

การพัฒนาระบบควบคุมการจ่ายน้ำประปา กรณีศึกษาโรงกรองน้ำหาดใหญ่

DEVELOPMENT OF WATER DISTRIBUTION CONTROL SYSTEM: CASE STUDY OF HAT YAI WATERWORK PLANT

สิทธิชัย จันแดง
SITTICHAJ JANDAENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดการงานก่อสร้าง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2568
KMITL-2025-EN-M-097-019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF WATER DISTRIBUTION CONTROL SYSTEM:
CASE STUDY OF HAT YAI WATERWORK PLANT

SITTICHAJ JANDAENG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING ENVIRONMENT ENGINEERING
AND CONSTRUCTION MANAGEMENT
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2025
KMITL-2025-EN-M-097-019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบควบคุมการจ่ายน้ำประปา: กรณีศึกษาโรงกรองน้ำหาดใหญ่
นักศึกษา	นายสิทธิชัย จันแดง
รหัสประจำตัว	63601123
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อมและการจัดการงานก่อสร้าง
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชลิตา อู่ตะเภา

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาความเหมาะสมการจำหน่ายน้ำประปาในโครงข่ายจ่ายน้ำประปา วัตถุประสงค์หนึ่งที่สำคัญสำหรับโรงผลิตน้ำประปา คือ การลดน้ำสูญเสียในระบบจำหน่ายให้เหลือน้อยที่สุด โครงข่ายจำหน่ายน้ำประปาเป็นงานเดินท่อน้ำประปาใต้ดินและส่วนใหญ่ใช้งานมานานหลายปี โดยปกติการรั่วไหลจะพบได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการแรงดันสูงจากความต้องการใช้น้ำประปา งานวิจัยนี้จะจำแนกผู้อยู่อาศัยรอบๆโรงผลิตน้ำฟ้าแสงจำนวน 13,580 ครัวเรือน ของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) จังหวัดสงขลา เป็นผู้ต้องการใช้น้ำประปา และต้นทางของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) มี 5 แหล่งจ่ายน้ำที่ส่งจ่ายตรงไปยังผู้ใช้โปรแกรม EPANET ถูกใช้ในการจำลองโครงข่ายจำหน่ายน้ำประปาและการประยุกต์เลือกใช้ SCADA เพื่อออกแบบระบบควบคุมบริหารจัดการ ผลปรากฏว่าระบบจำหน่ายน้ำประปาเอดน้ำต้นทางที่โรงกรองน้ำหาดใหญ่ควรมีค่าเป็น 48 เมตรน้ำ สูบจ่ายตรงไปยังพื้นที่หาดใหญ่โซนสูง อย่างไรก็ตามเครื่องสูบน้ำเพิ่มแรงดันถูกติดตั้งระหว่างต้นทางและปลายทางเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดเอดน้ำต้นทางให้มีค่าอยู่ที่ 40 เมตรน้ำ สูบจ่ายตรงไปยังพื้นที่ได้สูงยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงานและลดน้ำสูญเสียในโครงข่ายจำหน่ายน้ำประปาที่โรงกรองน้ำหาดใหญ่

Thesis	DEVELOPMENT OF WATER DISTRIBUTION CONTROL SYSTEM: CASE STUDY OF HAT YAI WATERWORK PLANT
Student	Mr.Sittichai Jandaeng
Student ID.	63601123
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering Environment Engineering and Construction Management
Year	2025
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chalida U-Tapao

ABSTRACT

This study aims to optimize water distribution in a water supply network. One of the most important objectives for every waterwork plant is to minimize water loss in the supply system. The water supply network in Thailand is underground work and most of them have used for many years. Leakages are normally met especially when high pressure is required from demand side. This research will classify 13,580 households living around Hat Yai Waterwork Plant of Provincial Waterworks Authority in Hatyai branch in Songkhla Province as a demand side and put 5 water sources of Hat Yai district as a supplied side. The EPANET program is used to simulate water distribution networks and SCADA application is selected to design controlling system. The result shows that water supply at the Hat Yai Waterwork Plant should be at least 48 meters to upper Hatyai zone, however, booster pump may help reducing original water head to 40 meters into high-level areas. Hat Yai Waterwork Plant decreases energy consumption from pumping processes and also reduces water loss in water distribution network.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชลิตา อุตะภา สำหรับหลักการ แนวความคิด ตลอดจนการถ่ายทอดองค์ความรู้ต่าง ๆ และให้คำปรึกษาในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณการประสานงานภูมิภาค สำหรับการสนับสนุนทุนการศึกษาและเครื่องมือสำคัญในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับแหล่งความรู้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สิทธิชัย จันแดง



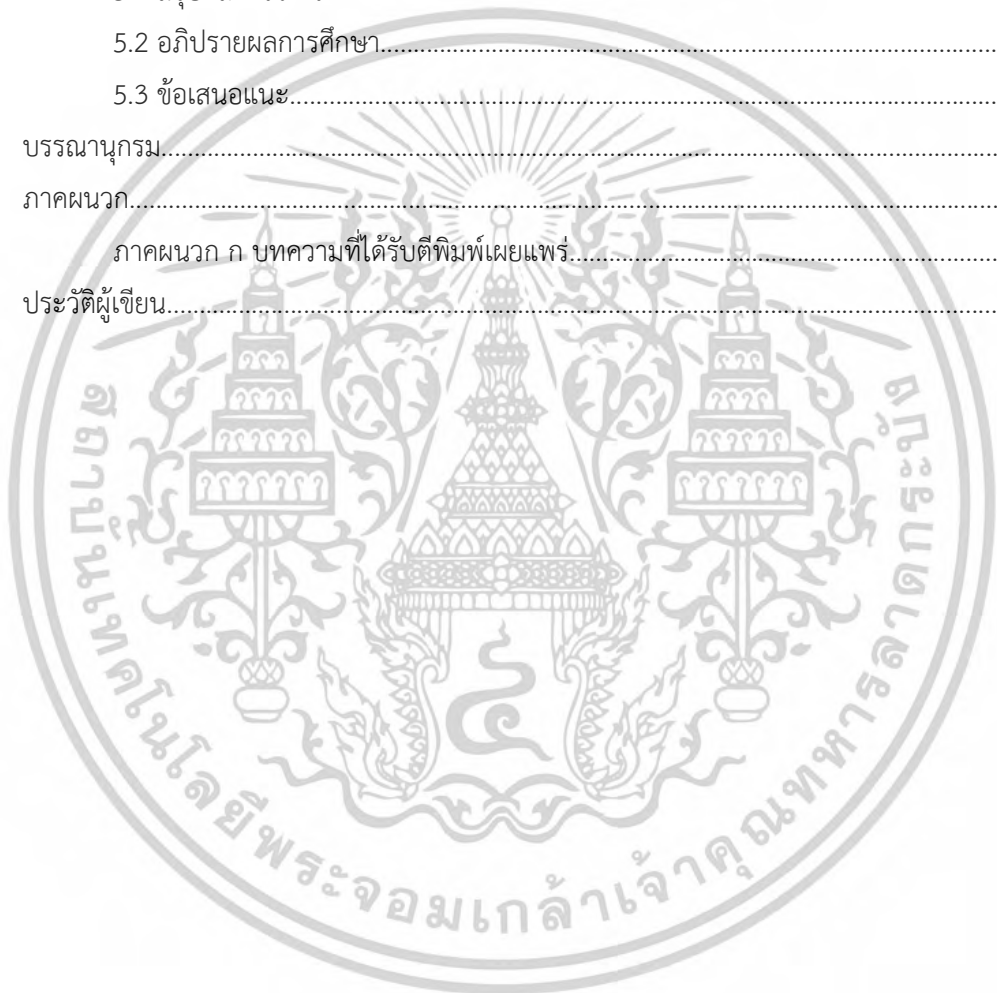
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	7
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis).....	8
2.2 การรวบรวมข้อมูล แบบจำลอง สร้างสมการและทวนสอบระบบ.....	17
2.3 แรงดันน้ำและอัตราการไหลในระบบจำหน่ายน้ำประปา.....	35
2.4 การสูญเสียหัวน้ำของท่อ.....	35
2.5 ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	42
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	50
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	50
3.2 การสร้างแบบจำลองเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์.....	51
3.3 การควบคุมดูแลและการรวบรวมข้อมูล (SCADA).....	54

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล.....	60
4.1 ผลการออกแบบระบบจำหน่ายน้ำประปาด้วยโปรแกรม EPANET และ MATLAB.....	60
4.2 ผลการออกการควบคุมระบบการจำหน่ายน้ำแบบเรียลไทม์ด้วยระบบ SCADA.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์.....	99
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	99
5.2 อภิปรายผลการศึกษา.....	100
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	100
บรรณานุกรม.....	101
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก บทความที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่.....	104
ประวัติผู้เขียน.....	110



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	มาตรฐานระดับชาติของประสิทธิภาพของมอเตอร์.....	19
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติท่อแต่ละประเภทที่ใช้ในกิจการของการประปาส่วนภูมิภาค.....	27
ตารางที่ 2.3	การสูญเสียหัวน้ำ (Head Loss) ของท่อเหล็ก.....	35
ตารางที่ 2.4	การสูญเสียหัวน้ำของท่อ PB, PVC, และ HDPE.....	36
ตารางที่ 2.5	ขนาดมาตรวัดน้ำและอัตราการไหล.....	36
ตารางที่ 2.6	ขนาดมาตรวัดน้ำและอัตราการไหลในแต่ละย่านความเร็วน้ำ.....	37



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การคอมพิวเตอร์แบบจำลองปัญหาการขนส่งจาก electric power distribution ด้วย GAMS.....	13
รูปที่ 2.2 Pareto Optimality for a Nonlinear Problem with Two Objectives: Maximize Both Objectives “Northeast Rule”	15
รูปที่ 2.3 Pareto Optimality for a Nonlinear Problem with Two Objectives: Minimize Both Objectives “Southwest Rule”	15
รูปที่ 2.4 สัดส่วนประสิทธิภาพและความสูญเสียของมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำ.....	19
รูปที่ 2.5 กราฟรูปประฆังที่แสดงค่าประสิทธิภาพ.....	20
รูปที่ 2.6 ขนาดพิกัดของมอเตอร์ (กิโลวัตต์).....	20
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดอายุใช้งาน 20 ปี กับราคาซื้อ.....	21
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ.....	22
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอิสระและความดันสถิตย์.....	23
รูปที่ 2.10 รูปแบบโหนดของระบบจำหน่ายน้ำประปาโดยตรงไปยังผู้ใช้.....	23
รูปที่ 2.11 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีแรงโน้มถ่วงของโลกแบบใช้หอถังสูง.....	26
รูปที่ 2.12 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีสูบน้ำจ่ายน้ำโดยตรงแบบใช้เครื่องสูบน้ำ.....	26
รูปที่ 2.13 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีสูบน้ำจ่ายน้ำร่วมกับหอถังสูง.....	26
รูปที่ 2.14 หน้าตาโปรแกรม EPANET.....	28
รูปที่ 2.15 Toolbox ภายในโปรแกรม MATLAB ในการทำงานด้านต่างๆ.....	30
รูปที่ 2.16 หน้าต่างย่อยที่สำคัญภายในโปรแกรม MATLAB.....	30
รูปที่ 2.17 องค์ประกอบของระบบ SCADA.....	32
รูปที่ 2.18 การติดตั้ง SCADA ตรวจสอบเก็บรวบรวมข้อมูลและบริหารระบบควบคุม.....	33
รูปที่ 2.19 แสดงภาพระดับแรงดันน้ำ ณ จุดใดๆ.....	35
รูปที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	51
รูปที่ 3.2 ระดับความลึกของจุดตัวอย่างแต่ละจุด 13,580 คริวเรือน ใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา.....	52
รูปที่ 3.3 ระดับแรงดันของจุดตัวอย่างแต่ละจุด 13,580 คริวเรือน ใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา.....	53
รูปที่ 3.4 แสดงการดึงข้อมูลความสัมพันธ์จากการเขียนสคริปต์ภายในโปรแกรม MATLAB.....	54
รูปที่ 3.5 โปรแกรม MATLAB สร้างความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์.....	54
รูปที่ 3.6 แรงดันน้ำและอัตราการไหล.....	55
รูปที่ 3.7 ปุ่มที่ความเร็วต่างๆเพื่อควบคุมการทำงานของปั๊ม.....	56
รูปที่ 3.8 ผลของแอปพลิเคชัน SCADA ที่ใช้เพื่อควบคุมระดับแรงดันน้ำ.....	57

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.9 แอปพลิเคชัน SCADA ที่มีการตั้งค่าแรงดันน้ำสำหรับต้นน้ำและปลายน้ำ.....	58
รูปที่ 3.10 แอปพลิเคชัน SCADA ควบคุมแรงดันน้ำที่ระบบปั๊ม.....	59
รูปที่ 4.1 แผนผังการผลิต-จ่ายน้ำ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	61
รูปที่ 4.2 แผนผังการจ่ายน้ำ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	62
รูปที่ 4.3 โรงสูบน้ำแรงสูง 1 สูบส่งสถานีจ่ายน้ำบ้านพรุบน กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	63
รูปที่ 4.4 โรงสูบน้ำแรงสูง 3 สูบจ่ายเข้าพื้นที่หาดใหญ่โซนต่ำ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	64
รูปที่ 4.5 โรงสูบน้ำแรงสูง 2 และ 3 สูบจ่ายเข้าพื้นที่หาดใหญ่โซนสูง สูบส่งสถานีเพิ่มแรงดันนาหม่อม และสถานีเพิ่มแรงดัน มอ. กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	65
รูปที่ 4.6 สถานีเพิ่มแรงดันนาหม่อมและสถานีจ่ายน้ำทุ่งขมิ้น.....	66
รูปที่ 4.7 สถานีเพิ่มแรงดันน้ำ มอ.....	66
รูปที่ 4.8 โรงสูบน้ำแรงสูง 2 สูบจ่ายเข้าพื้นที่หาดใหญ่ - กาญจนวิชัย กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	67
รูปที่ 4.9 โรงสูบน้ำแรงสูง 2 สูบส่งสถานีเพิ่มแรงดันโคกสูง กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	68
รูปที่ 4.10 โรงสูบน้ำแรงสูง 4 กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.) สูบส่งสถานีจ่ายน้ำท่าทางหอม และ โรงสูบน้ำแรงสูง กปภ.สาขาสงขลา.....	69
รูปที่ 4.11 สถานีจ่ายน้ำภูธรภาค 9.....	70
รูปที่ 4.12 โซนพื้นที่จ่ายน้ำบ้านพรุล่าง.....	71
รูปที่ 4.13 ความสูงระดับพื้นที่โดยเฉลี่ยของ 5 โซน.....	72
รูปที่ 4.14 เส้นโค้งหัว - อัตรไหล (Characteristic Curve).....	72
รูปที่ 4.15 System Head Curve (S-Curve).....	73
รูปที่ 4.16 System Head Curve (S-Curve) หาดใหญ่โซนต่ำ.....	73
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ของสมการของแบร์นูลลี.....	74
รูปที่ 4.18 แผนที่จ่ายน้ำ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	74
รูปที่ 4.19 ระบบผลิตจ่ายน้ำประปาพื้นฐาน.....	75
รูปที่ 4.20 ข้อมูล SEC 5 พื้นที่แหล่งจ่าย กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	75
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง LOAD FACTOR และ ENERGY CHARGE.....	76
รูปที่ 4.22 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณกำลังสอง.....	76
รูปที่ 4.23 การคอมพิวเตอร์แบบจำลอง electric power distribution ด้วย GAMS.....	77
รูปที่ 4.24 PID Controller - หาดใหญ่โซนต่ำ.....	77
รูปที่ 4.25 Process Diagram Water Supply and Demand.....	79
รูปที่ 4.26 Process Diagram Water Demand.....	80

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.27 Diagram ของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในแต่ละสถานีด้วย SCADA ของ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	81
รูปที่ 4.28 Diagram ของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในแต่ละสถานีด้วย SCADA ของ กปภ.สาขาสงขลา.....	82
รูปที่ 4.29 Diagram ของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในแต่ละ กปภ.สาขา ด้วยSCADA.....	83
รูปที่ 4.30 System Configuration สถานีผลิตและจ่ายน้ำประปา กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	84
รูปที่ 4.31 System Configuration สถานีผลิตและจ่ายน้ำประปา สถานีรอบนอก กปภ.สาขา.....	85
รูปที่ 4.32 System Configuration สถานีผลิตและจ่ายน้ำประปา ตู้ควบคุมระบบ SCADA	86
รูปที่ 4.33 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA แบบเรียลไทม์.....	87
รูปที่ 4.34 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA แบบ MNF.....	88
รูปที่ 4.35 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA แบบน้ำสูญเสีย.....	89
รูปที่ 4.36 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA หน้า Map Real Time.....	90
รูปที่ 4.37 หน้าวิเคราะห์ MNF ของท่อจ่ายน้ำเข้าพื้นที่หาดใหญ่โซนสูง.....	91
รูปที่ 4.38 หน้าแสดง SCADA กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	92
รูปที่ 4.39 ระบบติดตามมาตรวัดน้ำแต่ละจุดบนแผนที่.....	93
รูปที่ 4.40 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	94
รูปที่ 4.41 หน้าสรุปภาพรวมของ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	95
รูปที่ 4.42 รายงานน้ำสูญเสีย กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	96
รูปที่ 4.43 สัดส่วน Specify Energy Consumption กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.).....	97
รูปที่ 4.44 สรุปก่อนและหลังการออกแบบระบบจำหน่ายน้ำต้นทางไปยังปลายทาง.....	98

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเริ่มมีการผลิตน้ำประปาให้แก่ประชาชนในเขตพระนคร ในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 ได้ประกาศพระบรมราชโองการทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ เมื่อ วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2452 ให้กรมสุขาภิบาลจัดการที่จะนำน้ำมาใช้ในพระนคร โดยให้ตั้งทำที่ซึ่งน้ำที่คลองเชียงราก แขวงเมืองปทุมธานี อันเป็นที่พื้นเขตน้ำเค็มขึ้นถึงทุกฤดู ให้ขุดคลองแยกจากที่ซึ่งน้ำนั้นเป็นทางลงมาถึงคลองสามเสนฝั่งเหนือตามแนวทางรถไฟ ตั้งโรงสูบน้ำ ณ ที่ตำบลนั้น สูบน้ำขึ้นยังที่กรองกรองตามวิธีให้น้ำสะอาดบริสุทธิ์ ปราศจากเชื้อโรคแล้วจำหน่ายน้ำไปในที่ต่างๆ แก่ท้องที่ของเขตพระนคร กิจการอย่างนี้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เรียกตามภาษาสันสกฤตว่า “การประปา”

นับจากรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้มีพระราชดำริการหาน้ำบริโภคสำหรับประชาชนในเขตพระนคร ต่อมาในพ.ศ. 2496 รัฐบาลในขณะนั้นได้มีการอนุมัติให้กรมโยธาธิการดำเนินการก่อสร้างการประปา ณ ศูนย์การทหารปืนใหญ่ โคกกระเทียม ให้ชื่อว่า การประปาพิบูลสงคราม ผลิตและจำหน่ายน้ำประปาบริการทหารและประชาชน ซึ่งนับเป็น การประปาส่วนภูมิภาคแห่งแรก และรัฐบาลสมัยพลเอกเกรียงศักดิ์ ชมะนันทน์ ได้มีการปรับปรุงแบบการดำเนินงานของกองประปาส่วนภูมิภาค กรมโยธาธิการเป็นรูปแบบการบริหารแบบรัฐวิสาหกิจดำเนินการจัดตั้งและตราเป็นพระราชบัญญัติ การประปาส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2522 เมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 และให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 เป็นต้นไป โดยโอนกิจการประปาตลอดจนข้าราชการและลูกจ้างของกองประปาส่วนภูมิภาค กรมโยธาธิการและ กองประปาชนบท กรมอนามัย มาเป็นลูกจ้างและพนักงานของการประปาส่วนภูมิภาค

การประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) ในฐานะเป็นรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงมหาดไทย ที่ให้บริการสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานด้านน้ำประปาแก่ประชาชนในพื้นที่ 74 จังหวัดทั่วประเทศ (ยกเว้นกรุงเทพมหานคร นนทบุรี สมุทรปราการ รวมทั้ง หน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นบริหารจัดการน้ำประปาเอง เช่น การประปาเทศบาล การประปา อบต. และการประปาหมู่บ้านเป็นต้น) กปภ. ประกอบด้วย หน่วยงานรับผิดชอบแบ่งตามพื้นที่ออกเป็น 5 ภาค 10 กปภ.เขต 234 กปภ.สาขา และหน่วยบริการย่อยอีก 350 หน่วยบริการ

ตลอดระยะเวลา 40 กว่าปี ที่ผ่านมา กปภ. ดำเนินการผลิตและจำหน่ายน้ำประปา เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน โดยระบบการผลิตน้ำประปาของ กปภ. สามารถแยกชนิดของ แหล่งน้ำที่นำมาผลิตได้ 3 ประเภท โดยส่วนใหญ่ผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน บางส่วนจากระบบ RO (Reverse Osmosis) ในพื้นที่ที่เป็นเกาะ เช่น เกาะภูเก็ต เกาะสมุย เกาะพะงัน และมีระบบสำรองจากน้ำบาดาล ในด้านการจำหน่ายและให้บริการ กปภ. มีการจำหน่ายน้ำ โดยการวางระบบท่อประปา เพื่อส่งน้ำประปาที่สะอาดปลอดภัยผ่านเส้นท่อไปจนถึงที่อยู่ของผู้ใช้น้ำ โดยจัดเก็บรายได้ค่าจำหน่ายน้ำตามโครงสร้างราคาค่าน้ำที่กำหนด สำหรับกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีการประกันปริมาณการซื้อน้ำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ เช่น ธุรกิจหรืออุตสาหกรรมขนาดใหญ่ นิคมอุตสาหกรรม องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กปภ. จะคิดอัตราค่าจำหน่ายน้ำในราคาขายส่ง (Bulk Sale) ทั้งนี้ เป็นการขายในราคาที่ต่ำกว่าโครงสร้างปกติ นอกจากนี้ กปภ. ยังมีบริการเสริมอื่นๆ ได้แก่ น้ำดื่มบรรจุขวด การติดตั้งมาตรวัดน้ำ ให้กับผู้ใช้ น้ำรายใหม่ รับออกแบบก่อสร้างระบบประปา ให้บริการด้านวิชาการ และให้บริการตรวจสอบคุณภาพน้ำให้แก่ ท้องถิ่นต่าง ๆ เป็นต้น



กปภ. เปิดให้บริการเมื่อ 28 กุมภาพันธ์ 2522

- กปภ .5 ภาค
- กปภ เขต .10 เขต
- กปภ .สาขา 234 สาขา
- หน่วยบริการย่อย 350 หน่วย
- ให้บริการทั่วทุกภูมิภาคยกเว้น กรุงเทพฯ นนทบุรี และสมุทรปราการและหน่วยงานปกครอง ส่วนท้องถิ่นบริหารจัดการน้ำประปาเอง

รูปที่ 1 การแบ่งเขตพื้นที่ให้บริการของการประปาส่วนภูมิภาค

โครงสร้างการบริหารงาน กปภ. แบ่งส่วนงานและกำหนดอำนาจหน้าที่ตามโครงสร้างการบริหารงานของ กปภ. ซึ่งประกอบด้วยสายงานระดับรองผู้ว่าการ 9 สายงาน คือ รองผู้ว่าการ (แผนยุทธศาสตร์) รองผู้ว่าการ(การเงิน) รองผู้ว่าการ (วิชาการ) รองผู้ว่าการ (บริหาร) และรองผู้ว่าการ (ปฏิบัติการ 1-5) และสำนักที่ขึ้นต่อผู้ว่าการ 4 สำนัก

นอกจากนี้ กปภ. ได้นำหลักการกำกับดูแลกิจการที่ดีมาใช้โดยคณะกรรมการ กปภ. มีบทบาทหน้าที่และความรับผิดชอบที่สำคัญ ภายใต้กรอบแนวทางปฏิบัติตามหลักการกำกับดูแลกิจการที่ดีและมาตรฐานจรรยาบรรณที่ดี ตามหลัก CG (Corporate Governance) มีมาตรฐานจรรยาบรรณของผู้บริหารและพนักงาน รวมทั้งแต่งตั้งคณะกรรมการ และคณะอนุกรรมการ เพื่อกำกับดูแลและกลั่นกรองงานที่มีความสำคัญในด้านต่าง ๆ รวม 8 คณะ

ผลสัมฤทธิ์ (Performance) ครอบคลุม (บรรลุทั้ง) 4 ประเด็น

1. (อัตรา) ผลผลิต (Productivity/Rate) : อัตราส่วนระหว่าง Output/Input เช่น ราคาผลผลิต/ราคาค่าแรงและวัสดุที่จ่ายไป จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นได้ในรูปมูลค่าผลผลิตเพิ่ม และราคาทรัพยากรที่ใช้เท่าเดิม แต่เน้นปริมาณอย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำประปา โดยคิดอัตราผลผลิตแบบ อัตราผลผลิตรวม (Total productivity) คือ อัตราส่วนของมูลค่าผลผลิตทั้งหมดต่อผลรวมราคาทรัพยากรที่ใช้ทั้งหมด (แรงงาน+วัสดุ+ทุน+พลังงาน)

เทคนิคการเพิ่มผลผลิตแบบเน้นงาน และเทคโนโลยี เพื่อวิเคราะห์การใช้คน วัสดุ เครื่องมือ อย่างเป็นระบบเพื่อเพิ่มผลผลิต และลดต้นทุนด้านสารเคมี พลังงาน

2. ความปลอดภัย (Safety) : เช่น โครงการ Water Safety Plan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความตรงต่อเวลา (Timeliness) : เช่น การผลิต และ จำหน่ายน้ำประปาตลอด 24 ชั่วโมง ลดข้อร้องเรียนน้ำไม่ไหล แรงดันน้ำไหลอ่อน และล้างตะกอน (Blow-Off) ตะกอนในเส้นท่อ ตามแผน

4. คุณภาพ (Quality) : Water Lab Cluster สุ่มตรวจคุณภาพ (QA) น้ำในระบบจำหน่าย และ ควบคุม (QC) การผลิตน้ำประปาในกระบวนการผลิตเชิงปริมาณและคุณภาพ

ผลการดำเนินงานที่ผ่านมา กปภ.มีอัตราการขยายตัวลูกค้าของ กปภ.ในช่วง 5 ปี หลัง (2558-2562) ในอัตรา 4.03% ซึ่งน้อยกว่าช่วงปี 2552-2562 ซึ่ง กปภ. มีอัตราการขยายตัวเพิ่มของลูกค้าเฉลี่ย 4.73% ซึ่งมีปัจจัยเกี่ยวกับการมีทางเลือกในการใช้น้ำประปามากขึ้นจากหน่วยงานอื่นสืบเนื่องจากนโยบายรัฐบาล

กปภ.มีอัตราการขยายตัวของปริมาณน้ำจำหน่ายเพิ่มในช่วง 5 ปี หลัง (2558-2562) ในอัตรา 3.42% ซึ่งน้อยกว่าช่วงปี 2552-2562 ซึ่งกปภ. มีอัตราการจำหน่ายน้ำเพิ่มเฉลี่ย 4.29% ซึ่งปัจจัยเกี่ยวกับด้านเศรษฐกิจ และการลงทุนของกปภ. ซึ่งโครงการก่อสร้างไม่เป็นไปตามเป้าหมาย และในปี 2563 ณ เดือนสิงหาคม มีอัตราการจำหน่ายเพิ่มเฉลี่ย 1.75% ลดลงเกิดจากผลกระทบจากสถานการณ์ไวรัสโคโรนา 2019

จำนวนผู้ใช้น้ำประเภทที่อยู่อาศัย จำนวนผู้ใช้น้ำประเภทที่อยู่อาศัย ในช่วง 4 ปีที่ผ่านมา มีการเพิ่มในอัตราที่ลดลง (5.43% 4.81% และ 4.29% ตามลำดับ) โดยจำนวนผู้ใช้น้ำในปี 2561 (4.60%) มีอัตราเพิ่มมากกว่าปี 2560 และจำนวนผู้ใช้น้ำในปี 2562 (4.72%) มีอัตราเพิ่มมากกว่าปี 2561 สืบเนื่องจากลงทุนขยายการให้บริการของ กปภ. ขณะที่ปริมาณน้ำจำหน่ายก็มีการเพิ่มในอัตราที่ลดลงเช่นกัน (6.86% 5.65% และ 1.44% ตามลำดับ) โดยที่ปริมาณน้ำจำหน่ายปี 2561 และ 2562 เพิ่มขึ้น 3.33% และ 12.57% สาเหตุหลักสืบเนื่องมาจากการที่ กปภ.เร่งลงทุนขยายการให้บริการในพื้นที่ห่างไกล ซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำต่อครัวเรือนไม่มาก สืบเนื่องจากนโยบายรัฐบาลในการส่งเสริมให้ทุกพื้นที่มีน้ำประปาใช้ และในปีงบประมาณ 2563 ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2562 - สิงหาคม 2563 ปริมาณน้ำจำหน่ายเพิ่มขึ้น 6.78%

จำนวนผู้ใช้น้ำประเภทราชการ ธุรกิจขนาดเล็ก จำนวนผู้ใช้น้ำประเภทราชการ ธุรกิจขนาดเล็ก ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา มีการเพิ่มในอัตราที่ลดลง (18.85% 2.92% 2.39% และ 1.22% ตามลำดับ) และปี 2562 กปภ.เพิ่มผู้ใช้น้ำประเภทที่ 2 ได้เพียง 0.29% ขณะที่ปริมาณน้ำจำหน่ายก็มีการเพิ่มในอัตราที่ลดลงเช่นกัน (17.76% 1.60% -0.90% และ 0.85% ตามลำดับ) และปี 2562 ปริมาณน้ำจำหน่ายเพิ่มขึ้นจากปี 2561 2.39% และมีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากปี 2561

แต่ในปีงบประมาณ 2563 เนื่องจากสถานการณ์ไวรัสโคโรนา 2019 ทำให้จำนวนผู้ใช้น้ำประเภทราชการธุรกิจขนาดเล็กมีการเพิ่มในอัตราที่ ลดลง -0.65% และปริมาณน้ำจำหน่ายลดลงจากปี 2562 -2.22% ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่าง water-energy nexus การผลิตน้ำประปาและการจัดหาสูบน้ำอุปโภค-บริโภคให้กับผู้ใช้นั้นต้องการพลังงานเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะผลิตพลังงานอย่างไร การผลิตต้องใช้น้ำเสมอในบางขั้นตอน

พลังงานเป็นหนึ่งในค่าใช้จ่ายที่มากที่สุดสำหรับค่าสาธารณูปโภคน้ำประปา การประปาใช้ 2% ถึง 3% ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั่วโลก ระบบการสูบน้ำเป็นผู้ใช้พลังงานหลักโดยใช้ถึง 80% ของพลังงานที่ใช้ในระบบควบคุมผลิต-จำหน่ายน้ำประปา

โดยการประปาส่วนภูมิภาคเขต 5 สงขลา ขึ้นกับสายงานรองปฏิบัติการภาค 5 กำกับดูแลการประปาสาขาจำนวน 20 สาขา โดยมีสาขาที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสงขลา จำนวน 6 สาขา ได้แก่ สาขาหาดใหญ่ สาขาสงขลา สาขาระโนด สาขานาทวี สาขาสะเดา และสาขาพังงา

จังหวัดสงขลาตั้งอยู่พื้นที่ภาคใต้ฝั่งทะเลตะวันออก เป็นจังหวัดที่กำหนดไว้ตามแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระดับภาคและระดับกลุ่มจังหวัด ให้เป็นศูนย์กลางด้านการค้าขายและด้านเศรษฐกิจ ที่สำคัญของชายแดนภาคใต้ รวมทั้งเป็นศูนย์กลางแหล่งอาหารฮาลาลของภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางคมนาคม การขนส่งและเชื่อมโยงสู่ระดับภูมิภาค เนื่องจากมีเส้นทางเชื่อมโยงแนว ตะวันออก-ตะวันตก มีท่าเรือน้ำลึกที่เชื่อมโยงนานาชาติ ตลอดจนมีชายแดนติดกับประเทศมาเลเซีย ทำให้เป็นพื้นที่เหมาะแก่การลงทุน นอกจากนี้ยังเป็นศูนย์การเพาะปลูกยางพารา การแปรรูป ยางพารา ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ จากลักษณะดังกล่าวส่งผลให้จังหวัดสงขลา โดยเฉพาะพื้นที่ อำเภอเมือง อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอใกล้เคียงมีการขยายตัวของชุมชนอย่างต่อเนื่อง ชุมชนเมืองมี การขยายตัวสูง มีความต้องการน้ำประปาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับชุมชนข้างเคียง ที่อยู่ นอกพื้นที่บริการน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำสะอาด และได้ ร้องขอให้การประปาส่วนภูมิภาค ขยายเขตบริการน้ำประปาเข้าไปในพื้นที่ ทำให้การบริการน้ำประปา ของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาหาดใหญ่-สงขลา ประสบปัญหา การบริการน้ำประปาที่ไม่ทั่วถึง แรงดันน้ำประปาไหลอ่อนในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะชั่วโมงเร่งด่วนซึ่งการประปาส่วนภูมิภาคได้ ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวเป็นอย่างดี

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ให้บริการน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาหาดใหญ่ และสาขาสงขลา ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ อำเภอเมืองสงขลา อำเภอนาหม่อม อำเภอสิงหนคร และ บางส่วนของอำเภอจะนะ และเนื่องจากการประปาส่วนภูมิภาคสาขาสงขลาไม่มีระบบผลิตจึงต้องรับ น้ำจากสาขาหาดใหญ่ทั้งหมด เป็นผลให้เกิดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 ล้านหน่วยไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)ต่อเดือน เทียบเท่าต้นทุนด้านพลังงานเกือบ 6 ล้านบาทต่อเดือน

ระบบควบคุมผลิต-จำหน่ายน้ำประปาต้องการพลังงานจำนวนหนึ่ง $E_{required}$ พลังงานนั้นเป็น ค่าที่ใช้จริงในส่วนของพลังงานไฮดรอลิกป้อนเข้าทั้งหมด E_{input} เข้าสู่ระบบ การสูญเสียเกิดขึ้นใน เครื่องข่ายทั้งคู่เนื่องจากการเสียดสี $E_{friction}$ และการรั่วไหลของ E_{leak} พลังงานป้อนเข้ามาในระบบในรูป ของพลังงานศักย์หรือถูกทำให้เกิดขึ้นโดยปั๊ม E_{pump} ปั๊มเปลี่ยนรูปแบบพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานไฮ ดรอลิกเพียงบางส่วน เนื่องจากการสูญเสียไฮดรอลิกที่เกิดขึ้นในปั๊มเอง $E_{hyd.losses}$ และการสูญเสียใน มอเตอร์และไดรฟ์ความเร็วแปรผัน (VSD) $E_{motorlosses} + E_{VSDlosses}$ และทำให้การใช้งานพลังงานไฟฟ้า มากกว่าพลังงานไฮดรอลิกป้อนเข้าของปั๊มไปยังระบบ

ระเบียบคณะกรรมการการสหภาพยุโรป EC / 640/2009 [85] การดำเนินการตามคำสั่ง 2005/32 / EC [86] กำหนดให้มอเตอร์ทั้งหมด (0.75kW ถึง 375kW) มีอย่างน้อย IE3 หรือ IE2 efficiency class พร้อมด้วย VSD เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ.2017 การดำเนินการตาม กฎระเบียบเหล่านี้ส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานได้ในระยะยาวอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติตามที่ติดตั้งขนาดใหญ่ยังคงอยู่และการปรับให้เหมาะสม สามารถลดการใช้พลังงานสำหรับปั๊ม และมอเตอร์รุ่นเก่า [18]

การออกแบบที่ดีที่สุดสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 30% ของพลังงานที่ต้องการ แต่เมื่อระบบ ใช้งานได้แล้วหลายด้านมีการทำให้คงที่เป็นเวลานานและไม่สามารถทำได้ง่ายหรือเปลี่ยนแปลงตาม สภาวะเศรษฐกิจ การออกแบบที่เหมาะสมควรคำนึงถึงลักษณะเฉพาะของระบบ อย่างเช่น ตัวแปร อัตราการไหล และ เสด การประหยัดพลังงานได้มากที่สุดสามารถทำได้สำเร็จเมื่อเกิดความเหมาะสม ทางการใช้พลังงานเข้าด้วยกันกับการวางผังเมืองและการออกแบบระบบประปาตั้งแต่เนิ่นๆ

การเปลี่ยนการตั้งค่าการควบคุมและพารามิเตอร์หรือแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพหลาย วัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมระบบจ่ายน้ำให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของปั๊ม วาล์ว และถังต่างๆที่ ติดตั้งในระบบ ความเหมาะสมในการปฏิบัติงานแ่งมุมของระบบเป็นสิ่งที่น่าสนใจเนื่องจาก ผลตอบแทนมีนัยสำคัญสามารถทำได้ในหลายวัตถุประสงค์ (multiple objective) ด้วยการ เปลี่ยนแปลงอย่างง่ายเพื่อระบบควบคุมหรือพารามิเตอร์ และไม่ต้องลงทุนเพิ่มในเครือข่าย หรือ อุปกรณ์

โดยปกติราคาค่าไฟฟ้าจะไม่คงที่และอาจแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาของวัน วันหยุดสุด สัปดาห์ ฤดูกาล สถานที่ และช่วงเวลาการบริโภคสูงสุด ราคาค่าไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งแวดล้อมและอื่นๆของการผลิตพลังงาน ทั้งพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์มีความพร้อมใช้งานที่ดีกว่าในช่วงกลางวัน แต่โดยทั่วไปแล้วค่าไฟฟ้ามีราคาที่ถูกที่สุดโดยเฉพาะในช่วง off-peak ระหว่างกลางคืน ดังนั้นการลดการใช้พลังงานให้ผลตอบแทนทั้งในแง่ของเศรษฐกิจและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [18]

โดยทั่วไปผลของการปรับสเกลความถี่ต่อประสิทธิภาพไฮดรอลิกของปั๊ม และการสูญเสียพลังงานมอเตอร์ และ VSD ไม่สามารถใช้ EPANET สร้างแบบจำลองในการคำนวณพลังงานได้ตามที่แสดงไว้ ซึ่งถูกแสดงผลประสิทธิภาพที่ไม่ถูกต้องเมื่อใช้ความเร็วรอบในการหมุนลดลง กรอบการทำงานทั่วไปสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพต้นทุนการจ่ายน้ำทั้งหมดใกล้เรียลไทม์จะถูกนำเสนอ โดยใช้แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ คำนวณการตั้งค่าความดันและอัตราการไหลขึ้นอยู่กับเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ 5 แหล่งจ่ายน้ำประปาและความถี่ที่เหมาะสมสำหรับปั๊มทั้งหมดในระบบจ่ายน้ำตามเวลา 24 ชั่วโมงข้างหน้า

การทำงานของระบบจ่ายน้ำประปาที่เหมาะสมที่สุดคือการปรับส่วนประกอบควบคุม เช่น ปั๊มและวาล์วเพื่อลดต้นทุนการสูบน้ำในขณะที่เดียวกันก็รับประกันความต้องการของผู้ใช้น้ำด้วยแรงดันที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการตัดสินใจด้วยความช่วยเหลือของสิ่งอำนวยความสะดวก SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) เมื่อคำนึงถึงความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับความต้องการ รูปแบบการดำเนินงานในปัจจุบันจึงไม่มีประสิทธิภาพสำหรับลดต้นทุนด้านพลังงานและรักษาความดันในการทำงานทั้งระบบ เมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนในความต้องการของระบบและสถานะเครือข่ายมีแนวโน้มที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่จะรักษาความดันที่สูงกว่าที่กำหนดไว้ในกลยุทธ์การดำเนินงานแบบดั้งเดิม เนื่องจากการรั่วไหลของระบบเป็นหน้าที่ของแรงดันเพื่อชดเชยในส่วนนี้ วิธีนี้จึงก่อให้เกิดการสูญเสียการรั่วไหลและไม่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติในการจัดหาน้ำอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการรักษาความดันของระบบให้เป็นค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่ยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดแรงดันที่ต้องการ

งานวิจัยนี้จะเสนอ การบูรณาการการจัดการน้ำในการวางแผนเพื่อเป้าหมายการพัฒนา เมืองอย่างยั่งยืน (ปัจจุบันจ่ายน้ำประปาแบบตั้งค่าแรงดันตามช่วงเวลา) การวิเคราะห์การจ่ายน้ำประปาและการบริหารจัดการความต้องการใช้น้ำที่เหมาะสม

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพได้รับการแนะนำสำหรับการควบคุมระบบออนไลน์แบบเรียลไทม์ซึ่งตอบสนองเชิงรุกต่อระยะสั้น ความต้องการรูปแบบต่างๆและลดต้นทุนการดำเนินงานระบบในระยะยาวให้เหลือน้อยที่สุด แบบจำลองที่นำเสนอประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) การเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการในรูปแบบจำลองโปรแกรม Epanet (2) การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ผ่านโปรแกรม MATLAB และ (3) การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมผ่านระบบ SCADA ปัจจุบันมีการขยายเขตจ่ายน้ำประปาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดภาวะแรงดันน้ำไหลอ่อน เกิดการร้องเรียนเชิงปริมาณ และต้องป้องกันท่อประปาแตกจากแรงดันส่วนเกินจากความต้องการใช้น้ำประปา

เนื่องจากจุดรั่วใต้ดินยากแก่การค้นหา น้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำ ยังขาดบริบทในการวิเคราะห์จากต้นทางไปยังปลายทางในแต่ละตำแหน่ง หลักการเพิ่มแรงดันเมื่อต้องการใช้น้ำ ลดแรงดันเมื่อเลิกใช้งาน จุดรั่วไหลจะเบาบางลงตามแรงดันและติดตามอัตราการไหลช่วงไนท์โพล์เพื่อวางแผนงานซ่อมท่อในแต่ละตำแหน่ง

ผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลเชิงประยุกต์ที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงการตอบสนองแรงดันตามความต้องการของผู้ใช้น้ำในโซนพื้นที่ 5 บริเวณที่ กภ.สาขาหาดใหญ่รับผิดชอบ ในกรณีที่ไม่ทำหลายโครงสร้างระบบท่อจ่ายน้ำประปาเดิม เพื่อรองรับการขยายเขตจ่ายน้ำประปาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาออกแบบระบบการบริหารจัดการน้ำ เช่น การกระจายน้ำ แรงดัน เหนืออัตราการไหล การสูญเสียน้ำ ตามขอบเขตความรับผิดชอบของโรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถติดตามควบคุมระบบได้อย่างเรียลไทม์

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางวิเคราะห์น้ำสูญเสียและพลังงานในระบบจำหน่าย โดยการวิเคราะห์จากต้นทางไปยังปลายทางของระบบการจ่ายน้ำ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 พิจารณากำหนดความถี่ที่เหมาะสมสำหรับปั๊มที่ทำงานแบบขนานสำหรับช่วงการทำงาน on-peak โดยกำหนดไม่เกินกว่าค่าแรงดันขั้นสูง (ป้องกันแรงดันกระทำต่อประปาแตก) และทำงานแบบเดี่ยวสำหรับช่วง off-peak โดยกำหนดไม่น้อยกว่าค่าแรงดันขั้นต่ำ (ลดข้อร้องเรียนน้ำประปาไหลอ่อนหรือไม่ไหล)

1.3.2 พิจารณาไฮดรอลิกที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของต้นทาง (First Span) และช่วงปลายของท่อจำหน่ายของแต่ละ DMA (Final Span) โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 5 - 15 เท่าของอัตราการไหลเดิม

1.3.3 พิจารณาข้อกำหนดในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมเชิงวิศวกรรม ด้วยวิธีการจำกัดขอบเขตการจำหน่ายน้ำประปา

1.3.4 พิจารณามาตรฐานการจัดวางท่อประปาไทยตามประกาศของการประปาส่วนภูมิภาค

1.3.5 พิจารณาข้อกำหนดหน่วยแรงดันที่ยอมให้ตามสถานะสุดขีดใช้งานระบบท่อประปา (Serviceability Limit State)

1.3.6 ไม่พิจารณาความเสียหายของท่อประปา เนื่องจากการใช้งานเสื่อมสภาพ

1.3.7 ไม่พิจารณาแรงสะเทือนจากทางเท้า ราวสะพาน แรงกดทับ และแรงแผ่นดินไหว

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์หาความเหมาะสมเชิงวิศวกรรม ด้วยวิธีการจำกัดขอบเขตการจำหน่ายน้ำประปา

1.4.2 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับแบบจำลองการจำหน่ายน้ำประปา ส่วนประกอบแบบจำลองโปรแกรม EPANET การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB และการควบคุมอัตราการไหลและแรงดันของปั๊มที่ถูกควบคุมด้วย VSD ผ่านระบบ SCADA

1.4.3 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการจำกัดการกระจายน้ำที่เหมาะสม

1.4.4 สร้างแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ ที่เรียกว่า วิธีการจำกัดขอบเขตการจำหน่ายน้ำประปา

1.4.5 วิเคราะห์การสูญเสียแรงดันที่เกิดขึ้นตามเวลา

1.4.6 วิเคราะห์หน่วยแรงดันที่เกิดขึ้นในการจำหน่ายน้ำประปา และไฮดรอลิกของแต่ละแหล่งจ่ายน้ำ (Hydraulics of Water Supply) ขณะรับโหลดความต้องการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ VSD แต่ละความต้องการตลอดช่วงเวลา 24 ชม.

1.4.7 วิเคราะห์แรงดันช่วงความต้องการที่เหมาะสมในการปรับปรุงต้นทุนพลังงาน เมื่อรับอัตราการไหลตามแนวทางการศึกษา

1.4.8 สรุปผลงานวิจัย

1.4.9 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถบริหารจัดการระบบการบริหารจัดการน้ำของโรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ทราบถึงการเกิดข้อบกพร่องหรือความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบการจ่ายน้ำของโรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลาได้ทันทีและสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว

1.5.3 สามารถตรวจติดตามค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการบริหารจัดการน้ำแบบเรียลไทม์ ในทุกจุดของความรับผิดชอบของโรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

บทที่ 2

ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ หมายถึง การประยุกต์วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ไปใช้ในการแก้ปัญหาการทำงานต่างๆ ที่ซับซ้อนเพื่อจัดการกับระบบของคน เครื่องจักร/อุปกรณ์ วัสดุดิบ งบประมาณ และเวลา ในวงการต่างๆ เช่นธุรกิจ/การค้า อุตสาหกรรม การเกษตร การสาธารณสุข ทางเศรษฐกิจ การเมืองและสังคม ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ การใช้เทคนิค Linear Programming ซึ่งเป็นการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์เพื่อจำลองปัญหา แล้วหาทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด โดยการแก้สมการคณิตศาสตร์ Maximize (หรือ Minimize)

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n \quad (2.1)$$

1) ฟังก์ชันเป้าหมายเชิงเส้น (linear objective function) เป็นฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ของ x_1, x_2, \dots, x_n

Subject to

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &\geq b_2 \\ &\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m \end{aligned} \quad (2.2)$$

2) ข้อจำกัดของปัญหา (functional constraints)

subject to (s.t) หมายความว่า ค่าของตัวแปรการตัดสินใจต้องเป็นไปตามข้อจำกัดทั้งหมด และข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจที่จะต้องเป็นค่าไม่ติดลบ

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0 \quad (2.3)$$

3) ข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจที่จะต้องเป็นค่าไม่ติดลบ (sign restriction or non-negative constraint) เป็นการเชื่อมโยงกับตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งตัวแปรแต่ละตัวจะต้องไม่เป็นค่าลบ

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (2.4)$$

4) ตัวแปรตัดสินใจ (decision variables)

2.1.1 การใช้คณิตศาสตร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการแก้ไขปัญหา (Mathematical Model, Linear Algebra)

สามารถใช้การหาความเหมาะสม (Optimization) ได้หากจำนวน DOF (Degree of Freedom Analysis) ที่สอดคล้องกันมากกว่าศูนย์ ซึ่ง DOF เป็นส่วนต่างของจำนวนตัวแปรตัดสินใจ กับจำนวนสมการเชิงเส้นซึ่งเป็นข้อจำกัดของปัญหา

ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Problem) ที่ฟังก์ชันเป้าหมายเชิงเส้นและข้อจำกัดเป็นเชิงเส้น (สมการและอสมการ) เป็นปัญหาในการวิเคราะห์หาฟังก์ชันเป้าหมายเพิ่มมากที่สุด (หรือลดน้อยที่สุด) ฟังก์ชันเป้าหมายเชิงเส้นที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดเชิงเส้นจำนวนจำกัด ซึ่งมีรูปแบบมาตรฐานดังนี้

$$\text{Maximize} \quad \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.5)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.6)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Proportionality Assumption ของโปรแกรมเชิงเส้นเป็น individual properties

Additivity Assumption ของโปรแกรมเชิงเส้นคือผลรวมของ individual properties

Divisibility Assumption คือตัวแปรการตัดสินใจแต่ละตัวที่ยอมให้เป็นค่าเศษส่วนได้ (fraction value)

Certainly Assumption คือพารามิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเป้าหมาย

Feasible Region คือเซตของกลุ่มจุดทั้งหมดซึ่งเป็นไป constraints และ sign restrictions ของโปรแกรมเชิง

โซลูชันที่เหมาะสมที่สุด

- maximizing problem คือ จุดภายในพื้นที่ feasible region ที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายมากที่สุด

- minimizing problem คือ จุดภายในพื้นที่ feasible region ที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายน้อยที่สุด

ประเภทของโปรแกรมเชิงเส้น

- 1) โซลูชันที่เหมาะสมที่สุดมีจำนวนไม่จำกัด (ทางเลือกหรือทางเลือกที่เหมาะสมหลายวิธี)
- 2) โปรแกรมเชิงเส้นที่ไม่สามารถทำได้หรือกลุ่มที่เป็นไปไม่ได้ เป็นศูนย์นั่นเอง
- 3) ไม่มีขอบเขต (ไร้ที่สิ้นสุดหรือไม่มีวิธีแก้ปัญหาที่เป็นไปได้) ซึ่งจุดที่เหมาะสมภายใน feasible region มีพื้นที่ค่ามาก (arbitrantly large) -> ความน่าจะเป็นสูงสุด (Max Probability) หรือมีพื้นที่ค่าน้อย (arbitrantly small) -> ความน่าจะเป็นน้อยสุด (Min Probability)
- 4) โซลูชันที่ดีที่สุดเพียงค่าเดียว (Unique optimal solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาโปรแกรมไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Programming Problem) หนึ่งในเงื่อนไขที่จำเป็นคือ ฟังก์ชันเป้าหมายไม่เป็นเชิงเส้นและ/หรือข้อจำกัดไม่เป็นเชิงเส้น

2.1.2 ระบบการสร้างแบบจำลอง EPANET (GAMS: General Algebraic Modeling System)

2.1.2.1 แบบจำลอง

General Algebraic Modeling System (GAMS) เป็นระบบการสร้างแบบจำลองระดับสูงสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ GAMS ได้รับการออกแบบมาสำหรับการสร้างแบบจำลองและการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมโปรแกรมเชิงเส้น โปรแกรมไม่เชิงเส้น และโปรแกรมจำนวนเต็มผสม ระบบได้รับการปรับแต่งสำหรับแอปพลิเคชันการสร้างแบบจำลองขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน และช่วยให้ผู้ใช้สร้างโมเดลที่สามารถเก็บข้อมูลได้ขนาดใหญ่ซึ่งสามารถปรับให้เข้ากับสถานการณ์ใหม่ได้ ระบบพร้อมใช้งานบนแพลตฟอร์มคอมพิวเตอร์ต่างๆ โมเดลสามารถพกพาได้จากแพลตฟอร์มหนึ่งไปยังอีกแพลตฟอร์มหนึ่ง

GAMS เป็นภาษาการสร้างแบบจำลองพีชคณิต (AML: Algebraic Modeling Language) ตัวแรก และมีความคล้ายคลึงอย่างเป็นทางการกับภาษาโปรแกรมรุ่นที่สี่ที่ซักกันทั่วไป GAMS มีสภาพแวดล้อมการพัฒนาแบบรวม (IDE: Integrated Development Environment) และเชื่อมต่อกับกลุ่มของตัวแก้ไขการหาค่าเหมาะสมของกลุ่มที่สาม (third-party) ในบรรดาตัวแก้ไขเหล่านี้ ได้แก่ BARON, COIN-OR solvers, CONOPT, CPLEX, DICOPT, Gurobi, MOSEK, SNOPT, SULUM และ XPRESS

GAMS ช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้อัลกอริทึมไฮบริดประเภทหนึ่งโดยรวมตัวแก้ไขที่แตกต่างกัน แบบจำลองอธิบายไว้ในข้อความเกี่ยวกับพีชคณิตที่กระชับและสามารถอ่านได้โดยมนุษย์ GAMS เป็นหนึ่งในรูปแบบอินพุตที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับเซิร์ฟเวอร์ NEOS แม้ว่าในตอนแรกจะออกแบบมาสำหรับแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์และวิทยาการจัดการ แต่ก็มีกลุ่มผู้ใช้งานทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย

2.1.2.2 ตัวอย่างแบบจำลอง

ปัญหาการขนส่งจาก electric power distribution ถูกนำมาใช้เพื่อจัดหาโมเดล GAMS ตัวอย่างโมเดลนี้เป็นส่วนหนึ่งของไลบรารีโมเดลซึ่งมีโมเดล GAMS ที่สมบูรณ์มากขึ้นมากมาย ปัญหานี้พบตารางการขนส่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุดซึ่งตรงตามข้อกำหนดของตลาดและแหล่งกระจายพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 2

\$Ontext

First an example in electric power distribution
(transportation problem)

- 1) 3 power plants (supply points)
- 2) 4 cities (demand points)

Assumes an independent system operator (ISO) to manage activities.

