บทที่ 4

การวิเคราะห์ระบบปริมาณน้ำสูญเสียในระบบท่อและแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อ ในสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

แนวความคิดเกี่ยวกับแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อ

ในคำจำกัดความระบบ คือ กลุ่มขององค์ประกอบ(Elements)ที่มีความสัมพันธ์กัน แบบจำลอง(Model)ของระบบมีส่วนประกอบอย่างง่าย คือ ข้อมูลเข้า(Input) กระบวนการ (Process) ผลลัพธ์(Output) ส่วนที่ไม่อยู่ในระบบเรียกว่า สิ่งแวดล้อม(Environment) และขอบเขตที่แบ่งระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมเรียกว่า ขอบเขต (Boundary)

ในการวิจัยนี้ได้อาศัยทฤษฎีของการจำลองแบบปัญหา (Simulation) ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ระบบท่อ โดยเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบจำลอง(Model)ของระบบงานจริง (Real System) โดยนำมาสร้างเป็นกรอบการวิจัยตามขั้นตอน คือ การตั้งปัญหา การสร้างแบบจำลอง การจัดเตรียมข้อมูล การแปรรูปแบบจำลอง และการทดสอบความถูกต้อง และใช้ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์ของท่อ(Hydralics of Pipeline)กับทฤษฎีโครงข่ายระบบท่อ (Pipe Networks) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการไหลของน้ำในระบบท่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันน้ำและการไหลของน้ำ ดังนี้คือ

1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน(Problem Formulation and System Definition)

1.1 วัตถุประสงค์ของระบบ เพื่อนำเสนอแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อของการประปานครหลวง ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

1.2 ขอบเขตของระบบ ครอบคลุมพื้นที่ของสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆซึ่งมีพื้นที่จ่ายน้ำ 32.8 ตร.กม. จำนวนสถานีวัดแรงดันของน้ำ 43 สถานี

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้นและข้อจำกัด (Assumption and Limitation) ของแบบจำลอง คือ

ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) การนำเสนอใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 200 มม.ขึ้นไป โดยที่ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่านี้จะมีผลต่อการรั่วไหลของน้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกัน ยกเว้นในบางพื้นที่เท่านั้น

1.4 วิธีการวัดผลของระบบงาน จะใช้การทดสอบในสนาม(Field Test) โดยการวัดค่าความดันน้ำที่สถานีวัดน้ำซึ่งได้แก่ หัวดับเพลิงตามจุดที่สำคัญต่าง ๆ จำนวน 43 สถานี พร้อมกับต่อมาตรวัดเข้ากับ Data Logger เพื่อนำมาป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และปรับค่า (Calibrate Model) ให้แบบจำลองโครงข่ายอยู่ในสภาพสมดุลย์ กับทางทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์และทฤษฎีโครงข่ายระบบท่อ

2. การสร้างแบบจำลอง (Model Formulation)

โดยการใช้แผนที่แสดงโครงข่ายของระบบท่อในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆและสมการแสดงพฤติกรรมการไหลของน้ำในระบบท่อ หรือกระบวนการ (Process) คือ

Continuity Equation : Σ inflow = Σ outflow

Energy Equation : $\frac{P}{\gamma}_A + \frac{V^2}{2g}_A + Z_A = \frac{P}{\gamma}_B + \frac{V^2}{2g}_B + Z_B$

ผลลัพธ์ (Output) คือ ค่าการไหลของน้ำในระบบท่อ และ ค่าความดันน้ำ (Hydralic Grade Line; HGL) ที่แต่ละจุด (Nodes) โดยค่า

$$HGL = \frac{P}{\gamma} + Z$$

ข้อมูลนำเข้า (Input) ที่สำคัญ คือ ค่าการไหลเข้าของน้ำ(flow) มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และค่าความต้องการใช้น้ำ (Demand from Billing) มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที

3. การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

การวิเคราะห์โครงข่ายเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ด้านคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำและส่งน้ำ โครงข่ายง่าย ๆ ที่มีท่อ 2-3 ท่อ สามารถวิเคราะห์คำนวณด้วยมือได้ แต่สำหรับระบบที่มีการเชื่อมต่อในพื้นที่กว้างใหญ่ไม่สะดวกในการปฏิบัติและลงทุนสูง การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้านคณิตศาสตร์ผสมกับชลศาสตร์สามารถเป็นข้อมูลในการสนับสนุนในการตัดสินใจสำหรับการดำเนินการวิเคราะห์และตรวจสอบการสูญเสียน้ำในระบบท่อได้ ทั้งนี้จะต้องมีข้อมูลที่ดีสำหรับสร้าง (Construction) แบบจำลองและปรับแต่ง (Calibration)

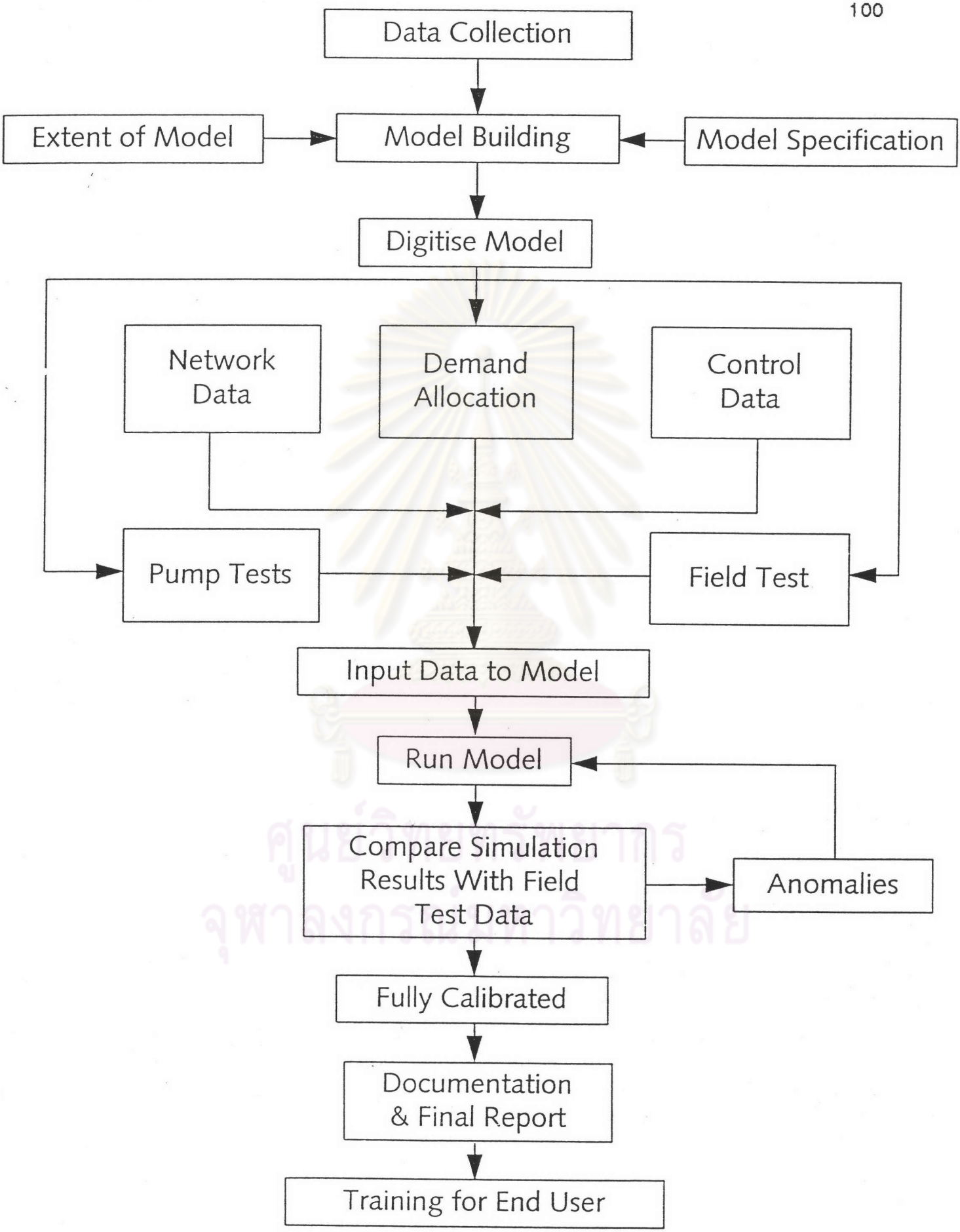
กระบวนการในการสร้างแบบจำลองมีดังรูปที่ 4.1 โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลของระบบท่อต่าง ๆ สร้างแบบจำลองเบื้องต้นตามคุณลักษณะที่ต้องการ ลอกแบบจำลองระบบท่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ตรวจสอบข้อมูลของระบบท่อ ความต้องการใช้น้ำ ข้อมูลดำเนินการการทดสอบเครื่องสูบน้ำ การทดสอบข้อมูลในสนาม จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดใส่ในแบบจำลองทำการคำนวณแบบจำลอง เปรียบเทียบผลการจำลองแบบกับข้อมูลในสนาม ถ้ามีสิ่งผิดปกติให้กลับไปคำนวณแบบจำลองใหม่พร้อมการปรับแต่งแบบจำลอง

ปัจจัยที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองมี 6 อย่างดังนี้คือ

1. แหล่งของข้อมูล(Sources of data)
2. ข้อมูลโครงข่าย(Network data)
3. การจัดสรรความต้องการน้ำ(Demand allocation)
4. ข้อมูลที่ต้องมีการควบคุม(Control data)
5. การปรับแบบจำลอง(Model calibration)
6. การทดสอบข้อมูลในสนาม(Field testing)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELLING PROCESS



รูปที่ 4.1 แสดงกระบวนการจำลองแบบโครงข่ายระบบท่อ

โดยมีรายละเอียด ของแต่ละปัจจัยดังนี้

1. แหล่งของข้อมูล

ก. แผนที่แสดงโครงข่ายการกระจายของระบบท่อ

ข. แผนที่แสดงแหล่งเก็บน้ำที่นำมาใช้

general layout

pump curves

valving arrangements

ค. การตรวจสอบระบบปัจจุบัน

Flow Metering

Telemetry

ง. ข้อมูลควบคุมการรั่วไหล

จ. ข้อมูลค่าใช้น้ำ

ฉ. การพยากรณ์ความต้องการ

ช. ข้อมูลท่อประธาน

อายุของท่อ ชนิดและลักษณะการวางท่อ

และข้อมูลของท่อแตกท่อรั่ว

ซ. การดำเนินการระบบทั่วไป

ความรู้ความเข้าใจของผู้ใช้

2. ข้อมูลโครงข่าย

ก. ข้อมูลของแต่ละ node

ตำแหน่งของ node

ข้อต่อข้อร่วม

จุดที่เปลี่ยนขนาดท่อ

จุดที่เปลี่ยนชนิดท่อ

จุดที่มีผู้ใช้น้ำรายใหญ่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสูงของnodeเทียบกับระดับปกติ

จำนวน node

ข. ข้อมูลท่อ

ความยาว

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในที่แท้จริงของท่อ

อายุของท่อ

ชนิดของท่อ

ค่าประมาณเริ่มต้นของfriction

ค. ข้อมูลของแหล่งเก็บน้ำ

ระดับสูงสุดและต่ำสุดของน้ำ

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำเข้า-ออก จากแหล่งเก็บน้ำ

คุณลักษณะทางด้านรูปร่าง ระดับและปริมาณ

ง. ข้อมูลเครื่องสูบน้ำ

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำเข้า-ออก จากเครื่องสูบน้ำ

จำนวนและแบบของเครื่องสูบน้ำ

กราฟแสดงคุณลักษณะระดับและการไหลของน้ำ

3. การจัดสรรความต้องการน้ำ

ในความเป็นจริงน้ำจะถูกใช้ตลอดแนวความยาวของท่อ แต่ในแบบจำลองโครงข่าย จะสมมุติว่าน้ำจะถูกใช้ตรงตำแหน่งของ node เท่านั้น ฉะนั้นจะต้องกำหนดให้ชัดเจนว่าแต่ละ node จะให้บริการต่อพื้นที่เท่าไร โดยทั่วไปจะสมมุติว่าความต้องการใช้น้ำที่ node ปลายทั้งสองของท่อเท่ากัน และจะต้องตรวจตราเป็นพิเศษสำหรับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กซึ่งปริมาณการใช้น้ำของ node ที่อยู่ปลายทั้งสองของท่อจะไม่เท่ากัน

ในแต่ละ node ความต้องการใช้น้ำจะประกอบด้วยปัจจัยบางตัวหรือทั้งหมดดังนี้

ผู้ใช้น้ำทั่วไป(บ้านเรือน)

ผู้ใช้เชิงอุตสาหกรรม

ผู้ใช้น้ำเชิงพานิชย์

น้ำสูญเสีย

การจัดสรรความต้องการใช้น้ำ โดยทั่วไปจะใช้หลัก Water Utilities Customer Information System (CIS) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้

หมายเลขผู้ใช้น้ำ

ชื่อผู้ใช้น้ำ

ที่อยู่ผู้ใช้น้ำ

ปริมาณความต้องการใช้น้ำ

ความถี่ของการอ่านมาตรวัด

วันที่อ่าน

ขนาดของมิเตอร์

การแบ่งกลุ่มของผู้ใช้

4. ข้อมูลที่ต้องมีการควบคุม

บางระบบ พารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งตรงข้ามกับพารามิเตอร์ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ การต่อโครงข่ายซึ่งอ้างอิงข้อมูลควบคุมการปฏิบัติการ

ก. ข้อมูลแหล่งเก็บน้ำ

ระดับน้ำที่ปฏิบัติการได้

คุณลักษณะของ float valve

ข. ข้อมูลของเครื่องสูบน้ำ

ความเร็วที่ใช้

การดำเนินการและการสวิทชิ่ง

เวลา

แรงดัน

ระดับ

การไหล

กราฟแสดงคุณลักษณะการไหล

ค. ข้อมูลวาวล์

แบบของวาล์วและการควบคุม

การลดลงของแรงดัน

การรักษาระดับแรงดัน

การปิด

throttled

การไม่ไหลย้อนกลับ

float

ง. ข้อมูลการใช้น้ำ

การใช้น้ำ

น้ำสูญเสีย

5. การปรับแบบจำลอง

การปรับแบบจำลองโครงข่ายที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ให้มีความแม่นยำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพารามิเตอร์หลายตัวที่ป้อนเข้าสู่แบบจำลองนั้นมีความไม่แน่นอน

การปรับข้อมูลจะถูกใช้เพื่อพิสูจน์ความแม่นยำของแบบจำลอง เพื่อทำนายการทำงานของระบบจริงที่รู้เงื่อนไขต่างๆ และยอมรับค่าที่เบี่ยงเบนได้

พารามิเตอร์ที่สำคัญมากต่อความไม่แน่นอนมีดังนี้

ค่าประมาณเริ่มต้นของ friction

ความต้องการที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การได้รับข้อมูลจากระบบจริงเพื่อปรับแบบจำลองมีความจำเป็นที่จะต้องวัดข้อมูลในสนาม

การไหลเข้าและไหลออกของทุกระบบ

การวัดแรงดันที่ node ที่ถูกเลือกมาปรับ

ระดับน้ำในแหล่งเก็บน้ำ

ผู้ใช้น้ำรายใหญ่

คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ

6. การทดสอบข้อมูลในสนาม

การทดสอบข้อมูลในสนามเพื่อให้ได้สิ่งต่อไปนี้

ก. ข้อมูลการปรับแต่ง

การวัดแรงดันและการไหลพร้อม ๆ กันของระบบที่เวลาจริงเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองในระหว่างการปรับ

ข. ข้อมูลควบคุมการปฏิบัติงาน

การดำเนินการจริงของช่วงเวลาการทดสอบในสนามต้องแม่นยำ ถ้าการปรับสำเร็จจะถือว่าประสบผลสำเร็จ

จุดสำคัญที่แสดงว่าการปรับประสบผลสำเร็จคือ การเริ่มต้น flow balance ระหว่างการวัดในสนามและข้อมูลจากแบบจำลอง

ระหว่างการกระจายความต้องการน้ำเฉลี่ยรายวันจากอรรถประโยชน์ ข้อมูลจะถูกนำเข้าแบบจำลองด้วย

การปรับแบบจำลองจำเป็นต้องมีความเข้าใจอย่างสมบูรณ์และจำลองแบบปัญหา แนวโน้มความต้องการใช้น้ำรายวัน เช่น ตัวแปรใดของความต้องการน้ำเฉลี่ยรายวันจะถูกสมมุติ ณ ที่เวลาใด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การแปรรูปแบบจำลอง (Model Traslation)

การแปลงแบบจำลองไปอยู่ในคอมพิวเตอร์ โดยการใช้ดิจิไตเซอร์ลอกแผนที่โครงข่ายระบบท่อ และคำนวณค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อ มีชื่อว่า Stoner Workstation Service (SWS) ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์แบบจำลองโครงข่ายระบบท่อทางด้านชลศาสตร์ สามารถแบ่งเป็น 2 แบบจำลองตามการใช้งาน คือ

1. แบบจำลองที่สภาวะคงตัว (Steady-state Modeling)

2. แบบจำลองที่สภาวะแปรเปลี่ยน (Variable-state modeling)

เนื่องจากโปรแกรมนี้ต้องเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมากและคำนวณวงรอบให้สมดุลย์ จึงต้องใช้หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์อย่างน้อย 18 เมกะไบท์

ผลลัพธ์ของแบบจำลองโครงข่ายของระบบท่อในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

จากแบบจำลองโครงข่ายของระบบท่อ ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ สามารถแสดงภาพเส้นท่อประธาน ท่อบริการ และอุปกรณ์ท่อต่าง ๆ หัวดับเพลิง มาตรวัด ประกอบกับการวัดข้อมูลในสนาม จะได้แผนที่แรงดันน้ำ (Pressure contour) ที่แสดงตำแหน่งที่เส้นท่อใดมีแรงดันน้ำสูงต่ำเพียงใด และแผนที่แสดงตำแหน่งที่ท่อแตกท่อรั่ว ทำให้สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำกับจำนวนจุดที่ท่อแตกท่อรั่ว ดังภาพที่ 4.2-4.9

รูปที่ 4.2 แสดงสถานที่วัดการไหลของน้ำ ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

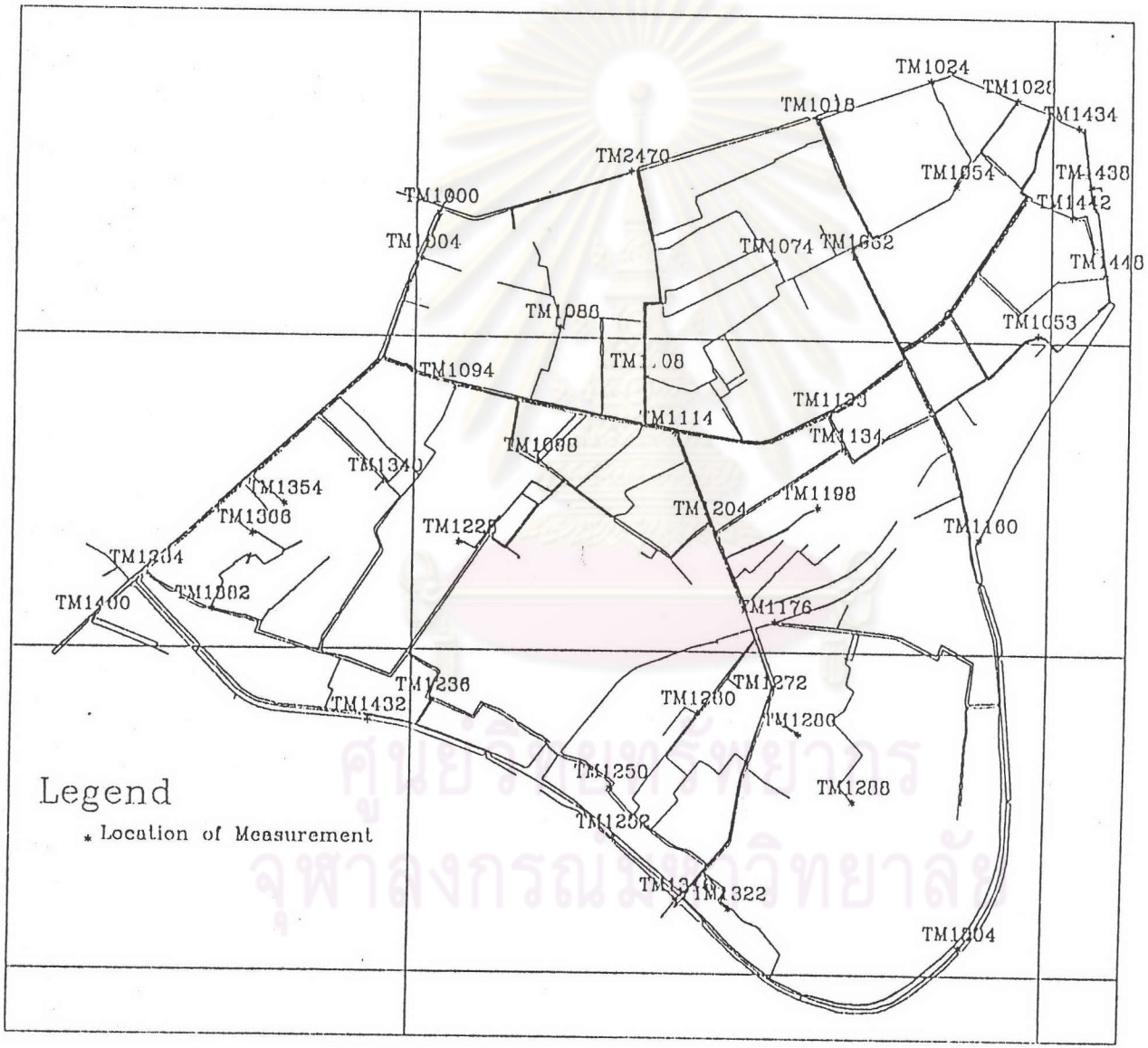
Locations of Flow Measurement, Tung Mahamek Branch

