงค่าต่ำสุดในการจัดรอบแรก

xxx แถบแสดงค่าสูงสุดในการจัดรอบสอง

xxx แถบแสดงค่าต่ำสุดในการจัดรอบสอง



รูปที่ 1 ค่าความถี่สะสมของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำเดือนมกราคม ซึ่งถูกเก็บรวบรวมตั้งแต่ พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2539

ตารางที่ 4 ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าทางสถิติของข้อมูลสภาพบรรยากาศ

w_i	Dry Bulb Temp.			Dew Point Temp.			Wind Vel.		Solar Rad.
	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Mean	
	1/24	1/24	2/24	1/24	1/24	2/24	2/24	2/24	12/24

ตารางที่ 5 ผลรวมถ่วงน้ำหนักของWS ของข้อมูลภูมิอากาศ (ช่องที่ระบายสี คือ เดือน Candidate year)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2524	0.1226	0.1286	0.092	0.1245	0.1111	0.1345	0.1057	0.1248	0.111	0.0875	0.1751	0.1061
2525	0.1035	0.1315	0.1556	0.1346	0.0587	0.1088	0.086	0.0995	0.0738	0.1085	0.181	0.0748
2526	0.1112	0.1787	0.1117	0.2149	0.143	0.0844	0.106	0.1161	0.0836	0.1169	0.1095	0.1272
2527	0.0891	0.1196	0.1009	0.1132	0.0864	0.1224	0.0884	0.1075	0.0892	0.0903	0.0955	0.1709
2528	0.1316	0.1356	0.1161	0.1101	0.1015	0.177	0.1467	0.1433	0.099	0.1145	0.1112	0.1511
2529	0.1478	0.1427	0.1448	0.1106	0.1326	0.1049	0.1089	0.1048	0.076	0.0728	0.1024	0.1315
2530	0.2211	0.276	0.286	0.2411	0.1987	0.241	0.2356	0.2537	0.1934	0.242	0.3336	0.264
2531	0.2062	0.257	0.3211	0.2258	0.2252	0.2778	0.2197	0.2293	0.2218	0.2066	0.2632	0.2702
2532	0.1607	0.1166	0.1699	0.2184	0.1276	0.1818	0.113	0.1913	0.1467	0.1037	0.1573	0.1174
2533	0.1682	0.1819	0.1517	0.159	0.1263	0.1159	0.1143	0.159	0.1236	0.1209	0.0595	0.1739
2534	0.1444	0.145	0.2022	0.109	0.0825	0.067	0.0663	0.0612	0.0919	0.103	0.1347	0.4057
2535	0.4991	0.484	0.49	0.5386	0.5356	0.518	0.5162	0.502	0.5035	0.1352	0.2237	0.0846
2536	0.0696	0.227	0.1203	0.1264	0.1282	0.1516	0.1709	0.0704	0.1024	0.0812	0.0728	0.0881
2537	0.1793	0.1213	0.0737	0.1479	0.0979	0.0693	0.089	0.0873	0.1162	0.1591	0.2165	0.1348
2538	0.1484	0.2271	0.131	0.1509	0.1186	0.1396	0.0999	0.1958	0.1825	0.5031	0.5421	0.5206
2539	0.4798	0.499	0.1133	0.1002	0.0695	0.0903	0.0756	0.1583	0.1118	0.1244	0.1031	0.2607

ตารางที่ 6 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RMSD) ระหว่างค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์รายชั่วโมงของแต่ละเดือน
ของ Candidate year กับค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์ของข้อมูลทุกปี

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2524	0.106	0.199	0.119	0.311	0.274	0.357	0.185	0.350	0.205	0.178	0.471	0.155
2525	0.146	0.171	0.366	0.369	0.150	0.225	0.120	0.194	0.124	0.126	0.254	0.100
2526	0.078	0.155	0.129	0.099	0.107	0.088	0.040	0.131	0.117	0.268	0.102	0.487
2527	0.060	0.101	0.124	0.157	0.132	0.153	0.068	0.170	0.142	0.098	0.134	0.202
2528	0.106	0.063	0.140	0.277	0.459	0.568	0.174	0.118	0.108	0.364	0.215	0.285
2529	0.122	0.062	0.095	0.118	0.132	0.086	0.235	0.071	0.096	0.090	0.146	0.190
2530	0.072	0.405	0.497	0.192	0.186	0.102	0.087	0.129	0.133	0.294	0.303	0.136
2531	0.150	0.113	0.231	0.227	0.112	0.299	0.154	0.115	0.170	0.068	0.174	0.202
2532	0.080	0.109	0.163	0.414	0.081	0.158	0.193	0.277	0.273	0.228	0.287	0.141
2533	0.123	0.285	0.191	0.286	0.191	0.177	0.204	0.462	0.226	0.194	0.300	0.545
2534	0.498	0.173	0.208	0.180	0.161	0.095	0.137	0.077	0.131	0.165	0.276	0.148
2535	5.729	6.051	7.007	6.780	6.284	5.753	5.619	5.341	4.988	0.110	0.318	0.146
2536	0.082	0.311	0.140	0.226	0.251	0.292	0.299	0.343	0.195	0.189	0.201	0.035
2537	0.180	0.102	0.107	0.432	0.141	0.118	0.066	0.117	0.279	0.419	0.367	0.091
2538	0.152	0.325	0.137	0.217	0.207	0.180	0.245	0.529	0.522	5.230	5.619	6.084
2539	5.729	6.051	0.334	0.458	0.324	0.104	0.079	0.234	0.100	0.170	0.150	2.007

