

6. อภิปรายและวิจารณ์ผลของโครงการย่อยที่ 2

สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลักๆได้ดังนี้

1. การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ GPS EM-406A ที่ราคาไม่แพงหลายๆตัว
2. การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดมุมเอียงและความเร่งและเข็มทิศแบบดิจิตอล
3. การจำลองการบูรณาการข้อมูลจาก GPS และ IMU โดยใช้เทคนิค Extended Kalman Filter โดยโปรแกรม Matlab
4. การส่งข้อมูลของคุณภาพน้ำที่วัดได้ผ่าน Pachube Web Server แบบ real time โดยใช้ Ethernet Shield

6.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ GPS EM-406A ที่ราคาไม่แพงหลายๆตัว

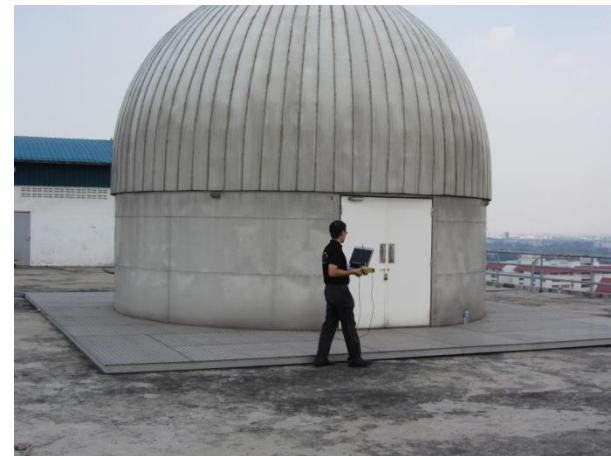
ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์แต่ละชนิดก่อนที่นำข้อมูลเหล่านี้มารวมกัน อันดับแรกได้ทดสอบความแม่นยำในการวัดพิกัดหรือตำแหน่งในระนาบแนวนอนของเซนเซอร์ Topcon GPS เมื่อเทียบกับ GPS EM-406 A โดยได้ทำการทดสอบในพื้นที่แบบต่างๆกัน คือ พื้นที่ประเภท 1) ในพื้นที่โล่งแจ้งที่บางส่วนและมีหลังคาบางส่วน, พื้นที่ประเภท 2) ในพื้นที่อยู่ใกล้สิ่งก่อสร้างขนาดสูงหรือทำด้วยโลหะ ซึ่งสิ่งก่อสร้างในที่นี้คือหอดูดาวที่มีโครงเป็นโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 6.1, พื้นที่ประเภท 3) ในพื้นที่โล่งแจ้งที่ไม่มีอะไรกำบัง ในบริเวณรอบสระน้ำข้างอาคารวิทยบริการ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรี ดังแสดงในรูปที่ 6.4, พื้นที่ประเภท 4) ในคลองพระยาสุเรนทร์เป็นระยะทาง 7 กิโลเมตร โดยในสองพื้นที่แรกได้ทดสอบบนดาดฟ้าของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรี ดังแสดงในรูปที่ 6.1



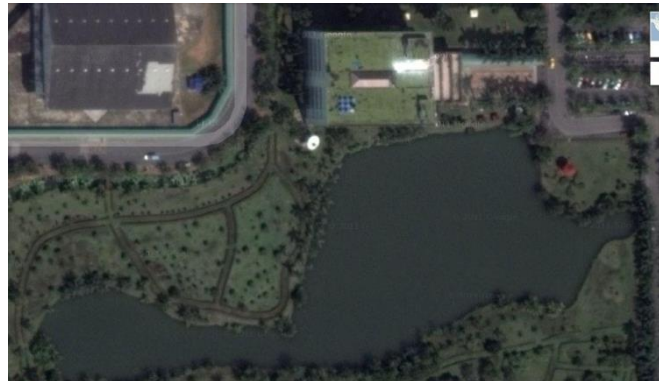
รูปที่ 6.1 ตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์และชั้นดาดฟ้าที่ใช้ทดสอบพื้นที่ประเภทที่ 1 และ 2



รูปที่ 6.2 พื้นที่ประเภทที่ 1 (ด้านซ้าย) พื้นที่ประเภทที่ 2 (ด้านขวา)



รูปที่ 6.3 การทดสอบเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ GPS ในพื้นที่ประเภทที่ 1 (ด้านซ้าย) พื้นที่ประเภทที่ 2 (ด้านขวา)



รูปที่ 6.4 พื้นที่ประเภทที่ 3 บริเวณรอบสระน้ำข้างอาคารวิทยบริการ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

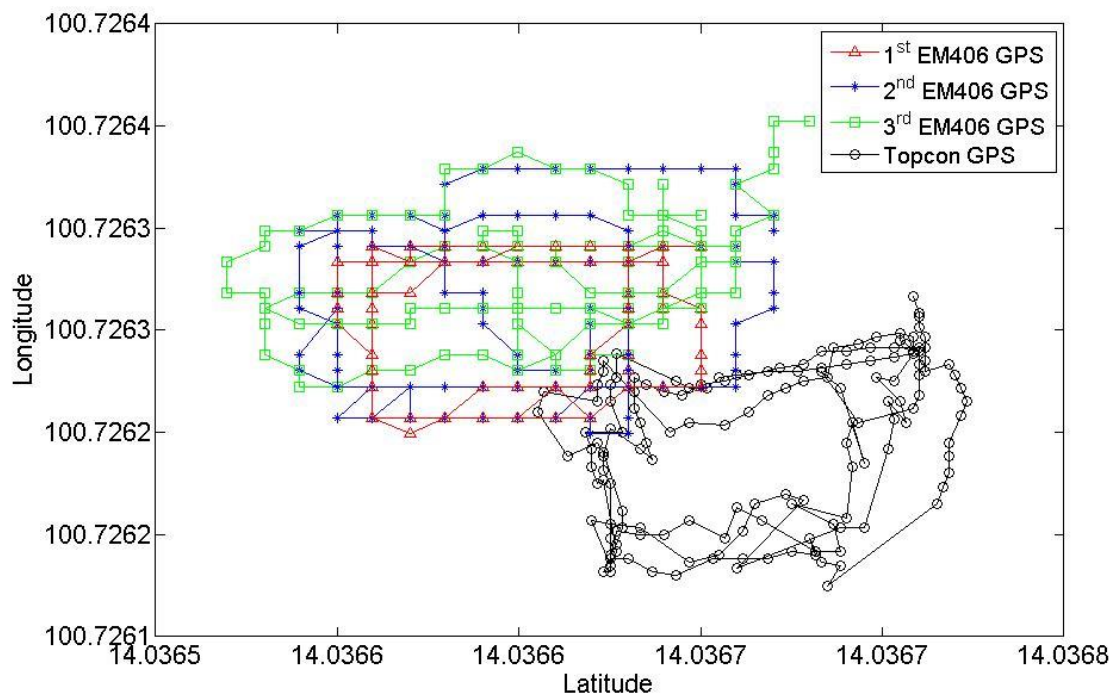


รูปที่ 6.5 การทดสอบเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ GPS ในพื้นที่ประเภทที่ 4 ในคลองพระยาสุเรนทร์



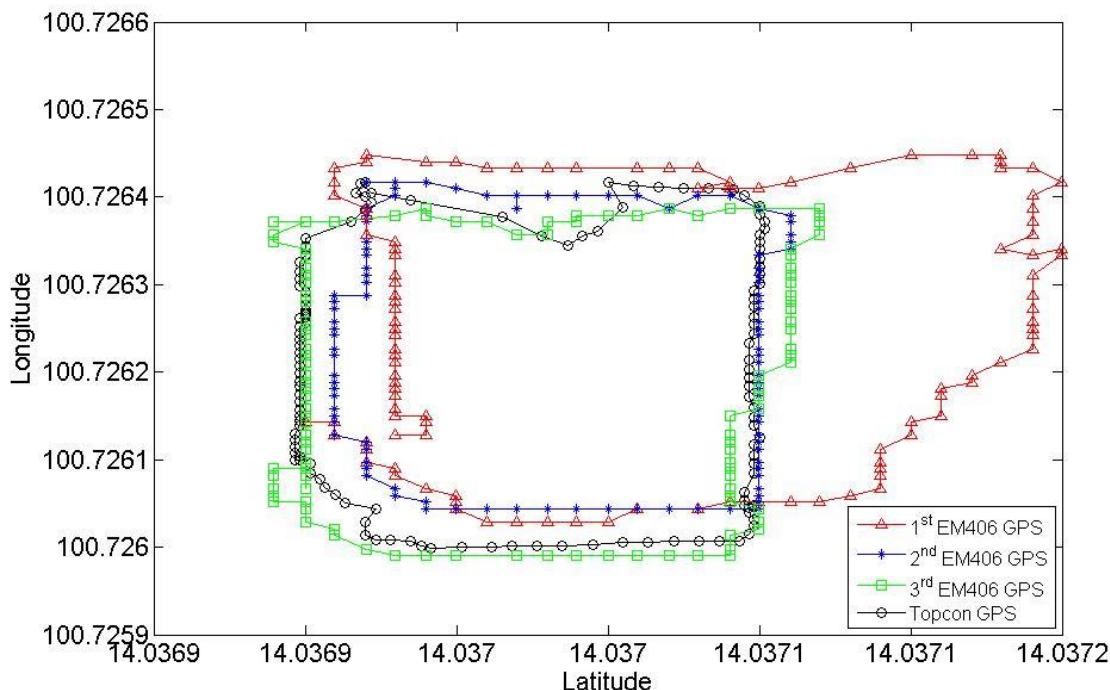
รูปที่ 6.6 สภาพสิ่งกีดขวางในระหว่างการทดสอบเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ GPS ในคลองพระยาสุเรนทร์

ผลการทดสอบตำแหน่งที่ได้จาก GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพงจะนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่วัดได้จาก GPS Topcon เพื่อหาความผิดพลาดในระนาบแนวนอน ผลการทดลองในพื้นที่ประเภทที่ 1 แสดงในรูป 6.5 แสดงให้เห็นว่าผนังโลหะที่สูงของหอดูดาวจะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณดาวเทียมบริเวณรอบๆ ทำให้ตำแหน่งที่วัดได้จาก GPS ทั้งสองแบบ มีค่าผิดพลาดและความคลาดเคลื่อนที่เยอะมาก ดังนั้นผลที่ได้นี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของ GPS ที่ไม่สามารถใช้ได้บริเวณที่มีตึกสูงๆหรือมีโลหะที่จะสะท้อนสัญญาณดาวเทียม



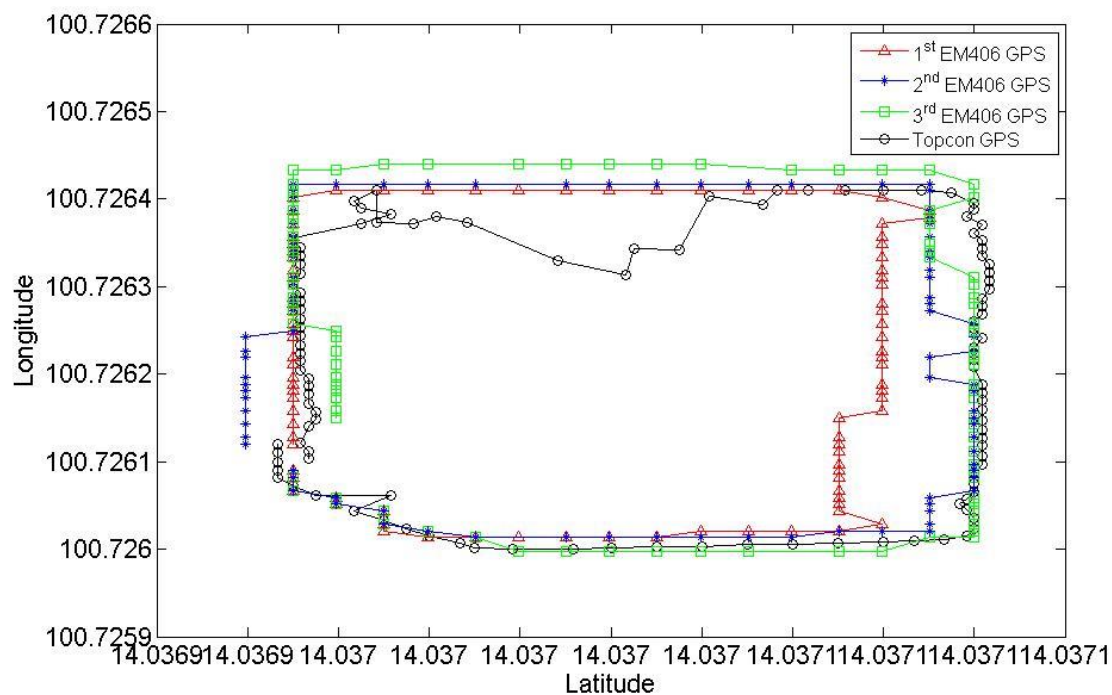
รูปที่ 6.7 พิกัดหรือตำแหน่งที่วัดได้ในรูปแบบของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพง จำนวนสามตัวและได้จาก GPS Topcon ในพื้นที่ประเภทที่ 1

