การพัฒนาตัวแบบการส่งน้ำประปาเพื่อลดค่าไฟฟ้า

นายเฉลิมรัช นิรมาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DEVELOPMENT OF WATER TRANSMISSION MODEL TO REDUCE ELECTRICITY COST

Mr. Chalermrat Niraman

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาตัวแบบการส่งน้ำประปาเพื่อลดค่าไฟฟ้า
โดย	นายเฉลิมรัช นิรมาน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมวล สุธีจารุวัฒน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดาริชา สุธีวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมวล สุธีจารุวัฒน)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เฉลิมรัช นิรมาน : การพัฒนาตัวแบบการส่งน้ำประปาเพื่อลดค่าไฟฟ้า (A DEVELOPMENT OF WATER TRANSMISSION MODEL TO REDUCE ELECTRICITY COST) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ประมวล สุธีจารุวัฒน, 73 หน้า.

กระบวนการผลิตและส่งน้ำประปาให้ผู้ใช้น้ำของการประปานครหลวงแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการผลิตน้ำ และขั้นตอนการสูบส่งและจ่ายน้ำ โดยมีร้อยละ 70 ของค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในการผลิตและส่งน้ำเกิดจากขั้นตอนการสูบส่งและจ่ายน้ำ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าไฟฟ้ามี 2 ปัจจัย แบ่งเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ และปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้คือ รูปแบบการคิดค่าไฟฟ้า ปริมาณความต้องการใช้น้ำ และแรงดันน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับการไฟฟ้านครหลวงและผู้ใช้น้ำ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คือระดับน้ำในถังเก็บน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาค่าระดับน้ำในถังเก็บน้ำของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำประปาและหาแนวทางการควบคุมระดับน้ำเพื่อลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการสูบส่งและสูบจ่ายน้ำ โดยการประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับแบบจำลองทางชลศาสตร์ EPANET 2.0 จากโครงข่ายอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง โดยมีขั้นตอนการหาคำตอบค่าระดับน้ำ 2 ขั้นตอนคือ หาคำตอบระดับน้ำที่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้เบื้องต้นซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าระดับน้ำเป้าหมายในแต่ละชั่วโมงเป็นเวลา 10 วัน จากนั้นจึงนำผลลัพธ์นี้ไปใช้ในขั้นตอนที่สองเพื่อปรับค่าระดับน้ำโดยรวมของสถานีสูบจ่ายน้ำให้สูงขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าไฟฟ้าโดยรวมมีค่าลดลง จากผลการศึกษาพบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 17,000 บาทต่อวัน หรือประมาณ 6,000,000 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

5770912921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: WATER TRANSMISSION / DISTRIBUTION PUMPING STATION / DECREASING ELECTRICAL COST / DIFFERENTIAL EVOLUTION / EPANET 2.0

CHALERMRAT NIRAMAN: A DEVELOPMENT OF WATER TRANSMISSION MODEL TO REDUCE ELECTRICITY COST. ADVISOR: ASST. PROF. PRAMUAL SUTEECHARUWAT, Ph.D., 73 pp.

Water treatment and transmitting system of Metropolitan Waterworks Authority (MWA) has two main processes. First is water treatment process and second is water transmitting and distributing process. Seventy percent of electrical cost is from transmitting and distributing process. Factor affecting electrical cost is divided into two factor, which are uncontrollable and controllable factor. Uncontrollable factor consist of calculating electrical cost format, water demand and water pressure that depend on Metropolitan Electricity Authority (MEA) and customer. Controllable factor is water level in distributing station's reservoirs. This research has objective to solve and control water level distributing station's reservoirs in order to decreasing transmitting and distributing electrical cost. This apply Differential Evolution (DE) and hydraulic model EPANET 2.0 in MWA's water transmission. It has 2 step for solving, which are solving primary target water level value every hours for 10 days, and then adjust to increasing overall water level of the station to reduce electrical cost. Research result show it can reduce electrical cost 17,000 baht per day or more than 6 million baht per year.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือและการให้คำปรึกษาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน ตลอดจนให้การดูแล ให้การแนะนำและข้อคิดเห็นด้วยความเมตตาต่อผู้วิจัยตลอดการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อแนะนำจนกระทั่งสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณผู้อำนวยการฝ่าย ผู้อำนวยการกอง หัวหน้าส่วนงาน วิศวกร และผู้ที่เกี่ยวข้องของการประปานครหลวง ที่คอยให้การสนับสนุนวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิด และขอบคุณเพื่อนและพี่น้องทุกคน ที่คอยให้กำลังใจทำให้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 7
1.3 ขอบเขตการศึกษา 7
1.4 แนวทางการศึกษา 8
1.5 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 15
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา 15
2.2 การควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ 15
2.3 ค่าไฟฟ้า 17
2.4 พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ 18
2.5 วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง 19
2.6 แบบจำลองทางชลศาสตร์ EPANET 22
2.7 การคาดการณ์ปริมาณความต้องการใช้น้ำ 23
บทที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา 24
3.1 การหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.2 การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง EPANET 25
3.3 การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมหาคำตอบ 33
3.4 การหาคำตอบและเปรียบเทียบผล 39
3.5 การปรับปรุงผลคำตอบที่ได้.....46
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 55
4.1 ผลการทดลอง.....55
4.2 วิเคราะห์ผล 57
บทที่ 5 สรุปผลงานศึกษาและข้อเสนอแนะ 63
5.1 สรุปผลงานศึกษา 63
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
5.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำไปใช้ควบคุม.....65
รายการอ้างอิง 69
ภาคผนวก.....70
ภาคผนวก ก. เครื่องสูบน้ำกับการใช้งานร่วมกับมอเตอร์ปรับความเร็วรอบ 71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายน้ำ 3
ตารางที่ 1.2 ความจุ ความสูงถังเก็บน้ำและปริมาณน้ำจ่ายโดยประมาณของสถานีสูบจ่ายน้ำ 4
ตารางที่ 1.3 ค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตและส่งน้ำ 5
ตารางที่ 1.4 ระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 6
ตารางที่ 2.1 ค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้ากิจการประเภทที่ 4 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ .18
ตารางที่ 3.1 เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำโรงงานผลิตน้ำบางเขนและมหาสวัสดิ์ 27
ตารางที่ 3.2 เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ 10 สถานี 27
ตารางที่ 3.3 จำนวนและประเภทเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง EPANET 28
ตารางที่ 3.4 ความผิดพลาดเฉลี่ยจากการนำข้อมูลมาใช้คาดการณ์ปริมาณการจ่ายน้ำ
ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 37
ตารางที่ 3.5 ผลเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้จากแฟคเตอร์ขยายผลต่างครั้งที่ 1 38
ตารางที่ 3.6 ผลเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้จากแฟคเตอร์ขยายผลต่างครั้งที่ 2 39
ตารางที่ 3.7 คำตอบค่าระดับน้ำในแต่ละเวลา 10 สถานีสูบจ่าย วันที่ 1 มีนาคม 2560 39
ตารางที่ 3.8 ค่าระดับน้ำสูงสุดในแต่ละวันที่ได้จากการหาคำตอบ 46
ตารางที่ 3.9 ค่าระดับน้ำเริ่มต้นจริงกับค่าระดับน้ำเริ่มต้นที่ปรับปรุง 47
ตารางที่ 3.10 คำตอบระดับน้ำในแต่ละเวลาของสถานีสูบจ่ายวันที่ 1 มีนาคม 2560 47
ตารางที่ 4.1 ผลค่าไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณด้วยต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า 55

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 สัดส่วนกำลังการผลิตน้ำประปาสูงสุดของการประปานครหลวง 1
รูปที่ 1.2 โครงข่ายอุโมงค์ส่งน้ำของ กปน. 2
รูปที่ 1.3 สัดส่วนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและส่งน้ำ 5
รูปที่ 1.4 กราฟเฮดของระบบที่เกิดจากเฮดสถิตย์และเฮดความฝืด 6
รูปที่ 1.5 ปริมาณความสูงของน้ำด้านฝั่งดูดที่มีผลต่อเฮดสถิตย์ด้านรวม 7
รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา 16
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟแรงดันมาตรฐานของกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ 17
รูปที่ 2.3 คุณลักษณะของแรงดันและอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ 19
รูปที่ 2.4 การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้นของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง 20
รูปที่ 2.5 การสุ่มเลือกเวกเตอร์เพื่อนำมาสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่ 21
รูปที่ 2.6 การสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่ 21
รูปที่ 3.1 โปรแกรมรับและส่งข้อมูลรายงานประจำวันเพื่อป้อนเข้าโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า 26
รูปที่ 3.2 โครงข่ายอุโมงค์ส่งน้ำประปาของ กปน. ในแบบจำลอง EPANET 28
รูปที่ 3.3 ระบบเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ ในแบบจำลอง EPANET 29
รูปที่ 3.4 โปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง EPANET 29
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการคำนวณการทำงานของเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ 30
รูปที่ 3.6 เส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 1 โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ 31
รูปที่ 3.7 เส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 2 โรงงานผลิตน้ำบางเขน 31
รูปที่ 3.8 เส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 3 โรงงานผลิตน้ำบางเขน 32
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการคำนวณการทำงานของเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ 32
รูปที่ 3.10 ค่าไฟฟ้าในระบบส่งน้ำที่ได้จากการทดสอบหาคำตอบจากรายงายประจำวัน
ของวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 33

หน้า

รูปที่ 3.11 ค่าไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบหาคำตอบจากรายงายประจำวัน
ของวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 33
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการหาคำตอบเบื้องต้นด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง.....35
รูปที่ 3.13 โปรแกรมหาคำตอบระดับน้ำด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง 36
รูปที่ 3.14 ปริมาณการจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงในวันพุธ
เดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 (วันปกติ) ในแต่ละชั่วโมง 38
รูปที่ 3.15 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินี วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560.....40
รูปที่ 3.16 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560....41
รูปที่ 3.17 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 41
รูปที่ 3.18 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษม วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560.....42
รูปที่ 3.19 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 42
รูปที่ 3.20 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 43
รูปที่ 3.21 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตย วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560.....43
รูปที่ 3.22 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลี วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 44
รูปที่ 3.23 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 44
รูปที่ 3.24 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 45
รูปที่ 3.25 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้ระหว่างระดับน้ำจากงานวิจัยกับระดับน้ำจริง.....45
รูปที่ 3.26 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินีหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 48
รูปที่ 3.27 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 49
รูปที่ 3.28 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 49

รูปที่ 3.29 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษมหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 50

รูปที่ 3.30 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 51

รูปที่ 3.31 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าวหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 51

รูปที่ 3.32 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตยหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 52

รูปที่ 3.33 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรีหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 53

รูปที่ 3.34 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบังหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 53

รูปที่ 3.35 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลีหลังจากปรับปรุงคำตอบ
วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 54

รูปที่ 4.1 ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในแต่ละเดือนของระดับน้ำจริงและระดับน้ำที่ได้จากงานวิจัย
ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำจากการคำนวณผ่าน EPANET 56

รูปที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวันของระดับน้ำจริงและระดับน้ำที่ได้จากงานวิจัยในระบบสูบส่ง
และจ่ายน้ำจากการคำนวณผ่าน EPANET ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2560.....57

รูปที่ 4.3 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริง
และระดับน้ำที่ได้จากงานวิจัย 58

รูปที่ 4.4 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริงและระดับน้ำที่ได้จาก
งานวิจัย 58

รูปที่ 4.5 ระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำตามแนวทางการลดค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ.....59

รูปที่ 4.6 ระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำตามแนวทางการลดค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำ.....59

รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างระดับน้ำที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบกับ
ระดับน้ำจริง.....60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.8 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริง
และที่ได้จากการพัฒนาคำตอบ 61

รูปที่ 4.9 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริง
และที่ได้จากการพัฒนาคำตอบ 61

รูปที่ 5.1 การควบคุมระดับน้ำของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร 65

รูปที่ 5.2 แผนผังการควบคุมระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ 66

รูปที่ 5.3 แผนผังการควบคุมระดับน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ.....67

รูปที่ 5.4 การควบคุมวาล์วเมื่อมีการกำหนดช่วงไร้การตอบสนอง.....68

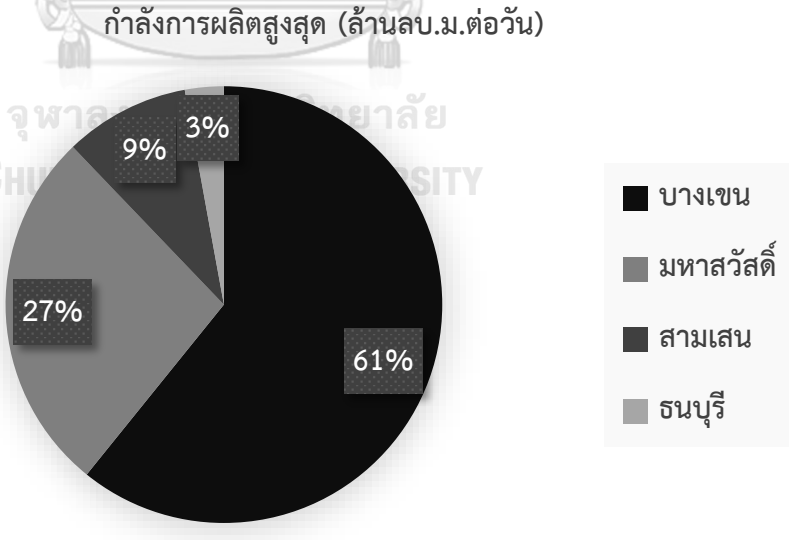
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การประปานครหลวง (กปน.) เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจมีภารกิจหลักในการผลิต จัดส่ง และให้บริการน้ำประปาที่มีคุณภาพ เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำของประชาชนในเขตพื้นที่รับผิดชอบคือ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งมีประชากรประมาณ 11.5 ล้านคนด้วยกำลังการผลิต 5.9 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีโรงงานผลิตน้ำทั้งหมด 4 แห่งคือ โรงงานผลิตน้ำบางเขนมีกำลังการผลิตสูงสุด 3.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มีกำลังการผลิตสูงสุด 1.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โรงงานผลิตน้ำสามเสนมีกำลังการผลิตสูงสุด 0.55 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โรงงานผลิตน้ำธนบุรีมีกำลังการผลิตสูงสุด 0.17 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีความสามารถในการผลิตน้ำสูงสุดรวม 6.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีสัดส่วนกำลังการผลิตสูงสุดของโรงงานผลิตน้ำดังรูปที่ 1.1 [1]

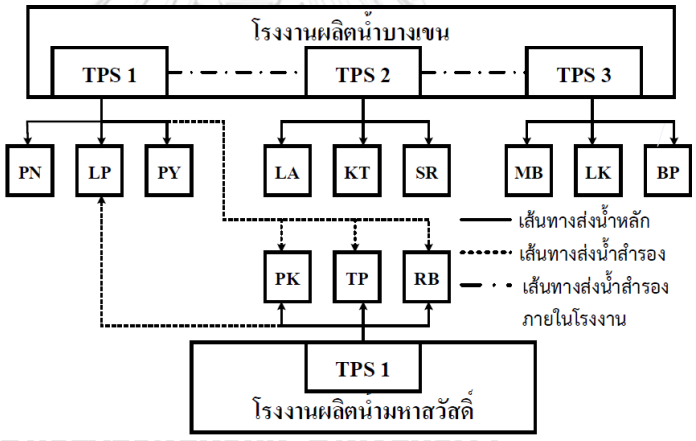


รูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 สัดส่วนกำลังการผลิตน้ำประปาสูงสุดของการประปานครหลวง

ในระบบสูบส่งน้ำของ กปน. ประกอบด้วย 2 โรงงานผลิตน้ำคือ โรงงานผลิตน้ำบางเขน และโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ซึ่งทำหน้าที่สูบน้ำจากโรงงานผลิตน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ 12 สถานี และให้ผู้ใช้น้ำโดยตรง โรงงานผลิตน้ำบางเขนมีสถานีสูบส่งน้ำ 3 สถานีคือ สถานีสูบส่งน้ำ 1 (TPS 1) สถานีสูบส่งน้ำ 2 (TPS 2) และสถานีสูบส่งน้ำ 3 (TPS 3) โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มีสถานีสูบส่งน้ำ 1 สถานีคือ สถานีสูบส่งน้ำ 1 (TPS 1)

สถานีสูบส่งน้ำ 1 ของโรงงานบางเขนจะส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ 6 สถานีคือ ประชานุกูล (PN) พหลโยธิน (PY) ลุมพินี (LP) เพชรเกษม (PK) ท่าพระ (TP) และราษฎร์บูรณะ (RB) สถานีสูบส่งน้ำ 2 จะส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ 3 สถานีคือ ลาดพร้าว (LA) คลองเตย (KT) และสำโรง (SR) สถานีสูบส่งน้ำ 3 จะส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ 3 สถานีลุมพินี (LP) ลาดกระบัง (LK) และบางพลี (BP) ส่วนสถานีสูบส่งน้ำ 1 ของโรงงานมหาสวัสดิ์จะส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ 4 สถานี ลุมพินี (LP) เพชรเกษม (PK) ท่าพระ (TP) และราษฎร์บูรณะ (RB) แสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 โครงข่ายอุโมงค์ส่งน้ำของ กปน.

ที่มา : ส่วนพัฒนาระบบส่งและจ่ายน้ำ กปน.

สถานีสูบจ่ายน้ำของ กปน. ประกอบด้วยสถานีสูบจ่ายน้ำ 12 สถานีแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ สถานีสูบจ่ายน้ำที่ไม่มีถังเก็บน้ำใส 1 สถานีและสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีถังเก็บน้ำใส 10 สถานีดังแสดงในตารางที่ 1.1 โดยสถานีสูบจ่ายน้ำที่ไม่มีถังเก็บน้ำจะไม่สามารถจัดการปริมาณน้ำเข้าสถานีได้เนื่องจากจะรับน้ำจากอุโมงค์ส่งน้ำโดยตรงและทำหน้าที่เพิ่มแรงดันการจ่ายน้ำให้ผู้ใช้น้ำ ส่วนสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีถังเก็บน้ำจะสามารถจัดการปริมาณน้ำเข้าสถานีได้ตามความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน (ปรับวาล์วรับน้ำเข้าสถานี)

ตารางที่ 1.1 ถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายน้ำ

สถานีสูบจ่ายน้ำ	ถังเก็บน้ำใส		
	ไม่มี	มี	
		ใช้งาน	ไม่ใช้งาน
ประชานุกูล	✓		
พหลโยธิน			✓
ลุมพินี		✓	
ท่าพระ		✓	
ราษฎร์บูรณะ		✓	
เพชรเกษม		✓	
สำโรง		✓	
ลาดพร้าว		✓	
คลองเตย		✓	
มีนบุรี		✓	
ลาดกระบัง		✓	
บางพลี		✓	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สถานีสูบจ่ายน้ำที่ไม่มีถังเก็บน้ำใสมี 1 สถานีคือ สถานีสูบจ่ายน้ำประชานุกูลจะทำหน้าที่สูบน้ำจากอุโมงค์ส่งน้ำให้ผู้ใช้น้ำบริเวณใกล้เคียง

สถานีสูบจ่ายน้ำที่มีถังเก็บน้ำใสมี 11 สถานี โดยมีสถานีสูบจ่ายน้ำพหลโยธินซึ่งไม่ได้ใช้งานไม่ได้ใช้งานเป็นเส้นทางผ่านสำหรับกระจายน้ำให้บริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนอีก 10 สถานีคือ สถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินี เพชรเกษม ท่าพระ ราษฎร์บูรณะ ลาดพร้าว คลองเตย สำโรง มีนบุรี ลาดกระบัง และบางพลี จะทำหน้าที่รับน้ำขากอุโมงค์ส่งน้ำเข้าถังเก็บน้ำและสูบน้ำจากไปยังผู้ใช้น้ำให้มีแรงดันเพียงพอกับความต้องการตามค่าแรงดันมาตรฐานซึ่งกำหนดโดยกองควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำ โดยแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำมีความสามารถในการเก็บน้ำและค่าระดับน้ำสูงสุดที่สามารถเก็บได้เป็นดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ความจุ ความสูงถังเก็บน้ำและปริมาณน้ำจ่ายโดยประมาณของสถานีสูบจ่ายน้ำ

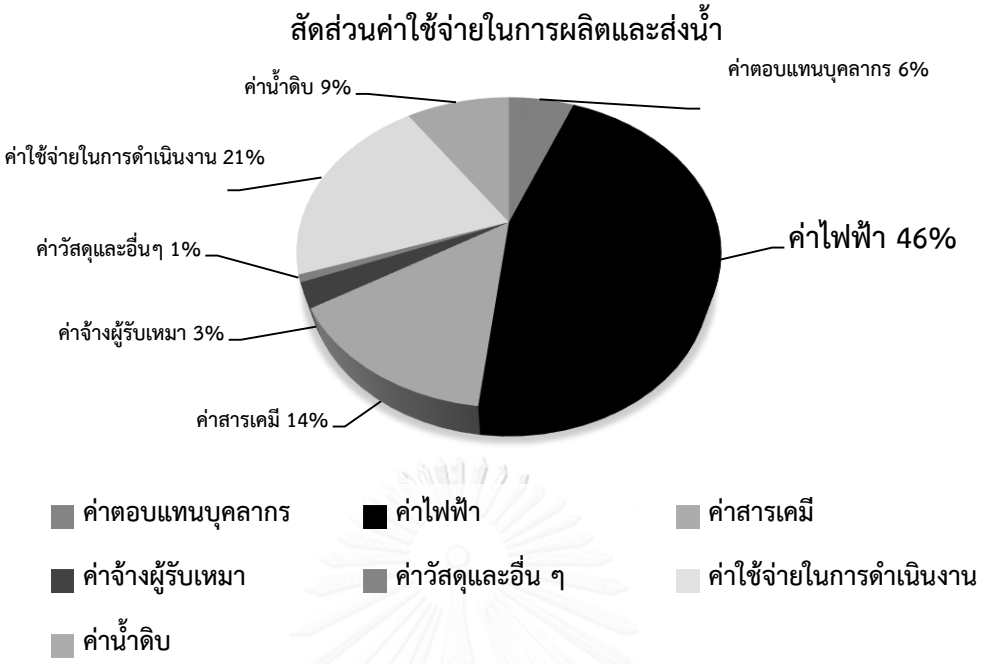
ถังเก็บน้ำของสถานี	สูง (ม.)	ความจุ (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำจ่าย (ลบ.ม./วัน)
ลุมพินี (LP)	5.70	48,850	240,000
ลาดพร้าว (LA)	5.63	49,625	360,000
คลองเตย (KT)	5.63	45,715	220,000
สำโรง (SR)	5.63	54,980	450,000
มีนบุรี (MB)	7.26	54,014	290,000
ลาดกระบัง (LK)	5.63	50,670	180,000
บางพลี (BP)	5.90	64,900	180,000
ท่าพระ (TP)	5.63	45,715	220,000
ราษฎร์บูรณะ (RB)	5.63	44,956	400,000
เพชรเกษม (PK)	6.70	33,324	270,000

ที่มา : กองควบคุมการส่งและสูบจ่ายน้ำ 2559

องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายในการผลิตและส่งน้ำประปามาจาก 7 ส่วนคือ ค่าตอบแทนบุคลากร ค่าไฟฟ้า ค่าสารเคมี ค่าจ้างผู้รับเหมา ค่าวัสดุและอื่นๆ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และค่าน้ำดิบ โดยมีสัดส่วนของค่าไฟฟ้ามากที่สุดถึงร้อยละ 46 ดังแสดงในรูปที่ 1.3

จากการศึกษาโครงสร้างของค่าไฟฟ้าที่จ่ายให้กับการไฟฟ้านครหลวงในช่วงปีพุทธศักราช 2556 ถึง 2560 พบว่าค่าไฟฟ้าในขั้นตอนการสูบส่งและสูบจ่ายน้ำ (สถานีสูบส่งและสถานีสูบจ่ายน้ำ) มีค่าเฉลี่ยประมาณปีละ 940 ล้านบาท และคิดเป็นประมาณร้อยละ 71 ของค่าไฟฟ้าทั้งหมดในกระบวนการผลิตและส่งน้ำดังแสดงในตารางที่ 1.3 ซึ่งค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในสถานีสูบส่งหรือสถานีสูบจ่ายน้ำส่วนใหญ่จะเกิดจากการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1.3 สัดส่วนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและส่งน้ำ

ที่มา : ฝ่ายวางแผนและพัฒนากระบวนการผลิต กปน.

ตารางที่ 1.3 ค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตและส่งน้ำ

ค่าไฟฟ้า/ ปี	ทั้งหมด (ล้านบาท)	สูบส่งและสูบจ่ายน้ำ (ล้านบาท)	สัดส่วนการสูบส่งและจ่ายน้ำต่อทั้งหมด (ร้อยละ)
ตค. 2555 – กย. 2556	1,287	945	73
ตค. 2556 – กย. 2557	1,318	920	70
ตค. 2557 – กย. 2558	1,392	988	71
ตค. 2558 – กย. 2559	1,271	886	70
ตค. 2559 – กย. 2560	1,332	957	72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

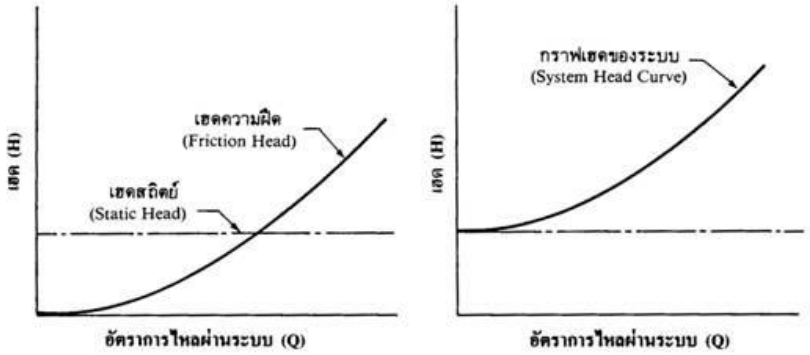
จากการสำรวจค่าระดับน้ำในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 พบว่าค่าระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำมีค่าต่ำกว่าความสามารถที่ถังเก็บน้ำสามารถเก็บได้ดังแสดงในตารางที่ 1.4 จากค่าระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มระดับน้ำในถังได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งระดับน้ำนั้นมีผลต่อพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเนื่องจากพลังงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้จะขึ้นกับกราฟเฮดของระบบการไหล

ตารางที่ 1.4 ระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 (เมตร)

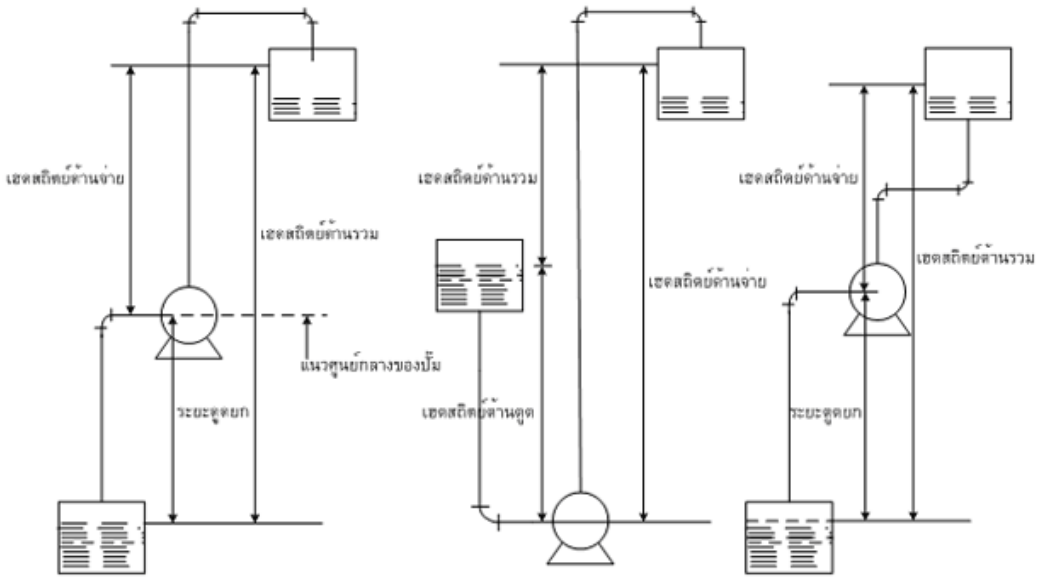
สถานีสูบจ่ายน้ำ	แจ้งเตือนระดับน้ำเกิน	ระดับน้ำสูงสุด	ระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ย
ลุมพินี (LP)	5.70	5.40	5.06
ลาดพร้าว (LA)	5.63	5.18	4.85
คลองเตย (KT)	5.63	5.30	4.81
สำโรง (SR)	5.63	5.50	4.66
มีนบุรี (MB)	7.26	7.08	6.68
ลาดกระบัง (LK)	5.63	5.65	5.10
บางพลี (BP)	5.90	5.85	5.27
ท่าพระ (TP)	5.63	5.50	5.11
ราษฎร์บูรณะ (RB)	5.63	5.45	4.60
เพชรเกษม (PK)	6.70	6.45	5.62

กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve) คือกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านระบบกับเฮดรวม (TDH = Total dynamic head) หรือพลังงานที่เครื่องสูบน้ำจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อก่อให้เกิดการไหลนั้น ซึ่งเกิดจากความต่างของของเหลวที่ปลายท่อฝั่งดูดและฝั่งจ่าย (เฮดสถิตย์, Static head) และพลังงานที่สูญเสียในการไหลผ่านระบบเนื่องมาจากความฝืด (เฮดความฝืด, Friction Head Loss) ดังรูปที่ 1.4 หากระดับน้ำต่ำจะทำให้ค่าเฮดสถิตย์ด้านรวมในระบบมีค่าสูงดังแสดงในรูปที่ 1.5 ซึ่งส่งผลให้กราฟเฮดในระบบมีค่าสูงขึ้น ทำให้เครื่องสูบน้ำต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อให้ได้อัตราไหลและแรงดันด้านจ่ายตามต้องการ จากสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้ต้องหาวิธีการในการแก้ปัญหาเพื่อลดค่าไฟฟ้าในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1.4 กราฟเฮดของระบบที่เกิดจากเฮดสถิตย์และเฮดความฝืด
ที่มา : หนังสือปั๊มและระบบสูบน้ำ, รศ.ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล



รูปที่ 1.5 ปริมาณความสูงของน้ำด้านฝั่งดูดที่มีผลต่อเฮดสถิตย์ด้านรวม

ที่มา : วิบูลย์ 2529

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อลดค่าไฟฟ้าในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำให้ได้ 3 ล้านบาทต่อปี

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. งานศึกษานี้ศึกษาเฉพาะระบบส่งและจ่ายน้ำของการประปานครหลวง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. กระบวนการในงานวิทยานิพนธ์นี้อาศัยการจำลองในแบบจำลองทางชลศาสตร์ EPANET

3. คุณสมบัติเครื่องสูบน้ำของโรงสูบเดียวกันมีคุณสมบัติเหมือนกัน

4. เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำจะใช้ขนาด 125 ลบ.ม.ต่อนาที และคุณสมบัติเหมือนกัน

5. งานศึกษานี้จะนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลจากรายงานจริงจากโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง EPANET 2.0

1.4 แนวทางการศึกษา

แนวทางการศึกษามี 10 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงาน
2. ศึกษาปัญหาเบื้องต้น
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายไฟฟ้า
4. ศึกษาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และไม่ได้ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ
5. พัฒนาวิธีในการแก้ปัญหา
6. พัฒนาโปรแกรมการคำนวณค่าไฟฟ้า
7. พัฒนาโปรแกรมหาคำตอบ
8. หาผลคำตอบเพื่อลดค่าไฟฟ้า
9. วิเคราะห์ผล สรุปผล และเสนอแนะ
10. เผยแพร่การศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงาน

วัตถุประสงค์	1. เพื่อทราบกระบวนการผลิตและส่งน้ำของ กปน. 2. เพื่อทราบการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน
ลักษณะกิจกรรม	1. ศึกษากระบวนการผลิตจากเว็บไซต์ของ กปน. และจากเอกสารของกองวิชาการและข้อมูลการผลิต 2. ศึกษาระบบส่งและจ่ายน้ำของ กปน. จากข้อมูลทางเว็บไซต์ของ กปน. และข้อมูลจากกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ 3. ศึกษาวิธีการปฏิบัติงานจากหัวหน้าผู้ปฏิบัติงานกองผลิตและจ่ายน้ำ 1 คน หัวหน้าซ่อมบำรุง 1 คน ผู้ปฏิบัติงานกองผลิตและจ่ายน้ำ 1 คน ผู้ปฏิบัติงานสถานีสูบจ่ายน้ำ 1 คน และผู้ปฏิบัติงานกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ 1 คน
ระยะเวลา	3 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. เข้าใจขั้นตอนการผลิตและส่งน้ำของ กปน. 2. ทราบวิธีปฏิบัติงานในการควบคุมการผลิตและส่งน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาปัญหาเบื้องต้น

วัตถุประสงค์	1. เพื่อทราบปัญหาที่เกิดขึ้น
ลักษณะกิจกรรม	1. ศึกษาสัดส่วนค่าใช้จ่ายจากข้อมูลรายงานประจำปีของ กปน. 2. ศึกษาปัญหาที่เกิดจากหัวหน้าผู้ปฏิบัติงานกองผลิตและจ่ายน้ำ 1 คน ผู้ปฏิบัติงานสถานีสูบจ่ายน้ำ 1 คน และผู้ปฏิบัติงานกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ 1 คน 3. ศึกษารายงานประจำวันของสถานีสูบส่งและจ่ายน้ำ 1 เดือน
ระยะเวลา	3 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ทราบสัดส่วนค่าใช้จ่ายของ กปน. 2. ทราบปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน 3. ทราบสาเหตุของปัญหาที่ทำให้สูญเสียค่าใช้จ่าย

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายไฟฟ้า

วัตถุประสงค์	1. เพื่อทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายไฟฟ้า
ลักษณะกิจกรรม	1. ศึกษาวิธีการคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) จากเว็บไซต์ 2. ศึกษาการใช้ไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำจากการสำรวจ 3 สถานี 3. ศึกษาทฤษฎีทางชลศาสตร์เบื้องต้นจากเว็บไซต์ และผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ด้านชลศาสตร์ 2 คน 4. ศึกษาการจ่ายน้ำและแรงดันน้ำให้ผู้ใช้น้ำจากข้อมูลกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ และจากผู้ปฏิบัติงานกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ 2 คน 5. ศึกษาการควบคุมการจ่ายน้ำของผู้ปฏิบัติงานที่สถานีสูบส่งน้ำ 1 คน และสถานีสูบจ่ายน้ำ 1 คน
ระยะเวลา	3 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ทราบวิธีการคิดค่าไฟฟ้าของ กฟน. 2. ทราบการใช้ไฟฟ้าภายในสถานีสูบส่งน้ำ 3. ทราบแนวคิดในการคิดปริมาณและแรงดันการจ่ายน้ำให้ผู้ใช้น้ำ 4. ทราบการควบคุมการทำงานที่สถานีสูบน้ำ 5. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และไม่ได้ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ

วัตถุประสงค์	1. เพื่อหาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และไม่ได้ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ
ลักษณะกิจกรรม	1. ศึกษาการระบบการควบคุมเครื่องจักรในปัจจุบันเบื้องต้นจากการทบทวนวรรณกรรม และจากผู้ทำระบบการควบคุม 2 คน
ระยะเวลา	2 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. เข้าใจการทำงานเบื้องต้นของระบบควบคุมเครื่องจักรในปัจจุบัน 2. ทราบแนวทางการควบคุมปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

ขั้นตอนที่ 5 พัฒนาวิธีในการแก้ปัญหา

วัตถุประสงค์	1. เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาไปประยุกต์ใช้
ลักษณะกิจกรรม	1. ศึกษาหาแบบจำลองทางชลศาสตร์ที่จะนำมาใช้งานจากผู้ออกแบบระบบส่งน้ำ กปน. 1 คน 2. ศึกษาวิธีการใช้งานแบบจำลองชลศาสตร์จากเว็บไซต์ของผู้พัฒนาและศึกษาจากผู้ใช้งานใน กปน. 2 คน 3. ศึกษาวิธีการหาคำตอบในการแก้ปัญหาจากการทบทวนวรรณกรรม
ระยะเวลา	4 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ได้แบบจำลองทางชลศาสตร์ของ กปน. ที่จะนำมาใช้งาน 2. ทราบวิธีการใช้งานแบบจำลอง 3. ทราบและเข้าใจวิธีการที่จะนำมาใช้หาคำตอบของปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 6 พัฒนาต้นแบบโปรแกรมการคำนวณค่าไฟฟ้า

วัตถุประสงค์	1. เพื่อหาค่าไฟฟ้าจากข้อมูลรายงานประจำวันหรือข้อมูลที่ป้อนเข้า
ลักษณะกิจกรรม	1. ศึกษาข้อมูลเครื่องสูบน้ำในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำของโรงงานผลิตน้ำ สถานีสูบจ่ายน้ำ และข้อมูลของหน่วยงานซ่อมบำรุง 2. พัฒนาแบบจำลองระบบส่งและจ่ายน้ำภายในขอบเขตของการศึกษา 3. พัฒนาโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง 4. ทดสอบหาค่าไฟฟ้าจากข้อมูลรายงานประจำวัน 5. ปรับปรุงแก้ไข
ระยะเวลา	6 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ข้อมูลเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งและจ่ายน้ำ 2. ต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า 3. เข้าใจการทำงานของต้นแบบโปรแกรม 4. ทราบขอบเขตการทำงานของต้นแบบโปรแกรม 5. ค่าไฟฟ้าจากข้อมูลรายงานประจำวันจากการคำนวณผ่านโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 7 พัฒนาต้นแบบโปรแกรมหาคำตอบ

วัตถุประสงค์	1. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้งานในโปรแกรม
ลักษณะกิจกรรม	1. พัฒนาโปรแกรมหาคำตอบระดับน้ำร่วมกับโปรแกรมหาค่าไฟฟ้า 2. ทดสอบหาคำตอบระดับน้ำจากโปรแกรมจากข้อมูลรายงานประจำวัน 3. ปรับปรุงแก้ไข
ระยะเวลา	2 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ต้นแบบโปรแกรมหาคำตอบ 2. ได้ทราบรูปแบบการรับส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรมหาคำตอบและหาค่าไฟฟ้า 3. ผลค่าไฟฟ้าจากการใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการหาคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 8 หาผลคำตอบเพื่อลดค่าไฟฟ้า

วัตถุประสงค์	1. เพื่อหาผลคำตอบในการลดค่าไฟฟ้า 2. เพื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากคำตอบที่ได้กับข้อมูลจริงจากการหาค่าในโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า
ลักษณะกิจกรรม	1. รวบรวมรายงานประจำวัน 2. ศึกษาการคาดการณ์ปริมาณการจ่ายน้ำจากการทบทวนวรรณกรรม ข้อมูลรายงานประจำวันของสถานีสูบจ่าน้ำ และจากผู้ปฏิบัติงานกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ 2 คน 3. หาผลคำตอบจากโปรแกรม 4. นำผลลัพธ์ที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลจริงและเปรียบเทียบผล 5. วิเคราะห์ผลและปรับปรุงคำตอบที่ได้
ระยะเวลา	2 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ทราบแนวคิดการคาดการณ์ปริมาณการจ่ายน้ำ 2. แนวทางการปรับปรุงผลคำตอบ 3. ผลค่าไฟฟ้าที่ได้จากคำตอบที่ได้ และจากข้อมูลจริงจากโปรแกรมคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 9 วิเคราะห์ผล สรุปผล และเสนอแนะ

วัตถุประสงค์	1. เพื่อหาสาเหตุการลดค่าไฟฟ้าที่ได้จากผลคำตอบ 2. สรุปผลที่ได้จากการทำการศึกษาการลดค่าไฟฟ้าในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ 3. เพื่อเสนอแนวทางในการนำไปพัฒนา หรือในการนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาอื่นๆ
ลักษณะกิจกรรม	1. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา 2. ออกแบบระบบควบคุมเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งาน 3. สรุปผลที่ได้รับจากการศึกษา 4. สรุปปัญหา และข้อกำจัดที่พบในการศึกษา 5. สรุปประเด็นที่งานศึกษานี้ไม่ได้พิจารณา หรือยังไม่สมบูรณ์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนา หรือสำหรับงานศึกษาอื่นในอนาคต
ระยะเวลา	2 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ผลลัพธ์ค่าไฟฟ้าที่สามารถลดได้จากโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า 2. แผนผังระบบควบคุมการสูบส่งและจ่ายน้ำ 3. ได้ทราบถึงแนวทางในการลดค่าไฟฟ้าในการนำไปปฏิบัติ 4. ปัญหาและข้อจำกัด

ขั้นตอนที่ 10 เผยแพร่การศึกษา

วัตถุประสงค์	1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ที่ได้จากงานศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางให้ผู้ที่สนใจ
ลักษณะกิจกรรม	1. สรุปข้อมูลการทำการศึกษา 2. เตรียมเอกสารเพื่อเผยแพร่ทางวารสารหรือการประชุมวิชาการ 3. ส่งบทความเพื่อเผยแพร่ และติดตามผล 4. แก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะ 5. ทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
ระยะเวลา	12 สัปดาห์
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1. ผลงานที่ได้ตีพิมพ์ทางวารสาร หรือเสนอในที่ประชุมทางวิชาการ 2. เล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในกระบวนการสูบส่งและจ่ายน้ำ

2. ได้ทราบระบบการควบคุมเครื่องจักรที่ใช้ในปัจจุบัน

3. ได้ค่าไฟฟ้าของระบบส่งและจ่ายน้ำ จากรูปแบบที่ใช้ในปัจจุบันจากโปรแกรม EPANET

4. ได้ทราบแนวทางการลดค่าไฟฟ้าในกระบานการสูบส่งและจ่ายน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

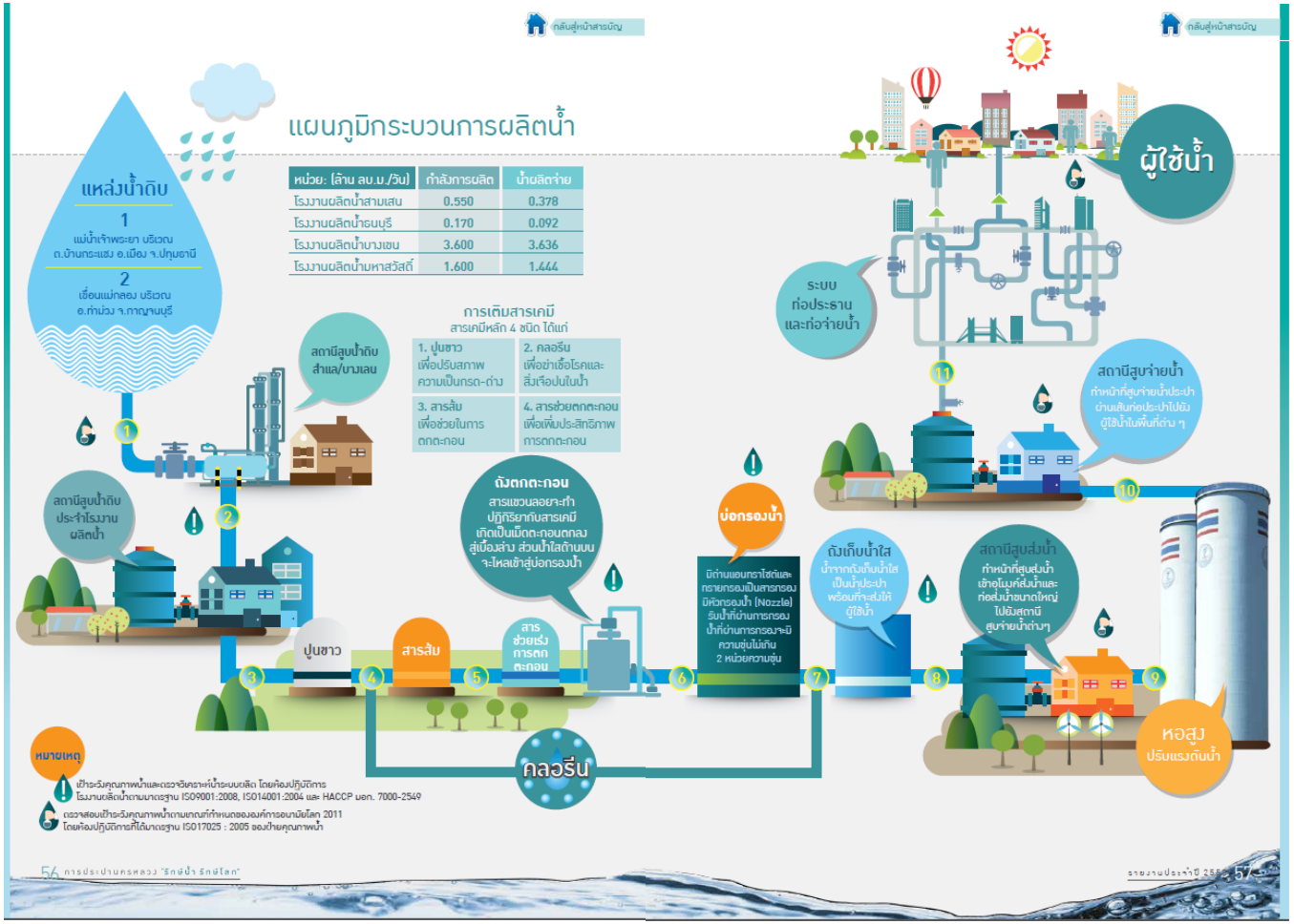
กระบวนการผลิตและจำหน่ายให้ผู้บริโภคของการประปานครหลวง จะเริ่มตั้งแต่รับน้ำดิบจากแม่น้ำโดยผ่านการสูบมาตามคลองประปา หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิต กระบวนการผลิตก็จะเริ่มจากการทำให้ตกตะกอน และหลังจากนั้นก็จะเป็นกระบวนการกรอง โดยจะมีการเติมสารเคมีระหว่างกระบวนการทั้ง 2 เช่น สารส้ม ปูนขาว คลอรีน เป็นต้น เพื่อให้ได้น้ำประปาที่มีความสะอาดผ่านมาตรฐานองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำใส (Reservoir) สถานีสูบส่งน้ำจะสูบน้ำประปาจากถังเก็บน้ำใสที่ผ่านกระบวนการผลิตไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ 12 แห่งทั่วทั้ง 3 จังหวัดภายใต้เขตรับผิดชอบของการประปานครหลวงผ่านอุโมงค์ส่งน้ำ ซึ่งระหว่างทางของอุโมงค์ส่งน้ำจะมีท่อประธานแยกออกไปสำหรับจ่ายน้ำให้ประชาชนโดยตรงอีกด้วย เมื่อสถานีสูบจ่ายน้ำได้รับน้ำจากโรงงานผลิตน้ำก็จะเก็บน้ำในถังเก็บน้ำใสของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ หลังจากนั้นก็จะสูบจ่ายน้ำให้ผู้บริโภคซึ่งสามารถสรุปได้เป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.1

2.2 การควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

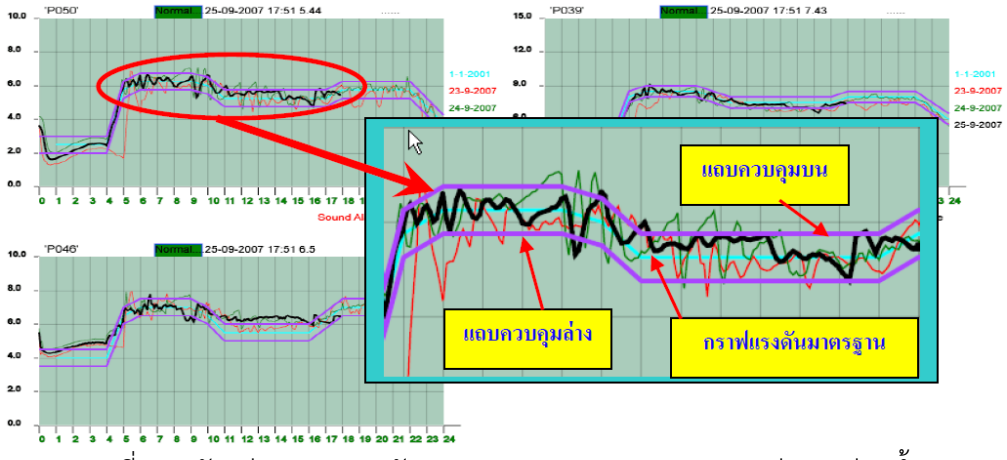
การส่งน้ำของสถานีสูบส่งน้ำจะถูกควบคุมโดยกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ โดยจะใช้แรงดันการส่งน้ำจากข้อมูลเก่าจากวันก่อนหน้าและวันเดียวกันในสัปดาห์ก่อนหน้าเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการส่งน้ำ และจะเพิ่มหรือลดแรงดันการส่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำใสว่ามีสถานีใดมีระดับน้ำที่ต่ำหรือสูงการการดูข้อมูล

การจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร (Programmable Logic Controller, PLC) โดยการควบคุมมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำให้จ่ายแรงดันน้ำให้เป็นไปตามกราฟแรงดันมาตรฐานในแต่ละช่วงเวลา (Pressure Trend Curve, PTC) [2] โดยมีตัวอย่างกราฟแรงดันมาตรฐานจากกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำในรูปที่ 2.2 ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรนั้นสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่นได้เช่น วาล์ว อุปกรณ์ในสถานีสูบน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

ที่มา : รายงานประจำปี 2558 การประปานครหลวง



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟแรงดันมาตรฐานของกองควบคุมระบบส่งและจ่ายน้ำ

ปัจจุบันการควบคุมเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆสามารถควบคุมให้ทำงานได้ใกล้เคียงกับความต้องการของผู้ใช้งานทั้งการควบคุมจากในส่วนของหน้างานหรือการควบคุมจากระยะไกล ซึ่งการควบคุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำนั้นสามารถควบคุมได้จาก 2 ส่วนคือ การควบคุมเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ และควบคุมวาล์วรับน้ำเข้าถัง โดยการควบคุมเครื่องสูบน้ำจะเพิ่มปริมาณการสูบน้ำ (ความเร็วรอบ) เมื่อค่าระดับน้ำต่ำกว่าที่กำหนด และลดปริมาณการสูบเมื่อระดับน้ำสูงกว่าที่กำหนด ในแนวทางที่คล้ายกันวาล์วจะเปิดให้มากขึ้นเมื่อค่าระดับน้ำต่ำกว่าที่กำหนด และจะเปิดลดลงเมื่อระดับน้ำสูงกว่าที่กำหนด [3]

2.3 ค่าไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าไฟฟ้าของการประปานครหลวงซึ่งเป็นกิจการประเภทที่ 4 ของการไฟฟ้านครหลวง ประกอบไปด้วย ค่าไฟฟ้าฐาน ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) และภาษีมูลค่าเพิ่ม [4]

ค่าไฟฟ้าฐานนั้นประกอบไปด้วย ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) ค่าความต้องการไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์) ค่าบริการไฟฟ้า (บาท/เดือน) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (บาท/กิโลวาร์) สำหรับรูปแบบที่โรงงานผลิตน้ำบางเขนใช้นั้นเป็นรูปแบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time Of Use, TOU) ซึ่งโรงงานผลิตน้ำบางเขนเป็นกิจการประเภทที่ 4 มีอัตราการคิดค่าไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยช่วงเวลาความต้องการไฟฟ้าสูง (On-Peak Period) คือเวลา 9.00-22.00 น. ของวันธรรมดา และ ช่วงเวลาความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off-Peak Period) คือเวลา 22.00-9.00 น. ของวันธรรมดาและวัดหยุดราชการตามปกติทั้งวันถือว่าเป็นช่วงเวลาความต้องการไฟฟ้าต่ำ

ตารางที่ 2.1 ค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้ากิจการประเภทที่ 4 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้

ค่าความต้องการไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
On-peak	Off-Peak	On-peak	Off-Peak	
74.14	-	4.1283	2.6107	312.24

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง

ค่า Ft หมายถึง ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง ค่าซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และค่าใช้จ่ายตามนโยบายภาครัฐ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากระดับที่กำหนดไว้ในค่าไฟฟ้าฐาน ค่า Ft มีการปรับปรุงทุก ๆ 4 เดือน

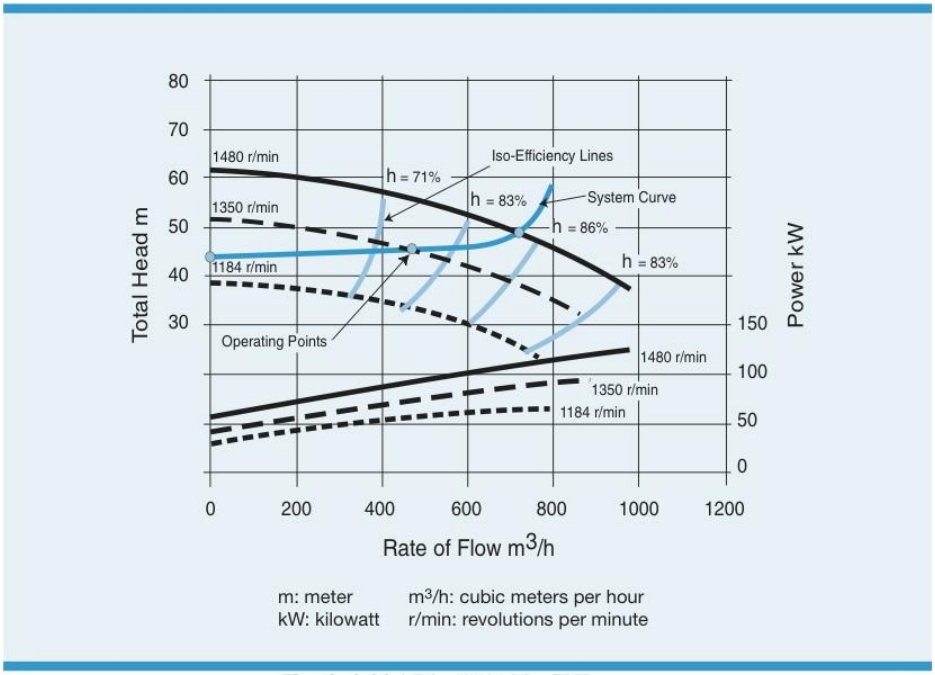
ในส่วนภาษีมูลค่าเพิ่ม คือค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT ร้อยละ 7) รวมกับค่าไฟฟ้าฐาน และค่า Ft

สำหรับสถานีสูบส่งและสูบจ่ายน้ำนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเดินเครื่องสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเพื่อสูบน้ำออกไป และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากสถานี เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องควบคุมเครื่องสูบน้ำ เครื่องปรับอากาศในสถานีสูบส่ง และอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของสถานีสูบส่งและสูบจ่ายน้ำเกิดจากการทำงานของเครื่องสูบน้ำในการสูบส่งหรือสูบจ่ายน้ำ โดยอัตราการบริโภคพลังงานขึ้นกับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่สูบกับกราฟเฮดของระบบ (System head Curve หรือ System Curve) ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฮดกับอัตราการไหลของระบบคือ ถ้าต้องการให้อัตราการไหลตามต้องการต้องสูบน้ำด้วยเฮดตามกราฟเฮด หรือถ้าสูบน้ำด้วยเฮดที่กำหนดจะได้อัตราการไหลตามกราฟ ตัวอย่างกราฟการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะทำงานที่จุดทำงาน (Operating Point) ของระบบการไหลในท่อน้ำซึ่งคือจุดที่อยู่บนกราฟเฮดที่ตัดกับกราฟคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (Pump Characteristic Curve) หากเครื่องสูบน้ำสามารถปรับความเร็วรอบได้ก็จะทำให้สามารถทำงานที่จุดทำงานบนกราฟเฮดได้หลายจุดดังกราฟในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 คุณลักษณะของแรงดันและอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ [5]

ที่มา : Hydraulic Institute and Europump and U.S. Department of Energy Industrial Technologies Program

2.5 วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมีหลากหลายวิธี แต่ในปัญหาที่มีความซับซ้อนมากเช่น ปัญหาที่ทราบเฉพาะผลลัพธ์เมื่อใส่ตัวแปรป้อนเข้าวิธีวิวัฒนาการจะเหมาะสมในการนำมาใช้ [6]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีวิวัฒนาการมีหลายรูปแบบ Voratas Kachitvichyanukul (2012) [7] ได้เปรียบเทียบการใช้งานเชิงคุณภาพของ 3 วิธีวิวัฒนาการจากการแก้ปัญหาที่ขอบเขตต่างกัน คือวิธีขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) และวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution, DE) ซึ่งวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีข้อดีกว่าทั้งในด้านระยะเวลาในการหาคำตอบ การหาผลลัพธ์เมื่อมีตัวแปรจำนวนมาก และผลลัพธ์ที่ได้โดยเฉลี่ยไม่แย่ลง แต่การเปรียบเทียบนี้จะครอบคลุมเมื่อแก้ปัญหาจากตัวแทนปัญหาเดียวกัน

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution) ถูกนำเสนอโดย Storn and Price (1997) โดยมีหลักการและขั้นตอนคล้ายวิธีวิวัฒนาการโดยทั่วไปแต่ต่างกันในส่วนของการเปลี่ยนค่า

ภายในชุดคำตอบซึ่งเกิดจากนำผลต่างของชุดคำตอบสองชุดมารวมกับชุดคำตอบเดิม โดยใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของเลขจานวนจริงของปัญหาพหุนามเชบีเชฟ (Chebychev polynomial fitting problem) ซึ่งวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นวิธีที่เหมาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อนและต้องการคำตอบเป็นจำนวนจริง [8]

การหาคำตอบของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ

1. สร้างเวกเตอร์เริ่มต้น (ชุดคำตอบ)

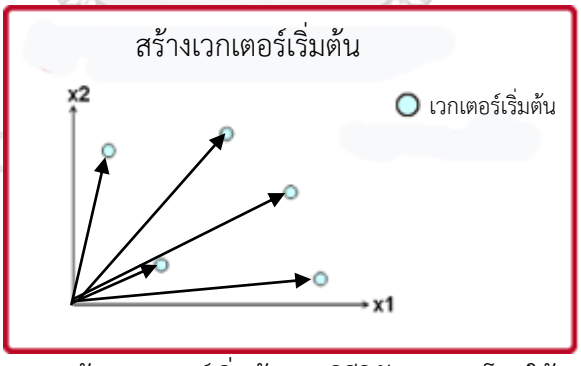
2. สร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่วนจนครบรอบตามที่กำหนดตามวิธีดังต่อไปนี้

2.1 การปรับเปลี่ยนค่าพิกัด (ตัวแปรตัดสินในแต่ละค่า) ภายในเวกเตอร์

2.2 การสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่ (Mutation Vector) หรือการแลกเปลี่ยนค่าพิกัดภายในเวกเตอร์

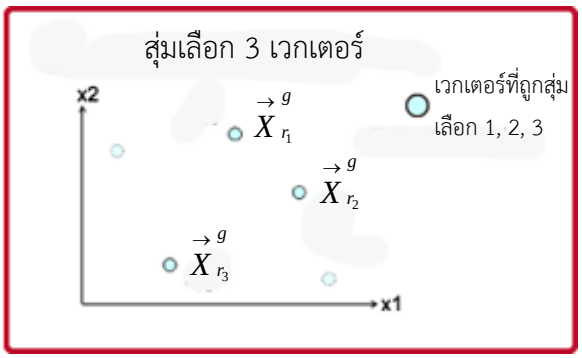
2.3 เลือกเวกเตอร์ในรอบถัดไปโดยการเลือกเวกเตอร์ที่ผลลัพธ์ดีกว่า

การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้นนั่นคือการสุ่มค่าพิกัดภายในเวกเตอร์ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 โดยจำนวนเวกเตอร์ที่สร้างขึ้นอยู่กับปัญหาในการหาคำตอบ จากนั้นหาผลลัพธ์จากเวกเตอร์ที่ได้



รูปที่ 2.4 การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้นของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง [9]

การสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่นั้นจะเลือกเวกเตอร์ 3 เวกเตอร์จากการสุ่มเพื่อนำจะนำมาสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสุ่มเลือกเวกเตอร์เพื่อนำมาสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่

หลังจากการสุ่มเลือกเวกเตอร์แล้วจะนำเวกเตอร์ที่ได้มาสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่จากการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดภายในเวกเตอร์ตามสมการต่างๆ ซึ่งจะยกตัวอย่างจากสมการพื้นฐานของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างดังสมการที่ 2.1 และแสดงในรูปที่ 2.6

$$\vec{V}^{g}_{i} = \vec{X}^{g}_{r_3} + F(\vec{X}^{g}_{r_1} - \vec{X}^{g}_{r_2}) \qquad (2.1)$$

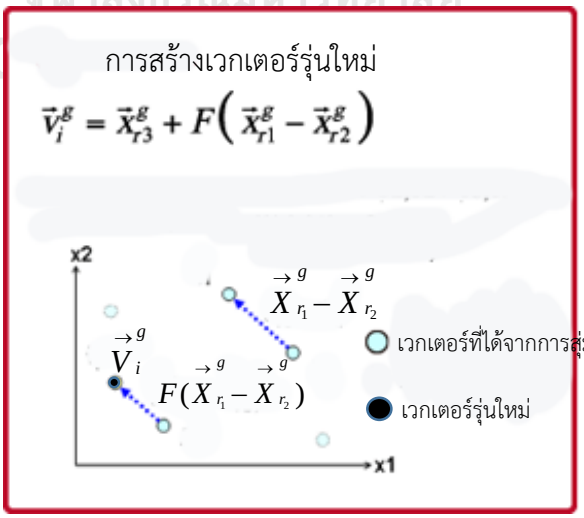
$\vec{V}$ คือ เวกเตอร์รุ่นใหม่

$\vec{X}_{r_{1-3}}$ คือ เวกเตอร์ที่ได้จากการสุ่มครั้งที่ 1 ถึง 3

F คือ แฟคเตอร์อัตราขยายผลต่าง (Scaling Factor)

g คือ รุ่นของเวกเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 การสร้างเวกเตอร์รุ่นใหม่

จากนั้นนำเวกเตอร์รุ่นใหม่มาแลกเปลี่ยนค่าพิกัดภายในเวกเตอร์กับเวกเตอร์รุ่นเก่าตามอัตราการแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (Crossover Rate) หากที่พิกัดใดมีค่าที่ได้จากการสุ่มสูงกว่าค่าอัตราการแลกเปลี่ยนจะใช้ค่าจากเวกเตอร์รุ่นก่อนมาแทนในเวกเตอร์รุ่นใหม่ที่พิกัดนั้นๆ จากนั้นนำเวกเตอร์รุ่นใหม่ที่ได้เปรียบเทียบกับเวกเตอร์รุ่นก่อนในลำดับเวกเตอร์เดียวกันเพื่อเลือกเวกเตอร์ที่ผลลัพธ์ดีกว่าเป็นตัวแทนของเวกเตอร์ลำดับนั้นในรุ่นต่อไป ทำซ้ำจนครบรอบที่กำหนดจะทำให้ได้เวกเตอร์ที่ทำให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเป็นคำตอบของปัญหา

2.6 แบบจำลองทางชลศาสตร์ EPANET

EPANET เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองคุณลักษณะไฮดรอลิกและคุณภาพน้ำในระบบโครงข่ายท่อน้ำที่ถูกพัฒนาโดย United States Environmental Protection Agency's (EPA) ซึ่งสามารถจำลองอุปกรณ์ของระบบจ่ายน้ำได้ครบถ้วน โดยรูปแบบที่จำลองโดย EPANET มีความสอดคล้องกับทฤษฎีทั่วไป โดยมีประโยชน์ในการเข้าใจในวิธีการควบคุมต่างๆในการใช้งานเครื่องสูบน้ำ ซึ่ง EPANET มีคุณสมบัติดังนี้ [10]

1. สามารถควบคุมเวลาการทำงานของอุปกรณ์ในระบบได้

2. ไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดของโครงข่าย

3. คำนวณเฮดความฝืดโดยใช้สูตรของ Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, หรือ Chezy-Manning

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. การคำนวณรวมถึงการสูญเสียอื่นๆ เช่นข้อต่อของอุปกรณ์

5. เครื่องสูบน้ำใช้ได้ทั้งความเร็วคงที่และปรับรอบได้

6. สามารถคำนวณพลังงานของเครื่องสูบน้ำได้

7. ใช้วาล์วได้หลายชนิด

8. สามารถใช้ถังเก็บน้ำได้หลายแบบ

9. พิจารณาความต้องการน้ำในแต่ละจุดได้หลายลักษณะ โดยแต่ละจุดมีรูปแบบของตัวเอง

10. แบบจำลองแรงดันขึ้นกับอัตราไหลจากหัวจ่าย

ซึ่ง EPANET จะมีฟังก์ชันสำหรับให้ผู้ใช้งานนำไปเขียนโปรแกรมเพื่อประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมของงานของตัวเองคือ EPANET Toolkit

2.7 การคาดการณ์ปริมาณความต้องการใช้น้ำ

ปริมาณความต้องการใช้น้ำเกิดจาก 4 ปัจจัยคือ การเกิดเป็นช่วง เวลา อุณหภูมิ และการสุ่ม [11] การคาดการณ์ในระยะสั้นจะใช้พื้นฐานของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ 24 ชั่วโมงก่อน และข้อมูลที่ได้สังเกตจากข้อมูลก่อนหน้าสัปดาห์สำหรับประเภทวันและช่วงเวลาเดียวกันของวันที่คาดการณ์ [12] งานศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลปริมาณการจ่ายน้ำของวันประเภทเดียวกันในสัปดาห์ก่อนหน้าเพื่อแทนการคาดการณ์ปริมาณการจ่ายน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

ขั้นตอนการศึกษา

3.1 การหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำ

จากในหัวข้อการศึกษาค่าไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำทำให้ทราบว่ามี 5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าไฟฟ้าได้แก่ รูปแบบการคิดค่าไฟฟ้า แรงดันน้ำสูบจ่าย ปริมาณน้ำเข้าสถานีสูบจ่ายน้ำ (ปริมาณน้ำที่ส่งมาจากสถานีสูบส่งน้ำ) ปริมาณน้ำสูบจ่าย (ปริมาณน้ำที่จ่ายให้กับผู้ใช้น้ำ) และระดับน้ำในถังของสถานีสูบจ่ายน้ำ ซึ่งสามปัจจัยหลังมีความสัมพันธ์กันดังสมการ 3.1

$$L_{t+1} = \frac{Q_{R_t} - Q_{D_t}}{A_D} + L_t \qquad (3.1)$$

L_{t+1} คือระดับน้ำในถังเก็บน้ำของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำในชั่วโมงถัดไป

Q_{R_t} คือปริมาณน้ำเข้าแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ

Q_{D_t} คือปริมาณน้ำที่สูบจ่ายให้ผู้ใช้ของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ

A_D คือพื้นที่ถังเก็บน้ำของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ

L_t คือระดับน้ำในถังเก็บน้ำของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากปัจจัยข้างต้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้และปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยมี 3 ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้คือ รูปแบบการคิดค่าไฟฟ้า (ขึ้นกับการไฟฟ้านครหลวง) ปริมาณความต้องการใช้น้ำ (ขึ้นกับผู้ใช้น้ำ) และแรงดันน้ำ (กำหนดโดยกองควบคุมการจ่ายน้ำ การประปานครหลวง) และปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ 2 ปัจจัยคือ ปริมาณน้ำเข้าสถานีสูบจ่ายน้ำ (ปริมาณน้ำที่ส่งมาจากสถานีสูบส่งน้ำ) และระดับน้ำในถังเก็บน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำในแต่ละเวลา ซึ่งทั้งสองปัจจัยมีความสัมพันธ์กันซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดการปริมาณการรับน้ำของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ

3.2 การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง EPANET

ต้นแบบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมที่คำนวณค่าไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกับแบบจำลองทางชลศาสตร์ EPANET 2.0 เมื่อทราบค่าระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ค่าแรงดันและปริมาณการจ่ายน้ำ โดยโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้ามีเงื่อนไขในการใช้งาน 8 ข้อดังนี้

1. ข้อมูลที่นำมาใช้งานเป็นรายชั่วโมง

2. คิดค่าไฟฟ้าเฉพาะค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

3. ค่าประสิทธิภาพของระบบส่งและจ่ายน้ำจะคิดเฉพาะเครื่องสูบน้ำไม่รวมอุปกรณ์อื่น

4. ความเร็วเครื่องสูบน้ำที่ใช้ร้อยละ 0, 50 – 100 หรือ 0, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ซึ่งจะใช้เวลาในการคำนวณต่างกันประมาณ 10 เท่า

5. ระดับน้ำเริ่มต้นและสิ้นสุดของวันเท่ากัน (ปริมาณน้ำเข้าถังและปริมาณการจ่ายออกเท่ากัน)

6. เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำทำงาน 3 เครื่อง ยกเว้นสถานีสูบส่งน้ำ 1 โรงงานผลิตน้ำบางเขน เวลา 0.00 – 8.00 น. ทำงาน 2 เครื่องขนาด 300 ลบ.ม.ต่อนาที และ 1 เครื่องขนาด 150 ลบ.ม.ต่อนาที (ไม่ให้เกิดการเดินหรือหยุดเครื่องสูบน้ำหลายครั้ง)

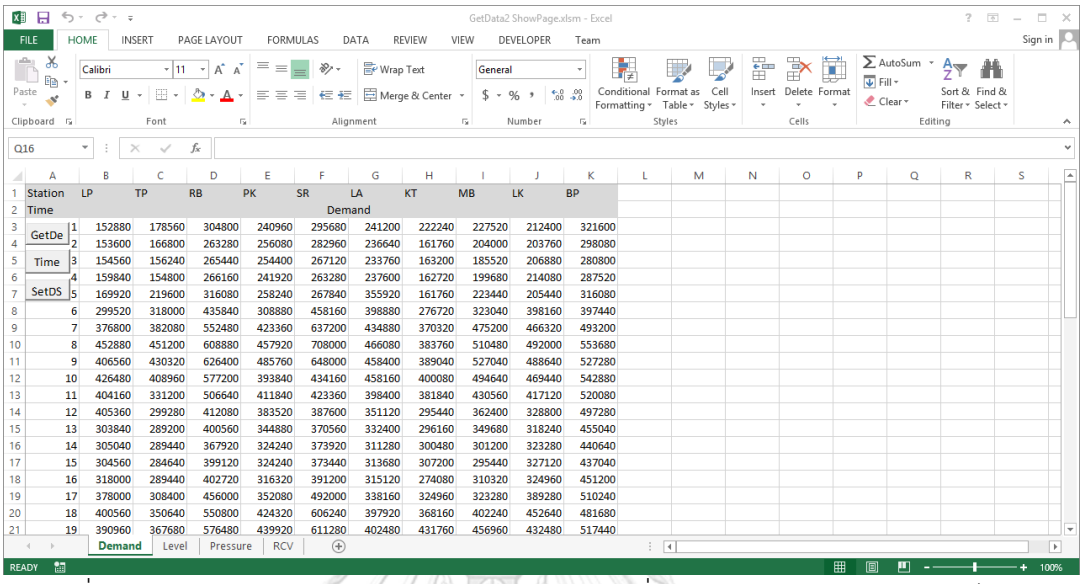
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7. ระดับน้ำในถังเก็บน้ำของสถานีสูบส่ง (โรงงานผลิตน้ำ) คงที่

8. ปริมาณน้ำที่จ่ายออกจากวาล์วในระบบสูบส่งน้ำ (จ่ายให้ผู้ใช้น้ำโดยตรง) ใช้ค่าประมาณจากวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 (เนื่องจากเป็นการบันทึกข้อมูลชั่วคราว ไม่มีการเก็บในฐานข้อมูล)

การนำข้อมูลเพื่อใส่ให้ต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากรายงานประจำวันของ 10 สถานีสูบจ่ายน้ำนั้นใช้การสร้างโปรแกรมรับและส่งข้อมูลจาก Microsoft Excel โดยมีตัวอย่างโปรแกรมดังรูปที่ 3.1 ซึ่งรายงานประจำวันนั้นถูกรวบรวมจากฝ่ายสถานีสูบจ่ายน้ำ โดยมีรายละเอียดของปริมาณ

การจ่ายน้ำ แรงดัน ระดับน้ำและอื่นๆ เป็นรายชั่วโมง รายงานประจำวันของสถานีสูบจ่ายน้ำจะมีทั้งหมด 10 สถานีสูบจ่ายน้ำ



รูปที่ 3.1 โปรแกรมรับและส่งข้อมูลรายงานประจำวันเพื่อป้อนเข้าโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า

การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การพัฒนาแบบจำลอง EPANET ของ กปน. และการพัฒนาต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง

1. การพัฒนาแบบจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การรวบรวมข้อมูลเครื่องสูบน้ำและระบบส่งน้ำ และการพัฒนาแบบจำลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.1 การเก็บข้อมูลเครื่องสูบน้ำจะรวบรวมข้อมูลสถานีสูบส่งน้ำจะนำข้อมูลมาจากกองเครื่องสูบน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำจากฝ่ายสถานีสูบจ่ายน้ำ สถานีสูบส่งน้ำมีขนาดและจำนวนเครื่องสูบน้ำดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 ในส่วนของสถานีสูบจ่ายน้ำจะมีเครื่องสูบน้ำดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำโรงงานผลิตน้ำบางเขนและมหาสวัสดิ์

โรงงานผลิตน้ำ	สถานีสูบส่งน้ำ	คุณลักษณะเครื่องสูบน้ำ		จำนวน (เครื่อง)
		อัตราการสูบน้ำ (ลบ.ม.ต่อนาที)	แรงดัน (เมตร)	
บางเขน	สถานีสูบส่งน้ำ 1	125	32	1
		300	32	4
	สถานีสูบส่งน้ำ 2	300	33	5
	สถานีสูบส่งน้ำ 3	300	35	4
มหาสวัสดิ์	สถานีสูบส่งน้ำ 1	300	32	2
		300	35	1

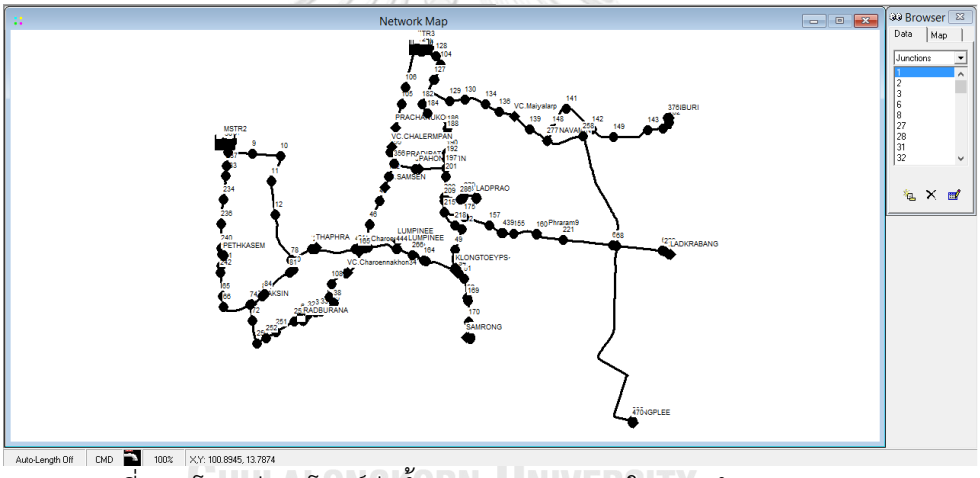
ตารางที่ 3.2 เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ 10 สถานี

สถานีสูบจ่ายน้ำ	คุณลักษณะเครื่องสูบน้ำ		จำนวน (เครื่อง)
	อัตราการสูบน้ำ (ลบ.ม.ต่อนาที)	แรงดัน (เมตร)	
ลุมพินี	94	44	4
ท่าพระ	85	50	1
	125	25	3
	125	25	1
ราษฎร์บูรณะ	94	35	3
	125	35	2
เพชรเกษม	111	35	3
	125	35	1
ลาดพร้าว	111	36	4
คลองเตย	111	50	4
	125	25	1
สำโรง	111	50	1
	125	50	4
มีนบุรี	125	35	3
ลาดกระบัง	111	50	1
	125	35	3
บางพลี	111	50	1
	125	35	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 การพัฒนาแบบจำลอง EPANET จะนำข้อมูลเครื่องสูบน้ำที่รวบรวมมาสร้างร่วมกับแบบจำลองระบบส่งน้ำของ กปน. ใน EPANET โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ระบบสูบส่งน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำ

ระบบสูบส่งน้ำจะใช้พื้นฐานแบบจำลองที่ได้มาจากของการประปานครหลวงดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยจะเพิ่มข้อมูลคือจำนวนและขนาดของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งงานศึกษานี้จะกำหนดให้เครื่องสูบน้ำในโรงสูบเดียวกันมีคุณสมบัติเหมือนกัน เนื่องจากคุณสมบัติที่เหมือนกันจะไม่ทำให้เกิดการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำเครื่องใดเครื่องหนึ่ง โดยการใช้งานจริงการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำจะเลือกจากหลายปัจจัยเช่น จำนวนระยะเวลาการทำงานของเครื่องสูบน้ำ รอบการซ่อมบำรุง และอื่นๆ ยกเว้นที่สถานีสูบส่งน้ำ 1 ของโรงงานผลิตน้ำบางเขนที่ออกแบบให้มีเครื่องสูบน้ำขนาดเล็กเพิ่มขึ้นอีก 1 เครื่อง โดยมีรายละเอียดเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองดังตารางที่ 3.3

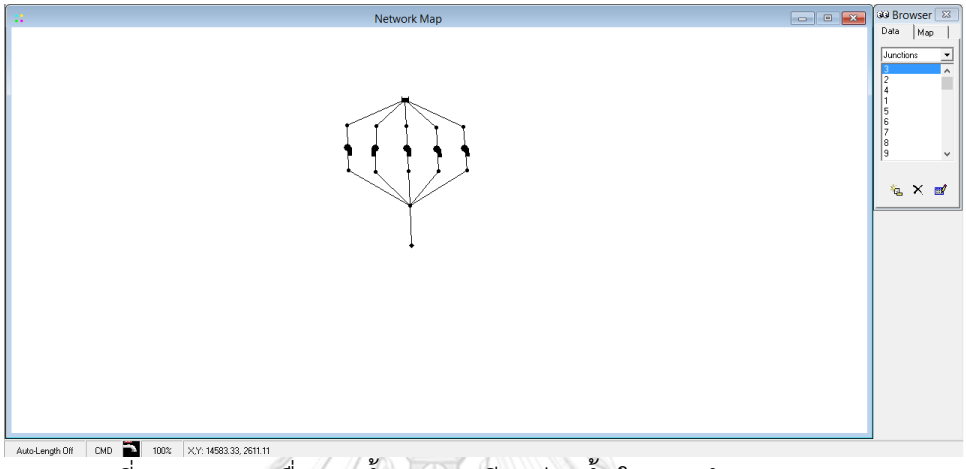


รูปที่ 3.2 โครงข่ายอุโมงค์ส่งน้ำประปาของ กปน. ในแบบจำลอง EPANET

ตารางที่ 3.3 จำนวนและประเภทเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง EPANET

จำนวนเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบส่งน้ำ				
ประเภทเครื่องสูบน้ำ /สถานี	Fixed Speed (เครื่อง)		Variable Speed (เครื่อง)	
	150 ลบ.ม./นาที	300 ลบ.ม./นาที	150 ลบ.ม./นาที	300 ลบ.ม./นาที
สถานีสูบส่งน้ำ 1 บางเขน	1	3	-	-
สถานีสูบส่งน้ำ 2 บางเขน	-	-	-	3
สถานีสูบส่งน้ำ 3 บางเขน	-	-	-	3
สถานีสูบส่งน้ำ 1 มหาสวัสดิ์	-	-	-	3

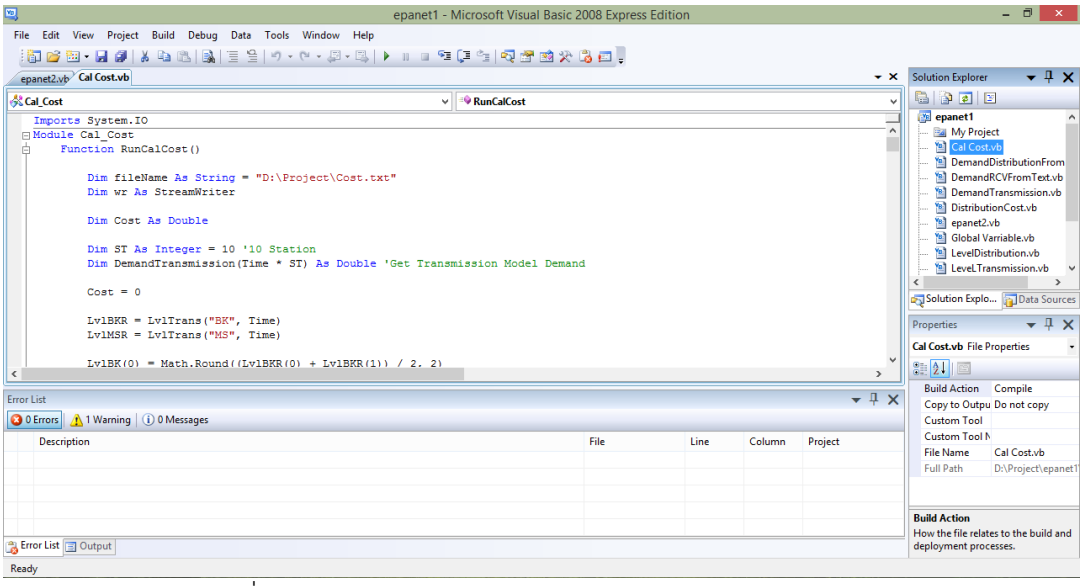
สถานีสูบจ่ายน้ำจะพัฒนาแบบจำลองทางชลศาสตร์ขึ้นมาใหม่โดยประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำขนาด 125 ลบ.ม.ต่อนาทีจำนวน 5 เครื่องดังรูปที่ 3.3 ซึ่งงานวิจัยนี้จะกำหนดให้คุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำเหมือนกันเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ และการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำเนื่องจากต้องควบคุมทั้งแรงดันและปริมาณการจ่ายน้ำ



รูปที่ 3.3 ระบบเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ ในแบบจำลอง EPANET

2. การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลองจะเป็นโปรแกรมที่รับค่าระดับน้ำในถังเก็บน้ำ แรงดันและปริมาณการจ่ายน้ำเข้ามาเพื่อคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง EPANET โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 2008 ในการพัฒนาต้นแบบโปรแกรมคำนวณดังตัวอย่างรูปที่ 3.4

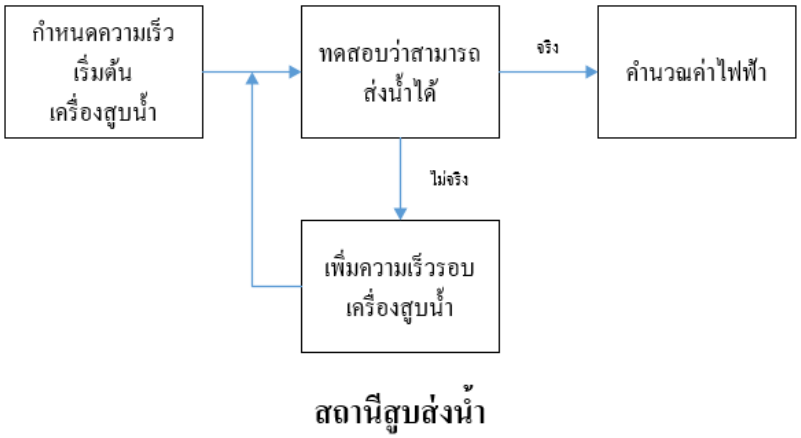
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 โปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง EPANET

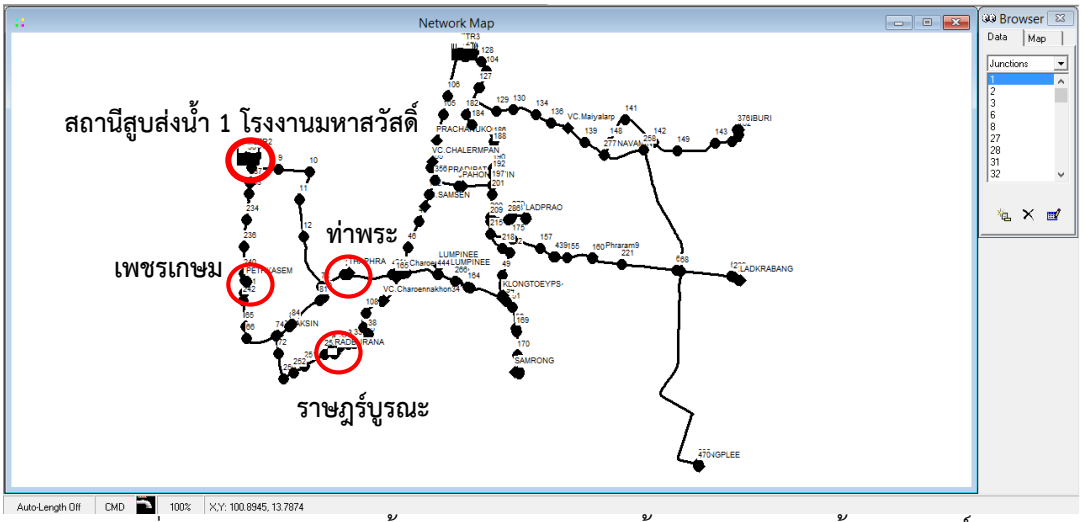
การคำนวณการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะใช้แนวทางเดียวกับการควบคุมระดับน้ำจากอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร จากนั้นจะนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องสูบน้ำมาคิดค่าไฟฟ้า โดยการคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบสูบส่งน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำ 10 สถานี

2.1 ระบบสูบส่งน้ำจะคำนวณจากหลักการคือใช้เครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบต่ำที่สุดที่สามารถทำให้ระดับน้ำในถังเก็บน้ำของทุกสถานีสูบจ่ายน้ำมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดเป็นไปตามแผนภาพรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการคำนวณการทำงานของเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ

หลักการคำนวณของระบบสูงส่งน้ำจะคำนวณโดยการปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำให้มีแรงดันเพียงพอในการการส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำทุกสถานี (เฮดที่สถานีสูบจ่ายน้ำมากกว่า 0 เมตร) ถ้าสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ ราษฎร์บูรณะและเพชรเกษมมีแรงดันน้ำเข้าไม่เพียงพอจะต้องเพิ่มปริมาณการสูบส่งน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ 1 โรงงานมหาสวัสดิ์ดังเส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 1 โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 1 โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

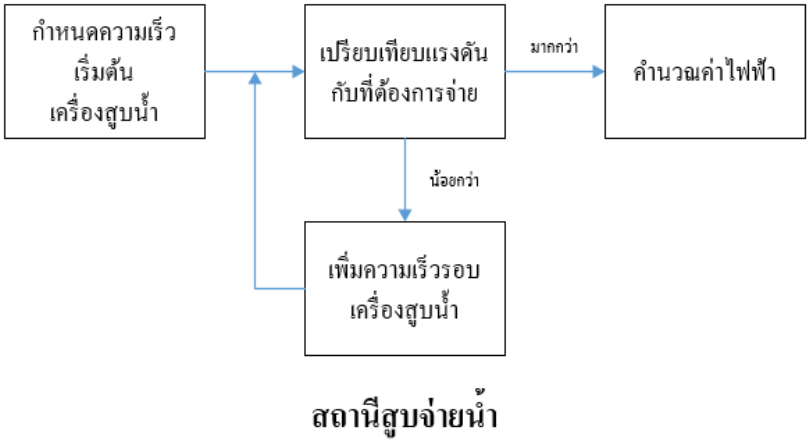
ในส่วนของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว คลองเตยและสำโรงหากแรงดันน้ำที่ส่งมาไม่เพียงพอ จะต้องเพิ่มการสูบส่งน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ 2 โรงงานผลิตน้ำบางเขนดังเส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 2 โรงงานผลิตน้ำบางเขนในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 2 โรงงานผลิตน้ำบางเขน

ในส่วนของสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี ลาดกระบังและบางพลีหากแรงดันน้ำที่ส่งมาไม่เพียงพอ จะต้องเพิ่มการสูบส่งน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ 3 โรงงานผลิตน้ำบางเขนดังเส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 3 โรงงานผลิตน้ำบางเขนในรูปที่ 3.8

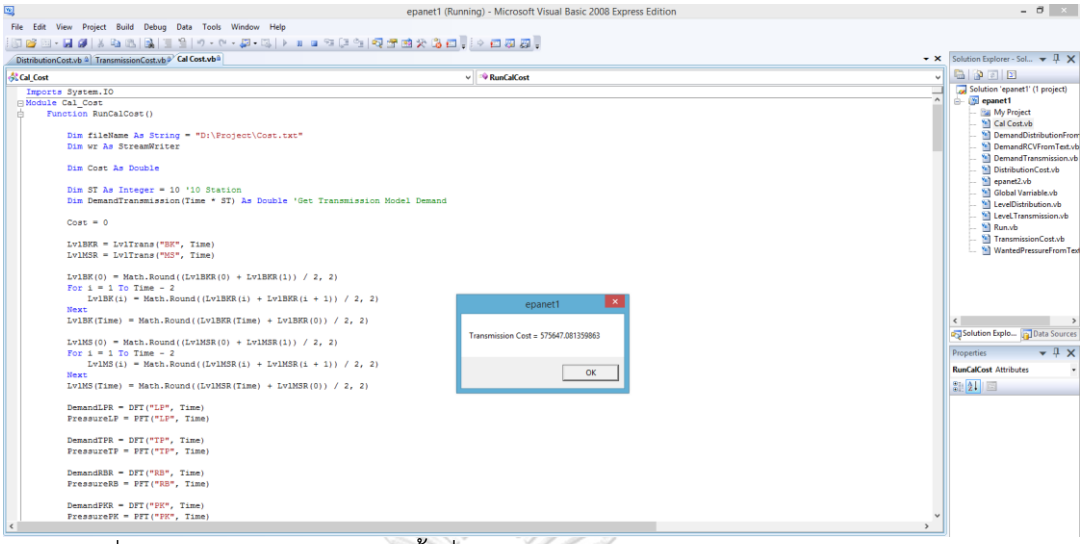
รูปที่ 3.8 เส้นทางการส่งน้ำหลักของสถานีสูบส่งน้ำ 3 โรงงานผลิตน้ำบางเขน

2.2 สถานีสูบจ่ายน้ำจะใช้หลักการคำนวณคือจะเพิ่มการทำงานของเครื่องสูบน้ำหากแรงดันการจ่ายน้ำน้อยกว่าค่าที่กำหนด และลดการทำงานหากแรงดันมากกว่าค่าที่กำหนดดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 3.9

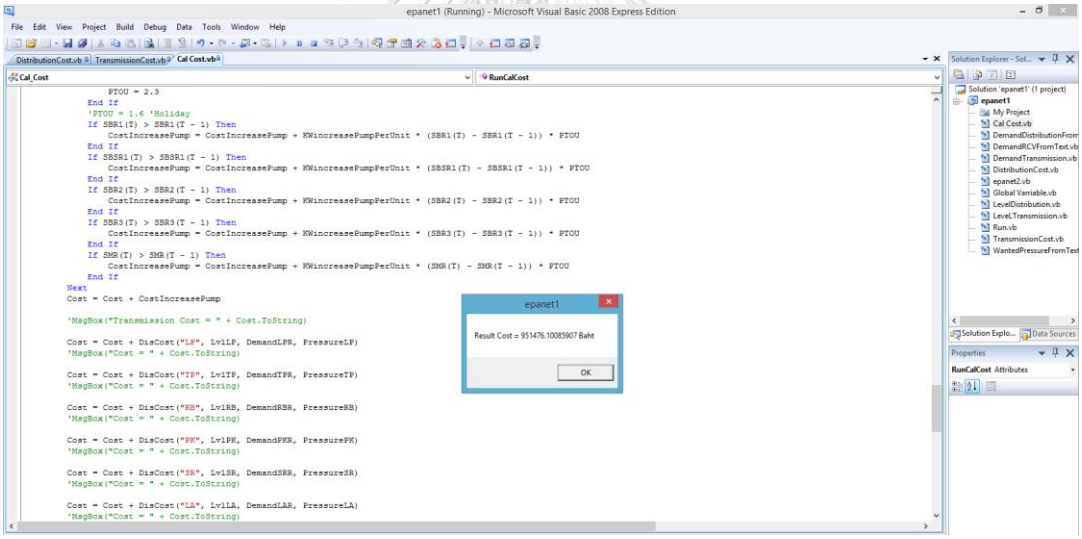


รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการคำนวณการทำงานของเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ

เมื่อพัฒนาต้นแบบโปรแกรมสำเร็จจึงได้ทดสอบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าและทดสอบหาคำตอบของวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 จะได้ผลลัพธ์ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำดังรูปที่ 3.10 และผลลัพธ์ค่าไฟฟ้ารวมดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ค่าไฟฟ้าในระบบส่งน้ำที่ได้จากการทดสอบหาคำตอบจากรายงายประจำวัน ของวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.11 ค่าไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบหาคำตอบจากรายงายประจำวัน ของวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

3.3 การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมหาคำตอบ

งานศึกษานี้จะใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมที่มีสมาการการเปลี่ยนแปลงคำตอบจากชุดคำตอบที่ดีที่สุดจากรุ่นก่อนหน้า ซึ่งโปรแกรมหาคำตอบจะทำงานร่วมกับโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า โดยจะส่งชุดคำตอบไปหาผลค่าไฟฟ้า ข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ที่ต้องใส่ให้โปรแกรมมี 4 ค่าคือ ปริมาณการใช้น้ำ แรงดันน้ำ ชุดคำตอบเริ่มต้น และค่าแฟคเตอร์อัตราขยายผลต่าง โดยโปรมแกรมหาคำตอบมีเงื่อนไข 3 ข้อคือ

1. ข้อมูลปริมาณและแรงดันน้ำเป็นข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์

2. ชุดคำตอบเริ่มต้นใช้ชุดคำตอบจากข้อมูลเดือนก่อนหน้า

3.ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนค่าพิกัดเท่ากับ 1

โปรแกรมที่พัฒนาจะเป็นโปรแกรมที่ใช้ขั้นตอนของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและนำไปหาผลลัพธ์จากต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้ามีทั้งหมด 6 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดวันที่ต้องการหาคำตอบค่าระดับน้ำ

2. ตั้งค่าระดับน้ำเริ่มต้นให้เท่ากับวันที่หาคำตอบ

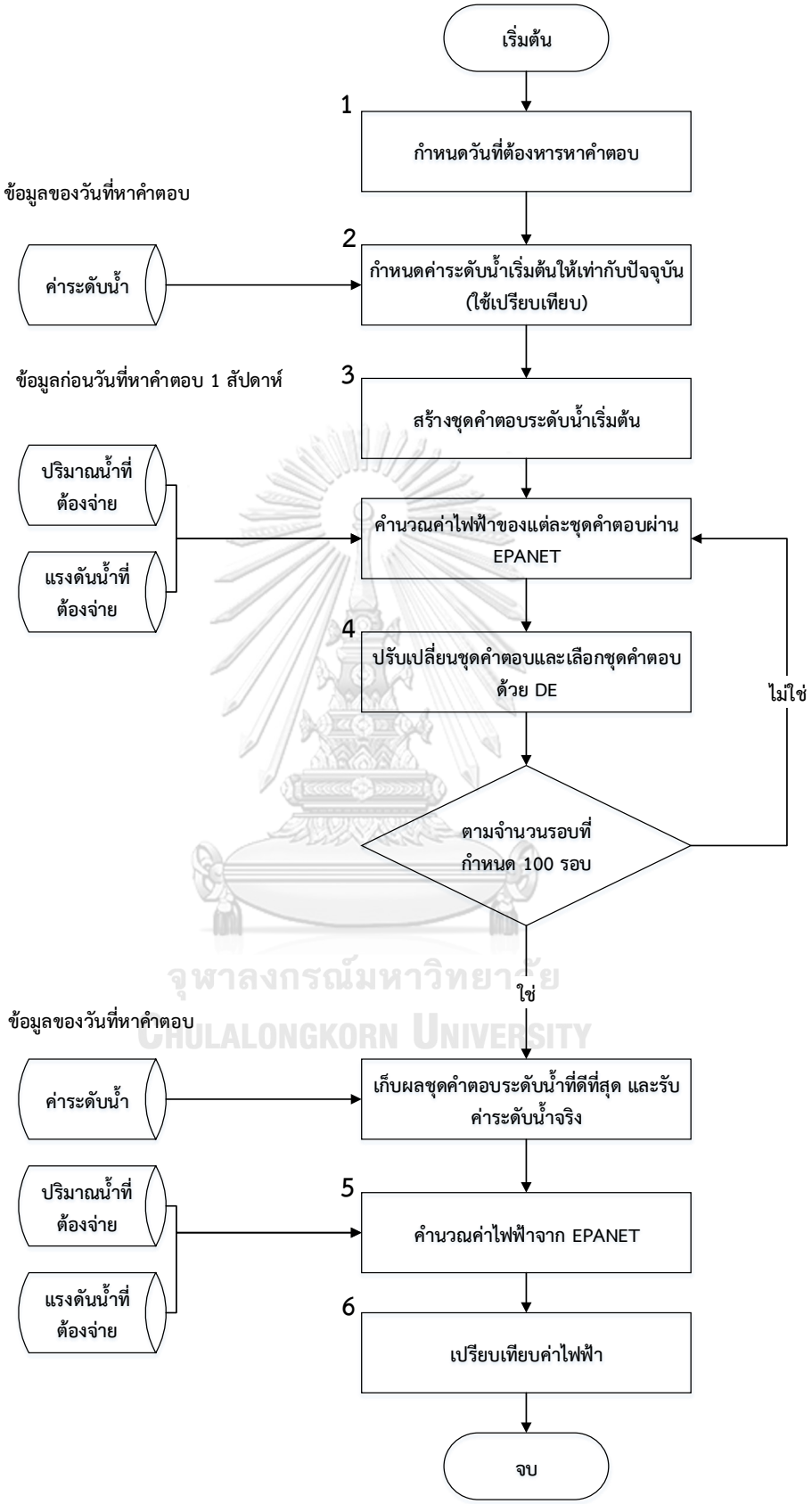
3. สร้างชุดคำตอบเริ่มต้น และหาค่าไฟฟ้าของแต่ละชุด

4. ใช้วิธีวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมเพื่อปรับเปลี่ยนชุดคำตอบ โดยใช้แฟคเตอร์ขยายผลต่าง (Scaling Factor) เท่ากับ 0.125 0.250 0.500 และ 1 (ทดสอบหาค่าแฟคเตอร์ขยายผลต่างที่ดีที่สุดจาก 5 วัน) อัตราการแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (Crossover Rate) เท่ากับ 1 จำนวน 100 รอบ โดยแต่ละชุดคำตอบหาค่าไฟฟ้าจาก EPANET

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

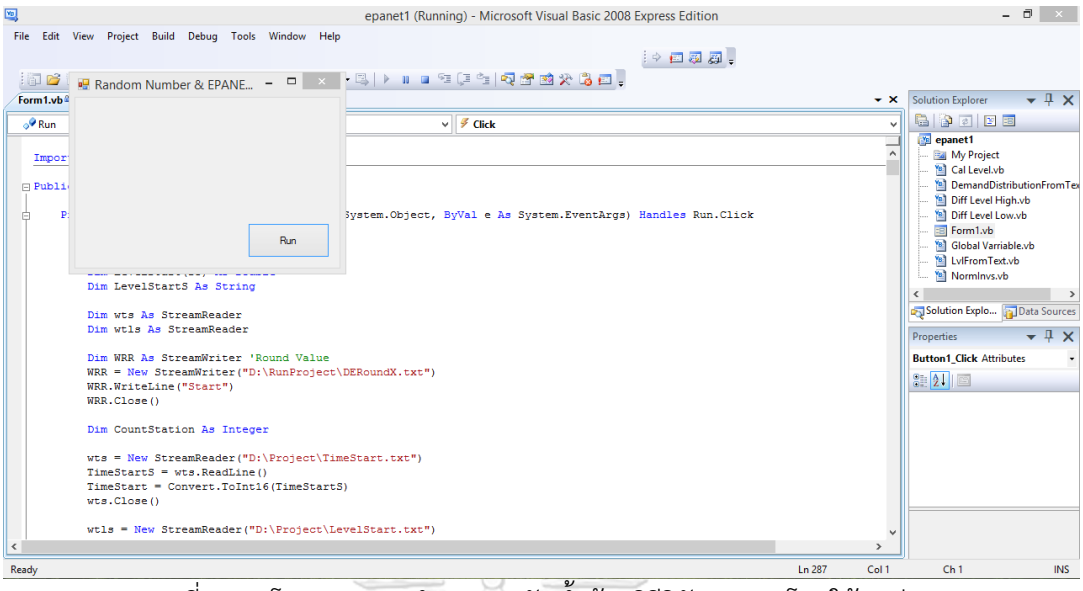
5. นำผลลัพธ์ค่าระดับน้ำที่ได้มาหาค่าไฟฟ้าจากข้อมูลจริงจาก EPANET

6. เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าของผลลัพธ์ชุดคำตอบค่าระดับน้ำที่ได้กับค่าระดับจริงของวันที่ต้องการหาคำตอบ ดังแสดงในแผนภาพการหาคำตอบในรูปที่ 3.12 และตัวอย่างโปรแกรมในรูปที่ 3.13



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการหาคำตอบเบื้องต้นด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง



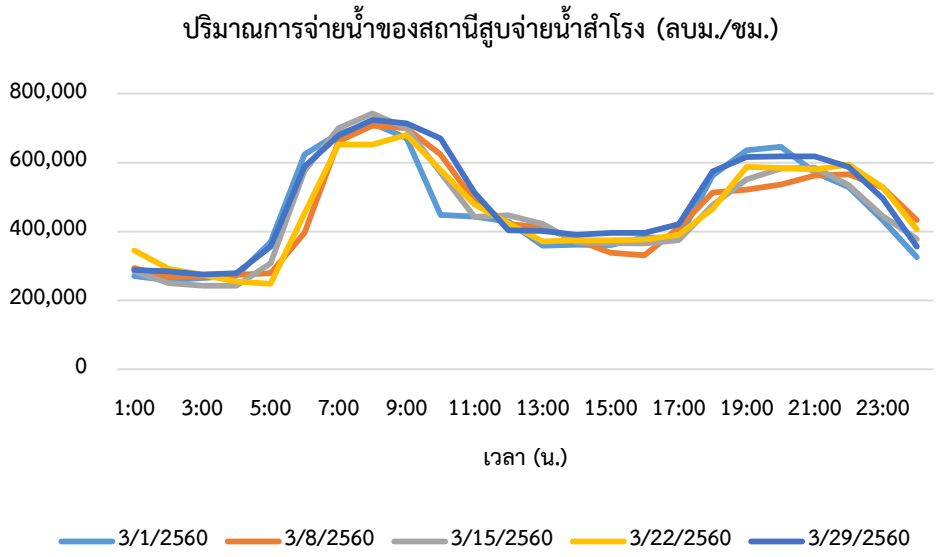
รูปที่ 3.13 โปรแกรมหาคำตอบระดับน้ำด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

ข้อมูลปริมาณการจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำนั้นขึ้นอยู่กับการเกิดเป็นช่วง เวลา อุณหภูมิ และการสุ่ม การคาดการณ์ในระยะสั้นจะใช้พื้นฐานของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ 24 ชั่วโมงก่อน และข้อมูลที่ได้สังเกตจากข้อมูลก่อนหน้าสัปดาห์สำหรับประเภทวันและช่วงเวลาเดียวกันของวันที่คาดการณ์ แต่เนื่องจากการหาค่าระดับน้ำต้องใช้การคาดการณ์ปริมาณน้ำทั้ง 24 ชั่วโมงการใช้ข้อมูลของสัปดาห์ก่อนหน้าจะสามารถนำมาใช้ได้จริงได้ดีกว่า เมื่อนำข้อมูลจากรายงานเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 มาเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำจ่ายจากการใช้ข้อมูลของสัปดาห์ก่อนมาใช้คาดการณ์มีร้อยละความผิดพลาดของแต่ละสถานีในแต่ละช่วงเวลาเป็นดังตารางที่ 3.4 ซึ่งจากการคาดการณ์โดยรวมซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดประมาณร้อยละ 19 โดยมีตัวอย่างกราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการจ่ายน้ำของวันประเภทวันเดียวกันในสัปดาห์อื่นๆ ของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงในวันพุธเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ดังรูปที่ 3.14 แต่เนื่องจากการคาดการณ์ปริมาณการจ่ายน้ำไม่อยู่ในขอบเขตของงานศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลดังกล่าวในการคาดการณ์จากปัจจัยที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อให้สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

ตารางที่ 3.4 ความผิดพลาดเฉลี่ยจากการนำข้อมูลมาใช้คาดการณ์ปริมาณการจ่ายน้ำ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 (ร้อยละ)

เวลา/สถานี	LP	TP	RB	PK	SR	LA	KT	MB	LK	BP
1:00	0.06	0.09	0.06	0.08	0.12	0.09	0.13	0.09	0.15	0.10
2:00	0.06	0.10	0.07	0.12	0.11	0.08	0.19	0.10	0.16	0.08
3:00	0.06	0.11	0.10	0.14	0.10	0.08	0.13	0.11	0.16	0.10
4:00	0.06	0.07	0.11	0.14	0.08	0.06	0.10	0.09	0.12	0.08
5:00	0.08	0.09	0.12	0.12	0.16	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11
6:00	0.08	0.05	0.08	0.09	0.19	0.05	0.17	0.13	0.11	0.14
7:00	0.08	0.03	0.05	0.06	0.07	0.04	0.09	0.10	0.06	0.06
8:00	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.04	0.07	0.07	0.05	0.07
9:00	0.05	0.04	0.04	0.05	0.07	0.04	0.05	0.06	0.08	0.06
10:00	0.04	0.02	0.04	0.05	0.12	0.03	0.06	0.06	0.05	0.04
11:00	0.05	0.03	0.06	0.05	0.14	0.03	0.07	0.06	0.06	0.05
12:00	0.07	0.03	0.06	0.04	0.07	0.04	0.07	0.10	0.11	0.10
13:00	0.07	0.04	0.04	0.08	0.10	0.03	0.06	0.07	0.06	0.08
14:00	0.06	0.03	0.05	0.08	0.08	0.03	0.08	0.05	0.06	0.08
15:00	0.05	0.04	0.06	0.05	0.09	0.03	0.08	0.04	0.07	0.08
16:00	0.06	0.04	0.07	0.07	0.07	0.03	0.07	0.05	0.06	0.08
17:00	0.08	0.05	0.12	0.05	0.15	0.03	0.07	0.07	0.07	0.07
18:00	0.05	0.04	0.06	0.06	0.08	0.03	0.06	0.10	0.09	0.06
19:00	0.04	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.09
20:00	0.07	0.03	0.04	0.06	0.05	0.04	0.07	0.05	0.08	0.10
21:00	0.05	0.03	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.07	0.07	0.09
22:00	0.09	0.03	0.06	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07	0.10	0.06
23:00	0.09	0.11	0.07	0.07	0.09	0.10	0.07	0.10	0.13	0.08
0:00	0.13	0.10	0.04	0.07	0.07	0.16	0.10	0.10	0.15	0.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.14 ปริมาณการจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงในวันพุธ
เดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 (วันปกติ) ในแต่ละชั่วโมง

หลังจากใส่ข้อมูลป้อนเข้าแล้วทดลองหาคำตอบระดับน้ำของวันที่ 1 ถึง 3 และ 6 ถึง 7 มีนาคม พ.ศ. 2560 ที่ใช้ค่าแฟคเตอร์ขยาย (F) 0.125 0.250 0.500 และ 1.000 เพื่อหาค่าแฟคเตอร์ขยายผลต่างที่ทำให้ได้ค่าไฟฟ้าดีที่สุดพบว่าได้ค่าไฟฟ้าและผลเปรียบเทียบในครั้งที่ 1 ดังตารางที่ 3.5 และครั้งที่ 2 ดังตารางที่ 3.6 ซึ่งค่า 0.500 ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดจึงนำไปใช้เป็นค่าแฟคเตอร์ขยายผลต่าง

ตารางที่ 3.5 ผลเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้จากแฟคเตอร์ขยายผลต่างครั้งที่ 1 (บาท)

วันที่/F	0.125	0.250	0.500	1.000	F ที่ทำให้ค่าต่ำสุด
1 มี.ค. 2560	1,030,159	1,025,482	1,017,066	1,033,477	**0.500**
2 มี.ค. 2560	1,016,959	1,023,511	1,018,647	1,025,065	**0.125**
3 มี.ค. 2560	1,015,613	1,025,327	1,010,883	1,034,284	**0.500**
6 มี.ค. 2560	1,031,473	1,027,868	1,023,851	1,038,302	**0.500**
7 มี.ค. 2560	997,160	995,908	989,220	1,006,322	**0.500**
รวม	5,091,363	5,098,095	5,059,668	5,137,451	**0.500**

ตารางที่ 3.6 ผลเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้จากแฟคเตอร์ขยายผลต่างครั้งที่ 2 (บาท)

วันที่/F	0.125	0.25	0.5	1	F ที่ทำให้ค่าต่ำสุด
1 มี.ค. 2560	1,025,017	1,022,720	1,019,853	1,024,122	**0.500**
2 มี.ค. 2560	1,022,970	1,010,546	1,014,741	1,023,783	**0.250**
3 มี.ค. 2560	1,026,970	1,025,364	1,012,246	1,025,157	**0.500**
6 มี.ค. 2560	1,029,923	1,016,128	1,013,099	1,028,816	**0.500**
7 มี.ค. 2560	998,782	996,364	988,723	1,003,475	**0.500**
รวม	5,103,662	5,071,121	5,048,662	5,105,353	**0.500**

3.4 การหาคำตอบและเปรียบเทียบผล

การหาคำตอบระดับน้ำจะหาคำตอบผลคำตอบระดับน้ำจำนวน 10 วันปกติ (จันทร์ถึงศุกร์) ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 โดยการกำหนดค่าระดับน้ำเริ่มต้นเท่ากับข้อมูลจริงจากรายงานประจำวัน ซึ่งได้ตัวอย่างคำตอบระดับของวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 ดังแสดงในตารางที่ 3.7

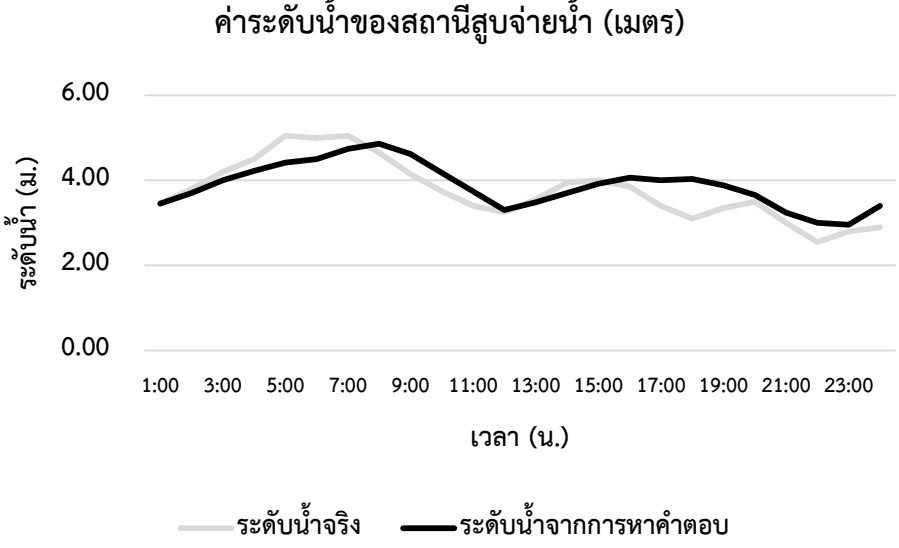
ตารางที่ 3.7 คำตอบค่าระดับน้ำในแต่ละเวลา 10 สถานีสูบจ่าย วันที่ 1 มีนาคม 2560 (เมตร)

เวลา/สถานี	LP	TP	RB	PK	SR	LA	KT	MB	LK	BP
1:00	3.45	3.90	2.44	2.85	1.70	2.68	2.00	3.94	1.31	2.95
2:00	3.70	4.45	2.88	3.12	2.34	3.00	3.06	4.28	2.06	3.50
3:00	4.00	4.88	3.44	3.46	3.01	3.32	3.70	4.74	2.81	4.06
4:00	4.22	5.16	4.00	3.76	3.70	3.68	4.34	5.00	3.66	4.58
5:00	4.42	4.86	4.50	4.12	4.38	3.92	5.06	5.60	4.76	4.70
6:00	4.50	4.86	4.72	4.38	4.88	4.16	5.00	5.60	5.50	4.96
7:00	4.74	4.88	4.42	4.70	4.70	4.34	4.46	5.12	5.52	5.36
8:00	4.86	4.34	4.31	4.30	3.76	4.22	3.60	4.12	4.66	5.12
9:00	4.62	4.00	3.76	4.04	2.00	3.96	2.90	2.88	3.94	4.62
10:00	4.18	3.84	3.30	3.48	0.98	3.66	2.50	2.04	3.10	4.44
11:00	3.74	3.70	2.94	3.14	0.74	3.51	2.66	1.36	2.96	4.20
12:00	3.30	3.36	2.72	2.78	0.76	3.30	3.16	1.46	2.96	4.18
13:00	3.48	3.03	2.76	2.50	0.90	3.24	3.51	1.88	3.06	4.20
14:00	3.70	2.72	3.10	2.38	1.10	3.22	4.04	2.17	3.10	4.26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เวลา/สถานี	LP	TP	RB	PK	SR	LA	KT	MB	LK	BP
15:00	3.92	2.50	3.46	2.38	1.38	3.28	4.62	2.64	3.10	4.54
16:00	4.06	2.00	3.74	2.46	1.56	3.28	4.89	3.02	3.14	4.70
17:00	4.00	2.04	3.76	2.41	2.00	3.42	4.58	3.26	3.20	4.62
18:00	4.03	2.16	3.66	2.24	2.16	3.36	3.96	3.02	2.80	4.22
19:00	3.88	2.02	3.30	2.28	1.88	3.42	3.50	2.78	2.64	3.92
20:00	3.66	2.02	3.12	2.41	1.56	3.40	2.88	2.60	2.42	3.84
21:00	3.24	1.96	2.94	2.41	1.06	3.46	2.30	2.50	2.16	3.84
22:00	3.00	2.04	2.98	2.64	0.74	3.54	1.76	2.62	1.90	3.82
23:00	2.96	2.50	3.30	2.86	0.70	3.66	1.52	3.50	2.00	3.72
00:00	3.40	2.86	4.12	3.90	1.42	3.70	1.94	4.31	2.54	3.84

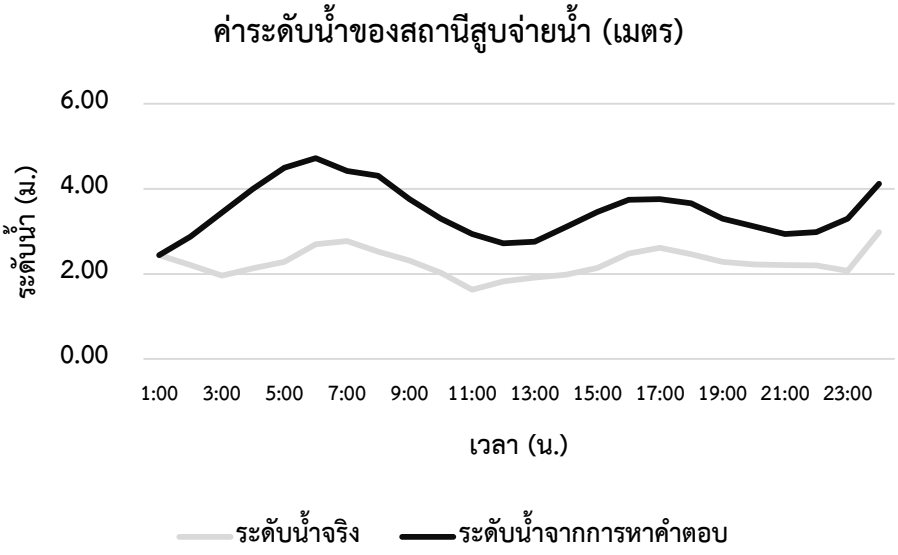
ค่าระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินีซึ่งเป็นสถานีสูบจ่ายน้ำที่รับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ 1 โรงงานผลิตน้ำบางเขนจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยดังสังเกตได้จากกราฟรูปที่ 3.15 เนื่องจากเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำเป็นประเภทปรับความเร็วรอบไม่ได้



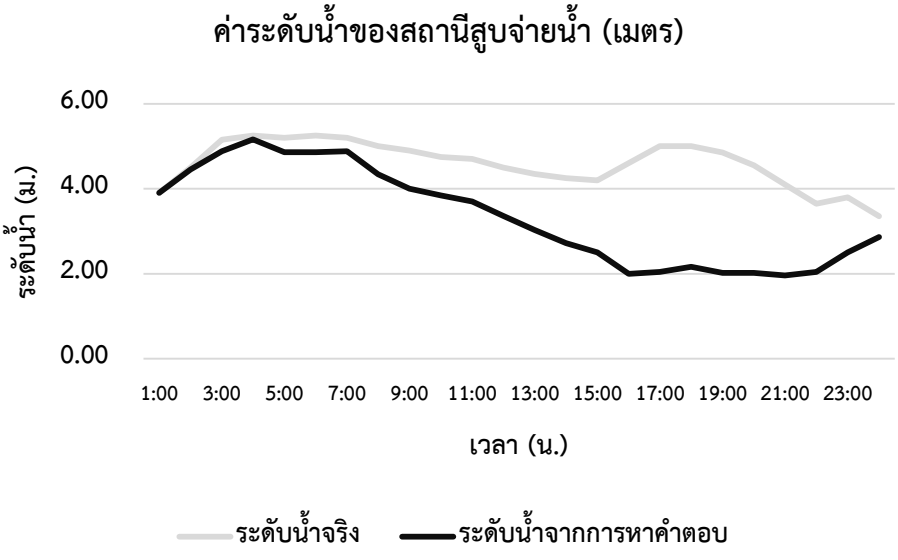
รูปที่ 3.15 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินี วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

ในขณะที่ 3 สถานีสูบจ่ายน้ำที่รับน้ำจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์จะปรับระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะซึ่งเป็นสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีปริมาณการจ่ายน้ำสูงสุดในสามสถานีขึ้นดังรูปที่

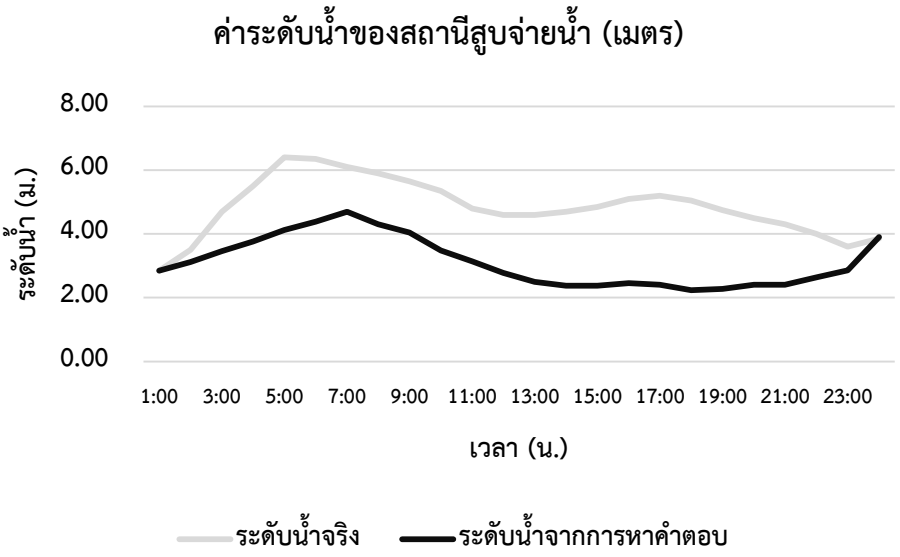
3.16 ซึ่งจะทำให้สองสถานีสูบจ่ายน้ำที่เหลือคือสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระและเพชรเกษมมีระดับน้ำลดลงดังรูปที่ 3.17 และ 3.18



รูปที่ 3.16 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

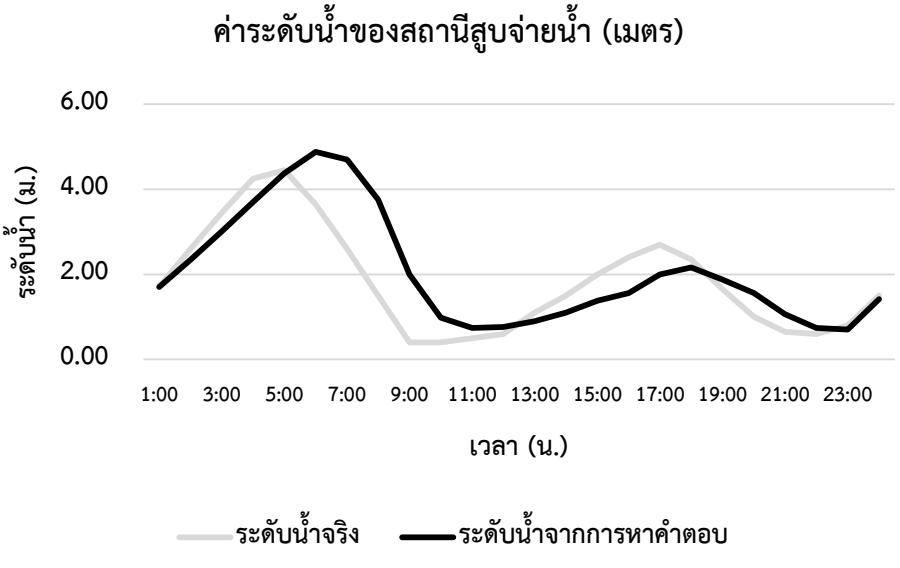


รูปที่ 3.17 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

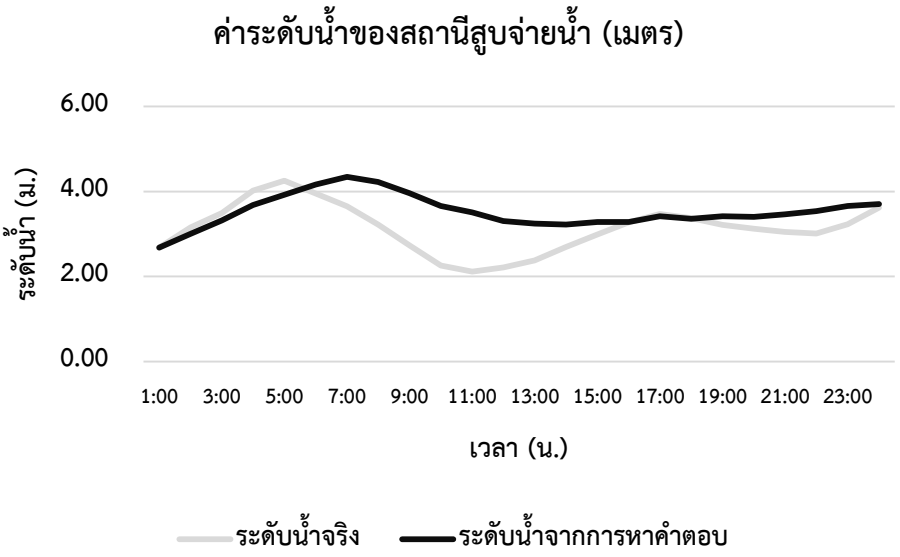


รูปที่ 3.18 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษม วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

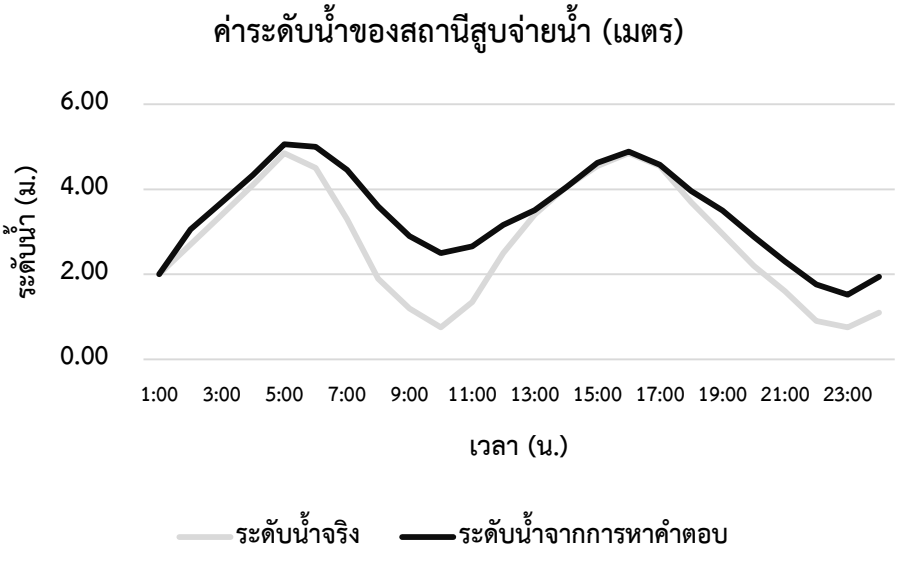
สถานีสูบจ่ายน้ำที่รับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ 2 โรงงานผลิตน้ำบางเขนจะพยายามเพิ่มระดับน้ำในช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่ำเพื่อทำให้ในช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าสูงค่าระดับน้ำจะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งทำให้เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำใช้พลังงานลดลงดังแสดงค่าระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง ลาดพร้าว และคลองเตยในรูปที่ 3.19 – 3.21



รูปที่ 3.19 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



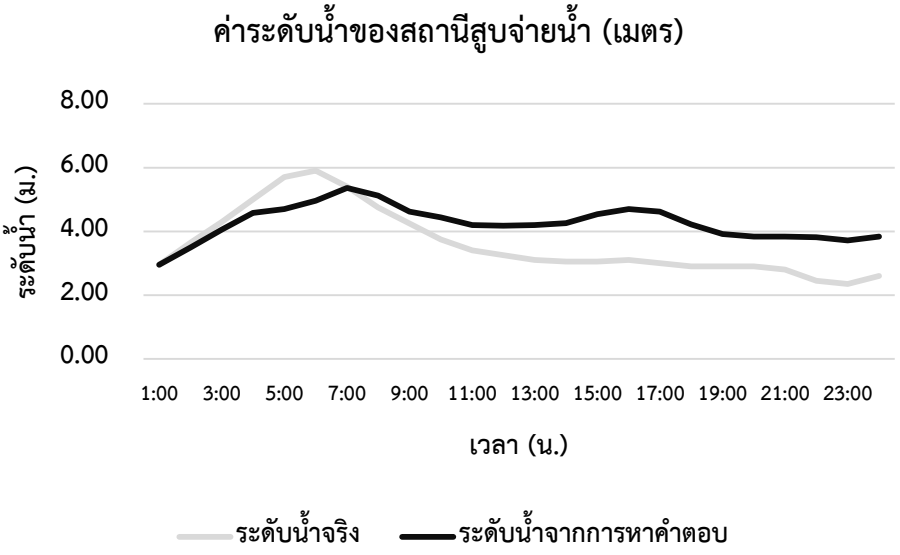
รูปที่ 3.20 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



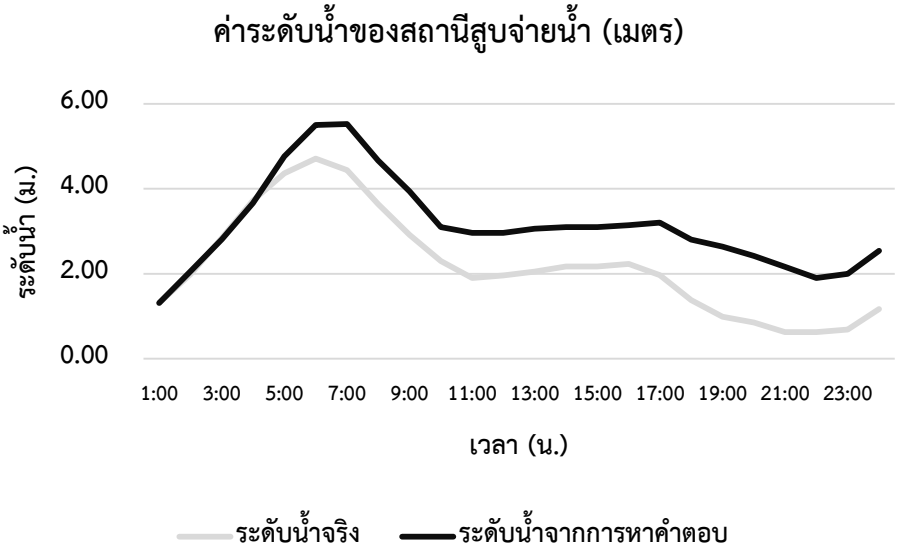
รูปที่ 3.21 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตย วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

สถานีสูบจ่ายน้ำที่รับจากสถานีสูบส่งน้ำ 3 โรงงานผลิตน้ำบางเขนจะปรับระดับน้ำโดยรวมให้สูงขึ้น ซึ่งสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลีมีปริมาณการจ่ายน้ำสูงแต่เป็นสถานีสูบน้ำที่อยู่ไกล ซึ่งการส่งน้ำปริมาณมากจะทำให้ต้องใช้แรงดันสูงซึ่งทำให้เครื่องสูบน้ำใช้พลังงานมาก จึงทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นได้ไม่มากดังรูปที่ 3.22 ในส่วนของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบังมีปริมาณการจ่ายน้ำมากกว่าสถานีสูบจ่ายน้ำ

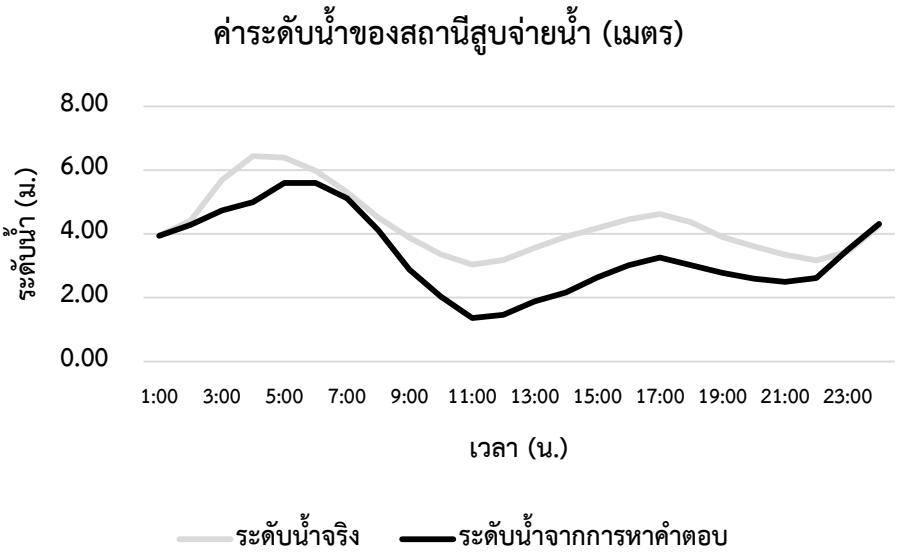
มีนบุรี จึงปรับระดับน้ำให้สูงขึ้นทำให้สถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรีมีค่าระดับน้ำลดลงดังแสดงในรูปที่ 3.23 และ 3.24



รูปที่ 3.22 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลี วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

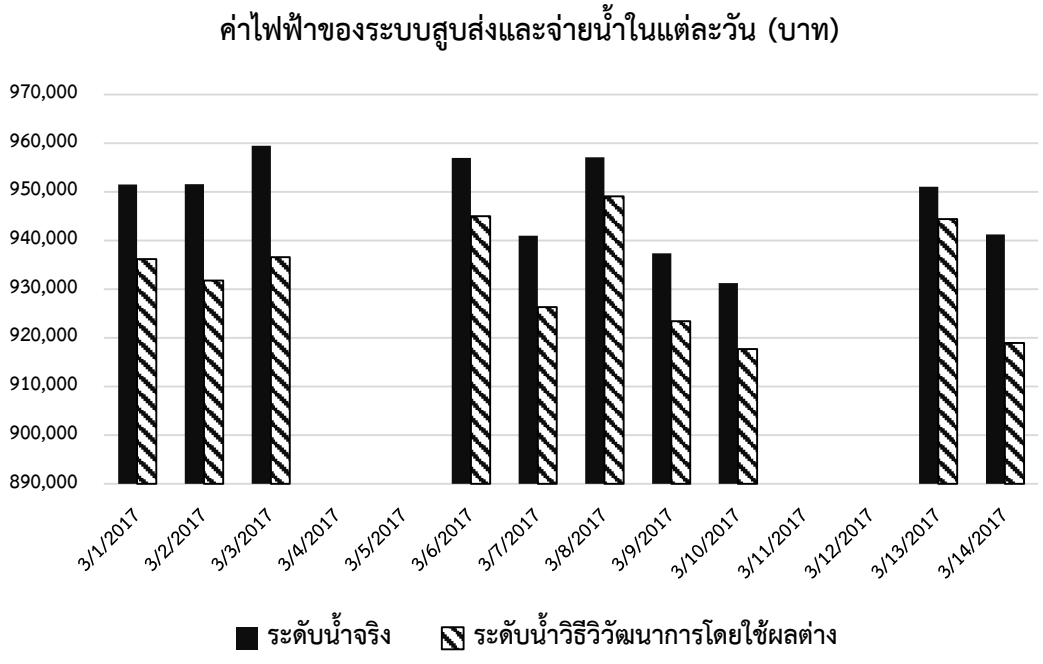


รูปที่ 3.23 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.24 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

นำผลระดับน้ำที่ได้หาค่าไฟฟ้าจากโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลแรงดันและปริมาณการจ่ายน้ำจริงของวันที่หาคำตอบ และเปรียบเทียบค่าไฟฟ้ากับการใช้ค่าระดับน้ำจริง พบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้เฉลี่ยวันละ 14,900 บาทจากการทดสอบ 10 วันปกติ (จันทร์ถึงศุกร์) เป็นดังกราฟรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้ระหว่างระดับน้ำจากงานวิจัยกับระดับน้ำจริง

3.5 การปรับปรุงผลคำตอบที่ได้

จากการหาคำตอบค่าระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำเมื่อค่าระดับน้ำเริ่มต้นของวันเท่ากับค่าปัจจุบันที่ใช้จริงทำให้ผลค่าระดับน้ำโดยเฉลี่ยมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับความสามารถ โดยผลคำตอบที่ได้จากการทดลอง 10 วันพบว่าในแต่ละวันผลค่าระดับน้ำสูงสุดของแต่ละสถานีสูบจ่ายเป็นดังในตารางที่ 3.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มระดับน้ำโดยรวมของสถานีสูบจ่ายน้ำได้ เนื่องจากระดับน้ำโดยเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำโดยตรง

ตารางที่ 3.8 ค่าระดับน้ำสูงสุดในแต่ละวันที่ได้จากการหาคำตอบ (เมตร)

วันที่/สถานี	LP	TP	RB	PK	SR	LA	KT	MB	LK	BP
1	4.85	5.02	4.56	4.55	4.1	3.81	4.72	5.6	5.22	4.57
2	4.96	4.97	5.31	5.5	4.84	5.6	4.54	5.6	4.91	5.18
3	4.74	5.4	4.34	5.06	5.08	5.14	4.81	4.68	5.4	5.6
6	5.05	4.5	4.17	5.6	4.66	4.84	4.84	5.6	5.6	4.67
7	4.89	5.31	4.49	5.6	4.43	5.34	5	5.6	4.63	4.94
8	5.6	4.85	5.55	5.6	4.3	5.04	4.84	5.55	5.26	5.51
9	4.71	5.09	5.6	5.58	4.59	5.02	5.48	5.6	4.76	5.46
10	5.02	5.19	5.3	5.6	4.83	5.6	5.29	5.6	5.57	5
13	5.22	4.54	4.27	5.29	4.68	4.63	4.66	5.6	5.6	4.59
14	5.27	3.76	5.17	5.6	4.98	5.51	4.83	5.6	4.91	5.56
ระดับสูงสุดเฉลี่ย	5.03	4.86	4.88	5.40	4.65	5.05	4.91	5.50	5.19	5.11
ระดับสูงสุดที่น้อยที่สุด	4.71	3.76	4.17	4.55	4.1	3.81	4.54	4.68	4.63	4.57
ระดับสูงสุดที่เก็บได้	5.65	5.6	5.6	6.45	5.6	5.6	5.6	7.2	5.6	5.9

จากผลลัพธ์ข้างต้นจึงหาแนวทางในการลดค่าไฟฟ้าให้ได้มากขึ้นโดยการกำหนดค่าระดับน้ำเริ่มต้นของวันให้สูงขึ้นให้เท่ากันในทุกๆวัน ดังตัวอย่างของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงซึ่งมีผลคำตอบค่าระดับน้ำสูงสุดที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 4.65 เมตร ในวันที่ 1 มีนาคม 2561 ซึ่งสามารถเพิ่มระดับน้ำโดยรวมได้อีก 1.95 เมตรโดยไม่มีผลต่อค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ (ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำเพิ่มขึ้นในการเพิ่มปริมาณน้ำเริ่มต้นของวันเพียงวันที่ปรับระดับขึ้นวันแรก) จึงปรับระดับน้ำเริ่มต้นของวันเป็นประมาณ 3.50 เมตรจากค่าจริงในปัจจุบัน 1.70 เมตร ซึ่งในสถานีสูบจ่ายน้ำอื่นๆใช้การปรับในรูปแบบเดียวกันทำให้ได้ค่าระดับน้ำเริ่มต้นที่นำไปใช้ในการหาคำตอบในทุกๆวันในงานวิจัยเป็นดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ค่าระดับน้ำเริ่มต้นจริงกับค่าระดับน้ำเริ่มต้นที่ปรับปรุง (เมตร)

สถานี/ค่าระดับน้ำ	LP	TP	RB	PK	SR	LA	KT	MB	LK	BP
ค่าระดับน้ำเริ่มต้นเดิม	3	2.45	2.26	2.85	1.7	2.68	1.75	3.22	1.77	2.95
ค่าระดับน้ำที่กำหนดใหม่	4	4	4	5	3.5	4	3.5	5.5	3.5	5
ค่าระดับน้าสูงสุดที่เก็บได้	5.65	5.6	5.6	6.45	5.6	5.6	5.6	7.2	5.6	5.9

หลังจากปรับค่าระดับน้ำเริ่มต้นของวันขึ้นใหม่จึงทำการหาค่าคำตอบระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำที่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้เหมือนที่กล่าวมาข้างต้นตั้งแต่ข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 6 เพื่อหาคำตอบ 9 เดือนตั้งแต่มกราคมถึงกันยายน พ.ศ. 2560 โดยได้ตัวอย่างผลการหาคำตอบระดับน้ำของวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 หลังจากพัฒนาการหาคำตอบขึ้นใหม่เป็นดังตารางที่ 3.10 โดยลดค่าไฟฟ้าได้เพิ่มจาก 15,300 บาทเป็น 22,400 บาท

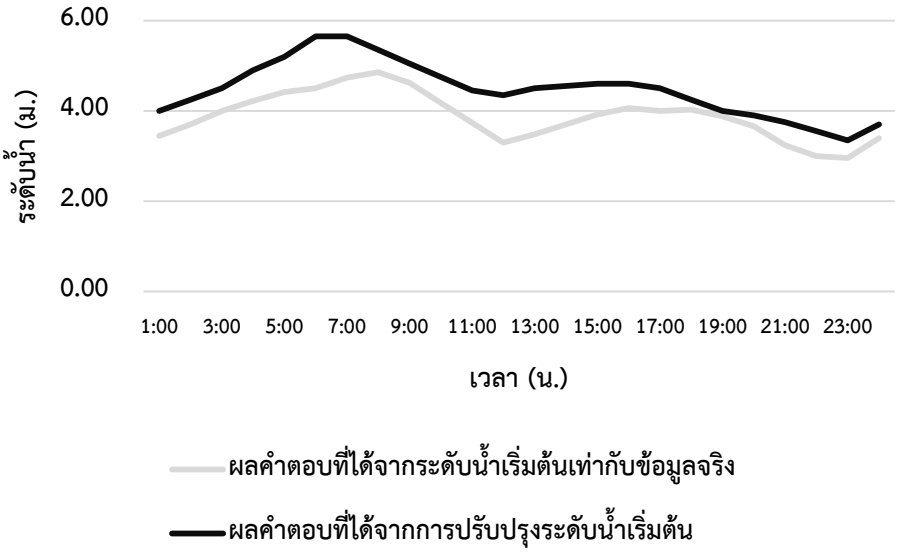
ตารางที่ 3.10 คำตอบระดับน้ำในแต่ละเวลาของสถานีสูบจ่ายวันที่ 1 มีนาคม 2560 (เมตร)

สถานี/เวลา	LP	TP	RB	PK	SR	LA	KT	MB	LK	BP
1:00	4.00	4.00	4.00	5.00	3.50	4.00	3.50	5.50	3.50	5.00
2:00	4.25	4.50	4.53	5.15	4.25	4.28	3.50	6.25	4.58	5.20
3:00	4.50	4.90	5.04	5.40	4.90	4.55	4.35	7.15	5.60	5.40
4:00	4.90	5.35	5.52	5.75	5.55	4.81	5.15	7.20	5.60	5.65
5:00	5.20	5.60	5.60	6.00	5.60	4.97	5.60	7.20	5.60	5.90
6:00	5.65	5.60	5.51	6.30	4.80	4.88	5.60	7.20	5.60	5.90
7:00	5.65	5.25	5.11	6.45	3.70	4.62	5.45	7.20	5.60	5.90
8:00	5.35	4.65	4.48	6.35	2.65	4.20	4.95	6.83	5.55	5.10
9:00	5.05	4.05	4.02	5.95	1.70	3.79	4.30	6.07	4.84	4.70
10:00	4.75	3.50	3.44	5.45	1.60	3.41	3.85	5.43	4.15	4.25
11:00	4.45	3.45	3.09	4.95	1.75	3.28	3.45	5.12	3.76	3.90
12:00	4.35	3.60	3.12	4.75	2.05	3.35	4.10	5.22	3.72	3.70
13:00	4.50	3.65	3.30	4.75	2.45	3.50	4.70	5.58	3.70	3.65
14:00	4.55	3.65	3.54	4.75	2.90	3.70	5.35	5.92	3.77	3.65
15:00	4.60	3.80	3.89	4.85	3.35	3.98	5.60	6.20	3.82	3.65
16:00	4.60	4.10	4.27	5.20	3.60	4.20	5.60	6.50	3.84	3.65
17:00	4.50	4.25	4.41	5.50	3.70	4.34	5.60	6.51	3.69	3.45
18:00	4.25	4.20	4.19	5.50	3.40	4.25	4.60	6.13	3.36	3.25
19:00	4.00	3.95	3.71	5.25	3.05	4.10	3.30	5.57	3.06	3.15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

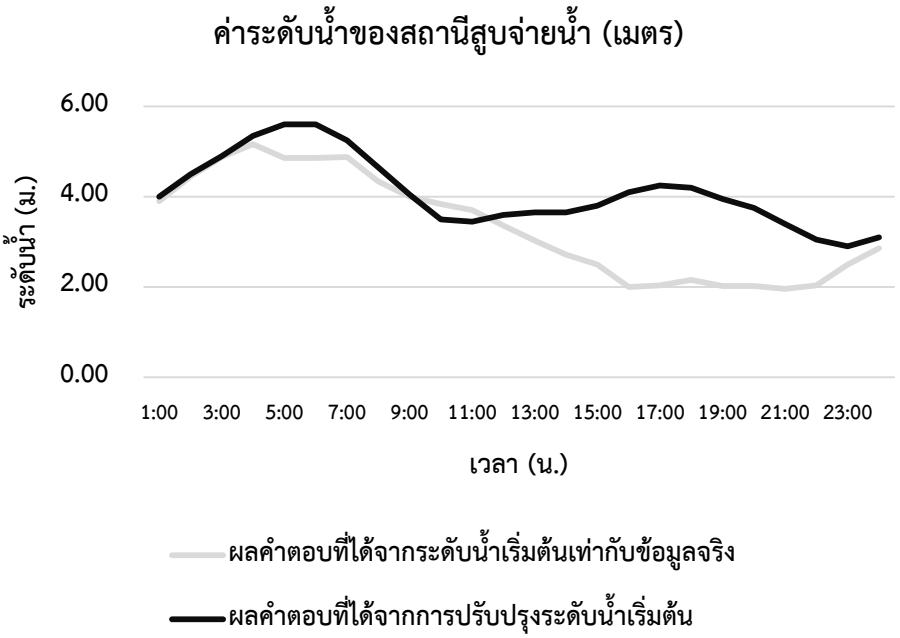
สถานี/เวลา	LP	TP	RB	PK	SR	LA	KT	MB	LK	BP
20:00	3.90	3.75	3.28	4.95	2.50	4.02	2.80	5.32	2.86	3.05
21:00	3.75	3.40	2.81	4.75	1.95	3.81	2.50	5.17	2.47	2.95
22:00	3.55	3.05	2.36	4.30	1.50	3.61	2.35	5.13	2.20	3.00
23:00	3.35	2.90	2.46	4.15	1.45	3.60	2.85	5.51	2.24	3.11
00:00	3.70	3.10	2.93	4.25	1.95	3.49	3.50	6.19	2.64	3.38

ระดับน้ำที่ได้จากผลการหาคำตอบเมื่อกำหนดระดับน้ำใหม่ของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินีจะมีระดับน้ำของทุกเวลาที่สูงขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแต่ละช่วงเวลาจะไม่แตกต่างกันมากดังรูปที่ 3.26 เนื่องจากเครื่องสูบน้ำเป็นประเภทปรับความเร็วรอบไม่ได้

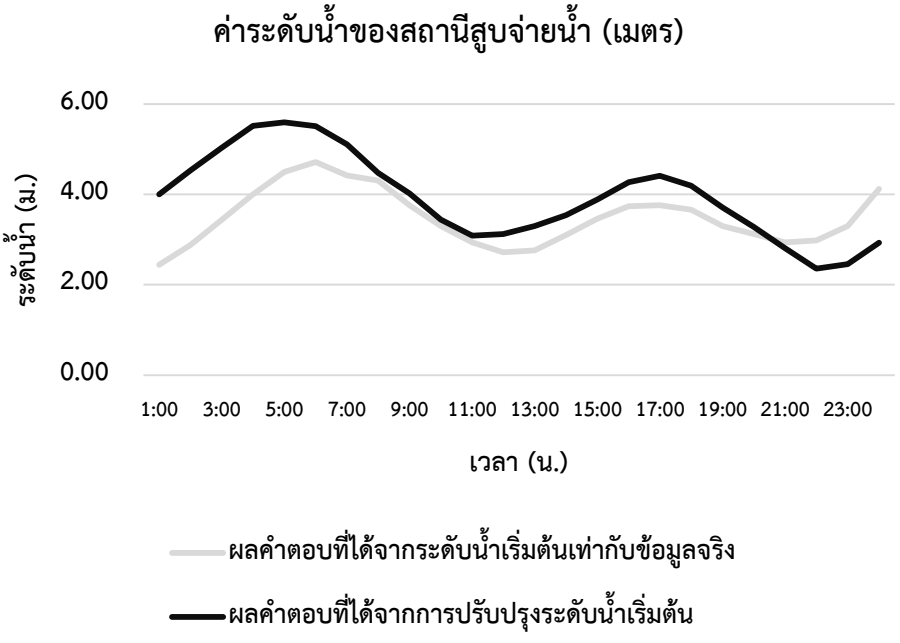


รูปที่ 3.26 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินีหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

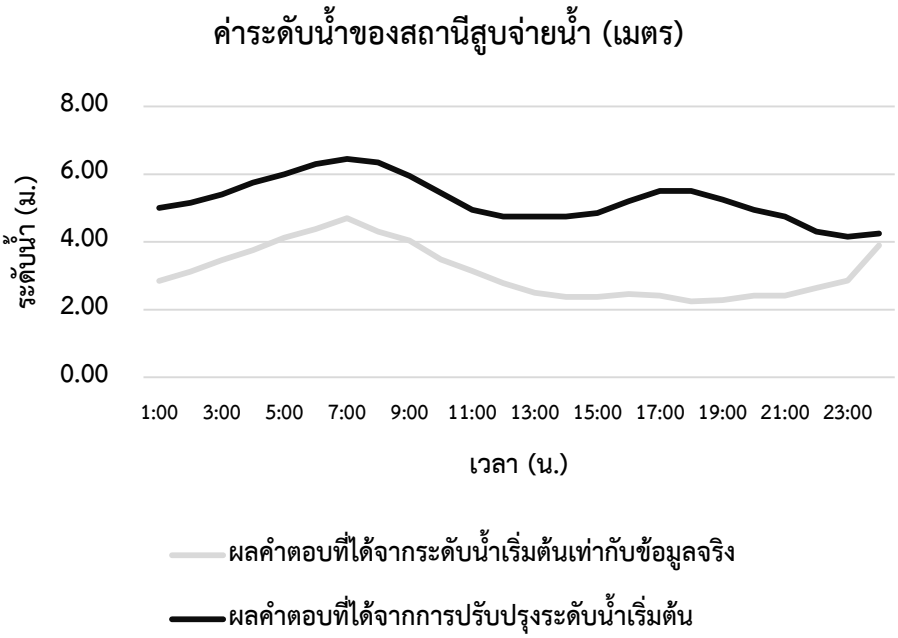
ในส่วนของสถานีสูบจ่ายน้ำที่รับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ 1 โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ผลคำตอบระดับน้ำที่ได้เกือบทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นซึ่งทำให้เครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำใช้พลังงานลดลง โดยสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากการส่งน้ำเนื่องจากค่าระดับน้ำเริ่มต้นจากข้อมูลจริงมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำใหม่ดังรูปที่ 3.27 ในส่วนของอีกสองสถานีสูบจ่ายน้ำการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำมีค่าน้อยดังรูปที่ 3.28 และ 3.29



รูปที่ 3.27 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



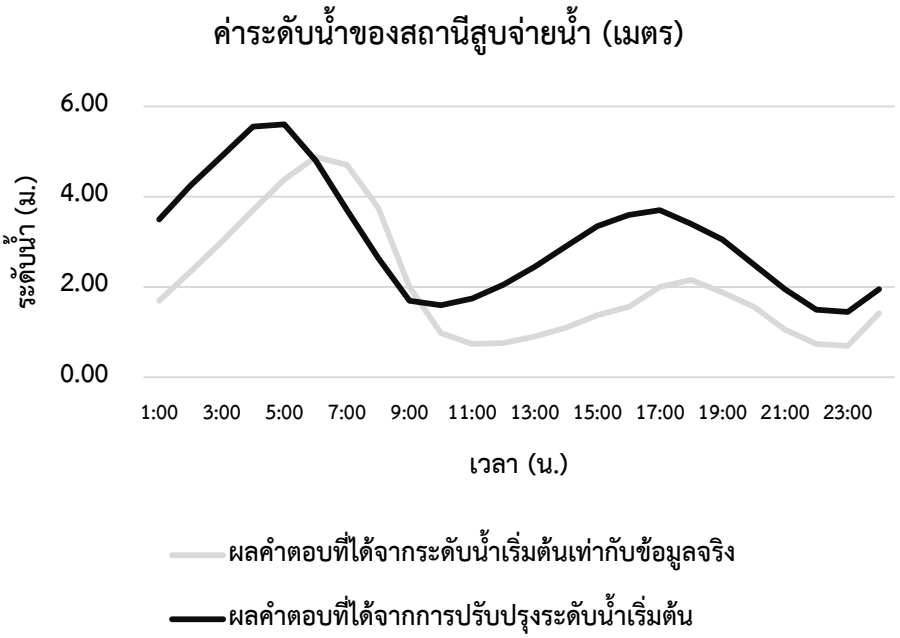
รูปที่ 3.28 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



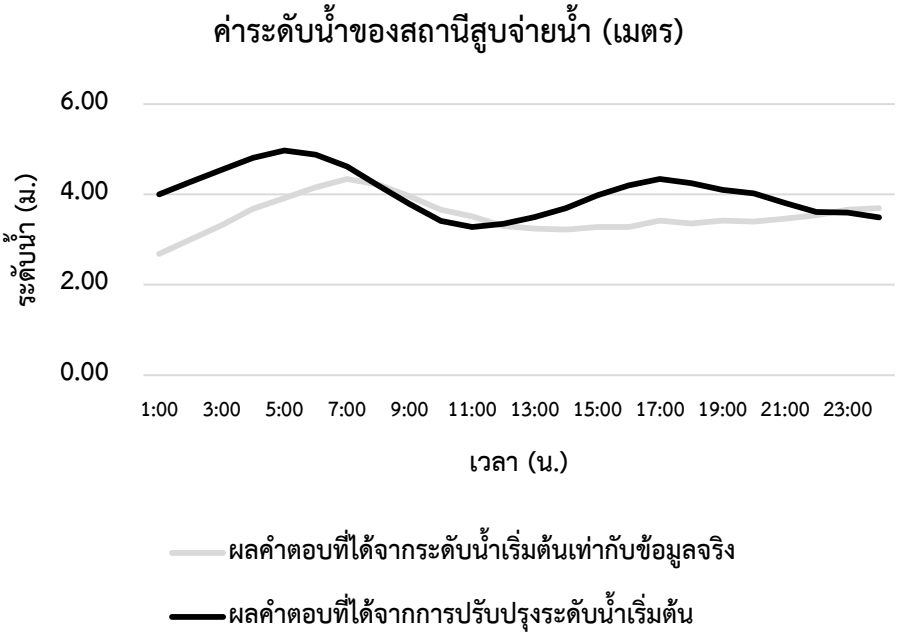
รูปที่ 3.29 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษมหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

ผลคำตอบค่าระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำที่รับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ 2 โรงงานผลิตน้ำบางเขนค่าคำตอบโดยรวมมีค่าสูงขึ้น ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำนั้นมีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากการหาเมื่อระดับน้ำเริ่มต้นของวันเท่ากับข้อมูลจริงดังแสดงค่าระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง ลาดพร้าว และคลองเตยในรูปที่ 3.30 – 3.32

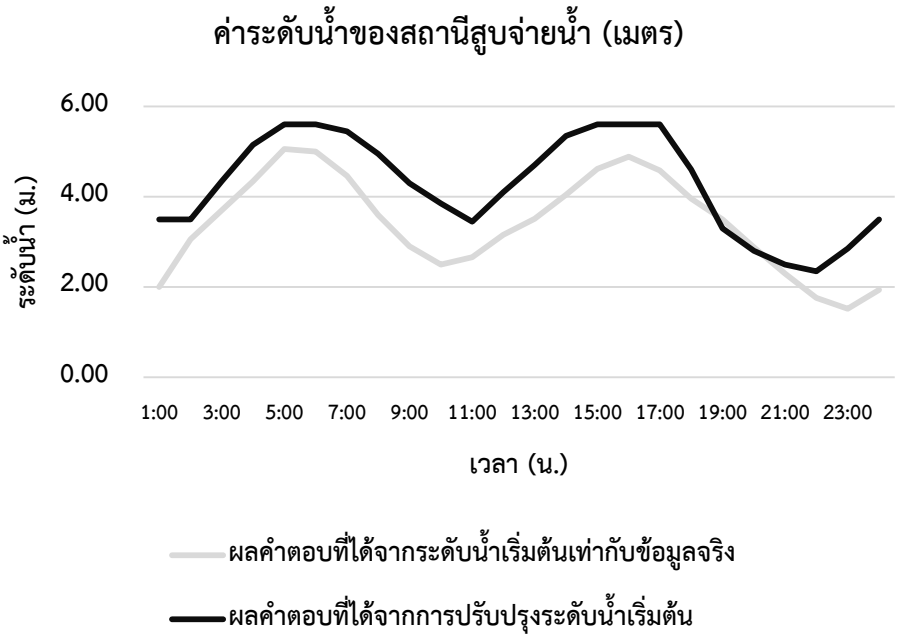
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.30 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

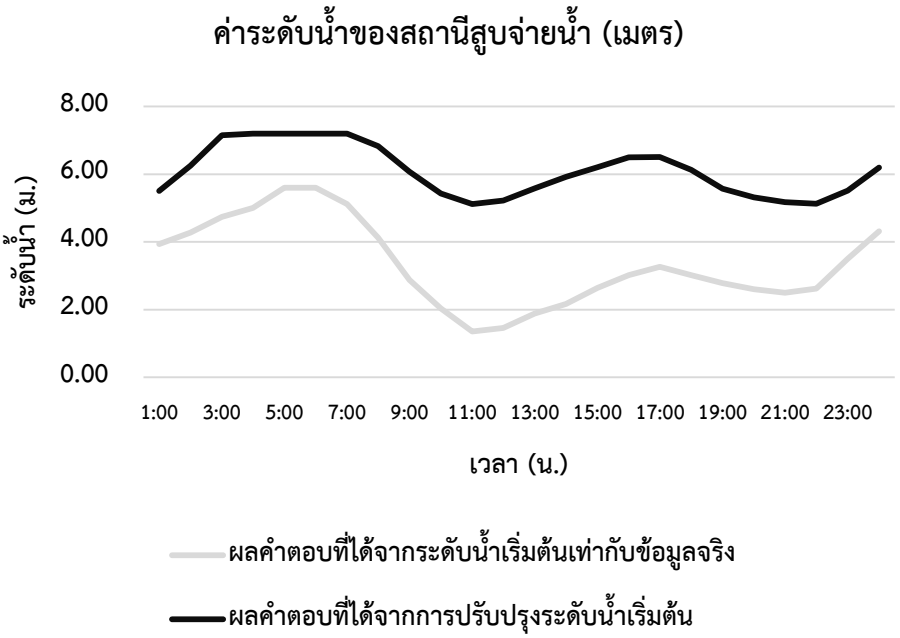


รูปที่ 3.31 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าวหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

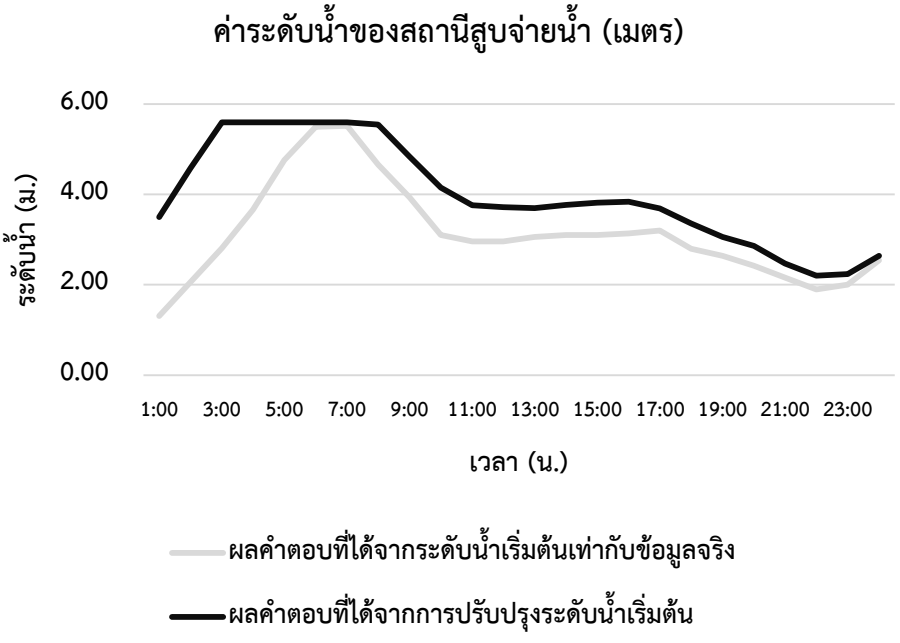


รูปที่ 3.32 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตยหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

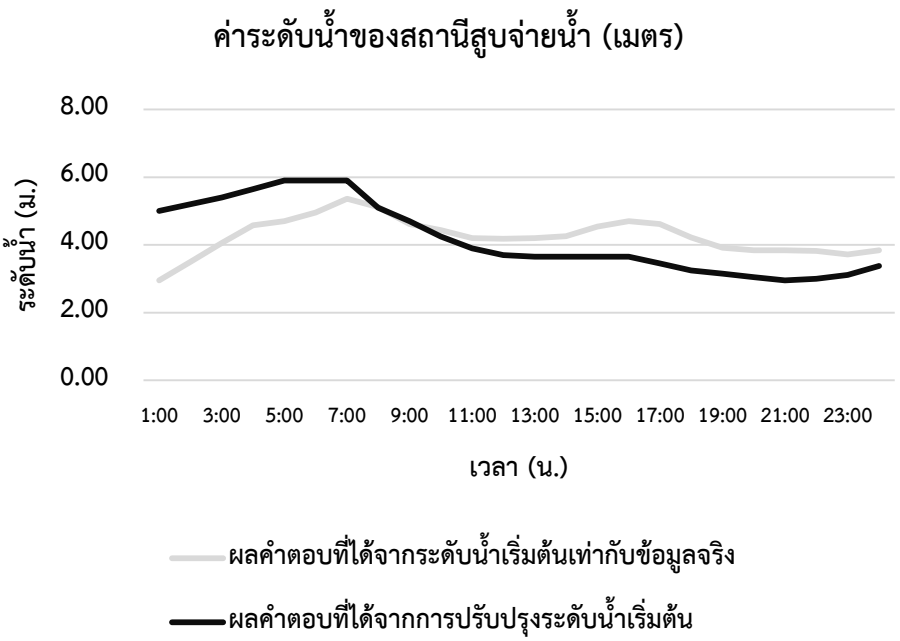
ผลคำตอบที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำที่รับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ 3 โรงงานผลิตน้ำบางเขนนั้น ค่าระดับน้ำโดยรวมสูงขึ้น ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำนั้นค่อนข้างใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการหาคำตอบเมื่อระดับน้ำเริ่มต้นเท่ากับข้อมูลจริง ในส่วนของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบังผลคำตอบที่ได้ในช่วงเวลา 3.00 – 9.00 น. นั้นจะมีค่าระดับน้ำเท่ากับความสามารถสูงสุดที่ถังเก็บน้ำสามารถเก็บน้ำได้ ในส่วนเวลาอื่นๆการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใกล้เคียงกับผลที่ได้ก่อนหน้าดังรูปที่ 3.33 สถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรีจะมีค่าระดับน้ำสูงขึ้นจากการปรับระดับน้ำเริ่มต้นดังรูปที่ 3.34 และสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลีจะมีค่าระดับน้ำใกล้เคียงผลคำตอบเดิมที่ได้ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.33 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรีหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.34 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบังหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.35 ค่าผลระดับน้ำที่ได้ของสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลีหลังจากปรับปรุงคำตอบ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

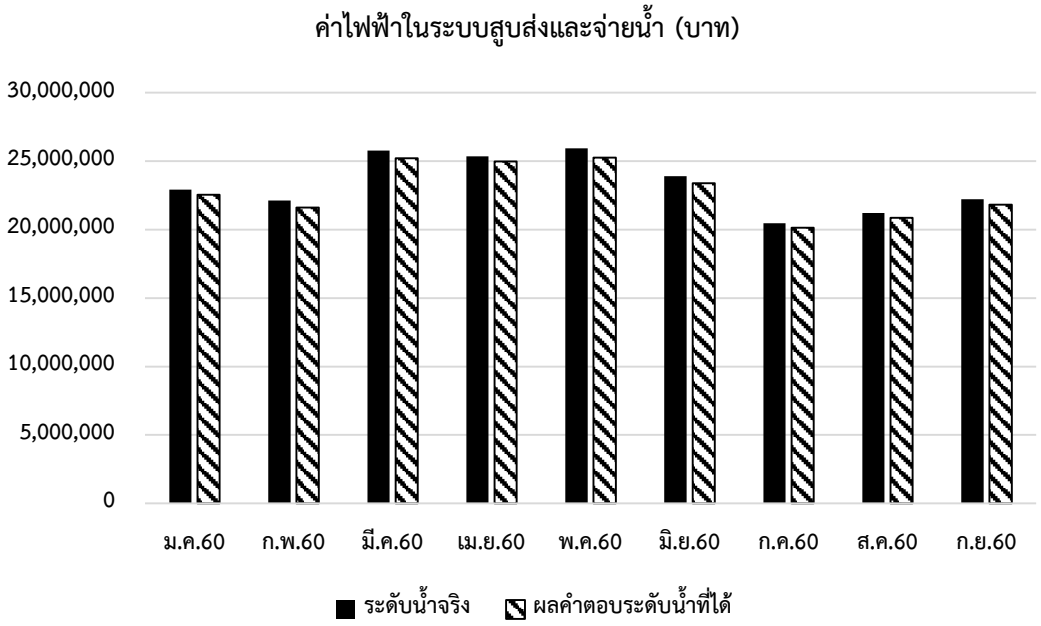
4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองหาคำตอบค่าระดับน้ำในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2560 พบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการสูบส่งและจ่ายน้ำประปาเฉลี่ยวันละ 17,200 บาทต่อวันหรือประมาณ 6 ล้านบาทต่อปี โดยมีรายละเอียดค่าไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากต้นแบบโปรแกรมหาค่าไฟฟ้าดังตารางที่ 4.1 และมีกราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลค่าไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณด้วยต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า (บาท)

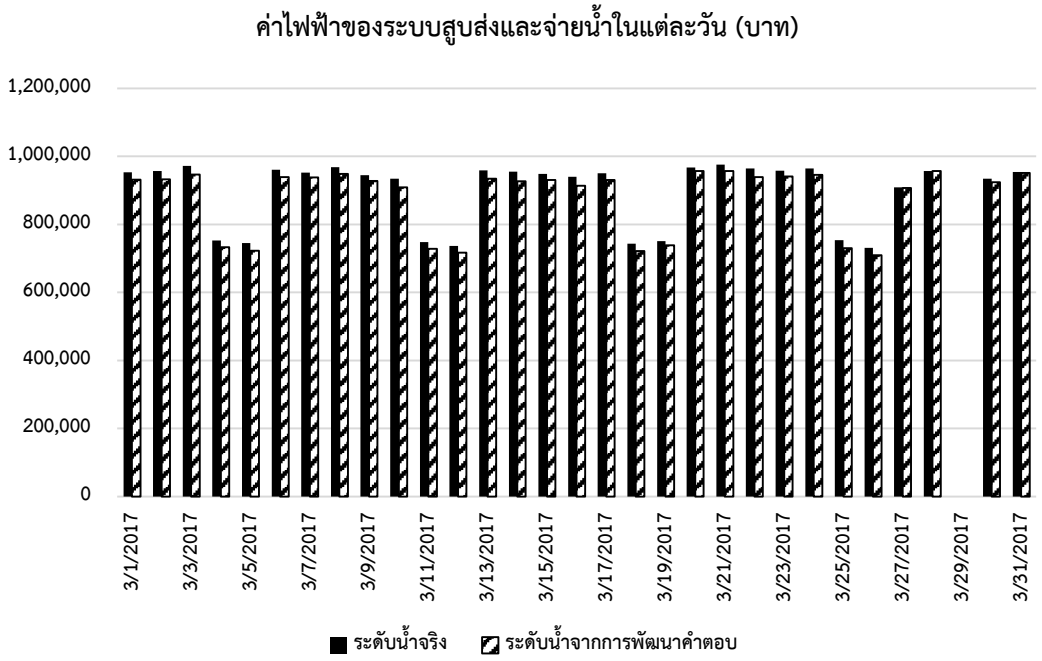
เดือน	ค่าระดับน้ำจริง	ผลคำตอบระดับน้ำที่ได้	ค่าไฟฟ้าที่ลดได้	จำนวนวันที่หาคำตอบได้
ม.ค.60	22,924,411	22,541,174	383,237	29
ก.พ.60	22,131,684	21,603,978	527,707	26
มี.ค.60	25,768,246	25,212,677	555,569	29
เม.ย.60	25,359,982	24,976,532	383,450	30
พ.ค.60	25,943,016	25,272,640	670,376	28
มิ.ย.60	23,908,577	23,381,676	526,902	25
ก.ค.60	20,472,388	20,143,484	328,904	23
ส.ค.60	21,206,862	20,854,407	352,455	24
ก.ย.60	22,226,645	21,822,556	404,088	25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.1 ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในแต่ละเดือนของระดับน้ำจริงและระดับน้ำที่ได้จากงานวิจัย ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำจากการคำนวณผ่าน EPANET

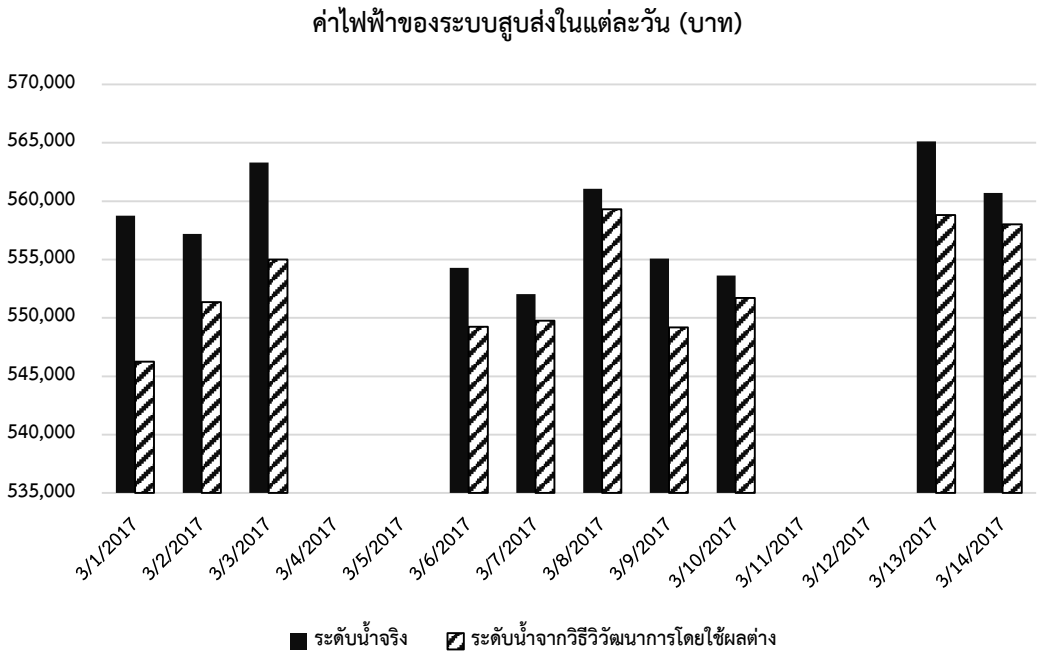
การคำนวณค่าไฟฟ้าจะแบ่งประเภทของวันออกเป็น 2 ประเภทคือ วันธรรมดา (วันทำการ) และวันหยุด (วันเสาร์ – อาทิตย์ และวันหยุดราชการ) ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยต่างกันตามรูปแบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ จึงได้ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้จากต้นแบบโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ดังกราฟรูปที่ 4.2 ซึ่งจะสังเกตได้ว่ากราฟช่วงที่มีค่าไฟฟ้าต่ำคือค่าไฟฟ้าของวันหยุดที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยต่ำกว่า และในวันที่ไม่มีข้อมูลค่าไฟฟ้าเกิดจากการบันทึกข้อมูลมีปัญหา หรือมีการซ่อมบำรุงระบบเครื่องวัดหรือระบบจ่ายน้ำ



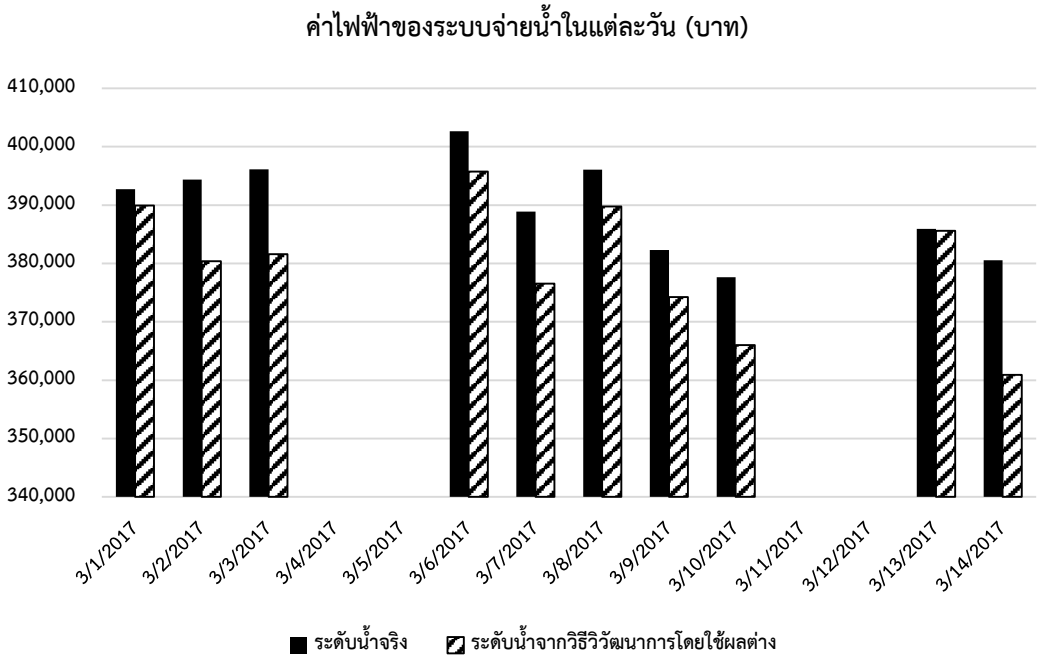
รูปที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวันของระดับน้ำจริงและระดับน้ำที่ได้จากงานวิจัย ในระบบสูบส่งและจ่ายน้ำจากการคำนวณผ่าน EPANET ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2560

4.2 วิเคราะห์ผล

จากผลการทดลองค่าคำตอบระดับน้ำที่ได้ในขั้นต้นจะเป็นการจัดการระดับน้ำในถังซึ่งมีผลต่อระบบสูงส่งและสูบจ่าย ระบบสูบส่งจะมีผลต่อการสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำทำให้เครื่องสูบน้ำทำงานไม่เท่ากันในแต่ละ ส่วนระบบสูบจ่ายจะมีผลต่อผลต่อต่างแรงดันด้านสูบเข้าและสูบออกทำให้เครื่องสูบน้ำทำงานไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบในเวลาเดียวกัน จากทางทดลองทดสอบ 10 วันพบว่าการจัดการระดับน้ำทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ทั้งสองส่วนดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงปริมาณการลดค่าไฟฟ้าที่ได้ของสถานีสูบส่งน้ำ และกราฟรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงปริมาณการลดค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำ

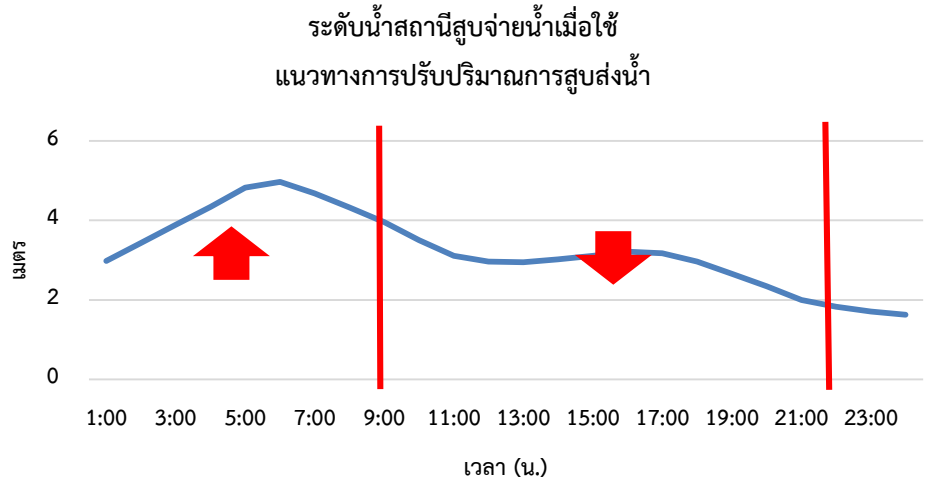


รูปที่ 4.3 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริงและระดับน้ำที่ได้จากงานวิจัย



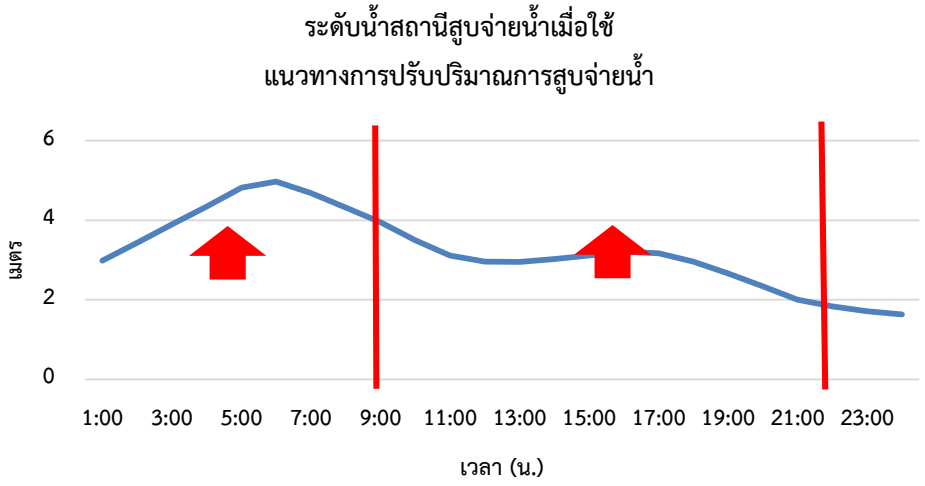
รูปที่ 4.4 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริงและระดับน้ำที่ได้จากงานวิจัย

จากผลลัพธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการหาคำตอบโดยใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะหาค่าระดับน้ำที่สามารถลดค่าไฟฟ้าทั้งจากปัจจัยการคิดค่าไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งปัจจัยการคิดค่าไฟฟ้าตามแนวทางการลดค่าไฟฟ้าคือการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำในเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงและเพิ่มการทำงานในเวลาการใช้ไฟฟ้าต่ำดังแสดงในแนวทางระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำในรูปที่ 4.5 ในส่วนของแนวทางการลดใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบจ่ายคือการเพิ่มค่าระดับน้ำในถังเก็บน้ำให้สูงขึ้นเพื่อให้แรงดันทางฝั่งสูบเข้าของเครื่องสูบน้ำมีค่าสูงทำให้เครื่องสูบน้ำทำงานน้อยลงดังแสดงในแนวทางระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำในรูปที่ 4.6



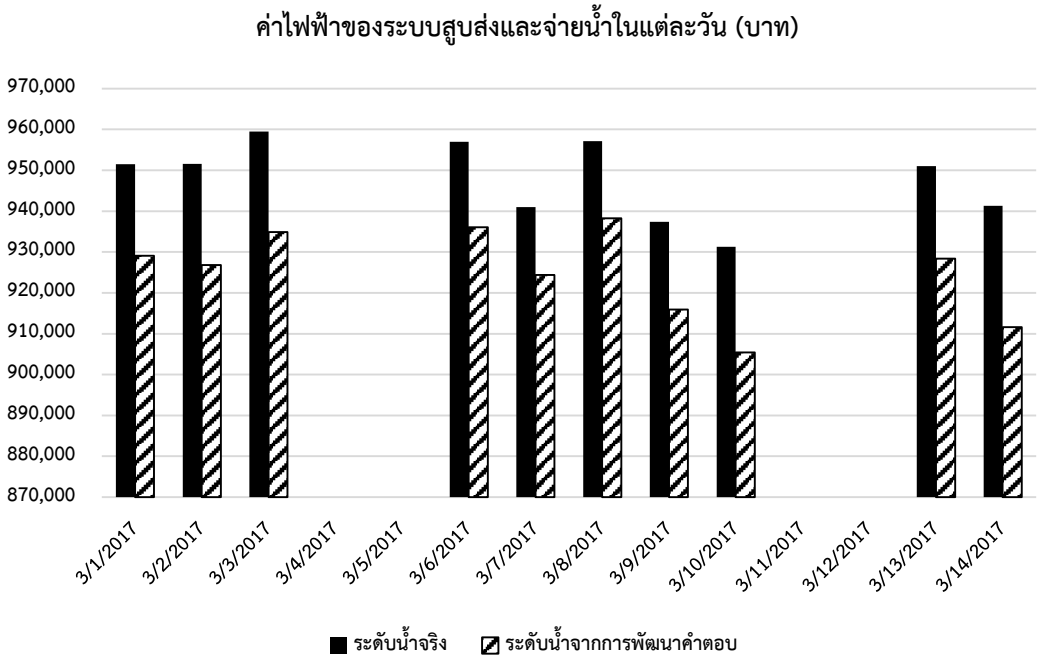
รูปที่ 4.5 ระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำตามแนวทางการลดค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



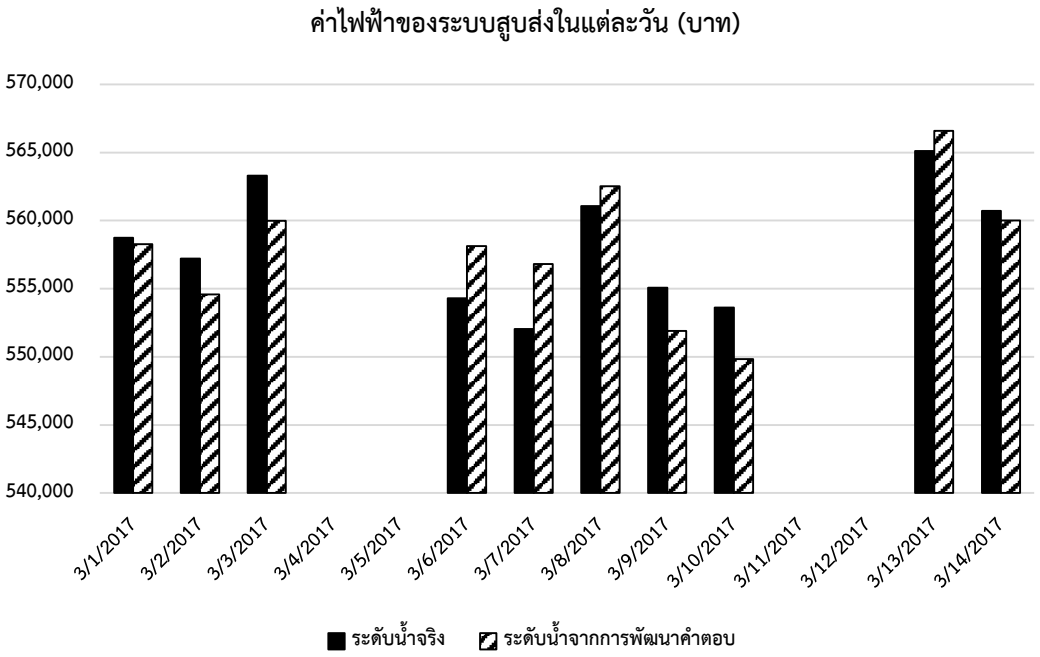
รูปที่ 4.6 ระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำตามแนวทางการลดค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำ

จากการหาคำตอบเบื้องต้นเมื่อผลลัพธ์ที่ได้มีค่าระดับน้ำโดยรวมต่ำจึงเป็นสาเหตุในการพัฒนาคำตอบให้สามารถลดค่าไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นตามแนวทางการลดค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำที่กล่าวในข้างต้น การพัฒนาคำตอบจะใช้วิธีการกำหนดระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายเริ่มต้นของวันขึ้นใหม่ ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถเริ่มทำได้แต่มีค่าไฟฟ้าที่ต้องเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเพิ่มปริมาณการสูบน้ำของสถานีสูบส่งน้ำให้มากขึ้นเพื่อให้ระดับน้ำเริ่มต้นของวันเท่ากับที่กำหนด แต่ค่าใช่จ่ายในส่วนนี้จะมีเพียงช่วงเริ่มต้นก็การปรับระดับน้ำเท่านั้นซึ่งต่อไปจะไม่มีผลต่อค่าไฟฟ้าต่อวันของสถานีสูบส่ง หลังจากปรับระดับน้ำดังกล่าวแล้วหาคำตอบค่าระดับน้ำใน 10 วันพบว่าทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจาก 149,000 บาทเป็น 220,000 บาทโดยแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในรูปที่ 4.7

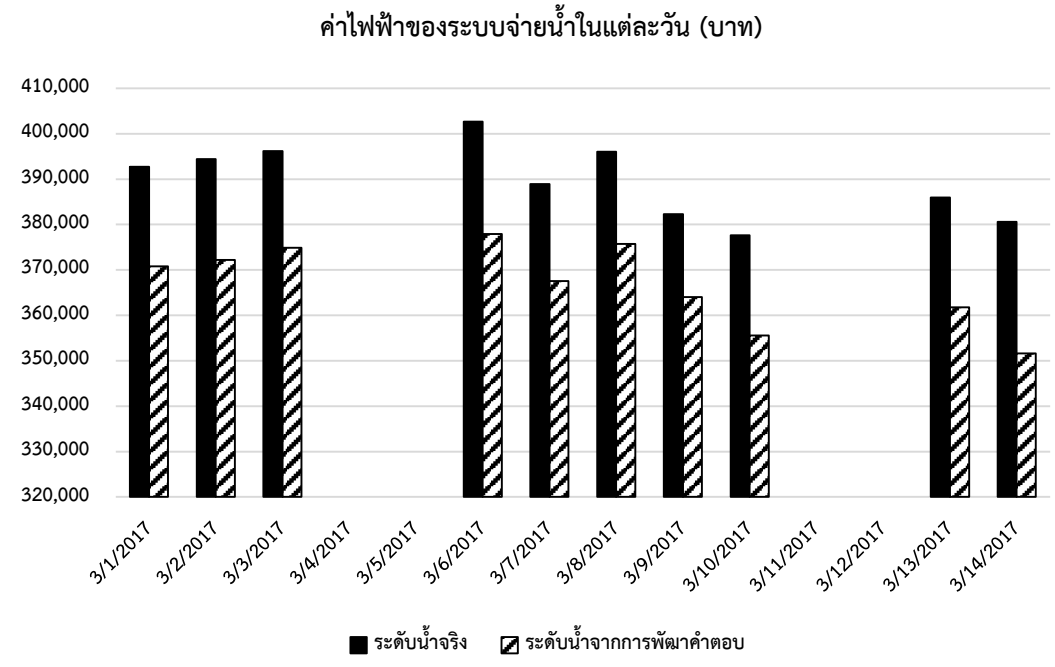


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างระดับน้ำที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบกับระดับน้ำจริง

จากผลที่ได้ค่าไฟฟ้าที่สามารถลดได้จะอยู่ในส่วนของสถานีสูบจ่ายน้ำ ในส่วนของสถานีสูบส่งน้ำมีค่ามากขึ้น แต่ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ที่สถานีสูบจ่ายน้ำมีมูลค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นที่สถานีสูบส่งน้ำ โดยแสดงค่าไฟฟ้าระหว่างระดับน้ำจริงกับที่ได้จากการพัฒนาคำตอบของระบบสูบส่งเป็นดังกราฟรูปที่ 4.8 และระบบสูบจ่ายเป็นดังกราฟรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบส่งน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริงและที่ได้จากการพัฒนาคำตอบ



รูปที่ 4.9 ค่าไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำในแต่ละวันของระดับน้ำจริงและที่ได้จากการพัฒนาคำตอบ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการปริมาณการส่งน้ำในแต่ละช่วงเวลาสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง แต่ค่าระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำนั้นมีส่วนสำคัญต่อค่าไฟฟ้า ดังนั้นการควบคุมระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำให้อยู่ในระดับสูงจะช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่การควบคุมให้ได้นั้นหากใช้ผู้ปฏิบัติงานอาจทำได้ยากจึงต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร (Programmable logic Control : PLC) มาช่วยในการควบคุมให้ดียิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลงานศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลจากการพัฒนาตัวแบบการส่งน้ำประปาด้วยวิธีการจัดการระดับน้ำในถังเก็บน้ำที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้นำไปสู่การสรุปผลงานศึกษา และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลงานศึกษา

1. งานศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการระดับน้ำนั้นสามารถทำให้ลดค่าไฟฟ้าได้ประมาณวันละ 14,000 บาทต่อปีเมื่อเทียบกับค่าระดับน้ำในปัจจุบันจากการคำนวณค่าไฟฟ้าจากโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าจากแบบจำลอง EPANET และสามารถลดได้ประมาณวัน 17,000 บาทต่อวันหรือ 6 ล้านบาทต่อปีเมื่อมีการปรับค่าระดับน้ำให้ไปควบคุมในระดับสูง

2. งานศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงกระบวนการในการสูบส่งและจ่ายน้ำประปา ซึ่งเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุดของ กปน. และเป็นระบบขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนเนื่องจากต้องอาศัยทฤษฎีทางชลศาสตร์

3. งานศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงปัญหาการส่งน้ำในระบบส่งน้ำซึ่งระดับน้ำในถังเก็บน้ำของสถานีสูบน้ำนั้นแสดงให้เห็นว่ายังสามารถเพิ่มได้มากขึ้นอีก ซึ่งระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำมีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีสูบจ่ายน้ำ แต่เนื่องจากปัจจุบันใช้ผู้ปฏิบัติงานในการดูแลและควบคุมอาจทำให้ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำให้ใกล้เคียงกับความสามารถสูงสุดในการเก็บน้ำของถังเก็บน้ำได้ เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดน้ำล้นถังเก็บน้ำ

4. วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถให้คำตอบกับปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ แต่เนื่องจากโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก และมีข้อจำกัดของคำตอบค่อนข้างมากจึงต้องประยุกต์วิธีหาคำตอบในเวลาที่จำกัดให้เหมาะสมกับการนำไปใช้

5. การหาคำตอบค่าระดับน้ำของงานศึกษานี้เป็นการหาคำตอบภายในขอบเขตของงานศึกษาซึ่งการหาคำตอบที่ใกล้เคียงความจริงคุณลักษณะและขนาดของเครื่องสูบน้ำต้องมาจากแต่ละเครื่อง

แต่การใช้งานหรือเลือกใช้งานในปัจจุบันมาจากหลายปัจจัย เช่น ความพร้อมใช้งานของเครื่องสูบน้ำ จำนวนการใช้งานของเครื่องสูบน้ำ ความสามารถอื่นๆของเครื่องสูบน้ำ (เช่น เครื่องสูบน้ำบางเครื่องมความร้อนสูงเมื่อทำงานที่รอบสูง) และอื่นๆ งานศึกษานี้จึงพัฒนาเป็นต้นแบบในการหาคำตอบเพื่อลดค่าไฟฟ้า

6. แบบจำลองทางชลศาสตร์ EPANET เป็นแบบจำลองที่ใช้งานง่ายและมีการประมวลผลเร็ว แต่เงื่อนไขคือต้องทราบความเร็วเครื่องสูบน้ำ ซึ่งงานศึกษานี้เป็นการหาคำตอบจะต้องไล่ระดับความเร็วเครื่องสูบน้ำเพื่อให้สามารถส่งหรือจ่ายน้ำได้ตามค่าที่กำหนดเหมือนการควบคุมการโดยการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรจึงทำให้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ความต้องการใช้น้ำในปัจจุบันนั้นไม่สามารถทราบได้ล่วงหน้าทำได้เพียงการคาดการณ์ ซึ่งหากสามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำได้แม่นยำจะทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้น การคาดการณ์ปริมาณความต้องมีหลายงานวิจัยได้เสนอแนวทางในการคาดการณ์เช่น การใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) การวิเคราะห์ด้วยแนวโน้มและฮาร์มอนิกส์ หรือวิธีอื่นๆ

2. การทำให้แบบจำลองใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดก็เป็นอีกวิธีหนึ่งในการช่วยให้ลดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้นและได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับความจริง ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์เซตข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) จะช่วยให้การสร้างแบบจำลองชลศาสตร์มีค่าใกล้เคียงความจริง รวมไปถึงการเลือกการใช้เครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมกับแรงดันและปริมาณน้ำต่างๆ ซึ่งการใช้ระบบควบคุม PID จะไม่ได้จัดการเลือกเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมซึ่งระบบควบคุม PID นั้นเป็นเพียงระบบควบคุมการทำงานให้ได้ตามค่าที่ต้องการจากการปรับจากค่าความผิดพลาด

3. ผลลัพธ์การหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะได้ผลที่ดีหรือรวดเร็วนั้นขึ้นกับค่าพารามิเตอร์ 3 ค่าคือ ค่าแฟคเตอร์ขยายผลต่าง ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนค่าพิกัด และจำนวนชุดคำตอบ ซึ่งการเลือกใช้ค่าให้เหมาะสมจะทำให้สามารถหาคำตอบได้ค่าที่ดีที่สุดและรวดเร็ว ซึ่งหาพัฒนาให้การหาคำตอบมีความรวดเร็วการประยุกต์การหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีมากขึ้น และยังมีสมการการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดที่มีผลต่อการหาคำตอบซึ่งจะเหมาะสมต่างกันขึ้นกับแต่ละประเภทของปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. เครื่องสูบน้ำของการประปานครหลวงมีหลายเครื่องสูบน้ำที่เป็นเครื่องสูบน้ำที่ใช้งานมานาน และ เทคโนโลยีในการผลิตเครื่องสูบน้ำในปัจจุบันนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำได้ ซึ่งจะช่วยให้เครื่องสูบน้ำนั้นประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่การเปลี่ยนเครื่องสูบน้ำนั้นมีราคาสูงจึงควรศึกษาความคุ้มค่าในการเปลี่ยนเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าและการซ่อมบำรุง

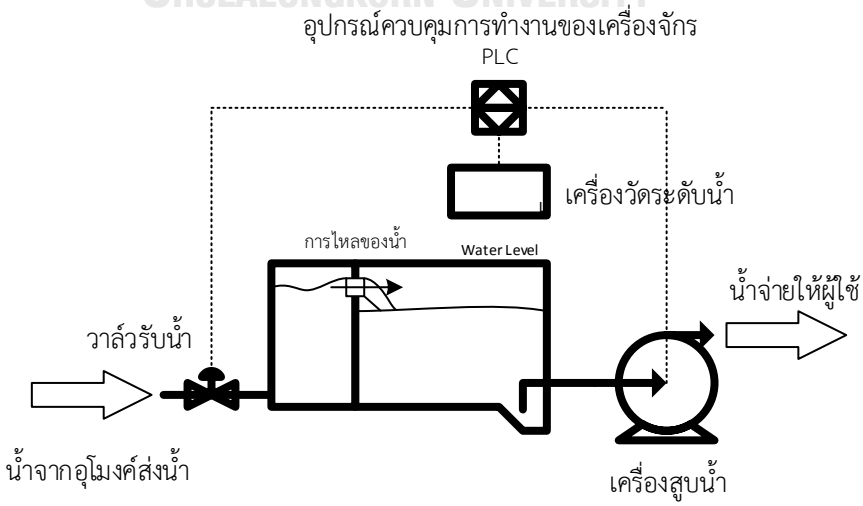
5.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำไปใช้ควบคุม

การนำผลที่ได้ไปใช้ควบคุมค่าระดับน้ำนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แนวทางการนำอุปกรณ์เข้าไปควบคุมค่าระดับน้ำ และค่าระดับน้ำที่จะนำมาใช้ควบคุม

1. แนวทางการควบคุมระดับน้ำนั้นแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ส่วนคือ การควบคุมระดับน้ำจากภายในสถานีสูบจ่ายน้ำ และการควบคุมระดับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำ

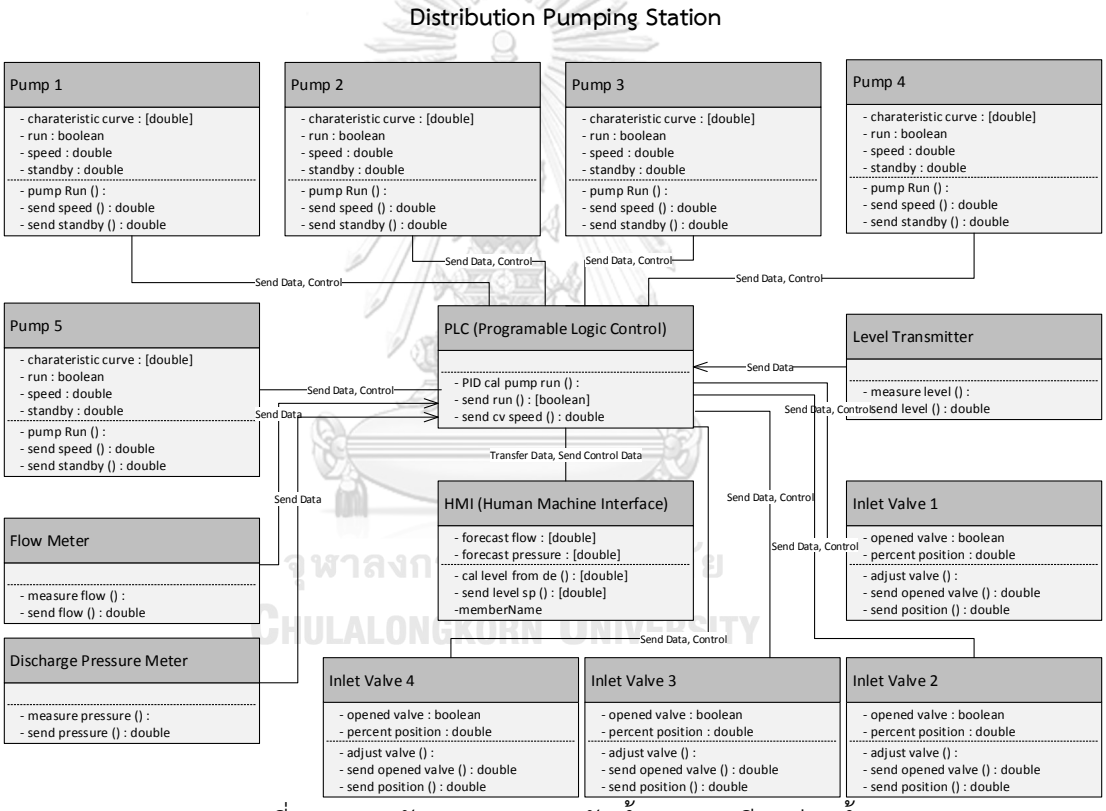
1.1 การควบคุมระดับน้ำจากภายในสถานีสูบจ่ายน้ำจะประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิดคือ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร (PLC) เครื่องสูบน้ำ และวาล์วรับน้ำเข้าสถานีสูบจ่ายน้ำ โดยอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรจะทำหน้าที่อ่านค่าระดับน้ำจริงจากเครื่องวัดระดับน้ำ และทำหน้าที่ประมวลผลเพื่อสั่งให้เครื่องสูบน้ำและวาล์วรับน้ำทำงานเพื่อให้ค่าตามที่กำหนดผ่านสายสัญญาณโดยมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5.1 การควบคุมระดับน้ำของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร

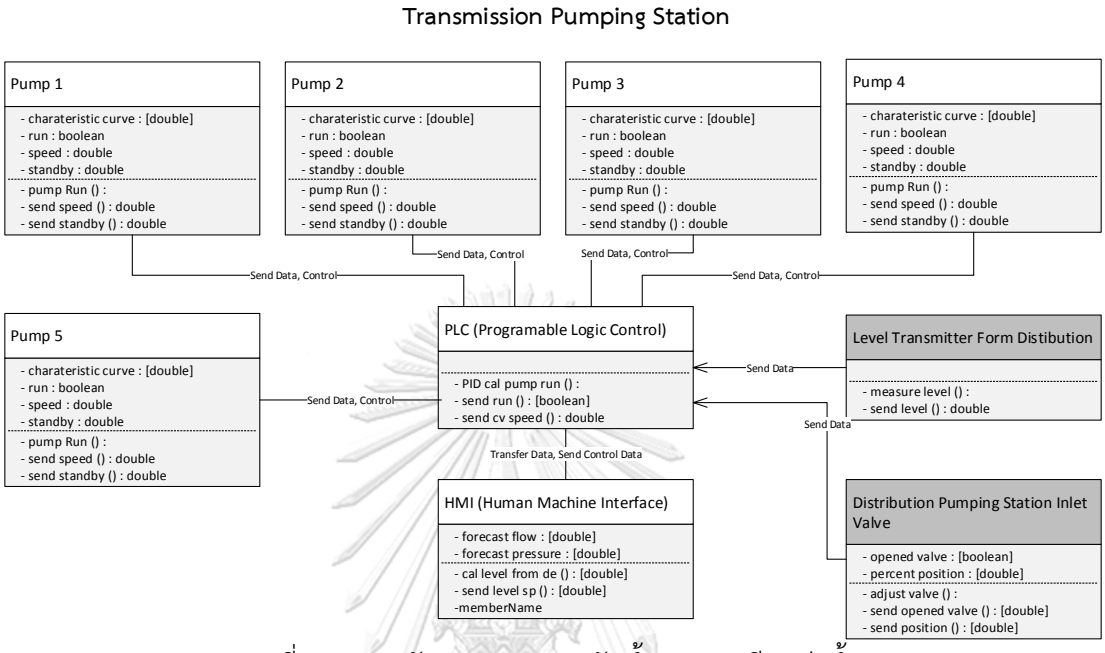
โดยอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักรจะรับค่าสถานะ หรือค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์เข้าไปเพื่อประมวลผลแล้วควบคุมอุปกณ์ให้ทำงานตามที่กำหนด ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ควบคุมหลักในสถานีสูบจ่ายน้ำ 2 ส่วนคือ เครื่องสูบน้ำและวาล์วรับน้ำ การควบคุมเครื่องสูบน้ำจะควบคุมความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำให้ได้แรงดันทางด้านฝั่งจ่ายน้ำเท่ากับค่าแรงดันมาตรฐานที่ถูกกำหนด ในส่วนของวาล์วรับน้ำนั้นจะควบคุมให้ได้ค่าระดับน้ำที่ได้จากการหาคำตอบ ซึ่งหากค่าระดับน้ำที่ควบคุมไม่สามารถควบคุมได้ตามค่าที่ต้องการจะส่งสัญญาณไปยังสถานีสูบส่งน้ำเพื่อปรับการทำงานของเครื่องสูบน้ำต่อไปดังแผนผังการควบคุมดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แผนผังการควบคุมระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ

1.2 การควบคุมระดับน้ำจากสถานีสูบส่งน้ำจะถูกควบคุมเมื่อเกิดกรณีที่วาล์วของสถานีสูบจ่ายน้ำทำงานเต็มพิกัดหรือเปิดใช้งานน้อย ซึ่งหมายความว่าวาล์วไม่สามารถควบคุมให้ปริมาณน้ำเป็นไปตามที่กำหนดได้ สถานีสูบจ่ายน้ำจะส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรที่สถานีสูบส่งน้ำทำการปรับปริมาณการส่งน้ำ (ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำ) จากการรับค่าข้อมูล

ระดับน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำเพื่อให้สถานีสูบจ่ายน้ำมีระดับน้ำตามค่าที่กำหนดโดยมีแผนผังการควบคุมดังรูปที่ 5.3

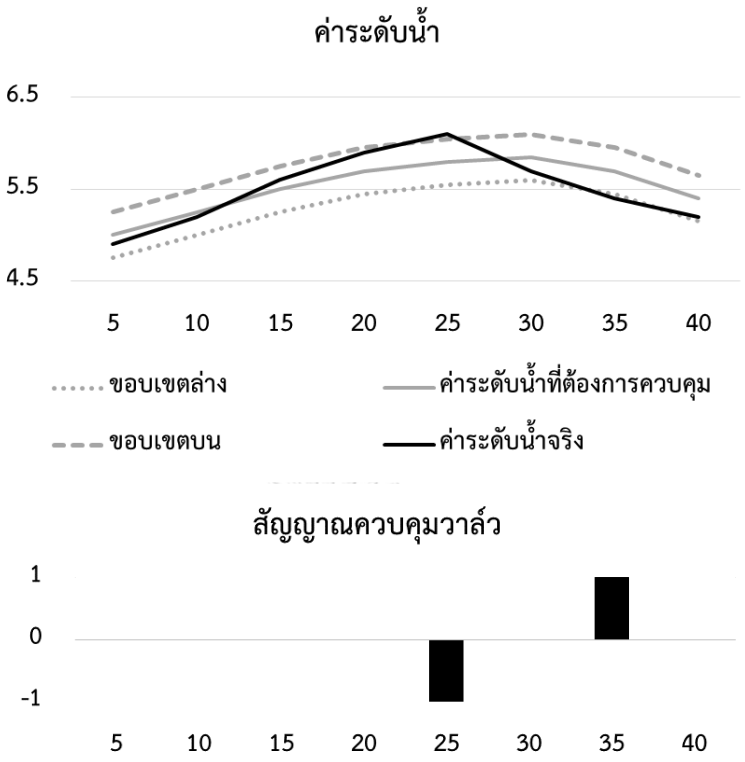


รูปที่ 5.3 แผนผังการควบคุมระดับน้ำของสถานีสูบส่งน้ำ

2. ค่าระดับน้ำที่ใช้ในการควบคุมนั้นเพื่อให้

การควบคุมระดับน้ำให้ได้ค่าตามที่กำหนดสามารถทำได้โดยใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportion-Integral-Derivative Controller, PID) ในการควบคุมวาล์วรับน้ำ แต่การทำงานของระบบควบคุม PID นั้นจะทำให้เกิดการสั่งการให้วาล์วทำงานเกือบตลอดเวลา เพื่อทำให้วาล์วทำงานน้อยลงแต่ยังสามารถควบคุมระดับน้ำให้ได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดจะใช้ระบบควบคุม PID ร่วมกับช่วงไร้การตอบสนอง (Dead Band) หากค่าระดับน้ำจริงกับค่าที่กำหนดแตกต่างกันแต่ยังคงอยู่ในช่วงไร้การตอบสนองระบบควบคุม PID จะไม่ส่งสัญญาณให้วาล์วทำงาน โดยจะส่งสัญญาณไปควบคุมวาล์วเมื่อค่าไม่อยู่ในช่วงไร้การตอบสนองดังตัวอย่างในรูปที่ 5.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5.4 การควบคุมวาล์วเมื่อมีการกำหนดช่วงไร้การตอบสนอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. การประปานครหลวง, รายงานประจำปี. 2559. p. 35.
2. กองควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำ, การควบคุมการสูบจ่ายน้ำ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง. 2554.
3. de Fátima Chouzal, M., et al., *Remote Level Monitoring and Control Solution.* IFAC-PapersOnLine, 2016. **49**(6): p. 194-197.
4. การไฟฟ้านครหลวง. อัตราค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ 2559; Available from: http://www.mea.or.th/profile/109/114.
5. Tutterow, V. and A.T. McKane, Variable speed pumping: A guide to successful applications. 2004.
6. Weise, T., Global optimization algorithms-theory and application. Self-published, 2009. **2**.
7. Kachitvichyanukul, V., Comparison of three evolutionary algorithms: GA, PSO, and DE. Industrial Engineering and Management Systems, 2012. **11**(3): p. 215-223.
8. Arunachalam, V., Optimization using differential evolution. 2008.
9. CYBERNET SYSTEMS CO., L. Optimization with Differential Evolution. Available from: http://www.cybernet.co.jp/english/products/mds/solutions/sol3.html.
10. Agency, U.S.E.P. Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems. 2016; Available from: https://www.epa.gov/water-research/epanet.
11. Kozłowski, E., et al., Water demand forecasting by trend and harmonic analysis. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2018. **18**(1): p. 140-148.
12. Pacchin, E., S. Alvisi, and M. Franchini, A short-term water demand forecasting model using a moving window on previously observed data. Water, 2017. **9**(3): p. 172.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

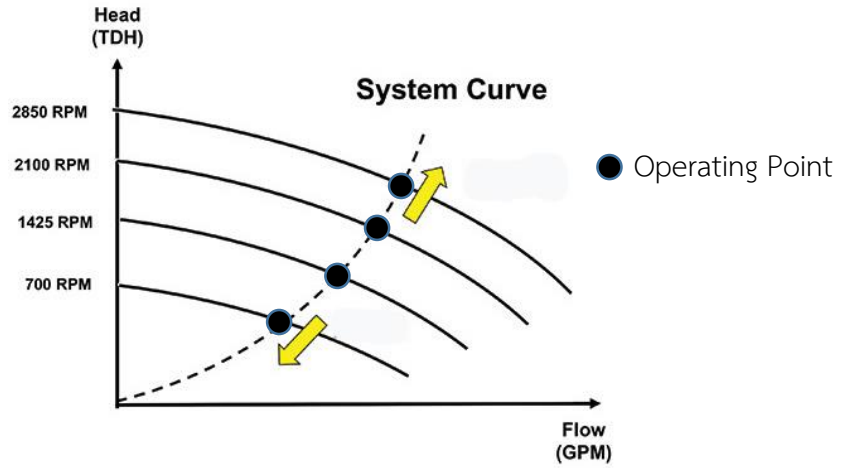
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

เครื่องสูบน้ำกับการใช้งานร่วมกับมอเตอร์ปรับความเร็วรอบ

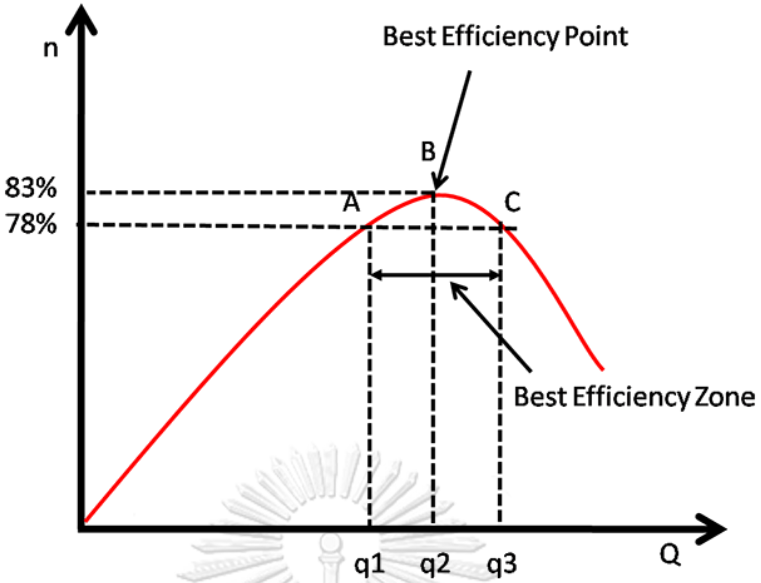
เครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่องจะถูกออกแบบให้มีคุณลักษณะการทำงานเฉพาะเครื่อง ซึ่งจะแสดงให้เห็นในกราฟคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (Pump Characteristic Curve) ดังแสดงให้เห็นในตัวอย่างรูปที่ ก.1 โดยในกราฟจะแสดงให้เห็นการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่มีความเร็วรอบต่างๆกัน (ใช้มอเตอร์ปรับความเร็วรอบ) จุดที่เครื่องสูบน้ำทำงาน (Operating Point) คือจุดตัดระหว่างกราฟคุณสมบัติกับกราฟเฮดของระบบการไหล (System Curve) โดยที่การปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำที่ต่างกันจะทำให้ได้เฮดและอัตราการไหลในระบบที่ต่างกันซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่ต่างกัน



รูปที่ ก.1 กราฟคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ

ที่มา : https://aquamagazine.com/service/how-to-read-pump-system-curves.html

กราฟคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำนั้นไม่มีเพียงแค่คุณลักษณะการทำงานยังมีประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่อัตราการไหลต่างๆ ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ ก.2 ซึ่งจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่เปลี่ยนกำลังขับของมอเตอร์เป็นกำลังไฮดรอลิกที่อัตราการไหลต่างๆ



รูปที่ ก.2 กราฟประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

ที่มา : http://centrifugalpumpcurves.blogspot.com/2017/07/characteristic-curve-best-efficiency.html

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเฉลิมรัช นิรมาน เกิดวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2532 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 ภายหลังจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่การประปานครหลวง ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY