

การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับทำนายรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย The Development of Mathematical Models for Predicting the Diffuse Radiation

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

กลุ่มข้อมูลของรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย และแบบรวม ที่ตกกระทบบนพื้นผิวแนวนอนที่ได้รับการตรวจวัดที่สถานบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียจำนวน 5 ปีถูกนำมาใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขไร้มิติรายชั่วโมงที่เป็นค่าอัตราส่วนของรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายต่อรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม กับอัตราส่วนรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมต่อรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบแบบรวมภายใต้เงื่อนไขวันฟ้าโปร่งซึ่งคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ASHRAE (modified clearness index) จากการวิเคราะห์จะสามารถแบ่งการจัดกลุ่มข้อมูลได้เป็น 4 ช่วง: ช่วงฤดูหนาว ได้แก่ เดือน พฤศจิกายน เดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือน กุมภาพันธ์ ช่วงฤดูร้อน ได้แก่ เดือนมีนาคม และเดือนเมษายน ช่วงฤดูฝน ได้แก่ เดือนมิถุนายน เดือนกรกฎาคม เดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน และช่วงต่อฤดูฝน ได้แก่ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นตัวแทนของข้อมูลดังกล่าวถูกสร้างขึ้นด้วยวิธี 4 วิธี อันได้แก่การใช้สมการพหุนามดีกรีที่สี่ การใช้สมการจากการสร้างเส้นโค้งผ่านค่ามัธยฐานของกลุ่มข้อมูล และการใช้สมการจากการสร้างเส้นโค้งเพื่อผ่านกลุ่มข้อมูลที่ขอบเขตต่ำสุดและสูงสุด เป็นต้น ความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีทั้ง 4 วิธีถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ และการพิจารณาการกระจายของข้อมูลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำกรตรวจวัดจริง และทำการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีที่ 4

Abstract

5 years of collected diffuse and global radiation data are used to find the relationship between the hourly dimensionless number of diffuse and global radiation ratio and global and ASHRAE clear day global radiation ratio (modified clearness index). From the analysis the yearly data can be grouped into 4 periods; winter period which consists of the months of November, December, January, and February, summer period which consists of the months of March and April, rainy period which consists of the months of June, July, August, and September, and period joining the rainy period which consists of the months of May and October. Mathematical models for the data are constructed using 4 methods of curve fitting; fourth degree polynomial equation, equation for line joining mean value of data for considered index and equation that covered the most data including the upper and lower limit regions. The accuracy of those methods are evaluated by using statistical method and considering the disperse of the predicted data compared to the measured data. The fourth mathematical model is chosen as the appropriate one.

1. บทนำ

ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์นับเป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์เกี่ยวกับภาระความร้อนและควรใช้พลังงานในอาคาร รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับระบบพลังงานจากแสง

อาทิตย์ ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้มักเป็นข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ในองค์ประกอบของรังสีรวม รังสีกระจาย และรังสีตรงบนพื้นผิวนานบนแนวอนรายชั่วโมง ในบางพื้นที่อาจมีการตรวจวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม และแบบกระจายไว้ แต่บางพื้นที่อาจมีเพียงการตรวจวัดรังสีแบบรวมเท่านั้น และบางพื้นที่อาจมีเพียงการตรวจวัดช่วงเวลาในการส่องสว่างในแต่ละวัน (duration of sunshine) ดังนั้นหากสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม กับองค์ประกอบรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายของแต่ละพื้นที่ได้ ก็จะช่วยทำให้สามารถพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจากค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม เพื่อนำไปใช้ในบริเวณที่มีแต่ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมได้ โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้กับข้อมูลภูมิอากาศที่ทำการตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาในส่วนของข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งมีแต่ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมเท่านั้น

มีงานวิจัยหลายชิ้น [1] [2] [3] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์รายชั่วโมงดังกล่าว โดยส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายต่อรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมกับดัชนีความกระจ่างรายชั่วโมง (hourly clearness index) (ค่าอัตราส่วนรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมต่อค่ารังสีแสงอาทิตย์ extraterrestrial) ซึ่งงานวิจัยที่กล่าวถึงต่างเป็นการพัฒนาหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบรังสีแสงอาทิตย์ และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าดังกล่าวที่สอดคล้องกับแสงอาทิตย์ในบริเวณที่ละติจูดสูงกว่า 28 องศา ทางด้าน northern hemisphere สำหรับแสงอาทิตย์บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้น Chandrasekaran และ Kumar [4] ทำการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ของรังสีแสงอาทิตย์ที่เมือง Madras ประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร และเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์รังสีแสงอาทิตย์เป็นค่าเฉลี่ยตลอดปี กับเป็นแบบจำลองของแสงอาทิตย์ในฤดูที่แห้งและเปียก และยังแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของความสัมพันธ์เหล่านี้จะแตกต่างกันในบริเวณต่างๆ บนพื้นโลก ซึ่งภูมิอากาศในแต่ละที่ก็จะไม่เหมือนกัน สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยได้มีหลายหน่วยงานที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับรังสีแสงอาทิตย์ อาทิเช่น สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยศิลปากร และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยที่มีการพัฒนาแบบจำลองที่ทำนายรังสีแสงอาทิตย์องค์ประกอบต่าง ๆ เฉลี่ยรายเดือน และรายวัน จากค่าการส่องสว่างของวัน และจากค่ารังสีเฉลี่ยที่ตรวจวัด

ได้ และสำหรับรังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงก็จะเป็นการหาค่าจากค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน [5] [6] [7] [8]

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมุ่งจะพัฒนาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายรายชั่วโมงจากค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมโดยทำการพิจารณาจากความสัมพันธ์ของข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย และแบบรวมรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานครโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากการตรวจวัดที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย AIT จำนวน 5 ปี ผลที่ได้จะสามารถนำไปใช้กับข้อมูลภูมิอากาศที่ตรวจวัดจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีฐานข้อมูลมากกว่าแต่ยังขาดข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายอยู่ เพื่อให้ฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในส่วนของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตรวจวัดและบันทึกไว้มีความสมบูรณ์ โดยที่จัดให้มีข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ในองค์ประกอบต่างๆ ครบถ้วนขึ้น

2. ข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศที่ได้รับจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย AIT ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้เป็นข้อมูลที่ถูกบันทึกตั้งแต่วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2534 ถึงวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2539 รวมเวลา 1554 วัน มีข้อมูลสูญหายรวมทั้งสิ้น 51 วัน ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้เป็นข้อมูลรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวในแนวนอน (global radiation) และรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ (diffuse radiation) รายทุก 5 นาที ข้อมูลดังกล่าวถูกบันทึกด้วยเครื่อง data logger ทุก 5 นาที โดยเริ่มตั้งแต่ 0.00 น. ถึง 23.55 น. ของทุกวัน เนื่องจากข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์จากการตรวจวัดที่สถาบัน AIT เป็นข้อมูลรายทุก 5 นาทีจึงต้องจัดให้อยู่ในรูปรายชั่วโมงโดยใช้หลักของการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลในช่วงจาก 0.00 น. ถึง 0.55 น. จัดเก็บไว้เป็นค่าของชั่วโมงที่ 1 และค่าเฉลี่ยของช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 1.55 น. จะถูกจัดเก็บเป็นค่าของชั่วโมงที่ 2 ตามลำดับจนถึงชั่วโมงที่ 24

3. การวิเคราะห์

ข้อมูลรายชั่วโมงของรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย และแบบรวมที่ถูกตรวจวัดที่สถาบัน AIT ตั้งแต่ ปีพ.ศ. 2534 ถึง พ.ศ. 2539 ถูกนำมาจัดหมวดหมู่โดยจัดเป็นค่าอัตราส่วนของข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายต่อรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมรายชั่วโมง (k_d) กับอัตราส่วนของข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมกับค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ตกกระทบถึงพื้นผิว

ระนาบที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ASHRAE ในสภาวะ clear day ซึ่งค่าดังกล่าวนี้อาจเรียกได้ว่า ค่าดัชนีความกระจ่างที่ดัดแปร (modified clearness index, K_A) เนื่องจากค่าดัชนีความกระจ่าง (clearness index) เดิมที่นิยมใช้จะเป็นค่าของอัตราส่วนของค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมต่อค่ารังสีแสงอาทิตย์ extraterrestrial ราย ชั่วโมง ซึ่งค่ารังสีแสงอาทิตย์ extraterrestrial จะเป็นรังสีที่อยู่เหนือชั้นบรรยากาศ ในขณะที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์ในแบบจำลองของ ASHRAE คิดที่พื้นผิวที่อยู่บนผิวโลกในสภาวะ clear day แทน ตัวอย่างของการจัดรูปแบบของความสัมพันธ์ดังกล่าวของข้อมูลในช่วงเวลา 8.00 ถึง 17.00 น. จะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 1

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพียงแบบเดียวเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลตลอดปีอาจไม่สามารถครอบคลุมถึงพารามิเตอร์บางตัวที่แปรตามฤดูกาลได้ซึ่งจะทำให้ได้ผลการทำนายไม่แม่นยำนัก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงนำข้อมูลรายเดือนมาพิจารณาอย่างละเอียด โดยพิจารณาจากทั้งการกระจายตัวของค่าอัตราส่วนรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย k_d กับค่าดัชนีการกระจายที่ดัดแปร K_A ในแต่ละเดือน และพิจารณาจาก histogram ของค่า k_d และ K_A ประกอบ รูปที่ 2 และ 3 แสดงถึง histogram การกระจายตัวของค่า k_d และ K_A ในแต่ละเดือน โดยที่แกนตั้งเป็นจำนวนข้อมูล ในขณะที่แกนนอนเป็นค่าของ k_d และ K_A จากการศึกษาจะทำให้สามารถจับกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายของข้อมูลคล้ายคลึงกันได้ 4 แบบ ซึ่งทำให้สามารถแบ่งช่วงการพิจารณาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เป็น 4 ช่วงในหนึ่งปี กล่าวคือ ช่วงที่ 1 ได้แก่ เดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว ซึ่งจะมีท้องฟ้าโปร่ง และรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้ K_A มีค่าสูง จะเห็นได้จาก histogram ของ K_A เบ้ไปทางด้านขวา โดยมีความหนาแน่นสูงสุดของ K_A อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.7 ถึง 0.8 ในขณะที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายมีค่าต่ำซึ่งสามารถสังเกตได้จาก histogram ของ k_d จะต่ำเป็นรูปประฆังคว่ำเบ้ไปทางด้านซ้าย ช่วงที่ 2 ได้แก่ เดือนมีนาคม และเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงของฤดูร้อน ที่ท้องฟ้าจะมีเมฆบางๆ กระจายอยู่ทั่วไป ค่า histogram ของ K_A และ k_d มีลักษณะคล้ายกลุ่มแรก ยกเว้นค่ารังสีกระจายจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากเมฆ ช่วงที่ 3 ได้แก่ เดือนมิถุนายน เดือนกรกฎาคม เดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน ซึ่งเป็นกลุ่มเดือนของฤดู

ฝน ท้องฟ้ามีเมฆหนาที่กระจายอยู่ทั่วไป histogram ของค่า k_d จะแสดงถึงรังสีกระจายที่มีค่าสูง ในขณะที่ช่วงที่ 4 ได้แก่ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นกลุ่มของเดือนที่อยู่ช่วงต่อของฤดูฝนกับฤดูอื่น รูปที่ 4 แสดงถึงการกระจายตัวของค่า k_d และ K_A ของช่วงแต่ละช่วง โดยที่แกนตั้งจะเป็นค่า k_d และแกนนอนเป็นค่า K_A ภาพขยายของตัวอย่าง histogram ของรูปที่ 2 และ 3 ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 7 เพื่อขยายให้เห็นตัวเลขกำกับบนแกน ซึ่งจะมีลักษณะแบบเดียวกันกับตัวเลขบนแกนที่แสดงไว้ใน histogram ของแต่ละเดือนในรูปที่ 2 และ 3

จากการแบ่งช่วงพิจารณาเป็น 4 ช่วงในหนึ่งปี กลุ่มข้อมูลแต่ละช่วงดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4 จะถูกนำมาวิเคราะห์ และพยายามจัดหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลดังกล่าว แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลือกมี 4 แบบ คือ

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีเส้นโค้งเส้นเดียวเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูล
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีเส้นโค้งเส้นเดียวเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูล โดยมีช่วงต้นและช่วงปลายเป็นเส้นตรง
3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีเส้นโค้งลากผ่านค่ามัธยฐาน (mean) ของกลุ่มข้อมูลที่ค่า K_A ใดๆ
4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ที่สุด โดยเฉพาะกลุ่มข้อมูลที่ช่วงปลาย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบแรกถูกสร้างขึ้นด้วยการนำกลุ่มข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาที่ได้แบ่งไว้ในหนึ่งปีมาจัดให้อยู่ในสมการพหุนามดีกรีที่ 4 สำหรับแบบจำลองแบบที่สองจะนำแบบจำลองแบบที่หนึ่งมาทำการปรับส่วนต่อที่ปลายเส้นโค้งทั้งสองข้างด้วยสมการเส้นตรง แบบจำลองแบบที่สามเป็นการสร้างสมการของเส้นโค้งที่ลากผ่านจุดมัธยฐานของกลุ่มข้อมูลที่ค่า K_A ใดๆ และทำการขยับค่า K_A เพิ่มขึ้นทีละ 0.01 แล้วลากเส้นเชื่อมต่อกับค่ามัธยฐานเหล่านั้น และแบบที่สี่เป็นการสร้างสมการโดยการพยายามหาเส้นโค้งที่ลากผ่านกลุ่มข้อมูลให้ครอบคลุมจุดบริเวณค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ด้วยการแบ่งข้อมูลเป็น 3 ช่วง โดยที่ช่วงแรกและช่วงปลายที่มีปัญหาในแบบจำลองทั้งสามแบบแรกในการที่ไม่สามารถครอบคลุมถึงข้อมูลบริเวณสูงสุดและต่ำสุดนั้น จะทำการสร้างสมการโดยการกลับให้ k_d เป็นตัวแปรต้นและ K_A เป็นตัวแปรตาม จากนั้นจึงลากเส้นเชื่อมต่อและจัดรูปสมการใหม่ รูปที่ 5

แสดงถึงผลของเส้นโค้งที่เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลจากวิธีทั้ง 4 แบบของกลุ่มข้อมูลทั้ง 4 ช่วง โดยที่เส้นโค้งที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบแรกจะมีส่วนต้นของเส้นโค้งขึ้น และส่วนปลายของเส้นโค้งขึ้นขึ้น เส้นโค้งจากแบบจำลองแบบที่ 2 และ 3 จะคล้ายคลึงกัน ในขณะที่เส้นโค้งจากแบบจำลองแบบที่ 4 จะครอบคลุมข้อมูลถึงจุดต่ำสุดด้วย รายละเอียดของสูตรทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของทั้งสี่แบบถูกแสดงไว้ในเอกสารอ้างอิง [9]

5. การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม

การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูลนั้น หากทำการพิจารณาจากค่า standard deviation SD (ซึ่งมีค่าเท่ากับรากที่สองของผลต่างของค่า k_d ที่ทำนายกับค่าที่ตรวจวัดยกกำลังสองและหารด้วยจำนวนข้อมูลลบด้วยหนึ่ง) จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าในแบบจำลองแบบที่ 1 จะให้ค่า SD น้อยที่สุด ในขณะที่แบบจำลองแบบที่ 4 จะให้ค่า SD มากสุด แต่หากพิจารณาจากรูปลักษณะของเส้นโค้งจากแบบจำลองแบบที่ 1 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5 ที่ส่วนปลายของเส้นโค้งในช่วงต้นและปลายโค้งขึ้นลงอย่างมาก ไม่น่าจะเหมาะสมกับการเป็นตัวแทนที่ดี และเมื่อนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 แบบมาทำการคำนวณค่าแล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง จะเห็นความแตกต่างของการกระจายข้อมูลของแบบจำลองทั้ง 4 แบบชัดเจนขึ้น ในรูปที่ 6 จะแสดงให้เห็นว่าจากการพิจารณาข้อมูลตั้งแต่ 8.00 ถึง 13.00 น. เป็นตัวอย่าง จะเห็นได้ชัดเจนว่าแบบจำลองแบบที่ 1 จะให้ค่าข้อมูลที่คำนวณได้อยู่ในบริเวณกลางของข้อมูลที่ทำการตรวจวัดจริง จะมีข้อมูลบางส่วนหลุดออกนอกช่วง แบบที่ 2 และ 3 ก็จะมีลักษณะการกระจายคล้ายคลึงกัน กล่าวคือเป็นตัวแทนที่ดีสำหรับกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในย่านกลางของกราฟ แต่หากพิจารณาแบบจำลองแบบที่ 4 จะเห็นได้ชัดว่าผลของการทำนายครอบคลุมกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ได้ทั่วถึง ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่ 4 เป็นแบบที่เหมาะสม โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 ได้แก่ เดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์

$$k_d = -0.6172K_A^2 + 0.1140K_A + 0.9458 \quad ; K_A \leq 0.43$$

$$k_d = -0.6999K_A^3 + 0.6092K_A^2 - 1.6471K_A + 1.5282$$

$$; 0.43 < K_A \leq 0.868$$

$$k_d = 0.1 \quad ; K_A > 0.868$$

ช่วงที่ 2 ได้แก่ เดือนมีนาคม และเดือนเมษายน

$$k_d = -0.4086K_A^2 + 0.0195K_A + 0.9233 \quad ; K_A \leq 0.42$$

$$k_d = -0.0726K_A^3 + 0.3783K_A^2 - 1.811K_A + 1.5442$$

$$; 0.42 < K_A \leq 0.944$$

$$k_d = 0.11 \quad ; K_A > 0.944$$

ช่วงที่ 3 ได้แก่ เดือนมิถุนายน เดือนกรกฎาคม เดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน

$$k_d = 0.9239 \quad ; K_A < 0.130$$

$$k_d = 5.8611K_A^4 - 10.3730K_A^3 + 4.5404K_A^2 - 0.7061K_A + 0.9601 \quad ; 0.130 \leq K_A \leq 0.955$$

$$k_d = 0.2672 \quad ; K_A > 0.955$$

ช่วงที่ 4 ได้แก่ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม

$$k_d = 2.9498K_A^4 - 4.3341K_A^3 + 0.8489K_A^2 - 0.1531K_A + 0.9385 \quad ; K_A \leq 0.967$$

$$k_d = 0.2445 \quad ; K_A > 0.967$$

6. สรุป

จากการวิเคราะห์ในการศึกษานี้พอสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของข้อมูลรังสีอาทิตย์แบบกระจายกับรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม k_d จะขึ้นกับค่าดัชนีความกระจ่างที่วัดแปร (อัตราส่วนรังสีแบบรวมกับค่ารังสีแบบรวมจากแบบจำลองของ ASHRAE) K_A และจะแปรตามช่วงของค่า K_A และยังแปรตามพฤติกรรมของการกระจายตัวของกลุ่มเมฆที่มีผลอย่างมากต่อรังสีอาทิตย์แบบกระจาย ซึ่งสำหรับกรุงเทพมหานครจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง คือช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน ฤดูฝน และช่วงต่อฤดูฝน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาเพื่อเป็นตัวแทนสำหรับทำนายค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายนั้นได้พิจารณาจากการกระจายตัวของผลการทำนายกับข้อมูลจริง ประโยชน์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้กับฐานข้อมูลภูมิอากาศที่ตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีข้อมูลรังสีอาทิตย์แบบรวมรายชั่วโมงอยู่หลายสิบปี (ในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต้องตรวจสอบและปรับให้ข้อมูลในการตรวจวัดมีเวลาพระอาทิตย์ขึ้นและลงตรงกับค่าที่กำหนดโดย ASHRAE) เพื่อปรับให้ได้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ครบทุกองค์ประกอบ อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างแม่นยำ และยังสามารถหาฐานข้อมูลภูมิ

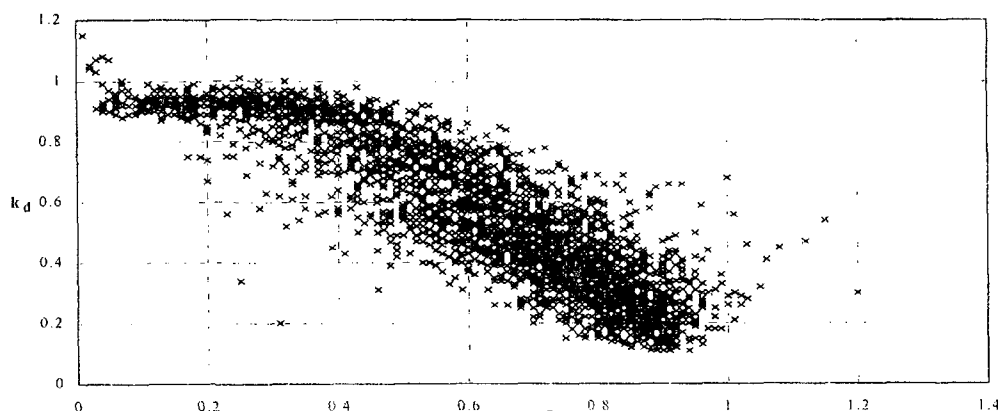
อากาศที่มีข้อมูลรังสีอาทิตย์ครบทุกองค์ประกอบไปทำการวิเคราะห์หาตัวแทนข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับกรุงเทพมหานครต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณการอนุเคราะห์ของข้อมูลภูมิอากาศจาก คุณนพกุล ปลื้มถนอม คุณสมควร ช้างเฒ่า กรมอุตุนิยมวิทยา และ Prof.Sribrass Chandra Bhattacharya รศ.ดร.สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์ รศ.ดร.เอส कुमार นายพิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และ นายมนต์ชัย สุระรัตน์ชัย นายนิพนธ์ ปุณโณปกรณ์ นายสหพล วรรณสุศรี ที่ช่วยประมวลข้อมูลและแบบจำลองเบื้องต้นของข้อมูลภูมิอากาศ

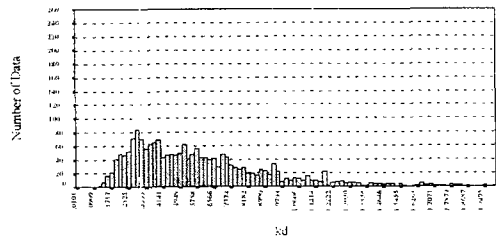
เอกสารอ้างอิง

- [1] Orgill, J.,F. and Hollands, K.,G.,T., Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface, *Solar Energy*.19, 357 (1977)
- [2] Erbs, D., G., Klein, S., A., and Duffie, J., A., Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly average global radiation, *Solar Energy* 28, 293-302 (1982)
- [3] Reindal, D.,T., Beckman, W., A., and Duffie, J., A., Diffuse fraction correlations, *Solar Energy* 45, 1-7 (1990)
- [4] Chandrasekaran, J., and Kumar, S., Hourly diffuse fraction correlation at a tropical location, *Solar Energy* 53, no.6 pp 505-510 , 1994
- [5] Exell, R.H.B. The solar radiation climate of thailand, *Solar Energy* 18, 349, 1976
- [6] เสริม จันทร์ฉาย และชังแข็ง เลียงจินดาถาวร ลักษณะทางสถิติของพลังงานแสงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 2532
- [7] พิชัย นามประกาย ศิริชัย เทพา และ จงจิตร หิรัญลาม การประมาณทางสถิติของค่ารังสีแสงอาทิตย์สำหรับกรุงเทพฯ วารสารวิจัย และพัฒนา สจ.ธ. ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2532
- [8] พิชัย นามประกาย จงจิตร หิรัญลาม การศึกษาอัตราส่วนของค่ารายชั่วโมงต่อค่ารายวันของรังสีแสงอาทิตย์ที่กรุงเทพฯ วารสารวิจัย และพัฒนา สจ.ธ. ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2532
- [9] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์ และ สุรสิทธิ์ ทองจันทร์พย์ รายงานฉบับสมบูรณ์ ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำนายการใช้พลังงานของอาคาร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้สัญญาเลขที่ RDG5/0002/42 ธันวาคม พ.ศ. 2542

