การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตน้ำประปา
โรงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง

นายศุทธิวัต ปฏิภาณวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

# TECHNOLOGY ROADMAP IN WATER PROCESS PRODUCTION BANGKHEN WATER TREATMENT PLANT OF THE METROPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY

Mr. Suttiwat Patipanvat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง |
| โดย | นายศุทธิวัต ปฏิภาณวัฒน์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

…… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ปารเมศ ชุติมา)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

ศุทธิวัต ปฏิภาณวัฒน์ : การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง. (TECHNOLOGY ROADMAP IN WATER PROCESS PRODUCTION BANGKHEN WATER TREATMENT PLANT OF THE METROPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, 170 หน้า.

วิทยานิพนธ์การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตน้ำประปานี้ สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางทั้งการจัดการการทำงานของเครื่องจักร ปริมาณความต้องการน้ำประปาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการลงทุนเครื่องจักรเพื่อทดแทนและขยายกำลังการผลิตได้ โดยสามารถนำมาใช้เป็นแบบแผนในการดำเนินงาน การศึกษานี้มีการศึกษาหลักๆ 3 ประการด้วยกัน คือ 1.การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จัดกำหนดการทำงานที่เหมาะสมของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งต้นทาง เพื่อลดค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าให้ต่ำที่สุดภายในเงื่อนไขทางชลศาสตร์ การคิดอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบ Time Of Use Rate (TOU) และส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำเข้าที่สถานีสูบจ่ายปลายทางน้อยที่สุด โดยทำการเชื่อมโยงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเข้ากับแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET ที่แสดงระบบโครงข่ายการส่งน้ำของการประปานครหลวง ซึ่งสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 6.4 ต่อเดือน 2.การพยากรณ์อัตราความก้าวหน้าของปริมาณการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ของสถานีสูบจ่ายปลายทาง เพื่อวิเคราะห์หาขอบเขตพื้นที่ที่มีแนวโน้มปริมาณความต้องการการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น หรือความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ ทำให้ทราบว่าในอีก 5-10 ปี จำนวนผลิตที่มีให้นั้นไม่เพียงพอกับจำนวนชั่วโมงที่ต้องการผลิต เฉลี่ยคิดเป็นกว่าร้อยละ 40 3.การวางแผนลงทุนเครื่องจักรเพื่อทดแทนและเพิ่มกำลังการผลิต จากการศึกษาข้างต้น สามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี โดยทราบถึงเทคโนโลยีของเครื่องจักรหลักที่เหมาะสม และผลกระทบที่เกิดขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

## 5271541421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : THE TECHNOLOGY ROADMAP / PERFORMANCE OF THE WATER PUMP MOTORS / ENERGY SAVING AND CONSERVATIVE / WATER PROCESS PRODUCTION / INVESTING IN MACHINERIES

SUTTIWAT PATIPANVAT : TECHNOLOGY ROADMAP IN WATER PROCESS PRODUCTION BANGKHEN WATER TREATMENT PLANT OF THE METHOPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY. ADVISOR : ASSOC.PROF.SUTHAS RATANAKUAKANG-WAN, 170 pp.

This thesis is a procedure in managing energy, which can be utilized for operational planning. The research consisted of three primary cases which are; 1. Computer software development for optimizing the performance of water pump motors in originated transmission stations in order to minimize electricity consumption while being subjected in hydrological conditions, Time of Use (TOU) rate for electricity cost, and having minimal impact on the influential flow for subsequent distribution stations. In order to achieve this the computer software developed will establish a connection with EPANET,a mathematical model which will demonstrate MWA's water transmission network. In this case can reduce cost of energy 6.4% per month 2. Progressive rate forecast for water consumption in each area of control of the distribution stations with increasing water demands of water shortage in 5-10 years. The product hours haven't enough average 40% 3. Establish a plan for investing in machineries to increase productivity in order to meet the demands for areas with increasing water consumption. Cases previously stated can be used to establish a technolical roadmap as a guidance and simultaneously utilizing modern technology can also conserve electric energy in processing piped water for Bangkhen water treatment plant of the MWA.

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2011 .....

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สามารถสำหรับได้ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือและเอาใจใส่ของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้คำแนะนำแนวทางในการศึกษาวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณพี่น้องชาวการประปานครหลวงสำหรับความสะดวกของข้อมูลที่นำมาใช้ประกอบการศึกษา

ท้ายสุดผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด รวมทั้งคุณอาทุกๆท่าน ที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้แขนงใหม่ๆแก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆร่วมภาคอันเป็นที่รักสำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา เป็นผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ ..... 1
ประวัติของโรงงานกรณีศึกษา ..... 2
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 5
ปัญหาที่พบในปัจจุบัน ..... 7
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ..... 8
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ..... 8
ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 8
แผนการดำเนินงานจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) ..... 9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 12
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 14
การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ..... 14
การจัดการพลังงาน ..... 14
การอนุรักษ์พลังงาน ..... 20
ทฤษฎี และความรู้เกี่ยวข้องกับ ISO ..... 24
หลักการบริหารคุณภาพ 8 ประการ ..... 25
แนวทาง SPER ..... 28
องค์ประกอบที่ควรพิจารณาในการจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ..... 29
ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) ..... 34

หน้า

การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap :TRM) 35
การคำนวณค่าไฟฟ้า 36
งานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 48
ข้อมูลเบื้องต้นขององค์กร 48
ระบบสูบส่งและสูบจ่ายน้ำประปา 48
แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 52
เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย 53
วิธีการศึกษา 54
การศึกษาการจัดกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมของระบบสูบส่งน้ำ โรงงานผลิตน้ำบางเขน 54
การรวบรวมและเตรียมข้อมูลที่ใช้ศึกษา 55
การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมการจัดกำหนดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ โดยเชื่อมโยงกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 62
การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นกับโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง 71
การศึกษาพยากรณ์ (Forecasting) ปริมาณน้ำจ่ายของแต่ละพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำปละสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง 71
การวางแผนลงทุน และการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรของระบบการผลิต สูบส่ง และสูบจ่ายเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต 82
แผนผังขั้นตอนการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร 87
การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี เพื่อการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร 92
การเลือกเทคโนโลยีสำหรับเครื่องจักรหลัก (มอเตอร์) 92
การเลือกเทคโนโลยีสำหรับเครื่องจักรหลัก (ชุดปรับความเร็วรอบ) 93
ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น หากเครื่องจักรหลักมีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี 100
การวางแผนการผลิต 102

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 106
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา การจัดกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมของระบบสูบส่งน้ำ โรงงานผลิตน้ำบางเขน 106
การทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำก่อนการจัดกำหนดการทำงาน 106
ผลการทดสอบโปรแกรม 107
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา 109
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา การศึกษาพยากรณ์ (Forecasting) ปริมาณน้ำจ่ายของในแต่ละพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำและสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง 109
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา การวางแผนลงทุน ปละการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรหลักของระบบการผลิต สูบส่งและสูบจ่าย เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต 111
การประเมินการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ 111
การลงทุนเพื่อขยายกำลังการผลิต 114
การลงทุนใช้พลังงานทดแทนด้วยพลังงานทดแทนเพื่อการผลิตไฟฟ้า ในอีก 10 ปี 116
การพัฒนาโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ 116
ผลตอบแทนการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 117
ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีเครื่องจักรหลัก 118
การจัดทำแผนลงทุนการซ่อมบำรุงรักษาระยะเวลา 5 ปี (2554-2558) 120
การจัดทำแผนลงทุนการซ่อมบำรุงรักษาระยะเวลา 5 ปี (2559-2563) 124
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 126
สรุปผลการวิจัย 126
อภิปรายผลการวิจัย 127
ปัญหาและข้อเสนอแนะ 127
รายการอ้างอิง 129
ภาคผนวก 132
ภาคผนวก ก ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองโครงข่ายระบบส่งน้ำ 133
ภาคผนวก ข Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ 151

หน้า

ภาคผนวก ค โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดการมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ ..... 158
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 170

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ตัวอย่างเป้าหมายการจัดการพลังงาน | 16 |
| 2 | การคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | 39 |
| 3 | ข้อมูลเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง | 56 |
| 4 | ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำประจำเดือน มกราคม 2554 | 57 |
| 5 | กำหนดการทำงานของเครื่องสูบน้ำในเดือนมกราคม 2554 | 58 |
| 6 | ข้อมูลพื้นที่ถัง ขนาดความจุ และระดับเก็บกักน้ำสูงสุดของถังเก็บน้ำใส | 59 |
| 7 | ข้อมูลค่าเฉลี่ยน้ำเข้า 24 ชั่วโมงของสถานีสูบจ่าย | 60 |
| 8 | องค์ประกอบของอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า | 62 |
| 9 | ปริมาณน้ำสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง ในแต่ละชุดข้อมูลประจำเดือนมกราคม 2554 | 71 |
| 10 | ปริมาณน้ำจ่ายประจำปีของโรงงานผลิตน้ำและสถานีสูบจ่ายน้ำทั้ง 10 แห่ง | 72 |
| 11 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำบางเขน | 73 |
| 12 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำสามเสน | 73 |
| 13 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำธนบุรี | 74 |
| 14 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำมหาสัวสดิ์ | 75 |
| 15 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพีนี | 75 |
| 16 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว | 76 |
| 17 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตย | 77 |
| 18 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง | 77 |
| 19 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง | 78 |
| 20 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี | 79 |
| 21 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลี | 79 |
| 22 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ | 80 |
| 23 | การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ | 81 |

ตารางที่ หน้า


24 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษม 81
25 ช่วงอายุการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก 83
26 จำนวนครั้งของการขัดข้องต่อปีของเครื่องจักรและอุปกรณ์ 83
27 ระดับผลกระทบหากเครื่องจักรหลักเกิดการชำรุด 84
28 ชนิดเครื่องจักรหลัก และระดับผลกระทบเมื่อเกิดการชำรุด 85
29 ค่าประสิทธิภาพที่ต่ำลงของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก 86
30 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนเครื่องสูบน้ำ 89
31 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนมอเตอร์ 89
32 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ 90
33 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนตู้ Switch Gear 90
34 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบสถานีย่อย 90
35 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนระบบควบคุมอัตโนมัติ 91
36 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนประตูน้ำขนาดใหญ่ 91
37 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยน Fine Screen 91
38 พื้นที่ถัง ขนาดความจุ และระดับเก็บกักน้ำสูงสุดของถังเก็บน้ำใส 101
39 อัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำเฉลี่ยของทั้ง 2 กรณีศึกษา 102
40 เงื่อนไขการคิดอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบ TOU ของการไฟฟ้านครหลวง 106
41 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำประจำเดือน มกราคม 2554 107
42 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ1 ประจำเดือนมกราคม 2554 107
43 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ2 ประจำเดือนมกราคม 2554 108
44 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ3 ประจำเดือนมกราคม 2554 108
45 ปริมาณการใช้และค่าพลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งประจำเดือนมกราคม 2554 โดยใช้โปรแกรมกำหนดการทำงานมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสม 108
46 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าในการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ 109

ตารางที่ หน้า

47 สมการพยากรณ์สำหรับปริมาณัตราความก้าวหน้าในการใช้น้ำของสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง 110
48 จำนวนชั่วโมงที่ได้จากการพยากรณ์ในการผลิตจริง และค่า%Utilization ของ Production Hour ของสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง 110
49 การประเมินการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ 111
50 การประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องสูบน้ำมีอายุการใช้งานสูงกว่าเกณฑ์ 112
51 การประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องสูบน้ำมีอายุการใช้งานต่ำกว่าเกณฑ์ 112
52 การประเมินเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมีอายุการใช้งานสูงกว่าเกณฑ์ 112
53 การประเมินเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมีอายุการใช้งานต่ำกว่าเกณฑ์ 113
54 การประเมินเปลี่ยนทดแทนหม้อแปลงไฟฟ้ามีอายุการใช้งานสูงกว่าเกณฑ์ 113
55 การประเมินเปลี่ยนทดแทนหม้อแปลงไฟฟ้ามีอายุการใช้งานต่ำกว่าเกณฑ์ 113
56 ขั้นตอนที่ 3 การพิจารณาระดับผลกระทบต่อระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ 114
57 ขั้นตอนที่ 4 ลำดับความสำคัญการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ 114
58 งบประมาณในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 1,000,000 kW-hr 116
59 งบประมาณในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระยะ 5 ปี (2554-2559) 117
60 งบประมาณในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระยะ 10 ปี (2559-2564) 118
61 ผลจากการเลือกใช้มอเตอร์ เทคโนโลยีแบบ Active Magnetic Bearing 119
62 ผลจากการเลือกใช้มอเตอร์ เทคโนโลยีแบบ Superconducting Motor 119
63 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้และค่าพลังงานไฟฟ้าในการเดินมอเตอร์ 120
64 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารวมใน 2 กรณีศึกษา กับระบบเดิม 120
65 แผนการลงทุนการซ่อมบำรุงรักษา 5 ปี (2554-2558) ระบบผลิต ระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ 121

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | อัตราการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2546 ถึง 2559 | 2 |
| 2 | กระบวนการผลิตน้ำประปา สำหรับโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง | 3 |
| 3 | แผนผังพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง | 4 |
| 4 | ค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2553-2554 | 5 |
| 5 | ปริมาณน้ำประปาผลิตจ่ายประจำปีงบประมาณ 2553-2554 | 5 |
| 6 | ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตประจำปีงบประมาณ 2553-2554 | 5 |
| 7 | อัตราส่วนค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2552 | 6 |
| 8 | อัตราส่วนค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2553 | 6 |
| 9 | อัตราส่วนค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2554 | 6 |
| 10 | แผนภาพก้างปลาสำหรับภาพรวมองค์ประกอบปัญหาในปัจจุบัน | 7 |
| 11 | แผนการดำเนินงานจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี | 9 |
| 12 | ตัวอย่างการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี | 12 |
| 13 | แสดงกระบวนการเคลื่อนตัวของการอนุรักษ์พลังงานเทคนิคการจัดการเชิงบูรณาการ | 24 |
| 14 | กระบวนการจัดการแบบ ISO | 25 |
| 15 | ขั้นตอนในกระบวนการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี | 36 |
| 16 | อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ Time of Use : TOU | 39 |
| 17 | ระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง | 49 |
| 18 | คำจำกัดความของเฮดสถิตย์ (Static Head) | 51 |
| 19 | ขั้นตอนการศึกษา | 55 |
| 20 | โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง | 57 |
| 21 | โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET ปริมาณการจ่ายน้ำประปาจากสถานีสูบส่งต้นทางสู่อุโมงค์ส่งน้ำ | 63 |
| 22 | โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET ความต้องการปริมาณน้ำเข้าของสถานีสูบจ่ายปลายทาง | 63 |

ภาพที่ หน้า


23 โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 64

24 การจำลองเครื่องสูบน้ำในสถานีสูบส่งน้ำ1 (TPS1) ลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 64

25 การจำลองเครื่องสูบน้ำในสถานีสูบส่งน้ำ2 (TPS2) ลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 65

26 การจำลองเครื่องสูบน้ำในสถานีสูบส่งน้ำ3 (TPS3) ลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 65

27 การจำลองรูปแบบความต้องการใช้น้ำลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 66

28 การจำลองรูปแบบอัตราค่ากระแสไฟฟ้าลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 66

29 การจำลองโค้งคุณลักษณะ (H-Q Curve) ของเครื่องสูบน้ำลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 67

30 การจำลองประสิทธิภาพ (Efficiency Curve) ของเครื่องสูบน้ำลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 67

31 ข้อมูลโครงข่ายระบบส่งน้ำที่อยู่ในรูปของ Text File 68

32 ส่วนหน้าต่างการป้อนข้อมูลของ Pump Guide 69

33 ส่วนแสดงผลรูปแบบปริมาณน้ำเข้ารายชั่วโมงของสถานีสูบจ่ายที่ผู้ใช้เลือก 69

34 ส่วนแสดงผลกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งจากสถานีสูบจ่ายที่ผู้ใช้เลือก 70

35 ส่วนแสดงผลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าจากการกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งจากสถานีสูบจ่ายที่ผู้ใช้เลือก 70

36 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน 73

37 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำสามเสน 74

38 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำธนบุรี 74

39 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ 75

40 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายลุมพินี 76

41 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายลาดพร้าว 76

ภาพที่ หน้า


42 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายคลองเตย 77
43 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายสำโรง 78
44 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายลาดกระบัง 78
45 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายมีนบุรี 79
46 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายบางพลี 80
47 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายท่าพระ 80
48 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายราษฎร์บูรณะ 81
49 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายเพชรเกษม 82
50 แนวโน้มการพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Trend of power Semiconductor) 94
51 ทิศทาง การพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Trend of power Semiconductor) 95
52 ระบบขับเคลื่อนแบบ Sherblus Drives หรือ Cascade Drives 95
53 ระบบขับเคลื่อนแบบ Load-commutated inverter (LCI) โดยใช้ SCR 95
54 ระบบขับเคลื่อนแบบ Cycloconverter (CCV) drive โดยใช้ SCR 96
55 ระบบขับเคลื่อนแบบ Multi-Level PWM Inverter drive โดยใช้ GTO 96
56 HV-IGBT ที่ใช้ในชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสามระดับ 97
57 แสดงรูปคลื่น PWM จากอินเวอร์เตอร์แบบสามระดับเปรียบเทียบกับแบบสองระดับ 98
58 แสดงวงจรของอินเวอร์เตอร์แรงดันสูง PWM แบบสามระดับ 98
59 แสดงชุดกรองรูปคลื่นซายด์ (Output Filter) 99
60 แสดงรูปภาพของ หม้อแปลง เซลอินเวอร์เตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ 99
61 แสดงหลักการการทำงานเบื้อต้นของอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ 99
62 แสดง หลักการ และรูปคลื่น PWM ที่ออกจาก อินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ 100
63 ชนิดของแผลเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ 116

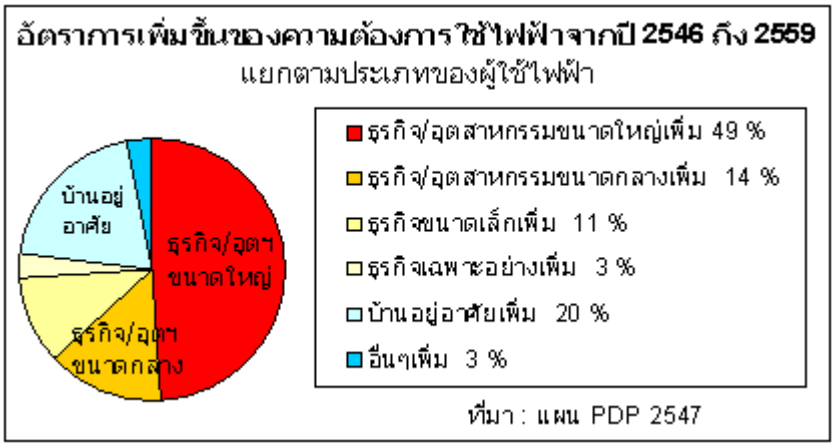
# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 บทนำ

การวางแผนออกแบบเส้นทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเป็นแผนรองรับ สภาพความเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้าน สภาพแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมที่อาจเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการวางแผนดังกล่าวจะช่วยให้มีการจัดการพลังงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานประเภทต่างๆได้สูงสุด ทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

พลังงานนับเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นและมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา มีความเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีตลอดเวลา ทำให้ความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากทรัพยากรพลังงานภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัด จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลักและมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งส่งผลต่อความมั่นคงในการจัดหาพลังงาน อีกทั้งพลังงานที่นำเข้าจากต่างประเทศมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้พลังงานอย่างไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเกินความจำเป็น จึงมีความจำเป็นหาแนวทางเพื่อใช้พลังงานที่มีเหลืออยู่น้อยนี้ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์ได้สูงสุด

จากข้อมูลของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ พบว่า ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเป็นมูลค่าถึง 14% ของ GDP โดยพลังงานส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศมีมูลค่ากว่า 300,000 ล้านบาทต่อมี อีกทั้งความต้องการพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 4.2% โดยการใช้ไฟฟ้าในปี 2553 อยู่ที่ระดับ 147,724 กิกะวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปี 2552 ถึงร้อยละ 9.6 ซึ่งเป็นผลมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ และรายได้ประชาชาติที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4% ต่อปี และจากการประมาณการภาวะเศรษฐกิจของไทย โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) คาดว่าในปี 2554 เศรษฐกิจจะขยายตัวร้อยละ 3.5-4.5 การใช้ไฟฟ้าในปีหน้าคาดว่าจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.5 โดยการใช้ไฟฟ้าในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเศรษฐกิจที่ฟื้นตัวและเติบโตอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 2553




ภาพที่ 1 อัตราการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2546 ถึง 2559

การอนุรักษ์และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงเป็นมาตรการที่สำคัญ ซึ่งมาตรการประเภทนี้มักมีต้นทุนต่ำ เทคโนโลยีส่วนใหญ่มีอยู่แล้ว และสามารถดำเนินการได้เร็ว โดยประเทศไทยมีการออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 มีผลบังใช้ตั้งแต่วันที่ 3 เมษายน 2535 โดยมีเจตนารมณ์ที่จะส่งเสริมให้เกิดวินัยในการอนุรักษ์พลังงานและมีการลงทุนในการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานและอาคารเป็นสำคัญ มีการจัดทำแผนการจัดการพลังงานรวม โดยจัดให้มีผู้ผู้รับผิดชอบการอนุรักษ์พลังงานประจำโรงงานหรืออาคาร ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นไปตามมาตรการหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมทั้งมีการใช้กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสนับสนุนการดำเนินมาตรการต่างๆภายใต้แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และแผนส่งเสริมการจัดการพลังงานในโรงงานและอาคารควบคุม

ดังนั้น การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) จึงเป็นการวางแผนการจัดการทางเทคโนโลยีในอนาคต ทั้งระยะสั้นและระยะยาว เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานด้านต่างๆอย่างเป็นระบบ เช่น แผนรองรับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี แผนการอนุรักษ์และจัดการพลังงาน ส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตในโรงงานได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไม่สูงเกินความจำเป็นอีกด้วย

### 1.1.1 ประวัติของโรงงานกรณีศึกษา

การประปานครหลวงก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2510 โดยการรวมกิจการของกองประปากรุงเทพฯ การประปาธนบุรี การประปานนทบุรี และการประปาสมุทรปราการ เข้าเป็นหน่วยงานเดียวกัน ซึ่งปัจจุบันการประปานครหลวงมีโรงงานผลิตน้ำหลักที่สำคัญ ได้แก่

โรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน โรงงานผลิตน้ำธนบุรี และโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

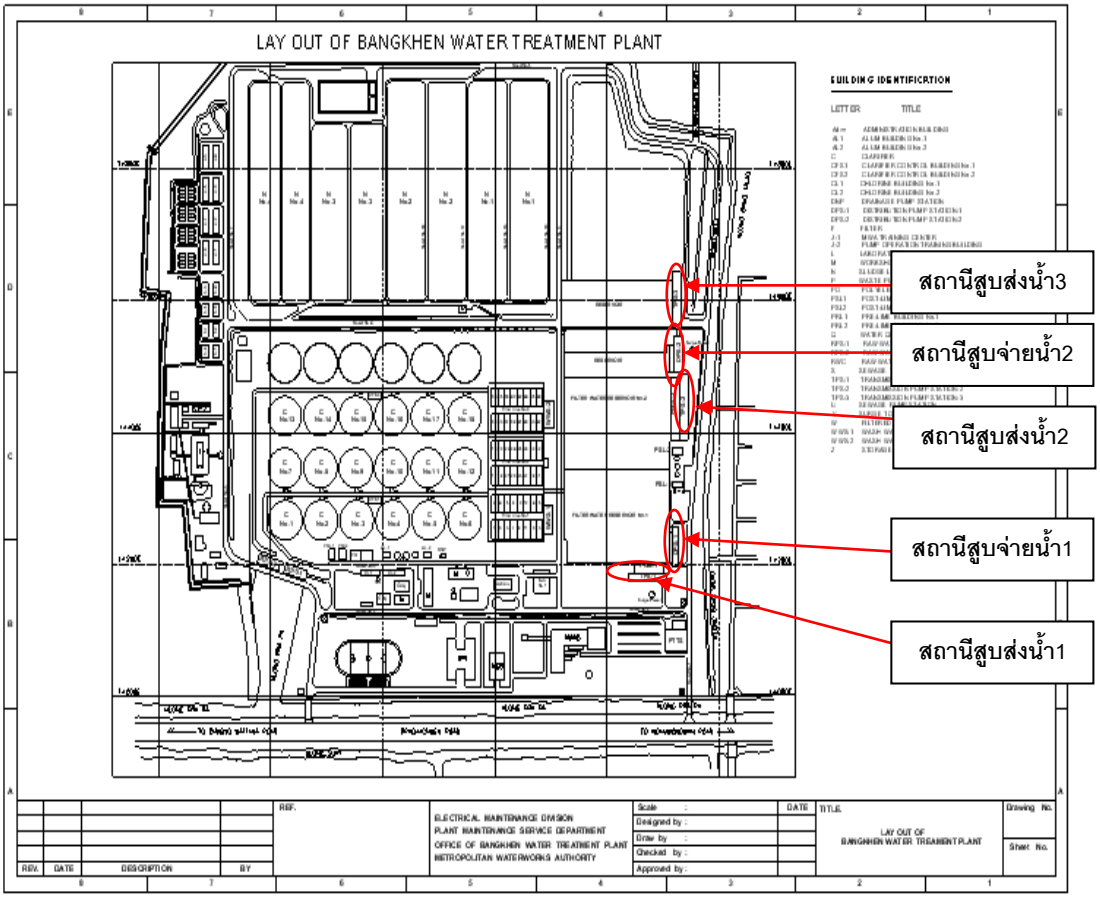
กระบวนการผลิตน้ำประปา เริ่มจากน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาจะถูกลำเลียงมาทางคลองประปา เมื่อเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำจะมีการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาว สารส้ม และคลอรีน เพื่อปรับสภาพน้ำดิบให้พร้อม น้ำดิบจะส่งเข้าสู่ถังตกตะกอน บ่อกรองน้ำ ก่อนถูกลำเลียงเข้าสู่ถังเก็บน้ำใสตามลำดับ จากนั้น โรงสูบส่งน้ำ และโรงสูบจ่ายน้ำ จะสูบน้ำประปาส่งไปยังผู้บริโภคต่อไป

ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำประปา สำหรับโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง

การสูบน้ำประปาไปยังตำแหน่งพื้นที่ต่างๆนั้น ทำได้โดยสถานีสูบส่งน้ำทำหน้าที่สูบส่งน้ำประปาผ่านอุโมงค์ส่งน้ำขนาดใหญ่ ไปยังสถานีสูบจ่ายต่างๆ ซึ่งตั้งกระจายอยู่ทั่วกรุงเทพฯ โดยสถานีสูบจ่ายน้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่สูบจ่ายน้ำประปาผ่านท่อประธานและท่อจ่ายน้ำประปา เพื่อจ่ายน้ำประปาไปยังบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

โรงงานผลิตน้ำบางเขนเป็นโรงงานผลิตน้ำหลักที่สำคัญของการประปานครหลวง สร้างขึ้นเป็นแห่งที่ 3 ในปี พ.ศ.2518 ซึ่งเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูงสุด คือสามารถผลิตน้ำประปาได้วันละประมาณ 3,600,000 ลูกบาศก์เมตร และสามารถขยายการผลิตน้ำประปาได้สูงสุดถึง 4,800,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่อรองรับปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต โรงงานผลิตน้ำบางเขนรับผิดชอบการสูบจ่ายน้ำประปาในพื้นที่ส่วนใหญ่ของกรุงเทพฯ โรงงานผลิตน้ำบางเขนประกอบด้วย สถานีสูบส่งน้ำ 3 แห่ง (Transmission Pumping Station1-3) และสถานีสูบจ่ายน้ำ 2 แห่ง (Distribution Pumping Station1-2) โดยสถานีสูบส่งน้ำทั้ง 3 แห่ง ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน จะทำหน้าที่สูบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ ได้แก่ สถานีสูบจ่ายน้ำพหลโยธิน ลุมพินี คลองเตย ท่าพระ ประชาอุทิศ คลองเตย สำโรง ลาดกระบัง ส่วนสถานีสูบ

จ่ายน้ำทั้ง 2 แห่งของโรงงานผลิตน้ำบางเขน จะทำหน้าที่สูบจ่ายน้ำไปยังบริเวณที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำบางเขน ได้แก่ บริเวณถนนวิภาวดีรังสิต เมืองทองธานี งามวงศ์วาน และแจ้งวัฒนะ




ภาพที่ 3 แผนผังพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง

ในระบบการสูบส่งและการสูบจ่ายน้ำประปานั้น ทำได้โดยอาศัยแรงดันน้ำในเส้นท่อ (Pressure Trend Curve) ที่ได้จากศูนย์ควบคุมระบบสูบจ่ายน้ำ (ศรจ.) โดย Pressure Trend Curve นั้น สามารถใช้ควบคุมการจ่ายน้ำให้ตรงความต้องการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาของวัน ตามสภาพอากาศแต่ละฤดูกาล และตามวันหยุดประเพณีต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์การผลิตน้ำ และแผนการตลาดของการประปานครหลวง นอกจากเป็นการประหยัดต้นทุนอันเนื่องมาจากค่ากระแสไฟฟ้าแล้ว ยังเป็นการป้องกันแรงดันน้ำในเส้นท่อมากเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ท่อประปาเกิดการรั่วซึม และแตกร้าวได้ การประปานครหลวงจึงสามารถลดน้ำสูญเสียลงได้เป็นอย่างมาก โดยสามารถลดอัตราน้ำสูญเสียลงจาก 40% เหลือ 29% ในปัจจุบัน

นอกจากนั้นการสูบจ่ายน้ำด้วยแรงดันที่เหมาะสม ยังทำให้ปริมาณน้ำที่ส่งไปบริการประชาชนมีปริมาณที่พอเหมาะ และได้รับแรงดันที่น่าพอใจและทั่วถึงมากยิ่งขึ้น

**1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

โรงงานผลิตน้ำบางเขน เป็นโรงงานผลิตน้ำขนาดใหญ่ของการประปานครหลวง มีการใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยพลังงานหลักที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเหล่านั้นคือ พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดต่อหน่วยการผลิตตั้งแต่ตุลาคม 2552 ถึงมิถุนายน 2554 (ปีงบประมาณ 53 และ 54) แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยที่ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ค่อนข้างคงที่ ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การปรับขึ้นค่า f.t. ของการไฟฟ้านครหลวง เป็นต้น

ภาพที่ 4 ค่าไฟฟ้า ประจำปีงบประมาณ 2553-2554

ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำประปาผลิตจ่าย ประจำปีงบประมาณ 2553-2554

ภาพที่ 6 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต ประจำปีงบประมาณ 2553-2554

จากการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่กำลังการผลิตค่อนข้างคงที่ ส่งผลให้มีต้นทุนค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต (ลบ.ม.) เพิ่มสูงขึ้นไปด้วย ประกอบกับมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต่างๆอย่างรวดเร็ว ทั้งทางด้านเทคโนโลยี สังคม การเมือง ดังนั้นการหากมีการวางแผน

เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงต่างๆเหล่านี้ จึงเป็นสิ่งที่สำคัญและมีความจำเป็น ดังนั้นแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) จึงเป็นแผนที่ใช้เพื่อการจัดการทางเทคโนโลยีอย่างเป็นระบบ มีจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต

ในกระบวนการสูบส่งและสูบจ่ายน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขนนั้น ประกอบด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตขนาดใหญ่ ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานเป็นจำนวนมาก จากแผนภูมิวงกลมจะทำให้ทราบว่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำบางเขนนั้น กว่า 90% เป็นค่าไฟฟ้าที่เกิดจากใช้ในการสูบส่งและสูบจ่ายน้ำประปาไปยังโรงสูบจ่ายน้ำย่อยๆและผู้บริโภคต่อไป ดังนั้น หากมีกระบวนการปรับปรุงการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพในส่วนของสถานีสูบส่งและสูบจ่าย ของโรงงานผลิตน้ำบางเขนที่ดี จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้

ภาพที่ 7 อัตราส่วนค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2552

ภาพที่ 8 อัตราส่วนค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2553

ภาพที่ 9 อัตราส่วนค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2554

### 1.2.1 ปัญหาที่พบในปัจจุบัน

1. ขาดการวางแผนการดำเนินการตรวจสอบวิเคราะห์สถานภาพ การใช้งานพลังงานของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

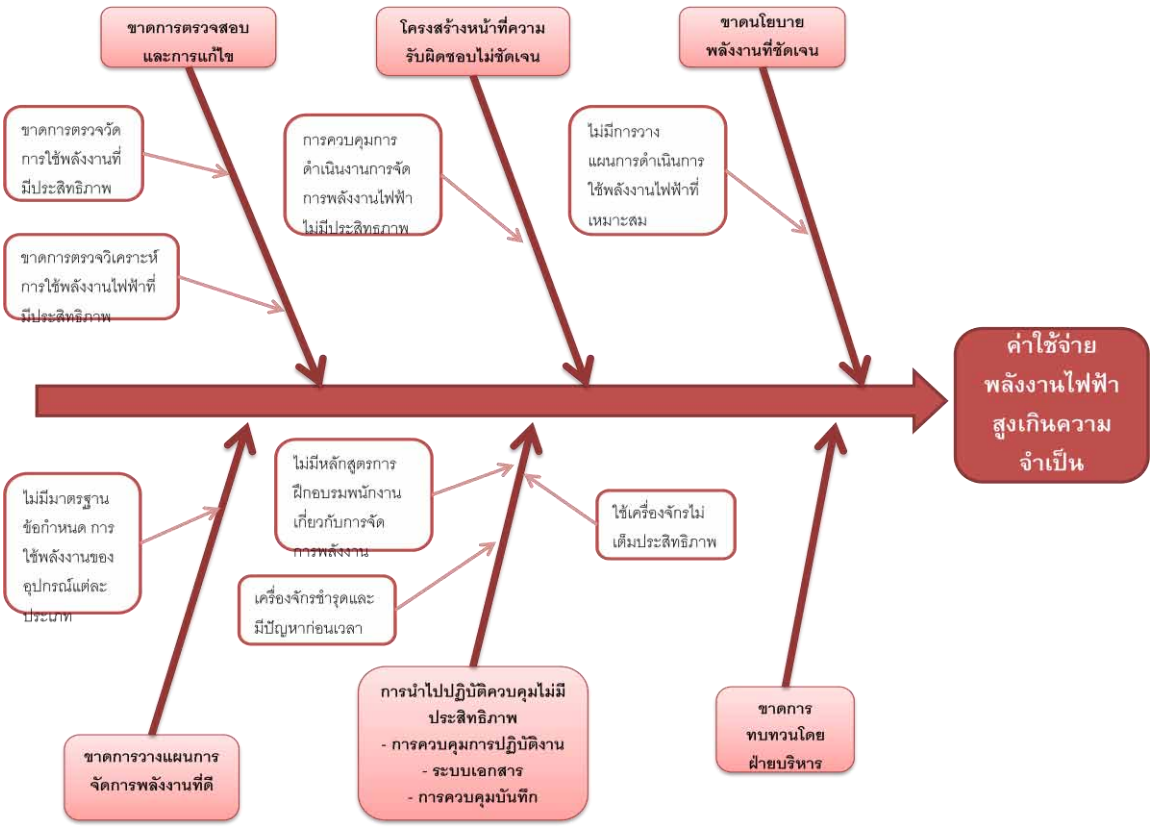
2. ขาดเครื่องมือ หรือ กระบวนการในการวางแผนการจัดการเทคโนโลยี และการควบคุมการใช้พลังงาน อย่างเป็นระบบ

3. ขาดการวางแผนในการปรับปรุงด้านประสิทธิภาพการดำเนินงานของเครื่องจักรที่เหมาะสม เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรให้คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

4. ขาดระบบการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรต่างๆ ในด้านการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้อายุการใช้งานเครื่องจักรสั้นลง และทำให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพการทำงานได้ไม่เต็มที่

5. สูญเสียโอกาสในกระบวนการผลิต จากเครื่องจักรมีการ Shut down หรือ Break down ขึ้น

จากปัญหาที่พบข้างต้น สามารถเขียนเป็นภาพรวมองค์ประกอบของปัญหาได้ดังแผนภาพด้านล่าง




ภาพที่ 10 แผนภาพก้างปลาสำหรับภาพรวมองค์ประกอบของปัญหาในปัจจุบัน

### 1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาภาพรวมและการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) เพื่อการลงทุนเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรหลัก และเพื่อการขยายกำลังการผลิต ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง

### 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. จัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) ด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากการจัดการระบบมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำเป็นหลัก ในระหว่าง 10 ปีข้างหน้า โดยกำหนดเป็น 3 ระยะ โดยจะครอบคลุมถึงรายงานสถานภาพ แผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี แผนกลยุทธ์และแผนปฏิบัติการ

2. ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการลงทุนเครื่องจักรหลักเพื่อทดแทนและขยายกำลังการผลิตในกระบวนการผลิตน้ำของโรงงานผลิตน้ำบางเขน ทั้งด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงพลังงานทดแทน

3. ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำตามอายุการใช้งาน ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อเป็นแนวทางในการเปลี่ยนอุปกรณ์

4. ศึกษาความสามารถในการกักเก็บน้ำใส เพื่อเป็นแนวทางในการขยายกำลังการผลิตในอนาคต รวมทั้งศึกษาความเพียงพอของปริมาณน้ำดิบในอนาคต

5. การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับระบบสูบจ่ายน้ำในเครือข่ายของการประปานครหลวงเท่านั้น

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาปัญหาและกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

2. ศึกษาวิเคราะห์ จุดแข็งจุดอ่อน (SWOT Analysis) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยภายนอกทั้งทางเทคโนโลยี สังคม เศรษฐกิจ และการเมือง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap)

3. ดำเนินการออกแบบแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) รวมทั้งคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ เพื่อหาทิศทางที่เหมาะสมในการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap)

4. ศึกษาการใช้แนวทางการจัดการพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันของโรงงานผลิตน้ำบางเขน อย่างละเอียด และลักษณะการทำงาน ข้อจำกัดของงาน การบำรุงรักษา ที่ใช้ในปัจจุบัน

5. ศึกษาการลงทุนสำหรับการวางแผนเปลี่ยนเครื่องจักรทดแทน และการลงทุนเพื่อขยายกำลังการผลิตน้ำของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

6. หามาตรการในการประหยัดพลังงานการปรับปรุงกระบวนการการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ

7. กำหนดแผนการดำเนินงาน ผลักดันเพื่อไปสู่การปฏิบัติ วัดและประเมิลผล

8. วิเคราะห์แผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน กับวิธีการที่ศึกษาเพื่อประเมินผลที่ได้รับ

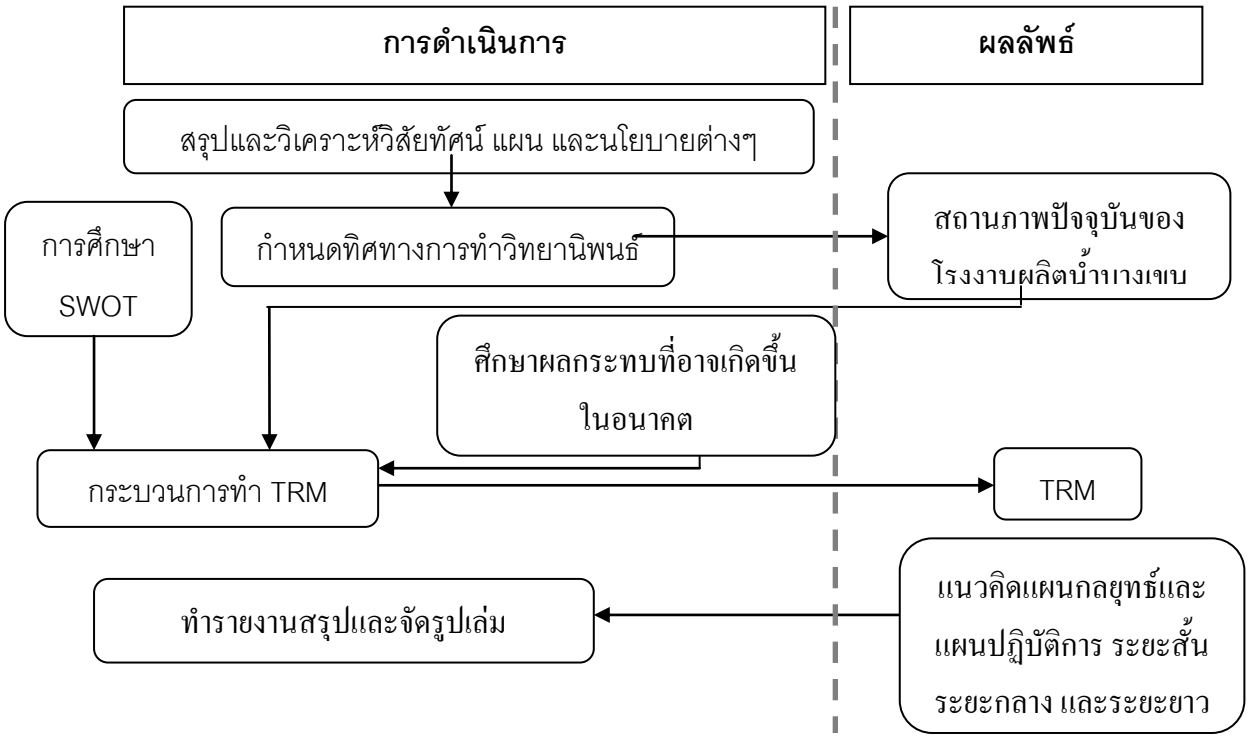
9. นำร่องการจัดทำมาตรฐานของกระบวนการผลิตน้ำประปา ในระดับต่างๆของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

10. กำหนดกลไกการควบคุม และการติดตามกระบวนการที่ได้ปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

11. จัดทำคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับเจ้าหน้าที่ เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจที่ตรงกัน

12. สรุปผลและข้อเสนอแนะ เรียบเรียง และนำเสนอผลการศึกษาในรายงานวิทยานิพนธ์

### 1.6 **แผนการดำเนินงานจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี** (Technology Roadmap)




ภาพที่ 11 แผนการดำเนินงานจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี

### 1.6.1 **แผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี** (Technology Roadmap) **แบ่งเป็น 3 ระยะ**

โดยแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีที่ได้ จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการกำหนดแนวทางการดำเนินกิจกรรมต่างๆเพื่อการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขนในอีก 10 ปีข้างหน้า (2554-2564) โดยเฉพาะการกำหนดกรอบและทิศทางในการจัดการทางเทคโนโลยี การประสานงานระหว่างกลไกการจัดการและการจัดสรรทัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

**ระยะสั้น** (3 ปี)

**เป้าหมาย** เพื่อให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำบางเขนลดต่ำลง จากมาตรการเบื้องต้นที่สามารถดำเนินการได้ทันที โดยคาดว่าสามารถลดลงได้ 3%ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

**การดำเนินการ**

- ศึกษาสถานภาพเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน
- กำหนดเงื่อนไขในการเดินมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้สอดคล้องกับแรงดันน้ำในเส้นท่อ
- ศึกษามาตรการการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานของโรงงานผลิตน้ำบางเขนที่มีในปัจจุบัน

**ระยะกลาง** (5 ปี)

**เป้าหมาย** เพื่อให้โรงงานผลิตน้ำบางเขน มีการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้เครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิตสามารถใช้ได้ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ทำให้อัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง โดยคาดว่าสามารถลดลงได้ 5%ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

**การดำเนินการ**

- แนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) แผนลงทุนการซ่อมบำรุงรักษา สำหรับระบบผลิต ระบบส่งและจ่ายน้ำ
- แนวทางในการพัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานซ่อมบำรุง
- แนวทางในการปรับปรุงการพัฒนาด้านเครื่องจักรอุปกรณ์

**ระยะยาว** (10 ปี)

**เป้าหมาย** เพื่อให้โรงงานผลิตน้ำบางเขน มีการวางแผนการลงทุนเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ของระบบผลิต ระบบส่งและจ่ายน้ำ (Replacement) เพื่อให้สามารถวางแผนการใช้เครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิตให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่า และส่งเสริมมาตรการด้านพลังงานแก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติการอย่างยั่งยืน เพื่อให้แผนการดำเนินงานต่างๆเป็นมาตรฐานที่เข้าใจตรงกัน โดยคาดว่าสามารถลดอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 7%ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

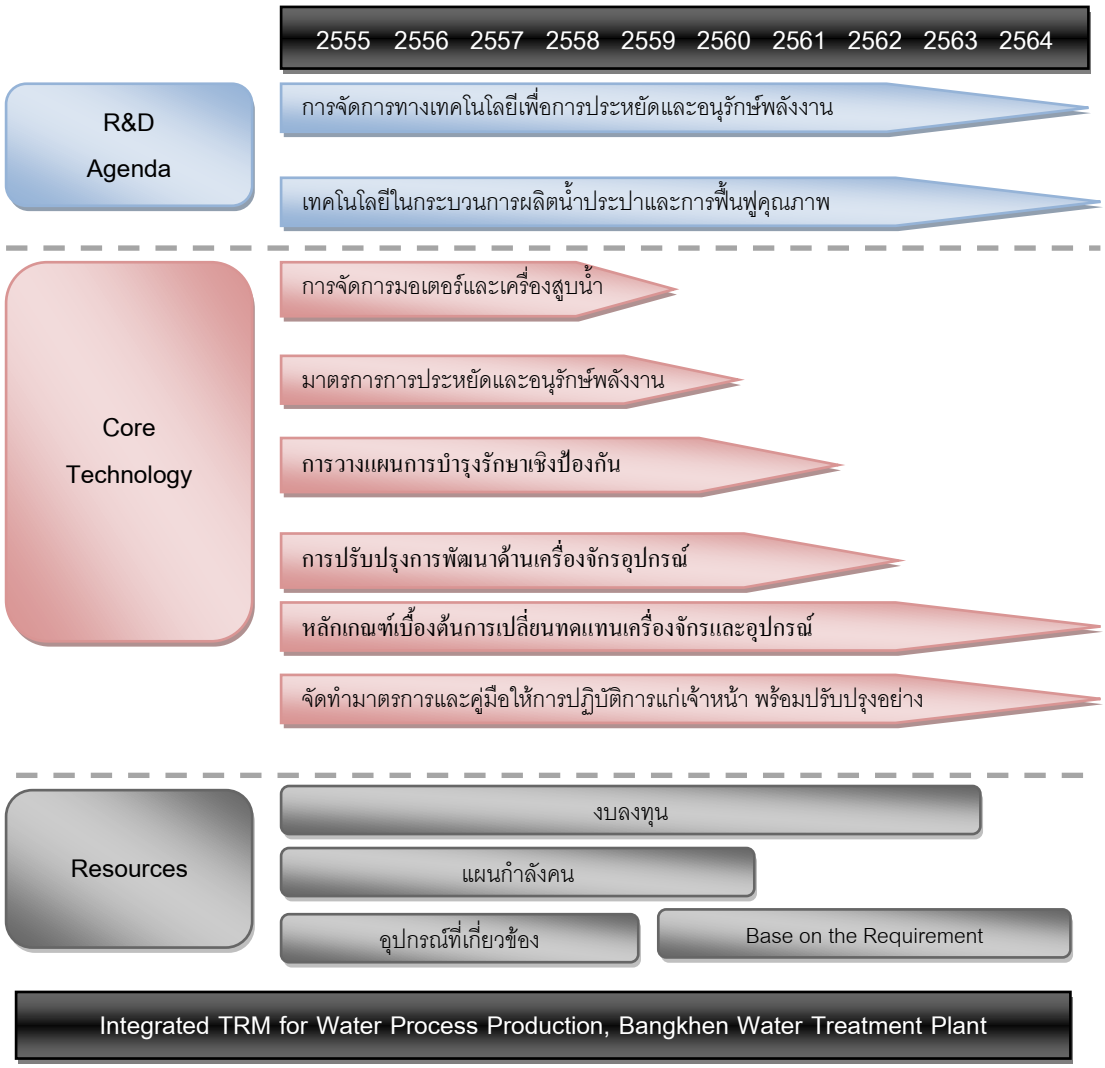
**การดำเนินการ**

***ด้านการลงทุนเพื่อทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์***

- ศึกษาสภาพการใช้งานและประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนลงทุนเปลี่ยนอุปกรณ์ (Replacement)
- จัดทำหลักเกณฑ์เบื้องต้นการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ของระบบผลิต ระบบส่งและจ่ายน้ำ
- จัดทำมาตรการและคู่มือให้การปฏิบัติการแก่เจ้าหน้า พร้อมปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

***ด้านการลงทุนเพื่อขยายกำลังการผลิต***

- ศึกษากำลังการผลิตและแนวโน้มปริมาณการใช้น้ำในอนาคต และความสอดคล้องกับแผนการลงทุน
- ศึกษาแนวทางการพัฒนากำลังการผลิตน้ำประปา เพื่อความมั่นคงระบบประปา การประมาณราคาวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา
- จัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขน นโยบายและแผนทางเลือกต่างๆ (Scenario Plan)




ภาพที่ 12 ตัวอย่างการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลแนวทางความต้องการทางเทคโนโลยี สำหรับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในช่วง 5-10 ปี
2. ทราบถึงปัญหาการสูญเสียของการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำบางเขน
3. ทราบแนวทางในการจัดการพลังงานตลอดจนการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการผลิต
4. มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ สามารถกำหนดเงื่อนไขขั้นตอนในการเลือกเดินเครื่องมอเตอร์ขับปั๊มน้ำในกระบวนการผลิตน้ำของโรงงานผลิตน้ำบางเขนได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

5. เป็นแนวทางสำหรับโรงงานผลิตน้ำแห่งอื่นๆ ทั้งภายในการประปานครหลวง และเอกชน ที่มีกระบวนการผลิตและเครื่องจักรใกล้เคียงกัน

6. มีการจัดการระบบการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ที่มีประสิทธิภาพ

7. มีส่วนร่วมในการหาแนวทางลดการใช้พลังงาน ในสภาวะปัจจุบันที่เกิดวิกฤติด้านพลังงาน ให้เป็นไปตามแนวทางของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิต การวางแผนบริหารการจัดการพลังงานที่เหมาะสม สามารถใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิต โดยมีการประหยัดพลังงานเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการจัดการด้านพลังงาน ดังนั้นการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้รวบรวมผลงาน ทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยทางด้านการจัดการพลังงานและการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

## 2.1 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางด้านการจัดการพลังงานนี้ จะครอบคลุมในเรื่องการจัดการด้านพลังงาน การประหยัดพลังงาน การวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร รวมทั้งสมรรถภาพพลังงานของโรงงาน โดยมีแนวคิดและหลักการดังนี้

### 2.1.1 การจัดการพลังงาน

การจัดการพลังงาน หมายถึง การบริหารและควบคุมการใช้พลังงานขององค์กรให้อยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ให้มีการใช้พลังงานเท่าที่จำเป็น และรักษาระดับการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง โดย

1. ความพยายามในการใช้พลังงานในจำนวนน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยไม่ทำให้กิจกรรมการผลิตต่ำลง และไม่เป็นการลดคุณภาพของผลิตภัณฑ์
2. การทำให้ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ในส่วนของพลังงานลดน้อยลง
3. การใช้พลังงานตามความจำเป็น และในขณะเดียวกันก็ลดการสูญเสียที่ไม่จำเป็นต่างๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงขึ้น
4. การเลือกใช้พลังงานให้เหมาะสมทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ และความต่อเนื่องในการจัดหา

#### 2.1.1.1 แนวทางการจัดการพลังงาน (Energy management guideline)

1. ***การเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสม*** : จะต้องพิจารณาอุปกรณ์ในการผลิตคุณสมบัติทางด้านกายภาพของพลังงานชนิดนั้นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความร้อน เป็นต้น และยังต้องคำนึงถึงข้อมูลทางด้านเศรษฐกิจและให้พิจารณาถึงแง่ประสิทธิภาพรวมที่จะได้ และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวอื่นๆด้วย ซึ่งโดยทั่วไปพลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้กับงานขับเคลื่อน

เครื่องจักรกลและงานให้แสงสว่างนั้น จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานชนิดอื่น แต่ถ้าใช้กับงานในรูปของพลังงานความร้อน การใช้ก๊าซและน้ำมันเชื้อเพลิงจะได้เปรียบกว่า เพราะเป็นการแปรสภาพจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วจึงแปรเป็นพลังงานความร้อนได้ตามต้องการ

2. ***การป้องกันการสูญเสียพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ*** : จะต้องศึกษาสภาพการใช้งาน และหาทางลดการสูญเสียในรูปต่างๆ พลังงานไฟฟ้านั้นมีการใช้งานในด้านต่างๆอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ใช้ในการให้ความร้อน แสงสว่าง และใช้ในการควบคุม เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาสภาพการใช้งานและหาแนวทางลดการสูญเสียในรูปแบบต่างๆ เช่น การเดินเครื่องตัวเปล่าของมอเตอร์ ความร้อนรั่ว ลมรั่วหรือน้ำรั่ว ประสิทธิภาพของเครื่องจักร ตัวอย่างการปฏิบัติดังที่กล่าวมานี้เป็นสิ่งจำที่เป็นอย่างยิ่งในที่มีผลให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. ***การใช้ประโยชน์พลังงานที่ยังไม่ได้ใช้ให้เป็นประโยชน์*** : อุปกรณ์บางชนิดหรือในสภาพการปฏิบัติงานบางแห่ง ยังมีการปล่อยความร้อนจากไฟฟ้า ไอน้ำ และก๊าซทิ้งไปโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น หม้อไอน้ำ หรืออุปกรณ์ให้ความร้อนจากไฟฟ้า พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบทั้งหมด เมื่อใช้ในกระบวนการผลิตแล้ว โดยทั่วไปยังมีปริมาณความร้อนเหลืออยู่มาก ดังนั้น ควรนำพลังงานความร้อนส่วนที่เหลือมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใช้ในการอุ่นวัสดุ หรือทำน้ำร้อน ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานความร้อนดีขึ้น

ในวงการอุตสาหกรรมโดยทั่วไปนั้น การประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานจะมีได้ก็ต่อเมื่อโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆ ได้ดำเนินการดังนี้

ก. จัดตั้งหน่วยบริหารระดับสูง เพื่อรับผิดชอบงานทางด้านการจัดการพลังงาน

ข. กำหนดเป้าหมายของการจัดการพลังงาน

ค. วิธีการประสานงานในแผนงานการจัดการพลังงาน

**2.1.1.2 ขั้นตอนในการดำเนินการการจัดการพลังงานประกอบไปด้วย**

1. **การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน** เป็นการศึกษาตรวจสอบสภาพการใช้พลังงาน การค้นหาปริมาณการใช้และปริมาณสูญเสียพลังงานที่ถูกต้อง เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพหรือแนวทางประหยัดพลังงานได้ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเริ่มแรกซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยๆได้ดังนี้

*ก. การตรวจสอบสภาพการใช้พลังงานจากข้อมูลในอดีต* เป็นการรวบรวมและศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในปีก่อนๆ ชนิดและปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบต่างๆของโรงงานอย่างละเอียด และพลังงานที่เข้าสู่ระบบต่างๆนั้น มีการกระจายการใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือมีการ

สูญเสียมากน้อยเพียงใด เพื่อต้องการทราบปริมาณการใช้พลังงานทุกรูปแบบ ค่าใช้จ่ายพลังงาน ผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ และตัวแปรของการใช้พลังงานในแต่ละช่วง

*ข. การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยการเข้าสำรวจในโรงงาน* สำรวจแผนผังการผลิตเพื่อทราบถึงลักษณะทั่วไปของระบบการผลิตน้ำประปา กระบวนการผลิตน้ำประปาในแต่ละขั้นตอนผลิตอย่างละเอียดถี่ถ้วน พิจารณาบริเวณที่มีการใช้พลังงานสูง ระบบการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ และบริเวณที่เกี่ยวข้อง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นเหตุการสูญเสียพลังงาน และหาแนวทางลดค่าใช้จ่ายพลังงาน หาสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบอุปกรณ์และกิจกรรมต่างๆ พิจารณาระบบอุปกรณ์และกิจกรรมที่สมควรมีการตรวจสอบ และหามาตราการรวมทั้งศักยภาพการประหยัดพลังงานในระบบอุปกรณ์และกิจกรรมข้างต้น

*ค. การตรวจสอบและการวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด* จากผลของการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานข้างต้น ทำให้ทราบว่าควรมีการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์หรือระบบผลิตใดบ้าง ซึ่งต้องทำการตรวจวัดและวิเคราะห์อย่างละเอียดถี่ถ้วน แล้วนำผลที่ได้มาทำสมดุลพลังงานเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ หาสาเหตุของการสูญเสียและหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่าย วิเคราะห์ความคุ้มค่าของแต่ละแนวทางที่จะประหยัดพลังงานเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนประหยัดพลังงานต่อไป

2. **ดำเนินการจัดการพลังงานโดยวิธีการต่าง ๆ** จากการศึกษาการใช้พลังงานตามข้อที่ 1 เป็นผลทำให้ทราบถึงรายละเอียดต่างๆ ซึ่งสามารถกำหนดวิธีต่างๆในการจัดการพลังงานได้โดยจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น

3. **ติดตามผลที่ได้จากการดำเนินการจัดการพลังงาน** การติดตามผลนี้จะทำให้รู้ถึงส่วนเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลังงานที่ใช้ และสามารถวางแผนระบบการบำรุงรักษาเครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ ตลอดจนสามารถทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือ เครื่องจักรนั้นๆ ว่าอยู่ในระดับใด

เป้าหมายของการจัดการพลังงาน ความต้องการในการจัดการพลังงานจำเป็นต้องเขียนออกมาเป็นเป้าหมายที่ชัดเจน ดังตัวอย่างที่แสดงให้เห็นต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างเป้าหมายการจัดการพลังงาน

| |
|---|
| 1. **เป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานทั้งหมด** |
| (1) ลดค่าไฟฟ้าต่อปี ประมาณ .....% |

(2) ลดการใช้ไอน้ำ ประมาณ .....%

(3) ลดการใช้ก๊าซธรรมชาติ ประมาณ .....%

(4) ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ประมาณ .....%

(5) ลดการใช้อากาศอัด ประมาณ .....%

2. **เป้าหมายผลตอบแทนจากการลงทุนของแต่ละโครงการ**

(1) อัตราผลตอบแทนต่ำสุดจากการลงทุนก่อนเสียภาษี คือ.....

(2) ระยะเวลาคืนทุนต่ำสุด คือ.....

(3) อัตราส่วนต่ำสุดเงินลงทุน คือ .....

(4) อัตราผลตอบแทนต่ำสุดจากการลงทุนหลังหักภาษี คือ.....

---

(ชัยพร วงศ์พิศาล, 2531)

### 2.1.2 การประหยัดพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความจำเป็นมากในชีวิตประจำวัน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยทั่วไปแปรสภาพมาจากพลังงานอื่น ซึ่งประสิทธิภาพในการแปรสภาพพลังงานรูปอื่นมาเป็นพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงควรใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้ได้ผลจะต้องเริ่มต้นจากระดับผู้บริหารของบริษัทหรือโรงงานว่ามีวัตถุประสงค์หรือความตั้งใจแน่วแน่เพียงใดที่จะดำเนินการประหยัดพลังงานแล้วจะต้องจัดลำดับโครงการประหยัดพลังงานให้มีความสำคัญอยู่ในลำดับแรกๆ และต้องให้การสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังคนและทรัพยากรการประหยัดพลังงานจะดำเนินไปอย่างได้ผลจะต้องประกอบด้วยหลักการที่สำคัญๆ 6 ประการ

***1. การกำหนดนโยบาย เป้าหมายและแผนงาน*** การกำหนดเป้าหมายนั้นสามารถกระทำได้ 4 วิธีด้วยกัน คือ

ก. เป้าหมายทางนามธรรม เช่น การตั้งเป้าว่าโรงงานของเราต้องเป็นโรงงานตัวอย่างของการประหยัดพลังงาน

ข. เป้าหมายเฉพาะ เช่น การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยมีระยะเวลาของการคืนทุนไม่เกิน 3 ปี

ค. เป้าหมายสมบูรณ์ เช่น ต้องลดต้นทุนพลังงานที่ใช้ ต่อหน่วยการผลิตให้เหลือ 0.35 บาทต่อลบ.ม.

ง. เป้าหมายสัมพัทธ์ เช่น ต้องทำการประหยัดพลังงานในปี 2555 ให้ได้อีก 20%

เป้าหมาย ก. และ ข. จะมีลักษณะเป็นคำขวัญมากกว่าเป้าหมาย ค. และ ง. เป้าหมาย 2 แบบหลังจะให้วัตุประสงค์ของการประหยัดพลังงานที่จำเพาะเจาะจงมากกว่า สามารถดำเนินการและติดตามผลได้ง่ายกว่า หลังจากได้กำหนดเป้าหมายแล้วจะต้องมีการร่างแผนสำหรับงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป เช่น การกำหนดปริมาณงานให้แต่ละคนรับผิดชอบ เนื้อหาของงานที่จะต้องกระทำ กำหนดเวลาของงานช่วงของการปฏิบัติ ระยะเวลาและวิธีปฏิบัติ

***2. การวิเคราะห์สถานะภาพในปัจจุบัน*** งานขั้นแรกของการทำงานด้านการประหยัดพลังงาน คือการวิเคราะห์สถานภาพการใช้พลังงานในปัจจุบัน โดยต้องทำให้เห็นได้อย่างกระจ่างชัดเจนว่ากำลังใช้พลังงานอะไรอยู่บ้าง ใช้ด้วยปริมาณมากน้อยเท่าไหร่ และใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใดและสิ่งสำคัญคือต้องชี้ให้เห็นว่าการใช้พลังงานในขณะนี้มีพลังงานอะไรสูญเสียอยู่บ้าง สูญเสียอยู่ที่บริเวณไหนหรือพื้นที่ส่วนไหนของโรงงาน และสูญเสียอยู่ด้วยปริมาณมากน้อยเท่าไหร่ เพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุประสงค์ดังกล่าวจะต้องมีการทำการสำรวจ และตรวจวัดวิเคราะห์การใช้พลังงานทั่วทั้งโรงงาน ซึ่งสามารถดำเนินการได้ 3 ระดับคือ

- รวบรวมและวิเคราะห์บันทึกของโรงงาน ได้แก่ ใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ ตลอดจนข้อมูลปริมาณการผลิตในอดีตที่ผ่านมา
- สำรวจและศึกษาการใช้พลังงานในปัจจุบันอย่างคร่าวๆ เพื่อหาแหล่งที่มีการใช้พลังงานอย่างไม่เหมาะสม มีการสูญเสียพลังงานมาก เพื่อจำแนกพื้นที่หรือกระบวนการที่ต้องมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียดต่อไป
- สำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด เพื่อหาปริมาณพลังงานสูญเสียและค่าใช้จ่ายเพื่อดำเนินการลดพลังงานสูญเสียส่วนนี้

ในการดำเนินการสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานนั้น จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดต่างๆเข้าช่วย ต้องกำหนดผู้รับผิดชอบดำเนินการวัดและวิเคราะห์โดยตรง ข้อมูลดิบที่ได้จะต้องนำมาทำการวิเคราะห์และแสดงผลในรูปกราฟ แผนภูมิหรือภาพที่สื่อความหมายที่ชัดเจน เข้าใจง่าย

***3. การเตรียมแผนงานปรับปรุง*** หลังจากที่ได้วิเคราะห์สถานภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันเป็นที่เรียบร้อยแล้วและพบว่ามีพลังงานสูญเสียจำนวนมาก สามารถประหยัดได้ ขั้นตอนต่อไปคือการจัดทำแผนงานปรับปรุง ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินงานอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

ก. การรวบรวมแนวความคิด การระดมความคิดจากผู้ปฏิบัติงานในส่วนต่างๆ ซึ่งทำงานเต็มเวลาในพื้นที่นั้นๆ และจากวิศวกรแขนงต่างๆที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านพลังงาน การผลิต การควบคุม การบำรุงรักษาและด้านความปลอดภัย จะช่วยให้ได้แผนที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ข. การจัดทำแผนงานปรับปรุง จากแนวคิดต่างๆที่ได้จากข้อ ก. จะถูกนำไปวิเคราะห์ทางเทคนิค เพื่อชี้ชัดถึงผลกระทบที่จะบังเกิดขึ้นกับกระบวนการอื่นๆกับคุณภาพของผลผลิต กับขีดจำกัดสูงสุดของการผลิต กับสภาพแวดล้อมของการทำงาน กับมลภาวะสิ่งแวดล้อม และด้านความปลอดภัยแล้วแบ่งแนวคิดออกเป็น 3 ระดับคือ

- แนวความคิดที่สามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างแน่นอน
- แนวความคิดที่อยู่ในขั้นทดลอง
- แนวความคิดที่ยังไม่ชัดเจนเพียงพอที่จะนำไปปฏิบัติได้

แผนงานปรับปรุงการประหยัดพลังงานจะถูกสร้างขึ้นจากพื้นฐานของแนวความคิดประเภทแรก ตามด้วยการประเมินผลรวมของผลกระทบของแผนงาน สถานที่ของการติดตั้งของระบบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวพันกัน โอกาสของการนำแผนไปปฏิบัติตลอดจนข้อดีข้อเสียของแผนงาน

ค. การประเมินผลแผลงาน แผนงานประหยัดพลังงานที่ได้เสนอไว้จะต้องได้รับการประเมินผลประสิทธิภาพภายใน เทอมของเงินลงทุน ระยะเวลาของคืนทุน และควรจำแนกแผนตามลำดับความสำคัญด้วย

***4. การนำแผนปรับปรุงไปปฏิบัติ*** ก่อนลงมือปฏิบัติงานจะต้องมีการตรวจสอบซ้ำอีกครั้งในเรื่องของเนื้อหาสาระ ระยะเวลาที่ใช้ วิธีการดำเนินงานและตัวประกอบอื่นๆ ว่าถูกต้องเหมาะสมดีแล้ว จากนั้นต้องดำเนินการชี้แจงให้บุคคลที่เกี่ยวข้องและบุคคลข้างเคียงทราบถึงรายละเอียดว่า เรากำลังทำอะไรอยู่ แผนที่ได้เสนอไว้จะต้องได้รับการปฏิบัติอย่างฉับพลัน และแม่นยำ ต้องมีการวัดและประเมินผลลัพธ์ที่ได้แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ควรได้รับตามที่ได้กำหนดไว้ในแผนงาน และอาจมีการปรับแผนให้เหมาะสมขึ้นตามความเหมาะสมต่อไป กำหนดเป้าหมายจำเพาะขึ้น เพื่อกำหนดมาตรฐานการทำงานและใช้ในการติดตามความต่อเนื่องของโครงการต่อไป

***5. การประเมินผลลัพธ์ที่ได้*** ในการทำโครงการประหยัดพลังงานหรือโครงการใดๆก็ตาม เมื่อได้นำแผนงานไปปฏิบัติแล้วจะต้องมีการประเมินผลลัพธ์ด้วย เพื่อบ่งบอกให้ทราบว่าโครงการที่ตั้งขึ้นมานั้นประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใด ถ้าไม่สำเร็จเกิดจากสาเหตุใด ผลการประเมิน จะชี้ให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้คุ้มกับความพยายามและค่าใช้จ่ายต่างๆที่ต้องเสียไปหรือไม่

***6. ความต่อเนื่องของโครงการ*** โครงการประหยัดพลังงานมีลักษณะเป็นโครงการแบบต่อเนื่อง เมื่อเริ่มดำเนินการแล้วจะหยุดไม่ได้ การประหยัดพลังงานจะเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอยู่เป็นประจำวันทุกวัน ซึ่งสามารถแปรเปลี่ยนไปได้เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ดังนั้นการประหยัดพลังงานจึงต้องมีการติดตามอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างเหมาะสม ระบบที่ใช้ในการติดตามความต่อเนื่องอย่างเหมาะสมคือ ระบบจดบันทึกและรายงานผล ซึ่งจะบอกให้วิศวกรโรงงานและผู้บริหารทราบว่ามีการใช้พลังงานชนิดต่างๆ ไปในส่วนไหนของโรงงานบ้าง ใช้ไปด้วยปริมาณมากน้อยเพียงใด ใช้ไปในลักษณะใด มีแนวโน้มว่าจะเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพปัจจุบันอย่างไร เช่นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ผลผลิตยังเท่าเดิม ทำให้สามารถระบุได้ว่าควรให้ความสนใจพลังงานชนิดใด ที่พื้นที่ส่วนไหนเป็นพิเศษได้

### 2.1.3 การอนุรักษ์พลังงาน

การอนุรักษ์พลังงานคือ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในระยะเวลาการใช้เท่าเดิม ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้นั้นจะใช้พลังงานน้อยกว่าเดิม

การอนุรักษ์พลังงาน หมายถึง ผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัด นอกจากจะลดปริมาณการใช้พลังงานซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในกิจการแล้ว ยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแหล่งผลิตพลังงานลงด้วย โดยความเข้าใจที่ถูกต้องของการอนุรักษ์พลังงานนั้น มีดังนี้

1. การอนุรักษ์พลังงานมิใช่การไม่ยอมใช้พลังงาน
2. อนุรักษ์พลังงานแล้วต้องไม่กระทบกับความปลอดภัย
3. อนุรักษ์พลังงานแล้วต้องไม่กระทบกับคุณภาพชีวิต ทั้งมาตรฐานชีวิตและความสุขสบาย
4. อนุรักษ์พลังงานคือ การใช้เมื่อสมควรใช้ ทั้งในแง่ปริมาณและเวลา และใช้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. อนุรักษ์พลังงานต้องคำนึงถึงผลข้างเคียง และผลได้ผลเสีย

โดยในปี พ.ศ.2535 ได้มีการตราพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 เพื่อกำหนดกลุ่มเป้าหมาย คือ อาคารควบคุม และโรงงานควบคุม ต้องจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ข้อมูล บุคคลากร แผนงาน เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย

**2.1.3.1 วิธีการหรือมาตรการที่จะอนุรักษ์พลังงาน**

1. ลด Load คือการลดภาระของเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน เป็นการแก้ที่ต้นเหตุคือให้ใช้พลังงานเท่าที่จำเป็นต้องใช้
2. ลด Loss คือการลดการสูญเสีย สูญเปล่าพลังงาน(ที่จำเป็นต้องใช้)
3. Reuse, Recycle คือการทิ้งพลังงานเมื่อจำเป็นต้องทิ้งหรือไม่คุ้มที่จะนำกลับมาใช้ใหม่เท่านั้น ความหมายคือ พลังงานใดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่ว่าจะนำมาใช้ได้โดยตรงหรือต้องผ่านกระบวนการใดๆเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แล้วคุ้ม ให้นำกลับมาใช้ใหม่ทั้งทางตรงและทางอ้อม

**2.1.3.2 การอนุรักษ์พลังงานด้วยเทคนิคการจัดการเชิงบูรณาการ**

การอนุรักษ์พลังงานสามารถดำเนินการได้โดยเทคนิคการจัดการควบคู่กับเทคนิคเฉพาะทาง โดยการนำข้อดีของแต่ละเทคนิคมาบูรณาการร่วมกัน เพื่อกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยที่**เทคนิคการจัดการเชิงวิศวกรรมคุณค่า** (Value Engineering, VE) เป็นกลไกในการขับเคลื่อนกระบวนการอนุรักษ์พลังงานให้ประสบผลสำเร็จ และยั่งยืนเนื่องจากเน้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมมนุษย์ ขณะที่**เทคนิคเฉพาะทาง**ซึ่งได้แก่ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า และวิศวกรรมเคมี เป็นต้น จะเป็นการเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้ประกอบการและคณะอนุรักษ์พลังงานว่ามีมาตรการที่ดำเนินการปรับปรุงจะได้ผลตามความคาดหมาย เนื่องจากมีข้อมูลทางเทคนิคประกอบการพิจารณา

การอนุรักษ์พลังงานด้วนเทคนิคการจัดการเชิงบูรณาการ ประกอบด้วยเทคนิคการจัดการเชิงวิศวกรรมคุณค่าควบคู่กับเทคนิคเฉพาะทาง เป็นวิธีบริหารจัดการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในส่วนต่างๆของสถานประกอบการเพื่อลดความสูญเปล่า ก่อให้เกิดการใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างชาญฉลาดเพื่อให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าสูงสุด โดยเทคนิคการจัดการเชิงวิศวกรรมคุณค่านั้น เป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุนด้านการเงินหรือลงทุนน้อย และไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดเฉพาะทาง ส่วนเทคนิคเฉพาะทางนั้น เป็นการอนุรักษ์พลังงานที่มีการใช้เครื่องมือตรวจวัดเฉพาะทางเข้าไปช่วยในการตรวจวัด เพื่อให้ทราบสภาพการใช้พลังงานภายในสถานประกอบการ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการกำหนดมาตรการและวิธีปฏิบัติในการประหยัดพลังงานของสถานประกอบการต่อไป

- **ลักษณะและเทคนิคการอนุรักษ์พลังงานด้วยเทคนิคการจัดการเชิงบูรณาการ**

การอนุรักษ์พลังงานด้วยเทคนิคการจัดการเชิงบูรณาการ ประกอบด้วยเทคนิคการจัดการควบคู่กับเทคนิคเฉพาะทาง เทคนิคการจัดการที่ได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน คือเทคนิคการจัดการเชิงวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering, VE) ซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงานมุ่งเน้นที่คนซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติงานให้รู้จักและเข้าใจในเรื่องของประโยชน์การใช้งาน (function) ของสิ่งต่างๆซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของเทคนิคนี้ เนื่องจากเทคนิคนี้จะแนะนำให้ผู้ปฏิบัติงานพิจารณางานที่ทำให้ละเอียดลึกซึ้งและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานแบบเดิมที่เคยชิน ให้สามารถมองเห็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำงานที่มีความสูญเปล่าของพลังงานอื่นๆ มองปัญหาอย่างเข้าใจและรู้ที่มาของปัญหา ทำให้ผู้ปฏิบัติงานรู้จักใช้ความคิดสร้างสรรค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน ลดความสูญเปล่าของพลังงานและอื่นๆ การประยุกต์เทคนิค VE นี้ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานเมื่อผ่านกระบวนการใช้ความคิดกลั่นกรองออกมาแล้ว จะต้องนำไปปฏิบัติให้เกิดผลเป็นรูปธรรม มิฉะนั้นแล้วก็จะกลายเป็นสิ่งที่อยู่ในความคิดหรือในกระดาษเท่านั้น โดยเทคนิคการจัดการเชิงวิศวกรรมคุณค่านี้ ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคและเครื่องมือเฉพาะทางในการตรวจวัดความสูญเปล่าพลังงาน เพียงแต่ใช้การสังเกตและเอาใจใส่ก็จะพบความสูญเปล่าของพลังงานที่เกิดขึ้น

การอนุรักษ์พลังงานด้วยเทคนิคเฉพาะทางเป็นวิธีการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้เครื่องมือในการตรวจวัดเฉพาะทางโดยเฉพาะทางวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการตรวจหาและวิเคราะห์ความสูญเปล่าของพลังงาน เพื่อจะได้วางแผนดำเนินการปรับปรุงต่อไป

- **กระบวนการเคลื่อนตัวของการอนุรักษ์พลังงานเทคนิคการจัดการเชิงบูรณาการ**

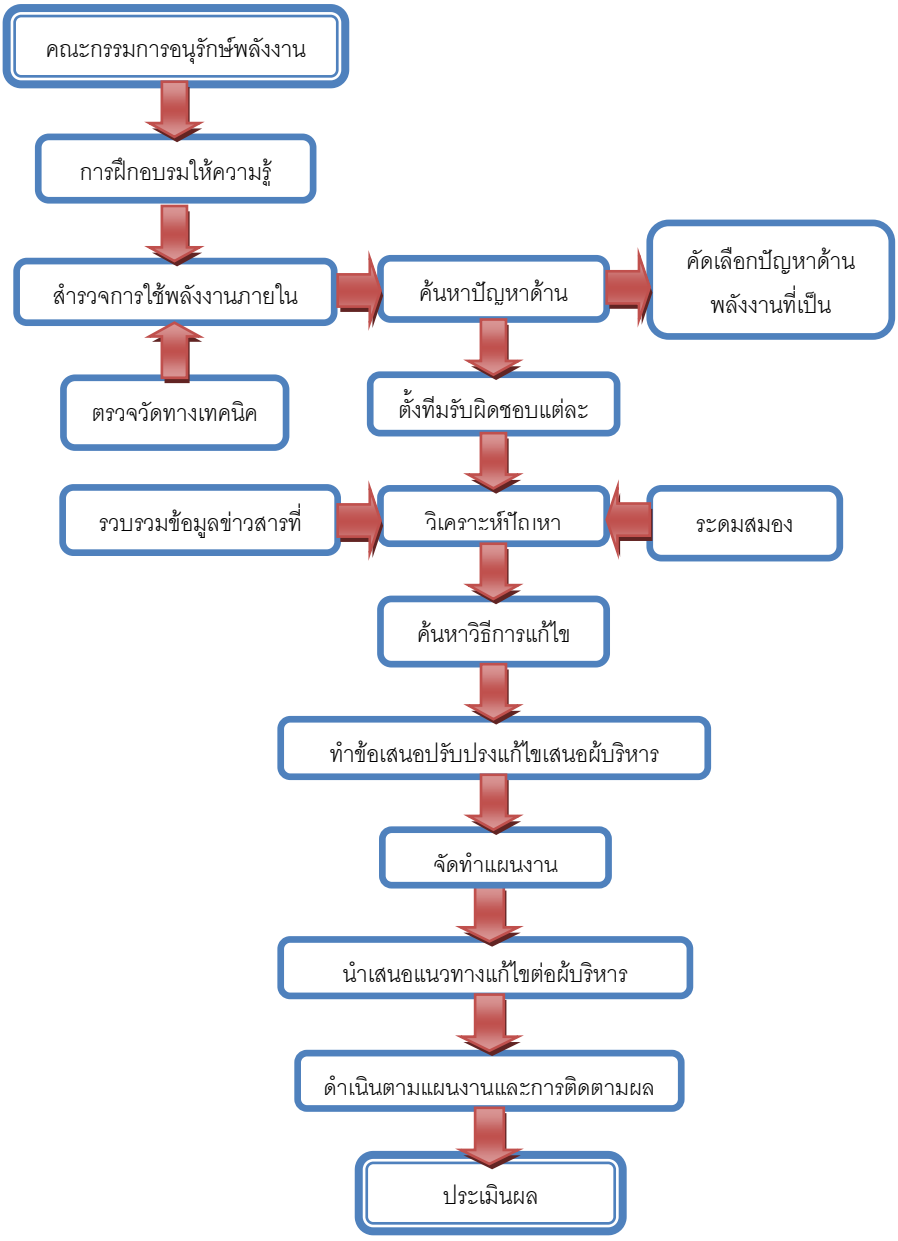
มีการจัดตั้งคณะกรรมการพลังงาน หรือทีมงาน VE ขึ้น โดยประกอบด้วยบุคคลที่มาจากฝ่ายต่างๆ ที่มีความรู้แตกต่างกัน เพื่อให้ทุกฝ่ายได้แสดงความคิดเห็นและมีส่วนร่วมในการกำหนดทิศทางการอนุรักษ์พลังงาน คณะกรรมการพลังงานควรเป็นบุคคลที่มีคุณภาพและมีจิตสำนึกที่ดีทั้งในแง่ส่วนตัวและส่วนรวม เป็นบุคคลใฝ่รู้อยู่เสมอ และที่สำคัญคือต้องรู้จักสามัคคี คณะกรรมการควรยึดหลักความถูกต้องและชอบธรรมในการแก้ไขจะทำให้ทุกสิ่งทุกอย่างยุติลงได้ด้วยดีและมีความเข้าใจซึ่งกันและกัน

ฝึกอบรมคณะกรรมการพลังงาน เพื่อให้มีความรู้เรื่องเทคนิคการจัดการและเทคนิคเฉพาะทางโดยผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน ในส่วนของเทคนิคการจัดการจะมีขั้นตอนปฏิบัติกิจกรรมวิศวกรรมคุณค่า (VE Workshop) เพื่อให้คณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานเข้าใจหลักการของ VE อย่างลึกซึ้งก่อนไปปฏิบัติจริง

หลังจากนั้นคณะกรรมการพลังงานจะทำการสำรวจการใช้พลังงานภายในโรงงานหรืออาคารเพื่อดูว่ามีส่วนไหนบ้างที่มีความสูญเปล่าของพลังงานเกิดขึ้น มีการใช้พลังงานที่ไม่ได้ประสิทธิภาพและมีการใช้พลังงานที่มากเกินความต้องการ คณะกรรมการพลังงานจะมีการระดมสมองและแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ เพื่อเป็นการกระจายงาน และเพื่อหาแนวทางปฏิบัติโดยตั้งอยู่บนหลักการของประโยชน์การใช้งานที่จำเป็นและต้นทุนของแต่ละขั้นตอนเพื่อประเมินคุณค่า (Value = Function/Cost) หรืออัตรการประหยัดที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ประกอบการคัดเลือกโครงการเป้าหมายแนวทางปฏิบัติที่แต่ละทางร่วมกันคิด จะถูกนำมากลั่นกรองและปรับปรุงจนได้โครงการที่เด่นชัด ซึ่งจะถูกประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ได้โครงการที่มีประสิทธิภาพ

โครงการที่ถูกคัดเลือกนั้นจะถูกนำเสนอต่อผู้บริหารเพื่อขอความเห็นชอบ โดยมีการร่างแผนการดำเนินงานอย่างละเอียดซึ่งครอบคลุมทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์พร้อมเป้าหมายของแต่ละโครงการ เป้าหมายของการปรับปรุงและแผนการดำเนินงาน (Action Plan) และมอบหมายให้ผู้รับผิดชอบชัดเจนเพื่อโครงการเป้าหมายไปสู่ขั้นตอนการปฏิบัติอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิผล ส่วนผู้บริหารควรให้ความช่วยเหลือ แก้ข้อสงสัยที่ไม่ชัดเจนและช่วยแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในช่วงปฏิบัติจริง จัดเตรียมงบประมาณบางส่วนสำหรับทีมงานแม้จะยังไม่ปรากฏผลการประหยัดพลังงานที่ชัดเจน ควรสนับสนุนให้มีการจัดำคู่มือประกอบการปฏิบัติงานและควรส่งบุคคลากรเข้าอบคมในหลักสูตรต่างๆ ที่จัดโดยองค์กรภายนอกบริษัทเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับบุคคลากร

โครงการเป้าหมายที่ได้ดำเนินการไปจะต้องมีการติดตามความก้าวหน้าในการปฏิบัติงาน โดยต้องทำอย่างมีระบบและมีการมอบหมายผู้รับผิดชอบที่คอยควบคุมให้เป็นไปตามแผนงานเพื่อนรับทราบผลที่เกิดขึ้นจริงกับที่คาดการณ์ไว้เพื่อทำการประเมินผล สรุปปัญหา และแนวทางแก้ไข เพื่อรายงานเสนอต่อผู้บริหารทราบ




ภาพที่ 13 แสดงกระบวนการเคลื่อนตัวของการอนุรักษ์พลังงานเทคนิคการจัดการเชิงบูรณาการ

### 2.1.4 ทฤษฎี และความรู้ที่เกี่ยวข้องกับ ISO

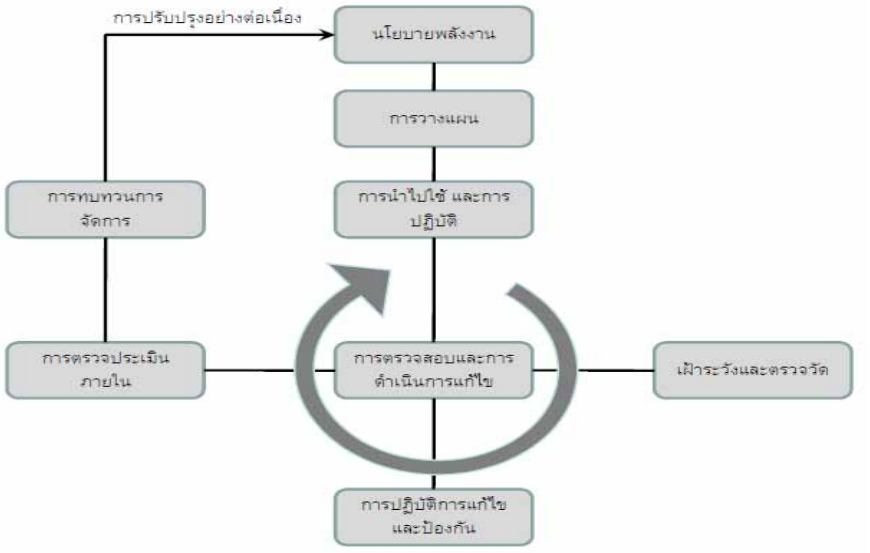
คำว่า ISO มาจากภาษากรีก แปลว่า เท่ากันหรือเท่ากับ

ISO เป็นตัวย่อขององค์กรที่ทำหน้าที่กำกับดูแลมาตรฐานต่างๆของโลก ชื่อว่า International Organization for Standardization (องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน) มีสำนักงานอยู่ที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

ISO 9000 หมายถึง มาตรฐานระบบคุณภาพ ที่วงการในระดับองค์กรต่างๆทั่วโลกเลือกใช้เพื่อรองรับ “ระบบการบริหารการดำเนินงานขององค์กร” แนวความคิดที่สำคัญของ ISO 9000 คือ การจัดวางระบบการบริหารเพื่อการประกันคุณภาพที่สามารถตรวจสอบได้โดยผ่านระบบเอกสาร

ISO 14000 เป็นมาตรฐานสากลสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมขององค์กรให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยองค์กรสามารถจัดทำระบบ และขอการรับรองได้โดยสมัครใจ แต่ต้องมี การประกาศนโยบายอย่างชัดเจน และเปิดเผยต่อสาธารณชน ISO 14000 ประกอบด้วยมาตรฐานหลายฉบับ ฉบับที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ ISO 14001 (Environment Management System) หรือมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นมาตรฐานเพียงฉบับเดียวในอนุกรม ISO 14000 ที่สามารถสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องได้โดยการออกใบรับรอง (Certificate) เพื่อแสดงว่า องค์กรได้มีการดำเนินธุรกิจที่จะไม่ทำให้สิ่งแวดล้อมเสียหาย

ISO 50001 คือมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน เป็นมาตรฐานที่มุ่งเน้นให้องค์กรนำระบบและกระบวนการที่จำเป็นในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ปรับปรุงอัตราส่วนของปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อผลของกิจกรรมที่ใช้พลังงานนั้นๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการลดต้นทุน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ด้วยการจัดการพลังงานที่เป็นระบบ




ภาพที่ 14 กระบวนการจัดการแบบ ISO

### 2.1.5 หลักการบริหารคุณภาพ 8 ประการ

ในมาตรฐาน ISO 9001 version 2000 ได้มีการเชื่อมโยงถึงหลักการ 8 ประการดังนี้

1. องค์กรที่มุ่งเน้นลูกค้า (Customer-Focused Organization) เพื่อทราบถึงความต้องการและการคาดหวังจากลูกค้า เพื่อให้เกิดการตอบสนองที่ดีที่สุด และมีการตอบสนอง Feedback ของลูกค้าได้เร็วที่สุด เช่น การร้องเรียน เป็นต้น

มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 : Customer Focus (5.2), Customer-Related Process (7.2), Customer Satisfaction (8.2.1)

2. ภาวะผู้นำ (Leadership) ความสามารถในการชักนำ โน้มน้าวให้คนคล้อยตาม สามารถนำคนให้ปฏิบัติกิจกรรมใหม่ๆ ให้ลุล่วงเป้าหมายนั้นๆอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล มุ่งให้ผู้บริหารองค์กรแสดงความเป็นผู้นำในการจัดทำระบบจนลุล่วง สร้างความมั่นใจได้เกี่ยวกับระบบดังกล่าว

มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 : Management Responsibility (ข้อ 5)

3. การมีส่วนร่วมของพนักงาน (Involvement of People) ผู้ที่ลงมือปฏิบัติได้แก่พนักงาน ดังนั้นจึงต้องการความร่วมมือกันอย่างแข็งขันทั่วทั้งองค์กร

มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 : Competence, Awareness and Training

4. วิถีเชิงกระบวนการ (Process Approach) มองกระบวนการ, งาน, กิจกรรมต่างๆ ให้มองอยู่ในรูปของกระบวนการ (Process) มีทั้งปัจจัยเข้า (Input) และปัจจัยออก (Output) ซึ่ง มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 ที่สนับสนุนหลักการนี้เกือบทุกข้อ

5. วิถีเชิงระบบในการจัดการ (System Approach to management) การนำกระบวนการต่างๆมาร้อยเรียงกันก่อให้เกิดเป็นระบบ (System) โดยเรียงตามลำดับและการมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ซึ่งกันและกัน เช่นเดียวกับหลักการของ TQM ที่ว่า “กระบวนการถัดไปคือลูกค้า”

มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 : General Requirement (4.1), Quality Manual (4.2.2 c), Quality Management System Planning (5.4.2)

6. การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continual Improvement) การบรรลุเป้าหมายในการปฏิบัติใดๆ ยังมีความจำเป็นที่ต้องพัฒนาให้มีผลการปฏิบัติที่ดีขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง

มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 : General Requirement (4.1 f), Quality Policy (5.3 b), Continual Improvement (8.5.1)

7. การใช้ข้อเท็จจริงในการตัดสินใจ (Factual Approach to Decision Making) ไม่ใช่ความรู้สึก (Feeling) ในการตัดสินใจในการบริหารระบบคุณภาพ การตัดสินใจของผู้บริหาร

แต่ละครั้ง ต้องมีข้อมูล, ข้อเท็จจริงสนับสนุน ซึ่งข้อมูลได้จากการเก็บ และนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจของผู้บริหาร

มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 : Analysis of Data (8.4)

8. ความสัมพันธ์กับผู้ส่งมอบโดยการได้รับผลประโยชน์ร่วมกัน (Mutually Beneficial Supplier Relationships) “Win-Win Situation” คือการได้รับผลประโยชน์ร่วมกันทุกฝ่าย อาจมีการฝึกอบรม ให้การสนับสนุนในเรื่องต่างๆ

มาตรฐาน ISO 9001 version 2000 : General Requirement (4.1), Purchasing Process (7.4.1)

### 2.1.6 **หลักการเขียนเอกสาร Procedure และ Work Instruction**

Procedure มักใช้อธบายถึงระบบหลักๆของระบบบริหารหรือระบบ ISO ใดๆ ส่วน Work Instruction จะใช้อธิบายถึงระบบย่อยๆ เป็นเอกสารแนะนำการทำงานในแต่ละส่วนย่อยนั้น

เอกสาร Procedure และ Work Instruction ที่ดี ควรมีลักษณะดังนี้

- ใช้รูปแบบที่เหมาะสม เป็นระเบียบเรียบร้อย ป้องกันการสับสนและผิดพลาด
- ใช้ภาษา หรือข้อความที่ชัดเจน เข้าใจง่าย ไม่ก่อให้เกิดความสับสน
- อ่านแล้วรู้สึกถึงลำดับของการปฏิบัติ ก่อน กลัง ตามความจำเป็นของระบบ หรืองาน
- ต้องรู้ว่าระบบหรืองานนั้น ต้องบันทึกอะไร บันทึกอย่างไร ใช้แบบฟอร์มใด
- ไม่ควรบีบรัดเกินไป จนปฏิบัติไม่ได้ อาจยืดหยุ่นได้ ตามความจำเป็นเหมาะสม

การเขียน Procedure และ Work Instruction ที่ดี ควรมีลักษณะดังนี้

- ใช้สื่อ และภาษาที่เหมาะสมกับผู้ที่ต้องใช้เอกสาร หรืออาจจะเป็นในลักษณะภาพสื่อความหมาย
- ยึดหลักการ 5W 1H คือ Who เอกสารระบุว่าใคร, What ทำอะไร, Whenทำเมื่อไหร่, Where ทำที่ไหน, Why ทำไปทำไม (วัตถุประสงค์), How ทำอย่างไร
- ใช้รูปแบบที่เหมาะสม มีความเป็นระเบียบเรียบร้อย อ่านได้ง่าย
- ควรเรียงลำดับเป็นข้อๆ เพื่อทราบขั้นตอนการปฏิบัติก่อนหลัง หรืออาจใช้ Flow Chart สื่อเอกสาร Procedure และ Work Instruction ควรมีหัวเรื่องดังนี้

- วัตถุประสงค์ เพื่ออธิบายว่าเอกสาร Procedure และ Work Instruction มีไว้เพื่ออะไร
- ขอบข่าย มีผลใช้กับหน่วยงานใด ใช้ที่ไหน ใช้เมื่อไหร่ สถานการณ์ไหน
- คำจำกัดความ ไว้อธิบายศัพท์เฉพาะที่ใช้ เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน
- ขั้นตอนการปฏิบัติ ควรเขียนเรียงลำดับก่อนหลังเป็นข้อๆ
- บันทึก ไว้อธิบายว่าระบบนี้ต้องการบันทึกอะไรบ้าง
- เอกสารอ้างอิง ในกรณีที่มีการเชื่อมโยงหรืออ้างอิงเอกสารอื่น
- ประวัติการแก้ไข เพื่อระบุสถานการณ์แก้ไขของเอกสารฉบับนั้น

2.1.7 **แนวทาง** SPER

2.1.7.1 **การวางมาตรฐาน** (S:Standard) มีบรรทัดฐานเป็นที่ยอมรับกันให้เป็นมาตรวัด รวมถึงการกำหนดวิธีการทำงานที่เป็นมาตรฐานเพื่อสามารถบรรลุเป้าหมายที่วางไว้

2.1.7.2 **การประเมินศักยภาพทางเทคนิค** (P:Performance) ผลงาน หรือสมรรถนะ หรือประสิทธิผล ประสิทธิภาพ รวมถึงการทำให้เกิดผลงาน ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนของการกำหนดมาตรฐาน และการเก็บข้อมูลของสิ่งที่ได้ทำลงไป เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินคุณค่าในขั้นตอนต่อไป

2.1.7.3 **การติดตามความก้าวหน้าและเปรียบเทียบ** (E:Evaluate) คือการประเมินคุณค่าสิ่งที่ได้ทำผลไปแล้ว ว่าสิ่งนั้นได้ตามมาตรฐาน หรือเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่ เพื่อสามารถนำไปทบทวนแก้ไขในขั้นตอนต่อไป

2.1.7.4 **การทบทวนผลการดำเนินการ** (R:Review) การทบทวนเพื่อการศึกษาและปรับปรุง หลังจากการประเมินคุณค่าของสิ่งที่ได้ทำลงไป นำผลมาเพื่อหาสาเหตุและการแก้ไข ป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดอีก รวมทั้งหาทางพัฒนาระบบ หรือการดำเนินงานนั้นใหม่

หลักการ SPER เริ่มจากการกำหนดมาตรฐาน (Standard) ขึ้นมาเพื่อเป็นตัวชี้วัดว่าสามารถบรรลุเป้าหมายได้หรือไม่ จากนั้นจึงดำเนินการตามมาตรฐานเพื่อให้เกิดผลตามที่วางไว้ (Performance) และมีการตรวจประเมินผลที่ได้นั้นว่าเป็นอย่างไร (Evaluate) เมื่อเทียบกับมาตรฐานที่วางเอาไว้ หลังจากนั้นนำมาทบทวน ปรับปรุง แก้ไขให้ตรงจุด แล้วนำไปกำหนดให้เป็นมาตรฐานครั้งใหม่ให้ดีขึ้น และดีขึ้น เป็นวงจรต่อไป

### 2.1.8 องค์ประกอบที่ควรพิจารณาในการจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า

#### 2.1.8.1 พลังงานไฟฟ้า

เป็นพลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์หรือเครื่องจักรใช้ในการทำงานในระยะเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หรือหน่วย หรือยูนิต

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = กำ ลังไฟฟ้า (kW) x จำ นวนชั่วโมงใช้งาน (h)

การปรับปรุงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทำ ได้โดยการลดจำ นวนชั่วโมงในกระบวนการผลิตน้ำประปา หรือทำการลดพลังไฟฟ้าที่ใช้ลงจากที่ได้กระทำอยู่ในปัจจุบัน

#### 2.1.8.2 โหลดแฟคเตอร์ (LF)

โหลดแฟคเตอร์ คือ อัตราส่วนระหว่างโหลดเฉลี่ยในช่วงเวลาที่พิจารณาต่อโหลดสูงสุดในช่วงเวลานั้น ซึ่งใช้ดูความสม่ำเสมอของ Demand โดยค่า Demand ยิ่งมากยิ่งดี เพราะแสดงว่ามีการใช้ไฟฟ้า
ค่อนข้างสม่ำเสมอ

$$\text{โหลดแฟคเตอร์ (LF)} = \frac{\text{โหลดเฉลี่ย (Pmean)}}{\text{โหลดสูงสุด (Pmax)}}$$

เมื่อโหลดเฉลี่ย (Pmean) = ความต้องการกำลังเฉลี่ย (Demand)
และโหลดสูงสุด (Pmax) = ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max.demand)

การปรับปรุงโหลดแฟคเตอร์สามารถกระทำ ได้ 2 วิธีดังนี้คือ

ก. พยายามหาวิธีในการลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น

ข.การปรับปรุงวิธีการทำงานและวิธีการผลิต พร้อมทั้งเปลี่ยนช่วงเวลาให้เดินเครื่องให้เหมาะสมยิ่งขึ้น (หลีกเลี่ยงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าพร้อมๆกันจำนวนมาก)

วิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดมีเป้าหมายเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน หรือต่อเดือน

2.1.8.3 **ตัวประกอบกำลัง** (PF, Power Factor)

$$\text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง (kW)}}{\text{กำลังไฟฟาเสมือน(kVA)}}$$

เครื่องใช้หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น มอเตอร์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นอุปกรณ์ประเภทอินดัคตีฟโหลด (Inductive load) การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขนานเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งจะช่วยลดพลังงานสูญเสียขณะใช้งาน ลดแรงดันตก โดยที่โรงงานผลิตน้ำบางเขนได้ทำการติดตั้งไว้อยู่แล้ว ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 95% - 100%

2.1.8.4 **เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์**

อุปกรณ์ที่มีอยู่ในโรงงานสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพได้ อย่างเช่น

- เครื่องสูบน้ำ
- มอเตอร์

2.1.8.4.1 **เครื่องสูบน้ำ**

เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามต้องการ โดยเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในโรงงานผลิตน้ำบางเขนเป็นเครื่องสูบน้ำชนิด Horizontal mixed flow ซึ่งใช้ที่โรงสูบน้ำดิบ 1,2 และชนิด Volute ซึ่งใช้ที่โรงสูบจ่ายน้ำ1,2
และโรงสูบส่งน้ำ 1,2

*ก. ลักษณะการทำงาน*

- ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสูบและขนาดของเครื่องสูบน้ำ

อัตราการสูบ หมายถึง ปริมาณของของเหลวที่ไหลผ่านเครื่องสูบน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลานิยมวัดเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที (m3/min) หรือลิตรต่อวินาที (l/s)

- ขนาดเครื่องสูบน้ำ หมายถึง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางดูด (Suction opening) และหรือช่องทางจ่าย (Discharge opening) ขนาดดังกล่าวจะสัมพันธ์กับอัตราการสูบโดยสมการด้านล่าง

$$Q = 60 \times (\pi / 4) D^2 \times V$$

โดยที่

$Q$ = อัตราการสูบ ($m^3 / min$)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางดูดหรือจ่าย (m)

V = ความเร็วของการไหลผ่านทางดูดหรือทางจ่าย (m / s)

จากสมการข้างต้นจะได้ว่า

D = 1,000 ( 0.10 ~ 0.08 ) $\sqrt{}$ Q (2.5)

นอกจากนี้สามารถคำนวณหาอัตราการสูบน้ำได้โดยใช้ Affinity law

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$Q_1$ = ขนาดพิกัดของอัตราการไหลของของเหลว ($m^3$ / min)

$Q_2$ = อัตราการไหลของของเหลวจริง ( m3 / min )

$N_1$ = ขนาดพิกัดความเร็วรอบของใบพัดเครื่องสูบน้ำ ( rpm )

$N_2$ = ความเร็วรอบของใบพัดจากการวัด ( rpm )

• เฮดรวม (Total head) ของเครื่องสูบน้ำ

เฮดรวม หมายถึง พลังงานรวมที่เครื่องสูบน้ำจะต้องถ่ายทอดให้กับของเหลว พลังงานดังกล่าวนี้จะเท่ากับผลรวมของพลังงานศักย์ ความดัน และความเร็วที่ได้แปลงให้เป็นแท่งความสูงของของเหลว การเปลี่ยนความดันจากปาสคาล (N / m ) ให้เป็นเฮด (m) สามารถทำ ได้โดยใช้สมการ

$$H = \frac{P}{\rho g}$$

โดยที่

$\rho$ = ความหนาแน่นของของเหลว (kg / $m^3$)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 m / $s^2$)

*ข.หลักการเลือกเครื่องสูบน้ำสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่*

เครื่องสูบน้ำสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่นั้น จำเป็นต้องพิจารณาให้ละเอียดมากขึ้น เนื่องจากมีขนาดใหญ่และมีเรื่องราคาและค่าบำรุงรักษาเข้ามาเกี่ยวข้อง ข้อมูลที่จำเป็นต้องทราบก่อนที่จะทำการเลือกเครื่องสูบน้ำมีดังนี้

- ชนิดของน้ำที่ต้องการสูบ อุณหภูมิ ความหนืด ความหนาแน่น
- อัตราการสูบ หรือ Flow rate ที่ต้องการ
- ความดัน หรือความสูงที่ต้องยกน้ำนั้น ๆ ขึ้นไป หรือที่เรียกกันว่า Head
- ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำที่เป็นไปได้
- ตัวขับเคลื่อนที่เป็นไปได้ของสถานที่ตั้งเครื่องสูบน้ำนั้น
- ลักษณะของระบบท่อที่มี หรือจะต้องมี System head curve
- ข้อมูลจากผู้แทนจำ หน่ายเครื่องสูบน้ำ ได้แก่ Pump curve

*ค. การประหยัดพลังงานสำหรับการใช้เครื่องสูบน้ำ*

•ควรใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กจำนวนหลายเครื่องดีกว่าการใช้เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่จำนวนน้อยเครื่อง เนื่องจากการสูบน้ำในกระบวนการทั่วไป จะมีจุดการทำงานที่เปลี่ยนไปได้ค่อนข้างกว้างเครื่องสูบน้ำจึงมักทำงานที่จุดที่ต่ำกว่าความสามารถสูงสุดของมัน จึงเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการ
ทำงานต่ำไปด้วย ดังนั้นจึงควรแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กหลายเครื่องต่อขนานกันเพื่อรองรับอัตราการไหลที่ไม่คงที่

•ไม่ควรเผื่อขนาดของเครื่องสูบน้ำให้มีขนาดใหญ่เกินไป เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ

•ไม่ควรเลือกใช้เครื่องสูบน้ำที่มีการเผื่อขนาดของใบพัดให้เล็กกว่าขนาดเต็มที่ของตัวเครื่องเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ

•ควรเลือกเครื่องสูบน้ำที่มีจุดการทำงานอยู่ในช่วงประสิทธิภาพสูงสุด

•ควรคำนวณความเสียดทานของระบบท่ออย่างละเอียด เพื่อให้ได้ค่า Total dynamic head ที่ถูกต้อง

•เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในเครื่องสูบน้ำ

•ควรใช้ระบบปรับความเร็วรอบของมอเตอร์สำหรับเครื่องสูบน้ำแทนการปิดวาล์วหรือการ Bypass เนื่องจากจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่พลังงานไฟฟ้าแปรผันตรงกับกำลังสามของความเร็วรอบ

•ควรควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำให้อยู่ในช่วง Off peak หยุดการทำงานในบางช่วงสำหรับเวลา On peak

•ติดตั้งระบบถังเก็บน้ำใสให้เพียงพอต่อความต้องการน้ำในช่วงเวลา On peak เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานของเครื่องสูบน้ำในเวลานั้น

•จัดให้มีการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อคงประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของเครื่อง

2.1.8.4.2 **มอเตอร์**

มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยชนิดของมอเตอร์ซึ่งนิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำมีดังต่อไปนี้

• มอเตอร์เหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Squirrel cage induction motor) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันทั่วๆไป เนื่องจากผลิตง่าย การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก และมีจำหน่ายทั่วไป แต่เนื่องจากความต้องการ กระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ตจะเป็นหลายเท่าของขณะใช้งานปกติ ดังนั้นจึงจำ เป็นต้องเลือกวิธีการสตาร์ตอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อติดตั้งมอเตอร์กำลังงานสูง โดยใช้พลังงานจากแหล่งซึ่งมีกระแสไฟฟ้าจำกัด วิธีการสตาร์ตแบบสตาร์-เดลต้า (Star-delta) จะใช้กับมอเตอร์ที่ให้กำลังงานต่ำ สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ การลดความต้องการกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ตมักจะทำ โดยใช้ Starting Compensator (Auto transformer) และ Starting Reactor การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์แบบนี้ทำโดยการควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้า

• มอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยโรเตอร์ขดลวด (Wound rotor induction motor) เป็นชนิดที่ใช้กับไฟฟ้าแรงสูง เพื่อที่จะลดความต้องการกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ตลงมาให้เหลือใกล้เคียงกับความต้องการปกติ ในขณะเดียวกันก็ให้แรงบิดที่มากพอเมื่อสตาร์ต การปรับความเร็วรอบทำได้โดยการใช้ตัวต้านทานทุติยภูมิ (Secondary resistors) แบบต่อเนื่อง

• มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับการติดตั้งขนาดใหญ่ ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของมันจะมีความสำคัญเป็นอันดับแรก ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) ของมอเตอร์แบบนี้สามารถที่จะควบคุมให้อยู่ในระดับ1.0 ได้ตลอดช่วงการทำงาน อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดนี้ต้องการอุปกรณ์พิเศษเพื่อปรับให้เป็นความเร็วซิงโครนัสเมื่อสตาร์ต

การพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงาน และมีอายุการใช้งานนาน ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

*ก. เลือกขนาดและชนิดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงาน* หมายถึง อัตราการผลิตน้ำ

*ข. ใช้มอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดเหมาะสมกับโหลด* เพราะการใช้มอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้มอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำ ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานที่ไม่ดี โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพของมอเตอร์จะมีค่าสูงสุดที่โหลดประมาณ 80 – 100% ของขนาดพิกัดของมอเตอร์

*ค. ถ้ามอเตอร์มีขนาดใหญ่ทำงานเป็นเวลานานๆ ควรติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor)* ที่มีขนาดเหมาะสม เพื่อช่วยลดกำลังงานที่สูญเสียในระบบไฟฟ้า

*ง. กำจัดภาระว่าง (Idle running)* คือ พยายามเดินมอเตอร์ที่โหลดสูงๆ จำนวนน้อยเครื่อง

*จ. หลีกเลี่ยงการเดินมอเตอร์ตัวเปล่า* เพราะขณะที่มอเตอร์เดินตัวเปล่าไม่มีโหลดกำลังงานที่มอเตอร์ดึงเข้าไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกำลังงานสูญเสียทั้งหมด

*ฉ. แก้พาวเวอร์แฟคเตอร์ให้สูงขึ้น*

*ช. ลดภาระทางกลสำหรับเครื่องสูบน้ำ* ทำได้โดยทำการซ่อมเครื่องที่ชำรุด หยุดการเดินเครื่องที่ไม่จำเป็น ปรับการทำงานให้เหมาะสมกับโหลด โดยการลดขนาดเครื่องสูบน้ำ แต่งใบพัด ปรับรอบ
มอเตอร์ เป็นต้น ทำการตรวจซ่อมน้ำรั่วไหล กำจัดการหรี่วาล์ว

*ซ. การระบายความร้อนของมอเตอร์ต้องดี* เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำ ให้อายุฉนวนสั้นลง

*ฌ. ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์อย่างเหมาะสม*

*ญ.ทำการบำรุงรักษาเครื่องอย่างสม่ำเสมอ* ตรวจสอบว่ามีกระแสไฟฟ้ารั่วหรือไม่ เพื่อความปลอดภัยและประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ควรป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปที่ขดลวดของมอเตอร์ได้

### 2.1.9 **ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ** (Specific energy consumption)

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ คืออัตราส่วนของพลังงานที่ใช้กับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในโรงงานผลิตน้ำบางเขนคือ ปริมาณน้ำที่ผลิต ณ โรงสูบนั้น

$$\text{ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)}}{\text{ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ } (m^3)}$$

ประโยชน์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

• ใช้เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอดีตกับปัจจุบันของโรงงานนั้น ๆ

• ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเบื้องต้นของโรงงานประเภทเดียวกันและมีกิจกรรมการใช้พลังงานเหมือนกัน

• ใช้ประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานเบื้องต้นของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ติดตั้งเพื่อใช้ในการประหยัดพลังงาน

## 2.2 **การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี** (Technology Roadmap : TRM)

คือกระบวนการวางแผนเทคโนโลยีในอนาคต ซึ่งคาดการณ์เทคโนโลยีที่สำคัญที่จะมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต และมีทางเลือกสำรองที่เหมาะสมเพื่อตอบสนองความต้องการในอนาคต จะเป็นวิธีการดึงผลความต้องการในอนาคตและเทคโนโลยีในอนาคตมาให้บรรลุผลตามต้องการ TRM จึงเป็นกลไกหนึ่งจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่จะคาดการณ์การพัฒนาเทคโนโลยีในแต่ละสาขา สำหรับภาคอุตสาหกรรมแล้วTRM ก็คือกรอบการทำงาน (framework) ที่ใช้สำหรับการวางแผนและความร่วมมือกับหน่วยงานต่างๆ ส่วนสำคัญอันหนึ่งของ TRM คือการเสนอทางเลือกอื่นโดยการหาขอบเขตการพัฒนาของเทคโนโลยีและมองถึงความไวของการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาเทคโนโลยีนั้น เพื่อกำหนดแผนตามทางเลือกสำรองอื่นๆ

### 2.2.1 **กระบวนการทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี** (Technology Roadmap : TRM)

**ขั้นตอนหลักที่ 1 วิสัยทัศน์**

หมายถึงการกำหนดวิสัยทัศน์ของกลุ่มผลิตภัณฑ์เป้าหมายในอุตสาหกรรมกำหนดเพื่อกำหนดนโยบายและทิศทางการพัฒนาให้มีความชัดเจน และสอดคล้องกับปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้อง โดยเป็นข้อสรุปร่วมกันของผู้เชี่ยวชาญในแต่ละกลุ่มผู้แทนจากทั้งภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรม และนักวิชาการจากมหาวิทยาลัย

**ขั้นตอนหลักที่ 2 กำหนดทิศทางการพัฒนา**

หมายถึงการกำหนดแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่ชัดเจน

**ขั้นตอนหลักที่ 3 กลยุทธ์ของผลิตภัณฑ์และฟังก์ชั่นการทำงาน**

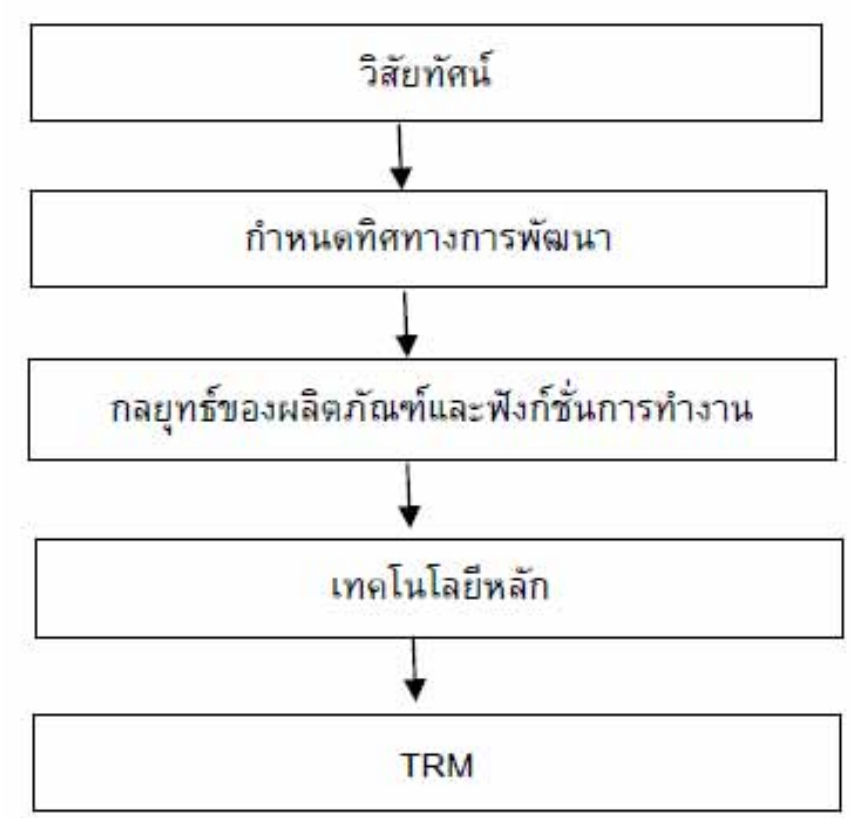
หมายถึง การกำหนดกลยุทธ์และฟังก์ชั่นการทำงานของผลิตภัณฑ์เป้าหมายให้มีความสอดคล้องกับเทคโนโลยีที่ต้องการในอนาคต

**ขั้นตอนหลักที่ 4 เทคโนโลยีหลัก**

หมายถึง การกำหนดเทคโนโลยีหลักที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เป้าหมายในอนาคต

**ขั้นตอนหลักที่ 5 โรดแมปปิ้ง**

หมายถึง การมองภาพรวมของเส้นทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านมิติการตลาด ธุรกิจการตลาด และเทคโนโลยีซึ่งจะมีความสัมพันธ์ต่อกันในเงื่อนไขของเวลาในอนาคตเป็นเวลา 10 ปี




ภาพที่ 15 ขั้นตอนในกระบวนการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี

## 2.3 การคำนวณค่าไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงมีวิธีคำนวณหลายวิธี แตกต่างกันตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรมนั้นๆ

### 2.3.1 ส่วนประกอบในการคำนวณค่าไฟฟ้า

ก. ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า(Demand Charge) คือค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน เป็นค่าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดในช่วง On Peak ของเดือนนั้นๆ มีหน่วยเป็นบาทต่อกิโลวัตต์

ข. ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในรอบเดือนนั้นๆ มีหน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือบาทต่อหน่วย

ค. ค่าบริการ (Service Charge) เป็นค่าบริการเครื่องวัดฯ ค่าจดหน่วย ค่าใบเสร็จรับเงินและค่าดำเนินการเก็บค่าไฟฟ้า มีหน่วยเป็นบาทต่อเดือน

ง. ค่าตัวประกอบการปรับอัตรค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) เป็นค่าใช้จ่ายที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้านครหลวง โดยขึ้นอยู่กับ ราคาค่าเชื้อเพลิงการผลิตไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจากฐานที่ใช้ในการกำหนดอัตรค่าไฟฟ้า

จ. ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ซึ่งปัจจุบันเก็บในอัตราร้อยละ 7

### 2.3.2 การกำหนดประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

การไฟฟ้านครหลวงได้แบ่งประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้า เป็น 7 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย วัด ศาสนสถาน ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะ โรงแรม กิจการให้เช่าที่อยู่อาศัย โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการว่าด้วยระเบียบการบริหารงานส่วนท้องถิ่น โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยงานราชการ สหกรณ์เพื่อการเกษตร

โรงงานผลิตน้ำบางเขนที่เข้าทำการศึกษานี้ จัดอยู่ในผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ โดยอยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม ส่วนราชการ หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำ การเกี่ยวกับกิจการของชาติ และสถานที่ทำ การขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.3.3 **รูปแบบอัตรค่าไฟฟ้า** จำแนกได้เป็น 4 รูปแบบ

2.2.3.1 อัตราค่าไฟฟ้า 1 ส่วน (One-Part Tariff) เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่รวมความต้องการพลังงานไฟฟ้ากับค่าพลังงานไฟฟ้าเข้าด้วยกัน โดยอยู่ในรูปของค่าพลังงานไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 3 แบบ

ก. อัตราคงที่ (Flat-Rate) อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยคงที่ ไม่ว่าจำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้าจะมากหรือน้อย

ข. อัตราแบบกึ่งคงที่ (Semi Flat-Rate) คิดอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยคงที่ 2 ระดับ การใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงแรกจะคิดอัตราค่าไฟในราคาที่ต่ำ หากใช้เกินกำหนดจะคิดในอัตราที่แพงขึ้น

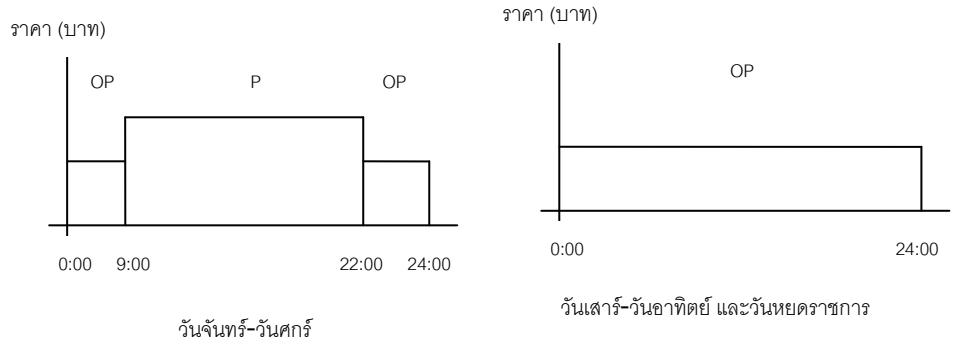
ค. อัตราแบบก้าวหน้า (Progressive Rate) คิดอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วนสูงขึ้น ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากขึ้น เพื่อให้สะท้อนถึงการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.3.2 อัตราค่าไฟฟ้า 2 ส่วน (Two-Part Tariff) เป็นวิธีการคิดแยกส่วนอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า กับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน ซึ่งทั้งอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและอัตราค่าพลังงานไฟฟ้ายังคงเป็นอัตราคงที่ เพื่อสะท้อนถึงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเรียกวิธีนี้ว่า อัตราปกติ

2.2.3.3 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD) เป็นวิธีการคิดแยกส่วนอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า กับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน แต่คิดอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าให้มีอัตราที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน เพื่อสะท้อน

ถึงต้นทุนการผลิต การส่ง และการจำหน่ายไฟฟ้า โดยในแต่ละวันจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา โดยอัตรา TOD ยังคงเป็นอัตราคงที่ คือ พลังงานไฟฟ้าทุกหน่วยมีราคาเท่ากัน

2.2.3.4 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ Time of Use : TOU) เป็นวิธีการคิดแยกส่วนอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า กับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน แต่คิดอัตราพลังงานไฟฟ้าให้มีอัตราที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวันและของสัปดาห์ หรือตามช่วงเวลาของการใช้ เพื่อสะท้อนถึงต้นทุนการผลิต การส่ง และการจำหน่ายไฟฟ้า โดยแบ่งเวลาในแต่ละสัปดาห์ออกเป็น 2 ช่วงเวลา โดยอัตรา TOU ยังคงเป็นอัตราคงที่ คือ โดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉพาะช่วง On Peak เท่านั้น




ภาพที่ 16 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ Time of Use : TOU

### 2.2.4 **อัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาของการใช้** (Time of Use Rate : TOU)

การประปานครหลวงเป็นรัฐวิสาหกิจแห่งหนึ่งของประเทศไทย มีรายได้จากการจัดจำหน่ายน้ำประปา มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

| ระดับแรงดัน | ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Peak | Off Peak | |
| แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป | 74.14 | 2.6136 | 1.1726 | 228.17 |

**On Peak** : วันจันทร์-ศุกร์ 09.00 น. – 22.00 น.

**Off Peak** : วันจันทร์-ศุกร์ 22.00 น. – 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

**ความต้องการพลังไฟฟ้า** : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

**อัตราขั้นต่ำ** : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

**ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์** : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีพาวเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินร้อยละ 61.97

ของความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ 14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์ โดยที่โรงงานผลิตน้ำบางเขนยังใช้กิโลวาร์ไม่เกินร้อยละ 61.97 รวมทั้งอัตราค่าไฟฟ้านี้ยังไม่รวมค่า FT (Fuel Tariff) และ Tax.

## 2.3 งานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) เพื่อการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานนั้น เป็นมาตรการแนวทางให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดค่าใช้จ่ายและช่วยลดภาระการจัดหาแหล่งพลังงานของรัฐ และลดการปล่อยมลภาวะเนื่องจากระบบการผลิตและใช้พลังงาน ดังนั้นระบบการจัดการพลังงานจึงถูกนำ เข้ามาใช้เพื่อบริหารการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด และเป็นผลให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการพลังงานเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ผ่านมา งานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานอุตสาหกรรมสบู่, โรงงานอุตสาหกรรมกระดาษ, โรงงานรีดอลูมิเนียม และโรงงานปลาทูน่ากระป๋อง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการประหยัดพลังงานที่เกี่ยวข้องกับอาคารสำนักงานต่างๆอีกด้วย

โรงงานผลิตน้ำซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐที่มีการใช้พลังงานมาก จึงให้ความสำคัญกับการวางแผนในการประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี

(Technology Roadmap) จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งได้เป็น 2 แนวทางหลัก ๆ คือ

***1. แนวทางการใช้เทคโนโลยีและการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap)*** ได้แก่ การใช้วิทยาการหรือเทคโนโลยี และการนำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) เข้ามาช่วยในการวางแผน การดำเนินงานเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างเช่น

***1.1 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap)***

• จากบทความทางวิชาการ (Journal) เรื่องกระบวนการทำแผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยี (2552) ของ ดร.ณัฐสิทธิ์ เกิดศรี วิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้นำเสนอขั้นตอนการจัดทำแผนที่นำทางสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ 6 ประเภทหลักๆ คือ Science/Research Roadmaps, Cross-industry Roadmaps, Industry Roadmaps, Technology Roadmaps, Product-Technology roadmaps และ Technology Roadmaps with social/public concern รวมทั้งได้นำเสนอประโยชน์ของการจัดทำแผนที่ในด้านการป้องกันความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆในอนาคต

• จากโครงการวิจัย เรื่องโครงการศึกษาภาพรวมและการจัดทำเส้นทางเทคโนโลยี (Technology Roadmap) (2548) ของ รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ศึกษาภาพรวมและจัดทำเส้นทางเทคโนโลยีของชาติ ด้านเกี่ยวกับพลังงานทดแทนและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและด้านเกี่ยวกับการพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ที่เชื่อมโยงกับเทคโนโลยีต่างๆคือ เกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการส่งออก เกี่ยวกับเทคโนโลยีสนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิต เกี่ยวกับเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย

• จากโครงการวิจัย เรื่องโครงการแผนที่นำทางนาโนเทคโนโลยี (Nano-Technology Roadmap) (2553) ของ ดร.สุชาต อุดมโสภกิจ ศูนย์คาดการณ์เทคโนโลยีเอเปค สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยใช้แผนที่ดังกล่าวเป็นเครื่องมือสำคัญในการกำหนดแนวทางการดำเนินกิจกรรมต่างๆของนาโนเทคในอีก 4 ปีข้างหน้า (พ.ศ.2553-2556) มีการกำหนดกรอบและทิศทางการวิจัย การประสานงานระหว่างกลไกการจัดการและการจัดสรรทรัพยากร ทำให้ทราบแนวโน้มการวิจัยและพัฒนาด้านนาโน

เทคโนโลยี รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการสร้างนักวิจัยให้สอดคล้องกับความต้องการในช่วงเวลาต่างๆ

### *1.2 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการใช้เทคโนโลยี*

• จากบทความทางวิชาการ (Journal) เรื่องเทคโนโลยีสำหรับการจัดการพลังงานไฟฟ้า ของกระทรวงพลังงาน (2552) ได้กล่าวถึงกระบวนการที่นำเทคนิคต่างๆมาช่วยในการประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน เช่น สร้างระบบรับและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ โดยการใช้การทำงานของ

- อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand Controller)
- อุปกรณ์ควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Controller)
- อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบและอินเวอร์เตอร์

ซึ่งเทคนิคดังที่กล่าวมาสามารถช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด ส่งผลให้ค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ต้นทุนการผลิตจึงสามารถลดลงได้

• จากบทความของ การประปาส่วนภูมิภาคเขต 6 จังหวัดขอนแก่น (ปปช.6 ขอนแก่น) (2536) ได้เสนอการปรับเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้า – เครื่องสูบน้ำ ให้มีขนาดพิกัดเหมาะสมกับความต้องการใช้งาน โดยสำนักงานประปาสีคิ้วได้ทำการ

- รื้อถอนมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด150 แรงม้าพร้อมเครื่องสูบน้ำจำนวน 1 ชุด และติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 แรงม้าพร้อมเครื่องสูบน้ำจำนวน 1 ชุดเข้าไปแทน พบว่าทำให้ค่าไฟฟ้าลดลงเฉลี่ยเดือนละ 11,601.43บาท (เดือนตุลาคม – พฤศจิกายน 2538)

- การทำท่อ By pass เพื่อทำการจ่ายน้ำโดยใช้แรงดันน้ำที่ยังเหลือในอุโมงค์ส่งน้ำในบางช่วงเวลา ทำให้สามารถทำการหยุดเดินเครื่องสูบน้ำที่ใช้สูบจ่ายน้ำในอุโมงค์ส่งน้ำตามปกติได้ เป็นผลให้การใช้พลังงานในช่วงเวลานั้นลดลง โดย *ปปช.6* ได้ทำการประสานท่อ Bypass ที่สถานีจ่ายน้ำนาโพธิ์พร้อมกับควบคุมแรงดันในเส้นท่อและทำการหยุดสูบน้ำที่สถานีดังกล่าวและที่โรงสูบน้ำบริเวณสำนักงานประปาบ้านไผ่ พบว่าสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้เดือนละประมาณ 30,000 บาท

• จากบทความของ การประปาส่วนภูมิภาคท่าตะโก (2536) ได้นำผลิตภัณฑ์สำหรับแต่งและเคลือบผิวมาใช้เคลือบผิวด้านในของเครื่องสูบน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนและสนิมและลดความฝืดลง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลงได้ โดยเลือกเครื่องสูบน้ำที่มีกำลังการผลิต 100 $m^3$ / h ได้

ทำการเคลือบผิวเครื่องสูบน้ำแรงดันสูงและแรงดันต่ำอย่างละ 1 เครื่อง แล้วใช้งานตามปกติเป็นเวลา 9 เดือน พบว่าสามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าในการผลิตน้ำได้ 7.98% ในขณะที่เกิดการกัดกร่อนและสนิมในเครื่องน้อยมาก

• จากวิทยานิพนธ์ของ วิชัย เทียมประชา (2537) ได้ศึกษาการจัดการพลังงานในการประปาเขต 6 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วยการประปา 4 จังหวัดคือ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ และมหาสารคาม โดยการติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำในท่อจ่ายน้ำเป็นช่วง ๆ เพื่อตรวจหาบริเวณที่สูญเสียน้ำได้อย่างรวดเร็ว จากการศึกษาพบว่า มีการสูญเสียพลังงานจากน้ำรั่วคิดเป็นร้อยละ 37.1 ของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ดังนั้นถ้าลดการสูญเสียพลังงานนี้ลงร้อยละ 20 และ 10 จะสามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 295,977 และ 433,268 MJ ต่อไตรมาส (3 เดือน) ต่อการประปา 1 แห่งตามลำดับแนวทางการใช้เทคโนโลยีเพื่อการอนุรักษ์พลังงานนี้จำเป็นต้องใช้เงินทุนจำนวนมาก ดังนั้นต้องทำการศึกษาความเหมาะสมความเป็นไปได้ (Feasibility) ความคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์และต้องใช้เวลาในการปรับปรุงติดตั้งแก้ไขปัญหามากพอสมควร

• จากวิทยานิพนธ์ของ วิวัฒน์ เดชา (2533) ได้นำเสนอการเจียรขอบนอกของใบพัดของเครื่องสูบน้ำให้เล็กลง โดยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง เมื่อใช้ใบพัดเจียรขอบนอกไม่เกิน 15% ของขนาดเดิม พบว่าประสิทธิภาพรวมทั้งหมดของเครื่องสูบน้ำยังคงใกล้เคียงกับค่าเดิม ในขณะที่อัตราการไหล ความดันและกำลังที่ใช้ขับมีค่าลดลง

***2. แนวทางการจัดการ*** เป็นการใช้วิธีการเกี่ยวกับจัดการควบคุมเครื่องจักรและผู้ควบคุมเครื่องจักร ให้มีการใช้เครื่องจักรในระบบการผลิตและสูบจ่ายน้ำอย่างมีแผนที่ดีและมีประสิทธิภาพสูง วิธีนี้เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย และทำได้ทันที แต่จะต้องทำความเข้าใจศึกษาคุณสมบัติของเครื่องจักรเข้าใจกระบวนการผลิตให้ถูกต้องและได้รับความร่วมมือจากผู้ควบคุมเครื่องจักรเป็นอย่างดี แนวทางการจัดการดังกล่าว ได้แก่

• จากบทความของการประปานครหลวง สถานีสูบจ่ายลุมพินี (2545) ได้ทำการปรับแผนการสูบจ่ายน้ำประจำวันแบบขั้นบันได ซึ่งการดำเนินกระทำ โดยเลือกใช้เครื่องสูบน้ำชุดที่ใช้พลังงานน้อยกว่าเครื่องอื่นให้มีการเดินเครื่องใช้งานมากที่สุด ตามช่วงเวลาที่เหมาะสมของแต่ละวัน ทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงประมาณปีละ 640,000 บาท รวมทั้งได้ปรับเวลาและค่าแรงดันที่ต้องเพิ่มแบบขั้นบันไดใหม่ เพื่อหลบหลีกค่า Demand charge เป็นผลให้ลดค่า Demand charge ลงได้เดือนละ 45,000 บาทหรือคิดเป็นปีละประมาณ 540,000 บาท รวมทั้งพบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะลดลงจากเดิม 2.71%

• จากบทความของ โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง (2544) การเปลี่ยนมิเตอร์ไฟฟ้าจากอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD มาเป็นแบบ TOU โดยโรงงานผลิตน้ำบางเขนได้ดำเนินมาตราการดังกล่าว เริ่มตั้งแต่วันที่ 4 กรกฎาคม 2544 ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในช่วงระยะเวลา 10 เดือนประมาณ 2,305,928 บาทใน

• จากบทความทางวิชาการ (Journal) ของ สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) (2553) ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับกระบวนการลดต้นทุนการผลิตโดยใช้หลักการของ Six Sigma ซึ่ง Six sigma เป็นกระบวนการทางธุรกิจที่ทำให้องค์กรต่างๆ ปรับปรุงขีดความสามารถโดยการออกแบบและตรวจสอบกิจกรรมทางธุรกิจประจำวันเพื่อลดสิ่งสูญเปล่าและลดการใช้ทรัพยากร (3.4 หน่วยในล้านหน่วย) แต่ขณะเดียวกันก็เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าในเรื่องของคุณภาพและความรวดเร็ว โดยหลักของ Six Sigma ประกอบด้วย ขั้นตอนที่เรียกว่า DMAIC ซึ่งเป็นเรื่องของการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

DMAIC ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

D-Define คือ การกำหนดเป้าหมายการปรับปรุงกระบวนการทำงานที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าและยุทธศาสตร์ขององค์กร

M-Measure คือ การวัดประเด็นหลักๆ ของกระบวนการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสียหาย และสาเหตุที่เป็นไปได้ นำข้อมูลเหล่านั้นมาจัดวางตามช่วงระยะเวลาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่แท้จริง และจัดชั้นความถี่ตามหลักการสถิติ (Pareto Analysis)

A-Analyze คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดูถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งมีการแจกแจงความสัมพันธ์ว่าอยู่ในรูปแบบใด โดยต้องมั่นใจว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดได้ถูกนำมาพิจารณาแล้ว

I-Improve คือ การหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำงาน คัดเลือกแนวทางที่ให้ประโยชน์สูงสุดโดยใช้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการใช้เทคนิคอย่างเหมาะสม กำหนดออกมาในรูปของแผนงาน ผลักดันไปสู่การปฏิบัติ วัดและประเมินผล

C-Control คือ การควบคุมเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าการเบี่ยงเบนจากเป้าหมายได้ถูกแก้ไขเรียบร้อยแล้วก่อนที่จะเกิดการสูญเสีย โดยการนำร่องจัดทำมาตรฐานของกระบวนการ

ในระดับต่างๆ กำหนดกลไกการควบคุม และการติดตามกระบวนการเหล่านั้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจรวมไปถึงการฝึกอบรมบุคลากร การทำข้อสรุปและกระจายผลไปสู่กลุ่มต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งให้ข้อแนะนำสำหรับการวางแผนในอนาคต

• จากบทความทางวิชาการ (Journal) ของ Cheng และคณะ เรื่อง Study of the Inter – Relationship between Water Use and Energy Conservation for a Building (2002) ได้ทำการศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (kWh/$m^3$น้ำประปา) ในโรงงานผลิตน้ำ (Water treatment plant) โดยพบว่า โรงงานผลิตน้ำ 2 แห่งในประเทศไต้หวัน ได้แก่ Charng-Shing และ Gong-Goan มีค่าการใช้พลังงานจำ เพาะเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 0.22 และ 0.23 kW/$m^3$ ตามลำดับ โดยที่โรงงานผลิตน้ำทั้ง 2 แห่ง มีปริมาณการผลิตน้ำเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 16,657,992 และ 10,980,020 $m^3$ และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 3,675,000 และ 2,566,000 kWh ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำชนิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal) โดย Ludwig และคณะ ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหล ความขรุขระของผิว (Surface roughness) การทำ ผิวเรียบ (Smoothing) และขนาดของ Clearance gap ที่ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ (Specific speed of rotation) ในช่วง 10-100 $min^{-1}$ จากผลการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำคงที่ การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลส่งผลให้ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสูงขึ้นของค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบต่ำมีค่าน้อยกว่าที่ความเร็วรอบสูง สำหรับผลของความขรุขระของผิวด้านในเครื่องสูบน้ำพบว่า ที่ความเร็วรอบคงที่เครื่องสูบน้ำที่มีความขรุขระต่ำ จะให้ประสิทธิภาพของระบบสูงเนื่องจาก Friction loss ต่ำลง ทั้งนี้ทั้งนั้นผลของความขรุขระจะมีอิทธิพลมากที่ความเร็วรอบต่ำ ส่วนผลของการทำผิวเรียบพบว่า การทำผิวเรียบในตัวเครื่องสูบน้ำทั้งเครื่อง ใบพัด Volute และตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ (Casing) จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด 18.5, 11.5, 5, และ 4.5% ตามลำดับ ในกรณีของผลการศึกษาขนาดของ Clearance gap ที่มีต่อประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพบว่า การลดลงของ Gab clearance ซึ่งทำให้การรั่วไหลภายในเครื่องสูบน้ำลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้น

• จากบทความทางวิชาการ (Journal) ของ E-Water Research ของ JWRC (Japan Water Research Center) เรื่อง Establishment of energy-saving, space-saving large-scale membrane filtration water purification system (2008) โดยได้ทำการศึกษา

ทางเลือกต่างๆจากขนาด Membrane ที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

• จากวิทยานิพนธ์ของ เอกสิทธิ์ สุวรรณศรี (2543) ได้ทำการเสนอแนวทางการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีแนวทางการปรับปรุงพลังงานดังนี้

1. การกำหนดนโยบายจากผู้บริหารระดับสูงและการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงาน
2. กำหนดแผนงานหลักในการดำเนินงานการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานและแผนงานในระดับแผนก
3. ปรับปรุงองค์กรดำเนินงานให้เข้าถึงทุกส่วนในกระบวนการผลิต
4. วางแผนการเดินเครื่องจักรในกระบวนการผลิตให้เหมาะสมโดยการควบคุมปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด
5. ปรับปรุงระบบตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยการจัดทำเอกสารมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบและจัดตั้งทีมงานในการตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง
6. ปรับปรุงกระบวนการติดตามการปรับปรุงแก้ไขการดำเนินงานที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินงานปรับปรุงดังกล่าวนั้น มีผลทำให้ต้นทุนอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง 25.44% และอัตราการใช้จ่ายพลังงานความร้อนต่อปริมาณปูนลดลง 3.37% คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ 218.01 ล้านบาท

• จากวิทยานิพนธ์ของ ธิติมา เลิศปิยะ (2548) ได้ศึกษาระบบจัดการพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU เพื่อออกแบบระบบการจัดการพลังงาน เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าลงได้โดยยังสามารถขายน้ำแข็งได้ทันตามความต้องการของลูกค้าเช่นเดิม โดยใช้วิธีการปรับตารางเวลาการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ ซึ่งระบบนี้ได้ประยุกต์แนวความคิดการบริหารกระบวนการผลิต พร้อมทั้งทฤษฎีการควบคุมอัตโนมัติแบบเวลาจริง มาใช้ร่วมกับวิธีคิดค่าฟ้าแบบ TOD และ TOU ซึ่งผลที่ได้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของโรงงานลงได้

• จากวิทยานิพนธ์ของ ชัยโชติ พิบูลย์ธนานนท์ (2549) ได้ศึกษาการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานประกอบแผ่นลายวงจรพิมพ์ โดยการสร้างแผนการอนุรักษ์พลังงาน มีการจัดทำคู่มือเอกสาร (Procedure Manual) แผนการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน และมีการติดตามผลของการเสนอแนวทางในการพัฒนาคู่มือปฏิบัติว่าสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาตัวเองและเป็นความรู้ในการที่จะจัดทำแนวทางการพัฒนาคู่มือปฏิบัติการอื่นๆ จากการศึกษาได้มีการวางมาตรการการอนุรักษ์พลังงานเป็น 3 ระยะ ซึ่งจากผลการดำเนินงานพบว่าสามารถลดค่าใช่จ่ายได้กว่า 5.6%

จากการรวบรวมผลงานวิจัยด้านการประหยัดพลังงานที่ผ่านมา สามารถที่จะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการจัดการพลังงานในโรงงานผลิตน้ำบางเขนได้ต่อไป

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นขององค์กร

การประปานครหลวงเป็นรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงมหาไทย จัดตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2510 ตามพระราชบัญญัติการประปานครหลวง พ.ศ.2510 มีความรับผิดชอบในการจัดหาน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภค ซึ่งประจุบันการประปานครหลวงสามารถให้บริการประชาชนครอบคลุมพื้นที่บริการประมาณ 1,600 ตารางกิโลเมตร ในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ มีจำนวนประชากรในพื้นที่ให้บริการประมาณ 10 ล้านราย โดยมีความยาวเส้นท่อรวมประมาณ 25,000 กิโลเมตร มีปริมาณน้ำประปาจำหน่ายประมาณ 1,500 ล้านลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยโรงงานผลิตน้ำ 4 แห่ง คือ โรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน โรงงานผลิตน้ำธนบุรี และโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ โดยมีหน้าที่ผลิต สูบส่งและสูบจ่ายน้ำประปาไปยังพื้นที่ต่างๆที่อยู่ในความรับผิดชอบของการประปานครหลวง

### 3.1.1 ระบบสูบส่งและสูบจ่ายน้ำประปา

สำหรับระบบสูบส่งน้ำประปาของการประปานครหลวงประกอบด้วยสถานีสูบส่งจำนวนทั้งสิ้น 4 แห่ง คือ สถานีสูบส่งน้ำ 1 (TPS1), สถานีสูบส่งน้ำ 2 (TPS2), สถานีสูบส่งน้ำ 3 (TPS3) โดยทั้ง 3 สถานีสูบน้ำข้างต้น รับอิทธิพลน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำบางเขน และสถานีสูบส่งน้ำมหาสวัสดิ์ (MPS1) รับอิทธิพลน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

สถานีสูบส่งน้ำทั้ง 4 แห่งนั้น มีหน้าที่สูบส่งน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำผ่านระบบโครงข่ายอุโมงค์และท่อส่งน้ำ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.00 เมตร ถึง 3.40 เมตร โดยมีระยะความยาวรวมกว่า 170 กิโลเมตร ไปยังสถานีจ่ายปลายทาง ที่กระจายครอบคลุมพื้นที่ความรับผิดชอบของการประปานครหลวงทั้ง 10 แห่ง

สถานีสูบจ่ายปลายทางทั้ง 10 แห่งประกอบด้วย สถานีสูบจ่ายสำโรง (SR), สถานีสูบจ่ายลุมพินี (LP), สถานีสูบจ่ายคลองเตย (KT), สถานีสูบจ่ายลาดกระบัง (LK), สถานีสูบจ่ายลาดพร้าว (LB), สถานีสูบจ่ายมีนบุรี (MB), สถานีสูบจ่ายบางพลี (BP), สถานีสูบจ่ายท่าพระ (TP), สถานีสูบจ่ายราษฎรบูรณะ (RB) และสถานีสูบจ่ายเพชรเกษม (PK) โดยสถานีสูยจ่ายทั้ง 10 แห่งทำหน้าที่

รับน้ำประปาซึ่งถูกส่งผ่านระบบโครงข่ายและท่อส่งน้ำ จากสถานีสูบส่งต้นทางทั้ง 4 แห่ง น้ำประปาจะถูกนำเข้าสู่พื้นที่บริเวณถังเก็บน้ำใส (Reservoir) ซึ่งมีขนาดความจุประมาณ 40,000 ถึง 60,000 ลูกบาศ์กเมตร จากนั้นสถานีสูบจ่ายจะสูยจ่ายน้ำผ่านระบบท่อประธานและท่อจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้น้ำต่อไป นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมต่อระบบส่งน้ำเข้ากับท่อประธานโดยตรง ผ่านท่อ By-Pass ซึ่งระบบสูบจ่ายนั้นต้องมีการกำหนดแผนการสูบจ่ายน้ำเพื่อให้มีปริมาณน้ำเพียงพอกับความต้องการในแต่ละช่วงเวลาของวัน

ภาพที่ 17 ระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง
ที่มา: การประปานครหลวง (2552)

### 3.1.2 ระบบเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในระบบสูบส่งน้ำประปาของการประปานครหลวงนั้น เป็นชนิดเซนตริฟูกอล (Centrifugal Pump)

สถานีสูบส่งน้ำ 1 (TPS1) ติดตั้งเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง ขนาด 153 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่เฮด 32 เมตร จำนวน 1 เครื่อง และขนาด 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่เฮด 32 เมตร จำนวน 4 เครื่อง ซึ่งทั้งหมดเป็นชนิดความเร็วรอบคงที่ (Fixed Speed Pump)

สถานีสูบส่งน้ำ 2 (TPS2) ติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาด 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่เฮด 33 เมตร จำนวน 5 เครื่อง ซึ่งเป็นชนิดความเร็วรอบคงที่ (Fixed Speed Pump) จำนวน 1 เครื่อง และเป็นชนิดปรับความเร็วรอบได้ (Varied Speed Pump) จำนวน 4 เครื่อง

สถานีสูบส่งน้ำ 3 (TPS3) ติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาด 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่เฮด 35 เมตร จำนวน 4 เครื่อง ซึ่งเป็นชนิดปรับความเร็วรอบได้ (Varied Speed Pump)

สถานีสูบส่งน้ำมหาสวัสดิ์ (MPS1) ติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาด 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่เฮด 32 เมตร จำนวน 2 เครื่อง และที่เฮด 36 เมตร จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งเครื่องสูบน้ำทั้ง 3 เครื่องเป็นชนิดปรับความเร็วรอบได้ (Varied Speed Pump)

### 3.1.3 **ความดันและเฮด**

1. ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลก

2. เฮดความดัน (Pressure Head, H) ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวมักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้ เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และเฮดความดัน H คือ

$$H = P/(\rho g) \qquad (4)$$

เมื่อ H = เฮดความดัน (เมตร)

P = ความดัน (เมตร)

$\rho$ = ความหนาแน่นของของเหลว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาที$^2$)

3. เฮดความเร็ว (Velocity Head, $H_v$) ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใดๆ นั้น มีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮด คือ

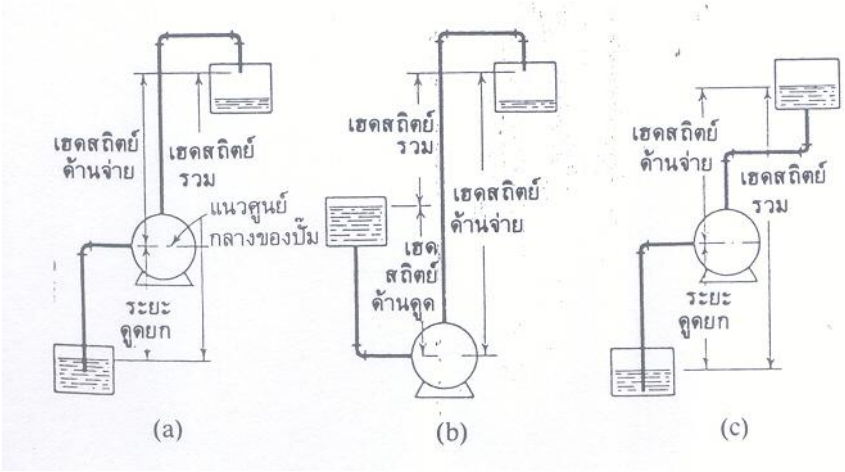
$$H_v = V^2/(2g) \qquad (5)$$

เมื่อ $H_v$ = เฮดความเร็ว (เมตร)

V = ความเร็วของการไหล (เมตรต่อวินาที)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาที$^2$)

4. เฮดสถิตย์ (Static Head) ในการทำงานของเครื่องสูบน้ำโดยทั่วๆ ไป ของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้ไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำทั้งด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์ เรียกว่า เฮดสถิตย์ (Static Head) จากภาพที่ 5 ระยะทางในแนวดิ่งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว หรือเฮดจากศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำถึงปลายท่อจ่ายเรียกว่าเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) ระยะจากจุดศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำถึงระดับผิวบนของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า เรียกว่าเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่า ความดันที่ศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (Static Suction Lift) แทน เฮดสถิตย์รวม (Total Static Head) คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับ เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head)




ภาพที่ 18 คำจำกัดความของเฮดสถิตย์ (Static Head)

ที่มา: วิบูลย์ (2529)

### 3.1.4 กำลังงานที่ต้องการและประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำ

กำลังงาน หมายถึง อัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา กำลังงานที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำมีสองชนิด คือ

1. แรงม้าทางทฤษฎี (Theoretical Horsepower หรือ Water Horsepower, Whp) เป็นจำนวนแรงม้าที่เครื่องสูบน้ำจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบด้วยอัตราที่กำหนด ค่า Whp คำนวณได้จากสูตร

$$Whp = Q*TDH/273$$

เมื่อ

Whp = แรงม้าทางทฤษฎี

Q = อัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

TDH = เฮดรวมของเครื่องสูบน้ำ (เมตร)

2. แรงม้าของต้นกำลัง (Brake Horsepower, Bhp) เป็นกำลังงานที่มอเตอร์หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำหรือให้แก่เครื่องสูบน้ำ กล่าวอีกนัยหนึ่ง เป็นกำลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้เครื่องสูบน้ำเพิ่มกำลังงานให้แก่ของเหลวเท่ากับ Whp ดังนั้น

$$Bhp = Whp/ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ$$

ในกรณีที่ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นกิโลวัตต์ (Kw) คำนวณได้จาก

$$Kw = 0.746Bhp/ประสิทธิภาพของมอเตอร์$$

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพรวมของระบบสูบน้ำสามารถหาได้จาก

$$ประสิทธิภาพรวม = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ*ประสิทธิภาพของมอเตอร์$$

### 3.1.5 แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET

แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET เป็นแบบจำลองการไหลภายใต้ท่อความดัน พัฒนาขึ้นโดย U.S. Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความเหมาะสมในการใช้ออกแบบขนาด จำลองสภาพการไหลของระบบจ่ายน้ำภายใต้แรงดัน รวมถึงการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทั้งในแบบเฉพาะเวลาใดเวลาหนึ่ง และการจำลองในแบบต่อเนื่อง (Extended Period Simulation) สามารถจำลองอุปกรณ์ของระบบจ่ายน้ำได้อย่างครบถ้วน เช่น เครื่องสูบน้ำ วาล์ว ถังเก็บน้ำ และอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น สามารถ

กำหนดรูปแบบ (Pattern) ของความต้องการใช้น้ำ อัตราค่ากระแสไฟฟ้า ในแต่ละช่วงเวลา กำหนดคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (H-Q Curve และ Efficiency Curve) และกำหนดให้อุปกรณ์ทำงานภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด มีการแสดงผลที่สวยงาม และใช้งานง่าย

EPANET สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ระบบจ่ายน้ำได้หลายแบบ เช่น ปรับเทียบแบบจำลอง Hydraulic วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำ และคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระบบสูบน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมที่ผู้ใช้งานพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ของงานเฉพาะด้าน และให้แสดงผลในแบบที่ต้องการ ผ่านทาง EPANET Toolkit ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง

ความสามารถของ EPANET มีดังนี้

1. ไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดของโครงข่ายที่จะวิเคราะห์
2. คำนวณ Friction Headloss โดยใช้สมการ Hazen-Williams, Darcy-Weisbach หรือ Chezy-Manning
3. รวม Minor Headloss จาก ข้องอ อุปกรณ์ข้อต่อ
4. ใช้กับเครื่องสูบน้ำซึ่งความเร็วรอบคงที่หรือปรับความเร็วรอบได้
5. คำนวณปริมาณการใช้และค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ
6. ใช้กับวาล์วได้หลายชนิด รวมถึง Shutoff, Check, Cressure Regulating และ Flow Control Valves
7. ยอมให้ใช้ถังเก็บน้ำได้หลายแบบ เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางแปรผันกับความสูง
8. พิจารณาลักษณะความต้องการน้ำที่บัพ (Nodes) ได้หลายลักษณะ แต่ละลักษณะจะมีรูปแบบของตัวเองซึ่งแปรผันกับเวลา
9. แบบจำลองแรงดันขึ้นกับอัตราการไหลซึ่งออกจากหัวจ่าย (Sprinkler Heads)
10. สามารถปฏิบัติด้วยระบบพื้นฐานอย่างง่ายของทั้งระดับถังเก็บน้ำ และควบคุมด้วยเวลา หรือ ควบคุมด้วยกฎพื้นฐานที่ซับซ้อน

## 3.2 <u>เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย</u>

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ ชนิด 32 บิต 1 เครื่อง
2. เครื่องพิมพ์ 1 เครื่อง
3. โปรแกรมจำลองชลศาสตร์การไหลในท่อความดัน EPANET 2010 1 ชุด

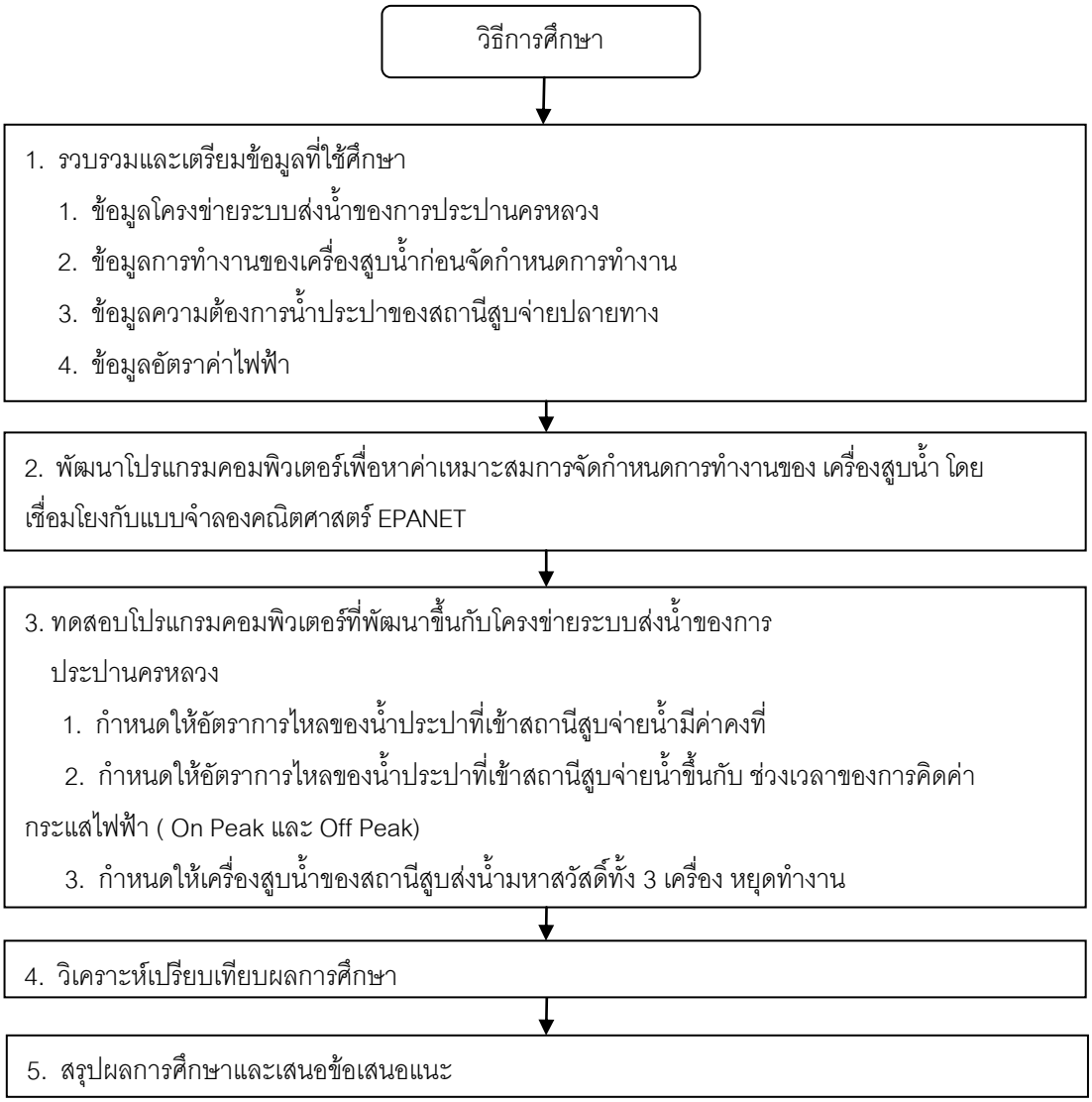
4. โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ PHP
5. โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ
6. ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง

## 3.4 วิธีการศึกษา

การศึกษาการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

### 3.4.1 การศึกษาการจัดกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมของระบบสูบส่งน้ำ โรงงานผลิตน้ำบางเขน

เพื่อให้ได้วิธีการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสม มีต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าในการผลิตที่ต่ำ และไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำเข้าของสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทาง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้น และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET ของการประปานครหลวง เปรียบเทียบกับระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง มีขั้นตอนในการศึกษาทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน คือ (1) การรวบรวมและเตรียมข้อมูลที่ใช้ศึกษา (2) การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าเหมาะสมการจัดกำหนดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ โดยเชื่อมโยงกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET (3) การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง (4) การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา และ (5) การสรุปผลการศึกษาและเสนอข้อเสนอแนะ ดังแสดงแนวทางการศึกษาในภาพที่ 6




ภาพที่ 19 ขั้นตอนการศึกษา

### *1. <u>รวบรวมและเตรียมข้อมูลที่ใช้ศึกษา</u>*

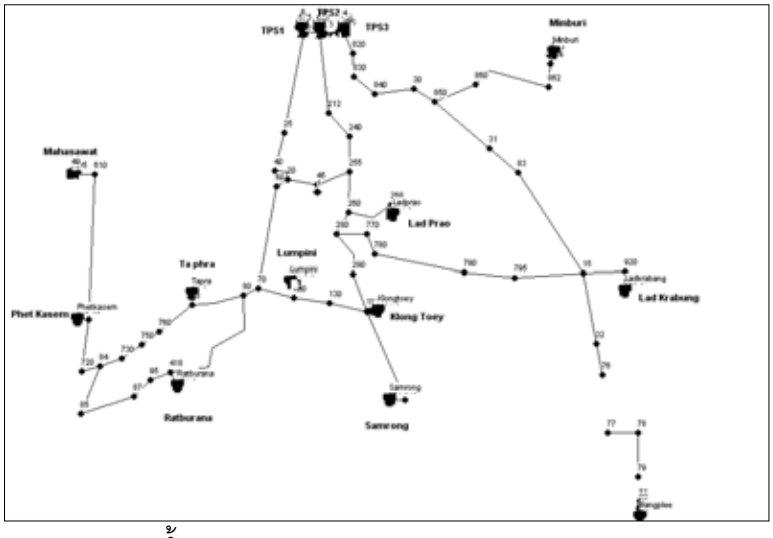
ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง ข้อมูลเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ ข้อมูลกำหนดการทำงานของเครื่องสูบน้ำก่อนจัดกำหนดการทำงาน ข้อมูลความต้องการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาของสถานีสูบจ่ายน้ำ และข้อมูลอัตราค่ากระแสไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ข้อมูลโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง และข้อมูลเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ

ใช้ข้อมูลโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงซึ่งโครงข่ายดังกล่าวประกอบด้วยอุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำความยาวรวมประมาณ 150 กิโลเมตร มีแหล่งจ่ายน้ำเป็นสถานีสูบส่งน้ำ 3 แห่ง มีจุดรับน้ำเป็นสถานีสูบจ่ายน้ำ 10 แห่ง ดังแสดงในภาพที่ 4 รายละเอียดข้อมูลเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำทั้ง 13 เครื่อง แสดงในตารางที่ 1 และภาพผนวกที่ ข

ตารางที่ 3 ข้อมูลเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง
ที่มา การประปานครหลวง (2552)

| สถานีสูบส่ง | มอเตอร์ | ชนิดปรับความเร็วรอบ | พลังงาน (kW) | แรงดันน้ำ-Head (ม.) | ขนาด (ลบ.ม./นาที) |
|---|---|---|---|---|---|
| สถานีสูบส่งน้ำ 1 (TPS1) | TPS1 - 1 | ไม่ได้ | 992 | 32 | 153 |
| | TPS1 - 2 | ไม่ได้ | 1920 | 32 | 300 |
| | TPS1 - 3 | ไม่ได้ | 1920 | 32 | 300 |
| | TPS1 - 4 | ไม่ได้ | 1920 | 32 | 300 |
| | TPS1 - 5 | ไม่ได้ | 1920 | 32 | 300 |
| สถานีสูบส่งน้ำ 2 (TPS2) | TPS2 - 8 | ได้ | 2100/720 | 33 | 300 |
| | TPS2 - 9 | ได้ | 2100/720 | 33 | 300 |
| | TPS2 - 10 | ได้ | 2100/720 | 33 | 300 |
| | TPS2 - 11 | ได้ | 2100/720 | 33 | 300 |
| | TPS2 - 12 | ไม่ได้ | 2100 | 33 | 300 |
| สถานีสูบส่งน้ำ 3 (TPS3) | TPS3 - 13 | ได้ | 2200/720 | 35 | 300 |
| | TPS3 - 14 | ได้ | 2200/720 | 35 | 300 |
| | TPS3 - 15 | ได้ | 2200/720 | 35 | 300 |
| | TPS3 - 16 | ได้ | 2200/720 | 35 | 300 |
| สถานีสูบส่งน้ำมหาสวัสดิ์ (MPS1) | MPS1 - 1 | ได้ | 2000/720 | 32 | 300 |
| | MPS1 - 2 | ได้ | 2000/720 | 32 | 300 |
| | MPS1 - 3 | ได้ | 2400/720 | 36 | 300 |




ภาพที่ 20 โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง

1.2 ข้อมูลกำหนดการทำงานของเครื่องสูบน้ำก่อนจัดกำหนดการทำงาน

ใช้ข้อมูลการทำงานของเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ ประจำเดือนมกราคม 2554 ซึ่งเครื่องสูบน้ำทุกเครื่องรวมถึงเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำอยู่ในสภาพการใช้งานตามปกติ โดยมีกำลังผลิตในการสูบส่ง 76,070,818 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำประจำเดือนมกราคม 2554

| สถานีสูบส่งน้ำ | ปริมาณการใช้พลังงาน (KW-HR) | | | | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ON PEAK | | OFF PEAK | | MAX DEMAND | ค่าพลังงานไฟฟ้า | | ค่า Ft | ค่า Max Demard Charge | รวม |
| | หน่วย | % | หน่วย | % | (Kw) | ON PEAK | OFF PEAK | | | บาท |
| โรงสูบส่งน้ำ 1 (TPS1) | 992,600.00 | 40.45 | 1,461,400.00 | 59.55 | 3,700.00 | 2,594,259.36 | 1,713,637.64 | 2,351,177.40 | 274,318.00 | 6,933,392.40 |
| โรงสูบส่งน้ำ 2 (TPS2) | 727,764.00 | 40.45 | 1,071,556.00 | 59.55 | 3,860.00 | 1,902,083.99 | 1,256,506.57 | 1,723,928.49 | 286,180.40 | 5,168,699.45 |
| โรงสูบส่งน้ำ 3 (TPS3) | 488,476.00 | 35.61 | 883,385.00 | 64.39 | 4,130.00 | 1,276,680.87 | 1,035,857.25 | 1,314,380.02 | 306,198.20 | 3,933,116.35 |
| | | | | | | | | | รวม | 16,035,208.20 |

ตารางที่ 5 กำหนดการทำงานของเครื่องสูบน้ำในเดือนมกราคม 2554

ที่มา: การประปานครหลวง (2554)

| เดือนมกราคม 2554 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | สถานีสูบส่งน้ำ1 (TPS1) | | | | | | | | | | สถานีสูบส่งน้ำ2 (TPS2) | | | | | | | | สถานีสูบส่งน้ำ3 (TPS3) | | | | | | | |
| วันที่ | TPS1-1 | | TPS1-2 | | TPS1-3 | | TPS1-4 | | TPS1-5 | | TPS2-8 | | TPS2-9 | | TPS2-10 | | TPS2-11 | | TPS3-13 | | TPS3-14 | | TPS3-15 | | TPS3-16 | |
| | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop | Start | Stop |
| 1 | | | | | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | | | 0 | 24 | | | 0 | 24 |
| 2 | 7 | 24 | | | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 17 | 24 | 0 | 17 | | | 0 | 24 |
| 3 | 0 | 5 | 8 | 23 | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 17 | 17 | 24 | | | 0 | 24 |
| | 22 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 7 | 6 | 24 | | | 0 | 23 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 15 | 15 | 24 | | | 0 | 24 |
| 5 | 0 | 5 | 0 | 24 | | | 5 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| 6 | 0 | 6 | 0 | 21 | | | 0 | 24 | | | 6 | 14 | | | 0 | 6 | 0 | 24 | 0 | 18 | 18 | 24 | | | 0 | 24 |
| | 21 | 24 | | | | | | | | | | | | | 14 | 24 | | | | | | | | | | |
| 7 | 0 | 7 | 6 | 23 | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| 8 | 0 | 9 | 7 | 24 | | | 0 | 21 | | | 6 | 14 | | | 0 | 6 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| | 20 | 22 | | | | | | | | | | | | | 14 | 24 | | | | | | | | | | |
| 9 | 0 | 8 | 0 | 24 | | | 7 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| 10 | 0 | 8 | 7 | 22 | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 17 | 17 | 24 | | | 0 | 24 |
| 11 | 0 | 5 | 5 | 24 | | | 0 | 24 | | | 6 | 14 | | | 0 | 6 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| | 20 | 23 | | | | | | | | | | | | | 14 | 24 | | | | | | | | | | |
| 12 | 23 | 24 | 0 | 24 | | | 0 | 23 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| 13 | 0 | 6 | 0 | 24 | | | 6 | 24 | | | 7 | 24 | | | 0 | 24 | 0 | 7 | 0 | 24 | | | 11 | 24 | 0 | 11 |
| 14 | | | 0 | 24 | | | 0 | 24 | | | 0 | 14 | | | 0 | 24 | 14 | 24 | 0 | 24 | 13 | 24 | 0 | 14 | | |
| 15 | 23 | 24 | 0 | 23 | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | |
| เดือนมกราคม 2554 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | สถานีสูบส่งน้ำ1 (TPS1) | | | | | | | | | | สถานีสูบส่งน้ำ2 (TPS2) | | | | | | | | สถานีสูบส่งน้ำ3 (TPS3) | | | | | | | |
| 16 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | |
| 17 | 0 | 9 | 7 | 24 | | | 0 | 22 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 16 | | | 16 | 24 |
| 18 | 0 | 6 | 0 | 24 | | | 6 | 24 | | | 7 | 10 | | | 10 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| 19 | 0 | 8 | 6 | 23 | | | 0 | 24 | | | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| 20 | 0 | 6 | 6 | 24 | | | 0 | 15 | 15 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 16 | 16 | 24 | | | 0 | 24 |
| 21 | 0 | 8 | 6 | 22 | | | | | 0 | 24 | 7 | 10 | | | 10 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 |
| 22 | 0 | 6 | 6 | 24 | | | | | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | 20 | 24 | 0 | 20 |
| 23 | 0 | 8 | 6 | 22 | | | | | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | 0 | 24 | | |
| 24 | 0 | 5 | 5 | 24 | | | | | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | | | 0 | 24 | | |
| 25 | 0 | 5 | 5 | 24 | | | | | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 12 | | | 0 | 24 | 12 | 24 |
| 26 | 0 | 8 | 5 | 21 | | | | | 0 | 24 | 6 | 15 | | | 0 | 24 | 0 | 6 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 |
| | 20 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | 15 | 24 | | | | | | | | |
| 27 | 0 | 8 | 5 | 21 | | | | | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | | | 14 | 24 | 0 | 14 | 0 | 24 |
| 28 | 0 | 9 | 6 | 21 | | | | | 0 | 24 | 6 | 15 | | | 0 | 24 | 0 | 6 | | | 0 | 24 | | | 0 | 24 |
| | 19 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | 15 | 24 | | | | | | | | |
| 29 | 0 | 7 | 6 | 23 | | | | | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | | | 0 | 24 | | | 0 | 24 |
| 30 | 0 | 7 | 6 | 23 | | | | | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 | | | 0 | 16 | 16 | 24 | 0 | 24 |
| 31 | 0 | 14 | 5 | 15 | | | | | 0 | 24 | 6 | 12 | | | 0 | 6 | 0 | 24 | | | | | 0 | 24 | 0 | 24 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 12 | 24 | | | | | | | | | | |

1.3 ข้อมูลสถานีสูบจ่ายปลายทางและอิทธิพลน้ำเข้าจากสถานีสูบส่ง

ตารางที่ 6 ข้อมูลพื้นที่ถัง ขนาดความจุ และระดับเก็บกักน้ำสูงสุดของถังเก็บน้ำใส

ที่มา การประปานครหลวง (2554)

| สถานีสูบจ่ายปลายทาง | | ถังเก็บน้ำใส (Reservoir) | | | อิทธิพลจากสถานีสูบส่งต้นทาง | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | พื้นที่ (ตร.ม.) | สูง (ม.) | ความจุ (ลบ.ม.) | หลัก | เสริม |
| 1 | สำโรง (SR) | 9,765 | 5.63 | 54,980 | TPS2 | TPS1 |
| 2 | ลุมพีนี (LP) | 8,570 | 5.70 | 48,850 | TPS1 | |
| 3 | คลองเตย (KT) | 8,120 | 5.63 | 45,715 | TPS2 | |
| 4 | ลาดกระบัง (LK) | 9,000 | 5.63 | 50,670 | TPS3 | TPS2 |
| 5 | ลาดพร้าว (LB) | 8,815 | 5.63 | 49,625 | TPS2 | |
| 6 | มีนบุรี (MB) | 7,440 | 7.26 | 54,014 | TPS3 | |
| 7 | บางพลี (BP) | 11,000 | 5.90 | 64,900 | TPS3 | TPS2 |
| 8 | ท่าพระ (TP) | 8,120 | 5.63 | 45,715 | MPS1 | |
| 9 | ราษฎร์บูรณะ (RB) | 7,985 | 5.63 | 44,956 | MPS1 | TPS1 |
| 10 | เพชรเกษม (PK) | 5,720 | 6.60 | 37,752 | MPS | |

1.4 ข้อมูลปริมาณน้ำเข้าสถานีปลายทางทั้ง 10 แห่ง

ตารางที่ 7 ข้อมูลค่าเฉลี่ยน้ำเข้า 24 ชั่วโมงของสถานีสูบจ่าย ที่มา การประปานครหลวง (2554)

| ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเข้าในเดือนมกราคม 2554 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เวลา | สำโรง | | ลุมพีนี | | คลองเตย | | ลาดกระบัง | | ลาดพร้าว | |
| | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา |
| 00.00-01.00 | 15001 | 16132 | 7291 | 7656 | 8600 | 10320 | 7050 | 9165 | 9530 | 11913 |
| 01.00-02.00 | 15515 | 16364 | 7318 | 8193 | 9500 | 11400 | 7020 | 9126 | 9500 | 11875 |
| 02.00-03.00 | 15519 | 16410 | 7329 | 8152 | 9500 | 11400 | 7030 | 9139 | 9520 | 11900 |
| 03.00-04.00 | 15183 | 16022 | 7418 | 8220 | 9600 | 11520 | 7060 | 9178 | 9510 | 11888 |
| 04.00-05.00 | 14929 | 15523 | 7716 | 8549 | 12900 | 15480 | 9010 | 11713 | 13400 | 16750 |
| 05.00-06.00 | 15745 | 15427 | 7682 | 11235 | 18000 | 21600 | 10740 | 13962 | 14500 | 18125 |
| 06.00-07.00 | 15933 | 16175 | 8098 | 13425 | 17400 | 20880 | 12850 | 16705 | 16500 | 20625 |
| 07.00-08.00 | 16080 | 16210 | 11507 | 13415 | 16900 | 20280 | 13300 | 17290 | 15280 | 19100 |
| 08.00-09.00 | 16458 | 16781 | 11257 | 13124 | 12900 | 15480 | 13080 | 17004 | 14820 | 18525 |
| 09.00-10.00 | 16569 | 17178 | 10903 | 12508 | 12800 | 15360 | 13320 | 17316 | 14600 | 18250 |
| 10.00-11.00 | 17532 | 17725 | 10859 | 12140 | 12600 | 15120 | 13010 | 16913 | 14600 | 18250 |
| 11.00-12.00 | 17155 | 17703 | 11195 | 12042 | 10800 | 12960 | 12780 | 16614 | 14250 | 17813 |
| 12.00-13.00 | 17541 | 18187 | 11376 | 11887 | 10900 | 13080 | 12600 | 16380 | 14010 | 17513 |
| 13.00-14.00 | 17232 | 18044 | 11564 | 10681 | 10500 | 12600 | 12550 | 16315 | 13940 | 17425 |
| 14.00-15.00 | 17710 | 18156 | 11577 | 10138 | 10700 | 12840 | 12530 | 16289 | 14080 | 17600 |
| 15.00-16.00 | 18065 | 17801 | 11370 | 10265 | 10700 | 12840 | 12750 | 16575 | 14250 | 17813 |
| 16.00-17.00 | 84428 | 104603 | 10403 | 10088 | 14000 | 16800 | 12780 | 16614 | 14080 | 17600 |
| 17.00-18.00 | 17897 | 17852 | 9204 | 10413 | 14100 | 16920 | 12650 | 16445 | 13940 | 17425 |
| 18.00-19.00 | 18437 | 17696 | 8956 | 10679 | 14100 | 16920 | 12460 | 16198 | 13860 | 17325 |
| 19.00-20.00 | 18628 | 18005 | 8624 | 10932 | 13800 | 16560 | 12420 | 16146 | 13750 | 17188 |
| 20.00-21.00 | 18462 | 17771 | 8388 | 10684 | 13700 | 16440 | 11400 | 14820 | 11350 | 14188 |
| 21.00-22.00 | 18824 | 18158 | 8638 | 9456 | 12700 | 15240 | 10770 | 14001 | 11150 | 13938 |
| 22.00-23.00 | 18417 | 18424 | 7489 | 8170 | 8400 | 10080 | 10110 | 13143 | 10050 | 12563 |
| 23.00-24.00 | 18213 | 18459 | 7350 | 7585 | 8500 | 10200 | 7090 | 9217 | 9540 | 11925 |

| ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเข้าในเดือนมกราคม 2554 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เวลา | มีนบุรี | | บางพลี | | ท่าพระ | | ราษฎรบูรณะ | | เพชรเกษม | |
| | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา | วันหยุด | วันธรรมดา |
| 00.00-01.00 | 3200 | 4224 | 10050 | 11399 | 4949 | 5316 | 6298 | 8439 | 11164 | 10685 |
| 01.00-02.00 | 3160 | 4171 | 10255 | 11544 | 4969 | 5354 | 6028 | 8078 | 11273 | 10590 |
| 02.00-03.00 | 3240 | 4277 | 10167 | 11420 | 4995 | 5369 | 6098 | 8171 | 11564 | 10710 |
| 03.00-04.00 | 3340 | 4409 | 10456 | 11487 | 5061 | 5345 | 6227 | 8344 | 11473 | 10770 |
| 04.00-05.00 | 5530 | 7300 | 10933 | 11249 | 5080 | 5261 | 10019 | 13425 | 11464 | 10480 |
| 05.00-06.00 | 7430 | 9808 | 17658 | 10566 | 6417 | 6657 | 12085 | 16194 | 8791 | 9720 |
| 06.00-07.00 | 9640 | 12725 | 9808 | 11357 | 9058 | 9188 | 13442 | 18012 | 11055 | 12635 |
| 07.00-08.00 | 9920 | 13094 | 10925 | 12222 | 9191 | 9756 | 13253 | 17759 | 12218 | 13005 |
| 08.00-09.00 | 9000 | 11880 | 11175 | 12594 | 9240 | 9676 | 12405 | 16623 | 11655 | 12835 |
| 09.00-10.00 | 8610 | 11365 | 11305 | 12577 | 9199 | 8728 | 12056 | 16155 | 12782 | 12960 |
| 10.00-11.00 | 8610 | 11365 | 11147 | 11603 | 9313 | 7792 | 12056 | 16155 | 13300 | 13115 |
| 11.00-12.00 | 7250 | 9570 | 11336 | 11304 | 8264 | 7505 | 10430 | 13976 | 13591 | 13335 |
| 12.00-13.00 | 6800 | 8976 | 11258 | 10729 | 7094 | 7401 | 9990 | 13387 | 14682 | 13625 |
| 13.00-14.00 | 5750 | 7590 | 18691 | 10752 | 7295 | 7376 | 9970 | 13360 | 15191 | 13660 |
| 14.00-15.00 | 5600 | 7392 | 10695 | 10974 | 7726 | 7315 | 9890 | 13253 | 14482 | 12845 |
| 15.00-16.00 | 7750 | 10230 | 10400 | 10689 | 8410 | 7398 | 10130 | 13574 | 14500 | 12405 |
| 16.00-17.00 | 8380 | 11062 | 10134 | 10679 | 8463 | 7983 | 11477 | 15379 | 12755 | 11830 |
| 17.00-18.00 | 8020 | 10586 | 10007 | 11121 | 8622 | 8072 | 11557 | 15486 | 11900 | 10905 |
| 18.00-19.00 | 7940 | 10481 | 9965 | 11170 | 8831 | 7820 | 11588 | 15528 | 11727 | 11015 |
| 19.00-20.00 | 8010 | 10573 | 10209 | 11346 | 8842 | 7788 | 11678 | 15649 | 11536 | 11005 |
| 20.00-21.00 | 6270 | 8276 | 10120 | 11371 | 9027 | 7678 | 10660 | 14284 | 11464 | 11195 |
| 21.00-22.00 | 4940 | 6521 | 10526 | 11755 | 9129 | 7278 | 6887 | 9229 | 10782 | 10865 |
| 22.00-23.00 | 4080 | 5386 | 10182 | 11613 | 9046 | 7934 | 6626 | 8879 | 9564 | 10165 |
| 23.00-24.00 | 3240 | 4277 | 9203 | 11741 | 8102 | 8107 | 6318 | 8466 | 8973 | 10460 |

1.5 ข้อมูลอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า

อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับสถานีสูบส่งน้ำทั้ง 3 แห่งของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง เป็นอัตราค่ากระแสไฟฟ้าแบบ TOU (Time of Use Rate) ซึ่งคิดตามช่วงเวลาของการใช้ ประกอบด้วยค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือช่วง On Peak ตั้งแต่เวลา 09:00-22:00 และช่วง Off Peak ตั้งแต่เวลา 22:00-09:00 ค่า Demand Charge ค่า Ft ค่า Power Factor หรือ ค่า Kvar และค่าบริการ โดยอัตราที่ใช้กับสถานีสูบส่งน้ำบางเขน 1, 2 และ 3 ณ เดือนมกราคม 2554 แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 8 องค์ประกอบของอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ที่มา: การประปานครหลวง (2554)

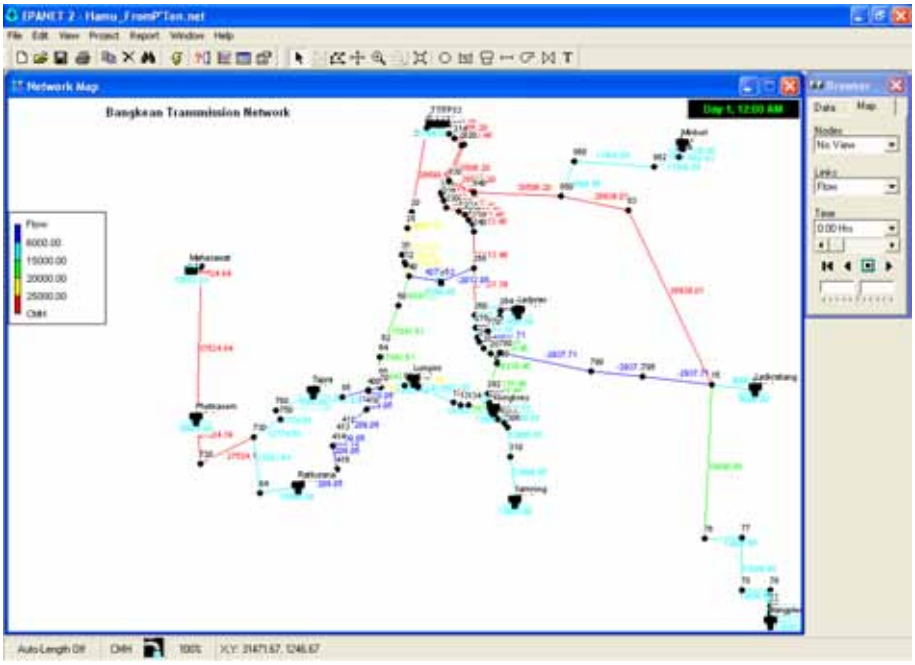
| องค์ประกอบของอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า | สถานีสูบส่งน้ำ | |
|---|---|---|
| | สถานีสูบส่งน้ำ 1, 2, 3 (TPS 1, 2, 3) | สถานีสูบส่งน้ำมหาสวัสดิ์ MPS1 |
| 1. ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/หน่วย) | | |
| 1.1 ช่วง On Peak | 2.6136 | 2.695 |
| 1.2 ช่วง Off Peak | 1.1726 | 1.1914 |
| 2. ค่า Demand Charge (บาท/กิโลวัตต์) | 74.14 | 132.93 |
| 3. ค่า Ft (บาท/หน่วย) | 0.9225 | 0.9225 |
| 4. ค่า Power Factor หรือ ค่า Kvar (บาท/กิโลวัตต์) | 14.02 | 14.02 |
| 5. ค่าบริการ (บาท/เดือน) | 228.17 | 228.17 |

ในการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะอัตราค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วย และใช้อัตราค่ากระแส ไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ 1, 2 และ 3 เป็นตัวแทนของอัตราค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับสถานีสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง

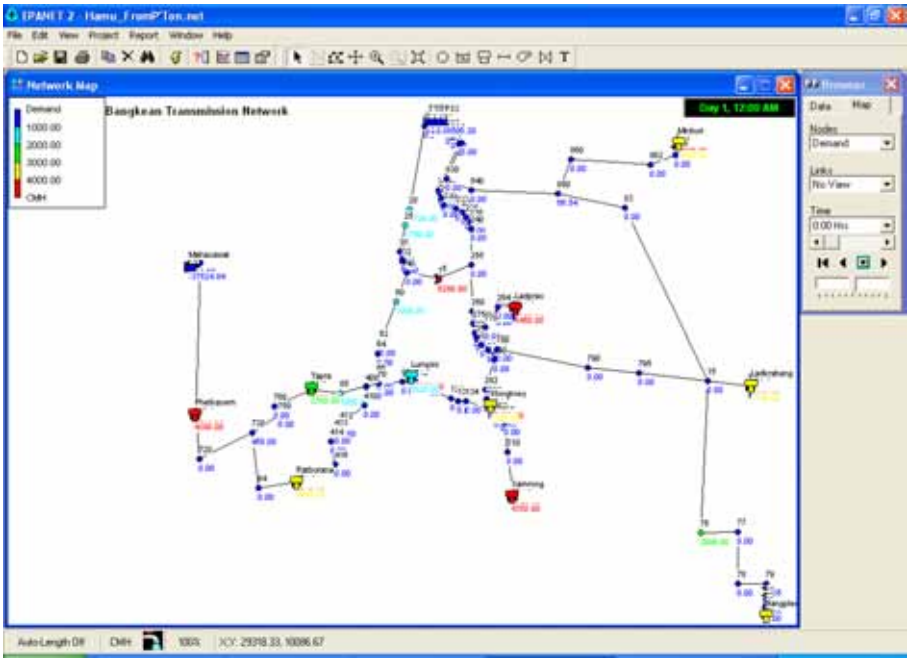
### *2. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าเหมาะสมการจัดกำหนดการทำงานของ เครื่องสูบน้ำ โดยเชื่อมโยงกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET*

2.1 ส่วนของการจำลองโครงข่ายระบบส่งน้ำด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์EPANET

เพื่อจำลองการสูบส่งน้ำประปาจากสถานีสูบส่งต้นทางไปยังสถานีสูบจ่ายปลายทาง ซึ่ง EPANET เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทดสอบผลกระทบระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงได้ โดย EPANET จะสร้างโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลโครงข่ายอุโมงค์และท่อส่งน้ำ ข้อมูลเครื่องสูบน้ำ ข้อมูลถังเก็บน้ำใส ข้อมูลความต้องการน้ำ และข้อมูลอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า

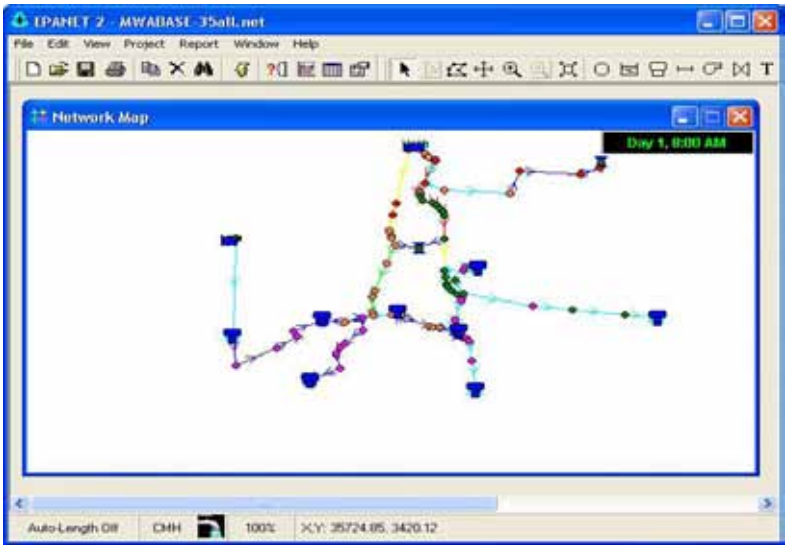



ภาพที่ 21 โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET ปริมาณการจ่ายน้ำประปาจากสถานีสูบส่งต้นทางสู่อุโมงค์ส่งน้ำ

