



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ

วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาวิเคราะห์การลงทุนในการติดตั้งกังหันลมในโรงงานผลิตด้ายทอ

A Study of Wind Turbines Implementation in Cotton Yarn Manufacturer

نامผู้วิจัย นางสาวฤกษ์ ศาส์มุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( อาจารย์ปณณมี สัจจกมล, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์ชัช กานตานันทะ, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์ชัชวาล วงศ์สุข, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงห์สีทอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาวิเคราะห์การลงทุนในการติดตั้งกังหันลมในโรงงานผลิตด้ายทอ

A Study of Wind Turbines Implementation in Cotton Yarn Manufacturer

โดย

นางสาวฤกษ์ ตาสีมูล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. ๒๕๕๗

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฤกษ์ ศาสิตมูล 2557: การศึกษาวิเคราะห์การลงทุนในการติดตั้งกังหันลมในโรงงาน  
ผลิตข้าวหอ ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) สาขาวิศวกรรม  
อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
อาจารย์ปณณมี สัจจกมล, Ph.D. 125 หน้า

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการวิเคราะห์การลงทุนในการติดตั้งกังหันลมในโรงงานผลิตข้าวหอ  
ในการศึกษาด้านเทคนิคการติดตั้งกังหันลม ทำโดยการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมเพื่อวัดความเร็วลม  
โดยนำมาใช้ในการวิเคราะห์เลือกขนาดและประสิทธิภาพของกังหันลมที่เหมาะสม ด้านการวิเคราะห์  
ความคุ้มค่าด้านการเงินใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทน และระยะเวลาคืนทุนในการวิเคราะห์  
สำหรับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมพิจารณาเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการ  
ผลิตไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม

ผลการวิจัยพบว่าด้านเทคนิคความเร็วลมเฉลี่ยวัดได้ 10 เมตร/วินาที ความเร็วลมมี  
ประสิทธิภาพ เลือกขนาดกังหันลม 1 กิโลวัตต์ ในการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมในการ  
ผลิตไฟฟ้า กังหันลมมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า 80 เปอร์เซ็นต์ ในการติดตั้งควรติดตั้งกังหัน  
ลมในตำแหน่งที่กลางปล่องระบายอากาศ การเลือกขนาดขึ้นอยู่กับพื้นที่ปล่องระบายอากาศ ด้าน  
การเงิน มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ เท่ากับ 72,633.22 อัตราผลตอบแทนที่ 11 เปอร์เซ็นต์  
มากกว่าอัตราส่วนลดที่ 7.25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมมี  
ความคุ้มค่าในการลงทุน และมีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยที่ 5 ปี 6 เดือน ด้านสิ่งแวดล้อม ในการติดตั้ง  
กังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3,933.64 กิโลกรัม  
คาร์บอน/กิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นเงิน 877.80 บาท/ปี

Rerkset Taseemool 2014: A Study of Wind Turbines Implementation in Cotton Yarn Manufacturer. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Mr. Punnamee Sachakamol, Ph.D. 125 pages.

This thesis presents a study of wind turbines implementation in cotton yarn manufacturer. For the study of technical wind turbine, it starts from the installation of anemometer to measure wind speed in factory. The potential wind energy was analyzed and evaluated for selecting the type and size of the wind turbine corresponding to cost and turbine efficiency. In analysis of financial worth on net present value, rate of return and payback period were employed. For analysis of environmental effect, carbon reduction will be estimated based on production of electricity from the installed wind turbines system.

The result of technical analysis shows that the average wind speed from air vent of factory is 10 m/s. Based on this wind speed, the appropriate model of wind turbine is 1 kW On/Off grid horizontal axis wind turbine system that turbine efficiency is around 80 percent of electric capacity. The installation of wind turbine should install at the middle of air vent. The size of wind turbines depend on the air vent area. For financial analysis aspect, net present value is 72,633.22 bath. Internal rate of return 11 percent is more than discount rate at 7.25 percent. In conclusion, the installation of wind turbines in this study is worth investment and payback period is 5 years and 6 months. For environment analysis aspect, the installation of 1 kW wind turbines in factory will help to reduce carbon emissions up to 3,933.64 kg CO<sub>2</sub>e /kWh or 877.80 bath/year.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร.ปณณมี สัจจกมล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์ชัย กานตานันทะ และดร.รัชชวาล วงศ์ชูสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งคณะกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายทุกท่านที่เสียสละเวลา ควบคุมการสอบและให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา น้องชาย ญาติพี่น้องและ คุณชนาวิทย์ ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษา รวมทั้งและเพื่อนๆ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนลุล่วงไปได้ด้วยดี

ฤกษ์ยศ ตาสีมูล

พฤษภาคม 2557

## สารบัญ

### หน้า

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| สารบัญ                                                                         | (1) |
| สารบัญตาราง                                                                    | (2) |
| สารบัญภาพ                                                                      | (4) |
| คำนำ                                                                           | 1   |
| วัตถุประสงค์                                                                   | 9   |
| การตรวจเอกสาร                                                                  | 11  |
| อุปกรณ์และวิธีการ                                                              | 47  |
| ผลและวิจารณ์                                                                   | 65  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ                                                              | 98  |
| สรุป                                                                           | 98  |
| ข้อเสนอแนะ                                                                     | 99  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง                                                           | 100 |
| ภาคผนวก                                                                        | 103 |
| ภาคผนวก ก ตารางค่าไฟฟ้าผันแปรจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต                               | 104 |
| ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ Unit root                                                 | 107 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบจากการทดลองค่ากระแสและความต่างศักย์จาก load<br>ที่สร้างขึ้น | 113 |
| ภาคผนวก ง ผลของค่าพารามิเตอร์ วิธี Box-Jenkins                                 | 121 |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน                                                     | 125 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                              | หน้า |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | แรงลมเฉลี่ย กำลังลมเฉลี่ย ระดับความสูงที่ตรวจวัดในแต่ละสถานีวัดแรงลม                         | 4    |
| 2        | ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า                                                                     | 17   |
| 3        | ค่า $r_k$ ที่สัมพันธ์กับอนุกรมเวลาลักษณะต่างๆ                                                | 33   |
| 4        | รูปแบบ ARIMA(p, q) และเงื่อนไขสเตชันนารี                                                     | 34   |
| 5        | รูปแบบ ARIMA (p, q) ของอนุกรมเวลา $\{Z_t\}$ และรูปแบบ ARIMA(p, 1, q) ของอนุกรมเวลา $\{y_t\}$ | 35   |
| 6        | สูตรการคำนวณในโปรแกรม Excel ในการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก 2 ค่า                      | 51   |
| 7        | ช่วงเวลาที่ใช้คิดค่าไฟฟ้า                                                                    | 62   |
| 8        | ค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์                                                                  | 63   |
| 9        | ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน                                                                     | 63   |
| 10       | ค่า Technical Specifications ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า                                            | 66   |
| 11       | ผลเปรียบเทียบค่าคาดเคลื่อนของวิธีพยากรณ์ต่างๆ                                                | 77   |
| 12       | ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ค่าไฟฟ้าผันแปรใช้ตัวแบบ ARIMA (1,1,1)                                  | 77   |
| 13       | ค่าไฟฟ้ารวมต่อหน่วย                                                                          | 80   |
| 14       | ตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ได้จากกังหันลมที่ติดตั้งในโรงงาน ปี 2557                           | 81   |
| 15       | ตัวอย่างการคำนวณจำนวนเงินที่ลดค่าไฟฟ้าได้ ปี 2557                                            | 84   |
| 16       | สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าไฟฟ้าที่กังหันลมช่วยลดได้ต่อปี                               | 86   |
| 17       | สรุปพลังงานที่ผลิตได้และค่าไฟฟ้าที่กังหันลมช่วยลดได้ต่อปี                                    | 87   |
| 18       | สรุปพลังงานที่ผลิตได้และค่าไฟฟ้าที่กังหันลมช่วยลดได้ต่อปี                                    | 88   |
| 19       | ผลการประเมินโครงการ                                                                          | 89   |
| 20       | การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีกำลังของกังหัน 0.78 กิโลวัตต์                | 90   |
| 21       | การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีกำลังของกังหัน 0.8 กิโลวัตต์                 | 91   |
| 22       | การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีกำลังของกังหัน 0.89 กิโลวัตต์                | 92   |

### สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่            |                                                                   | หน้า |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|------|
| 23                  | มูลค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบกับค่าน้ำมัน                               | 94   |
| 24                  | ค่าดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์                              | 95   |
| 25                  | ปริมาณวัตถุดิบเฉลี่ย ที่กักหน้ลมนในอุตสาหกรรมช่วยลดต่อสิ่งแวดล้อม | 95   |
| <b>ตารางผนวกที่</b> |                                                                   |      |
| ก1                  | ค่าไฟฟ้าผันแปรจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต                                 | 105  |
| ค1                  | ข้อมูลดิบจากการทดลองค่ากระแสและความต่างศักย์จาก load ที่สร้างขึ้น | 114  |

## สารบัญภาพ

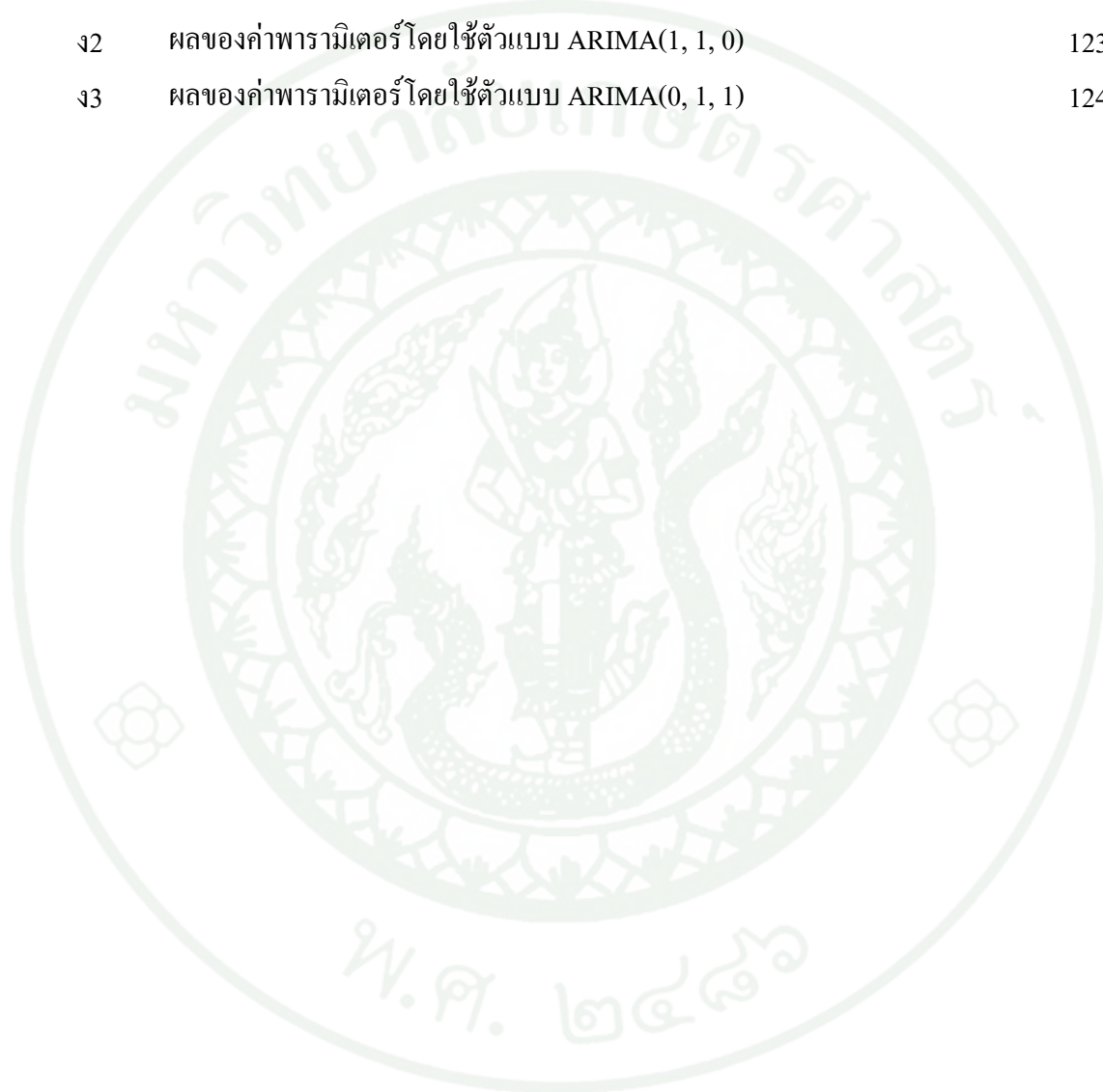
| ภาพที่ |                                                                                  | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | กำลังการผลิตติดตั้งใหม่และกำลังการผลิตรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของโลก       | 2    |
| 2      | ร้อยละกำลังการผลิตรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของโลกแบ่งตามทวีป                | 2    |
| 3      | แผนที่ความเร็วลมในประเทศไทยที่ความสูง 40 เมตร ข้อมูลปี 2554 ปรับปรุงกันยายน 2555 | 3    |
| 4      | ระดับความเร็วลมที่แถบสีต่างๆ เพื่อใช้แปรผลในแผนที่ความเร็วลม                     |      |
| 5      | กังหันลม Darrieus แนวแกนตั้ง                                                     | 12   |
| 6      | กังหันลมแนวแกนนอน                                                                | 12   |
| 7      | ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า                                                   | 14   |
| 8      | ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว                                                    | 15   |
| 9      | ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง                                | 16   |
| 10     | ตัวอย่าง Power Curve ของกังหันลม                                                 | 21   |
| 11     | รูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อมูล                                                     | 24   |
| 12     | ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางการเงิน                                                    | 48   |
| 13     | กราฟแนวโน้มค่าไฟฟ้าผันแปรตามช่วงเวลา                                             | 49   |
| 14     | การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก 2 ค่า                                        | 50   |
| 15     | การใช้คำสั่ง Solver เพื่อหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสม                                  | 52   |
| 16     | การใช้โปรแกรม Minitab ในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Exponential smoothing               | 53   |
| 17     | หน้าต่างเพื่อใส่ข้อมูลในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Exponential smoothing               | 57   |
| 18     | การใช้โปรแกรม Minitab ในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Double Exponential Smoothing        | 55   |
| 19     | หน้าต่างเพื่อใส่ข้อมูลในการพยากรณ์วิธี Double Exponential Smoothing              | 56   |
| 20     | การใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้าง Correlogram ของ Autocorrelation                 | 57   |
| 21     | การใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้าง Correlogram ของ Partial Autocorrelation         | 58   |
| 22     | การใช้โปรแกรม Minitab ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบ ARIMA (p, d, q)         | 59   |
| 23     | หน้าต่างเพื่อใส่ข้อมูลในการพยากรณ์วิธี Box-Jenkins                               | 59   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่     |                                                                                       | หน้า |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 24         | รูปแบบการติดตั้งกังหันลม                                                              | 65   |
| 25         | ทดสอบการทำงานของใบพัด                                                                 | 67   |
| 26         | การติดตั้งกังหันลม                                                                    | 67   |
| 27         | การปรับแก้ตำแหน่งที่ตั้งกังหันลม                                                      | 68   |
| 28         | การต่อแบตเตอรี่และวงจรควบคุม                                                          | 68   |
| 29         | Load ที่ออกแบบไว้สำหรับทดลองค่าการดึงกระแสไฟฟ้า                                       | 69   |
| 30         | กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจริงและค่าจากการพยากรณ์วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก      | 70   |
| 31         | กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าผันแปรจริงและค่าพยากรณ์โดยใช้ Exponential smoothing            | 71   |
| 32         | กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าผันแปรจริงและค่าพยากรณ์โดยใช้วิธี Double Exponential Smoothing | 72   |
| 33         | Autocorrelation ของข้อมูลที่ทำการ Differencing ลำดับที่ 1                             | 73   |
| 34         | Partial Correlation ของข้อมูลที่ทำการ Differencing ลำดับที่ 1                         | 74   |
| 35         | ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม                                                              | 75   |
| 36         | กราฟเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์จากสมการ ARIMA (1, 1, 1)                           | 76   |
| 37         | กราฟแสดงค่าพยากรณ์จากสมการ ARIMA (1, 1, 1)                                            | 76   |
| 38         | ผลเปรียบเทียบค่าคาดเคลื่อนของวิธีพยากรณ์ต่างๆ                                         | 79   |
| 39         | วัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้า                                                                | 94   |
| <br>       |                                                                                       |      |
| ภาพผนวกที่ |                                                                                       |      |
| ข1         | ผลการทดสอบ Unit root ที่ ระดับ level with intercept and Trend line                    | 108  |
| ข2         | ผลการทดสอบ Unit root ที่ ระดับ level with none                                        | 109  |
| ข2         | ผลการทดสอบ Unit root โดย Differencing 1 ครั้ง with none                               | 110  |
| ข4         | ผลการทดสอบ Unit root โดย Differencing 1 ครั้ง with intercept                          | 111  |
| ข5         | ผลการทดสอบ Unit root โดย Differencing 1 ครั้ง with intercept and Trend line           | 112  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่ |                                                | หน้า |
|------------|------------------------------------------------|------|
| ง1         | ผลของค่าพารามิเตอร์โดยใช้ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 1) | 122  |
| ง2         | ผลของค่าพารามิเตอร์โดยใช้ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 0) | 123  |
| ง3         | ผลของค่าพารามิเตอร์โดยใช้ตัวแบบ ARIMA(0, 1, 1) | 124  |



## การศึกษาวิเคราะห์การลงทุนในการติดตั้งกังหันลมในโรงงานผลิตด้ายทอ

### A Study of Wind Turbines Implementation in Cotton Yarn Manufacturer

#### คำนำ

พลังงานลม จัดเป็นพลังงานที่สะอาด (Green Energy) และเป็นพลังงานทดแทน (Renewable Energy) ที่มีความยั่งยืนทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม และการทดแทนแบบไม่สิ้นสุด มนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จกหมดสิ้น

ด้วยความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีทำให้เกิดกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตไฟฟ้า โดยกำลังการผลิตติดตั้ง (Install Capacity) ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปี 2002 มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมรวม 31,181 เมกะวัตต์ กำลังการผลิตติดตั้งใหม่ 6,859 เมกะวัตต์ ปี 2012 กำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 282,275 เมกะวัตต์ กำลังการผลิตติดตั้งใหม่ 44,609 เมกะวัตต์ ดังภาพที่ 1 และในปี 2012 มีสัดส่วนกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจากทวีปยุโรปร้อยละ 37.90 ทวีปเอเชียร้อยละ 35.40 ทวีปอเมริกาเหนือร้อยละ 23.40 และอื่นๆ อีกร้อยละ 3.30 ดังภาพที่ 2

โดยประเทศที่มีการผลิตกำลังการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมสูงที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ ประเทศจีนโดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมอยู่ที่ 75,324 เมกะวัตต์ สหรัฐอเมริกา 59,882 เมกะวัตต์ เยอรมัน 31,038 เมกะวัตต์ สเปน 22,796 เมกะวัตต์ และอินเดีย 18,321 เมกะวัตต์ ตามลำดับ

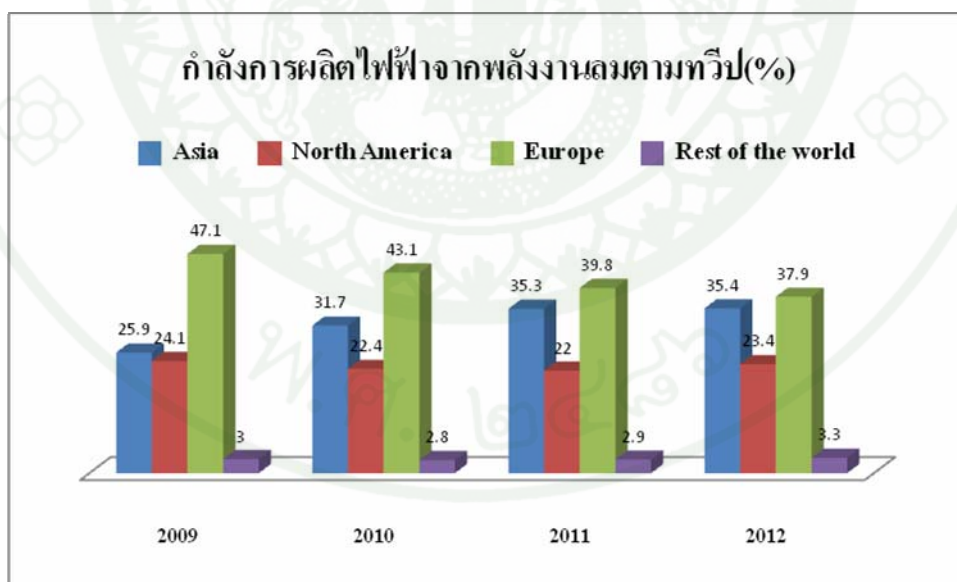
สำหรับภูมิภาคเอเซียนั้นนับว่ามีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมคิดเป็นร้อยละ 35.4 ของกำลังการผลิตในโลก ส่วนใหญ่อยู่ในประเทศจีน อินเดีย ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ตุรกี และปากีสถาน โดยประเทศจีนมีกำลังการผลิตคิดเป็นร้อยละ 75 ของเอเชีย ตามมาด้วยอินเดียร้อยละ 18 และที่เหลือจากประเทศอื่นๆ รวมกัน ทั้งนี้กลุ่มประเทศในอาเซียนนั้นมีประเทศที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมที่ติดอันดับ 1 ใน 100 คือ ประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศเวียดนาม โดยประเทศฟิลิปปินส์

อยู่อันดับที่ 58 มีกำลังการผลิตติดตั้งอยู่ที่ 33 เมกะวัตต์ และประเทศเวียดนาม 31 เมกะวัตต์ (World Wind Energy Association, 2555)



ภาพที่ 1 กำลังการผลิตติดตั้งใหม่และกำลังการผลิตรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของโลก

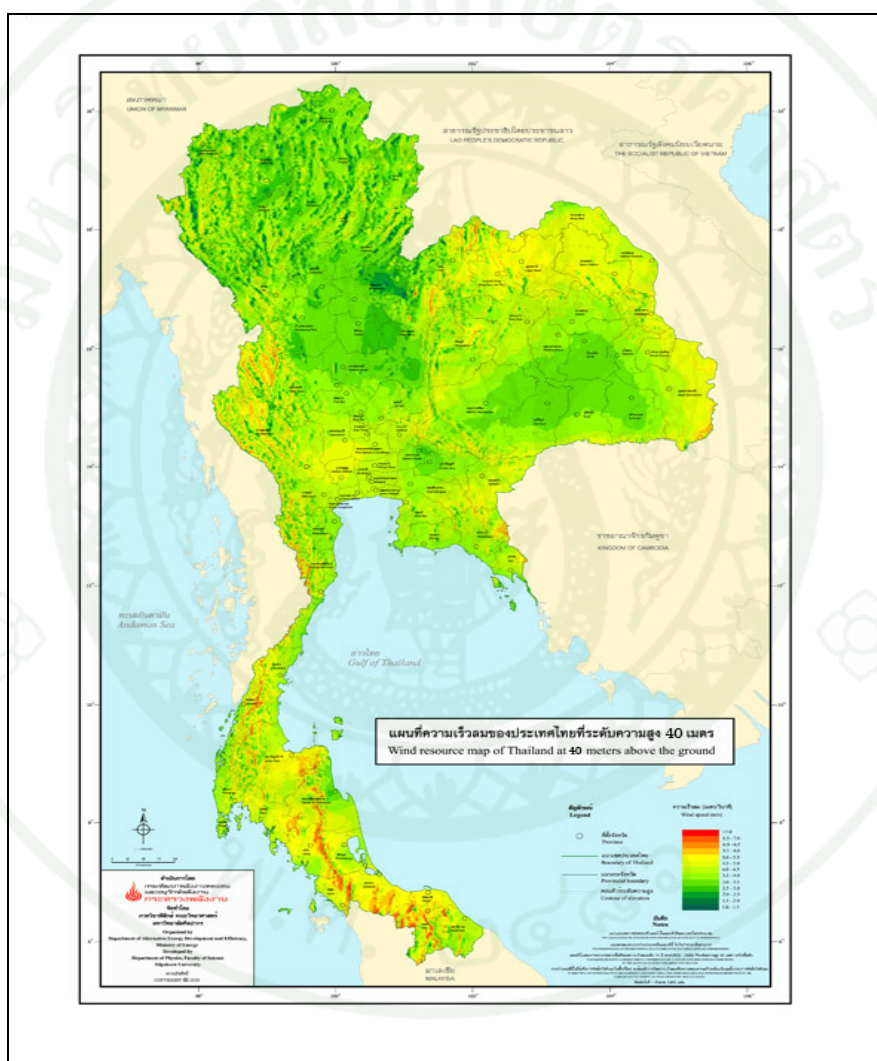
ที่มา: ปรับจากรายงานของ World Wind Energy Association (WWEA) (2555)



ภาพที่ 2 ร้อยละกำลังการผลิตรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของโลกแบ่งตามทวีป

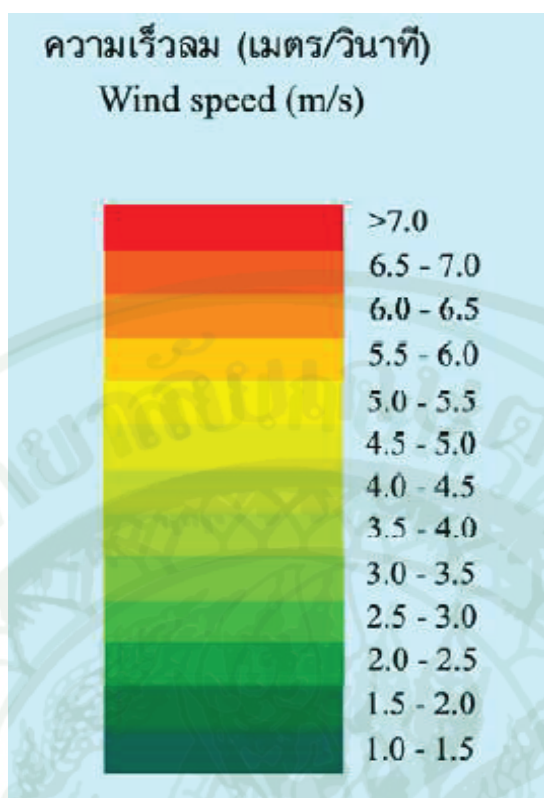
ที่มา: ปรับจากรายงานของ World Wind Energy Association (WWEA) (2555)

ในประเทศไทยพลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กันมานานกว่า 4,000 ปีแล้ว ส่วนมากใช้ในการวิดน้ำเข้าสู่ในพื้นที่เกษตรกรรม เช่น นาข้าว นาเกลือ เป็นต้น จากตัวอย่างแผนที่ลมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งแสดงความเร็วลม (Wind speed) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 40 เมตร ทั่วประเทศไทย ตามภาพที่ 3 ความเร็วลมในแผนที่แทนด้วยแถบสีต่างๆตั้งแต่สีเขียวเข้มซึ่งมีความเร็วลมเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาทีถึงแถบสีแดงซึ่งมีความเร็วลมมากกว่า 7 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป ตามภาพที่ 4 และตารางที่ 1



ภาพที่ 3 แผนที่ความเร็วลมในประเทศไทยที่ความสูง 40 เมตร ข้อมูลปี 2554 ปรับปรุงกันยายน 2555

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555)



ภาพที่ 4 ระดับความเร็วลมที่แถบสีต่างๆ เพื่อใช้แปลผลในแผนที่ความเร็วลม

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555)

ตารางที่ 1 แรงลมเฉลี่ย กำลังลมเฉลี่ย ระดับความสูงที่ตรวจวัดในแต่ละสถานีวัดแรงลม

| สถานี                     | ความเร็วลม<br>(เมตร/วินาที) | กำลังลมเฉลี่ย<br>(วัตต์/ตารางเมตร) | ระดับความสูงที่วัด<br>(เมตร) |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| บ้านสวนดอก เชียงราย       | 1.36                        | 1.54                               | 30                           |
| บ้านหมอกจำแป้             | 1.04                        | 0.69                               | 40                           |
| อ่างเก็บน้ำร่องตั่ว พะเยา | 1.59                        | 2.46                               | 40                           |
| บ้านแม่จิ เชียงใหม่       | 1.07                        | 0.75                               | 40                           |
| บ้านฝายแก้ว น่าน          | 1.49                        | 2.02                               | 30                           |
| บ้านห้วยห้าง ลำพูน        | 1.61                        | 2.55                               | 40                           |

ตารางที่ 1 (ต่อ)

| สถานที่                    | ความเร็วลม<br>(เมตร/วินาที) | กำลังลมเฉลี่ย<br>(วัตต์/ตารางเมตร) | ระดับความสูงที่วัด<br>(เมตร) |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| บ้านน้ำพี้ อุดรดิษฐ์       | 2.03                        | 5.12                               | 30                           |
| บ้านคุ่มม่วง พิษณุโลก      | 1.74                        | 3.22                               | 40                           |
| บ้านกองเนียม เพชรบูรณ์     | 2.85                        | 14.17                              | 40                           |
| บ้านทุ่งสงบ อุทัยธานี      | 1.99                        | 4.82                               | 40                           |
| บ้านไร่สิงห์พัฒนา ลพบุรี   | 3.95                        | 48.32                              | 40                           |
| บ้านสระหลวง สุพรรณบุรี     | 3.32                        | 22.4                               | 40                           |
| บ้านเกริงกระเวีย กาญจนบุรี | 1.65                        | 2.75                               | 40                           |
| บ้านนาคำ หนองคาย           | 2.28                        | 7.25                               | 40                           |
| บ้านโชคชัย หนองบัวลำภู     | 1.28                        | 1.28                               | 30                           |
| บ้านโนนสำราญ อุดรธานี      | 3.42                        | 24.48                              | 40                           |
| บ้านดงหลวง มุกดาหาร        | 2.75                        | 12.73                              | 40                           |
| บ้านหนองวัว ร้อยเอ็ด       | 3.64                        | 29.52                              | 40                           |
| บ้านเก่าดี ชัยภูมิ         | 3.44                        | 24.91                              | 40                           |
| บ้านสองคร นครราชสีมา       | 2.82                        | 13.72                              | 40                           |
| บ้านกันตระมวล สุรินทร์     | 2.47                        | 9.22                               | 30                           |
| บ้านนาโพธิ์ อุบลราชธานี    | 2.52                        | 9.79                               | 40                           |
| บ้านโคกพนมดี ปราจีนบุรี    | 2.27                        | 7.16                               | 40                           |
| บ้านคลองหว้า สระแก้ว       | 3.26                        | 21.2                               | 40                           |
| เขื่อนกิริธาร จันทบุรี     | 2.52                        | 9.79                               | 40                           |
| บ้านพยุหะ ระยอง            | 3.89                        | 36.02                              | 40                           |
| มหาวิทยาลัยบูรพา จันทบุรี  | 2.8                         | 13.43                              | 40                           |
| บ้านอ่าวขาม ตราด           | 2.98                        | 16.2                               | 40                           |
| บ้านอ่าวเคย ระนอง          | 3.12                        | 18.59                              | 40                           |
| บ้านเกาะแดน สุราษฎร์ธานี   | 3.41                        | 24.27                              | 40                           |

ตารางที่ 1 (ต่อ)

| สถานที่                      | ความเร็วลม<br>(เมตร/วินาที) | กำลังลมเฉลี่ย<br>(วัตต์/ตารางเมตร) | ระดับความสูงที่วัด<br>(เมตร) |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| บ้านเกาะแตน สุราษฎร์ธานี     | 3.41                        | 24.27                              | 40                           |
| คณะเกษตรศาสตร์ นครศรีธรรมราช | 2.13                        | 5.91                               | 40                           |
| บ้านหัวกุ้ง สงขลา            | 4.5                         | 55.77                              | 40                           |
| บ้านมหาการ สงขลา             | 3.39                        | 23.84                              | 30                           |
| บ้านม่วงงาม สงขลา            | 4.14                        | 43.43                              | 40                           |
| วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์     | 3.08                        | 17.88                              | 40                           |
| บ้านปึก สงขลา                | 3.77                        | 32.79                              | 40                           |
| บ้านปากบางสะกอม สงขลา        | 3.69                        | 30.75                              | 40                           |
| ประภาคารแหลมดาชี ปัตตานี     | 4.19                        | 45.02                              | 40                           |
| บ้านบ่อदान พังงา             | 3.68                        | 30.5                               | 40                           |
| บ้านคลองญวน กระบี่           | 3.46                        | 25.35                              | 40                           |
| บ้านเขาหนองยวน ตรัง          | 2.11                        | 5.75                               | 30                           |
| เฉลี่ย                       | 2.75                        | 17.25                              |                              |

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555)

จากตารางเห็นได้ว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ประมาณ 3 เมตรต่อวินาที เป็นเกณฑ์ สำหรับประเทศไทย ซึ่งโดยทั่วไปจัดได้ว่ามีศักยภาพต่ำ แต่บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยและทางภาคใต้ของประเทสรวมทั้งบริเวณที่ราบใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยาจัดว่ามีศักยภาพพอประมาณ แต่การผลิตกระแสไฟฟ้าจากลมเมื่อมองเรื่องของต้นทุนยังมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจน้อย

เนื่องจากเงื่อนไขทางกายภาพของการผลิตพลังงานลมที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยคือ 1) ต้องมีความเร็วลมสูง 2) กระแสลมไม่แปรปรวน 3) มีกระแสลมต่อเนื่อง ผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดที่หาทางติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมแทนเนื่องจากมีแรงลมสม่ำเสมอและต่อเนื่องไม่แปรปรวนเหมือนกระแสลมตามธรรมชาติ

ยกตัวอย่างเปรียบเทียบพลังงานลมธรรมชาติและพลังงานลมในโรงงานอุตสาหกรรม ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้คร่าวๆจากกังหันลมขนาด 1 เมกะวัตต์ ใน 1 ปี ลงทุนเท่ากันที่ 150,000 บาท โดยกำหนดพลังงานลมธรรมชาติที่ ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที และพลังงานลมจาก โรงงานที่ความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ค่าไฟจากโรงงานขนาดกลางอัตราปกติ 2.6880 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าผันแปร 0.5 บาทต่อหน่วย

การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าจากการอ่านกราฟของบริษัทผู้ผลิต

ที่ความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที ได้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 300 วัตต์ พลังงานลมธรรมชาติจะผลิตไฟฟ้าได้  $0.3 \times 365 \times 24 = 2,628$  หน่วย พลังงานลมธรรมชาติช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ 8,378.06 บาทต่อปี ใช้เวลาคืนทุนประมาณ 17 ปี 9 เดือน

ที่ความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ได้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 800 วัตต์ พลังงานลมจากโรงงานจะผลิตไฟฟ้าได้ 7,008 หน่วย พลังงานลมจากโรงงานช่วยลดค่าไฟฟ้า 22,341.5 บาทต่อปี ใช้เวลาคืนทุนที่ 6 ปี 7 เดือน

จากการคำนวณเบื้องต้นจะเห็นได้ว่าการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าการติดตั้งกังหันลมโดยใช้ลมธรรมชาติมาก โดยมีระยะเวลาคืนคิดเป็น 2.67 เท่าของระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งกังหันลมโดยใช้ลมจากธรรมชาติ ซึ่งมีความน่าสนใจในการลงทุน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้ศึกษาจะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงด้านการลงทุนและสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการดำเนินงานต่อไป

### ความเป็นมาและปัญหาของโรงงานตัวอย่าง

บริษัท ด้าซิงคอตตอนไทย เป็นบริษัทผลิตเส้นด้ายจากใยฝ้าย และมีการดำเนินการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ เครื่องจักร และให้แสงสว่าง ดังนั้นจึงต้องการพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากในกระบวนการผลิต ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากในระยะยาวอัตราค่าไฟฟ้ามีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังหนึ่งปี คือจาก

เดือนมกราคม – ธันวาคม พ.ศ. 2554 บริษัท ด้าซิ่งคอตตอนไทย มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 11,197,800 บาท/เดือน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในอัตราที่สูง บริษัท ด้าซิ่งคอตตอนไทย จึงมีนโยบายลดการใช้พลังงาน เพื่อลดต้นทุนในด้านพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากถ้าโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายลงได้ก็จะทำให้ต้นทุนสินค้ามีราคาต่ำลง ส่งผลทำให้มีผลกำไรที่เพิ่มขึ้นด้วย

พลังงานลมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้และทำให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไปและเป็นพลังงานสะอาด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมด การอนุรักษ์พลังงานโดยใช้พลังงานลมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์และไม่เกิดการสูญเสียเปล่าประกอบกับสายการผลิตของบริษัท ด้าซิ่งคอตตอนไทย มีกระบวนการกำจัดละอองฝ้ายซึ่งกระบวนการนี้ก่อให้เกิดการปล่อยพลังงานลมทิ้ง

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำพลังงานดังกล่าวกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการนำพลังงานลมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการกำจัดละอองฝ้าย มาใช้กับกังหันลมซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า และนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบริษัทต่อไป

## วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1. เพื่อศึกษาการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุนการใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม
3. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในการใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม

## ขอบเขตของการวิจัย

1. กังหันลมที่ใช้ขนาด 1 กิโลวัตต์ สำหรับติดตั้งปล่องระบายอากาศขนาด 2 x 2 เมตร
2. การศึกษาครั้งนี้ข้อมูลความเร็วลมได้จากการวัดที่โรงงานตัวอย่างจากอุปกรณ์วัดความเร็วลมโดยได้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 10 เมตรต่อวินาที
3. การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาการติดตั้งกังหันลม ความเป็นไปได้ทางการเงิน และการช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในการติดตั้งกังหันลม สำหรับโรงงานตัวอย่าง

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โรงงานตัวอย่างได้ทราบความคุ้มค่าในการลงทุน เทคนิคที่เหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและทางด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจต่อไป
2. สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาหรือตัดสินใจในการติดตั้งกังหันลมสำหรับอุตสาหกรรมต่อไป

### นิยามศัพท์

พลังงานไฟฟ้า (Energy หรือ Generation) คือ ผลของการทำงานของกำลังไฟฟ้าที่ทำงานในช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kilowatt-hour: kWh) ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า “หน่วย” หรือ unit และคำนวณพลังงานไฟฟ้าได้จากสูตร

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ไฟฟ้า}$$

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย (1 kWh) หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานไปในการทำงาน โดยสามารถทำงานได้ 1 kW เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1 เมกะวัตต์ (1 MW) หมายถึง เป็นหน่วยของกำลังไฟฟ้า (Power) มีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลวัตต์

## การตรวจเอกสาร

การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น เอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกังหันลม การพยากรณ์ การวิเคราะห์โครงการ ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกังหันลม

#### 1.1 ลักษณะกังหันลมและส่วนประกอบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

กังหันลมทั่วไปสามารถแบ่งตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุนหรือตามลักษณะของแรงขับที่กระแสลมกระทำต่อกังหัน การแบ่งประเภทกังหันลมตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุน เป็นวิธีที่เด่นชัด สามารถเข้าใจได้ง่าย จึงนิยมมากกว่าการแบ่งประเภทตามลักษณะของแรงขับที่กระแสลมกระทำต่อกังหันลมออกเป็น 2 แบบตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุน

1.1.1 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง ประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์ กังหันลมแบบแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่และการยกชุดใบพัดเพื่อรับแรงลม การพัฒนาจึงอยู่ในวงจำกัดและมีความไม่ต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแบบแกนตั้งน้อยมาก ดังแสดงในภาพที่ 5

1.1.2 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม ได้แก่ กังหันลมแบบ Windmill กังหันลมใบสี่ลำแปด กังหันลมชนิดหลายใบพัดเช่น 1, 2, 3, 4 หรือ 6 ใบพัด นิยมใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิด 3 ใบพัดได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 กังหันลม Darrieus แนวแกนตั้ง

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556)



ภาพที่ 6 กังหันลมแนวแกนนอน

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556)

### 1.1.3 ส่วนประกอบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วย

#### 1.1.3.1 ใบพัด (Blades) เป็นตัวรับพลังงานลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล

ใบพัดจะยึดติดกับคานที่เป็นชุดแกนหมุนและส่งแรงไปยังเพลาแกนหมุนความเร็วต่ำ

1.1.3.2 โรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่สามารถหมุนได้ประกอบด้วย ใบพัด และคัมยิดใบพัด (Hub) กับชุดแกนหมุนที่ต่อรวมแกนกับเพลากลมหุนความเร็วต่ำ

1.1.3.3 ตัวปรับใบพัด (Pitch) เป็นตัวปรับองศาของใบพัดให้เหมาะสมกับลม เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

1.1.3.4 เบรก (Brake) ใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลากลมหุนของกังหันลม เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน หรือในระหว่างการบำรุงรักษา

1.1.3.5 เพลากลมหุนความเร็วต่ำ (Low-Speed Shaft) ใ้รับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านกำลังไปยังเพลากลมหุนความเร็วสูงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.1.3.6 ชุดเกียร์ (Gear Box) เป็นตัวควบคุมและปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการทดรอบระหว่างเพลากลมหุนความเร็วต่ำกับเพลากลมหุนความเร็วสูงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมและมีความสัมพันธ์กัน

1.1.3.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ใช้เปลี่ยนพลังงานกลจากเพลากลมหุนความเร็วสูงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

1.1.3.8 อุปกรณ์ควบคุม (Controller) ใช้ควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้าหาทิศทางลมตลอดเวลา และควบคุมไม่ให้ความเร็วลมสูงเกินกว่าที่กังหันลมจะสามารถทำงานได้ เพื่อป้องกันความเสียหาย

1.1.3.9 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) ใช้วัดความเร็วลม และส่งข้อมูลไปที่เครื่องควบคุม เพื่อการควบคุมกังหันลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.1.3.10 เครื่องวัดทิศทางลม (Wind Vane) ใช้ตรวจสอบทิศทางลม และส่งข้อมูลไปที่เครื่องควบคุม ทิศทางการรับลมของกังหันลม

1.1.3.11 ห้องเครื่อง (Nacelle) ใ้บรรจุอุปกรณ์ต่างๆประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เกียร์บล็อก เพลากลมหุนความเร็วต่ำ เพลากลมหุนความเร็วสูง เบรก อุปกรณ์ควบคุม

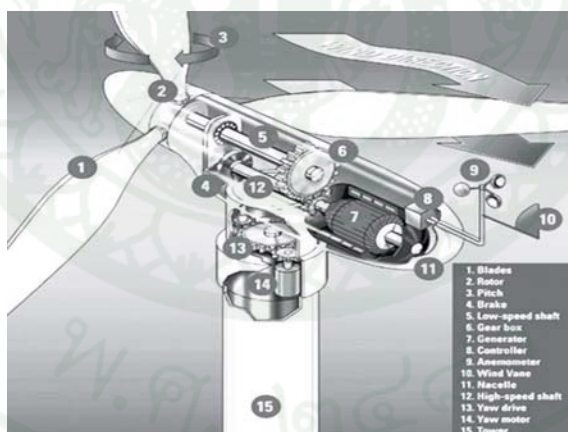
แกนคอกหมุนรับทิศทางลม และ มอเตอร์ขับเคลื่อนแกนคอกหมุน นอกจากนี้ภายนอก ยังติดตั้งเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมด้วย

1.1.3.12 เฟลาแกนหมุนความเร็วสูง (High-Speed Shaft) เป็นเฟลาแกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ส่งกำลังผ่านมาจากเฟลาแกนหมุนความเร็วต่ำ

1.1.3.13 แกนคอกหมุนรับทิศทางลม (Yaw Drive) ใช้หมุนกังหันลมเพื่อให้สามารถรับลมได้ดีที่สุด เมื่อลมเปลี่ยนทิศทาง

1.1.3.14 มอเตอร์ขับเคลื่อนแกนคอกหมุน (Yaw Motor) ใช้ปรับแกนคอกหมุนรับทิศทางลม

1.1.3.15 เสา (Tower) ใช้ยึดตัวกังหันลมในระดับสูงเพื่อรับกระแสลมให้ได้มากที่สุดขึ้นทุกทิศทาง โดยเป็นท่อนตรงที่มีสายยึดหรืออาจเป็นโครงเหล็ก ที่สามารถรับน้ำหนักและการสั่นสะเทือนเนื่องจากตัวกังหันลมได้ รวมทั้ง สามารถใช้ในการตรวจสอบบำรุงอุปกรณ์ภายในห้องเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556)

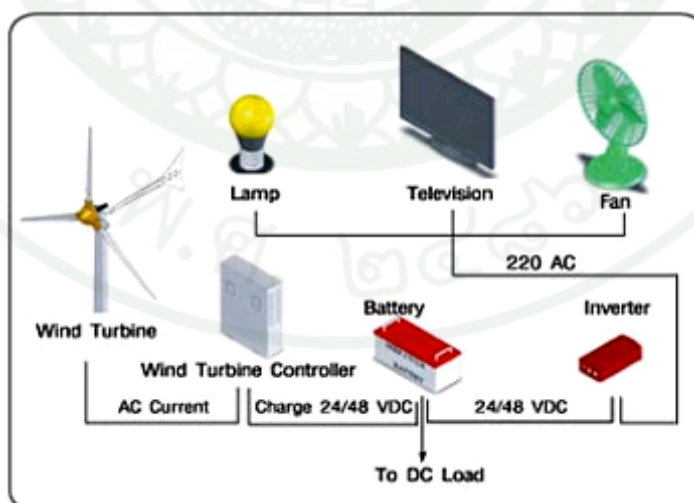
## 1.2 หลักการทำงานของกังหันลม

สำหรับหลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้คือ เมื่อมีลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลมกังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกลโดยการหมุนของใบพัดแรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านแกนหมุนทำให้เพลาคูที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วย พลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเพลานี้เองที่ถูกประยุกต์ใช้ประโยชน์ตามความต้องการเช่น ในกรณีที่ต้องการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าก็จะต้องต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งเมื่อกังหันลมหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วย ด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้

## 1.3 ระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าและขนาดกำลังการผลิตของกังหันลม

ระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

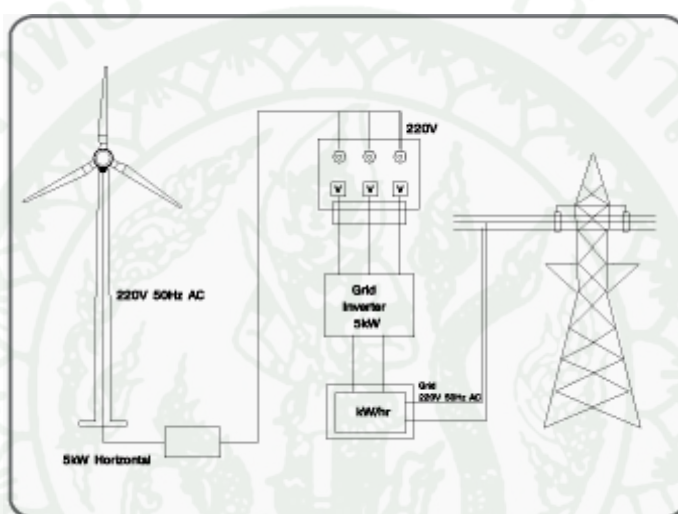
1.3.1 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว (Stand Alone System) เป็นระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า ที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าได้โดยตรง กังหันลมชนิดนี้ประกอบด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีทั้งประเภทขั้วตรงและขั้วผ่านชุดเกียร์ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำไปประจุยังชุดแบตเตอรี่ก่อนถูกนำออกมาใช้โดยส่งผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว

ที่มา: ระบบสารสนเทศกังหันลมผลิตไฟฟ้า มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2555)

1.3.2 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (Grid Connected System) เป็นระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่งโดยกระแสไฟฟ้าที่ได้จะผ่านเข้าสู่ระบบสายส่งก่อนที่จะส่งจ่ายไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งระบบขับตรงและขับผ่านชุดเกียร์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อระบบสายส่ง (Grid Type Inverter) ก่อนนำมาใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าเดิม หรือหากพลังงานไฟฟ้าผลิตได้มากเกินไปเกินความต้องการก็อาจติดต่อทางการไฟฟ้า เพื่อติดตั้งมิเตอร์ขายคืนกลับให้การไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายในต่างประเทศ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง

ที่มา: ระบบสารสนเทศกังหันลมผลิตไฟฟ้า มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2555)

1.3.3 ขนาดกำลังการผลิตของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าได้มีการพัฒนาขนาดกำลังการผลิตมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2523 โดยกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับ เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด และพื้นที่กวาดของใบพัด ซึ่งทำให้สามารถแยกประเภทของกังหันลมได้ ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

| ขนาดของกังหันลม                       | ขนาดกำลัง<br>การผลิต<br>(กิโลวัตต์) | เส้นผ่าน<br>ศูนย์กลาง<br>(เมตร) | พื้นที่กวาด<br>ของใบพัด<br>(ตารางเมตร) |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| ขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine)         | < 1.5                               | < 3                             | < 7                                    |
| ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)         | 1.5-2.0                             | 3-10                            | 7-80                                   |
| ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)        | 20-200                              | 10-25                           | 80 - 500                               |
| ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)         | 200-1,500                           | 25-70                           | 500-3,850                              |
| ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine) | > 1,500                             | > 70                            | > 3,850                                |

**ที่มา:** ปรับจากเอกสารเผยแพร่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556)

1.3.3.1 กังหันลมขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดน้อยกว่า 3 เมตร พื้นที่กวาดใบพัดน้อยกว่า 7 ตารางเมตร เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในที่ห่างไกลที่ต้องการภาระทางไฟฟ้าไม่มาก เช่น ใช้กับเครื่องมือสื่อสาร แสงสว่างในบางเวลา

1.3.3.2 กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.5-20 กิโลวัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด อยู่ระหว่าง 3-10 เมตร พื้นที่กวาดใบพัดอยู่ระหว่าง 7-80 ตารางเมตร เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น ตามครัวเรือนที่อยู่ห่างไกล

1.3.3.3 กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 20-200 กิโลวัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด อยู่ระหว่าง 10-25 เมตร พื้นที่กวาดใบพัดอยู่ระหว่าง 80-500 ตารางเมตร เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในระบบผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น ระบบผสมผสานดีเซล- เซลล์แสงอาทิตย์-กังหันลมเพื่อใช้ในชุมชนห่างไกล

1.3.3.4 กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 200-1,500 กิโลวัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด อยู่ระหว่าง 25-70 เมตร พื้นที่กวาดใบพัดอยู่ระหว่าง

500-3,850 ตารางเมตร เหมาะสำหรับการติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบเป็นทุ่งกังหันลมบนฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง

1.3.3.5 กังหันลมขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่า 1,500 กิโลวัตต์ เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมากกว่า 70 เมตร พื้นที่กวาดใบพัดมากกว่า 3,850 ตารางเมตร เหมาะสำหรับการติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ่งกังหันลมบนฝั่งและนอกชายฝั่งเพื่อเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากับสายส่ง

#### 1.4 การวัดความเร็วและทิศทางของลม

ลม คือการเคลื่อนไหวยของอากาศ ถ้าลมแรงก็หมายความว่ามวลของอากาศเคลื่อนตัวไปมากและเร็ว การวัดความเร็วลมและทิศทางมีความจำเป็นมาก เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ และจัดกลุ่มทุนข้อมูล การวัดลมจำเป็นต้องวัดทั้งทิศทางของลมและความเร็วของลม เพื่อนำมาออกแบบและจัดรูปแบบและตำแหน่งของชุดกังหันลมเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากลมให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับการวัดทิศทางของลมนั้น เราใช้อุปกรณ์วัดทิศทางลม (Wind Vane หรือ Dog Vane) ส่วนในการวัดความเร็วลมนั้น เราใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “อะนิมอมิเตอร์” (Anemometer) ซึ่งมีอยู่หลายประเภท เช่น แบบใบพัด (Turbine Anemometer) โดยมากจะนิยมใช้ความเร็วลมที่มีทิศทางที่แน่นอน ต้องหันเครื่องวัดตั้งฉากกับกระแสลมจึงจะสามารถเก็บค่าได้อย่างถูกต้อง และแบบถ้วยกลม (Cup Anemometer) ซึ่งธรรมดา เนื่องจากมีทิศทางที่ไม่แน่นอน และเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หน่วยในการวัดความเร็วลม ที่ใช้กันอยู่มีหลากหลาย แล้วแต่ความนิยมในการใช้ ในแต่ละประเทศเช่น กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไมล์ต่อชั่วโมง น็อต เมตรต่อวินาที ฯลฯ

การตรวจวัดความเร็วลมที่ถูกต้องควรกระทำและบันทึกไว้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งวัน สัปดาห์ หรือที่ดีที่สุดคือตลอดทั้งปี เนื่องจากความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลาหรือแต่ละฤดูกาลนั้นไม่เท่ากัน จึงจำเป็นอย่างยิ่งว่าจะต้องนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาหาค่าเฉลี่ย ผลจากการวิเคราะห์ในด้านต่างๆ ถึงจะมีความแม่นยำและตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งการใช้คนไปนั่งจดบันทึกเป็นระยะเวลานานๆ สามารถทำได้ยากมาก และค่าความผิดพลาดสูง จึงมีอุปกรณ์อีกชิ้นเข้ามาช่วยก็คือ เครื่องบันทึกข้อมูลความเร็วและทิศทางของลม (Data Logger) นั่นเอง เราสามารถกำหนดช่วงเวลาในการบันทึกได้ว่า ทุกๆ นาที ชั่วโมง หรือ วัน ตามความต้องการ ตัวเครื่องจะมีหน่วยความจำในตัว หาก

ต้องการทราบข้อมูลที่ได้นับที่กไว้ในช่วงที่ผ่านมา ก็สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการถ่ายโอนข้อมูล (Download) จากเครื่องบันทึกเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ได้ในระยะเวลาอันสั้น

การติดตั้งเครื่องวัดอัตราเร็วลมควรติดตั้งบนเสาในที่โล่งห่างจากสิ่งกีดขวางทางลม เช่น อาคาร ต้นไม้ และควรอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 10 เมตร ถ้าเป็นบริเวณพื้นน้ำ สิ่งที่เกิดขึ้นคู่กับลม คือ คลื่น ถ้าลมแรงคลื่นจะสูง ถ้าลมสงบก็จะไม่มีคลื่น การติดตั้งเครื่องวัดอัตราเร็วลม จะติดตั้งพร้อมกับเครื่องวัดทิศทางลม

ระบบป้องกันตัวเองของกังหันลมเมื่อความเร็วลมสูงเกินกว่าที่กำหนด (Auto Furl) สิ่งที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของการเลือกใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าก็คือมาตรฐานด้านความปลอดภัย เมื่อความเร็วลมสูงเกินไป หรือพายุเข้ากังหันลมที่มีคุณภาพต้องมีระบบป้องกันตัวเองอย่างมีประสิทธิภาพ หากไม่มีระบบดังกล่าวที่ความเร็วลมสูงกว่า 16 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบใบพัดจะสูงมาก อาจสร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินและเป็นอันตรายผู้คนในบริเวณใกล้เคียง ระบบป้องกันตัวเอง มีหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น ระบบพับตัวอัตโนมัติเมื่อความเร็วเกินกำหนด (Auto Furl) กังหันลมจะถูกออกแบบให้สามารถพับตัวได้ เมื่อความเร็วลมที่เข้าปะทะสูงเกินกว่าที่ออกแบบไว้ แรงจากการปะทะจะทำลายความสมดุลทางพลศาสตร์ของระบบ กังหันลมจะพับตัวเองและหันหน้าขนาดกับกระแสลมแรง ด้านพร้อมกับหยุดการหมุนของใบพัด จะเริ่มกลับไปทำงานในสภาวะปกติอีกครั้งเมื่อความเร็วลมกลับคืนสู่สภาวะปกติ

ในการเลือกขนาดกังหันลมผลิตไฟฟ้า, ขนาด Inverter, ขนาดชุดแบตเตอรี่ ข้อนี้ที่สำคัญเหมือนกัน เล็กเกินไปก็ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ใหญ่เกินไปก็สิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ ขั้นตอนสำคัญคือ ต้องสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะใช้งานเสียก่อน ว่ามีอะไรบ้าง กำลังไฟฟ้าเท่าไรใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไรต่อวันซึ่งต้องรวบรวมจากแผ่นป้ายที่ติดแสดงคุณสมบัติของเครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อรวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าจนครบถ้วนแล้ว จึงค่อยเลือกขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้ได้ตามความเหมาะสม

สำหรับความหมายของคำสำคัญที่ควรทราบเกี่ยวกับคุณสมบัติของกังหันลมผลิตไฟฟ้าประกอบไปด้วย

Type: ประเภทกังหันลม แบบแกนนอนหรือแบบแกนตั้ง จำนวนใบพัด Rotor Diameter: เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด

Start-up Wind Speed: ความเร็วลมต่ำสุดที่กังหันลมเริ่มหมุน

Cut-in Wind Speed: ความเร็วลมที่กังหันลมเริ่มผลิตไฟฟ้าออกมา

Rated Wind Speed: ความเร็วลมที่กังหันลมเริ่มผลิตไฟฟ้าออกมาเต็มกำลังผลิต

Rated Power: อัตราการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม

Maximum Power: กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้

Over Speed Protection: ระบบป้องกันเมื่อความเร็วสูงเกินพิกัด

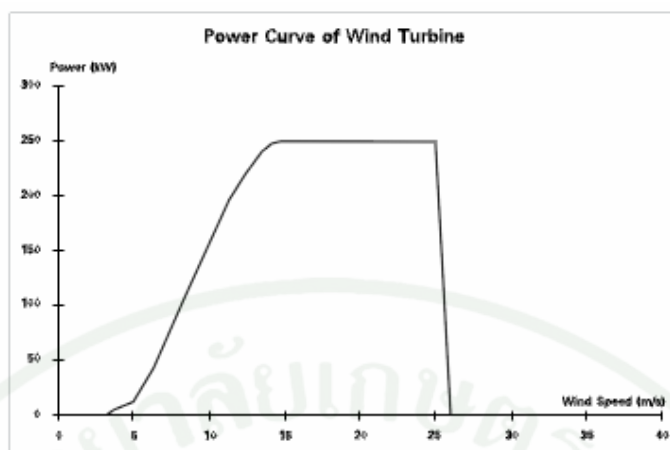
Temperature Range: ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน

Generator: ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Output Form: คุณลักษณะไฟฟ้าที่ผลิต

### 1.5 การประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

เมื่อแปลงข้อมูลความเร็วลมในที่ได้จากการตรวจวัดตลอดเวลา 1 ปี แล้ว จึงนำไปประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยคำนวณจาก Power Curve ของกังหันลม ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมแต่ละยี่ห้อ และรุ่นที่กำหนดไว้ตัวอย่างเช่น Power Curve ของกังหันลม แสดงลักษณะการผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตัวอย่าง Power Curve ของกังหันลม

ที่มา: บริษัทกรีนพาวเวอร์ จำกัด (2556)

จากภาพที่ 10 จะเห็นว่าความเร็วลมต่ำสุด (Cut in speed) ที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ ประมาณ 3 เมตร/วินาที หากความเร็วลมต่ำกว่าความเร็วลมต่ำสุด (Cut in speed) กังหันลมจะไม่ผลิตไฟฟ้าได้ ความเร็วลมที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด (Rated speed) เมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้นกว่า ความเร็วลมต่ำสุด (Cut in speed) กังหันลมจะเริ่มผลิตไฟฟ้าและกำลังผลิต (Production Capacity) จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยแปรตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น จนเมื่อความเร็วลมถึงระดับความเร็วลมพิกัด (Rated speed) ของกังหันลม ประมาณ 14 เมตร/วินาที กังหันลมจะผลิตไฟฟ้าออกมาเริ่มคงที่ ซึ่งจากรูปกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมอยู่ที่ 250 กิโลวัตต์ ความเร็วลมที่กังหันลมจะหยุดการทำงาน (Cut out speed) เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างของกังหันลม เมื่อมีความเร็วลมสูงกว่าความเร็วลมที่กังหันลมจะหยุดการทำงานของกังหันลมประมาณมากกว่า 25 เมตร/วินาที นั่นคือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ มีค่าเท่ากับผลของค่าการกระจายของความเร็วลม คูณ Power Curve โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้น ยังไม่รวมค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในระบบ ค่าความสูญเสียในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งระบบควบคุม และความแปรปรวนของอากาศ

ดังนั้นหากต้องการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้จริงต้องคูณด้วย Efficiency factor ของกังหันลม

## 2. การพยากรณ์

### 2.1 ความหมายและความสำคัญของการพยากรณ์ (Defining Forecasting)

Bernard (2006) ให้ความหมายของการพยากรณ์ไว้ดังนี้ การพยากรณ์คือ การคาดการณ์ถึงสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาในอนาคตและนำค่าการพยากรณ์ที่ได้นั้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการตัดสินใจใด ๆ โดยทั่วไปแล้วการพยากรณ์จะถูกจัดแบ่งตามหน้าที่หลักที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1.1 ในด้านการเงินและการบัญชี (Finance) อุปสงค์ที่ประมาณการจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำงบประมาณการขาย ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นในการทำงานงบประมาณการเงินเพื่อจัดสรรทรัพยากรในทุกส่วนขององค์กรอย่างทั่วถึงและเหมาะสม

2.1.2 ในด้านการตลาด (Marketing) อุปสงค์ที่ประมาณการไว้จะถูกใช้กำหนดปริมาณการขายของพนักงานขาย หรือถูกนำไปใช้เป็นเป้าหมายยอดขายของแต่ละผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการควบคุมกิจกรรมของฝ่ายขายและฝ่ายการตลาด

2.1.3 ในด้านการผลิต (Operation) อุปสงค์ที่ประมาณการไว้ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการต่าง ๆ ในฝ่ายผลิต คือ

2.1.3.1 การบริหารสินค้าคงคลังและการจัดซื้อ เพื่อมีวัตถุดิบที่เพียงพอในการผลิตและมีสินค้าสำเร็จรูปเพียงพอต่อการขายภายใต้ต้นทุนสินค้าคงคลังในระดับที่เหมาะสม

2.1.3.2 การบริหารแรงงาน โดยการจัดกำลังคนให้สอดคล้องกับปริมาณงานผลิตที่พยากรณ์ไว้ในแต่ละช่วงเวลา

2.1.3.3 การกำหนดกำลังการผลิต เพื่อจัดให้มีขนาดของโรงงานที่เหมาะสมมีเครื่องจักรอุปกรณ์หรือสถานประกอบการผลิตที่เพียงพอต่อการผลิตในปริมาณที่พยากรณ์ไว้ การวางแผนการผลิตรวมเพื่อจัดสรรแรงงานและกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับการจัดซื้อวัตถุดิบและชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการผลิตแต่ละช่วงเวลา

2.1.3.4 การเลือกทำเลที่ตั้งสำหรับการผลิต คลังเก็บสินค้า หรือศูนย์กระจายสินค้า ในแต่ละแหล่งลูกค้าหรือแหล่งการขายที่มีอุปสงค์มากพอ

2.1.3.5 การวางแผนผังกระบวนการผลิตและการจัดตารางการผลิตเพื่อจัดกระบวนการผลิตให้เหมาะสมกับปริมาณสินค้าที่ต้องผลิตและกำหนดเวลาการผลิตให้สอดคล้องกับช่วงอุปสงค์

2.2 ระยะเวลาของการพยากรณ์กล่าวถึงการแบ่งระยะในการพยากรณ์ดังนี้ ระยะเวลาในการพยากรณ์สามารถแบ่งออกตามกรอบเวลา (Time Frame) ได้ 3 ช่วง คือ

2.2.1 การพยากรณ์ระยะสั้น (Short-Range Forecast) เป็นการพยากรณ์ที่นำข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อการพยากรณ์เดือนถัดไปซึ่งใช้เวลาสั้นเพียงหนึ่งหรือสองเดือน

2.2.2 การพยากรณ์ระยะกลาง (Medium-Range Forecast) ใช้เวลา 2 เดือน ถึง 1 ปี การพยากรณ์ระยะนี้จะใกล้เคียงกับแผนการผลิตประจำปี

2.2.3 การพยากรณ์ระยะยาว (Long-Range Forecast) ใช้เวลามากกว่า 1 ปี หรือ 2 ปีขึ้นไป

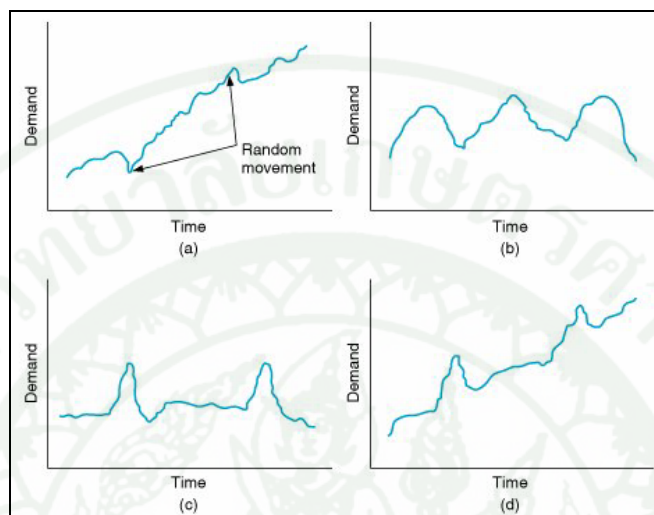
2.3 ส่วนประกอบในการพยากรณ์ (Forecasting Component) ในการพยากรณ์ข้อมูลที่ได้มาอาจมีบางส่วนประกอบของปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งส่วนประกอบดังกล่าว คือ

2.3.1 แนวโน้ม (Trend) คือ การสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของข้อมูลในระยะยาวว่ามีแนวโน้มในการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงเพื่อใช้ในการพยากรณ์

2.3.2 วัฏจักร (Cycle) คือการเคลื่อนที่แบบขึ้น ๆ ลง ๆ ซ้ำกัน ข้อมูลเองตลอดช่วงเวลา

2.3.3 ฤดูกาล (Seasonal Pattern) คือการเคลื่อนที่แบบแกว่งตัว (Oscillating Movement) เกิดขึ้นในช่วงสั้น ๆ และซ้ำรอยเดิม ซึ่งรูปแบบฤดูกาลจะเกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ (Weather)

2.3.4 แนวโน้มแบบฤดูกาล (Trend With Seasonal Pattern) คือการเคลื่อนไหวของข้อมูลที่มีแนวโน้มขึ้นหรือลง โดยมีข้อมูลแบบฤดูกาล โดยลักษณะของรูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อมูลแบบต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 11



(a) Trend (b) Cycle (c) Seasonal Pattern and (d) Trend With Seasonal Pattern

ภาพที่ 11 รูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อมูล

ที่มา: Bernard (2006)

## 2.4 ขั้นตอนการพยากรณ์

Stevenson (2007) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการพยากรณ์ มีดังต่อไปนี้

2.4.1 กำหนดวัตถุประสงค์ (Objectives) ของการพยากรณ์ เช่น การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่มีผลต่อพฤติกรรมของผู้บริโภคชั้นสุดท้าย ทั้งนี้เพื่อทำการผลิตสินค้าให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานและปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของตลาด

2.4.2 กำหนดช่วงเวลาการพยากรณ์ (Establish a Time) เป็นขั้นตอนการกำหนดกรอบเวลาที่ต้องการพยากรณ์

### 2.4.3 เลือกเทคนิคการพยากรณ์ (Forecasting Technique)

### 2.4.4 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล (Analyze Data)

2.4.5 นำไปใช้และประเมินผล (Make the Forecast) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการพยากรณ์ สมการที่ใช้โดยข้อมูลในอดีต เช่น ยอดขาย จำนวนหน่วยผลิตแต่ละช่วงเวลา เพื่อตรวจสอบค่าที่ได้จากการพยากรณ์กับค่าที่เกิดขึ้นจริงว่าแตกต่างกันอย่างไร ส่วนใหญ่ใช้ข้อมูลของปีที่ผ่านมาแล้วทำการปรับแต่งตัวเลขหรือวิธีการให้สอดคล้องกับความเป็นจริง

