

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์

นายรัช เกษสถิตย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายรัช เกษสถิตย์
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสี
พลังงานแสงอาทิตย์
สาขาวิชา : ไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพรรณ ธงชัย
: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรากร เจริญสุข
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมหรือนิวรอลเน็ตเวิร์ค และการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ นิวรอลเน็ตเวิร์คที่มีการออกแบบที่ดีและผ่านการสอนด้วยข้อมูลที่เหมาะสมจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ หลายด้าน รวมถึงการนำมาใช้พยากรณ์สิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอนาคตได้ในการศึกษารั้งนี้ได้กำหนดรูปแบบของนิวรอลเน็ตเวิร์คให้มีจำนวนของอินพุต 4 อินพุต และมีเอาพุต 1 เอาพุต เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูลแบบรายปี และแบบรายเดือน

จากการวิจัยพบว่าการพยากรณ์ค่าพลังงานรวมมีค่าต่ำกว่าค่าจริงร้อยละ 4.51 และค่าของพลังงานงานรวมทั้งปีที่พยากรณ์ได้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงมากขึ้นในระยะเวลา 3 ปี (พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2545) และการพยากรณ์ผลในปี พ.ศ.2546 ตรงกับข้อมูลค่าความเข้มแสงที่วัดค่าได้จริงสำหรับผลที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายเดือนนั้นผลที่ได้จากการสอนค่อนข้างดีใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง และผลของการพยากรณ์มีค่าต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย โดยมีเปอร์เซ็นต์ของค่าความผิดพลาดต่ำกว่าการพยากรณ์แบบรายปี คิดเป็นร้อยละ 3.68

ดังนั้นผลการพยากรณ์ที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือนำไปใช้เพื่อประกอบการพิจารณาออกแบบงานที่เกี่ยวข้องกับการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปใช้งาน

(วิทยานิพนธ์นี้มีจำนวนทั้งสิ้น 89 หน้า)

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม, พยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสี, พลังงานแสงอาทิตย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Thawat Keatsathit
Thesis Title : Application of an Artificial Neural Network for Solar Radiation Forecasting
Major Field : Electrical Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Assistant Professor Dr. Siripun Thongchai
: Assistant Professor Dr. Warakorn Charoensuk
Academic Year : 2006

Abstract

The objective of this research is to study the principle of artificial neural network and the application for solar radiation forecasting. The design and the training data are important for neural network to prediction the phenomenal in the future. The neural network in this study has 4 inputs and 1 output, applies for predicting the solar radiation in a year and a month.

The results show that the total energy prediction is less than total energy measurement 4.51 % and the total energy prediction trends to be increased during 3 years (2000-2002). However, the solar radiation forecasting in month during 2003 has better training, since the result is similar to the solar radiation measurement. The solar radiation forecasting result is less than the solar radiation measurement 3.68 %. The error for month forecasting is less than year forecasting.

Therefore, solar radiation forecasting can be used for designing an electrical power plant or other systems which get the energy from the sun.

(Total 89 pages)

Keywords: Artificial Neural Network, Solar Radiation, Forecasting

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.ศิริพรรณ ธงชัย และผศ.ดร.วรากร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรม ตลอดจนถึงการจัดรูปแบบการทบทวนเนื้อเวิร์ค ซึ่งช่วยให้การดำเนินการทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ใคร่ขอขอบพระคุณท่าน รศ. ดร. เสริม จันทรฉาย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ที่ได้ให้ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้ทำการจัดเก็บ ณ สถานีวัดค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ระหว่างปี พ.ศ. 2542 ถึงปี พ.ศ. 2546 ทั้งหมดเป็นระยะเวลา 5 ปี และเป็นข้อมูลที่ยังมิได้เผยแพร่ให้กับบุคคลภายนอกมาก่อนมาใช้ในการศึกษาทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยใคร่ขออุทิศสิ่งที่เป็นประโยชน์และส่วนของความดีทั้งหลายเหล่านั้น แก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้มีพระคุณ ตลอดจนผู้ที่มีส่วนร่วมในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกๆ ท่าน

ธวัช เกษสถิตย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 นิยามศัพท์	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 รังสีดวงอาทิตย์	5
2.2 ชนิดของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงสู่พื้นผิวโลก	6
2.3 นิเวศน์เน็ตเวิร์ค	7
2.4 หลักการของนิเวศน์เน็ตเวิร์ค	9
2.5 ประโยชน์และการประยุกต์นิเวศน์เน็ตเวิร์คเพื่อการใช้งาน	9
2.6 รูปแบบของนิเวศน์เน็ตเวิร์ค	10
2.7 ฟีดฟอร์เวคเน็ตเวิร์ค	14
2.8 การเรียนรู้และการปรับปรุงค่า	15
2.9 กฎการเรียนรู้ของเน็ตเวิร์ค	16
2.10 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด	17
2.11 Backpropagation	18
2.12 นิเวศน์เน็ตเวิร์คกับการพยากรณ์	19
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	23
3.1 การเก็บและรวบรวมข้อมูล	23
3.2 กำหนดรูปแบบของการทบทวนเน็ตเวิร์ค	24
3.3 ออกแบบนิรอลเน็ตเวิร์ค	25
3.4 ออกแบบตัวโปรแกรม	27
3.5 ทดสอบโปรแกรม	34
3.6 คำนวณค่าของพลังงาน	34
3.7 เปรียบเทียบผลที่ได้	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย	35
4.1 การทบทวนค่าความเข้มแสงเป็นรายปี	35
4.2 การทบทวนข้อมูลค่าความเข้มแสงเป็นรายเดือน	49
4.3 การทบทวนข้อมูลค่าความเข้มแสงเป็นรายสัปดาห์	58
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	63
5.2 สรุปผลการวิจัย	64
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มรังสีรวมพลังงานแสงอาทิตย์ปี พ.ศ. 2546	69
ภาคผนวก ข ตัวอย่างโปรแกรมพยากรณ์ค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์แบบรายปี	83
ประวัติผู้วิจัย	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 แสดงการเปรียบเทียบค่า MSE และเวลาที่ได้ ที่อินพุตและที่ฮิดเด็นเลเยอร์ต่างๆ	27
4-1 แสดงค่าพลังงานรวมแต่ละปี ของพลังงานแสงที่วัดได้จริงระหว่างปี พ.ศ. 2542-2556	45
4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละเดือนที่วัดได้ กับที่พยากรณ์ได้	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ชนิดของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงสู่พื้นผิวโลก	6
2-2 Block diagram แสดงถึงระบบการรับรู้ของมนุษย์	7
2-3 แสดงเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์	8
2-4 Node พื้นฐานของ Neural network	8
2-5 แสดงหลักการของนิวรอลเน็ตเวิร์ค	9
2-6 แสดงส่วนประกอบของของนิวรอน	10
2-7 แสดงสัญลักษณ์ Hard Limit Transfer Function	11
2-8 แสดงสัญลักษณ์ Linear Transfer Function	11
2-9 แสดงสัญลักษณ์ Log sigmoid Transfer Function	12
2-10 แสดงนิวรอลแบบชั้นเดียว	13
2-11 แสดงนิวรอลแบบหลายชั้น	13
2-12 แสดงนิวรอลชนิดฟีดฟอร์เวิร์ดเน็ตเวิร์คแบบชั้นเดียว	14
2-13 บล็อกไดอะแกรมแสดงชนิดของการเรียนรู้	16
2-14 แสดงการเรียนรู้ของเวท	17
3-1 แสดงแบบนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ใช้เทรนข้อมูลตามข้อ 3.2.1 และ 3.2.2	25
3-2 แสดงแบบเน็ตเวิร์คที่ใช้เทรนข้อมูลตามข้อ 3.2.3	26
3-3 แสดง Flow chart ของโปรแกรมใช้เทรนข้อมูลรายปี	29
3-4 แสดง Flow chart ของโปรแกรมใช้เทรนข้อมูลรายเดือน	31
3-5 แสดง Flow chart ของโปรแกรมใช้เทรนข้อมูลรายสัปดาห์	33
4-1 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ ขณะทำการเทรนข้อมูลแบบรายปี	35
4-2 แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ หลังจากทำการเทรนข้อมูลแล้วเสร็จ	36
4-3 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 5.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	38
4-4 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 6.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	38
4-5 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 7.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	39
4-6 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 8.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	39
4-7 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 9.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	40
4-8 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 10.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-9 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 11.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	41
4-10 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 12.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	41
4-11 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 13.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	42
4-12 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 14.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	42
4-13 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 15.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	43
4-14 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 16.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	43
4-15 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 17.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	44
4-16 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ที่เวลา 18.00 น. ของปี พ.ศ. 2546	44
4-17 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริง. ของปี พ.ศ. 2542	45
4-18 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริง. ของปี พ.ศ. 2543	46
4-19 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริง. ของปี พ.ศ. 2544	46
4-20 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริง. ของปี พ.ศ. 2545	47
4-21 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริง. ของปี พ.ศ. 2546	47
4-22 ค่าความเข้มพลังงานแสงปี พ.ศ. 2546 ที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยนิรอลเน็ตเวิร์ค	48
4-23 แสดงหน้าจอขณะทราบข้อมูลแบบรายเดือน	49
4-24 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 5.00 น.	50
4-25 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 6.00 น.	50
4-26 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 7.00 น.	51
4-27 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 8.00 น.	51
4-28 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 9.00 น.	52
4-29 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 10.00 น.	52
4-30 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 11.00 น.	53
4-31 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 12.00 น.	53
4-32 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 13.00 น.	54
4-33 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 14.00 น.	54
4-34 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 15.00 น.	55
4-35 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 16.00 น.	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-36 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 17.00 น.	56
4-37 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 18.00 น.	56
4-38 ค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริง. ระหว่างเดือนมกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2546	57
4-39 ค่าความเข้มพลังงานแสงที่พยากรณ์ได้ ระหว่างเดือนมกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2546	58
4-40 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ขณะทำการเทรนข้อมูลแบบรายสัปดาห์	59
4-41 กราฟแสดงผลจากการเทรนและผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2546	60
4-42 กราฟแสดงผลจากการเทรนและผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2546	60
4-43 กราฟแสดงผลจากการเทรนและผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2546	61
4-44 กราฟแสดงผลจากการเทรนและผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2546	61
4-45 กราฟแสดงผลจากการเทรนและผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มของประชากรและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ส่วนใหญ่เชื้อเพลิงหลักที่นำเข้ามาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันได้จากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล (Fossil Fuel) และก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงบางส่วนมีในประเทศ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ การนำเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม เช่น ทำให้เกิดฝุ่นละอองที่เกิดจากจี้ถ่าน เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศดังเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เมื่อปี พ.ศ. 2536 เป็นต้น สำหรับก๊าซธรรมชาติที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันนี้จะสร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล นอกจากนั้นแล้วเชื้อเพลิงหลักอีกตัวหนึ่งได้แก่น้ำมันซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศเช่นกัน เมื่อปี พ.ศ. 2516 และในปี พ.ศ. 2549 ราคาของน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นเป็นอย่างมากทำให้เกิดสภาวะวิกฤตด้านพลังงานได้กลายเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจทั่วทุกมุมโลก ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันมีแหล่งผลิตเฉพาะบางประเทศเท่านั้น อีกทั้งปริมาณที่มีก็ลดน้อยลงไปทุกทีเนื่องจากปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นตามประชากรของโลก โดยที่นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ถึงปริมาณของน้ำมันอาจหมดไปในระยะอีก 50 ปีข้างหน้า หากไม่มีการควบคุมปริมาณการใช้ที่ดี

จากสภาวะวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานของโลก ทำให้นักวิจัยได้หันตัวเกี่ยวกับการพัฒนาพลังงานที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานอีกตัวหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ได้ไม่หมดสิ้น และไม่จำเป็นต้องซื้อหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูด 30° N และ 30° S หรือที่เรียกว่าบริเวณ “SUNBELT” จะได้รับแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเข้มของรังสีสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ของโลก ประเทศไทยของเราจัดอยู่ในเขตดังกล่าวนี้ และมีความเข้มรังสีรวมบนพื้นราบโดยเฉลี่ยประมาณ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานด้านต่าง ๆ รวมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกแนวทางเลือกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ในขณะที่รัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมการหาพลังงาน

อื่นๆ มาทดแทน ภายใต้การสนับสนุนและส่งเสริมจากกรมส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากเราสามารถที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานได้ตลอดทั้งปี ซึ่งหน่วยงานที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นต้น (รายงานการวิจัยที่ 50-61 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544: 1-2)

ปัจจัยหลักของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้น พลังงานที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งค่าความเข้มของรังสีนั้นในแต่ละพื้นที่ที่ได้รับแสงในแต่ละเวลาของแต่ละวันในปีหนึ่งๆ นั้นจะมีค่าแตกต่างกัน สาเหตุหรือตัวการที่มีผลต่อค่าความเข้มของรังสีเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแต่ละวัน เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก มีฝนตก ปริมาณค่าความเข้มแสงจะต่ำกว่าในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง พลังงานที่ได้จะน้อย อีกประการหนึ่งได้แก่การเปลี่ยนแปลงทางฤดูกาล ตลอดไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น ตัวอย่างเช่น มีหมอกควัน มีฝุ่นละอองในอากาศมาก หรือเกิดมลภาวะ ซึ่งอาจเป็นฝีมือของมนุษย์หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดจากธรรมชาติก็ตามล้วนที่ส่งผลให้ค่าความเข้มรังสีเปลี่ยนแปลงไปทั้งสิ้น หากมาพิจารณาในทางกลับกัน สภาวะสิ่งต่าง ๆ โดยรอบเป็นปัจจัยส่งผลให้ค่าความเข้มของรังสีที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไป นั้นหมายความว่าหากนำค่าความเข้มของรังสีที่วัดได้มาพิจารณาศึกษาการเปลี่ยนแปลงอาจเป็นผลให้เราได้ทราบถึงสภาวะที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต เช่น การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่เป็นผลมาจากค่าความเข้มรังสีเปลี่ยนแปลงไปได้เช่นกัน โดยนำค่าความเข้มรังสีที่วัดได้ในช่วงระยะเวลาที่ไม่น้อยกว่า 3 ปี มาทำการวิเคราะห์

โครงข่ายประสาทเทียมหรือนิวรอลเน็ตเวิร์ค เป็นส่วนที่เกิดจากที่นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาการทำงานของสมองมนุษย์ และจำลองแบบออกมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งโครงข่ายของประสาทเทียมนั้นสามารถจดจำค่าข้อมูล หลังจากที่มีการเทรนระบบดีแล้ว และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ใช้พยากรณ์ค่าหรือสิ่งต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ซึ่งตัวอย่างงานที่นำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งาน ได้แก่ ใช้งานนำร่องนักบิน สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ฝึกนักบิน ใช้พยากรณ์เพื่อการซื้อขายหุ้นในตลาดหุ้น และงานด้านอื่นๆ อีกหลายด้าน ดังนั้นจากประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาใช้เพื่อการพยากรณ์สิ่งต่างๆ ได้ จากข้อดีของโครงข่ายประสาทเทียมหากนำมาใช้พยากรณ์ค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ ผลที่ได้ในครั้งนี้อาจเป็นแนวทางที่ทำให้เราได้ทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้ ที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของปริมาณรังสีในครั้งนี้ มีเป้าหมายหลักเพื่อต้องการศึกษาข้อมูลตลอดจนแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการนำไปพิจารณาออกแบบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้าอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษา และประยุกต์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์แนวโน้มของพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยมีดังนี้

1.3.1 วิเคราะห์ข้อมูลค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ โดยนำข้อมูลที่เก็บได้จากสถานีวัดความเข้มแสงในเขตพื้นที่ของประเทศไทย เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 3 ปี มาทำการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียม

1.3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลค่าความเข้มรังสีรวมเพิ่มเติมในปีที่ 4 หรือปีต่อไปเป็นระยะเวลา 3 เดือน เพื่อใช้เป็นตัวอย่างทดสอบและเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์

1.4 นิยามศัพท์

1.4.1 นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network) หรือโครงข่ายประสาทเทียม หมายถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกิดจากการศึกษาการทำงานของสมองมนุษย์ แล้วจำลองรูปแบบมาเป็นแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ อินพุต เวท ไบอัส ฟังก์ชันโอนย้าย และเอาพุต

1.4.2 อินพุต หมายถึง ข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่เน็ตเวิร์ค เป็นข้อมูลชนิดตัวเลขที่อยู่ในรูปของเมตริก

1.4.3 เวท หมายถึง ค่าหรือตัวเลขที่เป็นค่าประจำตัวของอินพุตแต่ละอินพุต

1.4.4 ไบอัส หมายถึง ค่าตัวเลขที่ใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้นการเกิดค่าของฟังก์ชัน

1.4.5 ฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function) หมายถึง รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ถ่ายโอนค่าของอินพุตไปยังเอาพุต โดยปกติที่นิยมใช้ได้แก่ ฟังก์ชันโอนย้ายฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) ฟังก์ชันโอนย้ายเชิงเส้น (Linear Transfer Function) และฟังก์ชันโอนย้ายล็อกซิกโมด (Log sigmoid Transfer Function)

1.4.6 ทรนนิ่ง (Training) หมายถึง รูปแบบของการป้อนข้อมูลอินพุตให้กับเน็ตเวิร์ค เพื่อสอนให้เกิดการเรียนรู้จำค่าตามรูปแบบของการสอนนั้น

1.4.7 Backpropagation Algorithm หมายถึง รูปแบบของการเรียนรู้ของเน็ตเวิร์ค โดยที่ เน็ตเวิร์คจะมีการปรับค่าของเวทหลังการรับข้อมูลที่ใช้ทรน เพื่อให้ได้ค่าของเอาพุตใกล้เคียง กับค่าของเป้าหมายมากที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ใช้ในการพยากรณ์สภาวะการแนวโน้มปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้นได้

1.5.2 ผลที่ได้ใช้เป็นแนวทางที่จะบอกถึงสภาวะแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

1.5.3 นำโปรแกรมของโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อการพยากรณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

1.5.4 ใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนที่ได้จากการแผ่รังสีพลังงาน แสงอาทิตย์ และนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยใช้ เซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีดวงอาทิตย์

โลกเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่งในระบบสุริยจักรวาลมีอายุประมาณสี่พันห้าร้อยล้านปี พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลกได้ส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนของระบบสิ่งมีชีวิต และเกิดฟอสซิลเก็บสะสมอยู่ใต้พื้นพิภพ หลังจากที่มีการคิดค้นประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำขึ้นมาใช้งานโดยใช้เชื้อเพลิงชนิดฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1765 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ปริมาณทรัพยากรเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ลดลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวเป็นไปในลักษณะการเผาไหม้ทางเคมี ซึ่งส่งผลให้เกิดมลภาวะเป็นพิษในอากาศ เนื่องจากมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มมากขึ้น ซึ่งก๊าซนี้มีคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ จึงทำให้ชั้นของบรรยากาศเบื้องบนรอบๆ โลกอุ่นขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบของสิ่งมีชีวิต

โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางประมาณ $1,495 \times 10^8$ กิโลเมตร ค่าของพลังงานรวมของดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีทั้งหมดประมาณ 3.8×10^{23} กิโลวัตต์ พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีค่าความสว่างประมาณ 46,500 แคนเดล่า มีพลังงานจากดวงอาทิตย์เพียง 177×10^{12} กิโลวัตต์ เท่านั้นที่เดินทางมายังโลกหรือคิดเทียบเป็นร้อยละ 100 ของพลังงานของโลก และถ้าพิจารณาจากพลังงานที่ส่องมายังโลกทั้งหมดร้อยละ 100 นั้น มีค่าของพลังงานจริงๆ ที่ส่งมาถึงพื้นผิวของโลกค่าเพียง 125×10^{12} กิโลวัตต์ หรือคิดเป็นร้อยละ 70 ของพลังงานเท่านั้น ส่วนพลังงานอีก 52×10^{12} กิโลวัตต์ หรือร้อยละ 30 ของพลังงานจะถูกสะท้อนกลับออกไปสู่ห้วงอวกาศ พลังงานที่ส่งมาถึงผิวโลกและเป็นพลังงานส่วนที่พื้นดินได้รับมีค่าเท่ากับ 40×10^{12} กิโลวัตต์ หรือคิดเป็นร้อยละ 23 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 47 เป็นพลังงานที่ลงสู่ส่วนที่เป็นพื้นน้ำหรือมหาสมุทรคิดเป็นค่าพลังงาน 85×10^{12} กิโลวัตต์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544: 9)

2.2 ชนิดของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงสู่พื้นผิวโลก (Various Components of Global Radiation)

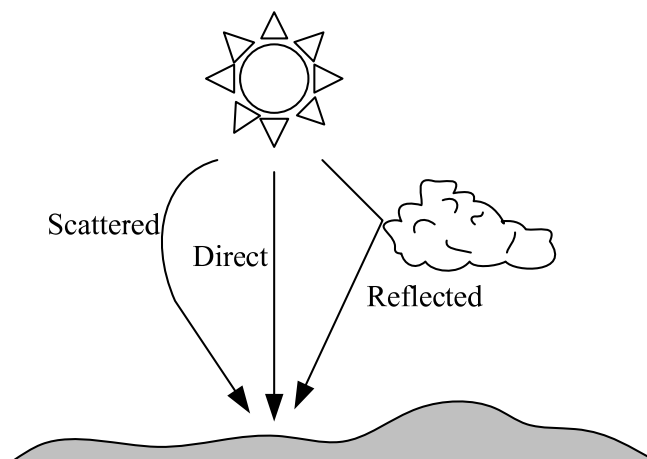
ชนิดของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านทะลุบรรยากาศลงมาถึงพื้นผิวโลก หากพิจารณาบริเวณจุดใดจุดหนึ่งที่ได้รับรังสี ลักษณะการกระจายของรังสีชนิดต่างๆ ที่สำคัญประกอบด้วยรังสีดังต่อไปนี้

2.2.1 รังสีตรง (Direct Radiation) หมายถึง รังสีตกกระทบพื้นโลกโดยตรงและไม่เปลี่ยนทิศทาง

2.2.2 รังสีกระเจิง (Scattered Radiation) หมายถึง รังสีที่มีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปโดยการกระเจิงจากโมเลกุลของก๊าซต่างๆ และสารแขวนลอยในอากาศ

2.2.3 รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) หมายถึง รังสีที่มีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปโดยการสะท้อนจากเมฆ

รังสีที่ตกกระทบพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งนั้นประกอบด้วยรังสีสามชนิดเข้าด้วยกันเป็นรังสีรวม (Total Solar Radiation) หรือเรียกว่า รังสีรวม (Global Radiation)



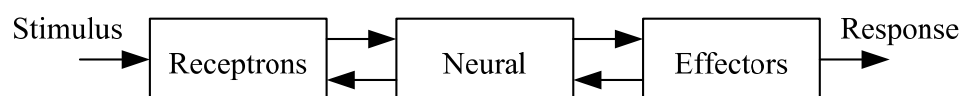
ภาพที่ 2-1 ชนิดของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงสู่พื้นผิวโลก

การศึกษาเกี่ยวกับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั้น เครื่องมือพื้นฐานที่นิยมใช้วัดพลังค์ของรังสีดวงอาทิตย์ โดยที่ชนิดของรังสีที่วัดได้เป็นชนิดรังสีตรง รังสีกระเจิง และรังสีสะท้อน ทั้งสามชนิดรวมกันเป็นรังสีทั้งหมดของดวงอาทิตย์ (Total Solar Radiation) หรือที่เรียกว่า รังสีรวม (Global Radiation) นั้น เครื่องมือดังกล่าว เรียกว่า Pyranometer โดยหน่วยความเข้มของค่าพลังงานรังสีมีค่าเป็น MJ/m^2 (เมกกะจูลต่อตารางเมตร) ซึ่งรังสีที่วัดได้นั้นเป็นรังสีที่มีย่านความยาวของคลื่นแสงอยู่ในช่วง 0.4 - 2.5 ไมโครเมตร นอกจากนั้นยังมีเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการศึกษาในชั้นสูง

ทางฟิสิกส์ของพลังงานงานด้านรังสีดวงอาทิตย์ ได้แก่ ไพรีลิโอมิเตอร์ (Pyreheliometer) ใช้วัดรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ แอลบีโดมิเตอร์ (Ibedometer) ใช้วัดรังสีสะท้อน ยูวีโดซิมิเตอร์ (UV Dosimeter) ใช้วัดรังสีอุลตราไวโอเลต เป็นต้น

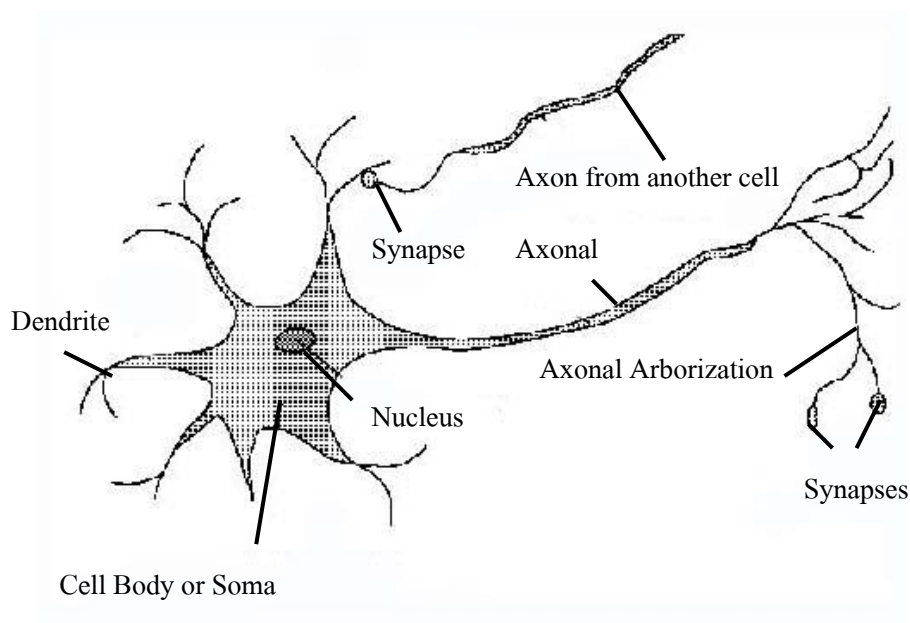
2.3 นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Networks)

นิวรอลเน็ตเวิร์คหรือเรียกอีกอย่างว่าโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เกิดขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาการทำงานของสมองมนุษย์ ส่วนประกอบของระบบประสาทของมนุษย์นั้นจะประกอบด้วยระบบหลัก ๆ สามระบบด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-2 ได้แก่ ระบบส่วนการรับรู้ (Receptons) ทำหน้าที่รับรู้สัมผัสจากสิ่งแวดล้อมภายนอกของร่างกาย แล้วจะเปลี่ยนสัญญาณเป็นคลื่นไฟฟ้าส่งผ่านสัญญาณข้อมูลไปยังส่วนที่สองหรือสมอง (Neural Net) ซึ่งทำหน้าที่แปลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับ แล้วส่งผลที่ได้ไปยังส่วนผลลัพท์ (Effectors) เพื่อส่งออกไปสู่ส่วนเ้าพุดสนองต่อสิ่งที่ได้รับรู้



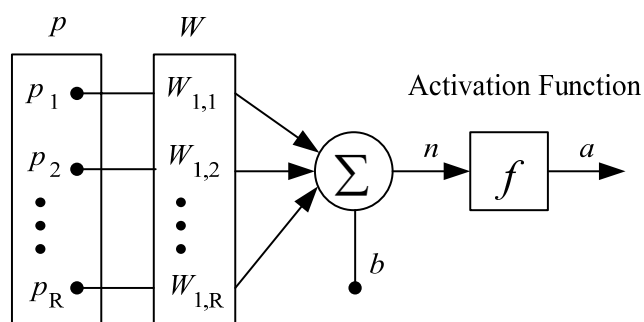
ภาพที่ 2-2 Block Diagram แสดงถึงระบบการรับรู้ของมนุษย์

สมอง ประกอบด้วยนิวรอน (Neuron) หรือเซลล์สมองซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่ประกอบเป็นเนื้อเยื่อสมอง นิวรอนมีส่วนประกอบสำคัญคือตัวเซลล์ (Cell Body) ที่มีนิวเคลียสอยู่ภายใน ถัดจากตัวเซลล์ คือแอกซอน (Axon) และเดนไดรต์ (Dendrites) เป็นเส้นใยประสาททำหน้าที่รับส่งสัญญาณประสาท ซึ่งเดนไดรต์ประกอบด้วยเส้นใยประสาทจำนวนมากอยู่รอบๆ ตัวเซลล์ทำหน้าที่รับสัญญาณประสาทจากเซลล์อื่นๆ ส่วนแอกซอนเป็นเส้นใยประสาทเส้นเดียวยื่นออกจากตัวเซลล์ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาทออกจากเซลล์ไปยังเซลล์อื่นๆ ที่ส่วนปลายของแอกซอน จะแยกเป็นแขนงเรียกว่า Axonal Arborization ซึ่งส่วนปลายของ Axonal Arborization มีจุดเชื่อมต่อเล็กๆ เรียกว่าจุดประสานประสาท (Synapses) ในแต่ละ Axonal Arborization มีจำนวนจุดประสานประสาทไม่เท่ากันซึ่งทำให้เกิดระดับการเชื่อมต่อ (Connection Strength) ที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งจำนวนจุดประสานประสาทดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดช่วงชีวิต ซึ่งระดับการเชื่อมต่อนี้คือความสามารถในการจำ (Memory) ความคิด (Thinking) ฯลฯ ของสมองโดยการเรียนรู้ (Learning) ทำให้จำนวนจุดประสานประสาทเปลี่ยนแปลงได้ ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แสดงเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์

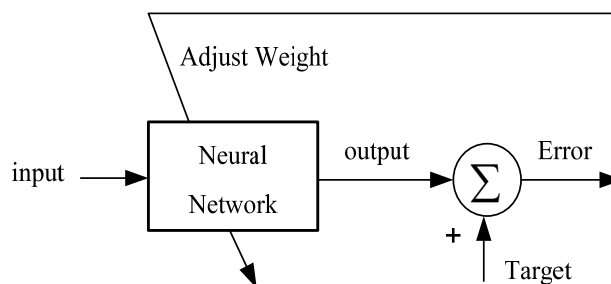
หลังจากที่นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจนเข้าใจหลักการประมวลผลของสมองแล้วได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) ขึ้นมาเพื่อจำลองแบบการทำงานของเซลล์สมองของมนุษย์ เรียกว่าเครือข่ายนิวรอล (Neural Networks) ซึ่งมีแผนภาพของโนด (Node) พื้นฐานดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 Node พื้นฐานของ Neural Network

2.4 หลักการของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

นิวรอลเน็ตเวิร์คเป็นระบบที่มีส่วนประกอบซึ่งจำลองรูปแบบการทำงานของระบบของสมองมนุษย์ หน้าที่และการทำงานของนิวรอลสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่และสามารถเทรน (Train) ระบบเพื่อนำไปใช้งานเฉพาะได้ หลักการทำงานของนิวรอลจะอาศัยการปรับค่าเวท (Weight) ในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2-5 การทำงานของนิวรอลจะมีการเปรียบเทียบเอาพุต (Output) ของนิวรอลที่ได้กับค่าของเป้าหมาย (Target) ที่กำหนด หากในกรณีที่ได้อัพพุตมีค่าแตกต่างหรือไม่เท่ากับค่าเป้าหมาย ระบบของนิวรอลจะทำการปรับค่าของเวท (Weight) ไปจนกว่าค่าของเอาพุต (Output) ตัวใหม่มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย (Target) ซึ่งการเทรนนิวรอลเพื่อให้ระบบมีการเรียนรู้ (Learning) ต้องมีข้อมูลที่ป้อนเข้าหรือข้อมูลที่เป็นอินพุต (Input) และค่าที่ใช้เป็นค่าเป้าหมาย (Target) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบนั้นจะต้องมีการจัดข้อมูลให้เป็นไปแบบคู่ลำดับ เพื่อใช้ในการเทรนเน็ตเวิร์ค



ภาพที่ 2-5 แสดงหลักการของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

2.5 ประโยชน์และการประยุกต์นิวรอลเน็ตเวิร์คเพื่อการใช้งาน

นิวรอลเน็ตเวิร์คสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลาย ๆ สาขา ประโยชน์ของนิวรอลเน็ตเวิร์คนั้นได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในสาขาต่าง ๆ ดังนี้ (Howard Demuth and Mark Beale, 1994: 12)

งานด้านอวกาศ ใช้งานในระบบนำร่องนักบิน ระบบจำลองและควบคุมการบิน

งานด้านยานยนต์ ใช้งานระบบนำทางอัตโนมัติ

งานด้านการธนาคาร ใช้งานด้านการตรวจสอบการอ่านเอกสาร ประเมินการเครดิต

งานด้านการเงิน ใช้งานด้านสินเชื่อ วิเคราะห์งานเครดิต พยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยน

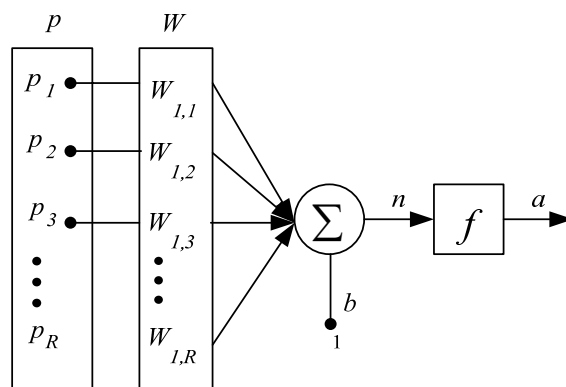
งานด้านบันเทิง ใช้งาน Animation, Special effects

งานด้านอุตสาหกรรม ใช้ในงานพยากรณ์ค่าต่างๆ ในกระบวนการผลิต

งานด้านประกันภัย ประยุกต์ใช้ในงานประเมินเพื่อลดต้นทุนต่ำสุด ประเมินการกรมธรรม์

2.6 รูปแบบของนิวรอนเน็ตเวิร์ค (Neuron Network Modeling)

2.6.1 รูปแบบของนิวรอน นิวรอนเน็ตเวิร์คจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนอินพุต (Input) ของเน็ตเวิร์คแทนด้วยสัญลักษณ์ตัวอักษร P ซึ่งจะอยู่ในรูปของเวกเตอร์ โดยอินพุตแต่ละตัวจะมีค่าของเวท (Weight) ประจำอินพุต แทนด้วยอักษรตัว W ผลคูณที่เกิดจากการคูณค่าเวทกับค่าอินพุตแต่ละค่าจะนำมาบวกกัน (Summing) ณ จุดรวมสัญญาณ จากนั้นจะนำผลคูณที่ได้ทั้งหมดบวกกับค่าของไบอัส (Bias) ซึ่งแทนด้วยตัวอักษร b แล้วส่งผลรวมที่ได้ผ่านไปยังชั้นโอนย้าย (Transfer Function) แทนด้วยสัญลักษณ์ f และออกไปส่วนเอาพุตของระบบ ดังแสดงได้ในภาพที่ 2-6



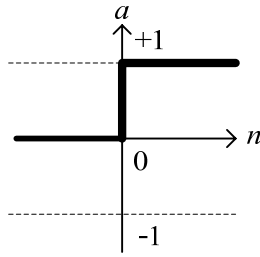
ภาพที่ 2-6 แสดงส่วนประกอบของของนิวรอน

จากภาพที่ 2-6 เอาพุตของนิวรอนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = f(Wp + b) \quad (2-1)$$

2.6.2 ฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Functions) ฟังก์ชันโอนย้ายที่ใช้ในนิวรอนเน็ตเวิร์ค นิยมใช้อยู่สามรูปแบบ ได้แก่ ฟังก์ชันโอนย้ายฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) ฟังก์ชันโอนย้ายเชิงเส้น (Linear Transfer Function) และฟังก์ชันโอนย้ายล็อกซิกโมด (Log sigmoid Transfer Function)

ฟังก์ชันโอนย้ายฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) แสดงในภาพที่ 2-7 จะกำหนดค่าเอาพุตของนิวรอนเป็นดังนี้ ถ้าอินพุต n ของนิวรอนมีค่าน้อยกว่า 0 ค่าเอาพุต a ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 และถ้า n มีค่าเท่ากับ 0 หรือมากกว่า 0 ค่าเอาพุตจะมีค่าเป็น 1

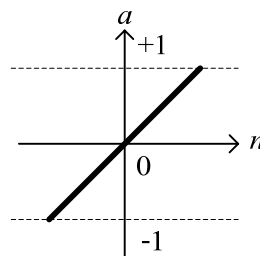


ภาพที่ 2-7 แสดงสัญลักษณ์ Hard Limit Transfer Function

จากภาพที่ 2-7 เอ้าพุทของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \begin{cases} 1, & \text{if } n \geq 0 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2-2)$$

ฟังก์ชันโอนย้ายเชิงเส้น (Linear Transfer Function) หรือฟังก์ชันโอนย้ายแบบลิเนียร์ ใช้งานเพื่อการประมาณค่าที่เป็นแบบเชิงเส้น

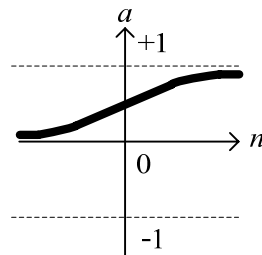


ภาพที่ 2-8 แสดงสัญลักษณ์ Linear Transfer Function

จากภาพที่ 2-8 เอ้าพุทของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \begin{cases} n, & \text{if } n > 0 \\ 0, & \text{if } n = 0 \\ -n, & \text{if } n < 0 \end{cases} \quad (2-2)$$

ฟังก์ชันโอนย้ายลอจิสติกโหมค (Log Sigmoid Transfer Function) สามารถรับอินพุตค่าต่างๆ ได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่เป็นลบ และให้อ้าพุตในย่าน 0 ถึง 1 ฟังก์ชันโอนย้ายแบบ Log Sigmoid ใช้ใน Backpropagation Network

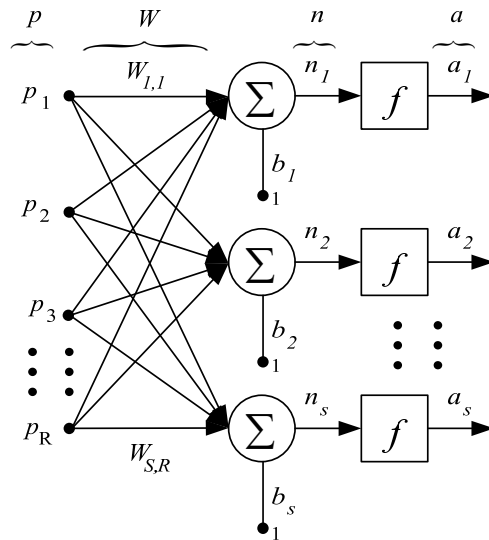


ภาพที่ 2-9 แสดงสัญลักษณ์ Log sigmoid Transfer Function

จากภาพที่ 2-9 อ้าพุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \frac{1}{1 + \exp(-n)} \quad (2-4)$$

