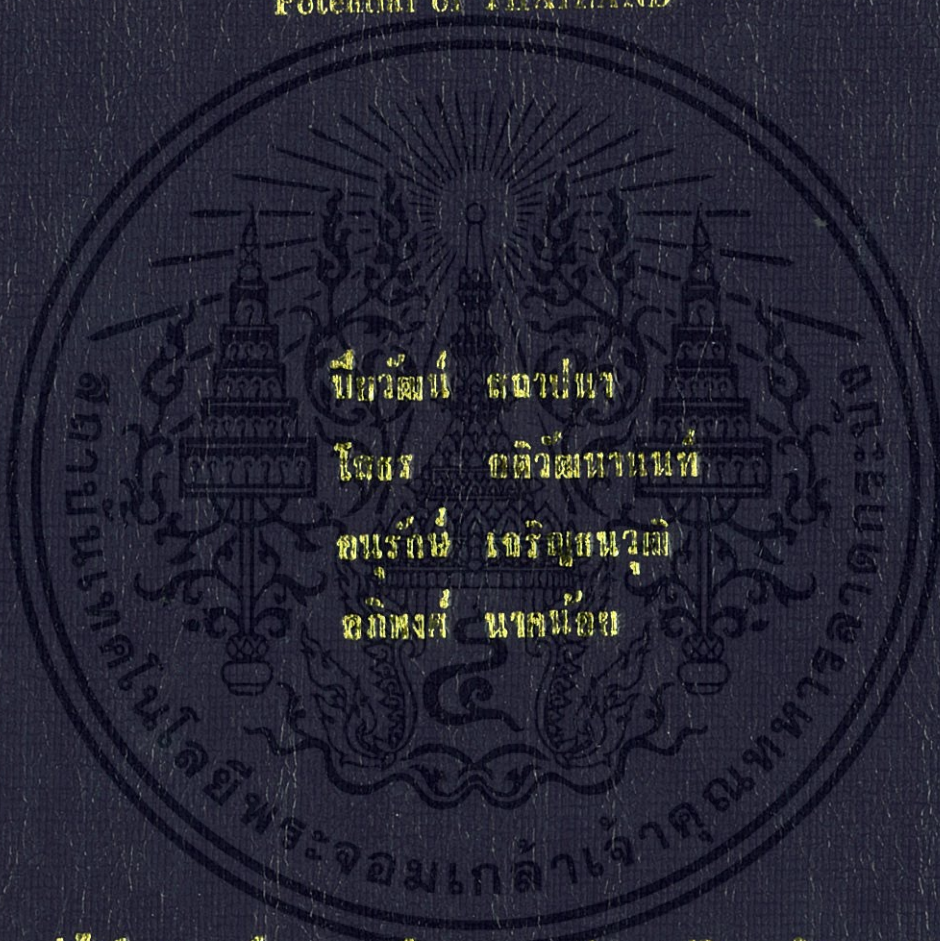


การออกแบบสร้าง GUI สำหรับประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนจากศักยภาพของประเทศไทย

ด้วยระบบ Neuro-Fuzzy

Design and Development of GUI for Neuro-Fuzzy Estimator for Solar Potential of THAILAND



ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การออกแบบสร้าง GUI สำหรับประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
ด้วยระบบ Neuro-Fuzzy
Design and Development of GUI for Neuro-Fuzzy Estimator for Solar
Potential of THAILAND



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Development of GUI for Neuro-Fuzzy Estimator for Solar
Potential of THAILAND



Piyawat Satapana
Sothon Atiwattananon
Anurak Charoenthanawut
Apipong Naknoi

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

การออกแบบสร้าง GUI สำหรับประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยด้วย

ระบบ Neuro-Fuzzy

Design and Development of GUI for Neuro-Fuzzy Estimator for Solar

Potential of THAILAND



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นิรุช. จิรสวรรณกุล

รศ.ดร.สมชาติ จิรวินิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

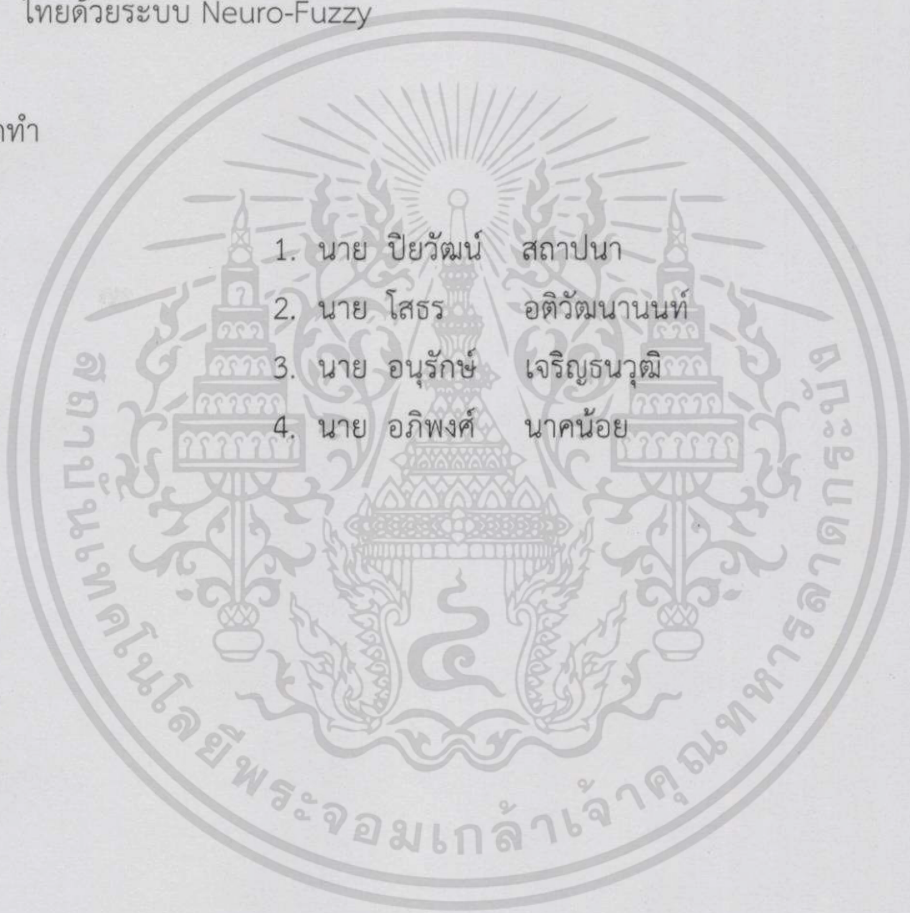
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบสร้าง GUI สำหรับประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศ
ไทยด้วยระบบ Neuro-Fuzzy

ผู้จัดทำ

1. นาย ปิยวัฒน์ สถาปนา
2. นาย โสธร อติพัฒนานนท์
3. นาย อนุรักษ์ เจริญธนุฒิ
4. นาย อภิพงศ์ นาคน้อย



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้าง GUI สำหรับประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยด้วย

ระบบ Neuro-Fuzzy

นาย ปิยวัฒน์	สถาปนา	
นาย โสธร	อติพัฒนานนท์	
นาย อนุรักษ์	เจริญธนวุฒิ	
นาย อภิพงศ์	นาคน้อย	
ดร. นิรุช	จิรสวรรณกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สมชาติ	จิรวិภากร	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556		

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ เป็นการเสนอวิธีการหาค่าศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จากการทำนายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยการใช้แบบจำลอง ANFIS เป็นเครื่องมือในการทำนาย ซึ่งเป็นการนำค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ มาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ เพื่อที่จะหารูปแบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดของการทำนายในรูปแบบต่างๆ เมื่อได้รูปแบบเหมาะสมที่สุดแล้ว จะนำมาแสดงผลโดย GUI และนำแบบจำลองนั้นมาใช้ในการประเมินหาค่าศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

Design and Development of GUI for Neuro-Fuzzy Estimator for Solar Potential of
THAILAND

Piyawat Santayana

Sothon Atiwattananon

Anurak Charoenthanawut

Apipong Naknoi

Dr.Nirudh Jirasuwankul

Supervisor

Assoc.Prof. Dr.Somchat Jiriwibhakorn Supervisor

Year 2013

ABSTRACT

This project introduces an approach for predicting and evaluating the potential of solar power generation in Thailand by using an application of ANFIS. Solar radiation data are used to train and test the model in order to find the most suitable model which is considered by mean absolute percentage error (MAPE). Then have its shown by GUI.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอกราบขอบพระคุณ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล และ รศ.ดร. สมชาติ จิรีภากร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดี โดยตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณหน่วยงานของทางกรมอุตุฯ และผู้ที่เกี่ยวข้องของมหาวิทยาลัย ศิลปากร ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยของปริญญาโทฉบับนี้ จนสำเร็จ

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆ ร่วมอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และ คอยให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การ สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย



คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์	5
2.1.1 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)	5
2.1.2 การแผ่รังสีโดยชั้นบรรยากาศของโลก	6
2.2 หลักการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.4 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบโซลาร์พีวี (Solar PV)	9
2.4.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	9
2.4.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย	10
2.4.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	10
2.5 จุดเด่นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	11
2.6 จุดด้อยของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	12

สารบัญ(ต่อ)

2.7 การเลือกแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จากข้อมูลดาวเทียม	12
2.8 การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย	14
2.9 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์	15
2.9.1 แบบรวบรวมแสง	15
2.9.2 แบบหอสूरियะ	15
2.9.3 แบบจานสุूरियะ	16
2.10 ทฤษฎีระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบ โครงข่ายประสาทเทียม	16
2.11 โครงสร้างของ ANFIS	17
2.12 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function)	21
2.12.1 trimf	21
2.12.2 trapmf	22
2.12.3 gbellmf	22
2.12.4 gaussmf	23
2.12.5 gauss2mf	23
2.12.6 pimf	24
2.12.7 dsigmf	24
2.12.8 psigmf	25
2.13 การเรียนรู้ของ ANFIS	25
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 การพยากรณ์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ ANFIS	27
3.1 การพยากรณ์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ ANFIS	27
3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	27
3.3 ประโยชน์ของการพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	28
3.4 การออกแบบแบบจำลอง ANFIS	28
3.5 การจัดเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANFIS	29

สารบัญ(ต่อ)

3.6 การพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS	30
3.7 การฝึกสอนแบบจำลอง ANFIS	30
3.7.1 การหารูปแบบการป้อนข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง	30
3.7.2 จำนวนฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function)	31
3.7.3 รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิก	31
3.7.4 การเปรียบเทียบผลเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมกับแบบจำลอง	31
3.7.5 การเพิ่มรอบการฝึกสอนแบบจำลองให้เหมาะสมมากขึ้น	31
3.8 สรุปขั้นตอนการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลการทดสอบ ANFIS	33
4.1 ผลการเรียนรู้ ANFIS	33
4.2 ผลการทดสอบ ANFIS เพื่อหาโครงสร้างที่มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูล	33
บทที่ 5 การออกแบบ Graphical User Interface	40
5.1 แนะนำโปรแกรม MATLAB	40
5.1.1 ความต้องการของระบบคอมพิวเตอร์ก่อนติดตั้งโปรแกรม MATLAB	41
5.1.2 ข้อดีของโปรแกรม MATLAB	41
5.1.3 การเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB	42
5.1.4 การปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน	42
5.2 การออกแบบ GUI	43
5.2.1 แนวคิดเรื่องการทำงานของ GUI ที่จะทำการออกแบบ	44
5.2.2 การสร้างโครงร่าง GUI	44
5.2.2.1 การเปิด GUI ใน Layout Editor	44
5.2.2.2 การตั้งขนาดของพื้นที่ใช้งานในการออกแบบ	46
5.2.2.3 การสร้างองค์ประกอบ	47
5.2.2.4 การจัดองค์ประกอบ	48
5.2.3 การทำโปรแกรม GUI	49
5.2.4 การ Save และการ Run โปรแกรม	49

สารบัญ(ต่อ)

5.3	แนะนำโปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ ในประเทศไทย	49
5.3.1	ขอบเขตและเงื่อนไขสำหรับการออกแบบ ด้วยโปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสี	49
5.3.2	ส่วนประกอบของโปรแกรมพยากรณ์ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย	49
5.3.2.1	Main Windows	50
5.3.2.2	Forecasting Windows	51
5.3.3	วิธีการใช้งานโปรแกรมพยากรณ์ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย	52
บทที่ 6	สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	56
6.1	สรุปผลการทดสอบ	56
6.2	ปัญหา	57
6.3	ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง		58
ภาคผนวก		60
ภาคผนวก ก	ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	61
ภาคผนวก ข	บทความวิชาการ	81
ประวัติผู้เขียน		84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มายังโลกและการแผ่รังสีของโลกเพื่อระบายพลังงาน ความร้อนออกไป	6
2.2 สัดส่วนรังสีจากชั้นบรรยากาศที่ตกสู่พื้นโลก	7
2.3 ลักษณะของการสะท้อนรังสีจากผิววัตถุแบบต่างๆ	8
2.4 ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกและ P-N Junction	8
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal) ผลึกรวม (Poly Crystal) และแบบ อะมอร์ฟัส (Amorphous)	9
2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	10
2.7 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย	10
2.8 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid Systems)	11
2.9 แผนภูมิการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลอง	13
2.10 การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบรางพาราโบล	15
2.11 การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบการสะท้อนแบบเฟรชเนล	15
2.12 การผลิตไฟฟ้าโดยใช้หอสุริยะ	16
2.13 การผลิตไฟฟ้าโดยจานสุริยะ	16
2.14 สถาปัตยกรรมของระบบอนุมาณฟิชชันบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้	17
2.15 โครงสร้างพื้นฐานการประมวลผลของฟิชชันลोजิก	18
2.16 ตัวอย่างของ Triangular-shaped membership function	21
2.17 ตัวอย่างของTrapezoidal-shaped membership function	22
2.18 ตัวอย่างของ Generalized bell-shaped membership function	22
2.19 ตัวอย่างของ Gaussian curve membership function	23
2.20 ตัวอย่างของ Gaussian combination membership function	23
2.21 ตัวอย่างของ π -shaped membership function	24

สารบัญรูป(ต่อ)

2.22 ตัวอย่างของ Difference between two sigmoidal functions membership Function	25
2.23 ตัวอย่างของ Product of two sigmoidal membership functions	25
3.1 โครงสร้างของแบบจำลองที่	29
3.2 แผนภาพการทำงานของกรทดลอง	33
5.1 องค์ประกอบของวินโดว์เพื่อใช้งาน GUI	43
5.2 การเปิดวินโดว์ Layout Editor โดยพิมพ์คำสั่ง guide ผ่านทาง Command Windows	45
5.3 วินโดว์ GUIDE Quick Start	45
5.4 แสดงวิธีการเพิ่ม-ลด ขนาดของพื้นที่ใช้งาน	46
5.5 วินโดว์ Property Inspector เพื่อการตั้งค่าของ Figure สำหรับ GUI	47
5.6 แสดงวิธีการจัดการระยะห่างของobject	48
5.7 Main Windows	50
5.8 Forecasting Windows	51
5.9 หน้าจอ Main Windows เมื่อเข้าสู่โปรแกรม	52
5.10 หน้าจอ Forecasting Windows เมื่อกดปุ่มเพื่อเลือกภาค	53
5.11 ตัวอย่างวิธีการใส่ค่าละติจูดและลองจิจูด	53
5.12 ตัวอย่างวิธีการเลือกละติจูดและลองจิจูดของแต่ละจังหวัด	54
5.13 ตารางแสดงละติจูดและลองจิจูดของแต่ละจังหวัด	54
5.14 ตัวอย่างแสดงผลการพยากรณ์ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์	55
ก.1 ที่ตั้งสถานีวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ของกรมอุตุนิยมวิทยา	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุวิธีกรเรียนรู้แบบผสมผสานใน ANFIS	26
4.1 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคเหนือ	35
4.2 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันตก	35
4.3 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันออก	36
4.4 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	36
4.5 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคกลาง	37
4.6 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคใต้	37
4.7 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันตก(รวมข้อมูลกับภาคเหนือ)	39
ก.1 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2545	62
ก.2 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2546	64
ก.3 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2547	66
ก.4 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2548	68
ก.5 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2549	70
ก.6 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2550	72
ก.7 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2551	74
ก.8 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2552	76
ก.9 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2553	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาและการเจริญเติบโตทางด้านสังคมและเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นตามไปด้วย และส่งผลต้องมีการเพิ่มหน่วยการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้นตามความต้องการ [1] ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นต้องอาศัยที่มาของพลังงานในรูปแบบต่างๆ เพื่อเปลี่ยนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า และเนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่างๆก็มีข้อจำกัดที่ทำให้เป็นเงื่อนไขในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น โรงจักรไฟฟ้าแบบแก๊สเทอร์โบอินหรือโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ น้ำมันดีเซลกับถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการนำเอาเชื้อเพลิงธรรมชาติมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยปัญหาในการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบนี้ จึงทำให้ต้องมีการสูญเสียของต้นทุนในการผลิต และการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบอาศัยพลังงานเชื้อเพลิงนี้ยังก่อให้เกิดมลภาวะต่างๆ ตามมาได้ [2] ดังตัวอย่างของการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบอาศัยพลังงานน้ำที่ได้มาจากการสร้างเขื่อน ซึ่งก็มีปัญหาทางด้านปัจจัยในสถานที่ทางภูมิประเทศที่ก่อสร้างเขื่อน และเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าอย่างเพียงพอต่อความต้องการ

จึงได้เกิดการพัฒนาการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบทางเลือกใหม่เกิดขึ้นออกมาอีกหลายแบบ [3] ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่ง ถือว่าเป็นพลังงานที่สะอาด และมีอยู่อย่างไม่จำกัด แต่เนื่องจากที่เทคโนโลยีของระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในปัจจุบันยังอยู่ในกระบวนการวิจัยซึ่งทำให้กระบวนการผลิตเพื่อใช้งานจริงยังไม่แพร่หลายเข้าสู่เชิงพาณิชย์ จึงทำให้ราคาของระบบการผลิตดังกล่าวยังมีราคาที่สูงอยู่เมื่อเทียบกับระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบอื่นๆ แต่เนื่องด้วยจากการลงทุนเพียงครั้งเดียว และอายุการใช้งานยาวนาน จึงมีความเหมาะสมต่อการลงทุนเพื่อหาผลประโยชน์ที่จะได้รับทั้งด้านพลังงาน และเศรษฐกิจต่อไป

เนื่องจากการลงทุนของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง ทั้งด้าน ราคาที่ดิน ค่าอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า ค่าการบำรุงรักษา อุปกรณ์แปลงพลังงานและอุปกรณ์จัดเก็บพลังงาน จึงต้องทำให้มีการวิเคราะห์และประเมินผลของประโยชน์ที่จะได้รับของปริมาณพลังงาน เพื่อดูความคุ้มค่าก่อนที่จะเริ่มลงทุน ซึ่งบางประเทศได้มีการสร้างตัวโปรแกรมสำหรับประเมินค่าคุณภาพของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในแต่ละพื้นที่แล้ว โดยค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตขึ้นมาได้จะพิจารณาจากตัวแปรของปัจจัยต่างไปตามภูมิศาสตร์ทางสภาพแวดล้อมของประเทศนั้นๆ แต่ในประเทศไทยนั้นยังไม่พบว่ามีมีการนำระบบ ANFIS มาเพื่อประเมินหาศักยภาพและทำแสดงผลให้แก่จึงทำให้เกิดการวิจัยของโครงการนี้ขึ้นมาในชื่อ การออกแบบสร้าง GUI สำหรับประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยด้วยระบบ Neuro-Fuzzy เพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจด้านการพยากรณ์ หรือ ผู้ที่สนใจลงทุนติดตั้งระบบการผลิตพลังงาน

ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้มีตัวช่วยในการประเมิน โดยระบบ ANFIS หรือที่เรียกว่าระบบอนุมานฟuzzy บนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม(Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System) และวิเคราะห์เกี่ยวกับความคุ้มค่าของพลังงานไฟฟ้าที่จะได้รับ ก่อนที่จะทำการลงทุนติดตั้งจริงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของระบบ ANFIS
2. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่าความเข้มแสง
3. เพื่อศึกษาการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงด้วยระบบ ANFIS ในประเทศไทย
4. เพื่อศึกษาและออกแบบ GUI เพื่อใช้ในการแสดงผลของข้อมูลที่ได้ทำการ

วิเคราะห์ ได้เหมาะสม

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเข้มแสงในประเทศไทย
2. ศึกษาการทำงานของระบบ ANFIS
3. ศึกษาวิธีการคำนวณหาความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก และเหมาะสมกับประเทศไทยเพื่อนำไปใช้กับ ANFIS
4. ศึกษาการออกแบบ GUI เพื่อใช้งานได้เหมาะสมกับการพยากรณ์และวิเคราะห์ ค่าความเข้มแสง
5. ใช้โปรแกรม MATLAB ในการหาค่าความเข้มแสง ด้วยระบบ ANFIS

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

วิธีการที่ใช้ในโครงการนี้ คือการนำเอา ANFIS มาสร้างรูปแบบในการทำนายค่า ปริมาณความเข้มแสงในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทย นำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงการฝึกสอนและทดสอบตัวแบบจำลอง ในขั้นตอนการหารูปแบบนั้นแต่ รูปแบบ จะมีการวิเคราะห์ข้อมูล และอินพุต เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์โดย พิจารณาจากค่าความผิดพลาดและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

หลังจากนั้นเมื่อได้รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด จึงนำไปออกแบบ GUI เพื่อให้ผู้ใช้สามารถหาค่าพยากรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ได้ง่ายขึ้น

1.5 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี/เดือน									
	พ.ศ. 2556							พ.ศ. 2557		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษารวบรวมข้อมูลและทฤษฎีเบื้องต้นของโซลาร์ฟิว และระบบ ANFIS	↔									
2. ส่งยื่นคำร้องขอข้อมูลที่จะใช้ในการทำการฝึกและทดลองจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและกรมอุตุนิยมวิทยา	↔									
3. ศึกษาการหาค่าอินพุต และเอาท์พุทที่จะนำไปใช้งานใน ANFIS		↔								
4. วิเคราะห์ข้อมูลและ ทำการทดลองและสร้างรูปแบบการจำลอง			↔							
5.หา รูปแบบที่เหมาะสมที่สุด และให้เกิดความคลาดเคลื่อนให้เป็นที่ไปตามเป้าหมาย				↔						
6. ส่งรายงานความก้าวหน้า					↔					
7. ออกแบบ หน้าต่างตัวโปรแกรม GUI									↔	
8. ตรวจสอบการทำงานของตัวโปรแกรม									↔	
9. แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น กับ GUI										↔
10. วิเคราะห์ สรุปผล ปัญหาที่เกิดขึ้น										↔
11.เตรียมการนำเสนอ Project										↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถนำความรู้เรื่อง ANFIS ไปประยุกต์เพื่อการแก้ไขปัญหามีความซับซ้อนได้
2. ได้รับความรู้และเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์
3. สามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่ต่างๆในประเทศไทยโดยแบ่งตามลักษณะภูมิศาสตร์และเขตการปกครอง
4. ได้รับความรู้ เกี่ยวกับการออกแบบ GUI เพื่อใช้งานที่เหมาะสม



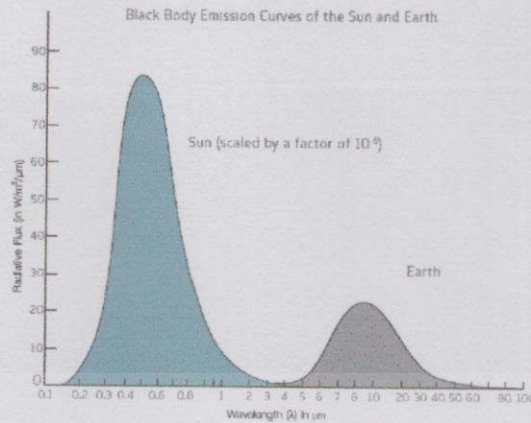
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าที่โลกใช้งาน 6,000 เทา หรือพลังงานความร้อนจากถ่านหิน 21,000 ล้านตัน เป็นพลังงานสะอาด แต่การนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวัน ตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอน เพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาล [4]

การปลดปล่อยพลังงานจากดวงอาทิตย์ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอในช่วง 500 ล้านปีที่ผ่านมา และคาดว่าจะจะเป็นไปในอัตราดังกล่าวอย่างน้อยอีก 50 ล้านปีต่อไป การเปลี่ยนแปลงของอัตราการปลดปล่อยพลังงานจากดวงอาทิตย์จะแตกต่างกันไม่เกินหนึ่งเท่า ตลอดชั่วอายุขัยของดวงอาทิตย์ นอกจากนั้นวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เกือบจะเป็นวงกลม ความแตกต่างระหว่างระยะที่ใกล้ที่สุดไม่ถึง 3% เป็นผลให้พลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งตกกระทบเหนือชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักในรอบปี [4] เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงนอกชั้นบรรยากาศของโลก จะมีความเข้มของแสงโดยเฉลี่ยประมาณ 1,350 วัตต์/ตารางเมตร แต่กว่าจะลงมาถึงพื้นโลก พลังงานบางส่วนต้องสูญเสียไปเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ที่ห่อหุ้มโลก เช่น ชั้นโอโซน ชั้นไอน้ำ ชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความเข้มของแสงลดลงเหลือประมาณ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร (หรือประมาณร้อยละ 70) [4]

2.1.1 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านมายังโลกเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,353 \text{ W/m}^2$ โดยจะมีค่าการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $1,350\text{-}1,440 \text{ W/m}^2$ ค่าการแผ่รังสีดังกล่าว เรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) ซึ่งก็คือ ค่าอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ในทิศทางตั้งฉากกับ ดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกและจะมีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือน โดยมีค่าแปรผันไปตามช่วงความยาวคลื่นของรังสีซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [4] ที่มีรังสีที่สำคัญ 3 ชนิด คือ รังสีเหนือม่วง, แสงสว่างและรังสีอินฟราเรด [5]



รูปที่ 2.1 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มายังโลกและการแผ่รังสีของโลกเพื่อระบายพลังงานความร้อนออกไป [5]

2.1.2 การแผ่รังสีโดยชั้นบรรยากาศของโลก [6] รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นต่างๆ ที่แผ่มายังโลก โดยผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ของโลก จะถูกดูดซับ (Absorbed) และทำให้กระจัดกระจาย (Scattered) อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก การดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสีโดยชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา และมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

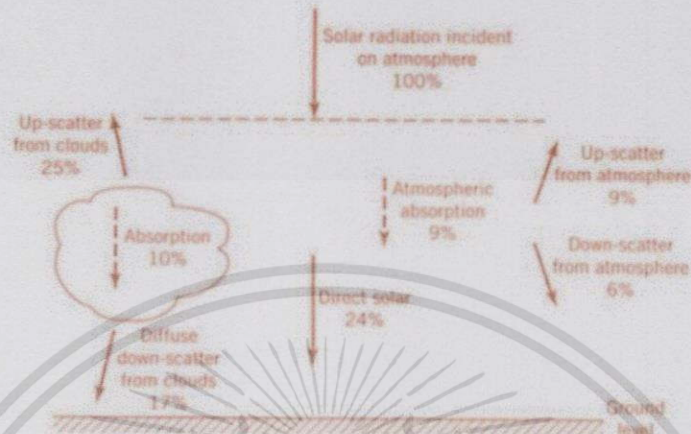
1. รังสีช่วงคลื่นสั้น ส่วนใหญ่จะเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) โดยมีช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 nm พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนและถูกทำให้ลดลงในเขตบรรยากาศชั้น Ionosphere โดยแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และแก๊สโอโซน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron Transition) ในอะตอมหรือโมเลกุลของแก๊สดังกล่าว จึงทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผิวโลก เกือบจะไม่มีพลังงานของรังสีในช่วงคลื่นนี้เหลืออยู่เลย

2. รังสีช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible) จะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สโอโซน แก๊สออกซิเจน และไอน้ำ

3. รังสีช่วงคลื่นยาว รังสีในช่วงคลื่นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นรังสีอินฟราเรด (Infrared) มีการดูดกลืนรังสีอันเนื่องมาจากการหมุนและการสั่นสะเทือนของ Polyatomic Molecule ซึ่งได้แก่ น้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การดูดกลืน รังสีดังกล่าวจะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศด้านล่างซึ่งมีความหนาประมาณ 50 กิโลเมตร และพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นของบรรยากาศโปร่งใส รังสีในช่วงคลื่นนี้เรียกว่า Atmosphere Window ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้ รังสีดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนเกือบหมดด้วยไอน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศโลก (Terrestrial Radiation) เมื่อแสงเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยอะตอมของก๊าซ ไอน้ำ เมฆ และฝุ่นละอองต่างๆ ดังนั้นเมื่อแสงเคลื่อนที่เข้ามา บางส่วนจะเกิดการชนกับอะตอมของสิ่งต่างๆ เหล่านี้ ทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสงซึ่งจะมีทั้งการสะท้อนลงสู่พื้นโลกและสะท้อนกลับสู่อวกาศ และจะมี

บางส่วนที่ถูกชั้นบรรยากาศและก้อนเมฆดูดซับเอาไว้ทำให้มีปริมาณแสงที่เคลื่อนที่ลงสู่พื้นโลก ประมาณร้อยละ 51 สะท้อนกลับสู่อวกาศประมาณร้อยละ 30 และถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศโลก ประมาณร้อยละ 19



รูปที่ 2.2 สัดส่วนรังสีจากชั้นบรรยากาศที่ตกสู่พื้นโลก [1]

รังสีดวงอาทิตย์เมื่อเดินทางเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก ประกอบด้วยรังสีต่างๆ

ดังต่อไปนี้ [6]

1. รังสีตรง (Beam หรือ Direct Radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลกอยู่ในแนวของลำแสงของดวงอาทิตย์โดยมีทิศทางแน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง นั่นคือไม่เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของธาตุใดๆในชั้นบรรยากาศ ทำให้มีค่าความเข้มแสงสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก

2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่างๆในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายของแสงและบางส่วนจะสะท้อนลงสู่พื้นโลก ค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะน้อยกว่ารังสีตรงมาก

3. รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นสั้น (ไม่เกิน $3 \mu\text{m}$) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวที่ได้จากการแผ่รังสีของโลกและบรรยากาศ

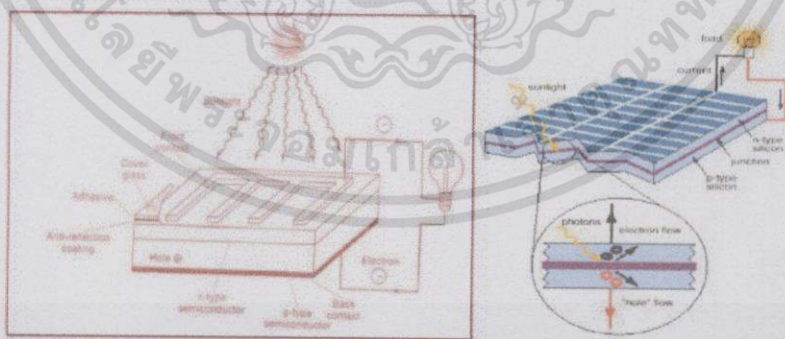
ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นระนาบในแนวนอน รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากท้องฟ้าเท่านั้น คือ เครื่องวงกลมของท้องฟ้านั่นเอง รังสีรวมในกรณีนี้เรียกว่า Global Radiation เมื่อผิวรับ แสงเป็นพื้นระนาบเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วย รังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจาย (ส่วนใหญ่เป็นการสะท้อน) จากผิวโลก รังสีรวมนี้เรียกว่า Total Radiation



รูปที่ 2.3 ลักษณะของการสะท้อนรังสีจากผิววัตถุแบบต่างๆ

2.2 หลักการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Device) ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Alexandre Edmond Becquerel ในปี ค.ศ. 1839 (พ.ศ. 2382) เป็นคนแรกที่ค้นพบว่าแสงตกกระทบบนวัตถุ จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยเขาได้ทดลองโดยใช้โลหะสองขั้วจุ่มลงในสารละลายไอออน แล้วให้แสงตกกระทบบนขั้วเดียว จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วทั้งสอง แสดงให้เห็นว่ากระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในวัตถุ เมื่อมีแสงกระทบบนขั้วหนึ่งพบว่าเมื่อเปลี่ยนสี (ความยาวคลื่น พลังงาน) ของแสง ปริมาณของกระแสไฟฟ้าก็ตามไปด้วยซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แสงหรือโฟตอนมีอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนของวัสดุสารกึ่งตัวนำได้รับแสงจนกระทั่งอิเล็กตรอนวงนอกสุดของวัสดุสารกึ่งตัวนำมีพลังงานมากพอที่จะทำให้หลุดจากวงโคจรได้ ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อโฟตอนตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว พลังงานจากโฟตอนจะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดซึ่งมีประจุเป็นลบหลุดออกจากวงโคจรแล้วเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันที่บริเวณรอยต่อด้านเอ็น (N-Type) ส่วนช่องว่างที่อิเล็กตรอนหลุดออกไป (Hole) ทำหน้าที่คล้ายประจุบวกจะเคลื่อนที่มายังรอยต่อด้านพี (P-Type) เมื่อมีการต่อครบวงจรจะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้า [7]



รูปที่ 2.4 ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกและ P-N Junction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Thin Film Solar Cell)

2. กลุ่มที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนากระบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูก และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

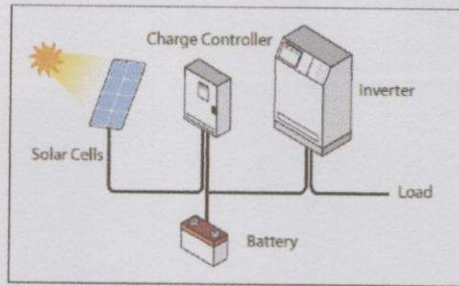


รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal) ผลึกรวม (Poly Crystal) และแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous)

2.4 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบโซลาร์พีวี (Solar PV)

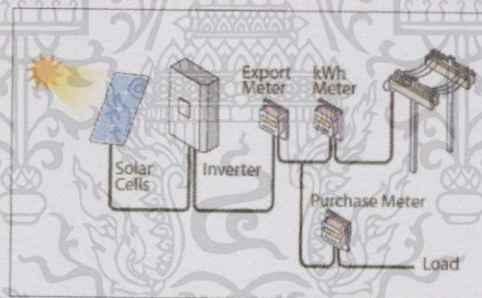
เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบโซลาร์พีวี (Solar PV) แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

2.4.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone Systems) ระบบได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง โดยมีหลักการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวัน ในช่วงเวลานี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จึงสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆกัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้นประจุที่ถูกเก็บสะสมไว้ในเวลากลางวัน จะถูกนำมาจ่ายให้แกโหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าแบบนี้ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แกโหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน ระบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone Systems) แสดงดังรูป 2.6



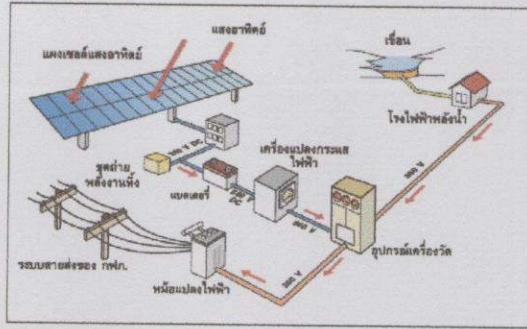
รูปที่ 2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

2.4.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected Systems) เป็นระบบที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) เข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง มีหลักการทำงานแบ่ง ออกเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จึงสามารถ ผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรงโดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินก็จะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ส่วนในช่วงเวลากลางคืนเซลล์ แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายก็จะถูกจ่ายให้แก่โหลด โดยตรง ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์ แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง



รูปที่ 2.7 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

2.4.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid Systems) เป็นระบบที่ถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าระบบอื่นๆ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ หรือพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตาม วัตถุประสงค์ เช่น ระบบแสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล มีหลักการคือ กลางวันจะ ผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลม จ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลด และประจุไฟฟ้าส่วนเกินไว้ใน แบตเตอรี่ ส่วนในกรณีที่ไม่มีแสงแดดหรือลม หรือในเวลากลางคืนจะใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการผลิต ไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้แก่โหลด และหากโหลดใช้พลังงานไฟฟ้ามากเกินไประบบจะหยุดทำงานโดยจะ เปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายและจะกลับมาใช้งานได้เมื่อสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามปกติที่ได้ ออกแบบไว้



รูปที่ 2.8 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid Systems)

2.5 จุดเด่นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

1. ต้นกำเนิดพลังงาน ในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นั้น ที่มาของพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งดวงอาทิตย์นั้นมีมาแล้วกว่า 4,000 ล้านปี และคาดการณ์ไว้ว่าจะอยู่ได้อีกประมาณ 4,000 ล้านปี ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด ต่างกับแหล่งพลังงานอื่นๆ ที่ใช้งานกันในปัจจุบันเช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หรือแม้กระทั่ง แร่ยูเรเนียม ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด และก่อให้เกิดมลพิษ
2. เป็นพลังงานสะอาด พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ต่างกับแหล่งพลังงานอื่นๆ ที่จะต้องเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน ถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งอาจเกิดมลภาวะทางเสียงอีกด้วย
3. สร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็กๆ เพื่อใช้งานกับเครื่องคิดเลข ขนาดกลางเพื่อใช้งานตามไฟสาธารณะ หรือกระทั่งโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ระดับ 100kW ขึ้นไป ซึ่งประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าโรงไฟฟ้านั้นจะเล็กหรือใหญ่ ต่างจากโรงไฟฟ้าระบบอื่นๆ ที่ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับขนาดของระบบ
4. สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทุกที่ ซึ่งปกติแหล่งผลิตไฟฟ้ากับจุดใช้งานจะอยู่คนละที่กัน โดยจะต้องมีระบบส่งจ่าย เช่น เเกะหรือภูเขา แต่เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อทำการติดตั้งแล้วจะสามารถใช้งานได้ในบริเวณที่ติดตั้งทันที ตัวอย่างเช่น ติดตั้งไว้บนหลังคา เพื่อใช้ไฟฟ้าเองในบ้าน เป็นต้น
5. มีอายุการใช้งานนาน เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นใช้ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ของสารกึ่งตัวนำซึ่งไม่มีการสึกหรอในทางทฤษฎี เพราะฉะนั้นตัวของมันเองแทบจะกล่าวได้ว่าอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงนั้น เนื่องจากเมื่อใช้งานจะต้องมีการต่อเซลล์เป็นแผง และมีระบบต่างๆ ซึ่งวัสดุที่เข้ามาในส่วนนี้จะส่งผลให้อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานที่จำกัด โดยประมาณแล้ว 20 - 30 ปี
6. ไม่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า
7. มีความปลอดภัย เนื่องจากเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ และไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 จุดด้อยของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1. ความเข้มของพลังงานขาเข้าต่ำ พลังงานจากแสงดวงอาทิตย์นั้นไม่มีวันหมดก็จริง แต่ความเข้มของรังสีที่สามารถรับได้บนผิวโลกนั้น ยังไม่สูงมาก ทำให้ในกรณีที่ต้องการเอาท์พุทสูง จำเป็นต้องใช้จำนวนและพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นไปด้วย

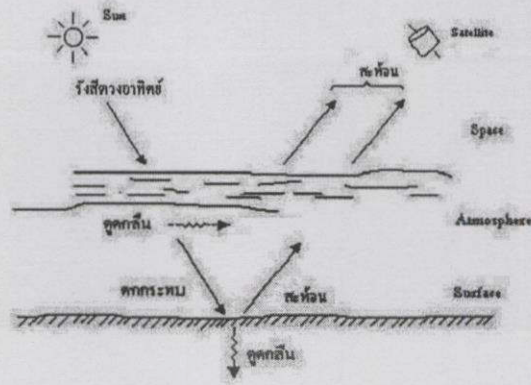
2. ปริมาณไฟฟ้าที่ได้แปรผันตามสภาพบรรยากาศเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เช่น ลม ความชื้น อุณหภูมิ หรือแม้กระทั่งปริมาณเมฆ ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศในแต่ละวันด้วย ดังนั้นการที่จะติดตั้งระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จึงต้องมีการคำนึงถึงสภาพอากาศในบริเวณที่ทำการติดตั้งด้วย

3. ไม่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้มากเนื่องจากระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นี้ พลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้นจะได้ก็ต่อเมื่อมีแสงอาทิตย์ซึ่งจะต้องมีความเข้มของแสงเพียงพอ และด้วยการที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นไม่สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยตัวมันเอง จึงจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่ซึ่งช่วยในการเก็บพลังงานไฟฟ้า ซึ่งหากต้องการที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าให้ได้มาก จึงจำเป็นต้องต้องมีแบตเตอรี่จำนวนมากหรือเปลี่ยนรูปพลังงานไปเก็บในพลังงานในรูปแบบอื่น

4. ต้นทุนในการก่อสร้างการแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบนี้ในปัจจุบันยังมีราคาสูง ระยะเวลาคืนทุนนาน

2.7 การเลือกแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม [8]

แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกและข้อมูลจากดาวเทียมจะมีพื้นฐานมาจากแบบจำลองของ Nunez ซึ่งเป็นแบบจำลองทางฟิสิกส์ที่ประยุกต์ใช้ได้ทั่วไปโดยไม่ขึ้นกับเวลาและพื้นที่ อีกทั้งเป็นแบบจำลองที่ไม่ยุ่งยากจึงเหมาะสมกับการคำนวณที่ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมจำนวนมากหลายๆปี แบบจำลองดังกล่าวจะพิจารณาว่า รังสีดวงอาทิตย์จากอวกาศภายนอกเมื่อเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศเข้ามายังพื้นผิวโลกจะถูกทำให้กระเจิงโดยเมฆ โมเลกุลอากาศ และฝุ่นละออง ซึ่งส่วนหนึ่งจะไปถึงหัววัดของดาวเทียม โดยตั้งสมมติฐานว่าเป็นการกระเจิงแบบแลมเบิร์ต (Lambertain Scatterer) ส่วนที่เหลือจะถูกโมเลกุลของอากาศ โอโซน ioni และฝุ่นละออง ดูดกลืนเป็นบางส่วน จนกระทั่งเหลือส่วนที่มาถึงพื้นโลกและถูกพื้นผิวโลกสะท้อนกลับขึ้นไปยังอวกาศโดยในช่วงที่เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศกลับขึ้นไปนี้จะพิจารณาว่า รังสีดวงอาทิตย์จะถูกกระเจิงโดยโมเลกุลของอากาศ เมฆ และฝุ่นละอองเท่านั้น และไม่มีการดูดกลืนโดยองค์ประกอบของบรรยากาศ เนื่องจากตัวกลางที่ดูดกลืนมีการอ้อมตัวจากการดูดกลืนในช่วงรังสีดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้ามายังพื้นโลกนอกจากนี้แบบจำลองจะพิจารณาผลของการสะท้อนกลับขึ้นมาของรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างพื้นผิวโลกกับอากาศและเมฆด้วย แบบจำลองดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนภูมิการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลอง

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศ และพื้นผิวโลกซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลจากดาวเทียมกับตัวแปรอื่นๆ ได้ดังสมการ ซึ่งค่าของตัวแปรทั้งหมดอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ดาวเทียมวัดได้

$$\alpha'_{EA} = \alpha'_A + \delta'_A + (1 - \alpha'_A - \delta'_A)^2 (1 - \phi'_0 - \phi'_w - \delta'_\phi) \alpha'_G \quad (2.1)$$

เมื่อ α'_{EA} เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก

α'_A เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศ

δ'_A เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของผืนละออง

ϕ'_0 เป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของโอโซน

ϕ'_w เป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของไอน้ำในบรรยากาศ

δ'_ϕ เป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของผืนละอองในบรรยากาศโลก

α'_G เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลก

จากสมการ (2.1) สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\alpha'_A = -(1 - 2CB) \pm \frac{\sqrt{(1-2CB)^2 - 4C(A+CB)^2}}{2C} \quad (2.2)$$

โดยที่ $A = \delta'_\alpha - \alpha'_{EA}$

$B = 1 - \delta'_\alpha$

$C = (1 - \phi'_0 - \phi'_w - \delta'_\phi) \alpha'_G$

จากนั้นสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศ (Atmospheric Transmittance) กับตัวแปรอื่นๆได้ดังสมการที่ (2.3)

$$\tau = \frac{(1-\alpha_A - \delta\alpha)(1-\phi_0 - \phi_w - \delta\phi)}{1-(\alpha_A - \delta\alpha)\alpha_G} \quad (2.3)$$

ความเข้มรังสีรวมรายวันที่ตกกระทบพื้นผิวโลกสามารถหาได้จากสมการ

$$H = \tau H_0 \quad (2.4)$$

โดยที่ τ เป็นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศโลก

H เป็นความเข้มรังสีรวมรายวันที่ตกกระทบพื้นผิวโลก

H_0 เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันนอกบรรยากาศของโลก

$$H_0 = 24I_{sc}E_0 \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) W_s \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi W_s \right] \quad (2.5)$$

เมื่อ I_{sc} เป็น Eccentricity correction factor ของทางโคจรของโลก

E_0 เป็น Sunset hour angle

δ เป็นมุม Declination

ϕ เป็นละติจูดของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณค่า H_0

2.8 การคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย

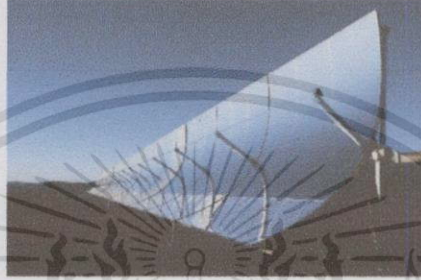
วิธีการในการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศ จะทำการแบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็นตารางสี่เหลี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับ pixel ของข้อมูลจากดาวเทียม จากนั้นจะใช้สมการ (2.2) และค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ในขั้นสุดท้ายจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศและค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกโดยใช้สมการ (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ ผลที่ได้จะเป็นค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของทุกเดือนครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย

2.9 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Technologies)

การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

2.9.1 แบบรวมแสง (A Linear Concentrating Solar Power) เป็นกระจกขนาดใหญ่เรียงต่อกันเป็นแถวซึ่งจะสะท้อนและรวมแสงอาทิตย์ไปยังท่อของเหลวซึ่งเป็นตัวรับความร้อน เพื่อผลิตไอน้ำนำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เทคโนโลยีนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ [7]

1. ระบบรางพาราโบลา (Parabolic Troughs Systems)



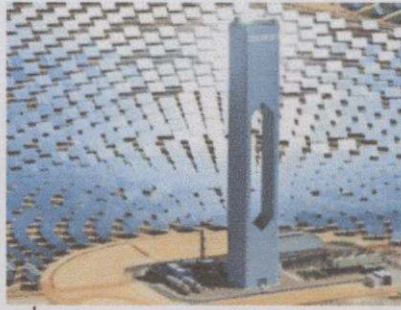
รูปที่ 2.10 การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบรางพาราโบลา

2. ระบบการสะท้อนแบบเฟรชเนล (Linear Fresnel Reflector System) ตัวสะท้อนจะเป็นแผ่นกระจกแบนเรียบหรือโค้งเพียงเล็กน้อยหลายอันสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังท่อของเหลว ในบางครั้งกระจกโค้งรูปพาราโบลาขนาดเล็กจะถูกติดตั้งไว้เหนือท่อคล้ายกับหลังคาเพื่อรวมแสงที่สะท้อนมาจากแผ่นกระจกที่อยู่ด้านล่างไปยังท่อของเหลว



รูปที่ 2.11 การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบการสะท้อนแบบเฟรชเนล

2.9.2 แบบหอคอย (Solar Power Tower or Central Receivers) แผงกระจกขนาดใหญ่ซึ่งเป็นกระจกแบนเรียบหรือโค้งเล็กน้อยจำนวนมากที่เรียกว่า เฮลิโอสแตท (heliostats) ซึ่งจะหมุนตามดวงอาทิตย์และสะท้อนแสงไปยังตัวรับความร้อนที่อยู่บนหอคอยเพื่อผลิตไอน้ำซึ่งไปขับเคลื่อนไอน้ำที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป [7]



รูปที่ 2.12 การผลิตไฟฟ้าโดยใช้หอสุริยะ

2.9.3 แบบจานสุริยะ (Solar Dish) ระบบนี้จะมีชิ้นส่วนหลักอยู่ 2 ส่วน คือจานรูปทรงพาราโบลาที่ติดตั้งอยู่บนระบบแกนหมุนตามดวงอาทิตย์ 2 แกน (Two-Axis Tracking System) ซึ่งทำหน้าที่รวมแสงไปยังเครื่องยนต์ความร้อนที่ติดตั้งอยู่ที่จุดโฟกัส [1,7]



รูปที่ 2.13 การผลิตไฟฟ้าโดยจานสุริยะ

2.10 ทฤษฎีระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม

ระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System ; ANFIS) ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อลบข้อจำกัดของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีความสามารถในการเรียนรู้ได้ มีโครงสร้างและการคำนวณระดับต่ำ ใช้เวลาในการประมวลผลต่ำ ซึ่งเหมาะกับการจัดการกับข้อมูลดิบ แต่ก็ยังมีข้อเสียก็คือ ในการเรียนรู้ที่มีความคลุมเครือ ไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใดจึงมีข้อสรุปออกมาดังที่ปรากฏที่เอาต์พุตของโครงข่าย

เพื่อที่จะแก้ลักษณะความคลุมเครือนี้ จึงได้นำฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เข้ามาช่วย โดยทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy Set Theory) ซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 ถึง 1 ในการอธิบายลักษณะของข้อมูลที่คลุมเครือได้ ใช้หลักการของเหตุผลเข้ามาเกี่ยวข้องในระดับสูงโดยใช้ตัวแปรทางภาษาที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ โดยจะบอกค่าระดับความชัดเจนในรูปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

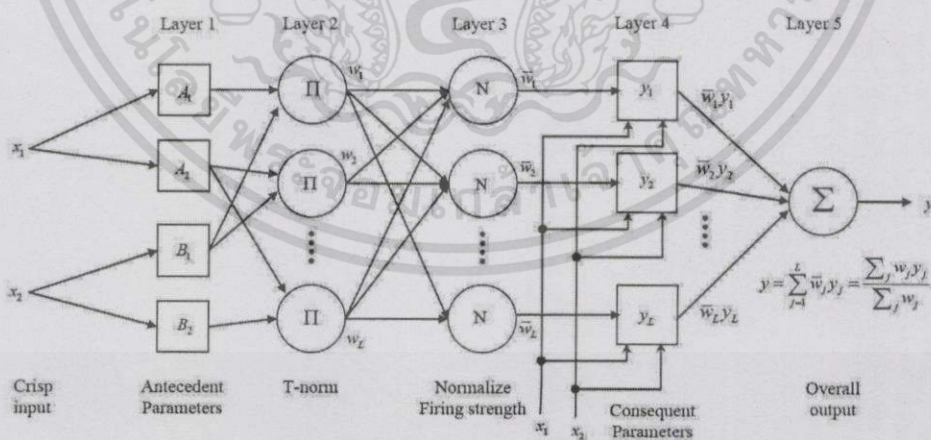
(Membership function) เพียงแต่ฟัซซีลอจิกไม่สามารถเรียนรู้ในการปรับแต่งโครงสร้างได้ด้วยตัวของมันเอง และยังคงพึ่งการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่มานั่งควบคุมในการคัดเลือกกฎที่จะนำมาใช้คำนวณ [11]

จากข้อจำกัดของโครงข่ายประสาทเทียมและฟัซซีลอจิก จึงได้มีนักวิจัยคิดค้นวิธีการผสมระบบและประยุกต์ระบบทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อจะแก้ปัญหาข้อด้อยของแต่ละวิธี กล่าวคือ เป็นการรวมความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวเองของโครงข่ายประสาทเทียม กับความรู้ของผู้เชี่ยวชาญและความสามารถในการให้เหตุผลของฟัซซีลอจิก กลายเป็นระบบประสานแบบอัจฉริยะ (Hybrid Intelligent System, HIS) มีชื่อวาระบบฟัซซีนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Fuzzy Neural Network) หรือที่เป็นที่รู้จักกันมากคือ ANFIS หรือ Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System เป็นระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม [12]

โดยส่วนประกอบหลักจะเป็นส่วนของฟัซซี คือ Fuzzification, Fuzzy inference และ Defuzzification และส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมคือในส่วนวิธีการ Back-Propagation เพื่อใช้ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ข้อตั้ง (Antecedent Parameter) และพารามิเตอร์ข้อตาม (Consequent Parameter) ซึ่งใช้ Sugeno fuzzy model เป็นระบบอนุมาน (Inference System) [11]

2.11 โครงสร้างของ ANFIS

First-order Takagi Sugeno Kang fuzzy model เป็นระบบที่สามารถสร้างกฎของฟัซซีด้วยการใช้เพียงเคอีนพุตและเอาท์พุต มีโครงสร้างในการทำงานแบ่งเป็น 5 ชั้น (layer)



รูปที่ 2.14 สถาปัตยกรรมของระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ [12]

โดยโนดที่เป็นสี่เหลี่ยมหมายถึงโนดที่มีพารามิเตอร์ปรับได้ ส่วนโนดที่เป็นวงกลมจะไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะนำกฎ แบบถ้า-ดังนั้น (If-Then Rule) ซึ่งจะตีความออกมาในรูปแบบภาษาของมนุษย์ คือ ถ้าข้อตั้ง ดังนั้นข้อตาม จากรูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างโครงสร้างอย่างง่ายของ ANFIS ซึ่งมี 2 อินพุต แต่ละอินพุตแบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซต เป็นข้อตั้ง คือฟัซซีเซตที่ 1 มีพารามิเตอร์เป็น A_1 และ A_2 และฟัซซีที่ 2 มีพารามิเตอร์เป็น B_1 และ B_2 ส่วนข้อตามมีพารามิเตอร์เป็น r_{j0} , r_{j1} และ r_{j2} มีตัวเชื่อมตรรกะคือ AND ตัวอนุมานคือ THEN และมีกฎ (Rule) จำนวน L กฎ ดังนี้

$$\text{Rule}_1: \text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_1 \text{ THEN } y_1 = r_{10} + r_{11}x_1 + r_{12}x_2$$

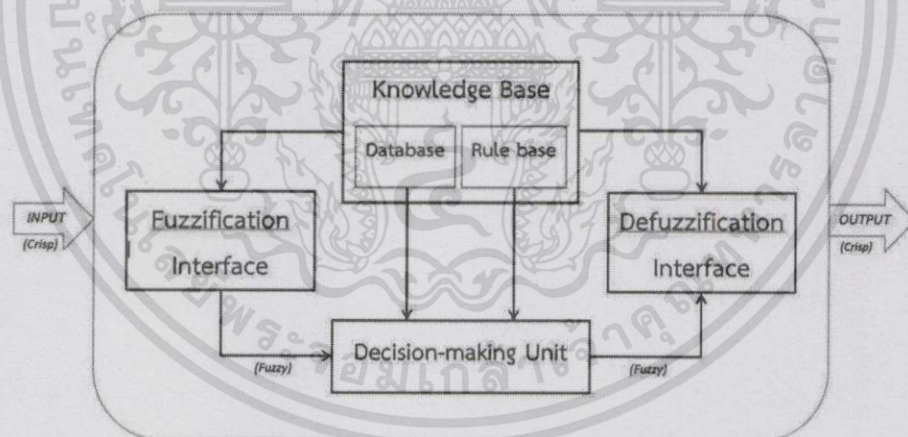
$$\text{Rule}_2: \text{IF } x_1 \text{ is } A_2 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_1 \text{ THEN } y_2 = r_{20} + r_{21}x_1 + r_{22}x_2$$

:

$$\text{Rule}_L: \text{IF } x_1 \text{ is } A_L \text{ AND } x_2 \text{ is } B_L \text{ THEN } y_L = r_{L0} + r_{L1}x_1 + r_{L2}x_2$$

ระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference Systems; FIS) หรือที่รู้จักในรูปของ Fuzzy rule based system โดยบล็อกไดอะแกรมจะประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ คือ [12]

1. Fuzzification Interface
2. Knowledge Based (KB)
3. Decision – Making Unit
4. Defuzzification Interface



รูปที่ 2.15 โครงสร้างพื้นฐานการประมวลผลของฟัซซีลอจิก [13]

1. Fuzzification Interface

ส่วนนี้มีหน้าที่ คือวัดค่าที่ได้จริงของตัวแปรอินพุต (Input Variable) จากนั้นจะทำการปรับอัตราส่วน (Scale Mapping) ให้กับค่าที่ได้ ซึ่งจะทำให้ช่วงค่าของตัวแปรอินพุตอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Universe of discourse; U) ที่ต้องการ แล้วจึงเปลี่ยนข้อมูลทาง

อินพุตเหล่านั้นไปเป็นตัวแปรทางภาษาที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าใจข้อมูลนั้นเป็นแบบฟัซซีเซตได้

2. Knowledge Based เป็นส่วนของฐานความรู้ ซึ่งประกอบด้วย

ก. Database หรือ ฐานข้อมูล ซึ่งภายในตัวมันจะมีฟังก์ชันต่างๆที่จำเป็นสำหรับการกำหนดกฎที่ใช้ในการควบคุมและจัดการ fuzzy data ใน Fuzzy Inference System (FIS)

ข. Rule Base เป็นตัวกำหนดเป้าหมายและวิธีดำเนินการในการควบคุม

3. Decision-Making Unit

ส่วนนี้นับว่าเป็นส่วนที่สำคัญของ FIS ซึ่งมีความสามารถที่จะจำลองการคิด และการตัดสินใจได้ใกล้เคียงกับมนุษย์ โดยอาศัยกฎต่างๆที่อยู่ใน Knowledge Based

4. Defuzzification Interface

ส่วนนี้จะทำหน้าที่กลับกันกับ Fuzzification Interface คือจะทำการปรับอัตราส่วนค่าตัวแปรเอาท์พุต ให้อยู่ในช่วง crisp set ใน Universe of discourse (U) ที่ต้องการ จากนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณซึ่งเป็นแบบ Fuzzy ไปเป็น Non-fuzzy output แล้วส่งออกไปควบคุมระบบตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ [11]

โครงสร้างหลักของ ANFIS แบ่งเป็น 5 ชั้นได้แก่ [12]

Layer 1: Antecedent Parameters

ชั้นพารามิเตอร์ข้อตั้ง พารามิเตอร์ของชั้นนี้สามารถปรับได้ ทุกโหนด j ของชั้นนี้จะ เป็นสี่เหลี่ยม โดยมีฟังก์ชันโหนด เป็นที่ทำการหาค่าฟัซซีจาก Crisp input(x) ผ่านทางฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{A_i}(x)$

$$O_j^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (2.6)$$

เมื่อ O_j^1 เป็นค่าความเป็นสมาชิกของพจน์ภาษา A_i โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{A_i}(x)$ เช่น ลักษณะฟังก์ชันรูประฆังคว่ำ

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^{2b_i}} \quad (2.7)$$

Layer 2: T-norm Operator

ขั้นการเชื่อมโยงค่าฟัซซีจากแต่ละมิติ ฟังก์ชันของโนดนี้เป็นแบบวงกลม หมายถึงไม่สามารถปรับพารามิเตอร์ โดยมีสัญลักษณ์เป็นเครื่องหมาย π เป็นขั้นที่ทำการเชื่อมโยงค่าฟัซซีจากแต่ละมิติหรือฟัซซีเซต โดยคุณสมบัติที่เข้าด้วยกันและส่งค่าฟัซซีผลคูณเป็นสัญญาณออก

$$w_j = \mu_{j1}(x_1) \times \mu_{j2}(x_2), \quad j = 1 \dots L \quad (2.8)$$

เมื่อ w_j เป็นค่า firing strength จากกฎแต่ละข้อ และ $\mu_{ji}(x_i)$ เป็นค่าฟัซซีจากเซตที่ i ของกฎข้อที่ j

Layer 3: Normalize Firing Strength

ฟังก์ชันของโนดนี้เป็นแบบวงกลม สัญลักษณ์ของโนดเป็นเครื่องหมาย N หมายถึงการทำ Normalize firing strength เป็นขั้นทำค่าฟัซซีผลรวมจากข้อตั้งทุกกฎให้เป็นหนึ่ง โดยค่าฟัซซี j จากกฎแต่ละข้อจะถูกหารด้วยผลรวมของค่าฟัซซีจากทุกกฎ

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{w_1 + w_2 + \dots + w_L}, \quad j = 1 \dots L \quad (2.9)$$

Layer 4: Consequent Parameters

เป็นขั้นของพารามิเตอร์ข้อตาม ฟังก์ชันของโนดนี้เป็นแบบสี่เหลี่ยม มีพารามิเตอร์ r_{j0} , r_{j1} และ r_{j2} สามารถปรับค่าได้ สำหรับค่าเอาต์พุตจากขั้นนี้หาได้จาก

$$O_j^4 = \bar{w}_j y_j = \bar{w}_j (r_{j0} + r_{j1} x_1 + r_{j2} x_2) \quad (2.10)$$

Layer 5: Overall Output

เป็นขั้นเอาต์พุตของโครงข่าย มีสัญลักษณ์ของโนดเป็นเครื่องหมาย Σ ฟังก์ชันของโนดนี้เป็นแบบวงกลม พารามิเตอร์ของโนดนี้จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำหน้าที่รวมสัญญาณเข้าด้วยกันเพื่อออกเป็นเอาต์พุตซึ่งหาได้จาก

$$O_1^5 = \bar{w}^T y = \sum_{j=1}^L \bar{w}_j y_j = \frac{\sum_j w_j y_j}{\sum_j w_j} \quad (2.11)$$

เมื่อ $\bar{w}^T = [\bar{w}_1 \bar{w}_2 \dots \bar{w}_L]$ เป็นค่าฟัซซีที่ผ่านวิธีนอมอลไลซ์จากกฎข้อ 1 ถึง L และ $y^T = [y_1 y_2 \dots y_L]$ เป็นส่วนข้อตามของกฎข้อ 1 ถึง L

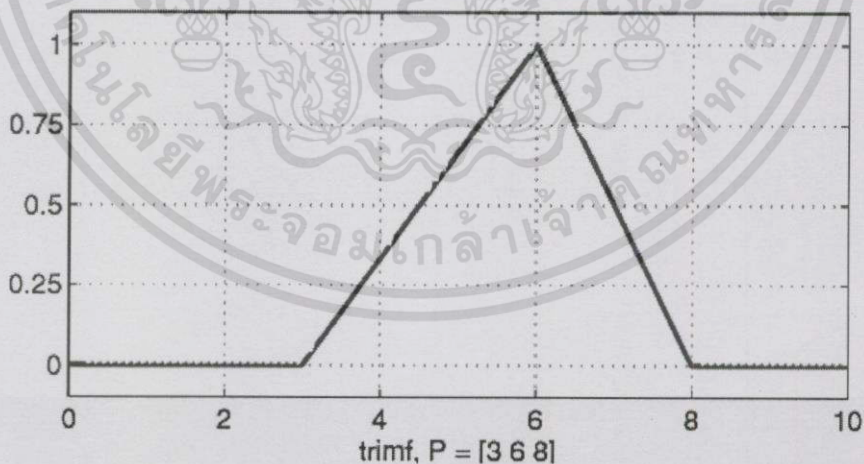
2.12 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) [14]

เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งานโดยแทนที่กับตัวแทนที่มีความคลุมเครือ เป็นส่วนที่สำคัญของพีชชี รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา มีทั้งแบบสมมาตรกันและไม่สมมาตร การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกจะต้องเลือกตามความเหมาะสมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา งานที่กำลังปฏิบัติหรือความต้องการ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้ใน ANFIS มีอยู่ 8 ชนิด ได้แก่

2.12.1 trimf (Triangular-shaped membership function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมเป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ x ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 3 ค่า คือ a , b และ c โดยค่า a และ c จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งหรือความกว้างของฐานสามเหลี่ยม ส่วนค่า b จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของยอด

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{for } x > c \end{cases} \quad (2.12)$$

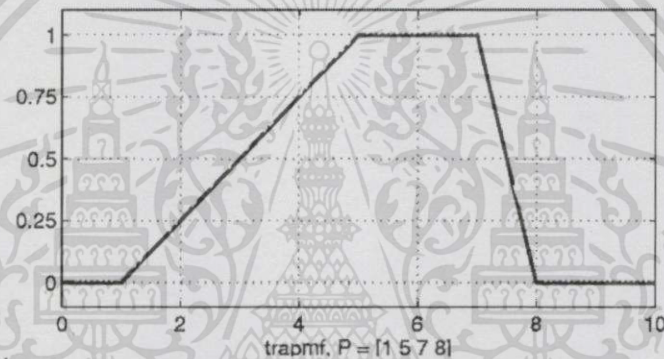


รูปที่ 2.16 ตัวอย่างของ Triangular-shaped membership function

2.12.2 trapmf (Trapezoidal-shaped membership function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ x ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 4 ค่า คือ a, b, c และ d โดยค่า a และ d จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งหรือความกว้างของฐานสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนค่า b จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งหรือความกว้างของด้านคู่ขนาน

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for } x > d \end{cases} \quad (2.13)$$

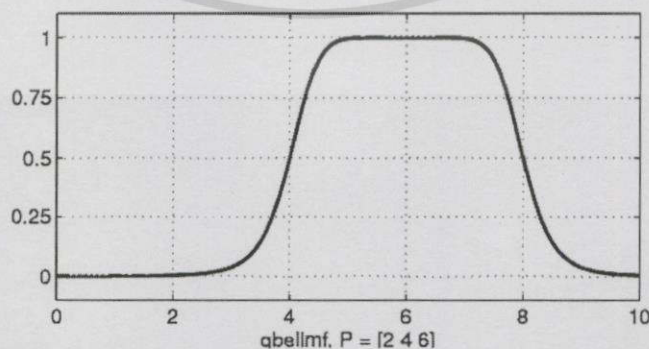


รูปที่ 2.17 ตัวอย่างของTrapezoidal-shaped membership function

2.12.3 gbellmf (Generalized bell-shaped membership function)

ฟังก์ชันระฆังคว่ำเป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ x ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 3 ค่า คือ a, b และ c โดยค่า c จะกำหนดตำแหน่งกลางของรูประฆังและค่า b มักจะมีค่าเป็นบวก

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.14)$$



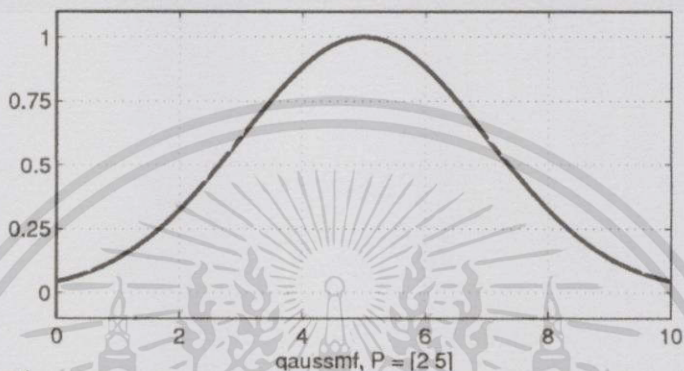
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของ Generalized bell-shaped membership function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.4 gaussmf (Gaussian curve membership function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนเป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ x ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ σ และ c โดยค่าคือ σ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า c คือค่าเฉลี่ยจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งจุดยอดของรูปกราฟ

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.15)$$

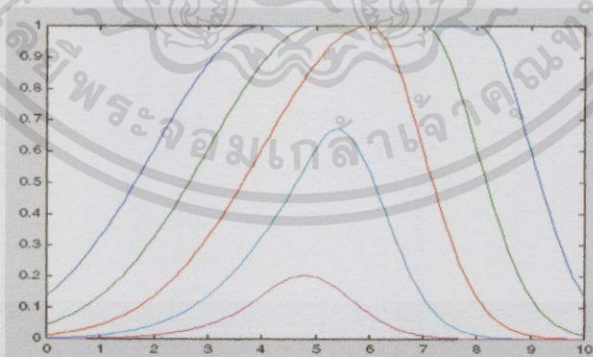


รูปที่ 2.19 ตัวอย่างของ Gaussian curve membership function

2.12.5 gauss2mf (Gaussian combination membership function)

เป็นการรวมฟังก์ชันเกาส์เซียน 2 ฟังก์ชันซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 4 ค่า คือ σ_1, c_1, σ_2 และ c_2 ค่า σ_1, c_1 จะเป็นตัวกำหนดกราฟฝั่งซ้าย และค่า σ_2, c_2 จะเป็นตัวกำหนดกราฟฝั่งขวา โดยที่ $c_1 < c_2$

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.16)$$

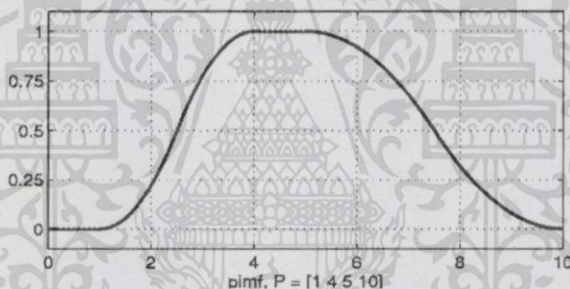


รูปที่ 2.20 ตัวอย่างของ Gaussian combination membership function

2.12.6 pimf (π -shaped membership function)

ฟังก์ชันพาย เป็นผลคูณของ ฟังก์ชันรูปตัวเอส และ ฟังก์ชันรูปตัวแซดขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 3 ค่า คือ a, b และ c โดยค่า a และ d จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งหรือความกว้างของรูปกราฟ ส่วนค่า b และ c จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของส่วนบนของกราฟ

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2 & \text{for } a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2 & \text{for } \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{d-c} \right)^2 & \text{for } c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2 \left(\frac{x-d}{d-c} \right)^2 & \text{for } \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ c & \text{for } x \geq d \end{cases} \quad (2.17)$$

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างของ π -shaped membership function

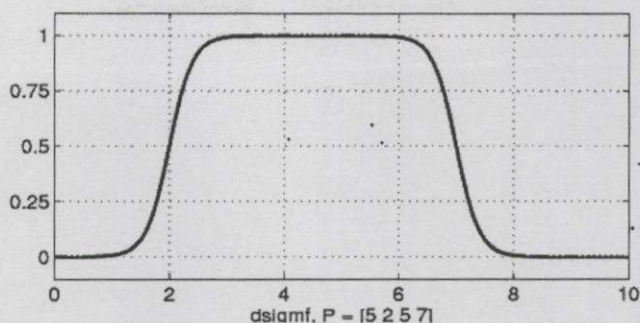
2.12.7 dsigmf (Difference between two sigmoidal functions membership function)

ฟังก์ชันผลต่างของฟังก์ชันซิกมอยด์ 2 ฟังก์ชัน โดยที่ฟังก์ชันซิกมอยด์ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ a และ c

$$f(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (2.18)$$

ดังนั้น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก dsig ก็จะใช้กับ พารามิเตอร์ 4 ค่า คือ a1, c1, a2, และ c2

$$f_1(x; a_1, c_1) - f_2(x; a_2, c_2) \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างของ Difference between two sigmoidal functions membership function

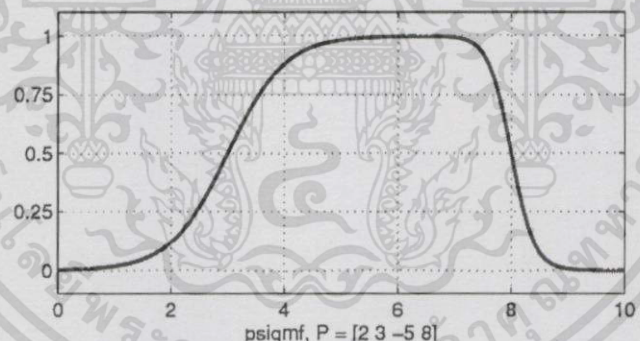
2.12.8 psigmf (Product of two sigmoidal membership functions)

ฟังก์ชันผลคูณของฟังก์ชันซิกมอยด์ 2 ฟังก์ชัน โดยที่ฟังก์ชันซิกมอยด์ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ a และ c

$$f(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (2.20)$$

ดังนั้น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก psig ก็จะขึ้นกับกับพารามิเตอร์ 4 ค่า คือ a_1 , c_1 , a_2 , และ c_2

$$f_1(x; a_1, c_1) \times f_2(x; a_2, c_2) \quad (2.21)$$



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างของ Product of two sigmoidal membership functions

2.13 การเรียนรู้ของ ANFIS

การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Hybrid Learning) เป็นการผสมผสานการเรียนรู้ระหว่างวิธีปรับตามความลาดชัน (Gradient Method) คือการปรับด้วยวิธีความลาดชันสูงสุดของค่าที่ผิดพลาดในส่วนของการปรับพารามิเตอร์ข้อตั้ง และวิธีประเมินกำลังสองต่ำสุด (Least Squares Estimate) วิธีปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยการประเมินค่ากำลังสองต่ำสุดในส่วนการปรับพารามิเตอร์ข้อตามในแต่ละรอบของการเรียนรู้แบบผสมผสานนี้แยกเป็นการคำนวณไปข้างหน้า (Forward Pass) และการคำนวณย้อนหลัง (Backward Pass)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปวิธีการเรียนรู้แบบผสมผสานใน ANFIS [12]

	การคำนวณไปข้างหน้า	การคำนวณย้อนกลับ
พารามิเตอร์ของข้อตั้ง	ถูกทำให้คงที่	ปรับด้วยวิธีความลาดชันที่สุด
พารามิเตอร์ของข้อตาม	ปรับด้วยวิธีประเมินกำลังสองต่ำสุด	ถูกทำให้คงที่
สัญญาณ	เอาต์พุตของโนด	อัตราผิดพลาด

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญหลง รอดแรงบุญ [11] ปัญหาน้ำท่วมเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศไทย เมื่อเกิดขึ้นย่อมสร้างความเสียหายชีวิตและทรัพย์สิน มาตรการหนึ่งที่สำคัญในการจัดการเพื่อรับมือกับปัญหาน้ำท่วม คือ การพยากรณ์ระดับน้ำท่วม ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ระดับน้ำในหลายรูปแบบ และแบบจำลอง ANFIS (Adaptive Neuro – Fuzzy Infernce System) เป็นหนึ่งในแบบจำลองที่ได้รับความสนใจ ในการศึกษาได้ใช้แบบจำลอง ANFIS พยากรณ์ระดับน้ำในพื้นที่ 2 ลุ่มน้ำ คือ 1.พื้นที่ลุ่มน้ำยมซึ่งมีขนาดเล็กและลาดชัน 2.พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งมีขนาดใหญ่และเป็นที่ราบ ทั้ง 2 พื้นที่ทำการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าคือ 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน นอกจากนี้ยังใช้เติมข้อมูลระดับน้ำที่ขาดหายในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำ ณ เวลาปัจจุบันจากสถานีข้างเคียง ผลที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง ANFIS จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากแบบจำลองนิเวรอลเน็ตเวิร์ค จากการศึกษาพบว่าแบบจำลอง ANFIS สามารถในการพยากรณ์ได้ดีใน 2 พื้นที่ แม้มีลักษณะทางธรรมชาติที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองนิเวรอลเน็ตเวิร์ค พบว่าแบบจำลองทั้งคู่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่แบบจำลอง ANFIS จะพยากรณ์ระดับน้ำช่วงสูงสุด และต่ำสุดได้ใกล้เคียงกว่า แบบจำลองนิเวรอลเน็ตเวิร์ค

A. Mellit, A. Hadj, Arab, N. Khorissi และ H. Salhi. [15] ข้อมูลความเข้มแสงดวงอาทิตย์เป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องทราบในงานที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน [3] แต่อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติไม่สามารถเก็บข้อมูลความเข้มแสงดวงอาทิตย์ได้ในทุกเวลาหรือพื้นที่ งานวิจัยชิ้นนี้ได้เสนอแนวทางที่จะมาช่วยในการทำนายความเข้มแสงดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS จากการนำข้อมูลที่เก็บมาในช่วงเวลา 9 ปี มาใช้ในการฝึกสอนแบบจำลอง และข้อมูลอีก 1 ปีในการทดสอบตัวแบบจำลอง เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการทำนายข้อมูลที่เหลือ โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายจะทราบได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีอยู่แล้วบางส่วนกับค่าที่แบบจำลองทำนายออกมา ซึ่งวิธีการที่ได้นำเสนอมาดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้กับทุกๆพื้นที่ในโลก

บทที่ 3

การพยากรณ์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ ANFIS

3.1 การพยากรณ์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ ANFIS

การที่มีการพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นั้น จะทำให้รู้ว่าจะมีความเหมาะสมที่จะติดตั้งการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในตำแหน่งใดของประเทศไทย ซึ่งการวิจัยนี้จำลอง ANFIS มาช่วยในการพยากรณ์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ แบบจำลอง ANFIS นั้นมีความสามารถในการเรียนรู้ได้เองและจัดการกับปัญหาของข้อมูลคลุมเครือ สามารถหาความสัมพันธ์ของค่าอินพุทที่ป้อนเข้าไปและค่าเอาต์พุทที่ออกมา แม้จะเป็นเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นก็ตาม ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการติดตั้งการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น หากจะทำการติดตั้งระบบโซลาร์ฟาร์มในจังหวัดที่สนใจ แต่ไม่ทราบว่าบริเวณนั้นจะมีค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์เป็นเช่นใด ดังนั้นจึงได้ออกแบบระบบการพยากรณ์นี้ขึ้น เพื่อนำไปประกอบการตัดสินใจถึงความคุ้มค่าที่จะติดตั้งระบบโซลาร์ฟาร์ม

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ [14]

การพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกต้อง ย่อมนำมาสู่ความน่าเชื่อถือและสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทย ซึ่งการพยากรณ์ที่ถูกต้องนั้นสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี โดยถ้าผลพยากรณ์ต่ำกว่าหรือสูงกว่าความเป็นจริง ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง จากการมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่คิด ทำให้เกิดการสูญเสียและสิ้นเปลือง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

ค่าละติจูด, ค่าลองจิจูด, ความสูงจากระดับน้ำทะเล, วันที่, เดือน, เวลา, ปี (พุทธศักราช), ความเร็วของลม, ความชื้น, ปริมาณน้ำฝน, อุณหภูมิของอากาศและสภาพแวดล้อม

แต่จากผลการวิจัย “การประยุกต์ใช้งาน ANFIS ในการประเมินหาค่าศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์ฟาร์มในประเทศไทย” [16] ทำให้ทราบว่าค่าอินพุทที่ทำให้เกิดความแม่นยำที่สุดคือ “ค่าละติจูดและค่าลองจิจูด” จึงได้ทำการออกแบบการพยากรณ์โดยใช้ค่าอินพุทหลักเป็นค่าทั้งสอง และมีค่าอินพุท “ปีและเดือน” เป็นค่าอินพุทเพื่อระบุช่วงเวลาของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แบบรายเดือน

3.3 ประโยชน์ของการพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

1. เพื่อใช้ในการวางแผนสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด และรองรับการขยายตัวของความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในอนาคต
2. เพื่อใช้ในการวางแผนเพิ่มพลังงานทดแทนในพื้นที่ที่เหมาะสม
3. เพื่อใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างระบบสายส่งและระบบจำหน่าย เพื่อรองรับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในอนาคต
4. เพื่อก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

3.4 การออกแบบแบบจำลอง ANFIS

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANFIS สำหรับการพยากรณ์ความเข้มแสงในการวิจัยนี้ จะทำการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ตัวอย่างข้อมูลเฉลี่ย 9 ปีตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2545 - 2553 แบบรายเดือน ของกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการฝึกสอน เพื่อการพยากรณ์ และทำเป็น GUI โดยในแต่ละรูปแบบมุ่งเน้นที่ค่าความคลาดเคลื่อน MAPE และเวลาในการฝึกสอนที่ต่ำ โดยจะปรับจำนวนและชนิดของฟังก์ชันสมาชิกไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ผลเป็นที่พอใจ โดยจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกที่จะใช้นั้น ปรับแค่บางอินพุตอยู่ระหว่าง 1-4 จำนวนสลับกันและชนิดของฟังก์ชัน 8 ชนิด โดยรูปแบบของแบบจำลอง ANFIS นั้นเนื่องจากสถานีกระจายทั่วประเทศโดยในปีพุทธศักราช 2545 มี 26 สถานี และเพิ่มขึ้นจนมี 38 สถานีในปีพุทธศักราช 2553 ซึ่งมีข้อมูลรวมทั้งหมด 3,293 ข้อมูล ซึ่งไม่สามารถใช้ข้อมูลทั้งหมดในการนำมาทำแบบจำลองได้ จึงได้ทำการแบ่งการทำแบบจำลองเป็นภาค 6 ภาค

ตัวอย่างข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สามารถดูได้ที่ภาคผนวกโดย จะแสดงเป็นชื่อสถานี ที่ตั้งของสถานี พิกัดที่ตั้งสถานี ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนในปีนั้นๆ (ปีพุทธศักราช 2545 - 2553)

ส่วนหลักในการเลือกสุ่มเลือกข้อมูลแต่ละภาคมาทำเป็นชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ นั้น ทำการสุ่มเลือกข้อมูลโดยใช้อัตราส่วนชุดฝึกสอนต่อชุดทดสอบเป็น 80 : 20 โดยยึดให้ชุดข้อมูลทดสอบเป็นหลัก โดยในปีพุทธศักราช 2545 - 2552 เป็นชุดฝึกสอน และปีพุทธศักราช 2553 มาเป็นชุดข้อมูลชุดทดสอบ

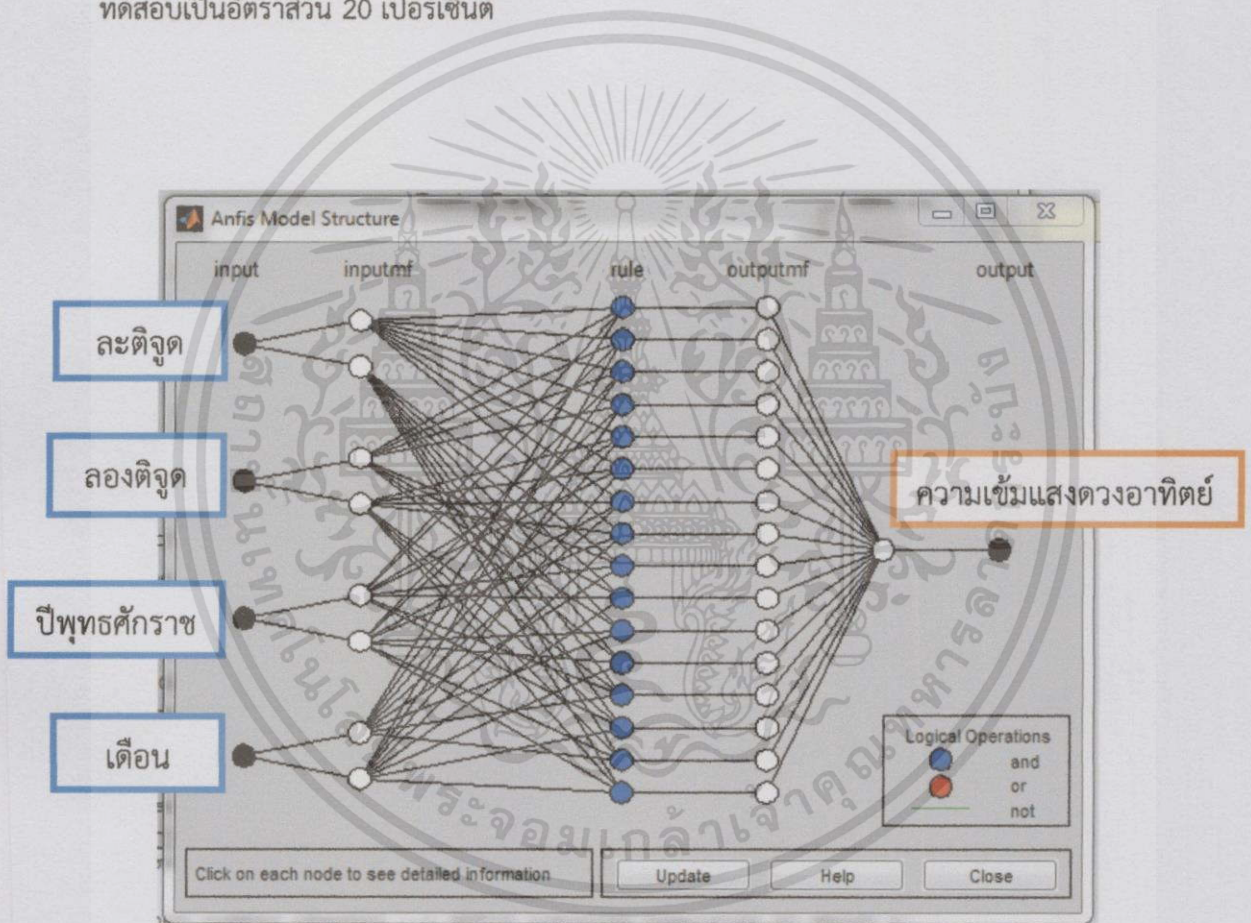
ยกตัวอย่างเช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีข้อมูลทั้งหมด 710 ชุดข้อมูล โดยเป็นปีพุทธศักราช 2553 ทั้งหมด 96 ชุดข้อมูล ที่เป็นข้อมูลสำหรับชุดทดสอบให้เท่ากับอัตราส่วนข้อมูล 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ใช้ข้อมูลชุดฝึกสอนแค่เพียง 384 ชุดข้อมูลซึ่งให้เท่ากับอัตราส่วนข้อมูล 80 เปอร์เซ็นต์ ในภาคอื่นๆ ก็ใช้หลักเกณฑ์เดียวกันในการเตรียมชุดข้อมูลเพื่อทำแบบจำลอง

โดยจะทำการทดสอบปรับเปลี่ยนจำนวนและชนิดของฟังก์ชันสมาชิก เมื่อจบการทดสอบเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมกับข้อมูลตัวอย่าง ก็จะมีการคัดเลือกโครงสร้างที่มีความ

เหมาะสมต่อข้อมูล เพื่อนำรูปแบบและโครงสร้างที่มีความเหมาะสมนั้นไปใช้ในการพยากรณ์ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในเดือนที่เหลือต่อไปในอนาคต

3.5 การจัดเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANFIS

ในโครงสร้างนี้จะกำหนดข้อมูลอินพุตทั้งหมด 4 ตัวแปร โดยเรียงตัวแปรดังนี้ “ละติจูด ลองจิจูด ปี เดือน” และจัดเรียงข้อมูลแต่ละสถานี โดยเรียงเป็นจังหวัดและรวบรวมกันเป็นภาค และแยกปีพุทธศักราช 2553 ออกมาเป็นชุดข้อมูลทดสอบตั้งหากแยกกับข้อมูลที่เหลือ และสุ่มเลือกข้อมูลที่เหลือที่ใช้เป็นชุดข้อมูลฝึกสอนมาเป็นอัตราส่วนข้อมูล 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบให้ชุดทดสอบเป็นอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS

การพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ โดยใช้แบบจำลอง ANFIS โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด คือชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ ซึ่งแบ่งวิธีการฝึกสอนและทดสอบเป็นดังนี้ เตรียมข้อมูลในแต่ละรูปแบบโดยแบ่งข้อมูลเป็น 80:20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับฝึกสอนและทดสอบตามลำดับ ฝึกสอนและทดสอบแบบจำลอง ANFIS โดยใช้ชุดข้อมูลตัวอย่าง การเปรียบเทียบผลในการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้การออกแบบสร้าง GUI ใช้รอบในการฝึกสอน (epochs) ที่ 300 รอบตลอดการทดลอง

เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลอง ANFIS ที่ใช้มีความสามารถมากหรือน้อยกว่าแบบจำลองชนิดอื่นอย่างไร โดยจะทำการเปรียบเทียบกันโดยดูจากค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ การเปรียบเทียบแบบจำลอง ANFIS ว่าโครงสร้างใดที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้นจะพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ว่ารูปแบบหรือโครงสร้างใดให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดแสดงว่ารูปแบบหรือโครงสร้างนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดย MAPE (Mean Absolute Percentage Error) พิจารณาได้จากสมการที่ 3.1

$$MAPE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - F_i}{O_i} \right| \quad (3.1)$$

เมื่อ O_i คือ ค่าจริงที่ได้จากการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา, F_i คือค่าที่ได้จากการทำนายโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัว และ n คือจำนวนข้อมูล

3.7 การฝึกสอนแบบจำลอง ANFIS

3.7.1 การหารูปแบบการป้อนข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง

การหารูปแบบที่เหมาะสมในการป้อนข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองนั้น จะพิจารณาจากค่า MAPE เป็นหลักว่ารูปแบบไหนให้ค่า MAPE ต่ำสุดในจำนวนและชนิดของฟังก์ชันสมาชิกเดียวกัน และมีการเปรียบเทียบปริมาณจำนวนชุดข้อมูลป้อนเข้า ว่ามีความสัมพันธ์กับเวลาและค่า MAPE อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เพราะจำนวนชุดข้อมูลป้อนเข้าจะมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยอิงจำนวนชุดข้อมูลนำเข้ามีจำนวนมาก

3.7.2 จำนวนฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function)

จำนวนฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) เป็นส่วนหนึ่งของการที่จะช่วยให้การพยากรณ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกที่เหมาะสมจะช่วยให้ผลการพยากรณ์ที่ได้ออกมาเป็นที่น่าพอใจ แต่การหาจำนวนที่เหมาะสมของฟังก์ชันสมาชิกจะหาได้อย่างไร สำหรับการศึกษาคำนี้ขออธิบายวิธีการหาไว้ 2 วิธีการดังนี้

3.7.2.1 การตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ (By Expert) [16]

การตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญนั้นเป็นวิธีหนึ่งของการคัดเลือกจำนวนฟังก์ชันสมาชิก โดยคำจำกัดความของผู้เชี่ยวชาญในที่นี้ คือ ผู้ที่มีประสบการณ์หรือคุ้นเคยกับงานที่จะนำมาใช้โดยตรง วิธีการนี้หากผู้ทำงานมิใช่ผู้เชี่ยวชาญ ก็จะใช้ข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์และตัดสินใจจากพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยยังไม่อาจเรียกได้ว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญ จึงใช้วิธีการคัดเลือกฟังก์ชันสมาชิกจากพื้นฐานข้อมูลที่มี โดยประกอบด้วยตำราและงานค้นคว้าวิจัยต่างๆที่มีคนเคยทำในอดีต โดยท้ายที่สุดก็สามารถหากฟังก์ชันที่คาดว่าจะเหมาะสมกับการทำงานได้

3.7.2.2 การสุ่มเลือก [16]

สำหรับการสุ่มเลือกสำหรับการศึกษารุ่นนี้ได้ใช้ในกรณีที่มีการนำข้อมูลเข้าเป็นไปตามหัวข้อ 3.7.1 ซึ่งการสุ่มเลือกนี้เราจะไม่สนใจว่าจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกจะมีกี่ตัวแสดงถึงอะไรบ้าง แต่เราจะมองที่ผลการพยากรณ์เป็นสำคัญโดยเราจะดูว่า จำนวนของฟังก์ชันสมาชิกจำนวนเท่าใดจึงจะให้ผลการพยากรณ์ที่น่าพอใจ และอยู่ในช่วงเวลาการคำนวณที่เหมาะสมแต่สำหรับการศึกษารุ่นนี้ได้เลือกใช้ปรับแค่บางอินพุตอยู่ระหว่าง 1-4 จำนวนสลับกันและชนิดของฟังก์ชัน 8 ชนิด โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่อมีฟังก์ชันสมาชิกแต่ละจำนวนจะมีพฤติกรรมเป็นอย่างไร

3.7.3 รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิก (Shape of Membership Function)

รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่จะทำให้การทำงานมีความสำเร็จ หากเลือกรูปร่างที่เหมาะสมให้กับฟังก์ชันสมาชิกแล้ว ผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองย่อมส่งผลที่ดีตามมา โดยทั่วไปแล้วไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวในการเลือกรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิก

3.7.4 การเปรียบเทียบผลเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมกับแบบจำลอง

เมื่อได้ทำการฝึกสอนแบบจำลองตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น และสิ้นสุดการฝึกสอนในแต่ละโครงสร้างก็จะทำการบันทึกค่า MAPE ของชุดทดสอบที่ดีที่สุดไว้ แล้วนำค่า MAPE ที่บันทึกไว้ไปเปรียบเทียบกันแต่ละโครงสร้างของแบบจำลอง เพื่อพิจารณาเลือกโครงสร้างของแบบจำลองที่เหมาะสม โดยดูจากค่า MAPE ของชุดทดสอบที่ให้ค่าต่ำที่สุด เพื่อนำโครงสร้างที่มีความเหมาะสมนั้นไปใช้ในการพยากรณ์ความเข้มข้นสีของดวงอาทิตย์ต่อไปในอนาคต

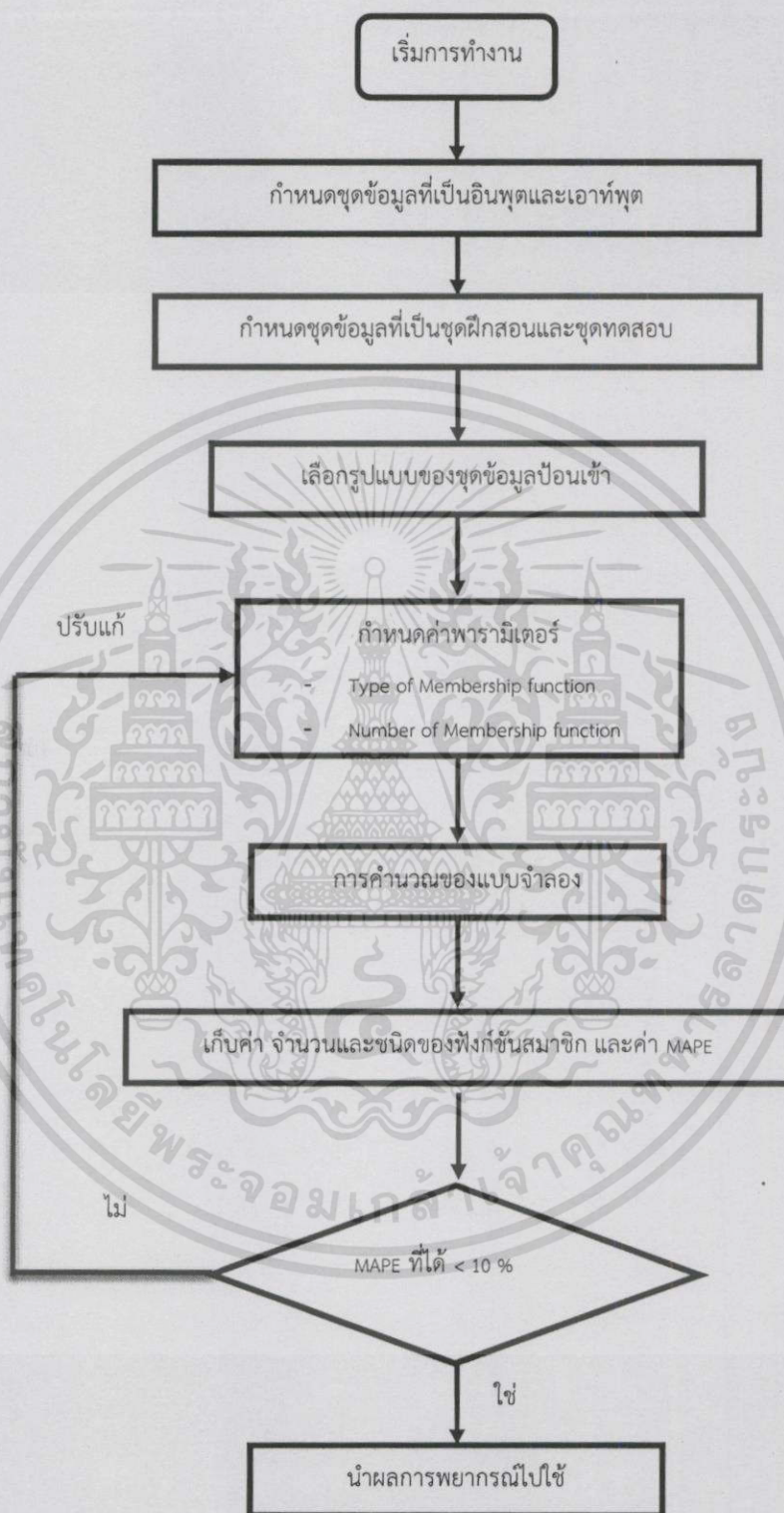
3.7.5 การเพิ่มรอบการฝึกสอนแบบจำลองให้เหมาะสมมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของแบบจำลองเพื่อดูว่าโครงสร้างใดให้ค่า MAPE ของชุดทดสอบที่ดีที่สุดแล้ว ก็จะมีการคัดเลือกโครงสร้างที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมต่อข้อมูลตัวอย่างดังกล่าวจากทั้งหมด 4 รูปแบบ เพื่อนำโครงสร้างที่มีความเหมาะสมนั้นไปใช้ในการพยากรณ์ความเข้มข้นสีของดวงอาทิตย์ที่เหลือต่อไป

3.8 สรุปขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบของแบบจำลอง ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1.) กำหนดข้อมูลที่ใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตให้กับแบบจำลอง ANFIS
- 2.) กำหนดชุดข้อมูลที่จะใช้เป็นชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ
- 3.) เลือกจำนวนฟังก์ชันสมาชิกและชนิดของฟังก์ชันสมาชิก
- 4.) ทดสอบข้อมูลตัวอย่าง โดยจะทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบของการนำข้อมูลเข้า, ได้เลือกใช้ปรับแก้บางอินพุตอยู่ระหว่าง 1-4 จำนวนสลับกันและชนิดของฟังก์ชัน 8 ชนิด
- 5.) กำหนดรอบการฝึกสอน โดยให้แต่ละโครงสร้างทำการฝึกสอนจำนวน 300 รอบต่อโครงสร้าง และแต่ละรอบของการฝึกสอน เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE ของชุดทดสอบ เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนในแต่ละโครงสร้าง
- 6.) ทำการคัดเลือกโครงสร้างที่มีความเหมาะสมต่อข้อมูลตัวอย่างดังกล่าว จากค่า MAPE เพื่อนำรูปแบบและโครงสร้างที่มีความเหมาะสมนั้นไปใช้ในการพยากรณ์ความเข้มข้นของดวงอาทิตย์ต่อไป ของแต่ละภาค
- 7.) ฝึกสอนโครงสร้างที่มีความเหมาะสมที่สุดเทียบกับภาคที่เหลือ
- 8.) เก็บบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้
 - ค่า MAPE ของชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ
 - เวลาที่ใช้ฝึกสอนในแต่ละโครงสร้าง
 - จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก (Numbers of Membership Function) และชนิดของฟังก์ชันสมาชิก (Type of Membership Function)
- 9.) ทำการทดลองและเก็บข้อมูลและสร้างขึ้นมา
- 10.) ปรับปรุง และสรุปผลต่างๆ



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของขั้นตอนการทดลองแต่ละภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ ANFIS

4.1 ผลการเรียนรู้ ANFIS

จากการพิจารณาการเรียนรู้ของ ANFIS พบว่ามีการปรับปรุงค่าความผิดพลาดให้มีความลดลงเรื่อยๆในแต่ละรอบการเรียนรู้ และเมื่อค่าความผิดพลาดลดลงถึงค่าหนึ่งแล้ว จะไม่มีการลดลงอีกถึงแม้จะเพิ่มรอบการเรียนรู้ก็ก็ตาม การเรียนรู้ของ ANFIS จะทำโดยการเลือกชนิดของอินพุต ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) ชนิดต่างๆ และจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกค่าต่างๆ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการทำนาย โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาด

การทดสอบการเรียนรู้ของ ANFIS เพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการเรียนรู้ของ ANFIS จะทำการทดลองจะทำหารูปแบบและโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด โดยนำข้อมูลชุดฝึกสอน และชุดทดสอบของแต่ละภาค มาทดสอบเปรียบเทียบกับรูปแบบและโครงสร้างอื่นๆ โดยใช้เกณฑ์ตามในบทที่ 3 กล่าวคือ ปรับแก้บางอินพุตอยู่ระหว่าง 1 - 4 จำนวนสลับกันและชนิดของฟังก์ชัน 8 ชนิด ซึ่งพิจารณาความเหมาะสมของรูปแบบและโครงสร้างจากค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE)

4.2 ผลการทดสอบ ANFIS เพื่อหาโครงสร้างที่มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูล

การทดสอบเพื่อหารูปแบบและโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของ ANFIS กับการพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลชุดทดสอบและเรียนรู้ ในแต่ละภาค จะมีตัวแปร 4 อินพุต เรียงดังนี้ ละติจูด ลองจิจูด ปี เดือนโดยนำตัวแปรมาทำการปรับเปลี่ยนชนิดของฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) และจำนวนของฟังก์ชันสมาชิก โดยใช้จำนวนรอบการฝึกสอน 300 รอบ เพื่อนำรูปแบบและโครงสร้างที่ดีที่สุดของแต่ละรูปแบบมาเปรียบเทียบกัน

จากการทดสอบหาความเหมาะสมของโครงสร้าง ANFIS ในแต่ละภาค ได้มีการนำโครงสร้างดังกล่าว มาแสดงด้วยตาราง ดังตารางที่ 4.1 – 4.6 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) และจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของแต่ละภาค ที่ได้จากการพยากรณ์โดย ANFIS ของข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ จากกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 4.1 ค่า MAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคเหนือ

Type Number	Tri	Trap	Gbell	Gauss	Gauss2	Pi	Dsig	Psig
2 2 2 2	9.08	7.61	16.99	21.33	7.16	7.3	7.25	7.24
1 2 2 2	15.25	3.44	3.49	3.54	2.99	3.42	3.6	3.6
2 1 2 2	15.25	4.44	8.23	5.36	4.2	4.49	5.42	5.42
2 2 1 2	15.25	2.67	2.83	2.41	2.29	2.76	2.69	2.69
2 2 2 1	15.25	1.54	2.42	1.36	1.87	1.9	1.79	1.79
3 2 2 2	3.42	4.1	3.68	3.5	3.91	4.1	3.82	3.82
2 3 2 2	3.29	4.79	3.24	3.125	3.54	4.55	4.21	4.21
2 2 3 2	8.22	8.35	45.42	37.3	6.63	6.8	34.89	33.41
2 2 2 3	9.02	7.47	20.25	23.93	7.28	7.35	6.98	6.98
4 2 2 2	2.8	4.06	3.12	3.33	3.83	3.99	4.01	4.01
2 4 2 2	2.64	2.91	2.74	3.83	3.65	3.07	2.52	2.54
2 2 4 2	8.02	8.04	33.6	35.86	6.27	6.97	8.82	8.96
2 2 2 4	9.01	8.5	19.81	21.68	7.3	7.36	6.9	6.9
3 3 3 3	2.39	2.89	2.86	2.46	2.8	2.93	2.35	2.35

ตารางที่ 4.2 ค่า MAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันตก

Type Number	Tri	Trap	Gbell	Gauss	Gauss2	Pi	Dsig	Psig
2 2 2 2	24.22	13.35	14.33	14.85	15.24	13.34	13.38	13.38
1 2 2 2	14.85	13.03	14.3	13.59	12.72	13.01	14.25	14.25
2 1 2 2	14.85	12.54	13.31	11.72	12.74	12.59	12.59	12.59
2 2 1 2	14.85	11.6	12.17	11.65	11.63	11.64	12.76	12.76
2 2 2 1	14.85	14.21	14.15	13.9	14.19	14.37	14.22	14.22
3 2 2 2	16.35	13.32	14.33	14.83	14.91	13.33	15.03	15.03
2 3 2 2	34.82	13.35	14.33	14.86	15.02	13.34	13.41	13.41
2 2 3 2	29.38	15.48	17.64	17.52	16.91	15.29	17.46	17.46
2 2 2 3	21.15	15.77	18.72	20.66	17.27	15.89	16.45	16.45
4 2 2 2	36.39	13.35	14.32	14.85	15.23	13.34	13.42	13.42
2 4 2 2	28.54	13.34	14.33	14.89	15.21	13.33	13.42	13.42
2 2 4 2	35.84	32.65	26.49	32.48	26.28	29.59	26.54	26.54
2 2 2 4	19.45	15.99	19.04	19.59	17.87	16.24	17.23	17.23
3 3 3 3	26.29	16.16	44.64	40.62	51.36	17.88	75	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่า MAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันออก

Type Number	Tri	Trap	Gbell	Gauss	Gauss2	Pi	Dsig	Psig
2 2 2 2	23.18	8.91	11	11.91	10.34	9.07	10	10.01
1 2 2 2	10.38	7.6	8.83	8.32	7.74	7.77	8.87	8.87
2 1 2 2	10.38	7.81	8.22	7.91	7.82	7.55	7.98	7.98
2 2 1 2	10.38	7.6	8.22	9.01	8.97	8.78	8.9	8.9
2 2 2 1	10.38	10.1	11.79	10.36	10.97	9.67	10.61	10.62
3 2 2 2	17.07	10.71	11.72	10.74	10.69	10.34	10.64	10.24
2 3 2 2	14.96	9.09	11.45	11.32	10.67	10.04	10.24	10.26
2 2 3 2	15.12	9.09	11.43	11.43	11.39	10.04	10.22	9.87
2 2 2 3	15.57	8.47	12.34	14.09	10.49	8.53	9.88	9.87
4 2 2 2	12.11	9.09	11.54	11.43	10.68	10.04	10.24	10.62
2 4 2 2	17.48	9.09	11.51	11.6	10.67	10.07	10.46	10.24
2 2 4 2	17.24	9.94	10.5	9.84	9.85	10.35	10	10.21
2 2 2 4	30.57	9.36	13.06	14.14	11.69	9.28	11.12	9.87
3 3 3 3	20.63	8.6	14.03	14.96	12.97	12.62	12.92	14.75

ตารางที่ 4.4 ค่า MAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Type Number	Tri	Trap	Gbell	Gauss	Gauss2	Pi	Dsig	Psig
2 2 2 2	10.26	6.22	6.46	6.92	6.35	6.165	6.16	6.15
1 2 2 2	9.31	6.09	6.53	6.4	6.33	6.2	6.52	6.52
2 1 2 2	9.31	6.19	6.41	6.36	6.33	6.2	6.43	6.43
2 2 1 2	9.31	5.42	5.58	5.58	5.64	5.46	5.73	5.73
2 2 2 1	9.31	8.74	8.9	8.73	8.73	8.75	8.64	8.64
3 2 2 2	47.96	6.34	6.65	7.24	6.54	6.38	6.53	6.49
2 3 2 2	12.27	6.87	6.77	7.32	6.67	6.52	6.45	6.45
2 2 3 2	14.1	6.49	6.83	6.75	7.2	6.62	6.97	6.97
2 2 2 3	145.34	5.9	6.08	5.97	5.96	5.91	5.93	5.93
4 2 2 2	106.12	6.87	6.74	7.03	6.84	6.84	6.75	6.76
2 4 2 2	13.19	6.88	6.69	6.83	6.51	7.11	6.44	6.43
2 2 4 2	11.96	7.33	7.74	8.27	7.42	7.37	7.57	7.54
2 2 2 4	6.6	6.35	6.59	6.24	6.1	6.07	6.07	6.12
3 3 3 3	13.5	6.93	11.35	13.14	8.02	6.46	7.82	7.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่า MAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคกลาง

Type Number	Tri	Trap	Gbell	Gauss	Gauss2	Pi	Dsig	Psig
2 2 2 2	32.96	10.21	9.02	10.28	11.37	9.99	10.055	10.064
1 2 2 2	12.84	8.99	10.21	9.50	9.07	9.05	9.61	9.62
2 1 2 2	12.84	9.68	9.41	9.20	8.88	8.98	9.58	9.58
2 2 1 2	12.84	7.52	7.63	7.53	7.510	7.34	7.69	7.69
2 2 2 1	12.84	13.75	13.52	12.76	14.98	14.31	13.09	13.09
3 2 2 2	9.20	10.43	9.13	10.43	10.37	10.23	8.08	8.09
2 3 2 2	9.23	10.43	8.80	10.90	10.63	8.66	8.06	8.10
2 2 3 2	29.81	10.78	12.25	11.37	10.10	10.71	11.48	11.48
2 2 2 3	8.88	9.03	9.25	9.04	8.92	8.50	8.42	8.39
4 2 2 2	9.19	10.39	8.83	10.68	10.49	10.20	8.11	8.09
2 4 2 2	16.06	10.43	8.87	10.70	10.58	8.66	8.09	8.09
2 2 4 2	17.60	11.24	11.66	12.06	11.29	11.44	11.52	11.48
2 2 2 4	8.74	10.97	11.03	13.06	10.75	10.22	10.38	10.39
3 3 3 3	24.05	9.52	9.94	13.83	10.47	9.02	19.29	13.91

ตารางที่ 4.6 ค่า MAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคใต้

Type Number	Tri	Trap	Gbell	Gauss	Gauss2	Pi	Dsig	Psig
2 2 2 2	18.30	18.32	10.94	11.59	9.61	10.93	9.98	9.98
1 2 2 2	16.51	10.03	11.59	10.88	9.19	11.08	11.66	11.66
2 1 2 2	16.51	10.99	12.31	11.57	10.17	11.07	12.16	12.16
2 2 1 2	16.51	9.59	10.99	10.31	9.39	10.54	11.44	11.44
2 2 2 1	16.51	11.71	12.16	12.52	11.61	11.59	12.01	12.01
3 2 2 2	22.24	9.84	10.94	12.06	9.44	11.87	10.47	10.43
2 3 2 2	25.63	10.02	10.75	13.71	9.17	11.22	10.02	10.03
2 2 3 2	104.72	13.97	13.96	14.26	13.22	12.85	12.18	12.23
2 2 2 3	68.29	10.59	10.72	11.86	9.64	9.79	9.60	9.60
4 2 2 2	20.26	10.45	11.93	14.05	12.34	11.88	11.81	11.76
2 4 2 2	33.22	10.36	14.01	15.93	12.92	12.09	12.37	12.27
2 2 4 2	61.06	13.10	12.86	13.92	13.52	12.07	12.51	12.48
2 2 2 4	43.13	10.48	14.04	14.83	9.73	10.06	9.66	9.62
3 3 3 3	11.67	16.55	17.87	19.99	16.45	16.80	17.16	16.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1-4.6 โครงสร้างของ ANFIS ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละภาค สรุปได้ดังนี้

ภาคเหนือ ใช้ข้อมูลจาก 9 สถานี ข้อมูลฝึกสอน 384 ข้อมูล ข้อมูลทดสอบ 93 ข้อมูล โครงสร้างที่ใช้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Gauss จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 2 1 ได้ค่า MAPE ของชุดทดสอบ เท่ากับ 1.36 %

ภาคตะวันตก ใช้ข้อมูลจาก 3 สถานี ข้อมูลฝึกสอน 144 ข้อมูล ข้อมูลทดสอบ 36 ข้อมูล โครงสร้างที่ใช้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Trap จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 1 2 ได้ค่า MAPE ของชุดทดสอบ เท่ากับ 11.60 %

ภาคตะวันออก ใช้ข้อมูลจาก 4 สถานี ข้อมูลฝึกสอน 255 ข้อมูล ข้อมูลทดสอบ 48 ข้อมูล โครงสร้างที่ใช้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Pi จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 1 2 2 ได้ค่า MAPE ของชุดทดสอบ เท่ากับ 7.55 %

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้ข้อมูลจาก 8 สถานี ข้อมูลฝึกสอน 614 ข้อมูล ข้อมูลทดสอบ 96 ข้อมูล โครงสร้างที่ใช้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Trap จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 1 2 ได้ค่า MAPE ของชุดทดสอบ เท่ากับ 5.42 %

ภาคกลาง ใช้ข้อมูลจาก 5 สถานี ข้อมูลฝึกสอน 240 ข้อมูล ข้อมูลทดสอบ 60 ข้อมูล โครงสร้างที่ใช้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Pi จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 1 2 ได้ค่า MAPE ของชุดทดสอบ เท่ากับ 7.34 %

ภาคใต้ ใช้ข้อมูลจาก 9 สถานี ข้อมูลฝึกสอน 420 ข้อมูล ข้อมูลทดสอบ 105 ข้อมูล โครงสร้างที่ใช้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Gauss2 จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 3 2 ได้ค่า MAPE ของชุดทดสอบ เท่ากับ 9.17 %

จากการทดสอบหาความเหมาะสมของโครงสร้าง ANFIS ในแต่ละภาค จะเห็นว่ามีภาคตะวันตกที่มีค่า MAPE ของชุดทดสอบเท่ากับ 11.60% ซึ่งเกินเกณฑ์ค่า MAPE ที่ยอมรับได้ที่ 10%

จึงลองหาวิธีแก้ที่ทำให้ค่า MAPE เพื่อให้สามารถนำมาใช้พยากรณ์ข้อมูลในภาคตะวันตก ให้กลับมาอยู่ในเกณฑ์อีกครั้ง ซึ่งเมื่อลองนำภาคเหนือ ที่มีค่า MAPE อยู่ที่ 1.36 % มารวมเป็นชุดข้อมูลเดียวกัน แล้วลองทดสอบการเรียนรู้ใหม่อีกครั้ง สรุปเป็นดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าMAPE ชนิดและจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกของภาคตะวันตก(รวมข้อมูลกับภาคเหนือ)

Type Number	Tri	Trap	Gbell	Gauss	Gauss2	Pi	Dsig	Psig
2 2 2 2	37.94	7.014	7.39	7.75	6.99	7.015	7.38	7.38
1 2 2 2	15.55	9.33	10.62	10.3	8.94	7.51	11.07	11.07
2 1 2 2	15.55	15.4	15.59	14.52	14.99	14.45	15.62	15.62
2 2 1 2	15.55	7.35	7.21	7.37	7.57	7.145	7.181	7.187
2 2 2 1	15.55	6.21	6.37	6.62	6.73	6.59	6.65	6.65
3 2 2 2	63.19	6.41	6.92	6.72	6.75	6.36	16.97	16.97
2 3 2 2	27.22	6.71	6.71	6.5	6.48	6.47	6.43	6.43
2 2 3 2	66.78	7.79	14.61	8.1	6.72	7.03	7.07	7.07
2 2 2 3	23.76	6.95	5.93	6.71	6.85	7	6.68	6.68
4 2 2 2	27.9	5.15	14.18	7.62	12.2	5.04	4.83	4.84
2 4 2 2	9.61	5.87	13.69	17.01	6.43	6.13	5.7	5.7
2 2 4 2	20.14	8.61	24.86	16.17	7.66	7.15	7.32	7.32
2 2 2 4	38.19	6.51	6.52	6.49	6.24	6.46	6.4	6.4
3 3 3 3	7.76	6.01	6.14	7.27	5.67	5.99	5.36	5.36

จากตารางที่4.7 โครงสร้างของ ANFIS ที่เหมาะสมที่สุด ได้ดังนี้

ภาคตะวันตก(รวมข้อมูลกับภาคเหนือ) ใช้ข้อมูลจาก 12 สถานี ข้อมูลฝึกสอน 568 ข้อมูล ข้อมูลทดสอบ 142 ข้อมูล โครงสร้างที่ใช้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Dsig จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 4 2 2 2 ได้ค่า MAPE ของชุดทดสอบ เท่ากับ 4.83 %

การออกแบบ Graphical User Interface (GUI)

5.1 แนะนำโปรแกรม MATLAB

โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณเชิงตัวเลขซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานในการแก้ปัญหาทาง ด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสาขาต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการศึกษาเพื่อใช้งานเพราะเป็นโปรแกรมในลักษณะ Interactive การเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก ตลอดจนมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมาย

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง (High-Level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วย การคำนวณเชิงตัวเลข กราฟิกที่ซับซ้อน และกราฟจำลองแบบ เพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ที่ชัดเจน ชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก Matrix Laboratory เดิมโปรแกรม MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง Matrix หรือเป็น Matrix Software ที่พัฒนามาจากโครงการชื่อ LINKPACK และ EISPACK

MATLAB ได้พัฒนามาด้วยการแก้ปัญหาที่ส่งมาจากหลายๆ ผู้ใช้มาเป็นระยะเวลาหลายปีจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมาย ในบางมหาวิทยาลัยได้มีการใช้โปรแกรม MATLAB เป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาด้านคณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ ตลอดจนในด้านอุตสาหกรรม ได้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือสำหรับการวิจัย วิเคราะห์และพัฒนา

โปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบ ที่เรียกว่า Toolbox โดยโปรแกรม MATLAB จะมี Toolbox ในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Toolbox) ระบบควบคุม (Control System Toolbox) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Toolbox) ฟัชซีลอจิก (Fuzzy Logic Toolbox) การติดต่อสื่อสาร (Communication Toolbox) สถิติ (Statistics Toolbox) และสาขาอื่นๆ อีกมากมาย โดยภายใน Toolbox แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

อย่างไรก็ตามการใช้งาน MATLAB ในการคำนวณคณิตศาสตร์บน M-File หรือการคำนวณใดๆที่เป็นฟังก์ชันพื้นฐาน คณะผู้จัดทำไม่ขอแนะนำในบริบทนี้ เนื่องจากหนังสือคู่มือการใช้งานในขั้นต้นมีให้อ่านในรูปแบบภาษาไทยบ้าง ถึงแม้ว่าจะยังมีจำนวนไม่มาก แต่ถึงอย่างไรก็ตามความเห็นของคณะผู้จัดทำ คู่มือที่ดีที่สุดที่จะช่วยให้ผู้สนใจใน MATLAB ก็คือ Help ภายในโปรแกรม MATLAB แม้กระทั่งผู้แต่งหนังสือภาษาไทยเองก็ยังไม่แปลมาจาก Help นี้ และนอกจาก Help ภายในโปรแกรม MATLAB คณะผู้จัดทำขอแนะนำให้หาอ่านได้จากการดาวน์โหลดไฟล์ Adobe Acrobat จาก www.mathworks.com

ดังนั้นคณะผู้จัดทำปริณญาณพนธ์นี้ จึงขอเน้นการนำเสนอไปในเรื่อง การใช้งานด้าน ปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งานทางรูปภาพ (Graphical User Interface :GUI) ซึ่งสามารถสร้างได้จาก GUI Development Environment (GUIDE) ภายในโปรแกรม MATLAB ซึ่งคณะผู้จัดทำเห็นว่ายังมี ผู้เขียนคู่มือในด้านนี้น้อยมาก และในทางปฏิบัติยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

อนึ่งเนื่องจากคณะผู้จัดทำได้ศึกษาและมีความถนัดในโปรแกรม MATLAB Version 7.10.0.499 (R2010a) ดังนั้นคณะผู้จัดทำจะขอนำเสนอจากโปรแกรม MATLAB ในรุ่นดังกล่าวข้างต้น ซึ่งถึงแม้ว่า MathWorks จะมี MATLAB รุ่นใหม่ๆออกมาแต่คณะผู้จัดทำยังคงเชื่อว่า โครงสร้างหลักๆ ของโปรแกรมก็ไม่น่าจะแตกต่างจากเดิมเท่าไรนัก

5.1.1 ความต้องการของระบบคอมพิวเตอร์ก่อนติดตั้งโปรแกรม MATLAB

โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows XP หรือ Windows 7 ซึ่งทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติอย่างน้อยดังนี้

- Any Intel or AMD x86 processor supporting SSE2 instruction set
- Windows XP Service Pack 3 ,Windows Server 2003 R2 with Service Pack 2 ,Windows Vista Service Pack 1 or 2 ,Windows Server 2008 Service Pack 2 or R2,Windows 7
- 1024 MB Ram minimum, At least 2048 MB recommended
- HDD 1 GB for MATLAB only or 3-4 GB for a typical installation

5.1.2 ข้อดีของโปรแกรม MATLAB

1. มีฟังก์ชันคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมาย ตลอดจนเราสามารถสร้าง ฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานได้
2. Algorithm พัฒนาได้ง่ายไม่ยุ่งยาก สามารถแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนได้ง่าย และรวดเร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่นๆ เช่น C, Fortran และ Basic เป็นต้น
3. มีโครงสร้างแบบจำลอง (Simulink) ซึ่งเป็น Package ที่เรานำไปสร้าง บล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ทดสอบ และประเมินผลระบบ Dynamic ต่างๆ ก่อนนำไปใช้งานจริงสามารถ วิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว
4. ด้านกราฟิก MALTAB สามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดีทั้งในด้านการแสดงภาพ ตั้งแต่สองมิติที่เป็น Rectangular Polar Stair และ Bar รวมทั้งภาพสามมิติในรูปแบบพื้นผิว (Surface) และระดับสูงต่ำ (Contour) ตลอดจนสามารถนำภาพมาต่อกัน และเก็บไว้เพื่อที่จะสร้างเป็น ภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย

5. ประยุกต์ใช้ในการสร้างรูปแบบ Graphical User Interface ได้โดยการเลือกใช้ object และเมนูต่างๆ โดยโปรแกรม MATLAB จะมีเครื่องมือให้เลือกใช้ เช่น เมนู รายการ ปุ่มกดและ fields object ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกนำไปใช้ในการทำงานปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

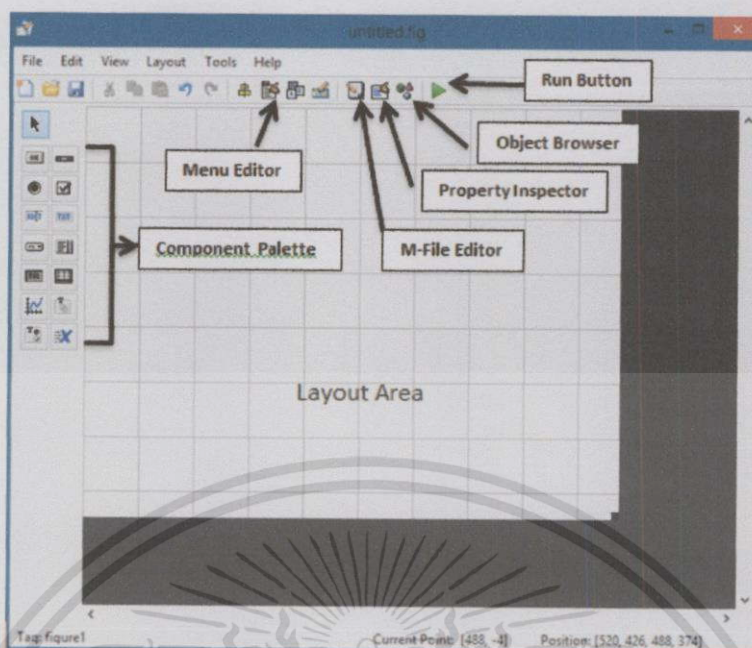
5.1.3 การเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB

เนื่องจากการเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB นั้นค่อนข้างที่จะมีเนื้อหาที่มากอยู่พอสมควร อยู่ที่ว่าผู้ศึกษามีความสนใจในเรื่องใดของโปรแกรม MATLAB ดังนั้นจึงไม่ขอเขียนในปริมาณที่มากนัก แต่จะขอแนะนำให้ศึกษาต่อเพิ่มเติม โดยในปัจจุบันมีผู้เขียนตำราที่เป็นภาษาไทยไว้ให้ศึกษากันในเรื่องต้นค่อนข้างมากดังเช่น

5.1.4 การปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ทางรูปภาพ (Graphical User Interface)

โปรแกรม MATLAB นอกจากจะมีฟังก์ชันในการคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้ว ยังมีฟังก์ชันทางด้านการเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้โปรแกรมหรือ ผู้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์กับโปรแกรม หรือ ผู้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเรียกเป็นภาษาอังกฤษทั่วไปว่า Graphical User Interface หรือ GUI แต่ทาง The Math Works, Inc. ได้พัฒนาและเรียกฟังก์ชันนี้ว่า GUIDE ซึ่งย่อมาจาก GUI Development Environment

GUIDE ได้จัดหาชุดเครื่องมือ (Tools) สำหรับการสร้าง GUIs ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ใช้งานได้ง่ายสำหรับการทำโครงร่างกราฟิก และการทำโปรแกรมปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน โดยในหัวข้อนี้จะขอนำสู่ GUIDE เมื่อได้ทำการเปิด GUI ใน GUIDE ซึ่งจะแสดงหน้าต่างโครงร่างสำหรับผู้สร้าง (Layout Editor) ซึ่งแผงการควบคุมสำหรับเครื่องมือทั้งหมดของ GUIDE หน้าต่างโครงร่างสำหรับผู้สร้าง (Layout Editor) จะทำให้สามารถทำการวาง Layout ได้อย่างง่ายและมีความรวดเร็ว ด้วยการลากและนำวัตถุมาวาง (Dragging Components) เช่น Push Button ,Pop-Up Menu, Check box ,Editable Text ,Frame ,Pop-up List ,Check box ,Toggle Button ,Slider และStatic Text เป็นต้น มายังพื้นที่ที่ต้องการสร้างโครงร่าง ภาพดังรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็น Layout Editor



รูปที่ 5.1 องค์ประกอบของวินโดวเพื่อใช้งาน GUI

5.2 การออกแบบ GUI (Designing the GUI)

หัวข้อนี้จะนำเสนอตัวอย่างที่จะแสดงให้เห็นว่าเราจะสร้างการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ผ่านทางรูปภาพ (GUI) โดยใช้ GUIDE ของ MATLAB โดยต่อไปนี้เป็นภารกิจลำดับขั้นตอนการทำงานที่ผ่านทั้งหมด ในโครงการครั้งนี้ ลำดับการทำงานบางขั้นตอน อาจจะใช้เวลาการทำงานต่อเนื่อง คาบเกี่ยวกับการทำงานอื่นๆ

1. ศึกษาวิธีการใช้งาน การเขียนโปรแกรม GUI ด้วย MATLAB
2. ทดลองเขียนโปรแกรม GUI ศึกษา m file ที่เขียนโดยผู้มีประสบการณ์ โดยเริ่มทดลองเขียนโปรแกรมง่ายๆ
3. เขียนโปรแกรมรับค่าและแสดงผลค่าตัวแปรที่สำคัญ ที่ใช้ในการพิจารณาระบบต่อไป
4. ศึกษาหาความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับ MATLAB GUIDE ในเรื่องของความหมายประโยชน์วิธีการใช้งาน
5. ออกแบบ Function ที่จำเป็นในส่วน GUI สำหรับใช้ในการเชื่อมการทำงานต่างๆ ในส่วนการคำนวณหลักของโปรแกรมเข้ากับส่วนที่เป็น user interface ให้เหมาะสม
6. เขียน Function ในส่วนของ GUI ให้สามารถรับค่า Input ตัวแปรที่ต้องใช้ในการคำนวณ
7. เรียกใช้โปรแกรมส่วนคำนวณ และ แสดงผล Output ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เมื่อโปรแกรมสามารถใช้งานได้แล้ว ก็จำเป็นต้องตรวจสอบการทำงานทุกขั้นตอน ตั้งแต่การใส่ค่าข้อมูล การเชื่อมโยงกับโปรแกรมส่วนคำนวณ การแสดงผลข้อมูลที่ได้หลังจากการคำนวณเพื่อให้เกิดข้อผิดพลาดที่น้อยที่สุด

5.2.1 แนวคิดเรื่องการทำงานของ GUI ที่จะทำการออกแบบ

โปรแกรมการพยากรณ์ความเข้มข้นของดวงอาทิตย์ในประเทศไทยมีแนวคิดพื้นฐานก่อนการออกแบบดังนี้

1. ตัวโปรแกรมสามารถรับค่าอินพุต ได้แก่ เดือน ปี ละติจูดและลองจิจูดของจังหวัดที่ต้องการพยากรณ์ได้ โดยสามารถเลือกละติจูดและลองจิจูดของจังหวัดได้เองทั้ง 77 จังหวัด ซึ่งได้แสดงละติจูดและลองจิจูดของจังหวัดที่ต้องการพยากรณ์ ไว้ใน GUI ไว้เป็นที่เรียบร้อย ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถพิมพ์พิกัด ละติจูดและลองจิจูดได้ด้วยตนเอง หรือถ้าต้องการทราบค่าความเข้มข้นที่ได้จากการพยากรณ์ โดยโครงข่ายประสาทเทียมของจังหวัดอื่นโดยคร่าวๆ ก็สามารถทำได้โดยเลือกจาก Pop Up Menu ซึ่งมีจังหวัดที่แยกไว้ตามภาคไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้วอีกด้วย

2. เมื่อผู้ใช้เลือกเดือนและปีที่ต้องการทำนายค่าความเข้มข้นของดวงอาทิตย์แล้ว สามารถเชื่อมโยงไปยัง ค่า Weight และ Bias ของเดือนที่เลือกได้ ซึ่งจะทำได้ค่าความเข้มข้นของดวงอาทิตย์ออกมาตรงตามเดือนและปีที่ผู้ใช้เลือก

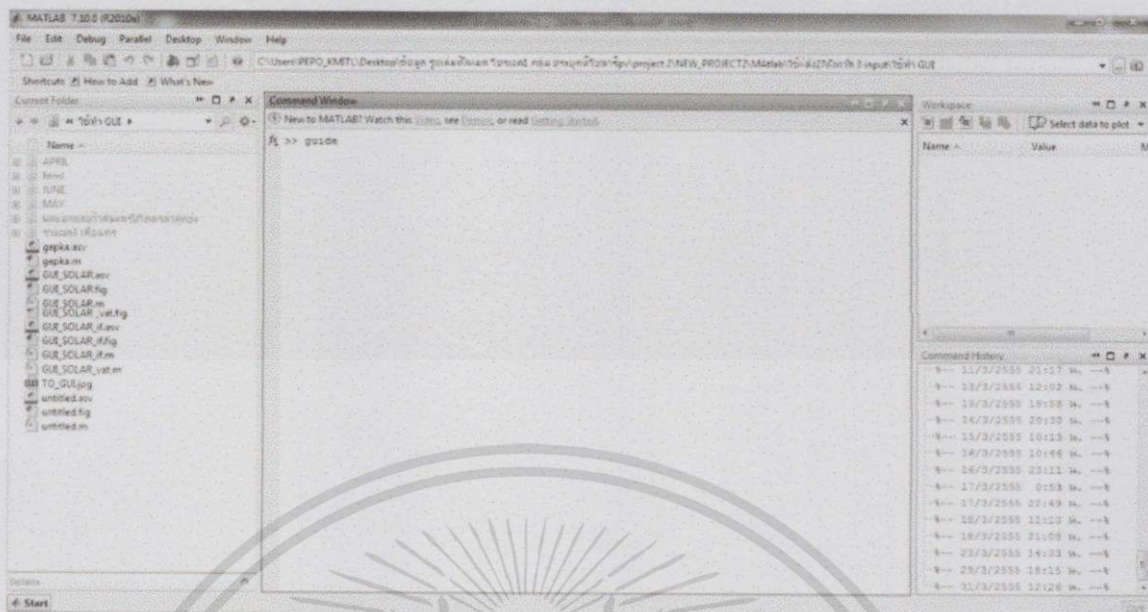
5.2.2 การสร้างโครงร่าง GUI (Laying Out the GUI)

ในหัวข้อการสร้างโครงร่าง GUI นี้จะแสดงให้เห็นว่า การสร้างส่วนประกอบของ GUI เช่น การควบคุมการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ (User Interface Control) ได้แก่ ปุ่มกด (Push Button) Pop-up Menu ข้อความ(Static Text) และอื่นๆ ว่าสามารถสร้างได้อย่างไร ซึ่งโดยภาพรวมสามารถอธิบายได้ดังนี้

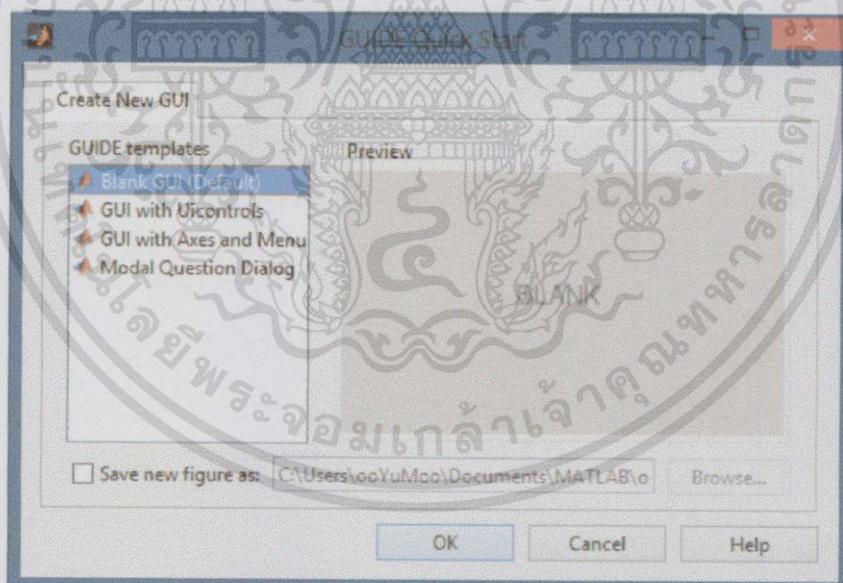
5.2.2.1 การเปิด GUI ใน Layout Editor

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการเปิด GUIDE โดยการพิมพ์คำว่า guide ที่ MATLAB prompt ดังรูปที่ 5.2 การเข้าไปที่วินโดว์ Layout Editor จะเป็นวิธีที่รวดเร็ว และสะดวกมาก ซึ่งเมื่อพิมพ์และกดปุ่ม Enter ที่ Keyboard ก็จะปรากฏดังรูปที่ 5.3

เมื่อวินโดว์ GUIDE Quick Start ได้ถูกเปิดขึ้นให้สร้าง GUI ไฟล์ใหม่ โดยการเลือก Blank GUI (Default) จาก Tab ที่ชื่อว่า Create New GUI แล้วคลิกปุ่ม OK



รูปที่ 5.2 การเปิดวินโดว์ Layout Editor โดยพิมพ์คำสั่ง guide ผ่านทาง Command Windows

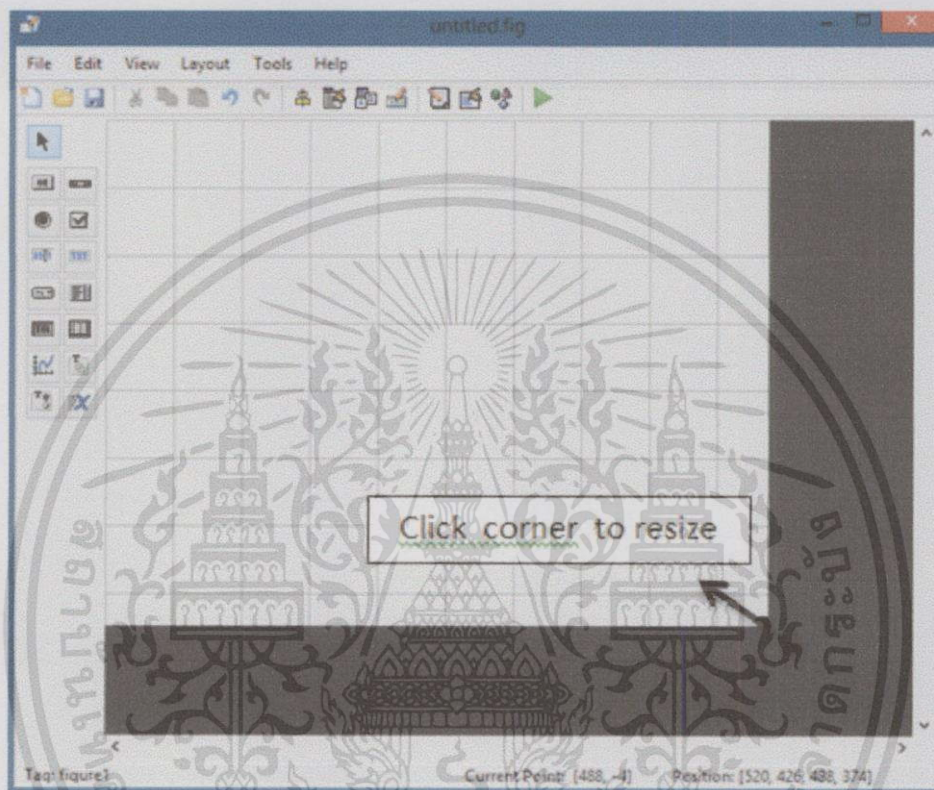


รูปที่ 5.3 วินโดว์ GUIDE Quick Start

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2 การตั้งขนาดของพื้นที่ใช้งานในการออกแบบ

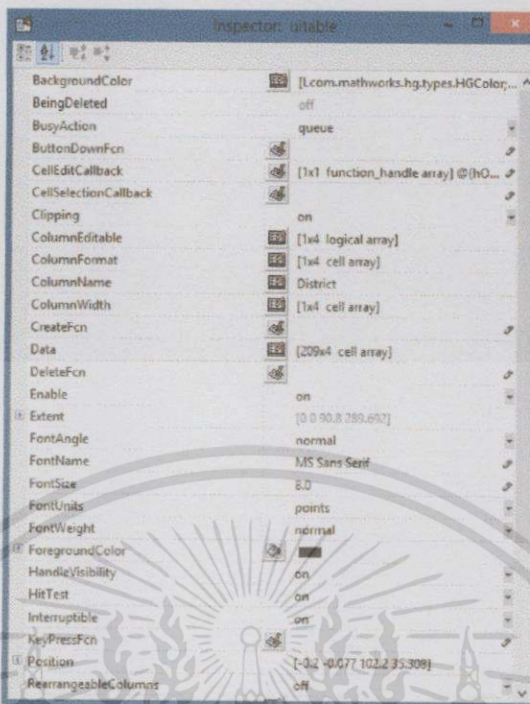
เมื่อ Layout Editor เปิดขึ้นมาให้คลิกที่ File และเลือก New เพื่อเปิดไฟล์ GUI ใหม่ การตั้งขนาดของพื้นที่ใช้งานของ GUI จะใช้การเพิ่มและลดขนาดบนพื้นที่ๆเป็น Grid โดยการคลิกซ้ายที่มุมขวาล่างและย่อขยายโดยการลากเมาส์ไปมา ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงวิธีการเพิ่ม-ลด ขนาดของพื้นที่ใช้งาน

ถ้าต้องการตั้งค่าตำแหน่งของGUI ให้มีตำแหน่งที่แน่นอน สามารถทำได้ดังนี้

1. เลือก Property Inspector จากเมนู View หรือดับเบิ้ลคลิกบนพื้นที่ของ GUI
2. เลือกปุ่มบน Pop-up Menu ที่ชื่อว่า Unit ภายในหน้าต่าง Property Inspector เพื่อเปลี่ยนหน่วยการวัดเป็น นิ้ว (Inch) ดังรูปที่ 5.6
3. เลือกเครื่องหมายบวกบนหัวข้อชื่อ Position เพื่อขยายหัวข้อย่อยตามรูปที่ 5.6 เมื่อขยายแล้วจะพบ x y width และ height
4. จากนั้นใส่ค่าที่ต้องการทางด้านขวาดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 วินโดว์ Property Inspector เพื่อการตั้งค่าของ Figure สำหรับ GUI

5.2.2.3 การสร้างองค์ประกอบ

เลือก Object ต่างๆจาก Palette และทำการ Drag มาวางยังพื้นที่ที่เป็น Layout นอกจากนั้น ยังสามารถที่จะเพิ่มหรือลดขนาดของ Object ต่างๆ ด้วยการคลิกที่มุมของ Object ต่างๆเหล่านั้น ซึ่งในที่นี้จะดึง Object ต่างๆ ให้ออกมาตามโครงร่างที่ได้ออกแบบไว้ก่อนหน้านี้ ดังรูปที่ 5.7 โดยรายละเอียดของแต่ละ Object ที่สำคัญ มีดังนี้

1. Check box อาศัยการทำงานโดยการเปลี่ยน state การทำงาน
2. Editable Text ใช้สำหรับใส่ค่าข้อมูลได้ทั้งค่าตัวเลข และข้อความ
3. Frame ไม่ได้มีบทบาทสำคัญในการทำงานใดๆ แต่ใช้สำหรับจัดแบ่ง GUI อื่นๆ ให้อยู่เป็นกลุ่มๆ ใน frame เดียวกัน
4. Pop-up Menu เป็น GUI ที่มีตัวเลือกให้ผู้ใช้ได้เลือกข้อมูลที่กำหนดให้เท่านั้น ส่วนใหญ่จะเป็นข้อความ แต่อาจเป็นตัวเลขก็ได้
5. List box มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Pop-up Menu มาก มีตัวเลือกที่กำหนดไว้ให้เท่านั้น
6. Push Button เป็นปุ่มกดที่มีการใช้งานบ่อยๆ เมื่อกดแล้วจะเกิดการดำเนินงานที่ตั้งไว้
7. Radio button เป็นปุ่มที่ทำงาน 2 state คล้ายๆ กับ Check box แต่ต่างกันตรงที่ Radio-button มักจะใช้งานหลายๆตัวพร้อมกัน เป็นตัวเลือกให้แก่ผู้ใช้ จะมีเพียงตัวเดียวที่มี state ต่างจากตัวอื่น ๆ ในกลุ่ม
8. Toggle Button มีการทำงานเหมือน Check box แต่มีรูปร่างคล้าย ๆ Push

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

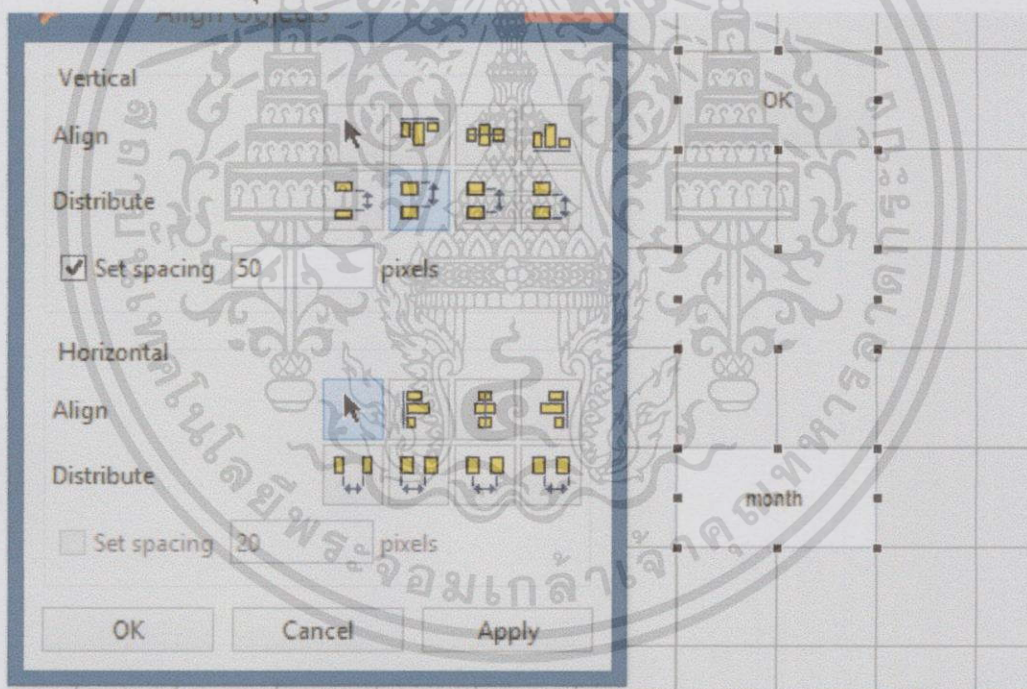
Button แต่ต่างตรงที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ state ความแตกต่างของปุ่มได้ เพราะตัวปุ่มมีลักษณะยุบตัวลงเมื่อถูกกด และกลับคืนรูปเดิมเมื่อถูกกดอีกครั้ง

9. Static Text ใช้สำหรับแสดงข้อความ ที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่ออธิบายการทำงานของ GUI หรือการทำงานของโปรแกรม หรือบอกสิ่งที่เป็นสำหรับผู้ที่ได้รับรู้

5.2.2.4 การจัดองค์ประกอบ

GUIDE นั้นสามารถที่จะจัดการกับระยะห่างระหว่าง Object บน Layout ได้ โดยใช้เครื่องมือ Alignment Tool ซึ่งในตัวอย่างนี้จะแสดงการจัดระยะห่างระหว่าง ปุ่มดูค่า W&B จอผลลัพธ์ และปุ่ม OK โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือก Object ทั้ง 3 โดยการกดปุ่ม Ctrl และคลิก Object เหล่านั้น
2. เลือก Align Object จาก Tool Menu
3. ทำการจัดระยะห่าง ซึ่งแสดงดังรูป 5.6 โดยใส่ระยะห่างตามแนวตั้ง 50 pixels
4. กดปุ่ม OK



รูปที่ 5.6 แสดงวิธีการจัดการระยะห่างของ Object

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การทำโปรแกรม GUI (Programming the GUI)

การทำโปรแกรมนั้น โดยรวมแล้วจะต้องทำการกำหนดชื่อ Tag ให้แก่ Object ต่างๆ ในหน้าต่าง Properties Inspector ซึ่งเปิดโดยการ ดับเบิลคลิกที่ Object นั้นๆ จากนั้นก็ไปเขียน Code ให้สัมพันธ์กับ Object ต่างๆ โดยการกดไปที่ปุ่ม M-file Editor เมื่อเสร็จสิ้นการเขียน Code เป็นที่เรียบร้อยแล้วก็จะเป็นการ Run Program เพื่อดูความสมบูรณ์ของ Code ที่ได้เขียนขึ้นมาว่า สามารถใช้งานได้ตามความต้องการหรือไม่

5.2.4 การ Save และการ Run โปรแกรม (Saving and Running the GUI)

ภายหลังจากการเขียนฟังก์ชัน Callback ก็สามารถที่จะ Run GUI ได้ โดยการเลือก Run จาก Tool Menu หรือคลิกปุ่ม Run บน GUIDE Toolbar

5.3 แนะนำโปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

5.3.1 ขอบเขตและเงื่อนไขสำหรับการออกแบบด้วยโปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

ความสามารถของโปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย สามารถที่จะพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ได้ดังต่อไปนี้

1. โปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ภายในประเทศไทย สามารถพยากรณ์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ได้โดยอาศัย อินพุต 4 อินพุต ได้แก่ เดือน ปี ละติจูด และลองจิจูด
2. โปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ภายในประเทศไทย ให้ผู้ใช้เลือกกรอกค่าเดือน ปี ละติจูด และลองจิจูด ได้ด้วยตนเอง หรือเลือกค่าละติจูด ลองจิจูด ตามจังหวัดทั้ง 77 จังหวัดในประเทศไทย
3. โปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ภายในประเทศไทย ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้ เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน

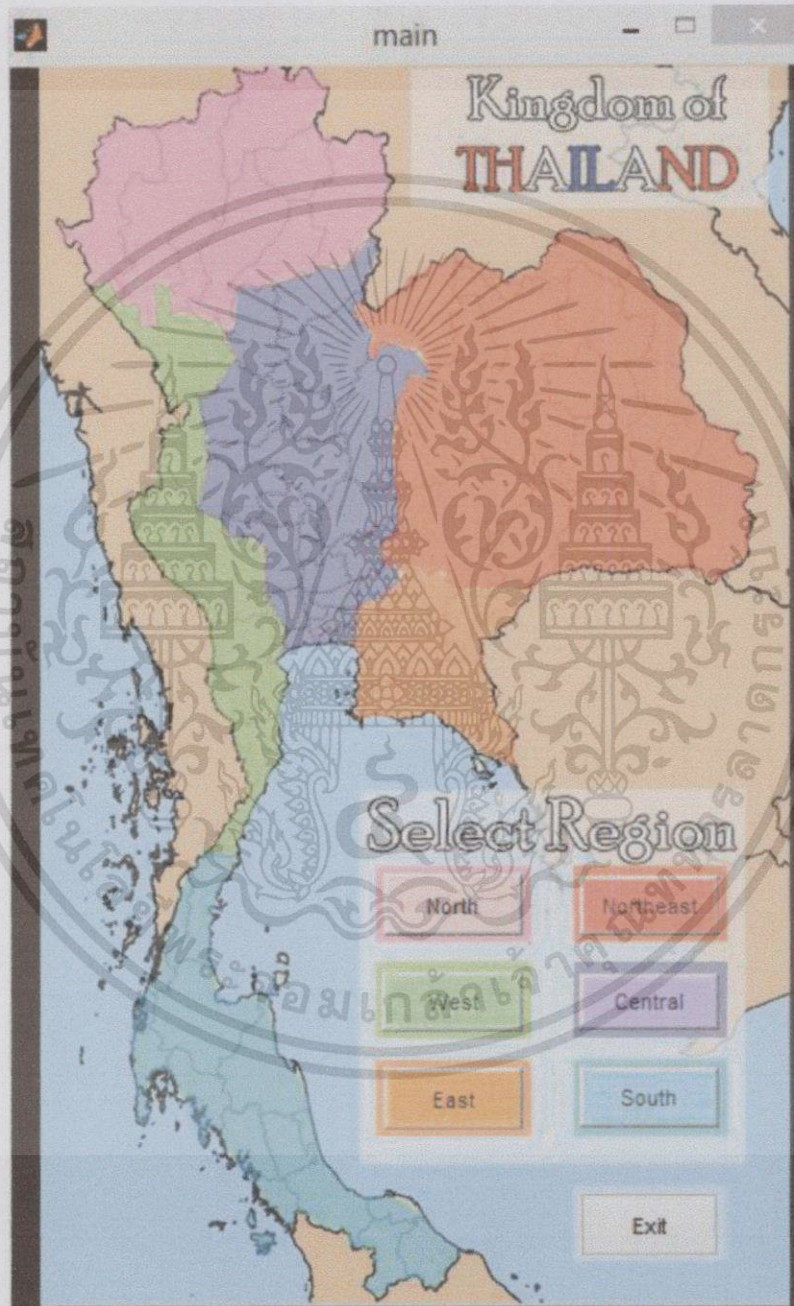
5.3.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

โปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย มีส่วนประกอบที่เป็นวินโดว์แบ่งตามรูปแบบการแสดงผล 2 วินโดว์ ได้ดังนี้

1. วินโดว์หลัก (Main Windows)
2. วินโดว์การพยากรณ์ (Forecasting Windows)

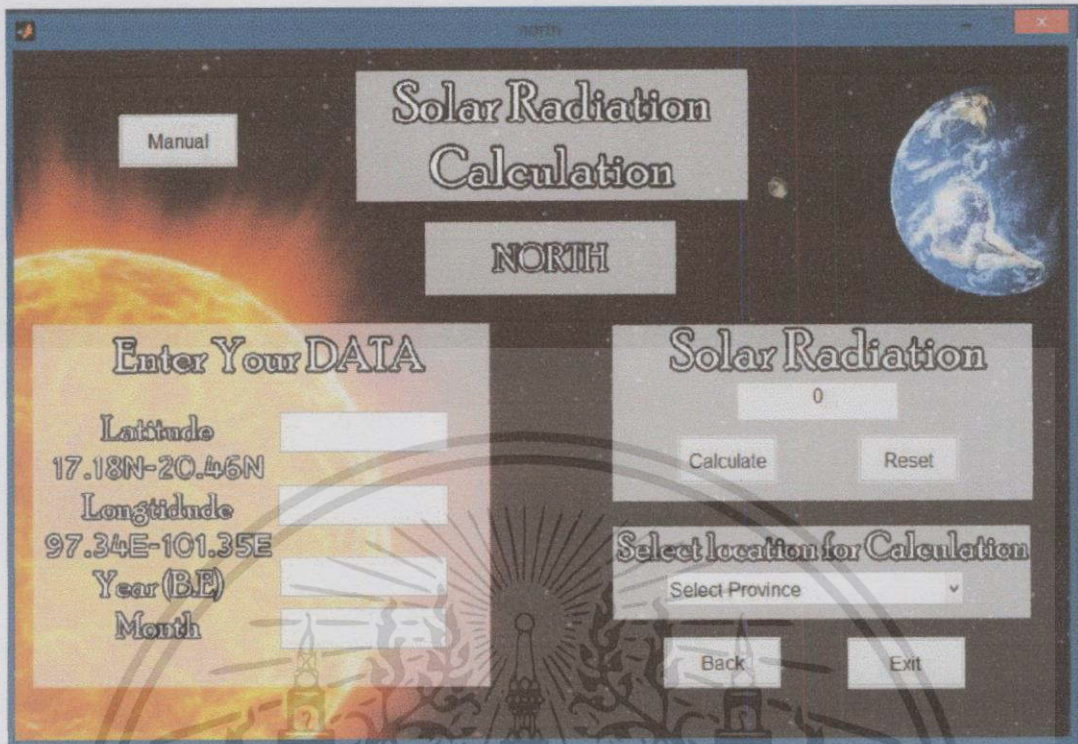
5.3.2.1 Main Windows

Main Windows หรือ วินโดว์หลัก เป็นวินโดว์แรกที่จะแสดงขึ้นมาเมื่อเปิดตัวโปรแกรมพยากรณ์ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย และเป็นวินโดว์ที่ใช้เชื่อมต่อไปยังวินโดว์การทำนาย (Forecasting Windows) ดังรูป 5.7



รูปที่ 5.7 Main Windows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 Forecasting Windows

5.3.2.2 Forecasting Windows

Forecasting Windows หรือวินโดว์การพยากรณ์ เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย ได้จากวินโดว์นี้ ดังรูป 5.8 โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1. การกรอก ละติจูดและลองจิจูด ด้วยตนเอง ซึ่งสามารถกรอกละติจูดและลองจิจูดของพื้นที่ในประเทศไทยที่ต้องการพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อใช้เป็นอินพุทของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป
2. การเลือกจังหวัดทั้ง 77 จังหวัดแยกตามภาค ที่มีการแทรกละติจูดและลองจิจูดไว้ในตัวโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานตัวเลือกนี้ เมื่อไม่ทราบค่าละติจูดและลองจิจูดของพื้นที่ในประเทศไทยที่ต้องการพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์
3. กรอกเดือนและปีที่ต้องการและการพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยแบบเฉลี่ยรายเดือน โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ได้ในเดือนที่ต้องการ
4. หน้าจอแสดงผลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่พยากรณ์ได้และปุ่มที่ต้องกดเพื่อให้โปรแกรมทำการพยากรณ์ โดยเมื่อได้ทำการใส่ ละติจูด ลองจิจูด เลือกเดือนและปีที่ต้องการพยากรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และกดปุ่ม Calculate โปรแกรมก็จะทำการประมวลผลและแสดงค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ตามเงื่อนไขที่ได้เลือกไว้ข้างต้นออกมา

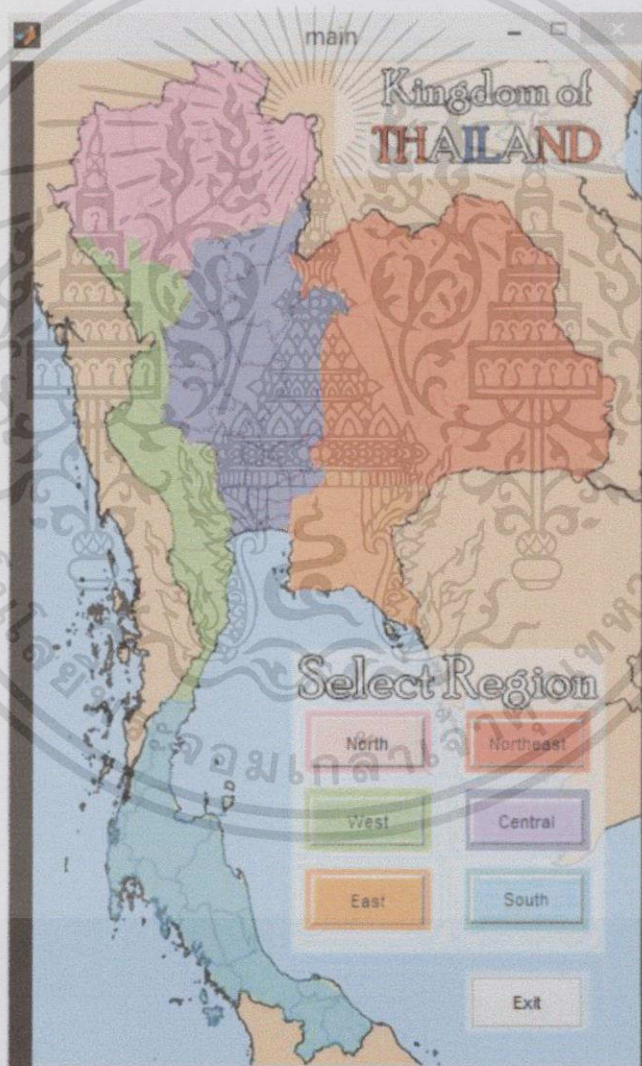
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปุ่ม Reset ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะกลับสู่สถานะแรกเริ่มของโปรแกรม Forecasting ก็สามารถคลิกที่ปุ่มนี้ได้เสมอ

6. ปุ่ม Back ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะกลับสู่หน้าหลักของโปรแกรม สามารถคลิกที่ปุ่มนี้ และ Exit สำหรับปิดโปรแกรม

5.3.3 วิธีการใช้งานโปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

1. เข้าสู่โปรแกรมพยากรณ์ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย จะเข้าสู่ Main Windows ดังรูป 5.16 ให้คลิกเลือกภาคปุ่ม เพื่อเข้าสู่ Forecasting Windows ดังรูป 5.9



รูปที่ 5.9 หน้าจอ Main Windows เมื่อเข้าสู่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 หน้าจอ Forecasting Windows เมื่อกดปุ่มเพื่อเลือกภาค

2. เมื่อเข้าสู่ Forecasting Windows ให้ทำการใส่ค่าเดือน ปี ละติจูดและลองจิจูด เช่น 13.356 และ 100.982 ตามลำดับ ดังรูป 5.11 หรือถ้าต้องการเลือกละติจูด ลองจิจูด ตามจังหวัด ก็สามารถทำได้โดยการเลือกที่ ก็จะปรากฏ List Menu ของจังหวัดทั้ง 77 จังหวัดแบ่งตามภาค แล้วให้ทำการเลือกจังหวัดตามต้องการดังรูป 5.12 เมื่อเลือกแล้วจะปรากฏหน้าต่างแสดงละติจูดและลองจิจูดของแต่ละจังหวัด

รูปที่ 5.11 ตัวอย่างวิธีการใส่ค่าละติจูดและลองจิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

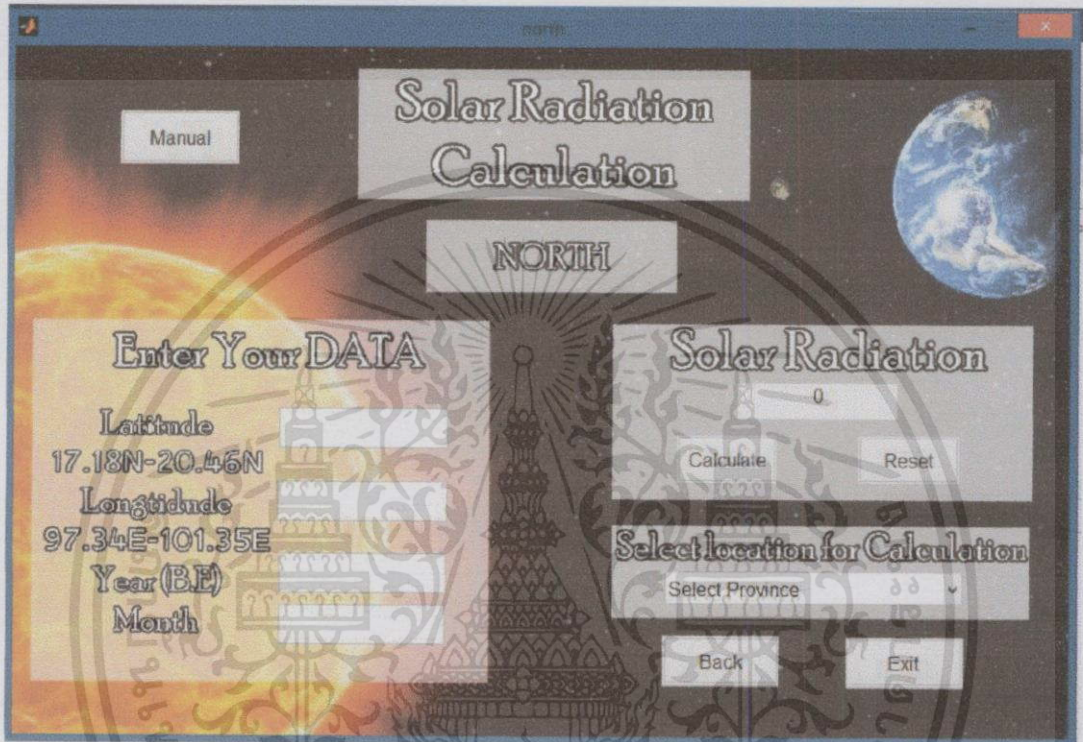
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างวิธีการเลือกละติจูดและลองจิจูดของแต่ละจังหวัด

	District	Subdistrict	Latitude	Longitude
1	Mueang Chon Buri	Khlong Tamru	13.3637	100.9850
2		Don Hua Lo	13.3706	100.9860
3		Pa Na	13.3743	100.9860
4		Bang Sai	13.2859	100.9230
5		Bang Pla Soi	13.3569	101.0030
6		Ban Khrot	13.3114	101.0450
7		Ban Puak	13.3870	101.0310
8		Ban Suan	13.3064	101.0070
9		Makham Yong	13.4228	101.0470
10		Sammak Bok	13.4057	101.0020
11		Samet	13.3885	100.9910
12		Saen Suk	13.4407	100.9940
13		Nong Khang Khok	13.2634	100.9590
14		Nong Mai Daeng	13.3120	100.9310
15		Nong Ri	13.3052	100.9690
16		Huai Kapi	13.3278	100.9520
17		Mueang	13.3299	100.9270
18		Ang Sila	13.3674	101.0560
19	Ko Sichang	Tha Thewawong	13.0960	100.4800
20	Bang Lamung	Khao Mai Kaeo	13.0430	100.9360
21		Takhian Tia	12.9207	100.9370
22		Na Kluea	12.9784	100.9590
23		Bang Lamung	12.9322	100.9910

รูปที่ 5.13 ตารางแสดงละติจูดและลองจิจูดของแต่ละจังหวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อได้ทำการเลือกหรือป้อนค่าอินพุทซึ่งได้แก่ เดือน ปี ละติจูดและลองจิจูด ที่ต้องการพยากรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานสามารถพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ได้ โดยการคลิกที่ปุ่ม Calculate เพื่อให้โปรแกรมพยากรณ์ค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ออกมาและแสดงในส่วนแสดงผล ดังรูป 5.14



รูปที่ 5.14 ตัวอย่างแสดงผลการพยากรณ์ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์

4. ถ้าผู้ใช้งานต้องการรีเซ็ตค่าต่างๆไปยังสถานะเริ่มต้นสามารถทำได้โดยการคลิกปุ่ม Reset เพื่อเป็นการคืนค่าไปสู่สถานะเริ่มต้นของโปรแกรม Forecasting

บทที่ 6

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดสอบ

ปัจจุบันพลังงานทดแทนกำลังได้รับความสนใจโดยเฉพาะประเทศไทยนั้นมีศักยภาพเพียงพอในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ด้วยข้อจำกัดในการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ทุกพื้นที่ของประเทศไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการพยากรณ์ความเข้มแสงแต่ละพื้นที่จากข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์เท่าที่มีอยู่ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมโดยในการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ความเข้มแสงอาทิตย์เพื่อหาค่าในพื้นที่จุดอื่นๆที่ไม่มีข้อมูล

การใช้ระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System) หรือที่เรียกกันว่า ANFIS ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เนื่องจากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีความคลุมเครือไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใดจึงมีข้อสรุปออกมาดังปรากฏที่เอาต์พุตของโครงข่าย และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ว่า ANFIS ให้ผลที่ได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียม คือเอาต์พุตที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่านั่นเอง

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ เพื่อหารูปแบบและโครงสร้างที่มีความเหมาะสมต่อการพยากรณ์ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ โดยแต่ละรูปแบบ ได้ทำการแยกเป็นภาคเนื่องจากไม่สามารถนำข้อมูลทั้งหมดกว่า 3,293 ข้อมูล มาทดสอบพร้อม กันได้ และพิจารณาจากโครงสร้างที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) หรือ MAPE ของชุดทดสอบที่มีค่าต่ำที่สุดในแต่ละภาค ได้ผลสรุปดังนี้

จากการทดสอบหาความเหมาะสมของโครงสร้าง ANFIS ในแต่ละภาค มีภาคตะวันตกที่มีค่า MAPE ของชุดทดสอบเท่ากับ 11.60 % ซึ่งเกินเกณฑ์ค่า MAPE ที่ยอมรับได้ที่ 10 %

จึงลองหาวิธีแก้ที่ทำให้ค่า MAPE เพื่อให้สามารถนำมาใช้พยากรณ์ข้อมูลในภาคตะวันตก ให้กลับมาอยู่ในเกณฑ์อีกครั้ง ซึ่งเมื่อลองนำภาคเหนือ ที่มีค่า MAPE อยู่ที่ 1.36 % มารวมเป็นชุดข้อมูลเดียวกัน แล้วลองทดสอบการเรียนรู้ใหม่อีกครั้ง ทำให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้น

เมื่อทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจนครบจะทำให้ทราบค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ในแต่ละภาคซึ่งจะเห็นว่ามีความผิดพลาดไม่เกิน 10% ทำให้การประมาณค่าความเข้มแสงในแต่ละพื้นที่และแต่ละเดือนมีความน่าเชื่อถือ และนำข้อมูลนั้นไปทำการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในลำดับต่อไป

จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการพยากรณ์ คือ การจัดรูปแบบข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล ชุดข้อมูลฝึกสอน ชุดข้อมูลทดสอบ จำนวนของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ปัจจัยสุดท้ายที่มีผลคือชนิดและจำนวนของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะทดลองโดยการสุ่มเพื่อหาค่า MAPE ที่น้อยที่สุด จากการเปรียบเทียบระหว่างชนิดและจำนวนของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ในของแต่ละภาค

หลังจากได้ทดสอบหาโครงสร้างที่เหมาะสมได้แล้วนั้น นำมาสร้างเป็น GUI เพื่อให้ผู้ใช้งานทั่วไประบายต่อการใช้งาน โดยออกแบบให้ผู้ใช้งานป้อนค่า ที่ตั้ง ปี และเดือน ที่ต้องการทราบค่าคำตอบ แล้ว GUI ให้คำตอบออกมา

6.2 ปัญหา

1. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบหาความเหมาะสมของโครงสร้าง ANFIS ในแต่ละภาค เป็นข้อมูลในพุทธศักราช 2545 - 2553 ซึ่งไม่เป็นข้อมูลปัจจุบันในขณะที่ทำการทดสอบ(ปีพุทธศักราช 2556)

2. ข้อมูลทั้งหมดมีถึง 3,293 ข้อมูล ซึ่งไม่สามารถใช้ทดสอบทั้งหมดพร้อมกันได้ แต่เมื่อแบ่งเป็นภาค มีภาคที่มีค่าMAPE เกิน 10% อยู่

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการพยากรณ์ความเข้มข้นสีของดวงอาทิตย์ให้ดีขึ้น อาจจะทำได้โดยใช้วิธีการดังนี้

1. เพิ่มจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ของระบบให้มากขึ้น เช่น เพิ่มจำนวนข้อมูลแต่ละจุดของจังหวัด เพิ่มจำนวนจังหวัด และ เพิ่มข้อมูลให้มีจำนวนปีเพิ่มมากขึ้น

2. ศึกษาปัจจัยที่อาจจะผลต่อการพยากรณ์เพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวัน ความสูงของพื้นที่ สภาพอากาศ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นเฉลี่ยต่อวัน เป็นต้น

3. ปรับชนิดและจำนวนของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Functions) ของแต่ละอินพุต ในการสุ่มให้กว้างขึ้น

4. อาจจะพัฒนาระบบไฮบริดจ์แบบอัจฉริยะ (Hybrid Intelligent System: HIS) แบบอื่นในการสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูล

6.3.2 ฟังก์ชันการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ทางรูปภาพ (Graphical User Interface, GUI) ซึ่งเป็นฟังก์ชันทางการเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ GUI มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือจำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรม Matlab ก่อนจึงจะสามารถใช้งานในคอมพิวเตอร์เครื่องนั้นได้ ดังนั้นอาจจะพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้การใช้งานสะดวกยิ่งขึ้น ที่สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่ใช้กันอยู่ โดยไม่ต้องอาศัยการติดตั้งโปรแกรม Matlab หรือพัฒนาให้เป็น Application บนมือถือ smart phone

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน, Available at: www.energy.go.th/?q=th/Situation
- [2] International Energy Agency (IEA), Available at: www.iea.org/publications
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, Available at: www2.egat.co.th/re
- [4] การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์, Available at: www.eppo.go.th/vrs/VRS49-09Solar.html
- [5] การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์, Available at: www.thailandindustry.com
- [6] การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์, Available at: www.constructionandproperty.net
- [7] กฤษฎา ศุภใจดี กฤษฎา ณะจันทร์ กฤษณ์ วัฒนลออสมบุญ และ อิศรา ผ่านเมือง, “การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินหาค่าศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์ฟิวในประเทศไทย,” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.
- [8] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร, “แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย,” 2552.
- [9] สุรินทร์ คำฝอย และ เขาว์ ชมภูอินทร์, เอกสารประกอบการเรียนวิชา Renewable Energy, 2553.
- [10] บรรจบ สุขประภาภรณ์, เอกสารประกอบการเรียนวิชา Solar Energy Application
- [11] บุญหลง รอดแรงบุญ, “การประยุกต์ใช้ ANFIS สำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำ,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [12] พยุง มีลัจ, “ระบบผสมโครงข่ายประสาทเทียมฟัซซี,” ระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียม รหัสวิชา 701801, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- [13] Jyh-Shing Roger Jang, “ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System,” IEEE Transactions on systems, Man and cybernetics, Vol. 23, No.3, May/June 1993, pp. 665-685
- [14] MathWorks, Available at: <http://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic/>

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [15] A. Mellit, A. Hadj, Arab, N. Khorissi และ H. Salhi., “An ANFIS-based Forecasting for Solar Radiation Data from Sunshine Duration and Ambient Temperature,” 1/4244-1298/07/\$25.00 2007 IEEE
- [16] จิระชัย อุไรจारी ปิยพงษ์ ประพันธ์พนธ์ และ ภาณุกร ศรีพวาทกุล, “การประยุกต์ใช้งาน ANFIS ในการประเมินหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย”, ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด-ลองจิจูด ของปี 2545

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2545 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพฯ	13.74 °N	100.51°E	-	-	-	19.475	16.578	-	16.682	-	15.298	13.875	14.054	-
2	นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	-	17.229	18.154	21.613	19.706	20.627	17.643	17.380	16.503	17.727	16.341	-
3	ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	17.056	17.012	18.180	20.090	19.071	19.479	16.234	14.998	15.696	18.582	18.121	17.056
4	กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	16.990	17.564	26.182	36.593	18.126	-	-	-	-	18.607	16.631	16.990
5	จันทบุรี	12.57 °N	102.09 °E	18.609	14.794	20.546	20.590	14.271	15.949	17.057	12.094	15.696	18.944	17.458	18.609
6	ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	17.632	18.139	16.986	21.899	17.289	18.033	16.106	15.076	16.874	18.692	18.619	17.632
7	ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	18.072	20.781	21.633	21.845	17.827	-	17.469	15.197	16.664	20.154	15.356	18.072
8	เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	15.551	17.098	17.933	20.422	18.483	18.571	14.678	16.354	15.845	18.448	14.865	15.551
9	เชียงราย	19.94 °N	99.84 °E	15.365	-	15.676	-	18.413	17.044	13.134	15.022	16.239	16.777	13.335	15.365
10	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	15.743	17.791	16.604	20.399	17.407	14.370	9.770	12.912	16.175	18.430	14.790	15.743
11	น่าน	18.76 °N	100.76 °E	14.678	15.878	-	-	18.390	17.733	14.458	15.938	16.054	18.389	-	14.678
12	ตาก	16.75 °N	98.93 °E	17.118	17.908	20.191	22.058	17.563	13.777	9.256	11.806	12.585	-	14.415	17.118
13	เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	16.642	16.320	17.599	20.852	19.539	19.782	15.647	16.267	14.703	18.399	16.951	16.642
14	พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	15.646	15.814	17.832	21.656	20.333	19.899	15.151	17.402	16.274	17.709	16.562	15.646
15	หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	16.279	16.496	16.651	20.711	18.131	17.717	14.813	15.459	14.743	18.414	17.174	16.279
16	ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	-	17.698	17.750	21.738	19.141	19.362	16.816	16.437	14.776	18.923	17.926	-
17	นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	-	-	17.833	21.127	-	15.716	14.447	16.585	15.940	19.664	17.688	-
18	สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	17.713	17.820	18.668	21.351	19.193	20.007	19.414	17.075	16.657	18.777	17.691	17.713
19	อุบลราชธานี	15.241°N	105.02°E	18.400	18.313	18.851	20.942	19.361	18.799	18.171	-	15.556	18.109	18.507	18.400
20	นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	-	17.522	-	20.657	18.109	18.863	17.274	16.127	16.061	17.181	15.697	-

ตารางที่ ก.1 1 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2545 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2545 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	16.034	19.060	20.220	19.233	15.637	14.164	15.517	12.328	14.851	16.676	12.368	16.034
22	เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	-	20.557	22.060	22.043	-	-	20.207	17.378	19.460	18.572	14.107	-
23	ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	20.725	23.369	23.181	21.817	19.457	18.027	18.640	16.543	18.194	18.879	16.976	20.725
24	สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	14.048	21.610	22.366	20.701	19.320	18.640	17.710	16.217	17.022	17.327	14.073	14.048
25	นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	-	21.616	22.952	23.393	20.055	19.892	19.703	17.869	19.118	19.924	15.211	-



ตารางที่ ก.2 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2546

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2546 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพฯ	13.74 °N	100.51°E	16.829	17.923	19.666	-	19.741	18.221	15.851	16.919	13.869	15.312	15.650	16.116
2	นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	17.929	18.169	19.711	22.899	22.028	18.521	19.522	19.265	16.486	18.111	17.846	16.054
3	ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	18.510	17.705	19.360	22.277	20.374	18.215	19.073	18.162	16.207	18.249	18.505	17.652
4	กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	17.928	19.674	20.111	24.083	18.071	14.078	16.238	14.818	14.412	16.759	18.873	17.141
5	จันทบุรี	12.57 °N	102.09 °E	19.594	18.344	17.777	22.438	16.609	19.179	15.453	15.525	14.519	15.672	19.094	18.177
6	ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	18.804	18.542	19.766	22.419	20.491	17.873	17.299	17.525	16.130	18.553	19.680	18.353
7	ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	18.902	19.786	19.541	23.747	17.756	20.442	16.569	16.480	-	13.771	16.997	-
8	เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	15.952	19.318	20.444	19.715	21.168	16.670	19.281	17.146	17.944	17.996	18.159	15.701
9	เชียงราย	19.94 °N	99.84 °E	13.452	16.541	17.492	18.309	19.896	15.422	17.218	16.584	17.791	16.814	16.603	14.399
10	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	14.629	19.147	20.775	17.633	17.720	13.157	16.671	13.127	16.813	18.924	17.862	15.603
11	น่าน	18.76 °N	100.76 °E	17.142	18.577	17.989	19.604	20.646	16.149	19.455	16.916	17.821	18.759	18.683	17.042
12	ตาก	16.75 °N	98.93 °E	18.168	20.863	18.987	23.307	18.956	11.200	15.192	13.024	12.954	16.628	19.042	18.182
13	เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	16.809	18.250	19.534	22.590	20.954	17.436	19.238	16.338	14.905	19.012	18.434	17.052
14	พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	16.435	18.231	19.194	22.916	22.456	17.732	19.719	17.949	16.883	19.386	18.342	-
15	หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	16.642	17.665	18.050	21.594	21.006	17.218	19.512	17.697	17.679	19.879	18.059	15.637
16	ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	17.925	18.414	19.274	22.547	21.919	18.834	20.094	17.984	16.081	19.530	18.450	16.752
17	นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	18.574	18.083	19.090	20.719	20.056	16.816	20.123	16.179	18.036	19.360	17.017	15.648
18	สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	18.490	17.562	19.293	21.292	22.044	19.941	20.374	19.317	15.818	19.061	18.691	17.445
19	อุบลราชธานี	15.241°N	105.02°E	18.409	17.744	20.101	20.732	20.854	18.717	18.035	16.886	13.904	18.654	18.351	17.023
20	นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	18.174	17.454	17.724	21.406	20.869	19.793	19.511	18.882	16.207	18.187	17.832	16.474

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2546 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2546 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	18.503	18.529	18.754	21.937	13.875	17.822	15.431	15.868	13.662	12.115	16.337	16.273
22	เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	18.768	19.846	21.106	24.925	17.809	19.599	18.406	20.545	16.671	19.298	17.373	15.077
23	ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	21.201	23.009	21.967	23.524	17.113	18.895	16.133	18.215	16.083	14.748	19.579	18.202
24	สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	17.114	20.183	20.201	21.677	16.457	18.025	17.077	17.649	17.630	11.956	-	-
25	นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	16.353	20.320	20.720	24.354	18.026	20.337	18.089	19.643	19.065	15.753	15.389	12.107



ตารางที่ ก.3 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2547

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2547 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพฯ	13.74 °N	100.51°E	15.919	17.707	18.579	22.685	17.754	15.125	17.274	16.571	13.001	17.363	16.332	16.422
2	นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	15.725	17.646	19.893	21.969	20.514	17.897	19.336	18.380	17.940	19.060	17.491	16.211
3	ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	16.269	18.806	20.105	20.632	19.963	16.472	18.281	18.601	-	-	-	-
4	กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	16.207	18.433	19.907	-	17.175	15.542	15.719	13.597	17.385	18.324	15.170	16.805
5	จันทบุรี	12.57 °N	102.09 °E	-	-	20.757	22.076	18.228	12.508	-	-	-	-	-	-
6	ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	17.334	18.923	20.208	21.141	17.937	15.191	19.590	17.802	17.036	19.965	19.905	18.320
7	ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	17.148	20.600	21.886	23.354	16.641	16.576	-	-	-	-	-	-
8	เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	16.070	16.497	17.813	20.255	19.849	16.910	-	-	17.044	16.870	15.871	15.782
9	เชียงราย	19.94 °N	99.84 °E	14.631	14.218	14.687	20.619	17.917	17.013	16.292	13.593	16.899	15.546	14.376	14.803
10	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	16.247	17.821	15.549	19.452	18.705	14.593	13.072	12.565	15.093	18.796	16.227	16.084
11	น่าน	18.76 °N	100.76 °E	16.750	16.232	17.538	20.520	18.605	16.902	15.833	16.930	14.966	18.466	16.846	16.752
12	ตาก	16.75 °N	98.93 °E	17.327	18.630	21.413	23.558	16.077	13.298	14.354	10.170	15.981	19.375	18.125	18.428
13	เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	15.715	17.535	20.153	21.276	18.624	17.263	17.555	16.172	17.814	19.411	18.320	16.765
14	พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	15.236	-	-	-	-	-	-	-	18.685	19.099	17.699	16.401
15	หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	15.155	15.623	18.724	20.713	17.618	18.856	15.670	16.680	16.413	18.749	17.549	16.929
16	ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	16.515	16.911	20.586	21.900	19.951	19.515	18.543	18.233	18.459	20.019	19.142	17.652
17	นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	16.032	16.059	18.847	19.712	18.718	18.763	-	14.764	17.532	19.171	18.445	17.414
18	สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	16.487	17.329	19.361	21.271	20.690	18.770	19.221	18.688	17.922	20.046	18.731	17.866
19	อุบลราชธานี	15.241°N	105.02°E	16.801	17.736	19.155	21.288	20.172	18.592	16.914	17.395	16.667	20.178	18.988	17.499
20	นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	15.218	17.723	19.594	21.087	19.826	18.636	18.697	18.592	16.915	18.886	17.839	17.015

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2547 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2547 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21 ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	17.026	19.249	19.740	21.702	15.957	14.256	15.284	13.265	16.755	15.729	16.120	-
22 เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	17.810	19.960	21.932	22.400	19.442	18.521	17.116	17.719	18.872	16.996	15.195	17.144
23 ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	21.556	21.956	21.413	21.528	18.247	16.012	16.264	17.014	18.512	18.530	19.529	19.811
24 สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	11.035	-	17.507	-	-	14.604	17.687	-	-	-	-	-
25 นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	16.666	20.342	21.257	22.282	20.697	17.492	19.320	18.137	20.359	14.909	16.138	14.894



ตารางที่ ก.4 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2548

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2548 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพ	13.74 °N 100.51°E	15.438	18.188	19.185	19.673	19.075	17.976	16.102	16.516	15.286	13.908	-	14.067
2	กาญจนบุรี	14.02 °N 99.53 °E	14.533	17.26	18.393	21.396	21.037	-	-	-	-	-	-	-
3	ทองผาภูมิ	14.74 °N 98.63 °E	16.075	18.433	19.286	22.39	19.022	12.686	13.82	13.031	15.07	17.424	17.397	16.011
4	ลพบุรี	15.26 °N 101.18 °E	-	18.312	19.346	20.102	19.703	17.705	17.409	15.986	16.132	17.469	16.596	15.74
5	นครสวรรค์	15.67 °N 100.13 °E	15.175	17.358	18.541	20.309	20.075	19.443	17.622	16.197	16.879	16.478	14.455	14.568
6	เพชรบูรณ์	16.43 °N 101.15 °E	15.257	16.878	17.755	19.91	19.456	16.782	16.114	14.806	16.072	17.326	16.909	15.659
7	พิษณุโลก	16.92 °N 100.23 °E	14.416	17.633	18.881	22.011	21.396	17.893	19.134	15.831	16.708	18.264	16.898	15.657
8	ตาก	16.75 °N 98.93 °E	16.524	19.899	20.612	22.375	19.364	-	-	-	-	-	-	-
9	แพร่	18.12 °N 100.16 °E	14.372	16.341	19.307	21.868	20.863	-	19.864	15.193	15.407	17.5	15.55	14.137
10	น่าน	18.76 °N 100.76 °E	15.511	16.701	18.445	20.219	20.201	16.279	19.068	12.917	17.25	18.673	17.164	15.549
11	น้ำตกแม่กลาง	18.50 °N 98.66 °E	-	-	19.243	18.593	-	14.233	15.725	12.701	-	-	16.556	12.991
12	ดอยอินทนนท์	18.53 °N 98.52 °E	-	-	19.21	20.981	-	11.125	-	-	-	-	12.513	9.941
13	ศูนย์เรดาร์	18.59 °N 98.49 °E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.687
14	เชียงใหม่	18.92 °N 99.02 °E	15.491	16.718	18.334	20.672	19.453	16.999	18.674	12.936	-	16.524	15.201	11.218
15	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N 97.96 °E	15.511	17.545	16.09	19.287	19.238	12.906	13.403	9.224	16.068	17.561	16.838	-
16	แม่สะเรียง	18.17 °N 97.93 °E	15.896	17.527	18.251	20.399	-	-	-	-	-	-	-	13.175
17	เชียงราย	19.94 °N 99.84 °E	14.047	13.128	-	-	19.219	15.661	18.238	13.489	-	-	-	-
18	นครราชสีมา	14.97 °N 102.08 °E	15.183	18.057	18.099	19.17	-	18.416	18.426	17.069	-	16.372	16.004	15.756
19	สุรินทร์	14.97 °N 102.08 °E	16.768	17.671	18.003	19.89	20.703	19.057	18.146	16.66	16.217	18.105	16.396	16.183
20	อุบลราชธานี	15.241°N 105.02°E	16.339	17.716	18.74	19.215	20.175	18.33	16.545	14.871	15.147	18.907	16.632	16.535

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2548 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2548 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21 ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	16.02	17.192	17.386	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	16.537	16.609	17.343	18.668	17.931	-	-	-	-	18.5	17.113	16.5
23 หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	15.418	16.293	16.78	19.562	19.911	-	18.018	14.425	16.621	19.507	17.364	15.74
24 เลย	17.41 °N	101.73 °E	-	-	16.894	17.912	17.855	14.361	16.834	14.355	16.567	16.798	15.656	-
25 ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	16.157	18.533	19.483	19.611	19.574	16.99	16.138	16.343	-	-	-	-
26 จันทบุรี	12.57 °N	102.09 °E	15.475	17.714	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 ชลบุรี	13.35 °N	100.98 °E	-	-	18.245	-	-	19.154	17.375	-	-	16.36	14.686	14.558
28 ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	-	21.769	22.358	22.636	19.927	15.487	15.376	17.132	16.85	15.819	14.731	14.816
29 ชุมพร	10.49 °N	99.18 °E	-	19.761	21.59	21.344	17.674	15.275	14.708	17.093	15.58	14.235	13.376	12.434
30 ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	17.988	20.471	20.509	20.504	18.494	13.863	12.653	16.485	16.14	13.489	13.388	12.225
31 สุราษฎร์ธานี	9.13 °N	99.15 °E	-	-	-	21.919	17.003	15.809	16.544	18.505	17.667	14.752	14.762	9.626
32 เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	19.489	22.438	22.505	23.038	20.451	18.329	16.863	19.586	18.758	15.366	13.499	10.465
33 ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	20.939	23.619	24.007	23.562	17.854	16.635	17.483	19.035	17.506	14.763	15.829	14.299
34 ตรัง	7.51 °N	99.62 °E	-	-	19.613	21.074	-	-	-	18.123	16.279	13.616	13.363	11.751
35 สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	-	-	18.646	20.643	17.303	-	18.102	-	15.412	15.094	13.025	10.211
36 นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	18.535	22.5	21.852	24.086	20.603	19.412	19.689	19.657	19.867	15.997	14.399	10.486

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2549

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2549 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 กรุงเทพฯ	13.74 °N	100.51°E	16.542	17.272	18.91	19.612	16.536	17.106	15.557	15.484	15.904	15.099	15.743	15.882
2 กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	17.889	-	20.631	21.752	19.172	17.928	16.13	14.464	-	-	-	-
3 ทองผาภูมิ	14.74 °N	98.63 °E	18.926	18.505	20.969	21.771	17.596	16.842	12.654	12.255	18.048	-	-	-
4 ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	18.571	17.312	20.7	21.511	-	-	17.574	16.288	14.74	18.763	-	-
5 นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	16.335	17.984	20.38	21.126	18.893	19.443	17.423	16.335	17.006	17.848	17.742	16.588
6 เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	18.124	17.966	20.22	21.82	16.199	20.241	16.515	16.26	17.439	17.644	18.31	17.461
7 พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	17.467	17.054	20.012	21.996	-	-	-	-	-	17.799	18.17	17.097
8 ตาก	16.75 °N	98.93 °E	-	19.472	20.508	19.885	16.509	14.933	10.631	10.723	15.781	-	18.627	18.299
9 แพร่	18.12 °N	100.16 °E	17.105	-	18.237	-	18.45	-	16.681	15.704	18.309	16.737	17.223	15.413
10 น่าน	18.76 °N	100.76 °E	17.792	17.817	19.629	18.343	19.606	15.578	15.751	18.108	17.563	18.297	17.513	15.549
11 น้ำตกแม่กลาง	18.50 °N	98.66 °E	18.87	19.107	19.238	18.811	15.523	16.08	12.894	14.156	15.771	17.284	17.796	-
12 ดอยอินทนนท์	18.53 °N	98.52 °E	17.258	17.43	19.552	17.552	13.475	13.23	11.45	12.333	11.637	-	17.472	13.941
13 ศูนย์เรดาร์	18.59 °N	98.49 °E	21.811	20.935	23.3	16.084	15.244	12.254	9.219	10.317	12.447	13.928	17.949	17.448
14 เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	15.919	18.41	17.9	22.622	-	-	-	16.931	18.603	18.441	18.321	16.421
15 แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	-	20.839	17.711	19.184	17.679	13.996	10.043	12.974	-	17.726	16.725	16.231
16 แม่สะเรียง	18.17 °N	97.93 °E	-	-	-	-	-	14.69	10.612	14.32	17.267	-	-	15.877
17 เชียงราย	19.94 °N	99.84 °E	-	-	17.368	19.66	18.638	19.272	-	-	-	17.326	17.499	15.522
18 นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	17.902	18.179	18.682	20.268	19.29	19.335	17.411	16.908	15.684	16.797	16.477	15.756
19 สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	17.889	17.826	19.334	-	20.947	20.722	17.237	17.266	18.661	18.009	18.019	16.789
20 อุบลราชธานี	15.241°N	105.02°E	18.261	18.483	18.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2549 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2549 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21 ร้อยเอ็ด	16.07 °N	103.60 °E	-	-	18.225	20.378	20.191	19.611	17.38	16.735	19.271	18.755	16.727	14.558
22 ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	-	-	15.486	17.481	18.173	17.187	15.16	11.959	13.84	16.101	16.416	15.342
23 นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	18.613	18.895	17.333	18.984	-	19.618	12.947	13.708	18.841	17.195	16.784	16.816
24 หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	17.901	17.991	17.511	19.369	18.723	18.657	16.071	15.553	16.181	16.693	17.524	16.271
25 เลย	17.41 °N	101.73 °E	-	17.097	17.479	19.021	17.359	18.134	15.065	15.494	16.231	15.591	17.598	16.574
26 ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	19.31	18.765	-	-	17.094	18.325	15.041	14.742	16.343	17.764	19.24	-
27 ตราด	11.78 °N	102.87 °E	-	-	16.635	18.957	17.979	17.175	10.676	10.898	16.123	18.859	19.729	18.61
28 จันทบุรี	12.57 °N	102.09 °E	18.317	17.522	-	18.173	-	-	-	-	-	-	-	-
29 ชลบุรี	13.35 °N	100.98 °E	17.429	16.573	18.935	18.816	16.163	17.803	18.046	17.397	16.833	17.572	17.694	16.651
30 ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	17.321	21.409	21.808	21.926	18.912	18.245	-	-	16.374	17.551	19.086	17.634
31 ชุมพร	10.49 °N	99.18 °E	17.131	17.821	20.75	20.256	15.506	17.786	13.164	13.671	15.432	15.922	17.464	15.755
32 ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	16.253	17.505	19.838	19.415	14.07	16.399	12.304	11.521	14.566	15.229	16.827	16.85
33 สุราษฎร์ธานี	9.13 °N	99.15 °E	17.246	18.44	21.293	19.304	16.676	16.817	15.759	16.301	17.799	16.635	16.727	14.558
34 เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	17.201	-	22.27	22.042	17.401	19.314	18.219	18.217	17.782	17.359	16.475	15.498
35 ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	19.564	22.247	22.241	20.98	17.679	16.489	15.945	16.868	19.393	18.336	20.477	19.031
36 ตรัง	7.51 °N	99.62 °E	17.766	19.566	21.022	19.08	16.1	15.904	15.15	17.541	16.422	17.132	16.355	16.31
37 สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	16.879	-	21.912	19.9	17.141	17.793	16.675	18.604	16.459	17.239	16.014	15.09
38 นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	17.488	18.341	22.417	22.562	16.217	19.045	18.074	17.869	18.906	18.68	16.405	14.025

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2550

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2550 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพ	13.74 °N	100.51°E	15.842	19.189	20.239	18.67	16.54	17.947	15.39	15.408	15.917	13.075	16.002	16.505
2	กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	16.521	18.475	19.916	21.361	17.961	19.907	17.487	16.092	18.234	15.227	15.003	16.064
3	ทองผาภูมิ	14.74 °N	98.63 °E	16.668	17.863	17.834	22.246	14.885	19.449	14.839	14.426	15.564	14.836	15.176	17.012
4	ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	17.282	18.981	19.558	20.241	18.924	19.883	18.913	16.831	17.738	15.328	16.735	17.662
5	สระแก้ว	13.68 °N	102.50 °E	16.634	17.758	19.242	20.17	18.172	20.402	18.897	17.001	18.011	14.863	17.144	16.917
6	นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	15.32	16.78	18.506	20.878	18.221	21.597	19.504	17.266	17.133	16.358	16.007	16.354
7	เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	16.818	17.654	19.697	20.752	18.384	19.974	18.6	14.843	16.552	15.869	17.188	17.135
8	พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	16.989	17.91	19.482	21.469	18.548	20.576	19.01	16.719	16.964	16.765	16.431	16.22
9	ตาก	16.75 °N	98.93 °E	18.841	19.251	21.815	21.865	-	17.397	12.729	13.069	14.118	14.065	15.382	17.909
10	แพร่	18.12 °N	100.16 °E	15.855	16.419	17.973	21.159	17.597	20.489	18.621	17.231	18.033	15.663	15.148	15.451
11	น่าน	18.76 °N	100.76 °E	17.233	16.872	17.117	20.023	17.897	19.443	19.033	-	-	-	-	16.727
12	น้ำตกแม่กลาง	18.50 °N	98.66 °E	17.626	-	18.452	19.912	14.771	16.63	14.657	15.538	-	10.664	15.77	17.876
13	ดอยอินทนนท์	18.53 °N	98.52 °E	17.35	18.712	20.787	-	12.382	14.492	13.943	14.302	12.895	12.049	10.217	14.796
14	ศูนย์เรดาร์	18.59 °N	98.49 °E	20.367	21.009	24.157	20.842	11.001	12.211	10.573	10.573	12.528	12.149	14.358	18.044
15	เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	16.51	16.853	17.635	21.278	18.302	20.527	17.255	18.409	18.864	16.346	14.315	16.36
16	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	16.927	17.589	15.127	18.441	15.303	16.375	11.968	14.274	16.301	16.469	14.413	15.869
17	แม่สะเรียง	18.17 °N	97.93 °E	17.085	18.338	17.774	20.439	16.173	16.894	14.677	15.006	17.078	16.054	14.753	15.601
18	เขียงราย	19.94 °N	99.84 °E	15.415	15.828	15.79	20.148	18.317	18.97	16.173	16.999	18.309	16.08	14.703	15.859
19	นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	17.164	17.602	19.349	20.315	17.585	19.665	19.929	17.357	16.661	14.089	16.725	-
20	สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	17.232	17.77	18.855	21.075	19.156	20.653	20.056	17.518	18.017	14.503	17.339	16.381

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2550 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2549 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	ร้อยเอ็ด	16.07 °N	103.60 °E	17.846	-	19.876	20.931	19.632	20.058	20.508	16.945	16.417	18.683	17.869	17.628
22	ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	18.262	16.563	18.583	19.349	14.634	19.746	19.616	16.069	16.518	15.713	16.934	16.945
23	นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	17.893	15.678	17.317	20.105	19.041	18.518	18.325	14.838	16.126	14.972	16.402	16.66
24	หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	16.658	16.914	18.458	20.707	19.156	19.939	19.578	16.041	17.012	16.858	17.185	16.497
25	เลย	17.41 °N	101.73 °E	16.883	17.036	18.055	19.455	16.243	19.041	18.68	15.015	15.337	14.28	15.857	15.306
26	ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	17.662	18.25	20.306	20.966	18.659	21.113	-	16.777	16.637	16.085	18.704	17.943
27	ตราด	11.78 °N	102.87 °E	18.085	19.989	21.368	19.562	17.129	18.17	13.501	12.782	15.959	15.725	16.958	19.114
28	ชลบุรี	13.35 °N	100.98 °E	15.93	17.708	18.833	18.991	17.186	18.366	16.873	17.931	16.999	16.195	17.484	17.174
29	ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	17.464	21.284	22.937	20.705	17.176	19.826	15.748	16.368	17.201	14.831	17.159	17.831
30	ชุมพร	10.49 °N	99.18 °E	16.096	21.544	21.943	21.411	16.675	17.63	13.837	16.659	16.714	11.677	15.059	16.623
31	ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	16.642	20.632	19.493	18.923	15.144	15.903	11.458	13.757	13.926	10.58	14.06	16.403
32	สุราษฎร์ธานี	9.13 °N	99.15 °E	15.721	22.349	20.857	-	17.22	17.426	15.274	17.667	17.629	13.326	14.79	-
33	เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	15.801	22.199	21.805	22.291	-	-	-	-	18.434	13.081	14.001	16.877
34	ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	19.075	23.718	23.06	21.139	16.819	17.728	16.487	-	-	14.088	17.772	18.443
35	ตรัง	7.51 °N	99.62 °E	17.3	22.44	20.827	19.684	16.348	16.274	15.946	15.551	16.184	13.272	15.383	15.825
36	สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	16.169	21.478	21.311	19.657	18.24	17.229	18.124	19.177	17.598	15.097	14.152	14.009
37	นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	14.438	21.033	22.421	23.409	20.434	18.747	18.167	19.72	19.288	16.319	15.523	15.22

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2551

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2551 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพ	13.74 °N	100.51°E	16.012	15.506	20.201	19.475	17.808	16.815	16.776	16.607	16.315	13.406	14.571	16.258
2	กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	16.153	16.79	21.163	21.497	18.987	19.587	17.741	18.191	17.328	15.693	15.815	17.054
3	ทองผาภูมิ	14.74 °N	98.63 °E	17.274	17.164	19.965	20.996	16.142	16.107	14.63	14.287	16.637	18.106	16.984	17.475
4	ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	18.249	18.077	21.004	22.049	19.797	19.249	19.369	18.652	17.009	17.414	16.728	16.774
5	สระแก้ว	13.68 °N	102.50 °E	16.123	16.51	19.458	19.896	18.535	19.487	18.75	18.897	17.726	16.507	15.167	16.356
6	นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	15.773	16.568	19.033	21.022	19.359	19.832	19.478	17.616	16.649	16.101	16.056	15.95
7	เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	16.653	17.068	20.133	20.212	17.989	18.02	17.784	15.771	16.235	16.374	17.62	16.428
8	พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	16.017	17.066	19.403	22.026	20.023	19.861	17.446	16.868	17.275	17.351	17.819	15.848
9	ตาก	16.75 °N	98.93 °E	18.495	19.303	20.269	19.835	15.608	15.237	12.154	14.044	13.303	14.276	16.588	17.741
10	แพร่	18.12 °N	100.16 °E	15.258	16.558	18.665	20.331	18.49	19.914	17.329	17.805	16.98	16.887	16.693	14.894
11	น่าน	18.76 °N	100.76 °E	16.823	17.472	18.195	-	17.341	17.273	15.77	15.834	17.037	17.145	17.385	15.814
12	น้ำตกแม่กลาง	18.50 °N	98.66 °E	17.003	19.275	18.56	18.062	15.671	15.224	13.559	15.183	16.608	15.277	17.142	16.726
13	ดอยอินทนนท์	18.53 °N	98.52 °E	16.254	18.467	19.413	16.424	13.43	14.954	13.317	14.257	13.488	11.072	14.233	13.113
14	ศูนย์เรดาร์	18.59 °N	98.49 °E	19.674	20.959	20.758	15.208	11.46	-	10.418	11.564	11.25	10.253	16.94	19.806
15	เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	15.931	18.944	18.703	20.884	18.783	19.056	17.547	17.287	17.293	16.905	17.348	16.071
16	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	15.563	18.733	17.897	19.303	14.959	13.931	11.517	12.543	15.751	16.901	17.203	14.937
17	แม่สะเรียง	18.17 °N	97.93 °E	15.33	19.217	20.033	19.046	17.568	15.873	14.266	15.214	16.43	16.276	16.808	14.775
18	เชียงราย	19.94 °N	99.84 °E	15.081	16.68	17.314	18.894	18.413	16.93	13.825	14.13	18.497	16.594	16.807	15.254
19	นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	17.167	17.723	20.453	20.03	19.388	18.448	18.286	18.236	17.264	15.359	16.075	16.541
20	สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	16.35	17.734	20.165	20.235	18.209	20.483	20.024	19.007	16.145	16.253	15.249	15.283

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2551 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2551 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21 ร้อยเอ็ด	16.07 °N	103.60 °E	17.862	18.352	20.651	21.194	18.204	19.098	18.707	18.744	16.222	18.571	17.338	17.205
22 ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	17.204	17.825	20.483	20.582	18.693	19.902	18.985	17.99	15.468	17.393	16.829	16.333
23 นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	17.034	17.006	19.244	20.139	15.217	13.793	14.26	15.013	15.935	16.35	16.837	16.117
24 หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	16.551	16.997	20.346	21.577	18.027	16.669	16.333	17.623	18.54	18.076	17.202	16.732
25 เลย	17.41 °N	101.73 °E	16.291	16.716	19.052	18.259	17.638	16.397	16.028	15.714	16.216	14.6	15.526	15.325
26 ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	17.604	18.146	20.873	20.945	17.707	17.471	17.23	17.244	16.512	15.771	16.416	17.333
27 ตราด	11.78 °N	102.87 °E	18.592	17.801	20.868	21.185	16.114	16.596	15.145	16.278	13.659	17.861	15.963	18.182
28 ชลบุรี	13.35 °N	100.98 °E	12.96	15.857	19.096	19.008	19.397	-	18.353	17.683	17.008	15.901	15.763	17.322
29 ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	17.809	18.512	21.277	20.65	16.864	17.565	17.079	19.192	16.88	16.606	15.013	18.438
30 ชุมพร	10.49 °N	99.18 °E	16.749	16.591	21.35	19.037	13.348	13.914	13.646	-	15.553	15.16	11.47	17.195
31 ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	16.642	17.517	19.641	18.124	13.673	14.1	15.555	18.277	14.717	14.785	12.498	17.209
32 สุราษฎร์ธานี	9.13 °N	99.15 °E	20.169	18.704	20.575	19.054	17.286	16.543	16.699	20.014	16.321	15.906	12.138	13.549
33 เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	17.652	17.81	21.754	21.169	19.189	18.209	18.551	20.66	17.855	16.152	13.082	15.219
34 ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	20.425	21.129	22.631	21.266	17.744	-	18.066	19.498	16.774	17.878	-	18.455
35 ตรัง	7.51 °N	99.62 °E	17.976	20.145	20.312	18.334	16.931	15.804	16.538	18.432	16.671	15.989	11.703	14.866
36 สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	17.319	19.526	19.488	19.908	18.382	17.21	17.781	18.409	17.644	18.098	11.903	11.263
37 นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	17.766	18.733	20.984	22.494	19.508	19.436	19.87	21.004	19.083	18.935	11.536	11.83

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2552

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2552 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพ	13.74 °N	100.51°E	17.086	18.62	19.734	19.814	16.616	17.354	15.599	16.644	17.319	13.915	15.693	15.719
2	กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	17.733	18.327	20.179	22.535	18.708	16.81	16.434	19.185	18.887	17.206	18.146	16.694
3	ทองผาภูมิ	14.74 °N	98.63 °E	19.127	18.449	19.995	22.003	18.62	13.362	12.931	17.674	16.86	17.782	13.696	16.694
4	ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	18.729	18.301	19.868	20.425	19.551	18.286	16.725	19.842	16.39	17.704	18.37	17.677
5	สระแก้ว	13.68 °N	102.50 °E	17.397	16.845	17.998	20.277	19.466	19.116	13.568	15.128	12.753	16.172	17.121	16.035
6	นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	16.409	17.573	18.803	19.879	19.038	19.27	16.998	18.362	18.146	15.569	18.293	16.408
7	เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	17.649	17.383	18.719	20.973	19.636	18.382	15.488	17.36	17.066	16.858	18.003	16.499
8	พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	17.026	17.266	18.991	21.626	19.42	18.677	-	19.416	18.359	17.274	17.619	15.177
9	ตาก	16.75 °N	98.93 °E	18.637	18.897	19.146	20.107	18.079	12.002	9.6345	14.132	16.537	-	17.853	17.682
10	แพร่	18.12 °N	100.16 °E	16.805	16.02	17.96	19.816	20.265	17.436	16.809	18.186	18.44	17.099	16.817	15.368
11	น่าน	18.76 °N	100.76 °E	16.955	16.465	16.408	18.192	19.041	16.814	15.982	18.161	18.459	17.818	17.141	15.657
12	น้ำตกแม่กลาง	18.50 °N	98.66 °E	18.099	17.738	17.937	19.028	17.807	14.27	13.07	15.432	17.295	16.964	17.906	17.274
13	ดอยอินทนนท์	18.53 °N	98.52 °E	16.732	18.209	18.609	17.756	15.944	13.25	13.417	15.72	14.878	12.527	-	13.941
14	ศูนย์เรดาร์	18.59 °N	98.49 °E	21.05	20.379	21.379	15.7	14.945	10.803	9.145	12.174	11.815	12.127	18.818	20.016
15	เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	17.272	17.544	17.661	20.701	21.175	18.119	16.634	18.09	19.26	17.378	17.321	15.838
16	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	16.684	17.658	15.566	17.744	20.502	14.629	10.774	14.228	16.375	18.126	17.407	15.302
17	แม่สะเรียง	18.17 °N	97.93 °E	16.586	17.976	18.374	18.916	21.029	14.736	12.858	15.771	17.487	17.345	16.209	14.511
18	เขียงราย	19.94 °N	99.84 °E	15.906	16.17	15.804	18.911	20.331	16.5	16.622	17.096	19.584	16.797	16.561	15.239
19	นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	18.072	17.873	18.124	21.147	19.399	18.708	18.465	17.937	16.994	16.168	17.617	16.528
20	สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	16.885	17.385	19.015	22.026	18.979	19.358	17.399	18.583	16.858	17.149	16.61	15.627

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2552 (ต่อ)

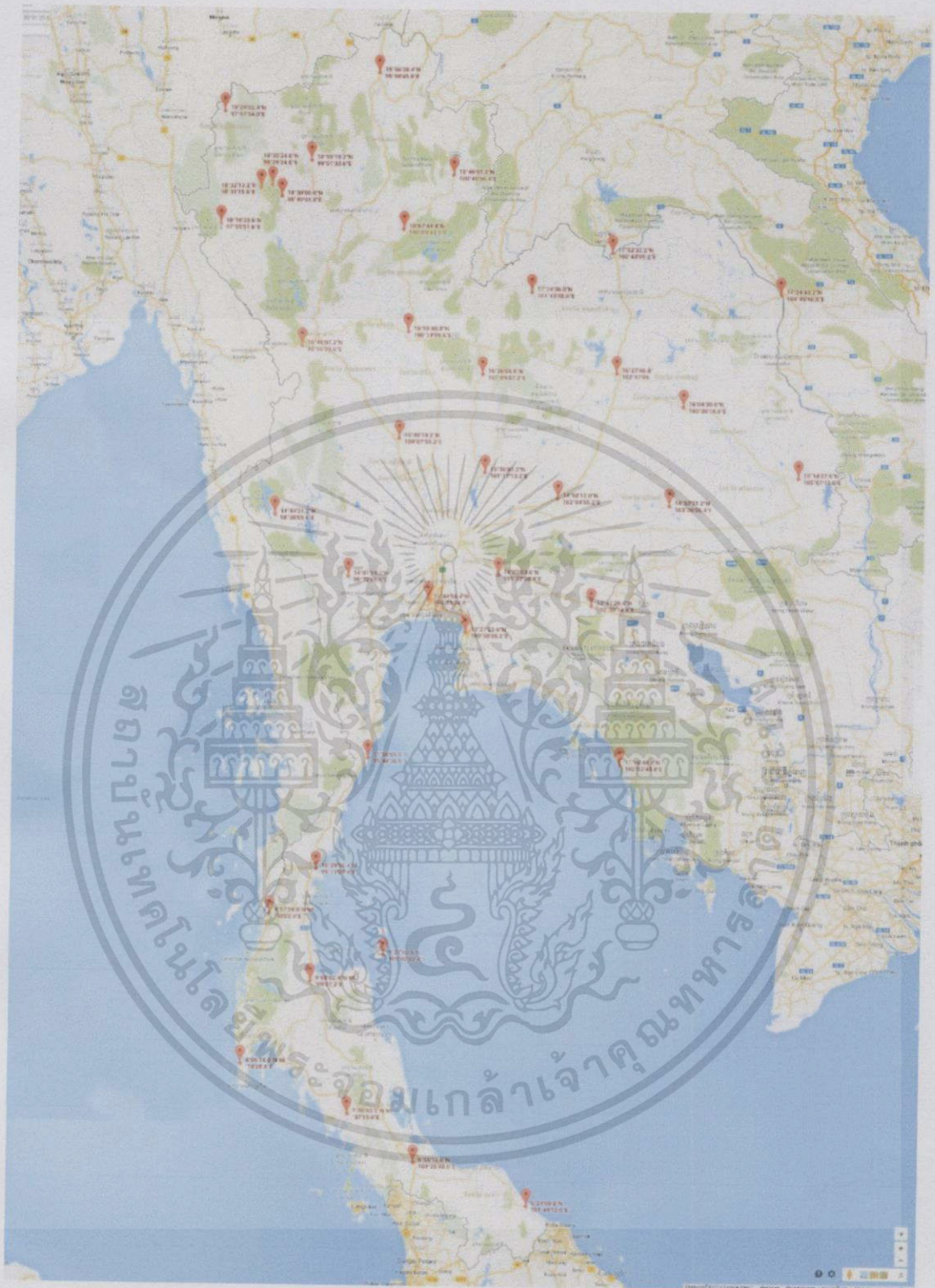
สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2552 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	ร้อยเอ็ด	16.07 °N 103.60 °E	18.866	19.093	19.083	21.702	18.786	21.013	17.865	18.589	17.156	19.307	18.473	16.611
22	ขอนแก่น	16.46 °N 102.78 °E	18.499	18.149	18.471	21.829	20.048	20.111	17.407	18.392	17.049	-	18.635	16.479
23	นครพนม	17.41 °N 104.77 °E	18.23	18.359	18.473	19.903	20.146	15.612	14.105	16.466	15.867	17.685	17.604	15.978
24	หนองคาย	17.87 °N 102.71 °E	18.274	18.164	17.506	21.465	20.227	19.125	16.656	18.999	19.052	18.053	18.461	16.121
25	เลย	17.41 °N 101.73 °E	17.227	17.063	16.45	19.056	18.161	17.591	14.809	16.681	16.869	15.798	17.003	15.095
26	ปราจีนบุรี	14.05 °N 101.36 °E	17.546	17.681	18.747	20.739	18.296	17.187	15.711	17.66	17.46	16.548	17.995	17.432
27	ตราด	11.78 °N 102.87 °E	18.613	18.331	20.342	19.512	17.193	14.868	13.568	15.128	12.753	15.81	19.823	19.427
28	ชลบุรี	13.35 °N 100.98 °E	17.68	18.256	17.813	21.267	17.034	19.699	18.15	18.485	18.028	15.829	18.14	-
29	ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N 99.81 °E	19.156	20.377	21.931	20.863	17.446	17.261	15.019	18.049	16.518	16.855	20.18	18.322
30	ชุมพร	10.49 °N 99.18 °E	18.355	20.48	21.143	19.228	14.806	19.699	13.981	17.776	13.826	15.968	17.344	16.899
31	ระนอง	9.95 °N 98.63 °E	17.675	19.052	17.591	17.253	15.898	15.58	14.739	14.951	12.952	14.274	15.644	16.29
32	สุราษฎร์ธานี	9.13 °N 99.15 °E	17.032	21.412	20.951	19.601	17.032	18.236	16.309	17.761	15.911	16.277	15.674	16.272
33	เกาะสมุย	9.45 °N 100.03 °E	17.723	21.25	22.682	20.076	17.177	21.416	16.875	19.188	17.011	18.154	16.259	16.297
34	ภูเก็ต	8.10 °N 98.30 °E	20.808	22.127	20.936	21.311	17.015	19.651	17.05	18.026	16.272	17.835	18.293	19.591
35	ตรัง	7.51 °N 99.62 °E	20.382	21.403	18.059	18.393	16.18	19.652	16.895	16.989	16.533	16.624	14.503	19.337
36	สงขลา	6.92 °N 100.43 °E	15.468	20.413	18.295	18.68	17.418	20.329	17.644	18.769	-	17.067	13.67	16.408
37	นราธิวาส	6.40 °N 101.82 °E	-	22.062	19.295	21.279	18.637	20.009	19.116	20.449	18.249	17.125	13.696	15.725
38	อุบลราชธานี	15.241°N 105.02°E	19.946	18.313	19.137	21.134	20.09	19.321	16.337	16.469	15.653	16.919	18.312	17.647

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สะดุดจุด ลองจิจูด ของปี 2553

สถานีวัดความเข้ม รังสีดวงอาทิตย์		ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2553 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
		ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	กรุงเทพ	13.74 °N	100.51°E	14.01	18.52	20.70	22.37	19.16	20.74	17.02	15.56	15.48	13.31	14.72	14.85
2	กาญจนบุรี	14.02 °N	99.53 °E	15.59	19.59	20.17	23.47	22.51	21.64	20.33	17.26	20.40	15.63	15.21	15.57
3	ทองผาภูมิ	14.74 °N	98.63 °E	16.92	20.62	20.15	23.34	21.86	19.79	18.74	15.08	19.07	15.09	17.31	16.73
4	ลพบุรี	15.26 °N	101.18 °E	15.29	18.83	19.78	22.35	20.91	21.35	18.98	16.85	18.61	15.63	17.58	17.74
5	สระแก้ว	13.68 °N	102.50 °E	14.83	17.37	19.84	21.23	20.63	19.02	18.55	16.75	17.54	15.57	16.98	15.98
6	นครสวรรค์	15.67 °N	100.13 °E	14.02	18.55	19.01	22.65	21.75	22.04	18.69	16.58	16.94	14.60	16.67	15.29
7	เพชรบูรณ์	16.43 °N	101.15 °E	14.81	18.20	19.41	22.60	21.13	20.31	17.76	14.87	17.69	16.86	17.45	16.05
8	พิษณุโลก	16.92 °N	100.23 °E	14.73	17.21	18.44	22.69	22.80	20.87	16.96	14.93	16.94	13.82	17.27	14.37
9	ตาก	16.75 °N	98.93 °E	15.82	21.83	20.67	24.11	21.15	18.98	15.96	12.22	16.06	11.90	18.09	15.81
10	แพร่	18.12 °N	100.16 °E	15.19	18.24	17.57	21.96	22.24	21.24	18.47	16.42	18.61	15.08	17.74	14.70
11	น่าน	18.76 °N	100.76 °E	15.22	17.71	16.67	20.16	21.37	20.25	18.06	16.41	18.21	16.50	17.73	13.93
12	น้ำตกแม่กลาง	18.50 °N	98.66 °E	16.78	20.80	18.31	19.68	19.16	17.46	16.12	13.76	17.37	14.11	-	-
13	ดอยอินทนนท์	18.53 °N	98.52 °E	14.67	21.51	19.31	21.23	18.68	16.03	-	10.79	14.49	9.72	16.56	14.37
14	ศูนย์เรดาร์	18.59 °N	98.49 °E	19.98	24.82	21.74	23.19	15.67	14.74	12.14	11.07	13.35	13.35	19.35	18.90
15	เชียงใหม่	18.92 °N	99.02 °E	16.27	19.32	17.27	21.13	22.21	20.74	19.08	16.02	18.71	16.05	18.56	14.78
16	แม่ฮ่องสอน	19.48 °N	97.96 °E	15.75	17.80	14.73	17.43	19.48	17.25	15.62	14.24	17.13	15.49	16.47	14.69
17	แม่สะเรียง	18.17 °N	97.93 °E	15.54	20.20	17.30	21.76	20.20	17.60	18.44	14.88	18.80	14.48	14.20	13.84
18	เชียงใหม่	19.94 °N	99.84 °E	14.96	17.14	14.54	19.74	21.61	19.83	17.56	16.18	17.28	13.46	16.63	13.41
19	นครราชสีมา	14.97 °N	102.08 °E	15.27	17.96	20.06	21.60	21.12	20.70	18.62	16.44	15.80	13.98	17.11	16.61
20	สุรินทร์	14.97 °N	102.08 °E	14.92	17.22	19.93	20.86	20.59	20.13	20.65	17.24	17.54	15.39	16.15	15.17

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ละติจูด ลองจิจูด ของปี 2553 (ต่อ)

สถานีวัดความเข้ม รังสีดวงอาทิตย์	ที่ตั้ง		ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยรายเดือน ของปี 2553 (หน่วย : MJ/m ² -day)											
	ละติจูด	ลองจิจูด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21 ร้อยเอ็ด	16.07 °N	103.60 °E	16.50	17.84	20.24	21.64	20.55	20.36	20.50	17.57	17.98	16.91	18.16	17.52
22 ขอนแก่น	16.46 °N	102.78 °E	15.63	18.11	19.69	21.97	21.11	20.92	19.33	16.65	17.44	16.57	17.85	16.63
23 นครพนม	17.41 °N	104.77 °E	15.62	15.39	18.53	18.62	17.65	17.91	17.26	14.12	16.65	15.33	16.45	16.50
24 หนองคาย	17.87 °N	102.71 °E	15.14	18.69	18.64	21.44	21.65	19.32	18.50	16.07	17.46	15.92	18.02	15.82
25 เลย	17.41 °N	101.73 °E	13.65	17.49	17.66	19.35	19.24	18.44	17.30	15.83	17.66	14.29	16.83	14.89
26 ปราจีนบุรี	14.05 °N	101.36 °E	14.50	16.98	19.09	20.24	18.83	19.71	20.06	15.97	19.34	15.69	17.17	16.43
27 ตราด	11.78 °N	102.87 °E	19.61	21.12	20.70	23.14	20.72	16.28	17.33	4.68	17.75	15.10	16.66	17.85
28 ชลบุรี	13.35 °N	100.98 °E	15.51	17.85	20.67	21.58	18.03	19.65	17.95	17.15	17.01	15.39	15.94	15.55
29 ประจวบคีรีขันธ์	11.83 °N	99.81 °E	18.29	22.14	22.59	24.00	21.30	19.48	18.69	16.73	19.55	15.05	16.64	17.14
30 ชุมพร	10.49 °N	99.18 °E	17.43	21.36	21.95	23.37	17.61	15.80	15.69	15.50	17.92	13.19	10.26	15.77
31 ระนอง	9.95 °N	98.63 °E	16.74	20.86	20.35	21.09	17.66	15.79	15.61	14.67	16.50	13.06	10.66	13.56
32 สุราษฎร์ธานี	9.13 °N	99.15 °E	17.46	22.36	21.96	21.33	18.04	16.73	16.42	17.60	17.39	14.63	10.74	13.41
33 เกาะสมุย	9.45 °N	100.03 °E	17.43	22.19	21.61	24.16	21.67	18.81	17.48	18.50	18.60	15.15	12.02	14.03
34 ภูเก็ต	8.10 °N	98.30 °E	20.28	23.25	23.62	22.96	19.16	16.33	16.43	16.62	17.74	14.49	14.95	14.10
35 ตรัง	7.51 °N	99.62 °E	18.78	22.76	-	-	19.62	14.95	15.56	17.16	16.44	15.27	13.07	11.72
36 สงขลา	6.92 °N	100.43 °E	16.23	20.00	21.32	19.85	22.03	20.38	19.49	20.64	20.32	17.65	14.81	12.88
37 นราธิวาส	6.40 °N	101.82 °E	17.24	22.17	22.97	22.88	21.20	19.21	18.49	19.99	19.86	-	15.26	11.61
38 อุบลราชธานี	15.24°N	105.02°E	17.42	18.14	19.91	20.60	19.08	19.54	19.21	14.50	16.89	16.18	17.06	17.83



รูป ก.1 ที่ตั้งสถานีวิัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ของกรมอุตุณิยมหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้าง GUI สำหรับประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยด้วย

ระบบ Neuro-Fuzzy

Design and Development of GUI for Neuro-Fuzzy Estimator for Solar Potential of THAILAND

ปิยวัฒน์ สถาปนา, โสธร อติวัฒนานนท์, อนุรักษ์ เจริญธนวุฒิ, อภิพงษ์ นาคน้อย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ดลครองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ เป็นการเสนอวิธีการหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จากการนำความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยการใช้แบบจำลองจากระบบอนุมานฟัซซีบนโครงข่ายที่ปรับค่าได้ด้วยการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม (ANFIS) โดยนำค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ มาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบเพื่อที่จะหารูปแบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดของการทำงานในรูปแบบต่างๆ เมื่อได้รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จะนำมาแสดงผลโดย GUI และนำแบบจำลองนั้นมาใช้ในการทำนายหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

คำสำคัญ : ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์, แอนฟิส, จียูไอ

Abstract

This project introduces an approach for predicting and evaluating the potential of solar power generation in Thailand by using an application of ANFIS. Solar radiation data are used to train and test the model in order to find the most suitable model which is considered by mean absolute percentage error (MAPE). Then have its shown by GUI.

Keyword: Solar Radiation, Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS), Graphic User Interface (GUI)

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาและการเจริญเติบโตด้านสังคมและเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นตามไปด้วย และส่งผลต้องมีการเพิ่มหน่วยการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้นตามความต้องการ ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นต้องอาศัยที่มาของพลังงานในรูปแบบต่างๆ พลังงานจากแสงอาทิตย์ก็เป็นหนึ่งในนั้น

บทความนี้ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANFIS ในการประเมินหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจที่จะลงทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีตัวช่วยในการประเมิน และวิเคราะห์เกี่ยวกับความคุ้มค่าของพลังงานไฟฟ้าที่จะได้รับก่อนที่จะทำการลงทุนเพื่อติดตั้งใช้งานจริงขึ้นภายในประเทศไทย

2. หลักการและทฤษฎีทฤษฎีและการทำงานของ ANFIS

ระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับค่าได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม (ANFIS) เป็นระบบที่รวมความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวเองของโครงข่ายประสาทเทียมกับความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ และความสามารถการให้เหตุผลของฟัซซีลอจิก

โครงสร้างหลักของ ANFIS แบ่งเป็น 5 ชั้น ได้แก่

Layer 1 : Antecedent Parameters ชั้นพารามิเตอร์ข้อตั้งพารามิเตอร์ของชั้นนี้สามารถปรับได้ หาค่าฟัซซีจาก Crisp Input (x) ผ่านทางฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{A_i}(x)$

Layer 2 : T-norm Operator เป็นชั้นที่เชื่อมโยงค่าฟัซซีจากแต่ละฟัซซีเซต โดยคูณสัญญาณเข้าด้วยกัน และส่งค่าฟัซซีผลคูณเป็นสัญญาณออก

Layer 3 : Normalize Firing Strength เป็นชั้นที่ค่าฟัซซีผลรวมข้อตั้งทั้งหมด โดยแต่ละข้อจะถูกหารด้วยผลรวมของค่าฟัซซีจากทุกกฎ

Layer 4 : Consequent Parameters ชั้นของพารามิเตอร์ข้อตาม โหนดเป็นแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งพารามิเตอร์สามารถปรับค่าได้

Layer 5 : Overall Output ชั้นเอาต์พุตของโครงข่าย มีสัญลักษณ์ของโหนดเป็นเครื่องหมาย Σ ทำหน้าที่รวมสัญญาณที่ออกเป็นเอาต์พุต

3. การทดสอบ

3.1 การออกแบบแบบจำลอง ANFIS

จะทำการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ตัวอย่างข้อมูลเฉลี่ย 9 ปี (พ.ศ. 2545-2553) แบบรายเดือน ของกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสม เพื่อการทำให้เป็น GUI โดยมุ่งเน้นที่ค่าความคาดเคลื่อน MAPE และเวลาในการฝึกสอนที่ต่ำ โดยจะปรับจำนวนและชนิดของฟังก์ชันสมาชิก โดยจำนวนของฟังก์ชันสมาชิกที่จะใช้นั้น ปรับค่าของอินพุตอยู่ระหว่าง 1-4 จำนวนสลับกันและชนิดของฟังก์ชัน 8 ชนิด โดยรูปแบบของแบบจำลอง ANFIS นั้นเนื่องจากไม่สามารถใช้ข้อมูลทั้งหมดในการนำมาทำแบบจำลองได้ จึงได้ทำการแบ่งการทำแบบจำลองเป็นภาค 6 ภาค การเลือกสุ่มเลือกข้อมูลแต่ละภาค ทำการสุ่มเลือกข้อมูลโดยชุดฝึกสอนต่อชุดทดสอบเป็น 80 : 20 โดยยึดให้ชุดข้อมูลทดสอบเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลัก โดยในปีพ.ศ. 2545-2552 เป็นจุดฝึกสอน และปีพ.ศ. 2553 มาเป็นข้อมูลชุดทดสอบ

3.2 การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS

เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลอง ANFIS ที่ใช้มีความสามารถมากหรือน้อยกว่าแบบจำลองชนิดอื่นอย่างไร โดยจะทำการเปรียบเทียบกัน โดยดูจากค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ การเปรียบเทียบแบบจำลอง ANFIS ว่าโครงสร้างใดที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้นจะพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ว่ารูปแบบหรือโครงสร้างใดให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดแสดงว่ารูปแบบหรือโครงสร้างนั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดย MAPE (Mean Absolute Percentage Error) พิจารณาได้จากสมการที่ 3.1

$$MAPE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - F_i}{O_i} \right| \quad (3.1)$$

เมื่อ O_i คือ ค่าจริงที่ได้จากข้อมูลของกรมอุตุณิคมวิทยา
 F_i คือค่าที่ได้จากการทำนายโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัว และ n คือจำนวนข้อมูล

4 ผลการเรียนรู้ ANFIS

จากการพิจารณาการเรียนรู้ของ ANFIS พบว่าการปรับปรุงค่าความผิดพลาดให้มีค่าลดลงเรื่อยๆ ในแต่ละรอบการเรียนรู้และเมื่อค่าความผิดพลาดลดลงถึงค่าหนึ่งแล้ว จะไม่มีการลดลงอีกถึงแม้จะเพิ่มรอบการเรียนรู้ก็ตาม แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเรียนรู้ของ ANFIS จะทำการทดลองจะทำารูปแบบและโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด โดยนำข้อมูลชุดฝึกสอน และชุดทดสอบของแต่ละภาค มาทดสอบเปรียบเทียบกับรูปแบบและโครงสร้างอื่นๆ

4.1 ผลการทดสอบ เพื่อหาโครงสร้างที่มีความเหมาะสม

โครงสร้างของ ANFIS ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละภาค สรุปได้ดังนี้

ภาคเหนือ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Gauss จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 2 1 ได้ค่า MAPE เท่ากับ 1.36 %

ภาคตะวันตก ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Trap จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 2 2 ได้ค่า MAPE เท่ากับ 11.60 %

ภาคตะวันออก ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Pi จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 1 2 2 ได้ค่า MAPE เท่ากับ 7.55 %

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Trap จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 2 2 ได้ค่า MAPE เท่ากับ 5.42 %

ภาคกลาง ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Pi จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 1 2 2 ได้ค่า MAPE เท่ากับ 7.34 %

ภาคใต้ ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Gauss2 จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 2 2 3 2 ได้ค่า MAPE เท่ากับ 9.17 %

จากการทดสอบ จะเห็นว่าภาคตะวันตกที่มีค่า MAPE ของชุดทดสอบเท่ากับ 11.60% ซึ่งเกินเกณฑ์ค่า MAPE ที่ยอมรับได้ที่ 10%

จึงลองหาวิธีแก้ที่ทำให้ค่า MAPE ของภาคตะวันตก ซึ่งเมื่อลองนำภาคเหนือ ที่มีค่า MAPE อยู่ที่ 1.36 % มารวมเป็นชุดข้อมูลเดียวกันแล้วทดสอบการเรียนรู้ใหม่อีกครั้ง

ภาคตะวันตก(รวมภาคเหนือ) ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก Dsig จำนวนของฟังก์ชันสมาชิก 4 2 2 2 ได้ค่า MAPE เท่ากับ 4.83 %

5. สรุป

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบ ANFIS เพื่อพยากรณ์ความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยจากข้อมูลแต่ละสถานีที่กระจายอยู่ทั่วประเทศมาให้อข้อมูลในจุดที่ไม่ทราบค่า

การทดสอบหาโครงสร้างที่ดีที่สุด โดยปรับชนิด และจำนวนของ ฟังก์ชันสมาชิก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

จากนั้นนำโครงสร้างที่ดีที่สุดมาสร้างเป็น GUI เพื่อให้ผู้ใช้ทั่วไปง่ายต่อการใช้งาน โดยออกแบบให้ผู้ใช้ใส่ค่า ที่ตั้ง ปีและเดือนที่อยากทราบค่า แล้วให้ GUI ให้คำตอบออกมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (ออนไลน์), แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th> .
- [2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร, “แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย”, 2552.
- [3] จิระชัย อุไรจรี ปิยะพงษ์ ประพันธ์พจน์ และ ภาณุกร ศรีวาทกุล, “การประยุกต์ใช้งาน ANFIS ในการประเมินหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย”, ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.
- [4] บุญหลง รอดแรงบุญ, “การประยุกต์ใช้ ANFIS สำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำ,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [5] บรรจบ สุขประภากรณ์ , เอกสารประกอบการเรียนวิชา Solar Energy Application
- [6] Matlab Book Available at : <http://www.scribd.com/doc/23202801/Matlab-Book> ;page151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายปิยวัฒน์ สถาปนา

87 ถนนทรงวาด แขวงจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์

กรุงเทพมหานคร 10100

E-mail: stapana@hotmail.com



นายโสธร อติวัฒนานนท์

122/16 ซอยนวมินทร์ 58 ถนนนวมินทร์ เขตบึงกุ่ม

กรุงเทพมหานคร 10240

E-mail: egi.q3@gmail.com



นายอนุรักษ์ เจริญนวุฒิ

68/2 หมู่ 5 ตำบลมาบฝั อำเภอบ้านบึง

ชลบุรี 20170

E-mail: yukung16@hotmail.com



นายอภิพงศ์ นาคน้อย

4/1326 ซอย36 หมู่บ้านสหกรณ์4 ถนนเสรีไทย บึงกุ่ม

กรุงเทพมหานคร 10240

E-mail: naknoi_j@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้