ผลการทดลองที่วัดได้ในพื้นที่ประเภทที่ 2 ที่เดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในรูปที่ 6.2 – 6.3 จาก GPS ทั้งสองประเภท โดยจะทำการทดสอบในพื้นที่ประเภทที่ 2 จำนวนสามครั้ง ผลการทดลองในครั้งที่ 1 ในรูปที่ 6.7 แสดงให้เห็นว่า GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพงตัวที่หนึ่งให้ค่าพิกัดที่คาดเคลื่อนค่อนข้างมาก แต่ยังคงอยู่ในระยะความคาดเคลื่อนที่ระบุไว้ในคุณสมบัติของเซนเซอร์ GPS EM-406 A ที่มีค่าเท่ากับ ± 10 เมตร ส่วนพิกัดของ GPS EM-406 A ตัวที่สองและสามมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดของ GPS Topcon แต่ทว่าบริเวณพื้นที่ทางด้านบนของรูปจะมีหลังกาบ ซึ่งจะมีสัญญาณดาวเทียม จึงทำให้ค่า GPS ทุกตัวมีความผิดเพี้ยนไป

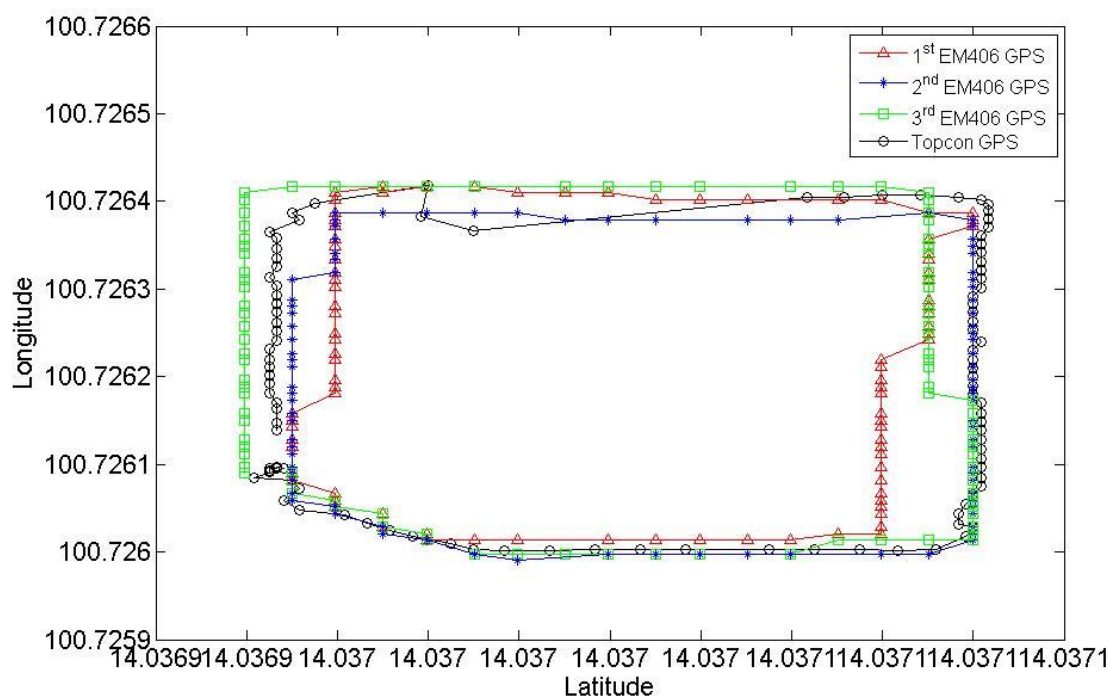


รูปที่ 6.8 พิกัดหรือตำแหน่งที่วัดได้ในรูปแบบของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพง จำนวนสามตัวและได้จาก GPS Topcon ในพื้นที่ประเภทที่ 2 สำหรับการทดลองครั้งที่ 1

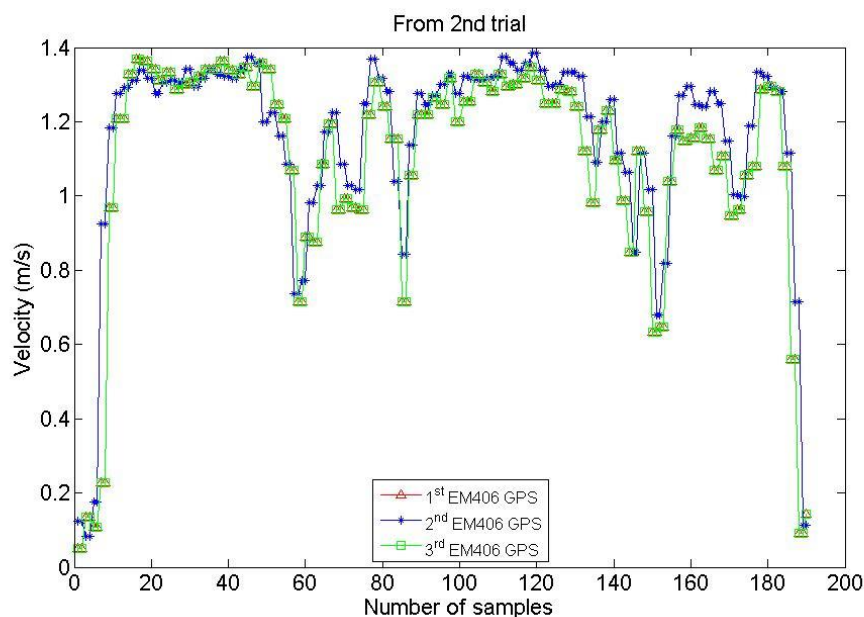
ผลการทดลองในครั้งที่ 2 และ 3 ในรูปที่ 5.21 และ 5.22 แสดงให้เห็นว่า GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพงทั้ง 3 ตัว ให้ค่าพิกัดของละติจูดและลองจิจูดใกล้เคียงกับพิกัดที่วัดได้จาก GPS Topcon แต่ทว่าค่าพิกัดของ GPS EM-406 A ตัวที่ 1 ยังคงมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าตัวที่ 2 และ 3 สาเหตุของความคลาดเคลื่อนของ GPS EM-406 A ตัวที่ 1 นั้นอาจจะมาจากการรับสัญญาณดาวเทียมที่ต่างกลุ่มกันออกไป ทำให้ค่าพิกัดผิดเพี้ยนไปมาก นอกจากนั้นเรายังได้วัดสัญญาณความเร็วในการเคลื่อนที่ และ มุมหันเหเทียบกับทิศเหนือจาก GPS EM-406 A ในการทดลองครั้งที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ ผลที่วัดได้แสดงให้เห็นว่า GPS EM-406 A ทั้ง 3 ตัว ให้ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ และ มุมหันเหเทียบกับทิศเหนือ ที่ใกล้เคียงกันมาก จากผลการทดสอบในพื้นที่ประเภทที่สองแสดงให้เห็นว่า พิกัดที่วัดได้จาก GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพงเพียงตัวเดียวหรือหลายๆตัว ไม่สามารถนำมาใช้นำร่องการเคลื่อนที่ให้ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจึงต้องมีการบูรณาการของข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ชนิดอื่นๆด้วย



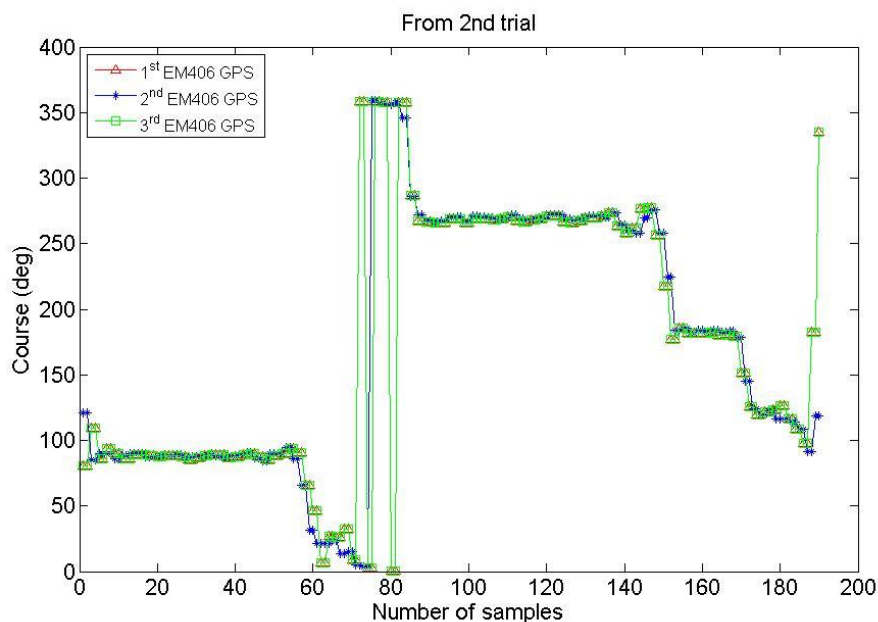
รูปที่ 6.9 พิกัดหรือตำแหน่งที่วัดได้ในรูปแบบของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพง จำนวนสามตัวและได้จาก GPS Topcon ในพื้นที่ประเภทที่ 2 สำหรับการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 6.10 พิกัดหรือตำแหน่งที่วัดได้ในรูปแบบของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก GPS EM-406 A ที่ราคาไม่แพง จำนวนสามตัวและได้จาก GPS Topcon ในพื้นที่ประเภทที่ 2 สำหรับการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 6.11 ความเร็วในการเคลื่อนที่ ที่วัดได้จาก GPS EM-406 A ทั้ง 3 ตัว



รูปที่ 6.12 มุมหันเหเทียบกับทิศเหนือ ที่วัดได้จาก GPS EM-406 A ทั้ง 3 ตัว

ส่วนผลการทดลองที่วัดพิกัดในพื้นที่ประเภทที่ 3 โดยการเดินรอบสระน้ำข้างตึกอาคารวิทยบริการที่สูง 6 ชั้น ในมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิร ซึ่งพื้นที่ๆโล่งแจ้ง ได้แสดงในรูปที่ 6.13 และ 6.14 พิกัดที่วัดได้จาก GPS EM-406 A ทั้ง 2 ตัว มีความแม่นยำดีและเกือบจะซ้อนทับกันตลอดเวลาโดยที่พิกัดจะต่างกันไม่เกิน 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6.14 ทางขวามือ แต่ทว่าค่าพิกัดที่วัดได้ขณะที่เริ่มเดินจากข้างตึกวิทยบริการมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 6.14 ทางซ้ายมือ ซึ่งจะเป็นปัญหาของการรับสัญญาณจากดาวเทียมเมื่อมีตึกสูงมาบังอยู่ข้างหนึ่ง คล้ายกันกับปัญหาในพื้นที่ประเภทที่ 1 โดยรวมแล้วค่าพิกัดจาก GPS EM-406 A มีความแม่นยำที่ดีเมื่อใช้งานในพื้นที่โล่งแจ้ง