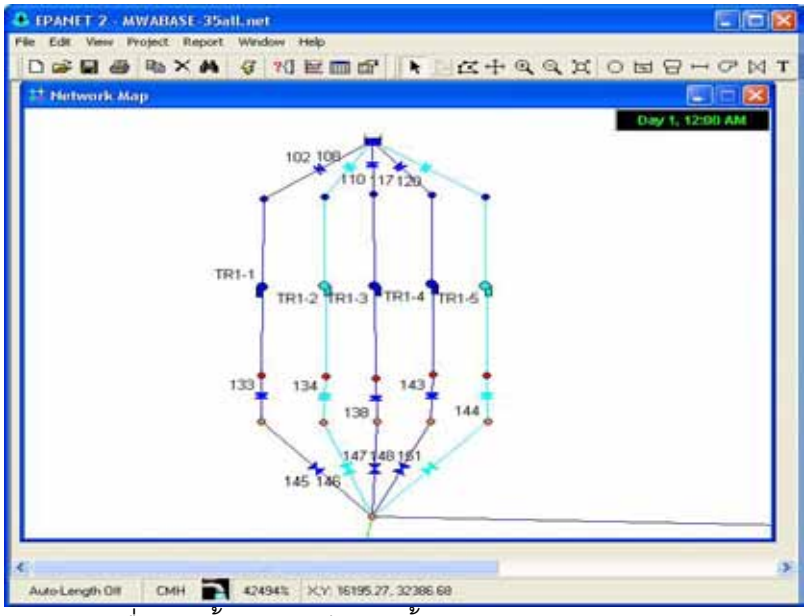



ภาพที่ 22 โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET ความต้องการปริมาณน้ำเข้าของสถานีสูบจ่ายปลายทาง

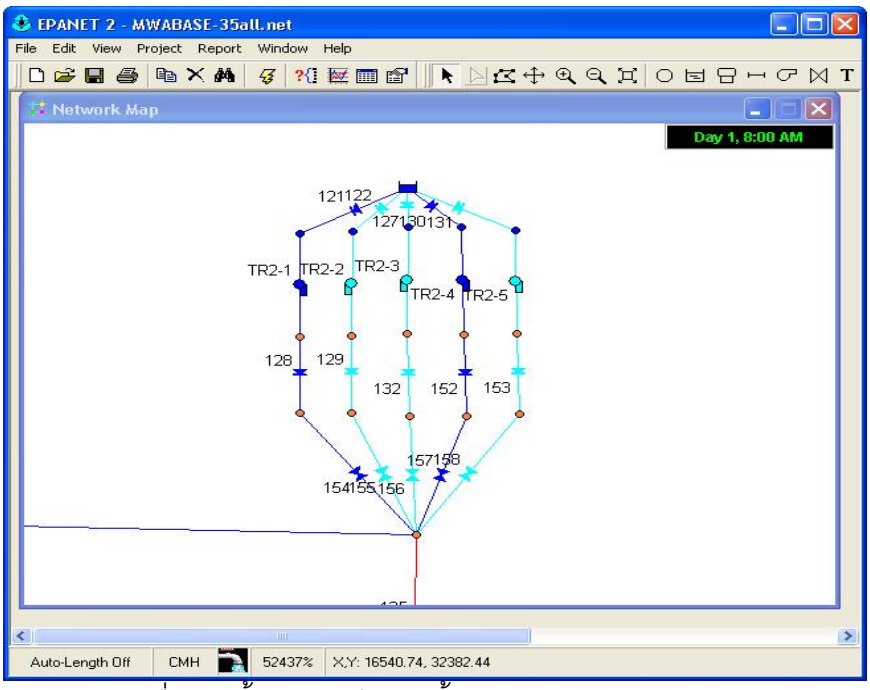
2.1.1 ส่วนการเตรียมข้อมูลในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET ทำหน้าที่เตรียมข้อมูลโครงข่ายระบบส่งน้ำ ให้อยู่ในรูปแบบสำหรับการประมวลผล โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET สร้างโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลโครงข่ายอุโมงค์และท่อส่งน้ำ ข้อมูลเครื่องสูบน้ำ ข้อมูลถังเก็บน้ำใส ข้อมูลความต้องการน้ำ และข้อมูลอัตราค่ากระแสไฟฟ้า ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก1 ถึง ก6 และภาพที่ 11 ถึง 18 เมื่อได้แบบจำลองโครงข่ายระบบส่งน้ำแล้วจึงส่งออก (Export) ไฟล์ข้อมูลเป็น Text File เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ



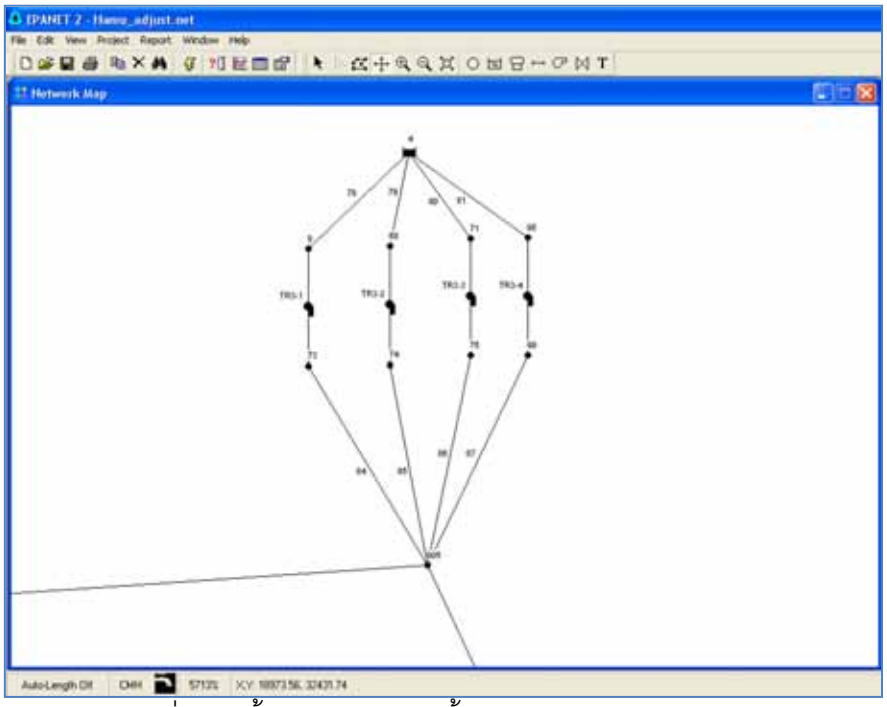

ภาพที่ 23 โครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET



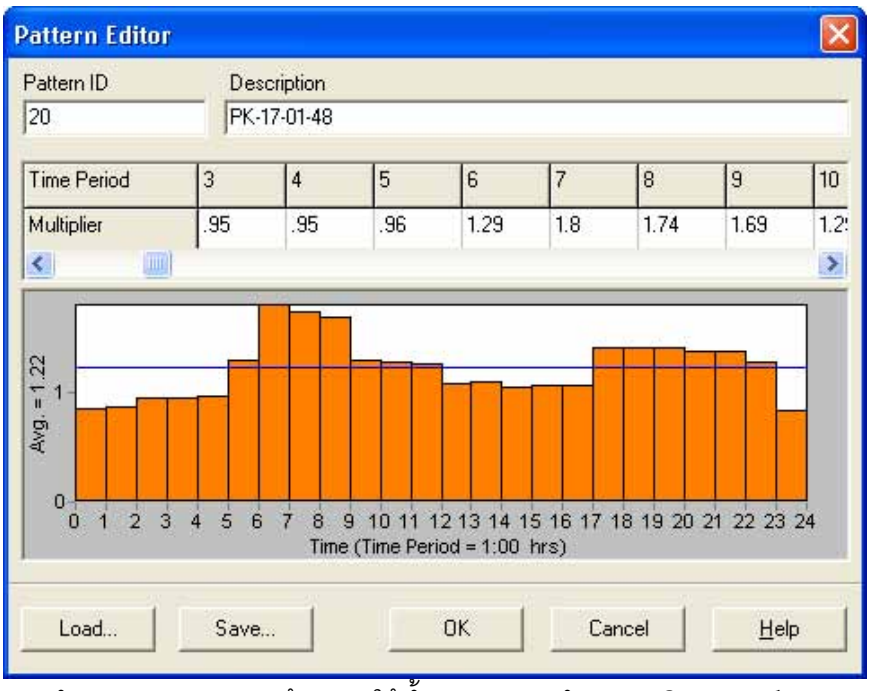

ภาพที่ 24 การจำลองเครื่องสูบน้ำในสถานีสูบส่งน้ำ1 (TPS1) ลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET



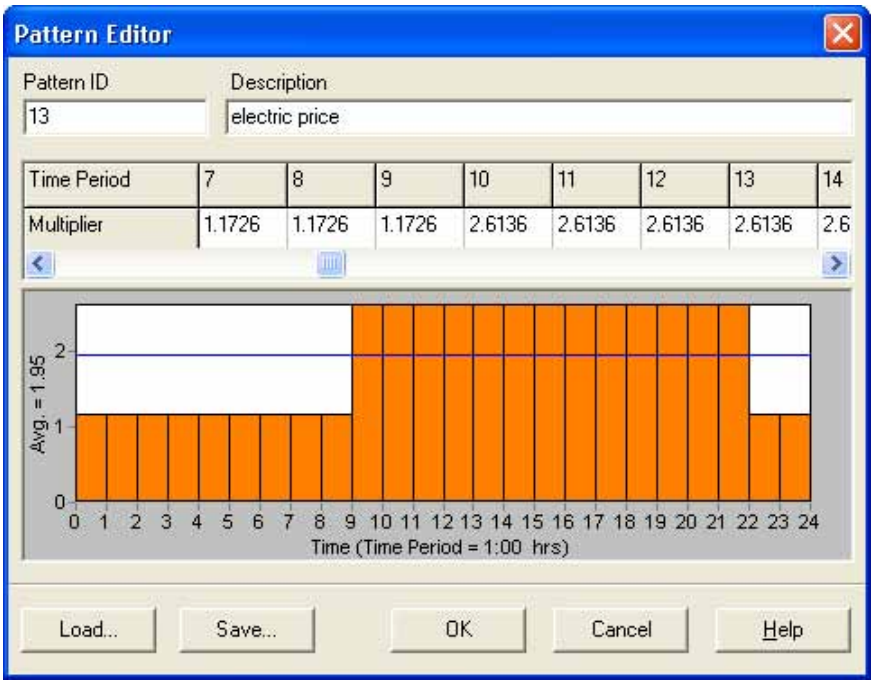

ภาพที่ 25 การจำลองเครื่องสูบน้ำในสถานีสูบส่งน้ำ2 (TPS2) ลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET



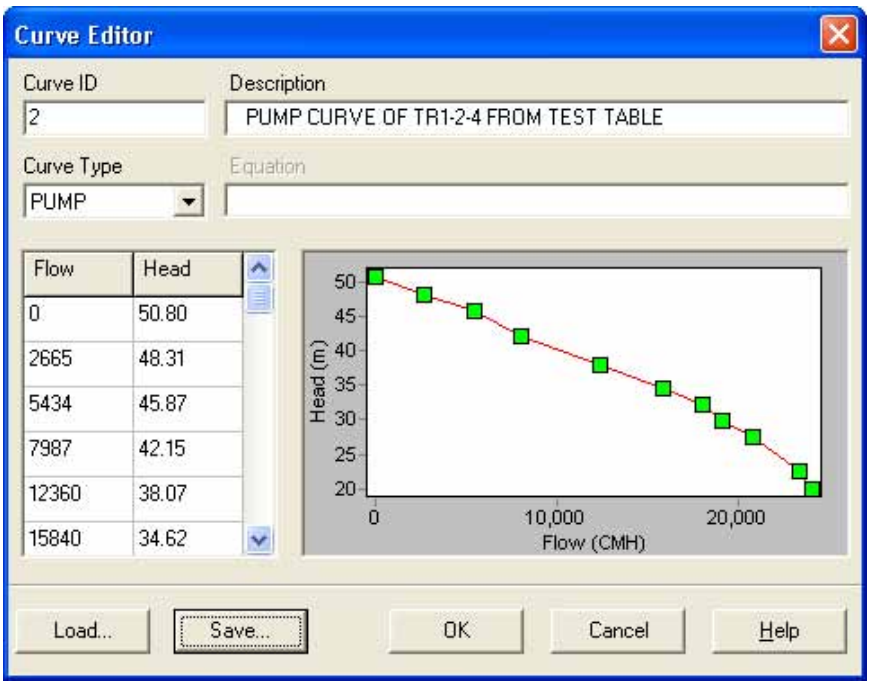

ภาพที่ 26 การจำลองเครื่องสูบน้ำในสถานีสูบส่งน้ำ3 (TPS3) ลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET



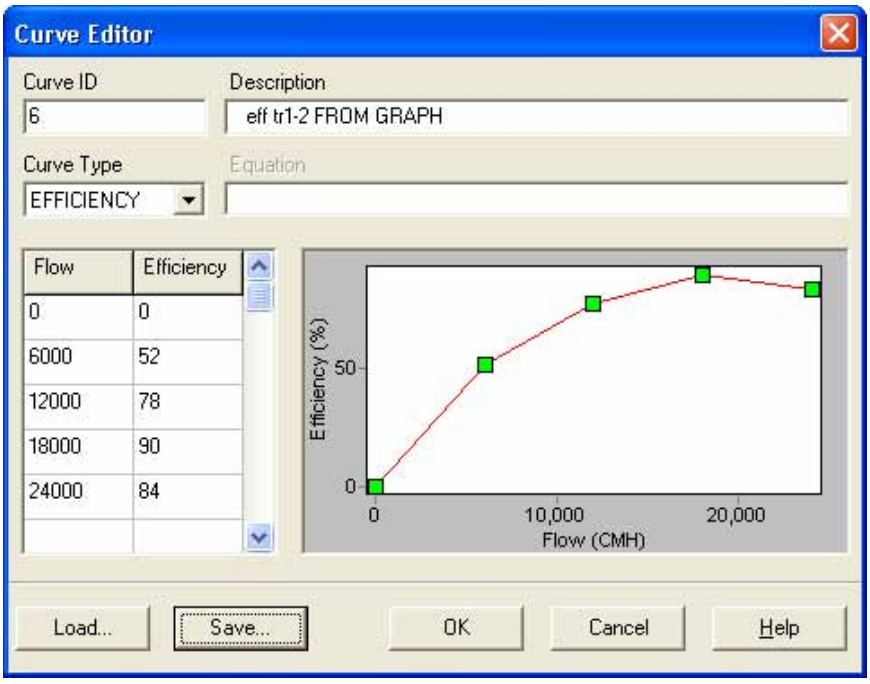

ภาพที่ 27 การจำลองรูปแบบความต้องการใช้น้ำลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET



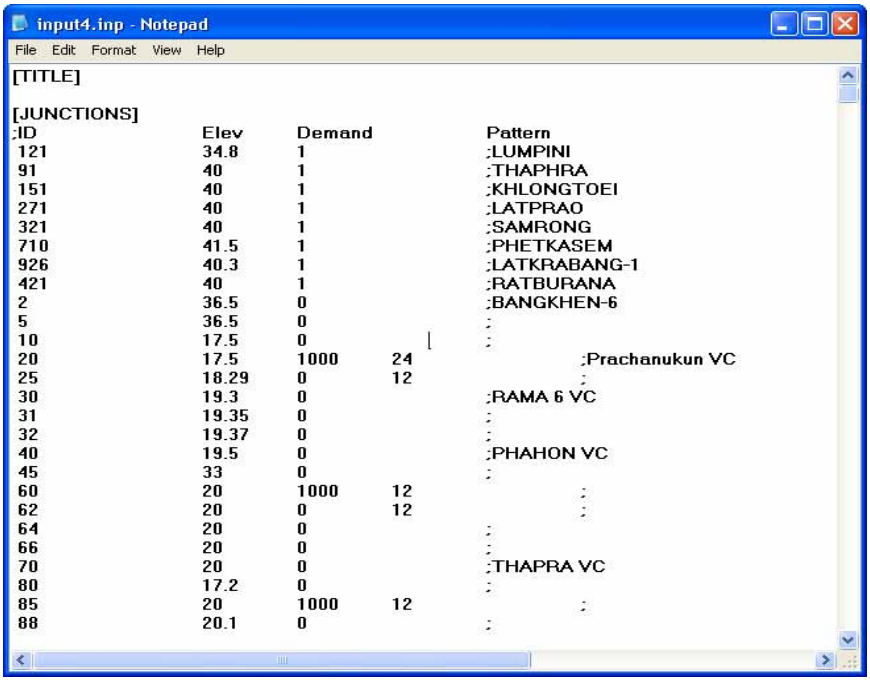

ภาพที่ 28 การจำลองรูปแบบอัตราค่ากระแสไฟฟ้าลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET




ภาพที่ 29 การจำลองโค้งคุณลักษณะ (H-Q Curve) ของเครื่องสูบน้ำลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET




ภาพที่ 30 การจำลองประสิทธิภาพ (Efficiency Curve) ของเครื่องสูบน้ำลงบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET



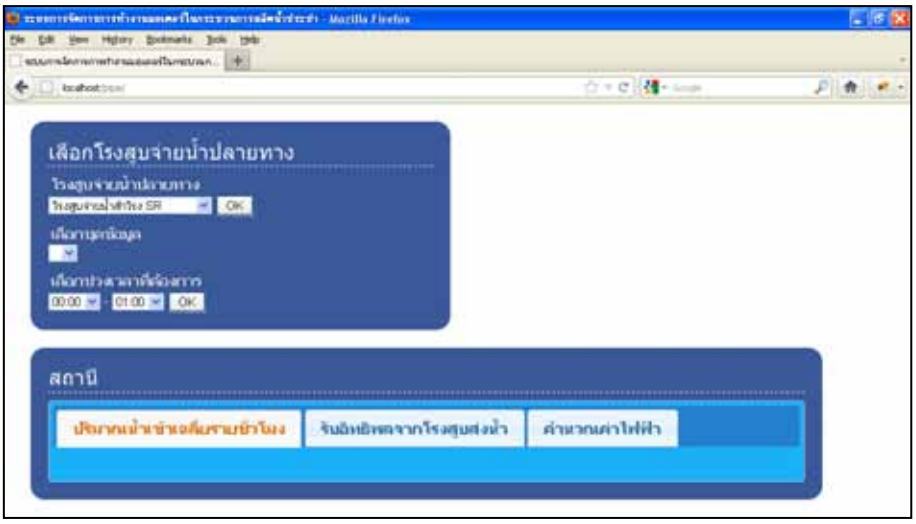

ภาพที่ 31 ข้อมูลโครงข่ายระบบส่งน้ำที่อยู่ในรูปของ Text File

2.2 ส่วนของการหาค่าเหมาะสมด้วยการคำนวณเพื่อหาแนวทางในการกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ (Pump Guide)

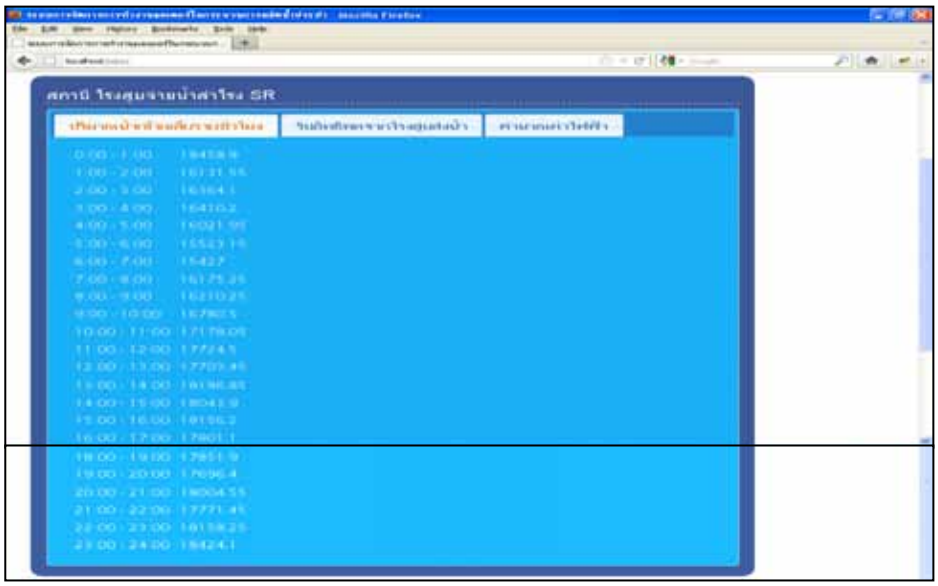
เพื่อให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดโดยกระทบถึงปริมาณการสูบจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายปลายทางน้อยที่สุด

2.2.1 ส่วนป้อนข้อมูล

โดยผู้ใช้สามารถเลือกสถานีสูบจ่ายปลายทางและกำหนดประเภทของชุดข้อมูลที่ต้องการ คือวันธรรมดา หรือวันหยุด โดยโปรแกรมจะแสดง 1. อิทธิพลการจ่ายน้ำที่ได้รับจากสถานีสูบส่งต้นทาง 2. รูปแบบปริมาณการใช้น้ำของสถานีสูบจ่ายที่ผู้ใช้ได้เลือก เพื่อนำไปกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำในสถานีสูบส่งต้นทางได้



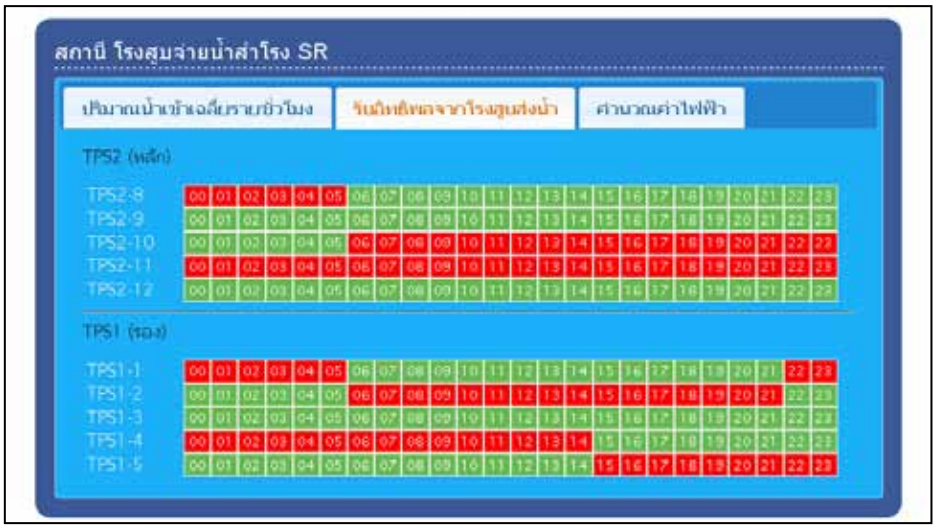

ภาพที่ 32_ส่วนหน้าต่างการป้อนข้อมูลของ Pump Guide




ภาพที่ 33 ส่วนแสดงผลรูปแบบปริมาณน้ำเข้ารายชั่วโมงของสถานีสูบจ่ายที่ผู้ใช้เลือก

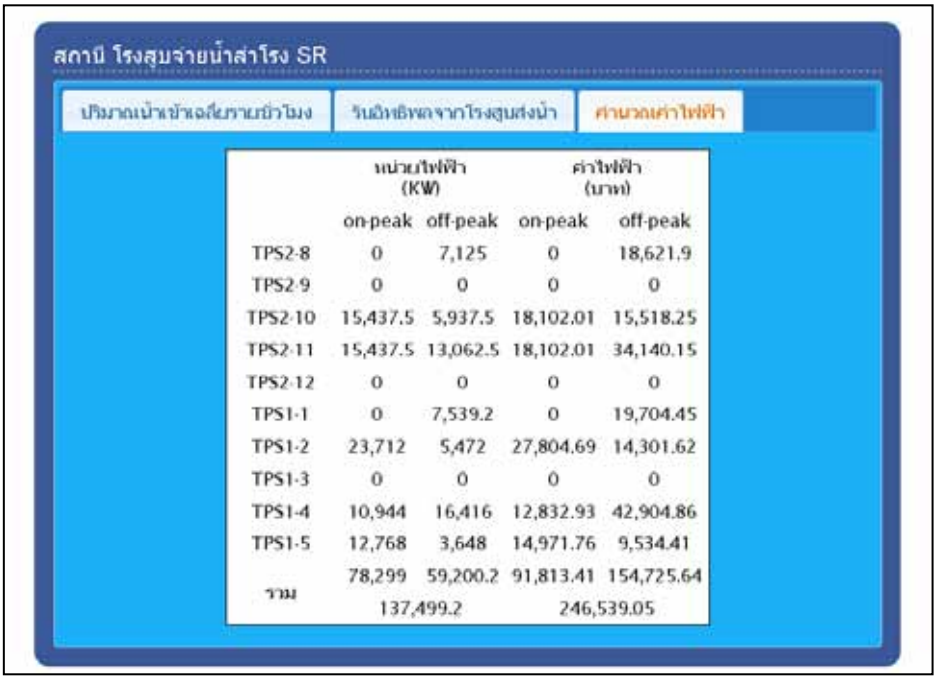
2.2.2 ส่วนแสดงผลของ Pump Guide เป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ โดย

1 แสดงผลการกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ แสดงชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ที่สถานีสูบส่งต้นทางที่เป็นอิทธิพลการจ่ายน้ำให้แก่สถานีสูบจ่ายปลายทางที่ผู้ใช้ได้เลือกโดยรวม




ภาพที่ 34 ส่วนแสดงผลกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งจากสถานีสูบจ่ายที่ผู้ใช้เลือก

2.แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำทั้งในช่วง On-Peak, Off-Peak




| | หน่วยไฟฟ้า (KW) | | ค่าไฟฟ้า (บาท) | |
|---|---|---|---|---|
| | on-peak | off-peak | on-peak | off-peak |
| TPS2-8 | 0 | 7,125 | 0 | 18,621.9 |
| TPS2-9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TPS2-10 | 15,437.5 | 5,937.5 | 18,102.01 | 15,518.25 |
| TPS2-11 | 15,437.5 | 13,062.5 | 18,102.01 | 34,140.15 |
| TPS2-12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TPS1-1 | 0 | 7,539.2 | 0 | 19,704.45 |
| TPS1-2 | 23,712 | 5,472 | 27,804.69 | 14,301.62 |
| TPS1-3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TPS1-4 | 10,944 | 16,416 | 12,832.93 | 42,904.86 |
| TPS1-5 | 12,768 | 3,648 | 14,971.76 | 9,534.41 |
| รวม | 78,299 | 59,200.2 | 91,813.41 | 154,725.64 |
| | 137,499.2 | | 246,539.05 | |

ภาพที่ 35 ส่วนแสดงผลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าจากการกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งจากสถานีสูบจ่ายที่ผู้ใช้เลือก

*3. **ทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นกับโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง***

การทดสอบโปรแกรมโดยมีการกำหนดเงื่อนไขที่ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำสุด ไม่กระทบต่ออัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทาง การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลา TOU ดังนั้นประโยชน์จากเงื่อนไขข้างต้น ทำให้มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำมีการทำงานที่เป็นระบบ และลดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่ไม่จำเป็นลง ซึ่งจะทำให้มีการใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง

ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำสถานีสูบจ่ายน้ำทั้ง 10 แห่ง ในแต่ละชุดข้อมูลประจำเดือนมกราคม 2554

| สถานีสูบจ่ายปลายทาง | ปริมาณน้ำเข้าสถานีประจำเดือนมกราคม 2554 (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) | |
|---|---|---|
| | On-Peak | Off-Peak |
| **สำโรง** | 24,529.22 | 17,700.04 |
| **ลุมพินี** | 10,916.50 | 9,622.67 |
| **คลองเตย** | 9,740.00 | 13,500.00 |
| **ลาดกระบัง** | 11,548.00 | 9,000.00 |
| **ลาดพร้าว** | 19,378.00 | 13,800.00 |
| **มีนบุรี** | 15,432.00 | 11,500.00 |
| **บางพลี** | 11,235.92 | 11,401.61 |
| **ท่าพระ** | 7,702.54 | 7,327.41 |
| **ราษฎร์บูรณะ** | 18,003.00 | 13,500.00 |
| **เพชรเกษม** | 12,212.31 | 11,414.97 |

3.4.2 **การศึกษาพยากรณ์** (Forecasting) **ปริมาณน้ำจ่ายของในแต่ละพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำและสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง**

เพื่อหาแนวโน้มปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น โดยแบ่งพื้นที่ตามแนวโน้มปริมาณการใช้น้ำเป็น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง ปานกลาง และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือค่อนข้างคงที่ โดยเป็นการพยากรณ์อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้น้ำล่วงหน้าอย่างน้อย 5 ปี

ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำจ่ายประจำปีงบประมาณของโรงงานผลิตน้ำและสถานีสูบจ่ายน้ำทั้ง 10 แห่ง

| | ปริมาณน้ำจ่ายประจำปีงบประมาณ ลูกบาศก์เมตร (เริ่มตุลาคมปีก่อนหน้า ถึง กันยายนปีปัจจุบัน) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สถานีสูบส่งและสูบจ่าย | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| รง.บางเขน | 1,087,691,000 | 1,144,119,709 | 1,218,416,728 | 1,223,692,112 | 1,237,385,797 | 1,284,033,396 | 1,215,779,160 | 1,180,637,053 |
| รง.สามเสน | 165,088,000 | 165,314,400 | 168,678,418 | 169,572,110 | 171,837,350 | 171,946,040 | 172,406,020 | 171,486,640 |
| รง.ธนบุรี | 52,668,000 | 51,611,510 | 51,636,490 | 51,614,240 | 50,042,654 | 49,794,761 | 49,552,348 | 48,402,652 |
| รง.มหาสวัสดิ์ | 387,848,000 | 394,355,400 | 394,585,795 | 393,940,600 | 395,666,500 | 397,502,350 | 399,981,200 | 410,685,300 |
| สจ.ลุมพินี | 99,407,000 | 101,901,697 | 105,293,512 | 105,378,050 | 109,489,900 | 109,885,970 | 105,700,020 | 99,137,690 |
| สจ.ลาดพร้าว | 137,992,000 | 138,143,450 | 138,264,050 | 138,096,750 | 138,165,510 | 138,805,116 | 138,821,633 | 138,987,200 |
| สจ.คลองเตย | 94,632,000 | 98,544,052 | 101,973,270 | 104,090,540 | 101,863,870 | 106,428,730 | 103,573,862 | 101,932,020 |
| สจ.สำโรง | 145,870,000 | 160,831,922 | 171,416,460 | 171,015,220 | 171,828,940 | 169,414,530 | 168,676,296 | 168,908,866 |
| สจ.ลาดกระบัง | 107,779,000 | 112,408,150 | 105,351,840 | 100,922,330 | 102,540,370 | 103,653,440 | 101,260,477 | 101,796,760 |
| สจ.มีนบุรี | 100,295,000 | 100,819,240 | 103,719,210 | 104,416,663 | 106,739,764 | 106,907,488 | 111,708,140 | 111,995,330 |
| สจ.บางพลี | 101,932,765 | 104,654,984 | 109,735,010 | 105,550,190 | 109,055,324 | 107,736,850 | 109,100,840 | 113,267,760 |
| สจ.ท่าพระ | 73,273,000 | 73,450,765 | 76,457,580 | 79,525,500 | 79,959,960 | 77,024,256 | 77,740,653 | 77,029,930 |
| สจ.ราษฎร์บูรณะ | 118,017,000 | 119,307,059 | 118,443,133 | 122,533,579 | 148,271,687 | 143,596,990 | 142,264,230 | 142,214,287 |
| สจ.เพชรเกษม | 106,781,000 | 114,516,060 | 118,438,078 | 116,380,486 | 117,312,400 | 116,575,138 | 118,880,272 | 119,516,970 |

ใช้วิธีปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) เป็นวิธีการพยากรณ์เฉลี่ยถ่วงน้ำหนักที่ซับซ้อน แต่ง่ายต่อการเข้าใจ

ค่าพยากรณ์ = ค่าพยากรณ์ก่อนหน้า + $\alpha$(ค่าจริงก่อนหน้า – ค่าพยากรณ์ก่อนหน้า)

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1- \alpha)F_t$$

$F_t$ = ค่าพยากรณ์ที่เวลา t

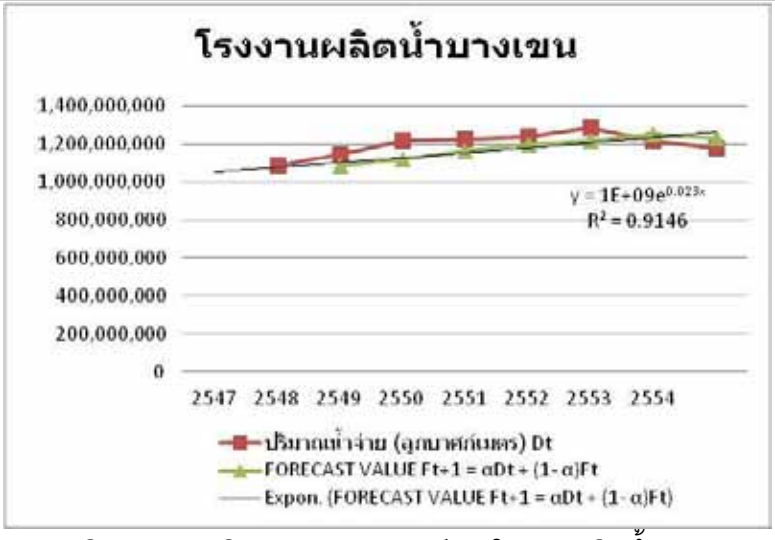
$F_{t+1}$ = ค่าพยากรณ์ที่เวลา t+1

$\alpha$ = ค่าคงที่ของการปรับเรียบ (Smoothing Constant)

$D_t$ = ค่าจริงที่เวลา t

ตารางที่ 11 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

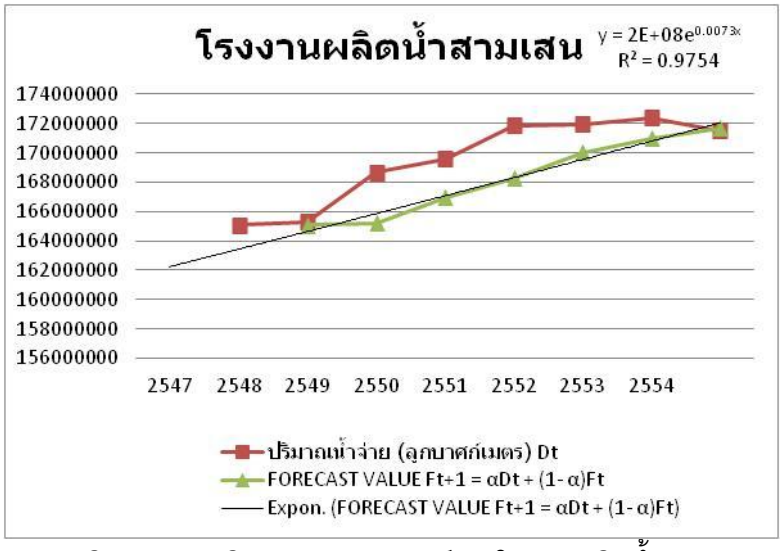
| โรงงานผลิตน้ำบางเขน | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_t) / d_t\rvert)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 1,087,691,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 1,144,119,709.00 | 1,087,691,000.00 | 56,428,709.00 | 56,428,709.00 | 3,184,199,199,406,680.00 | 4.93 |
| 2549 | 1,218,416,728.00 | 1,115,905,354.50 | 102,511,373.50 | 102,511,373.50 | 10,508,581,696,856,500.00 | 8.41 |
| 2550 | 1,223,692,112.00 | 1,167,161,041.25 | 56,531,070.75 | 56,531,070.75 | 3,195,761,960,141,510.00 | 4.62 |
| 2551 | 1,237,385,797.00 | 1,195,426,576.63 | 41,959,220.38 | 41,959,220.38 | 1,760,576,174,477,820.00 | 3.39 |
| 2552 | 1,284,033,396.00 | 1,216,406,186.81 | 67,627,209.19 | 67,627,209.19 | 4,573,439,422,489,880.00 | 5.27 |
| 2553 | 1,215,779,160.00 | 1,250,219,791.41 | - 34,440,631.41 | 34,440,631.41 | 1,186,157,091,661,170.00 | 2.83 |
| 2554 | 1,180,637,053.00 | 1,232,999,475.70 | - 52,362,422.70 | 52,362,422.70 | 2,741,823,311,340,740.00 | 4.44 |
| MAD = ($\sum$ \|dt - Ft\|) / n | 58,837,233.85 | | | | | |
| MSE = ($\sum$ (dt - Ft)$^2$) / n | 3,878,648,408,053,470.00 | | | | | |
| MFE = ($\sum$ (dt - Ft)) / n | 34,036,361.24 | | | | | |
| MAPE = ($\sum$ (\|(dt - Ft) / dt \|)*100) / n | 4.84 | | | | | |




ภาพที่ 36 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

ตารางที่ 12 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำสามเสน

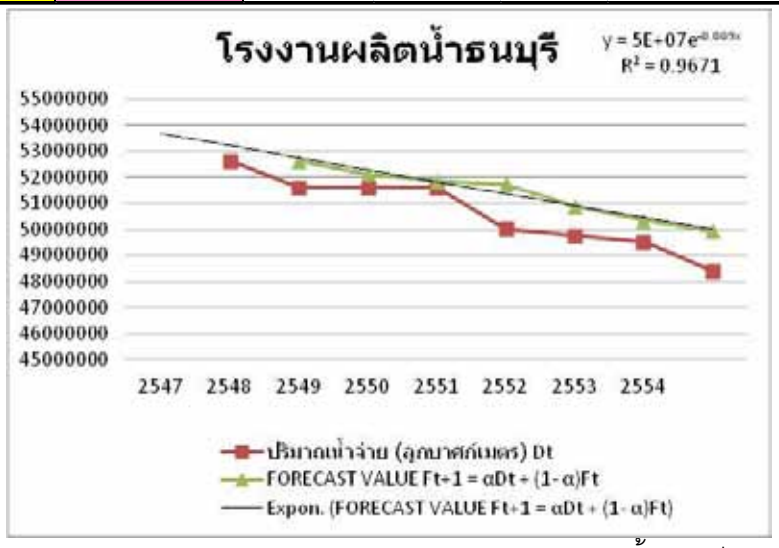
| โรงงานผลิตน้ำสามเสน | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_t) / d_t\rvert)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 165,088,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 165,314,400.00 | 165,088,000.00 | 226,400.00 | 226,400.00 | 51,256,960,000.00 | 0.14 |
| 2549 | 168,678,418.00 | 165,201,200.00 | 3,477,218.00 | 3,477,218.00 | 12,091,045,019,524.00 | 2.06 |
| 2550 | 169,572,110.00 | 166,939,809.00 | 2,632,301.00 | 2,632,301.00 | 6,929,008,554,601.00 | 1.55 |
| 2551 | 171,837,350.00 | 168,255,959.50 | 3,581,390.50 | 3,581,390.50 | 12,826,357,913,490.20 | 2.08 |
| 2552 | 171,946,040.00 | 170,046,654.75 | 1,899,385.25 | 1,899,385.25 | 3,607,664,327,917.56 | 1.10 |
| 2553 | 172,406,020.00 | 170,996,347.38 | 1,409,672.63 | 1,409,672.63 | 1,987,176,909,674.39 | 0.82 |
| 2554 | 171,486,640.00 | 171,701,183.69 | - 214,543.69 | 214,543.69 | 46,028,993,846.10 | 0.13 |
| MAD = ($\sum$ \|dt - Ft\|) / n | 1,920,130.15 | | | | | |
| MSE = ($\sum$ (dt - Ft)$^2$) / n | 5,362,648,382,721.90 | | | | | |
| MFE = ($\sum$ (dt - Ft)) / n | 1,858,831.96 | | | | | |
| MAPE = ($\sum$ (\|(dt - Ft) / dt \|)*100) / n | 1.13 | | | | | |




ภาพที่ 37 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำสามเสน

ตารางที่ 13 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำธนบุรี

| โรงงานผลิตน้ำธนบุรี | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_0 / d_t\rvert)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 52,668,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 51,611,510.00 | 52,668,000.00 | - 1,056,490.00 | 1,056,490.00 | 1,116,171,120,100.00 | 2.05 |
| 2549 | 51,636,490.00 | 52,139,755.00 | - 503,265.00 | 503,265.00 | 253,275,660,225.00 | 0.97 |
| 2550 | 51,614,240.00 | 51,888,122.50 | - 273,882.50 | 273,882.50 | 75,011,623,806.25 | 0.53 |
| 2551 | 50,042,654.00 | 51,751,181.25 | - 1,708,527.25 | 1,708,527.25 | 2,919,065,363,992.56 | 3.41 |
| 2552 | 49,794,761.00 | 50,896,917.63 | - 1,102,156.63 | 1,102,156.63 | 1,214,749,226,031.39 | 2.21 |
| 2553 | 49,552,348.00 | 50,345,839.31 | - 793,491.31 | 793,491.31 | 629,628,463,012.97 | 1.60 |
| 2554 | 48,402,652.00 | 49,949,093.66 | - 1,546,441.66 | 1,546,441.66 | 2,391,481,796,185.24 | 3.19 |
| MAD = ($\sum$ \|dt - Ft\|) / n | 997,750.62 | | | | | |
| MSE = ($\sum$ $(dt - Ft)^2$) / n | 1,228,483,321,907.63 | | | | | |
| MFE = ($\sum$ (dt - Ft)) / n | - 997,750.62 | | | | | |
| MAPE = ($\sum$ (\|(dt - Ft) / dt \|)*100) / n | 2.00 | | | | | |




ภาพที่ 38 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำธนบุรี

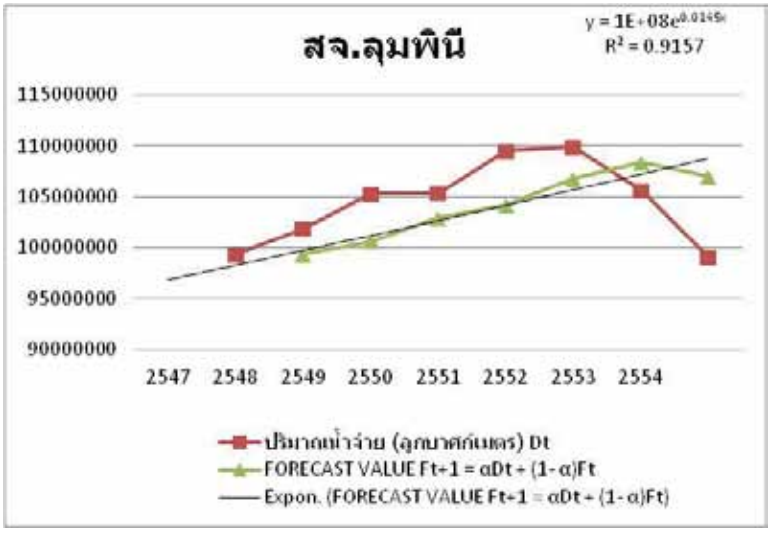
ตารางที่ 14 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

| โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_0 / d_t\rvert)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 387,848,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 394,355,400.00 | 387,848,000.00 | 6,507,400.00 | 6,507,400.00 | 42,346,254,760,000.00 | 1.65 |
| 2549 | 394,585,795.00 | 391,101,700.00 | 3,484,095.00 | 3,484,095.00 | 12,138,917,969,025.00 | 0.88 |
| 2550 | 393,940,600.00 | 392,843,747.50 | 1,096,852.50 | 1,096,852.50 | 1,203,085,406,756.25 | 0.28 |
| 2551 | 395,666,500.00 | 393,392,173.75 | 2,274,326.25 | 2,274,326.25 | 5,172,559,891,439.06 | 0.57 |
| 2552 | 397,502,350.00 | 394,529,336.88 | 2,973,013.13 | 2,973,013.13 | 8,838,807,041,422.27 | 0.75 |
| 2553 | 399,981,200.00 | 396,015,843.44 | 3,965,356.56 | 3,965,356.56 | 15,724,052,667,761.80 | 0.99 |
| 2554 | 410,685,300.00 | 397,998,521.72 | 12,686,778.28 | 12,686,778.28 | 160,954,343,157,597.00 | 3.09 |
| MAD = $(\sum \lvert dt - Ft\rvert) / n$ | 4,712,545.96 | | | | | |
| MSE = $(\sum (dt - Ft)^2) / n$ | 35,196,860,127,714.40 | | | | | |
| MFE = $(\sum (dt - Ft)) / n$ | 4,712,545.96 | | | | | |
| MAPE = $(\sum (\lvert(dt - Ft) / dt\rvert)*100) / n$ | 1.17 | | | | | |

ภาพที่ 39 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

ตารางที่ 15 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินี

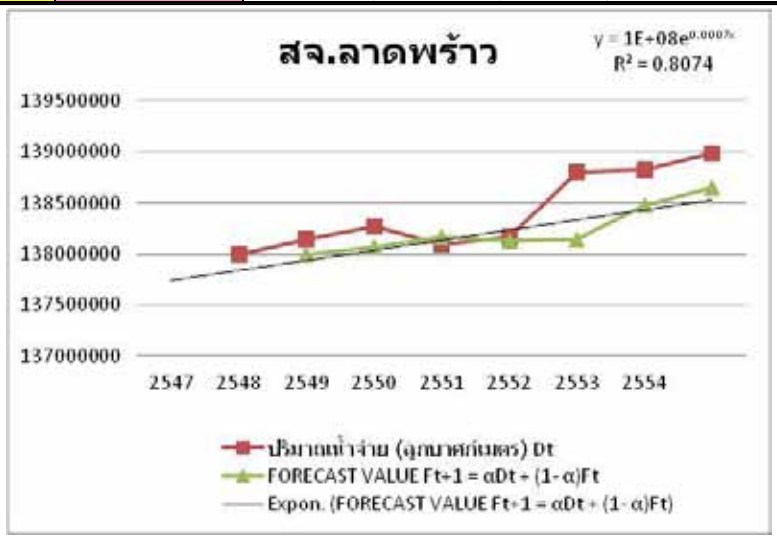
| สจ.ลุมพินี | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_0 / d_t\rvert)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 99,407,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 101,901,697.00 | 99,407,000.00 | 2,494,697.00 | 2,494,697.00 | 6,223,513,121,809.00 | 2.45 |
| 2549 | 105,293,512.00 | 100,654,348.50 | 4,639,163.50 | 4,639,163.50 | 21,521,837,979,732.20 | 4.41 |
| 2550 | 105,378,050.00 | 102,973,930.25 | 2,404,119.75 | 2,404,119.75 | 5,779,791,772,340.06 | 2.28 |
| 2551 | 109,489,900.00 | 104,175,990.13 | 5,313,909.88 | 5,313,909.88 | 28,237,638,159,622.50 | 4.85 |
| 2552 | 109,885,970.00 | 106,832,945.06 | 3,053,024.94 | 3,053,024.94 | 9,320,961,268,996.88 | 2.78 |
| 2553 | 105,700,020.00 | 108,359,457.53 | - 2,659,437.53 | 2,659,437.53 | 7,072,607,982,621.09 | 2.52 |
| 2554 | 99,137,690.00 | 107,029,738.77 | - 7,892,048.77 | 7,892,048.77 | 62,284,433,719,003.10 | 7.96 |
| MAD = $(\sum \lvert dt - Ft\rvert) / n$ | 4,065,200.19 | | | | | |
| MSE = $(\sum (dt - Ft)^2) / n$ | 20,062,969,143,446.40 | | | | | |
| MFE = $(\sum (dt - Ft)) / n$ | 1,050,489.82 | | | | | |
| MAPE = $(\sum (\lvert(dt - Ft) / dt\rvert)*100) / n$ | 3.89 | | | | | |




ภาพที่ 40 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายลุมพินี

ตารางที่ 16 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว

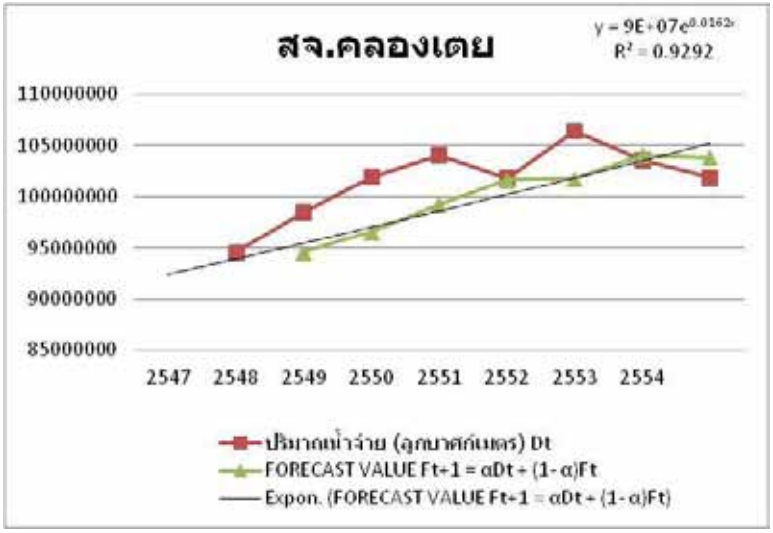
| สจ.ลาดพร้าว | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_t) / d_t\rvert)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 137,992,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 138,143,450.00 | 137,992,000.00 | 151,450.00 | 151,450.00 | 22,937,102,500.00 | 0.11 |
| 2549 | 138,264,050.00 | 138,067,725.00 | 196,325.00 | 196,325.00 | 38,543,505,625.00 | 0.14 |
| 2550 | 138,096,750.00 | 138,165,887.50 | - 69,137.50 | 69,137.50 | 4,779,993,906.25 | 0.05 |
| 2551 | 138,165,510.00 | 138,131,318.75 | 34,191.25 | 34,191.25 | 1,169,041,576.56 | 0.02 |
| 2552 | 138,805,116.00 | 138,148,414.38 | 656,701.63 | 656,701.63 | 431,257,024,277.64 | 0.47 |
| 2553 | 138,821,633.00 | 138,476,765.19 | 344,867.81 | 344,867.81 | 118,933,808,098.54 | 0.25 |
| 2554 | 138,987,200.00 | 138,649,199.09 | 338,000.91 | 338,000.91 | 114,244,612,625.82 | 0.24 |
| MAD = $(\sum \lvert dt - Ft\rvert) / n$ | 255,810.58 | | | | | |
| MSE = $(\sum (dt - Ft)^2) / n$ | 104,552,155,515.69 | | | | | |
| MFE = $(\sum (dt - Ft)) / n$ | 236,057.01 | | | | | |
| MAPE = $(\sum (\lvert(dt - Ft) / dt\rvert)*100) / n$ | 0.18 | | | | | |




ภาพที่ 41 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายลาดพร้าว

ตารางที่ 17 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตย

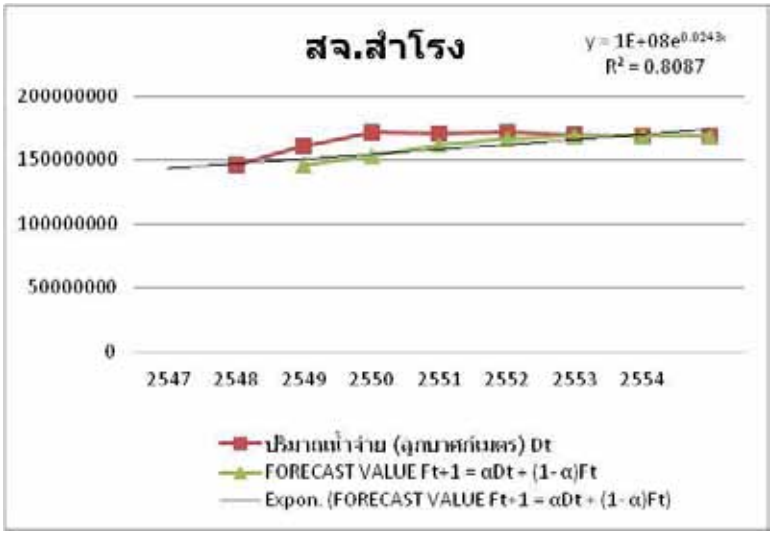
| สจ.คลองเตย | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_0 / d_t\rvert)*100$ |
| 2547 | 94,632,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 98,544,052.00 | 94,632,000.00 | 3,912,052.00 | 3,912,052.00 | 15,304,150,850,704.00 | 3.97 |
| 2549 | 101,973,270.00 | 96,588,026.00 | 5,385,244.00 | 5,385,244.00 | 29,000,852,939,536.00 | 5.28 |
| 2550 | 104,090,540.00 | 99,280,648.00 | 4,809,892.00 | 4,809,892.00 | 23,135,061,051,664.00 | 4.62 |
| 2551 | 101,863,870.00 | 101,685,594.00 | 178,276.00 | 178,276.00 | 31,782,332,176.00 | 0.18 |
| 2552 | 106,428,730.00 | 101,774,732.00 | 4,653,998.00 | 4,653,998.00 | 21,659,697,384,004.00 | 4.37 |
| 2553 | 103,573,862.00 | 104,101,731.00 | - 527,869.00 | 527,869.00 | 278,645,681,161.00 | 0.51 |
| 2554 | 101,932,020.00 | 103,837,796.50 | - 1,905,776.50 | 1,905,776.50 | 3,631,984,067,952.25 | 1.87 |
| MAD = ($\sum$ \|dt - Ft\|) / n | 3,053,301.07 | | | | | |
| MSE = ($\sum$ (dt - Ft)$^2$) / n | 13,291,739,186,742.50 | | | | | |
| MFE = ($\sum$ (dt - Ft)) / n | 2,357,973.79 | | | | | |
| MAPE = ($\sum$ (\|(dt - Ft) / dt \|)*100) / n | 2.97 | | | | | |




ภาพที่ 42 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายคลองเตย

ตารางที่ 18 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง

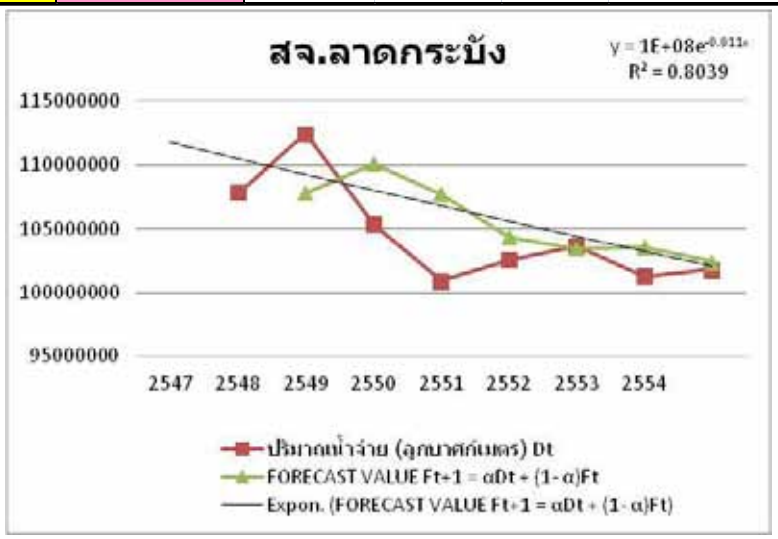
| สจ.สำโรง | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_0 / d_t\rvert)*100$ |
| 2547 | 145,870,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 160,831,922.00 | 145,870,000.00 | 14,961,922.00 | 14,961,922.00 | 223,859,109,934,084.00 | 9.30 |
| 2549 | 171,416,460.00 | 153,350,961.00 | 18,065,499.00 | 18,065,499.00 | 326,362,254,119,001.00 | 10.54 |
| 2550 | 171,015,220.00 | 162,383,710.50 | 8,631,509.50 | 8,631,509.50 | 74,502,956,248,590.20 | 5.05 |
| 2551 | 171,828,940.00 | 166,699,465.25 | 5,129,474.75 | 5,129,474.75 | 26,311,511,210,887.60 | 2.99 |
| 2552 | 169,414,530.00 | 169,264,202.63 | 150,327.38 | 150,327.38 | 22,598,319,674.39 | 0.09 |
| 2553 | 168,676,296.00 | 169,339,366.31 | - 663,070.31 | 663,070.31 | 439,662,239,318.85 | 0.39 |
| 2554 | 168,908,866.00 | 169,007,831.16 | - 98,965.16 | 98,965.16 | 9,794,102,151.59 | 0.06 |
| MAD = ($\sum$ \|dt - Ft\|) / n | 6,814,395.44 | | | | | |
| MSE = ($\sum$ (dt - Ft)$^2$) / n | 93,072,555,167,672.50 | | | | | |
| MFE = ($\sum$ (dt - Ft)) / n | 6,596,671.02 | | | | | |
| MAPE = ($\sum$ (\|(dt - Ft) / dt \|)*100) / n | 4.06 | | | | | |




ภาพที่ 43 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายสำโรง

ตารางที่ 19 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง

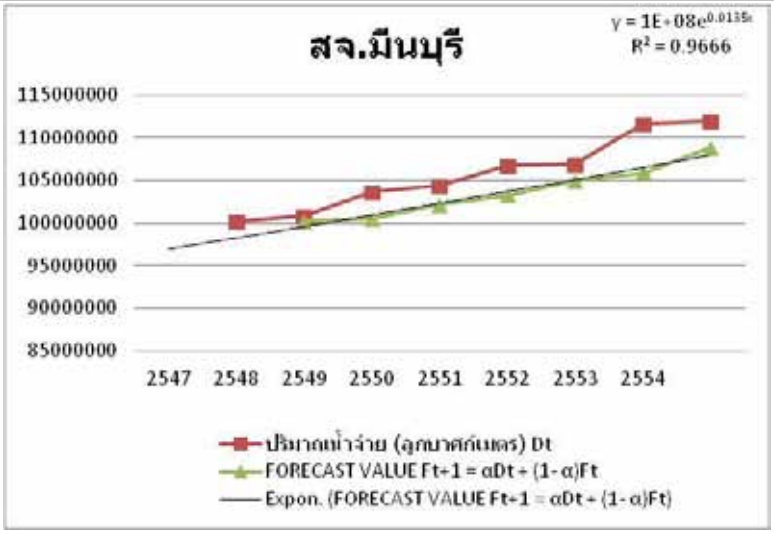
| สจ.ลาดกระบัง | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA α = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_t) / d_t\rvert)*100$ |
| 2547 | 107,779,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 112,408,150.00 | 107,779,000.00 | 4,629,150.00 | 4,629,150.00 | 21,429,029,722,500.00 | 4.12 |
| 2549 | 105,351,840.00 | 110,093,575.00 | -4,741,735.00 | 4,741,735.00 | 22,484,050,810,225.00 | 4.50 |
| 2550 | 100,922,330.00 | 107,722,707.50 | -6,800,377.50 | 6,800,377.50 | 46,245,134,142,506.20 | 6.74 |
| 2551 | 102,540,370.00 | 104,322,518.75 | -1,782,148.75 | 1,782,148.75 | 3,176,054,167,126.56 | 1.74 |
| 2552 | 103,653,440.00 | 103,431,444.38 | 221,995.63 | 221,995.63 | 49,282,057,519.14 | 0.21 |
| 2553 | 101,260,477.00 | 103,542,442.19 | -2,281,965.19 | 2,281,965.19 | 5,207,365,116,961.91 | 2.25 |
| 2554 | 101,796,760.00 | 102,401,459.59 | -604,699.59 | 604,699.59 | 365,661,598,681.42 | 0.59 |
| MAD = $(\sum \lvert dt - Ft\rvert) / n$ | 3,008,867.38 | | | | | |
| MSE = $(\sum (dt - Ft)^2) / n$ | 14,136,653,945,074.30 | | | | | |
| MFE = $(\sum (dt - Ft)) / n$ | -1,622,825.77 | | | | | |
| MAPE = $(\sum (\lvert(dt - Ft) / dt\rvert)*100) / n$ | 2.88 | | | | | |




ภาพที่ 44 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายลาดกระบัง

ตารางที่ 20 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี

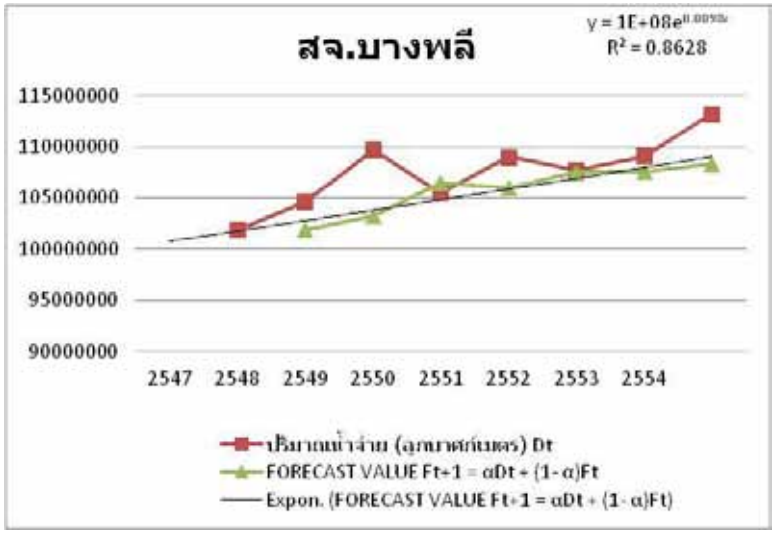
| สจ.มีนบุรี | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_0 / d_t\rvert)*100$ |
| 2547 | 100,295,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 100,819,240.00 | 100,295,000.00 | 524,240.00 | 524,240.00 | 274,827,577,600.00 | 0.52 |
| 2549 | 103,719,210.00 | 100,557,120.00 | 3,162,090.00 | 3,162,090.00 | 9,998,813,168,100.00 | 3.05 |
| 2550 | 104,416,663.00 | 102,138,165.00 | 2,278,498.00 | 2,278,498.00 | 5,191,553,136,004.00 | 2.18 |
| 2551 | 106,739,764.00 | 103,277,414.00 | 3,462,350.00 | 3,462,350.00 | 11,987,867,522,500.00 | 3.24 |
| 2552 | 106,907,488.00 | 105,008,589.00 | 1,898,899.00 | 1,898,899.00 | 3,605,817,412,201.00 | 1.78 |
| 2553 | 111,708,140.00 | 105,958,038.50 | 5,750,101.50 | 5,750,101.50 | 33,063,667,260,302.20 | 5.15 |
| 2554 | 111,995,330.00 | 108,833,089.25 | 3,162,240.75 | 3,162,240.75 | 9,999,766,560,960.56 | 2.82 |
| MAD = $(\sum \lvert dt - Ft\rvert) / n$ | 2,891,202.75 | | | | | |
| MSE = $(\sum (dt - Ft)^2) / n$ | 10,588,901,805,381.10 | | | | | |
| MFE = $(\sum (dt - Ft)) / n$ | 2,891,202.75 | | | | | |
| MAPE = $(\sum (\lvert(dt - Ft) / dt\rvert)*100) / n$ | 2.68 | | | | | |




ภาพที่ 45 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายมีนบุรี

ตารางที่ 21 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลี

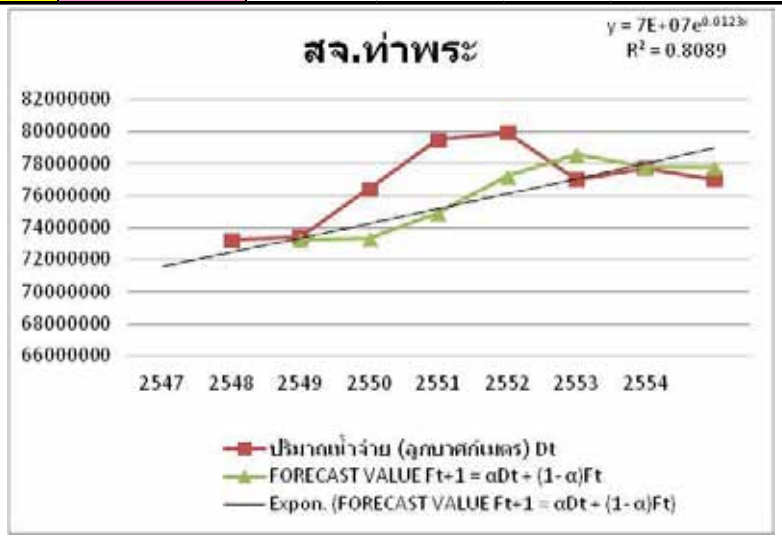
| สจ.บางพลี | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_0 / d_t\rvert)*100$ |
| 2547 | 101,932,765.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 104,654,984.00 | 101,932,765.00 | 2,722,219.00 | 2,722,219.00 | 7,410,476,283,961.00 | 2.60 |
| 2549 | 109,735,010.00 | 103,293,874.50 | 6,441,135.50 | 6,441,135.50 | 41,488,226,529,360.20 | 5.87 |
| 2550 | 105,550,190.00 | 106,514,442.25 | - 964,252.25 | 964,252.25 | 929,782,401,630.06 | 0.91 |
| 2551 | 109,055,324.00 | 106,032,316.13 | 3,023,007.88 | 3,023,007.88 | 9,138,576,612,312.02 | 2.77 |
| 2552 | 107,736,850.00 | 107,543,820.06 | 193,029.94 | 193,029.94 | 37,260,556,771.25 | 0.18 |
| 2553 | 109,100,840.00 | 107,640,335.03 | 1,460,504.97 | 1,460,504.97 | 2,133,074,763,743.44 | 1.34 |
| 2554 | 113,267,760.00 | 108,370,587.52 | 4,897,172.48 | 4,897,172.48 | 23,982,298,341,719.60 | 4.32 |
| MAD = $(\sum \lvert dt - Ft\rvert) / n$ | 2,814,474.57 | | | | | |
| MSE = $(\sum (dt - Ft)^2) / n$ | 12,159,956,498,499.70 | | | | | |
| MFE = $(\sum (dt - Ft)) / n$ | 2,538,973.93 | | | | | |
| MAPE = $(\sum (\lvert(dt - Ft) / dt\rvert)*100) / n$ | 2.57 | | | | | |




ภาพที่ 46 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายบางพลี

ตารางที่ 22 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ

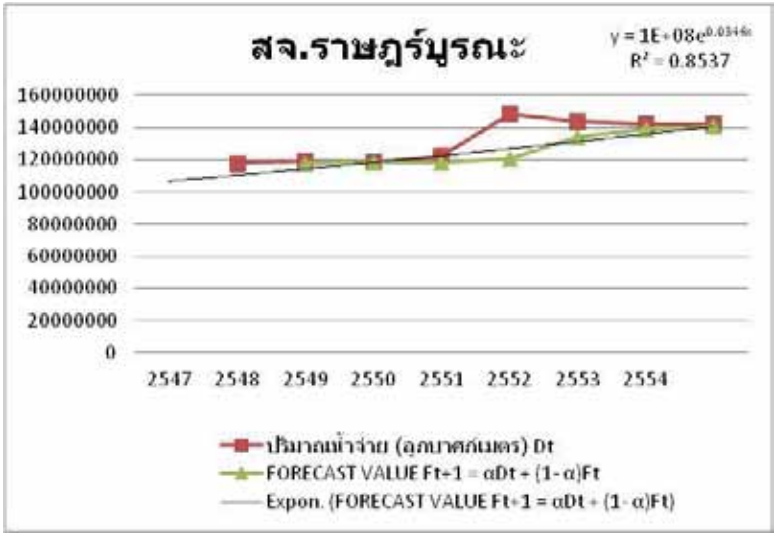
| สจ.ท่าพระ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\lvert d_t - F_t \rvert$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\lvert(d_t - F_t) / d_t\rvert)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 73,273,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 73,450,765.00 | 73,273,000.00 | 177,765.00 | 177,765.00 | 31,600,395,225.00 | 0.24 |
| 2549 | 76,457,580.00 | 73,361,882.50 | 3,095,697.50 | 3,095,697.50 | 9,583,343,011,506.25 | 4.05 |
| 2550 | 79,525,500.00 | 74,909,731.25 | 4,615,768.75 | 4,615,768.75 | 21,305,321,153,476.60 | 5.80 |
| 2551 | 79,959,960.00 | 77,217,615.63 | 2,742,344.38 | 2,742,344.38 | 7,520,452,671,094.14 | 3.43 |
| 2552 | 77,024,256.00 | 78,588,787.81 | - 1,564,531.81 | 1,564,531.81 | 2,447,759,792,324.54 | 2.03 |
| 2553 | 77,740,653.00 | 77,806,521.91 | - 65,868.91 | 65,868.91 | 4,338,712,810.57 | 0.08 |
| 2554 | 77,029,930.00 | 77,773,587.45 | - 743,657.45 | 743,657.45 | 553,026,407,588.36 | 0.97 |
| MAD = $(\sum \lvert dt - Ft\rvert) / n$ | 1,857,947.69 | | | | | |
| MSE = $(\sum (dt - Ft)^2) / n$ | 5,920,834,592,003.63 | | | | | |
| MFE = $(\sum (dt - Ft)) / n$ | 1,179,645.35 | | | | | |
| MAPE = $(\sum (\lvert(dt - Ft) / dt\rvert)*100) / n$ | 2.37 | | | | | |




ภาพที่ 47 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายท่าพระ

ตารางที่ 23 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ

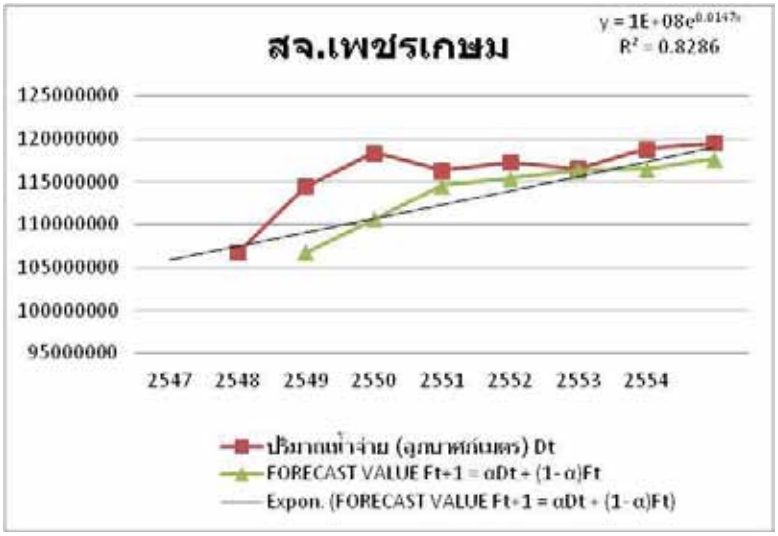
| สจ.ราษฎร์บูรณะ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\|d_t - F_t\|$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\|(d_t - F_t) / d_t\|)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 118,017,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 119,307,059.00 | 118,017,000.00 | 1,290,059.00 | 1,290,059.00 | 1,664,252,223,481.00 | 1.08 |
| 2549 | 118,443,133.00 | 118,662,029.50 | - 218,896.50 | 218,896.50 | 47,915,677,712.25 | 0.18 |
| 2550 | 122,533,579.00 | 118,552,581.25 | 3,980,997.75 | 3,980,997.75 | 15,848,343,085,505.10 | 3.25 |
| 2551 | 148,271,687.00 | 120,543,080.13 | 27,728,606.88 | 27,728,606.88 | 768,875,639,228,297.00 | 18.70 |
| 2552 | 143,596,990.00 | 134,407,383.56 | 9,189,606.44 | 9,189,606.44 | 84,448,866,476,141.40 | 6.40 |
| 2553 | 142,264,230.00 | 139,002,186.78 | 3,262,043.22 | 3,262,043.22 | 10,640,925,960,992.90 | 2.29 |
| 2554 | 142,214,287.00 | 140,633,208.39 | 1,581,078.61 | 1,581,078.61 | 2,499,809,569,023.18 | 1.11 |
| MAD = ($\sum$ \|dt - Ft\|) / n | 6,750,184.06 | | | | | |
| MSE = ($\sum$ (dt - Ft)$^2$) / n | 126,289,393,174,450.00 | | | | | |
| MFE = ($\sum$ (dt - Ft)) / n | 6,687,642.20 | | | | | |
| MAPE = ($\sum$ (\|(dt - Ft) / dt \|)*100) / n | 4.72 | | | | | |




ภาพที่ 48 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายราษฎร์บูรณะ

ตารางที่ 24 การคำนวณพยากรณ์ปริมาณการผลิตของสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษม

| สจ.เพชรเกษม | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EXPONENTIAL SMOOTHING FORECAST BY ALPHA $\alpha$ = 0.5 | | | | | | |
| ปีงบประมาณ | ปริมาณน้ำจ่าย (ลูกบาศก์เมตร) | FORECAST VALUE | FORECAST ERROR | Absolute Error | Squared Error | Absolute Percentage Error |
| 0.5 | $D_t$ | $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$ | $d_t - F_t$ | $\|d_t - F_t\|$ | $(d_t - F_t)^2$ | $(\|(d_t - F_t) / d_t\|)*100$ |
| | | | | | | |
| 2547 | 106,781,000.00 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2548 | 114,516,060.00 | 106,781,000.00 | 7,735,060.00 | 7,735,060.00 | 59,831,153,203,600.00 | 6.75 |
| 2549 | 118,438,078.00 | 110,648,530.00 | 7,789,548.00 | 7,789,548.00 | 60,677,058,044,304.00 | 6.58 |
| 2550 | 116,380,486.00 | 114,543,304.00 | 1,837,182.00 | 1,837,182.00 | 3,375,237,701,124.00 | 1.58 |
| 2551 | 117,312,400.00 | 115,461,895.00 | 1,850,505.00 | 1,850,505.00 | 3,424,368,755,025.00 | 1.58 |
| 2552 | 116,575,138.00 | 116,387,147.50 | 187,990.50 | 187,990.50 | 35,340,428,090.25 | 0.16 |
| 2553 | 118,880,272.00 | 116,481,142.75 | 2,399,129.25 | 2,399,129.25 | 5,755,821,158,205.56 | 2.02 |
| 2554 | 119,516,970.00 | 117,680,707.38 | 1,836,262.63 | 1,836,262.63 | 3,371,860,427,971.89 | 1.54 |
| MAD = ($\sum$ \|dt - Ft\|) / n | 3,376,525.34 | | | | | |
| MSE = ($\sum$ (dt - Ft)$^2$) / n | 19,495,834,245,474.40 | | | | | |
| MFE = ($\sum$ (dt - Ft)) / n | 3,376,525.34 | | | | | |
| MAPE = ($\sum$ (\|(dt - Ft) / dt \|)*100) / n | 2.89 | | | | | |




ภาพที่ 49 ภาพแสดงปริมาณการผลิตและค่าพยากรณ์ของสถานีสูบจ่ายเพชรเกษม

### 3.4.3 การวางแผนลงทุน และการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรของระบบการผลิต สูบส่ง และสูบจ่าย เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต

***1.หลักเกณฑ์เบื้องต้นการพิจารณาเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรหรืออุปกรณ์***

การเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรที่ใช้ในระบบผลิต ระบบสูบส่งและสูบจ่ายน้ำประปา สามารถเพิ่มเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเกี่ยวข้องโดยตรงกับภารกิจหลักของการประปานครหลวง ในการให้บริการน้ำประปาให้แก่ประชาชน ทั้งด้านคุณภาพ ปริมาณ และแรงดันน้ำ ให้เป็นไปตามมาตรฐานและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้น้ำตลอดเวลา

การปรับปรุงและสร้างความมั่นคงเครื่องจักรและอุปกรณ์ ระบบผลิต ระบบส่งและจ่ายน้ำ มีแนวทางในการบริหารความเสี่ยงโดยได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรหลักที่สำคัญ ให้เป็นไปตามข้อบังคับของการประปานครหลวง ดังนี้

<u>1.1 อายุการใช้งาน</u>

พิจารณาจากจำนวนปีของช่วงการใช้งานของเครื่องจักรหลักที่สำคัญในระบบผลิต สูบส่งและจ่ายน้ำ ที่สามารถใช้งานได้อย่างมีเสถียรภาพและมีความน่าเชื่อถือภายใต้สภาวะการใช้งานปกติ ซึ่งอายุการใช้งานของเครื่องจักรแต่ละประเภทจะมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะและพฤติกรรมการชำรุดเสียหายก่อนที่เครื่องจักรจะหมดสภาพการใช้งาน อายุการใช้งานที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทน แสดงตามตารางข้างล่าง

ตารางที่ 25 ช่วงอายุการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก

| ชนิดเครื่องจักร | ช่วงอายุการใช้งาน (ปี) | จำนวนเครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานเกิน |
|---|---|---|
| เครื่องสูบน้ำ | 25-30 | 5 |
| มอเตอร์ | 20-25 | 7 |
| อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ | 10-15 | 3 |
| สวิทซ์เกียร์ | 20-25 | 7 |
| หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าย่อย | 25-30 | 2 |
| ระบบควบคุมอัตโนมัติ | 5-8 | 3 |
| ประตูน้ำขนาดใหญ่ | 25-30 | 12 |
| Fine Screen | 15-20 | 4 |

1.2 ความถี่ในการขัดข้อง

จำนวนครั้งในการชำรุดในช่วงการใช้งานที่สูง จะทำให้ความพร้อมการใช้งานเครื่องจักร (Availability) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) ลดลง เกณฑ์ในการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทนพิจารณาจากจำนวนครั้งของการชำรุดที่สูงเกณฑ์กำหนด แสดงตามตารางข้างล่าง

ตารางที่ 26 จำนวนครั้งของการขัดข้องต่อปีของเครื่องจักรและอุปกรณ์

| ชนิดเครื่องจักร | จำนวนครั้งต่อปี |
|---|---|
| เครื่องสูบน้ำ | 10 |
| มอเตอร์ | 10 |
| อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ | 20 |
| สวิทซ์เกียร์ | 12 |
| หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าย่อย | 5 |
| ระบบควบคุมอัตโนมัติ | 50 |
| ประตูน้ำขนาดใหญ่ | 12 |
| Fine Screen | 12 |

1.3 ผลกระทบ (Impact) หากเกิดการชำรุด

เกณฑ์ในการพิจารณาผลกระทบ หากเครื่องจักรเกิดการชำรุด ประกอบด้วย

1.3.1 ความวิกฤติต่อระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ

1.3.2 ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรในการใช้งาน ประกอบด้วย

- สภาพของเครื่องจักร ทางกายภาพและสถิติการชำรุด
- ไม่มีอะไหล่หลักสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องจักร

ตลอดจนคุณภาพและความน่าเชื่อถือในการใช้งานอะไหล่

1.3.3 การมีเครื่องจักรสำรองในระบบ ซึ่งมีผลกระทบสูงหรือต่ำ ตามจำนวนเครื่องจักรสำรองที่มีอยู่

ในการพิจารณาเพื่อนำไปจัดลำดับความเร่งด่วนของแผนการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร จะพิจารณาจากผลกระทบที่ระดับสูงก่อน และเรียงลำดับไปหาผลกระทบที่ต่ำกว่า ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 27 ระดับผลกระทบหากเครื่องจักรหลักเกิดการชำรุด

| ระดับที่ | ผลกระทบ | คำอธิบายผลกระทบ |
|---|---|---|
| 1 | ต่ำมาก/เล็กน้อยมาก | อะไหล่และอุปกรณ์ที่มีโอกาสชำรุดน้อย มีความวิกฤติของระบบต่ำมาก หากอุปกรณ์ของเครื่องจักรชำรุดจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรต่ำมากและจำนวนเครื่องจักรสำรองมากกว่า 100% ต่อจำนวนที่ใช้งาน |
| 2 | ต่ำ | อะไหล่และอุปกรณ์ที่มีคุณภาพและสามารถมีอายุใช้งานนาน มีอัตราการชำรุดต่ำ มีความน่าเชื่อถือสูง หากชำรุดจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรเล็กน้อย และจำนวนเครื่องจักรสำรอง 50-99% ต่อจำนวนที่ใช้งาน |
| 3 | ปานกลาง | อะไหล่และอุปกรณ์ที่อายุใช้งานที่ค่อนข้างแน่นอน สามารถตรวจสภาพข้อบกพร่องได้ล่วงหน้าก่อนเกิดการชำรุด มีความวิกฤติปานกลาง มีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรเฉพาะหน่วยนั้น และระบบยังทำงานได้หรือทำงานได้บางส่วนหรือส่งผลต่อการทำงานในระบบ มีจำนวนเครื่องจักรสำรอง 20-49% ต่อจำนวนที่ใช้งาน |
| 4 | สูง | อุปกรณ์หลักของเครื่องจักรนั้นมีอายุทำงานไม่แน่นอน แต่พอคาดการณ์การชำรุดได้ มีความวิกฤติต่อระบบสูง มีผลต่อระบบการทำงานของหน่วยนั้นไม่สามารถทำงานได้ มีจำนวนเครื่องจักรสำรองไม่เกิน 20% ต่อจำนวนที่ใช้งาน |
| 5 | สูงมาก | อุปกรณ์หลักของเครื่องจักรนั้นที่มีอายุทำงานไม่แน่นอน ไม่สามารถคาดการณ์การชำรุดได้ระบบมีความวิกฤติสูงสุด มีผลต่อระบบการทำงานของหน่วยงาน |

| | | |
|---|---|---|
| | | และระบบทั้งหมด ไม่มีเครื่องจักรสำรองใช้งาน และเมื่อเครื่องจักรเกิดชำรุด ไม่สามารถชดเชยการผลิตหรือสูบจ่ายน้ำจากระบบอื่นมาทดแทนได้ |

ตารางที่ 28 ชนิดของเครื่องจักรหลัก และระดับผลกระทบเมื่อเกิดการชำรุด

| ชนิดเครื่องจักร | ระดับผลกระทบ (1-5 ต่ำ-รุนแรงมาก) |
|---|---|
| 1. เครื่องสูบน้ำ | 4 |
| 2. มอเตอร์ | 4 |
| 3. อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ | 4 |
| 4. สวิทช์เกียร์ | 4 |
| 5. หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าย่อย | 5 |
| 6. ระบบควบคุมอัตโนมัติ | 3 |
| 7. ประตูน้ำขนาดใหญ่ | 3 |
| 8. Fine Screen | 2 |

1.4 ความล้าสมัยและไม่มีอะไหล่ในการซ่อมบำรุง

เครื่องจักรที่ใช้งานในระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ มีความหลากหลาย ทั้งรุ่นและยี่ห้อ เป็นเครื่องจักรที่ใช้งานเฉพาะตามความต้องการ ไม่แพร่หลายโดยทั่วไป หากไม่มีตัวแทนในการให้บริการอะไหล่ จึงมีความเสี่ยงที่อาจไม่สามารถจัดหาอะไหล่สำรองมาเปลี่ยนทดแทนในการซ่อมบำรุงให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้อีกต่อไป

1.5 ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษาตลอดอายุใช้งานของเครื่องจักร

แนวโน้มค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษาตลอดช่วงอายุการทำงานของเครื่องจักร(Life Cycle Cost : LCC) ที่สูงขึ้นเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายโดยรวมตลอดช่วงอายุการใช้งานที่สำคัญ ประกอบด้วย

LCC = $C_{ic} + C_m$

LCC = **ต้นทุนวงจรอายุ** (Life Cycle Cost)

$C_{ic}$ = **ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น**(Initial Cost), การออกแบบ, การจัดซื้อ-จัดหา, ติดตั้ง

$C_m$ = **ค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาและการซ่อม** (Maintenance and repair Costs) ตลอดอายุการใช้งาน

เกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรในประเด็นนี้ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงตลอดช่วงอายุการใช้งานที่สูงเกิน 1.25 เท่าของค่าใช้จ่ายเริ่มต้น

1.6 ประสิทธิภาพเครื่องจักร

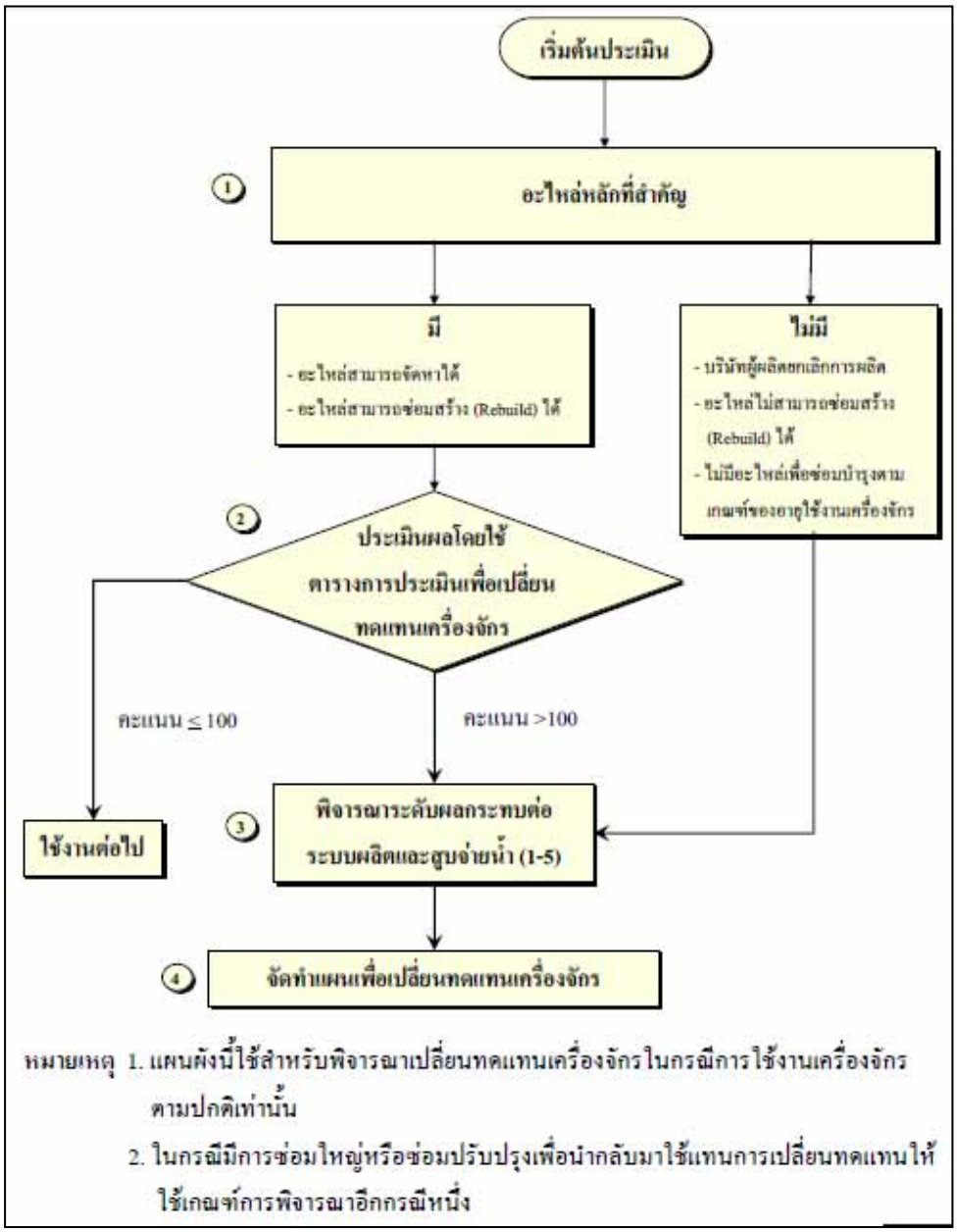
การตรวจประเมินประสิทธิภาพทำงานเครื่องจักรที่ลดต่ำลงเป็นเปอร์เซ็นต์จากเมื่อเริ่มต้นใช้งาน โดยการพิจารณาทางด้านเทคนิคและวิศวกรรมเฉพาะด้าน หรือพบว่าการผลิตเครื่องจักรสมัยใหม่ มีผลโดยตรงต่อการประหยัดพลังงาน

การนำเครื่องจักรอุปกรณ์แบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า หรือมีความเหมาะสมตามลักษณะการทำงานมากกว่าเครื่องจักรที่ใช้งานอยู่เดิมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะเวลาที่รวดเร็ว ก็อาจพิจารณาเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรเดิม แม้ว่าเครื่องจักรเดิมสามารถใช้งานได้อยู่ก็ตาม

ตารางที่ 29 ค่าประสิทธิภาพที่ต่ำลงของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก

| ชนิดเครื่องจักร | Efficiency ที่ลดลง (%) |
|---|---|
| เครื่องสูบน้ำ | 5 |
| มอเตอร์ | 5 |
| อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ | 10 |
| สวิทช์เกียร์ | - |
| หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าย่อย | 5 |
| ระบบควบคุมอัตโนมัติ | - |
| ประตูน้ำขนาดใหญ่ | - |
| Fine Screen | - |

***2. แผนผังขั้นตอนการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร***




ขั้นตอนที่ 1 : การพิจารณาอะไหล่หลักของเครื่องจักร

1.1 กรณีมีอะไหล่

กรณีมีอะไหล่หมายถึงสามารถจัดหาอะไหล่ได้ หรือสามารถผลิตและซ่อมสร้างหรือปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแก้ไข (Modification) และได้มาตรฐานที่ยอมรับและมีความน่าเชื่อถือสูง เพื่อใช้ในการเปลี่ยนตามแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หรือตาม

แผนงานซ่อมใหญ่ (Overhaul) และใช้ในกรณีที่เครื่องจักรเกิดการชำรุดขัดข้อง (Breakdown Maintenance) ให้ดำเนินการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรตามขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

1.2 กรณีไม่มีอะไหล่

กรณีไม่มีอะไหล่ หมายถึงการไม่มีอะไหล่เฉพาะรุ่นของเครื่องจักรในกรณีต่อไปนี้

-อะไหล่ที่มีข้อกำหนดพิเศษและไม่สามารถนำมาใช้ได้จากเครื่องจักรอื่นที่มีข้อกำหนดตามมาตรฐานเทียบเท่า

-อะไหล่ที่บริษัทผู้ผลิตยกเลิกการผลิต

-อะไหล่ที่ไม่สามารถซ่อมสร้าง (Rebuilt) หรือไม่สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแก้ไข (Modification) ให้ได้ตามมาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อใช้เปลี่ยนทดแทนตามแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หรือตามแผนงานซ่อมใหญ่ (Overhaul) หรือใช้เปลี่ยนกรณีที่เครื่องจักรเกิดการชำรุดขัดข้อง (Breakdown Maintenance)

-อะไหล่เพื่อใช้บริการงานซ่อมบำรุงตามเกณฑ์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเครื่องจักร

ให้พิจารณาเป็นส่วนประกอบในขั้นตอนที่ 3 เรื่องผลกระทบต่อระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ

ขั้นตอนที่ 2 : เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

การประเมินในภาพรวม โดยใช้ข้อมูลสมรรถนะปัจจุบัน กระให้น้ำหนักความสำคัญกับปัจจัยต่างๆของเครื่องจักร ตามตารางประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ ได้แก่

-อายุใช้งาน

-ความถี่ในการขัดข้อง

-ค่าซ่อมบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งาน

-ประสิทธิภาพ

เกณฑ์เบื้องต้นของการประเมิน แบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| ระดับที่ 1 ค่าคะแนนประเมินระหว่าง | 0-60 | ยอมรับได้ |
| ระดับที่ 2 ค่าคะแนนประเมินระหว่าง | 60-100 | ควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด |
| ระดับที่ 3 ค่าคะแนนประเมินมากกว่า | 100 | อยู่ในเกณฑ์เปลี่ยนทดแทน |

ขั้นตอนที่ 3 : การพิจารณาระดับผลกระทบ (Impact) ต่อระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ

เมื่อเครื่องจักรมีคะแนนประเมินในขั้นตอนที่ 2 มากกว่า 100 คะแนน จะอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องเปลี่ยนทดแทน การพิจารณาในขั้นตอนนี้ นำค่าในตารางระดับผลกระทบหากเครื่องจักรหลักเกิดการชำรุด และตารางชนิดของเครื่องจักรหลัก และระดับผลกระทบเมื่อเกิดการชำรุด มาหาค่าเฉลี่ย

และนำไปคูณผลคะแนนประเมินที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เพื่อจัดทำแผนการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ของระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 : การจัดทำแผนการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

การจัดทำแผนลงทุนเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ ให้จัดลำดับความสำคัญเร่งด่วนตามลำดับผลคะแนนการประเมินตามขั้นตอนที่ 3 โดยให้พิจารณาผลการประเมินคะแนนสูงก่อนเป็นอันดับแรก เรียงลำดับไปถึงคะแนนต่ำตามลำดับ

ตารางที่ 30 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนเครื่องสูบน้ำ

เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์

*เครื่องสูบน้ำ*

| ① | ② | ③ = ② / รวม | ④ | ⑤ = ④ x 100 / ① | ⑥ = ⑤ x ③ |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 25 | 100 | 0.3333 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดช้อง (ครั้ง/ปี) | 10 | 80 | 0.2667 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2333 | | | |
| 4.ประสิทธิภาพที่ลดลง (%) | 5% | 50 | 0.1667 | | | |
| รวม | | 300 | 1.00 | | | |

*เกณฑ์การประเมิน*

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 31 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนมอเตอร์

เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์

*มอเตอร์*

| ① | ② | ③ = ② / รวม | ④ | ⑤ = ④ x 100 / ① | ⑥ = ⑤ x ③ |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 20 | 100 | 0.3333 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดช้อง (ครั้ง/ปี) | 10 | 80 | 0.2667 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2333 | | | |
| 4.ประสิทธิภาพที่ลดลง (%) | 5% | 50 | 0.1667 | | | |
| รวม | | 300 | 1.00 | | | |

*เกณฑ์การประเมิน*

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 32 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ

**เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

***อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ***

| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 10 | 100 | 0.3333 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดซ้อง (ครั้ง/ปี) | 20 | 90 | 0.3000 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 90 | 0.3000 | | | |
| 4.ประสิทธิภาพที่ลดลง (%) | 10% | 20 | 0.0667 | | | |
| รวม | | 300 | 1.00 | | | |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 33 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนตู้ Switch Gear

**เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

***Switch Gear***

| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 20 | 100 | 0.4000 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดซ้อง (ครั้ง/ปี) | 12 | 80 | 0.3200 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2800 | | | |
| รวม | | 250 | 1.00 | | | |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 34 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบสถานีย่อย

**เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

***หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบสถานีย่อย***

| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 25 | 100 | 0.4000 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดซ้อง (ครั้ง/ปี) | 5 | 80 | 0.3200 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2800 | | | |
| รวม | | 250 | 1.00 | | | |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 35 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนระบบควบคุมอัตโนมัติ

**เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

***ระบบควบคุมอัตโนมัติ***

| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ (1) | ความสำคัญ (เต็ม 100) (2) | น้ำหนักปัจจัย (3)=(2)/รวม | สมรรถนะปัจจุบัน (4) | คะแนนประเมิน (5)=(4)x100/(1) | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก (6)=(5)x(3) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 5 | 100 | 0.4000 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดข้อง (ครั้ง/ปี) | 50 | 80 | 0.3200 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2800 | | | |
| รวม | | 250 | 1.00 | | | |

*เกณฑ์การประเมิน*

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 36 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยนประตูน้ำขนาดใหญ่

**เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

***ประตูน้ำขนาดใหญ่***

| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ (1) | ความสำคัญ (เต็ม 100) (2) | น้ำหนักปัจจัย (3)=(2)/รวม | สมรรถนะปัจจุบัน (4) | คะแนนประเมิน (5)=(4)x100/(1) | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก (6)=(5)x(3) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 25 | 100 | 0.5000 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดข้อง (ครั้ง/ปี) | 12 | 70 | 0.3500 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 30 | 0.1500 | | | |
| รวม | | 200 | 1.00 | | | |

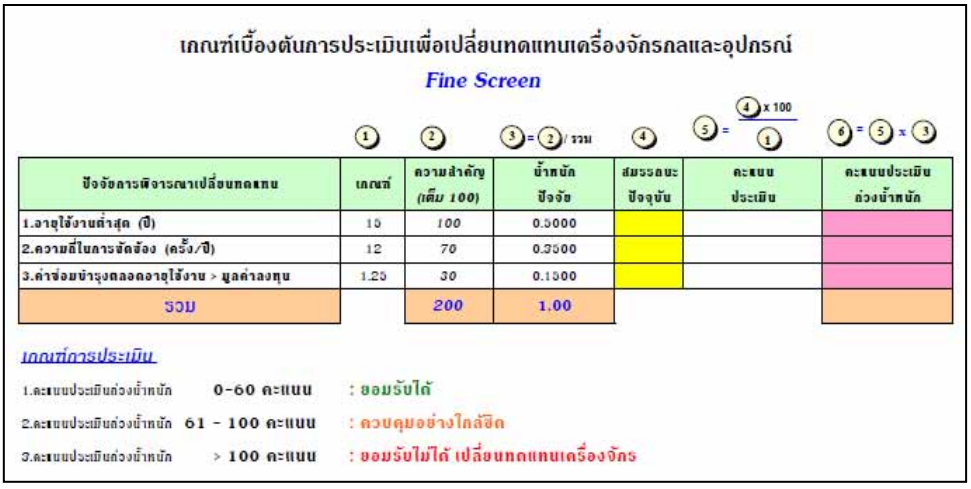
*เกณฑ์การประเมิน*

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 37 เกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินเปลี่ยน Fine Screen



**เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

***Fine Screen***

| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ (1) | ความสำคัญ (เต็ม 100) (2) | น้ำหนักปัจจัย (3)=(2)/รวม | สมรรถนะปัจจุบัน (4) | คะแนนประเมิน (5)=(4)x100/(1) | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก (6)=(5)x(3) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 15 | 100 | 0.5000 | | | |
| 2.ความถี่ในการซัดข้อง (ครั้ง/ปี) | 12 | 70 | 0.3500 | | | |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน > มูลค่าลงทุน | 1.25 | 30 | 0.1500 | | | |
| รวม | | 200 | 1.00 | | | |

*เกณฑ์การประเมิน*

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

***3. การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีเพื่อการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร***

การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้น เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้เป็นทางเลือกในการคัดเลือกเทคโนโลยีสำหรับการเปลี่ยนเครื่องจักรนั้นๆ ว่ามีความสามารถสอดคล้องกับกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบันหรือไม่ และมีความคุ้มค่าที่สามารถลงทุนในการเปลี่ยนเครื่องจักรหรือไม่

3.1 การเลือกเทคโนโลยีสำหรับเครื่องจักรหลัก

3.1.1เทคโนโลยีสำหรับมอเตอร์ มอเตอร์ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในกระบวนการผลิตน้ำประปา วิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีสำหรับมอเตอร์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่สำหรับในอนาคต มอเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งในเรื่องของรูปร่าง ลักษณะ และการทำงาน เช่น การนำเอาส่วนของวงจรทางด้านกำลังและการควบคุมการขับเคลื่อนมารวมไว้ด้วยกัน เรียกว่า Package Motor หรือ Intregrated Motor-Drive Package ซึ่งลักษณะของมอเตอร์ดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนามอเตอร์ในรูปแบบอื่นๆ ที่จะนำมาใช้ในอนาคต เช่น

- *มอเตอร์แบบ Active Magnetic Bearing Motor ที่ไม่ต้องการระบบลูกปืนแบริ่งและการหล่อลื่นที่เพลาของมอเตอร์* ซึ่งเทคโนโลยีแบบไม่ต้องมีลูกปืนแบริ่ง (Active Magnetic Bearing Motor)นี้ ซึ่งปัจจุบันมีใช้งานเพียงไม่กี่แห่ง สามารถสร้างปรากฏการณ์ใหม่ในเรื่องของประสิทธิภาพและอายุการใช้งานได้ยาวนาน ด้วยการใช้การพยุงตัวที่แกนเพลาด้วยสนามแม่เหล็กรอบ ๆ แกนเพลา ทำให้ไม่เกิดส่วนที่สัมผัสเหมือนระบบลูกปืนแบริ่ง หรือเกิดสภาพการลอยตัวในอากาศของเพลาโดยอิสระ ควบคุมด้วยความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่เกิดแรงเสียดทานกับมอเตอร์ มีเสียงดังขณะทำงาน น้อยมาก การวางตัวของเพลาก็สามารถทำได้ดีกว่า และที่สำคัญคือเราสามารถเพิ่มความเร็วรอบได้อย่างไม่จำกัด ไม่เหมือนระบบลูกปืนแบริ่งที่จะมีผลของอุณหภูมิของแบริ่งและขีดจำกัดของการหล่อลื่น มาจำกัดการเพิ่มความเร็วรอบหรือการออกแบบมอเตอร์รอบสูง ๆ ทำให้มีแรงสั่นสะเทือนจากแรงเหวี่ยง น้อยลงมาก การควบคุมความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รอบ ๆ แกนเพลาย่อมไม่ใช่เรื่องง่าย แต่หากใช้ระบบอัลกอริทึมที่ฉลาดมาออกแบบระบบควบคุม พร้อมกับการตรวจจับตำแหน่งแกนเพลาในขณะทำงานเพื่อวิเคราะห์สภาพการวางตัว ก็จะทำให้การควบคุมและการประเมินประสิทธิภาพการทำงานเป็นไปได้ เทคโนโลยีนี้ยังมีใช้งานไม่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากยังมีค่าใช้จ่ายสูง แต่ในอนาคตจากการพัฒนาให้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ลดลงแล้ว มอเตอร์แบบไม่ต้องมีลูกปืนแบริ่งจะได้รับความนิยมสำหรับงานทั่ว ๆ ไป

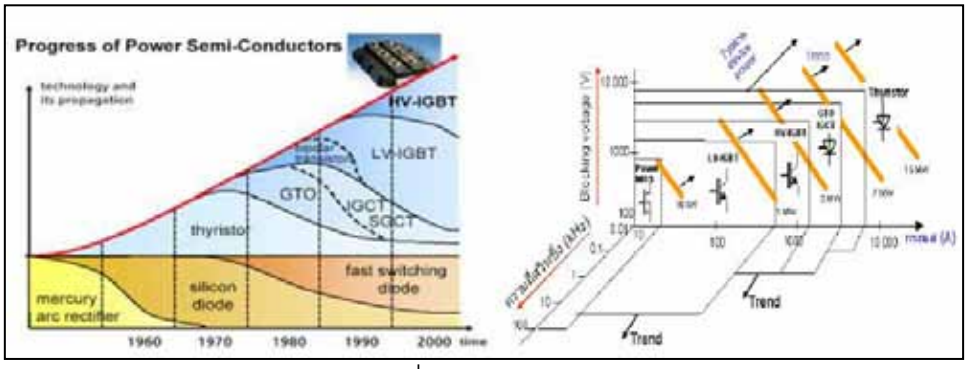
- *มอเตอร์แบบ Superconducting Motor ที่สร้างจากลวดสารตัวนำยิ่งยวดเพื่อลดผลกระทบทางด้านกำลังสูญเสียในรูปของความร้อน* ในอนาคตจะมีการนำเอามอเตอร์ที่สร้างจากตัวนำยิ่งยวด (Superconducting Motor) มาประยุกต์ใช้งานในระบบอุตสาหกรรมกันมากขึ้น เพราะว่าตัวนำยิ่งยวดจะทำให้กระแสไหลได้อย่างสะดวก ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กมาก ขนาดของมอเตอร์จึงเล็กลงสำหรับเอาต์พุตที่เท่ากัน นักวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงตัวเลขในเรื่องของพลังงานที่มอเตอร์แบบนี้ ใช้ น้อย กว่ามอเตอร์คุณภาพสูงที่ใช้ในปัจจุบันนี้กว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดความสูญเสียและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะที่มอเตอร์ทำงาน น้อย มาก นั้นหมายความว่าระบบหล่อเย็นจะไม่ใช่เรื่องที่จำเป็นอีกต่อไป หรือมีเพียงขนาดเล็กไม่สิ้นเปลืองมากนัก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ทั้งการขับปั๊มและพัดลม หรือ คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ ๆ และการประยุกต์ใช้งานตามแหล่งอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งมอเตอร์ใช้งานเหล่านี้ยังสามารถควบคุมความเร็วรอบได้เพื่อให้การใช้พลังงานในการขับเคลื่อนอย่างเหมาะสมและเกิดการประหยัดพลังงาน แต่มอเตอร์ชนิดนี้ก็ยังคงมีหลายอุปสรรคสำหรับการใช้งานทางการค้า เช่นเหตุผลหลักอย่างเรื่องของงบประมาณราคา และประสิทธิภาพของขดลวดที่นำมาสร้าง รวมถึงความน่าเชื่อถือของมอเตอร์ชนิดนี้ด้วย

ซึ่งในการเปลี่ยนชนิดทางเทคโนโลยีของมอเตอร์ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบอื่นๆ ทั้งระบบปรับความเร็วรอบ ระบบควบคุมอัตโนมัติ เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ทั้งมอเตอร์และระบบขับเคลื่อนจะได้รับการทดสอบพร้อมกันจากทางโรงงานผู้ผลิตทำให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ สอดคล้องกันลงตัว ซึ่งผลจากการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ ทำให้วิศวกรหรือผู้ใช้งานเริ่มมองเห็นแล้วว่า การเปลี่ยนจากมอเตอร์ระบบความเร็วเดียวมาเป็นปรับความเร็วหลายระดับ ทำให้เกิดข้อดีในเรื่องของการประหยัดพลังงานและได้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น เช่น มอเตอร์พัดลมที่ทำงานที่ระดับความเร็วที่เหมาะสม นอกจากใช้พลังงาน น้อย ลงแล้วยังลดเสียงดังจากการหมุนที่ความเร็วไม่เหมาะสมได้ด้วย หรือระบบปั๊มเมื่อทำงานที่ความเร็วที่เหมาะสม ก็ยังลดภาระเรื่องการซีลด์และระบบลูกปืนหล่อลื่น

3.1.2 เทคโนโลยีสำหรับชุดปรับความเร็วรอบ

ในอดีตชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าแรงสูงนั้น มีข้อจำกัดอย่างมากในเรื่องของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ต้องใช้ไทริสเตอร์ (Thyristor) เป็นอุปกรณ์หลัก เพราะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพียงชนิดเดียวที่ทนต่อแรงดันสูงได้ แต่เนื่องจากไทริสเตอร์มีข้อจำกัดหลายด้าน ทำให้เทคนิคการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูงจึงค่อนข้างล้าหลัง เมื่อเทียบกับเทคโนโลยี

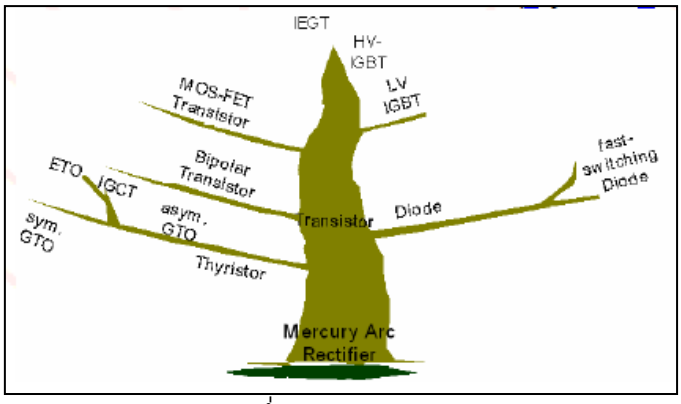
การปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ ซึ่งก้าวไกลไปกว่ามาก เนื่องจากสามารถนำเอาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในตระกูลทรานซิสเตอร์ (Transistor) ซึ่งง่ายต่อการควบคุมมากกว่า มาใช้เป็นอุปกรณ์หลักในวงจรได้ ทำให้เกิดการพัฒนาเทคนิคการขับเคลื่อนในหลายรูปแบบ เช่น เทคนิคการสร้างรูปคลื่นแบบ PWM, เทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ เป็นต้น ในขณะที่เทคนิคการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูงยังต้องใช้ไทริสเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในวงจรภาคกำลัง เช่น การปรับความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter), ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (Cycloconverter) เป็นต้น




ภาพที่ 50 แนวโน้มการพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Trend of power Semiconductor)

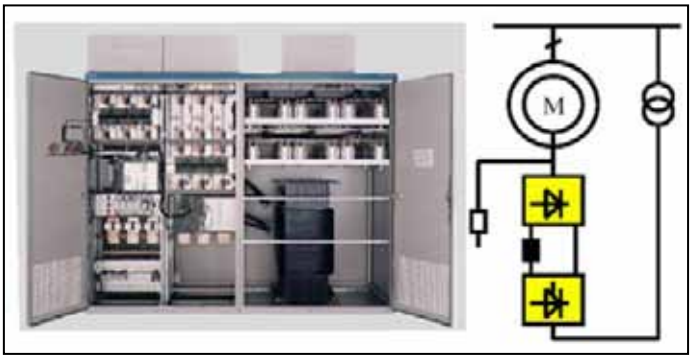
จากภาพที่ 50 แสดงแนวโน้มของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำซึ่งถูกพัฒนามาจาก หลอดสูญญากาศไดโอด (Mercury arc Rectifier) มาเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ PN ประเภทซิลิคอนไดโอด (Silicon Diode) ซึ่งในระยะแรกยังไม่สามารถควบคุมการเปิด-ปิดวงจรได้ ต่อมามีการพัฒนาแตกแขนงออกเป็นอุกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถควบคุมได้ คือ สารกึ่งตัวนำประเภททรานซิสเตอร์ (Transistor) และตระกูลไทริสเตอร์ (Thyristor)

จากการพัฒนา Transistor Power MOS เป็น IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) และพัฒนาเป็น HV-IGBT (High Voltage Insulated Gate Bipolar Transistor) ในเวลาต่อมา ซึ่งสามารถรองรับแรงดัน กระแส และความถี่ได้สูงขึ้นถึง 6500 โวลท์ และมีแนวโน้มที่จะนำไปใช้แทนที่อุปกรณ์ตระกูล ไทริสเตอร์ เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีลักษณะการควบคุมทำงานง่าย ใช้วิธีการควบคุมโดยการใช้แรงดันไฟฟ้า และมีความสลับซับซ้อนของวงจรควบคุม รวมทั้งจำนวนอุปกรณ์น้อยกว่า ชุดควบคุมอุปกรณ์ตระกูลไทริสเตอร์ ที่ใช้วิธีการควบคุมโดยการใช้กระแสไฟฟ้า และคาดว่า HV-IGBT จะพัฒนาเป็น IEGT (Injection Enhanced Gate Transistors) ในอนาคต




ภาพที่ 51 ทิศทาง การพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Trend of power Semiconductor)

- *ชุดปรับความเร็วรอบแบบระบบขับเคลื่อนแบบเซอร์เบียส (Static Sherblus drive systems) หรือแบบ Cascade* ระบบนี้จะสามารถใช้ได้เฉพาะสลิปริงมอเตอร์เท่านั้น และสามารถควบคุมความเร็วรอบได้จำกัดในช่วง 70%-100% และเหมาะกับมอเตอร์ที่มีแรงดันไฟฟ้าด้านสเตเตอร์ไม่เกิน 11 kV และมอเตอร์ควรจะมีขนาดประมาณ 1 – 5 MW

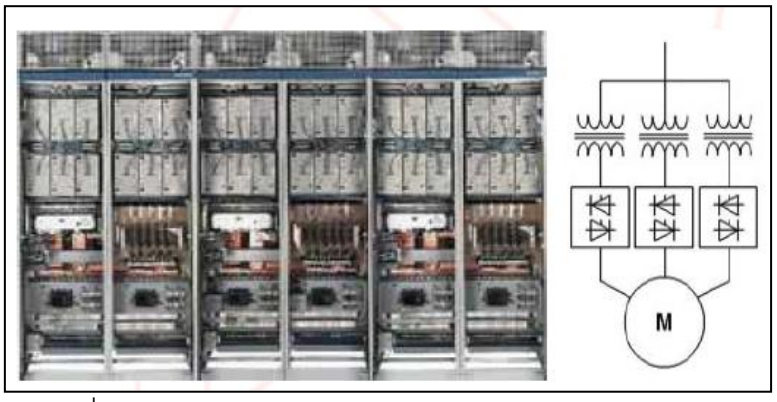



ภาพที่ 52 ระบบขับเคลื่อนแบบ Sherblus Drives หรือ Cascade Drives

- *ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์แบบกระแสคงที่ (Current Source)* ซึ่งส่วนมากมีขนาดประมาณ 3 MVA (Synchronous Machine Hydro-generators) ซึ่งเป็นระบบขับเคลื่อนแบบ Load-commutated inverter (LCI) ซึ่งจะเหมาะกับการควบคุมที่มีแรงดันสูงตั้งแต่ 1 kV จนกระทั้งถึง 23 kV และมีกำลังตามความเหมาะสมที่มีขนาดใหญ่เกินกว่า 7 MW ขึ้นไป

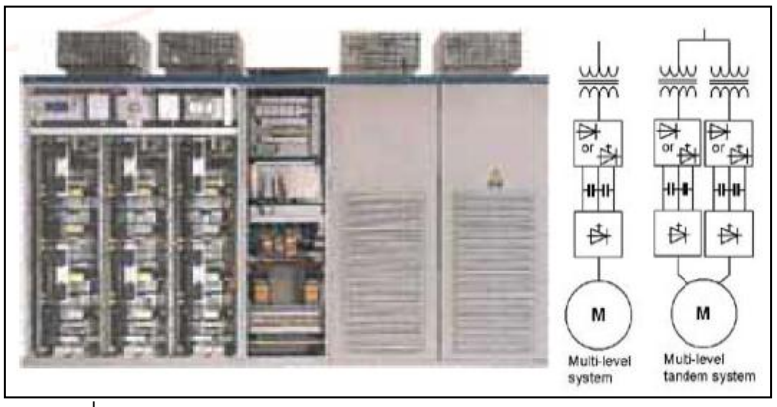
ภาพที่ 53 ระบบขับเคลื่อนแบบ Load-commutated inverter (LCI) โดยใช้ SCR

- *ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์แบบ Cyclo converter* โดยใช้อุปกรณ์ไทริสเตอร์ SCR เป็นตัวขับหลัก ซึ่งโดยส่วนใหญ่ ระบบขับเคลื่อนแบบนี้ จะเหมาะกับการควบคุมที่มีแรงดันระหว่าง 1.0 – 3.3 kV และมีกำลังตามความเหมาะสมที่มีขนาดใหญ่ 5,000 – 35,000 kW




ภาพที่ 54 ระบบขับเคลื่อนแบบ Cycloconverter (CCV) drive โดยใช้ SCR

- *ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์แบบแรงดันคงที่* ที่ใช้อุปกรณ์ไทริสเตอร์ GTO เป็นตัวขับหลัก ซึ่งโดยส่วนใหญ่ระบบขับเคลื่อนแบบนี้ จะเหมาะกับการควบคุมแรงดันไม่เกิน 3.3 kV และมีกำลังตามความเหมาะสมที่มีขนาดใหญ่ 3,000 – 15,000 kW




ภาพที่ 55 ระบบขับเคลื่อนแบบ Multi-Level PWM Inverter drive โดยใช้ GTO

ระบบขับเคลื่อนต่างๆเหล่านี้ ถึงแม่สามารถใช้งานได้ดีพอสมควรกับมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีขนาดใหญ่มากๆ แต่ส่วนใหญ่พบปัญหาเกี่ยวกับเรื่องฮาร์โมนิก และการกระเพื่อมทางแรงบิด (Pulsation Torque) ที่เกิดขึ้นที่เพลาของมอเตอร์เนื่องมาจากผลของกระแสที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได และผลของฮาร์โมนิกที่เกิดจากกระแสที่ไม่เป็นไซน์เวฟนี้ ยังทำให้เกิดความร้อนที่ตัวมอเตอร์เพิ่มขึ้นจากปกติ และทำให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมลดลง นิกจากนี้การที่เราไม่สามารถควบคุมไทริสเตอร์ได้อย่างอิสระเหมือนอุปกรณ์ในตระกูลทรานซิสเตอร์ ทำให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดทำได้ค่อนข้างต่ำ และการที่ไทริสเตอร์ต้องใช้เวลาในการ Recovery ประจุค่อนข้างนาน ทำให้ระบบทำงานได้ที่ความถี่สูงสุดได้ค่อนข้างต่ำ

จากที่ได้กล่าวมานั้น การพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในตระกูลทรายซิสเตอร์ที่นิยมใช้กันอยู่ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์แรงดันต่ำคือ IGBT เมื่อนำหลักการของชุดควบคุมมอเตอร์แรงดันต่ำมาใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อจะทำให้ชุดควบคุมมอเตอร์สามารถผลิตได้เป็นปริมาณมากและทำให้เป็นมาตรฐานเดียวกันได้ มีประสิทธิภาพสูง และง่ายต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น ในปัจจุบันการพัฒนาเพื่อเข้าสู่เป้าหมายดังกล่าวได้แบ่งเป็นสองแนวทาง

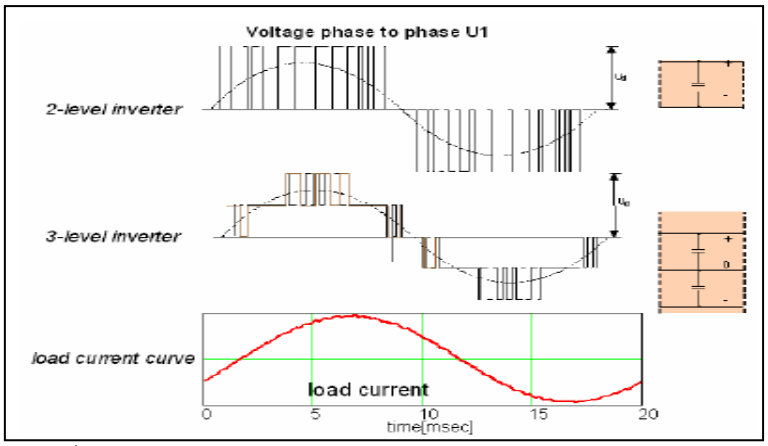
แนวทางแรกคือการพัฒนา IGBT ให้ทนต่อแรงดันได้สูงขึ้น ทำให้ได้ HV-IGBT โดยนำมาต่อกับวงจรบริดจ์ โดยใช้เทคนิคการสร้างรูปคลื่น PWM แบบสามระดับ โดยใช้ระบบควบคุมคล้ายกับชุดปรับความเร็วรอบ แบบระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำได้

ภาพที่ 56 HV-IGBT ที่ใช้ในชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสามระดับ

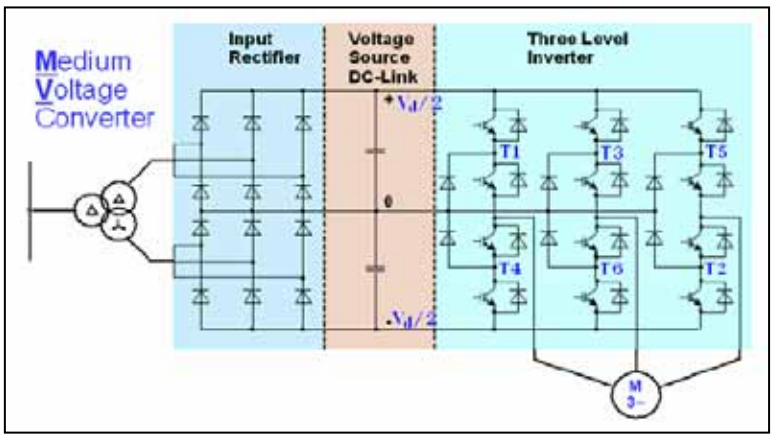
แนวทางที่สอง คือ การนำเอาชุดควบคุมความเร็วรอบ แบบระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่มี IGBT แรงดันต่ำแบบปกติทั่วไป มาต่ออนุกรมกันหลายๆครั้ง เพื่อให้สามารถรองรับไฟฟ้าแรงดันสูงได้ แล้วใช้เทคนิคการควบคุม และต่อวงจรเพื่อสร้างรูปคลื่น PWM ให้เป็นแบบหลายระดับ เพื่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของมอเตอร์ โดยที่ IGBT แต่ละตัวยังคงรับภาระต่อแรงดันต่ำอยู่ ซึ่งจะได้กล่าวถึงเทคนิคการทำ IGBT แต่ละแบบมาใช้กับ การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูงต่อไปนี้

*1.อินเวอร์เตอร์ PWM แบบสามระดับ*

ซึ่งอินเวอร์เตอร์ PWM แบบสามระดับนี้ได้พัฒนามาจากอินเวอร์เตอร์ PWM แบบสองระดับ ซึ่งสามารถใช้งานได้กับมอเตอร์ที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 1,000 โวลท์ ทั้งยังมีข้อจำกัดทั้งทางด้าน พิกัดแรงดันของสารกึ่งตัวนำ, ค่าแรงดันเค้น (Stress Voltage) ที่มีผลต่อฉนวนของมอเตอร์ และค่า dv/dt ที่มีค่าสูงมากๆ ซึ่งจะส่งผลต่าฉนวนสายเคเบิล เป็นต้น

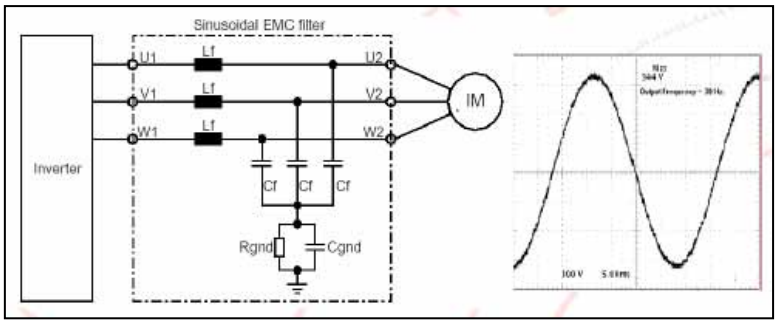



ภาพที่ 57 แสดงรูปคลื่น PWM จากอินเวอร์เตอร์แบบสามระดับเปรียบเทียบกับแบบสองระดับ




ภาพที่ 58 แสดงวงจรของอินเวอร์เตอร์แรงดันสูง PWM แบบสามระดับ

อินเวอร์เตอร์แบบสามระดับ จะมีจำนวนอุปกรณ์หลัก เช่น HV-IGBT เพิ่มขึ้นกว่าอินเวอร์เตอร์แบบสองระดับถึงหนึ่งเท่าตัว แต่เนื่องจากมีการใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูง ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลง dv/dt ยังสูงอยู่ อาจยังไม่สามารถลดแรงเค้นที่ฉนวนมอเตอร์ได้มากพอ จึงจำเป็นต้องใส่อุปกรณ์ Sinusoidal EMC Output filter เพื่อทำหน้าที่กรองรูปคลื่นให้เรียบ ทำให้ได้รูปคลื่นใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์เวฟมากขึ้น ซึ่งชุดกรองรูปคลื่นซายด์ดังกล่าว เป็นการออกแบบพิเศษเพื่อกรองรูปคลื่นที่มีความถี่ต่ำเท่านั้นที่จะผ่านไปได้ โดยการป้องกันไม่ให้ความถี่สูง หรือ Harmonic ผ่านออกไปได้ ทำให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงรูปคลื่นซายด์มากทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้า

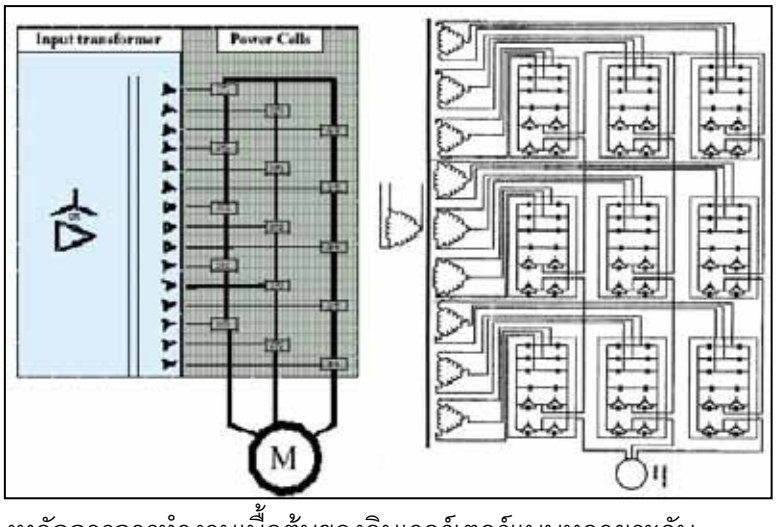



ภาพที่ 59 แสดงชุดกรองรูปคลื่นซายด์ (Output Filter)

*2.อินเวอร์เตอร์ PWM แบบหลายระดับ*

อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในด้าน พิกัดแรงดันของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ โดยมีข้อดีคือสามารถใช้อุปกรณ์ที่มีพิกัดแรงดันต่ำกว่าแบบสามระดับได้ ในขณะที่ต้องการแรงดันขาออกเท่ากัน

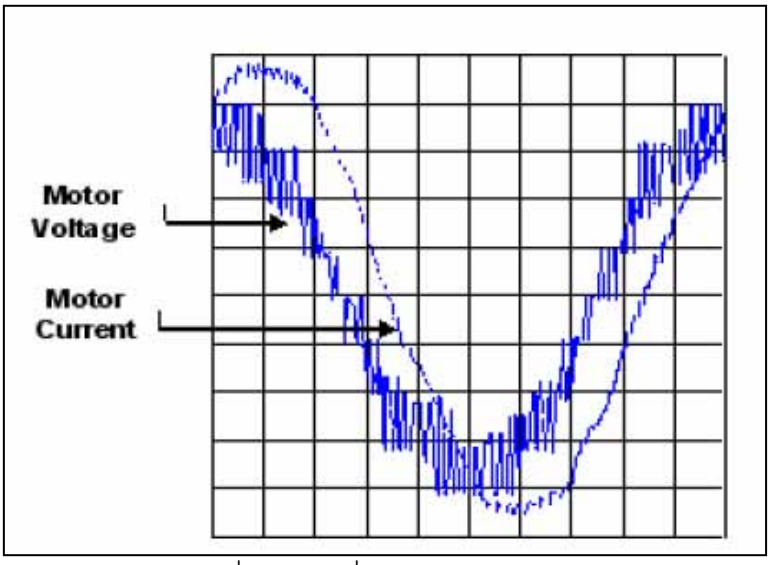
ภาพที่ 60 แสดงรูปภาพของ หม้อแปลง เซลอินเวอร์เตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ




ภาพที่ 61 แสดงหลักการการทำงานเบื้อต้นของอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ

แนวคิดอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับนี้ คือ การนำเอาแหล่งจ่ายหลายเซลล์มาต่อเข้าด้วยกันในลักษณะการต่อแบบอนุกรม เพื่อที่จะได้ระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยใช้แหล่งจ่ายแต่ละเซลล์ในเฟสเดียวกันจะมีขนาดเท่ากัน และมีมุมอินเฟสกัน ดังนั้นขนาดของแรงดันเฟสจะเท่ากับผลรวม

ของแรงดันของทุกเซลล์ในเฟสนั้นๆ เช่น จากภาพที่ 39 ด้านซ้ายมือมี 3 เฟส และแต่ละเฟสประกอบด้วย 5 เซลล์ของแหล่งจ่าย หากต้องการแรงดันระหว่างสาย 3,300 V หรือเท่ากับแรงดันเฟส 1,905 V จะได้ว่าแรงดันของแหล่งจ่ายแต่ละเซลล์จะมีค่าเท่ากับ 1,905/5 = 380 V ซึ่งจะเห็นได้ว่าเราสามารถนำเอาแหล่งจ่ายแรงดันต่ำมาทำงานร่วมกัน เพื่อให้ได้แหล่งจ่ายแรงดันสูงได้




ภาพที่ 62 แสดง หลักการ และรูปคลื่น PWM ที่ออกจาก อินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ

เทคนิคการสร้างรูปคลื่น PWM แบบหลายระดับนี้ มีข้อดีตรง สามารถใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีระดับแรงดันต่ำ และราคาถูกกว่ามาสร้างเป็นอินเวอร์เตอร์แรงดันสูงได้ ทำให้ลดข้อจำกัดในเรื่องของพิกัดแรงดันของอุปกรณ์ลงได้ แต่อาจมีปัญหาในเรื่องอุปกรณ์ที่มีจำนวนมาก และการต่ออนุกรมนี้จะมีผลต่อเสถียรภาพของระบบ เพราะจำนวนโอกาสที่ระบบจะทำงานผิดพลาดก็มีมากขึ้นไปด้วยตามจำนวนของอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรม และเนื่องจากหม้อแปลงจำเป็นต้องใช้ชนิดแห้งประกอบกับต้องมีสายต่อจำนวนมากตามระดับที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นจากตัวหม้อแปลง ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ขึ้น และใช้พื้นที่ห้องไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

3.2 ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น หากเครื่องจักรหลักมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยี

ในการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีนั้น ย่อมมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแบบเดิม ทั้งในด้านกำลังในการสูบส่งน้ำที่จะเพิ่มขึ้น การรองรับแรงดันในเส้นท่อที่มากขึ้น หรือแม้กระทั่งระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ใช้อยู่ สิ่งที่กล่าวมานี้ ย่อมเกิดผลกระทบโดยตรงหาก มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีอย่างแน่นอน

3.2.1 ข้อมูลข้อจำกัดทางชลศาสตร์

ข้อจำกัดทางชลศาสตร์ของโครงข่ายข้อจำกัดทางชลศาสตร์ของโครงข่ายระบบส่งน้ำของการประปานครหลวง คือ ระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดในถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ ซึ่งในการศึกษานี้กำหนดให้มีค่าระดับน้ำต่ำสุดเท่ากับศูนย์เมตร และระดับน้ำสูงสุดเท่ากับระดับน้ำสูงสุดออกแบบของถัง โดยรายละเอียดของพื้นที่ถัง ขนาดความจุ และระดับเก็บกักน้ำสูงสุดของถังเก็บน้ำใส แสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 พื้นที่ถัง ขนาดความจุ และระดับเก็บกักน้ำสูงสุดของถังเก็บน้ำใส
ที่มา: การประปานครหลวง (2552)

| สถานีสูบจ่ายน้ำ | พื้นที่ถัง (ตารางเมตร) | ระดับเก็บกักสูงสุด (เมตร) | ความจุ (ลูกบาศก์เมตร) |
|---|---|---|---|
| ลุมพินี | 8,570 | 5 | 42,850 |
| ท่าพระ | 8,120 | 5 | 40,600 |
| ราษฎร์บูรณะ | 7,985 | 5 | 39,925 |
| พหลโยธิน | 8,120 | 5 | 40,600 |
| เพชรเกษม | 5,720 | 6.5 | 37,180 |
| ลาดพร้าว | 8,570 | 5 | 42,850 |
| คลองเตย | 8,120 | 5 | 40,600 |
| สำโรง | 9,765 | 5 | 48,825 |
| ลาดกระบัง | 9,000 | 5.3 | 47,700 |
| มีนบุรี | 7,448 | 5 | 37,240 |

ในการศึกษายังคงรักษาความต้องการด้านชลศาสตร์ คือ ความต้องการน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ และระดับน้ำต่ำสุดที่ยอมให้ของถังเก็บน้ำใส โดยมีรายละเอียดดังนี้

**กรณีศึกษาที่** 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทางและขนาดความจุถังเก็บน้ำใสยังมีค่าคงที่

การกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำมีค่าคงที่ เท่ากับค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของความต้องการน้ำใน 1 วัน ของสถานีสูบจ่ายน้ำนั้นๆ ซึ่งเมื่อขนาดความจุถังเท่าเดิม ดังนั้นแรงดันในเส้นท่อ รวมทั้งอัตราการไหลของน้ำประปายังคงคงที่

**กรณีศึกษาที่ 2** เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี โดยกำหนดให้มีการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทางและมีการเพิ่มขนาดความจุถังเก็บน้ำใส

การกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายมีค่าเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของความต้องการน้ำใน 1 วัน ของสถานีสูบจ่ายน้ำนั้นๆ ในปัจจุบัน ให้เพียงพอต่อขนาดความจุถังเก็บน้ำใสที่เพิ่มขึ้น โดยมีการเพิ่มขนาดความจุถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายทุกแห่งขึ้นอีกร้อยละ 50 (ยกเว้นสถานีสูบจ่ายน้ำพหลโยธิน และสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี ที่ใช้ระบบ By-Pass และสถานีสูบจ่ายน้ำประชานุกูลซึ่งไม่มีถังเก็บน้ำใส) ซึ่งการเพิ่มขนาดความจุของถังเก็บน้ำใสในสถานีสูบจ่ายปลายทางนั้น ช่วยลดปัญหาแรงดันในเส้นท่อที่อาจจะเพิ่มขึ้นได้

**ตารางที่ 39 อัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำเฉลี่ยของทั้ง 2 กรณีศึกษา**
(หน่วย: ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

| สถานีสูบจ่าย | กรณีศึกษาที่ 1 | กรณีศึกษาที่ 2 |
|---|---|---|
| ลุมพินี | 11,098 | 13,000 |
| ท่าพระ | 7,709 | 9,000 |
| ราษฎร์บูรณะ | 9,882 | 12,000 |
| เพชรเกษม | 12,333 | 16,200 |
| ลาดพร้าว | 12,917 | 16,500 |
| คลองเตย | 10,211 | 13,000 |
| สำโรง | 17,509 | 20,000 |
| ลาดกระบัง | 11,786 | 12,500 |

**หมายเหตุ** สถานีสูบจ่ายน้ำพหลโยธิน สถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี และสถานีสูบจ่ายน้ำประชานุกูล ใช้ระบบ By-Pass จึงไม่ต้องกำหนดอัตราการไหลเข้าสถานีสูบจ่ายน้ำ

**4. การวางแผนกำลังการผลิต**

การผลิตที่สามารถผลิตได้ตามปริมาณที่กำหนดไว้ต้องอาศัยทรัพยากรขององค์กรหลายอย่าง ได้แก่ เงินทุน วัตถุดิบ แรงงาน เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ และเนื่องจากทรัพยากรเหล่านี้มีอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องวางแผนใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ดังนั้น การวางแผนและจัดการด้านกำลังการผลิต ซึ่งเป็นการวางแผนและดำเนินการเกี่ยวกับ ขนาดของโรงงานหรือสถานที่ทำการผลิต จำนวนเครื่องจักร ตลอดจนจำนวนคนงานที่เหมาะสม เพื่อให้ไม่เกิดปัญหาการผลิตได้น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าเพราะกำลังการผลิตน้อยเกินไป หรือไม่เกิดปัญหาเครื่องจักรมากเกินไปจนกลายเป็นความสูญเปล่า เพราะกำลังการผลิตมากเกินไป

### 4.1 ความหมายของกำลังการผลิตและการวัดกำลังการผลิต

กำลังการผลิต (capacity) คือ อัตราสูงสุดที่ระบบการผลิตสามารถผลิตได้เต็มที่ในช่วงเวลาหนึ่งของดำเนินงาน การวัดกำลังการผลิต สามารถกระทำได้ 2 ทางคือ

**1.การวัดกำลังการผลิตจากผลผลิต**

การวัดกำลังการผลิตจากผลผลิตจะใช้เมื่อผลผลิตจากกระบวนการสามารถนับเป็นหน่วยได้ง่าย ได้แก่ สินค้าที่มีตัวตน (tangible goods) ซึ่งจะเน้นการผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์ (product-focused)

**2.การวัดกำลังการผลิตจากปัจจัยการผลิต**

การวัดกำลังการผลิตจากปัจจัยการผลิต จะใช้เมื่อผลผลิตจากกระบวนการนับเป็นหน่วยได้ยาก หน่วยของผลิตภัณฑ์ไม่ชัดเจน ได้แก่ การบริการต่างๆ ซึ่งจะเป็นการผลิตแบบตามการะบวนการ

แม้ว่าองค์การจะมีกำลังการผลิตเป็นอัตราสูงสุดที่จะสามารถผลิตได้ แต่ในการปฏิบัติงานจริงอัตราการผลิตมักจะต่ำกว่ากำลังการผลิต เพราะจะต้องคำนึงถึงการหยุดพักหรือการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ เพื่อถนอมไว้ใช้งานได้ในระยะยาวมากกว่าการเล็งผลในระยะสั้นเท่านั้น การใช้กำลังการผลิตอย่างเต็มที่มักจะเกิดต้นทุนการทำงานล่วงเวลาในกะพิเศษหรือการลดการบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามแผนที่กำหนดไว้ประจำหรือ การใช้ผู้รับสัญญาช่วง ซึ่งล้วนแล้วแต่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นทั้งสิ้น ดังนั้นกำลังการผลิตที่เต็มที่จะถูกใช้จริงก็ต่อเมื่อมีความจำเป็นและไม่เกิดขึ้นบ่อยนักภายในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น

### 4.2 ข้อควรคำนึงในการวางแผนกำลังการผลิต

การวางแผนกำลังการผลิตจึงต้องคำนึงถึงกำลังการผลิตที่เกิดประสิทธิผลอันแท้จริงซึ่งต้องพิจารณาจาก

1. Peak Capacity หรือ Design Capacity เป็นกำลังการผลิตเต็มที่ ซึ่งมักไม่ได้ใช้ในการปฏิบัติงานจริง เพราะเป็นการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์เต็มที่โดยไม่คำนึงถึงการหยุดพักหรือการบำรุงรักษาเลย

2.Rated Capacity เป็นอัตราการผลิตสูงสุดที่ทำได้หลังจากหักลบส่วนการหยุดพักซ่อมแซมบำรุงรักษาแล้ว

3. Effective Capacity เป็นอัตราการผลิตสูงสุดที่ผ่ายการผลิตสามารถกระทำให้เกิดต้นทุนการผลิตที่ประหยัดได้ ภายใต้สภาวการณ์การผลิตปกติ (normal condition)

**4.3 ปริมาณความต้องการน้ำ**

ปริมาณความต้องการการใช้น้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่เป็นตัวกำหนดหลักเกณฑ์ในการเปลี่ยนทดแทน หรือลงทุนเครื่องจักรหลัก โดยกำลังการผลิตสูงสุด ย่อมขึ้นอยู่กับระดับการผลิตที่ตั้งไว้ให้เกิดต้นทุนการผลิตที่ประหยัดซึ่งคาดหวังไว้ (Utilization) และความมีประสิทธิภาพ (Effective) ของระดับการผลิตที่คาดหวังไว้

4.3.1 การกำหนดระดับกำลังการผลิต

ปัจจัยที่สำคัญซึ่งเป็นสิ่งกำหนดระดับกำลังการผลิตโดยตรงคือ อุปสงค์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลจากการพยากรณ์ในระยะกลางและระยะยาว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตนั้นเป็นเรื่องที่ดำเนินงานได้ยาก จึงต้องคำนึงถึงอุปสงค์ในระยะยาวด้วยเสมอ ดังนั้นการกำหนดระดับกำลังการผลิตแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ

- กำลังการผลิตในระดับอุปสงค์สูงสุด คือ เป็นการกำหนดกำลังการผลิตให้มากพอที่จะรองรับอุปสงค์ในช่วง Peak Period อาจต้องมีกำลังการผลิตสำรอง (Protective Capacity) ไว้ด้วย ข้อดีของกำลังการผลิตในระดับอุปสงค์สูงสุด คือ มีความมั่นคงในการผลิต ไม่เสียโอกาสในการขายผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อเสียคือ จะใช้ประโยชน์ได้เต็มที่เมื่ออยู่ในช่วง Peak Period เท่านั้น จะเกิดการสูญเปล่าเพราะเครื่องจักรจะอยู่เฉยๆไม่ทำงาน
- กำลังการผลิตในระดับอุปสงค์เฉลี่ย เป็นการกำหนดกำลังการผลิตในระดับปานกลางเฉลี่ยอุปสงค์ในช่วงสูงและต่ำ สามารถผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ ข้อดีคือ การลงทุนไม่ใช้เงินจำนวนมากเกินไป และเครื่องจักรจะถูกใช้งานอย่างคุ้มค่า ส่วนข้อเสียคือ จำเป็นต้องวางแผนเกี่ยวกับการจัดการสินค้าคงคลังให้ดี ทำให้ต้องมีต้นทุนสำรองสินค้าคงคลัง
- กำลังการผลิตในระดับอุปสงค์ต่ำสุด ใช้ในโรงงานที่มีขนาดค่อนข้างเล็กเครื่องจักรมีจำนวนไม่เพียงพอ ทำให้ต้องใช้เครื่องจักรอย่างเต็มที่ เพื่อให้อุปสงค์เพียงพอต่อความต้องการ ข้อดีคือ ลงทุนไม่มาก เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้วอุปสงค์ในอนาคตไม่แน่นอน ส่วน

ข้อเสียคือ ต้นทุนต่อหน่วยจะสูงขึ้น อายุการใช้งานเครื่องจักรสั้นลงเพราะการบำรุงรักษาไม่เต็มประสิทธิภาพ

4.3.2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต

- ระยะสั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านเครื่องจักร ปรับเปลี่ยนวิธีการผลิต หรือซื้อเครื่องจักรทดแทน เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางอุปสงค์ในระยะเวลาอันใกล้ เช่น 3 ปี 5 ปี
- ระยะยาว เมื่อทราบความเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ในอนาคตเป็นที่แน่นอนแล้ว ทำให้มีการลงทุนเพื่อขยายโรงงานการผลิต มีการซื้อเครื่องจักรเพิ่ม โดยพิจารณาจากต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้รับซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิต

# บทที่ 4

# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

## 4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา การจัดกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมของระบบสูบส่งน้ำ โรงงานผลิตน้ำบางเขน

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลอง เป็นการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า เมื่อมีการจัดกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ กับการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำเดิมก่อนจัดกำหนดการทำงาน

### 4.1.1 การทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำก่อนการจัดกำหนดการทำงาน

ในการศึกษาการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งนั้นได้ใช้ข้อมูลการทำงานประจำเดือนมกราคม 2554 มาเป็นข้อมูลอ้างอิงในการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากรายงานประจำเดือนของโรงงานผลิตน้ำบางเขนพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบสูบส่งของโรงงานผลิตน้ำบางเขนรวม 5,625,181 หน่วย คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 16,035,208.20 บาท โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง Off Peak คิดเป็นร้อยละประมาณ 60% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม

ตารางที่ 40 เงื่อนไขการคิดอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบ TOU ของการไฟฟ้านครหลวง

| สถานีสูบส่งน้ำ | การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU | | | |
|---|---|---|---|---|
| | อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย | | ค่า Ft | ค่า Demand Charge |
| | ON PEAK | OFF PEAK | | |
| โรงสูบส่งน้ำ 1 (TPS1) | 2.6136 | 1.1726 | 0.9581 | 74.14 |
| โรงสูบส่งน้ำ 2 (TPS2) | 2.6136 | 1.1726 | 0.9581 | 74.14 |
| โรงสูบส่งน้ำ 3 (TPS3) | 2.6136 | 1.1726 | 0.9581 | 74.14 |

ตารางที่ 41 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำประจำเดือน มกราคม 2554

| สถานีสูบส่งน้ำ | ปริมาณการใช้พลังงาน (KW-HR) | | | | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ON PEAK | | OFF PEAK | | MAX DEMAND | ค่าพลังงานไฟฟ้า | | ค่า Ft | ค่า Max Demard Charge | รวม |
| | หน่วย | % | หน่วย | % | (Kw) | ON PEAK | OFF PEAK | | | บาท |
| โรงสูบส่งน้ำ 1 (TPS1) | 992,600.00 | 40.45 | 1,461,400.00 | 59.55 | 3,700.00 | 2,594,259.36 | 1,713,637.64 | 2,351,177.40 | 274,318.00 | 6,933,392.40 |
| โรงสูบส่งน้ำ 2 (TPS2) | 727,764.00 | 40.45 | 1,071,556.00 | 59.55 | 3,860.00 | 1,902,083.99 | 1,256,506.57 | 1,723,928.49 | 286,180.40 | 5,168,699.45 |
| โรงสูบส่งน้ำ 3 (TPS3) | 488,476.00 | 35.61 | 883,385.00 | 64.39 | 4,130.00 | 1,276,680.87 | 1,035,857.25 | 1,314,380.02 | 306,198.20 | 3,933,116.35 |
| | | | | | | | | | รวม | 16,035,208.20 |

### 4.1.2 ผลการทดสอบโปรแกรม

กรณีกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำขึ้นกับช่วงเวลาของการคิดค่าพลังงานไฟฟ้า (On Peak และ Off Peak)

พบว่ามีการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำทั้งที่ใช้งานทั้งวันและใช้งานบางช่วงเวลาจำนวน 8 เครื่อง ไม่ได้ใช้งานเป็นกำลังหลักและไม่ได้ใช้งานเนื่องจากอยู่ระหว่างการซ่อมบำรุงจำนวน 9 เครื่อง พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 5,551,964 หน่วย คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้ารวม 15,261,396.62 บาท โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง Off Peak และค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง On Peak

ตารางที่ 42 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ 1 ประจำเดือน มกราคม 2554

| มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ | ชั่วโมงการทำงาน (Hr.) | | |
|---|---|---|---|
| | On-Peak | Off-Peak | รวม |
| 1.TPS1-1 | 39 | 193 | 232 |
| 2.TPS1-2 | 190 | 332 | 522 |
| 3.TPS1-3 | 0 | 0 | 0 |
| 4.TPS1-4 | 190 | 251 | 441 |
| 5.TPS1-5 | 130 | 143 | 273 |
| | | | 1468 |

ตารางที่ 43 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ 2 ประจำเดือน มกราคม 2554

ตารางที่ 43 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ 2 ประจำเดือน มกราคม 2554

| มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ | ชั่วโมงการทำงาน (Hr.) | | |
|---|---|---|---|
| | On-Peak | Off-Peak | รวม |
| 6.TPS2-8 | 33 | 25 | 58 |
| 7.TPS2-9 | 0 | 0 | 0 |
| 8.TPS2-10 | 300 | 428 | 728 |
| 9.TPS2-11 | 290 | 413 | 703 |
| 10.TPS2-12 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 1489 |

ตารางที่ 44 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ 3 ประจำเดือน มกราคม 2554

| มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ | ชั่วโมงการทำงาน (Hr.) | | |
|---|---|---|---|
| | On-Peak | Off-Peak | รวม |
| 11.TPS3-13 | 180 | 367 | 547 |
| 12.TPS3-14 | 80 | 120 | 200 |
| 13.TPS3-15 | 80 | 120 | 200 |
| 14.TPS3-16 | 200 | 378 | 578 |
| | | | 1525 |

ตารางที่ 45 ปริมาณการใช้และค่าพลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำประจำเดือน มกราคม 2554 โดยใช้โปรแกรมกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสม

| สถานีสูบส่งน้ำ | ปริมาณการใช้พลังงาน (KW-HR) | | | | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ON PEAK | | OFF PEAK | | MAX DEMAND | ค่าพลังงานไฟฟ้า | | ค่า Ft | ค่า Max Demard Charge | รวม |
| | หน่วย | % | หน่วย | % | (Kw) | ON PEAK | OFF PEAK | | | บาท |
| โรงสูบส่งน้ำ 1 (TPS1) | 956,688 | 38.97 | 1,498,256 | 61.03 | 3,700.00 | 2,500,399.76 | 1,756,854.99 | 2,125,981.50 | 273,800.00 | 6,657,036.25 |
| โรงสูบส่งน้ำ 2 (TPS2) | 688,600 | 41.89 | 955,100 | 58.11 | 3,860.00 | 1,799,724.96 | 1,119,950.26 | 1,423,444.20 | 285,640.40 | 4,628,759.42 |
| โรงสูบส่งน้ำ 3 (TPS3) | 477,000 | 35.46 | 868,150 | 64.54 | 4,130.00 | 1,246,687.20 | 1,017,992.69 | 1,164,899.90 | 305,620.20 | 3,735,199.79 |
| | | | | | | | | | รวม | 15,020,995.46 |

### 4.1.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา จะเปรียบเทียบปริมาณการใช้และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ ในกรณีที่ก่อนและหลังการจัดกำหนดการทำงานของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น พบว่าหลังจากมีการจัดกำหนดการทำงานที่เหมาะสมให้แก่มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลง 181,387 หน่วยต่อเดือน หรือร้อยละ 3.4 ซึ่งทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง 1,014,212.74 ต่อเดือน หรือร้อยละ 6.4

ตารางที่ 46 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าในการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ

| สถานีสูบส่งน้ำ | ปริมาณการใช้พลังงาน (KW-HR) | | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ค่าพลังงานไฟฟ้า | | ค่า Ft | ค่า Max Demard Charge | รวม |
| | ON PEAK หน่วย | OFF PEAK หน่วย | MAX DEMAND (Kw) | ON PEAK | OFF PEAK | | | บาท |
| 1.ก่อนการกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ | 2,208,840.00 | 3,416,341.00 | 11,690.00 | 5,773,024.22 | 4,006,001.46 | 5,389,485.92 | 866,696.60 | **16,035,208.20** |
| 2.หลังการกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ | 2,122,288.00 | 3,321,506.00 | 11,690.00 | 5,546,811.92 | 3,894,797.94 | 4,714,325.60 | 865,060.00 | **15,020,995.46** |

## 4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา การศึกษาพยากรณ์ (Forecasting) ปริมาณน้ำจ่ายของในแต่ละพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำและสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง

เทคนิคการพยากรณ์โดยใช้หลักสถิติ ซึ่งเป็นการพยากรณ์ที่ใช้ทฤษฎี และหลักการทางสถิติ ดังนั้นเทคนิคการพยากรณ์โดยใช้หลักสถิติจึงต้องใช้ข้อมูลในอดีต และรูปแบบของข้อมูลในอนาคตคล้ายกับรูปแบบของข้อมูลในอดีต

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณการใช้น้ำในอดีตขนาด 5 ปี นำมาสร้างสมการพยากรณ์เพื่อพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำในอีก 5 ปีข้างหน้า โดยใช้วิธี Exponential Smoothing Model เนื่องจากเส้นแนวโน้มลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยให้ค่า $R^2$ มากที่สุดและเข้าใกล้ 1

ตารางที่ 47 สมการพยากรณ์สำหรับปริมาณอัตราความก้าวหน้าในการใช้น้ำ ของสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง

| สถานีสูบจ่าย | สมการพยากรณ์ | ค่า $R^2$ |
|---|---|---|
| สำโรง | $y = 1E+08e^{0.0243x}$ | 0.8087 |
| ลุมพีนี | $y = 1E+08e^{0.0145x}$ | 0.9157 |
| คลองเตย | $y = 9E+07e^{0.0162x}$ | 0.9292 |
| ลาดกระบัง | $y = 1E+08e^{-0.011x}$ | 0.8039 |
| ลาดพร้าว | $y = 1E+08e^{0.0007x}$ | 0.8074 |
| มีนบุรี | $y = 1E+08e^{0.0135x}$ | 0.9666 |
| บางพลี | $y = 1E+08e^{0.0098x}$ | 0.8628 |
| ท่าพระ | $y = 7E+07e^{0.0123x}$ | 0.8089 |
| ราษฎร์บูรณะ | $y = 1E+08e^{0.0346x}$ | 0.8537 |
| เพชรเกษม | $y = 1E+08e^{0.0147x}$ | 0.8286 |

จากสมการพยากรณ์ข้างต้น สามารถนำมาพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ในอีก 5 ปีได้ ซึ่งจากผลการพยากรณ์นำมาหาชั่วโมงการผลิต (Production Hour)

จำนวนชั่วโมงการผลิตตามทฤษฎีมีค่าเท่ากับ = 12 month * 4 week * 7 day * 24 hrs = 8,064 ชั่วโมงต่อปี

ตารางที่ 48 จำนวนชั่วโมงที่ได้จากการพยากรณ์ในการผลิตจริง และค่า %Utilization ของ Product Hour ของสถานีสูบจ่ายทั้ง 10 แห่ง

| สถานีสูบจ่าย | จำนวนชั่วโมงที่ได้จากการพยากรณ์ในการผลิตจริง (ชั่วโมงต่อปี) | ค่า %Utilization ของ Product Hour |
|---|---|---|
| สำโรง | 10,584 | 131.25% |
| ลุมพีนี | 9,576 | 118.75% |
| คลองเตย | 12,524 | 155.31% |
| ลาดกระบัง | 14,686 | 182.21% |
| ลาดพร้าว | 11,519 | 142.84% |
| มีนบุรี | 15,788 | 195.78% |
| บางพลี | 8,584 | 106.45% |

| | | |
|---|---|---|
| ท่าพระ | 9,584 | 118.85% |
| ราษฎร์บูรณะ | 8,994 | 111.53% |
| เพชรเกษม | 8,194 | 101.61% |

ตัวอย่างเช่น ที่สถานีสูบจ่ายสำโรงจำนวนชั่วโมงที่ได้จากการพยากรณ์ในการผลิตจริงมีค่าเท่ากับ 10,584 ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้นได้ค่า %Utilization ของ Product Hour = (10,584/8,064)*100 = 131.25% แสดงว่าจำนวนชั่วโมงการผลิตที่มีให้ ไม่เพียงพอกับจำนวนชั่วโมงที่ต้องการผลิต ซึ่งอาจเกิดจากจำนวนเครื่องจักร หรือกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอ จึงต้องมีการหาแนวทางและปรับปรุงแก้ไขกำลังการผลิตที่ต้องการให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับจำนวนชั่วโมงการผลิตที่มีให้

## 4.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา การวางแผนลงทุน และการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรของระบบการผลิต สูบส่ง และสูบจ่าย เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต

### 4.3.1 การประเมินการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์

ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ การพิจารณาอะไหล่ เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ การพิจารณาระดับผลกระทบ (Impact) ต่อระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ และการจัดการทำแผนการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

ตารางที่ 49 การประเมินการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

| | เครื่องจักรและอุปกรณ์ ภายในโรงงานผลิตน้ำบางเขน | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **การประเมินการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์** | Pump | Motor | VFD | Switch Gear | หม้อแปลง | Automation | ประตูน้ำ | Fine Screen |
| **จำนวนเครื่องจักรและอุปกรณ์** | 14 | 14 | 8 | 14 | 11 | 3 | 25 | 10 |
| 1.การพิจารณาอะไหล่ | - | - | - | - | 5 | 1 | - | - |
| 2. เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเพื่อเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ | | | | | | | | |
| 2.1 จำนวนเครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานเกิน | 5 | 7 | 3 | 7 | 2 | 3 | 12 | 4 |
| 2.2 ความถี่ในการขัดข้องต่อปี | 10 | 10 | 20 | 12 | 5 | 50 | 12 | 12 |
| 2.3 ระดับผลกระทบเมื่อเกิดการชำรุด (1-5) | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 2 |
| 2.4 ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษาตลอดอายุใช้งานของเครื่องจักร | ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงตลอดช่วงอายุการใช้งานที่สูงเกิน 1.25 เท่าของค่าใช้จ่ายเริ่มต้น | | | | | | | |
| 2.5 ประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ลดลง | 5 | 5 | 10 | - | 5 | - | - | - |
| 3. การพิจารณาระดับผลกระทบ (Impact) ต่อระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ | | | | | | | | |
| 4. การจัดการทำแผนการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ | | | | | | | | |

ตารางที่ 50 การประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องสูบน้ำมีอายุการใช้งานสูงกว่าเกณฑ์

**ตัวอย่างที่ 1 : กรณีเครื่องสูบน้ำมีอายุการใช้งาน สูงกว่าเกณฑ์**

**ขั้นตอนที่ 2 : เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

**เครื่องสูบน้ำ**

| ① | ② | ③ = ② / รวม | ④ | ⑤ = ④ x 100 / ① | ⑥ = ⑤ x ③ |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานล่าสุด (ปี) | 20 | 100 | 0.3333 | 30 | 120 | 40.00 |
| 2.ความถี่ในการซ่อม (ครั้ง/ปี) | 10 | 80 | 0.2667 | 12 | 120 | 32.00 |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน ÷ มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2333 | 1.3 | 104 | 24.27 |
| 4.ประสิทธิภาพที่ลดลง (%) | 5% | 50 | 0.1667 | 6.0% | 120 | 20.00 |
| รวม | | 300 | 1.00 | | | 116.27 |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 51 การประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องสูบน้ำมีอายุการใช้งานต่ำกว่าเกณฑ์

**ตัวอย่างที่ 2 : กรณีเครื่องสูบน้ำมีอายุการใช้งาน ต่ำกว่าเกณฑ์**

**ขั้นตอนที่ 2 : เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

**เครื่องสูบน้ำ**

| ① | ② | ③ = ② / รวม | ④ | ⑤ = ④ x 100 / ① | ⑥ = ⑤ x ③ |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานล่าสุด (ปี) | 20 | 100 | 0.3333 | 20 | 50 | 26.67 |
| 2.ความถี่ในการซ่อม (ครั้ง/ปี) | 10 | 80 | 0.2667 | 8 | 80 | 21.33 |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน ÷ มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2333 | 1.00 | 80 | 18.67 |
| 4.ประสิทธิภาพที่ลดลง (%) | 5% | 30 | 0.1667 | 4.0% | 80 | 13.33 |
| รวม | | 300 | 1.00 | | | 80.00 |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 52 การประเมินเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมีอายุการใช้งานสูงกว่าเกณฑ์

**ตัวอย่างที่ 3 : กรณี VFD มีอายุการใช้งาน สูงกว่าเกณฑ์**

**ขั้นตอนที่ 2 : เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์**

**อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ**

| ① | ② | ③ = ② / รวม | ④ | ⑤ = ④ x 100 / ① | ⑥ = ⑤ x ③ |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานล่าสุด (ปี) | 10 | 100 | 0.3333 | 15 | 150 | 50.00 |
| 2.ความถี่ในการซ่อม (ครั้ง/ปี) | 20 | 90 | 0.3000 | 25 | 125 | 37.50 |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน ÷ มูลค่าลงทุน | 1.25 | 90 | 0.3000 | 1.40 | 112 | 33.60 |
| 4.ประสิทธิภาพที่ลดลง (%) | 10% | 20 | 0.0667 | 11.0% | 110 | 7.33 |
| รวม | | 300 | 1.00 | | | 128.43 |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 53 การประเมินเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมีอายุการใช้งานต่ำกว่าเกณฑ์

**ตัวอย่างที่ 4 : กรณี VFD มีอายุการใช้งาน ต่ำกว่าเกณฑ์**

ขั้นตอนที่ 2 : เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์

*อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ*

| ① | ② | ③=②×100/รวม | ④ | ⑤=④×100/① | ⑥=⑤×③/100 |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 10 | 100 | 0.3333 | 8 | 80 | 26.67 |
| 2.ความถี่ในการซ่อม (ครั้ง/ปี) | 20 | 90 | 0.3000 | 18 | 90 | 27.00 |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน ÷ มูลค่าลงทุน | 1.25 | 90 | 0.3000 | 1.1 | 88 | 26.40 |
| 4.ประสิทธิภาพที่ลดลง (%) | 10% | 20 | 0.0667 | 5.0% | 50 | 3.33 |
| รวม | | 300 | 1.00 | | | 83.40 |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 54 การประเมินเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้ามีอายุการใช้งานสูงกว่าเกณฑ์

**ตัวอย่างที่ 5 : กรณีหม้อแปลงไฟฟ้า มีอายุการใช้งาน สูงกว่าเกณฑ์**

ขั้นตอนที่ 2 : เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์

*หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบสถานีย่อย*

| ① | ② | ③=②×100/รวม | ④ | ⑤=④×100/① | ⑥=⑤×③/100 |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 20 | 100 | 0.4000 | 20 | 120 | 48.00 |
| 2.ความถี่ในการซ่อม (ครั้ง/ปี) | 5 | 80 | 0.3200 | 8 | 160 | 51.20 |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน ÷ มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2800 | 1.5 | 120 | 33.60 |
| รวม | | 250 | 1.00 | | | 132.80 |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 55 การประเมินเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้ามีอายุการใช้งานต่ำกว่าเกณฑ์

**ตัวอย่างที่ 6 : กรณีหม้อแปลงไฟฟ้า มีอายุการใช้งาน ต่ำกว่าเกณฑ์**

ขั้นตอนที่ 2 : เกณฑ์เบื้องต้นการประเมินเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์

*หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบสถานีย่อย*

| ① | ② | ③=②×100/รวม | ④ | ⑤=④×100/① | ⑥=⑤×③/100 |
|---|---|---|---|---|---|
| ปัจจัยการพิจารณาเปลี่ยนทดแทน | เกณฑ์ | ความสำคัญ (เต็ม 100) | น้ำหนักปัจจัย | สมรรถนะปัจจุบัน | คะแนนประเมิน | คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก |
| 1.อายุใช้งานต่ำสุด (ปี) | 20 | 100 | 0.4000 | 20 | 80 | 32.00 |
| 2.ความถี่ในการซ่อม (ครั้ง/ปี) | 5 | 80 | 0.3200 | 4 | 80 | 25.60 |
| 3.ค่าซ่อมบำรุงตลอดอายุใช้งาน ÷ มูลค่าลงทุน | 1.25 | 70 | 0.2800 | 1.00 | 80 | 22.40 |
| รวม | | 250 | 1.00 | | | 80.00 |

เกณฑ์การประเมิน

1.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 0-60 คะแนน : ยอมรับได้

2.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก 61 - 100 คะแนน : ควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.คะแนนประเมินถ่วงน้ำหนัก > 100 คะแนน : ยอมรับไม่ได้ เปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

ตารางที่ 56 ขั้นตอนที่ 3 การพิจารณาระดับผลกระทบต่อระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ

**ขั้นตอนที่ 3 : พิจารณาระดับผลกระทบต่อ ระบบผลิตและสูบจ่ายน้ำ (1-5)**

| ประเภทเครื่องจักรและอุปกรณ์ | ① ระดับผลกระทบ ตารางที่ 3 | ② ระดับผลกระทบ ตารางที่ 4 | ③ = (① + ②)/2 คำคะแนน ผลกระทบเฉลี่ย | ④ คำคะแนนประเมิน ขั้นตอนที่ 2 | ⑤ = ③ × ④ คะแนนรวม |
|---|---|---|---|---|---|
| เครื่องสูบน้ำ | 4 | 4 | 4 | 116.27 | 465.08 |
| อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ | 4 | 4 | 4 | 128.43 | 513.72 |
| หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบสถานีย่อย | 5 | 5 | 5 | 132.80 | 664.00 |

ตารางที่ 57 ขั้นตอนที่ 4 ลำดับความสำคัญการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

**ขั้นตอนที่ 4 : การจัดทำแผนการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์**

ในการจัดทำแผนการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ ให้จัดลำดับตามคะแนนจาก มาก ไปหา น้อย จากตัวอย่างจัดลำดับได้ดังนี้

1. หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบสถานีย่อย
2. อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
3. เครื่องสูบน้ำ

**4.3.2 การลงทุนเพื่อขยายกำลังการผลิต**

1. ในระยะเวลา 3 ปี(2554-2557) เป็นการเพิ่มกำลังการผลิต โดยการใช้งานเครื่องจักรหลักให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากการพยากรณ์ในอีก 3 `ปีข้างหน้า ปริมาณความต้องการน้ำผลิตของโรงงานผลิตน้ำบางเขนจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.55 ซึ่งโรงงานผลิตน้ำบางเขนยังสามารถผลิตน้ำประปาได้ตามปริมาณความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นได้ โดยมีมาตรการดังนี้

1.1 ใช้โปรแกรมกำหนดการทำงานของมอเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด และเป็นการรักษาระบบสูบส่งน้ำให้มีเถียรภาพ

1.2 ลงทุนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานเกินกำหนด เพื่อให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. ในระยะเวลา 5 ปี (2557-2559) เป็นการเพิ่มกำลังการผลิต โดยการใช้งานเครื่องจักรหลักให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากการพยากรณ์ในอีก 5 `ปีข้างหน้า ปริมาณความต้องการน้ำผลิตของโรงงานผลิตน้ำบางเขนจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 7.94 ซึ่งมีความเสี่ยงที่โรงงานผลิตน้ำบางเขนจะไม่สามารถผลิตได้ตรงตามความต้องการการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีมาตรการดังนี้

2.1 ลงทุนซื้อเครื่องจักรหลักเพิ่ม เพื่อเป็นกำลังสนับสนุนเครื่องจักรที่มีอยู่ เนื่องจากในบางโรงสูบส่งน้ำมีการสำรองพื้นที่ไว้ให้เครื่องจักรในอนาคตแล้ว เช่น ที่โรงสูบส่งน้ำ2 สามารถลงทุนซื้อเครื่องจักรหมายเลข 6 และ 7 เพิ่มได้ รวมทั้งมอเตอร์หมายเลข 17 และ 18 ที่โรงสูบส่ง 3

2.2 ปรับปรุงโปรแกรมกำหนดการทำงานของมอเตอร์ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3 ลงทุนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานเกินกำหนด เพื่อให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น มอเตอร์ที่โรงสูบส่งน้ำ1 โดยการใช้เทคโนโลยีใหม่ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบสูบส่ง และเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง

2.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานทดแทนพลังงานจากแสงอาทิตย์ Solar Cell โดยใช้พื้นที่ด้านบนของถังเก็บน้ำใสขนาดประมาณ 10 ไร่ งบลงทุนประมาณ 63 ล้านบาท ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 7 เมกะวัตต์ต่อวัน (แผงโซลาร์เซลล์ 18 แผงผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์) โดยติดตั้งทำมุมเฉียง 15 องศา ซึ่งเป็นจุดที่ประเทศไทยสามารถรับแสงอาทตย์ได้ดีที่สุด

<u>3. ในระยะเวลา 10 ปี (2560-2564)</u> เป็นการเพิ่มกำลังการผลิต โดยการใช้งานเครื่องจักรหลักให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากการพยากรณ์ในอีก 10 `ปีข้างหน้า ปริมาณความต้องการน้ำผลิตของโรงงานผลิตน้ำบางเขนจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 14.24 ซึ่งมีความเสี่ยงที่โรงงานผลิตน้ำบางเขนจะไม่สามารถผลิตได้ตรงตามความต้องการการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีมาตรการดังนี้

3.1 ลงทุนก่อสร้างโรงสูบส่งน้ำแห่งที่ 4 สำหรับโรงงานผลิตน้ำบางเขน รวมทั้งลงทุนซื้อเครื่องจักรหลักสำหรับการติดตั้งในโรงสูบส่งแห่งนี้จำนวน 3 เครื่องด้วยกัน โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 5 ปี

3.2 ลงทุนขยายการใช้พลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ Solar Cell ให้มีเป้าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 70 เมกะวัตต์ต่อวัน (10 เท่าจากมาตรการระยะเวลา 5 ปี) โดยจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนประมาณ 630 ล้านบาท สำหรับพื้นที่ 100 ไร่ โดยอาจใช้พื้นที่ตามแนวคลองประปา

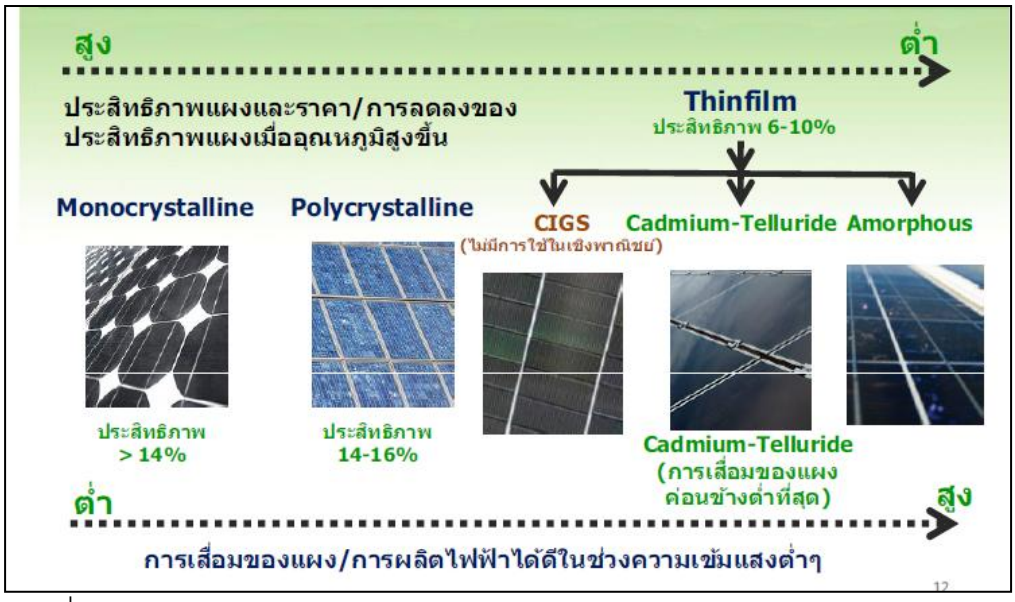
3.3 เลือกใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่มาแทนที่เครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีแบบเก่า ซึ่งกินพลังงานมากกว่าและไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้ DC Motor ขนาดใหญ่ที่มีความสามารถในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ดีกว่ามอเตอร์ชนิด AC Motor

3.4 เพิ่มขนาดความสูงของคันกั้นคลองประปาอีก 2 เมตร เพื่อเพิ่มประมาณน้ำดิบให้เพียงพอต่อความต้องการในกระบวนการผลิต คือ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำดิบเข้าโรงงานผลิตน้ำบางเขนได้กว่าปีละ 2,500,000 ลูกบาศก์เมตร และสามารถผลิตน้ำประปาได้กว่า 1,900,000 ลูกบาศก์เมตร

**4.3.3 การลงทุนใช้พลังงานทดแทนด้วยพลังงานทดแทนเพื่อการผลิตไฟฟ้า ในอีก 10 ปี**

ในระยะเวลา 10 ปีข้างหน้าคือปี 2564 คาดว่าโรงงานผลิตน้ำบางเขนมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 176,786,000 kW-hr ต่อปี จากปัจจุบันประมาณ 153,727,000 kW-hr ต่อปี คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละประมาณ 15% การลงุทนใช้พลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตั้งเป้าให้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นเป็น 44,196,500 kW-hr ต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 25 ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด

- **ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทตย์**




ภาพที่ 63 ชนิดของแผลเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

- **การพัฒนาโครงการพลังงานแสงอาทิตย์**

ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 1,000,000 kW-hr ต้นทุนการก่อสร้างชุดพลังงานแสงอาทิตย์ปัจจุบัน ประมาณ 107 ล้านบาท

ตารางที่ 58 งบประมาณในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 1,000,000 kW-hr

| Investment Cost<br>**ต่อ 1,000,000 kW-hr** | Bath |
|---|---|
| งบลงทุนเซลล์แสงอาทิตย์ | 64,180,000 |
| งบลงทุน ชุด Inverter | 11,670,000 |
| งบลงทุน ชุด EPC | 21,670,000 |

| | |
|---|---|
| งบการจัดการพื้นที่ติดตั้ง | 6,670,000 |
| งบบริหารการจัดการโครงการ | 2,490,000 |
| **รวม** | 106,680,000 |

- **ผลตอบแทนการลงทุนเพื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์**

1. เป้าหมายในปี 2558 คือ มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณปีละ 8,700,000 หน่วย (kW-hr) ใช้พื้นที่ประมาณ 80 ไร่

ตารางที่ 59 งบประมาณในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระยะ 5 ปี (2554-2558)

| | **ชนิดพลังงาน** | **พลังงานเดิมที่ต้องการ** | **พลังงานแสงอาทิตย์** | **ปริมาณพลังงานเดิมที่ใช้จริง** | **ระยะเวลาคืนทุน** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **ต้นทุนค่าก่อสร้างตั้งแต่ปี 2554-2559 เฉลี่ยปีละ (บาท)** | - | 185,623,200 (รวมงบลงทุน 5 ปี เท่ากับ 928,116,000) | - | |
| **ปีงบประมาณ 2554** | **ปริมาณไฟฟ้าต่อปี** (kW-hr) | 153,727,000 | - | 153,727,000 | |
| | **ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (บาท)** | 463,815,377 | - | 463,815,377 | |
| **ปีงบประมาณ 2558** | **ปริมาณไฟฟ้าต่อปี** (kW-hr) | 165,256,500 | 8,700,000 | 156,556,000 | |
| | **ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (บาท)** | 498,601,454 | 26,249,089 | 472,352,365 | 8-10 ปี |

2. เป้าหมายในปี 2564 คือ มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณปีละ 43,500,000 หน่วย (kW-hr) ใช้พื้นที่ประมาณ 400 ไร่

ตารางที่ 60 งบประมาณในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระยะ 10 ปี (2559-2564)

| | ชนิดพลังงาน | พลังงานเดิมที่ต้องการ | พลังงานแสงอาทิตย์ | ปริมาณพลังงานเดิมที่ใช้จริง | ระยะเวลาคืนทุน |
|---|---|---|---|---|---|
| | **ต้นทุนค่าก่อสร้างตั้งแต่ปี 2554-2555 เฉลี่ยปีละ (บาท)** | - | 742,492,800 (รวมงบลงทุน 5 ปี เท่ากับ 3,712,464,000) | - | |
| **ปีงบประมาณ 2564** | **ปริมาณไฟฟ้าต่อปี (kW-hr)** | 176,786,000 | 43,500,000 | 133,286,000 | |
| | **ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (บาท)** | 533,387,532 | 130,935,000 | 402,452,532 | 10-20 ปี |

### 4.3.4 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีเครื่องจักรหลัก

ในกระบวนการผลิตน้ำประปาเครื่องจักรหลักๆที่สำคัญ คือ อุปกรณ์ที่มีหน้าที่สูบจ่ายน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายปลายทาง หรือไปยังบ้านเรือน ผ่านทางอุโมงค์หรือท่อส่งน้ำ นั่นคือ มอเตอร์และอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีของทั้งสองอุปกรณ์นี้ จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆในกระบวนการผลิตน้ำประปาได้

**กรณีศึกษาที่** 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทางและขนาดความจุถังเก็บน้ำใสยังมีค่าคงที่

1.การเลือกใช้มอเตอร์แบบ Active Magnetic Bearing ที่ไม่ต้องการระบบลูกปืนแบริ่งและการหล่อลื่นที่เพลา ซึ่งสามารถเพิ่มความเร็วรอบได้อย่างไม่จำกัด โดยกำหนดให้ขนาดความจุของถังเก็บน้ำใสที่สถานีสูบจ่ายปลายทางมีขนาดเท่าเดิม ผลที่ได้คือ การเลือกใช้มอเตอร์ชนิดดังกล่าว สามารถทำให้เราเลือกชุดปรับความเร็วรอบแบบ Inverter PWM แบบหลายระดับได้ เพื่อให้อัตราการไหลของน้ำประปา (Flow) ค่อนข้างคงที่โดยไม่ส่งผลกระทบต่อ ขนาดและแรงดันในเส้นท่อ

ตารางที่ 61 ผลจากการเลือกใช้มอเตอร์ เทคโนโลยีแบบ Active Magnetic Bearing

| 1.มอเตอร์แบบ Active Magnetic Bearing Motor ที่ไม่ต้องการระบบลูกปืนแบริ่งและการหล่อลื่นที่เพลาของมอเตอร์ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | เทคโนโลยีเก่า | | | เทคโนโลยีใหม่ | | |
| Motor No. | ชุดปรับความเร็วรอบ | Head (m) | Flow | ชุดปรับความเร็วรอบ | Head (m) | Flow |
| TPS1-1 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 153 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-2 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-3 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-4 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-5 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-8 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-9 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-10 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-11 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-12 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS3-13 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS3-14 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS3-15 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS3-16 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบหลายระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |

2.การเลือกใช้มอเตอร์แบบ Superconducting Motor ที่สร้างจากลวดสารกึ่งตัวนำยิ่งยวด ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานทางไฟฟ้าลงกว่าร้อยละ 50 แต่มอเตอร์ชนิดนี้เหมาะที่จะใช้ในขนาดกำลังการผลิตที่ต่ำๆ เนื่องมาจากราคาของมอเตอร์ที่ค่อนข้างสูง และความน่าเชื่อถือของมอเตอร์ยังมีน้อย แต่มอเตอร์ชนิดนี้ สามารถใช้งานได้กับ Inverter PWM แบบสามระดับได้ เนื่องจากความเร็วรอบของมอเตอร์ยังเป็นข้อจำกัดให้ไม่สามารถใช้ Inverter PWM แบบหลายระดับได้

ตารางที่ 62 ผลจากการเลือกใช้มอเตอร์ เทคโนโลยีแบบ Superconducting Motor

| 2.มอเตอร์แบบ Superconducting Motor ที่สร้างจากลวดสารกึ่งตัวนำยิ่งยวด | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | เทคโนโลยีเก่า | | | เทคโนโลยีใหม่ | | |
| Motor No. | ชุดปรับความเร็วรอบ | Head (m) | Flow | ชุดปรับความเร็วรอบ | Head (m) | Flow |
| TPS1-1 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 153 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-2 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-3 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-4 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS1-5 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 32 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-8 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-9 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-10 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-11 | Sherblus | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS2-12 | Exciter (ปรับไม่ได้) | 33 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | Inverter PWM แบบสามระดับ | 40 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| TPS3-13 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | | | |
| TPS3-14 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | | | |
| TPS3-15 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | | | |
| TPS3-16 | Inverter PWM แบบสามระดับ | 35 | 300 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | | | |

**กรณีศึกษาที่ 2** เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี โดยกำหนดให้มีการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำประปาที่เข้าสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทางและมีการเพิ่มขนาดความจุถังเก็บน้ำใสแต่ละแห่งอีกร้อยละ 50 ซึ่งจากผลการศึกษาโดยใช้โปรแกรม EPANET จัดการข้อมูลความจุของถังเก็บน้ำใสปลายทาง พบว่าอัตราการไหลของน้ำประปาเพิ่มขึ้นได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแรงดันในเส้นท่อ ดังนั้นเราจึงเลือกมอเตอร์ชนิด Active Magnetic Bearing และชุดปรับความเร็วรอบแบบ Inverter PWM แบบสามระดับ ได้

ตารางที่ 63 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้และค่าพลังงานฟฟ้าในการเดินมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ

| กรณีศึกษา | ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อวัน) |
|---|---|---|
| 1. ระบบเดิม | 266,221.35 | 525,483.60 |
| 2. กรณีศึกษาที่ 1 | 234,479.97 | 441,685.15 |
| 3. กรณีศึกษาที่ 2 | 227,173.48 | 419,256.93 |

ตารางที่ 64 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารวมในทั้ง 2 กรณีศึกษา กับระบบเดิม

| กรณีศึกษา | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อวัน) | ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงจากระบบเดิม | |
|---|---|---|---|
| | | จำนวนเงิน (บาทต่อวัน) | คิดเป็นร้อยละ (%) |
| 1. ระบบเดิม | 525,483.60 | - | - |
| 2. กรณีศึกษาที่ 1 | 441,685.15 | 83,498.45 | 15.95 |
| 3. กรณีศึกษาที่ 2 | 419,256.93 | 106,226.67 | 20.22 |

### 4.3.5 การจัดทำแผนลงทุนการซ่อมบำรุงรักษาระยะเวลา 5 ปี (2554-2558)

การประปานครหลวงมีภารกิจหลักในการผลิต และสูบจ่ายน้ำประปาที่มีคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ในเขตพื้นที่รับผิดชอบอย่างทั่วถึง ดังนั้นกระบวนงานด้านการผลิตและจ่ายน้ำจึงเป็นหัวใจสำคัญของธุรกิจองค์กร จำเป็นต้องมีการวางแผนในระยะกลาง (3-5 ปี) และแผนระยะยาว (10 ปี) เพื่อก่อให้เกิดประสิทธิผลที่ดีในการปฏิบัติงานในอนาคต

แผนการลงทุนซ่อมบำรุงรักษา 5 ปี ระบบผลิต ระบบส่งและจ่ายน้ำ เป็นการเพิ่มการสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพในการผลิตและจ่ายน้ำของการประปานครหลวงอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ให้มีความพร้อมสามารถจ่ายน้ำได้สอดคล้องกับความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่

ของสำนักงานประปาสาขา ตามแผนปริมาณความต้องการน้ำรับเข้าประปาสาขา อย่างเพียงพอไม่ขาดตอน โดยมีระดับแรงดันน้ำประปาสูงเพียงพอตลอดเวลา

แผนการลงทุนการซ่อมบำรุงรักษา 5 ปี ประกอบด้วยการลงทุนการบำรุงรักษาตามวาระ (Preventive Maintenance) เป็นการดำเนินการการบำรุงรักษาตามระยะเวลาหรืออายุการใช้งานของเครื่องจักรตามมาตรฐานที่กำหนด อาทิ การเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้เครื่องจักรอุปกรณ์ มีอายุใช้งานได้นานมากที่สุดอย่างมีประสิทธิภาพ สร้างความมั่นคง ลดโอกาสการชำรุดหยุดการทำงาน (Breakdown) ซึ่งทำให้เกิดความเสียโอกาศจำหน่ายน้ำ และรวมถึงการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ได้ประเมินการตรวจจับศักยภาพความล้มเหลวของเครื่องจักร (Predictive Maintenance) และมีการลงทุนปรับปรุงเครื่องจักร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และเพื่อความมั่นคงในระบบให้สูงมากขึ้น

เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิตและจ่ายน้ำ เป็นเครื่องมือขนาดใหญ่ มีราคาสูง และมีความจำเป็นสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตและจ่ายน้ำประปา การวางแผนระยะกลางในการลงทุนบำรุงรักษา 5 ปี จึงมีความจำเป็นเพื่อเตรียมแผนการลงทุนขององค์กร และมีแผนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันในระยะยาว

ตารางที่ 65 แผนการลงทุนการซ่อมบำรุงรักษา 5 ปี (2554-2558) ระบบผลิต ระบบส่งและจ่ายน้ำ (ข้อมูลการประปานครหลวง 2554)

**แผนลงทุนการซ่อมบำรุงรักษา 5 ปี (2554 - 2558) ระบบผลิต ระบบส่งและจ่ายน้ำ การประปานครหลวง**

| หน่วยงาน | ค่าดำเนินการปีงบประมาณ (หน่วย : บาท) | | | | | รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 | |
| โรงงานผลิตน้ำบางเขน | 231,868,400 | 159,493,750 | 179,288,220 | 127,797,420 | 306,200,000 | 1,004,647,790 |
| โรงงานผลิตน้ำสามเสน | 87,264,000 | 86,277,000 | 41,345,000 | 29,055,000 | 25,635,000 | 269,576,000 |
| โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์และธนบุรี | 59,540,000 | 104,350,000 | 28,000,000 | 64,600,000 | 34,500,000 | 290,990,000 |
| ฝ่ายคลองส่งน้ำ | 74,570,000 | 14,260,000 | 6,560,000 | 3,440,000 | 5,220,000 | 104,050,000 |
| ฝ่ายบำรุงรักษาสถานีสูบจ่ายน้ำ และฝ่ายสถานีสูบจ่ายน้ำ | 59,081,000 | 78,861,000 | 135,833,000 | 176,499,000 | 118,370,000 | 568,644,000 |
| ฝ่ายคุณภาพน้ำ | 14,850,000 | 14,970,000 | 6,930,000 | 2,920,000 | 9,620,000 | 49,290,000 |
| รวม | 527,173,400 | 458,211,750 | 397,956,220 | 404,311,420 | 499,545,000 | 2,287,197,790 |

# การจัดทำแผนลงทุนการซ่อมบำรุงรักษาระยะเวลา 5 ปี (2554-2558)

| แผนการลงทุนเปลี่ยนเครื่องจักรและซ่อมบำรุงรักษา ระยะเวลา 5 ปี โรงงานผลิตน้ำบางเขน | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สถานี | รายละเอียด | เหตุผล/ความจำเป็น | จำนวนอายุถึงปี | ดำเนินการปีงบประมาณ (หน่วย : บาท) | | | | | รวม |
| | | | | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 | |
| สถานีสูบน้ำดิบ 1 | Pump No.5 | ทดแทนของเดิม (อายุใช้งาน 26 ปี) | 30 | | | | | 60,000,000 | |
| | Motor No.5 | ทดแทนของเดิม (อายุใช้งาน 26 ปี) | 30 | | | | | | |
| | Fine Screen No.4 | ทดแทนของเดิม (อายุใช้งาน 26 ปี) | 26 | 32,000,000 | | | | | |
| | Fine Screen No.5 | ทดแทนของเดิม (อายุใช้งาน 26 ปี) | 26 | | | | | | |
| | ประตูน้ำ ขนาด 3100*2200 mm | ตามแผนบำรุงรักษา 10 ปี | 34 | | | 54,000,000 | | | |
| | Overhaul Pump No.1-2-3 | | | | | | | | |
| | Overhual Motor No.2-3 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 32 | | | | 1,400,000 | | |
| | Switch Gear No.5-6 | อุปกรณ์เสื่อม | | 2,600,000 | | | | | |
| | Automation | เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ | 11 | | | | | 24,000,000 | |
| สถานีสูบน้ำดิบ 2 | Overhaul Pump No.7 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 20 | | 1,000,000 | | | | |
| | Overhaul Pump No.8, 10 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 22 | | | 2,000,000 | | | |
| | Overhaul Motor No.8, 10 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 17 | | | 800,000 | | | |
| สถานีสูบส่งน้ำ 1 | Overhaul Pump No.4-5 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 35 | | 2,000,000 | | | | |
| | Overhaul Pump No.1 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 38 | | | | | 1,000,000 | |
| | Overhual Motor No.4-5 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 35 | | 4,000,000 | | | | |
| | Overhual Motor No.1 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 32 | | | | | 400,000 | |
| | Automation | เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ | 12 | | | | 12,000,000 | | |
| สถานีสูบส่งน้ำ 2 | เปลี่ยน Motor No.9 | ทดแทนของเดิม | 24 | | | 30,000,000 | | | |
| | เปลี่ยน Motor No.10 | ทดแทนของเดิม | 26 | | | | 45,000,000 | | |
| | เปลี่ยน Motor No.11 | ทดแทนของเดิม | 27 | | | | | 45,000,000 | |
| สถานีสูบส่งน้ำ 3 | Automation | เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ | | | 3,000,000 | | | | |

| แผนการลงทุนเปลี่ยนเครื่องจักรและซ่อมบำรุงรักษา ระยะเวลา 5 ปี สถานีสูบจ่าย | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สถานี | รายละเอียด | เหตุผล/ความจำเป็น | จำนวนอายุถึงปี | ดำเนินการปีงบประมาณ (หน่วย : บาท) | | | | | รวม |
| | | | | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 | |
| สถานีสูบจ่ายลุมพีนี | Overhaul Pump No.1-2 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 12 | | 3,000,000 | | | | |
| | Overhual Motor No.1-2 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 12 | | | | | | |
| สถานีสูบจ่ายท่าพระ | ติดตั้ง Substation ใหม่ | เพื่อความมั่นคงในการสูบและจ่ายน้ำ | 34 | | | 60,000,000 | | | |
| | ระบบ Protection Relay | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 36 | | | | | 2,500,000 | |
| | ระบบ PLC System | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 10 | | | | | 2,000,000 | |
| | Overhaul Pump No.1-2 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 12 | | | 3600000 | | | |
| | Overhual Motor No.1-2 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 12 | | | | | | |
| | Overhaul Pump No.3-4-5 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 12 | | | | 4,350,000 | | |
| | Overhual Motor No.3-4-5 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 12 | | | | | | |
| สถานีสูบจ่ายคลองเตย | ติดตั้ง Substation ใหม่ | เพื่อความมั่นคงในการสูบและจ่ายน้ำ | 30 | | | | 60,000,000 | | |
| | ระบบ Protection Relay | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 31 | | | | | 2,500,000 | |
| | เปลี่ยน Pump, Motor, VFD No.1 | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 31 | | | | 40,000,000 | | |
| | Overhaul Pump No.2-3-4 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 10 | | | | | 4,500,000 | |
| | Overhual Motor No.2-3-4 | ครบวาระการบำรุงรักษา | | | | | | | |
| | เปลี่ยน Motor No.4 | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | | | | | | | |
| สถานีสูบจ่ายราษฎรบูรณะ | เปลี่ยน Pump, Motor, VFD No.1 | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 29 | | | | 40,000,000 | | |
| | ระบบ Protection Relay | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 28 | | | | | 2,500,000 | |
| สถานีสูบจ่ายลำโรง | ระบบ Protection Relay | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 32 | 3,000,000 | | | | | |
| | Overhaul Pump No.1-2 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 10 | | | 1,500,000 | | | |
| | Overhaul Pump No.3-4 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 10 | | | | 1,500,000 | | |
| | Overhaul Pump No.5 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 15 | | 1,750,000 | | | | |

| แผนการลงทุนเปลี่ยนเครื่องจักรและซ่อมบำรุงรักษา ระยะเวลา 5 ปี สถานีสูบจ่าย | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สถานี | รายละเอียด | เหตุผล/ความจำเป็น | จำนวนอายุถึงปี | ดำเนินการปีงบประมาณ (หน่วย : บาท) | | | | | รวม |
| | | | | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 | |
| สถานีสูบจ่ายลาดพร้าว | เปลี่ยน VFD No.1-2 | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 26 | | | | | 24,000,000 | |
| | ระบบ Protection Relay | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 26 | | | | | 2,500,000 | |
| | เปลี่ยน Pump, Motor, VFD No.3 | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 23 | | 40,000,000 | | | | |
| | Overhaul Pump No.1-2-4 | ครบวาระการบำรุงรักษา | 11 | | | 4,500,000 | | | |
| | Overhual Motor No.1-2-4 | ครบวาระการบำรุงรักษา | | | | | | | |
| | เปลี่ยน Motor No.4 | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | | | | | | | |
| สถานีสูบจ่ายลาดกระบัง | เปลี่ยน Pump, Motor, VFD No.3 | ทดแทนอุปกรณ์เดิม | 19 | | | 40,000,000 | | | |
| สถานีสูบจ่ายเพชรเกษม | ติดตั้ง Substation ใหม่ | เพื่อความมั่นคงในการสูบและจ่ายน้ำ | 16 | | | | | 50,000,000 | |

## 4.3.6 การวางแผนลงทุนซ่อมบำรุงรักษาระยะเวลา 5 ปี (2559-2563)

| แผนการลงทุนเปลี่ยนเครื่องจักรและการซ่อมบำรุงรักษา ระยะเวลา 5 ปี (2559 - 2563) ฝ่าย โรงงานผลิตน้ำบางเขน | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รายละเอียดงาน (ตามลำดับที่/ระบบงาน) | เหตุผล /ความจำเป็น | หน่วยงานระดับส่วน | จำนวนอายุถึงปีในแผน | ประมาณการปีงบประมาณ (หน่วย:บาท) | | | | | รวม |
| | | | | 2559 | 2560 | 2561 | 2562 | 2563 | |
| **อาคารสูบน้ำดิบ 1** | | | | | | | | | |
| OverHaul เครื่องสูบน้ำหมายเลข 6 | เพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งาน | สคน.กชก. | 28 | 1,000,000 | | | | | 1,000,000 |
| เปลี่ยนเครื่องสูบน้ำและมอเตอร์พร้อมอุปกรณ์ประกอบทดแทนของเดิมที่เครื่องสูบน้ำหมายเลข 2 โรงสูบน้ำดิบ 1โรงงานผลิตน้ำบางเขน | เปลี่ยนทดแทนของเดิมและเปลี่ยนชุดปรับความเร็วรอบแบบใหม่ | สคน.กชก. | 40 | | 70,000,000 | | | | 70,000,000 |
| เปลี่ยนเครื่องสูบน้ำและมอเตอร์พร้อมอุปกรณ์ประกอบทดแทนของเดิมที่เครื่องสูบน้ำหมายเลข 3 โรงสูบน้ำดิบ 1โรงงานผลิตน้ำบางเขน | เปลี่ยนทดแทนของเดิมและเปลี่ยนชุดปรับความเร็วรอบแบบใหม่ | สคน.กชก. | 42 | | | | 70,000,000 | | 70,000,000 |
| เปลี่ยนเครื่องสูบน้ำแบบ Duplex Sump Pump พร้อมระบบควบคุมทดแทนของเดิมที่โรงสูบน้ำดิบ 1 จำนวน 2 ชุด | เปลี่ยนทดแทนของเดิมที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน | สรก.กชก. | 14 | 900,000 | | | | | 900,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้งตู้ควบคุม Discharge Valve No. 1 และ No. 6 ที่โรงสูบน้ำดิบ 1 | เปลี่ยนทดแทนของเดิม อายุการใช้งานนานกว่า 20 ปี | สมอ.กชฟ. | 26 | | | 800,000 | | | 800,000 |
| เปลี่ยนสายไฟฟ้าแรงสูงไปยังโรงสูบน้ำดิบ-1 | สายไฟฟ้าแรงสูงเดิมใช้งานมานาน หากชำรุดเสียหายจะไม่มีไฟฟ้าไปจ่ายให้กับโรงสูบน้ำดิบ-1 | สพส.กชฟ. | 20 | | | 23,000,000 | | | 23,000,000 |
| งานซื้อพร้อมติดตั้งเครื่องวัดโรงสูบน้ำดิบ 1-2 | เพื่อปรับปรุงและติดตั้งเครื่องวัดโรงสูบ น้ำดิบ 1-2 เนื่องจากระบบเดิมบางระบบยังไม่มีเครื่องวัดติดตั้ง และเพื่อปรับปรุงเครื่องวัดเดิมที่ตั้งใช้งาน มีอายุการใช้งานนานแล้ว(สคส.) | สคส.กชฟ | 11 | 8,000,000 | | | | | 8,000,000 |
| **อาคารสูบน้ำดิบ 2** | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงผิวคอนกรีตพร้อมทาสีพ่อลำเลียงน้ำดิบ 1 | มีสภาพเสื่อมชำรุดและปรับปรุงให้ดูสวยงาม | สบอ. | 38 | | | 1,000,000 | | | 1,000,000 |
| ปรับปรุงผิวคอนกรีตพร้อมทาสีพ่อลำเลียงน้ำดิบ 2 | มีสภาพเสื่อมชำรุดและปรับปรุงให้ดูสวยงาม | สบอ. | 28 | | | 1,000,000 | | | 1,000,000 |
| เปลี่ยนเครื่องสูบน้ำแบบ Duplex Sump Pump พร้อมระบบควบคุมทดแทนของเดิมที่โรงสูบน้ำดิบ 2 จำนวน 2 ชุด | เปลี่ยนทดแทนของเดิมที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน | สรก.กชก. | 13 | | 920,000 | | | | 920,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้งระบบการจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ที่โรงสูบน้ำดิบ 2 | เปลี่ยนทดแทนของเดิม อายุการใช้งานมามากกว่า 20 ปี | สมอ.กชฟ. | 43 | | | | | 3,000,000 | 3,000,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้งตู้ควบคุม Discharge Valve No. 7, 8, 10 และ 11 ที่โรงสูบน้ำดิบ 2 | เปลี่ยนทดแทน เนื่องจากอุปกรณ์เดิมใช้งานมามากกว่า 20 ปี | สมอ.กชฟ. | 41 | | | 1,600,000 | | | 1,600,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้ง Motor Starter Breaker สำหรับตู้ Motor Starter No. 7, 8, และ 10 พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ที่โรงสูบน้ำดิบ 2 | อุปกรณ์เดิมมีการเสื่อมสภาพและมีอายุการใช้งานมามากกว่า 20 ปี | สมอ.กชฟ. | 43 | | | | | 2,000,000 | 2,000,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้ง Induction Motor พร้อม Pump No.7 และชุดปรับความเร็วรอบพร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ที่โรงสูบน้ำดิบ 2 | เนื่องจากอุปกรณ์เดิม อายุการใช้งานมามากกว่า 20 ปี และไม่สามารถหา Spare part ได้ | สมอ.กชฟ. | 40 | 70,000,000 | | | | | 70,000,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้ง Induction Motor No.8 พร้อมชุดปรับความเร็วรอบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ที่โรงสูบน้ำดิบ 2 | เนื่องจากอุปกรณ์เดิม อายุการใช้งานมามากกว่า 20 ปี และไม่สามารถหา Spare part ได้ | สมอ.กชฟ. | 24 | | 30,000,000 | | | | 30,000,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้ง Battery และ Battery Charger Panel ขนาด 110 V. DC 50 Ah ที่โรงสูบน้ำดิบ 2 | เนื่องจากอุปกรณ์เดิม อายุการใช้งานมามากกว่า 20 ปี ชำรุดบ่อยไม่สามารถหา Spare part ได้ | สมอ.กชฟ. | 40 | 1,500,000 | | | | | 1,500,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้ง Circuit Breaker 6.6 kV สำหรับตู้ Main Capacitor และ 6.6 kV Contactor สำหรับตู้ Capacitor No. 1 - 6 ที่โรงสูบน้ำดิบ 2 | อุปกรณ์เดิมเสื่อมสภาพ เคยชำรุดและผ่านการซ่อมแซมหลายครั้ง อีกทั้งไม่สามารถหาอะไหล่ทดแทนได้ | สมอ.กชฟ. | 25 | | 3,000,000 | | | | 3,000,000 |
| ปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่โรงสูบน้ำดิบ-2 โรงสูบส่งน้ำ-2 และโรงสูบจ่ายน้ำ-2 | ระบบไฟฟ้าใช้งานมานาน ท่อร้อยสายไฟและสายไฟฟ้าเริ่มเสื่อมสภาพ | สพส.กชฟ. | 33 | 2,500,000 | | | | | 2,500,000 |
| **อาคารสูบส่งน้ำ 1** | | | | | | | | | |
| OverHaul เครื่องสูบน้ำหมายเลข 2,3 | เพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งาน | สคน.กชก. | 39 | 2,000,000 | | | | | 2,000,000 |
| เปลี่ยนเครื่องสูบน้ำแบบ Duplex Sump Pump พร้อมระบบควบคุมทดแทนของเดิมที่โรงสูบส่งน้ำ 1 จำนวน 2 ชุด | เปลี่ยนทดแทนของเดิมที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน | สรก.กชก. | 13 | | | 940,000 | | | 940,000 |
| เปลี่ยนสายไฟฟ้าแรงสูงจากสถานีไฟฟ้าย่อยไปยังโรงสูบส่งน้ำ-1 | สายไฟฟ้าแรงสูงเดิมใช้งานมานาน หากชำรุดเสียหายจะไม่มีไฟฟ้าไปจ่ายให้กับโรงสูบส่งน้ำ-1 | สพส.กชฟ. | 21 | | | | | 20,000,000 | 20,000,000 |
| Overhaul Synchronous Motor No.2 ขนาด 1,920kW. จำนวน 1 ตัว ที่ โรงสูบส่งน้ำ 1 | ควบวาระที่จะต้องทำการบำรุงรักษา และตรวจสภาพภายใน เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร - อุปกรณ์ | สรพ.กชฟ. | 39 | 800,000 | | | | | 800,000 |

| รายละเอียดงาน (ตามฉากที่/ระบบงาน) | เหตุผล /ความจำเป็น | หน่วยงานระดับส่วน | จำนวนอายุจึงปีในแผน | ดำเนินการปีงบประมาณ (หน่วย:บาท) | | | | | รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 2559 | 2560 | 2561 | 2562 | 2563 | |
| Overhaul Synchronous Motor No.3 ขนาด 1,920 kW. จำนวน 1 ตัว ที่ โรงสูบส่งน้ำ 1 | ครบวาระที่จะต้องทำการบำรุงรักษาและตรวจสภาพภายใน เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร - อุปกรณ์ | สรพ.กชพ. | 40 | | 800,000 | | | | 800,000 |
| Overhaul Synchronous Motor No.4,5 ขนาด 1,920 kW. จำนวน 2 ตัว ที่ โรงสูบส่งน้ำ 1 | ครบวาระที่จะต้องทำการบำรุงรักษาและตรวจสภาพภายใน เพื่อยืดอายุการ ใช้งานของเครื่องจักร - อุปกรณ์ | สรพ.กชพ. | No.4 = 42<br>No.5 = 25 | | | | 1,600,000 | | 1,600,000 |
| จานซื้อพร้อมติดตั้งเครื่องวัดโรงสูบส่งน้ำ 1-2 | เพื่อปรับปรุงและติดตั้งเครื่องวัดโรงสูบส่งน้ำ 1-2 เนื่องจากระบบเดิมบางระบบยังไม่มีเครื่องวัดติดตั้ง และเพื่อปรับปรุงเครื่องวัดเดิมที่ตั้งใช้งาน มีอายุการใช้งานนานแล้ว(สคส.) | สคส.กชพ | 12 | | 8,000,000 | | | | 8,000,000 |
| **สถานีสูบส่งน้ำ 2** | | | | | | | | | |
| OverHaul เครื่องสูบน้ำหมายเลข 8,9 | เพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งาน | สคน.กชก. | 29 | | 2,000,000 | | | | 2,000,000 |
| OverHaul เครื่องสูบน้ำหมายเลข 10,11 | เพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งาน | สคน.กชก. | 27 | | | | 2,000,000 | | 2,000,000 |
| OverHaul เครื่องสูบน้ำหมายเลข 12 | เพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งาน | สคน.กชก. | 20 | | | | | 1,000,000 | 1,000,000 |
| เปลี่ยนเครื่องสูบน้ำแบบ Duplex Sump Pump พร้อมระบบควบคุมทดแทนของเดิมที่โรงสูบส่งน้ำ 2 จำนวน 2 ชุด | เปลี่ยนทดแทนของเดิมที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน | สรก.กชก. | 14 | | | | 960,000 | | 960,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้งระบบการจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ที่โรงสูบส่งน้ำ 2 | เปลี่ยนทดแทน เนื่องจากอุปกรณ์เดิมใช้งานมามากกว่า 20 ปี | สมอ.กชพ. | 32 | | | | 3,500,000 | | 3,500,000 |
| จัดซื้อพร้อมติดตั้ง Circuit Breaker 6.6 kV สำหรับตู้ Main Capacitor และ 6.6 kV Contactor สำหรับตู้ Capacitor No. 1-6 สำหรับ Incoming No.1 และ 2 ที่โรงสูบส่งน้ำ 2 | อุปกรณ์เดิมเสื่อมสภาพ เคยซ่อมและผ่านการซ่อมแซมหลายครั้ง อีกทั้งไม่สามารถหาอะไหล่ทดแทนได้ | สมอ.กชพ. | 30 | | 5,000,000 | | | | 5,000,000 |
| เปลี่ยน Motor พร้อมอุปกรณ์ควบคุมที่ Plant water-2 | Motor และอุปกรณ์ของเดิมใช้งานมานาน เริ่มชำรุด | สพส.กชพ. | 21 | | | | | 9,000,000 | 9,000,000 |
| Overhaul Synchronous Motor No.12 ขนาด 2,100 kW. จำนวน 1 ตัว ที่ โรงสูบส่งน้ำ 2 | ครบวาระที่จะต้องทำการบำรุงรักษาและตรวจสภาพภายใน เพื่อยืดอายุการ ใช้งานของเครื่องจักร - อุปกรณ์ | สรพ.กชพ. | 17 | 800,000 | | | | | 800,000 |
| จานซื้อพร้อมติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติโรงสูบส่งน้ำ 2 | เพื่อปรับปรุงและติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ เนื่องจากติดตั้งใช้งาน มีอายุการใช้งานนานแล้ว (สคส.) | สคส.กชพ | 10 | | | | 12,000,000 | | 12,000,000 |
| **สถานีสูบส่งน้ำ 3** | | | | | | | | | |
| - ไม่มี | | | | | | | | | - |

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยีนั้น เป็นการวางแผนกำหนดมาตรการต่างๆ ทั้งทางด้านกำลังการผลิต การเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรที่ชำรุด หรือหมดอายุการใช้งาน รวมทั้งการวางแผนเพื่อลงทุนขยายกำลังการผลิตที่จะมีในอนาคต ดังนั้น การจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี จึงจำเป็นต้องรู้ถึงสถานะภาพของโรงงานผลิตน้ำบางเขนที่มีในปัจจุบัน ทั้งทางด้านกำลังการผลิต พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งอัตราการเติบโตในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ดังนั้นขั้นตอนแรกที่นำมาพิจารณาคือ การจัดการกำหนดการทำงานของมอเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องจักรหลักในระบบผลิต สูบส่งและสูบจ่ายน้ำประปา ให้สามารถมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีแบบแผนในการเดินมอเตอร์ในแต่ละครั้ง รวมทั้งสามารถใช้งานเครื่องจักรหลักเหล่านี้ได้เต็มประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ขั้นตอนต่อมา คือการพิจารณาอัตราการเติบโตปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่สถานีสูบจ่ายต่างๆ เพื่อสามารถวางแผนในการลงทุนเพื่อทดแทนและขยายกำลังการผลิตให้สอดคล้องต่อไปในขั้นตอนที่ 3

จากการศึกษาพบว่า 1.โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถจัดกำหนดการเดินมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้ 502,328.66 ต่อเดือน หรือประมาณ 6,027,943.96 ต่อปี คิดเป็นสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้กว่าร้อยละ 7 ต่อปี 2.จากการพยากรณ์แนวโน้มพบว่าได้ค่า %Utilization ของ Product Hour = (10,584/8,064)*100 = 131.25% แสดงว่าจำนวนชั่วโมงการผลิตที่มีให้ ไม่เพียงพอกับจำนวนชั่วโมงที่ต้องการผลิต ซึ่งอาจเกิดจากจำนนเครื่องจักร หรือกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอ จึงต้องมีการหาแนวทางและปรับปรุงแก้ไขกำลังการผลิตที่ต้องการให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับจำนวนชั่วโมงการผลิตที่มีให้ 3.จากข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์แนวโน้มปริมาณการใช้น้ำ พบว่าการลงทุนเครื่องจักรเพื่อการสูบจ่ายน้ำเพื่อให้สามารถสูบจ่ายน้ำได้ตรงต่อความต้องการปริมาณการใช้น้ำที่จะมีใช้อนาคต รวมทั้งการจัดทำแผนที่ทางสัญจรเทคโนโลยี (Technology Roadmap) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีใหม่ๆที่เกิดขึ้น และเป็นแนวทางการดำเนินกิจกรรมต่างๆเพื่อการอนุรักษ์และประหยัด

พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขนในอีก 10 ปีข้างหน้า (พ.ศ.2554-2563) โดยให้สอดคล้องกับแผนแม่บทของการประปานครหลวงฉบับที่ 9

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยในเบื้องต้นพบว่า การประปานครหลวงยังไม่มีระบบการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการผลิต สูบส่ง และสูบจ่ายของโรงงานผลิตน้ำบางเขนนั้นมีจำนวนมาก และมีความหลากหลาย ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากลักษณะการใช้งานของเครื่องจักรที่เป็นไปอย่างไม่มีระบบแบบแผน ขาดการวางแผนในการซ่อมบำรุงที่ดี รวมทั้งขาดการวางแผนการลงทุนเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐาน

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีความประสงค์จะปรับปรุงโดยการนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการจัดการลักษณะการทำงานของเครื่องจักรในระบบผลิต สูบส่งและสูบจ่าย ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น มีการพยากรณ์ปริมาณความต้องการการใช้น้ำที่เหมาะสม เพื่อวางแผนในการลงทุนเครื่องจักร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กระบวนการผลิต รวมทั้งยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรให้มีอายุยาวนานยิ่งขึ้น ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่าย ทั้งทางด้านค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายในด้านการลงทุนเครื่องจักรลงได้

## 5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1.ลักษณะการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานควบคุมเครื่องจักรในแต่ละสถานีสูบส่งและสูบจ่าย ใช้ประสบการณ์ส่วนตัวเป็นหลัก มากกว่าจะยึดแนวทางของศูนย์ควบคุมระบบสูบจ่ายน้ำ ที่เป็นผู้กำหนดค่าแรงดันน้ำในพื้นที่ต่างๆ ทำให้การใช้งานเครื่องจักรไม่เป็นไปตามแผน เกิดความสูญเสียโอกาสในการใช้เครื่องจักรนั้นๆอย่างมีประสิทธิภาพ

2. พื้นที่แต่ละสถานีสูบจ่ายปลายทางค่อนข้างห่างไกลกัน เป็นสาเหตุให้การทำวิจัยเป็นไปด้วยความยากลำบาก รวมทั้งข้อมูลในแต่ละสถานีไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้ต้องมีการจัดการด้านข้อมูลเพื่อการทำวิจัยได้ยากขึ้น

3. หน่วยงานที่มีหน้าที่บังคับบัญชาการปฏิบัติงานของพนักงานควบคุมเครื่องจักร มีหน้าที่ทับซ้อนกัน ทำให้การกำหนดแนวทางในการจัดการเครื่องจักรให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันได้ยากลำบาก

4. การทดสอบโปรแกรมการจัดการการทำงานของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ เป็นไปด้วยความยากลำบาก เพราะขาดความร่วมมือจากพนักงาน และระยะทางในแต่ละสถานีที่ห่างไกลกัน

5. ควรส่งเสริมให้มีการทำความเข้าใจกันระหว่างหน่วยงานที่มีหน้าที่กำหนดการทำงานของเครื่องจักร กับตัวพนักงาน เพื่อสร้างความเข้าใจที่ตรงกัน และเป็นผลดีต่อองค์กร

6. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระบบ Distribution เป็นหลัก

# รายการอ้างอิง


กระทรวงพลังงาน. แผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (2554-2573) ของประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ของกระทรวงพลังงาน 2554 : 102-136.

การประปานครหลวง. ความรู้ทั่วไปและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ และการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อการประหยัดพลังงาน. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่องอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) กับการประหยัดพลังงาน ของการประปานครหลวง 2554 : 1-105.

คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.). รายงานสถานการณ์พลังงานปี 2553 และแนวโน้มปี 2554 ของประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) 2553 : 40-58.

เครือซีเมนต์ไทย (SCG). SCG Green Procurement. เอกสารเผยแพร่ของบริษัท เครือซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) 2551 : 1-110.

ชัยโชติ พิบูลย์ธนานนท์. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานประกอบแผ่นลายวงจรพิมพ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ณัฐสิทธิ์ เกิดศรี. กระบวนการทำแผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยี. บทความทางวิชาการของวิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยมหิดล 2552 : 49.

ทวีชัย เลิศวรสิริกุล. การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าระบบส่งกำลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ธิติมา เลิศปิยะ. ระบบจัดการพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

รัชฎา พิทยานนท์. การศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

โรงงานผลิตน้ำบางเขน. กระบวนการผลิตน้ำ. เอกสารเผยแพร่ของการประปานครหลวง 2553 : 46-51.

วิชัย เทียมประชา. การจัดการพลังงานในการประปา. ประกาศนียบัตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.

วิวัฒน์ เดชา. สมรรถนะของปมั๊ หอยโข่งเมื่อใช้ใบพัดเล็กกว่า. วิศวกรรมเครื่องกลกับประเทศอุตสาหกรรมใหม่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2553 : 115.

วีระเชษฐ์ ขันเงิน. แนวคิดและกระบวนการสร้าง Technology Roadmap. บทความทางวิชาการของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547 : 94.

สปก.2. ผลการดำ เนินงานของงานระบบผลิต สปก.2 ที่คาดว่าจะเป็นประโยชน์กับ กปภ.. วารสารการประปาส่วนภูมิภาค เล่มที่ 214 : 26-27.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. โครงการศึกษาภาพรวมและการจัดทำเส้นทางเทคโนโลยี (Technology Road Mapping) ของชาติ กรณีศึกษา ชุดโครงการงานวิจัยแห่งชาติเกี่ยวกับพลังงานทดแทนและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. งานวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2548 : 1-98.

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในกำกับการดูแลของกระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานระบบการจัดการด้านพลังงาน ISO 50001. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในกำกับการดูแลของกระทรวงอุตสาหกรรม 2554 : 26-87.

สุนิสา กุลพนาภินันท์. การวางแผนการผลิตและการดำเนินงานเพื่อลดต้นทุนค่าไฟฟ้า กรณีศึกษา : โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. การใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ของกระทรวงพลังงาน.สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ MASCI. 2554 2554 : 26-40.

สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.). เครื่องมือในการลดต้นทุนทางธุรกิจ : Six Sigma. บทความวิชาการของสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.). กรมส่งเสริมอุตสหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม 2549 : 67-82.

อุษา แพนพันธ์อ้วน. การเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมในเชิงการอนุรักษ์ และประหยัดพลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ฮุซเซ็น นิยมเดชา. การลดต้นทุนค่าดำเนินการโรงงานโดยการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กรณีศึกษา : โรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

Japan Water Research Center. Effective water use in Pipeline Operation Considering High Quality. EPOCH Project Summary.2002-2004 2004 : 27-62.

Japan Water Works Association. Cost of Water : Capital Cost Plus Operation Cost. Japan Water Supply Data Report 2009 : 54-79.

Japan Water Works Association. Research Activities On Water Supply Management and Research Activities On Water Supply Technology. 2008 : 60-92.

Pattarasinee Bhattarakosol. IT Direction in Thailand Cultivating an E-Society. IEEE Computer Society 2003 : 1-6.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก
# ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองโครงข่ายระบบส่งน้ำ

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลจุดร่วมของแบบจำลอง

| Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern | Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 121 | 34.8 | 1 | | 89 | 35 | 0 | |
| 91 | 40 | 1 | | 90 | 35 | 0 | |
| 151 | 40 | 1 | | 95 | 20 | 0 | |
| 271 | 40 | 1 | | 100 | 20 | 500 | 12 |
| 321 | 40 | 1 | | 110 | 20 | 0 | |
| 710 | 41.5 | 1 | | 118 | 20 | 0 | |
| 926 | 40.3 | 1 | | 120 | 29 | 0 | |
| 421 | 39.5 | 1 | | 130 | 20 | 0 | |
| 2 | 36.5 | 0 | | 132 | 19.04 | 0 | |
| 5 | 36.5 | 0 | | 134 | 18.51 | 0 | |
| 10 | 17.5 | 0 | | 140 | 18.12 | 0 | |
| 20 | 17.5 | 1,000 | 24 | 145 | 18.44 | 0 | |
| 25 | 18.29 | 0 | 12 | 148 | 33.15 | 0 | |
| 30 | 19.3 | 0 | | 149 | 33.15 | 0 | |
| 31 | 19.35 | 0 | | 150 | 33 | 0 | |
| 32 | 19.37 | 0 | | 205 | 36.5 | 0 | |
| 40 | 19.5 | 0 | | 210 | 36.5 | 0 | |
| 45 | 33 | 0 | | 212 | 33 | 0 | |
| 60 | 20 | 1,000 | 12 | 214 | 33 | 0 | |
| 62 | 20 | 0 | 12 | 220 | 33 | 0 | |
| 64 | 20 | 0 | | 222 | 33 | 0 | |
| 66 | 20 | 0 | | 224 | 33 | 0 | |
| 70 | 20 | 0 | | 226 | 33 | 0 | |
| 80 | 17.2 | 0 | | 230 | 33 | 0 | |
| 85 | 20 | 1,000 | 12 | 232 | 33 | 0 | |
| 88 | 20.1 | 0 | | 234 | 33 | 0 | |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern | Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 236 | 33 | 0 | | 400 | 33 | 0 | |
| 238 | 33 | 0 | | 410 | 33 | 0 | |
| 240 | 33 | 0 | | 412 | 33 | 0 | |
| 255 | 33.1 | 0 | | 413 | 33 | 0 | |
| 260 | 33.1 | 0 | | 414 | 33 | 0 | |
| 262 | 34.1 | 0 | | 416 | 33 | 0 | |
| 264 | 34.1 | 0 | | 418 | 33 | 0 | |
| 268 | 35 | 0 | | 420 | 33 | 0 | |
| 270 | 35 | 0 | | 605 | 35 | 0 | |
| 275 | 33.15 | 0 | | 610 | 33 | 0 | |
| 280 | 33.15 | 0 | | 700 | 33 | 0 | |
| 282 | 33.15 | 0 | | 720 | 33 | 0 | |
| 284 | 33.15 | 0 | | 730 | 33 | 1,458 | 12 |
| 286 | 33.15 | 0 | | 750 | 33 | 0 | |
| 288 | 33.15 | 0 | | 760 | 33 | 0 | |
| 290 | 33 | 0 | | 770 | 33 | 0 | |
| 292 | 33.15 | 0 | | 780 | 33 | 0 | |
| 294 | 33.15 | 0 | | 790 | 33 | 0 | |
| 296 | 33.15 | 0 | | 795 | 17.5 | 0 | |
| 300 | 33 | 0 | | 805 | 36.5 | 0 | |
| 302 | 33 | 0 | | 820 | 17.5 | 0 | |
| 304 | 33 | 0 | | 830 | 17.5 | 0 | |
| 306 | 33 | 0 | | 840 | 33 | 0 | |
| 310 | 33 | 0 | | 850 | 33 | 3,454 | 12 |
| 315 | 33 | 0 | | 860 | 17.5 | 0 | |
| 320 | 33 | 0 | | 862 | 17.5 | 0 | |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern | Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 864 | 17.5 | 0 | | 321-3 | 33 | 0 | |
| 870 | 35 | 0 | | 321-5 | 35 | 10,000 | 18 |
| 920 | 33 | 0 | | 926-1 | 35 | 0 | |
| 922 | 33 | 0 | | 926-2 | 35 | 0 | |
| 924 | 33 | 0 | | 926-3 | 33 | 0 | |
| 710-1 | 33 | 0 | | 926-5 | 35 | 10,000 | 19 |
| 710-2 | 33 | 0 | | 91-1 | 35 | 0 | |
| 710-3 | 33 | 0 | | 91-2 | 35 | 0 | |
| 421-1 | 33 | 0 | | 91-3 | 35 | 0 | |
| 421-2 | 33 | 0 | | 91-5 | 35 | 10,000 | 21 |
| 421-3 | 33 | 0 | | 3 | 35 | 10,000 | 20 |
| 421-5 | 34.5 | 10,000 | 22 | 14 | 35 | 0 | |
| 121-1 | 29 | 0 | | 29 | 35 | 0 | |
| 121-2 | 29 | 0 | | 43 | 35 | 0 | |
| 121-3 | 29.8 | 0 | | 1 | 33 | 10,000 | 15 |
| 121-5 | 29.8 | 10,000 | 16 | 13 | 35 | 10,000 | 23 |
| 151-1 | 33 | 0 | | 16 | 36.5 | 0 | |
| 151-2 | 33 | 0 | | 15 | 17.5 | 0 | |
| 151-3 | 33.29 | 0 | | 17 | 33 | 0 | |
| 151-5 | 35 | 10,000 | 17 | 18 | 33 | 0 | |
| 271-1 | 35 | 0 | | 19 | 33 | 0 | |
| 271-2 | 35 | 0 | | 21 | 33 | 0 | |
| 271-3 | 35 | 0 | | 22 | 33 | 0 | |
| 271-5 | 35 | 10,000 | 14 | 23 | 33 | 0 | |
| 321-1 | 33 | 0 | | 27 | 33 | 0 | |
| 321-2 | 33 | 0 | | 28 | 33 | 0 | |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern | Node No. | Elevation (m) | Demand (CMH) | Pattern |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 33 | 33 | 0 | | 56 | 33 | 0 | |
| 34 | 33 | 0 | | 57 | 33 | 0 | |
| 35 | 33 | 0 | | 58 | 33 | 0 | |
| 36 | 35 | 0 | | 59 | 33 | 0 | |
| 37 | 35 | 0 | | 61 | 33 | 0 | |
| 38 | 35 | 0 | | 63 | 33 | 0 | |
| 39 | 35 | 0 | | 65 | 33 | 0 | |
| 41 | 35 | 0 | | | | | |
| 7 | 33 | 0 | | | | | |
| 9 | 33 | 0 | | | | | |
| 12 | 33 | 0 | | | | | |
| 24 | 33 | 0 | | | | | |
| 26 | 33 | 0 | | | | | |
| 42 | 35 | 0 | | | | | |
| 44 | 35 | 0 | | | | | |
| 46 | 35 | 0 | | | | | |
| 47 | 35 | 0 | | | | | |
| 48 | 35 | 0 | | | | | |
| 50 | 33 | 0 | | | | | |
| 51 | 33 | 0 | | | | | |
| 52 | 33 | 0 | | | | | |
| 53 | 33 | 0 | | | | | |
| 54 | 33 | 0 | | | | | |
| 55 | 33 | 0 | | | | | |

ที่มา: ดัดแปลงจากสายัณห์ (2546)

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลท่อของแบบจำลอง

| Pipe | Node | | Length | Diameter | Roughness |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (m) | (mm) | |
| 3 | 5 | 10 | 350 | 3,400 | 1 |
| 4 | 10 | 20 | 5,217 | 3,400 | 1 |
| 5 | 20 | 25 | 1,266 | 3,400 | 1 |
| 6 | 25 | 30 | 1,642 | 3,400 | 1 |
| 7 | 30 | 31 | 457 | 3,400 | 1 |
| 8 | 31 | 32 | 200 | 3,400 | 1 |
| 11 | 40 | 45 | 2,140 | 2,000 | 1.5 |
| 12 | 40 | 60 | 2,100 | 2,800 | 3 |
| 16 | 60 | 62 | 2,900 | 2,800 | 3 |
| 17 | 62 | 64 | 650 | 2,800 | 3 |
| 18 | 64 | 66 | 1,550 | 2,800 | 3 |
| 19 | 66 | 70 | 300 | 2,800 | 4 |
| 20 | 70 | 80 | 674 | 2,000 | 3 |
| 21 | 70 | 95 | 1,550 | 2,500 | 3 |
| 22 | 80 | 85 | 1,700 | 2,000 | 3 |
| 23 | 80 | 400 | 15 | 1,800 | 2.5 |
| 24 | 85 | 88 | 1,970 | 2,000 | 3 |
| 25 | 88 | 89 | 15 | 1,800 | 4.8 |
| 26 | 89 | 90 | 8 | 1,800 | 4.8 |
| 141 | 88 | 760 | 2,800 | 2,500 | 0.5 |
| 27 | 90 | 91 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 28 | 95 | 100 | 848 | 2,500 | 4.8 |
| 29 | 100 | 110 | 186 | 2,000 | 4.8 |
| 30 | 100 | 130 | 2,434 | 2,500 | 3 |
| 31 | 110 | 118 | 424 | 2,000 | 4.8 |
| 32 | 118 | 120 | 8 | 1,800 | 4.8 |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| Pipe | Node | | Length | Diameter | Roughness |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (m) | (mm) | |
| 33 | 120 | 121 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 34 | 130 | 132 | 600 | 2,500 | 4.8 |
| 35 | 132 | 134 | 330 | 2,500 | 3 |
| 36 | 134 | 140 | 1,741 | 2,500 | 3 |
| 37 | 140 | 145 | 178 | 2,000 | 4.8 |
| 38 | 145 | 148 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 39 | 145 | 300 | 410 | 2,000 | 2.5 |
| 40 | 148 | 149 | 20 | 2,000 | 4.8 |
| 41 | 296 | 148 | 505 | 2,300 | 2.5 |
| 42 | 149 | 150 | 8 | 1,800 | 4.8 |
| 43 | 150 | 151 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 46 | 210 | 212 | 1,150 | 3,200 | 2.5 |
| 47 | 212 | 214 | 400 | 3,200 | 2.5 |
| 48 | 214 | 220 | 700 | 3,200 | 2.5 |
| 49 | 220 | 222 | 3,650 | 3,200 | 2.5 |
| 50 | 222 | 224 | 275 | 3,200 | 2.5 |
| 51 | 224 | 226 | 385 | 3,200 | 2.5 |
| 52 | 226 | 230 | 500 | 3,200 | 2.5 |
| 53 | 230 | 232 | 880 | 3,200 | 2.5 |
| 54 | 232 | 234 | 450 | 3,200 | 2.5 |
| 55 | 234 | 236 | 380 | 3,200 | 2.5 |
| 56 | 236 | 238 | 380 | 3,200 | 2.5 |
| 57 | 238 | 240 | 370 | 3,200 | 2.5 |
| 58 | 240 | 255 | 2,230 | 3,000 | 2.5 |
| 60 | 255 | 260 | 3,052 | 3,000 | 2.5 |
| 61 | 260 | 262 | 1,600 | 2,000 | 2.5 |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| Pipe | Node | | Length | Diameter | Roughness |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (m) | (mm) | |
| 62 | 260 | 275 | 800 | 2,300 | 2.5 |
| 63 | 262 | 264 | 400 | 2,000 | 2.5 |
| 64 | 264 | 268 | 1,025 | 2,000 | 2.5 |
| 65 | 268 | 270 | 8 | 1,800 | 2.5 |
| 66 | 270 | 271 | 20 | 2,000 | 2.5 |
| 67 | 275 | 280 | 400 | 2,300 | 2.5 |
| 68 | 280 | 282 | 370 | 2,300 | 2.5 |
| 69 | 770 | 280 | 200 | 2,000 | 2.5 |
| 70 | 282 | 284 | 515 | 2,300 | 2.5 |
| 71 | 284 | 286 | 560 | 2,300 | 2.5 |
| 72 | 286 | 288 | 730 | 2,300 | 2.5 |
| 73 | 288 | 290 | 310 | 2,300 | 2.5 |
| 74 | 290 | 292 | 1,948 | 2,300 | 2.5 |
| 75 | 292 | 294 | 705 | 2,300 | 2.5 |
| 76 | 294 | 296 | 205 | 2,300 | 2.5 |
| 77 | 300 | 302 | 160 | 2,000 | 2.5 |
| 78 | 302 | 304 | 460 | 2,000 | 2.5 |
| 79 | 304 | 306 | 310 | 2,000 | 2.5 |
| 80 | 306 | 310 | 1,810 | 2,000 | 2.5 |
| 81 | 310 | 315 | 3,000 | 2,000 | 2.5 |
| 82 | 315 | 320 | 8 | 1,800 | 2.5 |
| 83 | 320 | 321 | 10 | 1,800 | 2.5 |
| 84 | 400 | 410 | 1,200 | 1,500 | 0.5 |
| 85 | 410 | 412 | 2,200 | 1,500 | 0.5 |
| 86 | 412 | 413 | 600 | 1,500 | 0.5 |
| 87 | 413 | 414 | 700 | 1,500 | 0.5 |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| Pipe | Node | | Length | Diameter | Roughness |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (m) | (mm) | |
| 88 | 414 | 416 | 1,600 | 2,000 | 0.5 |
| 89 | 416 | 418 | 2,900 | 1,500 | 0.5 |
| 90 | 418 | 420 | 8 | 1,800 | 0.5 |
| 91 | 420 | 421 | 10 | 1,800 | 0.5 |
| 100 | 605 | 610 | 700 | 3,200 | 1.5 |
| 101 | 610 | 700 | 10,500 | 3,200 | 0.5 |
| 103 | 700 | 720 | 2,800 | 3,000 | 0.5 |
| 106 | 720 | 730 | 4,000 | 3,000 | 0.5 |
| 149 | 730 | 750 | 2,200 | 2,500 | 0.5 |
| 150 | 750 | 760 | 800 | 2,500 | 0.5 |
| 92 | 770 | 780 | 1,500 | 2,000 | 2.5 |
| 93 | 780 | 790 | 7,000 | 2,000 | 2.5 |
| 94 | 790 | 795 | 4,000 | 2,000 | 2.5 |
| 111 | 805 | 820 | 2,300 | 3,400 | 0.5 |
| 112 | 820 | 830 | 2,300 | 3,400 | 0.5 |
| 113 | 830 | 840 | 2,000 | 3,400 | 0.5 |
| 114 | 840 | 850 | 8,800 | 3,400 | 0.5 |
| 115 | 850 | 860 | 3,000 | 2,300 | 0.5 |
| 116 | 860 | 862 | 6,000 | 2,300 | 0.5 |
| 118 | 862 | 864 | 4,500 | 2,300 | 0.5 |
| 119 | 864 | 870 | 1,000 | 2,300 | 0.5 |
| 96 | 920 | 922 | 20 | 2,000 | 2.5 |
| 97 | 922 | 924 | 8 | 1,800 | 2.5 |
| 98 | 924 | 926 | 10 | 2,000 | 2.5 |
| 105-2 | 710-1 | 710-2 | 10 | 1,800 | 1.5 |
| 91-2 | 421-1 | 421-2 | 10 | 1,800 | 0.6 |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| Pipe | Node | | Length | Diameter | Roughness |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (m) | (mm) | |
| 91-4 | 421-3 | Ratburana | 10 | 1,800 | 1.5 |
| 91-5 | Ratburana | 421-5 | 10 | 1,800 | 1.5 |
| 33-2 | 121-1 | 121-2 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 33-4 | 121-3 | Lumpini | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 33-5 | Lumpini | 121-5 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 43-2 | 151-1 | 151-2 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 43-4 | 151-3 | Klongtoey | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 43-5 | Klongtoey | 151-5 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 66-2 | 271-1 | 271-2 | 10 | 2,000 | 2.5 |
| 66-4 | 271-3 | Ladprao | 10 | 2,000 | 2.5 |
| 66-5 | Ladprao | 271-5 | 10 | 2,000 | 2.5 |
| 83-2 | 321-1 | 321-2 | 10 | 1,800 | 2.5 |
| 83-4 | 321-3 | Samrong | 10 | 1,800 | 2.5 |
| 83-5 | Samrong | 321-5 | 10 | 1,800 | 2.5 |
| 98-2 | 926-1 | 926-2 | 10 | 2,000 | 2.5 |
| 98-4 | 926-3 | Ladkrabang | 10 | 2,000 | 2.5 |
| 98-5 | Ladkrabang | 926-5 | 10 | 2,000 | 2.5 |
| 27-2 | 91-1 | 91-2 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 27-5 | Tapra | 91-5 | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 27-4 | 91-3 | Tapra | 10 | 1,800 | 4.8 |
| 99 | 770 | 260 | 300 | 2,000 | 2.5 |
| 13 | 710-3 | Phetkasem | 10 | 1,800 | 1.5 |
| 15 | Phetkasem | 3 | 10 | 1,800 | 1.5 |
| 123 | 2 | 5 | 20 | 3,400 | 1 |
| 1 | 32 | 40 | 1,100 | 3,400 | 1 |
| 9 | 45 | 255 | 2,201 | 2,000 | 1.5 |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| Pipe | Node | | Length | Diameter | Roughness |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (m) | (mm) | |
| 59 | 210 | 16 | 5 | 1,200 | 0.5 |
| 136 | 205 | 210 | 20 | 3,200 | 2.5 |
| 137 | 700 | 710 | 50 | 1,800 | 1.5 |
| 10 | 795 | 15 | 4,500 | 2,000 | 2.5 |
| 14 | 15 | 920 | 2,500 | 2,000 | 2.5 |
| 104 | 17 | 21 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 105 | 18 | 22 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 107 | 19 | 23 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 133 | 27 | 36 | 5 | 1,500 | 1 |
| 134 | 28 | 37 | 5 | 1,500 | 1 |
| 138 | 33 | 38 | 5 | 1,500 | 1 |
| 143 | 34 | 39 | 5 | 1,500 | 1 |
| 144 | 35 | 41 | 5 | 1,500 | 1 |
| 128 | 26 | 42 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 129 | 24 | 44 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 132 | 7 | 46 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 152 | 9 | 47 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 153 | 12 | 48 | 5 | 1,500 | 1.5 |
| 44 | 49 | 50 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 45 | 49 | 51 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 95 | 49 | 52 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 102 | 6 | 57 | 5 | 1,800 | 1 |
| 108 | 6 | 56 | 5 | 1,800 | 1 |
| 110 | 6 | 53 | 5 | 1,800 | 1 |
| 117 | 6 | 54 | 5 | 1,800 | 1 |
| 120 | 6 | 55 | 5 | 1,800 | 1 |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| Pipe | Node | | Length | Diameter | Roughness |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (m) | (mm) | |
| 121 | 11 | 65 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 122 | 11 | 63 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 127 | 11 | 58 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 130 | 11 | 59 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 131 | 11 | 61 | 5 | 1,800 | 1.5 |
| 159 | 14 | 29 | 50 | 2,500 | 1.5 |

ที่มา: ดัดแปลงจากสายัณห์ (2546)

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายน้ำ

| Pump Station | Elevation (m) | InitLevel (m) | MinLevel (m) | MaxLevel (m) | Diameter (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Ratburana | 34.5 | 2.1 | 0 | 5 | 100 |
| Lumpini | 29.8 | 1.8 | 0 | 5 | 103 |
| Klongtoey | 35 | 1.4 | 0 | 5 | 100 |
| Ladprao | 35 | 1.5 | 0 | 5 | 105 |
| Samrong | 35 | 1.65 | 0 | 5 | 111 |
| Ladkrabang | 35 | 3 | 0 | 5.3 | 107 |
| Tapra | 35 | 2.7 | 0 | 5 | 100 |
| Phetkasem | 35 | 1.4 | 0 | 6.5 | 85 |

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ

| Pump | Node | | Parameter |
|---|---|---|---|
| No. | From | To | (Curve No.) |
| TR1-1 | 57 | 27 | HEAD 1 |
| TR1-2 | 56 | 28 | HEAD 2 |
| TR1-3 | 53 | 33 | HEAD 2 |
| TR1-4 | 54 | 34 | HEAD 2 |
| TR1-5 | 55 | 35 | HEAD 3 |
| TR2-1 | 65 | 26 | HEAD 9 |
| TR2-2 | 63 | 24 | HEAD 9 |
| TR2-3 | 58 | 7 | HEAD 10 |
| TR2-4 | 59 | 9 | HEAD 10 |
| TR2-5 | 61 | 12 | HEAD 11 |
| MS1-1 | 50 | 17 | HEAD 8 |
| MS1-2 | 51 | 18 | HEAD 8 |
| MS1-3 | 52 | 19 | HEAD 4 |

ตารางผนวกที่ ก5 โค้งคุณลักษณะ (H-Q Curve) ของเครื่องสูบน้ำ

| Curve No. | Flow (CMH) | Head (m) | Curve No. | Flow (CMH) | Head (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 50.3 | 4 | 0 | 54.74 |
| | 3,198 | 43.99 | | 6,000 | 49 |
| | 4,800 | 42.21 | | 12,000 | 44 |
| | 6,720 | 38.82 | | 18,000 | 36 |
| | 9,180 | 32.58 | | 22,500 | 26.62 |
| | 10,560 | 27.52 | | 24,000 | 23 |
| | 12,000 | 21.12 | | 27,000 | 15 |
| 2 | 0 | 50.8 | 8 | 0 | 58 |
| | 2,665 | 48.31 | | 6,000 | 51 |
| | 5,434 | 45.87 | | 12,000 | 44 |
| | 7,987 | 42.15 | | 18,000 | 32 |
| | 12,360 | 38.07 | | 21,420 | 23 |
| | 15,840 | 34.62 | | | |
| | 18,000 | 32.29 | 9 | 0 | 52 |
| | 19,020 | 29.88 | | 6,000 | 47 |
| | 20,700 | 27.53 | | 12,000 | 42 |
| | 23,304 | 22.41 | | 18,000 | 34 |
| | 24,000 | 19.9 | | 24,000 | 23 |
| | | | | 24,600 | 22.5 |
| 3 | 0 | 51.61 | | | |
| | 5,580 | 46.19 | | | |
| | 12,660 | 38.4 | | | |
| | 18,420 | 31.84 | | | |
| | 20,610 | 28.05 | | | |
| | 23,880 | 21.7 | | | |

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

| Curve No. | Flow (CMH) | Head (m) | Curve No. | Flow (CMH) | Head (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0 | 45 | 11 | 0 | 52 |
| | 6,000 | 43 | | 6,000 | 46 |
| | 12,000 | 38.5 | | 12,000 | 40 |
| | 18,000 | 33.5 | | 18,000 | 33 |
| | 24,000 | 22 | | 24,000 | 22 |
| | 25,800 | 18 | | | |

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)

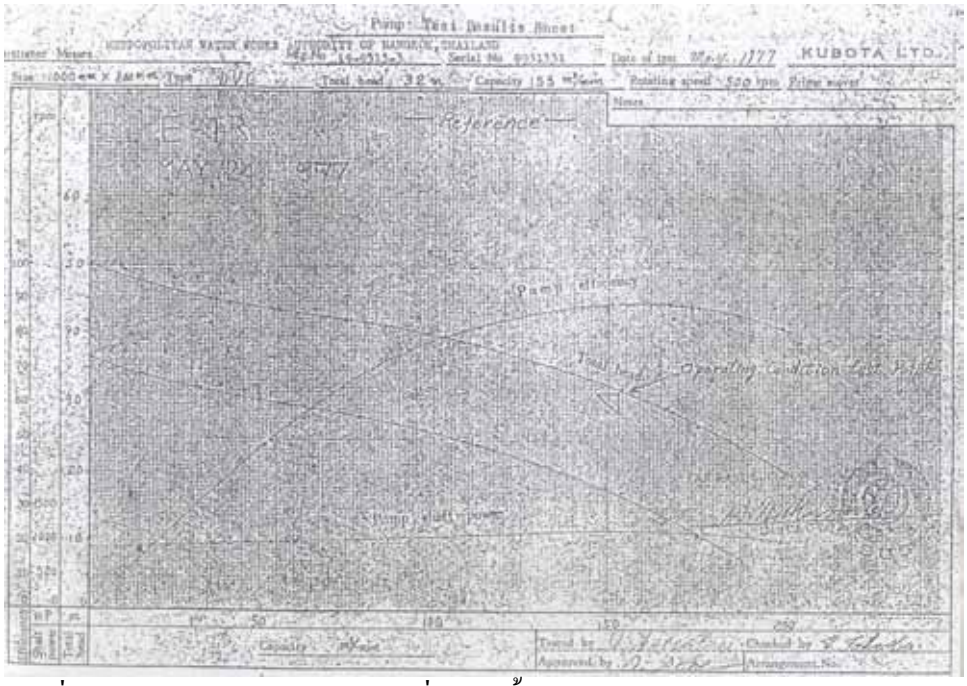
ตารางผนวกที่ ก6 ข้อมูลวาล์วของแบบจำลอง

| Valve | Node | | Diameter | Type | Setting |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | From | To | (mm) | | |
| 105-1 | 710 | 710-1 | 1,800 | FCV | 12,233 |
| 105-3 | 710-2 | 710-3 | 1,800 | PSV | 0 |
| 91-1 | 421 | 421-1 | 1,800 | FCV | 9,882 |
| 91-3 | 421-2 | 421-3 | 1,800 | PSV | 0 |
| 33-1 | 121 | 121-1 | 1,800 | FCV | 11,098 |
| 33-3 | 121-2 | 121-3 | 1,800 | PSV | 0 |
| 43-1 | 151 | 151-1 | 1,800 | FCV | 10,211 |
| 43-3 | 151-2 | 151-3 | 1,800 | PSV | 0 |
| 66-1 | 271 | 271-1 | 2,000 | FCV | 12,917 |
| 66-3 | 271-2 | 271-3 | 2,000 | PSV | 0 |
| 83-1 | 321 | 321-1 | 1,800 | FCV | 17,509 |
| 83-3 | 321-2 | 321-3 | 1,800 | PSV | 0 |
| 98-1 | 926 | 926-1 | 2,000 | FCV | 11,786 |
| 98-3 | 926-2 | 926-3 | 2,000 | PSV | 0 |
| 27-1 | 91 | 91-1 | 1,800 | FCV | 7,709 |
| 27-3 | 91-2 | 91-3 | 1,800 | PSV | 0 |
| 2 | 45 | 1 | 2,000 | PRV | 20 |
| 124 | 870 | 13 | 2,300 | PBV | 6 |
| 125 | 43 | 605 | 3,200 | PBV | 2 |
| 126 | 14 | 2 | 3,400 | PBV | 7.4 |
| 135 | 29 | 205 | 3,200 | PBV | 4.3 |
| 109 | 16 | 805 | 1,200 | PRV | 40 |
| 139 | 21 | 43 | 1,500 | TCV | 0 |
| 140 | 22 | 43 | 1,500 | TCV | 0 |
| 142 | 23 | 43 | 1,500 | TCV | 0 |
| 145 | 36 | 14 | 1,500 | TCV | 0 |

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

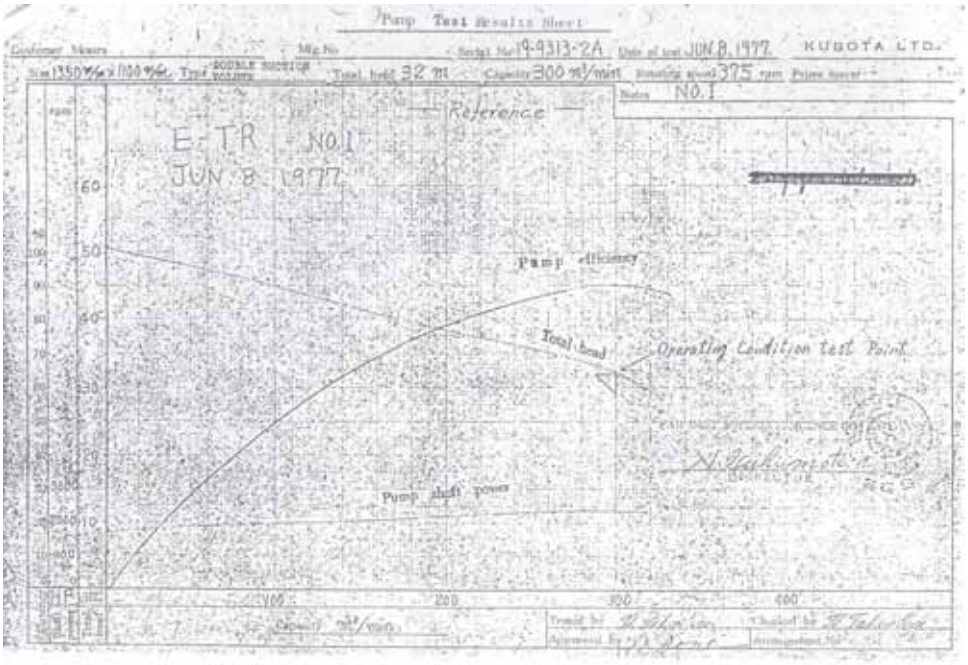
| Valve No. | Node | | Diameter (mm) | Type | Setting |
|---|---|---|---|---|---|
| | From | To | | | |
| 146 | 37 | 14 | 1,500 | TCV | 0 |
| 147 | 38 | 14 | 1,500 | TCV | 0 |
| 148 | 39 | 14 | 1,500 | TCV | 0 |
| 151 | 41 | 14 | 1,500 | TCV | 0 |
| 154 | 42 | 29 | 1,500 | TCV | 0 |
| 155 | 44 | 29 | 1,500 | TCV | 0 |
| 156 | 46 | 29 | 1,500 | TCV | 0 |
| 157 | 47 | 29 | 1,500 | TCV | 0 |
| 158 | 48 | 29 | 1,500 | TCV | 0 |

# ภาคผนวก ข
# Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ



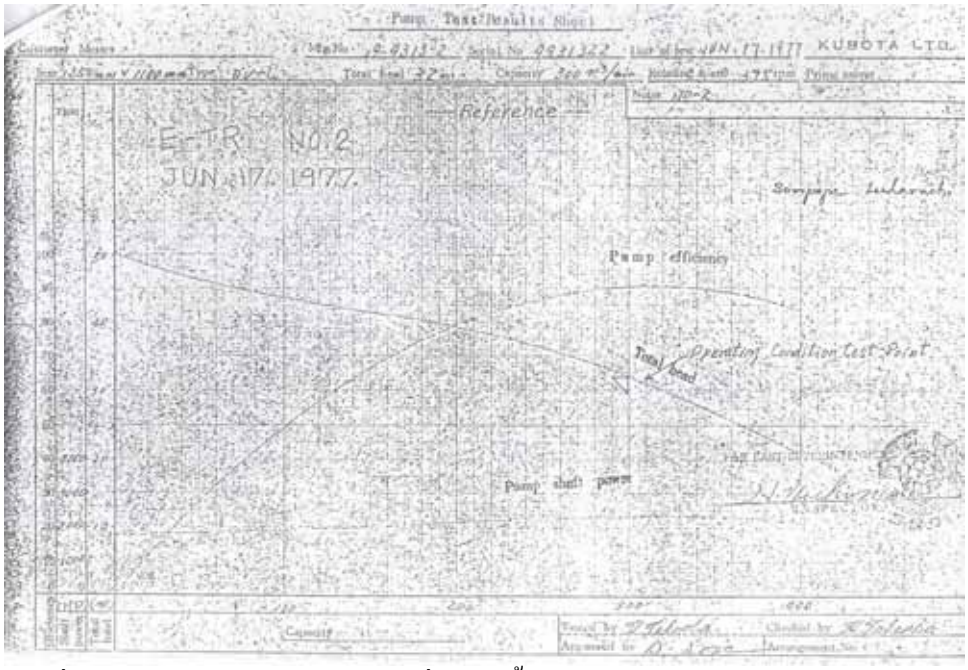

ภาพผนวกที่ ข1 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS1-1

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)



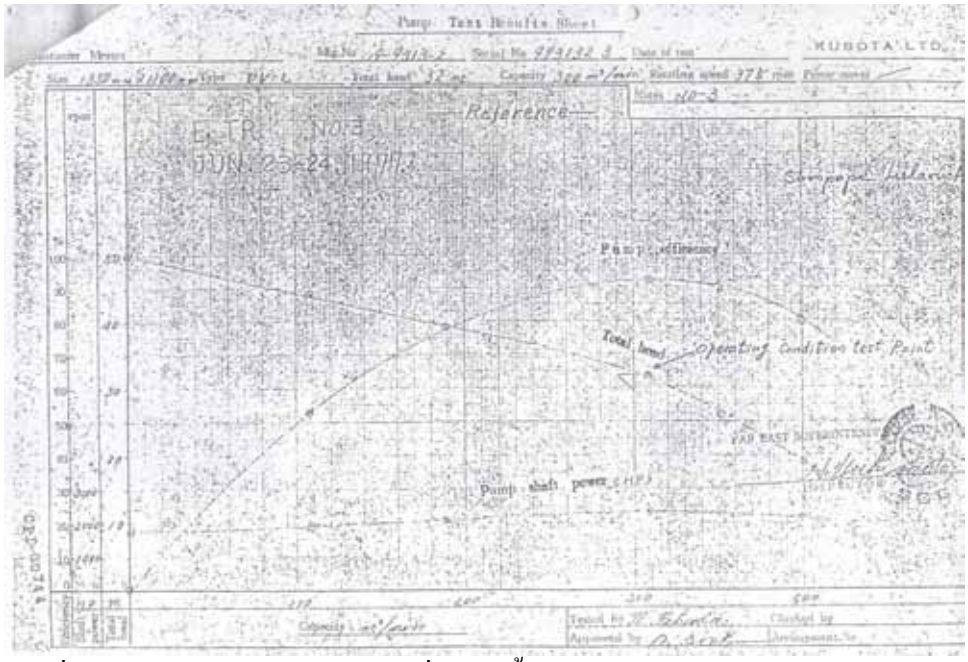

ภาพผนวกที่ ข2 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS1-2

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)



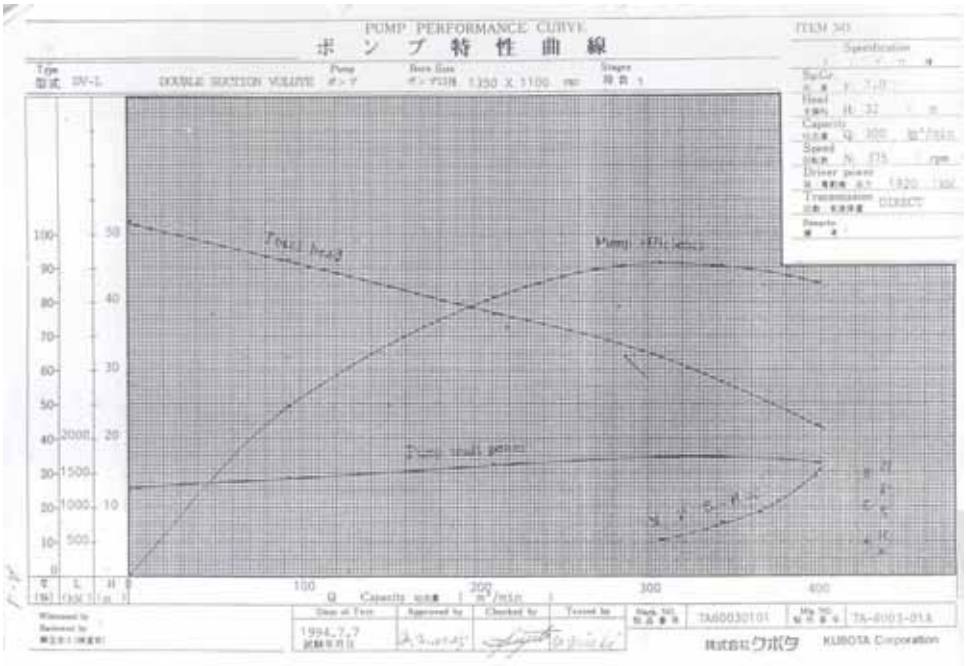

ภาพผนวกที่ ข3 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS1-3

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)



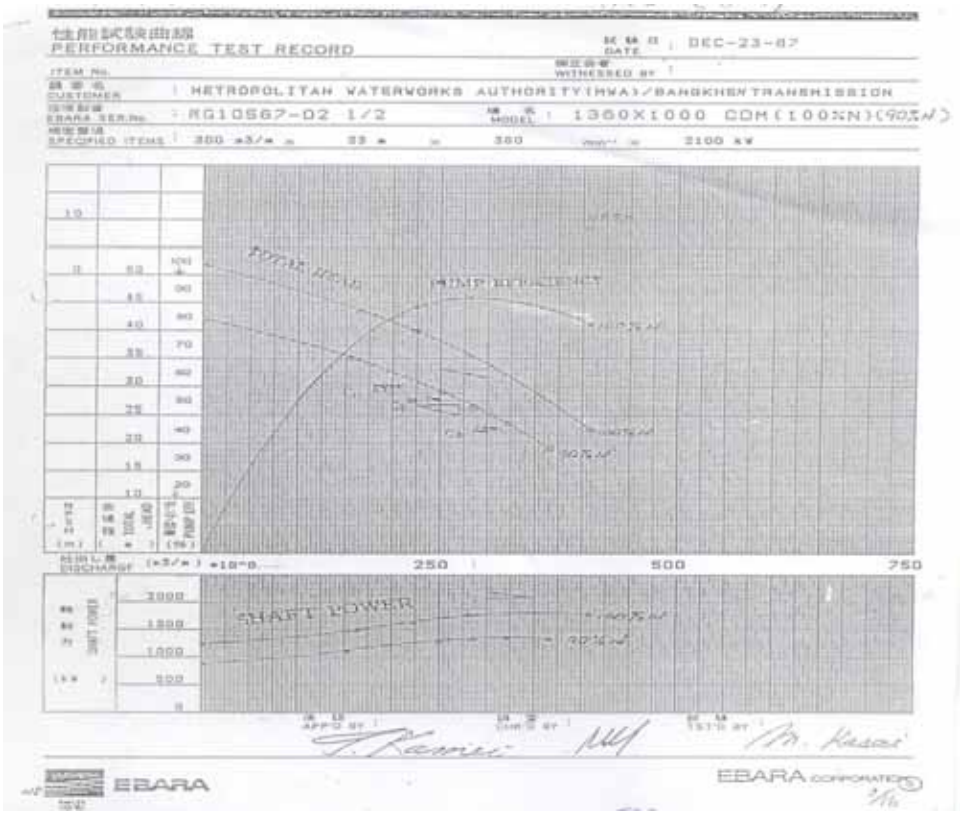

ภาพผนวกที่ ข4 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS1-4

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)



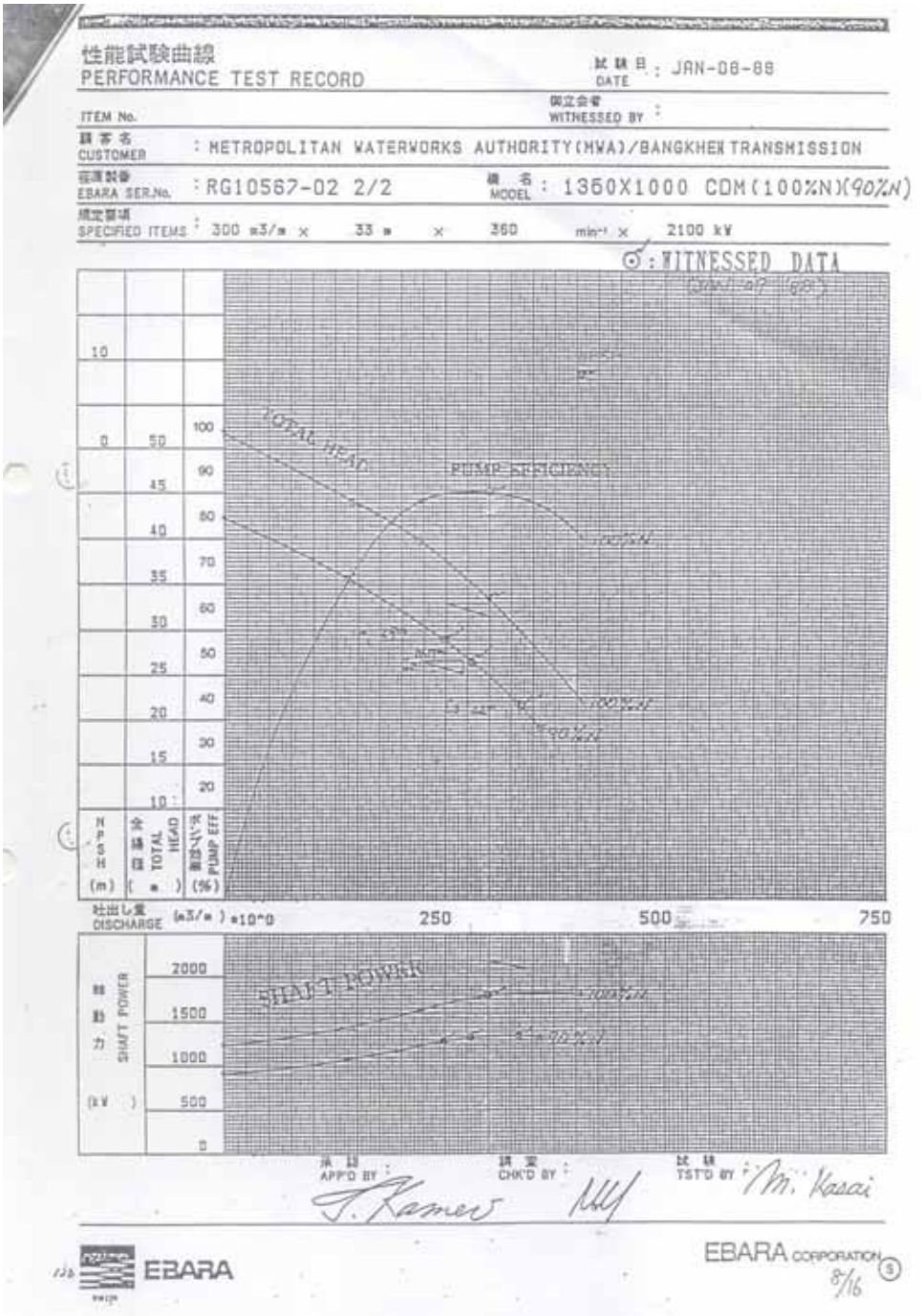

ภาพผนวกที่ ข5 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS1-5

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)



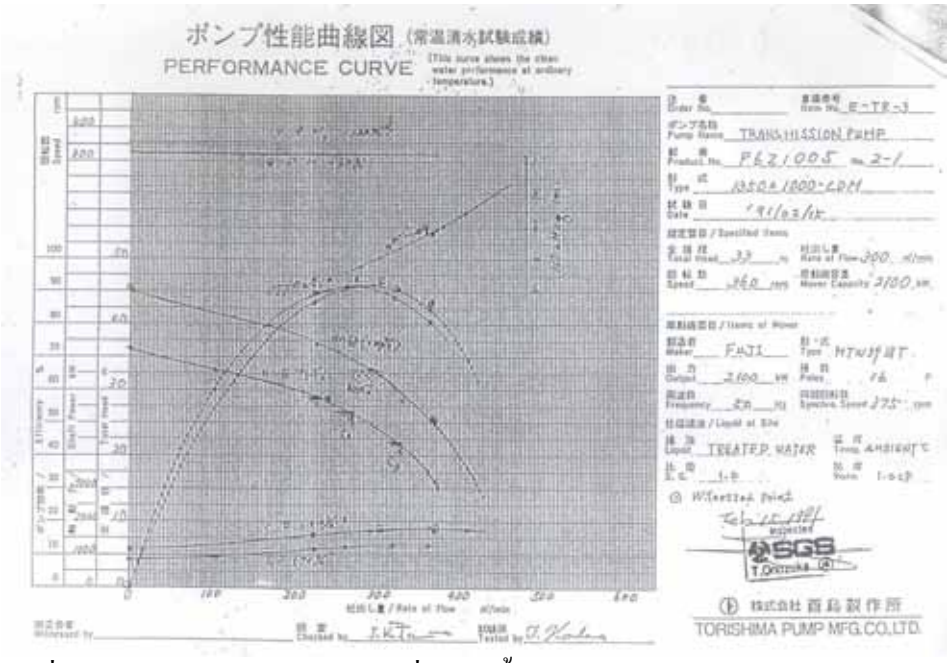

ภาพผนวกที่ ข6 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS2-8

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)



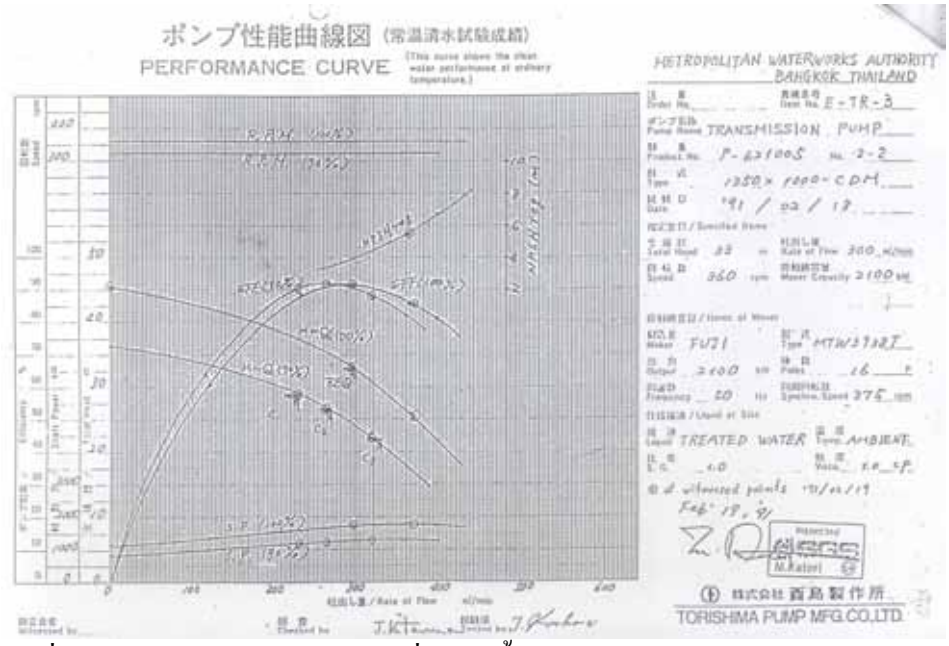

ภาพผนวกที่ ข7 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS2-9

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)



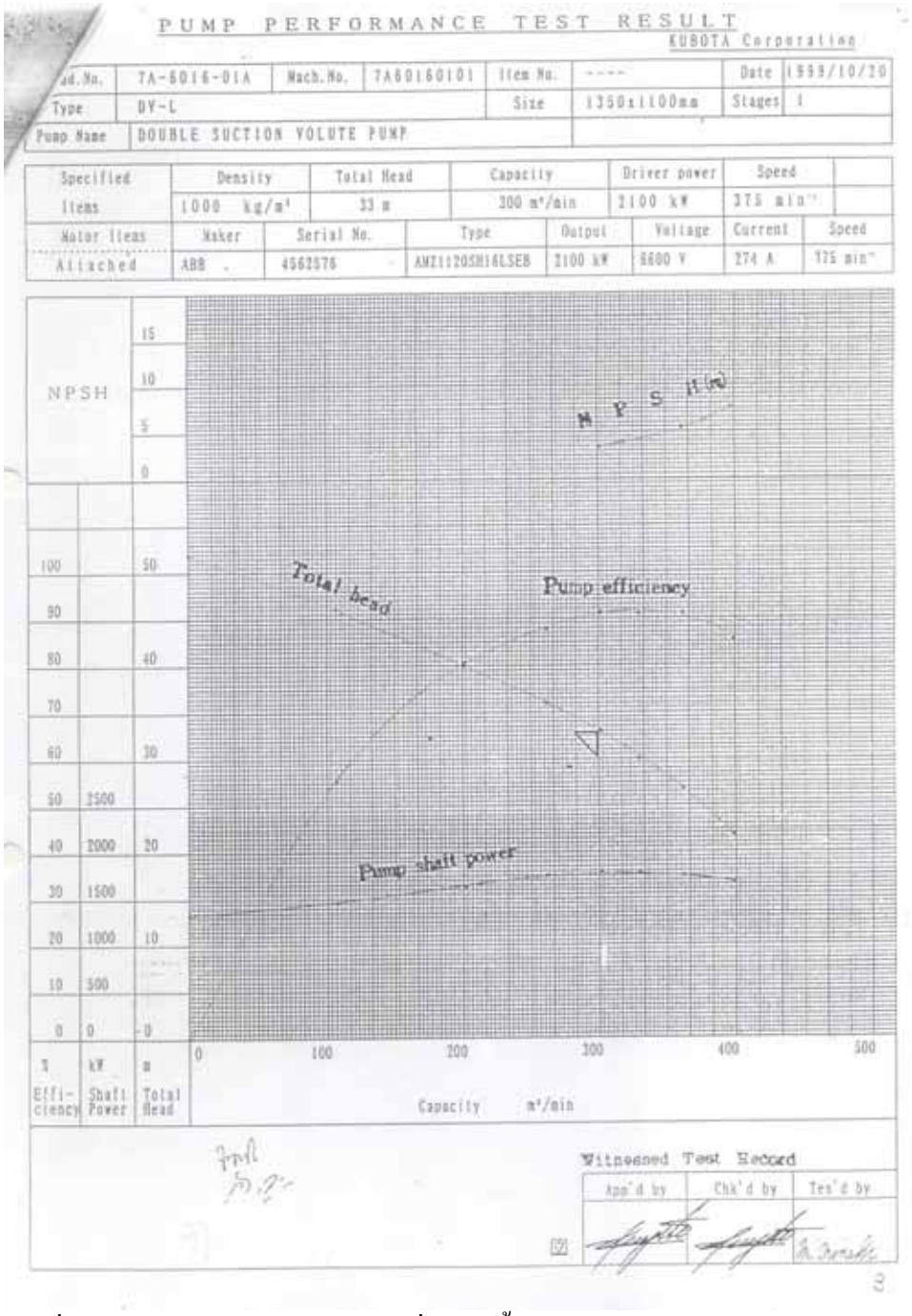

ภาพผนวกที่ ข8 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS2-10

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)




ภาพผนวกที่ ข9 Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS2-11

ที่มา: การประปานครหลวง (2548)

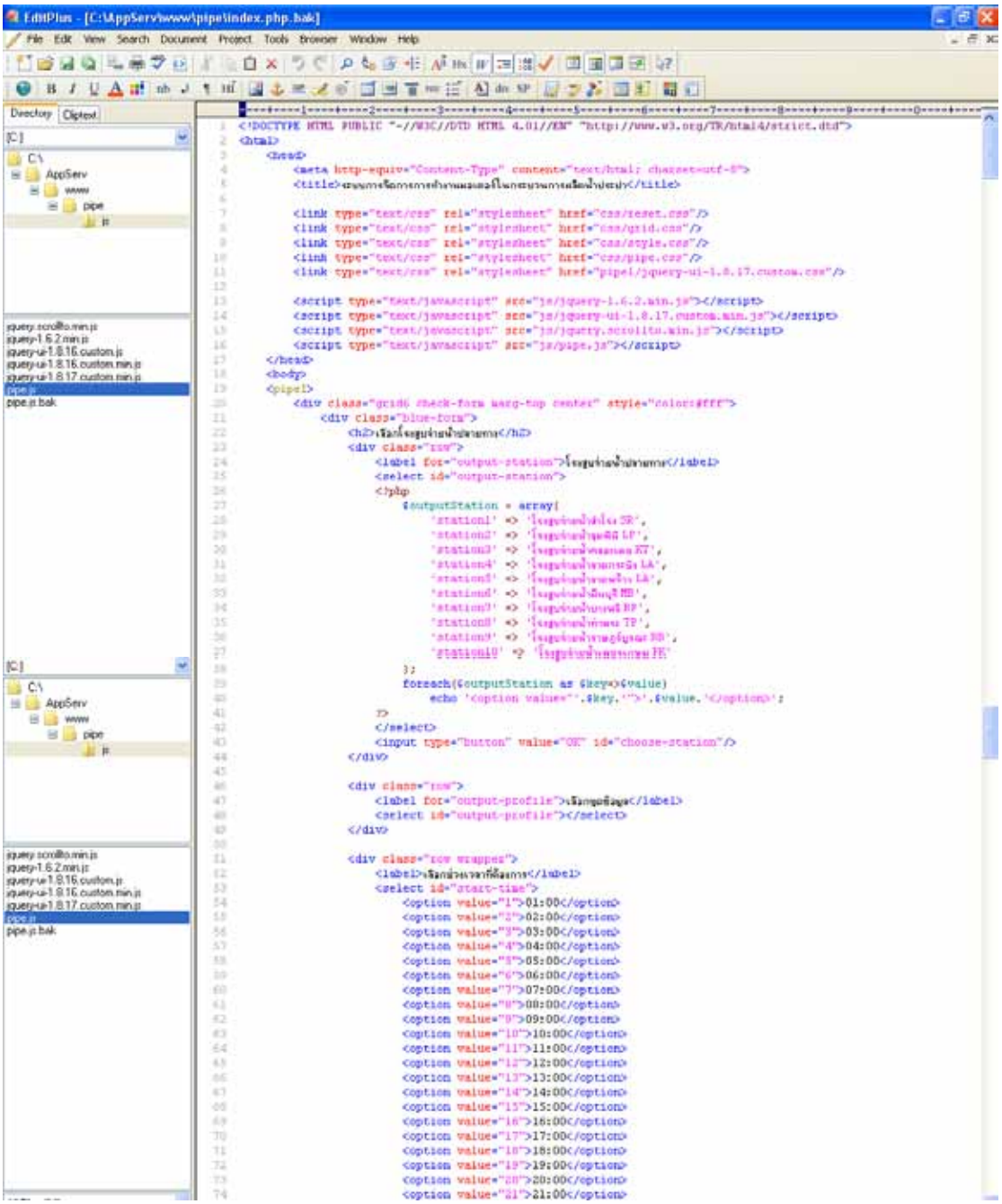


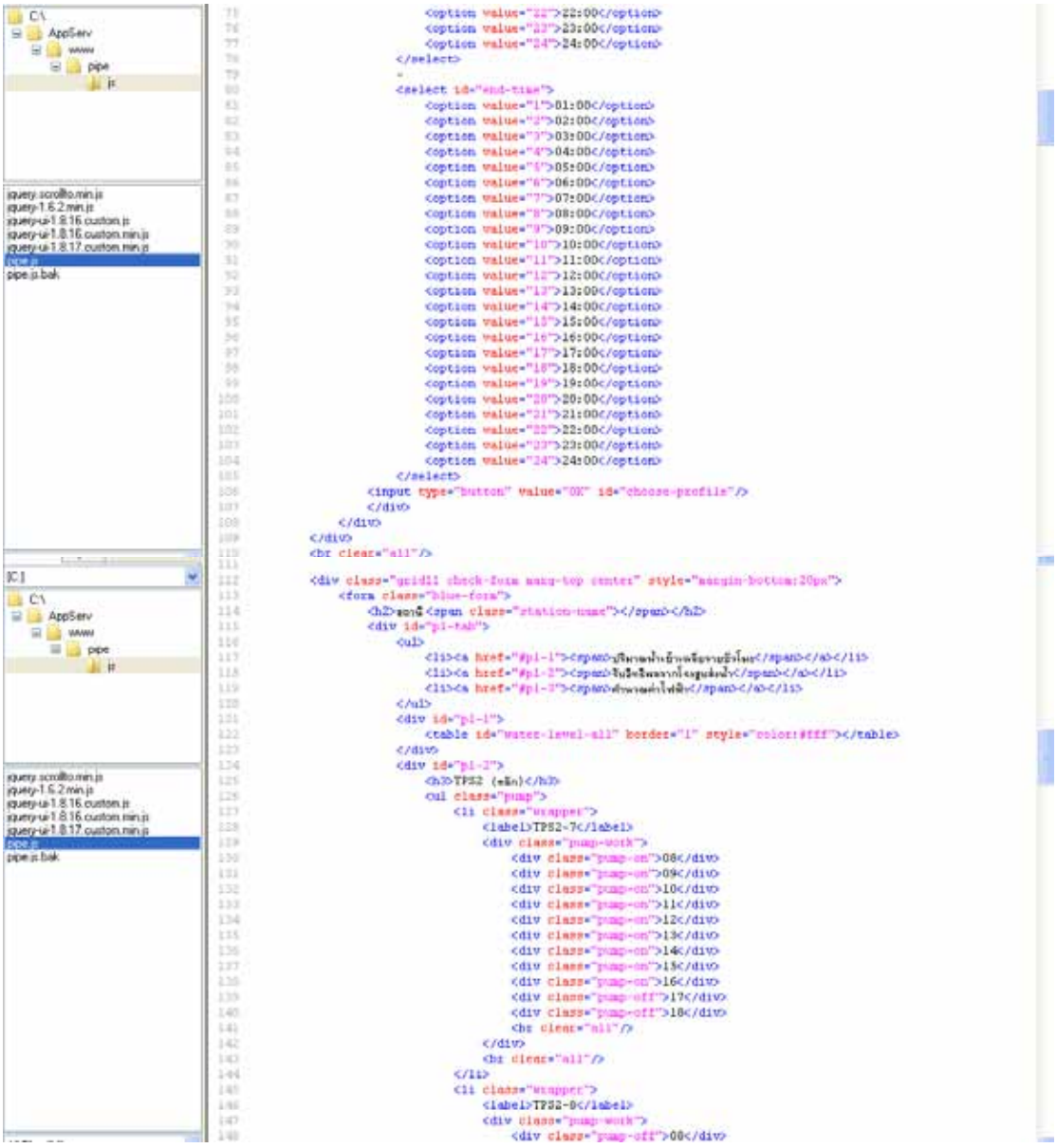

<u>ภาพผนวกที่ ข10</u> Performance Curve ของเครื่องสูบน้ำ TPS2-12

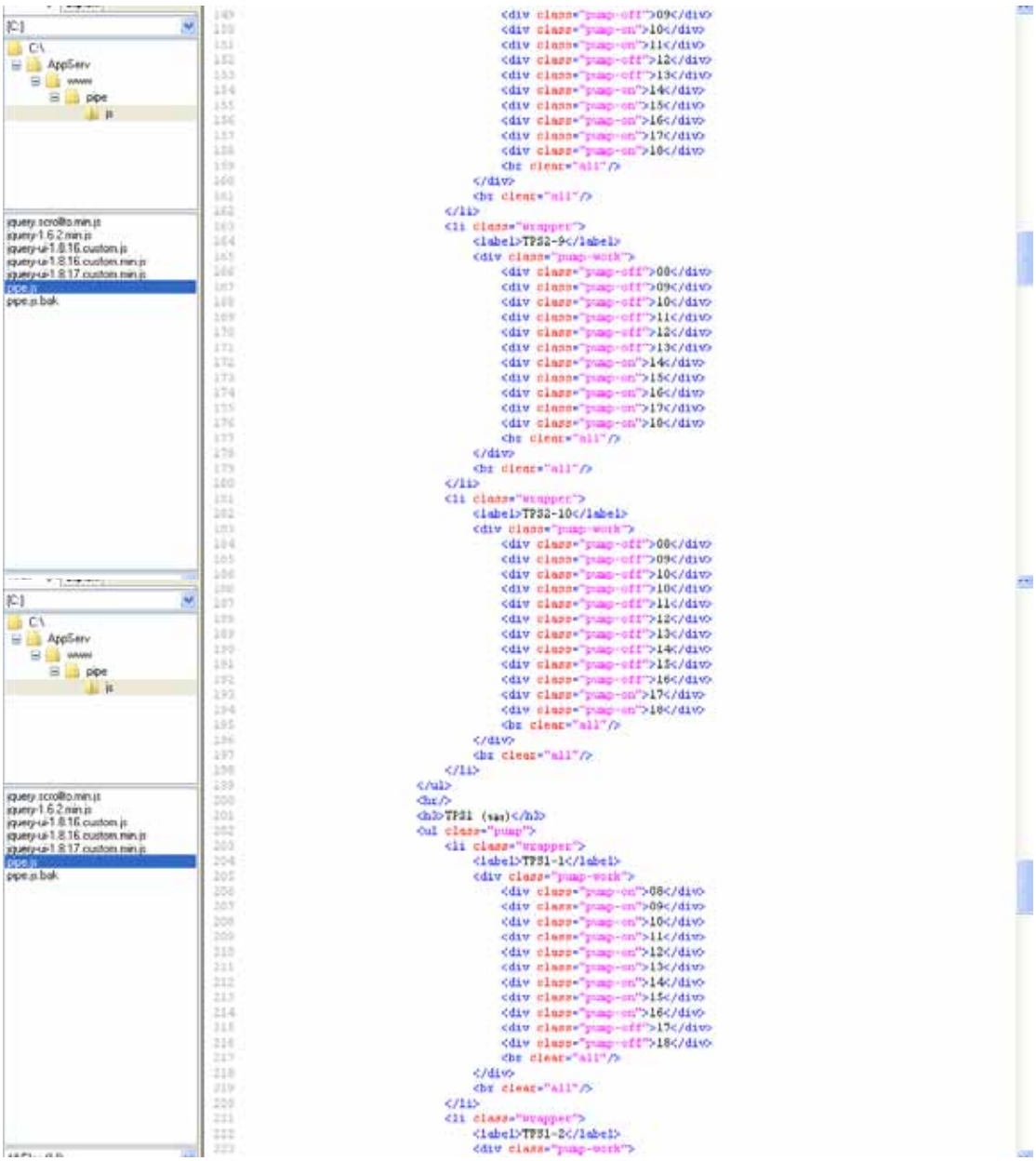
ที่มา: การประปานครหลวง (2548)

# ภาคผนวก ค
# โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดการมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ

## ส่วนโครงสร้างของโปรแกรม




C:\
AppServ
www
pipe
js
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak
[C:]
C:\
AppServ
www
pipe
js
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak


C:\
AppServ
www
pipe
js
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak
C:\
AppServ
www
pipe
js
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
<br clear="all"/>

<br clear="all"/>
</li>
<li class="wrapper">
<label>TP32-9</label>

08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
<br clear="all"/>

<br clear="all"/>
</li>
<li class="wrapper">
<label>TP32-10</label>

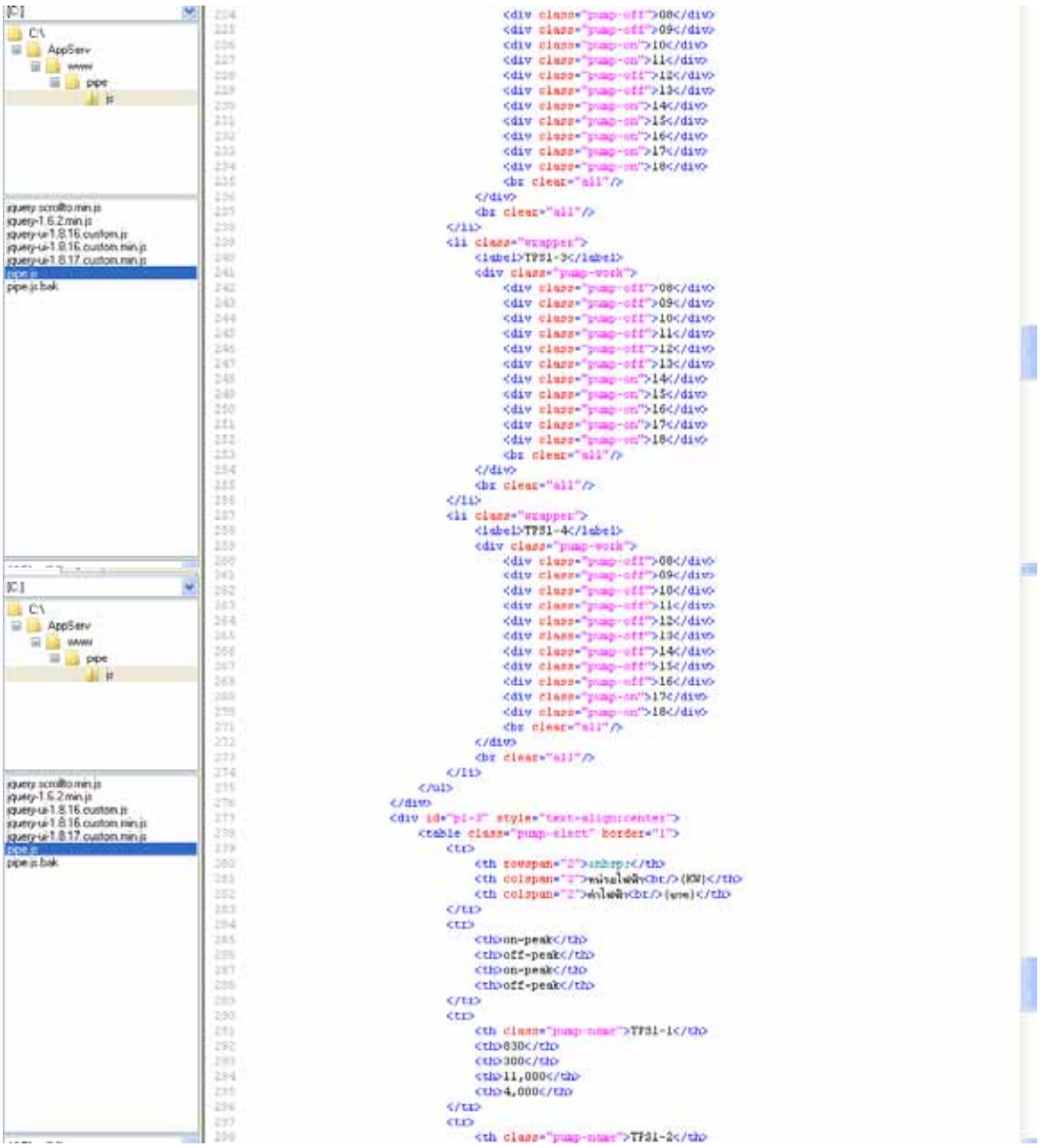
08
09
10
10
11
12
13
14
15
16
17
18
<br clear="all"/>

<br clear="all"/>
</li>
</ul>
<br/>
<h3>TP31 (sss)</h3>
<ul class="pump">
<li class="wrapper">
<label>TP31-1</label>

08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
<br clear="all"/>

<br clear="all"/>
</li>
<li class="wrapper">
<label>TP31-2</label>

jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak


C:\
AppServ
www
pipe
js
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
<br clear="all"/>

<br clear="all"/>
</li>
<li class="wrapper">
<label>TPS1-3</label>

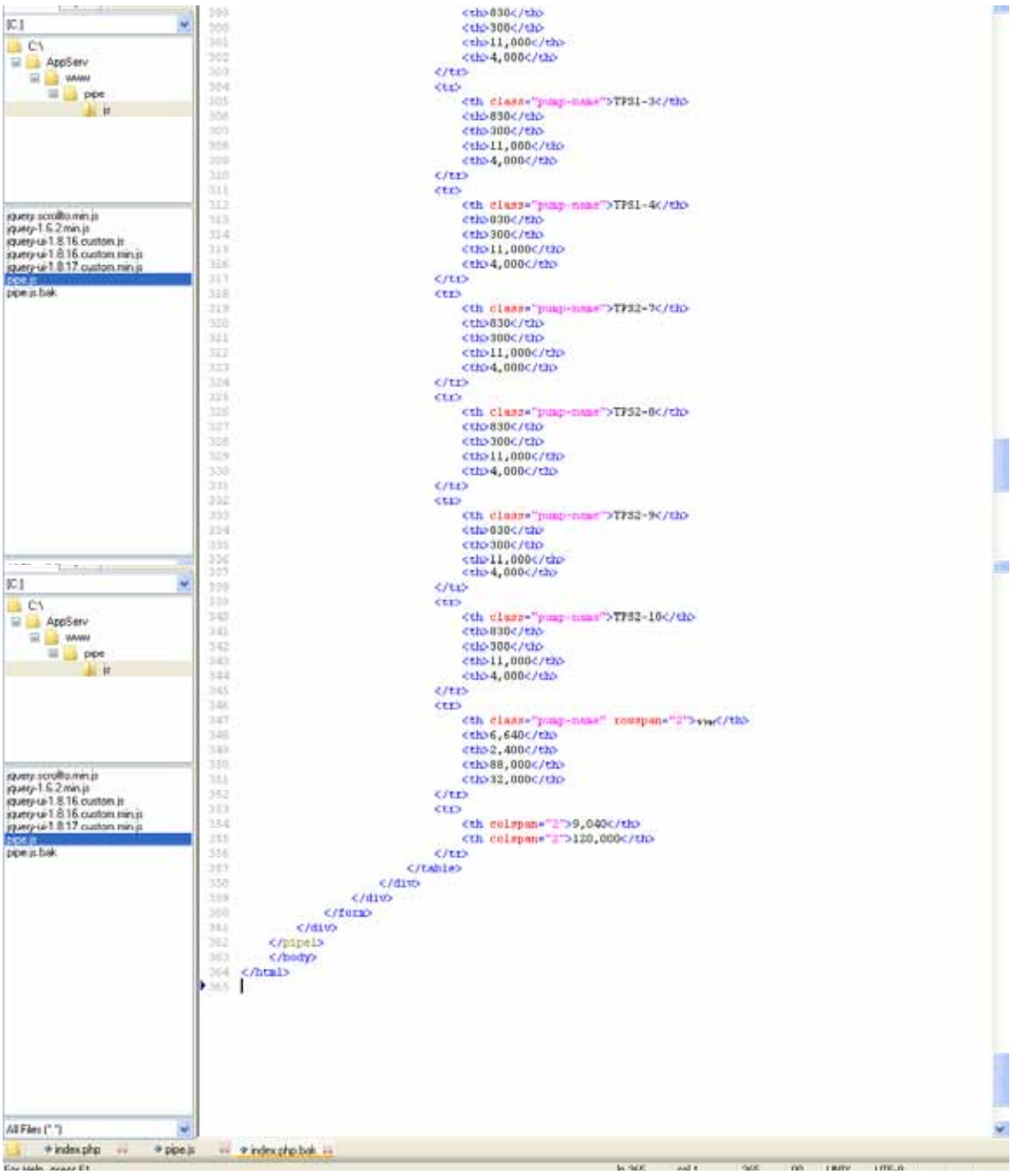
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
<br clear="all"/>

<br clear="all"/>
</li>
<li class="wrapper">
<label>TPS1-4</label>

08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
<br clear="all"/>

<br clear="all"/>
</li>
</ul>

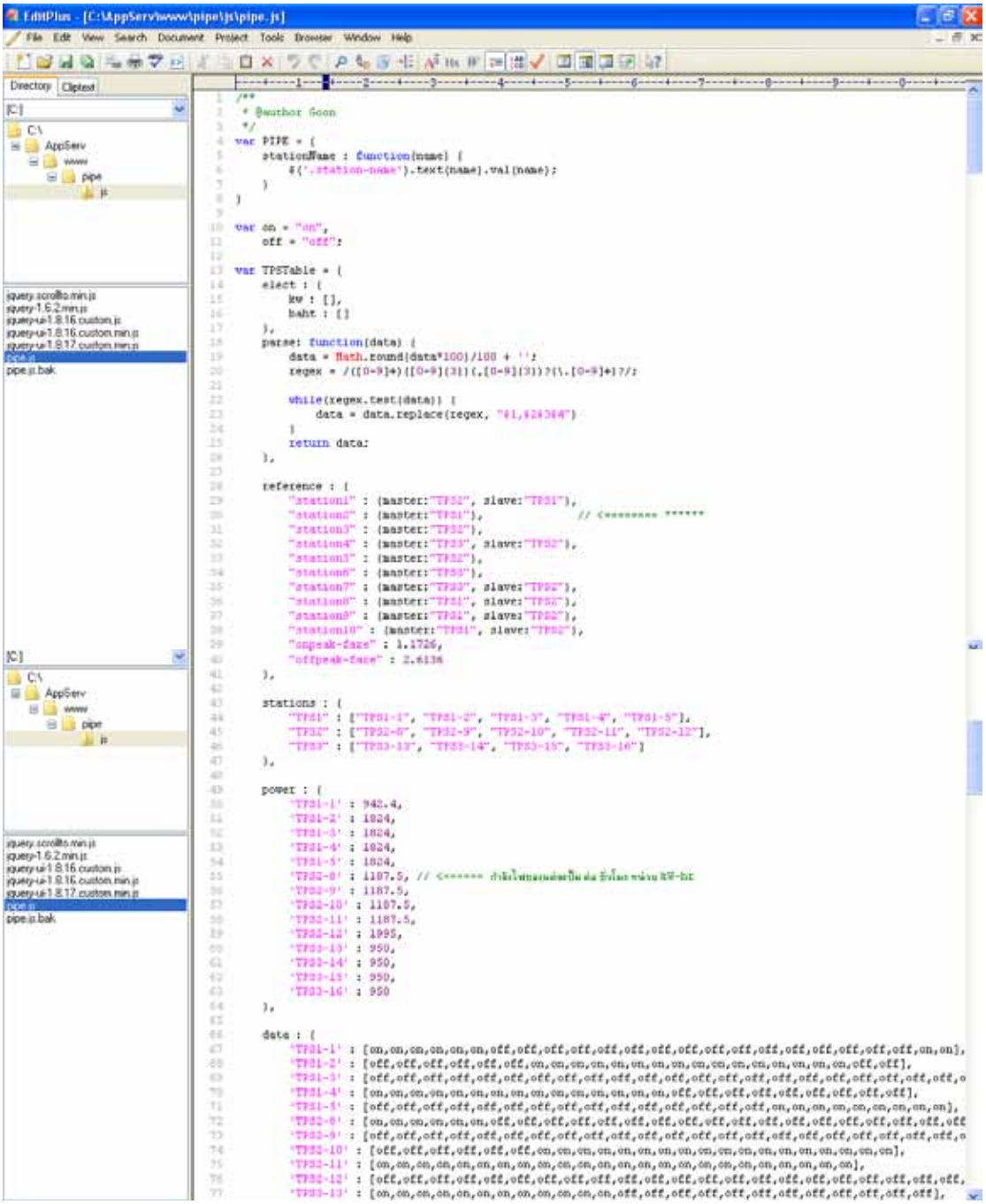
<table class="pump-elect" border="1">
<tr>
<th rowspan="2"> </th>
<th colspan="2">
<br/>(KW)</th>
<th colspan="2">
<br/>(won)</th>
</tr>
<tr>
<th>on-peak</th>
<th>off-peak</th>
<th>on-peak</th>
<th>off-peak</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TPS1-1</th>
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TPS1-2</th>

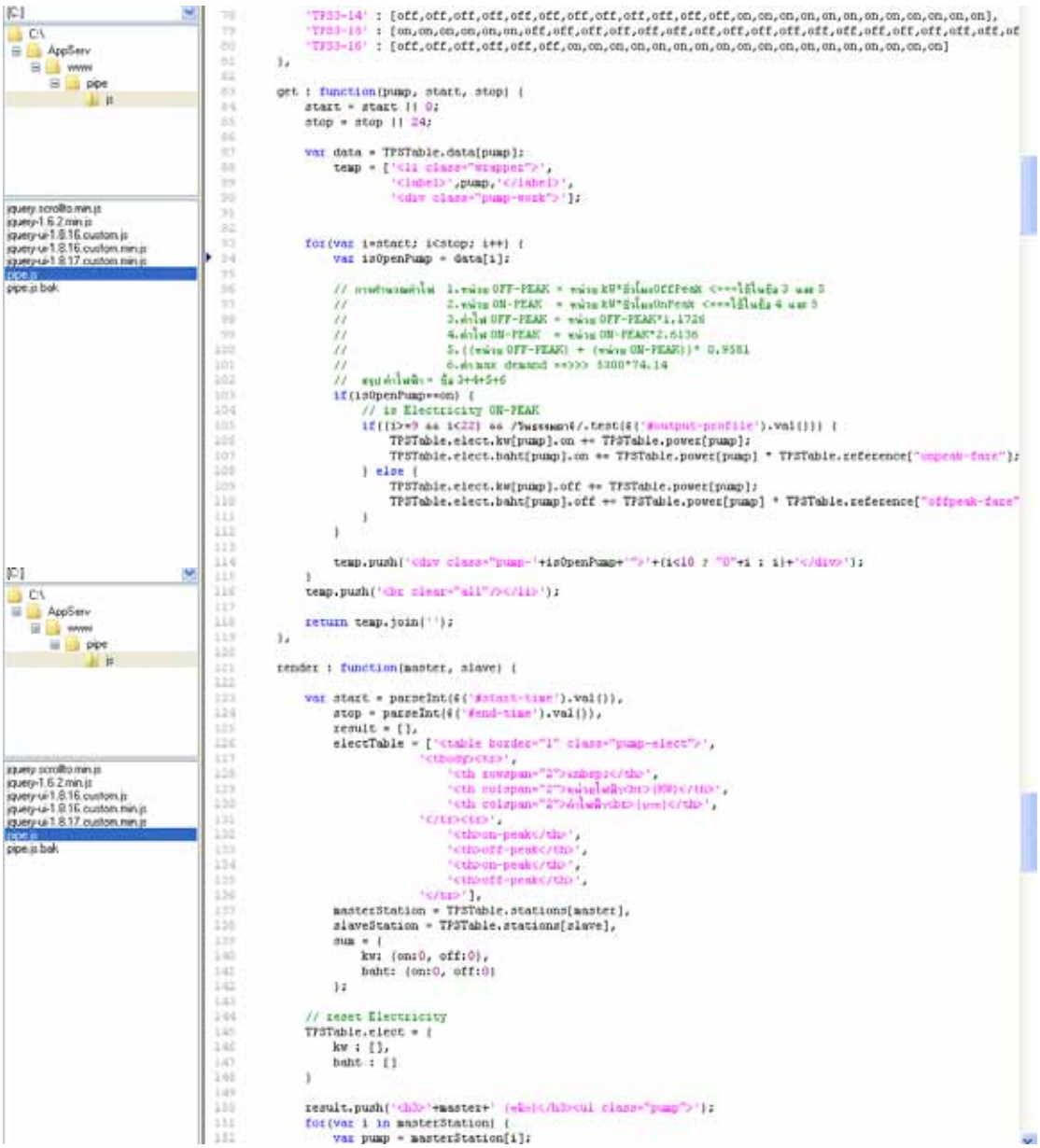

C:\
AppServ
www
pipe
jt
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak
All Files (*.*)
index.php
pipe.js
index.php.bak
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TP31-3</th>
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TP31-4</th>
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TP32-7</th>
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TP32-8</th>
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TP32-9</th>
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name">TP32-10</th>
<th>830</th>
<th>300</th>
<th>11,000</th>
<th>4,000</th>
</tr>
<tr>
<th class="pump-name" rowspan="2">sum</th>
<th>6,640</th>
<th>2,400</th>
<th>88,000</th>
<th>32,000</th>
</tr>
<tr>
<th colspan="2">9,040</th>
<th colspan="2">120,000</th>
</tr>
</table>

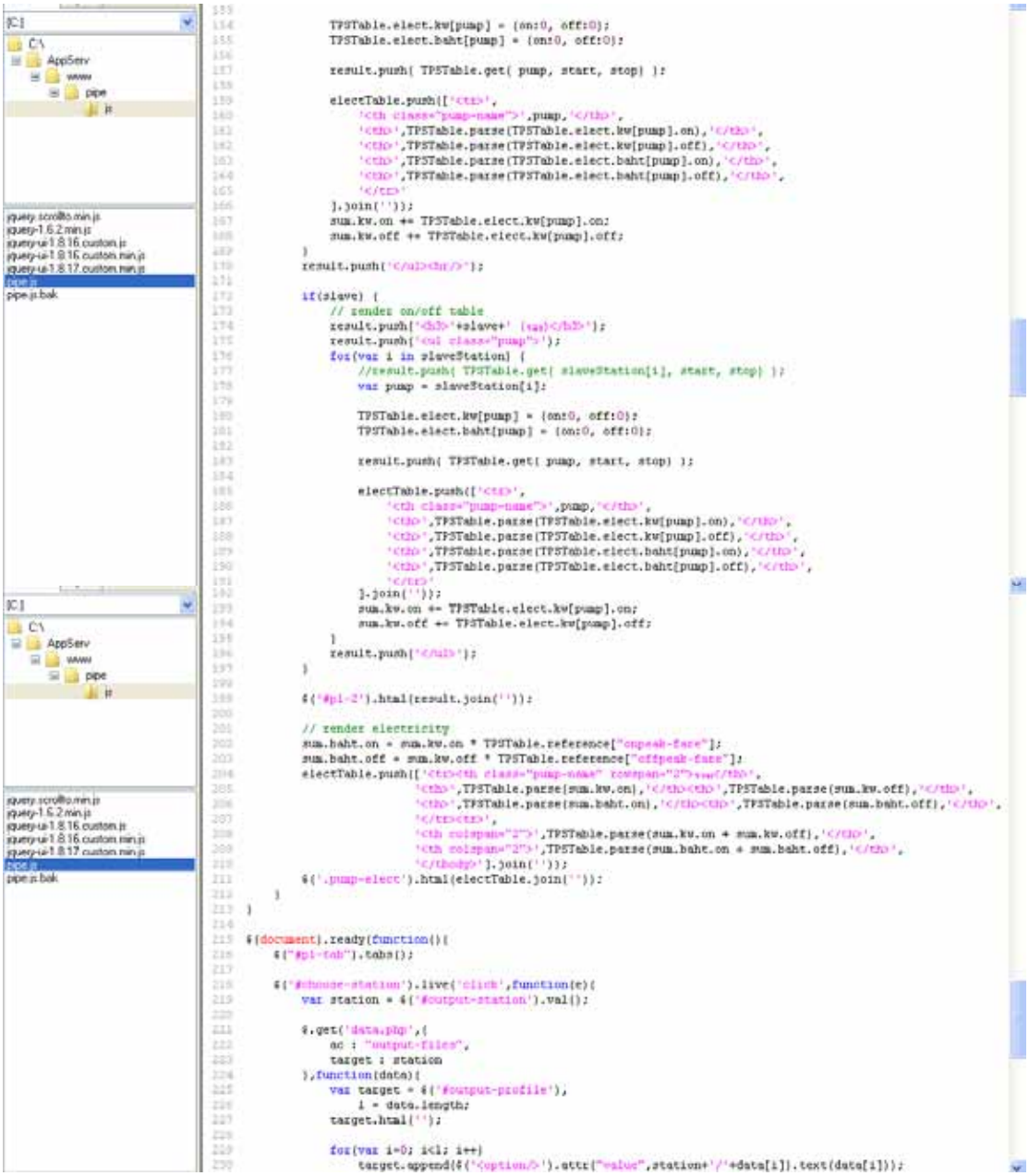
</form>

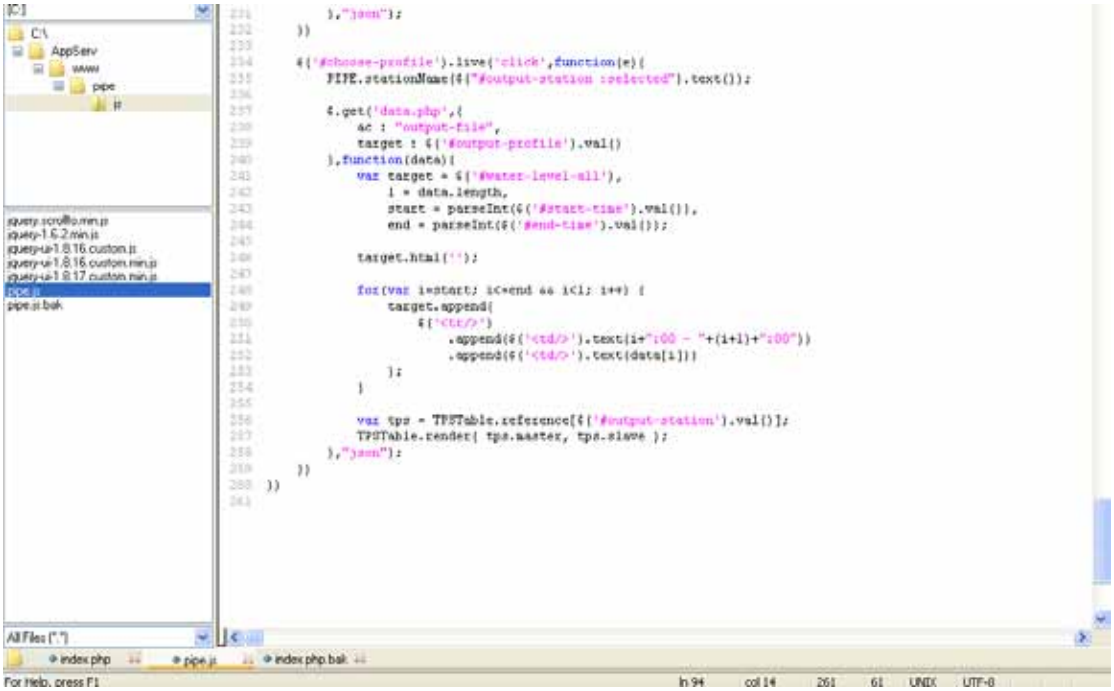
</pipe1>
</body>
</html>

## ส่วนรายละเอียดภายในโปรแกรม




C:\
AppServ
www
pipe
js
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak
'TP33-14' : [off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on],
'TP33-15' : [on,on,on,on,on,on,on,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,off,
'TP33-16' : [off,off,off,off,off,off,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on,on]
},
get : function(pump, start, stop) {
start = start || 0;
stop = stop || 24;
var data = TPSTable.data[pump];
temp = ['<li class="wrapper">',
'<label>',pump,'</label>',
' '];
for(var i=start; i<stop; i++) {
var isOpenPump = data[i];
// การคำนวณค่าไฟ 1.หน่วย OFF-PEAK * หน่วย kW*ชั่วโมงOffPeak <---ใช้ในช่วง 3 และ 5
// 2.หน่วย ON-PEAK * หน่วย kW*ชั่วโมงOnPeak <---ใช้ในช่วง 4 และ 5
// 3.ค่าไฟ OFF-PEAK = หน่วย OFF-PEAK*1.4726
// 4.ค่าไฟ ON-PEAK = หน่วย ON-PEAK*2.6136
// 5.((หน่วย OFF-PEAK) + (หน่วย ON-PEAK))* 0.9581
// 6.ค่าFt max demand ==>>> 5300*74.14
// หรือค่าไฟฟ้า = ข้อ 3+4+5+6
if(isOpenPump=='on') {
// is Electricity ON-PEAK
if((i>=9 && i<22) && /Tuesday|Wednesday|Thursday|Friday/.test($('#output-profile').val())) {
TPSTable.elect.kw[pump].on += TPSTable.power[pump];
TPSTable.elect.baht[pump].on += TPSTable.power[pump] * TPSTable.reference["onpeak-fare"];
} else {
TPSTable.elect.kw[pump].off += TPSTable.power[pump];
TPSTable.elect.baht[pump].off += TPSTable.power[pump] * TPSTable.reference["offpeak-fare"
}
}
temp.push(' '+(i<10 ? "0"+i : i)+' ');
}
temp.push('<br clear="all"/></li>');
return temp.join('');
},
render : function(master, slave) {
var start = parseInt($('#start-time').val()),
stop = parseInt($('#end-time').val()),
result = [],
elecTable = ['<table border="1" class="pump-elect">',
'<tbody><tr>',
'<th rowspan="2">เวลา</th>',
'<th colspan="2">หน่วยไฟฟ้า(kW)</th>',
'<th colspan="2">ค่าไฟฟ้า(บาท)</th>',
'</tr><tr>',
'<th>on-peak</th>',
'<th>off-peak</th>',
'<th>on-peak</th>',
'<th>off-peak</th>',
'</tr>'],
masterStation = TPSTable.stations[master],
slaveStation = TPSTable.stations[slave],
sum = {
kw: {on:0, off:0},
baht: {on:0, off:0}
};
// reset Electricity
TPSTable.elect = {
kw : [],
baht : []
}
result.push('<h3>'+master+' (หลัก)</h3><ul class="pump">');
for(var i in masterStation) {
var pump = masterStation[i];

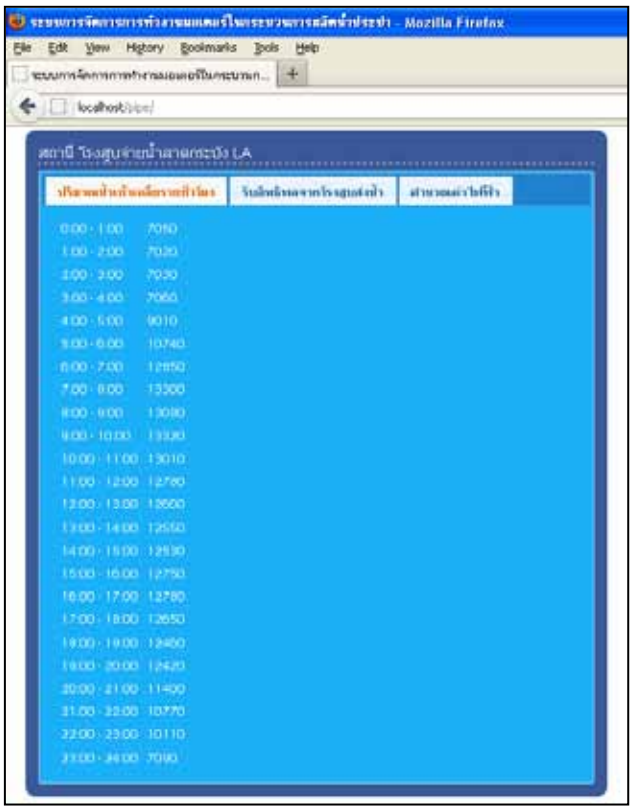

C:\
AppServ
www
pipe
js
jquery.scrollto.min.js
jquery-1.6.2.min.js
jquery-ui-1.8.16.custom.js
jquery-ui-1.8.16.custom.min.js
jquery-ui-1.8.17.custom.min.js
pipe.js
pipe.js.bak




**ส่วนหน้าต่างเพื่อกรอกข้อมูล**

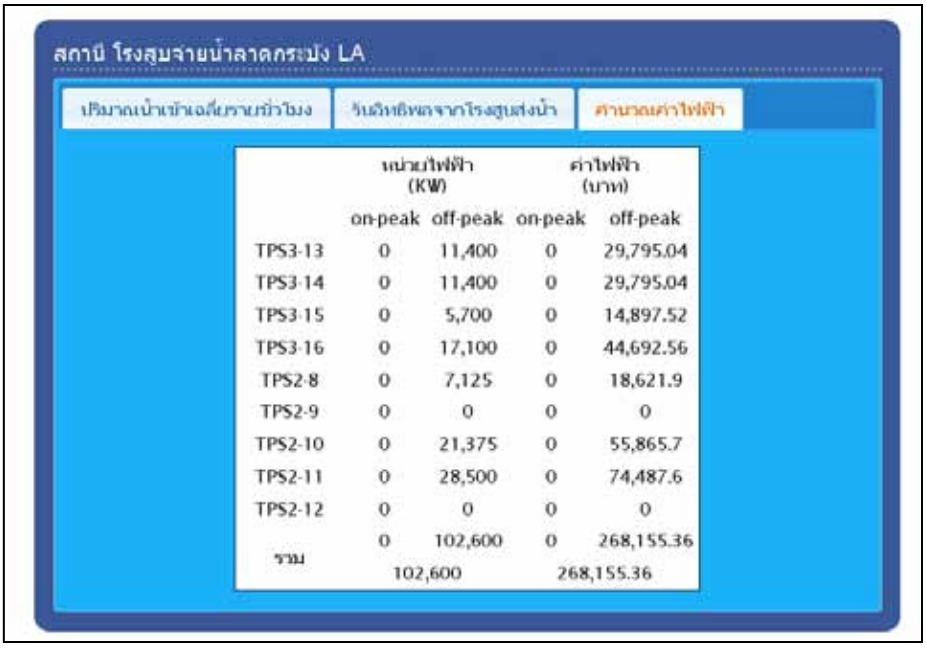
1. เลือกสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทาง กด OK
2. เลือกชุดข้อมูล (ปริมาณน้ำเข้าวันธรรมดา หรือปริมาณน้ำเข้าวันหยุด)
3. เลือกช่วงเวลาที่ต้องการ กด OK

**ส่วนหน้าต่างแสดงผลปริมาณน้ำเข้าเฉลี่ยรายชั่วโมง**



**ส่วนหน้าต่างแสดงผลการกำหนดการเดินมอเตอร์ในสถานีสูบส่งน้ำ**

**ส่วนหน้าต่างแสดงผลการคำนวณค่าไฟฟ้าจากที่ได้เลือก**




| | หน่วยไฟฟ้า (KW) | | ค่าไฟฟ้า (บาท) | |
|---|---|---|---|---|
| | on-peak | off-peak | on-peak | off-peak |
| TPS3-13 | 0 | 11,400 | 0 | 29,795.04 |
| TPS3-14 | 0 | 11,400 | 0 | 29,795.04 |
| TPS3-15 | 0 | 5,700 | 0 | 14,897.52 |
| TPS3-16 | 0 | 17,100 | 0 | 44,692.56 |
| TPS2-8 | 0 | 7,125 | 0 | 18,621.9 |
| TPS2-9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TPS2-10 | 0 | 21,375 | 0 | 55,865.7 |
| TPS2-11 | 0 | 28,500 | 0 | 74,487.6 |
| TPS2-12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| รวม | 0 | 102,600 | 0 | 268,155.36 |
| | 102,600 | | 268,155.36 | |

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศุทธิวัต ปฏิภาณวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2527 เข้ารับการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนณัฐวุฒิวิทยา กรุงเทพมหานคร ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทางวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปี 2549 จากนั้น และสำเร็จการศึกษาในระดับ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 ปัจุบันทำงานเป็น วิศวกรไฟฟ้า ส่วนมอเตอร์และระบบควบคุม กองซ่อมบำรุงไฟฟ้า ฝ่ายบำรุงรักษาโรงงาน ของการประปานครหลวง