

04

การพัฒนาต้นแบบระบบอ่านข้อมูลระยะไกล
เพื่อจัดทำเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับ
ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา

THE DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE SEMANTIC
SENSOR WEB SYSTEM FOR WATER QUALITY DATA
MANAGEMENT OF THE U-TAPAO RIVER

เกริกชัย ทองหนู^a พนาลี ชวักิดาการ^b ธีรดา ยงสทิศัคคี^c และสุพัตรา พุฒินาวรัตน์^{d,✉}

^aรองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

^bรองศาสตราจารย์ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

^cนักวิจัย สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

^dอาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Krerkchai Thongnoo^a, Panalee Chevakidagarn^b, Thirada Yongsatisak^c and Supattra Puttinaovarat^{d,✉}

^aAssociate Professor, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

^bAssociate Professor, Faculty of Environment Management, Prince of Songkla University

^cResearcher, GEO-Informatics Research Center for Natural Resource and Environment Southern Regional Center of Geo-Informatics and Space Technology, Prince of Songkla University

^dLecturer, Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University

✉supattra.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคและมาตรฐานในการสร้างระบบรวบรวมข้อมูลเชิงความหมายและพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ระยะ โดยบทความนี้เป็นการศึกษาวิจัยในระยะแรกได้ทำการศึกษาและเลือกเครื่องมือในการพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมาย พบว่า ระบบ SOS ของ 52°North มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาต้นแบบ การออกแบบต้นแบบสามารถทำได้ 4 รูปแบบขึ้นอยู่กับความพร้อมของระบบจ่ายไฟและการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตที่จุดติดตั้งเซนเซอร์ หนึ่งในรูปแบบดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้สร้างต้นแบบระบบวัดระดับน้ำในคลองอู่ตะเภา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เพื่อเก็บข้อมูลระดับน้ำสำหรับพัฒนาระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายต่อไป

คำสำคัญ : ทะเลสาบสงขลา เซนเซอร์เว็บเชิงความหมาย ต้นแบบระบบรวบรวมข้อมูล

ABSTRACT

The objectives of this research were to study the techniques and standards in the development of a semantic data acquisition system and to develop a prototype semantic sensor web system for environmental data management in the Songkhla Lake Basin. This research was divided into 3 phases; this paper presents the first phase. In this phase, the design tools for the prototype development were studied, and the tools were then selected. It was found that the SOS from 52°North was suitable for prototype development. Depending on the availability of power sources and the Internet connection at the sensor installation sites, the prototype designs can be categorized into four types. One type of the design was used to implement the water level monitoring system for Klong U-Tapao, Hat Yai, Songkhla province, and to collect water level data for further development of a semantic sensor web.

Keywords : Songkhla Lake Basin, Semantic sensor web, Data acquisition system

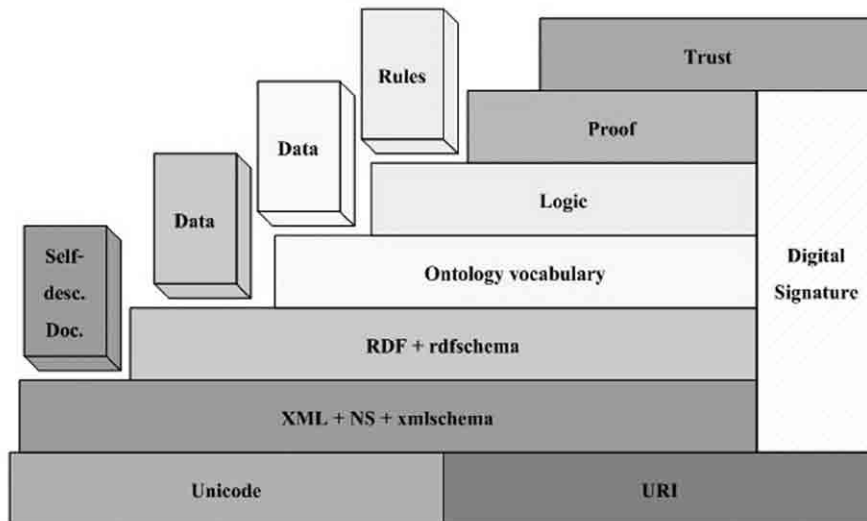


บทนำ

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ตั้งอยู่ในพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ สงขลา พัทลุงและนครศรีธรรมราช เป็นทะเลสาบที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว คือ มีน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม อุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรสัตว์น้ำ และมีความหลากหลายทางชีวภาพสูงทั้งยังมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของประชาชนที่อาศัยในบริเวณแถบ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและบริเวณใกล้เคียง ปัจจุบันมีแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (Prince of Songkla University, Faculty of Environmental Management, 2012) เพื่อใช้เป็นกรอบในการจัดการ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาให้คืนสภาพความอุดมสมบูรณ์มากที่สุด เกิดความสมดุลระหว่างการพัฒนาและการอนุรักษ์ทรัพยากรในพื้นที่และใช้เป็นฐานในการพัฒนา คุณภาพชีวิตของประชาชนได้อย่างยั่งยืน

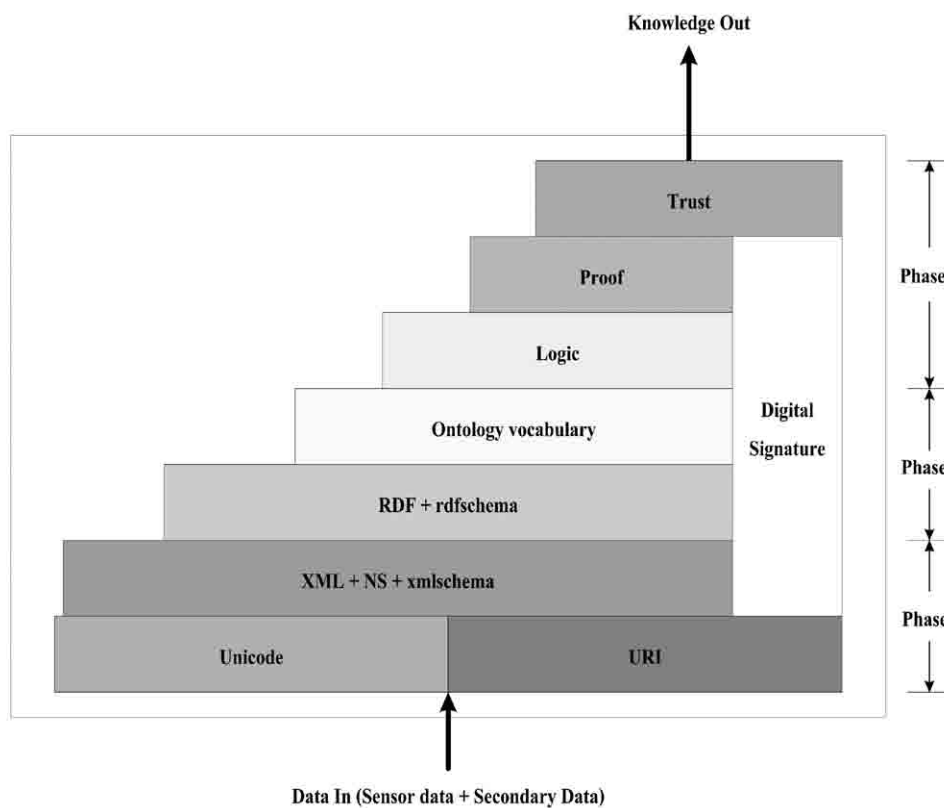
จากแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในยุทธศาสตร์ที่ 5 เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพ การบริหารจัดการลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2012) เพื่อให้การบริหารจัดการลุ่มน้ำเกิดประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทั้งอดีตและปัจจุบัน เพื่อประกอบการตัดสินใจในการขับเคลื่อนนโยบาย โดยข้อมูลดังกล่าวมาจาก 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ข้อมูล จากสถานีวัดที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล นอกจากนี้แหล่ง ข้อมูลดังกล่าวแล้ว มีการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อเก็บข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่ง ปัจจุบันพบว่า การติดตั้งเซนเซอร์วัดข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีอัตราการเพิ่ม ขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดข้อมูลปริมาณมหาศาล (Information Overload) จากเซนเซอร์ต่างๆ ซึ่งบาง ครั้งเมื่อต้องการค้นหาหรือใช้ข้อมูลแล้ว ข้อมูลที่ได้ไม่ตรงตามความต้องการหรือตามความหมายของผู้ ใช้รวมถึงการนำข้อมูลไปใช้ให้เกิดประโยชน์จริงอยู่ในระดับที่ไม่น่าพึงพอใจ สาเหตุหลักประเด็นหนึ่ง คือ การขาดแคลนซึ่งความหมายที่พึงมีของข้อมูลดิบ ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลที่มีอยู่ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือใช้ได้อย่างถูกต้องกับบริบท ทั้งนี้เนื่องจากการไม่มีการกำหนดรูปแบบข้อมูล (ข้อมูลตำแหน่งจุดตรวจวัดมีการ บันทึกรูปแบบหลายรูปแบบ เช่น คลองอู่ตะเภา, อู่ตะเภา เป็นต้น) ไม่มีการจัดหมวดหมู่ข้อมูลทำให้ยากในการนำ ข้อมูลไปใช้งานด้วยเหตุนี้ทำให้การรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งแนวทาง ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา คือ การกำหนดมาตรฐานข้อมูลที่วัดให้สื่อความหมายเข้าใจได้ทั้งมนุษย์และ เครื่องคอมพิวเตอร์ แนวคิดของเว็บเชิงความหมาย (Semantic Web) จึงถูกนำเข้ามาใช้จัดระเบียบของ ข้อมูลมหาศาลเหล่านี้ให้เป็นหมวดหมู่มากขึ้น เพื่อแยกการนำข้อมูลมาใช้ ซึ่งการเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ ในรูปของหมวดหมู่ประเภทเดียวกันโดยอ้างถึงความหมายผ่านเว็บเชิงความหมาย ทำให้การสืบค้นข้อมูล ของผู้ใช้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เซนเซอร์เว็บเชิงความหมายเป็นแนวความคิดสำหรับช่วยให้ผู้ใช้สามารถค้นหาหรือใช้ข้อมูลได้ อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและสามารถสร้างความสัมพันธ์ให้กับข้อมูลที่มาจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่าง กัน ทำให้สามารถเลือกข้อมูลตรงตามความต้องการของผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้สามารถแก้ไข ปัญหา ข้อมูลที่เกินความจำเป็นและข้อมูลที่มีความซ้ำซ้อนกันได้ ดังนั้นผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนา ต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบ สงขลา โดยใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายเพื่อจัดทำต้นแบบระบบรวบรวมและติดตามข้อมูล สภาวะแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เนื่องจากเว็บเชิงความหมายใช้รูปแบบเชิงโครงสร้างในการ เก็บข้อมูลที่ทั้งมนุษย์และเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ ภาพรวมของเว็บเชิงความหมายประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ซ้อนกัน (ภาพที่ 1) เมื่อนำเข้าข้อมูลสู่ระบบ โดยเริ่มที่ชั้น Unicode และ URI จากนั้นข้อมูล จะผ่านกระบวนการต่าง ๆ ของแต่ละชั้นข้อมูล สุดท้ายองค์ความรู้ที่ต้องการจะถูกนำออกจากชั้นของความ เชื่อมั่น (Trust) เพื่อใช้ในการตัดสินใจต่อไป



ภาพที่ 1 ภาพรวมของเว็บเชิงความหมาย (World Wide Web Consortium, 2001)

งานวิจัยนี้แบ่งกรอบเวลาออกเป็น 3 เฟส (ภาพที่ 2) ได้แก่ เฟสที่ 1 มุ่งเน้นการศึกษาในส่วนของการนำเข้าข้อมูล ชั้น Unicode และ URI เฟสที่ 2 มุ่งเน้นที่ชั้น RDF และ Ontology ส่วนเฟสที่ 3 มุ่งเน้นที่ชั้น Logic, Proof และ Trust เมื่อสิ้นสุดเฟสที่ 3 ระบบเก็บรวบรวมข้อมูลมีความพร้อมสำหรับการเก็บและสืบค้นข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการทะเลสาบสงขลาซึ่งหน่วยงานทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาวิจัยและการบริหารจัดการลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาต่อไป