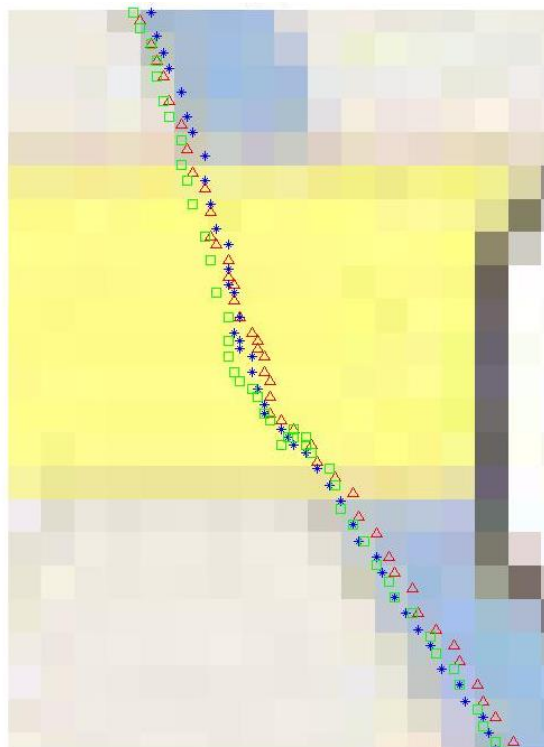
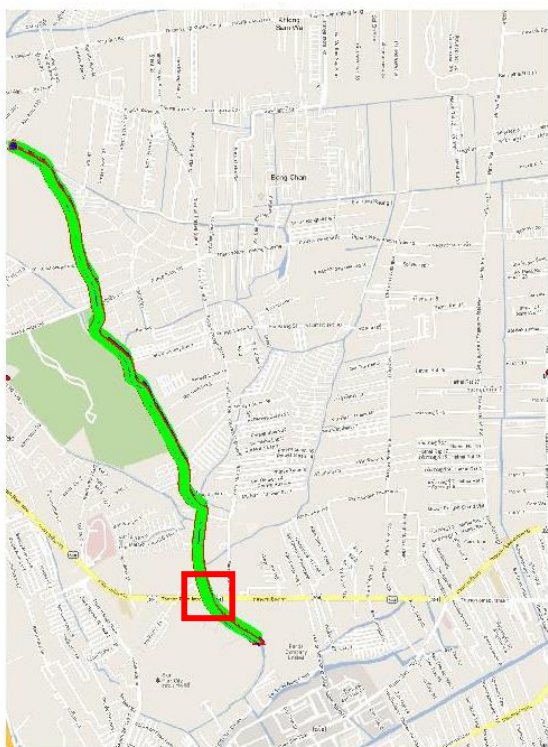


รูปที่ 6.13 พิกัดหรือตำแหน่งที่วัดได้ในรูปแบบของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก GPS EM-406 A จำนวนสองตัว ที่นำมาวางดลงบน Google Earth ในพื้นที่ประเภทที่ 3 บริเวณรอบสระน้ำข้างอาคารวิทยบริการ



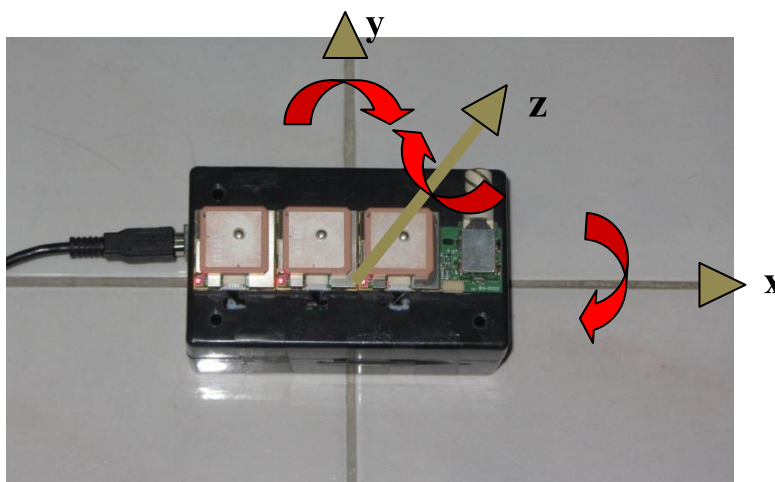
รูปที่ 6.14 พิกัดที่วัดได้จาก GPS EM-406 A จำนวนสองตัว ที่นำมาวางดลงบน Google Earth ในพื้นที่ประเภทที่ 3 บริเวณที่ใกล้กับตึกอาคารวิทยบริการ (ด้านซ้าย) และ บริเวณโค้งแจ้งริมขาสุดของสระน้ำ (ด้านขวา)

สำหรับผลการทดลองที่วัดพิกัดในพื้นที่ประเภทที่ 4 โดยการใช้เรือแล่นไปตามคลองพระยาสุเรนทร์เป็นระยะทาง 7 กิโลเมตร คลองนี้จะมี ความกว้างโดยประมาณอยู่ระหว่าง 5-6 เมตรโดยสภาพในคลองจะมีผักตบชวาในบางพื้นที่และมีสะพานคนข้ามและสะพานเดินรถอยู่เป็นระยะตลอดแนวของคลอง ดังแสดงในรูปที่ 6.15 ค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่วัดได้จาก GPS EM-406 A จำนวนสามตัวมีความแม่นยำที่ใช้ได้ คือ ค่าพิกัดจะอยู่ภายในความกว้างของคลอง ดังแสดงในรูปที่ 6.15 (ด้านซ้าย) แต่ในส่วนบริเวณใต้สะพานเดินรถจะบังสัญญาณดาวเทียมทำให้พิกัดที่วัดได้จาก GPS EM-406 A ทุกตัวมีค่าที่กระโดดและความแม่นยำจะลดลงไป (ด้านขวา)



รูปที่ 6.15 พิกัดที่วัดได้ในรูปแบบของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก GPS EM-406 A จำนวนสองตัว ที่นำมาวาดลงบน Google Earth ในพื้นที่ประเภทที่ 4 คลองพระยาสุเรนทร์เป็นระยะทาง 7 กิโลเมตร (ด้านซ้าย) และ ภาพขยายในบริเวณใต้สะพานทางด่วน (ด้านขวา)

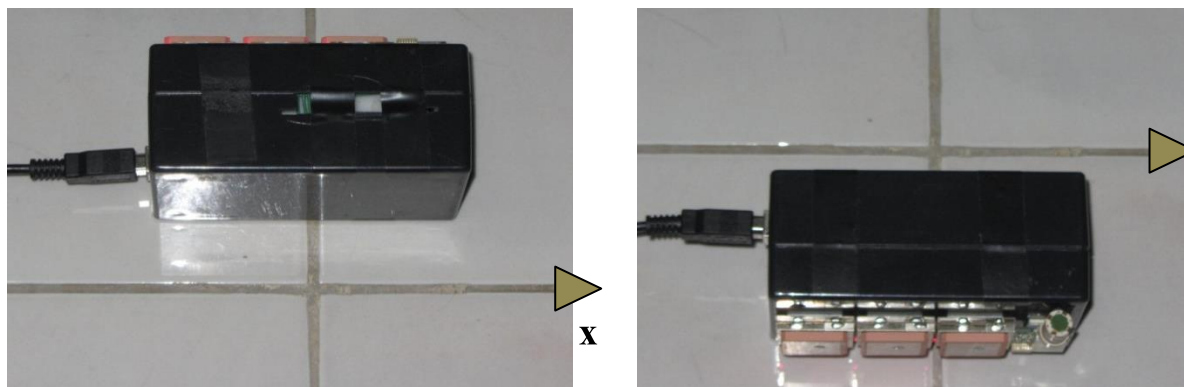
6.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดมุมเอียงและความเร่งและเข็มทิศแบบดิจิทัล



รูปที่ 6.16 แกนพิกัดการหมุนของเซนเซอร์ IMU และ เซนเซอร์เข็มทิศ ภายในกล่องระบบนาร่อง

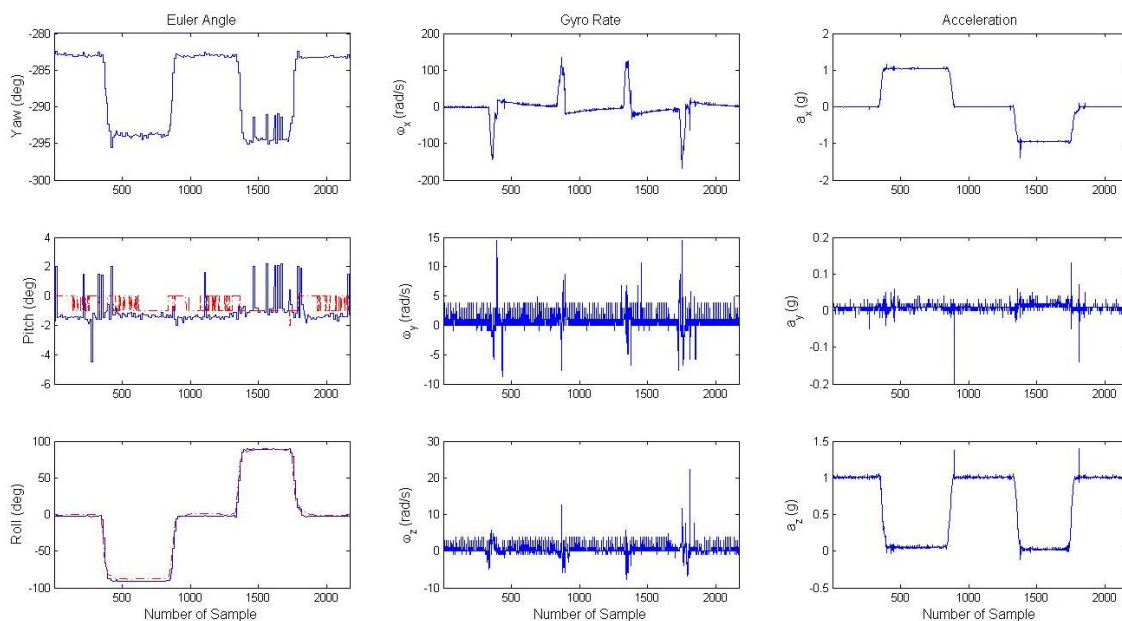
การทดลองในส่วนนี้จะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์วัดมุมเอียงและเซนเซอร์วัดความเร่งที่อยู่บนบอร์ดเดียวกันของ IMU 6DOF Razor และการทำงานของเซนเซอร์เข็มทิศแบบดิจิทัลของ HMC6343 เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงาน ก่อนที่จะนำข้อมูลมาบูรณาการกับเซนเซอร์ GPS EM-406 A

ในระบบนำร่อง ในรูปที่ 6.16 แสดงแกนพิกัดการหมุนของเซนเซอร์ IMU และเข็มทิศ ของกล่องระบบนำร่อง โดยในที่นี้จะทดสอบการหมุนรอบแกน x, y และ z แล้วแสดงผลอัตราการหมุนเชิงมุมและความเร่งและองศาการหมุนในแต่ละแกน



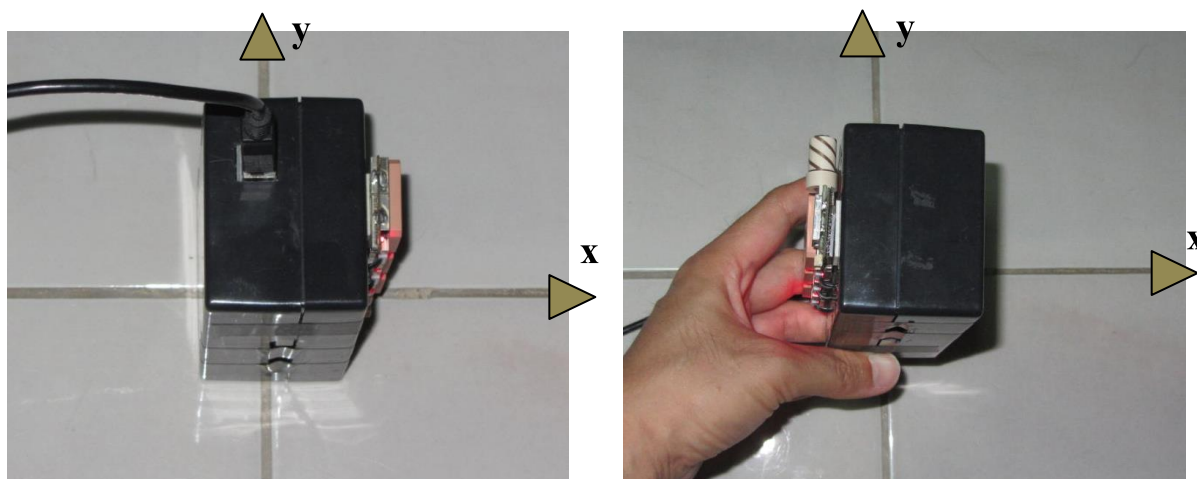
รูปที่ 6.17 การทดสอบเซนเซอร์ IMU และ เซนเซอร์เข็มทิศ เมื่อหมุนรอบแกน x เป็นมุม -90 องศา (ด้านซ้าย) แล้วหมุนรอบแกน x เป็นมุม 90 องศา (ด้านขวา)