### 2.4.6 ติดตามประเมินผล (Monitor the Forecast) โดยการประเมินในหัวข้อต่อไปนี้

#### 2.4.6.1 วิธีถูกต้องหรือไม่

#### 2.4.6.2 ผลของการพยากรณ์สอดคล้องกับความเป็นจริงหรือไม่

2.4.6.3 วิธีการและผลสามารถแก้ไขหรือสามารถให้มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุดได้อย่างไร

#### 2.4.6.4 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่

## 2.5 ประเภทของการพยากรณ์

Makridakis *et al.* (1983) กล่าวถึงการแบ่งประเภทการพยากรณ์ไว้ว่า การพยากรณ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting) เป็นการพยากรณ์โดยอาศัยข้อมูลตัวเลขจากอดีต เช่น ยอดขาย กำลังการผลิตมาสร้างตัวแบบจำลอง เทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์ได้แก่ วิธีการ Least Square วิธีการ Moving Average วิธีการปรับเรียบแบบ Exponential Smoothing เป็นต้น

2.5.2 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting) เป็นการพยากรณ์ที่ไม่ใช้ข้อมูลย้อนหลังแต่จะใช้ข้อมูลปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ เช่น ประสบการณ์ ความชำนาญ ตลอดจนระบบต่าง ๆ ที่มีคุณค่าเพื่อนำไปสู่การพยากรณ์ โดยวิธีการพยากรณ์นี้เหมาะสำหรับการพยากรณ์เทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในองค์กร

## 2.6 ตัวแบบการจำลองอนุกรมเวลา (Time Series Models)

ตัวแบบจำลองอนุกรมเวลา (Time Series Models) ใช้หลักพยากรณ์ภายใต้สมมุติฐานที่ว่า อนาคตเป็นปฏิภาค (Function) ของอดีต โดยพิจารณาว่าในระยะเวลาที่ผ่านมาอันเกิดอะไรขึ้นบ้างและใช้อนุกรมของข้อมูลในอดีตนำมาใช้พยากรณ์ ตัวเลขข้อมูลที่นำมาใช้อาจจัดแบ่งเป็น รายสัปดาห์ รายเดือน รายไตรมาสหรือรายปีก็ได้

นอกจากนี้ Makridakis et al (1983) ได้กล่าวถึงการพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาไว้ดังนี้ การพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาประกอบด้วย

2.6.1 วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method) เป็นการหาค่าเฉลี่ยของยอดผลิตในอดีตติดต่อกันตามจำนวนคาบเวลาที่ยุพยากรณ์ต้องการ แล้วหารด้วยจำนวนคาบเวลา ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าพยากรณ์คาบเวลาถัดไป ดังสมการ

$$MA_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (1)$$

ก) Three-year Moving Average

$$MA_3 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 D_i \quad (2)$$

ข) Five-year Moving Average

$$MA_5 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 D_i \quad (3)$$

เมื่อ

$MA$  = ค่าเฉลี่ยที่เป็นค่าพยากรณ์

$D_i$  = ค่าของข้อมูลแต่ละค่าในช่วงเวลา

$i$  = ลำดับคาบเวลาที่  $i$  ใด ๆ

$\Sigma$  = ผลรวม

$n$  = จำนวนคาบเวลาที่ต้องการเคลื่อนที่

2.6.2 วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average Method) เป็นการหาค่าเฉลี่ยของยอดผลิตในอดีตติดต่อกัน โดยมีการให้ค่าน้ำหนักตามความสำคัญแก่ยอดขายที่ใกล้ปัจจุบันที่สุดแล้วลดหลั่นไปตามอดีต โดยการถ่วงน้ำหนักของยอดขายในคาบเวลาแล้วหารด้วยผลรวมของตัวเลขที่นำมาถ่วงน้ำหนัก ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าพยากรณ์ของคาบเวลาถัดไป ดังสมการที่ (4)

$$WMA_n = \sum_{i=1}^n W_i D_i \quad (4)$$

เมื่อ

$WMA_n$  = ค่าเฉลี่ยที่เป็นค่าพยากรณ์

$D_i$  = ค่าของข้อมูลแต่ละค่าในช่วงเวลา

$\Sigma$  = ผลรวม

$n$  = จำนวนคาบเวลาที่ต้องการเคลื่อนที่

$W$  = ค่าถ่วงน้ำหนัก

2.6.3 วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลอย่างง่าย (Single Exponential Smoothing Method) เป็นการพยากรณ์ที่ให้ค่าความสำคัญกับข้อมูลเก่าทุกค่า โดยให้ความสำคัญแก่ค่าที่ใกล้ปัจจุบันมากที่สุดลดหลั่นลงไปด้วยค่าที่ 1 จนถึงค่าล่าสุดและถ่วงน้ำหนักโดยใช้สัมประสิทธิ์การปรับเรียบ ( $\alpha$ ) ดังสมการที่ (5)

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (5)$$

เมื่อ

$F_t$  = ค่าพยากรณ์

$F_{t-1}$  = ค่าพยากรณ์ที่ผ่านมา 1 ช่วง

$A_{t-1}$  = อุปทาน (Demand) ของเวลาที่ผ่านมา 1 ช่วง

$\alpha$  = ค่าปรับน้ำหนัก ระหว่าง 0-1

ค่า  $\alpha$  ที่เหมาะสมก็คือค่า  $\alpha$  ที่ให้ค่า MSE ต่ำที่สุด โดยปกติแล้วจะใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trail and Error) คือ สมมติ ค่า  $\alpha$  แล้วคำนวณหาค่า MSE ค่า  $\alpha$  ใดที่ให้ค่า MSE ต่ำสุด ค่านั้นก็คือค่า  $\alpha$  ที่เหมาะสม

2.6.4 วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลด้วยวิธีโฮลต์ (Holt's Linear Exponential Smoothing Method) วิธีการนี้มีชื่อเรียกอีกสองแบบคือ Double Exponential Smoothing และ Holt's Two-Parameter Linear Method วิธีการพยากรณ์แบบนี้เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการเคลื่อนไหวเป็นแนวโน้มแบบเส้นตรง (Trend) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากที่สุด ดังนั้นจึงมีค่าคงที่การทำให้เรียบ 2 ค่า ได้แก่  $\alpha$  (Alpha) และ  $\beta$  (Beta) ดังสมการตามสมการที่ (6),(7) และ (8)

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} - b_{t-1}) \quad (6)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (7)$$

$$F_{t+m} = L_t + b_t m \quad (8)$$

โดยที่

$y$  = ค่าของข้อมูลที่เวลาต่าง ๆ

$F$  = ค่าการพยากรณ์ของข้อมูล

$t$  = เวลา

$\alpha$  = ค่าที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์

$\beta$  = ค่าที่ทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณของแนวโน้ม

$L_t$  = ค่าประมาณของ Level ของ Series ที่เวลา  $t$

$b_t$  = ค่าประมาณของความชันของ Series ที่เวลา  $t$

$m$  = จำนวนของคาบที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

ค่า  $\alpha$  และค่า  $\beta$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1

2.6.5 วิธี Box-Jenkins เป็นการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบ ARIMA (Autoregressive integrated moving average) ที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบออโต (Autocorrelation function: ACF) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนแบบออโต (Partial autocorrelation function: PACF) ที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  เป็นแนวทางในการกำหนดรูปแบบ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบออโตที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  มักแทนด้วย ACF ที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  หรือ  $\rho_k$  และแทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนแบบออโตที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  มักแทนด้วย PACF ที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  หรือ  $\rho_{kk}$  รูปแบบ ARIMA เป็นรูปแบบที่ระบุค่าพยากรณ์ในอนาคตขึ้นกับค่าสังเกต ค่าพยากรณ์ และหรือค่าความคาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในช่วงเวลาก่อนหน้าที่เวลาใดบ้าง

รูปแบบ ARIMA ซึ่งเป็นรูปแบบที่อธิบายลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่มีค่าสังเกตมีสหสัมพันธ์แบบออโตและเป็นสเตชันนารี หมายถึง อนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ  $Y_t$  คงที่ แม้ว่าอนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมมีการเคลื่อนไหวเนื่องจากแนวโน้มหรือฤดูกาลซึ่งเป็นอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นสเตชันนารีก็สามารถใช้ ARIMA ได้ โดยอาศัยการแปลงอนุกรมเวลาให้เป็นอนุกรมเวลาใหม่ที่เป็นสเตชันนารี รูปแบบในกลุ่มของรูปแบบ ARMA (p, q) (Autoregressive integrated moving average order p and q model) ที่เกิดจากการรวมรูปแบบ Autoregressive อันดับ p หรือ AR (p) และรูปแบบ Moving average ที่อันดับ q หรือ MA (q) โดยรูปแบบ AR (p) เป็นรูปแบบที่กำหนดค่าสังเกต  $Y_t$  ขึ้นกับค่าสังเกตก่อนหน้าเป็นเวลา  $t-1, \dots, t-p$  ได้แก่  $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}$  ส่วนรูปแบบ MA (q) เป็นรูปแบบที่กำหนดค่าสังเกต  $Y_t$  ขึ้นกับค่าสังเกตก่อนหน้าเป็นเวลา  $t-1, \dots, t-q$  ได้แก่  $\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$  ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา ดังนี้

2.6.5.1 อนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารี (Stationary Series) เป็นอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ  $Y_t$  คงที่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบออโตในช่วงเวลาห่าง  $k$  ขึ้นกับค่า  $k$  อย่างเดียวไม่ขึ้นกับเวลา  $t$  อนุกรมเวลาที่กำหนดรูปแบบ ARMA (p, q) ต้องเป็นอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารี หรืออนุกรมเวลาที่มีลักษณะดังนี้

2.6.5.2 อนุกรมเวลาที่ไม่เป็นสเตชันนารี (Nonstationary Series) เป็นอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ  $Y_t$  ไม่คงที่ที่เวลา  $t$  ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบออโตในช่วงเวลาห่าง  $k$  ไม่ขึ้นกับค่า  $k$  อย่างเดียวแต่ขึ้นกับเวลาด้วยการแปลงอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นสเตชันนารี ทำโดยการกำจัดแนวโน้ม กำจัดปัจจัยฤดูกาลให้อนุกรมเวลามีค่าความแปรปรวนคงที่ที่เวลา  $t$  ด้วยการหาผลต่าง ผลต่างฤดูกาล หรือการเปลี่ยนแปลงค่าสังเกตในอนุกรมเวลาเป็นค่าสังเกตใหม่ด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์บางรูปแบบ ตามลำดับซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. การหาอนุกรมเวลาผลต่าง ถ้าอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากแนวโน้มจะแปลงอนุกรมเวลาเดิม  $\{y_t\}$  เป็น  $\{z_t\}$  ที่ไม่มีแนวโน้ม ซึ่งแปลงอนุกรมเวลาใหม่ดังสมการที่ (9)

$$Z_t = \nabla^d Y_t \quad (9)$$

โดย  $d$  เป็นจำนวนครั้งของการหาผลต่าง เช่น  $d = 1$  มีค่า  $Z_t = \nabla Y_t = Y_t - Y_{t-1}$  เป็นต้น การแปลงค่าสังเกตวิธีนี้จะหาผลต่างจนกระทั่งอนุกรมเวลาใหม่เป็นสเตชันนารี เช่น ถ้าอนุกรมเวลามีแนวโน้มเส้นตรงจะหาผลต่าง 1 ครั้ง และถ้าอนุกรมเวลามีแนวโน้มกำลังสองจะหาผลต่าง 2 ครั้ง

ข. การหาอนุกรมเวลาผลต่างฤดูกาล ถ้าอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากฤดูกาลจะแปลงอนุกรมเวลาเดิม  $\{y_t\}$  เป็น  $\{z_t\}$  ที่ไม่มีฤดูกาล ซึ่งแปลงอนุกรมเวลาใหม่ดังสมการที่ (10)

$$Z_t = \nabla_L^D Y_t \quad (10)$$

โดย  $D$  เป็นจำนวนครั้งของการหาผลต่างฤดูกาล และ  $L$  เป็นจำนวนฤดูกาลต่อปี เช่น

$$\text{กำหนดให้} \quad D = 1 \text{ และ } L = 12$$

$$Z_t = \nabla_{12}^1 Y_t$$

$$\text{นั่นคือ} \quad Z_t = Y_t - Y_{t-12}$$

จำนวนครั้งที่หาผลต่างฤดูกาลขึ้นกับว่า เมื่อหาผลต่างฤดูกาลแล้ว อนุกรมเวลาใหม่เป็นสเตชันนารีหรือไม่ ถ้าไม่ จะต้องทำการหาผลต่างอนุกรมเวลาซ้ำอีก

ค. การหาอนุกรมเวลาผลต่างและผลต่างฤดูกาลถ้าอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากแนวโน้มและฤดูกาล จะแปลงอนุกรมเวลาเดิม  $\{y_t\}$  เป็น  $\{z_t\}$  ที่ไม่มีแนวโน้มและฤดูกาลซึ่งแปลงอนุกรมเวลาใหม่ดังสมการ (11)

$$Z_t = \nabla^d \nabla_L^D Y_t \quad (11)$$

จำนวนครั้งที่หาผลต่างและผลต่างฤดูกาลกำหนดด้วย  $d$  และ  $D$  ขึ้นกับว่าอนุกรมเวลาใหม่เป็นสเตชันนารีหรือไม่ เช่น

กำหนดให้  $d = 1, D = 1$  และ  $L = 12$

$$Z_t = \nabla^1 \nabla_{12}^1 Y_t$$

นั่นคือ  $Z_t = \nabla(Y_t - Y_{t-12})$

$$Z_t = (Y_t - Y_{t-1}) - (Y_{t-12} - Y_{t-13})$$

$$= Y_t - Y_{t-1} - Y_{t-12} + Y_{t-13}$$

ง. การหาอนุกรมเวลาที่แปลงแล้ว เมื่อความผันแปรของอนุกรมเวลาไม่คงที่ กล่าวคือ ค่าความแปรปรวนของ  $Y_t$  หรือ  $V(Y_t)$  ที่เวลา  $t$  ไม่คงที่ สามารถทำการแปลงอนุกรมเวลาเดิมเป็นอนุกรมเวลาใหม่ ดังนี้สมการที่ (12)

$$Z_t = \ln(Y_t) \quad (12)$$

หรือ  $Z_t = Y_t^{1/2} = \sqrt{Y_t}$

อนุกรมเวลาใหม่จะมีค่าความแปรปรวนคงที่ และผลจากการแปลงอนุกรมเวลาที่มีรูปแบบแนวโน้มฤดูกาลแบบคูณจะได้อนุกรมเวลาใหม่ที่มีรูปแบบแนวโน้มฤดูกาลแบบบวก

ค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของค่าสังเกตที่อยู่ห่างกันช่วงเวลา  $k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบออโตที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  ( $r_k$ ) ซึ่งเป็นค่าวัดสหสัมพันธ์ระหว่าง  $Y_{t-k}$  และ  $Y_t$  การตรวจสอบเบื้องต้นว่าอนุกรมเวลาเสถียรหรือไม่ทำได้โดยการพล็อตกราฟอนุกรมเวลาเทียบกับค่า  $r_k$  ค่าของ  $r_k$  ที่สัมพันธ์กับอนุกรมเวลาลักษณะต่างๆแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า  $r_k$  ที่สัมพันธ์กับอนุกรมเวลาลักษณะต่างๆ

| ลักษณะของอนุกรมเวลา                    | ค่า $r_k$                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ไม่มีแนวโน้มและความคลาดเคลื่อนอิสระ | $r_k$ มีค่าเท่ากับ 0 สำหรับทุกค่าของ $k$                                                                                                                                                                                 |
| 2. ไม่มีแนวโน้มและความคลาดเคลื่อนอิสระ | $r_k$ มีค่าสูงเมื่อ $k$ มีค่าน้อยและเท่ากับ 0 เมื่อ $k$ มีค่ามาก                                                                                                                                                         |
| 3. มีแนวโน้ม                           | $r_k$ มีค่ามากและเป็นบวกเมื่อ $k$ มีค่าน้อยและลดลงอย่างช้าๆ เมื่อ $k$ มีค่าเพิ่มขึ้น                                                                                                                                     |
| 4. มีฤดูกาล                            | $r_k$ มีค่ามากสำหรับค่า $k$ ที่มีค่าเป็นผลคูณของ $L/2$ เป็นจำนวนฤดูกาลต่อปี<br>สำหรับอนุกรมเวลารายเดือน $r_k$ มีค่ามากเมื่อ $k = 6, 12, 18, \dots$ และสำหรับอนุกรมเวลารายไตรมาส $r_k$ มีค่ามากเมื่อ $k = 2, 4, 6, \dots$ |
| 5. มีแนวโน้มและฤดูกาล                  | $r_k$ มีค่าทำนองเดียวกับกรณีมีแนวโน้มและกรณีมีฤดูกาลรวมกัน                                                                                                                                                               |

ที่มา: ทรงศิริ (2549)

พยากรณ์ด้วยวิธี Box-Jenkins มีขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดรูปแบบ ARIMA (p, q) ที่เหมาะสม การประมาณค่าพารามิเตอร์ การตรวจสอบรูปแบบ และการพยากรณ์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การกำหนดรูปแบบ (Identification) เป็นการกำหนดรูปแบบ ARIMA(p, q) ที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลา โดยเปรียบเทียบค่าจากแผนภาพคอเรโลแกรม (Correlograms) ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบออโตที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  ( $r_k$ ) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนแบบออโตที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  ( $r_{kk}$ ) ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีคอเรโลแกรมที่ต่างกัน

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบ (Estimation) เป็นการประมาณค่าของพารามิเตอร์ในรูปแบบด้วยวิธีการประมาณแบบต่างๆ เช่น

การประมาณอย่างง่าย (Simple Estimation) เป็นคำตอบที่ได้จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\rho_k$  และพารามิเตอร์ในรูปแบบจำนวนสมการความสัมพันธ์ที่นำมาพิจารณา

เท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณ เมื่อแทนค่า  $\rho_k$  ด้วย  $r_k$  และแทนค่าพารามิเตอร์รูปแบบด้วยค่าประมาณของค่าพารามิเตอร์

การตรวจสอบรูปแบบ (Diagnostic Checking) เป็นการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของค่าความคลาดเคลื่อน  $\{e_t\}$  มักพิจารณาจากสมมุติฐาน ได้แก่ การทดสอบพารามิเตอร์ในรูปแบบที่มีค่าเท่ากับ 0 ด้วยการทดสอบแบบ t หรือ แบบ t บางส่วน และการทดสอบความเหมาะสมของรูปแบบจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอัตโนมัติของค่าคลาดเคลื่อน  $r_k(e_t)$  ประกอบด้วยการทดสอบ

$$H_0 : \rho_k(e_t) = 0 \quad \text{สำหรับแต่ละ } k \text{ ด้วยการทดสอบแบบ } t$$

$$H_a : \rho_k(e_t) \neq 0 \quad \text{สำหรับแต่ละ } k \text{ ด้วยการทดสอบแบบ } t$$

หากตรวจสอบแล้วพบว่ารูปแบบที่กำหนดเหมาะสมจะนำรูปแบบดังกล่าวไปสร้างสมการพยากรณ์เพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

การพยากรณ์จากรูปแบบ ARIMA (p, q) ที่ผ่านการตรวจสอบรูปแบบแล้ว จะนำมาสร้างสมการพยากรณ์และหาค่าพยากรณ์ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รูปแบบ ARIMA(p, q) และเงื่อนไขสแตชันนารี

| รูปแบบ ARIMA(p, q) | รูปแบบ                                                                                     | เงื่อนไข                                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| White noise        | $Y_t = \theta_0 + \varepsilon_t$                                                           |                                                                             |
| AR(1)              | $Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$                                          | $1 < \phi_1 < 1$                                                            |
| AR(2)              | $Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \varepsilon_t$                         | $\phi_2 + \phi_1 < 1, \phi_2 - \phi_1 < 1$<br>และ $ \phi_2  < 1$            |
| MA(1)              | $Y_t = \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$                              | $1 < \theta_1 < 1$                                                          |
| MA(2)              | $Y_t = \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$ | $\theta_2 + \theta_1 < 1, \theta_2 - \theta_1 < 1,$<br>และ $ \theta_2  < 1$ |
| ARMA(1,1)          | $Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$             | $ \phi_1  < 1$ และ $ \theta_1  < 1$                                         |

ที่มา: ทรงศิริ (2549)

รูปแบบ ARIMA (p, q) ประกอบด้วยค่าคงที่  $\theta_0$  และค่าคลาดเคลื่อน  $\varepsilon_t$  รูปแบบ AR(p) เป็นรูปแบบที่กำหนดว่า ค่าสังเกต  $Y_t$  ขึ้นอยู่กับค่าสังเกตก่อนหน้า p ค่า หรือ  $Y_t$  ขึ้นอยู่กับ  $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}$  พารามิเตอร์ในรูปแบบ AR (p) ประกอบด้วย  $\phi_1, \dots, \phi_p$  ส่วนรูปแบบ MA(q) เป็นรูปแบบที่กำหนดว่า ค่าสังเกต  $Y_t$  ขึ้นอยู่กับค่าคลาดเคลื่อนก่อนหน้า q ค่า หรือ  $Y_t$  ขึ้นอยู่กับค่า  $\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$  พารามิเตอร์ในรูปแบบ MA (q) ประกอบด้วย  $\theta_1, \dots, \theta_q$  กรณี  $Y_t$  มีรูปแบบ ARIMA (p, q) ที่ประกอบด้วยค่าคงที่และค่าคลาดเคลื่อนนั้นคือ  $Y_t = \theta_0 + \varepsilon_t$  จะเรียกรูปแบบ ARIMA (0, 0) หรือรูปแบบ White noise ส่วนกรณีที่มีการหาผลต่างของอนุกรมเวลา  $Z_t = Y_t - Y_{t-1}$  มีรูปแบบสมการดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รูปแบบ ARIMA (p, q) ของอนุกรมเวลา  $\{Z_t\}$  และรูปแบบ ARIMA(p, 1, q) ของอนุกรมเวลา  $\{Y_t\}$

| $Z_t$                       |                                                                                            | $Y_t$                           |                                                                                                       |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| รูปแบบ                      | รูปแบบของ $Z_t$                                                                            | รูปแบบ                          | รูปแบบของ $Y_t$                                                                                       |
| ARMA(0, 0)<br>(White noise) | $Z_t = \theta_0 + \varepsilon_t$                                                           | ARIMA(0, 1, 0)<br>(Random Walk) | $Y_t = \theta_0 + Y_{t-1} + \varepsilon_t$                                                            |
| AR(1)                       | $Z_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$                                          | ARI(1, 1)                       | $Y_t = \theta_0 + (1 + \phi_1) Y_{t-1} - \phi_1 Y_{t-2} + \varepsilon_t$                              |
| AR(2)                       | $Z_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \varepsilon_t$                         | ARI(2, 1)                       | $Y_t = \theta_0 + (1 + \phi_1) Y_{t-1} + (\phi_2 - \phi_1) Y_{t-2} - \phi_2 Y_{t-3} + \varepsilon_t$  |
| MA(1)                       | $Z_t = \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$                              | IMA(1, 1)                       | $Y_t = \theta_0 + Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$                               |
| MA(2)                       | $Z_t = \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$ | IMA(1, 2)                       | $Y_t = \theta_0 + Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$  |
| ARMA(1,1)                   | $Z_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$             | ARIMA(1, 1, 1)                  | $Y_t = \theta_0 + (1 + \phi_1) Y_{t-1} + \phi_1 Y_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$ |

ที่มา: ทรงศิริ (2549)

## 2.7 การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

2.7.1 ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error:MSE) เป็นค่าวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่วัดได้จากค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน แต่หน่วยการวัดค่าจะอยู่ในรูปยกกำลังสอง ดังสมการ (13)

$$MSE = \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - F_t)^2}{n} \quad (13)$$

กำหนดให้  $Y_t$  = ค่าจริงที่เวลา  $t$   
 $F_t$  = ค่าพยากรณ์ที่เวลา  $t$   
 $N$  = จำนวนข้อมูล

2.7.2 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) เป็นค่าวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์จากค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าคลาดเคลื่อน ดังสมการที่ (14)

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - F_t|}{n} \quad (14)$$

2.7.3 เปอร์เซนต์ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error:MAPE) เป็นค่าวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ดังสมการที่ (15)

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |(Y_t - F_t)/Y_t|}{n} \times 100 \quad (15)$$

### 3. การวิเคราะห์โครงการ

3.1 ความหมายของโครงการ คือกิจกรรมหรืองานที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนเพื่อผลิตสินค้าและบริการเพื่อหวังผลประโยชน์ตอบแทนกิจกรรมหรืองานดังกล่าวจะต้องเป็นหน่วยอิสระหน่วยหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์ วางแผน และบริหารงานได้ พร้อมทั้งมีลักษณะแจ้งชัดถึงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด เมื่อวัตถุประสงค์ที่มุ่งหวังไว้สำเร็จเสร็จสิ้นลงโครงการจึงเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน การจัดทรัพยากร และการดำเนินงานอย่างมีระบบและระเบียบซึ่งแสดงให้เห็นถึงแหล่งที่ตั้งโครงการ ช่วงระยะเวลาของโครงการ การผลิต การลงทุน ผลตอบแทน การจัดรูปองค์กร และการจัดโครงการ ประสิทธิ์ (2542)

3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study) ของโครงการ คือการศึกษาและจัดทำเอกสารที่ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆที่จำเป็นที่แสดงถึงเหตุผลสนับสนุน (Justification) ความถูกต้องสมบูรณ์ (soundness) ของโครงการ เพื่อให้ได้มาซึ่งโครงการที่ดี เป็นโครงการที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง และเมื่อปฏิบัติแล้วจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งมีความหมายเดียวกับการวิเคราะห์โครงการ (Project Analysis) ก็คือการประเมินข้อดีและข้อเสีย หรือผลตอบแทนและต้นทุน (Benefit and Cost) ของโครงการ โดยการศึกษาความเป็นไปได้นี้มุ่งเน้นที่ประเมินความคุ้มค่าของโครงการ (The Evaluation of Project Worth) ซึ่งโครงการจะมีความคุ้มค่าต่อเมื่อผลตอบแทนมีค่าสูงกว่าต้นทุน สำหรับการตัดสินใจที่ดีที่สุดในรูปแบบของความคุ้มค่าทางการเงิน (Financial Worthiness) มีดังนี้

3.2.1 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ในการศึกษาค่าเสื่อมราคาจะไม่รวมเป็นค่าใช้จ่ายของโครงการ เพราะเมื่อมีการซื้อเครื่องจักรเครื่องมือหรือสินทรัพย์ถาวรมาใช้กับโครงการในปีใด ก็ให้ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายในปีนั้นไป จึงไม่จำเป็นต้องมีการหักค่าเสื่อมราคาของการใช้ในปีต่อไปอีก

3.2.2 ค่าชำระหนี้ (Debt Service) เป็นรายการโอนประเภทหนึ่งของโครงการเมื่อโครงการได้รับเงินกู้มา จะเป็นผลให้โครงการมีทุนหมุนเวียนเพื่อใช้จ่ายในการลงทุน และเมื่อต้องมีการชำระหนี้คืนในรูปดอกเบี้ยและเงินต้น ก็จะทำให้เงินทุนหมุนเวียนของโครงการลดน้อยลงในทางบัญชีการเงินถือว่าเงินกู้เป็นรายได้ ส่วนการชำระหนี้เป็นรายจ่าย แต่สำหรับการศึกษาทางการเงินนั้น รายการเงินกู้และการชำระหนี้จะเป็นเพียงรายการโอนกันภายในรูปกระแสการเงินหรือในทางบัญชีการเงินเท่านั้น มิได้เกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรเพื่อใช้ในการผลิตสินค้าและบริการแต่อย่างใด

3.2.3 ค่าภาษี (Tax) ในการศึกษาทางการเงินนั้นจะไม่รวมภาษีทุกประเภทเป็นค่าใช้จ่ายในโครงการ เนื่องจากการคิดค่าใช้จ่ายในโครงการจะคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายที่แท้จริงที่มีส่วนต่อการใช้ทรัพยากรจริงๆ ของโครงการเท่านั้น

3.2.4 ค่าสำรองราคา (Escalation) หรือค่าสำรองเงินเพื่อ ทางการเงินนั้น จะต้องนำผลของเงินเพื่อมาพิจารณาค่าด้วย เพื่อพยากรณ์กระแสเงินสดได้ถูกต้องมากที่สุด

3.3 หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุน การศึกษาโครงการทางการเงินจะเน้นถึงผลประโยชน์ที่มีต่อเศรษฐกิจโดยรวม ทั้งนี้เพื่อเน้นประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ผลการศึกษาจะอยู่ในรูปของผลประโยชน์ที่ได้จะสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป โดยใช้เปรียบเทียบค่าของโครงการเหล่านี้ ชูชีพ (2544) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

3.3.1 เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ต้องปรับค่าของเวลา เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ต้องปรับค่าของเวลาเป็นเกณฑ์การตัดสินใจแบบเก่าคือนำผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการจะเกิดขึ้นในระยะเวลาต่างๆ กันมาคำนวณโดยไม่มีการปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน (Present Value) มาเปรียบเทียบกัน ถ้าผลประโยชน์มากกว่าต้นทุนก็ถือว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า ถ้าโครงการลงทุนไม่มาก และระยะเวลาของโครงการสั้น เช่น 1 ปีหรือต้องการตรวจสอบอย่างคร่าวๆ สามารถใช้เกณฑ์การตัดสินใจแบบนี้ได้ จะมีอยู่ 5 หลักเกณฑ์ ดังนี้

3.3.1.1 ความจำเป็นเร่งด่วน (Urgency) ตามหลักเกณฑ์นี้ โครงการใดมีความจำเป็นเร่งด่วนมาก ก็จะมีลำดับความสำคัญสูงกว่าโครงการที่มีความจำเป็นเร่งด่วนน้อยกว่าความจำเป็นเร่งด่วนดังกล่าวเป็นความจำเป็นเร่งด่วนที่ถ้าไม่รีบดำเนินการแล้วอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อกิจการได้ หรือเป็นความจำเป็นเร่งด่วนเพื่อความอยู่รอดของหน่วยงาน ถ้าไม่รีบดำเนินการอาจมีผลทำให้ไม่สามารถแข่งขันกับหน่วยงานอื่นได้ หรือมีความจำเป็นที่ต้องขยายสายผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อธุรกิจ

3.3.1.2 การตรวจสอบอย่างง่าย (Ranking by Inspection) หลักเกณฑ์การประเมินชนิดนี้เป็นชนิดที่ง่ายและช่วยการตัดสินใจได้ในบางกรณี ทั้งนี้ผู้ศึกษาโครงการเพียงแต่ทราบปริมาณการลงทุนและผลตอบแทน ก็สามารถบอกได้ทันทีว่าโครงการไหนจะดีกว่ากัน

3.3.1.3 ระยะคืนทุน (Payback Period) ระยะคืนทุนได้แก่ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุนของโครงการหลักเกณฑ์นี้พิจารณาจำนวนปีที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินลงทุนและใช้กันมากในวงธุรกิจ โดยเฉพาะในกรณีที่การลงทุนมีความเสี่ยงสูง

3.3.1.4 อัตราผลตอบแทนทางบัญชี (Accounting Rate of Return) อาจจะเรียกโดยทั่วไปว่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment) หรืออัตราผลตอบแทนจากทุนที่ลงไป (Return On Capital Employed) อัตรานี้สามารถคำนวณได้หลายทาง ทั้งนี้เพราะกำไรและทุนในทางบัญชีมีหลายตัว เช่น กำไรก่อนหักภาษี กำไรหลังหักภาษี เป็นต้น แต่โดยรูปแบบพื้นฐานแล้ว อัตราผลตอบแทนทางบัญชีสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของกำไรทางบัญชีกับค่าลงทุนแล้วแสดงเป็นร้อยละ ซึ่งโดยปรกติอาจเป็นอัตราส่วนของกำไรเฉลี่ยต่อค่าลงทุนทั้งหมดแล้วคิดเป็นร้อยละ

3.3.1.5 การให้คะแนน (Scoring) เกณฑ์การประเมินนี้ มักจะเน้นการตัดสินใจไปที่หลักเกณฑ์ใดหลักเกณฑ์หนึ่งเป็นการเฉพาะ เช่น กำไรทางการเงิน ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาหลักเกณฑ์การประเมินแบบให้คะแนนที่ใช้หลายๆ หลักเกณฑ์มาประเมินโครงการ กล่าวคือตามหลักเกณฑ์นี้จะมีการกำหนดเงื่อนไขหรือปัจจัยขึ้นมาจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการพิจารณาตัดสินใจว่าจะรับหรือปฏิเสธโครงการ

3.3.2 เกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าของเวลาโดยทั่วไปโครงการส่วนใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 1 ปี ผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการจะเกิดขึ้นในระยะเวลาต่างๆ กันตลอดอายุของโครงการจึงยากที่จะนำมาเปรียบเทียบโดยตรงจะต้องมีการปรับค่าของเวลาการได้มาซึ่งผลประโยชน์และต้นทุนที่จะต้องเสียไปให้เป็นมูลค่าในอนาคตโดยการคิดแบบทบต้น โดยใช้อายุของโครงการเป็นเวลาในอนาคตนั้นหรือการปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน โดยการคำนวณหักส่วนลด (Discounting) จึงจะสามารถทำการวินิจฉัยได้ว่าโครงการนั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่าหรือไม่ ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจดังนี้ Brigham and Ehrhardt (2005)

3.3.2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method: NPV) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ในแต่ละปีของโครงการตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ค่าใช้จ่ายของโครงการตลอดอายุโครงการเพื่อวัดค่าว่าโครงการที่พิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังสมการที่ (16)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (16)$$

เมื่อ

$CF_0$  = เงินลงทุนครั้งแรก (โดยปกติให้มีค่าเป็นลบ)

$CF_t$  = กระแสเงินสดสุทธิในปีที่  $t$

$r$  = อัตราส่วนลดที่เหมาะสม

$n$  = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

3.3.2.2 การหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการหมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับของโครงการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรืออีกนัยหนึ่งคืออัตราส่วนลดที่ทำให้  $NPV = 0$  สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังสมการที่ (17)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (17)$$

จากสมการที่ (16) จะเห็นได้ว่าเป็นสมการเดียวกับ NPV ซึ่งหมายความว่า การคำนวณ NPV และ IRR เป็นการคำนวณในลักษณะเดียวกัน ต่างกันเพียงในการคำนวณ NPV นั้น อัตราส่วนลดใช้อัตราคงที่ ในขณะที่สมการ IRR เป็นการหาอัตราส่วนลดที่เปลี่ยนแปลงโดยมี NPV คงที่เท่ากับ 0 ดังนั้น IRR ที่เหมาะสมจึงต้องมีค่ามากกว่าอัตราส่วนลดของโครงการนั้น นั่นคือถ้า IRR มากกว่า  $r$  จะรับโครงการ แต่ถ้าโครงการที่ต้องเลือกทำต้องเลือกทำโครงการที่มี IRR สูงกว่า