U128 (900 mm.) + 14,024 m3/day
U129 (600 mm.) - 6,529 m3/day
U130(1200 mm.) +192,749 m3/day
U135 (600 mm.) + 19,578 m3/day
W142 (200 mm.)
W143 (150 mm.) - 800 m3/day

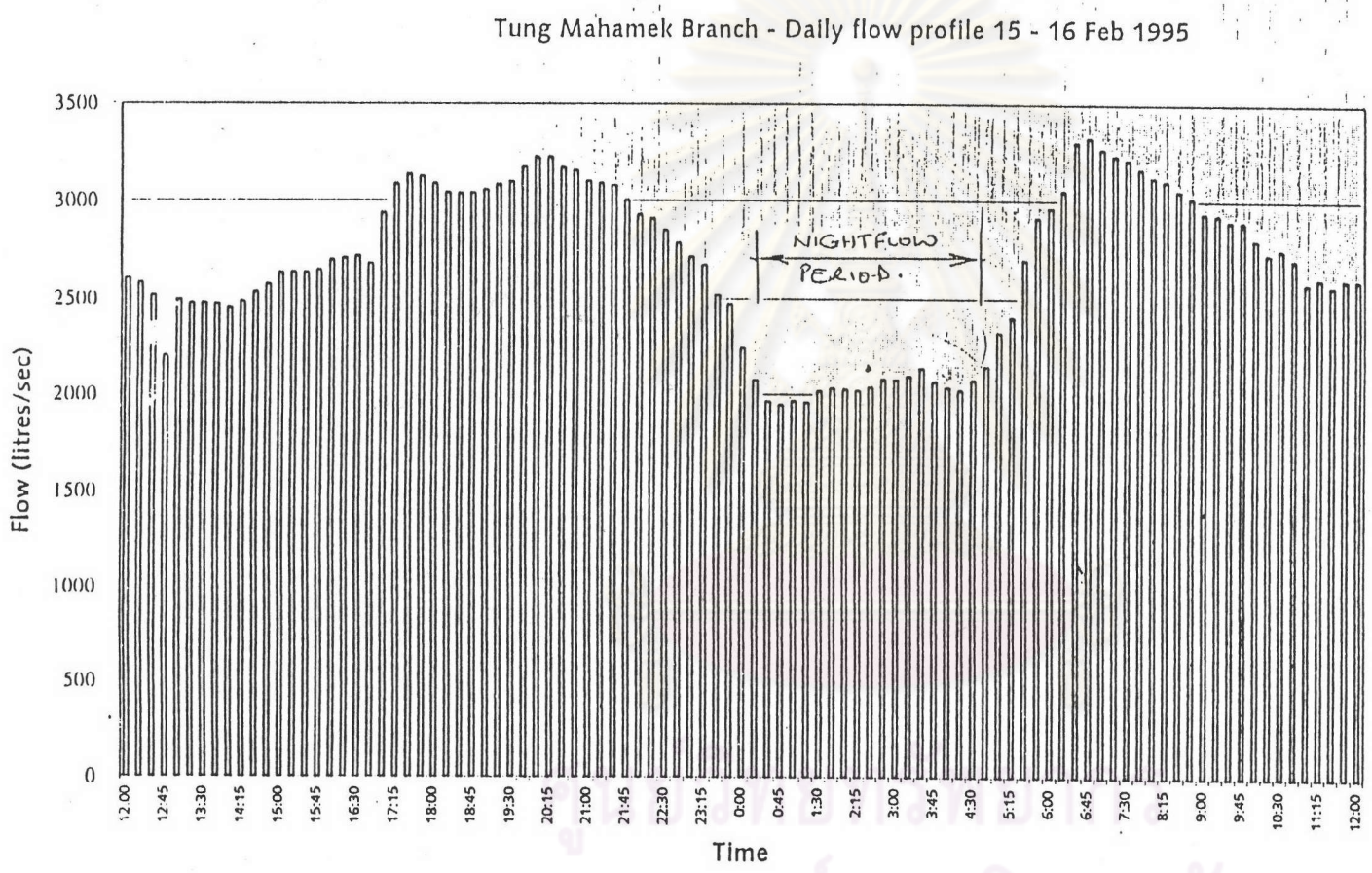
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 แสดงสถานที่วัดแรงดันน้ำ ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

Locations of Pressure Measurement, Tung Mahamek Branch

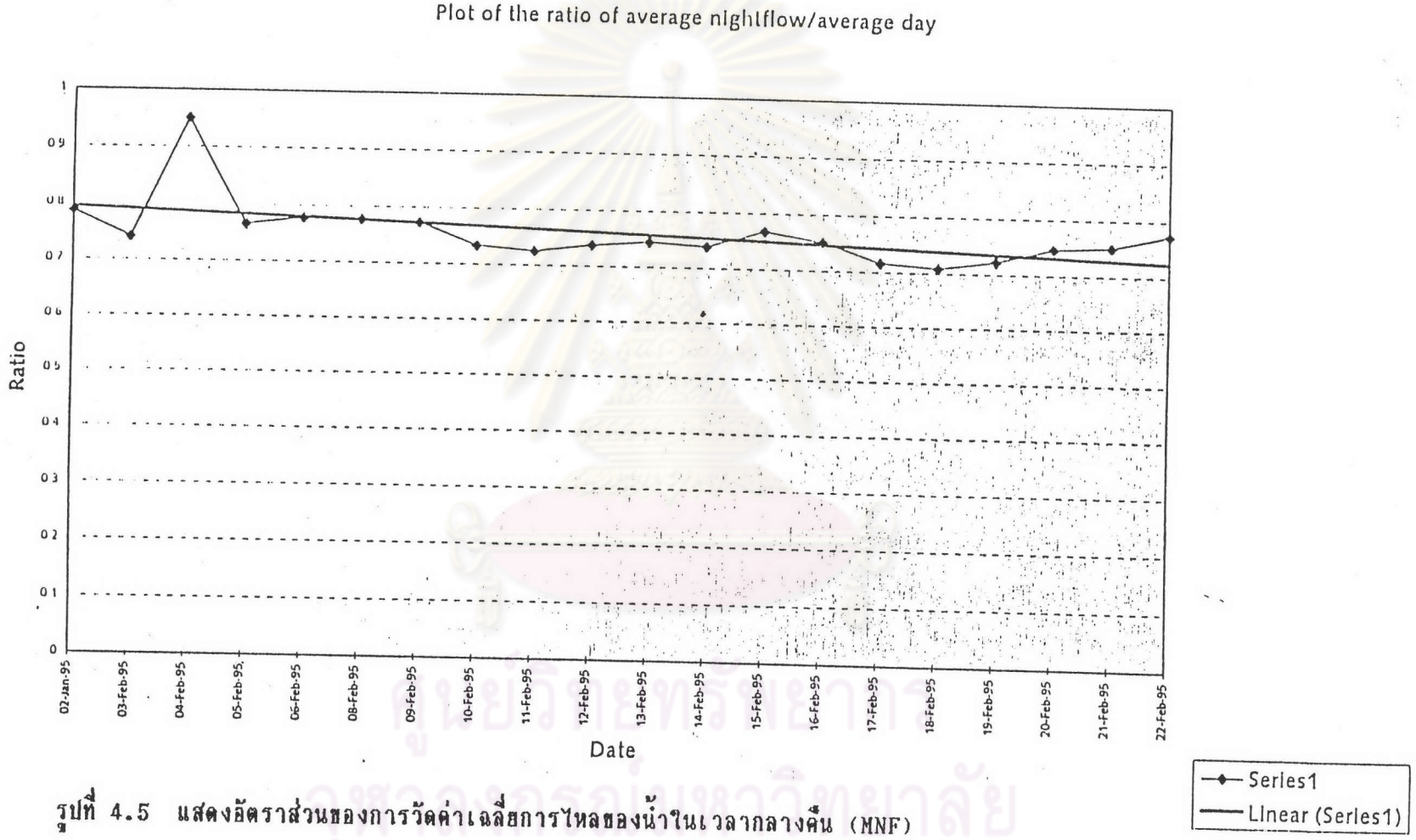


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

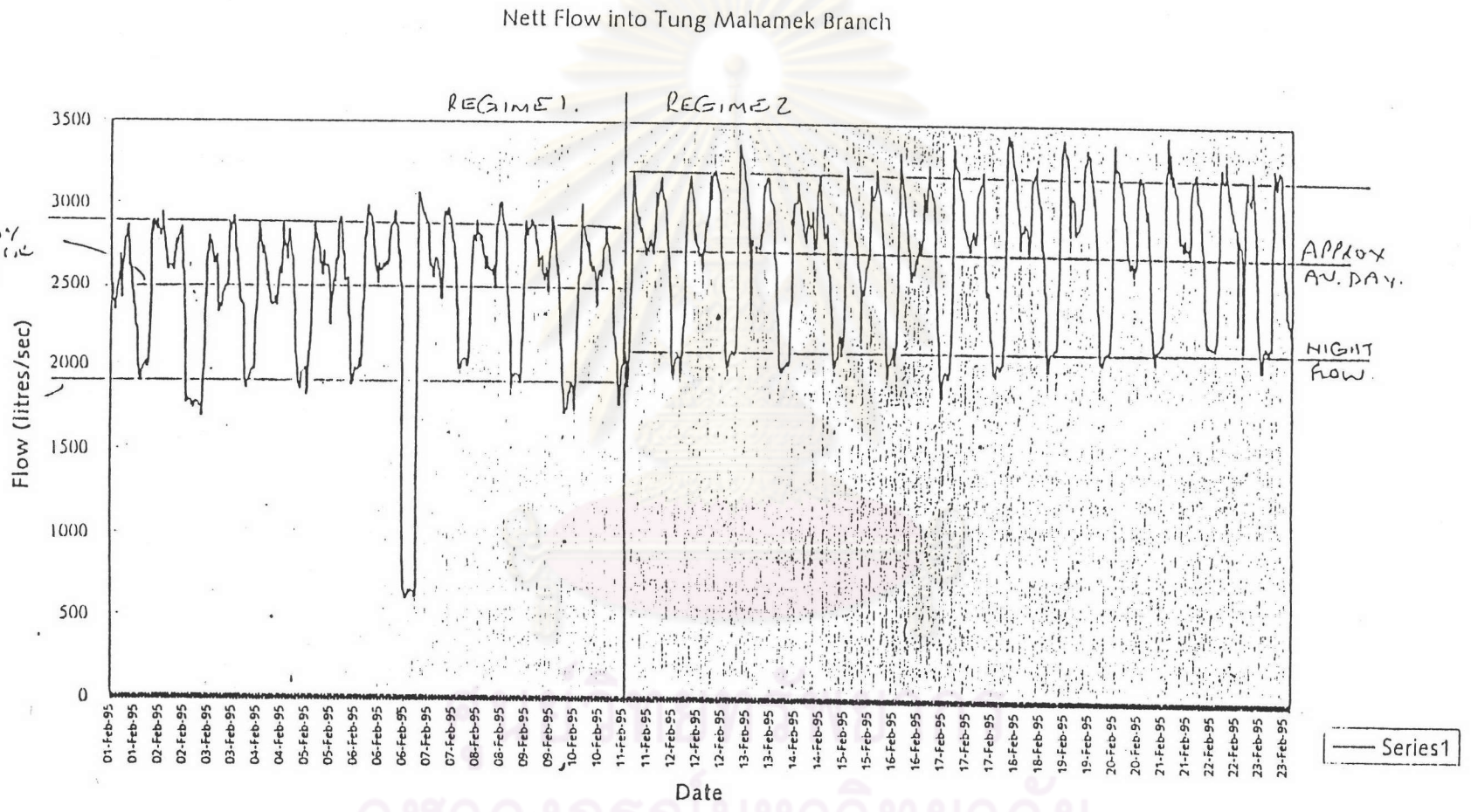


รูปที่ 4.4 แสดงแนวระดับการไหลของน้ำประจำวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2538
ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

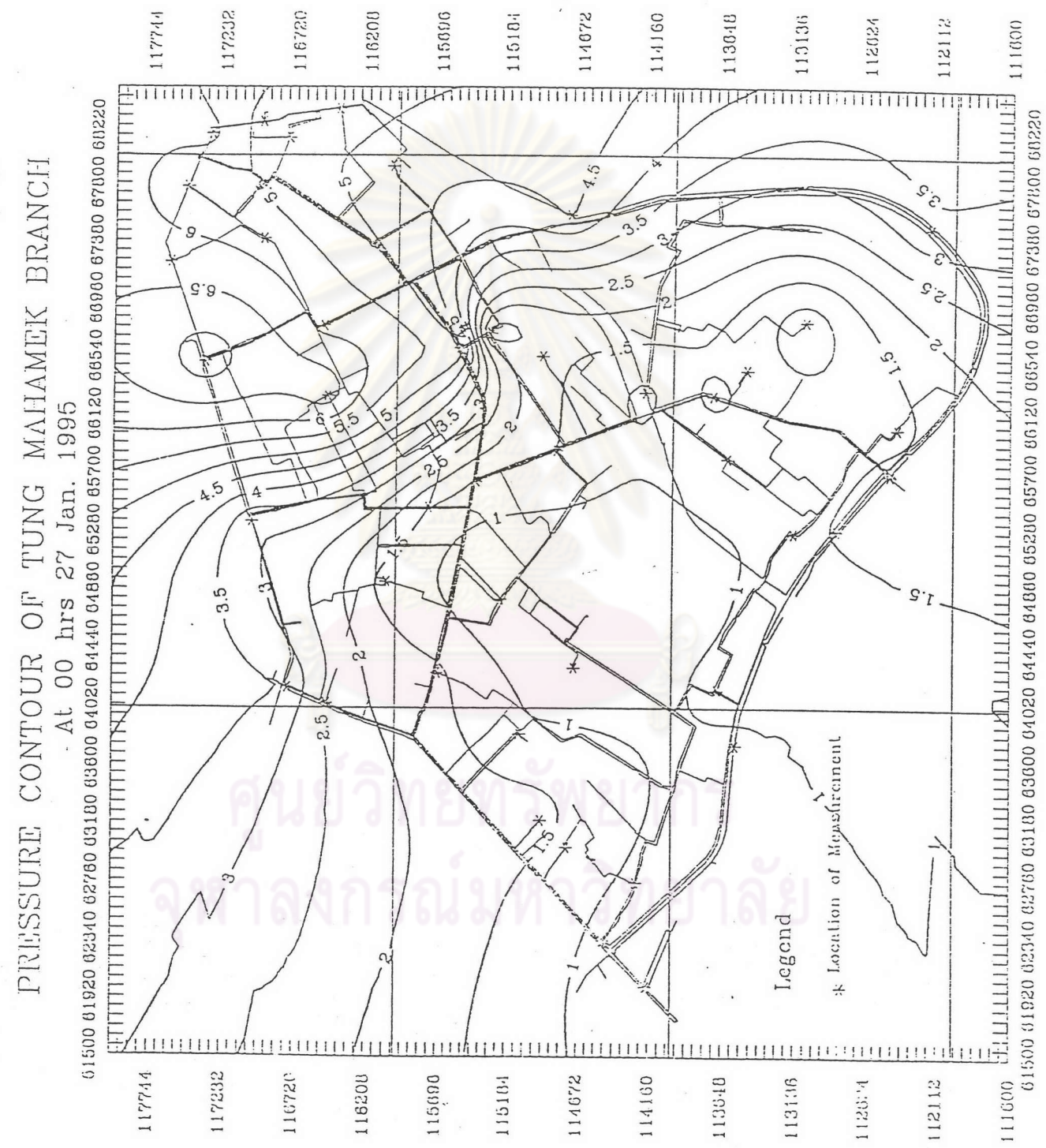
Ratio av. nightflow/av. day Nett flow 2Jan-22Feb Summary Chart 2



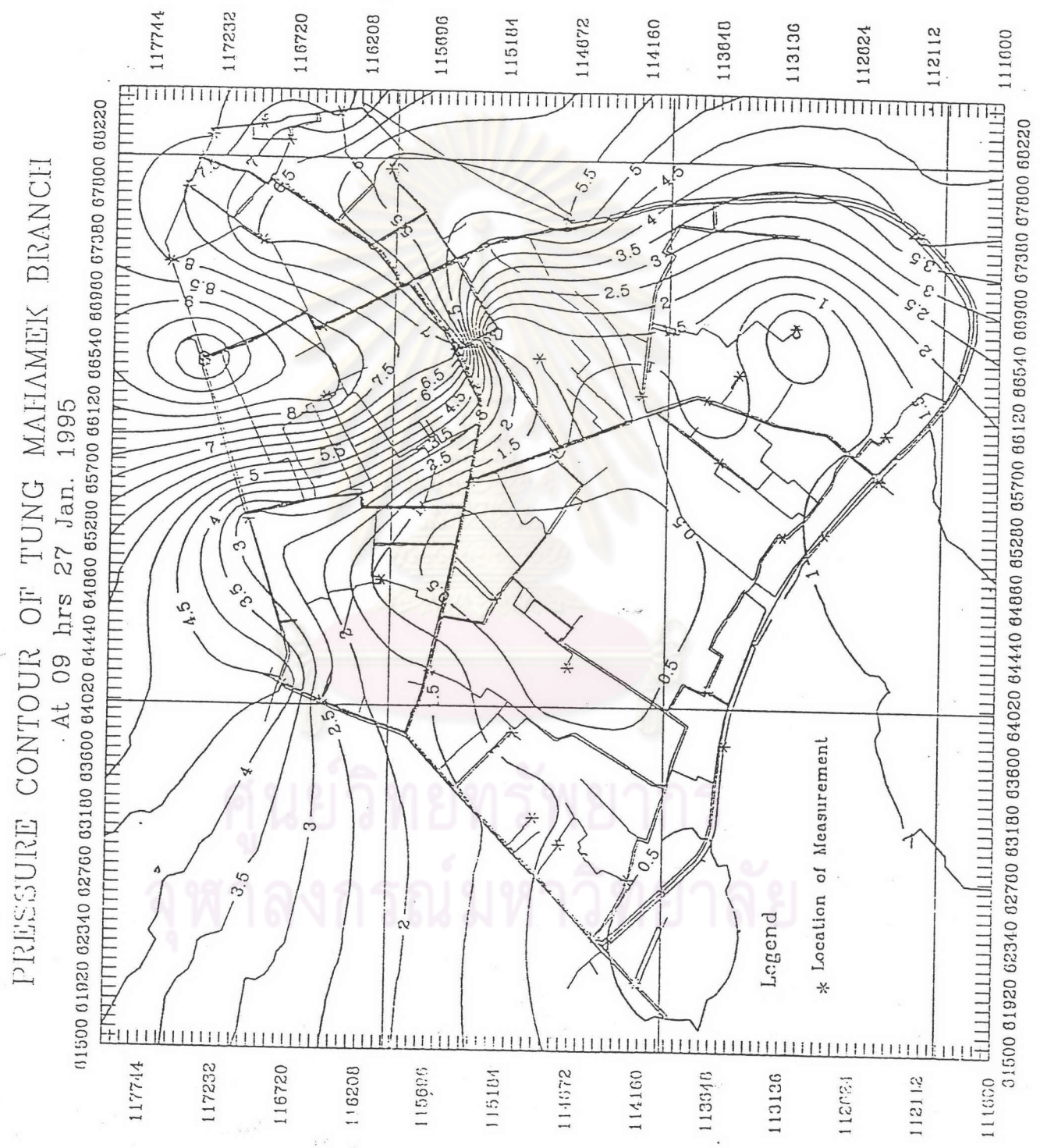
รูปที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนของการวัดค่าเฉลี่ยการไหลของน้ำในเวลากลางคืน (MNF)
ระหว่างวันที่ 2 มค. 2538 ถึง 22 กพ. 2538
ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ



รูปที่ 4.6 แสดงการไหลของน้ำรวมเข้าในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ



รูปที่ 4.7 แสดงแผนที่ระดับแรงดันน้ำ วันที่ 27 มค.2538 เวลา 00.00 น. ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ



รูปที่ 4.8 แสดงแผนที่ระดับแรงดันน้ำ วันที่ 27 มค.2538 เวลา 09.00 น. ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

การวิเคราะห์ แบบจำลองโครงข่ายระบบท่อ สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

วิธีการ (Methodology)

1. Strategy Development

2. Data Gathering

3. Model Construction

   a) Physical Data

   b) Demand Data

   c) Model Calibration

   d) Model Housekeeping

ภายหลังจากที่ได้กำหนดขอบเขต ศึกษาและวางแผนในการดำเนินงานและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างโครงข่ายระบบท่อตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 เรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนที่ 3 ได้นำข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมได้สร้างโครงข่ายระบบท่อขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมกับฐานข้อมูลระบบท่อและการใช้น้ำในพื้นที่ต่าง ๆ จากนั้นจึงได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดแรงดันและปริมาณน้ำ ณ จุดต่าง ๆ ที่มีความสำคัญทางด้าน Hydraulics ในพื้นที่ที่กำหนด เพื่อจะนำค่าที่วัดได้จริงในสนามนี้ไปป้อนเข้าโปรแกรม เพื่อทำการ calibrate model ที่ได้สร้างขึ้นมาแล้วต่อไป

สำหรับในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ ได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องบันทึกปริมาณน้ำเข้ากับ Utrasonic Flow Meter ของ กปน. จำนวน 4 ชุด และเครื่องวัดความดันน้ำทั่วทั้งพื้นที่ จำนวน 43 ชุด โดยบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 1 สัปดาห์โดยใช้เครื่องมือ Data Logger จากนั้นได้นำค่าปริมาณน้ำและแรงดันที่บันทึกได้มาป้อนเครื่องคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์ได้แสดงออกมาในรูป Pressure Contour Map ซึ่งสามารถจะพล็อตออกในช่วงเวลาใดๆ ของแต่ละวันที่ดำเนินการวัดค่าก็ได้

การดำเนินการในช่วงที่เรียกว่าการ Calibrate Model ซึ่งในขั้นตอนนี้ เมื่อทำการปรับแต่งโมเดล สิ่งที่ผิดปกติของระบบจะถูกค้นพบโดยอาศัยผลลัพธ์จากการปรับแต่งโมเดลเป็นเครื่องชี้นำร่วมกับการดำเนินการตรวจสอบอย่างจริงจังในสนาม ซึ่งจะสรุปและรายงานเมื่อปรับแต่งโมเดลแล้วเสร็จ

ตัวอย่างของการชี้นำของโมเดล

1. จากภาพที่ 4.7 บริเวณที่น่าสังเกตุที่สุดจากการพิจารณาเบื้องต้น คือจุดบริเวณที่น้ำเข้าพื้นที่ที่มิเตอร์ U130 (บริเวณปากซอยสวนพลู ถนนสาธร) ซึ่งมีปริมาณน้ำเข้าประมาณมากกว่า 80%ของจำนวนน้ำที่ใช้ในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆทั้งหมด และเป็นจุดที่มีแรงดันน้ำสูงสุด พิจารณาจากจุดนี้ไปทางด้านซ้ายและขวาตามแนวถนนสาธร เส้น Contour จะแสดงให้เห็นว่าแรงดันน้ำลดลงอย่างรวดเร็วผิดปกติเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆในแผนที่ สิ่งที่จะต้องดำเนินการต่อไป โดยเน้นหนักในบริเวณนี้คือ

1.1 ศึกษาระบบเส้นท่อเมน ท่อแยก ชนิดท่อ และความยาวท่อ

1.2 ศึกษาจำนวน/ประเภท/ลักษณะนิสัยของผู้ใช้น้ำและปริมาณการใช้น้ำจริง

1.3 คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเข้า-ออก แรงดัน ณ จุดไหลเข้า-ออกของทุกเส้นท่อที่เลือกมาพิจารณาเทียบกับแรงดันที่วัดได้จริงในสนามอย่างละเอียดในแต่ละช่วงเวลาของวัน

1.4 หากไม่ใกล้เคียงกัน จะต้องดำเนินการตรวจสอบจริงในสนาม ทั้งระบบท่อ ประตูน้ำ มาตรวัดน้ำ ตลอดจนถึงการสำรวจหาท่อรั่วในบริเวณดังกล่าว เพื่อค้นหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น

1.5 หากค่าที่ได้ใกล้เคียงกันหรือถูกต้อง การปรับปรุงระบบท่อ การวางท่อเพิ่มเติม การเพิ่มจุดให้น้ำไหลเข้าพื้นที่ เป็นต้น จะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียด โดยการพิจารณาทั้งเฉพาะบริเวณและทั้งระบบของพื้นที่สาขา

2. จากภาพที่ 4.8 และ4.9 บริเวณถนนจันทร์ สะพาน 5 ช่วงจุดบรรจบระหว่างถนนจันทร์เก่ากับถนนจันทร์ใหม่ ระยะทางประมาณ 500 เมตร แต่ระดับความดันน้ำลดลง 5-6 เมตร ในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. จากการพิจารณาเบื้องต้นสามารถระบุได้คร่าว ๆ ว่า มีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในระบบท่อช่วงนี้อย่างแน่นอน หาก ณ วันที่ที่วัดแรงดัน(27 ม.ค. 38)

ไม่มีท่อขนาดใหญ่แตกรั่วก็แสดงว่ามีการหรี่ประตูน้ำในช่วงของเส้นท่อนั้นอย่างแน่นอน

จากตัวอย่างเบื้องต้นนี้ สามารถชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ของการสร้างโมเดลระบบท่ออย่างคร่าว ๆ หากมีการดำเนินการที่ครบกระบวนการ จนถึงการ Implement ระบบ Distric Meter Zone แล้ว กปน. จะสามารถใช้โมเดลดังกล่าวในการกำหนดระบบควบคุมการจำหน่ายน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ การลงทุนในการวางท่อใหม่ที่คุ้มทุนและถูกต้องตามหลักวิชาการทั้งระบบ และระบบควบคุมการลดการสูญเสียน้ำที่มีประสิทธิภาพและทันท่วงทีในทุกเวลา พร้อมกับภาพพจน์ของการประปานครหลวงในสายตาประชาชนซึ่งไม่สามารถประเมินค่าได้

5. การทดสอบความถูกต้อง (Validation)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ได้ดังภาพที่ 4.10-4.15 ที่แสดงการเปรียบเทียบ ค่า HGL ที่จุดต่าง ๆ ระหว่าง ค่าที่วัดได้ในสนามกับค่าที่คำนวณได้ในแบบจำลอง และตารางที่ 4.1 แสดงค่า ค่าทางสถิติที่จุดสถานีวัด จำนวน 43 สถานี ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติด้วย T-Test ดังนี้ คือ

5.1 สมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis)

ตั้งสมมติฐานเลือกแบบไม่มีทิศทาง (Non directional alternative hypothesis) คือ ต้องการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของ HGL ที่คำนวณได้จากแบบจำลองต่างจากค่าที่วัดได้ในสนามหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) 0.05

$$H_o : \mu_{comp} = \mu_{obs}$$

$$H_1 : \mu_{comp} \neq \mu_{obs}$$

และปฏิเสธ Ho เมื่อ $|t| > t_{\alpha/2,\nu}$

5.2 จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ

$\overline{HGL.\ obs} = 40.309767 \qquad S^2\ obs = 6.52$

$\overline{HGL.\ comp} = 40.480930 \qquad S^2\ comp = 7.06$

$$t = (\overline{HGL.\ obs} - \overline{HGL.\ comp}) / \sqrt{[(S^2\ obs/n\ obs) + (S^2\ comp/n\ comp)]}$$

$$= -0.30$$

$$v = \frac{(S^2\ obs/n\ obs + S^2\ comp/n\ comp)^2}{\frac{(S^2\ obs/n\ obs)^2}{(n\ obs + 1)} + \frac{(S^2\ comp/n\ comp)^2}{(n\ comp + 1)}} - 2$$

$$= 85$$

5.3 บริเวณที่ยอมรับได้ H o คือ $(-t_{0.025,85} , t_{0.025,85})$

$$= (-1.99, 1.99)$$

5.4 ดังนั้นจึงยอมรับ H o เนื่องจาก ค่า $/t/ = 0.30 < 1.99$

สรุป ได้ว่า ค่าเฉลี่ยของค่า HGL. ของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ ค่าเฉลี่ยของค่า HGL. ที่วัดได้ในสนาม ด้วยระดับนัยสำคัญ 5 %

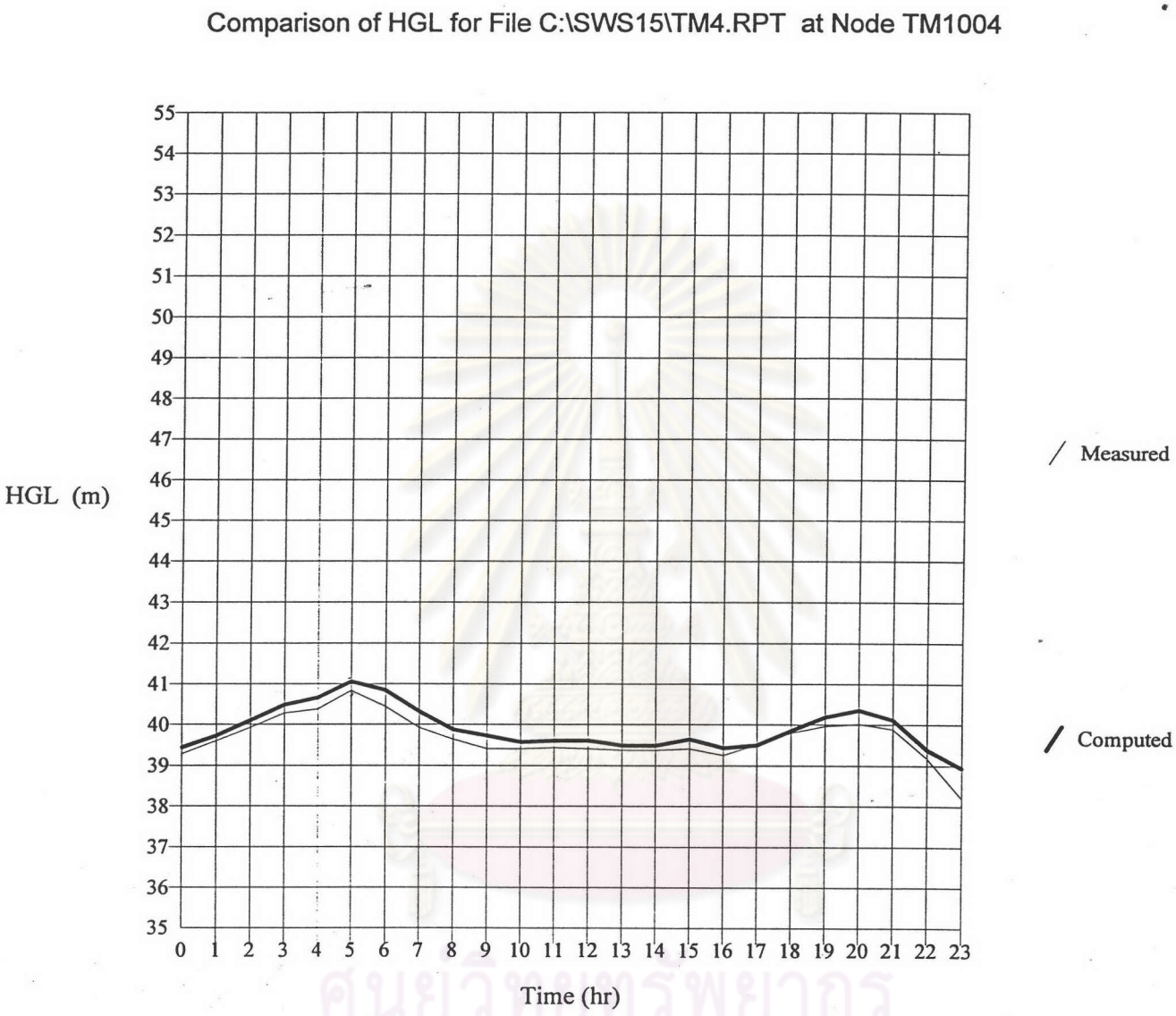
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

========== SUMMARY PERFORMANCE STATISTICS ==========

Node	OBS.	COMP.	ME	MAE	STE	RMSE	ME/M	MSE/M
TM2470	40.43	40.49	-.06	.38	.45	.44	.00	.01
TM1000	41.39	41.27	.13	.13	.14	.13	.00	.00
TM1004	39.67	39.70	-.04	.10	.17	.16	.00	.00
TM1018	46.72	46.60	.12	.32	.37	.37	.00	.01
TM1024	44.00	44.60	-.60	.92	1.22	1.19	-.01	.03
TM1028	43.87	44.12	-.25	.74	.92	.90	-.01	.02
TM1053	42.04	42.68	-.63	.69	.81	.79	-.02	.02
TM1054	42.98	44.35	-1.37	1.43	1.90	1.86	-.03	.04
TM1063	43.83	44.19	-.36	.39	.48	.47	-.01	.01
TM1074	44.90	44.62	.28	.42	.48	.47	.01	.01
TM1086	38.24	38.44	-.20	.22	.29	.28	-.01	.01
TM1094	39.11	39.15	-.05	.13	.16	.16	.00	.00
TM1098	37.91	38.38	-.46	.46	.51	.50	-.01	.01
TM1108	38.39	38.57	-.18	.22	.28	.28	.00	.01
TM1114	38.36	38.26	.10	.18	.23	.23	.00	.01
TM1133	43.92	43.75	.17	.23	.29	.29	.00	.01
TM1143	38.53	38.67	-.14	.19	.25	.24	.00	.01
TM1160	42.20	42.30	-.11	.23	.27	.27	.00	.01
TM1176	38.82	38.49	.33	.33	.40	.39	.01	.01
TM1198	38.67	38.92	-.25	.26	.30	.29	-.01	.01
TM1204	38.61	38.28	.33	.34	.39	.38	.01	.01
TM1228	38.07	37.86	.21	.26	.33	.32	.01	.01
TM1236	38.79	38.55	.24	.27	.31	.31	.01	.01
TM1250	38.39	38.74	-.35	.35	.40	.39	-.01	.01
TM1252	38.68	38.89	-.21	.21	.26	.25	-.01	.01
TM1260	39.19	38.72	.47	.47	.51	.50	.01	.01
TM1272	38.91	38.99	-.08	.16	.19	.19	.00	.00
TM1280	38.92	38.97	-.05	.13	.16	.15	.00	.00
TM1288	37.27	37.25	.02	.36	.42	.42	.00	.01
TM1304	41.45	41.24	.21	.24	.28	.27	.01	.01
TM1316	38.67	38.97	-.30	.30	.35	.34	-.01	.01
TM1322	38.74	38.81	-.07	.15	.18	.18	.00	.00
TM1340	38.42	38.56	-.15	.18	.23	.22	.00	.01
TM1354	38.91	38.79	.12	.19	.22	.22	.00	.01
TM1366	38.27	38.43	-.16	.20	.26	.26	.00	.01
TM1382	38.04	38.30	-.27	.27	.34	.34	-.01	.01
TM1384	37.98	38.61	-.63	.63	.67	.65	-.02	.02
TM1400	37.59	38.06	-.47	.49	.57	.56	-.01	.01
TM1432	38.36	38.64	-.28	.28	.35	.35	-.01	.01
TM1434	43.93	44.67	-.74	.84	1.09	1.06	-.02	.02
TM1438	43.81	44.86	-1.06	1.12	1.36	1.34	-.02	.03
TM1442	44.10	44.33	-.23	.70	.82	.81	-.01	.02
TM1448	44.24	44.61	-.37	.78	.98	.96	-.01	.02

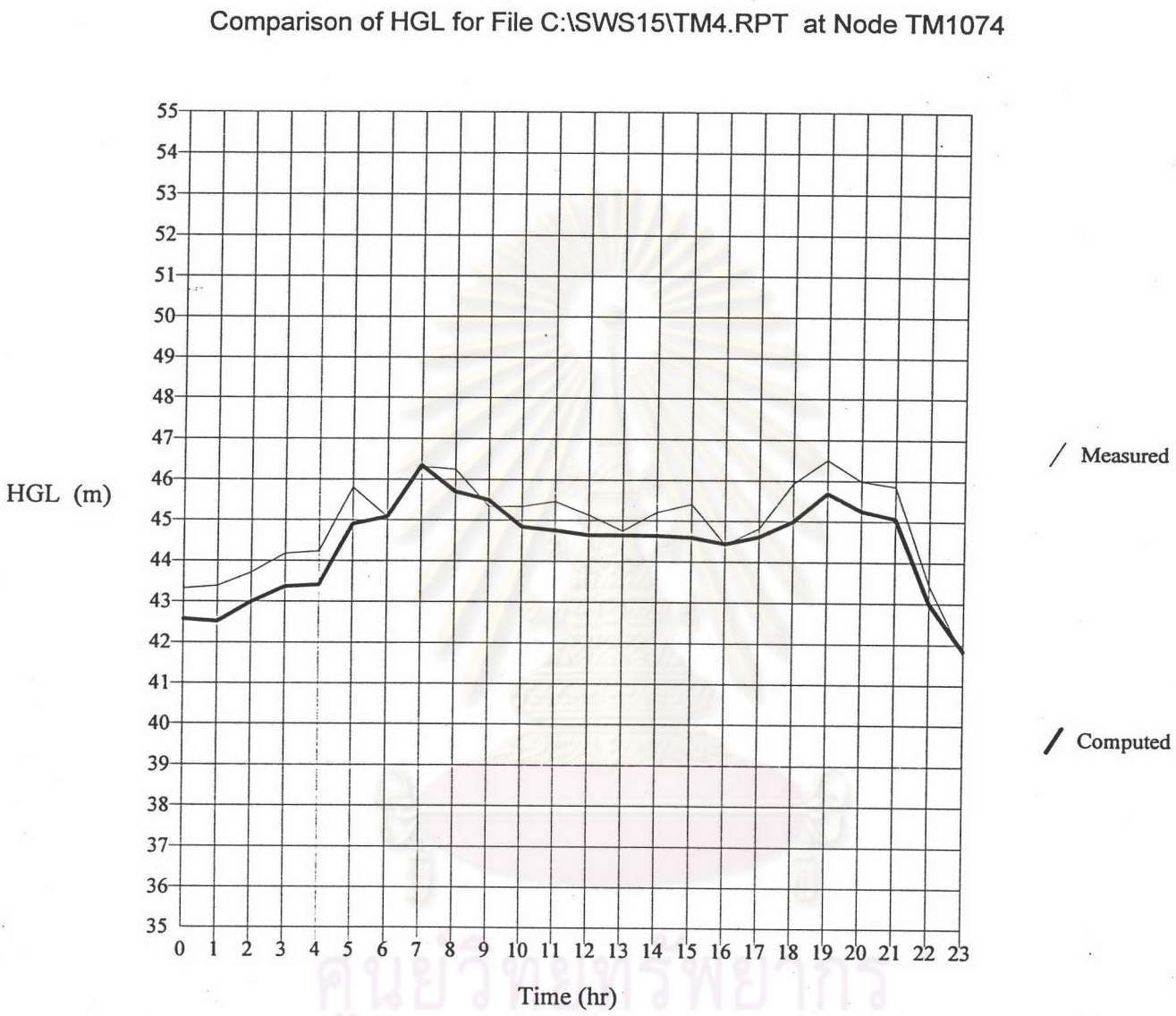
Note:
OBS. = Average of Measured Data in 24 hrs
COMP. = Average of Computed Results in 24 hrs
ME = Mean Error
MAE = Mean Absolute Error
STE = Standard Error
RMSE = Root Mean Square Error
ME/M = Ratio of Mean Error over Mean
MSE/M = Ratio of Mean Square Error over Mean