อันดับแรกจะทำการทดสอบการหมุนรอบแกน x โดยจะอยู่ในระนาบแนวนอนเป็นเวลา 5 วินาที แล้วหมุนรอบแกน x เป็นมุม -90 องศา และค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที และหมุนกลับมาที่ 0 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที แล้วหมุนเป็นมุม 90 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที และจึงหมุนกลับมาที่ 0 องศาตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.17 ผลการทดสอบในรูปที่ 6.18 แสดงมุมของ Euler (Yaw, Pitch, Roll) ที่วัดได้จากเซนเซอร์เข็มทิศ และ อัตราการหมุนเชิงมุม ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดมุมเอียง และความเร่ง (a_x, a_y, a_z) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง โดยที่ค่ามุม Roll จากเข็มทิศ (เส้นสีน้ำเงินทึบ) และการประมาณค่าของมุม Roll จากการบูรณาการของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งและวัดมุมเอียง (เส้นสีแดงประ) มีค่าที่ตรงกัน โดยจะเปลี่ยนเป็น -90 องศา แล้วเป็น 90 องศา ตามทิศทางการหมุน ค่าประมาณของมุม Pitch จากการบูรณาการของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งและวัดมุมเอียงก็เหมือนกับมุม Pitch จากเข็มทิศ ส่วนอัตราการหมุนเชิงมุม ω_x จะมีการเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการเคลื่อนที่ซึ่งสังเกตได้จากเครื่องหมาย และการเปลี่ยนแปลงจะมีเฉพาะช่วงที่มีการเคลื่อนที่เท่านั้น ส่วน ω_y และ ω_z มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ส่วนความเร่งที่วัดได้จะเป็นค่าที่เทียบกับความโน้มถ่วงโลก ดังนั้นเมื่อหมุนไป -90 องศา รอบแกน x ความโน้มถ่วงโลกจะย้ายมาขนานกับแกนบวก x ส่วนความเร่งในแนวแกน z จะกลายเป็นศูนย์ แต่เมื่อหมุนไป 90 องศา รอบแกน x ความโน้มถ่วงโลกจะย้ายมาขนานกับแกนลบ x ส่วนความเร่งในแนวแกน z จะกลายเป็นศูนย์

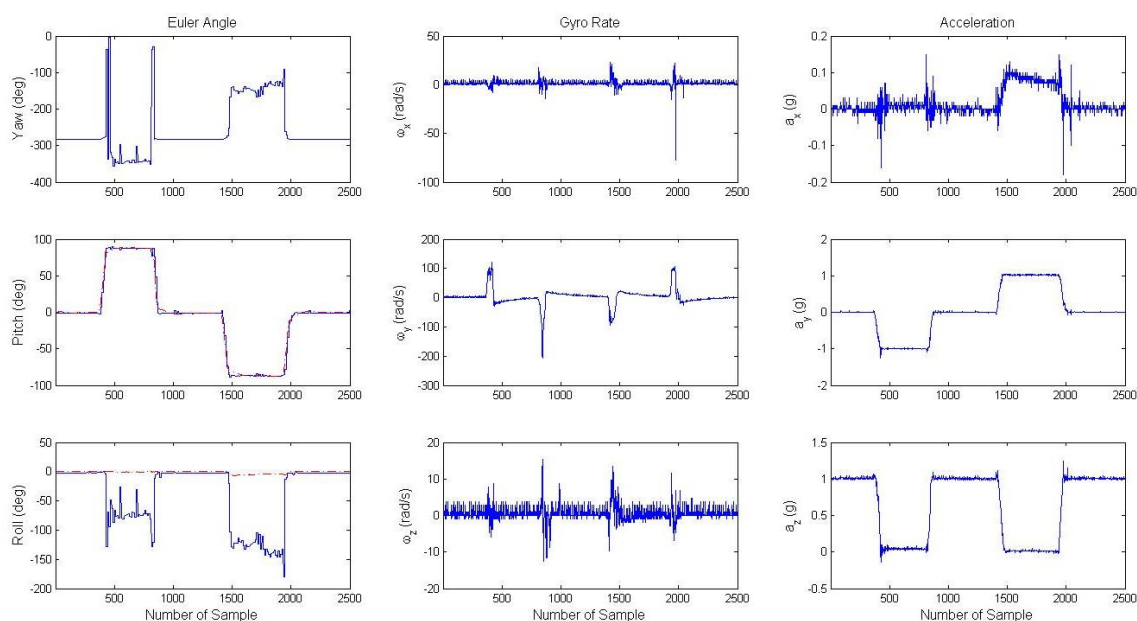


รูปที่ 6.18 มุมของ Euler (Yaw, Pitch, Roll) ที่วัดได้จากเซนเซอร์เข็มทิศ (หลักซ้าย) และ อัตราการหมุนเชิงมุม ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ IMU (หลักกลาง) และ ความเร่ง (a_x, a_y, a_z) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง (หลักขวา) เมื่อหมุนรอบแกน x เป็นมุม -90 องศา แล้วเป็นมุม 90 องศา

อันดับที่สองจะทำการทดสอบการหมุนรอบแกน y โดยจะอยู่ในระนาบแนวนอนเป็นเวลา 5 วินาที แล้วหมุนรอบแกน y เป็นมุม 90 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที และหมุนกลับไปที่ 0 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที แล้วหมุนเป็นมุม -90 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที และจึงหมุนกลับไปที่ 0 องศาตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.17 ผลการทดสอบในรูปที่ 6.18 แสดงมุมของ Euler (Yaw, Pitch, Roll) ที่วัดได้จากเซนเซอร์เข็มทิศ และ อัตราการหมุนเชิงมุม ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดมุมเอียง และ ความเร่ง (a_x, a_y, a_z) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง โดยที่ค่ามุม Pitch จากเข็มทิศ (เส้นสีน้ำเงินทึบ) และการประมาณค่าของมุม Pitch จากการบูรณาการของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งและวัดมุมเอียง (เส้นสีแดงประ) มีค่าที่ตรงกัน โดยจะเปลี่ยนเป็น 90 องศา แล้วเป็น -90 องศา ตามทิศทางการหมุน ค่าประมาณของมุม Roll จากการบูรณาการของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งและวัดมุมเอียงแม่นยำกว่ามุม Roll จากเข็มทิศ ส่วนอัตราการหมุนเชิงมุม ω_y จะมีการเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการเคลื่อนที่ซึ่งสังเกตได้จากเครื่องหมาย และการเปลี่ยนแปลงจะมีเฉพาะช่วงที่มีการเคลื่อนที่เท่านั้น ส่วน ω_x และ ω_z มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ส่วนความเร่งที่วัดได้จะเป็นค่าที่เทียบกับความโน้มถ่วงโลก ดังนั้นเมื่อหมุนไป 90 องศา รอบแกน y ความโน้มถ่วงโลกจะย้ายมาขนานกับแกนลบ y ส่วนความเร่งในแนวแกน z จะกลายเป็นศูนย์ แต่เมื่อหมุนไป -90 องศา รอบแกน y ความโน้มถ่วงโลกจะย้ายมาขนานกับแกนบวก y ส่วนความเร่งในแนวแกน z จะกลายเป็นศูนย์



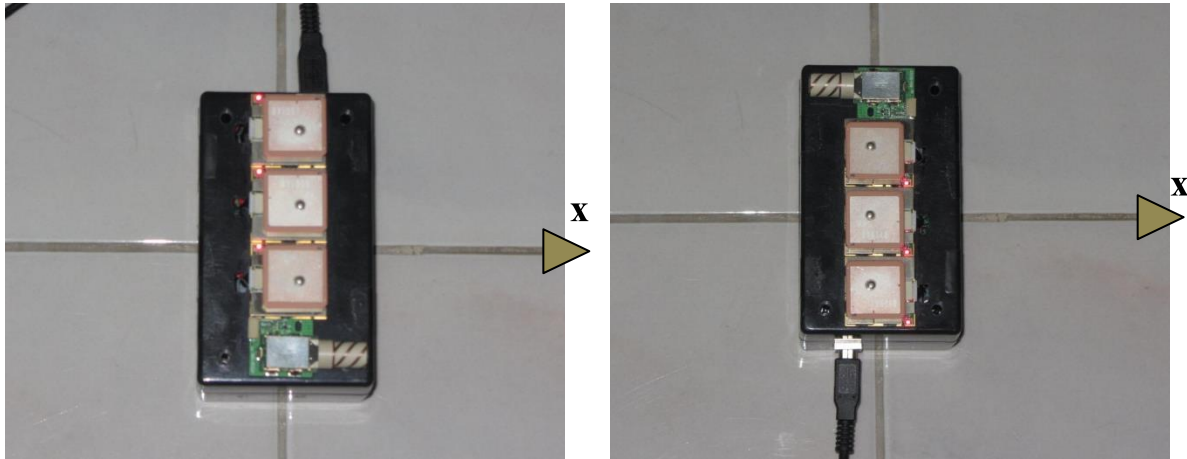
รูปที่ 6.19 การทดสอบเซนเซอร์ IMU และ เซนเซอร์เข็มทิศ เมื่อหมุนรอบแกน y เป็นมุม 90 องศา (ด้านซ้าย) แล้วหมุนรอบแกน -90 องศา (ด้านขวา)



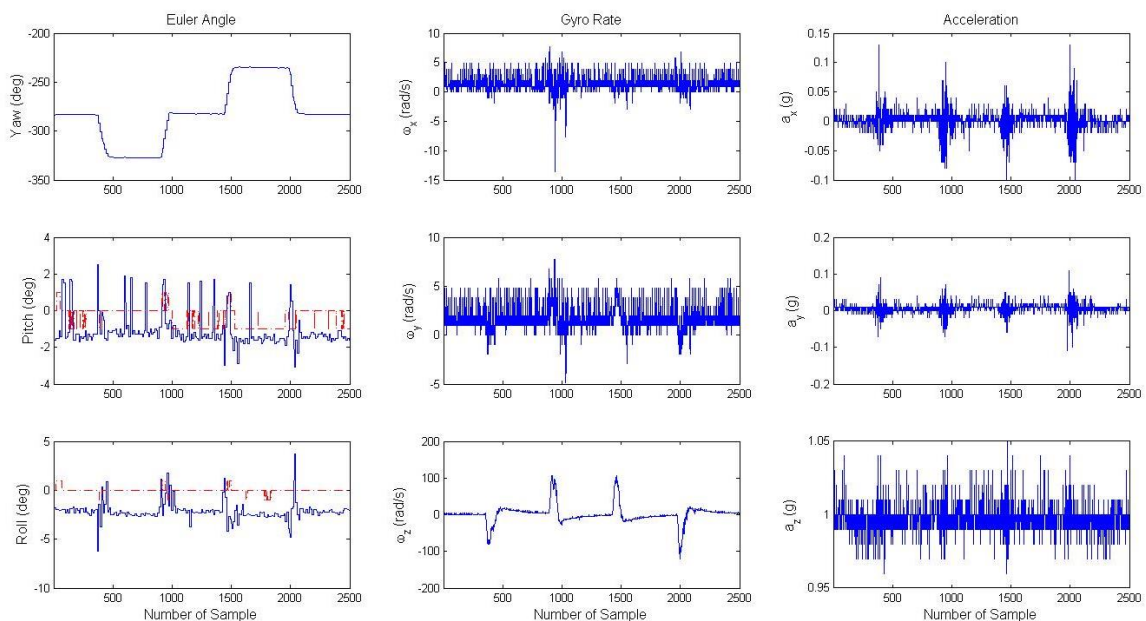
รูปที่ 6.20 มุมของ Euler (Yaw, Pitch, Roll) ที่วัดได้จากเซนเซอร์เข็มทิศ (หลักซ้าย) และ อัตราการหมุนเชิงมุม ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ IMU (หลักกลาง) และ ความเร่ง (a_x, a_y, a_z) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง (หลักขวา) เมื่อหมุนรอบแกน y เป็นมุม 90 องศา แล้วเป็นมุม -90 องศา

อันดับที่สามจะทำการทดสอบการหมุนรอบแกน z โดยจะอยู่ในระนาบแนวนอนเป็นเวลา 5 วินาที แล้วหมุนรอบแกน z เป็นมุม -90 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที และหมุนกลับมาที่ 0 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที แล้วหมุนเป็นมุม 90 องศาและค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที และจึงหมุนกลับมาที่ 0 องศาตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.19 ผลการทดสอบในรูปที่ 6.20 แสดงมุมของ Euler (Yaw, Pitch, Roll) ที่วัดได้จากเซนเซอร์เข็มทิศ และ อัตราการหมุนเชิงมุม ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดมุมเอียง และ ความเร่ง (a_x, a_y, a_z) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง โดยที่ค่ามุม Yaw จากเข็มทิศ จะเปลี่ยนเป็น -90 องศา แล้ว

เป็น 90 องศา ตามทิศทางการหมุน ส่วนอัตราการหมุนเชิงมุม ω_z จะมีการเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการเคลื่อนที่ซึ่งสังเกตได้จากเครื่องหมาย และการเปลี่ยนแปลงจะมีเฉพาะช่วงที่มีการเคลื่อนที่เท่านั้น ส่วน ω_x และ ω_y มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ส่วนความเร่งที่วัดได้จะเป็นค่าที่เทียบกับความโน้มถ่วงโลก ดังนั้นเมื่อหมุนไป 90 องศา รอบแกน z ความโน้มถ่วงโลกจะอยู่ในแนวแกน z เสมอ ดังนั้นความเร่งในแนวแกน x และ y จะเป็นศูนย์



รูปที่ 6.21 การทดสอบเซนเซอร์ IMU และ เซนเซอร์เข็มทิศ เมื่อหมุนรอบแกน z เป็นมุม -90 องศา (ด้านขวา) และ 90 องศา (ด้านซ้าย)



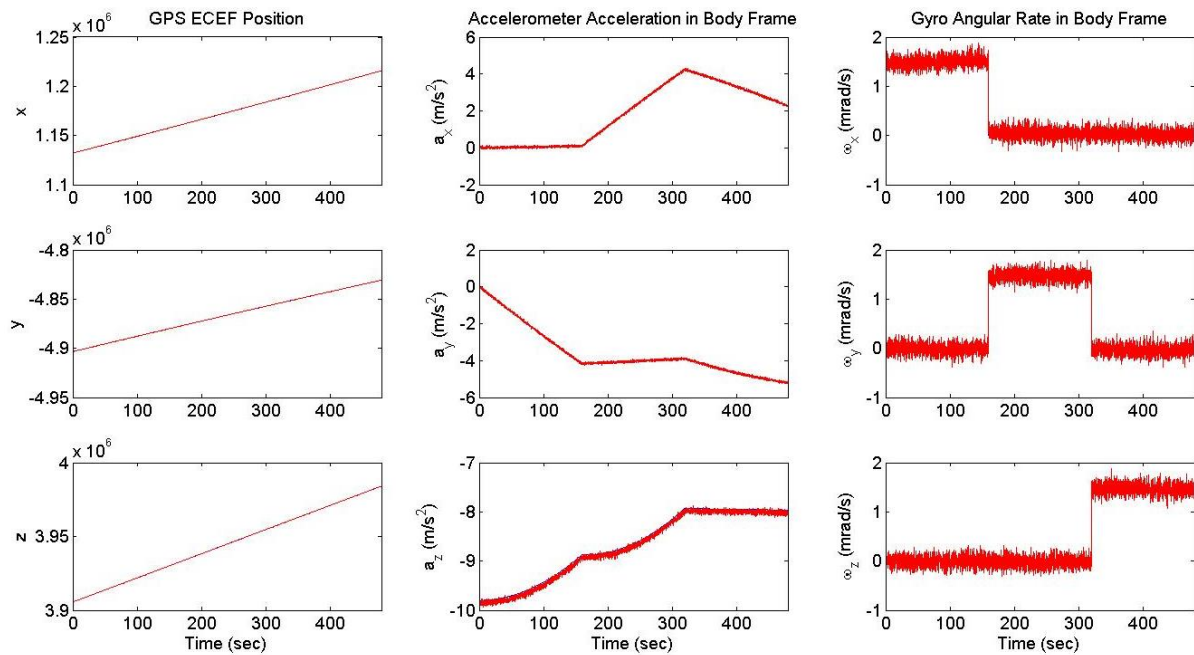
รูปที่ 6.22 มุมของ Euler (Yaw, Pitch, Roll) ที่วัดได้จากเซนเซอร์เข็มทิศ (หลักซ้าย) และ อัตราการหมุนเชิงมุม ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ IMU (หลักกลาง) และ ความเร่ง (a_x, a_y, a_z) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง (หลักขวา) เมื่อหมุนรอบแกน z เป็นมุม -90 องศา แล้วเป็นมุม 90 องศา

6.3 การจำลองการบูรณาการข้อมูลจาก GPS และ IMU โดยใช้เทคนิค Extended Kalman Filter โดยโปรแกรม Matlab

จากหัวข้อ 6.1 และ 6.2 จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จาก GPS เพียงอย่างเดียว นั้นมีค่าผิดพลาดหรือตำแหน่งที่ไม่แม่นยำเมื่อสัญญาณดาวเทียมนั้นสูญหายไปช่วงระยะหนึ่ง หรือ สัญญาณถูกสะท้อนด้วยสิ่งก่อสร้าง ส่วนข้อมูลที่ได้จาก IMU เพียงอย่างเดียว นั้นจะได้ค่าตำแหน่งในการเคลื่อนที่แต่จะบ่งบอกถึงทิศทางหรือองศาการหันเหในการเคลื่อนที่ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้จาก GPS และ IMU มาบูรณาเข้าด้วยกันโดยใช้เทคนิค Extended Kalman Filter (EKF) ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2.1 และ 3.2.2

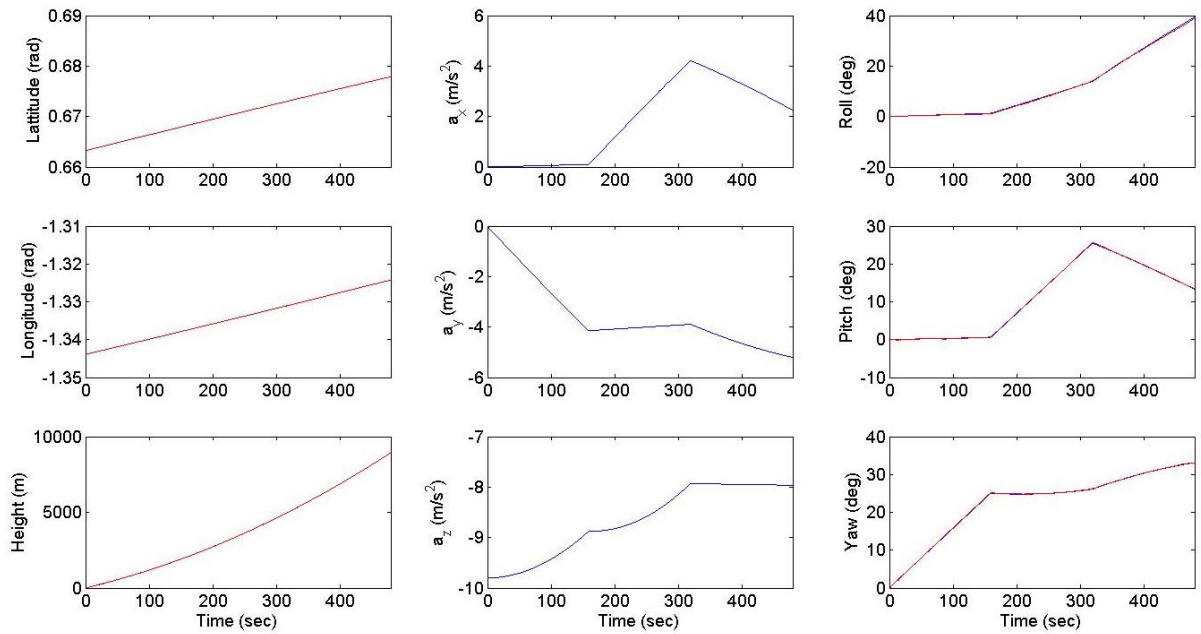
ในการทดลองนี้ เทคนิค Extended Kalman Filter (EKF) จะทำการคำนวณหาค่าประมาณของตัวแปรสถานะ 21 ตัว ในสมการที่ 3.29a โดยสมมติว่าเราทราบค่าจริงที่วัดได้ของ GPS, Accelerometer และ องศาการหันเหที่คำนวณได้จากการหาปริพันธ์ของอัตราเร็วเชิงมุมของ Gyroscope ดังแสดงในรูปที่ 6.23 ด้วยเส้นสีน้ำเงิน เพื่อที่จะได้นำค่าจริงเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ประมาณได้จาก EKF และ จะได้สามารถคำนวณหาค่าความผิดพลาดของตัวแปรสถานะทุกตัวได้ สำหรับค่าที่วัดได้จาก GPS จะกำหนดให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 10 เมตร และ ค่า bias เป็น 85000 ส่วนสำหรับ Gyroscope จะกำหนดให้มีค่าความหนาแน่นทาง spectral เป็น $\sigma_{gv} = \sqrt{10} \times 10^{-5}$ และ $\sigma_{gu} = \sqrt{10} \times 10^{-6}$ และ สำหรับ Accelerometer จะกำหนดให้มีค่าความหนาแน่นทาง spectral เป็น $\sigma_{av} = \sqrt{9.81} \times 10^{-3}$ และ $\sigma_{au} = \sqrt{3600} \times 10^{-5}$

ในรูปที่ 6.23 แสดงค่าจริงที่วัดได้จาก GPS ในระบบพิกัด ECEF ในสมการที่ 2.38, Accelerometer และ Gyroscope ในระบบพิกัดที่ติดกับตัวเรือ ในสมการที่ 3.21j และ 3.21b ตามลำดับ ที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวน ซึ่งจะเป็นค่าอินพุตที่ใส่เข้าไปในเทคนิค Extended Kalman Filter ส่วนเอาต์พุตที่ได้จากเทคนิค EKF จะเป็นค่าประมาณ (estimation) พร้อมทั้งค่าความแปรปรวน (covariance) ของตัวแปรสถานะทั้ง 21 ตัว ในรูปที่ 6.24 จะแสดงค่าประมาณของพิกัด GPS ในระบบ NED คือค่า Latitude, Longitude, Height และ องศาการหันเหคือค่า Roll, Pitch, Yaw โดยค่าประมาณจะถูกแสดงด้วยเส้นสีแดงซึ่งจะซ้อนทับกับค่าจริงค่อนข้างแม่นยำ

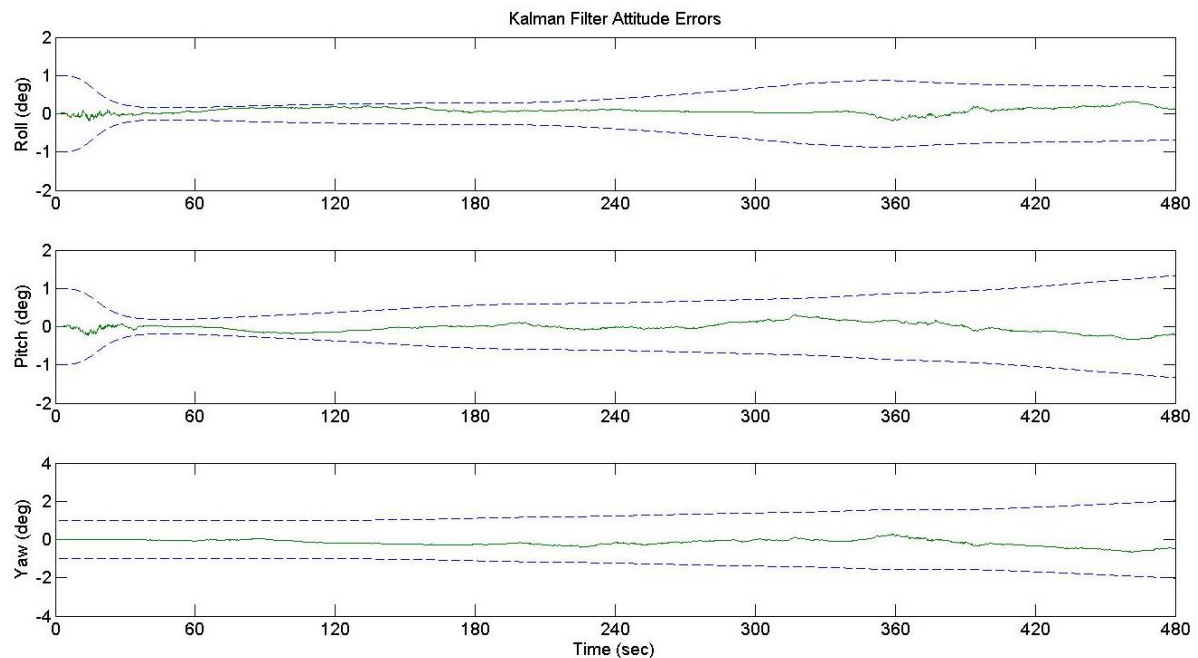


รูปที่ 6.23 ค่าพิกัด GPS ในระบบพิกัด ECEF ที่วัดได้ (หลักด้านซ้าย) และ ค่าความเร่งในแกน x,y,z ที่วัดได้จาก Accelerometer ในพิกัดที่ติดกับเรือ (หลักกลาง) และ ค่าอัตราเร็วเชิงมุมในแกน x,y,z ที่วัดได้จาก Gyroscope ในพิกัดที่ติดกับเรือ (หลักด้านขวา)

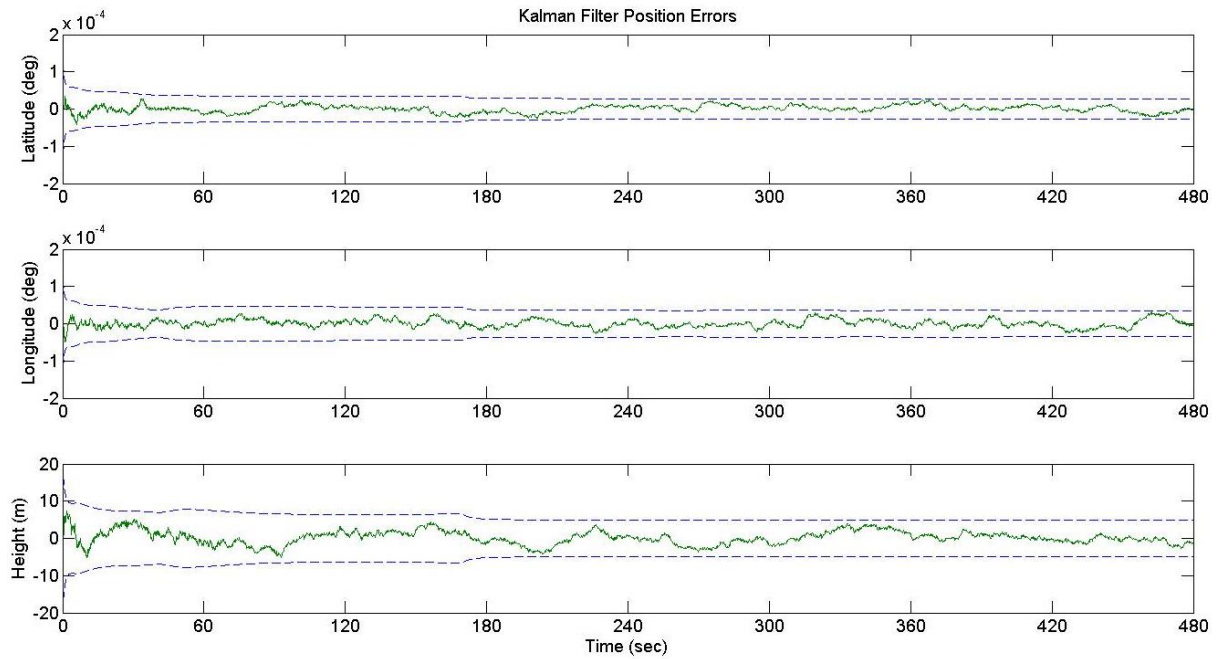
ในรูปที่ 6.26-6.31 แสดงถึงค่าความผิดพลาดของตัวแปรสถานะอย่างละ 3 ตัว โดยเส้นประแสดงถึง ± 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ square root ของค่าความแปรปรวน ซึ่งจะแสดงขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่น่าจะเป็นไปได้เมื่อกระบวนการของสัญญาณรบกวนเป็นแบบ Gaussian และ ค่าความผิดพลาด และ ค่า ± 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของ GPS คือค่า Latitude, Longitude, Height นั้นถูกแสดงในรูปที่ 5.38 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดค่อนข้างน้อยสำหรับ Latitude และ Longitude ส่วนค่า Height จะอยู่ในช่วง ± 10 m, ขององศาการหันเห คือค่า Roll, Pitch, Yaw นั้นถูกแสดงในรูปที่ 6.25 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลา อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian, ของความเร็วในการเคลื่อนที่ (V^N) ในทิศ North, East, Down นั้นถูกแสดงในรูปที่ 6.27 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดค่อนข้างน้อยที่อยู่ในช่วง ± 1 m/s, ของ gyro bias นั้นถูกแสดงในรูปที่ 6.28 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากค่าสัญญาณรบกวนที่สูง, ของอัตราส่วนขยายของ gyro นั้นถูกแสดงในรูปที่ 6.29 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดที่คงที่, ของ accelerometer bias นั้นถูกแสดงในรูปที่ 6.30 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากค่าสัญญาณรบกวนที่สูง, ของอัตราส่วนขยายของความเร่ง นั้นถูกแสดงในรูปที่ 6.31 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดที่คงที่



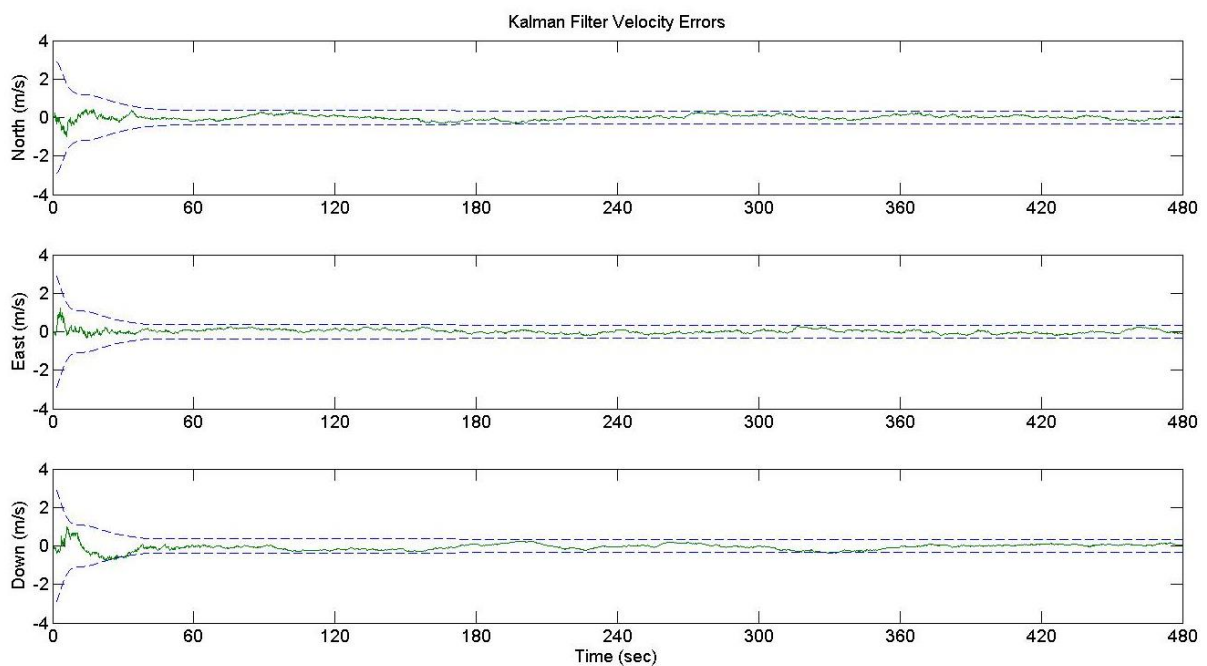
รูปที่ 6.24 ค่าพิกัด GPS ในระบบ NED (หลักด้านซ้าย) และ ค่าความเร่งในแกน x,y,z จาก Accelerometer ในพิกัดที่ติดกับเรือ (หลักกลาง) และ ค่าอัตราเร็วเชิงมุมในแกน x,y,z จาก Gyroscope ในพิกัดที่ติดกับเรือ (หลักด้านขวา) โดย ค่าจริงแสดงด้วยสีน้ำเงิน และ ค่าประมาณจาก Extended Kalman Filter แสดงด้วยสีแดง



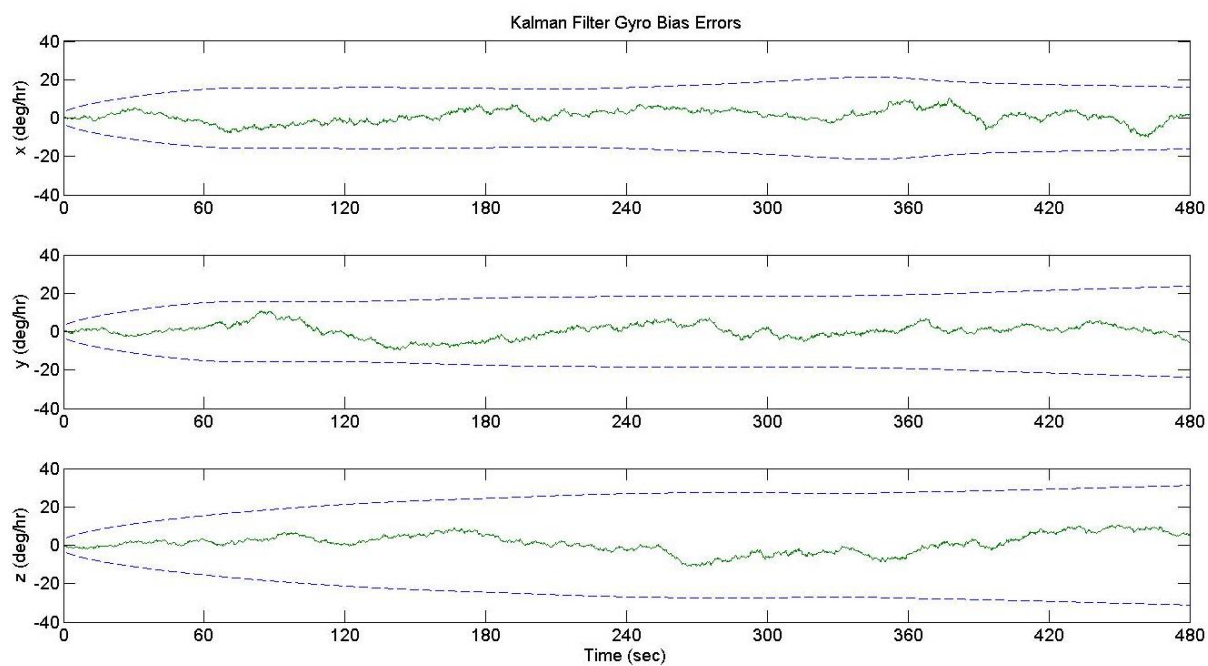
รูปที่ 6.25 ค่าความผิดพลาดขององศาการหันเห (q) Roll, Pitch, Yaw เมื่อเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิค Extended Kalman Filter