2.6.3 ชั้นของนิวรอล (Layer) นิวรอล ประกอบด้วยชั้นมากกว่าหนึ่งชั้น ในแต่ละชั้นของนิวรอลจะประกอบไปด้วยนิวรอนหลายๆ ตัวได้ แต่นิวรอลหนึ่งชั้นนั้นประกอบด้วยอินพุต ค่าเวท และค่าไบอัส ผลที่ได้จากการคูณระหว่างค่าเวทกับอินพุตแต่ละคู่จะนำมารวมกับค่าไบอัสในชั้น หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่รวมแล้วเข้าฟังก์ชันโอนย้ายและส่งไปสู่ชั้นถัดไป ตัวอย่างนิวรอลแบบชั้นเดียวประกอบด้วยจำนวนนิวรอนหลายๆ ตัว แสดงในภาพที่ 2-10 ในที่นี้นิวรอลจะมีอินพุตจำนวน R ตัว และมีจำนวนของนิวรอนจำนวน S ตัว

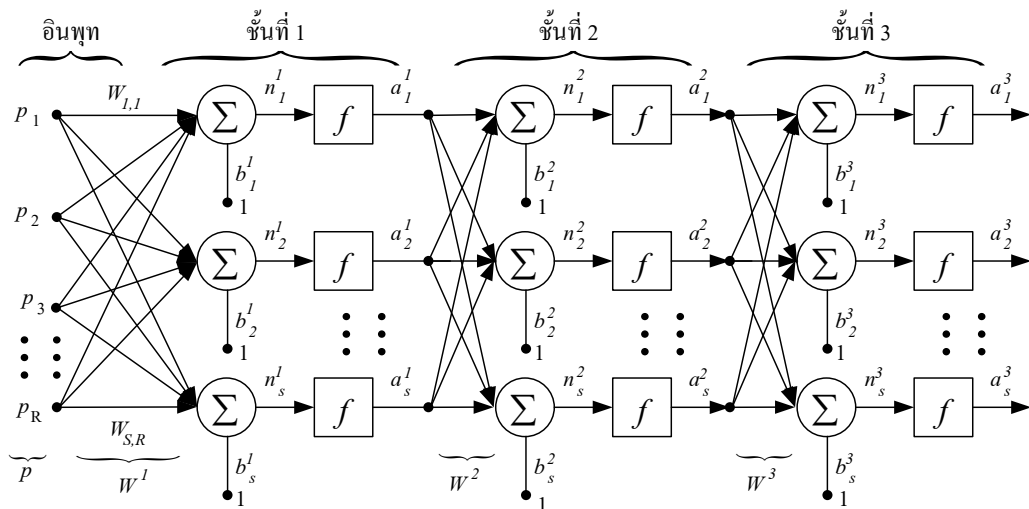


ภาพที่ 2-10 แสดงนิวรอนแบบชั้นเดียว

จากภาพที่ 2-10 เข้าพุทของนิวรอนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = f(Wp+b) \quad (2-5)$$

นิวรอนชนิดหลายชั้น (Multiple Layers of Neurons) นิวรอนเน็ตเวิร์กหลายชั้น ในแต่ละชั้น จะมีเวทเมตริก W มีไบอัสเวกเตอร์ b และมีเข้าพุทเวกเตอร์ a ตัวอย่างของเน็ตเวิร์กแบบสามชั้น แสดงตามภาพที่ 2-11 ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 รวมกันเรียกว่า ฮิดเด็นเลเยอร์ (Hidden Layer) ส่วนชั้นที่ 3 เรียกว่าเข้าพุทเลเยอร์ (Output Layer)



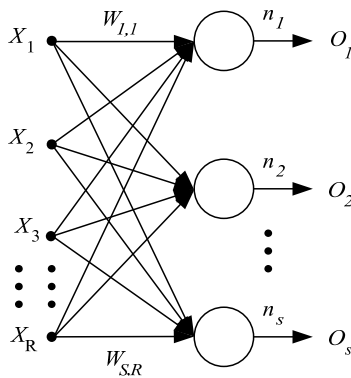
ภาพที่ 2-11 แสดงนิวรอนแบบหลายชั้น

จากภาพที่ 2-11 เอาพุตของนิวรอลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

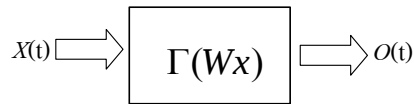
$$a = f(W^3 f(W^2 f(W^1 p + b^1) + b^2) + b^3) \quad (2-6)$$

2.7 ฟีดฟอร์เวิร์ดเน็ตเวิร์ค (Feedforward Network)

พิจารณาส่วนต่างๆ ของฟีดฟอร์เวิร์ดเน็ตเวิร์ค แสดงตามภาพที่ 2-12 โดยมีจำนวนของนิวรอนจำนวน S ตัวและมีจำนวนอินพุต R อินพุต แทนสมการเอาพุตและอินพุตดังนี้



(ก) แสดงการต่อเน็ตเวิร์ค



(ข) บล็อกไดอะแกรม

ภาพที่ 2-12 แสดงนิวรอลชนิดฟีดฟอร์เวิร์ดเน็ตเวิร์คแบบชั้นเดียว

$$o = [o_1 \ o_2 \ \dots \ o_s]^t \quad \text{เป็นเอาพุตเวกเตอร์} \quad (2-7)$$

$$x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_R]^t \quad \text{เป็นอินพุตเวกเตอร์}$$

เวท w_{ij} ของนิวรอนตัวที่ i ต่อกับอินพุตตัวที่ j ดังนั้นสามารถเขียนสมการของนิวรอนตัวที่ i ได้ดังนี้

$$net_i = \sum_{j=1}^R w_{ij} x_j, \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, \dots, S \quad (2-8)$$

การถ่ายโอนที่ไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อป้อนอินพุต P จำนวน R ตัว เอาพุตที่ได้ในแต่ละตัวของนิวรอนจำนวน S ตัว ผลของการ Mapping ที่ได้ในการถ่ายโอนของเน็ตเวิร์คเป็น

$$o_i = f(w_i^t x), \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, \dots, S \quad (2-9)$$

และค่าเวทเวกเตอร์ของเอาพุตแต่ละค่าเป็น

$$w_i \triangleq [w_{i1} \ w_{i2} \ \dots \ w_{iR}]^t \quad (2-10)$$

เมื่อ Γ เป็นเมตริกโอเพอร์เรเตอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ผลการ Mapping อินพุตสเปซ P สู่อ้าพุตสเปซ a ของเน็ตเวิร์คจะได้

$$o = \Gamma[Wx] \quad (2-11)$$

เมื่อ w เป็นเวทเมตริก หรือเรียกอีกอย่างว่า คอนเน็คชันเมตริก (Connection Matrix)

$$W \triangleq \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1R} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2R} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{S1} & W_{S2} & \dots & W_{SR} \end{pmatrix} \quad (2-12)$$

$$\Gamma[.] \triangleq \begin{pmatrix} f(.) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f(.) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & f(.) \end{pmatrix} \quad (2-13)$$

กรณีที่ฟีดฟอร์เวิร์ดไม่มีการหน่วงเวลาระหว่างอินพุตและอ้าพุต สามารถเขียนสมการในช่วงขณะนี้ได้ตามสมการที่

$$o(t) = \Gamma[Wx(t)] \quad (2-14)$$

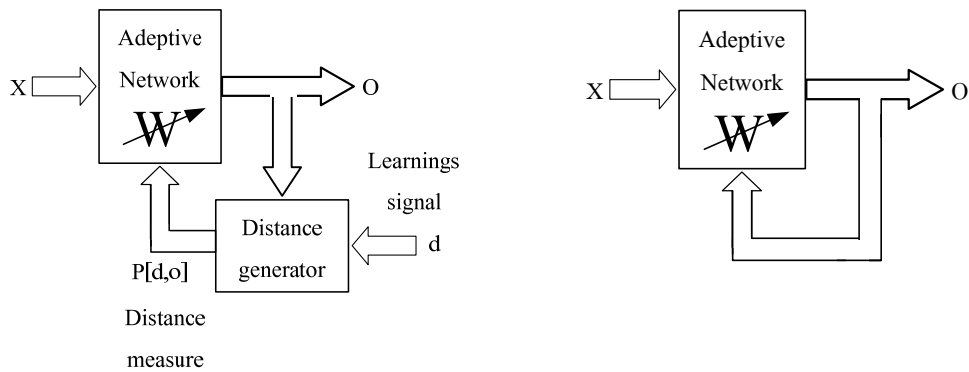
2.8 การเรียนรู้และการปรับปรุงค่า (Learning and Adaptation)

การเรียนรู้ของนิวรอนเน็ตเวิร์คเป็นการ Mapping ระหว่างอินพุตและอ้าพุตของเน็ตเวิร์ค ทั้งนี้การออกแบบส่วนที่สัมพันธ์กันหรือตัวจำแนกของเน็ตเวิร์คจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการเรียนรู้ ความสำคัญของการถ่ายโอนค่าจากอินพุตไปสู่ค่าอ้าพุตตามกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ในลักษณะของคู่ลำดับ ขอบเขตของการจำแนกแต่ละปัญหาจะเป็นไปตามหลักทฤษฎีการประมาณค่า

การเรียนรู้แบบแบบซูปเปอร์ไวส์ เลินนิ่ง (Supervised Learning) และแบบอันซูปเปอร์ไวส์ เลินนิ่ง (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ เลินนิ่งเป็นการเรียนรู้เสมือนว่ามีครูผู้สอน (Teacher) คอยกำกับดูแล สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 2-12 (ก) ค่าของอ้าพุตจะขึ้นอยู่กับการนำค่า t ของระบบที่เกิดจากการเตรียมโดยครูมาเป็นตัวกำหนดการตัดสินใจ จากนั้นระบบจะปรับปรุงค่าของเวทเพื่อลดค่าผิดพลาดระบบให้น้อยลง การเรียนรู้อีกแบบหนึ่งเรียกว่าการเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์ เลินนิ่ง

หรือเป็นการเรียนรู้แบบที่ไม่มีครูผู้สอนคอยกำกับดูแล แสดงตามภาพที่ 2-12 (ข) ดังนั้นเอาพุตได้จากการตัดสินใจซึ่งจะเป็นไปโดยไม่ทราบค่าที่ได้นั้นถูกหรือผิดไปจากค่าเป้าหมาย ค่าที่ได้จึงไม่สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมของระบบได้ การเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่นนำไปใช้เพื่อการจำแนกขอบเขตหรือการกระจายของข้อมูลเป็นต้น



(ก) การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง

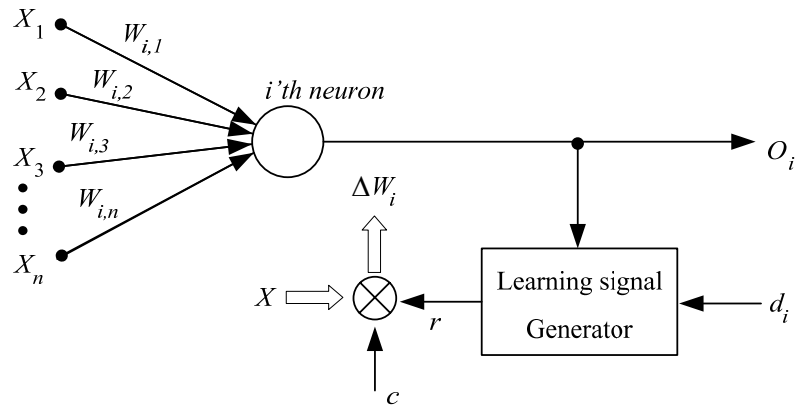
(ข) การเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง

ภาพที่ 2-13 บล็อกไดอะแกรมแสดงชนิดของการเรียนรู้

2.9 กฎการเรียนรู้ของเน็ตเวิร์ค (Learning Rules)

กฎการเรียนรู้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเทรนเน็ตเวิร์คตามเงื่อนไขเฉพาะได้ กฎของการเรียนรู้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่แบบซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง และแบบอันซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่งจะต้องมีการจัดเตรียมกลุ่มข้อมูลแบบคู่ลำดับ ในที่นี้ให้ p เป็นค่าอินพุต ส่วน t เป็นค่าเอาพุตเป้าหมายหรือเป็นค่าที่ต้องการ เมื่อป้อนอินพุตและค่าเป้าหมายเข้าสู่ระบบแล้ว เน็ตเวิร์คจะทำการเปรียบเทียบเอาพุตที่ได้กับค่าเป้าหมายที่กำหนด โดยที่เน็ตเวิร์คจะทำการปรับค่าเวทและค่าไบอัสเพื่อที่จะให้เกิดค่าของเอาพุตตัวใหม่ขึ้นและให้มีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายให้มากที่สุด เรียกกฎการเรียนรู้แบบนี้ว่าการเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง รูปแบบการเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง ค่าของเวทและค่าไบอัส จะปรับปรุงค่าตามการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุตอย่างเดียวจะไม่มีค่าเป้าหมายให้ใช้เปรียบเทียบเหมือนของแบบซูปเปอร์ไวส์เลินนิ่ง

กฎการเรียนรู้ทั่วไปของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ได้จากการศึกษา ในที่นี้เมื่อให้เวทเวกเตอร์ $w_i = [w_{i1} \ w_{i2} \ \dots \ w_{in}]^T$ เพิ่มขึ้นอย่างมีสัดส่วนกับผลคูณของอินพุตเวกเตอร์ x และสัญญาณการเรียนรู้ r และสัญญาณการเรียนรู้ r เป็นส่วนของฟังก์ชัน w_i, x สัญญาณสอนหรือเป้าหมายเป็น d_i โดยสามารถแสดงตามภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 แสดงการเรียนรู้ของเวท (d_i จะมีเฉพาะการเรียนรู้แบบซูเปอร์ไวส์เท่านั้น)

$$r = r(w_i, x, d_i) \quad (2-15)$$

เมื่อ x เป็นอินพุตเวกเตอร์ o เป็นเอาพุตเวกเตอร์ และ d เป็นค่าเป้าหมายที่ต้องการ การปรับค่าของเวทเวกเตอร์ w_i จะเกิดขึ้นในขั้นการเรียนรู้ในแต่ละช่วงของเวลา t สามารถเขียนเป็นสมการการเรียนรู้ได้เป็น

$$\Delta w_i(t) = cr[w_i(t), x(t), d_i(t)]x(t) \quad (2-16)$$

c มีค่าเป็นบวก เรียกว่าค่าคงที่ของการเรียนรู้ (Learning constant) เวทเวกเตอร์จะปรับค่าตามเวลา t ของขั้นตอนการเรียนรู้

$$w_i(t+1) = w_i(t) + cr[w_i(t), w(t), d_i(t)]x(t) \quad (2-17)$$

อักษรตัวห้อยท้ายแสดงช่วงของการเทรนในแต่ละสแต็ป ในแต่ละสแต็ป k ของการเทรนจะได้

$$w_i^{k+1} = w_i^k + cr(w_i^k, x^k, d_i^k)x^k \quad (2-18)$$

ค่าเวทที่ได้เป็นค่าในแต่ละช่วงเวลาและไม่ต่อเนื่อง เวลาการเรียนรู้ที่ต่อเนื่องสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{dw_i(t)}{dt} = crx(t) \quad (2-19)$$

2.10 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (Mean Square Error)

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของเน็ตเวิร์ค เป็นค่าผลรวมของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง หรือเรียกว่า Least Mean Square error (LMS) ที่เกิดจากการเทรนเน็ตเวิร์คแบบซูเปอร์ไวส์ ดังนั้นการเรียนรู้ต้องมีการเตรียมชุดของข้อมูลให้กับเน็ตเวิร์คเพื่อใช้ในการปรับพฤติกรรมระบบโดยจัดเตรียมข้อมูลเป็นชุดๆ ดังนี้

$$\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \{p_3, t_3\} \dots \dots \{p_Q, t_Q\} \quad (2-20)$$

เมื่อ p_Q เป็นอินพุตของเน็ตเวิร์ค t_Q เป็นค่าเป้าหมายที่ต้องการของเอาพุตเน็ตเวิร์คจะรับค่าอินพุตแล้วให้ค่าเอาพุตออกมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าของค่าเป้าหมายที่กำหนดให้เดิม ค่าผิดพลาดที่ได้คำนวณจากค่าเอาพุตของเน็ตเวิร์คด้วยค่าเป้าหมาย แต่เราต้องการลดผลรวมค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดให้น้อยที่สุด

$$MSE = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q e(k)^2 = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (t(k) - a(k))^2 \quad (2-21)$$

เมื่อ a เป็นค่าเอาพุตของเน็ตเวิร์ค

2.11 Backpropagation

Backpropagation เป็นขั้นตอนวิธีของการเรียนรู้ของเน็ตเวิร์ควิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน Multilayer perceptron หรือที่เรียกอีกอย่างว่า Widrow-Hoff learning rule ซึ่งเน็ตเวิร์คจะทำการปรับค่าของเวทหลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับเทรนให้แก่เน็ตเวิร์คในแต่ละครั้งแล้วเสร็จ ค่าเอาพุตของเน็ตเวิร์คจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้ จะถูกส่งกลับเข้าสู่เน็ตเวิร์คเพื่อใช้ปรับปรุงค่าเวทต่อไป

Backpropagation Algorithm เป็นขั้นตอนการเทรนเชิงระบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ โดยแบบที่ง่ายที่สุดเพื่อการปรับค่าของ Backpropagation learning ค่าของเวทและค่าไบอัสจะถูกลดค่าลงอย่างรวดเร็วและให้มากที่สุด ค่า Gradient จะมีค่าเป็นลบ และในแต่ละรอบของการคำนวณจะได้สมการดังนี้

$$X_{k+1} = X_k - \alpha_k g_k \quad (2-22)$$

ในที่นี้ X_{k+1} เป็นค่าเวทตัวใหม่ X_k เป็นค่าของเวทตัวเก่า α_k เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) และ g_k เป็นค่า Gradient

การปรับปรุ้ค่า Gradient มีอยู่ 2 วิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่แบบ Incremental mode และแบบ Batch mode ในโหมด Incremental mode นั้น ค่าของ Gradient จะมีการคำนวณค่าและจะปรับค่าของเวทหลังจากที่มีการป้อนอินพุตแต่ละค่าแล้วเสร็จ ส่วนในโหมด Batch mode นั้นจะต้องป้อนอินพุตทั้งหมดให้กับเน็ตเวิร์คก่อนถึงจะมีการปรับค่าของเวทและค่าของไบอัส

2.12 นิวรอลเน็ตเวิร์คและการพยากรณ์

รูปแบบของนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Pattern of network) ที่นำมาใช้งานเพื่อการพยากรณ์ข้อมูลนั้น โดยหลักแล้วจะเป็นวิธีที่แก้ปัญหอย่างเป็นขั้นเป็นตอน โดยเน็ตเวิร์คจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าหรือปรับค่าที่ได้ของระบบเพื่อให้ได้ค่าของเอาพุตไปสู่ค่าหรือให้ใกล้เคียงกับค่าของเป้าหมายมากที่สุด สำหรับรูปแบบของเน็ตเวิร์คนั้น ก่อนทำการสร้างหรือออกแบบจะต้องทำความเข้าใจ Dynamic ของระบบ ข้อมูลและเป้าหมายที่ต้องการของผู้ออกแบบ การวิจัยครั้งนี้เป็นการใช้เน็ตเวิร์คมาวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น กรณีที่มีการป้อนข้อมูลเป็นเซตหรือกลุ่ม จำนวนของข้อมูลในแต่ละกลุ่มผู้ออกแบบสามารถกำหนดเองได้ โดยจำนวนและกลุ่มของข้อมูลจะมีผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้เทรน และค่าความผิดพลาดของระบบ ตัวอย่างในกรณีที่ต้องการเทรนข้อมูลที่เป็นกลุ่มหรือเป็นเซต เซตละ 4 ข้อมูล และมีเอาพุตจำนวน 1 เอาพุต สามารถเขียนความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตและเอาพุตที่ได้เป็นดังนี้

$$y(1) = F(p(1), p(2), p(3), p(4)) \quad (2-23)$$

$$y(2) = F(p(2), p(3), p(4), p(5)) \quad (2-24)$$

$$y(3) = F(p(3), p(4), p(5), p(6)) \quad (2-25)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$y(n) = F(p(n), p(n+1), p(n+2), p(n+3)) \quad (2-21)$$

เมื่อ y เป็นเอาพุตของเน็ตเวิร์ค

p เป็นอินพุตของเน็ตเวิร์ค

n เป็นลำดับที่ของข้อมูล

และค่าที่เป็นเป้าหมายของระบบเป็น

$$T(1) = p(5) \quad (2-26)$$

$$T(2) = p(6) \quad (2-27)$$

$$\vdots$$

$$T(n) = p(n+1) \quad (2-28)$$

เมื่อ T เป็นค่าเป้าหมาย (Target)

p เป็นอินพุตของเน็ตเวิร์ค

n เป็นลำดับที่ของข้อมูล

หลังจากป้อนข้อมูลเข้าระบบเพื่อทำการเทรนแล้ว นิวรอลเน็ตเวิร์คจะทำการปรับค่าของเวทเพื่อให้ได้ค่าของเอาพุตเข้าใกล้ค่าเป้าหมายให้มากที่สุด ดังนั้นค่าของเวทจะเป็นดังนี้

$$\Delta w_{ij} = k \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (2-29)$$

เมื่อ k เป็นค่า Acceleration และ E เป็นผลรวมยกกำลังสองของค่าที่เกิดจากค่าเป้าหมายลบด้วยค่าของเอาพุต ในกรณีที่ที่มีจำนวนข้อมูลทั้งหมดจำนวน R ข้อมูล ค่าความผิดพลาดของระบบเป็น

$$E = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^R (y_n - T_n)^2 \quad (2-30)$$

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทําวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง เพื่อนำความรู้มาประยุกต์ใช้งานและเพื่อการพยากรณ์ค่าต่าง ๆ โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค ดังนี้

Andreas Draeger, Sebastian Engell, and Horst Ranke (1995: 61-66) ทำการวิจัยเรื่อง Model Predictive Control Using Neural Networks หรือการพยากรณ์โดยการใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งได้ออกแบบนิวรอลเน็ตเวิร์คเพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์ค่าของข้อมูลระบบถึงผสมที่ใช้เร่งปฏิกิริยากรดให้เป็นกลางในห้องทดลอง โดยใช้ Feedforward network และใช้อัลกอริทึม DMC ควบคุมค่า pH ข้อมูลที่ใช้เทรนระบบจะ ได้จากการวัดค่าอินพุตและเอาพุตที่ได้จากระบบจริงได้ใช้ตัวควบคุมแบบ PI การเทรนเน็ตเวิร์คใช้หลักของ Adaptive Backpropagation ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อนำค่าที่ได้จากวิธีการพยากรณ์ด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์คมาใช้ในการทำกรดให้เป็นกลางจะให้ผลดีกว่าการใช้ การควบคุมระบบแบบ PI

S. Vassileva, B. Tzvetkova, C. Katranoushkova. L. Losseva (2000: 363-367) ทำการวิจัยเรื่อง Neuro-fuzzy prediction of uricase product โดยได้ออกแบบระบบเพื่อการพยากรณ์ค่าที่ใช้ในการผลิต Uric โดยใช้หลักการของนิวรอลเน็ตเวิร์ค ฟัซซี่ และวิธีไฮบริดร่วมกัน ซึ่งเน็ตเวิร์คที่ได้สามารถใช้ในการแก้ไขปัญหายาก ซับซ้อน และการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นเชิงซ้อน รวมถึงใช้กับข้อมูลที่มีตัวแปรหลายๆ ตัวและไม่เป็นไปในเชิงเส้นได้ เทคนิคในการปรับปรุงวิธีการพยากรณ์แบบใหม่นี้เป็นผลที่นำรูปแบบของฟัซซี่มาใช้ในส่วนโครงสร้าง เช่นเดียวกันกับส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถใช้คำนวณค่าที่ให้ความแม่นยำสูง รูปแบบการพยากรณ์แบบใหม่ที่ได้สามารถใช้ในการพยากรณ์ค่าในการผลิต Uric ได้ดีมาก

Mellit A., Benghane M., Bendekhis M.(2005) ทำการวิจัยเรื่อง Artificial Neural Network Model for Prediction Solar Radiation Data : Application for Sizing Stand-alone Photovoltaic Power System. โดยออกแบบนิวรอลเน็ตเวิร์คเพื่อใช้ในการวิจัยการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วย

วิธี Radial Basis Function (RBF) ที่มีนิวรอล 9 โหนดและ 1 ฮิดเด็นเลเยอร์ ข้อมูลที่ใช้ทรนเน็ตเวิร์คเป็นข้อมูลค่าความเข้มการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละวันกับค่าอุณหภูมิของอากาศในช่วงเวลานั้น ซึ่งวิธีการพิจารณาจะเป็นการพยากรณ์แบบ Time series จำนวนของข้อมูลที่ใช้ทรนระบบมีจำนวน 300 ค่า ซึ่งเป็นค่าของข้อมูลจริงที่จัดเก็บได้ บริเวณประเทศเอลจีเรียในช่วงปี ค.ศ. 1980-2000 โดยกำหนดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดระบบหรือค่าผิดพลาดที่เป็นผลต่างระหว่างค่าจริงที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ไว้ไม่เกิน 1.5% และค่า Correlation coefficient สำหรับ Validation Data ที่ 98.9% การประยุกต์ใช้งานของนิวรอลเน็ตเวิร์คในครั้งนี้ เพื่อนำไปใช้ในการหาขนาดของแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าแบบแผงเดี่ยว ที่จะออกแบบเพื่อใช้งานในปี ค.ศ. 2001 ต่อไป ผลที่ได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.34% แต่เน็ตเวิร์คที่ได้เมื่อทดสอบโดยใช้ข้อมูลในการทรนมากกว่า 300 ข้อมูล จะใช้เวลาในการทรนนาน

F. Declercq and R. De Keyser (1996: 20-28) ทำการวิจัยเรื่อง Comparative Study of Neural Predictors in Model Base Predictive control โดยทำการเปรียบเทียบชนิดของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ 3 แบบ ได้แก่ Feedforward neural network แบบ Radial Based neural network และแบบ Elman neural network โดยการทรนด้วยข้อมูลเป็นขั้นๆ และข้อมูลแบบสุ่ม แบบ Feedforward neural network จะเลือก 1 ฮิดเด็นเลเยอร์ และใช้ฟังก์ชันโอนย้ายแบบ Tanh (สำหรับในชั้นของฮิดเด็นเลเยอร์ต้องทดสอบ โดยปกติจะใช้ 5 – 10 ตัว ที่ได้ผลดี) เอ้าพุทแบบลิเนียร์ Feedforward neural network ใช้การทรนแบบ Backpropagation training rule จะได้ผลดีในเรื่องของเวลาที่ใช้ทรน การเริ่มต้นทรนด้วยที่ค่าไม่เหมาะสมอาจเป็นผลให้ได้ค่าที่ผิดพลาดสูง วิธีแก้ไขต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของเวทและค่าไบอัส สำหรับ Radial Based neural network เลือกฮิดเด็นเลเยอร์ 1 ชั้น และใช้ฟังก์ชันโอนย้ายแบบ Gaussian มีเอ้าพุทแบบลิเนียร์ เวลาที่ใช้ในการทรนจะเร็วกว่าส่วนเน็ตเวิร์คแบบ Elman neural network จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ Feedforward neural network ใช้หลักการทรนแบบ Backpropagation เพียงแต่จะมีการป้อนกลับเพิ่มเข้ามาในชั้นของฮิดเด็น แบบนี้จะใช้เวลานานมากในการทรนและค่าความผิดพลาดมีค่าสูงกว่าสองแบบแรก

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบนิวรอลเน็ตเวิร์คเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาจากการทำงานทั้งข้อดีและข้อเสียในแต่ละแบบของการทรน ข้อมูล การกำหนดรูปแบบการทรน และวิธีการของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบต่าง ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการพยากรณ์ ทั้งนี้เพื่อช่วยในการลดเวลาของการทรนและให้ได้ค่าความผิดพลาดของระบบที่ต่ำที่สุด

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาข้อมูลค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่ของประเทศไทย ซึ่งระยะเวลาของข้อมูลที่ได้รวบรวมไม่น้อยกว่า 5 ปี และไม่เจาะจงว่าเป็นพื้นที่หนึ่งพื้นที่ใดโดยเฉพาะ โดยหน่วยงานที่ได้ทำการวัดและจัดเก็บข้อมูลที่เป็นค่าความเข้มแสง ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ เป็นต้น ทั้งนี้ในแต่ละหน่วยงานจะมีการวัดค่าของความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์เฉพาะพื้นที่ตามที่หน่วยงานสนใจเท่านั้น

สำหรับขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การเก็บและรวบรวมข้อมูล
- กำหนดรูปแบบของการทรีนเน็ตเวิร์ค
- ออกแบบนิรอลเน็ตเวิร์ค
- ออกแบบโปรแกรม
- ทดสอบโปรแกรม
- คำนวณค่าของพลังงาน
- เปรียบเทียบผล

3.1 การเก็บและรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลค่าความเข้มของการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีหน่วยงานที่วัดค่าและเก็บรวบรวมข้อมูลพลังงานแสง เช่น กรมอุตุนิยมวิทยาทำการวัดค่าความเข้มแสงชนิดรังสีตรงในภาคกลางในบริเวณพื้นที่ที่ตั้งสำนักงานที่บางนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทำการวัดและรวบรวมข้อมูลค่าความเข้มแสงชนิดรังสีตรงในเขตพื้นที่ของภาคเหนือที่สถานีวัดค่าความเข้มแสงแม่ฮ่องสอน ภาคใต้ที่จังหวัดภูเก็ต และอีกหน่วยงานหนึ่ง คือมหาวิทยาลัยศิลปากรวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ทำการจัดเก็บข้อมูลค่าความเข้มแสงชนิดรังสีตรงในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยที่จังหวัดนครปฐมซึ่งเป็นเขตภาคกลาง ภาคเหนือที่เชียงใหม่ ภาคตะวันออกที่อุบลราชธานี ภาคใต้ที่สงขลา เป็นต้น จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานข้างต้นในแต่ละหน่วยงาน พบว่าข้อมูลที่ได้บางหน่วยงานมีการขาดหายไปในช่วงของการบันทึกทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สมบูรณ์ เช่น ของกรม

อุตุนิยมวิทยา ข้อมูลที่บันทึกไว้ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2542-2546 ขาดหายไปค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในบางช่วง มีการซ่อมบำรุงเครื่องวัดและไม่มีเครื่องวัดสำรอง ทำให้ข้อมูลในบางช่วง ขาดหายไป จากการรวบรวมข้อมูลทั้งสามหน่วยงาน เฉพาะข้อมูลที่ได้จากมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐมมีความสมบูรณ์มากที่สุด โดยเป็นข้อมูลที่ได้ เฉพาะพื้นที่ในเขตของภาคกลางในบริเวณมหาวิทยาลัย สำหรับเขตอื่นๆ นั้นส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูล ที่ไม่สมบูรณ์และมีการขาดหายบางช่วงระยะเวลา จึงไม่สามารถนำมาใช้ศึกษาวิเคราะห์ได้ อย่างไร ก็ตามแม้ข้อมูลที่ได้รับในครั้งนี้เป็นข้อมูลค่า ความเข้มแสงในเขตพื้นที่ของภาคกลางเพียงภาคเดียว ก็เป็นการเพียงพอที่จะนำข้อมูลที่มีอยู่นี้มาเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

3.2 กำหนดรูปแบบของการเทรนเน็ตเวิร์ค

เน็ตเวิร์คจะต้องกำหนดรูปแบบการเทรนเพื่อให้เน็ตเวิร์คเกิดการเรียนรู้จากข้อมูล การกำหนด รูปแบบของการป้อนข้อมูลเข้าสู่เน็ตเวิร์คเพื่อที่จะเทรน การนำค่าของพลังงานแสงมาวิเคราะห์ด้วย นิวรอลเน็ตเวิร์คมีตัวแปรอยู่หลายตัวซึ่งตัวแปรเหล่านั้นได้แก่ ปี เดือน วัน และเวลา ตัวแปรทั้งหมด จะต้องพิจารณาเพื่อเลือกว่าส่วนไหนเป็นอินพุตของระบบ และต้องกำหนดให้มีส่วนที่เป็นเอาพุต ของเน็ตเวิร์คจำนวนกี่เอาพุต แต่ละเอาพุตทำหน้าที่แสดงผลอะไร การทำวิจัยครั้งนี้ได้มีการกำหนด รูปแบบของการเทรนและการพยากรณ์ข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ไว้เป็น 3 รูปแบบ

- เลือกเทรนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรายปี ทำการพยากรณ์ข้อมูลปีถัดไป
- เลือกเทรนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรายเดือน ทำการพยากรณ์ข้อมูล เฉพาะเดือนนั้นของปีถัดไป
- เลือกเทรนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรายสัปดาห์เฉพาะหนึ่งสัปดาห์ ทำการพยากรณ์ข้อมูลวันที่แปดของสัปดาห์

3.2.1 เลือกเทรนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรายปี ทำการพยากรณ์ข้อมูล ของปีถัดไป เป็นการกำหนดรูปแบบการเทรนข้อมูลให้กับเน็ตเวิร์คโดยใช้ข้อมูลค่าความเข้ม ของพลังงานแสงที่สามารถเลือกเวลาใดๆ ก็ได้ตั้งแต่ 5.00 น. จนถึง 18.00 น. โดยเลือกเอาเพียง หนึ่งช่วงเวลามาทำการเทรน ทั้งนี้สามารถที่จะเลือกปริมาณของข้อมูลว่าจะใช้ข้อมูลเพียงปีเดียว สองปี สามปี หรือใช้ข้อมูลทั้งสี่ปีรวมกันก็ได้มาทำการเทรน ซึ่งหลังจากทำการเทรนเน็ตเวิร์คแล้ว จะใช้เน็ตเวิร์คที่ผ่านการเทรนแล้วพยากรณ์ข้อมูลค่าความเข้มแสงของปีถัดไป เช่น ใช้ข้อมูล ค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เวลา 9.00 น. ของปี พ.ศ. 2542 ทำการเทรน จากนั้นให้ เน็ตเวิร์คทำการพยากรณ์ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่เวลา 9.00 น. ของปี พ.ศ. 2543 หรือเลือก

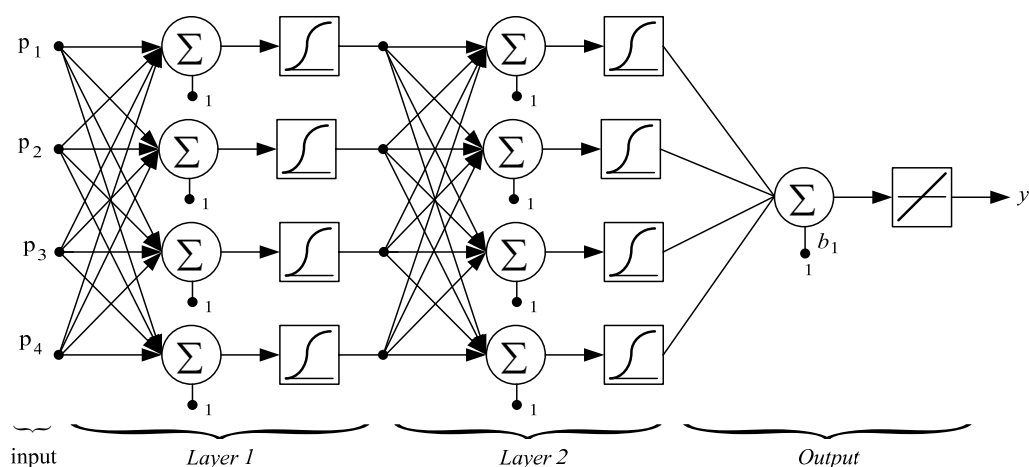
ข้อมูลปี พ.ศ. 2542 กับปี พ.ศ. 2543 รวมกันสองปีมาเทรนระบบ และทำการพยากรณ์ข้อมูลของปี พ.ศ. 2544 เป็นต้น

3.2.2 เลือกเทรนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรายเดือน ทำการพยากรณ์ข้อมูลเดือนนั้นของปีถัดไป รูปแบบนี้จะเป็นการนำข้อมูลที่เวลาใดเวลาหนึ่งเฉพาะเดือนใดเดือนหนึ่งของปีมาทำการเทรน หรือเป็นข้อมูลเฉพาะเดือนนั้นเดือนเดียวหลาย ๆ ปีมาทำการเทรน จากนั้นจะให้เน็ตเวิร์กทำการพยากรณ์ข้อมูลค่าความเข้มแสงสำหรับเดือนนั้นของปีถัดไป เช่น ใช้ข้อมูลเวลา 11.00 น. ของเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2542 มาทำการเทรน จากนั้นจะทำการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงของเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2543 หรือใช้ข้อมูลค่าความเข้มแสงที่เวลา 11.00 น. ของเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2542-2544 มาทำการเทรนจำนวนสามปี แล้วทำการพยากรณ์ข้อมูลค่าความเข้มแสงของเดือนเมษายนของปี พ.ศ. 2545 เป็นต้น

3.2.3 เลือกเทรนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เฉพาะหนึ่งสัปดาห์ ทำการพยากรณ์ข้อมูลวันที่แปดที่เป็นวันถัดไปจากข้อมูลที่นำมาใช้เทรน เช่น เลือกข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 5.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. ของสัปดาห์ที่หนึ่งของเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2542 มาทำการเทรนโดยใช้ค่าความเข้มแสงตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 7 มาทำการเทรน หลังจากนั้นจะทำการพยากรณ์ค่าความเข้มของแสงวันที่ 8 ของเดือนมกราคมปี พ.ศ. 2542 เป็นต้น