ค่าที่ขีดเส้นใต้หมายถึงค่าที่เข้าเกณฑ์ของการคัดเลือกโดยพิจารณาเฉพาะค่าใน Candidate year

ตารางที่ 7 ค่า FS ของค่ารังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในหนึ่งวัน

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2524	0.12	0.16	0.04	0.14	0.09	0.15	0.10	0.16	0.14	0.07	0.25	0.08
2525	0.05	0.15	0.22	0.13	0.07	0.09	0.04	0.11	0.06	0.07	0.17	0.05
2526	0.14	0.15	0.08	0.16	0.06	0.04	0.03	0.06	0.05	0.11	0.10	0.12
2527	0.07	0.11	0.10	0.11	0.08	0.10	0.07	0.06	0.09	0.07	0.10	0.19
2528	0.10	0.09	0.13	0.11	0.09	0.16	0.09	0.11	0.08	0.16	0.12	0.22
2529	0.13	0.12	0.13	0.07	0.08	0.09	0.10	0.09	0.09	0.07	0.13	0.12
2530	0.10	0.21	0.20	0.14	0.08	0.09	0.06	0.13	0.05	0.09	0.23	0.16
2531	0.06	0.14	0.25	0.09	0.08	0.20	0.11	0.09	0.07	0.08	0.07	0.21
2532	0.10	0.12	0.22	0.29	0.08	0.15	0.13	0.20	0.18	0.12	0.21	0.14
2533	0.17	0.21	0.22	0.18	0.16	0.10	0.10	0.21	0.15	0.15	0.07	0.21
2534	0.10	0.18	0.22	0.13	0.08	0.06	0.06	0.04	0.12	0.14	0.18	0.15
2535	0.82	0.83	0.87	0.91	0.89	0.91	0.92	0.90	0.88	0.13	0.25	0.05
2536	0.06	0.27	0.14	0.17	0.18	0.20	0.23	0.04	0.14	0.09	0.08	0.08
2537	0.27	0.04	0.04	0.21	0.09	0.04	0.06	0.07	0.16	0.22	0.31	0.11
2538	0.23	0.36	0.14	0.13	0.11	0.11	0.10	0.21	0.23	0.88	0.92	0.93
2539	0.82	0.83	0.09	0.10	0.06	0.06	0.04	0.13	0.11	0.10	0.07	0.41

ค่าที่ขีดเส้นใต้หมายถึงค่าที่เข้าเกณฑ์ของการคัดเลือกโดยพิจารณาเฉพาะค่าใน Candidate year

ตารางที่ 8 แสดงค่า FS ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะแห้งในหนึ่งวัน

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2524	0.15	0.08	0.10	0.19	0.17	0.15	0.10	0.06	0.05	0.10	0.14	0.17
2525	0.24	0.08	0.05	0.24	0.06	0.17	0.15	0.18	0.07	0.09	0.27	0.15
2526	0.09	0.11	0.06	0.15	0.19	0.10	0.10	0.08	0.05	0.09	0.18	0.06
2527	0.15	0.10	0.10	0.06	0.07	0.16	0.09	0.08	0.09	0.13	0.04	0.12
2528	0.12	0.21	0.11	0.10	0.17	0.15	0.24	0.09	0.11	0.12	0.10	0.04
2529	0.21	0.19	0.14	0.14	0.12	0.04	0.13	0.09	0.04	0.03	0.08	0.09
2530	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.14	0.24	0.28	0.04	0.14	0.11	0.16
2531	0.10	0.11	0.22	0.07	0.15	0.04	0.05	0.09	0.08	0.07	0.27	0.11
2532	0.21	0.12	0.19	0.13	0.04	0.07	0.06	0.03	0.05	0.03	0.03	0.10
2533	0.24	0.19	0.03	0.10	0.04	0.13	0.05	0.11	0.04	0.06	0.04	0.17
2534	0.29	0.07	0.20	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.94
2535	0.26	0.11	0.04	0.29	0.28	0.09	0.10	0.06	0.12	0.20	0.19	0.16
2536	0.10	0.22	0.13	0.07	0.07	0.15	0.24	0.16	0.08	0.05	0.06	0.07
2537	0.09	0.33	0.10	0.09	0.05	0.10	0.09	0.13	0.03	0.08	0.10	0.21
2538	0.06	0.08	0.10	0.14	0.07	0.10	0.09	0.09	0.05	0.17	0.18	0.11
2539	0.18	0.09	0.15	0.10	0.05	0.14	0.03	0.22	0.03	0.24	0.20	0.11

ค่าที่ขีดเส้นใต้หมายถึงค่าที่ได้รับการคัดเลือก

ตารางที่ 9 ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานที่ทำการคัดเลือกโดยวิธี TMY แสดงเป็นข้อมูลของเดือนในปีที่เหมาะสม

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2536	2537	2537	2529	2537	2534	2539	2534	2526	2529	2527	2536