4.6 การทดลองและทดสอบระบบต้นแบบ

ภายหลังจากออกแบบและพัฒนาต้นแบบของเทคโนโลยีเสร็จสิ้นแล้ว เพื่อเตรียมความพร้อมในการประยุกต์ใช้ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นกับการให้คำปรึกษาทางการแพทย์อย่างแท้จริง และเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าระบบมีความพร้อมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการทดลองและทดสอบระบบต้นแบบก่อนที่จะนำลงไปสู่การประยุกต์ใช้ โดยมีเนื้อหารายละเอียดการทดสอบครอบคลุม 6 ส่วนประกอบด้วย

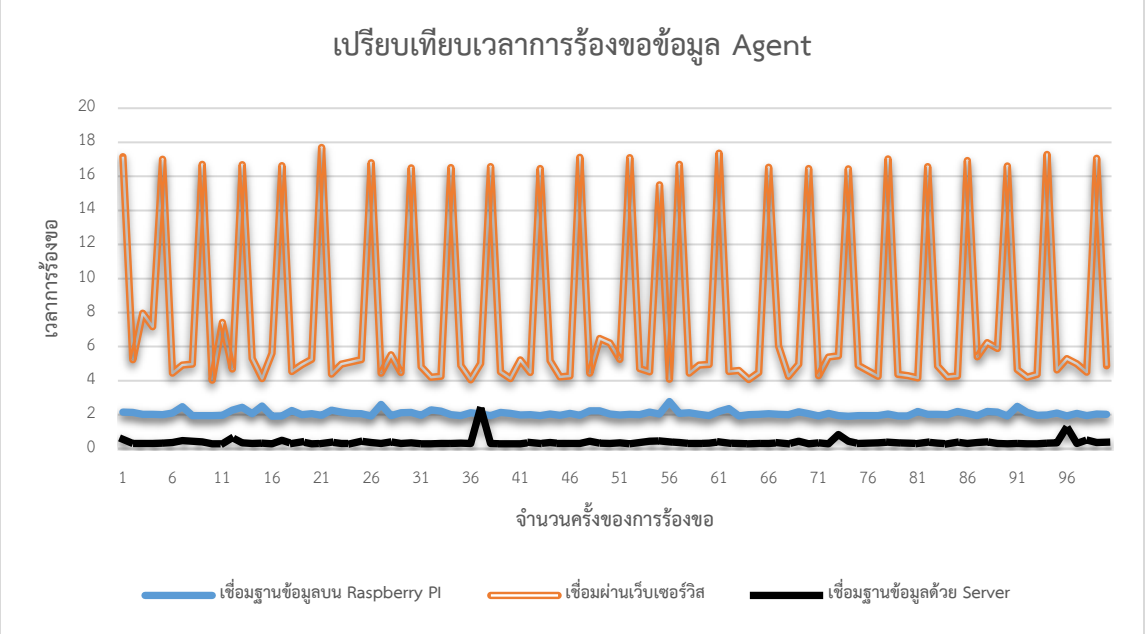
1. ระบบศูนย์ข้อมูล
2. การทำงานของแอพพลิเคชั่นในระบบให้คำปรึกษาบนสมาร์ทโฟน
3. การทำงานของแอพพลิเคชั่นในระบบให้คำปรึกษาด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงผ่านแท็บเล็ต
4. การทำงานของแอพพลิเคชั่นในระบบการให้คำปรึกษาผ่านเทคโนโลยีโฮโลแกรมด้วยแว่นแสดงภาพเสมือนจริง
5. การทำงานของแอพพลิเคชั่นในระบบการเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์
6. การทดสอบเชิงฟังก์ชั่นการทำงานของระบบ

ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.6.1 ระบบศูนย์ข้อมูล

4.6.1.1 ผลการเชื่อมโยงข้อมูลด้วยเว็บเซอร์วิส

ในหัวข้อที่ 4.5.1 การพัฒนาระบบการเชื่อมโยงข้อมูลด้วยเว็บเซอร์วิส ที่จะดำเนินการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างโรงพยาบาล 12 แห่ง คณะผู้วิจัยได้พัฒนาซอฟท์แวร์ฝังตัวสำหรับเชื่อมต่อข้อมูลระบบสารสนเทศของโรงพยาบาลแต่ละแห่งโดยแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ การใช้ซอฟท์แวร์ฝังตัวเชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิส การใช้ซอฟท์แวร์ฝังตัวเชื่อมต่อไปยังฐานข้อมูลโดยตรง และการใช้อุปกรณ์ฝังตัวสำหรับเข้าถึงฐานข้อมูลโดยตรง โดยในรูปที่ 4.176 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบเวลาในการร้องขอข้อมูลของซอฟท์แวร์ฝังตัวที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 วิธี โดยการทดสอบร้องขอข้อมูลจำนวน 100 ครั้ง และทำการจับเวลาตั้งแต่ได้รับการร้องขอข้อมูลจนกระทั่งส่งข้อมูลเสร็จสิ้น เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.176 จะเห็นว่าวิธีการที่ร้องขอข้อมูลได้รวดเร็วที่สุดได้แก่ ซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมกับฐานข้อมูลโดยตรงบนเซิร์ฟเวอร์ รองลงมาคือซอฟท์แวร์ฝังตัวบนอุปกรณ์ฝังตัว (Raspberry PI) ที่เชื่อมฐานข้อมูลโดยตรง และซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิสซึ่งใช้เวลาในการร้องขอข้อมูลนานที่สุด



รูปที่ 4.176 แสดงการเปรียบเทียบเวลาการร้องขอข้อมูลระหว่าง 1.ซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมผ่านเว็บเซอร์วิส 2.ซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมฐานข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์ 3. ซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมฐานข้อมูลบน Raspberry PI

ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นว่า กระบวนการร้องขอข้อมูลผ่านซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิสจะใช้เวลานานที่สุดและมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ทั้งนี้พิจารณาได้จากตารางที่ 4.98 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงสถิติของวิธีการทั้ง 3 วิธี

จากตารางที่ 4.98 เห็นว่าซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิสใช้เวลาเฉลี่ยมากที่สุดและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีการร้องขอข้อมูลจะมีความล่าช้าที่เกิดจาก บริการเว็บเซอร์วิสที่ทางโรงพยาบาลเปิดบริการให้เพราะต้องเสียเวลาในการเข้าถึงฐานข้อมูลรวมทั้งความล่าช้าจากการบริการข้อมูล และความเร็วของเครือข่ายและปริมาณผู้ใช้งาน โดยกระบวนการร้องขอข้อมูลดังกล่าวสามารถดูรายละเอียดได้ที่หัวข้อ 4.5.2 ซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิส และในส่วนของซอฟท์แวร์ฝังตัวที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลโดยตรงทั้งที่ติดตั้งบนเซิร์ฟเวอร์ และบนอุปกรณ์ฝังตัวจะมีความเร็วในการร้องขอข้อมูลเนื่องมาจากไม่เกิด Third Party ที่ต้องเสียเวลา แต่ทั้งนี้จะเห็นว่าการวางซอฟท์แวร์บนเซิร์ฟเวอร์นั่นมีความเร็วมากกว่า เนื่องจากคุณสมบัติของเครื่องเซิร์ฟเวอร์มีทรัพยากรที่สูงกว่าอุปกรณ์ฝังตัวมาก จึงทำให้การทำงานเป็นไปอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 4.98 เปรียบเทียบผลสถิติของการร้องขอข้อมูลทั้ง 3 วิธี

วิธีการ	ค่าเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.การใช้ซอฟท์แวร์ฝังตัวเชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิส	7.87	5.22
2.การใช้ซอฟท์แวร์ฝังตัวเชื่อมต่อไปยังฐานข้อมูลโดยตรง	0.39	0.24
3.ซอฟท์แวร์ฝังตัวบนอุปกรณ์ฝังตัว (Raspberry PI)	2.08	0.16

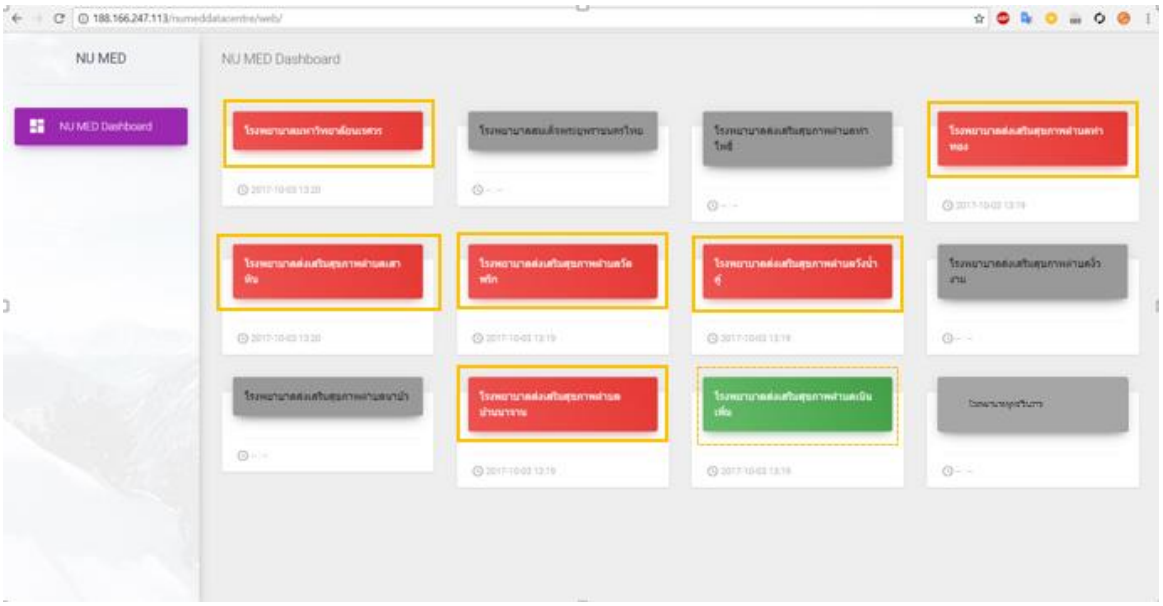
4.6.1.2 ผลการเชื่อมโยงข้อมูลผ่านซอฟท์แวร์ฝังตัวด้วยการเชื่อมต่อแบบ M2M

การเชื่อมโยงข้อมูลผ่านซอฟท์แวร์ฝังตัวด้วยการเชื่อมต่อแบบ Machine to Machine หรือ M2M เป็นการสร้างโครงสร้างการสื่อสารที่ทำให้อุปกรณ์ภายในระบบสามารถสื่อสารกันได้ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.5.1 และในรูปที่ 4.177 แสดงการตอบรับข้อมูลของซอฟท์แวร์ฝังตัวของโรงพยาบาลทั้ง 12 แห่ง โดยเมื่อมีการร้องขอข้อมูลจากโมบายแอปพลิเคชั่นไปยัง M2M Trigger แล้วจะทำการส่งข้อมูลไปยังซอฟท์แวร์ฝังตัวทุกๆ โรงพยาบาล ซึ่งหากซอฟท์แวร์ฝังตัวที่ใดมีข้อมูลจะทำการตอบกลับข้อมูลกลับมา (กรอบเส้นประ) และหากซอฟท์แวร์ฝังตัวแห่งใดตรวจแล้วไม่พบข้อมูลก็จะทำการตอบกลับมาว่าไม่พบข้อมูล (กรอบเส้นหนา) การแสดงผลการตอบรับการร้องขอจะแสดงผลแล้วจะกลับสู่สถานะพร้อมหรือรอการร้องขอข้อมูล (ไม่มีกรอบ)