Assumes no losses, loop flows, no line capacities, nor other electrical engineering details then, the more general formulation and then, some remarks on the constraint matrix and integer solutions.

Finally, generalization to the transshipment problem

From\ To	City 1	City 2	City 3	City 4	Total Supply (Millions of kwh)
(i = 1, 2, 3)					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plant 1	\$8	\$6	\$10	\$9	35
Plant 2	\$9	\$12	\$13	\$7	50
Plant 3	\$14	\$9	\$16	\$5	40
Total Demand (Millions of kwh)	45	20	30	30	

(j = 1, 2, 3, 4)

Find total distribution costs

Full LP

Objective Function Minimize Z =

$$8x_{11} + 6x_{12} + 10x_{13} + 9x_{14} + 9x_{21} + 12x_{22} + 13x_{23} + 7x_{24} + 14x_{31} + 9x_{32} + 16x_{33} + 5x_{34}$$

! total distribution costs

s.t.

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 35 \quad \text{! Power plant 1 supply}$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 50 \quad \text{! Power plant 2 supply}$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 40 \quad \text{! Power plant 3 supply}$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} \geq 45 \quad \text{! City 1 demand}$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} \geq 20 \quad \text{! City 2 demand}$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} \geq 30 \quad \text{! City 3 demand}$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} \geq 30 \quad \text{! City 4 demand}$$

all variables nonnegative

$$x_{(i,j)} \geq 0$$

Answer

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
--- VAR X 1.1	.	.	+INF	2.000
--- VAR X 1.2	.	10.000	+INF	.
--- VAR X 1.3	.	25.000	+INF	.
--- VAR X 1.4	.	.	+INF	7.000
--- VAR X 2.1	.	45.000	+INF	.
--- VAR X 2.2	.	.	+INF	3.000
--- VAR X 2.3	.	5.000	+INF	.
--- VAR X 2.4	.	.	+INF	2.000
--- VAR X 3.1	.	.	+INF	5.000
--- VAR X 3.2	.	10.000	+INF	.
--- VAR X 3.3	.	.	+INF	3.000
--- VAR X 3.4	.	30.000	+INF	.
--- VAR TotalCost	-INF	1020.000	+INF	.

\$Offtext

Set

Set of Cities and power plants

i plants /1*3/

j cities /1*4/

;

positive variable

X(i,j);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Variable
TotalCost;

Parameter

Capacity(i)/1 35

2 50

3 40/

Demand(j)/1 45

2 20

3 30

4 30/

;

Table cost(i,j)

1 2 3 4

1 8 6 10 9

2 9 12 13 7

3 14 9 16 5

;

Equation

Supply(i)

Demandnode(j)

Objective;

Supply(i).. $\sum(j, x(i,j)) = L = \text{Capacity}(i)$;

Demandnode(j).. $\sum(i, x(i,j)) = G = \text{Demand}(j)$;

Objective.. $\text{TotalCost} = e = \sum(i, \sum(j, \text{cost}(i,j) * x(i,j)))$;

model toy /all/;

solve toy using lp minimixing TotalCost;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การวิเคราะห์ความไวของผลลัพธ์ต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis)
สมมติฐานเบื้องต้นของโปรแกรมเชิงเส้น คือ ปัญหาต้องมีความแน่นอน ตัวเลขข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการสร้างตัวแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Model) ต้องทราบค่าแน่นอน เช่น

$$\max z = c_1x_1 + c_2x_2 \quad (2.7)$$

s.t.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \leq b_2$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

ดังนั้น $c_1, c_2, a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, b_1, b_2$ ต้องมีค่าแน่นอน แต่ในความเป็นจริง ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านั้นยากที่จะเป็นค่าที่แน่นอน อาจพิจารณาในรูปแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) นั้นค่าและเหตุการณ์เป็นแบบคาดคะเนค่าเฉลี่ย ส่วนสโตเคสติก (Stochastic) นั้นความสำคัญคือองค์ประกอบของระบบเป็นแบบสุ่มความน่าจะเป็น หรือไม่ก็พิจารณาความอ่อนไหว (Sensitive) ซึ่งเป็นกรวิเคราะห์ความไวของผลลัพธ์ต่อการเปลี่ยนแปลง

2.1.4 โปรแกรมเชิงเส้นหลายฟังก์ชันเป้าหมาย (Multi-objective Linear Programming)
รูปแบบโดยทั่วไปสำหรับโปรแกรมเชิงเส้นหลายฟังก์ชันเป้าหมาย เป็นดังนี้

$$\max \{z_1(x), z_2(x), \dots, z_k(x)\} \quad (2.8)$$

s.t $x \in S$ โดยที่ $S = \text{feasible region}$ ถูกเขียนในรูปแบบเซต

- The notion of “an optimum” point for multiple objectives does not make sense, why?
- Incommensurability of the objective functions, i.e., no natural ordering of the objective space value

- For example, does the vector $z_1, z_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \end{bmatrix}^T$ have a lower set of objective value than $z_1, z_2 = \begin{bmatrix} 3 & 1 \end{bmatrix}^T$?

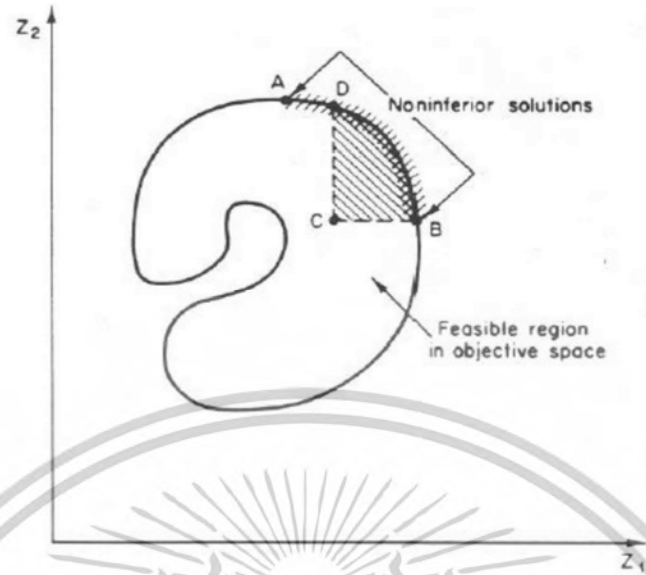
- Can use the notion of Pareto optimality (Edgeworth 1881; Pareto, 1896)
- Also known as noninferiority or nondominance
Pareto Optimality: Definition Assuming Maximization

A Decision vector $x^* \in S$ is Pareto optimal if there does not exist another vector $x \in S$ such that $z_i(x) \geq z_i(x^*)$ for all $i = 1, 2, \dots, k$ and $z_j(x) > z_j(x^*)$ for at least one index j .

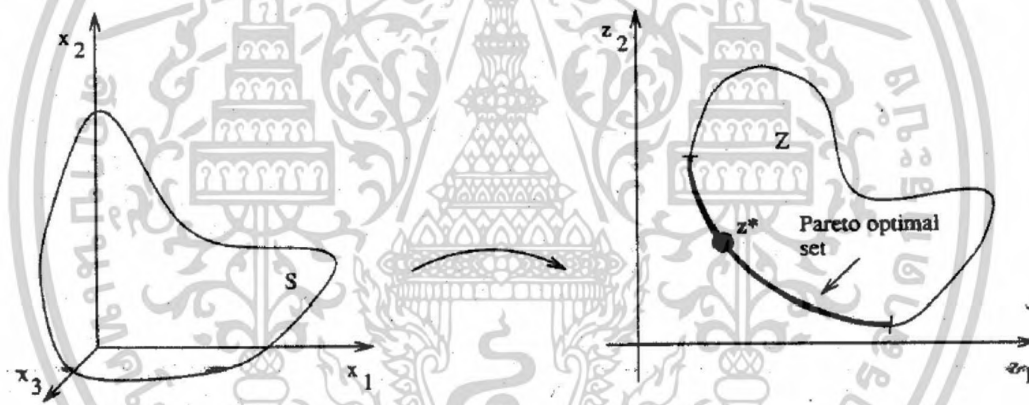
- Or stated in another way:

A Decision vector $x^* \in S$ is not Pareto optimal if there exists another vector $x \in S$ such that $z_i(x) \geq z_i(x^*)$ for all $i = 1, 2, \dots, k$ and $z_j(x) > z_j(x^*)$ for at least one index j .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Pareto Optimality for a Nonlinear Problem with Two Objectives: Maximize Both Objectives “Northeast Rule”



รูปที่ 2.3 Pareto Optimality for a Nonlinear Problem with Two Objectives: Minimize Both Objectives “Southwest Rule”

2.1.4.1 การประมาณวิธีเซตน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของพาเรโต (Approximating the Pareto Optimal Set-Weight Method)

$$\min \sum_i w_i f_i(x) \tag{2.9}$$

s.t. $x \in S \quad \{*\}$
 where $w_i \geq 0$ for all i and $\sum_i w_i = 1$

Result 1: A solution to $\{*\}$ is Pareto optimal if for all $i, w_i > 0$

Result 2: If there exists a unique solution to $\{*\}$, this solution is Pareto optimal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 การประมาณวิธีเซตข้อจำกัดที่เหมาะสมที่สุดของพาเรโต
(Approximating the Pareto Optimal Set-Constraint Method)

$$\begin{aligned} \min f_l(x) \\ \text{s.t. } x \in S \quad \{**\} \\ f_l(x) \leq e_l, \text{ for all } j \neq l \end{aligned} \quad (2.10)$$

Result 3: A decision vector $x^* \in S$ is Pareto optimal if and only if it is a solution of $\{**\}$ for every $l = 1, \dots, k$ where $e_j = f_j(x^*)$

Result 4: A decision vector $x^* \in S$ is Pareto optimal if it is a unique solution of $\{**\}$ for some $l \in 1, \dots, k$ with $e_j = f_j(x^*)$ for $j = 1, \dots, k, j \neq l$

2.1.5 โปรแกรมเชิงเส้นแบบสุ่ม (Stochastic Linear Programming)

แบบจำลองดีเทอร์มินิสติก (Deterministic model) ใช้ข้อมูลแบบคาดคะเนค่าเฉลี่ย เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการคำนวณสั้นกว่าแบบจำลองสโตเคสติก (Stochastic model) แต่ข้อมูลโดยธรรมชาติจะเป็นแบบสโตเคสติก ดังนั้น stochastic optimal solution เข้าใกล้ความเป็นจริงมากกว่า และอาจจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่นมาช่วยลดระยะเวลาการคำนวณ

ในสาขา mathematical optimization โปรแกรมแบบสุ่มเป็นกรอบแนวคิดสำหรับแบบจำลองการแก้ปัญหาความเหมาะสมที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอน โปรแกรมแบบสุ่มเป็นปัญหาในการหาความเหมาะสมซึ่งพารามิเตอร์ของปัญหาบางส่วนหรือทั้งหมดมีความไม่แน่นอน แต่จะเป็นไปตามการแจกแจงความน่าจะเป็น กรอบแนวคิดนี้แตกต่างกับการหาความเหมาะสมแบบเชิงดีเทอร์มินิสติกซึ่งถือว่าพารามิเตอร์ของปัญหาทั้งหมดค่าทราบแน่ชัด เป้าหมายของโปรแกรมแบบสุ่มคือการค้นหาค่าที่ดีที่สุดซึ่งทั้งสองจะหาความเหมาะสมของเกณฑ์บางอย่างที่ผู้ตัดสินใจเลือกและอธิบายอย่างเหมาะสมสำหรับความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ของปัญหา เนื่องจากการตัดสินใจในโลกแห่งความเป็นจริงหลายอย่างเกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอน โปรแกรมแบบสุ่มได้พบการใช้งานในหลากหลายด้านตั้งแต่การเงิน การขนส่ง ไปจนถึงการหาความเหมาะสมในการใช้พลังงาน

โปรแกรมเชิงเส้นแบบสุ่ม (Stochastic LP) เป็นตัวอย่างเฉพาะของโปรแกรมสโตเคสติกสองขั้นตอนแบบคลาสสิก Stochastic LP สร้างขึ้นจากชุดโปรแกรมเชิงเส้นแบบหลายช่วงเวลา (LPs) ซึ่งแต่ละโปรแกรมมีโครงสร้างเหมือนกัน แต่มีข้อมูลที่แตกต่างกันบ้าง LP สองช่วงเวลา k^{th} ซึ่งแสดงถึงสถานการณ์จำลอง อาจถือว่ามีรูปแบบต่อไปนี้

$$\text{Minimize } f^T x + g^T y + h_k^T z_k \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } Tx + Uy &= r \\ V_k y + W_k z_k &= S_k \\ x, y, z_k &\geq 0 \end{aligned}$$

เวกเตอร์ x และ y ประกอบด้วยตัวแปรช่วงแรกซึ่งต้องเลือกค่าทันที เวกเตอร์ z_k ประกอบด้วยตัวแปรทั้งหมดสำหรับช่วงเวลาต่อมา ข้อจำกัด $Tx + Uy = r$ เกี่ยวข้องกับตัวแปรช่วงแรกเท่านั้น และจะจำลองเหมือนกันในทุกสถานการณ์ ข้อจำกัดอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรของช่วงเวลาต่อมา และแตกต่างกันในบางประเด็นในแต่ละสถานการณ์ซึ่งสะท้อนถึงความไม่แน่นอนเกี่ยวกับอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deterministic equivalent of a stochastic problem ด้วยสถานการณ์จำลองจำนวนจำกัด โปรแกรมเชิงเส้นแบบสุ่มสองขั้นตอนสามารถจำลองเป็นปัญหาการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นขนาดใหญ่ได้ การกำหนดนี้มักเรียกว่าโปรแกรมเชิงเส้นเทียบเท่าดีเทอร์มินิสติกหรือย่อว่าเทียบเท่าดีเทอร์มินิสติก (การกล่าวการเทียบเท่าดีเทอร์มินิสติก คือโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ใดๆ ที่สามารถใช้ในการคำนวณการตัดสินใจขั้นแรกที่ดีที่สุด ดังนั้นสิ่งเหล่านี้จะมีอยู่สำหรับการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องเช่นกัน เมื่อสามารถแทนต้นทุนชั้นที่สองในรูปแบบปิด) ตัวอย่างเช่น ในการสร้างดีเทอร์มินิสติกที่เทียบเท่ากับโปรแกรมเชิงเส้นแบบสุ่มข้างต้น เรากำหนดความน่าจะเป็น p_k ให้กับแต่ละสถานการณ์ $k = 1, \dots, K$ จากนั้นเราสามารถลดมูลค่าที่คาดหวังของวัตถุประสงค์ให้น้อยที่สุดโดยขึ้นอยู่กับข้อจำกัดจากทุกสถานการณ์:

$$\text{Minimize } f^T x + g^T y + p_1 h_1^T z_1 + p_2 h_2^T z_2 + \dots + p_K h_K^T z_K \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \quad & Tx + Uy = r \\ & V_1 y + W_1 z_1 = s_1 \\ & V_2 y + W_2 z_2 = s_2 \\ & \vdots \\ & V_K y + W_K z_K = s_K \\ & x, y, z_1, z_2, \dots, z_K \geq 0 \end{aligned}$$

เรามีเวกเตอร์ที่แตกต่างกัน z_k ของตัวแปรระยะหลังที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละ k สถานการณ์ ตัวแปรช่วงแรก x และ y จะเหมือนกันในทุกสถานการณ์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากเราต้องตัดสินใจในช่วงแรกก่อนที่เราจะรู้ว่าสถานการณ์ใดจะเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องระบุข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับ x และ y เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ในขณะที่ต้องกำหนดข้อจำกัดที่หลีกเลี่ยงกันสำหรับแต่ละสถานการณ์

2.2 การรวบรวมข้อมูล แบบจำลอง สร้างสมการและทวนสอบระบบ

การศึกษาต้นทุนทั้งหมดรายปีขั้นต่ำ (หรือการลงทุน) เป็นฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อหาความเหมาะสมของเครือข่ายการกระจายน้ำแบบวนซ้ำ ต้นทุนทั้งหมดรายปีของแต่ละรูปแบบการกระจายอัตราการไหลถูกกำหนดโดยโปรแกรมเชิงเส้นและพหุคูณ มีการสร้างสมการลดรอยระหว่างต้นทุนทั้งหมดรายปีและอัตราส่วนท่อ ประการที่สองรูปแบบการกระจายการไหลที่เหมาะสมที่สุดใน ซึ่งใช้สมการการลดรอยพหุคูณกำลังสอง สุดท้ายการออกแบบเครือข่ายแบบวนซ้ำที่เหมาะสมที่สุดจะพิจารณาจากโปรแกรมเชิงเส้นตามรูปแบบการกระจายอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุด (Bai Dan, et al. 2007) สามารถเขียนสมการในรูปคะแนนมาตรฐานได้ดังสมการ

$$y = 95231.3 - 416.7x_1 - 985.9x_2 - 289.1x_1x_2 + 130.2x_1^2 + 792.6x_2^2 \quad (2.13)$$

เมื่อ y คือ ต้นทุนทั้งหมด (หยวน/ปี)

x_1 คือ เฮด (เมตร)

x_2 คือ อัตราการไหล (เมตร³/วินาที)

2.2.1 ระบบจำหน่ายน้ำประปาแบบ Vary Speed Pump

เมื่อ 70 กว่าปีที่ผ่านมามีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรกลที่ช่วยผ่อนแรงอย่างมีประสิทธิภาพและมั่นคงเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนของงานการประปาส่วนภูมิภาค และมีอายุการทำงานที่ยาวนานถึง 10 - 20 ปี และ 30 ปีที่ผ่านมานี้ ได้มีการพัฒนาอย่างมากในเรื่องของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จนได้พบอุปกรณ์ใหม่ที่เรียกว่า ตัวปรับความเร็วเครื่องสูบน้ำ หรือ VSP ซึ่งสามารถเพิ่มความคล่องตัวในการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลา

ตัวปรับความเร็วเครื่องสูบน้ำนี้เมื่อนำไปใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมแล้ว จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากและคุ้มค่า ทำให้ลดค่าใช้จ่ายของ ต้นทุนการผลิตได้จากสถิติของประเทศไทยนั้น ประมาณการว่ามอเตอร์ใช้ไฟฟ้าถึงประมาณ 80% ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในภาคอุตสาหกรรม และ 80% ของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในงานโรงงานอุตสาหกรรมเป็นมอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

การสูญเสียในมอเตอร์สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ การสูญเสียคงที่ (Fixed Loss) และการสูญเสียเนื่องจากการโหลด (Load Loss) ในส่วนการสูญเสียคงที่มี 2 อย่างด้วยกัน คือ การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก (Core Loss) เกิดจากความเป็นแม่เหล็กของแกนเหล็ก และการสูญเสียจากการเสียดทานและลมระบายความร้อน (Friction & Windage Losses) เกิดจากแบริ่งและการเสียดทานของแบริ่ง (Bearing) และอากาศ การสูญเสียอีกรูปแบบหนึ่งดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น เป็นการสูญเสียเนื่องจากโหลดมี 3 อย่าง คือ การสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (Stator Loss) เนื่องจากความต้านทานในขดลวดของสเตเตอร์ และการสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor Loss) จากความร้อนในขดลวดที่เกิดมาจากกระแสในโรเตอร์ และสุดท้ายการสูญเสียจากสเตรย์โหลด (Stray Load Loss) อันเนื่องมาจากเส้นแรงแม่เหล็กรั่ว (Leakage Flux) ที่เกิดจากกระแสของโหลด

ด้วยเงื่อนไขการสูญเสียต่างๆ เหล่านี้ ผู้ผลิตมอเตอร์จึงทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ แต่การเปลี่ยนแปลงรูปแบบและวิธีการสร้างมอเตอร์ยังมีข้อจำกัดบางครั้งการปรับปรุงประสิทธิภาพอาจจะขัดแย้งกับพารามิเตอร์ตัวอื่นที่ใช้ในการออกแบบมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ ประสิทธิภาพมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำสามารถปรับปรุงได้โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้ การลดค่าความสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ เช่น เพิ่มขนาดของช่องใส่ขดลวดในสเตเตอร์ และใช้ลวดตัวนำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้น การลดค่าความสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ เช่น เพิ่มขนาดของแท่งโรเตอร์ และตัว End Rings การลดค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก เช่น เคลือบแกนให้บางลงและคุณภาพของเหล็กที่ดีกว่า และเพิ่มความยาวของแกนเหล็กเพื่อลดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ต้องการ การลดค่าความสูญเสียจากการเสียดทานและระบายความร้อน เช่น ปรับปรุงรูปแบบของแบริ่ง พัดลมท้ายมอเตอร์ และช่องระบายอากาศ การลดค่าความสูญเสียสเตรย์โหลด เช่น ออกแบบให้เหมาะสมที่สุด ทั้งเอาใจใส่ดูแลในระหว่างการผลิต และการวัดค่าหรือลดการสูญเสียชนิดนี้กระทำได้ยาก

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ อัตราส่วนของกำลังกลที่ได้ออกมา ต่อกำลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (ที่มีหน่วยเหมือนกัน) มีสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Power}_{\text{Output}}}{\text{Power}_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{(\text{Power}_{\text{Input}} - \text{Loss})}{\text{Power}_{\text{Input}}} \times 100\% \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียต่างๆ ภายในมอเตอร์



รูปที่ 2.4 สัดส่วนประสิทธิภาพและความสูญเสียของมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำ

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานระดับชาติของประสิทธิภาพของมอเตอร์

มาตรฐาน	ประสิทธิภาพที่โหลดเต็มที่ (%)	
	7.5 hp	20 hp
CSA C390	80.3	86.9
NEMA MG-1	80.3	86.9
IEC-34.2	82.3	89.4
JEC-37	85.0	90.4

มาตรฐาน CSA: ได้รวมค่าความสูญเสียสเตรย์โหลดไว้ด้วย และวัดค่าเหล่านี้ โดยทางอ้อม (ประเทศแคนาดา) ตามวิธีของ IEEE 112

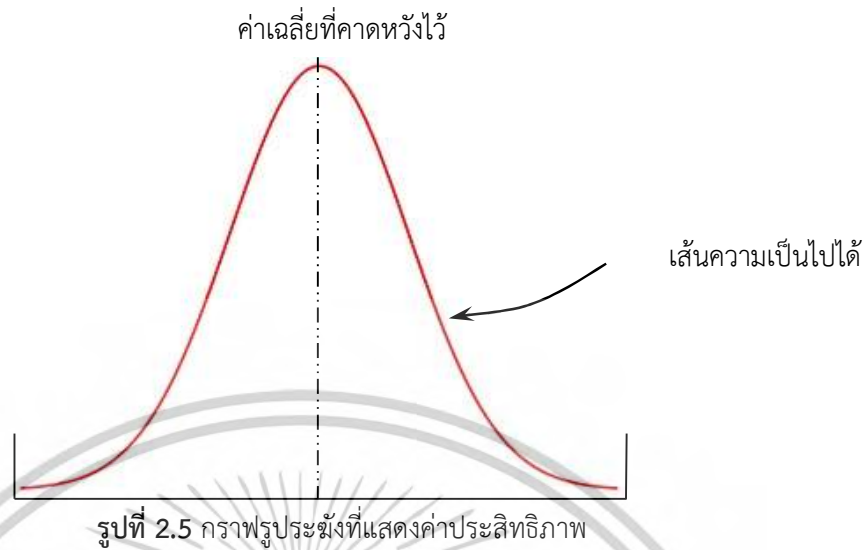
มาตรฐาน NEMA: ใช้วิธีตามมาตรฐาน IEEE 112 ซึ่งคำนวณหาความสูญเสียสเตรย์โหลด (ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยวิธีการทางอ้อม

มาตรฐาน IEC: สมมติค่าความสูญเสีย สเตรย์โหลด โดยกำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 0.5% ของกำลังที่ป้อนเข้า และยอมให้มีการกำหนดค่าคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพได้

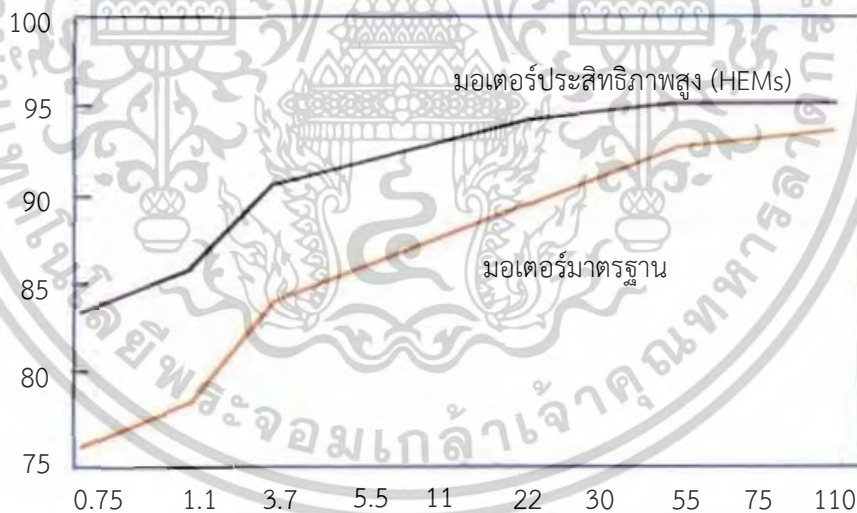
มาตรฐาน JEC: สมมติว่าไม่มีความสูญเสียสเตรย์โหลด (ประเทศญี่ปุ่น)

ความแตกต่างของมาตรฐานอยู่ที่การวัดค่าความสูญเสียสเตรย์โหลด

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ระบุไว้โดยผู้ผลิต ต้องพิจารณาว่า ผู้ผลิตให้ค่าประสิทธิภาพเป็นค่าเฉลี่ย ค่ามาตรฐาน (Nominal) หรือค่ารับประกันต่ำสุด (Guaranteed Minimum)



ค่าประสิทธิภาพมาตรฐาน “Nominal” คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากมอเตอร์จำนวนมากของผู้ผลิต และอยู่ในรุ่นเดียวกัน ดังนั้นมอเตอร์แต่ละตัวอาจจะมีค่าประสิทธิภาพแตกต่างกันไปจากค่าเฉลี่ยนี้ ค่าประสิทธิภาพที่รับประกันต่ำสุด ค่านี้นี้เป็นค่าที่ผู้ผลิตรับประกันว่ามอเตอร์ทุกตัวในขนาดนั้นๆ จะมีประสิทธิภาพอย่างน้อยเท่ากับค่านี้นี้หรือมากกว่า มาตรฐานระดับชาติโดยส่วนมากจะกำหนดขีดจำกัดของความแตกต่างระหว่างค่ามาตรฐาน “Nominal” และค่ารับประกันต่ำสุดเอาไว้

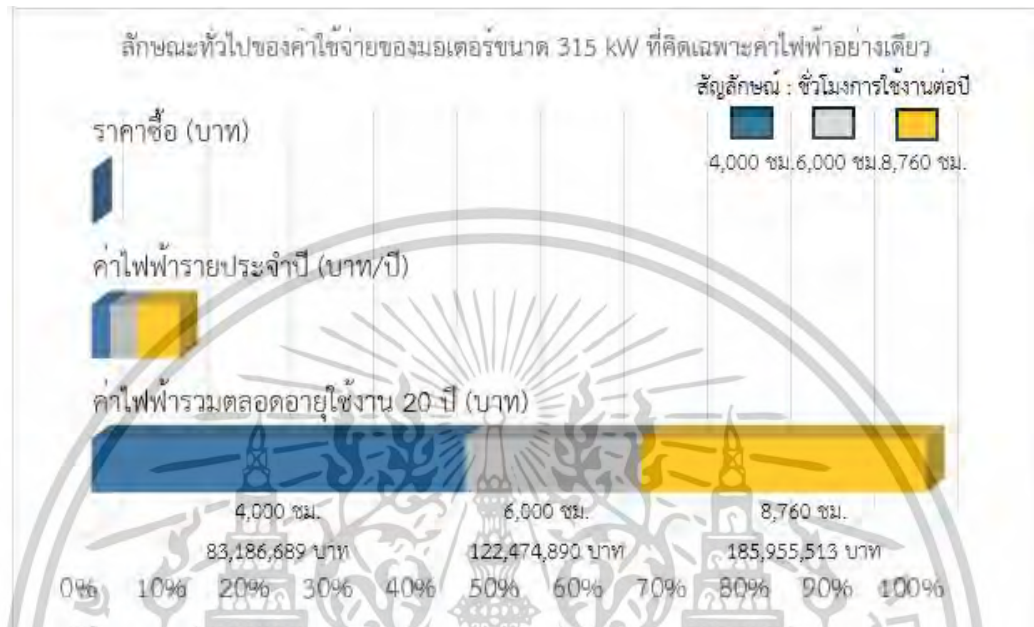


สำหรับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ โดยทั่วไปมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐาน 2-4%

สำหรับมอเตอร์ที่มีพิกัดต่ำกว่า 5.5 กิโลวัตต์ มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐาน 4-7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉลี่ยแล้ว ราคาที่ซื้อมอเตอร์จะประมาณ 1 ถึง 2% ของราคาค่าไฟฟ้าในการใช้งาน งานมอเตอร์ตลอดอายุของมัน ซึ่งจะมีอายุประมาณ 20 ปี
ลักษณะทั่วไปของค่าใช้จ่ายของมอเตอร์ขนาด 315 kW ที่คิดเฉพาะค่าไฟฟ้าอย่างเดียว



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดอายุใช้งาน 20 ปี กับราคาซื้อ

สมการต่างๆ ที่สำคัญ

- ค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดปี (บาท/ปี)
= ขนาดของมอเตอร์ X% โหลด คูณ ชั่วโมงใช้งานต่อปี คูณ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า % ประสิทธิภาพ (กิโลวัตต์) (ชั่วโมงต่อปี) (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
- ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าตลอดปี (บาท/ปี)
= กิโลวัตต์สูงสุดที่วัดในช่วง 15 นาทีในรอบเดือน คูณ ความต้องการพลังไฟฟ้า คูณ 12 (กิโลวัตต์) (บาท/กิโลวัตต์/เดือน)
- ค่าไฟฟ้ารวมทั้งหมด (บาท)
= (ค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดปี บวก ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าตลอดปี) คูณ อายุการใช้งาน

$$kW_{diff} = kW_{load} \times \left[\frac{(100\%)}{E_s} - \frac{(100\%)}{E_h} \right] \quad (2.15)$$

E_s = ประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐานทั่วไปที่โหลดค่าหนึ่ง

E_h = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่โหลดค่าเดียวกัน

kW_{diff} = พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ หน่วย กิโลวัตต์

kW_{load} = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ หน่วย กิโลวัตต์

สำหรับพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี สามารถคำนวณได้โดยสมการนี้

$$kWh_{save} = kW_{diff} \times \text{hourperyear} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปีนั้น สามารถคำนวณได้โดย kWh ที่ประหยัดได้ ต่อปีนี้

$$\text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้} = \text{อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} \times \text{kWh ที่ประหยัดได้} \quad (2.17)$$

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายสำหรับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ในการซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง คืออัตราส่วนของราคาที่เพิ่มขึ้น เมื่อต้องซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงต่อค่าใช้จ่ายพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีมีสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาที่คืนทุนอย่างง่าย} = \text{ราคาซื้อมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้น} / \text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดต่อปี} \quad (2.18)$$

การควบคุมความเร็ว

โดยทั่วไปการควบคุมความเร็วของมอเตอร์สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. โดยทางกล ติดตั้งชุดเปลี่ยนความเร็วควบคู่ไปกับมอเตอร์ความเร็วคงที่
2. การเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์ โดยใช้ตัวปรับความเร็วมอเตอร์ (VSD's)

สำหรับมอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

$$\text{ความเร็วซิงโครนัส (รอบต่อนาที)} = \text{ความถี่ (Hz)} \times 120 / \text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก} \quad (2.19)$$

$$\text{ความเร็วจริงของมอเตอร์} = \text{ความเร็วซิงโครนัส} - \text{สลลิป (โดยปกติ 3-4\%)} \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ

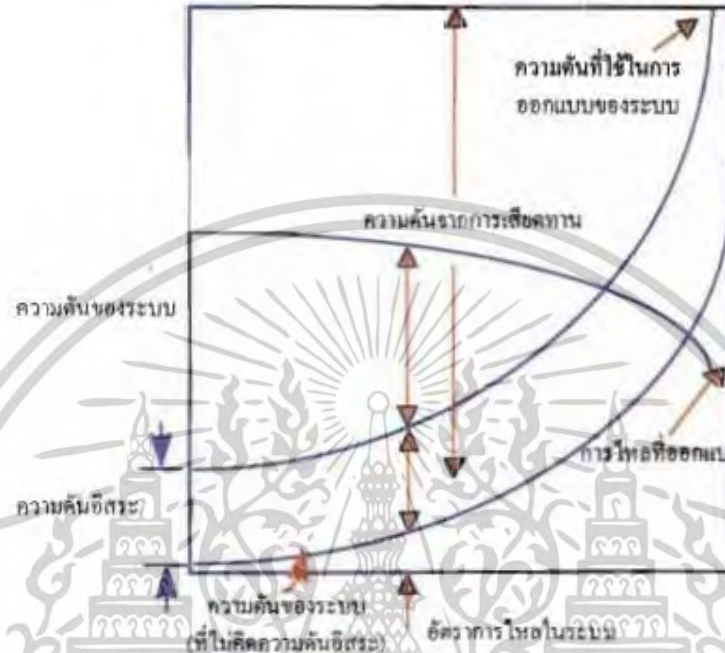
ตัวควบคุมความเร็วจะช่วยประหยัดพลังงานได้ ถ้าหากว่า การป้อนเข้า (INPUT) สู่วกระบวนการมีการแปรผัน (หรือไม่คงที่) ในกระบวนการ (PROCESS) มีการเปลี่ยนแปลง การนำออก (OUTPUT) มีการแปรผัน

การประหยัดพลังงาน เราสามารถลดอัตราการไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยใช้ตัวปรับความเร็วมอเตอร์ (VSD) ภายใต้สภาวะความดันสถิตย (Static Head) คงที่ : กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้า \propto (อัตราการไหล)³

ดังนั้น ถ้ามีอัตราการไหล 100% มอเตอร์จะมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเต็มที่ แต่ถ้าอัตราการไหลลดลงเป็น 70% ในทางทฤษฎีมอเตอร์จะต้องใช้กำลังไฟฟาลดลงเหลือเพียง $(0.7)^3 = 34\%$ ของกำลังไฟฟ้าเต็มที่

การประหยัดพลังงานที่ได้จากการใช้ตัวปรับความเร็วมอเตอร์นี้เป็นการประหยัดภายใต้สภาวะไม่มีความดันสถิตย ถึงแม้ในทางปฏิบัติก็ให้ผลประหยัดพลังงานได้มากเช่นเดียวกัน ความดันอิสระและความดันสถิตย (Independent and Static Head) ความดันอิสระและความดันสถิตย คือ ความแตกต่างของระดับความดัน (Head) ที่ใช้เพื่อให้เกิดการไหลนั้น ในทางปฏิบัติแล้วสามารถอธิบายได้ดังนี้

- ก) ความดันสถิต (Static Head) เป็นผลมาจากความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างโหลด (Load) และปั๊ม ตัวอย่างเช่น โหลดอยู่ในระดับที่สูงกว่าปั๊ม
- ข) ความดันอิสระ (Independent Head) เป็นผลมาจากความเสียดทานในอุปกรณ์ เช่น จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchangers), แผงร้อนหรือแผงเย็นและตัววาล์วควบคุม



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอิสระและความดันสถิต

ในการติดตั้งตัวปรับความเร็วมอเตอร์นี้ ความดันอิสระ หรือความดันสถิต (Independent or Static Head) ทำให้การประหยัดพลังงานก็ยังสามารถทำได้ ถ้าหากว่าความดันสถิตไม่ใช่ปัจจัยสำคัญ



รูปที่ 2.10 รูปแบบโหลดของระบบจำหน่ายน้ำประปาโดยตรงไปยังผู้ใช้น้ำ

2.2.2 การจำลองโครงข่ายด้วยโปรแกรม EPANET

EPANET คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจำลองพฤติกรรมทางด้าน Hydraulic และ Water Quality กับโครงข่ายเส้นท่อภายใต้แรงดัน ณ ช่วงเวลาที่ต่อขยายออกไป โครงข่ายประกอบด้วย ท่อ, Node (จุดบรรจบของเส้นท่อ), เครื่องสูบน้ำ, วาล์ว และถังเก็บน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ EPANET ใช้อัตราการไหลในแต่ละเส้นท่อ, แรงดันในแต่ละบัพ (node), ความสูงของน้ำในแต่ละถัง, และความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแต่ละสารเคมีตลอดโครงข่ายในระหว่างช่วงเวลาการจำลองซึ่งประกอบด้วยหลายช่วงเวลา นอกจากสารเคมีแล้วยังสามารถจำลอง Water Age และ Source Tracing ได้ด้วย โดย USEPA เป็นผู้เขียนและเผยแพร่ (free ware & open source) สามารถ Download ได้ ที่ www.epa.gov (version 2.2) EPANET ได้รับการออกแบบให้เป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับการเพิ่มพูนความเข้าใจในการเคลื่อนที่และจุดสิ้นสุดของน้ำบริโภคในระบบจ่ายน้ำ สามารถประยุกต์ใช้ในหลายแบบในการวิเคราะห์ระบบจ่ายน้ำ ตัวอย่างเช่น ออกแบบโปรแกรมสูมตัวอย่าง, เปรียบเทียบแบบจำลอง Hydraulic, วิเคราะห์ Residual Chlorine, และการประเมินผู้บริโภค EPANET สามารถช่วยประเมินทางเลือกของยุทธวิธีการบริหารสำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำตลอดทั้งระบบโดยรวมถึง:

- เปลี่ยนแปลงแหล่งน้ำ,
- เปลี่ยนแปลงตารางเวลาของเครื่องสูบน้ำและการเติมน้ำเข้าถังเก็บน้ำ/การปล่อยน้ำออกจากถังเก็บน้ำจนหมด, ระบบจ่ายจากถังสูง, ระบบจ่ายจากเครื่องสูบน้ำโดยตรง, ระบบจ่ายแบบผสม เป็นต้น
- ใช้ในระบบบำบัดอื่น เช่น การเติมคลอรีนเพิ่มที่ถังเก็บน้ำ,
- กำหนดเส้นท่อที่จะทำความสะอาดและเปลี่ยนเส้นท่อ.

การทำงานภายใต้ Windows, EPANET จัดเตรียมสภาวะแวดล้อมสำหรับแก้ไข ข้อมูลด้านเข้าของโครงข่าย, การ run แบบจำลอง Hydraulic และ Water Quality, และการแสดงผลในหลายรูปแบบ ซึ่งรวมถึงแผนที่โครงข่ายกำหนดรหัสตามสี, ตารางข้อมูล, กราฟอนุกรมของเวลา, และภาพระบุตามเส้นชั้นความสูง

ความสามารถของแบบจำลอง Hydraulic ลักษณะภูมิประเทศทั้งหมดและแบบจำลอง Hydraulic ที่แน่นอนเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับแบบจำลอง Water Quality ที่มีประสิทธิภาพ EPANET ประกอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ Hydraulic ซึ่งรวมถึงความสามารถเหล่านี้:

- ไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดของโครงข่ายที่จะวิเคราะห์
- คำนวณ Friction headloss โดยใช้สมการ Hazen-Williams, Darcy-Weisbach หรือ Chezy-Manning
- รวม Minor Headloss จาก ข้องอ, อุปกรณ์ข้อต่อ เป็นต้น
- ใช้กับเครื่องสูบน้ำซึ่งความเร็วคงที่หรือปรับความเร็วได้
- คำนวณพลังงานของการสูบน้ำและต้นทุน
- ใช้กับวาล์วได้หลายชนิด รวมถึง Shutoff, Check, Pressure Regulating และ

Flow Control Valves

- ยอมให้ใช้ถังเก็บน้ำได้หลายแบบ (เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางแปรผันกับความสูง)
- พิจารณาลักษณะความต้องการน้ำที่บัพ (Nodes) ได้หลายลักษณะ แต่ละลักษณะจะมี

รูปแบบของตัวเองซึ่งแปรผันกับเวลา

- แบบจำลองแรงดันขึ้นกับอัตราการไหลซึ่งออกจากหัวจ่าย (Sprinkler Heads)
- สามารถปฏิบัติด้วยระบบพื้นฐานอย่างง่ายของทั้งระดับถังเก็บน้ำและควบคุมด้วยเวลา หรือ

ควบคุมด้วยกฎพื้นฐานที่ซับซ้อน

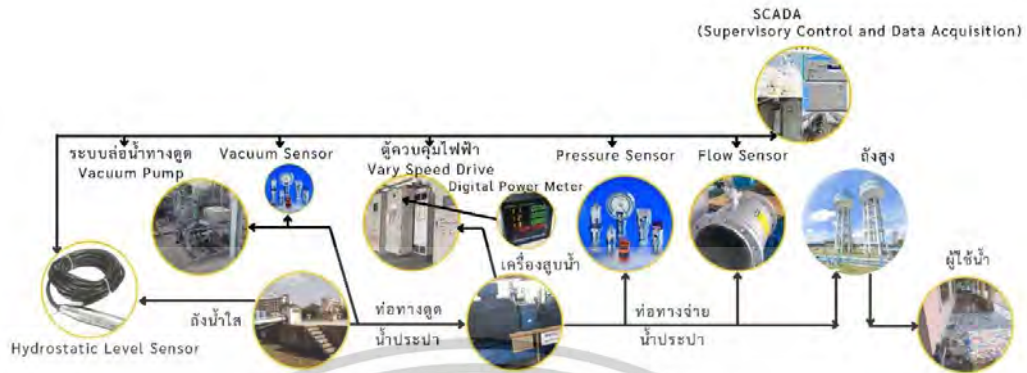
ความสามารถของแบบจำลอง Water Quality เพิ่มเติมจากแบบจำลอง Hydraulic, EPANET ยังมีความสามารถด้าน Water Quality ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

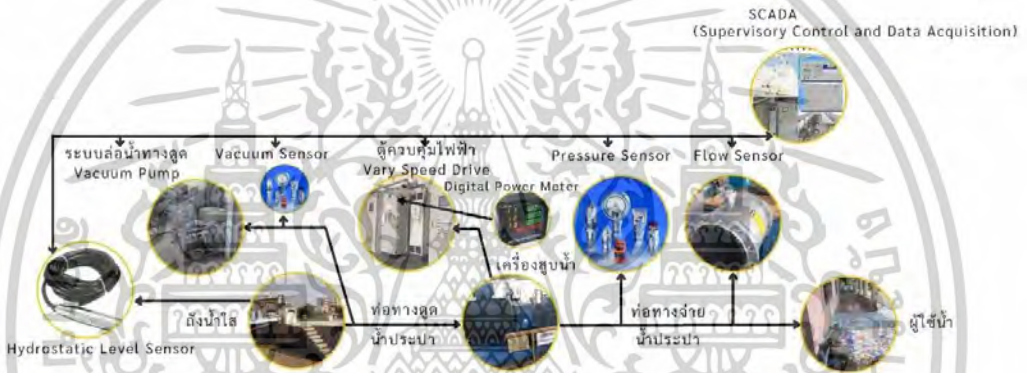
- จำลองการเคลื่อนที่ของวัสดุซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยาในโครงข่ายตลอดเวลา
- จำลองการเคลื่อนที่ปลายทางของวัสดุซึ่งเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (เช่น ผลพลอยได้ของการฆ่าเชื้อ) หรือลดลง (เช่น Chlorine Residual) กับเวลา
- จำลอง Age of Water ตลอดทั้งโครงข่าย
- ติดตามเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลจากบัพ (Node) ที่กำหนดให้ไปยังบัพ (Node) อื่นๆ ทั้งหมด

- จำลองปฏิกิริยาของทั้ง in the bulk flow และ at the pipe wall
 - ใช้ค่า kinetics ลำดับที่ n กับปฏิกิริยาของแบบจำลอง in the bulk flow
 - ใช้ค่า kinetics ลำดับที่ 0 หรือ 1 กับปฏิกิริยาของจำลอง at the pipe wall
 - กำหนดขีดจำกัดการส่งผ่านมวลเมื่อจำลองปฏิกิริยาผนังท่อ
 - ยอมให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อดำเนินต่อไปยังความเข้มข้นที่กำหนด
 - ใช้สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดซึ่งสามารถปรับปรุงบนพื้นฐานของการทำงานที่ละเอียด
 - ยอมสัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาผนังสัมพันธ์กับความขรุขระของท่อ
 - ยอมสำหรับความเข้มข้นแปรผันกับเวลา หรือ มวลด้านเข้าที่ตำแหน่งใดๆ ในโครงข่าย
 - จำลองถึงเก็บน้ำรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ผสมอย่างสมบูรณ์, plug flow หรือ two compartment reactors โดยการดำเนินการเหล่านี้, EPANET สามารถศึกษาปรากฏการณ์คุณภาพน้ำ เช่น:
 - การผสมน้ำจากแหล่งต่างๆ
 - Age of Water ตลอดระบบ
 - การสูญเสีย Chlorine Residuals
 - การเพิ่มขึ้นของผลพลอยได้ของการฆ่าเชื้อ
 - ติดตามสาเหตุการปนเปื้อน
- พิจารณารูปแบบการจำหน่ายน้ำประปามีหลากหลายรูปแบบ มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ โดยใช้โปรแกรม EPANET ช่วยจะได้รับการปรับแต่งแก้ไขโดยขึ้นอยู่กับแรงดันขั้นต่ำที่ใช้รักษาแรงดันน้ำในช่วงที่มีความต้องการสูงสุดและต่ำสุด