ภาพที่ 2 กรอบเวลาการศึกษาวิจัย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิคและมาตรฐานในการสร้างระบบรวบรวมข้อมูลเชิงความหมายจากกลุ่มวิจัยและองค์กรต่างๆ
2. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาเทคนิคและมาตรฐานในการสร้างระบบรวบรวมข้อมูลเชิงความหมายจากกลุ่มวิจัยและองค์กรต่างๆ
 2. พัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยใช้ฐานข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่จัดเก็บไว้แล้ว ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณและคุณภาพน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลสภาพอากาศและข้อมูลเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายดาวเทียม
 3. แสดงผลการสืบค้นข้อมูลจากระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายใน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบเชิงพื้นที่ รูปแบบเชิงเวลาและรูปแบบเฉพาะเรื่องที่สนใจ
- บทความนี้เสนอผลการวิจัยในระยะแรกโดยเป็นการศึกษาและเลือกเครื่องมือในการพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายซึ่งครอบคลุมเฉพาะขอบเขตการวิจัย 1 และ 2 เท่านั้น

การตรวจเอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยภัทร เนื่องคำมา และไพศาล สันติธรรมนนท์ (Nengcomma & Santitamnont, 2008a; 2008b) นำเสนอการพัฒนาระบบที่สามารถตรวจวัดตลอดจนเพิ่มความสามารถในการเชื่อมโยงระบบตรวจวัดต่างๆ ด้วยระบบเว็บท่า (Web Portal) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการเข้าถึงข้อมูลจากระบบตรวจวัดหลายกลุ่มโดยเว็บท่ารองรับการทำงานและการเชื่อมโยงระบบเครือข่ายตรวจวัดทุกชนิดบนโปรโตคอลมาตรฐาน Sensor Web Enable ผ่าน Sensor-agent adaptor นอกจากนี้ยังนำเสนอเกี่ยวกับการสาธิตระบบบริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ (Geospatial Web Service) มาประยุกต์ใช้กับระบบแผนที่ทางเดินเท้าที่เน้นไปที่การแลกเปลี่ยนข้อมูลภูมิสารสนเทศระหว่างระบบผ่านโปรโตคอลมาตรฐานของ Open Geospatial Consortium (OGC) เพื่อแสดงให้เห็นถึงกลไกการทำงานร่วมกันระหว่างระบบ

พินิจ เชื้อนสุวรรณ และคณะ (Kuensuwong et al., 2012) นำเสนอระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม เพื่อเสริมศักยภาพด้านการผลิตทางการเกษตรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP430 เป็นตัวประมวลผลร่วมกับไอซี CC2520 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับส่งข้อมูลไร้สาย ซึ่งทดลองใช้ระบบในการผลิตกาแฟ ณ โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) ระบบสามารถวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นและความเข้มแสงได้ มีการเชื่อมต่อโครงข่ายอุปกรณ์ตรวจวัดผ่านเครือข่ายไร้สาย ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกจากการตรวจวัดไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเลือกรูปแบบการบันทึกค่าที่วัดได้จากฐานข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่ Text, PDF และ Excel

ผลงานของเลห์นิงและคณะ (Lehning, et al., 2009) แสดงให้เห็นถึงความท้าทายหลายเรื่องในศาสตร์ทางด้านสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างของงานที่ได้ดำเนินการไปแล้วเช่นโครงการ Swiss Experiment and SenseWeb ซึ่งเป็นการบูรณาการโครงสร้างข้อมูลของสภาวะแวดล้อมที่ทันสมัยสำหรับการศึกษา

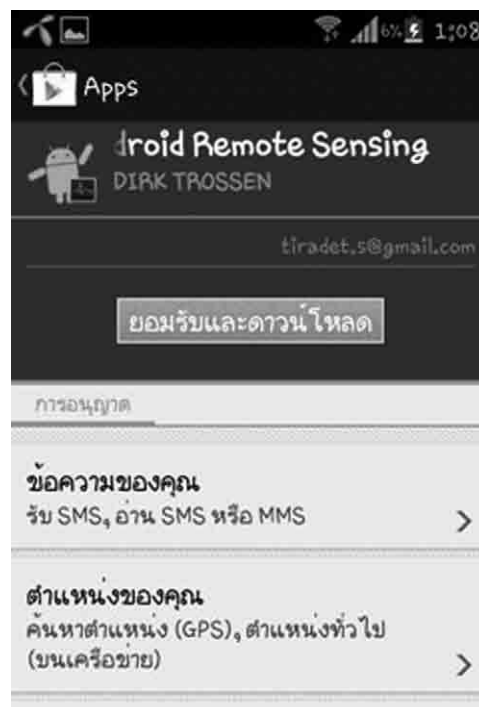
วิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของเทคโนโลยีที่เข้ามาเสริม เช่น เทคโนโลยีของเซนเซอร์เป็นต้น ความก้าวหน้าต่างๆ ทางด้านการตรวจวัดเหล่านี้ทำให้เชื่อมั่นได้ว่า ความฝันที่นักวิทยาศาสตร์ ภาครัฐ และภาคประชาชนจะมีความรู้ความเข้าใจสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นและนำไปสู่การมีชีวิตที่ดีขึ้นและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

มิเชลและคณะ (Michel et al., 2009) นำเสนอระบบเครือข่ายเซนเซอร์ซึ่งหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลและนำเสนอข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน ระบบหลักประกอบด้วย เครือข่ายเซนเซอร์ที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการศึกษา โปรแกรม SensorMap ของบริษัทไมโครซอฟท์และโปรแกรมที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อโปรแกรม SensorMap เข้ากับเครือข่ายเซนเซอร์ที่ต้องการศึกษา ระบบดังกล่าวสามารถรองรับผู้ใช้งานให้เข้ามามีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังและตรวจสอบข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่เก็บไว้ในระบบซึ่งถูกนำเสนอในรูปแบบของแผนภาพคอนทัวร์ (Contour Plots) บนแผนที่ดิจิทัลความละเอียดสูง นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถเรียกดูข้อมูลในอดีตเพื่อหาความเกี่ยวข้องของข้อมูลได้อีกด้วย

กูรูและคณะ (Guru et al., 2008) นำเสนอระบบเฝ้าระวังและพยากรณ์ทางด้านอุทกวิทยา และการบริหารจัดการน้ำ โดยจัดทำเป็นโครงการนำร่อง ระบบนี้ใช้เทคโนโลยี Sensor Web มาใช้ที่ลุ่มน้ำ Esk River ทางตะวันออกเฉียงเหนือของรัฐ Tasmania ในประเทศออสเตรเลีย โครงการนำร่องดังกล่าวทำให้คณะผู้ดำเนินโครงการสามารถประเมินความเหมาะสมในการนำเอามาตรฐาน Sensor Web Enablement (SWE) ที่กำหนดโดย Open Geospatial Consortium มาใช้งานในการบริหารจัดการน้ำ ระบบต้นแบบที่จัดทำขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์การไหลของน้ำในแม่น้ำในช่วงเวลาสั้นๆ

สเคดและคณะ (Schade et al., 2013) เสนอแนวคิดโดยใช้ประชาชนเป็นเสมือนเซนเซอร์สำหรับการรวบรวมสารสนเทศโดยอาศัยความก้าวหน้าของเว็บ 2.0 และ Sensor Web Enablement คณะผู้วิจัยมุ่งเน้นให้ประชาชนเฝ้าระวังสถานะแวดล้อมในภาพรวมและประมวลผลเบื้องต้นเฉพาะบริเวณที่เฝ้าระวังสารสนเทศดังกล่าว โดยทั่วไปไม่สามารถรวบรวมได้โดยเซนเซอร์ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ร่วมกับวิธีการทางด้านการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ที่มีอยู่แล้วได้เป็นอย่างดีและสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้อมูลเดิมที่มีอยู่แล้วได้ด้วย

ระบบ AIRS (Android Remote Sensing: AIRS) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีความสามารถในการตรวจวัด และเก็บบันทึกค่าของข้อมูลจาก Smartphone ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ตั้งแต่เวอร์ชัน 2.2 เป็นต้นไป โดยบันทึกค่าของข้อมูลผ่านอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในตัว Smartphone ผู้ใช้งานสามารถเก็บบันทึกค่าของข้อมูลในสถานการณ์ต่างๆ ได้ ได้แก่ พิกัดที่ตั้ง สภาพอากาศ (อุณหภูมิ, ความชื้น) สภาพเสียง (ระดับความดัง, ความถี่, เสียงรบกวน) สภาพลม (ความแรงของลม) เป็นต้น นอกจากนี้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก โดยผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สาย ได้แก่ การวัดคลื่นหัวใจ การวัดความดันของร่างกาย การวัดจังหวะการเต้นของชีพจร เป็นต้น ข้อมูลที่บันทึกไว้นี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และใช้ประโยชน์ในอนาคตได้สำหรับการเก็บข้อมูลนั้น ผู้ใช้งานสามารถเลือกการเก็บบันทึกข้อมูลได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบ Local และแบบ Remote (Google Inc, 2012) ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลด (ภาพที่ 3) และติดตั้ง AIRS บน Android Smart Phone (ภาพที่ 4)ได้จาก Google Play Store โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ



ภาพที่ 3 การดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน AIRS จาก Google Play Store

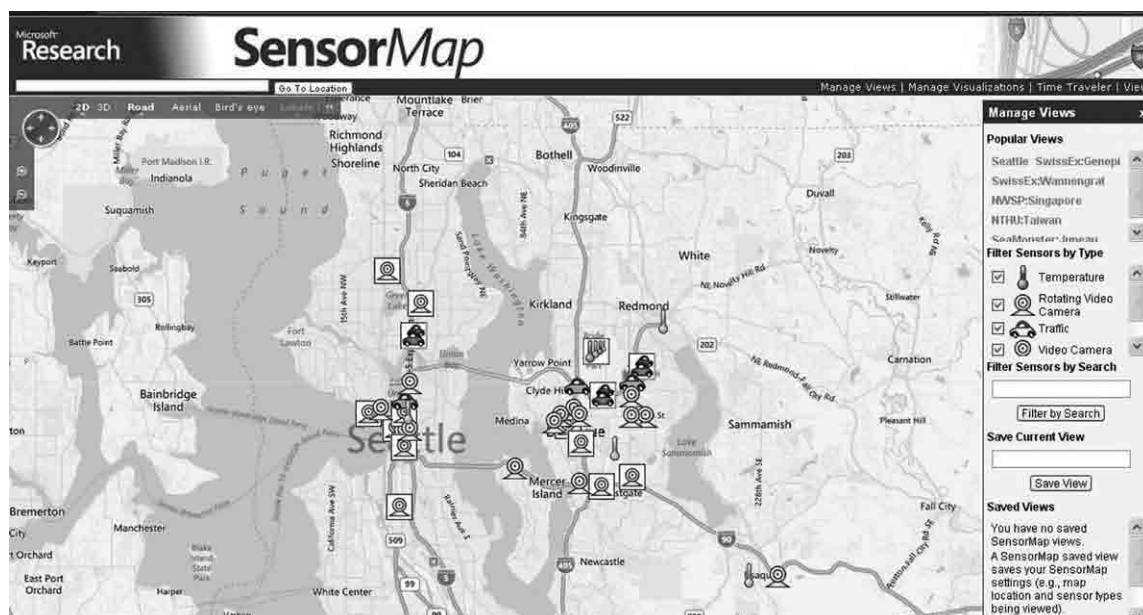


ภาพที่ 4 การติดตั้งโปรแกรม AIRS ใน Google Play Store

ระบบ Mango เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส แบบ Machine-to-Machine (M2M) ที่สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องหรืออุปกรณ์ เช่น จากเซนเซอร์ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือซอฟต์แวร์ที่ทำงานอยู่บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ โดยหลักการทำงานของระบบ M2M คือ จะมีอุปกรณ์ที่เป็นตัววัด คือ เซนเซอร์ทำหน้าที่วัดค่าต่าง ๆ เช่น ระดับน้ำ และส่งข้อมูลค่าที่วัดได้ผ่านเครือข่ายไปยังแอปพลิเคชันที่ทำหน้าที่ตีความหมายข้อมูลดิบให้สามารถนำไปใช้ตัดสินใจได้ ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว และตอบสนองเหตุการณ์ได้อย่างทันเวลา (Infinite Automation System Inc, 2012) Mango ทำงานบนเซิร์ฟเวอร์เป็นหลัก ซึ่งโปรแกรมพัฒนาโดยใช้ภาษา Ajax เพื่อให้ผู้ใช้สามารถควบคุมเซนเซอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายๆ อุปกรณ์พร้อมกันได้ การดาวน์โหลดและติดตั้งสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่เผยแพร่ให้ใช้ฟรี สามารถติดตั้งบนแพลตฟอร์มที่หลากหลาย และสามารถจัดการการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้ มีระบบ Login และระบบแจ้งเตือน สามารถรับข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ผ่านโปรโตคอลที่สนับสนุน ได้แก่ BACnet I/P, Modbus (ASCII, RTU, TCP, and UDP), 1-wire, SNMP, SQL, HTTP, POP3, NMEA 0183 และโปรโตคอลอื่นๆ ที่พัฒนาโดยผู้ผลิตฮาร์ดแวร์เพื่อเชื่อมต่อกับ Mango (Infinite Automation System Inc, 2012)

นอกจากนี้โปรแกรม Mango ยังรองรับการใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบหรือเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ อีกด้วย สามารถดาวน์โหลดโปรแกรม Mango ได้ที่ URL ของเว็บไซต์ Mango (<http://mango.serotoninsoftware.com/home.jsp>)

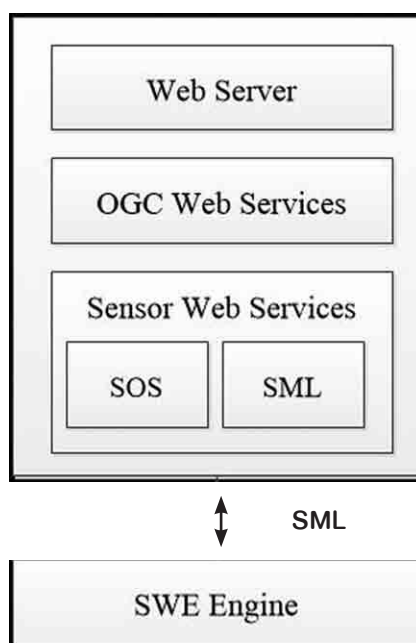
ระบบ SensorMap เป็นแอปพลิเคชันหนึ่ง que แสดงผลข้อมูลเซนเซอร์บนแผนที่และมีเครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลเซนเซอร์เพื่อแสดงค่าข้อมูลเซนเซอร์ในรูปแบบที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่ง SensorMap สามารถพัฒนาได้จากหลายภาษาแต่ยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนในการพัฒนา โดยในปี พ.ศ.2553 ถึงปี พ.ศ. 2555 บริษัท Microsoft ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำ SensorMap มาใช้ในการรวบรวมข้อมูลเซนเซอร์ในหลายพื้นที่แล้วนำข้อมูลมาแสดงผลโดยจำแนกตามประเภทของเซนเซอร์ (ภาพที่ 5) งานวิจัยชิ้นนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาให้แก่ผู้ที่สนใจได้ (Microsoft Inc, 2010)



ภาพที่ 5 งานวิจัย Sensor Map ของ Microsoft (Microsoft Inc, 2010)

โปรแกรม 52°North เป็นเว็บเซอร์วิสที่ทำงานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อให้บริการเชื่อมโยงข้อมูลเครื่องตรวจวัด ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ตอบสนองการร้องขอและคืนค่าการร้องขอจากการดำเนินการตามแนวความคิดของมาตรฐาน SOS ของ Sensor Web Enablement โดยทำงานบนฝั่งของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ แล้วเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลที่สามารถตอบสนองในการจัดเก็บ สืบค้น และแสดงข้อมูลในเชิงพื้นที่ได้ (University of Muenster, Institute for Geoinformatics, 2012)

ระบบ SOS เป็นโปรโตคอลที่ทำงานอยู่ในกระบวนการ Service ของ Sensor Web นำไปใช้เพื่อการจัดการการใช้งานเครื่องตรวจวัดและข้อมูลเครื่องตรวจวัดที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ของระบบเครื่องตรวจวัดประเภทต่างๆ ที่มีข้อมูลเชิงพื้นที่กำกับ โดย SOS เป็นหนึ่งในมาตรฐาน OGC ในหมวด Sensor Web Enablement แสดงดังภาพที่ 6 ประกอบด้วยกระบวนการในการทำงานของระบบ ดังนี้ (Intakul, 2011)



ภาพที่ 6 สถาปัตยกรรมของระบบ (adapted from Intakul, 2011)

1. SWE (Sensor Web Enablement) เป็นกรอบความคิดที่พัฒนาขึ้นเพื่อเชื่อมโยงโครงข่ายของอุปกรณ์ตรวจวัด ให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและทำงานร่วมกันผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ด้วย Web Service Technology กรอบความคิดนี้ครอบคลุมมาตรฐานการทำงานร่วมกันของ OGC, OASIS, IEEE และ ISO

2. OGC (Open Geospatial Consortium) นำกรอบความคิดของ SWE มาพัฒนาเป็นชุดโปรโตคอลที่แบ่งการทำงานออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Services Protocol และ Data Encoding Protocol

3. โปรโตคอล Sensor Model Language (SML) เป็นมาตรฐานที่กำหนดแนวคิดโครงสร้างและการเข้ารหัสข้อมูลที่เป็นมาตรฐานสำหรับข้อมูลรายละเอียดและคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัดเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นหนึ่งในมาตรฐาน OGC ในหมวด Sensor

Web Enablement โดย SML สนับสนุนการค้นหาเครื่องตรวจวัด โดยการระบุตัวตนของเครื่องตรวจวัด ให้เป็นที่รู้จักและสามารถสืบค้นได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยถูกออกแบบมาเพื่ออธิบายข้อมูลของเครื่องตรวจวัดและระบบเครื่องตรวจวัดสามารถจัดกลุ่มและคัดกรองโดยใช้กฎเกณฑ์เฉพาะ เช่น เวลา ตำแหน่ง เป็นต้น วัตถุประสงค์ของโปรโตคอลนี้ ได้แก่ จัดให้ข้อมูลทั่วไปสนับสนุนการค้นหาข้อมูล สนับสนุนกระบวนการและการวิเคราะห์การตรวจวัดของเครื่องตรวจวัด สนับสนุนการระบุตำแหน่งในโลกจริง (Geolocation) ของเครื่องตรวจวัดและการตรวจวัดข้อมูล อธิบายคุณลักษณะและสมรรถภาพของเครื่องตรวจวัด และจัดเก็บข้อมูลคุณสมบัติพื้นฐานของเครื่องตรวจวัด

4. โปรโตคอล Sensor Observation Service (SOS) เป็นมาตรฐานที่ให้บริการการเชื่อมต่อ เพื่อจัดการข้อมูลเครื่องตรวจวัดและการร้องขอข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจวัด โดยเฉพาะข้อมูลการสังเกตการณ์ปรากฏการณ์ต่างๆ จากเครื่องตรวจวัดหลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นเครื่องตรวจวัดที่ตั้งอยู่ในสถานที่ที่ต้องการตรวจวัด เช่น เครื่องตรวจวัดปริมาณน้ำฝน เครื่องตรวจวัดระยะไกล (ดาวเทียมด้านอุตุนิยมวิทยา) เครื่องตรวจวัดประเภทเคลื่อนที่ (รถตรวจมลพิษเคลื่อนที่) หรือ เครื่องตรวจวัดที่ตั้งอยู่กับที่ (สถานีตรวจวัดอากาศภาคพื้นดิน) สำหรับโปรโตคอล SOS ที่ใช้ในการศึกษานี้ใช้เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลเครื่องตรวจวัดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยมีการทำงานที่จำเป็น เช่น การร้องขอข้อมูลรายละเอียดเครื่องตรวจวัด ข้อมูลการตรวจวัด การลงทะเบียนเครื่องตรวจวัดใหม่ การนำเข้าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด เป็นต้น SOS ใช้ Sensor Model Language ในการทำงานเพื่อส่งผ่านข้อมูลที่กล่าวข้างต้นโดยจัดส่งเป็นเอกสาร XML ผ่านโปรโตคอล HTTP ที่ใช้งานบนเว็บเบราว์เซอร์

5. การทำงานร่วมกันระหว่าง SML และ SOS เนื่องจาก SOS และ SML ต่างเป็นโปรโตคอลหนึ่งในมาตรฐาน OGC ในหมวด Sensor Web Enablement ซึ่งทำงานร่วมกันในรูปแบบต้นทางและปลายทาง โดย SOS เปรียบเสมือนเป็นโปรโตคอลปลายทางที่เป็นตัวเชื่อมโยงข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดต่างๆ เพื่อสามารถจัดการและร้องขอข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดที่สามารถระบุลักษณะเฉพาะของเครื่องตรวจวัดแต่ละตัวได้ โดยผ่านโปรโตคอล SML ที่ทำหน้าที่ระบุข้อมูลรายละเอียดและคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัด และจัดกลุ่มของลักษณะเครื่องตรวจวัดโดยใช้กฎเกณฑ์เฉพาะ เพื่อสามารถสืบค้นได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

การออกแบบระบบเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาเทคโนโลยีของเว็บเชิงความหมายและมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมและสาขาที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาทำให้ได้เรียนรู้และเห็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับการบริหารจัดการลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา นั้น เพื่อให้ระบบมีความยั่งยืนและสามารถดูแลได้โดยใช้ต้นทุนในการบำรุงรักษาไม่สูงจนเกินไป ในการออกแบบระบบจำเป็นต้องพิจารณาให้รอบคอบ ทั้งในเรื่องของเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ขอบเขตของการพัฒนาให้สอดคล้องกับมาตรฐาน รวมถึงความสอดคล้องกับความต้องการในการบริหารจัดการลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ปัจจัยในการพิจารณาดังกล่าวจะมีผลอย่างมากต่อความสำเร็จในภาพรวมของระบบเก็บรวบรวมข้อมูลต้นแบบ

การเลือกใช้เครื่องมือในการพัฒนาระบบ

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้เครื่องมือในการพัฒนาระบบ

การเลือกใช้เครื่องมือในการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความยั่งยืนของระบบ เกณฑ์ทั่วไปในการเลือกใช้เครื่องมือใกล้เคียงกับเกณฑ์ในการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ โดยเกณฑ์หลักๆ ในการเลือกใช้เครื่องมือมีดังนี้

1. ความทันสมัยของเครื่องมือ เป็นเกณฑ์สำคัญที่บ่งบอกถึงความพร้อมของระบบที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี ความทันสมัยของเครื่องมือในการพัฒนาระบบ สามารถตรวจสอบได้จากวันที่เปิดตัวเครื่องมือต่างๆ สิ่งที่ต้องพึงระวัง คือ ต้องตรวจสอบว่าการเปิดตัวเครื่องมือดังกล่าวนั้น เป็นการเพิ่มคุณลักษณะพึงประสงค์หรือเป็นเพียงการแก้ปัญหาของซอฟต์แวร์ ถ้าเป็นกรณีหลังจะไม่ได้รับการพิจารณาถึงความทันสมัย

2. จำนวนของนักพัฒนา เนื่องจากมีเครื่องมือในการพัฒนาระบบที่ดีเป็นจำนวนมากที่มีจำนวนนักพัฒนาไม่เพียงพอต่อการพัฒนา ทำให้เครื่องมือดังกล่าวต้องหยุดการพัฒนา แนวทางที่ถือได้ว่าเป็นแนวปฏิบัติที่เป็นเลิศสำหรับการพัฒนาเครื่องมือ คือ การใช้ชุมชนในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตร่วมมือกันพัฒนา ดูแล และประยุกต์ เครื่องมือที่พัฒนาในเชิงธุรกิจมีทั้งข้อเด่นและข้อด้อยที่พึงระวัง ข้อเด่น คือ ความเข้ากันได้ของเครื่องมือย่อยๆ เนื่องจากการพัฒนาส่วนใหญ่พัฒนาขึ้นภายใต้การควบคุมของหน่วยงานเดียว ทำให้การบริหารจัดการสามารถทำได้ง่ายกว่า ข้อด้อย คือ ความเสี่ยงที่เครื่องมือจะไม่ได้รับการดูแล เมื่อเครื่องมือดังกล่าวให้ผลไม่คุ้มค่าทางธุรกิจต่อบริษัทผู้พัฒนา นำมาซึ่งการหยุดพัฒนาหรือขายต่อให้กับบริษัทอื่น บ่อยครั้งที่ผู้เข้ามาซื้อเป็นบริษัทคู่แข่งและเป็นการซื้อเพื่อกำจัดผลิตภัณฑ์คู่แข่งนั้น

3. จำนวนของผู้ใช้ระบบที่มีกลุ่มผู้ใช้งานมากมีแนวโน้มที่ระบบจะได้รับการดูแลและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จำนวนของผู้ใช้จึงสามารถบ่งบอกได้ถึงความยั่งยืนของระบบนั้นๆ จำนวนผู้ใช้ระบบที่แท้จริงของระบบที่ไม่ใช่ระบบเชิงการค้า อาจจะหาตัวเลขที่ถูกต้องแน่นอนค่อนข้างยาก วิธีการที่สามารถใช้บ่งชี้จำนวนผู้ใช้ในระบบอาจหาได้ในรูปแบบของการประชุมสัมมนาประจำปีของกลุ่มผู้ใช้งาน รายชื่อของผู้ใช้งานที่ลงทะเบียนเว็บไซต์ของการนำไปใช้งาน ผลงานการเผยแพร่ในรูปแบบของการตีพิมพ์ และในกระดานสนทนา เป็นต้น

4. โปรแกรมฐานข้อมูลที่รองรับ เนื่องจากระบบเก็บรวบรวมข้อมูลต้องอาศัยโปรแกรมฐานข้อมูลในการเก็บข้อมูล โปรแกรมฐานข้อมูลที่ใช้ควบคู่กับระบบเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญข้อหนึ่งในการพิจารณา นอกเหนือจากข้อพิจารณาพื้นฐาน เช่น ประสิทธิภาพ ความปลอดภัยของข้อมูล ราคา และต้องคำนึงถึงความยากง่ายของการนำเอาข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ในฐานข้อมูลไปใช้งานด้วย โปรแกรมฐานข้อมูลส่วนใหญ่จะอนุญาตให้ผู้นำเข้าและส่งออกข้อมูลในระบบ การอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อเข้าถึงข้อมูลได้โดยตรงนับได้ว่าเป็นสิ่งพึงประสงค์สำหรับการใช้งานข้อมูลที่เก็บสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลไว้ในเชิงลึก

5. มาตรฐานที่รองรับ เนื่องจากระบบเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยโปรแกรมหลายๆ ส่วนทำงานร่วมกัน ความสามารถในการทำงานร่วมกันได้เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา รูปแบบของการเชื่อมต่อเพื่อทำงานร่วมกัน อาจจะใช้รูปแบบเฉพาะหรือใช้รูปแบบที่กำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานโดยมีหน่วยงานรองรับการเชื่อมต่อเพื่อทำงานร่วมกันแบบเฉพาะมีข้อได้เปรียบในเรื่องของความเร็วในการทำงานและความเป็นอิสระในการปรับเปลี่ยนรูปแบบ ข้อดีของระบบการเชื่อมต่อเพื่อทำงานร่วมกันแบบมาตรฐาน คือ การให้ความมั่นใจในเรื่องความเข้ากันได้ของข้อมูลจากหลายๆ ส่วนทั้งจากภายในและภายนอกระบบ

6. รูปแบบของใบอนุญาตการใช้ซอฟต์แวร์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายของระบบในระยะยาว รูปแบบใบอนุญาตอาจจะเป็นแบบใบอนุญาตตลอดอายุของผลิตภัณฑ์ ใบอนุญาตรายปี ใบอนุญาตแบบไม่มีค่าใช้จ่าย เป็นต้น

7. เครื่องมือในการพัฒนา เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสนองตอบความต้องการของผู้ใช้ระบบโดยตรง เนื่องจากซอฟต์แวร์ที่มีอยู่อาจถูกปรับแต่งเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ให้มากที่สุด การปรับแต่งอาจอยู่ในรูปแบบของการเพิ่มชิ้นส่วนซอฟต์แวร์ การลดชิ้นส่วนซอฟต์แวร์ หรือการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม ในกรณีที่มีการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมจำเป็นต้องพิจารณาถึงเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมรวมถึงภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ด้วย

ผลการเลือกเครื่องมือในการพัฒนาระบบ

ในการเลือกเครื่องมือในการพัฒนาระบบทำได้โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือ 2 ชุดได้แก่ SensorMap (Microsoft Inc, 2010) และ 52°North (University of Muenster, Institute for Geoinformatics, 2012) จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติตามเกณฑ์พิจารณาข้างต้น นำไปสู่การเลือกใช้ซอฟต์แวร์จาก 52°North โดยมีเหตุผลหลัก ๆ ดังนี้

1. รูปแบบของใบอนุญาต ซอฟต์แวร์จาก 52°North เป็นระบบเปิดเผยโปรแกรมต้นฉบับ ผู้ใช้งานสามารถปรับปรุงให้ตรงกับความต้องการหากมีทีมพัฒนาที่มีความสามารถเขียนโปรแกรมภาษา JAVA ได้

2. ความเร็วของระบบ จากการทดลองใช้งานระบบของ 52°North ผู้ใช้สามารถปรับแต่งทั้งระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ได้ตามความต้องการ เนื่องจากการบริหารจัดการระบบอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของผู้ใช้งาน สำหรับระบบของ SensorMap พบว่า ความเร็วของระบบที่เรียกใช้งานผ่านเว็บค่อนข้างต่ำและผู้ใช้งานไม่สามารถปรับปรุงความเร็วได้ เนื่องจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์อยู่ภายใต้การดูแลของทีมพัฒนา SensorMap

การออกแบบระบบ

ระบบอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ใช้ภาษา XML ในการกำหนดการทำงานของการทำงานติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ การออกแบบระบบอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์เน้นเฉพาะการใช้งานเท่าที่จำเป็นเท่านั้น การใช้งานดังกล่าวประกอบด้วย การเพิ่ม/ลบเซนเซอร์ในระบบ การส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ไปยังเซิร์ฟเวอร์และการเรียกใช้ข้อมูลที่เก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์

1) การเพิ่ม/ลบเซนเซอร์

การเพิ่ม/ลบเซนเซอร์ เป็นการเพิ่ม/ลบเซนเซอร์ในระบบ SOS ซึ่งสามารถกำหนดรายละเอียดของเซนเซอร์แต่ละตัวได้ เช่น ชื่อ ตำแหน่งพิกัดที่ตั้งคำอธิบาย ประเภท เป็นต้น โดยการแก้ไขข้อมูลภายในตารางชื่อ feature_of_interest ในไฟล์ฐานข้อมูลที่มีชื่อ test.sql

2) การส่งข้อมูลจากเซนเซอร์

การส่งข้อมูลจากเซนเซอร์เข้าสู่เซิร์ฟเวอร์เป็นการนำเข้าสู่ข้อมูลจาก Web service ด้วยระบบ SOS โดยส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลด้วยภาษา XML (ภาพที่ 7) ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการแสดงผลของวันและเวลาในการส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลได้

SOS TestClient Version 2 - [old version](#).



For more information about the 52° North Sensor Observation Service visit <http://52north.org/sos>.

Service URL:

Request Examples:

You can change the examples in the folder [project-directory]/52n-sos-service/src/main/webapp/examples/.

```

23 </om:samplingTime>
24 <gml:TimeInstant>
25 <gml:timePosition>2012-06-20T09:44:15+00:00</gml:timePosition>
26 </gml:TimeInstant>
27 </om:samplingTime>
28
29 <om:procedure xlink:href="urn:ogc:object:feature:Sensor:IFGI:ifgi-sensor-1"/>
30 <om:observedProperty xlink:href="urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel"/>
31
32 <om:featureOfInterest>
33 <sa:SamplingPoint gml:id="foi_1001">
34 <gml:name>SamplingPoint 1</gml:name>
35 <sa:sampledFeature xlink:href=""/>
36 <sa:position>
37 <gml:Point>
38 <gml:pos srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG::4326">52.90 7.52</gml:pos>
39 </gml:Point>
40 </sa:position>
41 </sa:SamplingPoint>
42 </om:featureOfInterest>
43
44 <om:result uom="cm">66.0</om:result>
45 </om:Measurement>
46

```

ภาพที่ 7 การนำเข้าข้อมูลจากเว็บเซอร์วิส

3) การอ่านและคัดเลือกข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์

การอ่านและคัดเลือกข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์สามารถทำได้โดยการใช้ภาษา XML เพื่อเลือกอ่านข้อมูลในฐานข้อมูล เช่นเดียวกันกับการเพิ่มข้อมูลเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ ในการคัดเลือกข้อมูลในฐานข้อมูลทำได้โดยการใช้คำสั่งการสอบถามข้อมูล (Query) ด้วย SQL command โดยการใช้คำสั่ง select เช่น select * from observation หมายถึง การเลือกอ่านข้อมูลจากตารางชื่อ observation ซึ่งสามารถพิมพ์คำสั่งในการอ่านข้อมูลผ่าน Query tool ใน pgAdmin ของโปรแกรม PostgreSQL เมื่อพิมพ์คำสั่งแล้วระบบจะแสดงผลข้อมูลทุกอย่างที่อยู่ภายในตาราง observation (ภาพที่ 8)

time zone	procedure_id	feature_of_interest_id	phenomenon_id	offering_id	test_value	numeric_value	spatial_value	mime	observation_id
44:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		50.0			1
45:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		40.2			2
46:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		70.4			3
47:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		60.5			4
48:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		45.456			5
49:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		110.1213			6
44:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-2	fea_2001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterspeed	Water_Speed	2.1				7
45:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-2	fea_2001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterspeed	Water_Speed	4.0				8
46:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-2	fea_2001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterspeed	Water_Speed	0.5				9
47:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-2	fea_2001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterspeed	Water_Speed	2.2				10
51:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-2	fea_2001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterspeed	Water_Speed					11
43:00+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-2	fea_2001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterspeed	Water_Speed	10.2				12
13:15+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		14.0		null	13
14:19+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		0.0		null	14
20:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		30.0		null	15
21:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		61.0		null	16
22:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		91.0		null	17
23:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		121.0		null	18
24:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		152.0		null	19
25:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		182.0		null	20
26:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		212.0		null	21
27:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		242.0		null	22
28:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		273.0		null	23
29:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		303.0		null	24
30:02+07	umtgc:object:feature:Sensor:IFGI:fig-sensor-1	fea_1001	umtgc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:waterlevel	Gauge_Height		333.0		null	25

ภาพที่ 8 การเลือกอ่านข้อมูลจากตาราง observation

การนำระบบไปใช้งาน

เพื่อให้มั่นใจว่าระบบที่ออกแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงจึงได้นำต้นแบบที่ได้ออกแบบไปทดลองใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับระบบแจ้งเตือนสถานการณ์น้ำท่วมโดยระเบียบวิธีการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก (heuristic) พื้นที่ศึกษาอำเภอดอนตาล จังหวัดมุกดาหาร โดยระบบดังกล่าวได้ช่วยแก้ปัญหาการเรียกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากเว็บไซต์ของกรมชลประทาน เนื่องจากการเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากระบบโทรมาตรของกรมชลประทานแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ทำให้การเรียกใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ไม่เอื้อต่อการอ่านค่าเพื่อนำมาใช้งานโดยตรง และระบบโทรมาตรเองไม่อนุญาตให้บุคคลภายนอกเรียกใช้ข้อมูลต่างๆ ได้โดยตรง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนแนวทางการเรียกใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์มาเป็นการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ที่เก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์โดยตรง ด้วยการจำลองระบบภายใต้พื้นฐานกรอบความคิด Sensor Web Enablement โดยซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่จำลองระบบนี้พัฒนาขึ้นโดยองค์กร 52°North โดยใช้โปรโตคอล Sensor Observation Service (SOS) และ Sensor Model Language (SensorML) ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเซนเซอร์กับฐานข้อมูล

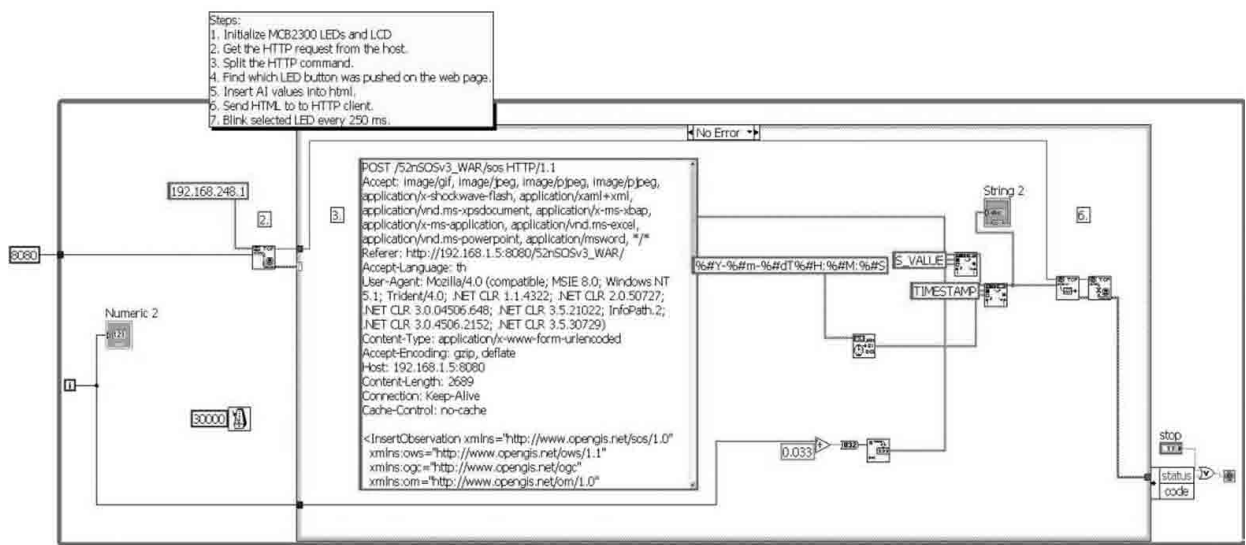
ขั้นตอนการดำเนินงาน ผู้วิจัยได้จำลองระบบโทรมาตรดังกล่าวด้วย pseudo code (ภาพที่ 9) ด้วยโปรแกรม LabVIEW (ภาพที่ 10) ซึ่งโปรแกรมจำลองค่าปริมาณน้ำฝนและส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบ (ภาพที่ 11) จากนั้นระบบ Sensor Web Enablement จะอ่านค่าปริมาณน้ำฝนไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลด้วยการใช้ภาษา XML เพื่อเรียกใช้ข้อมูลผ่านโปรโตคอล SOS (ภาพที่ 12)

```

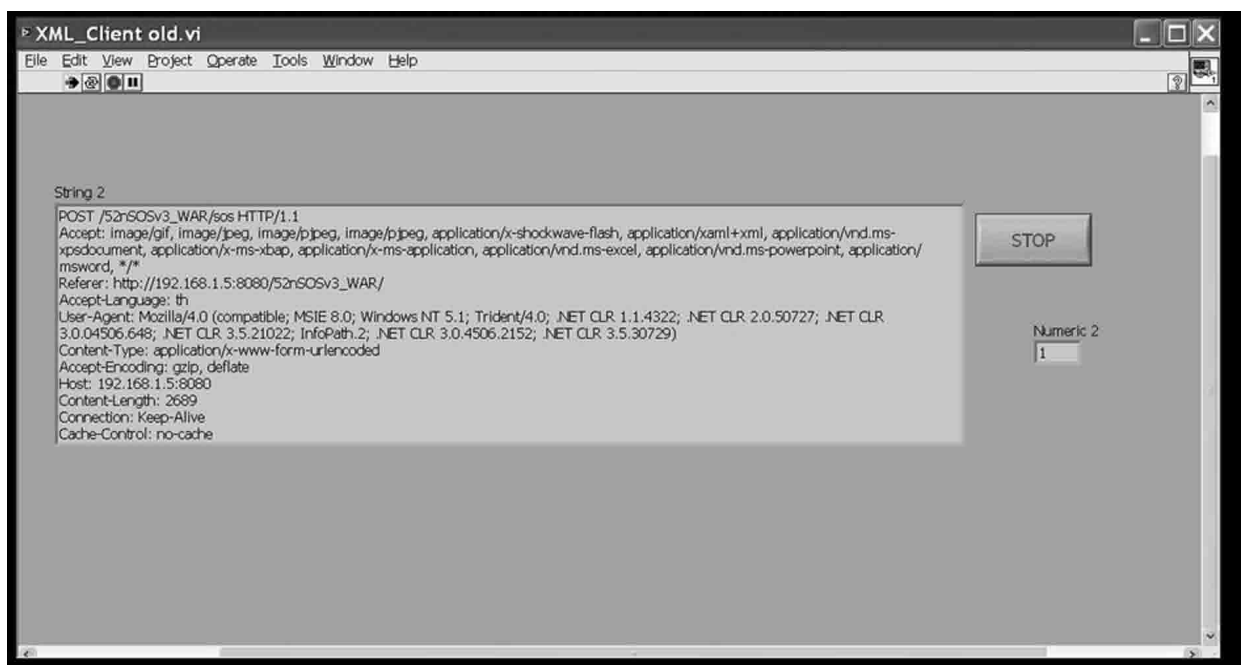
For (;;) {
    if remote unit can connect to the server
        Read sensor value and time stamp;
        Send sensor value and time stamp to server using XML message;
        Wait 30 second
}

```

ภาพที่ 9 pseudo code ระบบโทรมาตรจำลอง



ภาพที่ 10 การจำลองระบบโทรมาตรด้วยโปรแกรม LabVIEW



ภาพที่ 11 การจำลองค่าปริมาณน้ำฝนและการส่งข้อมูลด้วยระบบโทรมาตรจำลอง

Query - SosDatabase on postgres@localhost:5432 *

File Edit Query Favourites Macros View Help

SosDatabase on postgres@localhost:5432

SQL Editor Graphical Query Builder

Scratch pad

SELECT * FROM observation

Output pane

Data Output Explain Messages History

	time_stamp timestamp with time zone	procedure_id character varying(100)	feature_of_interest_id character varying(100)	phenomenon_id character varying(100)	offering_id character varying(100)	text_value text	numeric_value numeric	spatial_value geometry	mime_type mime_type	observation_id integer
45	2012-07-22 08:31:34+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			182.0		null	54
46	2012-07-22 08:31:35+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			212.0		null	55
47	2012-07-22 08:31:36+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			242.0		null	56
48	2012-07-22 08:31:37+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			273.0		null	57
49	2012-07-22 08:31:38+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			303.0		null	58
50	2012-07-22 08:31:39+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			333.0		null	59
51	2012-07-22 17:49:55+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			0.0		null	60
52	2012-07-22 17:50:05+07	urn:ogc:object:feature:Sen:foi_1001		urn:ogc:def:phenomenon:O GAUGE_HEIGHT			30.0		null	61

OK

Ln 1 Col 26 Ch 26 52 rows 1375 ms

ภาพที่ 12 การอ่านค่าปริมาณน้ำฝนไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลด้วยการใช้ภาษา XML

การพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมาย

จากการศึกษาเทคโนโลยีของเว็บเชิงความหมายอย่างละเอียดทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงกระบวนการและขั้นตอนในการทำงานร่วมกันของแต่ละส่วนของระบบ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบรวบรวมข้อมูลที่รองรับการให้บริการข้อมูลเชิงความหมายสำหรับการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้ ในการพัฒนาได้ยึดแนวทางที่เน้นเรื่องความยืดหยุ่นและความยั่งยืนของระบบเป็นหลักโดยต้นแบบที่พัฒนาขึ้นต้องสามารถใช้งานได้ครอบคลุมในหลายๆ สถานการณ์และต้องมีต้นทุนต่ำทั้งต้นทุนเริ่มต้นและต้นทุนในการบำรุงรักษา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบต้นแบบให้มีลักษณะเป็นโมดูล ผู้ใช้สามารถปรับแต่งต้นแบบให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในจุดติดตั้งเซนเซอร์ แต่เนื่องจากระบบที่ได้ออกแบบขึ้นนั้นเน้นเรื่องความยืดหยุ่นและมีลักษณะเป็นโมดูลอาจทำให้การนำระบบไปใช้งานจริงเป็นอุปสรรคถ้าหากผู้ใช้งานขาดความเข้าใจในตัวระบบอย่างถ่องแท้ ดังนั้น การมีตัวอย่างการนำไปใช้งานให้ผู้ใช้ได้ศึกษาจึงเป็นสิ่งจำเป็น ตัวอย่างการประยุกต์สำหรับงานบริหารจัดการลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่ปรากฏในส่วนท้ายของบทความแสดงให้เห็นภาพการประยุกต์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

ส่วนประกอบของระบบ

ผู้วิจัยได้เลือกใช้ส่วนประกอบย่อยของระบบในการพัฒนาต้นแบบโดยคำนึงถึงความยืดหยุ่นของระบบ ราคา และความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์เป็นหลัก

1) เซนเซอร์

เนื่องจากเซนเซอร์ที่ใช้งานในการวัดข้อมูลมีหลายชนิด ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบของการเชื่อมต่อไว้เพียง 2 วิธี คือ การเชื่อมต่อสัญญาณแอนะล็อก 0-3 VDC และการเชื่อมต่อแบบดิจิตอลผ่านช่อง

ทางการสื่อสารมาตรฐาน RS-232 สัญญาณจากเซนเซอร์ในรูปแบบอื่นจะต้องถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ใน 2 รูปแบบนี้เท่านั้น สาเหตุที่เลือกใช้ 2 รูปแบบนี้ เนื่องจากสัญญาณทั้งสองรูปแบบสามารถเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีส่วนฮาร์ดแวร์เชื่อมต่อเพิ่มเติมและการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากมีไลบรารีรองรับอยู่แล้ว เซนเซอร์ที่สามารถนำมาเชื่อมต่อกับระบบประกอบด้วย เซนเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน เซนเซอร์วัดระดับน้ำ เซนเซอร์วัดความนำไฟฟ้า เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความชื้น และเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

2) ไมโครคอนโทรลเลอร์

แม้จะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เลือกมากมาย แต่เนื่องด้วยระบบต้องสามารถอ่านสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้งในรูปแบบของสัญญาณแอนะล็อก 0-3 VDC และรูปแบบสัญญาณดิจิทัลตามมาตรฐาน RS-232 และระบบต้องสามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ด้วย ทำให้ตัวเลือกในการเลือกใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละแบบเหลือน้อยลงในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม LabVIEW for ARM สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เนื่องจากสามารถพัฒนาและแก้ไขโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับการพัฒนาโดยใช้ C Compiler ทั่วไป ซึ่งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณลักษณะเบื้องต้นดังกล่าว ที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศไทยมีอยู่ 2 ตระกูล คือ ARM LPC2368 และ ARM Cortex-M3 ผู้วิจัยได้เลือกใช้ตระกูล ARM Cortex-M3 เนื่องจากบอร์ดมีขนาดเล็กและสามารถรับสัญญาณแอนะล็อกได้ถึง 4 สัญญาณในขณะที่บอร์ด ARM LPC2368 นั้นรับสัญญาณแอนะล็อกได้เพียง 3 สัญญาณเท่านั้น

3) โมบายร่าเตอร์

ในกรณีที่บริเวณตั้งจุดตรวจวัดข้อมูลไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตผ่านทาง ADSL ได้ จำเป็นต้องเชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับโมบายร่าเตอร์เพื่อเชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับระบบอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ในการเลือกโมบายร่าเตอร์เน้นที่การใช้พลังงานและราคาเป็นหลัก ส่วนความทนทานเป็นประเด็นรอง เนื่องจากโดยทั่วไปโมบายร่าเตอร์จะถูกเปิดใช้งานในช่วงเวลาสั้นๆ และใน 1 วัน จำนวนครั้งของการเปิดใช้งานไม่สูง สำหรับความเร็วของการเชื่อมต่อไม่ใช่ปัจจัยในการเลือกใช้ เนื่องจากในการรับส่งข้อมูลไม่ต้องการความเร็วสูง ถึงแม้ว่าโมบายร่าเตอร์จะรองรับระบบ 3G แต่ในการใช้งานจริง ใช้งานเฉพาะ EDGE เท่านั้น เพราะช่วยให้การใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูลต่ำกว่าการรับส่งโดยผ่านระบบ 3G ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ Huawei B200 3G Wireless Router

4) ระบบเซิร์ฟเวอร์

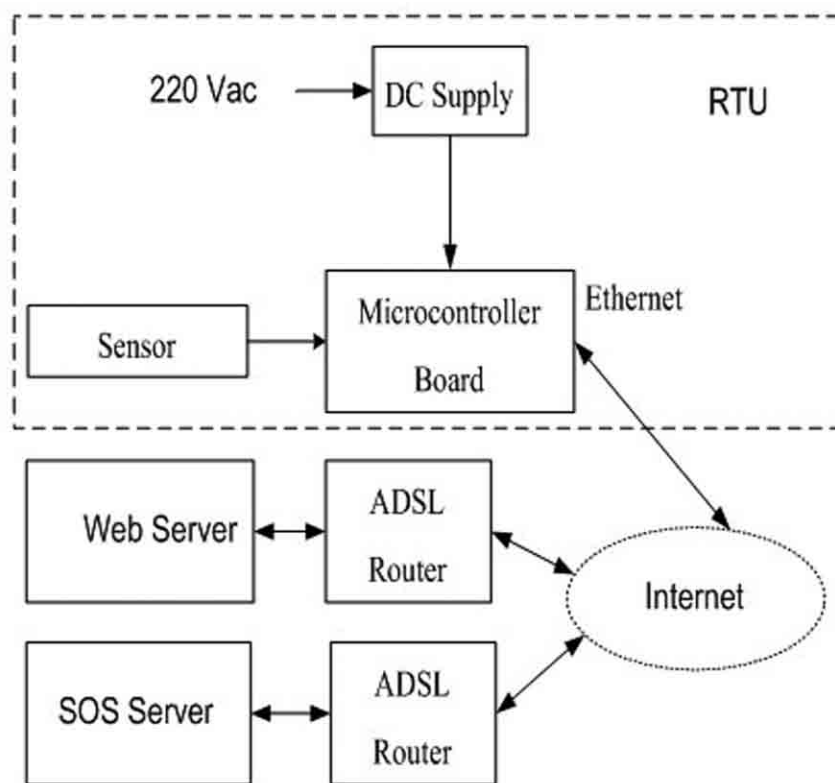
ในการเลือกใช้เซิร์ฟเวอร์ผู้วิจัยสามารถเลือกใช้ระบบปฏิบัติการ Linux หรือระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows ก็ได้ สำหรับผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows เนื่องจากซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาต่อยอดข้อมูลที่เก็บไว้ใน SOS Server ส่วนใหญ่จะมีพร้อมใช้ภายใต้สภาพแวดล้อมการทำงานของระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows

รูปแบบของระบบ

ระบบต้นแบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของหน่วยวัดข้อมูลจากระยะไกล (Remote Terminal Unit, RTU) ประกอบไปด้วย ระบบจ่ายพลังงาน เซนเซอร์ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับและบันทึกข้อมูลจากส่วนแรก ข้อมูลที่เก็บไว้ในส่วนที่สองสามารถเรียกใช้ได้ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การเรียกใช้ข้อมูลอาจจะอยู่ในรูปแบบ

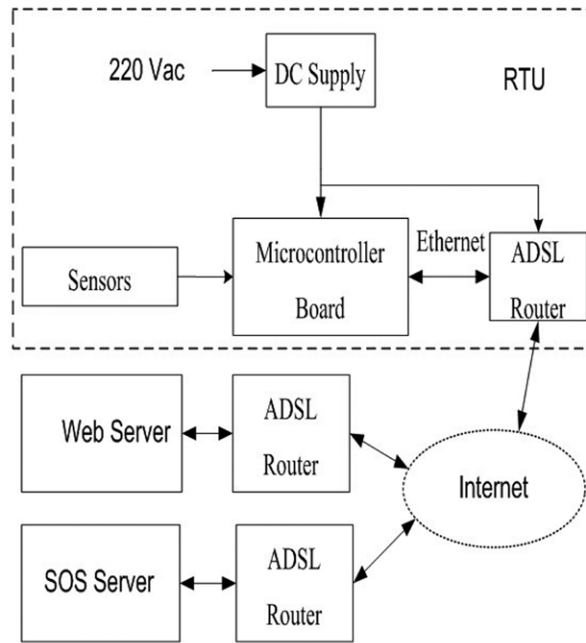
ของการแสดงผลผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์หรืออาจจะเป็นการเรียกใช้ข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลต่อไปก็ได้ ในส่วนที่สองเป็นส่วนที่ทำงานอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ซึ่งอาจจะใช้เซิร์ฟเวอร์เครื่องเดียวหรือหลายเครื่องร่วมกันทำงานแล้วแต่ความเหมาะสมของภาระงานที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการให้บริการผู้ใช้ทั่วไป เนื่องจากการพัฒนาได้ยึดแนวทางที่เน้นเรื่องความยืดหยุ่นและการมีความยั่งยืนของระบบเป็นหลัก ดังนั้นองค์ประกอบของระบบโดยเฉพาะ RTU ต้องสามารถรองรับการปรับเปลี่ยนให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของที่ตั้งจุดตรวจวัดได้เป็นอย่างดี ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการออกแบบระบบประกอบด้วย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและความสามารถในการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รูปแบบหลักของระบบมี 4 รูปแบบ ดังนี้

1) รูปแบบที่ 1 ใช้ในกรณีที่จุดตรวจวัดมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 VAC และสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ระบบสำหรับรูปแบบที่ 1 ประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ ดังภาพรวมของระบบ (ภาพที่ 13)



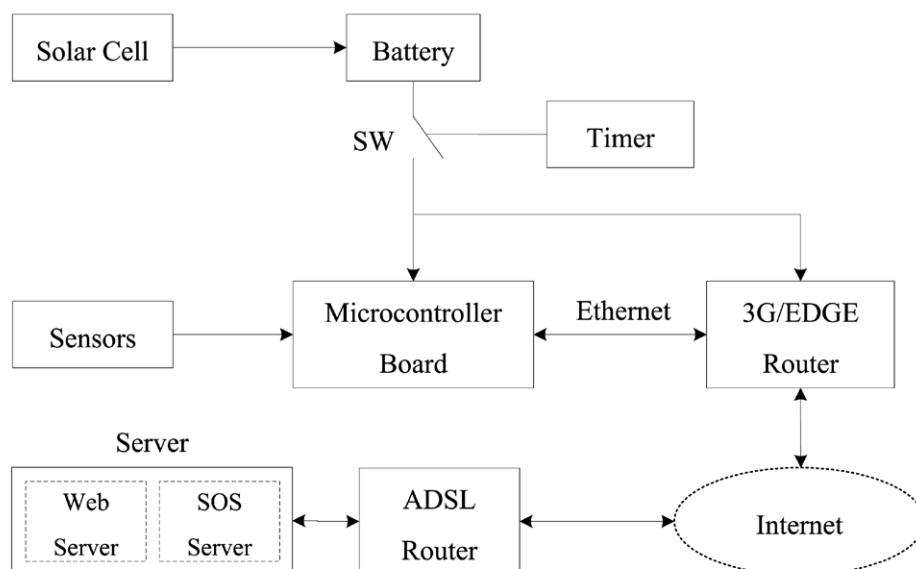
ภาพที่ 13 ภาพรวมของระบบรูปแบบที่ 1

2) รูปแบบที่ 2 ใช้ในกรณีที่จุดตรวจวัดมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 VAC การเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตไม่สามารถเชื่อมต่อได้โดยตรงแต่สามารถเชื่อมต่อกับระบบ ADSL ได้ ระบบสำหรับรูปแบบที่ 2 ประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ และ ADSL Router สำหรับเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ต ดังภาพรวมของระบบ (ภาพที่ 14)



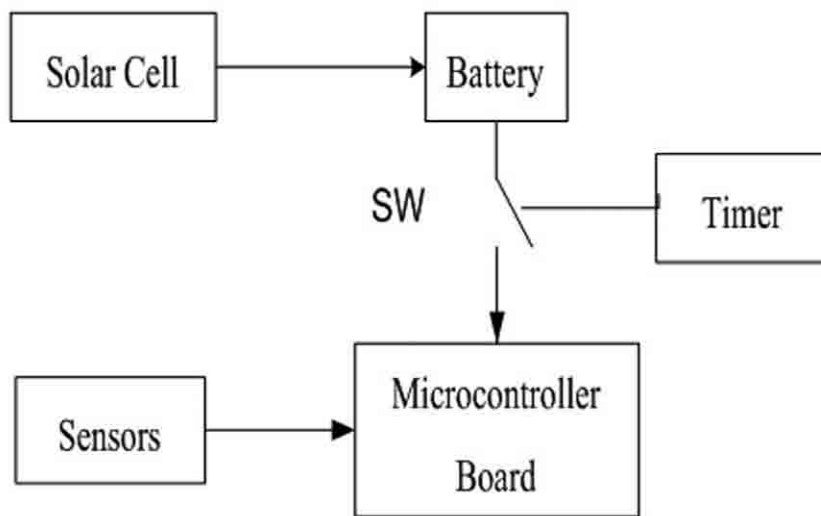
ภาพที่ 14 ภาพรวมของระบบรูปแบบที่ 2

3) รูปแบบที่ 3 ใช้ในกรณีที่ติดตั้งจุดตรวจวัดไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220VAC และไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแต่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือได้ ระบบสำหรับรูปแบบที่ 3 ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แผงโซลาร์เซลล์พร้อมระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ 3G/EDGE Router และวงจรตั้งเวลาควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับระบบเฉพาะช่วงการวัดเท่านั้นเพื่อประหยัดพลังงาน ดังภาพรวมของระบบ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ภาพรวมของระบบรูปแบบที่ 3

4) รูปแบบที่ 4 ใช้ในกรณีที่ติดตั้งจุดตรวจวัดไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 VAC และไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือได้ โดยบริเวณจุดวัดค่าคุณภาพน้ำประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แผงโซลาร์เซลล์พร้อมระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์และวงจรตั้งเวลาควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับระบบเฉพาะช่วงการวัดเท่านั้นเพื่อประหยัดพลังงาน ในกรณีนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกเก็บไว้ใน SD card ที่อยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลที่เก็บไว้ใน SD card จะถูกโอนเข้าสู่ระบบโดยผู้ใช้งานซึ่งแสดงได้ดังภาพรวมของระบบ (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ภาพรวมของระบบรูปแบบที่ 4

จากรูปแบบของระบบทั้ง 4 รูปแบบ พบว่า รูปแบบที่ 1 มีข้อดี คือ การส่งข้อมูลมีความเร็วสูงและสามารถใส่ข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ ส่วนข้อเสีย คือ ถ้าจุดตรวจวัดนั้นไม่มีระบบไฟฟ้าและไม่มีระบบอินเทอร์เน็ตจะไม่สามารถใช้งานด้วยรูปแบบที่ 1 ได้อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในแต่ละจุดค่อนข้างสูง สำหรับรูปแบบที่ 2 มีข้อดี คือ ณ จุดตรวจวัดไม่จำเป็นต้องมีระบบอินเทอร์เน็ตเพราะสามารถใช้ ADSL แทนได้ และการส่งข้อมูลมีความเร็วพอสมควร ส่วนข้อเสีย คือ ถ้าจุดตรวจวัดนั้นไม่มีระบบไฟฟ้าและไม่มี ADSL จะไม่สามารถใช้งานด้วยรูปแบบที่ 2 สำหรับรูปแบบที่ 3 ข้อดี คือ ไม่จำเป็นต้องมีระบบไฟฟ้าเพราะใช้ระบบ Solar cell แทน รวมถึงสามารถส่งข้อมูลโดยใช้เครือข่าย 3G/EDGE ได้ ส่วนข้อเสีย คือ การส่งข้อมูลอาจจะล่าช้ากว่ารูปแบบที่ 1 และ 2 รวมถึงอาจจะต้องมีการกำหนดเวลาในการส่งข้อมูลตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ เช่น ส่งข้อมูลวันละ 1 ครั้ง เพราะถ้าให้ส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาจะเสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจาก 3G/EDGE อาจคิดค่าใช้จ่ายตามปริมาณข้อมูลที่ส่ง สำหรับข้อดีของรูปแบบที่ 4 คือ ไม่จำเป็นต้องมีระบบไฟฟ้าเพราะใช้ระบบ Solar cell และไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตใดๆ ส่วนข้อเสีย คือ การส่งข้อมูลต้องทำโดยผู้ใส่เพราะข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ใน SD card การใช้งานรูปแบบนี้อาจส่งผลกระทบต่อความทันต่อเวลาของการใช้งานข้อมูล นอกจากนี้สามารถสรุปองค์ประกอบที่ต้องมีในแต่ละรูปแบบได้ ดังตารางที่ 1

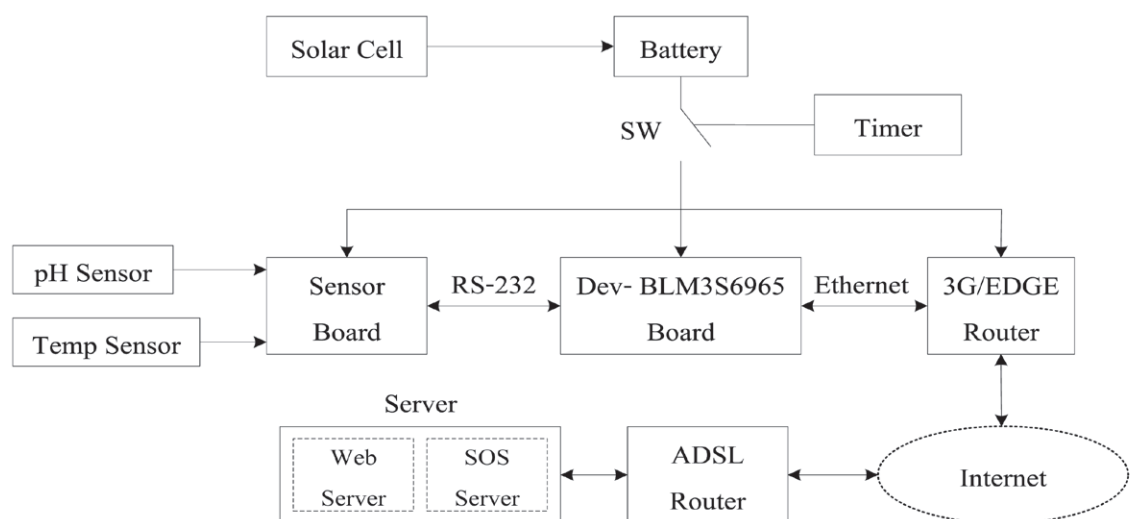
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบรูปแบบของระบบ

รูปแบบ	จุดตรวจวัด ต้องมีแหล่ง จ่ายไฟ	จุดตรวจวัดใช้ Solar cell Battery	ต้องเชื่อมต่อ เครือข่าย อินเทอร์เน็ต	ต้องเชื่อมต่อ ADSL	ต้องเชื่อมต่อ 3G/EDGE	ไม่ต้อง เชื่อมต่อ เครือข่าย
รูปแบบ 1	/		/			
รูปแบบ 2	/			/		
รูปแบบ 3		/			/	
รูปแบบ 4		/				/

ตัวอย่างการประยุกต์ข้อมูลจากระบบเก็บข้อมูล

1) ระบบแสดงผลคุณภาพน้ำในคลองอุตตะเกา

ระบบแสดงผลคุณภาพน้ำในคลองอุตตะเกาเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยอัตโนมัติ สามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำได้ 2 พารามิเตอร์ คือ อุณหภูมิและพีเอช (pH) สร้างขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบในการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบออนไลน์ โดยอุปกรณ์ควบคุมจะรับข้อมูลค่าพีเอชและค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์และอ่านข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์วันละ 1 ครั้ง ในเวลา 11.00 น. และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ระบบใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ในรูปแบบพลังงานแสงอาทิตย์ มีการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์โดยการติววงจรตั้งเวลา (Timer) เพื่อใช้ในการควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ อุปกรณ์ที่ติดตั้งในภาคสนามทั้งหมดทำงานในช่วงเวลา 11.00-11.03 น. เพื่ออ่านข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์วัดค่าพีเอชและค่าอุณหภูมิและส่งข้อมูลไปแสดงผลบนเว็บไซต์วันละ 1 ครั้งเท่านั้น (ภาพที่ 17(ก)และภาพที่ 17(ข)) ต้นทุนสำหรับต้นแบบในภาพที่ 17 (ข) มีราคาประมาณ 15,000 บาท ซึ่งเป็นราคาที่รวมเซนเซอร์ แผงโซลาร์เซลล์ และแบตเตอรี่แล้ว



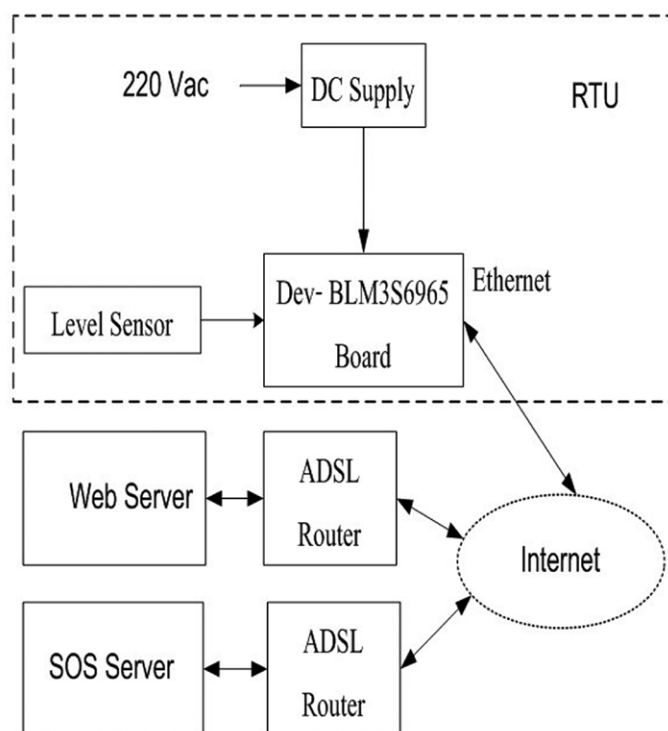
ภาพที่ 17 (ก) ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ



ภาพที่ 17(v) ต้นแบบระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ

2) ระบบวัดระดับน้ำแบบออนไลน์ในคลองอุตะเกา

ระบบวัดระดับน้ำแบบออนไลน์ในคลองอุตะเกาเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดระดับน้ำโดยอัตโนมัติ ซึ่งอ่านค่าระดับน้ำในคลองจากเซนเซอร์วัดระดับน้ำที่ติดตั้งไว้ แล้วส่งข้อมูลไปเก็บที่เซิร์ฟเวอร์ และให้ผู้ใช้สามารถเข้ามาดูข้อมูลแบบออนไลน์ได้ (ภาพที่ 18)



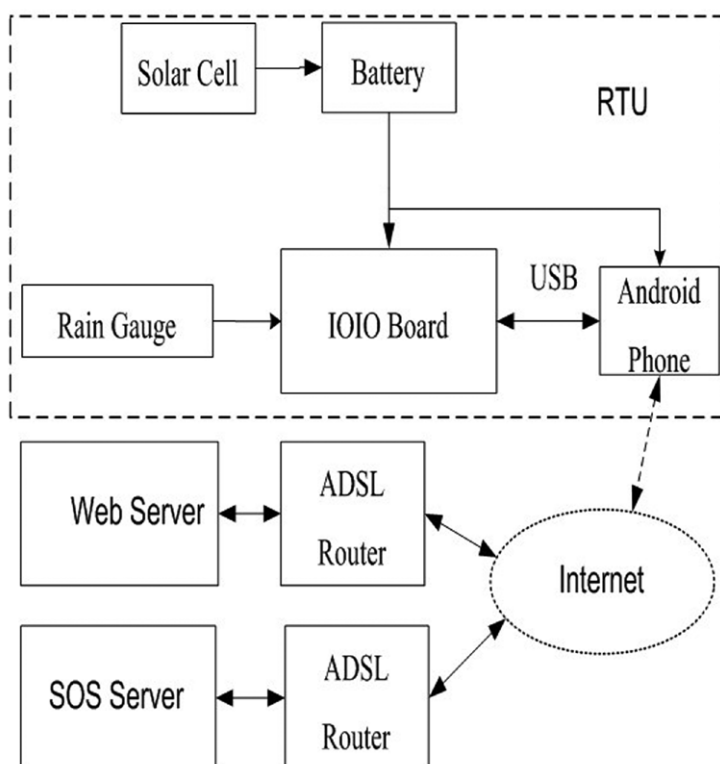
ภาพที่ 18 ระบบวัดระดับน้ำแบบออนไลน์ในคลองอุตะเกา

จากภาพที่ 18 ระบบที่ติดตั้งมีลักษณะเดียวกับระบบรูปแบบที่ 1 ระบบสามารถรองรับจุดวัดจากระยะไกลได้หลายจุด ข้อมูลจากจุดวัดระยะไกล (RTU) ทุกตัวถูกส่งไปเก็บที่ SOS Server ทุก 15 นาที ส่วนโปรแกรมแสดงผลสำหรับผู้ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ทำงานอยู่บน Web Server ซึ่งแยกออกไปจากเครื่อง SOS Server โดยออกแบบให้รองรับการใช้งานจากผู้ใช้งานจำนวนมากที่เข้ามาเรียกดูข้อมูล

ในช่วงที่เกิดอุทกภัย บ่อยครั้งที่เครื่องไม่สามารถตอบสนองผู้ใช้จำนวนมากและจำเป็นต้องเริ่มต้นเปิดเครื่องให้ทำงานใหม่ ดังนั้น การใช้ SOS Server แยกออกไปจาก Web Server จึงเป็นทางออกที่สามารถแก้ปัญหาความต่อเนื่องของการเก็บข้อมูลในกรณีที่ Web Server มีปัญหาได้

3) ระบบทำนายปริมาณน้ำฝนโดยใช้ฐานกฎ

ระบบทำนายปริมาณน้ำฝนโดยใช้ฐานกฎเป็นระบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อวัดปริมาณน้ำฝนโดยอัตโนมัติซึ่งอ่านค่าปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน แล้วส่งข้อมูลไปเก็บที่เซิร์ฟเวอร์ (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 ระบบทำนายปริมาณน้ำฝนโดยใช้ฐานกฎ

จากภาพที่ 19 ระบบที่ติดตั้งมีลักษณะเดียวกันกับระบบรูปแบบที่ 3 ระบบรองรับจุดวัดจากระยะไกลได้หลายจุดขึ้น ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากจุดวัดระยะไกล (RTU) ทุกตัวถูกส่งไปเก็บที่ SOS Server ทุก 15 นาที โปรแกรมทำนายปริมาณน้ำฝนทำงานบน Web Server โดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพในการเปลี่ยนระดับความเข้มของเมฆฝนในภาพเรดาร์ให้เป็นข้อมูลสำหรับการทำนายปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละพื้นที่โดยใช้ฐานกฎที่เก็บไว้ในระบบ ลักษณะของฐานกฎ การสร้างและการนำไปใช้พยากรณ์ให้หลักการของ Hasan และคณะ (2008) ปริมาณน้ำฝนถูกทำนายจากระดับความเข้มของเมฆฝนในภาพเรดาร์ ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิที่ลดลง ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการทำนายกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจริงที่เก็บไว้ใน SOS Server ถูกใช้ในการปรับแต่งฐานกฎเท่านั้น โดยใช้เงินเนติกอัลกอริทึมตามวิธีการของ Gurocak (1999) และผลการทำนายปริมาณน้ำฝนโดยใช้ฐานกฎถูกแสดงผลบน Web Server

