รายงานการศึกษาส่วนบุคคล

เรื่อง

การเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง
เพื่อความยั่งยืน

โดย

นายคงเกียรติ เจริญบุญวรรณ

ผู้ช่วยผู้ว่าการ (ระบบส่งและจ่ายน้ำ) การประปานครหลวง

เสนอ

คณะกรรมการหลักสูตรนักบริหาร

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการฝึกอบรมหลักสูตรนักบริหารมหานคร
ระดับสูง รุ่นที่ 10
ระหว่างวันที่ 20 เมษายน – 17 กรกฎาคม 2558

คำนำ

รายงานเล่มนี้ถูกจัดทำขึ้นอย่างพิถีพิถัน เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งของการฝึกอบรมหลักสูตรนักบริหารมหานครระดับสูง รุ่นที่ 10 ในหัวข้อ “การเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อความยั่งยืน” โดยการประปานครหลวงใช้โรงงานผลิตน้ำบางเขนเป็นแหล่งผลิตน้ำหลักทางฝั่งกรุงเทพมหานคร (ตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา) ซึ่งปัจจุบันประสบปัญหาคุณภาพน้ำดิบ และโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เป็นแหล่งผลิตน้ำหลักทางฝั่งธนบุรี (ตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา) ที่มักมีปัญหาระบบไฟฟ้าขัดข้อง นอกจากนี้ยังมีโรงงานผลิตน้ำสามเสนและโรงงานผลิตน้ำธนบุรี ซึ่งมีกำลังการผลิตน้อยและไม่สามารถสูบส่งน้ำทดแทนหากเกิดปัญหากับโรงงานผลิตน้ำหลักทั้งสองข้างต้น จากปัญหาดังกล่าว รวมถึงการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับปริมาณความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นในอีก 30 ปีข้างหน้า รายงานเล่มนี้ จึงมุ่งหวังหาแนวทางการเพิ่มเสถียรภาพในระบบสูบส่งน้ำเพื่อความยั่งยืนในอนาคตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา

ด้วยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานเรื่อง “การเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อความยั่งยืน” จะเป็นประโยชน์ สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาข้อมูลในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง และการแก้ไขปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หากรายงานเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำ ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายคงเกียรติ เจริญบุญวรรณ
ผู้ช่วยผู้ว่าการ (ระบบส่งและจ่ายน้ำ)
การประปานครหลวง
12 มิถุนายน 2558

บทคัดย่อ

การประปานครหลวงมีโรงงานผลิตน้ำทั้งหมด 4 แห่ง คือ โรงงานผลิตน้ำบางเขนมีกำลังการผลิต 4 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มีกำลังการผลิต 1.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โรงงานผลิตน้ำสามเสนมีกำลังการผลิต 0.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน และโรงงานผลิตน้ำธนบุรีมีกำลังการผลิต 0.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีโรงงานผลิตน้ำบางเขนและมหาสวัสดิ์ที่สามารถสูบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำอื่นๆ ได้ นอกนั้นจะทำการผลิตและสูบจ่ายให้กับผู้ใช้น้ำ

โรงงานผลิตน้ำบางเขนจะทำการสูบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำประชานุกูล (PN), สถานีสูบจ่ายน้ำพหลโยธิน (PY), สถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินี (LP), สถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตย (KT), สถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง (SR), สถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว (LA), สูบจ่ายน้ำมีนบุรี (MB), สถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง (LK) สถานีสูบจ่ายน้ำมบางพลี (BP), สถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ (TP) และสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ (RB) นอกจากนี้ยังมีน้ำบางส่วนถูกจ่ายออกไปที่เฉลิมพันธ์ Valve Chamber, พระราม 9 Valve Chamber, ที่นวมินทร์ Valve Chamber, มัยลาภ Valve Chamber, เจริญนคร 2 Valve Chamber และเจริญนคร 34 Valve Chamber

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์จะทำการสูบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษม (PK), สถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ (TP) และสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ (RB) นอกจากนี้ยังมีน้ำบางส่วนถูกจ่ายออกไปที่ราชมนตรี Valve Chamber

ด้วยโรงงานผลิตน้ำบางเขนมักประสบกับปัญหาน้ำดิบด้อยคุณภาพ โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มักประสบกับปัญหาการขัดข้องของระบบไฟฟ้า อีกทั้งความต้องการในการสร้างระบบสูบส่งน้ำเพื่อรองรับปริมาณน้ำสำหรับคนกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการจำนวน 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันสำหรับ 30 ปีข้างหน้า จึงต้องมีการเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อความยั่งยืนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือทำให้ทราบว่าภายในปี 2560 จะต้องมีการก่อตั้งสถานีสูบจ่ายน้ำบางมดบริเวณทิศใต้ของกรุงเทพมหานคร ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาพร้อมท่อส่งน้ำจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เพื่อรองรับการขยายตัวของเขตเมืองและอุตสาหกรรม และประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน, เปลี่ยนหน้าที่ความรับผิดชอบของโรงงานผลิตน้ำธนบุรีจากโรงงานผลิตน้ำเป็นเพียงสถานีสูบจ่ายน้ำเนื่องจากท่อส่งน้ำดิบมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและแตกรั่วได้ง่ายจึงไม่เหมาะที่จะขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร, สร้างท่อส่งน้ำมหาสวัสดิ์เส้นที่ 2 (TR2-MH) จากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ไปยังโรงงานผลิตน้ำธนบุรีและมาบรรจบกับท่อส่งน้ำเดิมบริเวณสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระภายในปี 2560, ทำการเชื่อมท่อส่งน้ำฝั่งตะวันตกและตะวันออกเข้าด้วยกันจากสถานีสูบจ่ายน้ำบางมดไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงภายในปี 2587 ทั้งนี้หากไม่มีการเชื่อมท่อส่งน้ำจากสถานีสูบจ่ายน้ำบางมดไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงพบว่าทำให้ความเร็วของน้ำสูงขึ้นเกือบถึงเกณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อระบบสูบส่ง

การเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อความยั่งยืนจะต้องทำทั้งระบบควบคู่ไปกับการหาแหล่งน้ำดิบเพิ่มเติม การเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำบางเขน และมหาสวัสดิ์ การบริหารจัดการงบประมาณโดยคำนึงถึงต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งาน

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....1

1.4 นิยามศัพท์.....2

1.5 วิธีการศึกษา.....3

1.6 ประโยชน์ในการศึกษา.....3

2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....4

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....19

3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง.....22

3.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง.....22

3.2 ระบบการประปาของประเทศสิงคโปร์.....30

4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....34

4.1 บทสรุป.....34

4.2 ปัญหาและอุปสรรค.....35

4.3 ข้อเสนอแนะ.....35

5 **อ้างอิง.....37**

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง....7
2.2 องค์ประกอบกราฟแรงดันมาตรฐาน....8
2.3 ตัวอย่างกราฟแรงดันมาตรฐาน....10
2.4 แรงดันน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำจ่ายเพิ่มขึ้น....11
2.5 แรงดันน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราการสูบจ่ายคงที่ หรือลดลง....12
2.6 กราฟแรงดันของระบบ SCADA และ DMA....14
2.7 อิทธิพลการสูบจ่ายน้ำของ BK04....15
2.8 แรงดัน RTU ปลายทาง ที่จุด P113 และ U169....15
2.9 แรงดัน DMA ปลายทาง ที่จุด DM 16-01-04-03 และ DM 16-02-01-01....16
2.10 แรงดัน RTU ต้นทาง ที่จุด U230....16
2.11 อิทธิพลการสูบจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง....17
2.12 แรงดัน RTU ต้นทาง ที่จุด U223 และ DMA ปลายทาง ที่จุด 13-08-03-02....17
2.13 แรงดันสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว....18
2.14 แรงดัน DMA ในถนนลาดพร้าว....18
2.15 แรงดัน DMA ในถนนต่างๆ....19
3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2560 (แรงดันน้ำ)....25
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2587 (ความเร็วน้ำ)....28
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2587 (แรงดัน) หลังเชื่อมระบบสูบส่งน้ำ....29
3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2587 (ความเร็วน้ำ) หลังเชื่อมระบบสูบส่งน้ำ....30
3.5 วัฏจักรน้ำแบบปิด....31

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แนวทางการศึกษา 3
2.1 ข้อมูลถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ 8
3.1 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2560 22
3.2 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2587 25

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประปานครหลวงมีหน้าที่ในการผลิตน้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัยตลอด 24 ชั่วโมง ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยอาศัยโรงงานผลิตน้ำต่างๆ จำนวน 4 แห่ง ได้แก่ โรงงานผลิตน้ำบางเขน (BK) มหาสวัสดิ์ (MH) สามเสน (SS) และธนบุรี (TB) โดยโรงงานผลิตน้ำบางเขน และมหาสวัสดิ์จะทำหน้าที่ในการผลิตน้ำ ส่วนหนึ่งจะถูกสูบส่งไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ อีกส่วนหนึ่งจะทำการสูบจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำบริเวณนั้น ในขณะที่โรงงานผลิตน้ำสามเสน และธนบุรีจะทำหน้าที่ในการผลิตน้ำและสูบจ่ายให้กับผู้ใช้น้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

โรงงานผลิตน้ำบางเขนอาศัยน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา จะทำการสูบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำจำนวน 11 แห่ง โดยส่วนใหญ่จะอยู่ทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา สามารถผลิตน้ำได้สูงสุด 4 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปัจจุบันใช้กำลังการผลิตประมาณ 3.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งเป็นน้ำสูบส่งประมาณ 3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์อาศัยน้ำดิบจากเขื่อนแม่กลองก่อนทำการสูบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำจำนวน 3 แห่ง โดยทั้งหมดจะอยู่ทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา สามารถผลิตน้ำได้สูงสุด 1.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปัจจุบันใช้กำลังการผลิตประมาณ 1.4 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งเป็นน้ำสูบส่งประมาณ 1.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน

จากความต้องการใช้น้ำประปาที่เพิ่มขึ้นและประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนที่กำลังจะเกิดขึ้นทำให้มีประชากรอาศัยอยู่ในตัวเมืองมากขึ้น จึงมีแนวคิดว่าในอีก 30 ปีข้างหน้าจะทำอย่างไรเพื่อให้มีน้ำประปาใช้อย่างเพียงพอ การประปานครหลวงจึงทำการศึกษาแหล่งน้ำดิบใหม่ที่จะนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปา รวมทั้งการเพิ่มจำนวนเครื่องสูบน้ำในการสูบจ่ายของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ นอกจากนี้ต้องมีการออกแบบระบบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการในอีก 30 ปีข้างหน้าอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อสร้างความยั่งยืนในอีก 30 ปีข้างหน้าขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและจัดทำแผนพร้อมข้อเสนอแนะสำหรับโครงสร้างพื้นฐานในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง เพื่อเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำให้สามารถรองรับความต้องการใช้น้ำในอีก 30 ปีข้างหน้า

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) สร้างแบบจำลองระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง (Water Transmission System) เพื่อรองรับความต้องการใช้น้ำในอีก 30 ปีข้างหน้า

2) คาดการณ์ความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากปี 2557 ถึง 2587 แต่ละสถานีเพิ่มขึ้น 1.5-2.0 เท่าของปัจจุบันตามผลการวิเคราะห์ของกองควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำ (กคจ.) ฝ่ายควบคุมการส่งและจ่ายน้ำ (ฝคจ.) การประปานครหลวง

1.4 นิยามศัพท์

ระบบสูบส่งน้ำ (Transmission System) หมายถึง กระบวนการนำน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ ผ่านอุโมงค์ส่งน้ำ และท่อส่งน้ำ

ระบบสูบจ่ายน้ำ (Distribution System) หมายถึง กระบวนการนำน้ำประปาจากสถานีสูบจ่ายน้ำแจกจ่ายให้กับผู้ใช้น้ำผ่านท่อประธาน

อุโมงค์ส่งน้ำ (Tunnel) หมายถึง ท่อประปาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2000 มิลลิเมตร จนถึง 3400 มิลลิเมตร มีความลึกจากผิวดิน 20 เมตร มีหน้าที่ในการส่งน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ

ท่อส่งน้ำ (Conduit) หมายถึง ท่อประปาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1500 มิลลิเมตร จนถึง 3400 มิลลิเมตร มีความลึกจากผิวดินถึงหลังท่อ 3-4 เมตร มีหน้าที่ในการส่งน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ

ท่อประธาน (Trunk Main) หมายถึง ท่อประปาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 500 มิลลิเมตร จนถึง 1800 มิลลิเมตร มีหน้าที่ในการส่งน้ำประปาจากสถานีสูบจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้น้ำ

ระบบ SCADA คือ ระบบติดตามและควบคุมอัตโนมัติ (Supervisory Control and Data Acquisition: SCADA) เป็นระบบที่ใช้ในการรวบรวมและจัดการข้อมูล แสดงผลของการทำงาน การตรวจวัด รับ-ส่งข้อมูล และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์โดยเฉพาะกับอุปกรณ์ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากศูนย์ควบคุมและไม่มีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน
(ที่มา: http://water.rid.go.th/hyd/scada/scada_uc.htm)

อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit: RTU) เป็นส่วนหนึ่งของระบบ SCADA ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่สถานีสนามหรือสถานีตรวจวัดข้อมูล โดยอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลจะถูกต่อกับเครื่องมือวัดข้อมูลที่ต้องการตรวจวัด และรวบรวมข้อมูลที่สถานีสนาม (Local Station) โดยต่ออุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลเข้ากับส่วนขาเข้า (Input Unit) ของอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลแล้วนำเอาค่าที่ทำการตรวจวัดได้มาทำการประมวลผลและส่งกลับไปแสดงผลที่ศูนย์ควบคุมโดยผ่านระบบสื่อสาร
(ที่มา: http://water.rid.go.th/hyd/scada/scada_uc.htm)

บ่อพักประตูน้ำอุโมงค์ (Valve Chamber: VC) เป็นบ่อพักขนาดใหญ่ที่มีท่อประธานเชื่อมต่อกับอุโมงค์ส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ เมื่อมีการเปิดประตูน้ำที่ทางเชื่อมดังกล่าวจะสามารถนำน้ำประปาจากระบบสูบส่งน้ำที่มีแรงดันสูงกว่าเข้าสู่ท่อประธานที่มีแรงดันต่ำกว่าเพื่อจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านกระบวนการนำน้ำประปาเข้าไปเก็บในถังเก็บน้ำใสที่สถานีสูบจ่ายน้ำแล้วจึงสูบจ่ายให้กับประชาชน

ประตูน้ำควบคุมระยะไกล (Remote Control Valve: RCV) เป็นชุดอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่รับคำสั่งจากศูนย์ควบคุมที่อยู่ระยะไกลออกไป เพื่อมาประมวลผลและนำไปขับหัวขับประตูน้ำให้ได้ค่าตามที่ต้องการแทนการใช้คนไปปรับ

1.5 วิธีการศึกษา

1) ศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำ แรงดันน้ำในระบบอุโมงค์และท่อส่งน้ำทั้ง 4 เส้นทาง

2) ศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำเข้าถังเก็บน้ำใส แรงดันน้ำเข้าถังเก็บน้ำใส ระดับน้ำในถังเก็บน้ำใส แรงดันน้ำสูบจ่าย ปริมาณน้ำสูบจ่าย และความสามารถของเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ

3) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำในปัจจุบัน เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อความยั่งยืน จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามแนวทางใหม่ และเปรียบเทียบผลการศึกษา

โดยมีแนวทางการศึกษาดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แนวทางการศึกษา

รายละเอียด	เม.ย.		พ.ค.				มิ.ย.			
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาข้อมูลระบบสูบส่งน้ำ										
ศึกษาข้อมูลสถานีสูบจ่ายน้ำ										
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสอบเทียบ										
หาแนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำ										
สร้างแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามแนวทางใหม่										
วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผล										
จัดทำรายงาน										

1.6 ประโยชน์ในการศึกษา

แนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อความยั่งยืนในการรองรับความต้องการการใช้น้ำประปาในอีก 30 ปีข้างหน้า

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง โดยเริ่มจาก แนวคิดทฤษฎีว่าด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นแนวคิดที่จะอธิบายถึงการใช้สูตรคณิตศาสตร์เป็นแบบจำลอง เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ที่ต้องการ อันจะนำไปสู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ หมายถึง การใช้สูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยประกอบการตัดสินใจและประเมินหาทางเลือกที่ดีที่สุด (Optimization Model) ตามที่ผู้ตัดสินใจต้องการ

2.1.1.1 ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์โครงข่ายระบบท่อ

2.1.1.1.1 สมการความต่อเนื่อง

สมการความต่อเนื่อง คือ ผลรวมของปริมาณน้ำที่จุดบรรจบของท่อ (Node) รวมทั้งปริมาณน้ำที่ปล่อยออกที่จุดบรรจบจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum_{I=1}^{I=NP(J)} Q_{IJ} - F_J = 0 \qquad ,J = 1\,,N_J \qquad (1)$$

โดยที่ Q_{IJ} = ปริมาณน้ำที่ไหลในท่อ IJ ที่จุด I

$NP(J)$ = จำนวนของท่อที่จุดบรรจบ J

F_J = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกที่จุด J

N_J = จำนวนจุดบรรจบทั้งหมดในโครงข่าย

2.1.1.1.2 สมการอนุรักษ์พลังงาน

สมการอนุรักษ์พลังงาน คือ ผลรวมของความสูญเสียความสูงของน้ำทั้งหมดในท่อรวมทั้งความสูงของน้ำที่เกิดจากการสูบน้ำของระบบโครงข่ายท่อแบบปิด เท่ากับศูนย์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum_{J=1}^{J=NP(J)} H_{L(IJ)} - H_{m(I,J)} = 0 \qquad ,I = 1\,,NL \qquad (2)$$

โดยที่ $H_{L(IJ)}$ = Head Loss ในท่อ J ของวงรอบ I การสูญเสียแรงดันในท่อ J ของวงรอบ I

$H_{m(IJ)}$ = Manometric Head ที่เกิดจากเครื่องสูบน้ำในแนวท่อ IJ

2.1.1.1.3 วิธีวิเคราะห์โครงข่ายระบบท่อ

เริ่มต้นพัฒนาโดย ศาสตราจารย์ Hardy-Cross โดยเป็นที่รู้จักกันคือวิธี Head Balance หรือวิธี Loop ซึ่งประยุกต์ใช้กับท่อที่เป็นวงรอบปิด โดยวิธี Head Balance คือข้อกำหนดผลรวมของ Head Losses ภายในวงรอบจะเป็นศูนย์ สมมติอัตราการไหลในท่อให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง และปรับแก้ทีละวงรอบ จนกระทั่งสอดคล้องกับสมการอนุรักษ์มวล โดยมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.1.1.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET

Rossman (2000) กล่าวว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET เป็นแบบจำลองการไหลภายใต้ท่อความดัน พัฒนาโดย U.S Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความเหมาะสมในการออกแบบขนาด จำลองสภาพการไหลของระบบจ่ายน้ำภายใต้แรงดัน รวมถึงการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทั้งในแบบเฉพาะเวลาใดเวลาหนึ่งและการจำลองแบบต่อเนื่อง (Extend Period Simulation) สามารถจำลองอุปกรณ์ของระบบจ่ายน้ำได้ครบถ้วน เช่น เครื่องสูบน้ำ, ประตูน้ำ, ถังเก็บน้ำ และอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น สามารถกำหนดรูปแบบของความต้องการใช้น้ำ (Demand Pattern) อัตราค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา กำหนดคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (H-Q Curve และ Efficiency Curve) และกำหนดให้อุปกรณ์ทำงานภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด มีการแสดงผลที่สวยงามและใช้งานง่าย

EPANET สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ระบบจ่ายน้ำได้หลายแบบ เช่น ปรับเทียบค่าแบบจำลอง Hydraulic วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำและคำนวณค่าระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ณ ช่วงเวลาต่างๆ เป็นต้น

การประปานครหลวงมีระบบต่างๆ เพื่อสามารถช่วยจ่ายน้ำให้ประชาชนมีน้ำใช้ตลอด 24 ชั่วโมง ดังนี้

ระบบน้ำดิบ >> ระบบผลิตน้ำ >> ระบบส่งน้ำ >> ระบบจ่ายน้ำ >> ระบบจำหน่ายน้ำ >> ระบบบริการ

2.1.2 ระบบสูบส่งน้ำ (Transmission System)

การประปานครหลวงมีระบบสูบส่งน้ำทั้งฝั่งตะวันออกและตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ดังนี้

2.1.2.1 ฝั่งตะวันตก (West Bank)

สถานีสูบส่งน้ำ โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์จะทำการสูบส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำเพชรเกษม (PK), สถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ (TP) และสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ (RB) นอกจากนี้ยังมีน้ำบางส่วนถูกจ่ายออกไปที่ราชมนตรี Valve Chamber

2.1.2.2 ฝั่งตะวันออก (East Bank)

ภายในโรงงานผลิตน้ำบางเขนมีสถานีสูบส่งน้ำอยู่ 3 สถานี คือ

2.1.2.2.1 สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 1 (TR1)

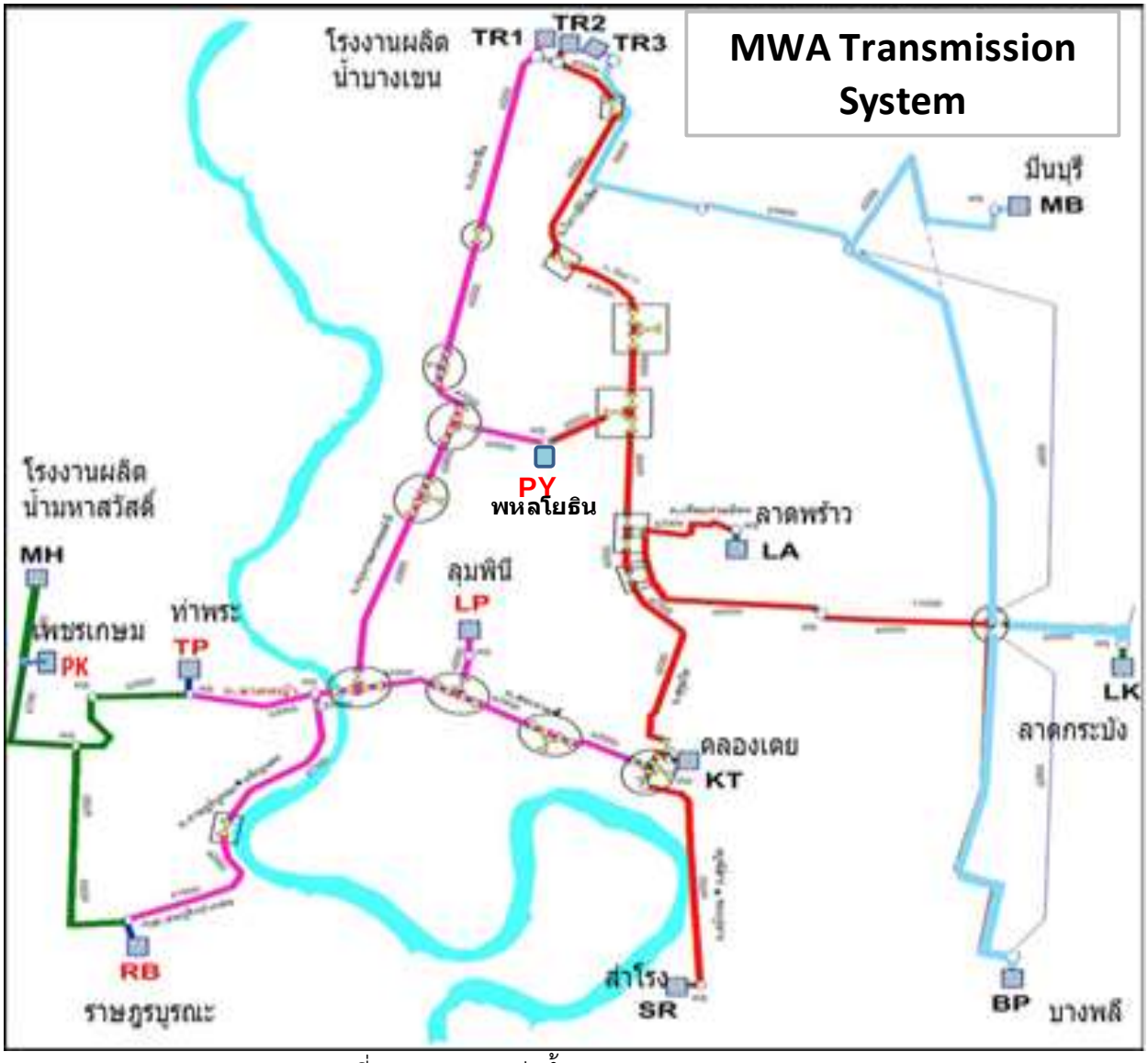
สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 1 ทำการสูบส่งน้ำผ่านอุโมงค์ส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำประชานุกูล (PN), สถานีสูบจ่ายน้ำพหลโยธิน (PY), สถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินี (LP), สถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตย (KT), สถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง (SR), สถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ (TP) และสถานีสูบจ่ายน้ำราษฎร์บูรณะ (RB) นอกจากนี้ยังมีน้ำบางส่วนถูกจ่ายออกไปที่เฉลิมพันธ์ Valve Chamber, เจริญนคร 2 Valve Chamber และเจริญนคร 34 Valve Chamber

2.1.2.2.2 สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 2 (TR2)

สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 2 ทำการสูบส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำพหลโยธิน (PY), สถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว (LA), สถานีสูบจ่ายน้ำลุมพินี (LP), สถานีสูบจ่ายน้ำคลองเตย (KT) และสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรง (SR) นอกจากนี้ยังมีน้ำบางส่วนถูกจ่ายออกไปที่พระราม 9 Valve Chamber

2.1.2.2.3 สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 3 (TR3)

สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 3 ทำการสูบส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี (MB), สถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง (LK) และสถานีสูบจ่ายน้ำบางพลี (BP) นอกจากนี้ยังมีน้ำบางส่วนถูกจ่ายออกไปที่นวมินทร์ Valve Chamber และมัยลาภ Valve Chamber



รูปที่ 2.1 ระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง

2.1.3 ถังเก็บน้ำใส (Reservoir)

เมื่อโรงงานผลิตน้ำสูบส่งน้ำมายังสถานีสูบจ่ายน้ำ น้ำจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำใสเพื่อสำรองไว้สูบจ่ายในช่วงที่มีความต้องการปริมาณน้ำสูงสุด (On Peak Demand) โดยในช่วงนั้นปริมาณน้ำสูบจ่ายของสถานีสูบจ่ายน้ำจะมากกว่าปริมาณน้ำเข้าถังเก็บน้ำใส ทำให้ระดับน้ำในถังลดลงไปเรื่อยๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นช่วงประมาณ 06.00-12.00 น. และ 16.00-21.00 น. เมื่อความต้องการน้ำลดลงปริมาณน้ำสูบจ่ายจะน้อยกว่าปริมาณน้ำเข้าถังเก็บน้ำใส ทำให้ระดับน้ำในถังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยทั่วไปจะเป็นช่วงเวลากลางคืน 21.00-06.00 น. และ 12.00-16.00 น.

ทั้งนี้จะต้องมีการบริหารจัดการปริมาณและแรงดันน้ำสูบส่งที่มาจากโรงงานผลิตน้ำ อีกทั้งระดับน้ำในถังเก็บน้ำใสของแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำไม่ให้ต่ำจนเกินไปซึ่งอาจจะทำให้เครื่องสูบน้ำหยุดโดยอัตโนมัติเพื่อป้องกันการเสียหาย และไม่ให้สูงเกินไปจนน้ำล้นออกมาด้านนอกถังอันจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อบริเวณโดยรอบสถานีสูบจ่ายน้ำได้ โดยแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำจะมีพื้นที่ถัง และความสูงแตกต่างกันดังตารางที่ 2.1

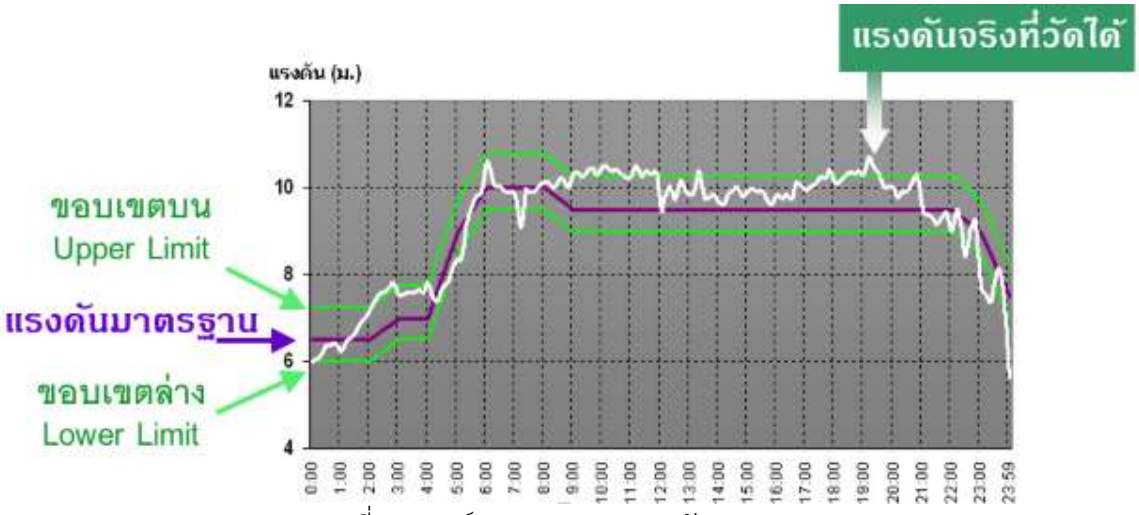
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ

สถานีสูบจ่ายน้ำ	ระดับ Over Flow (เมตร)	พื้นที่ถังเก็บน้ำใส (ตารางเมตร)	ปริมาตรถังเก็บน้ำใส (ลูกบาศก์เมตร)
เพชรเกษม (PK)	6.70	5720	38324
ท่าพระ (TP)	5.63	8120	45716
ราษฎร์บูรณะ (RB)	5.63	7985	44956
ลาดพร้าว (LA)	5.63	8815	49628
ลุมพินี (LP)	5.70	8570	48849
คลองเตย (KT)	5.63	8120	45716
สำโรง (SR)	5.63	9765	54977
มีนบุรี (MB)	7.47	7745	57855
ลาดกระบัง (LK)	5.63	9000	50670
บางพลี (BP)	5.90	11000	64900

2.1.4 ระบบสูบจ่ายน้ำ (Distribution System)

ในปัจจุบันการสูบจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำของการประปานครหลวงนั้น ใช้แรงดันควบคุมเป็นหลัก เนื่องจากแรงดันจะสะท้อนความต้องการของผู้ใช้น้ำได้ดีกว่าปริมาณน้ำ กล่าวคือ ถ้าความต้องการปริมาณน้ำมาก แรงดันน้ำจะลดลง ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำที่จะได้ใช้น้ำด้วยแรงดันที่ต่ำลง แต่ถ้าความต้องการปริมาณน้ำน้อย แรงดันน้ำจะสูงขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดท่อแตกรั่วได้ ดังนั้น จึงมีการพัฒนากราฟแรงดันมาตรฐาน (Pressure Trend Curve: PTC) เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมการสูบจ่ายน้ำของพนักงานสถานีสูบจ่ายน้ำ และพนักงานของกองควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำ (กคจ.) โดยกราฟแรงดันมาตรฐานมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

2.1.4.1 องค์ประกอบกราฟแรงดันมาตรฐาน



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบกราฟแรงดันมาตรฐาน

จากรูปที่ 2.2 กราฟแรงดันมาตรฐานประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ เส้นแรงดันมาตรฐาน ขอบเขตบน-ล่าง ค่าแรงดันจริง ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.1.4.1.1 เส้นแรงดันมาตรฐาน

เส้นแรงดันมาตรฐานเป็นค่าแรงดันที่ กคจ. ร่วมกับสำนักงานประปาสาขากำหนดขึ้นร่วมกัน โดยแรงดันจะเปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลาซึ่งเหมาะสมกับปริมาณการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ โดยในช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำมากจะมีการกำหนดแรงดันสูง เพื่อเพิ่มความพึงพอใจให้กับผู้ใช้น้ำและเพื่อโอกาสในการขายน้ำ ช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำน้อยจะมีการกำหนดแรงดันต่ำ เพื่อลดโอกาสในการแตกรั่วของท่อ

2.1.4.1.2 ขอบเขตบน-ล่าง

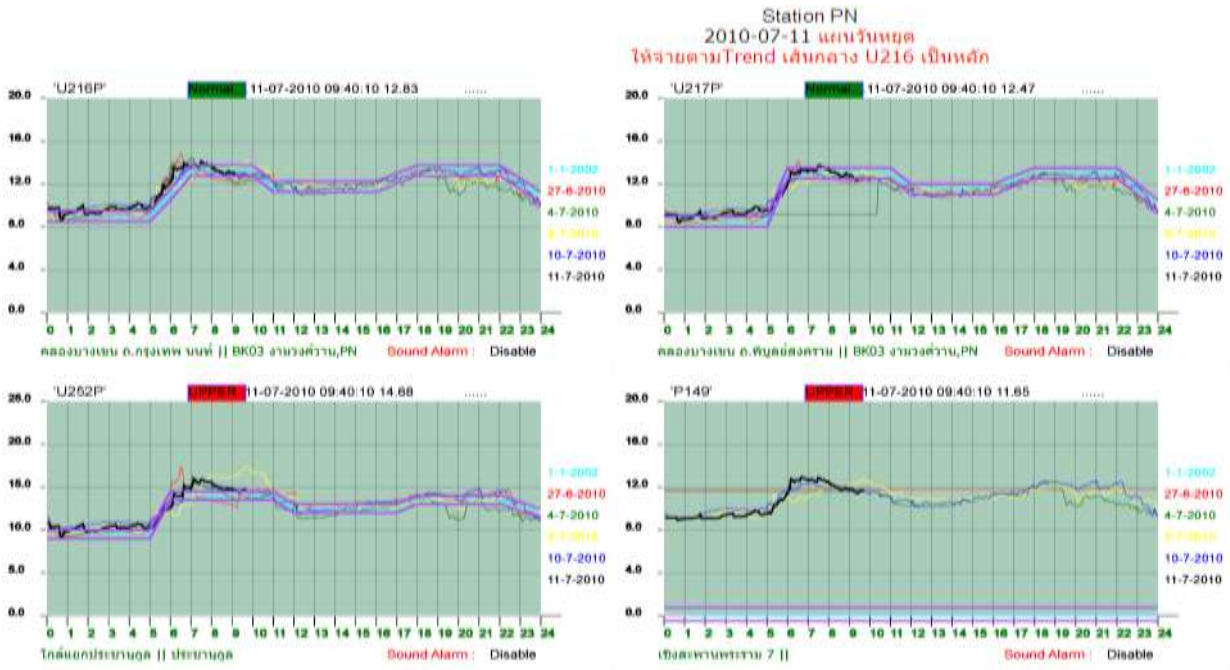
ขอบเขตบน-ล่างถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้เป็นช่วงห่างให้พนักงานสถานีสูบจ่ายน้ำ และพนักงาน กคจ. สามารถทำงานให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำ

2.1.4.1.3 ค่าแรงดันจริง

ค่าแรงดันจริงเป็นค่าแรงดันปัจจุบันที่วัดได้จริงจาก RTU ที่ถูกติดตั้งอยู่ ณ จุดต่างๆ ทั่วพื้นที่ให้บริการของ กปน.

2.1.4.2 การควบคุมการสูบจ่ายน้ำด้วยกราฟแรงดันมาตรฐาน

บุคคลที่เกี่ยวข้องจะต้องควบคุมการสูบจ่ายให้แรงดันที่จุดหลักที่กำหนดขึ้นในแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ดังรูปที่ 3 ให้อยู่ระหว่างขอบเขตบนและขอบเขตล่าง (Normal ภายในกรอบสีเขียว) แต่หากแรงดันอยู่ภายนอกขอบเขต (Upper หรือ Lower ภายในกรอบสีแดง พร้อมเสียงเตือน) บุคคลที่เกี่ยวข้องต้องทำการปรับแรงดัน โดยมีคำแนะนำอยู่ใต้กราฟ ซึ่งมีบุคคลที่เกี่ยวข้อง ดังนี้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟแรงดันมาตรฐาน

2.1.4.2.1 พนักงานสถานีสูบจ่ายน้ำ

เมื่อพนักงานสถานีสูบจ่ายน้ำ ได้แก่ มหาสวัสดิ์ เพชรเกษม ท่าพระ ราษฎร์บูรณะ ลาดพร้าว คลองเตย สำโรง ลาดกระบัง บางพลี มีนบุรี บางเขน 03-04 ลุมพินี สามเสน 1-4 พบแรงดันในจุดควบคุมหลักออกนอกขอบเขต จะทำการปรับแรงดันโดยการปรับรอบเครื่องสูบน้ำให้ได้แรงดันตามที่กำหนด หรือหากพนักงาน กคจ. พบเห็นก็จะทำการประสานงานไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำเพื่อทำการปรับต่อไป

2.1.4.2.2 พนักงาน กคจ.

เมื่อพนักงาน กคจ. พบแรงดันที่ต้องอาศัยการปรับประตูน้ำ (Valve) ออกนอกขอบเขต พนักงาน กคจ. จะทำการปรับประตูน้ำผ่านระบบควบคุมประตูน้ำระยะไกล (Remote Control Valve: RCV)

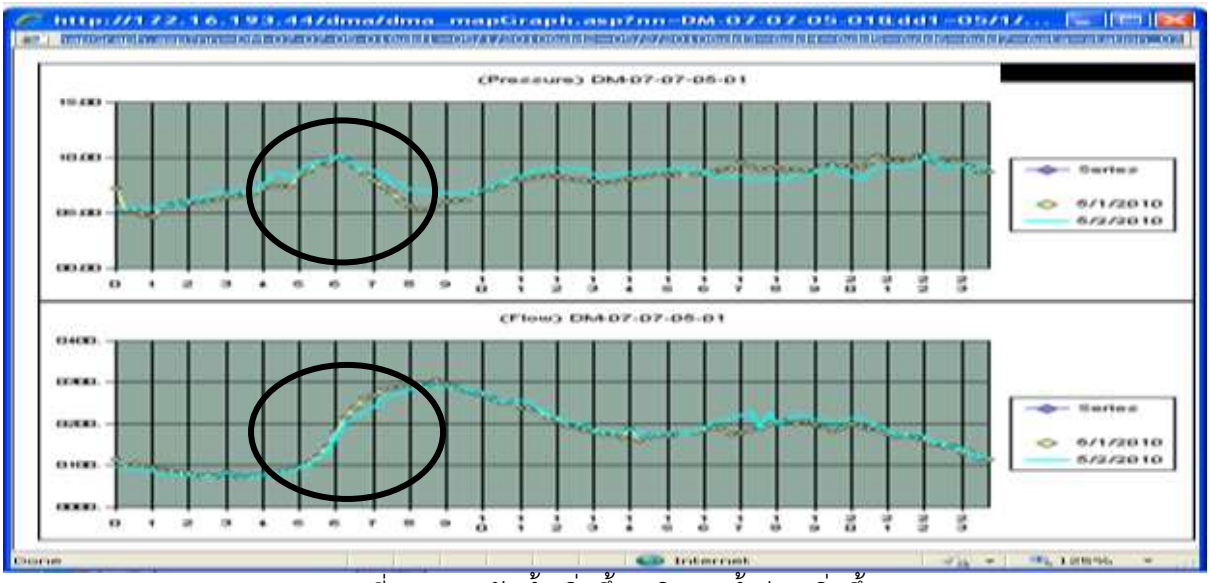
2.1.5 พื้นที่เฝ้าระวังน้ำสูญเสีย (District Metering Area: DMA)

การประปานครหลวงได้มีการลงทุนติดตั้งระบบพื้นที่เฝ้าระวังน้ำสูญเสีย (District Metering Area: DMA) ซึ่งระบบดังกล่าวจะส่งค่าแรงดันน้ำและอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อจ่ายน้ำของสำนักงานประปาสาขาต่างๆ ทั้ง 18 สาขาไปยังโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อเฝ้าระวังน้ำสูญเสียให้ลดปริมาณลง ทาง กคจ. ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของระบบนี้จึงได้ทำการศึกษาอย่างจริงจัง โดยหวังว่าจะนำประโยชน์ไปใช้ปรับปรุงการควบคุมการสูบจ่ายน้ำของ กคจ.

2.1.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน ปริมาณการสูบจ่าย และอัตราการใช้น้ำ

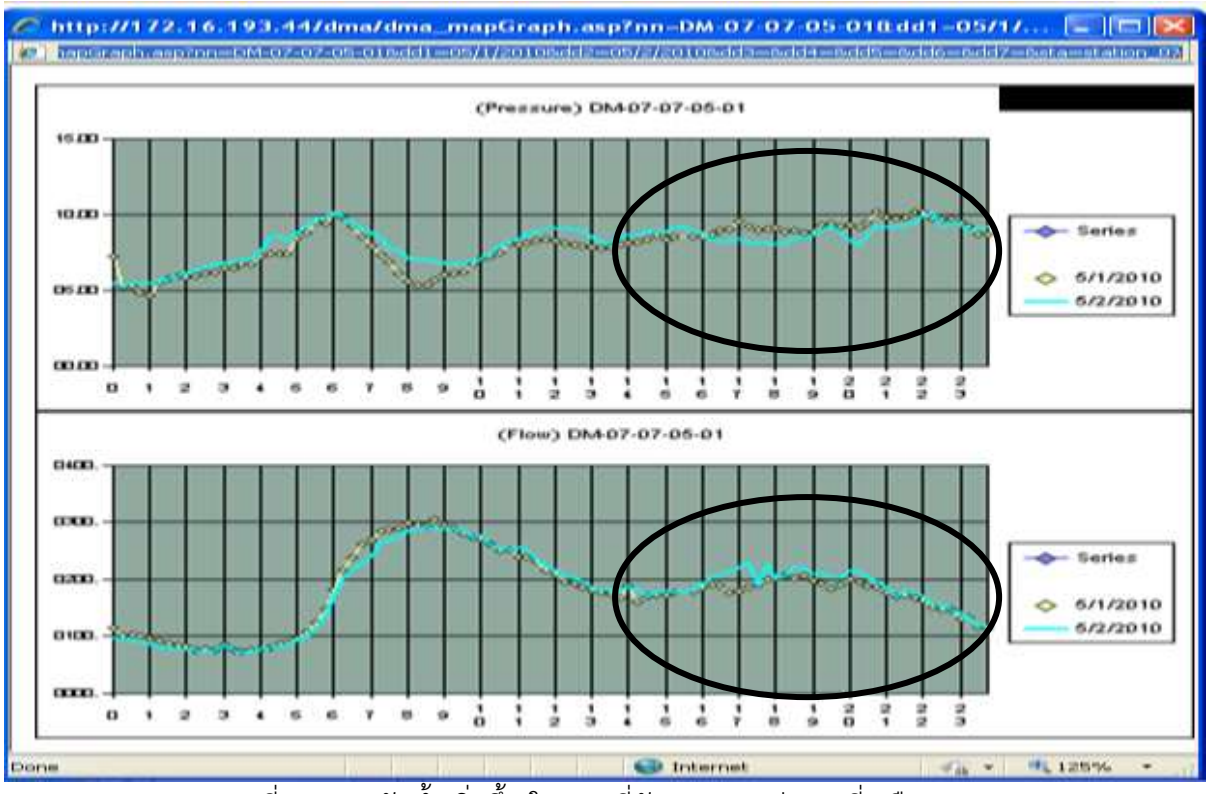
จากการศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่เฝ้าระวังน้ำสูญเสีย (District Metering Area: DMA) พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำ อัตราการสูบจ่าย และอัตราการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาเป็นดังนี้

2.1.5.1.1 หากแรงดันน้ำเพิ่มขึ้น แล้วทำให้อัตราการสูบจ่ายเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่าบริเวณ DMA นั้นมีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว สังเกตได้จากช่วง Peak ดังรูปที่ 2.4 ช่วงเวลา 05:00 – 07:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลา Peak เช้าจะพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันขึ้น ปริมาณน้ำจ่ายของน้ำจะเพิ่มขึ้นตาม เพราะมีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 แรงดันน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำจ่ายเพิ่มขึ้น

2.1.5.1.2 หากแรงดันน้ำเพิ่มขึ้น อัตราการสูบจ่ายคงที่หรือเพิ่มขึ้นไม่มาก หรืออาจลดลงจากปกติ แสดงว่าบริเวณ DMA นั้น มีอัตราการใช้น้ำเท่าเดิม หรือลดลงในช่วงเวลาดังกล่าว การเพิ่มแรงดันหรือเพิ่มอัตราการสูบจ่าย ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่สอดคล้องกับอัตราการใช้น้ำ หรือความต้องการของผู้ใช้น้ำ ณ ขณะนั้น ส่งผลต่อการแตกรั่วของท่อที่อาจเพิ่มขึ้นได้ในช่วงเวลานี้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แรงดันน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราการสูบจ่ายคงที่ หรือลดลง

2.1.5.1.3 แรงดันน้ำลดลง แต่อัตราการสูบจ่ายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าบริเวณ DMA นั้นมีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งสามารถแบ่งออกอย่างกว้างๆ ได้เป็น 2 กรณี คือ

1) เกิดจากบริเวณนั้น จ่ายน้ำไม่เพียงพอกับอัตราการใช้น้ำ หรือความต้องการของผู้ใช้น้ำเพิ่มขึ้น ณ ขณะนั้น ทำให้แรงดันในระบบลดลง

2) เกิดจากบริเวณนั้นมีท่อแตกหรือระเบิดทำให้มีปริมาณน้ำที่ถูกสูบจ่ายมากกว่าสภาวะปกติ ซึ่งการมีท่อแตกรั่ว หรือท่อระเบิด จะส่งผลต่อการลดลงของแรงดันในระบบ รูปแบบเดียวกับความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น ในข้อ 1)

ดังนั้นหากมีบริเวณที่แรงดันลดลง แต่ปริมาณสูบจ่ายน้ำเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องเข้าไปศึกษาโดยละเอียดว่าเกิดจากสาเหตุใด เพื่อจะได้ทำการแก้ไขได้ตรงกับสาเหตุที่เกิดขึ้นจริง

2.1.5.2 แนวคิดการควบคุมการสูบจ่ายน้ำด้วยกราฟแรงดันมาตรฐาน

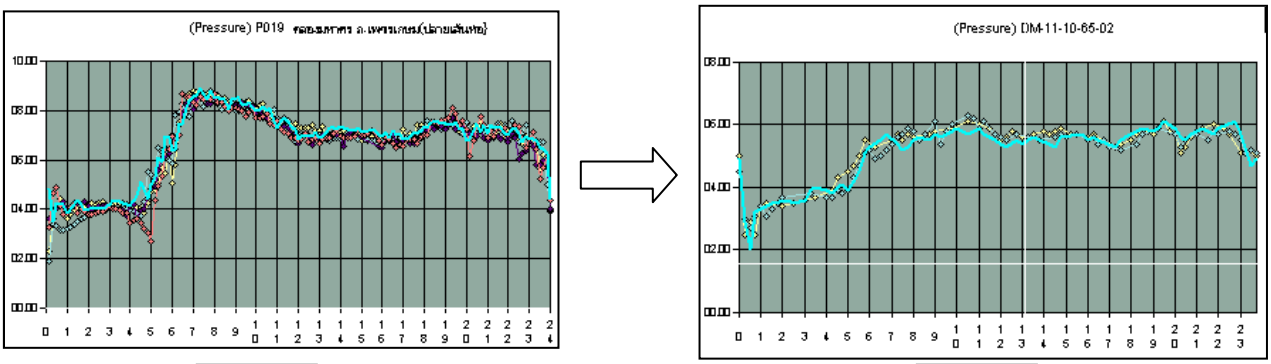
นอกจากระบบ SCADA แล้วการประปานครหลวงยังลงทุนติดตั้ง เครื่องวัดสำหรับวัดปริมาณน้ำและแรงดันน้ำบนท่อจ่ายน้ำ ก่อนที่จะเข้าพื้นที่ DMA จำนวน 1,000 จุด เพื่อที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้น้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากระบบ DMA สามารถสื่อถึงพฤติกรรมการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำได้ดีกว่าข้อมูลจากระบบ SCADA ที่ถูกติดตั้งบนเส้นท่อประธาน เนื่องจากจุดวัด DMA อยู่ใกล้กับผู้ใช้น้ำมากกว่าจนสามารถใช้เป็นตัวแทนผู้ใช้น้ำของพื้นที่ DMA นั้นๆ ได้ แต่เนื่องจากระบบ DMA ในปัจจุบันถูกออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหลัก ข้อมูลที่ได้จะล่าช้ากว่าปัจจุบันประมาณ 1 วัน

จากการลงทุนที่กล่าวมาข้างต้นทำให้การประปานครหลวงสามารถปรับเปลี่ยนการสูบจ่ายน้ำจากเดิมที่สูบจ่ายโดยใช้ปริมาณน้ำเป็นหลัก เปลี่ยนมาเป็นการสูบจ่ายตามความต้องการใช้น้ำที่แท้จริง โดยจะกำหนดแรงดันน้ำเป็นตัวแทนของความต้องการใช้น้ำ โดยการประปานครหลวงจะกำหนดระดับแรงดันคงที่ที่ระดับหนึ่งสำหรับผู้ใช้น้ำเพื่อเป็นแรงดันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสูบจ่าย แต่จากข้อจำกัดที่ไม่สามารถจะติดตั้งระบบสื่อสารเพื่อนำข้อมูลจากทุกบ้านมาสู่การประปานครหลวงได้ ทำให้ต้องใช้จุดวัดบน DMA ซึ่งใกล้กับผู้ใช้น้ำมากที่สุดเป็นตัวแทน แต่ก็มีข้อจำกัดที่ข้อมูลจะล่าช้าไปประมาณ 1 วัน ดังนั้น จึงใช้จุดวัดบนท่อประธานในระบบ SCADA ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ในรูปแบบ Real-time เป็นจุดวัดคุมการสูบจ่ายของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ แทน โดยการกำหนดระดับแรงดันบนจุดวัดใน SCADA นั้นจะถูกกำหนดโดยการนำแรงดันบน DMA มาวิเคราะห์เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของสองระบบ เพื่อทำให้จุดวัดในระบบ SCADA สามารถสะท้อนถึง DMA ได้ใกล้เคียงที่สุด อันจะหมายถึงใกล้เคียงกับความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำแท้จริงมากที่สุดนั่นเอง

การแก้ปัญหาการสูบจ่ายให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้น้ำมากที่สุดในทุกช่วงเวลาสามารถทำได้โดยสร้างรูปแบบระดับแรงดันมาตรฐาน Pressure Trend Curve บนจุดวัดในระบบ SCADA โดยแต่ละจุดวัดที่ถูกกำหนดเป็นจุดวัดควบคุมจะมีรูปแบบกราฟแรงดันมาตรฐานแตกต่างกันไปขึ้นกับพฤติกรรมการใช้น้ำในพื้นที่นั้นๆ ขนาดของท่อ และข้อจำกัดต่างๆ ในระบบประกอบกัน การควบคุมการสูบจ่ายโดยวิธี กราฟแรงดันมาตรฐานจะรับข้อมูลแรงดันน้ำและปริมาณน้ำทุก 1 นาที โดยข้อมูลจะถูกส่งมายัง กคจ. ซึ่งจะเป็นตัวกลางในการประมวลผลและสร้างข้อมูลในรูปแบบกราฟ กระจายไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ เพื่อใช้ในการควบคุมการสูบจ่ายน้ำ ดังนั้น สถานีสูบจ่ายน้ำจะสามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันบนระบบท่อประธาน หากแรงดัน ณ ปัจจุบันต่ำกว่ากราฟแรงดันมาตรฐานของจุดวัดที่ควบคุม สถานีสูบจ่ายน้ำจะดำเนินการปรับเพิ่มปริมาณน้ำจนกระทั่ง แรงดันเท่ากับแรงดันมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้น ในทางกลับกัน หากแรงดันที่สถานีสูบจ่ายน้ำได้รับจากระบบ สูงกว่ากราฟแรงดันมาตรฐานจะบ่งบอกถึง การใช้น้ำที่ลดลง ทางสถานีสูบจ่ายน้ำจะทำการปรับลดการสูบจ่ายลง เพื่อรักษาให้แรงดันอยู่ในระดับมาตรฐาน

ยิ่งกราฟแรงดันมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นสามารถเป็นตัวแทนของผู้ใช้น้ำได้มากเท่าใด จะทำให้โอกาสการประเมินความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำใกล้เคียงมากขึ้น ส่งผลต่อรายได้ที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น และลดการแตกรั่วของท่อให้น้อยลงในช่วงที่ความต้องการน้ำต่ำลงทำให้รายจ่ายจากน้ำสูญเสียในระบบลดลง

การใช้ DMA ประกอบการสร้างกราฟแรงดันมาตรฐานบนท่อประธานเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็น โดยจะต้องมีการตรวจสอบกราฟแรงดันมาตรฐานบนท่อประธานว่าสามารถสร้าง ระดับแรงดันใน DMA ตรงกับเป้าหมายที่กำหนดหรือไม่ หากยังไม่ตรงก็ทำการปรับรูปแบบกราฟจนข้อมูลใน DMA ใกล้เคียงกับที่ต้องการ



รูปที่ 2.6 กราฟแรงดันของระบบ SCADA และ DMA

จากรูปที่ 2.6 รูปแบบกราฟแรงดันมาตรฐานของระบบ SCADA จะมีแรงดันสูงในช่วงเวลา 06:00-10:00 น. และ 18:00-22:00 น. โดยแรงดันจะลดลงช่วงเวลา 10:00-18:00 น. เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้น้ำในช่วงเวลาเช้าและเย็นมีความต้องการมากกว่าช่วงบ่าย เพื่อที่จะสามารถให้แรงดันในระบบ DMA มีค่าใกล้เคียงตลอดทั้งวัน จึงต้องเพิ่มแรงดันในช่วงเช้าและเย็นให้มากขึ้น หากอธิบายตามทฤษฎี สามารถอธิบายได้ว่าหากระบบท่อยังไม่เปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำมากจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในระบบ (Head Loss) มากกว่าในช่วงที่ความต้องการน้ำน้อย ดังนั้นเพื่อให้แรงดันปลายทางที่ DMA คงที่ การเพิ่มแรงดันที่จุดวัดท่อประธานในช่วงเช้า และเย็นจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

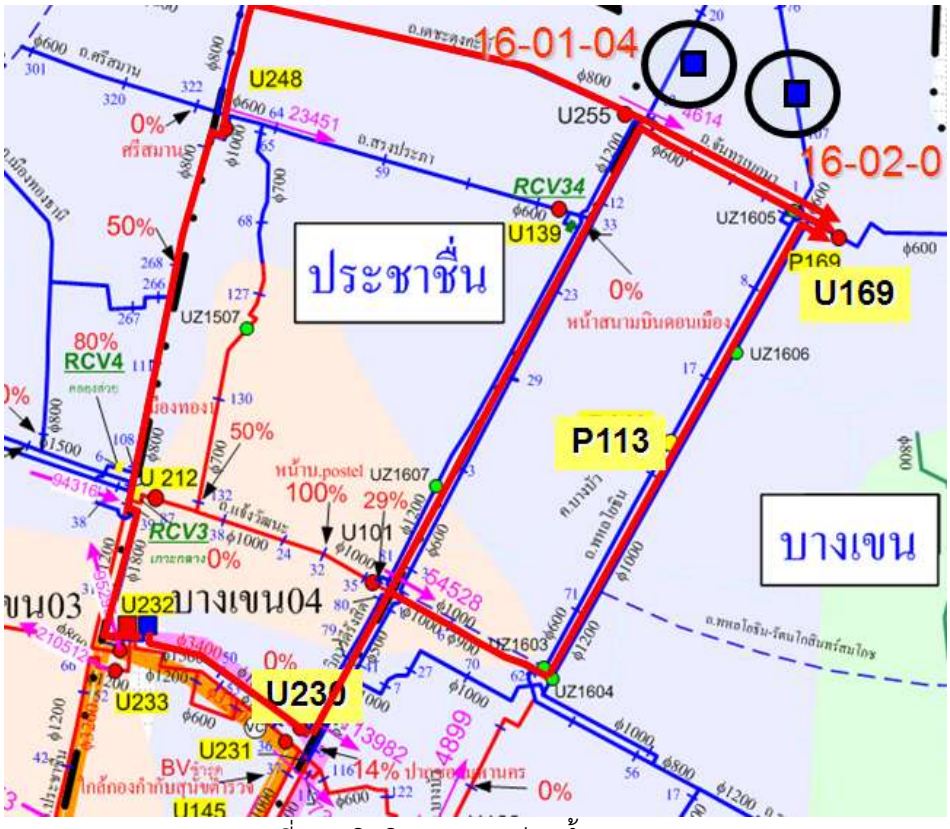
จะสังเกตเห็นว่าหากเราไม่ใช้ข้อมูล DMA มาประกอบการสร้างกราฟแรงดันมาตรฐานสำหรับการสูบจ่ายอาจจะทำให้ข้อมูลใน DMA แตกต่างจากที่เห็นในรูปทำให้เกิดปัญหาการจ่ายไม่สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริง ทำให้สูญเสียโอกาสการขายน้ำและเพิ่มโอกาสการแตกรั่วของท่อในระบบ

2.1.5.3 รูปแบบการสูบจ่ายน้ำ

เนื่องจากในแต่ละพื้นที่ความรับผิดชอบของการประปานครหลวงนั้นมีความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำที่แตกต่างกัน ดังนั้นการควบคุมการสูบจ่ายน้ำของกองควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำจึงมีอยู่หลายรูปแบบเพื่อความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เป็นดังนี้

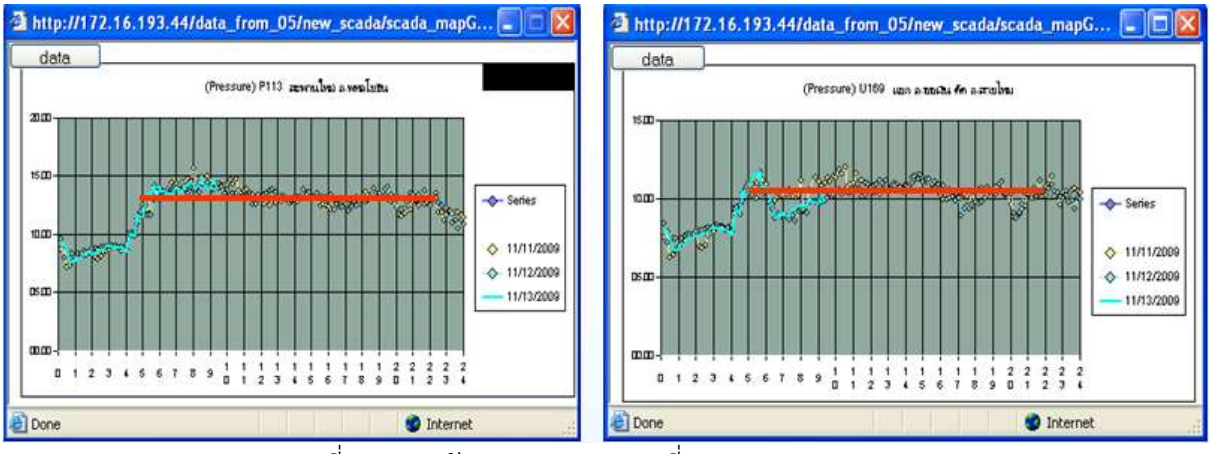
2.1.5.3.1 การกำหนดแรงดันคงที่ ณ จุด RTU ปลายทาง

การสูบจ่ายน้ำให้แรงดันคงที่ ณ จุด RTU ปลายทางจะส่งผลให้ผู้ใช้น้ำที่อยู่ปลายเส้นท่อสามารถใช้น้ำที่มีแรงดันสม่ำเสมอ แต่การจะทำเช่นนี้ได้ แรงดันต้นทางย่อมจะต้องเปลี่ยนไปตามความต้องการใช้น้ำที่ไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ ช่วง Peak เช้าและเย็นที่มีความต้องการมาก แรงดันน้ำต้นทางจะสูงกว่าช่วงอื่นๆ ดังรูปที่ 2.7 –2.10 แสดงตัวอย่างการจ่ายน้ำแบบกำหนดแรงดันคงที่ ณ จุด RTU ปลายทาง

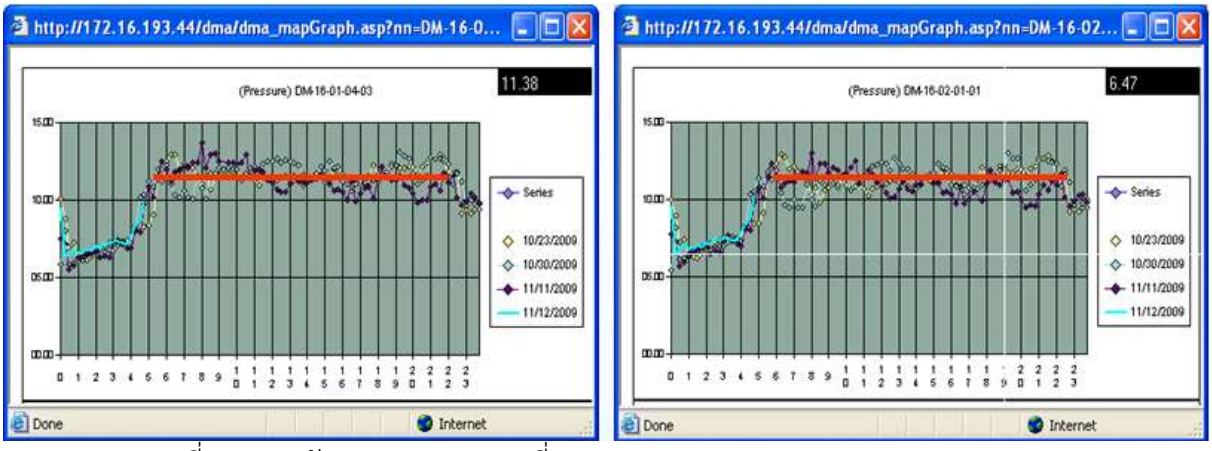


รูปที่ 2.7 อิทธิพลการสูบจ่ายน้ำของ BK04

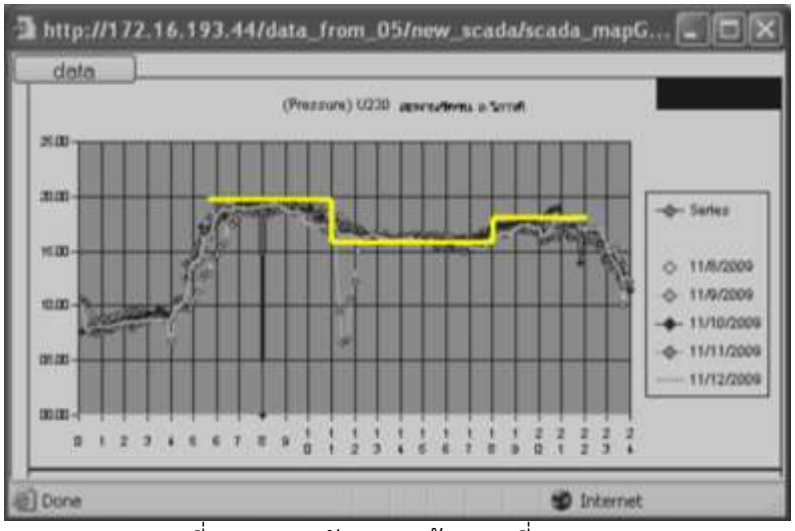
จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าในอิทธิพลการสูบจ่ายน้ำของ BK04 นั้น มีจุด U230 เป็น RTU ต้นทาง จุด P113 และ U169 เป็น RTU ปลายทาง และมี DMA ที่อยู่ในบริเวณ RTU ปลายทาง คือ DM 16-01-04-03 และ DM 16-02-01-01



รูปที่ 2.8 แรงดัน RTU ปลายทาง ที่จุด P113 และ U169



รูปที่ 2.9 แรงดัน DMA ปลายทาง ที่จุด DM 16-01-04-03 และ DM 16-02-01-01



รูปที่ 2.10 แรงดัน RTU ต้นทาง ที่จุด U230

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าที่จุด P113 และ U169 ซึ่งเป็น RTU ปลายทางนั้นมีแรงดันคงที่ ส่งผลให้ DMA ในบริเวณนั้นมีแรงดันค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอด้วย ดังรูปที่ 2.9 ในขณะที่แรงดันต้นทางมีแรงดันขึ้น-ลงตามความต้องการใช้น้ำ ดังรูปที่ 2.10 เพื่อรักษาให้แรงดันปลายทางคงที่นั่นเอง

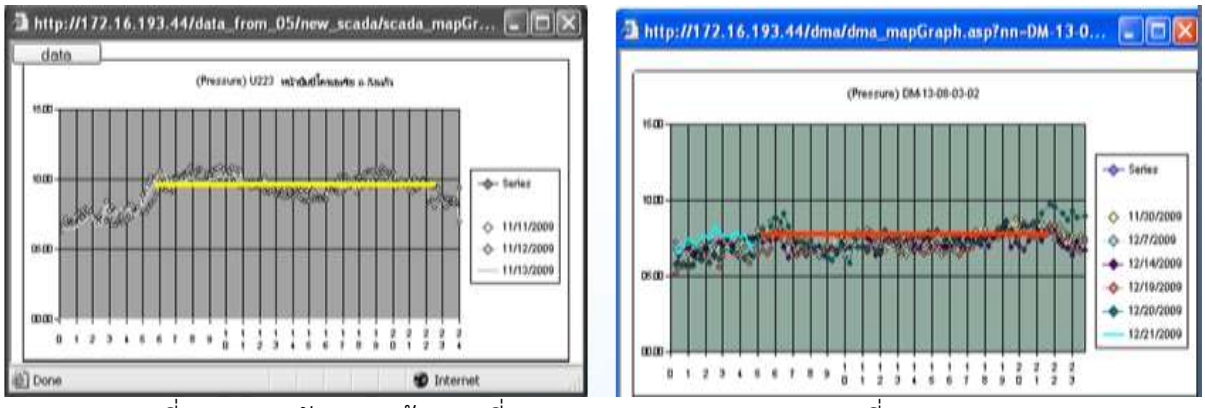
ทั้งนี้ในการควบคุมการสูบจ่ายน้ำรูปแบบนี้จะต้องกระทำกับพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลจากสถานีสูบจ่ายน้ำและไม่มีแหล่งน้ำอื่นเข้ามาเสริม เป็นพื้นที่ปลายทางที่ต้องการแรงดันสม่ำเสมอและมีจุด RTU ที่สามารถเป็นตัวแทนของบริเวณดังกล่าวได้

2.1.5.3.2 การกำหนดแรงดันคงที่ ณ จุด RTU ต้นทาง

เนื่องจากความต้องการใช้น้ำค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งวันทำให้การสูบจ่ายน้ำในรูปแบบนี้ไม่ส่งผลกระทบกับแรงดันน้ำในช่วง Peak เช้าและเย็น ดังรูปที่ 2.11-2.12

รูปที่ 2.11 อิทธิพลการสูบจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบัง

จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าในอิทธิพลการสูบจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบังนั้น มีจุด U223 เป็น RTU ต้นทาง และมี DMA ที่อยู่ปลายทาง คือ DM 13-08-03-02



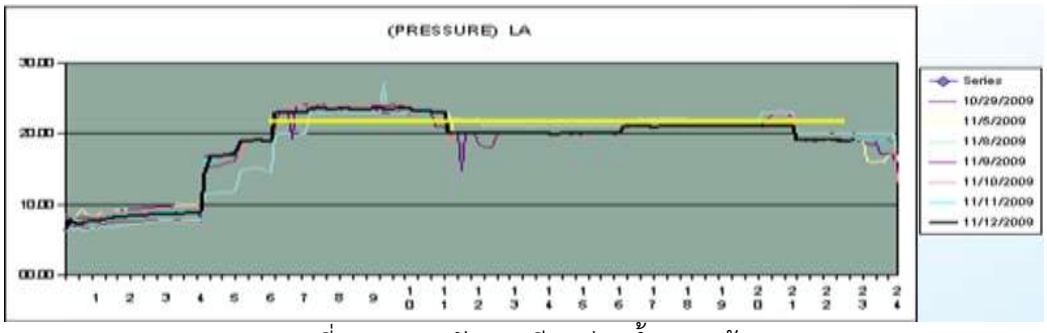
รูปที่ 2.12 แรงดัน RTU ต้นทาง ที่จุด U223 และ DMA ปลายทาง ที่จุด 13-08-03-02

จากรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่า แรงดัน RTU ที่จุด U223 ซึ่งเป็นต้นทางของสถานีสูบจ่ายน้ำลาดกระบังนั้น ในช่วงเวลา 06:00 – 23:00 น แรงดันค่อนข้างคงที่ ในขณะที่แรงดันใน .DMA ปลายทางที่จุด DM 13-08-03-02 ตลอดช่วงเวลาดังกล่าวคงที่

ทั้งนี้การควบคุมการสูบจ่ายน้ำโดยกำหนดแรงดันคงที่ ณ จุด RTU ต้นทาง ต้องมีการศึกษาถึงความต้องการของผู้ใช้น้ำที่แท้จริงก่อน เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบกับแรงดันในท่อจ่ายน้ำซึ่งเป็นภาพลักษณ์ขององค์กร

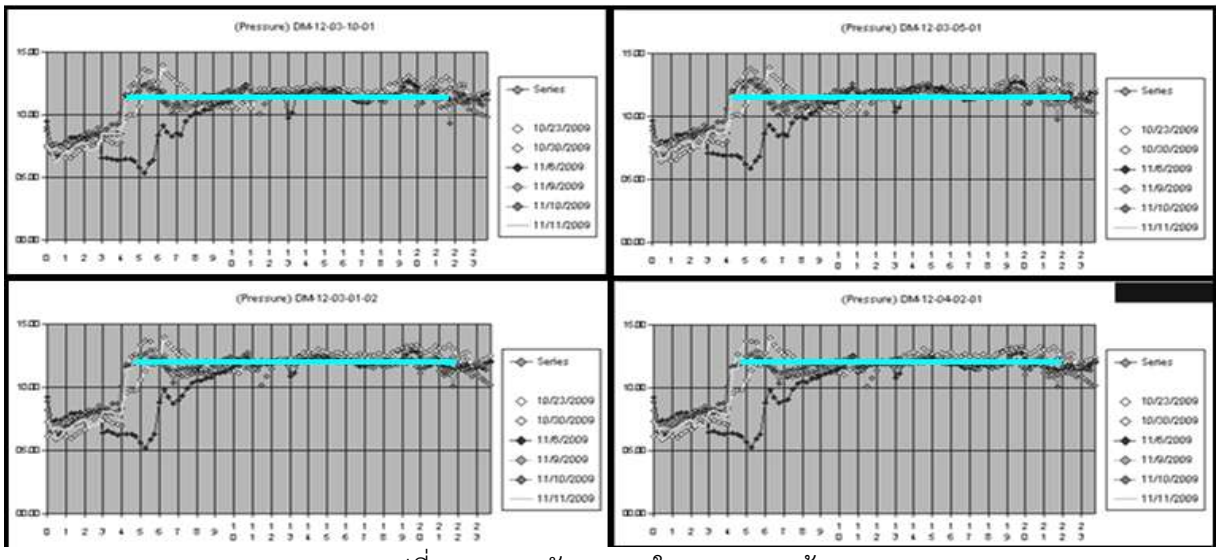
2.1.5.3.3 การกำหนดแรงดันคงที่ ณ สถานีสูบจ่ายน้ำ โดยสาขาปรับแรงดันตามความต้องการ

การสูบจ่ายน้ำในรูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของสาขา เช่น ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ประตูน้ำลดแรงดัน (Pressure Reducing Valve: PRV) เพิ่มเติม เนื่องจากการสูบจ่ายน้ำโดยกำหนดแรงดันคงที่ ณ สถานีสูบจ่ายน้ำเกือบตลอดทั้งวัน ทำให้ในช่วงที่ความต้องการน้อย แรงดันใน DMA จะเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้เกิดท่อแตกรั่วได้หากไม่มี PRV ตัวอย่างในการสูบจ่ายรูปแบบนี้ คือ สถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว ดังรูปที่ 2.13-2.15

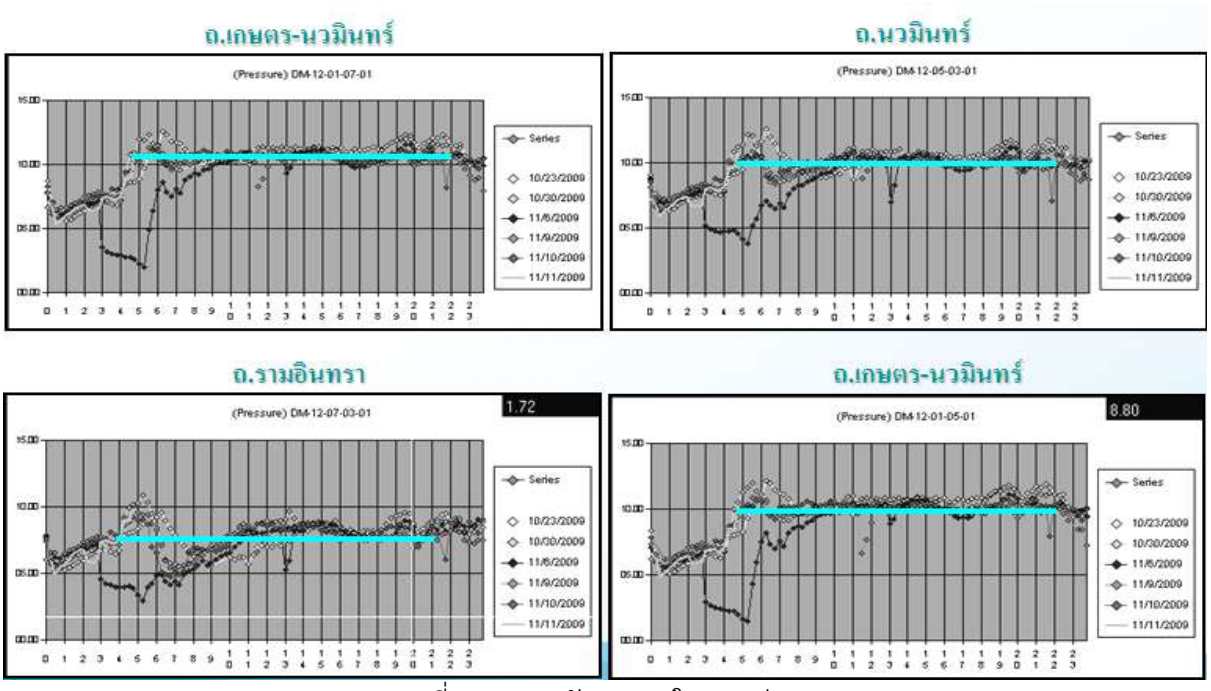


รูปที่ 2.13 แรงดันสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าว

จากรูปที่ 2.13 จะสังเกตได้ว่า แรงดันในสถานีสูบจ่ายน้ำลาดพร้าวช่วงเวลา 06:00 – 24:00 น. ค่อนข้างคงที่ที่ 21 เมตร



รูปที่ 2.14 แรงดัน DMA ในถนนลาดพร้าว



รูปที่ 2.15 แรงดัน DMA ในถนนต่างๆ

จากรูปที่ 2.14 และ 2.15 จะสังเกตได้ว่า แรงดัน DMA ในถนนต่างๆ ในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาลาดพร้าว แรงดันจะค่อนข้างคงที่เกือบทั้งวัน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 สายัณห์ น้ำเงิน 2546, “การศึกษาระบบอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Epanet 2.0”, การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้วิจัยได้ทำการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Epanet จำลองระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับแบบจำลอง Piccolo ที่ได้ศึกษาไว้โดยวิศวกรที่ปรึกษาในแผนแม่บทของการประปานครหลวง โดยนำแบบจำลองไปใช้ในกรณีศึกษา 4 กรณี คือ จำลองระบบสูบส่งน้ำโดยคาดการณ์ตามความต้องการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2555 พ.ศ. 2560 และศึกษาระบบส่งน้ำกรณีหยุดซ่อมอุโมงค์ส่งน้ำ โดยผลจากการศึกษาพบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ Epanet สามารถนำมาใช้กับงานระบบส่งน้ำของการประปานครหลวงได้ โดยผลการวิเคราะห์มีค่าไม่ต่างจากผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง Piccolo มากนัก

2.2.2 จักรวาล ศรีเหลือง และคณะ 2556, “การศึกษาระบบอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ Epanet 2.0”, การประชุมวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 5, 5-6 กันยายน 2556, NCWRE 57

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อศักยภาพของระบบสูบส่งน้ำตั้งแต่โรงงานผลิตน้ำถึงสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทางในแต่ละช่วงเวลากรณีสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ ไม่มีถังเก็บน้ำใส ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 มีการซ่อมอุโมงค์ส่งน้ำบางเขน 1 (TR1) พบว่าทำให้ศักยภาพของ

ระบบสูบส่งน้ำลดลงเหลือประมาณ 70% ของความต้องการใช้น้ำสภาวะปกติ และ กรณีที่ 2 หลังจากซ่อมอุโมงค์แล้วเสร็จ พบว่าทำให้ศักยภาพของระบบสูบส่งน้ำลดลงเหลือประมาณ 80% ของความต้องการใช้น้ำสภาวะปกติ

2.2.3 จักรวาล ศรีเหลือง และคณะ 2557, “การศึกษาศักยภาพของถังเก็บน้ำใสในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, 14-16 พฤษภาคม 2557

ผู้วิจัยทำการศึกษาศักยภาพของถังเก็บน้ำใส วิเคราะห์วิธีการบริหารจัดการ หาความสัมพันธ์น้ำเข้า น้ำจ่าย ระดับน้ำในถังเก็บน้ำใสเพื่อหาความสัมพันธ์เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการบริหารน้ำในถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ นอกจากนี้ยังใช้โปรแกรม EPANET 2.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองโครงข่ายระบบอุโมงค์และท่อส่งน้ำ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ศักยภาพของระบบดังกล่าว ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา 1) แนวทางปฏิบัติปัจจุบัน และ 2) แนวทางใหม่ที่มาจากการลองผิดลองถูก โดยอาศัยหลักการการชะลอปริมาณน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำที่ไม่มีปัญหาระดับน้ำต่ำ เพื่อให้น้ำเข้าไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำที่เกิดวิกฤตระดับน้ำก่อน ซึ่งพบว่าวิธีการนี้สามารถลดความเสี่ยงของการขาดแคลนน้ำที่สถานีสูบจ่ายน้ำได้ดีกว่าในกรณีที่ 1

2.2.4 สถิตย์ จันทร์ทิพย์,* ปิยมาลย์ ศรีสมพร และสุรเจตส์ บุญญาอรุณเนตร, “ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ ต่อการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๙, ๑๔-๑๖ พฤษภาคม ๒๕๕๗

ปัจจุบันทั่วโลกได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากขึ้น เนื่องจากมีหลายพื้นที่ได้รับผลกระทบจากภาวะดังกล่าวไม่ว่าจะเป็นภัยแล้งหรือน้ำท่วมที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นกว่าในอดีต ลุ่มน้ำเจ้าพระยาถือว่าเป็นอู่ข้าวอู่น้ำของประเทศไทย เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศที่อุดมสมบูรณ์และภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับการเกษตรกรรม โดยมีพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศและเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของโลก แต่ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาลุ่มน้ำเจ้าพระยาประสบปัญหาทั้งน้ำท่วมและน้ำแล้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ทำให้ช่วงเวลาที่เกิดฝนและปริมาณฝนเกิดความแปรปรวนไปจากค่าเฉลี่ย เป็นปัญหาต่อการบริหารจัดการน้ำและส่งผลกระทบโดยตรงต่อภาคการเกษตร การศึกษานี้เป็นการคาดการณ์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาในอนาคต โดยเฉพาะผลกระทบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลและอ่างเก็บเขื่อนน้ำสิริกิติ์ เนื่องจากอ่างเก็บน้ำทั้งสองเป็นแหล่งเก็บกักน้ำต้นทุนหลักในภาคเกษตรของลุ่มน้ำเจ้าพระยาในช่วงฤดูแล้ง โดยผลการศึกษาจะช่วยให้ทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำต้นทุนว่าเป็นไปในทิศทางใด ภายใต้สมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศในรูปแบบต่างๆ

การศึกษานี้ได้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ ต่อปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยพิจารณาผลกระทบที่เกิดจาก การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายเดือนและปริมาณการระเหยรายเดือนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลและอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ ในอนาคตปี ค.ศ. 2050 จำลองปริมาณก๊าซเรือนกระจกในอนาคต IPCC SRES Scenarios แบบ A2 แบบA1B และแบบ B1 ประกอบกับแบบจำลอง NAM Model

จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ ทำให้ปริมาณฝนรายเดือนและปริมาณการระเหยรายเดือนมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรง กับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลและอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ ซึ่งจากภาพ จำลองปริมาณก๊าซเรือนกระจกในอนาคต IPCC SRES Scenarios แบบ A2 แบบA1B และแบบB1 จาก 13 GCMs เทียบกับปีฐาน พบวาในอนาคตปี ค.ศ. 2050 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลและอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ แนวโน้มลดลง ตามปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในอนาคต ดังนั้นหากโลกยังมีการพัฒนาโดยไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและมีการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากขึ้นในอนาคต ประเทศไทยย่อมได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาลดลง

บทที่ 3
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง

เนื่องจากระบบสูงส่งน้ำของการประปานครหลวงมีขนาดใหญ่และใช้งานเพื่อส่งน้ำตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้น การวางแผนขยายหรือปรับปรุงระบบสูงส่งน้ำ เพื่อสร้างเสถียรภาพให้กับการประปานครหลวงนั้นจำเป็นต้องอาศัย การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงช่วยในการออกแบบ ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ใช้ทฤษฎีการออกแบบของ Hazen-William การประยุกต์นำแบบจำลอง Stoner มาช่วยในการออกแบบ จะทำให้สามารถประหยัดระยะเวลา สะดวกในการใช้งาน สามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ โดยสามารถให้ผลลัพธ์ออกมาทันที ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการตรวจสอบผลการคำนวณการออกแบบตามทฤษฎี และแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นนั้น มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ สามารถนำมาใช้ได้จริง เพื่อรองรับความต้องการใช้น้ำประปาในอีก 30 ปีข้างหน้า

3.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง

ปัจจุบันการประปานครหลวงต้องสูบจ่ายน้ำให้กับประชาชนผู้ใช้น้ำสูงถึง 5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันผ่านอุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำทั้ง 4 เส้น ดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 สำหรับในอีก 30 ปีข้างหน้าได้มีการคาดการณ์ว่าประชาชนอาจมีความต้องการใช้น้ำสูงถึงวันละ 8.1ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยแยกความต้องการการใช้น้ำจากระบบสูบจ่ายในแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ดังนี้

สำหรับปี 2560 ได้มีการคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2560

สถานีสูบจ่ายน้ำ	คำอธิบาย	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำ (ลิตร/วินาที)	แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)
ฝั่งตะวันออก				
PN	สจ.ประชานุกูล	40,795	472.16	27.29
CP_VC	เฉลิมพันธ์ VC	50,000	578.70	26.00
PY	สจ.พหลโยธิน	216,261	2,503.02	24.91
LP	สจ.ลุมพินี	300,000	3,472.22	13.24
LP_VC	ลุมพินี VC	344,784	3,990.56	13.66
LA	สจ.ลาดพร้าว	377,992	4,374.91	20.23
KT	สจ.คลองเตย	311,645	3,607.00	12.66
SR	สจ.สำโรง	482,678	5,586.55	1.72
LK	สจ.ลาดกระบัง	399,641	4,625.47	2.88
Con_Loss	น้ำสูญเสียในท่อส่งน้ำ	30,000	347.22	7.59
NV_VC	นวมินทร์ VC	135,000	1562.50	10.93

ตารางที่ 3.1 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2560 (ต่อ)

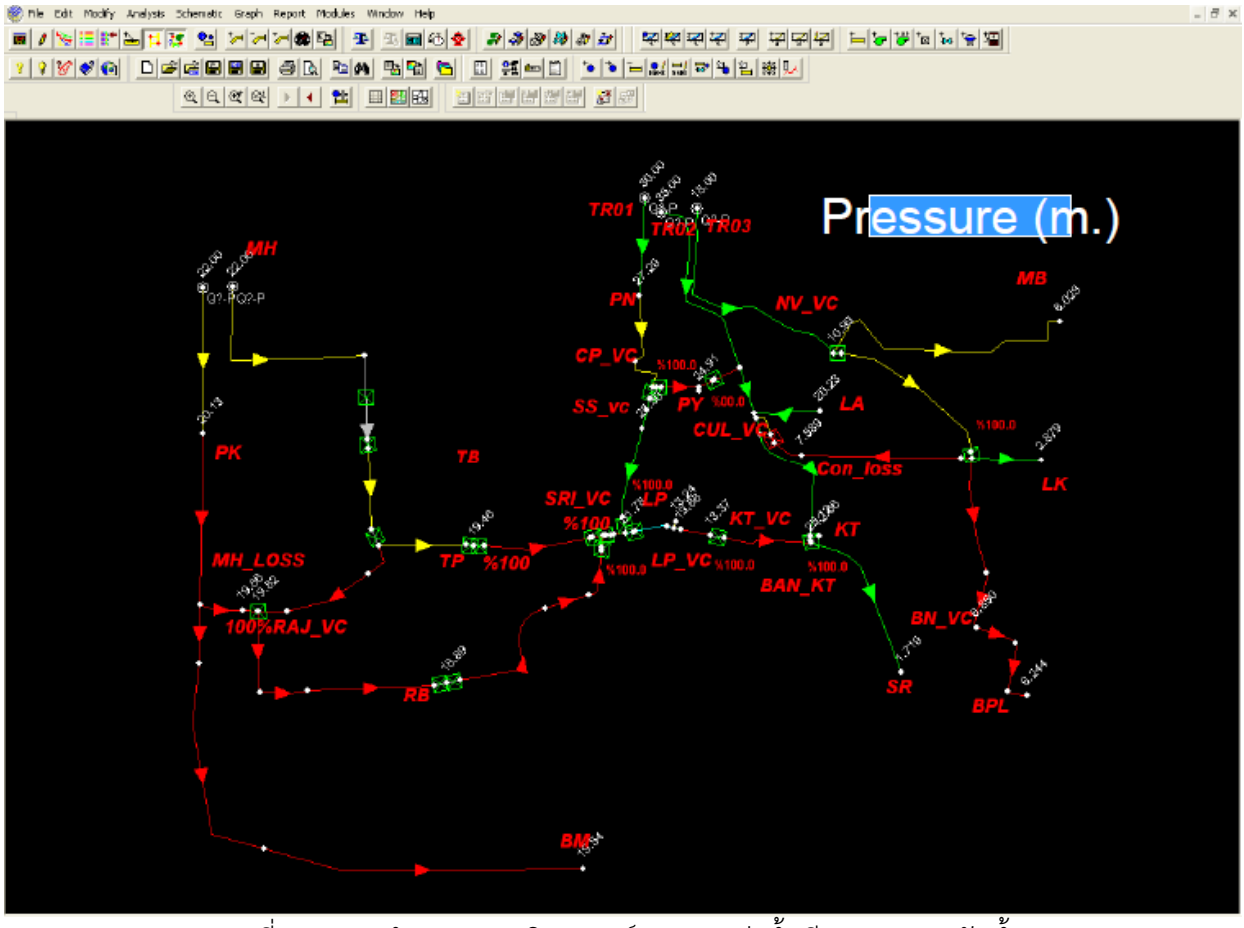
สถานีสูบจ่ายน้ำ	คำอธิบาย	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำ (ลิตร/วินาที)	แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)
ฝั่งตะวันออก (ต่อ)				
MB	สจ.มีนบุรี	296,028	3,426.25	6.03
BP	สจ.บางพลี	246,094	2,848.31	6.24
SS	โรงงานผลิตน้ำสามเสน	519,711		
BK3	สถานีสูบจ่ายน้ำบางเขน 1	394,408		
BK4	สถานีสูบจ่ายน้ำบางเขน 2	398,637		
TR1	สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 1	875,850.19	10,137.16	30.00
TR2	สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 2	1,128,605.88	13,062.87	35.00
TR3	สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 3	1,106,764.13	12,809.77	18.00
TR1+TR2+TR3	ปริมาณน้ำสูบส่งของโรงงานผลิตน้ำบางเขน	3,111,220		
TR1+TR2+TR3+BK3+BK4	ปริมาณน้ำผลิตจ่ายของโรงงานผลิตน้ำบางเขน	3,904,265		
ฝั่งตะวันตก				
MH	สถานีสูบส่งน้ำมหาสวัสดิ์	1,146,777.96	13,273	22.00
MH_DIS	สถานีสูบจ่ายน้ำมหาสวัสดิ์	390,646		
TB	โรงงานผลิตน้ำธนบุรี	158,913		
PK	สจ.เพชรเกษม	321,439	3,720.36	20.13
MH_Loss	น้ำสูญเสียในท่อส่งน้ำ	20,000	231.48	19.86
RAJ_VC	ราชมนตรี VC	39,484	456.99	19.82

ตารางที่ 3.1 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2560 (ต่อ)

สถานีสูบจ่ายน้ำ	คำอธิบาย	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำ (ลิตร/วินาที)	แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)
ฝั่งตะวันตก (ต่อ)				
RB	สจ.ราษฎร์บูรณะ	238,051	2755.22	18.89
TP	สจ.ท่าพระ	248,391	2,874.90	19.46
BM	สจ.บางมด	159,710	1,848.50	19.54

ทั้งนี้ภายในปี 2560 จะมีการเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำโดยการเปลี่ยนโรงงานผลิตน้ำธนบุรีที่ทำหน้าที่ผลิตน้ำและสูบจ่ายให้กับผู้ใช้น้ำเป็นสถานีสูบจ่ายน้ำ กล่าวคือไม่มีการผลิตน้ำ เนื่องจากท่อส่งน้ำดิบจากสถานีสูบน้ำดิบบางซื่อมาถึงโรงงานผลิตน้ำธนบุรีมีอายุการใช้งานที่ยาวนานอาจแตกรั่วได้ง่าย และโรงงานผลิตน้ำธนบุรีมีกำลังการผลิตน้อยจึงทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำสูงกว่าโรงงานผลิตน้ำแห่งอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องมีการลงทุนสร้างท่อส่งน้ำจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์อีกเส้นทางหนึ่งมายังโรงงานผลิตน้ำธนบุรีและมาบรรจบกับท่อส่งน้ำเดิมบริเวณสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระ

เพื่อรองรับกับการเจริญเติบโตของเมืองและอุตสาหกรรมทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาจึงต้องมีการลงทุนสร้างสถานีสูบจ่ายน้ำบางมดขึ้นพร้อมด้วยท่อส่งน้ำส่วนต่อขยายจากบริเวณ ถนนกาญจนาภิเษกตัดกับถนนเอกชัยไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำแห่งใหม่นี้ด้วย เมื่อใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง Stoner สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะได้ผลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2560 (แรงดันน้ำ)

จากการคาดการณ์ในอีก 30 ปีข้างหน้า แต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำจะต้องเพิ่มการสูบจ่ายน้ำสูงถึง 1.5-2.0 เท่าเมื่อเทียบกับปี 2557 โดยปริมาณน้ำที่ต้องผลิตเพิ่มเป็นวันละ 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงมีความจำเป็นต้องสร้างระบบสูบส่งรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้น 3.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยจะเพิ่มจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ และโรงงานผลิตน้ำบางเขนตามแผนขยายกำลังการผลิตน้ำที่วางไว้ในยุทธศาสตร์ของการประปานครหลวง โดยปี 2587 ได้มีการคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2587

สถานีสูบจ่ายน้ำ	คำอธิบาย	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำ (ลิตร/วินาที)	แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)
ฝั่งตะวันออก				
PN	สจ.ประชานุกูล	75,000	868.06	30.42
CP_VC	เฉลิมพันธ์ VC	75,000	868.06	28.32
PY	สจ.พหลโยธิน	212,027	2,454.01	26.26
LP	สจ.ลุมพินี	450,000	5,208.33	12.64

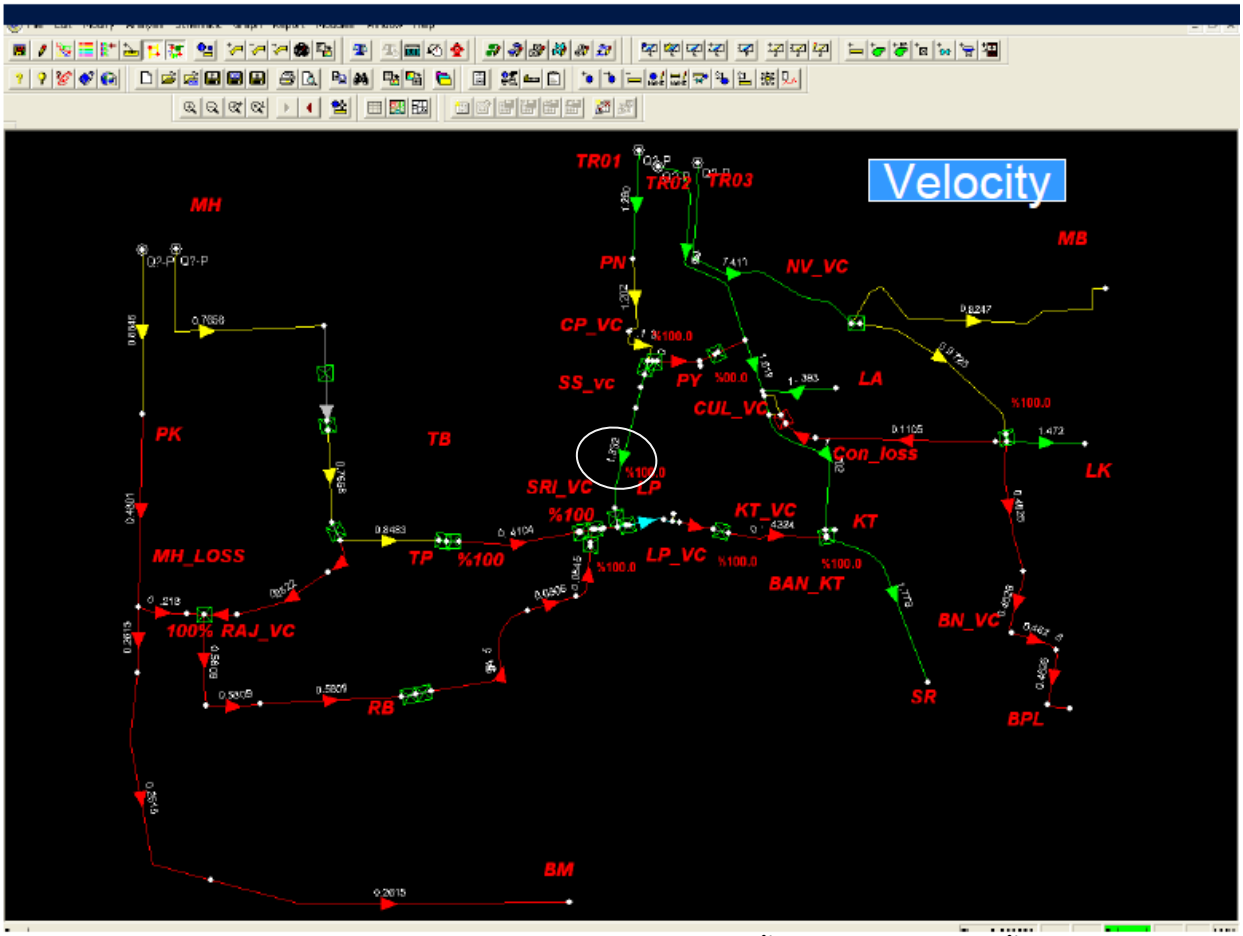
ตารางที่ 3.2 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2587 (ต่อ)

สถานีสูบจ่ายน้ำ	คำอธิบาย	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำ (ลิตร/วินาที)	แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)
ฝั่งตะวันออก (ต่อ)				
LP_VC	ลุมพินี VC	120,000	1,388.89	13.56
LA	สจ.ลาดพร้าว	541,980	6,272.92	16.64
KT	สจ.คลองเตย	393,960	4,559.72	16.34
SR	สจ.สำโรง	663,900	7,684.03	10.15
LK	สจ.ลาดกระบัง	547,120	6,332.41	4.44
Con_Loss	น้ำสูญเสียในท่อส่งน้ำ	45,000	520.83	19.36
NV_VC	นวมินทร์ VC	60,000	694.44	20.93
MB	สจ.มีนบุรี	630,000	7,291.67	1.08
BP	สจ.บางพลี	800,000	9,259.26	0.08
SS	โรงงานผลิตน้ำสามเสน	535,950		
BK3	สถานีสูบจ่ายน้ำบางเขน 1	591,612		
BK4	สถานีสูบจ่ายน้ำบางเขน 2	597,956		
TR1	สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 1	1,161,546	13,443.81	35.00
TR2	สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 2	1,277,992	14,791.57	38.00
TR3	สถานีสูบส่งน้ำบางเขน 3	1,781,630	20,620.72	38.00
TR1+TR2+TR3	ปริมาณน้ำสูบส่งของโรงงานผลิตน้ำบางเขน	4,221,167		
TR1+TR2+TR3+BK3+BK4	ปริมาณน้ำผลิตจ่ายของโรงงานผลิตน้ำบางเขน	5,410,735		

ตารางที่ 3.2 การคาดการณ์การใช้น้ำแต่ละสถานีสูบจ่ายน้ำ ปี 2587 (ต่อ)

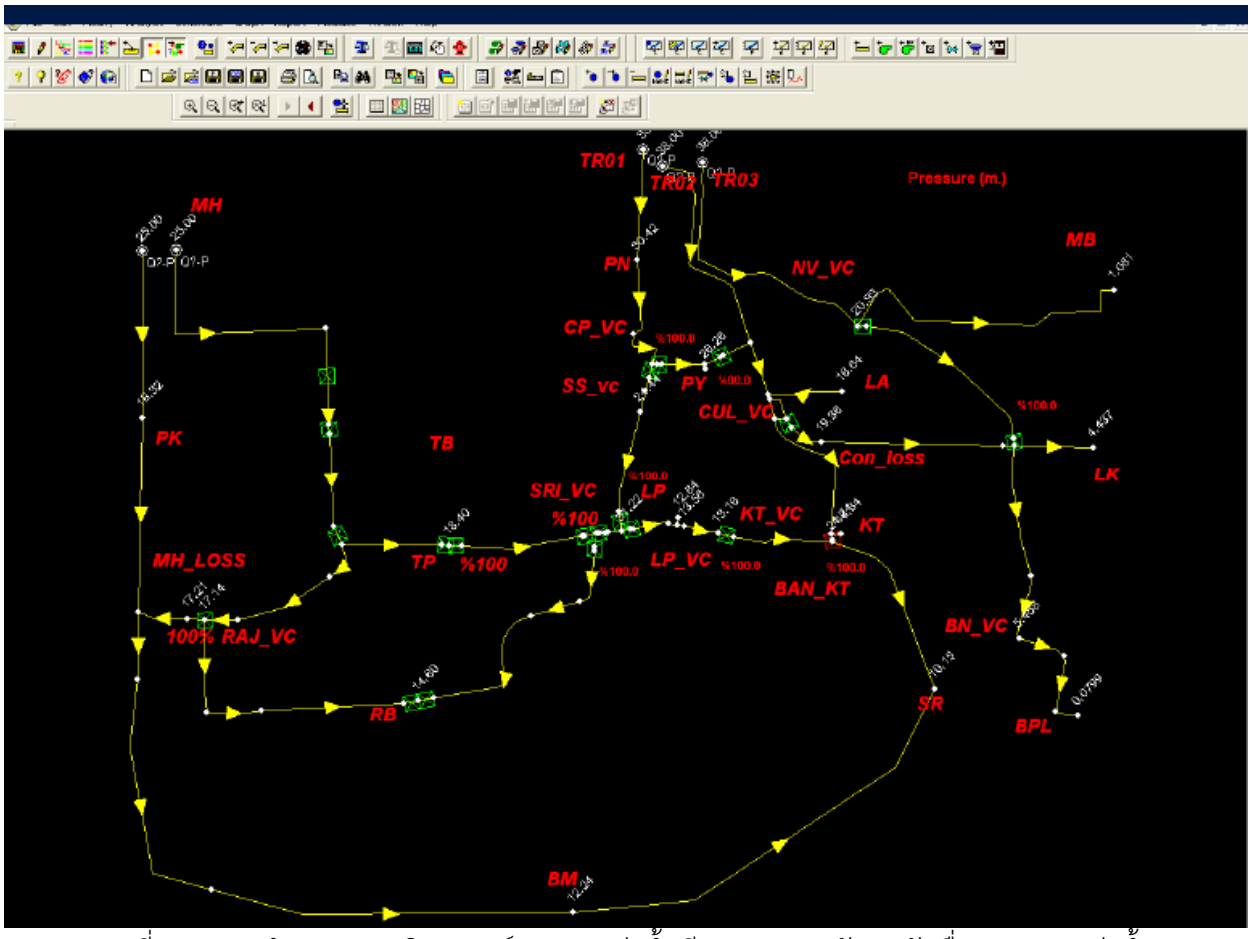
สถานีสูบจ่ายน้ำ	คำอธิบาย	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำ (ลิตร/วินาที)	แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)
ฝั่งตะวันตก				
MH	สถานีสูบส่งน้ำมหาสวัสดิ์	2,185,276	25,293	25.00
MH_DIS	สถานีสูบจ่ายน้ำมหาสวัสดิ์	435,969		
TB	โรงงานผลิตน้ำธนบุรี	150,000		
PK	สจ.เพชรเกษม	565,545	6,545.66	18.32
MH_Loss	น้ำสูญเสียในท่อส่งน้ำ	30,000	347.22	17.21
RAJ_VC	ราชมนตรี VC	60,000	694.44	17.14
RB	สจ.ราษฎร์บูรณะ	542,730	6,281.60	14.60
TP	สจ.ท่าพระ	354,690	4,105.21	18.40
BM	สจ.บางมด	239,565	2,772.74	12.24

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 3.2 มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Stoner พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2587 (ความเร็วน้ำ) เป็นดังรูปที่ 3.2



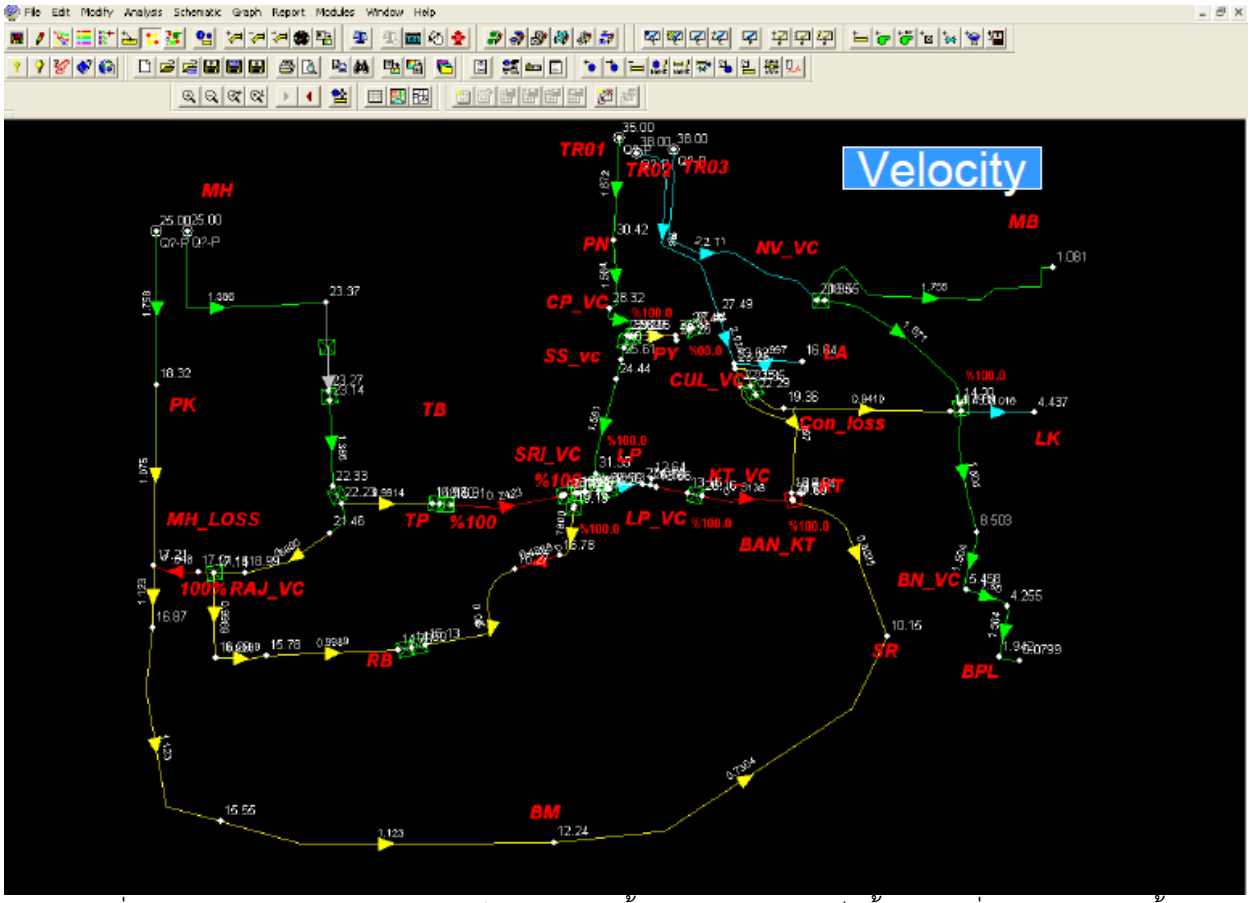
รูปที่ 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2587 (ความเร็วน้ำ)

จากรูปที่ 3.2 เมื่อพิจารณาจากความเร็วของน้ำในระบบอุโมงค์และท่อส่งน้ำ พบว่าอุโมงค์ส่งน้ำช่วงโรงงานผลิตน้ำสามเสนลงมาจนถึงสี่พระยา Valve Chamber (บริเวณที่วงกลม) มีความเร็วของน้ำสูงขึ้นเกือบถึงเกณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อระบบอุโมงค์ ดังนั้นเมื่อถึงปี 2587 จะไม่สามารถส่งน้ำได้แม้จะสามารถผลิตน้ำได้เพียงพอ จึงจำเป็นต้องขยายอุโมงค์ส่งน้ำอีกหนึ่งเส้นทางเพื่อรองรับความต้องการการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นและยังคงไว้ซึ่งเสถียรภาพของอุโมงค์ส่งน้ำด้วย จึงควรมีการเชื่อมระบบสูบส่งน้ำฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกเข้าด้วยกันจากสถานีสูบจ่ายน้ำบางมดถึงสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2587 (แรงดัน) หลังเชื่อมระบบสูบส่งน้ำ

จากรูปที่ 3.3 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อุโมงค์ส่งน้ำเส้นนี้ พบว่า จะช่วยให้ระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงมีเสถียรภาพเพียงพอต่อความต้องการในปี 2587 ซึ่งมีความต้องการการใช้น้ำมากถึง 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถึงแม้ว่าความต้องการใช้น้ำในช่วงเวลาดังกล่าวยังไม่ถึง 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่ยังสามารถช่วยในเรื่องเสถียรภาพในระบบสูบส่งและระบบสูบจ่ายได้ เนื่องจากระบบน้ำสูบส่งน้ำฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกเชื่อมถึงกันครบวงจรทำให้สามารถผันน้ำในระบบจากแต่ละฝั่งมาช่วยเหลือซึ่งกันและกันได้อย่างเพียงพอกรณีเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดต่างๆ เช่น กรณีโรงงานผลิตน้ำบางเขน (ฝั่งตะวันออก) เกิดปัญหาน้ำดิบด้อยคุณภาพสามารถสูบส่งน้ำจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เข้ามาชดเชยแทนได้ หรือกรณีโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ (ฝั่งตะวันตก) เกิดการขัดข้องในระบบไฟฟ้าก็สามารถให้โรงงานผลิตน้ำบางเขนทำการสูบส่งน้ำชดเชยในขณะที่ปัจจุบันยังไม่สามารถทำได้เต็มที่



รูปที่ 3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำ ปี 2587 (ความเร็วน้ำ) หลังเชื่อมระบบสูบส่งน้ำ

เมื่อพิจารณาจากความเร็วในอุโมงค์ส่งน้ำทั้งหมดยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยดังรูปที่ 3.4 ทำให้การประปานครหลวงมีเสถียรภาพในระบบสูบส่งน้ำอย่างยั่งยืนอันมาจากการเตรียมแผนในการสร้างอุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำทั้งสองเส้นทางได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง

ทั้งนี้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงทำให้เกิดเป็นประโยชน์อย่างมากในการวางแผนงานทางด้านวิศวกรรมและยุทธศาสตร์ของการประปานครหลวงในอนาคต อย่างไรก็ตามเพื่อให้เห็นภาพต่อการสร้างเสถียรภาพระบบประปาให้กับประชาชนภายในประเทศให้มีน้ำประปาใช้อย่างเพียงพอชัดเจนยิ่งขึ้น จึงขอยกตัวอย่างการประปาของประเทศในภูมิเดียวกันที่ประสบผลสำเร็จแล้ว คือ ระบบประปาของประเทศสิงคโปร์

3.2 ระบบการประปาของประเทศสิงคโปร์

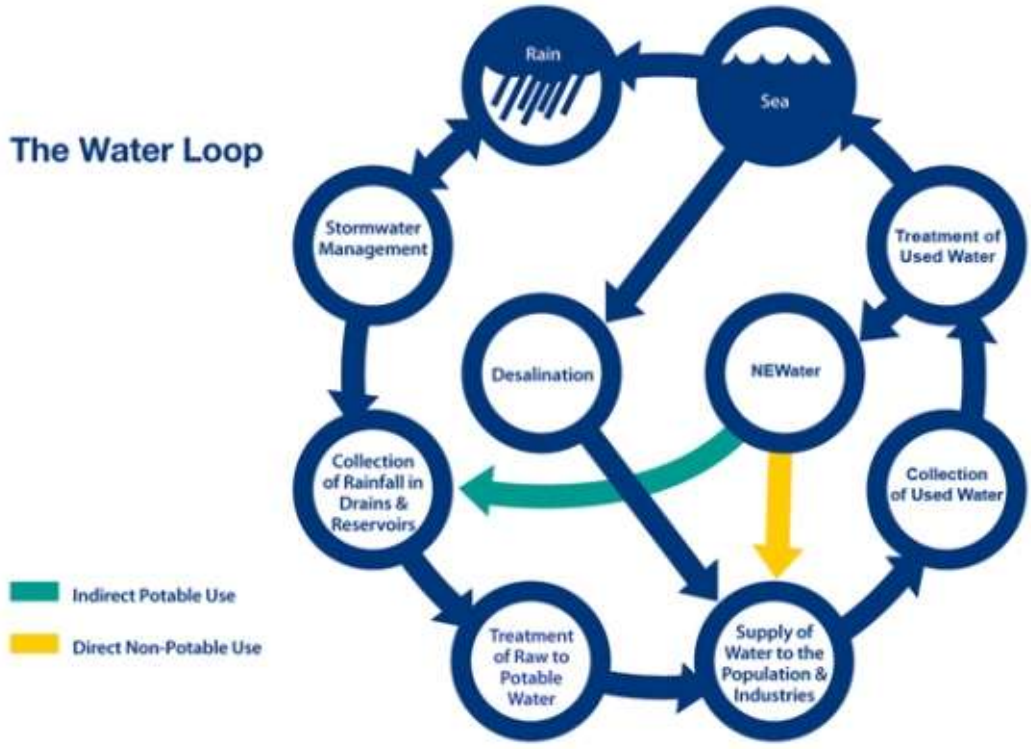
Public Utilities Board (PUB) เป็นองค์กรน้ำระดับชาติของสิงคโปร์ โดยก่อตั้งเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2506 อยู่ภายใต้กระทรวงการค้าและอุตสาหกรรม (Ministry of Trade and Industry: MTI) ในฐานะหน่วยงานที่ทำการผลิตและให้บริการไฟฟ้า น้ำ และแก๊สทางท่อ

วันที่ 1 ตุลาคม 2538 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าและแก๊สถูกโอนไปยัง Singapore Power Ltd จึงทำให้ PUB เหลือเพียงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับน้ำประปาและเป็นหน่วยงานที่คอยกำกับดูแลระบบไฟฟ้าและแก๊ส

บทบาทของ PUB ได้มีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งในวันที่ 1 เมษายน 2544 โดยมีการโอนหน้าที่ในการกำกับดูแลไฟฟ้าและแก๊สไปยังหน่วยงานที่ก่อตั้งขึ้นมาใหม่ชื่อ Energy Market Authority (EMA) ในขณะเดียวกันได้มีการโอนย้ายกรมที่รับผิดชอบน้ำเสียและน้ำทิ้งจากกระทรวงสิ่งแวดล้อม (Ministry of the Environment) มาเป็นส่วนหนึ่งของ PUB สะท้อนถึงการบูรณาการการจัดการเรื่องน้ำทั้งหมดในสิงคโปร์

การบูรณาการเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะน้ำถือเป็นทรัพยากรเชิงกลยุทธ์ของสิงคโปร์ ไม่แต่เพียงเพราะสิงคโปร์ขาดแคลนน้ำฝน แต่ด้วยพื้นที่ที่มีเพียง 700 ตารางกิโลเมตรซึ่งเป็นปัจจัยที่จำกัดในการรองรับน้ำฝน ด้วยจำนวนประชากร 4.7 ล้านคน การใช้ที่ดินสำหรับที่อยู่อาศัย ธุรกิจ ถนน สนามบิน อุตสาหกรรม และอื่นๆ ทำให้มีพื้นที่จำกัดสำหรับอ่างเก็บน้ำ

ภายใต้ข้อตกลง 2 ฉบับกับประเทศมาเลเซียในปี 2504 และ 2505 สิงคโปร์จะนำเข้าน้ำจากเมือง Johor อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตของเมืองและประชากรอย่างรวดเร็วในยุค 60 และ 70 ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำกอปรกับปัญหาน้ำท่วมอยู่บ่อยครั้งในหน้ามรสุม และมลพิษทางน้ำอันเลวร้าย น้ำจึงกลายเป็นประเด็นความมั่นคงระดับชาติ ดังนั้นนโยบายและโปรแกรมต่างๆ จึงถูกกำหนดเพื่อต่อสู้กับปัญหาการขาดแคลนน้ำ



รูปที่ 3.5 วัฏจักรน้ำแบบปิด

วัฏจักรของน้ำแบบปิดถูกประกาศออกมาในปี 2544 เมื่อ PUB ถูกรวมเข้ากับกรมน้ำเสียและน้ำทิ้ง มันเป็นการบูรณาการกันโดย PUB สามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างครบวงจร เป็นระบบตั้งแต่แหล่งน้ำจากการกักเก็บน้ำฝนในอ่างเก็บน้ำ การผลิตน้ำจากน้ำทะเล หรือการนำเข้าน้ำดิบเพื่อมาผลิตและสูบจ่าย รวมทั้งการรวบรวมน้ำใช้แล้วที่สามารถนำมาบำบัดและนำกลับไปใช้ใหม่ ทั้งนี้เทคโนโลยีเป็นสิ่งสำคัญในวัฏจักรน้ำแบบปิดและการผลิตน้ำรีไซเคิล

ด้วยน้ำจาก 4 แหล่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำภายในประเทศ การนำเข้าน้ำ การนำน้ำกลับไปใช้อีกครั้ง และการผลิตน้ำจากน้ำทะเล PUB ประสบความสำเร็จในการทำให้ประชาชนมั่นใจในการกระจายและความยั่งยืนในการให้บริการน้ำสำหรับประเทศสิงคโปร์

3.2.1 อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกหลัก

PUB รับผิดชอบอ่างเก็บน้ำ 14 แห่ง และบ่อน้ำสำหรับกักเก็บน้ำจากพายุ 16 แห่ง โดยทั้งหมดเป็นน้ำดิบ ซึ่งอ่างเก็บน้ำ Marina แล้วเสร็จในปี 2552 เป็นอ่างเก็บน้ำแห่งที่ 15 สำหรับแหล่งน้ำดิบจากการนำเข้ามาจากแม่น้ำใน Johor จากนั้นน้ำดิบจะถูกบำบัดที่โรงงานผลิตน้ำของ PUB ที่มีทั้งหมด 6 แห่งในสิงคโปร์ และ 3 แห่งใน Johor น้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกจ่ายไปยังลูกค้าผ่านโครงข่ายท่อที่มีความยาว 5313 กิโลเมตรและอ่างเก็บน้ำประปาอีก 13 แห่ง

สำหรับน้ำที่ใช้แล้วจะถูกกักเก็บผ่านเครือข่ายอันประกอบไปด้วยท่อน้ำเสียความยาว 3250 กิโลเมตร สถานีสูบจ่าย 96 แห่งพร้อมด้วยท่อประธานความยาว 180 กิโลเมตร ทั้งนี้น้ำที่ใช้แล้วจะถูกบำบัดผ่านโรงงานบำบัดน้ำเสีย 6 แห่ง ที่ครอบคลุมพร้อมด้วยระบบการบำบัดกลิ่น นอกจากนี้สิงคโปร์ยังมีโรงงาน NEWater ทั้งสิ้น 5 แห่ง

สิ่งอำนวยความสะดวกหลักอื่นๆ ได้แก่ WaterHub ที่รวบรวมเทคโนโลยี การเรียนรู้ เครือข่ายน้ำไว้ด้วยกัน อีกทั้งเป็นผู้จัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนานานาชาติสำหรับการฝึกอบรมพนักงานในอุตสาหกรรมน้ำทั้งในและต่างประเทศ แพลตฟอร์มเครือข่ายเพื่อส่งเสริมความสามารถและความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมน้ำของสิงคโปร์

3.2.2 เทคโนโลยีหลัก

PUB นำเทคโนโลยีมาใช้ในทุกแง่มุมของการจัดการและปฏิบัติการ ดังเช่น

3.2.2.1 น้ำดื่ม

Marina Barrage ที่อ่างเก็บน้ำ Marina ทำหน้าที่กั้นน้ำจากน้ำขึ้นน้ำลง โดยมันจะป้องกันน้ำหน้าเขื่อนที่สูงอันเป็นสาเหตุของน้ำท่วมพื้นที่ที่มีระดับต่ำกว่า นอกจากนี้ยังทำหน้าที่กักเก็บน้ำจืดที่อยู่หลังเขื่อนอีกด้วย โดยใช้ระบบ SCADA ในการเฝ้าระวังและควบคุมกระบวนการผลิตน้ำ

3.2.2.2 NEWater

PUB เป็นที่แรกในโลกที่บำบัดน้ำใช้แล้วด้วยเทคโนโลยีเมมเบรนระบบ Reverse Osmosis โดย NEWater เป็นหนึ่งในนวัตกรรมเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญที่สุดของสิงคโปร์

3.2.2.3 น้ำที่ใช้แล้ว

ระบบอุโมงค์น้ำเสียสำหรับจัดการกับน้ำที่ใช้แล้วในช่วงศตวรรษที่ 21 ทั้งนี้โรงงานบำบัดน้ำยังใช้ระบบ SCADA สำหรับเฝ้าระวังและควบคุมขั้นตอนการบำบัดน้ำอีกด้วย

3.2.2.4 การผลิตน้ำประปาจากน้ำทะเล

การผลิตน้ำประปารูปแบบนี้ใช้เทคโนโลยีเมมเบรนแบบ Reverse Osmosis โดยเทคโนโลยีเมมเบรนทำให้การดึงเกลือออกจากน้ำทะเลสามารถทำได้ด้วยต้นทุนที่ถูกลงอย่างมาก

PUB ลงทุนในการวิจัยและพัฒนาอย่างมีกลยุทธ์ ต่อเนื่อง และยั่งยืน ทำให้ใช้ประโยชน์เชิงเทคโนโลยีในการขยายและปรับปรุงการให้บริการน้ำของ PUB ผู้ใช้น้ำมั่นใจได้ว่าสิงคโปร์จะให้บริการน้ำที่ปลอดภัย ยั่งยืน และต่อเนื่อง

จากข้อมูลดังกล่าวของการประปาของประเทศสิงคโปร์ ชี้ให้เห็นว่าวิกฤตการณ์ปัญหาการขยายตัวของประชากรและวิกฤตการณ์น้ำขาดแคลนกำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้อย่างแน่นอน จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ต้องผลักดันแนวคิดในการสร้างเสถียรภาพของการประปานครหลวงของประเทศไทยด้วยเช่นกัน และเป็นการตอกย้ำถึงความสำคัญของรายงานการศึกษาเรื่องการเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงเพื่อความยั่งยืนได้เป็นอย่างดี

บทที่ 4
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

ความต้องการใช้น้ำประปาที่เพิ่มขึ้นจากประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนที่กำลังจะเกิดขึ้นทำให้มีประชากรอาศัยอยู่ในตัวเมืองมากขึ้น และปัญหาวิกฤตการณ์น้ำขาดแคลนที่เป็นหนึ่งในวิกฤตการณ์ที่สำคัญของโลก ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้การประปานครหลวงตระหนักถึงความสำคัญในการสร้างเสถียรภาพในการจ่ายน้ำของการประปานครหลวง ปัจจุบันการสูบจ่ายน้ำของการประปานครหลวงได้เพิ่มขึ้นเป็น 5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงมีแนวคิดว่าในอีก 30 ปีข้างหน้าจะทำอย่างไรเพื่อให้มีน้ำประปาใช้อย่างเพียงพอ การประปานครหลวงจึงศึกษาถึงแหล่งน้ำดิบที่จะมาช่วยในการผลิตน้ำแหล่งใหม่รวมทั้งการเพิ่มจำนวนเครื่องสูบน้ำในการสูบจ่ายของสถานีสูบจ่ายน้ำต่างๆ นอกจากนี้ต้องมีการออกแบบระบบส่งน้ำไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำให้เพียงพอเพื่อรองรับปริมาณน้ำสูบจ่าย 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันจากการคาดการณ์ความต้องการในอีก 30 ปี ข้างหน้าอีกด้วย

ด้วยความจำเป็นดังที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสร้างเสถียรภาพในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง โดยอาศัยหลักการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการออกแบบซึ่งใช้โปรแกรมแบบจำลอง stoner มาช่วยในการสร้างแบบจำลองและออกแบบระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่เหมาะในการสร้างแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อขนาดใหญ่และการไหลของน้ำ

จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นและการคาดการณ์การใช้น้ำของประชาชนในอีก 30 ปี ข้างหน้าพบว่าจะมีปริมาณน้ำสูบจ่ายเพิ่มสูงขึ้นถึงวันละ 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตร จึงออกแบบระบบอุโมงค์และสถานีสูบจ่ายน้ำเพิ่มเติมเพื่อให้เพียงพอต่อการสูบจ่ายในอีก 30 ปี ข้างหน้าดังนี้

1) ก่อตั้งสถานีสูบจ่ายน้ำบางมดบริเวณทิศใต้ของกรุงเทพมหานคร ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา พร้อมท่อส่งน้ำจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เพื่อรองรับการขยายตัวของเขตเมืองและอุตสาหกรรมและประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนภายในปี 2560
2) เปลี่ยนหน้าที่ความรับผิดชอบของโรงงานผลิตน้ำธนบุรีจากโรงงานผลิตน้ำเป็นเพียงสถานีสูบจ่ายน้ำ เนื่องจากท่อส่งน้ำดิบมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและแตกรั่วได้ง่ายจึงไม่เหมาะที่จะขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร
3) สร้างท่อส่งน้ำมหาสวัสดิ์เส้นที่ 2 (TR2-MH) จากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ไปยังโรงงานผลิตน้ำธนบุรีและมาบรรจบกับท่อส่งน้ำเดิมบริเวณสถานีสูบจ่ายน้ำท่าพระภายในปี 2560
4) ทำการเชื่อมท่อส่งน้ำฝั่งตะวันตกและตะวันออกเข้าด้วยกันจากสถานีสูบจ่ายน้ำบางมดไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำสำโรงภายในปี 2587 เพื่อรอบรับปริมาณการสูบจ่ายน้ำ 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน

จากการศึกษาและการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงแนวทางที่สำคัญเพื่อสร้างเสถียรภาพของการประปานครหลวงในอีก 30 ปีข้างหน้า อีกทั้งยังสามารถใช้

ประโยชน์ในการวางแผนระบบสูงส่งน้ำประจำวันและประจำเดือนของการประปานครหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

4.2 ปัญหาและอุปสรรค

1) ปริมาณน้ำสูบจ่ายในปี 2587 ที่ 8.1 ล้านลูกบาศก์เมตรเป็นเพียงการคาดการณ์ซึ่งอาจจะมีการคลาดเคลื่อน
2) เนื่องจากระบบสูงส่งน้ำมีขนาดใหญ่จึงทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นต้องทำการสอบเทียบแบบจำลองอยู่เสมอเป็นประจำทุกครั้งก่อนที่จะใช้ในการทำงาน

4.3 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาส่วนบุคคลนี้เป็นเพียงการศึกษาเฉพาะระบบสูบส่งน้ำเท่านั้น แต่ในการดำเนินงานจริงจะต้องมีการวางแผนดำเนินการทั้งระบบให้สอดรับกันทั้งการหาแหล่งน้ำดิบเพิ่มเติม การขยายกำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำบางเขน และมหาสวัสดิ์
2) การดำเนินการเพิ่มเสถียรภาพระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวงอย่างยั่งยืนจะต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมากถึง 20,000 ล้านบาทในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานนี้ จึงต้องมีการบริหารจัดการทางการเงินที่รัดกุม และโปร่งใส
3) การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสูบส่งนั้น ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญพิเศษจึงจะสามารถออกแบบหรือวิเคราะห์ผลได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องสร้างทีมงานที่เชี่ยวชาญในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบสูบส่งของการประปานครหลวงขึ้น
4) ควรสร้างกลุ่มเครือข่ายความรู้และการพัฒนาการประปาในระดับภูมิภาคอาเซียนให้เข้มแข็งและเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น เพื่อช่วยกระตุ้นการสร้างนวัตกรรมและการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ที่สำคัญในกิจการการประปาในระดับภูมิภาคอาเซียนขึ้น
5) เพื่อให้มีน้ำดิบเพียงพอกับความต้องการในอนาคต ควรมีการศึกษาสร้างเขื่อนบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อใช้ป้องกันการเกิดอุทกภัยจากน้ำทะเลหรือน้ำทะเลหนุนสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำดิบ ทำให้การผลิตน้ำประปาต้องใช้เวลายาวนานขึ้น และส่งผลให้ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำ
6) ควรศึกษาการนำระบบผลิตน้ำประปาด้วยเทคโนโลยีใหม่ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับน้ำดิบที่จะมีคุณภาพต่ำ ไม่เหมาะสมกับระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน
7) ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ รวมถึงต้นทุนรวมทั้งหมดตลอดอายุดการใช้งานในการก่อสร้างระบบน้ำผลิตประปาแห่งใหม่
8) ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเขื่อนหรืออ่างกักเก็บน้ำของการประปานครหลวงเองเพื่อความมั่นคงในระบบประปาในเขตนครหลวง

9) ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างอ่างเก็บน้ำใต้ดินขนาดใหญ่ทั้งน้ำดิบและน้ำประปา

เมื่อดำเนินการต่างๆ ตามแผนอย่างเป็นระบบทั้งองค์กรด้วยความรอบคอบ โปร่งใส ไม่เพียงแต่ระบบสูบส่งน้ำเท่านั้นที่จะมีเสถียรภาพอย่างยั่งยืน แต่นั่นหมายถึงการประปานครหลวงที่สามารถให้บริการน้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัยด้วยปริมาณและแรงดันที่ผู้ใช้น้ำพึงพอใจอย่างยั่งยืน

บทที่ 5
บทอ้างอิง

1. http://water.rid.go.th/hyd/scada/scada_uc.htm
2. http://water.rid.go.th/hyd/scada/scada_uc.htm
3. http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/Booksonline/thandon/FluidMechanics.pdf
4. สายัณห์ น้ำเงิน 2546, “การศึกษาระบบอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Epanet 2.0”, การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5. จักรวาล ศรีเหลือง และคณะ 2556, “การศึกษาระบบอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ Epanet 2.0”, การประชุมวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 5, 5-6 กันยายน 2556, NCWRE 57
6. จักรวาล ศรีเหลือง และคณะ 2557, “การศึกษาศักยภาพของถังเก็บน้ำใสในระบบสูบส่งน้ำของการประปานครหลวง”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, 14-16 พฤษภาคม 2557
7. สถิตย์ จันทร์ทิพย์,* ปิยมาลย์ ศรีสมพร และสุรเจตส์ บุญญาอรุณเนตร, “ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ ต่อการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๙, ๑๔-๑๖ พฤษภาคม ๒๕๕๗
8. www.**pub**.gov.sg