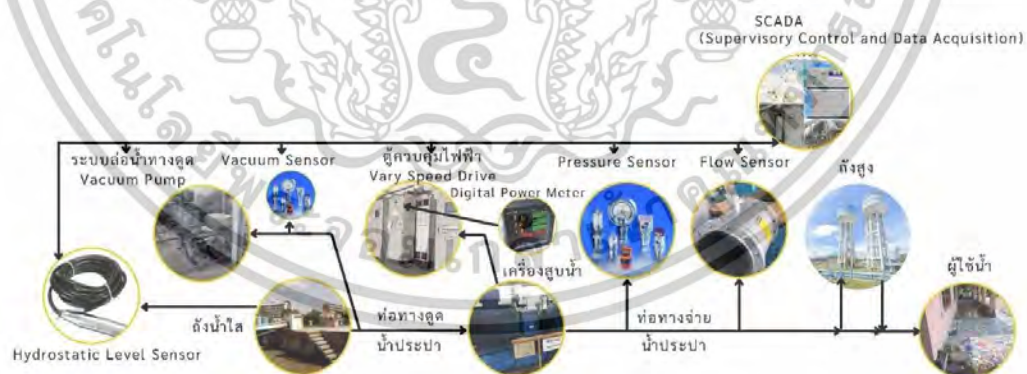
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีแรงโน้มถ่วงของโลกแบบใช้ทองถึงสูง



รูปที่ 2.12 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีสูบน้ำโดยตรงแบบใช้เครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 2.13 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีสูบน้ำร่วมกันกับทองถึงสูง

Network Model ในที่นี้หมายถึง แบบจำลองของ ท่อจ่ายน้ำ/ท่อส่งน้ำ ซึ่งสามารถเป็นตัวแทนระบบท่อ ในพื้นที่/โครงการ เป้าหมายได้ เมื่อได้ตัวแทนของระบบแล้ว สามารถนำไปประยุกต์การใช้งานในหลายรูปแบบ เช่น คำนวณพฤติกรรมต่างๆ ในระบบท่อทั้งระบบ ในเงื่อนไขปัจจุบัน/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนาคต ได้แก่ ผู้ใช้น้ำส่วนเพิ่ม การวางท่อเพิ่ม กำหนดขนาดท่อที่เหมาะสม แรงดันน้ำจากการคำนวณ โดยจะเป็นผลการคำนวณของทั้งโครงข่ายท่อ

แนวคิดในการออกแบบระบบจ่ายน้ำประปา ต้องกำหนด เป้าหมาย และความต้องการที่จะสร้าง Model, คำนวณและข้อมูลพื้นฐาน เช่น ต้องการคำนวณท่อส่งน้ำ เพื่อส่งน้ำปริมาณ 300 ลบ.ม./ชม. จากโรงสูบน้ำแรงสูง 2 ของสถานีผลิตน้ำฟ้าแสง ถึงสถานีเพิ่มแรงดัน มอ. ของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ), ความเป็นไปได้ของโครงการ, การบริหารจัดการแรงดันที่ต้นทาง, ระหว่างทาง และปลายทาง, ขนาดท่อ, ชนิดท่อ, ความเร็วน้ำ

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติท่อแต่ละประเภทที่ใช้ในกิจการของการประปาส่วนภูมิภาค

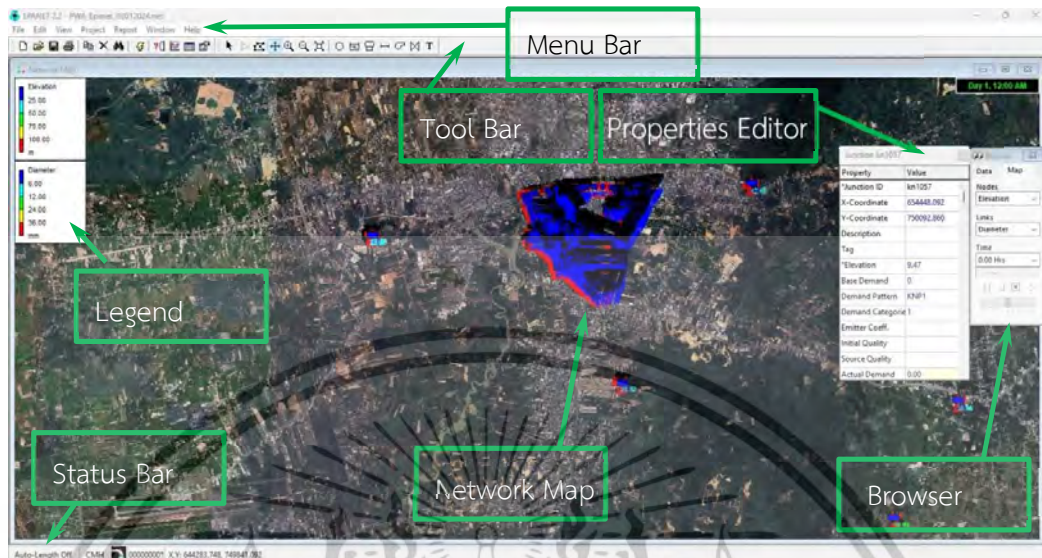
คุณสมบัติ	AC	PVC	HDPE	PB
C Hazen-Williams	130	140	140	140
ทนแรงดัน	น้อยสุด	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
แข็ง/อ่อน	แข็ง	แข็ง	อ่อน	อ่อน
เปราะ	เปราะ	ปานกลาง	เหนียว	เหนียว
ทนสารเคมี	ปานกลาง	ดี	ดี	ดี
ทน UV	ทน UV	ไม่ทน UV	ทน UV	ทน UV
สนิม	ไม่เป็นสนิม	ไม่เป็นสนิม	ไม่เป็นสนิม	ไม่เป็นสนิม
ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
การติดตั้ง	ง่าย	ง่าย	ยาก	ง่าย
การซ่อมบำรุง	ยาก	ง่าย	ยาก	ง่าย
ราคา	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติท่อแต่ละประเภทที่ใช้ในกิจการของการประปาส่วนภูมิภาค (ต่อ)

คุณสมบัติ	GRP	S	Cast iron
C Hazen-Williams	140	140	130
ทนแรงดัน	ค่อนข้างสูง	สูง	สูง
แข็ง/อ่อน	แข็ง	แข็ง	แข็ง
เปราะ	ไม่เปราะ	ไม่เปราะ	แตกหักได้
ทนสารเคมี	ดี	น้อย	น้อย
ทน UV	ทน UV	ทน UV	ทน UV
สนิม	ไม่เป็นสนิม	เป็นสนิม	เป็นสนิม
ติดไฟ	ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
การติดตั้ง	ง่าย	ยาก	ยาก
การซ่อมบำรุง	ยาก	ยาก	ยาก
ราคา	ค่อนข้างสูง	สูง	สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างการใช้งานและขั้นตอนการออกแบบระบบจำหน่ายน้ำประปาด้วยโปรแกรม EPANET



รูปที่ 2.14 หน้าตาโปรแกรม EPANET

- แนวคิดการออกแบบระบบจำหน่าย (Concept of work)
- ตั้งค่าโครงสร้างพื้นฐาน (Set defaults & Basic setup)
- สร้างแผนที่ทางภูมิศาสตร์ (Backdrop)
- กำหนดดัก (Nodes or Junctions)
- กำหนดเส้นแนวท่อ (Pipes or Links)
- สร้างแหล่งน้ำดิบ (Reservoirs)
- สร้างถังน้ำใสและหอถังสูง (Tank)
- กำหนดคุณสมบัติและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (Pump & Pump Curve)
- กำหนดรูปแบบเวลาจ่ายน้ำประปา (Time patterns)
- รันโปรแกรมและวิเคราะห์ผล (Results)

2.2.3 การทำนายด้วย MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงเพื่อใช้ในการคำนวณทางเทคนิค MATLAB ได้รวมการคำนวณ การเขียนโปรแกรม และการแสดงผลรวมกันอยู่ในตัวโปรแกรมเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอยู่ในลักษณะที่ง่ายต่อการใช้งาน นอกจากนี้ลักษณะของการเขียนสมการในโปรแกรมก็จะเหมือนการเขียนสมการคณิตศาสตร์ที่เราคุ้นเคยดีอยู่แล้วงานที่ทั่วไปที่ใช้ MATLAB เช่น การคำนวณทั่วไป การสร้างแบบจำลอง และการทดสอบแบบจำลอง การวิเคราะห์ข้อมูลการแสดงผล ในรูปภาพทั้งโดยทั่วไป และกราฟทางด้านทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม สามารถสร้างโปรแกรมในลักษณะที่ติดต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก

การทำงานของ MATLAB จะสามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง (Interactive) คือการเขียนคำสั่งเข้าไปที่ละคำสั่ง เพื่อให้ MATLAB ประมวลผลไปเรื่อยๆ หรือสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จะรวบรวมชุดคำสั่งเรานั้นเป็นโปรแกรมก็ได้ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของ MATLAB ก็คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของ array คือในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆขึ้น (หรือจะได้รับการแบ่งเป็น element) ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็น array ใน MATLAB ไม่จำเป็นที่จะต้องจอง dimension เหมือนกับการเขียนโปรแกรมในภาษาอื่นทั่วไป ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแก้ปัญหาของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะของ matrix และ vector ได้โดยง่าย ซึ่งทำให้เราลดเวลาการทำงานลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมโดย C หรือ Fortran

MATLAB เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในแวดวงของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรปัจจุบัน ชื่อโปรแกรม MATLAB นั้นย่อมาจาก MATrix LABoratory โดย MATLAB นั้นได้เริ่มต้นขึ้นเพื่อต้องการให้เราสามารถแก้ปัญหาตัวแปรที่มีลักษณะเป็น Matrix ได้ง่ายขึ้น สำหรับ MATLAB ได้เริ่มพัฒนาครั้งแรกโดย Dr. Cleve Moler ซึ่งเขียนโปรแกรมนี้ขึ้นมาด้วยภาษา Fortran โดยโปรแกรมนี้ได้พัฒนาภายใต้โครงการ LINPACK และ EISPACK

สำหรับในปัจจุบันนี้ MATLAB ได้ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษา C โดยบริษัท MathWorks ภายใต้โครงการ LAPACK และ ARPACK ถ้าหากเราจะเริ่มนับจากโปรแกรมที่ออกเผยแพร่เป็นครั้งแรกที่มีผู้ร่วมเขียนโปรแกรมไม่กี่คน จนกระทั่งทุกวันนี้มีทีมงานขนาดใหญ่ที่ทำงานในการพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งทำให้ทุกวันนี้ MATLAB เป็นโปรแกรมที่สุดยอดในการคำนวณที่คำนวณด้าน matrix สำหรับงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมโปรแกรมหนึ่ง นับจากวันแรกที่ได้เริ่มโครงการขึ้นจนกระทั่งในปี ค.ศ.2019 ได้พัฒนา MATLAB รุ่นเสถียร R2019a จนปัจจุบัน R2024a สำหรับในมุมมองของการศึกษานั้น MATLAB ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญ อันหนึ่งสำหรับนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณ และขณะนี้หลายๆ มหาวิทยาลัยได้ยกอันดับของ MATLAB ขึ้นจากโปรแกรมสำเร็จรูปให้เป็นภาษาสำหรับการใช้งานทางด้านเทคโนโลยี คือมีระดับเป็นภาษาเหมือนกับภาษา C, C++, Java หรือ Fortran นั่นเอง นอกเหนือจากเพื่อการเรียนการสอนในสถาบันการศึกษาแล้ว MATLAB ยังเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในงานวิจัยงานพัฒนาและการวิเคราะห์ของหน่วยงานต่างๆมากมาย

นอกเหนือจากตัวโปรแกรม MATLAB เองแล้ว บริษัท MathWorks ผู้ผลิต MATLAB ยังได้ผลิตเครื่องมือหรือที่เรียกว่า toolbox ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อประกอบกับการใช้ MATLAB สำหรับงานที่จำเพาะเจาะจงหลายประเภท Toolbox นั้นเป็นการนำเอาโปรแกรมที่เขียนขึ้นเป็นฟังก์ชันสำหรับ MATLAB เพื่อรวมเข้าเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการเรียกใช้มากขึ้น ทำให้ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องสร้างโปรแกรมขึ้นมาใช้งานเอง โดย toolbox ที่สร้างขึ้นจะครอบคลุมการทำงานด้านต่างๆมากมาย เช่น signal processing, control systems, neural networks, fuzzy logic, wavelets, simulation เป็นต้น

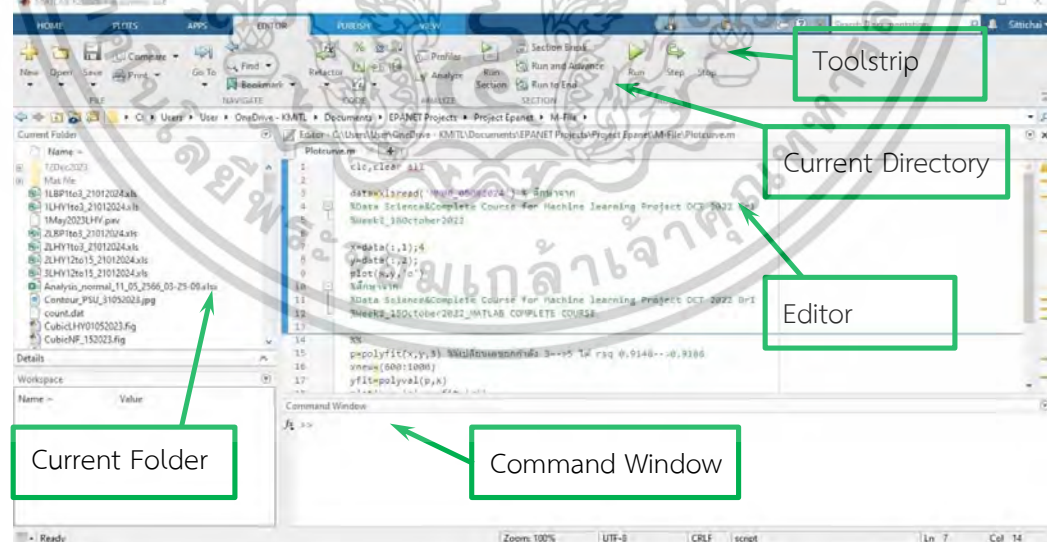
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Communication	Image processing	System identification
Control system	Instrument control	Wavelet
Data acquisition	Mapping	Matlab Compiler
Database	Neural network	Matlab Graphic library
Datafeed	Optimization	Matlab web server
Filter design	Partial Differential equation	Matlab report generator
Financesial	Statistic	Symbolic/Math
Fuzzy logic	Signal processing	Simulink

รูปที่ 2.15 Toolbox ภายในโปรแกรม MATLAB ในการทำงานด้านต่างๆ

สำหรับการทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows เราสามารถที่จะเริ่มการทำงานของ MATLAB ได้โดยการใช้เมาส์กดที่ shortcut ของ MATLAB ซึ่งจะปรากฏอยู่บน desktop หลังจากที่เรารู้ได้ติดตั้งโปรแกรมนี้ลงไปเรียบร้อยแล้ว หรืออาจจะใช้เมาส์กดที่ปุ่ม Start แล้วเลือก MATLAB ภายใต้เมนู Programs เหมือนกับการเปิดโปรแกรมอื่นๆ ใน Windows ก็ได้

เมื่อเราเริ่มเปิดโปรแกรม MATLAB R2022b สิ่งแรกที่เราจะพบในครั้งแรกก็คือ MATLAB desktop ที่ประกอบด้วยหน้าต่างย่อยๆ อีกหลายหน้าต่าง โดยหน้าต่างแต่ละอันนั้นจะทำหน้าที่เป็นเครื่องมือที่จะช่วยเราในการจัดการเกี่ยวกับไฟล์ตัวแปรและอื่นๆเกี่ยวกับการทำงานของ MATLAB โดย MATLAB desktop จะมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.16 หน้าต่างย่อยที่สำคัญภายในโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากจะสรุปโดยรวมแล้วความสามารถหลักของ MATLAB ที่ทำให้เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับการทำงานทางด้านวิศวกรรมด้วยเหตุผลดังนี้ MATLAB เป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลขและรูปภาพซึ่งมีประสิทธิภาพสูง โดยทางบริษัท Math Works ผู้ผลิตได้ให้นิยามว่าเป็น High-Performance Numeric Computation and Visualization Software

- MATLAB จะควบคุมการทำงานด้วยชุดคำสั่งและยังสามารถรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรมได้อีกด้วย
- MATLAB มี function ที่เหมาะสมกับงานทางวิศวกรรมพื้นฐานมากมาย นอกจากนั้นผู้ใช้งานยังสามารถเขียน function ขึ้นมาใหม่โดยสามารถใช้ประโยชน์จากfunction ที่มีอยู่แล้วเพื่อให้เหมาะสมกับงานของผู้ใช้แต่ละกลุ่ม
- ลักษณะการเขียนโปรแกรมใน MATLAB จะใกล้เคียงการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ที่เราคุ้นเคยจึงง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาขั้นสูงเช่น C, FORTRAN หรืออื่นๆ
- MATLAB มีความสามารถในการเขียนกราฟและรูปภาพทั้ง 2 มิติและ 3 มิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- MATLAB สามารถทำ Dynamic Link กับโปรแกรมอื่นๆได้ไม่ว่าจะเป็น Word, Excel หรืออื่นๆ ที่ร่วมทำงานอยู่บน windows

2.2.4 การประยุกต์ใช้ระบบ SCADA

SCADA ย่อมาจาก Supervisory Control and Data Acquisition ซึ่งเป็นระบบเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการควบคุมอัตโนมัติ แสดงสถานะของเครื่องจักรกล เครื่องมือวัดสำหรับตรวจสอบเก็บรวบรวมข้อมูลและบริหารระบบควบคุมของกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม

SCADA ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนรับข้อมูลอินพุต ส่วนส่งข้อมูลเอาต์พุต ส่วนประมวลผล และส่วนสื่อสารระบบ SCADA เป็นระบบที่สามารถเอาสัญญาณจากตัววัดที่อยู่ในรูปของไฟฟ้าหรือพลังงานอื่นๆ มาแปลงอยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล เพื่อใช้ทำประโยชน์ต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้ปฏิบัติงานสั่งการจากระยะไกล และเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์พยากรณ์ข้อมูล คือ Telemetry และ Data acquisition telemetry system เป็นเทคนิคที่ใช้ในการส่งและรับข้อมูลผ่านสื่อกลาง โดยข้อมูลนั้นสามารถวัดได้ เช่น คุณภาพน้ำ คุณภาพไฟฟ้า แรงดันน้ำ หรือ อัตราการไหล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปอีกสถานที่หนึ่งโดยผ่านสื่อกลางต่าง ๆ เช่น สายไฟเบอร์ออปติก หรือ เครือข่ายสัญญาณซิม ข้อมูลจากหลาย ๆ สถานที่จะถูกนำมารวมกันในระบบ SCADA เป็นวิธีการที่จะเข้าถึงและควบคุมข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือถูกตรวจสอบอยู่ โดยที่ข้อมูลที่ได้อาจจะถูกส่งไปเก็บรวบรวม วิเคราะห์ ข้อมูลจริงในงานทางด้านวิศวกรรมและ ประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์ โดยมีความแตกต่างจากงานระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปตรงที่มี Hardware พิเศษเพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพทางวิทยาศาสตร์ อาทิเช่น คุณภาพทางไฟฟ้า แรงดันน้ำ อัตราการไหล คุณภาพน้ำ เป็นต้น แปลงเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เป็นรูปแบบในลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้า เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่าน Software ประยุกต์ที่พัฒนาตามคุณลักษณะของงานนั้น ๆ ในลักษณะเวลาจริง (Real time) ซึ่งในอดีตมักใช้เป็นระบบเฉพาะเจาะจงลงไปตามประเภทงาน ไม่สามารถใช้งาน ร่วมกับงานวิจัยอื่นได้ ทั้งยังมีราคาที่สูงมาก ทว่าด้วยความสามารถของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน ประกอบกับการใช้งานที่ง่ายขึ้นของ Software ระบบปฏิบัติการในลักษณะที่เป็นวินโดว์หรือกราฟฟิก ทำให้การประยุกต์เพื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานด้าน Data acquisition นี้มีความเป็นไปได้โดยไม่ยุ่งยาก และให้ความครอง

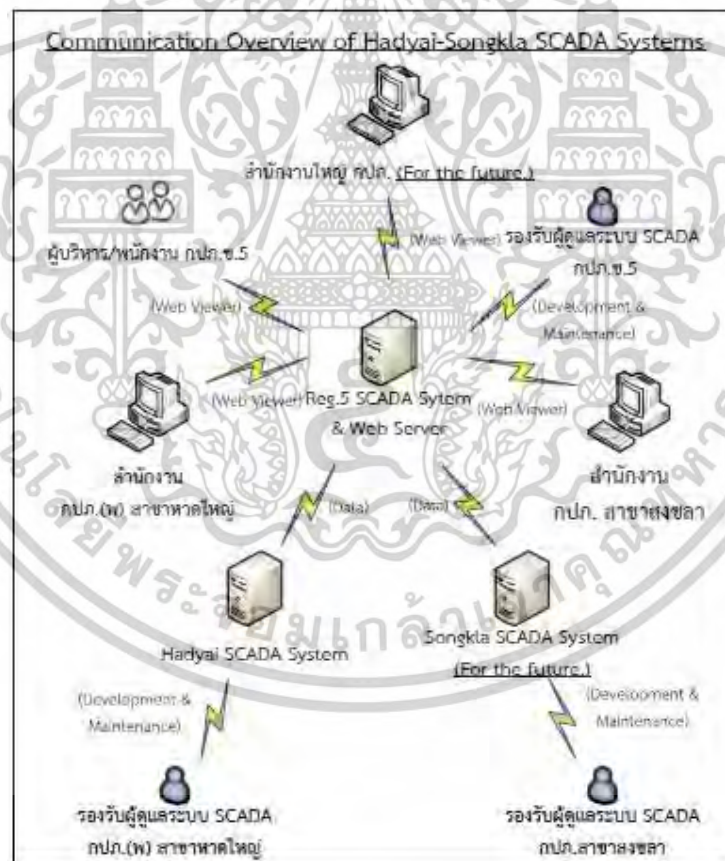
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกับนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัยทดลองและวิศวกร เพื่อพัฒนาระบบงานดังกล่าวได้เองจาก Hardware และ Software งานด้าน Data acquisition ที่มีให้เลือกมากมายหลากหลายผู้ผลิตและสามารถใช้งานร่วมกันได้โดยส่วนใหญ่ทำให้ราคากระป๋องโดยรวมมีราคาไม่สูง และให้ประสิทธิผลในการพัฒนาประเทศเชิงเทคโนโลยีได้ดีกว่า

2.2.4.1 องค์ประกอบของระบบ SCADA

- 1) ส่วนรับข้อมูลอินพุต
- 2) ส่วนส่งข้อมูลเอาต์พุต
- 3) ส่วนประมวลผล
- 4) ส่วนสื่อสารระบบ SCADA

ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตน้ำประปาภายในโรงผลิตน้ำประปาเป็นระยะทางไกลได้โดย หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของผู้ใช้ระดับบนเป็นเครื่องมือปฏิบัติการของผู้ใช้สำหรับตรวจสอบ และควบคุม กระบวนการผลิตเชื่อมต่อกับหน่วยควบคุมระยะไกล หน่วยควบคุมระยะไกลติดต่อกับหน่วยติดต่อระยะไกลโดยการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และหน่วยติดต่อระยะไกลเป็นเครื่องมือเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิต ประกอบด้วย หน่วยรับสัญญาณ และส่งสัญญาณของสัญญาณชนิดอนาล็อกและสัญญาณชนิดดิจิทัล



รูปที่ 2.17 องค์ประกอบของระบบ SCADA

ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตน้ำประปาภายในโรงผลิตน้ำประปาเป็นระยะทางไกลได้โดย หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของผู้ใช้ระดับบนเป็นเครื่องมือปฏิบัติการของผู้ใช้

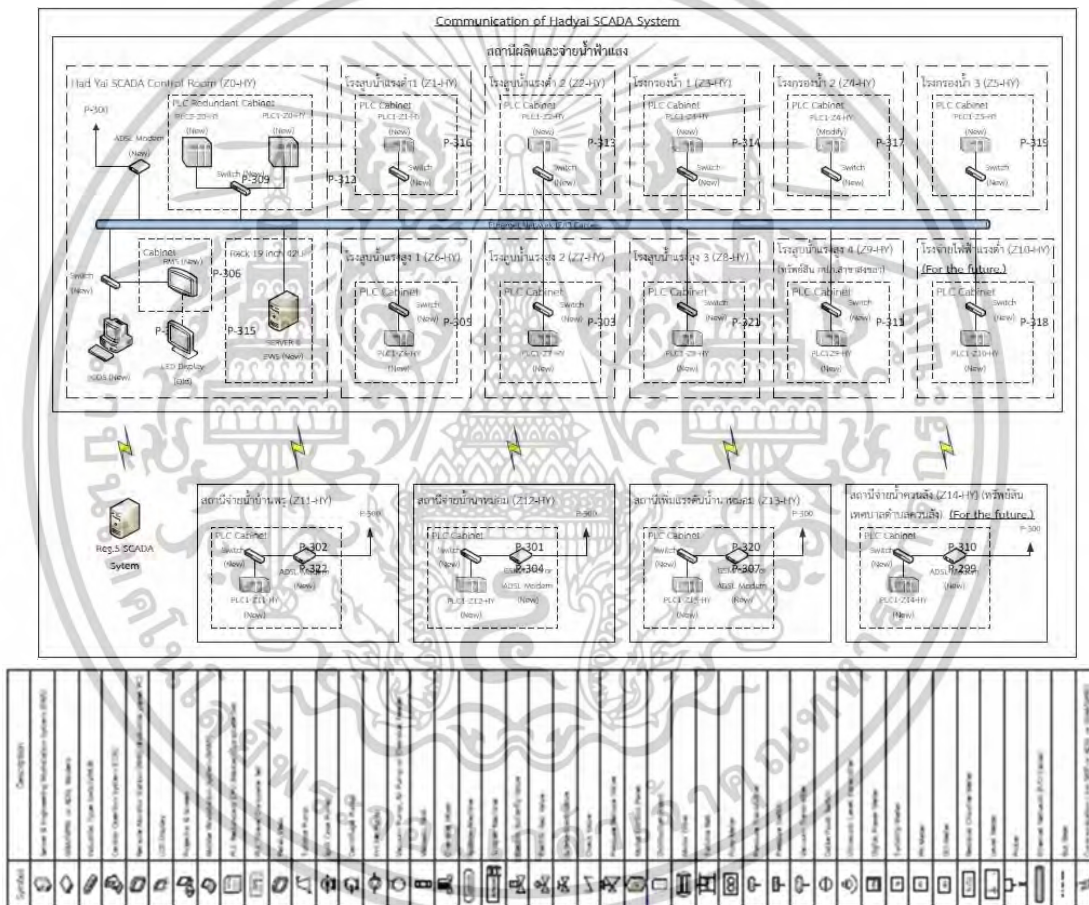
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตรวจสอบ และควบคุม กระบวนการผลิตเชื่อมต่อกับหน่วยควบคุมระยะไกล หน่วยควบคุมระยะไกลติดต่อกับหน่วยติดต่อระยะไกลโดยการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และหน่วยติดต่อระยะไกลเป็นเครื่องมือเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิต ประกอบด้วย หน่วยรับสัญญาณ และส่งสัญญาณของสัญญาณชนิดอนาล็อกและสัญญาณชนิดดิจิทัล

2.2.4.2 SCADA เหมาะสมกับงานประเภทใด

- 1) การตรวจสอบ
- 2) การเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิต
- 3) การบริหารระบบควบคุมของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่บริเวณ

กระบวนการผลิตครอบคลุมพื้นที่กว้าง หรือโรงงานอุตสาหกรรมมีกระบวนการผลิตอิสระติดตั้งกระจัดกระจายทั่วบริเวณพื้นที่การผลิต รวมถึงระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ



รูปที่ 2.18 การติดตั้ง SCADA ตรวจสอบเก็บรวบรวมข้อมูลและบริหารระบบควบคุม

2.2.4.3 ส่วนประกอบของ SCADA

1) Field Instrumentation เป็นเครื่องมือ หรือเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือถูกตรวจสอบ อุปกรณ์ นี้จะเปลี่ยน Physical Parameter เช่น Fluid Flow, Velocity, Fluid Level ให้เป็น Electrical Signal เช่น Voltage หรือ Current ซึ่งสามารถอ่านค่าเหล่านี้ได้โดย Remote Station Equipment ผลลัพธ์ที่ได้เป็นได้ ทั้ง Analog และ Digital

2) Remote Station เป็นส่วนที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่งไปยังศูนย์กลางระบบ SCADA ซึ่ง อาจจะเป็น Remote Terminal Unit (RTU) หรือ Programmable Logic Controller (PLC) ก็ได้ RTU คือ อุปกรณ์ใช้ในการตรวจจับสัญญาณจาก Field Sensor แล้วส่งสัญญาณข้อมูลให้ Controller ควบคุมอุปกรณ์ Remote Station แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1) Single Board มี Input และ Output เป็น Fixed Number จะมีราคาถูกแต่ไม่สามารถรองรับการขยายของระบบสมัยใหม่ได้

2.2) Modular Board เป็น Board สามารถรองรับการขยาย Remote Station ได้ แต่ราคาค่อนข้างแพง Communication Network เป็นการส่งข้อมูลดิจิทัลระหว่างสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่หนึ่ง โดยผ่านตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เช่น สายไฟเบอร์ออฟติก คลื่นสัญญาณซิม

3) Central Monitoring Station (CMS) เป็นศูนย์กลางของระบบ SCADA โดยรับข้อมูลมาประมวลผลและทำการแสดงกระบวนการบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ และ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์จะต้องทำงานแบบ Multitasking ได้ดังต่อไปนี้

- 1) สื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ
- 2) แสดงค่าที่อ่านได้บนจอภาพ
- 3) เก็บบันทึกข้อมูลระยะยาวบนหน่วยความจำ
- 4) ตรวจสอบสัญญาณเตือนและแสดงสัญญาณเตือน
- 5) คำนวณค่า เก็บบันทึก และการควบคุม
- 6) พิมพ์รายงานผลการปฏิบัติงานบนจอภาพ
- 7) ตอบรับข้อมูลที่ป้อนผ่านแป้นพิมพ์

2.2.4.4 ลักษณะพิเศษของ SCADA

ลักษณะพิเศษของระบบ SCADA ที่ต่างจากระบบควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์อื่น คือ ระบบ SCADA มีอุปกรณ์ปลายทางที่ถูกควบคุมจะอยู่ในตำแหน่งที่ห่างไกลจากศูนย์กลางระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีผู้สั่งการ โดยการส่งสัญญาณควบคุมจะถูกส่งผ่านสื่ออื่นเป็นตัวกลาง เช่น สายไฟเบอร์ออฟติก หรือ ระบบสื่อสารดาวเทียม ฐานข้อมูลของ SCADA

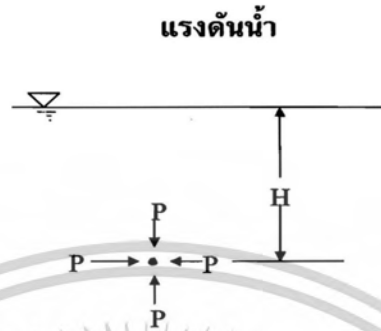
- 1) Realtime database servers

เป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้จัดการและเก็บค่าของกระบวนการ ณ เวลาปัจจุบัน ในขณะใด ๆ ค่า Realtime จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ค่าของกระบวนการจะถูกตรวจจับ (Monitor & Scan) โดย RTU (Remote Termination Unit) จากนั้น ข้อมูลค่า Realtime จะถูกประมวลนำมาแสดงผลบน HMI (Human-Machine Interface) เพื่อให้โอเปอเรเตอร์ รู้ถึงสภาพของกระบวนการ ณ ขณะนั้น ๆ ค่า Realtime ทุก ๆ ค่าจะถูก Update ตามเวลาที่ต้องการ

2) เป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้จัดการและจัดเก็บค่า Historical Data ของ กระบวนการ เพื่อใช้ในการ Trending Logging, Statistic และ Report ตัวอย่างของฐานข้อมูลชนิดนี้ คือ XIS (Extended Information System) ซึ่งถูกสร้างโดยใช้ Sybase Relational Database Management System (RDBMS) ที่เป็นมาตรฐาน

2.3 แรงดันน้ำและอัตราการไหลในระบบจำหน่ายน้ำประปา

แรงดันน้ำ ณ จุดใดๆ ในความลึก H จะมีค่าเท่ากันในทุกทิศทาง และมีค่าเท่ากับผลคูณของน้ำหนักจำเพาะของน้ำกับความลึก (ความสูง) ของน้ำ ณ จุดนั้น ดังรูปที่ 6



รูปที่ 2.19 แสดงภาพระดับแรงดันน้ำ ณ จุดใดๆ

P = แรงดัน (หน่วย กก./ซม.², ปอนด์/นิ้ว²)

H = ความลึก (ความสูง) ของน้ำ

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ = 1 กรัม/ซม.³, 1000 กก./ม.³, 62.4 ปอนด์/ฟุต³

$$P = \gamma H$$

$$P = 1,000 \frac{\text{กก.}}{\text{ม.}^3} \times H(\text{เมตร})$$

ถ้า น้ำลึก (สูง) = 10 เมตร จะได้

$$P = 1,000 \frac{\text{กก.}}{\text{ม.}^3} \times 10(\text{ม.}) = 10,000 \frac{\text{กก.}}{\text{ม.}^2} = \frac{10,000 \text{ กก.}}{100 \times 100 \text{ ซม.}^2} = 1 \text{ กก. / ซม.}^2$$

(2.21)

2.4 การสูญเสียหัวน้ำของท่อ

ตารางที่ 2.3 การสูญเสียหัวน้ำ (Head Loss) ของท่อเหล็ก

ขนาดท่อ (Φ) มม.	อัตราการไหล (Q) ลบ.ม./ชม.	Head Loss ม./100 ม.	ความเร็วของน้ำ (V) ม./วินาที
100	21.5	1.00	0.76
150	62.5	1.00	0.98
200	133.0	1.00	1.18
250	240.0	1.00	1.36
300	387.0	1.00	1.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การสูญเสียหัวน้ำของท่อ PB, PVC, และ HDPE

ขนาดท่อ (Φ) มม. มม.	อัตราการไหล (Q) ลบ.ม./ชม.	Head Loss ม./100 ม.	ความเร็วของน้ำ (V) ม./วินาที
50	4.4	1.00	0.62
100	27.5	1.00	0.97
150	80.0	1.00	1.26
200	170.0	1.00	1.50
250	306.0	1.00	1.73
300	493.0	1.00	1.94
400	1,050.0	1.00	2.32

ตารางที่ 2.5 ขนาดมาตรฐานวัดน้ำและอัตราการไหล

ขนาดมาตรฐาน	มม.	13	20	25	40	50	65	80	100	150	200	250	300
วัดน้ำ	นิ้ว	1	3	1	1	2	1	3	4	6	8	10	12
		2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
อัตราการไหล	ลบ.ม./ชม.	1	2	4	11	17	28	45	75	180	320	500	720
ความเร็วของน้ำ	ม./วินาที	2.0	1.7	2.2	2.4	2.4	2.3	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8
		9	9	6	3	0	8	9	5	3	3	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ขนาดมาตรวัดน้ำและอัตราการไหลในแต่ละย่านความเร็วน้ำ

DN		0.1 m/s	0.2 m/s	0.5 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s
mm	inch	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
6	-	0.010	0.02	0.05	0.51	1.02	1.53
8	-	0.018	0.04	0.09	0.90	1.81	2.7
10	3/8"	0.03	0.06	0.14	1.41	2.8	4.2
15	1/2"	0.06	0.13	0.32	3.2	6.4	9.5
20	3/4"	0.11	0.23	0.57	5.7	11.3	17.0
25	1"	0.18	0.35	0.88	8.8	17.7	27
32	1"1/2	0.29	0.58	1.45	14.5	29	43
40	1"1/4	0.45	0.90	2.3	23	45	68
50	2"	0.71	1.41	3.5	35	71	106
65	2"1/2	1.19	2.4	6.0	60	119	179
80	3"	1.81	3.6	9.0	90	181	271
100	4"	2.8	5.7	14.1	141	283	424
125	5"	4.4	8.8	22	221	442	663
150	6"	6.4	12.7	32	318	636	954
200	8"	11.3	23	57	565	1,131	1,696
250	10"	17.7	35	88	884	1,767	2,651
350	12"	35	69	173	1,732	3,464	5,195
400	14"	45	90	226	2,262	4,524	6,789
450	18"	57	115	286	2,863	5,726	8,588
500	20"	71	141	353	3,534	7,069	10,603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ขนาดมาตรฐานวัดน้ำและอัตราการไหลในแต่ละย่านความเร็วน้ำ (ต่อ)

DN		0.1 m/s	0.2 m/s	0.5 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s
mm	inch	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
550	22"	86	171	428	4,276	8,553	12,829
600	24"	102	204	509	5,089	10,179	15,268
700	28"	139	277	693	6,927	13,854	20,782
800	32"	181	362	905	9,048	18,096	27,143
900	36"	229	458	1,145	11,451	22,902	34,353
1000	40"	283	565	1,414	14,137	28,274	42,411
1100	44"	342	684	1,711	17,106	34,212	51,318
1200	48"	407	814	2,036	20,358	40,715	61,073
1400	56"	554	1,108	2,771	27,709	55,418	83,126
1600	64"	724	1,448	3,619	36,191	72,382	108,573
1800	72"	916	1,832	4,580	45,804	91,609	137,413
2000	80"	1,131	2,262	5,655	56,549	113,097	169,646

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ขนาดมาตรฐานวัดน้ำและอัตราการไหลในแต่ละย่านความเร็วน้ำ (ต่อ)

DN		20 m/s	25 m/s	30 m/s	40 m/s	60 m/s	80 m/s
mm	inch	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
6	-	2.0	2.5	3.1	4.1	6.1	8.1
8	-	3.6	4.5	5.4	7.2	10.9	14.5
10	3/8"	5.7	7.1	8.5	11.3	17.0	23
15	1/2"	12.7	15.9	19.1	25	38	51
20	3/4"	23	28	34	45	68	90
25	1"	35	44	53	71	106	141
32	1"1/2	58	72	87	116	174	232
40	1"1/4	90	113	136	181	271	362
50	2"	141	177	212	283	424	565
65	2"1/2	239	299	358	478	717	956
80	3"	362	452	543	714	1,086	1,448
100	4"	565	707	848	1,131	1,696	2,262
125	5"	884	1,104	1,325	1,767	2,651	3,534
150	6"	1,272	1,590	1,909	2,545	3,817	5,089
200	8"	2,262	2,827	3,393	4,524	6,786	9,048
250	10"	3,534	4,418	5,301	7,069	10,603	14,137
350	12"	6,927	8,659	10,391	13,854	20,782	27,709
400	14"	9,048	11,310	13,572	18,096	27,143	36,191
450	18"	11,451	14,314	17,177	22,902	34,353	45,804
500	20"	14,137	17,671	21,206	28,274	42,411	56,549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ขนาดมาตรฐานวัดน้ำและอัตราการไหลในแต่ละย่านความเร็วน้ำ (ต่อ)

DN		20 m/s	25 m/s	30 m/s	40 m/s	60 m/s	80 m/s
mm	inch	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
550	22"	17,106	21,382	25,659	34,212	51,318	68,424
600	24"	20,358	25,447	30,536	40,715	61,073	81,430
700	28"	27,709	34,636	41,563	55,418	83,126	110,835
800	32"	36,191	45,239	54,287	72,382	108,573	144,764
900	36"	45,804	57,255	68,707	91,609	137,413	183,218
1000	40"	56,549	70,686	84,823	113,097	169,646	226,194
1100	44"	68,424	85,530	102,636	136,848	205,271	273,695
1200	48"	81,430	101,788	122,145	162,860	244,290	325,720
1400	56"	110,835	138,544	166,253	221,671	332,506	443,341
1600	64"	144,764	180,956	217,147	289,529	434,293	579,058
1800	72"	183,218	229,022	274,826	366,435	549,653	732,870
2000	80"	226,194	282,743	339,292	452,389	678,583	904,778

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ขนาดมาตรวัดน้ำและอัตราการไหลในแต่ละย่านความเร็วน้ำ (ต่อ)

DN		100 m/s	120 m/s	150 m/s
mm	inch	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
6	-	10.2	12.2	15.3
8	-	18.1	22	27
10	3/8"	28	34	42
15	1/2"	64	76	95
20	3/4"	113	136	170
25	1"	177	212	265
32	1"1/2	290	347	434
40	1"1/4	452	543	679
50	2"	707	848	1,060
65	2"1/2	1,195	1,434	1,792
80	3"	1,810	2,171	2,714
100	4"	2,827	3,393	4,241
125	5"	4,418	5,301	6,627
150	6"	6,362	7,634	9,543
200	8"	11,310	13,572	16,965
250	10"	17,671	21,206	26,507
350	12"	34,636	41,563	51,954
400	14"	45,239	54,287	67,858
450	18"	57,255	68,707	85,883
500	20"	70,686	84,823	106,029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ขนาดมาตรฐานวัดน้ำและอัตราการไหลในแต่ละย่านความเร็วน้ำ (ต่อ)

DN		100 m/s	120 m/s	150 m/s
mm	inch	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
550	22"	85,530	102,636	128,295
600	24"	101,788	122,145	152,681
700	28"	138,544	166,253	207,816
800	32"	180,956	217,147	271,433
900	36"	229,022	274,826	343,533
1000	40"	282,743	339,292	424,115
1100	44"	342,119	410,543	513,179
1200	48"	407,150	488,580	610,725
1400	56"	554,176	665,012	831,265
1600	64"	723,822	868,587	1,085,734
1800	72"	916,088	1,099,305	1,374,131
2000	80"	1,130,972	1,357,167	1,696,459

2.5 ปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Awe, O. M., Okolie, S. T. A. and Fayomi, O. S. I. (2563) เป็นการศึกษาวิเคราะห์และ การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายน้ำประปา ในเขตที่อยู่อาศัยของโครงการบ้านจัดสรรคูรุคู ใน กรุงอาบูจา ประเทศไนจีเรีย เพื่อวิเคราะห์อัตราการไหล ความเร็ว และการสูญเสียเฮด สำหรับระบบ จำหน่ายน้ำประปา (WDS) โดยใช้โปรแกรม EPANET และใช้โปรแกรม LINDO สำหรับการเพิ่ม ประสิทธิภาพระบบจำหน่ายน้ำประปา จากกรณีศึกษาโครงการบ้านจัดสรรคูรุคู เมืองอาบูจา ประเทศ ไนจีเรีย ได้ทำการวิเคราะห์กรณีศึกษาระบบจำหน่ายน้ำประปา และปรับระบบให้เหมาะสมโดยใช้ โปรแกรม LINDO (Linear Interactive and Discrete Optimization) จำลองการใช้งานแบบ 24 ชั่วโมง ด้วยขนาดท่อเมนหลัก 400 มิลลิเมตร ระบบจำหน่ายขนาดท่อ 32 มิลลิเมตร มีจำนวน ประมาณ 6.6 % และคิดขนาดท่อน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร คิดเป็น 56.4 % ของจำนวนท่อทั้งหมด ผลการศึกษาโดยรวมพบว่า ค่าความสูงของอ่างกักเก็บน้ำ (ถังสูง) ที่เหมาะสมคือ 25 เมตร ในขณะที่ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เหมาะสมถูกกำหนดไว้ที่ 300 มิลลิเมตร จะส่งผลให้ต้นทุนรวมในการติดตั้ง ใช้งาน และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายน้ำประปาลดลงอยู่ที่ 30 % เป็นผลลัพธ์สุดท้ายจากการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ยอมรับในส่วนต้นทุนและการเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบระบบไฮดรอลิก (ข้อเสนอแนะ ยังไม่บ่งชี้ประเด็นการจำลองตำแหน่งของประตูน้ำ การห้ประตูน้ำ และการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำของถัง กักเก็บน้ำหรือถังสูง เพื่อลดการสูญเสียและการขาดแคลนน้ำในระบบจำหน่ายน้ำประปา การสร้างแบบจำลองและการเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบควรเน้นไปที่การปรับค่าแรงดันได้ตามความต้องการของผู้ใช้น้ำแทนที่การออกแบบแรงดันคงที่ตามระดับถังกักเก็บน้ำ ซึ่งโดยปกติระดับน้ำประปาในถังสูงไม่สามารถเลี้ยงแรงดันให้คงที่ได้อย่างต่อเนื่อง)

Coelho, B. and Andrade-Campos, A. (2557) งานวิจัยทบทวนประสิทธิภาพในระบบการจำหน่ายน้ำประปาและงานวิจัยศึกษามาตรการที่มี และไม่มีการลงทุน เพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานโดยใช้กลยุทธ์การจำลองไฮดรอลิก และการวิเคราะห์หาความเหมาะสมในระบบจำหน่ายน้ำประปา เช่น การทำนายความต้องการใช้น้ำประปา ข้อดีของแบบจำลอง Fuzzy Logic หรือโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งงานวิจัยเสนอให้ใช้วิธีการสกัดข้อมูล (Data mining) หรือการเรียนรู้อัตโนมัติจากตัวข้อมูล (Automated Learn from of the Data) ในที่สุดสรุปว่าการใช้แบบจำลองพยากรณ์หลายโมเดลช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้แบบจำลองทำนายเพียงโมเดลเดียว

การออกแบบเครือข่ายการทำงานของเครื่องสูบน้ำและงานวิจัยโดยส่วนใหญ่ศึกษารูปแบบตารางเวลาการเดินเครื่องสูบน้ำส่งขึ้นถังสูงเพื่อกักเก็บน้ำประปาและจ่ายน้ำประปาลงมาตามแรงโน้มถ่วง และเน้นการทำงานในช่วงประหยัดพลังงานตามอัตราค่าไฟฟ้า TOU หรือ อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff) การทำงานแบบเรียลไทม์เข้ามาอยู่ในรูปแบบการควบคุมผ่านระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ (Supervisory Control and Data Acquisition: SCADA) และการผลิตพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากงานวิจัยมีความสนใจในความยั่งยืนของโลกที่กำลังเติบโตอย่างต่อเนื่อง จึงมีแนวคิดของเครื่องมือช่วยเครือข่ายน้ำอัจฉริยะหรือ สมาร์ทกริด สำหรับน้ำประปาเป็นตลาดเกิดใหม่ที่มีคล้ายคลึง และขนานไปกับโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ในปัจจุบันโซลูชันการจัดการเครือข่ายน้ำอัจฉริยะจะเติบโตได้เร็วกว่ามิเตอร์วัดน้ำอัจฉริยะ ซึ่งหลักการจะสอดคล้องกับการลดน้ำสูญเสียซึ่งเป็นการบูรณาการระบบอัตโนมัติของเครือข่ายและการทำงานแบบเรียลไทม์

BAI Dan, et al. (2550) วิธีการออกแบบที่ดีที่สุดสำหรับระบบเครือข่ายจ่ายน้ำแบบวงปิด โดยใช้การจำลองและวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบใหม่เพื่อออกแบบเครือข่ายท่อที่ประหยัดที่สุด ในขณะที่ยังคงความสามารถในการให้บริการที่สอดคล้องกับความต้องการน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ ของเครือข่าย งานวิจัยนี้ยังเน้นถึงความสำคัญของการควบคุมความเร็วของการไหลในท่อ ซึ่งมีผลต่อการลดปัญหาการกัดเซาะและการตกตะกอนในระบบน้ำ การปรับขนาดท่ออย่างเหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายน้ำโดยรวม

Conejos, M. P., Alzamora, F. M. and Alonso, J. C. (2560) สร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายน้ำประปาเพื่อจำลองสถานการณ์วิกฤติโดยพิจารณาทั้งการรั่วไหลและแรงดันที่ต้องการ อ้างถึงพฤติกรรมของผู้ใช้น้ำ 2 รูปแบบ คือ แบบตามความต้องการใช้น้ำ และแบบคงที่ โดยที่ทั้ง 2 แบบสามารถเกิดขึ้นได้ในเวลาที่ไม่แน่นอน ประกอบกับการควบคุมแรงดัน อัตราการไหล อัตราการรั่วไหลกรณีท่อระบบจำหน่ายน้ำประปาแตก หรือเผชิญสภาวะภัยแล้งตามฤดูกาล ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนการเพิ่มลดแรงดันน้ำประปาจะส่งผลต่อปริมาณน้ำอย่างไร นอกจากนี้พิจารณาใช้แบบจำลองแบบบูรณาการโดยพิจารณาการรั่วไหล และในทางปฏิบัติการจำหน่ายน้ำประปาตามความต้องการใช้น้ำขึ้นอยู่กับแรงดันตามช่วงเวลา การจำลองโดยใช้โปรแกรม EPANET ซึ่งได้จำลองการเปลี่ยนแปลงแรงดันในเมืองบาเลนเซีย ประเทศสเปน ที่มีเครือข่ายท่อจำหน่ายน้ำประปาระยะทางยาวถึง 1,200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลเมตร จ่ายน้ำประปาให้กับประชากร 1,500,000 ราย ทดลองใช้งาน 3 เดือน ซึ่งมีการปรับเพิ่มแรงดันจาก 32 เมตรมาเป็น 40 เมตรน้ำ การเพิ่มแรงดันที่คาดการณ์จากสมการคณิตศาสตร์ตามที่จำลองโดยโปรแกรม EPANET ซึ่งเป็นลักษณะการกำหนดให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ทำงานคงที่ได้แรงดันหน้าเครื่องสูบน้ำ 4.0 บาร์ตลอดช่วงการทดลอง ผลจากการวิจัยเมื่อแรงดันในระบบจำหน่ายเพิ่มจาก 32 เมตรมาเป็น 38 เมตร สัดส่วนปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 7 % และเมื่อเพิ่มแรงดันจาก 32 เมตรมาเป็น 39 เมตร สัดส่วนปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นเป็น 11 % ซึ่งแสดงถึงแรงดันมีนัยสำคัญต่อสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำ

Ioab Sarbu (2559) การใช้พลังงานของระบบจำหน่ายน้ำประปาในชุมชนเมืองประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ไฟฟ้าทั่วโลกสำหรับการสูบน้ำในระบบน้ำประปา ในขณะที่ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ไฟฟ้าในระบบประปาถูกใช้ไปกับภาระของมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ งานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบจำหน่ายน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบภายในชุมชนเมืองโดยสูบน้ำขึ้นถึงสูงก็เก็บน้ำควบคุมการทำงานด้วย VSD ด้วยวิธีการทำงานตามระดับน้ำในถังก็เก็บน้ำโดยกำหนดระยะขั้นต่ำและขั้นสูงของระดับน้ำในถัง แล้วให้เครื่องสูบน้ำทำความเร็วรอบหมุนแปรผกผันกับระดับน้ำในถังสูง ซึ่งจะทำให้เครื่องสูบน้ำหมุนรอบการทำงานที่แตกต่างกันไปตามความต้องการของน้ำในถังเก็บน้ำประปาที่ไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วง ซึ่งวางตัวถังเก็บน้ำประปาใกล้ตรงกลางของเครือข่ายระบบจำหน่ายน้ำประปา นอกจากนี้ยังมีแนวทางที่แตกต่างกันสำหรับการวิเคราะห์ไฮดรอลิกของระบบจำหน่ายน้ำประปา และการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของถังเก็บน้ำแบบสูบขึ้นถึงสูง ผลที่ได้จากการทดลองจริงแสดงให้เห็นถึงการประหยัดต้นทุนการดำเนินงานที่มีศักยภาพสูง นำไปสู่การประหยัดพลังงาน 8-20 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาด้วยปริมาณการปรับค่าการจ่ายคลอรีน ทำให้ปริมาณคลอรีนถูกใช้ได้อย่างเหมาะสม โดยทั่วไปต้นทุนพลังงานลดลงเนื่องจากการตั้งเวลาเดินเครื่องสูบน้ำในช่วงอัตราค่าไฟฟ้า TOU หรือ อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff) และปรับขนาดถังน้ำประปาเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยยกระดับการเปลี่ยนแปลงของน้ำประปาภายในถังสำหรับระบบจำหน่ายน้ำประปา

ข้อดีของการสูบขึ้นถึงสูงที่อยู่ตรงใจกลางของระบบจำหน่ายน้ำประปา ทำให้ได้แรงดันสม่ำเสมอมากขึ้น หลีกเลี่ยงการทำให้แรงดันสูงเกินจริง อย่างไรก็ตามกรณีเกิดแรงดันต่ำบางแห่งจะปรากฏในโหมดเริ่มต้นที่อยู่ใกล้ที่ตั้งของเครื่องสูบน้ำ ข้อบกพร่องนี้สามารถแก้ไขได้โดยการเชื่อมต่อเครื่องสูบน้ำโดยตรงกับท่อจำหน่ายน้ำ

Sanz, G. and Pérez, R. (2557) ศึกษาการปรับเทียบรูปแบบความต้องการในการใช้น้ำในเครือข่ายจำหน่ายน้ำประปา มีการเสนอวิธี SVD (Singular Value Decomposition) ความถูกต้องของข้อมูลอินพุตเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งชี้ได้ว่าค่าประมาณมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองแบบ Monte Carlo ซึ่งเป็นแนวทางวิธีการ Optimization สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความอ่อนไหว แต่ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่การดำเนินงานเชิงปริมาณสำหรับการจำหน่ายน้ำประปามีความไม่แน่นอนจึงมีการใช้วิธีการจำลองแบบ FOSM (First-Order Second-Moment) ตามทฤษฎีการถดถอยเชิงเส้นมาช่วยการแก้ปัญหา เนื่องจากข้อจำกัดมิเตอร์วัดเซ็นเซอร์ที่มีอยู่น้อยจึงหาวิธีการเพิ่มข้อมูลภายนอก ซึ่งหมายถึงข้อมูลบันทึกจากการเรียกเก็บเงินบิล มาช่วยเสริมข้อจำกัดนี้ ส่วนข้อมูลภายในหมายถึงเซ็นเซอร์ภายในเครือข่ายระบบจำหน่ายน้ำประปาที่ติดตั้ง นำข้อมูลทั้งสองมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการสอบเทียบรูปแบบอุปสงค์หลายตัวอย่างกับเครือข่ายจริง ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดผลลัพธ์ที่ยอมรับได้โดยพิจารณาจากความไม่แน่นอนที่มีอยู่ และโทโพโลยีแบบตาข่ายของเครือข่ายขนาดใหญ่ที่มีอุปสงค์รูปแบบผสม หมายรวมถึงพฤติกรรมการเปิดก๊อกน้ำของผู้ใช้น้ำ ท่อน้ำหลักที่รั่ว หรือระบบสูบล้างสายเปิด

Howell, S., Rezgui, Y. and Beach, T. (2560) งานวิจัยมุ่งเน้นการผสมผสานข้อมูลทางกายภาพของอาคารและเมือง เพื่อส่งเสริมโซลูชันน้ำอัจฉริยะ โดยใช้ Building Information Modeling (BIM) และข้อมูลจากโครงสร้างพื้นฐานเมือง เพื่อพัฒนาการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนในสภาพแวดล้อมเมือง งานนี้เน้นการลดการสูญเสียและปรับปรุงการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบอัจฉริยะที่พัฒนานี้สามารถปรับตัวให้เข้ากับความต้องการใช้น้ำและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้

D. Kang (2557) ได้อธิบายถึงการควบคุมระบบการกระจายน้ำแบบเรียลไทม์ โดยมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบ สร้างความท้าทายในการควบคุมระบบการกระจายน้ำ เช่น ความผันแปรของความต้องการใช้น้ำ การรั่วไหลของท่อ และการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศตามแนวคิดการควบคุมแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อปรับปรุงการควบคุมระบบการกระจายน้ำให้มีประสิทธิภาพ และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ได้เน้นย้ำถึงการใช้อย่างจำลองคอมพิวเตอร์ ในการจำลองระบบการกระจายน้ำ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลของการควบคุมแบบต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้จริง โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และควบคุมระบบการกระจายน้ำ แบบเรียลไทม์ ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การควบคุมระบบจ่ายน้ำแบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้แบบจำลองการควบคุมที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ระบบปั๊มน้ำทำงานได้ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ความต้องการน้ำและการใช้พลังงาน การวิจัยนี้ช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบจ่ายน้ำผ่านการปรับการทำงานของปั๊มแบบเรียลไทม์ โดยอาศัยข้อมูลจากระบบ SCADA และการพยากรณ์ความต้องการน้ำ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบนี้ช่วยประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Markus I. Sunela and Raido Puust (2560) ได้นำเสนอกรอบการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจ่ายน้ำแบบเรียลไทม์โดยมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนโดยรวม ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนทั้งด้านพลังงานและสารเคมีได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้ใช้ระบบการปรับแต่งที่ใช้ปั๊มที่ควบคุมความเร็วได้ โดยใช้กรอบการเพิ่มประสิทธิภาพที่เรียกว่า Modified Hybrid Discrete Dynamically Dimensioned Search (MHD-DDS) ผลการทดลองในระบบจ่ายน้ำที่ Tampere พบว่าช่วยลดต้นทุนได้ถึง 20% พร้อมรักษาคุณภาพการบริการที่ดียิ่งขึ้น ได้เน้นย้ำถึงการใช้อย่างจำลองคอมพิวเตอร์ ในการจำลองระบบการผลิตและการกระจายน้ำ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลของการควบคุมแบบต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้จริง ความสำคัญของการลดต้นทุนโดยรวมของระบบ โดยพิจารณาจากต้นทุนการผลิตน้ำ ต้นทุนการกระจายน้ำ และต้นทุนการบำรุงรักษา

Markus I. Sunela (2560) มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมแบบเรียลไทม์ของระบบจ่ายน้ำที่มีถังเก็บน้ำ โดยงานนี้ได้นำเสนอกรอบการทำงานที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการปั๊มน้ำและการกระจายน้ำ เพื่อปรับลดต้นทุนในการผลิตและจัดการน้ำผ่านการควบคุมปั๊มและการจัดเก็บน้ำอย่างเหมาะสม ผลการทดลองในระบบจ่ายน้ำของเมือง Tampere แสดงให้เห็นว่าสามารถลดต้นทุนในการผลิตและการจัดจ่ายน้ำได้ถึง 20% โดยยังคงคุณภาพการให้บริการในระดับที่ดีกว่าเดิม สร้างความท้าทายในการควบคุมระบบน้ำที่มีแหล่งกักเก็บ: บทความนี้ได้กล่าวถึงความท้าทายในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมระบบการกระจายน้ำที่มีแหล่งกักเก็บ เช่น ความผันแปรของความต้องการใช้น้ำ การรั่วไหลของท่อ และการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และได้อธิบายถึงแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อปรับปรุงการควบคุมระบบการผลิตและการกระจายน้ำ ให้มีประสิทธิภาพ และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งเน้นย้ำถึงการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ ในการจำลองระบบการผลิตและการกระจายน้ำที่มีแหล่งกักเก็บ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลของการควบคุมแบบต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้จริง

Marques, J., Cunha, M. and Savić, D. A. (2557) ศึกษาการสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการออกแบบเครือข่ายจำหน่ายน้ำประปาที่เหมาะสมด้วยวิธีการทางเลือกที่แท้จริง สำหรับการตัดสินใจโดยวิธี ROs (Real Options) เกี่ยวเนื่องกับ WDN (Water Distribution Network) เน้นการแก้ปัญหาระยะยาวโดยคำนึงถึงต้นทุนโครงการในการเสริมแรงดันให้ทั่วถึงบริเวณชุมชนอย่างยั่งยืน เช่น การเสริมท่อประปาชุมชน เพื่อนำเสนอผู้บริหารในการตัดสินใจลงทุนในอนาคตสำหรับการวางแผนขยายพื้นที่ให้บริการด้วย ซึ่งเป็นที่มาของการหาวิธีรับมือความไม่แน่นอนในอนาคตได้เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้น้ำ แบบจำลองนี้ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize Objective) และสถานการณ์ต่างๆใช้ในการทำนาย เงื่อนไขในแต่ละทางเลือก ภายใต้เงื่อนไขอ่างกักเก็บน้ำสำหรับการสูบน้ำทั้ง 3 แห่งมีระดับน้ำที่ตลอดเวลา ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำคิดที่ 75 % และมีความต้องการใช้น้ำช่วง on peak เป็นเวลา 20 ชั่วโมงต่อวัน และช่วง off peak เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยคิดต้นทุนด้านพลังงาน 0.075 ดอลลาร์ต่อหน่วยไฟ หรือ 2.71 บาทต่อหน่วยไฟ มีการประเมินแบบจำลอง optimization ร่วมกับโปรแกรม EPANET โดยที่แต่ละบัพเทียบตามความสูงเหนือระดับน้ำทะเล การสูบน้ำประปาแบบตั้งค่าแรงดันคงที่ตลอดช่วงเวลาโดยเทียบต้นทุนคงที่จากการติดตั้งเครื่องสูบน้ำในครั้งแรกและอ่างกักเก็บน้ำทั้ง 3 แหล่งจ่าย ส่วนต้นทุนผันแปรจะคิดในส่วนงานเสริมแรงดันท่อประปาชุมชนในแต่ละบัพเพื่อเสริมแรงดัน ค่าซ่อมบำรุงรักษา และค่าพลังงานในแผนระยะยาวทุกๆ 20 ปี ผลจากการวิจัยในแต่ละสถานการณ์ขนาดท่อเสริมแรงดันชุมชนในระบบเครือข่ายจำหน่ายน้ำประปามีนัยสำคัญต่อความต้องการใช้แรงดันน้ำประปาขั้นต่ำและสามารถคืนทุนในรูปของการจำหน่ายน้ำประปาได้อย่างเพียงพอในอนาคต ถึงแม้ว่าต้นทุนโดยรวมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากการออกแบบจากโครงการครั้งแรก

Marzouk, M. and Othman, A. (2563) งานวิจัยได้เสนอแนวทางการวางแผนระบบสาธารณูปโภค (Utility Infrastructure) สำหรับเมืองอัจฉริยะ (Smart Cities) มีการบูรณาการระหว่าง BIM (Building Information Modeling) และ GIS (Geographic Information System) มุ่งเน้นไปที่การใช้ประโยชน์จาก BIM ในการจัดเก็บข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ และข้อมูลทางกายภาพของระบบสาธารณูปโภค โดยบูรณาการเข้ากับข้อมูลทางภูมิศาสตร์จาก GIS เพื่อให้สามารถวางแผนระบบสาธารณูปโภค สำหรับเมืองอัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การบูรณาการ BIM และ GIS สามารถช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผน: โดยสามารถมองเห็นภาพรวมของระบบสาธารณูปโภค และจัดการกับข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความซับซ้อนในการออกแบบ: โดยสามารถตรวจสอบการชนกันของท่อ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างง่ายดาย ลดเวลาและต้นทุนในการก่อสร้าง: โดยสามารถวางแผนการก่อสร้างได้อย่างแม่นยำ และลดความผิดพลาดในการก่อสร้าง งานวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับการวางแผนระบบสาธารณูปโภคสำหรับเมืองอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยช่วยให้สามารถวางแผนออกแบบ และจัดการระบบสาธารณูปโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดเวลาและต้นทุนในการก่อสร้าง

Mohebbi, S., et al. (2563) งานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์แบบไซเบอร์-กายภาพ-สังคม (Cyber-physical-social interdependencies) และความสามารถในการปรับตัวขององค์กร (organizational resilience) โดยมุ่งเน้นไปที่ระบบและกระบวนการของสาธารณูปโภค ซึ่งได้แก่ ระบบน้ำ ระบบขนส่ง และระบบโครงสร้างพื้นฐานไซเบอร์ ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างระบบทางกายภาพ ระบบทางไซเบอร์ และระบบทางสังคม และแสดงให้เห็นถึงวิธีการหยุดชะงักของระบบหนึ่ง สามารถส่งผลกระทบต่อระบบอื่นๆ ได้อย่างไร นอกจากนี้ บทความยังได้อธิบายถึงความสำคัญของความสามารถในการปรับตัวขององค์กร ในการรับมือกับเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด และได้เสนอแนวทางการเพิ่มความสามารถในการปรับตัวขององค์กร เช่น การพัฒนาแผนฉุกเฉิน การฝึกอบรมบุคลากร การสร้างความร่วมมือกับองค์กรอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์แบบไซเบอร์-กายภาพ-สังคม และความสามารถในการปรับตัวขององค์กร เพื่อที่จะสามารถรับมือกับความท้าทายที่เกิดขึ้นในยุคปัจจุบัน เช่น เหตุการณ์ภัยธรรมชาติ การโจมตีทางไซเบอร์ หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

Okeya, I., et al. (2557) งานวิจัยศึกษาการสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายน้ำประปาออนไลน์โดยใช้วิธีการดูดกลืนข้อมูล เพื่อนำข้อมูลมาพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำและแรงดันแบบเรียลไทม์ และวิธีการดูดกลืนข้อมูลแบบ DA (Data Assimilation) มีการเปรียบเทียบวิธี DA แบบ Ensemble Kalman Filter (EnKF) มีความสามารถในการลดการเอนเอียงจากเงื่อนไขเริ่มต้นที่ดีกว่าแบบ Kalman Filter (KF) ในแง่ของการอัปเดตความต้องการอัตราการไหลและแรงดันของแบบจำลองความต้องการใช้น้ำประปา (WDFM: Water Demand Forecasting Model) ใช้หลักการกระบวนการวนลูป 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ทำนายสถานะอัตราไหลและแรงดันเป็นค่าตั้งต้นให้โดยคิดค่า Pipe Roughness และตัวแปรอื่นๆในแบบจำลองไฮดรอลิกแบบคงที่ เพื่อหาค่าอัปเดตใหม่ใน 15 นาทีข้างหน้า ขั้นตอนที่ 2 การแก้ไขสถานะใช้วิธี DA ทั้งแบบ EnKF และ KF เปรียบเทียบเพื่ออัปเดตค่าอัตราการไหลและแรงดัน ขั้นตอนที่ 3 อัปเดตค่าที่พยากรณ์ทุกๆ 15 นาที มาเป็นค่าปัจจุบันเพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นแล้ววนลูปซ้ำไปเรื่อยๆ วิธี DA เป็นการใช้โปรแกรม EPANET และ Microsoft Visual C++ โดยทำการทดสอบบนเครือข่ายให้บริการผู้ใช้น้ำ 16,000 ราย ใน 8 เขตพื้นที่เผ่าระวัง (DMA) ซึ่งจ่ายน้ำประปาจากถังสูงผ่านวาล์วลดแรงดัน PRV จำนวน 3 ชุด สำหรับการควบคุมเปิดปิดประตูน้ำแบบเรียลไทม์ทุกๆ 15 นาที

Pawinee lamtrakul, P. D. (2563) เน้นถึงแนวคิดการวางผังเมืองอย่างยั่งยืน (Sustainable Urban Planning) โดยเน้นย้ำถึงความสำคัญของการพัฒนาเมืองที่มีความสมดุล ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม หลักการสำคัญในการวางแผนเมืองอย่างยั่งยืน ซึ่งได้แก่ การลดการใช้ทรัพยากร การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การส่งเสริมการขนส่งสาธารณะ การสร้างพื้นที่สีเขียว และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่รองรับการเจริญเติบโตของเมือง ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพื้นที่เมืองให้สามารถรองรับการเติบโตในระยะยาว โดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ความเท่าเทียมทางสังคม และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างเมืองที่สามารถพึ่งพาตนเองได้ โดยพิจารณาถึงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้เทคโนโลยีเพื่อวางแผนการใช้ที่ดินและการเชื่อมโยงการขนส่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงการสร้างพื้นที่สีเขียวเพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยในเมือง นอกจากนี้ การศึกษาในงานนี้ยังกล่าวถึงความสำคัญของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ (Geospatial Technology) ในการวิเคราะห์รูปแบบการขยายตัวของเมือง และการวางแผนเชิงพื้นที่ที่คำนึงถึงการพัฒนาอย่างยั่งยืนในเขตเมืองขนาดใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร และได้นำเสนอตัวอย่างการวางแผนเมืองอย่างยั่งยืน จากเมืองต่างๆ ทั่วโลก เช่น เมืองโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก และเมืองซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ หลักการวางแผนเมืองอย่างยั่งยืน ในทางปฏิบัติ และได้เน้นย้ำถึงบทบาทของเทคโนโลยี ในการสนับสนุนการวางแผนและพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และระบบ ข้อมูลแบบจำลองสามมิติ (BIM) และที่สำคัญควรมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับปัญหาและความท้าทาย ในการวางแผนและพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน และการเสนอแนวทางการแก้ปัญหา และแนวทางการดำเนินงาน เพื่อให้การวางแผนและพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน สามารถเกิดขึ้นจริงได้ ในบริบทของ ประเทศไทย

Sharifi, A. (2563) ได้ทำการจัดประเภทเครื่องมือและชุดตัวชี้วัดสำหรับการประเมินเมืองอัจฉริยะ โดยงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้เครื่องมือประเมินเมืองอัจฉริยะเพื่อนำมาสู่ การวางแผนและออกแบบเมืองที่ยั่งยืนและยืดหยุ่น งานวิจัยได้วิเคราะห์โครงการประเมินทั้งหมด 34 แบบ ซึ่งรวมถึงตัวชี้วัดทางด้านเศรษฐกิจ, การปกครอง, สิ่งแวดล้อม, การเคลื่อนย้าย, การใช้ชีวิต, และข้อมูล การจัดประเภทนี้สามารถนำมาใช้เป็นกรอบอ้างอิงสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของ เมืองอัจฉริยะ รวมถึงการพัฒนาโครงการประเมินใหม่ในอนาคตที่มีข้อมูลครบถ้วนและเข้าใจง่าย โดย ได้จัดหมวดหมู่เครื่องมือประเมินเมืองอัจฉริยะตามวิธีการที่ใช้ เช่น การประเมินแบบสอบถาม การ ประเมินแบบเชิงปริมาณ การประเมินแบบเชิงคุณภาพ และการประเมินแบบผสมผสาน ชุดตัวชี้วัด สำหรับการประเมินเมืองอัจฉริยะตามมิติของเมืองอัจฉริยะ ได้แก่ มิติเศรษฐกิจ มิติสังคม มิติ สิ่งแวดล้อม มิติการบริหารจัดการ และมิติเทคโนโลยี ได้วิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของเครื่องมือและชุด ตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินเมืองอัจฉริยะ เช่น ความเหมาะสม ความน่าเชื่อถือ ความเป็นไปได้ในการ ใช้งานจริง และได้เสนอแนะสำหรับการเลือกใช้เครื่องมือและชุดตัวชี้วัด โดยพิจารณาจากเป้าหมาย งบประมาณ และความพร้อมของข้อมูล

Sitzenfrei, R., Möderl, M. and Rauch, W. (2556) งานวิจัยศึกษาการสร้าฐานข้อมูล ระบบจำหน่ายน้ำประปาบนฐานข้อมูล GIS แบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการทดสอบหรือ เปรียบเทียบกลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาฐานข้อมูล GIS การวางกระจาย ความยาวและ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำประปา วัตถุประสงค์การพัฒนา GCA (Graph Concatenation Approach) เพื่อจำลองการทดสอบและอัลกอริทึมแรงดันความต้องการใช้น้ำ (อัตราการใช้) ไม่ให้ เกินจากความต้องการทางเศรษฐศาสตร์ หรือตามสเปคของท่อจำหน่ายน้ำประปา เพื่อป้องกันการเกิด ท่อแตก ผลจากการศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่อุปทาน 75 % ค่าแรงดันมีความแตกต่างจากค่าที่ใช้ งานจริง ± 4 เมตร หรือคิด 0.04 บาร์ และเมื่อลดพื้นที่อุปทานเหลือ 40 % ค่าแรงดันที่จำลองมีความ แตกต่างจากการใช้งานจริงไม่เกิน ± 2 เมตรหรือเทียบเท่า 0.02 บาร์ สำหรับผู้ปฏิบัติงานและนักวิจัย สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดคุณสมบัติให้สอดคล้องกับความหนาแน่นของประชากรที่อยู่ อาศัย ระดับความสูงของพื้นที่ภูมิศาสตร์ และเพื่อเปรียบเทียบกับกรขยายตัวของชุมชนที่มีการ เจริญเติบโตแตกต่างกัน นำไปสู่การตัดสินใจประเมินต้นทุนการก่อสร้างลงทุนระบบท่อจำหน่าย น้ำประปา ในอนาคตสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในส่วนการอินเตอร์เฟซกับข้อมูล GIS ในการเลือกใช้ ขนาดท่อและรูปแบบกริดการวางท่ออย่างไม่จำกัดตามทฤษฎีที่เป็นไปได้ เช่น การวางท่อน้ำประปา ตามแนวเส้นทางแม่น้ำ เส้นทางชายฝั่ง หรือเส้นทางคมนาคมหลัก นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการพัฒนาและการกำหนดตำแหน่งอ่างกักเก็บน้ำประปาเข้ามาประกอบเป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงการประมาณราคาก่อสร้าง

มานพ พิพัฒน์หัตถกุล และ วินัส ทัดเนียม (2554) งานวิจัยศึกษาผลกระทบของความเร็รรอบที่มีต่อสมรรถนะเครื่องสูบน้ำ โดยทดสอบกับเครื่องสูบน้ำแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางรุ่น A65-130 ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 5.5 แรงม้า ด้วยความเร็รรอบปกติ 1,485 rpm เป็นต้นกำลังถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมอินเวอร์เตอร์ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็รรอบของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำส่งผลโดยตรงต่ออัตราการไหลและเป็นผลในลักษณะแปรผันโดยตรงตามกฎความสัมพันธ์ Affinity's law โดยความเร็รรอบของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหล และแปรผันยกกำลังสองกับเฮด และแปรผันยกกำลังสามกับกำลังไฟฟ้า ส่วนระบบที่มีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์จะให้ผลดีเมื่อเครื่องสูบน้ำมีสเปคอัตราการไหลที่เพียงพอต่อความต้องการในระบบ ส่วนกรณีอัตราการไหลของระบบน้อยกว่าสเปคเครื่องสูบน้ำมากเกินไป จะไม่เหมาะสมสำหรับวิธีการปรับความเร็รรอบเนื่องจากประสิทธิภาพในการทำความเร็รรอบของมอเตอร์ต่ำเกินไป และจะส่งผลให้ใบพัดระบายความร้อนหมุนช้าลงเสี่ยงต่อการทำให้เกิดความร้อนสะสมทำลายมอเตอร์ได้

Yu, S. (2555) การออกแบบเมืองที่ยั่งยืนโดยใช้หลักการ "Water Oriented Urban Design" ซึ่งเน้นการผลานน้ำเข้าไปในกระบวนการวางแผนและออกแบบเมืองอย่างยั่งยืน เป้าหมายหลักคือการปรับปรุงการหมุนเวียนน้ำในเมือง ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสบการณ์ทางอารมณ์ของผู้ใช้งานในพื้นที่เมือง โดยเน้นการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพในทุกระดับตั้งแต่ระดับท้องถิ่นไปจนถึงระดับภูมิภาค อธิบายถึงแนวคิดการออกแบบเมืองโดยคำนึงถึงน้ำ โดยเน้นย้ำถึงบทบาทของน้ำในฐานะทรัพยากรธรรมชาติ แหล่งพักผ่อนหย่อนใจ และระบบนิเวศที่สำคัญ รวมทั้งเสนอแนวทางในการใช้ประโยชน์จากน้ำ เช่น การจัดการน้ำฝน การใช้ระบบน้ำบาดาล การออกแบบพื้นที่สีเขียวที่เกี่ยวข้องกับน้ำ และการออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อรองรับการไหลเวียนของน้ำ หลักการออกแบบเมืองอย่างยั่งยืน เช่น การลดการใช้ทรัพยากร การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การสร้างเมืองที่เดินได้ และการสร้างพื้นที่สาธารณะ ที่เอื้อต่อการใช้ชีวิตและการพักผ่อนหย่อนใจ ตัวอย่างการออกแบบเมืองโดยคำนึงถึงน้ำ จากเมืองต่างๆ ทั่วโลก เช่น เมืองโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก และเมืองซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบเมืองโดยคำนึงถึงน้ำในทางปฏิบัติ

งานวิจัยได้ยกตัวอย่าง ประเทศสิงคโปร์ได้ลงนามในข้อตกลงเป็นเวลา 100 ปี ในการซื้อน้ำดิบจากประเทศมาเลเซียในราคา \$0.03 ต่อ 1,000 แกลลอน และสัญญาจะหมดอายุในปี 2061 ระบบการจัดการน้ำสามารถใช้เป็นสัญลักษณ์ของพื้นที่สาธารณะซึ่งเป็นที่รวมของสาธารณะในปัจจุบัน โครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ในการกักเก็บน้ำ และจำหน่ายน้ำโดยรอบชุมชนผู้เขียนงานวิจัยได้เข้าร่วมโครงการ Green Corridor ในประเทศสิงคโปร์เพื่อทำงานเกี่ยวกับการจัดการน้ำ การปรับตัว การออกแบบทางเดิน และการประสานงานใช้ที่ดินโดยเน้นการออกแบบที่ยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการจ่ายน้ำประปา กรณีศึกษาโรงกรองน้ำ หาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาบูรณาการจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียในระบบ จำหน่าย รวมถึงการสร้างแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ พัฒนาซอฟต์แวร์ EPANET ให้มีความสามารถทางด้านการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization module) จาก การคำนวณของซอฟต์แวร์ EPANET จากคู่มือการปฏิบัติงานของ AWWA manual M32(29) ระบุไว้ว่า แบบจำลองโครงข่ายการจ่ายน้ำต้องมีความเที่ยงตรง 80% ขึ้นไปถึงจะสามารถนำไปใช้จำลอง สถานการณ์การจำหน่ายน้ำประปาในสถานะอื่นๆ ได้ แต่ยังคงมีความผิดพลาดในแบบจำลองที่ควร ปรับปรุงแก้ไขให้มีความเที่ยงตรงสูงขึ้นโดยเฉพาะระดับความสูงของแนวท่อประธานและการใช้สูตร คำนวณเฮดสูญเสีย โครงข่ายจำหน่ายน้ำเป็นระบบการจ่ายน้ำประปาที่มีขนาดใหญ่และสลับซับซ้อน เชื่อมต่อกันเหมือนใยแมงมุม น้ำประปาถูกจ่ายเข้าระบบท่อจากสถานีต้นทางสู่จ่ายน้ำประปาไปยัง หลายสถานีซึ่งทำให้พื้นที่แต่ละจุดได้รับอิทธิพลจากสถานีผลิต-สูบน้ำมากกว่า 1 สถานี ดังนั้นจึง ยากต่อการประมาณเฮดที่เหมาะสมในการจ่ายน้ำของแต่ละสถานี ในส่วนนี้ได้มีการศึกษาการหาค่า ที่เหมาะสมที่สุดของเฮดในแต่ละสถานีเพื่อใช้เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจการวางแผนการจ่ายน้ำโดย รายละเอียดของการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังหัวข้อดังต่อไปนี้

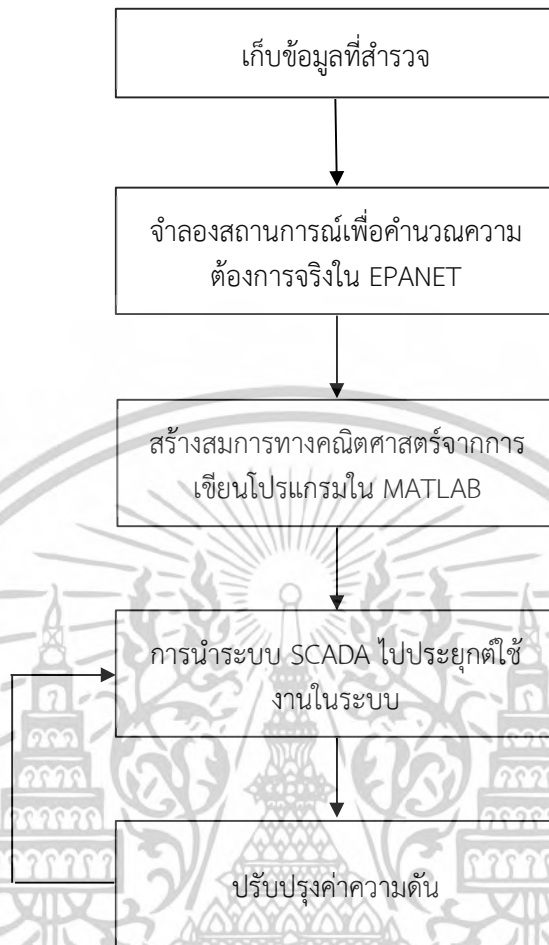
- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
- 3.2 การสร้างแบบจำลองเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์
- 3.3 การควบคุมดูแลและการรวบรวมข้อมูล (SCADA)

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

- 3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์หาความเหมาะสมเชิงวิศวกรรม ด้วยวิธีการจำกัด ขอบเขตการจำหน่ายน้ำประปา
- 3.1.2 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับแบบจำลองการจำหน่ายน้ำประปา ส่วนประกอบ แบบจำลองโปรแกรม EPANET การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB และการ ควบคุมอัตราการไหลและแรงดันของปั๊มที่ถูกควบคุมด้วย VSD ผ่านระบบ SCADA
- 3.1.3 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการจำกัดการกระจายน้ำที่เหมาะสม
- 3.1.4 สร้างแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ ที่เรียกว่า วิธีการจำกัด ขอบเขตการจำหน่ายน้ำประปา
- 3.1.5 วิเคราะห์การสูญเสียแรงดันที่เกิดขึ้นตามเวลา
- 3.1.6 วิเคราะห์หน่วยแรงดันที่เกิดขึ้นในการกระจายน้ำ และไฮดรอลิกของแต่ละแหล่งจ่าย น้ำ (Hydraulics of Water Supply) ขณะรับโหลดความต้องการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ VSD แต่ละความต้องการตลอดช่วงเวลา 24 ชม.
- 3.1.7 ทวนสอบแรงดันช่วงความต้องการที่เหมาะสมในการปรับปรุงต้นทุนพลังงาน เมื่อรับ อัตราการไหลตามแนวทางการศึกษา
- 3.1.8 สรุปผลงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

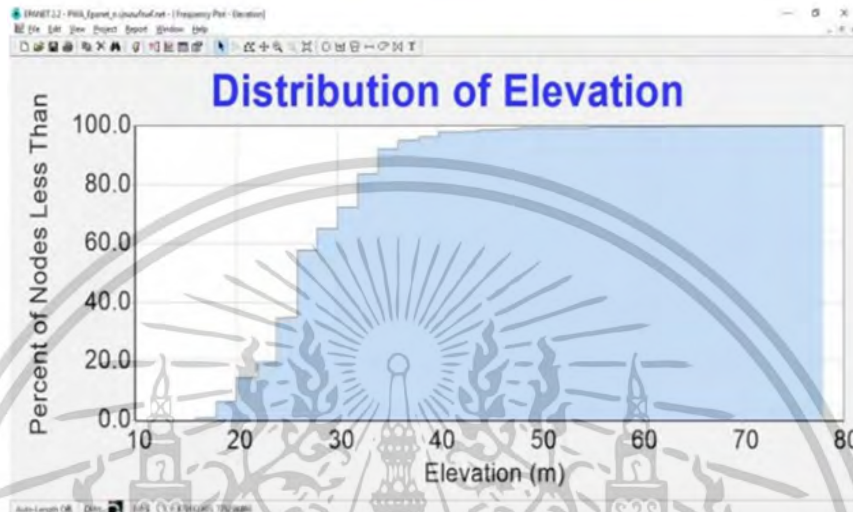
งานวิจัยนี้สำรวจครัวเรือน 13,580 ครัวเรือนที่อาศัยอยู่ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อทราบระดับความสูง จำนวนประชากร และปริมาณการใช้น้ำภายใน 440 วัน ข้อมูลดังกล่าวประมาณค่าความต้องการใช้น้ำต่อชั่วโมง ความต้องการพื้นฐานคำนวณจากปริมาณการใช้น้ำโดยประมาณ 100 ลิตรต่อคนต่อวัน และ 4 คนต่อครัวเรือน ซึ่งเป็นโดยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มผู้ใช้น้ำประเภทบ้านพักอาศัย พื้นที่ชนบททางภาคใต้ของประเทศไทย รูปที่ 3.1 ใช้เพื่ออธิบายวิธีการวิจัยนี้

แบบจำลอง EPANET ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงพฤติกรรมของการไหลของน้ำทางชลศาสตร์ เป็นการไหลภายใต้แรงดันของระบบโครงข่ายท่อประปา ซึ่งแบบจำลองสามารถหาอัตราการไหลและแรงดันของน้ำในเส้นท่อ โดยสมการ Hazen-William และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปรับปรุงแรงดันของน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่ให้บริการและความต้องการของผู้ใช้น้ำในอนาคต

3.2 การสร้างแบบจำลองเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์

ข้อมูลที่รวบรวมได้นำไปลงในโปรแกรม EPANET เพื่อสร้างแบบจำลองความต้องการใช้น้ำ รูปที่ 3.2 แสดงระดับความสูงของจุดตัวอย่างแต่ละจุด พื้นที่ทั้งหมดมีระดับความสูงที่แตกต่างกัน และเราจะพิจารณาพื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ต้นน้ำและปลายน้ำ โดยแบบจำลองโครงข่ายการจ่ายน้ำมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดให้น้อยลงและได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้อง

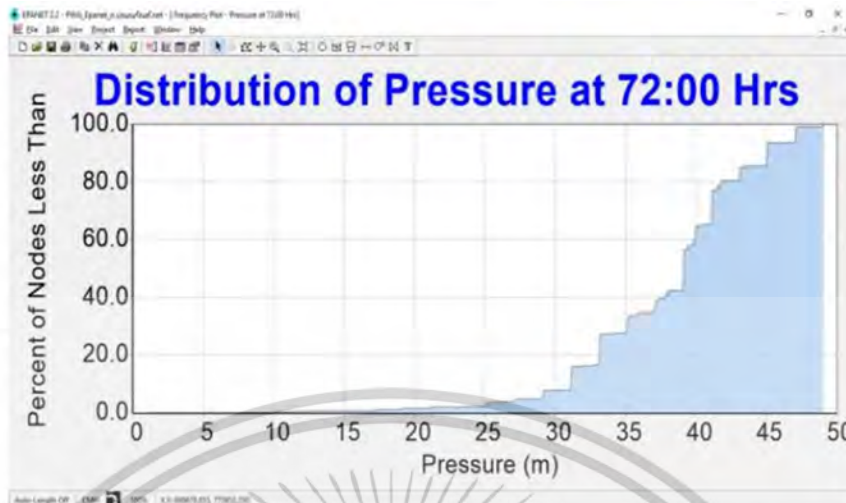
ของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับความดันน้ำที่ได้จากเครื่องมือวัดตามจุดต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ตามโครงข่าย ผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ยังมีความผิดพลาดอยู่ ซึ่งมาจากหลายสาเหตุ เช่น การกำหนดค่าความเสียดทานของท่อ การกำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์ว การกำหนดค่าความสูงของโหนดต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 ระดับความลึกของจุดตัวอย่างแต่ละจุด 13,580 คริวเรือน ใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

EPANET ใช้เพื่อจำลองแรงดันน้ำในแต่ละช่วงที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำสำหรับตำแหน่งเฉพาะรูปที่ 3.3 แสดงแรงดันน้ำจำลองสำหรับจุดตัวอย่างแต่ละจุด จากการรวบรวมข้อมูลเครื่องสูบน้ำต้องใช้แรงดันน้ำ 48 เมตร (แรงดันน้ำ) ที่ต้นน้ำและปลายน้ำจะใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระดับความสูงจริงที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ EPANET ยังใช้เพื่อจำลองแรงดันน้ำทั้งหมดที่ระดับความสูงต่างๆ ปัมหลักที่ติดตั้งที่จุดเริ่มต้นต้องให้แรงดันน้ำอย่างน้อย 48 เมตรเพื่อให้ได้แรงดันน้ำเพียงพอในทุกพื้นที่ ในเดือนพฤศจิกายน 2565 เครื่องสูบน้ำใช้พลังงาน 110,112.00 กิโลวัตต์ชั่วโมงและสูญเสียน้ำ 42,769 ลูกบาศก์เมตรเราสันนิษฐานว่า ต้นกำลังเครื่องสูบน้ำที่โรงกรองน้ำหาดใหญ่ควรลดการใช้พลังงานและน้ำที่สูญเสียไปโดยใช้ปั๊มเพิ่มแรงดันในพื้นที่เฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

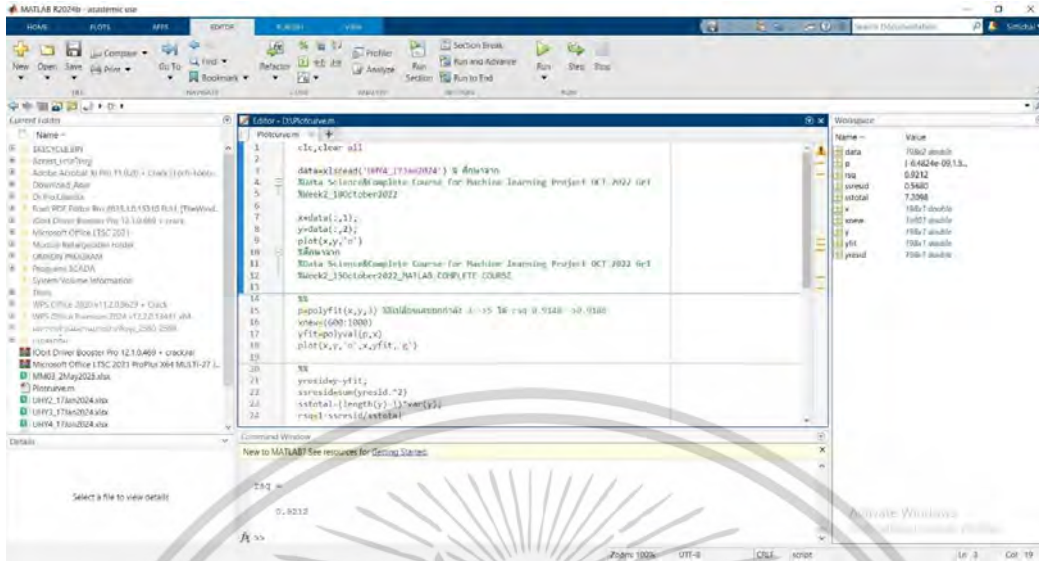


รูปที่ 3.3 ระดับแรงดันของจุดตัวอย่างแต่ละจุด 13,580 คริวเรือน ใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

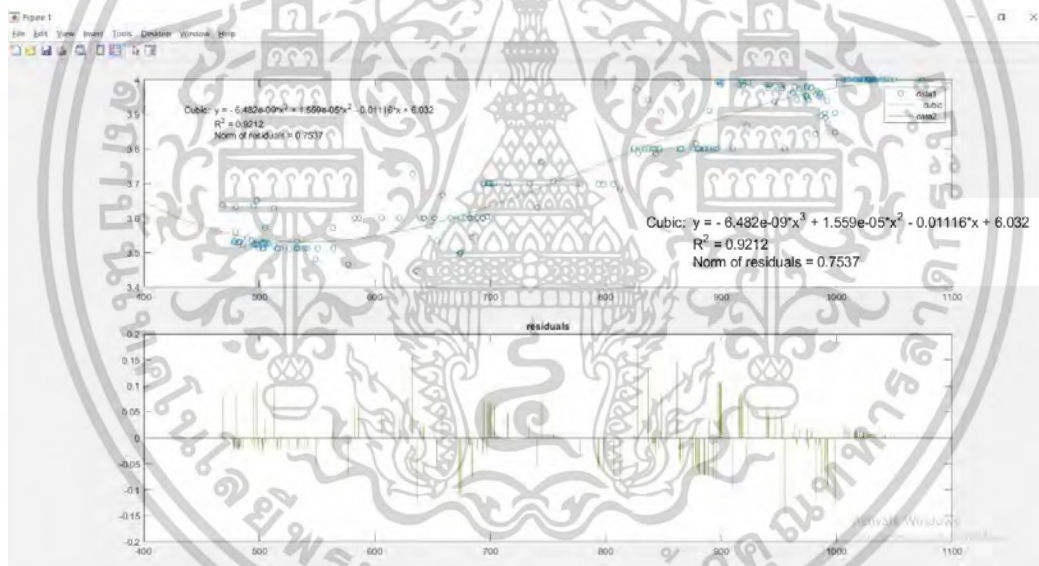
เนื่องจากความดันน้ำแสดงถึงความสามารถในการจ่ายน้ำ ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีความต้องการความสามารถในการจ่ายน้ำไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยสามารถสรุปออกเป็น 4 ปัจจัยที่มีผลต่อแรงดันน้ำ ดังนี้

1. ความแตกต่างของพื้นที่ เนื่องจากระบบการจ่ายน้ำส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะอาศัยแรงโน้มถ่วงในการจ่ายน้ำและแต่ละพื้นที่บริการมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน ดังนั้นแต่ละพื้นที่จึงได้รับความดันน้ำไม่เท่ากัน
2. ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ บริเวณที่มีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นย่อมมีความต้องการน้ำสูงดังนั้นจึงต้องจัดสรรความดันน้ำให้สัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรด้วย
3. ประเภทของผู้ใช้น้ำ ประเภทของผู้ใช้น้ำมีความสำคัญ เนื่องจาก ผู้ใช้น้ำบางกลุ่ม เช่น โรงงานอุตสาหกรรม หรือกิจการที่ต้องมีการใช้น้ำปริมาณน้ำหรือแรงดันพิเศษเพื่อหล่อเลี้ยงสายการผลิต
4. ช่วงเวลาการใช้น้ำ เนื่องจากในแต่ละช่วงเวลาของการใช้น้ำจะมีการใช้ที่แตกต่างกัน ทำให้แรงดันของน้ำในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน

MATLAB ใช้เพื่อสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จากการเขียนโปรแกรมจำลองระหว่างข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ที่ได้มาจากแบบจำลองสถานการณ์ในโปรแกรม EPANET



รูปที่ 3.4 แสดงการดึงข้อมูลความสัมพันธ์จากการเขียนสคริปต์ภายในโปรแกรม MATLAB

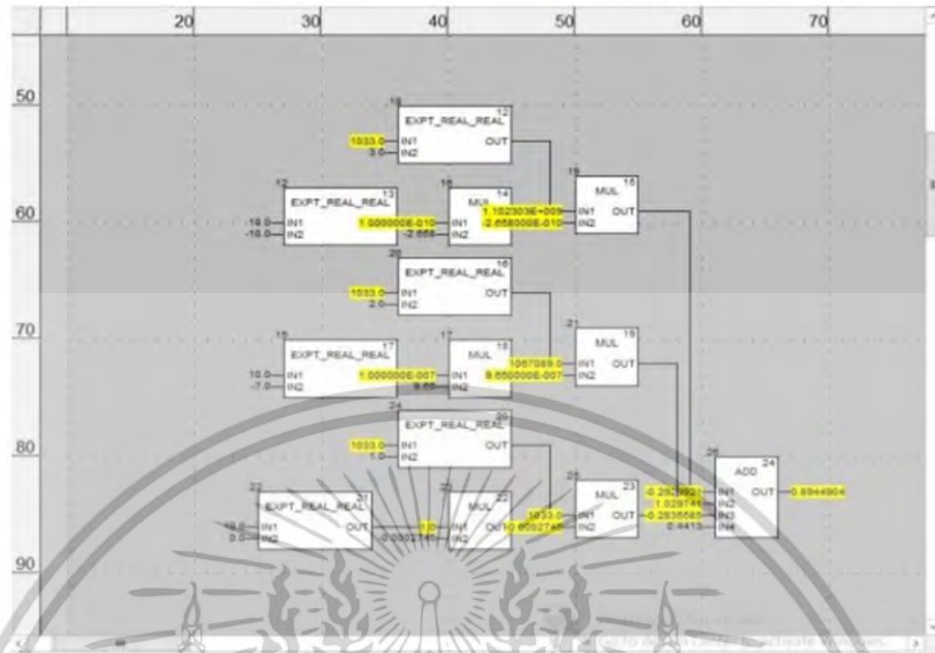


รูปที่ 3.5 โปรแกรม MATLAB สร้างความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

3.3 การควบคุมดูแลและการรวบรวมข้อมูล (SCADA)

โปรแกรม SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) เป็นโปรแกรมลิขสิทธิ์ ใช้สำหรับควบคุมและปรับแรงดันน้ำในระบบจ่ายน้ำโดยจะจ่ายน้ำให้ประชาชนในอำเภอหาดใหญ่ตามปริมาณความต้องการ ภาพที่ 3.6 แสดงโปรแกรม SCADA ที่ใช้ควบคุมระบบสูบน้ำและแรงดันน้ำของสถานีต้นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แรงดันน้ำและอัตราการไหล

รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำ $f(x)$ เป็นเมตรน้ำ ให้อยู่ในรูปหน่วยบาร์ (10 เมตรน้ำเทียบเท่า 1 บาร์) และอัตราการไหล (x) เป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงในสมการพหุนาม

$$f(x) = a_n X^n + a_{n-1} X^{n-1} + \dots + a_2 X^2 + a_1 X^1 + a_0 \quad \text{สมการ 3.1}$$

สมการ 3.1 แสดงฟังก์ชันของแรงดันน้ำตามความต้องการขั้นพื้นฐาน (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ของแต่ละคร้วเรือน

การกำหนดค่าเริ่มต้นผ่านแอปพลิเคชัน SCADA โดยใช้ความต้องการพื้นฐานเป็นแรงดันสำหรับแต่ละช่วงเวลาโดยใช้ความต้องการพื้นฐาน (คำนวณจากสมการ 3.1) เราต้องป้อนค่าแรงดันบางค่าตามสมการเอาต์พุต และค่าแรงดันที่กำหนดโดยสมการนี้จะเรียกว่าค่าที่ต้องการหรือค่าชุด (set value)

อัตราการไหลรวมของ input และเครื่องส่งสัญญาณแรงดันในเครือข่ายการจ่ายน้ำ โดยใช้มาตรวัดอัตราการไหลหลักที่เชื่อมต่อกับสมการฟังก์ชันโดยตรงเราเรียกสิ่งนี้ว่าพีคแบ็กหรือค่าจริง

ความคลาดเคลื่อนใดๆ ระหว่างสัญญาณทั้งสองนี้ ซึ่งได้แก่ค่าป้อนกลับหรือค่าจริงและค่าเซตพอยต์ ถือเป็นข้อผิดพลาดของเรา โดยอิงจากการเปรียบเทียบนี้ในรูปแบบของฟังก์ชันเรียลไทม์ ตัวควบคุมสมการจะสร้างผลลัพธ์และส่งเอาต์พุตไปยังปั๊มความเร็วแปรผันผ่านแอปพลิเคชัน SCADA

เราใช้ปั๊มความเร็วแปรผันเพื่อควบคุมการไหลของน้ำประปาเพื่อรักษาแรงดันของเครือข่ายน้ำประปา สมการฟังก์ชันเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ใช้ที่นี่จะกำหนดตำแหน่งของปั๊มความเร็วแปรผันนี้เพื่อตอบสนองความต้องการพื้นฐานในแต่ละช่วงเวลาของรูปแบบความต้องการน้ำประปา เวลาตอบสนองของกระบวนการจะขึ้นอยู่กับค่าสามค่า ได้แก่ ค่าเกณฑ์ตามสัดส่วน เวลาอินทิกรัล และเวลาอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

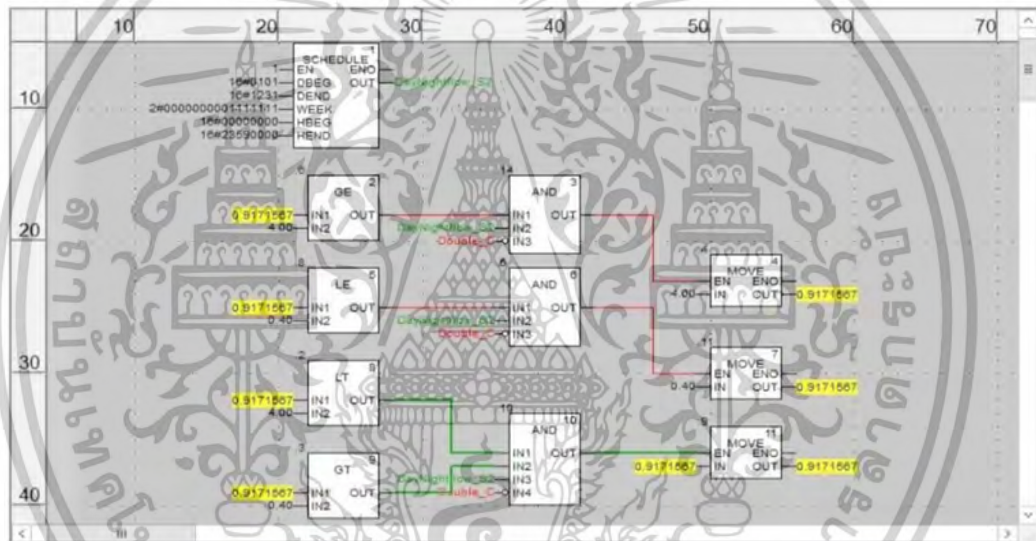
เพื่อควบคุมการใช้พลังงานที่เกินขีดจำกัดของระบบสูบน้ำและการป้องกันระบบท่อ เราต้องปรับข้อมูลระดับความสูงที่ป้อนเข้าไป ตัวอย่างเช่นระดับความสูงต่ำสุดคือ h_n ระดับความสูงสูงสุดคือ h_m และข้อมูลระดับความสูงต่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับความเร็วของปั๊มที่เปลี่ยนแปลง (h_g)

$$h_g \leq h_m - h_n \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

$$h_m \geq 0 \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

$$h_n \geq 0 \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

ระดับความสูงทั้งหมดจะถูกป้อนเป็นข้อจำกัดผ่านแอปพลิเคชัน SCADA ดังที่แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ปั๊มที่ความเร็วต่างๆเพื่อควบคุมการทำงานของปั๊ม

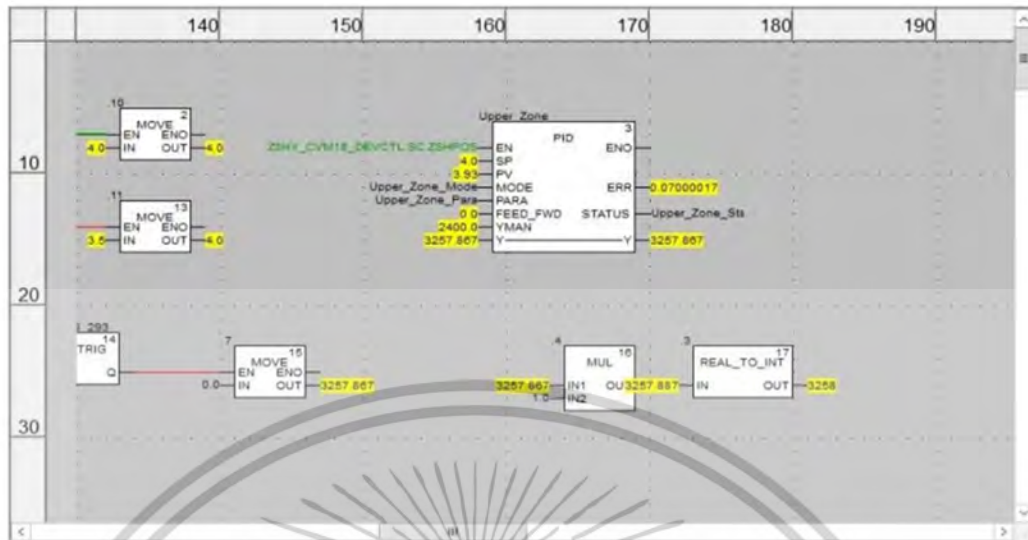
ปั๊มน้ำที่อยู่บริเวณต้นน้ำและบริเวณปลายน้ำมีการปรับแรงดันน้ำตามรูปที่ 3.7 และ 3.8 โดยมีการควบคุมระดับความสูง สำหรับปริมาณน้ำขั้นต่ำที่ต้องการใช้ในปั๊มน้ำแสดงดังสมการที่ 3.5

$$\min(OBJF) = \min(\sum_{i=1}^n |EU_i + ED_i|) \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

เมื่อ

- I = 1, ..., n คือ เวลา
- EU = ปริมาณการใช้พลังงานของปั๊มบริเวณต้นน้ำ
- ED = ปริมาณการใช้พลังงานของปั๊มบริเวณปลายน้ำ

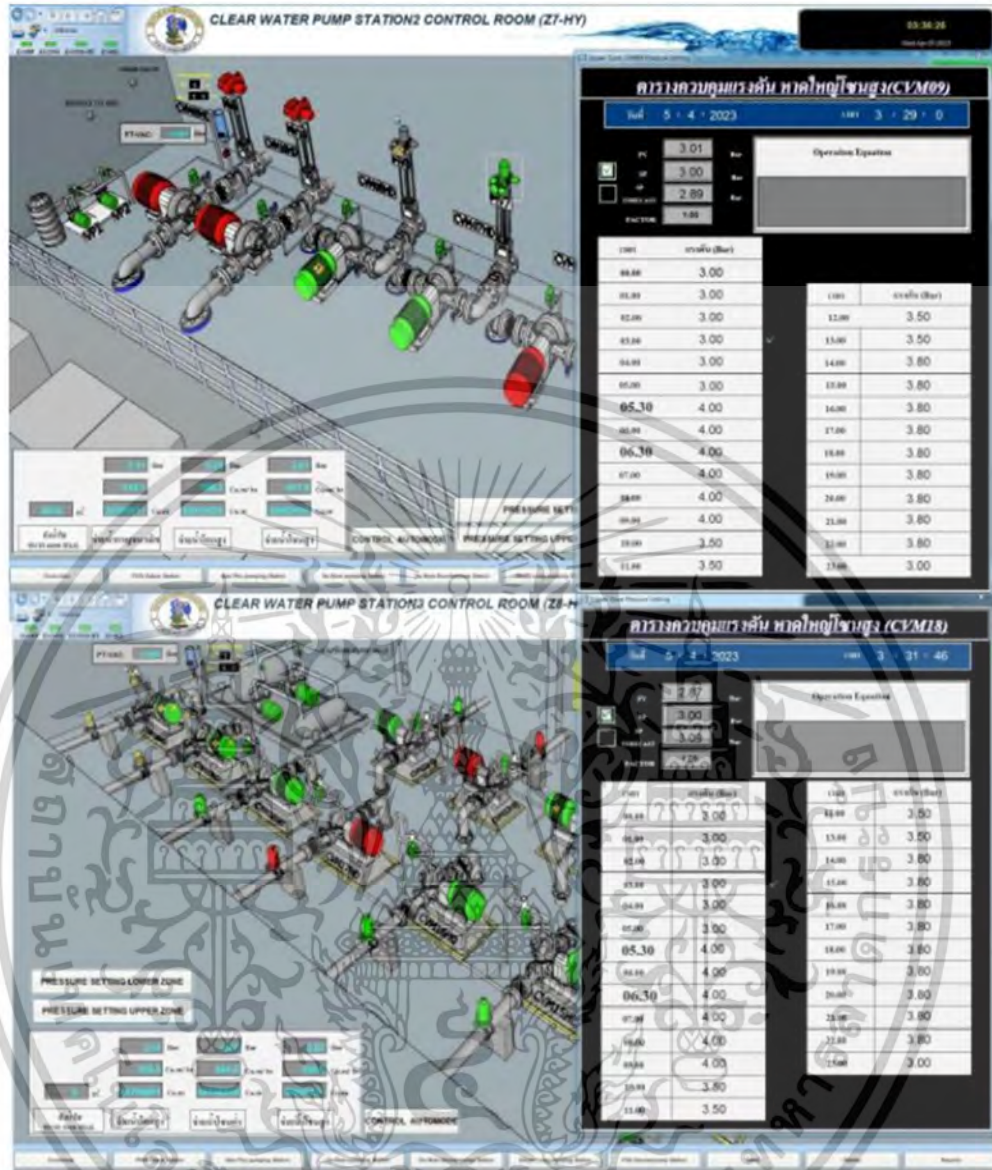
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ผลของแอปพลิเคชัน SCADA ที่ใช้เพื่อควบคุมระดับแรงดันน้ำ

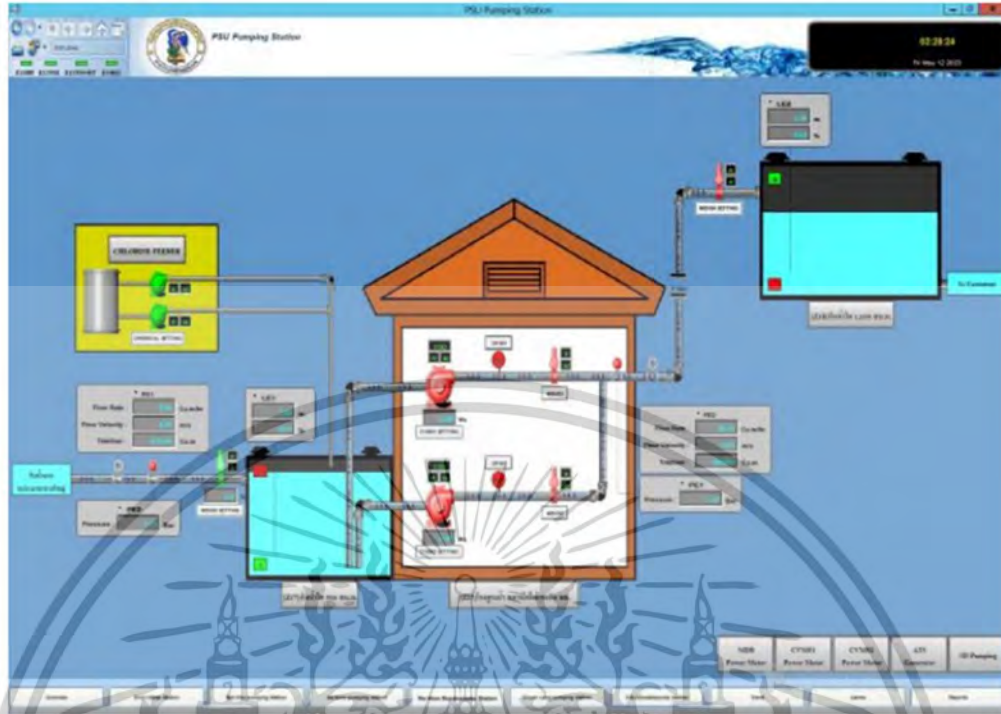
ตัวแปรด้านเวลา (Time Variable) ส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับการใช้พลังงานและอัตราการไหล (Flow rate) เราจำเป็นต้องตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทั้งหมดอย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาต่างๆ จะมีความต้องการที่แตกต่างกัน ช่วงเวลาที่มีความต้องการสูงคือ 05.00 จนถึง 10.00 น. และ 16.00 จนถึง 22.00 น. แต่เราต้องควบคุมการใช้พลังงานที่เกิน ช่วงเวลาที่มีความต้องการต่ำคือ 10.01 จนถึง 15.59 น. และ 22.01 จนถึง 04.59 น. และเราสามารถลดการใช้พลังงานได้แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพใช้เพื่อลดการใช้พลังงานให้น้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดด้านระดับความสูง ปิ้มต่างๆ จะถูกควบคุมแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน SCADA ตามที่แสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แอปพลิเคชัน SCADA ที่มีการตั้งค่าแรงดันน้ำสำหรับต้นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แอปพลิเคชัน SCADA ควบคุมแรงดันน้ำที่ระบบชุดเตอร์บีมระหว่างต้นน้ำและปลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

จากการพัฒนาระบบควบคุมการจ่ายน้ำประปา ภาควิชาของโรงกรองน้ำหาดใหญ่ เป็นการนำเสนอ การศึกษาความเหมาะสมการจำหน่ายน้ำประปาในโครงข่ายจ่ายน้ำประปา วัตถุประสงค์หนึ่งที่สำคัญสำหรับโรงผลิตน้ำประปา คือ การลดน้ำสูญเสียในระบบจำหน่ายให้เหลือน้อยที่สุด โครงข่ายจำหน่ายน้ำประปาเป็นงานเดินท่อน้ำประปาใต้ดินและส่วนใหญ่ใช้งานมานานหลายปี โดยปกติการรั่วไหลจะพบได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการแรงดันสูงจากความต้องการใช้น้ำประปา งานวิจัยนี้จะจำแนกผู้อยู่อาศัยรอบๆ สถานีเพิ่มแรงดัน มอ. และโรงกรองน้ำ จำนวน 13,580 ครัวเรือน ของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) จังหวัดสงขลา โดยผลการวิจัยครั้งนี้อธิบายดังรายละเอียดดังนี้

- 4.1 ผลการออกแบบระบบจำหน่ายน้ำประปาด้วยโปรแกรม EPANET และ MATLAB
- 4.2 ผลการออกการควบคุมระบบการจำหน่ายน้ำแบบเรียลไทม์ด้วยระบบ SCADA

4.1 ผลการออกแบบระบบจำหน่ายน้ำประปาด้วยโปรแกรม EPANET และ MATLAB

4.1.1 ผลของการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานระบบจำหน่ายน้ำประปา

ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลงานบริการและควบคุมน้ำสูญเสีย 2 โดยรวบรวมข้อมูลระบบจ่ายน้ำแต่ละโซนสำหรับเป็นข้อมูลประกอบในการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย และการวางแผนงานระบบท่อประปาในอนาคต แสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.12

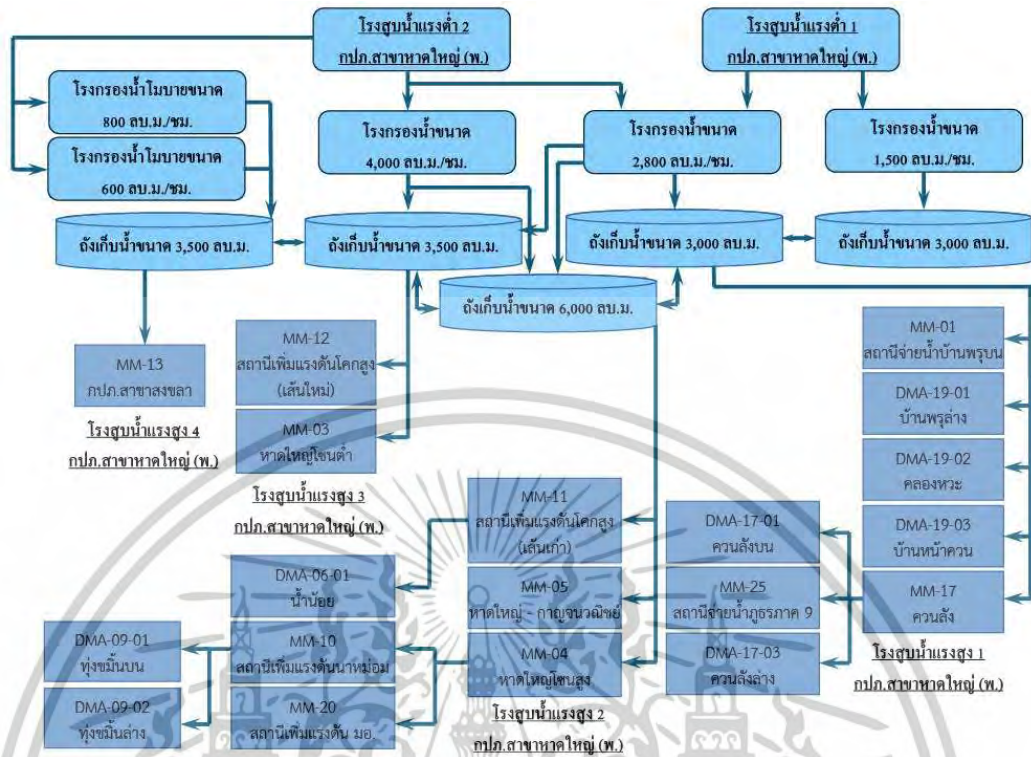
จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงแผนผังของการผลิตและจ่ายน้ำของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาหาดใหญ่ (พ) ที่ประกอบด้วย 4 จุดของถังเก็บน้ำเพื่อกระจายไปสู่สถานีต่างๆ

1. ถังเก็บน้ำขนาด 3,500 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง เชื่อมต่อกันเป็นถังที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด โดยจะส่งน้ำให้กับ 3 สถานีเป็นหลัก คือ สูบส่งน้ำไปยังสถานีจ่ายน้ำท่านางหอมและ กภ.สาขาสงขลา (MM13) สูบส่งน้ำไปยังสถานีเพิ่มแรงดันโคกสูง (MM12) และ สูบจ่ายพื้นที่หาดใหญ่โซนต่ำ (MM03)

2. ถังเก็บน้ำขนาด 6,000 ลบ.ม. จำนวน 1 ถัง เป็นถังที่มีขนาดรองลงมาโดยจะส่งน้ำให้กับ 3 สถานี เป็นหลัก คือ สูบส่งน้ำไปยังสถานีเพิ่มแรงดันโคกสูง (MM11) สูบจ่ายพื้นที่หาดใหญ่ - กาญจนวิชัย (MM05) และสูบจ่ายพื้นที่หาดใหญ่โซนสูง (MM04)

3. ถังเก็บน้ำขนาด 3,000 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง เชื่อมต่อกันเป็นถังที่มีขนาดเล็กที่สุด จะส่งน้ำให้กับ 4 สถานีเป็นหลัก คือ สูบส่งน้ำไปยังสถานีจ่ายน้ำบ้านพรุบน (MM01) สูบจ่ายบ้านหน้าควน (DMA 19-03) สูบจ่ายคลองหระ (DMA 19-02) สูบจ่ายบ้านพรุล่าง (DMA 19-01) และสูบส่งน้ำไปยังสถานีจ่ายน้ำควนลัง (MM 17)

ในแต่ละสถานีหรือแต่ละจุดจะมีการส่งน้ำไปยังจุดต่าง ๆ ย่อยลงไป ตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แผนผังการผลิต-จ่ายน้ำ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)

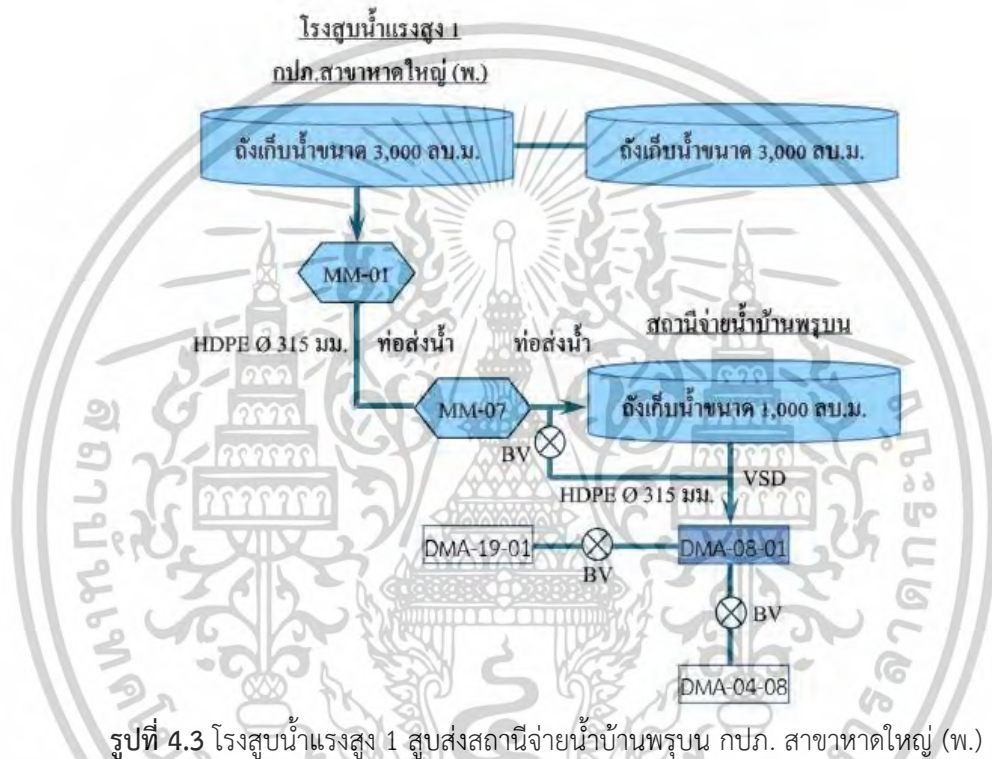
- หมายเหตุ
- MM11 สถานีเพิ่มแรงดันคอกสูง (เส้นเก่า)
 - MM12 สถานีเพิ่มแรงดันคอกสูง (เส้นใหม่)
 - MM13 สถานีจ่ายน้ำทางหอม และ โรงสูบน้ำแรงสูง กปภ.สาขาสงขลา
- เป็นมาตรวัดน้ำหลัก กปภ.สาขาสงขลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แผนผังการจ่ายน้ำ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)

มาตรวัดน้ำ MM-01 (หาดใหญ่-บ้านพรุ) เป็นมาตรวัดน้ำหลัก ขนาด 300 มม. วัดปริมาณน้ำส่งจากสถานีสูบน้ำส่ง/จ่ายน้ำ โรงสูบน้ำแรงสูง 1 กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ) ส่งน้ำไปยังสถานีจ่ายน้ำบ้านพรุ ผ่านท่อ HDPE ขนาด 315 มม. ความยาวประมาณ 5.5 กม. มีค่าความสูงต่างระดับระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุดประมาณ +20 ม. และมีมาตรวัดน้ำ MM-07 (น้ำรับสถานีบ้านพรุ) เป็นมาตรวัดน้ำหลักขนาด 300 มม. วัดปริมาณน้ำรับก่อนลงถังเก็บขนาด 1,000 ลบ.ม. สถานีจ่ายน้ำบ้านพรุรูปแบบการสูบส่งแบบ Star-delta ปริมาณน้ำสูบส่งประมาณ 250 ลบ.ม./ชม. แรงดันน้ำประมาณ 5.0 บาร์ ช่วงการสูบจ่ายตามระดับน้ำลดในถังเก็บน้ำขนาด 1,000 ลบ.ม. สถานีจ่ายน้ำบ้านพรุ



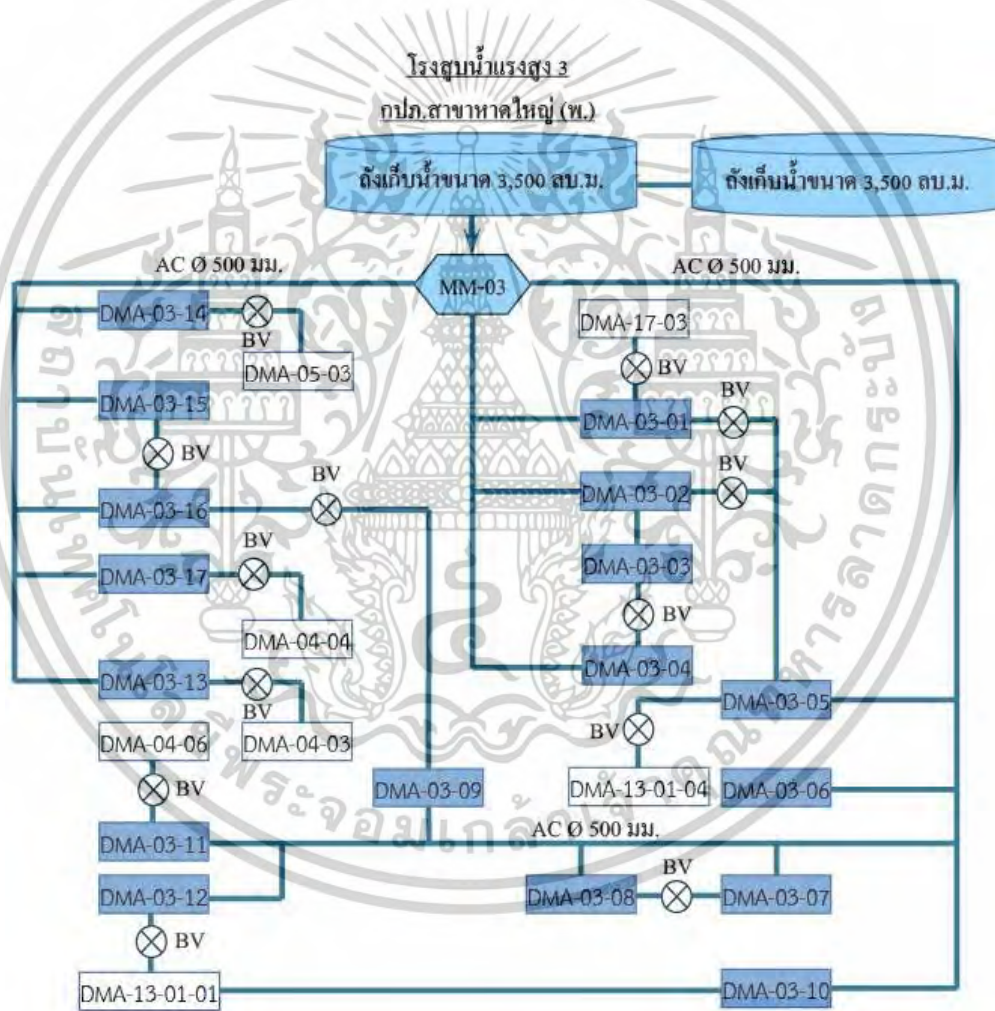
สถานีจ่ายน้ำบ้านพรุบน สูบจ่ายน้ำด้วยระบบ VSD (กำหนดค่าแรงดันน้ำตามช่วงเวลา) จ่ายน้ำผ่านมาตรวัดน้ำ DMA-08-01 (บ้านพรุบน) เป็นมาตรวัดน้ำ DMA ขนาด 400 มม. พื้นที่จ่ายน้ำบริเวณ ถ.กาญจนวานิช ตั้งแต่แยกคลองหระไปจนถึงหมู่บ้านกาญจนทรัพย์ (บ้านพรุ) ตรงข้ามแยกพุดค่างควา ต.บ้านพรุ จำนวนผู้ใช้ น้ำประมาณ 3,000 ราย มีปริมาณน้ำสูญเสียประมาณ 20,000 ลบ.ม. ต่อเดือน หรือประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ โดยขอบเขต DMA ติดกับ DMA-19-01 (บ้านพรุล่าง) และ DMA-04-08 (อำเภอหนองม่อม) สะดวกต่อการผันน้ำกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่น ระบบจ่ายขัดข้องหรือท่อขนาดใหญ่แตกรั่วในพื้นที่

ข้อควรระวัง กรณีที่จำเป็นต้องผันน้ำ จากเหตุท่อแตกรั่ว หรือเพิ่มพื้นที่การจ่ายน้ำไปยังอำเภอหนองม่อมเพื่อลดปริมาณน้ำจ่าย MM-04 (หาดใหญ่โซนสูง) ลง โดยเปิดน้ำเข้าพื้นที่ DMA-04-08 (อำเภอหนองม่อม) ปริมาณน้ำในถังน้ำใสขนาด 1,000 ลบ.ม. จะลดลงเร็วมาก สถานีจ่ายน้ำบ้านพรุบน อยู่บนพื้นที่สูง ค่าระดับของท่อจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้ น้ำต่างระดับกันมาก ลักษณะพื้นที่สูงต่ำต่างกัน ทำให้ต้องกำหนดค่าแรงดันน้ำจากจุดสูงสุดเป็นจุดวิกฤต ส่งผลให้ท่อจ่ายน้ำที่อยู่ในพื้นที่ต่ำรับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำสูงเกินความจำเป็น เป็นสาเหตุให้ท่อจ่ายน้ำแตกรั่ว และอายุการใช้งานของท่อจะสั้นลง สำหรับเส้นท่อขนาดใหญ่ที่แตกบ่อยและเสียงมากที่สุด คือ บริเวณริมถนนกาญจนาภิเษกตั้งแต่แยกคลองหะโง้งจนถึงบริเวณแยกบ้านพรุธานี เป็นท่อ PVC ขนาด 300 มม. รับแรงดันน้ำประมาณ 3.5 บาร์

มาตรวัดน้ำ MM-03 (หาคัดใหญ่โซนต่ำ) เป็นมาตรวัดน้ำหลัก ขนาด 600 มม. วัดปริมาณน้ำจ่ายจากสถานีสูบน้ำ โรงสูบน้ำแรงสูง 3 กปภ.สาขาหาคัดใหญ่ (พ) สูบน้ำด้วยระบบ VSD by demand และ VSD (กำหนดค่าแรงดันน้ำตามช่วงเวลา) จ่ายน้ำไปยังที่เศรษฐกิจภายในเขตเทศบาลนครหาคัดใหญ่เป็นหลัก ครอบคลุมผู้ใช้น้ำจำนวน 36,000 ครัวเรือน ผ่านท่อเหล็ก STP ขนาด 1,000 มม. ภายในสถานี ส่วนภายนอกสถานีจะมีท่อจ่ายน้ำ 3 เส้นด้วยกันที่แยกออกไปโดยมีท่อ STP ขนาด 800 มม. จำนวน 1 เส้น และท่อขนาด AC ขนาด 500 มม. จำนวน 2 เส้น ทั้ง 3 เส้นวางคู่ขนานซ้ายขวา ถ.พลพิชัย มุ่งหน้า ถ.ศรีภูวนารถ



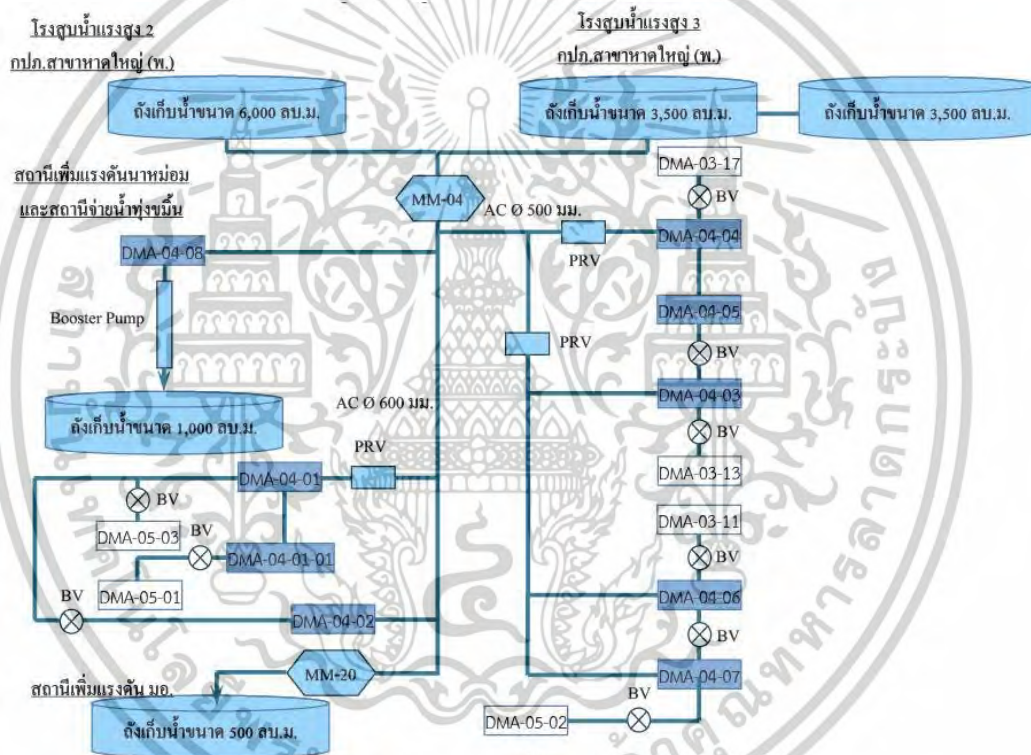
รูปที่ 4.4 โรงสูบน้ำแรงสูง 3 สูบน้ำเข้าพื้นที่หาคัดใหญ่โซนต่ำ กปภ.สาขาหาคัดใหญ่ (พ.)

ข้อควรระวัง ระบบท่อจ่ายน้ำชนิด AC และ GS หลายขนาดมีอายุการใช้งานนานและมีตะกรันเกาะบริเวณด้านข้างทำให้ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อน้อยลง ลักษณะการแตกรั่วจะผิดตามตะเข็บรอยเชื่อมตามแนวความยาวท่อ ส่วนท่อ AC แตกบ่อยในกรณีแรงดันน้ำต้นทางเกิน 1.8 บาร์ ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมแรงดันน้ำไว้ที่ไม่เกิน 1.6 บาร์ การเลือกใช้รูปแบบการจ่ายน้ำด้วย VSD by demand จำเป็นต้องวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านน้ำสูญเสีย และปัจจัยที่ทำให้ท่อแตกมากขึ้น

มาตรวัดน้ำ MM-04 (หาคู่ใหญ่โซนสูง) เป็นมาตรวัดน้ำหลักขนาด 400 มม. วัดปริมาณน้ำจ่ายจากสถานีสูบน้ำจ่ายน้ำ โรงสูบน้ำแรงสูง 2 และ 3 กภ.สาขาหาคู่ใหญ่ (พ) สูบน้ำจ่ายน้ำด้วยระบบ VSD กำหนดช่วงเวลาจ่ายน้ำไปยังพื้นที่สูงบริเวณอำเภอหนองม่อม และภายในเขตเทศบาลเมืองคอหงส์ ถนนปูลณณกันท์ ผ่านท่อเหล็ก AC, STP, HDPE ขนาด 600 มม. สลับเป็นช่วงๆ และลดขนาดเป็นท่อ AC ขนาด 500 มม. มีพื้นที่ DMA จำนวน 9 DMA และจ่ายน้ำไปยัง 2 สถานี ครอบคลุมผู้ใช้จำนวน 13,580 ครัวเรือน และมีปริมาณการสูญเสียในพื้นที่โซนนี้ประมาณ 8,000 ลบ.ม/ด. การสูบน้ำจ่ายน้ำในโซนนี้ MM-04 ค่าแรงดันน้ำต้นทางค่อนข้างสูง 4.8 บาร์ เพื่อจ่ายน้ำไปยัง Booster Pump และแนวท่อที่วางไปอำเภอหนองม่อมมีค่าระดับความสูงที่ต่างกันมาก +40 ม.



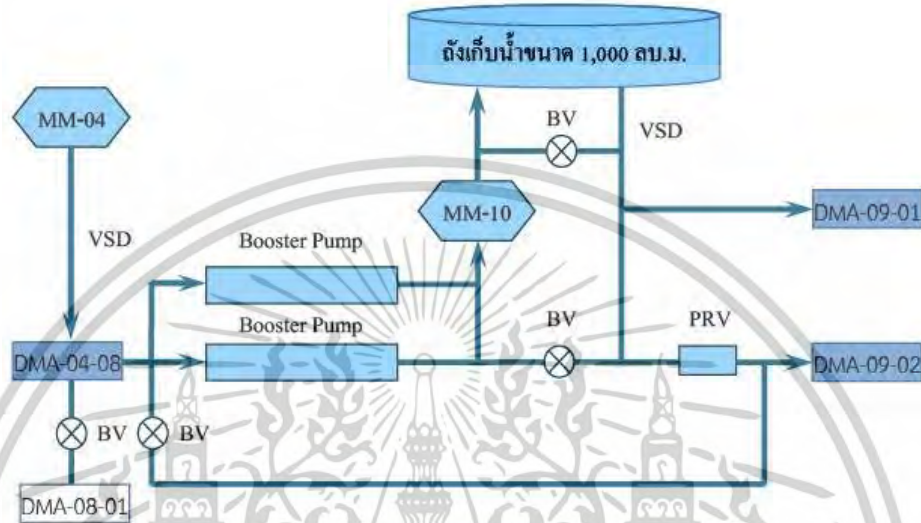
รูปที่ 4.5 โรงสูบน้ำแรงสูง 2 และ 3 สูบน้ำเข้าพื้นที่หาคู่ใหญ่โซนสูง สูบส่งสถานีเพิ่มแรงดันน้ำหม่อมและสถานีเพิ่มแรงดัน มอ. กภ.สาขาหาคู่ใหญ่ (พ)

ข้อควรระวัง การสูบน้ำด้วยแรงดันน้ำสูงเสี่ยงต่อการแตกรั่วของท่อจ่ายน้ำได้ และต้องใช้พลังงานมาก ซึ่งเป็นผู้ใช้น้ำรายใหญ่ซึ่งแรงดันน้ำในเส้นท่อไม่คงที่ เนื่องจากการเปิดใช้น้ำที่ไม่เป็นเวลา ไม่สามารถใช้รูปแบบการจ่ายน้ำด้วยระบบ VSD by demand ได้รวมทั้งมาตรวัดน้ำ DMA จำนวน 4 DMA ที่มีการติดตั้งมาตรแบบฝักกลบไม่สามารถสอบเทียบได้ ดังนั้นข้อมูลการวิเคราะห์น้ำสูญเสียราย DMA ยังไม่สมบูรณ์ เป็นอุปสรรคต่อการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย

สถานีเพิ่มแรงดันน้ำหม่อมและสถานีจ่ายน้ำทุ่งขมิ้น รับน้ำจาก MM-04 (หาคู่ใหญ่โซนสูง) ผ่าน DMA-04-08 โดย Booster pump จำนวน 2 เครื่อง สูบน้ำจากท่อจ่ายน้ำ HDPE ขนาด 315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

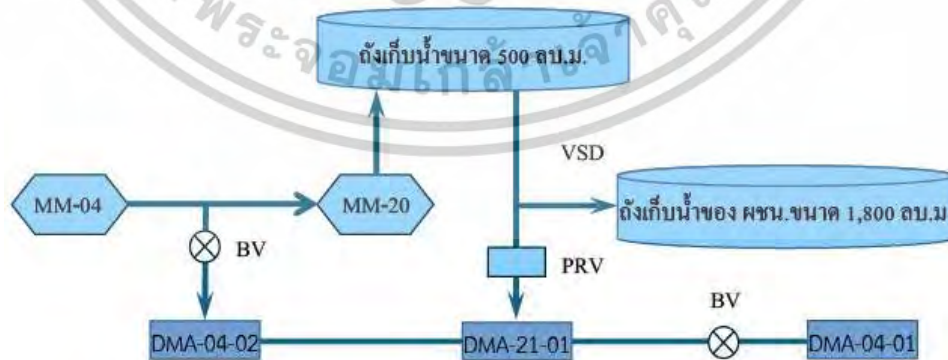
มม. ลงถังน้ำใสขนาด 1,000 ลบ.ม. และสูบน้ำจ่ายน้ำในพื้นที่ด้วยระบบ VSD กำหนดช่วงเวลา ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 DMA คือ DMA-09-01 จ่ายตรงด้วยระบบ VSD ครอบคลุมผู้ใช้น้ำโซนพื้นที่ทุ่งขมื่นบน จำนวน 500 ราย และ DMA-09-02 จ่ายตรงด้วยระบบ VSD แต่จะควบคุมแรงดันน้ำด้วย PRV อีกขั้นตอนหนึ่งเพื่อปรดลดแรงดันน้ำส่วนเกินที่มากเกินไป เนื่องจากน้ำจ่ายผ่านเครื่องสูบน้ำเครื่องเดียวกันทั้ง 2 DMA ครอบคลุมผู้ใช้น้ำโซนพื้นที่ทุ่งขมื่นล่าง จำนวน 1,800 ราย



รูปที่ 4.6 สถานีเพิ่มแรงดันน้ำหม่อมและสถานีจ่ายน้ำทุ่งขมื่น

ข้อควรระวัง ปริมาณน้ำรับจาก Booster pump สูงสุดประมาณ 70-80 ลบ.ม./ชม. กรณีเปิดใช้งาน Booster pump จำนวน 1 เครื่อง หากเปิดใช้งานพร้อมกันทั้ง 2 เครื่อง จะได้ปริมาณน้ำประมาณ 90-100 ลบ.ม./ชม. ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นแค่ 10-20 ลบ.ม./ชม. แต่ค่าพลังงานที่ใช้ไปเพิ่มขึ้น 1 เท่าตัว ต้องมีการควบคุมการทำงานของ Booster pump ให้เหมาะสมเนื่องจากถ้าแรงดันน้ำหน้า Booster pump ต่ำไม่เพียงพอ ทำให้ booster pump หยุดการทำงาน

สถานีเพิ่มแรงดันน้ำ มอ. มีถังเก็บขนาด 500 ลบ.ม. รับน้ำจากมาตรวัดน้ำ MM-04 และมีมาตรวัดน้ำ MM-20 วัดปริมาณน้ำก่อนลงถังเก็บน้ำ สูบส่งน้ำลงถังเก็บน้ำขนาด 1,800 ลบ.ม. โดยก่อนลงถังจะมีมาตรวัดน้ำผู้ใช้น้ำขนาด 2 นิ้ว วัดปริมาณน้ำจำหน่าย

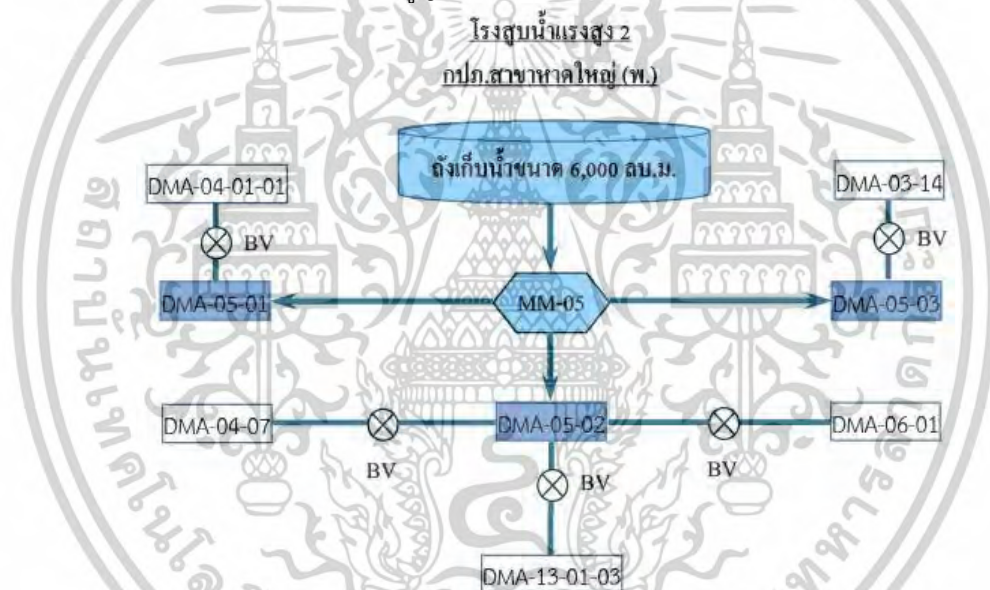


รูปที่ 4.7 สถานีเพิ่มแรงดันน้ำ มอ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง สถานีเพิ่มแรงดันน้ำ มอ. ไม่มี จนท. ประจำสถานีใช้การสื่อสารซิมมือถือ อินเทอร์เน็ตภายในผ่านระบบ SCADA ทำให้การประสานงานเกิดความคลาดเคลื่อน อาจส่งผลน้ำล้น ถึงเก็บขนาด 500 ลบ.ม. หรือระบบไฟฟ้าขัดข้องต้องใช้เวลาในการแก้ไข โดยหาก PRV ทำงานผิดปกติช่วงเวลาที่มีการเพิ่มแรงดันน้ำเป็น 5.5-6.0 บาร์ จะทำให้ท่อจ่ายน้ำในพื้นที่ DMA-21-01 รับแรงดันน้ำสูงเป็นสาเหตุทำให้ท่อแตกรั่ว นอกจากนี้จะมีประเด็นในเรื่องของถังเก็บน้ำสถานีเพิ่มแรงดันน้ำ มอ. มีขนาดเล็กไม่สามารถสำรองน้ำสำหรับสูบน้ำเกิน 4 ชั่วโมง และเครื่องสูบน้ำมีขนาดเล็กจำนวน 2 เครื่อง หากไม่สามารถใช้งานได้เครื่องหนึ่งเครื่องใด ก็ไม่สามารถสูบน้ำไปยังผู้ใช้ น้ำภายในอุทยานศุภชัยวิทย์ มอ. ได้

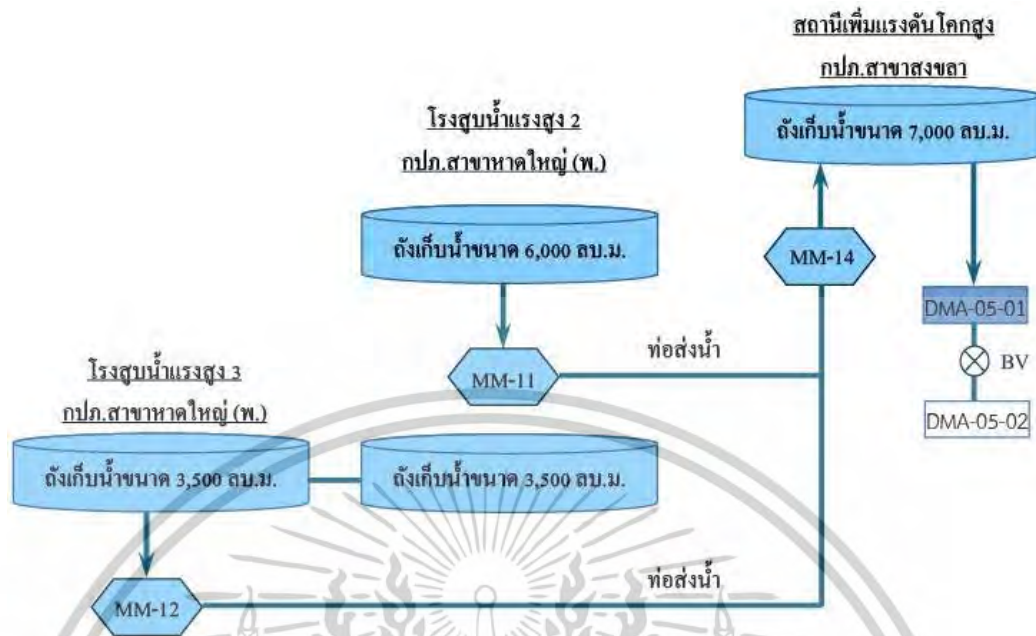
มาตรวัดน้ำ MM-05 (หาดใหญ่ - กาญจนวิชัย ผ่านเส้นท่อ DI400) มาตรวัดน้ำ ขนาด 300 มม. วัดปริมาณน้ำจ่ายจากสถานีสูบน้ำ โรงสูบน้ำแรงสูง 2 กภ. สาขาหาดใหญ่ (พ.) สูบน้ำด้วยระบบ VSD กำหนดช่วงเวลา จ่ายน้ำไปยังพื้นที่สูงและผู้ใช้รายใหญ่ มอ. ผ่านท่อเหล็ก DI ขนาด 400 มม. ความยาวประมาณ 17 กิโลเมตร มีพื้นที่ DMA จำนวน 3 DMA ครอบคลุมผู้ใช้น้ำจำนวน 6,500 ราย และมีปริมาณน้ำสูญเสียในพื้นที่โซนนี้ประมาณ 37,000 ลบ.ม. ต่อเดือน



รูปที่ 4.8 โรงสูบน้ำแรงสูง 2 สูบน้ำเข้าพื้นที่หาดใหญ่ - กาญจนวิชัย กภ. สาขาหาดใหญ่ (พ.)

ข้อควรระวัง ท่อน้ำขนาดไม่เหมาะสมกับปริมาณน้ำจ่ายที่ต้องการ ในกรณีที่มี การเปิดน้ำลงถังเก็บน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทำให้แรงดันน้ำในเส้นท่อลดลง น้ำเต็มเต็มไม่ทัน และไม่สามารถเพิ่มการจ่ายน้ำให้กับมาตรผู้ใช้รายใหญ่ มอ. เครื่องอื่นได้ แรงดันน้ำไม่เพียงพอ ต้องแบ่งพื้นที่จ่ายน้ำร่วมกับ MM-04 (หาดใหญ่โซนสูง) นอกจากนี้มีเรื่องของแรงดันน้ำคงเหลือในเส้นท่อสูงเกินความจำเป็น เป็นสาเหตุให้ท่อในพื้นที่แตกรั่วบ่อยครั้ง

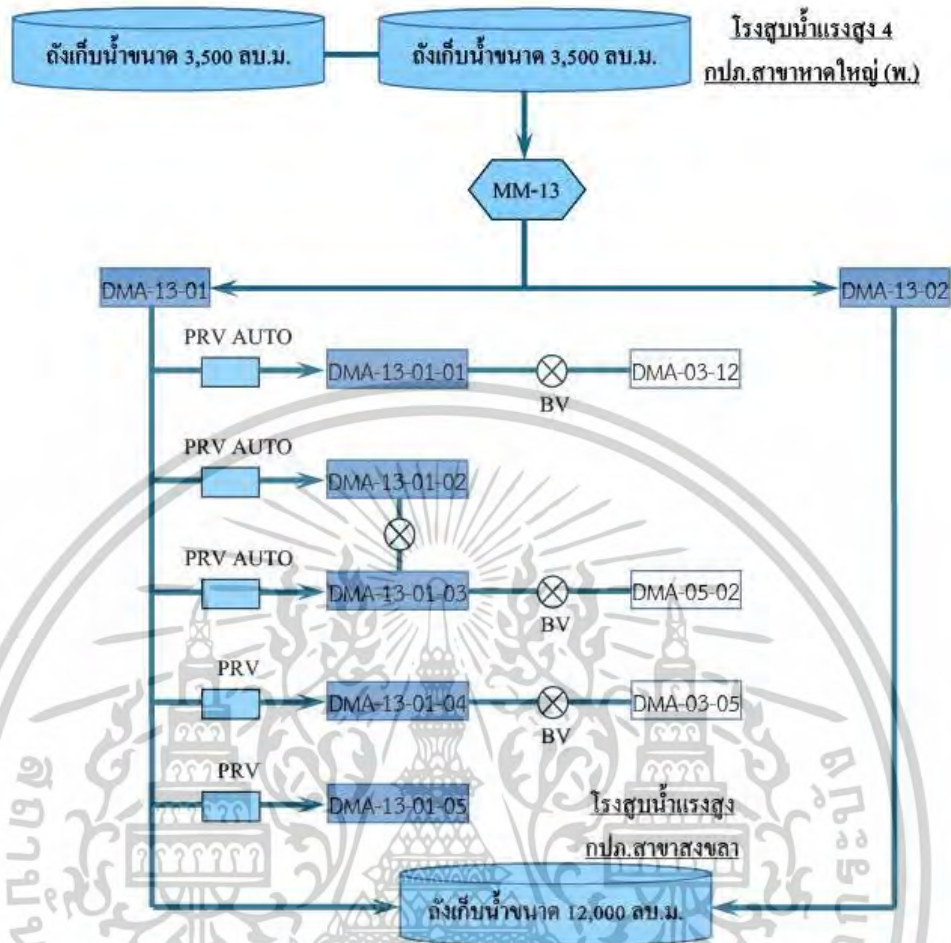
มาตรวัด DMA-06-01 (น้ำน้อย) มาตรวัดน้ำ DMA 150 มม. วัดปริมาณน้ำจ่ายจากสถานีเพิ่มแรงดันโคกสูง กภ. สาขาสงขลา สูบน้ำด้วยระบบ VSD กำหนดช่วงเวลา จ่ายน้ำไปยังพื้นที่ผู้ใช้ น้ำ ตาบถน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ครอบคลุมผู้ใช้น้ำ จำนวน 2,700 ราย และมีปริมาณน้ำสูญเสียในพื้นที่โซนนี้ประมาณ 14,000 ลบ.ม.ต่อเดือน



รูปที่ 4.9 โรงสูบน้ำแรงสูง 2 สูบส่งสถานีเพิ่มแรงดันโคกสูง กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)

ค่าระดับความสูงของพื้นที่จ่ายน้ำมีความสูงต่างกันมาก ทำให้แรงดันน้ำในพื้นที่มีความแตกต่างกัน เช่น บางจุดวัดได้ 3.5 บาร์ บางจุดวัดได้ 0.5 บาร์ นอกจากนี้การจ่ายน้ำผ่าน DMA-05-02 ก็ไม่สามารถจ่ายน้ำให้ไหลทั่วพื้นที่บริเวณได้ พื้นที่น้ำไม่ไหล เช่น พื้นที่โดยรอบวัดน้ำน้อย บริเวณปางช้าง และพื้นที่บริเวณตำบลทุ่งใหญ่ ซึ่งเป็นพื้นที่สูง

มาตรวัดน้ำ DMA-13-01-01 ถึง DMA-13-01-05 มาตรวัดน้ำ DMA วัดปริมาณน้ำจ่ายจากท่อส่งน้ำ MM-13 กปภ.สาขาสงขลา โดยมีอุปกรณ์ปรับลดแรงดันน้ำ PRV ควบคุมแรงดันน้ำในแต่ละพื้นที่ DMA จ่ายน้ำไปยังพื้นที่ผู้ใช้ น้ำตำบลคลองแห อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ครอบคลุมผู้ใช้จำนวน 14,000 ราย



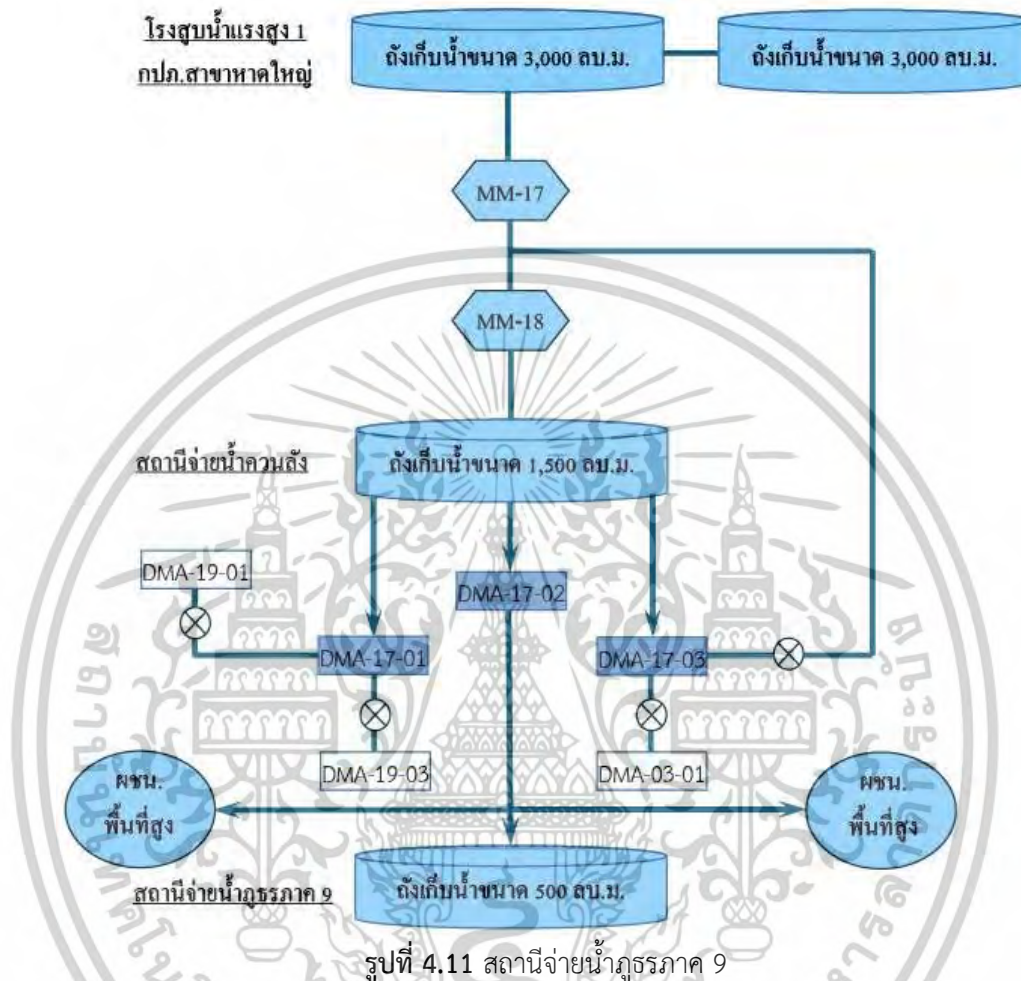
รูปที่ 4.10 โรงสูบน้ำแรงสูง 4 กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)
 สูบส่งสถานีจ่ายน้ำท่าทางหอม และ โรงสูบน้ำแรงสูง กปภ.สาขาสงขลา

ข้อควรระวัง โซนพื้นที่ DMA ที่รับน้ำจากท่อส่งน้ำ กปภ.สาขาสงขลา ไม่สามารถกำหนดแรงดันน้ำต้นทางได้ ต้องใช้ PRV เป็นอุปกรณ์ปรับลดแรงดันน้ำ ซึ่งอุปกรณ์ PRV ทำงานผิดปกติบ่อยมาก ส่งผลให้แรงดันน้ำในพื้นที่มีค่าไม่คงที่ นอกจากนี้ แหล่งจ่ายน้ำทางเลือกอื่น สามารถผันน้ำจาก MM-05 โดยจ่ายน้ำผ่าน DMA 05-02 เข้าพื้นที่ DMA13-01-03 และ MM-03 โดยจ่ายน้ำผ่าน DMA 03-05 เข้าพื้นที่ DMA 13-01-04 รวมทั้งจ่ายน้ำผ่าน DMA-03-12 เข้าพื้นที่ DMA13-01-01 แต่ด้วยลักษณะพื้นที่ ระบบท่อและอุปกรณ์ทำให้แรงดันน้ำน้อยกว่าค่าปกติ

มาตรวัดน้ำ MM-17 เป็นมาตรวัดน้ำหลักขนาด 300 มม. วัดปริมาณน้ำส่งจากสถานีสูบน้ำจ่ายน้ำ โรงสูบน้ำแรงสูง 1 กปภ.สาขาหาดใหญ่ ส่งน้ำไปยังสถานีจ่ายน้ำควนลัง ผ่านท่อ HDPE ขนาด 400 มม. ความยาวประมาณ 5.5 กม. มีค่าความสูงต่างระดับระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุดประมาณ +20 ม. และมีมาตรวัดน้ำ MM-18 เป็นมาตรวัดน้ำหลักขนาด 400 มม. วัดปริมาณน้ำรับก่อนลงถังเก็บน้ำขนาด 1,500ลบ.ม. สถานีจ่ายน้ำควนลังรูปแบบการสูบส่งแบบ Star-Delta ปริมาณน้ำสูบส่งประมาณ 350 ลบ.ม./ชม. แรงดันน้ำประมาณ 3.5 บาร์ การสูบส่งน้ำตามระดับน้ำลดในถังเก็บขนาด 1,500 ลบ.ม. สถานีจ่ายน้ำควนลัง ปริมาณน้ำส่งในช่วงเร่งด่วนจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่จ่ายออกไป

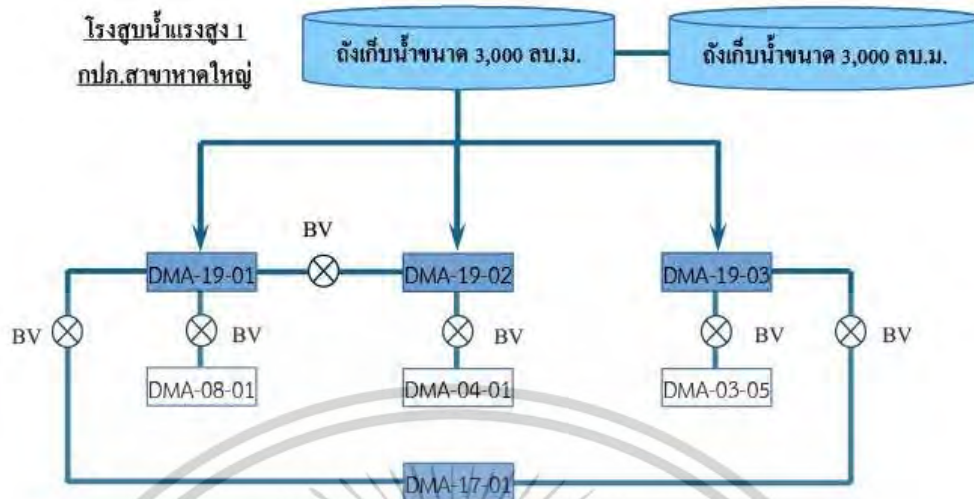
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโซนจ่ายน้ำสถานีจ่ายน้ำควนลิ่งจะจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ DMA จำนวน 3 พื้นที่ DMA และส่งจ่ายน้ำไปยังสถานีจ่ายน้ำตำรวจภูธรภาค 9



ข้อควรระวัง ปริมาณน้ำที่ส่งและจ่ายน้ำปลายทางจากโรงสูบน้ำแรงสูง 1 สูบส่งไปยังสถานีจ่ายน้ำควนลิ่งมีปริมาณใกล้เคียงต่อความต้องการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเสี่ยงต่อการขยายเขตจำหน่ายน้ำในอนาคตหรือมีท่อแตกรั่วในพื้นที่จ่ายน้ำมากขึ้น ปริมาณน้ำจ่ายอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการ การสูบส่งจ่ายน้ำด้วยแรงดันน้ำสูง 6 บาร์ มีความเสี่ยงที่ทำให้ผู้ใช้จ่ายน้ำปลายทางท่อแตกรั่วได้ กรณี PRV ทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ลักษณะพื้นที่จ่ายน้ำมีความแตกต่างกัน และมีเขตพื้นที่จ่ายน้ำเป็นวงกว้าง การควบคุมแรงดันน้ำเป็นไปค่อนข้างยาก และกรณีท่อประปาแตกรั่วต้องใช้เวลาในการสำรวจหาท่อแตกรั่ว

โซนพื้นที่จ่ายน้ำบ้านพรุล่าง สูบจ่ายน้ำจากโรงสูบน้ำแรงสูง 1 กปภ. สาขาหาดใหญ่ ส่งจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำ 3 พื้นที่ DMA คือ DMA-19-01 DMA-19-02 และ DMA-19-03



รูปที่ 4.12 โซนพื้นที่จ่ายน้ำบ้านพรุล่าง

ข้อควรระวัง DMA-19-01 ปัจจุบันมีผู้ใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้ท่อเดิมจ่ายน้ำไม่เพียงพอต้องใช้แรงดันน้ำต้นทางที่สูงมากกว่าปกติ เพื่อเพิ่มอัตราการไหลให้เร็วขึ้น ทำให้ท่อและอุปกรณ์ประปาแตกมากขึ้น มีการอุดตันบริเวณอุปกรณ์ประปา น้ำไหลอ่อนยากต่อการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพน้ำ ส่วน DMA-19-02 เป็นพื้นที่ที่แรงดันน้ำในพื้นที่ค่อนข้างสูงเกินความจำเป็น และ DMA-19-03 ลักษณะพื้นที่สูงต่ำต่างกันมากทำให้แรงดันน้ำในพื้นที่แตกต่างกัน บริเวณที่ได้รับการร้องเรียนน้ำไม่ไหล คือ หมู่บ้านเนินเขา ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

4.1.2 ผลของการศึกษาการออกแบบการทดลอง

ผู้ศึกษาได้ทำการออกแบบการทดลองมีขั้นตอนในการออกแบบทดลอง ดังนี้

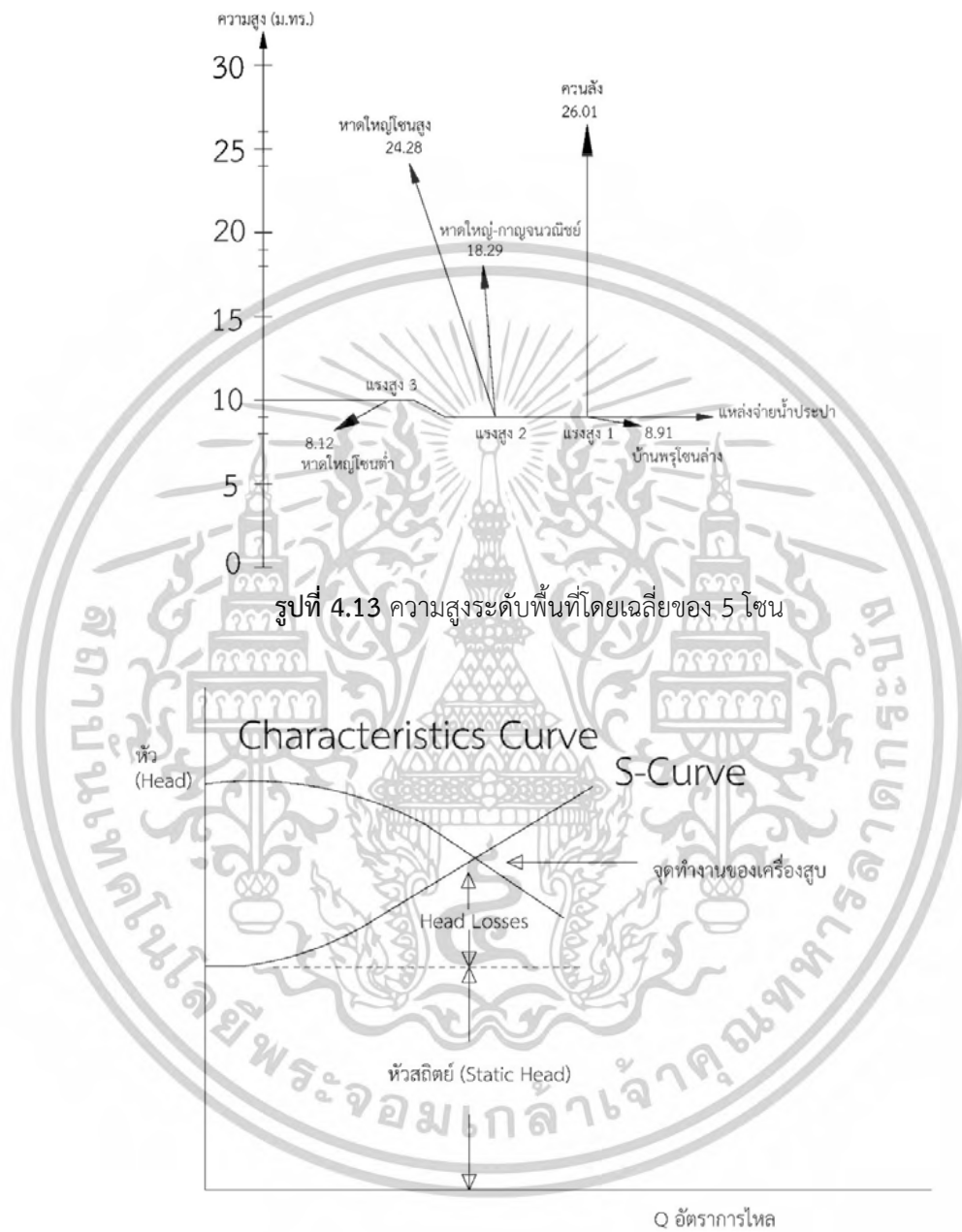
1. กำหนดพื้นที่การศึกษา โครงสร้างพื้นฐานระบบจำหน่ายน้ำประปา
2. กำหนดระยะท่อ ประเภทท่อประปา และแหล่งจ่ายน้ำประปา
3. ทำการออกแบบโมเดลที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Model) โดยวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เหนือ อัตราการไหลต้นทาง การสูญเสียหัวน้ำ และขนาดมาตรวัดน้ำและอัตราการไหลปลายทาง นำข้อมูลเข้าภายในโปรแกรม EPANET เพื่อสร้างแบบจำลองในสถานการณ์ต่างๆ
4. ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันทุก ๆ 10 นาที
5. ทำการตรวจติดตามอัตราการไหลทุก ๆ 10 นาที
6. ทำการ Validate โดยการทำ Validation Model โดยใช้วิธีการสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากขึ้นโดยโปรแกรม MATLAB นำมาสร้างฟังก์ชันการทำงานภายในโปรแกรม PLC ของระบบ SCADA

7. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการกระจายน้ำ ทำการ plot กราฟความสูงระดับพื้นที่โดยเฉลี่ยของ 5 โซนพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.13 โดยความสูงของแต่ละโซนเป็นดังนี้ 1) หาดใหญ่โซนต่ำมีความสูงเฉลี่ย 8.12 ม.ทร. 2) หาดใหญ่โซนสูงมีความสูงเฉลี่ย 24.28 ม.ทร. 3) หาดใหญ่-กาญจนวนิชย์ มีความสูงเฉลี่ย 18.29 ม.ทร. 4) ควนลังมีความสูงเฉลี่ย 26.01 ม.ทร. 5) บ้านพรุโซนล่างมีความสูงเฉลี่ย 8.91 ม.ทร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำค่าของ Head และ อัตราการไหลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของจุดทำงานของเครื่องสูบ และ Head Loss และ Statistic head แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ความสูงระดับพื้นที่โดยเฉลี่ยของ 5 โซน

รูปที่ 4.14 เส้นโค้งหัว - อัตราไหล (Characteristic Curve)

จากนั้นผู้ศึกษาได้สร้างกราฟ System Head Curve (S-Curve) ของท่อส่งน้ำโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

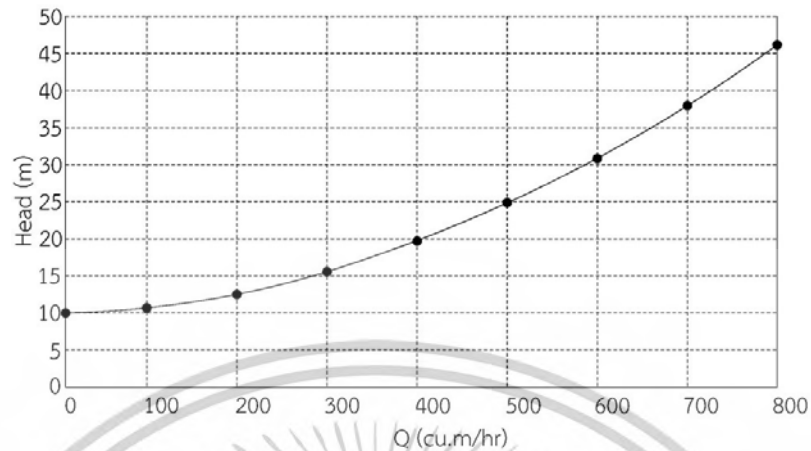
WILLIAMS AND HAZEN'S FORMULA

$$H_2 = H_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{1.85185185}$$

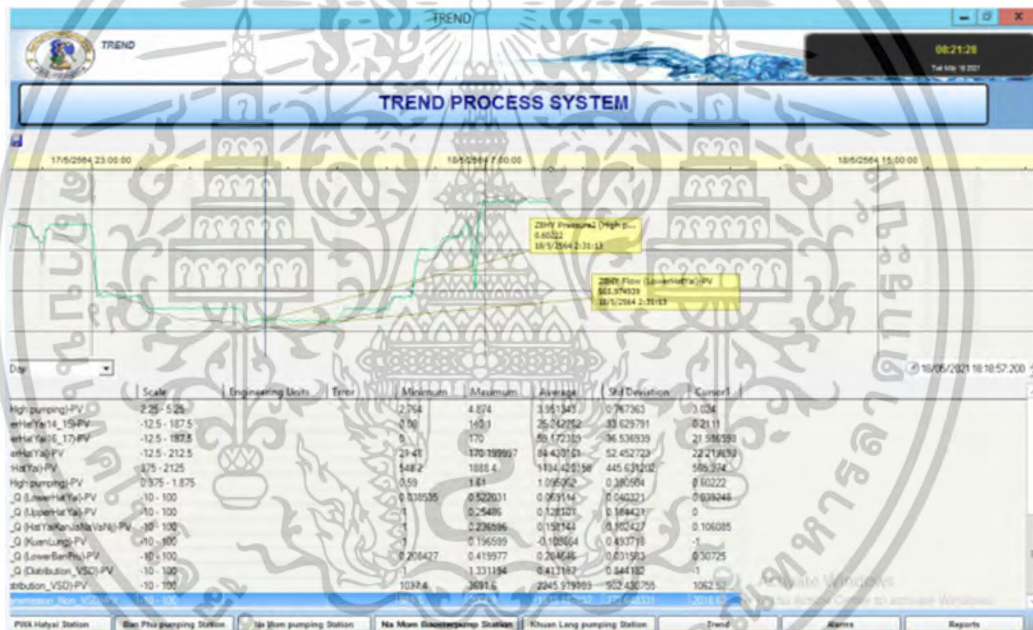
สมการที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการ plot กราฟระหว่าง Head กับ อัตราการไหลแสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 System Head Curve (S-Curve)

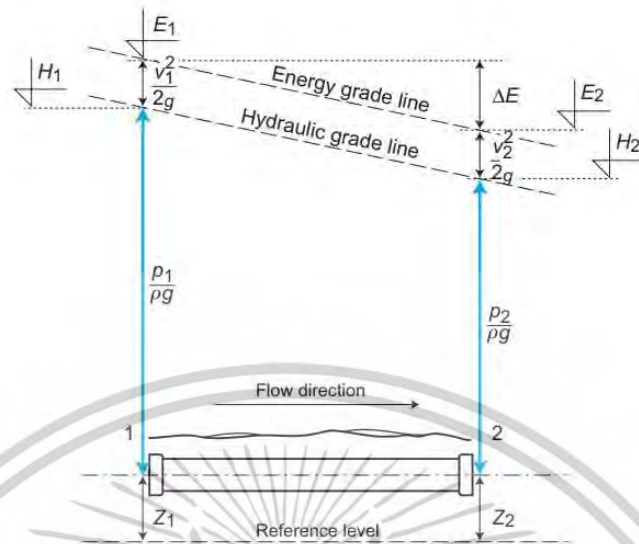


รูปที่ 4.16 System Head Curve (S-Curve) หาดใหญ่ไซนต้า

ผู้ศึกษาวิจัยได้มีการใช้สมการพลังงานมาใช้วิเคราะห์ หัวความดัน (Pressure head) และหัวความเร็ว (Speed Head) ดังสมการที่ 4.2 และรูปที่ 4.17 ดังนี้

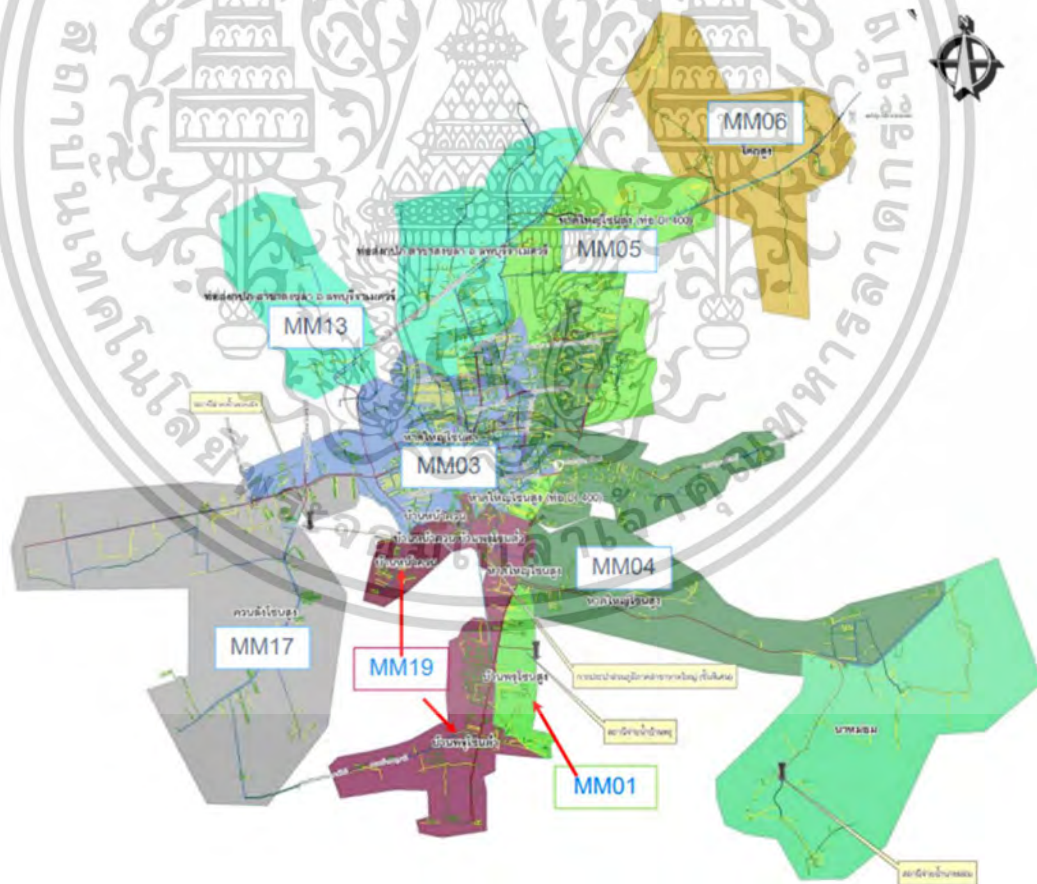
$$H = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_2 \quad \text{สมการที่ 4.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ของสมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) (Nemanja, 2020)

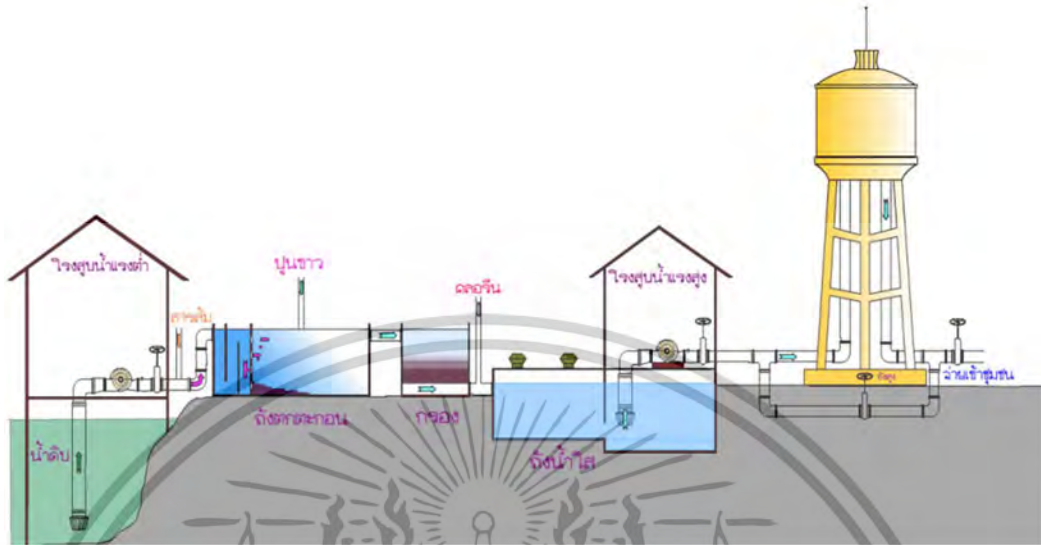
แผนที่จ่ายน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แผนที่จ่ายน้ำ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ)

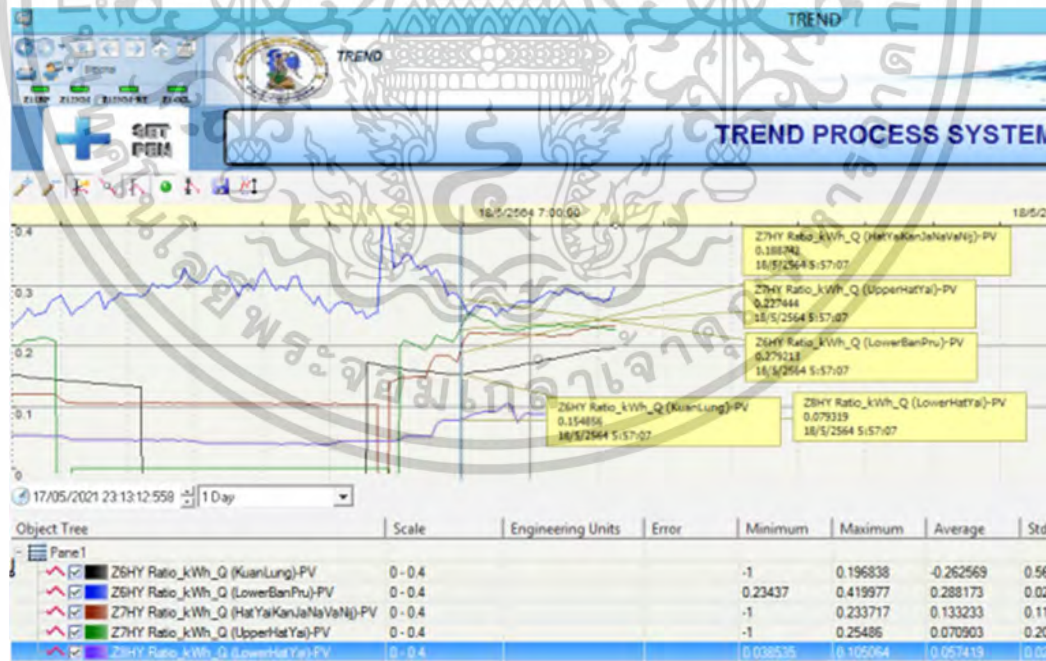
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบผลิตและจ่ายน้ำประปาพื้นฐานของการประปาส่วนภูมิภาค แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ระบบผลิตจ่ายน้ำประปาพื้นฐาน

นอกจากนี้ในระบบสามารถตรวจวัดการใช้ต้นทุนพลังงานรายเดือนด้วยอุปกรณ์ดิจิทัลพาวเวอร์มิเตอร์ และค่าปริมาณน้ำผลิตจ่ายสะสมรายเดือนด้วยมาตรวัดน้ำหลักของแต่ละโซนพื้นที่แหล่งจ่ายน้ำ 5 โซน ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ข้อมูล SEC 5 พื้นที่แหล่งจ่าย กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)

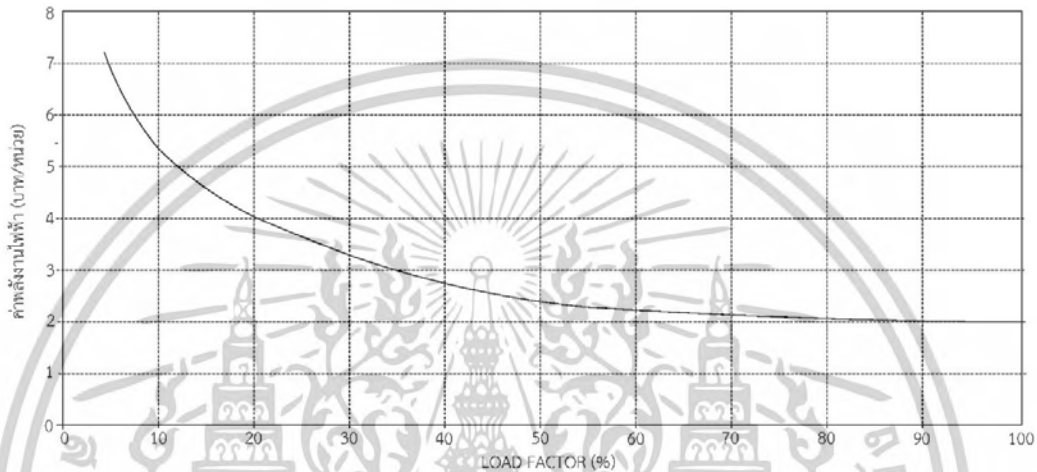
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการตรวจวัดการใช้ต้นทุนพลังงาน สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ ที่ 4.3 และรูปที่ 4.21

$$C = aD + bW$$

สมการที่ 4.3

โดยที่ C = ค่าไฟฟ้า (บาท)
 a = ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge)
 b = ค่าพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง LOAD FACTOR และ ENERGY CHARGE

4.1.2 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์ด้วยวิธีถดถอยพหุคูณเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามที่ศึกษา โดยเป็นดังสมการที่ 4.4 และรูปที่ 4.22

$$Y_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^n a_{ij}x_{ij} + \sum_{i=1}^n b_{ij}x_{ij}^2 + c_jx_1x_2 \quad \text{สมการที่ 4.4}$$

ชุดตัวแปรอิสระ

X_1, X_2, X_3, X_4

X_1

X_2

X_3

X_4

ชุดตัวแปรตาม

Y (อยู่ในมาตรฐานอัตราภาคหรืออัตราส่วน)

Y

รูปที่ 4.22 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณกำลังสอง

โดยที่ j (พื้นที่แหล่งจ่ายน้ำ) = 1, 2, 3, ..., m

เมื่อ y คือ ต้นทุนพลังงานสะสม (บาท/เดือน)

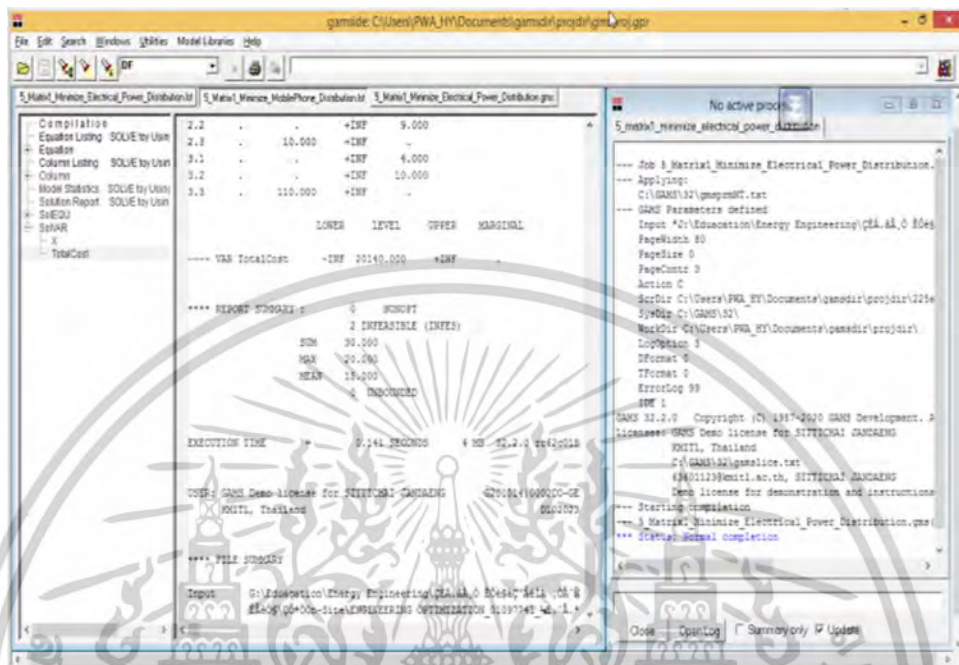
X_1 คือ เฮด (เมตร)

X_2 คือ อัตราการไหล (เมตร³/วินาที)

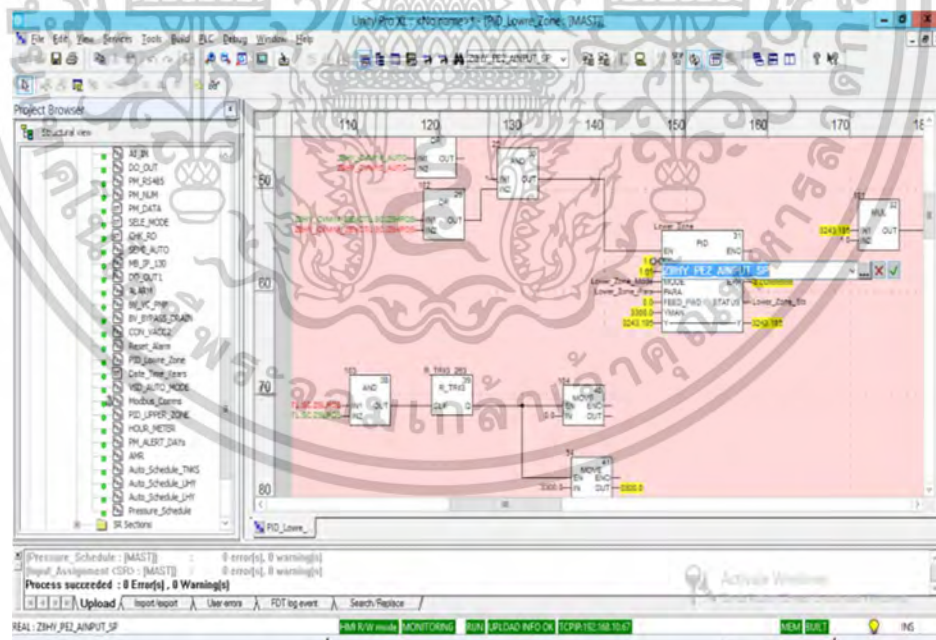
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_3 คือ ค่าสูญเสียหัวน้ำ (เมตร)

X_4 คือ ขนาดมาตรวัดน้ำและอัตราการไหล (เมตร³/วินาที)



รูปที่ 4.23 การคอมพิวเตอร์แบบจำลอง electric power distribution ด้วย GAMS



รูปที่ 4.24 PID Controller – หาดใหญ่โซนต่ำ

ผู้ศึกษาใช้โปรแกรม EPANET และ SCADA ในการสร้างแบบจำลองเครือข่ายท่อจ่ายน้ำ/ท่อส่งน้ำ โดยการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดลงในโปรแกรม เช่น ขนาดท่อ แรงดันต้นทาง แรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

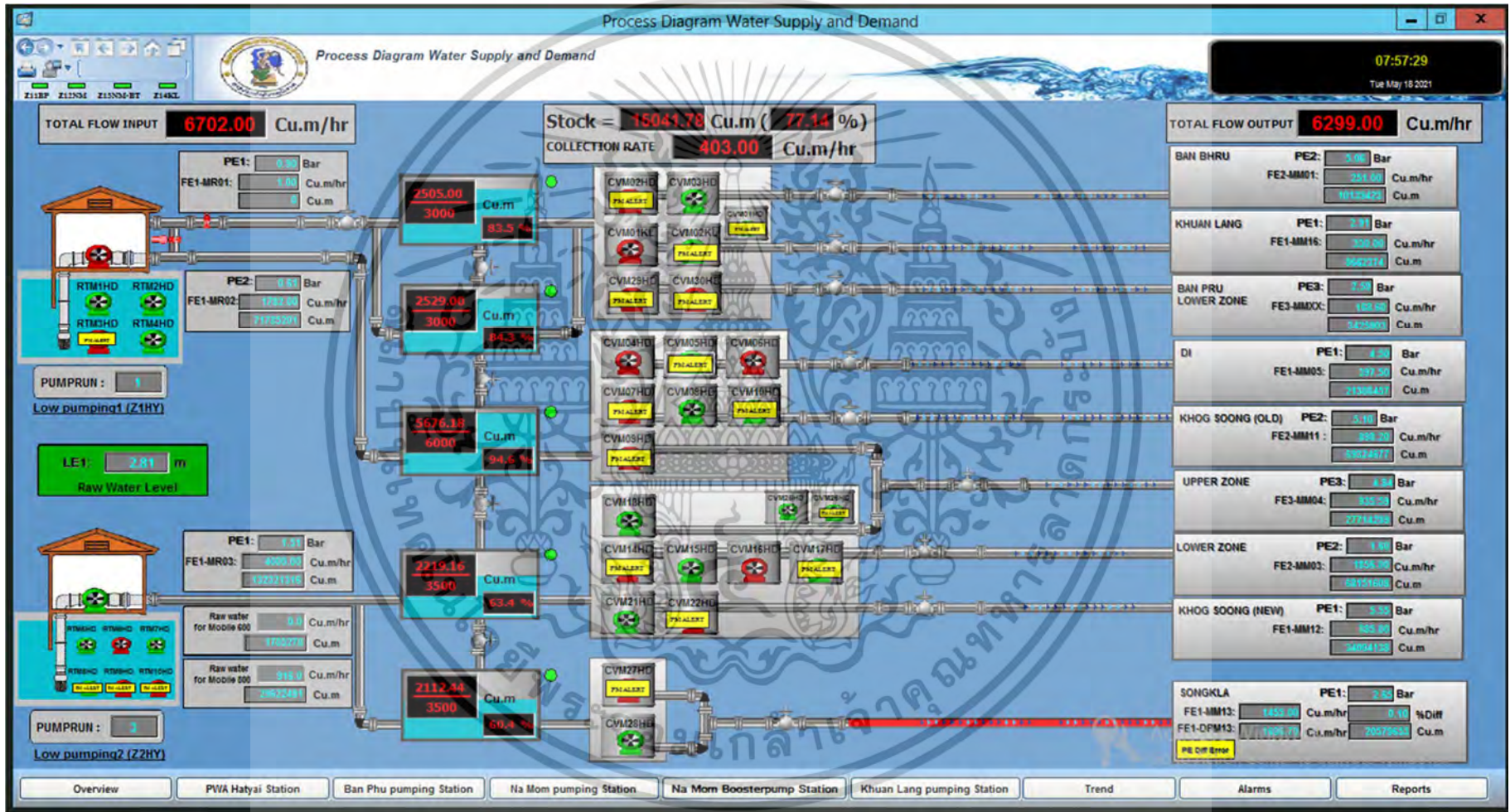
ระหว่างทาง และแรงดันปลายทาง ชนิดท่อ ความเร็วน้ำ ตามรายละเอียดของ diagram ในบทที่ 3 โดยภาพรวมของแบบจำลองทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4.25 – 4.33

ข้อมูลที่รวบรวมได้แสดงให้เห็นข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับความต้องการที่แตกต่างกันของประชากรขนาดใหญ่ในช่วงเวลาต่างๆ ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูงเพื่อกักเก็บน้ำจำนวนมากบนถังสูง ปั๊มบูสเตอร์ถูกติดตั้งระหว่างต้นน้ำและปลายน้ำเพื่อดันน้ำและจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้ น้ำปลายน้ำอย่างทั่วถึง ตัวอย่างพื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 กิโลเมตร หากเราติดตั้งปั๊มบูสเตอร์ที่ระยะห่างระหว่าง 7 กิโลเมตร เราจะไม่จำเป็นต้องส่งน้ำจำนวนมากไปยังระดับที่สูงกว่า ปั๊มบูสเตอร์จะทำงานแบบเรียลไทม์และลดการใช้พลังงานส่วนเกิน แรงดันในการจ่ายเฉลี่ยของต้นน้ำคือ 48 เมตร ซึ่งจำลองจากโปรแกรม EPANET อย่างไรก็ตาม หลายจุดที่ตำแหน่งปลายน้ำสามารถลดแรงดันที่ต้องการลงเหลือ 40 เมตรได้ การประยุกต์ใช้ SCADA จะควบคุมระบบสูบน้ำตามโซลูชันของ EPANET และลดการใช้พลังงาน ลงได้ 22% เห็นได้ชัดว่าการสูญเสียจะลดลง 18% เมื่อแรงดันน้ำในระบบต่ำลง หลายสถานที่ลดแรงดันน้ำระหว่างต้นน้ำและปลายน้ำจาก 48 เมตรเหลือ 40 เมตรในกรณีนี้

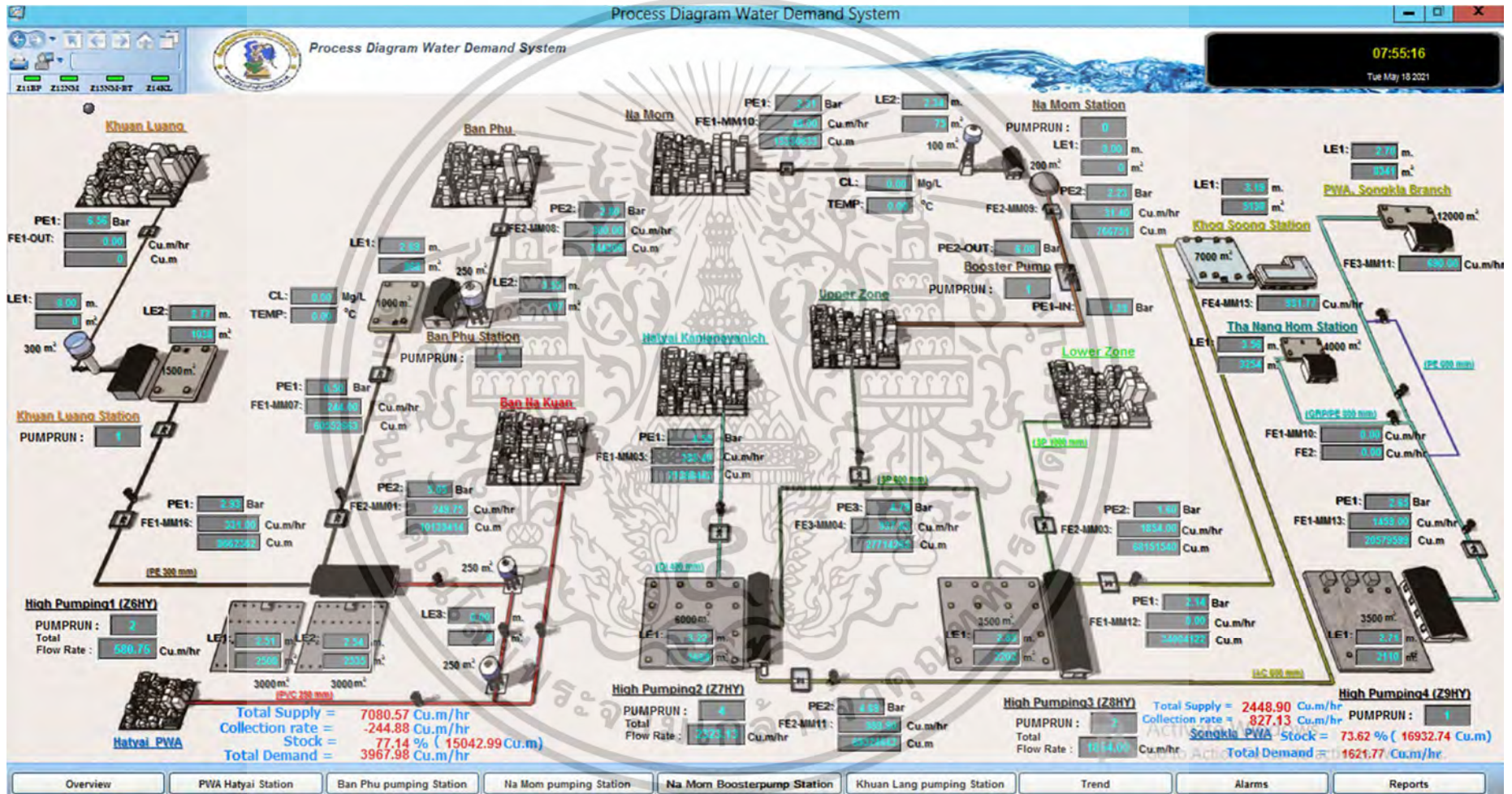
4.2 ผลการออกแบบการควบคุมระบบการจำหน่ายน้ำแบบเรียลไทม์ด้วยระบบ SCADA

การออกแบบการควบคุมระบบการจำหน่ายน้ำแบบเรียลไทม์ ทางหน่วยงานของผู้ศึกษาได้มีการจัดทำ Webpage ของระบบบริหารจัดการน้ำเสีย ที่สามารถแสดงรายงานผลของจุดติดตั้ง DMA แต่ละจุดได้อย่างชัดเจน องค์ประกอบของหน้าระบบบริหารจัดการน้ำเสียประกอบด้วย

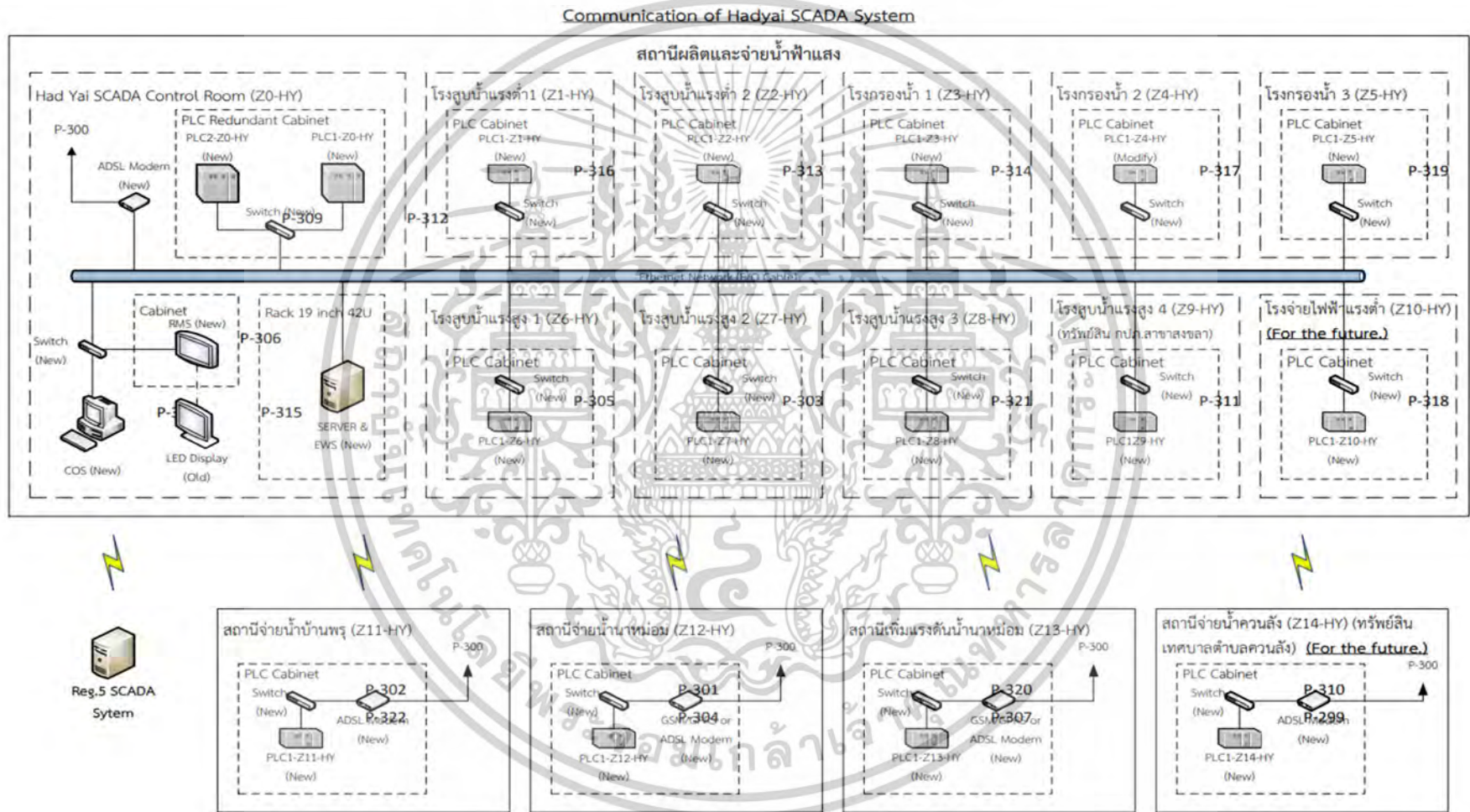
1. หน้าหลัก แสดงจุด DMA ประกอบด้วย จำนวนผู้ใช้ น้ำ แรงดันเข้า อัตราการไหล แรงดันขาออก ปริมาตร โดยรวม แสดงดังรูปที่ 4.33 -4.36
2. หน้าวิเคราะห์ เป็นการวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับอัตราการไหลและแรงดันขาออก แสดงออกมาเป็นกราฟ แสดงดังรูปที่ 4.37
3. หน้า SCADA เป็นการระบุเงื่อนไขของแต่ละจุด และการเชื่อมต่อของเส้นแต่ละเส้น แสดงดังรูปที่ 4.38
4. หน้าระบบติดตามมาตรวัดน้ำ เป็นการแสดงแต่ละจุดที่มีการติดตั้งมาตรวัดน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.39
5. หน้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แสดงดังรูปที่ 4.40
6. หน้าสรุปภาพรวมของ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) แสดงดังรูปที่ 4.41
7. หน้ารายงาน เป็นส่วนการรายงาน เช่น รายงานการจ่ายน้ำ รายงานน้ำสูญเสีย รายงานความผิดปกติของอุปกรณ์ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.42



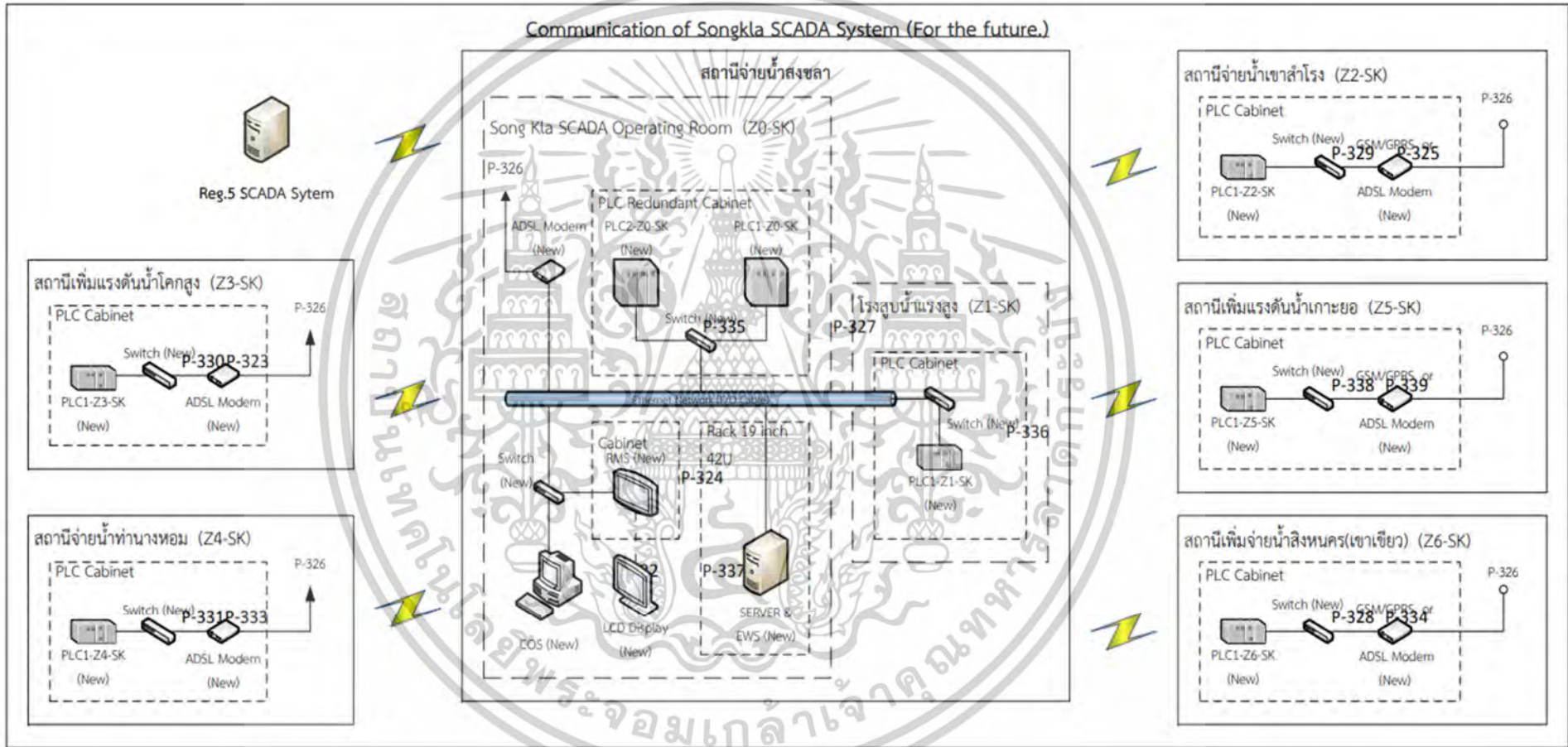
รูปที่ 4.25 Process Diagram Water Supply and Demand



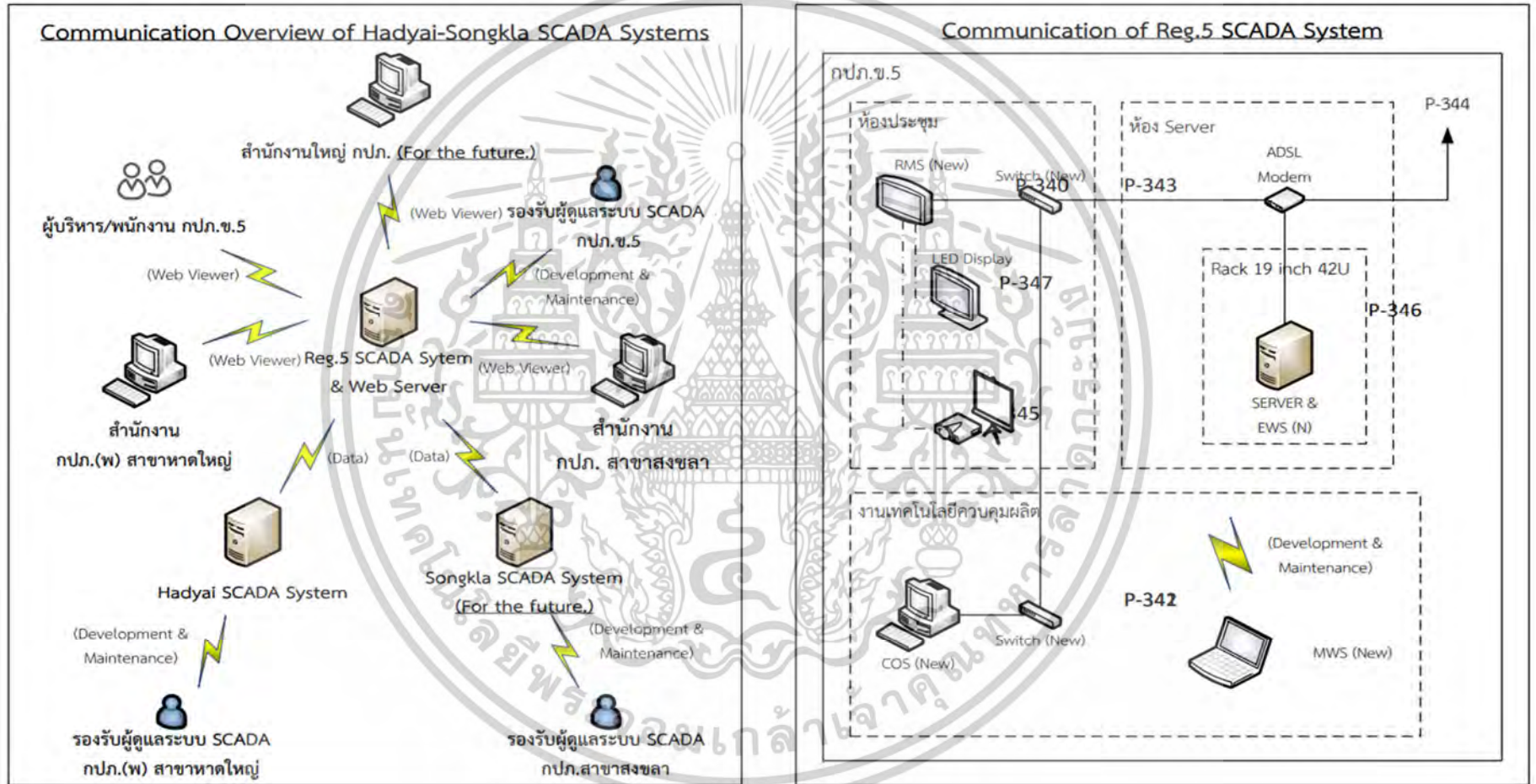
รูปที่ 4.26 Process Diagram Water Demand



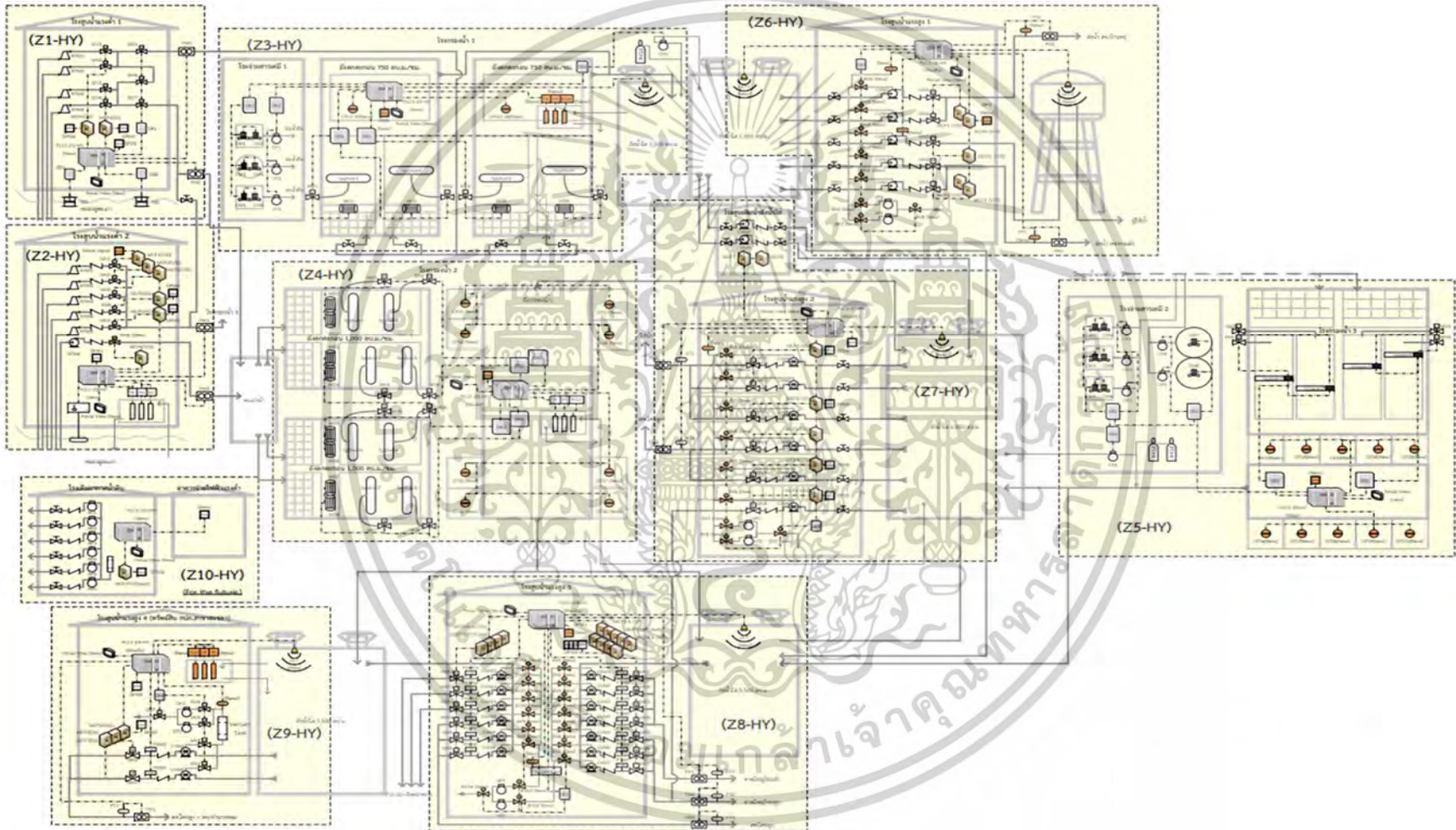
รูปที่ 4.27 Diagram ของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในแต่ละสถานีด้วย SCADA ของ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)



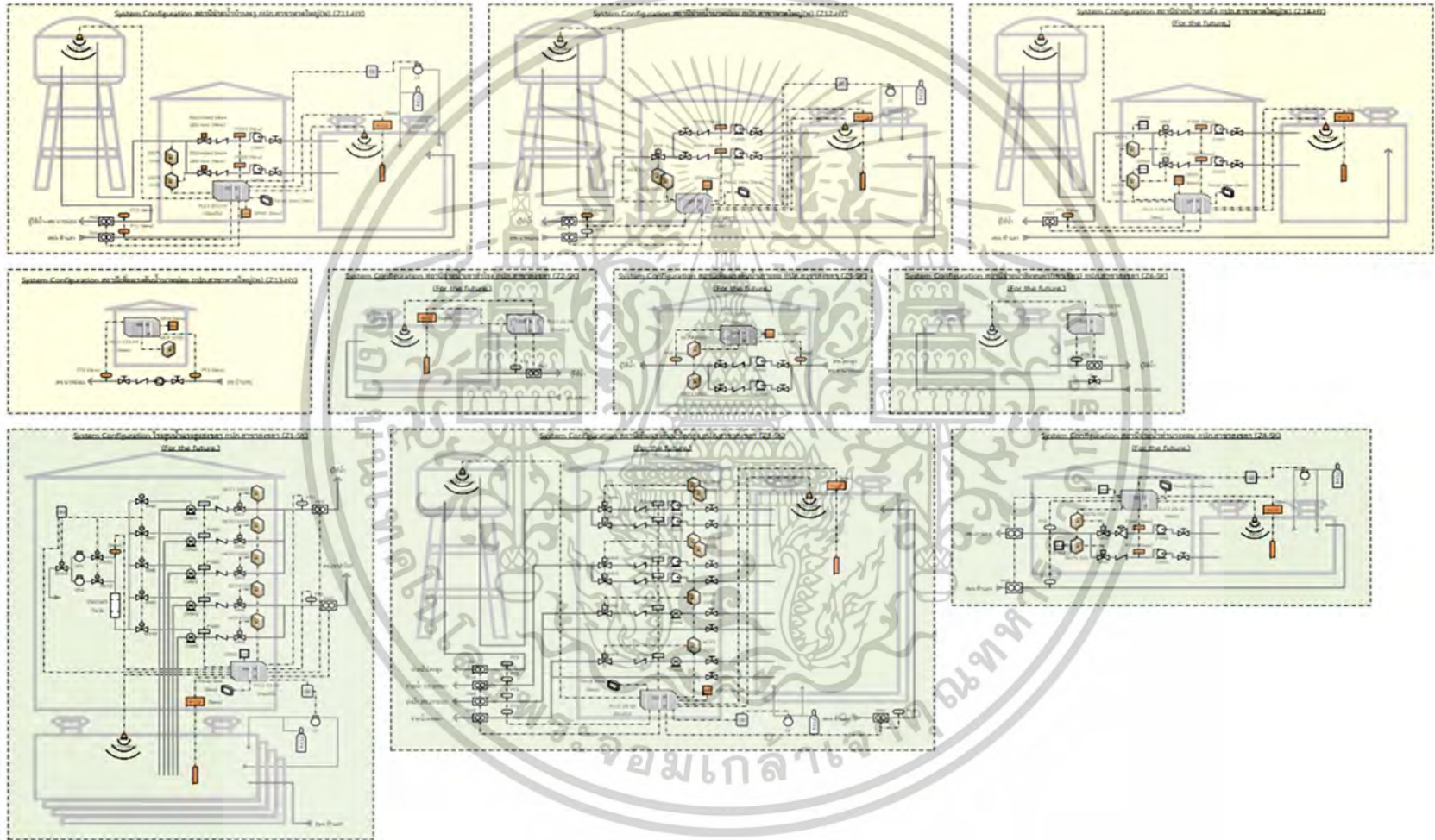
รูปที่ 4.28 Diagram ของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในแต่ละสถานีด้วย SCADA ของ กปภ.สาขาสงขลา



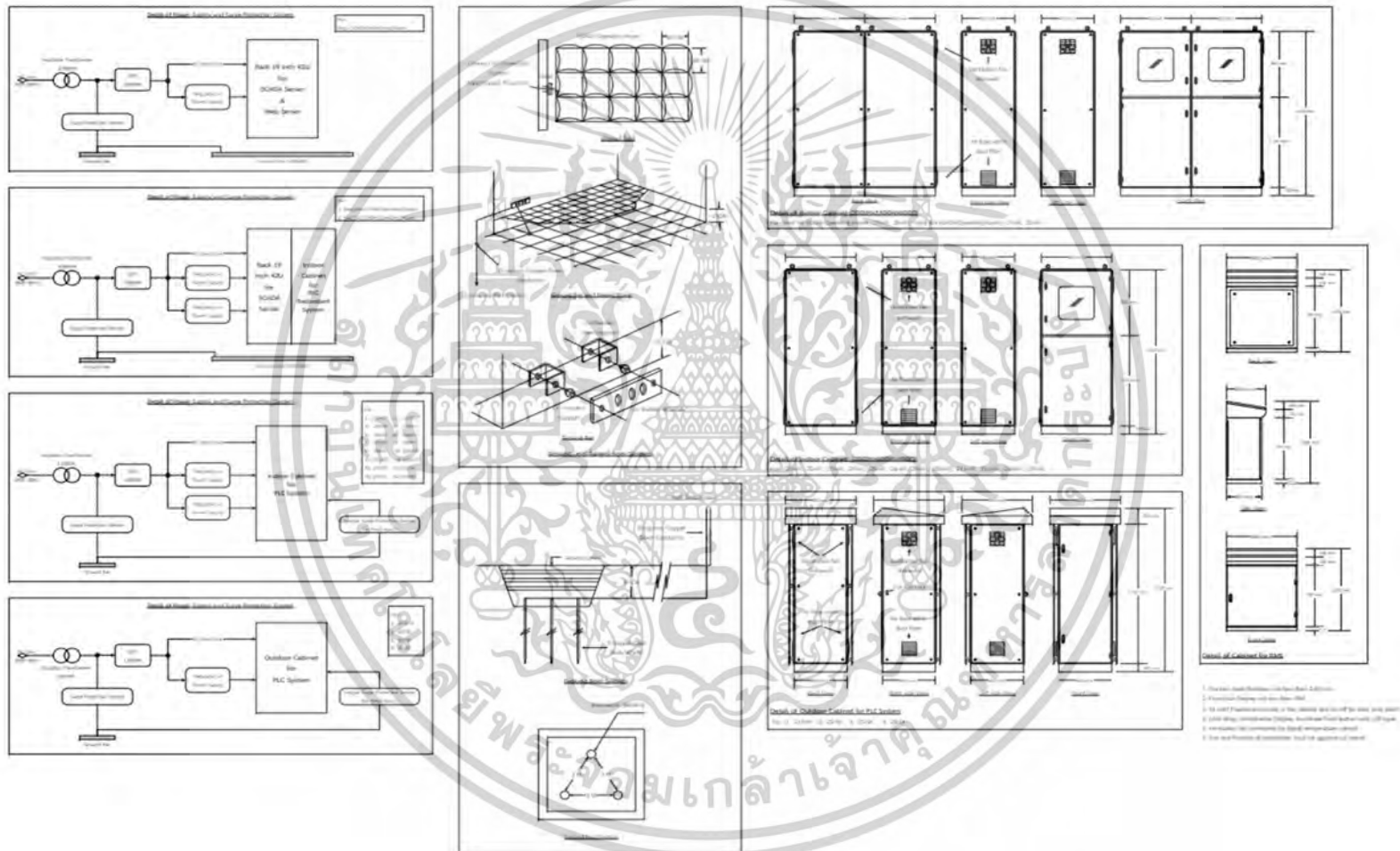
รูปที่ 4.29 Diagram ของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในแต่ละ กปภ.สาขา ด้วย SCADA



รูปที่ 4.30 System Configuration สถานีผลิตและจ่ายน้ำประปา กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)



รูปที่ 4.31 System Configuration สถานีผลิตและจ่ายน้ำประปา สถานีรอบนอก กปภ.สาขา



รูปที่ 4.32 System Configuration สถานีผลิตและจ่ายน้ำประปา ควบคุมระบบ SCADA

จุดติดตั้ง DMA	Inlet T/m	Outlet bar	Flow m ³ /hr	Outlet bar	Totalizer m ³	วันรวมทั้งหมด C
MM-01 น้ำประปาบ้านกล้วย			0.00	1.29	13,255,577.00	11-12-67 12:29
MM-07 น้ำประปาบ้านพุดซ้อน			0.00	0.31	0.00	12-11-67 16:03
(-) DMA-08-01 บ้านพุดซ้อน	3.059		71.77	1.64	220,618.00	11-12-67 12:29
(-) MM-03 หนองใหญ่โพธิ์แก้ว			1,456.49	1.21	6,932,319.00	11-12-67 12:29
(-) MM-04 หนองใหญ่โพธิ์แก้ว			894.78	3.90	52,919,803.00	11-12-67 12:29
MM-10 น้ำประปาบ้านกล้วย			75.14	0.37	1,478,218.00	11-12-67 12:29
(-) DMA-09-01 จุดวัดบ้าน	451		13.69	3.01	7,866,307.71	11-12-67 12:27
(-) DMA-09-02 จุดวัดบ้าน	1,933		50.90	0.30	367,393.00	11-12-67 12:29
MM-20 น้ำประปาบ้านกล้วย			105.60	1.04	1,585,755.37	11-12-67 11:58
(-) DMA-21 น้ำประปาบ้านกล้วย			78.10	2.52	1,651,929.00	11-12-67 12:29
(-) MM-05 01 400 ม. หนองใหญ่			299.61	2.93	31,509,681.00	11-12-67 12:30
MM-11 หนองใหญ่โพธิ์แก้ว สงขลา บ้านกล้วย			755.23	4.26	94,595,503.00	11-12-67 12:29
MM-12 หนองใหญ่โพธิ์แก้ว สงขลา บ้านกล้วย			958.51	9.87	23,053,450.00	11-12-67 12:29
MM-14 น้ำประปาบ้านกล้วย			1,700.00	0.66	41,495,786.00	11-12-67 12:30
(-) DMA-06-01 น้ำประปา	3,003		113.99	1.11	9,090,136.00	11-12-67 12:30
MM-13 หนองใหญ่โพธิ์แก้ว สงขลา หนองใหญ่บ้านกล้วย			1,675.64	3.58	67,625,873.00	11-12-67 12:30
DMA-13-02-หนองใหญ่โพธิ์แก้ว (ท่อ 800 มม.)			1,035.91	2.69	33,884,880.00	11-12-67 12:27
DMA-13-01 หนองใหญ่บ้านกล้วย (ท่อ 600 มม.)			639.70	2.64	18,566,478.00	11-12-67 12:28
(-) DMA-13-01-01 หนองใหญ่	3,603	2.18	144.00	1.87	12,315,498.77	11-12-67 12:31
DMA-13-01-02 หนองใหญ่	4,740	2.36	134.00	1.74	10,105,755.22	11-12-67 12:31
DMA-13-01-03 หนองใหญ่	3,721	2.44	132.00	1.92	8,975,499.10	11-12-67 12:29
(-) DMA-13-01-04 หนองใหญ่	2,839	2.81	73.93	1.89	104,273.12	11-12-67 12:29
DMA-13-01-05 หนองใหญ่	42		0.52	1.54	880,910.00	11-12-67 12:27
MM-17 น้ำประปาบ้านกล้วย			382.23	3.14	15,555,011.00	11-12-67 12:30
MM-18 น้ำประปาบ้านกล้วย			374.91	0.16	3,602,846.00	11-12-67 12:28
(-) DMA-17-01 หนองใหญ่	4,871		157.21	1.72	4,454,616.00	11-12-67 12:28
DMA-17-02 หนองใหญ่	1,193		0.00	3.20	335,402.00	11-12-67 12:28
(-) DMA-17-03 หนองใหญ่	1,885		92.85	0.84	1,908,376.48	11-12-67 12:27
(-) DMA-19-01 บ้านกล้วย	4,095		97.17	1.97	6,770,964.00	11-12-67 12:28
DMA-19-02 หนองใหญ่	2,836		118.60	1.06	3,031,707.00	11-12-67 12:30
DMA-19-03 บ้านกล้วย	2,016		54.41	1.92	2,901,872.90	11-12-67 12:30
(-) MM-25 น้ำประปาบ้านกล้วย			0.00	0.19	65,161.00	11-12-67 12:30
P3-01 จุดวัดแรงดันปลายทาง จุดที่ 1				0.00		11-12-67 12:29
P3-02 จุดวัดแรงดันปลายทาง จุดที่ 2				0.00		11-12-67 12:29
RHW-03 หนองใหญ่			2,722.14		102,638,382.00	05-06-67 03:02

รูปที่ 4.33 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA แบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดตัดน้ำ (DMA)	จำนวนผู้ใช้ 7	ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.วินาที)		Minimum Night Flow (ลบ.ม.วินาที)			Minimum P (Bar)			ควมสมบูรณ์ (%)
		7 วันก่อนหน้า	ปัจจุบัน	ค่ามาตรฐาน (ลบ.ม.วินาที)	ค่า 3 เดือนก่อนหน้า	ปัจจุบัน	ปัจจุบัน	ปัจจุบัน		
MM-01 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		1,754.86	1,592.01	0.00		195.34			00:00-04:00 0%	
MM-07 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	2,954			0.00					00:00-04:00 0%	
DMA-08-01 บ้านกล้วย	3,069	999.81	1,487.65	10.00		28.65	27.42	1.23	01:00-04:00 89%	
11 MM-03 ศาลาเอนก		31,958.00	30,392.00	500.00		604.31	627.42	0.43	01:00-04:00 100%	
DMA-03-01 ศาลาเอนก	3,403	2,944.82	1,794.49	10.00		1.70	0.03	1.14	00:00-04:00 63%	
DMA-03-02 ศาลาเอนก	3,567	4,722.00	4,599.00	10.00		71.90	68.01	0.96	01:00-04:00 100%	
DMA-03-03 ศาลาเอนก	3,105	1,911.83	287.34	10.00			37.03		00:00-04:00 0%	
DMA-03-04 ศาลาเอนก	3,207	1,864.00	1,767.00	10.00		35.18	37.18	0.94	01:00-04:00 100%	
DMA-03-05 ศาลาเอนก	2,343	1,976.00	1,787.00	10.00		26.82	30.96	0.91	01:00-04:00 100%	
DMA-03-06 ศาลาเอนก	739	280.03	417.69	10.00		2.54	0.15	0.90	01:00-04:00 88%	
DMA-03-07 ศาลาเอนก	398	364.90	377.52	10.00		4.21	3.26	1.02	01:00-04:00 100%	
DMA-03-08 ศาลาเอนก	956			10.00		8.09	6.75	1.02	01:00-04:00 6%	
DMA-03-09 ศาลาเอนก	739	1,707.00	1,175.00	10.00		14.45	30.00	0.93	01:00-04:00 100%	
DMA-03-10 ศาลาเอนก	1,106	1,263.00	1,240.00	10.00		29.82	31.73	0.90	01:00-04:00 100%	
DMA-03-11 ศาลาเอนก	4,875	3,216.13	3,032.74	10.00		15.48	11.97	0.91	01:00-04:00 99%	
DMA-03-12 ศาลาเอนก	527	513.40	745.10	10.00		1.62	8.57	0.96	01:00-04:00 100%	
DMA-03-13 ศาลาเอนก	2,568	2,198.00	2,489.00	10.00		25.40	17.59	0.82	01:00-04:00 100%	
DMA-03-14 ศาลาเอนก	2,108	1,674.47	1,431.13	10.00		22.80	19.37	0.86	01:00-04:00 100%	
DMA-03-15 ศาลาเอนก	2,603			10.00		34.96	0.17	0.87	01:00-04:00 6%	
DMA-03-16 ศาลาเอนก	841	1,087.38	879.40	10.00		12.80	9.36	0.91	01:00-04:00 87%	
DMA-03-17 ศาลาเอนก	1,473	800.50	891.82	10.00		10.23	7.15	0.79	01:00-04:00 100%	
11 MM-04 ศาลาเอนก		19,912.00	18,771.00	500.00		271.47	196.82	1.02	01:00-04:00 100%	
DMA-04-01 ศาลาเอนก	3,893	5,787.48	5,094.89	10.00		88.28	67.44	1.00	01:00-04:00 100%	
DMA-04-02 ศาลาเอนก	5	1,785.27	1,464.04	10.00		10.99	8.02	1.45	01:00-04:00 28%	
DMA-04-03 ศาลาเอนก	2,806	478.04	458.70	10.00		4.58	5.54	1.01	01:00-04:00 100%	
DMA-04-04 ศาลาเอนก	3,089	1,361.80	1,149.60	10.00		20.21	22.68	1.44	01:00-04:00 100%	
DMA-04-05 ศาลาเอนก	7,018	2,564.13	2,434.34	10.00		89.47	81.61	0.42	01:00-04:00 119%	
DMA-04-06 ศาลาเอนก	757			10.00		1.84			01:00-04:00 0%	
DMA-04-07 ศาลาเอนก	3,633	1,954.00	3,215.00	40.00		51.93	63.20	1.46	01:00-04:00 51%	
DMA-04-08 ศาลาเอนก	3,298	1,247.00	2,187.87	10.00		28.39	39.63	1.81	01:00-04:00 100%	
DMA-04-09 ศาลาเอนก	1,450	2,608.88	2,366.81	10.00		14.14	1.05	2.66	01:00-04:00 100%	
MM-10 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		3,500.02	1,780.79	10.00		18.71	10.49	0.31	01:00-04:00 58%	
DMA-04-10 ศาลาเอนก	461	205.93	217.44	10.00		2.24	2.48	2.09	01:00-04:00 100%	
DMA-04-11 ศาลาเอนก	1,933	1,542.00	1,268.00	10.00		25.62	24.17	0.33	01:00-04:00 100%	
MM-20 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		1,314.79	1,486.37	10.00		20.89	9.60	1.04	01:00-04:00 49%	
11 DMA-21 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	2,748	1,760.00	1,799.00	10.00		28.31	26.42	2.48	01:00-04:00 100%	
DMA-21-01 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	2,772	1,724.39	1,748.49	10.00		22.98	28.13	0.98	01:00-04:00 112%	
11 MM-05 บ้านกล้วย		2,118.13	2,296.00	200.00		175.69	186.33	3.62	01:00-04:00 51%	
DMA-05-01 บ้านกล้วย	1,073	2,549.00	1,509.00	10.00		44.12	35.70	0.61	01:00-04:00 100%	
DMA-05-02 บ้านกล้วย	5,215	3,368.00	2,916.00	10.00		1.19	32.89	0.76	01:00-04:00 100%	
DMA-05-03 บ้านกล้วย	1,059	1,454.00	1,403.13	10.00		12.89	17.72	1.41	01:00-04:00 100%	
MM-11 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		18,513.00	18,180.82	10.00		395.96	404.25	4.64	01:00-04:00 100%	
MM-12 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		17,064.88	22,900.39	10.00		439.15	994.02	4.44	01:00-04:00 89%	
MM-14 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		37,311.00	40,149.00	10.00		1,193.48	1,740.00	0.67	01:00-04:00 100%	
DMA-06-01 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	2,803	913.11	2,298.64	40.00		34.33	22.66	0.76	01:00-04:00 100%	
MM-13 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		38,864.54	37,786.00	10.00		1,365.87	1,157.71	3.99	01:00-04:00 100%	
DMA-12-01-01 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		34,038.00	31,818.00	0.00		916.99	746.42	2.87	01:00-04:00 100%	
DMA-12-01-02 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		14,511.00	14,092.00	300.00		304.41	406.64	2.65	01:00-04:00 98%	
DMA-12-01-03 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	3,223	2,714.51	2,000.91	35.00		32.36	46.00	1.43	01:00-04:00 100%	
DMA-12-01-04 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	4,760	2,520.91	2,440.30	38.00		29.63	35.80	1.42	01:00-04:00 100%	
DMA-12-01-05 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	3,723	2,961.77	2,568.68	30.00		30.49	36.80	1.46	01:00-04:00 100%	
DMA-12-01-06 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	2,419	1,648.34	1,505.71	20.00		15.13	19.07	1.50	01:00-04:00 100%	
DMA-12-01-07 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	42	1.30	1.38	3.00		0.06	0.06	1.42	01:00-04:00 96%	
MM-17 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		6,048.83	5,594.64	0.00		234.42	156.58	1.84	01:00-04:00 21%	
MM-18 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		5,968.28	5,515.31	0.00		40.52	10.78	0.13	01:00-04:00 45%	
DMA-17-01 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	4,491	3,113.00	2,040.00	30.00		27.93	39.81	1.61	01:00-04:00 51%	
DMA-17-02 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	393	197.31	178.08	10.00					01:00-04:00 0%	
DMA-17-03 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	3,885	2,365.10	2,621.67	20.00		24.22	44.90	0.21	01:00-04:00 100%	
DMA-19-01 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	4,995	2,470.00	2,160.00	25.00		35.76	33.01	1.81	01:00-04:00 51%	
DMA-19-02 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	2,836	2,597.00	2,453.00	25.00		51.17	52.90	1.70	01:00-04:00 100%	
DMA-19-03 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย	7,346	1,287.00	1,098.00	15.00		23.62	16.68	1.73	01:00-04:00 100%	
MM-25 บึงสาหร่ายบ้านกล้วย		121.83	96.35	10.00		5.12	4.34	0.15	01:00-04:00 58%	
P3-01 จุดตรวจน้ำประปาบ้านกล้วย จุดที่ 1										
P3-02 จุดตรวจน้ำประปาบ้านกล้วย จุดที่ 2										
MM-03 บ้านกล้วย				10.00					00:00-04:00 0%	

รูปที่ 4.34 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA แบบ MNF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบริหารจัดการน้ำสูญเสีย

หน้าหลัก Realtime MNF **น้ำสูญเสีย** Control Valve Map Realtime

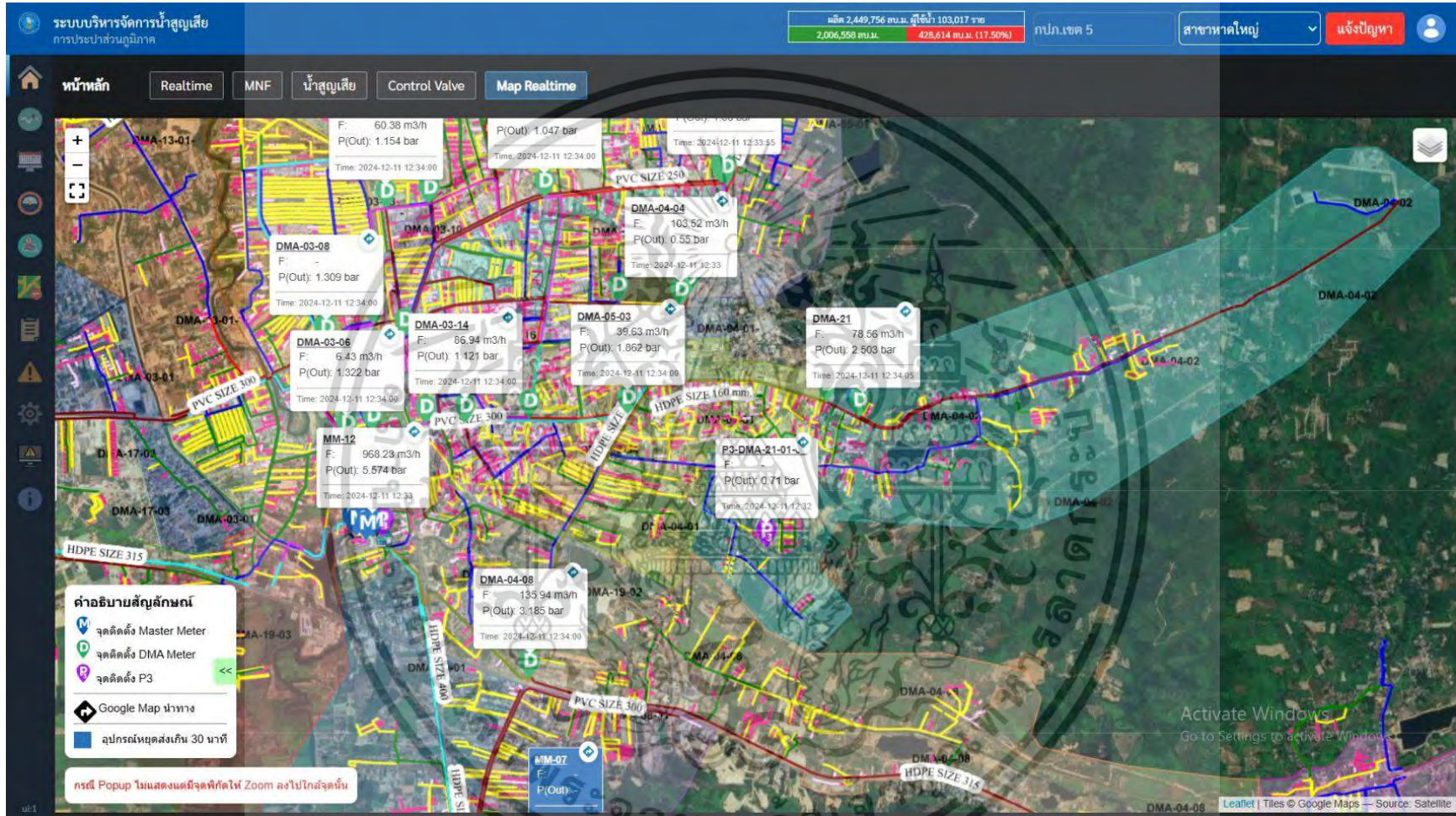
พ.บ. 2567

จุดคิดค่า DMA

จุดคิดค่า DMA	จำนวนผู้ใช้น้ำ	ปริมาณน้ำจ่าย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำจ่ายตาม (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำสูญเสีย (ลบ.ม.)	น้ำสูญเสีย (%)
DMA 08-01 บ้านขุนบน	3,059	25,111.60	47,451.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
[] MMA-03 หาดใหญ่ใหม่		887,967.64			
DMA-03-01 หาดใหญ่ใหม่	3,403	57,614.66	48,514.00	9,100.66	15.80 %
DMA-03-02 สาทรทอง	3,567	133,076.80	55,444.00	77,632.80	58.34 %
DMA-03-03 โศคนาม	3,705	54,663.57	59,368.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-03-04 หมู่ 8	2,207	96,764.48	39,930.00	20,834.48	36.70 %
DMA-03-05 เทศาพิศน	7,543	52,982.23	41,737.00	11,245.23	21.22 %
DMA-03-06 ตลาดรวม	739	8,056.69	16,088.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-03-07 หมู่	259	11,223.35	10,567.00	656.35	5.85 %
DMA-03-09 หมู่จันท	939	34,955.68	27,703.00	7,252.68	20.75 %
DMA-03-10 วนนาใหญ่	1,156	25,184.51	20,840.00	14,344.51	40.77 %
DMA-03-11 ถนนกลาง	4,875	92,877.32	77,814.00	15,063.32	16.22 %
DMA-03-12 ไร่กร	527	18,384.73	10,788.00	7,596.73	41.32 %
DMA-03-13 ทุ่ง	2,568	74,140.14	49,380.00	24,760.14	33.40 %
DMA-03-14 ไร่ยาว	2,128	50,679.57	41,708.00	8,971.57	17.62 %
DMA-03-15 ศาลาไผ	2,403	63,577.04	65,370.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-03-16 แสพ	863	19,457.87	26,706.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-03-17 หมู่บ้าน 2	1,473	28,134.23	27,635.00	499.23	1.77 %
[] MMA-04 หาดใหญ่ใหม่		567,851.34			
[] DMA-04-01-1-พื้นที่	3,693	195,987.75	94,776.00	84,211.75	49.83 %
DMA-04-01-01-มากรางใหญ่	5	55,686.17	61,262.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-04-02 ทุ่ง	7,856	13,447.09	53,649.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-04-03 โรงเรียน	1,059	34,072.71	20,238.00	13,834.71	40.60 %
DMA-04-04 ซอ	1,300	72,219.86	31,343.00	40,876.86	Active 56.40 %
DMA-04-05 ไร่	957		16,974.00	พื้นที่อื่น ไม่มีปริมาณน้ำจ่าย	
DMA-04-06 หนอง	3,631	88,587.41	66,729.00	21,858.41	24.66 %
DMA-04-07 ไร่	3,296	60,024.23	53,508.00	6,516.23	10.86 %
DMA-04-08 บ้าน	1,450	81,760.06	24,436.00	57,324.06	70.11 %
DMA-09-01 ทุ่ง	451	8,297.82	7,012.00	1,285.82	15.50 %
DMA-09-02 ทุ่ง	1,930	37,700.18	27,916.00	9,784.18	25.95 %
[] MMA-05 DI-400 ภูเขา		238,710.64			
DMA-05-01 บ้าน	1,021	49,554.46	42,165.00	7,389.46	14.91 %
DMA-05-02 ไร่	5,245	125,916.43	82,453.00	37,463.43	29.75 %
DMA-05-03 ไร่	1,019	44,377.67	49,317.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-06-01 บ้าน	2,803	49,341.00	55,396.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-13-01-01 ไร่	3,603	84,126.59	63,077.00	20,249.59	24.07 %
DMA-13-01-02 ไร่	4,760	60,629.99	71,729.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-13-01-03 ไร่	3,721	63,932.05	68,559.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-13-01-04 ไร่	2,459	47,620.00	40,680.00	6,940.00	14.57 %
DMA-13-01-05 ไร่	42	82.54	515.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-17-01 ไร่	4,891	132,469.38	85,698.00	46,771.38	35.31 %
DMA-17-02 ไร่	193	7,118.09	5,298.00	1,820.09	25.57 %
DMA-17-03 ไร่	3,085	34,042.84	61,637.00	น้ำจ่ายน้อยกว่าน้ำจ่ายตาม	
DMA-19-01 บ้าน	4,095	71,410.99	58,119.00	13,291.99	18.61 %
DMA-19-02 ไร่	2,836	76,913.48	62,090.00	14,823.48	Active 19.27 %
DMA-19-03 บ้าน	2,046	38,434.30	31,173.00	7,261.30	18.89 %

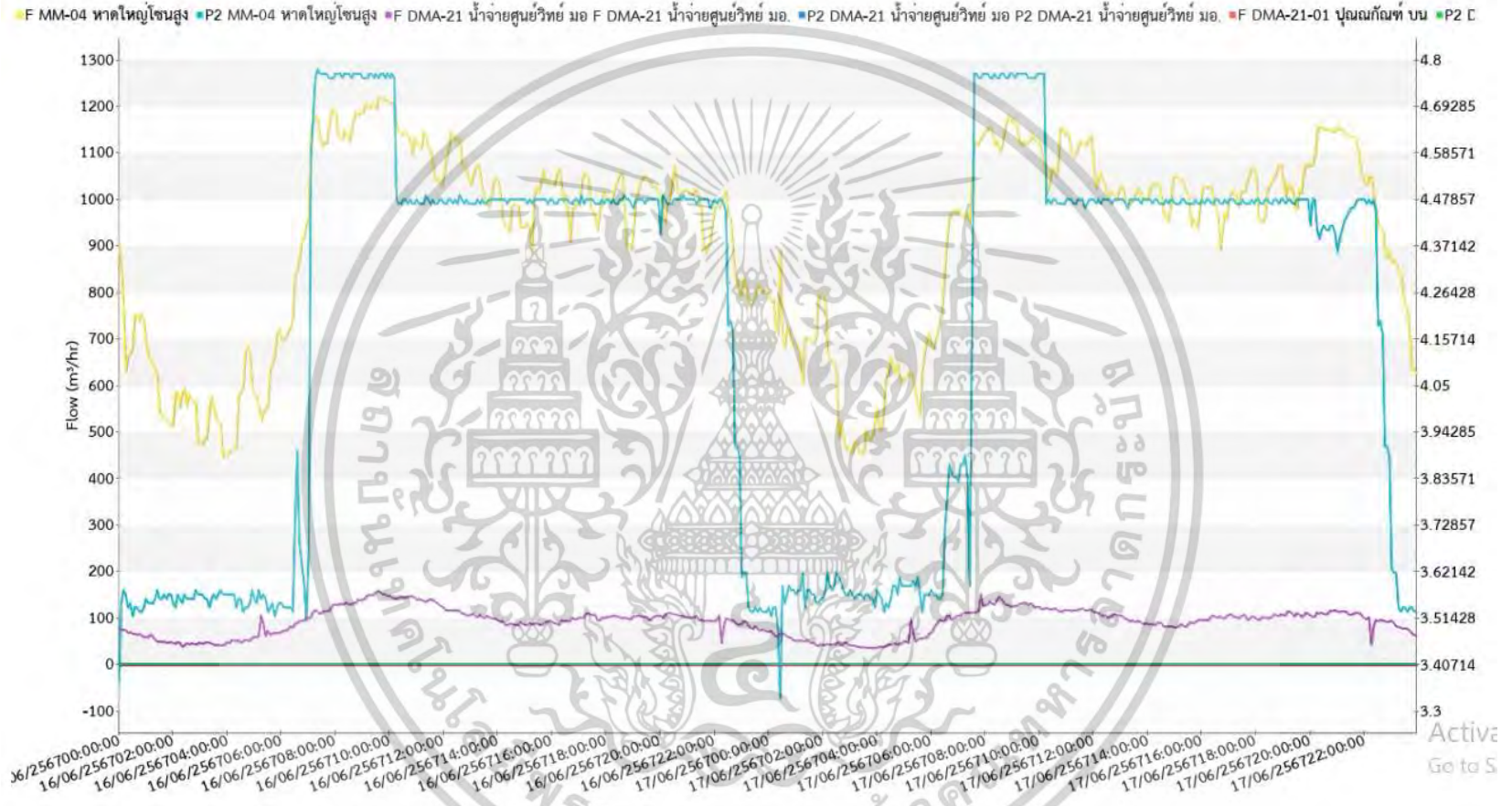
รูปที่ 4.35 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA แบบน้ำสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

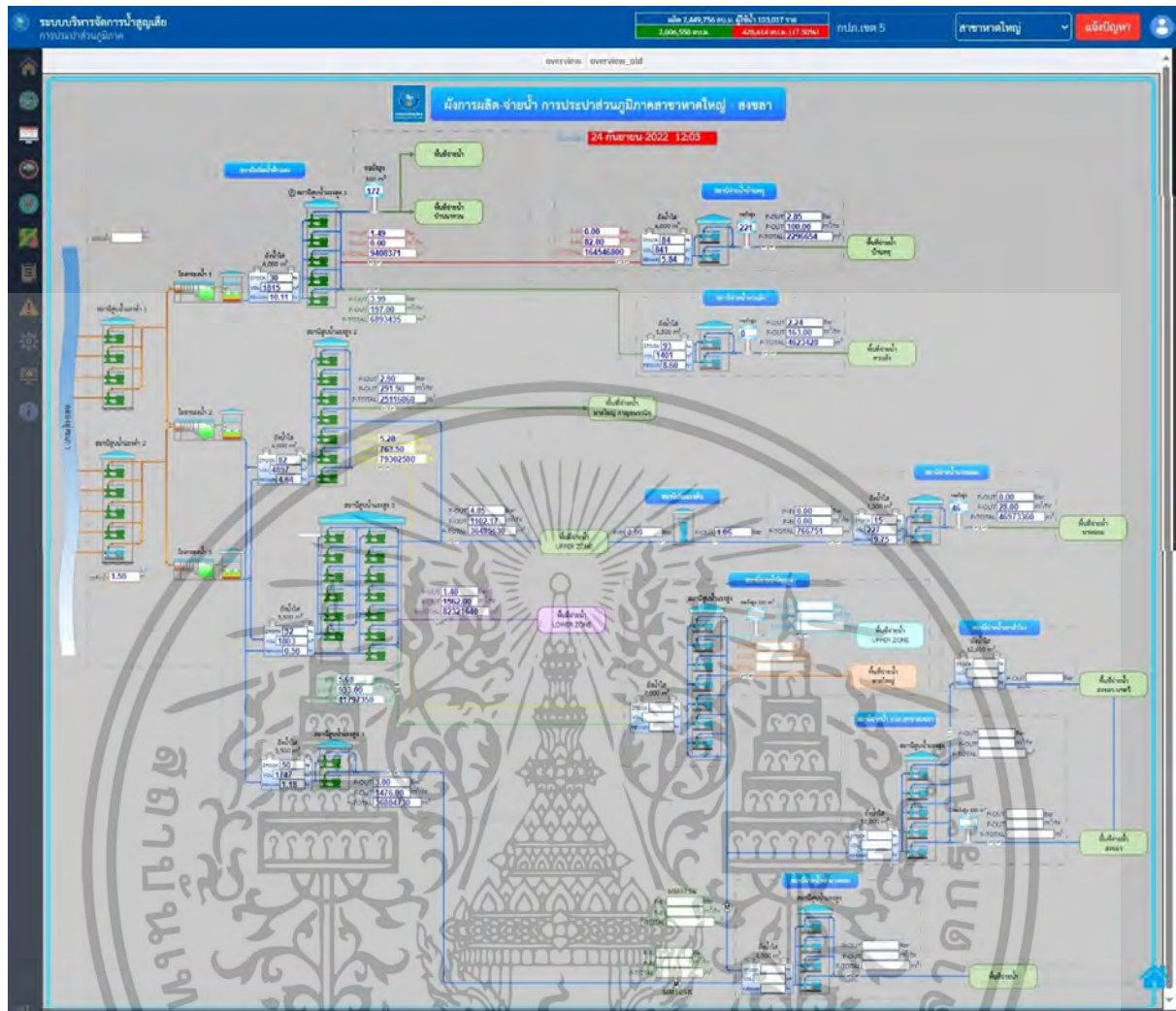


รูปที่ 4.36 หน้ารายงานแต่ละจุด DMA หน้า Map Real Time

Analysis normal 16/06/2567 00:00:00 - 17/06/2567 23:55:00

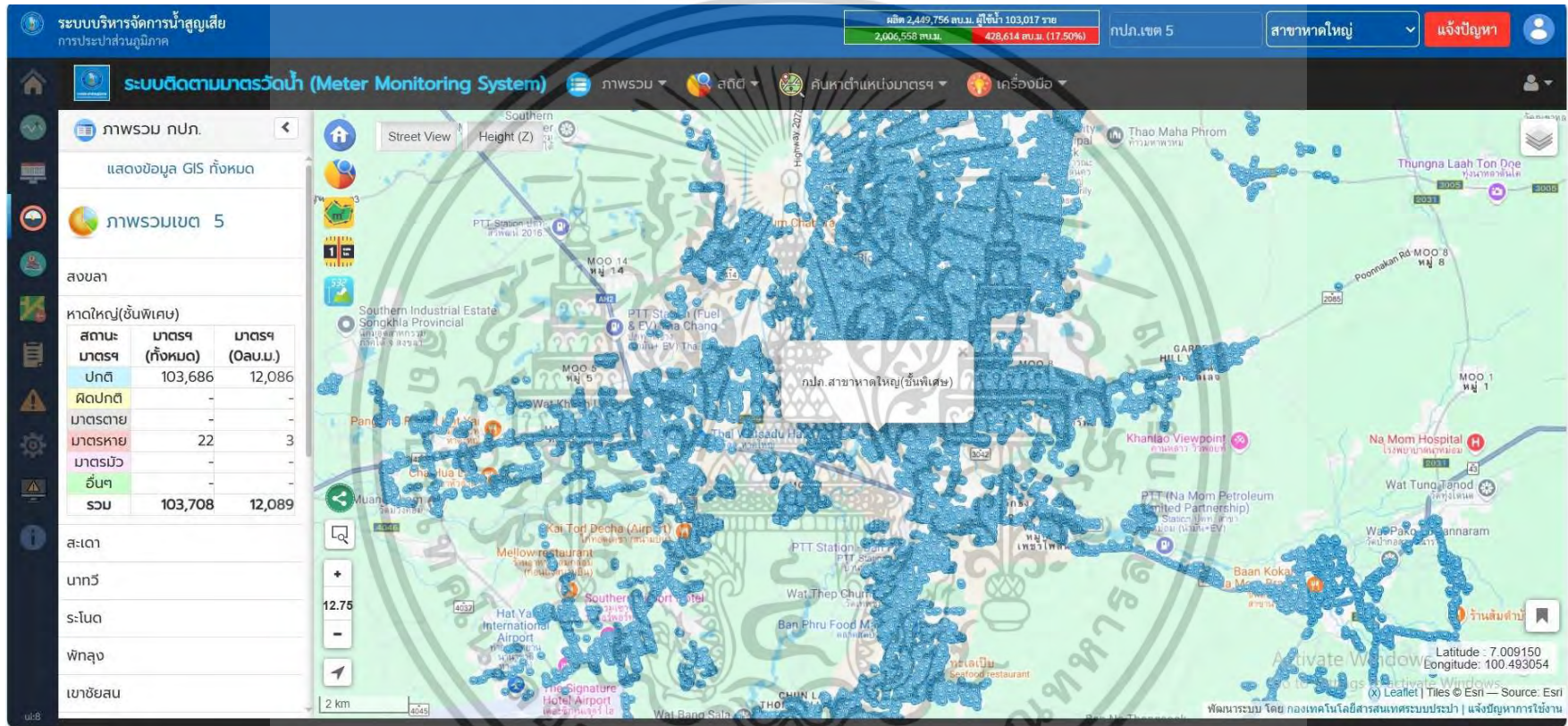


รูปที่ 4.37 หน้าวิเคราะห์ MNF ของท่อจ่ายน้ำเข้าพื้นที่หาดใหญ่โซนสูง

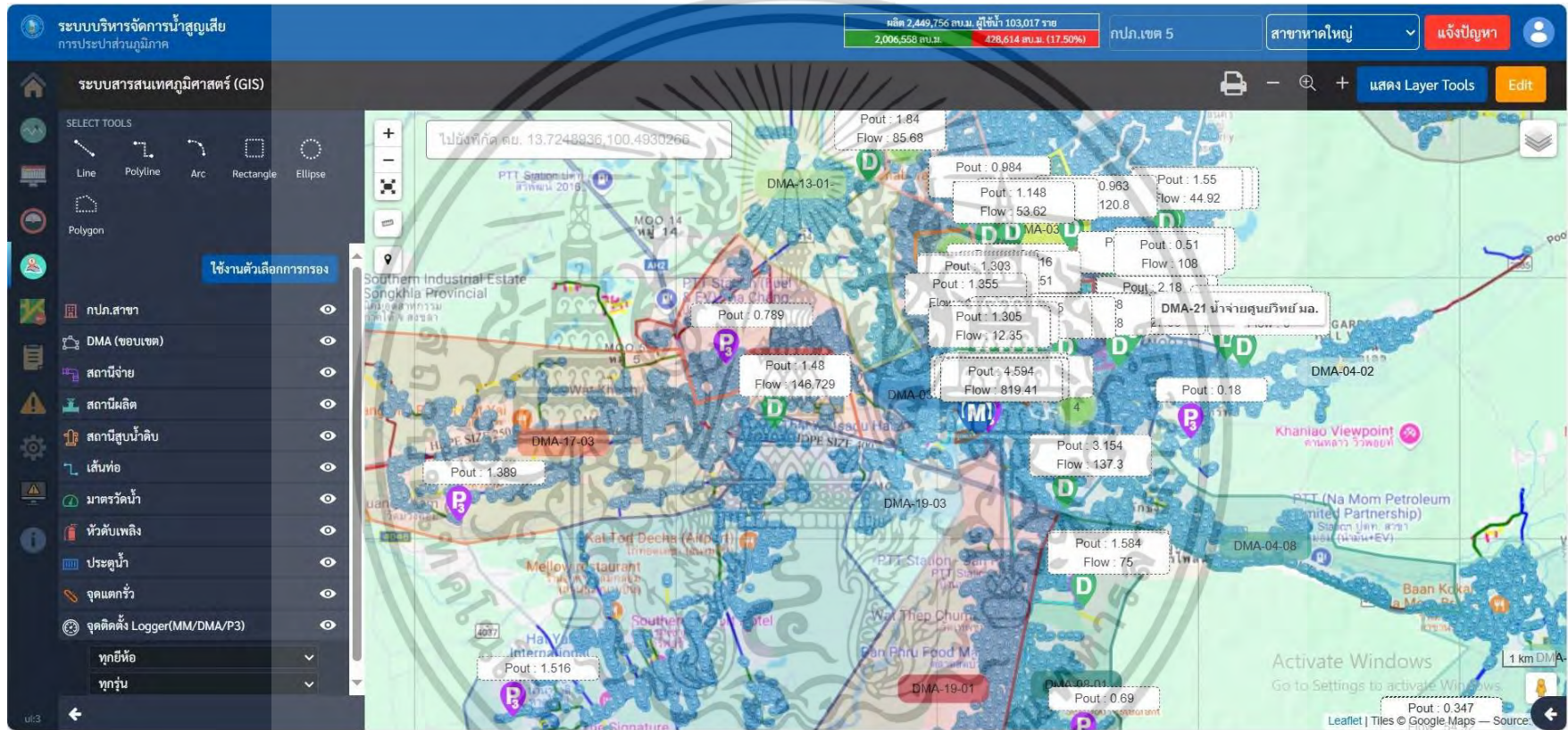


รูปที่ 4.38 หน้าแสดง SCADA กบป.สาขาหาดใหญ่ (พ.)

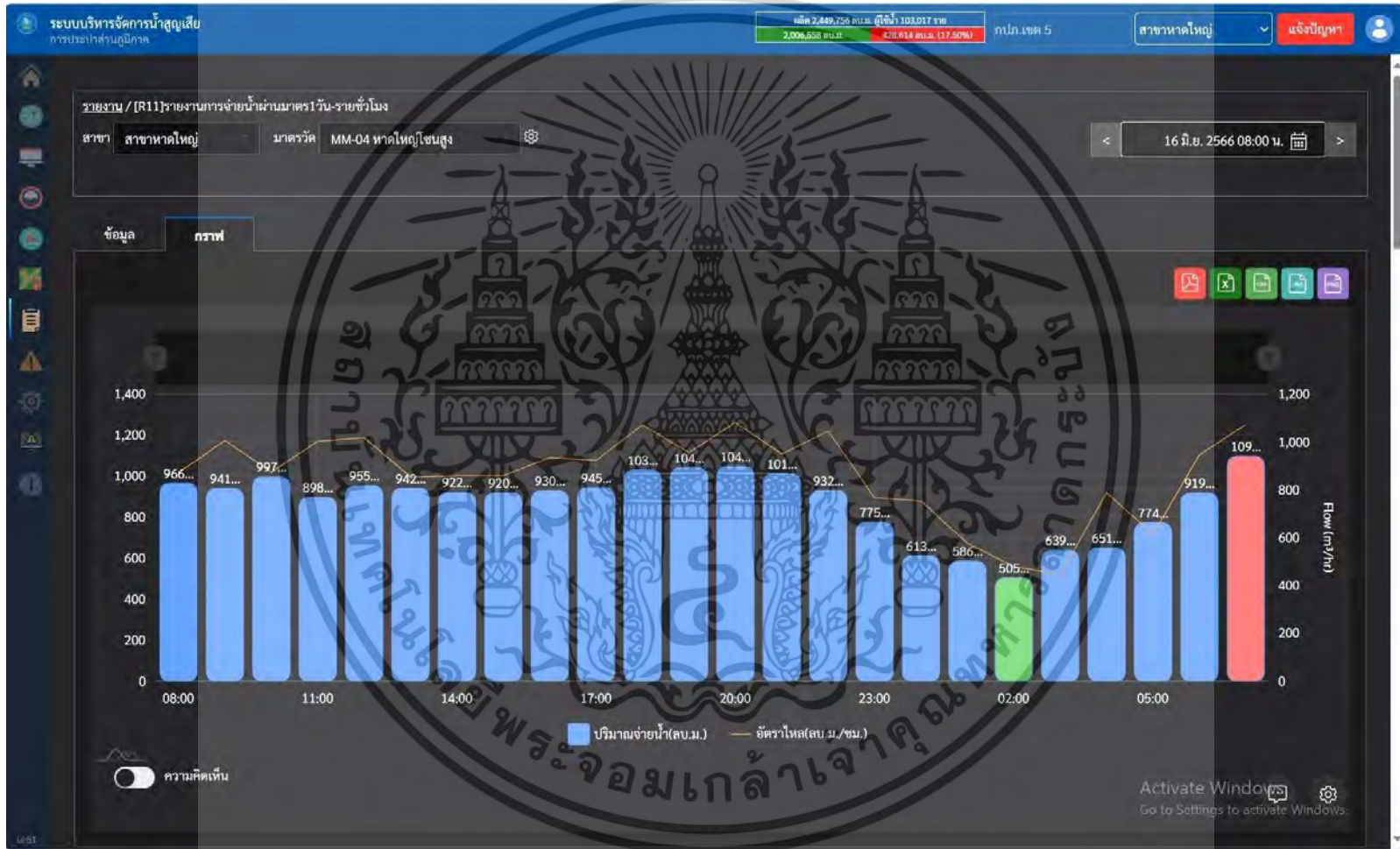
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



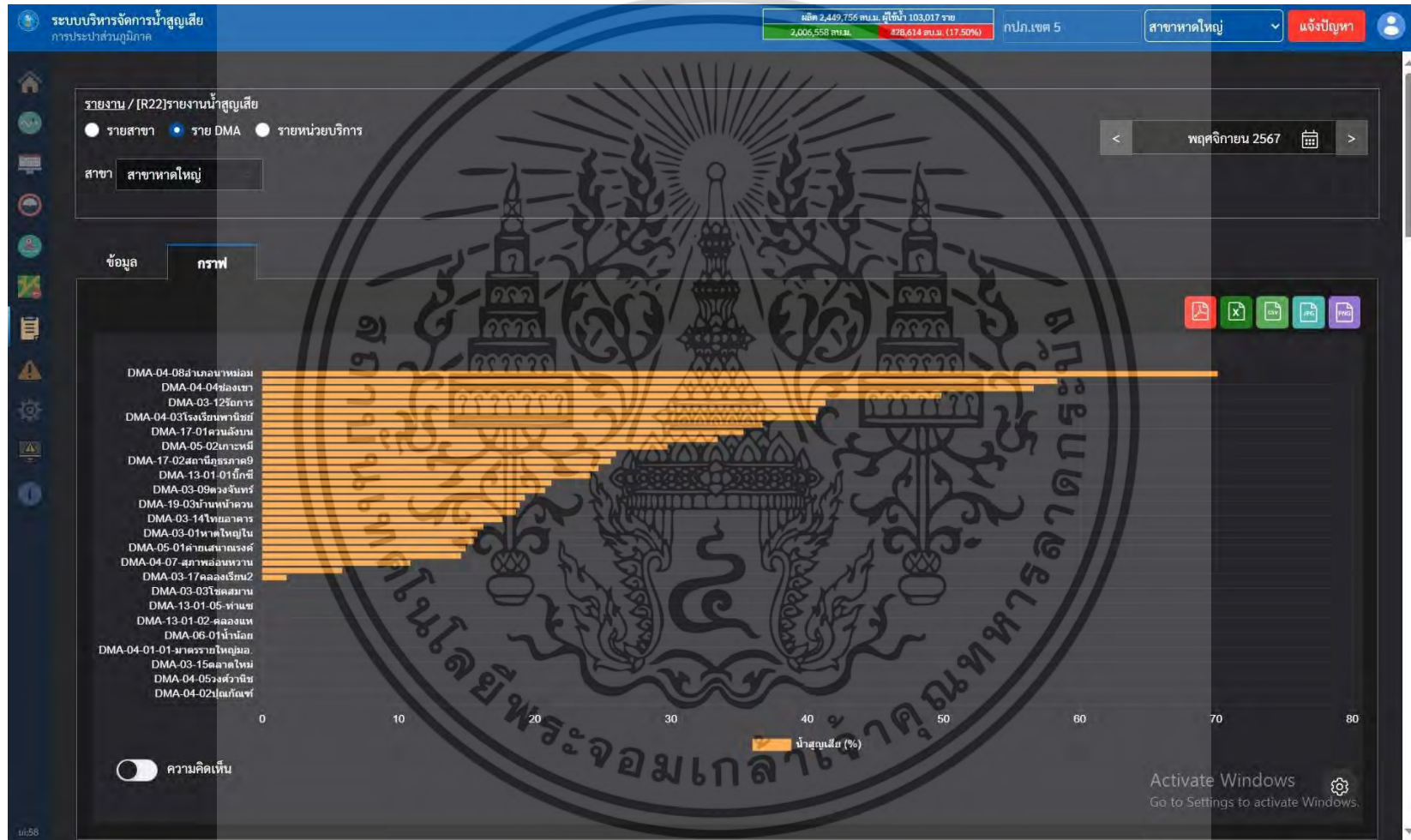
รูปที่ 4.39 ระบบติดตามมาตรวัดน้ำแต่ละจุดบนแผนที่



รูปที่ 4.40 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

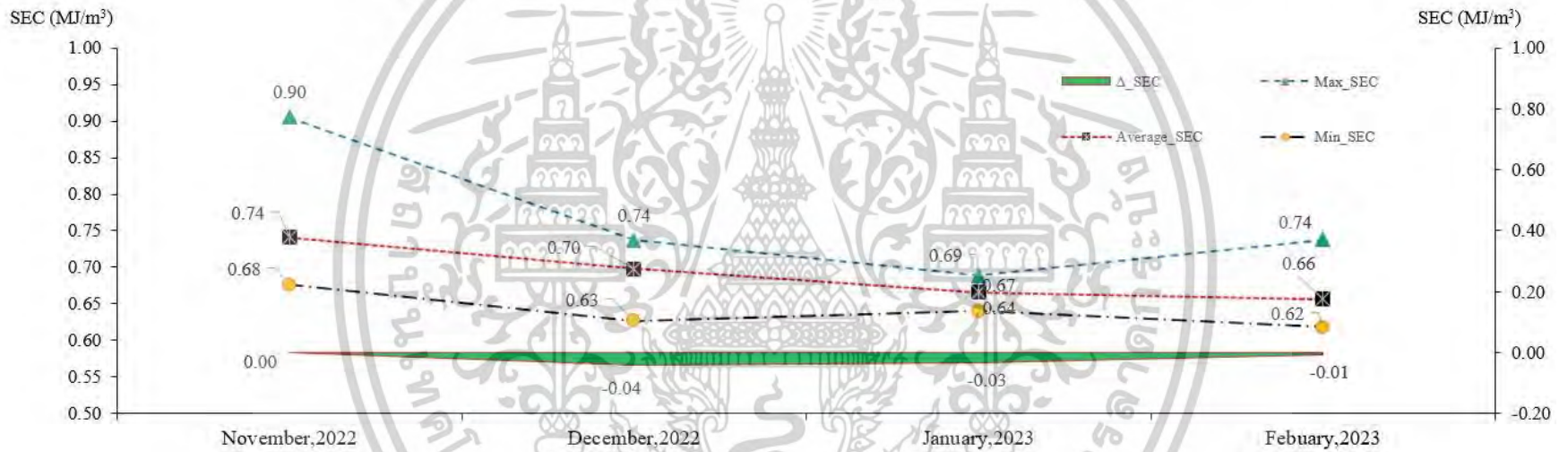


รูปที่ 4.41 หน้าสรุปภาพรวมของ กปภ.สาขาหาดใหญ่ (พ.)



รูปที่ 4.42 รายงานน้ำสูญเสีย กบป.สาขาหาดใหญ่ (พ.)

		Max_SEC	Min_SEC	Average_SEC	%Leak(MM04)	Δ_SEC Activity	Δ_Change	
ครุภัณฑ์ประกอบอาคาร (บาท)	3,837,001.78	November,2022	0.90	0.68	0.74	20.77	0.00 No Change	
ต้นทุนพลังงานลดลงสุทธิ (บาท)	288,660.00	December,2022	0.74	0.63	0.70	19.42	-0.04 Install Booster Pump Station	-1.35
รายได้จากการเพิ่มพื้นที่ (บาท)	939,586.48	January,2023	0.69	0.64	0.67	22.34	-0.03 Expand DMA area	2.92
คืนทุน(เดือน)	3	February,2023	0.74	0.62	0.66	8.43	-0.01 Variable Speed Pump	-13.91
คืนทุน(เดือน)	13							

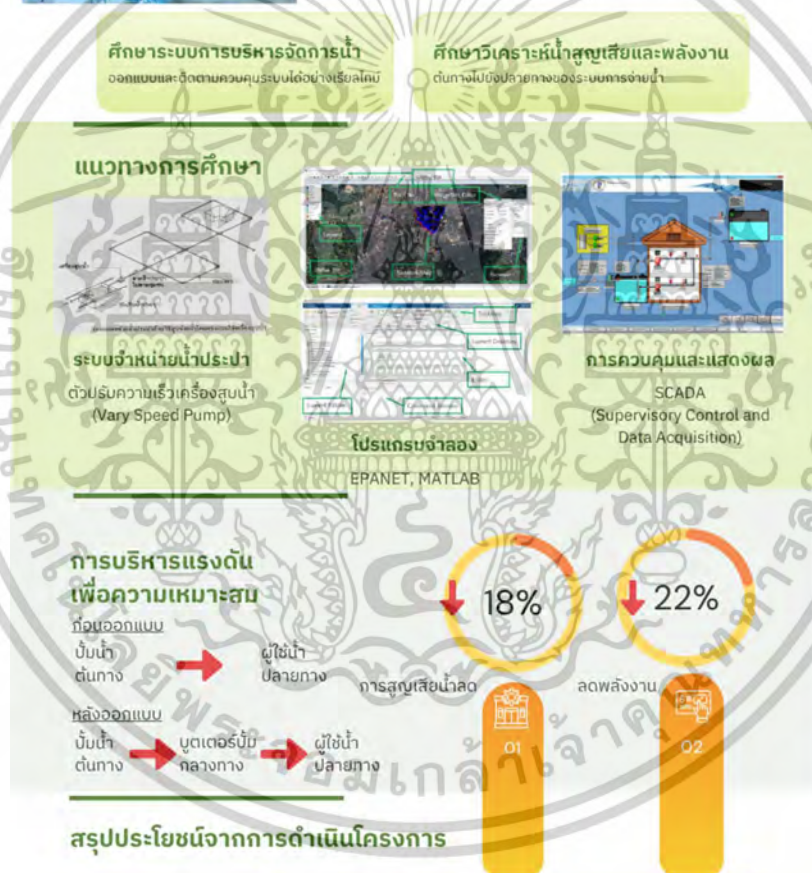


รูปที่ 4.43 สัดส่วน Specify Energy Consumption กบป.สาขาหาดใหญ่ (พ.)

**การศึกษาโครงข่ายจำหน่ายน้ำประปาแบบเรียลไทม์
กรณีศึกษาของโรงกรองน้ำหาดใหญ่,
จังหวัดสงขลา ประเทศไทย**
มุ่งเน้นลดน้ำสูญเสีย
จำหน่ายน้ำจากต้นทางไปปลายทางผ่านบูตเตอร์กลางทาง



**จากต้นทางสู่ปลายทาง
สูบจ่ายน้ำด้วยแรงดันน้ำสูง 48 เมตรน้ำ**



ประโยชน์	รายละเอียด	ผู้ได้ประโยชน์
ควบคุมและติดตามสถานะตลอด 24 ชั่วโมง	สั่งการ และแสดงผลจากระยะไกล	เจ้าหน้าที่
แก้ไขข้อบกพร่องได้ทันที	ตอบสนองต่อความต้องการใช้น้ำ	ผู้ใช้
ลดการสูญเสียและพลังงาน	บริหารแรงดันน้ำได้อย่างเหมาะสม	องค์กร

การดำเนินโครงการนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยลดการสูญเสียน้ำ แต่ยังเป็นการลดพลังงาน โดยมีกรณีตัวบูตเตอร์บีมระหว่างต้นทางกับผู้ใช้ปลายทาง จากการบริหารแรงดันน้ำเพื่อความเหมาะสม

รูปที่ 4.44 สรุปก่อนและหลังการออกแบบระบบจำหน่ายน้ำต้นทางไปยังปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์

การศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการจ่ายน้ำประปา กรณีศึกษาโรงกรองน้ำหาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบระบบการบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถติดตามควบคุมระบบได้อย่างเรียลไทม์ เป็นแนวทางวิเคราะห์น้ำสูญเสียและพลังงานในระบบจำหน่ายผ่านการสร้างแบบจำลองด้วยซอฟต์แวร์ EPANET และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ผ่านโปรแกรม MATLAB ให้มีความสามารถทางการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Module) จากการควบคุมสั่งการและแสดงผลผ่านระบบ SCADA ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษารายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้สำรวจครัวเรือน 13,580 ครัวเรือนที่อาศัยอยู่ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อทราบระดับความสูง จำนวนประชากร และปริมาณการใช้น้ำภายใน 440 วัน ข้อมูลดังกล่าวประมาณค่าความต้องการใช้น้ำต่อชั่วโมง ความต้องการพื้นฐานคำนวณจากปริมาณการใช้น้ำโดยประมาณ 100 ลิตรต่อคนต่อวัน และ 4 คนต่อครัวเรือน

แบบจำลอง EPANET ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงพฤติกรรมการไหลของน้ำทางชลศาสตร์ เป็นการไหลภายใต้แรงดันของระบบโครงข่ายท่อประปา ซึ่งแบบจำลองสามารถหาอัตราการไหลและแรงดันของน้ำในเส้นท่อ โดยสมการ Hazen-William และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปรับปรุงแรงดันของน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่ให้บริการและความต้องการของผู้ใช้น้ำในอนาคตจากการศึกษาแรงดันน้ำแสดงถึงความสามารถในการจ่ายน้ำในแต่ละพื้นที่ ซึ่งในแต่ละพื้นที่ที่มีความต้องการความสามารถในการจ่ายน้ำไม่เท่ากัน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองไปสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ 1) ความแตกต่างของความสูงของพื้นที่ 2) ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ 3) ประเภทของผู้ใช้น้ำ และ 4) ช่วงเวลาของการใช้น้ำ ดังนั้นจากการศึกษาของแต่ละพื้นที่ที่มีการจ่ายน้ำ ผู้ศึกษาได้มีการระบุถึงข้อควรระวังเนื่องมาจากในแต่ละบริเวณพื้นที่ที่จะมีลักษณะพื้นที่ ประเภทอุปกรณ์ ขนาดของอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการระบุข้อควรระวังของแต่ละสถานีที่มีการจ่ายน้ำในการศึกษาด้วย

การกำหนดข้อมูลในแอปพลิเคชัน SCADA จะเป็นข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตในระบบของเครือข่ายทั้งหมดเพื่อ ควบคุมและปรับแรงดันน้ำในระบบจ่ายน้ำโดยจะจ่ายน้ำให้ประชาชนในอำเภอหาดใหญ่ตามปริมาณความต้องการ

ข้อมูลที่รวบรวมได้แสดงให้เห็นข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับความต้องการที่แตกต่างกันของประชากรหาดใหญ่ในช่วงเวลาต่างๆ ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูงเพื่อกักเก็บน้ำจำนวนมากบนถังสูง บัมบูสเตอร์ถูกติดตั้งระหว่างต้นน้ำและปลายน้ำเพื่อดันน้ำและจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำปลายน้ำอย่างทั่วถึง ตัวอย่างพื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 กิโลเมตร หากเราติดตั้งบัมบูสเตอร์ที่ระยะห่างระหว่าง 7 กิโลเมตร เราจะไม่จำเป็นต้องส่งน้ำจำนวนมากไปยังระดับที่สูงกว่า บัมบูสเตอร์จะทำงานแบบเรียลไทม์และลดการใช้พลังงานส่วนเกิน แรงดันในการจ่ายเฉลี่ยของต้นน้ำคือ 48 เมตร ซึ่งจำลองจากโปรแกรม EPANET และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากโปรแกรม MATLAB อย่างไรก็ตาม หลายจุดที่ตำแหน่งปลายน้ำสามารถลดแรงดันที่ต้องการลงเหลือ 40 เมตรได้ การประยุกต์ใช้ SCADA จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมระบบสูบน้ำตามโซลูชันของ EPANET และลดการใช้พลังงาน ลงได้ 22% เห็นได้ชัดว่าการสูญเสียน้ำจะลดลง 18% เมื่อแรงดันน้ำในระบบท่อลดลง หลายสถานที่ลดแรงดันน้ำระหว่างต้นน้ำและปลายน้ำจาก 48 เมตรเหลือ 40 เมตรในกรณีนี้

การออกแบบการควบคุมระบบการจำหน่ายน้ำแบบเรียลไทม์ ทางหน่วยงานของผู้ศึกษาได้มีการจัดทำ Webpage ของระบบบริหารจัดการน้ำเสีย ที่สามารถแสดงรายงานผลของจุดติดตั้ง DMA โดยมีประโยชน์สำหรับการบริหารจัดการน้ำดังนี้

1. สามารถบริหารจัดการระบบการบำบัดน้ำของโรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ทราบถึงการเกิดข้อบกพร่องหรือความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบการจ่ายน้ำของโรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้ทันที และสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว
3. สามารถตรวจติดตามค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการบำบัดน้ำแบบเรียลไทม์ ในทุกจุดของความรับผิดชอบของโรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาโครงข่ายจำหน่ายน้ำประปาแบบเรียลไทม์ กรณีศึกษา โรงกรองน้ำขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ประเทศไทย สามารถลดการใช้พลังงาน ลงได้ 22% เห็นได้ชัดว่าการสูญเสียน้ำจะลดลง 18% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Markus I. Sunela (2560) มุ่งเน้นไปที่ การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมแบบเรียลไทม์ของระบบจ่ายน้ำที่มีถังเก็บน้ำสามารถลดต้นทุนในการผลิตและการจัดจ่ายน้ำได้ถึง 20% โดยยังคงคุณภาพการให้บริการในระดับที่ดีกว่าเดิม และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ D. Kang (2557) ได้อธิบายถึงการควบคุมระบบการกระจายน้ำแบบเรียลไทม์ โดยมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบ ทั้งนี้เนื่องมาจาก การติดตามแบบเรียลไทม์จะทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ที่จุดต่างๆของระบบการกระจายน้ำซึ่งหากพบความผิดปกติ ประการใดจะสามารถแก้ไขได้ทันที ซึ่งหากเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ไม่มีการตรวจติดตามแบบเรียลไทม์จะทำให้เกิดความสูญเสียในระบบซึ่งเป็นต้นทุนอย่างหนึ่งในการบริหารจัดการน้ำประปา

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การประสานส่วนภูมิภาค จังหวัดสงขลา ควรบูรณาการการทำงานร่วมกันกับการประสานภูมิภาคส่วนกลางเพื่อพัฒนาปรับปรุงระบบการตรวจติดตามระบบการจ่ายน้ำประปา ต้นทุนของระบบการผลิตน้ำประปา และการแก้ไขปัญหาที่ข้อจำกัดความรู้หรือประสบการณ์จากบุคลากรที่ทำงานการประสานส่วนภูมิภาคอื่นมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม
2. การประสานส่วนภูมิภาค จังหวัดสงขลา ควรตรวจสอบและปรับปรุงเส้นท่อในพื้นที่ให้บริการให้มีสภาพพร้อมใช้งานเสมอในทุกพื้นที่ที่จ่ายน้ำ สำรวจหาท่อแตกและท่อรั่ว เพื่อลดปัญหาแรงดันน้ำต่ำและลดปัญหาน้ำสูญเสีย
3. พัฒนาแบบจำลอง EPANET ให้เป็นไปตามสภาพพื้นที่จ่ายน้ำในปัจจุบัน เพื่อตรวจสอบแรงดันน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำในพื้นที่จ่ายน้ำ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้น้ำต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Awe, O. M., Okolie, S. T. A. and Fayomi, O. S. I. (2020). Analysis and optimization of water distribution systems: A case study of Kurudu post service housing estate, Abuja, Nigeria. *Results in Engineering*, 5, 100100.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100100>
- Coelho, B. and Andrade-Campos, A. (2014). Efficiency achievement in water supply systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 59-84.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.010>
- Conejos, M. P., Alzamora, F. M. and Alonso, J. C. (2017). A Water Distribution System Model to Simulate Critical Scenarios by Considering Both Leakage and Pressure Dependent Demands. *Procedia Engineering*, 186, 380-387.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.234>
- Howell, S., Rezgui, Y. and Beach, T. (2017). Integrating building and urban semantics to empower smart water solutions. *Automation in Construction*, 81, 434-448.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.004>
- Manop Phiphatthakun and Venus Thadnium. (2011). Effect of Rotational Speed on Pump Performance. *Pathumwan Academic Journal*, 1(1), 59-64.
- Marques, J., Cunha, M. and Savić, D. A. (2014). Decision Support for Optimal Design of Water Distribution Networks: A Real Options Approach. *Procedia Engineering*, 70, 1074-1083. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.119>
- Marzouk, M. and Othman, A. (2020). Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102120. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102120>
- Mohebbi, S., et al. (2020). Cyber-physical-social interdependencies and organizational resilience: A review of water, transportation, and cyber infrastructure systems and processes. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102327.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102327>
- Nemanja, T. (2020). *Introduction to Urban Water Distribution Handbook*. 2nd ed.
- Okeya, I., et al. (2014). Online Modelling of Water Distribution System Using Data Assimilation. *Procedia Engineering*, 70, 1261-1270.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.139>
- Pawinee lamtrakul, P. D. (2020). *Sustainable Urban Planning and Development* (Vol. 1). Thammasat University.
- Sanz, G. and Pérez, R. (2014). Demand Pattern Calibration in Water Distribution Networks. *Procedia Engineering*, 70, 1495-1504.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.164>

- Sarbu, I. (2016). A Study of Energy Optimisation of Urban Water Distribution Systems Using Potential Elements. *Water*, 8(12). doi:10.3390/w8120593
- Sharifi, A. (2020). A typology of smart city assessment tools and indicator sets. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101936.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101936>
- Sitzenfrei, R., Möderl, M. and Rauch, W. (2013). Automatic generation of water distribution systems based on GIS data. *Environmental Modelling & Software*, 47, 138-147. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.006>
- Yu, S. (2012). *Shaping the Sustainable City Through Water Oriented Urban Design*: University of Florida.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Real-Time System of Water Distribution Networks: Case study of Hat Yai Waterwork Plant, Songkhla Province, Thailand

Sittichai Jandaeng¹ and Chalida U-tapao^{1,*}

¹Department of Civil Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Abstract. This study aims to optimize water distribution in a water supply network. One of the most important objectives for every waterwork plants is to minimize water loss in supplying system. The water supply network in Thailand is underground work and most of them have used for many years. Leakages are normally met especially when high pressure are required from demand side. This research will classify 13,580 households living around Hat Yai waterwork plant of Provincial Waterworks Authority in Hat Yai branch in Songkhla province as a demand side and put 5 water sources of Hat Yai district as a supplied side. EPANET program is used to simulate water distribution networks and SCADA application is selected to design controlling system. The result shows that water supply at the Hat Yai waterwork plant should be at least 48 meters to upper Hat Yai zone, however, booster pump may help reducing original water head to 40 meters into high-level areas. Hat Yai waterwork plant decreases energy consumption from pumping processes and also reduce water loss in water distribution system.

1 INTRODUCTION

Thailand population is 70 million people. About 10 million who live in Bangkok (capital city) get water supply from Metropolitan Waterworks Authority, but 67 million people who live in other provinces use water from many sources such as Provincial Waterworks Authority, village water supply or ground water. Water quality and quantity are both necessary issues to think about as well as the reduction of water supply's operational costs. This research focus on how to be quantified water to people who live in urban area such as Hat Yai district, Songkhla province (Southern part of Thailand) and minimize energy consumption from pumping process. 852.80 square kilometres of Hat Yai is shown in Figure 1 and there are 404,365 population [5].

Water distribution process normally pump treated water up to high tank tower and let water flow down to particularly houses. However, this pumping process consumes high energy to storage large amount of water upon high tank tower [1]. This transmission process has to be prepared and ready to use either consumers need or don't need water supply. Distribution process will be installed and separates water supply to each household via piping system. This process might cause energy lost in this transmission and distribution systems.

Piping system in Thailand, especially water distribution is underground work having used for many years. We might not fully trust them 100% quality. Leakage can appear in everywhere so water may lost depend upon pressure in pipeline. The more we can reduce pressure, the more we can deduct water lost in water distribution network [2].



Fig. 1.

Our team design another way to reduce energy consumption and water lost in water distribution network. We will not use high tank tower but compare demand with supply sides. Realtime model of 13,580 households (demand side) and 5 water sources (supply side) are simulated via EPANET program. Needing pressure will put on SCADA application to control water pump at the original station. Furthermore, some high-level areas may need more pressure from booster pumps [4].

The result of this study will improve water supply distribution networks, especially for urban areas to reduce energy consumption and water leakage along with water flow in pipe.

*Corresponding author: chalida.u@kmitl.ac.th

2 Methodology

This research surveyed 13,580 households, who lives in Hat Yai district, Songkhla province, to get elevation, population, and water consumptions within 440 days. Data is approximated to demand of water consumption per hour. Base demand is calculated by approximated water consumption 100 liters per person per day and four persons for each household. Figure 2 in used to describe this research methodology [9-11]. Collected data has been put on EPANET program to build up water demand model [6]. Figure 3 shows elevations for each sample point. All areas have difference elevations, and we will consider them as upper streams and lower streams areas.

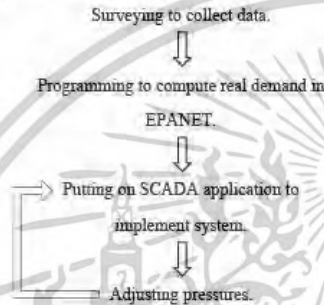


Fig. 2. shows this research methodology.

EPANET is used to simulate each period of water pressure related with water flow for specific location. Figure 4 shows simulated water pressure for each sample point. According to collecting data, waterwork plant must use 48 meters (water pressure) at the upstream and downstream will put different data related with real elevations. Furthermore, EPANET is used to simulate all water pressures at different elevations. A main pump, installing at the start point, must provide at least 48 meters to get enough water pressure at all areas. In November 2022, waterwork consumed 110.112.00 kWh and lose 42,769 m³. Our assumption is Hat Yai waterwork plant should reduce both electricity consumption and water lost by using booster pumps in specific areas.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) application as license program is used to control and adjust water pressure in water distribution system. Water will be supplied to Hat Yai's population within their demands. Figure 5 shows SCADA application that uses to control pumping system and water pressure for the upstream station.



Fig. 3. Elevation of 13,580 households living in Hat Yai District, Songkhla province.

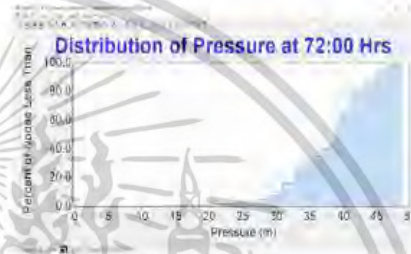


Fig. 4. Water pressure for each sample spot.

Figure 5 shows a relation between water pressure $f(x)$ in meters and flow rate (x) in cubic meter per hour is in polynomial equation [9-11].

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x^1 + a_0 \quad (1)$$

Equation 1 represents a function of water pressure of base demand (cubic meter per hour) for each household.

We put default value through the SCADA application by using base demand the pressure for each period by using base demand (calculated by equation 1). As a result, we must input some pressure value in accordance with the output equation, and the pressure value determined by this equation is referred to as the desired value or set value.

The total flow rate input and pressure transmitter sensor are used to measure the pressure in the water supply network. By means of the master flow meter directly linked to the function equation, we refer to this as feedback or actual value.

Any discrepancy between these two signals, the feedback or real value and the setpoint value, denotes our error. Based on this comparison in the form of real time function, the equation controller will produce results and send the output to the vary speed pump via the SCADA Application.

Here, we use the variable speed pump to regulate the water supply flow to maintain the water supply network's pressure. The controller output function equation used here determines the position of this variable speed pump. To meet the Base Demand in each pattern period of tap water demand, the process' response time is dependent on three values: proportional gain, integral time, and derivative time.

To control exceeding energy consumption of pumping and protecting piping system, we must adjust inputting elevation data. For example, minimum elevation is h_s , maximum elevation is h_m and the difference elevation data is less than or equal to vary speed pump (h_p).

$$h_s \leq h_m - h_p \quad (2)$$

$$h_m \geq 0 \quad (3)$$

$$h_s \geq 0 \quad (4)$$

All elevations will input as constraints via SCADA application as shown in Fig. 6.

Both upstream and downstream pumps are adjusted water pressures shown in fig. 7 and the elevations are also controlled. Minimum energy consumption of water pump is optimized and shows in equation (5)

$$\min(OBF) = \min \left(\sum_{i=1}^n |EU_i + ED_i| \right) \quad (5)$$

$i = 1 \dots n$ are time. EU is energy consumption of upstream pump, and ED is energy consumption of downstream pump.

Time is another variable affect energy consumption and flow rate. We need to supply all consumer demands, however, different period of time will have different demand. On-Peak times are 05:00 – 10:00 am and 4:00 – 10:00 pm are high demand but we must control exceeding energy consumption. Off-Peak times 11:00 am – 04:00 pm and 10:00 pm – 05:00 am are lower demand and we can reduce energy consumption. Optimization model is used to minimizing energy consumption subjected to elevations constraints. Various pumps are controlled real time via SCADA application shown in fig. 8 and 9.

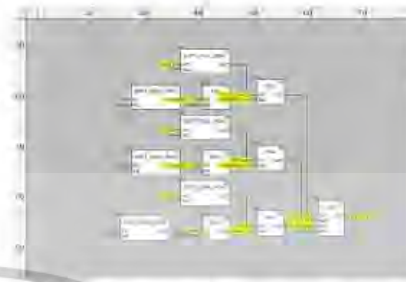


Fig. 5. The relationship between water pressure and flow rate



Fig. 6. Vary speed pump to control pump

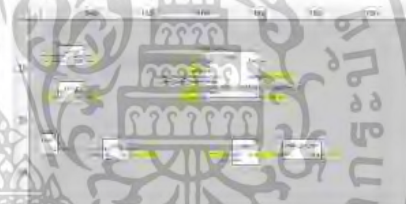


Fig. 7. Result from SCADA Application used to control water pressure.

Many areas we could use booster pumps to improve water pressure in specific times (peak load) and specific locations. We don't need to supply high pressure at the upstream for all water networks.

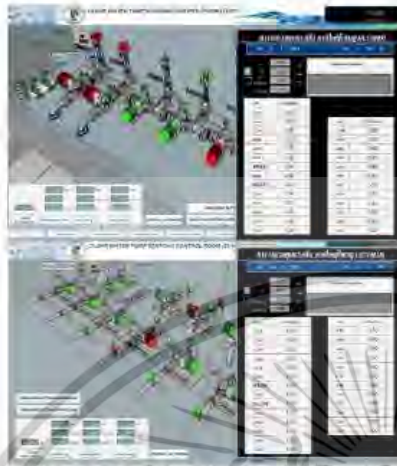


Fig. 8. The SCADA application is setting water pressure for the upstream station at various times.



Fig. 9. SCADA application controls water pressures at pumping system

3 Results and Discussion

Collected data has shown significant information about different demand of Hat Yai population related on different period. It is no need to put on high energy to storage large amount of water on high tower. Booster pumps are installed between the upstream and downstream to push the water and thoroughly serve water to the downstream users [8]. Fig 6-8 show demand site, example, area of 14 kilometre's diameter. If we install boosters pump at between 7 kilometres, we will not need to transmit huge amount of water on higher level. Booster pump will operate at real time and reduce exceed energy consumption. The average supplying pressure of the upstream is 48 meters simulated from

EPANET program. However, many points at the downstream location can reduce demanding pressure to 40 meters [7]. SCADA application will control pumping system following solution of EPANET and reduce 22% of energy consumption.

Clearly, 18% of water loss will also reduce when water pressure is reduced in piping system. Many locations reduce water pressure between upstream and downstream from 48 to 40 meters in this case.

4 Conclusion

Investigated the problem of optimal control of water distribution networks without storage capacity. The author chose programming to compute real demand in EPANET and putting on SCADA application to adjusting pressure. The author proposed energy consumption and water loss will also reduce when the upstream water pressure is reduced in water distribution network.

References

1. I. Sarbu, *A Study of Energy Optimisation of Urban Water Distribution Systems Using Potential Elements*. Journal of Water 2016, 8, 593 (2016)
2. R. Wannapop, T. Jearsinpongkul and K. Jianjirach, *Effect of Nodal Elevation Revision in Water Distribution System: A Case Study of Metropolitan Waterworks Authority, Thailand*. International Journal of GEOMATE, Jan. 2019, 16, Issue 53, pp.184-189. (2019)
3. S. Ngerma, N. Rachaphaew, P. Prikchoo, O. Kaewnua, K. Manopwisedjaroen, K. Phumchuea, C. Suansomjit, W. Roob-soong, J. Sattabongkot, S. Thammapalo, L. Cui, and W. Nguitragool, *Case Report: Case Series of Human Plasmodium knowlesi Infection on the Southern Border of Thailand*. The American journal of tropical medicine and hygiene, pp.1397-1401. (2019)
4. N. Trifunović, *Introduction to Urban Water Distribution Handbook*, Second Edition. (2020)
5. Department Of Provincial Administration Homepage. <https://www.dopa.go.th>, last accessed 2023/05/12
6. U.S. Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/water-research/epanet>, last accessed 2023/05/12
7. M. P. Conejos, F. M. Alzamora, J. C. Alonso, *A Water Distribution System Model to Simulate Critical Scenarios by Considering Both Leakage and Pressure Dependent Demands*. XVII International Conference on WDSA2016, pp.380-387. (2017)
8. J. Marques, M. Cunha, D.A. Savic, *Decision Support for Optimal Design of Water Distribution*

- Networks : A Real Options Approach. 12th International Conference on CCWI2013, pp.1074-1083. (2014)
9. G. Sanz, R. Perez, Demand Pattern Calibration in Water Distribution Networks. 12th International Conference on CCWI2013, pp.1495-1504. (2014)
 10. B. Coelho, A. Andrade-Campos, Efficiency Achievement in Water Supply Systems – A Review. J. RSER 30, 59-84 (2014)
 11. R. Sitzenfri, M. Moderl, W. Rauch, Automatic Generation of Water Distribution Systems based on GIS Data. J. ENVSOFT 47, 138-147 (2013)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสิทธิชัย จันแดง
วัน เดือน ปีเกิด	1 พฤษภาคม 2522
ที่อยู่	36/1 หมู่ที่ 13 ตำบลตำนาน อำเภอเมืองพัทลุง จังหวัดพัทลุง 93000
ประวัติการศึกษา	2546 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การวิเคราะห์ความเหมาะสมเชิงวิศวกรรม 2.) การจัดการงานบำรุงรักษาและการอนุรักษ์พลังงาน 3.) การวางแผนงานก่อสร้าง 3.) การพัฒนากระบวนการผลิตและจำหน่ายน้ำประปา
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2555-2555	ตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 3 ส่วนระบบอัตโนมัติและควบคุม กองซ่อมบำรุง ฝ่ายโรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์และธนบุรี การประปานครหลวง - บำรุงรักษา แก้ไข ปรับปรุง ระบบให้สามารถใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ - ตรวจ วิเคราะห์ ประเมิน รวมทั้งทดสอบ เพื่อป้องกันความผิดปกติ - วางแผน ประสานงาน และควบคุมงานในการบำรุงรักษา - ประเมินผลการซ่อมและสรุปรายงานการบำรุงรักษา
พ.ศ.2555-2566	ตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 7 งานผลิต การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) การประปาส่วนภูมิภาค เขต 5 - การวิเคราะห์ความเหมาะสมเชิงวิศวกรรม - การจัดการงานบำรุงรักษาและการอนุรักษ์พลังงาน - การวางแผนงานก่อสร้าง - การพัฒนากระบวนการผลิตและจำหน่ายน้ำประปา
ก.ค. - ต.ค. พ.ศ.2566	ตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 7 งานบำรุงรักษา กองระบบผลิตน้ำ (ปทุมธานี) การประปาส่วนภูมิภาค เขต 2 - การวิเคราะห์ความเหมาะสมเชิงวิศวกรรม - การจัดการงานบำรุงรักษาและการอนุรักษ์พลังงาน
พ.ศ.2566-2567	ตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 7 งานผลิต การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) การประปาส่วนภูมิภาค เขต 5 - การวิเคราะห์ความเหมาะสมเชิงวิศวกรรม - การจัดการงานบำรุงรักษาและการอนุรักษ์พลังงาน - การวางแผนงานก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ.2567 - ปัจจุบัน

- การพัฒนากระบวนการผลิตและจำหน่ายน้ำประปา
ตำแหน่ง หัวหน้างาน ระดับ 8
งานผลิต การประปาส่วนภูมิภาค สาขาพัทลุง
การประปาส่วนภูมิภาค เขต 5
- วางแผน บริหารและการจัดการงานผลิต
- ประสานงานระหว่างหน่วยงานภายในประปาสาขา
- ประสานงานกับหน่วยงานภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้