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสารและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งจากเอกสารงานวิจัยและโครงการต่างๆ ที่มีการดำเนินการมาแล้ว รวมถึงการพัฒนาเซนเซอร์วัดระดับน้ำซึ่งนำเสนอข้อมูลผ่านเว็บไซต์เพื่อเป็นตัวอย่างและแนวทางในการใช้ข้อมูลเพื่อพัฒนาระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายต่อไป โดยสามารถสรุปงานที่ได้ดำเนินการมาแล้วในระยะที่ 1 และข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการขั้นต่อไปเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามแผนของการดำเนินงานของโครงการทั้งหมด ดังนี้

ผลการวิจัย

การดำเนินการเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสรุปผล ดังนี้

1) การศึกษามาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายเซนเซอร์และเว็บเชิงความหมายและได้เลือกใช้แนวทางของ Sensor Web Enablement (SWE) ของ Open Geospatial Consortium (OGC) โดยระบบซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบคือ ระบบซอฟต์แวร์ของ 52°North เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์แบบ open source มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

2) การศึกษาองค์ประกอบและรูปแบบของระบบรวบรวมข้อมูลในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่รองรับการให้บริการระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมาย พบว่า องค์ประกอบของระบบสามารถปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของจุดที่ตรวจวัด ปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบของระบบประกอบด้วย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและความสามารถในการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

3) การพัฒนาต้นแบบเซนเซอร์วัดระดับน้ำได้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ARM Cortex M-3 โดยสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์วัดระดับน้ำถูกอ่านและส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในรูปแบบเอกสาร XML ไปยังเซิร์ฟเวอร์ ข้อมูลดังกล่าวสามารถรองรับการให้บริการระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายต่อไปได้

สำหรับการพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมาย สำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในขั้นต่อไป คือ การออกแบบพัฒนาและทดสอบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายก่อนนำไปใช้งานจริง

ปัญหาที่พบ

1) ปัญหาการกำหนดที่ตั้งจุดตรวจวัดที่เหมาะสมในการติดตั้งเซนเซอร์ เนื่องจากที่ตั้งจุดตรวจวัดจำเป็นต้องมีความเหมาะสมทั้งในเชิงวิชาการและเชิงการจัดการ แต่ที่ตั้งจุดตรวจวัดที่มีความเหมาะสมในทางวิชาการหลายจุดไม่สามารถติดตั้งได้ เนื่องจากเป็นสถานที่ที่ไม่มีความปลอดภัยหรือไม่เหมาะสม อาจจะทำให้เกิดผลกระทบในเชิงสังคมและชุมชน

2) ปัญหาเรื่องการสื่อสารข้อมูล เนื่องจากความสำเร็จของระบบส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือของระบบสื่อสารที่ใช้ ในโครงการนี้ใช้งานทั้งโครงข่ายโทรศัพท์มือถือและระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านระบบ ADSL บางครั้งพบว่า ข้อมูลสูญหายไปเนื่องจากปัญหาเครือข่ายระบบสื่อสารไร้สายและปัญหาจากระบบ ADSL

3) ปัญหาเรื่องการดูแลระบบ การจัดทำระบบตรวจวัดจากระยะไกลจำเป็นต้องมีการดูแลเพื่อให้เชื่อมั่นได้ว่า ทั้งเครื่องเซิร์ฟเวอร์และเครื่องตรวจวัดพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา ถ้าขาดการดูแลระบบที่เหมาะสมจะทำให้ระบบใช้งานได้ไม่สมบูรณ์ทำให้ระบบขาดความน่าเชื่อถือ หรือมีความน่าเชื่อถือน้อยลง

4) ปัญหาเรื่องการพัฒนาต่อยอด เนื่องจากข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เก็บไว้ในระบบต้องอาศัยโปรโตคอลที่เป็นมาตรฐานในการเพิ่มเซนเซอร์ให้กับระบบและในการเรียกใช้ข้อมูลที่เก็บไว้ในระบบ ผู้ใช้จำเป็นต้องเรียนรู้โปรโตคอลดังกล่าว พบว่า บ่อยครั้งที่ผู้ใช้งานไม่ต้องการเรียนรู้แต่ต้องการทางลัดหรือเทคนิคที่ง่ายในการใช้งานระบบ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในเชิงเทคนิค

1) การพัฒนาระบบตรวจวัดจากระยะไกลที่ใช้พลังงานต่ำ จากข้อจำกัดของต้นแบบระบบตรวจวัดจากระยะไกลในเรื่องของการใช้พลังงานที่สูง ทำให้ไม่สามารถอ่านและส่งข้อมูลสถานะแวดล้อมได้บ่อยครั้ง ดังนั้น จึงควรมีการพัฒนาระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้พลังงานต่ำสำหรับระบบตรวจวัดจากระยะไกล

2) การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสถานะแวดล้อม ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ไฟฟ้าจากสถานที่ที่ติดตั้งได้ ระบบจำเป็นต้องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ แต่การประจุแบตเตอรี่จากแผงโซลาร์เซลล์อาจจะทำไม่ได้ในกรณีที่ฝนตกหนักติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ดังนั้น ควรพิจารณาพลังงานจากแหล่งธรรมชาติอื่นมาช่วยในการประจุแบตเตอรี่ เช่น การใช้พลังงานลมหรือพลังงานจากน้ำ

3) การพัฒนาระบบที่ทนทานต่อสถานะแวดล้อมที่รุนแรง เนื่องจากในบางสถานการณ์สภาพแวดล้อมที่ติดตั้งเครื่องมือวัดเป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือและมีความต่อเนื่อง เครื่องมือตรวจวัดจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้ ทนแดด ทนฝนและสามารถที่จะคืนสภาพได้เมื่อระบบล้มเหลว ในบางสถานการณ์ผู้ใช้ไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ติดตั้งได้ เช่น กรณีฝนตกหนักหรือน้ำท่วม สิ่งแรกที่ต้องพิจารณา คือ การมีพลังงานไฟฟ้าให้พร้อมที่จะกู้คืนระบบจากระยะไกลได้ นอกจากนี้ ต้องพิจารณาการเตรียมเครือข่ายการสื่อสารสำรองด้วย

ข้อเสนอแนะในเชิงการจัดการ

1) การมีส่วนร่วมจากหน่วยงานในชุมชนในการกำหนดจุดตรวจวัดและการดูแลเครื่องมือตรวจวัด อุปสรรคสำคัญในการติดตั้งเครื่องมือวัดคือ การได้มาซึ่งจุดติดตั้งที่เหมาะสม ถ้าขาดความร่วมมือจากชุมชนจะทำให้ต้นทุนการติดตั้งสูงมากเนื่องจากต้องจัดทำสถานีวัดที่แข็งแรงและปลอดภัยเป็นพิเศษ

2) การได้รับการสนับสนุนจากผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย ในการดำเนินกิจกรรมเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมให้สัมฤทธิ์ผลจำเป็นต้องทำอย่างต่อเนื่อง ในอดีตมีหลายโครงการที่มีการตรวจวัดข้อมูลสภาพแวดล้อมจากระยะไกลไม่สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องเนื่องจากขาดงบประมาณสนับสนุนในระยะยาวโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งข้อมูลออนไลน์จากระยะทางไกลๆ ซึ่งไม่อยู่ในพื้นที่ให้บริการของระบบ ADSL ซึ่งจำเป็นต้องใช้ช่องทางการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย ดังนั้น ความร่วมมือจากผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สายถือว่ามีความจำเป็นเพราะจะทำให้โครงการประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและสามารถเลือกใช้รูปแบบของการสื่อสารไร้สายที่เหมาะสมได้

เอกสารอ้างอิง

- Google, Inc. (2012). AIRS-Android Remote Sensing. Retrieved August 15, 2012, from <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.airs>
- Gurocak, H. B. (1999). A genetic-algorithm-based method for tuning fuzzy logic controllers. *Fuzzy sets and systems*, 108(1), 39-47.
- Guru, S. M., Taylor, P., Neuhaus, H., Shu, Y., Smith, D. & Terhorst, A. (2008). Hydrological sensor web for the south esk catchment in the tasmanian state of australia. In *Proceedings of the 2008 Fourth IEEE International Conference on eScience* (pp. 432-433). IEEE Computer Society.
- Hasan, M., Tsegaye, T., Shi, X., Schaefer, G. & Taylor, G. (2008). Model for predicting rainfall by fuzzy set theory using USDA scan data. *Agricultural water management*, 95(12), 1350-1360.
- Infinite Automation Systems, Inc. (2012). Mango. Retrieved August 15, 2012, from <http://mango.serotoninsoftware.com/home.jsp>
- Intakul, K. (2011). Developing of geoinformatics rain gauge data for web service [In Thai: การพัฒนาข้อมูลภูมิสารสนเทศของข้อมูลเครื่องตรวจวัดปริมาณน้ำฝนสำหรับการให้บริการผ่านเว็บเซอร์วิส]. Unpublished Independent Studies in Geo-Informatics, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University.
- Kuensuwong, P., Warangkul, C., Chaichareon, C., Tor-Wichien, C. & Prasertsom, D. (2012). Environmental Monitoring System to Enhance Agricultural Production [In Thai: ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม เพื่อเสริมศักยภาพด้านการผลิตทางการเกษตร]. In *Proceeding of 13th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering* (pp. 10 – 15). Thai Society of Agricultural Engineering, Chiang Mai, Thailand.
- Michel, S., Salehi, A., Luo, L., Dawes, N., Aberer, K., Barrenetxea, G. & Zhou, Y. (2009). Environmental Monitoring 2.0. In *Proceeding of ICDE'09, the IEEE 25th International Conference on Data Engineering* (pp. 1507-1510). IEEE.
- Microsoft, Inc. (2010). Microsoft research Sensor Map. Retrieved August 15, 2012, from <http://atom.research.microsoft.com/Sensewebv3/sensormap>
- Lehning, M., Dawes, N., Bavay, M., Parlange, M., Nath, S. & Zhao, F. (2009). Instrumenting the Earth: Next Generation Sensor Networks and Environmental Science. In *The Fourth Paradigm, Data-Intensive Scientific Discovery* (pp. 45-51). Microsoft Research.
- Nengcomma, C. & Santitamnont, P. (2008a). Implementation of Open Geospatial Web Service for Sensor Web Enablement and Sensor Network [In Thai: การพัฒนาภูมิสารสนเทศชนิดเว็บเซอร์วิสสำหรับตัวตรวจวัดข้อมูลบนเว็บและเครือข่าย]. Paper presented at the 2008 Annual National Conference on Space Technology and Geo-informatics, Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, Thailand.

- Nengcomma, C. & Santitamnont, P. (2008b). Geo-informatics Applications in Tax Information System [In Thai: การประยุกต์ใช้มาตรฐานภูมิสารสนเทศกับระบบสารสนเทศจัดเก็บภาษี]. Paper presented at the 2008 Annual National Conference on Space Technology and Geo-informatics, Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, Thailand.
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2012). Master Plan for Songkhla Lake Basin Development [In Thai: แผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา]. Retrieved July 10, 2012, from <http://www2.onep.go.th/NREM/work2/work2data-01.asp>
- Prince of Songkla University, Faculty of Environmental Management. (2012). Our Watershed [In Thai: ลุ่มน้ำของเรา]. Retrieved July 10, 2012, from <http://www.songkhilake.com/index.php>
- Schade, S., Díaz, L., Ostermann, F., Spinsanti, L., Luraschi, G., Cox, S. & De Longueville, B. (2013). Citizen-based sensing of crisis events: sensor web enablement for volunteered geographic information. *Applied Geomatics*, 5(1), 3-18.
- Trossen, D., & Pavel, D. (2005). Building a ubiquitous platform for remote sensing using smartphones. In *Proceeding of MobiQuitous 2005, the Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services* (pp. 485-489). IEEE.
- University of Muenster, Institute for Geoinformatics. (2012). 52°North. Retrieved August 15, 2012, from <http://52north.org>
- World Wide Web Consortium. (2001). Semantic Web Layers. Retrieved September 1, 2012, from <http://www.w3.org/2001/12/semweb-fin/w3csw>