สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบเฝ้าระวังการสูญเสียน้ำในระบบ DMA โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

A WATER–LEAKAGE MONITORING SYSTEM IN DMA USING INFORMATION TECHNOLOGY

T 087847

พงศ์เกษม มะลิทอง

PONGKASAME MALITHONG

วพ.
พ 113 ก
2551

เลขหมู่ 87847
เลขทะเบียน 19 มี.ค. 2552
วัน,เดือน,ปี

b 12077522x
i

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2551
KMITL-2008-EN-M-060-173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A WATER–LEAKAGE MONITORING SYSTEM IN DMA USING INFORMATION TECHNOLOGY

PONGKASAME MALITHONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EN-M-060-173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบเฝ้าระวังการสูญเสียน้ำในระบบ DMA โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ
นักศึกษา	นายพงศ์เกษม มะลิทอง
รหัสนักศึกษา	46061703
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. สุพรรณ กุลพาณิชย์

บทคัดย่อ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบเฝ้าระวังตรวจสอบและควบคุมน้ำสูญเสีย (District Metering Area : DMA) โดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยจัดการ และการจำจองการทำงานของระบบควบคุมที่ถูกออกแบบไว้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบแรงดันน้ำ อัตราการไหล และ อัตราการไหลในช่วงเวลากลางคืน (Minimum Night Flow : NMF) ได้ รวมทั้งยังสามารถแจ้งเตือนในกรณีที่ค่าที่วัดได้ เปลี่ยนแปลงเกินขอบเขตที่ควบคุมไว้ ซึ่งทั้งหมดนี้จะใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารดำเนินการเพื่อลดน้ำสูญเสียในเชิงรุกตามหลักสากล และสามารถลดระดับน้ำสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและยั่งยืนต่อไป ในการวัดและควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน โดยส่วนอินพุททำหน้าที่เก็บข้อมูลแรงดันน้ำ อัตราการไหลจาก DMA Master Meter แล้วส่งข้อมูลผ่าน GSM Module ในรูปแบบ GPRS โดยใช้โปรโตคอล FTP ไปยัง FTP เซิฟร์เวอร์ที่ศูนย์ควบคุม และในส่วนเอาท์พุททำหน้าที่ควบคุมวาล์วลดแรงดัน โดยการทำนายค่าความต้องการ และควบคุมแรงดันตามความต้องการ ทั้งนี้จะทำให้เกิดความสอดคล้องระหว่างแรงดันน้ำกับอัตราการไหลเข้าพื้นที่ DMA ในส่วนของ FTP เซิฟร์เวอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล และวิเคราะห์การรั่วไหลเชิงสถิติโดยแสดงผลในรูปแบบกราฟ หรือตารางข้อมูลผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบข้อมูลของผู้ดูแลระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A WATER–LEAKAGE MONITORING SYSTEM IN DMA USING INFORMATION TECHNOLOGY
Student	Pongkasame Malithong
Student ID.	46061703
Degree	Master of Engineering
Programme	Instrumentation Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Suphan Kulphanich

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to presents the design of water loss inspection system in District Metering Area (DMA) using information technology and the simulation of this control network system. Inspector can check Pressure, Flow rate and Minimum Night Flow; NMF include sending Alert in case the Pressure, Flow rate and NMF is over the range of controlling. This is used as equipment to implement water loss in international proactive and can keep on water loss reduction more efficiency. The system consists of microcontroller which collects data of Pressure, Flow rate from DMA Master Meter and send data through GSM Module in GPRS format use FTP Protocol into FTP server at control center. Output can control pressure reducing valve by estimate demand and adjust pressure base on demand to be consistent between pressure with flow rate. FTP server uses database system can show graph and table for system leak analysis on internet network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ , ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ , รศ.วิริยะ กองรัตน์ , ผศ.ดร.พงษ์ชัย นิลาศ และ รศ.ดร.ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทุกท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณวิมาน มาศจรูญ หัวหน้าส่วนสำรวจหาท่อรั่ว สำนักงานประปาสมุทรปราการ และคุณเกรียงศักดิ์ ไหลเวศวิทยา ผู้จัดการด้านเทคนิคบริษัทเอกชน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ความเข้าใจทางด้านระบบงานประปา แนะนำให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ และสถานที่ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง และคอยให้กำลังใจตลอดมาทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจทุกท่าน

พงศ์เกษม มะลิทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....3

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....4

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานการลดน้ำสูญเสียในระบบประปา และการสื่อสารระบบ GSM เบื้องต้น.....6

2.1 ความหมายของน้ำสูญเสีย.....6

2.2 องค์ประกอบและสาเหตุของน้ำสูญเสีย.....6

2.2.1 น้ำจำหน่าย.....7

2.2.2 น้ำสูญเสียจากการบริหารจัดการ.....7

2.2.3 น้ำสูญเสียทางเทคนิค.....7

2.3 การจัดการน้ำสูญเสียทางเทคนิค.....10

2.3.1 การบริหารแรงดันน้ำ.....11

2.3.2 การควบคุมน้ำสูญเสียเชิงรุก.....12

2.3.3 การควบคุมประสิทธิภาพงานซ่อมท่อ.....12

2.3.4 การควบคุมมาตรฐานงานออกแบบและวางท่อประปา และงานปรับปรุงท่อ.....13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 อิทธิพลด้านเวลาในการสูญเสียน้ำ.....13
2.5 ปัจจัยที่มีผลทำให้ท่อประปาชำรุดแตกรั่ว.....14
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรั่วไหลและแรงดันน้ำ.....15
2.7 ผลจากการเกิดน้ำสูญเสีย.....16
2.8 การบริหารจัดการน้ำสูญเสียแบบ DMA.....17
2.8.1 ข้อดีของระบบ DMA.....18
2.8.2 คุณสมบัติและข้อควรคำนึงในการจัดแบ่งพื้นที่ของระบบ DMA.....18
2.8.3 ขั้นตอนในการออกแบบระบบ DMA.....18
2.9 การสื่อสารระบบ GSM เบื้องต้น.....20
2.9.1 เส้นทางการรับส่งข้อมูลของ GSM.....20
2.9.2 Circuit Switched Data (CSD).....20
2.9.3 General Packet Radio Service (GPRS).....21
2.9.4 โครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP.....23
2.9.5 โปรโตคอล TCP (RFC 793).....31
2.9.6 โปรโตคอล IP (RFC 791).....32
2.9.7 กลไกของโปรโตคอล IP.....32
2.9.8 การกำหนด IP Address ให้กับอุปกรณ์.....33
2.9.9 การ Bind IP Address.....34
2.10 สรุป.....35

บทที่ 3 การออกแบบพื้นที่เฝ้าระวังควบคุมน้ำสูญเสีย.....36
3.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย.....36
3.1.1 หลักเกณฑ์ในการกำหนดพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย.....37
3.2 การออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....42
3.2.1 การแบ่งขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....42
3.2.2 เหตุผลในการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....46
3.2.3 ผลการสำรวจพื้นที่เฝ้าระวัง.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การตรวจสอบการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง.....48
3.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ.....48
3.3.1.1 การทดสอบ Zero Pressure Test.....50
3.3.1.2 การทดสอบการใช้น้ำสูงสุด (Peak-Demand Test).....52
3.3.2 ผลการดำเนินการตรวจสอบการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....53
3.3.2.1 ผลการตรวจสอบประตูน้ำ ก่อนการดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test.....53
3.3.2.2 ผลการทดสอบ Zero Pressure Test ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....54
3.4 สรุป.....57

บทที่ 4 แนวคิดการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและควบคุมน้ำสูญเสีย.....58
4.1 แนวทางการออกแบบระบบเบื้องต้น.....58
4.2 การวิเคราะห์การแตกรั่วของระบบ.....60
4.3 การทำนายค่าความต้องการการใช้น้ำ.....63
4.4 แนวคิดการควบคุมแรงดันน้ำเพื่อลดการสูญเสีย.....65
4.5 การออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ที่ RTU.....67
4.6 การออกโปรแกรมที่ห้องควบคุม.....72
4.6.1 โปรแกรมแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูล.....72
4.6.2 โปรแกรมจำลองการควบคุมแรงดันน้ำ.....78
4.7 สรุป.....86

บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ.....87
5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....87
5.2 ผลการทดสอบโปรแกรมเฝ้าระวังและวิเคราะห์น้ำสูญเสีย.....90
5.3 ผลการจำลองการควบคุมแรงดัน.....93

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....100
ภาคผนวก.....101
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....102
ประวัติผู้เขียน.....109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าแฟกเตอร์แรงดันที่ถูกต้องสำหรับหาค่า background losses ตามมาตรฐาน IWA.....8

2.2 สรุปหมายเลขบางส่วนของ port ที่ใช้งานโดย TCP และ UDP.....29

3.1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ โซน 06 สาขาสมุทรปราการ แบ่งออกเป็น 8 DMA.....41

3.2 แสดงข้อมูลทั่วไปปี 2550 ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....44

3.3 ข้อมูลแสดงจุดติดตั้งมาตรประตูน้ำกั้นขอบเขตจุดวัดแรงดันและจุดทดสอบการใช้น้ำสูงสุด..45

3.4 แสดงข้อมูลระบบท่อประปาปี 2550 ของพื้นที่ DMA-17-06-02.....45

3.5 แสดงข้อมูลสรุปผลการสำรวจประตูน้ำ หัวดับเพลิง ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA 17-06-02.....48

3.6 แสดงผลการสำรวจและตรวจสอบประตูน้ำกั้นขอบเขตเบื้องต้น ก่อนดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test ของพื้นที่เฝ้าระวังที่ดำเนินการออกแบบ.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การจำแนกประเภทน้ำประปา.....7

2.2 แสดงดุลการใช้จ่ายน้ำโดยรวม.....10

2.3 องค์ประกอบในการลดน้ำสูญเสียทางเทคนิค.....11

2.4 ช่วงเวลารวมของการสูญเสียน้ำ.....14

2.5 การแบ่งพื้นที่ของการจัดตั้งระบบ DMAs.....17

2.6 การกำหนดจุดน้ำเข้า-ออก (Defining a Boundary).....19

2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบข้อมูลโครงร่างของการเก็บข้อมูลอัตราการไหล 24 ชั่วโมง.....20

2.8 GPRS จะรับส่งข้อมูลเป็นส่วนๆ ที่เรียกว่า packet ไปยังซุมสายโดยการรับส่งข้อมูลนั้นไม่จำเป็นต้องส่งต่อเนื่องตลอดเวลา การรับส่งข้อมูลจะเชื่อมต่อผ่าน (Gateway GPRS Service Node ; GGSN) เพื่อกำหนด IP Address ชั่วคราวให้ และรับส่งข้อมูลกับอินเตอร์เน็ตได้.....22

2.9 แสดงการทำงานของ GPRS เทียบกับระดับชั้นใน OSI Model.....23

2.10 แสดง TCP/IP stack เปรียบเทียบกับมาตรฐาน OSI.....24

2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตคอลต่างๆ ของ TCP/IP.....24

2.12 แสดงแอพพลิเคชั่นต่างๆใน TCP/IP Stack.....25

2.13 แอพพลิเคชั่นหรือโปรเซสต่างๆสื่อสารกับ Host-to-Host Layer ผ่านจุดเชื่อมต่อหรือ port ส่วนหลายเลยในรูปคือหมายเลย port ที่โปรเซสใช้งาน เช่น เว็บหรือโปรเซส http ใช้งาน port 80 ในการส่งผ่านข้อมูล เป็นต้น.....27

2.14 โปรเซสต่างๆที่เรียกใช้ Transport layer เพื่อส่งผ่านข้อมูลโดยอาศัย port ซึ่งในแต่ละโปรเซสจะเรียกใช้งานได้ port เฉพาะแตกต่างกัน ยกเว้น DNS ทีสามารถใช้งานได้ทั้ง TCP และ UDP.....28

2.15 โครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP ในแต่ละชั้นหรือ layer จะมีโปรโตคอลหลักทำหน้าที่ต่างๆและส่งผ่านข้อมูลไปยังเครือข่ายและออกสู้อินเตอร์เน็ต.....29

2.16 รูปแบบของ TCP packet จะเห็นว่ามีฟิลด์ Acknowledgement Number และข้อมูล Checksum เพื่อใช้ตรวจสอบการเดินทางของข้อมูล ส่วน header มีข้อมูลมากทำให้ต้องอาศัยทรัพยากรของระบบทำงานมาก.....32

2.17 แสดงการ bind IP Address หมายเลข 204.183.255.20 เข้ากับ Ethernet ซึ่งเป็น network interface driver ทำให้ IP สามารถสื่อสารกับเครือข่ายได้ ส่วนหมายเลข 2048 เป็น interface identifier.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.18 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย Ethernet มีหมายเลข IP Address แต่ละเครื่องที่ LAN card เป็น network interface.....34
3.1 แสดงข้อมูลระบบท่อประปาโดยรวมของทั้งระบบที่ได้รับจากการประปานครหลวง เพื่อใช้ใน การออกแบบและจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง.....37
3.2 แสดงข้อมูลระบบเส้นท่อประปาของพื้นที่สำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ ที่ได้รับจากการประปานครหลวง.....38
3.3 แสดงขอบเขตพื้นที่สำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการที่จัดแบ่ง โดยการประปานครหลวง.....39
3.4 แสดงขอบเขตพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสียของสำนักงานประปา สาขาสมุทรปราการ ที่ได้รับข้อมูลจากส่วนสำรวจท่อรั่ว (สทร.) 39
3.5 แสดงขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวังที่ออกแบบในเบื้องต้น โดยอาศัยข้อมูล GIS ข้อมูลผู้ใช้น้ำ ข้อมูลจากส่วนสำรวจท่อรั่ว และข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่.....40
3.6 แสดงขอบเขตพื้นที่โซนบริหารจัดการน้ำสูญเสีย และพื้นที่เฝ้าระวังที่ออกแบบแล้วเสร็จ.....40
3.7 แสดงขอบเขตพื้นที่โซน 06 ของสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ.....41
3.8 แสดงพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02 ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของพื้นที่สำนักงาน ประปาสาขาสมุทรปราการ.....42
3.9 แสดงรายละเอียดพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02 และเขตแนวลำคลอง,ถนน.....43
3.10 แสดงขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวังและประตูน้ำกั้นขอบเขตรวมถึงทางน้ำเข้าและจุดติดตั้ง อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำในพื้นที่.....44
3.11 แสดงตัวอย่างพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ที่ออกแบบเบื้องต้นที่ใช้ในการตรวจสอบ และการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำที่หัวดับเพลิง.....49
3.12 ขั้นตอนการทดสอบพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA).....50
3.13 แสดงกราฟแรงดันน้ำขณะทำการทดสอบ Zero Pressure Test ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....55
3.14 แสดงกราฟผลการทดสอบแรงดันน้ำในพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....56
3.15 แสดงกราฟแรงดันเฉลี่ยก่อนและหลังการจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 ผังของระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย.....59

4.2 ภาพรวมของระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย.....60

4.3 Normal Curve.....61

4.4 การตั้งขอบเขตล่างและขอบเขตบนเพื่อใช้วิเคราะห์กรณีท่อแตก.....62

4.5 การตั้งขอบเขตล่างและขอบเขตบนเพื่อใช้วิเคราะห์กรณีท่อรั่ว.....62

4.6 แสดงรูปแบบความต้องการและการทำนาย.....63

4.7 แสดงรูปแบบความต้องการเมื่อขยาย.....64

4.8 แสดงการจ่ายน้ำแบบไม่มีการควบคุม.....65

4.9 แสดงการจ่ายน้ำแบบมีการควบคุมแรงดันน้ำให้สมดุลกับความต้องการ.....66

4.10 โครงสร้างภายในของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์.....68

4.11 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ได้ทำการออกแบบ.....69

4.12 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลอง.....69

4.13 ผังการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์.....70

4.14 หน้าโปรแกรมตั้งค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น.....71

4.15 การติดตั้งอุปกรณ์วัดข้อมูลภาคสนาม.....71

4.16 แสดงภาพหน้าจอหลักของระบบ.....73

4.17 แสดงภาพหน้าจอการตั้งค่าข้อมูลทั่วไปของแต่ละ DMA.....74

4.18 แสดงภาพหน้าจอแสดงผลรายงานสำหรับ DMA.....75

4.19 แสดงภาพหน้าจอแสดงผล Alarm Zone.....75

4.20 แสดงภาพหน้าจอแสดงผล DMA Value.....76

4.21 แสดงภาพหน้าจอแสดงข้อมูล Summary การใช้น้ำของ DMA.....77

4.22 ภาพแสดง ER-Diagram ของตารางฐานข้อมูล.....78

4.23 หน้าโปรแกรมหลัก.....79

4.24 หน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบคงที่.....80

4.25 รูปผังโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบคงที่.....81

4.26 หน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามช่วงเวลา.....82

4.27 รูปผังโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามช่วงเวลา.....83

4.28 หน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามความต้องการ.....84

4.29 รูปผังโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามความต้องการ.....85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของความต้องการที่เวลา 03:00 น. 87

5.2 แสดงช่วงความเชื่อมั่นและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน.....88

5.3 แสดงขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลทั้งหมดที่เวลา 03:00 น. 89

5.4 แสดงข้อมูลของการใช้น้ำประปาที่วัดได้.....90

5.5 ข้อมูลในช่วงปกติ.....90

5.6 แสดงแนวโน้มการรั่วไหล.....91

5.7 หลังตรวจพบและเข้าซ่อมแล้วเสร็จ.....91

5.8 แสดงภาพท่อ AC 300 mm. แตกเมื่อขุดพบ.....92

5.9 รูปแบบ Demand & Supply.....94

5.10 ผลการทดสอบการควบคุมแรงดัน.....95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ทุกคนให้ความสนใจ และใส่ใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค และเป็นพื้นฐานองค์ประกอบสำคัญของกิจกรรมด้านต่างๆ เช่นด้านเกษตรกรรม หรือด้านอุตสาหกรรมเป็นต้น ซึ่งรวมถึงความจำเป็นในการนำไปใช้พัฒนาประเทศด้านต่างๆอีกด้วย หากพิจารณาการผลิตน้ำประปาแล้วจะเห็นว่าหนึ่งในปัจจัยที่จำเป็นในการผลิตน้ำประปาคือ "น้ำดิบ" ถึงแม้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยจะมีแหล่งน้ำดิบตามธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาอย่างพอเพียง แต่อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ว่าแหล่งน้ำดิบตามธรรมชาตินั้นมีจำกัดและมีวันที่จะหมดไป หากไม่มีการบริหารจัดการที่เหมาะสมเนื่องจากความต้องการใช้น้ำมีสูงขึ้นตลอดเวลา ไม่ใช่เฉพาะในประเทศไทยรวมถึงประเทศต่างๆทั่วโลก จะเห็นได้ว่าทุกชาติตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์แหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาน้ำสูญเสียภายในระบบประปาเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญที่หน่วยงานด้านสาธารณูปโภคทั่วโลกให้ความสนใจ เพื่อให้การใช้ทรัพยากรน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

น้ำสูญเสียนอกจากจะส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแล้วยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อการประปาด้วย หากพิจารณาในแง่การประกอบการขององค์กร แน่นอนว่าทุกๆ ลูกบาศก์เมตรของน้ำประปาที่ผลิตขึ้น องค์กรประปาต้องเสียค่าใช้จ่ายดำเนินการทั้งสิ้น อาทิ ค่าสารเคมี ค่าไฟฟ้า รวมถึงค่าบุคลากร ดังนั้นน้ำสูญเสียจึงถือเป็นต้นทุนอย่างหนึ่งของทุกกิจการประปา แต่เนื่องจากน้ำสูญเสียเป็นปัญหาที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ของกิจการประปาทุกแห่งในโลก ไม่มีประปาใดสามารถจัดการปัญหาน้ำสูญเสียให้หายไปจากระบบได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นสิ่งที่เป็นเป้าหมายของการแก้ปัญหาน้ำสูญเสียคือ "ทำอย่างไรที่จะบริหารจัดการเพื่อควบคุมให้อัตราน้ำสูญเสียอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อสถานะขององค์กร" ทั้งในด้านเทคนิค ด้านเศรษฐกิจ และด้านการให้บริการ ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณากำหนดระดับน้ำสูญเสียที่เหมาะสมกับแต่ละกิจการประปาประกอบด้วย

- ทรัพยากรน้ำ
- เงินลงทุน
- สภาพทางเศรษฐกิจ
- การสนับสนุนเงินลงทุนจากภาครัฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นับตั้งแต่ก่อตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ.2510 เป็นต้นมา การประปานครหลวงได้ดำเนินโครงการเพื่อเพิ่มกำลังผลิตและขยายพื้นที่บริการสนองความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุผลข้อจำกัดด้านงบประมาณในการลงทุน จึงเลือกใช้ท่อและอุปกรณ์ที่ผลิตภายในประเทศซึ่งมีคุณภาพไม่สูงนัก และท่อที่มีอยู่ในปัจจุบันประมาณร้อยละ 30 ได้ใช้งานมานานเกินกว่าอายุการใช้งานเฉลี่ย 25 ปี ประกอบกับระบบประปาพื้นฐาน เช่น ระบบควบคุมการสูบจ่ายน้ำ ระบบควบคุมอัตราน้ำสูญเสีย ระบบแผนที่ท่อประปาและข้อมูลยังคงใช้เทคโนโลยีแบบเก่า ดังนั้น อัตราน้ำสูญเสีย จึงอยู่ในเกณฑ์สูง เป็นปัญหาและอุปสรรคในการบริหารการสูบจ่ายน้ำมากขึ้นตามลำดับ

ปัจจุบันการประปานครหลวงจ่ายน้ำโดยอาศัยโรงสูบจ่ายน้ำซึ่งกระจายอยู่ทั่วพื้นที่บริการ สูบจ่ายเข้าระบบโครงข่ายท่อประปาซึ่งมีลักษณะคล้ายโครงข่ายใยแมงมุม ทั้งนี้ได้มีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นเขตการจ่ายน้ำขนาดใหญ่ 13 เขต (ผู้ใช้น้ำประมาณ 100,000 – 200,000 ราย/เขตการจ่ายน้ำ) ทั้งนี้ด้วยเขตการจ่ายน้ำที่มีขนาดใหญ่จึงส่งผลให้การบริหารจัดการน้ำสูญเสียต้องทำใน Scale ขนาดใหญ่ตามไปด้วย โดยไม่สามารถชี้ชัดลงไปได้แน่นอนว่าบริเวณใดที่มีปัญหาการรั่วไหลสูงจริงๆ ทำให้การแก้ปัญหาต้องทำในลักษณะปูพรม ไม่ว่าจะเป็นการสำรวจหาท่อรั่ว หรือการปรับปรุงท่อหมดสภาพการใช้งาน ซึ่งต้องใช้งบประมาณในการดำเนินการสูงโดยไม่จำเป็น

การประปานครหลวงตระหนักถึงความสำคัญของการลดน้ำประปาที่สูญเสียไปโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบท่อประปา เพราะน้ำสูญเสียส่วนใหญ่นั้นเกิดจากการรั่วไหลในระบบท่อจากจุดที่มีการแตกรั่วใต้ดินซึ่งน้ำไม่ไหลขึ้นสู่ผิวดิน โดยมีปัจจัยและสาเหตุหลายประการที่ทำให้ไม่สามารถตรวจพบได้ทุกจุดด้วยเวลาอันสั้น จึงเป็นสาเหตุให้จุดที่น้ำรั่วไหลนั้นอาจเกิดขึ้นมานานแล้ว

1.2 ความมุ่งหมายและจุดประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งหมายในการศึกษาและเสนอแนวทางการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและควบคุมการสูญเสียน้ำในระบบแบ่งพื้นที่วัดน้ำย่อย (District Metering Area ; DMA) โดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยจัดการ รวมถึงกระบวนงานการบริหารจัดการน้ำสูญเสียที่ได้มาตรฐานสากลมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อวัตถุประสงค์ในการช่วยลดอัตราน้ำสูญเสียโดยรวม และยังเป็นการยกระดับการบริหารจัดการน้ำสูญเสียในระบบท่อจ่ายน้ำประปาให้อยู่ในเกณฑ์ที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย โดยระบบจะช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถทราบถึงสถานภาพของน้ำสูญเสียในแต่ละพื้นที่ได้อย่างรวดเร็วด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ทำให้สามารถควบคุมน้ำสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ ซึ่งจะทำให้ทราบข้อมูลความต้องการพื้นฐานและนำไปสู่การควบคุมแรงดันน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการ โดยเสนอแนวทางในรูปแบบโปรแกรมจำลองการควบคุมแรงดันน้ำประกอบด้วย การควบคุมแบบคงที่ การควบคุมแบบตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลา และการควบคุมตามความต้องการโดยการทำนายค่าความต้องการไว้ล่วงหน้า ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลให้ระบบการจ่ายน้ำให้แก่ผู้ใช้น้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การรับรู้ถึงการรั่วไหลของน้ำในระบบท่อประปาในรูปแบบเก่าได้มาจาก 2 แหล่งข้อมูลคือ ศูนย์รับแจ้งท่อแตกท่อรั่ว (Call Center) ซึ่งจะเปิดรับแจ้งข้อมูลจากประชาชน และทีมสำรวจหาจุดรั่ว (Water Leakage Detective Team) ซึ่งตามมาตรฐานการสำรวจหาจุดรั่วของการประปานครหลวงนั้นจะทำการสำรวจ 2 ครั้งต่อปี เนื่องจากพื้นที่ดูแลขนาดใหญ่ นั่นก็หมายความว่าการรับรู้ถึงการรั่วไหลของน้ำในระบบท่อประปาในรูปแบบเก่าเป็นการลดน้ำสูญเสียในเชิงรับ เพราะการรับรู้ถึงการรั่วไหลที่ได้จากศูนย์รับแจ้งท่อแตกท่อรั่ว และทีมสำรวจหาจุดรั่วนั้นอาจเกิดขึ้นมานานแล้ว เพื่อเป็นการลดช่วงเวลาตั้งแต่ท่อแตกรั่วจนถึงรับรู้ (Awareness Time) นั้น เราได้ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและระบบแบ่งพื้นที่วัดน้ำย่อยเข้าด้วยกันในการสำรวจหาจุดรั่ว โดยมีมาตรวัดน้ำทำหน้าที่ในการวัด และแสดงผลแล้วส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อที่จะรวบรวมข้อมูลมาประมวลผลวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และส่งผลแจ้งเตือนเมื่อมีการพบจุดรั่ว ผลที่ได้ก็คือค่า Awareness Time จะลดลง

ในการควบคุมแรงดันน้ำตามช่วงเวลาโดยโรงสูบย่อยนั้น อิทธิพลของแรงดันน้ำจะไม่เกิดความสอดคล้องกับความต้องการจริงในทุกๆพื้นที่ ซึ่งจะเกิดผลเสียขึ้นในด้านประสิทธิภาพของการให้บริการและการสูญเสียน้ำที่เกิดจากแรงดันน้ำ เพราะปริมาณการรั่วไหลมีผลโดยตรงกับแรงดันน้ำ ในการควบคุมตามความต้องการโดยการทำนายค่าความต้องการไว้ล่วงหน้านั้นแรงดันน้ำจะเกิดความสอดคล้องกับความต้องการอย่างแท้จริง ส่งผลให้ระบบการจ่ายน้ำให้แก่ผู้ใช้น้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์นำเทคโนโลยีสารสนเทศ เข้ามาช่วยการบริหารจัดการน้ำสูญเสียในระบบแบ่งพื้นที่วัดน้ำย่อย (District Metering Area ; DMA) โดยการลดขนาดจากพื้นที่การจ่ายน้ำขนาดใหญ่ ให้เป็นพื้นที่การจ่ายน้ำขนาดเล็กหลายพื้นที่ประกอบกัน ทั้งนี้ระบบโครงข่ายเส้นท่อในแต่ละ DMA จะเป็นระบบปิด ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน สำหรับการจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ในแต่ละ DMA จะมีทางจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เพียงจุดเดียว ซึ่งติดตั้งมาตรวัดน้ำหลัก (Master Meter) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ และวาล์วลดแรงดัน (Pressure Reducing Valve) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันน้ำ ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาต่างๆ เนื่องจากการลดขนาดพื้นที่ลงประกอบกับเป็นระบบพื้นที่ปิด จึงทำให้จำนวนผู้ใช้น้ำค่อนข้างคงที่ และมีรูปแบบพฤติกรรมการบริโภคแบบเดิมๆ ทำให้การวิเคราะห์ปริมาณการรั่วไหลด้วยข้อมูลเชิงสถิติทำได้ง่าย เมื่อข้อมูลผิดปกติเกินค่าความเชื่อมั่นและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ระบบจะแจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลระบบทันที ซึ่งจะช่วยลดช่วงเวลาตั้งแต่ท่อแตกรั่วจนถึงรับรู้ (Awareness Time of Burst Leakage) ลงได้อย่างมาก

ในการควบคุมแรงดันในระบบท่อนั้นเนื่องจากพื้นที่ให้บริการมีขนาดที่กว้างจึงไม่สามารถควบคุมความดันในระบบให้สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงในทุกๆพื้นที่ DMA ได้ จึงเป็นสาเหตุนึงที่เกิดความสูญเสียขึ้น เพราะความดันในระบบมีผลต่ออัตราการรั่วไหลของน้ำ ในการแก้ปัญหานี้เราได้ใช้การควบคุมวาล์วลดความดันโดยติดตั้งก่อนเข้าพื้นที่ DMA เพื่อควบคุมความดันให้สอดคล้องกับความต้องการในพื้นที่นั้นๆ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยได้ทำการจัดทำอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เก็บข้อมูลจริง (Law Data) จากพื้นที่ตัวอย่างผ่านโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่เป็นตัวประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลการรั่วไหลเชิงสถิติตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งเสนอการจำลองการทำงานของระบบควบคุมแรงดันน้ำในรูปแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับวิธีลดน้ำสูญเสียแบบพื้นฐานคือ ศูนย์รับแจ้งท่อแตกท่อรั่ว (Call Center) และทีมสำรวจหาจุดรั่ว (Water Leakage Detective Team) ซึ่งเป็นมาตรการลดน้ำสูญเสียในเชิงรับ และรูปแบบการควบคุมแรงดันน้ำตามช่วงเวลา (Time Modulation) ซึ่งเป็นรูปแบบการควบคุมที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงในแต่ละช่วงเวลา

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันกล่าวคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและจุดประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการลดน้ำสูญเสียในระบบประปา ซึ่งประกอบด้วยความหมายของน้ำสูญเสีย การบริหารจัดการน้ำสูญเสียแบบ DMA การสื่อสารระบบ GSM เบื้องต้น

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวังควบคุมน้ำสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 กล่าวถึงแนวคิดการพัฒนาระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองหรือการวิเคราะห์

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานการลดน้ำสูญเสียในระบบประปา และการสื่อสารระบบ GSM เบื้องต้น

สาระสำคัญของบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แก่ ความหมายของ "น้ำสูญเสีย" (Water loss) การบริหารจัดการน้ำสูญเสียแบบ DMA การสื่อสารระบบ GSM เบื้องต้น

2.1 ความหมายของน้ำสูญเสีย

ปัจจุบันมีการกำหนดคำจำกัดความของ "น้ำสูญเสีย" (Water loss) โดยหลายหน่วยงาน ซึ่งแตกต่างกันออกไปแล้วแต่มุมมอง ข้อกำหนด และการนำไปใช้ของหน่วยงานนั้นๆ องค์การอนามัยโลกซึ่งเป็นหน่วยงานสากลได้มีการกำหนดคำจำกัดความของน้ำสูญเสียในกิจการประปาไว้ว่า "น้ำสูญเสียคือปริมาณน้ำในระบบท่อประปาที่สูญหายไปโดยไม่สามารถระบุปริมาณ เวลา และสถานที่"

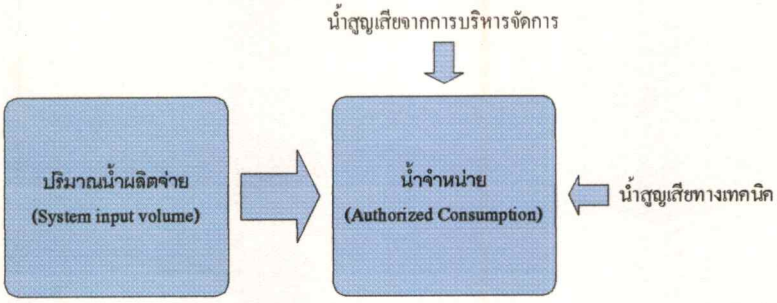
สำหรับการประปานครหลวงได้ให้คำจำกัดความของน้ำสูญเสียเพื่อนำไปใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กรเองซึ่งคล้ายคลึงกับกิจการประปาอื่นๆทั่วโลก คือ "น้ำสูญเสียคือปริมาณน้ำสูบจ่ายหักด้วยปริมาณน้ำที่ออกบิลและน้ำใช้ในกิจกรรมต่างๆ เช่นน้ำใช้เพื่อสาธารณะประโยชน์ ซึ่งสามารถวัดหรือคำนวณได้"

2.2 องค์ประกอบและสาเหตุของน้ำสูญเสีย

เพื่อที่จะบริหารจัดการปัญหาน้ำสูญเสีย จำเป็นจะต้องทราบสาเหตุที่มา และองค์ประกอบของน้ำสูญเสียก่อน หากพิจารณาปริมาณน้ำผลิตจ่าย (System Input Volume) สามารถจำแนกประเภทของน้ำได้เป็น 3 ประเภทหลัก ประกอบด้วย

1 น้ำจำหน่าย (Authorized consumption)
2 น้ำสูญเสียจากการบริหารจัดการ (Apparent Losses)
3 น้ำสูญเสียทางเทคนิค (Real Losses)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การจำแนกประเภทน้ำประปา

2.2.1 น้ำจำหน่าย (Authorized consumption)

น้ำจำหน่าย (Authorized consumption) ประกอบด้วย ปริมาณที่มีรายได้ (Billed Authorized consumption) คือปริมาณน้ำขายที่ทั้งผ่านมาตรวัดน้ำและไม่ผ่านมาตรวัดน้ำ และปริมาณน้ำที่ไม่มีรายได้ (Unbilled Authorized consumption) คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในสาธารณะประโยชน์ เช่น จุดบริการน้ำดื่ม น้ำแจกยามภัยแล้ง น้ำดับเพลิง เป็นต้น

2.2.2 น้ำสูญเสียจากการบริหารจัดการ (Apparent Losses)

น้ำสูญเสียจากการบริหารจัดการ (Apparent Losses) ประกอบด้วย ความผิดพลาดจากเครื่องวัดปริมาณน้ำ (Water meter) และ การลักขโมยใช้น้ำประปา (Theft or illegal use) หากพิจารณาน้ำสูญเสียที่เกิดจากการบริหารจัดการ จากสาเหตุของความผิดพลาดในการวัดปริมาณน้ำนั้น ความเป็นจริงแล้วน้ำประปาไม่ได้หายไปจากระบบท่อ หากแต่การประปาไม่สามารถจัดเก็บเงินจากผู้ใช้น้ำได้ตามความเป็นจริง ดังนั้นหากแก้ปัญหาได้ การประปาจะสามารถเพิ่มรายได้ให้กับองค์กรได้

2.2.3 น้ำสูญเสียทางเทคนิค (Real Losses)

น้ำสูญเสียทางเทคนิค (Real Losses) ประกอบด้วย

1.น้ำสูญเสียพื้นฐาน (Background Leakage ; LB) คือปริมาณการรั่วไหลในระบบท่อซึ่งมีค่าน้อยมาก อาทิ การรั่วซึมตามจุดเชื่อมต่อต่างๆในระบบท่อ เป็นต้น ซึ่งการรั่วไหลประเภทนี้ยากในการสำรวจตรวจสอบ โดยปริมาณการรั่วไหลลักษณะนี้จะขึ้นกับอายุการใช้งานของระบบท่อเป็นหลัก

สูตรหาค่าความสูญเสียโดยประมาณ ณ.ที่จุดแรงดันน้ำ 50 เมตร ในการบริหารจัดการน้ำสูญเสียตามมาตรฐาน IWA (International Water Association) คือ

$$LB\,(50m)\,(l/hr) = (4 \times \text{No. of properties}) + (0.04 \times \text{meters of main}) \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอีกสูตรหนึ่งซึ่งมีการยอมรับมากกว่าคือ

$$LB\ (50m) = ICF\ (4 \times No.\ of\ properties) + (0.04 \times meters\ of\ main) \qquad (2.2)$$

เมื่อ ICF คือ ค่าแฟกเตอร์พื้นฐาน (Infrastructure Condition Factor) ซึ่งปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 และ 2.0 แล้วแต่ค่า mains คือเราจะใช้ค่า 0.5 นั้นก็ต่อเมื่อ mains นั้นอยู่ในสภาวะที่ดีหรือจะใช้ค่า 2.0 เมื่อ mains นั้นอยู่ในสภาวะที่แย่จากการตรวจสอบสภาวะของน้ำ

No. of properties คือ จำนวนผู้ใช้น้ำ

meters of main คือ ระยะห่างจากท่อน้ำหลักถึงมาตรผู้ใช้น้ำ

$$ICE = \frac{\text{Presently Lowest Possible Losses of DMA}}{\text{Lowest Possible Losses for DMA with Standard Good Condition}} \qquad (2.3)$$

ค่า Background losses โดยประมาณนั้นต้องหาจากค่าแรงดันที่ถูกต้องจากค่า Average Zone Night Pressure จริงๆแล้วยังมีค่า (Pressure Correction Factors ; PCFs) อยู่หลายค่าที่เรานำมาใช้ หนึ่งในสองค่าที่นิยมใช้กันนั้นถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1 ดังในรายงานที่ 26 อ้างอิงจากการทดลองของ (International Water Association ; IWA) ค่าที่ได้นั้นเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และอัตราการไหลที่สูญเสียในเวลากลางคืน ส่วนค่า 1.5 power law นั้นได้ถูกคำนวนขึ้นโดยเฉพาะเพื่อใช้ในการหาค่า background losses

ตารางที่ 2.1 ค่าแฟกเตอร์แรงดันที่ถูกต้องสำหรับหาค่า background losses ตามมาตรฐาน IWA

AZNP (m)	PCF (report 26)	PCF (1.5 power law)
20	0.33	0.25
25	0.43	0.35
30	0.53	0.46
35	0.64	0.59
40	0.75	0.72
45	0.87	0.85
50	1.00	1.00
55	1.13	1.15
60	1.27	1.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

65	1.41	1.48
70	1.56	1.66
75	1.72	1.84
80	1.88	2.02
85	2.05	2.22
90	2.22	2.41

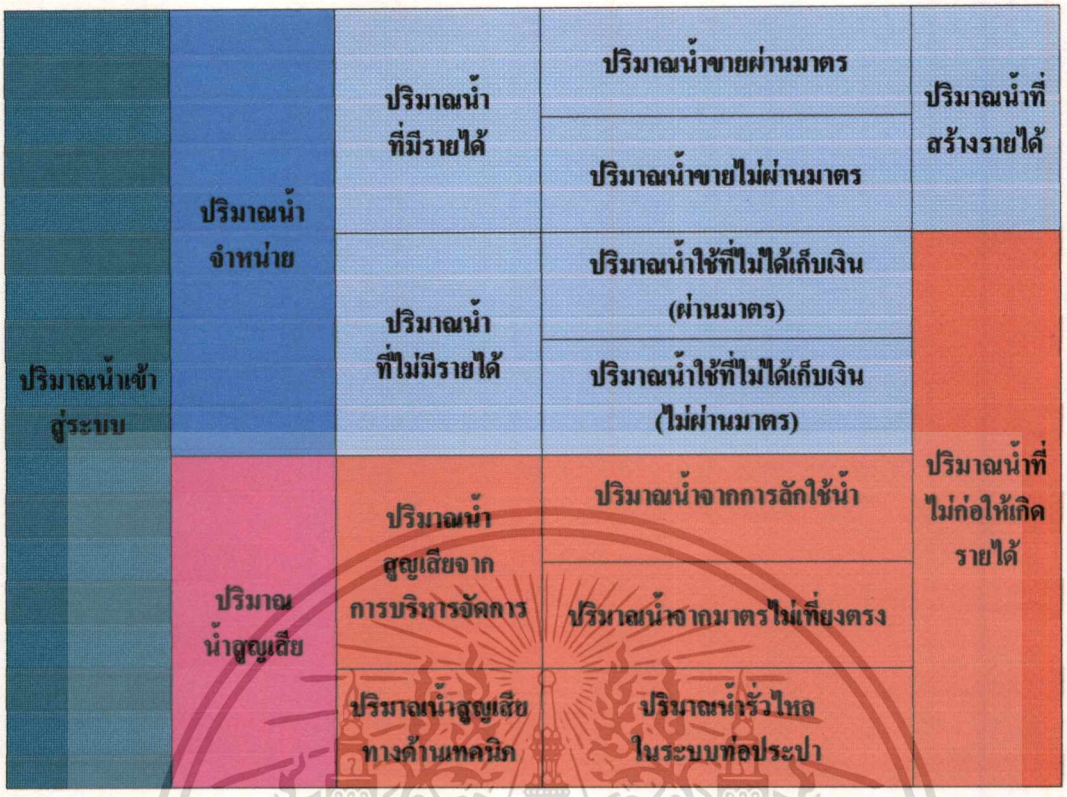
ดังนั้น , โดยรวม background losses ใน DMA จะหาได้จากสูตร

$$L_B = ICF \times PCF \times (4 \times \text{No. of properties}) + (0.04 \times \text{meters of main}) \quad (2.4)$$

2. การรั่วไหลในระบบจ่ายน้ำ หรือ ท่อแตก/ท่อรั่ว (Bursts leakage) คือ การแตกรั่วส่วนใหญ่ในระบบท่อ ในหลายครั้งอาจแสดงให้เห็นการรั่วซึมขึ้นมาบนผิวดินได้ โดยสามารถสำรวจหาจุดรั่วเหล่านี้ได้โดยใช้เทคนิค และอุปกรณ์การหาท่อรั่วที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ไม่ยาก ปริมาณน้ำที่รั่วไหลเนื่องจาก Burst Leakage นั้น สามารถคำนวณได้จากอัตราการไหล (Burst Flow rate) คูณกับระยะเวลาตั้งแต่เริ่มแตกรั่วจนกระทั่งซ่อมแล้วเสร็จ (ALR)

จากองค์ประกอบทั้งหมดดังที่กล่าวมาแล้วสามารถที่จะนำมาประเมินปริมาณน้ำสูญเสียและวางแผนปฏิบัติการลดน้ำสูญเสียได้ตามมาตรฐาน (International Water Association ; IWA) ดังตารางแสดงดุลการใช้จ่ายน้ำโดยรวม เพื่อง่ายในการวิเคราะห์องค์ประกอบปริมาณน้ำที่หายไปจากระบบว่าเกิดจากสาเหตุใดและเป็นปริมาณมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