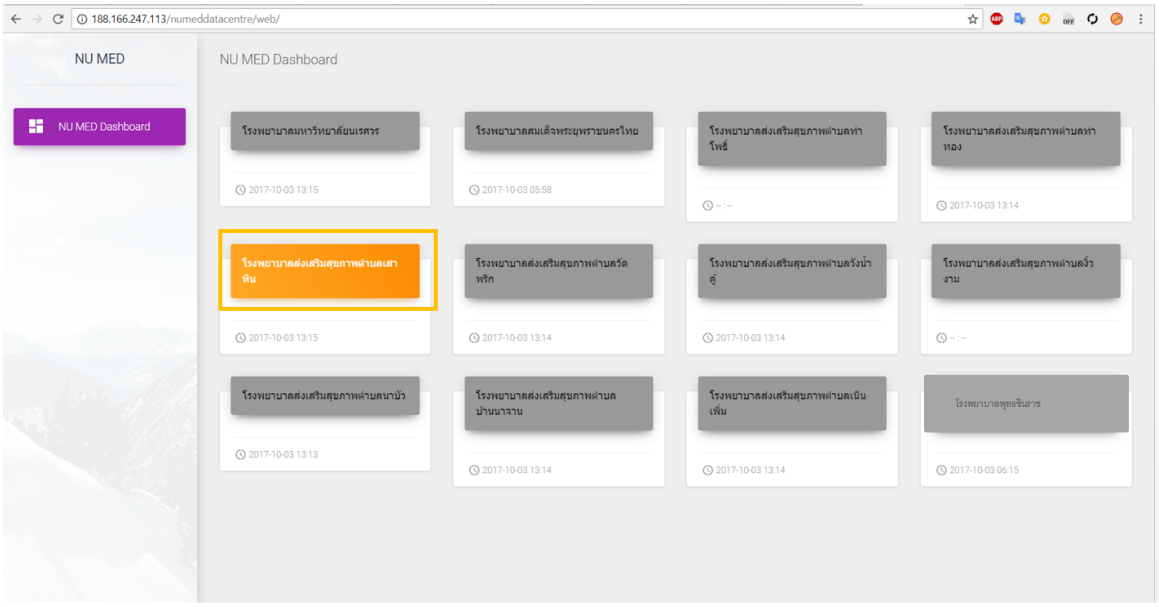
จะเห็นว่ารูปที่ 4.177 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการค้นหาข้อมูลซอฟท์แวร์ฝังตัวทุกแห่งจะตอบกลับมายังส่วนกลางว่าพบข้อมูลหรือไม่ ณ ที่นี้จะเห็นว่าโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเนินเพิ่ม พบข้อมูล (กรอบเส้นประ) ส่วนโรงพยาบาลอื่นๆ นั้นไม่พบข้อมูลที่อยู่ ณ โรงพยาบาล ในกรณีที่ซอฟท์แวร์ฝังตัวต้องการเชื่อมต่อมายังส่วนกลางจะแจ้งสถานะเป็น เริ่มการเชื่อมต่อ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.178 โดยระบบติดตามจะแจ้งสถานะสีเหลือง (กรอบหนา)

การเก็บสถานะการทำงานของซอฟท์แวร์ฝังตัวจากทุกแห่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลบนคลาวด์ ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบการทำงานของแต่ละแห่งได้อย่างรวดเร็วหรือสามารถติดตามความผิดพลาดจากการทำงานได้ จากที่กล่าวมาแล้วเรื่องสถานะที่แสดงผลในรูปที่ 4.177 และรูปที่ 4.178 จะมีโครงสร้างการเก็บข้อมูลเพื่ออัพเดทสถานะการทำงานดังรูปที่ 4.179 ซึ่งแสดงโครงสร้างการเก็บข้อมูลสถานะการตอบรับการร้องขอข้อมูลของซอฟท์แวร์ฝังตัวที่ติดตั้งไปยังโรงพยาบาลทุกแห่งในโครงการ ประกอบด้วย 1.

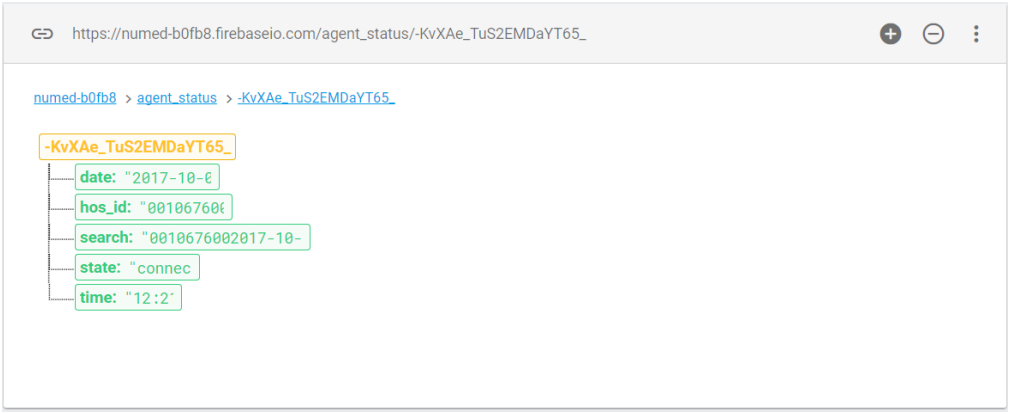
สถานะ Connect (เริ่มเชื่อมต่อพร้อมใช้งาน) 2. สถานะ Accept data (พบข้อมูลและมีการตอบกลับข้อมูล) 3. สถานะ Reject data (ไม่พบข้อมูลที่ร้องขอ)