3.3 ออกแบบนิรอลเน็ตเวิร์ค

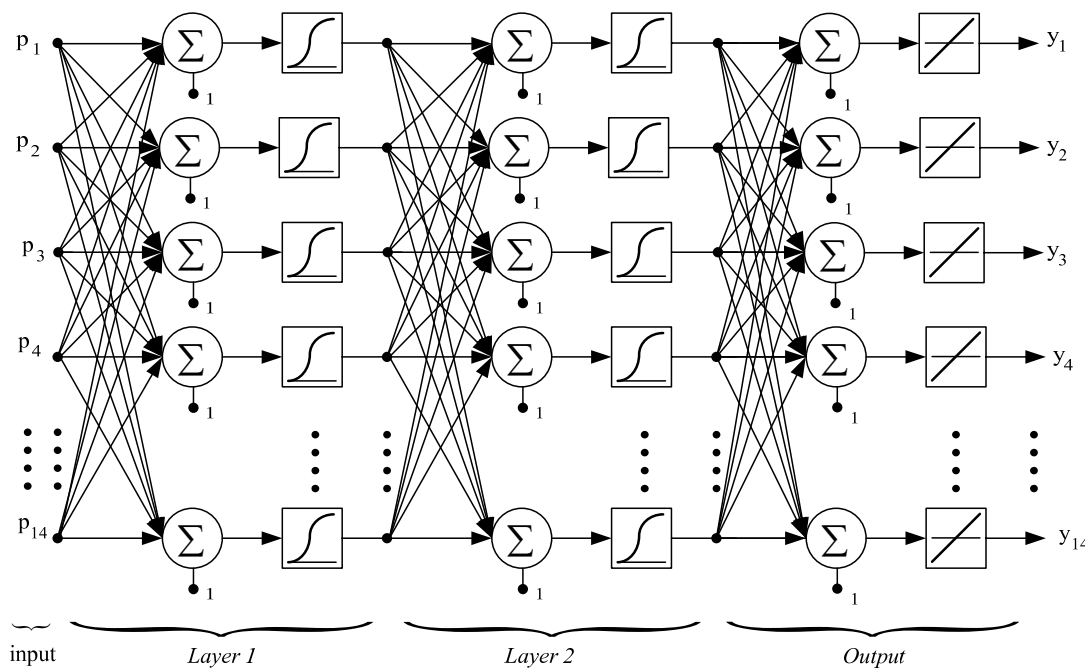
การเทรนข้อมูลจะต้องกำหนดจำนวนข้อมูลที่ป้อนเข้าเน็ตเวิร์ค และจำนวนของเอาพุต สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดจำนวนของอินพุตจำนวน 4 อินพุต และจำนวนเอาพุต 1 เอาพุต เนื่องจากลักษณะค่าของข้อมูลความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เป็นเชิงเส้น จึงเลือกใช้ฟังก์ชันโอนย้ายเลือกใช้เป็นชนิด *Logsig* ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แสดงแบบนิรอลเน็ตเวิร์คที่ใช้เทรนข้อมูลตามข้อ 3.2.1 และ 3.2.2

จากภาพที่ 3-1 เน็ตเวิร์คที่ออกแบบมีจำนวนอินพุต 4 อินพุต มีฮิดเด็นเลเยอร์ (Hidden Layers) จำนวน 2 ฮิดเด็นเลเยอร์ และมีเอาพุต 1 เอาพุต ทั้งนี้จำนวนของฟังก์ชันโอนย้ายในแต่ละเลเยอร์และจำนวนของฮิดเด็นเลเยอร์จะมีผลต่อการเทรน ในกรณีที่เน็ตเวิร์คมีจำนวนของฟังก์ชันในแต่ละเลเยอร์มากจะทำให้ค่าของการเทรนถูกต้องมากขึ้น ในเวลาเดียวกันหากมีจำนวนของฮิดเด็นเลเยอร์มาก จะใช้เวลาในการเทรนนาน ทั้งนี้การเลือกจำนวนฟังก์ชัน และจำนวนเลเยอร์ที่ใช้ในการเทรนข้อมูล เพื่อให้ได้ความถูกต้องของเอาพุตมากที่สุด ในขณะเดียวกันควรใช้เวลาในการเทรนที่เหมาะสมด้วย

สำหรับการเทรนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เฉพาะหนึ่งสัปดาห์ และทำการพยากรณ์ข้อมูลค่าความเข้มแสงวันถัดไปนั้น จำนวนของอินพุตที่ใช้เพื่อป้อนข้อมูลให้เน็ตเวิร์คจะแตกต่างจาก 2 แบบข้างต้น ทั้งนี้เนื่องจากข้อเป็นข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. ซึ่งเป็นการวัดข้อมูลในระยะเวลาที่ห่างกัน 1 ชั่วโมง จำนวน 14 ชั่วโมง ในหนึ่งวัน ดังนั้นข้อมูลที่ใช้เป็นอินพุตของเน็ตเวิร์คจะมีจำนวน 14 อินพุต ตามเวลาที่เก็บค่าความเข้มแสง ในหนึ่งวัน ส่วนเอาพุตจะมีจำนวน 14 เอาพุต เช่นเดียวกัน ซึ่งเน็ตเวิร์คแสดงได้ตามภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 แสดงแบบเน็ตเวิร์คที่ใช้เทรนข้อมูลตามข้อ 3.2.3

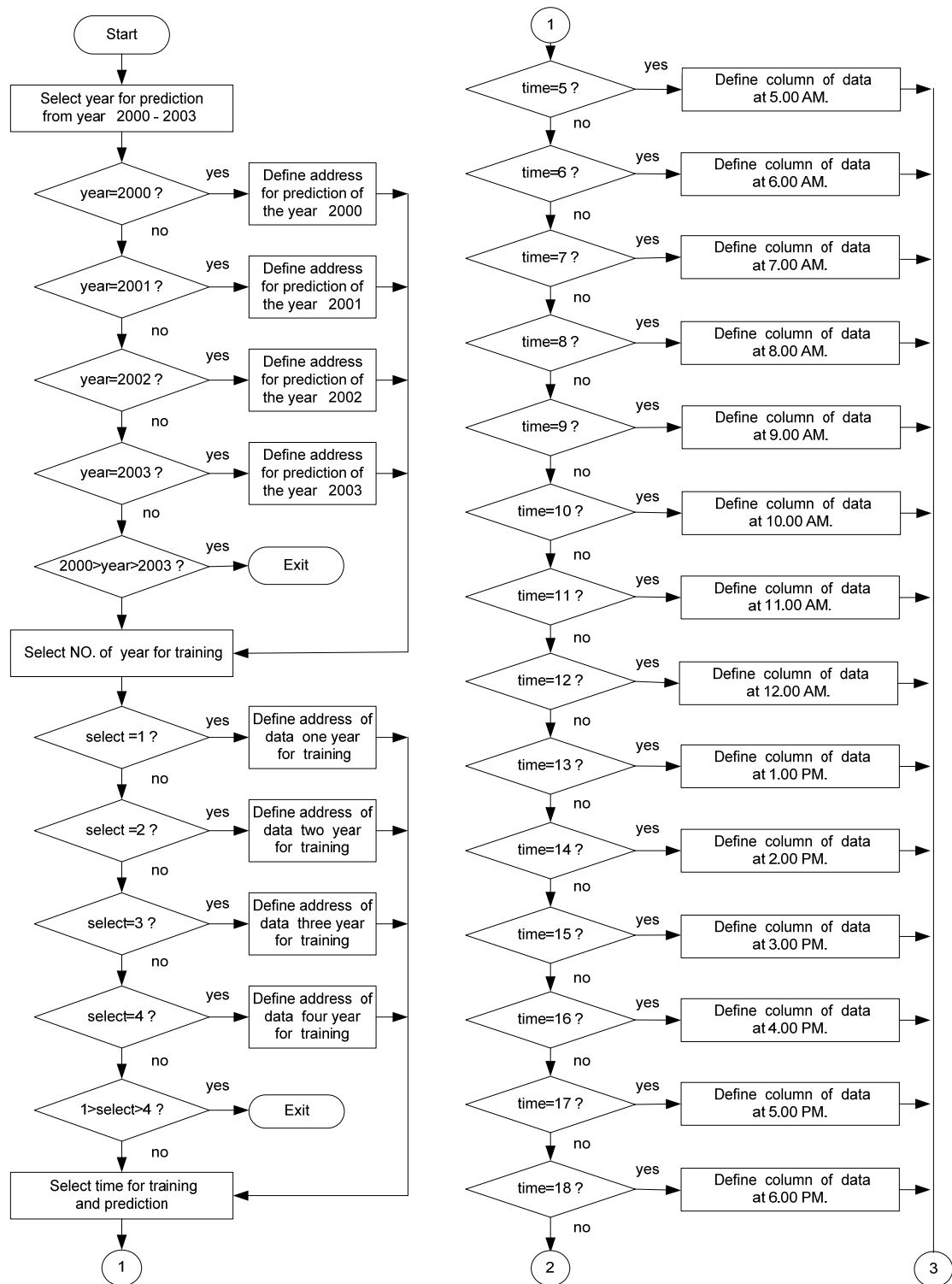
3.4 การออกแบบโปรแกรม

ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม เนื่องจากต้องการที่จะแทนข้อมูลเป็น 3 รูปแบบด้วยกัน คือ แทนข้อมูลแบบเป็นรายปี แทนแบบเป็นรายเดือน และแทนแบบสัปดาห์ ดังนั้นการแทนทั้ง 3 แบบ จะมีลักษณะและข้อกำหนดของการแทนที่แตกต่างกันอยู่บ้าง ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมจึงขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละแบบ ทั้งนี้ก่อนที่จะทำการออกแบบตัวโปรแกรมซึ่งเป็นโปรแกรมหลักในการแทนข้อมูลทั้ง 3 รูปแบบนั้น ได้ทำการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ทดสอบแทนข้อมูลเพื่อที่จะหาค่าที่เหมาะสมที่จะเลือกนำมาใช้ที่ให้ค่าความผิดพลาดและใช้เวลาในการแทนน้อยสุด จากการทดสอบหาจำนวนของอินพุตที่เหมาะสม จำนวนของฟังก์ชันในแต่ละเลเยอร์ เพื่อให้ได้ค่าผิดพลาดและเวลาที่เหมาะสมสามารถสรุปผลในการทดสอบได้ตามตารางที่ 3-1

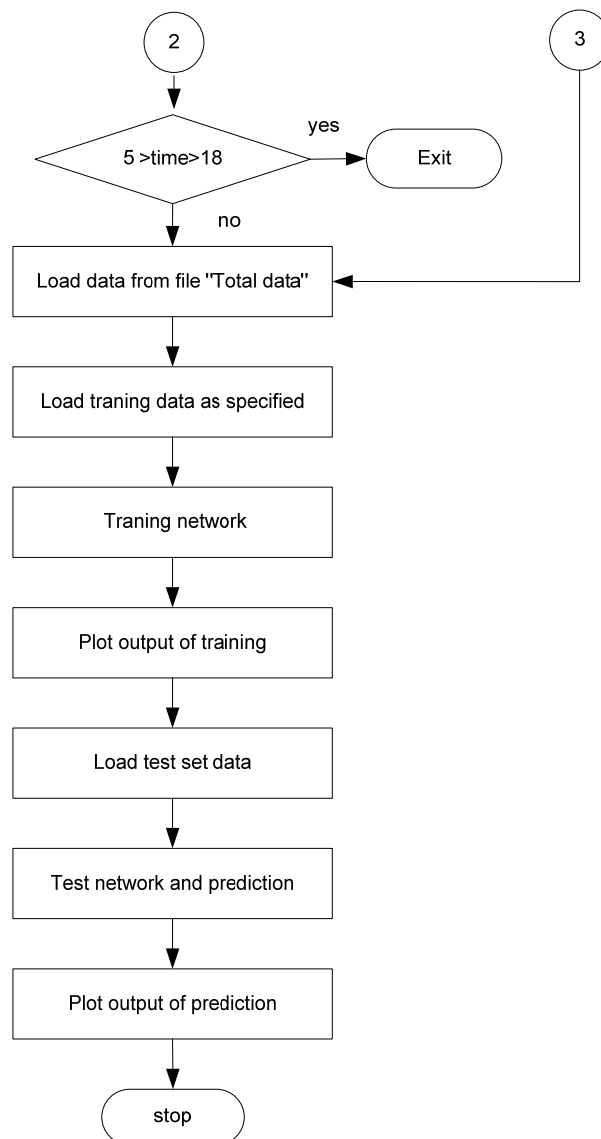
ตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบค่า MSE และเวลาที่ได้อินพุตและที่ฮิตเดินเลเยอร์ต่างๆ

TEST NO.	TOTAL DATA	INPUT	LAYER1 logsig	LAYER2 logsig	LAYER3 purelin	MSE	TIME (Sec)
1	1095	2	2	2	1	0.4115	374.39
2	1095	2	2	4	1	0.4152	366.70
3	1095	2	4	4	1	0.3997	543.56
4	1095	4	4	4	1	0.4034	542.40
5	1095	2	4	6	1	0.4037	686.21
6	1095	4	4	6	1	0.4006	680.00
7	1095	6	6	6	1	0.3878	888.82
8	1095	2	2	8	1	0.4177	623.99
9	1095	2	4	8	1	0.3972	916.63
10	1095	2	6	8	1	0.3968	1224.00
11	1095	2	8	8	1	0.3823	1631.60
12	1095	4	4	8	1	0.3988	896.09
13	1095	4	6	8	1	0.3874	1222.50
14	1095	4	8	8	1	0.3796	1645.30
15	1095	6	8	8	1	0.3766	1632.00
16	1095	8	8	8	1	0.3655	1638.60

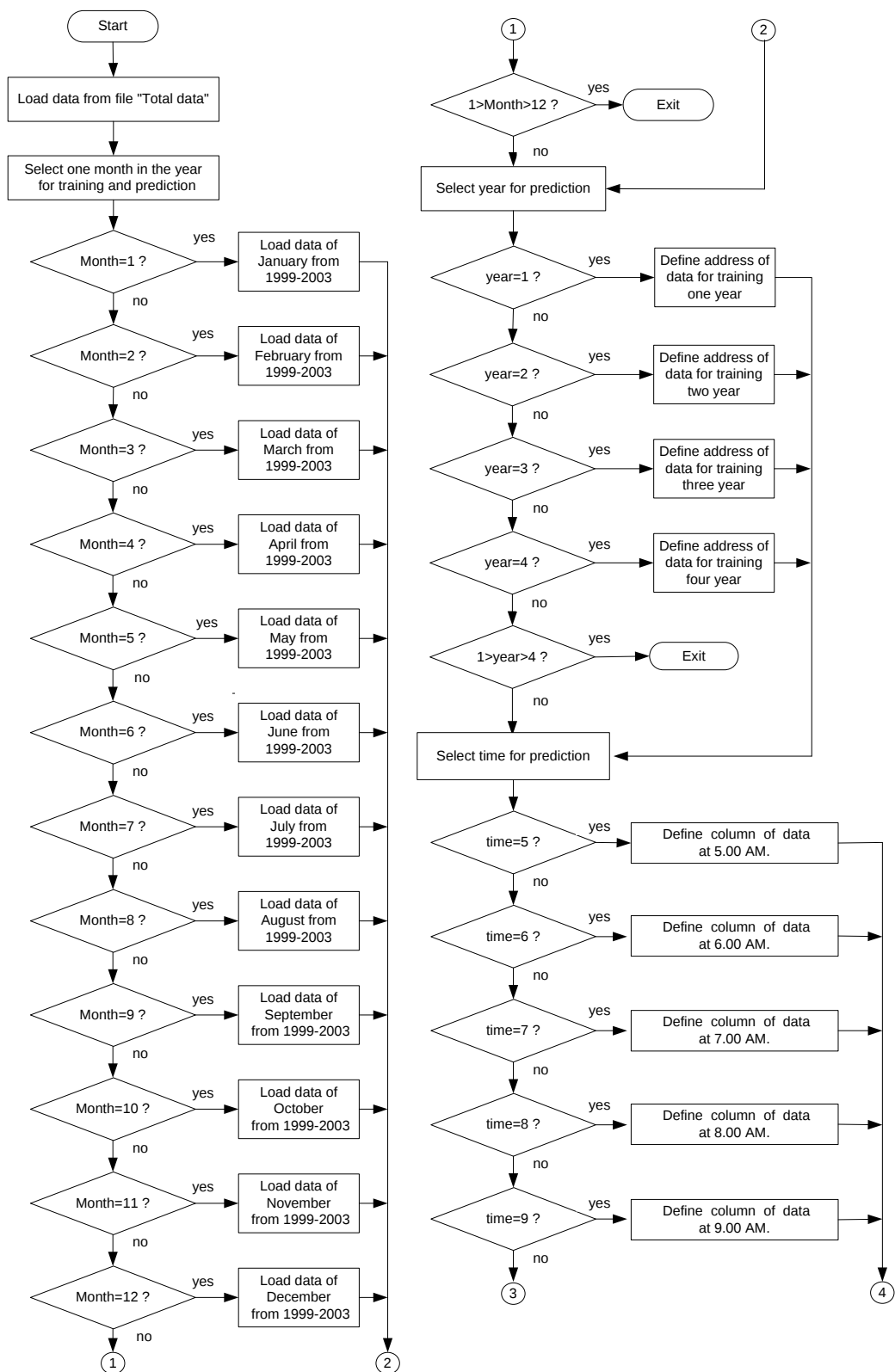
จากตาราง 3-1 เป็นผลที่ได้จากการทดสอบ โดยป้อนข้อมูลเข้าโปรแกรมโดยมีโครงสร้างของเน็ตเวิร์คตามภาพที่ 3-1 ค่าที่ได้จากการทดสอบในครั้งที่ 3 กับ การทดสอบในครั้งที่ 4 ผลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม ค่า Mean Square Error และเวลาที่ใช้ต่ำกว่าค่าอื่นๆ สำหรับในครั้งที่ 3 ค่าของ Mean Square Error ต่ำกว่าครั้งที่ 4 เล็กน้อย แต่เวลาที่ใช้จะมากกว่า ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้จำนวนของค่าต่างๆ ในเน็ตเวิร์คตามที่ทดสอบได้ในครั้งที่ 4 คือ เลือกอินพุตของนิเวศเน็ตเวิร์คเป็น 4 อินพุต จำนวน 2 ฮิตเด็นเลเยอร์ แต่ละเลเยอร์มี 4 ฟังก์ชันโอนย้าย Logsig จำนวน 4 ตัว และมี 1 เอาพุตเลเยอร์เป็นฟังก์ชัน Purelin เพื่อใช้ในการเทรนข้อมูลตามหัวข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ในการเทรนข้อมูลและใช้ในการพยากรณ์ค่าความเข้มข้นการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์จะแบ่งเป็น 3 โปรแกรมด้วยกัน ซึ่งโปรแกรมแรกจะใช้เทรนข้อมูลตามวิธีที่ได้กล่าวในข้อ 3.2.1 โปรแกรมส่วนที่สองเป็นการเทรนข้อมูลตามข้อ 3.2.2 และแบบสุดท้ายเป็นการเทรนข้อมูลตามข้อ 3.2.3 การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการเทรนค่าความเข้มข้นการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ข้อมูลเป็นปีในการเทรนและพยากรณ์ค่าของความเข้มข้นของพลังงานหนึ่งปีในปีถัดไปสามารถแสดงได้ตาม Flow chart ในภาพที่ 3-3



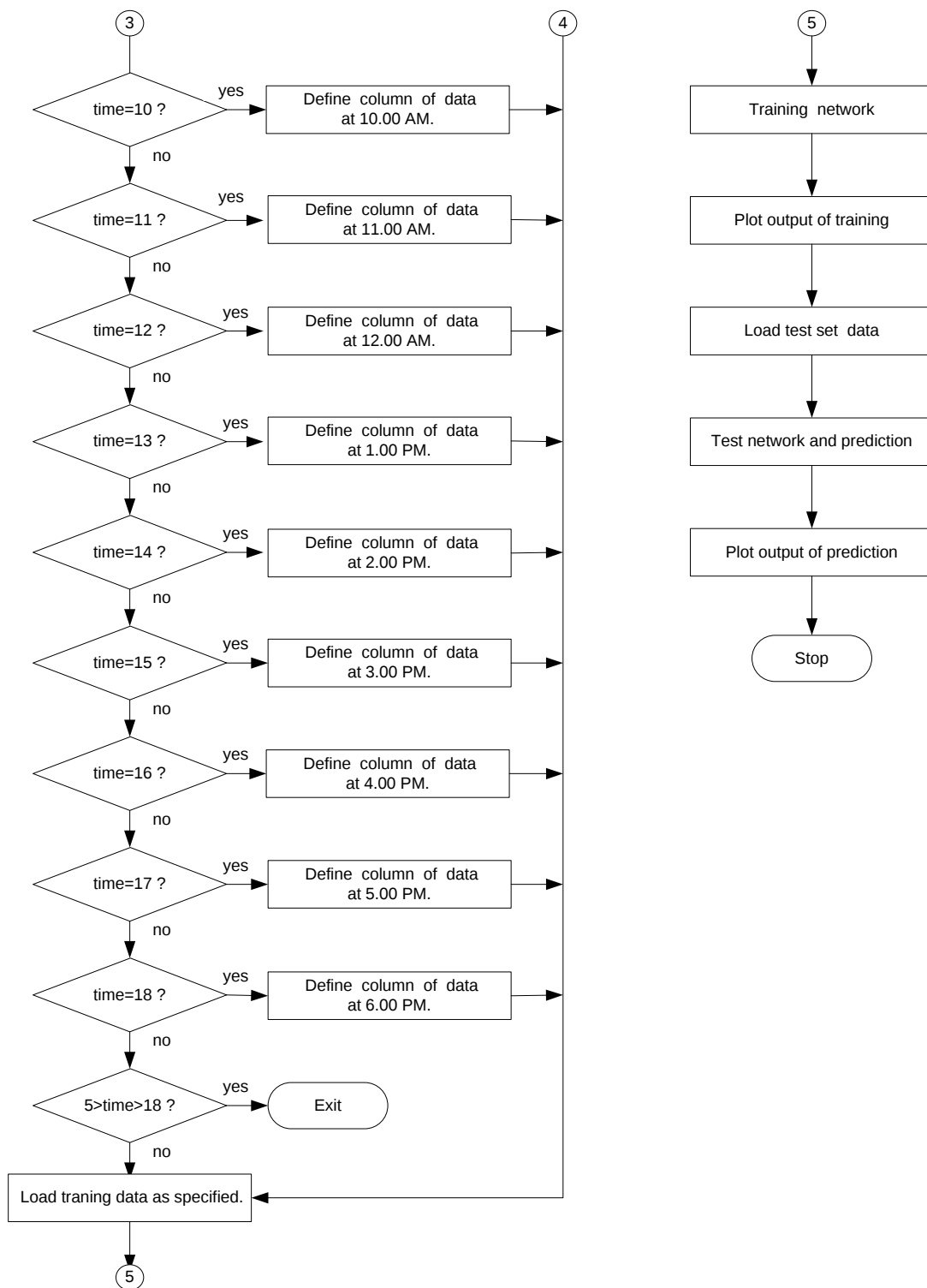
ภาพที่ 3-3 แสดง Flow Chart ของโปรแกรมใช้ทรนข้อมูลรายปี



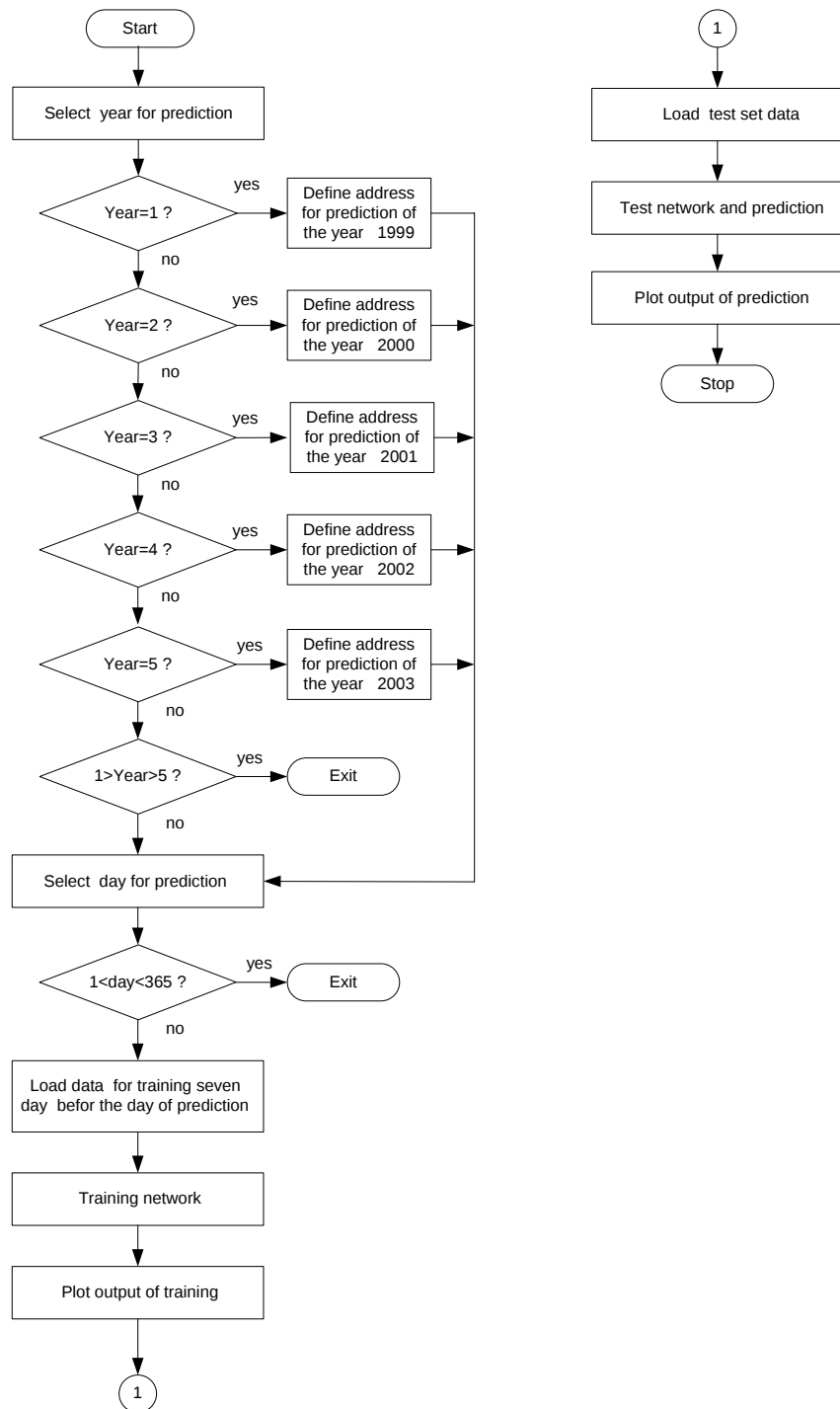
ภาพที่ 3-3 แสดง Flow Chart ของโปรแกรมใช้เทรนข้อมูลรายปี (ต่อ)



ภาพที่ 3-4 แสดง Flow Chart ของโปรแกรมใช้เทรนข้อมูลรายเดือน



ภาพที่ 3-4 แสดง Flow Chart ของโปรแกรมใช้เทรนข้อมูลรายเดือน (ต่อ)



ภาพที่ 3-5 แสดง Flow Chart ของโปรแกรมใช้เทรนข้อมูลรายสัปดาห์

3.5 ทดสอบโปรแกรม

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบตัวโปรแกรมแล้วทดสอบโปรแกรมเพื่อทำการตรวจสอบการทำงานของเน็ตเวิร์คโดยตรวจสอบการทำงานของโปรแกรกดังนี้

- จำนวนอินพุตและเอาพุตที่แสดงในส่วนของคำสั่ง MATLAB หลังทดสอบโปรแกรมเสร็จ
- ตำแหน่งของข้อมูล และค่าจริงของข้อมูลที่ป้อนเข้าเน็ตเวิร์ค
- เงื่อนไขและขั้นตอนของการทำงานตรงตามที่ได้กำหนดไว้
- ค่าความผิดพลาดหลังการเทรน
- เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเทรน
- กราฟที่ได้หลังการเทรน

การทำงานของโปรแกรมทั้งหมดนี้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเน็ตเวิร์คที่นำมาใช้เทรนและขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูล ขั้นตอนการทดสอบโปรแกรมหลักๆ แล้วจะมุ่งเน้นที่จะตรวจสอบผลหลังจากการทดสอบโปรแกรม เลือกทดสอบโดยใช้จำนวนของข้อมูลไม่มากนัก

3.6 คำนวณค่าของพลังงาน

ขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้บนพื้นโลกในช่วงเวลาตลอดทั้งวัน ตั้งแต่ 5.00 น. จนถึง 18.00 น. ค่าของพลังงานทั้งหมดนั้นเป็นผลรวมที่ได้จากการรวมพลังงานที่วัดได้ในแต่ละเวลารวมกัน ดังนั้นในกรณีที่ต้องการทราบว่าใน 365 วัน หรือ 1 ปีนั้น ค่าของพลังงานทั้งหมดตลอดทั้งปีมีค่าเท่าไร ก็ให้นำค่าพลังงานในแต่ละวันมารวมกันก่อน แล้วนำมารวมกันทั้ง 365 วัน อีกครั้งหนึ่ง ก็จะได้ค่าของพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี

สำหรับค่าพลังงานรวมที่ได้ซึ่งเป็นผลของเน็ตเวิร์คหลังจากการเทรนแล้ว จะได้ค่าพลังงานที่เป็นการพยากรณ์ได้ ค่าพลังงานรวมที่ได้จากการพยากรณ์สามารถหาได้ด้วยวิธีเดียวกันกับพลังงานที่วัดได้จริงข้างต้น

3.7 เปรียบเทียบผลที่ได้

ผลที่ได้ของค่าพลังงาน ทั้งในส่วนที่วัดได้จริงและในส่วนที่พยากรณ์ได้จากนิรอรอลเน็ตเวิร์คจะนำค่าของพลังงานทั้งสองส่วนนี้มาทำการเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบพลังงานเฉพาะในปีที่ 4 ซึ่งเป็นปีที่จะนำข้อมูลในปีนี้มาใช้เป็นตัวอ้างอิงเพื่อดูผลของการพยากรณ์

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เมื่อทำการออกแบบโปรแกรมแล้วจึงทำการเทรนข้อมูลให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์คซึ่งได้จัดทำโปรแกรมไว้ในแต่ละรูปแบบที่ได้ออกแบบ ปรากฏผลการทดสอบโปรแกรม ดังนี้

4.1 การเทรนข้อมูลค่าความเข้มแสงเป็นรายปี

4.1.1 เทรนเน็ตเวิร์คด้วยข้อมูลเป็นรายปีจะใช้ข้อมูลเป็นรายปีในการเทรน หรือเลือกข้อมูลมากกว่าหนึ่งปีในการเทรน สำหรับการทําวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอส่วนของการเทรนข้อมูลจำนวน 3 ปี คือข้อมูลของปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2545 ในการเทรนและพยากรณ์ข้อมูลค่าความเข้มแสงที่ได้ในปี พ.ศ. 2546

```
*****
THIS PROGRAM USE FOR TRAINING AND PREDICTION GLOBAL RADIATION
TRAINING DATA UP TO 4 YEAR AND 1 YEAR DATA PREDICTION
BY USING BACKPROPAGATION METHODE
*****

PLEASE SELECT ONE YEAR WHICH YOU WANT TO PREDICT (SELECT 2000-2003):2003
YOU WANT TO PREDICT DATA OF YEAR 2003
PLEASE SELECT RANGE OF DATA FOR TRAINING
DATA OF THE YEAR 2002 ONLY, SELECT "1"
DATA FROM 2001 TO 2002, SELECT "2"
DATA FROM 2000 TO 2002, SELECT "3"
DATA FROM 1999 TO 2002, SELECT "4"
IF YOU SELECT OTHER NUMBER PROGRAM WILL BE CLOSE !
SELECT NUMBER : 3
YOU SELECT YEAR 2000 - 2002
PLEASE SELECT ONE POINT OF TIME FOR TRAINING FROM 5 AM.- 6 PM. (SELECT 5-18):18
YOU WANT TO PREDICT DATA AT 6.00 PM.
PROGRAM IS RUNNING AND TRAINING DATA, PLEASE WAIT !
TRAINLM, Epoch 0/5000, MSE 13.346/1e-010, Gradient 8482.3/1e-010
```

ภาพที่ 4-1 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ขณะทำการเทรนข้อมูลแบบรายปี

```

*****
THIS PROGRAM USE FOR TRAINING AND PREDICTION GLOBAL RADIATION
TRAINING DATA UP TO 4 YEAR AND 1 YEAR DATA PREDICTION
BY USING BACKPROPAGATION METHODE
*****

PLEASE SELECT ONE YEAR WHICH YOU WANT TO PREDICT (SELECT 2000-2003):2003
YOU WANT TO PREDICT DATA OF YEAR 2003
PLEASE SELECT RANGE OF DATA FOR TRAINING
DATA OF THE YEAR 2002 ONLY, SELECT "1"
DATA FROM 2001 TO 2002, SELECT "2"
DATA FROM 2000 TO 2002, SELECT "3"
DATA FROM 1999 TO 2002, SELECT "4"
IF YOU SELECT OTHER NUMBER PROGRAM WILL BE CLOSE !
SELECT NUMBER : 3
YOU SELECT YEAR 2000 - 2002
PLEASE SELECT ONE POINT OF TIME FOR TRAINING FROM 5 AM.- 6 PM. (SELECT 5-18):18
YOU WANT TO PREDICT DATA AT 6.00 PM.
PROGRAM IS RUNNING AND TRAINING DATA, PLEASE WAIT !
TRAINLM, Epoch 0/5000, MSE 13.346/1e-010, Gradient 8482.3/1e-010
TRAINLM, Epoch 5000/5000, MSE 0.00131926/1e-010, Gradient 0.0207485/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

mse_train_set =
0.0013
mse_test_set =
0.0582
elapsed_time =
155.8600
>> |

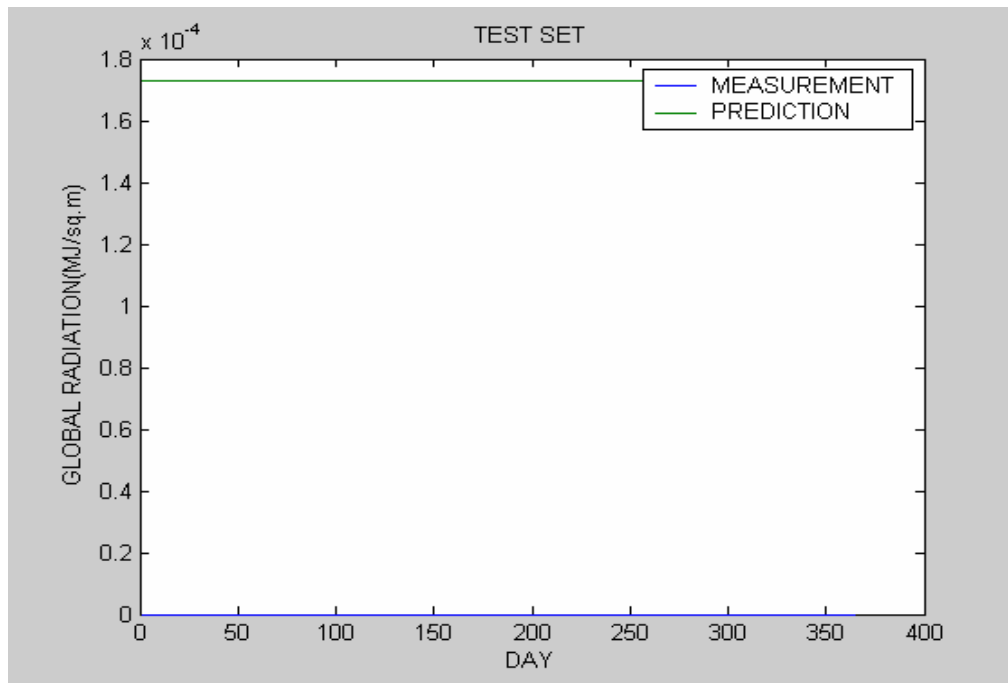
```

ภาพที่ 4-2 แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ หลังจากทำการเทรนข้อมูลแล้วเสร็จ

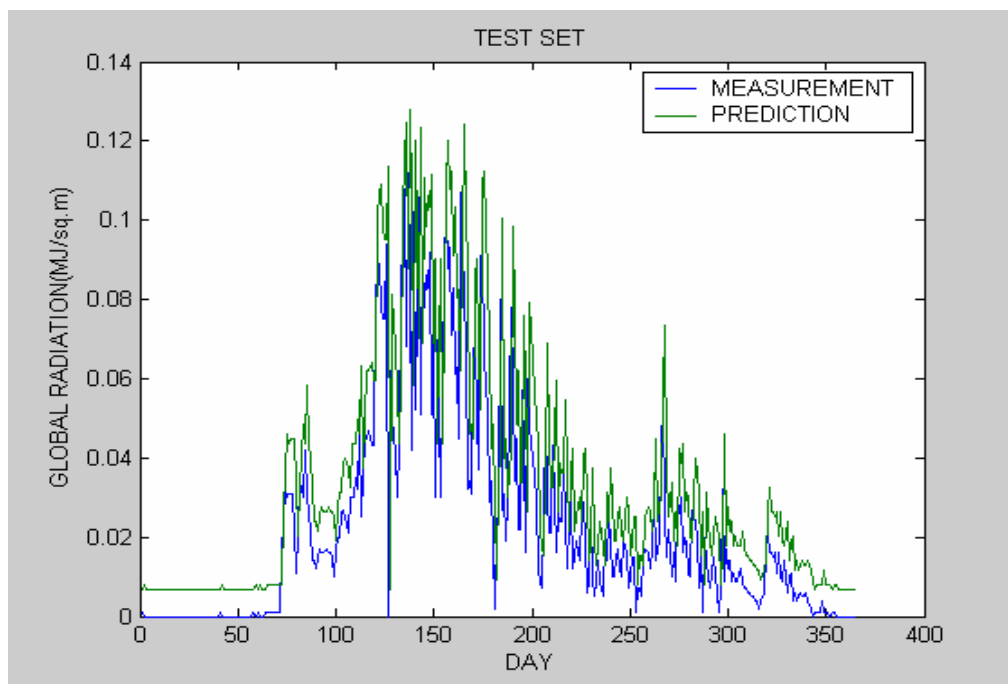
โปรแกรมนิรอลเน็ตเวิร์คที่ออกแบบสามารถทำการเทรนข้อมูลได้จำนวน 4 ปี โดยสามารถเลือกจำนวนข้อมูลที่ใช้เทรนได้ตั้งแต่หนึ่งปีขึ้นไป หรือหลายปีที่ต่อเนื่องมารวมกันได้ จนถึง 4 ปี หลังจากทำการเทรนข้อมูลเสร็จ จะทำการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงในช่วงของปีถัดไป ลักษณะของโปรแกรมจะพยากรณ์ค่าความเข้มพลังงานแสงเป็นช่วงระยะเวลาในแต่ละวันซึ่งสามารถเลือกเวลาที่จะพยากรณ์ได้ตั้งแต่ 5.00 น- 18.00 น.

การทำวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตการวิจัยโดยกำหนดจำนวนข้อมูลค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ศึกษาวิเคราะห์ด้วยหลักการของนิรอลเน็ตเวิร์คไว้เป็นจำนวนข้อมูลที่ไม่น้อยกว่าระยะเวลา 3 ปี และเก็บข้อมูลเพิ่มเติมที่จะนำมาใช้เป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับเอาพุตที่ได้ของเน็ตเวิร์คเป็นการเพิ่มเติมอีก 3 เดือนเป็นอย่างน้อย สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นข้อมูลค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 5 ปี ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บเมื่อปี พ.ศ.2542-2546 ข้อมูลที่ใช้เทรนเน็ตเวิร์คเฉพาะข้อมูลปี พ.ศ. 2542- 2545 สำหรับปี พ.ศ. 2546 จะใช้เป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับเอาพุตที่ได้ของเน็ตเวิร์ค

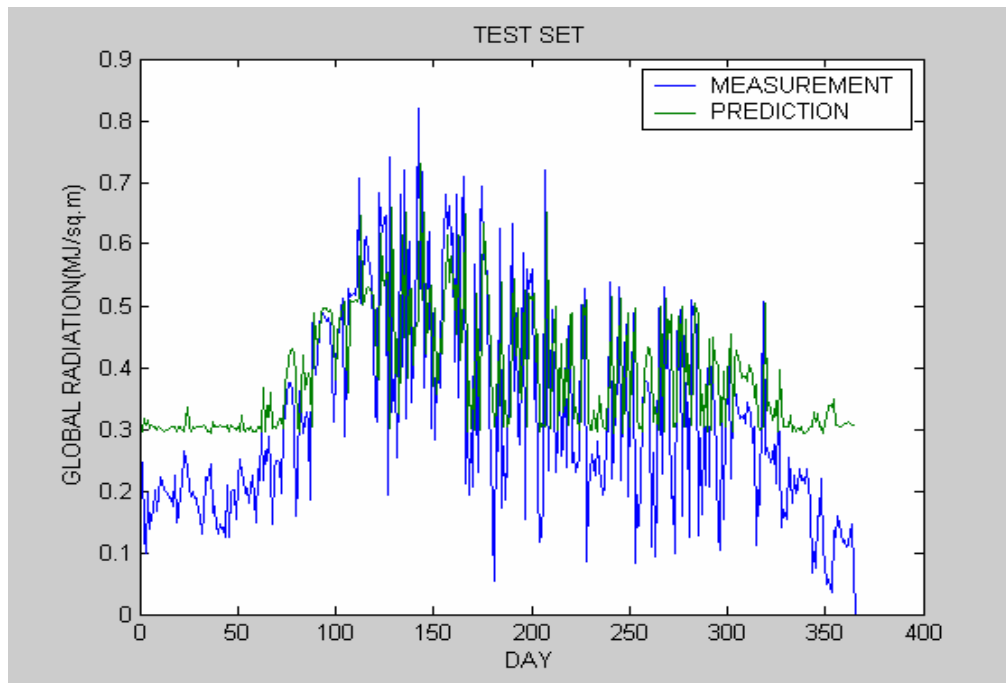
เพื่อความสอดคล้องกับขอบเขตการทำวิจัย ผู้วิจัยจะนำเสนอผลที่ได้จากการใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2543 ถึงปี พ.ศ. 2545 เท่านั้น หรือเป็นเวลา 3 ปี ที่จะนำมาใช้ในการเทรน ส่วนข้อมูลของปีต่อไป คือปีที่ 4 หรือปี พ.ศ. 2546 จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบผลลัพธ์ ทำการเทรนเน็ตเวิร์คและหลังจากเสร็จขั้นตอนการเทรนในแต่ละครั้ง โปรแกรมจะแสดงการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าที่เป็นเอาพุตของเน็ตเวิร์ค ทั้งในส่วนที่เป็นการเทรน และส่วนที่พยากรณ์ได้แสดงออกมาที่หน้าจอของคอมพิวเตอร์เป็นลักษณะรูปภาพ และส่วนของข้อมูลที่แสดงจะพิจารณาเฉพาะในส่วนที่เป็นค่าของการพยากรณ์ โดยหลังจากทดสอบโปรแกรมในแต่ละช่วงของเวลาที่เลือก จะได้ภาพแสดงการเปรียบเทียบผล จากการพยากรณ์ค่าความเข้มของพลังงานแสงจากนิรอลเน็ตเวิร์คเทียบกับค่าที่วัดได้จริง ดังภาพที่ 4-3 ถึง ภาพที่ 4-16



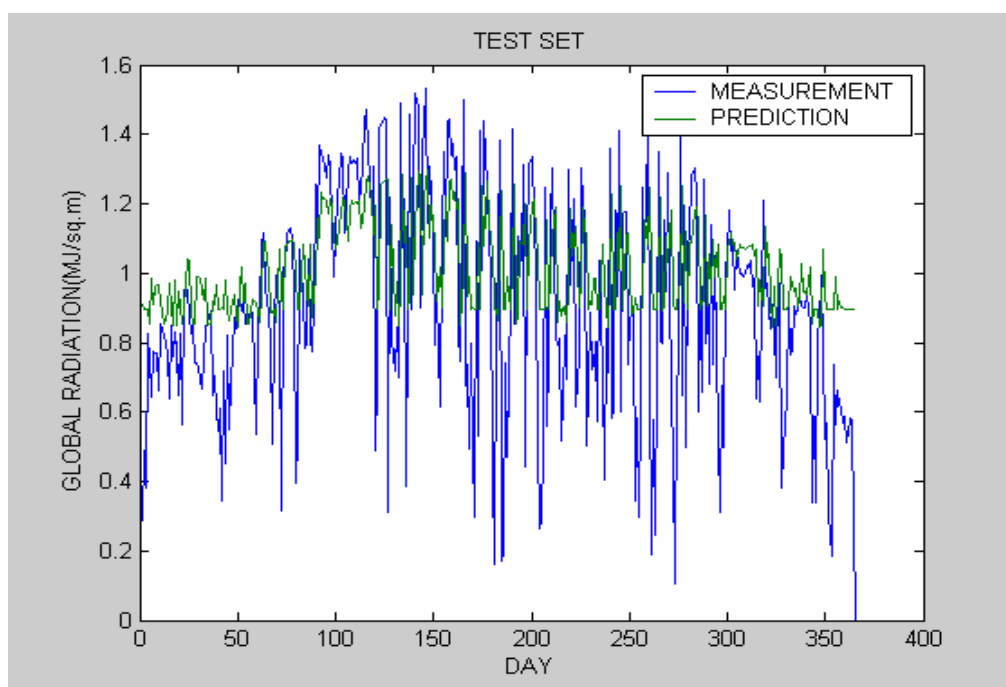
ภาพที่ 4-3 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 5.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



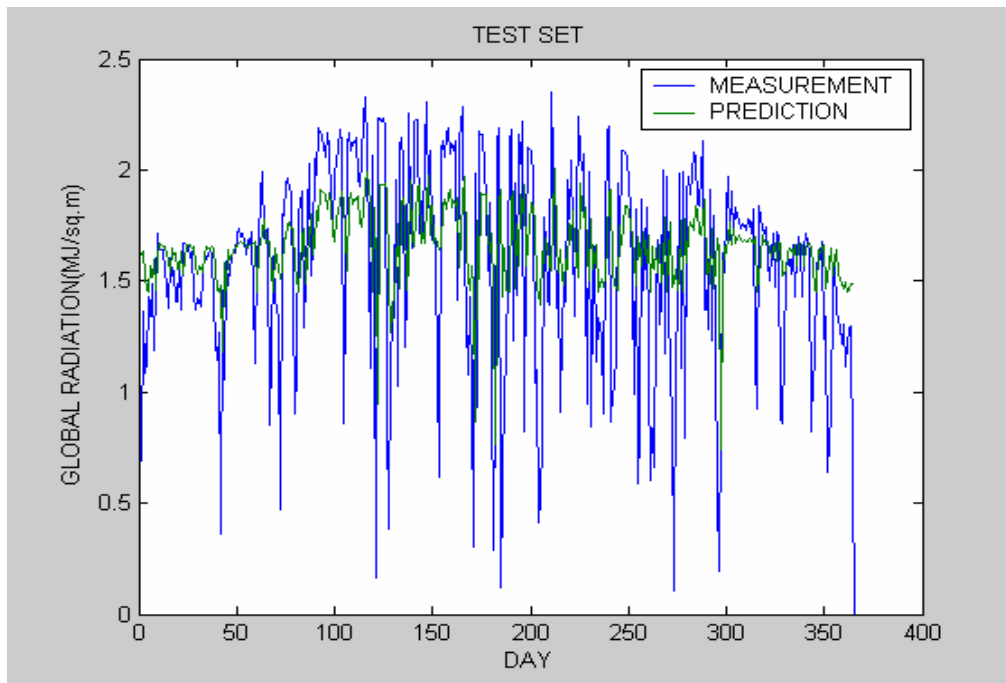
ภาพที่ 4-4 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 6.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



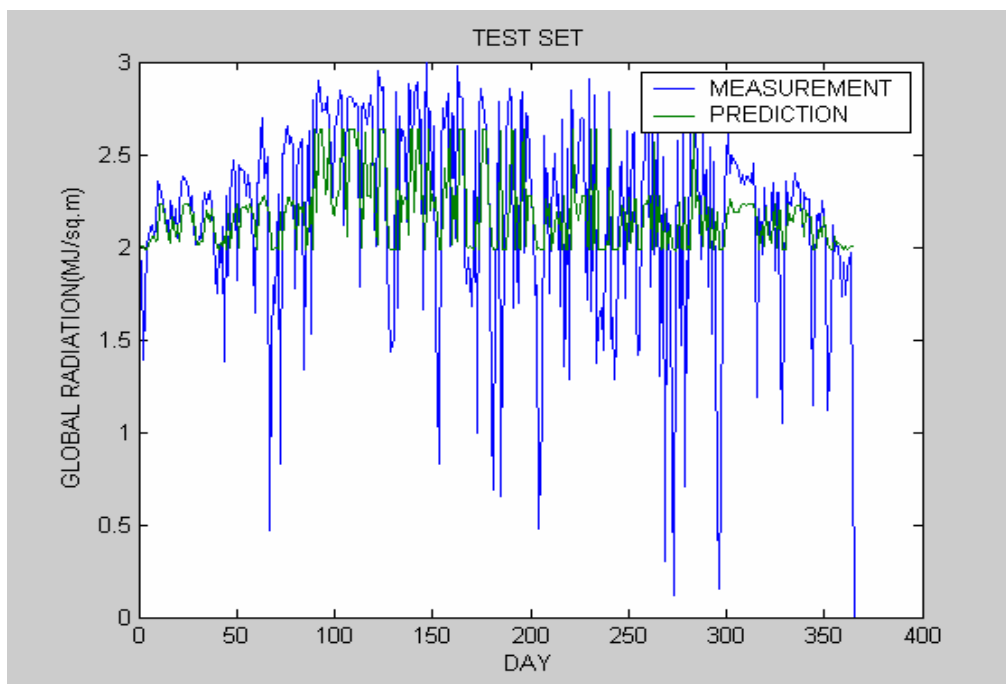
ภาพที่ 4-5 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 7.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



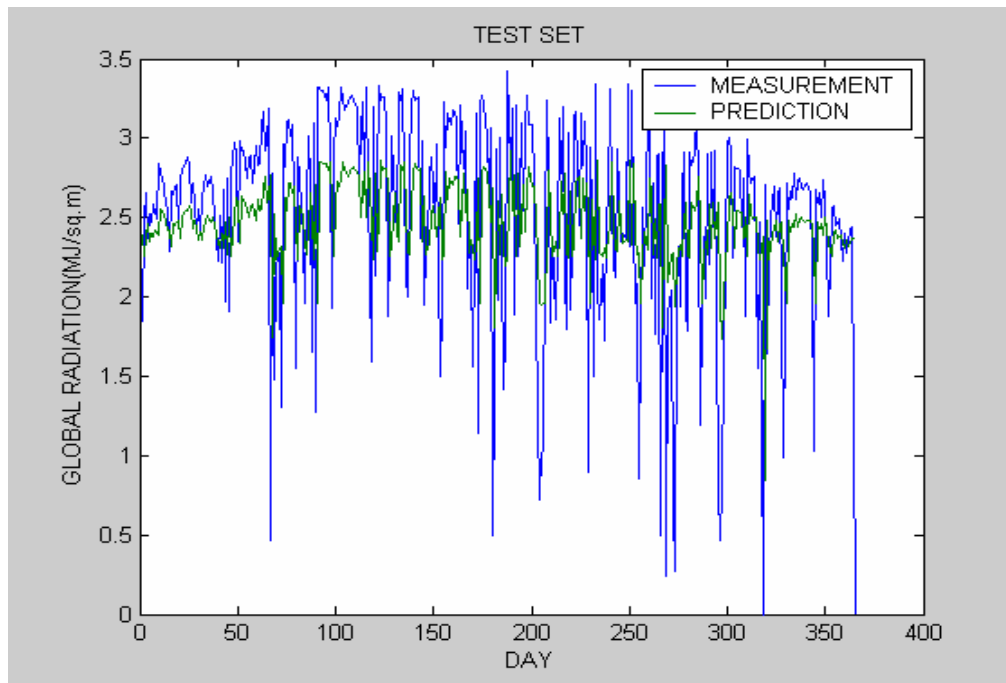
ภาพที่ 4-6 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 8.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



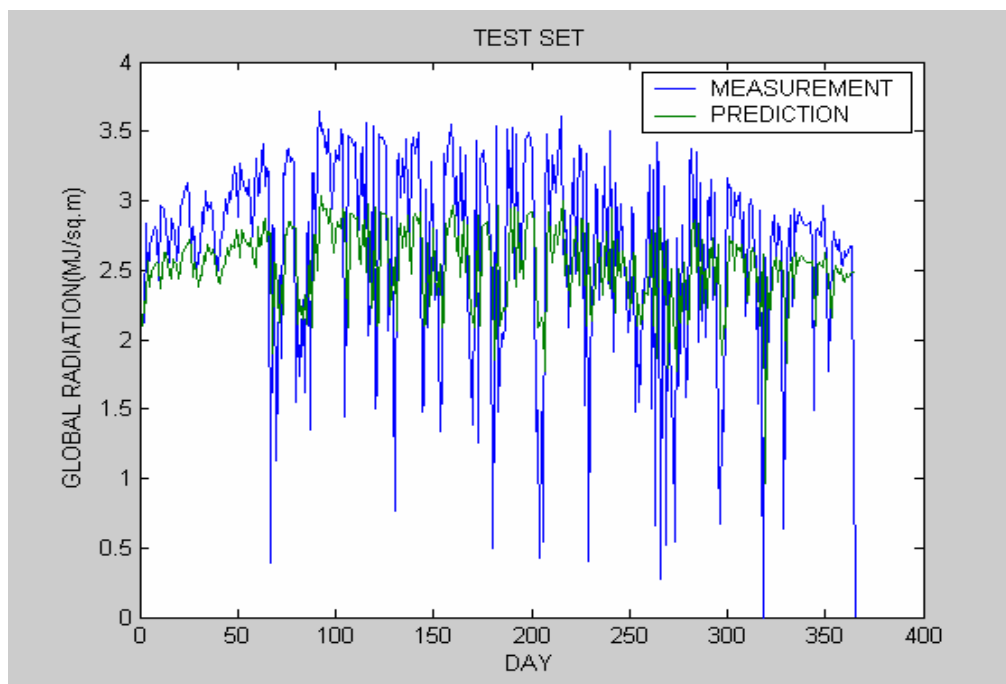
ภาพที่ 4-7 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 9.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



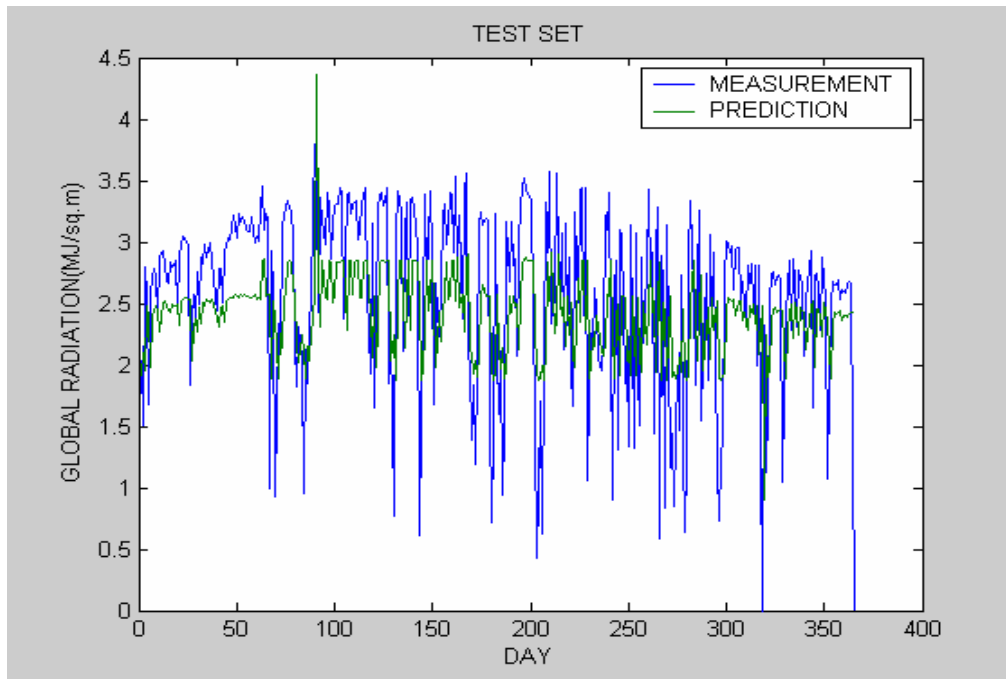
ภาพที่ 4-8 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 10.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



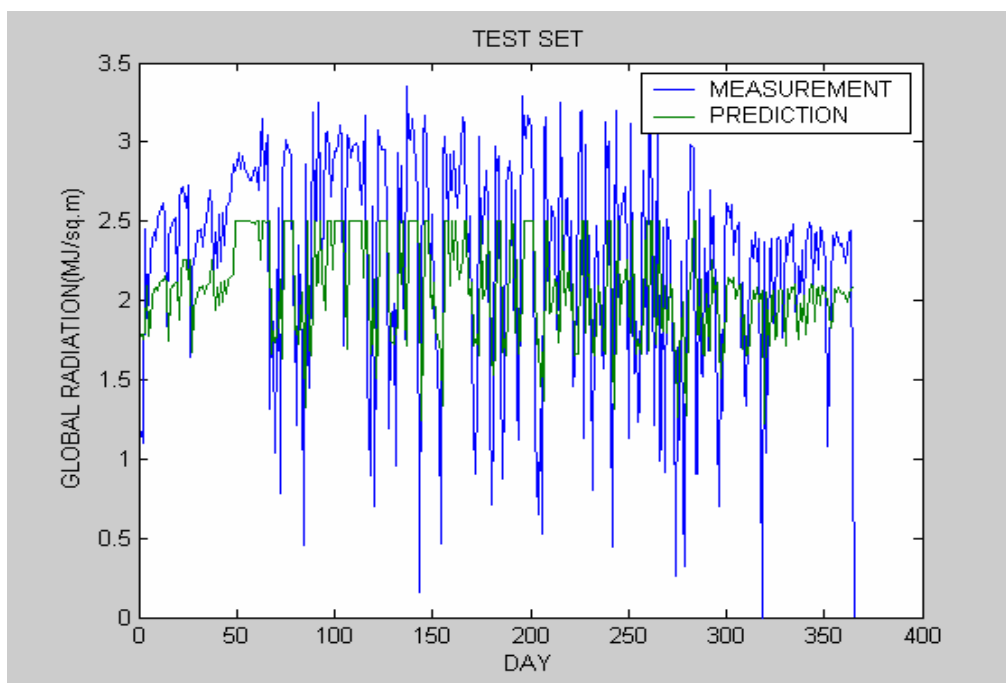
ภาพที่ 4-9 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 11.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



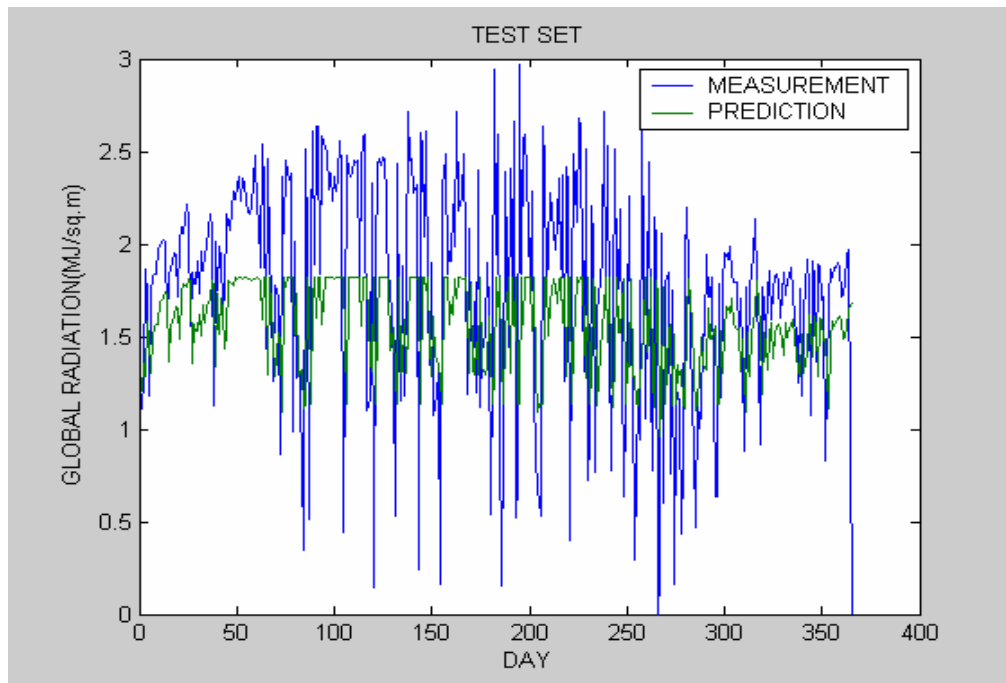
ภาพที่ 4-10 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 12.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



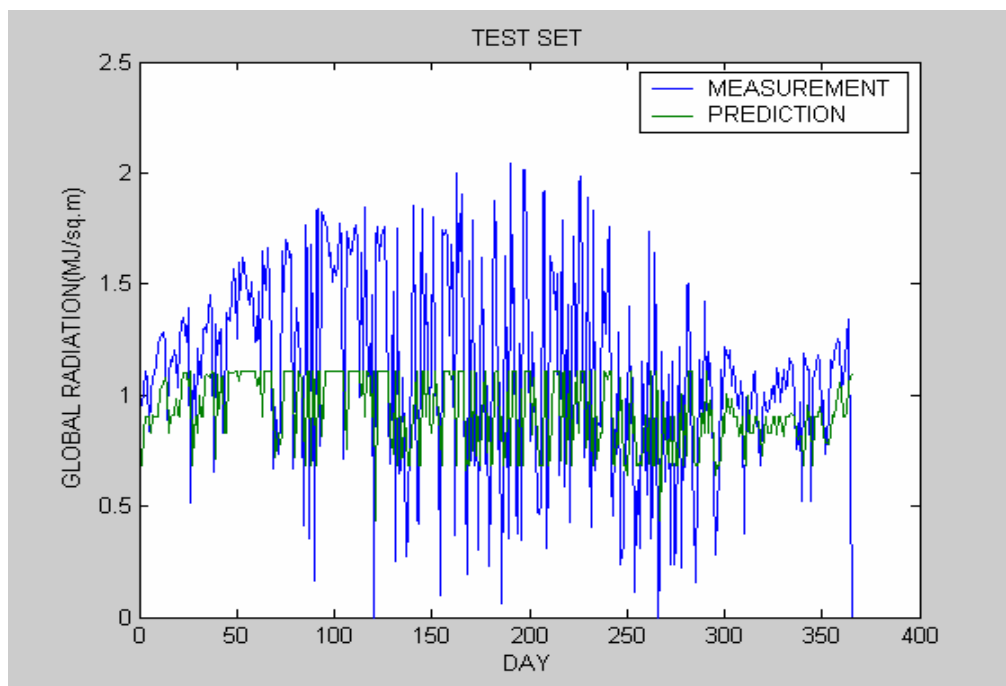
ภาพที่ 4-11 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 13.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



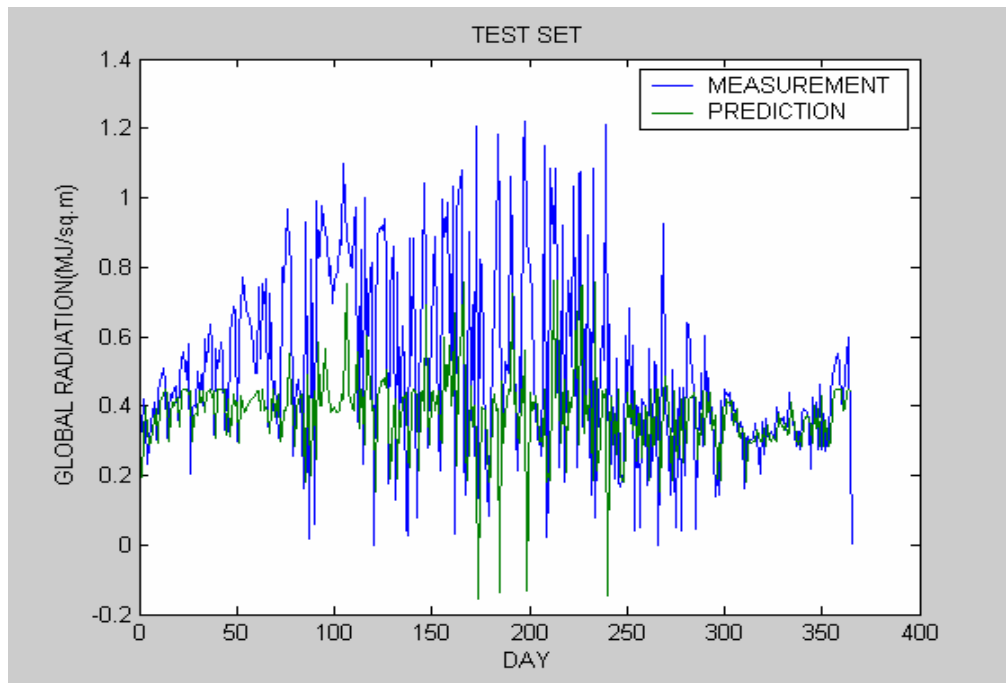
ภาพที่ 4-12 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 14.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



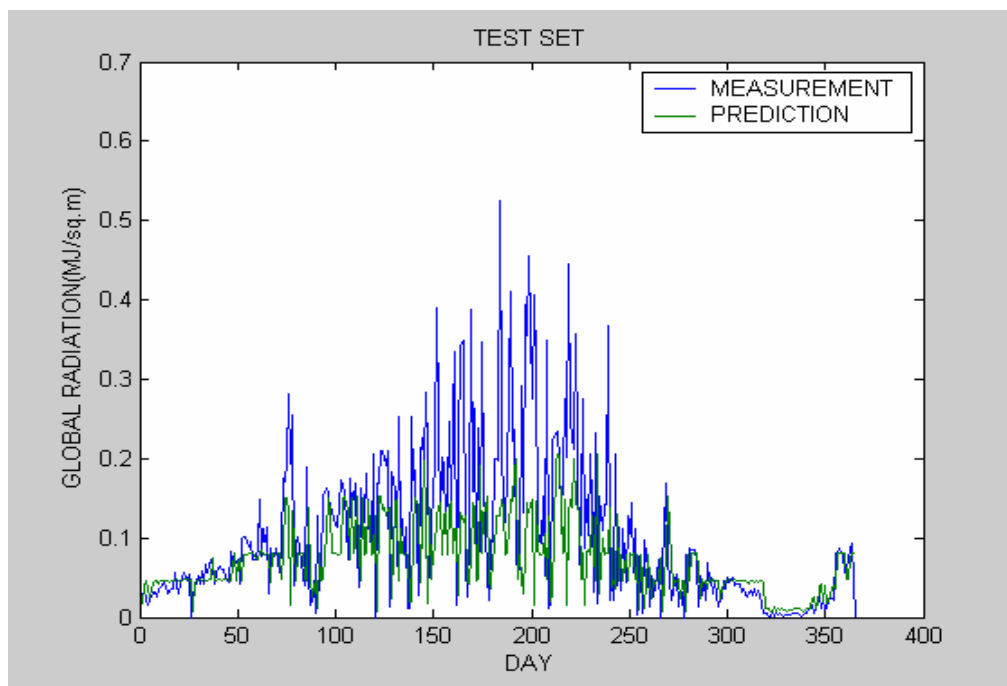
ภาพที่ 4-13 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 15.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4-14 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 16.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4-15 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 17.00 น. ของปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4-16 แสดงค่าความเข้มแสงจริง กับ ค่าจากการพยากรณ์ ที่เวลา 18.00 น. ของปี พ.ศ. 2546

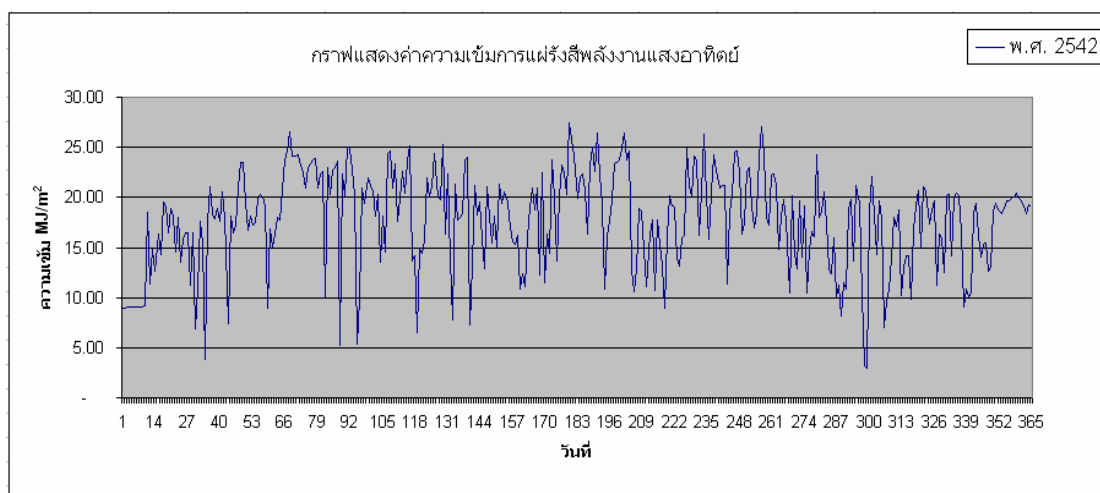
จากกราฟที่แสดง กำหนดให้แกนนอนแทนจำนวนวันใน 1 ปี และแกนตั้งแทนค่าความเข้มของการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหน่วยวัดเป็นเมกกะจูล / ตารางเมตร โดยกราฟที่ได้จะแสดงค่าความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลา เช่น ค่าความเข้มแสงตั้งแต่เวลา 5.00 น - 18.00 น. มีกราฟที่ได้จากการทดสอบโปรแกรมทั้งหมด 14 ภาพกราฟ

4.1.2 จำนวนค่าพลังงาน ค่าของพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั้น ผลรวมของพลังงานตลอดทั้งปี สามารถหาค่าได้จากข้อมูลค่าความเข้มแสงที่วัดได้ ซึ่งดูได้จากภาคผนวก ก โดยข้อมูลที่รวบรวมในระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 – 2546 สามารถแสดงค่าพลังงานแต่ปีดังตารางที่ 4-1

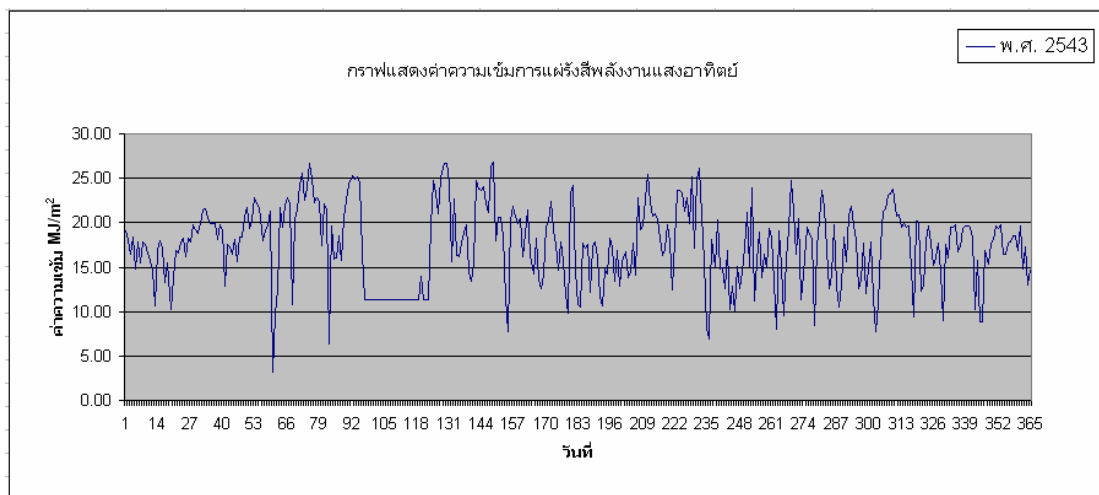
ตารางที่ 4-1 แสดงค่าพลังงานรวมแต่ละปี ของพลังงานแสงที่วัดได้จริงระหว่างปี พ.ศ. 2542-2546

	พ.ศ. 2542	พ.ศ. 2543	พ.ศ. 2544	พ.ศ. 2545	พ.ศ. 2546
ค่าพลังงานรวม เมกกะจูล ต่อตารางเมตร	6,479.906	6,509.63	6,384.329	6,350.993	6,762.765

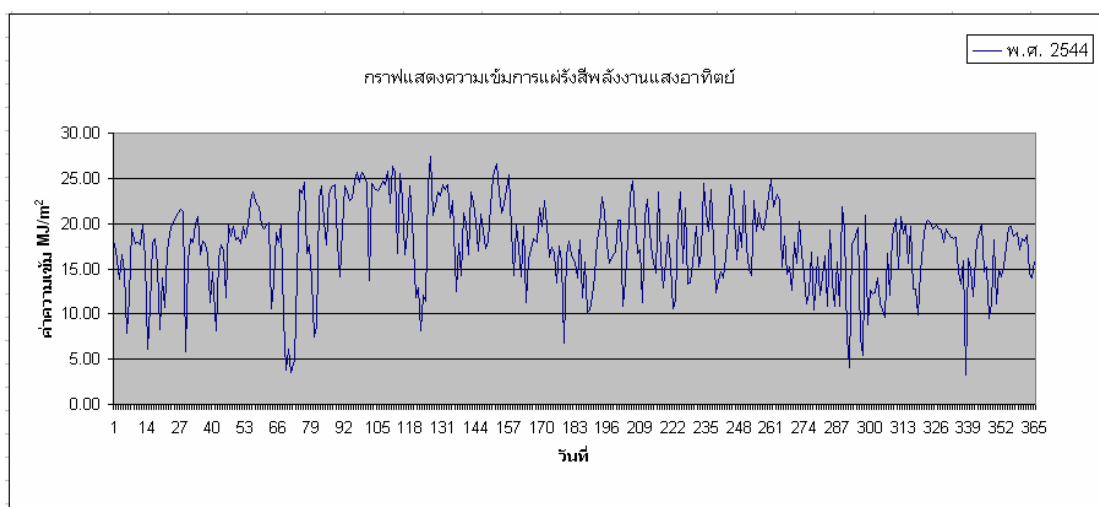
ค่าของพลังงานการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละปียังสามารถแสดงเป็นกราฟได้ ดังภาพที่ 4-17



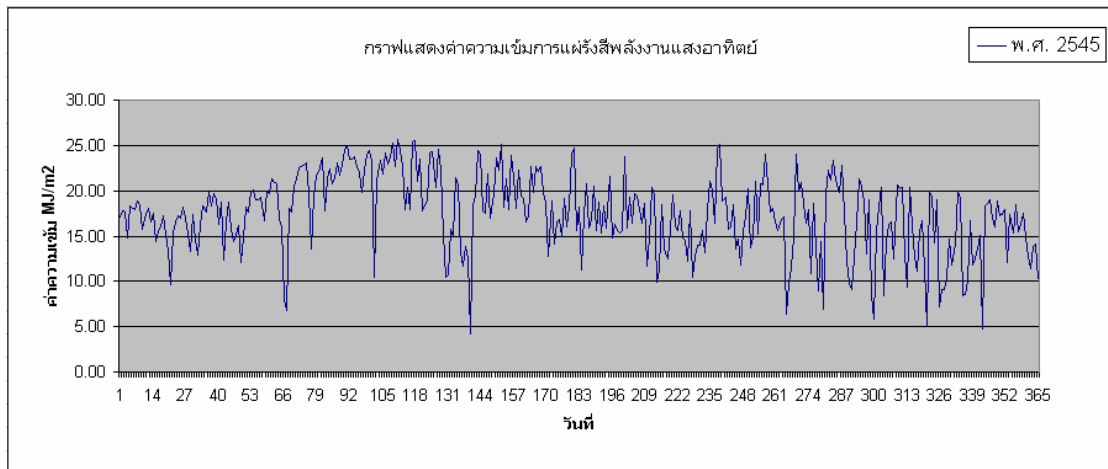
ภาพที่ 4-17 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริงของปี พ.ศ. 2542



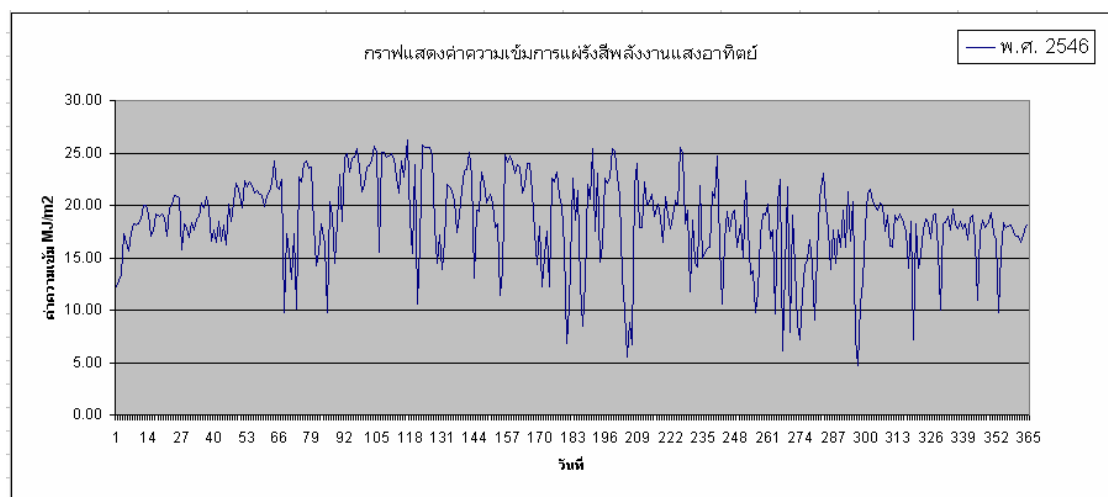
ภาพที่ 4-18 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริงของปี พ.ศ. 2543