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า HGL ที่วัดในสนามและที่คำนวณได้จากแบบจำลองและค่าสถิติ

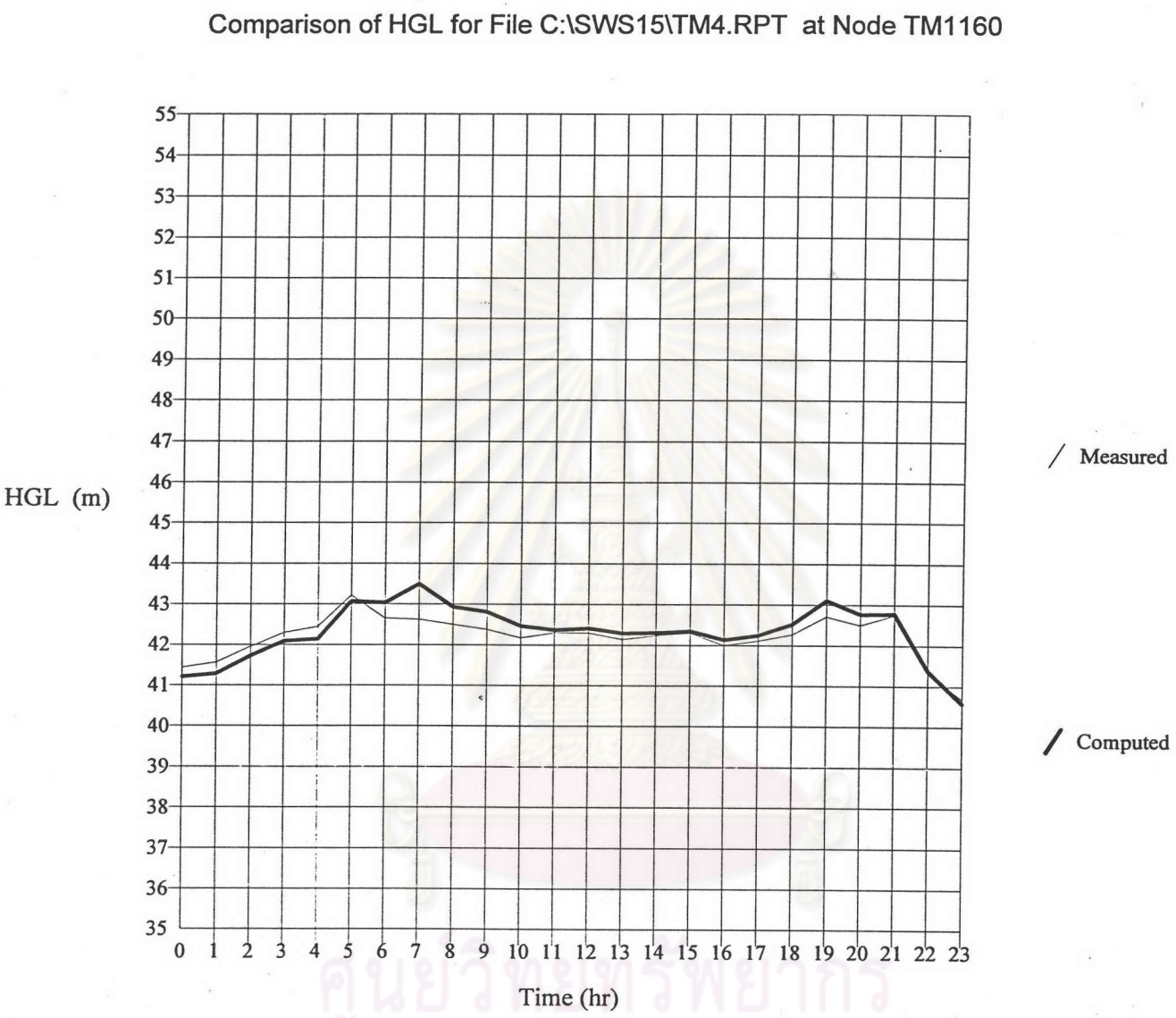


รูปที่ 4.10 แสดงค่า HGL ณ จุด TM1004 จากที่วัดในสนามและคำนวณได้จากแบบจำลอง

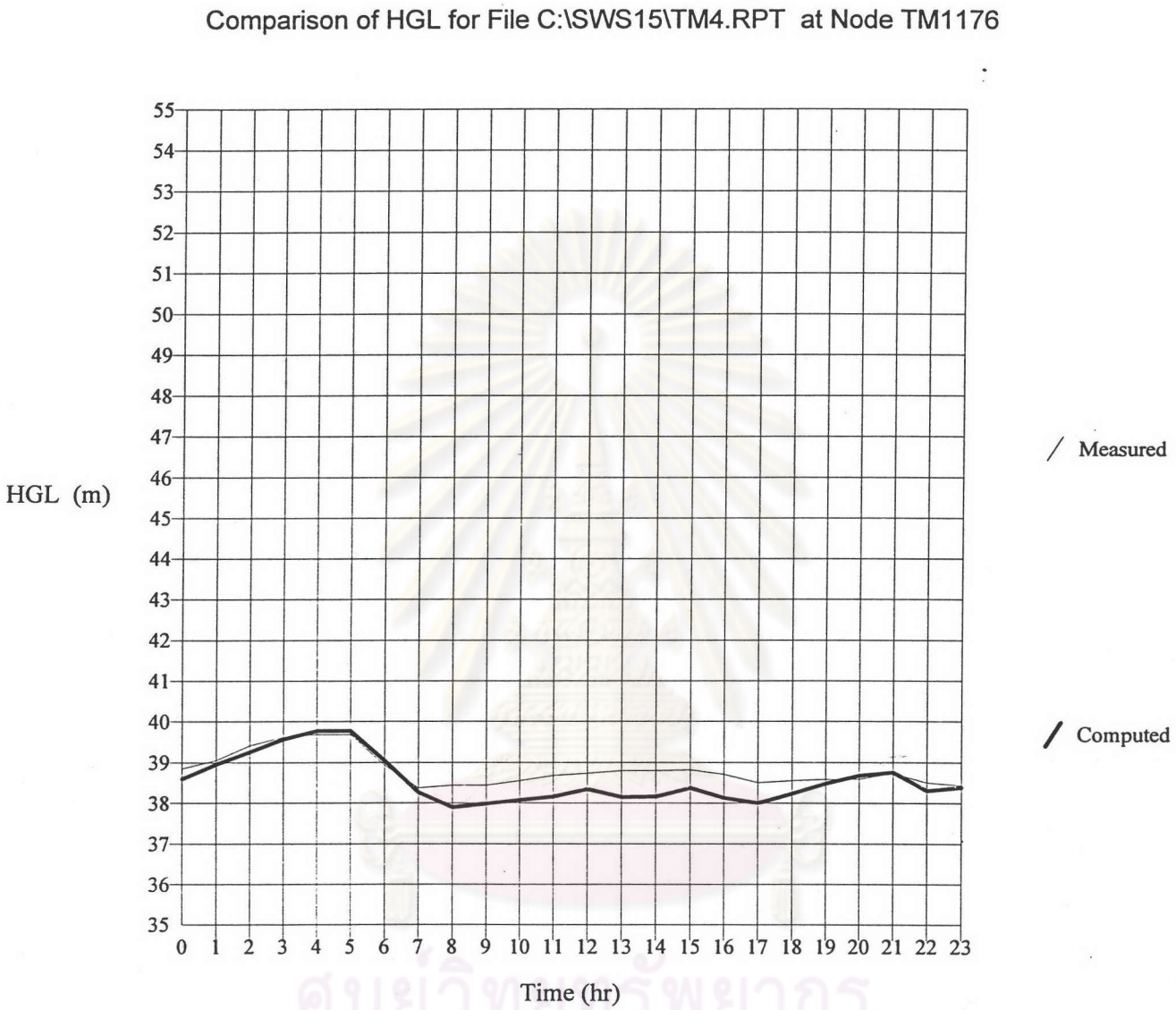
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงค่า HGL ณ จุด TM1074 จากที่วัดในสนามและคำนวณได้จากแบบจำลอง

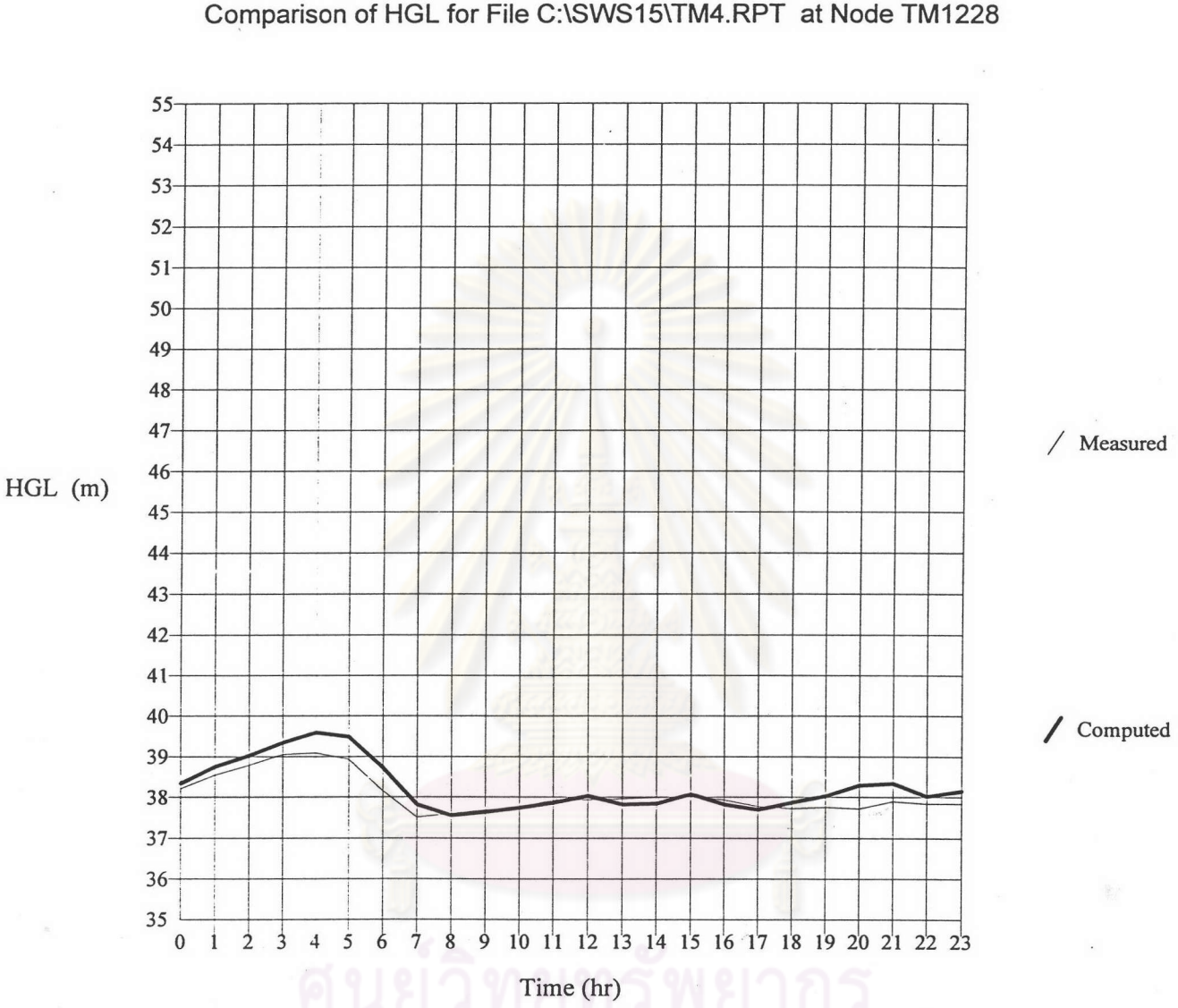


รูปที่ 4.12 แสดงค่า HGL ณ จุด TM1160 จากที่วัดในสนามและคำนวณได้จากแบบจำลอง

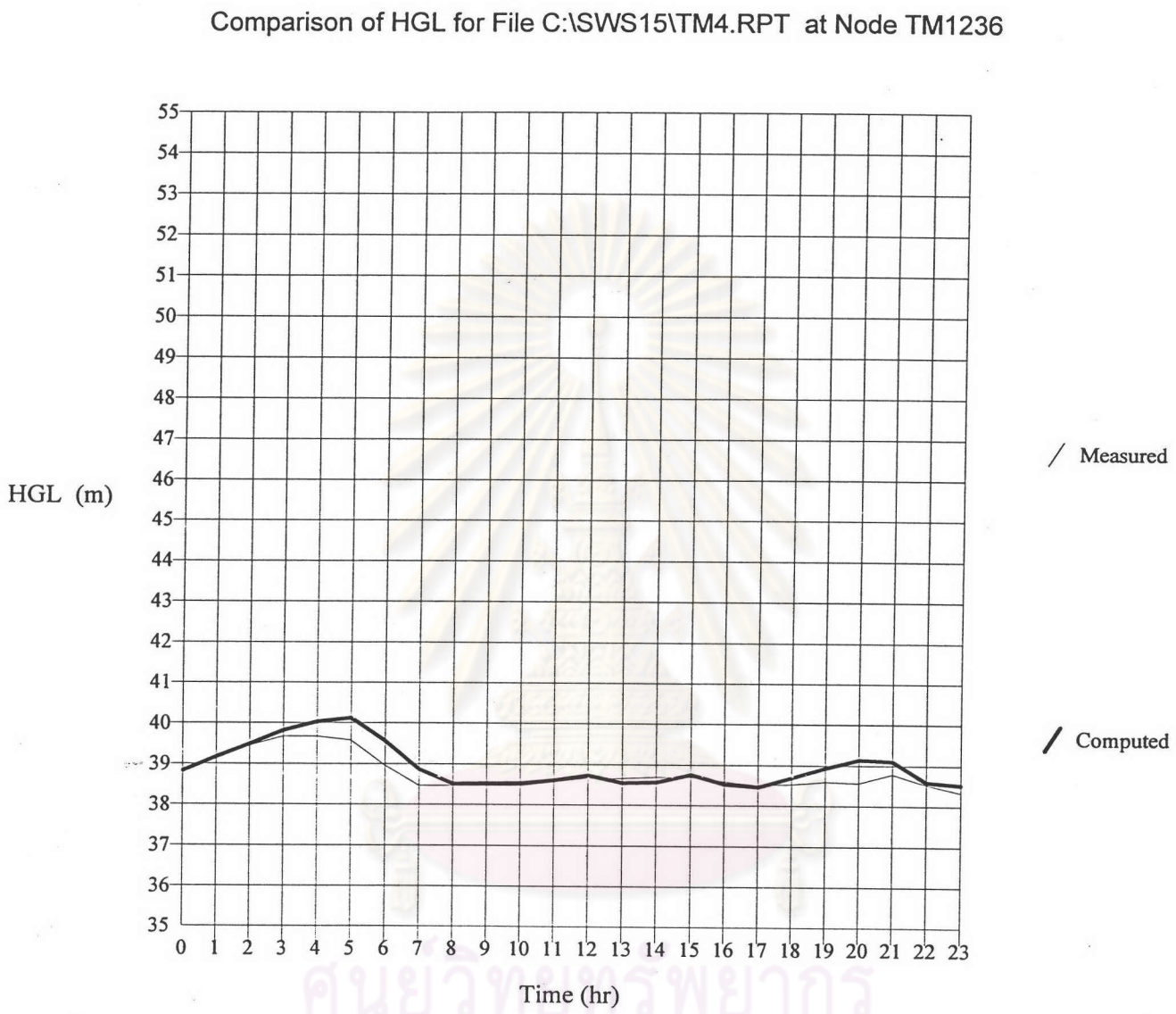


รูปที่ 4.13 แสดงค่า HGL ณ จุด TM1176 จากที่วัดในสนามและคำนวณได้จากแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 แสดงค่า HGL ณ จุด TM1228 จากที่วัดในสนามและคำนวณได้จากแบบจำลอง



รูปที่ 4.15 แสดงค่า HGL ณ จุด TM1236 จากที่วัดในสนามและคำนวณได้จากแบบจำลอง

การคำนวณวิเคราะห์น้ำสูญเสียในระบบท่อ

การคำนวณหาน้ำสูญเสียในระบบท่อสามารถคำนวณได้จากอัตราการไหลในตอนกลางคืน (Mimimum Night Flow) ดังตารางที่ 4.2

ตัวอย่างการคำนวณ ในเขตสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

1. อัตราการไหล = 3,631 ลบ.ม./ชม. = 3,631,000 ลิตร/ชม.
   จำนวนผู้ใช้น้ำ = 72,696 ราย
   ดังนั้น ค่าดัชนีน้ำสูญเสีย
   = 3,631,000/72,696 = 49.96 ลิตร/ราย/ชม.
2. อัตราการไหล = 3,631 ลบ.ม./ชม.
   = 3,631 x 0.8 x 24 x 365
   น้ำสูญเสียในระบบท่อ = 25.446 ล้าน ลบ.ม./ปี
3. จากน้ำสูญเสียในปีงบประมาณ 2537 = 39.267 ล้าน ลบ.ม /ปี
   = 38.62 %
   จะเป็นน้ำสูญเสียในระบบท่อประปา = 25.446 / 39.267 x 38.62
   = 25.03 %
4. ดังนั้นน้ำสูญเสียในระบบอื่น ๆ = 38.62 - 25.03
   = 13.59 %
5. น้ำสูญเสียในระบบท่อ คิดเป็น = 25.446 / 39.267 x 100
   = 64.8 % ของน้ำสูญเสีย
6. น้ำสูญเสียในระบบอื่น ๆ = 35.2 % ของน้ำสูญเสีย
7. ดัชนีน้ำสูญเสียต่อผู้ใช้น้ำ = 49.96 ลิตร/ราย/ชม.
8. ดัชนีน้ำสูญเสียต่อความยาวท่อ = 5.55 ลิตร/ม./ชม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 รายการคำนวณน้ำสูญเสียในระบบท่อ

สาขา	MINIMUM NIGHT FLOW cu.m./hr. (มค.37)	จำนวนผู้ใช้น้ำ ราย (มค.37)	ดัชนีน้ำสูญเสีย ต่อผู้ใช้น้ำ ลิตร/ราย/ชม.	ความยาว ท่อ เมตร (เมย.37)	ดัชนีน้ำสูญเสีย ต่อความยาวท่อ ลิตร /ม./ชม.
บางกอกน้อย	3,138.9	90,069	34.85	961,662	3.26
ตากสิน 1	3,381.7	82,231	41.12	1,517,062	3.34
พญาไท	5,015.6	80,078	62.63	1,427,421	3.51
นนทบุรี	2,514.3	74,822	33.60	2,609,434	1.51
ทุ่งมหาเมฆ	3,631.9	72,696	49.96	654,947	5.55
แม้นศรี	6,262.9	93,730	66.82	1,142,880	5.48
พระโขนง	4,844.2	81,806	59.22	1,549,304	3.13
ภาษีเจริญ	4,843.7	114,664	42.24	1,313,243	3.69
บางเขน 1	2,300.2	87,984	26.14	1,760,846	2.53
สมุทรปราการ 1	2,578.3	90,163	28.60	1,978,758	2.34
ตากสิน 2	1,679.5	52,952	31.72		
นนทบุรี 2	1,438.5	56,013	25.68		
บางเขน 2	2,147.4	69,218	31.02		
สมุทรปราการ 2	2,055.7	52,754	38.97		
รวม	45,832.9	1,099,180	41.70	14,915,557	3.07

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย