

| โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำปากแม่น้ำเจ้าพระยา | | | |
|--|------|-----|------------|
| หลักการของระบบการกำหนดตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์อ้างอิงสัมพัทธ์ (Differential Global Positioning System) | | | รูปที่ 5-4 |
| กปร. | ศกว. | ชล. | มก. |

- มีความสามารถในการส่งข้อมูลปรับแก้ในรูปแบบของ RTCM 104 ที่ความเร็วการส่งข้อมูลสูงสุด 19,200 bps
- อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะอุณหภูมิ 0-45 องศาเซลเซียสและที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95%
- อุปกรณ์จะต้องมีหน่วยความจำ (Memory) เพื่อบันทึกข้อมูลไม่น้อยกว่า 10 MB และสามารถที่จะขยายได้ไม่น้อยกว่า 64 MB
- ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ขนาดแรงดันไฟ 12 V
- มีความคลาดเคลื่อนของการสำรวจพิกัดภูมิศาสตร์ทางราบแบบ Real-Time Differential ไม่มากกว่า 1.00 เมตร

3) Acoustic Doppler Current Meter (ADCM)

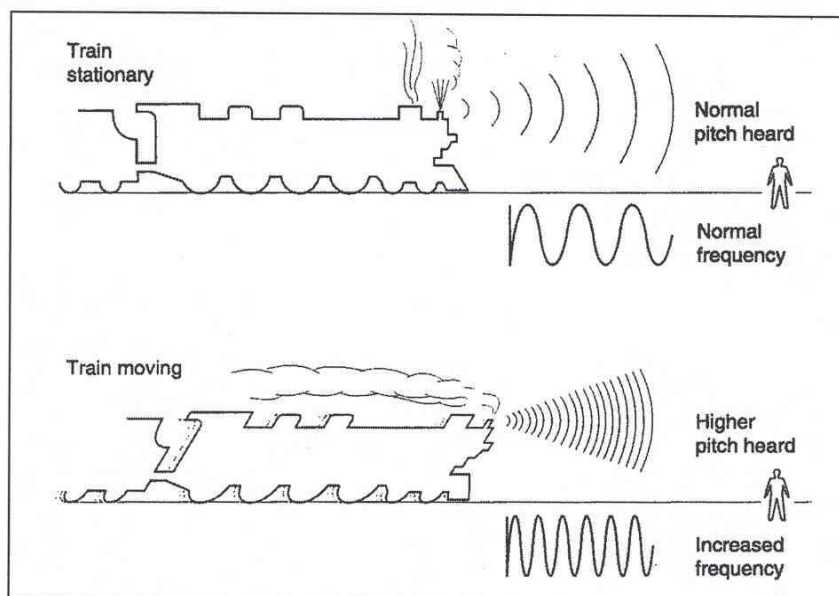
ADCM เป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจวัดความเร็วการไหลและความลึกของการไหลในแนวตั้งในเวลาเดียวกันโดยอาศัยทฤษฎี Doppler effect (ดังแสดงในรูปที่ 5-5) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับคลื่นเสียงสะท้อนที่ตรวจวัดได้จากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ซึ่งจากการเปลี่ยนของระดับคลื่นเสียงจะสามารถนำมาคำนวณกลับเป็นความเร็วการไหลได้ ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัด ดังนี้

- Transducer เพื่อส่งคลื่นสัญญาณเสียง
- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)
- อุปกรณ์วัดทิศทางเคลื่อนที่ (Fluxgate Compass)
- อุปกรณ์วัดการโยนตัวและเอียงตัว (Pitch and Roll Sensors)
- อุปกรณ์สื่อสาร (Communication Deckbox)

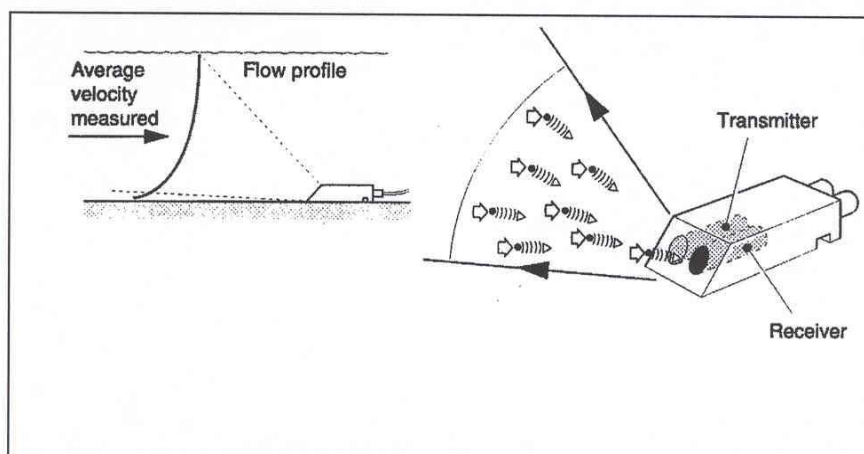
โดยคุณสมบัติขั้นต่ำของอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำแบบ Acoustic Doppler Current Meter มีดังนี้

1. ความสามารถของอุปกรณ์

- สามารถใช้งานการตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม และสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลาไม่น้อยกว่า 5 วัน
- เครื่องมือตรวจวัดจะต้องมีความทนทานต่อแรงกระแทก (ตามมาตรฐานสากล) และมีน้ำหนักเบาไม่เกิน 10 กก.
- การวัดความเร็วกระแสน้ำและการตรวจสอบความลึกท้องน้ำต้องกระทำในเวลาเดียวกันด้วยระบบคลื่นเสียง
- อุปกรณ์จะต้องสามารถตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ / ความเร็วอนุภาคได้ทั้งภายในเขตการไหลในแม่น้ำและในเขตพื้นที่ปากแม่น้ำ



ทฤษฎีของวิธีการ Doppler Effect



การประยุกต์วิธีการ Doppler Effect กับเครื่องมือวัดความเร็วการไหล

| โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำปากแม่น้ำเจ้าพระยา | | | |
|--|------|-----|------------|
| การตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำด้วยวิธี Doppler | | | รูปที่ 5-5 |
| กปร. | สกว. | ขป. | มก. |

2. คุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัด

- อุปกรณ์ตรวจวัดจะต้องส่งคลื่นเสียงที่มีความถี่เสียงไม่เกิน 800 KHz ได้ไม่น้อยกว่า 4 Beam ซึ่งแต่ละ Beam ของคลื่นเสียงต้องทำมุมไม่เกิน 25°
- ความเร็วในการรับส่งข้อมูลต้องไม่น้อยกว่า 9,600 bps สำหรับการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อ และ 115,200 bps สำหรับการรับข้อมูล โดยรูปแบบของข้อมูลเป็นแบบ ASC II หรือ Binary ผ่านอุปกรณ์ RS 232 หรือ RS 422
- มีพิสัยการตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ ระหว่าง 0-10 เมตรต่อวินาที และสามารถตรวจวัดความลึกท้องน้ำได้ไม่น้อยกว่า 50 เมตร
- ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดัน 12 V ในการทำงาน
- อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิระหว่าง 0-45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95%

4) อุปกรณ์ประมวลผลและแสดงผลการตรวจวัด

เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook จะนำมาใช้เพื่อประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ DGPS และอุปกรณ์ ADCM ดังนั้นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ดังกล่าวจะต้องสามารถรองรับโปรแกรม (Software) ที่ใช้ในการประมวลผลของอุปกรณ์ DGPS และอุปกรณ์ ADCM ได้เป็นอย่างดีและสามารถประมวลผลข้อมูลอัตราการไหลจากข้อมูลที่สามารถได้ รวมทั้งสามารถแสดงเส้นทางการสำรวจ การลงตำแหน่งสถานที่ต่าง ๆ และแสดงรูปตัดขวางของลำน้ำได้

โดยคุณสมบัติขั้นต่ำของอุปกรณ์ประมวลผล มีดังนี้

1. คุณสมบัติของอุปกรณ์ประมวลผล

- เป็นอุปกรณ์ประมวลผลชนิดพกพา เพื่อการปฏิบัติงานในสนาม
- มีระบบประมวลผลกลาง (CPU) ประเภท Intel Pentium III ความเร็ว 850 MHz หรือดีกว่า
- มีอุปกรณ์รองรับการเชื่อมต่อสายสัญญาณกับอุปกรณ์ ระบบสื่อสาร และอุปกรณ์วัดน้ำ
- มีเนื้อที่ความจำไม่น้อยกว่า 10GB และมี RAM อย่างน้อย 128 MB
- ติดตั้ง USB Port และ Serial Port อย่างน้อย 1 ชุด
- จอแสดงผลขนาดไม่น้อยกว่า 14 นิ้ว และมีความละเอียดการแสดงผลไม่น้อยกว่า 1024 x 768
- ติดตั้งระบบปฏิบัติการ (OS) รุ่นล่าสุดที่ใช้งานได้เหมาะสมกับโปรแกรมที่รองรับระบบสื่อสารและระบบตรวจวัดน้ำ

2. คุณลักษณะของโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์วัดน้ำ
 - เป็นโปรแกรมเฉพาะด้านของอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำ ใช้สำหรับจัดทำข้อมูลผลสำรวจและค่าพิกัดภูมิศาสตร์
 - สามารถประมวลผลสำรวจปริมาณน้ำ ณ จุดสำรวจได้อย่างรวดเร็ว โดยแสดงผลได้ทั้งข้อมูลดิบและข้อมูลที่วิเคราะห์แล้ว ในรูปของกราฟ ตารางหรือภาพกราฟฟิก
 - สามารถแสดงทิศทางการเคลื่อนตัวของเรือสำรวจปริมาณน้ำ และทิศทางการไหลของน้ำขณะทำการตรวจวัด
3. คุณลักษณะของโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ DGPS
 - เป็นโปรแกรมเฉพาะด้านของอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำ ใช้สำหรับจัดทำข้อมูลผลสำรวจและค่าพิกัดภูมิศาสตร์
 - สามารถประมวลผลสำรวจปริมาณน้ำ ณ จุดสำรวจได้อย่างรวดเร็ว โดยแสดงผลได้ทั้งข้อมูลดิบและข้อมูลที่วิเคราะห์แล้ว ในรูปของกราฟ ตารางหรือภาพกราฟฟิก
 - สามารถแสดงทิศทางการเคลื่อนตัวของเรือสำรวจปริมาณน้ำ และทิศทางการไหลของน้ำขณะทำการตรวจวัด
 - มีโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการบันทึกข้อมูลและปรับแก้ข้อมูลค่าพิกัดภูมิศาสตร์ให้มีความถูกต้อง

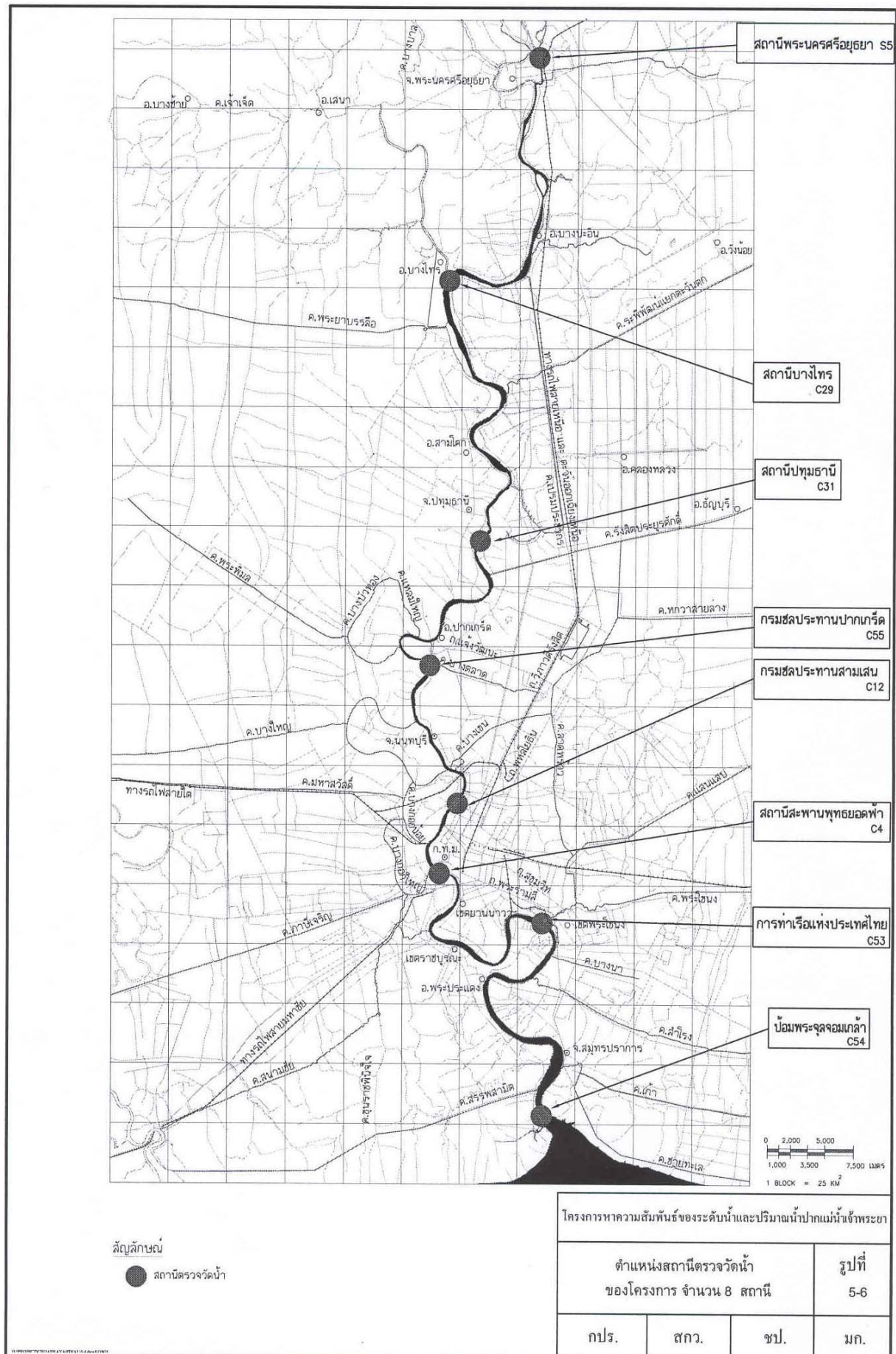
5.3 การออกแบบระบบติดตามสภาพน้ำ (ระบบโทรมาตรอุทกวิทยา)

ในการออกแบบระบบติดตามสภาพน้ำซึ่งจะใช้ระบบโทรมาตรอุทกวิทยาในการตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยา จะประกอบด้วยการดำเนินการใน 5 ส่วน คือ

- ☐ การกำหนดตำแหน่งสถานีตรวจวัด
- ☐ การออกแบบระบบรับ-ส่งข้อมูล
- ☐ การออกแบบองค์ประกอบประจำสถานีตรวจวัด
- ☐ การออกแบบองค์ประกอบประจำสถานีหลัก
- ☐ การออกแบบระบบเชื่อมโยงข้อมูล

5.3.1 การกำหนดตำแหน่งสถานีตรวจวัด

เมื่อพิจารณาจากวัตถุประสงค์ของโครงการและขอบเขตของการดำเนินการโครงการ ซึ่งได้กำหนดให้มีการตรวจสอบและติดตามสภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาในพื้นที่โครงการรวม 8 แห่ง ดังแสดงในรูปที่ 5-6 ซึ่งประกอบด้วย



- ☐ สถานีตรวจวัดอยุธยา (S.5)
- ☐ สถานีตรวจวัดบางไทร (C.29)
- ☐ สถานีตรวจวัดปทุมธานี (C.55)
- ☐ สถานีวัดน้ำปากเกร็ด (C.22A)
- ☐ สถานีวัดน้ำสามเสน (C.12)
- ☐ สถานีวัดน้ำสะพานพุทธ (C.4)
- ☐ สถานีวัดน้ำการทำเรือแห่งประเทศไทย (C.53)
- ☐ สถานีวัดน้ำป้อมพระจุลจอมเกล้า (C.54)

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้ตำแหน่งการตรวจสอบและติดตามสภาพน้ำทั้ง 8 แห่งเป็นตำแหน่งของสถานีตรวจวัดของระบบโทรมาตรอุทกวิทยา

5.3.2 การออกแบบระบบรับ-ส่งข้อมูล

5.3.2.1 การพิจารณารูปแบบของการรับ-ส่งข้อมูล

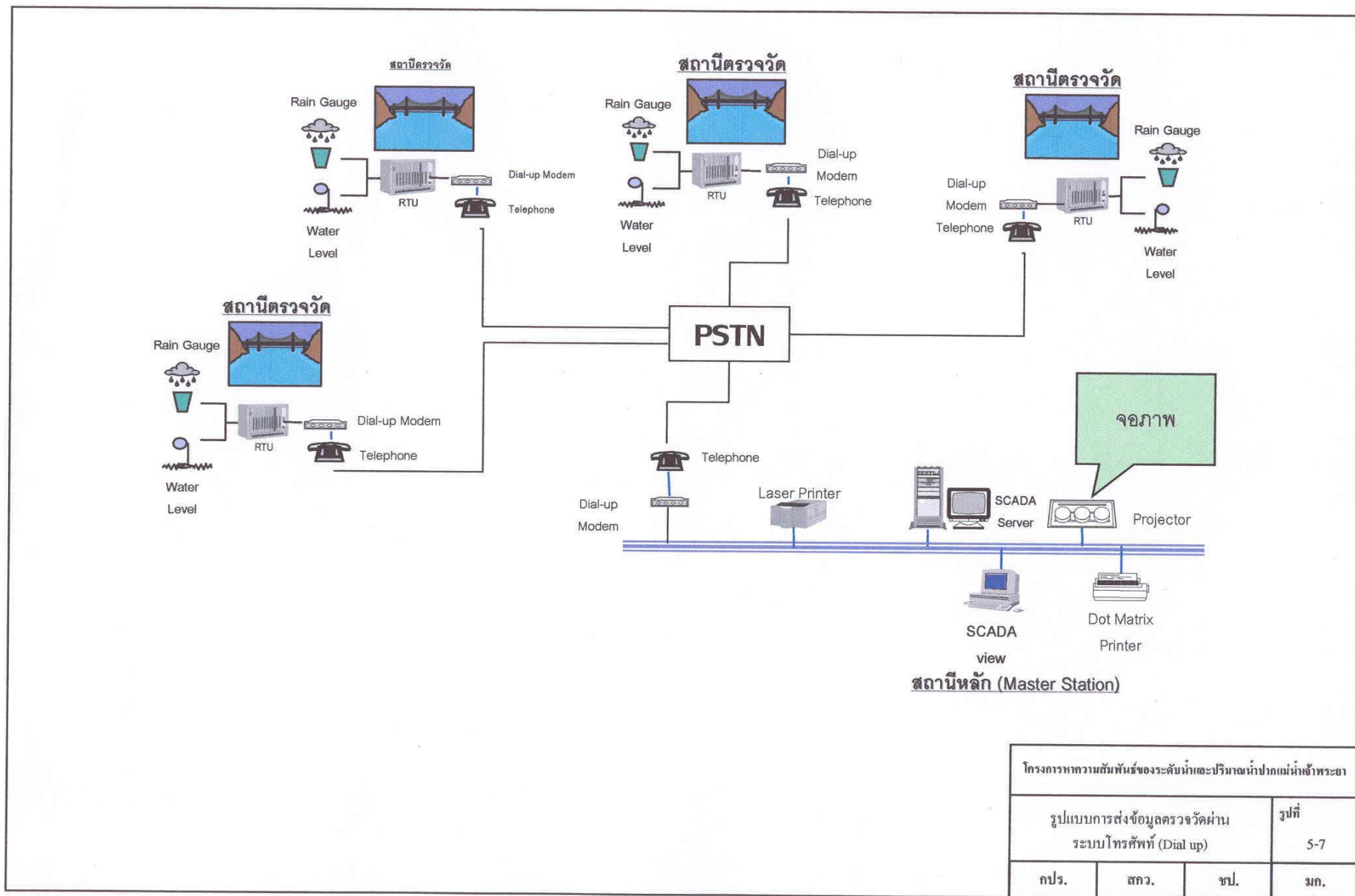
1) รูปแบบของการรับ-ส่งข้อมูล

รูปแบบของระบบรับส่งข้อมูลของระบบโทรมาตรอุทกวิทยา โดยทั่วไปมีอยู่ 5 ระบบ คือ ระบบโทรศัพท์ (Dial-up) ระบบสายเคเบิล (Cable) ระบบวิทยุ (Radio) ระบบไมโครเวฟ (Microwave) และระบบดาวเทียม (Satellite) โดยแต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้

☐ ระบบโทรศัพท์ (Dial up)

ระบบโทรศัพท์อาจใช้ระบบโทรศัพท์ทั่วไปหรือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมีโมเด็ม (Modem) ต่อเชื่อมระหว่าง RTU กับสายโทรศัพท์ เมื่อต้องการจะส่งข้อมูล สถานีตรวจวัดโดย RTU จะทำการต่อโทรศัพท์ผ่านโมเด็มไปยังสถานีหลัก ดังแสดงในรูปที่ 5-7 ข้อดีและข้อเสียของระบบโทรศัพท์มีดังนี้

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|--|
| 1. ค่าติดตั้งถูกและดำเนินการติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว (กรณีที่ตั้งอยู่ใกล้ชุมชน) | 1. กรณีที่สถานที่ติดตั้งอยู่ห่างไกลชุมชน จะเสียค่าปากเสาพาดสายสูง และในบางกรณีไม่สามารถหาคู่สายได้ |

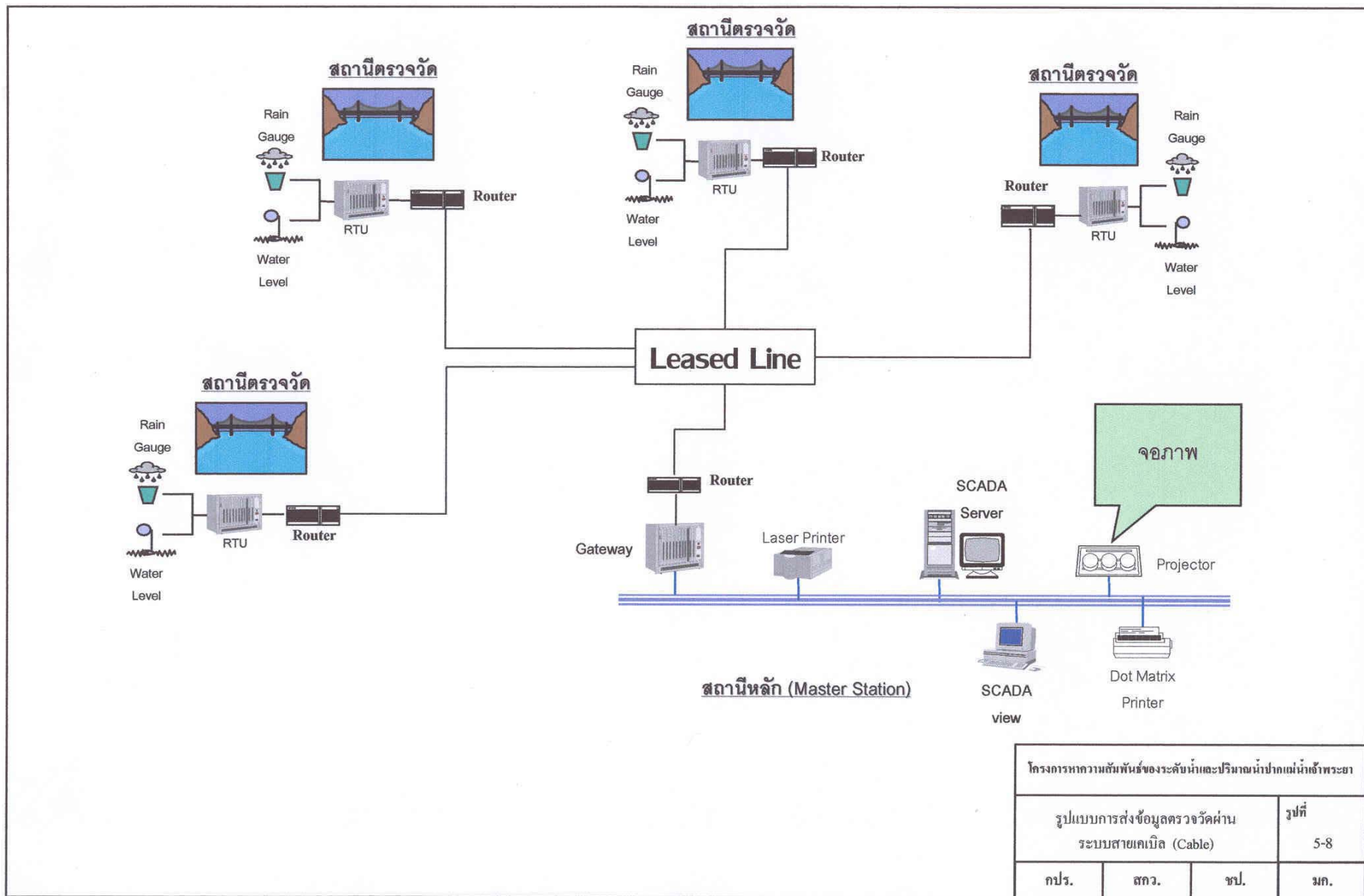


| ข้อดี | ข้อเสีย |
|--|---|
| 2. ค่าลงทุนด้านอุปกรณ์ต่ำ เนื่องจากโมเด็มมีราคาไม่แพง | <p>2. ไม่เหมาะกับการใช้งานแบบ on-line ที่มีการส่งข้อมูลค่อนข้างถี่อยู่เกือบตลอดเวลา เพราะต้องเชื่อมต่อโทรศัพท์ตลอดเวลา ซึ่งเสียค่าโทรศัพท์สูงมาก ประกอบด้วย</p> <p>2.1 ค่าเช่าคู่สาย 100 บาทต่อเดือน</p> <p>2.2 ค่าบริการกรณีทางไกล คิดเป็นนาฬิกาตามเวลาที่ใช้งานจริง</p> <p>3. กรณีที่ใช้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ สัญญาณอาจครอบคลุมไม่ถึงหรือสัญญาณอาจขาดหายหรือไม่ชัดเจน ทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ</p> <p>4. กรณีที่ใช้ระบบโทรศัพท์บ้าน ถ้าอยู่ห่างไกลระบบมักไม่มีเสถียรภาพ เพราะโอกาสที่สายโทรศัพท์เสียหายมีบ่อยครั้ง</p> <p>5. การซ่อมแซมแก้ไขขึ้นกับหน่วยงานอื่น ทำให้ควบคุมเวลาซ่อมแซมยาก</p> <p>6. งบประมาณไม่คงที่และจัดตั้งยาก เพราะขึ้นกับเวลาที่ใช้ส่งข้อมูล</p> |

□ ระบบสายเคเบิล (Cable)

ระบบสายเคเบิลจะใช้สายโทรศัพท์หรือเคเบิลเชื่อมต่อการสื่อสารอยู่ตลอดเวลา ในบางครั้งจึงนิยมเรียกว่า Leased line โดยมี Router เป็นตัวเชื่อมระหว่างสถานีตรวจวัดกับระบบเคเบิล และจากระบบเคเบิลเข้าสู่ Gateway ของสถานีหลัก ดังแสดงในรูปที่ 5-8 ข้อดีและข้อเสียของระบบเคเบิลมีดังนี้

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| 1. การดำเนินการติดตั้งทำได้ง่าย รวดเร็ว (กรณีอยู่ใกล้ชุมชน) | 1. กรณีที่สถานีที่ติดตั้งอยู่ห่างไกลชุมชน จะเสียค่าใช้จ่ายสูงและในบางกรณีไม่สามารถติดตั้งสายได้ |

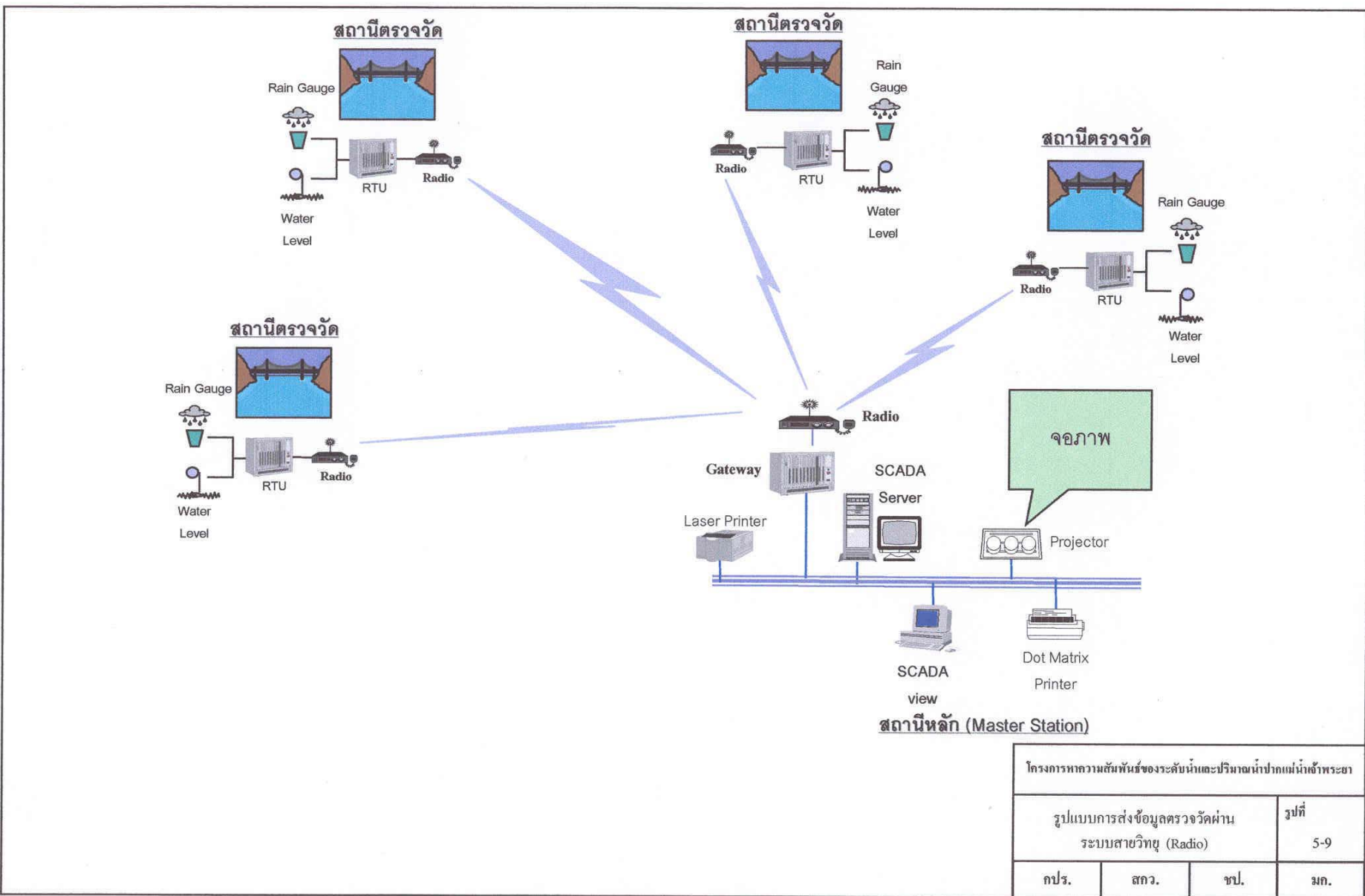


| ข้อดี | ข้อเสีย |
|--|--|
| <p>2. เหมาะกับการใช้งานแบบ on-line เพราะเป็นวงจรที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตลอดเวลา</p> <p>3. ค่าบริการคงที่ กำหนดงบประมาณได้ง่าย</p> | <p>2. เสียค่าบริการค่อนข้างสูง โดยจ่ายเป็นค่าบริการเหมาจ่ายรายเดือน ซึ่งค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้นตามระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดและสถานีหลัก</p> <p>2.1 ค่าเช่าวงจรในจังหวัดเดียวกัน ประมาณ 3,000 – 6,000 บาทต่อคู่สายต่อเดือน</p> <p>2.2 ค่าเช่าวงจรไปต่างจังหวัด ขึ้นกับระยะทาง</p> <p>3. กรณีที่อยู่ห่างไกลชุมชน ระบบจะไม่มีเสถียรภาพเพราะโอกาสที่คู่สายเสียหายมีบ่อยครั้ง</p> <p>4. การซ่อมแซมแก้ไขขึ้นกับหน่วยงานอื่น ไม่สามารถควบคุมเวลาซ่อมแซมได้</p> |

□ ระบบวิทยุ (Radio)

ระบบวิทยุใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารข้อมูลระหว่างสถานีตรวจวัดและสถานีหลัก โดยต้องมีเครื่องรับส่งวิทยุและสายอากาศเป็นตัวส่งคลื่นวิทยุ คลื่นวิทยุที่ใช้มีอยู่ 2 ระบบ ได้แก่ VHF (Very High Frequency) และ UHF (Ultra High Frequency) โดยปกติการสื่อสารระหว่างสถานีตรวจวัดและสถานีหลักผ่านคลื่นวิทยุไม่ว่าจะเป็น VHF หรือ UHF จะใช้ระบบ Line-of-sight radio ซึ่งหมายถึงเส้นทางของคลื่นวิทยุ (radio path) ระหว่างจุดรับและจุดส่งต้องมองเห็นซึ่งกันและกัน ทั้งนี้จุดรับและจุดส่งอาจเป็นระหว่างสถานีตรวจวัดกับสถานีหลักหรือผ่านสถานีทวนสัญญาณ (repeater relay station) รูปที่ 5-9 แสดงการรับส่งข้อมูลผ่านระบบวิทยุ

คลื่นวิทยุ VHF มีความเหมาะสมกับระบบ Line-of-sight radio เนื่องจากสามารถส่งคลื่นได้ไกล ระยะทางระหว่างจุดรับและจุดส่งอาจไกลได้หลายสิบกิโลเมตร และยังสามารถสะท้อนผ่านอุปสรรคที่ขวางอยู่ เช่น เนินเขา หรืออาคารสูงทำให้ระยะส่งไกลขึ้น รวมทั้งการถดถอยของสัญญาณ (Attenuation) จะต่ำในช่วงที่มีฝนตก



สำหรับคลื่นวิทยุ UHF จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ VHF เพียงแต่มีการสูญเสียมากกว่า และมีกำลังรับต่ำกว่า รวมทั้งมีการสะท้อนต่ำและมีการถดถอยของสัญญาณสูงกว่าในกรณีที่มิฝนตกเป็นปริมาณมาก ทำให้ระยะทางระหว่างจุดรับและจุดส่งสั้นกว่าคลื่นวิทยุแบบ VHF ค่อนข้างมาก (10-20 กิโลเมตร) ดังนั้นการใช้คลื่น UHF อาจจำเป็นต้องใช้สถานีทวนสัญญาณมากกว่าการใช้คลื่น VHF

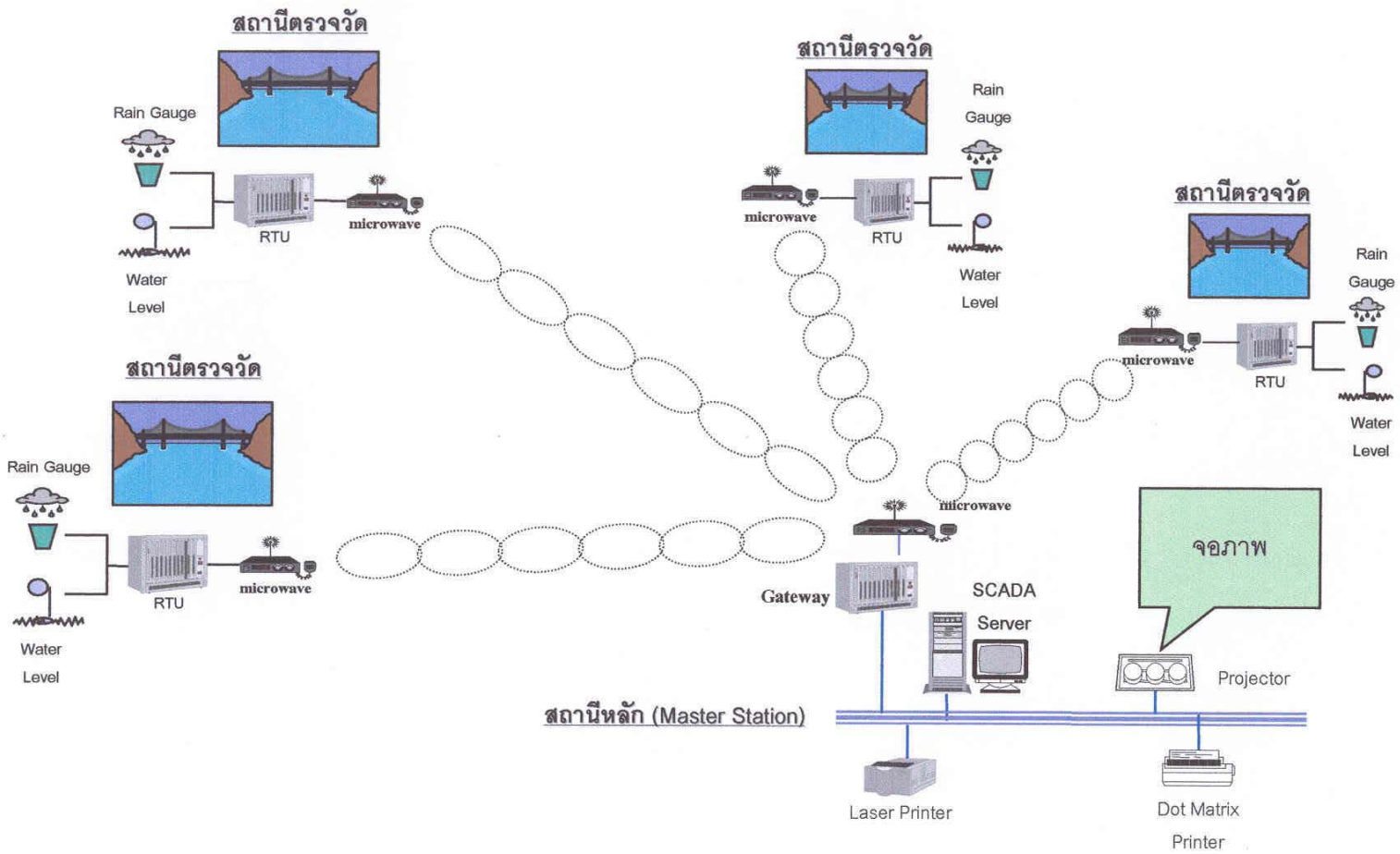
ข้อดีและข้อเสียของระบบวิทยุมีดังนี้

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่เสียค่าบริการรายเดือน 2. ติดตั้งได้รวดเร็วในทุกพื้นที่ 3. เหมาะกับการใช้งานแบบ on-line เพราะเป็นวงจรที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตลอดเวลา 4. ซ่อมแซมแก้ไขง่าย โดยเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด และใส่อุปกรณ์สำรองแทน 5. เป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูง เพราะไม่ต้องใช้สายเคเบิล | <ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าติดตั้งดำเนินการครั้งแรกค่อนข้างสูง 2. ต้องจัดหาความถี่เพื่อนำมาใช้ |

□ ระบบไมโครเวฟ (Microwave)

ระบบไมโครเวฟจะใช้คลื่นความถี่ไมโครเวฟในการสื่อสารข้อมูลระหว่างสถานีตรวจวัดและสถานีหลัก การสื่อสารข้อมูลจะใช้ระบบ Line-of-sight เช่นเดียวกับกับระบบวิทยุ คลื่นความถี่ไมโครเวฟสามารถส่งข้อมูลระหว่างสถานีรับและสถานีส่งได้ไกลประมาณ 50-80 กิโลเมตร โดยต้องไม่มีอุปสรรคขวางระหว่างสถานีรับและสถานีส่ง ในกรณีที่สถานีรับและสถานีส่งอยู่ห่างกันมาก หรือมีอุปสรรคขวางอยู่ เช่น ภูเขา หรืออาคารสูงอาจจำเป็นต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ รูปที่ 5-10 แสดงการรับส่งข้อมูลผ่านระบบไมโครเวฟ

ข้อดีและข้อเสียของระบบไมโครเวฟ มีดังนี้



| โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำปากแม่น้ำเจ้าพระยา | | | |
|--|------|-----|-------------|
| รูปแบบการส่งข้อมูลตรวจวัดผ่านระบบสายไมโครเวฟ (Microwave) | | | รูปที่ 5-10 |
| กปร. | สกว. | ขป. | มก. |

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่เสียค่าบริการรายเดือน 2. ติดตั้งได้รวดเร็วในทุกพื้นที่ 3. เหมาะสำหรับการใช้งานแบบ on-line เพราะเป็นวงจรที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตลอดเวลา 4. ซ่อมแซมแก้ไขง่าย โดยเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดจากอุปกรณ์สำรอง 5. เป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูง | <ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าติดตั้งดำเนินการครั้งแรกสูง (สูงกว่าระบบวิทยุ) 2. ต้องจัดหาความถี่เพื่อนำมาใช้ |

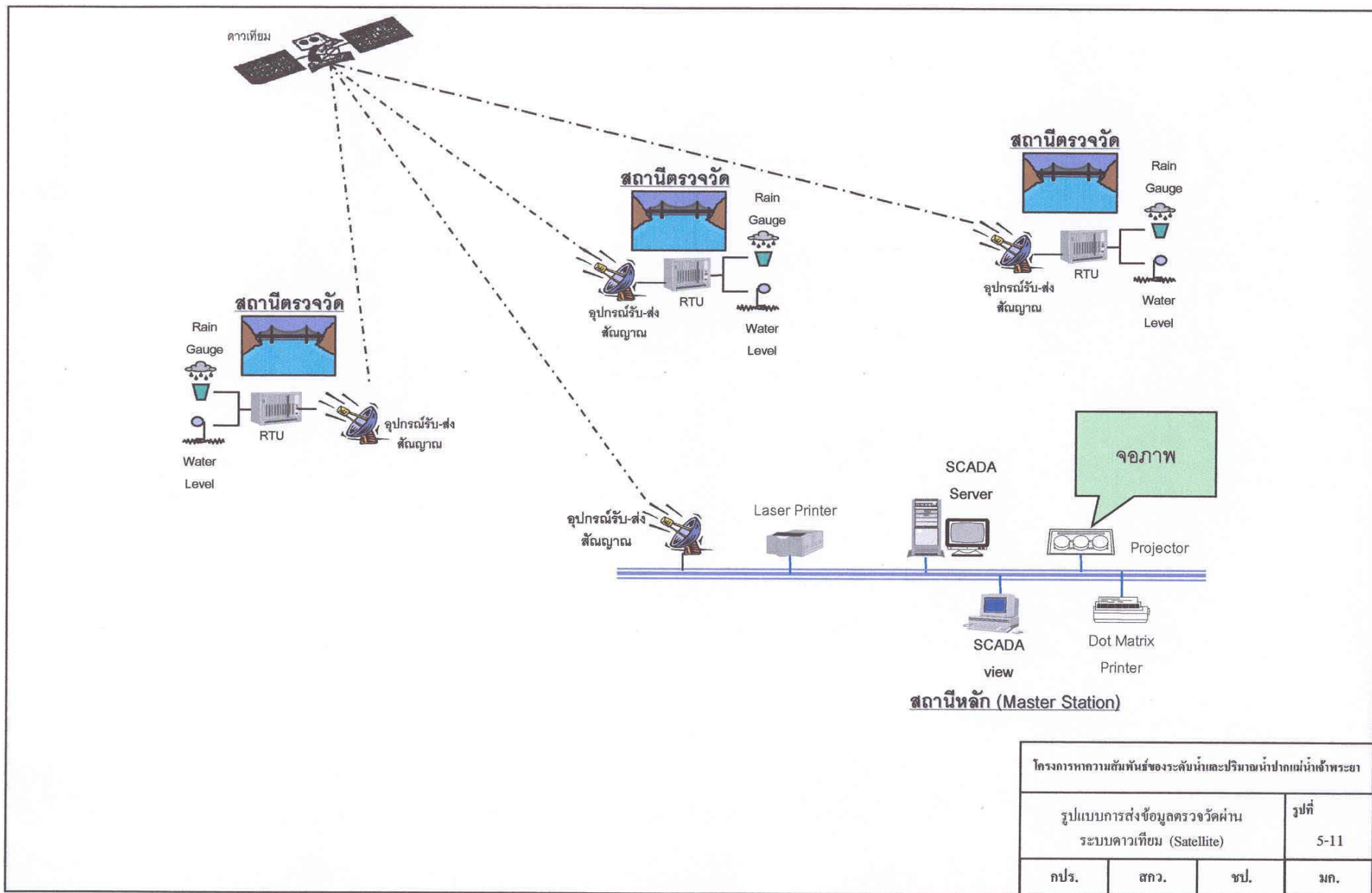
❑ ระบบดาวเทียม (Satellite)

ระบบดาวเทียมใช้การส่งคลื่นวิทยุหรือไมโครเวฟ ผ่านดาวเทียมในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างสถานีหลักและสถานีตรวจวัด สถานีดาวเทียมที่ใช้ในการติดต่อสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ Geostationary Satellites และ Polar Orbiting Satellites โดย Geostationary satellite จะมีวงโคจรที่อยู่สูงจากโลกประมาณ 35,780 กิโลเมตร และมีตำแหน่งที่คงที่ในท้องฟ้า การติดต่อสื่อสาร จะมีลักษณะเป็นทิศทางเดียว (One way communication) จากสถานีตรวจวัดไปยังสถานีหลัก ดาวเทียมในระบบนี้ให้บริการครอบคลุมประเทศไทย ได้แก่ ดาวเทียม GMS ของประเทศญี่ปุ่น และดาวเทียม INMARSAT ซึ่งเป็นดาวเทียมการสื่อสารเพื่อการพาณิชย์ แต่มีข้อดี คือสามารถสื่อสารได้ 2 ทิศทาง

Polar Orbiting Satellites เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรต่ำประมาณ 700-900 กิโลเมตร มีลักษณะการสื่อสารทิศทางเดียว ดาวเทียมในระบบนี้ ได้แก่ ดาวเทียม ARGOS ดาวเทียม SCD และดาวเทียม ORBCOMM ซึ่งเป็นดาวเทียมการสื่อสารเพื่อการพาณิชย์

ในรูปที่ 5-11 แสดงรูปแบบการรับส่งข้อมูลผ่านระบบดาวเทียมข้อดีและข้อเสียของระบบสัญญาณดาวเทียมนี้มีดังนี้

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. ติดตั้งได้รวดเร็วในทุกพื้นที่ 2. ไม่จำเป็นต้องมีสถานีทวนสัญญาณ 3. ระบบมีความมั่นคงสูงมาก 4. สถานีตรวจวัดต้องการพลังงานต่ำในการส่งข้อมูล | <ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าบริการการเช่าช่องสัญญาณสูงมาก 2. การซ่อมแซมแก้ไขขึ้นกับหน่วยงานอื่น ทำให้ควบคุมเวลาได้ยาก |



| ข้อดี | ข้อเสีย |
|--|---|
| 5. ไม่ต้องการตัวรับคลื่นที่สถานี ตรวจวัด ทำให้ปลอดภัยจากฟ้าผ่า เนื่องจากตัวรับคลื่นที่สถานี ตรวจวัดจะไวต่อการถูกฟ้าผ่า 6. ระบบเสาอากาศมีขนาดเล็ก | 3. ไม่เหมาะกับการใช้งานแบบ on-line เนื่องจากส่งสัญญาณ ได้ด้วยอัตราที่ต่ำมาก |

2) ความเหมาะสมของระบบรับส่งข้อมูลต่อโครงการ

ความเหมาะสมของระบบการรับส่งข้อมูลต่อพื้นที่โครงการ จะพิจารณาในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความเหมาะสมกับการใช้งานที่มีการรับส่งข้อมูลตลอดเวลา เนื่องจากการใช้งานของระบบที่ต้องการจะมีการสื่อสารข้อมูลเกือบตลอดเวลา
2. เสถียรภาพของระบบรับส่งข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ส่งมีความสำคัญและเป็นข้อมูลพื้นฐานของระบบอื่น ๆ ในโครงการ เสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของการรับส่งข้อมูลจึงมีความสำคัญ
3. การติดตั้ง เพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบรับส่งข้อมูลที่สถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างไกลชุมชน รวมถึงความยาก-ง่ายในการติดตั้ง
4. การซ่อมแซม เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมและเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมระบบ กรณีเกิดความเสียหาย
5. การซ่อมบำรุงและดูแลรักษา เพื่อพิจารณาถึงการดูแลรักษาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต รวมถึงความต้องการพิเศษในการดูแลและบำรุงรักษา
6. มูลค่าการลงทุน เพื่อพิจารณาถึงค่าลงทุนเบื้องต้นของระบบ
7. ค่าดำเนินการ เพื่อพิจารณาถึงการจัดทำงบประมาณในการดำเนินการ
8. ผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียงในด้านสัญญาณรบกวน

ความเหมาะสมของระบบรับส่งข้อมูลต่อโครงการจะสามารถเปรียบเทียบในแต่ละด้านได้ดังนี้

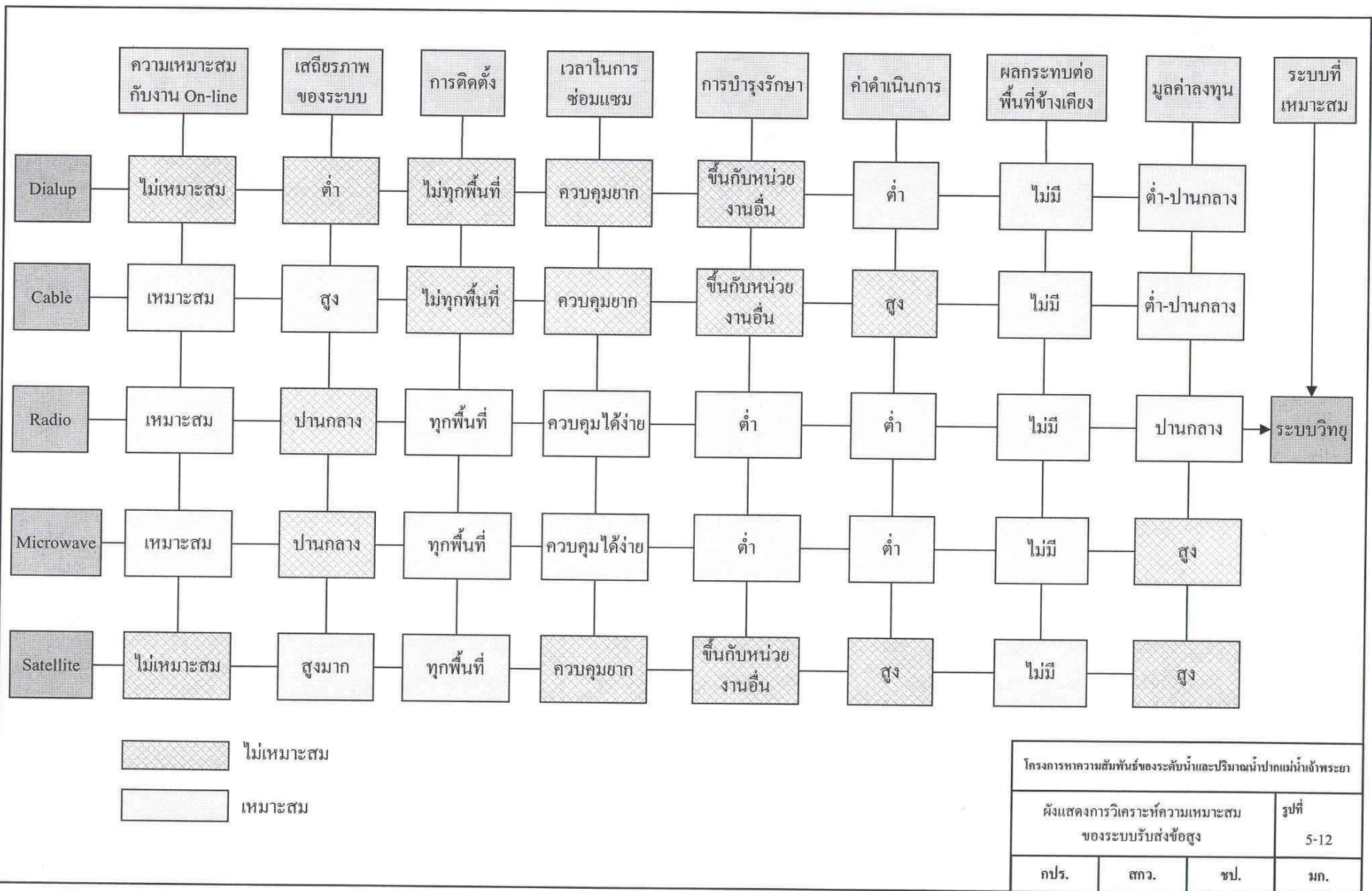
| ความเหมาะสมในแต่ละด้าน | ระบบโทรศัพท์ DIAL-UP | ระบบใช้สาย CABLE | ระบบวิทยุ RADIO | ระบบไมโครเวฟ MICROWAVE | ระบบดาวเทียม SATELLITE |
|--|-------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ความเหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องมีการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีตรวจวัดและสถานีหลักตลอดเวลา (ทุก 15 นาที) | ไม่เหมาะสม | เหมาะสม | เหมาะสม | เหมาะสม | ไม่เหมาะสม |
| <ul style="list-style-type: none"> ความมั่นคงและเสถียรภาพของระบบ | ต่ำ | สูง | ปานกลาง | ปานกลาง | สูงมาก |

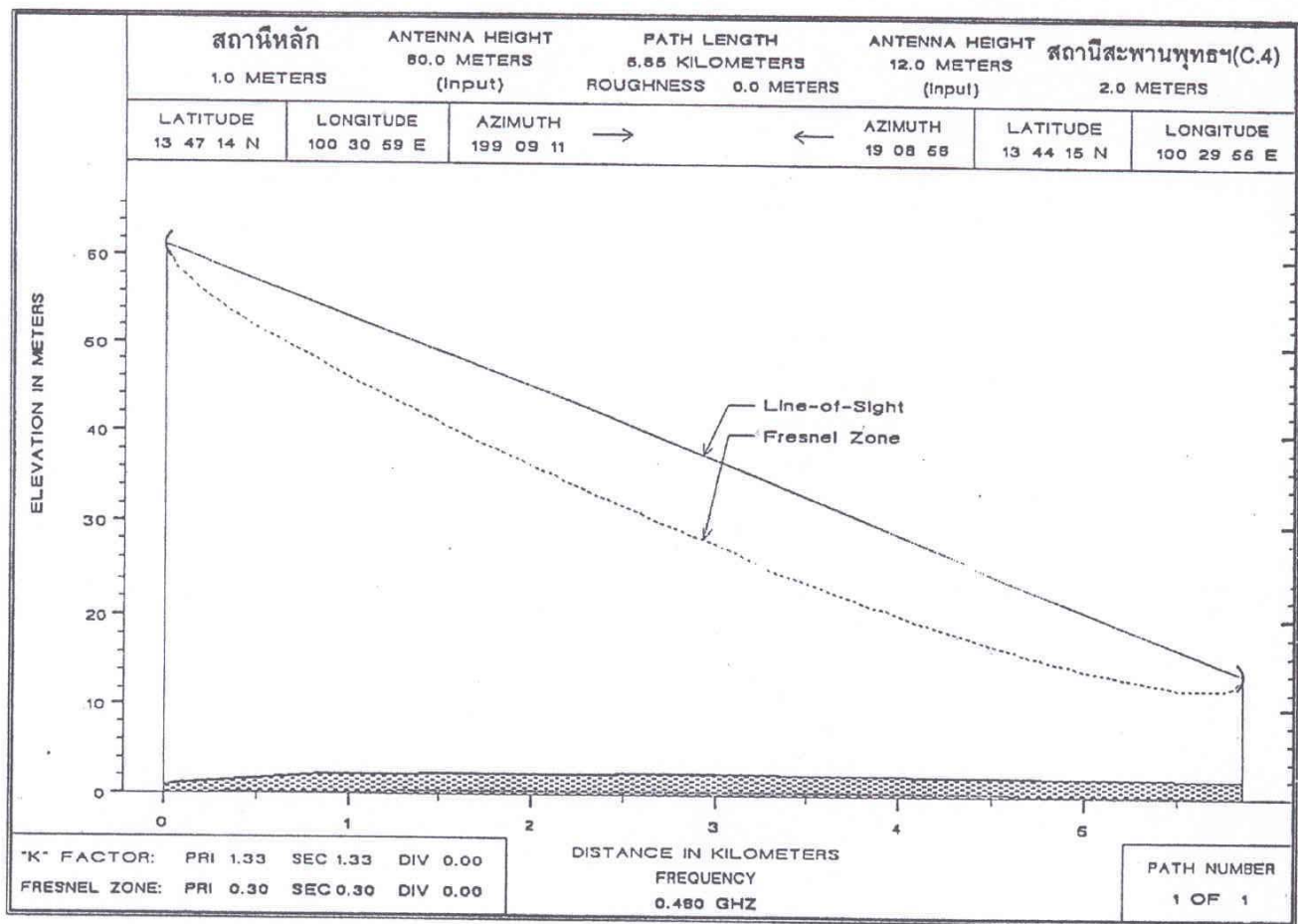
| ความเหมาะสมในแต่ละด้าน | ระบบโทรศัพท์ DIAL-UP | ระบบใช้สาย CABLE | ระบบวิทยุ RADIO | ระบบไมโครเวฟ MICROWAVE | ระบบดาวเทียม SATELLITE |
|---|--|--|--------------------------|---------------------------|---|
| • ความยาก-ง่ายในการติดตั้ง | ไม่ทุกพื้นที่ บางพื้นที่อาจจะไม่มีคู่สาย | ไม่ทุกพื้นที่ บางพื้นที่อาจจะไม่มีคู่สาย | ทุกพื้นที่ | ทุกพื้นที่ | ทุกพื้นที่ |
| • เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมเมื่อเกิดการเสียหาย | ขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่นจะควบคุมเวลาได้ยาก | ขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่นจะควบคุมเวลาได้ยาก | ควบคุมเวลาซ่อมแซมได้ง่าย | ควบคุมเวลาซ่อมแซมได้ง่าย | ขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่นจะควบคุมเวลาได้ยาก |
| • การซ่อมบำรุงและดูแลรักษา | ขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่น | ขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่น | ต่ำ | ต่ำ | ขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่น |
| • มูลค่าการลงทุน | ต่ำ-ปานกลาง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ติดตั้ง หากไกล จะต้องเสียค่าปักเสาพาดสายเพิ่ม | ต่ำ-ปานกลาง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ติดตั้ง หากไกล จะต้องเสียค่าปักเสาพาดสายเพิ่ม | ปานกลาง | สูง | สูง |
| • ค่าดำเนินการ | ต่ำ | สูง | ต่ำ | ต่ำ | สูง |
| • ผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียงด้านสัญญาณรบกวน | ไม่มี | ไม่มี | ไม่มี | ไม่มี | ไม่มี |

จากผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของระบบการรับส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5-12 จะพบว่าระบบรับส่งข้อมูลที่เหมาะสมกับโครงการ คือ ระบบวิทยุ ซึ่งมีข้อดีอยู่เพียงข้อเดียว คือ เสถียรภาพของระบบจะอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เมื่อเทียบกับระบบ Cable และระบบดาวเทียม

5.3.2.2 การวิเคราะห์โครงข่ายการรับ-ส่งข้อมูลด้วยระบบวิทยุ

จากการกำหนดตำแหน่งสถานีตรวจวัด (Remote Station) และระบบสื่อสารข้อมูล (Communication System) ของระบบโทรมาตร ซึ่งเป็นระบบวิทยุที่มีย่านความถี่ UHF ความถี่ 441.200 MHz ตามที่ทางสำนักงาน กปร. ได้อนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดังกล่าวในการสื่อสารข้อมูลของระบบโทรมาตรนั้น ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบวางโครงข่ายระบบสื่อสารข้อมูลสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลระบบโทรมาตร เพื่อให้สามารถสื่อสารข้อมูลได้ตามวัตถุประสงค์และมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยได้ตรวจสอบระดับความสูงของพื้นที่ติดตั้งสถานีเบื้องต้นจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 และทำการวิเคราะห์ Path Profile ในการรับ-ส่งข้อมูลด้วยโปรแกรม CEMS และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบด้วยวิธี “Bullington” ดังแสดงใน รูปที่ 5-13(ก) และ 5-13(ข) จะได้ขนาดความสูงของเสาส่งสัญญาณวิทยุและประสิทธิภาพของระบบดังแสดงในตารางที่ 5-1 ซึ่งจะทำให้ได้โครงข่ายการส่งผ่านข้อมูลของสถานีตรวจวัดมายังสถานีหลักดังแสดงในรูปที่ 5-14





| | | | |
|---|------|-----|-------------------|
| โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำป่าแม่น้ำพระยา | | | |
| ตัวอย่างผลการคำนวณความสูงเสาสัญญาณระหว่างสถานีหลักกับสถานีตรวจวัดสะพานพุทธฯ (C.4) | | | รูปที่ 5-13(ก) |
| กปร. | สกว. | ขป. | มก. |

Propagation Prediction (Bullington's Method)

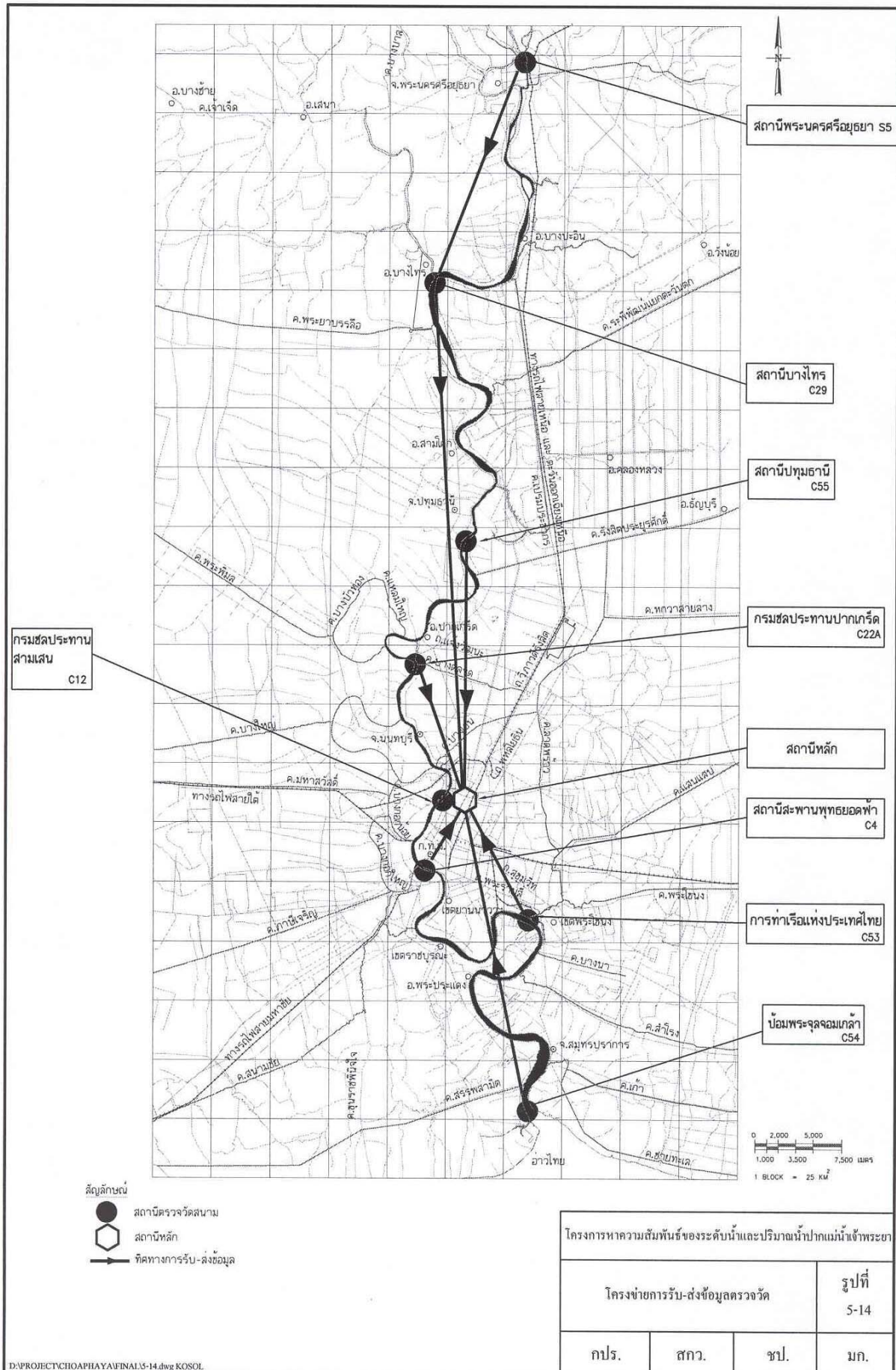
| | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------------|------|-----------|--------|------------|---------|
| Customer | The Royal Irrigation Department | | | | | | |
| Location | Chaophaya River | | | | | | |
| Project | Hydrodynamic Flow Measurement | | | | | | |
| Freq. Band | 460 MHz | | | | | | |
| Tx. Site | Master | Tower HT. | 12 m | Site Ele. | 1.45 m | EFF.Ant.HT | 60 m |
| Rx. Site | Saphan-Phut (C.4) | Tower HT. | 12 m | Site Ele. | 1.78 m | EFF.Ant.HT | 12 m |
| Distance Between Point | 5.85 Km | | | | | | |
| Comments | System Gains | | | | | | |
| 25 Watts UHF | Transmitter Power (dBw) | | | | | | 13.98 |
| 9 dBd Omni Direction | Transmitter Antenna Gains (dBd) | | | | | | 9 |
| 0.25 uV | Receiver Sensitivity (dBw) | | | | | | -149.03 |
| 9 dBd Yagi Direction | Receiver Antenna Gains(dBw) | | | | | | 9 |
| | Total System Gains (dBd) | | | | | | 181.01 |
| Comments | System Losses | | | | | | |
| Plane Earth Loss + Shadow Loss | Path Losses | | | | | | 98.94 |
| N/A | Diffraction Loss - Obstacle (dB) | | | | | | 0 |
| N/A | Diffraction Loss - Earth (dB) | | | | | | 0 |
| Heavily Wood | Environment Line Loss | | | | | | 5 |
| 35 m | 1/2 LDF | Transmission Line Loss | | | | 0.99 | |
| 15 m | RG8 | Receiver Line Loss | | | | 1.35 | |
| | Tx. RF Isolation EQPT Loss (dB) | | | | | | 0 |
| | Rx. RF Isolation EQPT Loss (dB) | | | | | | 0 |
| 3 | Coupling And Aligment Loss (dB) | | | | | | 3 |
| | Total System Losses (dBd) | | | | | | 109.28 |
| | Fade Margin = System Gains - System Losses | | | | | | 71.73 |
| | Area Reliability | | | | | | 99.99 % |

* ใช้สายนำสัญญาณ(Coaxial Cable) ที่สถานีหลัก ชนิด Foam ขนาด 1/2 นิ้ว

| โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำปากแม่น้ำเจ้าพระยา | | | |
|---|------|-----|-------------------|
| ตัวอย่างรายงานการคำนวณประสิทธิภาพของระบบ รับส่งข้อมูล สถานีหลักกับสถานีสะพานพุทธ (C.4) | | | รูปที่ 5-13(ข) |
| กปร. | สกว. | ขป. | มก. |

ตารางที่ 5-1 ประสิทธิภาพของระบบรับ-ส่งข้อมูล และความสูงเสาสัญญาณของสถานีตรวจวัดสนามกรณีการรับ-ส่งข้อมูลผ่านสถานีทวนสัญญาณ

| ลำดับ ที่ | สถานีต้นทาง | | | สถานีปลายทาง | | | ระยะทาง (กม.) | ความสูง เสาสัญญาณ (ม.) | ประสิทธิภาพของระบบรับ-ส่งข้อมูล | |
|--------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------------------------------|-------------|--------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | สถานี | พิกัด | | สถานี | พิกัด | | | | สายนำสัญญาณชนิด Form ขนาด 0.5 นิ้ว | สายนำสัญญาณชนิด RG-8 |
| | | ละติจูด | ลองจิจูด | | ละติจูด | ลองจิจูด | | | | |
| 1 | สถานีหลัก (กรมชลประทานสามเสน) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | - | - | - | | 60 | - | - |
| 2 | สถานีหลัก (กรมชลประทานสามเสน) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | สถานีวัดน้ำปทุมธานี (C.31) | 14° 01' 12" | 100° 32' 22" | 26.02 | 12 | 99.99 | 99.98 |
| 3 | สถานีหลัก (กรมชลประทานสามเสน) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | สถานีวัดน้ำปากเกร็ด (C.22) | 13° 53' 47" | 100° 29' 39" | 12.39 | 12 | 99.99 | 99.99 |
| 4 | สถานีหลัก (กรมชลประทานสามเสน) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | สถานีวัดน้ำสามเสน (C.12) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | 0.11 | 12 | 99.99 | 99.99 |
| 5 | สถานีหลัก (กรมชลประทานสามเสน) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | สถานีวัดน้ำสะพานพุทธฯ (C.4) | 13° 44' 15" | 100° 29' 55" | 5.85 | 12 | 99.99 | 99.99 |
| 6 | สถานีหลัก (กรมชลประทานสามเสน) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | สถานีวัดน้ำการทำเรือฯ (C.53) | 13° 41' 15" | 100° 41' 10" | 21.43 | 12 | 99.99 | 99.99 |
| 7 | สถานีหลัก (กรมชลประทานสามเสน) | 13° 47' 14" | 100° 30' 59" | สถานีวัดน้ำป้อมพระจุลฯ (C.54) | 13° 22' 08" | 100° 35' 00" | 28.9 | 12 | 99.98 | 99.97 |
| 8 | สถานีวัดน้ำปทุมธานี (C.31) | 14° 01' 12" | 100° 32' 22" | สถานีวัดน้ำบางไทร (C.29) | 14° 11' 36" | 100° 30' 16" | 19.66 | 12 | 99.95 | 99.95 |
| 9 | สถานีวัดน้ำบางไทร (C.29) | 14° 11' 36" | 100° 30' 16" | สถานีวัดน้ำอยุธยา (S.5) | 14° 21' 32" | 100° 35' 02" | 20.33 | 12 | 99.94 | 99.94 |



5.3.3 การออกแบบองค์ประกอบประจำสถานีตรวจวัด

องค์ประกอบประจำสถานีตรวจวัดทั้ง 8 แห่งของโครงการ ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝน อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ อุปกรณ์ประมวลผลและรับส่งข้อมูล อุปกรณ์กำเนิดพลังงาน อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งได้ดำเนินการออกแบบเพื่อกำหนดคุณลักษณะขั้นต่ำ ดังนี้

5.3.3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝน

1) รูปแบบของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝน

เครื่องมือวัดน้ำฝนใช้ในการตรวจวัดปริมาณน้ำฝน ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 4 ชนิด ดังนี้

- เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket
- เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Precipitation weighing
- เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Float (Tilting Siphon)
- เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Optical

□ เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket

เครื่องมือวัดน้ำฝนชนิดนี้ทำงานในลักษณะของเครื่องนับจำนวนถ้วย (bucket) โดยเมื่อน้ำฝนตกลงมาจะไหลลงสู่ถ้วยและไหลลงสู่ถ้วยภายใน ซึ่งมีช่องรับน้ำฝนอยู่ 2 ช่อง ซึ่งต่ออยู่กับกระดิ่งเพื่อกระดกเมื่อน้ำฝนเต็มช่องใดช่องหนึ่ง โดยกระดิ่งนี้จะต่อเข้ากับหน้าสัมผัส ซึ่งจะคอยนับจำนวนตามหน้าสัมผัสและหน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับเครื่องแปลงสัญญาณ เพื่อนับปริมาณน้ำฝน ขนาดของช่องรับน้ำฝนโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 0.2-1.0 มม. ของความลึกน้ำฝน

□ เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Precipitation weighing

เครื่องมือชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยกลไกของสปริงหรือระบบสมดุลในการชั่งน้ำหนักของปริมาณฝนที่ตกในถังรับน้ำฝน เครื่องมือชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้วัดปริมาณของหิมะ ลูกเห็บ หรือฝนปนหิมะ

□ เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Float (Tilting Siphon)

เครื่องมือชนิดนี้ทำงานในลักษณะของลูกลอย โดยมีช่องที่บรรจุลูกลอยอยู่ เมื่อระดับน้ำฝนในช่องสูงขึ้น ลูกลอยจะเคลื่อนที่ขึ้นและส่งสัญญาณผ่าน Transducer ซึ่งสามารถแปลงค่าออกมาเป็นปริมาณน้ำฝนได้

❑ เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Optical

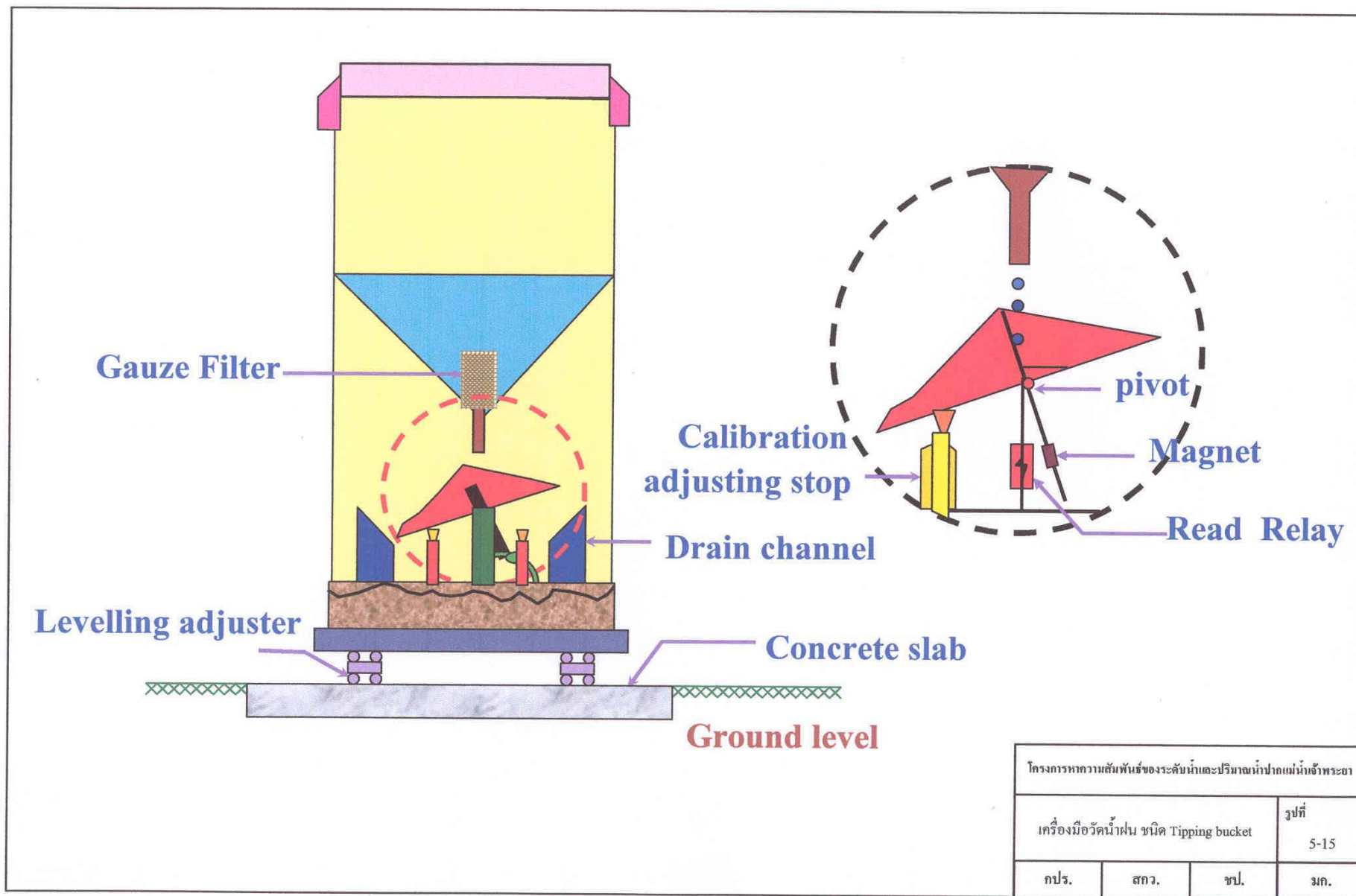
เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบนี้อาศัยแสงเป็นตัววัด โดยมีส่วนที่เป็นหลอด และ ส่วนที่เป็นตัวรับแสง โดยฝนที่ตกจะมีผลต่อความเข้มของแสงที่ตกกระทบ จากความเข้มของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถแปลงเป็นค่าปริมาณของ ฝนที่ตกมาได้ แต่มีข้อคำนึงถึงก็คือ การวัดโดยวิธีนี้จะมีผลผันแปรได้จาก ความแรงของลมและทิศทางของลม

2) ความเหมาะสมของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝนของโครงการ

การพิจารณาความเหมาะสมของเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบต่าง ๆ ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ เจ้าพระยาตอนล่างจะพิจารณาในประเด็นหลัก ๆ ดังนี้

- ❑ ความสามารถหรือลักษณะการใช้งานของเครื่องมือวัดน้ำฝนต่อสภาพ น้ำฝนที่ตกในลุ่มน้ำเพื่อพิจารณาในแง่ของกลไกการทำงานของเครื่องมือ วัดน้ำฝนที่เหมาะสม
- ❑ การดูแลรักษาเครื่องมือวัดน้ำฝน เนื่องจากสถานที่ที่จะติดตั้งเครื่องมือวัด น้ำฝนส่วนใหญ่ไม่ได้อยู่ในตัวเมือง เครื่องวัดน้ำฝนที่จะนำมาใช้จึงต้องเป็น แบบที่ไม่ต้องมีการดูแลรักษามาก ถ้าเสียหายจะต้องซ่อมแซมได้ง่าย
- ❑ เป็นชนิดที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในหน่วยงานของราชการ เช่น กรม ชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา
- ❑ ราคาของเครื่องมือวัดน้ำฝน

ในแง่ของความสามารถของเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบต่าง ๆ พบว่า เครื่องมือวัด น้ำฝนแบบ Precipitation weighing ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เนื่องจากเครื่องมือ วัดชนิดนี้ออกแบบมาให้ใช้กับการวัดหิมะและลูกเห็บ นอกจากนี้กลไกการ ทำงานบางส่วนยังต้องการการดูแลและบำรุงรักษาบ่อยกว่าชนิดอื่น สำหรับใน แ่งของการดูแลและบำรุงรักษาเครื่องมือวัดพบว่าเครื่องมือวัดน้ำฝนชนิด Float มีกลไกการทำงานที่ต้องการการดูแล และบำรุงรักษาบ่อยกว่าชนิด Tipping bucket และ Optical รวมทั้งลักษณะของการทำงานของเครื่องมือวัดชนิดนี้ยังม ีความเสี่ยงสูงต่อความเสียหายที่เกิดจากเศษฝุ่น เม็ดทราย หรือแมลง สำหรับ กรณีของเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket และแบบ Optical พบว่าม ีความสามารถใกล้เคียงกัน แต่เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Optical อาจให้ผล คลาดเคลื่อนบ้างจากแรงลม และเนื่องจากเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket เป็นชนิดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในหน่วยงานราชการ ทำให้มีผู้ใช้งานที่เข้าใจ เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket มากกว่าแบบ Optical สำหรับโครงการ นี้จึงได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดน้ำฝนเป็นแบบ Tipping bucket ดังแสดงในรูปที่ 5-15 ในการวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง



3) การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝน

□ ธรรมชาติของน้ำฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จึงทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู คือ ฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ฤดูหนาวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูร้อนตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนพฤษภาคม นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากลมพายุดีเปรสชันซึ่งเข้ามาสู่พื้นที่ลุ่มน้ำเป็นครั้งคราว

สภาพปริมาณฝนของลุ่มน้ำเจ้าพระยา จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนจำนวน 706 สถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำ ได้ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,163 มิลลิเมตร แบ่งเป็น ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน (มิถุนายน – พฤศจิกายน) 1,098 มิลลิเมตร และ ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูแล้ง (ธันวาคม – พฤษภาคม) 140 มิลลิเมตร

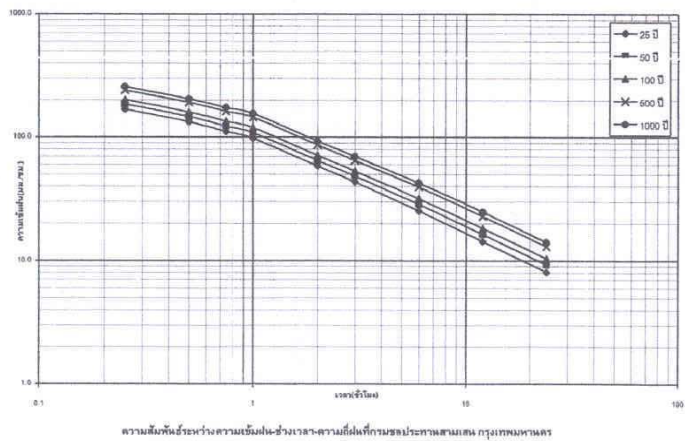
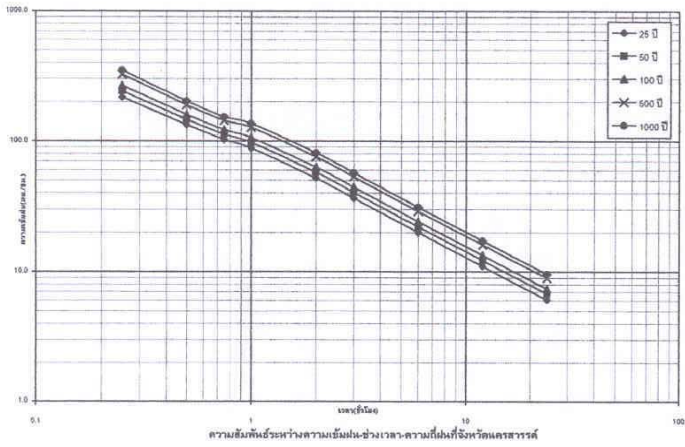
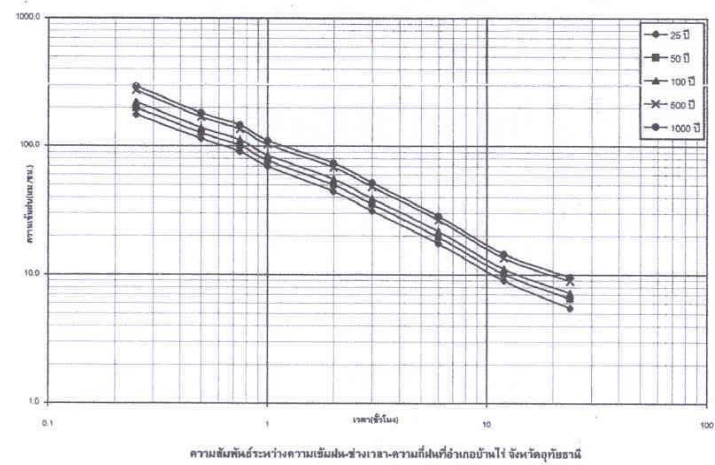
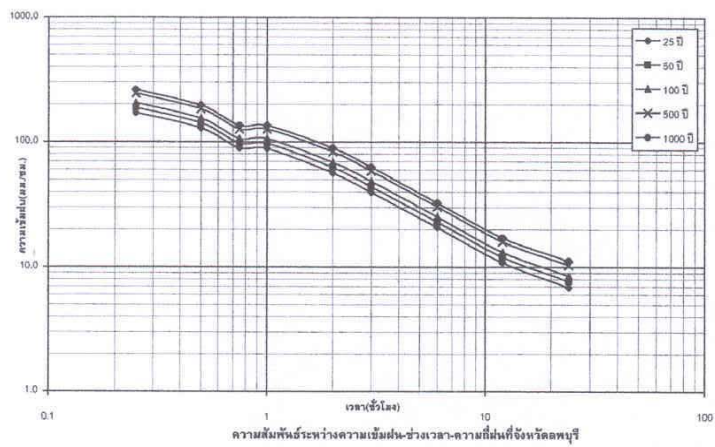
จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่วัดได้โดยสถานีวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้ม – ช่วงเวลา – ความถี่ของน้ำฝน (Intensity – duration – frequency curve หรือ IDF curve) ของสถานีวัดน้ำฝนต่าง ๆ จะได้ดังแสดงในรูปที่ 5-16

□ คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดน้ำฝน

ตามที่ได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเครื่องมือวัดน้ำฝนต่อพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา พบว่าเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket เป็นเครื่องมือวัดน้ำฝนที่เหมาะสมที่สุดโดยควรพิจารณาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket ดังต่อไปนี้

● ช่วงการวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ช่วงการวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนจะอยู่ในลักษณะของความเข้มของฝนที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยต้องให้เครื่องมือวัดน้ำฝนมีความสามารถวัดความเข้มของฝนได้ครอบคลุมช่วงที่ต้องการ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของน้ำฝน (IDF curves) ของสถานีต่าง ๆ ในพื้นที่โครงการ (ดังแสดงในตารางที่ 5-2) พบว่าค่าความเข้มของฝนสูงสุดที่คาบอุบัติ (Return period) 1000 ปี ที่ช่วงเวลา 15 นาที ที่จังหวัดนครสวรรค์ที่ค่าประมาณ 350 มิลลิเมตร



| โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำป่าแม่น้ำเจ้าพระยา | | | |
|--|------|-----|----------------|
| กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ฝนในพื้นที่โครงการ | | | รูปที่ 5-16 |
| กปร. | สกว. | ขป. | มก. |

ตารางที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม – ช่วงเวลา – ความถี่ของฝนในพื้นที่โครงการ ที่คาบอุบัติ 1000 ปี

| ความเข้มฝน (มม./ชม.) | | | | |
|----------------------|---------------|--------|-----------|-----------|
| เวลา(ชม.) | กรุงเทพมหานคร | ลพบุรี | อุทัยธานี | นครสวรรค์ |
| 0.25 | 256.5 | 260.9 | 294.7 | 349.4 |
| 0.50 | 204.3 | 195.9 | 181.4 | 203.1 |
| 0.75 | 173.9 | 135.1 | 145.9 | 153.4 |
| 1 | 155.2 | 135.4 | 110.5 | 136.1 |
| 2 | 92.9 | 89.7 | 73.9 | 81.3 |
| 3 | 69.9 | 63.1 | 52.0 | 57.3 |
| 6 | 42.6 | 32.7 | 28.6 | 31.3 |
| 12 | 24.8 | 17.2 | 14.5 | 17.3 |
| 24 | 14.1 | 11.2 | 9.6 | 9.6 |

ต่อชั่วโมง ซึ่งสูงสุดในทุกสถานี ดังนั้นการวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนควรครอบคลุมถึงค่านี้

● ขนาดของช่องรับน้ำฝน (Tip)

ขนาดของช่องรับน้ำฝนจะแสดงถึงความไวในการวัดปริมาณฝนจะอยู่ในลักษณะของความลึกของฝนที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 มิลลิเมตร โดยขนาด 0.1 – 0.2 มิลลิเมตร จะนิยมใช้กับปริมาณฝนที่ไม่สูงมากนัก (ถ้าฝนตกที่ความเข้มสูงจะทำให้ถ้วยกระดกไวมากอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน) ส่วนขนาด 0.5 มิลลิเมตร จะนิยมใช้กับปริมาณน้ำฝนที่ความเข้มสูง ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการบันทึกค่าน้ำฝนสำหรับทำนายน้ำท่วมเป็นหลักใหญ่ ซึ่งฝนในช่วงดังกล่าวจะมีความเข้มสูง จึงควรใช้ขนาดช่องรับน้ำฝน (Tip) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร

● ความคลาดเคลื่อนของการวัด

ตาม Guide to Hydrological Practices ของ World Meteorological Organization (WMO) กำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของการวัดน้ำฝนควรอยู่ระหว่าง 3 – 7 % ขึ้นกับสภาพของการวัด

5.3.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ

1) รูปแบบของอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ

เครื่องมือวัดระดับน้ำที่นิยมใช้กันทั่วไปแบ่งเป็น

1. เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Float type ใช้หลักการสายเคเบิลต่อกับลูกลอยที่อยู่บนผิวน้ำ เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นหรือต่ำลงสายเคเบิลจะเคลื่อนที่ตามแล้วหมุนลูกรอกผ่านระบบ Shaft encoder ทำให้ได้ค่าระดับน้ำ เครื่องมือวัดระดับน้ำชนิดนี้ควรติดตั้งในท่อน้ำนิ่งที่ต่อเชื่อมกับแม่น้ำหรือติดตั้งกับตอม่อสะพาน การติดตั้งในบ่อน้ำนิ่ง (Stilling well) จะต้องพิจารณาให้ค่าระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่งตรงกับระดับน้ำในแม่น้ำ เพียงแต่ลดการกระเพื่อมของน้ำที่อาจเกิดลม เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Float type จะมีความถูกต้องค่อนข้างสูงในช่วงวัดที่กว้าง
2. เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Immersed Pressure Transducer ใช้หลักการของความดันน้ำที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูงของน้ำเหนือจุดวัดโดย transducer ทำหน้าที่แปลงค่าความดันน้ำที่เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จากหลักการดังกล่าว ทำให้สามารถวัดได้โดยไม่ต้องติดตั้งในที่น้ำนิ่ง
3. เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Bubble gauge ใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Immersed Pressure Transducer แต่ใช้ก๊าซซึ่งถูกอัดผ่านท่อออก ณ จุดวัดอย่างสม่ำเสมอ ค่าความดันที่ใช้ในการอัดก๊าซออกสู่ปลายท่อจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความลึกของน้ำเหนือจุดวัด ค่าแรงดันก๊าซนี้จะถูกวัดและแปลงค่าโดย transducer ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดก๊าซ ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นดินไม่จำเป็นต้องอยู่ในน้ำเช่นเดียวกับ Immersed Pressure Transducer
4. เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Magnetic Level Switch ใช้หลักการของแม่เหล็กโดยมีชุดแม่เหล็กอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งมีลักษณะเป็นลูกลอย ลูกลอยนี้จะสวมอยู่ในแท่งโลหะ อีกชุดของแม่เหล็กจะอยู่ในแท่งโลหะซึ่งติดอยู่กับหน้าสัมผัส (Read Contact) เมื่อระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ไปด้วยตามลูกลอย ทำให้สามารถนำค่าที่ได้มาจากหน้าสัมผัสมาแปลงเป็นค่าของระดับน้ำได้
5. เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Non-contact ultrasonic gauge ใช้หลักการของคลื่นเสียงความถี่สูง โดยจะส่งสัญญาณไปที่ผิวน้ำและรอสัญญาณที่สะท้อนกลับ เวลาที่สะท้อนจะแปรผันไปตามระดับของน้ำ โดยเวลาที่ใช้ในการส่งคลื่นและสะท้อนกลับจะมีความสัมพันธ์กับค่าระยะห่างระหว่างตัวส่งคลื่น (transducer) และผิวน้ำ ซึ่งการวัดนี้มีความคลาดเคลื่อนได้หากวัดใน

ลักษณะของน้ำที่มีการกระเพื่อม รวมทั้งอุณหภูมิของอากาศอาจมีผลกระทบต่อความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ

2) ความเหมาะสมของอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ

การพิจารณาความเหมาะสมของเครื่องวัดระดับน้ำแบบต่าง ๆ ต่อการวัดระดับน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างจะพิจารณาในประเด็นหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1. ความสามารถหรือลักษณะการใช้งานของเครื่องวัดระดับน้ำ ณ แต่ละสถานีวัดระดับน้ำ ซึ่งความผันแปรของระดับของน้ำเป็นส่วนที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือก
2. การดูแลบำรุงรักษาเครื่องมือวัดระดับน้ำ เนื่องจากสถานีที่ติดตั้งส่วนใหญ่อยู่ห่างไกลชุมชน จึงไม่ควรมีเครื่องมือที่ต้องการการดูแลรักษาเป็นพิเศษ หรือมีสภาพกลไกการทำงานที่เสี่ยงต่อความเสียหายสูง
3. เป็นแบบหรือชนิดที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในหน่วยงานอยู่แล้ว เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมหรือเตรียมอะไหล่
4. ราคาของเครื่องวัดระดับน้ำ

ในแง่ของความสามารถหรือสภาพการใช้งานที่เหมาะสมพบว่า เครื่องมือวัดระดับน้ำชนิด Immersed Pressure Transducer มีข้อเสียอันเกิดจากการอุดตันของตะกอนบริเวณปลายท่อวัดความดัน และในกรณีที่น้ำซึมผ่านหัววัด (Sensor) จะเข้าถึงส่วนที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ ส่วนแบบ Bubble gauge จะมีส่วนที่ยุ่งยากในการติดตั้งและใช้งาน จึงไม่เหมาะนำมาใช้ในสถานที่ตั้งห่างไกล สำหรับแบบ Magnetic Level Switch มีข้อจำกัดในส่วนของลูกลอยและแท่งโลหะที่ยาวเกินไปซึ่งไม่เหมาะสมในการติดตั้ง ส่วนแบบ Non-contact Ultrasonic gauge จะมีปัญหาอันเนื่องมาจากการกระเพื่อมของน้ำ แม้สามารถแก้ไขได้โดยออกแบบเป็นท่อรับน้ำเข้ามาในอาคารแต่จะมีข้อจำกัดในการวัดคือ ในกรณีที่ระดับของน้ำมีช่วงกว้างมาก ๆ ท่อจะเป็นตัวสะท้อนของคลื่นที่ส่งลงไปทำให้การวัดผิดพลาดได้มาก และแบบ Float type จะเป็นชนิดที่ไม่ยุ่งยากในการติดตั้งและใช้งานและยังเป็นที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในหน่วยงานจึงเป็นข้อดีที่นำมาพิจารณาในแง่ของการดูแลและบำรุงรักษาเครื่องมือวัดระดับน้ำ พบว่า เครื่องมือวัดระดับน้ำชนิด Float Type, Magnetic Level switch และ Non-Contact Ultrasonic gauge จะไม่ต้องการการดูแลรักษาเป็นพิเศษ ส่วนข้อเสียของ Bubble gauge คือ จะต้องคอยเติมก๊าซไนโตรเจนหรืออากาศให้กับเครื่องวัด แต่ทั้งนี้ราคาของเครื่องวัดระดับน้ำแบบ Float type จะมีราคาต่ำที่สุด ราคาของเครื่องมือวัดน้ำชนิด Float type อยู่ระหว่าง 18,000-27,000 บาท ในขณะที่ชนิด Bubble gauge มีราคา 68,000-160,000 บาท ชนิด Ultrasonic gauge มีราคา 25,000-40,000 บาท

หรือชนิด Immersed Pressure Transducer มีราคา 9,000-54,000 บาท (ขึ้นกับความละเอียดของอุปกรณ์) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในหลาย ๆ ด้านแล้วพบว่าเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Float type ดังแสดงในรูปที่ 5-17 มีความเหมาะสมกับโครงการมากที่สุด

3) การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ

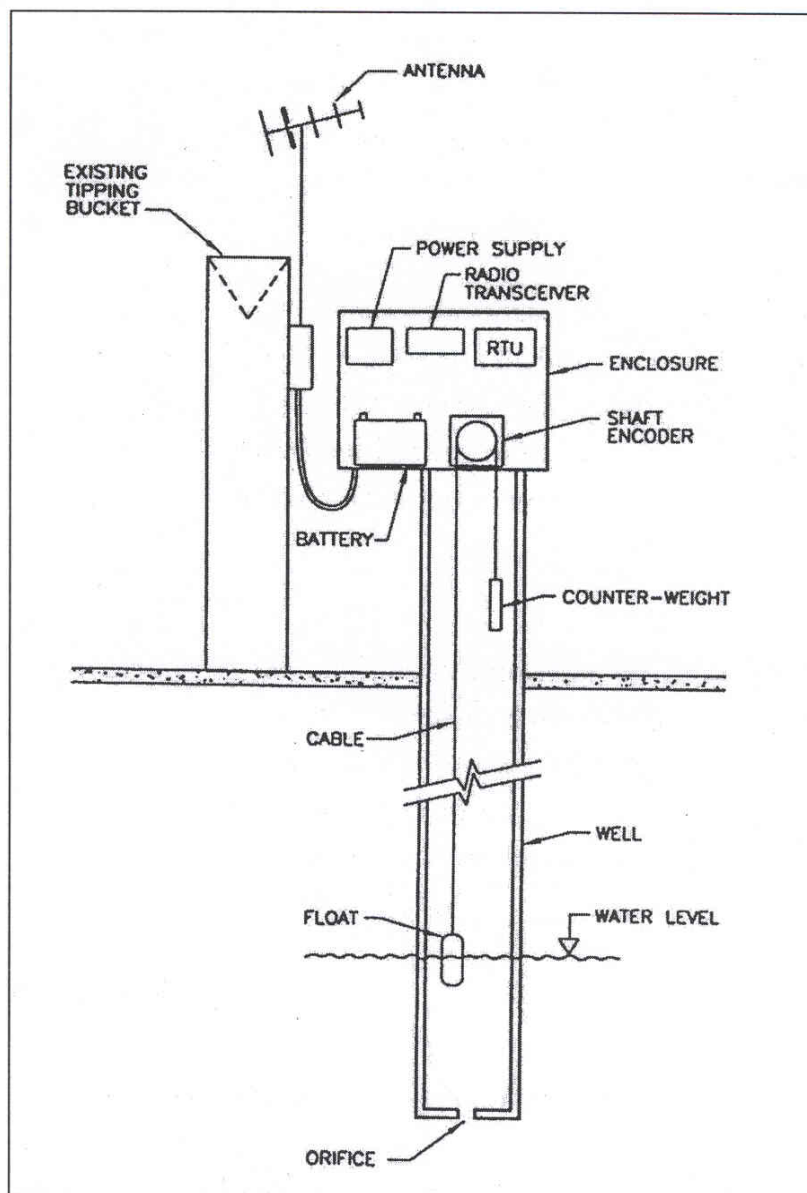
ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมและลมพายุดีเปรสชันในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยช่วงที่ฝนตกชุกและทำให้เกิดน้ำท่วมจะอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งจากค่าปริมาณน้ำสามารถแบ่งสภาพน้ำท่าในแม่น้ำเจ้าพระยาได้ 3 แบบ ดังนี้

- สภาพะน้ำปีน้ำน้อย จะมีอัตราการไหลสูงสุดต่ำกว่า 2000 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- สภาพะน้ำปีน้ำปกติ จะมีอัตราการไหลสูงสุดอยู่ระหว่าง 2000 – 2500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- สภาพะน้ำปีน้ำท่วม จะมีอัตราการไหลสูงสุดเกิน 2500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

นอกจากนี้ริมสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยายังมีคันกันน้ำและสถานีสูบน้ำโดยคันกันน้ำได้สร้างริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่จังหวัดอุทัยธานี จนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดสมุทรปราการ และสถานีสูบน้ำที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน กรมโยธาธิการและผังเมือง และกรุงเทพมหานคร มีความสามารถในการระบายน้ำลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยารวมกันประมาณ 142 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณ 1,600 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำและระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา

นอกเหนือจากภาวะน้ำเหนือป่า การสร้างคันกันน้ำ และการระบายน้ำลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาแล้ว ภาวะน้ำทะเลหนุนก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการระบายน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาลงสู่ทะเลน้อยลง ส่งผลให้ค่าระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาสูงขึ้นและอยู่นานขึ้นในช่วงน้ำท่วม ส่วนในภาวะปกติหรือช่วงน้ำน้อยจะเห็นปรากฏการณ์น้ำขึ้นลงในแม่น้ำเจ้าพระยาตามการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลอย่างชัดเจน

จากการตรวจสอบค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่สถานีวัดน้ำต่าง ๆ ในแม่น้ำเจ้าพระยาสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 5-3



โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำปากแม่น้ำเจ้าพระยา

เครื่องมือวัดกระแสน้ำแบบ Float type

รูปที่

5-17

กปร.

สทว.

ชล.

มก.

ตารางที่ 5-3 ค่าระดับน้ำสูงสุด – ต่ำสุดในแม่น้ำเจ้าพระยา

| สถานี | ค่าระดับน้ำสูงสุด* (ม.รทก.) | ค่าระดับน้ำต่ำสุด** (ม.รทก.) | พิสัย (ม.) |
|--------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| S.5 | 5.00 | -0.62 | 5.62 |
| C.29 | 3.41 | -0.65 | 4.06 |
| C.31 | 3.98 | -0.10 | 4.08 |
| C.22 | 2.65 | -0.95 | 3.60 |
| C.12 | 2.38 | -1.26 | 3.64 |
| C.4 | 2.06 | -1.30*** | 3.36 |
| การทำเรือ | 2.43 | -1.10 | 3.53 |
| ป้อมพระจุล ๗ | 2.52 | -1.32 | 3.84 |

| | | |
|----------|-----|--|
| หมายเหตุ | * | ค่าระดับน้ำสูงสุดวัดในปี 2538 |
| | ** | ค่าระดับน้ำต่ำสุดวัดในปี 2537 |
| | *** | ธันวาคม 2540 (เนื่องจากในปี พ.ศ. 2537 เครื่องเกิดการชำรุด) |

□ คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

ตามที่ได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเครื่องมือวัดระดับน้ำต่อการวัดระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Float type เป็นเครื่องมือวัดระดับน้ำที่เหมาะสมที่สุดโดยควรพิจารณาคูณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ Float type ดังต่อไปนี้

● พิสัยของการวัด

พิสัยของการวัดจะแสดงถึงระยะสูงสุดที่เครื่องมือวัดระดับน้ำสามารถวัดได้ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร โดยต้องให้เครื่องมือวัดระดับน้ำมีความสามารถในการวัดระยะที่ครอบคลุมระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดของสถานที่ที่ต้องการติดตั้งแต่ละสถานี ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีตของสถานีต่าง ๆ ในแม่น้ำเจ้าพระยา ตามตารางที่ 5-3 พบว่า ค่าพิสัยสูงสุดคือ 5.62 เมตร ดังนั้น เครื่องมือวัดระดับน้ำควรมีพิสัยไม่ต่ำกว่าค่านี้

- **ความละเอียดของการวัด**

ตาม Guide to Hydrological Practices ของ World Meteorological Organization (WMO) กำหนดให้ความละเอียดของการวัดระดับน้ำอยู่ที่ 0.01 เมตร หรือ 1 เซนติเมตร

- **ความคลาดเคลื่อนของการวัด**

เนื่องจากลักษณะการทำงานของอุปกรณ์การวัดระดับน้ำชนิด Float type ที่ใช้สายโซ่ต่อกับลูกลอย ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดเป็นค่าเดียวกันกับค่าความละเอียดของการวัด กล่าวคือ เครื่องมือวัดระดับน้ำควรมีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดไม่เกิน 0.01-0.02 เมตร หรือ 1-2 เซนติเมตร ตาม WMO Guide to Hydrological Practices

- **การติดตั้ง**

การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำชนิด Float type จะต้องติดตั้งไกลเพียงพอให้สามารถวัดระดับน้ำได้ หรือในกรณีที่ใช้น้ำนิ่ง (Stilling Well) จะต้องมีการระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่งที่เป็นค่าเดียวกับระดับน้ำในแม่น้ำ แต่ลดการกระเพื่อมของน้ำเท่านั้น และต้องติดตั้งท่อสำหรับติดตั้งโซ่และลูกลอยเพื่อป้องกันขยะหรือสิ่งสกปรกปะทะกับลูกลอย ทำให้ค่าการวัดระดับน้ำเปลี่ยนไปด้วย

5.3.3.3 อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ตัวแปรคุณภาพน้ำ 4 ตัวที่เหมาะสมกับการติดตามตรวจวัด ได้แก่ pH อุณหภูมิ DO และ ความนำไฟฟ้า ซึ่งสามารถออกแบบการติดตามตรวจวัด ตัวแปรคุณภาพน้ำแต่ละตัวได้ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นค่าแสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน โดยที่

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$$

ค่า pH โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0-14 โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 7 จะถือว่าเป็นกลาง ถ้าน้อยกว่า 7 เป็นกรด และมากกว่า 7 เป็นด่าง

การวัดค่า pH จะใช้ Electrochemical sensor ในการตรวจวัด ประกอบด้วย ขั้ว 2 ขั้ว ได้แก่ Glass electrode และ Reference electrode โดยมีแผ่นเมมเบรนกั้นอยู่ ไฮโดรเจนไอออนจะวิ่งจาก Glass electrode ไปยัง Reference electrode ผ่านเมมเบรน ก่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่าง 2 ขั้ว ซึ่งสามารถวัดและแปลผลเป็นค่า pH ได้

2. อุณหภูมิ

ค่าอุณหภูมิของน้ำโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0-30 องศาเซลเซียส มี sensors อยู่หลายชนิดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ได้แก่

- Platinum resistance sensor ซึ่งเป็น sensor ที่มีความละเอียดสูง $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ และมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3% ในช่วงการวัดที่ -15°C ถึง $+140^{\circ}\text{C}$
- Thermocouples ซึ่งเป็น sensors ที่มีความไวต่ำและต้องการการปรับเทียบที่แตกต่างกันในแต่ละเครื่อง
- Thermistors เป็น sensor ที่ผลิตจากเซมิคอนดักเตอร์ มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง และราคาค่อนข้างถูก นิยมใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแนวตั้งของน้ำ มีความละเอียดที่ $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 100°C
- Semiconductor junction sensors เป็น sensor ที่มีความคลาดเคลื่อน สูงสุดที่ประมาณ 0.5°C ในช่วงของการวัด -55°C ถึง 150°C

ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดที่ต้องการขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการวัด หากเป็นการวัดเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแนวตั้ง อาจใช้ความคลาดเคลื่อนที่ $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ถึง $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ แต่ถ้าต้องการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำในลำน้ำ โดยทั่วไปจะใช้ความคลาดเคลื่อนที่ $0.1 - 0.5^{\circ}\text{C}$ ตาม WMO Guide to Hydrological Practices

3. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ค่าปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) โดยทั่วไปจะขึ้นกับค่าความเค็มและอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงค่า DO จะต่ำ และเมื่ออุณหภูมิต่ำค่า DO จะสูง เช่นที่ 0°C ค่า DO จะเท่ากับ 14.6 mg/l และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 40°C ค่า DO จะเหลือเพียง 6.4 mg/l ค่าความเค็มก็ส่งผลกระทบต่อค่า DO ในทำนองเดียวกับอุณหภูมิ นอกจากนี้แล้วการที่มีมลพิษปนเปื้อนในน้ำก็จะทำให้ค่า DO ต่ำลงเช่นกัน โดยมีค่าต่ำสุดคือ 0 mg/l ดังนั้นการวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายจึงควรครอบคลุมช่วง $0-15\text{ mg/l}$ เป็นอย่างต่ำ โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 % ตาม WMO Guide to Hydrological Practices sensor ที่ใช้ในการวัดค่า DO จะเป็น electrochemical sensor

4. ความนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

ค่าความนำไฟฟ้า เป็นค่าแสดงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า มีหน่วยมาตรฐานตาม SI units เป็น millisiemens/m (ms/m) แต่นิยมแสดงค่าในหน่วยของ $\mu\text{S/cm}$ หรือ mS/cm

ค่าความนำไฟฟ้าแปรผันจากค่าต่ำสุดที่ $0.05 \mu\text{S/cm}$ ถึง $50,000 \mu\text{S/cm}$ ซึ่งเป็นค่าความนำไฟฟ้าของน้ำทะเล ความคลาดเคลื่อนของการวัดที่ค่าความนำไฟฟ้าไม่ควรเกิน 5 % ตาม WMO Guide to Hydrological Practices

ค่าความนำไฟฟ้าและอุณหภูมิสามารถนำมาแปลงเป็นค่าความเค็มได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$S = 0.0080 - 0.1692 R_T^{1/2} + 25.3851 R_T + 14.0941 R_T^{3/2} - 7.0261 R_T^2 + 2.7081 R_T^{5/2} + \Delta S$$

$$\text{เมื่อ } \Delta S = \frac{T - 15}{1 + 0.0162 (T - 15)} (0.005 - 0.0056 R_T^{1/2} - 0.0066 R_T - 0.0375 R_T^{3/2} + 0.0636 R_T^2 - 0.0144 R_T^{5/2})$$

R_T = อัตราส่วนระหว่างค่าความนำไฟฟ้าต่อความนำไฟฟ้าของน้ำทะเลที่ความเข้มข้น 35 g/kg ($\sim 50,000 \mu\text{S/cm}$)

T = ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

5.3.3.4 อุปกรณ์ประมวลผลและรับ-ส่งข้อมูล

อุปกรณ์ประมวลผลและรับส่งข้อมูลทำหน้าที่ในการติดต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลเพื่อเก็บรวบรวม บันทึก และแปลงค่าข้อมูลเพื่อส่งให้สถานีหลัก เนื่องจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วของไมโครคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการรวบรวมข้อมูล ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลและรับส่งข้อมูลมีความซับซ้อนและความน่าเชื่อถือสูงขึ้น คุณลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์ประมวลผลและรับส่งข้อมูลควรเป็นดังนี้

- มี Microprocessor ขนาด 32 bit เป็นตัวประมวลผลหลัก แม้ปัจจุบันเทคโนโลยีไมโครโปรเซสเซอร์ได้พัฒนาเป็นขนาด 64 bit แล้ว แต่การประมวลผลในส่วนของ RTU ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่สูงมาก เนื่องจากทำงานเพียงติดต่อรวบรวม บันทึก และแปลงค่าข้อมูลเท่านั้น
- มีหน่วยความจำเพื่อบันทึกข้อมูลขนาดไม่น้อยกว่า 1MB ซึ่งเป็นขนาดที่เพียงพอในการบันทึกข้อมูลได้ประมาณ 30 วัน สำหรับในกรณีที่ระบบขัดข้องเป็นเวลานานและสามารถใช้ตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้

- ❑ สามารถติดต่อกับอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้กันโดยทั่วไปได้ เช่น ระบบโทรศัพท์ ระบบสายวงจรเช่า ระบบวิทยุ หรือระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น โดยต้องสามารถใช้ระบบใดระบบหนึ่ง หรือผสมผสานหลายระบบสื่อสารได้ เพื่อให้อุปกรณ์มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน
- ❑ สามารถทำการเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลขณะแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักขัดข้องได้ เพื่อให้ข้อมูลมีความต่อเนื่อง รวมทั้งช่วงที่ไฟฟ้าขัดข้องมักจะเป็นช่วงที่เกิดพายุฝน ซึ่งข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีความจำเป็นต่อการคาดการณ์น้ำท่วม
- ❑ หากระบบสื่อสารขัดข้อง เมื่อระบบกลับสู่ภาวะปกติ อุปกรณ์ควรสามารถส่งข้อมูลที่บันทึกไว้ในช่วงเวลาที่ระบบสื่อสารขัดข้องไปยังสถานีหลักได้เองโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ข้อมูลมีความต่อเนื่อง และลดกำลังคนและทรัพยากรที่ต้องใช้ในการออกไปเอาข้อมูลที่สถานีเครือข่าย
- ❑ มีพอร์ตสื่อสารตามมาตรฐาน RS – 232 เพื่อให้สามารถต่อกับคอมพิวเตอร์อื่นได้ เพื่อใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขอุปกรณ์
- ❑ ควรมีจอแสดงสถานะของส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบและบำรุงรักษา
- ❑ สามารถโปรแกรมให้จัดการข้อมูลที่สถานีเครือข่ายได้ด้วยโปรแกรมมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป เช่น Ladder program เป็นต้น เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบและแก้ไขปรับปรุงระบบ
- ❑ ควรมีระบบตรวจสอบและแก้ไขความถูกต้องของการรับ-ส่งข้อมูล เพื่อให้ระบบโทรมาตรมีเสถียรภาพ
- ❑ สามารถติดต่อกับสถานีหลัก โดยวิธี polling หรือ event-change ได้ โดยวิธี polling จะเกิดจากการที่สถานีหลักให้สัญญาณในการส่งข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนด ส่วนวิธี event-change จะเกิดจากการที่สถานีเครือข่ายส่งข้อมูลไปยังสถานีหลักเอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตามที่ได้กำหนดไว้ โดยไม่ต้องรอรอบเวลาการ polling เช่น เมื่อระดับน้ำขึ้นหรือลงเกิน 5 เซนติเมตร หรือเมื่อฝนตกหนักเกิน 10 มิลลิเมตร เป็นต้น
- ❑ สามารถโปรแกรมให้ทำงานได้ทั้งจากสถานีหลักหรือโปรแกรมที่สถานีเครือข่ายเองได้ เพื่อความสะดวกในการสั่งการและแก้ไขปรับปรุงระบบ
- ❑ สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัด (sensors) ทั้งสัญญาณแบบอนาล็อก และแบบสัญญาณดิจิทัล โดยแบบสัญญาณอนาล็อกต้องเป็นไปตามสัญญาณมาตรฐานที่ 4-20 mA หรือ 0-5 volt เพื่อให้สามารถรองรับอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัล
- ❑ ต้องสามารถเปลี่ยนสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล หรือเปลี่ยนจากสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก โดยมีความละเอียดในการแปลงข้อมูลตามมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป คือ 12 bit ได้ เพื่อให้คุณสมบัติของสัญญาณทั้งสองแบบไม่แตกต่างกัน
- ❑ สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งาน ทั้งในเขตที่มีสายไฟฟ้าหรือไม่มีสายไฟฟ้าเข้าถึง

5.3.3.5 อุปกรณ์กำเนิดพลังงาน

อุปกรณ์กำเนิดพลังงาน เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์วัดข้อมูล และอุปกรณ์ประมวลผลและรับส่งข้อมูล โดยทั่วไปอุปกรณ์กำเนิดพลังงานจะเป็นอุปกรณ์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง 12 volt ถ้าสถานีเครือข่ายใดมีสายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าถึงก็จะใช้ตัวแปลงไฟจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง แต่ถ้าไม่มีสายไฟฟ้ากระแสสลับอยู่จะนิยมใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ (solar panel) เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแทน

สำหรับโครงการนี้ สถานีเครือข่ายทั้ง 8 สถานี ที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ระบบโทรมาตรมีไฟฟ้ากระแสสลับเข้าถึงทุกสถานี จึงไม่จำเป็นต้องใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ควรมีแบตเตอรี่สำรองไฟในกรณีที่ระบบไฟฟ้าขัดข้อง โดยคุณลักษณะของอุปกรณ์กำเนิดพลังงานควรเป็นดังนี้

- ❑ ควรมีแบตเตอรี่สำรองไฟในกรณีที่ไฟฟ้าขัดข้องได้นานไม่น้อยกว่า 10 ชั่วโมง เนื่องจากสถานีเครือข่ายทั้งหมดมีไฟฟ้าเข้าถึง จึงไม่จำเป็นต้องสำรองไฟนานมาก อีกทั้งการเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่สำรองไฟมีราคาค่อนข้างสูง เช่น ถ้าจะเพิ่มจาก 10 ชั่วโมงเป็น 72 ชั่วโมง จะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกสถานีละ 40,000 บาท และถ้าเพิ่มนานเป็น 7 วัน จะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกสถานีละ 70,000 บาท เป็นต้น
- ❑ ควรมีระบบวัดแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังเมนสวิตช์ของระบบจ่ายไฟฟ้าของสถานีเครือข่าย เพื่อให้ทราบและเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าผิดปกติโดยข้อมูลที่วัดได้ควรส่งให้สถานีหลักทราบในลักษณะเดียวกับข้อมูลของอุปกรณ์วัดอื่นๆ

5.3.3.6 ระบบป้องกันฟ้าผ่า

ระบบป้องกันฟ้าผ่าทำหน้าที่ในการป้องกันการกระชากของไฟฟ้าไม่ว่าจะเกิดจากฟ้าผ่าหรือไฟฟาดก เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบสื่อสาร อุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลและอุปกรณ์ประมวลผลที่มีความละเอียดอ่อนและไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า โดยควรมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- ❑ ควรมีระบบ Direct strike protection เพื่อป้องกันฟ้าผ่าตรงลงมาที่อุปกรณ์ต่างๆ โดยต้องสามารถผ่านกระแสไฟฟาลงดินได้อย่างปลอดภัย
- ❑ ควรมีระบบ Power protection และ Shunt protection เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าทั้งหมดจากการเปิดหรือปิดโดยทันที
- ❑ ควรมีระบบ Series protection เพื่อป้องกันอุปกรณ์ที่ต่อเชื่อมกันอยู่ไม่ให้เกิดความเสียหาย

- ❑ ควรมีระบบสายดิน (Ground wiring) โดยมีการวางระบบขั้วสายดินที่ถูกต้อง และเหมาะสมกับตำแหน่งของอุปกรณ์ พร้อมทั้งจุดต่อลงดินที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้าในระบบ
- ❑ ในกรณีที่ใช้ระบบสื่อสารวิทยุที่มีสายอากาศ ควรมีระบบ Lightning protection เพื่อป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าทางด้านสายอากาศ อันจะทำให้ระบบสื่อสารเสียหายหรือขัดข้องได้

5.3.4 การออกแบบองค์ประกอบประจำสถานีหลัก

5.3.4.1 ห้องควบคุมระบบโทรมาตรอุทกวิทยา

สถานีหลักหรือศูนย์ควบคุมระบบโทรมาตรอุทกวิทยาเป็นสถานีที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการรวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ประมวลผลสภาพน้ำหลาก ประเมินทางเลือกในการบริหารจัดการน้ำ พร้อมทั้งแจ้งเตือนไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจากหน้าที่ของสถานีหลักจะพบว่าสถานีหลักต้องมีพื้นที่ใช้สอยมากพอที่จะจัดวางอุปกรณ์สื่อสาร อุปกรณ์ประมวลผล อุปกรณ์แสดงผลและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็น นอกจากนี้จะต้องมีห้องควบคุมระบบ ห้องพักสำหรับผู้ควบคุมระบบ ห้องรับรองผู้มาเยี่ยมเยือน และห้องประชุมเป็นอย่างน้อย

5.3.4.2 องค์ประกอบประจำสถานีหลัก

องค์ประกอบประจำสถานีหลักประกอบด้วย ระบบสื่อสารข้อมูลและควบคุมทางไกล ระบบประมวลผลและระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งมีคุณสมบัติขั้นต่ำดังนี้

1) ระบบสื่อสารข้อมูลและควบคุมทางไกล หรือ Gate Way Unit

1. ข้อกำหนดทั่วไป ของอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลและควบคุมทางไกล
 - ❑ สามารถส่งการไปยังสถานีตรวจวัด โดยตรง หรือ ผ่านสถานีตรวจวัดอื่นได้ ในกรณีที่ไม่สามารถติดต่อสถานีตรวจวัดได้โดยตรง
 - ❑ สามารถเลือกการติดต่อสื่อสารกับสถานีตรวจวัด โดยวิธี polling ในทุกๆ ช่วงเวลาที่กำหนด และ/หรือ event-change รับ-ส่งข้อมูลได้ทันทีเมื่อมีสถานะการเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่อยู่ในเงื่อนไข และได้ถูกตั้งไว้จากสถานีตรวจวัด
 - ❑ สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 20% ถึง 80% ในแบบ non-condensing
 - ❑ ต้องมีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ที่เป็น Microprocessor ขนาดไม่น้อยกว่า 32 Bit และหน่วยความจำหลัก (RAM) ไม่น้อยกว่า 256 KB

และสามารถขยายได้ตามความจำเป็นในอนาคต และแบบ EEPROM ไม่น้อยกว่า 1 MB

- ❑ สามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารได้หลายประเภท ซึ่งสามารถที่จะใช้งานผสมกัน หรือเลือกใช้ได้อย่างใดอย่างใดอย่างหนึ่งได้เป็นอย่างดี
- ❑ สามารถทำการเก็บข้อมูล และส่งข้อมูลขณะไฟฟ้าขัดข้องได้นานไม่น้อยกว่า 10 ชม.
- ❑ มีพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม RS-232C หรือ RS-485 ความเร็วไม่น้อยกว่า 56 Kbps สำหรับต่อกับคอมพิวเตอร์
- ❑ มีวงจร watch-dog
- ❑ มีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล มีระบบตรวจสอบและแก้ไขความถูกต้องของการรับ-ส่งข้อมูล
- ❑ อุปกรณ์สำหรับควบคุมการสื่อสารวิทยุ สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้แบบ Simplex และ Semi-Duplex
- ❑ โมเด็มที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบวิทยุสื่อสาร ต้องมีความสัมพันธ์กัน และความเร็วไม่น้อยกว่า 2400 bps
- ❑ ส่วนเครื่องส่ง สามารถใช้งานร่วมกับ ส่วนประมวลผลหลัก ได้อย่างเหมาะสม
 - กำลังออกอากาศไม่น้อยกว่า 20 Watts
 - Spurious และ Harmonic Emissions น้อยกว่า 0.25 μ W
 - Frequency stability (-30°C ถึง $+50^{\circ}\text{C}$) $\pm 0.0005\%$
 - Modulation FSK และหรือ DPSK
- ❑ ส่วนเครื่องรับ สามารถใช้งานร่วมกับ ส่วนประมวลผลหลัก ได้อย่างเหมาะสม
 - Sensitivity 0.3 μ V
 - Selectivity -75 dB
 - Spurious และ Image rejection -80 dB
 - Frequency stability (-30°C ถึง $+60^{\circ}\text{C}$) $\pm 0.0005\%$
 - ได้มาตรฐานตาม MIL-STD 810 C, D & E

2) ระบบประมวลผล

ระบบประมวลผลของระบบโทรมาตรอุทกวิทยา ประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 ชนิด ดังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) และเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Viewer) สรุปได้ดังนี้

- เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (SCADA Server) ทำหน้าที่เป็นชุดประมวลผลหลักของระบบโทรมาตรอุทกวิทยามีคุณสมบัติไม่น้อยกว่า
 - Processor ชนิด Pentium III หรือดีกว่า ความเร็วไม่น้อยกว่า 1 GHz และ System bus ไม่น้อยกว่า 133 MHz
 - มีหน่วยความจำ ECCSDRAM หรือดีกว่า ไม่น้อยกว่า 512 MB และสามารถขยายได้ไม่น้อยกว่า 2 GB
 - มี Serial Port ไม่น้อยกว่า 2 Port และ Parallel Port ไม่น้อยกว่า 1 Port และ USB Port ไม่น้อยกว่า 2 Port
 - มี Hard disk ชนิด Ultra III SCSI เป็นระบบ Internal RAID ชนิด Hot Swap มีความจุไม่น้อยกว่า 36 GB หลังจากทำ RAID 5 และความเร็วไม่น้อยกว่า 7200 rpm พร้อม Hard disk สำรองที่มีความจุเท่ากับ Hard disk ที่นำมาทำ Raid 5 จำนวน 1 drive
 - มี CD-ROM Drive ที่มีความเร็วไม่ต่ำกว่า 48 เท่า และสามารถใช้กับแผ่น CD ขนาดเล็กได้
 - มี back up drive ชนิด DDS-3 หรือดีกว่าขนาดไม่ต่ำกว่า 12/24 GB อย่างน้อย 1 drive พร้อมตลับเทปจำนวนไม่น้อยกว่า 3 ตลับ
 - ติดตั้ง Network Controller card แบบ PCI ตามมาตรฐาน 10/100BaseTX จำนวน 1 ชุด
 - ติดตั้ง Graphic Controller มีหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 4 MB
 - จอภาพสี (Color Monitor) ขนาดไม่น้อยกว่า 17 นิ้ว สามารถแสดงผลได้ในความละเอียดไม่น้อยกว่า 1280 x 1024 Pixels มี Dot Pitch ไม่เกิน 0.25 มม. และผ่านการรับรองมาตรฐาน MPR II
 - มี Expansion slot แบบ PCI หรือดีกว่า ไม่ต่ำกว่า 4 slots
 - ระบบปฏิบัติการ Windows 2000Server หรือดีกว่า
 - โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลอย่างน้อยเป็น SQL Server 2000 หรือดีกว่า
- เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายระบบโทรมาตร (SCADA View) จำนวน 1 ชุด สำหรับทำหน้าที่เป็นลูกข่ายของชุดประมวลผลของระบบโทรมาตร โดยมีคุณสมบัติไม่น้อยกว่า
 - Processor เป็นชนิด Pentium III หรือดีกว่า ความเร็วไม่น้อยกว่า 1 GHz และ System bus ไม่น้อยกว่า 133 MHz
 - มีหน่วยความจำ SDRAM หรือดีกว่า ไม่น้อยกว่า 512 MB
 - มี Serial Port ไม่น้อยกว่า 2 Port และ Parallel Port ไม่น้อยกว่า 1 Port
 - Hard disk มีความจุไม่น้อยกว่า 40 GB ความเร็วไม่น้อยกว่า 7200 rpm

- มี CD-ROM Drive ที่มีความเร็วไม่น้อยกว่า 48 เท่า และสามารถ
ใช้กับแผ่น CD ขนาดเล็กได้
- ติดตั้ง Network Interface card แบบ PCI ตามมาตรฐาน
10/100BaseTX จำนวน 1 ชุด
- มีการ์ดแสดงผลแบบ AGP ความเร็วไม่น้อยกว่า 4x เป็นชนิด 3D ที่มี
หน่วยความจำไม่น้อยกว่า 32 MB
- จอภาพสี (Color Monitor) ขนาดไม่น้อยกว่า 17 นิ้ว สามารถแสดง
ผลได้ในความละเอียดไม่น้อยกว่า 1280 x 1024 Pixel มี Dot
Pitch ไม่เกิน 0.25 มม. และผ่านการรับรองตามมาตรฐาน MPR II
- มี Expansion slot แบบ PCI หรือดีกว่า ไม่น้อยกว่า 3 slots และ
USB Port ไม่น้อยกว่า 2 Ports
- ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows 2000 Professional หรือดีกว่า
- ติดตั้งโปรแกรม MS Office 2000 Professional หรือดีกว่า

3) ระบบป้องกันฟ้าผ่า

ระบบป้องกันฟ้าผ่าทำหน้าที่ในการป้องกันการกระชากของไฟฟ้าไม่ว่าจะเกิดจากฟ้าผ่าหรือไฟฟ้าตก เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบสื่อสาร อุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลและอุปกรณ์ประมวลผลที่มีความละเอียดอ่อนและไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า โดยควรมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- ❑ ควรมีระบบ Direct strike protection เพื่อป้องกันฟ้าผ่าตรงลงมาที่อุปกรณ์ต่าง ๆ โดยต้องสามารถผ่านกระแสไฟฟ้าลงดินได้อย่างปลอดภัย
- ❑ ควรมีระบบ Power protection และ Shunt protection เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าทั้งหมดจากการเปิดหรือปิดโดยทันที
- ❑ ควรมีระบบ Series protection เพื่อป้องกันอุปกรณ์ที่ต่อเชื่อมกันอยู่ไม่ให้เกิดความเสียหาย
- ❑ ควรมีระบบสายดิน (Ground wiring) โดยมีการวางระบบข่ายสายดินที่ถูกต้องและเหมาะสมกับตำแหน่งของอุปกรณ์ พร้อมทั้งจุดต่อลงดินที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้าในระบบ
- ❑ ในกรณีที่ใช้ระบบสื่อสารวิทยุที่มีสายอากาศ ควรมีระบบ Lightning protection เพื่อป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าทางด้านสายอากาศ อันจะทำให้ระบบสื่อสารเสียหายหรือขัดข้องได้

5.3.5 การออกแบบระบบเชื่อมโยงข้อมูล

1) รูปแบบของการเชื่อมโยงข้อมูล

เนื่องจากระบบเชื่อมโยงข้อมูลเป็นการเชื่อมโยงระหว่างสถานีหลักกับสถานีหลักย่อย ซึ่งรูปแบบของระบบเชื่อมโยงที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ ระบบใช้สายโทรศัพท์ชนิด DIAL-UP และสายเคเบิล (Cable) เนื่องจากสะดวกในการติดตั้ง มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ใต้น้ำน้อย มีความรวดเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูง ซึ่งแต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้

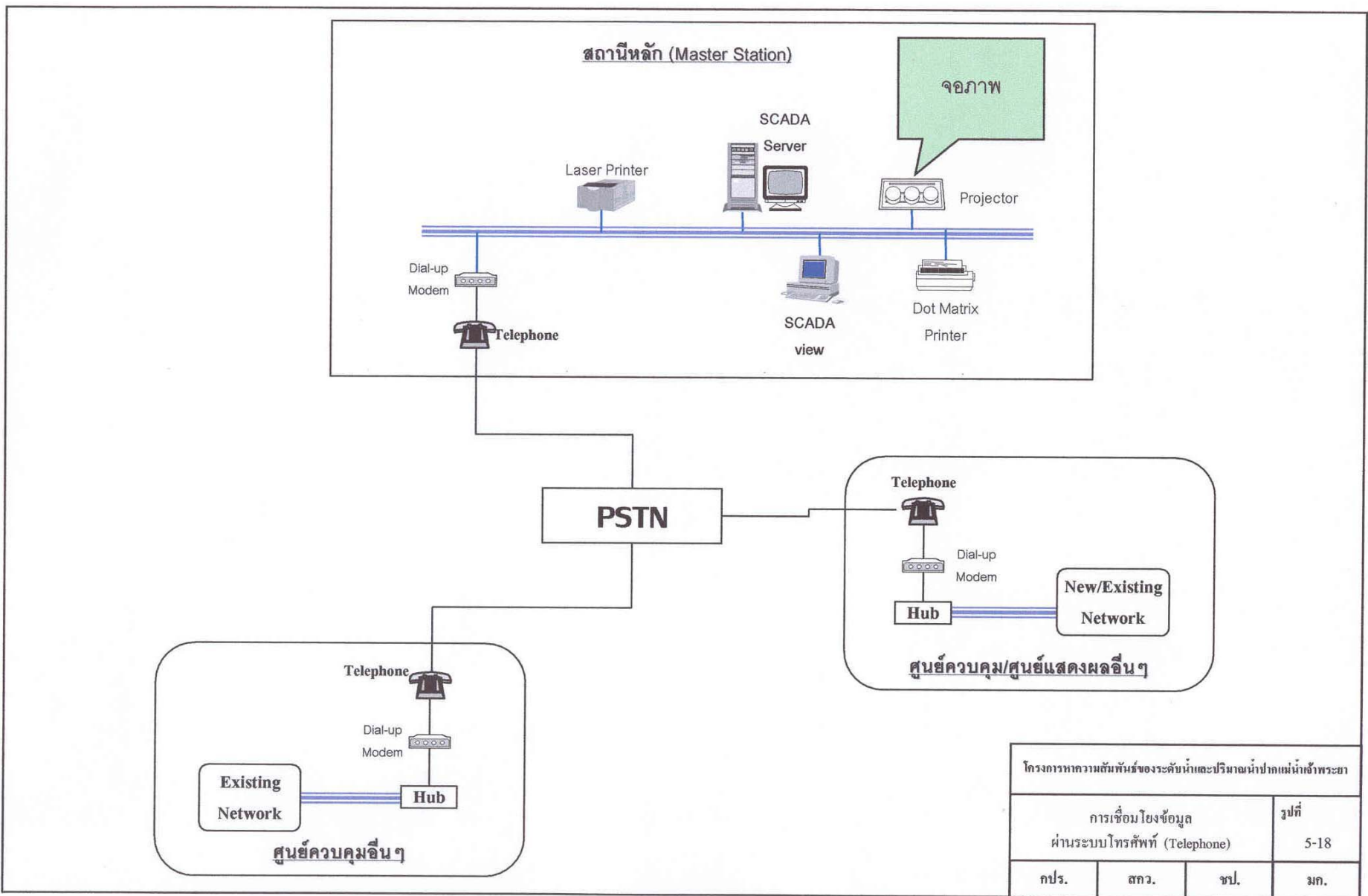
□ ระบบโทรศัพท์ (Dial-up)

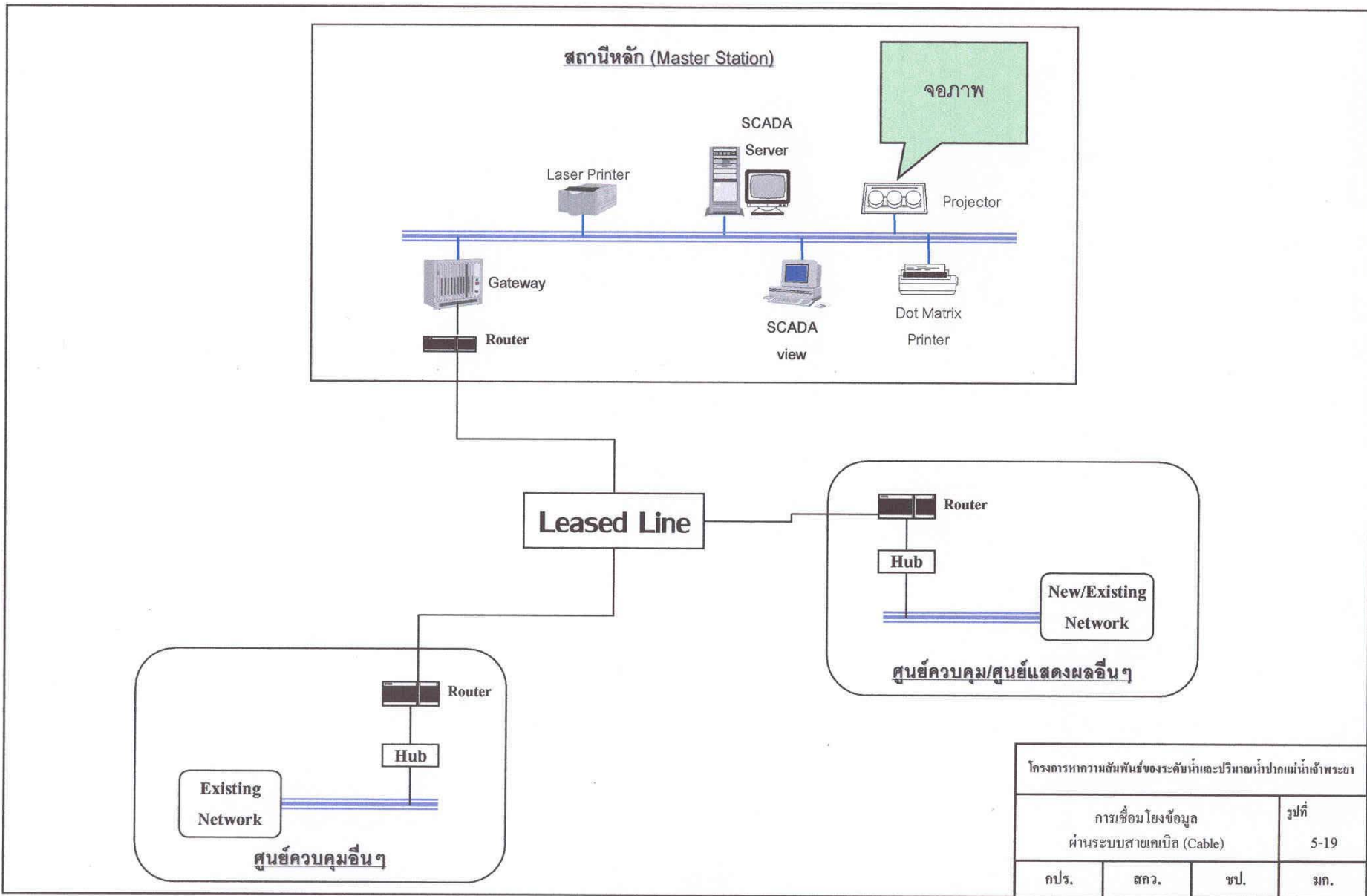
ระบบโทรศัพท์จะใช้ระบบโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีโมเด็มความเร็วสูงเชื่อมระหว่าง Gateway และสายโทรศัพท์ เมื่อต้องการจะรับส่งข้อมูล ศูนย์ควบคุมจะทำการต่อโทรศัพท์ผ่านโมเด็มไปยังศูนย์ควบคุมอีกแห่งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5-18 ข้อดีและข้อเสียของระบบโทรศัพท์มีดังนี้

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| 1. ค่าติดตั้งถูกและดำเนินการติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว 2. ค่าลงทุนด้านอุปกรณ์ต่ำ | 1. ไม่เหมาะกับการใช้งานแบบ ON-LINE ที่มีการส่งข้อมูลเกือบตลอดเวลา 2. อัตราการส่งข้อมูลไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับความสามารถของสายโทรศัพท์โดยทั่วไปจะอยู่ที่ความเร็วประมาณ 26-35 kbps 3. การซ่อมแซมแก้ไขขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่นไม่สามารถควบคุมเวลาได้ |

□ ระบบเคเบิล

ระบบเคเบิลจะใช้สายโทรศัพท์หรือสายเคเบิลเชื่อมโยงการสื่อสารข้อมูลตลอดเวลา โดยมี Router เป็นตัวเชื่อมระหว่าง Gateway ของศูนย์ควบคุมกับระบบเคเบิล ดังแสดงในรูปที่ 5-19 ข้อดีและข้อเสียของระบบเคเบิลมีดังนี้





| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. การดำเนินการติดตั้งทำได้ง่าย รวดเร็ว 2. เหมาะกับการใช้งานแบบ ON-LINE เพราะเป็นวงจรที่เชื่อมต่ออยู่ตลอดเวลา 3. อัตราการส่งข้อมูลมีความคงที่ประมาณ 64 kbps | <ol style="list-style-type: none"> 1. เสียค่าบริการค่อนข้างสูง 2. การซ่อมแซมแก้ไขขึ้นกับหน่วยงานอื่น ไม่สามารถควบคุมเวลาได้ |

2) ความเหมาะสมของระบบเชื่อมโยงข้อมูล

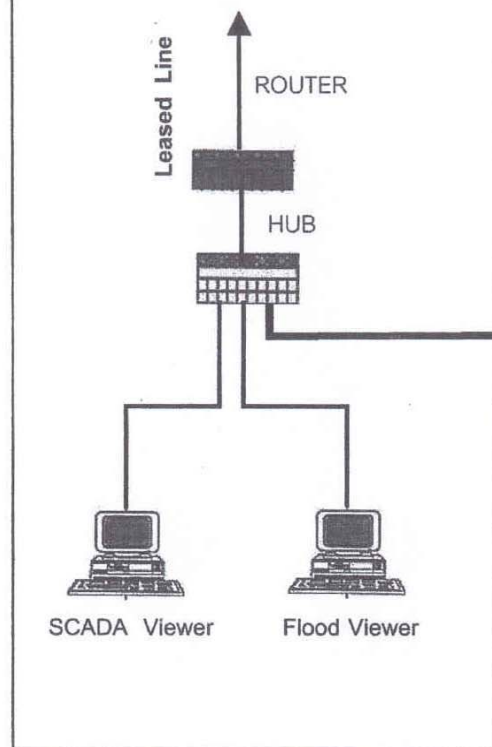
เมื่อพิจารณาถึงวัตถุประสงค์หลักของการเชื่อมโยงที่เป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งนอกจากข้อมูลระบบโทรมาตรที่ตรวจวัดได้แล้วยังรวมถึงข้อมูลผลการคาดการณ์ระดับน้ำและการบริหารจัดการน้ำท่วมตลอดจนข้อมูลการคาดการณ์ฝนด้วย ดังนั้นระบบที่ใช้จึงควรเป็นระบบที่เชื่อมต่อตลอดเวลา (ON-LINE) และมีอัตราการส่งข้อมูลสูง ซึ่งระบบที่เหมาะสม คือ ระบบเคเบิล (Cable)

3) ระบบเชื่อมโยงข้อมูลของโครงการ

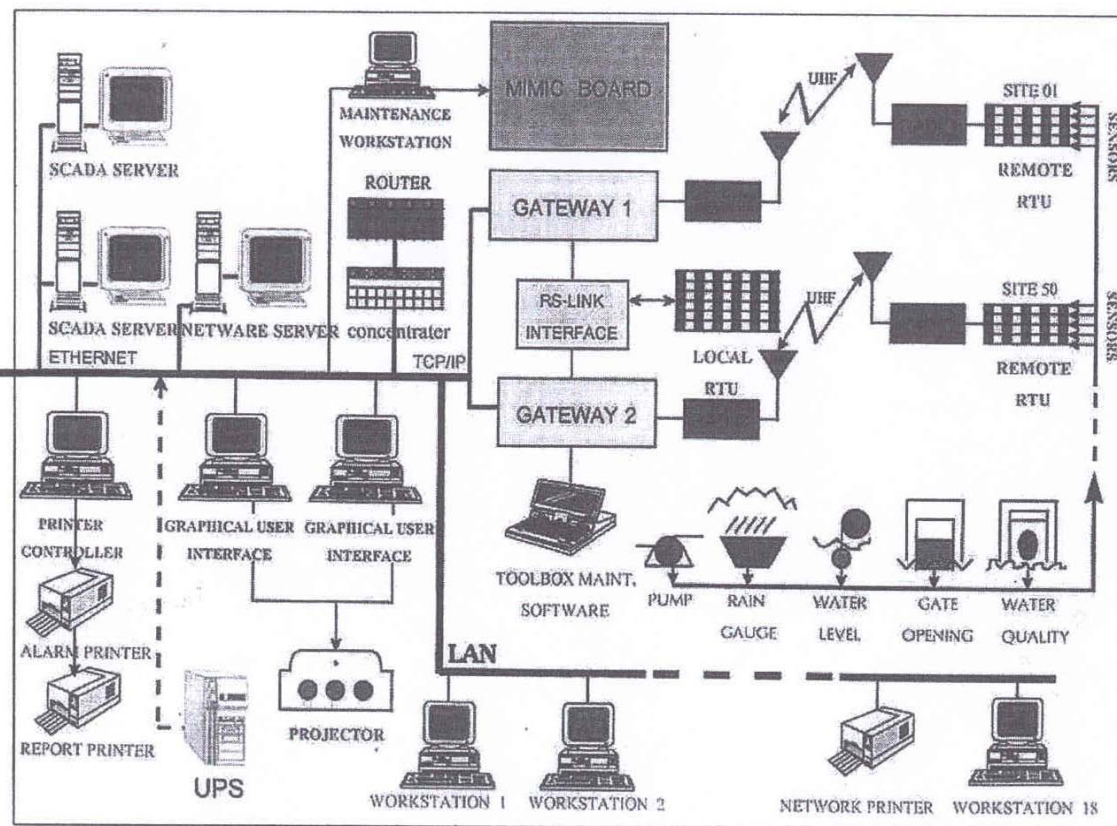
□ การเชื่อมต่อข้อมูลกับศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วม กรุงเทพมหานคร

จากโครงสร้างของศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วม กรุงเทพมหานคร พบว่าสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ (LAN) ได้โดยใช้ Router และ HUB ต่อเชื่อมกับระบบเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5-20 เมื่อเชื่อมต่อระบบแล้วส่วนที่สำคัญต่อมาคือ จะดึงข้อมูลจากจุดไหนในระบบ LAN ของ กทม. โดยมีจุดหรือตำแหน่งที่จะดึงข้อมูลได้ 2 ตำแหน่ง คือ ที่ GATEWAY และที่ Database ใน SCADA Server โดยที่ GATEWAY จะมีความยุ่งยากอยู่บ้างในการจัดการข้อมูลที่ดึงมาได้เนื่องจากเป็นข้อมูลดิบ เมื่อจะนำมาใช้งานจะต้องรู้รายละเอียดปลีกย่อยของระบบโทรมาตรของ กทม. อาทิเช่น Tag name, Tag sequence และความหมายของค่าต่าง ๆ ในขณะที่ถ้าดึงข้อมูลจาก Database จะได้ข้อมูลที่ผ่านระบบ SCADA Server แล้ว มีโครงสร้างที่ชัดเจน เข้าใจง่าย อย่างไรก็ตามจากการศึกษาระบบโทรมาตรของศูนย์ฯ กทม. พบว่า ข้อมูลที่จัดเก็บลง Database จะช้ากว่าที่ GATEWAY 15 นาที ทำให้ข้อมูลที่ Database ไม่เป็นข้อมูล ณ เวลาจริง ดังนั้นตำแหน่งที่เหมาะสมในการดึงข้อมูลจากศูนย์ฯ กทม. คือที่ GATEWAY

เชื่อมต่อกับระบบที่สถานีหลัก(กรมชลประทาน)



ระบบคาดการณ์น้ำท่วมที่ติดตั้งเพิ่ม



ระบบโทรมาตรปัจจุบันของศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร

โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำปกแม่น้ำเจ้าพระยา

การเชื่อมต่อระหว่างระบบของโครงการกับ
ศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร

รูปที่
5-20

กปร. สกว. ขป. มก.

□ การเชื่อมต่อข้อมูลกับศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วม จังหวัดสมุทรปราการ

จากโครงสร้างของศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วม จังหวัดสมุทรปราการ พบว่าสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ (Ethernet LAN) ของศูนย์ฯ ได้ โดยใช้ Router และ HUB ต่อเชื่อมกับระบบเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5-21

เนื่องจากระบบของศูนย์ฯ จังหวัดสมุทรปราการออกแบบไว้ว่า เมื่อรับข้อมูล ณ เวลาจริงมาแล้วให้เขียนลงในฐานข้อมูลเลย ทำให้ข้อมูลจาก 2 ตำแหน่งเหมือนกัน ดังนั้นตำแหน่งที่เหมาะสมในการดึงข้อมูลจากศูนย์ฯ จังหวัดสมุทรปราการ คือจากฐานข้อมูลเพราะจะได้ข้อมูลที่ง่ายต่อการจัดการมากกว่าข้อมูลที่ออกจาก Master PLC (ข้อมูล ณ เวลาจริง)

5.4 การออกแบบระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลาก

การออกแบบระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลากของโครงการจะพิจารณาจากเกณฑ์การออกแบบระบบคาดการณ์น้ำหลาก 3 เกณฑ์หลัก ดังนี้

- 1) เกณฑ์ความสามารถด้านการประมวลผล
- 2) เกณฑ์ความสามารถด้านการติดต่อกับผู้ใช้งาน
- 3) เกณฑ์ความสามารถด้านการเชื่อมต่อ

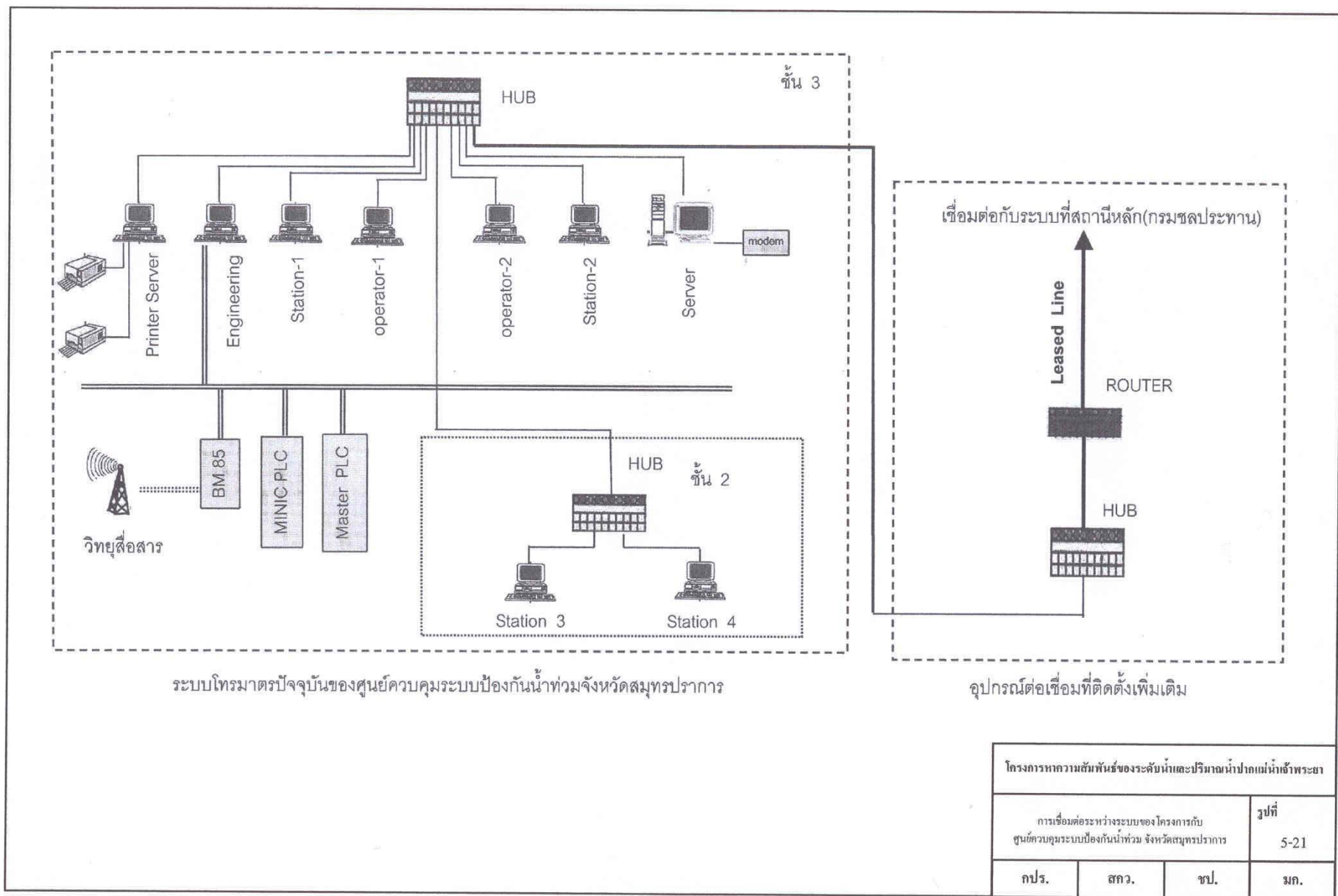
จากเกณฑ์ดังกล่าวซึ่งได้นำเสนอในบทที่ 4 ทำให้สามารถออกแบบระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลากของโครงการได้ดังต่อไปนี้

5.4.1 คุณลักษณะของระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลาก

□ คุณลักษณะเฉพาะด้านการประมวลผล

ความสามารถด้านการประมวลผลของระบบคาดการณ์และบริหารจัดการน้ำหลากของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างต้องประกอบด้วย คุณสมบัติอย่างน้อยดังต่อไปนี้

- 1) เป็นระบบที่สามารถเลือกนำแบบจำลองต่างๆ มาใช้ร่วมกันและทำงานประสานกันได้โดยอัตโนมัติ
- 2) มีส่วนการรวบรวมข้อมูลและพิจารณาคุณภาพของข้อมูล พร้อมทั้งทำการตัดข้อมูลที่ไม่มีคุณภาพออกโดยอัตโนมัติหรือแจ้งต่อผู้ควบคุมระบบ
- 3) แบบจำลองย่อยในระบบหรือความสามารถในการจำลองสภาพธรรมชาติควรประกอบด้วย



| โครงการหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำป่าแม่น้ำเจ้าพระยา | | | |
|--|------|-----|----------------|
| การเชื่อมต่อระหว่างระบบของโครงการกับศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วม จังหวัดสมุทรปราการ | | | รูปที่ 5-21 |
| กปร. | สทว. | ขป. | มก. |