3.3.2.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PP) เป็นการประมาณการเวลาในการดำเนินการซึ่งผลรวมของกำไร หรือ ผลตอบแทนการลงทุนคิดเทียบเป็นมูลค่าปัจจุบันเท่ากับค่าการลงทุนเริ่มต้น และระยะเวลาการคืนทุนมักจะคิดเป็นปีโดย ดังสมการที่ (18)

$$P = \sum_{t=1}^{np} (CI - CO)_t \quad (18)$$

โดยที่

$P$  = ค่าการลงทุนเบื้องต้น (Initial Investment)

$np$  = ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ

$(CI - CO)_t$  = กระแสเงินสดสุทธิสำหรับแต่ละปีที่  $t$

#### 4. ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม

การดำรงชีวิตของประชากรโลกในปัจจุบัน ทั้งจากภาคอุตสาหกรรม ภาคคมนาคมขนส่ง และภาคเกษตรกรรม เป็นปัญหาร่วมกันของนานาชาติ แนวทางหนึ่งในการร่วมกันแก้ปัญหาดังกล่าว คือการให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ประเทศภาคีสมาชิกร่วมกันรักษาระดับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศให้คงที่ อยู่ในระดับที่ปลอดภัยจากการแทรกแซงของมนุษย์ที่เป็นอันตรายต่อระบบภูมิอากาศ เพื่อบรรลุเป้าหมายของการแก้ไขปัญหามภาวะโลกร้อน โดยประเทศภาคีสมาชิกประกอบด้วยกลุ่มประเทศต่างๆ 3 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 หมายถึง กลุ่มประเทศพัฒนาแล้วในกลุ่ม (Organization for Economic Cooperation and Development: OECD) และประเทศในกลุ่มยุโรปกลาง ยุโรปตะวันออก และรัสเซีย ที่เรียกว่า “กลุ่มประเทศกำลังเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจเป็นระบบตลาดเสรี” หรือ (Economic in Transition: EIT) ซึ่งมีพันธกรณีในการจำกัดและการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในระดับเดียวกับปี พ.ศ. 2533

ประเภทที่ 2 หมายถึง กลุ่มประเทศ OECD ที่เป็นสมาชิกใน ประเภทที่ 1 มีพันธะพิเศษในการกระจายเงินทุนเพื่อช่วยประเทศที่กำลังพัฒนาในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีและวิธีการปฏิบัติ

ประเภทที่ 3 หมายถึง ประเทศกำลังพัฒนาทั้งหมด ไม่มีพันธกรณีในการลดก๊าซเรือนกระจก

4.1 พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) เป็นข้อผูกพันทางกฎหมายที่ดำเนินการเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายในการรับมือกับสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ตามอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) โดยมีเป้าหมายให้กลุ่มประเทศอุตสาหกรรม (ประเภทที่ 1) ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนในตรัสออกไซด์ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ก๊าซในกลุ่มไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (HFCs) และเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และได้กำหนดกลไกดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Flexibility Mechanisms) ไว้ 3 กลไก ดังนี้

4.1.1 กำหนดการซื้อขายก๊าซเรือนกระจก (Emission Trading: ET) เฉพาะประเทศภาคีในกลุ่มประเภทที่ 1

4.1.2 การดำเนินการร่วม (Joint Implementation: JI) เป็นการดำเนินการร่วมกันระหว่างประเทศภาคีในกลุ่มประเภทที่ 1

4.1.3 การพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) เป็นการดำเนินการร่วมกันระหว่างประเทศภาคีในกลุ่มประเภทที่ 1 และประเทศภาคีกลุ่ม ประเภทที่ 3 เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สำหรับกลไกการพัฒนาที่สะอาด ภายใต้พิธีสารเกียอนั้น เป็นกลไกเพื่อช่วยให้ประเทศภาคีกลุ่ม ประเภทที่ 3 บรรลุถึงการพัฒนาที่ยั่งยืน และช่วยให้ประเทศภาคีกลุ่มประเภทที่ 1 ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ตามพันธกรณี และเพื่อส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งรวมไปถึงการพัฒนาด้านเทคโนโลยีสะอาดการถ่ายทอดเทคโนโลยี และความรู้ด้านการจัดการเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกให้แพร่หลายภายในประเทศ

ประเทศไทยได้เข้าร่วมให้สัตยาบันในพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2545 เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้อยู่ในกลุ่มประเภทที่ 1 จึงไม่มีพันธกรณีในการลด

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตามประเทศไทยสามารถร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากการดำเนินโครงการภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด Kafle and Mathur (2009)

คาร์บอนเครดิต เกิดจากการเผาผลาญน้ำมันดิบ (Fossil Fuel) ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือยานยนต์ รวมถึงก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Green House Gas) เช่น ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งที่ทดแทนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หากประเทศพัฒนาแล้วไม่สามารถลดมลพิษของตนได้อีกต่อไป ก็ต้องใช้วิธีช่วยเหลือประเทศด้อยพัฒนาให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อลดได้จะกลายเป็นคาร์บอนเครดิตของตนเอง จึงไม่มีการจ่ายค่าปรับ รัฐบาลได้มีการออกพระราชกฤษฎีกา จัดตั้งองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) พ.ศ. 2550 มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน ที่ผ่านมา หรือที่เรียกย่อว่า อบก.หรือ (Thailand Greenhouse Gas Management Organization: TGO) คาร์บอนเครดิต หรือ CERs นี้ สามารถนำไปหักลบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศกลุ่มประเภทที่ 1 ได้ ประเทศเหล่านี้จึงมีความต้องการซื้อ CERs เพื่อให้ประเทศของตนสามารถบรรลุพันธกรณีในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ และประเทศกำลังพัฒนายังสามารถบรรลุถึงเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืนเราสามารถคำนวณหาน้ำหนักของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้เรียกกันว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สมมูล (Carbondioxide Equipvalent) ซึ่งปกติจะเป็นหน่วยน้ำหนัก เช่น ตันของคาร์บอนไดออกไซด์สมมูล (Ton of Carbondioxide Equivalent: TonCO<sub>2</sub>e) ดังนั้นถ้าทราบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ จะสามารถคำนวณกลับออกมาเป็นน้ำหนักของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศได้ Kablan (2003)

## 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นฤมล และสมชาติ (2545) ได้ศึกษาการพยากรณ์โดยเทคนิคการเคลื่อนย้ายน้ำหนักข้อมูลแต่ละค่าเท่าๆกันและเทคนิคการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ในการนำมาประยุกต์ใช้พยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์เป็นข้อมูลการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) เป็นข้อมูลรายเดือนตั้งแต่ปี 2543 ถึง 2543 การเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลทำได้โดยหาความคลาดเคลื่อน (Error) ของแต่ละวิธี วิธีที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดคือวิธีที่เหมาะสมในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในอนาคตซึ่งจากการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ Average method และวิธี Exponential Smoothing Method

จักรพงษ์ (2547) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง ด้วยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา และการประยุกต์ใช้ วิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (Genetic Algorithms) เพื่อหาโค้งปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในโครงการอ่างเก็บน้ำทับเสลาจังหวัดอุทัยธานีจุดประสงค์การวิจัยเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ Box-Jenkins เพื่อหารูปแบบของสมการที่เหมาะสมของอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง เพื่อนำไปใช้ต่อไป พบว่า รูปแบบที่เหมาะสมคือ ARIMA (2, 0, 2) (2, 1, 2)

สงกรานต์ (2550) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงแกลบในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ทราบถึงเส้นทางตลาดของแกลบ 2) วิเคราะห์จุดคุ้มทุนทางการเงินของโครงการ โดยเพิ่มราคาแกลบ 3) วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ เปรียบเทียบระหว่างสัญญาระยะยาว สัญญาระยะสั้น และเปรียบเทียบโครงการที่ใช้เงินลงทุนที่แตกต่างจากการจัดซื้อเครื่องจักรในการผลิตไฟฟ้าที่มีราคาแตกต่างกัน 4) ทราบถึงปัญหาและอุปสรรคของการดำเนินโครงการโดยใช้การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนทางการเงินเป็นเครื่องมือในการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินพบว่าโครงการที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนสูงสุดคือโครงการที่ใช้เครื่องจักรจากประเทศจีนขายไฟฟ้าสัญญาต่อเนื่องเวลาคืนทุน 5.05 ปี NPV เท่ากับ 263 ล้านบาท IRR มีค่าเท่ากับร้อยละ 14

ยุทธนา (2551) เสนอการเปรียบเทียบการพยากรณ์ระหว่างวิธีคลาสสิกและวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box-Jenkins) โดยใช้ข้อมูลทางสถิติการผลิตเบตเตอร์ใน 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ รวมระยะเวลา 72 เดือน จากการวิเคราะห์พบว่า การพยากรณ์ข้อมูลโดยวิธีคลาสสิก ได้สมการพยากรณ์ คือ  $\hat{Y} = \hat{T} \times \hat{S}$  และการพยากรณ์โดยวิธี Box-Jenkins ได้รูปแบบสมการการพยากรณ์ คือ ARIMA (1, 0, 0), ARIMA (1, 1, 1), ARIMA (0, 0, 0), ARIMA (0, 0, 1) พบว่า การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาโดยวิธีคลาสสิกมีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลดังกล่าวเนื่องจากให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยกว่า

สุนันทศักดิ์ (2551) ทำการศึกษา การประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลจังหวัดสงขลา เพื่อประเมินศักยภาพลมเฉพาะพื้นที่ตามแนวชายฝั่งจังหวัดสงขลาและเพื่อประเมินทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม โดยทำการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานเฉพาะพื้นที่ที่คาดว่าจะมีศักยภาพสูงโดยอาศัยข้อมูลปฐมภูมิจากแผนที่

ศักยภาพของพลังงานลมที่พัฒนาโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยสำรวจพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลของจังหวัดสงขลาจำนวน 5 แห่ง ทำการติดตั้งเสาสูงขนาด 45 เมตร และทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วและทิศทางลมที่ระดับ 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร มาทำการวิเคราะห์โดยวิเคราะห์ทางสถิติและใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Wasp 9.0 นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดติดตั้ง 0.75 เมกะวัตต์ 1.0 เมกะวัตต์ 1.5 เมกะวัตต์ และ 2.0 เมกะวัตต์ ภายใต้อากาศภูมิอากาศของความเร็วลมของแต่ละสถานีวิจัยพลังงานลม

ผลการวิจัยพบว่า สถานีวิจัยพลังงานลมระโนดมีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 5.08 เมตรต่อวินาที สถานีวิจัยพลังงานลมสทิงพระ 1 มีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 4.79 เมตรต่อวินาที สถานีวิจัยพลังงานลมสทิงพระ 2 มีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 4.70 เมตรต่อวินาที สถานีวิจัยพลังงานลมสิงหนคร มีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 4.66 เมตรต่อวินาที และสถานีวิจัยพลังงานลมจะนะ มีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 4.62 เมตรต่อวินาที สำหรับต้นทุนต่อหน่วยที่ผลิตได้จากกังหันลมพบว่า สถานีวิจัยพลังงานลมจะนะมีต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตได้เท่ากับ 2.61 บาทต่อหน่วย สถานีวิจัยพลังงานลมระโนดมีต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตได้เท่ากับ 3.06 บาทต่อหน่วย สถานีวิจัยพลังงานลมสิงหนครมีต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตได้เท่ากับ 4.50 บาทต่อหน่วย สถานีวิจัยพลังงานลมสทิงพระ 2 มีต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตได้เท่ากับ 5.30 บาทต่อหน่วยและสถานีวิจัยพลังงานลมสทิงพระ 1 มีต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตได้เท่ากับ 5.33 บาทต่อหน่วย ด้านเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่าสถานีวิจัยพลังงานลมที่สามารถติดตั้งกังหันลมได้ทุกขนาดจำนวน 1 สถานีได้แก่ สถานีวิจัยพลังงานลมระโนด ส่วนสถานีวิจัยพลังงานลมสทิงพระ 1 สามารถติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ขนาด 1.0 เมกะวัตต์ขึ้นไป ส่วนสถานีวิจัยพลังงานลมสิงหนครไม่สามารถติดตั้งกังหันลมได้ เนื่องจากไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

กมลวรรณ (2553) ศึกษาความเป็นไปได้โครงการใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงงานเอทานอลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า กรณีศึกษา: โรงงานเอทานอล โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ จากผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคปรากฏว่าโครงการสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยต้องมีการลงทุนระบบบำบัดน้ำเสียโดยการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิไดส์ ก๊าซมีเทน และต้องมีการลงทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะใช้ระยะเวลาดำเนินการก่อสร้าง 12 เดือน โครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนที่อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำร้อยละ 12 มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 63,290,917.25 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายในโครงการที่ร้อยละ 21.37 เปอร์เซนต์ และมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 8 เดือน และการวิเคราะห์ความไวของโครงการศึกษาแนวโน้มที่อาจมีการผันแปรถึง  $\pm 20$  เปอร์เซนต์ เทียบ ณ ปัจจุบันของ

ราคาค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และปริมาณกำลังการผลิต พบว่าโครงการสามารถรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้น โครงการมีความเหมาะสมที่จะได้รับการสนับสนุนในการลงทุน

มยุรี (2555) วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้ากังหันลมในอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา โดยเลือกพื้นที่ตั้งโครงการเป็นที่ดินของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัดมหาชน ในอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ข้อมูลพลังงานลมในพื้นที่จากการคำนวณของบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ข้อมูลก่อสร้างมาจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำหรับดัชนีที่ใช้วิเคราะห์โครงการประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบัน อัตราผลตอบแทนภายใน และดัชนีการทำกำไร ผลการศึกษาพบว่า โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นโครงการขนาดเล็กที่มีกำลังผลิตตั้งแต่ 100 วัตต์ ถึง 50 กิโลวัตต์ ความเป็นไปได้ในทางเทคนิคนั้นพบว่าพื้นที่ที่ติดตั้งมีความเร็วลมเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า ติดตั้งกังหันลม 6 ต้น ขนาดกำลังผลิตรวม 9 เมกะวัตต์ การวิเคราะห์ทางการเงิน พบว่าไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบ อัตราผลตอบแทน 2.36 ดัชนีการทำกำไร 0.69 ค่าความแปรเปลี่ยนของโครงการพบว่าโครงการจะคุ้มทุนเมื่อผลตอบแทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 35.88 หรือต้นทุนลดลงร้อยละ 30.85

Jonasson (2008) ได้ทำการศึกษาแนวทางการพัฒนาโครงการกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าในเกาะไอร์แลนด์ เนื่องจากบนเกาะมีศักยภาพสูงในการพัฒนาโครงการกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานกังหันลม โดยพิจารณาในเชิงของปริมาณพลังงานลมและกฎระเบียบทางราชการ และศึกษาแนวทางการใช้เทคโนโลยีสร้างกังหันและการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบกริดไปถึงการศึกษาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

ผลการศึกษาพบว่า สาเหตุหลักที่ทำให้พัฒนาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมของไอร์แลนด์มีความล่าช้า เนื่องจากในไอร์แลนด์ยังมีพลังงานน้ำและพลังงานร้อนใต้พิภพ ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนเพื่อการผลิตไฟฟ้าอยู่อีกจำนวนมาก ส่วนการศึกษาความเป็นไปได้ในการตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าพบว่าปริมาณลมมีมากเพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้า โครงการ NPV ของผลตอบแทนที่ 24,293,969 ยูโร ในขณะที่เงินลงทุนเท่ากับ 20,000,000 ยูโร โดยมี IRR เท่ากับ 7.42 ที่อัตราคิดลดที่ร้อยละ 5 ค่า Payback Period เท่ากับ 14.75 ปี

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ด้านการติดตั้ง

1.1 งานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ในส่วนของปล่องระบายอากาศของโรงงานผลิตฝ้ายซึ่งมีการทำงานของเครื่องจักรตลอดเวลาทั้งวัน 24 ชั่วโมงในการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

#### 1.2 การติดตั้งกังหันลม

1.2.1 เริ่มต้นจากการวัดอัตราเร็วลมโดยการติดตั้งเครื่องวัดลม (Anemometer) พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องบันทึกและเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) และทำการตรวจวัดเพื่อทราบความเร็วลมที่ออกมาจากปล่องระบายอากาศของโรงงาน

1.2.2 ศึกษาระบบกังหันลมและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทและโครงการที่มีในประเทศประกอบการตัดสินใจภายใต้ข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ติดตั้งกังหันลมและงบประมาณเพื่อเลือกขนาดกังหันลมและเทคโนโลยีที่เหมาะสม

#### 1.2.3 วิธีการติดตั้งกังหันลม

1.2.3.1 สร้างโครงเหล็กโดยครอบปล่องระบายอากาศโดยให้มีระยะห่างจากปล่องประมาณ 2 เมตร โดยสร้างโครงเหล็กที่สามารถปรับระยะได้

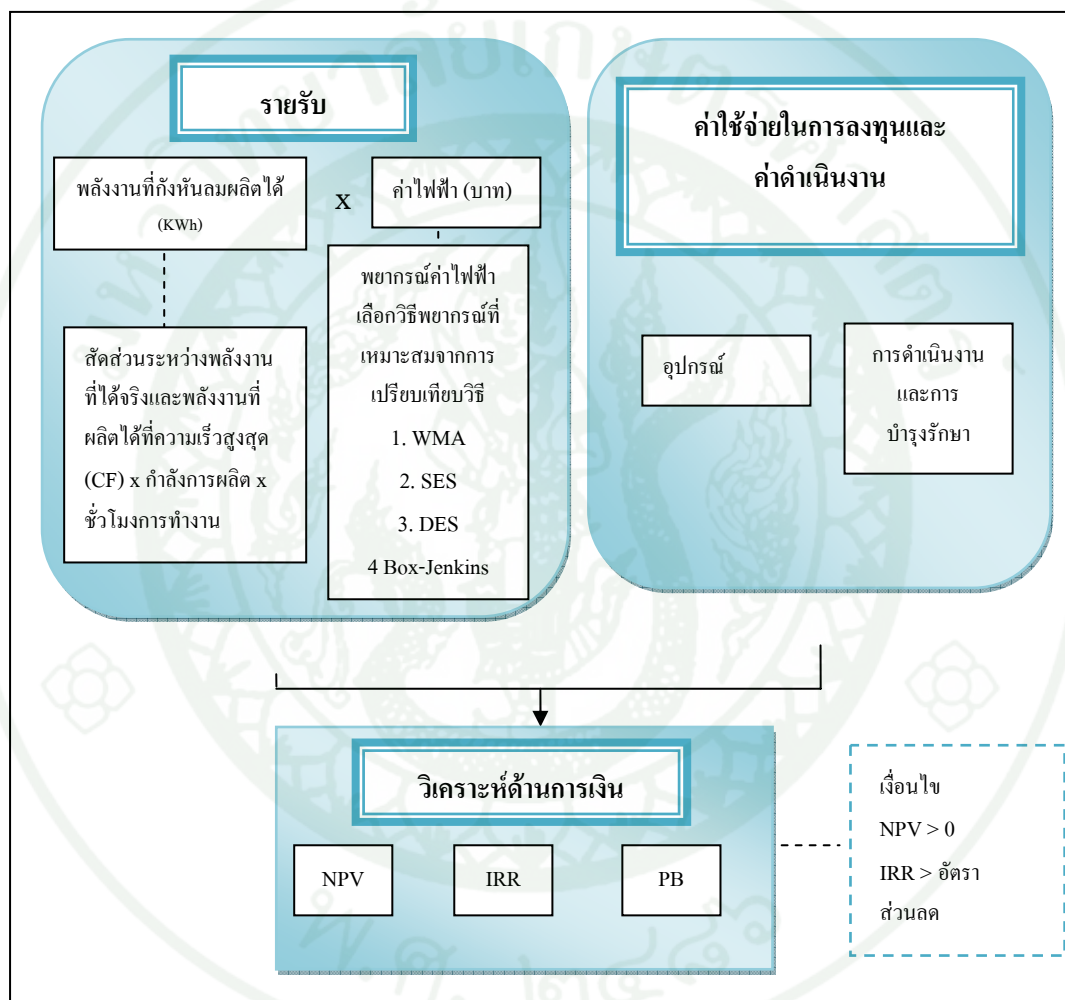
1.2.3.2 นำกังหันลมมายึดกับโครงเหล็ก

1.2.3.3 ทดลองเลื่อนระยะความห่างแกน x, y เพื่อหาจุดที่ทำให้กังหันลมหมุนได้ดีที่สุด

1.2.3.4 ติดตั้งแบตเตอรี่ต่ออนุกรมกันเพื่อเก็บไฟฟ้าและจ่ายไฟให้ระบบ พร้อมทั้งสร้างวงจรขึ้นมาเพื่อเก็บค่าความต่างศักย์แบบ Real time เอาไว้ ประมวลค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้จากกังหันลม เพื่อนำไปคำนวณในด้านการเงินต่อไป

## 2. ด้านการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงินงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนจากค่า มูลค่า ปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ และระยะคืนทุน โดยแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ทางการเงินดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางการเงิน

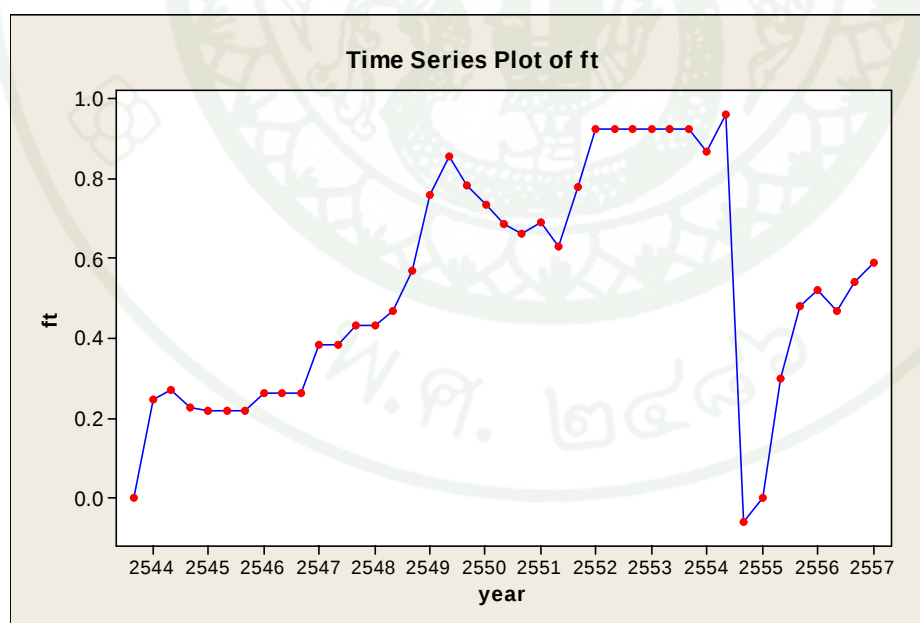
ที่มา: กรณีศึกษา

2.1 การพยากรณ์ค่าไฟฟ้าในการศึกษาครั้งนี้มีข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งได้แก่ ข้อมูลค่าไฟฟ้าผันแปรในช่วงปี 2544-2556 รวมทั้งสิ้น 40 ค่าสังเกต จากข้อมูลการไฟฟ้า

ส่วนภูมิภาค โดยในที่นี้เราจะใช้ข้อมูลค่าไฟฟ้าผันแปรในการพยากรณ์เนื่องจากเป็นค่าไฟฟ้าที่มีเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

ข้อมูลค่าไฟฟ้าผันแปรมาศึกษาว่ามีลักษณะอย่างไร ราบเรียบ แนวโน้ม ถูกลด จากข้อมูลย้อนหลังค่าไฟฟ้าผันแปร นำมาสร้างกราฟเพื่อดูแนวโน้มของค่าไฟฟ้าผันแปรแสดงดังภาพที่ 13 จะพยากรณ์ค่าไฟฟ้าปี 2557-2566 ใช้การเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ที่ให้ผลดีที่สุดจากวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลา 4 แบบ คือ วิธีพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average), วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing), วิธีปรับเรียบแบบดับเบิลเอกซ์โพเนนเชียล (Double Exponential Smoothing) และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ (Boxed-Jenkins) ซึ่งในการคำนวณใช้โปรแกรม Excel และ Minitab

ทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ค่าไฟฟ้าผันแปรแต่ละวิธีด้วยค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่วัดความแม่นยำโดยแก้ปัญหาเทคนิคเฉลี่ยผิดพลาดโดยการพิจารณาความแตกต่าง ค่าพยากรณ์และค่าจริง และอธิบายความแม่นยำได้แนวโน้มเดียวกับ ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน (MAD) และ เปอร์เซนต์ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ในวิธีพยากรณ์เดียวกัน



ภาพที่ 13 กราฟแนวโน้มค่าไฟฟ้าผันแปรตามช่วงเวลา

2.1.1 การพยากรณ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) การพยากรณ์วิธีนี้เป็นการให้น้ำหนักข้อมูลในอดีตที่ไม่เท่ากันซึ่งลักษณะของข้อมูลในอดีตไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาการพยากรณ์ควรขึ้นอยู่กับข้อมูลในอดีตที่ใกล้เคียงที่สุดคือ ข้อมูลที่เพิ่งผ่านมาไม่นานโดยงานวิจัยนี้ได้ให้น้ำหนักข้อมูลล่าสุดมากกว่าโดยศึกษา 2 ครั้งย้อนหลัง เนื่องจากค่าไฟฟ้าผันแปรมีการเปลี่ยนแปลงสูงผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับข้อมูลที่ผ่านมานานมากกว่าข้อมูลในอดีตที่ผ่านมานานแล้ว ซึ่งค่ารวมของน้ำหนักต้องมีค่าเท่ากับจำนวนเต็ม 1 ดังสมการที่ (4)

ค่า  $W_1$  และค่า  $W_2$  ที่เหมาะสมนั้นใช้โปรแกรม Excel Solver ช่วยในการหาน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดที่กึ่งน้ำหนักทำให้ค่า MSE ต่ำที่สุด ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณดังภาพที่ 14 และค่าในแถบแรเงาแสดงดังตารางที่ 6

|    | A | E | F         | G              | H                     | I      | J                 | K                 | L | M   | N      |
|----|---|---|-----------|----------------|-----------------------|--------|-------------------|-------------------|---|-----|--------|
| 1  |   |   |           |                |                       |        |                   |                   |   | MAD | 0.0841 |
| 2  |   |   |           |                |                       |        |                   |                   |   | MSE | 0.0351 |
| 3  |   |   | ข้อมูลที่ | ค่าไฟฟ้าผันแปร | ค่าไฟฟ้าจากการพยากรณ์ | ผลต่าง | ค่าสัมบูรณ์ผลต่าง | ค่าผลต่างกำลังสอง |   |     |        |
| 4  |   |   | 1         | 0.244          |                       |        |                   |                   |   |     |        |
| 5  |   |   | 2         | 0.271          |                       |        |                   |                   |   |     |        |
| 6  |   |   | 3         | 0.228          | 0.271                 | -0.043 | 0.043             | 0.002             |   |     |        |
| 7  |   |   | 4         | 0.220          | 0.229                 | -0.009 | 0.009             | 0.000             |   |     |        |
| 8  |   |   | 5         | 0.220          | 0.220                 | 0.000  | 0.000             | 0.000             |   |     |        |
| 9  |   |   | 6         | 0.220          | 0.220                 | 0.000  | 0.000             | 0.000             |   |     |        |
| 10 |   |   | 7         | 0.261          | 0.220                 | 0.042  | 0.042             | 0.002             |   |     |        |
| 11 |   |   | 8         | 0.261          | 0.260                 | 0.001  | 0.001             | 0.000             |   |     |        |
| 12 |   |   | 9         | 0.261          | 0.261                 | 0.000  | 0.000             | 0.000             |   |     |        |
| 13 |   |   | 10        | 0.383          | 0.261                 | 0.122  | 0.122             | 0.015             |   |     |        |
| 14 |   |   | 11        | 0.383          | 0.380                 | 0.003  | 0.003             | 0.000             |   |     |        |
| 15 |   |   | 12        | 0.433          | 0.383                 | 0.050  | 0.050             | 0.003             |   |     |        |
| 16 |   |   | 13        | 0.433          | 0.432                 | 0.001  | 0.001             | 0.000             |   |     |        |
| 17 |   |   | 14        | 0.468          | 0.433                 | 0.036  | 0.036             | 0.001             |   |     |        |
| 18 |   |   | 15        | 0.568          | 0.468                 | 0.101  | 0.101             | 0.010             |   |     |        |
| 19 |   |   | 16        | 0.758          | 0.566                 | 0.192  | 0.192             | 0.037             |   |     |        |
| 20 |   |   | 17        | 0.854          | 0.754                 | 0.100  | 0.100             | 0.010             |   |     |        |
| 21 |   |   | 18        | 0.784          | 0.852                 | -0.068 | 0.068             | 0.005             |   |     |        |
| 22 |   |   | 19        | 0.734          | 0.786                 | -0.052 | 0.052             | 0.003             |   |     |        |
| 23 |   |   | 20        | 0.684          | 0.735                 | -0.051 | 0.051             | 0.003             |   |     |        |
| 24 |   |   | 21        | 0.661          | 0.685                 | -0.024 | 0.024             | 0.001             |   |     |        |
| 25 |   |   | 22        | 0.689          | 0.662                 | 0.027  | 0.027             | 0.001             |   |     |        |
| 26 |   |   | 23        | 0.629          | 0.688                 | -0.060 | 0.060             | 0.004             |   |     |        |
| 27 |   |   | 24        | 0.777          | 0.630                 | 0.147  | 0.147             | 0.022             |   |     |        |
| 28 |   |   | 25        | 0.926          | 0.774                 | 0.152  | 0.152             | 0.023             |   |     |        |
| 29 |   |   | 26        | 0.926          | 0.922                 | 0.003  | 0.003             | 0.000             |   |     |        |
| 30 |   |   | 27        | 0.926          | 0.926                 | 0.000  | 0.000             | 0.000             |   |     |        |
| 31 |   |   | 28        | 0.926          | 0.926                 | 0.000  | 0.000             | 0.000             |   |     |        |
| 32 |   |   | 29        | 0.926          | 0.926                 | 0.000  | 0.000             | 0.000             |   |     |        |
| 33 |   |   | 30        | 0.926          | 0.926                 | 0.000  | 0.000             | 0.000             |   |     |        |
| 34 |   |   | 31        | 0.869          | 0.926                 | -0.057 | 0.057             | 0.003             |   |     |        |
| 35 |   |   | 32        | 0.958          | 0.870                 | 0.088  | 0.088             | 0.008             |   |     |        |
| 36 |   |   | 33        | -0.060         | 0.956                 | -1.016 | 1.016             | 1.033             |   |     |        |
| 37 |   |   | 34        | 0.000          | -0.038                | 0.038  | 0.038             | 0.001             |   |     |        |
| 38 |   |   | 35        | 0.300          | -0.001                | 0.301  | 0.301             | 0.091             |   |     |        |
| 39 |   |   | 36        | 0.480          | 0.293                 | 0.187  | 0.187             | 0.035             |   |     |        |
| 40 |   |   | 37        | 0.520          | 0.476                 | 0.044  | 0.044             | 0.002             |   |     |        |
| 41 |   |   | 38        | 0.469          | 0.520                 | -0.050 | 0.050             | 0.003             |   |     |        |
| 42 |   |   | 39        | 0.540          | 0.470                 | 0.070  | 0.070             | 0.005             |   |     |        |
| 43 |   |   | 40        | 0.590          | 0.538                 | 0.052  | 0.052             | 0.003             |   |     |        |
| 44 |   |   |           |                |                       |        |                   |                   |   |     |        |

ภาพที่ 14 การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก 2 ค่า

ตารางที่ 6 สูตรการคำนวณในโปรแกรม Excel ในการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก 2 ค่า

| เซลล์ | สูตรคำนวณ         | คัดลอก     |
|-------|-------------------|------------|
| H6    | =N\$9*G5+N\$10*G4 | H7 ถึง H43 |
| I6    | =G6-H6            | I7 ถึง I43 |
| J6    | =ABS(I6)          | J7 ถึง J43 |
| K6    | =J6^2             | K7 ถึง K43 |
| M1    | =AVERAGE(J6:J43)  |            |
| M2    | =AVERAGE(K6:K43)  |            |

จากตารางที่ 6 แสดงรายละเอียดดังนี้

เซลล์ H6 ถึง H43 เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก 2 เดือน โดยน้ำหนักในเซลล์ N6 และ N7 มาใช้

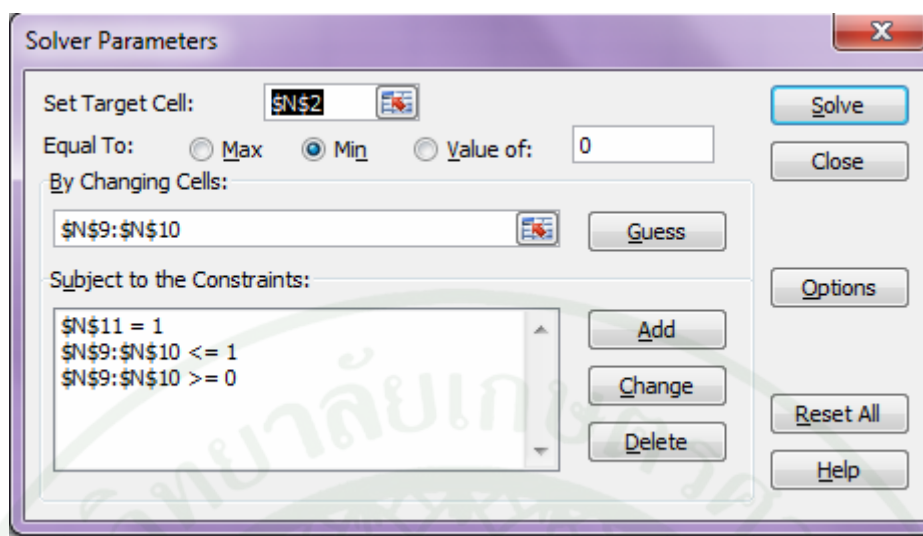
เซลล์ M1 เป็นการหาค่า MAD เพื่อคำนวณผลรวมของผลต่างของความผิดพลาดสัมบูรณ์แล้วหารด้วยจำนวนช่วงเวลาที่ใช้ทั้งหมด

เซลล์ M2 เป็นการหาค่า MSE เพื่อคำนวณผลรวมของผลต่างของความผิดพลาดยกกำลังสองแล้วหารด้วยจำนวนช่วงเวลาที่ใช้ทั้งหมดเซลล์

N6 และ N7 แทนน้ำหนัก W1 และ W2 ตามลำดับ ซึ่ง  $W1+W2 = 1$

จากนั้นใช้เครื่องมือ Solver เพื่อหาค่าน้ำหนัก W1 และ W2 ที่ทำให้ MSE มีค่าน้อยที่สุดได้ดังภาพที่ 15

- Set Target Cell เซลล์ผลลัพธ์ที่ต้องการในที่นี้คือค่า MSE น้อยที่สุด
- Changing Cell เซลล์ผลลัพธ์เป้าหมายในที่นี้คือค่าน้ำหนัก W1 และ W2
- Subject to the Constraints สมการเงื่อนไข



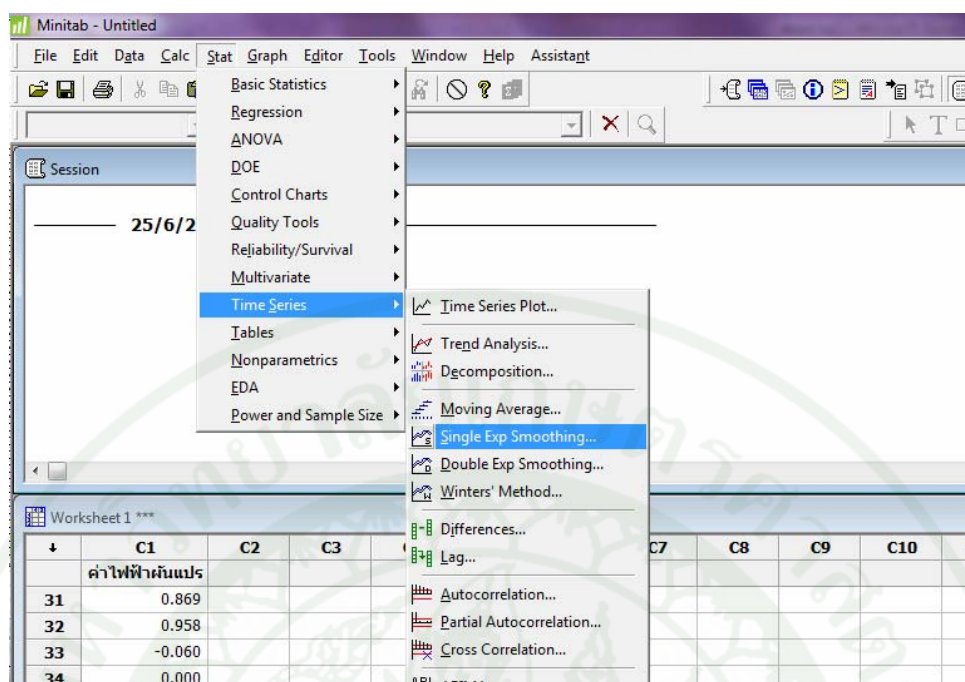
ภาพที่ 15 การใช้คำสั่ง Solver เพื่อหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสม

### 2.1.2 วิธีการพยากรณ์โดยปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing)

การพยากรณ์วิธีนี้เหมาะสมกับข้อมูลที่ค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลง คือข้อมูลในอดีตมาถ่วงน้ำหนัก แต่น้ำหนักที่ถ่วงข้อมูลกับข้อมูลในอดีตไม่เท่ากัน โดยค่า  $\alpha$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งมีผลส่งให้น้ำหนักข้อมูลในอดีตต่างกัน ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาตั้งแต่ค่า  $\alpha = 0.1$  จนถึง  $\alpha = 1.0$  และเลือกค่าที่ให้ MSE ต่ำที่สุดมาแทนค่าในสมการที่ (5)

การพยากรณ์โดยเทคนิคกลุ่ม Smoothing ต้องมีการกำหนดค่าแรก (Initialization) สำหรับการพยากรณ์นี้  $F_2 = X_1$

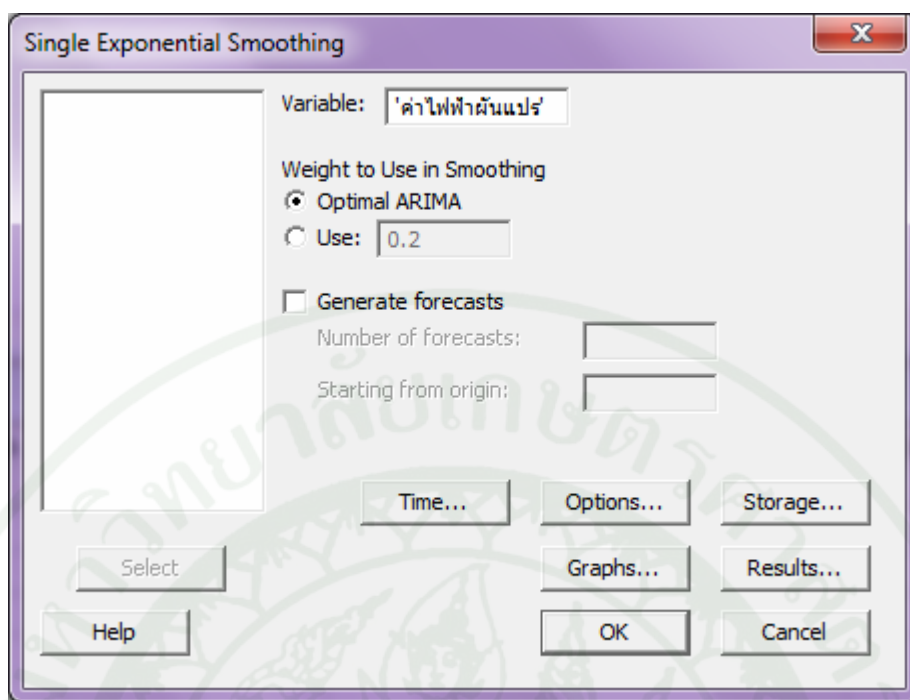
วิธีการพยากรณ์โดยใช้วิธี Exponential smoothing ในงานวิจัยนี้อาศัยการคำนวณข้อมูลโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งมีหลักการเดียวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และมีความสะดวกรวดเร็วและแม่นยำ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลามาคำนวณโดยโปรแกรม Minitab เลือก Stat > Time Series > Single Exp Smoothing ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การใช้โปรแกรม Minitab ในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Exponential smoothing

โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 17 เพื่อใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการพยากรณ์

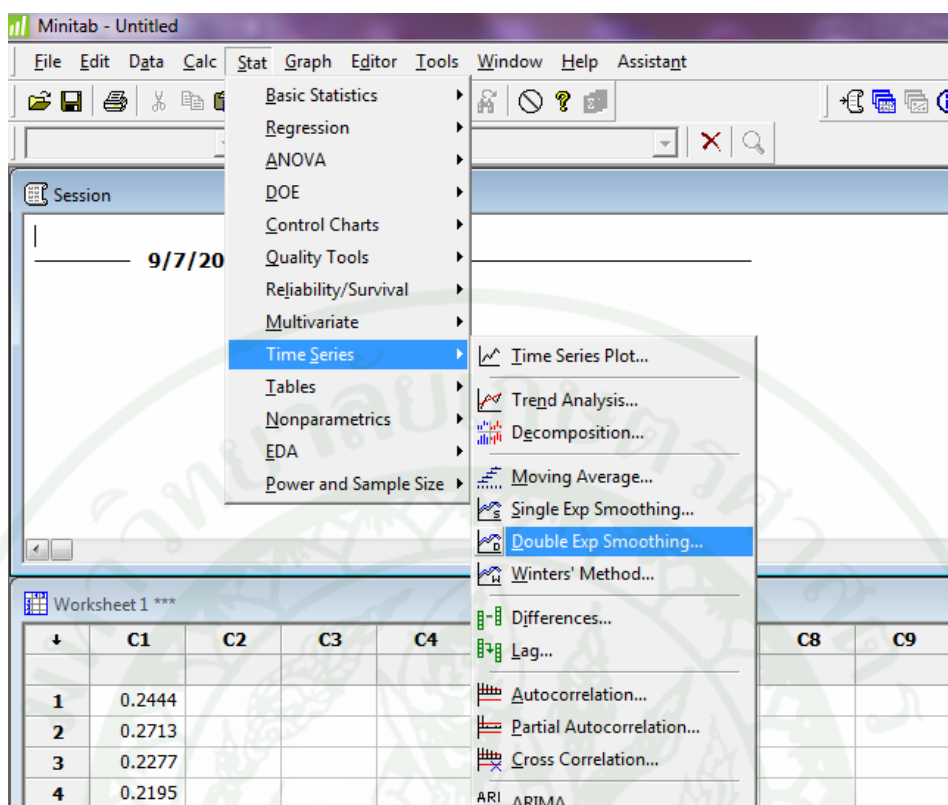
- Variable ตัวแปรที่กำหนดคือข้อมูลอนุกรมเวลาของค่าไฟฟ้าผันแปร
- Weight to Use in Smoothing คำนวณในการปรับเรียบ เลือก Optimal ARIMA เพื่อให้โปรแกรมวิเคราะห์หาค่า Alpha ที่ทำให้ MAD และ MSE น้อยที่สุด



ภาพที่ 17 หน้าต่างเพื่อใส่ข้อมูลในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Exponential smoothing

2.1.3 วิธีการพยากรณ์โดยปรับเรียบแบบดับเบิลเอกซ์โปเนนเชียล (Double Exponential Smoothing) วิธีการนี้มีชื่อเรียกอีกสองแบบคือ Double Exponential Smoothing และ Holt's Two-Parameter Linear Method วิธีการพยากรณ์แบบนี้เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการเคลื่อนไหวเป็นแนวโน้มแบบเส้นตรง (Trend) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากที่สุด ดังนั้นจึงมีค่าคงที่การทำให้เรียบ 2 ค่า ได้แก่  $\alpha$  (Alpha) และ  $\beta$  (Beta) ดังสมการตามสมการที่ (6),(7) และ (8)

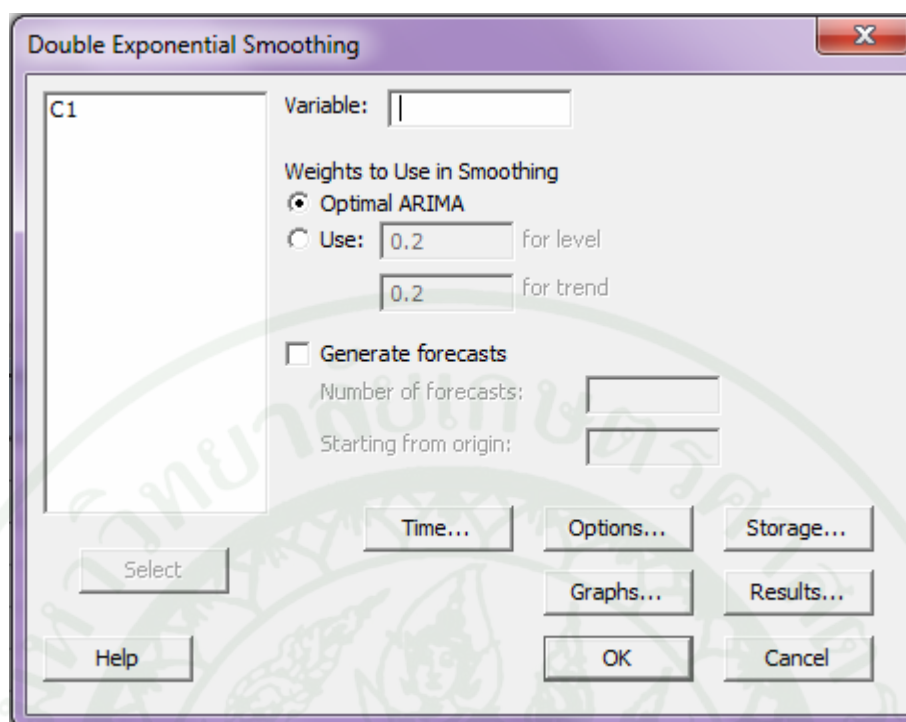
วิธีปรับเรียบแบบดับเบิลเอกซ์โปเนนเชียลในงานวิจัยนี้อาศัยการคำนวณข้อมูลโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งมีหลักการเกี่ยวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และมีความสะดวก รวดเร็วและแม่นยำ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ที่ได้โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลามาคำนวณโดยโปรแกรม Minitab เลือก Stat > Time Serie > Double Exp smoothing ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การใช้โปรแกรม Minitab ในการพยากรณ์โดยใช้วิธี Double Exponential Smoothing

โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 19 เพื่อใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการพยากรณ์

- Variable ตัวแปรที่กำหนดคือข้อมูลอนุกรมเวลาของค่าไฟฟ้าผันแปร
- Weight to Use in Smoothing คำนวณน้ำหนักในการปรับเรียบ เลือก Optimal ARIMA เพื่อให้โปรแกรมวิเคราะห์หาค่า Alpha ที่ทำให้ MAD และ MSE น้อยที่สุด



ภาพที่ 19 หน้าต่างเพื่อใส่ข้อมูลในการพยากรณ์วิธี Double Exponential Smoothing

2.1.4 วิธีการพยากรณ์ Box-Jenkins หรือ ARIMA Model วิธีการนี้มีเงื่อนไขในการพยากรณ์คือ ข้อมูลต้องมีลักษณะนิ่ง (Stationary) การพยากรณ์เบื้องต้นจะพิจารณาว่าอนุกรมเวลานั้นมีคุณสมบัติของอนุกรมเวลาที่มีลักษณะนิ่งหรือไม่ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลมีค่าคงที่ ณ ทุกเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ใช้การทดสอบ Unit Root เพื่อพิจารณาความนิ่งของข้อมูล สำหรับการทดสอบ Unit Root ทดสอบโดยใช้การทดสอบ Augmented Dicky-Fuller Test

สมมุติฐานที่ทดสอบ

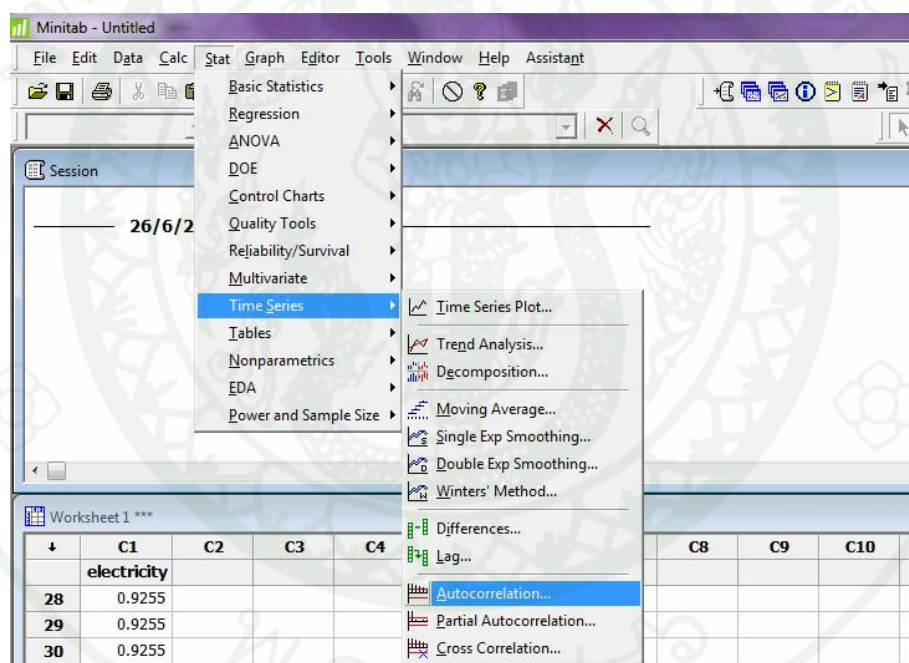
$H_0 : \theta = 0$  คือข้อมูลค่าไฟฟ้าที่มีลักษณะไม่นิ่ง หรือกล่าวคือ มี Unit Root ซึ่งต้องการหาผลต่างอันดับต่อไป

$H_0 : \theta < 0$  คือข้อมูลค่าไฟฟ้าที่มีลักษณะนิ่ง หรือกล่าวคือ ไม่มี Unit Root

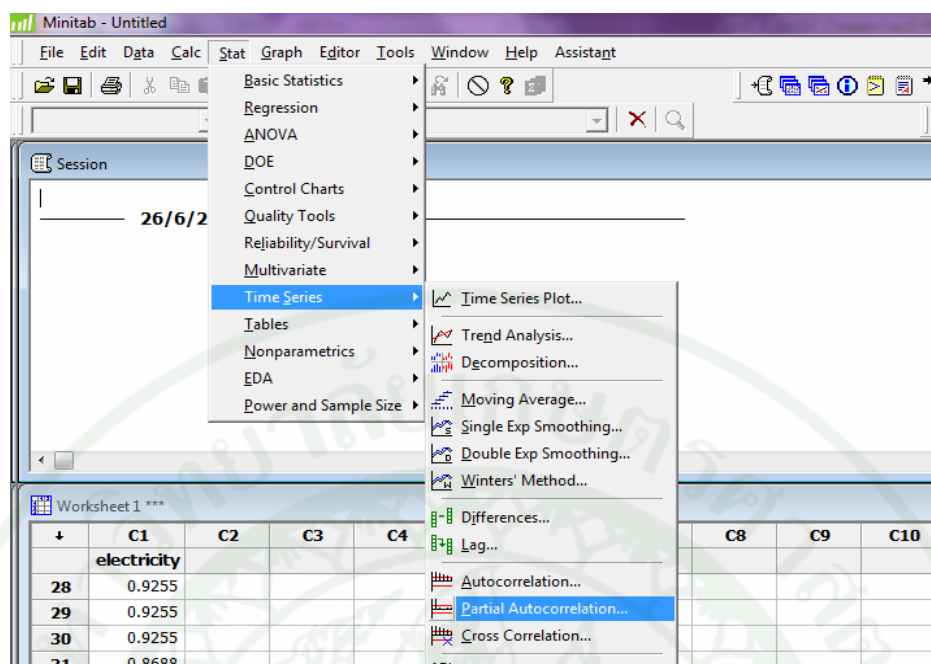
ในการทดสอบ Unit Root ใช้โปรแกรม Eview 5.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการอ่านผลโดยเปรียบเทียบ Augmented Dickey-Fuller Test Statistic กับ Test critical values

เมื่อได้ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีคุณสมบัติเป็น Stationary แล้วนำข้อมูลไปกำหนดรูปแบบประมาณค่าพารามิเตอร์ ตรวจสอบผลและพยากรณ์ตามขั้นตอนการพยากรณ์เพื่อหารูปแบบ ARIMA (p, d, q) ด้วยวิธี Box-Jenkins ดังต่อไปนี้

2.1.4.1 กำหนดรูปแบบ (Identification) เพื่อหารูปแบบที่คิดว่าเหมาะสมให้กับอนุกรมเวลาโดยใช้วิธีพิจารณาเปรียบเทียบจากคอเรโลแกรม (Correlogram) ของค่า  $r_k$  และ  $r_{kk}$  รูปแบบ AR ให้ดูรูปแบบ Partial Correlation ส่วน MA ให้ดูรูปแบบ Auto Correlation เทียบกับรูปแบบต้นแบบของอนุกรมเวลารูปแบบ งานวิจัยนี้อาศัยการคำนวณข้อมูลโดยโปรแกรม Minitab ทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลามาคำนวณโดยโปรแกรม Minitab เลือก Stat > Time Series > Autocorrelation และ Stat > Time Series > Partial Autocorrelation ดังภาพที่ 20 และ 21

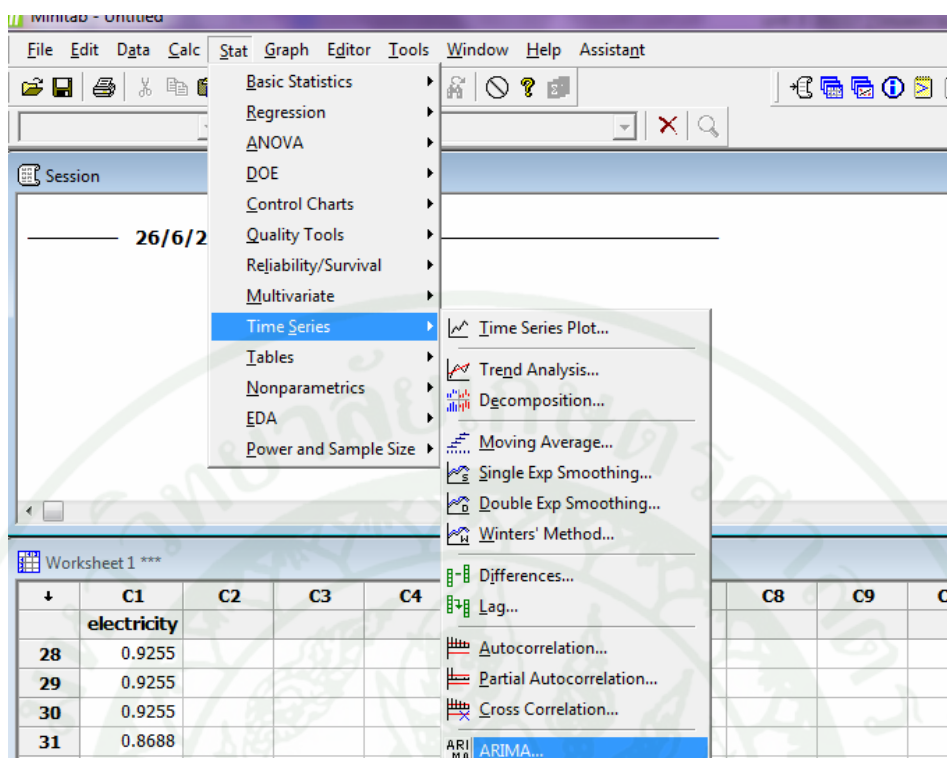


ภาพที่ 20 การใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้าง Correlogram ของ Autocorrelation

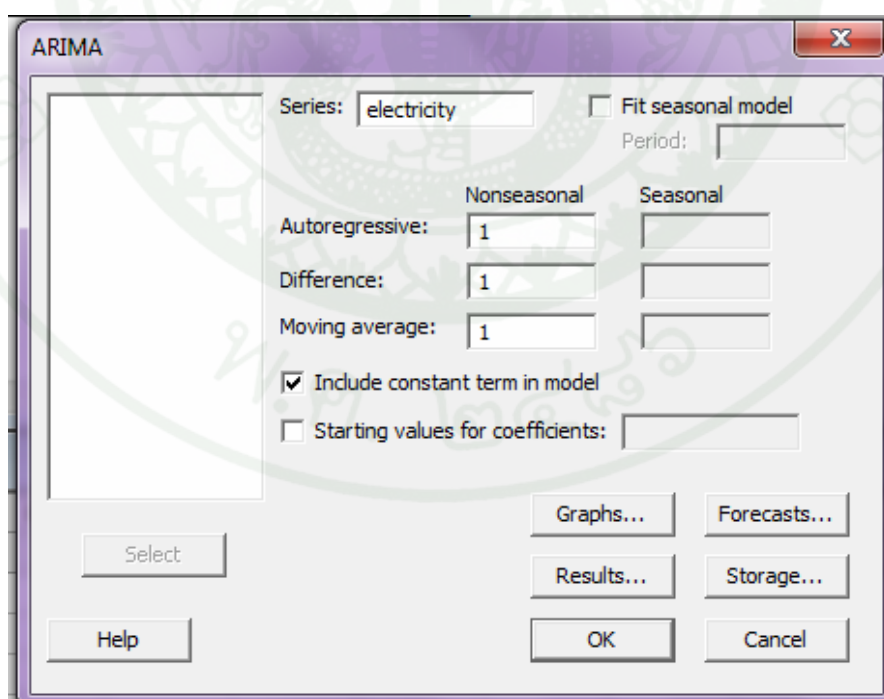


ภาพที่ 21 การใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้าง Correlogram ของ Partial Autocorrelation

2.1.4.2 ประมาณค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบ (Estimation) เมื่อได้รูปแบบของ ARIMA (p, d, q) ที่เหมาะสมแล้วจากการเปรียบเทียบลักษณะคอเรโลแกรม(Correlogram) ของข้อมูลทำการพยากรณ์และลักษณะคอเรโลแกรมตัวแบบแล้วทำการประมาณค่าโดยโปรแกรม Minitab เลือก Stat > Time Series > ARIMA ดังภาพที่ 22 และ 23



ภาพที่ 22 การใช้โปรแกรม Minitab ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบ ARIMA (p, d, q)



ภาพที่ 23 หน้าต่างเพื่อใส่ข้อมูลในการพยากรณ์วิธี Box-Jenkins

โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 23 เพื่อใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการพยากรณ์

- Series คือข้อมูลอนุกรมเวลา
- Autoregressive คือรูปแบบ AR (p) ที่วิเคราะห์จากลักษณะคอเรโลแกรมของ Partial Autocorrelation
- Difference คือจำนวนครั้งในการ Difference ปรับให้ข้อมูลเป็น Stationary
- Moving average คือ รูปแบบ MA (q) ที่วิเคราะห์จากลักษณะคอเรโลแกรม(Correlogram) ของ Autocorrelation

2.1.4.3 ตรวจสอบรูปแบบ (Diagnostic Checking) เมื่อกำหนดรูปแบบและประมาณค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบแล้ว ตรวจสอบว่ารูปแบบที่กำหนดมีความเหมาะสมจริงหรือไม่ โดยทดสอบค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบจากค่า t-test ค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Theil – test เลือกรูปแบบที่ให้ค่าสถิติเหล่านี้ดีที่สุด

2.1.4.4 การพยากรณ์โดยใช้สมการพยากรณ์ที่สร้างจากรูปแบบการพยากรณ์ที่กำหนดและผ่านการตรวจสอบตามขั้นตอนแล้วมาพยากรณ์ผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปีต่อไป

2.1.5. ทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ โดยหลังจากได้ค่าพยากรณ์มาแล้วเพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดการเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์โดยดูจากค่าความคลาดเคลื่อนทั้ง 3 แบบ สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนคือ

2.1.5.1. ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) เป็นค่าวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่วัดได้จากค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน หน่วยการวัดค่าจะอยู่ในรูปยกกำลังสอง ดังสมการที่ (13)

2.1.5.2. ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์คลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (MAD) เป็นค่าวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์จากค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าคลาดเคลื่อนแสดงดังสมการที่ (14)

2.1.5.3. เปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นค่าวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ดังแสดงในสมการ (15)

2.2 การวิเคราะห์ทางการเงิน เป็นการวิเคราะห์รายรับ ต้นทุนในการดำเนินการและความคุ้มค่าของโครงการซึ่งประกอบด้วย

2.2.1 การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method: NPV) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ในแต่ละปีของโครงการตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ค่าใช้จ่ายของโครงการตลอดอายุโครงการเพื่อวัดค่าว่าโครงการที่พิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ ดังสมการ (16)

2.2.2. การหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการหมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับของโครงการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรืออีกนัยหนึ่งคือ อัตราส่วนลดที่ทำให้  $NPV = 0$  ดังสมการ (17)

2.2.3. ระยะคืนทุน (Payback Period) ระยะคืนทุนได้แก่ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุน ดังสมการที่ (18)

2.3 ข้อตกลงเบื้องต้นในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิการหาอัตราผลตอบแทนภายในและการหาระยะเวลาคืนทุนสำหรับโครงการมีดังนี้

2.3.1 โครงการมีอายุ 10 ปี (เริ่มจากปีที่ 0) โดยมีระยะเวลาศึกษาติดตั้ง 1 ปี และระยะเวลาการดำเนินการผลิต 10 ปี ตามอายุของเครื่องจักรหลัก ได้แก่ ใบพัด เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อสิ้นอายุโครงการส่วนประกอบของกังหันบางส่วน ได้แก่ มอเตอร์ เกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถขายเป็นเศษเหล็กได้

2.3.2 กระแสลมมีการพัดต่อเนื่องตลอดทั้งวันดังนั้นจึงประเมินชั่วโมงในการผลิตไฟฟ้าของกังหันเท่ากับ 24 ชั่วโมงต่อวัน

2.3.3 คัดค่าไฟฟ้าที่กักหน้ลมช่วยเหลือได้โดยใช้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอัตราตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use: TOU) สำหรับกิจการขนาดใหญ่ที่แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป, ค่าบริการรายเดือน 312.24 บาท, ภาษีมูลค่าเพิ่มร้อยละ 7 ของค่าไฟฟ้า

2.3.4 อัตราคิดลดที่ใช้ในการประเมินเท่ากับอัตราเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ในประเทศไทยร้อยละ 7.25

2.3.5 รายการค่าใช้จ่าย ต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานแสดงดังตาราง 3.3 และ 3.4

2.3.6 ช่วงเวลาที่ใช้คิดค่าไฟฟ้าใช้ช่วงเวลาอ้างอิงจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยมีช่วงเวลายังานสูงสุด (Peak) และช่วงเวลายังานน้อย (Off Peak) แสดงดังตารางที่ 3.2

2.3.7 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินงานแสดงดังตารางที่ 3.3 และ 3.4 โรงงานตัวอย่างงานตลอด 24 ชั่วโมง ไม่มีวันหยุดคิดอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป

ตารางที่ 7 ช่วงเวลาที่ใช้คิดค่าไฟฟ้า

| วัน             | ช่วงเวลาที่ใช้งานสูง | ช่วงเวลาที่ใช้งานต่ำ |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| จันทร์ – ศุกร์  | 9.00 – 22.00 น.      | 22.00 – 9.00 น.      |
| เสาร์ – อาทิตย์ | -                    | 0.00 – 24.00 น.      |

ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555)

### ตารางที่ 8 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์

| รายการ                                     | ราคา (บาท)     |
|--------------------------------------------|----------------|
| ชุดใบพัดและ Generator และขาตั้งพิเศษใน Lab | 40,000         |
| ค่าภาษี ค่าธรรมเนียม ค่าขนส่ง              | 17,000         |
| ค่ารถ + น้ำมันขนส่ง                        | 2,000          |
| แบตเตอรี่ GS (12 V 200 Ah) 4 ลูก           | 24,000         |
| โหลด Heater สำหรับทดสอบกำลังไฟฟ้า          | 3,000          |
| อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์                      | 30,000         |
| หลอดไฟ                                     | 200            |
| <b>รวม</b>                                 | <b>116,200</b> |

### ตารางที่ 9 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

| ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา                  | ราคา (บาท/ครั้ง) |
|--------------------------------------------|------------------|
| แรงงานที่ใช้ 2 คน ในการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ | 600              |
| ซ่อมบำรุงกังหันลมทุก 5 ปี                  | 10,000           |
| เชื้อการทำงานของกังหันลมทุก 3 เดือน        | 2,400            |
| ค่าเสื่อมของกังหันลม อายุการใช้งาน 10 ปี   | 9,296            |

### 3. ด้านสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมทำโดยประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า สำหรับดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า (CO<sub>2</sub> Emission Factor) กำหนดให้ใช้ค่าคงที่จากการประเมินการผลิตไฟฟ้าสายส่งของประเทศ หากสถานประกอบ การซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เทียบเท่าจากสูตรคำนวณที่ (19)

$$\text{CO}_2 \text{ emission} = \text{Electricity Consumption} \times \text{CO}_2 \text{ emission factor} \quad (19)$$

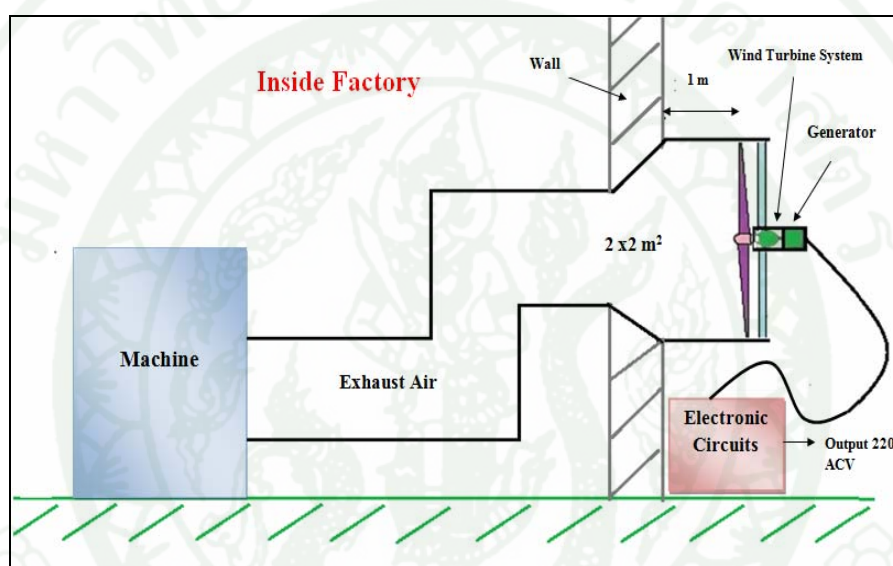
ค่าดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยค่าแฟกเตอร์เริ่มต้นกำหนดใช้มีค่าเท่ากับ 0.5610 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับกิโลวัตต์-ชั่วโมง เอกสารของคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2554)



## ผลและวิจารณ์

### 1. ผลการติดตั้งกังหันลม

1.1 พื้นที่ในส่วนของปล่องระบายอากาศของโรงงานผลิตฝ้ายมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 x 2 เมตร มีกระแสลมจากเครื่องจักรที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมงโดยมีรูปแบบการติดตั้งแสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 รูปแบบการติดตั้งกังหันลม

1.2 อัตราเร็วลมที่วัดได้จากการติดตั้งเครื่องวัดลม (Anemometer) นั้น ได้อัตราเร็วลมเฉลี่ย 10 เมตร/วินาที กระแสลมมีความสม่ำเสมอ แต่ด้วยพื้นที่ที่จำกัดการเลือกขนาดของกังหันลมจึงต้องคำนึงถึงพื้นที่ปล่องระบายอากาศด้วย

สำหรับกังหันลมที่ใช้ในกรณีศึกษาเลือกกังหันลมที่ผลิตจากบริษัทผู้ผลิตจากประเทศจีน เนื่องจากความเหมาะสมในเรื่องของประสิทธิภาพและทางการเงินที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่โรงงานพึงพอใจ ทั้งนี้ยังมีโครงการในประเทศไทยเลือกกังหันลมจากผู้ผลิตจีน อย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น โครงการกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ในอำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเลือกกังหันลมแบบแกนนอน รุ่น NEWUNITE FD-77-1500-III ซึ่งผลิตจากประเทศจีน หรือโครงการโรงไฟฟ้ากังหันลม ใน อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา

ก็เลือกกังหันลมที่ผลิตจากจีนรุ่นเดียวกันเช่นกัน โดยทำการสั่งซื้อ ใบพัดและ Generator ขนาดกังหันลม 1 KW. เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด และพื้นที่กวาดของใบพัด ใกล้เคียงกับปล่องระบายอากาศที่สุด โดยกังหันลมที่ใช้มีค่า Technical Specifications ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 10 ค่า Technical Specifications ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

| Technical Specifications |                     |
|--------------------------|---------------------|
| Rated output power       | 1 kW                |
| Max.output power         | 1.35 kW             |
| Voltage                  | 48 Vdc              |
| Rated wind speed         | 12 m/s              |
| Max.wind speed           | 25 m/s              |
| Survival wind speed      | 60 m/s              |
| Start-up wind speed      | 3 m/s               |
| Rated rotational speed   | 860 rpm             |
| Max. rotational speed    | 1150 rpm            |
| No. of blades            | 3                   |
| Rotor diameter           | 2.0 m               |
| Blade material           | Nylon & glass fiber |

1.3. การดำเนินการติดตั้งกังหันลม งานวิจัยนี้ได้ทดสอบการทำงานของใบพัด โดยการสั่งทำขาตั้งพิเศษให้ชุดกังหันลม สามารถทดลองและวางในห้องทดลองได้ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ทดสอบการทำงานของใบพัด

จากนั้นนำเอาชุดกังหันลมไปติดตั้งที่โรงงาน และได้ทดสอบการหมุนของใบพัดต่อลมที่ออกมาจากโรงงาน และปล่อยทิ้งไว้ โดย 1 อาทิตย์ภายหลัง ได้เข้าไปตรวจการหมุนของกังหันลมอีกครั้ง พบว่ามีบางช่วงเวลาที่กังหันลมหยุดหมุน จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าตำแหน่งการติดตั้งกังหันลมยังไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากใช้จุดติดตั้งตามของเดิมที่โรงงานเคยติด จึงทำการปรับทิศกังหันลมใหม่ ซึ่งหลังจากการปรับทิศผลปรากฏว่ากังหันลมหมุนได้ดีขึ้นพบว่าตำแหน่งที่กังหันลมหมุนได้ดีที่สุดคือบริเวณกึ่งกลางปล่องระบายอากาศ โดยใบพัดกังหันมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ ปล่องระบายอากาศดังแสดงในภาพที่ 26 และ 27



ภาพที่ 26 การติดตั้งกังหันลม



ภาพที่ 27 การปรับแก้ตำแหน่งที่ตั้งกังหันลม

ทำการต่อพ่วงกับแบตเตอรี่ดังภาพที่ 28 โดยใช้ แบตเตอรี่ GS ใหม่ ขนาด 12 โวลต์ 200 แอมแปร์ 4 ก้อน ต่ออนุกรมกันเพื่อเก็บไฟฟ้าและจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ และได้มีการสร้างวงจรขึ้นมาเพื่อเก็บค่าความต่างศักย์แบบ Real time นำวงจรที่ออกแบบใหม่เข้าไปติดตั้งเพื่อเก็บค่ากระแสไฟฟ้า และได้มีการทดสอบประยุกต์การใช้งานจริง โดยนำเอาหลอดไฟเข้าไปติดตั้ง



ภาพที่ 28 การต่อแบตเตอรี่และวงจรควบคุม

นำเอา load ที่ออกแบบพิเศษไว้แสดงในภาพที่ 29 เพื่อทดสอบการดึงค่ากระแสไฟฟ้า และทดสอบระบบการทำงานต่างๆของกังหันลม โดยได้ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการเก็บข้อมูล ภายหลังจากการต่อ load ดังกล่าวเปิดสวิตช์ระบบทำงาน จะสังเกตได้ว่าตัว load ที่ต่อไว้จะมีความร้อนขึ้น

จนเห็นการเปลี่ยนสีได้ชัดเจน กระแสสามารถไหลเข้าสู่ตัว load ตามค่าที่คำนวณไว้ โดยผลการทดลองจากการวัดค่าความต่างศักย์ และค่ากระแสต่อค่า load ที่สร้างขึ้นถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2 โดยจะเก็บค่าทุกๆ 30 วินาที ซึ่งจากตารางในภาคผนวก ก จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้อยู่ในช่วง 780-830 วัตต์ (ค่ากำลังไฟฟ้าขึ้นกับ load ที่ออกแบบ ในการทดลองครั้งนี้ได้ออกแบบให้ load ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 850 วัตต์ โดยค่ากำลังไฟฟ้าง่ายกว่าก่อนข้างคงที่ ไม่มีการตกของกระแสและความต่างศักย์ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟ 818.82 วัตต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 21.07 จึงสรุปได้ว่ากังหันลมกับระบบที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟได้ดีและสามารถให้ค่ากำลังไฟฟ้ามากกว่า 800 วัตต์

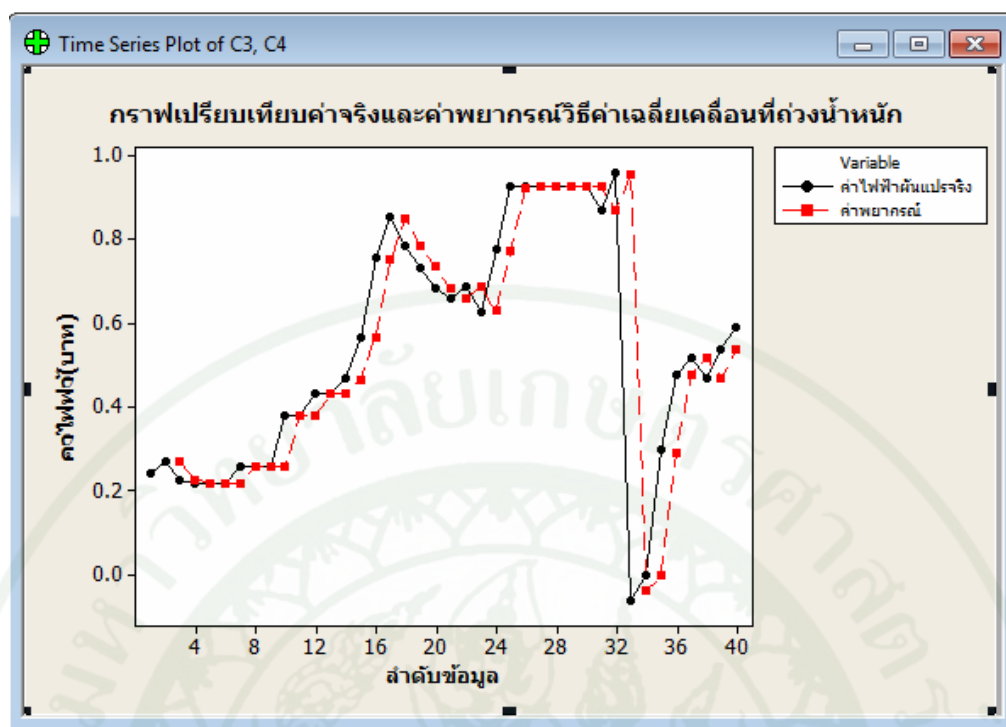
ดังนั้นในงานวิจัยนี้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมจึงใช้ 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่กังหันลมผลิตได้สูงที่สุดในที่นี้คือ 80 เปอร์เซ็นต์ของกังหันลมขนาด 1 กิโลวัตต์ = 0.8 กิโลวัตต์ นั่นคือพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้



ภาพที่ 29 Load ที่ออกแบบไว้สำหรับทดลองค่าการดึงกระแสไฟฟ้า

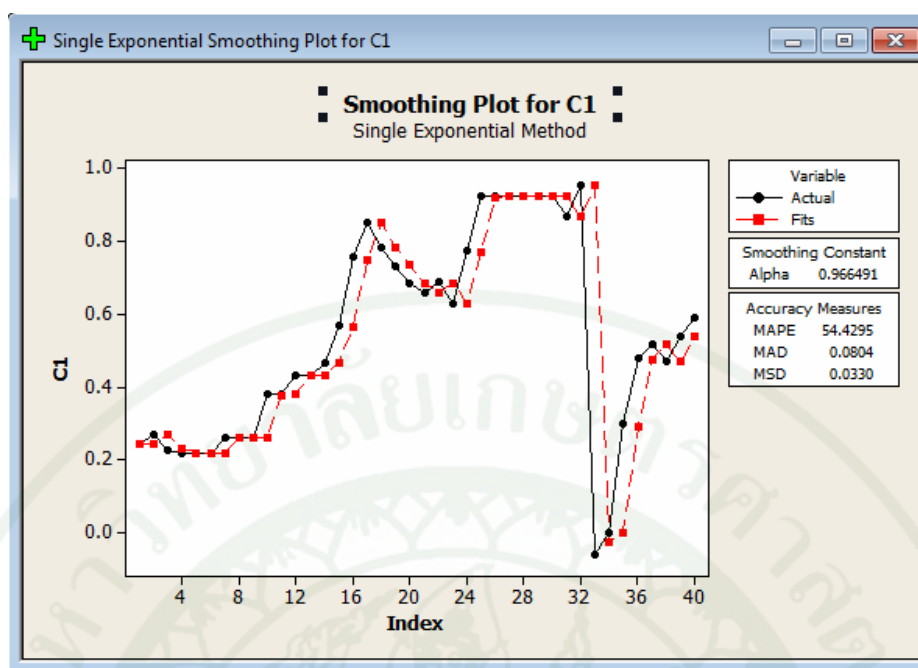
## 2. ผลด้านการเงิน

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weight Moving Average) จากการวิเคราะห์โดยใช้ Excel Solver ช่วยในการหาค่าน้ำหนัก ( $W_1$  และ  $W_2$ ) ที่เหมาะสมที่สุดปรากฏว่า  $W_1=0.978$  และ  $W_2= 0.022$  โดยมีค่า  $MSE = 0.035$  และค่า  $MAD = 0.084$  แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ดังภาพที่ 30



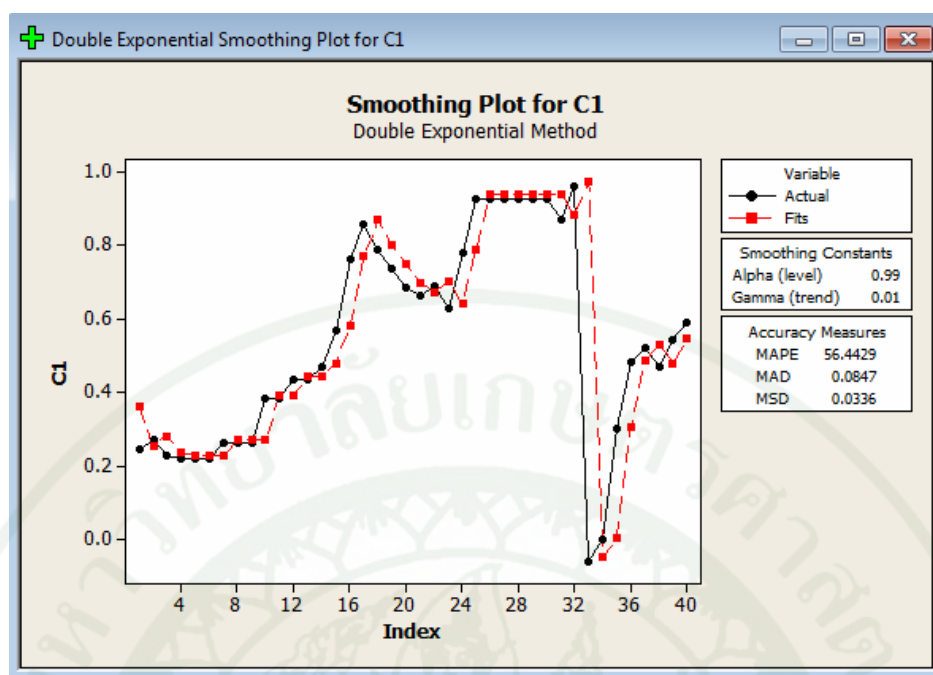
ภาพที่ 30 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจริงและค่าจากการพยากรณ์วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก

2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Exponential Smoothing) จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการหาค่า อัลฟา ( $\alpha$ ) ที่เหมาะสมที่สุดปรากฏว่า  $\alpha = 0.966$  โดยมีค่า  $MSE = 0.0330$  และค่า  $MAD = 0.0804$  แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าผันแปรจริงและค่าพยากรณ์โดยใช้ Exponential smoothing

2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีปรับเรียบแบบดับเบิลเอกซ์โพเนนเชียล (Double Exponential Smoothing) จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์ช่วยในการหาค่า ( $\alpha$ ) และ ( $\beta$ ) ที่เหมาะสมที่สุดปรากฏว่า  $\alpha = 0.9900$  และ  $\beta = 0.0100$  โดยมีค่า  $MSE = 0.0336$  และค่า  $MAD = 0.0847$  แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ดังภาพที่ 32

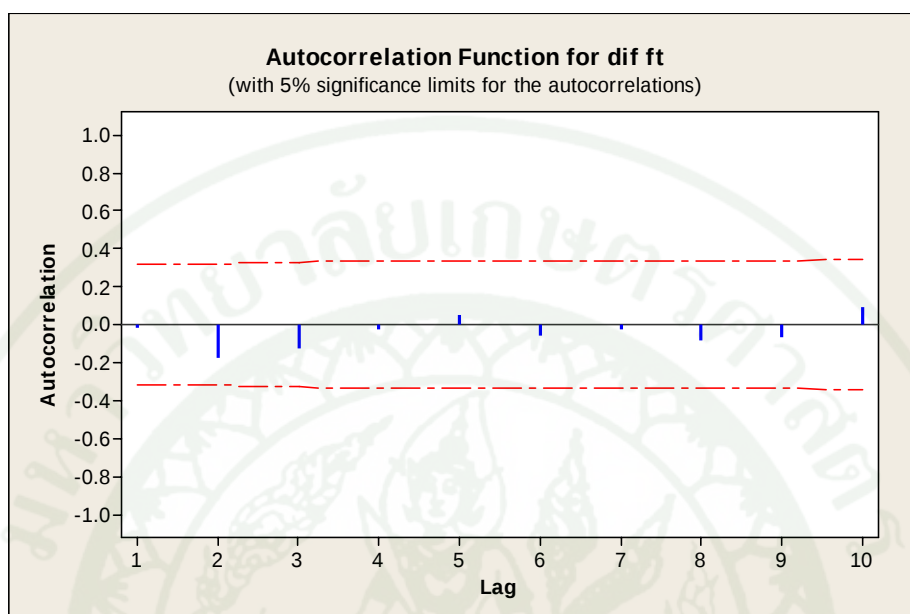


ภาพที่ 32 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าผันแปรจริงและค่าพยากรณ์โดยใช้วิธี Double Exponential Smoothing

2.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการพยากรณ์แบบ Box Jenkins หรือ ARIMA Model แบ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

2.4.1 ผลการทดสอบ Unit Root ของข้อมูล เป็นการทดสอบว่าข้อมูลนั้นมีลักษณะนิ่ง (Stationary) หรือไม่และเพื่อเป็นการเลียงข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนไม่คงที่ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เนื่องจากข้อมูลที่มีลักษณะไม่นิ่งแล้วจะต้องใช้การทดสอบของ Augmented Dickey – Fuller โดยพิจารณาค่า  $\theta$  ของข้อมูลรวมด้วยว่ามีค่าอยู่ในช่วงการปฏิเสธ Unit Root หรือไม่ โดยเปรียบเทียบค่าสถิติ ADF-Statistic กับค่า Mackinon Critical ที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์, 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 3 แบบจำลองซึ่งค่าสถิติ ADF มากกว่าค่า Mackinon Critical แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลานั้นมีลักษณะไม่นิ่ง (Nonstationary) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการทำ Differencing ลำดับที่ 1 จนกว่าข้อมูลนั้นจะมีลักษณะนิ่ง ผลจากการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ข พบว่าที่ระดับ level นั้นค่า ADF-Statistic มีค่ามากกว่าค่า Mackinon Critical แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะไม่นิ่ง จึงทำการแก้ไขโดยการทำ Differencing ลำดับที่ 1 ปรากฏว่าข้อมูลไม่มี Unit Root หรือข้อมูลมีลักษณะนิ่ง ดังนั้น  $d=1$

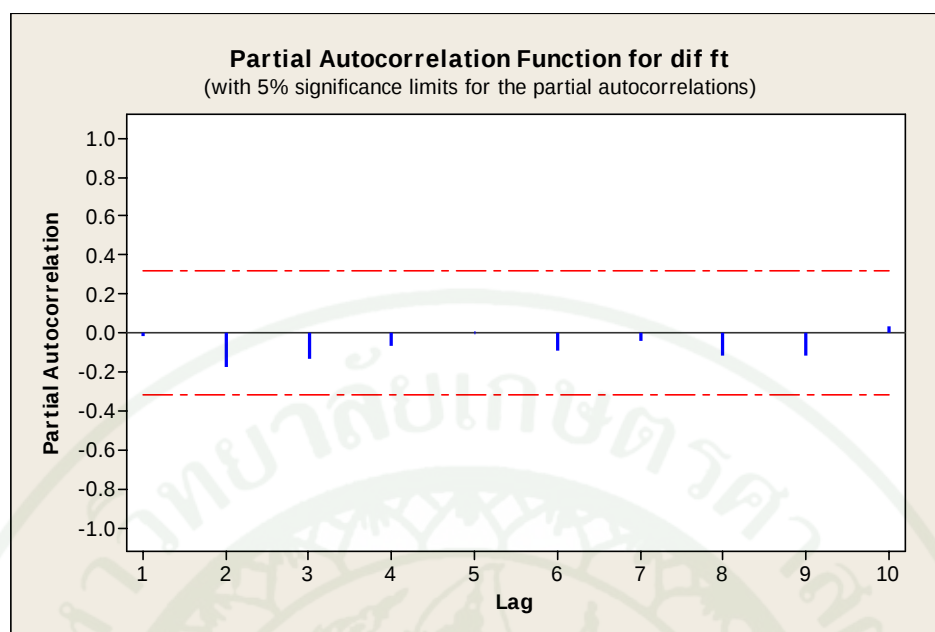
2.4.2 ผลการพิจารณา Correlogram ของ Autocorrelation และ Partial Correlation เพื่อ กำหนด  $p$  และ  $q$  ของข้อมูลนำเข้าที่มีลักษณะนิ่งแล้ว แล้ว ดังรูปที่ 33 และ 34



ภาพที่ 33 Autocorrelation ของข้อมูลที่ทำ Differencing ลำดับที่ 1

สำหรับ Correlogram เป็นกราฟที่เกิดจากการพล็อตค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ในตัวเองซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองจะเป็นค่าวัดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอนุกรม เวลาในชุดเดียวกันโดยมีช่วงเวลาห่างกันเท่ากับ  $K$  ซึ่งเมื่อมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ กันต่ำ

จากกราฟจะเห็นว่าอนุกรมเวลาเป็นสเตชันนารีแล้ว เนื่องจากค่าเฉลี่ยและส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานของอนุกรมเวลาก่อนข้างจะคงที่ (เส้นสีแดง) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $r_k$  (เส้นสีน้ำเงิน) อยู่ในช่วง



รูปที่ 34 Partial Correlation ของข้อมูลที่ทำ Differencing ลำดับที่ 1

จาก Correlogram พิจารณารูปแบบ ARIMA (p,d,q) จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบค่า  $r_k$ ,  $r_{kk}$  มีค่าลดลงใกล้ 0 เมื่อ K มากขึ้น จากการพิจารณารูปแบบเพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสม ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลชุดนี้เป็นไปได้คือ ARIMA (1,1,1), ARIMA (1,1,0), ARIMA (0,1,1) ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์แสดงในภาคผนวก ง พิจารณาความเหมาะสมพบว่า ตัวแบบ ARIMA (1,1,1) มีค่าพารามิเตอร์เหมาะสม (P – Value น้อยกว่า  $\alpha$ ) และ ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เป็นอิสระกัน ส่วน ARIMA (1,1,0), ARIMA (0,1,1) มีค่าพารามิเตอร์มากกว่า  $\alpha$  ทำให้รูปแบบไม่เหมาะสม โดยตัวแบบ ARIMA (1,1,1) มีสมการดังสมการที่ (18)

$$Y_t = \theta_0 + Y_{t-1} + \phi Y_{t-1} - \phi Y_{t-2} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} \quad (18)$$

2.4.3 ผลค่าพารามิเตอร์ เมื่อทำการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้ Minitab ในการคำนวณ จากภาพที่ 35 ได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้  $\theta_0 = 0.002198$ ,  $\theta_1 = 0.7760$ ,  $\phi = 0.9717$

## Final Estimates of Parameters

| Type     | Coef     | SE Coef  | T    | P     |
|----------|----------|----------|------|-------|
| AR 1     | 0.7760   | 0.1518   | 5.11 | 0.000 |
| MA 1     | 0.9717   | 0.1315   | 7.39 | 0.000 |
| Constant | 0.002198 | 0.003544 | 0.62 | 0.539 |

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 40, after differencing 39

Residuals: SS = 1.09657 (backforecasts excluded)

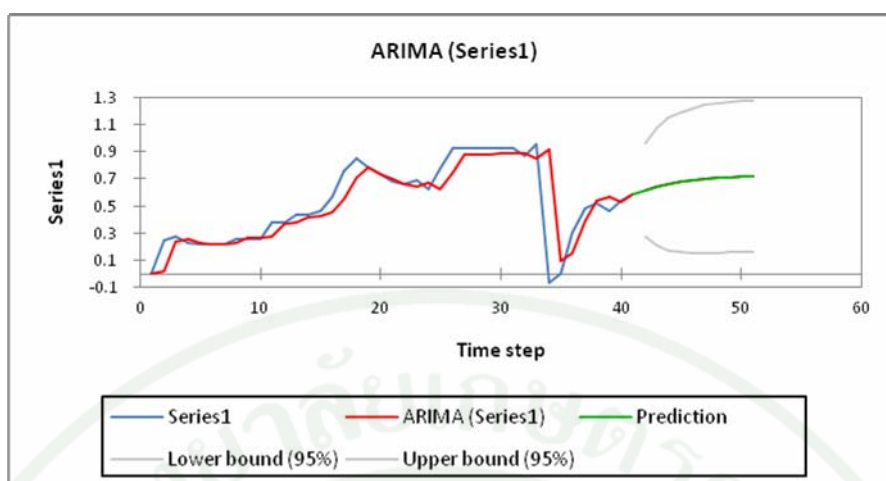
MS = 0.03046 DF = 36

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

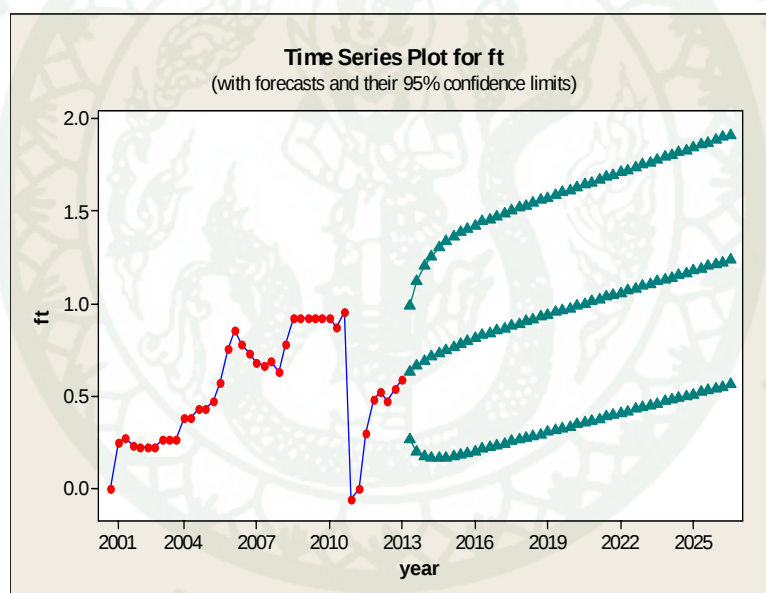
| Lag        | 12    | 24    | 36    | 48 |
|------------|-------|-------|-------|----|
| Chi-Square | 2.8   | 8.1   | 9.0   | *  |
| DF         | 9     | 21    | 33    | *  |
| P-Value    | 0.971 | 0.995 | 1.000 | *  |

### รูปที่ 35 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม

จากค่า P – Value จะเห็นว่า AR 1 และ MA 1 มีค่าเท่ากับ 0.000 และ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  ซึ่งจะทำให้เราปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ควรจะมีพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวอยู่ในตัวแบบหรือ ตัวแบบ ARIMA (1, 1, 1) เหมาะสมแล้ว ทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่เป็นอิสระกัน พบว่า ค่า P – Value ของ lag ที่ 12 มีค่ามากกว่า  $\alpha = 0.05$  แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน สำหรับ lag ที่ 24, 36 สามารถสรุปผลเช่นเดียวกันคือ ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ดังนั้นตัวแบบ ARIMA (1,1,1) เป็นตัวแบบที่เหมาะสมและมีค่า MSE = 0.03046 โดยมีกราฟแสดงเปรียบเทียบในภาพที่ 36 และ 37



ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์จากสมการARIMA (1, 1, 1)



ภาพที่ 37 กราฟแสดงค่าพยากรณ์จากสมการARIMA (1, 1, 1)

2.5 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ หลังจากการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา ทั้ง 4 วิธีแล้วทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์โดยดูความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธี ในการพยากรณ์โดยดูค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งแสดงตามตารางที่ 13

ตารางที่ 11 ผลเปรียบเทียบค่าความคลื่อนของวิธีพยากรณ์ต่างๆ

| วิธีการพยากรณ์                                                                      | MSE     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| การพยากรณ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average)                  | 0.03477 |
| วิธีการพยากรณ์โดยปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing)                   | 0.03300 |
| วิธีการพยากรณ์โดยปรับเรียบแบบดับเบิ้ลเอกซ์โพเนนเชียล (Double Exponential Smoothing) | 0.03360 |
| วิธีการพยากรณ์แบบ Box and Jenkins                                                   | 0.03046 |

จากการเปรียบเทียบค่าความคลื่อนของการพยากรณ์ทำให้ทราบถึงวิธีในการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่มีความแม่นยำเพื่อนำไปใช้พยากรณ์ค่าไฟฟ้าผันแปรของงานวิจัยนี้นั้นคือ วิธีการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบวิธีการพยากรณ์แบบ Box and Jenkins ซึ่งมีค่า MSE น้อยที่สุด

2.6 ผลการพยากรณ์ค่าไฟฟ้าผันแปรปี 2557 ถึง 2566 แสดงผลจากการใช้ Minitab ในการคำนวณได้ดังตารางที่ 12

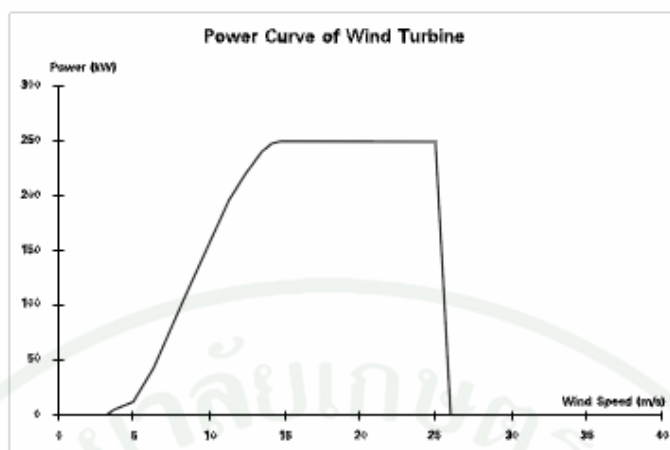
ตารางที่ 12 ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ค่าไฟฟ้าผันแปรใช้ตัวแบบ ARIMA (1,1,1)

| ช่วงเวลา             | ค่าพยากรณ์ | ช่วงความเชื่อมั่น 95<br>เปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดบน | ช่วงความเชื่อมั่น 95<br>เปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดล่าง |
|----------------------|------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. (พ.ค 57- ส.ค 57)  | 0.62790    | 0.26737                                       | 0.98843                                         |
| 2. (ก.ย 57- ธ.ค 57)  | 0.65976    | 0.19878                                       | 1.12074                                         |
| 3. (ม.ค 58- เม.ย 58) | 0.68698    | 0.17133                                       | 1.20263                                         |
| 4. (พ.ค 58- ส.ค 58)  | 0.71065    | 0.16182                                       | 1.25947                                         |
| 5. (ก.ย 58- ธ.ค 58)  | 0.73158    | 0.16133                                       | 1.30182                                         |
| 6. (ม.ค 59- เม.ย 59) | 0.75042    | 0.16566                                       | 1.33517                                         |
| 7. (พ.ค 59- ส.ค 59)  | 0.76765    | 0.17264                                       | 1.36265                                         |
| 8. (ก.ย 59- ธ.ค 59)  | 0.78364    | 0.18111                                       | 1.38618                                         |
| 9. (ม.ค 60- เม.ย 60) | 0.79869    | 0.19039                                       | 1.40699                                         |

ตารางที่ 12 (ต่อ)

| ช่วงเวลา              | ค่าพยากรณ์ | ช่วงความเชื่อมั่น 95<br>เปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดบน | ช่วงความเชื่อมั่น 95<br>เปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดล่าง |
|-----------------------|------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 10. (พ.ค 60- ส.ค 60)  | 0.81302    | 0.20015                                       | 1.42589                                         |
| 11. (ก.ย 60- ธ.ค 60)  | 0.82679    | 0.21016                                       | 1.44341                                         |
| 12. (ม.ค 61- เม.ย 61) | 0.84012    | 0.22031                                       | 1.45994                                         |
| 13. (พ.ค 61- ส.ค 61)  | 0.85314    | 0.23054                                       | 1.47573                                         |
| 14. (ก.ย 61- ธ.ค 61)  | 0.86589    | 0.24080                                       | 1.49098                                         |
| 15. (ม.ค 62- เม.ย 62) | 0.87846    | 0.25109                                       | 1.50582                                         |
| 16. (พ.ค 62- ส.ค 62)  | 0.89088    | 0.26139                                       | 1.52036                                         |
| 17. (ก.ย 62- ธ.ค 62)  | 0.90318    | 0.27169                                       | 1.53467                                         |
| 18. (ม.ค 63- เม.ย 63) | 0.91540    | 0.28200                                       | 1.54880                                         |
| 19. (พ.ค 63- ส.ค 63)  | 0.92755    | 0.29230                                       | 1.56279                                         |
| 20. (ก.ย 63- ธ.ค 63)  | 0.93965    | 0.30261                                       | 1.57668                                         |
| 21. (ม.ค 64- เม.ย 64) | 0.95171    | 0.31292                                       | 1.59049                                         |
| 22. (พ.ค 64- ส.ค 64)  | 0.96373    | 0.32323                                       | 1.60424                                         |
| 23. (ก.ย 64- ธ.ค 64)  | 0.97574    | 0.33354                                       | 1.61794                                         |
| 24. (ม.ค 65- เม.ย 65) | 0.98773    | 0.34385                                       | 1.63160                                         |
| 25. (พ.ค 65- ส.ค 65)  | 0.99970    | 0.35417                                       | 1.64523                                         |
| 26. (ก.ย 65- ธ.ค 65)  | 1.01167    | 0.36449                                       | 1.65884                                         |
| 27. (ม.ค 66- เม.ย 66) | 1.02362    | 0.37481                                       | 1.67243                                         |
| 28. (พ.ค 66- ส.ค 66)  | 1.03557    | 0.38514                                       | 1.68600                                         |
| 29. (ก.ย 66- ธ.ค 66)  | 1.04751    | 0.39547                                       | 1.69956                                         |

2.7 ผลการประเมินรายรับจากค่าพลังงาน ทำการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากกังหันลมที่ติดตั้งนั้นใช้การประเมินพลังงานไฟฟ้าจากกราฟบริษัทผู้ผลิต (Energy Production Curve หรือ Power Curve) ดังรูปที่ 38



ภาพที่ 38 ตัวอย่าง Power Curve

ที่มา: บริษัทกรีนพาวเวอร์ จำกัด (2556)

โดยที่อ่านค่าความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที เทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังหันลม ขนาด 1 กิโลวัตต์ สามารถประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 0.8 กิโลวัตต์หรือ 80 เปอร์เซ็นต์ แล้วคูณ ด้วยจำนวนวันและคูณด้วยจำนวนชั่วโมงจะได้พลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้

2.8 ผลค่าไฟฟ้ารวมต่อหน่วยได้มาจากการพยากรณ์วิธีของ Box-Jenkins โดยใช้แบบจำลอง ARIMA ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้นนั้นคือค่าไฟฟ้าผันแปร (ถ) โดยนำค่าพยากรณ์มารวมกับค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย อ้างอิงค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอัตราตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use: TOU) แสดงผลในตารางที่ 13

ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak) คิดอัตรา 3.5982 บาทต่อหน่วย

ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) คิดอัตรา 2.1572 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 13 ค่าไฟฟ้ารวมต่อหน่วย

| ช่วงเวลา              | ค่าไฟฟ้า               |                        | ค่าไฟฟ้าที่<br>พยากรณ์<br>(บาท/หน่วย) | ค่าไฟฟ้ารวม            |                        |
|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
|                       | (บาท/หน่วย)            |                        |                                       | (บาท/หน่วย)            |                        |
|                       | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าสูง | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าต่ำ |                                       | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าสูง | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าต่ำ |
| 1. (พ.ค 57- ส.ค 57)   | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.6279                                | 4.2261                 | 2.7851                 |
| 2. (ก.ย 57- ธ.ค 57)   | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.6598                                | 4.2580                 | 2.8170                 |
| 3. (ม.ค 58- เม.ย 58)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.6870                                | 4.2852                 | 2.8442                 |
| 4. (พ.ค 58- ส.ค 58)   | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.7106                                | 4.3088                 | 2.8678                 |
| 5. (ก.ย 58- ธ.ค 58)   | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.7316                                | 4.3298                 | 2.8888                 |
| 6. (ม.ค 59- เม.ย 59)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.7504                                | 4.3486                 | 2.9076                 |
| 7. (พ.ค 59- ส.ค 59)   | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.7676                                | 4.3658                 | 2.9248                 |
| 8. (ก.ย 59- ธ.ค 59)   | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.7836                                | 4.3818                 | 2.9408                 |
| 9. (ม.ค 60- เม.ย 60)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.7987                                | 4.3969                 | 2.9559                 |
| 10. (พ.ค 60- ส.ค 60)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.8130                                | 4.4112                 | 2.9702                 |
| 11. (ก.ย 60- ธ.ค 60)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.8268                                | 4.4250                 | 2.9840                 |
| 12. (ม.ค 61- เม.ย 61) | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.8401                                | 4.4383                 | 2.9973                 |
| 13. (พ.ค 61- ส.ค 61)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.8531                                | 4.4513                 | 3.0103                 |
| 14. (ก.ย 61- ธ.ค 61)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.8659                                | 4.4641                 | 3.0231                 |
| 15. (ม.ค 62- เม.ย 62) | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.8785                                | 4.4767                 | 3.0357                 |
| 16. (พ.ค 62- ส.ค 62)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.8909                                | 4.4891                 | 3.0481                 |
| 17. (ก.ย 62- ธ.ค 62)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9032                                | 4.5014                 | 3.0604                 |
| 18. (ม.ค 63- เม.ย 63) | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9154                                | 4.5136                 | 3.0726                 |
| 19. (พ.ค 63- ส.ค 63)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9275                                | 4.5257                 | 3.0847                 |
| 20. (ก.ย 63- ธ.ค 63)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9396                                | 4.5378                 | 3.0968                 |
| 21. (ม.ค 64- เม.ย 64) | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9517                                | 4.5499                 | 3.1089                 |
| 22. (พ.ค 64- ส.ค 64)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9637                                | 4.5619                 | 3.1209                 |
| 23. (ก.ย 64- ธ.ค 64)  | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9757                                | 4.5739                 | 3.1329                 |
| 24. (ม.ค 65- เม.ย 65) | 3.5982                 | 2.1572                 | 0.9877                                | 4.5859                 | 3.1449                 |

ตารางที่ 13 (ต่อ)

| ช่วงเวลา              | ค่าไฟฟ้า<br>(บาท/หน่วย) |                        | ค่าไฟฟ้าที่<br>พยากรณ์<br>(บาท/หน่วย) | ค่าไฟฟ้ารวม<br>(บาท/หน่วย) |                        |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|
|                       | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าสูง  | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าต่ำ |                                       | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าสูง     | ช่วงการใช้<br>ไฟฟ้าต่ำ |
|                       |                         |                        |                                       |                            |                        |
| 25. (พ.ค 65- ส.ค 65)  | 3.5982                  | 2.1572                 | 0.9997                                | 4.5979                     | 3.1569                 |
| 26. (ก.ย 65- ธ.ค 65)  | 3.5982                  | 2.1572                 | 1.0117                                | 4.6099                     | 3.1689                 |
| 27. (ม.ค 66- เม.ย 66) | 3.5982                  | 2.1572                 | 1.0236                                | 4.6218                     | 3.1808                 |
| 28. (พ.ค 66- ส.ค 66)  | 3.5982                  | 2.1572                 | 1.0356                                | 4.6338                     | 3.1928                 |
| 29. (ก.ย 66- ธ.ค 66)  | 3.5982                  | 2.1572                 | 1.0475                                | 4.6457                     | 3.2047                 |

ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่กักหนัลดช่วยลดให้แก่โรงงานตัวอย่างนั้น คำนวณได้โดย ค่าไฟฟ้ารวมต่อหน่วยคูณกับพลังงานไฟฟ้าที่กักหนัลดผลิตได้ แสดงตัวอย่างในตารางที่ 14 และ 15 โดยค่าสัดส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จริงและพลังงานที่ผลิตได้ที่ความเร็วสูงสุด ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที นั้นอยู่ระหว่าง 78.2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 89.3 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 81.88 เปอร์เซ็นต์ ในที่นี้ใช้ตัวเลขคำนวณที่ 78 เปอร์เซ็นต์, 80 เปอร์เซ็นต์ และ 89 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้สรุปพลังงานที่ผลิตได้และค่าไฟฟ้าที่กักหนัลดช่วยลดได้ต่อไปแสดงดังตารางที่ 16, 17 และ 18

ตารางที่ 14 ตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ได้จากกักหนัลดที่ติดตั้งในโรงงาน ปี 2557

| เดือน | วัน | จำนวนวัน<br>(วัน/เดือน) | ช่วงเวลาใช้งาน | จำนวนชั่วโมง | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต<br>(กิโลวัตต์ชั่วโมง) |
|-------|-----|-------------------------|----------------|--------------|-------------------------------------------|
| ม.ค   | จ-ศ | 23                      | peak           | 13           | 239.20                                    |
|       |     |                         | Off Peak       | 11           | 202.40                                    |
|       | ส-อ | 8                       | peak           | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak       | 24           | 153.60                                    |

ตารางที่ 14 (ต่อ)

| เดือน | วัน | จำนวนวัน<br>(วัน/เดือน) | ช่วงเวลาใช้งาน | จำนวนชั่วโมง | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต<br>(กิโลวัตต์ชั่วโมง) |
|-------|-----|-------------------------|----------------|--------------|-------------------------------------------|
| ก.พ   | จ-ศ | 20                      | peak           | 13           | 208.00                                    |
|       |     |                         | Off Peak       | 11           | 176.0                                     |
|       | ส-อ | 8                       | peak           | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak       | 24           | 153.60                                    |
| มี.ค  | จ-ศ | 21                      | peak           | 13           | 218.40                                    |
|       |     |                         | Off Peak       | 11           | 184.80                                    |
|       | ส-อ | 10                      | peak           | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak       | 24           | 192.00                                    |
| เม.ย  | จ-ศ | 22                      | peak           | 13           | 228.80                                    |
|       |     |                         | Off Peak       | 11           | 193.60                                    |
|       | ส-อ | 8                       | peak           | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak       | 24           | 153.60                                    |
| พ.ค   | จ-ศ | 22                      | peak           | 13           | 228.80                                    |
|       |     |                         | Off Peak       | 11           | 193.60                                    |
|       | ส-อ | 9                       | peak           | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak       | 24           | 172.80                                    |
| มิ.ย  | จ-ศ | 21                      | peak           | 13           | 218.40                                    |
|       |     |                         | Off Peak       | 11           | 184.80                                    |
|       | ส-อ | 9                       | peak           | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak       | 24           | 172.80                                    |
| ก.ค   | จ-ศ | 23                      | peak           | 13           | 239.20                                    |
|       |     |                         | Off Peak       | 11           | 202.40                                    |
|       | ส-อ | 8                       | peak           | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak       | 24           | 153.60                                    |

ตารางที่ 14 (ต่อ)

| เดือน | วัน | จำนวนวัน<br>(วัน/เดือน) | ช่วงเวลาดำเนินงาน | จำนวนชั่วโมง | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต<br>(กิโลวัตต์ชั่วโมง) |
|-------|-----|-------------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------------|
| ส.ค   | จ-ศ | 21                      | peak              | 13           | 218.40                                    |
|       |     |                         | Off Peak          | 11           | 184.80                                    |
|       |     |                         | peak              | 0            | 0.00                                      |
| ก.ย   | ส-อ | 10                      | Off Peak          | 24           | 192.00                                    |
|       |     |                         | peak              | 13           | 228.80                                    |
|       |     |                         | Off Peak          | 11           | 193.60                                    |
| ต.ก   | จ-ศ | 22                      | peak              | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak          | 24           | 153.60                                    |
|       |     |                         | peak              | 13           | 239.20                                    |
| พ.ย   | จ-ศ | 23                      | Off Peak          | 11           | 202.40                                    |
|       |     |                         | peak              | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak          | 24           | 153.60                                    |
| ธ.ค   | ส-อ | 8                       | peak              | 13           | 208.00                                    |
|       |     |                         | Off Peak          | 11           | 176.00                                    |
|       |     |                         | peak              | 0            | 0.00                                      |
| ม.ค   | ส-อ | 10                      | Off Peak          | 24           | 192.00                                    |
|       |     |                         | peak              | 13           | 239.20                                    |
|       |     |                         | Off Peak          | 11           | 202.40                                    |
| ก.พ   | จ-ศ | 23                      | peak              | 0            | 0.00                                      |
|       |     |                         | Off Peak          | 24           | 153.60                                    |
|       |     |                         | peak              | 13           | 239.20                                    |
| รวม   |     |                         |                   |              | 7,008.00                                  |

หมายเหตุ Peak = ช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าสูง, Off Peak = ช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าต่ำ

ตารางที่ 15 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนเงินที่ลดค่าไฟฟ้าได้ปี 2557

| เดือน | วัน | จำนวนวัน<br>(วัน/เดือน) | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต<br>(กิโลวัตต์ชั่วโมง) | ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย |                         | จำนวนเงิน<br>(บาท) |
|-------|-----|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|
|       |     |                         |                                           | ช่วงเวลา         | ค่าไฟฟ้า<br>(บาท/หน่วย) |                    |
| ม.ค   | จ-ศ | 23                      | 239.20                                    | Peak             | 4.1882                  | 1,001.82           |
|       |     |                         | 202.40                                    | Off Peak         | 2.7472                  | 556.03             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.1882                  | 0.00               |
| ก.พ   | ส-อ | 8                       | 153.60                                    | Off Peak         | 2.7472                  | 421.97             |
|       |     |                         | 208.00                                    | Peak             | 4.1882                  | 871.15             |
|       |     |                         | 176.0                                     | Off Peak         | 2.7472                  | 483.51             |
| มี.ค  | จ-ศ | 21                      | 0.00                                      | Peak             | 4.1882                  | 0.00               |
|       |     |                         | 153.60                                    | Off Peak         | 2.7472                  | 421.97             |
|       |     |                         | 218.40                                    | Peak             | 4.1882                  | 914.70             |
| เม.ย  | จ-ศ | 22                      | 184.80                                    | Off Peak         | 2.7472                  | 507.68             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.1882                  | 0.00               |
|       |     |                         | 192.00                                    | Off Peak         | 2.7472                  | 527.46             |
| พ.ค   | ส-อ | 9                       | 228.80                                    | Peak             | 4.1882                  | 958.26             |
|       |     |                         | 193.60                                    | Off Peak         | 2.7472                  | 531.86             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.1882                  | 0.00               |
| พ.ค   | จ-ศ | 22                      | 153.60                                    | Off Peak         | 2.7472                  | 421.97             |
|       |     |                         | 228.80                                    | Peak             | 4.2261                  | 966.93             |
|       |     |                         | 193.60                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 539.20             |
| มิ.ย  | จ-ศ | 21                      | 0.00                                      | Peak             | 4.2261                  | 0.00               |
|       |     |                         | 172.80                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 481.27             |
|       |     |                         | 218.40                                    | Peak             | 4.2261                  | 922.98             |
| มิ.ย  | จ-ศ | 21                      | 184.80                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 514.69             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.2261                  | 0.00               |
|       |     |                         | 172.80                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 481.27             |

ตารางที่ 15 (ต่อ)

| เดือน | วัน | จำนวนวัน<br>(วัน/เดือน) | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต<br>(กิโลวัตต์ชั่วโมง) | ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย |                         | จำนวนเงิน<br>(บาท) |
|-------|-----|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|
|       |     |                         |                                           | ช่วงเวลา         | ค่าไฟฟ้า<br>(บาท/หน่วย) |                    |
| ก.ค   | จ-ศ | 23                      | 239.20                                    | Peak             | 4.2261                  | 1,010.88           |
|       |     |                         | 202.40                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 563.70             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.2261                  | 0.00               |
| ส.ค   | ส-อ | 8                       | 153.60                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 427.79             |
|       |     |                         | 218.40                                    | Peak             | 4.2261                  | 922.98             |
|       |     |                         | 184.80                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 514.69             |
| ส.ค   | จ-ศ | 21                      | 0.00                                      | Peak             | 4.2261                  | 0.00               |
|       |     |                         | 192.00                                    | Off Peak         | 2.7851                  | 534.74             |
|       |     |                         | 228.80                                    | Peak             | 4.2580                  | 974.23             |
| ก.ย   | จ-ศ | 22                      | 193.60                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 545.37             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.2580                  | 0.00               |
|       |     |                         | 153.60                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 432.69             |
| ต.ก   | ส-อ | 8                       | 239.20                                    | Peak             | 4.2580                  | 1,018.51           |
|       |     |                         | 202.40                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 570.16             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.2580                  | 0.00               |
| พ.ย   | ส-อ | 8                       | 153.60                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 432.69             |
|       |     |                         | 208.00                                    | Peak             | 4.2580                  | 885.66             |
|       |     |                         | 176.00                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 495.79             |
| ธ.ก   | จ-ศ | 20                      | 0.00                                      | Peak             | 4.2580                  | 0.00               |
|       |     |                         | 192.00                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 540.86             |
|       |     |                         | 239.20                                    | Peak             | 4.2580                  | 1,018.51           |
| ธ.ก   | จ-ศ | 23                      | 202.40                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 570.16             |
|       |     |                         | 0.00                                      | Peak             | 4.2580                  | 0.00               |
|       |     |                         | 153.60                                    | Off Peak         | 2.8170                  | 432.69             |

ตารางที่ 15 (ต่อ)

| เดือน                                  | วัน | จำนวนวัน<br>(วัน/เดือน) | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต<br>(กิโลวัตต์ชั่วโมง) | ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย |                         | จำนวนเงิน<br>(บาท) |
|----------------------------------------|-----|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|
|                                        |     |                         |                                           | ช่วงเวลา         | ค่าไฟฟ้า<br>(บาท/หน่วย) |                    |
| ค่าไฟฟ้ารวม (บาท/ปี)                   |     |                         |                                           |                  |                         | 23,416.83          |
| ค่าบริการ 12 เดือน                     |     |                         |                                           |                  |                         | 3,746.88           |
| Vat 7%                                 |     |                         |                                           |                  |                         | 1,639.18           |
| จำนวนเงินที่กักหน้ลมช่วยเหลือ (บาท/ปี) |     |                         |                                           |                  |                         | 28,802.89          |

หมายเหตุ Peak = ช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าสูง, Off Peak = ช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าต่ำ

ตารางที่ 16 สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าไฟฟ้าที่กักหน้ลมช่วยเหลือได้ต่อปี

| ปี     | พลังงานที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์/ ปี) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) |
|--------|-----------------------------------|---------------------------|
| 2557   | 6,832.80                          | 28,176.49                 |
| 2558   | 6,832.80                          | 28,788.85                 |
| 2559   | 6,851.52                          | 29,266.99                 |
| 2560   | 6,832.80                          | 29,526.63                 |
| 2561   | 6,832.80                          | 29,836.12                 |
| 2562   | 6,832.80                          | 30,112.70                 |
| 2563   | 6,851.52                          | 30,460.25                 |
| 2564   | 6,832.80                          | 30,645.18                 |
| 2565   | 6,832.80                          | 30,892.75                 |
| 2566   | 6,832.80                          | 31,154.97                 |
| เฉลี่ย | 6,836.54                          | 29,886.09                 |
| รวม    | 68,365.44                         | 298,860.93                |

หมายเหตุ ค่าพลังงานไฟฟ้าจากกักหน้ เท่ากับ 0.78 กิโลวัตต์

ตารางที่ 17 สรุปพลังงานที่ผลิตได้และค่าไฟฟ้าที่กังหันลมช่วยลดได้ต่อปี

| ปี            | พลังงานที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์/ ปี) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 2557          | 7,008.00                          | 28,802.89                 |
| 2558          | 7,008.00                          | 29,430.95                 |
| 2559          | 7,027.20                          | 29,921.35                 |
| 2560          | 7,008.00                          | 30,187.65                 |
| 2561          | 7,008.00                          | 30,505.07                 |
| 2562          | 7,008.00                          | 30,788.75                 |
| 2563          | 7,027.20                          | 31,145.21                 |
| 2564          | 7,008.00                          | 31,334.88                 |
| 2565          | 7,008.00                          | 31,588.79                 |
| 2566          | 7,008.00                          | 31,857.74                 |
| <b>เฉลี่ย</b> | <b>7,011.84</b>                   | <b>30,556.33</b>          |
| <b>รวม</b>    | <b>70,118.40</b>                  | <b>305,563.30</b>         |

หมายเหตุ ค่าพลังงานไฟฟ้าจากกังหัน เท่ากับ 0.80 กิโลวัตต์

ตารางที่ 18 สรุปพลังงานที่ผลิตได้และค่าไฟฟ้าที่กังหันลมช่วยลดได้ต่อปี

| ปี            | พลังงานที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์/ ปี) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 2557          | 7,796.40                          | 31,621.69                 |
| 2558          | 7,796.40                          | 32,320.41                 |
| 2559          | 7,817.76                          | 32,865.98                 |
| 2560          | 7,796.40                          | 33,162.24                 |
| 2561          | 7,796.40                          | 33,515.38                 |
| 2562          | 7,796.40                          | 33,830.96                 |
| 2563          | 7,817.76                          | 34,227.52                 |
| 2564          | 7,796.40                          | 34,438.53                 |
| 2565          | 7,796.40                          | 34,721.01                 |
| 2566          | 7,796.40                          | 35,020.21                 |
| <b>เฉลี่ย</b> | <b>7,800.67</b>                   | <b>33,572.39</b>          |
| <b>รวม</b>    | <b>78,006.72</b>                  | <b>335,723.93</b>         |

หมายเหตุ ค่าพลังงานไฟฟ้าจากกังหัน เท่ากับ 0.89 กิโลวัตต์

2.9 ผลการวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการติดตั้งกังหันลมในอุตสาหกรรมซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 1 กิโลวัตต์ ระยะเวลา 10 ปี แสดงในตารางที่ 19 พบว่าช่วยลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าให้กับโรงงานเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานอย่างน้อยที่สุด 68,065.54 บาท มากที่สุด 93,187.68 บาท เฉลี่ย 72,633.22 บาท โดยมีเงินลงทุนรวม 116,200 บาท และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 53,000 บาท เมื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิดังรายละเอียดในตารางที่ 20, 21 และ 22 ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 19 ผลการประเมินโครงการ

| ตัวประเมินโครงการ | พลังงานไฟฟ้า<br>0.78 กิโลวัตต์ | พลังงานไฟฟ้า<br>0.8 กิโลวัตต์ | พลังงานไฟฟ้า<br>0.89 กิโลวัตต์ |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| NPV               | 68,065.54                      | 72,633.22                     | 93,187.6853                    |
| IRR               | 11%                            | 11%                           | 14%                            |
| PB                | 5 ปี 9 เดือน                   | 5 ปี 7 เดือน                  | 4 ปี 9 เดือน                   |

หมายเหตุ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ, IRR = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ,  
PB = ระยะคืนทุน

2.9.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) มากกว่า 0 หมายถึงโครงการคุ้มค่าต่อการลงทุน

2.9.2 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) มากกว่าร้อยละ 7.25 ซึ่งหมายถึงอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสูงกว่าอัตราส่วนลดของโครงการซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.25 โครงการจึงคุ้มค่าต่อการลงทุน

2.9.3 ระยะคืนทุน (PB) คือระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุน นั่นคือ การติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะมีระยะเวลาคืนทุนอย่างน้อยที่สุดนานที่ 5 ปี 9 เดือน และมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุดที่ 4 ปี 9 เดือน เท่านั้นจากอายุการใช้งานของกังหันลมที่ 10 ปี

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีกำลังของกังหัน 0.78 กิโลวัตต์

| ปีที่ดำเนินงาน              | 2556        | 2557      | 2558      | 2559      | 2560      | 2561      | 2562      | 2563      | 2564      | 2565      | 2566      |
|-----------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ลำดับปี                     | 0           | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
| 1. รายรับของโครงการ         |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 1.1 ค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้      | 0.00        | 28,176.49 | 28,788.85 | 29,266.99 | 29,526.63 | 29,836.12 | 30,112.70 | 30,460.25 | 30,645.18 | 30,892.75 | 31,154.97 |
| 1.2 สินซากทรัพย์            |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 26,000.00 |
| รวมรายรับ                   | 0.00        | 28,176.49 | 28,788.85 | 29,266.99 | 29,526.63 | 29,836.12 | 30,112.70 | 30,460.25 | 30,645.18 | 30,892.75 | 57,154.97 |
| 2. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน     |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 2.1 ค่าอุปกรณ์กังหันลม      | 116,200.00  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 3.1 ค่าเปลี่ยนแบตเตอรี่     |             |           |           |           |           |           |           | 24,000.00 |           |           |           |
| 3.2 เชื้อแบตเตอรี่          |             |           |           | 600.00    |           |           | 600.00    |           |           | 600.00    |           |
| 3.3 ซ่อมบำรุงกังหันลม       |             |           |           |           |           | 10,000.00 |           |           |           |           | 10,000.00 |
| 3.4 เชื้อการทำงานกังหัน     |             |           |           | 2,400.00  |           |           | 2,400.00  |           |           | 2,400.00  |           |
| รวมรายจ่าย                  | 116,200.00  | 0.00      | 0.00      | 3,000.00  | 0.00      | 10,000.00 | 3,000.00  | 24,000.00 | 0.00      | 3,000.00  | 10,000.00 |
| กำไรเบื้องต้น               | -116,200.00 | 28,176.49 | 28,788.85 | 26,266.99 | 29,526.63 | 19,836.12 | 27,112.70 | 6,460.25  | 30,645.18 | 27,892.75 | 47,154.97 |
| NPV                         | -116,200.00 | 26,210.69 | 24,911.93 | 21,143.89 | 22,109.56 | 13,817.02 | 17,567.99 | 3,893.95  | 17,182.82 | 14,548.40 | 22,879.31 |

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีกำลังของกังหัน 0.8 กิโลวัตต์

| ปีที่ดำเนินงาน              | 2556        | 2557      | 2558      | 2559      | 2560      | 2561      | 2562      | 2563      | 2564      | 2565      | 2566      |
|-----------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ลำดับปี                     | 0           | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
| 1. รายรับของโครงการ         |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 1.1 ค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้      | 0.00        | 28,802.89 | 29,430.96 | 29,921.35 | 30,187.65 | 30,505.08 | 30,788.75 | 31,145.21 | 31,334.88 | 31,588.79 | 31,857.74 |
| 1.2 สินซากทรัพย์            |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 26,000.00 |
| รวมรายรับ                   | 0.00        | 28,802.89 | 29,430.96 | 29,921.35 | 30,187.65 | 30,505.08 | 30,788.75 | 31,145.21 | 31,334.88 | 31,588.79 | 57,857.74 |
| 2. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน     |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 2.1 ค่าอุปกรณ์กังหันลม      | 116,200.00  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 3.1 ค่าเปลี่ยนแบตเตอรี่     |             |           |           |           |           |           |           | 24,000.00 |           |           |           |
| 3.2 เชื้อแบตเตอรี่          |             |           |           | 600.00    |           |           | 600.00    |           |           | 600.00    |           |
| 3.3 ซ่อมบำรุงกังหันลม       |             |           |           |           |           | 10,000.00 |           |           |           |           | 10,000.00 |
| 3.4 เชื้อการทำงานกังหัน     |             |           |           | 2,400.00  |           |           | 2,400.00  |           |           | 2,400.00  |           |
| รวมรายจ่าย                  | 116,200.00  | 0.00      | 0.00      | 3,000.00  | 0.00      | 10,000.00 | 3,000.00  | 24,000.00 | 0.00      | 3,000.00  | 10,000.00 |
| กำไรเบื้องต้น               | -116,200.00 | 28,802.89 | 29,430.96 | 26,921.35 | 30,187.65 | 20,505.08 | 27,788.75 | 7,145.21  | 31,334.88 | 28,588.79 | 47,857.74 |
| NPV                         | -116,200.00 | 26,793.39 | 25,467.57 | 21,670.63 | 22,604.53 | 14,282.99 | 18,006.04 | 4,306.81  | 17,569.54 | 14,911.44 | 23,220.29 |

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีกำลังของกังหัน 0.89 กิโลวัตต์

| ปีที่ดำเนินงาน             | 2556        | 2557      | 2558      | 2559      | 2560      | 2561      | 2562      | 2563      | 2564      | 2565      | 2566      |
|----------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ลำดับปี                    | 0           | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
| 1. รายรับของโครงการ        |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 1.1 ค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้     | 0.00        | 31,621.69 | 32,320.41 | 32,865.98 | 33,162.24 | 33,515.38 | 33,830.96 | 34,227.52 | 34,438.53 | 34,721.01 | 35,020.21 |
| 1.2 สินซากทรัพย์           |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 26,000.00 |
| รวมรายรับ                  | 0.00        | 31,621.69 | 32,320.41 | 32,865.98 | 33,162.24 | 33,515.38 | 33,830.96 | 34,227.52 | 34,438.53 | 34,721.01 | 61,020.21 |
| 2. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน    |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 2.1 ค่าอุปกรณ์กังหันลม     | 116,200.00  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 2.2 ค่าแบตเตอรี่           |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 3. ค่าใช้จ่ายในกาดำเนินงาน |             |           |           |           |           |           |           | 24,000.00 |           |           |           |
| 3.1 เชื้อแบตเตอรี่         |             |           |           | 600.00    |           |           | 600.00    |           |           | 600.00    |           |
| 3.2 ซ่อมบำรุงกังหันลม      |             |           |           |           |           | 10,000.00 |           |           |           |           | 10,000.00 |
| 3.3 เชื้อการทำงานกังหัน    |             |           |           | 2,400.00  |           |           | 2,400.00  |           |           | 2,400.00  |           |
| รวมรายจ่าย                 | 116,200.00  | 0.00      | 0.00      | 3,000.00  | 0.00      | 10,000.00 | 3,000.00  | 24,000.00 | 0.00      | 3,000.00  | 10,000.00 |
| กำไรเบื้องต้น              | -116,200.00 | 31,621.69 | 32,320.41 | 29,865.98 | 33,162.24 | 23,515.38 | 30,830.96 | 10,227.52 | 34,438.53 | 31,721.01 | 51,020.21 |
| NPV                        | -116,200.00 | 29,415.53 | 27,967.90 | 24,040.94 | 24,831.90 | 16,379.84 | 19,977.28 | 6,164.69  | 19,309.76 | 16,545.15 | 24,754.70 |

### 3. ด้านสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์โดยประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า นั่นคือไฟฟ้าจากกังหันลมที่ติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณเท่าไรและส่งผลกระทบต่อทางด้านต่างๆอย่างไร

จากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดยคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์คำดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า กำหนดค่าแฟกเตอร์เริ่มต้นกำหนดใช้ มีค่าเท่ากับ 0.5610 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

สำหรับราคตลาดคาร์บอน จากรายงานตลาดคาร์บอนรายสัปดาห์ของสำนักพัฒนาธุรกิจองค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ราคาปิด ณ วันที่ 16 ม.ค 2557 มีการซื้อขายอยู่ที่ 5.06 ยูโรต่อตัน โดยอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ จากธนาคารแห่งประเทศไทย วันที่ 21 พ.ค 2557 อัตราแลกเปลี่ยนตัวเฉลี่ยที่ธนาคารพาณิชย์ใช้ซื้อขายกับลูกค้า อัตราซื้อตัวเฉลี่ย 44.1419 บาท/ ยูโร

ดังนั้นการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ  $0.5610 \times 7,011.84 = 3,933.64$  กิโลกรัมคาร์บอน/ปี มูลค่าของคาร์บอนที่ช่วยลดได้เท่ากับ  $223.36 \times 3.93 = 877.80$  บาท/ปี

เปรียบเทียบตัวอย่างรถยนต์ 1 คัน วิ่งในระยะทาง 1 กิโลเมตรจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณ 0.193 kg CO<sub>2</sub>e เท่ากับการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมนี้เทียบได้กับรถวิ่งในระยะทางเฉลี่ย 20,381.55 กิโลเมตร/ปี หรือ เฉลี่ยระยะทาง 55.84 กิโลเมตร/วัน

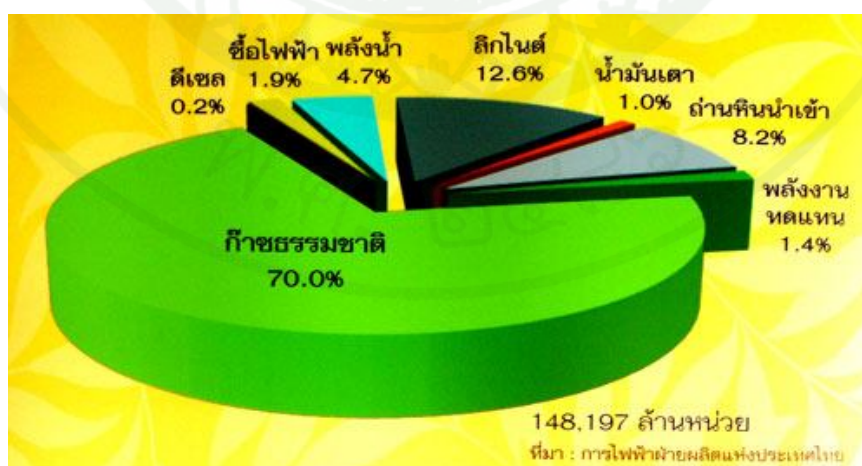
ทั้งนี้โดยปรกติรถยนต์ส่วนใหญ่จะมีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันที่ 15-20 กิโลเมตร/ลิตร นั่นคือการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมจะช่วยลดการใช้ น้ำมันได้ 1,019.08 -1,358.77 ลิตร/ปี คิดเป็นมูลค่าตามราคาน้ำมันดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 มูลค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบกับค่าน้ำมัน

| น้ำมัน      | ราคา<br>(บาท/ลิตร) | มูลค่าที่กักหน้ลในอุตสาหกรรมลได้เทียบกับค่าน้ำมัน (บาท/ปี) |                      |
|-------------|--------------------|------------------------------------------------------------|----------------------|
|             |                    | อัตราล้นเปลืองน้ำมัน                                       | อัตราล้นเปลืองน้ำมัน |
|             |                    | 15 กิโลเมตร/ ลิตร                                          | 20 กิโลเมตร/ ลิตร    |
| Gasoline 95 | 49.15              | 66,783.55                                                  | 50,087.78            |
| Gasohol 91  | 38.68              | 52,557.22                                                  | 39,418.01            |
| Gasohol 95  | 41.13              | 55,886.21                                                  | 41,914.76            |
| Gasohol E20 | 36.18              | 49,160.30                                                  | 36,870.31            |
| Gasohol E85 | 24.78              | 33,670.32                                                  | 25,252.80            |
| Diesel      | 29.99              | 40,749.51                                                  | 30,562.21            |

หมายเหตุ ราคาน้ำมัน <http://www.pttplc.com/th/pages/oilprice.aspx> ณ วันที่ 21 พ.ค 2557

ในการผลิตไฟฟ้านั้นประเทศไทยใช้วัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าดังรูป 39 จะเห็นได้ว่านอกจากในเรื่องการช่วยลดค่าไฟฟ้าให้กับโรงงานแล้วการติดตั้งกักหน้ลผลิตไฟฟ้ายังช่วยการลดก๊าซมีเทน ดีเซล พลังน้ำ น้ำมันเตา ถ่านหินลิกไนต์ รวมไปถึงการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศอีกด้วย สำหรับค่าดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณการใช้แสดงเพิ่มเติมในตารางที่ 24



ภาพที่ 39 วัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้า

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2554)

ตารางที่ 24 ค่าดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

| วัตถุดิบ  | หน่วย | ค่าแฟกเตอร์<br>(kg CO <sub>2</sub> e) | แหล่งข้อมูลอ้างอิง                                                |
|-----------|-------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| มีเทน     | Kg    | 0.2377                                | Methane ของ JEMAI Pro ด้วยการคำนวณไฟฟ้าของประเทศไทย               |
| ดีเซล     | Kg    | 0.3215                                | Thai LCI data                                                     |
| พลังงาน   | Kg    | 0.1359                                | Converted data From JEMEI Pro using Thai Electricity Grid         |
| ลิกไนต์   | Kg    | 0.0243                                | JEMEI, coal (electricity, IDN) (change electricity to TH in JEMAI |
| น้ำมันเตา | Kg    | 0.3041                                | Thai LCI data                                                     |

ที่มา: คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2554)

จากตารางที่ 24 จะเห็นได้ว่า ในการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ ก๊าซมีเทน ปริมาณ  $0.5610 / 0.2377 = 2.3601$  กิโลกรัม นั่นคือ ในการติดตั้งกังหันลมจะช่วย ลดก๊าซมีเทน เฉลี่ยเท่ากับ  $2.3601 \times 7,011.84 = 16,548.64$  กิโลกรัม/ ปี และวัตถุดิบอื่นๆ ดังแสดง ในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ปริมาณวัตถุดิบเฉลี่ย ที่กังหันลมในอุตสาหกรรมช่วยลดต่อสิ่งแวดล้อม

| วัตถุดิบ  | ค่าแฟกเตอร์ | ปริมาณวัตถุดิบ<br>(กิโลกรัมต่อไฟฟ้า 1 หน่วย) | ปริมาณวัตถุดิบเฉลี่ย ที่กังหันลมใน<br>อุตสาหกรรมช่วยลดต่อสิ่งแวดล้อม<br>(กิโลกรัมต่อปี) |
|-----------|-------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| มีเทน     | 0.2377      | 2.3601                                       | 16,548.64                                                                               |
| ดีเซล     | 0.3215      | 1.7449                                       | 12,234.96                                                                               |
| พลังงาน   | 0.1359      | 4.1280                                       | 28,944.88                                                                               |
| ลิกไนต์   | 0.0243      | 23.0864                                      | 161,878.10                                                                              |
| น้ำมันเตา | 0.3041      | 1.8448                                       | 12,935.44                                                                               |

ทั้งนี้ในการลดก๊าซมีเทน นอกจากจะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยังช่วยลด ผลกระทบทางอ้อมในเรื่องอุบัติเหตุ เนื่องจากมีเทนสามารถแทนที่ก๊าซออกซิเจน และทำให้เกิดการระเบิดที่ความเข้มข้น 50,000 ส่วนในล้านส่วน หรือ มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ในบรรยากาศ ก็เพียงพอ

ที่จะจุดระเบิดได้ รวมไปถึงทางด้านสุขภาพร่างกายซึ่งเมื่อหายใจเข้าไปจะมีผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน หากหายใจเอาก๊าซออกซิเจนที่ต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ในบรรยากาศ อาจจะรู้สึกอ่อนเพลีย วิงเวียนและปวดศีรษะ ซึมเศร้า สับสน ชัก หมดสติ อาจมีอาการหัวใจเต้นเร็ว ความดันโลหิตสูง เป็นต้น

การลดการใช้ถ่านหินลิกไนต์ จะช่วยในลดปัญหาระบบนิเวศ คือเมื่อขุดขุดหน้าดินทิ้งไป ทำให้สิ่งมีชีวิตเสียสมดุลปลูกพืชไม่ได้ มีการทำลายป่าไม้ เสียคุณธรรมชาติ ลดภาวการณ์เป็นกรด ต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเผาไหม้ถ่านหินจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารไฮโดรคาร์บอน นอกจากนั้น ยังมีออกไซด์ของไนโตรเจน และกำมะถัน เป็นต้น

ผลกระทบจากการลดการเพิ่มขึ้นปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่ไปมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น หรือที่เรียกกันว่า โลกร้อน (Global Warming) ซึ่งส่งผลกระทบในด้านต่างๆ มากมาย ดังนั้นถ้าเราสามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยลดผลกระทบดังนี้

ด้านสิ่งแวดล้อม ลดการเกิดภาวะความแห้งแล้ง เมื่อโลกร้อน เกิดความแห้งแล้ง มนุษย์ทำลายป่าเพื่อหาที่ทำกินเพิ่มขึ้นทดแทนที่ทำกินที่เสียหายไป ต้นไม้ลดลง เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เป็นวงจรที่ไม่สิ้นสุด

ลดการเกิดน้ำแข็งขั้วโลกละลายเนื่องจาก เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้ระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมสมดุล

ลดการเกิดสมดุลแร่ธาตุในน้ำทะเลเปลี่ยนซึ่งส่งผลให้สิ่งมีชีวิตที่มีเปลือก สร้างเปลือกยากขึ้น ลดปัญหาน้ำท่วม พายุถล่มหรือ แห้งแล้งหรือภัยธรรมชาติ เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ด้านสุขภาพช่วยลดการเกิดโรคระบาดจากปัญหาระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงเพราะเมื่อโลกร้อนขึ้นการเติบโตของเชื้อไวรัสจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี เกิดโรคระบาดได้ง่าย น้ำท่วม หรือ แห้งแล้งก็มักจะตามมาด้วยโรคระบาดเช่นกัน

ด้านเศรษฐกิจ จากพิธีสารโตเกียว (Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change) ช่วยให้ประเทศที่พัฒนาแล้วบรรลุเป้าหมายของพันธสัญญาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วยให้ประเทศที่กำลังพัฒนายบรรลุการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยประเทศที่พัฒนาแล้วจะมาลงทุนโครงการเพื่อให้เกิดการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศที่กำลังพัฒนา แล้วจะนำก๊าซที่ลดได้จากการดำเนินการมาคำนวณเสมือนว่าได้ลดในประเทศของตัวเอง ทำให้ประเทศที่กำลังพัฒนาได้รับความช่วยเหลือในด้านการลงทุน และได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีในการลดก๊าซเรือนกระจก



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การศึกษาการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรมมีวัตถุประสงค์ประการแรกเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งและประสิทธิภาพในการการผลิตไฟฟ้าที่ได้รับ ประการที่สอง ศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินในการลงทุนติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าและประการที่สาม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อมในส่วนของการไฟฟ้าที่กังหันลมช่วยลดได้ 1 หน่วยต่อการลดการเกิดคาร์บอน

ในการศึกษาการติดตั้งกังหันลมในโรงงานอุตสาหกรรม ภายใต้พื้นที่ปล่องระบายอากาศของโรงงานที่มีขนาด 2x2 เมตร จากการวัดความเร็วลมเริ่มต้นเพื่อใช้ในการศึกษา มีความเร็วลม 10 เมตร/วินาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูง ดังนั้นในการเลือกกังหันลมจึงคำนึงถึงสภาพพื้นที่เป็นส่วนใหญ่ โดยเลือกกังหันลมโดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับปล่องระบายอากาศ เลือกใช้ใบพัดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากบริษัทผู้ผลิตจากประเทศจีน จากความเหมาะสมด้านประสิทธิภาพและด้านการเงิน ทดลองติดตั้งเพื่อหาตำแหน่งที่กังหันลมมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยติดตั้งตำแหน่งกึ่งกลางปล่องระบายอากาศ ทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงมีค่าเฉลี่ยที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังการผลิตสูงสุด โดยระยะเวลา 10 ปี สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดเฉลี่ย 70,118.40 กิโลวัตต์ชั่วโมง เฉลี่ย 7,011.84 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี

การพยากรณ์ค่าไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินโดยวิธี Box-Jenkins ได้ตัวแบบ ARIMA (1, 1, 1) โดยมีค่า MSE เท่ากับ 0.03046 ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปพยากรณ์ค่าไฟฟ้าแปรผันและนำไปคำนวณต่อการลดค่าใช้จ่ายของโรงงาน

เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนแล้วพบว่า โครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนเนื่องจากค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก, อัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราส่วนของโครงการที่ร้อยละ 7.25 และมีการคืนทุนที่เวลา คืนทุนสั้นที่สุดที่ 4 ปี 9 เดือน และนานที่สุดที่ 5 ปี 9 เดือน โครงการมีความน่าสนใจและคุ้มค่าในการลงทุน

สำหรับการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในส่วนของการไฟฟ้าที่กังหันลมช่วยลดได้ 1 หน่วยต่อการลดการเกิด คาร์บอนนั้น กังหันลมที่ติดตั้งสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 3,933.64 กิโลกรัมคาร์บอน/ปี ทั้งนี้การช่วยในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยังช่วยลดผลกระทบซึ่งเป็นวัฏจักรที่ส่งผลต่อเนื่องกันไม่มีวันจบ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพ รวมไปถึงเศรษฐกิจ สังคม

### ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากตำแหน่งมีผลต่อการหมุนของใบพัดกังหัน ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรสนับสนุนให้มีการจำลองตำแหน่งที่ตั้งที่แน่นอนเพื่อศึกษาดำเนินการติดตั้งกังหันลมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการผลิตไฟฟ้าและช่วยลดค่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อปรับตำแหน่งอีกด้วย
2. ระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ ใช้แบตเตอรี่ในการเก็บไฟฟ้าและจ่ายไฟฟ้า ในการศึกษาครั้งต่อไป สามารถเพิ่มการเปรียบเทียบระบบที่ใช้กรดในการรับและจ่ายไฟฟ้า เพื่อประเมินความคุ้มค่าต่อไป
3. การพยากรณ์ค่าไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ในการศึกษาครั้งต่อไปแนะนำให้เพิ่มการพยากรณ์วิธีอื่นเพิ่มนอกจากนี้เพื่อเปรียบเทียบ และได้ค่าพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด
4. โครงการนี้วิเคราะห์ความคุ้มค่าจากการใช้กังหันลมขนาด 1 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ตัว ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปแนะนำให้เพิ่มจำนวนกังหันลมและทำการวิเคราะห์โครงการ เนื่องจากราคาดัชนีอุปกรณ์จะมีค่าลดลงเนื่องจากการสั่งซื้อหลายตัว ทำให้ในส่วนของต้นทุนค่าอุปกรณ์ลดลงจากการคำนวณ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลวรรณ ดีสวัสดิ์มงคล. 2553. การศึกษาความเป็นไปได้โครงการใช้ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานเอทานอลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของไทย. แหล่งที่มา: [www2.dede.go.th/km\\_it/windmap40m/windmap40m.html](http://www2.dede.go.th/km_it/windmap40m/windmap40m.html), 1 ธันวาคม 2556.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ม.ป.ป. เอกสารเผยแพร่เรื่องกังหันลม. ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทน, กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2556. ไฟฟ้าจากพลังงานลม. แหล่งที่มา: [http://www2.egat.co.th/re/egat\\_wind/wind\\_energy.htm](http://www2.egat.co.th/re/egat_wind/wind_energy.htm), 25 ธันวาคม 2556.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2555. ประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเรื่องอัตราค่าไฟฟ้า. แหล่งที่มา: [http://www3.egat.co.th/ft/20120530\\_PEA\\_rate.pdf](http://www3.egat.co.th/ft/20120530_PEA_rate.pdf), 20 ธันวาคม 2556.

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2554. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

จักรพงษ์ แต่วิจิตร. 2547. การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างด้วยการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาและประยุกต์ใช้วิธีเจเนติอัลกอริทึมเพื่อหาโค้งปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเหมาะสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ. 2544. เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ. เท็กซ์เอนท์เจอนัลพับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ทรงศิริ แต่สมบัติ. 2549. การพยากรณ์เชิงปริมาณ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นฤมล ชึ่งเถียรตระกูล และ สมชาติ จิรวิภากร. 2545. การพยากรณ์โดยเทคนิคการเคลื่อนน้ำหนักของข้อมูลแต่ละค่าเท่าๆกันและเทคนิคการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล. **วิศวกรรมลาดกระบัง** 19(1): 101-106

บริษัทกรีนพาวเวอร์ จำกัด. 2556. **ข้อมูลสินค้า**. แหล่งที่มา: <http://www.greenpower.9nha.com.>, 25 ธันวาคม 2556.

ประสิทธิ์ ดงยิ่งศิริ. 2542. การวางแผนและการวิเคราะห์โครงการ. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

มยุรี หมั่นป่า. 2555. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้ากังหันลมในอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุทธนา สุรินทร์. 2551. การนำเทคนิคการพยากรณ์ไปใช้ในการวางแผนการผลิต กรณีศึกษา : บริษัท สยาม ยีเอส แบตเตอรี่ จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ระบบสารสนเทศกังหันลมผลิตไฟฟ้า มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2555. ระบบการติดตั้งกังหันลม. แหล่งที่มา: [http://electronic.3owl.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20:2013-10-05-13-06-58&catid=1:2013-09-29-15-35-04&Itemid=2.](http://electronic.3owl.com/index.php?option=com_content&view=article&id=20:2013-10-05-13-06-58&catid=1:2013-09-29-15-35-04&Itemid=2.), 21 พฤษภาคม 2556.

สงกรานต์ เทียงธรรม. 2550. การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงแกลบในจังหวัดสุพรรณบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์. 2551. การประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลของจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยทักษิณ.

Bernard, W. T. 2006. **Introduction Management Science**. 9 ed. New Jersey: Prentice Hall

Brigham, E. F. and M. C. Ehrhardt. 2005. **Financial Management Theory and Practice**. 11 ed. Singapore: South-Western Cengage Learning.

Kablan, M.M. 2003. Energy conservation projects implementation at Jordan's industrial sector: a total quality management approach. **Energy** 28 2003.: 1533-1543.103.

Kafle, N and J. Mathur. 2009. Feasibility study of capturing carbon credit benefits in an academic institution: A case study. **Energy and Buildings** 41: 133-137.

Makridakis, S., C.W. Steven and E.M Victor. 1983. **Forecasting: Methods and Application**. 2 ed. John Willey&Sons, New York

Jonasson, S. 2008. **Feasibility Study of Developing Wind Power Project in Iceland: An Economic Analysis**. Master of Science Degree Thesis, Chalmers University of Technology.

Stevenson, W.J. 2006. **Operations Management**. 10 ed. McGraw-Hill, New York

World Wind Energy Associated. 2013. **World Wind Energy Report 2013**. Available Source: [www.windenergy.org.vn/uploads/246/worldwindenergyreport2013\\_s-pdf](http://www.windenergy.org.vn/uploads/246/worldwindenergyreport2013_s-pdf), November 6, 2013.





ตารางผนวกที่ ก1 ค่าไฟฟ้าผันแปรจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

| เดือนเรียกเก็บ | ค่า ไฟฟ้าผันแปร (บาท/หน่วย) |
|----------------|-----------------------------|
| ก.พ.44-พ.ค.44  | 0.2444                      |
| มิ.ย.44-ก.ย.44 | 0.2713                      |
| ต.ค.44-ม.ค.45  | 0.2277                      |
| ก.พ.45-พ.ค.45  | 0.2195                      |
| มิ.ย.45-ก.ย.45 | 0.2195                      |
| ต.ค.45-ม.ค.46  | 0.2195                      |
| ก.พ.46-พ.ค.46  | 0.2612                      |
| มิ.ย.46-ก.ย.46 | 0.2612                      |
| ต.ค.46-ม.ค.47  | 0.2612                      |
| ก.พ.47-พ.ค.47  | 0.3828                      |
| มิ.ย.47-ก.ย.47 | 0.3828                      |
| ต.ค.47-ม.ค.48  | 0.4328                      |
| ก.พ.48-พ.ค.48  | 0.4328                      |
| มิ.ย.48-ก.ย.48 | 0.4683                      |
| ต.ค.48-ม.ค.49  | 0.5683                      |
| ก.พ.49-พ.ค.49  | 0.7584                      |
| มิ.ย.49-ก.ย.49 | 0.8544                      |
| ต.ค.49-ม.ค.50  | 0.7842                      |
| ก.พ.50-พ.ค.50  | 0.7342                      |
| มิ.ย.50-ก.ย.50 | 0.6842                      |
| ต.ค.50-ม.ค.51  | 0.6611                      |
| ก.พ.51-พ.ค.51  | 0.6886                      |
| มิ.ย.51-ก.ย.51 | 0.6285                      |
| ต.ค.51-ธ.ค.51  | 0.777                       |

## ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| เดือนเรียกเก็บ | ค่าไฟฟ้าผันแปร (บาท/หน่วย) |
|----------------|----------------------------|
| ม.ค.52-เม.ย.52 | 0.9255                     |
| พ.ค.52-ธ.ค.52  | 0.9255                     |
| ก.ย.52-ธ.ค.52  | 0.9255                     |
| ม.ค.53-เม.ย.53 | 0.9255                     |
| พ.ค.53-ธ.ค.53  | 0.9255                     |
| ก.ย.53-ธ.ค.53  | 0.9255                     |
| ม.ค.54-เม.ย.54 | 0.8688                     |
| พ.ค.54-ธ.ค.54  | 0.9581                     |
| ก.ย.54-ธ.ค.54  | -0.06                      |
| ม.ค.55-เม.ย.55 | 0                          |
| พ.ค.55-ธ.ค.55  | 0.3                        |
| ก.ย.55-ธ.ค.55  | 0.48                       |
| ม.ค.56-เม.ย.56 | 0.5204                     |
| พ.ค.56-ธ.ค.56  | 0.4692                     |
| ก.ย.56-ธ.ค.56  | 0.54                       |
| ม.ค. 57        | 0.59                       |



ภาคผนวก ข  
ผลการทดสอบ Unit root

|                                             |             |                       |             |           |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: VALUE has a unit root      |             |                       |             |           |
| Exogenous: Constant, Linear Trend           |             |                       |             |           |
| Lag Length: 1 (Fixed)                       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       | t-Statistic | Prob.*    |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic      |             |                       | -2.303803   | 0.4221    |
| Test critical values:                       | 1% level    |                       | -4.211868   |           |
|                                             | 5% level    |                       | -3.529758   |           |
|                                             | 10% level   |                       | -3.196411   |           |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values.       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation       |             |                       |             |           |
| Dependent Variable: D(VALUE)                |             |                       |             |           |
| Method: Least Squares                       |             |                       |             |           |
| Date: 02/17/14 Time: 03:32                  |             |                       |             |           |
| Sample (adjusted): 3 41                     |             |                       |             |           |
| Included observations: 39 after adjustments |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Variable                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.     |
|                                             |             |                       |             |           |
| VALUE(-1)                                   | -0.271490   | 0.117844              | -2.303803   | 0.0273    |
| D(VALUE(-1))                                | 0.102145    | 0.165191              | 0.618348    | 0.5403    |
| C                                           | 0.114424    | 0.071555              | 1.599108    | 0.1188    |
| @TREND(1)                                   | 0.001885    | 0.002887              | 0.652839    | 0.5181    |
|                                             |             |                       |             |           |
| R-squared                                   | 0.135619    | Mean dependent var    |             | 0.008862  |
| Adjusted R-squared                          | 0.061530    | S.D. dependent var    |             | 0.186356  |
| S.E. of regression                          | 0.180532    | Akaike info criterion |             | -0.488904 |
| Sum squared resid                           | 1.140711    | Schwarz criterion     |             | -0.318282 |
| Log likelihood                              | 13.53363    | F-statistic           |             | 1.830474  |
| Durbin-Watson stat                          | 1.973639    | Prob(F-statistic)     |             | 0.159620  |
|                                             |             |                       |             |           |

ภาพผนวกที่ ข1 ผลการทดสอบ Unit root ที่ ระดับ level with intercept and Trend line

|                                             |             |                       |             |           |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: VALUE has a unit root      |             |                       |             |           |
| Exogenous: None                             |             |                       |             |           |
| Lag Length: 1 (Fixed)                       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       | t-Statistic | Prob.*    |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic      |             |                       | -0.717303   | 0.3995    |
| Test critical values:                       | 1% level    |                       | -2.625606   |           |
|                                             | 5% level    |                       | -1.949609   |           |
|                                             | 10% level   |                       | -1.611593   |           |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values.       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation       |             |                       |             |           |
| Dependent Variable: D(VALUE)                |             |                       |             |           |
| Method: Least Squares                       |             |                       |             |           |
| Date: 02/17/14 Time: 03:34                  |             |                       |             |           |
| Sample (adjusted): 3 41                     |             |                       |             |           |
| Included observations: 39 after adjustments |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Variable                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.     |
|                                             |             |                       |             |           |
| VALUE(-1)                                   | -0.036001   | 0.050189              | -0.717303   | 0.4777    |
| D(VALUE(-1))                                | 0.005780    | 0.162690              | 0.035526    | 0.9719    |
|                                             |             |                       |             |           |
| R-squared                                   | 0.011691    | Mean dependent var    |             | 0.008862  |
| Adjusted R-squared                          | -0.015020   | S.D. dependent var    |             | 0.186356  |
| S.E. of regression                          | 0.187750    | Akaike info criterion |             | -0.457486 |
| Sum squared resid                           | 1.304258    | Schwarz criterion     |             | -0.372176 |
| Log likelihood                              | 10.92098    | Durbin-Watson stat    |             | 2.006474  |
|                                             |             |                       |             |           |

ภาพผนวกที่ ข2 ผลการทดสอบ Unit root ที่ ระดับ level with none

|                                             |             |                       |             |           |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: D(VALUE) has a unit root   |             |                       |             |           |
| Exogenous: None                             |             |                       |             |           |
| Lag Length: 1 (Fixed)                       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       | t-Statistic | Prob.*    |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic      |             |                       | -5.148927   | 0.0000    |
| Test critical values:                       | 1% level    |                       | -2.627238   |           |
|                                             | 5% level    |                       | -1.949856   |           |
|                                             | 10% level   |                       | -1.611469   |           |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values.       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation       |             |                       |             |           |
| Dependent Variable: D(VALUE,2)              |             |                       |             |           |
| Method: Least Squares                       |             |                       |             |           |
| Date: 02/17/14 Time: 03:35                  |             |                       |             |           |
| Sample (adjusted): 4 41                     |             |                       |             |           |
| Included observations: 38 after adjustments |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Variable                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.     |
|                                             |             |                       |             |           |
| D(VALUE(-1))                                | -1.195195   | 0.232125              | -5.148927   | 0.0000    |
| D(VALUE(-1),2)                              | 0.170160    | 0.160938              | 1.057301    | 0.2974    |
|                                             |             |                       |             |           |
| R-squared                                   | 0.525267    | Mean dependent var    |             | 0.000608  |
| Adjusted R-squared                          | 0.512080    | S.D. dependent var    |             | 0.270117  |
| S.E. of regression                          | 0.188680    | Akaike info criterion |             | -0.446333 |
| Sum squared resid                           | 1.281605    | Schwarz criterion     |             | -0.360144 |
| Log likelihood                              | 10.48032    | Durbin-Watson stat    |             | 2.044649  |
|                                             |             |                       |             |           |

ภาพผนวกที่ ข3 ผลการทดสอบ Unit root โดย Differencing 1 ครั้ง with none

|                                             |             |                       |             |           |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: D(VALUE) has a unit root   |             |                       |             |           |
| Exogenous: Constant                         |             |                       |             |           |
| Lag Length: 1 (Fixed)                       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       | t-Statistic | Prob.*    |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic      |             |                       | -5.097145   | 0.0002    |
| Test critical values:                       | 1% level    |                       | -3.615588   |           |
|                                             | 5% level    |                       | -2.941145   |           |
|                                             | 10% level   |                       | -2.609066   |           |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values.       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation       |             |                       |             |           |
| Dependent Variable: D(VALUE,2)              |             |                       |             |           |
| Method: Least Squares                       |             |                       |             |           |
| Date: 02/17/14 Time: 03:36                  |             |                       |             |           |
| Sample (adjusted): 4 41                     |             |                       |             |           |
| Included observations: 38 after adjustments |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Variable                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.     |
|                                             |             |                       |             |           |
| D(VALUE(-1))                                | -1.201387   | 0.235698              | -5.097145   | 0.0000    |
| D(VALUE(-1),2)                              | 0.173874    | 0.163296              | 1.064774    | 0.2943    |
| C                                           | 0.010748    | 0.031084              | 0.345770    | 0.7316    |
|                                             |             |                       |             |           |
| R-squared                                   | 0.526883    | Mean dependent var    |             | 0.000608  |
| Adjusted R-squared                          | 0.499848    | S.D. dependent var    |             | 0.270117  |
| S.E. of regression                          | 0.191030    | Akaike info criterion |             | -0.397111 |
| Sum squared resid                           | 1.277242    | Schwarz criterion     |             | -0.267828 |
| Log likelihood                              | 10.54511    | F-statistic           |             | 19.48877  |
| Durbin-Watson stat                          | 2.047724    | Prob(F-statistic)     |             | 0.000002  |
|                                             |             |                       |             |           |

ภาพผนวกที่ ข4 ผลการทดสอบ Unit root โดย Differencing 1 ครั้ง with intercept

|                                             |             |                       |             |           |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: D(VALUE) has a unit root   |             |                       |             |           |
| Exogenous: Constant, Linear Trend           |             |                       |             |           |
| Lag Length: 1 (Fixed)                       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       | t-Statistic | Prob.*    |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic      |             |                       | -5.064024   | 0.0011    |
| Test critical values:                       | 1% level    |                       | -4.219126   |           |
|                                             | 5% level    |                       | -3.533083   |           |
|                                             | 10% level   |                       | -3.198312   |           |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values.       |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation       |             |                       |             |           |
| Dependent Variable: D(VALUE,2)              |             |                       |             |           |
| Method: Least Squares                       |             |                       |             |           |
| Date: 02/17/14 Time: 03:37                  |             |                       |             |           |
| Sample (adjusted): 4 41                     |             |                       |             |           |
| Included observations: 38 after adjustments |             |                       |             |           |
|                                             |             |                       |             |           |
| Variable                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.     |
|                                             |             |                       |             |           |
| D(VALUE(-1))                                | -1.221009   | 0.241114              | -5.064024   | 0.0000    |
| D(VALUE(-1),2)                              | 0.186595    | 0.166798              | 1.118690    | 0.2711    |
| C                                           | 0.043528    | 0.070070              | 0.621212    | 0.5386    |
| @TREND(1)                                   | -0.001515   | 0.002895              | -0.523358   | 0.6041    |
|                                             |             |                       |             |           |
| R-squared                                   | 0.530664    | Mean dependent var    |             | 0.000608  |
| Adjusted R-squared                          | 0.489252    | S.D. dependent var    |             | 0.270117  |
| S.E. of regression                          | 0.193043    | Akaike info criterion |             | -0.352503 |
| Sum squared resid                           | 1.267035    | Schwarz criterion     |             | -0.180126 |
| Log likelihood                              | 10.69756    | F-statistic           |             | 12.81428  |
| Durbin-Watson stat                          | 2.054479    | Prob(F-statistic)     |             | 0.000009  |
|                                             |             |                       |             |           |

ภาพผนวกที่ ข5 ผลการทดสอบ Unit root โดย Differencing 1 ครั้ง with intercept and Trend line



ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบจากการทดลองค่ากระแสและความต่างศักย์จาก load ที่สร้างขึ้น

ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลดิบจากการทดลองค่ากระแสและความต่างศักย์จาก load ที่สร้างขึ้น

| ความต่างศักย์<br>(V) | กระแส<br>(A) | กำลัง<br>(W) | เลขทศนิยมหลัง<br>เลขกำลัง | หมายเหตุ              |
|----------------------|--------------|--------------|---------------------------|-----------------------|
| (V)0.0               | (A)0.0-516   | (W) 0        | 492*                      | ปิด                   |
| (V)0.0               | (A)0.0-513   | (W) 0        | 493*                      | ปิด                   |
| (V)47.0              | (A)19.0-711  | (W) 893      | 494*                      | เริ่มมี<br>กระแสไฟฟ้า |
| (V)46.0              | (A)19.0-714  | (W) 874      | 495*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)19.0-707  | (W) 874      | 496*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-704  | (W) 828      | 497*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)19.0-706  | (W) 874      | 498*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-705  | (W) 828      | 499*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-705  | (W) 828      | 500*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-699  | (W) 828      | 501*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-700  | (W) 828      | 502*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-700  | (W) 828      | 503*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-696  | (W) 828      | 504*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-701  | (W) 828      | 505*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-704  | (W) 828      | 506*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-704  | (W) 828      | 507*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-701  | (W) 828      | 508*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-701  | (W) 828      | 509*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-699  | (W) 828      | 510*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-697  | (W) 828      | 511*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-699  | (W) 828      | 512*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-700  | (W) 828      | 513*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-698  | (W) 828      | 514*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-700  | (W) 828      | 515*                      |                       |
| (V)47.0              | (A)18.0-702  | (W) 846      | 516*                      |                       |
| (V)46.0              | (A)18.0-700  | (W) 828      | 517*                      |                       |

## ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

| ความต่างศักย์ | กระแส       | กำลัง   | เลขทศนิยมหลัง<br>เลขกำลัง | หมายเหตุ |
|---------------|-------------|---------|---------------------------|----------|
| (V)           | (A)         | (W)     |                           |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 518*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-705 | (W) 828 | 519*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 520*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-702 | (W) 828 | 521*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 522*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 523*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-701 | (W) 828 | 524*                      |          |
| (V)46.0       | (A)19.0-706 | (W) 874 | 525*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 526*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 527*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 528*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-702 | (W) 828 | 529*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 530*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 531*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-693 | (W) 782 | 532*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-690 | (W) 782 | 533*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 534*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 535*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-703 | (W) 828 | 536*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 537*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 538*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-693 | (W) 782 | 539*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 540*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-694 | (W) 782 | 541*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 542*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 543*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-701 | (W) 828 | 544*                      |          |

## ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

| ความต่างศักย์ | กระแส       | กำลัง   | เลขทศนิยมหลัง<br>เลขกำลัง | หมายเหตุ |
|---------------|-------------|---------|---------------------------|----------|
| (V)           | (A)         | (W)     |                           |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 545*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-693 | (W) 782 | 546*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 547*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 548*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 549*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 550*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 551*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 552*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-701 | (W) 828 | 553*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 554*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 555*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-694 | (W) 782 | 556*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-702 | (W) 828 | 557*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-691 | (W) 782 | 558*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 559*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 560*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 561*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-693 | (W) 782 | 562*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 563*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-703 | (W) 828 | 564*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 565*                      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 566*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 567*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 568*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 569*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 570*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 571*                      |          |

## ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

| ความต่างศักย์ | กระแส       | กำลัง   | เลขทศนิยมหลัง | หมายเหตุ |
|---------------|-------------|---------|---------------|----------|
| (V)           | (A)         | (W)     | เลขกำลัง      |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 572*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 573*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 574*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 575*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-694 | (W) 782 | 576*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 577*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 578*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 579*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-691 | (W) 782 | 580*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 581*          |          |
| (V)47.0       | (A)18.0-702 | (W) 846 | 837*          |          |
| (V)47.0       | (A)18.0-702 | (W) 846 | 838*          |          |
| (V)47.0       | (A)18.0-704 | (W) 846 | 839*          |          |
| (V)47.0       | (A)18.0-704 | (W) 846 | 840*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 841*          |          |
| (V)46.0       | (A)19.0-706 | (W) 874 | 842*          |          |
| (V)47.0       | (A)18.0-705 | (W) 846 | 843*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 844*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 845*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 846*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-702 | (W) 828 | 847*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 848*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 849*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 850*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 851*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 852*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 853*          |          |

## ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

| ความต่างศักย์ | กระแส       | กำลัง   | เลขทศนิยมหลัง | หมายเหตุ |
|---------------|-------------|---------|---------------|----------|
| (V)           | (A)         | (W)     | เลขกำลัง      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-701 | (W) 828 | 854*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-701 | (W) 828 | 855*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 856*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 857*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-702 | (W) 828 | 858*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 859*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 860*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 861*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 862*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 863*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 864*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-702 | (W) 828 | 865*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 866*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-694 | (W) 782 | 867*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 868*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 869*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-693 | (W) 782 | 870*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 871*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-692 | (W) 782 | 872*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-694 | (W) 782 | 873*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 874*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 875*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-701 | (W) 828 | 876*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 877*          |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-694 | (W) 782 | 878*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 879*          |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-703 | (W) 828 | 880*          |          |

## ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

| ความต่างศักย์ | กระแส       | กำลัง   | เลขทศนิยมหลัง<br>เลขกำลัง | หมายเหตุ |
|---------------|-------------|---------|---------------------------|----------|
| (V)           | (A)         | (W)     |                           |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-692 | (W) 782 | 881*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 882*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-705 | (W) 828 | 883*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 884*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 885*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 886*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 887*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 888*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-703 | (W) 828 | 889*                      |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-697 | (W) 828 | 1106*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 1107*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 1108*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 1109*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-698 | (W) 828 | 1110*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 1111*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 1112*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 1113*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 1114*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 1115*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-700 | (W) 828 | 1116*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 1117*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 1118*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 1119*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-699 | (W) 828 | 1120*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-694 | (W) 782 | 1121*                     |          |
| (V)46.0       | (A)17.0-695 | (W) 782 | 1122*                     |          |
| (V)46.0       | (A)18.0-696 | (W) 828 | 1123*                     |          |

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

| ความต่างศักย์<br>(V) | กระแส<br>(A) | กำลัง<br>(W) | เลขทศนิยมหลัง<br>เลขกำลัง | หมายเหตุ                                              |
|----------------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|
| (V)46.0              | (A)18.0-697  | (W) 828      | 1124*                     |                                                       |
| (V)46.0              | (A)17.0-694  | (W) 782      | 1125*                     |                                                       |
| Min                  |              | 782 w        |                           | คำนวณจากการเปิดให้กระแสไหลผ่านตัว<br>โหลดที่ออกแบบไว้ |
| Max                  |              | 893 w        |                           |                                                       |
| Average              |              | 818.82 w     |                           |                                                       |

หมายเหตุ: (V) = โวลต์, (A) = แอมแปร์, (W) = วัตต์, \* = ค่าทศนิยมของเครื่องก่อนการวัด



## Final Estimates of Parameters

| Type     | Coef     | SE Coef  | T    | P     |
|----------|----------|----------|------|-------|
| AR 1     | 0.7760   | 0.1518   | 5.11 | 0.000 |
| MA 1     | 0.9717   | 0.1315   | 7.39 | 0.000 |
| Constant | 0.002198 | 0.003544 | 0.62 | 0.539 |

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 40, after differencing 39

Residuals: SS = 1.09657 (backforecasts excluded)

MS = 0.03046 DF = 36

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

| Lag        | 12    | 24    | 36    | 48 |
|------------|-------|-------|-------|----|
| Chi-Square | 2.8   | 8.1   | 9.0   | *  |
| DF         | 9     | 21    | 33    | *  |
| P-Value    | 0.971 | 0.995 | 1.000 | *  |

ภาพผนวกที่ ง1 ผลของค่าพารามิเตอร์โดยใช้ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 1)

## Final Estimates of Parameters

| Type     | Coef    | SE Coef | T    | P     |
|----------|---------|---------|------|-------|
| AR 1     | 0.0145  | 0.1645  | 0.09 | 0.930 |
| Constant | 0.00875 | 0.02881 | 0.30 | 0.763 |

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 40, after differencing 39

Residuals: SS = 1.19726 (backforecasts excluded)

MS = 0.03236 DF = 37

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

| Lag        | 12    | 24    | 36    | 48 |
|------------|-------|-------|-------|----|
| Chi-Square | 4.1   | 8.4   | 9.3   | *  |
| DF         | 10    | 22    | 34    | *  |
| P-Value    | 0.941 | 0.996 | 1.000 | *  |

ภาพผนวกที่ ๖2 ผลของค่าพารามิเตอร์โดยใช้ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 0)

## Final Estimates of Parameters

| Type     | Coef    | SE Coef | T     | P     |
|----------|---------|---------|-------|-------|
| MA 1     | -0.0230 | 0.1645  | -0.14 | 0.890 |
| Constant | 0.00890 | 0.02947 | 0.30  | 0.764 |

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 40, after differencing 39

Residuals: SS = 1.19712 (backforecasts excluded)

MS = 0.03235 DF = 37

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

| Lag        | 12    | 24    | 36    | 48 |
|------------|-------|-------|-------|----|
| Chi-Square | 4.1   | 8.4   | 9.2   | *  |
| DF         | 10    | 22    | 34    | *  |
| P-Value    | 0.943 | 0.996 | 1.000 | *  |

ภาพผนวกที่ ๓ ผลของค่าพารามิเตอร์โดยใช้ตัวแบบ ARIMA(0, 1, 1)

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

|                 |                                                                           |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ            | นางสาวฤกษศ ตาสีมูล                                                        |
| เกิดวันที่      | 26 ธันวาคม 2529                                                           |
| สถานที่เกิด     | จังหวัดเชียงใหม่                                                          |
| ประวัติการศึกษา | วศ.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม)<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |

