



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพแผนการดำเนินงานในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับการบูรณาการระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระจายตัวและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม

Optimizing Operational Plan in Distribution System of Integrating Distributed Generators with Wind Power Generation

นามผู้วิจัย นายนนทชัย อยู่ไทย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รongศาสตราจารย์เอกชัย ไพบาลกิตติสกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มประสิทธิภาพแผนการดำเนินงานในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับการบูรณาการ
ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระจายตัวและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม

Optimizing Operational Plan in Distribution System
of Integrating Distributed Generators with Wind Power Generation

โดย

นายนนทชัย อยู่ไทย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นนทชัย อยู่ไทย 2557: การเพิ่มประสิทธิภาพแผนการดำเนินงานในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
สำหรับการบูรณาการระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระจายตัวและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจาก
พลังงานลม วิทยุวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
เอกชัย ไพบาลกิตติสกุล, Ph.D. 57 หน้า

ปัจจุบันวิกฤตพลังงานเชื้อเพลิงมีแนวโน้มทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นในอนาคตอันใกล้
การจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการจึงเป็นเรื่องที่ถูกต้องให้ความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ จึง
เป็นที่มาของการนำพลังงานทดแทนมาใช้งาน โดยพลังงานจากลมเป็นแหล่งพลังงานทดแทนหนึ่ง
ที่มีศักยภาพที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว และเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการจัด
การพลังงานนั้นจำเป็นต้องมีระบบที่สามารถกำหนดแผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ชนิดต่างๆ ที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่ง
แผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้นสามารถช่วยทำให้ประหยัดต้นทุนในการใช้
เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการนำเสนอขั้นตอนวิธีในการสร้างแผนการทำงานร่วมกันของเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าที่มีแหล่งพลังงานทดแทนจากกังหันลมซึ่งเชื่อมต่อร่วมกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดย
ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการพยากรณ์ความเร็วลมและ การสร้างแบบจำลองแผนการทำงาน
ร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยแบบจำลองข้างต้นสามารถ
ตอบสนองวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ คือ สามารถคาดการณ์ความเร็วลมที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า 1 ชั่วโมง
เพื่อนำไปสู่การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นตามมา พร้อมทั้งสร้างแผนการทำงานร่วมกันของ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาพบว่า แผนการทำงานของเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าที่ได้จากกระบวนการที่นำเสนอสามารถนำไปใช้สำหรับการกำหนดแผนในการ
ทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรายชั่วโมงได้อย่างเป็นที่น่าพึงพอใจ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nontachai Yoothai 2014: Optimizing Operational Plan in Distribution System of Integrating Distributed Generators with Wind Power Generation. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Ekachai Phaisanhitisakul, Ph.D. 57 pages.

Energy crisis tends to be a great impact in near future due to an enormous demand in global usage. To avoid the serious consequence of the energy shortage, supplying energy source in response to the great demand of energy is the top priority to deal with. Wind energy is one of renewable energies that has been used to mitigate the problem. To achieve the goal, an operational plan to integrate different kinds of energy generation must be efficient so that they can seamlessly work together. In addition, effective operational plan can also be useful to reduce the production cost of energy generation.

In this thesis, an algorithm of creating an operational plan between wind generation and existing distributed generators is proposed. This study is separated into two aspects. First, wind forecast model is implemented based on auto-correlation technique. Second, optimal operational plan of the previous wind forecast and existing distributed generation is present to meet the demand of the energy. The results of the proposed approach can be used to manage energy production effectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ไพบูลย์กิตติสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย แนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ในอนาคตต่อไป ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้ประสานงาน พี่ๆ และเพื่อนๆ ในโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ คอยอบรมสั่งสอน ให้ความรัก ความหวังใจ และให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้านเป็นอย่างยิ่ง

นนทชัย อยู่ไทย
ตุลาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	13
อุปกรณ์	13
วิธีการ	13
ผลและวิจารณ์	31
ผล	31
วิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	54
สรุป	54
ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	57

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นด้วยกระบวนการ S-BP ,M-BP และ GA-BP	5
2	ตัวอย่างปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบรายชั่วโมง	26
3	ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์และจำนวนชั่วโมงของข้อมูล	32
4	ข้อมูลสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง	38
5	ค่าความชันและค่าถ่วงน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง	40
6	ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าที่ทำให้ต้นทุนมีค่าต่ำที่สุดและข้อจำกัดขอบเขตกำลังไฟฟ้า	43
7	ผลลัพธ์การคำนวณหาค่าเหมาะสมและจำนวนรอบในการคำนวณ	44
8	แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด 10 เครื่องระยะเวลา 24 ชั่วโมง	46
9	ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลม 24 ชั่วโมง	48
10	ผลลัพธ์การทำนายกำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม 24 ชั่วโมง	49
11	ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสุทธิ	50
12	แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด 10 เครื่องโดยเชื่อมต่อกังหันลมในระบบ	51

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ระบายแบ่งเขตข้อมูลที่เหมาะสม	7
2 ขั้นตอนในการคัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูล	15
3 การแบ่งชุดข้อมูลเพื่อตรวจสอบ (n-fold cross validation)	16
4 ลักษณะโมเดลที่มีความซับซ้อนมากเกินไป (Over fitting)	16
5 ลักษณะโมเดลที่มีความง่ายเกินไป (Under fitting)	17
6 ขั้นตอนในการสร้างโมเดลการพยากรณ์ความเร็วลม	17
7 ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม	18
8 ขั้นตอนการดำเนินการสร้างโมเดลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้า	20
9 การคำนวณความชันของเส้นตรง	22
10 ขั้นตอนการคำนวณหาแผนการดำเนินงานการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม	27
11 โครงสร้างของระบบ	28
12 ขั้นตอนการทำงานของระบบ	30
13 ตัวอย่างความเร็วลมรายชั่วโมงระยะเวลา 100 วัน	31
14 ตัวอย่างชุดข้อมูลฝึกสอนให้แก่โมเดลพยากรณ์ความเร็วลม	32
15 ค่า C และ γ และค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของโมเดลพยากรณ์ความเร็ว	33
16 ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลมล่วงหน้า 1 ชั่วโมง	34
17 ค่า C และ γ และค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของโมเดลพยากรณ์กำลังไฟฟ้า	35
18 คุณลักษณะของโมเดลพยากรณ์กำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม	36
19 ผลทดสอบโมเดลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม	37
20 ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1	38
21 ฟังก์ชันต้นทุนและการปรับให้เข้ารูปแบบเชิงเส้น	39
22 ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้า 24 ชั่วโมง	41
23 ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันต้นทุนและจำนวนรอบในการคำนวณ	42
24 กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่รอบการคำนวณสุดท้าย	43
25 แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด 10 เครื่องภายใน 24 ชั่วโมง	45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การจ่ายกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้า	45
27	ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลม 24 ชั่วโมง	47



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กฟภ.	=	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
\$/hour	=	dollar-hour
ANN	=	Artificial Neural Network
EP	=	Evolutionary Programming
GA	=	Genetic Algorithm
GA-BP	=	Genetic Algorithm Back Propagation
m/s	=	meter-second
MAE	=	Mean Absolute Error
MAPE	=	Mean Absolute Percentage Error
M-BP	=	Momentum Back Propagation
MSE	=	Mean Square Error
MW	=	megawatt
NREL	=	National Renewable Energy Laboratory
PSO	=	Particle Swarm Optimization
RBF	=	radials basis function
S-BP	=	Standard Back Propagation
SVM	=	Support vector machine

การเพิ่มประสิทธิภาพแผนการดำเนินงานในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับการบูรณาการระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระจายตัวและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม

Optimizing Operational Plan in Distribution System of Integrating Distributed Generators with Wind Power Generation

คำนำ

เนื่องจากสภาวะวิกฤติทางพลังงานไฟฟ้าในยุคปัจจุบันที่มีแหล่งพลังงานมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีสัญญาณในการขาดแคลนอย่างเห็นได้ชัดเจนจึงทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลม การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล เป็นต้น ซึ่งการนำแหล่งพลังงานทดแทนมาเชื่อมต่อกับโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมนั้นสอดคล้องกับแผนงานด้านโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพที่มีแนวโน้มเพิ่มเข้ามาในระบบจำหน่ายของ กฟภ. นั่นคือ พลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมและเพื่อให้การดำเนินงานด้านการจัดการพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งสำคัญที่ถูกลำเอียงมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อการวางแผนในการจัดการคือ การพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นที่จะต้องอาศัยการพยากรณ์ความเร็วของลมที่จะเกิดขึ้นที่มีความแม่นยำ

นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัวนั้นส่งผลให้ระบบจำหน่ายของ กฟภ. มีลักษณะเป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายเพื่อสนับสนุนความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังกล่าวจึงทำให้โครงข่ายไฟฟ้านั้นมีแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากหลายแหล่งเชื่อมต่ออยู่ ซึ่งอาจเพิ่มอัตราสูญเสียพลังงานไฟฟ้าหรือขาดเสถียรภาพทางพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องมีการจัดการพลังงานเพื่อให้การบริหารจัดการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และการจัดหาพลังงานเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างโมเดลสำหรับพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นแบบรายชั่วโมงเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้และนำไปใช้ในการวางแผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบจำหน่ายโดยจะมีการจำลองระบบ

จำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายๆ ตัว นอกจากนี้ยังได้มีการเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยอาศัยค่าความเร็วลมที่พยากรณ์ได้เป็นตัวกำหนดพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในช่วงเวลาข้างหน้าจากนั้นจึงจะทำการหาแผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกันกับกำลังการผลิตและปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้า



วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการสร้างโมเดลสำหรับการพยากรณ์ความเร็วลมในระยะสั้นที่จะเกิดขึ้นสำหรับปริมาณการพลังงานไฟฟ้าที่จะสามารถผลิตได้
2. เพื่อพัฒนาแผนการทำงานที่มีประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับวางแผนจัดการพลังงานไฟฟ้าของโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กให้สอดคล้องกับความต้องการพลังงานไฟฟ้า



การตรวจเอกสาร

การพยากรณ์ความเร็วลม

การพยากรณ์ความเร็วลมหมายถึง การทำนายความเร็วลมที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลความเร็วลมในอดีต ซึ่งผ่านการวิเคราะห์ทางสถิติหรือการใช้แบบจำลองการเรียนรู้เพื่อให้เกิดการรู้จำรูปแบบการกำเนิดของความเร็วลม

1. ประเภทของการพยากรณ์

AL Hamadi H.M.,2005 ได้กล่าวไว้ว่าการจำแนกประเภทของการพยากรณ์นั้นสามารถจำแนกได้ตามระยะเวลาของผลลัพธ์การพยากรณ์ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

1.1 การพยากรณ์ระยะสั้น (Short-Term Forecast) คือ การพยากรณ์ล่วงหน้าโดยมีช่วงระยะเวลาของการพยากรณ์ตั้งแต่ระดับ นาที จนถึงระดับชั่วโมงแต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

1.2 การพยากรณ์ระยะกลาง (Mid-Term Forecast) คือ การพยากรณ์ล่วงหน้าโดยมีช่วงเวลาในการพยากรณ์ตั้งแต่ระดับ 1 วัน จนถึงระดับ 1 เดือนแต่ไม่เกิน 12 เดือน

1.3 การพยากรณ์ระยะยาว (Long-Term Forecast) คือ การพยากรณ์ล่วงหน้าโดยมีช่วงเวลาตั้งแต่ 1-10 ปี

โดยการเลือกใช้ผลการพยากรณ์ของแต่ละแบบของการพยากรณ์นั้นสามารถจำแนกได้ตามลักษณะการนำผลลัพธ์ไปใช้งานที่เหมาะสมเช่น หากต้องการวางแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าในระยะเวลาภายใน 1 วันควรเลือกใช้การพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นเพื่อให้ผลการทำนายมีความสอดคล้องกับแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้ามากที่สุด หรือ หากต้องการวางแผนที่จะติดตั้งระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มเติมในอนาคตต้องใช้ลักษณะการพยากรณ์ในระยะกลางหรือระยะยาว เป็นต้น

2. เทคนิควิธีที่ใช้ในการพยากรณ์

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีการคิดค้นเทคนิควิธีการในการพยากรณ์ด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์อย่างแพร่หลายซึ่งในบางกรณีนั้นผลลัพธ์การพยากรณ์ที่แม่นยำนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับโมเดลที่เลือกใช้เพียงอย่างเดียวจึงไม่อาจที่จะหาคำตอบได้ว่าโมเดลในการพยากรณ์ใดเหมาะสมกับการพยากรณ์ในรูปแบบที่ต้องการมากที่สุดจึงมีการเลือกใช้เทคนิคของวิธีการต่างๆ อย่างแพร่หลาย โดยวิธีที่ได้รับความนิยมสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับความทันสมัยของโมเดลที่ได้รับการนำเสนอกับช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งในปัจจุบันนั้นโมเดลที่นิยมใช้ในการพยากรณ์นั้น คือ กระบวนการโครงข่ายประสาทเทียม และ กระบวนการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เป็นต้น

จากบทความ (Zeng, 2011) ได้ศึกษาการพยากรณ์ความเร็วลมด้วยกระบวนการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine, SVM) เปรียบเทียบกับกระบวนการโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) โดยมีการเลือกข้อมูลคุณลักษณะย้อนหลังโดยอาศัยวิธีการคำนวณอัตโนมัติสัมพันธ์ (Auto-Correlation) เพื่อเป็นการหาความเหมาะสมของช่วงเวลาย้อนหลังในการเลือกข้อมูลคุณลักษณะ และ ใช้ดัชนีวัดค่าความผิดพลาดทางสถิติในการวัดผล โดยจากผลการศึกษาพบว่าการพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นด้วยกระบวนการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนนั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ากระบวนการโครงข่ายประสาทเทียมถึง 26 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นด้วยกระบวนการ S-BP ,M-BP และ GA-BP

	RMSE (m/s)	MAE (m/s)	MRE (%)
S-BP	2.812	2.405	34.94
M-BP	2.192	1.903	25.89
GA-BP	1.558	1.324	18.96

ที่มา: Weidong (2010)

จากบทความ (Weidong, 2010) ศึกษาการพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นด้วยกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการพยากรณ์จากขั้นตอนวิธีแบบ Standard Back Propagation (S-BP) , Momentum Back Propagation

(M-BP) และ Genetic Algorithm Back Propagation (GA-BP) โดยที่กระบวนการย้อนกลับที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้นคือ GA-BP โดยมีผลลัพธ์ดังตารางที่ 1

3. เทคนิคในการพยากรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

จากการรวบรวมเอกสารดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการพยากรณ์ความเร็วลมโดยได้ศึกษาเทคนิคในการคัดแยกคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) และทฤษฎีของโมเดลการพยากรณ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross Correlation)

การคำนวณสหสัมพันธ์แบบไขว้ คือ กระบวนการมาตรฐานสำหรับการอธิบายความสัมพันธ์กันของ ชุดข้อมูล 2 ชุด (Huang, 2006) โดยการพิจารณาชุดข้อมูลทั้งสองนั้นเป็นเหมือนสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีความยาวเท่ากัน จากนั้นคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบไขว้เมื่อสัญญาณทั้ง 2 ถูกเลื่อนให้ห่างกันทีละช่วงเวลา โดยผลลัพธ์ที่นำมาใช้นั้นคือช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบไขว้มีค่ามากที่สุด แสดงสูตรการคำนวณตามสมการที่ (1)

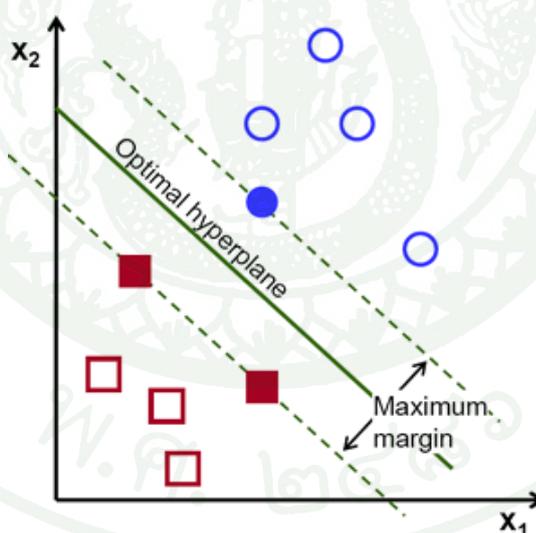
$$\rho_w(j) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_2(n)S_1(n-j)}{\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N S_2^2(n) \sum_{n=1}^N S_1^2(n-j)}} \quad (1)$$

กำหนดให้

- S_1 คือ สัญญาณที่ 1
- S_2 คือ สัญญาณที่ 2
- $\rho_w(j)$ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบไขว้ที่ตำแหน่งเวลา j
- N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
- n คือ จำนวนจุดเวลาที่ถูกลื่อน
- เมื่อ $j \in \{\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$

3.2 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM)

ขั้นตอนวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนนั้น คือ กระบวนการสร้างโมเดลการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (Supervise Learning) เพื่อให้โมเดลสามารถจำแนกประเภทของข้อมูลได้ (Data Classifier) ซึ่งซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเป็นโมเดลที่สามารถทำงานได้ดีกับข้อมูลที่โมเดลนั้นไม่เคยรู้จักมาก่อน โดยโมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนนั้นจะทำการสร้างเส้นแบ่งเขตระนาบข้อมูลเพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูลออกจากกัน โดยระยะห่างจากข้อมูลแต่ละชนิดตัวสุดท้ายที่มีระยะขอบ (margin) ตัดผ่านนั้นเรียกว่า ซัพพอร์ตเวกเตอร์ โดยที่เส้นระยะขอบนั้นจำเป็นต้องขนานกับเส้นแบ่งระนาบของข้อมูล โดยที่เส้นแบ่งระนาบข้อมูลที่มีความเหมาะสมที่สุดนั้นจะต้องเป็นเส้นแบ่งข้อมูลที่ทำให้ระยะขอบมีค่ามากที่สุดดังแสดงได้ดังภาพที่ 1 แต่อย่างไรก็ดีการนำซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมาประยุกต์ใช้งานนั้นยังมีการนำมาใช้งานในการคำนวณค่าถดถอยของข้อมูล (Data Regression) อีกด้วยซึ่งจะแตกต่างกันกับการจำแนกข้อมูลที่ค่าของผลลัพธ์เป้าหมายโดยค่าผลลัพธ์เป้าหมายของการจำแนกข้อมูลนั้นจะมีค่าเป็นจำนวนเต็มบวกหรือลบเท่านั้น แต่ค่าเป้าหมายของการคำนวณค่าถดถอยของฟังก์ชันนั้นจะมีลักษณะเป็นจำนวนจริง (Phaisangittisagul, 2008)



ภาพที่ 1 ระบายแบ่งเขตข้อมูลที่เหมาะสม

ที่มา: OpenCV (2014)

3.2.1 ระนาบแบ่งเขตข้อมูลที่เหมาะสม (The optimal Separating Hyper plane)

การคำนวณหาระนาบแบ่งเขตข้อมูลที่ดีที่สุดนั้นทำได้โดยอาศัยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการคำนวณตามสมการ (2) โดยมีเงื่อนไขประกอบดังนี้

$$\min J = \frac{1}{2} w^T w = \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (2)$$

โดยมีเงื่อนไขดังนี้

$$d_i(w^T x_i + b) \geq 1 \quad \text{โดย } i=1, \dots, m$$

และจากการคำนวณหาระนาบแบ่งเขตที่เหมาะสมนั้นค่าของตัวแปร w ที่มีค่าน้อยที่สุดนั้นจะทำให้เกิดระยะขอบของระนาบที่ห่างกันมาก

3.2.2 ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function)

จากหลักการของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนที่ดำเนินการแปลงมิติของระนาบของข้อมูลนำเข้าเป็นระนาบของข้อมูลคุณลักษณะของข้อมูลที่มีลักษณะทั้งที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นขยายใหญ่ขึ้นนั้นจะส่งผลให้การคำนวณเป็นไปได้ค่อนข้างยาก จึงได้มีการนำเสนอการใช้งานฟังก์ชันเคอร์เนลเพื่อแก้ปัญหาให้ได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพึงพอใจเช่นเดียวกัน โดยการนำฟังก์ชันเคอร์เนลมาใช้งานนั้นจะสามารถคำนวณหาระนาบที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่ต้องแปลงข้อมูลจากระนาบข้อมูลอินพุตไปยังระนาบข้อมูลคุณลักษณะ โดยที่ฟังก์ชันเคอร์เนลนั้นถูกนำเสนอหลากหลายรูปแบบโดยรูปแบบที่ได้รับความนิยมมีลักษณะตามสมการ (3) (4) และ (5)

$$K(x, y) = x^T y \quad (3)$$

$$K(x, y) = \left(1 + (x^T y)\right)^d \quad (4)$$

$$K(x, y) = \exp\left(-\frac{1}{2} \|x - y\|^2\right) \quad (5)$$

โดย

- | | |
|-----------|-----------------------------------|
| สมการ (3) | คือ ฟังก์ชันเคอร์เนลแบบเชิงเส้น |
| สมการ (4) | คือ ฟังก์ชันเคอร์เนลแบบพหุนาม |
| สมการ (5) | คือ ฟังก์ชันเคอร์เนลแบบเกาส์เซียน |

3.3 การประเมินประสิทธิภาพการทำนายผล

เนื่องจากวิธีในการพยากรณ์มีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีนั้นให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับข้อจำกัดและขีดความสามารถของแต่ละขั้นตอนวิธี โดยที่แต่ละขั้นตอนวิธีนั้นล้วนแล้วแต่มุ่งหวังไปที่ความแม่นยำของผลลัพธ์ที่พยากรณ์ดังนั้นทุกๆวิธีการในการพยากรณ์จำเป็นต้องใช้การวัดประสิทธิภาพที่เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ โดยที่การเปรียบเทียบผลลัพธ์การพยากรณ์นั้นต้องเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่สอดคล้องกัน ดังนั้นการเปรียบเทียบผลลัพธ์การพยากรณ์นั้นจึงต้องนำดัชนีวัดความถูกต้องมาเป็นค่าชี้วัดความผิดพลาด โดยค่าดัชนีดังกล่าวนี้จะมีค่ามากเมื่อผลที่ได้จากการพยากรณ์นั้นแตกต่างกับค่าที่เกิดขึ้นจริงเป็นปริมาณมาก โดยดัชนีชี้วัดความผิดพลาดที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมีดังนี้ คือ

3.3.1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error : MSE)

ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง คือ การคำนวณค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองของผลลัพธ์จากการพยากรณ์โดยแสดงได้ดังสมการ (6)

3.3.2 รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Absolute Error : MAE)

รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง คือ การนำค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการนำค่าจริงที่เกิดขึ้นมาลบกับค่าที่เป็นผลลัพธ์การพยากรณ์ทำการหาค่าสัมบูรณ์ของแต่ละตำแหน่งที่เวลาเดียวกันมายกกำลังสองจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยและถอดรากที่สอง โดยสามารถแสดงได้ดังสมการ (7)

3.3.3 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error : MAPE)

การคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนนั้นมีการคำนวณได้ดังสมการ (8) โดยการคำนวณนั้นทำได้โดยการนำค่าจริงลบกับค่าที่พยากรณ์ได้จากนั้นหารด้วยค่าจริงแล้วจึงหาค่าสัมบูรณ์จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเรียบร้อยแล้วจึงคูณด้วย 100 เพื่อให้ค่าที่ได้อยู่ในรูปของร้อยละ

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \hat{X}_i)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \hat{X}_i)^2}{N}} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_i - \hat{X}_i}{X_i} \right| \quad (8)$$

โดยกำหนดให้

- X_i คือ ค่าที่เกิดขึ้นจริงลำดับที่ i
- \hat{X}_i คือ ค่าที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์ลำดับที่ i
- N คือ จำนวนของกลุ่มข้อมูล

แผนดำเนินงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แผนการดำเนินงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Optimal Operation plan of Generators) คือ แผนการดำเนินงานการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ มีผลรวมของต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยเป็นไปตามข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และมีผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตส่งจ่ายให้แก่ระบบนั้นเท่ากับปริมาณความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของช่วงเวลานั้นๆ โดยการคำนวณการแก้ปัญหาเพื่อหาแผนดำเนินงานที่เหมาะสมนั้นจะทำการคำนวณจากฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function) ของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง

1. ผลการศึกษางานที่เกี่ยวข้องในอดีต

ในปี ค.ศ.1993 Walters และ Sheble ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) มาใช้ในการแก้ปัญหาแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ฟังก์ชันต้นทุนไม่ราบเรียบ (Non-Smooth Cost Function) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนสถานะของจุดวาล์ว (Valve Point Effect) ซึ่งขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม นั้นเป็นการหาคำตอบโดยประมาณ โดยอาศัยหลักการจากทฤษฎีวิวัฒนาการจากชีววิทยา และการคัดเลือกตามธรรมชาติ (natural selection) นั่นคือ สิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมที่สุดจึงจะอยู่รอด กระบวนการคัดเลือกดังกล่าวทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถปรับตัวได้เหมาะสมยิ่งขึ้นได้เปลี่ยนแปลงสิ่งมีชีวิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น (Walters and Sheble,1993)

ขั้นตอนในการแก้ปัญหาคำตอบด้วยวิธีทางพันธุกรรมเป็นการจำลองพฤติกรรมของธรรมชาติโดยการแทนคำตอบให้อยู่ในลักษณะโครโมโซมแล้วใช้วิธีการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการวิวัฒนาการ การเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมแบบสุ่ม โดยทั่วไปจะแทนคำตอบให้อยู่ในลักษณะเลขฐาน 2 การมีวิวัฒนาการ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะเริ่มจากการสร้างประชากรและแบ่งออกเป็นรุ่นๆ ในแต่ละรุ่นคำตอบหลายชุดจะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดการกลายพันธุ์หรือสับเปลี่ยนโครโมโซมกัน จนได้ประชากรรุ่นใหม่ที่มีความแข็งแรงมากกว่า จากนั้นจึงดำเนินการในลักษณะเดิมต่อไปเรื่อยๆ จนเกิดวิวัฒนาการจนพบคำตอบที่เหมาะสมดังที่ต้องการ

ในปี ค.ศ.1995 Eberhart และ Kennedy ได้นำเสนอเทคนิคการคำนวณที่มีชื่อเรียกว่า วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) ซึ่งมีแนวคิดจากการหาอาหารของนกหรือการหาอาหารของปลา และ ทฤษฎีการเคลื่อนที่ (Velocity Theory) ซึ่งต้องอาศัย

การเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่มและการเว้นระยะห่างระหว่างนกแต่ละตัว ซึ่งในที่นี่ เรียกว่า Particle Swarm (Eberhart and Kennedy, 1995)

โดยขั้นตอนในการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการคำนวณค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคนั้นมีความคล้ายคลึงกับเทคนิคการคำนวณที่มีวิวัฒนาการอื่นๆ โดยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีดังกล่าวนั้นเริ่มต้นและใช้การประเมินค่าและการเปลี่ยนแปลงเหล่าประชากรเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

ในปี ค.ศ.2004 Sinha และ Purkayastha ได้เสนอวิธีผสมที่เกิดจากการนำคุณลักษณะของวิธีการหาค่าเหมาะสมโดยวิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) มารวมเข้าด้วยกันกับการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Programming, EP) ที่มีฟังก์ชันการกลายพันธุ์แบบเกาส์เซียน เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบและไม่เป็นเชิงเส้นอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะเปิดปิดของจุดควาล์ว (Sinha and Purkayastha, 2004)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Window 7 Ultimate
3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB
4. ข้อมูลสถิติความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าย้อนหลัง
5. ข้อมูลฟังก์ชันต้นทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
6. ข้อมูลปริมาณความต้องการไฟฟ้า

วิธีการ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นแบบรายชั่วโมงโดยอาศัยข้อมูลสถิติของความเร็วในอดีตเป็นข้อมูลชุดฝึกสอนให้กับโมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน โดยอาศัยการเลือกคุณลักษณะเด่นของข้อมูลความเร็วลมจากความสัมพันธ์ข้ามเชิงฤดูกาล (Seasonal Cross Correlation) เพื่อนำไปสู่การคำนวณเป็นพลังงานไฟฟ้าที่กำเนิดขึ้น ณ ชั่วโมงนั้นๆ จากนั้นจะกล่าวถึงการแก้ปัญหาการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยมุ่งเน้นให้การจ่ายพลังงานไฟฟ้านั้นสอดคล้องกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดยทำการเสนอแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมโดยอาศัยฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยวิธีการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันแบบมีข้อจำกัดด้วยหลักการเซตแอ็กทีฟ (Active Set Algorithm) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การเลือกคุณลักษณะเด่นของข้อมูลอินพุท

ทำการเลือกข้อมูลทางสถิติของความเร็วลมในอดีตโดยการเลือกคุณลักษณะเด่นโดยวิธีการคำนวณความสัมพันธ์ข้ามเชิงฤดูกาลเพื่อสร้างข้อมูลชุดฝึกสอนให้กับแบบจำลองการพยากรณ์ โดยการเลือกข้อมูลสำหรับการฝึกสอนนั้นโดยทั่วไปการเลือกข้อมูลจะทำการเลือกข้อมูลย้อนหลังต่อเนื่องกันเป็นอนุกรมเวลาโดยมีระยะเวลาใดระยะเวลาหนึ่งโดยรูปแบบการเลือกนั้นแสดงได้ดังสมการที่ (9) (Zeng and Qiao, 2011)

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกข้อมูลในอดีตที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันแต่เป็นข้อมูลของปีก่อนหน้าเพื่อนำมาคำนวณสหสัมพันธ์แบบไขว้เพื่อหาความคล้ายคลึงกันของรูปแบบความเร็วลมที่เกิดขึ้นในแต่ละปีโดยการเลือกดังกล่าวถูกแสดงในสมการที่ (10) ซึ่งข้อมูลย้อนหลังในแต่ละช่วงปีนั้นจะต้องมีความสัมพันธ์กันเชิงฤดูกาลมากที่สุดกล่าวคือเมื่อเลือกข้อมูลย้อนหลังในปีปัจจุบันแล้วจะต้องนำมาทำการคำนวณสหสัมพันธ์แบบไขว้กับข้อมูลย้อนหลัง 1 ปีโดยช่วงเวลาที่ถูกลีอกนั้นจะต้องให้ผลลัพธ์ของสหสัมพันธ์แบบไขว้มากที่สุดจากนั้นจึงจะได้ข้อมูลย้อนหลังปีที่ 1 ที่มีความสัมพันธ์ข้ามเชิงฤดูกาล จากนั้นจึงคำนวณเทียบกับข้อมูลย้อนหลังปีที่ 2 อีกครั้งจึงจะได้รูปแบบในการเลือกข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการฝึกสอนแบบจำลอง โดยขั้นตอนในการคัดแยกคุณลักษณะเด่นของข้อมูลอินพุทที่กล่าวมานั้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2

$$y_i^T = f\left(y_{i-1}^T, y_{i-2}^T, \dots, y_{i-d-1}^T, y_{i-d}^T\right) \quad (9)$$

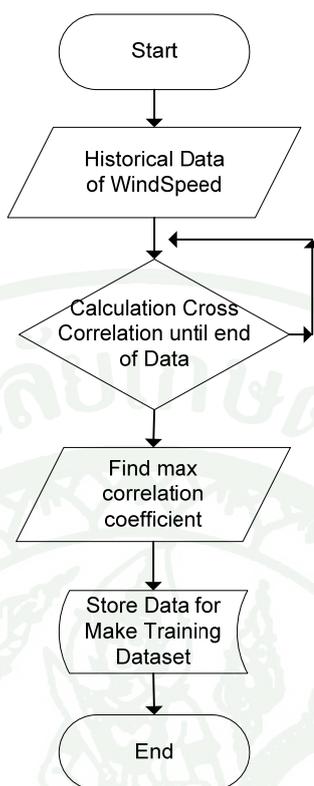
$$y_i^T = f\left(\begin{matrix} y_{i-1}^T, y_{i-2}^T, \dots, y_{i-d}^T, \\ y_{i-1}^{T-1}, y_{i-2}^{T-1}, \dots, y_{i-d}^{T-1}, \\ y_{i-1}^{T-2}, y_{i-2}^{T-2}, \dots, y_{i-d}^{T-2} \end{matrix}\right) \quad (10)$$

กำหนดให้

$f(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันแบบจำลองในการพยากรณ์ความเร็วลม

y_i^T คือ ความเร็วลม ณ เวลาปัจจุบัน i ของปีที่ T

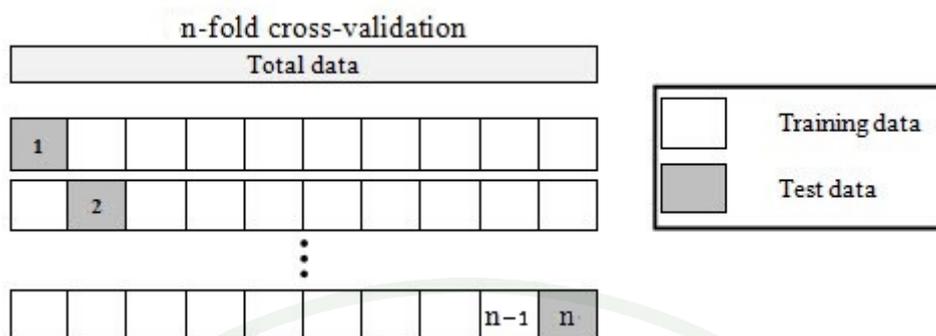
d คือ จำนวนช่วงเวลาในอดีต



ภาพที่ 2 ขั้นตอนในการคัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูล

2. สร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความเร็วลม

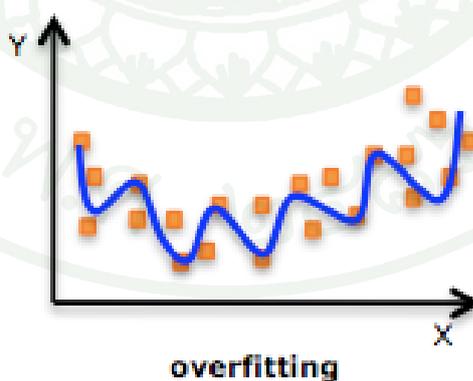
ทำการสร้าง โมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเพื่อนำมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณลมราย ชั่วโมงโดยทำการฝึกสอน โมเดลจากข้อมูลชุดฝึกสอนและทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยนำหลักการตรวจสอบแบบข้าม (Cross Validate) สำหรับ ประเมินประสิทธิภาพของการพยากรณ์ด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลเพื่อนำมาตรวจสอบ (n -fold cross validation) โดยหลักการดังกล่าวนี้จะทำการแบ่งชุดข้อมูลจำนวน n ชุดเท่าๆ กันเพื่อนำมาคำนวณ ค่าความผิดพลาดจำนวน n ครั้ง โดยแต่ละรอบการคำนวณนั้นข้อมูล 1 ชุดจาก n ชุดจะถูกนำมาเป็น ข้อมูลทดสอบและข้อมูลที่เหลืออีก $n-1$ ชุดนั้นจะถูกนำไปเป็นข้อมูลฝึกสอนให้แก่โมเดล โดยแสดง ได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การแบ่งชุดข้อมูลเพื่อตรวจสอบ (n-fold cross validation)

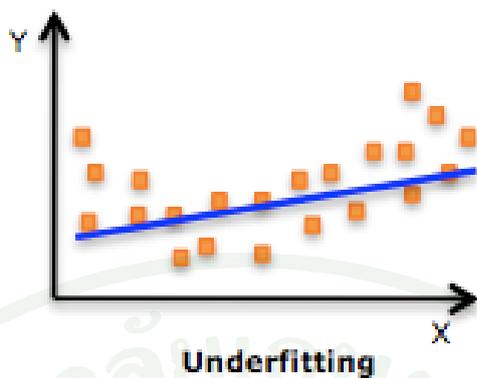
ที่มา: Kaewchinporn (2013)

โดยการนำหลักการดังกล่าวมาใช้ในขั้นตอนการสร้างโมเดลการพยากรณ์นั้นจะทำให้โมเดลที่ถูกสร้างนั้นลดสถานะที่ซับซ้อนมากเกินไปของโมเดลพยากรณ์ (Over fitting) หรือ เป็นโมเดลที่มีความง่ายเกินไป (Under fitting) ทั้งนี้เนื่องจากว่าหลักการแบ่งชุดข้อมูลเพื่อการตรวจสอบนั้นจะทำให้ข้อมูลทุกชุดที่อยู่ในชุดข้อมูลเดียวกันนั้นได้ถูกสลับมาเป็นข้อมูลชุดทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน ซึ่งเป็นผลดีต่อการสร้างแบบจำลองเพราะเป็นการลดความผิดพลาดลงหากแบบจำลองถูกทดสอบด้วยข้อมูลที่แบบจำลองไม่เคยพบมาก่อน โดยลักษณะของโมเดลที่มีความซับซ้อนมากเกินไปและโมเดลที่มีความง่ายเกินไปนั้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5



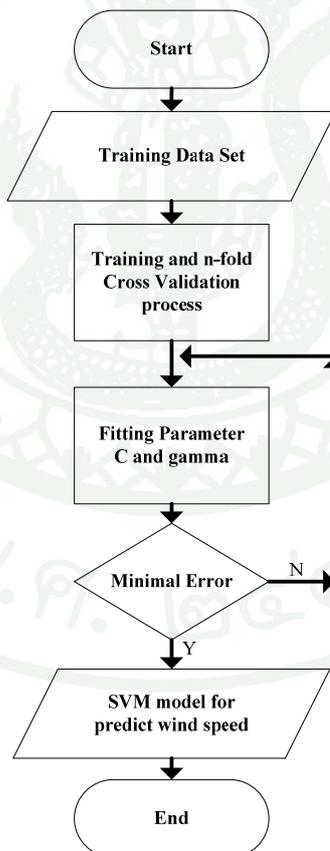
ภาพที่ 4 ลักษณะโมเดลที่มีความซับซ้อนมากเกินไป (Over fitting)

ที่มา: Gondaliya (2014)



ภาพที่ 5 ลักษณะโมเดลที่มีความง่ายเกินไป (Under fitting)

ที่มา: Gondaliya (2014)

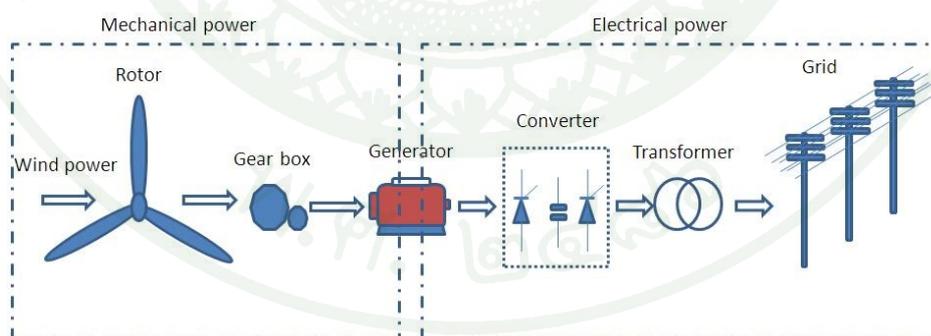


ภาพที่ 6 ขั้นตอนในการสร้างโมเดลการพยากรณ์ความเร็วลม

จากขั้นตอนการสร้างโมเดลการพยากรณ์ความเร็วลมที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นนั้นจะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ของโมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเพื่อใช้เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยค่าที่ทำการปรับนั้นคือ ค่าพารามิเตอร์ C และ ค่าพารามิเตอร์ γ โดยสามารถแสดงขั้นตอนได้ดังภาพที่ 6 โดยในขั้นตอนแรกนั้นจะทำการแบ่งข้อมูลสำหรับฝึกสอนและข้อมูลสำหรับตรวจสอบเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอน n fold cross validation จากนั้นจึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำให้ผลการทดสอบนั้นมีความผิดพลาดน้อยที่สุดแล้วนำค่าที่ได้นั้นไปสร้างโมเดลเพื่อใช้ในการพยากรณ์ความเร็วลมต่อไป

3. สร้างแบบจำลองการคำนวณกำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมประกอบด้วย ใบพัด ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และ หม้อแปลงไฟฟ้า แสดงตามภาพที่ 7 โดยหน้าที่ของอุปกรณ์หลักที่กล่าวมามีหน้าที่ดังนี้ คือ ใบพัดทำหน้าที่รับพลังงานจากลมเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานทางกลส่งตามแกนเพลลาไปยัง ระบบเกียร์ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนความเร็วรอบต่ำจากแกนเพลลาของใบพัดให้สูงขึ้นส่งไปตามเพลลาไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานทางกลเป็นกำลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจะทำหน้าที่ควบคุมเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ต้องการ ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้าจะแปลงระดับแรงดันให้สูงขึ้นเพื่อเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Zhe *et al.*, 2009)



ภาพที่ 7 ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

ที่มา: ประมวล (2555)

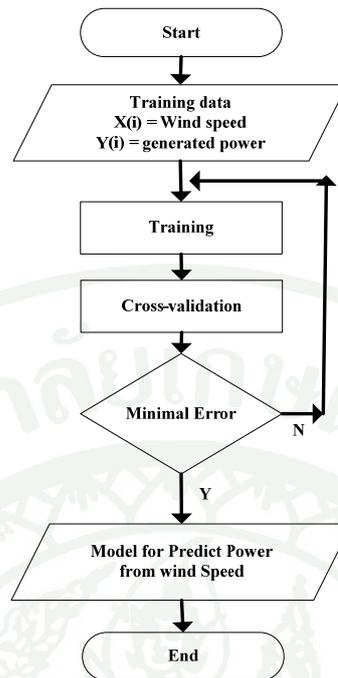
โดยการคำนวณค่ากำลังทางไฟฟ้านั้นจะต้องทราบปริมาณกำลังลมที่กระทำต่อใบพัดเมื่อทราบความเร็วของลมที่ปะทะกับใบพัดแล้วจึงทำการคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้โดยกำลังของลมที่ปะทะใบพัดจะถูกลดทอนกำลังลงเพื่อเปลี่ยนเป็นกำลังทางกลโดยค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน (C_p) ที่แสดงดังสมการที่ (11) จากนั้นจึงทำการนำผลลัพธ์ที่ได้นั้นคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การแปลงกำลังทางกลไปเป็นกำลังไฟฟ้า (η) อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นกำลังไฟฟ้า

$$P_{elec} = \frac{1}{2} \rho A C_p \eta v^3 \quad (11)$$

กำหนดให้

P_{elec}	คือ กำลังไฟฟ้า (W)
ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3
A	คือ พื้นที่กวาดของใบพัด (m^2)
C_p	คือ สัมประสิทธิ์ของกำลังงาน (Power Coefficient)
η	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงกำลังทางกลไปเป็นกำลังไฟฟ้า
v	คือ ความเร็วของลม (m/s)

โดยค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 2 ค่าดังกล่าวมานั้นจะมีค่าน้อยกว่า 1 และไม่เป็นค่าคงที่ ซึ่งค่าดังกล่าวมานั้นขึ้นอยู่กับความเร็วลม ณ ขณะ เวลานั้นมีค่ามากหรือน้อยเพียงใดและขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของกังหันลมชนิดนั้นๆ ซึ่งจะทำให้การคำนวณเป็นไปได้ค่อนข้างยากเพราะเนื่องจากความไม่คงที่ของค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมาข้างต้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงทำการสร้างโมเดลการเรียนรู้เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าจากความเร็วลมที่พยากรณ์ได้ โดยสร้างโมเดลการเรียนรู้ด้วยกระบวนการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแทนการคำนวณที่มีความซับซ้อนดังกล่าวมา โดยขั้นตอนการทำงานในขั้นตอนนี้แสดงได้ดังภาพที่ 8 โดยในขั้นตอนแรกนั้นจะทำการนำเข้าสู่ข้อมูลสำหรับฝึกสอนให้แก่โมเดลการเรียนรู้โดยข้อมูลดังกล่าวคือข้อมูลของความเร็วลมที่วัดได้และกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ จากนั้นจึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของโมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน จากนั้นจึงทำการตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ค่าใดให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดจึงเลือกค่าพารามิเตอร์ค่านั้นมาทำการสร้างโมเดลสำหรับการแปลงความเร็วลมเป็นกำลังไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการดำเนินการสร้างโมเดลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้า

4. สร้างแบบจำลองสำหรับการกำหนดแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นเมื่อสามารถทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมได้เรียบร้อยแล้ว ค่ากำลังไฟฟ้างกล่าวจะถูกนำมาหักลบด้วยค่าปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าในชั่วโมงนั้นๆ เพื่อให้เหลือความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ยังคงต้องการเพิ่มจากเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมอยู่ในระบบโดยการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของแผนดำเนินการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องนั้นจะทำการคำนวณจากค่าของฟังก์ชันต้นทุนและตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นค่าต่ำสุดหรือไม่โดยจะทำการตรวจสอบโดยการเพิ่มจำนวนรอบในการหาค่าต่ำสุดจนกว่าค่าที่ได้นั้นจะเป็นค่าต่ำสุดต่อเนื่องกันจนจบรอบการคำนวณทั้งหมด ขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมของกำลังไฟฟ้านั้นจึงจบลงและนำค่าของกำลังไฟฟ้าที่ได้มาเป็นคำตอบสำหรับการสร้างแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยอาศัยขั้นตอนวิธีเซตแอคทีฟ (active set algorithm) โดยส่วนประกอบของการคำนวณหาค่าเหมาะสมดังกล่าวนี้ ต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆดังนี้ คือ

4.1 ฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function)

ในส่วนของการคำนวณหาแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ต้องอาศัยข้อมูลที่เป็นคือข้อมูลฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องเพื่อที่จะนำมาทำการคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด โดยเป้าหมายในการหาค่าที่เหมาะสมนั้น เป็นไปตามสมการ (12) ซึ่งโดยทั่วไปนั้นฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ โดยแบ่งเป็นฟังก์ชันต้นทุนที่เป็นเชิงเส้นซึ่งจะอยู่ในลักษณะของสมการกำลัง 2 และอยู่ในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยเป็นผลมาจากพฤติกรรมของการเปิดและปิดวาล์ว (Pathom A. *et al.*, 2002) โดยแสดงได้ดังสมการที่ (13) และ (14) ตามลำดับ

$$\min F_T = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (12)$$

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (13)$$

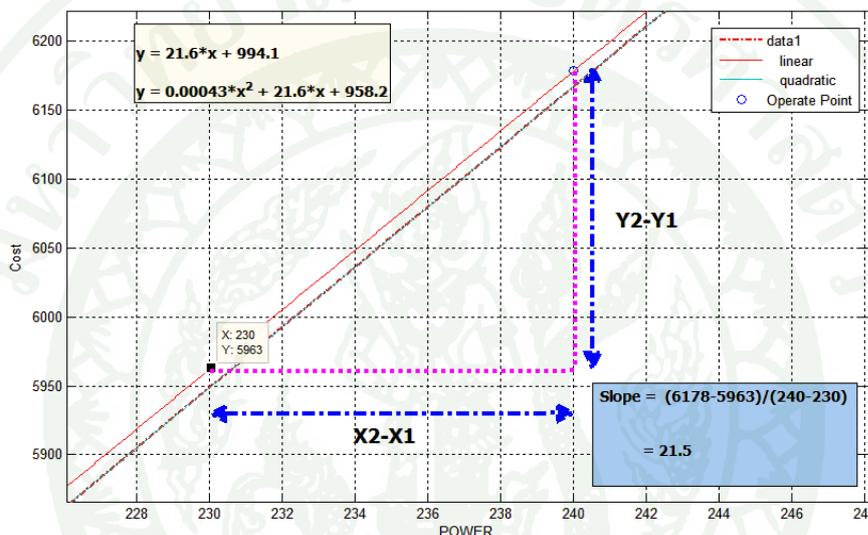
$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + |e_i * \sin(f_i * (P_i^{\min} - P_i))| \quad (14)$$

กำหนดให้

$F_i(\cdot)$	คือ ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิด Unit i
F_T	คือ ต้นทุนรวมของแผนการดำเนินงาน
P_i	คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด Unit i
P_i^{\min}	คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดที่น้อยที่สุด Unit i
a_i	คือ สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Unit i
b_i	คือ สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Unit i
c_i	คือ สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Unit i
e_i	คือ สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Unit i
f_i	คือ สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Unit i

แต่ในการทำวิจัยครั้งนี้ต้องการที่จะจำกัดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงต่อมาจึงได้ทำการนำฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าแต่ละเครื่องมาทำการแปลงโดยอาศัยคุณสมบัติของเส้นตรงเพื่อทำการคำนวณหาอัตราการใช้ต้นทุนเมื่อกำลังไฟฟ้า

เปลี่ยนแปลงไปแสดงได้ดังภาพที่ 9 ทั้งนี้ค่าดังกล่าวสะท้อนถึง อัตราการบริโภคเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากนั้นเมื่อทราบถึงความสิ้นเปลืองของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง โดยจากความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงความชันที่คำนวณได้โดยสมการที่ (15) จากนั้นจึงนำค่าความชันของฟังก์ชันต้นทุนที่คำนวณได้มาทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบปกติ (Normalized) ด้วยวิธีการปรับค่าสเกลของชุดข้อมูล (Re-Scaling Method) ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (16) เพื่อนำมาเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (*weight*) สำหรับการแก้ปัญหาการคำนวณค่าเหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 9 การคำนวณความชันของเส้นตรง

$$\Delta Y = Slope * \Delta X \tag{15}$$

กำหนดให้

- Slope คือ ความชันของเส้นตรง
- ΔY คือ ส่วนต่างของค่า y
- ΔX คือ ส่วนต่างของค่า x

$$weight = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \tag{16}$$

กำหนดให้

\overline{weight}	คือ เวกเตอร์ของค่าถ่วงน้ำหนัก
X	คือ เซตของความชันจากฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
X_{\max}	คือ ค่า x ที่มากที่สุด
X_{\min}	คือ ค่า x ที่น้อยที่สุด

จากนั้นนำสมการ (15) คูณด้วยสมการ (16) เพื่อสร้างเทอมในการจำกัดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างเหมาะสม จากนั้นจึงนำมาบวกด้วยสมการของฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยในการทำวิจัยครั้งนี้เลือกฟังก์ชันต้นทุนแบบลักษณะไม่เรียงดังสมการที่ (14) จึงทำให้ได้สมการของฟังก์ชันต้นทุนใหม่ดังสมการที่ (17)

$$\sum_{i=1}^n F_i(P_i) = \sum_{i=1}^n \left((a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + |e_i * \sin(f_i * (P_i^{\min} - P_i))| \right) + (\overline{w} * (m_i * \Delta P)) \quad (17)$$

กำหนดให้

$F_i(\cdot)$	คือ ฟังก์ชัน
P_i	คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด Unit i
a_i, b_i, c_i, e_i, f_i	คือ สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันต้นทุน
P_i^{\min}	คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด unit ที่ i ที่น้อยที่สุด
ΔP	คือ ความแตกต่างของกำลังไฟฟ้า
m_i	คือ ความชันจากฟังก์ชันต้นทุน
\overline{w}	คือ เวกเตอร์ของค่าถ่วงน้ำหนัก

4.2 ข้อจำกัด (Constrain)

ในการแก้ปัญหาการคำนวณหาค่าเหมาะสมที่สุดของการสร้างแผนดำเนินการจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น เพื่อให้แผนการดำเนินงานมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องมีข้อจำกัดต่างๆ อาทิเช่น ผลรวมของการจ่ายกำลังไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงจะต้องเท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้าในชั่วโมงนั้นๆ การจ่ายกำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะต้องมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามเงื่อนไขของขีดความสามารถในการทำงานของเครื่องกำเนิดนั้นๆ หรือ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้านั้นจะต้องเปลี่ยนแปลงอยู่ในกรอบข้อจำกัดการเปลี่ยนแปลงเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อควบคุมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถดำเนินการได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยครั้งนี้จึงได้มีการกำหนดข้อจำกัดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณดังนี้ คือ

4.2.1 ข้อจำกัดแบบเท่ากัน (Equality Constraint)

ข้อจำกัดแบบเท่ากัน คือ ข้อจำกัดที่กำหนดให้ผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมนั้นจะต้องเท่ากับค่าใดค่าหนึ่งหรืออยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งไม่เช่นนั้นผลลัพธ์ที่คำนวณได้นั้นจะไม่สามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากไม่เป็นไปตามข้อจำกัดที่ได้กำหนดไว้โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดข้อจำกัดแบบเท่ากันไว้ด้วยกัน 2 ข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (18) และ (19)

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_d \quad (18)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (19)$$

กำหนดให้

- P_i คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของ Unit ที่ i
- P_d คือ ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด
- P_i^{\max} คือ ค่าขอบเขตบนของกำลังไฟฟ้า unit ที่ i
- P_i^{\min} คือ ค่าขอบเขตล่างของกำลังไฟฟ้า unit ที่ i
- n คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยที่สมการที่ (18) นั้นคือข้อจำกัดของการคำนวณหาผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องนั้นทำการจ่ายกำลังเข้าสู่ระบบไฟฟ้าในชั่วโมงนั้นๆ ต้องมีผลรวมของกำลังไฟฟ้านั้นเท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้าในชั่วโมงเดียวกัน และข้อจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องนั้นอยู่ในลักษณะสมการที่ (19) คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องนั้นมีช่วงของกำลังที่ต้องทำงานไม่น้อยกว่าค่าขอบเขตล่างและ ต้องไม่มากกว่าค่าขอบเขตบนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นๆ

4.2.2 ข้อจำกัดแบบไม่เท่ากัน (Inequality Constraint)

ข้อจำกัดแบบไม่เท่ากัน คือ ข้อจำกัดที่กำหนดให้ผลลัพธ์ที่คำนวณออกมาได้นั้นจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของสมการเพื่อให้ผลลัพธ์การคำนวณดังกล่าวสามารถที่จะนำไปเป็นคำตอบของการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมได้ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดแบบไม่เท่ากัน คือ ข้อจำกัดการเปลี่ยนแปลงของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องถึงการเปลี่ยนแปลงกำลังที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าอยู่ก่อนหน้านั้นว่าสามารถที่จะเพิ่มหรือลดกำลังไฟฟ้าได้ครั้งละไม่เกินเท่าไร โดยมีชื่อเรียกว่า ข้อจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp Rate Constraint) โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้นหากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้านั้นจะต้องพิจารณาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงขาขึ้นซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (20) และหากการคำนวณครั้งนั้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่กำลังไฟฟ้ามีค่าลดลงนั้นต้องพิจารณาที่ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงขาลงของกำลังไฟฟ้าซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (21)

$$P_i(t) - P_i(t-1) \leq UpRamp_i \quad (20)$$

$$P_i(t-1) - P_i(t) \leq DownRamp_i \quad (21)$$

กำหนดให้

$P_i(\cdot)$ คือ กำลังไฟฟ้าของ unit ที่ i เมื่อเวลา t

$P_i(t-1)$ คือ กำลังไฟฟ้าของ unit ที่ i เมื่อเวลา $t-1$

$UpRamp_i$ คือ ค่าขอบเขตบนของเครื่องกำเนิด unit ที่ i

$DownRamp_i$ คือ ค่าขอบเขตล่างของเครื่องกำเนิด unit ที่ i

ตัวอย่างเช่น ในชั่วโมงที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 นั้นมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 450 เมกกะวัตต์และ กำหนดให้ค่า $UpRamp$ และ $DownRamp$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เท่ากับ 50 เมกกะวัตต์ ดังนั้นการคำนวณในชั่วโมงที่ 2 นั้นจะเป็นไปตามสมการที่ (20) และ (21) โดยแทนค่า $P_i(t-1) = 450$ เมกกะวัตต์, $UpRamp$ และ $DownRamp = 50$ เมกกะวัตต์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการแก้สมการจะมีค่าอยู่ในช่วง 400-500 เมกกะวัตต์ เป็นต้น

4.3 ความต้องการกำลังไฟฟ้า (Load Demand)

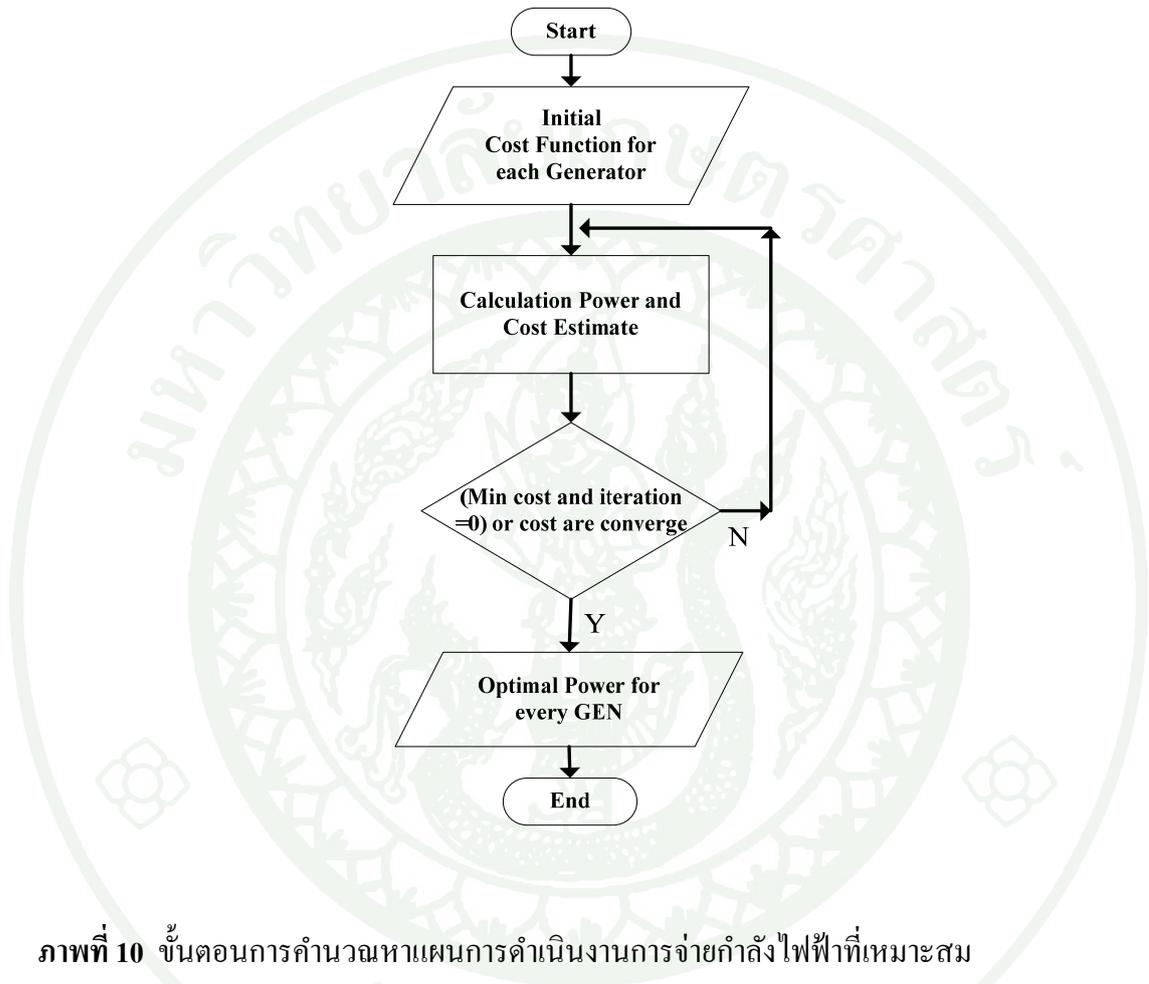
ในการทำงานวิจัยครั้งนี้อาศัยปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้า 24 ชั่วโมง โดยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้างดังกล่าวนั้นจะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างเป็นข้อจำกัดของการคำนวณหาค่าเหมาะสมที่สุดของการแก้ปัญหาการสร้างแผนการดำเนินงานการจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยความต้องการไฟฟ้าที่นำมาใช้ในงานนั้นแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบรายชั่วโมง

Time	Demand (MW)	Time	Demand (MW)
1	1036	13	2072
2	1110	14	1924
3	1258	15	1776
4	1406	16	1554
5	1480	17	1480
6	1628	18	1628
7	1702	19	1776
8	1776	20	2072
9	1924	21	1924
10	2072	22	1628
11	2146	23	1332
12	2220	24	1184

ที่มา: Yong and Tao (2007)

จากขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณหาแผนการดำเนินงานการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมและองค์ประกอบต่างๆ ที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นนั้นเมื่อนำมาสร้างแบบจำลองจะสามารถแสดงเป็นผังขั้นตอน ได้ดังภาพที่ 10

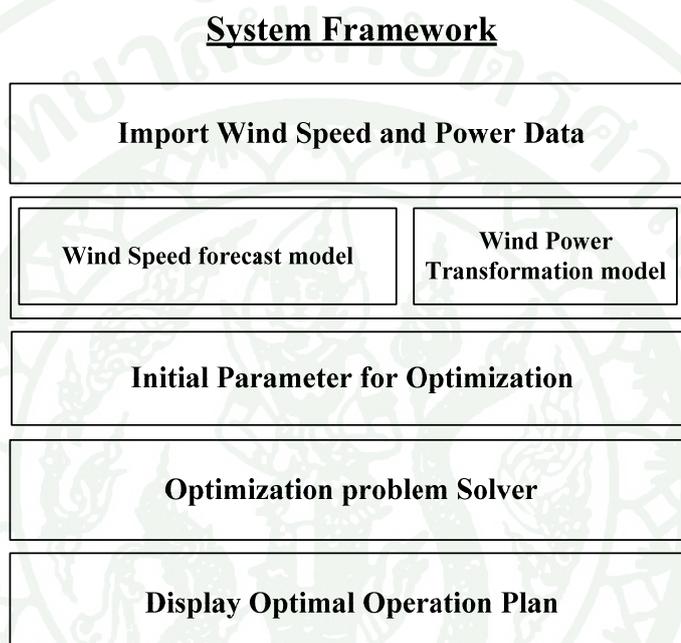


ภาพที่ 10 ขั้นตอนการคำนวณหาแผนการดำเนินงานการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากภาพที่ 10 ขั้นตอนในการแก้ปัญหาการคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดนั้นเริ่มต้นจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้แก่ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง และกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ สำหรับใช้ในการตรวจสอบคำตอบที่คำนวณได้ในแต่ละรอบการคำนวณ จากนั้นในขั้นตอนถัดมาจะทำการคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นหลังจากการนำค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดมาแทนค่า จากนั้นจึงทำการตรวจสอบค่าต้นทุนที่ได้รับว่าเป็นค่าที่ต่ำที่สุดหรือไม่ และ ตรวจสอบว่าค่าของต้นทุนที่น้อยที่สุดนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้ว่ารอบการคำนวณจะเพิ่มขึ้นก็ตาม จากนั้นจึงนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาเป็นคำตอบของแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าในรอบชั่วโมงนั้นๆ

5. สร้างโปรแกรมจำลองระบบ

จากวิธีการในการทำวิจัยข้างต้นที่ได้ทำการอธิบายไปแล้วนั้นเมื่อนำขั้นตอนต่างๆ สร้างเป็นแบบจำลองเพื่อสร้างแผนการทำงานที่เหมาะสมซึ่งเป็นคำตอบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ โดยสามารถแสดงโครงสร้างของระบบได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 โครงสร้างของระบบ

โดยสถาปัตยกรรมของระบบที่ได้ทำการสร้างเป็น โปรแกรมประยุกต์จำลองเพื่อหาคำตอบนั้นประกอบไปด้วย 5 ลำดับชั้นดังนี้ คือ

5.1 ชั้นนำเข้าฐานข้อมูลของความเร็วลมและกำลังไฟฟ้า

เมื่อทำการนำเข้าฐานข้อมูลความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วในส่วนการทำงานของลำดับการสกัดคุณลักษณะเด่นนี้จะทำการนำเข้าฐานข้อมูลของความเร็วลมในอดีตย้อนหลังจำนวน 3 ปีมาทำการคำนวณสหสัมพันธ์แบบไขว้เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละปีจากนั้นจึงนำมาสร้างเป็นชุดข้อมูลฝึกสอนเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนในลำดับถัดไป

5.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์

ในลำดับขั้นนี้จะทำหน้าที่ในการนำข้อมูลฝึกสอนมาทำการฝึกสอนให้กับโมเดลการพยากรณ์ความเร็วลมและ โมเดลการทำนายกำลังไฟฟ้าจากความเร็วลมที่พยากรณ์ได้โดยใช้ขั้นตอนวิธีพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับความสามารถของโมเดลทั้งสองโมเดลโดยใช้หลักการแบ่งกลุ่มของข้อมูลเพื่อตรวจสอบแบบข้าม (m -fold validation) โดยในการทดลองนี้จะแบ่งกลุ่มข้อมูลฝึกสอนออกเป็น 5 กลุ่มเพื่อใช้ในการตรวจสอบและปรับค่าของพารามิเตอร์ตามที่ได้กล่าวข้างต้น

5.3 ขั้นตอนเตรียมข้อมูลสำหรับขั้นตอนการคำนวณค่าเหมาะสม

ในลำดับขั้นนี้จะทำการนำค่ากำลังไฟฟ้าจากพลังงานลมมาทำการลบกับค่าความต้องการไฟฟ้าของระบบเพื่อให้เหลือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ต้องการจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้น จากนั้นจึงนำค่าที่ได้นี้ไปเป็นข้อจำกัดของการคำนวณ และในลำดับขั้นนี้ยังทำหน้าที่ในการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับปัญหาการคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด เช่น กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันต้นทุน และ ค่าถ่วงน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง เป็นต้น

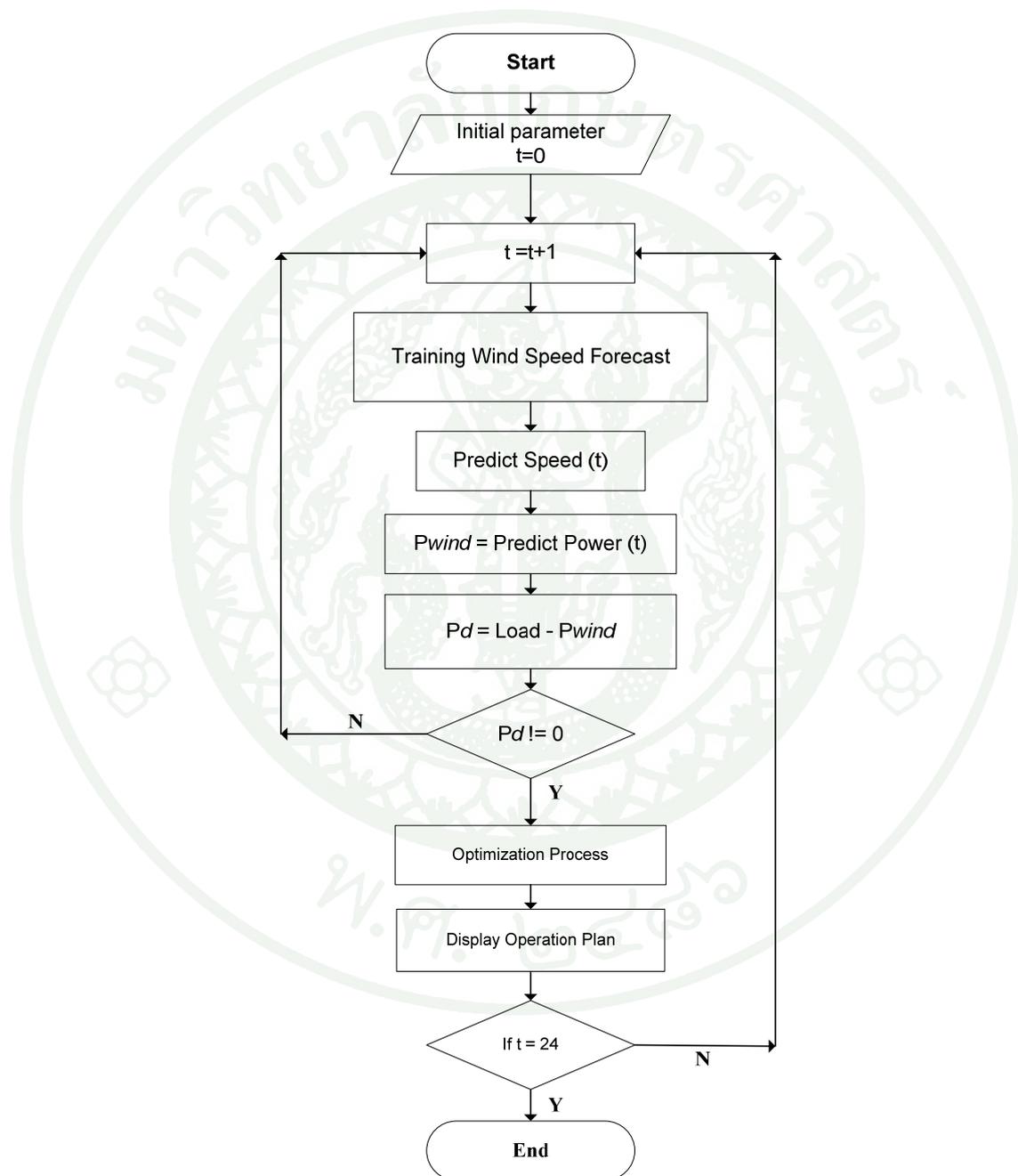
5.4 ขั้นตอนการคำนวณค่าของกำลังไฟฟ้าเพื่อสร้างแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

ในส่วนของลำดับขั้นนี้จะทำการนำค่าเริ่มต้นต่างๆของฟังก์ชันต้นทุน และข้อจำกัดต่างๆที่ใช้ในการคำนวณของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดไว้ในลำดับขั้นก่อนหน้านี้มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าตอบที่ดีที่สุดโดยการคำนวณดังกล่าวนี้ทำการคำนวณโดยอาศัยขั้นตอนวิธีเซตแอคทีฟ (Active-Set Algorithm) เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้นี้เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

5.5 ขั้นตอนการแสดงผลแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในลำดับขั้นนี้จะทำการแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะต้องทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงโมงนั้นๆ ซึ่งค่าที่ถูกนำมาแสดงนั้น คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนก่อนหน้าของลำดับขั้นที่ผ่านมา

จากสถาปัตยกรรมของระบบที่ได้ทำการอธิบายไปแล้วนั้นสามารถแสดงขั้นตอนในการทำงานของระบบได้ดังภาพที่ 12 โดยขั้นตอนของการทำงานดังกล่าวนี้เป็นขั้นตอนของการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่ได้จัดทำเพื่อคำนวณหาแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทำการคำนวณหาแบบรายชั่วโมงเท่านั้น



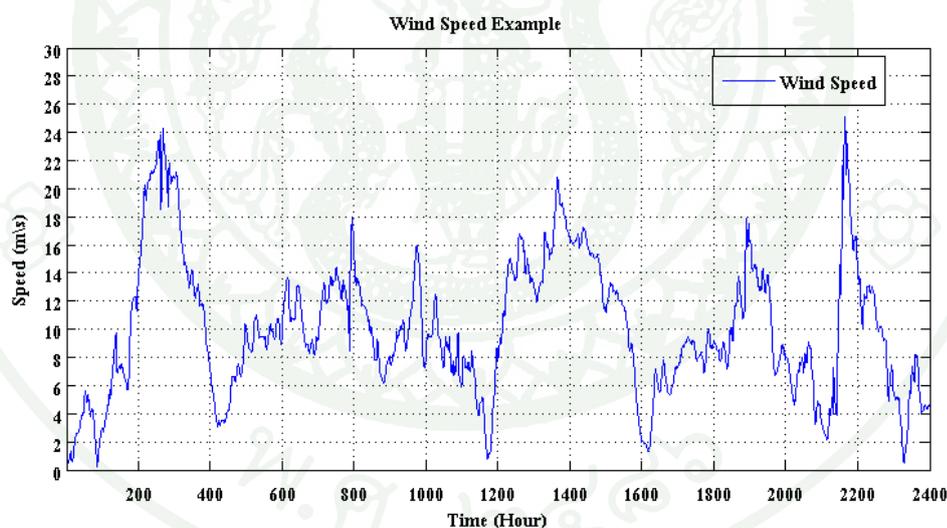
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การคัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูลอินพุท

ในขั้นตอนการคัดคุณลักษณะเด่นนั้นจะทำการนำเข้าข้อมูลความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าย้อนหลังจาก National Renewable Energy Laboratory (NREL) โดยข้อมูลที่นำมาเป็นข้อมูลความเร็วลมย้อนหลังตั้งแต่ปี 2004 -2006 รวม 3 ปี และมีขนาดพิกัดกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้า 20 เมกกะวัตต์ โดยเป็นข้อมูลจากกังหันลมนอกชายฝั่งที่ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกของสหรัฐอเมริกา ณ รัฐแมริแลนด์ โดยมีพิกัดดาวเทียมอยู่ที่ตำแหน่งละติจูดที่ 38 40089, ลองจิจูด -74.9278 มีเลขที่ตำแหน่งอ้างอิง (Site ID) ที่ 10002 โดยมีตัวอย่างความเร็วลมแสดงได้ดังภาพที่ 13 โดยที่ระนาบแกน X คือค่าของเวลา (ชั่วโมง) และระนาบแกน Y คือความเร็วของลม (เมตร/วินาที)



ภาพที่ 13 ตัวอย่างความเร็วลมรายชั่วโมงระยะเวลา 100 วัน

จากนั้นทำการเลือกข้อมูลในปี 2006 ในช่วงเวลาเดือนเมษายนจำนวน 720 ชั่วโมงเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับฝึกสอน จากนั้นทำการจัดเรียงข้อมูลปี 2006 แบบอนุกรมเวลาเพื่อนำไปคำนวณสหสัมพันธ์เปรียบเทียบกับข้อมูลย้อนหลังของปี 2005 และ นำข้อมูลย้อนหลังที่ถูกเลือกจากข้อมูลปี 2005 นั้นไปทำซ้ำกระบวนการคำนวณสหสัมพันธ์ด้วยข้อมูลย้อนหลังปี 2004 เมื่อ

ดำเนินการตามขั้นตอนเสร็จสิ้นแล้ว จึงนำข้อมูลที่ถูกเลือกในแต่ละครั้งมาจัดเรียงใหม่ดังภาพที่ 14 โดยทำการเรียงข้อมูลต่อเนื่องกันทั้ง 3 ปีเพื่อสร้างเป็นชุดของข้อมูลฝึกสอน โดยจำนวนข้อมูลในแต่ละปีก็นำมาใช้ในการฝึกสอนนั้น เกิดจากการทดลองสร้างข้อมูลสำหรับฝึกสอนโดยใช้ข้อมูลย้อนหลังในแต่ละปีเท่ากับ 3, 6 และ 9 ชั่วโมงตามลำดับและทำการทดสอบความแม่นยำจากการพยากรณ์จำนวน 4 เดือน โดยรูปแบบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดนั่นคือ การใช้ข้อมูลย้อนหลังเท่ากับ 3 ชั่วโมง โดยรายละเอียดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

	2004			2005			2006			y
1	11.47	11.303	11.205	13.557	13.143	12.909	1.475	0.821	0.45	0.442
2	7.574	7.487	7.38	7.683	8.288	8.302	0.821	0.45	0.442	0.54
3	12.286	12.448	12.666	16.511	16.537	16.218	0.45	0.442	0.54	0.633
4	9.325	9.476	9.706	10.599	11.208	11.786	0.442	0.54	0.633	0.697
5	11.738	11.824	11.92	7.802	8.299	8.64	0.54	0.633	0.697	0.687
.
.
720	11.881	11.679	11.47	15.437	15.273	15.221	12.478	12.087	11.964	11.992

ภาพที่ 14 ตัวอย่างชุดข้อมูลฝึกสอนให้แก่โมเดลพยากรณ์ความเร็วลม

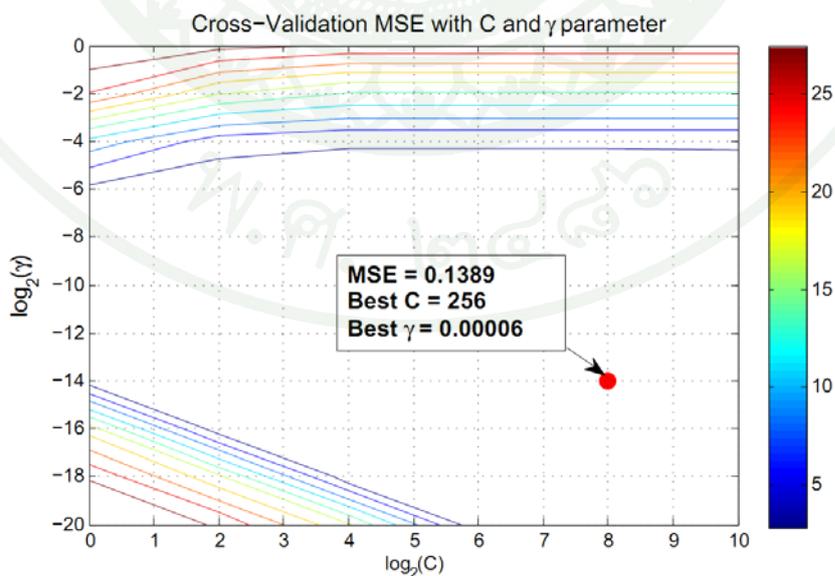
ตารางที่ 3 ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์และจำนวนชั่วโมงของข้อมูล

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ทำการย้อนหลัง	MAPE (%)	RMSE (m/s)
กันยายน	3	6.16404	0.29638
	6	6.39261	0.30042
	9	6.28722	0.2913
ตุลาคม	3	3.88681	0.28564
	6	4.21587	0.29795
	9	4.03827	0.29158
พฤศจิกายน	3	4.58003	0.34109
	6	4.87517	0.3501
	9	4.74546	0.34944
ธันวาคม	3	4.80934	0.29177
	6	4.93332	0.29957
	9	5.20822	0.29633

2. แบบจำลองการพยากรณ์ความเร็วลม

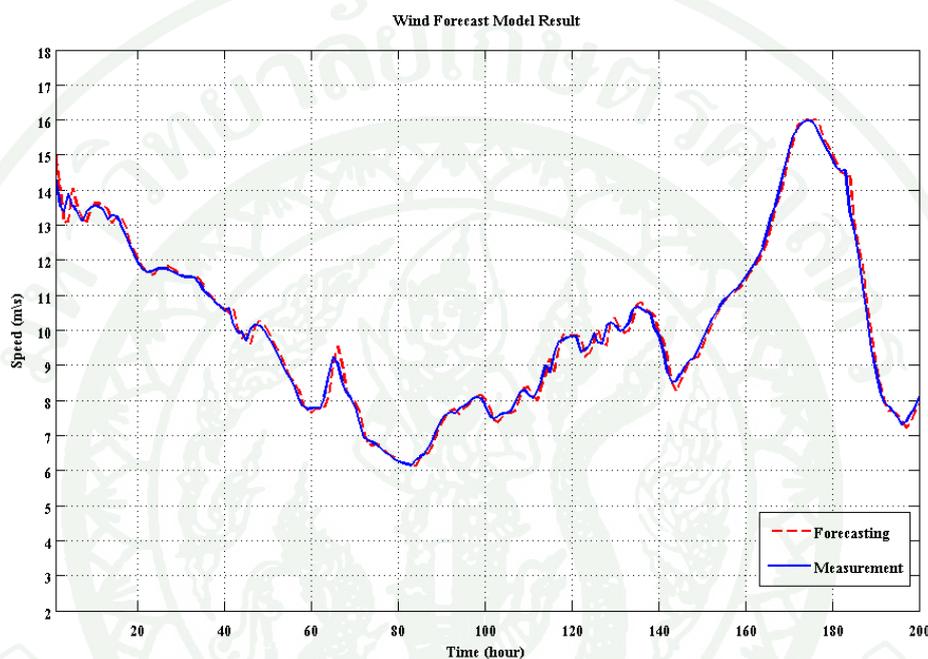
เมื่อได้ข้อมูลชุดฝึกสอนจากขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นแล้ว ข้อมูลที่ได้รับจะถูกนำใช้งานในส่วนของการสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ความเร็วลมโดยขั้นตอนวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนโดยการใช้งานชุดคำสั่งสำเร็จรูป Libsvm โดยทำการเลือก Kernel Function ในรูปแบบ Radial Basis function และ กำหนดค่าเริ่มต้นให้พารามิเตอร์ที่ต้องการปรับค่าได้แก่ค่าพารามิเตอร์ C และ γ โดยกำหนดให้ค่า C มีค่าอยู่ในช่วง $[2^{(0)}, 2^{(10)}]$ และค่าของพารามิเตอร์ γ มีค่าอยู่ในช่วง $[2^{(-20)}, 2^{(0)}]$ จากนั้นจึงเริ่มต้นการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี n -fold cross validation โดยกำหนดให้ n มีค่าเท่ากับ 5 เพื่อให้โมเดลที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนั้นไม่อยู่ในสถานะ Over fitting และ Under fitting ซึ่งจะทำให้โมเดลที่ได้นั้นขาดความแม่นยำ

จากการทดลองดังกล่าวได้นำข้อมูลสำหรับการฝึกสอนมาทำการฝึกสอนให้กับโมเดลจนได้ค่าพารามิเตอร์ C และ γ ที่เหมาะสมซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสอง (MSE) มีค่าน้อยที่สุดโดยค่าที่มีค่าน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.1389 และค่าพารามิเตอร์ C และ γ ที่เป็นค่าเหมาะสมสำหรับค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 256 และ 0.00006 ตามลำดับโดยแสดงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองเทียบกับค่าพารามิเตอร์ทั้งสองที่ทำการปรับค่าได้ดังภาพที่ 15 โดยที่แกน X คือ ค่า \log_2 ของพารามิเตอร์ C ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $[1, 1024]$ และแกน Y นั้นคือค่า \log_2 ของ γ ซึ่งอยู่ในช่วง $[-9.53 \times 10^{-7}, 1]$



ภาพที่ 15 ค่า C และ γ และค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของโมเดลพยากรณ์ความเร็ว

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงได้ทำการนำชุดข้อมูลทดสอบมาทำการทดสอบกับโมเดลที่ได้สร้างขึ้น โดยชุดข้อมูลทดสอบนั้นอยู่ในช่วงวันที่ 1-10 พฤษภาคม ปี 2006 จำนวน 200 ชั่วโมง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์นั้นแสดงได้ดังภาพที่ 16 โดยที่เส้นสีน้ำเงินคือข้อมูลที่วัดได้จริง และเส้นประสีแดงคือข้อมูลจากการพยากรณ์ แกน X คือ เวลา และ แกน Y คือความเร็วลม

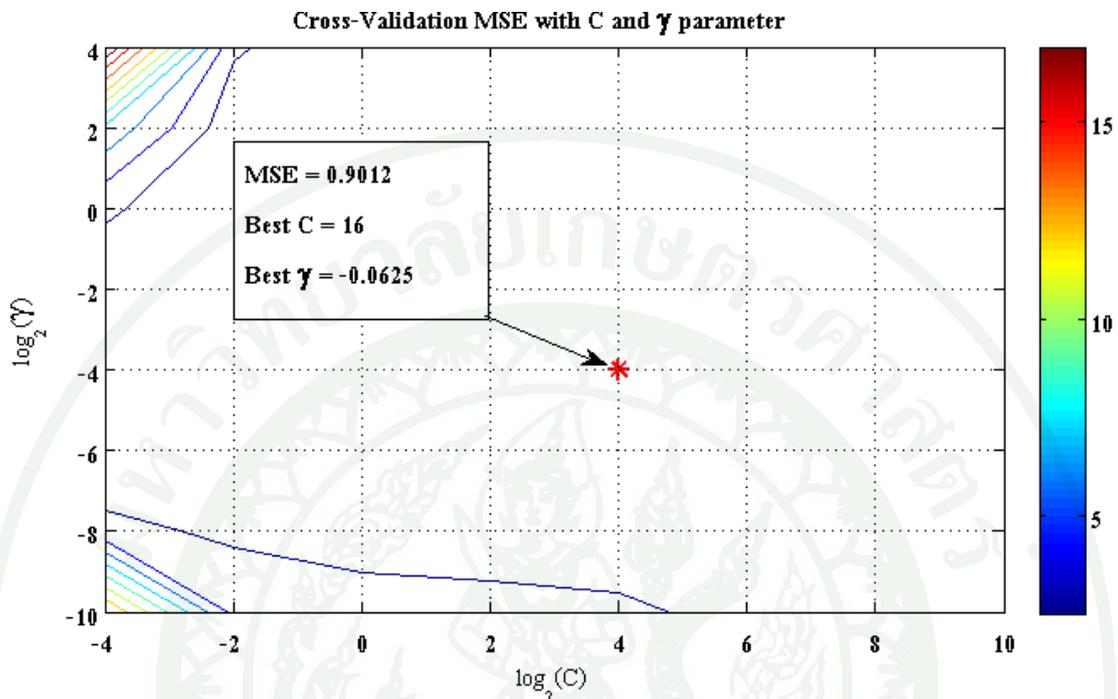


ภาพที่ 16 ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลมล่วงหน้า 1 ชั่วโมง

3. แบบจำลองการคำนวณกำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม

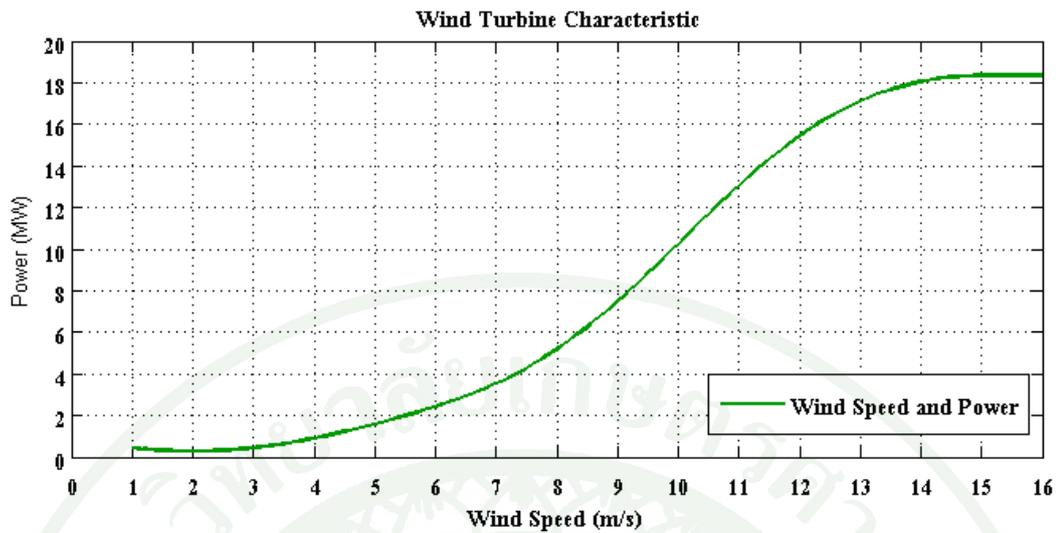
ในส่วนของการสร้างโมเดลสำหรับการคำนวณกำลังไฟฟ้าจากค่าความเร็วลมนั้นได้ทำการนำข้อมูลสถิติความเร็วลมเทียบกับกำลังไฟฟ้าจากชุดข้อมูลของ NREL เหมือนกันกับขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความเร็วลมมาทำการฝึกสอนเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจากความเร็วลมโดยทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ C และ γ อยู่ในช่วง $[2^{-4}, 2^{10}]$ และ $[2^{-10}, 2^7]$ ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งสองโดยอาศัยขั้นตอนวิธี n -cross validation โดยกำหนดให้ค่า n เท่ากับ 5 เหมือนกับขั้นตอนการสร้างโมเดลพยากรณ์ความเร็วลมดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้โดยค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าน้อยที่สุดเทียบกับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 นั้นแสดงได้ดังภาพที่ 17 โดยค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองที่มีค่าน้อยที่สุดมี

ค่าเท่ากับ 0.9012 และ ค่าพารามิเตอร์ C และ γ ที่ทำให้เกิดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองที่น้อยที่สุดนั้นมีค่าเท่ากับ 16 และ -0.0625



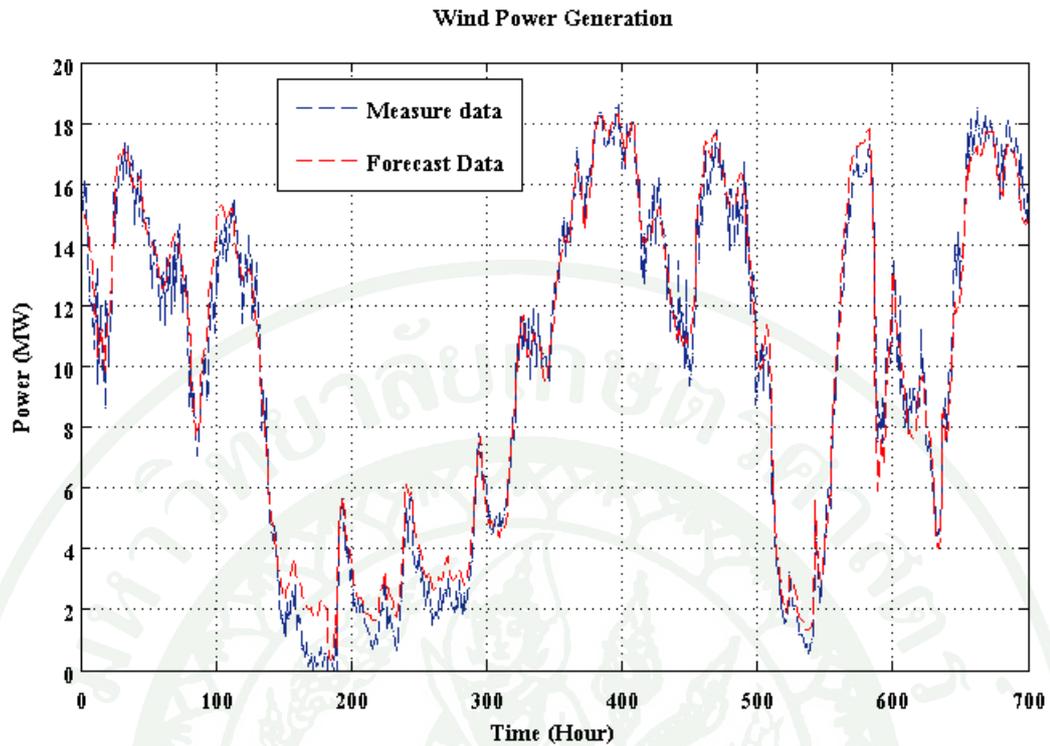
ภาพที่ 17 ค่า C และ γ และค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของโมเดลพยากรณ์กำลังไฟฟ้า

เมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้วจึงนำค่าที่ได้ทำการปรับนั้นไปสร้างเป็นโมเดลเพื่อการทำนายกำลังไฟฟ้าจากความเร็วลมที่พยากรณ์ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าโดยโมเดลที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีลักษณะดังภาพที่ 18 เมื่อแกน X คือค่าของความเร็วลม (เมตร/วินาที) และ แกน Y คือกำลังไฟฟ้า (เมกะวัตต์)



ภาพที่ 18 คุณลักษณะของโมเดลพยากรณ์กำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม

หลังจากที่ได้โมเดลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าจากความเร็วลมแล้วนั้นขั้นตอนถัดมาได้ทำการใช้ข้อมูลชุดทดสอบมาทำการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลโดยข้อมูลชุดทดสอบนั้นประกอบด้วยความเร็วลมจำนวน 700 ชั่วโมงซึ่งอยู่ในช่วงวันที่ 1-30 เมษายน ปี 2006 โดยข้อมูลชุดทดสอบนั้นประกอบด้วย ความเร็วลมในชั่วโมงนั้นๆ และกำลังไฟฟ้าสุทธิที่เกิดขึ้นในชั่วโมงเดียวกัน และเมื่อทำการทดสอบแล้วสามารถวัดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองได้เท่ากับ 0.7938 และสามารถแสดงผลลัพธ์ของการทดสอบได้ดังภาพที่ 19 โดยเส้นประสีแดงคือค่าที่เกิดจากการพยากรณ์ และ เส้นประสีน้ำเงินคือค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้และแกน X คือเวลา (ชั่วโมง) และแกน Y คือกำลังไฟฟ้า (เมกกะวัตต์)

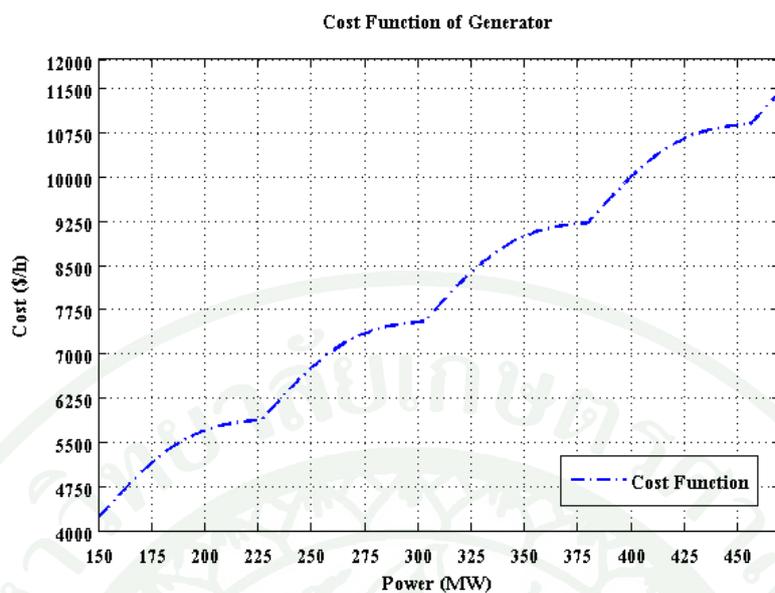


ภาพที่ 19 ผลทดสอบโมเดลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม

4. แบบจำลองการคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แบบจำลองการคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้นถูกสร้างขึ้น โดยการคำนวณต้นทุนในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่เกิดขึ้นตามลักษณะของฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดนั้นๆ โดยในการทำวิจัยครั้งนี้ได้ทำการนำค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันต้นทุน และ ข้อจำกัดต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 เครื่องมาทำการทดลองโดยรายละเอียดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4 โดยในการทดลองครั้งนี้ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นเป็นฟังก์ชันต้นทุนที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยเป็นผลเนื่องมาจากพฤติกรรมของการเปิดและปิดวาล์วซึ่งตัวอย่างของฟังก์ชันต้นทุนได้ถูกแสดงดังภาพที่ 20 ซึ่งแสดงผลลัพธ์ของต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงเมื่อกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงโดยแกน X คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด และ แกน Y คือ ต้นทุน (\$/hour) โดยสมการฟังก์ชันต้นทุนที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ดังกล่าวนี้ อยู่ในรูปแบบสมการที่ (14) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆดังนี้

$$F_i(P_i) = 0.00043P_i^2 + 21.6P_i + 958.2 + |450 * \sin(0.041 * (150 - P_i))|$$



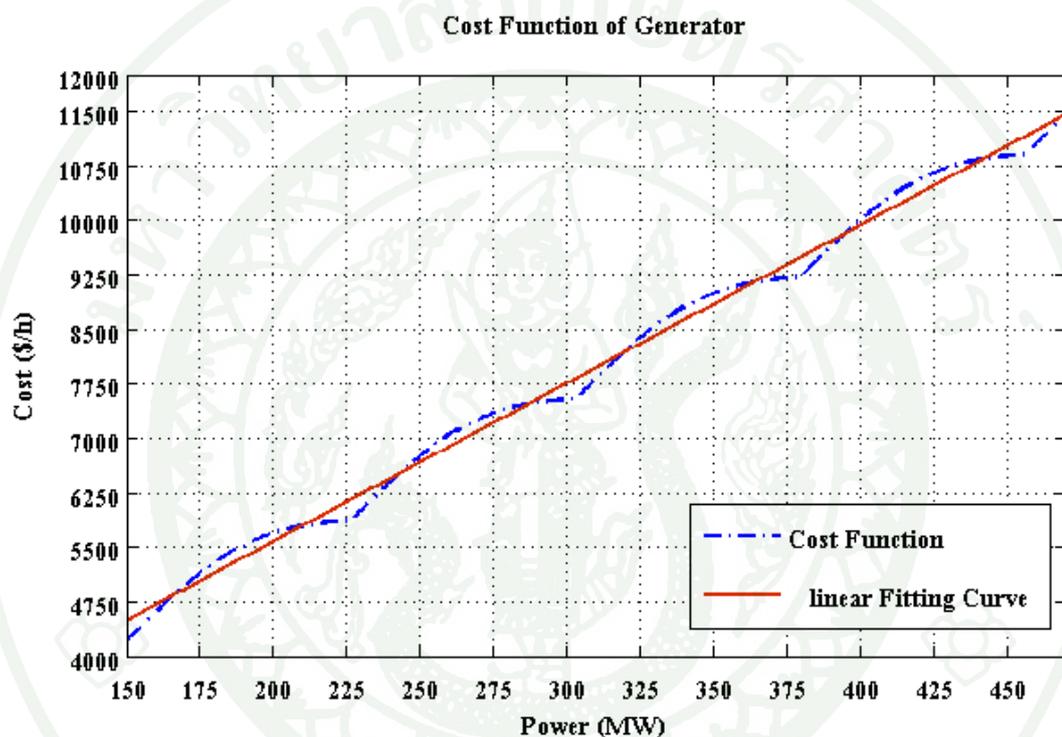
ภาพที่ 20 ฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1

ตารางที่ 4 ข้อมูลสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง

	lower (MW)	Upper (MW)	UR (MW)	DR (MW)	a	b	c	e	f
Unit 1	150	470	80	80	0.00043	21.6	958.2	450	0.041
Unit 2	135	460	80	80	0.00063	21.05	1313.6	600	0.036
Unit 3	73	340	80	80	0.00039	20.81	604.97	320	0.028
Unit 4	60	300	50	50	0.0007	23.9	471.6	260	0.052
Unit 5	73	243	50	50	0.00079	21.62	480.29	280	0.063
Unit 6	57	160	50	50	0.000566	17.87	601.75	310	0.048
Unit 7	20	130	30	30	0.00211	16.51	502.7	300	0.086
Unit 8	47	120	30	30	0.0048	23.23	639.4	340	0.083
Unit 9	20	80	30	30	0.10908	19.58	455.6	270	0.098
Unit 10	55	55	30	30	0.00951	22.54	692.4	380	0.094

ที่มา: Yong and Tao (2007)

หลังจากนำเข้าข้อมูลของเครื่องกำเนิดทั้ง 10 เครื่องแล้วจึงทำการหาค่าความชันของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยกระบวนการทำให้เข้ารูปแบบเชิงเส้นดังแสดงในภาพที่ 21 โดยเส้นตรงสีแดงนั้นเกิดจากการปรับให้เข้ารูปโดยมีสมการเส้นตรงเป็นไปตามสมการที่ (22) และจากสมการเส้นตรงจะนำค่าของความชันมาใช้งานในฟังก์ชันต้นทุนสำหรับการคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยการเพิ่มพจน์ที่ทำหน้าที่ในการจำกัดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่เป็นไปตามสมการที่ (23) โดยจะทำเช่นนี้จนครบจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่อง



ภาพที่ 21 ฟังก์ชันต้นทุนและการปรับให้เข้ารูปแบบเชิงเส้น

$$y = 21.75 \cdot x + 1235.4 \quad (22)$$

$$\Delta Y = 21.75(\Delta X) \quad (23)$$

จากนั้นเมื่อได้พจน์ที่ทำหน้าที่ในการจำกัดการเปลี่ยนแปลงต้นทุนต่อกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าครบทั้ง 10 เครื่องเป็นที่เรียบร้อยแล้วนั้นในขั้นตอนต่อไปจะทำการหาค่าถ่วงน้ำหนักให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยค่าถ่วงน้ำหนักดังกล่าวนี้จะสะท้อนถึงอัตราการสิ้นเปลืองต้นทุนเมื่อกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปโดยที่ค่าถ่วงน้ำหนักนั้นเกิดจากการนำความชันที่เกิดจากการปรับให้เข้ารูปแบบเชิงเส้นมาเข้ากระบวนการทำให้เป็นปกติ (Normalize) โดยค่าถ่วงน้ำหนักที่มีค่ามากนั้นมีความหมายคือ เครื่องกำเนิดเครื่องนั้นมีอัตราการสิ้นเปลืองต้นทุนสูงเมื่อกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าถ่วงน้ำหนักน้อยกว่า ค่าความชันของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องและค่าถ่วงน้ำหนักได้แสดงดังตารางที่ 5

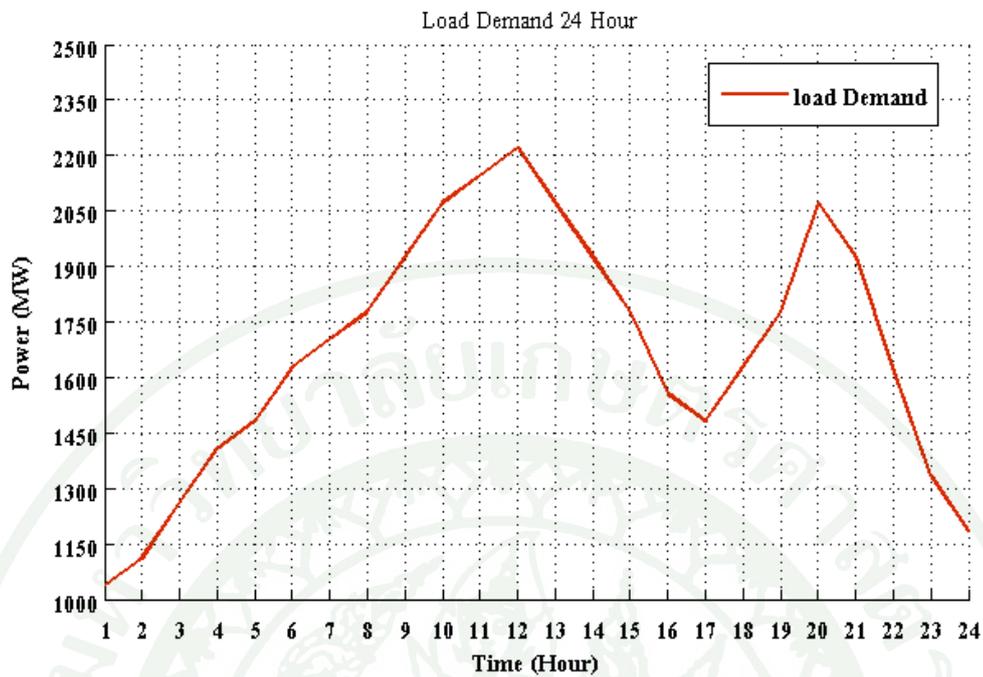
ตารางที่ 5 ค่าความชันและค่าถ่วงน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10
Slope	21.6	21.05	20.81	23.9	21.62	17.87	16.51	23.23	19.58	22.54
Weight	0.280	0.277	0.268	0.309	0.281	0.232	0.226	0.337	1	0

เมื่อได้ค่าความชันและค่าถ่วงน้ำหนักเป็นที่เรียบร้อยแล้วนั้นจึงนำค่าถ่วงน้ำหนักคูณด้วยสมการที่ (23) จึงจะได้พจน์ที่ทำหน้าที่จำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมตามสมการที่ (24) จากนั้นจึงนำมาบวกด้วยสมการที่ (14) จึงได้สมการของฟังก์ชันต้นทุนที่จะนำมาคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมตามสมการที่ (17) ที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้

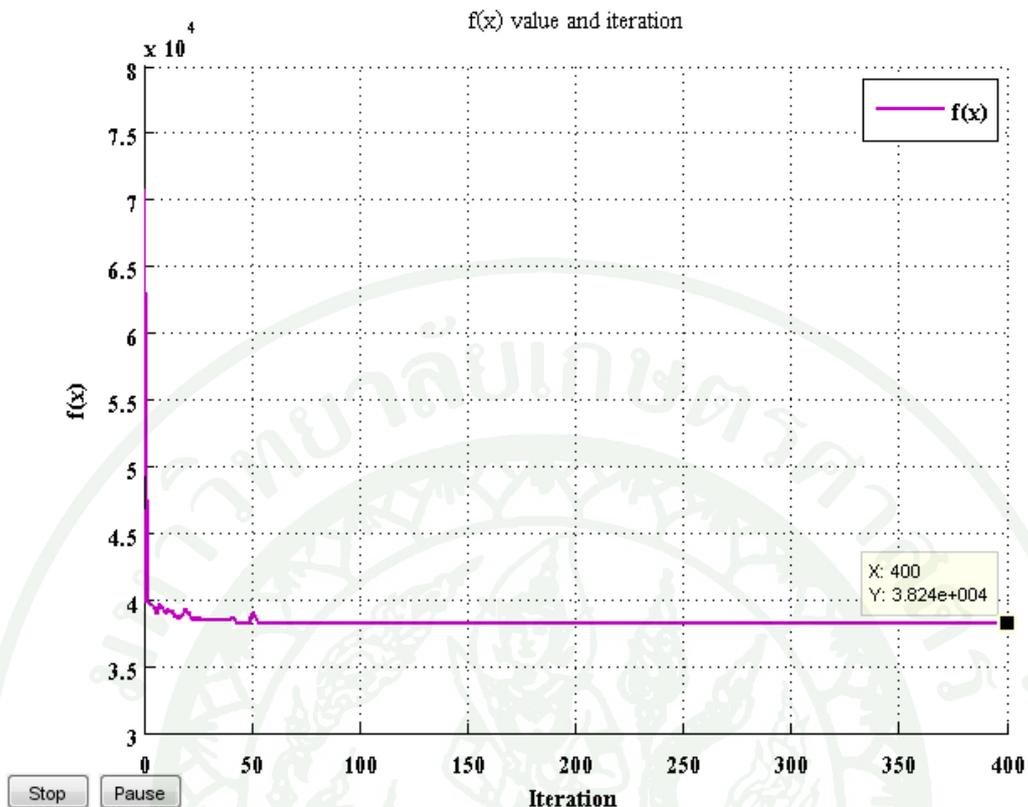
$$\Delta Y = \overline{(weight)}(slope \cdot (P_{t-1} - P_t)) \quad (24)$$

โดยการคำนวณเพื่อสร้างแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้นอาศัยความต้องการกำลังไฟฟ้ายาวชั่วโมงดังตารางที่ 2 ที่แสดงไว้ก่อนหน้านี้มากำหนดเป็นข้อจำกัดแบบเท่ากันโดยที่การจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องนั้นเมื่อนำผลรวมของกำลังไฟฟ้ามารวมกันจะต้องมีค่าเท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้าในชั่วโมงเดียวกัน สำหรับปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบรายชั่วโมงทั้ง 24 ชั่วโมงได้ถูกแสดงดังภาพที่ 22 โดยที่แกน X คือเวลา (ชั่วโมง) และ แกน Y คือกำลังไฟฟ้า (เมกะวัตต์)



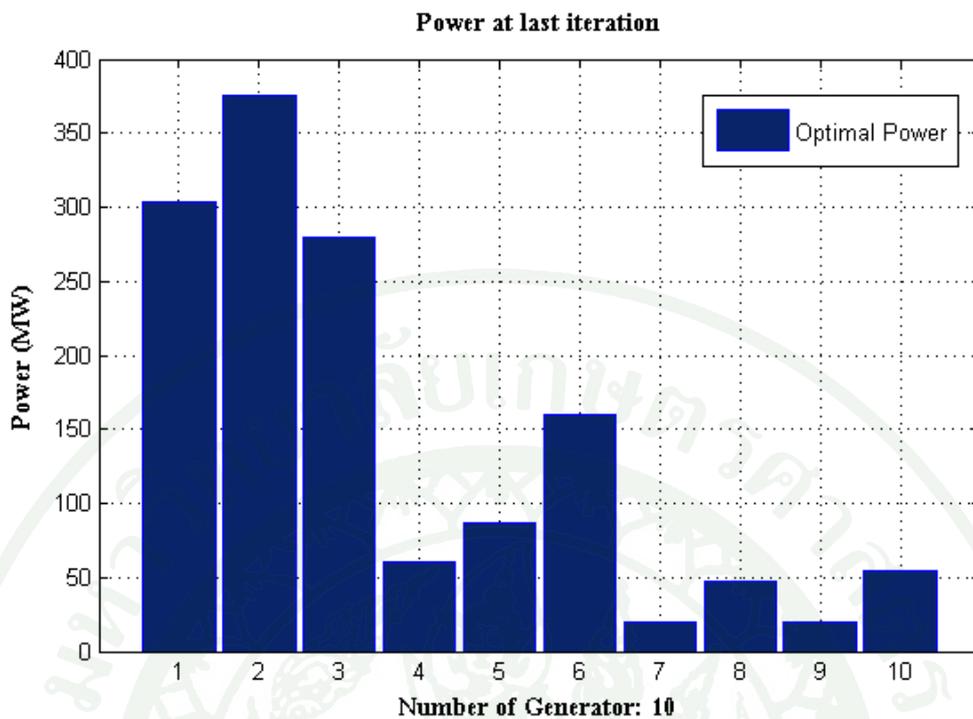
ภาพที่ 22 ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้า 24 ชั่วโมง

จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าเหมาะสมโดยอาศัยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดไว้ก่อนหน้า โดยผลการหาค่าเหมาะสมนั้นจะทำการคำนวณจนค่าของฟังก์ชันต้นทุนนั้นจะไม่มีเปลี่ยนแปลง แม้ว่าจำนวนรอบในการคำนวณเพิ่มขึ้นก็ตาม โดยสามารถแสดงตัวอย่างของการหาค่าเหมาะสมในแต่ละชั่วโมงได้ดังภาพที่ 23 โดยที่แกน X คือจำนวนรอบในการคำนวณ และ แกน Y คือค่าผลลัพธ์ของฟังก์ชันต้นทุนเมื่อนำกำลังที่คำนวณได้ไปแทนค่าในแต่ละรอบการคำนวณ



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันต้นทุนและจำนวนรอบในการคำนวณ

โดยค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่คำนวณได้นั้นจะทำให้ค่าของฟังก์ชันต้นทุนมีค่าน้อยสุดและคงที่เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น ค่ากำลังไฟฟ้างดกล่าวจะเป็นค่าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นๆ ณ ขณะชั่วโมงนั้นๆ โดยแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 24 โดยแท่งกราฟแต่ละแท่งนั้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องที่ทำให้ฟังก์ชันต้นทุนมีค่าต่ำสุดและแสดงค่าของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของชั่วโมงที่ทำการคำนวณได้ดังตารางที่ 6 ซึ่งค่าที่ได้ต้องมีค่าเป็นไปตามข้อจำกัดขอบเขตกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดนั้นๆ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้



ภาพที่ 24 กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่รอบการคำนวณสุดท้าย

ตารางที่ 6 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าที่ทำให้ต้นทุนมีค่าต่ำที่สุดและข้อจำกัดขอบเขตกำลังไฟฟ้า

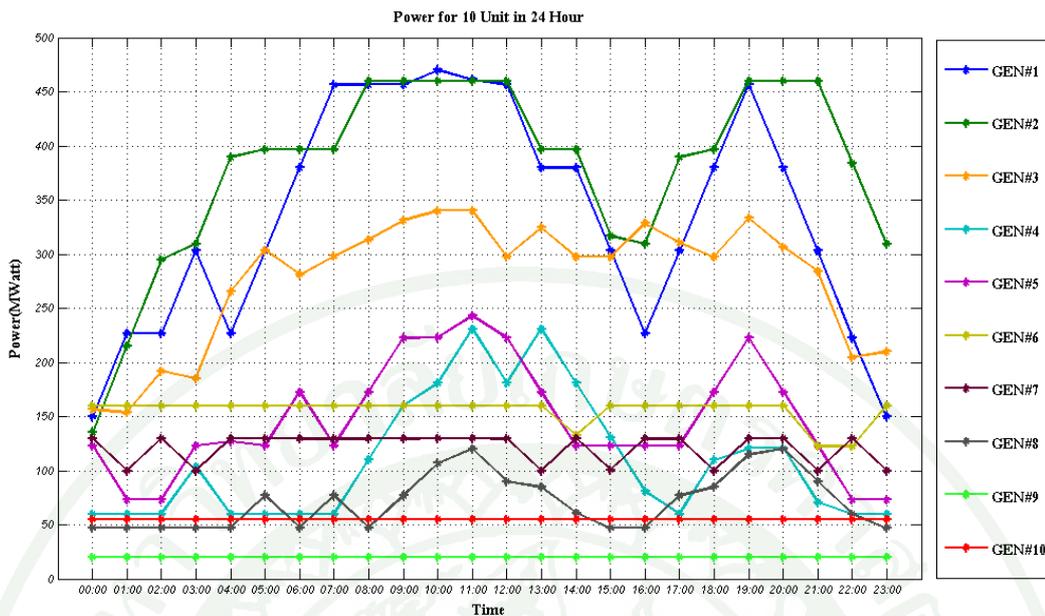
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10
Power (MW)	303.25	375.00	279.30	60.00	86.45	160.00	20.00	47.00	20.00	55.00
Upper (MW)	470	460	340	300	243	160	130	120	80	55
Lower (MW)	150	135	73	60	73	57	20	47	20	55

จากนั้นจึงทำการคำนวณหาแผนการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 10 เครื่อง ด้วยกระบวนการที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณนั้นสามารถแสดง จำนวนรอบในการคำนวณและค่าต่ำสุดของฟังก์ชันต้นทุนได้ดังตารางที่ 7 ซึ่งแสดงรายละเอียด จำนวนรอบในการคำนวณค่าของฟังก์ชันต้นทุนนั้นต่ำที่สุดและไม่เปลี่ยนแปลงโดยแสดงผลลัพธ์ ของการคำนวณตลอด 24 ชั่วโมง

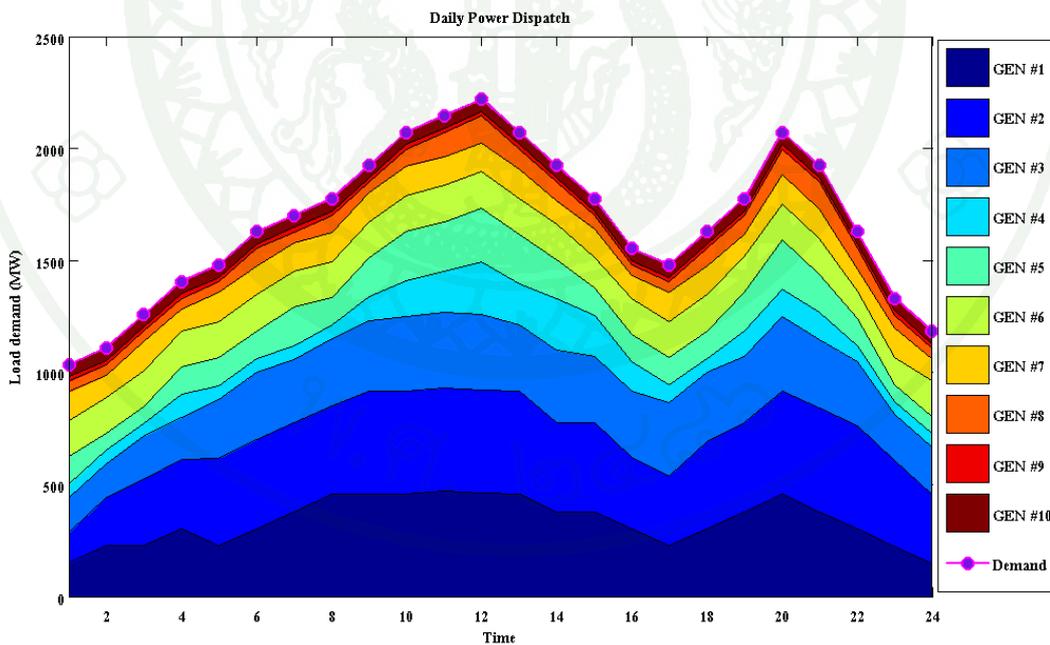
ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การคำนวณหาค่าเหมาะสมและจำนวนรอบในการคำนวณ

	Iteration	f(x)		Iteration	f(x)
1	56	36797.2	13	354	51301.5
2	439	31259.80	14	345	48162.5
3	422	35410.4	15	439	44548.4
4	407	38235.1	16	416	39161.9
5	404	39474.7	17	378	38062.2
6	412	42585.5	18	390	42710.7
7	416	44185.5	19	407	46166.8
8	350	45251.6	20	426	54180.7
9	389	49575.5	21	399	47717.1
10	383	52807.5	22	432	39897.2
11	442	54435.6	23	25	34694.3
12	419	57114	24	431	31452.4

แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 10 เครื่องตลอด 24 ชั่วโมงได้แสดงดัง ภาพที่ 25 และการจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละชั่วโมงเปรียบเทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าได้ถูกแสดง ดังภาพที่ 26 ซึ่งมีรายละเอียดการจ่ายกำลังไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 25 แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด 10 เครื่องภายใน 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 26 การจ่ายกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 8 แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด 10 เครื่องระยะเวลา 24 ชั่วโมง

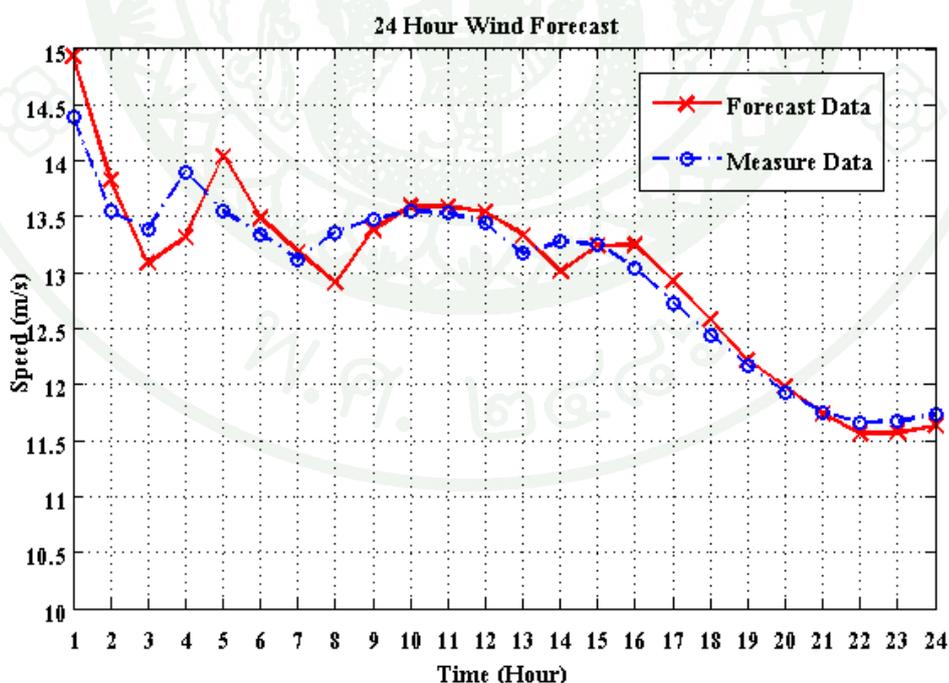
	Unit	Unit	Unit							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	150.00	135.00	156.55	60.00	122.86	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
2	226.62	215.00	153.78	60.00	73.00	160.00	99.59	47.00	20.00	55.00
3	226.62	295.00	191.79	60.00	73.00	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
4	303.25	309.53	185.20	103.56	122.87	160.00	99.59	47.00	20.00	55.00
5	226.76	389.53	265.20	60.00	126.92	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
6	303.25	396.80	303.50	60.00	122.87	160.00	129.59	77.00	20.00	55.00
7	379.87	396.80	281.00	60.00	172.73	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
8	456.50	396.80	298.25	60.00	122.87	160.00	129.59	77.00	20.00	55.00
9	456.50	460.00	313.18	110.00	172.73	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
10	456.50	460.00	331.31	160.00	222.60	160.00	129.59	77.00	20.00	55.00
11	470.00	460.00	340.00	180.83	223.17	160.00	130.00	107.00	20.00	55.00
12	461.17	460.00	340.00	230.83	243.00	160.00	130.00	120.00	20.00	55.00
13	456.50	460.00	297.48	180.83	222.60	160.00	129.59	90.00	20.00	55.00
14	379.87	396.80	324.32	230.83	172.73	160.00	99.59	84.85	20.00	55.00
15	379.87	396.80	297.40	180.83	122.87	132.63	129.59	61.01	20.00	55.00
16	303.25	316.80	297.40	130.83	122.87	160.00	100.86	47.00	20.00	55.00
17	226.69	309.54	328.47	80.83	122.88	160.00	129.60	47.00	20.00	55.00
18	303.25	389.54	310.76	60.00	122.87	160.00	129.59	77.00	20.00	55.00
19	379.87	396.80	297.40	109.75	172.73	160.00	99.59	84.85	20.00	55.00
20	456.50	460.00	333.05	120.42	222.60	160.00	129.59	114.85	20.00	55.00
21	379.87	460.00	306.39	120.42	172.73	160.00	129.59	120.00	20.00	55.00
22	303.25	460.00	284.43	70.42	122.87	122.45	99.59	90.00	20.00	55.00
23	223.25	384.30	204.43	60.00	73.00	122.43	129.59	60.00	20.00	55.00
24	150.00	309.53	209.88	60.00	73.00	160.00	99.59	47.00	20.00	55.00

5. แบบจำลองระบบเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากลม

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองต่างๆ ครบถ้วนแล้วขั้นตอนต่อไปจะทำการจำลองระบบที่รวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมเข้าไปและจะทำการพยากรณ์ความเร็วลมล่วงหน้า 1 ชั่วโมงเพื่อนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าและนำไปช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าตามความต้องการกำลังไฟฟ้าของชั่วโมงเดียวกันจากนั้นจึงนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณเพื่อสร้างแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดทั้ง 10 เครื่องโดยจะจำลองระบบให้ทำการคำนวณแผนดังกล่าวเป็นช่วงเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งผลลัพธ์ที่เกิดจากการจำลองระบบนั้นสามารถแสดงได้ดังนี้ คือ

5.1 ผลลัพธ์จากแบบจำลองการพยากรณ์ความเร็วลม

จากแบบจำลองการพยากรณ์ความเร็วลมที่ได้สร้างขึ้นนั้นได้นำข้อมูลทดสอบจำนวน 24 ชั่วโมงมาทำการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์จำนวน 24 ชั่วโมงโดยสามารถแสดงผลการพยากรณ์ได้ดังภาพที่ 27 และแสดงค่าความเร็วลมจริงและค่าพยากรณ์ได้ดัง โดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของผลลัพธ์ที่เกิดจากการพยากรณ์มีค่าเท่ากับ 0.0638576



ภาพที่ 27 ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลม 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์การพยากรณ์ความเร็วลม 24 ชั่วโมง

Time (hour)	Measure Data (m/s)	Forecast Data (m/s)	Error
1	14.392	14.938	-0.546
2	13.549	13.823	-0.274
3	13.391	13.084	0.307
4	13.893	13.315	0.578
5	13.547	14.041	-0.494
6	13.348	13.488	-0.140
7	13.115	13.188	-0.073
8	13.361	12.906	0.455
9	13.476	13.383	0.093
10	13.548	13.593	-0.045
11	13.532	13.589	-0.057
12	13.440	13.541	-0.101
13	13.171	13.336	-0.165
14	13.279	13.008	0.271
15	13.257	13.241	0.016
16	13.046	13.248	-0.202
17	12.729	12.922	-0.193
18	12.444	12.583	-0.139
19	12.176	12.215	-0.039
20	11.936	11.976	-0.040
21	11.751	11.740	0.011
22	11.662	11.564	0.098
23	11.672	11.569	0.103
24	11.730	11.631	0.099
MSE			0.0638576

5.2 ผลลัพธ์จากแบบจำลองการทำนายกำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม

หลังจากได้ทำการพยากรณ์ความเร็วลมครบ 24 ชั่วโมงเป็นที่เรียบร้อยแล้วจากนั้นจึงนำความเร็วที่ได้จากการพยากรณ์ไปแปลงเป็นกำลังไฟฟ้าด้วยโมเดลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าจากความเร็วลมโดยค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองเท่ากับ 0.630551 สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์การทำนายกำลังไฟฟ้าจากความเร็วลม 24 ชั่วโมง

Time	Measure Power (MW)	Predict Power (MW)	Time	Measure Power (MW)	Predict Power (MW)
1	2.23	2.23	13	3.17	2.30
2	2.95	2.38	14	3.16	2.44
3	2.88	2.57	15	3.73	2.70
4	2.92	2.69	16	3	2.25
5	3.27	2.61	17	2.77	1.97
6	3.21	2.42	18	2.93	1.95
7	3.04	2.30	19	1.89	1.08
8	3.18	2.30	20	2.04	1.21
9	3.21	2.33	21	1.88	0.93
10	3.35	2.38	22	2.03	0.98
11	2.87	2.33	23	2	1.13
12	3.28	2.39	24	2.09	1.16
MSE					0.630551

จากนั้นเมื่อได้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความเร็วลมที่ได้จากการพยากรณ์ในขั้นตอนการพยากรณ์ความเร็วลมแล้วนั้นจึงนำค่ากำลังไฟฟ้า 24 ชั่วโมงนั้นไปหักลบด้วยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเพื่อนำไปกำหนดเป็นข้อจำกัดแบบเท่ากันให้แก่แบบจำลองการคำนวณหาแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 10 เครื่อง ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่คำนวณได้ใหม่แสดงได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสุทธิ

Time	Demand (MW)	Time	Demand (MW)
1	1033.77	13	2069.70
2	1107.62	14	1921.56
3	1255.43	15	1773.30
4	1403.31	16	1551.75
5	1477.39	17	1478.03
6	1625.58	18	1626.05
7	1699.70	19	1774.92
8	1773.70	20	2070.79
9	1921.67	21	1923.07
10	2069.62	22	1627.02
11	2143.67	23	1330.87
12	2217.61	24	1182.84

5.3 ผลลัพธ์จากแบบจำลองการสร้างแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

ในขั้นตอนสุดท้ายของการทดลองนั้นจะทำการนำค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสุทธิที่คำนวณได้นั้นไปเป็นข้อจำกัดแบบเท่ากันให้แก่แบบจำลองในการสร้างแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดทั้ง 10 เครื่อง ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมงนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด 10 เครื่องโดยเชื่อมต่อกับหม้อแปลงในระบบ

	Unit	Unit	Unit							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	226.62	135.00	127.56	60.00	73.00	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
2	150.00	215.00	198.03	60.00	73.00	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
3	150.00	295.00	265.84	60.00	73.00	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
4	150.00	375.00	333.72	60.00	73.00	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
5	230.00	312.39	340.00	60.00	123.00	160.00	130.00	47.00	20.00	55.00
6	226.62	392.39	332.24	60.00	172.73	160.00	129.59	77.00	20.00	55.00
7	226.62	460.00	318.89	60.00	222.60	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
8	303.23	460.00	286.28	60.00	222.60	160.00	129.59	77.00	20.00	55.00
9	379.87	460.00	299.76	110.00	222.60	160.00	129.59	84.85	20.00	55.00
10	456.50	460.00	340.00	160.00	173.27	160.00	130.00	114.85	20.00	55.00
11	456.50	460.00	339.15	180.83	222.60	160.00	129.59	120.00	20.00	55.00
12	458.78	460.00	340.00	230.83	243.00	160.00	130.00	120.00	20.00	55.00
13	379.87	460.00	311.39	241.25	222.60	160.00	129.59	90.00	20.00	55.00
14	379.87	396.80	297.40	225.31	172.73	160.00	129.59	84.85	20.00	55.00
15	377.94	397.07	280.53	175.31	123.23	160.00	129.38	54.85	20.00	55.00
16	303.25	396.80	200.53	125.31	122.87	151.40	129.59	47.00	20.00	55.00
17	226.63	316.80	274.96	75.31	172.73	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
18	303.25	396.80	331.55	60.00	122.87	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00
19	379.94	396.84	303.71	109.98	172.87	159.97	99.61	77.00	20.00	55.00
20	456.50	460.00	340.00	159.98	222.60	160.00	129.59	67.13	20.00	55.00
21	456.50	460.00	301.80	120.41	172.75	160.00	129.62	47.00	20.00	55.00
22	379.87	396.80	225.59	70.41	172.73	160.00	99.62	47.00	20.00	55.00
23	303.53	316.80	185.44	60.00	122.73	127.31	93.06	47.00	20.00	55.00
24	226.62	135.00	127.56	60.00	73.00	160.00	129.59	47.00	20.00	55.00

วิจารณ์

จากการสร้างแบบจำลองเพื่อกำหนดแผนดำเนินงานแบบรายชั่วโมงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมเชื่อมต่ออยู่ด้วยนั้น สามารถสร้างแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง โดยแผนการทำงานดังกล่าวนี้เป็นแผนงานที่กำหนดการทำงานเป็นรายชั่วโมง โดยแผนดังกล่าวนี้จะทำให้ผลรวมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องมีค่าเท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้าหลังจากหักลบกำลังไฟฟ้าที่กักเก็บผลิตได้ ณ ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งเป็นเพียงค่าที่ได้จากการพยากรณ์ เนื่องจากการออกแบบโมเดลพยากรณ์ใดๆ นั้นไม่สามารถที่จะออกแบบให้เป็นโมเดลที่มีความแม่นยำได้ 100 เปอร์เซ็นต์แต่อย่างไรก็ตามแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมที่เกิดจากแบบจำลองที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นยังคงสามารถนำไปใช้ในการกำหนดแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้ โดยผลลัพธ์ที่เกิดจากการทดลองในกรณีไม่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Yong and Tao (2007) ที่ใช้ต้นทุนรวม 1,037,153 \$ นั้น งานวิจัยครั้งนี้นำเสนอผลลัพธ์ที่ดีกว่าคือ 1,026,760 \$

นอกจากนี้แผนการดำเนินงานดังกล่าวนั้นถูกคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าโดยอาศัยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีการเพิ่มพจน์ที่ทำหน้าที่ในการจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งเป็นการลดการเพิ่มกำลังไฟฟ้าอย่างเฉียบพลันเนื่องจากพจน์ดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดลำดับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องตามอัตราการใช้ต้นทุนต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามในการทำงานวิจัยครั้งนี้ยังคงมีข้อจำกัดอยู่บางประการดังนี้

1. ข้อจำกัดเรื่องความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์

เนื่องจากแผนการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่คำนวณได้นั้นจะเป็นไปตามปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าย่อยรายชั่วโมงแต่ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากการได้มาของปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่นำมาเป็นข้อจำกัดในการคำนวณนั้นได้มาจากการพยากรณ์ความเร็วลมที่จะเกิดขึ้นในชั่วโมงนั้นๆ จากนั้นจึงนำค่าความเร็วลมที่ได้มาทำการเกิดกำลังไฟฟ้าจึงทำให้ได้เป็นปริมาณความต้องการไฟฟ้าสุทธิแล้วจึงนำไปเป็นข้อจำกัดในการกำหนดแผนการดำเนินงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของชั่วโมงนั้นๆ ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับความแม่นยำของโมเดลการพยากรณ์ความเร็วลมและโมเดลการแปลงความเร็วลมไปเป็นกำลังไฟฟ้า จึง

ควรให้ความสำคัญกับโมเดลทั้ง 2 ไม่ต่างกับกับโมเดลการคำนวณหาแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากโมเดลการพยากรณ์ที่แม่นยำนั้นยอมให้ค่าที่มีความถูกต้องมากกว่านั่นเอง

2. ข้อจำกัดเรื่องความถูกต้องในการคำนวณค่าเหมาะสมของกำลังไฟฟ้า

เนื่องจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องนั้น ในบางกรณีอาจไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดไม่ได้ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกำลังไฟฟ้าที่คำนวณออกมานั้นไม่ผ่านข้อจำกัดต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง หรือในบางกรณีก็เป็นผลมาจากการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ในการคำนวณหาค่าเหมาะสม อาทิเช่น จำนวนรอบที่มากที่สุดในการคำนวณ (Maximum iteration) หรือ ค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของฟังก์ชันที่จะสิ้นสุดการคำนวณ (Termination tolerance of function value) เป็นต้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

แบบจำลองระบบการสร้างแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมเชื่อมต่ออยู่ด้วยนั้น ทำให้สามารถกำหนดแผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้แบบรายชั่วโมงโดยแผนที่ได้นั้นสามารถลดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าแบบเฉียบพลันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้ โดยแบบจำลองจะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้ต้นทุนต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่ำสามารถเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าได้ง่ายกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้ต้นทุนต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าสูงกว่า จึงเป็นการลดต้นทุนทางอ้อม และ หากลดอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าลงได้ก็จะสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องอีกด้วย จึงทำให้แผนการดำเนินงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่จัดทำขึ้นมีประโยชน์ต่อการกำหนดแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยโมเดลการพยากรณ์ 2 โมเดล คือ โมเดลพยากรณ์ความเร็วลมระยะสั้นครั้งละ 1 ชั่วโมง และ โมเดลทำนายกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความเร็วลม ซึ่งหากโมเดลทั้ง 2 มีความแม่นยำสูงแล้วนั้นก็ยังไม่สามารถรับรองได้ว่าแผนการทำงานนั้นจะมีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากปริมาณความต้องการไฟฟ้าอาจจะไม่ตรงกับความเป็นจริง ดังนั้นหากมีการเพิ่มโมเดลการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าแบบรายชั่วโมงเข้าสู่ระบบจำลองก็สามารถที่จะทำให้แผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นอีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของโมเดลการพยากรณ์ทั้ง 3 เป็นหลัก และเนื่องจากในการทำงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้ให้ความสนใจกับค่าสูญเสียของระบบส่งจำหน่ายและ ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบจำหน่าย ซึ่งทำให้แผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นมานั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง แต่อย่างไรก็ตามแผนการทำงานที่ถูกสร้างขึ้นมานั้นยังคงสามารถนำไปใช้เป็นการกำหนดพิกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดแต่ละชั่วโมงได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ประมวล สายพิมพ์. 2555. ผลกระทบจากแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานลมต่อระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกชัย ไพศาลกิตติสกุล. 2554. หลักการเรียนรู้ของเครื่องจักรและการทำเหมืองข้อมูล. เอกสารคำสอน 01205516, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Al-Hamadi, H.M. and S.A. Soliman. 2005. Long-term/mid-term electric load forecasting based on short term correlation and annual growth. **Electric Power Systems Research** 74 (3): 353-361.
- Eberhart, R. and J. Kennedy. 1995. A new optimizer using particle swarm theory, pp. 39-43. *In Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*. 4-6 October 1995, Indianapolis, IN, USA.
- Gondaliya, A. 2014. **Regularization implementation in R : Bias and Variance diagnosis**. Available Source: <http://pingax.com/regularization-implementation-r/>, May 22, 2014.
- Jianwu, Z. and W. Qiao. 2011. Support vector machine-based short-term wind power forecasting, pp. 1-8. *In Power Systems Conference and Exposition (PSCE)*. 20-23 March 2011, Phoenix, AZ.
- Kaewchinporn, C. 2013. **K-fold cross validation**. Available Source: <http://scriptslines.com/blog/k-fold-cross-validation/>, September 2, 2014.
- Opencv. 2014. **Introduction to Support Vector machine**. Available Source: http://docs.opencv.org/doc/tutorials/ml/introduction_to_svm/introduction_to_svm.html, September 2, 2014.

- Attaviriyapap, P., H. Kita, E. Tanaka and J. Hasegawa. A hybrid EP and SQP for dynamic economic dispatch with nonsmooth fuel cost function , **IEEE Transaction on Power Systems** 17 (2): 411-416.
- Sinha, N. and B. Purkayastha. 2004. PSO embedded evolutionary programming technique for non-convex economic load dispatch, pp. 66-71. *In* **Power Systems Conference and Exposition IEEE PES**. 10-13 October 2004, New York, USA.
- Walters, D.C. and G.B. Sheble. 1993. Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading. **IEEE Transactions on Power Systems** 8 (3): 1325-1332.
- Weidong, X., L. Yibing and L. Xingpei. 2010. Short-term forecasting of wind turbine power generation based on genetic neural network, pp. 5943-5946. *In* **Intelligent Control and Automation (WCICA)**. 7-9 July 2010, Jinan, China.
- Liu, Y. and T. Shang. 2007. Economic dispatch of power system incorporating wind power plant, pp. 159-162. *In* **The 8th International Power Engineering Conference (IPEC 2007)**. 3-6 December 2007, Singapore.
- Zhe, C., J.M. Guerrero and F. Blaabjerg. 2009. A review of the state of the art of power electronics for wind turbines. **IEEE Transactions on Power Electronics** 24 (8): 1859-1875.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายนนทชัย อยู่ไทย
เกิดวันที่ 27 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกร ระดับ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคใต้ จ.เพชรบุรี
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ ทุนโครงการความร่วมมือทางวิชาการและพัฒนาผู้เชี่ยวชาญ
ระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์