ภาพที่ 4-19 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริงของปี พ.ศ. 2544



ภาพที่ 4-20 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริงของปี พ.ศ. 2545

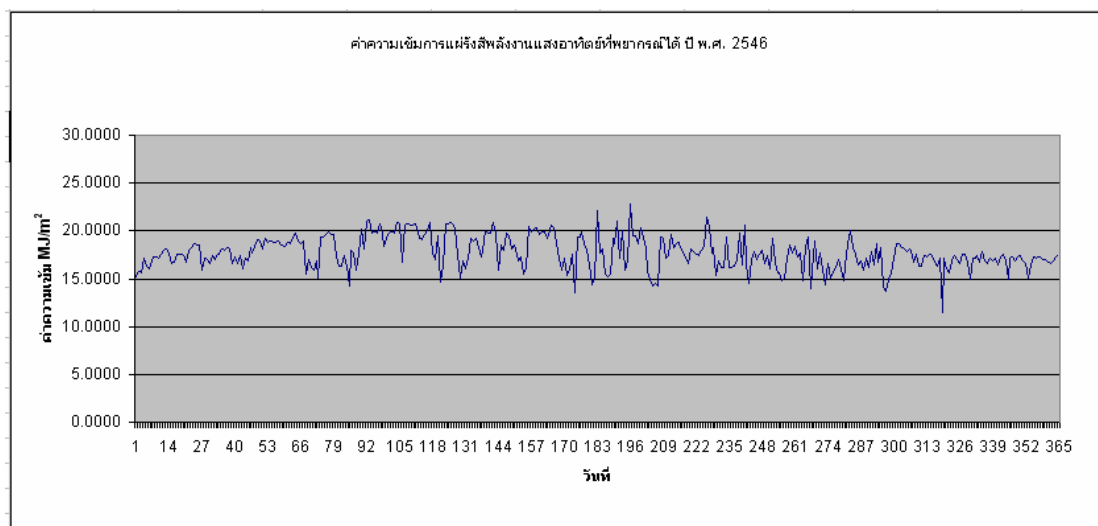


ภาพที่ 4-21 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริงของปี พ.ศ. 2546

พิจารณาค่าความเข้มของพลังงานแสงของปี พ.ศ. 2542 จากกราฟในภาพที่ 4-17 ค่าความเข้มของพลังงานแสงที่เกินกว่า 20 เมกกะจูลต่อตารางเมตร ซึ่งดูได้จากยอดกราฟจะอยู่ในช่วงของเดือนมีนาคม-เมษายน และในช่วงปลายปี มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูงในปี พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2544 ค่ายอดที่สูงกว่า 20 เมกกะจูลต่อตารางเมตร มีปริมาณลดลง และจะเพิ่มปริมาณในปี พ.ศ. 2546 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่ได้เป็นการแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาของฤดู แต่ละปีที่ไม่แน่นอนโดยปกติแล้วพลังงานแสงจะให้ค่าความเข้มสูงสุดในฤดูร้อน และให้ค่าความเข้ม

พลังงานต่ำในช่วงฤดูฝน หากเปรียบเทียบผลในระยะ 5 ปี แนวโน้มพลังงานแสงที่วัดได้มีแนวโน้มสูงขึ้น นั่นคือถ้าพิจารณากราฟจากภาพที่ 4-21 ยอดกราฟที่สูงกว่า 20 เมกกะจูลต่อตารางเมตร และมียุทธเวลาที่เกิดมากกว่าปีก่อนหน้านี้ทั้ง 4 ปี ซึ่งส่งผลเกิดจากในบริเวณสถานีวัดค่าความเข้มพลังงานแสงมีสภาพโดยทั่วไปปรอดโปร่ง หรือมีปริมาณแสงที่วัดได้มากกว่า ซึ่งหมายความว่าปีนี้ฤดูร้อนจะนานกว่า 4 ปีที่ผ่านมา ทำให้ผลรวมของการแผ่รังสีพลังงานทั้งปีสูงถึง 6,762.765 เมกกะจูลต่อตารางเมตร

4.1.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายปี รวบรวมผลที่ได้หลังทำการทดสอบโปรแกรมเพื่อพยากรณ์ค่าความเข้มพลังงานแสง โดยคำนวณค่าพลังงานรวมทั้งปีที่พยากรณ์ได้ และนำมาสร้างเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 4-22



ภาพที่ 4-22 ค่าความเข้มพลังงานแสง ปี พ.ศ. 2546 ที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยนิรอลเน็ตเวิร์ค

ผลที่ได้หลังจากใช้นิรอลเน็ตเวิร์ควิเคราะห์ค่าความเข้มแสงและพยากรณ์ค่าความเข้มแสงของปี พ.ศ. 2546 แสดงได้ตามภาพที่ 4-22 เมื่อนำมาหาค่าพลังงานรวมการแผ่รังสี พลังงานรวมในหนึ่งปีมีค่าเท่ากับ 6,457.446 เมกกะจูลต่อตารางเมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่พยากรณ์ค่าแตกต่างจากของจริงที่วัดได้ร้อยละ 4.51

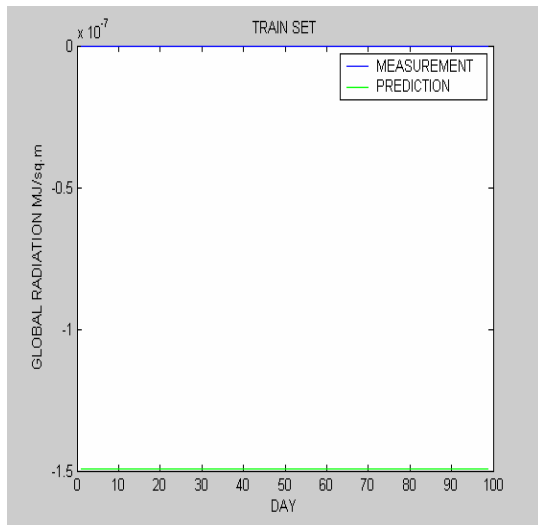
4.2 การเทรนข้อมูลค่าความเข้มแสงเป็นรายเดือน

4.2.1 เทรนเน็ตเวิร์กด้วยข้อมูลรายเดือน การเทรนมูลแบบรายเดือนจะจัดแยกข้อมูลแต่ละปีออกเป็น 12 ชุด ชุดละ 1 เดือน ดังนั้นข้อมูลที่ทำกรเทรนสามารถแยกเทรนเฉพาะเดือนได้ ซึ่งผลที่ได้หลังการเทรนเสร็จจะพยากรณ์ค่าความเข้มแสงของเดือนนั้นในปีต่อไป เช่น ในกรณีที่ต้องการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงของเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2546 สามารถเลือกใช้ข้อมูลที่เป็นค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เฉพาะของเดือนมกราคม โดยอาจเลือกค่าข้อมูลเฉพาะปี พ.ศ. 2545 ปีเดียว หรือใช้ข้อมูลทั้ง 3 ปีมาเทรนก็ได้ ผลการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงที่ได้จะพยากรณ์ค่าในช่วงของเวลาเช่นเดียวกันกับการเทรนเป็นรายปี ผลที่ได้จากการเทรนข้อมูลโดยใช้ข้อมูลรวมกัน 3 ปี มาทำการเทรน ตัวอย่างการพยากรณ์ค่าความเข้มพลังงานแสงของเดือนมกราคม พ.ศ. 2546 แสดงได้ดังนี้

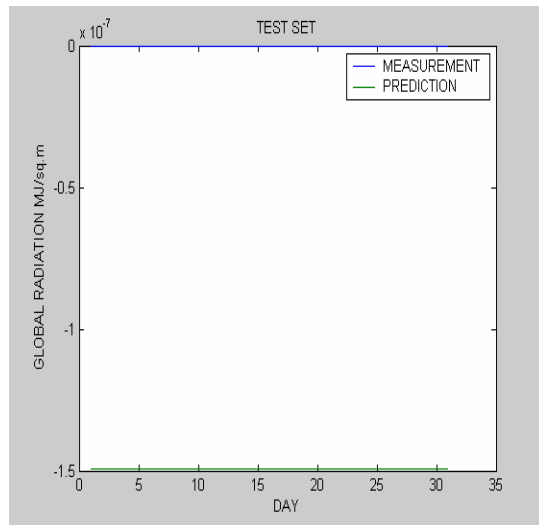
```
*****
THIS PROGRAM USE FOR TRAINING AND PREDICTION GLOBAL RADIATION
UP TO 4 MONTH OF DATA FOR TRAINING AND 1 MONTH PREDICTION
BY USING BACKPROPAGATION METHODE(2)
*****

PLEASE SELECT MONTH WHICH YOU WANT FOR PREDICTION
IF YOU WANT PREDICTION OF :
FOR PREDICTION DATA OF JANUARY, SELECT "1"
FOR PREDICTION DATA OF FEBUARY, SELECT "2"
FOR PREDICTION DATA OF MARCH, SELECT "3"
FOR PREDICTION DATA OF APRIL, SELECT "4"
FOR PREDICTION DATA OF MAY, SELECT "5"
FOR PREDICTION DATA OF JUNE, SELECT "6"
FOR PREDICTION DATA OF JULY, SELECT "7"
FOR PREDICTION DATA OF AUGUST, SELECT "8"
FOR PREDICTION DATA OF SEPTEMBER, SELECT "9"
FOR PREDICTION DATA OF OCTOBER, SELECT "10"
FOR PREDICTION DATA OF NOVEMBER, SELECT "11"
FOR PREDICTION DATA OF DECEMBER, SELECT "12"
IF YOU SELECT OTHER NUMBER PROGRAM WILL BE CLOSE !
SELECT NUMBER : 1
YOU WANT TO PREDICT OF JANUARY
PLEASE SELECT YEAR WHICH YOU WANT TO PREDICT :
YEAR 2000 SELECT "1"
YEAR 2001 SELECT "2"
YEAR 2002, SELECT "3"
YEAR 2003, SELECT "4"
SELECT NUMBER :
```

ภาพที่ 4-23 แสดงหน้าจอขณะเทรนข้อมูลแบบรายเดือน

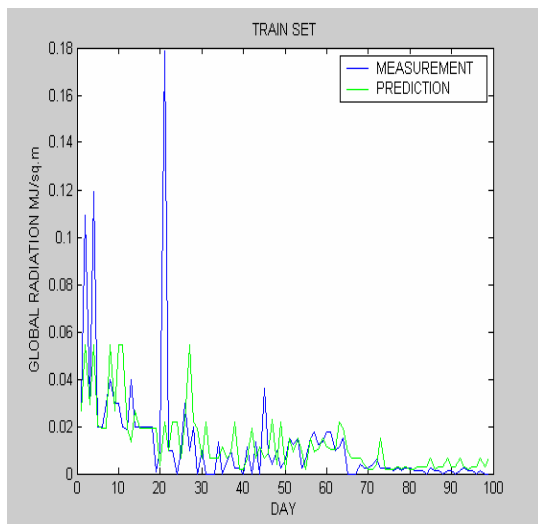


(ก) แสดงผลการเทรน

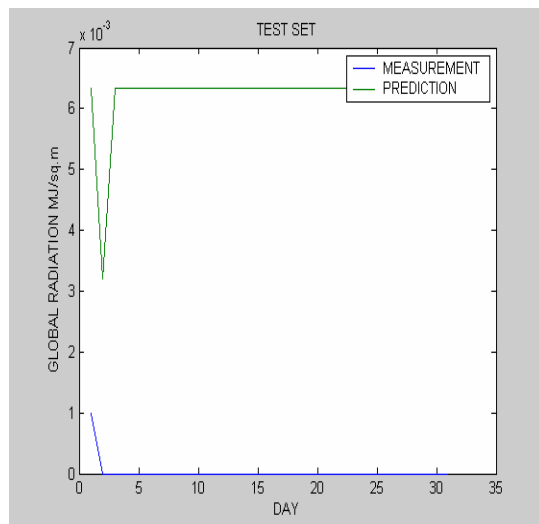


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-24 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 5.00 น.

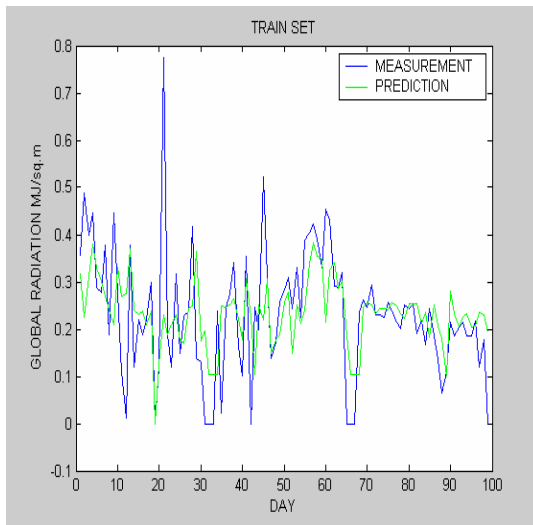


(ก) แสดงผลการเทรน

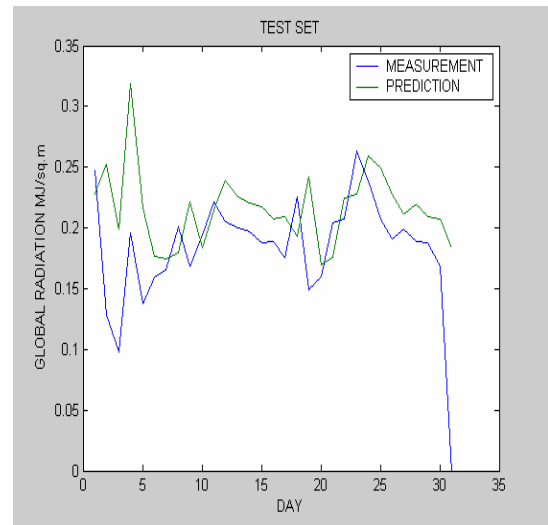


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-25 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 6.00 น.

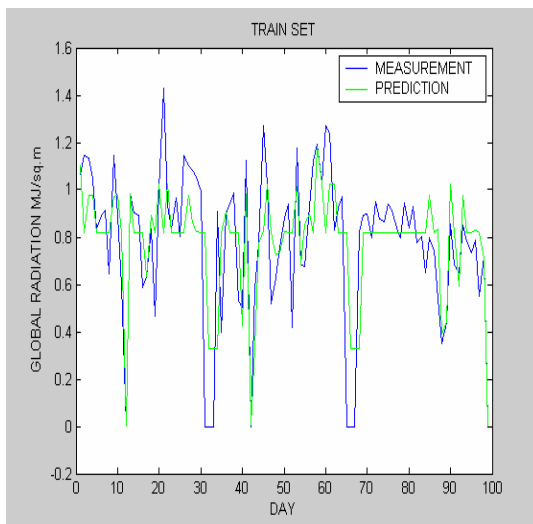


(ก) แสดงผลการเทรน

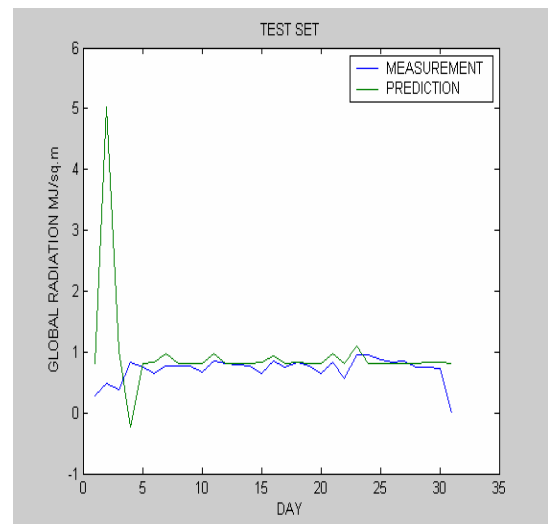


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-26 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 7.00 น.

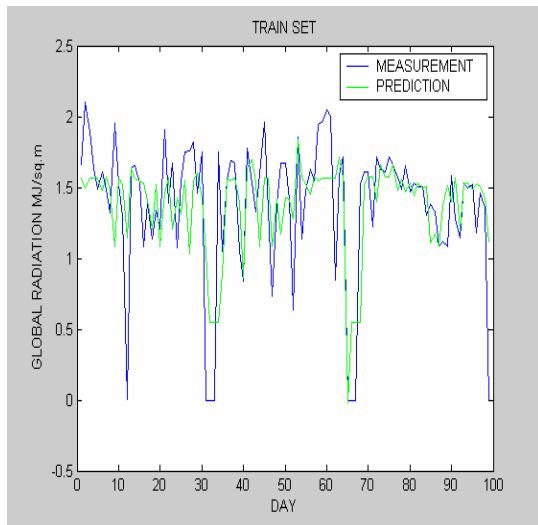


(ก) แสดงผลการเทรน

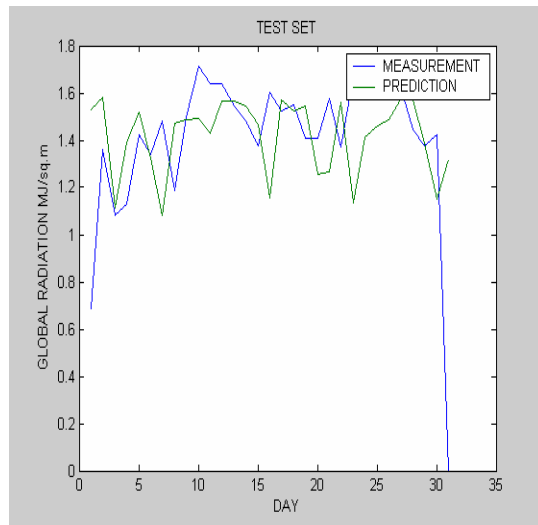


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-27 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 8.00 น.

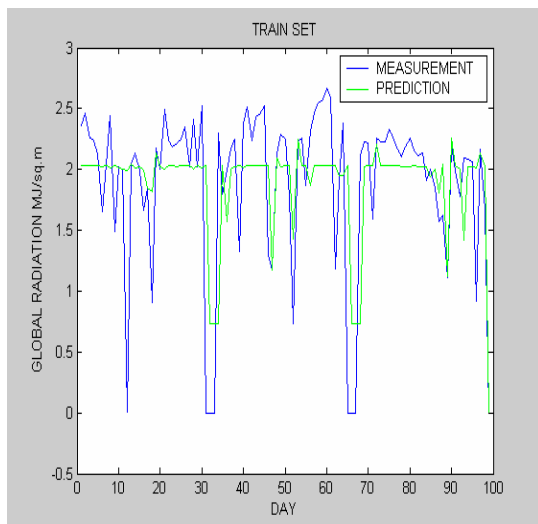


(ก) แสดงผลการเทรน

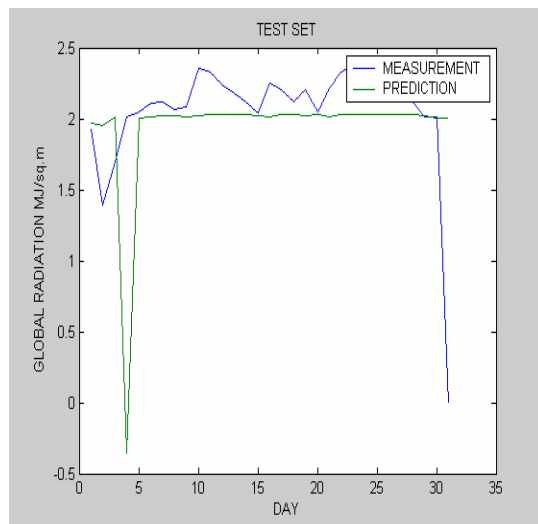


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-28 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 9.00 น.

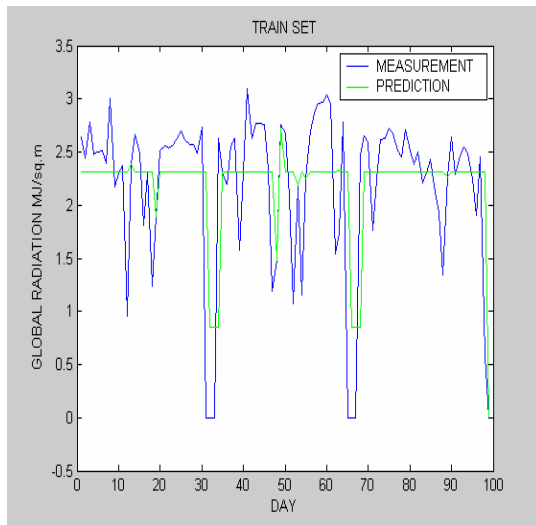


(ก) แสดงผลการเทรน

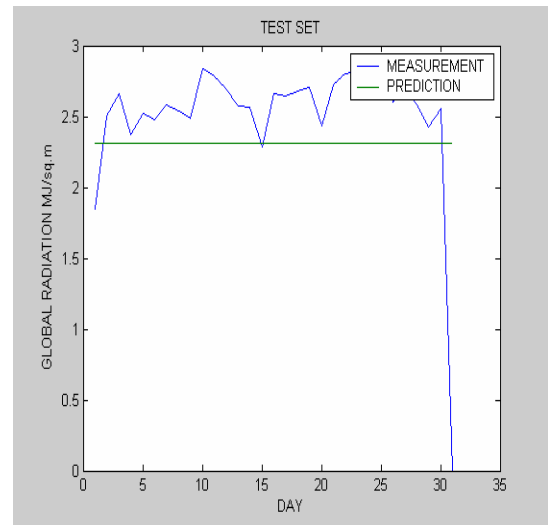


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-29 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 10.00 น.

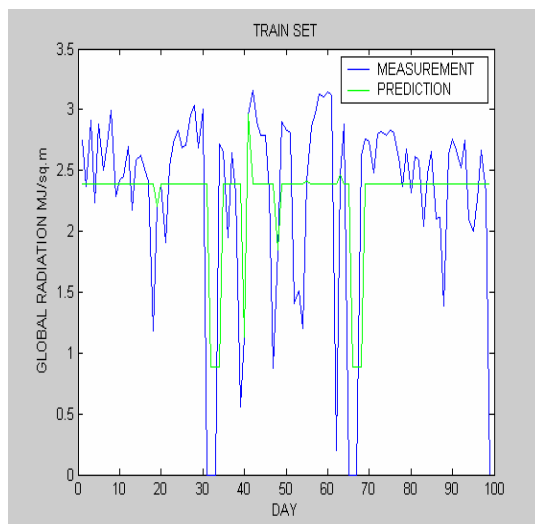


(ก) แสดงผลการเทรน

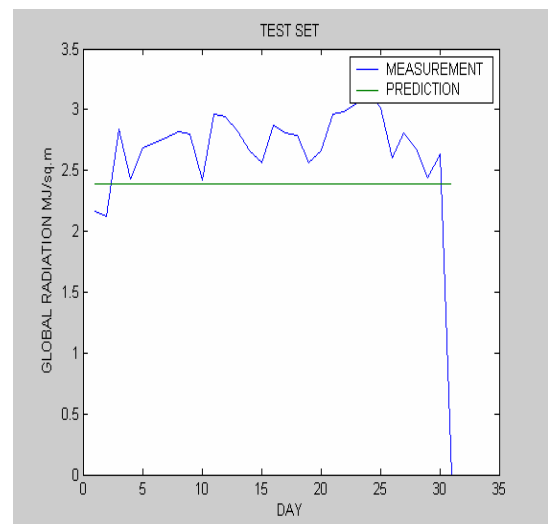


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-30 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 11.00 น.

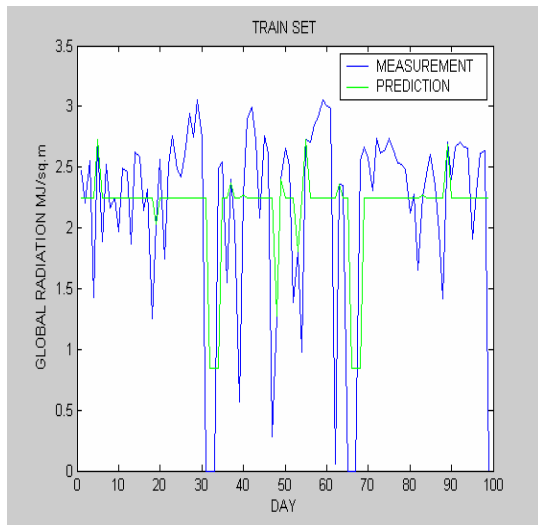


(ก) แสดงผลการเทรน

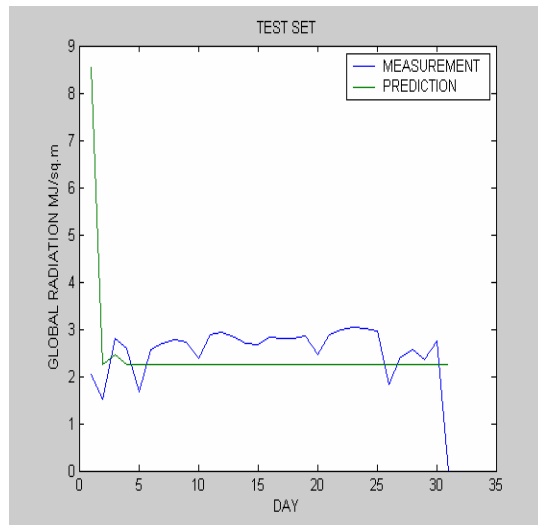


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-31 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 12.00 น.

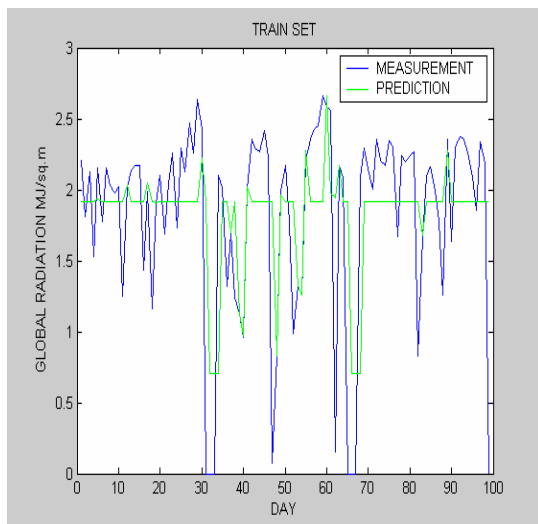


(ก) แสดงผลการเทรน

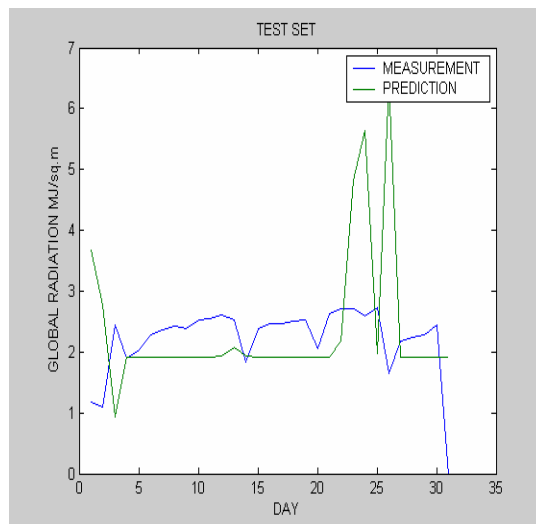


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-32 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 13.00 น.

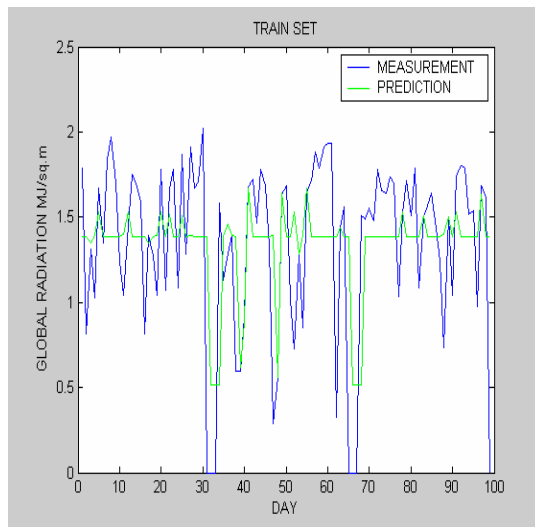


(ก) แสดงผลการเทรน

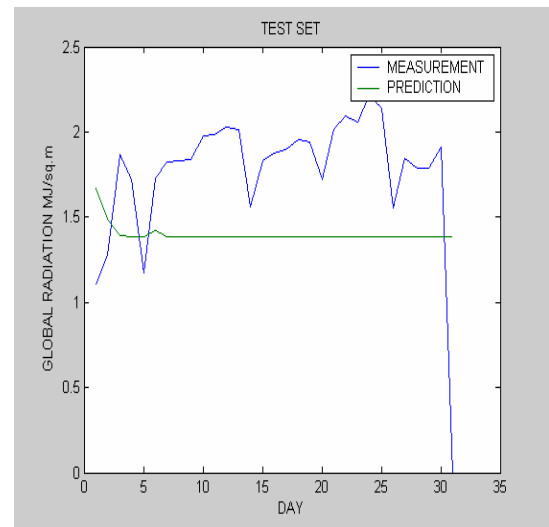


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-33 กราฟแสดงผลจากการเทรนและผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 14.00 น.

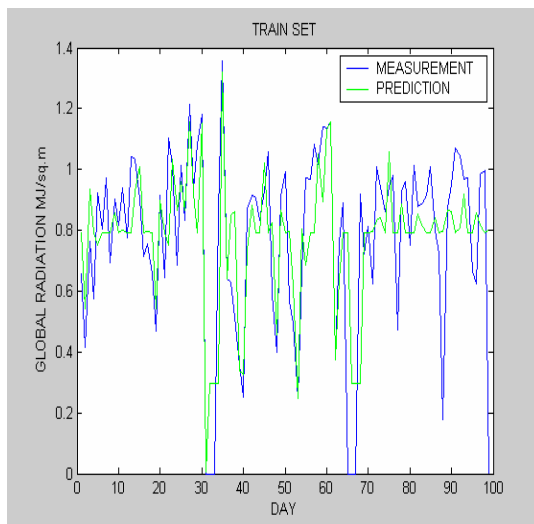


(ก) แสดงผลการเทรน

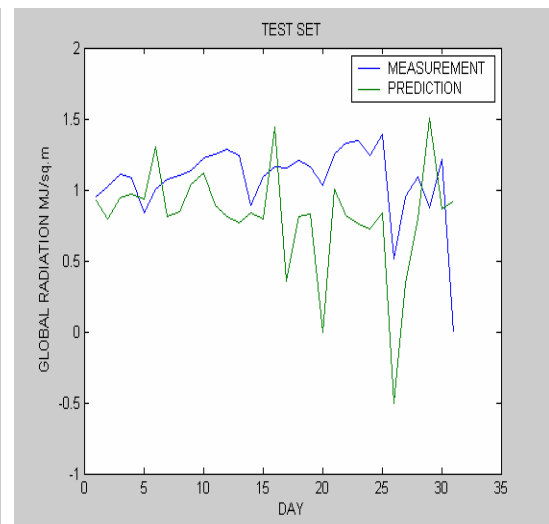


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-34 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 15.00 น

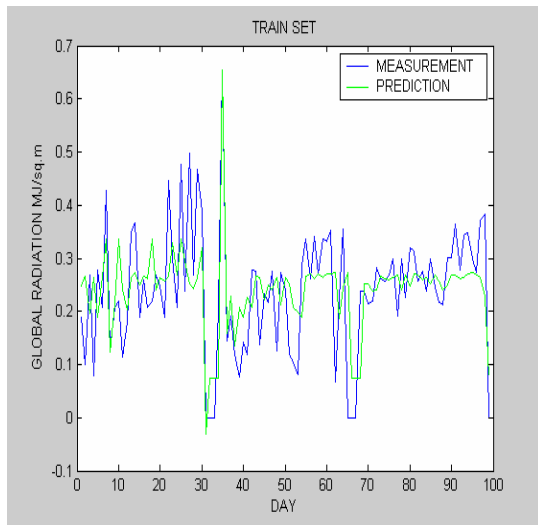


(ก) แสดงผลการเทรน

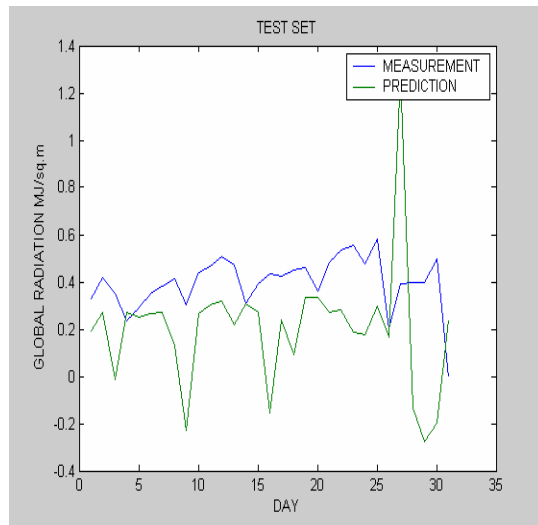


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-35 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 16.00 น

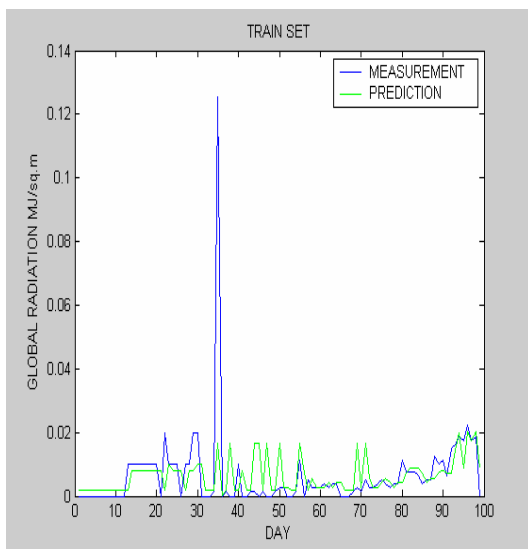


(ก) แสดงผลการเทรน

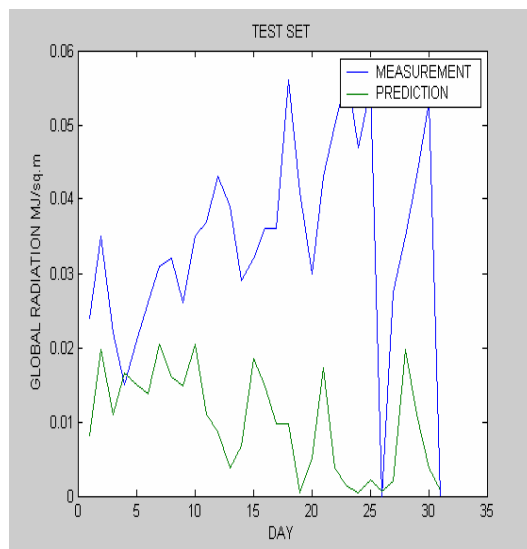


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-36 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 17.00 น



(ก) แสดงผลการเทรน



(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

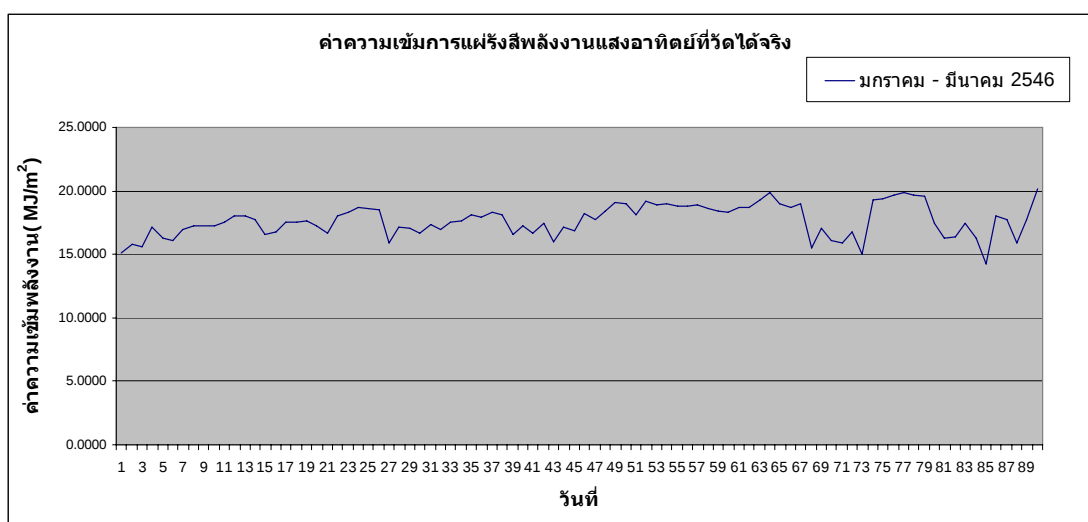
ภาพที่ 4-37 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ เดือนมกราคม เวลา 18.00 น

การเรนข้อมูลแบบเป็นรายเดือนนี้ ได้ทำการทดสอบและนำเสนอข้อมูลเฉพาะค่าความเข้มแสงจำนวน 3 เดือน คือ เดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และเดือนมีนาคม โดยใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2543 ถึง 2545 เป็นข้อมูลสำหรับเรน และพยากรณ์ค่าความเข้มแสงของแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2546 จำนวน 3 เดือนเท่านั้น และภาพที่ได้หลังการเรนนิเวรอลเน็ตเวิร์คไม่สามารถนำมาแสดงได้ทั้งหมดค่าของพลังงานแสงที่วัดได้จริงและที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยนิเวรอลเน็ตเวิร์คนั้นสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4-2