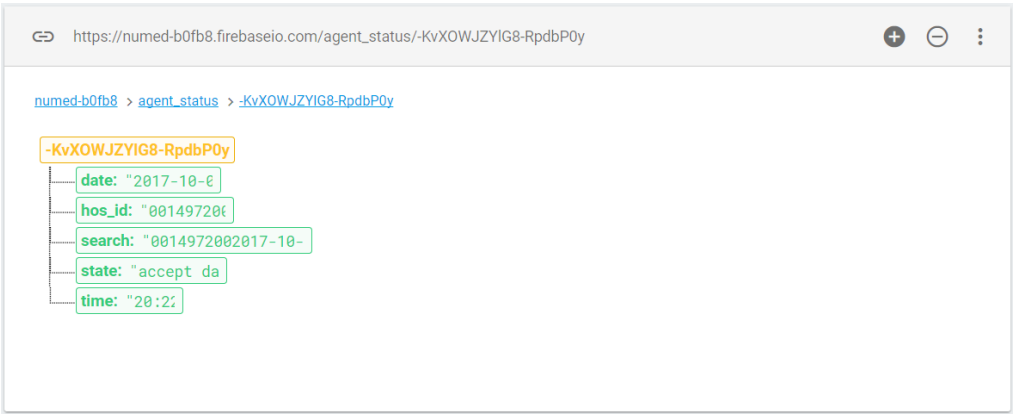
รูปที่ 4.177 แสดงการตอบรับการค้นหาของซอฟท์แวร์ฝังตัวทั้ง 12 แห่ง



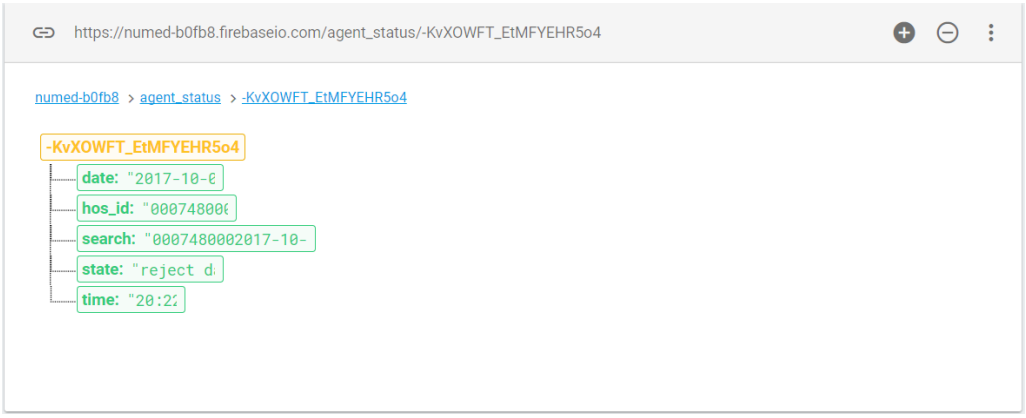
รูปที่ 4.178 แสดงการเริ่มต้นการเชื่อมต่อของซอฟท์แวร์ฝังตัวมายังศูนย์ข้อมูล



(ก)



(ข)

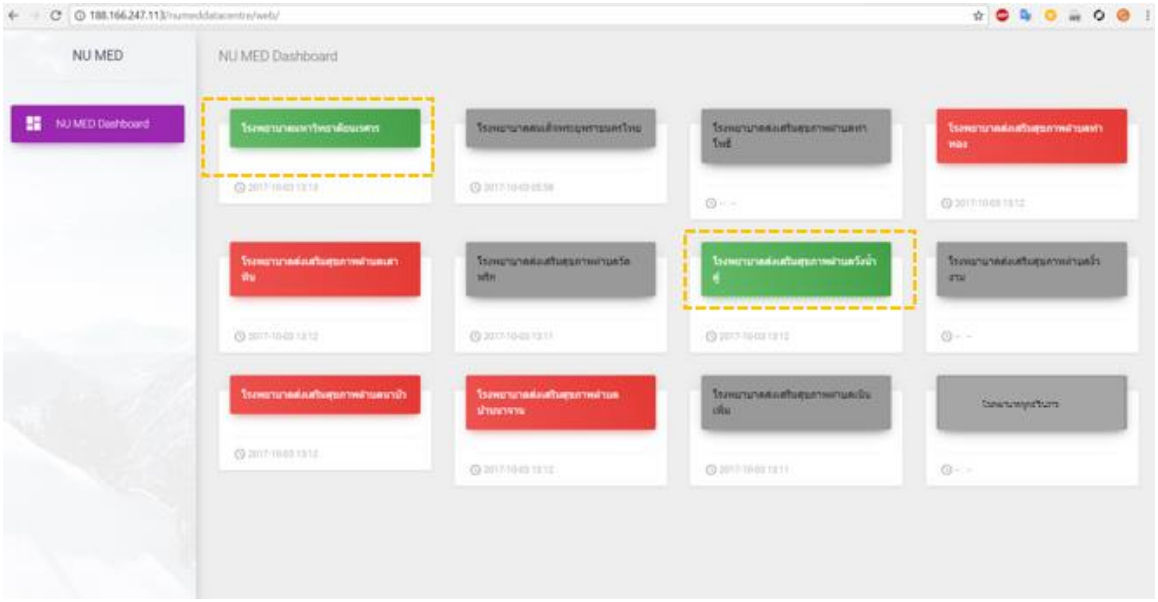


(ค)

รูปที่ 4.179 แสดงโครงสร้างการเก็บข้อมูลสถานะการทำงานของซอฟท์แวร์ฝังตัว (ก) แสดงสถานะ State : connect (ข) แสดงสถานะ State :accept data (ค) แสดงสถานะ State : reject data

ข้อมูลของผู้ป่วยหนึ่งคนอาจสามารถค้นพบได้จากหลายโรงพยาบาล ดังรูปที่ 4.180 จะเห็นว่าเมื่อเราทำการค้นหาข้อมูลผู้ป่วย หากซอฟท์แวร์ฝังตัวที่ใดพบข้อมูลก็จะทำการอัพเดทข้อมูลไปยังศูนย์ข้อมูลโดยจะมีสถานะเป็น พบข้อมูล (กรอบเส้นประ) โดยเมื่อข้อมูลถูกอัพเดทไปยังฐานข้อมูลบนคลาวด์แล้ว จะทำการแยกข้อมูลออกตามแหล่งที่มาของข้อมูลนั่นคือ โรงพยาบาลต้นทางของข้อมูล

เมื่อข้อมูลที่ถูกอัพเดทไปบนฐานข้อมูลบนคลาวด์แล้ว ข้อมูลที่ถูกเก็บจะมีการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลดังรูปที่ 4.181 (ก) ซึ่งจะใช้รหัสโรงพยาบาล และชื่อโรงพยาบาลเป็นคีย์สำหรับแยกแยะแหล่งที่มาของข้อมูล เมื่อนำไปแสดงผลบนแอพพลิเคชั่นก็จะสามารถบ่งบอกแหล่งที่มาของข้อมูลได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.181 (ข) ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถดูประวัติการเข้ารักษาของคนไข้ได้อย่างครบถ้วน เพื่อประสิทธิภาพในการรักษาและวินิจฉัยที่ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์



รูปที่ 4.180 แสดงการตอบรับข้อมูลผู้ป่วยหนึ่งคนแต่มีข้อมูลอยู่ 2 แห่ง คือ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลวังน้ำคู้

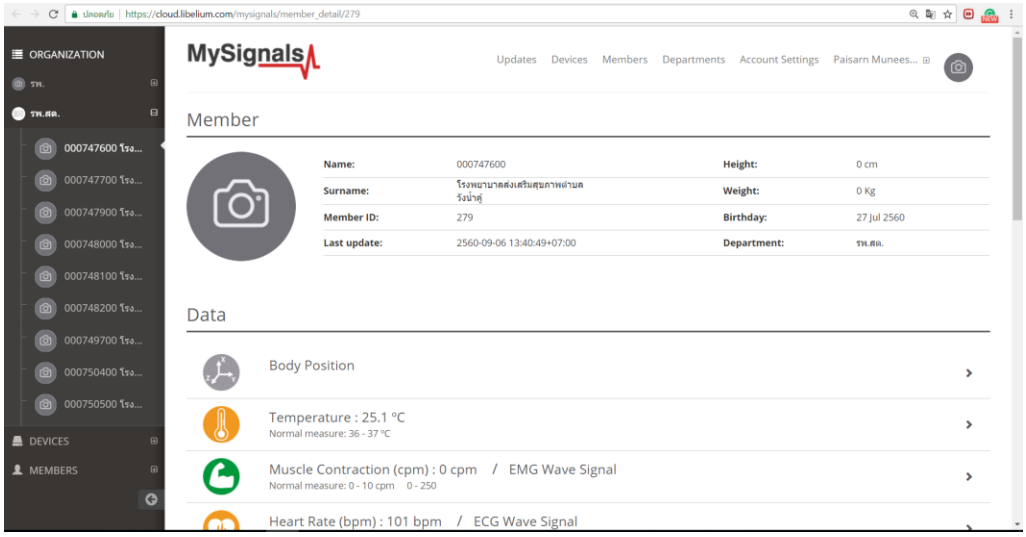
(ก)

(ข)

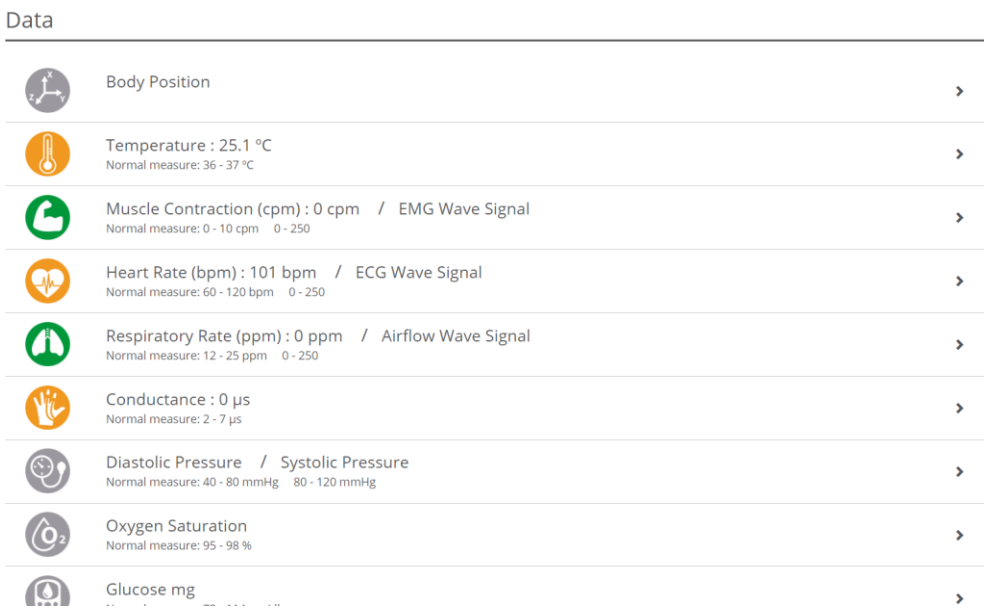
รูปที่ 4.181 (ก) โครงสร้างการเก็บข้อมูลแยกตามแหล่งที่มาบนฐานข้อมูล Firebase (ข) การแสดงผลข้อมูลแยกตามแหล่งที่มาบนระบบแอพพลิเคชั่น

4.6.1.3 ผลการเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดสัญญาณชีพ BANs

การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดสัญญาณชีพ BANs จะต้องดำเนินการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับระบบศูนย์ข้อมูลโดยผ่าน API ของทางผู้ผลิตอุปกรณ์ BANs เพื่อทำการเชื่อมโยงข้อมูลมายังศูนย์ข้อมูลและทำการผูกข้อมูลกับผู้ป่วยที่ทำการวัดสัญญาณชีพในครั้งนั้นดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.5.1



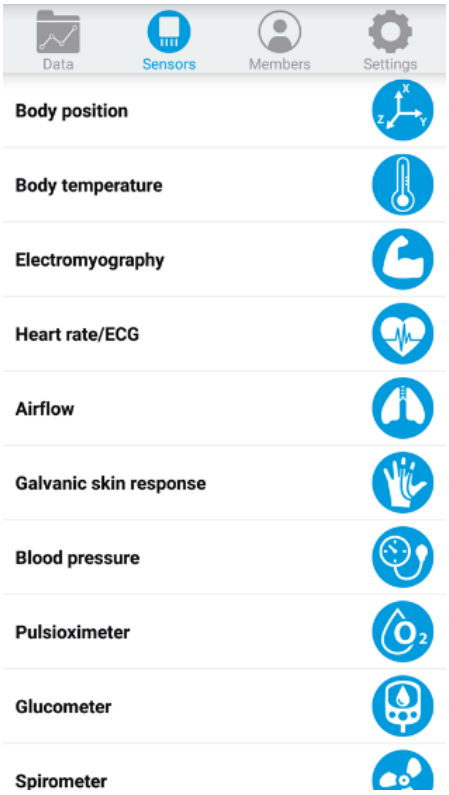
(ก)



(ข)

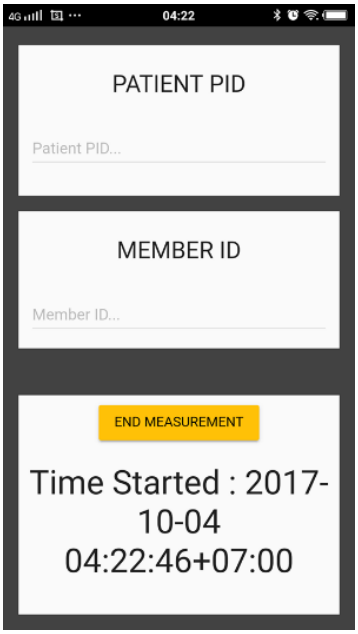
รูปที่ 4.182 (ก) แสดงหน้าจัดการข้อมูล (ข) แสดงข้อมูลจากอุปกรณ์เซนเซอร์ที่วัดจากผู้ป่วยและเชื่อมต่อมายังคลาวด์

ในระบบคลาวด์ ที่ใช้เก็บข้อมูลจากอุปกรณ์เซนเซอร์ เพื่อวัดสัญญาณสรีระวิทยา จากเครือข่าย BANs โดยทางคณะผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ของ MySignals ซึ่งทางผู้ผลิตได้เปิดช่องทางให้สามารถทำงานได้หลากหลาย และมีการสร้าง Application Programming Interface (API) สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลบนคลาวด์ดังรูปที่ 4.182 แสดงหน้าจัดการข้อมูลของอุปกรณ์เซนเซอร์ (Device) โดยข้อมูลดังกล่าวผู้ใช้งานต้องทำการเลือกจากหน้าแอปพลิเคชั่น เพื่อบ่งบอกให้ระบบคลาวด์รับทราบว่าจะทำการเชื่อมต่อข้อมูลใดบ้างดังรูปที่ 4.183 (ก) ซึ่งแสดงการเลือกอุปกรณ์ที่จะทำการส่งมายังคลาวด์ หลังจากเลือกอุปกรณ์แล้วจะต้องทำการเลือกแหล่งเก็บข้อมูล กระบวนการนี้เป็นการให้ผู้ใช้งานเลือกแหล่งเก็บข้อมูลที่ทางคณะผู้วิจัยได้สร้างเป็นแหล่งพักข้อมูลตามโรงพยาบาลที่ร่วมโครงการ (เสมือนการสร้างถึงข้อมูลประจำโรงพยาบาล) ดังรูปที่ 4.183 (ข) และผู้ใช้งานต้องกรอกรหัสประจำตัวผู้ป่วยเพื่อทำการผูกข้อมูล BANs กับผู้ป่วย ดังรูปที่ 4.183 (ค)



(ก)

(ข)

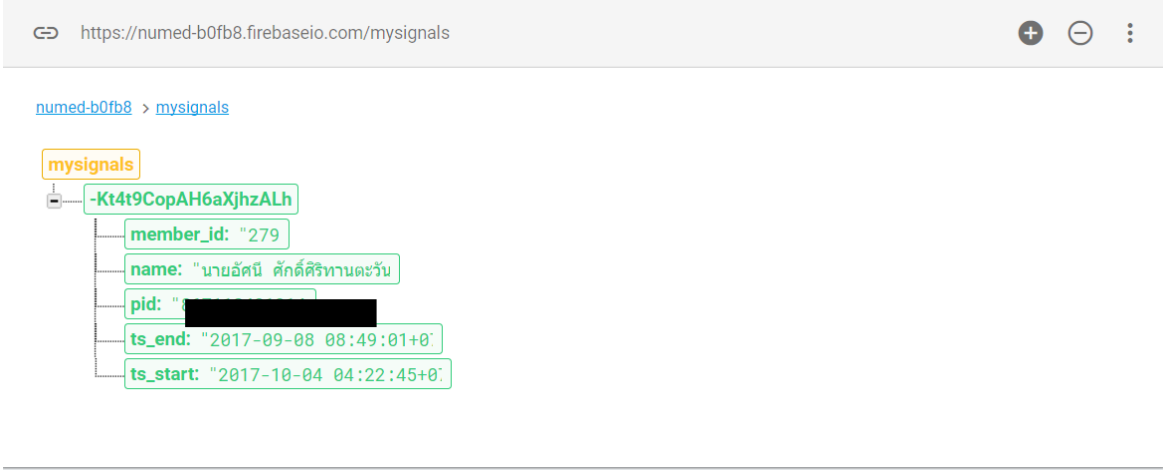


(ค)

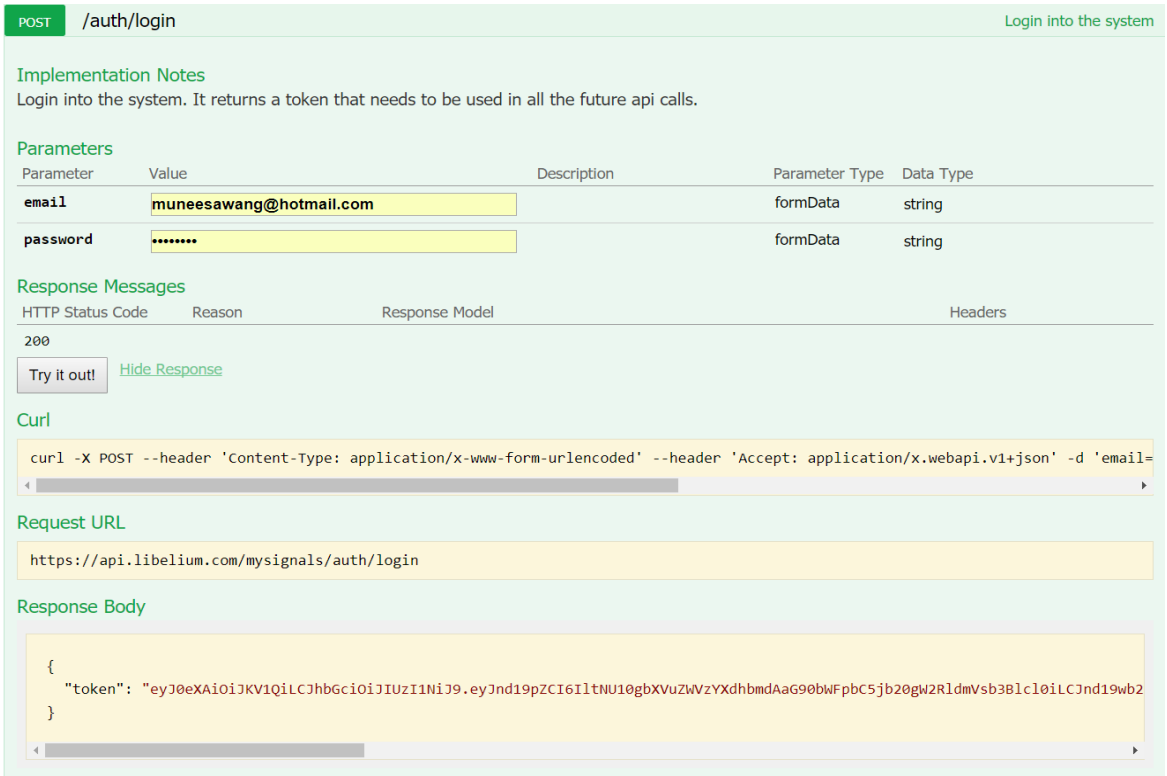
รูปที่ 4.183 (ก) แสดงการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการวัดจากอุปกรณ์ BANs (ข) แสดงการเลือกแหล่งเก็บข้อมูล (ค) แสดงการผูกข้อมูลผู้ป่วยกับข้อมูล BANs

เมื่อผู้ใช้งานเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดสัญญาณสรีระวิทยาจากเครือข่าย BANs และทำการผูกข้อมูลของผู้ป่วยแล้วระบบจะทำการสร้างเป็นข้อมูลการเชื่อมต่อบนฐานข้อมูลเพื่อที่จะรองรับการส่งข้อมูลจาก BANs ระหว่างการร้องขอคำปรึกษาเพื่อให้ทั้งผู้ร้องขอคำปรึกษาและผู้ตอบรับคำปรึกษาสามารถเข้ามาดูข้อมูล BANs ได้ดังรูปที่ 4.184

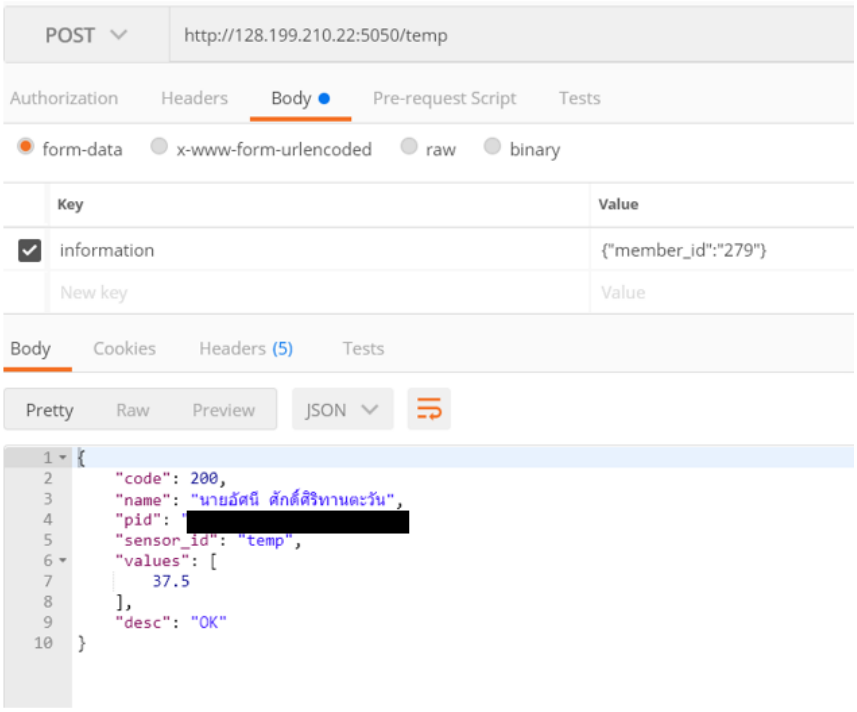
เมื่อเราพัฒนาส่วนเชื่อมต่อ API จากระบบคลาวด์ BANs แล้วจะสามารถเชื่อมต่อข้อมูลผู้ป่วยกับข้อมูลจากอุปกรณ์ BANs ได้โดยจะนำข้อมูลของเซนเซอร์และข้อมูลของผู้ป่วยมาแสดง ดังรูปที่ 4.185 ซึ่งการเรียกใช้งานจะทำการเรียกผ่าน Rest Service API ซึ่งจะเชื่อมต่อระหว่างระบบศูนย์ข้อมูลซึ่งเก็บข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วย และคลาวด์ BANs ซึ่งเก็บข้อมูลจากสัญญาณ BANs ในรูปที่ 4.186 - รูปที่ 4.187 ใช้โปรแกรม Postman ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการทดสอบการใช้งาน Rest Service โดยเมื่อทำการร้องขอข้อมูล (Request) หากข้อมูลถูกต้องก็จะมีการตอบคำร้องขอ (Response) กลับมา



รูปที่ 4.184 แสดงโครงสร้างการเก็บข้อมูลการเชื่อมต่ออุปกรณ์ BANs บนฐานข้อมูล

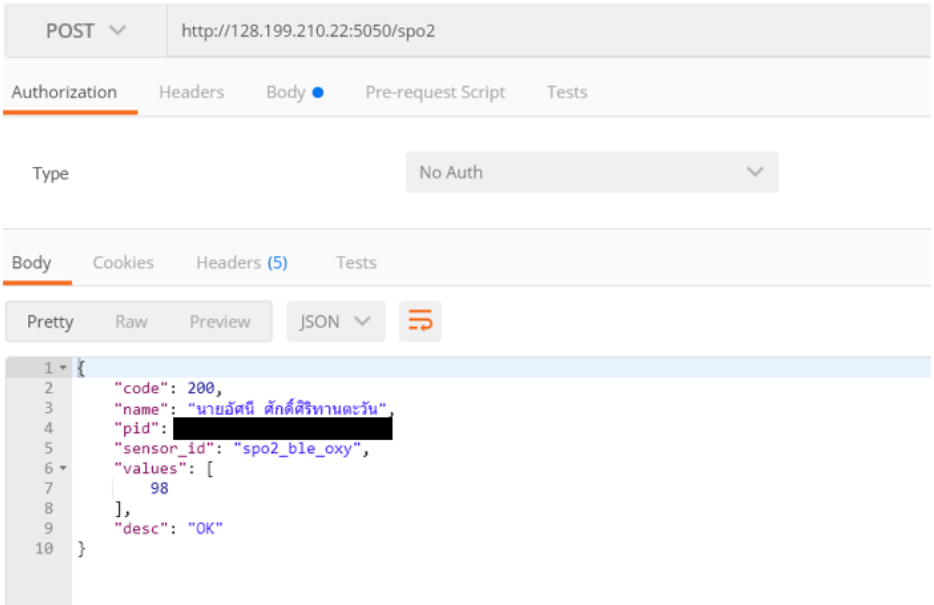


รูปที่ 4.185 แสดงการเชื่อมต่อ API คลาวด์ของอุปกรณ์ BANs

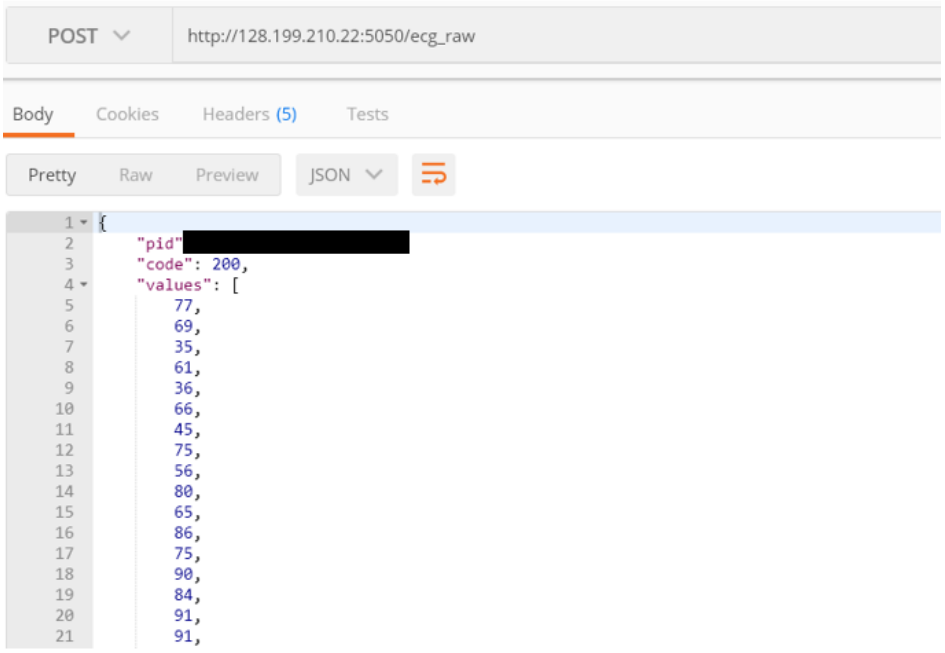


(ก)

รูปที่ 4.186 (ก) แสดงการเรียกใช้งาน Rest Service API สำหรับการดึงข้อมูลอุณหภูมิ Temp (ข) แสดงการดึงข้อมูลออกซิเจน SPO2 (ค) แสดงการดึงข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ECG RAW



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.187 (ก) แสดงการเรียกใช้งาน Rest Service API สำหรับการดึงข้อมูลอุณหภูมิ Temp (ข) แสดงการดึงข้อมูลออกซิเจน SPO2 (ค) แสดงการดึงข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ECG RAW (ต่อ)