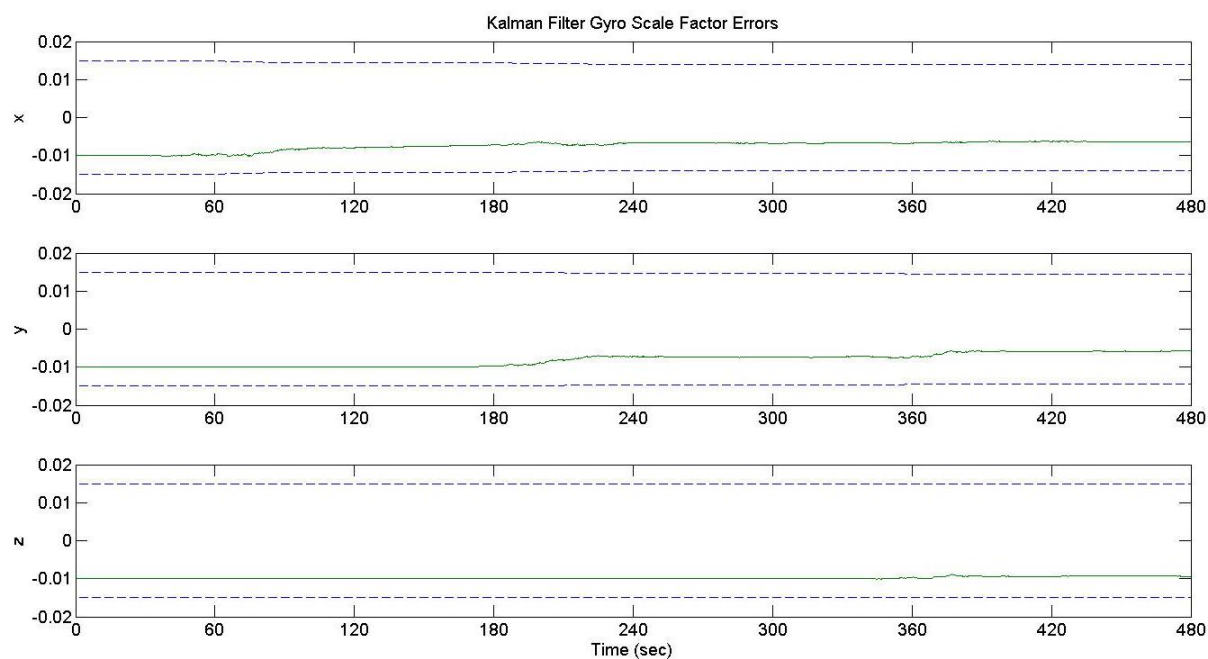
รูปที่ 6.26 ค่าความผิดพลาดของพิกัดตำแหน่ง (p) Latitude, Longitude, Height เมื่อเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิค Extended Kalman Filter



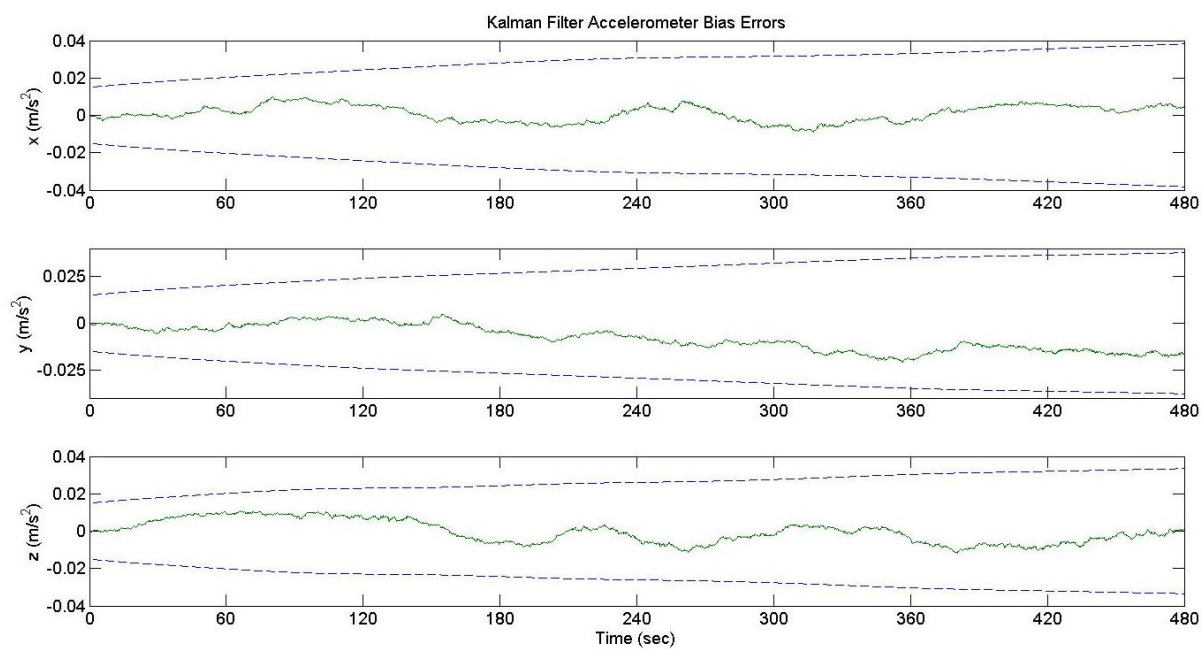
รูปที่ 6.27 ค่าความผิดพลาดของความเร็วในการเคลื่อนที่ (V^N) ในทิศ North, East, Down เมื่อเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิค Extended Kalman Filter



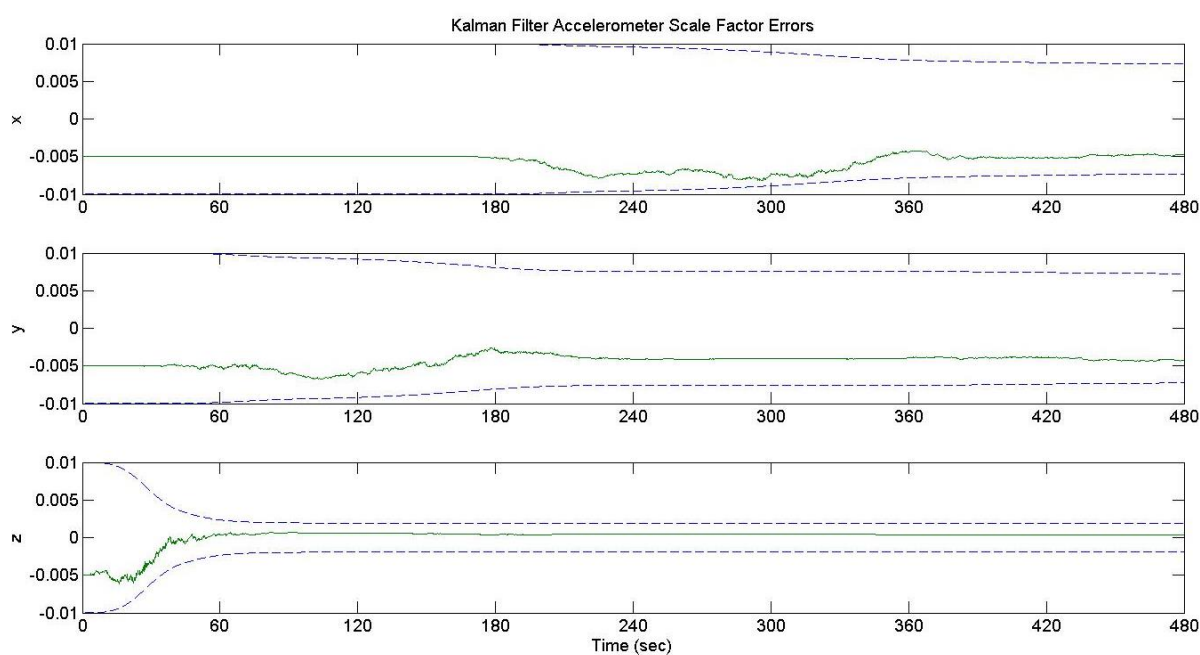
รูปที่ 6.28 ค่าความผิดพลาดของ gyro bias ในสมการที่ (3.16) เมื่อเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิค Extended Kalman Filter



รูปที่ 6.29 ค่าความผิดพลาดของอัตราส่วนขยายของ gyro ในสมการที่ (3.16) เมื่อเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิค Extended Kalman Filter

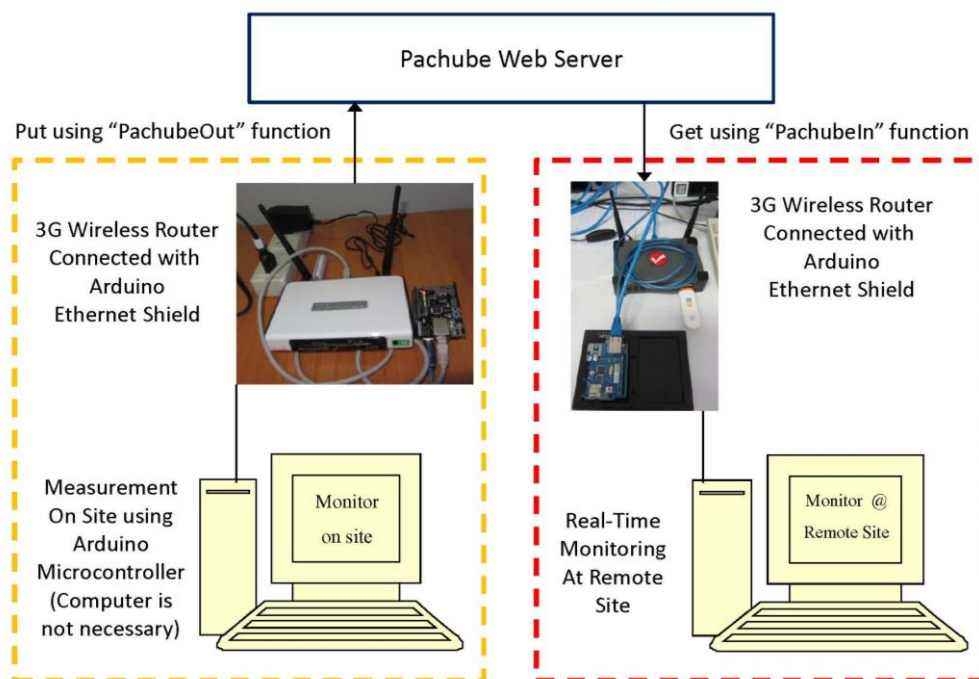


รูปที่ 6.30 ค่าความผิดพลาดของ accelerometer bias ในสมการที่ (3.18) เมื่อเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิค Extended Kalman Filter



รูปที่ 6.31 ค่าความผิดพลาดของอัตราส่วนขยายของความเร่ง ในสมการที่ (3.18) เมื่อเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิค Extended Kalman Filter

6.4 การส่งข้อมูลของคุณภาพน้ำที่วัดได้ผ่าน Pachube Web Server แบบ real time โดยใช้ Ethernet Shield



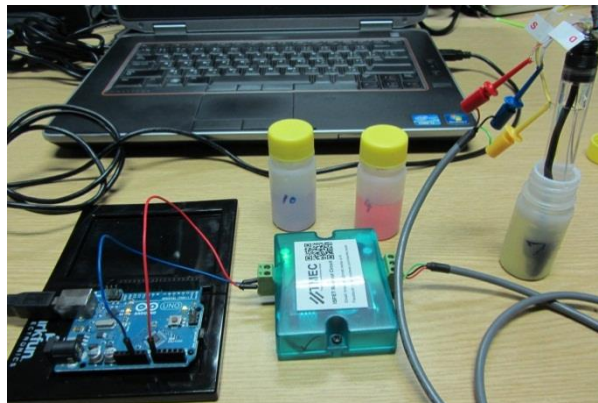
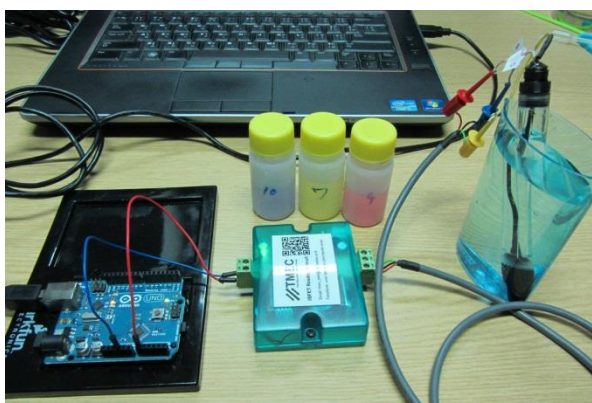
รูปที่ 6.32 การเชื่อมโยง 3G wireless router กับบอร์ด Arduino Ethernet Shield ที่ใช้ร่วมกับ Pachube Web Server เพื่อใช้ส่งข้อมูลจากการวัด ไปรายงานผลยังคอมพิวเตอร์ที่อยู่ระยะไกล (Remote Site)

ในขั้นแรกต้องทำการตั้งค่าอินเทอร์เน็ตในโปรแกรม Arduino ให้ตรงกับในเว็บ Pachube ซึ่งค่าที่ต้องกำหนดนั้นจะมี API key และ feed ID และ ต้องใส่ค่า MAC Address และ ค่า IP Address ในโปรแกรม Arduino ให้ตรงกับ Arduino Ethernet Shield และ 3G wireless Router ตามลำดับ จากนั้นจึงจะสามารถรันโปรแกรมได้ ถ้าหากรันโปรแกรมได้ผ่านสำเร็จทั้งส่วนของฟังก์ชัน PachubeIn และ PachubeOut สำหรับ Arduino Ethernet Shield ในทั้งฝั่งรับและส่งข้อมูลสัญญาณแบบดิจิตอลหรืออนาล็อก ดังแสดงในรูปที่ 5.45 การแสดงผลในโปรแกรมจะแสดงค่าออกมาทางหน้าต่าง output ที่รายงานผลจากพอร์ตอนุกรม โดยโปรแกรมจะทำการเช็คทุกครั้งที่ยรายงานข้อมูลว่าข้อมูลที่รับและส่งนั้นสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าสมบูรณ์จะแสดงค่า Status code = 200 โดยอัตราเร็วในการส่งและรับข้อมูลผ่านทาง Pachube Web Server นั้นจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 2-3 วินาที ในการ update ข้อมูลในแต่ละครั้ง

ในขั้นที่สองได้ทำการทดลองส่งค่า analog จาก Voltage Reader ที่เชื่อมต่อกับ Potentiometer ซึ่งวัดโดยบอร์ด Arduino ไปยัง Pachube Web Server เพื่อที่จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า analog ที่แตกต่างไปจากเดิม เมื่อเราสามารถหมุนปรับค่า Potentiometer ไปตามที่ต้องการ และสามารถสังเกตอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลและการ update ข้อมูลไปยัง Pachube Web Server และ ในทำนองเดียวกันจะทำการสังเกตอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลจาก Pachube Web Server มายัง Arduino Ethernet Shield ด้วย

6.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ชนิด ISFET

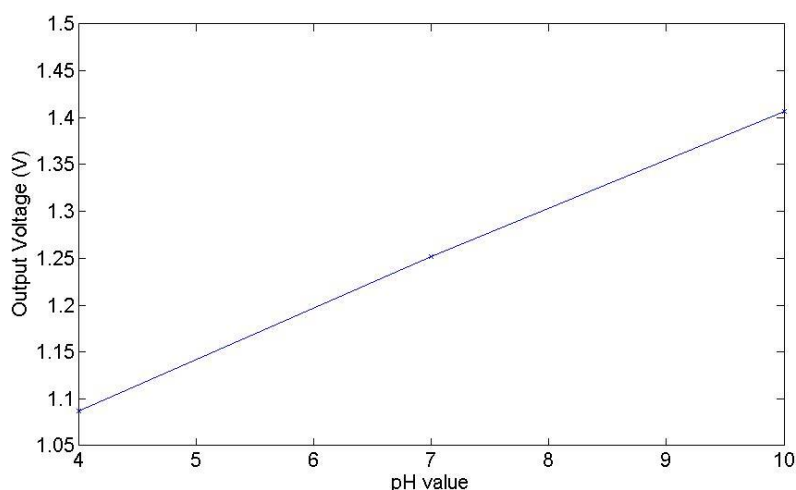
ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ชนิด ISFET เพื่อวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายมาตรฐานที่ได้เตรียมขึ้นจากสารเคมีที่รู้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แน่นอนสามค่า คือ เป็นกรด ($\text{pH} = 4$), เป็นกลาง ($\text{pH} = 7$), เป็นด่าง ($\text{pH} = 10$) หลังจากที่ได้จุ่มเซนเซอร์ ISFET ลงในสารละลายแต่ละชนิดต้องทำการล้างสารละลายที่ตกค้างด้วยน้ำสะอาดก่อนนำไปจุ่มลงในสารละลายชนิดต่อไป และได้ใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม processing เพื่อแสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างแบบ real time บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากรูปที่ 6.33 แสดงการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างด้วยเซนเซอร์ชนิด ISFET ซึ่งผลที่อ่านได้มีค่าแม่นยำตรงตามค่า pH ของสารละลายแต่ละชนิด ในรูปที่ 6.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ชนิด ISFET กับค่า pH เพื่อใช้ช่วยในการแปลงค่าในโปรแกรมของบอร์ด Arduino



รูปที่ 6.33 การทดสอบเซนเซอร์ชนิด ISFET เพื่อใช้ในการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างผ่านบอร์ด Arduino



รูปที่ 6.34 การวัดค่า pH ด้วยเซนเซอร์ชนิด ISFET ของสารละลายสามชนิดที่มีค่า $\text{pH} = 4, 7, 10$



รูปที่ 6.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ชนิด ISFET กับค่า pH

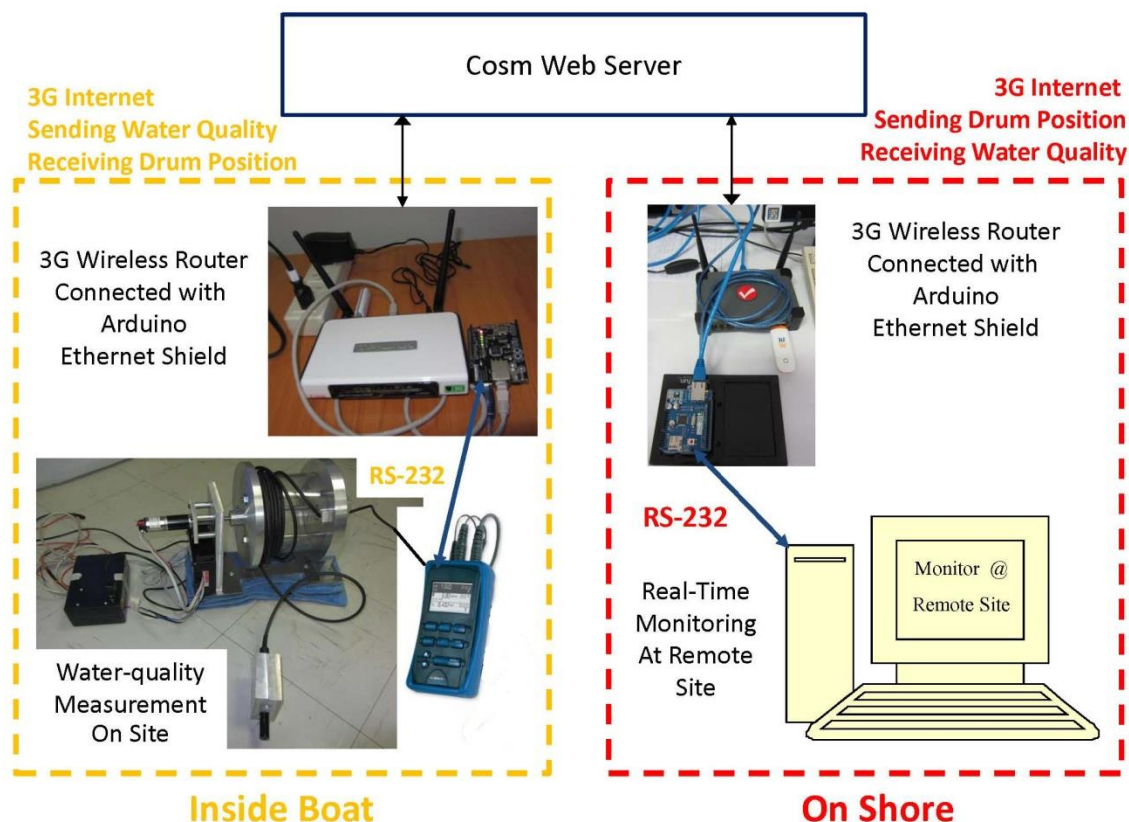
6.4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลคุณภาพน้ำของเซนเซอร์ชนิด ISFET ผ่าน 3G Router และ Arduino Ethernet Shield

มากไปกว่านั้นเมื่อทราบค่าจากการ calibrate หัววัดพีเอส ดังในรูปที่ 6.35 จะสามารถส่งข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าแบบ analog จาก Ethernet Shield สำหรับฝั่งส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 6.36 ไปยัง Pachube Web Server ได้โดยตรง และ จะสามารถนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับมาจาก Pachube Web Server ผ่าน Ethernet Shield สำหรับฝั่งรับข้อมูล มาแปลงเป็นค่าพีเอส เพื่อรายงานผลบนหน้าจอบริการได้แบบ real time



รูปที่ 6.36 การส่งข้อมูลคุณภาพน้ำจากเซนเซอร์ชนิด ISFET ผ่าน Pachube Web Server โดยใช้ 3G Router และ Arduino Ethernet Shield

6.4.3 การส่งข้อมูลคุณภาพน้ำของเซนเซอร์ WTW-340 และ การควบคุมการหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำระยะไกล ผ่าน Arduino Ethernet Shield ที่เชื่อมต่อกับ 3G Router



รูปที่ 6.37 การรายงานผลข้อมูลคุณภาพน้ำและการควบคุมระยะไกลเครื่องหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบ 3G

จากรูปที่ 6.37 นั้นแสดงการรายงานผลข้อมูลและควบคุมระยะไกล (Remote Site) ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการเชื่อมโยง 3G wireless router กับบอร์ด Arduino Ethernet Shield ที่ติดตั้งภายในเรือ เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลคุณภาพน้ำจากหัววัดคุณภาพน้ำ WTW-340 ที่สามารถวัดค่าอุณหภูมิและค่าความเค็มหรือออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ไปยัง Cosm Web Server และ ในขณะเดียวกันก็จะรับตำแหน่งการหมุนของเครื่องหย่อน จาก Cosm Web Server โดย Cosm ก็จะส่งข้อมูลของคุณภาพน้ำมายังคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนฝั่งผ่านพอร์ตอนุกรม (RS-232) มายังบอร์ด Arduino Ethernet Shield ที่ใช้ร่วมกับ 3G wireless router และคอมพิวเตอร์ที่ชายฝั่งก็จะส่งข้อมูลความลึกที่ต้องการหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำเพื่อใช้ในการส่งระยะไกลด้วย

เครื่องหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำและ 3G wireless router ที่ได้ติดตั้งไว้ที่หัวเรื่อนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.38 และ 6.39 นั้นจะสามารถหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำได้ลึกมากที่สุดเท่ากับ 5 เมตร โดยมอเตอร์ที่ติดกับเครื่องหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำนั้นจะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมแบบ PID โดยรับคำสั่งความลึกจาก Cosm Web Server โดยในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย 3G จากคอมพิวเตอร์บนฝั่งไปยังมอเตอร์บนเรือหรือจากเครื่องวัดคุณภาพน้ำไปยังคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนฝั่ง ในแต่ละครั้งจะมีค่าความหน่วงของเวลาโดนเฉลี่ยประมาณ 6-7 วินาที และ มีความเร็วเฉลี่ยในการหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำประมาณ 0.1 m/s



รูปที่ 6.38 การติดตั้งเครื่องหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำและ 3G wireless router เข้ากับเรือคายัค



รูปที่ 6.39 การทดสอบการหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำจากที่ผิวน้ำไปยังความลึกที่ต้องการ



รูปที่ 6.40 แสดงการควบคุมการหย่อนหัววัดคุณภาพน้ำจากคอมพิวเตอร์ที่ชายฝั่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
แบบ 3G