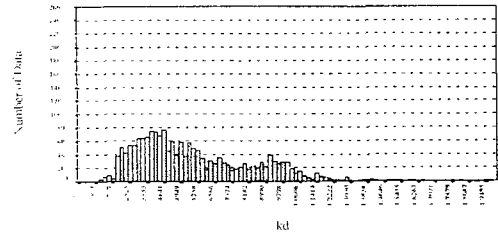


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายต่ออัตราส่วนความกระจ่างที่ตัดแปรรายปีของข้อมูลปี พ.ศ. 2534-2539

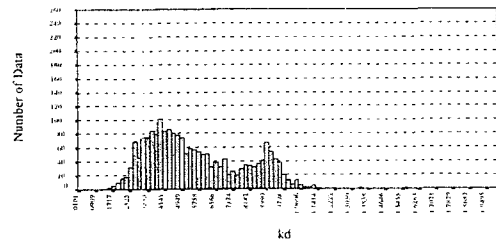
January



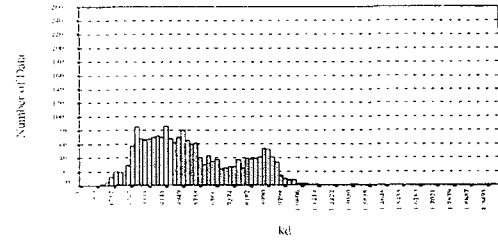
February



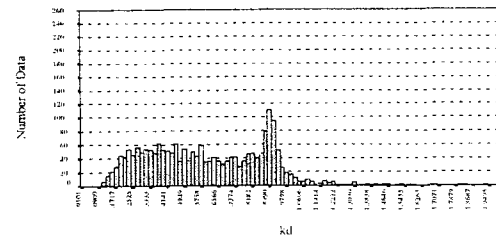
March



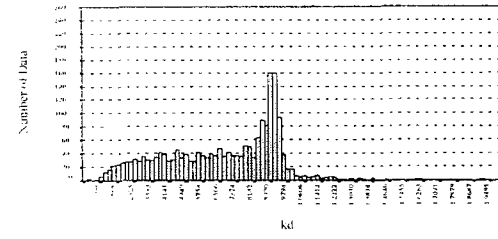
April



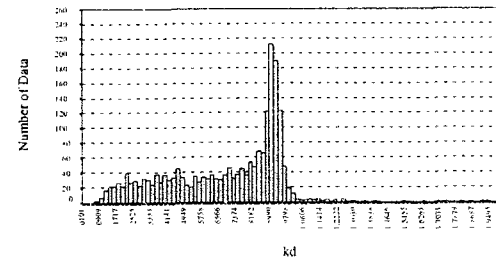
May



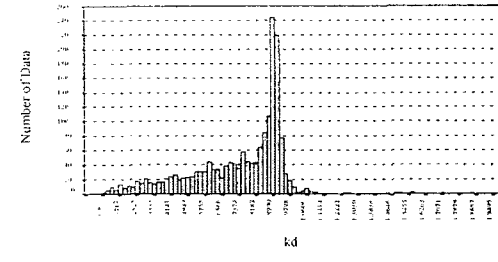
June



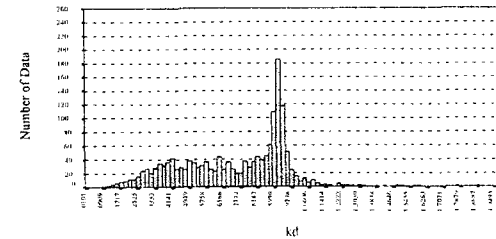
July



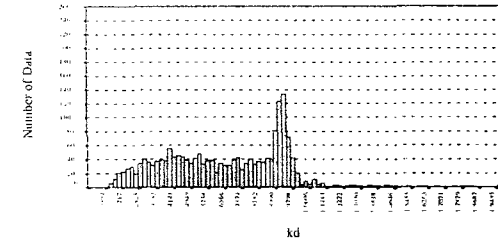
August



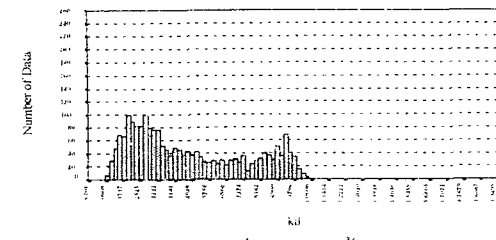
September



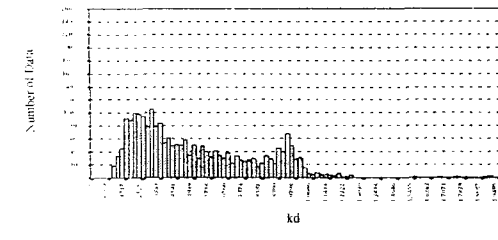
October



November

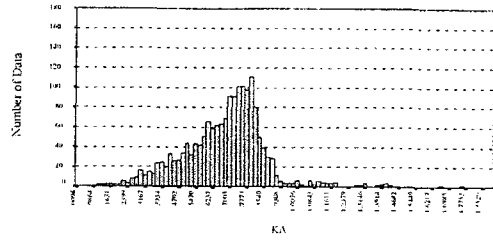


December

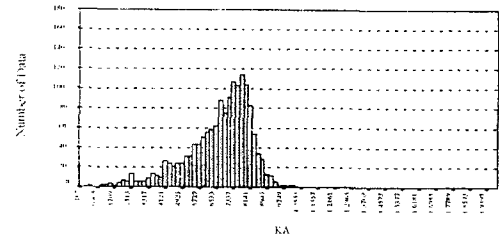


รูปที่ 2 Histogram ของค่า k_d ที่รวบรวมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535-2539

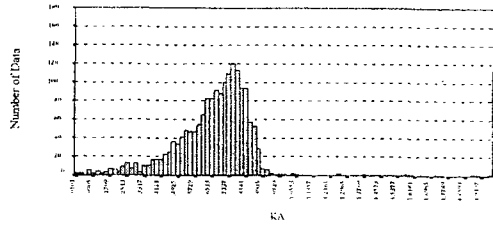
January



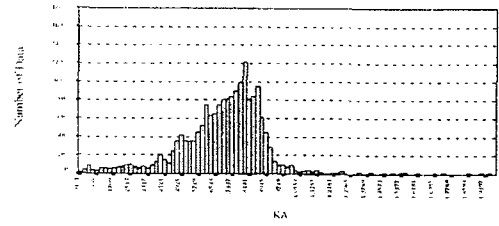
February



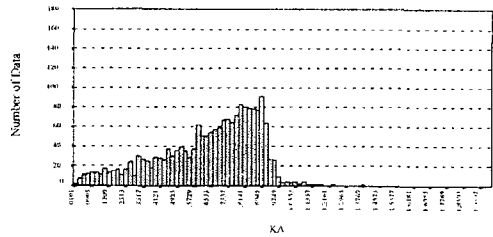
March



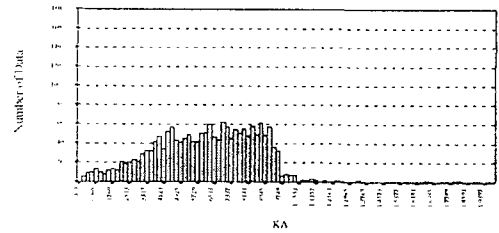
April



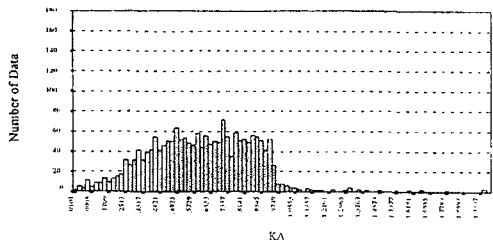
May



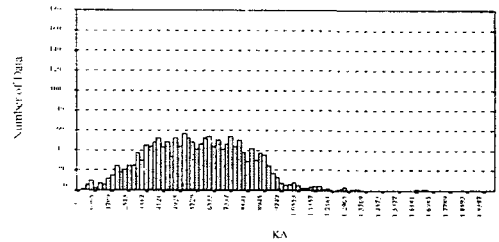
June



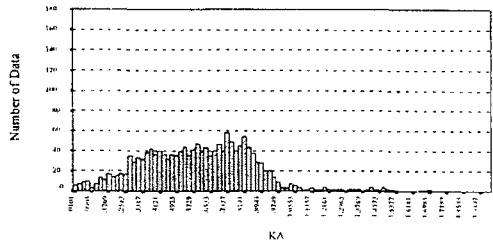
July



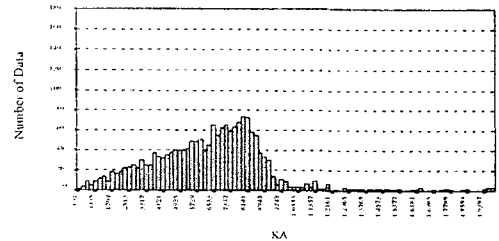
August



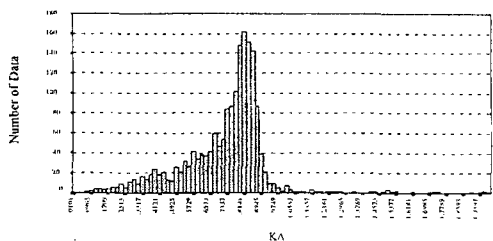
September



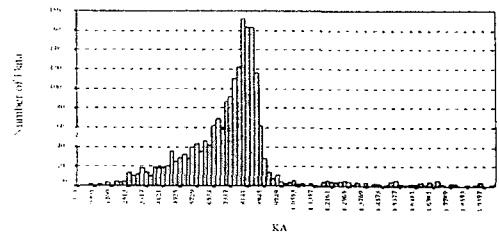
October



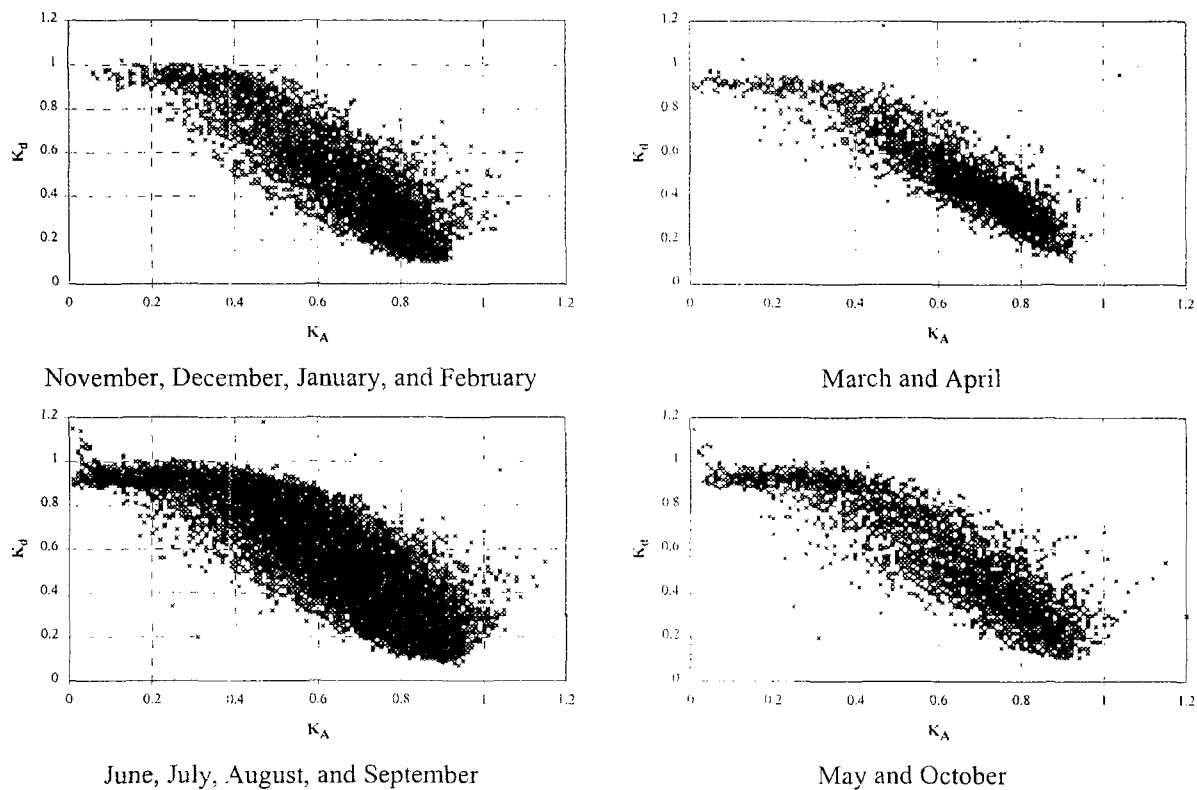
November



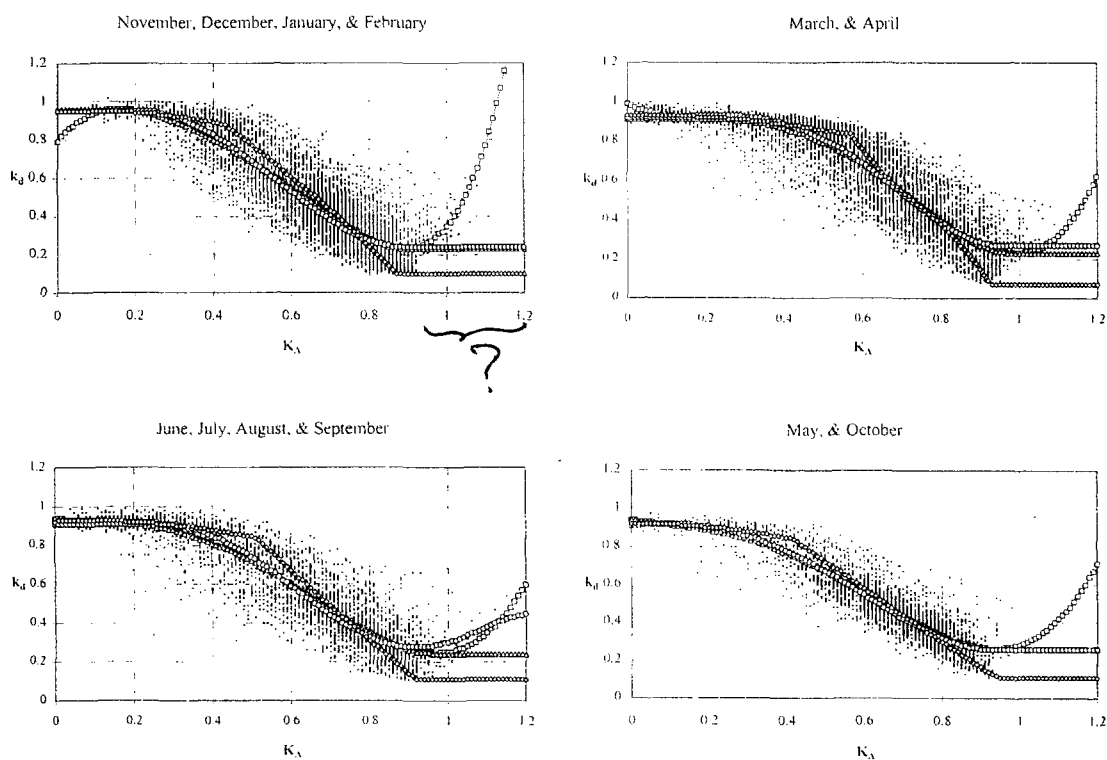
December



รูปที่ 3 Histogram ของค่า K_A ที่รวบรวมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535-2539



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความกระจ่ายที่ตัดแปรกับอัตราส่วนค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายในแต่ละช่วงที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

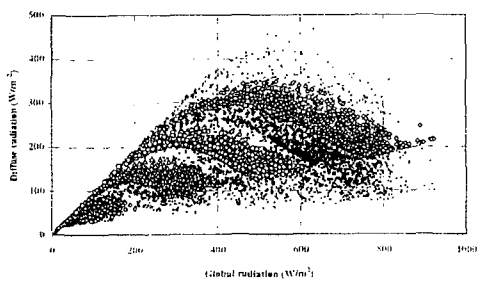


□ Model 1 ▲ Model 2 ○ Model 3 ◆ Model 4

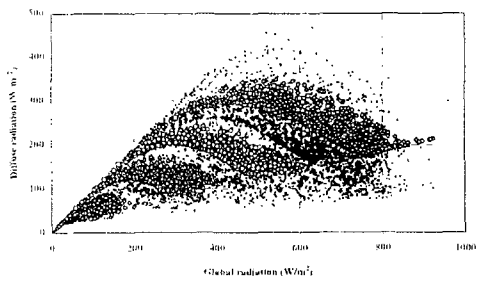
รูปที่ 5 เส้นโค้งแสดงถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 แบบ กับข้อมูลจริง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่า SD ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

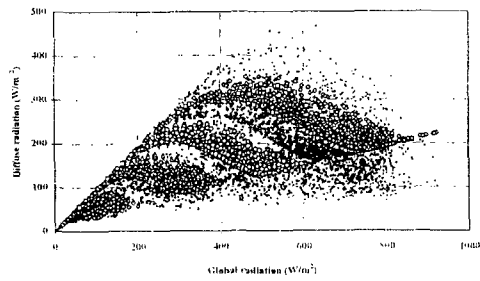
	ช่วงที่ 1 SD	ช่วงที่ 2 SD	ช่วงที่ 3 SD	ช่วงที่ 4 SD
แบบที่ 1	0.07317	0.05094	0.07405	0.07881
แบบที่ 2	0.07377	0.05095	0.07440	0.07934
แบบที่ 3	0.07456	0.05109	0.07469	0.08072
แบบที่ 4	0.09719	0.06377	0.09218	0.10385



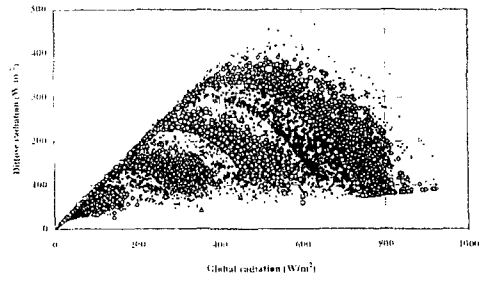
Model 1



Model 2



Model 3

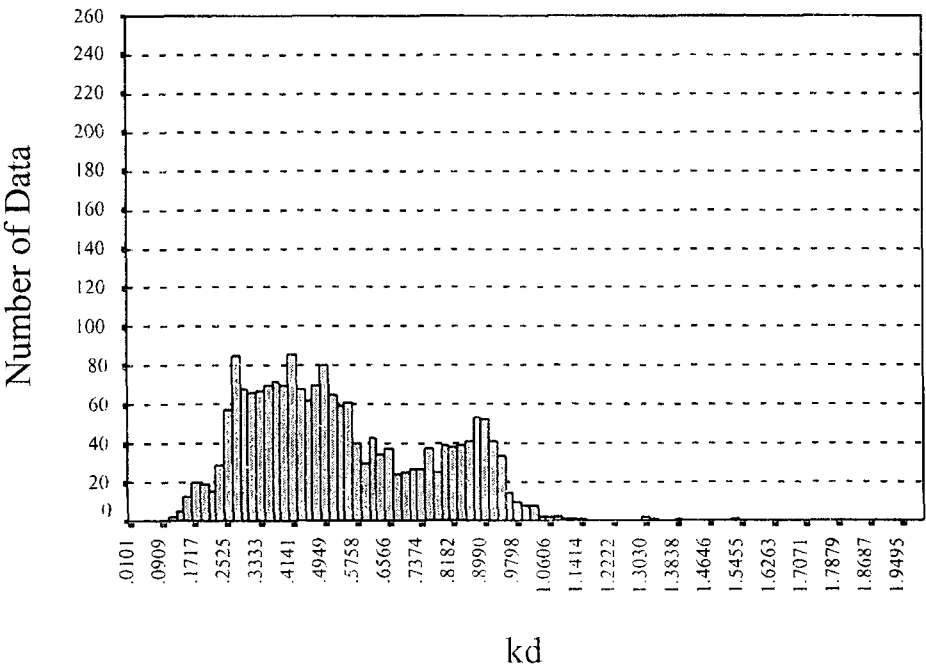


Model 4

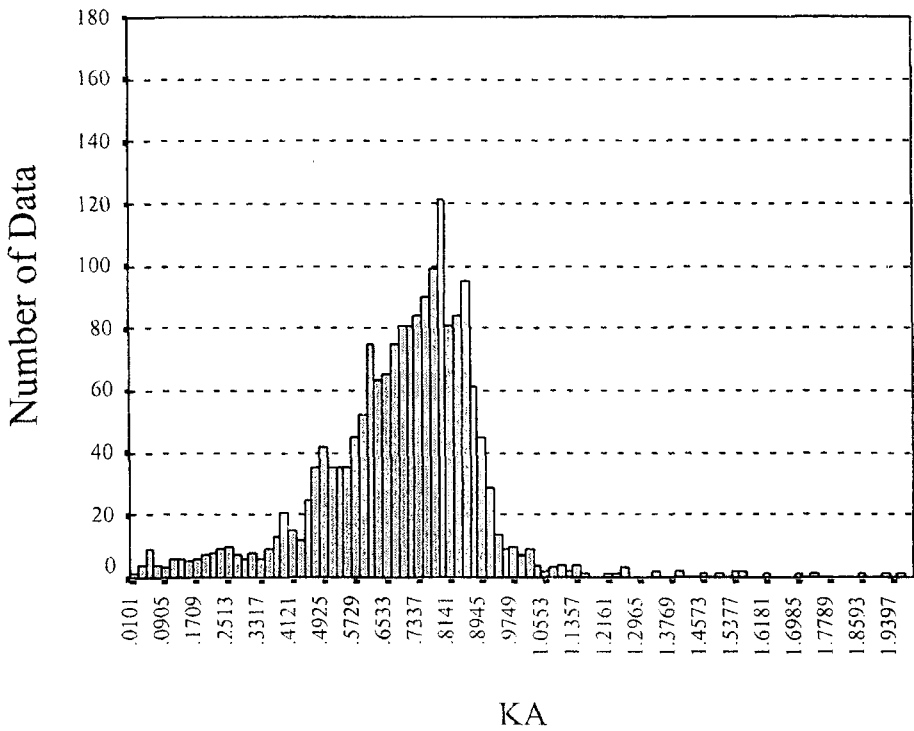
◇ 8.00 o'clock △ 9.00 o'clock ○ 10.00 o'clock + 11.00 o'clock □ 12.00 o'clock ◇ 13.00 o'clock
x Measured data

รูปที่ 6 ผลการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเทียบกับข้อมูลจริง

April



April



รูปที่ 7 รูปขยายของตัวอย่าง histogram ในรูปที่ 2 และ 3 เพื่อแสดงค่าตัวเลขกำกับแกนทั้งสองของ histogram