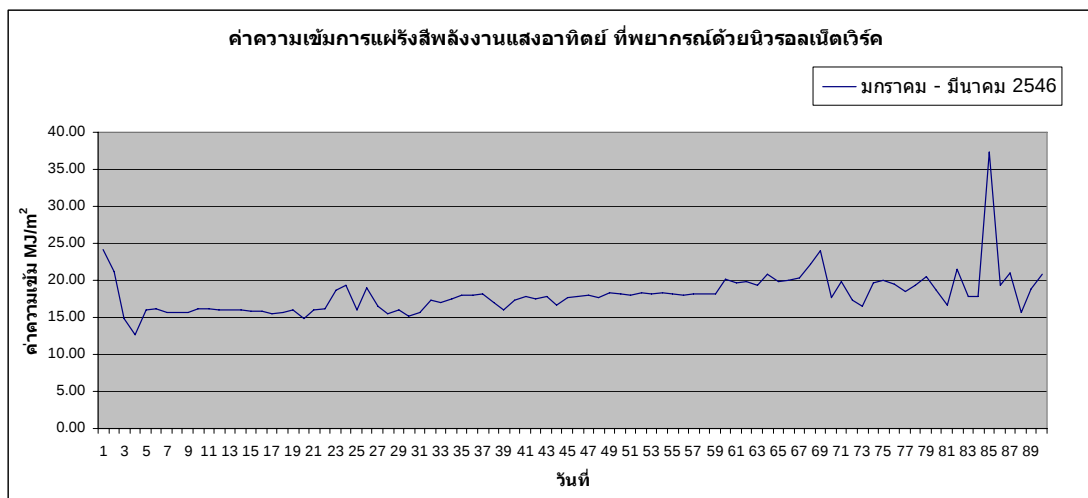
ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละเดือนที่วัดได้ กับที่พยากรณ์

ค่าความเข้มแสง เมกะจูล / ตารางเมตร	มกราคม 2546	กุมภาพันธ์ 2546	มีนาคม 2546
ค่าจริงที่วัดได้	555.025	550.664	584.920
ค่าจากการพยากรณ์	510.2537	497.377	620716

4.2.2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายเดือน ค่าของพลังงานแสงในช่วงของเดือนทั้ง 3 เดือน ค่าของพลังงานแสงที่วัดได้จริงสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 4-38 และที่ได้จากการพยากรณ์ตาม ภาพที่ 4-39



ภาพที่ 4-38 ค่าความเข้มพลังงานแสงที่วัดได้จริง ระหว่างเดือน มกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4-39 ค่าความเข้มพลังงานแสงที่พยากรณ์ได้ ระหว่างเดือน มกราคม – มีนาคม 2546

ผลการเปรียบเทียบค่าของพลังงานจริงที่วัดได้กับค่าที่พยากรณ์ด้วยนิรอลเน็ตเวิร์คนั้นพบว่าข้อมูลที่พยากรณ์ได้ด้วยวิธีการแบบรายเดือนในช่วงของเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมของปี พ.ศ. 2546 จะมีค่าของพลังงานแสงรวมเท่ากับ 1,628.346 เมกกะจูลต่อตารางเมตร และค่าที่วัดได้จริงเท่ากับ 1,690.609 เมกกะจูลต่อตารางเมตร ซึ่งค่าที่พยากรณ์ได้มีค่าต่ำกว่าค่าจริงคิดเป็นร้อยละ 3.68

4.3 การเทรนข้อมูลค่าความเข้มแสงเป็นรายสัปดาห์

4.3.1 เทรนเน็ตเวิร์คด้วยข้อมูลเป็นรายสัปดาห์ ข้อมูลที่ป้อนเข้าเน็ตเวิร์คจะสามารถเลือกช่วงข้อมูลได้ในช่วงของปี กรณีที่ทำการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงของวันใดวันหนึ่งในปี โปรแกรมจะใช้ข้อมูลจำนวน 7 วัน ก่อนวันที่จะพยากรณ์ค่ามาใช้เทรนนิรอลเน็ตเวิร์ค หลังจากนั้นจะทำการพยากรณ์ค่าของวันที่ 8 สำหรับการพยากรณ์ค่าของความเข้มแสงแบบรายสัปดาห์นี้จะแตกต่างจากสองแบบที่กล่าวก่อนหน้านี้ โดยการพยากรณ์จะแสดงให้เห็นทราบค่าของความเข้มแสงตลอดช่วงของเวลา ตั้งแต่ 5.00 น.-18.00 น. สำหรับหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ทำการรัน โปรแกรมเทรนเน็ตเวิร์คแสดงได้ตามภาพที่ 4-40

```

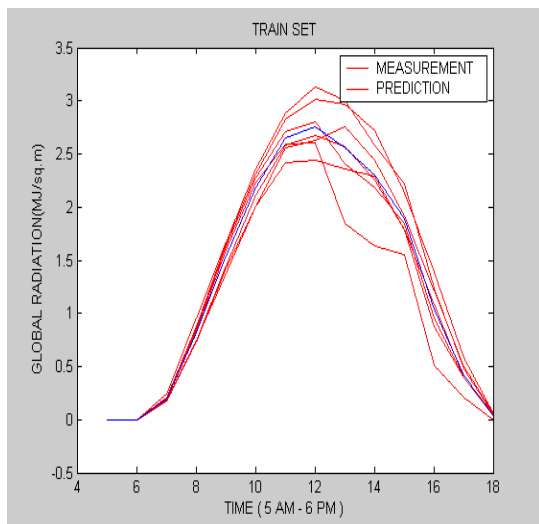
*****
THIS PROGRAM USE FOR TRAINING AND PREDICTION GLOBAL RADIATION
USE DATA UP TO ONE WEEK FOR TRAINING
ONE DAY OF DATA PREDICTION
BY USING BACKPROPAGATION METHODE
*****

PLEASE SELECT YEAR WHICH YOU WANT TO PREDICTION
FOR PREDICTION DATA OF YEAR 1999 SELECT "1"
FOR PREDICTION DATA OF YEAR 2000 SELECT "2"
FOR PREDICTION DATA OF YEAR 2001 SELECT "3"
FOR PREDICTION DATA OF YEAR 2002 SELECT "4"
FOR PREDICTION DATA OF YEAR 2003 SELECT "5"
SELECT NUMBER : 5
YOU SELECT YEAR 2003
PLEASE SELECT ONE DAY WHICH YOU WANT TO PREDICTION
YOU CAN SELECT ONE DAY FROM 1-364 DAY
SELECT NUMBER : 31
ans =
1
TRAINLM, Epoch 0/5000, MSE 5.76865/1e-010, Gradient 153.228/1e-010

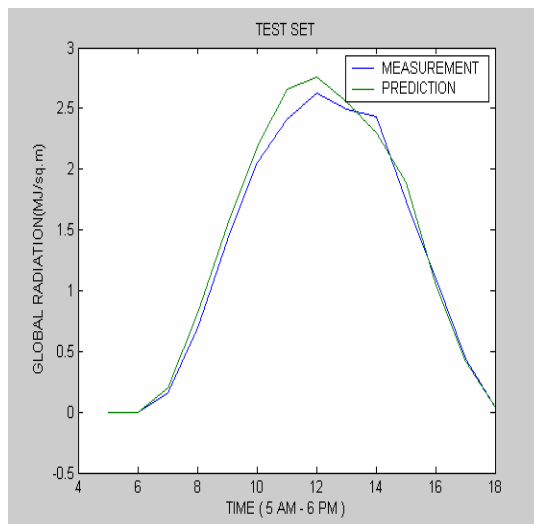
```

ภาพที่ 4-40 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ ขณะทำการเทรนข้อมูลแบบรายสัปดาห์

ผลที่ได้หลังจากที่เลือกวันที่ต้องการพยากรณ์ค่าแล้วเสร็จ โปรแกรมจะทำการงานและแสดงผลการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงตั้งแต่เวลา 5.00 น.-18.00 น. ดังแสดงในภาพที่ 4-41

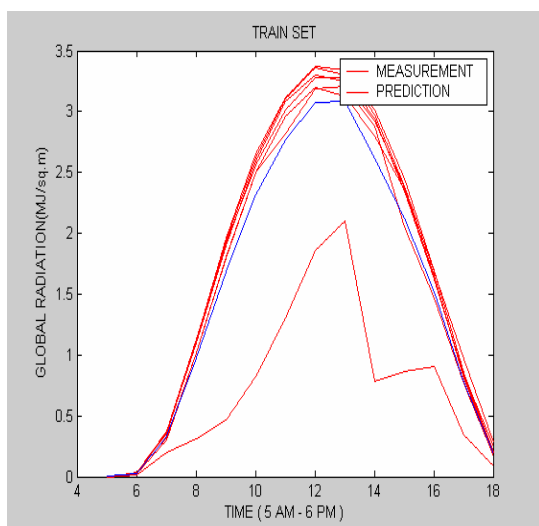


(ก) แสดงผลการเทรน

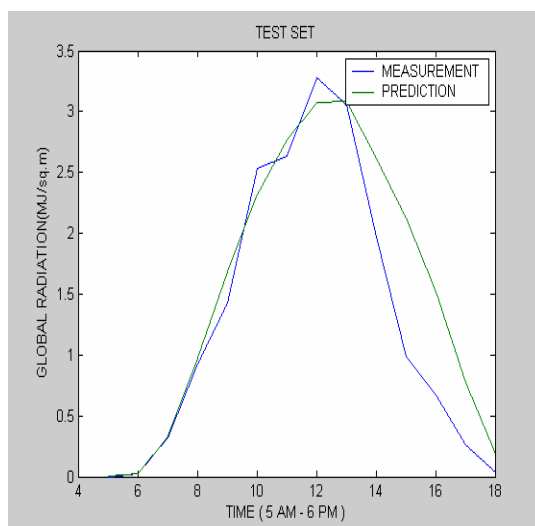


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-41 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 31 เดือน มกราคม พ.ศ. 2546

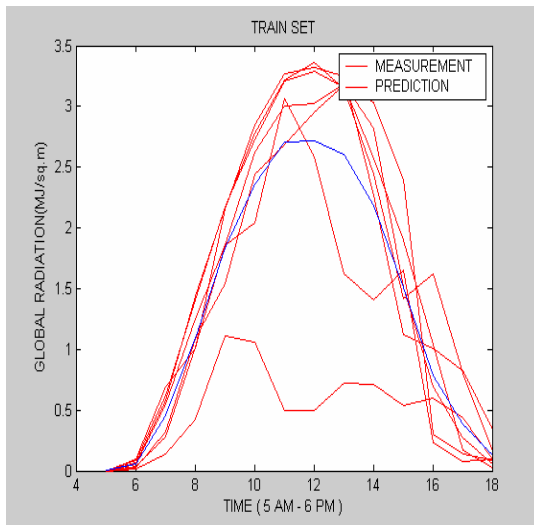


(ก) แสดงผลการเทรน

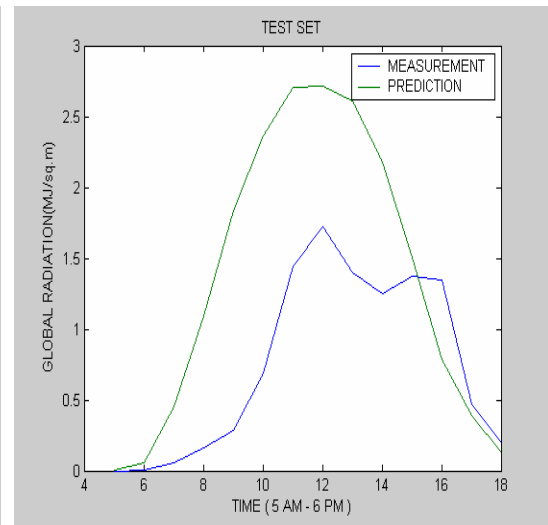


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-42 กราฟแสดงผลจากการเทรน และ ผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 20 เดือน เมษายน พ.ศ. 2546

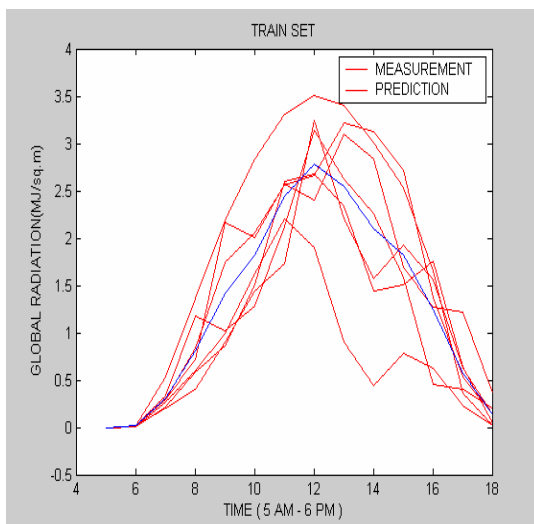


(ก) แสดงผลการเทรน

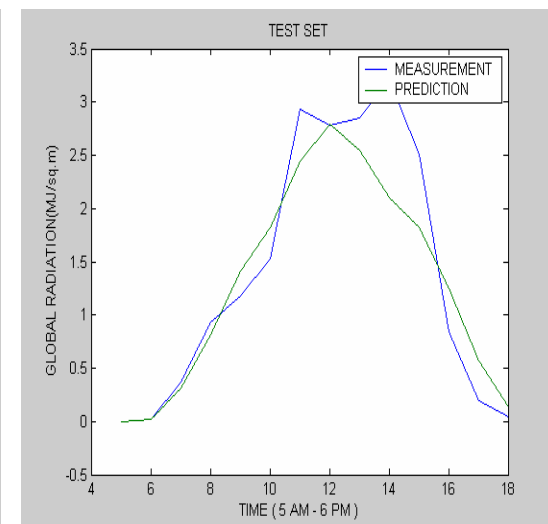


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-43 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 30 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2546

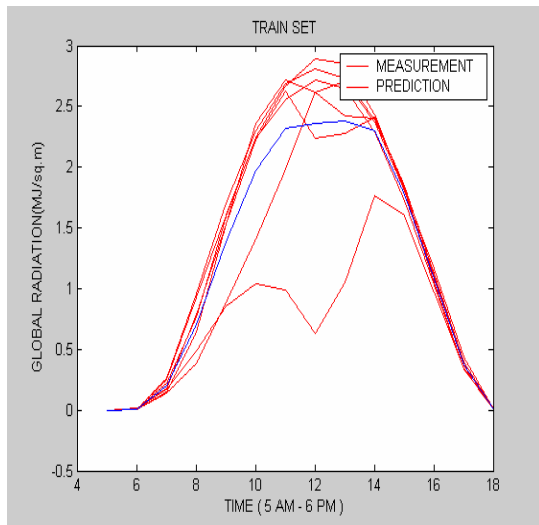


(ก) แสดงผลการเทรน

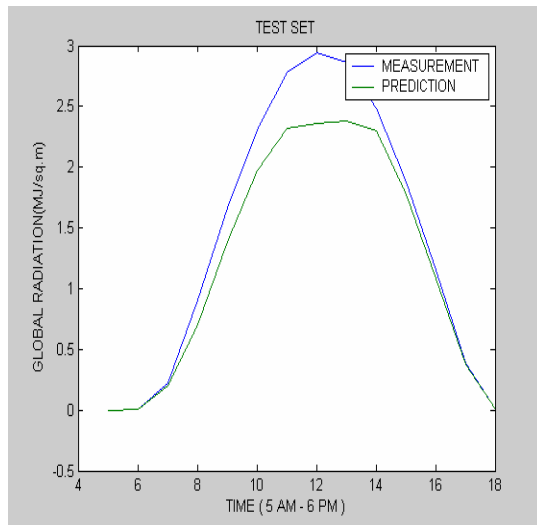


(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-44 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้ วันที่ 1 เดือน กันยายน พ.ศ. 2546



(ก) แสดงผลการเทรน



(ข) แสดงผลที่พยากรณ์

ภาพที่ 4-45 กราฟแสดงผลจากการเทรน และผลที่พยากรณ์ได้วันที่ 30 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2546

จากภาพที่ 4-41 ถึงภาพที่ 4-45 ภาพส่วนขวามือที่แสดงจะเป็นส่วนการพยากรณ์ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน จะเห็นได้ว่าผลการพยากรณ์เส้นกราฟที่แสดงส่วนใหญ่ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ซึ่งหากเทียบค่าที่ได้จากการพยากรณ์จริงแล้วจะให้ค่าที่มีความแม่นยำมากกว่าสองแบบก่อนนี้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาหลักการของนิรอลเน็ตเวิร์ค วิธีการออกแบบ วิธีการเทรนระบบ การประยุกต์เพื่อนำไปใช้งานจริง ปัจจุบันได้มีการนำนิรอลเน็ตเวิร์คไปใช้งานด้านต่างๆ ทั้งที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น งานด้านการวิเคราะห์หุ้นและพยากรณ์เพื่อการซื้อขายหุ้น ช่วยนักบินด้านการนำร่องการบิน การพยากรณ์สิ่งที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เป็นต้น ดังนั้นในสภาวะการปัจจุบันที่เกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงานด้วยแล้ว พลังงานที่น่าสนใจและมีแนวโน้มที่จะมีการส่งเสริมสนับสนุนการนำไปใช้งานเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้งานด้านอื่น ๆ นั้นคือ พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ การนำหลักการของนิรอลเน็ตเวิร์คมาวิเคราะห์ค่าความเข้มของพลังงานแสงและศึกษาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้ ประโยชน์ด้านอื่นนอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาแล้ว การนำนิรอลเน็ตเวิร์คมาทำการวิเคราะห์และพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ จะเป็นแนวทางที่นำไปใช้ประโยชน์เพื่อการออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้สิ่งสำคัญที่มีความจำเป็นในการศึกษานิรอลเน็ตเวิร์คและนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อการวิเคราะห์การแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ข้อมูลค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นส่วนที่มีความสำคัญในการที่จะนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเข้มแสงมีหน่วยงานหลายหน่วยงานด้วยกันทำการเก็บบันทึกค่าจากการเก็บรวบรวมข้อมูล มีบางหน่วยงานเท่านั้นที่มีเก็บค่าได้สมบูรณ์ การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์นั้นข้อมูลที่ได้ควรมีมากพอสมควร คือต้องรวบรวมข้อมูลในระยเวลานานหลาย ๆ ปี หรือต้องอาศัยข้อมูลเพื่อการศึกษาต่อเนื่องกันเพื่อที่จะเห็นผลได้ชัดเจนขึ้น หลายหน่วยงานประสบปัญหาทางด้านเครื่องมือที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เกิดการเสื่อมถอย และความจริงจังของหน่วยงานในการที่จะนำข้อมูลที่วัดได้ไปทำการศึกษาวิเคราะห์ จึงทำให้การเก็บข้อมูลไม่ต่อเนื่อง จึงไม่สามารถที่จะนำข้อมูลจากหลาย ๆ หน่วยงาน และหลายสถานที่ที่รวบรวมมาได้มาทำการศึกษาวิเคราะห์ทั้งหมดได้ หากข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลไม่สมบูรณ์ มีจำนวนที่ไม่เพียงพอ และตรงกับความเป็นจริงแล้ว ความเชื่อถือที่ได้จากการทำวิจัยก็มีโอกาสที่จะเกิด

ความผิดพลาดมากไปด้วย ส่งผลให้ไม่สามารถที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่วางไว้ได้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องให้ความสำคัญและมองเห็นถึงประโยชน์ของข้อมูลที่จะใช้ศึกษามากกว่านี้

5.1.2 การกำหนดรูปแบบของการแทนและส่วนของเ้าพุดที่ต้องการ ในการศึกษาในนิรอลเน็ตเวิร์คครั้งนี้ นอกเหนือจากข้อมูลที่สมบูรณ์แล้ว ส่วนสำคัญอีกประการหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบของนิรอลเน็ตเวิร์คที่ออกแบบซึ่งสามารถที่จะใช้โปรแกรมอื่นเขียนได้เช่นเดียวกัน แต่การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมของ MATLAB ในการสร้างนิรอลเน็ตเวิร์คซึ่งมีคำสั่งที่สามารถจะนำมาใช้งานได้ ส่วนโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาอื่นนั้นอาจมีคำสั่งที่ใช้ในการสร้างแตกต่างกันออกไป ในที่นี้ได้กำหนดจำนวนของอินพุต 4 อินพุต และมีเ้าพุด 1 เ้าพุด สำหรับนิรอลเน็ตเวิร์คที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลแบบรายปี และแบบรายเดือน ทั้งนี้ผู้ออกแบบจะต้องทำการพิจารณาผลที่เกิดจากการกำหนดจำนวนของภาคอินพุตและเ้าพุด หากกำหนดให้มีจำนวนมากเกินไป หรือน้อยไป จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการแทน และค่าผิดพลาดของระบบ ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว

5.1.3 ขอบเขตในการทำการวิจัย ขอบเขตที่ทำการวิจัยหากมองโดยภาพรวม อาจกำหนดขอบเขตไว้เพื่อให้ได้ผลในการทำวิจัยมากขึ้น ในที่นี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตจำนวนของข้อมูลไว้เป็นระยะเวลาเพียง 3 ปี ซึ่งหากรวบรวมข้อมูลได้มากกว่านี้ ย่อมให้ผลดีมากกว่าที่ตั้งเป้าไว้

5.1.4 ความสะดวกในการใช้โปรแกรมและการแสดงผลจากการทำงาน การสร้างโปรแกรมในการศึกษาวิจัยสามารถจะเขียนบนโปรแกรม MATLAB หรือเขียนด้วยโปรแกรมตัวอื่นได้ สำหรับครั้งนี้ผู้วิจัยเขียนด้วยโปรแกรม MATLAB ทำให้การใช้งานอาจจะไม่สะดวกสำหรับผู้ใช้งานโปรแกรม MATLAB ไม่คล่อง หากสามารถที่นำโปรแกรมไปใช้งานร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ เช่น การแสดงภาพหรือเมนูที่สามารถเลือกใช้งานได้ อย่างเช่นโปรแกรม VISUAL BASIC เป็นต้น

5.2 สรุปผลจากการวิจัย

ผลที่ได้จากการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดค่าจริง และผลที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยนิรอลเน็ตเวิร์คที่การแทนข้อมูลแบบต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ผลจากการแทนข้อมูลค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์แบบรายปีจะใช้เวลาในการแทนเน็ตเวิร์คค่อนข้างนาน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของข้อมูลมีจำนวนมากดังนั้นเวลาที่ใช้ในการแทนจะมีค่ามากตามไปด้วย ส่วนค่าความผิดพลาดของการแทน เมื่อใช้ข้อมูลจำนวน 1,095 ข้อมูล หรือ 3 ปี ค่าพลังงานรวมที่พยากรณ์ได้มีค่าต่ำกว่าค่าจริงร้อยละ 4.51 ในขณะที่ค่าของพลังงานที่ได้จากการพยากรณ์เมื่อนำมาแสดงด้วยกราฟเปรียบเทียบกับกราฟของพลังงานที่วัดจริง พบว่ามี

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าของความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงเพิ่มขึ้นในระยะเวลา 3 ปี ในปี พ.ศ. 2546 ตรงกับข้อมูลค่าความเข้มแสงที่วัดค่าได้จริง

5.2.2 ผลที่ได้จากการเทรนข้อมูลแบบใช้ข้อมูลเป็นรายเดือน พบว่าผลการพยากรณ์ค่าความเข้มพลังงานแสงที่ได้นั้นค่อนข้างดีและค่าความผิดพลาดมีค่าต่ำ ส่วนค่าที่ได้จากการพยากรณ์ค่าพลังงานรวมจำนวน 3 เดือน คือ เดือนมกราคม – มีนาคม ปี พ.ศ. 2546 มีค่า 1,628.346 เมกกะจูลต่อตารางเมตร ในขณะที่ค่าจริงที่วัดได้ 1,690.609 เมกกะจูลต่อตารางเมตร พบว่าค่าผิดพลาดของการพยากรณ์มีค่าต่ำกว่าค่าจริงอยู่ร้อยละ 3.68

5.2.3 ผลที่ได้จากการเทรนข้อมูลแบบรายสัปดาห์ มีจำนวนของอินพุต 14 อินพุต และเอาพุต 14 เอาพุต เวลาในการเทรนข้อมูลแต่ละครั้งจะใช้เวลามากกว่าสองแบบแรก ผลที่ได้ของการเทรนเน็ตเวิร์ค และผลที่ได้จากการพยากรณ์จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงมาก ซึ่งสามารถดูได้จากเส้นกราฟ แต่เน็ตเวิร์คแบบนี้ไม่เหมาะที่จะใช้เทรนข้อมูลจำนวนมาก ๆ เพราะจะใช้เวลาในการเทรนนาน แต่มีข้อดีที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำ ซึ่งเป็นผลดีในการนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ค่าที่มีความแม่นยำสูงได้

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบของการเทรนทั้งสามแบบแล้ว การเทรนข้อมูลแบบรายปีและแบบรายเดือนมีรูปแบบของเน็ตเวิร์คเหมือนกันจะต่างกันตรงที่จำนวนของข้อมูลที่ใช้ในการเทรน และระยะเวลาที่เป็นผลจากการพยากรณ์ต่างกัน โดยแบบแรกจะใช้ข้อมูลในการเทรนน้อยสุด 365 ค่า (ใช้ข้อมูลน้อยสุด 1 ปี) และข้อมูลมากที่สุด 1,460 ค่า (ข้อมูลสูงสุด 4 ปี) ในขณะที่ต้องการพยากรณ์ค่า 365 ค่า (หนึ่งปี) ส่วนแบบที่สองเป็นการเทรนแบบรายเดือน จำนวนข้อมูลที่ใช้ต่ำสุด 28 ค่า (เฉพาะเดือนกุมภาพันธ์) และข้อมูลสูงสุด 124 ค่า พยากรณ์ค่าระหว่าง 28 – 31 ค่า ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนวันของแต่ละเดือน การเทรนข้อมูลแบบรายปีใช้เวลามากในการเทรน ในขณะที่การเทรนแบบรายเดือนใช้นิเวลาน้อยกว่า และค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์น้อยกว่า แต่หากนำค่าที่เป็นผลจากการพยากรณ์ที่ได้เฉพาะระยะเวลา 3 เดือนทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายปีได้ค่าพลังงานรวม 1,588.849 เมกกะจูลต่อตารางเมตร และค่าจริงที่วัดได้ 1,690.609 เมกกะจูลต่อตารางเมตร ให้ค่าความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 6.02 ในขณะที่ค่าที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายเดือนให้ค่าความผิดพลาดร้อยละ 3.68 ซึ่งจะต่ำกว่าแบบแรก ดังนั้นการเทรนในรูปแบบรายปีจะเหมาะสำหรับการเทรนข้อมูลจำนวนที่ไม่มากนัก สำหรับการเทรนในรูปแบบรายสัปดาห์ จำนวนอินพุตของเน็ตเวิร์คมีจำนวน 14 ค่า และมีเอาพุตจำนวน 14 ค่าเช่นกัน ผลที่ได้เน็ตเวิร์คที่มีจำนวนอินพุต และมีเอาพุตมากจะใช้เวลาในการเทรนมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เทรนข้อมูลที่มีจำนวนมากๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของการออกแบบนิรอลเน็ตเวิร์กนั้นผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาถึงรูปแบบของนิรอลว่าต้องการป้อนข้อมูลรูปแบบอย่างไร มีกี่อินพุต กี่เลเยอร์ และต้องการให้มีเอาพุตกี่เอาพุต ทั้งนี้ไม่มีรูปแบบที่ตายตัว ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องมาพิจารณาและทำการทดสอบเพื่อหาค่าความเหมาะสมตามที่ต้องการ เน็ตเวิร์คที่ดีนั้นควรใช้เวลาในการเทรนน้อย ให้ค่าความผิดพลาดต่ำ

ความสำคัญของการศึกษาที่เกี่ยวกับพลังงานทดแทนนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นในปัจจุบัน และมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การวิจัยครั้งนี้ข้อมูลค่าความเข้มแสงที่รวบรวมได้มีระยะเวลาและจำนวนข้อมูลค่อนข้างสั้น หากสามารถที่รวบรวมหรือนำข้อมูลที่จัดเก็บมากกว่านี้ ยิ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากหลาย ๆ พื้นที่มาศึกษาวิเคราะห์ด้วยนิรอลเน็ตเวิร์กด้วยแล้วน่าจะเป็นส่วนดีในการทำวิจัย และได้ผลของการทำวิจัยที่สมบูรณ์มากขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร. **แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : กรม, 2542.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. **รายงานการวิจัย ศึกษาความเหมาะสมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระยะที่ 1 รหัสวิจัยที่ 50-61**. กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544.

กฤษณพงศ์ กีรติกร, วิสา แซ่เตีย, วารุณี วาตะบุตร และพิชัย นามประกาย. **แผนที่การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2521.

งานส่งเสริมพลังงาน, กองควบคุมและส่งเสริมพลังงาน, ฝ่ายวิจัยและนโยบายพลังงาน, กองควบคุมและส่งเสริมพลังงาน, สำนักพลังงานแห่งชาติ. **สถิติรายงานประจำปี 2519 การแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์**. กรุงเทพฯ : สำนักพลังงานแห่งชาติกรม, 2519.

ภาษาอังกฤษ

Andreas Draeger, Sebastian Engell, and Horst Ranke. **Model Predictive Control Using Neural Networks**. October, 1995.

David M. Skapura. **Building Neural Networks**. Brighware Corporation and Adjunct Faculty, School of Natural and Applied Sciences University of Houston at Clear Lake, New York, Addison Wesley Publishing Company, 1996.

F. Declercq and R. De Keyser. **Comparative Study of Neural Predictors in Model Base Predictive control**. 1996.

Howard Demuth and Mark Beale. **Neural Network Toolbox User 's Guide**. The Math Works, Inc., 24 Prime Park Way, Natic, MA 01760, January 1994.

J. M. Zurada. **Introduction of Artificial Neural System**. West Publishing Company, St. Paul, MN, 1992.

Mellit A., Benghane M., Bendekhis M., **Artificial Neural Network Model for Prediction Solar Radiation Data : Application for Sizing Stand-alone Photovoltaic Power System.** 2005.

S. Haykin. **NEURAL NETWORK: A Comprehensive Foundation.** Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.

S. Vassileva, B. Tzvetkova, C. Katranoushkova. L. Losseva. **Neuro-fuzzy prediction of uricase Product.** springer-verlag, 2000.

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มรังสีรวมพลังงานแสงอาทิตย์ ปี พ.ศ. 2546

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	Total
2003	1	1	1	0.00000	0.00000	0.20700	0.88600	1.52700	1.94500	2.49200	1.50700	1.26500	0.90900	0.92000	0.45100	0.09300	0.01000	12.21200
2003	1	2	2	0.00000	0.00100	0.24700	0.28800	0.68900	1.92400	1.85000	2.16100	2.02700	1.17500	1.10800	0.95200	0.32800	0.02400	12.77400
2003	1	3	3	0.00000	0.00000	0.12800	0.48800	1.36000	1.39000	2.50100	2.12200	1.51200	1.10400	1.27300	1.02200	0.42100	0.03500	13.35600
2003	1	4	4	0.00000	0.00000	0.09800	0.37900	1.08200	1.69600	2.66000	2.84100	2.79300	2.45500	1.86500	1.10900	0.34900	0.02200	17.34900
2003	1	5	5	0.00000	0.00000	0.19600	0.82700	1.12900	2.00900	2.37000	2.43400	2.59000	1.89300	1.72500	1.08000	0.23200	0.01500	16.50000
2003	1	6	6	0.00000	0.00000	0.13800	0.75200	1.42600	2.04700	2.52200	2.68900	1.68100	2.04300	1.17600	0.83900	0.29300	0.02100	15.62700
2003	1	7	7	0.00000	0.00000	0.15900	0.64500	1.34200	2.11200	2.47600	2.72300	2.57600	2.28700	1.73000	1.00200	0.34800	0.02600	17.42600
2003	1	8	8	0.00000	0.00000	0.16500	0.77300	1.48400	2.11700	2.58300	2.76500	2.69800	2.37400	1.82200	1.07700	0.38000	0.03100	18.26900
2003	1	9	9	0.00000	0.00000	0.20100	0.76800	1.18800	2.06300	2.54000	2.81500	2.78100	2.43100	1.83400	1.10300	0.41100	0.03200	18.16700
2003	1	10	10	0.00000	0.00000	0.16800	0.77000	1.49800	2.08400	2.49100	2.79400	2.73000	2.37600	1.83500	1.14000	0.30100	0.02600	18.21300
2003	1	11	11	0.00000	0.00000	0.19400	0.66300	1.71400	2.35200	2.84200	2.42200	2.36900	2.51800	1.97500	1.22600	0.44200	0.03500	18.75200
2003	1	12	12	0.00000	0.00000	0.22200	0.85300	1.63900	2.33200	2.78900	2.96100	2.88200	2.55500	1.98600	1.25200	0.46800	0.03700	19.97600
2003	1	13	13	0.00000	0.00000	0.20500	0.81900	1.63900	2.24100	2.69400	2.94700	2.92200	2.61600	2.02600	1.28600	0.50900	0.04300	19.94700
2003	1	14	14	0.00000	0.00000	0.20000	0.80100	1.54500	2.18300	2.57100	2.82000	2.82100	2.52900	2.01400	1.23900	0.47100	0.03900	19.23300
2003	1	15	15	0.00000	0.00000	0.19700	0.76500	1.48100	2.11900	2.56500	2.66800	2.69200	1.83200	1.56300	0.88800	0.30900	0.02900	17.10800
2003	1	16	16	0.00000	0.00000	0.18800	0.63900	1.37600	2.03900	2.28600	2.55900	2.66000	2.38900	1.83200	1.09400	0.39300	0.03200	17.48700
2003	1	17	17	0.00000	0.00000	0.18900	0.84700	1.60100	2.25200	2.66200	2.86600	2.83000	2.46100	1.87300	1.15800	0.43500	0.03600	19.21000
2003	1	18	18	0.00000	0.00000	0.17600	0.75900	1.52500	2.20900	2.64300	2.80900	2.79600	2.47600	1.89800	1.15000	0.42600	0.03600	18.90300
2003	1	19	19	0.00000	0.00000	0.22600	0.83100	1.54900	2.11900	2.68400	2.79300	2.80700	2.51300	1.95200	1.20200	0.45100	0.05600	19.18300
2003	1	20	20	0.00000	0.00000	0.14900	0.78000	1.40700	2.20600	2.70200	2.56400	2.85500	2.51900	1.94300	1.16400	0.45800	0.04100	18.78800
2003	1	21	21	0.00000	0.00000	0.16000	0.64800	1.40900	2.04800	2.43200	2.66100	2.45500	2.06300	1.71800	1.03100	0.36000	0.03000	17.01500
2003	1	22	22	0.00000	0.00000	0.20400	0.82600	1.57500	2.21700	2.72400	2.96000	2.88700	2.62900	2.01400	1.24600	0.48200	0.04300	19.80700
2003	1	23	23	0.00000	0.00000	0.20700	0.56500	1.37000	2.32500	2.80500	2.97900	2.97800	2.70700	2.09400	1.32800	0.53400	0.05000	19.94200
2003	1	24	24	0.00000	0.00000	0.26400	0.95300	1.67200	2.38500	2.82400	3.05600	3.04100	2.71600	2.05500	1.34900	0.55400	0.05700	20.92600
2003	1	25	25	0.00000	0.00000	0.23900	0.95200	1.66500	2.35700	2.88400	3.13200	3.00200	2.58600	2.21500	1.24100	0.47500	0.04700	20.79500
2003	1	26	26	0.00000	0.00000	0.20700	0.87700	1.66100	2.31800	2.83200	3.01600	2.96500	2.72300	2.13700	1.39100	0.58000	0.05500	20.76200
2003	1	27	27	0.00000	0.00000	0.19100	0.82600	1.60200	2.22600	2.59900	2.60000	1.84100	1.64000	1.55500	0.51600	0.20400	0.00000	15.80000
2003	1	28	28	0.00000	0.00000	0.19900	0.85150	1.63150	2.27200	2.71550	2.80800	2.40300	2.18150	1.84600	0.95350	0.39200	0.02750	18.28100
2003	1	29	29	0.00000	0.00000	0.18900	0.74000	1.44700	2.11500	2.58600	2.68000	2.57200	2.25000	1.78700	1.09000	0.40000	0.03500	17.89100
2003	1	30	30	0.00000	0.00000	0.18800	0.74200	1.37400	2.01100	2.42200	2.44000	2.35900	2.29200	1.78400	0.87200	0.39500	0.04300	16.92200
2003	1	31	31	0.00000	0.00000	0.16800	0.72900	1.42500	2.01100	2.55700	2.63100	2.76300	2.44500	1.91200	1.21100	0.49900	0.05300	18.40400

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	Total
2003	2	1	32	0.00000	0.00000	0.16100	0.69400	1.41600	2.05700	2.41100	2.62400	2.48900	2.43600	1.73200	1.10400	0.43700	0.04100	17.60200
2003	2	2	33	0.00000	0.00000	0.13100	0.66600	1.38600	2.05100	2.62100	2.91900	2.87700	2.45300	1.95900	1.07500	0.49100	0.05800	18.68700
2003	2	3	34	0.00000	0.00000	0.16200	0.75400	1.52500	2.20700	2.68600	2.83600	2.81600	2.33400	1.85600	1.28800	0.40200	0.04200	18.90800
2003	2	4	35	0.00000	0.00000	0.22200	0.84500	1.63700	2.29800	2.77000	3.06700	2.98600	2.46100	1.94700	1.30600	0.59300	0.06600	20.19800
2003	2	5	36	0.00000	0.00000	0.21800	0.85300	1.59900	2.22900	2.69300	2.93400	2.87800	2.51100	1.99000	1.28000	0.52700	0.05700	19.76900
2003	2	6	37	0.00000	0.00000	0.24400	0.88900	1.64200	2.30400	2.75500	2.99400	2.99300	2.70100	2.16400	1.45200	0.63700	0.07300	20.84800
2003	2	7	38	0.00000	0.00000	0.16500	0.64800	1.61900	2.21400	2.66500	2.88400	2.84500	2.57100	2.08200	1.34300	0.57300	0.06500	19.67400
2003	2	8	39	0.00000	0.00000	0.17600	0.70600	1.40900	2.07600	2.50600	2.69800	2.71300	2.15500	1.12300	0.65100	0.31900	0.04200	16.57400
2003	2	9	40	0.00000	0.00000	0.14300	0.60600	1.22600	1.84700	2.36100	2.53300	2.55000	2.43500	2.01100	1.31900	0.56600	0.05700	17.65400
2003	2	10	41	0.00000	0.00000	0.13100	0.54300	1.14300	1.74700	2.22600	2.49400	2.44100	2.20200	1.75300	1.18100	0.50700	0.06000	16.42800
2003	2	11	42	0.00000	0.00100	0.14700	0.61100	1.27100	2.01700	2.51600	2.69600	2.77900	2.54400	1.98900	1.27600	0.53500	0.06500	18.44700
2003	2	12	43	0.00000	0.00000	0.13900	0.34400	0.36300	1.91700	2.21900	2.73800	2.78100	2.24500	1.93300	1.30100	0.58400	0.06000	16.62400
2003	2	13	44	0.00000	0.00000	0.14200	0.72000	1.46100	2.11100	2.67600	2.82500	2.50800	2.55400	1.65200	0.83100	0.54200	0.06100	18.08300
2003	2	14	45	0.00000	0.00000	0.12500	0.45100	1.05600	1.38300	1.96600	3.01000	2.93300	2.34400	1.73300	0.85500	0.33000	0.05100	16.23700
2003	2	15	46	0.00000	0.00000	0.21000	0.82000	1.59300	2.27200	2.74500	2.90900	2.96400	2.59600	2.15800	1.37400	0.45000	0.04700	20.13800
2003	2	16	47	0.00000	0.00000	0.12400	0.54900	1.48200	1.84600	1.90800	3.05800	3.03400	2.60400	2.11900	1.34300	0.32800	0.04500	18.44000
2003	2	17	48	0.00000	0.00000	0.19900	0.68000	1.55800	2.27600	2.76800	3.01400	3.02500	2.62500	2.07500	1.33500	0.60700	0.08300	20.24500
2003	2	18	49	0.00000	0.00000	0.20100	0.87200	1.64100	2.47300	2.96900	3.24800	3.21400	2.86000	2.28300	1.56600	0.68800	0.06500	22.08000
2003	2	19	50	0.00000	0.00000	0.15500	0.83900	1.62900	2.36100	2.90300	3.17500	3.14200	2.81700	2.24200	1.48900	0.67200	0.07100	21.49500
2003	2	20	51	0.00000	0.00000	0.21400	0.90900	1.70900	1.81900	2.34800	2.88200	3.02900	2.85800	2.31600	1.25700	0.29600	0.07300	19.71000
2003	2	21	52	0.00000	0.00000	0.25200	0.93800	1.73400	2.43900	2.98100	3.26500	3.22900	2.93300	2.36000	1.59500	0.62400	0.04200	22.39200
2003	2	22	53	0.00000	0.00000	0.23000	0.88900	1.69900	2.41600	2.92400	3.20000	3.16000	2.82700	2.23600	1.47000	0.67100	0.09800	21.82000
2003	2	23	54	0.00000	0.00000	0.22000	0.91300	1.71400	2.41500	2.91700	3.10200	3.19800	2.90900	2.35300	1.62000	0.77300	0.10200	22.23600
2003	2	24	55	0.00000	0.00000	0.19600	0.85500	1.68300	2.41000	2.84700	3.08800	3.17300	2.85300	2.32700	1.57900	0.73400	0.10200	21.84700
2003	2	25	56	0.00000	0.00000	0.20500	0.85500	1.62000	2.28000	2.74500	3.04600	3.10700	2.81000	2.23200	1.50300	0.67700	0.09600	21.17600
2003	2	26	57	0.00000	0.00000	0.18100	0.87500	1.68400	2.39400	2.87100	3.14900	3.08400	2.79500	2.17100	1.45200	0.66600	0.08900	21.41100
2003	2	27	58	0.00000	0.00000	0.20700	0.89200	1.66700	2.30800	2.88900	2.92300	3.08600	2.75900	2.16500	1.40900	0.65000	0.09600	21.05100
2003	2	28	59	0.00000	0.00100	0.22400	0.88700	1.72200	2.21700	2.71600	2.74200	3.20900	2.75800	2.21000	1.50900	0.62200	0.07300	20.89000

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	3	1	60	0.00000	0.00000	0.15000	0.53400	1.13000	1.64300	2.95000	3.30600	2.99400	2.84000	2.47600	1.24000	0.49600	0.07200	19.83100
2003	3	2	61	0.00000	0.00100	0.23600	0.85800	1.64500	2.34900	2.82500	3.03200	3.04700	2.80000	2.18900	1.24600	0.49600	0.08900	20.81300
2003	3	3	62	0.00000	0.00000	0.21600	0.89800	1.67300	2.34400	2.83700	3.07200	3.00600	2.69600	2.13900	1.46800	0.74200	0.14800	21.23900
2003	3	4	63	0.00000	0.00000	0.29800	1.08200	1.88900	2.60200	3.06700	3.33200	3.28000	2.99600	1.87600	1.04500	0.53800	0.07700	22.08200
2003	3	5	64	0.00000	0.00000	0.21600	1.11800	1.98900	2.69700	3.16900	3.41100	3.45500	3.14400	2.53800	1.64600	0.75200	0.11100	24.24600
2003	3	6	65	0.00000	0.00100	0.26500	0.95000	1.68900	2.37000	2.91800	3.10800	3.10400	2.75900	2.31100	1.52400	0.69700	0.09600	21.79200
2003	3	7	66	0.00000	0.00100	0.25000	0.92900	1.72500	2.41600	2.96400	3.23400	3.23600	2.94200	1.43700	1.47600	0.76800	0.11300	21.49100
2003	3	8	67	0.00000	0.00100	0.28700	0.87600	1.73400	2.48900	3.18300	3.21600	3.19900	3.04200	2.46200	1.66300	0.34000	0.02900	22.52100
2003	3	9	68	0.00000	0.00100	0.23200	0.80700	0.85200	0.47100	0.46600	0.38800	0.99800	1.31900	1.94800	1.48400	0.72500	0.08700	9.77800
2003	3	10	69	0.00000	0.00100	0.14600	0.50600	1.17500	1.47000	2.77600	2.81900	2.92200	1.95400	1.72700	1.19100	0.55900	0.07600	17.32200
2003	3	11	70	0.00000	0.00100	0.23400	0.85700	1.61500	1.79800	1.48100	2.78400	2.59300	1.80400	1.25600	0.67100	0.38800	0.07700	15.55900
2003	3	12	71	0.00000	0.00100	0.24800	0.99300	1.42000	1.70100	2.20400	1.12800	0.92800	1.03700	1.77300	0.95000	0.47300	0.08600	12.94200
2003	3	13	72	0.00000	0.00100	0.24700	0.90100	1.33000	2.28700	2.27800	2.46100	2.33500	2.58500	1.71900	0.73700	0.30800	0.05700	17.24600
2003	3	14	73	0.00000	0.01600	0.19700	0.31600	0.47000	0.82700	1.30800	1.86100	2.10600	0.78500	0.86500	0.90800	0.33900	0.09200	10.09000
2003	3	15	74	0.00000	0.02400	0.30700	1.01900	1.80200	2.50100	2.95900	3.19900	3.12500	2.79800	2.36400	1.64800	0.80000	0.17400	22.72000
2003	3	16	75	0.00000	0.03200	0.32500	1.01400	1.79500	2.50300	2.81700	3.18800	3.20700	2.87800	2.05300	1.46500	0.75900	0.17000	22.20600
2003	3	17	76	0.00000	0.03000	0.35400	1.11300	1.94000	2.62200	3.10300	3.35700	3.30100	3.01200	2.45100	1.69800	0.85300	0.19500	24.02900
2003	3	18	77	0.00000	0.03100	0.37500	1.12200	1.96100	2.65200	3.11600	3.37000	3.33700	2.97500	2.39400	1.68400	0.96900	0.28200	24.26800
2003	3	19	78	0.00000	0.03100	0.37600	1.12800	1.91400	2.55900	3.00900	3.27500	3.28100	2.94400	2.34400	1.61700	0.83900	0.19300	23.51000
2003	3	20	79	0.00000	0.03100	0.36500	1.09700	1.90200	2.59000	3.08600	3.30300	3.24600	2.91700	2.38000	1.63400	0.83000	0.25500	23.63600
2003	3	21	80	0.00000	0.02200	0.31800	0.92500	1.42500	2.52900	2.63100	3.28200	3.05800	1.97000	0.99100	0.66600	0.25600	0.04000	18.11300
2003	3	22	81	0.00000	0.01100	0.15900	0.39300	0.90200	1.77400	1.54800	1.55200	2.19600	2.00600	2.01600	1.17000	0.40100	0.09600	14.22400
2003	3	23	82	0.00000	0.02100	0.21500	0.52000	1.09600	2.36900	2.88100	2.18800	1.82600	1.21500	1.27300	1.39400	0.44800	0.10200	15.54800
2003	3	24	83	0.00000	0.03400	0.36300	1.06700	1.79900	2.51200	2.76500	1.73500	2.30900	2.35300	1.49100	1.27200	0.47500	0.08600	18.26100
2003	3	25	84	0.00000	0.03000	0.29300	0.94300	1.90200	2.58400	2.35300	2.28100	2.06500	1.65100	0.80900	1.02200	0.34800	0.05200	16.33300
2003	3	26	85	0.00000	0.04200	0.31100	0.78400	1.29200	1.33500	1.95900	1.61700	0.95500	0.45700	0.34900	0.41100	0.16300	0.04000	9.71500
2003	3	27	86	0.00000	0.03000	0.32700	0.79800	1.51400	2.01600	2.59100	2.68400	2.13000	2.85800	2.51700	1.76500	0.92900	0.19000	20.34900
2003	3	28	87	0.00000	0.02700	0.31200	1.04300	1.79500	2.46500	3.01400	2.84500	1.85000	1.72400	2.00600	1.56600	0.39500	0.05500	19.09700
2003	3	29	88	0.00000	0.02100	0.18600	0.81400	2.02900	2.62600	2.75000	1.34700	2.35300	1.45300	0.51200	0.35700	0.01900	0.01500	14.48200
2003	3	30	89	0.00000	0.01400	0.47200	0.77600	1.52700	1.52700	1.65600	3.19400	2.50700	2.30700	1.99000	1.67600	0.82000	0.02200	18.48800
2003	3	31	90	0.00000	0.01400	0.40600	0.91300	1.65600	2.79300	3.09800	3.19600	3.24500	3.19100	2.60600	1.24500	0.58000	0.04600	22.98900

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	4	1	91	0.00000	0.01200	0.38900	1.25500	2.05300	2.46300	1.27500	2.68600	3.79400	2.45700	1.88900	0.16800	0.05800	0.00500	18.50400
2003	4	2	92	0.00000	0.01500	0.41500	1.14000	1.98000	2.76800	3.32200	3.41600	3.43900	2.52900	2.63500	1.82900	0.99000	0.12700	24.60500
2003	4	3	93	0.00000	0.01700	0.46500	1.37000	2.18900	2.90200	3.32400	3.64800	2.43200	3.24600	2.63500	1.84000	0.82900	0.03400	24.93100
2003	4	4	94	0.00000	0.01600	0.48800	1.34300	2.17600	2.84100	3.29900	3.50400	3.36600	2.62000	1.83900	0.77300	0.83100	0.05800	23.15400
2003	4	5	95	0.00000	0.01600	0.48700	1.33400	2.15400	2.73200	3.29700	3.51900	3.17600	2.16400	2.58600	1.82700	0.97800	0.15300	24.42300
2003	4	6	96	0.00000	0.01700	0.47600	1.27700	2.05500	2.74200	3.24300	3.34500	2.97900	3.04600	2.51800	1.77600	0.89700	0.16300	24.53400
2003	4	7	97	0.00000	0.01600	0.48000	1.34200	2.16500	2.81500	3.31700	3.51800	3.40100	3.06300	2.49900	1.75800	0.88400	0.15700	25.41500
2003	4	8	98	0.00000	0.01600	0.46600	1.31300	2.09800	2.62500	2.88400	3.19000	3.29200	2.94000	2.29300	1.63000	0.77400	0.13500	23.65600
2003	4	9	99	0.00000	0.01500	0.40600	1.14500	1.86200	2.50900	1.93200	2.94200	2.86600	2.65100	2.37900	1.64200	0.80200	0.13700	21.28800
2003	4	10	100	0.00000	0.01000	0.31300	0.99100	1.74400	2.26600	2.89300	3.18600	3.15700	2.83600	2.23400	1.51100	0.69800	0.12400	21.96300
2003	4	11	101	0.00000	0.01700	0.39800	1.10100	1.98500	2.63400	3.12800	3.36800	3.28100	2.94300	2.36000	1.58300	0.76300	0.11800	23.67900
2003	4	12	102	0.00000	0.02000	0.44800	1.22400	2.03700	2.68200	3.07200	3.31400	3.31200	2.94700	2.28400	1.54000	0.77000	0.11300	23.76300
2003	4	13	103	0.00000	0.02000	0.46300	1.26500	2.10400	2.74400	3.13800	3.28800	3.31400	2.98000	2.36100	1.58400	0.78800	0.14200	24.19100
2003	4	14	104	0.00000	0.02600	0.49100	1.34400	2.18000	2.85000	3.31700	3.51300	3.43900	3.10300	2.55800	1.77000	0.88000	0.17300	25.64400
2003	4	15	105	0.00000	0.02700	0.51300	1.33500	2.11900	2.80700	3.25500	3.45500	3.40100	3.02400	2.41100	1.70100	0.86500	0.16600	25.07900
2003	4	16	106	0.00000	0.02500	0.28700	1.11600	0.86100	2.11900	3.17600	1.44500	2.37800	1.71100	0.44100	0.71400	1.09900	0.15700	15.52900
2003	4	17	107	0.00000	0.02100	0.52800	1.29100	2.10700	2.79600	3.22600	3.46600	3.37900	3.04100	2.47800	1.73500	0.87200	0.07200	25.01200
2003	4	18	108	0.00000	0.03000	0.51400	1.33400	2.16800	2.81100	3.25700	3.45800	3.39600	3.02200	2.39500	1.68800	0.86700	0.17500	25.11500
2003	4	19	109	0.00000	0.03000	0.51700	1.31700	2.08800	2.81500	3.26800	3.44000	3.23400	2.89800	2.36000	1.63700	0.80900	0.14300	24.55600
2003	4	20	110	0.00000	0.03000	0.52000	1.32500	2.12400	2.80600	3.23400	3.39600	3.29700	2.97800	2.39400	1.64600	0.80100	0.15000	24.70100
2003	4	21	111	0.00000	0.03500	0.51800	1.31800	2.12200	2.76300	3.21700	3.41700	3.32800	2.98600	2.45500	1.73400	0.92200	0.16900	24.98400
2003	4	22	112	0.00000	0.03200	0.53900	1.33200	2.14900	2.77500	3.19100	2.89700	3.33900	2.99300	2.44500	1.76300	0.97300	0.08400	24.51200
2003	4	23	113	0.00000	0.04600	0.70600	1.20700	1.96900	2.75400	2.73800	2.78500	3.02500	2.97400	2.45200	1.69400	0.35400	0.03700	22.74100
2003	4	24	114	0.00000	0.02500	0.50300	1.24200	1.92900	1.78900	3.05300	3.28700	3.08200	2.77600	1.83100	0.99400	0.52400	0.16300	21.19800
2003	4	25	115	0.00000	0.03500	0.52700	1.30600	2.05200	2.73700	3.22700	3.38600	3.31800	2.60400	2.42000	1.64300	0.85100	0.10800	24.21400
2003	4	26	116	0.00000	0.04500	0.60200	1.43700	2.23000	2.77800	2.74900	2.66700	3.35800	2.85000	2.57100	1.03000	0.23400	0.13000	22.68100
2003	4	27	117	0.00000	0.04500	0.61200	1.47200	2.32700	2.72000	3.31900	3.56100	3.44000	3.16900	2.59500	1.84500	0.99800	0.18100	26.28400
2003	4	28	118	0.00000	0.04700	0.58300	1.35800	2.10600	2.66300	2.68000	2.02500	2.59000	1.54400	1.10200	1.29200	0.53700	0.12000	18.64700
2003	4	29	119	0.00000	0.04300	0.54000	1.16900	1.10700	2.81600	1.59300	2.30800	1.92400	0.89200	1.16300	1.01000	0.79000	0.08700	15.44200
2003	4	30	120	0.00000	0.04300	0.44800	1.30800	2.06800	2.70300	3.20100	3.53400	3.14800	2.59300	2.33300	1.45200	0.81500	0.20500	23.85100

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	5	1	121	0.00000	0.08100	0.32700	0.49100	1.42400	2.17800	2.12900	1.49800	1.65500	0.69600	0.14800	0.00000	0.00000	0.00000	10.62700
2003	5	2	122	0.00000	0.08650	0.31250	0.68730	0.16450	2.00180	2.72300	1.66800	2.40500	1.90900	1.88300	1.70600	0.61400	0.16800	16.32860
2003	5	3	123	0.00000	0.08900	0.68200	1.41100	2.23100	2.95200	3.33300	3.48300	3.28100	3.08000	2.43100	1.76100	0.88300	0.16900	25.78600
2003	5	4	124	0.00000	0.07800	0.63900	1.42700	2.23000	2.90200	3.23900	3.45200	3.37500	3.01400	2.45700	1.60400	0.91100	0.20900	25.53700
2003	5	5	125	0.00000	0.07500	0.61900	1.43400	2.22100	2.84500	3.25600	3.45800	3.40100	2.95300	2.42200	1.72300	0.91700	0.21000	25.53400
2003	5	6	126	0.00000	0.07500	0.64000	1.45000	2.23500	2.86600	3.25700	3.43600	3.30100	2.95500	2.46500	1.72700	0.90700	0.20100	25.51500
2003	5	7	127	0.00000	0.09400	0.64500	1.44500	2.19400	2.36600	3.08100	3.37600	3.32300	2.95300	2.46000	1.75500	0.93900	0.19100	24.82200
2003	5	8	128	0.00000	0.00000	0.19430	0.31300	0.91700	1.91400	1.88300	2.06000	3.43700	2.50400	2.24600	1.45600	0.81900	0.21000	17.95330
2003	5	9	129	0.00000	0.06200	0.74000	1.22100	0.38100	1.68200	2.30900	2.28600	1.84800	1.18800	1.64200	0.93000	0.17600	0.01400	14.47900
2003	5	10	130	0.00000	0.05000	0.32700	0.81000	1.18300	1.43000	3.01200	2.88000	2.30900	1.78600	1.80700	0.68900	0.72800	0.18400	17.19500
2003	5	11	131	0.00000	0.04100	0.39900	0.71600	1.38000	1.50700	2.56000	0.77000	0.76900	1.98400	1.32000	1.46300	0.86100	0.16100	13.93100
2003	5	12	132	0.00000	0.03000	0.25500	0.84500	1.95500	2.84100	2.38400	3.24200	3.06500	0.95200	0.53200	0.25500	0.12800	0.06500	16.54900
2003	5	13	133	0.00000	0.04300	0.36400	0.69900	1.02500	1.67200	3.29300	3.33800	3.41700	2.92800	2.43400	1.75200	0.78600	0.25200	22.00300
2003	5	14	134	0.00000	0.08100	0.68000	1.49200	2.10400	2.70300	3.24100	3.02600	3.36300	2.50200	1.45700	0.64700	0.35800	0.09400	21.74800
2003	5	15	135	0.00000	0.09700	0.40200	1.07500	2.14200	2.57100	3.31400	3.29900	3.21400	2.84800	1.15500	0.66600	0.45500	0.12300	21.36100
2003	5	16	136	0.00000	0.10800	0.71900	1.21400	2.04500	2.62400	2.77600	3.05300	2.10700	2.13000	1.88400	1.07800	0.63000	0.08000	20.44800
2003	5	17	137	0.00000	0.06800	0.31600	0.38400	1.20500	2.57800	2.11300	3.44100	3.06100	1.75900	1.17800	0.76500	0.48800	0.11400	17.47000
2003	5	18	138	0.00000	0.11200	0.58100	0.89400	1.43920	2.13650	2.00230	3.01050	3.32800	3.34900	1.82600	0.27100	0.05300	0.01100	19.01350
2003	5	19	139	0.00000	0.08600	0.60400	1.45800	2.25700	2.88200	2.85500	2.64600	2.39500	3.02900	2.71700	0.40100	0.02900	0.01100	21.37000
2003	5	20	140	0.00000	0.04200	0.34300	0.89800	1.78100	2.81700	3.20500	3.37400	3.33000	3.01600	2.45200	0.91300	0.88100	0.25200	23.30400
2003	5	21	141	0.00000	0.10200	0.42100	1.22500	1.65000	2.49600	3.30300	3.45100	3.36300	3.14700	2.46200	1.06800	0.54800	0.17300	23.40900
2003	5	22	142	0.00000	0.05200	0.44800	1.51700	2.21700	2.81700	3.23900	3.33700	3.27200	3.01900	2.27300	1.85000	0.88100	0.18500	25.10700
2003	5	23	143	0.00000	0.10600	0.82100	1.48300	2.22700	2.88600	3.26200	3.48700	2.97000	2.66600	2.31800	0.44800	0.07700	0.02700	22.77800
2003	5	24	144	0.00000	0.05100	0.52800	0.89900	1.71700	2.60500	2.37100	2.82700	0.60900	0.15500	0.24300	0.41900	0.47300	0.20200	13.09900
2003	5	25	145	0.00000	0.09100	0.71800	1.34700	1.86300	2.68600	2.98800	1.47600	1.55000	1.92900	2.60100	1.45300	0.58000	0.22600	19.50800
2003	5	26	146	0.00000	0.07800	0.36800	1.43100	1.69700	1.65800	1.94900	1.56300	2.36100	3.01900	2.53400	1.83500	0.77600	0.19600	19.46500
2003	5	27	147	0.00000	0.08600	0.46300	1.53400	2.11200	2.67700	2.28400	3.07800	3.39300	3.16300	2.03600	1.07800	1.04300	0.28400	23.23100
2003	5	28	148	0.00000	0.08300	0.59000	1.14500	2.30400	2.99600	2.32000	2.08400	2.68900	2.96400	2.60900	1.54800	0.75200	0.21000	22.29400
2003	5	29	149	0.00000	0.09200	0.62000	1.30800	1.83400	2.51800	2.77100	2.42400	3.01200	2.46100	1.69400	1.12400	0.28100	0.05100	20.19000
2003	5	30	150	0.00000	0.05100	0.30200	1.23500	2.08700	2.72900	2.88200	3.28200	3.41000	2.17900	1.34800	0.95300	0.48800	0.12500	21.07100
2003	5	31	151	0.00000	0.07000	0.48700	1.09300	1.68700	2.31300	2.71100	2.69300	2.90000	2.54100	1.90100	1.11100	0.58200	0.14700	20.23600

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	6	1	152	0.00000	0.03000	0.28300	0.79100	1.79800	2.65000	2.48100	2.29100	1.67500	1.97500	1.07100	1.79900	0.79100	0.20400	17.83900
2003	6	2	153	0.00000	0.07000	0.39900	0.93800	1.59000	1.62900	2.95900	2.79400	2.66300	1.80400	1.10900	1.04300	0.88800	0.38900	18.27500
2003	6	3	154	0.00000	0.03000	0.36800	0.61700	0.61600	0.83200	1.50400	1.34500	2.22500	1.32300	1.29900	0.86800	0.32300	0.11600	11.46600
2003	6	4	155	0.00000	0.06000	0.58400	1.09800	2.08400	2.51700	1.93700	1.72200	2.65800	0.47000	0.16100	0.10100	0.21600	0.20200	13.81000
2003	6	5	156	0.00000	0.08900	0.60100	1.34800	2.13000	2.75300	3.22600	3.34000	3.21000	2.90100	2.33200	1.74300	0.99600	0.19400	24.86300
2003	6	6	157	0.00000	0.10200	0.68100	1.10800	2.05800	2.64800	2.94300	3.18500	3.30300	3.03500	2.37100	1.72500	0.88700	0.11800	24.16400
2003	6	7	158	0.00000	0.08800	0.62600	1.43900	2.16300	2.75400	3.15500	3.35700	2.98100	2.82500	2.48700	1.74500	0.90700	0.15800	24.68500
2003	6	8	159	0.00000	0.09300	0.66200	1.44300	2.18800	2.83100	3.11400	3.43200	3.10700	2.45200	1.84200	1.71300	0.98400	0.24700	24.10800
2003	6	9	160	0.00000	0.07100	0.59800	1.33900	2.07000	2.00100	3.08700	3.54400	3.39900	2.92200	1.96100	1.26600	0.69100	0.12900	23.07800
2003	6	10	161	0.00000	0.08300	0.61700	1.37100	2.11400	2.72700	3.17900	3.37000	3.39100	2.69800	1.91100	1.67800	0.53400	0.25200	23.92500
2003	6	11	162	0.00000	0.06100	0.40900	1.29800	2.08700	2.70100	3.17100	2.97300	2.91800	2.94400	2.21200	1.52700	1.03200	0.33400	23.66700
2003	6	12	163	0.00000	0.06300	0.68000	1.33800	2.13300	2.04700	3.12900	3.17500	3.53000	2.73000	1.98900	0.36800	0.03200	0.01600	21.23000
2003	6	13	164	0.00000	0.04500	0.35200	0.83200	1.41700	2.97500	2.46200	2.60600	2.74900	2.58100	2.71200	2.00200	0.94800	0.20700	21.88800
2003	6	14	165	0.00000	0.10700	0.58100	0.74500	2.13300	2.81200	3.20900	3.38500	3.21700	2.75000	2.18000	1.55400	1.01100	0.34000	24.02400
2003	6	15	166	0.00000	0.08100	0.70800	1.50100	2.28700	2.80400	2.80900	2.67100	2.37500	3.15400	2.26000	1.90700	1.08000	0.34900	23.98600
2003	6	16	167	0.00000	0.06800	0.21100	0.67500	1.62700	1.96900	3.04500	3.32800	3.41900	3.11200	2.48700	0.97900	0.27000	0.06500	21.25500
2003	6	17	168	0.00000	0.03200	0.31100	0.73800	1.32900	1.80200	2.04700	2.46000	3.56500	2.36000	1.96800	0.64500	0.14300	0.02600	17.42600
2003	6	18	169	0.00000	0.03400	0.19300	0.49400	1.07800	1.94400	2.41600	1.93900	2.07000	2.30600	1.18900	0.19300	0.33700	0.10400	14.29700
2003	6	19	170	0.00000	0.03100	0.29400	0.79900	1.42900	1.83700	2.27600	1.78000	2.01400	2.53200	2.08600	1.60400	0.90300	0.38800	17.97300
2003	6	20	171	0.00000	0.06600	0.20600	0.49400	1.00000	1.68400	1.56100	1.38400	1.38300	1.76000	1.51700	0.70300	0.35700	0.15800	12.27300
2003	6	21	172	0.00000	0.07000	0.56800	0.29800	0.30600	1.98000	2.31200	2.43600	1.83100	1.20200	1.43200	1.78900	0.69100	0.26300	15.17800
2003	6	22	173	0.00000	0.05000	0.34900	1.09200	1.98100	2.62600	3.16000	3.43600	1.19600	0.90300	1.68600	0.68200	0.25500	0.05500	17.47100
2003	6	23	174	0.00000	0.03700	0.23000	0.53000	0.93200	0.99900	1.14200	1.25500	1.99100	1.42900	1.19400	1.10300	1.20500	0.23900	12.28600
2003	6	24	175	0.00000	0.08900	0.62200	1.41000	2.17300	2.72500	3.20900	3.29400	3.15300	3.03600	2.39500	0.30000	0.13400	0.08300	22.62300
2003	6	25	176	0.00000	0.09300	0.69300	1.00900	2.15900	2.85300	3.26700	3.32200	3.24700	2.26800	1.12000	1.01100	0.82000	0.34700	22.20900
2003	6	26	177	0.00000	0.06500	0.58300	1.43700	2.16000	2.78100	3.21900	3.36500	3.14300	2.44500	1.41700	1.62100	0.80200	0.16900	23.20700
2003	6	27	178	0.00000	0.05200	0.55200	1.25100	1.86100	2.63000	3.00400	3.02000	3.18800	2.81900	1.50900	0.69300	0.26800	0.05200	20.89900
2003	6	28	179	0.00000	0.02900	0.32300	1.08600	1.54400	2.44300	2.68700	2.95000	3.17600	2.57800	1.90100	1.04300	0.16400	0.02100	19.94500
2003	6	29	180	0.00000	0.03400	0.27800	1.01400	1.85300	2.04300	3.07000	2.58000	1.62200	1.40700	1.65200	0.22900	0.08100	0.09800	15.96100
2003	6	30	181	0.00000	0.01700	0.13900	0.42700	1.10600	1.06100	0.49900	0.50100	0.71800	0.71300	0.53700	0.59500	0.43500	0.09600	6.84400

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	7	1	182	0.00000	0.00200	0.05300	0.16100	0.28600	0.68900	1.44200	1.72500	1.40200	1.25000	1.37300	1.34700	0.47300	0.20000	10.40300
2003	7	2	183	0.00000	0.02400	0.35000	0.86100	1.02000	1.83000	2.93400	3.54300	3.22900	2.97600	2.94400	1.87200	0.77600	0.20000	22.55900
2003	7	3	184	0.00000	0.02600	0.26500	1.08000	2.11800	2.12700	1.98500	1.47800	2.08000	2.81600	1.94700	1.68900	0.80500	0.19800	18.61400
2003	7	4	185	0.00000	0.08000	0.62600	1.38100	2.18800	2.78400	3.00000	1.82600	1.59400	2.91400	2.59400	0.75900	1.18100	0.52400	21.45100
2003	7	5	186	0.00000	0.02700	0.17300	0.16900	0.12000	0.65500	2.27800	2.04000	2.11100	1.62400	1.08300	1.05300	0.91600	0.24800	12.49700
2003	7	6	187	0.00000	0.03100	0.27300	0.19400	0.55800	1.61000	1.41500	2.00600	0.93800	0.87800	0.15000	0.06100	0.22100	0.10900	8.44400
2003	7	7	188	0.00000	0.01900	0.18600	0.74200	1.05600	1.74900	1.75700	2.11200	1.47700	1.45500	0.97400	0.69600	0.39900	0.12500	12.74700
2003	7	8	189	0.00000	0.02900	0.25300	0.47200	1.09200	2.59500	3.42700	3.52000	3.16600	2.72400	2.39000	1.62400	0.52700	0.17600	21.99500
2003	7	9	190	0.00000	0.07800	0.49700	0.93300	2.12300	2.85800	2.82000	2.95700	2.68100	2.88400	1.44300	0.35700	0.49300	0.41100	20.53500
2003	7	10	191	0.00000	0.05800	0.63400	1.41600	2.18400	2.78400	3.18500	3.52900	3.16500	2.75800	2.41200	2.04300	1.06000	0.22200	25.45000
2003	7	11	192	0.00000	0.03400	0.36300	0.85600	1.23200	1.66800	1.88400	2.43400	2.80700	1.93900	1.83200	1.41500	0.84000	0.23600	17.54000
2003	7	12	193	0.00000	0.04500	0.48900	0.87100	1.94400	2.63500	3.20600	3.47500	2.85600	2.69700	2.66200	1.47700	0.59300	0.06700	23.01700
2003	7	13	194	0.00000	0.02200	0.30100	1.10800	1.43400	1.91900	2.25500	2.66300	2.06800	1.35500	0.52400	0.52700	0.33800	0.11600	14.63000
2003	7	14	195	0.00000	0.02200	0.27500	1.08200	2.15800	1.69800	2.65800	2.83100	3.00400	1.11700	0.70300	0.37500	0.21600	0.06000	16.19900
2003	7	15	196	0.00000	0.05700	0.41000	1.03700	2.03200	2.75900	3.09800	2.56400	3.27700	2.29800	2.96900	1.23000	0.54200	0.29100	22.56400
2003	7	16	197	0.00000	0.04200	0.58600	1.31400	2.22100	2.83900	2.54700	3.10600	3.44300	3.28600	1.83900	0.34500	0.43500	0.13200	22.13500
2003	7	17	198	0.00000	0.01600	0.15400	0.44000	0.82200	1.96900	3.06500	3.42700	3.52000	3.06800	2.55900	2.01100	1.12500	0.39500	22.57100
2003	7	18	199	0.00000	0.06000	0.56000	1.08000	1.67600	2.72800	3.26700	3.45800	3.44300	3.02100	2.58900	2.01200	1.21900	0.35500	25.46800
2003	7	19	200	0.00000	0.04800	0.52800	1.31200	2.09900	2.70100	3.08200	3.48600	3.39300	3.16600	2.38500	1.65000	0.88300	0.45600	25.18900
2003	7	20	201	0.00000	0.04000	0.55900	1.33700	2.08400	2.25600	3.08100	3.35900	3.35300	3.09600	1.77500	0.79500	0.79000	0.27600	22.80100
2003	7	21	202	0.00000	0.03600	0.35000	1.16600	1.96600	2.17000	2.73000	2.66600	2.47100	2.57000	2.28600	1.28400	0.72500	0.40700	20.82700
2003	7	22	203	0.00000	0.02900	0.41100	0.97500	1.04000	1.73800	1.94500	1.34000	1.52700	1.22200	1.21700	1.01600	0.46200	0.31800	13.24000
2003	7	23	204	0.00000	0.01200	0.21000	0.52000	1.09900	1.79500	1.24800	1.48900	0.42500	0.87600	0.86700	0.82900	0.40700	0.11300	9.89000
2003	7	24	205	0.00000	0.00900	0.11600	0.26300	0.41200	0.48100	0.72500	0.42900	0.94200	0.64800	0.66100	0.48000	0.30200	0.09700	5.56500
2003	7	25	206	0.00000	0.00700	0.12700	0.28700	0.52500	0.82900	1.01100	1.47800	1.69900	1.31400	0.62100	0.46600	0.31700	0.09300	8.77400
2003	7	26	207	0.00000	0.02400	0.18800	0.49300	0.79400	1.07000	1.04300	0.53900	0.61900	0.52400	0.53500	0.51200	0.25800	0.15300	6.75200
2003	7	27	208	0.00000	0.05100	0.72000	1.24500	1.78800	2.60500	2.35300	2.92400	2.05100	3.03500	2.63700	1.90100	0.52300	0.05200	21.88500
2003	7	28	209	0.00000	0.03000	0.37900	0.55800	1.67300	2.26300	3.24100	3.47800	3.31700	3.15400	2.44100	1.92000	1.14800	0.34900	23.95100
2003	7	29	210	0.00000	0.02100	0.23200	0.75300	1.42500	2.39500	2.78900	3.13200	2.91400	2.12700	1.73800	0.31100	0.02100	0.01200	17.87000
2003	7	30	211	0.00000	0.02100	0.36400	1.15300	1.39100	1.75400	1.84000	2.81400	3.57500	2.14500	1.96900	0.67200	0.15200	0.01600	17.86600
2003	7	31	212	0.00000	0.04300	0.49400	1.30400	2.35200	2.19900	2.37600	3.32700	2.33900	2.59000	2.27800	1.62900	1.08600	0.22500	22.24200

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	8	1	213	0.00000	0.01600	0.23100	0.82100	1.72000	2.50800	1.86000	3.05800	2.54900	2.50400	2.07800	1.53200	0.87100	0.23100	19.97900
2003	8	2	214	0.00000	0.02600	0.28900	0.79100	1.38100	2.22200	2.33700	3.28900	3.56100	1.81600	1.96500	1.38600	1.08600	0.23400	20.38300
2003	8	3	215	0.00000	0.02400	0.38600	0.81100	1.58100	2.28300	3.12800	3.43700	2.88100	2.04500	2.13400	1.54500	0.65000	0.19800	21.10300
2003	8	4	216	0.00000	0.02400	0.25600	0.51600	0.90700	1.68100	2.78000	3.60600	2.60200	3.25200	2.35200	0.64100	0.22200	0.12500	18.96400
2003	8	5	217	0.00000	0.03900	0.27300	0.63400	1.27500	2.68600	3.20100	2.61200	3.07700	2.57600	1.86000	1.31900	0.42600	0.17900	20.15700
2003	8	6	218	0.00000	0.02400	0.39900	0.82100	1.48100	1.35900	2.12700	2.93000	2.13000	2.19800	2.37000	1.78600	0.91900	0.27500	18.81900
2003	8	7	219	0.00000	0.01200	0.23900	0.69700	1.40500	1.64300	1.80000	2.65700	3.14900	2.63900	1.25600	0.58900	0.18100	0.20100	16.46800
2003	8	8	220	0.00000	0.02400	0.46300	1.29900	1.95300	2.53200	3.03500	2.08200	2.32000	2.64500	2.42100	1.00400	0.58100	0.44500	20.80400
2003	8	9	221	0.00000	0.02900	0.47200	0.96500	1.77800	1.28700	1.92300	2.83500	2.88000	2.16500	2.33300	1.40600	0.76000	0.24800	19.08100
2003	8	10	222	0.00000	0.01200	0.24700	1.09700	2.04300	2.84500	2.30700	2.95200	1.95300	2.50300	0.40000	0.42900	0.69100	0.22700	17.70600
2003	8	11	223	0.00000	0.01500	0.26300	1.21400	1.71200	2.65300	3.13400	3.30400	1.66200	1.46100	1.68400	1.09600	0.51200	0.21200	18.92200
2003	8	12	224	0.00000	0.01900	0.22900	0.61700	1.33800	2.24100	3.16800	2.47700	3.25000	1.56300	2.48300	1.71100	1.03500	0.35700	20.48800
2003	8	13	225	0.00000	0.01400	0.25300	0.76100	2.23700	2.44000	2.45000	3.39800	2.50400	2.69400	2.12000	0.87300	0.22500	0.06700	20.03600
2003	8	14	226	0.00000	0.02700	0.50100	1.30300	2.08100	2.68900	3.15700	3.37600	3.43100	3.17800	2.67700	1.94400	1.07000	0.13900	25.57300
2003	8	15	227	0.00000	0.02900	0.46600	1.20700	2.00000	2.69800	2.82700	3.05500	3.44100	3.19400	2.64000	1.98100	1.07300	0.27600	24.88700
2003	8	16	228	0.00000	0.01900	0.52700	1.16500	2.07200	2.68700	3.11100	1.52200	2.39600	1.13200	1.75200	1.39600	0.34000	0.08600	18.20500
2003	8	17	229	0.00000	0.00600	0.08600	0.50200	1.56000	2.01000	2.81700	3.33500	3.43500	2.98800	1.30900	0.71900	0.62000	0.14800	19.53500
2003	8	18	230	0.00000	0.00900	0.20000	0.66000	0.94700	1.71600	0.89400	0.40000	1.06000	2.01700	2.51100	0.86100	0.37900	0.10400	11.75800
2003	8	19	231	0.00000	0.02500	0.22900	0.88600	1.99000	2.91100	2.94200	1.67800	1.78000	2.40700	0.72500	1.88600	0.89300	0.20500	18.55700
2003	8	20	232	0.00000	0.01000	0.25800	0.72500	0.84600	1.65200	2.55000	2.37400	2.26100	1.68700	0.93200	0.76900	0.35800	0.14500	14.56700
2003	8	21	233	0.00000	0.00500	0.24000	0.73000	1.48400	2.07700	1.49600	2.40200	2.14400	0.80400	2.20500	0.40500	0.14500	0.03100	14.16800
2003	8	22	234	0.00000	0.00900	0.22500	0.80100	1.65600	2.82000	3.33900	3.12200	2.62600	2.05800	2.02500	1.83200	1.08300	0.23200	21.82800
2003	8	23	235	0.00000	0.01400	0.28000	0.57300	1.14000	1.36900	2.06600	3.06300	2.44800	2.47300	0.76500	0.66100	0.07800	0.01700	14.94700
2003	8	24	236	0.00000	0.00900	0.23700	1.03600	1.33500	1.60500	1.85300	2.28900	2.06200	2.16000	1.62400	0.88200	0.28300	0.15200	15.52700
2003	8	25	237	0.00000	0.00500	0.19300	0.70800	1.25600	1.67000	2.20700	2.83600	1.95900	1.73400	1.80400	0.85800	0.50200	0.10900	15.84100
2003	8	26	238	0.00000	0.02000	0.20400	0.40400	0.90400	1.44700	1.72800	3.24100	2.20200	1.57500	1.92700	1.56500	0.63000	0.14200	15.98900
2003	8	27	239	0.00000	0.01400	0.29700	0.83900	1.73800	2.06300	2.55900	2.66000	3.21900	3.12400	2.71800	1.36900	0.53200	0.14300	21.27500
2003	8	28	240	0.00000	0.02500	0.29700	0.71200	2.16800	2.01100	2.57100	2.40100	3.10400	2.83900	1.69200	1.27500	1.21100	0.36800	20.67400
2003	8	29	241	0.00000	0.01900	0.53900	1.36000	2.19400	2.83600	3.31200	3.50700	3.40100	3.00500	2.53300	1.64700	0.35900	0.02200	24.73400
2003	8	30	242	0.00000	0.01000	0.21900	0.58400	0.86300	1.50200	2.59400	2.67500	2.34000	1.44500	1.50600	1.76000	0.63600	0.04500	16.17900
2003	8	31	243	0.00000	0.01000	0.26700	0.60500	1.00000	1.61900	2.20200	1.90700	0.90600	0.44200	0.77900	0.62600	0.23200	0.02100	10.61600

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	9	1	244	0.00000	0.01500	0.34200	1.18000	1.01700	1.28300	2.12700	3.13400	2.62400	2.25300	1.59100	0.45800	0.39800	0.20600	16.62800
2003	9	2	245	0.00000	0.01700	0.36800	0.93500	1.18300	1.52500	2.92700	2.78500	2.84800	3.20100	2.51400	0.84300	0.19100	0.04000	19.37700
2003	9	3	246	0.00000	0.01200	0.52900	1.40900	1.93900	1.92000	2.66500	2.58500	1.30700	2.02200	1.77100	0.73500	0.53700	0.11400	17.54500
2003	9	4	247	0.00000	0.01000	0.21700	0.59900	1.68000	2.40500	2.34800	2.97100	3.09400	2.48000	1.76100	1.28300	0.17900	0.03400	19.06100
2003	9	5	248	0.00000	0.01900	0.35500	1.17000	2.08400	2.46000	2.39600	2.67200	3.07200	2.57900	2.19100	0.23600	0.16500	0.11200	19.51100
2003	9	6	249	0.00000	0.01600	0.47100	1.17500	2.08200	1.72000	2.37100	2.37600	1.84300	2.72000	0.64000	0.32800	0.21500	0.04300	16.00000
2003	9	7	250	0.00000	0.00700	0.19100	0.73500	2.06300	2.62600	3.34000	2.04700	2.05300	2.25200	1.10600	0.98000	0.60200	0.12800	18.13000
2003	9	8	251	0.00000	0.01000	0.34800	0.87300	1.93000	2.03400	2.32000	2.19400	1.33500	1.13000	1.52400	0.80400	0.38800	0.10600	14.99600
2003	9	9	252	0.00000	0.01500	0.36400	0.87600	1.83000	2.22000	3.30100	2.95200	3.14400	3.11600	2.26100	1.40200	0.68100	0.14400	22.30600
2003	9	10	253	0.00000	0.01500	0.48700	0.89400	1.47800	2.61400	2.47100	2.88700	2.28700	1.99600	1.34300	0.87700	0.34800	0.05600	17.75300
2003	9	11	254	0.00000	0.00100	0.08300	0.34400	0.98900	2.61700	1.96100	1.48400	1.31600	1.53900	1.34200	1.08100	0.57400	0.11100	13.44200
2003	9	12	255	0.00000	0.00700	0.19400	0.58100	1.82100	1.64500	2.08000	2.11600	3.06600	1.86500	0.29100	0.11100	0.04100	0.00400	13.82200
2003	9	13	256	0.00000	0.00700	0.14400	0.29900	0.58900	1.42000	0.85600	1.55500	1.92000	1.23500	0.75500	0.52200	0.40000	0.07700	9.77900
2003	9	14	257	0.00000	0.00500	0.21500	0.61900	0.81100	1.45500	1.81000	1.78000	1.50900	1.33900	1.18100	0.61900	0.39800	0.05700	11.79800
2003	9	15	258	0.00000	0.01500	0.32400	1.24600	1.87000	2.32700	2.55900	2.35500	2.88000	2.28600	0.93900	0.31100	0.05100	0.00500	17.16800
2003	9	16	259	0.00000	0.01700	0.38100	1.06200	1.46100	2.38100	2.19600	2.29800	2.17400	2.81900	2.66600	1.15000	0.42100	0.09700	19.12300
2003	9	17	260	0.00000	0.01600	0.37600	1.39800	1.83400	2.70700	3.15800	2.87200	2.77600	1.66000	1.05800	0.76300	0.39600	0.06100	19.07500
2003	9	18	261	0.00000	0.01200	0.34800	0.73700	1.09200	2.53900	3.02200	3.25200	3.42700	3.29300	1.70100	0.55300	0.17100	0.01400	20.16100
2003	9	19	262	0.00000	0.01700	0.10900	0.18800	0.60100	1.78300	1.99500	1.49900	2.67000	3.15400	2.44200	1.73700	0.56500	0.05200	16.81200
2003	9	20	263	0.00000	0.03100	0.26200	0.57800	0.84000	2.76500	2.71900	3.22200	2.91300	2.39900	1.30100	0.35200	0.19600	0.02500	17.60300
2003	9	21	264	0.00000	0.01400	0.09300	0.24700	0.65800	1.95800	1.77000	0.65700	1.44700	1.21600	0.77900	0.53900	0.28400	0.04000	9.70200
2003	9	22	265	0.00000	0.01700	0.20000	0.74400	1.38500	2.25000	2.88700	3.41700	2.91900	2.17000	2.14700	1.64200	0.52800	0.05300	20.35900
2003	9	23	266	0.00000	0.01900	0.49600	1.35000	1.68300	2.69400	2.90200	3.16000	3.28300	3.08800	2.01000	1.18500	0.51200	0.07300	22.45500
2003	9	24	267	0.00000	0.04100	0.35400	0.80400	1.30400	1.30100	0.49700	0.27800	0.59100	0.98400	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	6.15400
2003	9	25	268	0.00000	0.05500	0.22700	0.80000	1.41100	1.86500	2.54200	2.28700	2.88200	1.11700	0.19100	0.23700	0.22500	0.06600	13.90500
2003	9	26	269	0.00000	0.02500	0.53000	1.15500	1.99800	2.48300	3.29300	3.10200	2.66500	2.46500	2.05800	1.19400	0.63200	0.10700	21.70700
2003	9	27	270	0.00000	0.01500	0.39800	0.94800	1.17100	0.29900	0.24100	0.52400	0.83500	0.91400	0.59900	0.86200	0.92400	0.16800	7.89800
2003	9	28	271	0.00000	0.02200	0.46600	1.28900	1.96900	2.20600	1.90300	2.72200	3.13400	2.50900	1.79600	0.61000	0.40600	0.07200	19.10400
2003	9	29	272	0.00000	0.01000	0.18900	0.65200	1.00600	1.90900	2.04300	1.51800	1.17000	2.34900	1.84800	1.09400	0.28200	0.02200	14.09200
2003	9	30	273	0.00000	0.01600	0.19100	0.46100	0.96300	0.79300	0.65300	1.37300	1.44700	1.68100	0.75900	0.23700	0.14300	0.03200	8.74900

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	Total
2003	10	1	274	0.00000	0.00900	0.09800	0.10700	0.10900	0.12000	0.27000	0.54900	0.84500	1.67000	1.75400	1.14800	0.50400	0.04700	7.23000
2003	10	2	275	0.00000	0.02900	0.45800	0.69400	1.21400	1.87500	2.10900	2.72700	1.44000	0.26600	0.16000	0.23500	0.25600	0.05500	11.51800
2003	10	3	276	0.00000	0.02600	0.39600	0.71400	1.32800	2.57400	2.32000	1.66800	1.93900	1.70800	1.11700	0.32400	0.05000	0.01400	14.17800
2003	10	4	277	0.00000	0.03000	0.49300	1.41000	1.98100	1.86800	1.94200	2.12300	1.47000	1.12500	1.19600	0.87300	0.33400	0.03200	14.87700
2003	10	5	278	0.00000	0.01600	0.15800	0.65000	1.10900	1.47000	2.65800	2.82400	2.72900	2.24200	1.14000	1.21400	0.45200	0.03200	16.69400
2003	10	6	279	0.00000	0.02000	0.45100	1.19300	1.99400	2.67100	2.91400	2.30200	1.31700	0.72700	0.43700	0.22000	0.03900	0.00000	14.28500
2003	10	7	280	0.00000	0.01900	0.30300	0.49700	0.79300	0.70400	1.89900	1.58400	0.64100	0.31800	0.81100	0.99600	0.45300	0.07800	9.09600
2003	10	8	281	0.00000	0.01100	0.34400	1.08200	1.88200	1.92400	1.78300	1.83100	1.21400	2.37000	1.90900	0.67800	0.19900	0.03200	15.25900
2003	10	9	282	0.00000	0.01000	0.12500	1.10300	1.96800	1.72300	2.91400	3.21400	2.85800	2.39500	2.19900	1.48400	0.64100	0.08700	20.72100
2003	10	10	283	0.00000	0.02700	0.50800	1.28100	1.89200	2.81100	2.82900	3.37400	3.33500	2.97900	1.85600	1.50300	0.63500	0.08400	23.11400
2003	10	11	284	0.00000	0.02400	0.47800	1.30200	2.08200	2.55000	2.89700	2.67500	2.60000	2.96100	1.15400	0.65200	0.48100	0.08400	19.94000
2003	10	12	285	0.00000	0.02000	0.46800	1.22700	2.05700	2.68300	3.17100	3.34900	1.83900	0.90600	0.89200	0.48300	0.44800	0.07000	17.61300
2003	10	13	286	0.00000	0.00700	0.12800	0.59900	1.85300	2.38900	2.68900	1.98300	2.69800	0.90600	0.46800	0.15700	0.04700	0.01400	13.93800
2003	10	14	287	0.00000	0.01600	0.28600	0.89100	1.84200	2.20400	1.19100	3.13000	3.25100	2.57800	1.19100	0.64100	0.33700	0.05200	17.61000
2003	10	15	288	0.00000	0.00100	0.16100	0.65700	1.99400	1.93300	1.91800	2.13000	1.54700	1.56500	1.00600	1.15900	0.33300	0.02700	14.43100
2003	10	16	289	0.00000	0.02000	0.30400	1.26800	2.13000	2.63000	2.38300	2.68700	2.04800	1.51700	1.10100	0.99900	0.49300	0.04300	17.62300
2003	10	17	290	0.00000	0.01400	0.20900	0.79800	1.36900	2.17300	1.98900	2.01700	2.35300	2.33300	1.51200	0.88300	0.28400	0.02100	15.95500
2003	10	18	291	0.00000	0.01000	0.40000	0.96900	1.45500	2.41700	2.90200	2.99600	2.75000	2.04600	1.50300	1.42100	0.60100	0.06800	19.53800
2003	10	19	292	0.00000	0.00700	0.20600	0.68300	1.28000	1.78800	2.21000	2.89100	1.87500	1.68000	1.94400	0.92900	0.40400	0.04700	15.94400
2003	10	20	293	0.00000	0.01100	0.40100	1.13800	1.91100	2.53700	2.91100	3.14700	3.05300	2.69800	1.71600	1.19800	0.48200	0.05000	21.25300
2003	10	21	294	0.00000	0.01500	0.35400	0.73900	1.23200	1.53000	2.43700	2.28900	2.38900	2.36100	1.71300	1.09800	0.34800	0.03000	16.53500
2003	10	22	295	0.00000	0.01100	0.34400	1.04800	1.79500	2.46200	2.91800	3.05700	2.91400	2.53500	1.82000	0.98000	0.39500	0.04600	20.32500
2003	10	23	296	0.00000	0.00100	0.13000	0.52200	0.55800	0.67500	0.78000	1.19100	1.15800	1.22400	0.63900	0.27800	0.13800	0.01400	7.30800
2003	10	24	297	0.00000	0.00700	0.10400	0.31300	0.19100	0.15000	0.46500	0.66700	0.72900	0.69600	0.63200	0.48700	0.19900	0.02200	4.66200
2003	10	25	298	0.00000	0.03200	0.33000	0.67500	0.89600	0.75400	0.79600	1.49600	1.24800	1.78600	1.78100	0.65100	0.14500	0.02400	10.61400
2003	10	26	299	0.00000	0.00900	0.15500	0.49700	1.62900	1.98100	1.58800	1.34000	1.40400	1.30800	1.17400	1.11700	0.41700	0.04700	12.66600
2003	10	27	300	0.00000	0.01700	0.33000	1.01400	1.54000	2.27700	2.25300	2.42900	2.69300	2.32900	1.77900	0.94000	0.34900	0.03600	17.98600
2003	10	28	301	0.00000	0.01200	0.34900	1.05000	1.82100	2.48400	2.97100	3.16500	3.01200	2.61000	1.95000	1.21600	0.44700	0.05000	21.13700
2003	10	29	302	0.00000	0.01400	0.41000	1.17900	1.96800	2.61400	3.00500	3.09400	2.99300	2.59100	1.94400	1.19400	0.43600	0.04300	21.48500
2003	10	30	303	0.00000	0.00900	0.22000	1.06500	1.68400	2.39600	2.91600	3.09900	2.91200	2.52500	1.91900	1.16600	0.42900	0.04600	20.38600
2003	10	31	304	0.00000	0.01100	0.35000	1.08700	1.90100	2.49600	2.24500	2.69100	2.96500	2.60400	1.98900	1.20500	0.44000	0.05000	20.03400

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily Total
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
2003	11	1	305	0.00000	0.00900	0.37400	0.95400	1.71700	2.47300	2.82200	3.05800	2.61400	2.28600	1.84100	1.04000	0.36100	0.03900	19.58800
2003	11	2	306	0.00000	0.00900	0.34400	1.06600	1.83400	2.45800	2.81200	2.96500	2.94300	2.43200	1.79100	1.12800	0.41100	0.04200	20.23500
2003	11	3	307	0.00000	0.01200	0.31700	1.00000	1.77300	2.41200	2.80200	3.06200	2.95200	2.49400	1.79500	0.97000	0.33400	0.04100	19.96400
2003	11	4	308	0.00000	0.00900	0.31900	1.00000	1.73300	2.34700	2.44100	2.67500	2.53200	1.70600	1.48300	0.93700	0.31800	0.03100	17.53100
2003	11	5	309	0.00000	0.00700	0.32200	0.98800	1.76100	2.39400	2.74400	2.92200	2.67600	2.11200	1.70800	1.06000	0.35400	0.03600	19.08400
2003	11	6	310	0.00000	0.00700	0.30900	1.00000	1.74800	2.33800	1.87700	2.17100	2.48900	1.45100	1.39600	0.97600	0.32900	0.03000	16.12100
2003	11	7	311	0.00000	0.00600	0.34400	1.02100	1.73000	2.38500	2.99600	2.34500	2.38600	1.33500	0.88000	0.37500	0.16100	0.02500	15.98900
2003	11	8	312	0.00000	0.00600	0.33400	1.01700	1.77900	2.37800	2.79900	2.95500	2.80500	1.85200	1.77100	0.99400	0.30700	0.03200	19.02900
2003	11	9	313	0.00000	0.00500	0.32700	1.03600	1.77400	2.36000	2.72200	3.01000	2.66600	2.15900	1.36400	0.83600	0.31400	0.03400	18.60700
2003	11	10	314	0.00000	0.00500	0.27800	0.96300	1.71400	2.34300	2.73900	2.92900	2.82000	2.38100	1.74700	0.92500	0.29400	0.02700	19.16500
2003	11	11	315	0.00000	0.00400	0.30300	0.98500	1.82400	2.44800	2.75300	2.52300	2.48900	2.26800	1.85200	0.93800	0.30400	0.03600	18.72700
2003	11	12	316	0.00000	0.00400	0.11300	0.63900	1.13900	2.22500	2.20400	2.60400	2.80900	2.43100	1.92400	1.08800	0.30800	0.02700	17.51500
2003	11	13	317	0.00000	0.00200	0.20100	0.75900	0.92300	1.18500	1.55500	1.53800	1.98800	2.24600	2.13900	1.10600	0.35000	0.03400	14.02600
2003	11	14	318	0.00000	0.00400	0.17800	0.63000	1.83600	2.20600	2.47100	2.93000	2.80400	2.39300	1.80400	0.91900	0.30900	0.02700	18.51100
2003	11	15	319	0.00000	0.00600	0.50600	1.21100	1.73700	1.96400	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.91700	0.68100	0.20700	0.00500	7.23400
2003	11	16	320	0.00000	0.01600	0.25800	0.95700	1.71600	2.32200	2.70300	2.59100	2.31700	2.36800	1.77100	0.88900	0.35300	0.00500	18.26600
2003	11	17	321	0.00000	0.02100	0.27000	0.97000	1.74400	2.14700	1.64200	2.05000	1.12200	1.03600	1.68000	1.01200	0.26000	0.00500	13.95900
2003	11	18	322	0.00000	0.01600	0.26000	0.89400	1.58500	2.09600	2.25000	1.98500	1.62900	1.75300	1.49600	0.94200	0.36300	0.00200	15.27100
2003	11	19	323	0.00000	0.01600	0.24600	0.84200	1.49900	2.03900	2.49800	2.67200	2.52200	2.28200	1.73700	0.92700	0.31900	0.00200	17.60100
2003	11	20	324	0.00000	0.01500	0.25300	0.90800	1.61700	2.23900	2.59300	2.80900	2.73200	2.39400	1.85500	0.94200	0.30800	0.00700	18.67200
2003	11	21	325	0.00000	0.01600	0.27400	0.83000	1.71700	2.34400	2.69700	2.89200	2.75700	1.86200	1.58900	1.01700	0.32800	0.00200	18.32500
2003	11	22	326	0.00000	0.01100	0.21100	0.69900	1.47000	1.87700	2.38300	2.51800	2.65500	1.90800	1.75000	1.04000	0.31600	0.00600	16.84400
2003	11	23	327	0.00000	0.01600	0.33200	0.99000	1.72400	2.29600	2.64100	2.83600	2.71400	2.37800	1.81600	0.96900	0.30900	0.00400	19.02500
2003	11	24	328	0.00000	0.01000	0.26200	0.95700	1.70200	2.29700	2.68800	2.81500	2.72500	2.39500	1.83700	1.12300	0.39800	0.00500	19.21400
2003	11	25	329	0.00000	0.00900	0.14200	0.38100	0.89100	1.41100	1.97900	2.61600	2.70600	2.37400	1.80700	1.09100	0.37400	0.00400	15.78500
2003	11	26	330	0.00000	0.01400	0.16900	0.48800	0.86100	1.04500	0.99000	0.63400	1.04800	1.76800	1.60500	0.97000	0.34800	0.00200	9.94200
2003	11	27	331	0.00000	0.00600	0.15400	0.64000	1.53300	2.35700	2.71400	2.61600	2.42000	2.40200	1.85000	1.11200	0.36900	0.00400	18.17700
2003	11	28	332	0.00000	0.01000	0.25300	0.92300	1.60500	2.23700	2.55200	2.72200	2.64200	2.28400	1.72400	1.02900	0.33200	0.00400	18.31700
2003	11	29	333	0.00000	0.01100	0.22100	0.76600	1.59600	2.24500	2.66700	2.89400	2.85500	2.43500	1.81200	1.04800	0.33900	0.00400	18.89300
2003	11	30	334	0.00000	0.00400	0.18000	0.78000	1.53000	2.22700	2.62200	2.24100	2.27700	2.41200	1.82200	1.16600	0.43700	0.00500	17.70300

Totals of Global Solar Radiation (sun and sky), MJ/m²

Country Thailand

Station Silapakorn university

: Nakornpathom

				Hourly total														daily
Year	Month	day	no	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	Total
2003	12	1	335	0.00000	0.00600	0.22400	0.90700	1.66000	2.31300	2.77900	2.94500	2.85800	2.48400	1.87500	1.15400	0.39000	0.00500	19.60000
2003	12	2	336	0.00000	0.00400	0.19500	0.88400	1.43100	2.39800	2.61700	2.77400	2.69600	2.01100	1.73800	1.12900	0.36800	0.00500	18.25000
2003	12	3	337	0.00000	0.00500	0.20500	0.88900	1.63600	2.32500	2.72800	2.88400	2.31200	1.85100	1.60500	0.94500	0.32300	0.00500	17.71300
2003	12	4	338	0.00000	0.00600	0.23600	0.94500	1.69900	2.34700	2.74400	2.91600	2.77000	2.21600	1.50200	0.75700	0.28600	0.00400	18.42800
2003	12	5	339	0.00000	0.00500	0.21700	0.90300	1.65700	2.28900	2.69600	2.87600	2.70100	2.05100	1.24600	0.78300	0.32500	0.00100	17.75000
2003	12	6	340	0.00000	0.00500	0.21900	0.90200	1.42900	2.11300	2.67700	2.83600	2.67100	2.31800	1.75800	0.97100	0.27700	0.00400	18.18000
2003	12	7	341	0.00000	0.00600	0.21200	0.89900	1.64800	2.29400	2.70600	2.82100	2.07100	1.92400	1.18300	0.52500	0.38000	0.00500	16.67400
2003	12	8	342	0.00000	0.00400	0.23600	0.93800	1.71400	2.25500	2.71600	2.82000	2.52300	2.34900	1.62400	1.18600	0.39400	0.00600	18.76500
2003	12	9	343	0.00000	0.00200	0.17900	0.85300	1.63500	2.25500	2.65100	2.84800	2.77800	2.48900	1.91300	1.11200	0.38400	0.01400	19.11300
2003	12	10	344	0.00000	0.00000	0.06800	0.33700	0.82100	1.76300	2.20700	2.68300	2.92800	2.47500	1.77500	1.11700	0.35800	0.01500	16.54700
2003	12	11	345	0.00000	0.00100	0.10200	0.58900	1.08400	1.14700	1.02900	1.48600	1.64600	2.05000	1.07700	0.52500	0.22000	0.00600	10.96200
2003	12	12	346	0.00000	0.00100	0.07500	0.33800	1.09900	1.87000	2.67600	2.77500	2.72300	2.40600	1.90400	1.07200	0.42400	0.00900	17.37200
2003	12	13	347	0.00000	0.00100	0.16000	0.84200	1.58500	2.16400	2.59800	2.80400	2.73800	2.42900	1.82000	1.08200	0.35300	0.02200	18.59800
2003	12	14	348	0.00000	0.00100	0.15800	0.84300	1.55500	2.18100	2.65800	2.76500	2.61900	2.19900	1.36600	1.13900	0.41100	0.02500	17.92000
2003	12	15	349	0.00000	0.00400	0.21900	0.99400	1.62400	2.11200	2.50600	2.74300	2.28600	2.45800	1.88700	1.18400	0.27700	0.01100	18.30500
2003	12	16	350	0.00000	0.00100	0.10400	0.78100	1.67500	2.25300	2.73900	2.96300	2.88000	2.44500	1.88000	1.14500	0.46100	0.02400	19.35100
2003	12	17	351	0.00000	0.00100	0.08600	0.52300	1.23900	2.17000	2.60400	2.79400	2.71400	2.31100	1.69800	0.90600	0.27500	0.01000	17.33100
2003	12	18	352	0.00000	0.00100	0.04800	0.57000	1.33800	2.04300	2.34000	2.53900	2.53900	2.27100	1.71200	0.97400	0.37800	0.01100	16.76400
2003	12	19	353	0.00000	0.00000	0.05600	0.30700	0.64300	1.11800	1.87500	1.77400	1.07000	1.08100	0.82600	0.73200	0.26800	0.02200	9.77200
2003	12	20	354	0.00000	0.00100	0.03500	0.18500	0.90400	1.53400	2.55000	2.63700	2.49600	2.08400	1.71800	0.90100	0.30600	0.02400	15.37500
2003	12	21	355	0.00000	0.00100	0.13500	0.73800	1.48000	2.11900	2.57800	2.77300	2.67700	2.41100	1.86600	1.15800	0.43000	0.02100	18.38700
2003	12	22	356	0.00000	0.00000	0.12500	0.56600	1.58500	1.97600	2.45500	2.68900	2.64500	2.35300	1.81900	1.12200	0.48700	0.08100	17.90300
2003	12	23	357	0.00000	0.00000	0.15800	0.66100	1.37400	2.01500	2.46100	2.64600	2.65500	2.42700	1.87300	1.18500	0.51100	0.08000	18.04600
2003	12	24	358	0.00000	0.00000	0.14500	0.62600	1.32500	2.00400	2.49600	2.71900	2.68900	2.39000	1.87600	1.21400	0.53200	0.08600	18.10200
2003	12	25	359	0.00000	0.00000	0.13300	0.61100	1.29600	1.91600	2.36500	2.55300	2.53500	2.34700	1.89900	1.25600	0.55200	0.08100	17.54400
2003	12	26	360	0.00000	0.00000	0.11800	0.56800	1.22000	1.73500	2.22500	2.52900	2.60900	2.36100	1.88200	1.22900	0.51800	0.08100	17.07500
2003	12	27	361	0.00000	0.00000	0.11900	0.58800	1.30200	1.91700	2.39500	2.63600	2.60000	2.30700	1.71600	1.03900	0.40700	0.05600	17.08200
2003	12	28	362	0.00000	0.00000	0.11000	0.51100	1.11700	1.74400	2.28200	2.60500	2.58000	2.24100	1.72500	1.05000	0.41100	0.06100	16.43700
2003	12	29	363	0.00000	0.00000	0.11200	0.54200	1.21400	1.87800	2.33700	2.62600	2.65100	2.32400	1.80500	1.16100	0.49600	0.07300	17.21900
2003	12	30	364	0.00000	0.00000	0.13400	0.58100	1.28100	1.92900	2.42900	2.67000	2.68300	2.41900	1.93800	1.25600	0.54000	0.08400	17.94400
2003	12	31	365	0.00000	0.00000	0.14700	0.57900	1.29400	1.96600	2.44100	2.67600	2.66200	2.43600	1.97100	1.33900	0.59800	0.09400	18.20300

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างโปรแกรมพยากรณ์ค่าความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์แบบรายปี

```

%*****
% PROGRAM NAME :GLOBAL RADIATION PREDICTION BY USING BACKPROPAGATION
% BY      : THAWAT KEATSATHIT
% DATE    : AUGUST 27,2005
%*****
%-----
% SPECIFICATION OF PROGRAMMING
% * TRAINING DATA FROM 1 YEAR UP TO 4 YEARS
% * SELECT ONE POINT OF TIME FOR TRAINING FROM 5.00 AM - 17.00 PM
% * SELECT ONE YEAR FROM 2000 TO 2003 FOR PREDICTION GLOBAL RADIATION
%-----
%-----
% THIS PART OF PROGRAM FOR CLEARING MONITOR
%-----
clc
clear all;
close all;
format compact;
disp(' ')
disp('*****')
disp(' THIS PROGRAM USE FOR TRAINING AND PREDICTION GLOBAL RADIATION ')
disp(' TRAINING DATA UP TO 4 YEAR AND 1 YEAR DATA PREDICTION ')
disp(' BY USING BACKPROPAGATION METHODE ')
disp('*****')
disp(' ')
%-----
% THIS PART TO SELECT CONDITION FOR PREDICTION AND TRAINING
%-----
% SIMBOL DISCRPTION :
% a : begining address of data use for prediction
% b : end address of data use for prediction
% k : begining address of data use for training
% s : end address of data use for training
% r : total of training data
% w : total of test set data
cx= xlsread('total data');
a1=1;
b1=365;
a2=366;
b2=730;
a3=731;
b3=1095;
a4=1096;
b4=1460;
a5=1461;
b5=1825;
a6=1826;
b6=1828;
aa=cx(a1:b1,5:18); % data of year 2542
ab=cx(a2:b2,5:18); % data of year 2543
ac=cx(a3:b3,5:18); % data of year 2544
ad=cx(a4:b4,5:18); % data of year 2545
ae=cx(a5:b5,5:18); % data of year 2546
sx=cx(a6:b6,5:18); % zero data
ax=[sx;aa;sx;ab;sx;ac;sx;ad;sx;ae;sx];
nx= 1841;
u = input('PLEASE SELECT ONE YEAR WHICH YOU WANT TO PREDICT (SELECT 2000-2003):');
fix(u);
u = fix(u);
if u==2003;
disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA OF YEAR 2003')
a=1473;
b=1840;
w=369;
disp('PLEASE SELECT RANGE OF DATA FOR TRAINING');
disp(' DATA OF THE YEAR 2002 ONLY, SELECT "1"')
disp(' DATA FROM 2001 TO 2002, SELECT "2"')
disp(' DATA FROM 2000 TO 2002, SELECT "3"')
disp(' DATA FROM 1999 TO 2002, SELECT "4"')
disp(' (IF YOU SELECT OTHER NUMBER PROGRAM WILL BE CLOSE ! )')
v = input('SELECT NUMBER : ');

```

```

if v==1;
    disp(' YOU SELECT YEAR 2002 ONLY ')
    k=1105;
    s=1472;
    r=369;
elseif v==2;
    disp(' YOU SELECT YEAR 2001 - 2002')
    k=737;
    s=1472;
    r=737;
elseif v==3;
    disp(' YOU SELECT YEAR 2000 - 2002')
    k=369;
    s=1472;
    r=1105;
elseif v==4;
    disp(' YOU SELECT YEAR 1999 - 2002')
    k=1;
    s=1472;
    r=1473;
else 1>v>4;
    a=0;
    b=0;
    k=0;
    s=0;
    r=0;
    x = input('YOU SELECT DATA OUT OF RANGE. PROGRAM WILL CLOSE PLEASE PRESS ANY KEY:');
    clear all;
    close all;
    exit
end
elseif u==2002;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA OF YEAR 2002')
    a=1105;
    b=1472;
    w=369;
    disp('PLEASE SELECT RANGE OF DATA FOR TRAINING');
    disp(' DATA OF THE YEAR 2001 ONLY, SELECT "1"')
    disp(' DATA FROM 2000 TO 2001, SELECT "2"')
    disp(' DATA FROM 1999 TO 2001, SELECT "3"')
    disp(' (IF YOU SELECT OTHER NUMBER PROGRAM WILL BE CLOSE ! )')
    v = input('SELECT NUMBER : ');
    if v==1;
        disp(' YOU SELECT YEAR 2001 ONLY ')
        k=737;
        s=1104;
        r=369;
    elseif v==2;
        disp(' YOU SELECT YEAR 2000 - 2001')
        k=369;
        s=1104;
        r=737;
    elseif v==3;
        disp(' YOU SELECT YEAR 1999 - 2001')
        k=1;
        s=1104;
        r=1105;
    else 1>v>3;
        a=0;
        b=0;
        k=0;
        s=0;
        r=0;
        x = input('YOU CAN SELECT "1" OR "2" OR "3". PROGRAM WILL CLOSE PLEASE PRESS ANY KEY:');
        clear all;
        close all;
        exit
    end
end
elseif u==2001;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA OF YEAR 2001')

```

```

a=737;
b=1104;
w=369;
disp('PLEASE SELECT RANGE OF DATA FOR TRAINING');
disp(' DATA OF THE YEAR 2000 ONLY, SELECT "1"')
disp(' DATA FROM 1999 TO 2000, SELECT "2"')
disp('IF YOU SELECT OTHER NUMBER PROGRAM WILL BE CLOSE ! ')
v = input('SELECT NUMBER : ');
if v==1;
    disp(' YOU SELECT YEAR 2000 ONLY ')
    k=369;
    s=736;
    r=369;
elseif v==2;
    disp(' YOU SELECT YEAR 1999 - 2000')
    k=1;
    s=736;
    r=737;
else 1>v>2;
    a=0;
    b=0;
    k=0;
    s=0;
    r=0;
    x = input('YOU CAN SELECT "1" OR "2". PROGRAM WILL CLOSE PLEASE PRESS ANY KEY:');
    clear all;
    close all;
    exit
end

elseif u==2000;
disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA OF YEAR 2000')
a=369;
b=736;
w=369;
disp('PLEASE SELECT RANGE OF DATA FOR TRAINING');
disp(' YOU CAN SELECT DATA OF THE YEAR 1999 ONLY ')
disp('IF YOU SELECT OTHER NUMBER PROGRAM WILL BE CLOSE ! ')
v = input('PLEASE SELECT NUMBER "1" : ');
if v==1;
    disp(' YOU SELECT YEAR 1999 ONLY ')
    k=1;
    s=368;
    r=369;
else 1>v>1;
    a=0;
    b=0;
    k=0;
    s=0;
    r=0;
    x = input('YOU CAN SELECT ONLY "1". PROGRAM WILL CLOSE PLEASE PRESS ANY KEY:');
    clear all;
    close all;
    exit
end

else 2000>u>2003;
disp(' PROGRAMM CAN NOT PREDICT DATA WHICH YOU SELECTED')
u=0;
a=0;
b=0;
k=0;
s=0;
r=0;
x = input('YOU SELECT OUT OF RANGE. PROGRAM WILL CLOSE PLEASE PRESS ANY KEY:');
clear all;
close all;
exit
end

```

```

%-----
% THIS PART FOR SELECTING POINT OF TIME IN THE DAY FOR TRAINING
%-----
z = input('PLEASE SELECT ONE POINT OF TIME FOR TRAINING FROM 5 AM.- 6 PM. (SELECT 5-18):');
fix(z);
z=fix(z);
if z==5;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 5.00 AM.')
    m=1;
elseif z==6;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 6.00 AM.')
    m=2;
elseif z==7;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 7.00 AM.')
    m=3;
elseif z==8 ;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 8.00 AM.')
    m=4;
elseif z==9 ;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 9.00 AM.')
    m=5;
elseif z==10;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 10.00 AM.')
    m=6;
elseif z==11 ;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 11.00 AM.')
    m=7;
elseif z==12 ;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 12.00 AM.')
    m=8;
elseif z==13 ;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 1.00 PM.')
    m=9;
elseif z==14 ;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 2.00 PM.')
    m=10;
elseif z==15;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 3.00 PM.')
    m=11;
elseif z==16;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 4.00 PM.')
    m=12;
elseif z==17;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 5.00 PM.')
    m=13;
elseif z==18;
    disp(' YOU WANT TO PREDICT DATA AT 6.00 PM.')
    m=14;
elseif z>18;
    m=0;
    x = input('THE SUNSET AT THIS MOMENT,PROGRAM WILL BE CLOSE.PRESS ANY KEY TO EXIST:');
    clear all;
    close all;
    exit ;
elseif z<5;
    m=0;
    x = input('THE SUN NOT RISES AT THIS MOMENT,PROGRAM WILL BE CLOSE.PRESS ANY KEY TO
EXIST:');
    clear all;
    close all;
    exit ;
end
disp('PROGROM IS RUNNING AND TRAINING DATA, PLEASE WAIT !' )
%-----
% START COUNTING TIME FOR TRAINING
%-----
tic
%-----
% LOADING DATA FROM FILE "TOTAL DATA"
%-----
c= ax; % load excell data file

```

```

%-----
% LOAD ONE COLUUM FROM FILE "C" (MATRIX FORM) USE FOR TRAINING
%-----
d=c(k:s,m);          % set matrix traning data
%-----
% LOAD ONE COLUUM FROM FILE "C" (MATRIX FORM) USE FOR TARGET
%-----
t=c(k+4:s+4,m);      % set matrix target data
%-----
% CREATE NETWORK FOR TRAINING
%-----
range_rr=[1 r];      % limit range of data
net=newff(minmax(range_rr),[4,4,1],{'logsig','logsig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.show=5000;
net.trainParam.lr=0.05;
net.trainParam.epochs = 5000; % limit max epoch.
net.trainParam.goal = 1e-10; % limit minimum error.
net.numInputs=4;        % set number of input data
j=1;                    % set counting number
for i = 5:r
    input(j,:)=d(i-1:-1:i-4); % gruoping data 4 input from file "d"
    j=j+1;               % shift address 1 point for next group
end
input=input';           % transpost "input" data
target = t(1:r-4);      % set address range of target data
net=train(net,input,target); % start training
output=sim(net,input);  % output of training
fm=[1:r-4];             % set range of x for printing

%-----
% THIS PART OF PROGRAM TO PLOT GRAHP AFTER TRAIN
%-----
figure(1)               % training graphic plot
plot(fm,target,'B')
hold on;
plot(fm,output,'g')
title('TRAIN SET')
xlabel('DAY')
ylabel('GLOBAL RADIATION(MJ/sq.m)')
legend('MEASUREMENT ','PREDICTION');
e=target-output;        % define error of train set
mse_train_set = (e*e)/(r-4) % mean square error of train set
end

%-----
% THIS PART FOR TESTING DATA AFTER TRAIN NETWORK
%-----
td = c(a:b+1,m);        % load data in range for testing
j=1;                    % set counting number
for i = 5:w;            % limit address of test set
    tx(j,:)=td(i-1:-1:i-4); % load input data
    j = j+1;            % shift address 1 point for next group
end
tx = tx';               % transpost data
test_set = sim(net,tx); % feed data to network for testing
out1=test_set';         % transpost output data
tm=td(5:w);             % load target data
e1=test_set-tm;         % define test set error
mse_test_set=(e1*e1)/(w-4)
figure(2)               % test set graphic plot
fm=1:w-4;
plot(fm,tm,fm,test_set);
title('TEST SET')
xlabel('DAY')
ylabel('GLOBAL RADIATION(MJ/sq.m)')
legend('MEASUREMENT','PREDICTION');
toc
end
%-----
% END OF PROGRAM
%-----

```

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายธวัช เกษสถิตย์

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงาน
แสงอาทิตย์

สาขาวิชา : ไฟฟ้า

ประวัติ

ประวัติการศึกษา

- ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคชุมพร
- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสวีวิทยา อ. สวี จ. ชุมพร

ประวัติการทำงาน

- พ.ศ.2531 : อาจารย์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน
- พ.ศ.2532 : วิศวกร ฝ่ายออกแบบข่ายสายโทรศัพท์ บริษัท ฮิตาชิ เเคเบิ้ล จำกัด
- พ.ศ.2532-2536 : วิศวกรไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- พ.ศ.2536-2538 : วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท โดลไทยแลนด์ จำกัด
- พ.ศ.2538-2541 : ผู้ช่วยผู้จัดการ โครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้า บริษัท ศรีอุทอง จำกัด
- พ.ศ.2532-2545 : ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท อีเคบานา เอ็นจิเนียริง จำกัด
- 2547 ถึงปัจจุบัน : กรรมการผู้จัดการบริษัท ที แมค เอ็นจิเนียริง จำกัด

ประวัติส่วนตัว เกิดที่ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร

ที่อยู่ปัจจุบันเลขที่ 69/88 หมู่ 2 ถ. คั่นแอน ต. บางพลับ อ. ปากเกร็ด จ. นนทบุรี