

บทนำรวม

1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การจัดการทรัพยากรน้ำและการพัฒนาแหล่งน้ำนั้นจำเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากน้ำจัดว่าเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการอุปโภคบริโภค และ ภาคการเกษตร และมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับประชาชนในเรื่องของความเป็นอยู่ แต่ปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าสถานการณ์ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบร้ายแรงต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยตรง สาเหตุอันเนื่องมาจากความผันผวนอันเกิดจากภาวะโลกร้อนและความแปรปรวนของสภาพอากาศ จึงทำให้ได้รับผลกระทบตามๆกัน จึงจัดว่าเป็นปัญหารุนแรงและสำคัญที่สุด

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเล็งเห็นว่า น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อชีวิต ท่านดำรัสว่า “หลักสำคัญว่าต้องมีน้ำบริโภค น้ำใช้ น้ำเพื่อการเพาะปลูก เพราะชีวิตนั้นอยู่ที่น้ำ ถ้ามีน้ำคนอยู่ได้ ถ้าไม่มีน้ำคนอยู่ไม่ได้” ทรงคำนึงว่า เมื่อมีการแก้ไขหรือบรรเทาความเดือดร้อนเรื่องน้ำ ราษฎรจะมีน้ำกินน้ำใช้เพื่อการเพาะปลูกได้ ราษฎรจะมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นเพราะมีการกระจายรายได้ และทรงเล็งเห็นเหตุการณ์อีกว่า ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มักจะประสบปัญหากับหายนะจากน้ำเสมอ ด้วยพระอริยะภาพเรื่องน้ำ ทรงมีพระปรีชาด้านนี้เป็นเลิศ จึงทรงปฏิบัติพระราชกรณียกิจงานที่เกี่ยวกับการพัฒนาน้ำทุกปัญหา ทั้งการพัฒนา การจัดการ แหล่งน้ำ การเก็บกักน้ำ การระบาย การควบคุม การทำน้ำเสียให้เป็นน้ำดี การนำพลังน้ำมาใช้ในการพัฒนา การแก้ปัญหาน้ำท่วม

แนวพระราชดำริเกี่ยวกับเรื่องน้ำนั้น ทรงใช้หลักการการควบคุมน้ำ คือ การควบคุมน้ำให้ได้ดังประสงค์ทั้งปริมาณและคุณภาพ กล่าวคือ เมื่อน้ำมีปริมาณมากเกินไปก็ต้องหาทางระบายออกให้ทันการณ์ ไม่ปล่อยให้เกิดความเดือดร้อนเสียหายได้ และในขณะที่เกิดภาวะขาดแคลนก็ต้องมีน้ำกักเก็บไว้ใช้อย่างเพียงพอ ทั้งมีคุณภาพเหมาะสมแก่การเกษตร การอุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค ปัญหาอยู่ที่ว่าการพัฒนาแหล่งน้ำอาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบ้าง แต่ถ้าไม่มีการควบคุมน้ำที่ดีพอแล้วเมื่อเกิดภัยธรรมชาติขึ้นก็จะก่อให้เกิดความเดือดร้อนสูญเสียทั้งในด้านเศรษฐกิจและในชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนทั้งส่งผลกระทบกระเทือนแก่สิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรง

แนวทางการแก้ไขของพระองค์ท่านมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งในเรื่องของการแก้ไขและการป้องกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแต่ละพื้นที่ ดังตัวอย่างเช่น พระราชดำริให้มีโครงการแก้มลิง เมื่อเกิดน้ำท่วมก็ขุดคลองชักมารวมกันนำมาเก็บไว้ที่บ่อพักเปรียบเหมือนแก้มลิง โครงการแก้มลิงเป็นการจัดให้มีสถานที่เก็บกักน้ำตามจุดต่างๆ ในกรุงเทพฯ เพื่อทำหน้าที่เป็นบึงพักน้ำให้หนาน้ำ โดยรองรับน้ำฝนไว้ชั่วคราว ก่อนที่จะระบายลงทางระบายน้ำสาธารณะ ฉะนั้น เมื่อฝนตก น้ำฝนจึงไม่ไหลลงสู่ทางระบายน้ำในทันที แต่จะถูกขังไว้ในพื้นที่พักน้ำ รอเวลาให้คลองต่าง ๆ ซึ่งเป็นทางระบายน้ำหลักพร่องน้ำพอจะรับน้ำได้ จึงค่อย ๆ ระบายน้ำลง เป็นการช่วยลดปัญหาน้ำท่วมขังได้ในระดับหนึ่ง นอกจากวัตถุประสงค์เพื่อการระบายน้ำแล้ว แนวพระราชดำริ แก้มลิง จึงผานแนวคิดในการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อมเข้าไปด้วย ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเรื่องของการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ เมื่อน้ำที่ถูกเก็บกักไว้ถูกส่งเข้าไปในคลองต่าง ๆ ก็จะไปบำบัด เจือจางน้ำเน่าเสีย ในคลองต่างๆให้เบาบางลงแล้วในที่สุดก็จะผลึกน้ำเน่าเสียที่เจือจางแล้วลงสู่ทะเล

การตรวจวัดมลพิษทางน้ำ นับได้ว่าเป็นความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินสถานภาพมลพิษทางน้ำในแหล่งน้ำสำคัญต่างๆ ทั้งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน แต่แหล่งน้ำอีกแหล่งก็คือ คุณภาพน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน แหล่งอุตสาหกรรม และแหล่งเกษตรกรรม เป็นต้น ซึ่งวัตถุประสงค์ของการตรวจวัดมลพิษทางน้ำ เพื่อประเมินถึงสภาพของคุณภาพน้ำ และเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการทรัพยากรน้ำ คุณภาพน้ำนั้นขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนในน้ำ ได้แก่แร่ธาตุต่างๆ สารเคมีและจุลินทรีย์ในน้ำ ทำให้น้ำมีคุณภาพต่างกันในเรื่องการบ่งบอกคุณภาพของน้ำ สามารถอาศัยการตรวจวิเคราะห์และทดสอบในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เราสามารถจำแนกน้ำออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

- 1) คุณภาพน้ำทางกายภาพ (physical quality) เป็นลักษณะของความสกปรกในน้ำที่ปรากฏให้เห็นได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้า ได้แก่ สี (Colour) อุณหภูมิ (Temperature) ความขุ่น (Turbidity) โปร่งแสง (Transparency) กลิ่น (Order) เป็นต้น
- 2) คุณภาพทางเคมี (Chemical quality) เกิดจากแร่ธาตุสารต่างๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำมักไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้การตรวจสอบด้วยวิธีการทางห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เช่น สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ตัวอย่าง ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, Do) ความกระด้าง (Hardness) เหล็ก (Fe) แคลเซียม (Ca) ตะกั่ว (Pb) เป็นต้น
- 3) คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย (Biological quality) เกิดจากจุลินทรีย์ที่เจือปนในน้ำ ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส รา โปรโตซัว สาหร่าย น้ำที่มีจุลินทรีย์มากมักจะเกิดมลพิษ ที่มีผลต่อสุขภาพโดยตรง อาจก่อให้เกิดโรคระบาดที่มึนน้ำเป็นสื่อได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรค ระบบทางเดินอาหารที่สำคัญมักเกิดจากเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรค (Pathogens) ปนเปื้อนอยู่ในอาหารและน้ำ แล้วทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น อหิวาตกโรค ไทฟอยด์ พาราไทฟอยด์ บิด ข้อมูลที่สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย คือ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Total bacteria) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Faecal coliformbacteria)

การสังเกตด้วยตาเปล่าสามารถบอกถึงคุณภาพน้ำได้คร่าว ๆ เท่านั้น ซึ่งบางครั้งการใช้คุณลักษณะใดลักษณะหนึ่งไม่สามารถบอกได้ เช่น น้ำใสไม่มีสีอาจจะเจือปนไปด้วยกรด ซึ่งเป็นสารเคมีที่ไม่มีสีเช่นกัน และสามารถบอกถึงคุณภาพน้ำได้จากการวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่านั้น ดังนั้นการชี้วัดคุณภาพน้ำจึงควรกระทำโดยใช้ตัวชี้วัดหลายตัวอย่างร่วมกัน

การแบ่งเกณฑ์คุณภาพน้ำใช้ ดัชนีคุณภาพน้ำ ซึ่งเกณฑ์คุณภาพน้ำแบ่งได้เป็น 4 เกณฑ์ ได้แก่ ดีมาก ดี เสื่อมโทรม และเสื่อมโทรมมาก ซึ่งจะใช้คะแนนเป็นตัวแบ่งซึ่งได้มาจากการรวมคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำ 9 ดัชนี ได้แก่ pH, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ของแข็งทั้งหมด (TDS), แบคทีเรียกลุ่มฟีคัล (Faecal Coliform), ไนเตรท (NO₃), ฟอสเฟต (PO₄), ความขุ่น (Turbidity), อุณหภูมิ และ BOD เข้าด้วยกัน

หลักเกณฑ์การบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำว่าน้ำจัดอยู่ในประเภทน้ำดีหรือน้ำเสีย

อุณหภูมิ: ควรอยู่ระหว่าง 23 – 32 องศาเซลเซียส

ค่าความเป็นกรด-ด่าง: อยู่ระหว่าง 5 – 9 หน่วย

ค่าความเค็มของน้ำ: ปกติแหล่งน้ำจะเริ่มมีรสเค็มที่ระดับความเค็มประมาณ 0.5 ppt ซึ่งเริ่มไม่เหมาะจะนำมาใช้เพื่อการประปา ขณะที่ความเค็มประมาณ 1 ppt ไม่เหมาะจะนำมาใช้เพื่อการชลประทาน นอกจากนี้ค่าความเค็มมีค่าเกินกว่า 7 ppt จะไม่เหมาะต่อการเพาะเลี้ยงและการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำจืด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (Suspended Solid, SS): แหล่งน้ำที่ให้ผลผลิตทางการประมงที่ดีควรมีค่าแขวนลอยอยู่ในช่วง 25-80 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีค่ามากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มักจะใช้เลี้ยงปลาไม่ได้ผล นอกจากนี้ แหล่งน้ำที่เหมาะสมจะนำมาใช้ สำหรับการผลิตน้ำประปาโดยตรง ควรมีค่าสารแขวนลอยไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าออกซิเจนละลาย (DO): แหล่งน้ำที่เหมาะสมแก่การดำรงชีวิต การขยายพันธุ์และการอนุรักษ์สัตว์น้ำ ควรมีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 5 มก./ลิตร อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 2 มก./ลิตร จะไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และถ้าไม่มีปริมาณ DO จะเกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย

ค่าความขุ่นของแหล่งน้ำ: แหล่งน้ำโดยทั่วไปไม่ควรมีความขุ่นเกินกว่า 100 NTU เพราะจะส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตของสัตว์และพืชน้ำ นอกจากนี้ จะมีผลต่อระบบการผลิตน้ำประปาที่ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับ สารเคมีในการกำจัดตะกอนของน้ำ

ฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform): แหล่งน้ำที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตประปาและสามารถว่ายน้ำหรือ เล่นกีฬาทางน้ำไม่ควรมีความเข้มข้นแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มเกินกว่า 1,000 หน่วย (mpn ต่อ 100 มิลลิลิตร) ขณะที่แหล่งน้ำที่เหมาะสมจะอนุรักษ์ไว้เพื่อสำหรับกิจกรรมการเกษตรกรรม ไม่ควรมีค่าปริมาณ แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มเกินกว่า 4,000 หน่วย

ฟอสเฟต: โดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัสที่จะก่อปัญหาต่อแหล่งน้ำจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนเสมอ โดยฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยหลักและมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยรอง และแหล่งน้ำที่มีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ ระหว่าง 0.05 – 1 มก./ลิตร หรือมากกว่า และแหล่งน้ำเสื่อมโทรมมักมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเกินกว่า 0.6 มก./ลิตร ขึ้นไป

ไนเตรท: โดยทั่วไปปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน จะเปลี่ยนรูปมาจากแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในแหล่งน้ำ โดย แบคทีเรียกลุ่ม autotrophic nitrifying ซึ่งแหล่งน้ำที่มีความสกปรกสูงและมีการปนเปื้อนอย่างสม่ำเสมอ มักตรวจพบไนเตรท-ไนโตรเจนในปริมาณสูง แหล่งน้ำที่ตรวจพบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสูงย่อมแสดงว่ามีการ ปนเปื้อนจากของเสียหรือสิ่งสกปรกจากชุมชน หรือมีการชะล้างหน้าดินในพื้นที่เกษตรกรรมในปริมาณสูง ซึ่ง

จะเป็นอันตรายต่อการนำน้ำมาใช้ในการบริโภคหรือการผลิตน้ำประปา ทำให้เกิดโรคระบบโลหิต เรียกว่า Methemoglobinemia

ในประเทศแคนาดาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติที่สามารถใช้งาน เป็นแบบเครือข่าย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบคุณภาพน้ำและการรายงานโครงการสิ่งแวดล้อมแคนาดา การตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ นั้น จะประกอบด้วย หัว probe วัดคุณภาพน้ำแบบ multiparameter, เครื่องบันทึกข้อมูล, และ ระบบโทรมาตรที่ซับซ้อนและมีความสามารถในการสื่อสารที่ส่ง ข้อมูลในเวลาจริงไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และ เครื่องบันทึกข้อมูลจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างต่อเนื่อง สำหรับสองหรือสามสัปดาห์ขึ้นไป ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะบ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ค่า pH, ค่าความเค็มของน้ำ, ความขุ่น, และอุณหภูมิ การตรวจสอบประเภทนี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถรวบรวม อนุกรมของข้อมูลตามเวลา ซึ่งมีคุณภาพน้ำเป็นตัวบ่งบอกแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงและสามารถใช้ในการเตือน ภัยล่วงหน้า และสามารถรายงานข้อมูลของคุณภาพน้ำให้กับผู้บริหารจัดการและประชาชนได้แบบ real-time บนอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตยังช่วยส่งข้อมูลให้กับโปรแกรมอื่น ๆ เช่นตัวชี้วัดคุณภาพ น้ำเพื่อพัฒนาเป็นระบบข้อมูลระดับชาติได้ นอกเหนือจากพารามิเตอร์ทางกายภาพที่วัดด้วยเซนเซอร์ ยังมี การปรับใช้เป็นหุ่นในปากของเฟรเซอร์เวอร์



รูปที่ 1.1 การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติ และ การปรับใช้เซนเซอร์เป็นหุ่นในปากของ เฟรเซอร์เวอร์

เครือข่ายของการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติใหม่นี้จะช่วยส่งเสริมให้มีการบูรณาการของ ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นให้กับไซต์ที่มี hydrometric ติดตั้งอยู่ไปยังสถานีอุทกนิยมหาวิทยาลัยของแคนาดา เพื่อ บริการการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพน้ำ การตั้งสถานีเหล่านี้จะช่วยให้การดูแลและการให้ข้อมูลโครงสร้าง พื้นฐานด้านสิ่งแวดล้อมที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและสามารถใช้ร่วมกันรวมทั้งแคนาดา ระบบนี้สามารถประยุกต์ใช้งาน ภายในระบบสาธารณสุขได้เป็นอย่างดี แต่ว่าการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบ in-situ ด้วยระบบนี้ ในแม่น้ำ และ ลำธาร และ ทะเลสาบจะกระทำได้เพียงบางตำแหน่งที่ใกล้บริเวณชายฝั่งเท่านั้น ดังนั้นจะขาดข้อมูลใน ภาพรวมและข้อมูลแบบ dynamic ของคุณภาพน้ำอีกด้วย