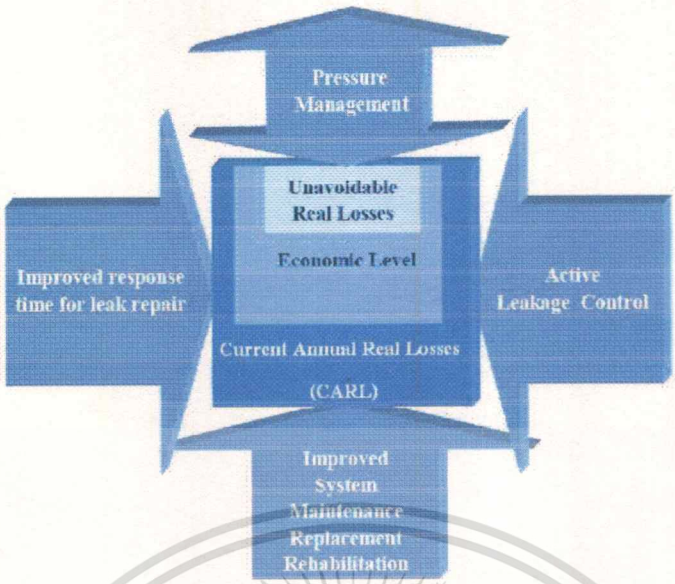


รูปที่ 2.2 แสดงดุลการใช้จ่ายน้ำโดยรวม

2.3 การจัดการน้ำสูญเสียทางเทคนิค

การแก้ปัญหาน้ำสูญเสียทางเทคนิคมีองค์ประกอบสำคัญ 4 ด้านดังรูปที่2.3 โดยสี่เหลี่ยมรูปใหญ่แสดงปริมาณน้ำสูญเสียทางเทคนิคซึ่งสามารถจัดการให้ลดลงได้ (Current Annual Real Losses ; CARL) ต่ำสุดถึงสี่เหลี่ยมรูปเล็กซึ่งแสดงปริมาณน้ำสูญเสียพื้นฐานที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Unavoidable Real Losses) การลดปริมาณน้ำสูญเสียมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการดำเนินการในกิจกรรมซึ่งเป็นองค์ประกอบทั้ง4 ด้าน ในระดับที่เหมาะสมกับสภาวะของกิจการประปานั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.3 องค์ประกอบในการลดน้ำสูญเสียทางเทคนิค

2.3.1การบริหารแรงดันน้ำ (Pressure Management)

แรงดันน้ำเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำสูญเสียทางเทคนิค พิจารณาท่อแตกรั่วจุดหนึ่งที่แรงดันน้ำสูงจะเกิดน้ำสูญเสียมากกว่าที่แรงดันน้ำต่ำในระยะเวลาเท่ากัน การลดแรงดันน้ำย่อมส่งผลให้น้ำสูญเสียในระบบท่อประปาลดลงในระดับที่เห็นได้ชัดเจน แต่แรงดันน้ำที่ต่ำลงนั้นส่งผลกระทบที่สำคัญต่อระดับการให้บริการแก่ประชาชนที่ต่ำลง และสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้ความระมัดระวังในการปรับลดแรงดันน้ำ

ในระบบท่อประปาแรงดันน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับความต้องการใช้น้ำของประชาชนหรือผู้ใช้น้ำที่พื้นที่ให้บริการที่มีความต้องการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เช่น ในบริเวณที่อยู่อาศัยจะต้องการใช้น้ำสูงที่สุดในช่วงเวลาเช้าและเย็น หรือช่วงเวลาก่อนออกไปทำงานและหลังเลิกงาน และไม่มีการใช้น้ำหลังเที่ยงคืนถึงเช้า หรือในบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรมจะพบว่าต้องการใช้น้ำ 24 ชั่วโมงเป็นต้น

โดยทั่วไปในช่วงเวลากลางคืนจะมีความต้องการใช้น้ำต่ำ ส่งผลให้แรงดันน้ำในเส้นท่อประปาสูงขึ้น ซึ่งแรงดันน้ำสูงนั้นจะสร้างความเสียหายให้แก่ท่อประปา เกิดเป็นท่อแตก/รั่วขึ้นได้ การจัดการแรงดันน้ำสามารถนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาท่อแตกเนื่องจากแรงดันน้ำสูงได้ โดยการปรับแรงดันน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำแต่ละช่วงเวลา คือ เพิ่มแรงดันน้ำในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำสูง และลดแรงดันน้ำในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำต่ำหรือไม่มีการใช้น้ำ ซึ่งการปรับเพิ่ม/ลด แรงดันน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การติดตั้งประตูน้ำลดแรงดัน (Pressure reducing valve) และการติดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบ Variable speed ในระบบสูบจ่ายน้ำ (กรณีที่ไม่ใช่การจ่ายน้ำแบบ Gravity flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การควบคุมน้ำสูญเสียเชิงรุก (Active leakage control)

น้ำสูญเสียทางเทคนิคประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1.น้ำที่รั่วซึมบริเวณข้อต่อต่างๆทั้งบนดินและใต้ดิน : ปริมาณต่อจุดน้อยมาก ไม่สามารถสำรวจพบได้

2.ท่อแตก/รั่วที่มีน้ำขึ้นมาบนผิวดิน (Reported burst) : สามารถสำรวจพบได้ด้วยตาเปล่า

3.ท่อแตก/รั่วที่ไม่มีน้ำขึ้นมาบนผิวดิน (Unreported burst) : น้ำไม่รั่วขึ้นบนผิวดิน มองไม่เห็นบริเวณรั่ว สำรวจพบได้ยาก ต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์พิเศษ

หากดำเนินการควบคุมน้ำสูญเสียเชิงรับ (Passive leakage control) คือจัดการซ่อมท่อเฉพาะท่อแตกที่มีน้ำขึ้นมาบนผิวดินซึ่งได้รับแจ้งหรือร้องเรียนจากประชาชนเท่านั้น จะสามารถควบคุมน้ำสูญเสียได้เพียงระดับหนึ่ง แต่หากดำเนินการควบคุมน้ำสูญเสียเชิงรุกจะสามารถลดน้ำสูญเสียในส่วนของท่อแตก/รั่วที่ไม่มีน้ำขึ้นมาบนผิวดินซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของระบบท่อจ่ายน้ำได้ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดน้ำสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการดำเนินงานเชิงรับเพียงอย่างเดียว

งานควบคุมน้ำสูญเสียเชิงรุก ประกอบด้วย

- สำรวจหาท่อรั่วด้วยวิธี Regular sounding และ ตรวจสอบประตูน้ำ (Valve)
- วัดปริมาณน้ำสูญเสียแบบ Step-testing
- จัดทำบัญชีปริมาณน้ำ
- วัดปริมาณการใช้น้ำในเวลากลางคืน (Night-flow analysis)

2.3.3 การควบคุมประสิทธิภาพงานซ่อมท่อ (speed and quality of repairs)

เมื่อได้รับรายงานท่อแตก/รั่ว หรือ สำรวจพบท่อรั่วใต้ดิน กิจกรรมต่อมาที่ต้องให้ความสำคัญเพื่อที่จะลดน้ำสูญเสียทางเทคนิคคือการซ่อมท่อแตก/รั่ว โดยจะต้องดำเนินการซ่อมจุดรั่วให้แล้วเสร็จเร็วที่สุดเพื่อให้หยุดน้ำสูญเสียจากจุดรั่ว นอกจากจะต้องดำเนินการซ่อมโดยเร็วที่สุดแล้ว คุณภาพของการซ่อมท่อก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญ หากผลการซ่อมท่อไม่ได้คุณภาพจะทำให้จุดรั่วที่ดำเนินการซ่อมแล้วเสร็จไปนั้นกลับมาแตก/รั่วซ้ำอีก

การให้ความสำคัญกับคุณภาพของงานซ่อมนั้น ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ซ่อม ซึ่งควรจะพิจารณาใช้อุปกรณ์ชุดซ่อมที่เหมาะกับชนิดของท่อประปานั้น และให้ความสำคัญกับการพัฒนาบุคลากรในหน่วยงานที่รับผิดชอบดำเนินการซ่อมท่อให้มีมาตรฐาน นอกจากนั้นยังควรจัดชุดสำรวจจุดรั่วที่ได้รับการซ่อมแล้วตรวจเช็คซ้ำอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไปซักระยะหนึ่ง เพื่อให้มั่นใจว่าจุดรั่วดังกล่าวไม่เกิดการแตก/รั่ว ซ้ำขึ้นอีก และเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของการซ่อมท่อของหน่วยงานอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การควบคุมมาตรฐานงานออกแบบและวางท่อประปา และงานปรับปรุงท่อ

การดำเนินงานควบคุมมาตรฐานงานออกแบบและวางท่อประปา รวมไปถึงงานปรับปรุงท่อเก่าซึ่งชำรุดหมดสภาพการใช้งานนั้น เป็นงานที่ต้องให้ความสำคัญสูงสุด เห็นได้ชัดว่าหากระบบท่อที่ผ่านการออกแบบและติดตั้งได้มาตรฐานนั้น จะลดความเสี่ยงของการเกิดท่อแตก/รั่วในระบบอย่างเห็นได้ชัด โดยงานออกแบบวางท่อนั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านความต้องการใช้น้ำในเส้นทางที่จะวางท่อเพื่อกำหนดขนาด และชนิดของท่อประปาที่เหมาะสมเป็นปัจจัยแรก จากนั้นการวางท่อประปาจะต้องมีการควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานด้านวิศวกรรมกำหนดไว้

ท่อประปาเมื่อถูกติดตั้งลงไปในระบบแล้วจะมีอายุการใช้งานอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่นเดียวกับวัสดุเครื่องมือชนิดอื่นๆ ท่อประปาที่มีการใช้งานมาเป็นเวลานานนั้น จะมีโอกาสที่จะเกิดการแตก/รั่วได้มากเนื่องจากความเสื่อมของตัววัสดุ ดังนั้นการประปาต้องพิจารณาดำเนินการปรับปรุงท่อเก่าที่ชำรุดหมดสภาพการใช้งานออกจากระบบประปา โดยการปรับปรุงท่อที่หมดสภาพนั้นอาจทำได้หลายวิธี เช่น การวางท่อใหม่ทดแทนท่อเดิม หรือ การปรับปรุงท่อเส้นเดิมด้วยวิธี Relining หรือสอดท่อใหม่ไว้ด้านในของท่อเดิม เป็นต้น การพิจารณาเลือกเส้นท่อที่ควรปรับปรุงนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลัก คือ อายุท่อ และสถิติการแตก/รั่ว โดยควรพิจารณาปรับปรุงท่อที่มีความเสียหายมากที่สุดก่อน จึงจะส่งผลให้การควบคุมน้ำสูญเสียมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4 อิทธิพลด้านเวลาในการสูญเสียน้ำ

อิทธิพลด้านเวลาในการสูญเสียน้ำสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.5) และรูปที่ 2.4 คือ ระยะเวลาเริ่มต้นตั้งแต่เกิดการรั่วไปจนถึงรับรู้นั้นบางครั้งอาจกินเวลานานมาก เพราะน้ำสูญเสียส่วนใหญ่นั้นเกิดจากการรั่วไหลในระบบท่อจากจุดที่มีการแตกรั่วใต้ดินซึ่งน้ำไม่ไหลขึ้นสู่ผิวดิน โดยมีปัจจัยและสาเหตุหลายประการ ซึ่งถ้าไม่มีการวางระบบที่ดีจะเสียเวลาในส่วนนี้มากที่สุด ส่วนระยะเวลาในการตรวจสอบหาจุดรั่วและระยะเวลาในการซ่อมนั้นจะเป็นช่วงเวลาที่สั้นและแน่นอนด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่

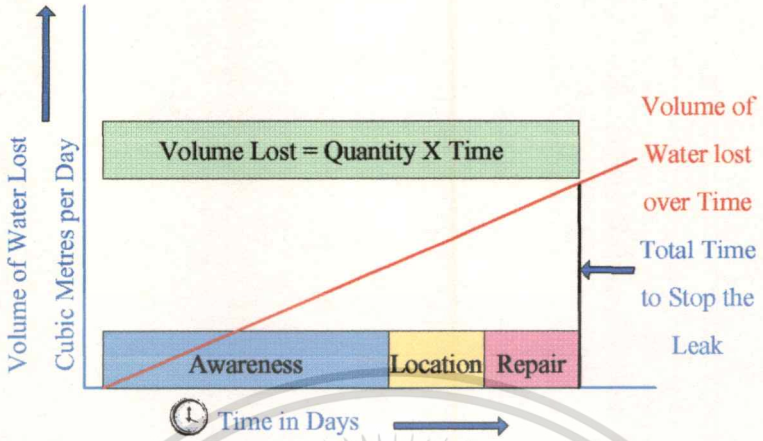
$$\text{ปริมาณน้ำสูญเสีย} = (A+L+R) \text{ ระยะเวลา} \times \text{อัตราการไหล} \qquad (2.5)$$

เมื่อ A คือ (Awareness time) ระยะเวลาเริ่มต้นตั้งแต่เกิดการรั่วไปจนถึงเมื่อมีการรับเรื่องของหน่วยซ่อมบำรุง

L คือ (Location Time) ช่วงระยะเวลาที่ในการตรวจสอบหาจุดรั่ว และสามารถระบุจุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R คือ (Repair Time) ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุง (ซึ่งปกติจะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ)



รูปที่ 2.4 ช่วงเวลารวมของการสูญเสียน้ำ

2.5 ปัจจัยที่มีผลทำให้ท่อประปาชำรุดแตกรั่ว

สาเหตุสำคัญที่มีผลทำให้ท่อประปาชำรุดแตกรั่ว ประกอบด้วย

1. แรงดันน้ำ แรงดันน้ำประปาที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ปริมาณน้ำสูญเสียเพิ่มขึ้น เพราะโดยทั่วไปจำนวนจุดแตกรั่วก็จะเพิ่มตามไปด้วย และจุดรั่วเดิมที่เป็นเพียงตามดนั้นเมื่อแรงดันน้ำประปามากขึ้นจุดนั้นก็จะขยายใหญ่ขึ้น (แต่เมื่อแรงดันน้ำสูงการตรวจหาจุดรั่วไหลก็จะสะดวกกว่าเดิมโดยเฉพาะการใช้เครื่องมือตรวจหาเนื่องจากเสียงที่เกิดจากการรั่วไหลจะดังขึ้น) แรงดันน้ำที่ไม่คงที่ เช่น การใช้เครื่องสูบน้ำโดยตรงจากระบบท่อประปา หรือการปิดเปิดประตูน้ำบ่อยครั้ง ก็เป็นผลให้ท่อประปาแตกรั่วได้ง่ายขึ้นเช่นกัน ฯลฯ เป็นต้น

2. การเคลื่อนตัวและการทรุดตัวของดิน เกิดจากสาเหตุต่างๆ เช่น การก่อสร้างอาคารสูง ๆ การก่อสร้างใกล้เคียงแนวท่อประปา การลดลงของระดับน้ำใต้ดิน ฯลฯ เหล่านี้ ทำให้ท่อหรือข้อต่อท่อแตกหลุดจากกัน เพราะท่อไม่สามารถทนต่อแรงนี้ได้ หรือการก่อสร้างวางท่อไม่ถูกต้องเมื่อดินมีการเคลื่อนและทรุดตัวเป็นผลให้ ท่อแตกหักเสียหาย ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำประปาในระบบท่อได้

3. การกัดกร่อน ในสภาพที่พื้นดินเป็นกรด-ด่าง หรือมีความเค็ม เป็นเหตุให้ท่อที่เป็นโลหะผุกร่อนจากภายนอกเข้าไป หรือหากน้ำประปานั้นไม่บริสุทธิ์เพียงพอ ท่อก็จะถูกกัดกร่อนจากภายในออกมาได้ การรั่วไหลของน้ำประปาจึงเกิดขึ้น จึงควรเปลี่ยนใช้ท่อที่ไม่ใช่โลหะแทนหรือเลือกใช้ท่อที่มีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการ กัดกร่อนไว้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สภาพการจราจร แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจรหรือรถที่น้ำหนักบรรทุกมากก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ท่อสันคลอนและอาจเกิดการแตกรั่วได้ในที่สุด ดังนั้นในการวางท่อจึงควรหลีกเลี่ยงการวางใต้ผิวจราจรให้มากที่สุด หรืออาจต้องพิจารณาว่างท่อให้ลึกพอสมควร แต่ต้องไม่ลึกเกินไป เพราะจะไม่สะดวกในการตรวจสอลดูแลบำรุงรักษาและขุดซ่อมเมื่อมีการชำรุดรั่วไหลเกิดขึ้น

5. อายุการใช้งานของท่อและอุปกรณ์ท่อ ท่อและอุปกรณ์ท่อทุกชนิดมีอายุการใช้งานเมื่อถึงเวลาที่สมควรจึงควรเปลี่ยนวางท่อใหม่ทดแทนท่อเดิม ท่อที่จะต้องเปลี่ยนเหล่านี้จะสังเกตได้จากการที่มีการ รั่วแตกอยู่เสมอและต้องซ่อมบ่อยครั้ง ซึ่งการเปลี่ยนจะคุ้มต่อการลงทุนมากกว่าการที่จะต้องซ่อมอยู่เป็นประจำ

6. พฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงาน ความละเอียดรอบคอบในการปฏิบัติงานก็เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้หลีกเลี่ยงปัญหาท่อแตกรั่วได้ทางหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ในการปิดเปิดประตูน้ำ หากปิดเปิดไม่เต็มที่อาจทำให้ประตูน้ำรั่วซึมได้ หรือการใช้น้ำจากหัวดับเพลิงแล้วลืมปิดประตูน้ำ ก็อาจทำให้รั่วออกมาทางฝาครอบได้ หรือการหยุดบ่อบาดาลหากไม่ปิดประตูน้ำแบบเกท (Gate Valve) หน้าบ่อฯ น้ำในท่อประปาก็จะไหลกลับลงสู่บ่อบาดาล ผ่านทางประตูน้ำกันกลับ (Check Valve) ได้เช่นกัน รวมทั้งมีการลืมเปิดประตูระบายน้ำ (Blow-off Valve) ทิ้งไว้โดยไม่ปิดให้สนิดเต็มที่ ฯลฯ เป็นต้น

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรั่วไหลและแรงดันน้ำ

จากหลักการเบื้องต้นเราสามารถที่คำนวณหาค่าความเร็วน้ำที่ฉีดออกผ่านรูรั่วได้ ดังสมการที่ (2.6)

$$\text{Velocity (V : m/sec)} = Cd \times (2gP)0.5 \qquad (2.6)$$

เมื่อ Cd คือค่า Constant ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบการไหลของน้ำ (Reynolds number) โดยค่า Reynolds number สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

$$R = V \times Hd/KV \qquad (2.7)$$

เมื่อ Hd คือ Hydraulic diameter ของรูรั่ว

Kv คือ Kinemetic viscosity ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิด้วยการไหลแบบมีความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ผ่านมาเราสามารถคำนวณหาค่าอัตราการรั่วไหล Leakage rate (L:volume/unit time)ได้ โดยอาศัยขนาดของพื้นที่รูรั่ว (A) ดังสมการที่ (2.8)

$$L = V \times A \tag{2.8}$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้สมการที่ (2.9)

$$L = Cd\ A \times (2gP)0.5 \tag{2.9}$$

อัตราการรั่วไหลและการสูญเสียน้ำนั้นจะมีส่วนเกี่ยวเนื่องมาจากแรงดันของระบบ คือถ้ายิ่งมีแรงดันภายในระบบมากเท่าไร ก็จะส่งผลให้มีโอกาสในการรั่วไหลและสูญเสียน้ำของระบบมากขึ้นเท่านั้น ดังสูตรข้างล่างนี้

$$L_1 = L_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1} \tag{2.10}$$

เมื่อ L_0 คือ อัตราการรั่วไหลเดิม หน่วยเป็น m^3/h

L_1 คือ อัตราการรั่วไหลที่เกิดขึ้นใหม่ หน่วยเป็น m^3/h

P_0 คือ แรงดันน้ำเดิม หน่วยเป็น (m)

P_1 คือ แรงดันน้ำที่ปรับเปลี่ยนใหม่ หน่วยเป็น (m)

N_1 คือ แรงดันต่างๆ ซึ่งไม่สามารถวัดได้

N_1 คือแรงดันต่างๆ ซึ่งไม่สามารถตรวจหาได้ เกิดจากการรั่วซึมเล็กน้อยในระบบจ่าย เช่นจุดเชื่อมต่อและข้อต่อต่างๆ ซึ่งค่าจะอยู่ระหว่าง 0.5-2.5 จากการทดสอบแล้วในหลายๆประเทศ โดย N_1 จะมีค่าเป็น 1.5 เมื่อท่อในระบบเป็นท่อพลาสติก และ N_1 จะมีค่าเข้าใกล้ 0.5 เมื่อท่อในระบบเป็นท่อโละหะ สำหรับในระบบใหญ่ซึ่งท่อนั้นใช้วัสดุหลากหลายชนิดจะใช้ค่าประมาณ $N_1 = 1$ ได้ ตามมาตรฐาน IWA

2.7 ผลจากการเกิดน้ำสูญเสีย

ผลกระทบจากการเกิดน้ำสูญเสียสามารถแยกได้ 2 ประเภทใหญ่คือ

1. ผลกระทบทางตรง
   - สูญเสียรายได้
   - ต้นทุนการผลิตสูงเกินความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

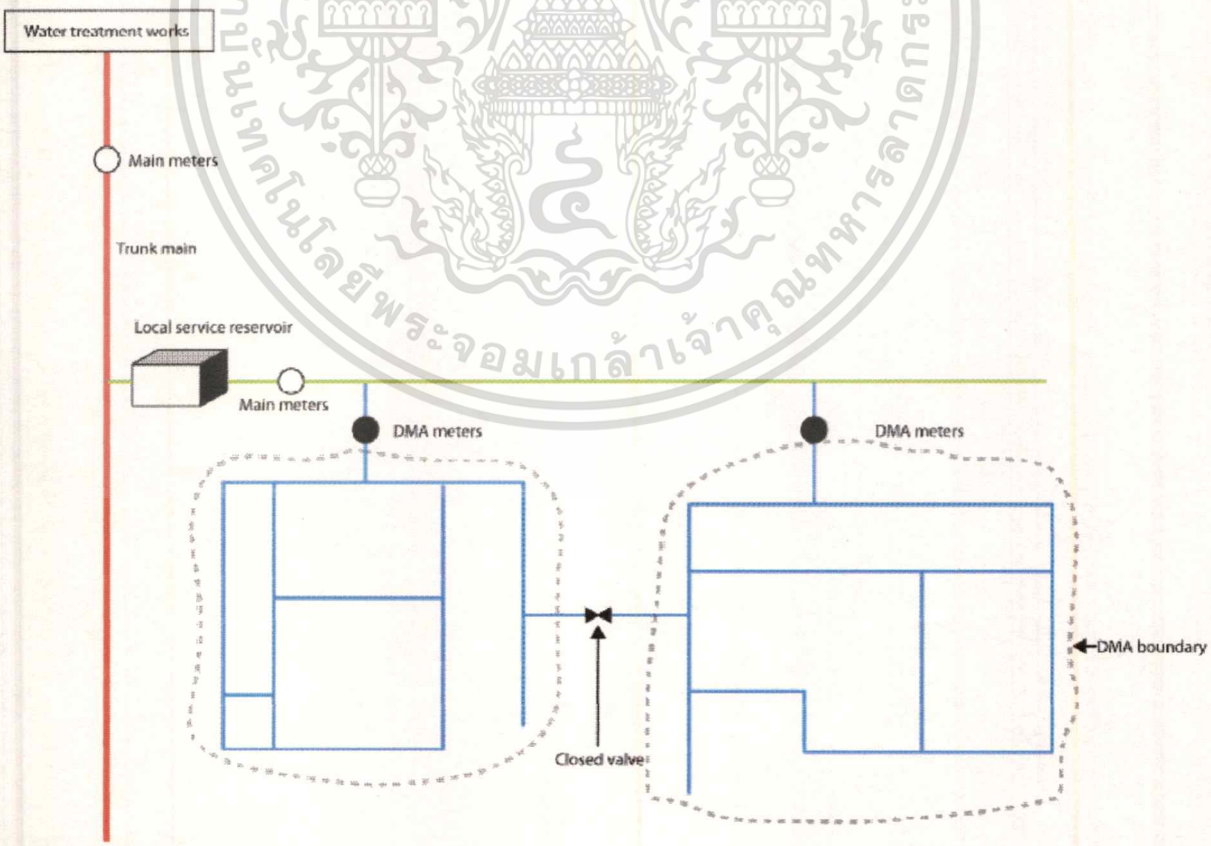
- เร่งลงทุนสร้างโรงผลิตน้ำเกินความจำเป็น

2. ผลกระทบทางอ้อม

- สูญเสียทรัพยากรน้ำ
- ต้องหาแหล่งน้ำเพิ่ม
- ผู้ใช้ได้รับบริการน้ำประปาไม่เพียงพอทั้งในด้านปริมาณ ความดันน้ำ และความสะอาด

2.8 การบริหารจัดการน้ำสูญเสียแบบ DMA

DMA คือพื้นที่การสูบจ่ายซึ่งถูกจำกัดให้เล็กลง ด้วยระบบประตูน้ำ (DMA Boundary) แต่ละโซนมีความเป็นอิสระต่อกันสูง มีจุดปล่อยน้ำเข้า-ออกที่ชัดเจนไม่สับสน ทั้งยังถูกควบคุมการจ่ายน้ำเข้าพื้นที่โดยมีมาตรวัดน้ำหลักคอยตรวจวัดและบันทึกอัตราไหลไว้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังเป็นวิธีการเฝ้าติดตามการรั่วในโครงข่ายท่อที่มีประสิทธิภาพดีและราคาสมเหตุผล ช่วยวิเคราะห์ปริมาณการรั่วในพื้นที่ต่างๆ ทำให้แบ่งความสำคัญเร่งด่วนในการสำรวจและการซ่อมได้



รูปที่ 2.5 การแบ่งพื้นที่ของการจัดตั้งระบบ DMAs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
87847

2.8.1 ข้อดีของระบบ DMA

- เป็นระบบจ่ายน้ำที่สามารถเฝ้าติดตามการรั่วได้ด้วย (Leak Monitoring)
- ลดระยะเวลาในการแจ้งเตือนการเกิดท่อรั่วและระยะเวลาในการหาตำแหน่งรั่ว
- จัดเป็นการควบคุมการรั่วเชิงรุกที่มีต้นทุนต่ำ
- ช่วยวิเคราะห์ปริมาณการรั่วในพื้นที่ต่างๆ ทำให้แบ่งความสำคัญเร่งด่วนในการสำรวจและซ่อมการรั่วได้
- พื้นที่ถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ จึงง่ายต่อการทำความเข้าใจและปฏิบัติงาน

2.8.2 คุณสมบัติและข้อควรคำนึงในการจัดแบ่งพื้นที่ของระบบ DMA

- พื้นที่ถูกแบ่งเป็นโซนย่อยโดยมีขอบเขตที่แน่นอนตามหลักชลศาสตร์ซึ่งตามมาตรฐานจะแบ่งขนาดของ DMA เป็น 3 ขนาดตามจำนวนผู้ใช้น้ำ คือ

1. ขนาดเล็ก ผู้ใช้น้ำ < 1000 ราย
2. ขนาดกลาง ผู้ใช้น้ำ 1000 – 3000 ราย
3. ขนาดใหญ่ ผู้ใช้น้ำ 3000 – 5000 ราย

ส่วนกรณีที่มีผู้ใช้น้ำมากกว่า 5000 ราย การวิเคราะห์หาค่าการรั่วไหลจากการใช้น้ำตอนกลางคืนจะทำได้ยาก

- แต่ละโซนมีความเป็นอิสระต่อกันสูง มีจุดปล่อยน้ำเข้า-ออกที่ชัดเจนไม่สับสน
- หลังจากจัดตั้งระบบแล้วต้องไม่เกิดผลกระทบในด้านอัตราการไหลและแรงดันน้ำที่ด้อยลงมาก เนื่องจากระบบ DMA ต้องใช้ Boundary Valves ในการจำกัดทางเข้าออกของน้ำ
- คำนึงการขยายเมืองในอนาคต

2.8.3 ขั้นตอนในการออกแบบระบบ DMA

ขั้นตอนในการออกแบบระบบ DMA สามารถจำแนกเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

1.กำหนดโครงข่าย DMA

2.ประมาณจำนวนผู้ใช้น้ำในแต่ละ DMA

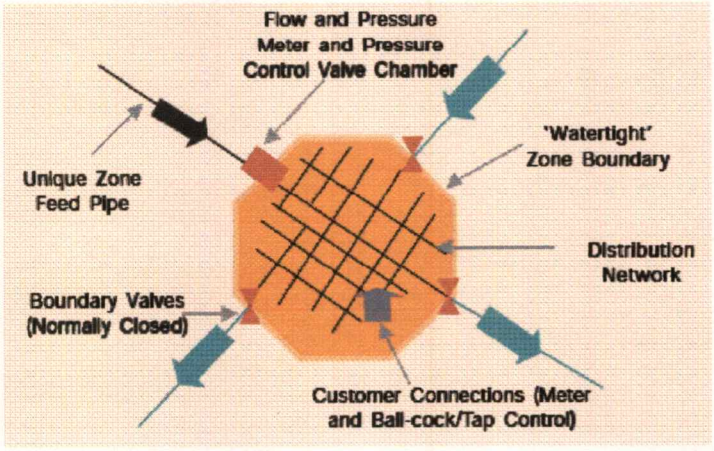
3.กำหนดจุดเข้า-ออกของน้ำในแต่ละ DMA

4.เลือกตำแหน่งที่จะติดตั้งมาตรวัดหลัก

5.ทดสอบการไหลของน้ำ

6.การสำรวจพื้นที่จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การกำหนดจุดน้ำเข้า-ออก (Defining a Boundary)

1. ศึกษาพื้นที่ร่วมกับผู้มีประสบการณ์จริงในพื้นที่นั้น เพื่อพิจารณาว่าพื้นที่มีเงื่อนไขหรืออาจเกิดปัญหาเมื่อระบบ DMA เกิดขึ้น เช่น

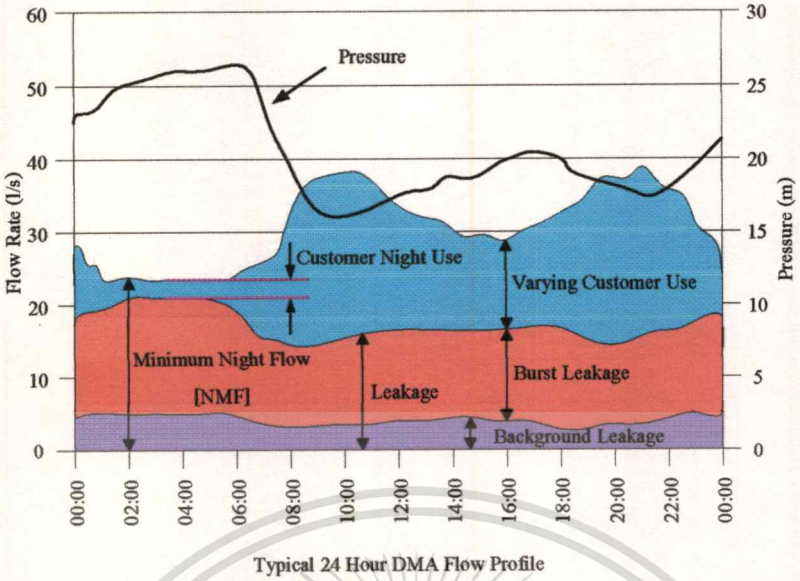
- พื้นที่ที่จะเกิดปัญหาอัตราการไหลและความดันต่ำ
- พื้นที่ใดจำเป็นต้องได้รับการส่งจ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอแม้ในช่วงติดตั้งมาตร หรือหลังจากวางระบบ DMA เสร็จสิ้น

2. หากในพื้นที่มีท่อเมนรองขนาดเล็กจำนวนมาก ให้พิจารณาว่า

- สามารถปิดการจ่ายน้ำจากท่อเล็กจำนวนมากให้เหลือการจ่ายจากท่อเดียวได้หรือไม่
- หรือควรสร้างท่อเมนใหม่สำหรับ DMA
- บริเวณเล็กๆที่ได้รับน้ำจากท่อเมนหลักเท่านั้นควรตัดออกจาก DMA และใช้วิธีอื่นในการหาการรั่วแทน

ทั้งนี้หัวใจสำคัญในการบริหารจัดการ DMA ให้มีประสิทธิภาพก็คือการจัดการกับการรั่วไหลภายใน DMA นั่นเอง ตามรูปที่ 2.7 Typical 24 Hour DMA Flow Profile จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณอัตราการไหลในช่วงกลางคืน (Minimum Night flow ; NMF)นั้น ประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ผู้ใช้น้ำใช้จริงในตอนกลางคืน (Customer night use) และปริมาณการรั่วไหลในระบบท่อ (Leakage) ซึ่งตามทฤษฎีการรั่วไหล (Theory of Leakage) สามารถแบ่งการรั่วไหลในระบบท่อออกได้ 2 ส่วน คือ การรั่วไหลพื้นฐาน (Background Leakage) และการรั่วไหลจากท่อแตกรั่ว (Burst leakage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบข้อมูลโครงร่างของการเก็บข้อมูลอัตราการไหล 24 ชั่วโมง

ข้อมูล NMF ที่อ่านได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์คำนวณหาระดับการรั่วไหลภายใน DMA ได้ ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาวิธีการลดการรั่วไหลภายใน DMA ต่อไป อีกทั้งยังสามารถนำไปเปรียบเทียบกับ DMA อื่นๆ เพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนในการแก้ปัญหาได้ด้วย

2.9 การสื่อสารระบบ GSM เบื้องต้น

2.9.1 เส้นทางการรับส่งข้อมูลของ GSM

เครือข่าย GSM มีมาตรฐานการพัฒนาที่ชัดเจนในเรื่องการให้บริการของทางฝั่ง Data ที่นับวันยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นๆทุกวัน ซึ่ง GSM ที่กล่าวถึงนี้ก็คือชื่อระบบ ไม่ใช่ชื่อของผู้ให้บริการอย่างที่คนทั่วไปมักเรียกกันติดปาก และเป็นระบบที่คนไทยนิยมใช้กันมากกว่า 80% ซึ่งระบบ GSM Digital นี้ไม่ได้มีเพียงการผสมคลื่นความถี่ระหว่างคลื่นเสียงกับคลื่นวิทยุเพียงอย่างเดียว แต่จะมีการเข้ารหัส Digital ด้วย จึงทำให้ระบบ GSM เป็นระบบที่รองรับระบบเทคโนโลยีการส่งข้อมูลต่างๆที่กำลังจะกล่าวถึงต่อไปนี้

2.9.2 CSD

การให้บริการด้านข้อมูลของตลาดทางฝั่ง GSM นั้นเริ่มมาจากยุคของ (Circuit Switched Data ; CSD) ซึ่งการทำงานนั้นจะเป็นการแปลงสัญญาณเสียงมาเป็นข้อมูล (Circuit Switched Data) เป็นคลื่นสัญญาณตัวเดียวกันกับคลื่นของโทรศัพท์มือถือที่ใช้ในการพูดคุยกันตามปกติ มีความเร็วอยู่ที่ 9.6 kbps ในการใช้งานแต่ละครั้งก็จะเหมือนการคุยโทรศัพท์ ถ้าเทียบเป็นท่อ (bandwidth) ผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้บริการก็จะมีหลายๆท่อให้ใช้บริการ เวลาจะใช้ CSD แต่ละครั้งก็จะครอบครองท่อนั้นเพียงคนเดียว ซึ่งเป็นจุดเด่นสำหรับ CSD ที่ได้เปรียบการบริการอื่นๆตรงที่ไม่ต้องแชร์กับใคร ความเร็วในการวิ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว แต่ข้อเสียหลักๆก็คือ การส่งข้อมูลนั้นช้าไปสำหรับจะส่งข้อมูล Data เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลเสียง (Voice) หรือการสนทนามากกว่า

2.9.3 GPRS

(General Packet Radio Service ; GPRS) เป็นบริการชนิดใหม่สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งแต่เดิมนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับสื่อสารโดยใช้เสียงเป็นหลักเท่านั้น หารต้องส่งผ่านข้อมูลก็จะใช้กระทำการ Modulation กับข้อมูลและส่งไปในลักษณะของสัญญาณเสียง ซึ่งความเร็วที่สามารถทำได้มากที่สุดเพียง 33.6 Kbps เท่านั้น และการสื่อสารโดยใช้เสียงนั้นจะต้องทำการเชื่อมต่อกับปลายทางให้ได้เสียก่อน หากเครื่องปลายทางไม่ว่างเราก็จะพูดคุยกับปลายทางไม่ได้ เมื่อเราติดต่อกับเครื่องปลายทางให้ได้แล้ว วงจรเชื่อมต่อระหว่างต้นทางและปลายทางจะถูกจองไว้ (dedicated line) ให้เราใช้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจนกว่าจะวางสาย การสื่อสารในลักษณะนี้เราเรียกว่า circuit switching ซึ่งเหมาะสมกับการสื่อสารโดยใช้เสียงเป็นอย่างมาก เนื่องจากการพูดโต้ตอบกันนั้นจะเป็นแบบทันทีทันใด เสียงพูดจะไม่มีการขาดหายเป็นช่วงๆ และไม่ถูกหน่วงเวลาให้ช้าออกไป (non delay) แต่สำหรับการสื่อสารเพื่อส่งผ่านข้อมูลนั้น การรับส่งข้อมูลสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนๆ และส่งข้อมูลออกไปโดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลาได้ จึงไม่จำเป็นต้องรับส่งข้อมูลทันทีทันใดตลอดเวลา โดยฝั่งผู้รับสามารถนำข้อมูลมาเรียงต่อกันในภายหลังได้อย่างถูกต้องสมบรูณ์ และไม่จำเป็นต้องมาจองวงจรเชื่อมต่อเพื่อใช้งานตลอดการส่งผ่านข้อมูล การสื่อสารแบบนี้จึงเหมาะสมสำหรับการรับส่งข้อมูลเป็นอย่างมาก โดยจะเรียกการสื่อสารแบบนี้ว่า packet switching และเป็นวิธีการสื่อสารที่ใช้ในระบบ GPRS นั่นเอง

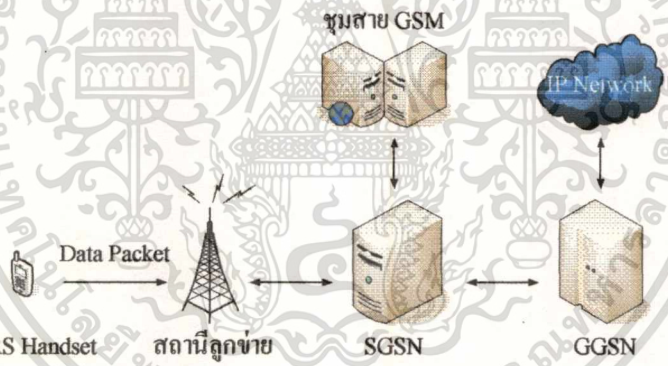
ความเร็วในการรับส่งข้อมูลของ GPRS สูงสุดอยู่ที่ 171.2 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งเร็วกว่าการสื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ (ผ่าน modem) ในปัจจุบันถึง 3 เท่า การรับส่งข้อมูลจะทำได้ตลอดเวลาเหมือนคอมพิวเตอร์ที่ต่ออยู่บนแลน (always connected) ทำให้ใช้งานได้สะดวกทุกที่ทุกเวลา GPRS ใช้โปรโตคอล TCP/IP ในการรับส่งข้อมูลเช่นเดียวกันกับที่ใช้บนอินเตอร์เน็ต โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้บริการ GPRS จะได้รับการกำหนด IP Address ชั่วคราวจาก (Gateway GPRS Support Node ; GGSN) เพื่อที่จะสามารถรับส่งข้อมูลกับปลายทางที่ต่างๆบน IP network ได้ ดังรูปที่ 11.14 การที่ GGSN กำหนดค่า IP Address ชั่วคราวจาก GGSN นั้น เป็นการลดจำนวน IP Address ที่ต้องการใช้ลง เพราะหากว่าต้องการกำหนดค่า IP Address ตายตัวให้ถูกข่าย GPRS ทุกเครื่อง IP Address ที่มีอยู่ก็จะไม่พอให้เราใช้ จึงให้ GGSN เป็นตัวควบคุมและกำหนดค่าให้เมื่อเครื่องใดเครื่องหนึ่งต้องการใช้งานเท่านั้น จากโครงสร้างนี้เราจะเห็นว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวบเข้ากับอินเตอร์เน็ตเป็นเครือข่ายเดียวกันผ่านทางบริการ GPRS นั่นเอง การคิดค่าบริการจึงไม่ได้คิดจากเวลาที่ใช้เหมือนการพูดโทรศัพท์ แต่คิดจากปริมาณข้อมูลที่รับส่งแทน

(Serving GPRS Support Node ; SGSN) เป็นอุปกรณ์หลักของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการให้บริการ GPRS โดย SGSN จะทำหน้าที่รับส่งข้อมูล (packet data) จากเครือข่าย IP อื่นๆไปยังเครื่องลูกข่าย GPRS อีกด้วย เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ไปยังเขตบริการ GPRS อื่น SGSN จะโอนย้ายบริการที่เราใช้งานอยู่ไปให้เครือข่ายใหม่ที่เราเคลื่อนที่เข้าไปใช้งานโดยอัตโนมัติ และเป็นจุดเชื่อมต่อของบริการ GPRS กับอุปกรณ์ชุมสายระบบ GSM ทั้งหมด นอกจากนี้ SGSN ยังทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลการใช้งานบริการ GPRS ของเครื่องลูกข่ายเพื่อนำไปใช้ในการคิดค่าบริการอีกด้วย

อุปกรณ์อีกส่วนหนึ่งคือ GGSN เป็นส่วนที่สำคัญในการให้บริการ GPRS เพราะเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครือข่ายของ IP อื่นๆ การ routing ข้อมูลระหว่างสองเครือข่ายจะทำที่จุดนี้ ไม่ว่าจะเป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ routing, การกำหนดค่า IP Address ชั่วคราวให้เครื่องลูกข่าย GPRS และกำหนดการรับส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายทั้งสอง

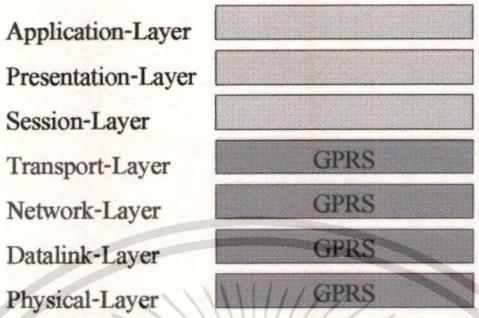


รูปที่ 2.8 GPRS จะรับส่งข้อมูลเป็นส่วนๆ ที่เรียกว่า packet ไปยังชุมสายโดยการรับส่งข้อมูลนั้นไม่จำเป็นต้องส่งต่อเนื่องตลอดเวลา การรับส่งข้อมูลจะเชื่อมต่อผ่าน (Gateway GPRS Service Node ; GGSN) เพื่อกำหนด IP Address ชั่วคราวให้ และรับส่งข้อมูลกับอินเตอร์เน็ตได้

จากการที่ GPRS มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงและสามารถรับส่งข้อมูลได้ทุกชนิด ไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นข้อมูลตัวอักษรเท่านั้นอย่างใน (Short Message Service ; SMS) ทำให้บริการใหม่ๆ สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดขึ้นอีกหลายชนิด เหมือนกับการมีอินเตอร์เน็ตพกติดตัวไปใช้ได้ทุกที่ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งไฟล์, การเรียกดูเว็บต่างๆ, การรับส่งอีเมล์ เป็นต้น การเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตและบริการต่างๆที่เราใช้บนอินเตอร์เน็ตจึงเป็นการใช้งานหลักของ GPRS ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริการ GPRS นั้นเมื่อเทียบกับ OSI 7 Layer แล้ว GPRS จะอยู่ใน Layer 1 ถึง Layer 4 คือ ครอบคลุมตั้งแต่ Physical Layer ไปจนถึง Transport Layer หมายถึง GPRS เป็นโครงสร้างพื้นฐานของการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆบน IP Network รับส่งไฟล์ , Web browser , E-mail , WAP ฯลฯ เป็นต้น



รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของ GPRS เทียบกับระดับชั้นใน OSI Model

ในการใช้งาน GPRS ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องเป็นรุ่นที่รองรับการใช้งาน GPRS ด้วย ซึ่งจะมีเฉพาะบางรุ่นเท่านั้น ไม่สามารถใช้ GPRS ได้ทุกรุ่น และความเร็วในการรับส่งข้อมูลของ GPRS นั้นจะไม่ได้เป็น 171.2 กิโลบิตต่อวินาทีตลอดเวลา ขึ้นกับคุณภาพของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ใช้งาน ณ จุดต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปความเร็วในการรับส่งข้อมูลของ GPRS จะอยู่ในราว 64 กิโลบิตต่อวินาที ไปจนถึง 128 กิโลบิตต่อวินาที และจากการที่ GPRS ส่งข้อมูลในแบบ Packet ที่แบ่งข้อมูลเป็นส่วนๆ บางส่วนของข้อมูลอาจเสียหายจากการที่คลื่นวิทยุถูกรบกวนได้ ทำให้การรับส่งข้อมูลช้าลงเนื่องจากบางส่วนถูกส่งซ้ำไปใหม่อย่างไรก็ตาม GPRS จะเป็นบริการที่ทำให้การใช้งานอินเตอร์เน็ตบนโทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดขึ้นได้อย่างแพร่หลาย และมีคุณภาพดีเท่ากับหรือมากกว่าการใช้อินเตอร์เน็ตผ่านสายโทรศัพท์ในปัจจุบัน

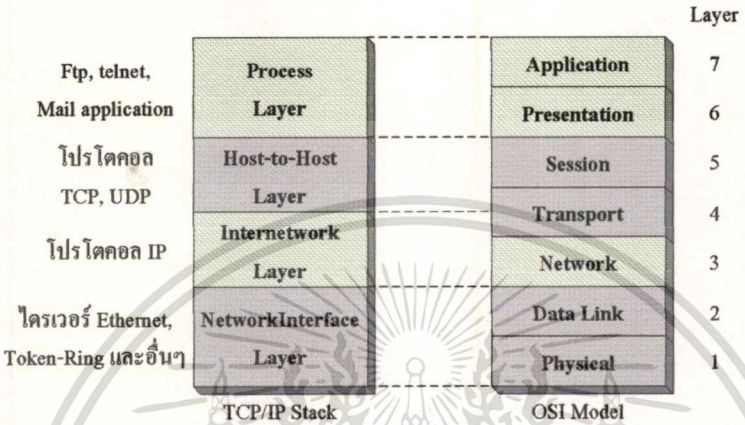
2.9.4 โครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP

ดังที่เคยกล่าวไว้แล้วว่าโปรโตคอล TCP/IP มีการจัดแบ่งกลไกการทำงานออกเป็นชั้นๆ หรือ layer เหมือนกับมาตรฐาน OSI Model และสามารถเทียบเคียงกับมาตฐานของ OSI Model ได้ ซึ่งในแต่ละ layer ของโปรโตคอล TCP/IP จะประกอบด้วย

1. Process layer หรือ Application Layer
2. Host-to-Host layer หรือ Transport Layer
3. Internetworking layer
4. Network Interface layer

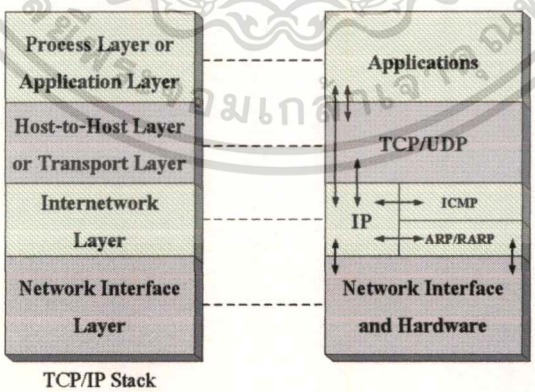
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อเทียบกับมาตรฐาน OSI model แล้วจะเป็นดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเราจะเห็นว่าบาง Layer ของโปรโตคอล TCP/IP เทียบได้กับมาตรฐาน OSI model ถึงสอง Layer และบาง Layer ก็จะทำงานคาบเกี่ยวกับหลายๆ Layer model ตัวอย่างเช่น ในส่วน Network Interface layer ของโปรโตคอล TCP/IP จะเทียบได้กับการนำเอา Data Link layer และ Physical layer ของมาตรฐาน OSI model มารวมกัน เป็นต้น



รูปที่ 2.10 แสดง TCP/IP stack เปรียบเทียบกับมาตรฐาน OSI

ในแต่ละกลไกของโปรโตคอล TCP/IP จะมีโปรโตคอลอื่นๆในชุดของ TCP/IP ร่วมทำงานอยู่ด้วย จึงทำให้เป็นที่มาของชื่อเรียก Protocol Stack เนื่องจากมีโปรโตคอลซ้อนทับกันอยู่เพื่อช่วยกันทำงานดังรูปต่อไปนี้



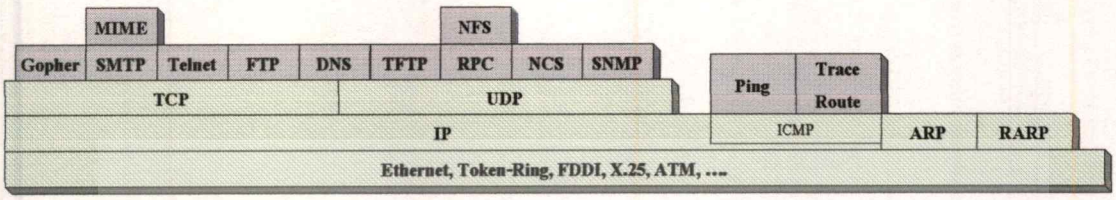
รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตคอลต่างๆ ของ TCP/IP

จากรูปจะเห็นได้ว่า มีโปรโตคอลในแต่ละระดับซ้อนทับกันอยู่หลายตัวด้วยกัน ซึ่งเราจะพูดกันในรายละเอียดต่อไป การซ้อนกันเป็นชั้นๆ หรือแต่ละ Layer นี้หากเป็น OSI Model จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อบังคับให้แต่ละชั้นติดต่อได้กับเฉพาะชั้นที่ติดกับตนเองเท่านั้น แต่สำหรับ TCP/IP Stack แล้วจะเห็นว่าบางชั้นสามารถละเลยหรือข้ามไปติดต่อกับชั้นอื่นที่ไม่ติดกับตนได้

1. Process layer หรือ Application Layer



รูปที่ 2.12 แสดงแอพพลิเคชั่นต่างๆ ใน TCP/IP Stack

จากรูปที่ 2.12 แสดงลำดับชั้นการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP เทียบกับมาตรฐาน OSI model นั้นในชั้นบนสุดเรียกว่า Process layer ทำงาน 2 หน้าที่เทียบได้กับ Application layer และ Presentation layer ในชั้นนี้จะรอบรับการทำงานของแอพพลิเคชั่นต่างๆ ที่ทำงานเป็นโปรเซส อยู่ในเครื่องเซิร์พเวอร์ที่ให้บริการและเครื่องที่ขอใช้บริการ หรือไคลเอนต์ (client) ซึ่งจะติดต่อกับผ่านโปรโตคอลเฉพาะแอพพลิเคชั่นอีกทีหนึ่ง ตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ใช้งานอินเตอร์เน็ตต้องการโอนถ่ายไฟล์หรือ download ข้อมูลจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ โดยการจะเรียกใช้โปรแกรม ftp client ทั่วไป เช่น โปรแกรม WS_ftp ติดต่อกับโปรเซส ftp ที่กำลังให้บริการอยู่ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นตัวโปรเซส ftp ก็จะเรียกใช้โปรโตคอล (File Transfer Protocol ; FTP) เพื่อทำการโอนถ่ายไฟล์นี้ หรือถ้าผู้ใช้ต้องการเรียกใช้งานคอนพิวเตอร์เครื่องที่อยู่ห่างไกลออกได้ด้วยการใช้โปรแกรม telnet ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการตัวโปรเซส telnet ที่ทำงานอยู่ก็จะเรียกใช้โปรโตคอล Telnet เพื่อติดต่อกัน หรือในกรณีที่มีการเรียกใช้โปรแกรม web browser เช่น Netscape Navigator เพื่อเรียกดูเว็บเพจในเว็บไซท์ CNN ที่เครื่องซึ่งให้บริการเว็บของ CNN ก็จะมีโปรเซส (Hyper Text Transfer Protocol ; HTTP) ทำงานอยู่และจะติดต่อกับผู้ใช้ผ่านโปรโตคอล HTTP เป็นต้น

การทำงานของแอพพลิเคชั่นต่างๆจะอยู่ที่ Process layer นี้และมีการติดต่อกันตามแต่ละโปรโตคอลเฉพาะแล้วแต่แอพพลิเคชั่นที่ใช้งาน จากการที่ Process layer ของ TCP/IP รองรับให้โปรโตคอลอื่นทำงานได้หลายโปรเซสและหลายโปรโตคอลได้พร้อมกันนั้น ทำให้ผู้ใช้สามารถเปิดโปรแกรมใช้งานได้หลายๆอย่างพร้อมกัน เช่น เปิดโปรแกรม Internet Explorer เพื่อเรียกดูเว็บเพจพร้อมกับใช้งานโปรแกรม Outlook Express เพื่อรับส่งอีเมล์ไปพร้อมกันได้โดยไม่ต้องรอให้ทำงานอย่างหนึ่งอย่างใดเสร็จก่อน หรือในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรม web browser ให้สามารถเรียกใช้งานโปรโตคอลอื่นๆได้มากขึ้น ทำให้เราสามารถใช้โปรแกรม web browser โอนถ่ายไฟล์ข้อมูลที่ใช้โปรโตคอล FTP ได้โดยไม่ต้องไปหาโปรแกรมอื่นมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรโตคอลหลักๆที่ทำงานใน Process layer ซึ่งผู้ใช้มันจะคุ้นเคยกันดีได้แก่ (File Transfer Protocol ; FTP) , Telnet , (Hyper Text Transfer Protocol ; HTTP) และ (Simple Mail Transfer protocol ; SMTP) นอกจากนี้ยังมีโปรโตคอลอื่นที่อยู่เบื้องหลัง ซึ่งทำงานโดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นได้จากโปรแกรมหรือไม่ได้มีการใช้งานโดยตรงเช่น

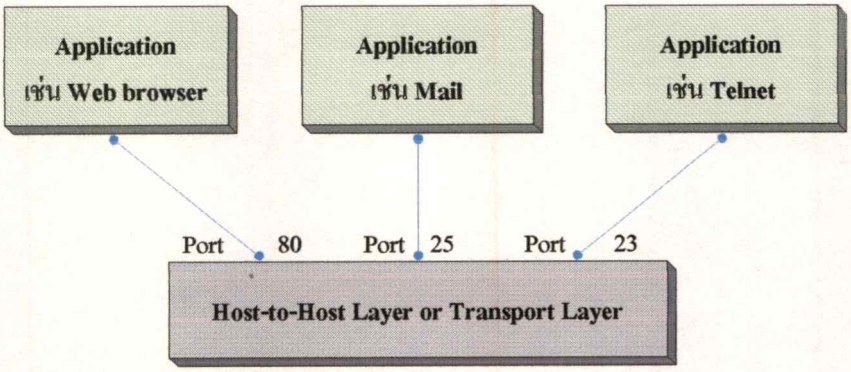
- โปรโตคอล (Domain Name System ; DNS) ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลชื่อ domain name หรือชื่อเว็บไซท์ทั้งหลายให้เป็นหมายเลข IP Address
- โปรโตคอล (Simple Network Management Protocol ; SNMP) ใช้ในการควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่าย
- โปรโตคอล (Dynamic Host Configuration Protocol ; DHCP) ทำหน้าที่แจกจ่ายข้อมูลพารมิเตอร์ของเครือข่ายให้กับเครื่องลูกข่ายที่เชื่อมต่ออยู่

2. Host-to-Host layer หรือ Transport Layer

ผู้ที่ใช้งานอินเตอร์เน็ตเคยสงสัยหรือไม่ว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการต่างๆเช่น เว็บเซิร์ฟเวอร์นั้น เมื่อมีผู้เข้ามาเรียกใช้บริการพร้อมกันหลายคน จะมีวิธีการส่งข้อมูลกลับไปยังต้นทางได้อย่างไรโดยไม่ผิดพลาด ซึ่งบางครั้งผู้ใช้รายหนึ่งอาจจะเปิดโปรแกรม web browser ซ้อนกันเพื่ออ่านข้อมูลจากเว็บเพจอื่นๆพร้อมกันไปได้ ดังนั้นระบบจะทราบได้อย่างไรถึงการจัดส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

การทำงานที่ชั้นของ Host-to-Host layer นี้จะมีบทบาทในการจัดการต่อจาก Process layer บางครั้งเรามักเรียกชั้น Host-to-Host ว่าเป็น Transport layer ซึ่งไม่ใช่ชั้นของ Transport layer ในมาตรฐาน OSI Model การทำงานของ Host-to-Host layer นี้จะมีการสร้าง connection หรือการเชื่อมต่อกันระหว่างแอพพลิเคชั่นกับ Host-to-Host layer โดยจุดที่เชื่อมกันเพื่อรับส่งข้อมูลนี้เรียกว่า port หรือ socket (คำว่า port ในที่นี้ไม่ได้หมายถึง port ทางฮาร์ดแวร์) และในแต่ละแอพพลิเคชั่นก็จะสร้างการเชื่อมต่อผ่าน port ได้พร้อมกันหลายแอพพลิเคชั่น ซึ่งการใช้งาน port ของแต่ละแอพพลิเคชั่นที่อยู่ในชั้น Process layer จะแตกต่างกันตามหมายเลยที่กำหนดไว้ และแต่ละโปรโตคอลจะมีการใช้งาน port หมายเลขต่างๆไม่ซ้ำกัน ตามรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

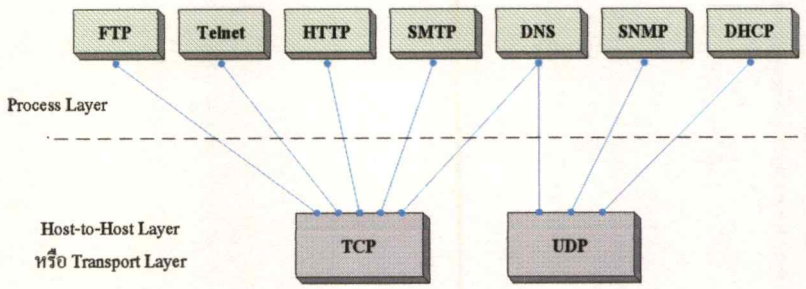


รูปที่ 2.13 แอพพลิเคชั่นหรือโปรเซสต่างๆสื่อสารกับ Host-to-Host Layer ผ่านจุดเชื่อมต่อหรือ port ส่วนหลายเลยในรูปคือหมายเลย port ที่โปรเซสใช้งาน เช่น เว็บหรือโปรเซส http ใช้งาน port 80 ในการส่งผ่านข้อมูล เป็นต้น

เมื่อแอพพลิเคชั่นทำงานผ่านโปรโตคอลในชั้น Process layer จะมีการส่งผ่านข้อมูลไปยัง Host-to-Host layer ที่ชั้นนี้จะมีการเชื่อมต่อผ่าน port ที่กำหนด ทำให้การรับส่งข้อมูลในแต่ละโปรโตคอลทำได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการจะมีการทำงานอยู่หลายโปรเซสที่แตกต่างกันก็ตาม หรือมีผู้ใช้บริการเข้ามาใช้งานพร้อมกันจำนวนมากและหลายแอพพลิเคชั่นในเวลาเดียวกัน ในชั้น Host-to-Host layer หรือ Transport layer ของ TCP/IP นี้ จะมีโปรโตคอลทำงานอยู่ 2 โปรโตคอลที่แตกต่างกัน คือ โปรโตคอล TCP และโปรโตคอล (User Datagram Protocol ; UDP) ในการส่งผ่านข้อมูลลงไปที่ชั้นถัดๆไป เราจะเห็นว่าโปรโตคอล TCP และ UDP จะถูกผนึกเข้าไปในโปรโตคอล IP อีกที่หนึ่งและส่งต่อไปยังเครือข่ายอินเตอร์เน็ตต่อไป

ตัวโปรโตคอล TCP และโปรโตคอล UDP จะมีแอพพลิเคชั่นเฉพาะเพื่อเรียกใช้งานแยกกัน คือ แอพพลิดเคชั่นที่ใช้โปรโตคอล FTP, Telnet, HTTP และ SMTP จะมีการส่งผ่านข้อมูลโดยเรียกใช้โปรโตคอล TCP ส่วนแอพพลิเคชั่นที่ใช้โปรโตคอล SNMP และ DHCP จะส่งผ่านข้อมูลโดยเรียกใช้โปรโตคอล UDP และสำหรับโปรโตคอล DNS นั้นจะสามารถเรียกใช้งานได้ทั้ง TCP และ UDP ดังรูป ซึ่งเหตุผลที่มีการเรียกใช้โปรโตคอล TCP และ UDP แตกต่างกัน ก็เนื่องจากวิธีการทำงานของทั้งสองโปรโตคอลต่างกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โปรเซสต่างๆที่เรียกใช้ Transport layer เพื่อส่งผ่านข้อมูลโดยอาศัย port ซึ่งในแต่ละโปรเซสจะเรียกใช้งานได้ port เฉพาะแตกต่างกัน ยกเว้น DNS ที่สามารถใช้งานได้ทั้ง TCP และ UDP

3. Internetwork Layer

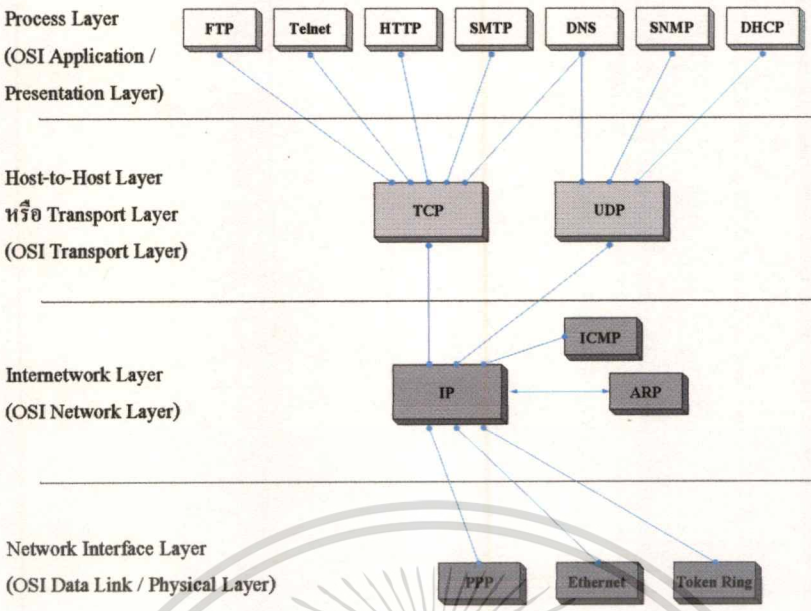
ในระดับล่างต่อมาในชั้น Internetwork layer มีหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลในระหว่างเครือข่าย โดยมีโปรโตคอลที่ทำงานเป็นกลไกสำคัญในการส่งผ่านข้อมูลไปยังเครือข่ายใดๆบนอินเตอร์เน็ต คือ โปรโตคอล (Internet Protocol ; IP) นอกจากนี้ใช้ชั้น Internetwork layer ยังมีโปรโตคอลทำงานอยู่ด้วยอีก 2 ชนิด คือ โปรโตคอล (Internet Control Message Protocol ; ICMP) และโปรโตคอล (Address Resolution Protocol ; ARP)

4. Network Interface Layer

เนื่องจากในด้านกายภาพของเครือข่ายนั้น มีหลายวิธีการและหลายรูปแบบในการเชื่อมต่อระบบให้เป็นเครือข่าย แต่อย่างไรก็ตามในเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนี้ ข้อมูลหรือ IP datagram จะถูกถ่ายทอดและส่งผ่านไปยังปลายทางโดยไม่คำนึงถึงรูปแบบการเชื่อมต่อทางกายภาพ ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครือข่ายใยแก้วนำแสงหรือเครือข่ายสาย (Unshielded Twist Pair ; UTP) เชื่อมต่อเป็นแบบเครือข่าย Ethernet ธรรมดาหรือเครือข่าย Token Ring, ATM, ISDN ฯลฯ ก็ตาม

การทำงานระดับล่างสุดต่อจาก Internetwork layer จะเป็นการแปลงข้อมูล IP datagram ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังเครือข่ายต่อไป ซึ่งในชั้น Network Interface layer นี้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน OSI Model แล้วจะเป็นการรวม 2 layer เข้าด้วยกันคือ Data link layer และ Physical layer กล่าวโดยสรุปคือ การทำงานในชั้นต่างๆตามโครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP ในแต่ละชั้นหรือ layer จะมีโปรโตคอลหลักทำหน้าที่ต่างๆและส่งผ่านข้อมูลไปยังเครือข่ายและออกสู่อินเตอร์เน็ต

ตารางที่ 2.2 สรุปหมายเลขบางส่วนของ port ที่ใช้งานโดย TCP และ UDP

โปรโตคอลที่ใช้งาน	Port หรือ socket เชื่อมต่อ (เลขฐาน 10)	โปรโตคอลในระดับ Host-to-Host	รายละเอียด
BootP	67	UDP	BOOTstrap Protocol ด้านเซิร์ฟเวอร์
BootP	68	UDP	BOOTstrap Protocol ด้านไคลแอนต์
DHCP	67	UDP	Dynamic Host Configuration Protocol ด้านเซิร์ฟเวอร์
DHCP	68	UDP	Dynamic Host Configuration Protocol ด้านไคลเอนต์
DNS	53	UDP/TCP	Domain Name System
FTP	21	TCP	File Transfer Protocol ด้านเซิร์ฟเวอร์ที่ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

FTP	20	TCP	File Transfer Protocol ด้านเซิร์ฟเวอร์ที่ส่งข้อมูล
HTTP	80	TCP/UDP	Hyper Text Transfer Protocol ด้านเซิร์ฟเวอร์
NetBT	138	UDP	NetBIOS datagram service
NetBT	139	TCP	NetBIOS session service
SMTP	25	TCP	Simple Mail Transfer Protocol ด้านเซิร์ฟเวอร์
SNMP	161	UDP	Simple Network Management Protocol ด้าน agent
SNMP	162	UDP	SNMP trap manager
Telnet	23	TCP	Teletype Network Protocol
TFTP	69	UDP	Trivial File Transfer Protocol
WINS	137	UDP	Windows Internet Name Service

กล่าวโดยสรุปก็คือ โปรโตคอล TCP/IP ทำงานโดยแบ่งเป็นชั้นเทียบกับ OSI model ได้กลไกในการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP มี 4 ชั้น ซึ่งในชั้นแรก คือ Process layer ทำหน้าที่ติดต่อกับแอพพลิเคชั่นและโปรโตคอลที่แอพพลิเคชั่นนั้นๆใช้งาน และส่งต่อมาให้ชั้น Host-to-Host layer เพื่อติดต่อกันระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการกับเครื่องผู้ขอใช้บริการ ในชั้นนี้จะมีการสร้าง session หรือการเชื่อมต่อระหว่างระบบขึ้นตามแต่ละโปรโตคอลที่ต้องการ ต่อมาเป็นการผนึกข้อมูลไปเป็น IP datagram ที่ชั้น Internetwork layer โดยอาศัยโปรโตคอล IP เพื่อให้สามารถติดต่อส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไปยังเครือข่ายและเครื่องที่ถูกต้องได้ และสุดท้ายการส่งข้อมูลออกสู่โลกภายนอก ต้องอาศัยกลไกในชั้น Network Interface layer เพื่อแปลงข้อมูลใหม่ เพิ่มข้อมูลใหม่ เพิ่มข้อมูลที่จำเป็นในการอ้างอิงตำแหน่งและแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งออกไปยังเครือข่าย และอาจจะออกไปยัง Gateway หรือ Router เพื่อข้ามเครือข่ายออกไปยังเส้นทางที่กำหนดไว้ในอินเตอร์เน็ตต่อไป

เราจะได้เห็นว่าในแต่ละชั้นของโครงสร้าง TCP/IP Stack มีการใช้โปรโตคอลต่างๆอยู่หนึ่งโปรโตคอลหรือมากกว่า ในแต่ละโปรโตคอลเหล่านี้ก็จะรับผิดชอบทำหน้าที่ของตนเอง เพื่อส่งผ่านข้อมูลลงไปยังระดับล่าง และออกสู่เครือข่ายอินเตอร์เน็ตในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 โปรโตคอล TCP (RFC 793)

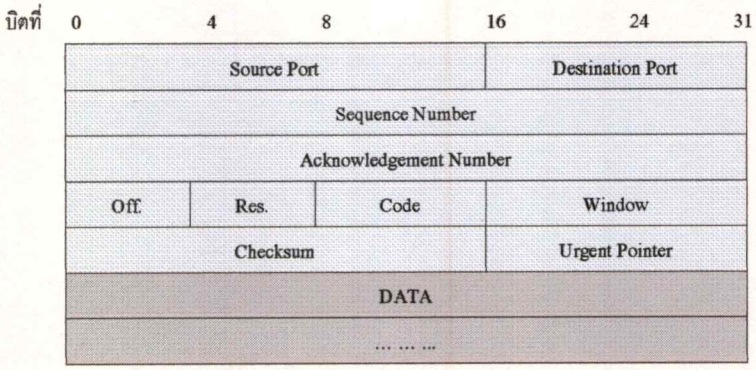
โปรโตคอล (Transmission Control Protocol ; TCP) เป็นโปรโตคอลที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ stream oriented protocol หมายความว่า การรับส่งข้อมูลจะไม่คำนึงถึงปริมาณข้อมูลที่จะส่งไป แต่จะแบ่งข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆก่อน แล้วจึงจะส่งไปยังปลายทางอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับข้อมูล ในกรณีที่ข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งสูญหายไป ก็จะส่งข้อมูลส่วนนั้นใหม่อีกครั้ง สำหรับปลายทางก็จะทำหน้าที่จัดเรียงส่วนของข้อมูล datagram ใหม่ให้ต่อเนื่องกันและประกอบกลับเป็นข้อมูลทั้งหมดได้ ซึ่งจะแยกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องออก ดังนั้นแอพพลิเคชั่นหรือโปรเซสใดที่อาศัยการส่งผ่านข้อมูบด้วยโปรโตคอล TCP จะต้องใช้หน่ายความจำและขนาดของช่องสัญญาณ (bandwidth) มากกว่า UDP

การติดต่อระหว่างกันจะต้องเป็นแบบ connection-oriented คือต้องมีการสร้างการติดต่อกันเป็น session ทั้ง 2 ด้านเสียก่อน แล้วจึงจะรับส่งข้อมูลไปได้พร้อมกัน (full duplex) เหมือนกับการใช้โทรศัพท์ติดต่อกัน เมื่อผู้ติดต่อต้นทางเรียกให้ฝ่ายตรงข้ามรับสายแล้ว จึงเริ่มการสนทนา เช่น พูดคำว่า “สวัสดี” หรือ “ฮัลโหล” กันก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าฝ่ายตรงข้ามพร้อมจะติดต่อด้วย จากนั้นจึงเริ่มต้นติดต่อกัน และเมื่อต้องการจะเลิกการติดต่อก็จะมีการพูดคำว่า “สวัสดี” ให้ฝ่ายตรงข้ามทราบว่าจะเลิกการติดต่อและวางสายไป ซึ่งในระหว่างการติดต่อกันนั้น แม้ว่าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือทั้งสองฝ่ายจะเงียบไป คือไม่พูดอะไรเป็นเวลานานๆ แต่การเชื่อมโยงระหว่างทั้งสองด้านยังคงมีอยู่ไม่ขาดไปจนกว่าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งจะวางสาย เช่นเดียวกับการติดต่อกันด้วยกลไกโปรโตคอล TCP เมื่อแอพพลิเคชั่นต้องการส่งผ่านข้อมูลจะใช้โปรโตคอลที่เหมาะสมในชั้น Process layer ติดต่อไปและมีการสร้างช่องส่งข้อมูลผ่าน port ที่กำหนดเพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังโปรโตคอล TCP

ในระหว่างการรับส่งข้อมูลนี้ โปรโตคอล TCP จะเพิ่มขบวนการสอบทานข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องไม่ผิดพลาดไปจากเดิม โดยการส่งสัญญาณสอบทานข้อมูล (acknowledgement) และส่งข้อมูลให้ใหม่อีกครั้ง ถ้าปลายทางไม่ได้รับหรือเกิดความผิดพลาดขึ้น

ความน่าเชื่อถือของการส่งผ่านข้อมูลโดยโปรโตคอล TCP จะมีมากกว่า แต่ก็ต้องอาศัยทรัพยากรของระบบยมากกว่าในการทำงานเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 รูปแบบของ TCP packet จะเห็นว่ามีฟิลด์ Acknowledgement Number และข้อมูล Checksum เพื่อใช้ตรวจสอบการเดินทางของข้อมูล ส่วน header มีข้อมูลมากทำให้ต้องอาศัยทรัพยากรของระบบทำงานมาก

2.9.6 โปรโตคอล IP (RFC 791)

โปรโตคอล IP ทำหน้าที่ให้บริการส่งผ่านข้อมูลที่มาจาก Host-to-Host layer เพื่อส่งข้ามไปยังเครือข่ายใดๆได้อย่างถูกต้อง แม้ว่าจะมีเครือข่ายเชื่อมต่อกันอยู่ในอินเตอร์เน็ตเป็นล้านๆเครือข่ายก็ตาม เนื่องจากโปรโตคอล IP มีข้อมูลตำแหน่ง IP ปลายทางที่จะส่งข้อมูลไปให้ โดยทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Router เพื่อส่งข้อมูลผ่านสวิทช์ (switch) ไปยังปลายทาง โดยข้อมูลจะเดินทางไปยังเครือข่ายต่างๆผ่านสวิทช์ไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงปลายทาง ตัววงจรผ่านหรือ switch นี้อาจเป็น Gateway หรือ Router ในระบบเครือข่ายก็ได้ ซึ่งในข้อมูลของโปรโตคอล IP จะมีข้อมูลของหมายเลข IP ให้เป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์ประจำเครื่องที่ถูกต้องอีกทีหนึ่งด้วยโปรโตคอล ARP ตามรูปที่ 3.6 ที่จะแสดงการติดต่อกันระหว่างโปรโตคอลในชั้นของ Host-to-Host layer และ Internetwork layer

2.9.7 กลไกของโปรโตคอล IP

ในการส่งผ่านข้อมูล หรือ IP datagram ไปยังเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนั้น โปรโตคอล IP จะทำหน้าที่พิจารณาว่าปลายทางในการส่ง IP datagram นั้นจะเป็นภายในเครือข่ายของตนเองหรือจะต้องส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไปอีก โดยการพิจารณานี้โปรโตคอล IP จะตรวจสอบจากค่า IP Address ปลายทางว่าส่วนที่เป็นค่าหมายเลยเครือข่าย (network address) จะเหมือนกับค่าหมายเลยเครือข่ายของ IP Address ต้นทางหรือไม่ ถ้าค่าตรงกันแสดงว่าการส่งข้อมูลอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกัน แต่ถ้าค่าต่างกัน แสดงว่าต้องส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่อยู่คนละเครือข่ายกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.7.1 การส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเดียวกัน มีกลไกดังนี้

1. โปรโตคอล IP จะเรียกใช้บริการโปรโตคอล (Address Resolution Protocol ; ARP) เพื่อแปลงหมายเลย IP ปลายทางให้เป็นค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์ เช่น MAC address

2. เมื่อโปรโตคอล IP ได้รับค่าหมายเลยฮาร์ดแวร์แล้ว ก็จะส่งข้อมูลนั้นไปยังฮาร์ดแวร์ที่ระบุไว้

2.9.7.2 การส่งข้อมูลข้ามเครือข่าย มีกลไกดังนี้

1. โปรโตคอล IP ตรวจสอบพบว่าหมายเลย IP Address ปลายทางอยู่คนละเครือข่ายกัน โดยโปรโตคอล IP จะอ่านค่า IP Address ของ Router เพื่อเตรียมส่งข้อมูลไปที่ Router แทน ซึ่งในที่นี้จะมีการกำหนดเป็น default router

2. โปรโตคอล IP จะเรียกใช้บริการโปรโตคอล ARP เพื่อแปลงค่า IP Address ของ Router ให้เป็นค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์

3. โปรโตคอล IP ส่งข้อมูล IP datagram ไปยัง Router ที่กำหนดไว้ จากนั้น Router ส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไปตามขั้นตอน ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

โปรโตคอล IP จะรู้ได้อย่างไรว่าเครือข่ายดังกล่าวมีการเชื่อมต่อ Router อยู่และมีค่า IP อะไร ซึ่งในเรื่องนี้ผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าที่เรียกว่า default Router หรือ default Gateway เสียก่อน ว่ามีค่า IP Address อะไร โดยสามารถสอบถามได้จากผู้ดูแลระบบ สำหรับกลไกการส่งผ่านข้อมูลต่อจาก Router ไปยังเครื่องปลายทางก็จะมีกลไกเดียวกัน แต่ในส่วนของการเลือกหาเส้นทางในการส่งผ่านข้อมูลนั้นจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

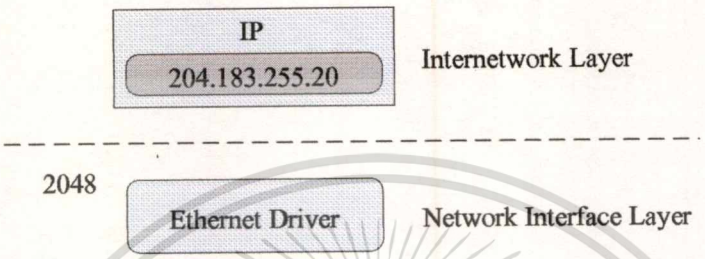
2.9.8 การกำหนด IP Address ให้กับอุปกรณ์

มีคำถามอยู่ว่าเราจำเป็นต้องกำหนดหมายเลข IP Address ให้กับอุปกรณ์ทุกชิ้นในเครือข่ายหรือไม่ คำตอบคือ ไม่จำเป็นต้องกำหนดทั้งหมดก็ได้ แต่มีหลักอยู่ว่า เราจะต้องกำหนดหมายเลข IP Address ให้กับจุดเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายทุกจุด จุดเชื่อมต่อหรือ interface อาจจะหมายถึง Network Interface Card (การ์ด LAN) ที่ติดตั้งในเครื่องเซิร์ฟเวอร์หรือ WAN port, Ethernet port ที่ Router ใช้เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายเป็นต้น การกำหนดหมายเลข IP Address ให้กับจุดเชื่อมต่อนี้ทำให้เราเข้าใจได้ว่าในบางอุปกรณ์ที่มีจุดเชื่อมมากกว่าหนึ่งจุด จะต้องกำหนดหมายเลข IP Address ให้ครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

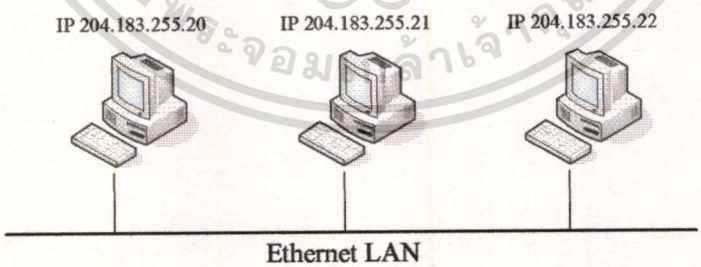
2.9.9 การ Bind IP Address

เมื่อได้กำหนดหมายเลข IP Address ให้กับจุดเชื่อมต่อ เช่น เน็ตเวิร์กการ์ดเรียบร้อยแล้ว ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์จะต้องมีการ bind หรือผนวก ค่า IP Address ดังกล่าวเข้ากับ Ethernet driver เพื่ออ้างอิงหมายเลข IP กับฮาร์ดแวร์ ให้ทำหน้าที่ติดต่อส่งข้อมูลในระดับ network interface ได้ต่อไป ดังตัวอย่างในรูปนี้ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงการ bind IP Address หมายเลข 204.183.255.20 เข้ากับ Ethernet driver ซึ่งเป็น network interface driver ทำให้ IP สามารถสื่อสารกับเครือข่ายได้ ส่วนหมายเลข 2048 เป็น interface identifier

จากรูปจะแสดงค่า bind IP Address 204.183.255.20 เข้ากับ Ethernet driver (ในกรณีนี้ใช้เครือข่ายแบบ Ethernet) โปรโตคอล IP จะใช้ค่า IP Address นี้ในการติดต่อกันและ ผ่านฮาร์ดแวร์ที่ถูก bind ไว้อีกต่อหนึ่ง ค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์ก็ได้แก่ MAC address ที่มีประจำอยู่บนเน็ตเวิร์กการ์ด ซึ่งจะไม่ได้ใช้งานอ้างอิงโดยตรง แต่จะผ่านหมายเลข IP Address แทน



รูปที่ 2.18 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย Ethernet มีหมายเลข IP Address แต่ละเครื่องที่ LAN card เป็น network interface

จากรูปที่ 2.18 เป็นรูปเครือข่าย Ethernet อย่างง่าย จะเห็นว่ามีการกำหนดหมายเลข IP Address ให้กับ LAN card ที่เป็นจุดเชื่อมต่อเข้าเครือข่ายทุกจุด แต่เนื่องจากเครื่องทุกเครื่องมีจุดเชื่อมต่อเพียงจุดเดียว ทำให้เราสามารถอ้างอิงเครื่องกับหมายเลข IP Address นั้นได้ตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงความรู้พื้นฐานของการสูญเสียในระบบประปา ได้แก่ความหมายของน้ำสูญเสียในระบบประปา องค์ประกอบและสาเหตุของน้ำสูญเสีย การจัดการน้ำสูญเสียทางเทคนิค อิทธิพลด้านเวลาในการสูญเสียน้ำ ปัจจัยที่มีผลทำให้ท่อประปาชำรุดแตกรั่ว ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรั่วไหลและแรงดันน้ำ ผลจากการเกิดน้ำสูญเสีย การบริหารจัดการน้ำสูญเสียแบบ DMA และการสื่อสารระบบ GSM เบื้องต้น ซึ่งองค์ความรู้ทั้งหมดนี้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและควบคุมน้ำสูญเสีย โดยเนื้อหาในส่วนของการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวังและควบคุมน้ำสูญเสียในระบบ DMA จะกล่าวไว้ในบทต่อไป

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบพื้นที่เฝ้าระวังควบคุมน้ำสูญเสีย

สาระสำคัญของบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง หลักการและเหตุผลที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วยหลักเกณฑ์ต่างๆ อาทิ การพิจารณาเส้นแบ่งเขตตามธรรมชาติ การพิจารณาจากโครงสร้างระบบท่อประปา การพิจารณาจากจำนวนผู้ใช้น้ำและความต้องการน้ำในพื้นที่เป็นต้น และทั้งหมดนี้จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์วิเคราะห์ผลในบทต่อไป

3.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย

ได้นำข้อมูลระบบท่อประปาและข้อมูลผู้ใช้น้ำ (CIS) ที่ได้รับจากการประปานครหลวงดังแสดงในรูปที่ 3.1 พร้อมข้อมูลระบบท่อประปาในระดับสำนักงานประปาสาขา ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และขอบเขต (Boundary) ของพื้นที่สำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เพื่อการกำหนดขอบเขตพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย โดยมีเป้าประสงค์หลักเพื่อการบูรณาการด้านข้อมูลการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย การสูบจ่ายน้ำ และการบริหาร รวมถึงการอ่านมาตรผู้ใช้น้ำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานด้านสารสนเทศอย่างสูงสุด

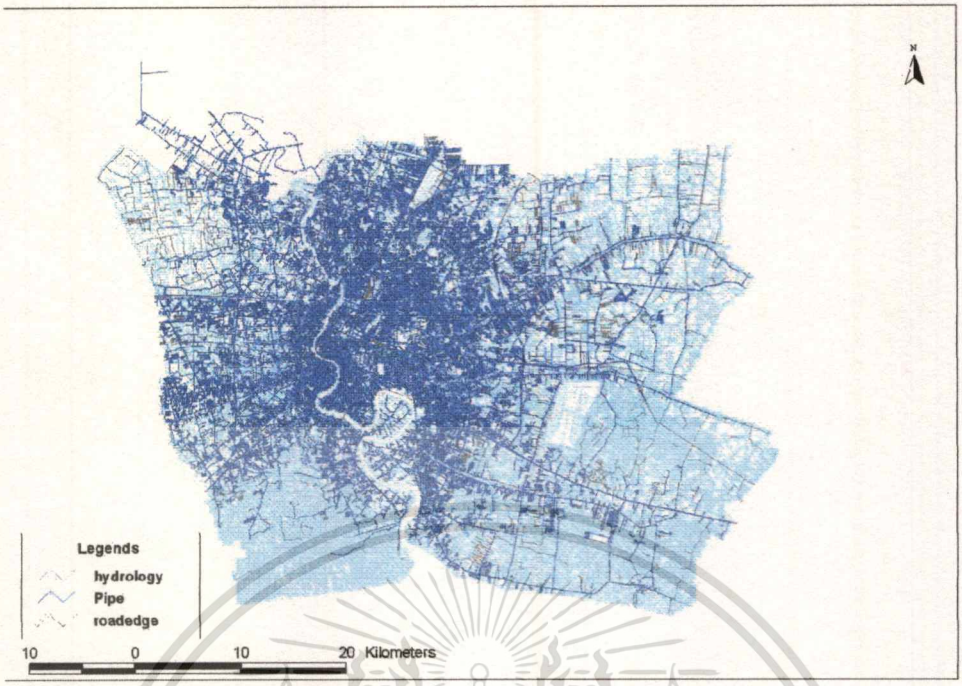
โดยการกำหนดจะคำนึงถึงความต้องการใช้ข้อมูลของกลุ่มผู้ใช้งานหลัก ได้แก่ กองบำรุงรักษา (กรร.) กองรายได้ ผู้จัดการสาขา สำนักงานประปาสาขา เจ้าหน้าที่ของศูนย์ควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำในการขอข้อมูล พื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย ซึ่งข้อมูลสารสนเทศที่ได้จากการบูรณาการโซนการบริหารจัดการน้ำที่ดีจะก่อให้เกิดประโยชน์ในหลายด้านด้วยกัน ดังนี้

1. ได้รับข้อมูลการบริหารจัดการน้ำสูญเสียที่ถูกต้อง และรวดเร็ว

2. ได้รับข้อมูลด้านการจัดเก็บรายได้ การตลาด การจัดการน้ำสูญเสีย และการสูบจ่ายน้ำเข้าในพื้นที่เดียวกันอย่างเป็นเอกภาพ

3. มีข้อมูลด้านยุทธศาสตร์การบริหารจัดการน้ำโดยรวม (Total Demand Management) ของสำนักงานประปาสาขาทั้งในด้านความต้องการใช้น้ำ (Demand) และด้านการสูบจ่ายน้ำ (Distribution) ที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงข้อมูลระบบท่อประปาโดยรวมของทั้งระบบที่ได้รับจากการประปานครหลวง เพื่อใช้ในการออกแบบและจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง

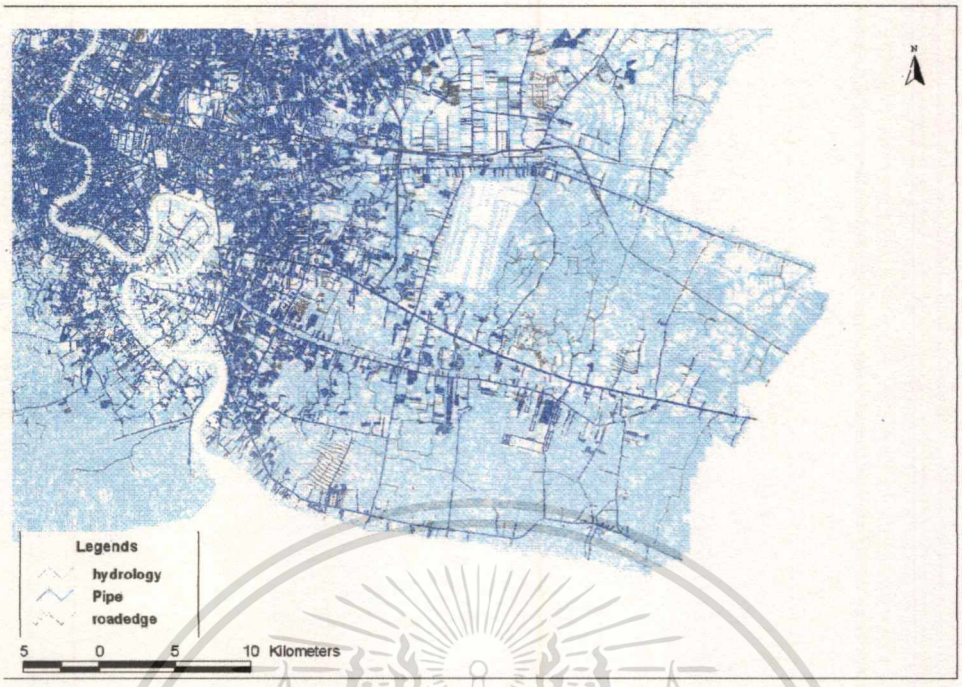
3.1.1 หลักเกณฑ์ในการกำหนดพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย

จากวัตถุประสงค์ของการจัดพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย เพื่อให้เกิดการบูรณาการด้านข้อมูลการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย การสูบจ่ายน้ำและการบริการ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานด้านสารสนเทศอย่างสูงสุดนั้น พื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย ควรมีลักษณะพื้นฐาน ดังนี้

1.จำนวนผู้ใช้น้ำประมาณ 8,000-15,000 ราย เพื่อความเหมาะสมกับการบริหารจัดการด้านบำรุงรักษาและการสำรวจท่อรั่ว รวมถึงการเฝ้าระวังที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้จำนวนผู้ใช้น้ำดังกล่าวอาจมีการลดหรือเพิ่มจำนวนได้ตามประเภทของผู้ใช้น้ำและการเจริญเติบโตของแต่ละพื้นที่เฝ้าระวัง เช่นกรณีที่มีผู้ใช้น้ำรายใหญ่จำนวนมากในพื้นที่ อาจพิจารณาให้มีจำนวนผู้ใช้น้ำประมาณ 8,000-10,000 รายต่อพื้นที่โซนได้

2.จำนวนพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ต่อพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสียควรมีประมาณ 6-10 DMA เพื่อความสะดวกและประสิทธิภาพในการบริหารจัดการด้านทรัพยากรและงานภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

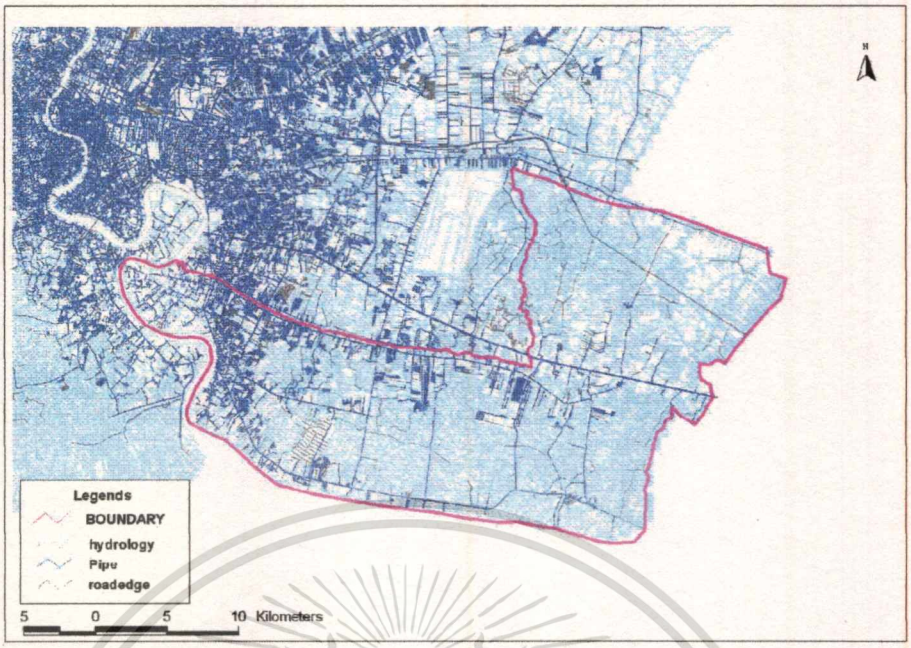


รูปที่ 3.2 แสดงข้อมูลระบบเส้นท่อประปาของพื้นที่สำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการที่ได้รับจากการประปานครหลวง

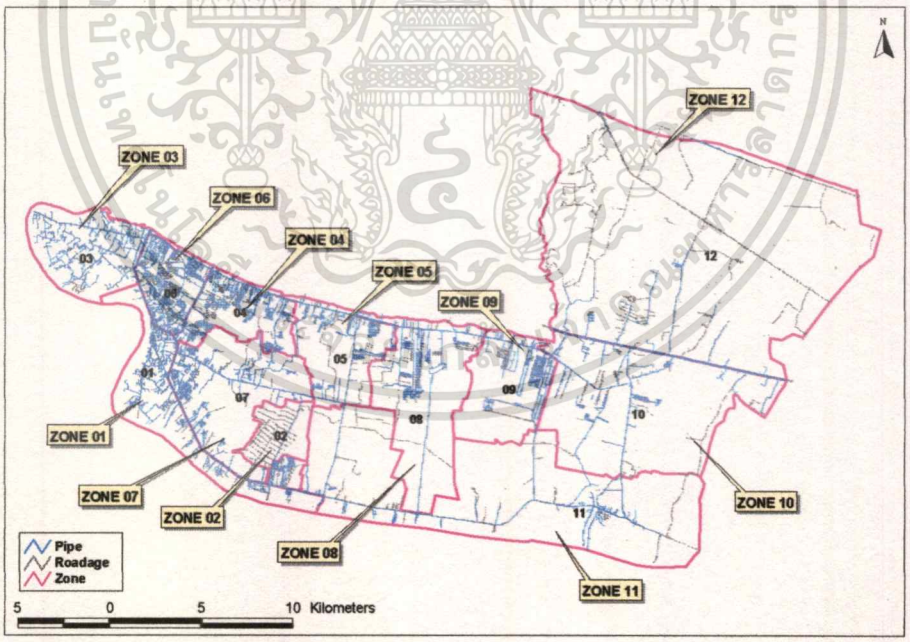
3.ในพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ที่ดำเนินการออกแบบควรมีการอ่านมาตรวัดน้ำได้ภายใน 1 วันทำการ เพื่อความแม่นยำในการรวบรวมข้อมูล ความต้องการใช้น้ำ (Consumption) เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (Non Revenue Water) ขณะเดียวกันการอ่านมาตรวัดน้ำภายในโซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสียควรให้แล้วเสร็จภายใน 3-4 วัน เพื่อความถูกต้องของข้อมูลในระดับโซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย

4.พื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสียควรอยู่ในบริเวณเขตอิทธิพลการสูบจ่ายน้ำเดียวกัน เพื่อให้มีแรงดันน้ำที่เหมาะสมในแต่ละโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

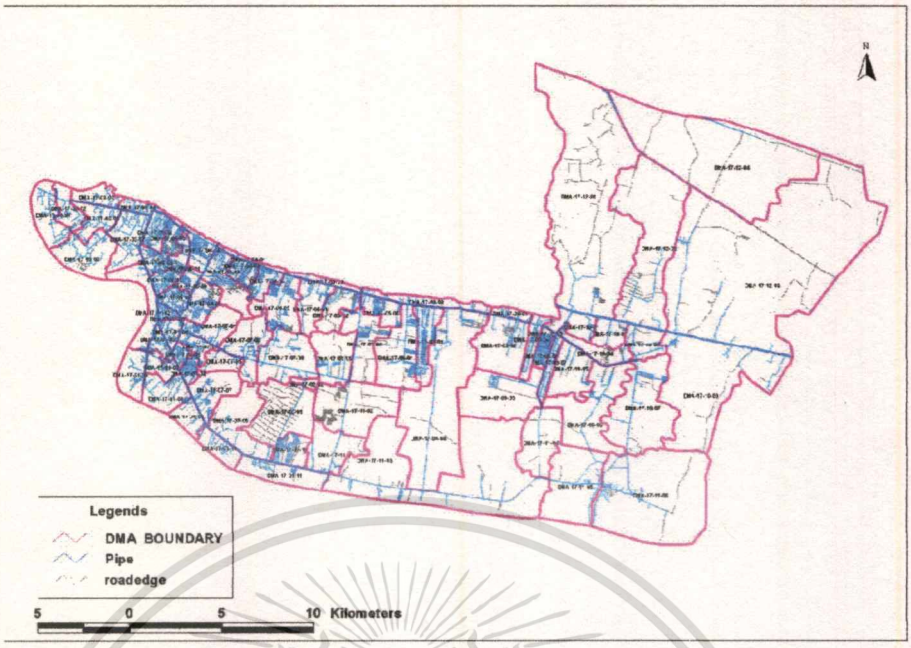


รูปที่ 3.3 แสดงขอบเขตพื้นที่สำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการที่จัดแบ่งโดยการประปานครหลวง

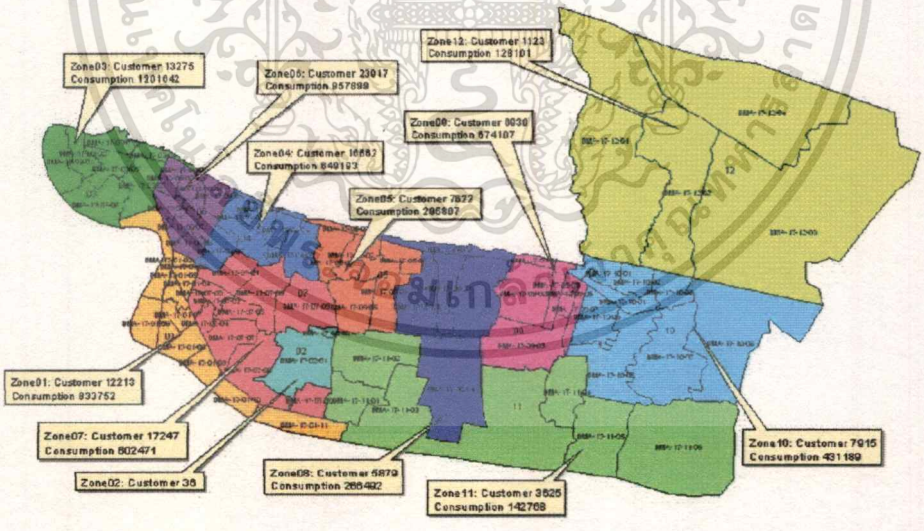


รูปที่ 3.4 แสดงขอบเขตพื้นที่โซนการบริหารจัดการน้ำสูญเสียของสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ ที่ได้รับข้อมูลจากส่วนสำรวจท่อรั่ว (สทร.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

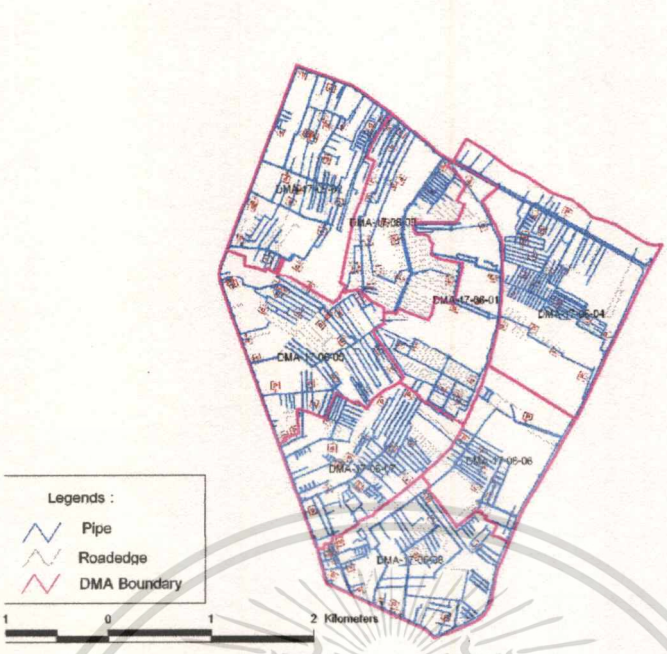


รูปที่ 3.5 แสดงขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวังที่ออกแบบในเบื้องต้น โดยอาศัยข้อมูล GIS ข้อมูลผู้ใช้น้ำ ข้อมูลจากส่วนสำรวจท่อรั่ว และข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่



รูปที่ 3.6 แสดงขอบเขตพื้นที่โซนบริหารจัดการน้ำสูญเสีย และพื้นที่เฝ้าระวังที่ออกแบบแล้วเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงขอบเขตพื้นที่โซน 06 ของสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการที่ทำการออกแบบพื้นที่โซน 06 ของสำนักงาประปาสาขาสมุทรปราการ แบ่งพื้นที่เฝ้าระวังออกเป็น 8 พื้นที่ ดังตารางที่ 3.1

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำกรณีศึกษาพื้นที่โซน 06 ในพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02 ของสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ โซน 06 สาขาสมุทรปราการ แบ่งออกเป็น 8 DMA

ลำดับที่	DMA	จำนวนผู้ใช้น้ำ (ราย)	ความต้องการใช้น้ำ (ลบ.ม. ต่อวัน)	อัตราการไหลต่ำสุด (ลบ.ม. ต่อ ชม.)	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม. ต่อ ชม.)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ลบ.ม. ต่อ ชม.)
1	17-06-01	3,418	4,008	125.23	264.91	200.69
2	17-06-02	2,953	7,157	208.93	464.95	361.55
3	17-06-03	2,696	6,049	179.54	389.45	301.87
4	17-06-04	2,951	7,411	209.77	463.30	358.16
5	17-06-05	3,772	5,884	174.14	365.78	277.63
6	17-06-06	1,488	2,295	61.71	132.67	101.60
7	17-06-07	3,751	4,758	150.48	319.77	241.81
8	17-06-08	2,888	4,212	135.46	288.87	219.12
		23,917	41,774	1,245	2,690	2,062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

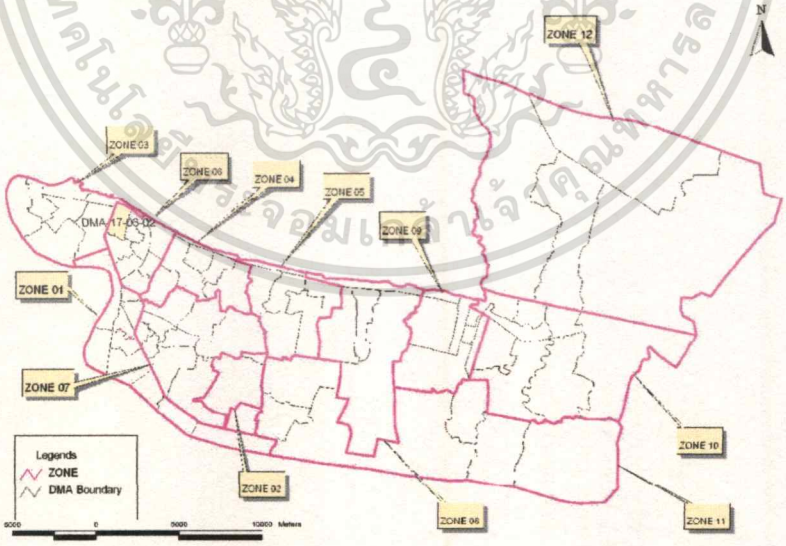
3.2 การออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

การออกแบบพื้นที่เฝ้าระวังจำเป็นจะต้องศึกษาโครงสร้างระบบการจ่ายน้ำแบบเดิมก่อนเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับแรงดันน้ำ และกำหนดขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวังโดยใช้แนวแม่น้ำ คลอง ถนน อาคาร ระบบท่อ และแนวขอบเขตพื้นที่บล็อคเดิม ตลอดจนทำการทดสอบความถูกต้องของพื้นที่เฝ้าระวัง โดยการทำ Zero Pressure Test เพื่อทดสอบความเป็นอิสระจากกันของพื้นที่เฝ้าระวังซึ่งจะทำให้ได้พื้นที่เฝ้าระวังที่ดีที่สุดตามเกณฑ์การออกแบบตามมาตรฐานของ International Water Association หรือ IWA

การออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02 ของสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 การแบ่งขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

ได้ดำเนินการสำรวจพื้นที่และจัดแบ่งพื้นที่เฝ้าระวังตามขอบเขต โดยอาศัยหลักชลศาสตร์ และข้อมูลพื้นฐานต่างๆ จากฐานข้อมูล GIS และข้อมูลผู้ใช้น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ภายหลังจากการกำหนดขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวังที่ชัดเจนแล้ว ได้ดำเนินการสำรวจประตูน้ำกั้นขอบเขต (BDV) และทางน้ำเข้า รวมถึงจุดติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.8 แสดงพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02 ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของพื้นที่สำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดงรายละเอียดพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02 และเขตแนวลำคลอง,ถนน

ข้อมูลแสดงพื้นที่ข้างเคียงของ DMA-17-06-02

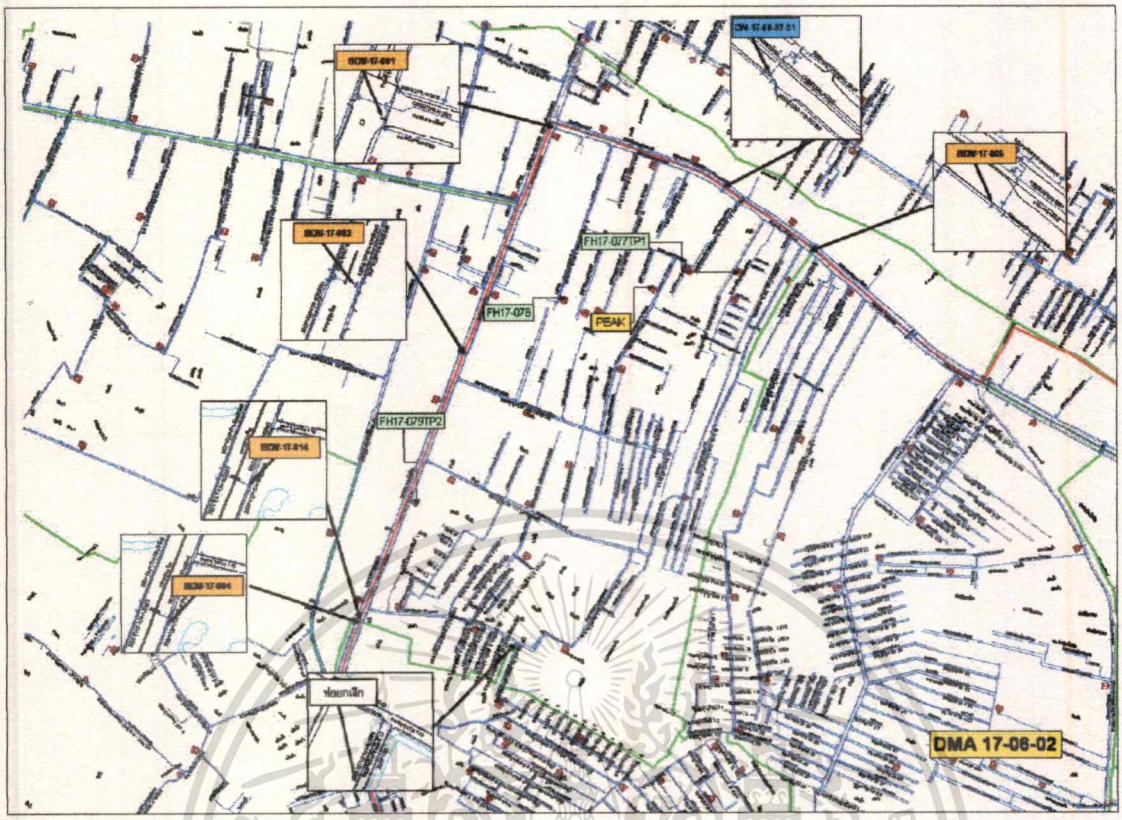
ทิศเหนือจรดถนนเทพารักษ์

ทิศใต้จรดถนนวงแหวนอุตสหกรรม

ทิศตะวันออกใกล้ซอยเทพารักษ์ 20

ทิศตะวันตกจรดถนนสุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวังและประตูน้ำกั้นขอบเขตรวมถึงทางน้ำเข้าและจุดติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำในพื้นที่

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลทั่วไปปี 2550 ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

ข้อมูลผู้ใช้น้ำ		ข้อมูลชลศาสตร์	
จำนวนผู้ใช้น้ำ(ราย)	2,953	แรงดันเฉลี่ยของพื้นที่(ม.)	5.918
ความต้องการใช้น้ำ (ลบ.ม.ต่อวัน)	7,157	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม.ต่อ ชม.)	464.95
น้ำสูญเสีย %	30.40%	อัตราการไหลเฉลี่ย (ลบ.ม.ต่อ ชม.)	361.55
		อัตราการไหลต่ำสุด (ลบ.ม.ต่อชม.)	208.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลแสดงจุดติดตั้งมาตรประตูน้ำกั้นขอบเขตจุดวัดแรงดันและจุดทดสอบการใช้น้ำสูงสุด

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หมายเหตุ
1	จุดติดตั้งมาตรวัดน้ำ (DM-17-06-02-01)	1	
2	ประตูน้ำกั้นขอบเขต (BDV-17-001) (BDV-17-003) (BDV-17-004) (BDV-17-005) (BDV-17-014)	5	
3	หัวดับเพลิงที่มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำ (FH-17-077) (TP1) (FH-17-079)(TP2) (FH-17-078)	3	
4	จุดทดสอบการใช้น้ำสูงสุด	1	

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลระบบท่อประปาปี 2550 ของพื้นที่ DMA-17-06-02

ข้อมูลท่อประปาปี 2550						
ขนาด (mm.)	AC	PVC	GI	PB	ST	รวม (ม.)
100	413	17,291	-	-	-	17,704
150	1,767	4,798	-	-	6	6,571
200	1,255	8,031	-	-	-	9,286
250	-	-	-	-	-	-
300	1,360	1,842	-	-	39	3,241
400	-	-	-	-	-	-
รวม (ม.)	4,795	31,962	-	-	45	36,802

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เหตุผลในการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

สภาพพื้นที่ล้อมรอบด้วยทิศเหนือจรดถนนเทพารักษ์ ทิศตะวันตกจรดถนนสุขุมวิท ทิศตะวันออกจรดใกล้ซอยเทพารักษ์ 20 และทิศใต้จรดถนนวงแหวนอุตสาหกรรม เป็นพื้นที่ขนาดปานกลางผู้ใช้น้ำประมาณ 2,953 ราย ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ใช้น้ำรายย่อยประเภทที่พักอาศัย หมู่บ้านจัดสรร จากการสำรวจเพื่อจัดทำพื้นที่เฝ้าระวังพบว่าแรงดันในพื้นที่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.00 เมตร การขยายตัวของผู้ใช้น้ำไม่สามารถขยายได้มากนักเนื่องจากพื้นที่หนาแน่นแล้ว

จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าประตูน้ำของสาขาที่ต้องใช้เป็นประตูน้ำกั้นขอบเขตอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ดีและเปิดอยู่ การจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวังได้ดำเนินการปิดจำนวนประตูน้ำเดิมอีก 5 ตัวเป็นประตูน้ำ (BDV) ในการแบ่งพื้นที่เฝ้าระวัง จากการออกแบบใช้จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่จำนวน 1 จุด

เนื่องจากแม้ว่าพื้นที่มีอัตราการใช้น้ำที่สูง ความต้องการใช้น้ำโดยประมาณ 7,157 ลบ.มต่อวัน แต่ส่วนใหญ่เป็นผู้ใช้น้ำรายย่อย โดยที่จุดจ่ายน้ำ (DM) รับน้ำจากท่อประธานขนาด 1200 mm.บริเวณถนนเทพารักษ์ ซึ่งมีแรงดันที่ดี จึงเลือกบริเวณดังกล่าวเป็นจุดจ่ายน้ำ (DM) เข้าพื้นที่ DMA 17-06-02 นี้ ซึ่งในการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวังจะเป็นดังต่อไปนี้

1. ทิศตะวันออกแบ่งพื้นที่ DMA โดยใช้ขอบเขตคลอง

โดยแบ่งขอบเขตที่คลองระบายน้ำไม่มีชื่อใกล้ซอยเทพารักษ์ 20 มีท่อประปาเชื่อมระหว่างพื้นที่ 1 จุด

- ถนนเทพารักษ์ใกล้ซอยเทพารักษ์ 20 หน้าเรือนทองอพาร์ทเมนต์ ขนาด Ø 300 mm. กำหนดให้เป็น BDV 17-005 เป็น Inlet Valve จึงทำการปิดเพื่อไม่ให้น้ำไหลเข้าในพื้นที่และแบ่งขอบเขตระหว่าง DMA 17-06-02 และ DMA 17-06-03

2. ทิศใต้แบ่งพื้นที่ DMA โดยใช้ขอบเขตของถนน

โดยแบ่งขอบเขตที่ถนนวงแหวนอุตสาหกรรมตัดใหม่ มีท่อประปาเชื่อมระหว่างพื้นที่ 1 จุด

- ถนนสุขุมวิทตัดกับถนนวงแหวนอุตสาหกรรมหน้าพิพิธภัณฑ์ช้างเอราวัณ ขนาด Ø 300 mm. กำหนดให้เป็น BDV 17-004 เป็น Inline Valve บนท่อ Ø 300 mm.ตามแนวถนนสุขุมวิทปิดเพื่อแบ่งพื้นที่ระหว่าง DMA 17-06-02 และ DMA 17-06-05

3. ทิศเหนือแบ่งพื้นที่ DMA โดยใช้ขอบเขตของถนน

โดยแบ่งขอบเขตที่ถนนเทพารักษ์ มีท่อประปาเชื่อมระหว่างพื้นที่ 2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถนนเทพารักษ์ ขนาด Ø 300 mm.ข้างธนาคารกสิกรไทย กำหนดให้เป็น DM 17-06-02-01 เป็น Inlet Valve ที่ TAP จากท่อประธาน ขนาด Ø 1,200 mm. เปิดเพื่อเป็นจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่บริเวณด้านบนของพื้นที่เนื่องจากมีแรงดันน้ำที่ดีกว่าแนวถนนสุขุมวิทเป็นผลให้ในพื้นที่มีแรงดันน้ำที่ดี

- ถนนเทพารักษ์ สามแยกสำโรง บริเวณป้อมตำรวจจราจร ขนาด Ø 300 mm. กำหนดให้เป็น BDV 17-001 เป็น Inline Valve ที่ cross ข้ามถนนเทพารักษ์ จึงทำการปิดเพื่อไม่ให้น้ำไหลเข้าในพื้นทีและแบ่งขอบเขตกับ DMA 17-03-04

4. ทิศตะวันตกแบ่งพื้นที่ DMA โดยใช้ขอบเขตของถนน

โดยแบ่งขอบเขตที่ถนนสุขุมวิท มีท่อประปาเชื่อมระหว่างพื้นที่ 2 จุด

- ถนนสุขุมวิทบริเวณข้างคาร์ฟูสำโรงเหนือ ขนาด Ø 300 mm. กำหนดให้เป็น BDV 17-003เป็น Inlet Valve ที่ TAP จากท่อประธาน ขนาด Ø 1,200 mm. จึงทำการปิดเพื่อไม่ให้น้ำไหลเข้าในพื้นที่

- ถนนสุขุมวิท หน้าพิพิธภัณฑ์ช้างเอราวัณ ขนาด Ø 300 mm. กำหนดให้เป็น BDV 17-014 เป็น Inlet Valve ที่ TAP จากท่อประธาน ขนาด Ø 1,200 mm. จึงทำการปิดเพื่อไม่ให้น้ำไหลเข้าในพื้นที่

จุดตรวจสอบแรงดันน้ำ (MPS)

FH-17-077 (TP1)	ริมถนนสุขุมวิทปากซอยเทพารักษ์ 8	ขนาด ∅ 300 mm.
FH-17-079 (TP2)	ริมถนนสุขุมวิทใกล้ซอยสุขุมวิท 117	ขนาด ∅ 300 mm.
FH-17-078	ในซอยเทพารักษ์ 14	ขนาด ∅ 150 mm.
Peak	ในซอยเทพารักษ์ 12	ขนาด ∅ 150 mm.

3.2.3 ผลการสำรวจพื้นที่เฝ้าระวัง

ภายหลังการออกแบบเบื้องต้นแล้วเสร็จ ได้จัดทำแผนเพื่อดำเนินการสำรวจประตูน้ำ หัวดับเพลิง และเส้นท่อประปาที่จำเป็นต่อการออกแบบและจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง ซึ่งผลการสำรวจสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลสรุปผลการสำรวจประตูน้ำ หัวดับเพลิง ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA 17-06-02

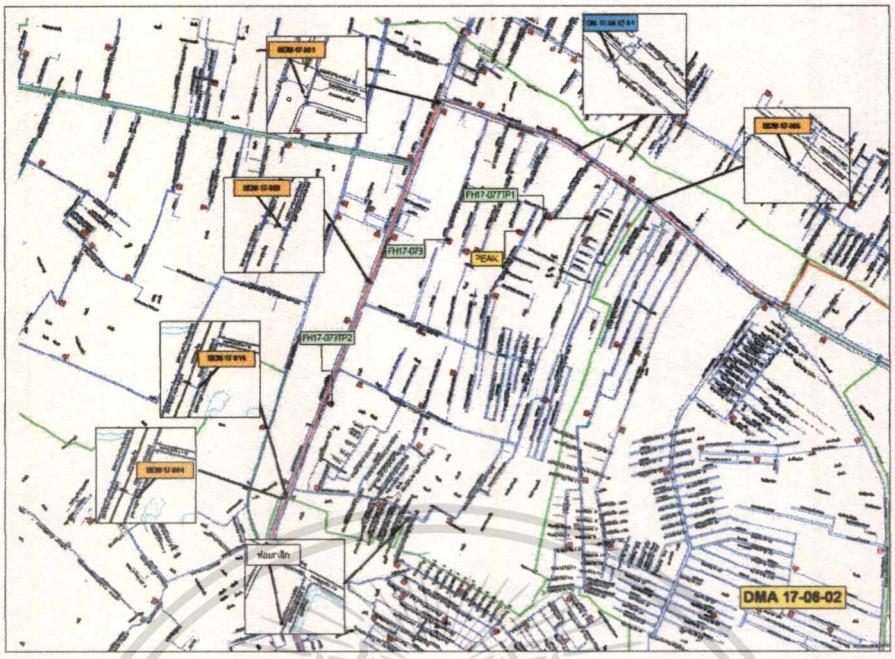
ลำดับ	รหัส Code	สถานที่	ขนาด	ใช้ได้	ไม่ได้	สถานะ
1	DM-17-06-02-01	ถนนเทพารักษ์ ขนาด 300 mm. ข้างธนาคารกสิกรไทย	300	✓		เปิด
2	BDV-17-001	ถนนเทพารักษ์ สามแยกสำโรง บริเวณป้อมตำรวจจราจร	300	✓		เปิด
3	BDV-17-003	ถนนสุขุมวิทบริเวณข้างคาร์ฟูสำโรงเหนือ	300	✓		เปิด
4	BDV-17-004	ถนนสุขุมวิทตัดกับถนนวงแหวนอุตสหกรรม หน้าทิพิธภัณฑ์ช้างเอราวัณ	300	✓		เปิด
5	BDV-17-005	ถนนเทพารักษ์ใกล้ซอยเทพารักษ์ 20 หน้าเรือนทองอาพาร์ทเมนต์	300	✓		เปิด
6	BDV-17-014	ถนนสุขุมวิท หน้าพิพิธภัณฑ์ช้างเอราวัณ	300	✓		เปิด
7	FH-17-077(TP1)	ริมถนนสุขุมวิทปากซอยเทพารักษ์ 8	300	✓		ปิด
8	FH-17-079 (TP2)	ริมถนนสุขุมวิทใกล้ซอยสุขุมวิท 117	300	✓		ปิด
9	FH-17-078	ในซอยเทพารักษ์ 14	150	✓		ปิด
10	Peak	ในซอยเทพารักษ์	150	✓		ปิด

3.3 การตรวจสอบการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง

3.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

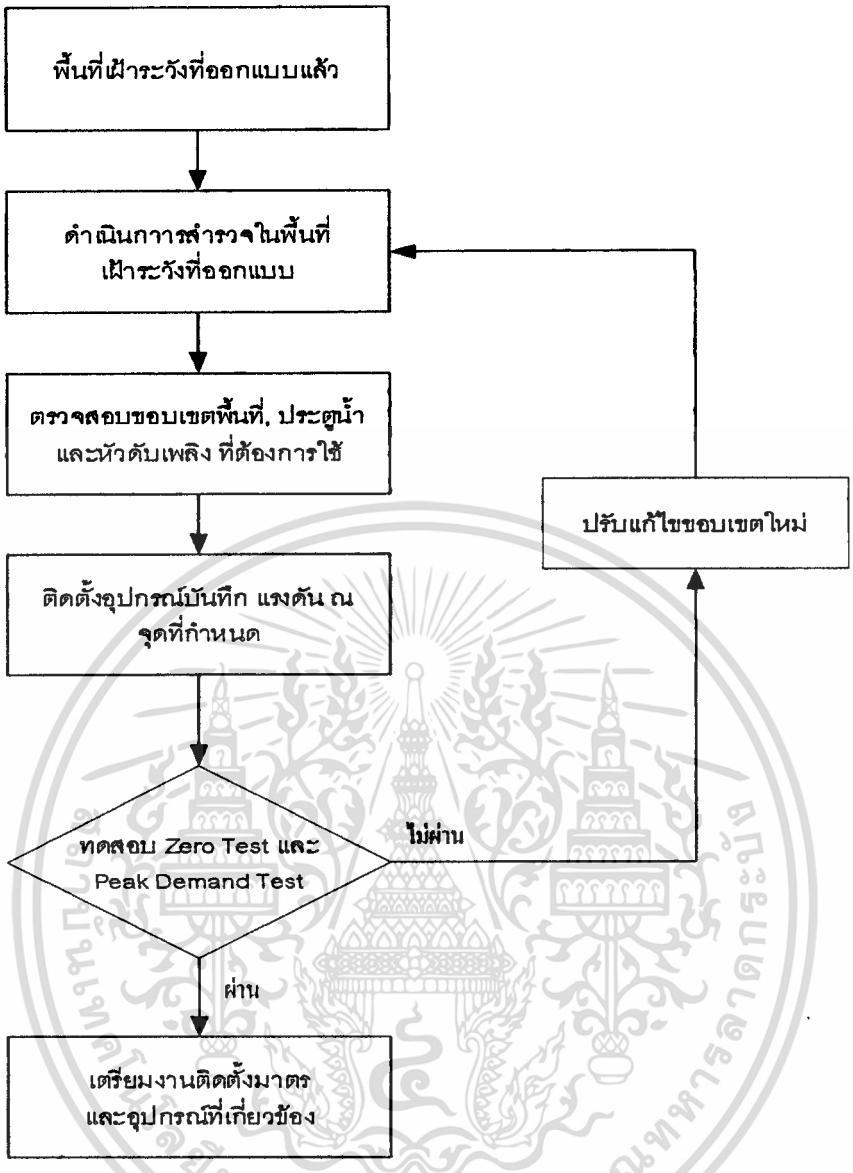
พื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ที่ได้รับการออกแบบเบื้องต้น จะมีการสำรวจและตรวจสอบทางชลศาสตร์ในภาคสนาม ก่อนจะมีการจัดตั้งระบบพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) อย่างถาวรต่อไป โดยจะมีการกำหนดจุดต่างๆ ที่จะให้งานภาคสนามเข้าตรวจสอบและติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำที่หัวดับเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และขั้นตอนการทดสอบพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ดังแสดงในรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ที่ออกแบบเบื้องต้นที่ใช้ในการตรวจสอบและการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำที่หัวดับเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการทดสอบพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA)

3.3.1.1 การทดสอบ Zero Pressure Test

การทดสอบพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ที่ออกแบบก่อนการติดตั้งมาตรวัดน้ำ คือ การทดสอบ Zero Pressure Test **หรือการทดสอบความถูกต้องของพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) เพื่อตรวจสอบว่ามีน้ำผ่านเข้าพื้นที่หรือไม่หลังจากปิดเส้นท่อจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ความเป็นอิสระจากกันของพื้นที่เฝ้าระวังแต่ละพื้นที่ โดยการทดสอบ Zero Pressure Test มีรายละเอียดและวิธีการที่เริ่มต้นจากการปิดการจ่ายน้ำทุกเส้นท่อที่เข้าสู่พื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) แล้ววัดแรงดันน้ำหลายจุดกระจายวัดให้ทั่วพื้นที่**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบ แรงดันน้ำที่จุดวัดทุกตัวที่ติดตั้งภายในพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) จะต้องมีค่าเป็นศูนย์หลังจากที่ทำการปิดการจ่ายน้ำครบทุกเส้นท่อแล้ว ต่อจากนั้นให้เปิดการจ่ายน้ำเข้าเฉพาะจุดที่จะติดตั้งมาตรวัดน้ำของพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) จากนั้นให้อ่านค่าแรงดันน้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกับแรงดันน้ำปกติของพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) นั้น ซึ่งจะต้องประเมินด้วยว่าเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ตามเกณฑ์การออกแบบหรือไม่

รายละเอียดขั้นตอนการทดสอบ Zero Pressure Test

1.ตรวจสอบภาคสนาม

- สำรวจตำแหน่ง และการใช้งานได้ของหัวดับเพลิงที่จะทำการติดอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำ

- ตรวจสอบความสมบูรณ์ของประตูน้ำกั้นขอบเขต

2.ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำ

- ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำที่หัวดับเพลิง

- ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำ สามารถกำหนดได้จากผลการวิเคราะห์โครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำ โดยกำหนดให้มีจุดที่มีแรงดันน้ำสูงสุด แรงดันน้ำเฉลี่ย(ประมาณจุดกึ่งกลางของระบบเส้นท่อ) และจุดที่มีแรงดันน้ำต่ำสุดในพื้นที่ (Critical Pressure Point ; CPP) ในกรณีพื้นที่มีบริเวณกว้างอาจพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำเพิ่มเติมอีก ซึ่งโดยทั่วไปในการทดสอบ Zero Pressure Test จะทำการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำภายในพื้นที่ประมาณ 3 – 5 จุดวัด และอาจมีการติดตั้งจุดวัดแรงดันน้ำของพื้นที่ข้างเคียงตามความเหมาะสมเพื่อให้มั่นใจว่าพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) นั้นไม่มีผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงและถูกแยกออกจากกันโดยสิ้นเชิง

- การบันทึกข้อมูลแรงดันน้ำในอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำ จะบันทึกข้อมูลก่อนการทำ Zero Pressure Test ประมาณ 3 วัน และเก็บค่าทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาที

3.การปิดประตูน้ำกั้นขอบเขต(BDV)

- ปิดประตูน้ำกั้นขอบเขตในพื้นที่ ให้มีน้ำผ่านเข้าจุดติดตั้งมาตรวัดน้ำตามจำนวนที่ออกแบบ

- ตรวจสอบแรงดันน้ำในพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) หลังทำการปิดประตูน้ำกั้นขอบเขตครบทุกตัวจนพื้นที่นั้นเป็นพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) แล้ว ว่ามีแรงดันน้ำเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ปิดประตูน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA)

- ปิดประตูน้ำเข้าพื้นที่บริเวณจุดที่จะทำการทดสอบ เป็นเวลา 20 นาทีโดยประมาณ จนกระทั่งแรงดันน้ำในพื้นที่ลดลงเป็นศูนย์

หลังจากที่การทดสอบแรงดันน้ำเท่ากับศูนย์ (Zero Pressure Test) เสร็จสมบูรณ์ พื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) จะยังคงถูกแยกเป็นพื้นที่วิเคราะห์ทางชลศาสตร์ต่อไป และจะติดตั้งอุปกรณ์บันทึกแรงดันน้ำต่อไปอีกประมาณ 3 วัน โดยเก็บค่าทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาที และพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ดังกล่าวจะอยู่ภายใต้การดูแลอย่างใกล้ชิด เพื่อป้องกันปัญหาและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้ใช้น้ำในพื้นที่

3.3.1.2การทดสอบการใช้น้ำสูงสุด (Peak-Demand Test)

การทดสอบการใช้น้ำสูงสุด (Peak-Demand Test) เป็นขั้นตอนมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA Testing) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจในการจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นเพียงการประกันคุณภาพการให้บริการ (Service Quality Assurance) เพื่อคาดการณ์และป้องกันปัญหาการจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) ล่วงหน้าในช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำสูงสุดเท่านั้น ไม่ใช่ขั้นตอนที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินในการออกแบบ

การทดสอบการใช้น้ำสูงสุด (Peak-Demand Test) เป็นขั้นตอนการทดสอบต่อจากการทดสอบ Zero Pressure Test โดยปิดประตูน้ำกั้นขอบเขตทั้งหมด แล้วให้มีน้ำผ่านเข้าพื้นที่ออกแบบที่จุดติดตั้งมาตรวัดน้ำเป็นเวลา 20-30 นาทีโดยประมาณ และจากนั้นเปิดน้ำที่หัวดับเพลิงในพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) เป็นเวลาประมาณ 5-10 นาที เพื่อจำลอง (Simulate) เหตุการณ์กรณีที่มีความต้องการใช้น้ำสูงสุด และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งหากค่าแรงดันน้ำในจุดวัดต่างๆ โดยเฉพาะจุดวัดในบริเวณที่มีแรงดันน้ำต่ำสุดในพื้นที่ (Critical Pressure Point) มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่มีค่าที่ต่ำมากและซึ่งมีโอกาสสูงที่จะกระทบต่อผู้ใช้น้ำ การจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวังอาจถูกยกเลิกเพื่อทำการปรับปรุงการออกแบบใหม่ หรือพื้นที่เฝ้าระวังดังกล่าวอาจต้องอยู่ภายใต้การเฝ้าระวังเป็นพิเศษภายหลังจากการจัดตั้งต่อไป โดยรายละเอียดวิธีการคำนวณจำนวนหัวดับเพลิงที่จำเป็นต้องเปิดเพื่อเป็นตัวแทนของผู้ใช้น้ำภายในพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{Peak.Flow}{Hydrant.Flow} \quad (3.1)$$

เมื่อ N คือ จำนวนหัวดับเพลิงที่จำเป็นต้องเปิด

Hydrant Flow คือ อัตราการไหลของน้ำจากการเปิดหัวดับเพลิง ซึ่งคำนวณโดยอ้างอิงจากการคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ล้างท่อมาตรฐานของการประปานครหลวง

Peak Flow คือ อัตราการไหลของน้ำในช่วงความต้องการใช้น้ำสูงสุดในพื้นที่เฝ้าระวัง (DMA) โดยที่ค่า Peak Flow สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2)

$$Peak.Flow = \frac{Average.Flow.Into.DMA \times Peak.Factor}{24} \quad (3.2)$$

เมื่อ Average Flow into DMA คือ อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในพื้นที่แต่ละวันซึ่งคำนวณจากการใช้ข้อมูลการใช้น้ำที่ออกใบเสร็จแก่ผู้ใช้น้ำ โดยคิดหารเฉลี่ยต่อวัน (30 วัน ต่อหนึ่งเดือน)

Peak Factor คือ ค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดการใช้น้ำสูงสุดในบางช่วงเวลา รวมทั้งเผื่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นและความคลาดเคลื่อนอื่นๆ โดยทั่วไปมาตรฐานของการประปานครหลวงกำหนดอยู่ที่ 2.5 (หรือ 2.5 เท่าของอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในพื้นที่แต่ละวัน)

3.3.2 ผลการดำเนินการตรวจสอบการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

3.3.2.1 ผลการตรวจสอบประตูน้ำ ก่อนการดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test

ได้สำรวจและตรวจสอบประตูน้ำกันขอบเขต (Boundary Valve) ของพื้นที่เฝ้าระวังที่ได้ออกแบบเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ก่อนดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

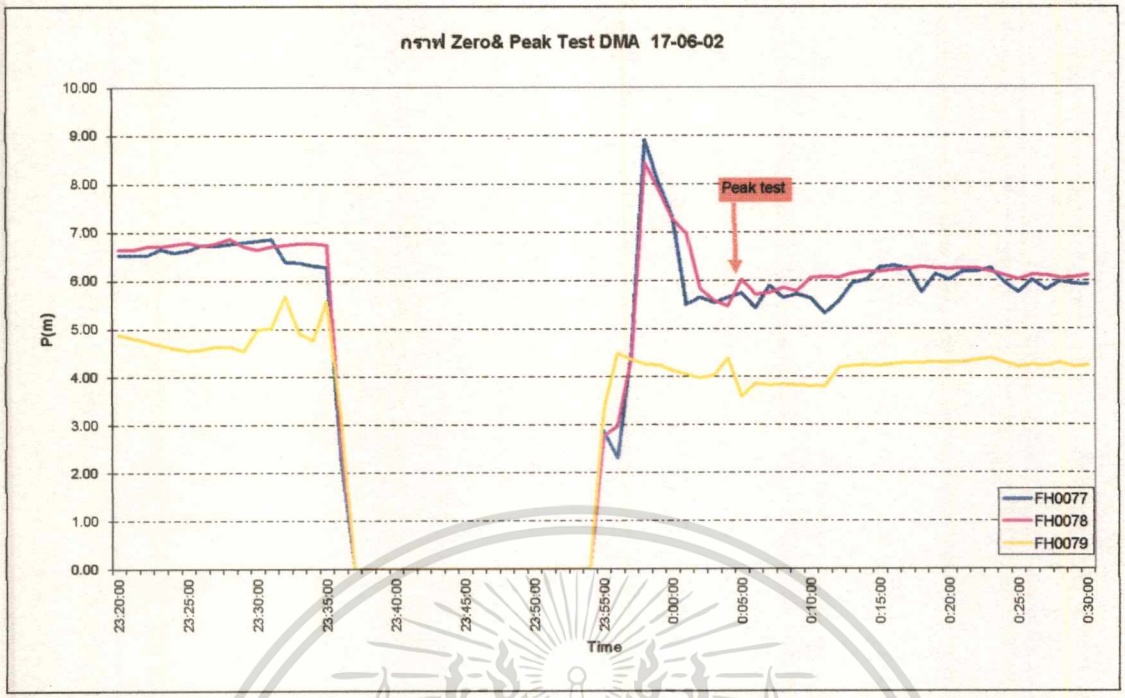
ตารางที่ 3.6 แสดงผลการสำรวจและตรวจสอบประตูน้ำกั้นขอบเขตเบื้องต้น ก่อนดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test ของพื้นที่เฝ้าระวังที่ดำเนินการออกแบบ

ลำดับ	รหัส Code	สถานที่	ขนาด	ใช้ได้	ไม่ได้	สถานะ
1	DM-17-06-02-01	ถ.เทพารักษ์ ขนาด 300 mm. ข้างธนาคารกสิกรไทย	300	✓		เปิด
2	BDV-17-001	ถ.เทพารักษ์ สามแยกสำโรง บริเวณป้อม ตำรวจจราจร	300	✓		เปิด
3	BDV-17-003	ถ.สุขุมวิทบริเวณข้างคาร์ฟูสำโรงเหนือ	300	✓		เปิด
4	BDV-17-004	ถ.สุขุมวิทตัดกับถนนวงแหวนอุตสหกรรม หน้าพิพิธภัณฑ์ช้างเอราวัณ	300	✓		เปิด
5	BDV-17-005	ถ.เทพารักษ์ใกล้ซอยเทพารักษ์ 20 หน้า เรือนทองอาพาร์ทเมนต์	300	✓		เปิด
6	BDV-17-014	ถ.สุขุมวิท หน้าพิพิธภัณฑ์ช้างเอราวัณ	300	✓		เปิด
7	FH-17-077(TP1)	ริมถนนสุขุมวิทปากซอยเทพารักษ์ 8	300	✓		ปิด
8	FH-17-079 (TP2)	ริมถนนสุขุมวิทใกล้ซอยสุขุมวิท 117	300	✓		ปิด
9	FH-17-078	ในซอยเทพารักษ์ 14	150	✓		ปิด
10	Peak	ในซอยเทพารักษ์	150	✓		ปิด

3.3.2.2 ผลการทดสอบ Zero Pressure Test ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

เมื่อตรวจสอบประตูน้ำกั้นขอบเขตพร้อมใช้งานแล้ว ได้ดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test โดยทำการปิดประตูน้ำกั้นขอบเขตเพื่อปิดการจ่ายน้ำทุกเส้นท่อที่เข้าสู่พื้นที่เฝ้าระวัง แล้ววัดค่าแรงดันน้ำที่กระจายอยู่ในพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งต้องมีค่าเป็นศูนย์ขณะที่ปิดประตูน้ำครบทุกจุด เพื่อแสดงถึงความเป็นอิสระต่อกันของพื้นที่เฝ้าระวัง

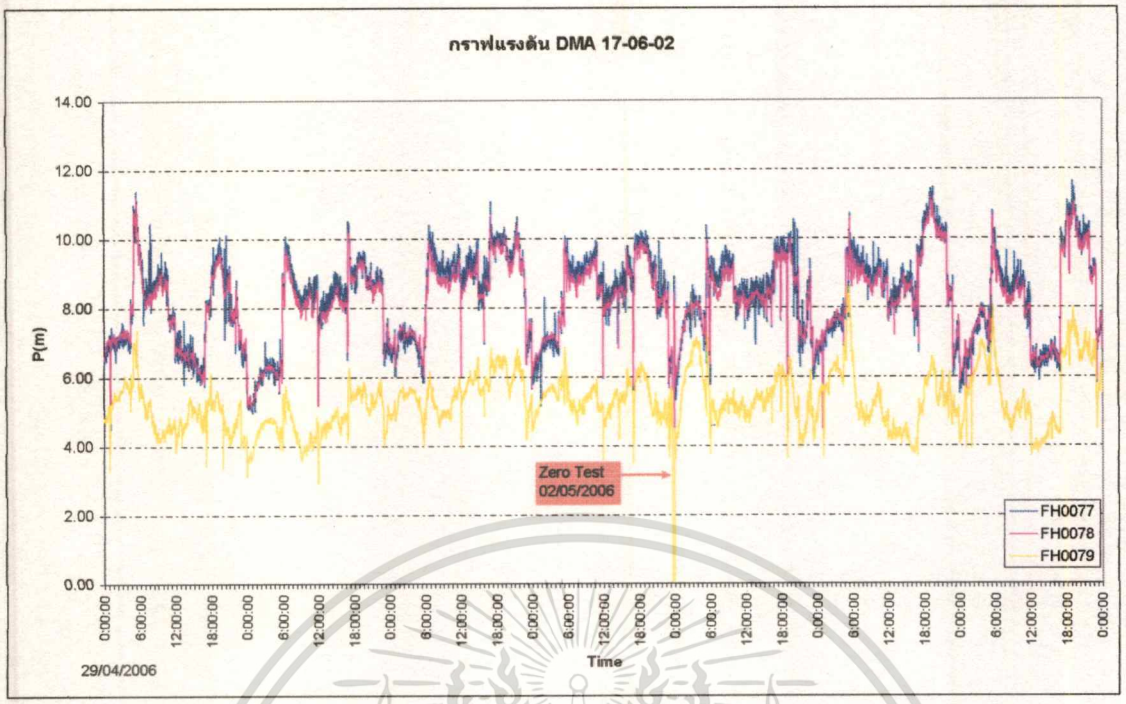
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



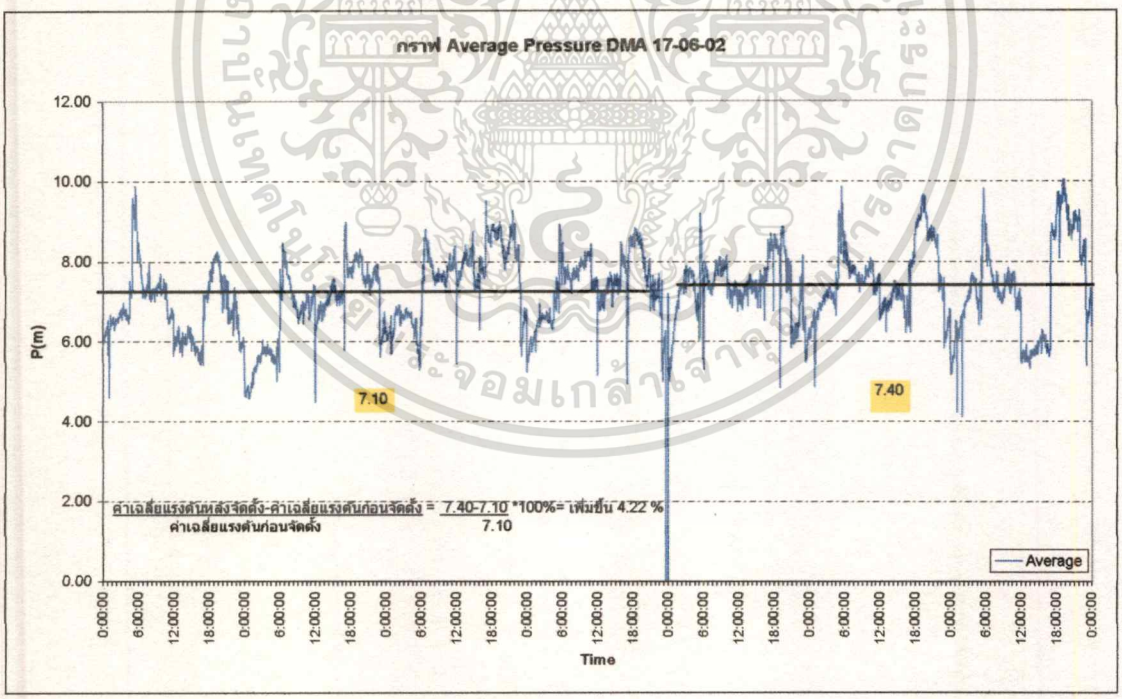
รูปที่ 3.13 แสดงกราฟแรงดันน้ำขณะทำการทดสอบ Zero Pressure Test ของพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

รูปที่ 3.14 แสดงผลแรงดันน้ำในพื้นที่เฝ้าระวังที่มีการบันทึกก่อนดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test ประมาณ 3 วัน ล่วงหน้า และภายหลังการทดสอบ 3 วัน เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาถึงผลกระทบของการจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง หากมีการปิดประตูน้ำกั้นขอบเขตของพื้นที่ดังกล่าวตามที่ได้ออกแบบไว้ นอกจากนี้ ได้คำนวณค่าเฉลี่ยของแรงดันน้ำทั้ง 3 วัน ก่อนและหลังการดำเนินการทดสอบ Zero Pressure Test และการปิดประตูน้ำกั้นขอบเขตเพื่อจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง ดังแสดงในรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงกราฟผลการทดสอบแรงดันน้ำในพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02



รูปที่ 3.15 แสดงกราฟแรงดันเฉลี่ยก่อนและหลังการจัดตั้งพื้นที่เฝ้าระวัง DMA-17-06-02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สรุป

บทนี้ได้อธิบายถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบพื้นที่เฝ้าระวัง หลักการและเหตุผลที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วยหลักเกณฑ์ต่างๆ อาทิ การพิจารณาเส้นแบ่งเขตตามธรรมชาติ การพิจารณาจากโครงสร้างระบบท่อประปา การพิจารณาจากจำนวนผู้ใช้น้ำและความต้องการน้ำในพื้นที่เป็นต้น และทั้งหมดนี้จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์วิเคราะห์ผลในบทต่อไป

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
แนวคิดการพัฒนาระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย

ในการควบคุมน้ำสูญเสียในระบบประปานั้นจะมีรูปแบบกรรมวิธีตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 และบทที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการที่จะลดน้ำสูญเสียให้ได้ผลตามต้องการนั้นจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบทั้ง 4 คือ การบริหารแรงดันน้ำ การควบคุมน้ำสูญเสียเชิงรุก การควบคุมประสิทธิภาพงานซ่อมท่อ การควบคุมมาตรฐานงานออกแบบและวางท่อประปาและงานปรับปรุงท่อ ซึ่งจาก 4 องค์ประกอบพื้นฐานนั้นสามารถจัดการให้น้ำสูญเสียลดลงได้ต่ำสุดแค่ระดับนึง คือน้ำสูญเสียพื้นฐานที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับหลักเศรษฐศาสตร์ความคุ้มทุนด้วย ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดเทคนิคการลดน้ำสูญเสียออกเป็น 2 ส่วนคือ การทำนายค่าความต้องการการใช้น้ำมาใช้กับระบบควบคุมเพื่อควบคุมแรงดันน้ำให้สอดคล้องกับค่าความต้องการในแต่ละพื้นที่ โดยการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยรูปแบบเหตุการณ์ในอดีต (ข้อมูลสถิติ) เพื่อนำผลการวิเคราะห์มาใช้ในการวางแผน ซึ่งรูปแบบเดิมจะใช้วิธีการสูบจ่ายตามช่วงเวลาจากสถานีสูบจ่ายย่อย จ่ายเข้าพื้นที่หลายโซนซึ่งจะเห็นว่าเกิดความขัดแย้งกับค่าความต้องการในหลายๆพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่นโซนพักอาศัยกับโซนโรงงานอุตสาหกรรมจะมีรูปแบบค่าความต้องการที่ไม่เหมือนกัน และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการรับรู้ถึงการรั่วไหลได้เร็ว โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งรูปแบบเดิมใช้แรงงานคนในการเดินสำรวจและการรับแจ้งจากศูนย์รับแจ้งท่อแตกรั่ว (Call Center) และทั้งหมดนี้จะช่วยลดการสูญเสียลงได้โดยตรง

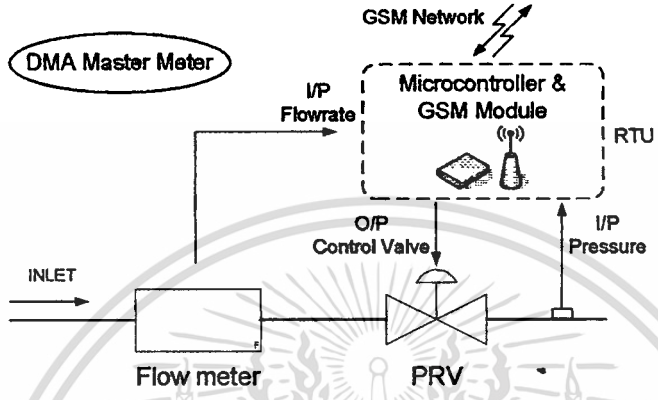
4.1 แนวทางการออกแบบระบบเบื้องต้น

ความสมดุลย์ของน้ำ (Water Balance) เป็นวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาตรน้ำที่เข้ามาในพื้นที่ DMA โดยปริมาตรน้ำที่เข้ามาจะต้องเท่ากับปริมาตรน้ำที่ออกจากระบบ โดยถ้าหากว่าปริมาตรน้ำที่เข้ามาในระบบทั้งหมดก็คือปริมาณน้ำที่วัดได้จากมาตร DMA Master Meter จะต้องเท่ากับปริมาณน้ำที่วัดได้จากมาตรของผู้ใช้น้ำ และปริมาณน้ำสูญเสีย ซึ่งเนื่องจากระบบเป็นระบบปิดปริมาณน้ำสูญเสียก็คือน้ำที่ไหลออกจากระบบโดยไม่ผ่านมาตรวัดและความคลาดเคลื่อนของมาตรวัด

แนวคิดการพัฒนาระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสียที่ได้ออกแบบไว้นั้นจะประกอบไปด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลใช้ในการวัดปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ย่อยเชิงปริมาณและทำให้รู้ถึงลักษณะรูปแบบความต้องการตามช่วงเวลา วาล์วควบคุมแรงดันทำหน้าที่ควบคุมแรงดันน้ำเข้าพื้นที่ย่อย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

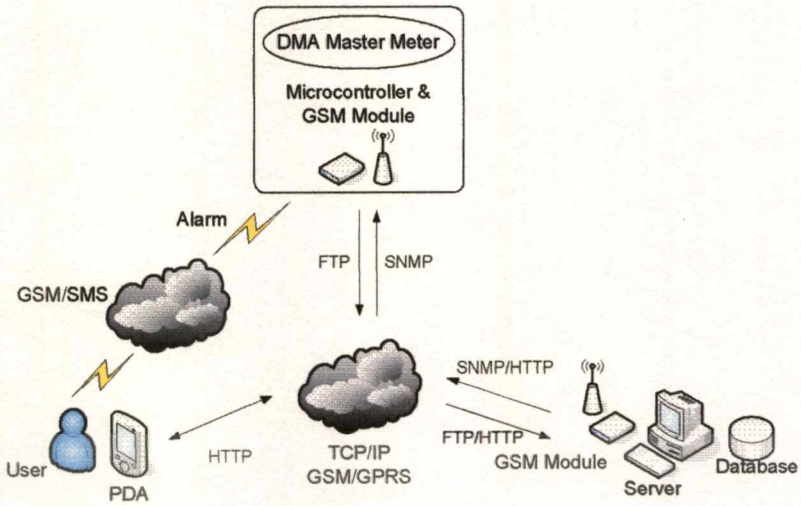
ตามโหมดการทำงานจากหน่วยวัดและควบคุมระยะไกล ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป หน่วยวัดและควบคุมระยะไกลทำหน้าที่เก็บบันทึกข้อมูลอัตราการไหลจากเครื่องวัดอัตราการไหล และข้อมูลแรงดันน้ำเข้าพื้นที่ควบคุม โดยระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสียดังกล่าวจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผังของระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ (Global System for Mobile communication ; GSM) ผ่านระบบบริการ SMS, GPRS ในการติดต่อสื่อสารระหว่างศูนย์ควบคุมและสถานีสนามต่างๆ โดยการตรวจวัดข้อมูลระยะไกลเพื่อเฝ้าระวังและควบคุมน้ำสูญเสียในระบบประปา ซึ่งจะทำให้การติดตามสถานการณ์ต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นเป็นไปอย่างถูกต้องและต่อเนื่อง โดยการทำงานของระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสียจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยวัดและควบคุมระยะไกล และห้องควบคุม โดยหน่วยวัดและควบคุมระยะไกลจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลอัตราการไหล และแรงดันของน้ำในเส้นท่อลงในหน่วยความจำ พร้อมทั้งส่งข้อมูลที่บันทึกไปยัง FTP Server ในกรณีที่ค่าอัตราการไหลและแรงดันเปลี่ยนแปลงเกินขอบเขตที่ควบคุมไว้ หน่วยวัดและควบคุมระยะไกลจะส่ง Alarm แจ้งเตือนต่อผู้ดูแลระบบ ในขณะเดียวกันจะควบคุมแรงดันภายในเส้นท่อให้ต่ำลงตามรูปแบบที่โปรแกรมไว้ด้วย ส่วนคอมพิวเตอร์เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากค่าสถิติที่มีอยู่แล้วของวันอื่นๆที่เวลาเดียวกัน ถ้าค่าที่ได้รับเบี่ยงเบนมากกว่ามาตราฐานที่ตั้งไว้แสดงว่าอาจจะมีการรั่วไหลของน้ำในบริเวณนั้น ซึ่งไม่ใช่การใช้น้ำปกติ ภาพรวมการทำงานของระบบแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



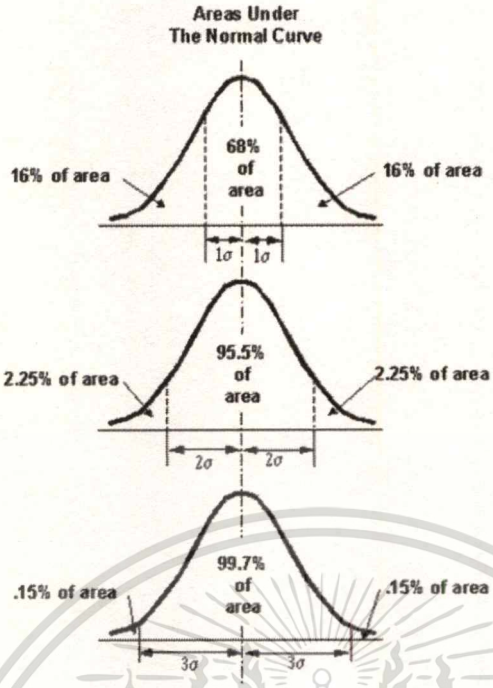
รูปที่ 4.2 ภาพรวมของระบบควบคุมและเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย

4.2 การวิเคราะห์การแตกรั่วของระบบ

ในการวิเคราะห์ผลนั้นจะใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงสถิติมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล และนำผลจากการวิเคราะห์ มาสรุปเกี่ยวกับลักษณะของสิ่งที่สนใจ ซึ่งในที่นี้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำ ปัจจุบันได้มีการนำข้อมูลสถิติ และหลักการทางสถิติไปประยุกต์ใช้เกือบทุกด้าน เพราะข้อมูลสถิติจะช่วยยืนยันความถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นการวางแผนระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาวก็จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสถิติ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่วัดค่าได้จากอัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการบริโภคปริมาณน้ำในพื้นที่ที่กำหนดแต่ละช่วงเวลา และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้ใหม่ว่าอยู่ในช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือไม่ อีกทั้งสถิติที่เก็บได้ยังนำมาวิเคราะห์แนวโน้มการจ่ายน้ำให้สอดคล้องกับการใช้น้ำจริงอีกด้วย

ค่าที่ได้จากการวัด ทุกค่าที่เป็นไปได้ จะถือเป็น Sample point ใน Sample Space หากนำค่าที่ได้จากการวัดมาจัดทำ Histogram (ในตัวแปรสุ่มไม่ต่อเนื่อง) แต่ในตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องค่าที่เป็นไปได้จากการวัดจะมีมากมายนับไม่ถ้วน แล้วเขียนแทนด้วยกราฟเส้นเป็นรูปประมังคว่ำ โดยมีพื้นที่ใต้กราฟแทนค่าที่ได้จากการวัดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.3 Normal Curve

การหาค่าเฉลี่ยหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{n} \tag{4.1}$$

การหาค่าความแปรปรวนหาได้จากสมการที่ (4.2)

$$\upsilon = X_i - \overline{X} \tag{4.2}$$

การหาค่า Standard deviation หาได้จากสมการที่ (4.3)

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum \upsilon^2}{n-1}} \tag{4.3}$$

การหาค่าความคลาดเคลื่อนหาได้จากสมการที่ (4.4)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_s}{\sqrt{n}} \tag{4.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ X_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดเบื้องต้น

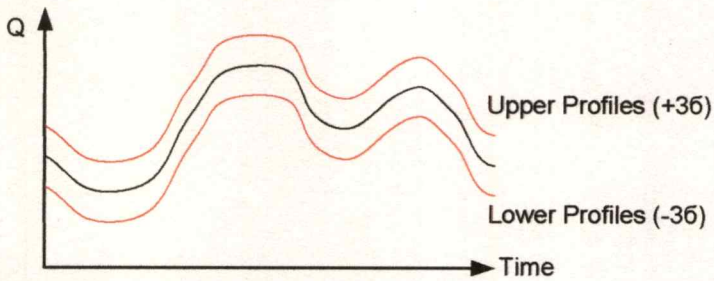
$\sum x$ คือ ผลรวมของข้อมูลที่ได้จากการวัดเบื้องต้น

n คือ จำนวณของข้อมูลที่ได้จากการวัดเบื้องต้น

ในการวิเคราะห์ข้อมูลกรณีท่อแตกของระบบนั้น จะใช้การตั้งค่าขอบเขตล่างและขอบเขตบน โดยค่าขอบเขตที่ตั้งนั้นจะพิจารณาเป็นพื้นที่ไปและจำเป็นอย่างมากที่ต้องทำการเก็บข้อมูลสถิติมาเป็นจำนวนมากๆเพื่อใช้พิจารณาในการตั้งค่าขอบเขต โดยพิจารณาความต้องการน้ำสูงสุดและความต้องการน้ำต่ำสุดในแต่ละวัน ต้องไม่เกินค่าขอบเขต (Upper/Lower Limit Alarm) ถ้าเกินแสดงว่าไม่ใช่ความต้องการน้ำแต่เป็นการแตกรั่วของระบบ ดังแสดงลักษณะการวิเคราห์ในรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 การตั้งขอบเขตล่างและขอบเขตบนเพื่อใช้วิเคราะห์กรณีท่อแตก

ในการวิเคราะห์ข้อมูลกรณีท่อรั่วของระบบนั้น จะเป็นการเฝ้าระวังและกำหนดขอบเขตในทุกๆช่วงเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูล (15 นาที) อย่างละเอียด โดยค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน (Upper/Lower Profiles Alarm) เพราะกรณีท่อรั่วจะไม่เหมือนกันกรณีที่ท่อแตกระเบิด แต่จะเป็นลักษณะการแตกรั่วที่ระดับความรุนแรงไม่มากนัก ซึ่งถ้าไม่มีการเฝ้าระวังค่าอย่างใกล้ชิดจะเป็นการยากในการรับรู้ได้ ดังแสดงลักษณะการวิเคราห์ในรูปที่ 4.5

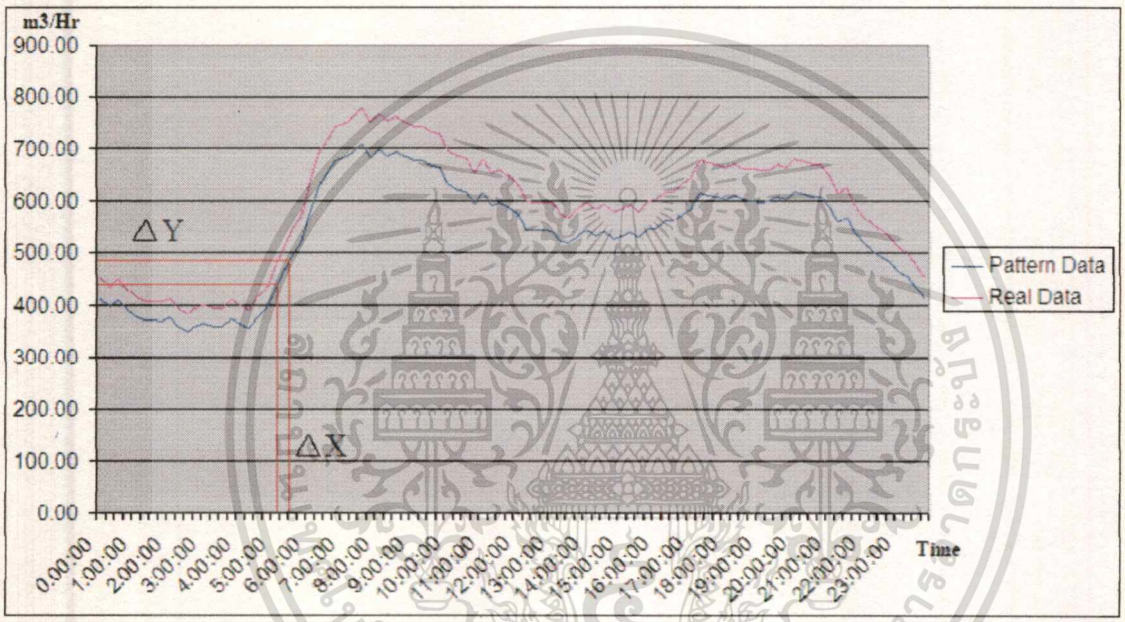


รูปที่ 4.5 การตั้งขอบเขตล่างและขอบเขตบนเพื่อใช้วิเคราะห์กรณีท่อรั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทำนายค่าความต้องการการใช้น้ำ

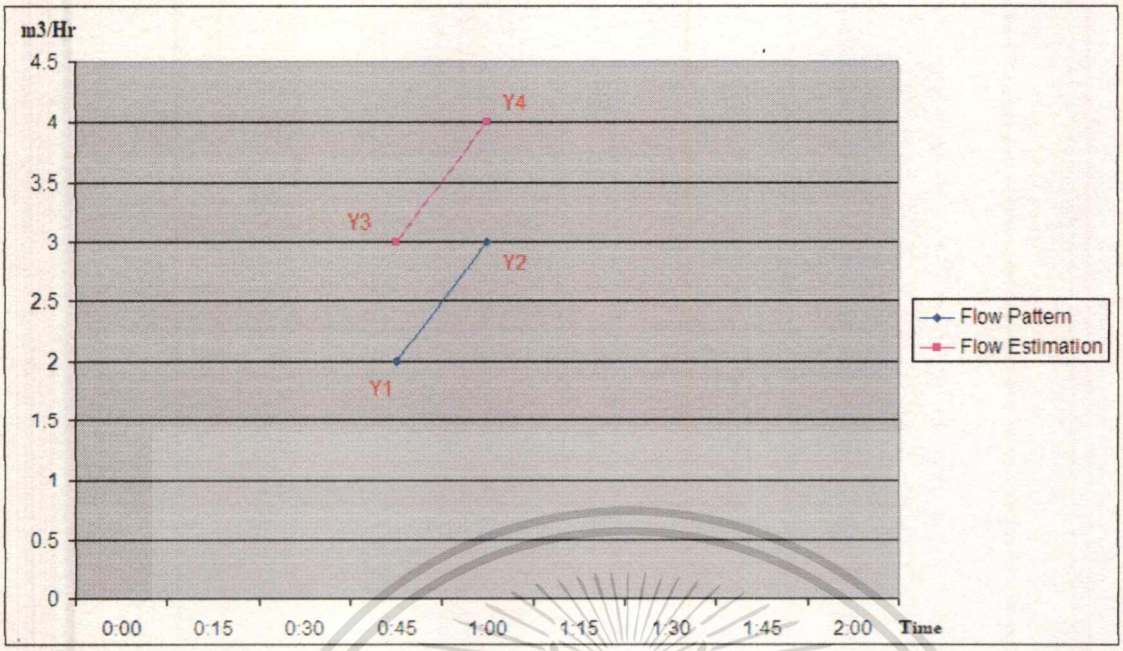
การทำนายค่าความต้องการการใช้น้ำมาใช้กับระบบควบคุมเพื่อควบคุมแรงดันน้ำให้สอดคล้องกับค่าความต้องการในแต่ละช่วงเวลาจะทำทุกๆ 15 นาที และใช้วิธีการนำรูปแบบข้อมูล (Data Pattern) ในอดีตมาช่วยทำนายค่าในอนาคต ซึ่งวิธีการทำนายนี้จำเป็นจะต้อง Update Pattern ใหม่เข้ามาเสมอเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของประชากรและความถูกต้องยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบความต้องการและการทำนายในหนึ่งวัน

จากข้อมูลความต้องการเมื่อทำการขยายข้อมูลลงไปในจุด 2 จุดทุกๆ 15 นาที กราฟจะเป็นเส้นตรง เพราะข้อมูลที่บันทึกจะทำทุกๆ 15 นาที ดังนั้นการทำนายค่าความต้องการจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.7 และสมการที่ (4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบความต้องการเมื่อขยาย

ในการทำนายค่าความต้องการสามารถหาได้จากสมการที่ (4.5)

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y_4 - Y_3}{X_2 - X_1} \tag{4.5}$$

เมื่อจัดรูปแบบใหม่จะได้เป็น

$$Y_4 = (Y_2 - Y_1) + Y_3 \tag{4.6}$$

เมื่อ Y_1 คือค่า Flow Pattern ณ.เวลา X_1

Y_2 คือค่า Flow Pattern ณ.เวลา X_2

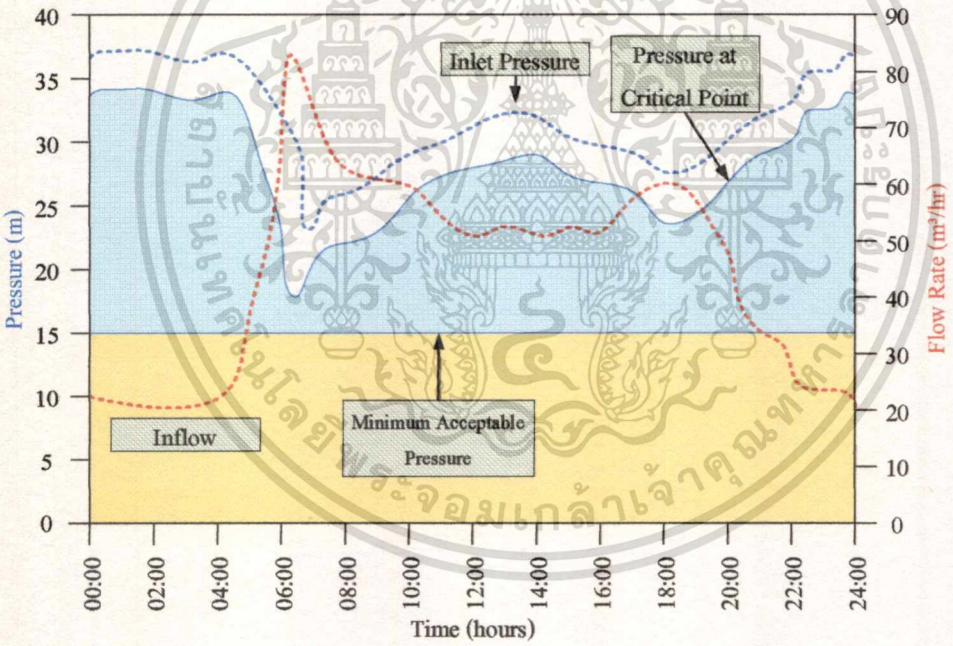
Y_3 คือค่า Flow ที่วัดได้ ณ.เวลาปัจจุบัน

Y_4 คือค่า Flow จากการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

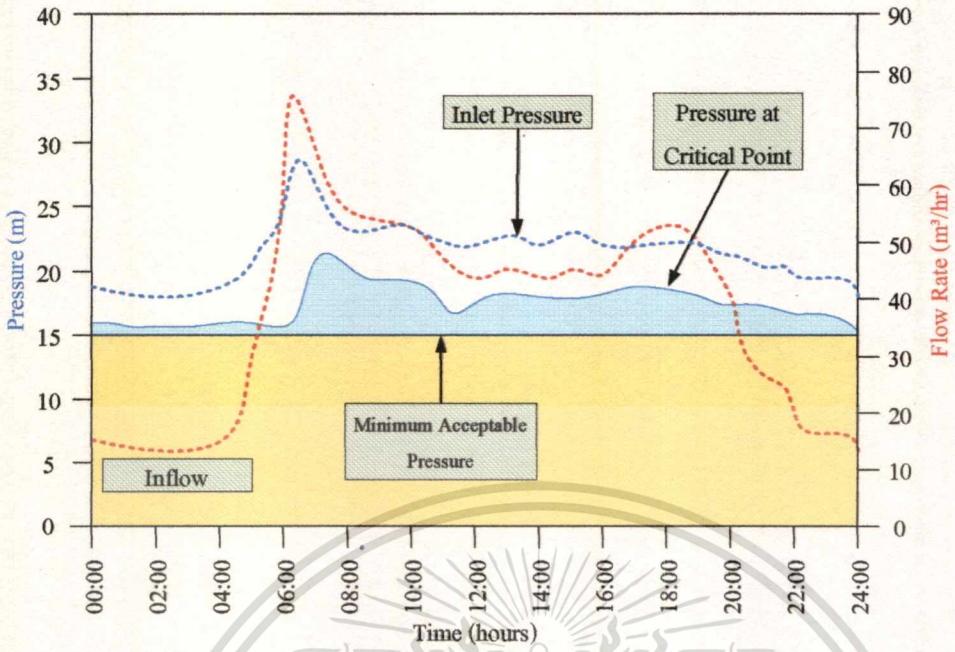
4.4 แนวคิดการควบคุมแรงดันน้ำเพื่อลดการสูญเสีย

ระบบจ่ายน้ำที่ไม่มีการควบคุมความดัน ช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำน้อย เช่นตอนกลางคืน แรงดันเฉลี่ยในระบบท่อจะสูงกว่าในช่วงเวลาที่ใช้น้ำมาก ทำให้น้ำสูญเสียในตอนกลางคืน มีค่าสูงกว่าน้ำสูญเสียในตอนกลางวัน (เพราะปริมาณน้ำสูญเสียขึ้นกับแรงดันน้ำ) ดังนั้นการควบคุมความดันน้ำในระบบจ่ายจะใช้วิธีปรับค่าความดันน้ำให้เหมาะสม ด้วยการปรับการเปิดประตูน้ำ หมายความว่าในช่วงความต้องการใช้น้ำสูง ประตูน้ำจะเปิดมาก เพื่อให้แรงดันภายในระบบสูงพอที่จะจ่ายน้ำได้ แต่ในช่วงความต้องการใช้น้ำต่ำ ประตูน้ำจะเปิดน้อยเพื่อให้ความดันภายในระบบต่ำ แต่จะต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมที่พื้นที่ปลายทาง (Critical Point) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ผู้ใช้น้ำจะร้องเรียนว่าแรงดันต่ำเสมอ รูปที่ 4.8 แสดงการจ่ายน้ำแบบไม่มีการควบคุม และรูปที่ 4.9 แสดงการจ่ายน้ำแบบมีการควบคุมแรงดันน้ำให้สมดุลกับความต้องการ



รูปที่ 4.8 แสดงการจ่ายน้ำแบบไม่มีการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงการจ่ายน้ำแบบมีการควบคุมแรงดันน้ำให้สมดุลกับความต้องการ

การไหลของของไหลในท่อเป็นการไหลของของไหลแบบเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อ ทำให้เกิดความดันภายในท่อ ซึ่งการใช้ท่อเป็นระบบส่งผ่านของไหลนั้นสามารถแบ่งรูปแบบการไหลได้ 2 ชนิดหลักๆคือ การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน อีกทั้งจะเกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น อันเนื่องมาจากขนาดเส้นผ่าศูนกลางท่อ ความยาวท่อ ความขรุขระของผนังท่อ ความหนืดของของไหล ความเร็วในการไหล เมื่อของไหลไหลจากหน้าตัดที่ 1 ไปหน้าตัดที่ 2 จะเกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น ซึ่งจากสมการพลังงานของเบอร์นูลลีที่รวมพลังงานความดัน พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ เอาไว้จึงต้องรวมการสูญเสียพลังงานด้วยดังสมการที่ (4.7)

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1+H_a=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+H_L \qquad (4.7)$$

เมื่อ P คือ ความดัน

V คือ ความเร็วของน้ำ

Z คือ ค่าระดับของท่อที่ภาคตัด i ของการไหล

H_a คือ Head ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสูบ (meter of water)

H_L คือ Head loss ของประตูน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Head loss ของประตูน้ำแสดงได้ดังสมการการสูญเสียพลังงานของ Darcy – Weisbach ดังสมการที่ (4.8)

$$H_L = f\frac{L}{d}\cdot\frac{V^2}{2g} \tag{4.8}$$

เมื่อ H_L คือ headloss (Length)

g คือ acceleration of gravity in(Length/Time/Time)

L คือ pipe length (Length)

d คือ pipe diameter (Length)

V คือ flow velocity (Length/Time)

f คือ friction factor (unitless)

4.5 การออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ที่ RTU

อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลองมีหน้าที่หลักคือตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ และแรงดันน้ำในเส้นท่อในตำแหน่ง DMA Master Meter และควบคุมวาล์วลดแรงดันตามโหมดที่โปรแกรมไว้ พร้อมทั้งทำหน้าที่รับส่งข้อมูลไปศูนย์ควบคุม

คุณสมบัติทั่วไปของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

ใช้ Microcontroller AVR AT mega128 ควบคุมการทำงาน

มีการต่อร่วมกับ GSM Module Class 12 ผ่านวงจรสื่อสารอนุกรม UART

ขนาดหน่วยความจำ 2000 ข้อมูล

ความถี่ในการบันทึกทุกๆ 1-15นาที

การสื่อสาร RS 232 และ SMS และGPRS

หน้าจอ LCD

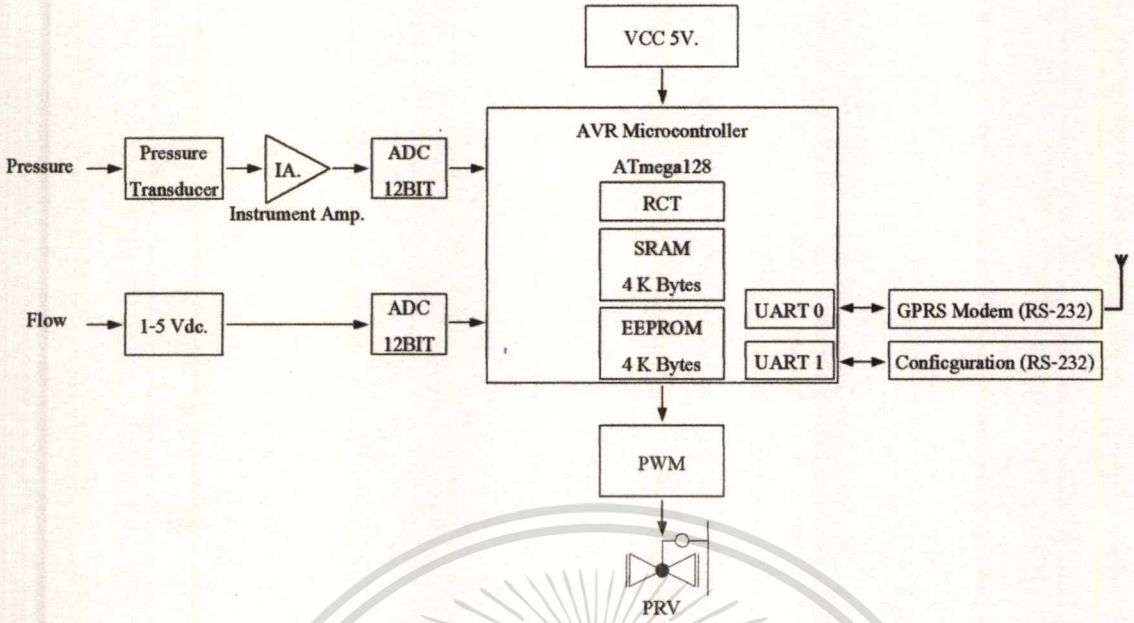
ไฟเลี้ยง 9 Vdc.

2 Analog Input (Ch1.Flow : Ch2.Pressure)

1 Analog Output

ระบบแจ้งเตือน Alarm

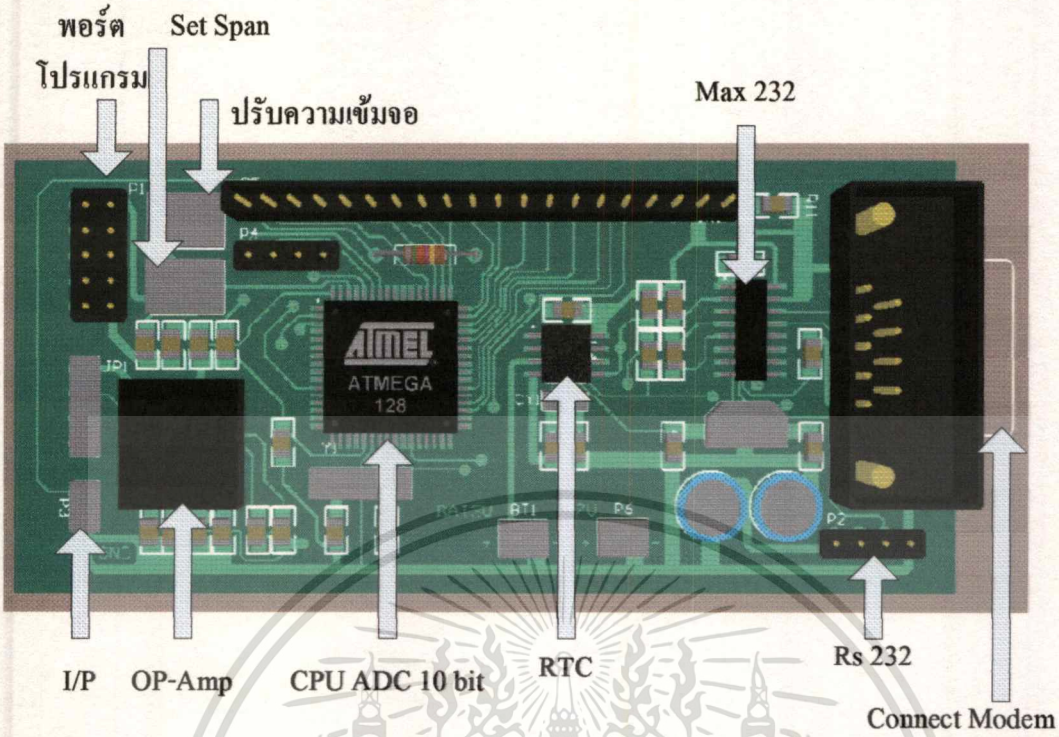
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



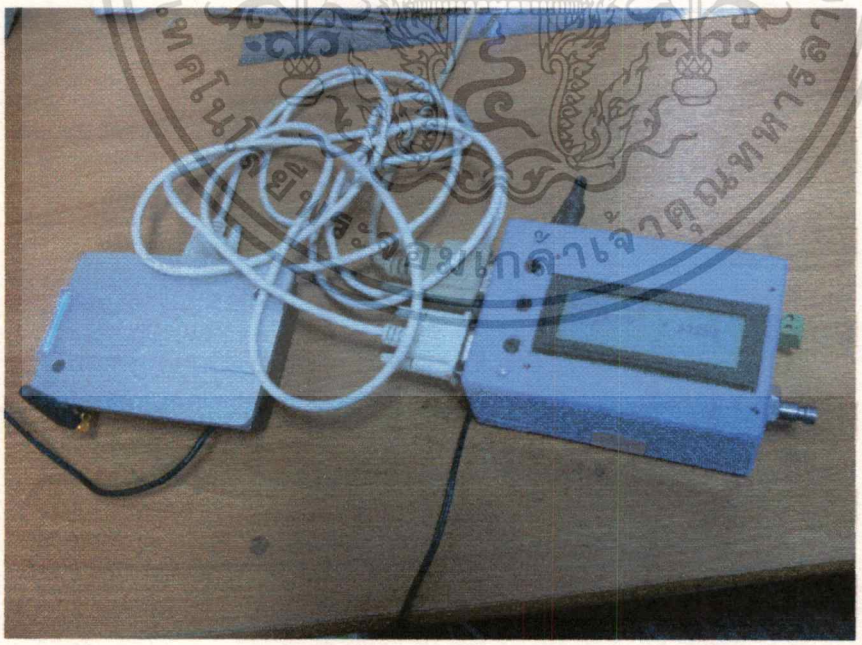
รูปที่ 4.10 โครงสร้างภายในของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

โครงสร้างส่วนประกอบของดาต้าล็อกเกอร์ที่ออกแบบไว้จะใช้ CPU ATMEGA 128 ควบคุมการทำงานทั้งหมด โดย CPU จะต่อกับ ADC 12 Bit ภายนอกทำหน้าที่รับข้อมูลอินพุท 2 ช่องจาก Pressure และFlow โดยช่องของPressure จะผ่านวงจร Instrument Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากตัว Pressure Transducer ส่วนช่องของ Flow จะรับสัญญาณมาตราฐาน 1-5 V.จาก Master Meter ในการเก็บข้อมูลจะถูกควบคุมจากฐานเวลา RTC จัดเก็บข้อมูลทุกๆ 2วินาที และทำการหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 15 นาที บันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ EEPROM ภายใน CPU แล้วส่งข้อมูลในรูปแบบ FTP ผ่านระบบGPRS ไปยัง Server ในกรณีที่ดาต้าล็อกเกอร์วิเคราะห์ได้ว่าเกิด Alarm จะส่งข้อมูลในรูปแบบ SMS แจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลระบบ พร้อมกับปรับลดวาล์วแรงดันตามที่โปรแกรมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

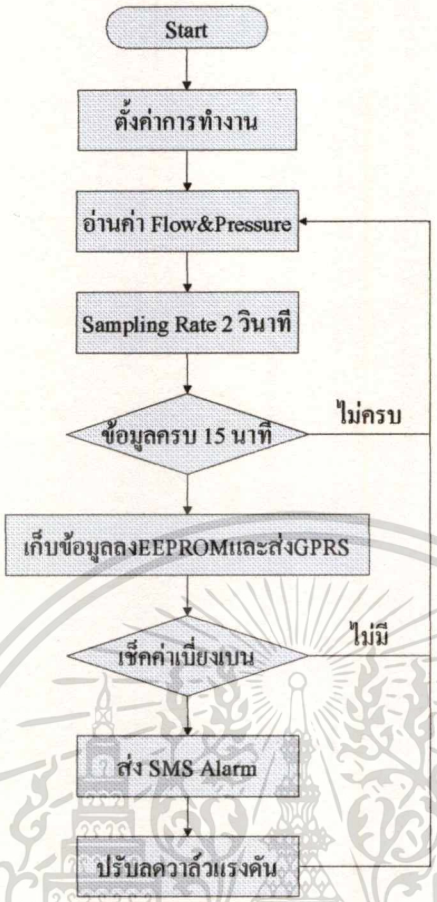


รูปที่ 4.11 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 4.12 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลอง

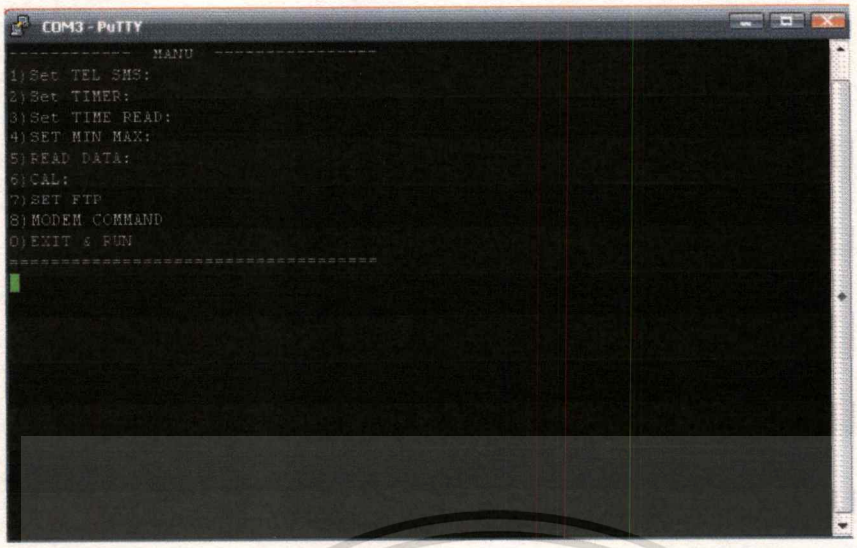
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผังการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

การตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์คือการตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐานเบื้องต้นก่อนที่จะสั่งให้เครื่องเริ่มทำงานภายใต้คำสั่งนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 หัวข้อที่ 1) Set Tel SMS คือการตั้งค่าเบอร์โทรศัพท์ผู้ดูแลระบบใช้ในกรณีที่ระบบเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินโดยเครื่องจะส่งข้อมูลแจ้งเตือนต่อผู้ดูแลระบบ หัวข้อที่ 2) Set Timer คือการตั้งค่าฐานข้อมูลเวลาให้กับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์นี้ หัวข้อที่ 3) Set Time Read คือการตั้งช่วงความถี่ในการบันทึกข้อมูล หัวข้อที่ 4) Set Min Max คือการตั้งค่าขอบเขตค่าต่ำและค่าสูง หัวข้อที่ 5) Read Data คือการเรียกอ่านข้อมูล หัวข้อที่ 6) Cal คือการ Calibration หัววัดแรงดันน้ำ (Pressure Transducer) หัวข้อที่ 7) Set FTP คือการตั้งค่า Connection ในการส่งข้อมูลแบบ FTP หัวข้อที่ 8) Modem Command ใช้ในการทดลองคำสั่ง AT Command ของ Modem และหัวข้อที่ 9) Exit & Run คือเมนูในการออกจากหน้าตั้งค่าข้อมูลโดยเครื่องจะทำการบันทึกข้อมูลการตั้งค่าทั้งหมดพร้อมเริ่มการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 หน้าโปรแกรมตั้งค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น

รูปที่ 4.15 การติดตั้งอุปกรณ์วัดข้อมูลภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การออกโปรแกรมที่ห้องควบคุม

ในการแก้ปัญหาดังกล่าวของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้โปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ทำการสร้างขึ้นเพื่อควบคุม ติดตาม บันทึกผลข้อมูลทั้งหมดไว้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูล ในจุดนี้จะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลภภายหลังทำได้สะดวกมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.6.1 โปรแกรมแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูล

Hardware ที่ใช้

1.เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ทำ Server

2.MODEM ADSL เพื่อใช้เชื่อมต่อกับ Internet

3.HUB เพื่อทำระบบ LAN

Software ที่ใช้

1.Java 1.4 เพื่อใช้เป็น Runtime ให้กับ JBoss 4.0

2.JBoss 4.0 เพื่อใช้เป็น Web Server สำหรับ Jsp/Servlet

3.FTP Server ใช้เป็น Server ในการ Upload/Download ไฟล์

4.MySql ใช้เป็นฐานข้อมูลของระบบ

5.Macromedia Dreamweaver ใช้ในการทำเว็บ

6.JBuilder X ใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม Java

7.Navicat ใช้เป็นเครื่องมือจัดการฐานข้อมูล MySql

8.Power Designer ใช้ออกแบบตารางฐานข้อมูล

คุณสมบัติของโปรแกรมซอฟท์แวร์

1. มีการเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกผ่าน Webpage
2. สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรายวันได้จาก Night flow
3. สามารถวิเคราะห์ดุลยภาพของระบบเป็นรายปีได้จากสถิติ และฐานข้อมูล
4. คำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพของระบบ
5. ใช้หลักการของ IWA Standard
6. ง่ายต่อผู้ดูแลระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์ จะทำตามขั้นตอนดังนี้

1.แต่ละ DMA จะส่งข้อมูล Pressure/Flow Rate ในรูปแบบ Text ไฟล์ผ่านทาง GSM Modem โดยใช้ GPRS เพื่อการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง ไปยัง FTP Server ที่ติดตั้งไว้ ซึ่งจะมีการส่งข้อมูลทุกๆ 15 นาที โดยมีโครงสร้างดังนี้

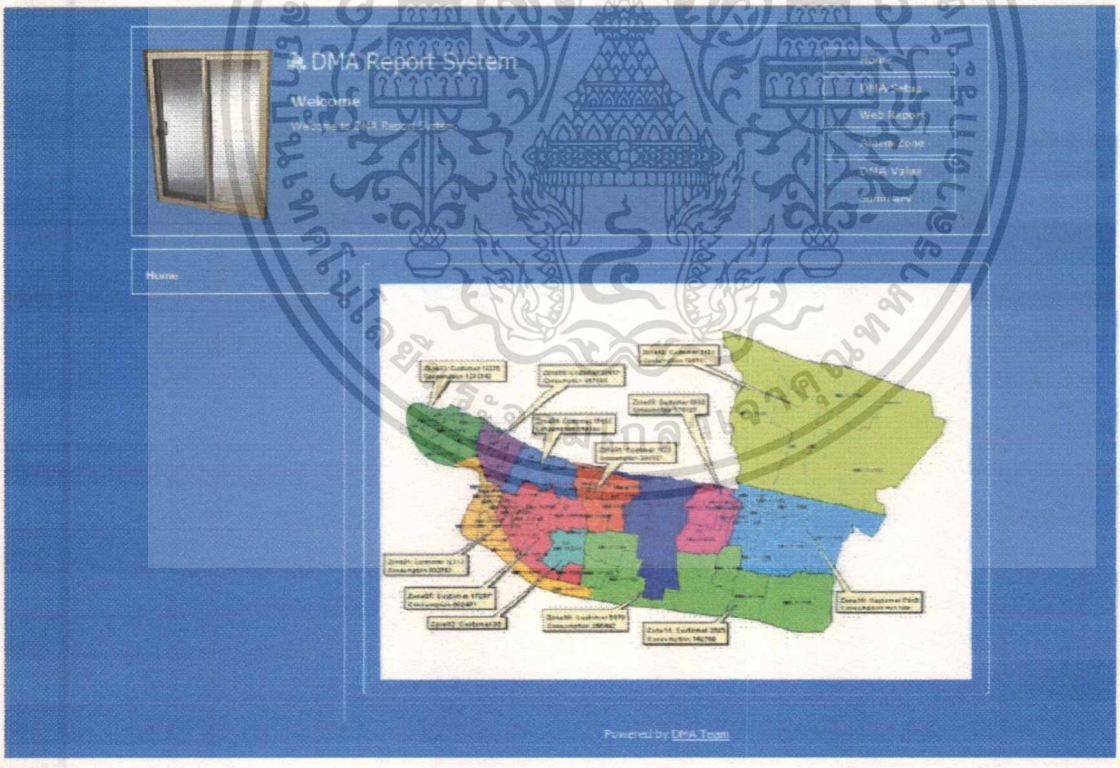
- การตั้งชื่อไฟล์ จะประกอบด้วย ชื่อ Zone, ชื่อ DMA, ปี/เดือน/วัน และเวลา เช่น zone1-dma1-20080101-1200.log

- รูปแบบข้อมูล จะประกอบด้วย ปี/เดือน/วัน, เวลา, ค่า Pressure และค่า Flow Rate เช่น 2008/01/01,12:00,1.00,1.00

2.ในฝั่งของ Web Server จะมีโปรแกรม Batch ซึ่งจะทำงานอัตโนมัติทุกๆ 15 นาที ใช้สำหรับการ Download ข้อมูล Text ไฟล์ของ Pressure/Flow Rate ใน FTP Server และเก็บเข้าสู่ฐานข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลในระบบเว็บต่อไป

3.โครงสร้างระบบเว็บจะประกอบด้วย ดังนี้

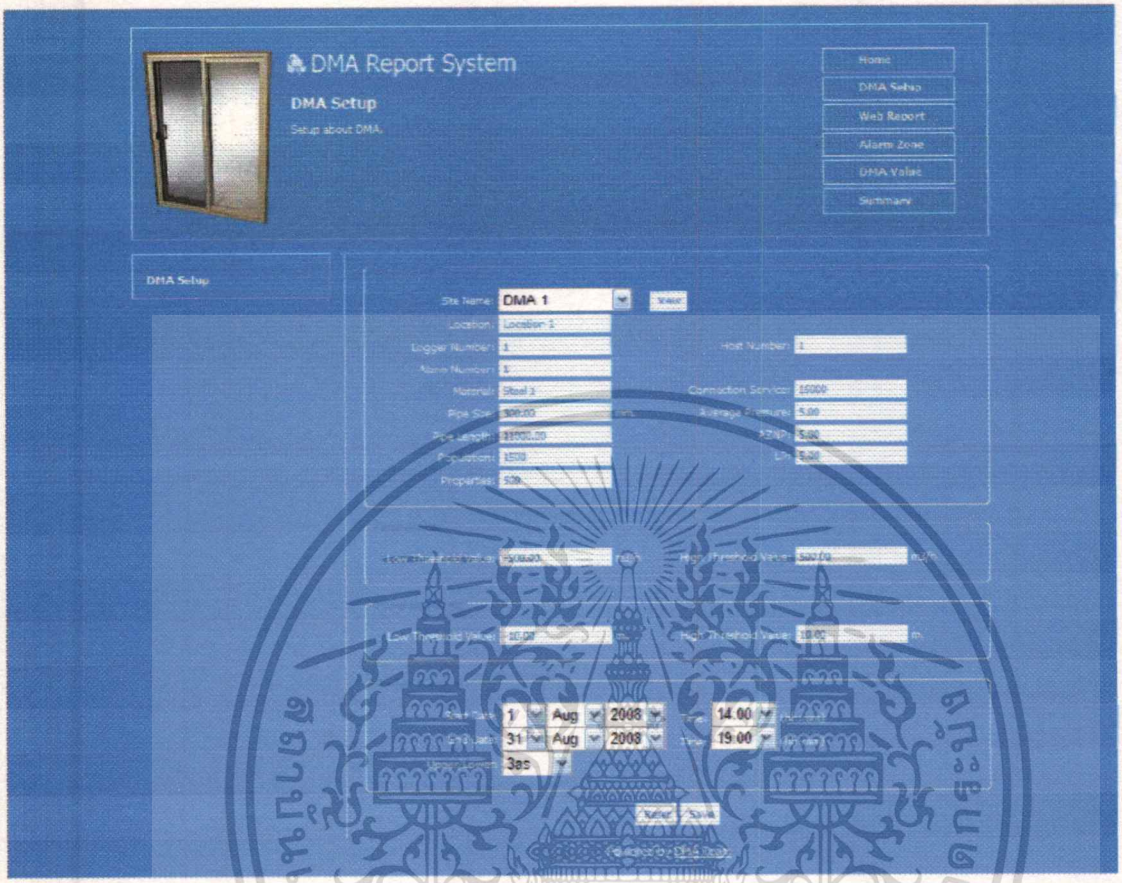
- หน้าจอหลักดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงภาพหน้าจอหลักของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

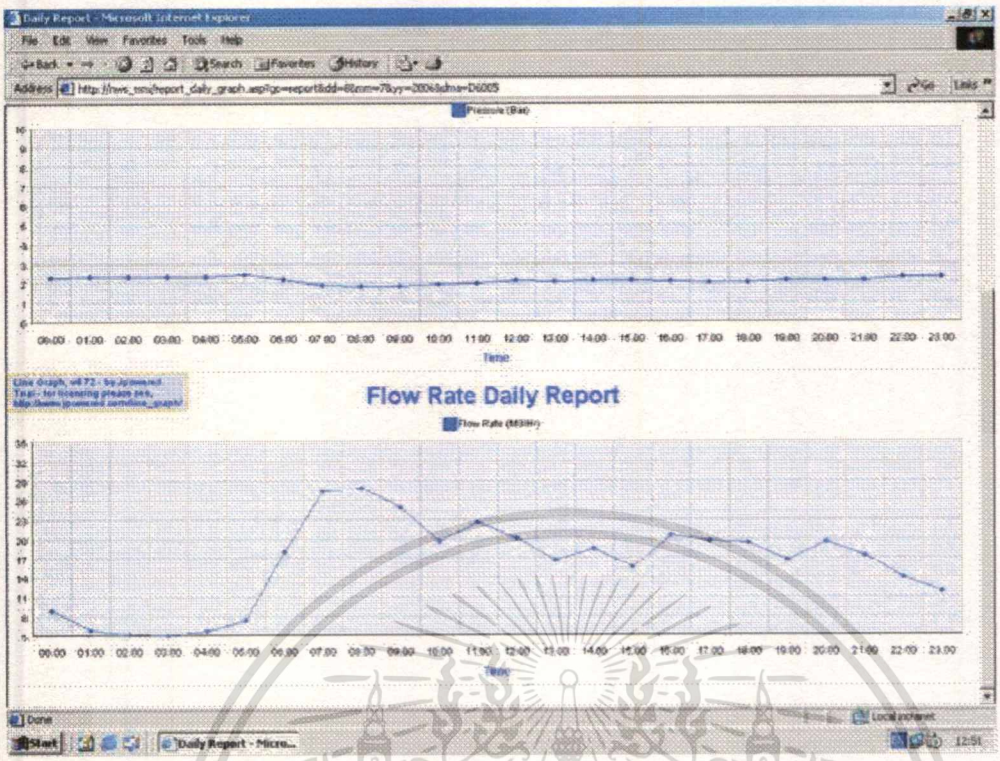
- หน้าจอการตั้งค่าข้อมูลทั่วไปแต่ละ DMA ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงภาพหน้าจอการตั้งค่าข้อมูลทั่วไปของแต่ละ DMA

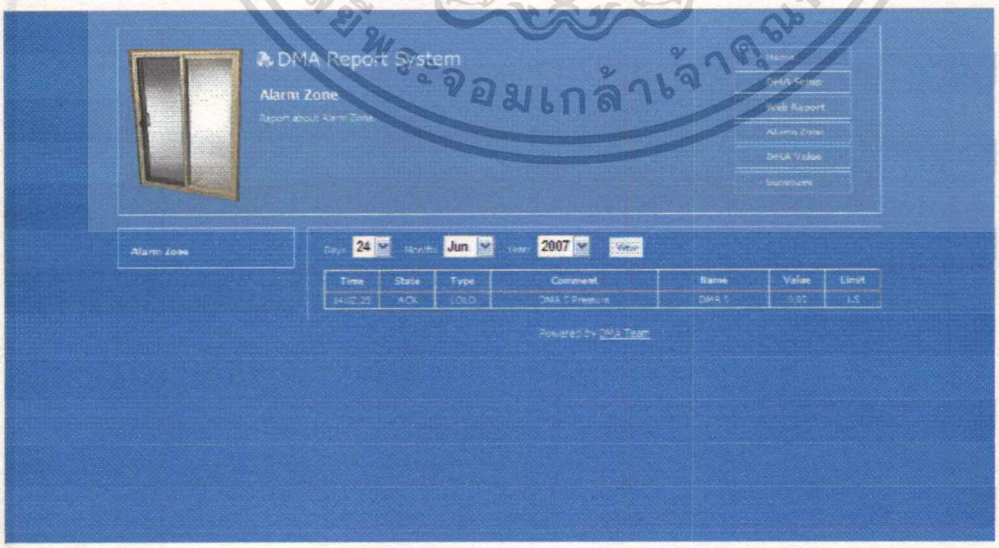
- หน้าจอแสดงผลรายงานสำหรับแต่ละ DMA จะแสดงกราฟของ Pressure และ Flow Rate สามารถเลือกการแสดงผลแบบรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน และเลือกช่วงที่ต้องการเองได้ ถ้าข้อมูล Flow/Pressure มีค่ามากกว่าหรือต่ำกว่าค่า Alarm ที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลและส่งไปแสดงผลที่เมนู Alarm Zone ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงภาพหน้าจอแสดงผลรายงานสำหรับ DMA

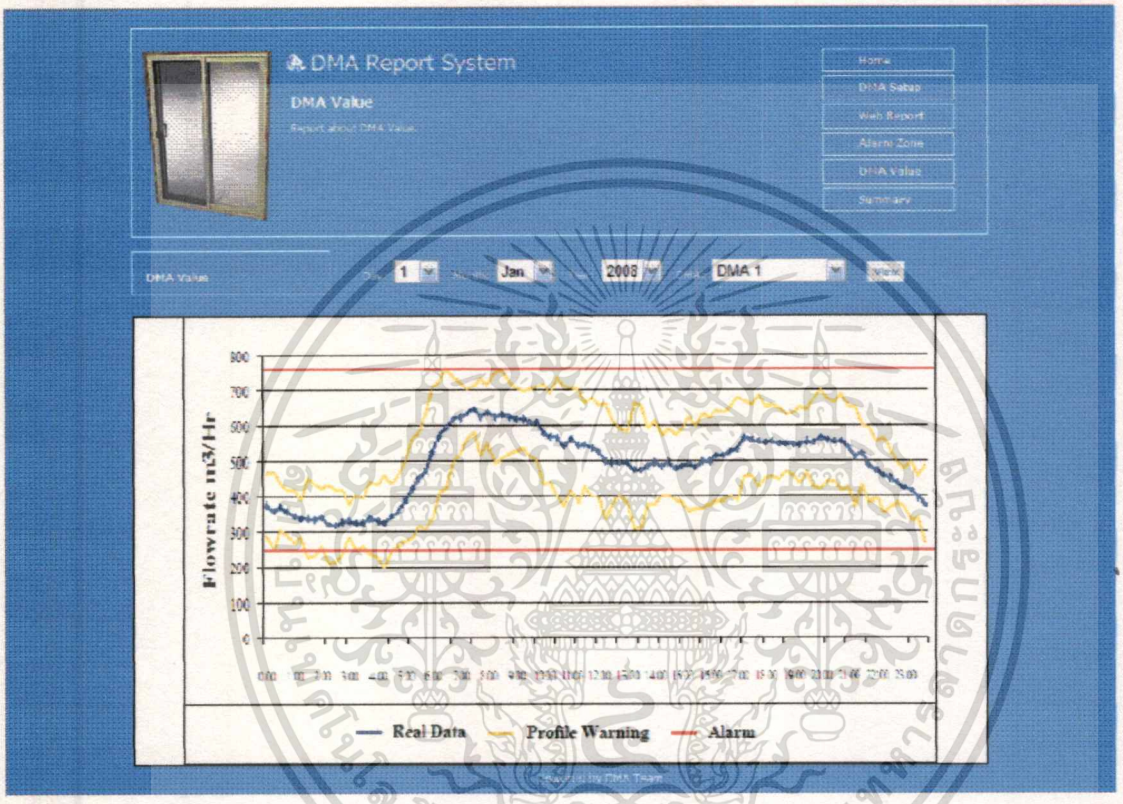
- หน้าจอแสดงผลของ Alarm Zone กรณีที่ DMA ใดๆ มีข้อมูล Pressure/Flow Rate ผิดปกติหรือเกินขอบเขตของค่าปกติที่กำหนดไว้ จะแสดงผลที่หน้าจอนี้ให้ผู้ดูแลระบบทราบ และส่ง SMS แจ้งไปยังผู้เกี่ยวข้องเพื่อดำเนินการแก้ไขจุดที่ผิดปกติต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงภาพหน้าจอแสดงผล Alarm Zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

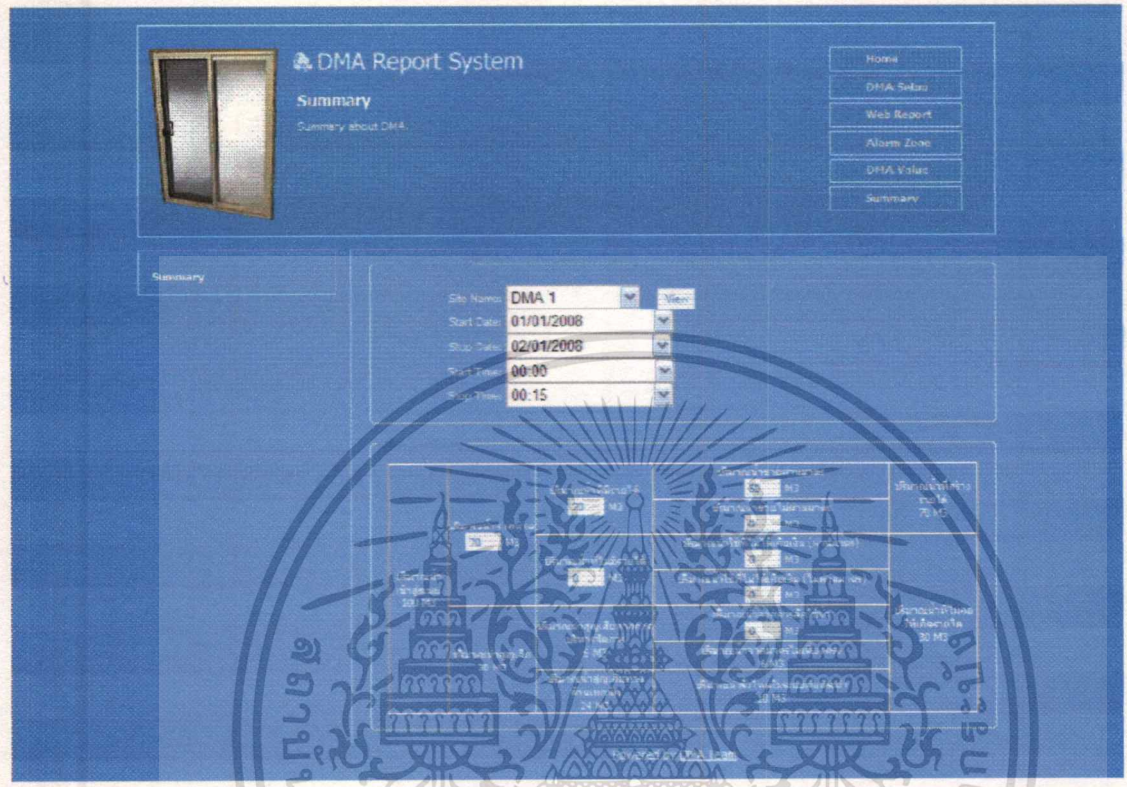
- หน้าจอแสดงผลของ DMA Value จะแสดงข้อมูลในวันที่ปัจจุบันโดยสามารถเลือกดู DMA ที่ต้องการได้ โดยค่า Flow Rate Alarm จะเอามาจากการตั้งค่าให้กับ DMA มาใช้ และ Profile Alarm จะนำค่าที่ได้จากการเฉลี่ยตามช่วงเวลาเดียวกันของเดือนก่อนหน้ามาใช้ หากค่า Flow ของวันปัจจุบันมีค่ามากกว่าหรือต่ำกว่าค่า Alarm ที่แสดงในกราฟจะแสดงผลดังกล่าวไปที่เมนู Alarm Zone เพื่อแจ้งให้ผู้ดูแลระบบทราบต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงภาพหน้าจอแสดงผล DMA Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

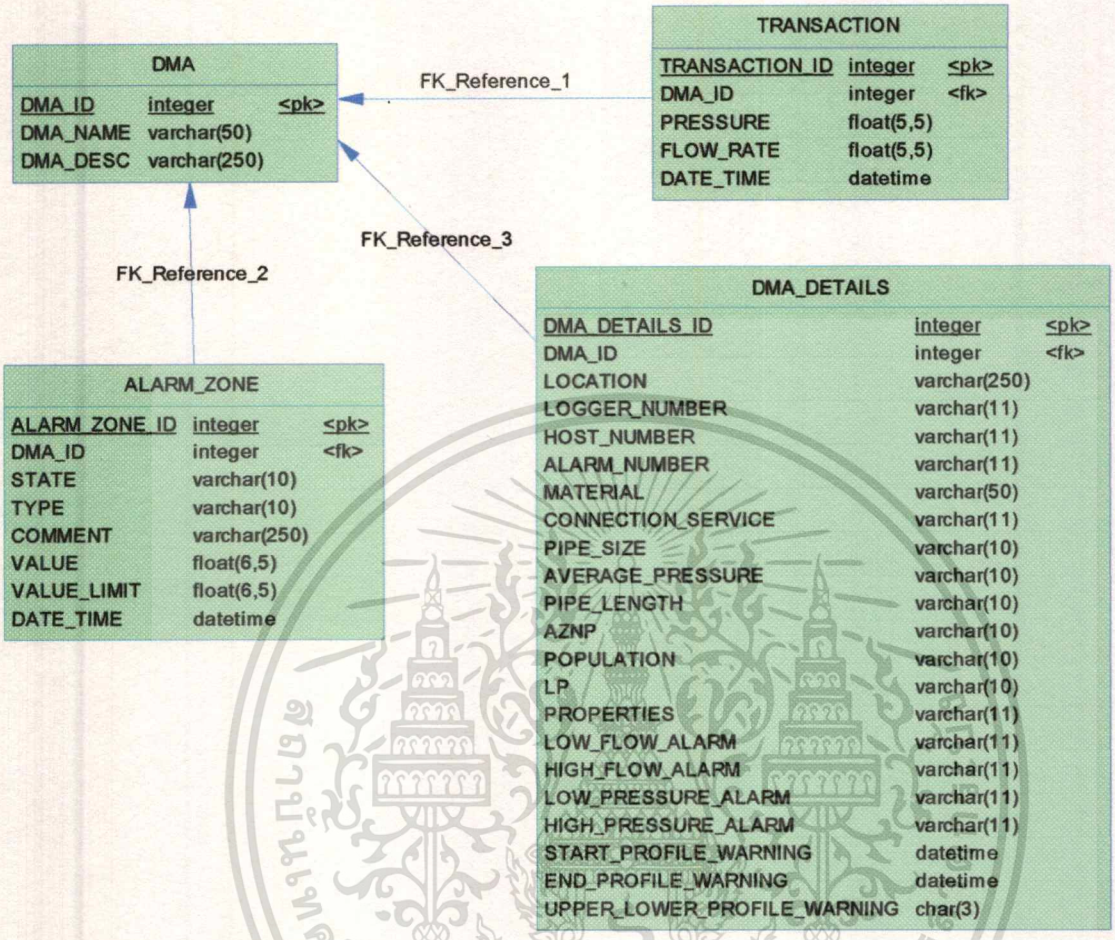
- หน้าจอสรุปผลการใช้น้ำของ DMA ตามช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานกำหนด โดยการเลือก DMA ที่ต้องการ เลือกช่วงวันเวลาเริ่มต้นถึงสิ้นสุด และเวลาเริ่มต้นถึงสิ้นสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงภาพหน้าจอแสดงข้อมูล Summary การใช้น้ำของ DMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและจัดการฐานข้อมูล



รูปที่ 4.22 ภาพแสดง ER-Diagram ของตารางฐานข้อมูล

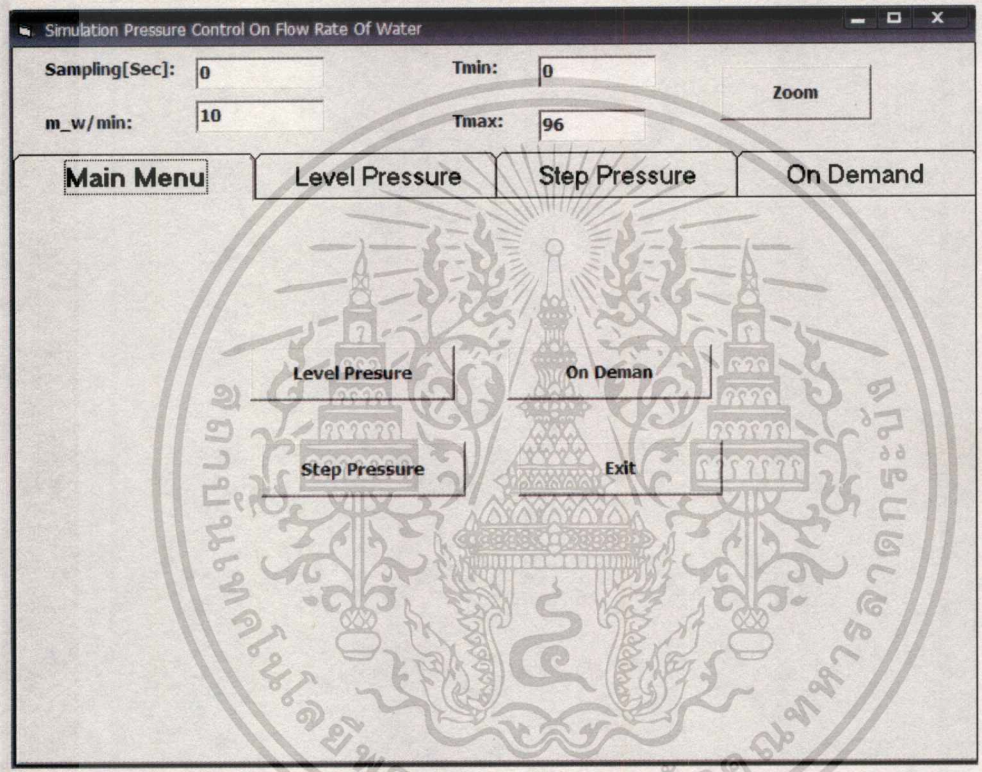
4.6.2 โปรแกรมจำลองการควบคุมแรงดันน้ำ

ในการควบคุมแรงดันน้ำเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ และสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัยไม่เอื้ออำนวย จึงจำเป็นต้องเสนอในรูปโปรแกรมซอฟท์แวร์จำลองการทำงานของระบบควบคุมด้วยการทดลองเชิงวิจัยแทนการทดลองจริง โดยลักษณะของโปรแกรมควบคุมแรงดันน้ำนี้จะเป็นการทำงานแบบจำลองเหตุการณ์การควบคุมแรงดันน้ำภายในพื้นที่โดยการนำข้อมูลจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาทดลองตามเงื่อนไขต่างๆของโปรแกรม เพื่อนำไปสู่การลดการสูญเสียที่เกิดจากความขัดแย้งระหว่างแรงดันน้ำและความต้องการ โดยพัฒนาบน Microsoft Visual Basic 6.0 ซึ่งสามารถนำมาติดตั้งใช้งานได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไปที่ใช้ระบบปฏิบัติการในตระกูล Microsoft Windows ได้เป็นอย่างดี โดยโปรแกรมจะทำงานเหมือนกับการทำงานจริงตามปกติ และค่าตัวแปรต่างๆจะเปลี่ยนไปจากสูตรการคำนวณ ลักษณะของโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาใช้งานนั้นได้แบ่งโหมดการทำงานการควบคุมไว้ 3 รูปแบบคือ การควบคุมแบบคงที่ (Level

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pressure) การควบคุมตามช่วงเวลา (Step Pressure) และการควบคุมตามความต้องการ (On demand) โดยลักษณะของหน้าโปรแกรมหลักจะแสดงดังรูปที่ 4.23

ในหน้าโปรแกรมหลักจะประกอบด้วยส่วนที่ให้เลือกรูปแบบโหมดการจำลองการควบคุมทั้ง 3 รูปแบบ และรายละเอียดประกอบย่อยดังนี้ Sampling (Sec) คือช่วงเวลาหน่วงขณะทดสอบ Ran graph ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที m_w/min คือช่วงเวลาตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงแรงดันโดยใช้หน่วย เมตรน้ำ/นาที Tmin คือช่วงเวลาเริ่มต้นที่ทดลอง Tmax ช่วงเวลาสิ้นสุดที่จะทดลอง และ Zoom คือเป็นตัวช่วยขยาย graph



รูปที่ 4.23 หน้าโปรแกรมหลัก

โหมดการจำลองการควบคุมแบบคงที

ในส่วนของหน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบคงทีนี้คือการควบคุมแรงดันที่ทางเข้าพื้นที่ให้คงที่ไว้ที่ระดับนึง รายละเอียดย่อยดังนี้ P1(m/w) คือแรงดันเริ่มต้นที่ทดสอบ P2(m/w) คือค่าเป้าหมายแรงดันที่จะควบคุมคงที่ Plimit(m/w) คือค่าขอบเขตแรงดันที่จำกัดไม่ให้เกิน T on(time/15min) คือช่วงเวลาเริ่มต้นที่จะควบคุม Water save(mmm) คือช่องแรกจะเป็นปริมาณน้ำสูญเสียที่ลดลงได้ ช่องถัดไปเป็นปริมาณยอดขายที่เพิ่มขึ้น ส่วนช่องสุดท้ายเป็นการหักลบระหว่างช่องแรกและช่องถัดมา สีที่ใช้แสดงผลนั้น สีน้ำเงินคือปริมาณอัตราการไหลเดิม สีเหลืองคือแรงดันน้ำที่เข้าพื้นที่เดิม สีชมพูคือปริมาณอัตราการไหลใหม่หลังการควบคุม สีเขียวคือ

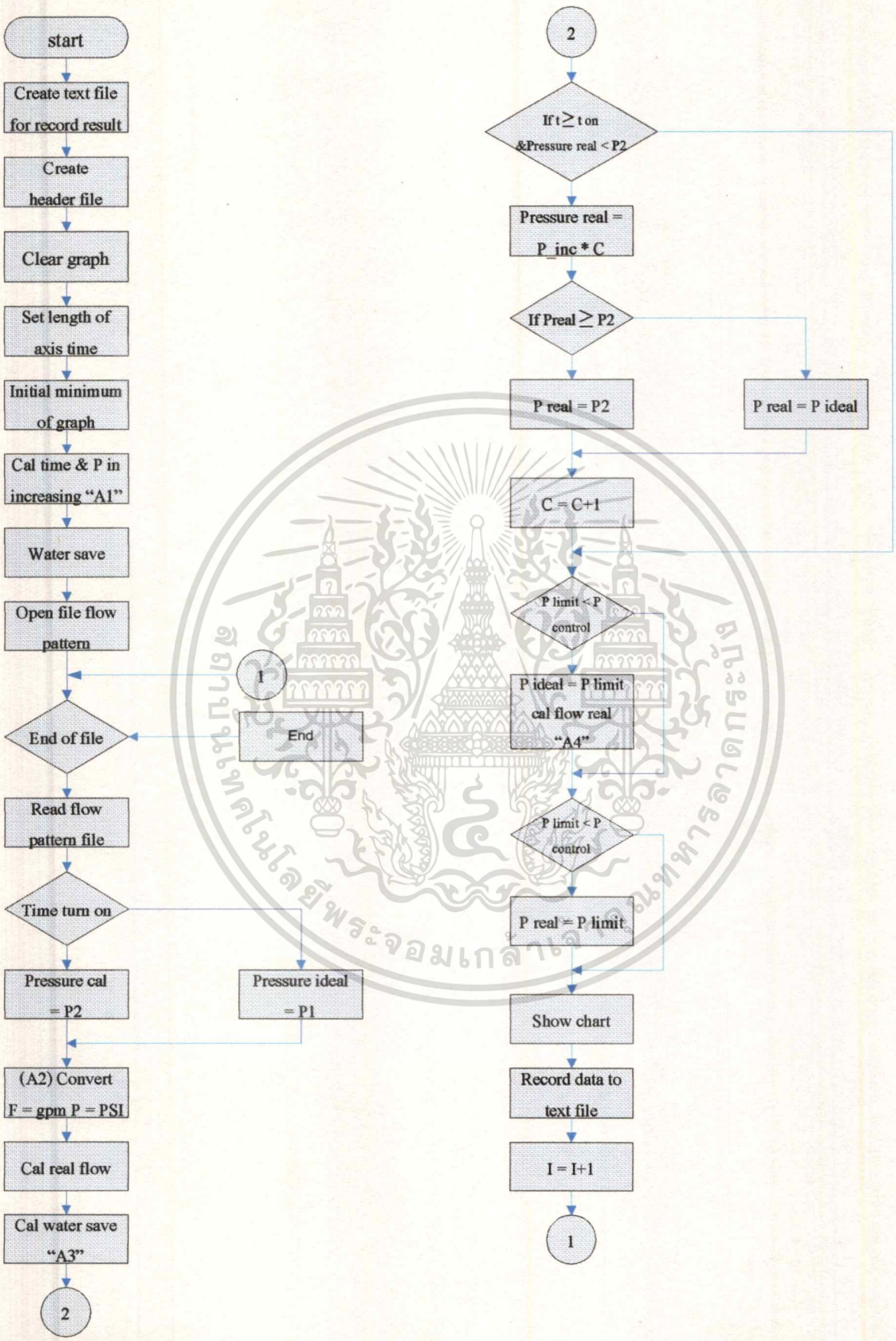
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ควบคุมทางอุดมคติ สีแดงคือแรงดันน้ำจริงที่คิดผลตอบสนองทางด้านเวลาของวาล์วควบคุม กราฟที่ใช้แสดงผลนั้นแกน X คือแกนเวลาแสดงค่า 1 หน่วยต่อ 15 นาที แกน Y ฝั่งซ้ายมือแสดงค่าอัตราการไหล หน่วยลูกบาศเมตรต่อชั่วโมง แกน Y ฝั่งขวามือแสดงค่าแรงดันน้ำ หน่วยเมตรน้ำ โดยลักษณะของหน้าโปรแกรมการจำลองการควบคุมแบบคงทีจะแสดงดังรูปที่ 4.24

รูปที่ 4.24 หน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบคงที่

ในส่วนโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบคงทีจะมีโครงสร้างการทำงานดังผังที่แสดงในรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

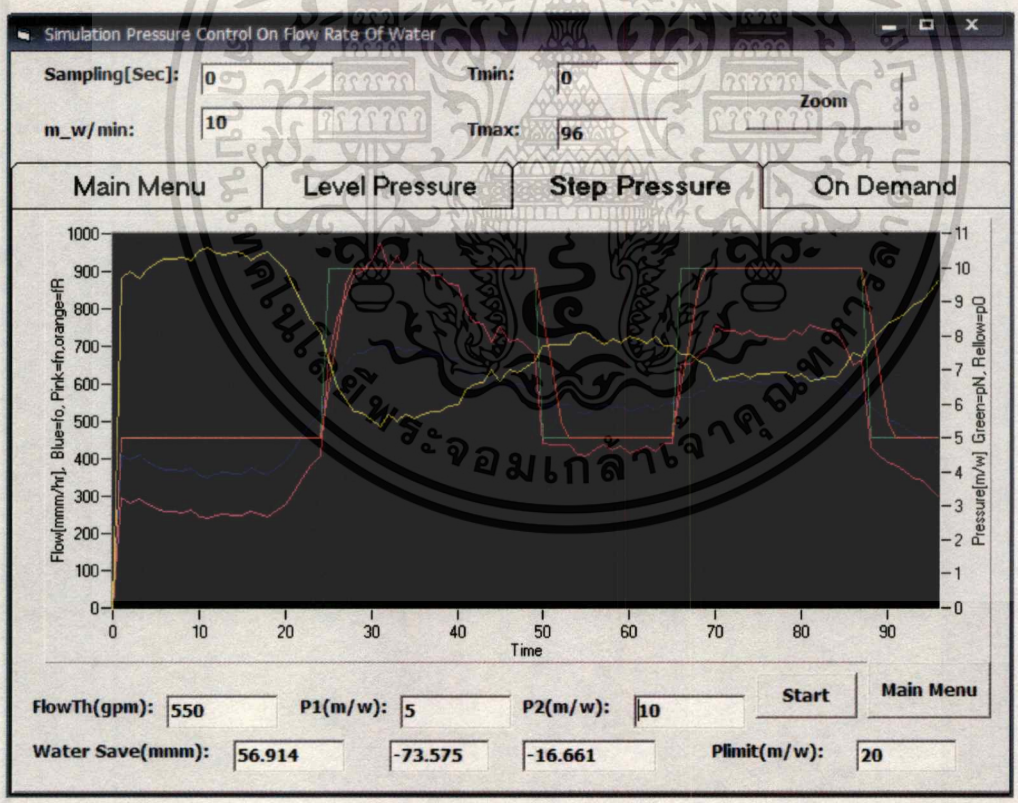


รูปที่ 4.25 รูปผังโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดการจำลองการควบคุมแบบตามช่วงเวลา

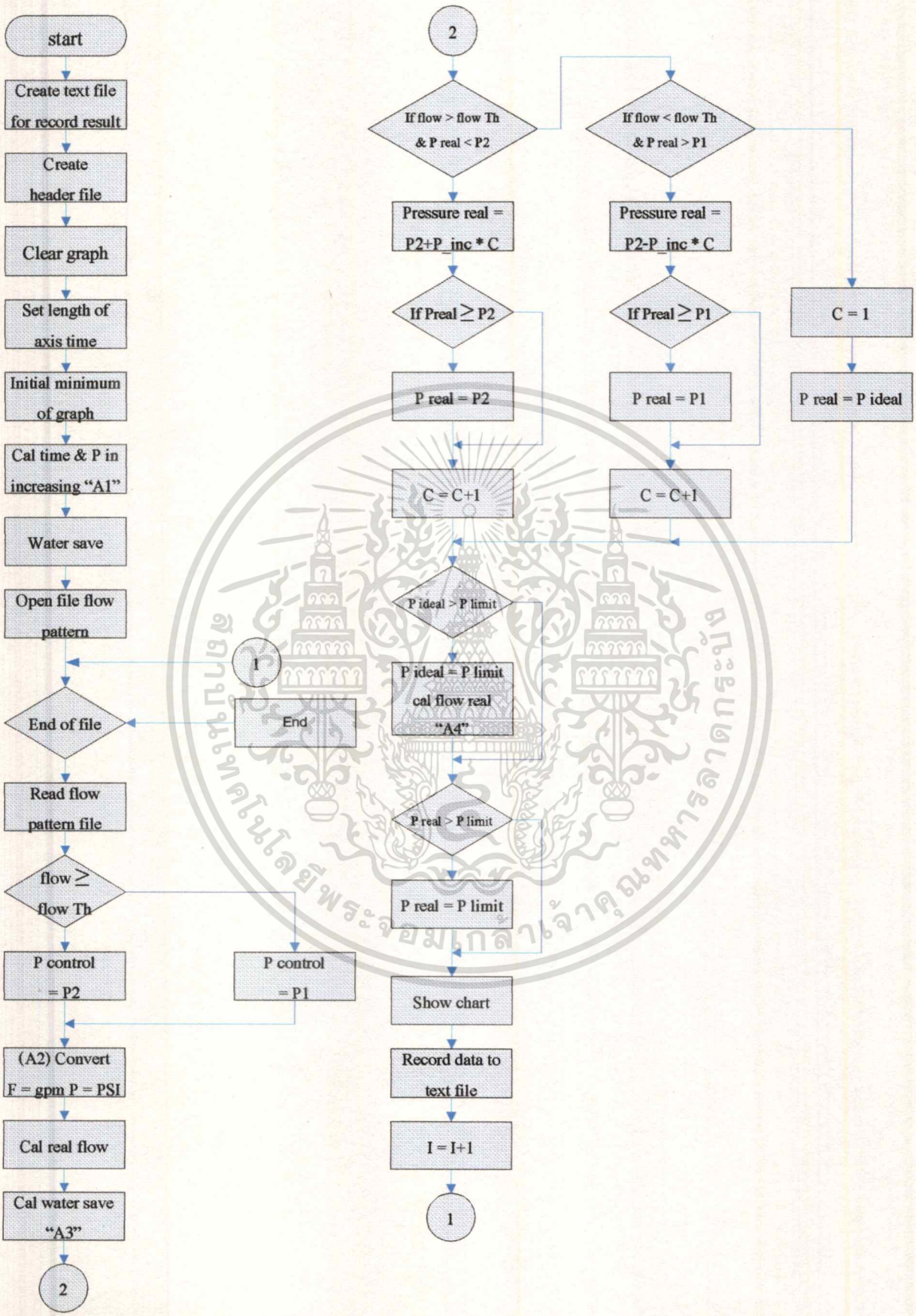
ในส่วนของหน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามช่วงเวลานี้คือการควบคุมแรงดันที่ทางเข้าพื้นที่ให้เป็นไปตามช่วงเวลาความต้องการ และแบ่งระดับการควบคุมไว้ 2 ระดับ โดยการเทสโฮลเป็นตัวแบ่งระดับควบคุม Flowth คืออัตราการไหลที่กำหนดการควบคุมของแรงดัน P1(m/w) คือแรงดันช่วงความต้องการน้อย P2(m/w) คือแรงดันช่วงความต้องการมาก Plimit(m/w) คือค่าขอบเขตแรงดันที่จำกัดไม่ให้เกิน Water save(mmm) คือช่องแรกจะเป็นปริมาณน้ำสูญเสียที่ลดลงได้ ช่องถัดไปเป็นปริมาณยอดขายที่เพิ่มขึ้น ส่วนช่องสุดท้ายเป็นการหักลบระหว่างช่องแรกและช่องถัดมา สีที่ใช้แสดงผลนั้น สีน้ำเงินคือปริมาณอัตราการไหลเดิม สีเหลืองคือแรงดันน้ำที่เข้าพื้นที่เดิม สีชมพูคือปริมาณอัตราการไหลใหม่หลังการควบคุม สีเขียวคือแรงดันที่ควบคุมทางอุดมคติ สีแดงคือแรงดันน้ำจริงที่คิดผลตอบสนองทางด้านเวลาของวาล์วควบคุม กราฟที่ใช้แสดงผลนั้นแกน X คือแกนเวลาแสดงค่า 1 หน่วยต่อ 15 นาที แกน Y ฝั่งซ้ายมือแสดงค่าอัตราการไหล หน่วยลูกบาศเมตรต่อชั่วโมง แกน Y ฝั่งขวามือแสดงค่าแรงดันน้ำ หน่วยเมตรน้ำ โดยลักษณะของหน้าโปรแกรมการจำลองการควบคุมแบบคงทีจะแสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 หน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามช่วงเวลา

ในส่วนโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามช่วงเวลาจะมีโครงสร้างการทำงานดังผังที่แสดงในรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

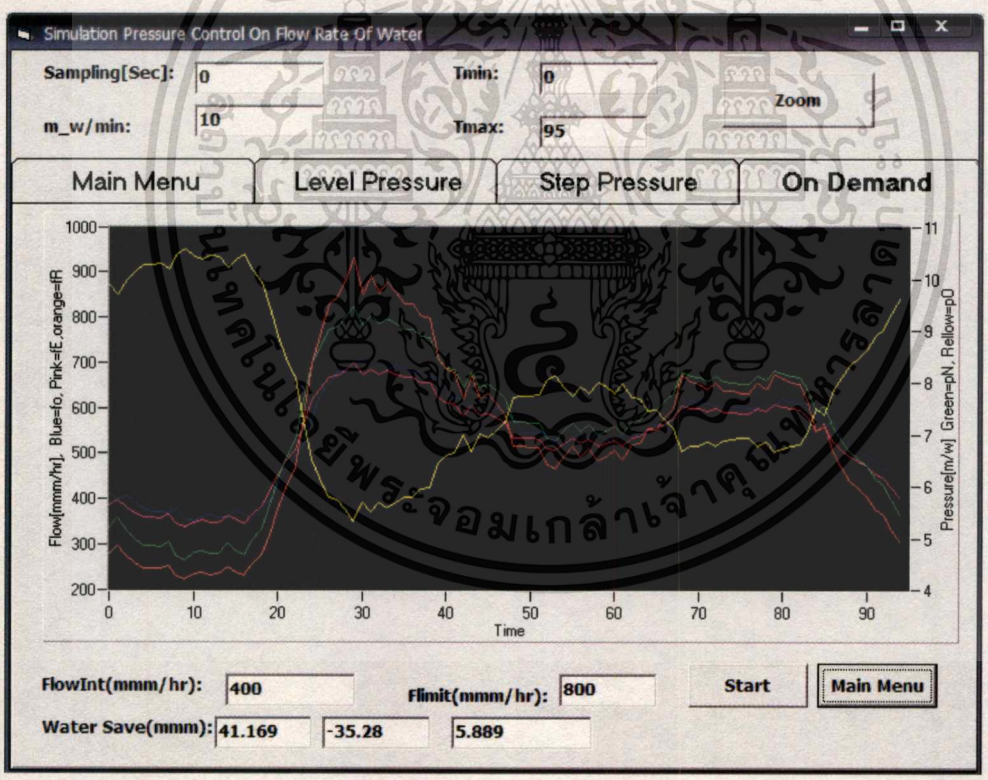


รูปที่ 4.27 รูปผังโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดการจำลองการควบคุมแบบตามความต้องการ

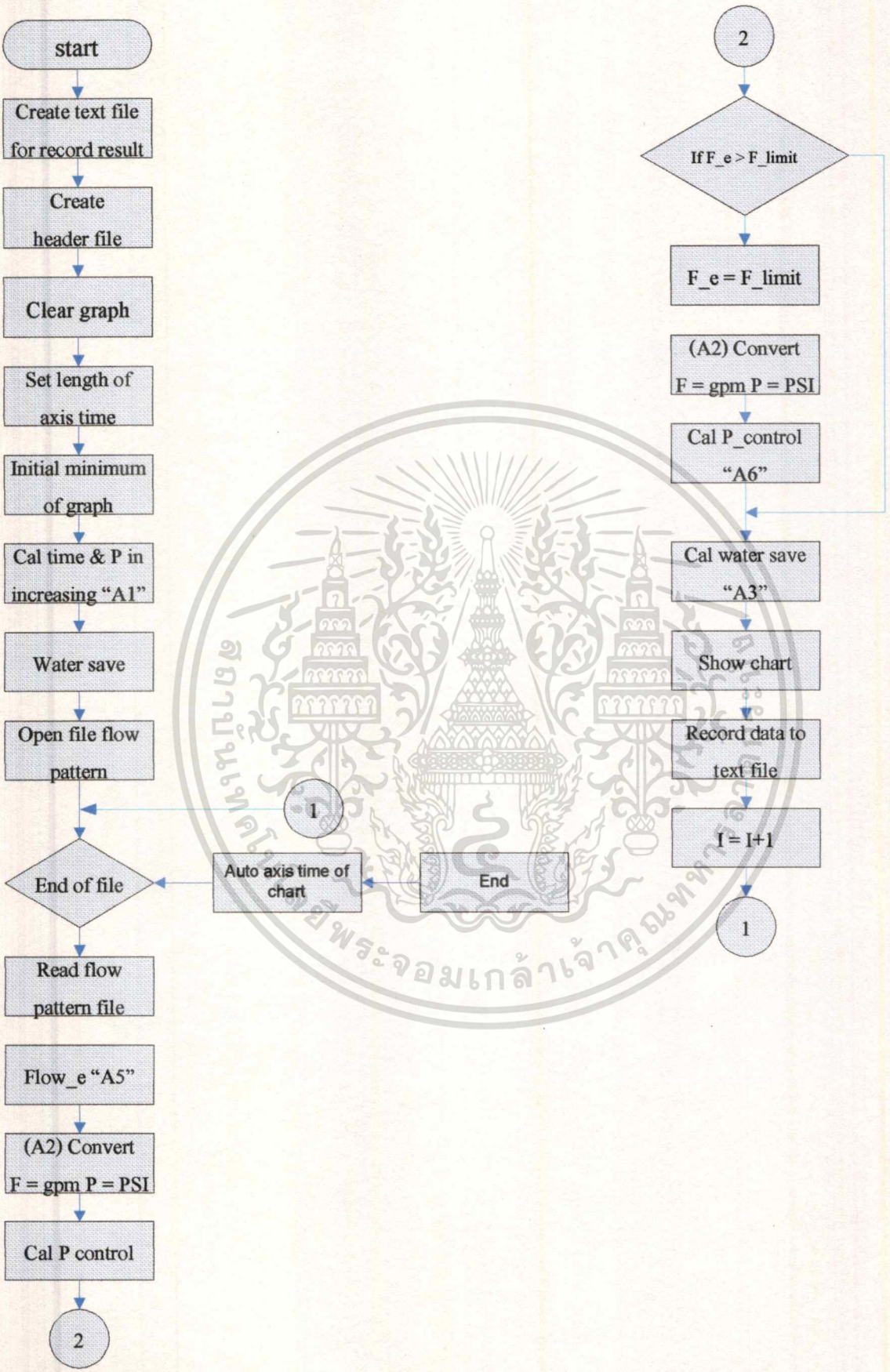
ในส่วนของหน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามความต้องการนี้คือการควบคุมแรงดันที่ทางเข้าพื้นที่ให้สัมพันธ์เป็นไปตามช่วงเวลาความต้องการ โดยการทำนายค่าความต้องการล่วงหน้า 15 นาทีแล้วควบคุมแรงดันให้สัมพันธ์กับความต้องการ flowint คืออัตราการไหลเริ่มต้นที่ใช้ในการทำนาย flimit คือค่าขอบเขตอัตราการไหลที่จำกัดไม่ให้เกิน ใช้ป้องกันกรณีเกิดท่อรั่วในระบบ Water save(mmm) คือช่องแรกจะเป็นปริมาณน้ำสูญเสียที่ลดลงได้ ช่องถัดไปเป็นปริมาณยอดขายที่เพิ่มขึ้น ส่วนช่องสุดท้ายเป็นการหักลบระหว่างช่องแรกและช่องถัดมา สีที่ใช้แสดงผลนั้น สีน้ำเงินคือปริมาณอัตราการไหลเดิม สีเหลืองคือแรงดันน้ำที่เข้าพื้นที่เดิม สีชมพูคือปริมาณอัตราการไหลที่ได้จากการคาดคะเน สีเขียวคือแรงดันควบคุมใหม่ สีแดงคือปริมาณอัตราการไหลใหม่ กราฟที่ใช้แสดงผลนั้นแกน X คือแกนเวลาแสดงค่า 1 หน่วยต่อ 15 นาที แกน Y ฝั่งซ้ายมือแสดงค่าอัตราการไหล หน่วยลูกบาศเมตรต่อชั่วโมง แกน Y ฝั่งขวามือแสดงค่าแรงดันน้ำ หน่วยเมตรน้ำ โดยลักษณะของหน้าโปรแกรมการจำลองการควบคุมแบบคงทีจะแสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 หน้าโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามความต้องการ

ในส่วนโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามความต้องการจะมีโครงสร้างการทำงานดังผังที่แสดงในรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 รูปผังโปรแกรมโหมดการจำลองการควบคุมแบบตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดเทคนิคการลดน้ำสูญเสียออกเป็น 2 ส่วนคือ การทำนายค่าความต้องการการใช้น้ำมาใช้กับระบบควบคุมเพื่อควบคุมแรงดันน้ำให้สอดคล้องกับค่าความต้องการในแต่ละพื้นที่ โดยการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยรูปแบบเหตุการณ์ในอดีต (ข้อมูลสถิติ) เพื่อนำผลการวิเคราะห์มาใช้ในการวางแผน ซึ่งรูปแบบเดิมจะใช้วิธีการสูบจ่ายตามช่วงเวลาจากสถานีสูบจ่ายย่อย จ่ายเข้าพื้นที่หลายโซนซึ่งจะเห็นว่าเกิดความขัดแย้งกับค่าความต้องการในหลายๆพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่นโซนพักอาศัยกับโซนโรงงานอุตสาหกรรมจะมีรูปแบบค่าความต้องการที่ไม่เหมือนกัน และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการรับรู้ถึงการรั่วไหลได้เร็ว โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งรูปแบบเดิมใช้แรงงานคนในการเดินสำรวจและการรับแจ้งจากศูนย์รับแจ้งท่อแตกรั่ว และทั้งหมดนี้จะช่วยลดการสูญเสียลงได้โดยตรง

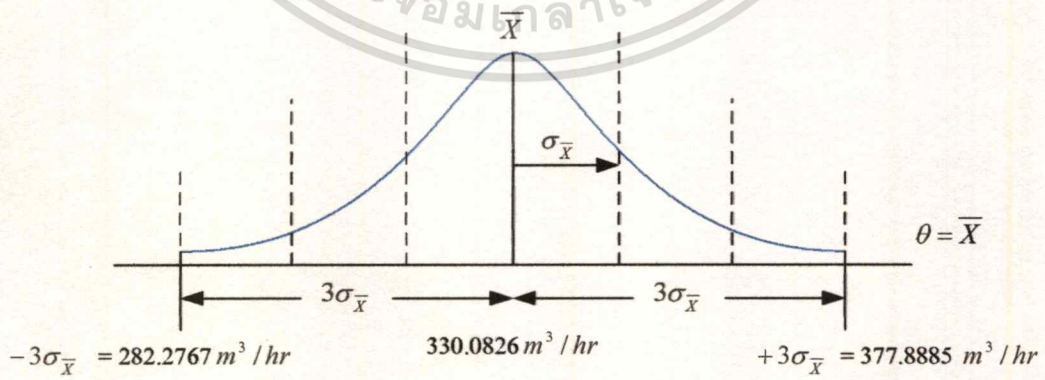
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

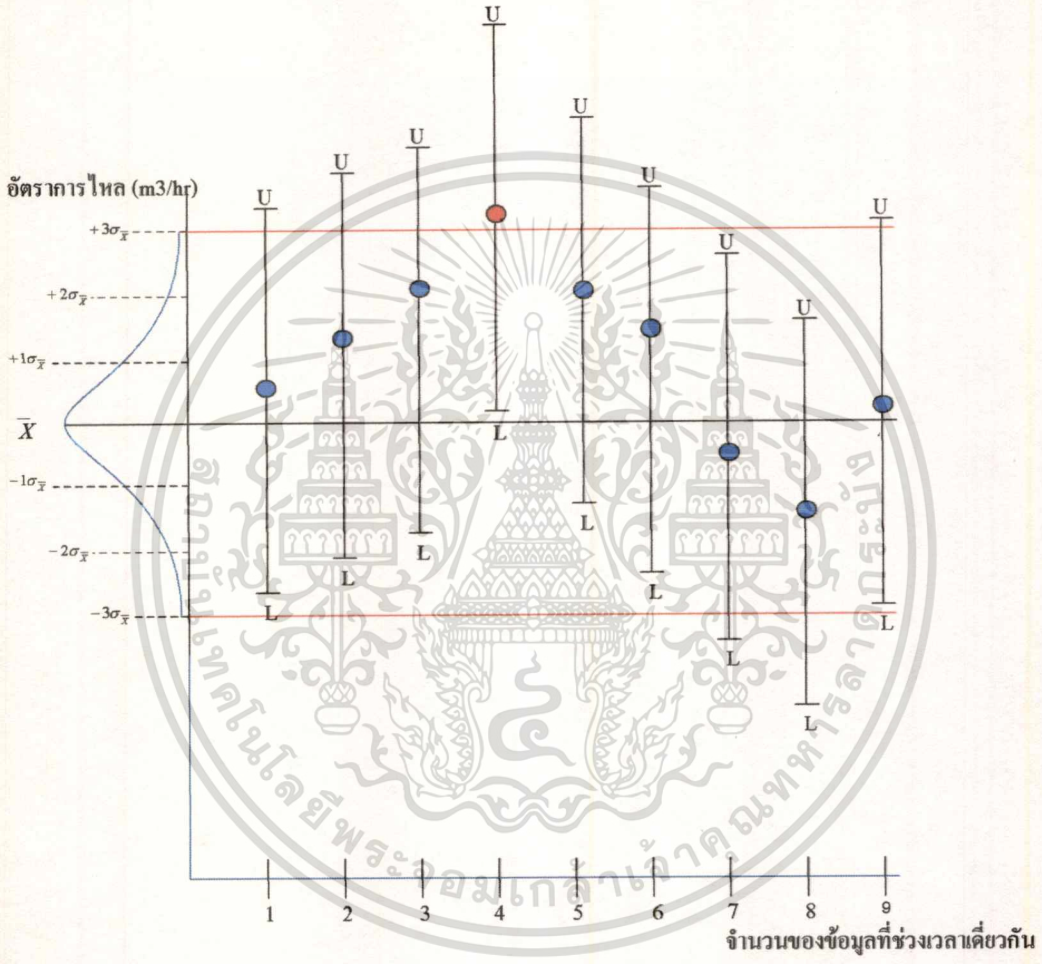
การเก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการไหลและแรงดันในระบบ มีจุดประสงค์เพื่อที่จะติดตามผลและเฝ้าระวังวิเคราะห์แนวโน้มการแตกรั่วของระบบท่อประปา จากข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมตั้งแต่วันที่ 1 พ.ย. 2550 – 17 ม.ค. 2551 จะนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์การรั่วไหลของระบบด้วยการประมาณค่าแบบช่วงความเชื่อมั่น ซึ่งการประมาณค่าแบบช่วงความเชื่อมั่นนั้นตัวประมาณค่าที่ดีต้องเป็นตัวประมาณค่าที่มีความไม่เอนเอียงและมีความแปรปรวนน้อยที่สุด เพราะจะทำให้เกิดความเสี่ยงในการตัดสินใจน้อยที่สุด โดยความไม่เอนเอียงจะมีความหมายถึงค่าของตัวประมาณค่ามีแนวโน้มเข้าหาค่าจริงของพารามิเตอร์ที่ทำการประมาณค่า ด้วยการ "เฉลี่ยออก" ซึ่งจากการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลที่เวลาเดียวกันจำนวน 30 ข้อมูลหรือ 30วันเพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลในการประมาณค่าแบบช่วงความเชื่อมั่นโดยผ่านทฤษฎีของการแจกแจงของสิ่งตัวอย่าง แล้วหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) โดยจะยกตัวอย่างที่เวลา 03:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความต้องการต่ำสุดในแต่ละวันและเป็นช่วงที่มีความราบเรียบของข้อมูลที่สุด ซึ่งจากข้อมูลมีค่าความต้องการเฉลี่ยอยู่ที่ 330.0826 $m^3/hr.$ และด้วยความน่าจะเป็น 0.9973 จะได้ว่าค่าของตัวสถิติจะอยู่ระหว่าง $330.0826 \pm 3\sigma_{\overline{X}}$ และจะเรียกช่วงของค่าประมาณนี้ว่า " ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) " หรือที่ $-3\sigma_{\overline{X}}$ เป็น 282.2767 และ $+3\sigma_{\overline{X}}$ เป็น 377.8885 เมื่อ $\sigma_{\overline{X}}$ คือความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของความต้องการที่เวลา 03:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม ด้วยค่าความน่าจะเป็น 0.9973 นี้จะอธิบายได้ว่า ที่เหตุการณ์ปกติไม่จำเป็นที่ค่าความต้องการเฉลี่ยจริงจะต้องอยู่ในช่วงนี้เสมอไป เนื่องจากสาเหตุด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ของการทดลองที่ทำให้ $\overline{X}$ มีค่าแตกต่างออกไปนั่นเอง ซึ่งสามารถอธิบายความหมายของความน่าจะเป็น 0.9973 ในรูปความถี่ได้ว่า หากมีการทดลอง 10,000 ครั้งแล้ว จะมีการทดลองจำนวน 9,973 ครั้งที่ช่วงประมาณจะครอบคลุมค่าจริงของพารามิเตอร์ และอีก 27 ครั้งที่ช่วงประมาณดังกล่าวมิได้ครอบคลุมค่าจริงของพารามิเตอร์ ดังรูปที่ 5.2

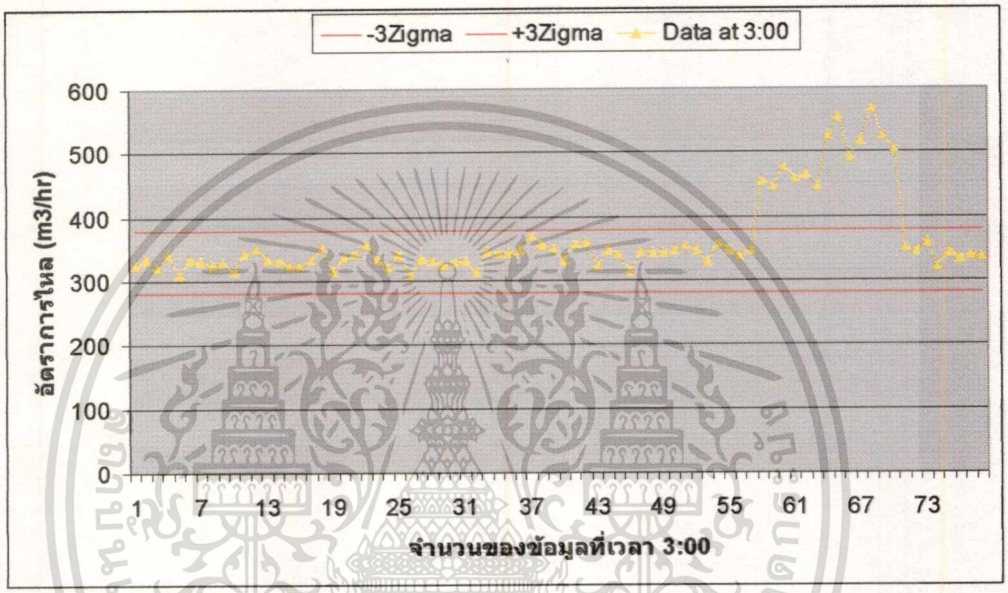


รูปที่ 5.2 แสดงช่วงความเชื่อมั่นและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

จากรูปที่ 5.2นี้ จะพบว่า ทั้ง L และ U เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นฟังก์ชันของตัวอย่างสุ่มที่ขึ้นกับการแจกแจงของสิ่งตัวอย่าง θ และค่าความน่าจะเป็น $(1-\alpha)$ นอกจากนี้จะเรียกช่วงค่าประมาณของพารามิเตอร์ $L \le \theta \le U$ ว่าช่วงความเชื่อมั่น และเรียกสัมประสิทธิ์ $(1-\alpha)$ ว่าระดับความเชื่อมั่น (Degree of confidence) และจะเรียกค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดของ θ คือ U และ L ว่าพิกัดความเชื่อมั่น (Confidence limits)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 เมื่อนำข้อมูลที่ช่วงเวลา 03:00น.ทั้งหมด เป็นจำนวน 78 ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 พ.ย. 2550 – 17 ม.ค. 2551 มาวิเคราะห์โดยผ่านขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นพบว่าข้อมูลที่ 58-70 ซึ่งเป็นข้อมูลในวันที่ 28 ธ.ค. 2550 – 9 ม.ค. 2551 เกินขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นอย่างสิ้นเชิงและมิได้มีแนวโน้มกลับเข้าสู่ขอบเขตแต่อย่างใด นั่นแสดงว่าพื้นที่นี้ไม่ได้มีการใช้น้ำอย่างปกติแต่เป็นการแตกรั่วขึ้นของระบบท่ออย่างแน่นอน แต่เนื่องจากช่วงเวลาที่ระบบตรวจพบเป็นช่วงวันหยุดยาวเทศกาลปีใหม่จึงเป็นเหตุให้เกิดการแตกรั่วนานถึง 13 วันหลังจากตรวจพบแล้วดำเนินการซ่อมแล้วเสร็จ

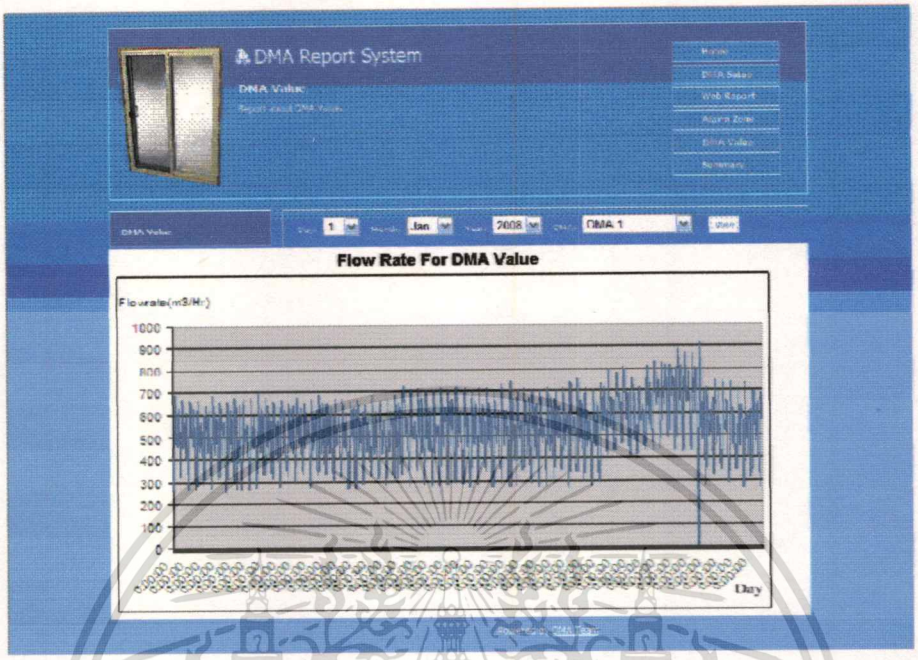


รูปที่ 5.3 แสดงขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลทั้งหมดที่เวลา 03:00 น.

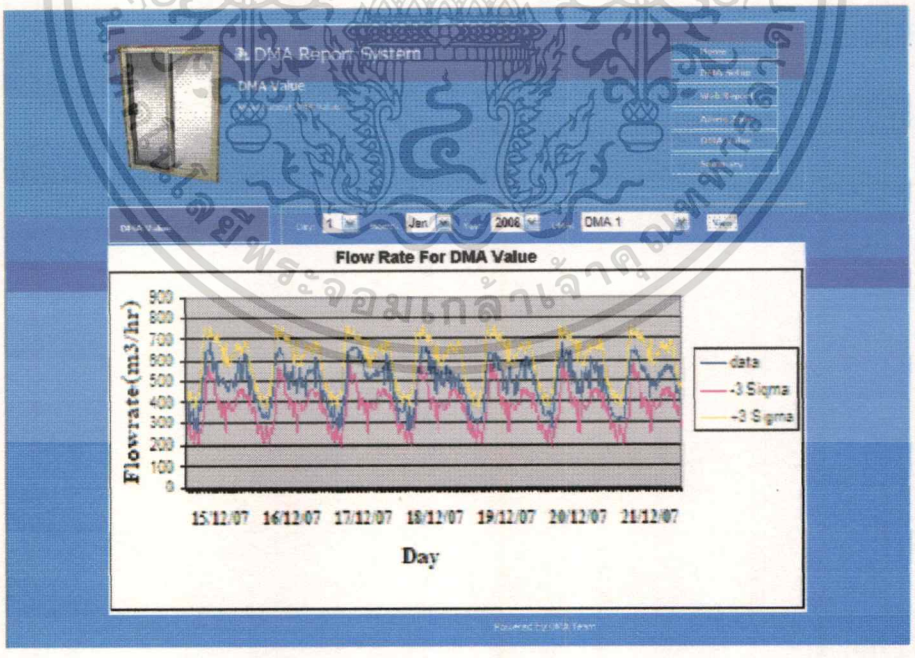
อัตราการไหลที่สูงขึ้นเนื่องจากท่อแตกรั่วประมาณ 120 m^3 / Hr หรือประมาณ 2880 m^3 / Day ระยะเวลาตั้งแต่ระบบแตกรั่วจนกระทั่งซ่อมแล้วเสร็จเป็นเวลา 13 วันเท่ากับสูญเสียน้ำไปประมาณ 37440 m^3 ในระบบใหม่ แต่ถ้าเป็นระบบเก่าการประปาจะมีศูนย์แจ้งท่อแตกรั่วซึ่งในกรณีนี้ใช้ไม่ได้เพราะน้ำไม่ไหลขึ้นสู่ผิวดินแต่ไหลลงท่อระบายแทน จึงเหลือเพียงแต่การสำรวจจากทีมสำรวจซึ่งจะทำกันทุกๆ 6 เดือนหรือ 180 วัน ดังนั้นการสูญเสียน้ำจึงประมาณเป็น 518400 m^3 ถ้าคิดราคาน้ำที่ 1 ลิตรเท่ากับ 1 สตางค์ ระบบใหม่ที่รับรู้ข้อมูลได้เร็วกว่าจะสูญเสีย 374,400 บาท และในระบบเก่าที่รับรู้ข้อมูลได้ช้ากว่าจะสูญเสียถึง 5,184,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดสอบโปรแกรมเฝ้าระวังและวิเคราะห์น้ำสูญเสีย

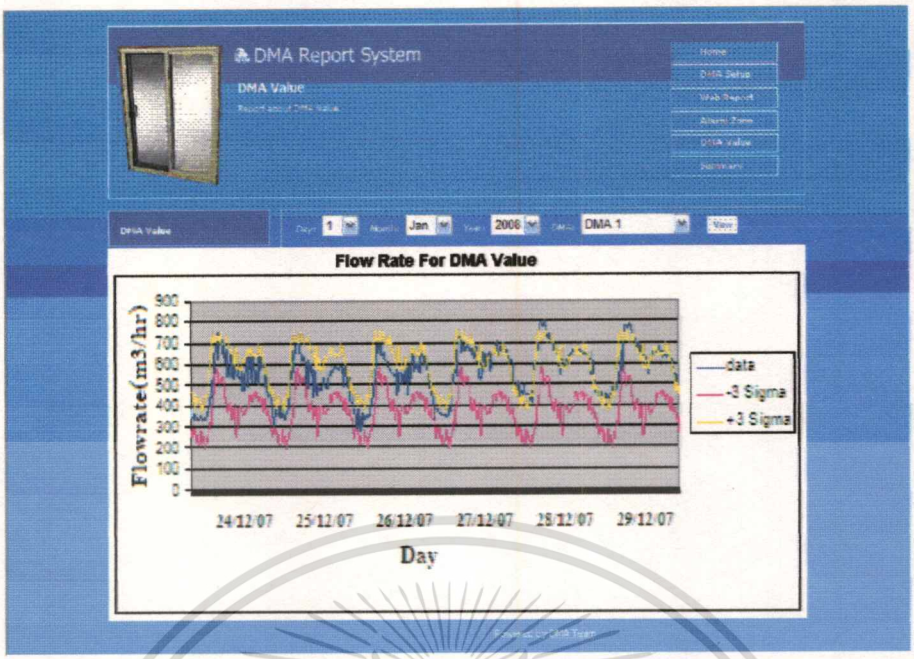


รูปที่ 5.4 แสดงข้อมูลของการใช้น้ำประปาที่วัดได้

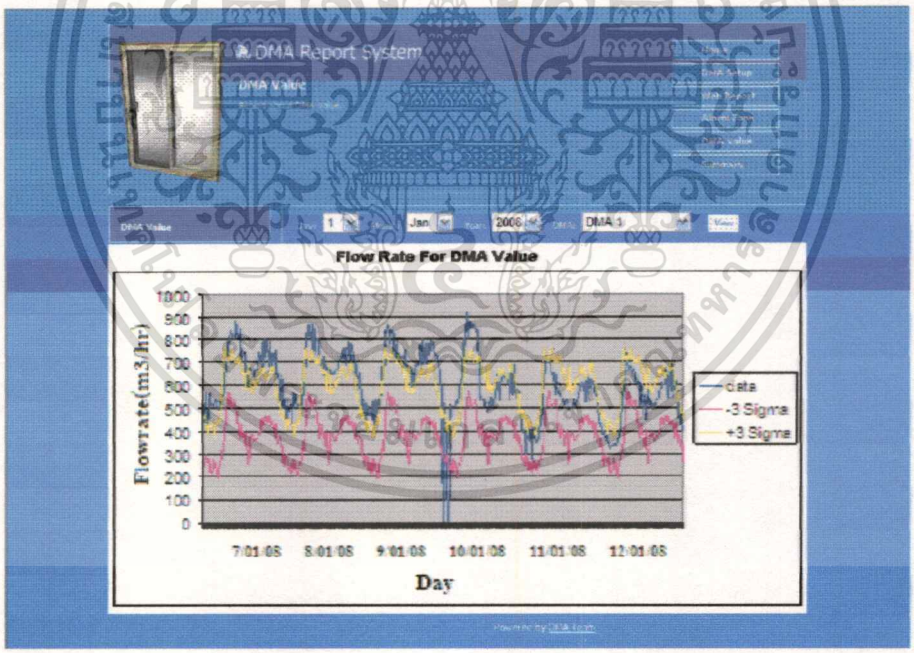


รูปที่ 5.5 ข้อมูลในช่วงปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



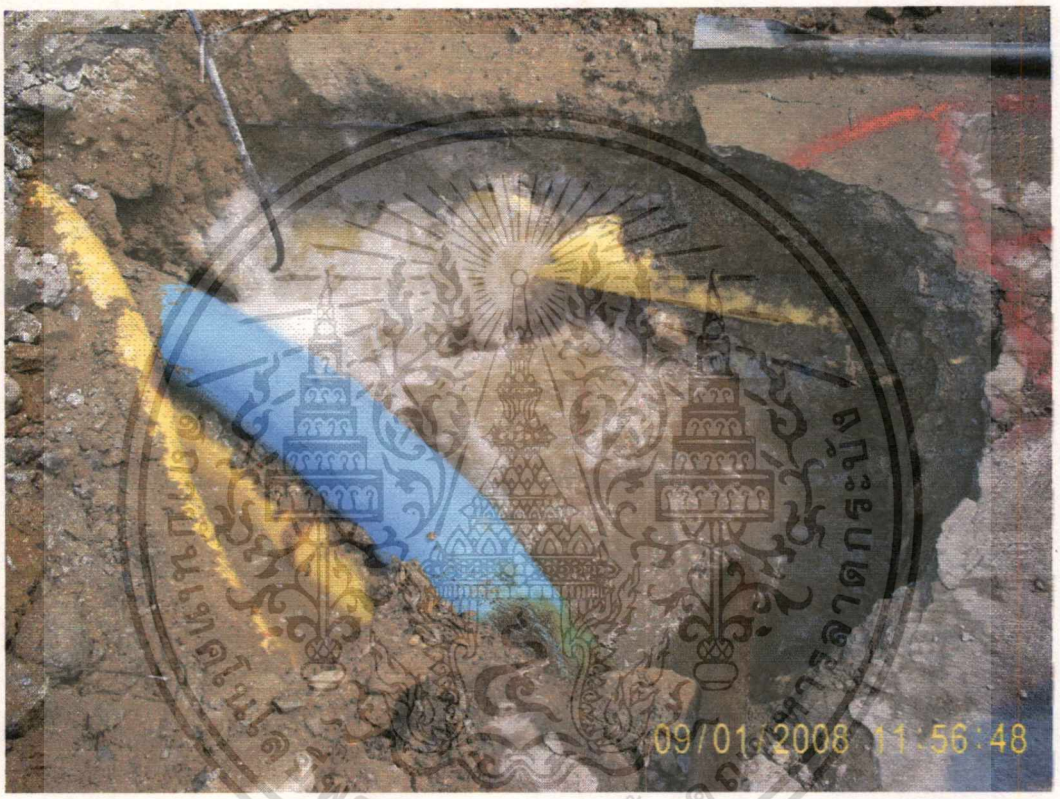
รูปที่ 5.6 แสดงแนวโน้มการรั่วไหล



รูปที่ 5.7 หลังตรวจพบและเข้าซ่อมแล้วเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ข้อมูลการรั่วไหลโดยถ้าระบบปกติไม่มีการรั่วไหล ข้อมูลจะอยู่ในช่วง $\pm 3\sigma$ โดยอัตราการไหลช่วงกลางคืนประมาณ 330 m^3 / Hr แต่เมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้นดังรูปที่ 5.6 ข้อมูลได้ระดับแตะเส้น $+3\sigma$ อัตราการไหลช่วงกลางคืนสูงขึ้นเป็นประมาณ 450 m^3 / Hr จากข้อมูลดังกล่าวสามารถทำให้เราเชื่อมั่นได้ว่าในพื้นที่นี้เกิดการรั่วไหลขึ้น และเนื่องจากรับรู้ถึงการรั่วไหลได้เร็วจะช่วยลดปริมาณน้ำสูญเสียลงได้ รูปที่ 5.7 หลังจากรับรู้ตรวจพบและเข้าซ่อมแล้วเสร็จแล้วข้อมูลจะกลับเข้าสู่สภาวะปกติ