ในปัจจุบันบริษัทไอบีเอ็ม ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ให้บริการตรวจสอบข้อมูลทางน้ำ โดยเฉพาะการตรวจสอบวัดคุณภาพของน้ำทะเล ปริมาณน้ำทะเล สภาพอากาศในเวลานั้น หรือสภาพแวดล้อม อากาศมลพิษ ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเกี่ยวกับน้ำ ทางบริษัทไอบีเอ็มจึงได้ทำการ พัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถทำงานเหล่านี้ แทนคนได้ โดยเทคโนโลยีนี้จะมีลักษณะเป็นทุ่นลอยน้ำที่มี การติดตั้งอุปกรณ์ตัวตรวจสอบหรือเซนเซอร์ที่วัดปริมาณน้ำ คุณภาพของน้ำ หรือสภาพของน้ำทะเล มากไปกว่านั้นทุ่นลอยน้ำลักษณะนี้ จะยังสามารถช่วยในการเก็บข้อมูลต่างๆที่ ต้องการในด้านงานวิจัยเกี่ยวกับ สภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่นั้นๆส่งกลับไปยัง ห้องวิจัยได้ผ่านทางเครือข่ายไร้สายได้ทันที โดยทุ่นลอยน้ำจะถูกนำไปลอยอยู่ที่กลางทะเลหรือกลางแม่น้ำ เทคโนโลยีตัวนี้จะช่วยให้ผู้ให้บริการทางด้านการผลิตน้ำ เพื่อการสาธารณสุขปโภคสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะสามารถรับรู้ข้อมูล และ คาดเดาเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้จากข้อมูลที่ ทุ่นลอยน้ำส่งมาให้ และถ้าเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้นก็ สามารถทำให้รับมือได้ทันกับสถานการณ์นั้น แต่ทว่าข้อมูลทางน้ำที่ได้จะขาดความหลากหลายเนื่องจากทุ่นจะลอยอยู่กับที่ และ มีต้นทุนสูงมากและอัตราเสี่ยงที่สูงด้วยเมื่อนำมาใช้งานในแม่น้ำ และต้องการการตรวจเช็คเป็นประจำ



รูปที่ 1.2 ทุ่นลอยน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำ ที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัทไอบีเอ็ม [http://erc-th.blogspot.com/2010/04/blog-post_1912.html]

จากตัวอย่างของการเก็บข้อมูลทางน้ำที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยต้องการพัฒนาและปรับปรุงเรืออัตโนมัติที่เคลื่อนที่ตามจุดพิกัดที่กำหนด เพื่อใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ที่ได้ใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ เพื่อสร้างและบูรณาการระบบขึ้นมาเพื่อบริหารจัดการงานสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ได้ในหลากหลายรูปแบบ ที่ต่อเนื่องจากโครงการเรืออัตโนมัติที่ขับเคลื่อนโดย podded propulsion ตามเส้นทางที่กำหนด เพื่อใช้เก็บตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 ให้ที่สมรรถนะที่ดีขึ้นกว่าเดิม โดยจะเน้นในส่วน

1. จะพัฒนาให้ระบบควบคุมหรือระบบนำร่องแบบอัตโนมัติให้สามารถเคลื่อนที่ตามจุดพิกัดให้ได้แม่นยำขึ้น และ มีราคาที่ถูกลงกว่าระบบเดิม
2. จะพัฒนาและปรับปรุงระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ติดตั้งกับเรือและสามารถจัดเก็บได้ง่าย

3. จะนำระบบโทรมาตรที่ใช้การสื่อสารแบบไร้สายมาช่วยในการเก็บข้อมูลทางน้ำและรายงานข้อมูลคุณภาพน้ำให้ได้รวดเร็วแบบ real time

สืบเนื่องจากโครงการที่แล้ว คณะผู้วิจัยประสบกับปัญหาหลักในการพัฒนาระบบขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติของเรือเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำนี้คือ ราคาของเซนเซอร์ (GPS และ IMU) ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบนำร่องนั้นมีราคาสูงมาก เนื่องจากเป็นเซนเซอร์ที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่ทว่าในการพัฒนาไปใช้ในภาคสนามจริงนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาและปรับปรุงระบบนำร่องของเรือให้มีราคาถูกลง ซึ่งจะมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในภาคสนามจริงที่มีความเสี่ยงต่อการเสียหายของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมและอุบัติเหตุที่อาจไม่คาดการณ์ล่วงหน้า เช่น ความร้อนที่สูงมากในขณะปฏิบัติการที่อาจทำให้มีการเสียหายของตัวเซนเซอร์ หรือ การปะทะเข้ากับคลื่นแรงที่อาจทำให้เรือพลิกคว่ำได้ โดยเซนเซอร์ที่มีราคาถูกลงที่จะนำมาใช้ใหม่นี้จะมีความแม่นยำและประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเซนเซอร์ที่ราคาแพงที่ใช้อยู่ในระบบนำร่องเดิม คณะผู้วิจัยเสนอแนวคิดที่จะใช้เทคนิคการบูรณาการของข้อมูล (sensor fusion) ที่ได้จากเซนเซอร์ GPS และ IMU ราคาถูกหลายๆตัวรวมกัน มาประมาณค่าของตำแหน่งและองศาการหันเหของเรือในระบบนำร่อง เพื่อให้ได้ความแม่นยำที่ใกล้เคียงกับเซนเซอร์ที่ราคาแพง

ระบบควบคุมเรือในโครงการที่แล้วได้พัฒนาไว้เป็น 2 ระบบ คือ ใช้ในรูปแบบควบคุมระยะไกลโดยผู้ปฏิบัติการ และใช้ในรูปแบบควบคุมอัตโนมัติ ในโหมดอัตโนมัติจุดพิกัดที่ต้องการให้เรือเคลื่อนที่ผ่านจะถูกกำหนดโดยผู้ปฏิบัติการไว้บนแผนที่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นระบบควบคุมแบบ PID สองลูปก็จะใช้ข้อมูลทิศทางของหัวเรือและระยะทางจากเรือไปยังจุดพิกัดที่ต้องการ แต่ทว่าผลการทดลองทั้งในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และในภาคสนาม แสดงให้เห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของเรือในโหมดอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย PID 2 แบบสองลูป ยังมีความคลาดเคลื่อนที่สูงและเรือจะไม่เคลื่อนที่ผ่านจุดพิกัด แต่จะอ้อมจุดพิกัดที่ต้องการเนื่องจากมุมที่ใช้ในการป้อนกลับของระบบควบคุมจะมีค่ามากเมื่อเรือเคลื่อนที่เข้าใกล้จุดพิกัดเป้าหมาย ดังนั้นคณะผู้วิจัย มีความประสงค์ที่จะพัฒนาระบบควบคุมแบบ observer ร่วมกับ PID เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่ ซึ่งจะส่งผลให้การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ณ จุดที่ต้องการมีความแม่นยำมากขึ้น และ มีความทนต่อคลื่นรบกวนภายนอกได้ดีอีกด้วย

นอกจากนั้น คณะผู้วิจัยต้องการพัฒนาและปรับปรุงระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำที่เน้นการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของน้ำเพื่อให้ได้ข้อมูลของน้ำ ณ จุด (In-Situ) ด้วยเรืออัตโนมัติ โดยที่จะทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง, ค่าความเค็ม และ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยที่จะออกแบบระบบการนำหัว probe วัดคุณภาพน้ำนี้ให้อยู่ในระดับความลึกที่ต้องการโดยใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติเข้ามาช่วย และสามารถจัดเก็บหัว probe เข้ากับตัวเรือเมื่อไม่ต้องการใช้งาน และ คณะผู้วิจัยจะได้มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาใช้ในการจัดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำ ซึ่งในปัจจุบันระบบสื่อสารระยะไกลได้มีการนำไปอย่างแพร่หลาย เพื่อตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็วทันต่อสถานการณ์

ในการใช้เรืออัตโนมัติเพื่อเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุด (In-Situ) ในโครงการนี้จะมีข้อดีกว่าการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบที่มีอยู่ในปัจจุบันดังนี้

1. การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำสามารถทำได้ในพื้นที่กว้างมากขึ้น และสามารถปฏิบัติงานได้นานขึ้นกว่าการใช้เรือขนาดเล็กโดยมีเจ้าหน้าที่ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ
2. ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้จะมีความหลากหลายกว่าแบบเก่าหรือได้ข้อมูลที่เป็น Dynamic มากขึ้นแทนที่จะเป็นข้อมูลแบบ Static อันเนื่องมาจากการขาดการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำ
3. ช่วยลดงบประมาณในการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพแหล่งน้ำต่างๆในระยะยาว
4. ในขณะที่ผู้ใช้งานได้รับความสะดวกในการปฏิบัติหน้าที่มากขึ้น ภาระงานน้อยลงเนื่องจากหลายภาระงานถูกแปลงเป็นขั้นตอนอัตโนมัติเช่นการอ่านและบันทึกข้อมูล การบังคับเรือพาหนะ โดยไม่ต้องออกไปผจญกับภาวะภายนอกที่ไม่เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน
5. ช่วยลดความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงานลงโดยเฉพาะในสภาพอากาศที่แปรปรวนหรือสภาพแวดล้อมที่มีสารพิษตกค้างเยอะ

2 วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย

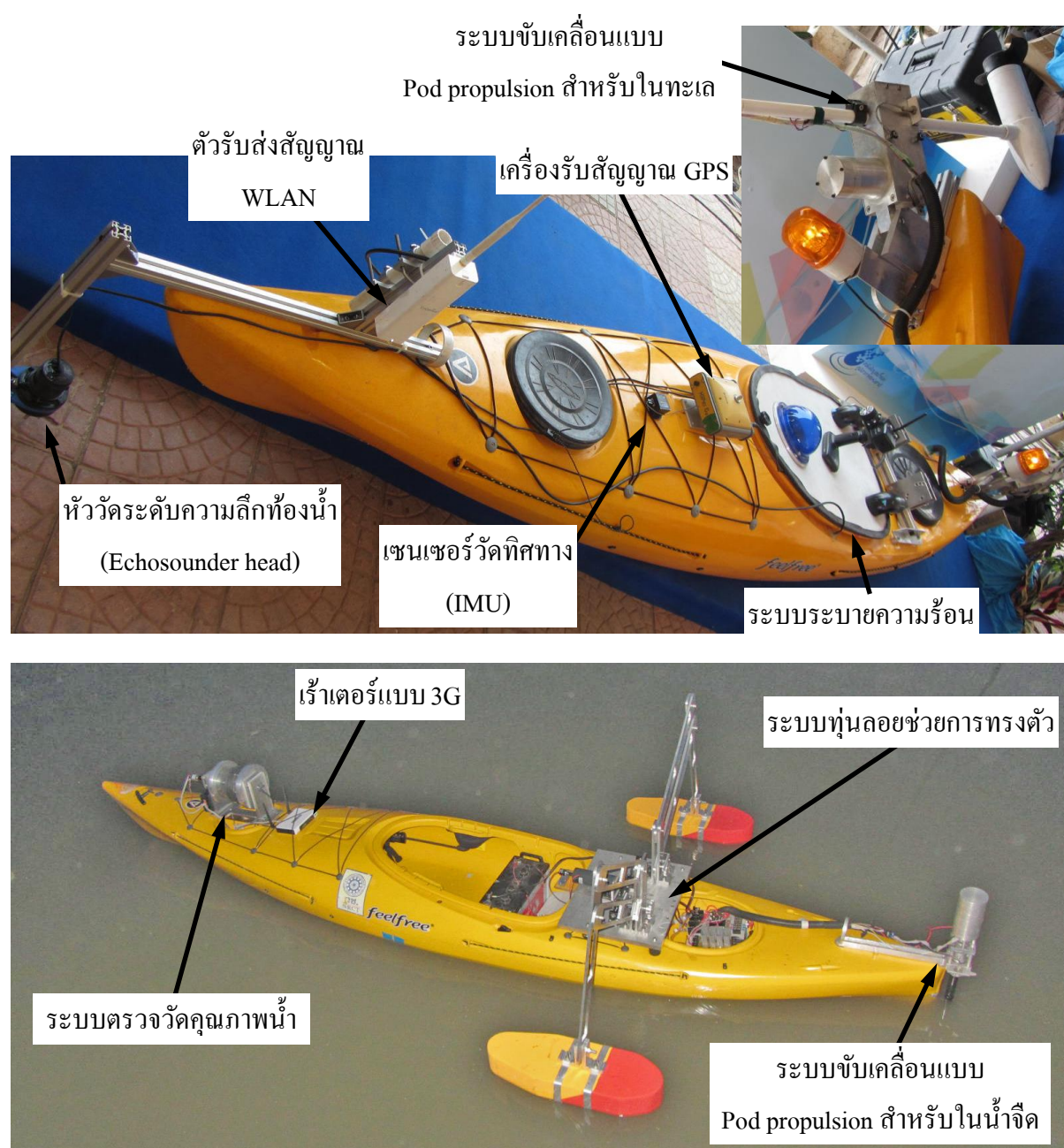
1. เพื่อพัฒนาเรือที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ ที่สามารถใช้เก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ หรือ เขื่อน
2. เพื่อพัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องมือที่ใช้ในเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำที่มีความลึกโดยเฉลี่ย มากกว่าหรือเท่ากับ 5 เมตร โดยที่ตัวอย่างน้ำจะถูกเก็บจากที่ผิวน้ำและที่ระดับความลึก 1 เมตร จากผิวน้ำ (เพื่อสอดคล้องกับ ความต้องการของ Thailand National Environment Board)
3. เพื่อพัฒนาและปรับปรุงระบบควบคุมหรือระบบนำร่องแบบอัตโนมัติที่สามารถบังคับเรือให้เคลื่อนที่ตามจุดพิกัดที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ
4. เพื่อพัฒนาและปรับปรุงระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ติดกับเรือให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ สามารถควบคุมระดับความลึกได้แบบอัตโนมัติ และ สามารถส่งถ่ายข้อมูลของคุณภาพน้ำมายังคอมพิวเตอร์บนฝั่งได้แบบ ณ จุด โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ
5. เพื่อพัฒนาระบบนำร่องอัตโนมัติของเรือเก็บตัวอย่างน้ำ โดยจะเน้นการ บรูณาการของข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ GPS และIMU หลายๆตัวเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ค่าประมาณของตำแหน่งและองศาการหันเหของหัวเรือที่จะใช้สำหรับควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือ ไปตามพิกัดที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำ

3 รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย

ในโครงการวิจัยแรกคือการพัฒนาระบบขับเคลื่อนเรืออัตโนมัติโดยใช้ podded propulsion (Automatic Surface Vehicle Propelled and Controlled by Podded Propulsion) ซึ่งจะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบและสร้างชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์และระบบทางกลเพื่อรองรับการติดตั้งมอเตอร์บังคับเลี้ยวและมอเตอร์ขับเคลื่อนของชุด podded propulsion ที่จะติดตั้งกับเรือ kayak โดยที่ระบบขับเคลื่อนนี้จะเป็นพื้นฐานที่จะนำไปพัฒนาในส่วนโครงการวิจัยที่สองคือการควบคุมเรือเคลื่อนที่อัตโนมัติขนาดเล็กแบบใช้ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก สำหรับงานสิ่งแวดล้อม (GPS Tracking Control of the Robotic Boat for Environmental Task) ที่จะมุ่งเน้นไปยังการพัฒนาการควบคุมการเคลื่อนที่ของเรือ kayak ทั้งในโหมดแบบ

บังคับวิทยุและในโหมดแบบอัตโนมัติตามจุดพิกัดที่กำหนด โดยใช้สัญญาณ GPS เพื่อระบุพิกัดตำแหน่งของเรือ และใช้สัญญาณจาก IMU เพื่อระบุองศาและทิศทางการหมุนของหัวเรือ และ ทั้งนี้ยังได้มีการพัฒนาระบบเก็บตัวอย่างน้ำแบบอัตโนมัติที่จะติดตั้งไปกับเรืออีกด้วย

4 สรุปผลการวิจัย



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบทั้งหมดที่ได้ติดตั้งกับเรือคายัค

การจัดการทรัพยากรน้ำและการพัฒนาแหล่งน้ำนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากน้ำจัดว่าเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการอุปโภคบริโภค และ ภาคการเกษตร และมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับประชาชนในเรื่องของความเป็นอยู่ แต่ปัจจุบันนี้ยังขาดกำลังเจ้าหน้าที่ๆเพียงพอในการอนุรักษ์และตรวจวัดข้อมูลของแหล่งน้ำต่างๆทั่วประเทศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการเน้นการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเรือที่ขับเคลื่อนโดยใช้ podded propulsion ที่สามารถควบคุมได้ทั้งโหมดบังคับวิถีโดยผู้ปฏิบัติการหรือโหมดอัตโนมัติตามจุดพิกัดที่กำหนด และ ให้สามารถปฏิบัติการได้ทั้งในแหล่งน้ำจืดหรือในทะเล เพื่อใช้ตรวจวัดคุณภาพน้ำและความลึกของแหล่งน้ำตามจุดพิกัดที่ระบุ และ มีระบบรายงานข้อมูลคุณภาพน้ำได้แบบ ณ เวลาจริง ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบ 3G นอกจากนี้ยังเน้นการลดต้นทุนการผลิต เพื่อให้เรือนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ และแพร่หลายยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยได้นำเรือที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดสอบใช้งานในภาคสนามจริงทั้งในทะเลที่อ่าวปะการัง จังหวัดระยอง และ คลองต่างๆในกรุงเทพฯและปทุมธานี

เรือคายัคที่ควบคุมแบบอัตโนมัติและระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ณ เวลาจริงได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำให้เป็นไปได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยไม่ต้องส่งผู้ปฏิบัติการลงไปพร้อมกับเรือ และ ผู้ปฏิบัติการที่ออกไปดำเนินการในภาคสนามทั้งในน้ำจืดและน้ำทะเลนั้นจะใช้เพียง 3-4 คน เท่านั้น การออกแบบและสร้างและปรับปรุงประสิทธิภาพของเรืออัตโนมัติเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำนี้ ต้องใช้การบูรณาการของเทคโนโลยีในหลายๆด้านเข้าด้วยกัน ภาพรวมของเรืออัตโนมัติที่ได้พัฒนาขึ้นมา แสดงในรูปที่ 1

คุณสมบัติทางกายภาพและเซนเซอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการและระบบต่างของเรือ

ขนาด : กว้าง x ยาว	0.68 x 3.85 เมตร
กินน้ำลึก	0.60 เมตร
น้ำหนักเรือเปล่า	18.5 กิโลกรัม
น้ำหนักบรรทุก	100 กิโลกรัม
ความเร็วเฉลี่ย	7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
เซนเซอร์นำร่อง	Topcon GPS และ Micro-strain IMU
เซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำ	WTW-Multi 340i (อุณหภูมิ ความเค็ม หรือ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ) และ ISFET (ความเป็นกรด-ด่าง)
เซนเซอร์วัดความลึกแหล่งน้ำ	Echo Sounder จาก Garmin 421s วัดความสูงสุด 457 เมตร
ระบบขับเคลื่อน	Podded Propulsion ที่ใช้งานได้ในน้ำจืดและน้ำเค็ม
ระบบควบคุมการเคลื่อนที่	รีโมตบังคับวิถี 2.4 GHz หรือ แบบอัตโนมัติตามจุดพิกัด GPS
ระบบระบายความร้อน	พัดลมระบายความร้อนและสารดูดความชื้น
ระบบสื่อสาร	อินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย และ อินเทอร์เน็ตบนเครือข่าย 3G
ระบบหุ่นยนต์ช่วยการทรงตัว	เพิ่มเสถียรภาพในการลอยตัวให้โคลงน้อยกว่า ± 20 องศา
ระบบจ่ายพลังงาน	แบตเตอรี่ deep-cycle 12 โวลต์

- 1) ในการสร้างและพัฒนาปรับปรุงระบบโดยรวมของเรืออัตโนมัติ จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ได้ดังนี้ คือ
 - a. ระบบกลไกการควบคุมการบังคับเลี้ยวของ podded propulsion ที่ประกอบไปด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน (thruster) ที่ทนการกัดกร่อนของน้ำทะเล และ มอเตอร์บังคับเลี้ยว (heading motor) ที่หุ้มอยู่ในโครงสร้างที่กันน้ำและสามารถยกพับเก็บให้ขนานกับท้ายเรือได้ เพื่อให้เรือคายัคนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในทะเลได้
 - b. ระบบระบายความร้อนอากาศสำหรับห้องเก็บอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ภายในเรือ โดยการใช้พัดลมช่วยในการดูดอากาศที่ร้อนออก และ มีช่องนำอากาศที่มีสารดูดความชื้นติดตั้งอยู่เพื่อช่วยนำอากาศจากภายนอกเข้ามาหมุนเวียน
 - c. ระบบหุ่นช่วยการทรงตัว เพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการทรงตัวหรือกันการโคลงของเรือหรือพลิกคว่ำของเรือ เมื่อนำไปปฏิบัติการในทะเลที่คลื่นลมมาประทะ และ จะไม่เพิ่มแรงต้านในการเคลื่อนที่จากน้ำเมื่อไม่ใช้งาน
 - d. ระบบตรวจวัดความลึกของแหล่งน้ำโดยใช้เซนเซอร์คลื่นเสียง (Echo Sounder) เพื่อช่วยบ่งบอกถึงความลึกในแหล่งน้ำที่ปฏิบัติการ
- 2) ระบบนำร่องของเรือที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยการบูรณาการข้อมูลจากเซนเซอร์ GPS ที่ให้ค่าพิกัดตำแหน่ง เข้ากับ ข้อมูลจากเซนเซอร์ Accelerometer ที่ให้ค่าความเร่งและเซนเซอร์ Gyroscope ที่ให้ค่าอัตราเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ โดยใช้เทคนิค Extended Kalman Filter เพื่อให้ได้ค่าประมาณของตำแหน่งและองศาการหันเหของหัวเรือและความเร็วในการเคลื่อนที่ๆจะใช้สำหรับควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือคายัคแบบอัตโนมัติ
- 3) ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ตามจุดพิกัดที่กำหนดแบบอัตโนมัติของเรือคายัค (kayak) ที่ขับเคลื่อนด้วย podded propulsion ถูกพัฒนาและปรับปรุงโดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับตัวแปรสถานะ (Full-State Feedback) ร่วมกับตัวสังเกตการณ์สถานะ (Observer) และ ทำการเปรียบเทียบการจำลองการเคลื่อนที่โดยใช้สมการพลศาสตร์ (ทางคณิตศาสตร์) เพื่อศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเรือก่อนนำไปประยุกต์ใช้งานจริง
- 4) ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยสามารถวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าความเค็มของน้ำ จากจุดพิกัดต่างๆที่ต้องการและที่ระดับความลึกที่ไม่เกิน 5 เมตร โดยข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้นี้จะถูกส่งผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบ 3G ไปยัง Web Server หรือ คอมพิวเตอร์ของผู้ปฏิบัติการ ได้แบบ ณ เวลาจริง (real time) ในพื้นที่ๆครอบคลุมด้วยระบบเครือข่ายมือถือแบบ 3G โดยจะมีค่าเวลาหน่วงโดยเฉลี่ยประมาณ 6 วินาที

เรือคายัคที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถควบคุมได้ 2 ระบบ คือ ใช้การแบบควบคุมระยะไกลผ่านคลื่นวิทยุโดยผู้ปฏิบัติการ และใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติ ในโหมดอัตโนมัติ จุดพิกัดในการเคลื่อนที่จะถูกกำหนดโดยผู้ปฏิบัติการในโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนเรือ จากนั้นระบบควบคุมแบบป้อนกลับตัวแปรสถานะที่ได้พัฒนาขึ้น ก็จะพยายามรักษาเส้นทางเคลื่อนที่ของเรือให้อยู่ในแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดพิกัดสองจุด โดยการปรับหัวเรือให้เข้าสู่เส้นตรงนี้เสมอ แต่ในการนำเรือคายัคที่ควบคุมแบบอัตโนมัตินี้ไปใช้งานได้ในคลองหรือแม่น้ำจริงนั้นจะกระทำได้อย่างยากเนื่องจากมีอุปสรรคสิ่งกีดขวางมากมาย เช่น อวน ยอ กอผักตบชวา และ

สะพานไม้ที่เตี้ย ซึ่งอุปสรรคเหล่านี้ไม่ได้ถูกกำหนดไว้หรือที่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า จากประสบการณ์ในการลงพื้นที่เพื่อการสำรวจคลองจริงนั้นยังจำเป็นต้องพึ่งการควบคุมผ่านคลื่นวิทยุโดยผู้ปฏิบัติการ แต่ถ้าเป็นการสำรวจรอบชายฝั่งทะเลที่มีอุปสรรคสิ่งกีดขวางที่น้อย นั้นการใช้งานของระบบควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นจะมีความเหมาะสม

ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ที่ใช้งานบนเรือนี้ การตรวจวัดคุณภาพน้ำจะสามารถปล่อยหัววัดคุณภาพน้ำไปยังความลึกที่กำหนด โดยจะมีการจัดเก็บสายไฟฟ้าของหัววัดคุณภาพน้ำเพื่อป้องกันการพันกันของสายไฟระหว่างการใช้งาน ระบบที่มีความสามารถที่จะช่วยบรรเทาและลดภาระงานของนักวิทยาศาสตร์ นอกเหนือจากระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ติดไปกับเรือแล้ว ประโยชน์การใช้งานของเรือคายัคนี้ก็ได้จำกัดเพียงการตรวจวัดคุณภาพน้ำเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์เสริมที่ติดกับเรื่อนั้นจะรวมถึงเครื่องวัดแบบคลื่นเสียง (echo sounder) เพื่อใช้ในการวัดความลึกของร่องน้ำ โดยจะนำข้อมูลที่ได้จะมีประโยชน์ช่วยในการคำนวณหาปริมาตรรวมของแหล่งน้ำต่างๆจากการประมวลผลภายหลังได้

5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ต้นแบบเรือเก็บตัวอย่างน้ำที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยที่เรือต้นแบบนี้สามารถขนย้ายได้ง่ายเนื่องจากได้ระบบต่างแยกจากกันเป็นส่วนๆ (modularity)
2. ได้ต้นแบบเรือ kayak ที่ขับเคลื่อนโดย podded propulsion ที่เป็นระบบที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ง่ายและมีความคล่องตัวสูง (high maneuverability)
3. ได้ต้นแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเรือทั้งในโหมดแบบควบคุมด้วยวิทยุบังคับและในโหมดอัตโนมัติตามจุดพิกัดที่กำหนดโดยผู้ปฏิบัติการ
4. ได้ระบบเก็บตัวอย่างน้ำแบบอัตโนมัติ ที่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกไม่เกิน 6 เมตร
5. ได้หุ่นยนต์ดำน้ำขนาดเล็กที่สามารถใช้ในการติดตั้งเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำ ที่สามารถวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และ ค่าความเค็ม ในน้ำที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร

6 หน่วยงานที่น่าผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) – Hydro and Agro Informatics Institute (HAII)
2. กรมชลประทาน (Royal Irrigation Department)
3. กรมวิทยาศาสตร์บริการ