รูปที่ 5.8 แสดงภาพท่อ AC 300 mm. แตกเมื่อขุดพบ

แสดงพื้นที่ที่ตรวจพบกรณีท่อแตกซึ่งระบบสามารถตรวจพบได้ โดยตำแหน่งจุดรั่วอยู่ติดกับบ่อพักท่อระบายน้ำ ซึ่งไหลลงท่อเมนบ่อบำบัดน้ำเสียโดยตรง จึงไม่สามารถสังเกตุได้บนผิวดินหรือบ่อพักท่อระบายน้ำข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการจำลองการควบคุมแรงดัน

การทดสอบโปรแกรมสำหรับควบคุมแรงดันในระบบเฝ้าระวังและควบคุมน้ำสูญเสียนั้น เป็นเพียงการจำลองเหตุการณ์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์จากข้อมูลจริงที่เก็บมาตามรูปแบบสมการที่กำหนดไว้ในโปรแกรม เพื่อศึกษาถึงรูปแบบที่ดีที่สุดในการควบคุม ซึ่งจะนำผลไปสู่การลดการสูญเสีย การเพิ่มรายได้ และการป้องกันการแตกรั่วของท่อประปาจากแรงดันเกิน โดยโปรแกรมจะแสดงผลเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการควบคุมแบบเดิมและรูปแบบการควบคุมของโปรแกรมจำลอง

การคำนวณหาค่าผลรวมของอัตราการไหล

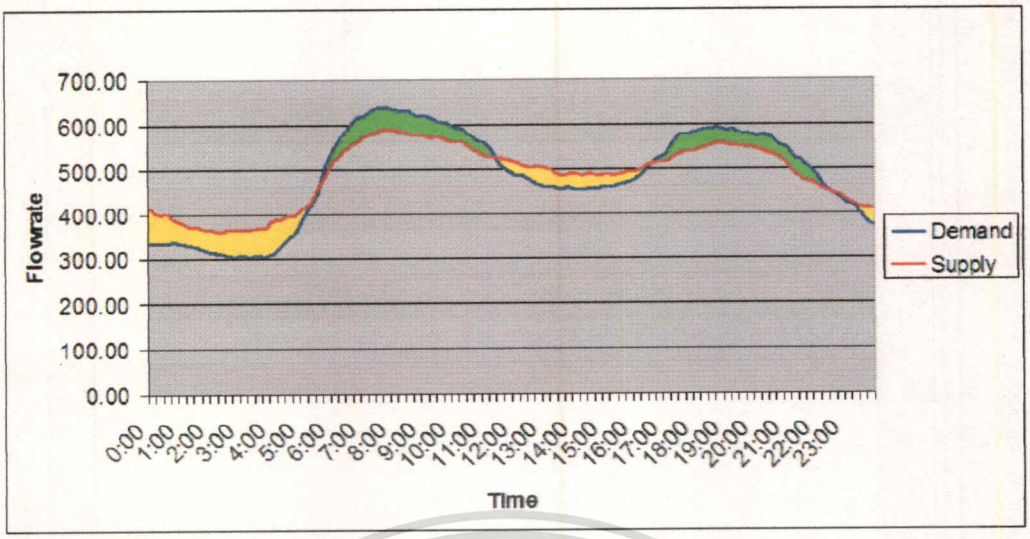
ข้อมูลที่จัดเก็บเป็นข้อมูลอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อหน่วยเวลา ในงานวิจัยนี้อัตราการไหลได้ใช้หน่วยลูกบาศเมตรต่อชั่วโมง (m^3 / hr) และผลรวมของอัตราการไหลได้ใช้หน่วยลูกบาศเมตร (m^3) ซึ่งสามารถหาค่าผลรวมของอัตราการไหลในช่วงเวลาทุกๆ 15 นาทีได้ดังนี้

$$\text{ผลรวมของอัตราการไหลในช่วงเวลา 15 นาที} = \frac{Flowrate \times 15}{60}$$

การคำนวณหาปริมาณน้ำสูญเสียที่ลดลง (Water save) และยอดขายที่เพิ่มขึ้น (Water sale)

จากข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บชี้ให้เห็นว่าความต้องการของทุกๆวันจะมีรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน คือ ความต้องการจะมากในช่วงเช้ากับช่วงเย็น และความต้องการจะน้อยในช่วงกลางวันกับช่วงกลางคืน ในระบบที่ไม่มีการควบคุมจะไม่เกิดความสอดคล้องระหว่าง Demand และ Supply ดังรูปที่ 5.9 ดังนั้น ถ้าระบบควบคุมสามารถลดอัตราการไหลเข้าพื้นที่ในช่วงความต้องการน้อยก็จะช่วยลดน้ำสูญเสีย (Water save)ลงได้ดังรูปที่ 5.9 ในพื้นที่สีเหลือง ในทางกลับกันถ้าระบบควบคุมสามารถเพิ่มอัตราการไหลเข้าพื้นที่ในช่วงความต้องการมากก็จะช่วยเพิ่มผลประโยชน์ด้านการขาย (Water sale)ขึ้นได้ดังรูปที่ 5.9 ในพื้นที่สีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



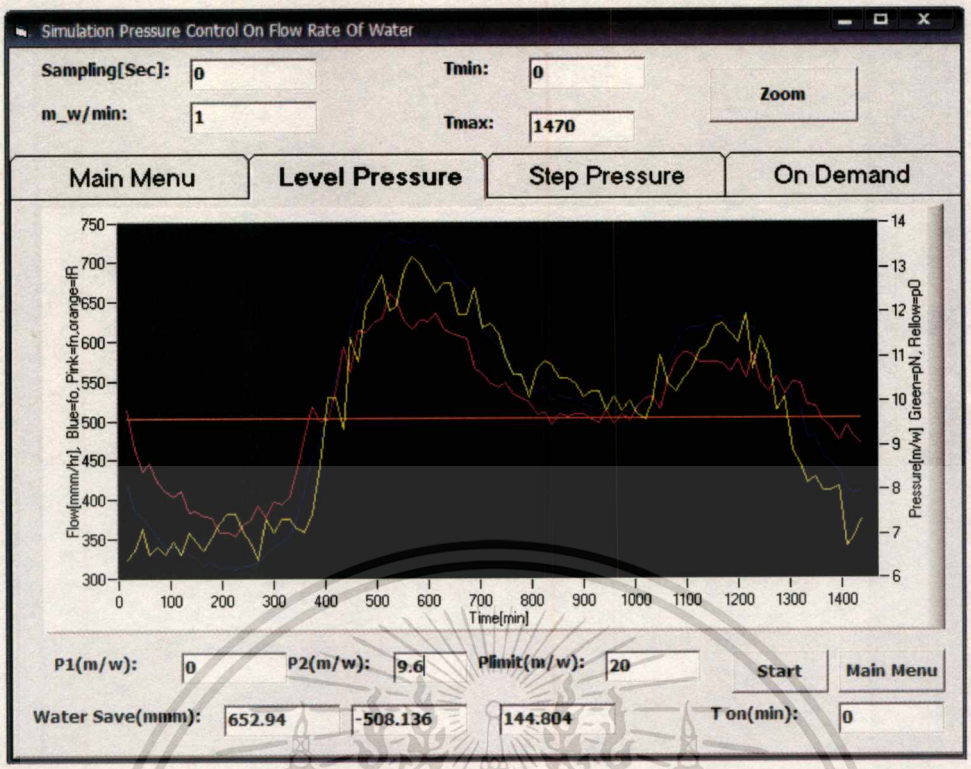
รูปที่ 5.9 รูปแบบ Demand & Supply

ผลรวมที่ต่างของอัตราการไหลในช่วง 15 นาที (I) = $\frac{(Flowrate_{Old} - Flowrate_{New}) \times 15}{60}$

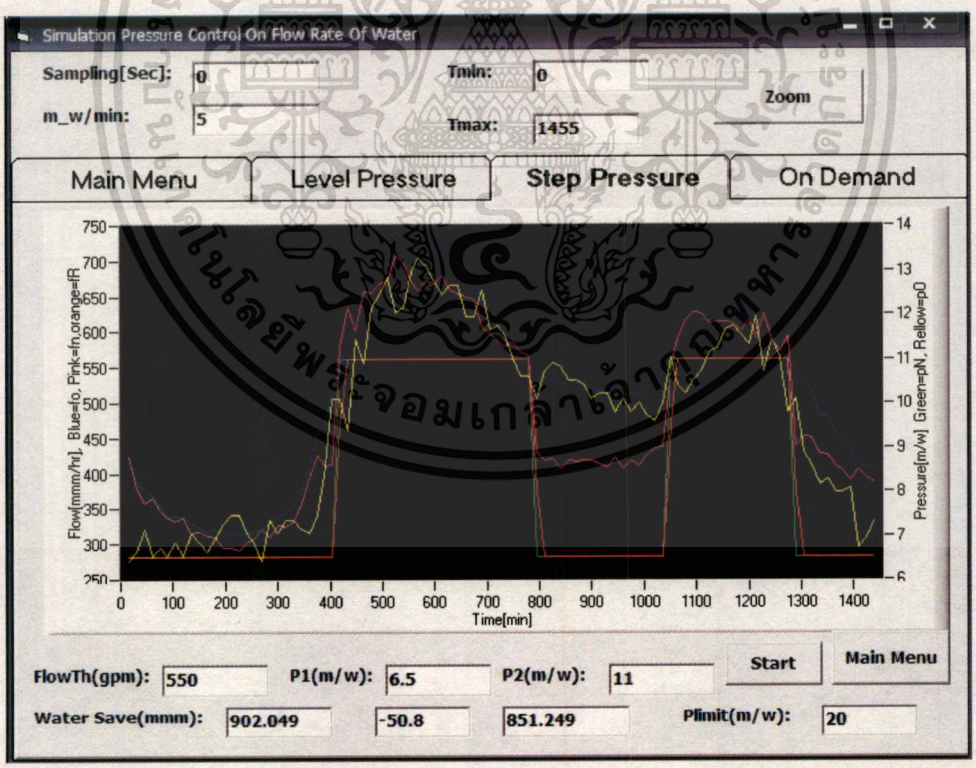
Water save = $\sum_{I=0}^{N} \left[\frac{(Flowrate_{Old} - Flowrate_{New}) \times 15}{60} \right]_I$; Positive Value

Water sale = $\sum_{I=0}^{N} \left[\frac{(Flowrate_{Old} - Flowrate_{New}) \times 15}{60} \right]_I$; Negative Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



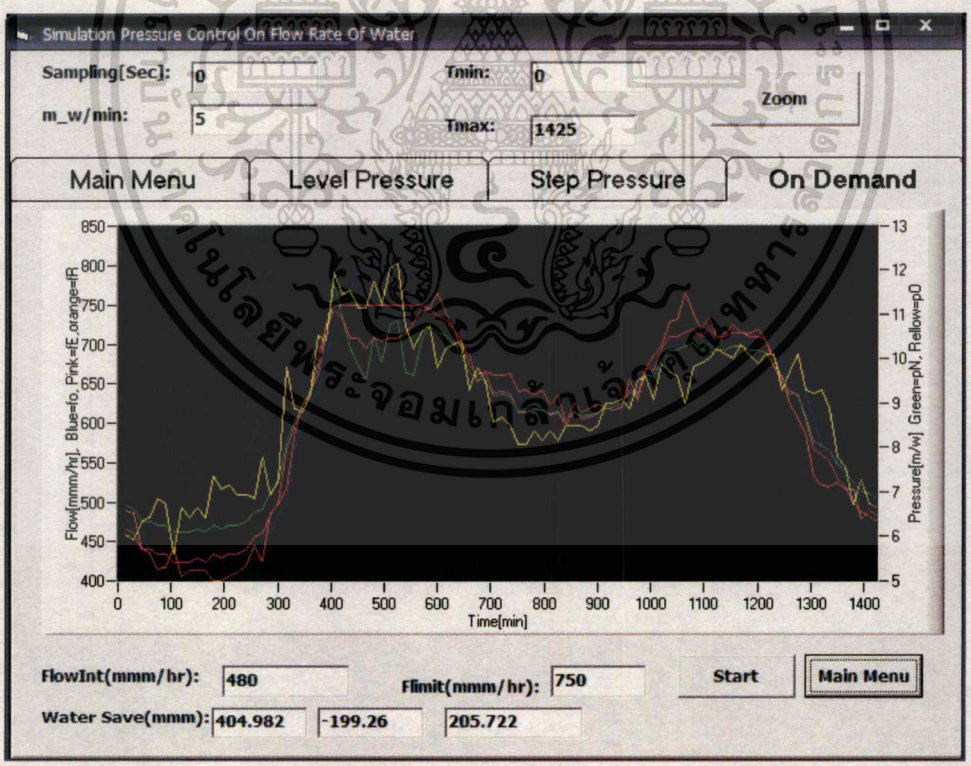
ก)



ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค)



ง)

รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบการควบคุมแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 แสดงผลการจำลองการควบคุมแรงดันในรูปแบบต่างๆ ของข้อมูลจริง จากรูป 5.10 ก) แสดงโหมดการควบคุมแบบคงที่ ที่แรงดัน 9.6 เมตรน้ำซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยแรงดันของรูปแบบการควบคุมแบบเดิม จะเห็นว่าการควบคุมแบบคงที่ที่โปรแกรมจำลองขึ้นมีลักษณะการควบคุมที่ด้อยกว่ารูปแบบการควบคุมแบบเดิม โดยสังเกตุตามช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาที่มีความต้องการต่ำ (Night Flow) ด้วยการควบคุมแบบคงที่ทำให้อัตราการไหลจากเดิมสูงขึ้นมากกว่าที่ควรจะเป็น แต่ในช่วงที่มีความต้องการสูงอัตราการไหลกลับต่ำกว่ารูปแบบเดิม รูปที่ 5.10 ข) แสดงโหมดการควบคุมแบบ 2 ช่วงเวลา ซึ่งจะควบคุมแรงดัน 2 ช่วงที่ค่าต่ำและค่าสูงตามค่าอัตราการไหลที่กำหนด (Flow Threshold) จากรูปกำหนดอัตราการไหลที่ควบคุมแรงดันไว้ที่ 550 m^3 / hr. แรงดันค่าต่ำที่ 6.5 เมตรน้ำ และแรงดันค่าสูงที่ 11 เมตรน้ำ จะเห็นว่าการควบคุมแบบนี้จะดีกว่าการควบคุมแบบคงที่แต่ยังไม่ดีกว่าการควบคุมรูปแบบเดิม รูปที่ 5.10 ค) แสดงโหมดการควบคุมตามความต้องการ ในโหมดนี้จะเริ่มจากการทำนายค่าความต้องการในช่วงเวลาถัดไปและควบคุมแรงดันตามความต้องการอย่างแท้จริง ซึ่งจะเห็นว่าโหมดการควบคุมตามความต้องการนี้จะมีลักษณะการควบคุมที่ดีกว่ารูปแบบการควบคุมเดิม โดยจะเห็นว่าอัตราการไหลและแรงดันเกิดความสอดคล้องกันอย่างแท้จริง และด้วยโหมดการควบคุมนี้ทำให้ลดการสูญเสียลงถึงประมาณ 239.89 m^3 และเพิ่มยอดขายได้ถึง 285.048 m^3 รูปที่ 5.10 ง) แสดงโหมดการควบคุมตามความต้องการในภาวะที่เกิดท่อแตกในระบบ ระบบจะมีการจำกัดค่าอัตราการไหลสูงสุดเอาไว้โดยการควบคุมแรงดันตาม ซึ่งในที่นี้สามารถลดการสูญเสียได้ถึง 404.982 m^3

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมตามความต้องการเป็นโหมดการควบคุมที่ดีที่สุด เพราะสามารถลดอัตราการไหลเข้าพื้นที่ในช่วงที่มีความต้องการน้อยทำให้ลดน้ำสูญเสีย (Water save)ลงได้ และสามารถเพิ่มอัตราการไหลเข้าพื้นที่ในช่วงที่มีความต้องการมากทำให้เพิ่มผลประโยชน์ด้านการขาย (Water sale) ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันแม้ว่าโลกเราจะมีปริมาณน้ำผิวโลก มากถึง 2 ใน 3 ของโลก แต่น้ำที่เราจะนำมาใช้อุปโภค บริโภคได้ กลับมีน้อยลงทุกที เนื่องจากน้ำผิวโลกนี้เป็นน้ำเค็มถึง 97% เป็นน้ำจืดที่กลายเป็นน้ำแข็ง ขั้วโลกทั้งขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ 2% เหลือเป็นน้ำจืดที่เรานำมาใช้ได้เพียง 1% เท่านั้น อันได้แก่น้ำที่ อยู่ตามแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง ทะเลสาบ รวมไปถึงน้ำบาดาล แต่น้ำจืด 1% นี้ใช่ว่าเราจะสามารถนำมาใช้อุปโภค บริโภคได้ทันทีทั้งหมด เพราะกว่าจะมาเป็นน้ำประปาให้แก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน และต้องมีการลงทุนสูงมาก ฉะนั้นเราควรตระหนักถึงความสำคัญของการลดน้ำประปาที่สูญเสียไปโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆเป็นอย่างมาก

การเฝ้าระวังและควบคุมน้ำสูญเสียในระบบประปานั้น จะใช้การแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อยเล็กๆ และเป็นระบบปิด เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์สมดุลน้ำและจัดลำดับความสำคัญในการสำรวจ โดยการวัดปริมาณข้อมูลความต้องการในพื้นที่แล้วเก็บข้อมูลวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อสังเกตุแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลความต้องการ และใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจว่าบริเวณนี้อาจเกิดการรั่วไหลขึ้น โดยสิ่งสำคัญในการเฝ้าระวัง และควบคุมน้ำสูญเสียในระบบคือ การรับรู้ถึงข้อมูลการรั่วไหลได้เร็ว (Awareness time) จากแนวโน้มข้อมูลสถิติ ซึ่งในระบบเก่าแหล่งของข้อมูลการรั่วไหลของน้ำมาจาก 2 แหล่งคือ Call center ซึ่งจะเปิดรับแจ้งข้อมูลจากประชาชน และทีมสำรวจหาจุดรั่ว (Water Leakage Detective team) ซึ่งจะทำการสำรวจ 2 ครั้งต่อปี ตามมาตรฐานการสำรวจหาจุดรั่วของการประปานครหลวง นั่นก็หมายความว่าการสูญเสียของน้ำในระบบอาจจะมากถึง 6 เดือนหรือ 180 วันเริ่มจากมีการรั่วไหลของน้ำภายในระบบ และการควบคุมแรงดันน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการ เพื่อนำไปสู่การลดความสูญเสียและรายได้ที่จะเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดการแตกรั่วของระบบท่อประปาในกรณีที่แรงดันสูงเกินกว่าจะรับไหว ในกรณีไม่มีการควบคุมแรงดันน้ำเข้าพื้นที่ จะเกิดความไม่สอดคล้องระหว่างความต้องการกับแรงดันน้ำ เช่นยกตัวอย่างในโซนพักอาศัย ในช่วงเวลากลางคืนจะมีความต้องการใช้น้ำน้อยทำให้แรงดันในระบบสูงขึ้น ส่งผลให้ท่ออาจเกิดการแตกรั่วได้ง่าย อีกทั้งจุดรั่วที่ยังสำรวจไม่พบก็จะรั่วไหลมากขึ้นตามความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วไหลและแรงดันน้ำ ส่วนในช่วงเวลากลางวันความต้องการใช้น้ำสูง แรงดันในระบบจะตกลง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียรายได้ในส่วนที่ควรจะได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและควบคุมการสูญเสียน้ำในระบบ DMA โดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยจัดการ รวมถึงกระบวนงานการบริหารจัดการน้ำสูญเสียที่ได้มาตรฐานสากลมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งประกอบด้วย หน่วยอินพุทเอาท์พุท เครือข่ายที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระบบ โปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยพิจารณาจากข้อมูลสถิติ และโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของระบบควบคุม

ในการวิเคราะห์การรั่วไหลของระบบจะใช้วิธีเก็บข้อมูลเชิงสถิติ อัตราความต้องการใช้น้ำต่ำสุด อัตราความต้องการใช้น้ำสูงสุด และอัตราความต้องการใช้น้ำแต่ละช่วงเวลา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตโดยมีรูปแบบการพิจารณา 2 กรณี คือ ท่อรั่วจะกำหนดขอบเขตทุกๆช่วงเวลา และท่อแตกจะกำหนดขอบเขตล่างและขอบเขตบน ซึ่งท่อแตกระดับความร้ายแรงจะมากกว่าท่อรั่ว

ในการควบคุมแรงดันน้ำเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ และสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัยไม่เอื้ออำนวย จึงจำเป็นต้องเสนอในรูปโปรแกรมซอฟท์แวร์จำลองการทำงานของระบบควบคุมเชิงอุดมคติแทนการทดลองจริง โดยโปรแกรมจะมีโหมดการควบคุม 3 ประเภทคือ การควบคุมแรงดันคงที่ การควบคุมแรงดัน 2ช่วงเวลา และการควบคุมแรงดันตามความต้องการ โดยค่าที่ได้ในการจำลองนั้นจะได้จากการคำนวณตามสมการที่กำหนดไว้ในโปรแกรม และตัวแปรที่ใช้คำนวณจะไปตามค่าที่กำหนดเอาไว้ในหน้าโปรแกรมของแต่ละโหมดการควบคุม จากผลทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมแรงดันตามความต้องการใช้จริงนั้นเป็นโหมดการควบคุมที่ดีที่สุด เพราะความสอดคล้องกันของปริมาณแรงดันและความต้องการ ซึ่งทำให้ลดความสูญเสียได้ดีในช่วงความต้องการต่ำ และเพิ่มรายได้ในช่วงความต้องการสูงด้วย

วิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นวิธีการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการควบคุมดูแล และติดตามข้อมูลของระบบเฝ้าระวังและควบคุมน้ำสูญเสียในระบบท่อประปาอีกขั้นหนึ่ง จากงานวิจัยนี้ได้พบข้อจำกัดทางด้านเวลา จึงเสนอโหมดการควบคุมแรงดันน้ำโดยวิธีควบคุมปริมาณแรงดันน้ำที่จุดวิกฤตหรือปลายพื้นที่ ซึ่งจุดวิกฤตนี้เป็นจุดที่มีการร้องเรียนเรื่องแรงดันต่ำมาโดยตลอดในหลายๆพื้นที่ และถ้าใช้วิธีควบคุมแรงดันที่จุดวิกฤตร่วมกับการควบคุมแรงดันที่ต้นทางจะช่วยทำให้แรงดันน้ำในพื้นที่เกิดความสมดุลอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1]Lambert AO (2001) What do we know about Pressure:Leakage Relationships in Water Distribution System? IWA Conference "System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management" in Brno,Czech Republic,May 2001

[2] Lambert, AO and McKenzie, RS (2002) Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index. Paper to IWA Conference "Leakage Management A Practical Approach",Cyprus.

[3] Thronton J. and Lambert A, Water Loss & Performance Indicators IWA Taskforce on Water Loss.

[4] Farley, M. and Trow, S (2003) "Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control". London:IWA Publishing

[5] IWA Task Force, Apparent Water Loss Control: A Practical Approach, Water 21 June 2003.

[6] IWA Task Force, Assessing Real Water Losses: A Practical Approach, Water 21 April 2003.

[7] IWA Task Force, Managing Leakage by Managing Pressure: A Practical Approach, Water 21 October 2003.

[8] IWA Task Force, Managing Leakage by District Metered Area: A Practical Approach, Water 21 February 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

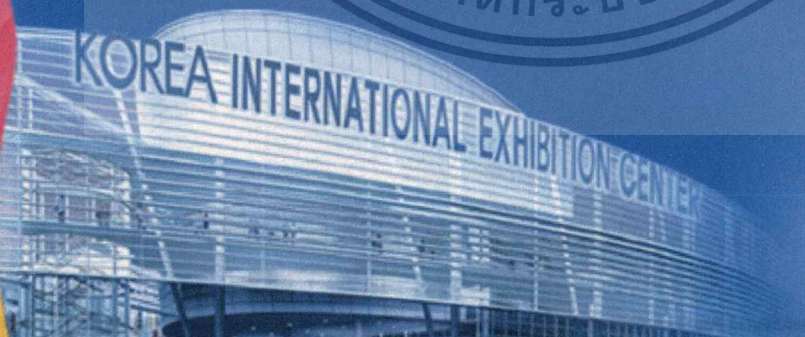
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICCAS 2005

International Conference on Control, Automation, and Systems

June 2-5, 2005
KINTEX, Gyeonggi-Do, KOREA



Conference Organization
Conference Information
Plenary Talks & Invited Talks
Table of Contents
Author Index
Financial Contribution
Search This CD-ROM
SICE - ICCAS 2006
CD-ROM Help
EXIT

ICASE SICE IEEE CAA AAI

Water loss Control in DMA Monitoring System Used Wireless Technology

P.Malithong S.Gulphanich and T.Suesut

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Lakrabang,
Lakrabang, Bangkok 10520, Thailand
(Tel : 66-2-739-2406-7; Fax : 66-2-739-2406-7 ext. 103 ; E-mail: kgsuphan@kmitl.ac.th)

Abstract : This article is about using information technology to apply with water loss inspection system in District Metering Area (DMA). Inspector can check Flow rate and Minimum Night Flow; NMF via Smart Phone or PDA include sending SMS Alert in case the Pressure, Flow rate and NMF is over the range of controlling. This will be used as equipment to implement water loss in international proactive and can keep on water loss reduction more efficiency. The system consists of Data Logger which collects data of Flow rate from DMA Master Meter. PC is Wap Server which dial via modem in order to get data through FTP Protocal that will convert text file to Microsoft Access Database. Wappage will use xhtml language to show database on Wapbrowser and can show the result on Smart Phone or PDA by graph and table for system analysis.

Keywords : DMA , NMF , Leakage

1. Introduction

Nowadays, conservation of nature resources and environment is a factor for everyone interests particularly water resources for consumption. Moreover, water is an important foundation in services and production industries. Therefore, water loss reduction is very important especially water distribution system, which caused water loss from the underground leakage pipe that water does not flow up to the surfaces. There are many factors and reasons that cannot survey in short time.

At present, MWA distribute water from distribution plants located in surround service area. Water is distributed to pipe network system similar to spider webs network. Water distribute areas can be divided into 13 areas (100,000 – 200,000 customers per a water distribute area). The large water distribution area will affect to management of water loss reduction in large scale. Furthermore, it cannot indicate exactly where the leakage area is high. Therefore, MWA has to solve this problem all distribution areas to survey leakage pipes or replace old pipes which has to spend unnecessary high budget for implement.

DMA (District Metering Area) is a new system of distribution management by cutting off the large distribution areas to small areas (1,500-3,000 customers per a water distribute area). Pipe network system is a closed system and independent each other. DMA will have one spot to distribute water to service area which install main meter and have a pressure recorder to collect data of water pressure and quantity at a different time of period.

Due to reduction the area and closed system, it makes the water loss management more easily. It can conduct step test in order to analyze the system problem deeply to villages or allays. Moreover, it can be arranged the important of problems accurately and efficiency.

However, DMA is just equipment to manage water leakage in order to increase the efficiency in performance, it is necessary to conduct information technology instead of sending officers to check flow rate and pressure in the field directly which make the delay. By using information technology to apply with measurement, the officers can monitor pressure and flow rate via mobile phone / PDA or alert incoming message if the system is unusual.

2. Principle

DMA is a water distribution area, which is limited by DMA boundary. The water distribution is controlled by the main water meter in order to monitor and continually record water flow rate.

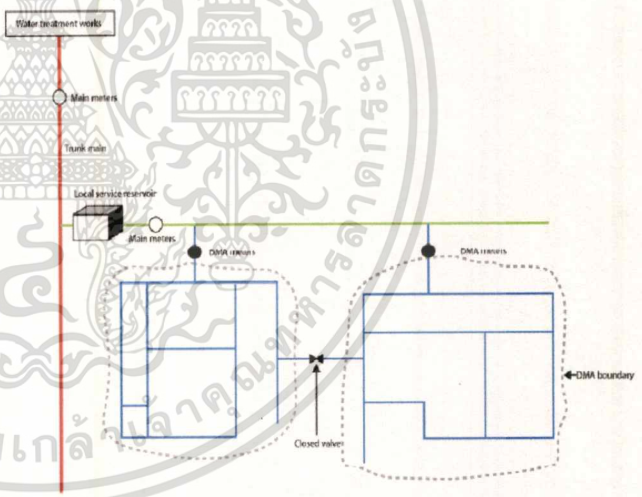


Fig. 1. Division of Distribution into DMAs

Night Flow Data from the water meter is used for water leakage calculation in DMA, which is the basic information in considering the method of reducing the water leakage in DMA. It can also be used in comparing with other DMAs to prioritize the leakage solution.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1. Pressure and Leakage Relationship

The rate of water leakage and water loss in DMA are significantly related with the operating pressure in the distribution system. The higher operating pressure, the more increasing leakage and loss in the system as the leakage formula shown below.

$$L_1 = L_0 (P_1 / P_0)^{N_1} \quad (1)$$

Where

L_0 = initial leakage loss in m^3/h
L_1 = new leakage loss in m^3/h
P_0 = initial pressure (m)
L_1 = new pressure (m)
N_1 = pressure exponent (non-dimensional) , may be anywhere between 0.5 and 2.5 for individual small zones, for large systems with mixed pipe materials, it is reasonable to assume a linear relationship, that is, $N_1 = 1$.

In order to determining and analyzing water leakage and loss, Average Night Pressure (AZP) and Average Zone Night Pressure (AZNP) as major data are included in this research.

Average Zone Pressure (AZP) - the pressure in a Pressure Managed Area (PMA), which is calculated or measured at a surrogate point, and deemed to be the average of all the pressures in the DMA

Average Zone Night Pressure (AZNP); like AZP, but for the minimum night flow period.

$$ANZP = [\, P_{Hight} \times S \,] + (1\text{-}S) \times P_{Low} \quad (2)$$

$$P_{av} = (P_{Hight} + P_{low})/2 \quad (3)$$

Where

P_{Hight} is the highest pressure in Zone,
P_{Low} is the lowest pressure in Zone,
P_{av} is the average pressure in Zone, and
S is the ratio of number of measuring point having higher Pressure than P_{av}

2.2. Leakage

The most important thing in DMA management is to manage the water leakage within DMA. Following the figure 2: Typical 24 Hour DMA Flow Profile, it can be seen that the Minimum Night Flow consists of the Customer night use and Leakage, which can be separated into two types of Background leakage and Burst leakage according to the theory.

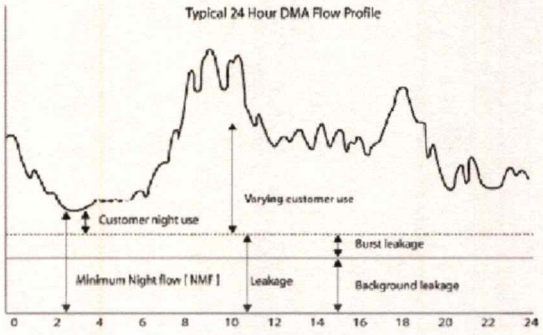


Fig. 2. Typical 24-Hour DMA Flow Profile

2.2.1 Background Leakage (LB)

Background Leakage (LB) is the very little amount of water leakage from joints within the water pipe system, which is difficult to inspect. The leakage depends on the lifetime of the pipe.

The background loss estimate at 50 meters used in the Managing Leakage series was:

$$LB\,(50m)\,(l/hr) = (4 \times \text{No. of properties}) + (0.04 \times \text{meters of main}) \quad (4)$$

A more flexible approach has been the following equation:

$$LB\,(50m) = ICF\,(4 \times \text{No. of properties}) + (0.04 \times \text{meters of main}) \quad (5)$$

ICF is the Infrastructure Condition Factor. Its value normally lies between 0.5 and 2.0, depending on the condition of the mains - 0.5 if the mains are considered to be in good condition, or 2.0 if they are considered to be in poor condition from a water tightness point of view.

$$ICF = \frac{\text{Presently Lowest Possible Losses of DMA}}{\text{Lowest Possible Losses for DMA with Standard Good Condition}} \quad (6)$$

The background estimates also require a pressure correction using the average zone night pressure. There are several pressure correction factors (PCFs) in use. Two of the commonly used ones are given in Table 1. The Report 26 value was derived as a relationship between the pressure and night-flow losses. The 1.5 power law value was derived specifically for background losses.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Pressure correction factors for background losses

AZNP (m)	PCF (report 26)	PCF (1.5 power law)
20	0.33	0.25
25	0.43	0.35
30	0.53	0.46
35	0.64	0.59
40	0.75	0.72
45	0.87	0.85
50	1.00	1.00
55	1.13	1.15
60	1.27	1.31
65	1.41	1.48
70	1.56	1.66
75	1.72	1.84
80	1.88	2.02
85	2.05	2.22
90	2.22	2.41

So, overall the background losses in a DMA could be given by:

$$LB = ICF \times PCF \times (4 \times \text{No. of properties}) + (0.04 \times \text{meters of main}) \quad (7)$$

2.2.2 Burst Leakage

Burst Leakage is the most kind of leakage in the water pipe system. Leaked water sometimes can be seen on the ground surface, which the current technical tools can be easily used for investigating this kind of leakage. The level of Burst leakage can be calculated by multiply the Burst Flow rate by the duration since the pipe is leaked to the repaired (ALR).

$$\text{Leak Volume} = (A+L+R) \times \text{Flow Rate} \quad (8)$$

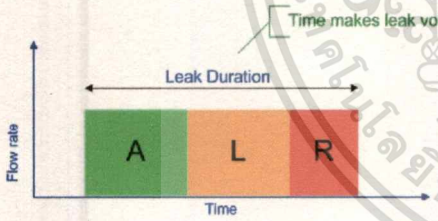


Fig. 3. ALR Time

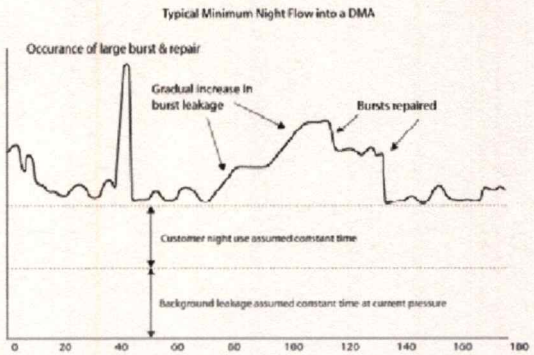


Fig. 4. Flow rate affected by Burst leakage

In the normal operations, Location Time will not be taken more than 1 week and within 1 day for Repair Time. Therefore, Awareness Time is the factor that much affect to water loss. As the faster we receive the leakage information, the more we can reduce the water loss (See figure 4).

3. How the system works

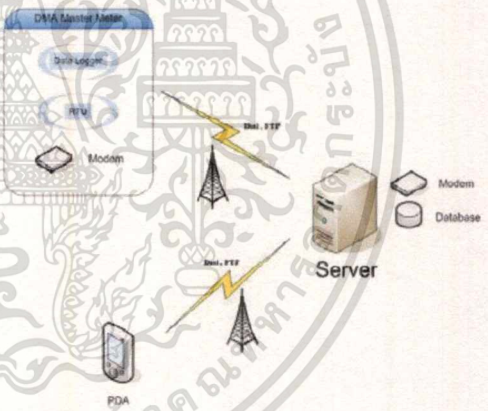


Fig. 5. DMA Monitoring System

$$ALR = \text{Awareness Time} + \text{Location Time} + \text{Repair Time} \quad (9)$$

Awareness time is length of time taken from a leak first occurring to the time when the water services organization aware a leak exists, location time is time to locate the leak (depends on intensity of activity to locate it) and repair time is time to repair the leak (generally a short period)

Furthermore, Burst Flow rate is depended on the size and type of water pipe, including the water pressure.

Typical value at 40 m ANZP

- 25 m^3/d for an underground service pipe burst
- 75 m^3/d for typical distribution main burst
- 150 m^3/d for typical trunk mains burst

This system comprises of the followings. Firstly, "DMA Master Meter" monitor and measure the flow rate, then send the data measured to store in "Data Logger". PC that functions as a WAP Server then connect to data logger via dial up modem and retrieve data via FTP Protocol. It converts Text File to Microsoft Access Database. PDA users can also use the WAP-Browser to access/browse the WAP-Page displayed in xhtml language which can be shown in table and graph format.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

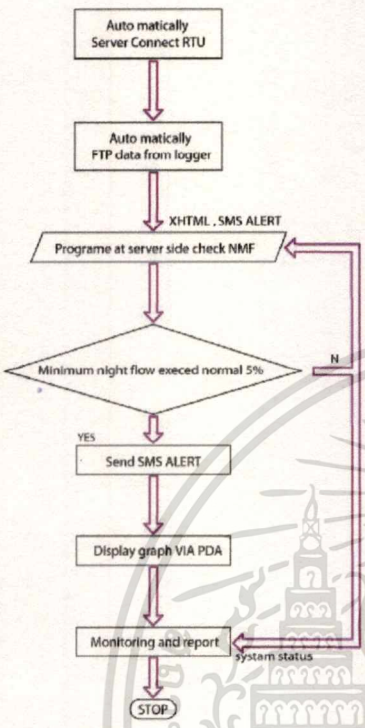
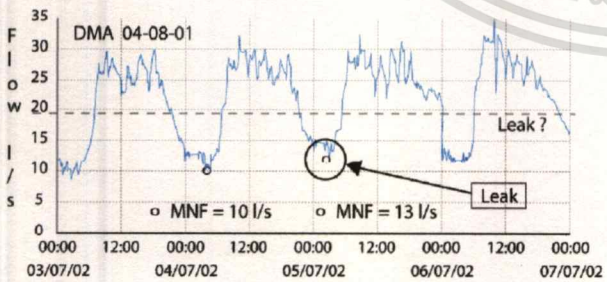


Fig. 6. System Work Flow

4. The results of the experiment

DMA 04-08-01, completely established in the early of the year 2002, is the responsible area of Sukhumvit Branch Office of the MWA. We found that the acceptable Minimum Night Flow is 10l/s after implementing the Water Loss Management by DMA.



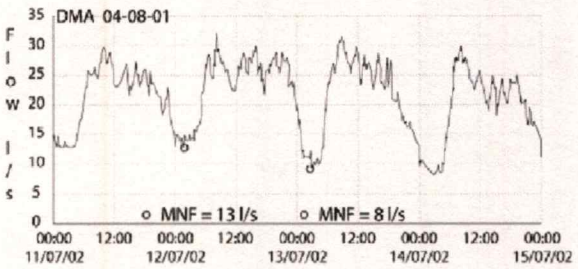


Fig. 7. DMA 04-08-01 Flow rate Profile

Figure 7 represents the flow rate measured from the Master Meter of DMA 04-08-01. As we can see that the value of Minimum night flow on 5 July 2002 increased abnormally, the communication system we settled had sent the alert via short message (SMS) to the administrator. Then the administrator monitored the minimum night flow of the two following days (Awareness Time = 3 days) to make sure if the leakage actually occurred. When the leakage is guaranteed, the inspection team is sent to investigate the leak pipe (Location Time = 4 days) and then repair (Repair Time = 1 day).

After finishing the implementation, we can reduce the UFW in the system up to 432 cu.m/d while the value of ALR is just 8 days.

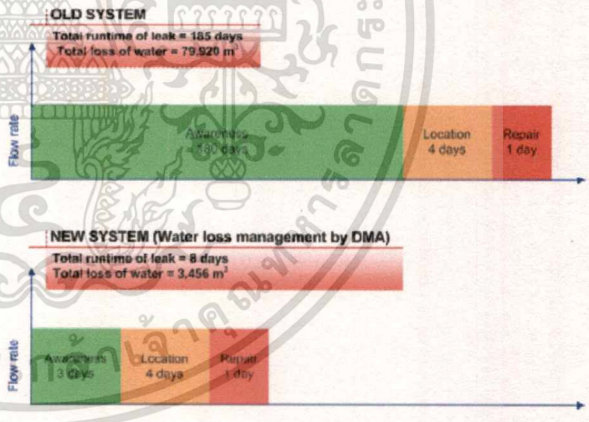


Fig. 8. Compare about Awareness Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

According to Figure 8, in the former water loss monitoring system, awareness time of leakage recovery may be extended to 6 months or 180 days since the leakage was started in the system.

In the old system, there are two sources of leakage information; Call center gathering information from people in service area and Water Leakage Detective team. The leakage alert from people means that the leakage must be visible and quite severe. Whereas the lead time in surveying the service area of Water Leakage Detective team may be 6 months per time (2 times per year according to MWA's water leakage surveying lead time). Therefore, the leakage information the leakage data components such as possible leakage area, Minimum night flow and operating pressure are too late to be acquired.

In order to reduce lead time of water leakage and awareness time in water loss control, DMA , mater meter and wireless technology are integrated to be the new monitoring system. By utilizing the faster gathering information, instant NFM alert and online monitoring via smart phone /PDA, the awareness time will be decreased from 180 days to 3 days. Certainly, this will result to decrease significant declination of water loss (From 79,920 m3 to 3,456 m3).

5. Conclusion

DMA is the effective tool for managing with the losing water and it will be more effective to use with the Information Technology System. Watching the Minimum Night Flow (NMF) is essential as it can indicate the level of burst leakage in the system. The sooner the in-charge administrator gets the information about the change of NMF, the lesser the Awareness Time of Burst Leakage may take. Therefore, DMA can greatly help reducing the losing water causing by burst leakage.

Reference

[1] Lambert AO (2001) What do we know about Pressure:Leakage Relationships in Water Distribution System? IWA Conference "System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management" in Brno,Czech Republic,May 2001

[2] Lambert, AO and McKenzie, RS (2002) Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index. Paper to IWA Conference "Leakage Management A Practical Approach",Cyprus.

[3] Thronton J. and Lambert A, Water Loss & Performance Indicators IWA Taskforce on Water Loss.

[4] Farley, M. and Trow, S (2003) "Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control". London:IWA Publishing

[5] IWA Task Force, Apparent Water Loss Control: A Practical Approach, Water 21 June 2003.

[6] IWA Task Force, Assessing Real Water Losses: A Practical Approach, Water 21 April 2003.

[7] IWA Task Force, Managing Leakage by Managing Pressure: A Practical Approach, Water 21 October 2003.

[8] IWA Task Force, Managing Leakage by District Metered Area: A Practical Approach, Water 21 February 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ–นามสกุล	นายพงศ์เกษม มะลิทอง
วัน เดือน ปีเกิด	21 ธันวาคม 2522
ที่อยู่	67/56 หมู่ 3 ถนนติวานนท์ ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
ประวัติการศึกษา	2542 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิคส์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี 2544 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเครื่องมือวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผลงานทางวิชาการ	Pongkasame Malithong. "Water Loss Control in DMA Monitoring System Used Wireless Technology" International Conference on Control, Automation, and Systems (ICCAS 2005), Korea, June 2005.

ปัจจุบันทำงานอยู่บริษัทเอกชน ตำแหน่งวิศวกร แผนกวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้