



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ
โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟน
The Development of NFC Smartphone based Breath alcohol meter
for Point-of-Care Testing

นางสาวเนอมาลย์ อีโต
นางสาวรัญรดา ไทยวงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ
โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ทโฟน
The Development of NFC Smartphone based Breath alcohol meter
for Point-of-Care Testing

นางสาวณอมมาลย์ อีโต
นางสาวธัญรดา ไทยวงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟน
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นางสาวเมธามาลย์ อีโต นางสาวธัญรดา ไทยวงษ์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ดร.สรินพร วิสิฐสัทธาพงศ์
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	ดร.นภารัตน์ ศิริพิทักษ์ชัย
สถานประกอบการ	บริษัท ซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด

บทคัดย่อ

จากการฝึกปฏิบัติงานสหกิจศึกษาครั้งนี้ ได้ดำเนินการวิจัยที่มุ่งเน้นเพื่อพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟน ที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในราคาย่อมเยา สะดวกและใช้งานง่าย เหมาะแก่การพกพา ตลอดจนส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสังเกตการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระดับแอลกอฮอล์ในเลือดได้มากขึ้น

ในการดำเนินงานวิจัยจะอาศัยการใช้งานตัวตรวจจับชนิดแก๊ส (Gas sensor) แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีในการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดจากลมหายใจ แล้วส่งข้อมูลจากตัวตรวจจับผ่านสัญญาณ NFC ไปยังสมาร์ตโฟน ซึ่งจะประมวลผลและแสดงผลความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดในหน่วย BAC (Blood Alcohol Concentration) โดยในการวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของเครื่องมือ ซึ่งผู้วิจัยสามารถพัฒนาให้ระบบการวัดของเครื่องมือใช้เวลาเพียง 16 วินาที ในการประมวลผลและแสดงผล แล้วส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายออนไลน์เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลให้แก่ผู้ใช้งาน

ผลการดำเนินงานวิจัย จากการวิเคราะห์ค่าความชันของกราฟการตอบสนองของตรวจจับชนิดแก๊สแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นและความเที่ยงของเครื่องมือวิจัยนี้สามารถยอมรับได้ แต่ความแม่นยำของผลการวัดยังไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากผลการวัดมีค่าลดลงตามการใช้งานของตัวตรวจจับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือการลดลงของการตอบสนองของตัวตรวจจับ (Sensitivity decay) ส่งผลให้เครื่องมือวิจัยนี้ยังไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวและพัฒนาเครื่องมือให้สามารถนำไปใช้งานในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือด, เครื่องมือวิเคราะห์ลมหายใจ, ระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด, อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง, เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายระยะสั้น, จุดตรวจหรือจุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่วารณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: The Development of NFC Smartphone based Breath alcohol meter for Point-of-Care Testing

Student intern name: Ms. Chermal Ito
Ms. Thunrada Thaiwong

Faculty: Engineering **Department:** Biomedical Engineering

Advisor name: Dr. Sarinporn Visitsattapongse

Mentor name: Dr. Naparat Siripitakchai

Company: Silicon Craft Technology Co.,Ltd.

Abstract

This project aims to develop NFC smartphone based breath alcohol meter for point-of-care testing prototype for better quality and efficiency. This improvement will allow users to access point of care testing device and observe their own health condition in a short time at a reduced cost

This project uses the electrochemical gas sensor to detects the presence of alcohol in breath. Breath sample will be analyzed and displayed in the unit of blood alcohol concentration (BAC). The design of this project includes the development of hardware and software as the device modules. Hardware part includes the sensor circuit and software part includes the algorithm to calculate the BAC level. The whole process takes 16 seconds from start and data will be delivered to the smartphone via NFC (Near Field Communication) and stored in cloud networking.

Finally, the experimental results by using the slope calculation method can be quantitated with a linear response and precision are acceptable, but there's concern about accuracy due to degradation of sensors especially for sensitivity decay. This will guide the development of the next generation of breath alcohol sensors.

Keywords : Alcohol meter, Breathalyzer, Blood alcohol concentration (BAC), Internet of thing (IoT), Near field communication (NFC), Point-of-care testing (POCT)

กิตติกรรมประกาศ

ตามที่ผู้วิจัยได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด ตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ส่งผลให้ผู้วิจัยได้รับความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีค่ามากมาย สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีและ บรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ดังนี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.สรินพร วิสิษฐัฐธาทพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์นิเทศ งานสหกิจศึกษาที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการติดต่อประสานงานสหกิจศึกษา ตลอดจน คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณกานต์ โอภาสจรัสกิจ ที่ได้ให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้ามาฝึกปฏิบัติงานสหกิจ ศึกษา ณ บริษัท ซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี

ขอขอบพระคุณผู้นิเทศงานสหกิจศึกษา ดร.นภารัตน์ ศิริพิทักษ์ชัย และบุคลากรภายใน บริษัทที่คอยให้คำปรึกษา อบรมสอนงานด้านเทคนิคต่าง ๆ ตลอดจนกำลังใจในการดำเนินงานวิจัย ตลอดระยะเวลาของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสาธิตา ปานขวัญ นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการจากสำนักรังสีและเครื่องมือ แพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ที่เอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องมือสอบเทียบ วัดระดับแอลกอฮอล์ รวมถึงให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบการทดลอง และปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือวิจัยนี้

และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำ รายงานสหกิจศึกษานี้

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล เป็นที่ ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิต ของการทำงานจริง ผู้วิจัยขอขอบคุณ ไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

2 มกราคม 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.3.2 ขอบเขตของเนื้อหา.....	4
1.3.3 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย.....	4
1.3.4 สถานที่ใช้ฝึกประสบการณ์และดำเนินการวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
1.5 เป้าหมายของผลผลิต (output) และตัวชี้วัด.....	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 เครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	7
2.2 ประเภทของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	8
2.3 ปริมาณแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มและความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในกระแสเลือด.....	8
2.4 พิษจลนศาสตร์ของเอทิลแอลกอฮอล์.....	11
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับแอลกอฮอล์ในเลือด.....	14
2.6 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ยานพาหนะที่ถูกต้อง.....	15
2.6.1 การทำร้ายร่างกาย.....	15
2.6.2 ทำให้เสียทรัพย์.....	15
2.6.3 แอลกอฮอล์กับข้อกฎหมาย.....	15
2.6.4 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดมีผลกับโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจร.....	17
2.6.5 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดกับการแสดงผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง.....	18
2.7 แอลกอฮอล์กับอุบัติเหตุจราจร.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การตรวจวัดค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือด.....	21
2.9 การศึกษาถึงเครื่องมือและวิธีการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในร่างกายในปัจจุบัน.....	22
2.10 ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID)	24
2.10.1 การสื่อสารแบบไร้สาย	24
2.10.2 ความถี่ของคลื่นพาหะ.....	25
2.10.3 องค์ประกอบหลักของ RFID	26
2.10.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID.....	27
2.11 ทิศทางและแนวโน้มการใช้งานเทคโนโลยี NFC.....	27
2.11.1 หลักการของเทคโนโลยี NFC	27
2.11.2 หลักการทำงานของ NFC และกระบวนการโมดูเลตและเข้ารหัส.....	28
2.12 การทดสอบ ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-care testing หรือ POCT)	29
2.13 กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	33
3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	33
3.2 ขั้นตอนสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย.....	37
3.2.1 ระบบประมวลผล แสดงผล และบันทึกข้อมูล	40
3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับวงจรการวัดและประมวลผล.....	40
3.2.3 การออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับระบบวิเคราะห์และแสดงผล	42
3.2.4 การออกแบบโครงสร้างเคสแบบ 2 และ 3 มิติ สำหรับสวมใส่ชุดทดสอบ	44
3.2.5 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ	45
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล	46
3.3.1 การจัดเตรียมตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์.....	46
3.3.2 วิธีการทดลอง	47
3.4 สถิติและแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล	48
3.4.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
3.4.2 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล	56
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	57
4.1 การทดสอบด้านคุณภาพของเครื่องมือ.....	57
4.1.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัย	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ผลการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำและความถูกต้องของผลการวัด ...	58
4.2 การวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	60
4.2.1 สาเหตุอันเกิดจากผู้ทดลอง.....	60
4.2.2 สาเหตุอันเกิดจากจากเครื่องมือวัด	61
4.2.3 สาเหตุอันเกิดจากวิธีการทดลอง.....	63
4.2.4 สาเหตุอันเกิดจากการวัดผล	63
4.2.5 สาเหตุอันเกิดจากสภาพแวดล้อม	64
4.3 แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข	65
4.4 การดำเนินงานตามแนวทางการปรับปรุงและแก้ไข	67
4.4.1 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย.....	67
4.4.2 การทดสอบและปรับปรุงค่า Recovery time ของเครื่องมือ	69
4.4.3 การทดสอบการหาตำแหน่งเวลาที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาใช้ในการ คำนวณค่าความเข้มข้น BAC.....	70
4.4.4 การปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานในการวิเคราะห์และแสดงผลบน แอปพลิเคชัน	71
4.5 ผลการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องมือ	72
4.5.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดลงของความชื้น.....	75
4.5.2 การทดสอบปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการลดลงของความชื้น.....	76
4.6 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	84
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
5.2 อภิปรายผล.....	86
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	86
5.3.1 ด้านการออกแบบระบบการวัดเพื่อลด Recovery time	86
5.3.2 ด้านวิธีการทดลอง เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการทดลอง	87
5.3.3 ด้านการรายงานผล	87
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	93

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	มูลค่าอุบัติเหตุบนท้องถนน (ที่มา TDRI)..... 1
ตารางที่ 1.2	สถิติอุบัติเหตุในช่วงสงกรานต์ปี พ.ศ. 2559 (สคอ. 2017)..... 2
ตารางที่ 1.3	แสดงแผนงานขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย 5
ตารางที่ 1.4	แสดงผลผลิตและตัวชี้วัดของแผนงานวิจัย..... 6
ตารางที่ 2.1	ลักษณะกลุ่มของเครื่องดีมีแอลกอฮอล์ทั่วไป 8
ตารางที่ 2.2	ลักษณะกลุ่มของเครื่องดีมีแอลกอฮอล์ที่บ้าน..... 8
ตารางที่ 2.3	เวลาที่ใช้ในการเมแทบอลิซึมแอลกอฮอล์ในเลือดที่ความเข้มข้นต่างกัน 9
ตารางที่ 2.4	ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดหลังจากการดีมีแอลกอฮอล์ในเพศชายและเพศหญิง 10
ตารางที่ 2.5	ค่าเฉลี่ยระดับแอลกอฮอล์ในสิ่งส่งตรวจชนิดต่าง ๆ ของร่างกายเทียบกับเวลาภายหลังการดีมี (ที่มา Giang et al. 2007) 13
ตารางที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด กับโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจร..... 17
ตารางที่ 2.7	ผลต่อสมองส่วนกลางที่ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดต่าง ๆ..... 18
ตารางที่ 2.8	มูลค่าอุบัติเหตุบนท้องถนน (ที่มา TDRI)..... 20
ตารางที่ 2.9	สถิติอุบัติเหตุในช่วงสงกรานต์ปี พ.ศ. 2559 (สคอ. 2017)..... 20
ตารางที่ 2.10	ย่านความถี่ต่าง ๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน..... 26
ตารางที่ 3.1	คุณสมบัติของแอลกอฮอล์เซนเซอร์รุ่น 3SP-Ethanol-1000 SPEC Sensors..... 35
ตารางที่ 3.2	TIA Gain ของแก๊สชนิดต่าง ๆ..... 36
ตารางที่ 3.3	การจัดเตรียมตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ อุณหภูมิห้อง 46
ตารางที่ 3.4	ค่าคงที่ K_1 ซึ่งแปรผันตามจำนวนครั้งในการวัดซ้ำ..... 53
ตารางที่ 3.5	ค่าคงที่ K_2 ขึ้นกับจำนวนผู้ทดสอบ..... 53
ตารางที่ 3.6	ค่าคงที่ K_3 ขึ้นกับจำนวนชิ้นงานที่นำมาทดสอบ 54
ตารางที่ 3.7	การประเมินผลความสามารถของระบบการวัด โดยใช้ค่าสถิติ %GRR (AIAG General Guidelines of MSA Acceptability) 55
ตารางที่ 3.8	การประเมินผลความสามารถของระบบการวัด โดยใช้ค่าสถิติ ndc (AIAG General Guidelines of MSA Acceptability) 55
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุด.... 58
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นของ Voltage output ที่วัดได้จากการทดสอบการใช้เครื่องมือในเดือนสิงหาคม (Aug) เทียบกับเดือนกรกฎาคม (Jul) โดยใช้วิธีทางสถิติ t-test ($\alpha=0.05$)..... 59

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.3	ตารางแสดงแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขของปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ	65
ตารางที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวิจัย ...	67
ตารางที่ 4.5	ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ที่ได้จากการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ตุลาคม.....	72
ตารางที่ 4.6	ตารางแสดงรายละเอียดการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ตุลาคม.....	73
ตารางที่ 4.7	ตารางแสดงผลการทดสอบเซนเซอร์แต่ละชุดที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อมีการใส่และถอดแบตเตอรี่ออกเพื่อศึกษาถึงปัจจัยด้านความชื้นและระยะเวลาในการใช้งาน.....	77
ตารางที่ 4.8	ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ที่ได้จากการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุดภายหลังการดูดความชื้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์ในเดือนพฤศจิกายน โดยเทียบข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – พฤศจิกายน.....	78
ตารางที่ 4.9	ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุดที่ได้จากการวัดค่าระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจทั้งก่อนและหลังการทดลองการดูดความชื้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์.....	79
ตารางที่ 4.10	ตารางแสดงรายละเอียดการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยด้านความชื้นที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของเครื่องมือวิจัย ตั้งแต่วันที่ 29 ตุลาคม – 5 พฤศจิกายน.....	80
ตารางที่ 4.11	ตารางสรุปผลการทดลองของเครื่องมือวิจัยทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไข	83
ตารางที่ 5.1	ตารางสรุปคุณสมบัติและความสามารถในการทำงานของเครื่องมือวิจัย.....	85

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	เปรียบเทียบเครื่องต้มแต่ละชนิดในปริมาณเทียบเท่าแอลกอฮอล์ 1 ยูนิต.....	9
รูปที่ 2.2	ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดหลังการต้มแอลกอฮอล์ในเพศชายและเพศหญิง.....	11
รูปที่ 2.3	เมแทบอลิซึมและการขับออกของเอทิลแอลกอฮอล์ (ที่มา Gaw et al. 1995).....	12
รูปที่ 2.4	กราฟแสดงผลค่าเฉลี่ยระดับแอลกอฮอล์ในสิ่งส่งตรวจชนิดต่าง ๆ ของร่างกายเทียบกับเวลาหลังจากการต้ม (ที่มา Giang et al. 2007).....	13
รูปที่ 2.5	แสดงสถิติปริมาณคดีที่เกิดจาก พ.ร.บ. จราจรทางบก พ.ศ. 2522.....	21
รูปที่ 2.6	แสดงแผนผังการทำงานของระบบ RFID	24
รูปที่ 2.7	แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กและตัวรับข้อมูล.....	25
รูปที่ 2.8	หลักการการทำงานของระบบ RFID.....	27
รูปที่ 2.9	โหมดการทำงานของ NFC แบบ Card emulation mode.....	28
รูปที่ 2.10	โหมดการทำงานของ NFC แบบ Peer-to-peer mode.....	28
รูปที่ 2.11	โหมดการทำงานของ NFC แบบ Reader/writer mode.....	29
รูปที่ 2.12	กรอบแนวคิดของการวิจัย	32
รูปที่ 3.1	การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแก๊สเอทานอล (C ₂ H ₅ OH) กับอิเล็กโตรไลต์ภายในเซนเซอร์....	34
รูปที่ 3.2	ลักษณะทางกายภาพของเซนเซอร์	35
รูปที่ 3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของแก๊สกับความต่างศักย์	36
รูปที่ 3.4	ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในภาพรวม	37
รูปที่ 3.5	การปรับปรุงระบบการวัดเพื่อนำไปสู่การสร้างความเชื่อถือ	38
รูปที่ 3.6	รายละเอียดการดำเนินการของแต่ละขั้นตอนในการวิจัย	39
รูปที่ 3.7	ภาพรวมของระบบประมวลผล แสดงผล และบันทึกข้อมูลเบื้องต้น.....	40
รูปที่ 3.8	วงจรสำหรับตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าของเซนเซอร์แก๊สรุ่น 3SP-Ethanol-1000.....	40
รูปที่ 3.9	วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการตรวจเก็บข้อมูลของแอลกอฮอล์สำหรับการวิจัยนี้	41
รูปที่ 3.10	กราฟการตอบสนองของเซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี	42
รูปที่ 3.11	ผังงานแสดงกระบวนการวิเคราะห์และแสดงผลที่ใช้สำหรับการวิจัย.....	43
รูปที่ 3.12	โครงสร้างเคสแบบ 2 มิติ.....	44
รูปที่ 3.13	โครงสร้างของท่อเป่าลม (Mouthpiece) แบบ 2 มิติ	44
รูปที่ 3.14	โครงสร้างและการประกอบชุดทดสอบแบบ 3 มิติ.....	44
รูปที่ 3.15	การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือโดยวิธีทดสอบซ้ำ	45
รูปที่ 3.16	ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ	45
รูปที่ 3.17	วิธีการทดลองสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์กับความเข้มข้นต่าง ๆ (BAC) กับค่าความชันของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุด (V/s).....	57
รูปที่ 4.2	การประกอบเคสเข้ากับตัวเซนเซอร์ของเครื่องมือแต่ละชุด.....	58
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์โดยเฉลี่ยของเครื่องมือทุกชุดที่คำนวณได้จากสมการมาตรฐานซึ่งถูกทดสอบในเดือนกรกฎาคม (Jul) เทียบกับค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์โดยเฉลี่ยของเครื่องมือทุกชุดในสารละลายที่วัดได้จากการทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในเดือนสิงหาคม (Aug)	59
รูปที่ 4.4	แผนผังแสดงเหตุและผล.....	60
รูปที่ 4.5	โครงสร้างและลักษณะของท่อเป่าลม (Mouthpiece)	61
รูปที่ 4.6	ทิศทางการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) [33].....	62
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงการเกิด Voltage spike บน Baseline ของเซนเซอร์.....	64
รูปที่ 4.8	กราฟวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวิจัย.....	68
รูปที่ 4.9	โครงสร้างเคสแบบ 2 มิติ ภายหลังจากปรับปรุงและแก้ไขตามแนวทางที่กำหนด.....	69
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ความเข้มข้น 0.05 BAC เมื่อใช้เครื่องมือวิจัยทำการทดลองโดยไม่ใส่เคสหรือ Open air (น้ำเงิน) และใส่เคสทั้งก่อนการปรับปรุง (แดง) และหลังปรับปรุง (ดำ).....	69
รูปที่ 4.11	แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัด ณ ตำแหน่งเวลาต่าง ๆ....	70
รูปที่ 4.12	ผังงานแสดงกระบวนการวิเคราะห์และแสดงผลที่ใช้ในการวิจัย.....	71
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (BAC) กับค่าความชันโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุด (V/s) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - ตุลาคม.....	72
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการใช้งานและความชันของสมการมาตรฐานของเครื่องมือวิจัยในแต่ละชุด	76
รูปที่ 4.15	รูปแบบของ Shield ที่สวมครอบเซนเซอร์เพื่อป้องกันฝุ่นและน้ำมัน.....	78
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเซนเซอร์.....	78
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (BAC) กับค่าความชันโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุด (V/s) ตั้งแต่วันที่ 29 ตุลาคม - 5 พฤศจิกายน ภายหลังจากดูความชื้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์.....	79

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.18 กราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ของเครื่องมือวิจัยหมายเลข 3 (ก) และ 5 (ข) ในช่วงเดือนกรกฎาคม (Jul) เทียบกับเดือนพฤศจิกายน (Nov).....	82
รูปที่ 5.1 ทิศทางการไหลของอากาศเมื่อผ่าน Mouthpiece แบบทางอ้อม	86
รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบขนาดของรูทางออกของอากาศของ Shield.....	87
รูปที่ 5.3 Shield ที่ถูกออกแบบให้มีลักษณะโค้งมน	87



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เอทิลแอลกอฮอล์ หรือเรียกอีกอย่างว่า เอทานอล เป็นส่วนประกอบในสุรา ซึ่งเป็นหนึ่งในสารเสพติดที่มีผู้ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในโลก โดยแอลกอฮอล์จะออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เสียการทรงตัว พวดไม่ชัด สายตาพร่ามัว ร่างกายมีปฏิกิริยาตอบสนองช้าลง ตัดสินใจช้าและผิดพลาดได้ง่ายขึ้น การควบคุมอารมณ์ผิดปกติ ควบคุมตัวเองไม่ได้ ไปจนถึงขั้นหมดสติ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาลโดยเฉพาะอย่างยิ่งจาก “อุบัติเหตุจราจร”

จากการประมาณขององค์การอนามัยโลก (WHO) ใน พ.ศ. 2556 ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอัตราส่วนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนสูงเป็นอันดับ 2 อุบัติเหตุทางถนนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ประสบภัยเท่านั้น แต่ยังก่อให้เกิดความสูญเสียต่อเศรษฐกิจและสังคมไทยโดยรวมอย่างมหาศาล ในช่วงปี 2554-2556 มูลค่าของอุบัติเหตุเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 545,435 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) [1] ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 มูลค่าอุบัติเหตุบนท้องถนน (ที่มา TDR)

ปี	จำนวนผู้เสียชีวิต (คน)	จำนวนผู้บาดเจ็บสาหัส (คน)	มูลค่าความเสียหายจากการเสียชีวิต (ล้านบาท)	มูลค่าความเสียหายจากการบาดเจ็บสาหัส (ล้านบาท)	มูลค่าความสูญเสียโดยรวม (ล้านบาท)	มูลค่าความสูญเสียโดยรวม (เมื่อปรับอัตราเงินเฟ้อ โดย CPI = 100) (ล้านบาท)	อัตราส่วนต่อ GDP
2556	21,814	107,123	218,140	321,369	539,509	533,263	5.83%
2555	22,284	110,777	222,840	322,331	555,171	536,996	6.03%
2554	22,745	104,725	227,450	314,175	541,625	508,594	6.13%
เฉลี่ย	22,281	107,542	222,810	322,625	545,435	526,284	6.00%

สาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุจากการขับรถนั้นเป็นผลมาจากการขับรถในขณะที่มีอาการเมาสุรา ซึ่งอุบัติเหตุจะพุ่งสูงขึ้นมาในช่วงเทศกาล จากสถิติอุบัติเหตุทางถนนช่วงเทศกาลสงกรานต์ พ.ศ. 2559 ตามตารางที่ 1.2 พบว่า สาเหตุของอุบัติเหตุทางถนนเกิดจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่เป็นหลัก ได้แก่ เมาสุรา ขับรถเร็วเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด และตัดหน้ากระชั้นชิด ตามลำดับ ผู้เสียชีวิตผู้บาดเจ็บ ส่วนใหญ่เป็นผู้ขับขี่ยานพาหนะและเป็นคนในพื้นที่ เช่น ตำบล อำเภอ เป็นต้น รวมทั้งรถจักรยานยนต์เป็นพาหนะที่เกิดอุบัติเหตุสูงสุด [2]

ตารางที่ 1.2 สถิติอุบัติเหตุในช่วงสงกรานต์ปี พ.ศ. 2559 (สคอ. 2017)

สงกรานต์ พ.ศ. 2559			
สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ	เมาสุรา (34.09%)	ขับรถเร็วเกินกำหนด (32.93%)	ตัดหน้ากระชั้นชิด (18.54%)
ถนนที่เกิดอุบัติเหตุ	ทางหลวงแผ่นดิน (37.86%)	ถนน อบต./หมู่บ้าน (36.12%)	ถนนในเมือง (เทศบาล) (12.04%)
ยานพาหนะที่เกิดอุบัติเหตุ	รถจักรยานยนต์ (80.67%)	รถปิคอัพ (8.85%)	รถเก๋ง/รถแท็กซี่ (4.97%)
เวลาที่เกิดอุบัติเหตุ	16.01 – 20.00 น. (30.23%)	12.01 – 16.00 น. (21.67%)	20.00 – 24.00 น. (15.52%)
อายุผู้ประสบเหตุ	กลุ่มวัยแรงงาน อายุ 20-49 ปี (52.28%)	กลุ่มเด็กอายุต่ำกว่า 20 ปี (26.05%)	กลุ่มอายุ 50 ปี ขึ้นไป (21.67%)
อุบัติเหตุใหญ่	เกิน 49 ครั้ง		
การบังคับใช้กฎหมาย	ดำเนินคดี 730,271 ราย ลดลง 13,608 ราย (-1.83%)		

เพื่อเป็นการลดอุบัติเหตุทางถนนจากพฤติกรรมเมาแล้วขับ จึงได้มีการบังคับใช้กฎหมายโดยตั้งจุดตรวจวัดแอลกอฮอล์เพื่อวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ สำหรับวิธีการตรวจวัดที่ได้รับความนิยมและสะดวกที่สุดคือ การใช้การตรวจเป่าแอลกอฮอล์จากลมหายใจ (Breath alcohol test) และแสดงผลออกมาเทียบเป็นความเข้มข้นของระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (Blood alcohol concentration, BAC) ซึ่งตามกฎหมายกำหนดไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg% หรือ mg/dL) หรือ 0.02 BAC สำหรับผู้ขับขี่เยาวชนอายุไม่เกิน 20 ปีและผู้มีใบอนุญาตขับขี่ชั่วคราว และ 50 mg% หรือ 0.05 BAC สำหรับผู้ขับขี่ทั่วไป โดยมีโทษทางกฎหมายหากค่าที่ตรวจวัดได้เกินกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ นอกจากนี้ในการบังคับใช้กฎหมาย “เมาแล้วขับ” ของเจ้าหน้าที่ตำรวจยังมีปัญหาอุปสรรคที่สำคัญ ได้แก่

1.1.1 ปัญหาด้านเครื่องมือตรวจวัดแอลกอฮอล์ เครื่องมือตรวจวัดแอลกอฮอล์ที่ใช้อยู่ตามด่านตรวจในปัจจุบันมีจำนวนจำกัด และเครื่องมือตรวจวัดบางเครื่องถูกใช้งานมากกว่า 15 ปี ส่งผลให้เกิดการชำรุดระหว่างการปฏิบัติหน้าที่ หรือไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดแอลกอฮอล์ทั้งแบบทดสอบเบื้องต้นกับแบบยืนยันผลมีจำนวนไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถทำการเรียกผู้ขับขี่ที่มีพฤติกรรมกระชงที่สันนิษฐานได้ว่า เมาแล้วขับได้ทันที

1.1.2 ปัญหาระบบฐานข้อมูล ในกรณีที่ผู้กระทำความผิดมีการกระทำความผิดซ้ำ ยังไม่มีระบบตรวจสอบที่ชัดเจนและลงในอัตราที่หนักกว่าครั้งแรก ดังนั้น อัตราโทษที่ไม่ได้แตกต่างจากคนกระทำความผิดในครั้งแรก กองทะเบียนประวัติอาชญากร ซึ่งมีหน้าที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประวัติผู้กระทำความผิดคืออาญาทุกคดีในระบบฐานข้อมูล ปัจจุบันเน้นเรื่องการตรวจลายนิ้วมือเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะการตรวจด้วยชื่อนามสกุลหรือเลขบนบัตรประจำตัวประชาชน 13 หลักนั้นพนักงานสอบสวน อาจไม่ได้รับข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์จากผู้ต้องหา [3]

ดังนั้น การพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในร่างกายได้ด้วยตนเองที่สามารถบ่งชี้หรือสะท้อนค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือดที่ค่า 0.02 และ 0.05 BAC ได้อย่างแม่นยำ ราคาประหยัด ใช้งานสะดวก รวมทั้งมีระบบที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลเพื่อการใช้งานสำหรับประชาชนทั่วไปและเจ้าหน้าที่ตำรวจในการเก็บข้อมูล จะช่วยส่งเสริมให้นักดื่มและสถานประกอบการที่ขายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ สามารถเข้าถึงข้อมูลดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันปัญหาที่เกิดจากการดื่มดั่งที่กล่าวข้างต้น ปัจจุบันการพัฒนาเครื่องมือวัดที่ประกอบด้วย เซนเซอร์เพื่อใช้ในการสังเกตการณ์ข้อมูลสุขภาพเบื้องต้นด้วยตนเองหรือที่จุดดูแลผู้ป่วย ได้รับความสนใจอย่างมากในวงการการแพทย์และสาธารณสุข เพื่อที่ผู้บริโภคทั่วไปสามารถเข้าถึงการทดสอบวินิจฉัยสุขภาพเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มักถูกออกแบบให้สนับสนุนและทำงานร่วมกับเทคโนโลยี Internet of Thing (IoT) โดยเป็นระบบที่สนับสนุนการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล ซึ่งจะเป็นตัวแปรสำคัญในการเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยบรรเทาให้การเมาไม่ขับเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงทำให้การบังคับใช้กฎหมายเป็นไปอย่างเปิดเผย ทั้งนี้ผู้วิจัยยังเล็งเห็นว่า การพัฒนาวิธีการตรวจจับปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดนั้นมีความสำคัญต่อการศึกษาผลกระทบของแอลกอฮอล์ต่อร่างกายของผู้ดื่ม ซึ่งจะช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ได้มีโอกาสเก็บข้อมูลเหล่านี้ได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยใช้สมาร์ทโฟนซึ่งเป็นหนึ่งในอุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นและระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านเทคโนโลยี NFC (Near field communication)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ทโฟน เพื่อให้ได้อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ในราคาประหยัด ใช้งานง่ายเหมาะแก่การพกพาสำหรับการใช้งานโดยบุคคลทั่วไป ซึ่งการออกแบบชุดทดสอบนี้มุ่งเน้นที่การทำงานแบบใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกให้น้อยที่สุด โดยตัวตรวจจับหรือเซนเซอร์ของชุดทดสอบจะส่งข้อมูลการตรวจวัดผ่านสัญญาณ NFC จากสมาร์ทโฟนไปยังระบบเครือข่ายออนไลน์ (Cloud networking) สำหรับเก็บเข้าฐานข้อมูล

1.2.2 เพื่อส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไป สามารถเข้าถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสังเกตการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระดับแอลกอฮอล์ในเลือดได้มากขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟน เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ในราคาที่ย่อมเยา สะดวกและใช้งานง่ายเหมาะแก่การพกพาตลอดจนส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสังเกตการณ์ด้านสุขภาพของตนได้ ซึ่งขอบเขตของการวิจัยมีดังนี้

1.3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1.3.1.1 ตัวแปรอิสระ

- 1 วิธีการออกแบบการทดลอง
- 2 วิธีการออกแบบระบบการวัดและประมวลผล
- 3 ระยะเวลาการใช้งานของเซนเซอร์

1.3.1.2 ตัวแปรตาม

- 1 ความถูกต้องในการตรวจวัดค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือด
- 2 ประสิทธิภาพของวิธีการวัดและประมวลผล
- 3 ประสิทธิภาพในการใช้งานจริง

1.3.1.3 ตัวแปรสอดแทรก

- 1 สภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฤดูกาล

1.3.2 ขอบเขตของเนื้อหา

1.3.2.1 ความรู้ด้านเซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี

1.3.2.2 ความรู้ด้านเทคโนโลยี NFC และการประยุกต์ใช้

1.3.2.3 ความรู้และทักษะด้านการวิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลทางสถิติ

1.3.3 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2561 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 เป็นระยะเวลาประมาณ 26 สัปดาห์ โดยใช้เวลาในการดำเนินการสัปดาห์ละ 5 วัน

1.3.4 สถานที่ใช้ฝึกประสบการณ์และดำเนินการวิจัย

บริษัท ซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด

สำหรับการวิจัยนี้จะไม่ศึกษาถึงผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่มีต่อการตรวจวัดค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือด เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฤดูกาล เป็นต้น เนื่องจากสถานที่ที่ใช้ฝึกประสบการณ์และดำเนินการวิจัยนั้นไม่มีห้องสำหรับการดำเนินการวิจัยที่เป็นมาตรฐานโดยเฉพาะ จึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมปัจจัยทางสภาพแวดล้อมดังกล่าวได้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ สำหรับการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด และศึกษา Alcohol sensor ที่เหมาะสมกับชุดทดลอง จากนั้นออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานและคุณสมบัติ (Characteristic) ของเซนเซอร์ นอกจากนี้จำเป็นต้องออกแบบวิธีการ (Algorithm) วิเคราะห์ผลการทดลองบนแอปพลิเคชันเพื่อส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายออนไลน์ จากนั้นทำการทดลองใช้งานและเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำมาประมวลผล แล้วพัฒนาชุดทดสอบให้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เพื่อนำไปสอบเทียบมาตรฐานโดยหน่วยงานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งแผนการดำเนินงานโดยย่อของขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยแสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงแผนงานขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

ลำดับ	รายละเอียดแผนดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ (เดือนที่)					
		1	2	3	4	5	6
1	ศึกษาหลักการทํางาน วิธีสอบเทียบมาตรฐาน เครื่องวัดแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยวิธีเป่าลมหายใจ พร้อมทั้งศึกษาและเลือกใช้ Alcohol Sensor ที่เหมาะสมกับการพัฒนาชุดทดสอบ	■					
2	ออกแบบชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือด พร้อมทั้งรวบรวมความคิดเห็นจากแพทย์และผู้ดื่มเกี่ยวกับการออกแบบชุดทดสอบ	■	■				
3	ประกอบชุดทดสอบ และทำการทดลองชุดทดสอบ เพื่อเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง		■	■			
4	วิเคราะห์ รวบรวมปัญหา ข้อคิดเห็น และปรับปรุงชุดทดสอบในแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างและผู้ใช้จริงเพื่อเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม			■	■		
5	สอบเทียบชุดทดสอบที่สำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (นนทบุรี)					■	
6	ปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดทดสอบให้สอดคล้องกับความเห็นของผู้ใช้และผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ และทดสอบกับผู้ใช้งานเพื่อเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม					■	■
7	เขียนและส่งรายงานสรุปการวิจัย					■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 เป้าหมายของผลผลิต (output) และตัวชี้วัด

ตัวชี้วัดที่แสดงถึงการบรรลุเป้าหมายในระดับผลผลิตที่เกิดขึ้นในด้านความประหยัด ประสิทธิภาพ ประสิทธิผล ทั้งเชิงปริมาณเชิงคุณภาพ และระยะเวลาของโครงการวิจัยนี้ แสดงดัง ตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แสดงผลผลิตและตัวชี้วัดของแผนงานวิจัย

ผลผลิต	ตัวชี้วัด		
	เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	ระยะเวลา
ชุดทดสอบวัดระดับ แอลกอฮอล์ในเลือด ด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ทโฟน	1. รายงาน 1 ฉบับ 2. ต้นแบบชุดทดสอบ จำนวน 5 ชุด	1. องค์ความรู้ด้าน เซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี 2. องค์ความรู้ด้าน เซนเซอร์ที่ทำงาน ด้วย NFC	6 เดือน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ทโฟน ที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น เหมาะแก่การพกพาสำหรับการใช้งานส่วนตัวโดยบุคคลทั่วไป

1.6.2 องค์ความรู้เกี่ยวกับการพัฒนาเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีสำหรับบริษัท นักวิจัย และนักศึกษา เพื่อการต่อยอดการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับสมาร์ทเซนเซอร์ประเภทอื่น ๆ

1.6.3 องค์ความรู้เกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ในวงการสาธารณสุขและทางการแพทย์ สำหรับทีมแพทย์

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจผ่านการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี NFC โดยเริ่มตั้งแต่ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นของแอลกอฮอล์ กระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีในร่างกายภายหลังจากการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ กฎหมายและบทลงโทษสำหรับควบคุมปริมาณแอลกอฮอล์ ตลอดจนเครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการตรวจวัดค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือดในปัจจุบัน เพื่อนำมาศึกษาและกำหนดกรอบแนวคิดของการวิจัยซึ่งเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟน (The Development of NFC Smartphone based Breath alcohol meter for Point-of-Care Testing)

2.1 เครื่องดื่มแอลกอฮอล์

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ หมายถึง เครื่องดื่มทุกประเภทที่มีส่วนผสมของเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) ซึ่งเอทิลแอลกอฮอล์ธรรมชาติที่ได้จากการหมักของพืชและผลไม้ชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าว องุ่น ฯลฯ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสุรากลั่น มอก. 2088-2544 ได้ให้คำนิยามไว้ว่า “สุรา” หมายถึง เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์ของแอลกอฮอล์เกิน 0.5 ดีกรี แต่ไม่เกิน 80 ดีกรี ในพระราชบัญญัติสุรา พ.ศ. 2493 ยังให้ความหมายที่เกี่ยวข้องกับเครื่องดื่มหรือสุราไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

“สุรา” หมายความว่า รวมถึงวัตถุทั้งหลายหรือของผสมที่มีแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถดื่มกินได้ เช่นเดียวกับน้ำสุรา หรือซึ่งดื่มกินไม่ได้แต่เมื่อได้ผสมกับน้ำหรือของเหลวอย่างอื่นแล้ว สามารถดื่มกินได้เช่นเดียวกับน้ำสุรา

“สุราแช่” หมายความว่า สุราที่ไม่ได้กลั่น และให้หมายความรวมถึงสุราแช่ที่ได้ผสมกับสุรากลั่นแล้ว แต่ยังมีฤทธิ์ของแอลกอฮอล์ไม่เกิน 50 ดีกรีด้วย เช่น เบียร์ ไวน์ สปาร์กลิ้งไวน์ แลสุรา

“สุรากลั่น” หมายความว่า สุราที่ได้กลั่นแล้ว และให้หมายความรวมถึงสุรากลั่นที่ได้ผสมกับสุราแช่แล้ว แต่มีฤทธิ์ของแอลกอฮอล์เกินกว่า 50 ดีกรีด้วย เช่น สุราสามทับ สุราขาว สุราผสม สุราปรุงพิเศษ และสุราพิเศษ เป็นต้น

เอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล (Ethanol หรือ EtOH) เป็นส่วนผสมหลักสำคัญของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ใช้กันมาตั้งแต่เดิม โดยเฉพาะในงานฉลองวาระต่าง ๆ การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในปริมาณน้อย ๆ ในระยะแรกจะช่วยให้ร่างกายสูบฉีดโลหิตได้ดี กระตุ้นการทำงานของหัวใจและระบบประสาท อย่างไรก็ตามหากมีการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เกินขีดความสามารถในการกำจัดออกจากร่างกายนั้นจะเกิดผลเสียร้ายแรงต่อระบบต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หน้าแดง มึนงง มีการทำลายระบบทางเดินอาหาร ระบบสมอง ระบบสืบพันธุ์ และระบบอื่น ๆ ในที่สุดถึงแก่ชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประเภทของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

ปัจจุบันเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทั่วไป และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์พื้นบ้าน (ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะกลุ่มของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทั่วไป

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์	ลักษณะและคุณสมบัติ
เหล้า	เครื่องดื่มที่ได้จากการกลั่น โดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น ข้าว ข้าวสาลี กากน้ำตาล อ้อย ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงประมาณ 40-50%
เบียร์	เครื่องดื่มที่ได้จากการหมักส่วนผสมจากธรรมชาติ เช่น ข้าวบาร์เลย์ มีปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 3-6%
ไวน์	เกิดจากการหมักน้ำตาลของผลไม้ เช่น องุ่น ลูกพลัม โคนส่วนมากจะมีปริมาณแอลกอฮอล์ตั้งแต่ 5-14% ขึ้นอยู่กับประเภทของไวน์

ตารางที่ 2.2 ลักษณะกลุ่มของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์พื้นบ้าน





เครื่องดื่มแอลกอฮอล์	ลักษณะและคุณสมบัติ
กระแช่ หรือน้ำตาลเมา	เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ทำมาจากน้ำตาลโตนด เกิดจากการหมักน้ำตาลที่ได้จากการปาดจั่น มะพร้าว งวงตาล งวงระกำ เป็นต้น
สาโท	เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทไวน์ ทำจากข้าวเหนียวหมักส่ำ
น้ำข้าว	เกิดจากการหมักข้าวเหนียวและแป้งเหล้า
อุ	ทำมาจากปลายข้าวและเกลบผสมแป้งข้าวหมัก แล้วนำไปหมักในไห

2.3 ปริมาณแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มและความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในกระแสเลือด

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์แต่ละชนิดมีปริมาณแอลกอฮอล์มากน้อยต่างกัน เบียร์จากการหมักข้าวมีแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร (V/V) หรือเรียกว่า 5 ดีกรี น้ำหมักข้าวมอลต์ มีแอลกอฮอล์ประมาณ 7% V/V ไวน์จากการหมักผลไม้ส่วนใหญ่คือ องุ่น มีแอลกอฮอล์ประมาณ 12% V/V และเหล้าที่ได้จากการกลั่นโดยปริมาตร เช่น วิสกี้ รัม วอดก้า เป็นกลุ่มที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงคือประมาณ 40% V/V สำหรับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมัก เช่น เบียร์ และไวน์ จะมีสารอื่นนอกจากแอลกอฮอล์ปะปนอยู่ เบียร์มีสัดส่วนของสารคาร์โบไฮเดรตมาก ส่วนไวน์มีสารอาหารอื่น โดยเฉพาะสารกลุ่มโพลีฟีนอล ได้แก่ เรสเวอราทรอล (Resveratrol) ในไวน์แดงและวิตามินผสมอยู่มาก โดยสารอาหารเหล่านี้ไม่พบในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่น หรืออาจพบได้แต่น้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์กับเครื่องดื่ม แต่ละชนิดพบว่ามาตรฐานการดื่ม 1 ยูนิต (unit) หรือเรียกว่า 1 หน่วยมาตรฐาน (1 standard drink) เทียบเท่ากับการได้รับแอลกอฮอล์ 10-15 กรัมหรือเทียบเท่า 150-220 มิลลิโมล ซึ่ง 1 ยูนิตได้จากการดื่มเบียร์ 1 กระป๋องขนาด 360

มิลลิลิตรหรือดื่มน้ำหมักข้าวมอลต์ 1 ขวดกลาง ขนาด 240 มิลลิลิตร หรือดื่มไวน์ 1 ขวดเล็ก ขนาด 120 มิลลิลิตร หรือดื่มวิสกี้หรือวอดก้า 1 แก้วเล็ก ขนาด 30 มิลลิลิตร (รูปที่ 2.1)

			
เบียร์ 360 มิลลิลิตร	= น้ำหมักข้าวมอลต์ 240 มิลลิลิตร	= ไวน์ 120 มิลลิลิตร	= วิสกี้ 30 มิลลิลิตร
5% V/V alcohol	7% V/V alcohol	12% V/V alcohol	40% V/V alcohol
1 unit	1 unit	1 unit	1 unit

รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบเครื่องดื่มแต่ละชนิดในปริมาณเทียบเท่าแอลกอฮอล์ 1 ยูนิต [4]

เอทานอล หรือเอทิลแอลกอฮอล์ ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) เป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ด้านหนึ่งมีหมู่ OH ที่มีขั้ว ทำให้ละลายได้ในน้ำ อีกด้านหนึ่งมีส่วนของคาร์บอนไม่มีขั้ว ทำให้โมเลกุลละลายได้ในไขมันและดูดซึมผ่านเมมเบรนได้ แอลกอฮอล์สามารถซึมผ่านเมมเบรนของผิวเซลล์ได้รวดเร็ว สามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด อัตราการดูดซึมเข้าสู่ระดับสูงสุดในกระแสเลือดภายในครึ่งชั่วโมงโดยไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (Zero order) จากนั้นเอทานอลเข้าสู่กระบวนการเมแทบอลิซึมที่ตับได้มากที่สุด ผู้ใหญ่น้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม สามารถเมแทบอลิซึมเอทานอลได้ 7-14 กรัมต่อชั่วโมง (150-300 มิลลิโมลต่อชั่วโมง) หรือคิดเป็น 100-200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นดื่มเบียร์ 1 กระป๋อง ขนาด 360 มิลลิลิตร

การกำจัดเอทานอลยังขึ้นกับน้ำหนักตัว เพศ เชื้อชาติ ระยะเวลาที่บริโภค อาหารที่บริโภค พร้อมแอลกอฮอล์ ยาที่ใช้ ตลอดจนความเข้มข้นของเอทานอลในเครื่องดื่มนั้น ๆ โดยเฉลี่ยดื่มเบียร์ 1 กระป๋อง (360 มิลลิลิตร) มีแอลกอฮอล์เท่ากับไวน์ 120 มิลลิลิตร หรือเหล้าวิสกี้ 30 มิลลิลิตร จะได้ค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด 0.02 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (g%) ภายใน 35-45 นาที และเมื่อหยุดดื่มระดับแอลกอฮอล์ในเลือดจะลดลงในอัตรา 0.01 g%/hr (ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4)

ตารางที่ 2.3 เวลาที่ใช้ในการเมแทบอลิซึมแอลกอฮอล์ในเลือดที่ความเข้มข้นต่างกัน

ระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (กรัมต่อเดซิลิตร) (BAC level)	เวลาที่ใช้ในการกระบวนการเมแทบอลิซึม (ชั่วโมง)
0.10	6.66
0.08	5.33
0.05	3.33
0.02	1.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรคำนวณระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (BAC) ด้วย Widmark Formula [5] ซึ่งมีเงื่อนไขว่าทุกคนมีอัตราการดูดซึมและเมแทบอลิซึมแอลกอฮอล์ไม่แตกต่างกัน

Widmark Formula สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (2.1)

$$\%BAC = \left(\frac{A \times 5.14}{W \times r} \right) - 0.015 \times H \quad (2.1)$$

BAC : ปริมาณแอลกอฮอล์ในกระแสเลือด

A : จำนวนแอลกอฮอล์ที่ดื่ม (หน่วย ออนซ์, oz)

5.14 : ค่าคงที่ (คำนวณจาก $0.823 \times 100 / 16$) ใช้เปลี่ยนหน่วยปริมาตรเป็นหน่วยน้ำหนัก และทำเป็น % ส่วนเลข 16 ได้จากการเปลี่ยนหน่วย pounds เป็น oz

W : น้ำหนักตัวผู้ดื่มสุรา (หน่วย กิโลกรัม, Kg)

R : การกระจายตัวของแอลกอฮอล์ในร่างกาย (ชาย=0.73, หญิง=0.66)

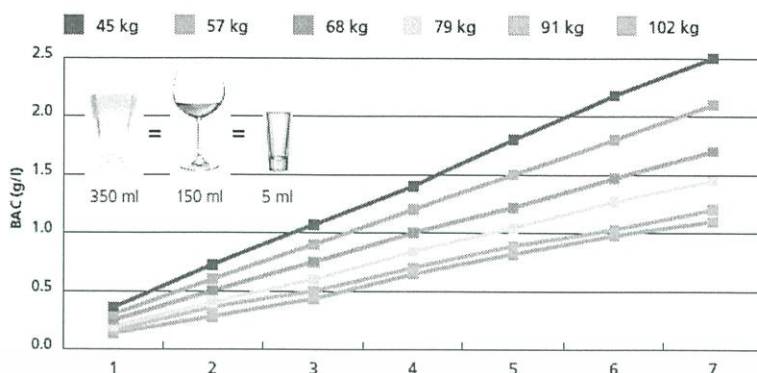
H : ช่วงเวลาที่ดื่มแอลกอฮอล์จากแก้วแรกถึงปัจจุบัน (หน่วย ชั่วโมง, hr)

ตารางที่ 2.4 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดหลังจากการดื่มแอลกอฮอล์ในเพศชายและเพศหญิง [6]

ปริมาณ แอลกอฮอล์ (ยูนิต)	ระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (กรัมต่อเดซิลิตร)							ระดับแอลกอฮอล์ (กรัมต่อเดซิลิตร)
	น้ำหนักตัวชาย (กิโลกรัม)							
	45	55	64	73	82	91	100	
0	0	0	0	0	0	0	0	ระดับปลอดภัยในการขับขี่
1	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	ปกติ
2	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	
3	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	เสี่ยง
4	0.15	0.12	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	
5	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	สูงเกินกำหนด

ปริมาณ แอลกอฮอล์ (ยูนิต)	ระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (กรัมต่อเดซิลิตร)							ระดับแอลกอฮอล์ (กรัมต่อเดซิลิตร)
	น้ำหนักตัวหญิง (กิโลกรัม)							
	45	55	64	73	82	91	100	
0	0	0	0	0	0	0	0	ระดับปลอดภัยในการขับขี่
1	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	ปกติ
2	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	
3	0.14	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	เสี่ยง
4	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	
5	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	สูงเกินกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



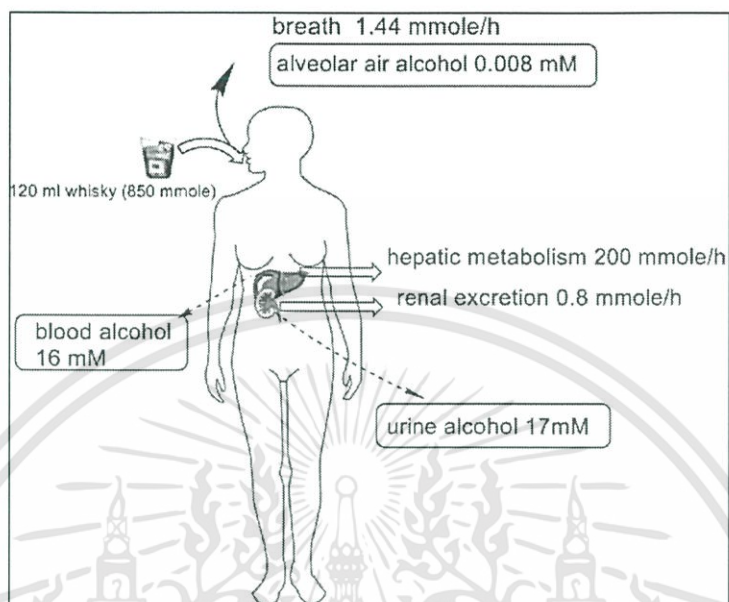
รูปที่ 2.2 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดหลังการดื่มแอลกอฮอล์ในเพศชายและเพศหญิง โดยที่แกนนอน แสดงปริมาณแอลกอฮอล์ (unit) และแกนตั้งแสดงระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (g/l)

2.4 พิษจลนศาสตร์ของเอทิลแอลกอฮอล์

การศึกษาเส้นทางและกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารเคมีในร่างกาย มีอยู่ 5 กระบวนการ คือ ดูดซึม กระจายตัว กักเก็บ เปลี่ยนรูป และขับออก ในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการดูดซึม การกระจายตัว และการขับออกเป็นหลัก การดูดซึมเอทิลแอลกอฮอล์จะเริ่มเกิดขึ้นในกระเพาะอาหารและเกิดอย่างรวดเร็วบริเวณลำไส้เล็ก อัตราการดูดซึมของเอทิลแอลกอฮอล์มีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ที่บริโภคเข้าไป เอทิลแอลกอฮอล์กระจายตัวอย่างรวดเร็วไปสู่เนื้อเยื่อและของเหลวต่าง ๆ ในร่างกาย ทั้งนี้หากปริมาณน้ำในอวัยวะนั้น ๆ มีมาก เอทิลแอลกอฮอล์จะกระจายไปสู่อวัยวะดังกล่าวได้มากเช่นกัน เช่น การดื่มเอทิลแอลกอฮอล์ในปริมาณเท่ากัน เพศหญิงจะมีระดับความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดสูงกว่าเพศชาย เนื่องจากเพศหญิงมีปริมาณไขมันในร่างกายสูงกว่าเพศชาย ทำให้การมีการกระจายของกล้ามเนื้อไขมันต่อแอลกอฮอล์น้อยกว่าผู้ชาย และผู้หญิงมีการดูดซึมแอลกอฮอล์มากกว่าเพศชาย เนื่องจากเพศหญิงมี First pass metabolism ต่ำกว่าเพศชาย จากการที่เอนไซม์ Alcohol dehydrogenase (ADH) มีระดับการทำงานต่ำกว่า หากรับประทานอาหารมาก่อน แอลกอฮอล์จะใช้เวลาประมาณ 1-6 ชั่วโมง จึงจะถูกดูดซึมไปถึงระดับสูงสุดในเลือด แต่ถ้าดื่มเปล่าในขณะท้องว่าง แอลกอฮอล์จะถูกดูดซึมสู่ระดับสูงสุดในเลือดเพียง 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ดับจะทำหน้าที่กำจัดเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 90-98 ส่วนที่เหลือร้อยละ 2-10 จะถูกขับออก ทางลมหายใจ ปัสสาวะ และเหงื่อ

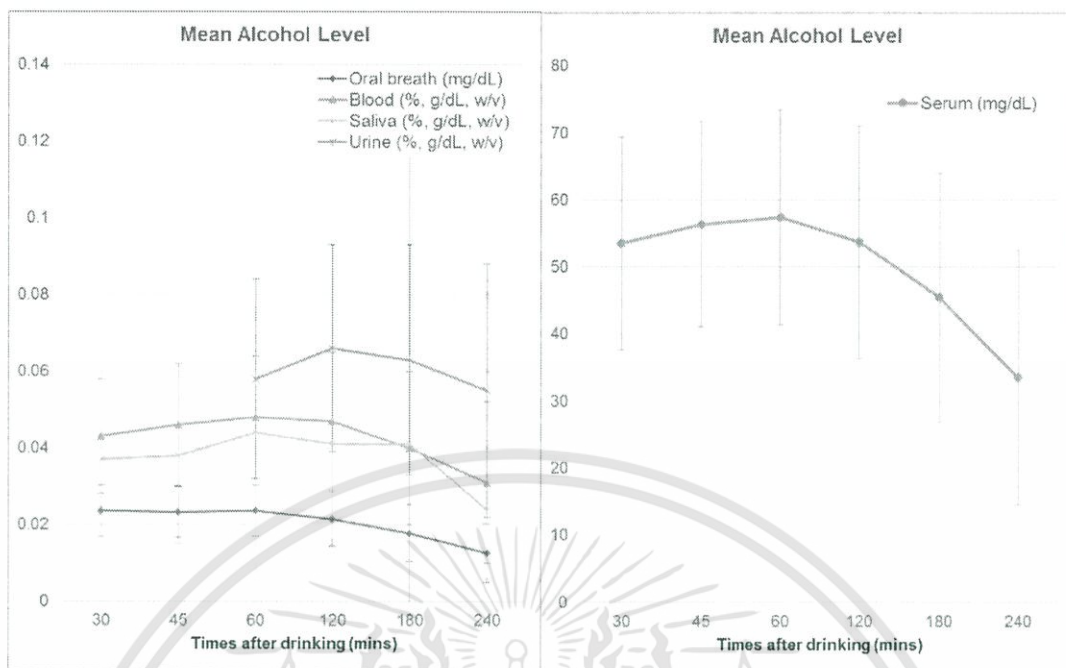
เมื่อระดับเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่า 20 mg% การกำจัดจะเป็นแบบ First order kinetic กล่าวคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ยกกำลังหนึ่ง แต่หากระดับเอทิลแอลกอฮอล์มากกว่า 20 mg% การกำจัดเอทิลแอลกอฮอล์จะเป็นแบบ Zero order kinetic กล่าวคือ การกำจัดจะเป็นไปในอัตราคงที่ ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ การกำจัดเอทิลแอลกอฮอล์แบบ Zero order kinetic ในคนปกติที่ไม่ได้บริโภคเอทิลแอลกอฮอล์เป็นประจำ ดับจะมีค่าเฉลี่ยการกำจัดเอทิลแอลกอฮอล์ (Average rate of ethanol clearance) อยู่ที่

7 g/hr หากคิดเป็นระดับความเข้มข้นเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดจะลดลง 15 mg/100 mL/hr (15 mg%/hr) แต่ในผู้ดื่มสุราเป็นประจำอาจกำจัดได้สูงถึง 35 mg/100 mL/hr (35 mg%/hr) [7]



รูปที่ 2.3 เมแทบอลิซึมและการขับออกของเอทิลแอลกอฮอล์ (ที่มา Gaw et al. 1995)
อธิบายรูป การที่ดื่มวิสกี้ 120 มิลลิลิตร จะถูกเมแทบอลิซึมและขับออก แอลกอฮอล์ที่เมแทบอลิซึมอยู่ในถุงลมปอด 0.008 มิลลิโมลาร์ ขับออกทางลมหายใจในอัตรา 1.44 มิลลิโมลต่อชั่วโมง แอลกอฮอล์ผ่านเมแทบอลิซึมที่ตับในอัตรา 200 มิลลิโมลต่อชั่วโมง และที่ไตในอัตรา 0.8 มิลลิโมลต่อชั่วโมง พบระดับแอลกอฮอล์ในกระแสเลือด 16 มิลลิโมลาร์ แอลกอฮอล์ในปัสสาวะ 17 มิลลิโมลาร์

โดยระดับแอลกอฮอล์ที่ตรวจวัดได้ในสิ่งส่งตรวจ (Specimen) จะมีค่าระดับแอลกอฮอล์สูงสุดที่ระยะเวลาต่างกันเมื่อนับจากเวลาหลังจากการดื่ม งานวิจัยของ Giang et al. (2007) [8] ได้ศึกษาระดับแอลกอฮอล์ในสิ่งส่งตรวจจากกลุ่มตัวอย่างชาวไต้หวัน 84 คน ระหว่างช่วงอายุ 21-60 ปี เทียบกับเวลาหลังจากดื่ม ผลการเก็บข้อมูลเป็นไปตามรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.5 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจมีปริมาณที่วัดได้น้อยที่สุดแต่จะถึงค่าสูงสุดที่ระยะเวลา 30-60 นาที ในขณะที่ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดและในน้ำลายอยู่ในระดับเดียวกันและถึงระดับเมื่อดื่มไปแล้ว 1 ชั่วโมง แต่ผลของน้ำลายมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากกว่าผลที่ได้จากเลือด ดังนั้นจะเห็นว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้ในน้ำลายเทียบเลือดจะอยู่ที่อัตราส่วน 1:1 ในขณะที่ระดับแอลกอฮอล์ที่วัดได้จากลมหายใจเทียบกับเลือดจะอยู่ที่ 1:2000 นอกจากนี้รูปที่ 2.4 ยังแสดงให้เห็นว่าค่าระดับแอลกอฮอล์สูงสุดในปัสสาวะจะสามารถตรวจวัดได้เมื่อดื่มไปแล้วเป็นระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงผลค่าเฉลี่ยระดับแอลกอฮอล์ในสิ่งส่งตรวจชนิดต่าง ๆ ของร่างกายเทียบกับเวลาหลังจากการดื่ม (ที่มา Giang et al. 2007)

ตารางที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยระดับแอลกอฮอล์ในสิ่งส่งตรวจชนิดต่าง ๆ ของร่างกายเทียบกับเวลาภายหลังการดื่ม (ที่มา Giang et al. 2007)

Mean Alcohol Level					
Specimen Time (unit) (min)	Oral breath (mg/dL)	Serum (mg/dL)	Blood (%, g/dL, w/v)	Saliva (%, g/dL, w/v)	Urine (%, g/dL, w/v)
30	0.0236±0.0067	53.523±15.940	0.043±0.015	0.037±0.023	Untested
45	0.0233±0.0066	56.402±15.342	0.046±0.016	0.038±0.023	Untested
60	0.0236±0.0066	57.434±16.036	0.048±0.016	0.044±0.036	0.058±0.026
120	0.0215±0.0070	53.687±17.351	0.047±0.018	0.041±0.025	0.066±0.027
180	0.0178±0.0074	45.506±18.539	0.040±0.020	0.041±0.075	0.063±0.030
240	0.0126±0.0078	33.566±19.067	0.031±0.021	0.024±0.018	0.055±0.033

ถึงแม้ระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจจะมีปริมาณที่ตรวจวัดได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับสิ่งส่งตรวจ (Specimen) หรือตัวอย่างอื่น ๆ จากร่างกาย แต่ค่าแอลกอฮอล์ที่วัดได้จากลมหายใจจะถึงระดับสูงสุดในเวลาที่รวดเร็วรวมทั้งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า จึงทำให้สามารถตรวจจับการดื่มแอลกอฮอล์ได้ในช่วงเวลาหลังการดื่มไม่นานและมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยกว่าในกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับวิธีการวัดอื่น ๆ

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับแอลกอฮอล์ในเลือด

ปกติผู้ที่ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ปริมาณมากและเข้มข้นจะมีระดับของแอลกอฮอล์ในเลือดและลมหายใจสูง แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดและลมหายใจ ดังนี้

2.5.1 ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ เครื่องดื่มที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ประมาณ 20% โดยปริมาตรจะถูกดูดซึมเข้าเลือดได้ดีที่สุด ถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้แอลกอฮอล์จะไปกดอัตราการเปิดของหูดที่เชื่อมระหว่างกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กให้มีการทำงานช้าลง ทำให้การดูดซึมแอลกอฮอล์เข้าระบบเลือดช้า ระดับของแอลกอฮอล์ในลมหายใจจะต่ำ

2.5.2 เวลา ถ้าดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์แบบช้า ๆ ค่อย ๆ ดื่มเข้าไป จะทำให้อัตราการเพิ่มของแอลกอฮอล์ในเลือดเท่ากับอัตราการทำลายแอลกอฮอล์ของตับ ซึ่งจะมีผลทำให้แอลกอฮอล์ในเลือดต่ำ

2.5.3 อาหารในกระเพาะ ถ้าในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กไม่มีอาหารอยู่จะมีผลทำให้แอลกอฮอล์ถูกดูดซึมได้เร็ว แต่ถ้ามีอาหารที่มีไขมันมากจะทำให้แอลกอฮอล์ถูกดูดซึมได้ช้า

2.5.4 ชนิดของเครื่องดื่มที่ใช้ผสมกับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (Mixer) การผสมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเนต เช่น น้ำอัดลม จะทำให้การดูดซึมแอลกอฮอล์เข้าสู่เลือดได้เร็วขึ้น

2.5.5 น้ำหนักของร่างกาย เนื่องจากร่างกายของคนเราประกอบด้วยน้ำ 2 ใน 3 ส่วน ฉะนั้นคนที่น้ำหนักมาก เมื่อแอลกอฮอล์ถูกดูดซึมเข้าร่างกายจะทำให้แอลกอฮอล์ในเลือดมีความเข้มข้นน้อยกว่าคนที่น้ำหนักเบา คนอ้วนจะมีน้ำในร่างกายน้อยกว่าคนผอม ถ้าน้ำหนักเท่ากัน เนื่องจากแอลกอฮอล์จะละลายได้น้อยในไขมันเมื่อเทียบกับน้ำ ด้วยเหตุนี้ปริมาณความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดคนอ้วนจะสูงกว่าคนผอม เมื่อดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์เท่ากัน

2.5.6 เพศ ผู้หญิงโดยทั่วไปมีรูปร่างเล็กกว่าผู้ชาย แต่มีไขมันมากกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการเผาผลาญแอลกอฮอล์น้อยกว่า และโดยเฉพาะมีการแกว่งขึ้นลงของระดับฮอร์โมนในร่างกายทำให้ระดับแอลกอฮอล์ของผู้หญิงสูงกว่าผู้ชาย

2.5.7 อารมณ์ ภาวะอารมณ์ขุ่นมัวหัวเสีย ความกลัว ความเครียด ฯลฯ มีผลทำให้การดูดซึมแอลกอฮอล์เข้าสู่กระแสเลือดได้เร็วขึ้น

2.5.8 ปัญหาสุขภาพ ผู้ที่มีอาการอ่อนเพลียหรือเจ็บป่วย จะมีระดับแอลกอฮอล์ในเลือดสูงกว่าผู้ที่สุขภาพร่างกายปกติ

2.5.9 การไชยา การไชยาบางชนิดร่วมกับการดื่มแอลกอฮอล์ ยามีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ให้เร็วขึ้น [9]

2.6 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ยานพาหนะที่ถูกต้อง

การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ส่งผลให้ผู้ดื่มมีอาการมึนเมา และขาดสติ เพราะฤทธิ์ของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์คือทำให้ขาดความยับยั้งคิด ในบางครั้งจึงอาจก่อให้เกิดเรื่องไม่คาดฝัน เช่น การทำร้ายร่างกาย อุบัติเหตุการขับรถยนต์มึนเมา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากความมึนเมานั้นนำความสูญเสียมาสู่ตนเองและผู้อื่นได้

2.6.1 การทำร้ายร่างกาย

2.6.1.1 ใช้กำลังทำร้ายร่างกายผู้อื่น โดยไม่ถึงกับเป็นเหตุให้เกิดอันตรายแก่กายหรือจิตใจ ระวังโทษจำคุกไม่เกิน 1 เดือน หรือปรับไม่เกิน 1,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

2.6.1.2 ฆ่าผู้อื่นถึงแก่ความตาย ระวังโทษประหารชีวิต จำคุกตลอดชีวิต หรือจำคุกตั้งแต่ 15-20 ปี

2.6.1.3 ไม่ได้มีเจตนาฆ่า แต่ทำร้ายผู้อื่นจนเป็นเหตุให้ผู้อื่นถึงแก่ความตาย ระวังโทษจำคุกตั้งแต่ 3-15 ปี

2.6.1.4 กระทำโดยประมาท และการกระทำนั้นเป็นเหตุให้ผู้อื่นถึงแก่ความตาย ระวังโทษจำคุกไม่เกิน 10 ปี และปรับไม่เกิน 20,000 บาท

2.6.1.5 ผู้ใดเข้าร่วมการชุมนุมต่อสู้ระหว่างบุคคลตั้งแต่ 3 คนขึ้นไป และบุคคลหนึ่งบุคคลใดไม่ว่าจะเป็นผู้เข้าร่วมในการนั้นหรือไม่ ถึงแก่ความตายโดยการกระทำในการชุมนุมต่อสู้ ระวังโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 4,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

2.6.2 ทำให้เสียทรัพย์

2.6.2.1 ผู้ใดทำให้เสียหาย ทำลาย ทำให้เสื่อมค่าหรือทำให้ไร้ประโยชน์ ซึ่งทรัพย์ของผู้อื่นหรือผู้อื่นเป็นเจ้าของรวมอยู่ด้วย ผู้นั้นกระทำความผิดฐานทำให้เสียทรัพย์ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 3 ปี หรือปรับไม่เกิน 6,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

2.6.2.2 ผู้ใดทำให้เสียหาย ทำลาย ทำให้เสื่อมค่าหรือทำให้ไร้ประโยชน์ ซึ่งทรัพย์ที่ใช้หรือมีไว้เพื่อสาธารณประโยชน์ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 5 ปี หรือปรับไม่เกิน 10,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ [10]

2.6.3 แอลกอฮอล์กับข้อกฎหมาย

นิยามของอาการเมาสุราอ้างอิงจากกฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 16 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 ได้กำหนดไว้ว่า การทดสอบผู้ขับขี่ว่าเมาสุราหรือไม่ ให้ตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ ถ้าเกิน 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg% หรือ mg/dL) ให้ถือว่าเมาสุรา นอกจากนี้ยังมีข้อกฎหมายเพิ่มเติมจากพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ.2522 โดยแก้ไขให้ผู้ขับขี่ที่มีอายุไม่ถึง 20 ปี ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดเกินกว่า 20 mg% ให้ถือว่าเมาสุรา ผู้ขับขี่ที่ไม่มีใบอนุญาตขับรถ หรือผู้ขับขี่ซึ่งได้รับใบอนุญาตขับรถแบบชั่วคราว ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดเกินกว่า 20 mg% ก็ให้ถือว่าเมาสุราเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกฎหมายที่ประชาชนทั่วไปควรทราบและปฏิบัติตาม ได้แก่ พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 มาตรา 43(2) ห้ามมิให้ผู้ขับขี่ขับรถในขณะที่เมาสุราหรือของเมาอย่างอื่น โดยมีบทลงโทษอยู่ในมาตรา 160 ตรี วรรคหนึ่ง “ผู้ใดฝ่าฝืนมาตรา 43(2) ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหนึ่งปีหรือปรับตั้งแต่ห้าพันบาทถึงสองหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และ ให้ศาลสั่งพักใช้ใบอนุญาตขับขี่ของผู้นั้นมีกำหนดไม่น้อยกว่าหกเดือน หรือเพิกถอนใบอนุญาตขับขี่” ความในมาตรานี้มีบทลงโทษสูงสุดถ้าการกระทำความผิดตามวรรคหนึ่งเป็นเหตุให้ผู้อื่นถึงแก่ความตาย ผู้กระทำความผิดต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่สามปีถึงสิบปี ปรับตั้งแต่หกหมื่นบาทถึงสองแสนบาท และให้ศาลสั่งเพิกถอนใบอนุญาตขับขี่ [11]

นอกจากนี้ยังมีพระราชบัญญัติจราจรทางบก (ฉบับที่ 10) พ.ศ. 2557 ที่ได้ยกเลิกพระราชบัญญัติจราจรทางบก (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2542 มาตรา 142 เดิม และแก้ไขข้อความใหม่สรุปใจความสำคัญได้ว่า ในกรณีที่ผู้ขับขี่มีพฤติกรรมอันควรเชื่อว่าได้ฝ่าฝืนมาตรา 43(1) คือ ขับรถในขณะที่หย่อนความสามารถในอันที่จะขับ หรือมาตรา 43(2) คือ ขับรถในขณะที่เมาสุราหรือของเมาอย่างอื่น หากผู้ขับขี่ไม่ยอมทดสอบการหย่อนความสามารถในอันที่จะขับหรือเมาสุรา หรือของเมาอย่างอื่น ให้เจ้าพนักงานจราจร พนักงานสอบสวน หรือพนักงานเจ้าหน้าที่มีอำนาจกักตัวผู้ขับขี่ได้ดำเนินการทดสอบได้ภายในระยะเวลาที่จำเป็น โดยมาตรา 142 ที่นำมาใช้ใหม่นี้มีสาระสำคัญคือการเพิ่มวรรคสี่ หากผู้ขับขี่ยังไม่ยอมให้ทดสอบตามวรรคสามโดยไม่มีเหตุอันสมควร ให้สันนิษฐานไว้ก่อนว่าผู้ขับขี่ฝ่าฝืนมาตรา 43(2) [7]

การตั้งจุดตรวจวัดแอลกอฮอล์ หรือ ด่านตรวจวัดแอลกอฮอล์ เป็นวิธีการบังคับใช้กฎหมายเพื่อลดอุบัติเหตุจากพฤติกรรมผู้ขับขี่เมาแล้วขับ เป็นการตรวจจับเฉพาะเรื่องเพื่อการแก้ปัญหาเรื่องการขับรถเมาสุรา สำหรับวิธีการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่นั้น วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจาก สะดวกที่สุด คือใช้ การตรวจเป่าแอลกอฮอล์จากลมหายใจ นอกจากการตรวจด้วยวิธีการ ตรวจเป่าแอลกอฮอล์จากลมหายใจแล้ว ยังสามารถตรวจระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ได้จากการเจาะตรวจเลือดของผู้ขับขี่หรือคนทำงานโดยตรงเลยก็ได้เช่นกัน ค่าที่ได้จะเรียกว่าค่าระดับเอทานอลในซีรัม (Serum ethanol level) [11] ในการบังคับใช้กฎหมาย “เมาแล้วขับ” ของเจ้าหน้าที่ตำรวจยังมีปัญหาอุปสรรคที่สำคัญได้แก่

1 ปัญหาด้านเครื่องมือตรวจวัดแอลกอฮอล์ เครื่องตรวจวัดแอลกอฮอล์ที่ใช้อยู่ตามด่านตรวจในปัจจุบันมีจำนวนจำกัด และเครื่องมือตรวจวัดบางเครื่องถูกใช้งานมากกว่า 15 ปี ส่งผลให้เกิดการชำรุดระหว่างการปฏิบัติหน้าที่ หรือไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดแอลกอฮอล์ทั้งแบบทดสอบเบื้องต้นกับแบบยืนยันผลมีจำนวนไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถทำการเรียกผู้ขับขี่ที่มีพฤติกรรมกระทำความผิดที่สันนิษฐานได้ว่า “เมาแล้วขับ” ได้ทันที

2 ปัญหาระบบฐานข้อมูล ในกรณีที่ผู้กระทำความผิดมีการกระทำความผิดซ้ำ ยังไม่มีระบบตรวจสอบที่ชัดเจนและลงโทษในอัตราที่หนักกว่าครั้งแรก ดังนั้น อัตราโทษที่ไม่ได้แตกต่างจากคนกระทำความผิดในครั้งแรก กองทะเบียนประวัติอาชญากรซึ่งมีหน้าที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประวัติ

ผู้กระทำความผิดคดีอาญาทุกคดี ในระบบฐานข้อมูล ปัจจุบันเน้นเรื่องการตรวจลายนิ้วมือเท่านั้น เพราะการตรวจด้วยชื่อนามสกุลหรือเลขบนบัตรประจำตัวประชาชน 13 หลัก เนื่องจากพนักงานสอบสวนไม่ได้รับข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์จากผู้ต้องหา [3]

ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดแอลกอฮอล์ในร่างกายสามารถบ่งชี้หรือสะท้อนค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือดที่ค่า 20 และ 50mg% ได้อย่างแม่นยำ ราคาย่อมเยา ใช้งานสะดวก รวมทั้งมีระบบที่สนับสนุนการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลเพื่อการใช้งานสำหรับประชาชนทั่วไปและเจ้าหน้าที่ตำรวจเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะช่วยบรรเทาภาระการเฝ้าระวังไม่ขับเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงทำให้การบังคับใช้กฎหมายเป็นไปอย่างเปิดเผยและเชื่อมโยง ทั้งนี้ทางทีมีวิจัยยังเล็งเห็นว่าการพัฒนาวิธีการตรวจจับปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดนั้นมีความสำคัญต่อการศึกษาผลกระทบของแอลกอฮอล์ต่อร่างกายของผู้ดื่ม ซึ่งจะช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ได้มีโอกาสเก็บข้อมูลเหล่านี้ได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้นด้วย

2.6.4 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดมีผลกับโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจร

การขับขีโดยประมาท คือ การขับขีโดยปราศจากความระมัดระวัง เช่น ขับรถโดยเมาสุรา หากขับขีโดยประมาททำให้ทรัพย์สินที่เป็นของหลวงเสียหาย เช่น เสาไฟฟ้า สะพานลอย ป้ายจราจร จะมีความผิดตามพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 ซึ่งรัฐสามารถฟ้องเรียกค่าเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขับขีโดยประมาทจากผู้กระทำความผิดฐานละเมิด ซึ่งผู้กระทำความผิดจะต้องชดใช้ค่าเสียหายตามมูลค่าของทรัพย์สินนั้น ๆ มูลค่าทรัพย์สินราชการ (กรณีประมาททำให้เสียหาย) เช่น ขับรถชนเสาไฟฟ้าเสียหาย อาจต้องจ่ายค่าเสียหายหลักหมื่นถึงหลักแสน หรือขับรถชนป้ายจราจร อาจต้องจ่ายค่าเสียหายหลักพันถึงหลักหมื่น เป็นต้น [10]

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด กับโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจร

ระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%)	สมรรถภาพในการขับขี	โอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจร
20	มีผลเพียงเล็กน้อยเฉพาะบางคน	โอกาสใกล้เคียงกับคนไม่ดื่มสุรา
50	มีผลทำให้ความสามารถในการขับขีลดลงเฉลี่ย 8% เป็นระดับที่นักวิจัยทั่วไปยอมรับว่าการขับรถจะเป็นอันตราย	โอกาสเพิ่มเป็น 2 เท่า เทียบกับคนที่ไม่ดื่มสุรา
80	มีผลทำให้ความสามารถในการขับขีลดลงเฉลี่ย 12% มีผลต่อผู้ขับรถทุกคนและในระดับนี้ใช้เป็นกฎหมายควบคุมในหลายประเทศ	โอกาสเพิ่มเป็น 3 เท่า เทียบกับคนที่ไม่ดื่มสุรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด กับโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจร (ต่อ)

ระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%)	สมรรถภาพในการขับขี่	โอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจร
100	มีผลทำให้ความสามารถในการขับขี่ลดลงเฉลี่ย 15% มีผลต่อผู้ขับขี่รถทุกคนและประสิทธิภาพในการขับขี่รถจะลดลงอย่างรวดเร็วในระดับนี้	โอกาสเพิ่มเป็น 6 เท่า เทียบกับคนที่ไม่มีสุรา
150	มีผลทำให้ความสามารถในการขับขี่ลดลงเฉลี่ย 33%	โอกาสเพิ่มเป็น 40 เท่า เทียบกับคนที่ไม่มีสุรา
มากกว่า 200	สมรรถภาพลดลงเป็นสัดส่วนกับระดับแอลกอฮอล์	ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากควบคุมการทดลองไม่ได้

2.6.5 ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดกับการแสดงผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง

ผลเฉียบพลันของแอลกอฮอล์ต่อระบบประสาทส่วนกลางมีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละคนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น เพศ สภาพร่างกาย รูปแบบการดื่ม ประสบการณ์การดื่มและบริบททางสังคม โดยรวมสามารถกล่าวได้ว่า ความรุนแรงของผลกระทบแปรผันตามระดับแอลกอฮอล์ในเลือดหรือ BAC (Blood Alcohol Concentration) ซึ่งระดับ BAC ขึ้นกับปริมาณแอลกอฮอล์ที่ดื่ม ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ถูกกำจัดออกจากร่างกายและสภาพร่างกายผู้ดื่ม ดังนั้นโดยทั่วไปผู้ที่ดื่มหนักจึงมีความเสี่ยงจากผลกระทบต่อสมองสูงกว่า [12]

ตารางที่ 2.7 ผลต่อสมองส่วนกลางที่ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดต่าง ๆ

ระยะ	ระดับ BAC (mg%)	อาการของระบบประสาทส่วนกลาง
คึกคัก	30-120	<ul style="list-style-type: none"> ○ เปลี่ยนแปลงทางอารมณ์ ผ่อนคลายและเพ้อฝัน ○ เชื้อมันในตนเอง พุดคุยมากขึ้น สมาธิสั้นลง ○ มีผลต่อความสามารถในการตัดสินใจ ○ เริ่มสูญเสียความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อมัดเล็ก รวมถึงการพูด ○ มีผลกระทบต่ออารมณ์และการตอบสนอง
เฉื่อยชา	90-250	<ul style="list-style-type: none"> ○ ง่วงซึม ปฏิกริยาช้าลงอย่างชัดเจน ○ สูญเสียความสามารถในการจำและการรับรู้ข้อมูล ○ สูญเสียความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อ เดินเซ ○ สายตาพร่ามัวมากขึ้น สูญเสียความสามารถในการรับรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ผลต่อสมองส่วนกลางที่ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดต่าง ๆ (ต่อ)

ระยะ	ระดับ BAC (mg%)	อาการของระบบประสาทส่วนกลาง
สับสน	180-300	<ul style="list-style-type: none"> ○ มีความสับสนอย่างมาก ○ สูญเสียการรับรู้มากขึ้น รับรู้ความเจ็บปวดลดลง ○ ควบคุมกล้ามเนื้อไม่ได้ เดินเซ สั่น พูดไม่ได้ ○ คลื่นไส้อาเจียนอย่างรุนแรง ควบคุมไม่ได้
ซีม	250-400	<ul style="list-style-type: none"> ○ ทรงตัวไม่ได้ หมดสติ หรือหมดสติเป็นพัก ๆ จำเหตุการณ์ไม่ได้ ○ สูญเสียความสามารถในการควบคุมการหายใจ อาจมีอาการสำคัญจนเสียชีวิตได้ ○ หัวใจเต้นช้าลง สูญเสียความสามารถในการควบคุมร่างกาย ○ ควบคุมอุจจาระปัสสาวะไม่ได้
หมดสติ	350-500	<ul style="list-style-type: none"> ○ หมดสติ หรือโคม่า สูญเสียการตอบสนองของร่างกาย ○ การหายใจ และการเต้นของหัวใจลดลงอย่างมาก ○ เสียชีวิตได้

2.7 แอลกอฮอล์กับอุบัติเหตุจราจร

จากการประมาณการขององค์การอนามัยโลก (WHO) ใน พ.ศ. 2556 ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอัตราส่วนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนสูงเป็นอันดับ 2 อุบัติเหตุทางถนนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ประสบภัยเท่านั้น แต่ยังก่อให้เกิดความสูญเสียต่อเศรษฐกิจและสังคมไทยโดยรวมอย่างมหาศาล ในช่วงปี 2554-2556 มูลค่าของอุบัติเหตุเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 545,435 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) [1] ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.8 สาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุจากการขับรถเป็นผลมาจากการขับรถในขณะที่มีอาการเมาสุรา ซึ่งอุบัติเหตุจะพุ่งสูงขึ้นมาในช่วงเทศกาล จากสถิติอุบัติเหตุทางถนนช่วงเทศกาลสงกรานต์ พ.ศ. 2559 ตามตารางที่ 2.9 พบว่า สาเหตุของอุบัติเหตุทางถนนส่วนใหญ่เกิดจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่เป็นหลัก ได้แก่ เมาสุรา ขับรถเร็วเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด และตัดหน้ากระชั้นชิด ตามลำดับ ผู้เสียชีวิต ผู้บาดเจ็บ ส่วนใหญ่เป็นผู้ขับขี่ยานพาหนะและเป็นคนในพื้นที่ (ในตำบล/แขวง) รวมทั้งรถจักรยานยนต์เป็นพาหนะที่เกิดอุบัติเหตุสูงสุด [2]

ตารางที่ 2.8 มูลค่าอุบัติเหตุบนท้องถนน (ที่มา TDR)

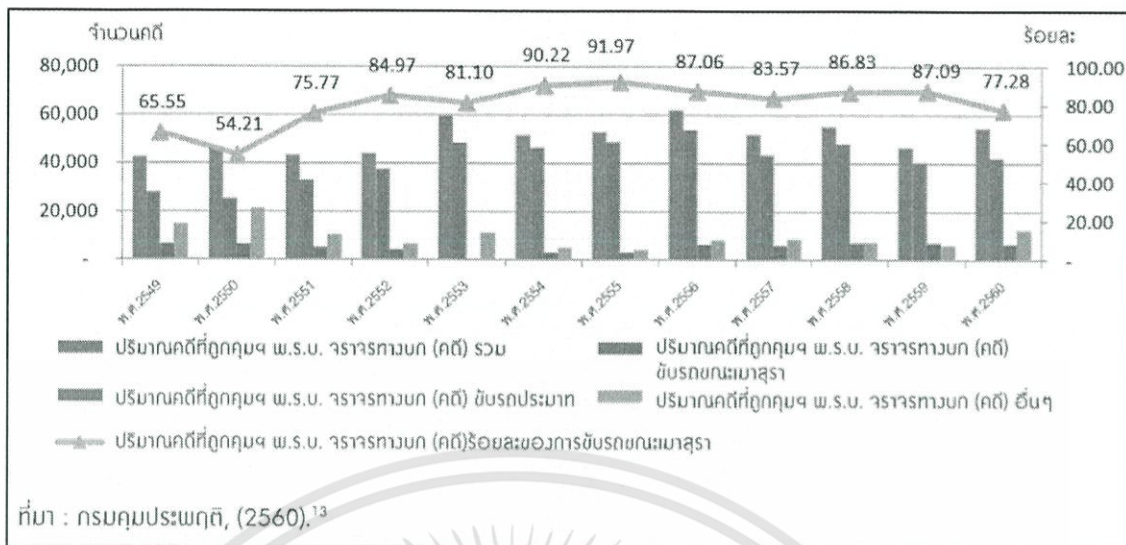
ปี	จำนวนผู้เสียชีวิต (คน)	จำนวนผู้บาดเจ็บสาหัส (คน)	มูลค่าความเสียหายจากการเสียชีวิต (ล้านบาท)	มูลค่าความเสียหายจากการบาดเจ็บ (ล้านบาท)	มูลค่าความสูญเสียโดยรวม (ล้านบาท)	มูลค่าความสูญเสียโดยรวม (เมื่อปรับอัตราเงินเฟ้อ โดย CPI = 100) (ล้านบาท)	อัตราส่วนต่อ GDP
2556	21,814	107,123	218,140	321,369	539,509	533,263	5.83%
2555	22,284	110,777	222,840	322,331	555,171	536,996	6.03%
2554	22,745	104,725	227,450	314,175	541,625	508,594	6.13%
เฉลี่ย	22,281	107,542	222,810	322,625	545,435	526,284	6.00%

ตารางที่ 2.9 สถิติอุบัติเหตุในช่วงสงกรานต์ปี พ.ศ. 2559 (สคอ. 2017)

สงกรานต์ พ.ศ. 2559			
สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ	เมาสุรา (34.09%)	ขับรถเร็วเกินกำหนด (32.93%)	ตัดหน้ากระชั้นชิด (18.54%)
ถนนที่เกิดอุบัติเหตุ	ทางหลวงแผ่นดิน (37.86%)	ถนน อบต./หมู่บ้าน (36.12%)	ถนนในเมือง (เทศบาล) (12.04%)
ยานพาหนะที่เกิดอุบัติเหตุ	รถจักรยานยนต์ (80.67%)	รถปิกอัพ (8.85%)	รถเก๋ง/รถแท็กซี่ (4.97%)
เวลาที่เกิดอุบัติเหตุ	16.01 – 20.00 น. (30.23%)	12.01 – 16.00 น. (21.67%)	20.00 – 24.00 น. (15.52%)
อายุผู้ประสบเหตุ	กลุ่มวัยแรงงาน อายุ 20-49 ปี (52.28%)	กลุ่มเด็ก อายุต่ำกว่า 20 ปี (26.05%)	กลุ่มอายุ 50 ปี ขึ้นไป (21.67%)
อุบัติเหตุใหญ่	เกิน 49 ครั้ง		
การบังคับใช้กฎหมาย	ดำเนินคดี 730,271 ราย ลดลง 13,608 ราย (-1.83%)		

2.7.1 การได้รับบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุที่มาจากสาเหตุเมาแล้วขับ

การบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ยังส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมฆาขณะขับรถบนท้องถนน จากข้อมูลสถิติการควบคุมความประพฤตินักดื่มผู้ใหญ่และเด็ก จะเห็นว่าจำนวนคดีขับรถขณะเมาสุรามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2560 จำนวนคดีขับรถขณะเมาสุราค่อนข้างคงที่ ประมาณร้อยละ 84.59 (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) [13]



รูปที่ 2.5 แสดงสถิติปริมาณคดีที่เกิดจาก พ.ร.บ. จราจรทางบก พ.ศ. 2522

จากงานวิจัยด้านเศรษฐศาสตร์พฤติกรรมและความปลอดภัยทางถนนของ Dr. Sam Peltzman ในปี 1975 มีข้อสรุปว่า คนเราอาจเพิ่มความเสี่ยงให้กับตนเองเมื่อรู้สึกปลอดภัย ดังนั้น หากผู้ใช้รถใช้ถนนตระหนักว่าตนมีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุมากเท่าใด ก็จะมีระมัดระวัง พฤติกรรมในการขับขี่มากยิ่งขึ้นเท่านั้น [1] ดังนั้นการทำให้ผู้ขับขี่ตระหนักถึงค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือดที่วัดได้ขณะดื่ม จะเป็นอีกหนทางหนึ่งในการกระตุ้นให้ผู้ขับขี่รับรู้ถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น นอกเหนือจากการประเมินด้วยความรู้สึกของตัวเอง ทั้งนี้ที่วิจัยยังเห็นว่าการตรวจวัดผลที่รวดเร็วและแพร่หลายมากขึ้น จะสร้างเสริมให้มีค่านิยมการดื่มไม่ขับในประชาชนทั่วไปได้อีกด้วย

2.8 การตรวจวัดค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือด

ในปัจจุบันมีวิธีการตรวจหาระดับแอลกอฮอล์ในเลือด 3 วิธี คือ

2.8.1 เลือด (Blood) เป็นสิ่งเหมาะสมที่สุดสำหรับตรวจเป็นมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์ซึ่งตรวจได้ในอวัยวะและของเหลวอื่น ๆ ในร่างกาย สามารถนำมาตรวจได้ทั้งจากคนและจากศพ เมื่อตรวจแล้วต้องนำมาเปรียบเทียบเป็นระดับแอลกอฮอล์ของเลือด ตำแหน่งที่เจาะในคนที่เสียชีวิตอาจเจาะที่เส้นเลือดดำที่ข้อพับหรือปลายนิ้ว ส่วนคนที่เสียชีวิตแล้วจะเก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aorta) ยาฆ่าเชื้อที่ใช้ในการเจาะควรใช้ 1:1000 Mercuric chloride หรือ Subtimate ไม่ควรใช้สารที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ เพราะอาจทำให้ผลการตรวจผิดพลาดได้

กรณีที่ต้องใช้แอลกอฮอล์ควรให้แอลกอฮอล์ระเหยจนแห้งเสียก่อนการเก็บรักษาตัวอย่างเลือด ควรใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท เพื่อมิให้แอลกอฮอล์ระเหยและควรใส่สารโซเดียมฟลูออไรด์ 1% เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด และสามารถเก็บรักษาแอลกอฮอล์ได้นานหลาย

อาทิตย์ ปริมาณเลือดที่ใช้ในการตรวจ 5 - 10 มิลลิลิตร ถ้าไม่ทำการตรวจทันที ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.8.2 ปัสสาวะ (Urine) เป็นของเหลวที่เก็บได้ง่ายทั้งในคนที่มีชีวิตและศพ ในคนที่มีชีวิตการเก็บควรทำหลังจากดื่มแอลกอฮอล์มาแล้วเกินกว่า 15 นาที แอลกอฮอล์ในปัสสาวะสามารถระเหยได้ง่ายเช่นเดียวกัน การเก็บควรใส่ภาชนะที่ปิดสนิทและมีโซเดียมฟลูออไรด์ผสมเช่นเดียวกับเลือด

2.8.3 ลมหายใจ (Breath) แอลกอฮอล์จากลมหายใจ (Alveolar air) พบมีค่าใกล้เคียงกับแอลกอฮอล์ในเส้นเลือดแดงมากที่สุด การตรวจปริมาณแอลกอฮอล์ จากลมหายใจสะดวก ตรวจได้ผลรวดเร็วและสามารถตรวจได้ในสถานที่เกิดเหตุ แต่ควรเก็บลมหายใจเพื่อตรวจหลังจากดื่มแอลกอฮอล์มาแล้วเกินกว่า 15 นาที เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากแอลกอฮอล์ที่ค้างอยู่ในปาก ผลที่ได้จึงไม่คลาดเคลื่อน ส่งผลให้วิธีการตรวจหาระดับแอลกอฮอล์จากลมหายใจจึงเป็นวิธีการตรวจที่นิยมมากในปัจจุบัน [14]

2.9 การศึกษาถึงเครื่องมือและวิธีการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในร่างกายในปัจจุบัน

ผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวัดระดับแอลกอฮอล์ในร่างกายเป็นคนแรกคือ Francis Edmund Anstie (ค.ศ. 1833 - ค.ศ. 1874) นายแพทย์ชาวอังกฤษท่านนี้พบว่าแอลกอฮอล์ที่ดื่มเข้าไปจะสามารถตรวจพบบางส่วนได้ในลมหายใจและปัสสาวะ ในขณะที่ในเวลาต่อมา Nielous (ค.ศ. 1848 - ค.ศ. 1910) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ศึกษาพบว่าแอลกอฮอล์ที่ดื่มเข้าไปนอกจากสามารถตรวจพบได้ในลมหายใจและปัสสาวะแล้ว ยังสามารถตรวจพบได้ในน้ำลายและเหงื่อ

ในระยะแรกการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์ในร่างกายใช้วิธีเก็บตัวอย่างจากเลือด หรือปัสสาวะจากผู้ต้องสงสัย แต่มีปัญหาคือ ต้องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญทราบผลช้า และที่สำคัญคือ ไม่สามารถสื่อไปถึงปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดได้อย่างแท้จริง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในร่างกาย ฉะนั้น ได้มีการนำวิธีการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดจากลมหายใจมาใช้ ในช่วงปี ค.ศ. 1930-1953 ได้มีการคิดค้นเครื่องวัดแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจขึ้น โดยในปี ค.ศ. 1954 Dr. Robert Borkenstein ศาตราจารย์จากมหาวิทยาลัย Indiana เมือง Bloomington ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ถูกยกให้เป็นผู้คิดค้นเครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจเป็นคนแรก ในปัจจุบันเครื่องวัดลักษณะนี้ถูกออกแบบให้สามารถวัดได้เฉพาะแอลกอฮอล์ชนิดที่เป็น Ethyl อย่างเดียว โดยไม่ถูกสอดแทรกโดยสารอื่น เช่น Acetone, Chloroform, Ether, Ethyl acetate, Methanol เป็นต้น เพื่อที่จะให้การวิเคราะห์ปริมาณลมหายใจใกล้เคียงกับปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดมากที่สุด

2.9.1 เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ แบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ถูกแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.9.1.1 เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจแบบตรวจคัดกรอง (Screening) เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด โดยวิธีเป่าลมหายใจเข้า

เครื่องวัด ผลที่แสดงจะเป็นตัวหนังสือว่าเกิน หรือไม่เกินค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ เช่น แสดงเป็น Pass หรือ Fail หรืออาจแสดงเป็นตัวเลขก็ได้

2.9.1.2 เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจแบบตรวจยืนยันผล (Evidential) ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด โดยวิธีเป่าลมหายใจเข้าเครื่องวัด ผลที่ได้จะแสดงเป็นตัวเลขว่ามีปริมาณในหน่วย mg/100ml เช่น 50 mg/100ml (แสดงว่าในเลือด 100 มิลลิลิตรมีปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ 50 มิลลิกรัม) เป็นต้น

หลักการการทำงานของเครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจที่มีอยู่ในปัจจุบัน จะวัดระดับแอลกอฮอล์จากลมหายใจของผู้เป่าเมื่อเป่าลมหายใจเข้าเครื่องวัดแอลกอฮอล์ในลมหายใจ จะถูกดักจับโดยตัวตรวจจับและถูกวัดปริมาณโดยวิธีต่าง ๆ แล้วคำนวณกลับเป็นระดับแอลกอฮอล์ในเลือด โดยอาศัยการคำนวณค่าจากความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด (Blood Alcohol Concentration หรือ BAC) เป็นปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ (Breath Alcohol Concentration หรือ BrAC) โดยที่ $BAC = BrAC \times 2000 \text{ mg\%}$ เครื่องวัดแอลกอฮอล์จะวิเคราะห์ผลที่ถูกต้อง เมื่อลมหายใจที่ถูกเป่าต้องมาจากลมหายใจจากส่วนลึกของปอดที่สัมผัสกับเส้นเลือดฝอยในปอด เครื่องวัดแอลกอฮอล์จะเก็บตัวอย่างลมหายใจประมาณ 1 ซีซี ในกรณีที่เครื่องไม่ได้ออกแบบให้เก็บตัวอย่างลมหายใจแบบอัตโนมัติ การตรวจวัดต้องให้ผู้ถูกตรวจเป่าลมหายใจเข้าเครื่องอย่างต่อเนื่องประมาณ 5 วินาที เมื่อครบเวลาจึงกดปุ่มรับตัวอย่าง

หลักการของเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ คือ ให้ผู้ถูกตรวจเป่าลมหายใจเข้าเครื่องซึ่งมีตัวตรวจจับแอลกอฮอล์มี 4 แบบ ได้แก่

- 1 ตัวตรวจจับแบบ Colorimeter เปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นเขียว เมื่อได้รับสารแอลกอฮอล์
- 2 ตัวตรวจจับแบบสารกึ่งตัวนำเคมีเซนเซอร์ ส่วนใหญ่เป็นเครื่องที่ใช้ทดสอบตัวเอง พกพาสะดวก แต่ไม่มีความเที่ยงตรง ไม่แนะนำ
- 3 ตัวตรวจจับแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี Fuel Cell Sensor การวัดแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องที่มีตัวตรวจจับแบบไฟฟ้าเคมี มีความเที่ยงตรงซึ่งใช้เป็นหลักฐานทางคดีได้ ตัวเครื่องมีขนาดเล็กและมีราคาแพง
- 4 ตัวตรวจจับแบบ Infrared การวัดแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องมือ ระบบ Infrared มีความเที่ยงตรง สามารถใช้เป็นหลักฐานทางคดีได้ ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ เหมาะสำหรับการใช้ประจำที่ เช่น สถานีตำรวจ

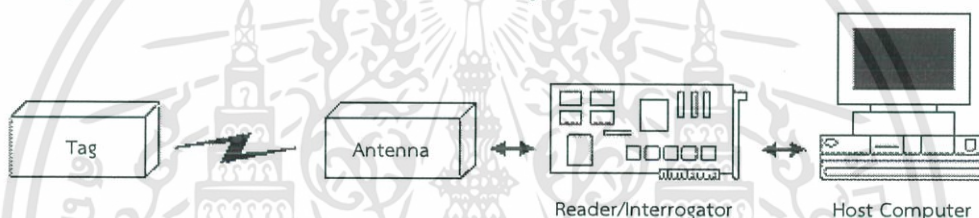
ทั้งนี้ตัวตรวจจับเมื่อได้รับแอลกอฮอล์จากลมหายใจ จะมีการแปรสภาพ การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคมี หรือวัดได้จากพลังงาน เช่น กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพนี้จะถูกแปลค่าให้รายงานออกมาที่หน้าปัดของเครื่องในปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด โดยอาศัยการคำนวณค่าจากความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดเป็นปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ กรณีที่หน่วยการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้อยู่เป็น BAC ให้นำ

ค่าที่วัดได้ไปคูณ 1,000 เช่น ค่าที่อ่านได้คือ 0.05 BAC นำมาคูณ 1,000 จะได้เท่ากับ 50 mg% หรือ 50mg/100ml [15]

โดยปัจจุบันเครื่องตรวจวัดที่เป็นที่นิยมคือแบบชนิดเป่าลมหายใจชนิดตัวตรวจจับแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยเครื่องวัดที่ได้มาตรฐานจะต้องได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานมาตรฐานของรัฐ เช่น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

2.10 ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID)

Radio frequency identification (RFID) เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็ก (Tag หรือ Transponder) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของระบบ RFID ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงแผนผังการทำงานของระบบ RFID

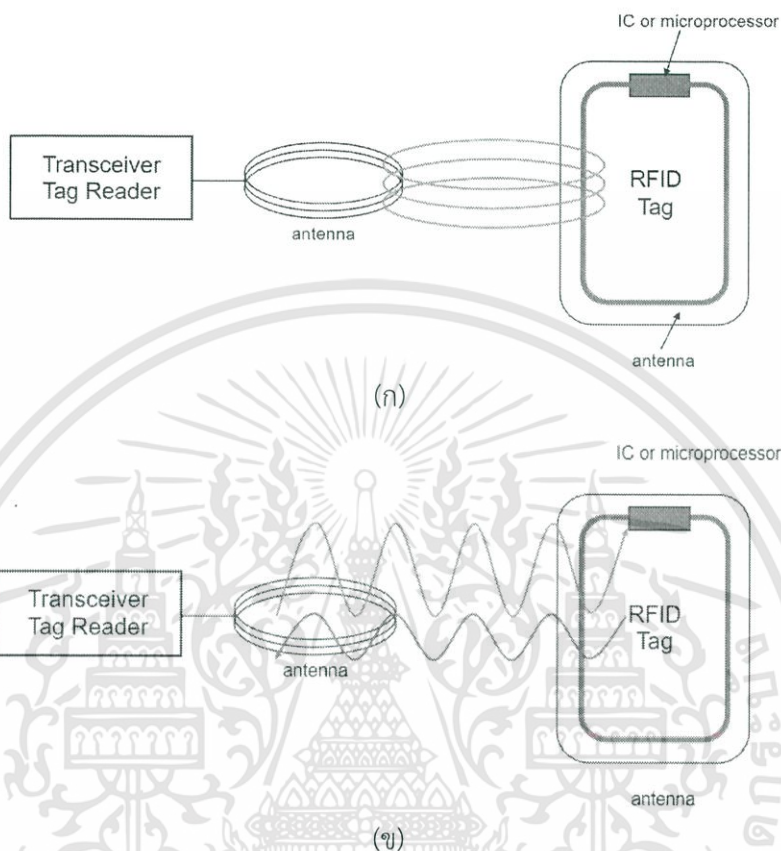
การประยุกต์ใช้งาน RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (Read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่แท็กของระบบ RFID จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในแท็กได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

จุดเด่นของ RFID คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระแทก และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ พลาสติก กระดาษ หรือวัสดุทึบแสงอื่น ๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

2.10.1 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลตกับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling หรือ Proximity electromagnetic) กับ
วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กและตัวรับข้อมูล
(ก) วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling)
(ข) วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling)

2.10.2 ความถี่ของคลื่นพาหะ

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่าง ๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.10 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่าง ๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ย่านความถี่ต่าง ๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 125 kHz	<ul style="list-style-type: none"> o ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ o ต้นทุนไม่สูง o ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ o ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก 	<ul style="list-style-type: none"> o Access Control o ปุศสัตว์ o ระบบคลัง o รถยนต์
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 13.56 MHz	<ul style="list-style-type: none"> o ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง o ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต o ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง o ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก 	<ul style="list-style-type: none"> o Access Control o สมาร์ทการ์ด
ย่านความถี่สูง 850-950 MHz 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 2.45 GHz	<ul style="list-style-type: none"> o ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) o ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง o ราคาแพง 	<ul style="list-style-type: none"> o รถไฟ o ระบบเก็บค่าผ่านทาง

2.10.3 องค์ประกอบหลักของ RFID

2.10.3.1 Tags หรือ Transponders

แท็ก (Tag) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) แท็กทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นแบบไร้สายผ่านอากาศ ภายในแท็กจะประกอบไปด้วยชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor chip) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับสายอากาศ ชิปที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่นข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก

2.10.3.2 Reader หรือ Interrogator

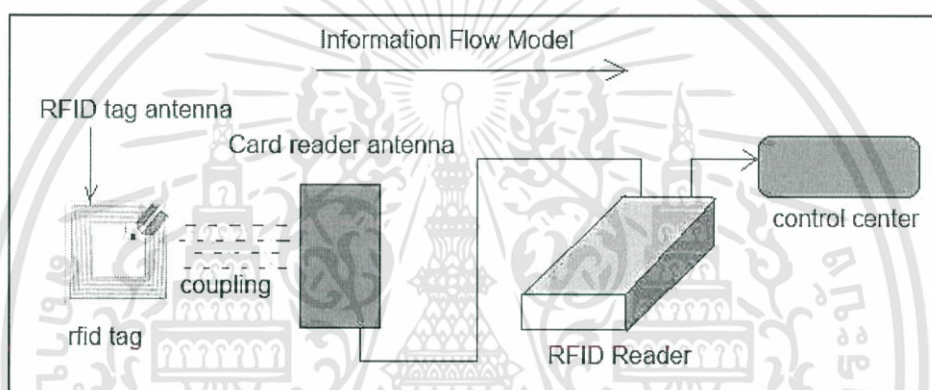
หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) คือ การรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสข้อมูล และนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ติดตั้งมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำ ๆ ไม่สิ้นสุด

2.10.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล จะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ ผ่านอากาศ ซึ่งสัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะ แต่แท็กไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับ และเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย Lan (Local area network) หรือ ส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย [16]



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของระบบ RFID

2.11 ทิศทางและแนวโน้มการใช้งานเทคโนโลยี NFC

NFC (Near field communication) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการสื่อสารที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ NFC เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายระยะสั้น (Short-range wireless technology) ส่งข้อมูลได้เร็ว ใช้พลังงานต่ำ ต้นทุนอุปกรณ์มีราคาถูก และเป็นมาตรฐานที่ไม่ว่าทั้งผู้ผลิตโทรศัพท์เคลื่อนที่ และสายผู้ผลิตอุปกรณ์เชื่อมต่อกับผู้บริโภคทั้งหลายต่างหันมาสนใจ และนำมาใช้ในวงกว้าง เทคโนโลยีนี้สามารถทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เปลี่ยนเป็นกระเป๋าสตางค์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic wallet) เพื่อใช้ชำระค่าบริการต่าง ๆ โดยการนำเอาโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปแตะยังอุปกรณ์อ่านข้อมูล ใช้แทนบัตรเดินทางด้วยรถไฟฟ้า แทนบัตรเครดิต หรือใช้อ่านข้อมูลสินค้า เป็นต้น

2.11.1 หลักการของเทคโนโลยี NFC

NFC เป็นระบบสื่อสารไร้สายระยะสั้น ใช้งานได้ในระยะประมาณ 4-10 ซม. ใช้ได้ดีกับโครงสร้างพื้นฐานแบบไม่สัมผัส (Contactless) เพื่อการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระยะใกล้ ๆ NFC ถูกพัฒนาขึ้นโดย Sony และ NXP โดยใช้คลื่นความถี่ 13.56 MHz บนพื้นฐาน

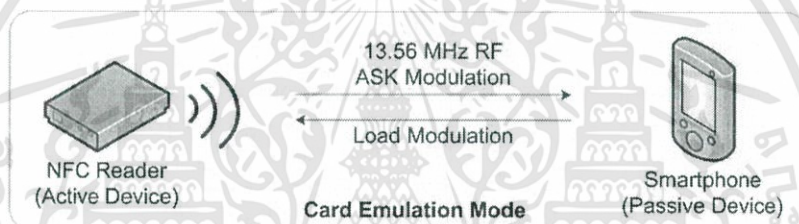
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน ISO 14443 (Philips MIFARE และ Sony's FeliCa) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ปัจจุบันบริษัททั้งสองได้ร่วมมือกับบริษัทผู้ผลิตและพัฒนาโทรศัพท์เคลื่อนที่รายอื่น ๆ จัดตั้งเป็น NFC Forum เพื่อสร้างความร่วมมือและผลักดันให้เกิดการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ มากขึ้น หากเปรียบเทียบเทคโนโลยี NFC กับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันจะพบว่า NFC มีรูปแบบการสื่อสารคล้าย ๆ กับ Bluetooth แต่ใช้งานง่ายกว่า และมีความเสถียรของการรับส่งข้อมูลมากกว่า NFC ถูกรวมเข้าไปเป็นหนึ่งในจุดเด่นของโทรศัพท์แบบเคลื่อนที่ซึ่งจะสามารถใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น [17]

2.11.2 หลักการทำงานของ NFC และกระบวนการโมดูเลตและเข้ารหัส

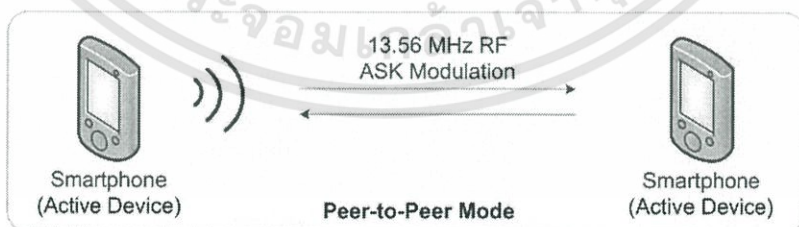
NFC มีโหมดการทำงานอยู่ 3 แบบ ดังนี้

2.11.2.1 Card emulation mode (Passive mode) ในโหมดนี้อุปกรณ์ NFC จะทำงานเป็นเหมือนการ์ดแบบ Contactless และใช้งานร่วมกับมาตรฐานเดิมได้



รูปที่ 2.9 โหมดการทำงานของ NFC แบบ Card emulation mode

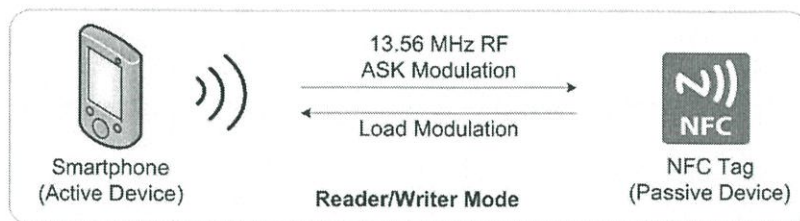
2.11.2.2 Peer-to-peer mode ที่โหมดนี้ อุปกรณ์ NFC 2 ตัวจะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน ตัวเริ่มต้น (Initiator device) หรือเรียกว่า Polling device จะใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับโหมดอ่าน/เขียน เนื่องจากตัวเป้าหมาย (หรือเรียกว่า Listener) จะมีแหล่งจ่ายพลังงานของมันเอง



รูปที่ 2.10 โหมดการทำงานของ NFC แบบ Peer-to-peer mode

2.11.2.3 Reader/writer mode (Active mode) อุปกรณ์ NFC จะทำงานในโหมดแอกทีฟ และสามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ RFID Tag แบบพาสซีฟที่ใช้ทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โหมดการทำงานของ NFC แบบ Reader/writer mode

2.12 การทดสอบ ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-care testing หรือ POCT)

การวินิจฉัยโรคที่รวดเร็วและแม่นยำเป็นส่วนสำคัญในการรักษาและช่วยชีวิตผู้ป่วยอย่างมีประสิทธิภาพและทันท่วงที ในประเทศที่พัฒนาแล้วการทดสอบวินิจฉัยในอดีตและปัจจุบันนิยมทำในห้องปฏิบัติการส่วนกลางที่มีอุปกรณ์วิเคราะห์หอนุภาคที่ซับซ้อนและเทคนิคประมวลผลความละเอียดสูง ซึ่งห้องปฏิบัติการเหล่านั้น ได้สร้างข้อตกลงและกระบวนการที่ละขั้นตอนเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและความแม่นยำในการวินิจฉัยโรค อย่างไรก็ตาม การทดสอบโดยห้องปฏิบัติการส่วนกลางนั้นมีข้อจำกัดคือ จำเป็นต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างนานในแต่ละกระบวนการ เครื่องมือมีความซับซ้อนในการใช้งานและสามารถใช้ได้เฉพาะผู้ที่ได้รับการอบรมมาแล้วเท่านั้น นอกจากนี้มีการรายงานผลให้แก่ผู้ป่วยที่ค่อนข้างช้าซึ่งจะส่งผลให้ผู้ป่วยเกิดความไม่สบายใจ วิตกกังวล และความเครียดแก่ผู้ป่วยก่อนรู้ผลการวินิจฉัยจริง

การพัฒนาวิธีการวินิจฉัย ณ จุดดูแลผู้ป่วย จึงมีศักยภาพที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวไปข้างต้น ซึ่งการทดสอบ ณ จุดดูแลผู้ป่วย จะสามารถวินิจฉัยโรคแบบภายนอกร่างกายหรือในหลอดทดลอง (in vitro) และดำเนินการวิเคราะห์ได้ทันทีภายนอกห้องปฏิบัติการ เช่น ที่จุดเกิดเหตุ ห้องตรวจ หรือภายในโรงพยาบาล เป็นต้น นอกจากนี้ POCT ยังช่วยให้ผู้ป่วยสามารถทำการทดสอบเพื่อสังเกตการณ์สุขภาพได้ด้วยตัวเองที่บ้าน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ป่วยที่ตกอยู่ในสภาวะที่สังคมไม่ยอมรับ เช่น โรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ และโรคเชชไอวี (HIV) หรือโรคเอดส์ (AID)

จากที่กล่าวไป จะเห็นว่ามี ความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการส่วนกลางที่ต้องมีเครื่องมือการทดลองและกระบวนการที่ซับซ้อน และการทดสอบ ณ จุดดูแลผู้ป่วย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์วินิจฉัยโรคได้เองโดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลจากส่วนกลาง โดยอุปกรณ์ที่สามารถพกพาได้สะดวกและทำงานอัตโนมัติ รวมถึงการรายงานผลการวินิจฉัยในระยะเวลาที่เร็วกว่า มีราคาถูก ในปัจจุบันอุปกรณ์ POCT และเครื่องมือทดสอบต่าง ๆ ได้มีการวางขายในตลาดเพื่อพัฒนาการดูแลสุขภาพของประชาชน เช่น ชุดทดสอบวัดระดับน้ำตาลในเลือด ชุดตรวจการตั้งครรภ์ ชุดทดสอบปัสสาวะ นอกจากนี้ยังมีการให้บริการที่เกี่ยวข้องกับ POCT แก่ประชาชนอีกด้วย เช่น การตรวจสอบระดับแก๊สและอิเล็กโทรไลต์ในเลือด การคัดกรองแบคทีเรีย และนิติเวชวิทยา เป็นต้น

การทดสอบ ณ จุดดูแลผู้ป่วย สามารถทำได้ง่ายตาย โดยใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและสามารถทดสอบได้โดยบุคคลทั่วไป ดังนั้น ในการพัฒนาเครื่องมือและวิธีการที่เกี่ยวข้องกับ POCT จะ

ช่วยสนับสนุนให้บุคคลทั่วไปสามารถสังเกตการณ์ในด้านสุขภาพของตนเองได้มากยิ่งขึ้น ตลอดจนเครื่องมือ POCT นี้จะสามารถเติบโตในตลาดได้อย่างรวดเร็ว [18]

2.13 กรอบแนวคิดของการวิจัย

การพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในร่างกายได้ด้วยตนเอง จะช่วยส่งเสริมให้นักดื่มและสถานประกอบการที่ขายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์สามารถเข้าถึงข้อมูลดังกล่าวได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันปัญหาที่เกิดจากการดื่มดั่งที่กล่าวข้างต้น ซึ่งปัจจุบันการพัฒนาเครื่องมือวัดที่ประกอบด้วยเซนเซอร์อื่น ๆ เพื่อใช้ในการสังเกตการณ์ข้อมูลสุขภาพเบื้องต้นด้วยตนเองหรือ ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-care, POC) กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในวงการการแพทย์และสาธารณสุข โดยเริ่มมีผลิตภัณฑ์และนวัตกรรมที่ออกแบบมาเพื่อที่ผู้บริโภคทั่วไปสามารถเข้าถึงการทดสอบวินิจฉัยสุขภาพเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่ธุรกิจเกิดใหม่ที่ใช้การสังเกตการณ์ผลสุขภาพโดยตัวผู้บริโภคเองที่จุด POC จะเติบโตอย่างรวดเร็ว รวมทั้งเริ่มมีผู้ให้บริการที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ เช่น สถานบริการออกกำลังกาย (Fitness) และสถาบันที่เกี่ยวข้องกับโภชนาการ นำผลการทดสอบทางการแพทย์ต่าง ๆ มาใช้เป็นตัวชี้วัดด้านสุขภาพ และระดับการรักษาสุขภาพของผู้บริโภคในการส่งเสริมกิจกรรมทางการตลาด การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ มีแนวโน้มที่จะถูกออกแบบให้สนับสนุนและทำงานร่วมกับเทคโนโลยี Internet of Thing (IoT) หรืออินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ซึ่งหมายถึงการที่สิ่งต่าง ๆ ถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกันในโลกของอินเทอร์เน็ต ส่งผลให้การใช้ชีวิตของผู้คนเปลี่ยนไปทั้งเรื่องงานและเรื่องส่วนตัว จากการคาดการณ์ของไอดีซีจะมีอุปกรณ์จำนวนกว่า 2.12 หมื่นล้านชิ้นเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ภายในปี 2563 ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเองอีกกว่า 3 หมื่นล้านชิ้นต่ออินเทอร์เน็ตได้ [19] การเชื่อมต่อนี้จึงไม่จำกัดเพียงแค่บริบทของชีวิตประจำวันเท่านั้น แต่ยังรวมถึงเป็นการเชื่อมต่อระหว่างสิ่งของในอุตสาหกรรมหนึ่งกับสิ่งของในอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง หรืออุตสาหกรรมกับหน่วยงานและอื่น ๆ อีกมากมาย

เมื่อกล่าวถึงอุปกรณ์พื้นฐานในปัจจุบันที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ และระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้นั้น ปฏิเสธไม่ได้ว่าสมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์สื่อสารหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ผู้ให้บริการเครือข่ายได้มีการพัฒนาทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การสื่อสาร ด้าน Application และการให้บริการข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้ใช้มีการใช้บริการออนไลน์มากขึ้น โดยที่สมาร์ทโฟนปัจจุบันถูกออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ แบบไร้สายได้ผ่านสามวิธีคือเทคโนโลยี Near field communication หรือ NFC, Wifi และ Bluetooth

เทคโนโลยี NFC เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายระยะสั้นซึ่งใช้ได้ดีกับโครงสร้างพื้นฐานแบบไม่สัมผัส เทคโนโลยี NFC นี้ช่วยให้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์สามารถทำได้ง่ายขึ้น ต่างจากเทคโนโลยีไร้สายประเภทอื่น ได้แก่ Wifi หรือ Bluetooth ที่ต้องมีตั้งค่าต่าง ๆ ก่อนการใช้งาน แต่เทคโนโลยี NFC เพียงแค่นำอุปกรณ์ เช่น โทศัพท์มือถือ ไปใกล้กับเครื่องอ่าน หรือ RFID tag ก็สามารถที่จะทำการส่งข้อมูลระหว่างกันได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องมีการตั้งค่าใด ๆ การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี NFC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระยะแรกจะเน้นการใช้ NFC บนโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในระบบจ่ายเงิน (Mobile Payment) [20] ด้วยข้อดีทั้งทางด้านความไม่ยุ่งยาก ความไวในการเชื่อมต่อ และความปลอดภัย ทำให้ NFC ถูกเลือกให้เป็นการเชื่อมโยงยอดนิยมโดยผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการเชื่อมต่อ เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่สนับสนุนการใช้งานในกลุ่มเทคโนโลยี IoT

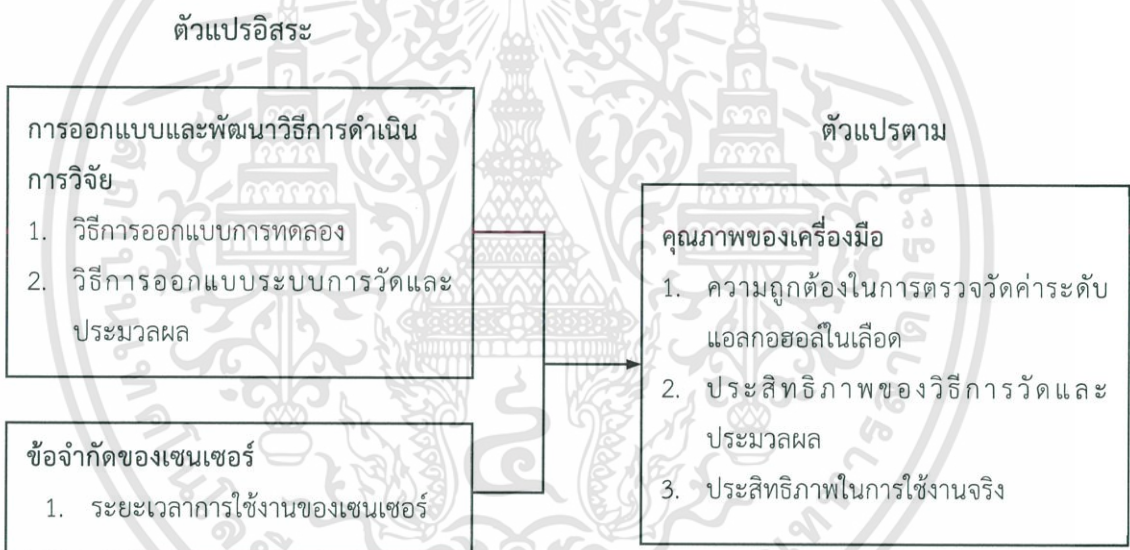
Internet of Thing (IoT) เริ่มเข้ามามีบทบาทในส่วนของ การดูแลสุขภาพทั้งในส่วนของแพทย์ และผู้ป่วย อุปกรณ์ทางการแพทย์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่อง Ultrasounds, อุปกรณ์วัดน้ำตาลในเลือด , อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและอื่น ๆ ถูกเชื่อมต่อและทำให้ผู้ป่วยสามารถติดตามผลสุขภาพของตนได้ ซึ่ง การติดตามผลนี้มีความสำคัญมากในผู้ป่วยที่ต้องการได้รับการรักษาต่อเนื่องกับแพทย์ผู้ดูแล IoT สนับสนุนให้การดูแลผู้ป่วยที่บ้านเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การจ่ายยาระบบอัตโนมัติและการตรวจสอบการรับประทานยาของผู้ป่วย โดยที่ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งเข้าระบบฐานข้อมูลออนไลน์ และแจ้งเตือนไปยังแพทย์ผู้ดูแลได้โดยตรง ทำให้แพทย์สามารถติดตามและรับทราบถึงพฤติกรรมเสี่ยงของผู้ป่วยได้ [21]

ระบบการติดตามและรายงานผลข้อมูลสุขภาพของตัวผู้บริโภคในปัจจุบัน จะช่วยส่งเสริมกิจกรรมที่เกี่ยวกับการรักษาสุขภาพ ประกันสุขภาพและประกันชีวิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยตัวผลชี้วัดสุขภาพที่น่าสนใจอย่างหนึ่งคือ ระดับแอลกอฮอล์ในเลือด วิธีการและเครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน คือ เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจชนิดตัวตรวจจับแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี อย่างไรก็ตามเครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์แบบคัดกรองในท้องตลาดนั้น มีความหลากหลายทั้งด้านคุณภาพและความถูกต้องของผลที่อ่านได้ ในขณะที่เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์แบบยืนยันผลนั้นยังมีราคาสูง การใช้งานเครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์จึงไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ทางทีมนักวิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์แบบคัดกรองที่มีความแม่นยำที่สูงขึ้น ราคาย่อมเยา สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน โดยที่บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้ด้วยตนเองเพียงทำตามคู่มือหรือข้อบ่งชี้เบื้องต้น โดยที่โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไปเข้าถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสังเกตการณ์ระดับแอลกอฮอล์ได้มากขึ้น

ทางทีมนักวิจัยมีความต้องการที่จะพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟนให้มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นที่การทำงานแบบไม่มีแบตเตอรี่หรือใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟให้น้อยที่สุด ซึ่งการออกแบบชุดทดสอบนี้มุ่งเน้นที่การทำงานแบบใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกให้น้อยที่สุด โดยตัวตรวจจับหรือเซนเซอร์ของชุดทดสอบจะส่งข้อมูลการตรวจวัดผ่านสัญญาณ NFC จากสมาร์ตโฟนไปยังระบบเครือข่ายออนไลน์หรือคลาวด์สำหรับเก็บเข้าฐานข้อมูล ทั้งนี้ข้อดีของชุดทดสอบที่ไม่มีแบตเตอรี่หรือแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกคือ ทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไม่ขึ้นกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่มักมีอายุการใช้งานต่ำ อีกทั้งยังทำให้ขั้นตอนการผลิตง่ายขึ้น อุปกรณ์มีขนาดเล็กสามารถพกพาได้สะดวก เช่น ออกแบบให้เป็นพวงกุญแจ เป็นต้น นอกจากนี้ความสามารถในการส่งข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ จะช่วยให้การเข้าถึงและวิเคราะห์ข้อมูลโดยทั้งตัวผู้ใช้และผู้เชี่ยวชาญที่

ได้รับอนุญาตเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยที่ทางที่วิจัยยังมีแผนที่จะศึกษาการวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยวิธีอื่น ๆ ควบคู่เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับชุดทดสอบที่ออกแบบเพื่อพัฒนาชุดทดสอบให้ตอบโจทย์ของตลาดและผู้ใช้ได้อย่างครอบคลุม

กรอบแนวคิดของการวิจัยนี้ (ดังรูปที่ 2.12) เป็นผลจากการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า การพัฒนาวิธีการตรวจจับปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดนั้นมีความสำคัญต่อการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดทดสอบ เช่น ความถูกต้องในการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือด ประสิทธิภาพของวิธีการวัด และประสิทธิภาพในการใช้งานจริง เป็นต้น ดังนั้นตัวแปรสำคัญที่ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดทดสอบดังกล่าว ได้แก่ การออกแบบการทดลอง การออกแบบระบบวัดและประมวลผล และระยะเวลาการใช้งานของเซนเซอร์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งของเซนเซอร์ที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้ในการวิจัยนี้



รูปที่ 2.12 กรอบแนวคิดของการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยประเภทการพัฒนาเชิงทดลอง (Experimental development) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นที่จะพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟน เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ในราคาย่อมเยา สะดวกและใช้งานง่าย ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการออกแบบชุดทดสอบซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญคือ เซนเซอร์ตรวจวัดแอลกอฮอล์ ที่ควรมีความไวต่อการตรวจจับสารและความแม่นยำสูง ตลอดจนการออกแบบระบบการทำงานสำหรับใช้ประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ควรเน้นให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ จำนวน 5 ชุด โดยโครงสร้างการทำงานประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง คือ ส่วนฮาร์ดแวร์สำหรับการวัดและประมวลผล ในส่วนนี้เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากเป็นส่วนที่มีการตรวจจับแอลกอฮอล์ในอากาศหรือลมหายใจที่ถูกเป่าเข้ามาในระบบ โดยอาศัยการทำงานของแก๊สเซนเซอร์ นอกจากนี้แก๊สเซนเซอร์ที่เลือกใช้ในส่วนนี้ควรมีความไวต่อการตรวจจับแก๊สและความแม่นยำสูง เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลจากเซนเซอร์ดังกล่าวไปประมวลผลต่อไปได้อย่างถูกต้อง

ส่วนที่สอง คือ ส่วนซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์และแสดงผล เป็นส่วนที่แสดงผลจากการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจให้แก่ผู้ใช้งาน ซึ่งการออกแบบการทำงานในส่วนนี้ควรคำนึงถึงความง่ายต่อการใช้งาน ไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในที่นี้จะกล่าวถึงข้อมูลเบื้องต้นและคุณสมบัติของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัย

3.1.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเซนเซอร์แก๊สประเภทเซลล์ไฟฟ้าเคมี

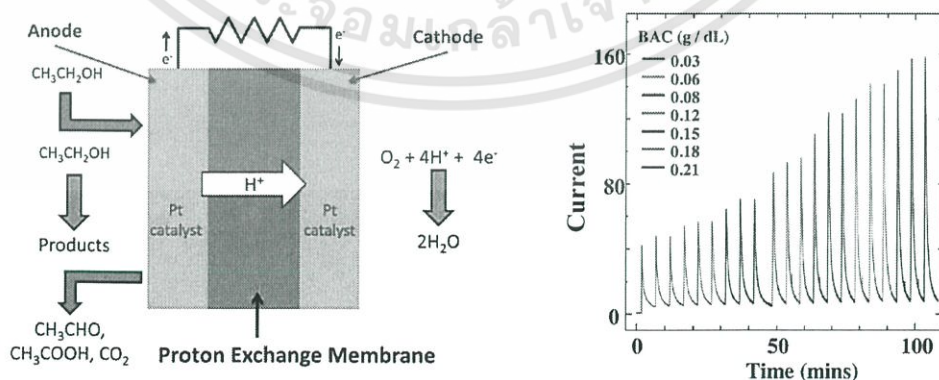
1 เซนเซอร์แก๊ส (Gas Sensor) เป็นอุปกรณ์ซึ่งตรวจจับแก๊สโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสมบัติบางอย่างของวัสดุภายในที่ใช้ทำเซนเซอร์นั้น เช่น สภาพการนำไฟฟ้า [22]

2 เซนเซอร์แก๊สประเภทเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical fuel cell) มีหลักการทำงานโดยโครงสร้างที่อยู่ภายในประกอบไปด้วยสารอิเล็กโทรไลต์ จะทำปฏิกิริยากับแก๊สที่ผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์ แต่ก็มีข้อจำกัดตรงที่ตรวจจับแก๊สได้เป็นบางชนิด เช่น คลอรีน คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน เซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับแก๊สพิษที่ไม่ติดไฟ [23]

3 การเกิดปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์เซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี เซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีเปรียบเสมือนกับแบตเตอรี่ ในขณะที่แบตเตอรี่สามารถจ่าย Voltage ได้อย่างต่อเนื่อง แต่เซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะจ่าย Voltage หรือ Current ได้เพียงเมื่อมีการตรวจจับแอลกอฮอล์ภายในเซนเซอร์ได้เท่านั้น โดย Voltage/current output ที่เซนเซอร์วัดออกได้จะมีค่าน้อยมาก (ในหน่วย mV, μ A) และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่วัดได้ ค่า Voltage/current output เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีระหว่างสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซนเซอร์กับแอลกอฮอล์ที่เข้ามา ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะใช้เพียงระยะเวลาสั้น ๆ (เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์) จากนั้นค่า Voltage/current output ที่เกิดขึ้นก็จะค่อยๆ ลดลงเข้าสู่ค่าเดิมก่อนการเริ่มต้นไปสมชายใจ

พื้นผิวของอิเล็กโทรดภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีของเซนเซอร์จะถูกเคลือบด้วย Pt เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและบริเวณนี้จะมีปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเกิดขึ้น สารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เซลล์ไฟฟ้าเคมีของแอลกอฮอล์นี้ประกอบด้วยชั้นของอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นกรด และถูกเคลือบด้วย PtO_2 ทั้งสองด้าน โดย Pt wires ที่ติดอยู่กับ Pt เหล่านี้จะเชื่อมต่อกับโมดูลอ่านค่าของเครื่อง breathalyzer เมื่อมีการเป่าลมหายใจเข้าสู่เครื่องตรวจวัดลมหายใจ แอลกอฮอล์ในลมหายใจจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (e^-) สองตัวจากโมเลกุลของแอลกอฮอล์แต่ละตัว ปฏิกิริยาทางเคมีนี้เกิดขึ้นที่ผิวชั้นบนของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ไอออนของไฮโดรเจน (H^+) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะไหลผ่านไปยังผิวชั้นล่างของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ทำให้เกิดการรวมกันของ H^+ กับ O_2 ในบรรยากาศกลายเป็นน้ำ (H_2O) (โดยการใช้ $1 e^-$ ต่อ $1 H^+$) ดังรูปที่ 3.1

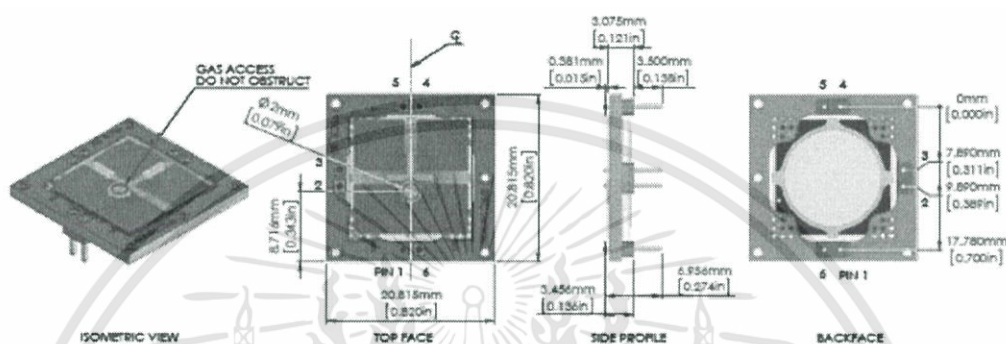
ทั้งนี้ที่ผิวชั้นบนของเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะเป็นชั้นที่มี e^- จำนวนมาก แต่ที่ผิวชั้นล่างจะเป็นชั้นที่มี e^- อยู่่น้อย หากเราเชื่อมต่อพื้นผิวทั้งสองชั้นด้วยวงจรทางไฟฟ้า จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเพื่อลดประจุทางไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลโดยตรงจากปริมาณแอลกอฮอล์ที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี ทำให้สามารถแสดงความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในลมหายใจได้โดยตรงและมีความแม่นยำสูง [24]



รูปที่ 3.1 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแก๊สเอทานอล (C_2H_5OH) กับสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซนเซอร์

3.1.1.2 คุณสมบัติของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เซนเซอร์ตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจแบบ Electrochemical fuel cell รุ่น 3SP-Ethanol-1000 ของบริษัท SPEC Sensors, LLC โดยเป็นเซนเซอร์ที่มีขนาดเล็กเพียง 20x20x3 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 3.2) มีอายุการใช้งานที่ยาวนานสูงสุดถึง 10 ปี ความเร็วในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าสูง มีอัตราการกินไฟที่ต่ำ และราคาถูก นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญดังตารางที่ 3.1 [25]



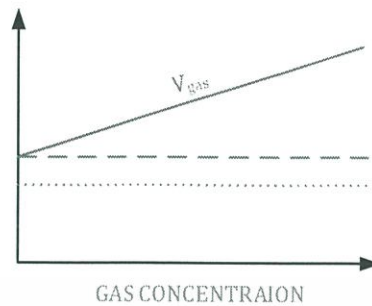
รูปที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของเซนเซอร์

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของแอลกอฮอล์เซนเซอร์รุ่น 3SP-Ethanol-1000 บริษัท SPEC Sensors

คุณสมบัติของเซนเซอร์	ความสามารถของเซนเซอร์
Measurement Range	0 to 1000 ppm
Resolution	< 5 ppb (instrumentation dependent)
Repeatability	< $\pm 3\%$ of reading
Response Time	< 180 seconds typical
Sensitivity	15 ± 6 nA/ppm
Expected operating life	> 5 years (10 years at 23 ± 3 °C; $40 \pm 10\%$ RH)
Operating temperature range	-30 to +55 °C (-20 to 40 °C recommended)
Operating humidity range (non-condensing)	0 to 100% RH (15 to 95% recommended)
Power consumption	10 to 50 uW (circuit & ambient Ethanol dependent)
Benefits	Applications
Small size with low profile (20x20x3 mm)	1. Law Enforcement Breathalyzers
Long life (10 years expected life)	2. Evidential Breath Alcohol Testing
Fast response	3. Portable Breath Alcohol Tester
Low power consumption	4. Personal Breathalyzers
Individually calibrated	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 การคำนวณค่าความเข้มข้นของแก๊ส (Calculating gas concentration)



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของแก๊สกับความต่างศักย์

ค่าความเข้มข้นของแก๊สที่เซนเซอร์ตรวจวัดได้ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (3.1)

$$C_x = \frac{1}{M} \cdot (V_{gas} - V_{gas_0}) \quad (3.1)$$

เมื่อ C_x : ค่าความเข้มข้น (ppm)

V_{gas} : ค่าความต่างศักย์ของแก๊สที่วัดได้ (V)

V_{gas_0} : ค่าความต่างศักย์ของแก๊สที่วัดได้ขณะไม่มีการวัดแก๊ส หรือเป็นอากาศที่สภาพแวดล้อมปกติ

M : คือ ค่าความชันของค่าความต่างศักย์ของแก๊สเทียบกับค่าความเข้มข้นของแก๊ส (V/ppm)

ในส่วนของ M สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (3.2)

$$M(V/ppm) = Sensitivity\ Code(nA/ppm) \times TIA\ Gain(kV/A) \times 10^{-9}(A/nA) \times 10^3(V/kV) \quad (3.2)$$

เมื่อ *Sensitivity Code* : ค่าที่ถูกกำหนดมาให้ โดยถูกระบุไว้ที่ตัวของเซนเซอร์

TIA Gain : ค่าของอัตราขยายกระแสเป็นความต่างศักย์

นอกจากนี้ค่า *TIA Gain* ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่ต้องการตรวจวัด ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 TIA Gain ของแก๊สชนิดต่าง ๆ

Target Gas	TIA Gain (kV/A)
Nitrogen Dioxide	499
Ethanol	249
Carbon Monoxide	100

ค่าของ V_{gas_0} สามารถหาได้จากสมการ (3.3)

$$V_{gas_0} = V_{ref} - V_{offset} \quad (3.3)$$

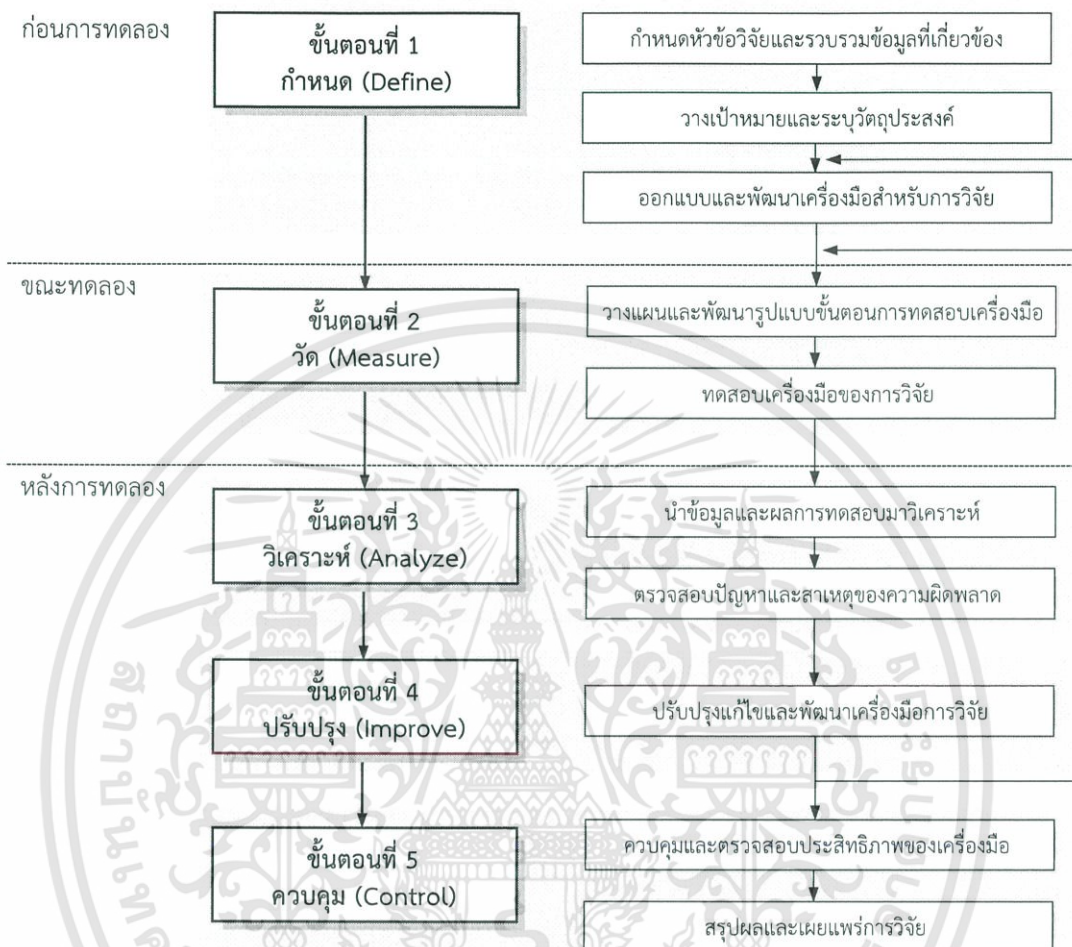
เมื่อ V_{ref} : ค่าแรงดันที่กำหนดเป็นค่าอ้างอิง (V)

V_{offset} : ค่าความต้านทานออฟเซ็ท (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน (ดังรูปที่ 3.4) ดังนี้



รูปที่ 3.4 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในภาพรวม

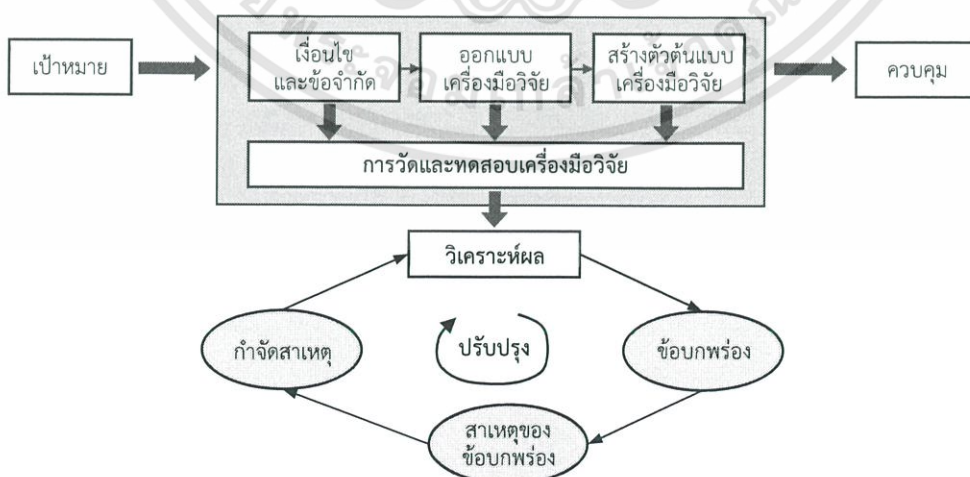
ขั้นตอนที่ 1 กำหนด (Define) เป็นการกำหนดหัวข้อสำหรับการวิจัย โดยการสำรวจ หรือ ความสนใจของผู้วิจัยเอง จากนั้นจึงรวบรวมข้อมูล เอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษา และหาคำตอบของหัวข้อวิจัยนั้น รวมทั้งความต้องการที่จะออกแบบพัฒนาในสิ่งที่สนใจให้มีลักษณะ และรูปแบบที่เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย หัวข้อสำหรับการวิจัยนี้เป็น การพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่าน สัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟน โดยมุ่งเน้นที่การทำงานแบบใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอก ให้น้อยที่สุด ซึ่งตัวตรวจจับหรือเซนเซอร์ของชุดทดสอบจะถูกออกแบบให้ทำงานด้วยพลังงานจาก สัญญาณ NFC จากสมาร์ตโฟน และส่งข้อมูลการตรวจวัดผ่านสมาร์ตโฟนไปยังระบบเครือข่าย ออนไลน์หรือคลาวด์ ดังนั้นในการออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนการทำงานคือ ส่วนฮาร์ดแวร์ (Hardware) เกี่ยวข้องกับการทำงานของแอลกอฮอล์เซนเซอร์ และส่วน

ซอฟต์แวร์ (Software) ทำหน้าที่วิเคราะห์และแสดงผลของข้อมูลที่ได้จากการทำงานของแอลกอฮอล์ เซนเซอร์ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้เชื่อมต่อข้อมูลระหว่างกันผ่านเทคโนโลยี NFC

ขั้นตอนที่ 2 วัด (Measure) เป็นขั้นตอนสำหรับการทดสอบความสามารถของระบบการวัด และเครื่องมือวิจัย โดยตัวต้นแบบเครื่องมือวิจัย (Prototype) ที่ได้ออกแบบไว้จะถูกนำมาทดสอบใน ขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะต้องวางแผน ออกแบบ และคัดเลือกวิธีการในการวัดที่เหมาะสมและสอดคล้องกับ วัตถุประสงค์ที่ต้องการ เมื่อนำตัวต้นแบบมาทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวแล้วจะต้องตรวจสอบคุณภาพของ เครื่องมือวิจัยว่ามีความผิดปกติในการทำงานหรือไม่ ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธีการเรียกว่า “Gauge R & R measurement system (GR&R)” เพื่อศึกษาถึงความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวิจัย

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ (Analyze) เป็นการนำข้อมูลหรือผลการทดสอบจากขั้นตอนการวัดมา วิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ เช่น Basic statistics, Regression analysis และ Hypothesis testing โดยการเปรียบเทียบค่าที่ใส่เข้า (Input) กับผลลัพธ์ (Output) เพื่อวิเคราะห์สมมติฐานและระบุสาเหตุ ของปัญหาหรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งหาแนวทางการแก้ไข ซึ่งในการวิจัยนี้จะอาศัย เทคนิค Fishbone diagram มาใช้สำหรับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุกับผลกระทบของปัญหา ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถพิจารณาวิธีการแก้ไขที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการวิจัยมากยิ่งขึ้น

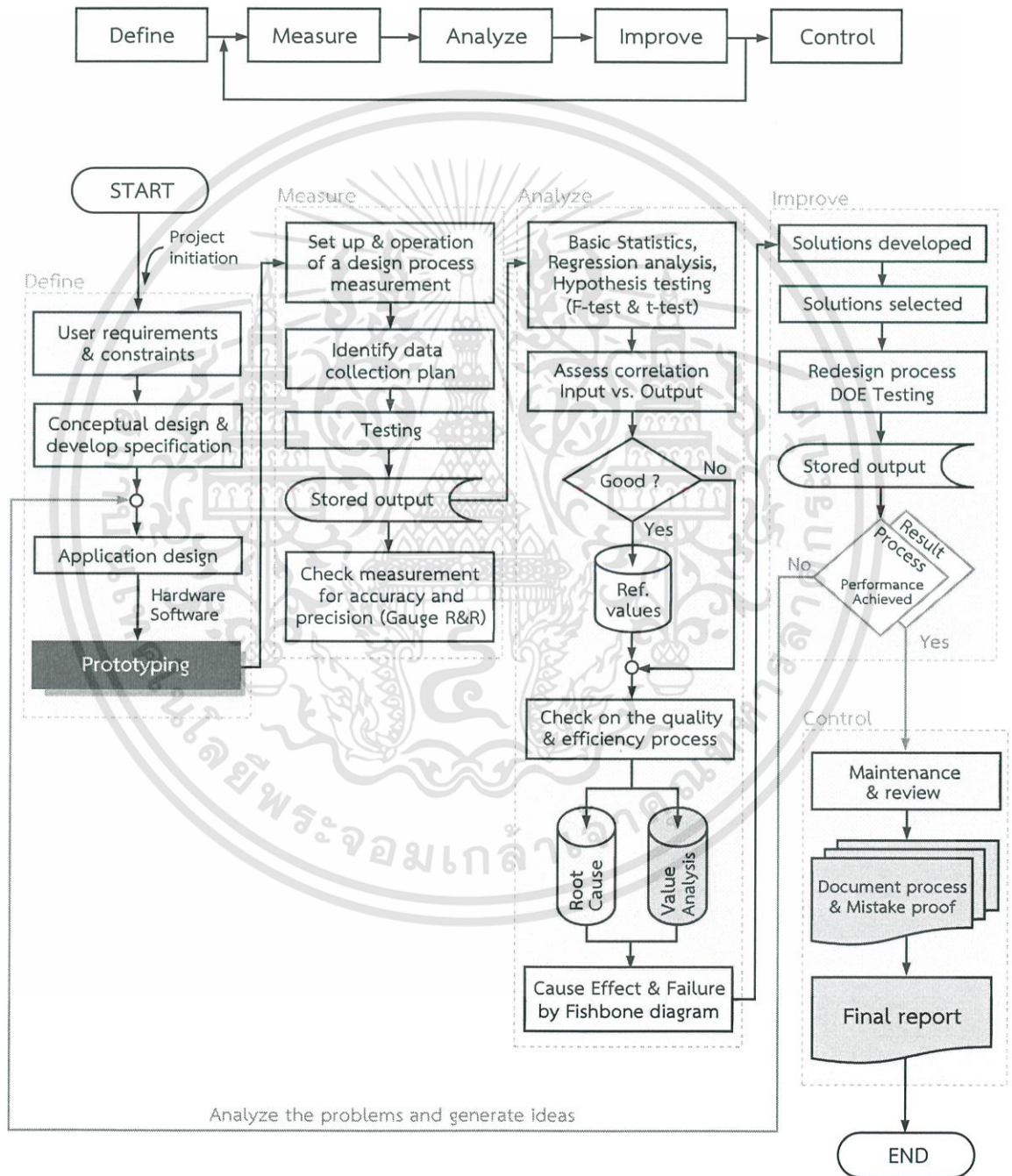
ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุง (Improve) เป็นขั้นตอนสำหรับพัฒนาหรือปรับปรุงคุณภาพและ ประสิทธิภาพของระบบการวัดหรือตัวต้นแบบเครื่องมือวิจัย โดยการหาแนวทางและพัฒนาวิธีการ แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 3 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นไปตามต้องการและนำไปสู่ การสร้างความเชื่อถือ สำหรับการวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of experiment, DOE) เพื่อปรับตั้งค่าสถานะต่าง ๆ ของกระบวนการที่วิเคราะห์แล้วว่าเป็นส่วนที่ควรปรับปรุง แต่ใน บางกรณีอาจมีความจำเป็นที่ต้องออกแบบหรือปรับปรุงแก้ไขตัวต้นแบบเครื่องมือวิจัย เช่น ความ ผิดพลาดจากการออกแบบการทำงานของฮาร์ดแวร์ หรือจากระบบการประมวลผลของซอฟต์แวร์ เป็นต้น เพื่อลดช่องว่างและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องมือให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การปรับปรุงระบบการวัดเพื่อนำไปสู่การสร้างความเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุง (Improve) เป็นการควบคุมและรักษาคุณภาพของของระบบการวัดรวมทั้งตัวต้นแบบเครื่องมือวิจัยที่ได้รับการปรับปรุงแล้วให้สามารถทำงานได้เป็นไปตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มรายงานสรุปผลเพื่อนำไปเผยแพร่ให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและต่อยอดพัฒนาในอนาคต ทั้งนี้รายละเอียดการดำเนินการของแต่ละขั้นตอนในการวิจัยซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.6 นั้น ผู้วิจัยจะกล่าวอธิบายในหัวข้อถัดไป ตามลำดับ

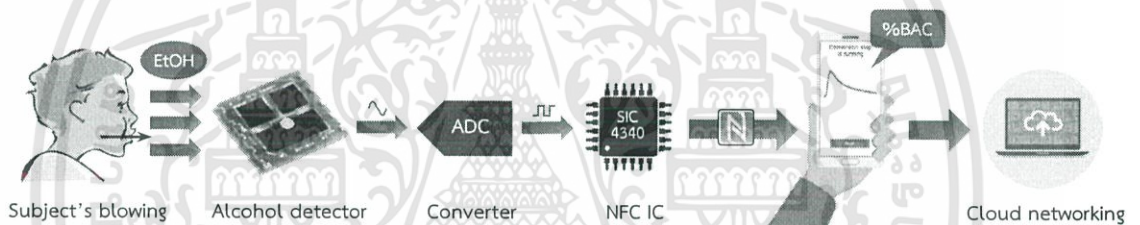


รูปที่ 3.6 รายละเอียดการดำเนินการของแต่ละขั้นตอนในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ระบบประมวลผล แสดงผล และบันทึกข้อมูล

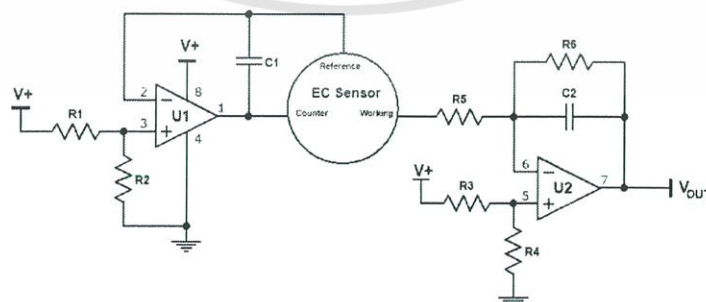
ภาพรวมของระบบประมวลผล แสดงผล และบันทึกข้อมูลเบื้องต้นของชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ทโฟน สามารถแสดงดังรูปที่ 3.7 การทำงานของระบบนี้เริ่มจากเมื่อผู้ใช้งานมีการเป่าอากาศหรือลมหายใจเข้ามาในระบบ หากในอากาศหรือลมหายใจนั้นมีแอลกอฮอล์หรือเอทานอลเจือปนอยู่ ก็จะถูกตรวจจับโดยแอลกอฮอล์เซนเซอร์ (Alcohol detector หรือ Alcohol sensor) แอลกอฮอล์เซนเซอร์นี้จะวัดค่าสัญญาณที่เกิดขึ้นออกมาเป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นสัญญาณอนาล็อกนี้จะถูกดีโมดูเลชัน (Demodulation) ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านตัวแปลงสัญญาณ ADC (Analog-to-digital converter) เพื่อให้สามารถนำสัญญาณไปประมวลผลต่อไปได้ สัญญาณดิจิทัลนี้จะถูกส่งผ่านเทคโนโลยี NFC ด้วยอุปกรณ์ NFC IC ไปแสดงผลบน Mobile application ให้แก่ผู้ใช้งาน ซึ่งในส่วนการทำงานของ Mobile application นี้จะเป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลสำหรับการคำนวณระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจที่เซนเซอร์สามารถตรวจวัดได้ นอกจากนี้ผลการตรวจวัดจะถูกส่งเข้าไปยังระบบ Cloud networking เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลการตรวจวัดย้อนหลังได้



รูปที่ 3.7 ภาพรวมของระบบประมวลผล แสดงผล และบันทึกข้อมูลเบื้องต้น

3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับวงจรการวัดและประมวลผล

ระบบการวัดและประมวลผลนี้มีส่วนประกอบสำคัญคือ เซนเซอร์ตรวจจับแอลกอฮอล์ในลมหายใจ โดยได้เลือกใช้เซนเซอร์แบบ Electrochemical fuel cell รุ่น 3SP-Ethanol-1000 เป็นเซนเซอร์แบบ 3-electrode ของบริษัท SPEC Sensors, LLC [26] ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตได้แนะนำการต่อวงจรอย่างง่ายสำหรับการใช้ตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าของเซนเซอร์นี้ แสดงดังรูปที่ 3.8

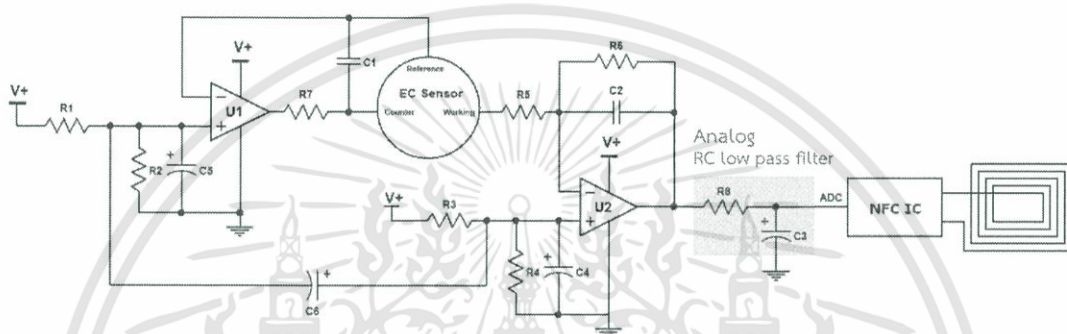


รูปที่ 3.8 วงจรอย่างง่ายสำหรับตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าของเซนเซอร์แก๊สรุ่น 3SP-Ethanol-1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรข้างต้น จะเห็นว่าเป็นวงจรสำหรับวัดสัญญาณทั่วไป ซึ่งไม่มีการต่อวงจรกรองสัญญาณหรือวงจรใด ๆ เพิ่มเติม ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) จำนวนมากในระบบ เพื่อลดผลกระทบดังกล่าวทางบริษัทผู้ผลิตจึงได้แนะนำว่า ควรเพิ่มวงจรกรองสัญญาณความถี่แบบอนาล็อกหรือดิจิตอลเพื่อเพิ่ม Signal-to-noise ratios ให้แก่ระบบ ในที่นี้จึงเลือกใช้วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำแบบอนาล็อก (Analog RC low pass filter) (แสดงดังรูปที่ 3.9) สมการที่ใช้ในการหาค่า Frequency cutoff ณ -3 dB ของวงจร Analog RC low pass filter เป็นดังสมการ (3.4)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.9 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการตรวจเก็บข้อมูลของแอลกอฮอล์สำหรับการวิจัยนี้

จากวงจรในรูปที่ 3.9 สามารถอธิบายการทำงานเบื้องต้นของวงจร ได้ดังนี้

ก. วงจร U1 จะช่วยทำให้ค่าความต่างศักย์ของขา Reference (RE) และ Counter (CE) มีค่าความต่างศักย์เท่ากับขาบวกของวงจร U1 เพื่อกำหนด Bias ของขา RE และ CE นอกจากนี้ ยังใช้เป็นวงจรจ่ายกระแสให้กับเซนเซอร์เพื่อให้กระแสไหลจากขา CE ไปยังขา Working (WE)

ข. อัตราขยาย (Gain) ของวงจร Transimpedance ถูกกำหนดโดยค่าของ R6 (Default สำหรับแอลกอฮอล์ = 249K Ω)

ค. ตัวต้านทาน R1 กับ R2 และตัวต้านทาน R3 กับ R4 เป็นวงจรแบ่งแรงดัน สำหรับใช้ในการ Bias วงจร U1 และ U2 ตามลำดับ ส่วนตัวเก็บประจุ C4 และ C5 ใช้เพื่อ Decoupling ให้แรงดันที่ถูกแบ่งมาให้มีค่าคงที่

ง. ตัวเก็บประจุ C6 จะทำให้แรงดันตกคร่อมที่ขา WE และ RE คงที่ เมื่อมีสัญญาณมารบกวนที่ Node แบ่งแรงดัน

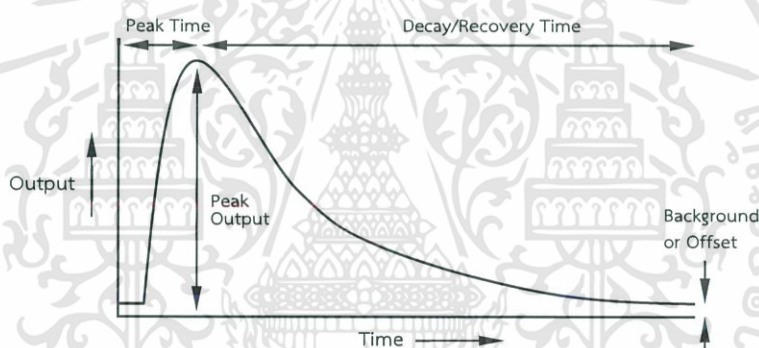
จ. ตัวเก็บประจุ C2 ใช้เพื่อลด Peaking อันเกิดจาก Complex pole ของวงจร U2

ฉ. ตัวต้านทาน R8 และตัวเก็บประจุ C3 เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำแบบอนาล็อก โดยกำหนดให้มีแบนด์วิธ ณ -3 dB อยู่ที่ 16 Hz (คำนวณตามสมการ (3.4) ได้ R8 = 100k Ω , C3 = 100 nF)

ข. เมื่อผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำแล้ว ก็จะถูกแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนเข้า NFC IC จากนั้น NFC IC จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปวิเคราะห์และแสดงผลให้แก่ผู้ใช้งานต่อไป

3.2.3 การออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับระบบวิเคราะห์และแสดงผล

จากข้อ 3.1.1.2 เซนเซอร์ที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้เป็น *แอลกอฮอล์เซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี* ซึ่งเซนเซอร์ประเภทนี้จะให้ผลลัพธ์ (Output) ออกมาเป็นค่าความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้าและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของแก๊สที่ตรวจจับได้ ในระยะแรกค่าผลลัพธ์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดซึมแก๊สเข้าสู่ตัวเซนเซอร์ ($\text{Absorption} > \text{Excretion}$) เมื่อเซนเซอร์มีอัตราการดูดซึมแก๊สใกล้เคียงกับอัตราการขับออก ค่าผลลัพธ์ขณะนั้นจะมีค่ามากที่สุด ($\text{Absorption} \cong \text{Excretion} : \text{Peak}$) และเมื่อเวลาผ่านไปเซนเซอร์จะมีอัตราการขับแก๊สมากกว่าอัตราการดูดซึม ($\text{Absorption} < \text{Excretion}$) ดังนั้นความเข้มข้นของแก๊สภายในจะค่อย ๆ ลดลง ทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้จึงลดลงตามไปด้วย

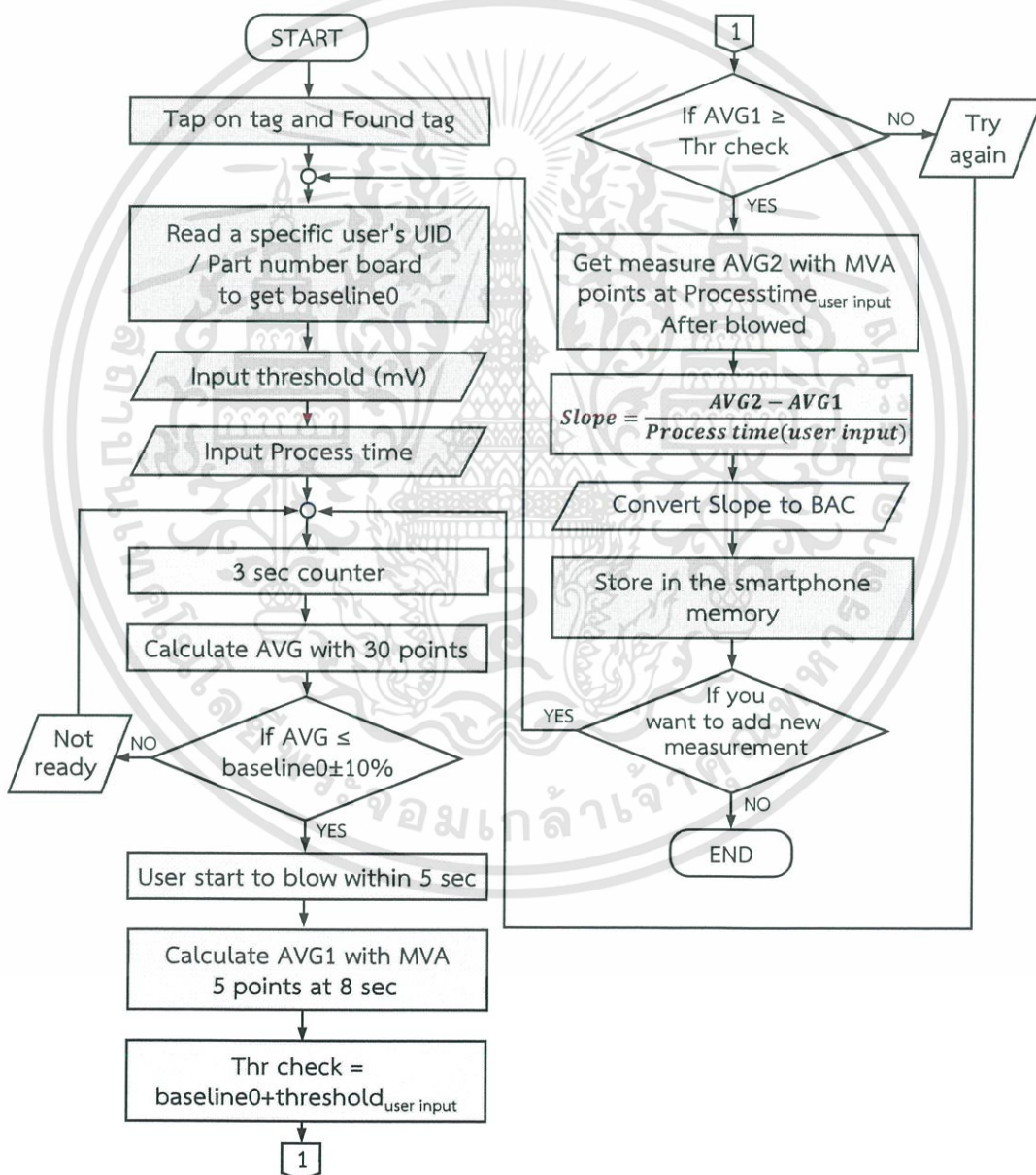


รูปที่ 3.10 กราฟการตอบสนองของเซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าการตอบสนองของเซนเซอร์นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของแก๊สแล้ว การตอบสนองยังขึ้นกับเวลาในขณะนั้นด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดจึงกำหนดให้ระบบเก็บผลลัพธ์จากเซนเซอร์ทุก ๆ 100 มิลลิวินาที เป็นเวลา 300 วินาทีต่อ 1 ครั้งการทดลอง

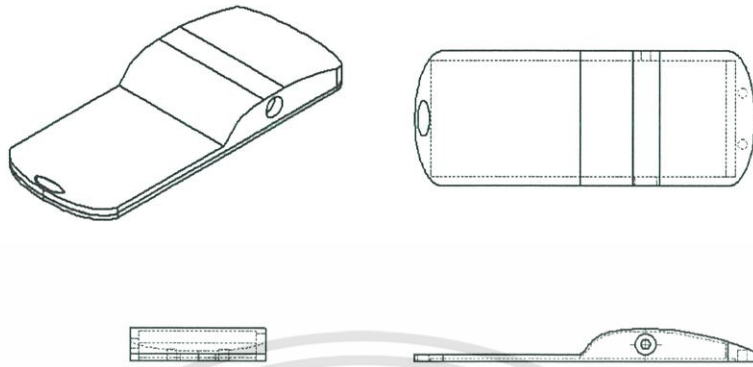
แต่เนื่องจากความว่องไวในการตอบสนองของเซนเซอร์นั้นแตกต่างกันตามความเข้มข้นของแก๊สที่ต้องการศึกษา ผู้วิจัยจึงสังเกตเห็นว่าการนำข้อมูลในระยะแรกที่ $\text{Absorption} > \text{Excretion}$ จากเซนเซอร์มาวิเคราะห์ จะสามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (BAC) กับความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือค่าความชัน (Slope) ของกราฟการตอบสนองได้ชัดเจนที่สุด อีกทั้งในระยะแรกค่าผลลัพธ์จากเซนเซอร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในเวลาเพียงไม่กี่วินาทีซึ่งเหมาะสำหรับการนำความสัมพันธ์เชิงเส้นมาใช้ในการวิเคราะห์ได้

ในการออกแบบระบบวิเคราะห์และแสดงผลของการวิจัยนี้ กำหนดให้ระบบมีการเก็บผลลัพธ์จากเซนเซอร์ซึ่งใช้เป็นค่าความต่างศักย์เริ่มต้นก่อนการเป่าลมหายใจเป็นเวลา 3 วินาที เพื่อตรวจสอบความพร้อมในการทำงานของเซนเซอร์ หากเซนเซอร์สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไข ระบบจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานเริ่มทำการเป่าลมหายใจ ให้ผู้ใช้งานเป่าลมหายใจเข้ามาในตัวต้นแบบเป็นเวลา 5 วินาทีสำหรับเก็บข้อมูลในการวิเคราะห์ผลค่าความชื้นที่ตำแหน่ง 2, 3, 4 และ 5 วินาที (Process time) นับภายหลังจากหยุดการเป่า โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้หาความสัมพันธ์เชิงเส้นซึ่งนำไปสู่การระบุค่าความเข้มข้น BAC แล้วแสดงผลให้แก่ผู้ใช้งานและส่งเข้าสู่ระบบ Cloud networking เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้ (ดังแสดงผังงานในรูปที่ 3.11)

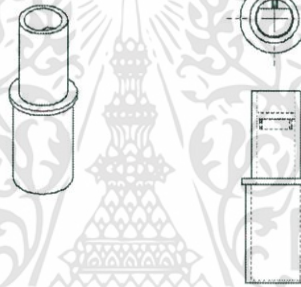


รูปที่ 3.11 ผังงานแสดงกระบวนการวิเคราะห์และแสดงผลที่ใช้สำหรับการวิจัย

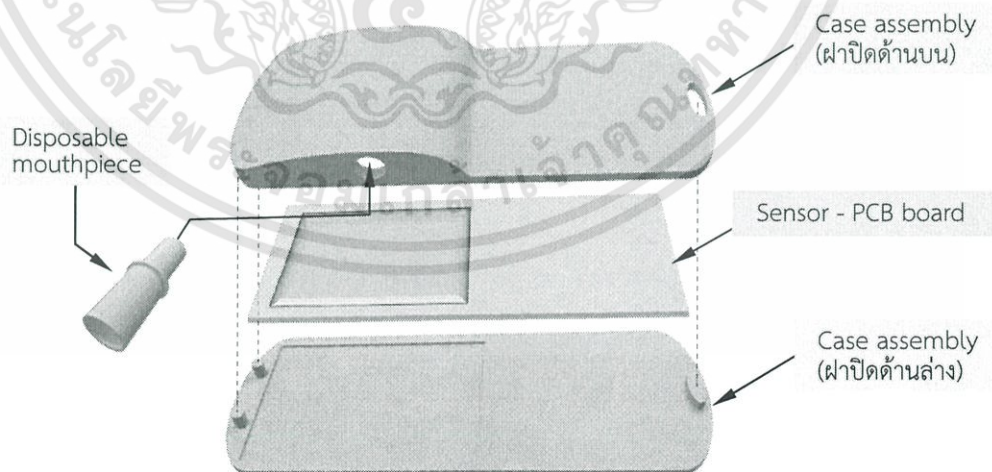
3.2.4 การออกแบบโครงสร้างเคสแบบ 2 และ 3 มิติ สำหรับสวมใส่ชุดทดสอบ



รูปที่ 3.12 โครงสร้างเคสแบบ 2 มิติ



รูปที่ 3.13 โครงสร้างของท่อเป่าลม (Mouthpiece) แบบ 2 มิติ



รูปที่ 3.14 โครงสร้างและการประกอบชุดทดสอบแบบ 3 มิติ

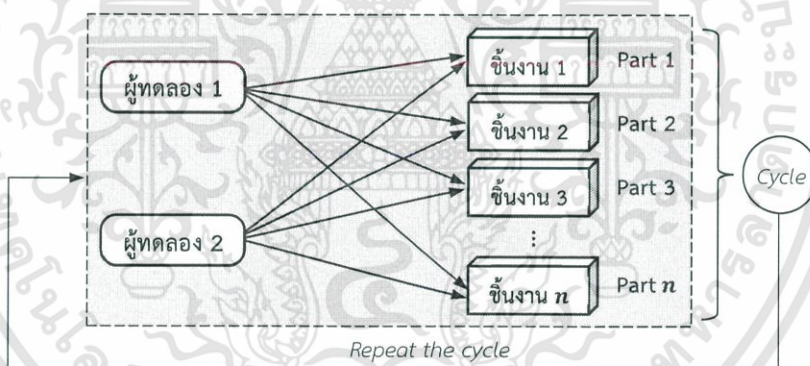
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

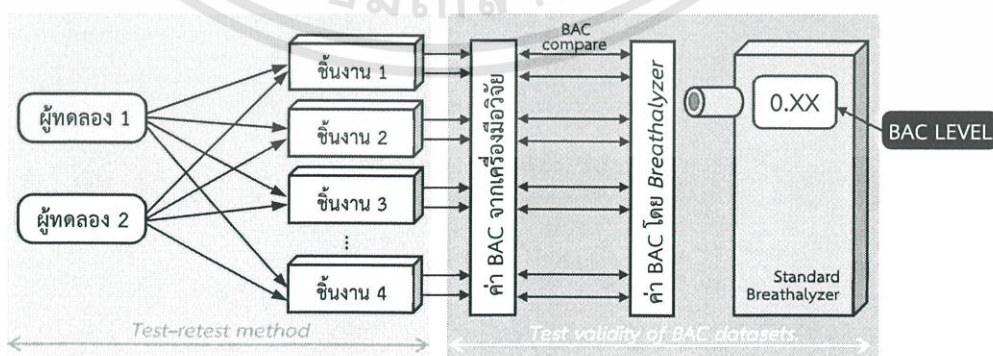
การวิจัยที่ดี ต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีคุณภาพ น่าเชื่อถือ และเที่ยงตรง เพื่อให้การวัดมีความแม่นยำ ไม่คลาดเคลื่อนจากความจริง สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัยนี้ผู้วิจัยจะพิจารณาจากคุณลักษณะด้านความแม่นยำ และความเที่ยงตรงเป็นสำคัญ ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบดังนี้

3.2.5.1 ความแม่นยำ (Accuracy) เป็นคุณลักษณะที่บ่งชี้ถึงความสามารถของระบบที่สามารถวัดค่าออกมาได้ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ ในกรณีที่มีการทดสอบซ้ำ ค่าเฉลี่ยของการวัดควรมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง ซึ่งพิจารณาจากการหาค่าเฉลี่ย (Mean) ของข้อมูลในชุดเดียวกันเทียบกับค่าจริง วิธีการที่ใช้สำหรับตรวจสอบนี้ทำได้โดยใช้เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจมาตรฐานเทียบกับผลการทดสอบจากตัวต้นแบบที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

3.2.5.2 ความเที่ยงตรง (Precision) แสดงถึง ความสม่ำเสมอหรือความคงที่ของค่าที่ได้จากการวัดและเชื่อถือได้ การตรวจสอบความแม่นยำในการวิจัยนี้จะใช้วิธีทดสอบซ้ำ (Test-retest method) ดังรูปที่ 3.15 ผู้ทดลองแต่ละคนจะทดสอบชิ้นงานซ้ำจำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้งสลับกันจนครบทุกชิ้นเป็น 1 รอบ (Cycle) หลังจากทดสอบครบทุกชิ้นแล้วจึงบันทึกค่าที่วัดได้โดยแยกข้อมูลเป็นชุด ๆ แล้วจึงเริ่มทำการทดสอบอีกครั้งจนครบรอบเช่นเดิม (Repeat the cycle) โดยใช้เครื่องมือและวิธีการทดสอบเดียวกัน ทั้งนี้การทดสอบแต่ละรอบต้องทำในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน [27]



รูปที่ 3.15 การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือโดยวิธีทดสอบซ้ำ



รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ กระบวนการที่ใช้สำหรับวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือนี้จะอาศัยเทคนิควิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่เรียกว่า “Gauge R & R measurement system (GR&R)” เพื่อศึกษาความแม่นยำ และความเที่ยงตรงของระบบการวัด ตลอดจนเป็นกระบวนการที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัด (Measurement Errors) โดยใช้ผู้วัด (Operator หรือ Appraiser) มากกว่าหนึ่งคน แต่ใช้เครื่องมือและระบบการวัดแบบเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือด้วยวิธีการดังกล่าวจะอธิบายโดยละเอียดในหัวข้อสถิติและแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เนื่องจากกฎหมายไทยได้ระบุไว้ว่า สำหรับผู้ขับขี่เยาวชนอายุไม่เกิน 20 ปีและผู้มีใบอนุญาตขับขี่ชั่วคราว ต้องมีค่าความเข้มข้นของระดับแอลกอฮอล์ในเลือดไม่เกิน 0.02 BAC และ 0.05 BAC สำหรับผู้ขับขี่ทั่วไป ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในร่างกายได้ด้วยตนเอง ควรมีคุณสมบัติที่จะสามารถบ่งชี้ค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือดที่ค่า 0.02 และ 0.05 BAC ได้ อย่างแม่นยำ ดังนั้นการเก็บข้อมูลของการวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการทดลองเป็นหลัก โดยอาศัยชุดทดสอบของการวิจัยทดลองกับตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับเครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจมาตรฐานยี่ห้อ AlcoScan รุ่น AL-8000

3.3.1 การจัดเตรียมตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์

จากข้อกำหนดของกฎหมายไทยที่ระบุไว้ข้างต้น ความเข้มข้นของตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ในการทดลองนี้จะกำหนดไว้ในช่วงความเข้มข้น 0.00 – 0.05 BAC ที่อุณหภูมิห้อง เทียบกับเครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจมาตรฐาน ซึ่งสารละลายตัวอย่างสามารถจัดเตรียมได้ โดยใช้น้ำกลั่นปริมาตร 150 mL ผสมกับสารละลายเอทานอลเข้มข้น 70%v/v ที่ปริมาตรต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้น BAC ดังตารางที่ 3.3

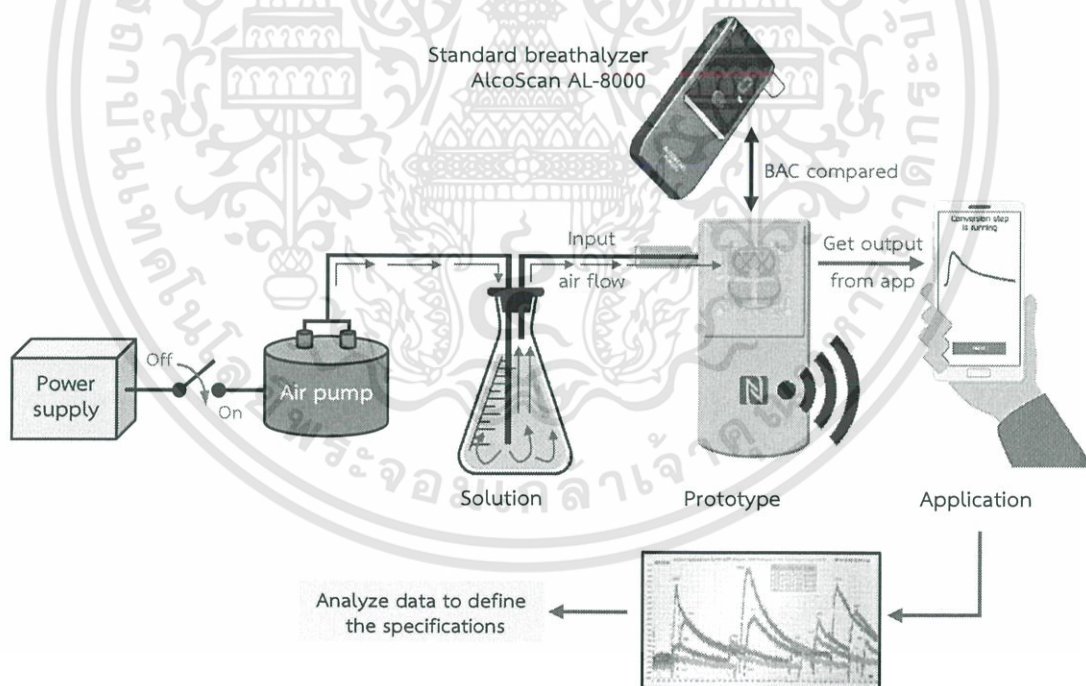
ตารางที่ 3.3 การจัดเตรียมตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ อุณหภูมิห้อง

BAC	H ₂ O (mL)	C ₂ H ₅ OH 70%v/v (μL)
0.00	150	0
0.01	150	50
0.02	150	100
0.03	150	150
0.04	150	200
0.05	150	250

3.3.2 วิธีการทดลอง

รูปแบบของการเก็บรวบรวมข้อมูลนี้อาศัยการทดลองเป็นหลัก ซึ่งวิธีการทดลองเป็นดังรูปที่ 3.17 ดังนั้นอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ก. Power supply	1	เครื่อง
ข. Air pump (ยี่ห้อ RESUN รุ่น AIR-8000)	1	เครื่อง
ค. ชุดทดสอบ Alcohol sensor prototype	5	ชุด
ง. เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในลมหายใจมาตรฐาน (ยี่ห้อ AlcoScan รุ่น AL-8000)	1	เครื่อง
จ. Android smartphones	2	เครื่อง
ฉ. น้ำกลั่น (ขึ้นกับจำนวนครั้งในการทดลอง)		
ช. แอลกอฮอล์เข้มข้น 70%v/v (ยี่ห้อศิริปัญญา 450 mL)	1	ขวด
ซ. ถ้วยตวงขนาด 500 mL	2	ถ้วย
ฅ. ขวดปริมาตรสำหรับผสมสาร	2	ขวด
ญ. ซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์ประมวลผล เช่น Matlab, Microsoft Excel		



รูปที่ 3.17 วิธีการทดลองสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.17 วิธีการทดลองนี้เริ่มจากการผสมสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาในขวดปริมาตร ได้แก่ 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 BAC เมื่อผสมสารละลายดังกล่าวแล้ว ผู้ทดลองจะต้องปิดฝาขวดปริมาตรให้มิดชิดเพื่อป้องกันการระเหยของแอลกอฮอล์ออกสู่ภายนอก ที่ฝาขวดปริมาตรจะประกอบด้วยท่ออย่างจำนวน 2 ท่อ โดยท่อหนึ่งเชื่อมกับเครื่อง Air pump สำหรับเป่าอากาศเปล่าเข้ามาภายในขวดปริมาตร และอีกท่อหนึ่งสำหรับให้อากาศที่ถูกเป่าในขวดปริมาตรซึ่งจะมีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ถูกดันออกมาตามท่อ

เมื่อผู้ทดลองเปิดเครื่อง Power supply พลังงานจากแหล่งจ่ายจะทำให้เครื่อง Air pump ทำงาน อากาศเปล่าจากเครื่อง Air pump จะถูกเป่าเข้าไปยังขวดปริมาตรตามท่อ (Inlet) ส่งผลให้สารละลายที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ระเหยออกไปตามอีกท่อหนึ่ง (Outlet) ตามแรงดันจากอากาศที่ถูกเป่าเข้ามา ไอของแอลกอฮอล์ที่ถูกปล่อยออกมาจะเข้าสู่เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในอากาศหรือลมหายใจเป็นเวลา 5 วินาที (Input) โดยในการทดลองนี้จะใช้เครื่อง AlcoScan รุ่น AL-8000 เป็นเครื่องวัดอ้างอิงมาตรฐานเทียบกับการใช้ Alcohol sensor prototype หรือตัวต้นแบบเครื่องมือวิจัยที่อ่านผลลัพธ์ (Output) จากการออกแบบระบบประมวลผลบน Application จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Matlab และ Microsoft Excel

สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นนี้จะใช้ผู้ทดลองจำนวน 2 คน ผู้ทดลองแต่ละคนจะต้องใช้ Smartphone ให้ครบทั้ง 2 เครื่อง (ทั้งสองเครื่องมียี่ห้อต่างกัน) โดยแต่ละเครื่องจะต้องใช้ทดสอบวัดระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ให้ครบทุกความเข้มข้น BAC ที่ต้องการศึกษา และจะทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง/ความเข้มข้น เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงและความแม่นยำของการทดสอบซ้ำโดยผู้ใช้งานทั้งสอง

3.4 สถิติและแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการวิจัย ข้อมูลจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองเหล่านั้นมีความไม่แน่นอน อาจมีข้อผิดพลาดหรือเบี่ยงเบนจากความเป็นจริงได้ ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลจำนวนมากหรือเก็บข้อมูลซ้ำ ๆ กันในช่วงที่ต้องการศึกษา เพื่อให้สามารถสรุปผลของการวิจัยได้อย่างถูกต้อง

3.4.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1.1 สถิติเชิงบรรยาย ใช้ตาราง กราฟ แผนภูมิ เพื่อแสดงข้อมูลและวิเคราะห์ผล

1 ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สำหรับหาค่ากลางเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลในกลุ่มทดลองเดียวกัน

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.5)$$

2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้เพื่อดูการกระจายของข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด หากค่าการกระจายที่วัดได้มาก แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก แต่ถ้าค่าวัดการกระจายมีค่าน้อย แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.6)$$

3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation) ใช้สำหรับบ่งบอกถึงความแม่นยำในการวัดซ้ำของข้อมูล (Reproducibility of replicates) โดยหาก RSD มีค่าน้อยเท่าใด แสดงว่าวิธีวิเคราะห์นั้นมีความแม่นยำมากเท่านั้น

$$RSD = \frac{S.D.}{\bar{x}} \quad (3.7)$$

3.4.1.2 สถิติเชิงอนุมาน ใช้สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์หรือคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งการทดสอบสมมติฐานเพื่ออ้างอิงผลจากตัวอย่างการทดลองนั้น ๆ ว่ามีความสอดคล้องหรือแตกต่างกันจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างไร

1 การประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-squares method) ในการวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย หรือ Linear Regression เพื่อศึกษาความสัมพันธ์และสร้างฟังก์ชันเชิงเส้นการประมาณค่าสำหรับผลการทดลองในอนาคต ซึ่งเส้นตรงที่ถูกนำมาแทนข้อมูลจะต้องเป็นเส้นตรงที่ทำให้ผลรวมของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด [28] สมการที่ใช้ในการประมาณค่าด้วยเทคนิคนี้ คือ

$$y_i = c + mx_i + e \quad (3.8)$$

เมื่อ m : ความชันของกราฟ (Slope)
 c : จุดตัดบนแกน y
 e : ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

$$\sum y_i = nc + m \left(\sum x_i \right) \quad (3.9)$$

$$\sum y_i x_i = c \left(\sum x_i \right) + m \left(\sum x_i^2 \right) \quad (3.10)$$

สมการทั้งสองนี้มีชื่อเรียกว่า Normal equation และสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ว่า

$$m = \frac{n \sum y_i x_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.11)$$

$$c = \left(\frac{\sum y_i}{n} \right) - m \left(\frac{\sum x_i}{n} \right) = \bar{y} - m\bar{x} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

ในการวิเคราะห์สมการประมาณค่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเป็นผลมาจากอิทธิพลของตัวแปรต้นมากน้อยเพียงใดนั้น สมการประมาณค่าที่ได้จะสามารถคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีหรือไม่ย่อมขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R หรือ r) ยกกำลังสอง สูตรที่ใช้คือ

$$R, r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (3.13)$$

เมื่อ R, r : Correlation coefficient

ดังนั้น R^2 (Coefficient of determination) = (Correlation coefficient) 2 โดย $0 \leq R^2 \leq 1$

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ยังมีค่าเข้าใกล้ 1 มากเพียงใด แสดงว่าสมการประมาณค่านี้อธิบายค่าของตัวแปรตามได้ดี เนื่องจากตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าสมการนี้อธิบายค่าของตัวแปรตามได้ไม่ดี หรือสัมพันธ์กันน้อย [29]

3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้สถิติ t-test ในกรณีที่ผู้วิจัยทำการทดลองและเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาทำการทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ประกอบด้วย สมมติฐานหลัก (H_0) และสมมติฐานรอง (H_1) ซึ่งในการทดสอบนี้ผู้วิจัยจำเป็นต้องพิจารณาก่อนว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มเป็นอิสระจากการหรือไม่ เพื่อเลือกใช้สูตรของสถิติทดสอบได้ถูกต้อง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาอีกว่า ความแปรปรวนของประชากรของกลุ่มตัวอย่างเท่ากันหรือไม่ โดยใช้ F-test เพื่อจะได้เลือกใช้สูตรของ t-test ได้อย่างเหมาะสม ดังนี้

$$F = \frac{s_{max}^2}{s_{min}^2} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (3.14)$$

โดยที่ $df_1, v_1 = n_1 - 1$ และ $df_2, v_2 = n_2 - 1$

เมื่อ n_1 : จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า S^2 มีค่ามาก

n_2 : จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า S^2 มีค่าน้อย

df, v : ระดับความเป็นอิสระของการผันแปร (Degree of freedom)

3.1 กรณีกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระกัน (Independent Samples) เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาด n_1 และ n_2 มา โดยที่มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ย \bar{x}_1 และ \bar{x}_2 ความแปรปรวน s_1^2 และ s_2^2 ซึ่งไม่ทราบค่า แต่ทราบว่า $s_1^2 = s_2^2$ โดย $n_1, n_2 < 30$ ใช้สูตร t-test แบบ Pooled-variance

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}, \quad df, v = n_1 + n_2 - 2 \quad (3.15)$$

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3.16)$$

เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาด n_1 และ n_2 มา โดยที่มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ย \bar{x}_1 และ \bar{x}_2 ความแปรปรวน s_1^2 และ s_2^2 ซึ่งไม่ทราบค่า แต่ทราบว่า $s_1^2 \neq s_2^2$ โดย $n_1, n_2 < 30$ ใช้สูตร t-test แบบ Separated-variance

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad df, v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} \right)}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2} \right)}{n_2 - 1}} \quad (3.17)$$

3.2 กรณีกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระกัน (Paired Samples) กล่าวคือ ในกรณีที่ทำการศึกษามีลักษณะเป็นคู่กันหรือมีความสัมพันธ์กัน เช่น ฝาแฝด หรือคนกลุ่มเดียวแต่มีการทดสอบสองครั้ง เช่น ทดสอบก่อนการทดลองและทดสอบหลังการทดลอง ซึ่งจะใช้ค่าแจกแจง t-test แบบ Dependent-samples ดังนี้

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n(\sum D^2) - (\sum D)^2}{n-1}}}, \quad df, v = n - 1 \quad (3.18)$$

- เมื่อ
- t : ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาใน t-distribution
 - D : ความแตกต่างของข้อมูลแต่ละคู่
 - n : จำนวนคู่ของข้อมูล หรือจำนวนข้อมูล
 - $\sum D$: ผลรวมทั้งหมดของผลต่างของข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง
 - $\sum D^2$: ผลรวมของกำลังสองของผลต่างของข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง

การสรุปการตัดสินใจของการใช้สถิติ F-test และ t-test สามารถทำได้ โดยนำค่าสถิติจากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากตาราง (ค่าวิกฤติ) แล้วจึงจะตัดสินใจเกี่ยวกับผลทดสอบ โดยมีหลักพิจารณาคือ ถ้าสถิติที่คำนวณได้ตกอยู่ในขอบเขตค่าวิกฤติ (ค่าคำนวณ \geq ค่าวิกฤติ โดยไม่คิดเครื่องหมาย) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับสมมุติฐานรอง (H_1) นั่นคือ จะยอมรับสมมุติฐานการวิจัยตามที่ผู้วิจัยกำหนด แต่หากค่าสถิติที่คำนวณได้นั้นตกอยู่นอกขอบเขตของค่าวิกฤติ (ค่าคำนวณ $<$ ค่าวิกฤติ โดยไม่คิดเครื่องหมาย) จะยอมรับสมมุติฐานหลัก (H_0) ทั้งนี้ จะต้องบอกระดับนัยสำคัญทางสถิติในระดับ $P < 0.01$ หรือ $P < 0.05$ ด้วย [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R & R measurement system, GR&R) เป็นตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการวัด โดยผู้วิจัยจะต้องทำให้ค่า GR&R จากระบบการวัดนั้น ๆ ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ หากค่า GR&R ยิ่งสูงจะแสดงถึงความด้อยประสิทธิภาพของระบบการวัด ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการวัดไม่น่าเชื่อถือ และส่งผลโดยตรงต่อการตัดสินใจในการควบคุมกระบวนการผลิต การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ Repeatability และ Reproducibility [31, 32]

4.1 ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ความสามารถในการวัดซ้ำโดยใช้ผู้วัดคนเดียว (Fixed operator) ใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน วัดชิ้นงานเดียวกันหลายครั้ง เปรียบเทียบความสามารถของการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคนโดยพิจารณาจากค่าพิสัย (Range) ตามสมการ

$$Range_{AP} (R_{AP}) = \max(x_{AP}) - \min(x_{AP}) \quad (3.19)$$

เมื่อ x_{AP} : ข้อมูลจากการวัดแต่ละครั้งของผู้ทดลอง A ด้วยชิ้นงาน P
 A : ลำดับของผู้ทดลอง (r^{th} – Appraiser)
 P : ลำดับของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ (n^{th} – Part number)

การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคน หาได้จากค่าพิสัยเฉลี่ยระหว่างพิสัยของชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวน n ชิ้น ของผู้วัดคนนั้น ๆ

$$\bar{R}_A = \frac{\sum_{P=1}^n (R_{AP})}{n} = \frac{R_{A1} + R_{A2} + \dots + R_{An}}{n} \quad (3.20)$$

4.2 ความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ความสามารถในการทำซ้ำโดยใช้ผู้วัดหลายคนเพื่อวัดชิ้นงานเดียวกัน โดยใช้เครื่องมือวัดและวิธีการวัดชุดเดียวกัน นอกจากนี้การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดยังประกอบไปด้วยชนิดของความผันแปร 3 ชนิด ซึ่งถือเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการประเมินและสรุปผลของ GR&R ดังนี้

4.3 Equipment Variation (EV) เป็นค่าความผันแปรของเครื่องมือเกิดจากการวัดซ้ำหลายครั้งของชิ้นงานเดิม และผู้วัดคนเดิม สูตรที่ใช้ในการคำนวณเป็นดังนี้

$$EV = \bar{R} \times K_1 \quad (3.21)$$

$$\text{โดยที่} \quad \bar{R} = \frac{\sum_{A=1}^r (\bar{R}_A)}{r} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \dots + \bar{R}_r}{r} \quad (3.22)$$

เมื่อ \bar{R} : ค่าพิสัยเฉลี่ยรวมระหว่างผู้วัด จำนวน r คน
 K_1 : ค่าคงที่หนึ่ง ได้มาจากตารางสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ดังตาราง 3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ค่าคงที่ K_1 ซึ่งแปรผันตามจำนวนครั้งในการวัดซ้ำ

Number of trials	K_1
2	0.8862
3	0.5908

4.4 Appraiser Variation (AV) เป็นค่าความผันแปรของผู้วัด เกิดจากการสลับเปลี่ยนผู้วัด โดยใช้ชิ้นงานเดิมและเครื่องมือวัดเดียวกัน สามารถคำนวณค่าผันแปร AV ได้จาก

$$AV = \sqrt{(\bar{x}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}} \quad (3.23)$$

เมื่อ \bar{x}_{DIFF} : ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยรวมของข้อมูลทั้งหมดของผู้ทดลองคนที่มีค่ามากที่สุดกับน้อยที่สุด เช่น ในการทดลองหนึ่ง มีผู้ทดลองจำนวน 3 คน ค่าเฉลี่ยรวมของข้อมูลของผู้ทดลองแต่ละคนคือ $\bar{x}_A, \bar{x}_B, \bar{x}_C$ ตามลำดับ โดยที่ $\bar{x}_B < \bar{x}_A < \bar{x}_C$ ดังนั้น $\bar{x}_{DIFF} = \bar{x}_C - \bar{x}_B$

K_2 : ค่าคงที่หนึ่ง ได้มาจากตารางสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ดังตาราง 3.5)

n : จำนวนชิ้นงานที่นำมาทดสอบทั้งหมด

r : จำนวนผู้ทดลองทั้งหมด

ตารางที่ 3.5 ค่าคงที่ K_2 ขึ้นกับจำนวนผู้ทดลอง

Number of appraisers	K_2
2	0.7071
3	0.5231

ทั้งนี้ GR&R เป็นการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด ซึ่งประกอบด้วยความสามารถทางด้าน Repeatability โดยบ่งบอกได้จากการคำนวณค่าสถิติ EV และด้าน Reproducibility ซึ่งคำนวณด้วยค่าสถิติ AV จะได้ว่า

$$GRR \text{ (Gauge of Repeatability and Reproducibility)} = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (3.24)$$

4.5 Part Variation (PV) เป็นค่าความผันแปรระหว่างชิ้นงานหลายชิ้น หรือกล่าวได้ว่า ค่า PV บอกลถึงความแตกต่างระหว่างชิ้นงาน โดยสูตรคำนวณที่ใช้คือ

$$PV = R_p \times K_3 \quad (3.25)$$

โดยที่ R_p (Range of the part sample average) = $\max(\bar{x}_p) - \min(\bar{x}_p)$ (3.26)

- เมื่อ R_p : ค่าพิสัยระหว่างค่าเฉลี่ยรวมของข้อมูลในแต่ละชิ้นงานที่ได้จากการวัดโดยผู้วัดทุกคน
 P : ลำดับของชิ้นงานที่นำมาทดสอบจำนวน n ชิ้น
 K_3 : ค่าคงที่หนึ่ง ได้มาจากตารางสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ดังตาราง 3.6)

ตารางที่ 3.6 ค่าคงที่ K_3 ขึ้นกับจำนวนชิ้นงานที่นำมาทดสอบ

Number of appraisers	K_3
2	0.7071
3	0.5231
4	0.4467
5	0.4030
6	0.3742
7	0.3534
8	0.3375

ดังนั้น ภาพรวมของความผันแปร (Total Variation) ในระบบการวัดทั้งหมดที่ถูกนำวิเคราะห์ด้วย Gauge R & R measurement system (GR&R) ดังสมการที่ 3.25

$$TV(\text{Total Variation}) = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (3.27)$$

4.6 การประเมินผลความสามารถของระบบการวัด การประเมินผลนี้เป็นการนำค่าความผันแปรแต่ละชนิดที่ได้จากการคำนวณมาใช้สำหรับวิเคราะห์ความสามารถของระบบ โดยจะกล่าวถึง 2 คุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

4.6.1 เปอร์เซนต์ความผันแปรรวมของเครื่องมือกับผู้ทดลอง (%GRR) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ 3.26 จากนั้นนำค่า %GRR ที่คำนวณได้ไปวิเคราะห์ผลแล้วเทียบกับตารางที่ 3.7

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \times 100 \quad (3.28)$$

ตารางที่ 3.7 การประเมินผลความสามารถของระบบการวัด โดยใช้ค่าสถิติ %GRR
(AIAG General Guidelines of MSA Acceptability)

%GRR	Decision	Comment
< 10%	Acceptable	Recommended, especially useful when trying to sort or classify parts or when tightened process control is required
10% - 30%	Acceptable for some application	Decision should be based upon application, cost of measurement device, cost of repair, etc. Should be approved by the customer.
> 30 %	Unacceptable	Every effect should be made to improve the measurement system.

4.6.2 ความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของชิ้นงาน
(Number of distinct categories, ndc) สมการในการคำนวณ คือ

$$ndc = \frac{PV}{GRR} \times 1.41 \quad (3.29)$$

ตัวอย่างเช่น ถ้า ndc ที่คำนวณออกมาได้มีค่าเท่ากับ 6 หมายความว่า ในระบบการวัดนี้สามารถจำแนกความแตกต่างของกลุ่มข้อมูลออกมาได้ 6 กลุ่ม โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลสำหรับค่า ndc เป็นดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การประเมินผลความสามารถของระบบการวัด โดยใช้ค่าสถิติ ndc
(AIAG General Guidelines of MSA Acceptability)

ndc	Decision
1	Unacceptable. One part cannot be distinguished from another.
2 - 4	Generally unacceptable
≥ 5	Recommended

3.4.2 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลของการวิจัย อาศัยการศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ส่งเข้า (Input) กับผลลัพธ์ (Output) ซึ่งข้อมูลได้ถูกเก็บรวบรวมมาจากขั้นตอนการวัดและทดสอบความสามารถของเครื่องมือวิจัย โดยผู้ทดลองจำนวน 2 คน และเครื่องมือวิจัยจำนวน 5 ชุด ทั้งนี้เครื่องมือวิจัยแต่ละชุดจะถูกทดสอบที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์เท่ากับ 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC เทียบกับเครื่องตรวจวัดระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในลมหายใจมาตรฐาน ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง/ความเข้มข้น และผู้ทดลองทั้งสองจะต้องทดสอบเครื่องมือวิจัยให้ครบทั้งหมดสลับกัน ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

1. จัดแยกประเภทชุดข้อมูล โดยนำผลลัพธ์จากการทดสอบของผู้ทดลองแต่ละคนมาจัดเป็นชุด ๆ ตามระดับค่าความเข้มข้น BAC ซึ่งผู้ทดลองแต่ละคนจะมีชุดข้อมูลจำนวน 5 ชุด/ตัวต้นแบบ และในแต่ละชุดจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์จากการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ข้อมูล
2. วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด โดยนำชุดข้อมูลทั้งหมดของผู้ทดลองทั้งสองคน มาใช้ตรวจสอบความสามารถของระบบการวัดและเครื่องมือวัดด้วยวิธี Gauge R & R
3. นำข้อมูลแต่ละชุดของผู้ทดลองมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) เทียบกับค่าจริงที่ได้จากเครื่องตรวจวัดระดับความเข้มข้นแอลกอฮอล์มาตรฐานในชุดเดียวกัน จากนั้นตรวจสอบการกระจายของข้อมูลแต่ละชุดโดยใช้การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หากข้อมูลชุดใดมีการกระจายมาก กล่าวคือ ข้อมูลชุดนั้นมีความคลาดเคลื่อนสูง ไม่มีความน่าเชื่อถือ
4. วิเคราะห์ความถดถอยของข้อมูล โดยนำข้อมูลแต่ละชุดของผู้ทดลองทั้งสองที่ความเข้มข้น BAC เดียวกันมารวมกัน แล้วใช้เทคนิค Linear Regression เพื่อหาสมการการประมาณค่าในอนาคต
5. คำนวณความน่าเชื่อถือของสมการ Linear Regression ที่ได้ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2)
6. ทำการวัดและทดสอบอีกครั้งในช่วงเวลาที่ต่างกัน ด้วยวิธีการเดิม จากนั้นวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนที่ 1-3 โดยค่าของข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์จะถูกแทนเข้าไปในสมการ Linear Regression ซึ่งค่าของผลลัพธ์ที่ถูกแทนค่าแล้ว ควรจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าจริงจากเครื่องตรวจวัดมาตรฐาน
7. วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลระหว่างการวัดผลและทดสอบในครั้งปัจจุบันและครั้งก่อนหน้า ด้วยวิธี t-test โดยมีระดับนัยสำคัญทางสถิติในระดับ $P < 0.05$
8. ถ้าหากผลการวิเคราะห์ด้วย t-test มีความแตกต่างกันทางสถิติ ให้นำข้อมูลผลการวัดและทดสอบครั้งปัจจุบันไปวิเคราะห์ความถดถอยในขั้นตอนที่ 4-5 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสมการเดิมของครั้งก่อนหน้า เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ ผลกระทบ และหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการทดลองซ้ำเช่นเดิมตามขั้นตอนที่ 6-8 ตามลำดับ

บทที่ 4

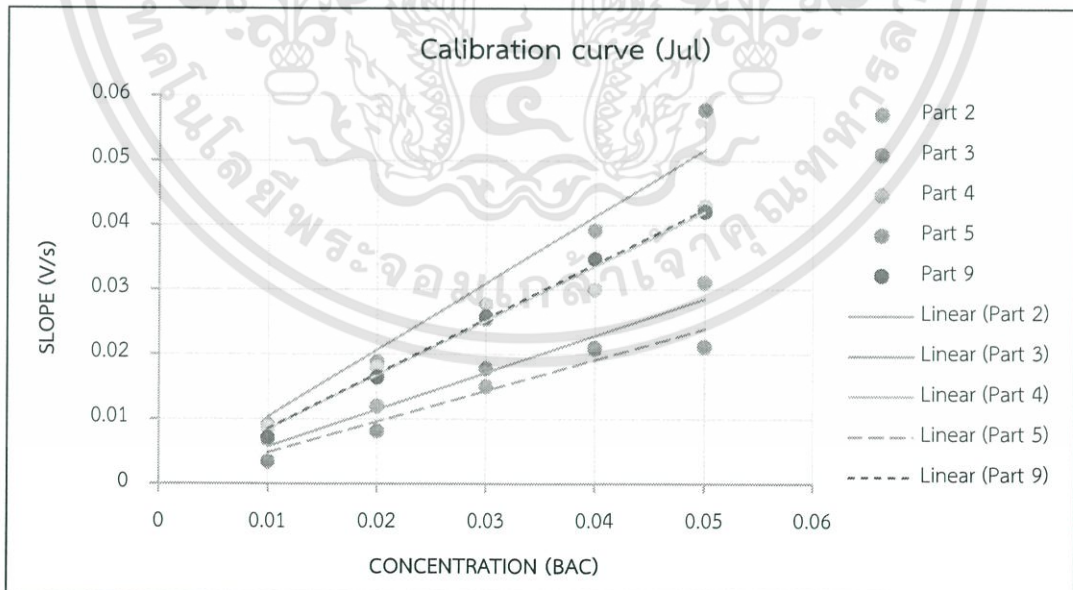
ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนในบทที่ 3 โดยรายละเอียดส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของเครื่องมือวิจัย เช่น การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือ (Linearity test) การทดสอบความสามารถในการทำซ้ำและความถูกต้องของผลการวัด (Repeatability and reproducibility test) เป็นต้น นอกจากนี้ยังกล่าวถึงผลการวิจัยและการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น รวมถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดในการวัดค่าของชุดตัวต้นแบบ ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

4.1 การทดสอบด้านคุณภาพของเครื่องมือ

4.1.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัย

การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุด โดยการวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์หาความชัน (Slope) แล้วพล็อตเป็นกราฟเพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ (BAC) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานในแนวแกน X และค่าความชัน (V/s) ที่วัดได้โดยเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุดในแนวแกน Y แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (BAC) กับค่าความชันของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุด (V/s)

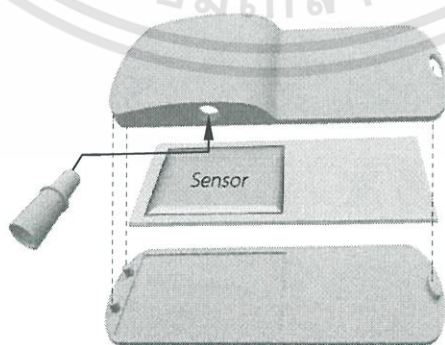
จากความสัมพันธ์ข้างต้น พบว่า การทดสอบความเป็นเชิงเส้นโดยการวัดค่าระดับ แอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ (BAC) ของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทั้ง 5 ชุด ให้ผลทดสอบที่เป็น สัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ภายในช่วงความเข้มข้นที่กำหนด ซึ่งสามารถคำนวณหา สมการมาตรฐาน (Calibration curve) ในรูปแบบ $y = mx$ เพื่อใช้อ้างอิงสำหรับการทดสอบในครั้ง ถัดไปได้ โดยอาศัยเทคนิค Least-squares method (Linear regression) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุด

Number of parts	$y = mx$	
	m	R^2
2	1.0333	0.8945
3	0.5717	0.9279
4	0.8396	0.8644
5	0.4634	0.7957
9	0.8492	0.9751

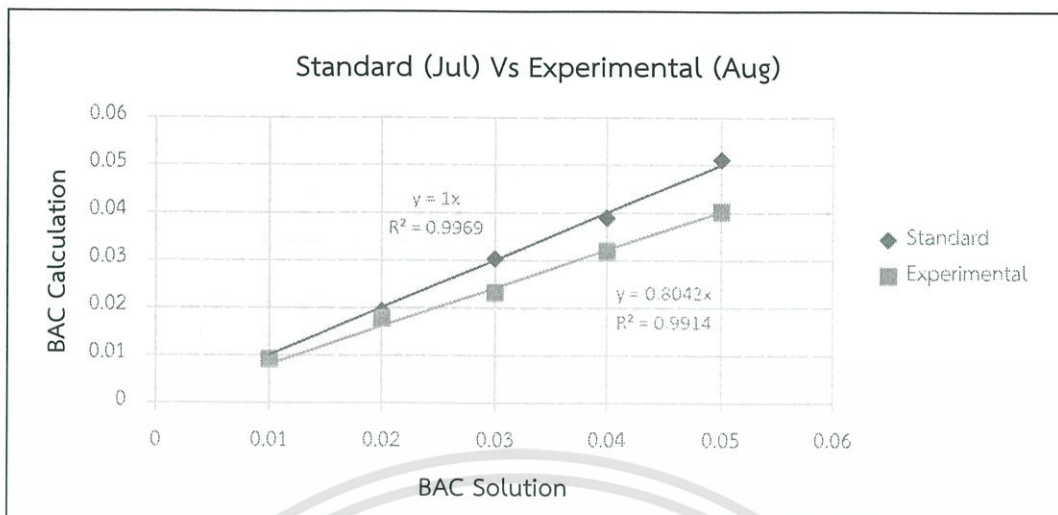
4.1.2 ผลการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำและความถูกต้องของผลการวัด

จากผลการทดสอบในข้อ 4.1 เพื่อให้เครื่องมือมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงได้นำเครื่องมือวิจัยดังกล่าวมาทำการทดสอบซ้ำซึ่งเว้นระยะการทดสอบในครั้งแรกเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการมาตรฐานตามตารางที่ 4.1 โดยการหาค่าความเข้มข้นของ สารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในแนวแกน X เทียบกับค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ ได้จากการคำนวณในแนวแกน Y สำหรับการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้คำนึงถึงการใช้งานในสภาวะจริงเพื่อให้ ได้สมการมาตรฐานที่ถูกต้องแม่นยำที่สุด จึงได้นำเครื่องมือแต่ละชุดมาใส่เคส (Case) ประกอบเข้ากับ ตัวเซนเซอร์ (รูปที่ 4.2) แล้วจึงทดสอบการใช้งานที่สภาพแวดล้อมปกติโดยมีอุณหภูมิและความชื้น สัมพัทธ์สูงกว่าในห้องทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 การประกอบเคสเข้ากับตัวเซนเซอร์ของเครื่องมือแต่ละชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์โดยเฉลี่ยของเครื่องมือทุกชุดที่คำนวณได้จากสมการมาตรฐานซึ่งถูกทดสอบในเดือนกรกฎาคม (Jul) เทียบกับค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์โดยเฉลี่ยของเครื่องมือทุกชุดในสารละลายที่วัดได้จากการทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในเดือนสิงหาคม (Aug)

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความชันของ Voltage output ที่วัดได้จากการทดสอบการใช้เครื่องมือในเดือนสิงหาคม (Aug) เทียบกับเดือนกรกฎาคม (Jul) โดยใช้วิธีทางสถิติ t-test ($\alpha=0.05$)

Slope	n	mean	S.D.	t	df	Sig (1-tailed)
Jul	5	0.0298	0.0003	2.7153	4	0.0266
Aug	5	0.0244	0.0001			

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ค่าความชันของ Voltage output ที่วัดได้จากการทดสอบการใช้เครื่องมือในเดือนสิงหาคม (Aug) มีค่าน้อยลงจากการทดสอบในเดือนกรกฎาคม (Jul) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่าสถิติทดสอบ $t(4) = 2.71, p < 0.05$

จากผลการทดสอบที่ได้กล่าวไปข้างต้น กล่าวได้ว่า คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นและความสามารถในการทดสอบซ้ำในช่วงเวลาเดียวกันของเครื่องมือวิจัยนี้สามารถยอมรับได้ แต่คุณสมบัติในด้านความถูกต้องของผลการวัดยังไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปเครื่องมือวิจัยนี้วัดค่าได้ลดลงหรือไม่เท่ากับค่าตามสมการมาตรฐานเดิม

4.2 การวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือวิจัยในหัวข้อ 4.1 ผู้วิจัยจึงได้ร่วมกันระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่อาจทำให้เครื่องมือวิจัยนี้ไม่สามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้องแม่นยำและคงที่ส่งผลให้ไม่สามารถนำเครื่องมือดังกล่าวมาทดสอบซ้ำได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ทั้งหมดนำเสนอผ่านแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and effect diagram) โดยคาดว่าสาเหตุที่สำคัญเกิดจาก 5 ส่วน ได้แก่ 1) ผู้ทดลอง 2) เครื่องมือวัด 3) วิธีการทดลอง 4) การวัดผล และ 5) สภาพแวดล้อม แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนผังแสดงเหตุและผล

จากรูปที่ 4.4 สาเหตุที่ส่งผลต่อความสามารถในการทดสอบซ้ำและความถูกต้องในการวัดค่าของเครื่องมือวิจัย และจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขในแต่ละส่วน มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 สาเหตุอันเกิดจากผู้ทดลอง

4.2.1.1 ความแม่นยำในการผสมสารละลาย

1 การอ่านปริมาตรของน้ำที่บรรจุในภาชนะด้วยสายตา เนื่องจากปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่ผสมลงในสารละลายมีปริมาตรน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำ ดังนั้นเมื่อน้ำมีปริมาตรคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย จึงอาจส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายผิดพลาดได้

4.2.1.2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลอง

1 ผู้ทดลองทำการทดลองวัดค่าได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากผู้ทดลองทั้ง 2 คนใช้โทรศัพท์ยี่ห้อและรุ่นที่แตกต่างกัน ทำการทดลองสลับกัน จึงมีโอกาสที่โทรศัพท์แต่ละเครื่องอาจจะอ่านค่าได้ไม่เท่ากัน หรืออาจเนื่องมาจากผู้ทดลองแต่ละคนมีความชำนาญไม่เท่ากัน ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน

2 จังหวะการใส่หลอดเป่า การใส่หลอดเป่าอากาศเข้าไปในปากท่อเป่าลม (Mouthpiece) มีการติดขัด เป็นเหตุให้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้มีการเป่าอากาศนั้นมีปริมาณอากาศที่ผ่านเข้ามายังเซนเซอร์น้อยกว่าปกติ ทำให้ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์มีค่าลดลง

3 การจับเวลา การจับเวลาเพื่อเริ่มเป่าอากาศเปล่านั้นเข้าไปยังเซนเซอร์ที่ไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง ส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าไปไม่เท่ากัน ผลที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อน

4.2.2 สาเหตุอันเกิดจากจากเครื่องมือวัด

4.2.2.1 ชุดทดลองยังไม่เหมาะสม

1 ตำแหน่งของท่อเป่าลมไม่สัมพันธ์กับรูเซนเซอร์ เนื่องจากตำแหน่งของ Mouthpiece กับรูทางเข้าอากาศ (input) ไปยังเซนเซอร์ไม่ตรงกัน อาจส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าไปในเซนเซอร์มีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากใน Mouthpiece ถูกออกแบบมาให้มีแผ่นกั้นขนาดเล็กเพื่อป้องกันของเหลวที่อาจไหลผ่านไปเข้ายังเซนเซอร์ (รูปที่ 4.5) เช่น น้ำลาย นอกจากนี้กลไกการเปิดและปิดแผ่นกั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศที่เป่าเข้าไป ดังนั้นหากตำแหน่งรูทางเข้าอากาศของเซนเซอร์ไม่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่อากาศสามารถผ่านได้อย่างเพียงพอ ปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าเซนเซอร์จะมีค่าน้อยกว่าปกติ ซึ่งจะส่งผลต่อการวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์โดยเครื่องมือวิจัยนี้ได้



2 วาล์วที่ใช้ปรับลม การใช้วาล์วปรับความเร็วลมที่เข้าสู่เซนเซอร์นั้นยังไม่เหมาะสม เนื่องจากในการทดลองจะใช้เครื่อง Air pump สำหรับเป่าอากาศเปล่านั้นเข้าสู่ขวดวัดปริมาตรที่บรรจุสารละลายแอลกอฮอล์ไว้ จากนั้นอากาศภายในขวดจะถูกดันออกมาตามท่อผ่าน Mouthpiece แล้วเข้าสู่เซนเซอร์ต่อไป ซึ่งในการทดลองจะมีวาล์วที่ใช้เปิดและปิดท่อทางเข้าและทางออกของอากาศในขวดวัดปริมาตร เพื่อใช้ในการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ให้คงที่ และป้องกันการระเหยออกสู่ภายนอก นอกจากนี้วาล์วปรับลมยังทำหน้าที่ในการปรับปริมาตรลมที่เข้า-ออกจากขวด อีกทั้งยังส่งผลต่อความเร็วลมของอากาศที่ผ่านเข้าไปในเซนเซอร์ โดยการทดลองนี้อากาศจากเครื่อง Air pump ที่เข้าสู่ขวดบรรจุสารละลายนั้นจะมีความเร็วของการไหล (Flow velocity) มาก เมื่ออากาศเข้าสู่ขวดจะเกิดภาวะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ดังรูปที่ 4.6 ทำให้อากาศที่ออกจากขวดมีความเร็วของการไหลลดลง ซึ่งความเร็วของการไหลออก

ของอากาศนี้จะส่งผลต่อการวัดค่าของเซนเซอร์ ดังนั้นหากมีการปรับหมุนวาล์วไม่เหมาะสม ก็จะมีผลต่อปริมาตรและความเร็วของการไหลของอากาศ เป็นผลให้ค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไป



รูปที่ 4.6 ทิศทางการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) [33]

3 สเกลบนขวดวัดปริมาตรไม่ละเอียด ทำให้ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการผสมสารละลายอาจไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.2.2 AlcoScan วัดค่าได้ไม่คงที่

1 AlcoScan วัดซ้ำแล้วได้ค่าไม่เท่าเดิม จากการทดลองเมื่อใช้เครื่องมือ AlcoScan นี้อย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดการเลื่อนของเครื่องมือ (Instrumental drift) ซึ่งหมายถึงความไม่เสถียรหรือการตอบสนองไม่คงที่ของเครื่องมือ เนื่องจากปัจจัยภายใน เช่น ตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้า ตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าหรือปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ทำให้การวิเคราะห์สารละลายเดียวกันที่เวลาต่างกันอาจให้ผลไม่เหมือนกัน [34]

2 AlcoScan ที่ใช้เป็นเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานในการทดลองนี้วัดค่าได้ไม่แม่นยำมากพอ เนื่องจากเครื่องมือมีค่าความละเอียด (Resolution) ในการวัดต่ำ โดยมีความละเอียดที่ 0.01 เท่านั้น

3 AlcoScan ไม่ได้รับการสอบเทียบมาตรฐาน โดยบริษัทผลิตเครื่องมือมีข้อเสนอให้นำเครื่องกลับไปสอบเทียบมาตรฐาน (Calibrate) เมื่อผ่านการใช้งานไปแล้ว 500 ครั้ง ซึ่งในการทดลองเมื่อใช้ใกล้ครบจำนวนครั้งที่ต้องนำส่งแล้ว พบว่าค่าที่วัดได้จากเครื่อง AlcoScan มีความคลาดเคลื่อนมาก ทำให้ผลการทดลองในช่วงระยะเวลานั้นอาจเกิดความผิดพลาดได้

4.2.2.3 เคสระบายไอของแอลกอฮอล์ได้ไม่ดี ซึ่งการทดลองในช่วงแรกเป็นการทดลองแบบเปิด ทำได้โดยการเป่าอากาศผ่านตัวเซนเซอร์ แล้วปล่อยให้อากาศแพร่ออกสู่ภายนอกอย่างอิสระ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองแบบเปิดนั้นมีความแตกต่างจากการทดลองเมื่อประกอบชุดทดสอบเข้ากับเคส เนื่องจากเคสจะปิดกั้นทางไหลออกของอากาศทำให้อากาศภายในระบายออกได้เพียงตำแหน่งรูที่ออกแบบไว้เท่านั้น เป็นเหตุให้เกิดการสะสมของไอแอลกอฮอล์ในเคส ส่งผลให้ค่าที่วัดได้จากตัวเซนเซอร์สูงขึ้น นอกจากนี้เซนเซอร์มีระยะเวลาในการกลับคืนสู่สภาวะปกติ (Recovery time) นานกว่าปกติ ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่วัดได้

4.2.3 สาเหตุอันเกิดจากวิธีการทดลอง

4.2.3.1 การผสมปริมาตรของสารละลายแอลกอฮอล์ วิธีการผสมปริมาตรสารละลายที่ใช้อาจจะยังไม่เที่ยงตรงมากพอ เนื่องจากอาศัยการเติมน้ำปริมาตร 150 mL ผสมกับแอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) ปริมาตร 50-250 μL ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นที่ต้องการ พร้อมทั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในผสมสารละลายมีความละเอียดไม่เพียงพอและยังไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นการผสมสารละลายเพื่อให้ได้ปริมาตรและความเข้มข้นที่เท่ากันทุกขวดทดลองจึงเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้ค่าที่วัดออกมาได้มีค่าแตกต่างกัน รวมถึงปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาสมการมาตรฐานนั้นไม่ใช่ค่าที่เป็นจุดเริ่มต้นของระดับแอลกอฮอล์ในเลือด (BAC) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ถ้าหากปริมาตรแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นค่าในช่วงกลางและปลายของระดับ BAC ก็จะส่งผลให้สมการมาตรฐานมีค่าความชันสูงชันกว่าปกติ และอาจทำให้เกิดการวิเคราะห์ผลที่ผิดพลาดได้

4.2.3.2 ทำการทดลองคนเดียว แม้ว่าการทำการทดลองเพียงคนเดียวเป็นการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผู้ทดลอง แต่ในกระบวนการทดลองนั้นจำเป็นต้องทำหลายขั้นตอนในเวลาเดียวกันซึ่งมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการทดลองเพียงคนเดียวจึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดระหว่างการทดลองได้

4.2.3.3 จำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำน้อยเกินไป อาจส่งผลให้ข้อมูลที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับค่าจริง ดังนั้นอาจเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ที่ได้หากนำข้อมูลที่มีการทดสอบซ้ำเพียงไม่กี่ครั้งมาใช้ประมาณค่า

4.2.3.4 เซนเซอร์และเคสไม่มีระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow rate) จากการเป่า ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าในการทดลองนั้นอากาศที่ผ่านเข้าไปในเซนเซอร์มีอัตราการไหลเท่าใด สามารถเทียบกับการเป่าในสถานการณ์จริงได้หรือไม่ ซึ่งเมื่อนำไปทดลองใช้ในสถานการณ์จริงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้

4.2.3.5 เวลาที่ใช้ในการเป่ายังไม่ถูกต้อง

1 จังหวะการใส่หลอดเป่า การใส่หลอดเป่าอากาศเข้าไปในปากท่อ Mouthpiece มีการติดขัด เป็นเหตุให้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้มีการเป่าอากาศนั้นมีปริมาตรอากาศที่ผ่านเข้ามายังเซนเซอร์น้อยกว่าปกติ ทำให้ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์มีค่าลดลง

2 การจับเวลา การจับเวลาเพื่อเริ่มเป่าอากาศเปล่าเข้าไปยังเซนเซอร์ที่ไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง ส่งผลให้ปริมาตรอากาศที่ผ่านเข้าไปไม่เท่ากัน ผลที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อน

4.2.4 สาเหตุอันเกิดจากการวัดผล

4.2.4.1 จุดที่ใช้ในการตรวจสอบ Slope ยังไม่ดีที่สุด จากการทดลองยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า จุดที่เลือกมาใช้ในการคำนวณนั้นเป็นจุดที่ดีที่สุด เนื่องจากจำนวนครั้งของการทดสอบซ้ำนั้นน้อยเกินไป

4.2.4.2 เซนเซอร์ใช้เวลาในการ Recovery ที่ค่อนข้างนานและยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการประกอบเคสเข้ากับตัวเซนเซอร์ ทำให้มีการสะสมหรือตกค้างของไอแอลกอฮอล์ภายใน เคส ส่งผลให้เกิดการอิมตัวของเซนเซอร์ เป็นเหตุให้การใช้งานในสถานการณ์จริงจึงไม่สามารถนำมา วัดซ้ำได้อย่างต่อเนื่อง

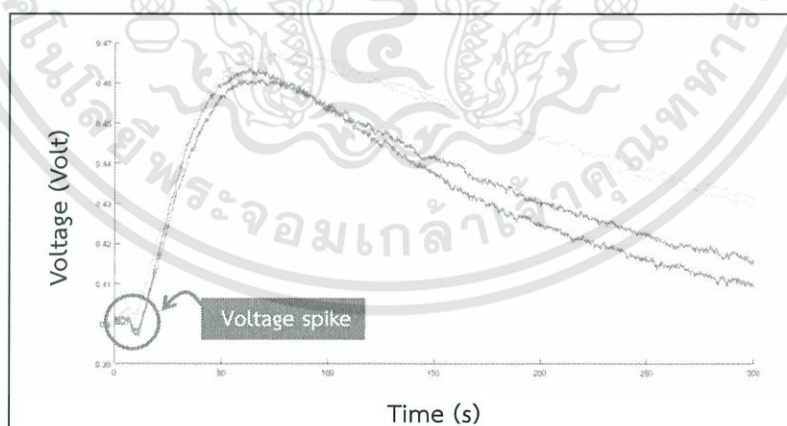
4.2.4.3 วิธีการตรวจสอบว่ามีการเป่าอากาศหรือไม่ ยังไม่เหมาะสม

1 เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า Baseline ในแอปพลิเคชันมีวิธีตรวจสอบ การเป่าอากาศ โดยอาศัยการคิดจากค่าของ Baseline รวมกับ Voltage input ที่ใส่เข้าไป ค่าที่ได้จะเป็นตัวตัดสินว่ามีการเป่าอากาศเกิดขึ้นหรือไม่ หากค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ณ เวลาที่ต้องการ ตรวจสอบมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ จะถือว่ามีการเป่า แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณค่าความ เข้มข้นของแอลกอฮอล์ต่อไป โดยที่เซนเซอร์แต่ละตัวจะมีค่า Baseline แตกต่างกันและจะถูกเก็บ บันทึกลงไว้ก่อนเพื่อความสะดวกในการเรียกใช้และตรวจสอบค่า ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อมีการใช้ เซนเซอร์ไปได้ระยะหนึ่ง ค่า Baseline ของเซนเซอร์จะลดลง ทำให้ค่าของตัวแปรที่กำหนดไว้สำหรับการ วิเคราะห์ที่เงื่อนไขบนแอปพลิเคชันมีค่าสูงกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดใน กระบวนการทำงานของแอปพลิเคชัน

4.2.5 สาเหตุอันเกิดจากสภาพแวดล้อม

4.2.5.1 อุณหภูมิ เนื่องจากเซนเซอร์ที่ใช้ในการวิจัยมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมิ โดยที่เซนเซอร์นี้มีสภาวะเหมาะสมต่อการทำงานในช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง 40 °C [25]

4.2.5.2 ความชื้น การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์อย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิด Voltage spike บน Baseline (รูปที่ 4.7) จากการวัดค่าของเซนเซอร์นี้ได้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเกิด Voltage spike บน Baseline ของเซนเซอร์

4.3 แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข

จากการพิจารณาหาสาเหตุของปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อความผิดพลาดในการวัดค่าที่เกิดขึ้นในหัวข้อที่ 4.2 ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการปรับปรุงและแก้ไข โดยแบ่งตามสาเหตุหลักที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดออกเป็น 5 ปัญหาหลัก (ดังตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเลือกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันและลดความผิดพลาดในการทดสอบเครื่องมือวิจัยได้ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขของปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข
คน	1 ความแม่นยำในการผสมสารละลาย	1.1, 2.1 ให้ผู้ทดลองเป็นตัวแปรควบคุม
	2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลอง	กำหนดและแบ่งหน้าที่เฉพาะให้แก่ผู้ทดลองทั้งสองในการทดสอบเครื่องมือร่วมกัน เพื่อให้เกิดเป็นมาตรฐานเดียวกันและมีความแม่นยำในการทดลองมากที่สุด
เครื่องมือวัด	1 ชุดทดลองยังไม่เหมาะสม	1.1 ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์จำลองเสมือนการใช้งานในสถานการณ์จริง เช่น การใส่เคสและ Mouthpiece 1.2 เลือกใช้อุปกรณ์การทดลองที่มีมาตรฐานและความแม่นยำสูง เพื่อให้ได้ผลที่เที่ยงตรงและแม่นยำในทุก ๆ ครั้ง
	2 AlcoScan วัดค่าได้ไม่คงที่	2.1 ทำการสอบเทียบเครื่องมือเมื่อครบจำนวนครั้งตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต
	3 เคสระบายไอของแอลกอฮอล์ได้ไม่ดี	3.1 ออกแบบเคสให้มีความสามารถในการระบายอากาศออกได้มากที่สุด โดยคำนึงถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซนเซอร์ในการใช้งานจริง เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวเซนเซอร์
วิธีการทดลอง	1 การผสมปริมาตรของสารละลายแอลกอฮอล์	1.1 ใช้อุปกรณ์การวัดปริมาตรที่มีความละเอียดสูง กำหนดปริมาตรของสารละลายให้ชัดเจน เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารละลาย 1.2 หาช่วงความกว้าง (Range) ของระดับ BAC ที่วัดได้เทียบกับปริมาตรแอลกอฮอล์ที่ใช้ เพื่อกำหนดเป็นช่วงปริมาตรที่จะใช้ในการทดสอบ ณ ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขของปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข
วิธีการทดลอง	2 ทำการทดลองคนเดียว	2.1 ควรทำการทดลองร่วมกัน พร้อมทั้งกำหนดและแบ่งหน้าที่เฉพาะให้แก่ผู้ทดลองทั้งสองในการทดสอบเครื่องมือร่วมกัน เพื่อให้เกิดเป็นมาตรฐานเดียวกันและมีความแม่นยำในการทดลองมากที่สุด
	3 จำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำน้อยเกินไป	3.1 ทดลองซ้ำมากขึ้น เพื่อหาแนวโน้มและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของการทดลองในแต่ละความเข้มข้น สำหรับนำไปประกอบการวิเคราะห์และสรุปผลในการเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมในการคำนวณ
	4 เซนเซอร์และเคสไม่มีระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ	4.1 เลือกใช้เซนเซอร์ที่มีการกำหนดอัตราเร็วของการไหลต่ำสุด (Minimum flow velocity) เพียงพอต่อการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศที่เป่าเข้ามาในเซนเซอร์เมื่อใช้ในสถานการณ์จริงได้ 4.2 มีระบบตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ
	5 เวลาที่ใช้ในการเป่ายังไม่ถูกต้อง	5.1 กำหนดและแบ่งหน้าที่เฉพาะให้แก่ผู้ทดลองทั้งสองในการทดสอบ เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันและมีความแม่นยำในการทดลองมากที่สุด
การวัดผล	1 จุดที่ใช้ในการตรวจสอบ Slope ยังไม่ดีที่สุด	1.1 ทดลองซ้ำมากขึ้น เพื่อหาแนวโน้มของเวลาที่เหมาะสม สำหรับนำมาคิดค่า Slope ของกราฟ โดยดูที่ค่า SD
	2 เซนเซอร์ในเวลาในการ Recovery ที่ค่อนข้างนานและยังไม่สมบูรณ์	2.1 ออกแบบเคสให้อากาศสามารถระบายออกสู่ภายนอกได้มากที่สุด หรืออยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้
	3 วิธีการตรวจสอบว่ามีการเป่าอากาศยังไม่เหมาะสม	3.1 เปลี่ยนวิธีตรวจสอบ โดยเก็บค่า Baseline ของเซนเซอร์ใหม่ทุกครั้ง แล้วนำไปคำนวณตามเงื่อนไขที่กำหนด หากค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ จะถือว่าเป็นจริง (มีการเป่าเกิดขึ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขของปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข
สภาพ-	1 อุณหภูมิ	1.1, 2.1 ควบคุมการทดลองให้อยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเซนเซอร์ และทำการทดลองในสถานที่เดิม สภาวะเดิม เพื่อควบคุมปัจจัยด้านอุณหภูมิและความชื้น
แวดล้อม	2 ความชื้น	

4.4 การดำเนินงานตามแนวทางการปรับปรุงและแก้ไข

จากการดำเนินการทดลองตามแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตามตารางที่ 4.3 จึงได้นำผลการทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลการทดลองก่อนการปรับปรุง ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

4.4.1 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

จากปัญหาเรื่องความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองของผู้ทำการทดลอง เนื่องจากมีผู้ทดลองจำนวน 2 คน ใช้โทรศัพท์ที่มียี่ห้อและรุ่นแตกต่างกัน ทำการทดลองสลับกัน ซึ่งมีโอกาสที่ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Gauge R & R measurement system (GR&R) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัยโดยศึกษาคุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวิจัย แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8

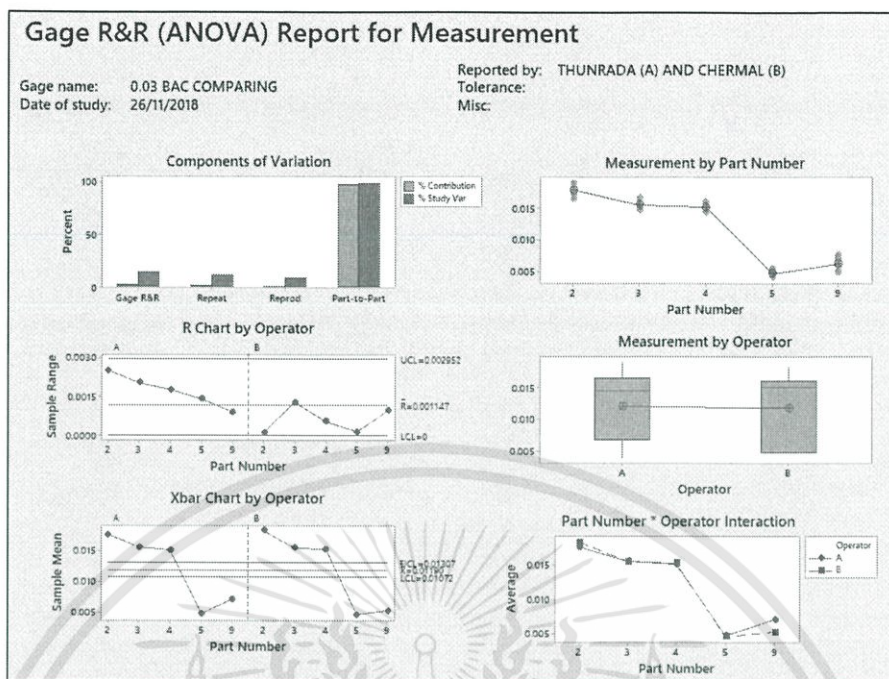
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวิจัย

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0008940	0.0053643	14.63
Repeatability	0.0006984	0.0041906	11.43
Reproducibility	0.0005581	0.0033488	9.13
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00
Operator * Part Number	0.0005581	0.0033488	9.13
Part-To-Part	0.0060440	0.0362642	98.92
Total Variation	0.0061098	0.0366588	100.00

Number of Distinct Categories (ndc) = 9

* P-value < 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



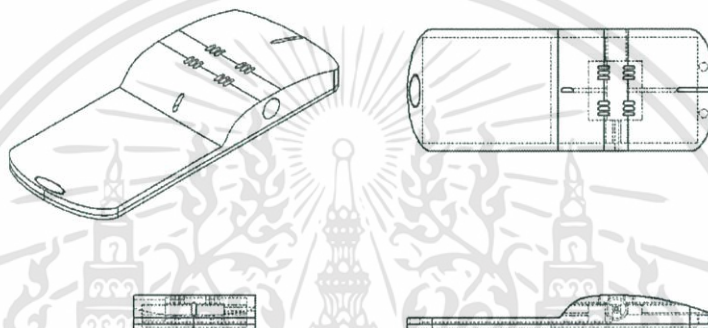
รูปที่ 4.8 กราฟวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวัด

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าความผันแปรจากระบบการวัด (GR&R) เท่ากับ 0.0053643 V/s หรือคิดเป็น 14.63% ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ แต่อาจมีปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาด ($P < 0.05$) โดยค่า Repeatability เท่ากับ 11.43% และ Reproducibility เท่ากับ 9.13% แสดงว่า ระบบการวัดนี้มีความผันแปรเกิดขึ้นในการทดสอบซ้ำ 11.43% ซึ่งอาจยอมรับได้ แต่อาจเกิดความผิดพลาดได้จากปัจจัยอื่น ๆ ($P < 0.05$) และความผันแปรจากการสลับผู้ทดลอง 9.13% ซึ่งยอมรับได้ โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการวัด ($P < 0.05$)

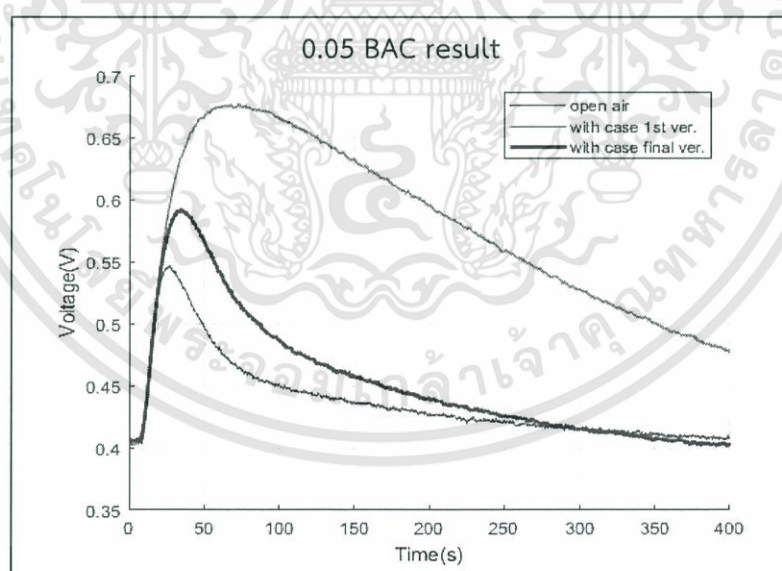
จากรูปที่ 4.8 เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (Xbar Chart by Operator) พบว่าระบบการวัดมีความไวในการแยกแยะความแตกต่างของชิ้นงาน และสอดคล้องกับค่า ndc ที่มีค่าเท่ากับ 9 ซึ่งมากกว่าค่าแนะนำ ($ndc \geq 5$) สำหรับแผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart by Operator) พบว่าค่าพิสัยจากการทดลองทั้งหมดอยู่ภายในช่วงพิกัดควบคุม แสดงว่า ค่าที่วัดได้จากระบบการวัดไม่มีความผันแปรจากผู้ทดลองหรือมีน้อยมากซึ่งไม่กระทบต่อระบบการวัด และเมื่อพิจารณาจากแผนภาพแบบกล่อง (Measurement by Operator) พบว่าผู้ทดลองทั้งสองคนมีค่าวัดที่แตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานและผู้ทดลอง (Part Number * Operator Interaction) ที่มีลักษณะของเส้นกราฟที่เกือบซ้อนทับกัน แสดงว่าเมื่อวัดชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป ผู้ทดลองทั้งสองสามารถวัดชิ้นงานได้ใกล้เคียงกัน

4.4.2 การทดสอบและปรับปรุงค่า Recovery time ของเครื่องมือ

จากปัญหาเรื่องเซนเซอร์ใช้เวลาในการ Recovery ที่ค่อนข้างนานและยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการประกอบเคสเข้ากับตัวเซนเซอร์ ทำให้มีการสะสมหรือตกค้างของไอแอลกอฮอล์ภายในเคส ตามแนวทางที่กล่าวไว้ในตารางที่ 4.3 จึงได้มีการออกแบบเคสให้มีความสามารถในการระบายอากาศออกได้มากที่สุด โดยคำนึงถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซนเซอร์ในการใช้งานจริง เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวเซนเซอร์ เช่น น้ำ และฝุ่นละอองจากภายนอก โดยออกแบบให้มีช่องระบายอากาศหลายตำแหน่งทั้งด้านบนและด้านข้าง (รูปที่ 4.9) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการระบายอากาศของเซนเซอร์ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงได้ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 โครงสร้างเคสแบบ 2 เมตร ภายหลังจากการปรับปรุงและแก้ไขตามแนวทางที่กำหนด

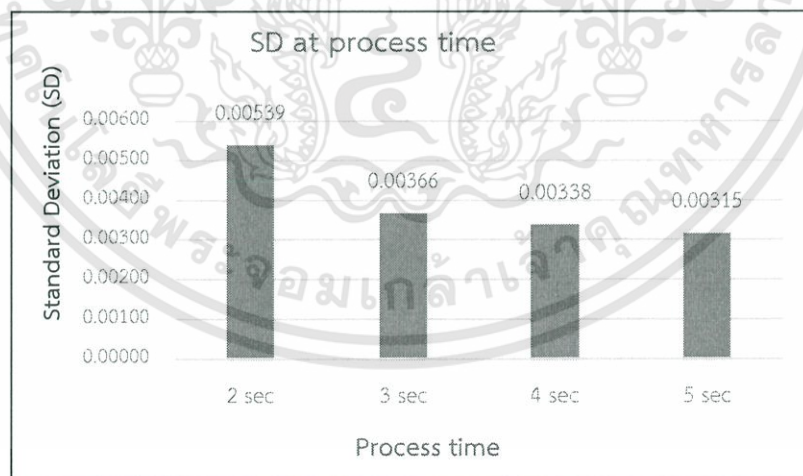


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ความเข้มข้น 0.05 BAC เมื่อใช้เครื่องมือวิจัยทำการทดลองโดยไม่ใส่เคสหรือ Open air (น้ำเงิน) และใส่เคสทั้งก่อนการปรับปรุง (แดง) และหลังปรับปรุง (ดำ)

จากรูปที่ 4.10 จะพบว่า ก่อนการปรับปรุงการออกแบบ เครื่องมือวิจัยจะใช้เวลาในการกลับคืนสู่สภาวะปกติที่ค่อนข้างนาน (กราฟเส้นสีแดง) เมื่อเทียบกับการทดลองโดยไม่ใส่เคส (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) หากนำไปใช้ในสถานการณ์จริงซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้งานอย่างต่อเนื่อง อาจไม่สามารถใช้งานกับเครื่องมือวิจัยนี้ได้ เนื่องจากผู้ใช้งานจำเป็นต้องรอให้ไอของแอลกอฮอล์ที่ค้างอยู่ภายในเคส ระบายออกให้มากที่สุดก่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบเคสสำหรับการใช้งานใหม่ ซึ่งผลการทดลองโดยใช้เคสใหม่ภายหลังการปรับปรุง (กราฟเส้นสีดำ) แสดงให้เห็นว่า เครื่องมือวิจัยสามารถใช้เวลาในการกลับคืนสู่สภาวะปกติได้เร็วขึ้น เมื่อเทียบกับการทดลองโดยใช้เคสก่อนปรับปรุง ทั้งนี้ก็ยังไม่สามารถใช้เวลาได้รวดเร็วเท่ากับสภาวะที่ไม่ใส่เคส แต่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

4.4.3 การทดสอบการหาตำแหน่งเวลาที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้น BAC

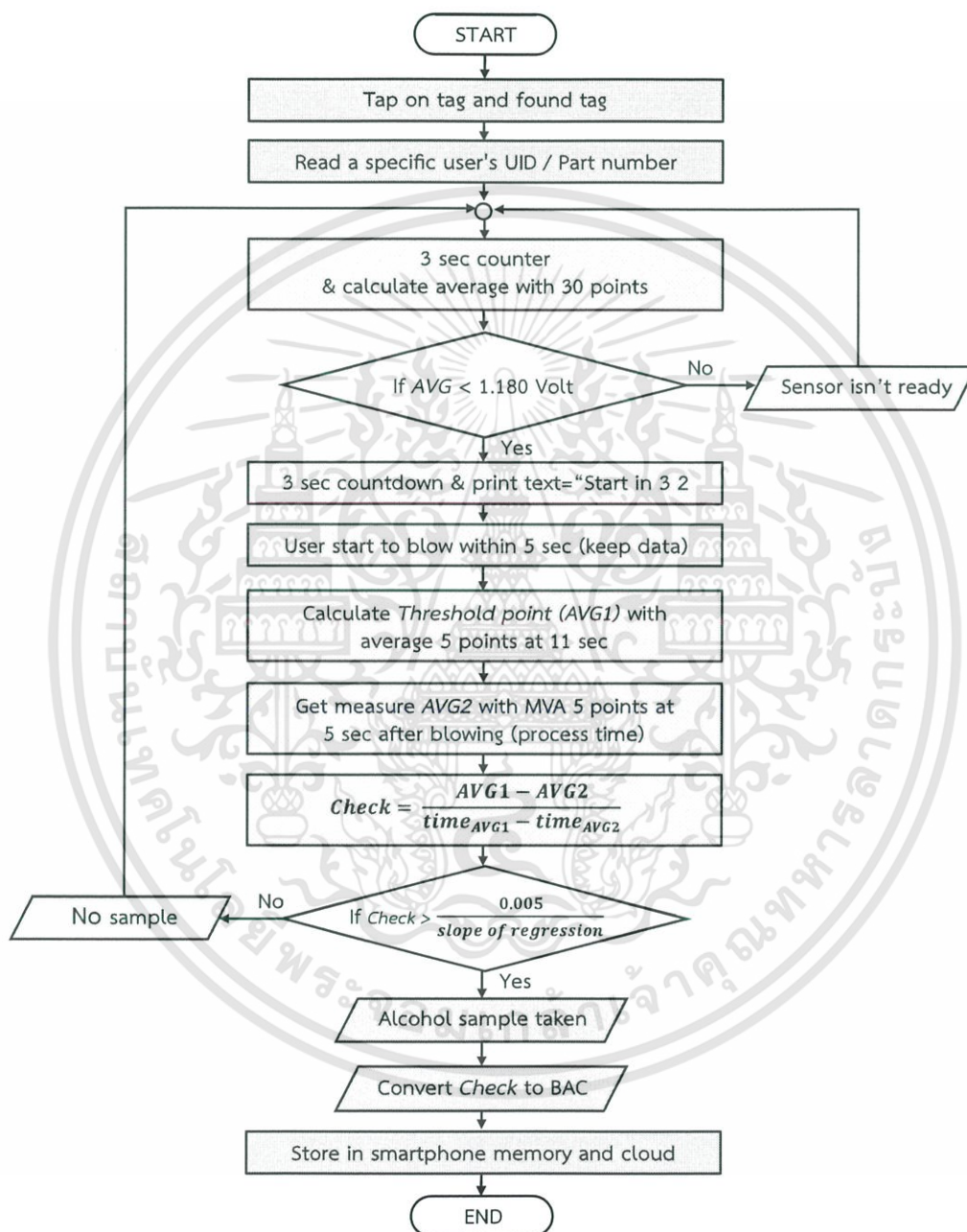
จากปัญหาเรื่องตำแหน่งของเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่า Slope ที่ยังไม่ดีที่สุด พร้อมทั้งจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำที่น้อยเกินไปจึงทำให้ไม่สามารถสรุปตำแหน่งที่เหมาะสมในการคำนวณค่าดังกล่าวได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้เพิ่มจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำมากขึ้น เพื่อให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จากนั้นจึงนำผลการทดสอบที่ได้มาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เพื่อเปรียบเทียบความเบี่ยงเบนของข้อมูลที่ตำแหน่งเวลา 2,3,4 และ 5 วินาที ภายหลังจากที่ผู้ทดลองหยุดเป่า (ดังรูปที่ 4.11) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่ตำแหน่งเวลา 5 วินาที มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดเท่ากับ 0.00315 แสดงว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดในตำแหน่ง 5 วินาทีนี้มีการกระจายน้อยที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตำแหน่งเวลาที่ 5 วินาทีสำหรับการประมวลผลต่อไป



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัด ณ ตำแหน่งเวลาต่าง ๆ

4.4.4 การปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานในการวิเคราะห์และแสดงผลบนแอปพลิเคชัน

จากปัญหาเรื่องวิธีการตรวจสอบว่ามีการเป่าอากาศยังไม่เหมาะสมนั้น จึงได้มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการคิดวิเคราะห์และแสดงผลบนแอปพลิเคชันใหม่ (รูปที่ 4.12) เพื่อให้ระบบการวัดสามารถทำงานตามเงื่อนไขและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



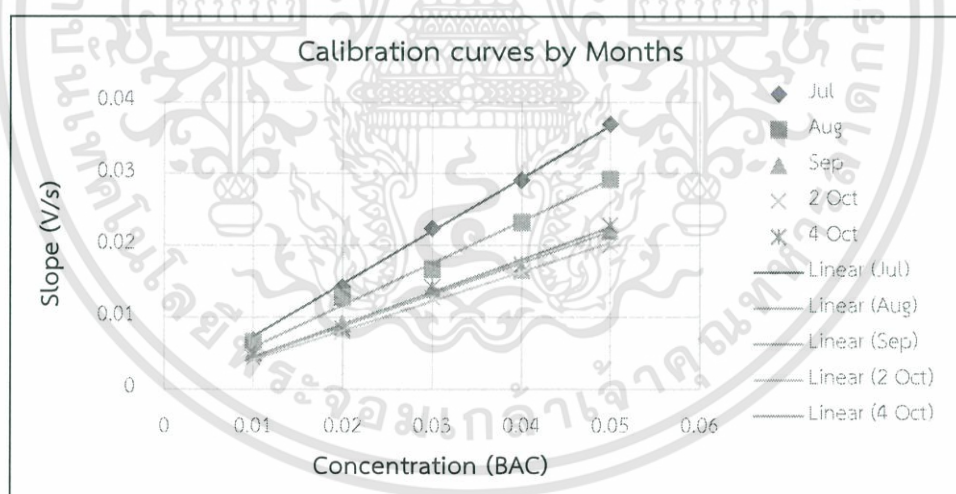
รูปที่ 4.12 ผังงานแสดงกระบวนการวิเคราะห์และแสดงผลที่ใช้ในการวิจัย

4.5 ผลการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องมือ

จากการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตามแนวทางที่กำหนดไว้ข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้นำเครื่องมือที่ทำการปรับปรุงแล้วมาทดลองซ้ำ โดยใช้วิธีการทดลองเดิม แบบเดียวกันและทดลองในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวิจัย ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ที่ได้จากการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ตุลาคม

ระยะเวลา	$y = mx$	
	m	R ²
กรกฎาคม (Jul)	0.7333	0.9987
สิงหาคม (Aug)	0.5839	0.9921
กันยายน (Sep)	0.4388	0.9896
2 ตุลาคม (2 Oct)	0.4071	0.996
4 ตุลาคม (4 Oct)	0.4502	0.9922



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (BAC) กับค่าความชันโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุด (V/s) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ตุลาคม

จากการทดลองข้างต้น พบว่าความชันของสมการมาตรฐานมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนลักษณะการทดลองให้มีความแตกต่างกัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ โดยมีรายละเอียดการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงรายละเอียดการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ตุลาคม

วันที่ทำการทดลอง	รูปแบบการทดลอง
กรกฎาคม	<ol style="list-style-type: none"> การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำปริมาตร 150 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) ปริมาตร 50, 100, 150, 200 และ 250 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ ไมใส่เคส ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่ (25 °C)
สิงหาคม	<ol style="list-style-type: none"> ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณแอลกอฮอล์ที่เป็นจุดเริ่มต้นของระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (BAC) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำปริมาตร 150 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) ปริมาตร 50, 100, 150, 200 และ 250 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ ใส่เคส ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่
กันยายน	<ol style="list-style-type: none"> ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณแอลกอฮอล์ที่เป็นจุดเริ่มต้นของระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (BAC) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำปริมาตร 300 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) ปริมาตร 80, 130, 210, 250 และ 360 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ ใส่เคส ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ (28-30 °C, RH 50-73 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงรายละเอียดการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ตุลาคม (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	รูปแบบการทดลอง
2 ตุลาคม	<ol style="list-style-type: none"> 1. การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำปริมาตร 300 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) ปริมาตร 80, 130, 225, 280 และ 370 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ 3. ใส่เคส 4. ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ (28-29 °C, RH 68-77 %) 5. ทำการ Clear sensor โดยการเป่าอากาศเปล่าผ่านเข้าไปยังผิวหน้าของเซนเซอร์เป็นเวลา 30 วินาที
4 ตุลาคม	<ol style="list-style-type: none"> 1. การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำปริมาตร 300 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) 80, 135, 240, 280 และ 285 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ 3. ใส่เคส 4. ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ (29-30 °C, RH 57-59 %) 5. กำจัดความชื้นที่อาจตกค้างอยู่ภายในเซนเซอร์ โดยใช้ซิลิกาเจลดูดความชื้นเป็นเวลา 1 คืน

จากการทดลองข้างต้น พบว่าค่าความชื้นของสมการมาตรฐานเดือนกรกฎาคมมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากในการผสมสารละลาย ปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่ใช้ไม่ใช่ค่าที่เป็นค่าเริ่มต้นของระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (BAC) ที่วัดได้ ซึ่งหากปริมาตรแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นค่าในช่วงกลางหรือปลายของระดับ BAC จะส่งผลให้สมการกราฟมาตรฐานมีค่าความชื้นสูงกว่าปกติ

การทดลองในช่วงเดือนสิงหาคม เป็นการนำเครื่องมือมาทดสอบซ้ำเพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการมาตรฐานของเดือนกรกฎาคม พบว่าค่าความชื้นของสมการมาตรฐานของเดือนสิงหาคมมีค่าลดลงจากเดือนกรกฎาคม เนื่องจากการหาปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นของระดับ BAC ในการทดลอง พร้อมทั้งคำนึงถึงการใช้งานในสภาวะจริงที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง ซึ่งทำการทดลองโดยใส่เคสประกอบเข้ากับเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงเว้นระยะการทดลองไว้ 1 เดือน และทดลองใหม่อีกครั้งในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าในห้องทดลอง พบว่าค่าความชื้นของสมการมาตรฐานของเดือนกันยายนมีค่าลดลงจากเดือนสิงหาคม และมีการหาปริมาณแอลกอฮอล์ที่เป็นค่าจุดเริ่มต้นของระดับ BAC ในการทดลองใหม่ เนื่องจากผู้วิจัยได้เพิ่มปริมาณน้ำในการผสมสารละลายเป็น 300 mL และใส่เคสที่ปรับปรุงให้มีความสามารถในการระบายไอของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ภายในเซนเซอร์ที่ต่ำกว่าเคสแบบเดิม จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ค่าความชื้นลดลง ซึ่งจากผลการทดลองที่กล่าวในตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความชื้นของสมการมาตรฐานทั้ง 3 เดือนมีค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าอาจเกิดจากการออกแบบเคส โดยเมื่อประกอบเข้ากับเซนเซอร์แล้ว ทำให้ตำแหน่งของรู (เคส) ที่เป่าอากาศกับรูที่เข้าสู่เซนเซอร์ไม่ตรงกัน ส่งผลให้อากาศที่ผ่านเข้ามายังเซนเซอร์มีปริมาณน้อยกว่าปกติ หรืออาจเกิดจากผิวหน้าของเซนเซอร์ที่ไม่สะอาด มีการปนเปื้อน หรือมีการประกอบแอลกอฮอล์ตกค้างอยู่ภายในเคส จึงทำให้ความชื้นมีค่าลดลง

การทดลองวันที่ 2 เดือนตุลาคม จากสมมติฐานที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบอีกครั้งโดยการเป่าอากาศเปล่าผ่านเข้ามายังเซนเซอร์เป็นเวลา 30 วินาที และทดลองแบบไม่ใส่เคส พบว่าค่าความชื้นของสมการมาตรฐานของวันที่ 2 เดือนตุลาคม มีค่าลดลง เนื่องจากไม่ใส่เคส จึงทำให้อากาศที่ผ่านเข้าเซนเซอร์สามารถแพร่กระจายออกได้ทุกทิศทางด้วยระยะเวลาที่รวดเร็ว ต่างจากการใส่เคสที่อากาศจะถูกระบายออก ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้เท่านั้น ส่วนการเป่าอากาศเปล่าผ่านผิวหน้าเซนเซอร์เพื่อทำความสะอาดสารประกอบของแอลกอฮอล์ที่อาจตกค้างภายในนั้น ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนนัก จึงตั้งสมมติฐานว่าความชื้นที่ตกค้างอยู่ภายในเซนเซอร์มีผลต่อการลดลงของความชื้นของสมการมาตรฐาน

หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบโดยนำเซนเซอร์ใส่ในซิลิกาเจลเป็นเวลา 1 คืน เพื่อดูดความชื้นออก และนำไปทดลองโดยใส่เคสเช่นเดิม พบว่าหลังจากดูดความชื้นออกค่าความชื้นของสมการมาตรฐานของวันที่ 4 เดือนตุลาคมมีค่าสูงขึ้นกว่าความชื้นของเดือนกันยายนและวันที่ 2 เดือนตุลาคมแบบไม่ใส่เคส จึงตั้งสมมติฐานว่าการใส่เคสมีผลทำให้ความชื้นของสมการมาตรฐานสูงขึ้น ส่วนความชื้นที่ตกค้างในเซนเซอร์เป็นผลให้ความชื้นของสมการมีค่าลดลง

4.5.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดลงของความชื้น

แม้ว่าจะมีการวิเคราะห์หาปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อการวัดค่าทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไขแล้ว แต่ความชื้นของสมการมาตรฐานนั้นยังคงมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าการลดลงของความชื้นเกิดจากการทำงานของเซนเซอร์ ซึ่งมีปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการลดลงของค่าความชื้น ดังนี้

4.5.1.1 เวลาและจำนวนครั้งในการใช้งาน

จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป เครื่องมือวิจัยถูกใช้งานมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชันของสมการมาตรฐานมีค่าลดลงอย่างชัดเจน แต่ในการทดลองที่ช่วงเวลาใกล้เคียงกันจะมีค่าความชันของสมการไม่แตกต่างกันนัก

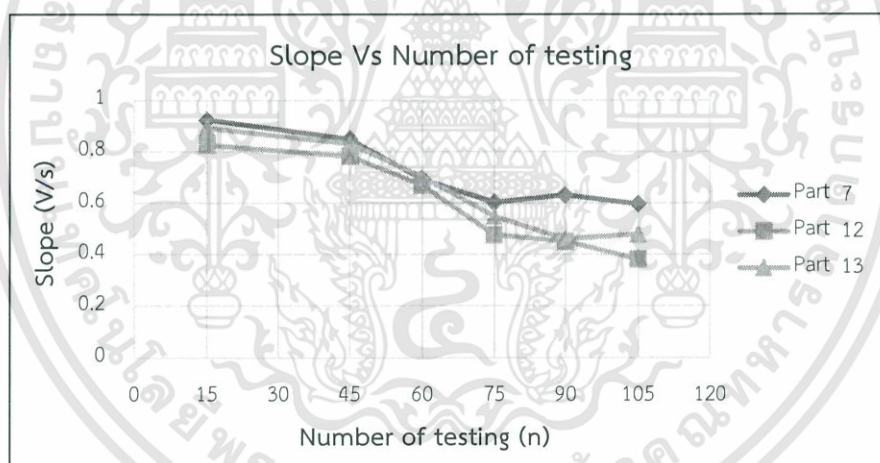
4.5.1.2 ความชื้นที่ตกค้างภายในเซนเซอร์

ในการทดลองเป่าอากาศที่มีสารละลายแอลกอฮอล์ผสมอยู่เข้าไปในเซนเซอร์นั้น อาจมีไอน้ำตกค้างอยู่ภายในเซนเซอร์และเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำบริเวณผิวหน้าของเซนเซอร์ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าได้

4.5.2 การทดสอบปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการลดลงของความชัน

4.5.2.1 เวลาและจำนวนครั้งในการใช้งาน

จากสมมติฐานจึงได้มีการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการใช้งานและความชันของสมการมาตรฐานของเครื่องมือวิจัยในแต่ละชุด พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปและมีการใช้งานเครื่องมือมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความชันของสมการมาตรฐานมีค่าลดลงอย่างชัดเจน โดยที่เครื่องมือวิจัยแต่ละชุดจะมีอัตราการลดลงที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการใช้งานและความชันของสมการมาตรฐานของเครื่องมือวิจัยในแต่ละชุด

4.5.2.2 ความชื้นที่ตกค้างภายในเซนเซอร์

จากสมมติฐานข้างต้น จึงได้ทดสอบโดยการนำเซนเซอร์ของเครื่องมือวิจัยแต่ละชุด วางไว้ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นปกติเทียบกับสภาวะที่มีความชื้นต่ำหรือไม่มีความชื้น เมื่อทิ้งใส่และถอดแบตเตอรี่ วางทิ้งไว้เป็นเวลา 12 วัน แล้วนำมาทดลองเพื่อหาค่าความชันของสมการ ซึ่งผลเป็นดังตารางที่ 4.7

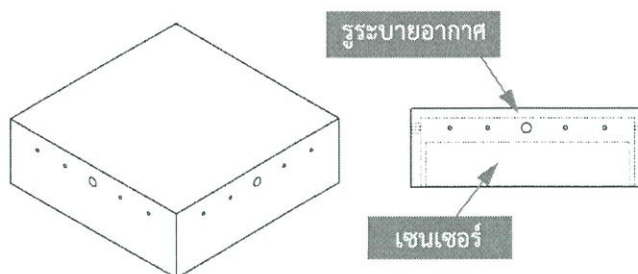
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการทดสอบเซนเซอร์แต่ละชุดที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อมีการใส่และถอดแบตเตอรี่ออกเพื่อศึกษาถึงปัจจัยด้านความชื้นและระยะเวลาในการใช้งาน

รายละเอียดการทดลอง	ค่าความชื้นของสมการ	ค่าความชื้นของสมการ
	ก่อนการทดลอง (4 ตุลาคม)	หลังการทดลอง (16 ตุลาคม)
ทดลองในสภาพแวดล้อมปกติ โดยใส่แบตเตอรี่ให้แกเซนเซอร์ เพื่อให้ Power on ตลอดเวลา	0.5626	0.3968
ทดลองในสภาพแวดล้อมปกติ โดยที่เซนเซอร์ไม่ถูกใส่แบตเตอรี่	0.429	0.5109
ทดลองในสภาวะที่มีความชื้นต่ำหรือไม่มี ความชื้น โดยการนำเซนเซอร์ไปวางในถังบรรจุซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้น พร้อมทั้งไม่ใส่แบตเตอรี่ให้แกเซนเซอร์	0.6048	0.5857

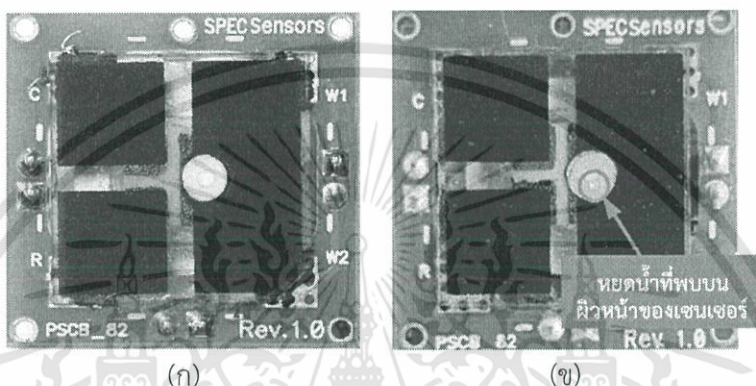
จากการทดลองวางเซนเซอร์ในสภาพแวดล้อมปกติและใส่แบตเตอรี่ให้แกเซนเซอร์ เพื่อให้เซนเซอร์พร้อมใช้งาน (Power on) ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อศึกษาปัจจัยด้านระยะเวลาในการใช้งาน จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความชื้นที่วัดได้หลังการทดลองมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง แต่เมื่อนำเซนเซอร์มาทดลองในสภาพแวดล้อมปกติและไม่ใส่แบตเตอรี่ พบว่าค่าความชื้นที่วัดได้หลังการทดลองมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง ซึ่งแตกต่างจากสมมติฐานที่ได้คาดไว้ว่าค่าความชื้นควรจะมีค่าเท่าเดิมหรือไม่แตกต่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาการ Power on ของแบตเตอรี่จะส่งผลกระทบต่อค่าความชื้น นอกจากนี้ยังได้ทดลองนำเซนเซอร์ไปดูดความชื้นโดยวางในถังบรรจุซิลิกาเจลและไม่ใส่แบตเตอรี่ พบว่าค่าความชื้นที่วัดได้หลังการทดลองมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนทดลอง ซึ่งแตกต่างจากสมมติฐานที่ได้คาดไว้ว่าความชื้นที่ตกค้างภายในเซนเซอร์จะส่งผลกระทบต่อค่าความชื้น

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น กล่าวได้ว่า ในการทดลองที่ผ่านมาอันยังไม่สามารถสรุปสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดการลดลงของความชื้นของสมการมาตรฐานได้อย่างชัดเจน จึงได้ตั้งสมมติฐานจากการทดลองเมื่อนำเซนเซอร์ไปดูดความชื้นด้วยซิลิกาเจล แต่พบว่าความชื้นของสมการมีค่าลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความชื้นที่ตกค้างภายในเซนเซอร์หรืออาจมีหยดน้ำที่ไม่สามารถกำจัดออกได้โดยการใช้ซิลิกาเจล เนื่องจากการประกอบบอร์ดทดลองจะมี Shield สวมครอบบนเซนเซอร์เพื่อป้องกันเซนเซอร์จากฝุ่นและน้ำมันดังรูปที่ 4.15 โดยรูที่เจาะรอบ Shield สำหรับระบายอากาศภายในเซนเซอร์ออกนั้นมีขนาดเล็กมาก ซึ่งหากมีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน Shield หยดน้ำดังกล่าวอาจไม่สามารถระเหยผ่านรูออกสู่ภายนอกได้เนื่องจากมีค่าความตึงผิวที่มาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ถอด Shield ที่สวมบนเซนเซอร์ออก เพื่อตรวจสอบว่ามีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน Shield หรือไม่ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่ามีหยดน้ำเกิดขึ้นบนผิวหน้าของเซนเซอร์ ดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 รูปแบบของ Shield ที่สวมครอบเซนเซอร์เพื่อป้องกันฝุ่นและน้ำมัน



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเซนเซอร์

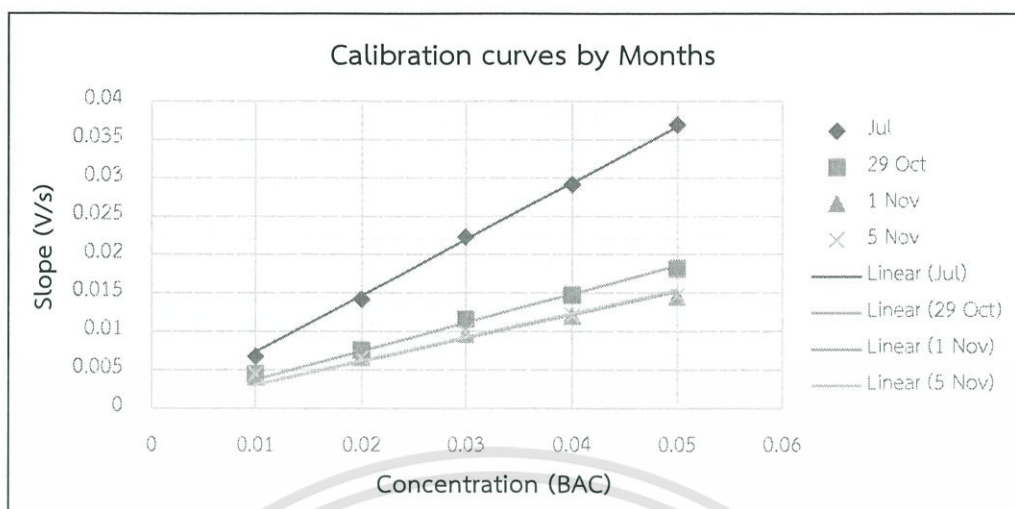
- (ก) เซนเซอร์ก่อนการใช้งาน
(ข) เซนเซอร์หลังการใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่ง

ต่อมาผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองดูความชื้นอีกครั้งโดยใช้สารดูดความชื้นประเภทแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์แทนการใช้ซิลิกาเจลเนื่องจากสามารถดูดซับความชื้นได้ดีกว่า และควบคุมให้ความชื้นอยู่ที่ 20% ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ที่ได้จากการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุดภายหลังจากดูความชื้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์ในเดือนพฤศจิกายน โดยเทียบข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - พฤศจิกายน

ระยะเวลา	$y = mx$		หมายเหตุ
	M	R ²	
กรกฎาคม (Jul)	0.7333	0.9987	-
29 ตุลาคม (Oct)	0.3716	0.9922	ก่อนดูความชื้น
1 พฤศจิกายน (1 Nov)	0.3084	0.9524	หลังดูความชื้นด้วยแคลเซียม
5 พฤศจิกายน (5 Nov)	0.304	0.9700	คลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์กับความเข้มข้นต่าง ๆ (BAC) กับค่าความชันโดยเฉลี่ยของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยทุกชุด (V/s) ตั้งแต่วันที่ 29 ตุลาคม - 5 พฤศจิกายน หลังจากการดูความชื้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์

ซึ่งสามารถแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y=mx$ ของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุด โดยอาศัยเทคนิค Least-squares method (Linear regression) ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าสมการมาตรฐาน $y = mx$ ของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัยแต่ละชุดที่ได้จากการวัดค่าระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจทั้งก่อนและหลังการทดลองการดูความชื้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์

หมายเลขชุดเครื่องมือวิจัย (Number of parts)	ค่าความชันของสมการ ก่อนทดลอง (29 ตุลาคม)	ค่าความชันของสมการ หลังการทดลอง ครั้งที่ 1 (1 พฤศจิกายน)	ค่าความชันของสมการ หลังการทดลอง ครั้งที่ 2 (5 พฤศจิกายน)
2	0.4789	0.3783	0.3782
3	0.4756	0.4417	0.4645
4	0.3809	0.2836	0.275
5	0.284	0.2404	0.2706
9	0.2386	0.1759	0.1796

จากผลการทดลองข้างต้นโดยการดูความชื้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์ พบว่าค่าความชันของสมการของเครื่องมือวิจัยแต่ละชุดยังแตกต่างกันเมื่อเทียบกับการใช้งานในระยะเวลาที่ต่างกัน ทั้งนี้ในการทดลองผู้วิจัยได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยด้านความชื้นดังกล่าว โดยรายละเอียดของการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงรายละเอียดการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยด้านความชื้นที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดของเครื่องมือวิจัย ตั้งแต่วันที่ 29 ตุลาคม – 5 พฤศจิกายน

วันที่ทำการทดลอง	รูปแบบการทดลอง
29 ตุลาคม	<ol style="list-style-type: none"> การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำ 300 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) 80, 130, 225, 280 และ 370 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ ใส่เคส ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ (28-29 °C, RH 66-70 %)
1 พฤศจิกายน	<ol style="list-style-type: none"> การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำ 300 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) 80, 135, 240, 280 และ 285 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ ใส่เคส ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ (28-29 °C, RH 30-33 %) กำจัดความชื้นตกค้างภายในเซนเซอร์ โดยใช้สารดูดความชื้นประเภทแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 1 วัน ควบคุมไอน้ำมีความชื้นอยู่ที่ 20%
5 พฤศจิกายน	<ol style="list-style-type: none"> การเตรียมสารละลาย <ul style="list-style-type: none"> - น้ำ 300 mL - แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) 80, 135, 240, 280 และ 285 μL สำหรับสารละลายความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 BAC ตามลำดับ ใส่เคส ทดลองในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ (28-30 °C, RH 30-32 %) กำจัดความชื้นตกค้างภายในเซนเซอร์ โดยใช้สารดูดความชื้นประเภทแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 5 วัน ควบคุมไอน้ำมีความชื้นอยู่ที่ 20%

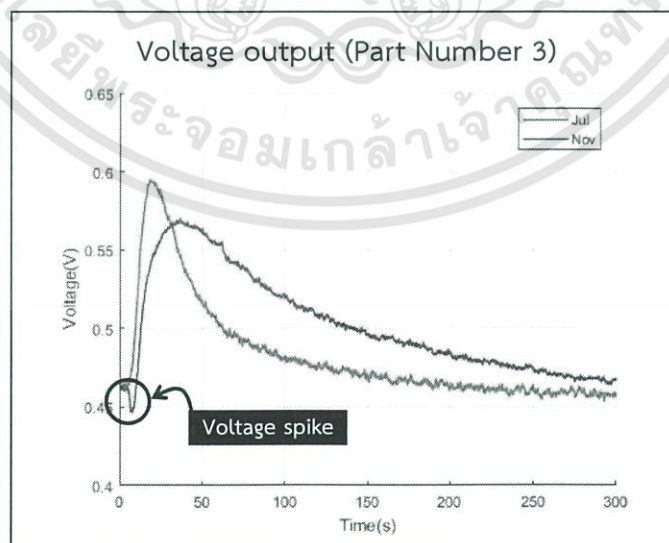
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าความชื้นของสมการมาตรฐานของวันที่ 29 ตุลาคม มีค่าน้อยกว่าค่าความชื้นในเดือนกรกฎาคมค่อนข้างมาก ผู้วิจัยจึงได้ถอด Shield ของเซนเซอร์ออก ซึ่งพบว่ามียุบน้ำอยู่บนผิวหน้าของเซนเซอร์ จึงได้ตั้งสมมติฐานว่าความชื้นที่สะสมหรือตกค้างภายในเซนเซอร์ เป็นผลให้ความชื้นของสมการมาตรฐานมีค่าลดลง

ต่อมาจึงได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานดังกล่าว โดยการกำจัดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นประเภทแคลเซียมคลอไรด์ผสมถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 1 วันก่อนนำไปทดลอง พบว่าค่าความชื้นของสมการในวันที่ 1 พฤศจิกายน ยังมีค่าลดลงจากวันที่ 29 ตุลาคม ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าอาจใช้เวลาในการดูดความชื้นยังไม่มากพอ

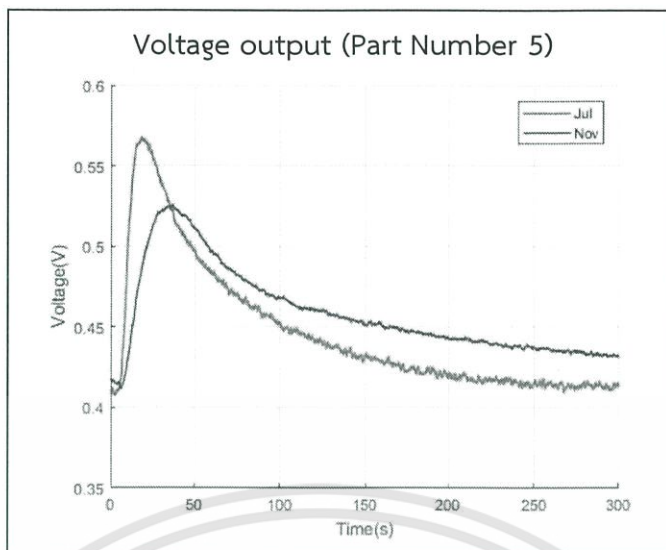
จากนั้นจึงนำเซนเซอร์ในชุดทดสอบทุกชุดไปดูดความชื้นซ้ำอีกครั้งเป็นเวลา 5 วัน จากผลการทดลองพบว่าค่าความชื้นโดยเฉลี่ยของสมการในวันที่ 5 พฤศจิกายน มีค่าลดลงจากวันที่ 1 พฤศจิกายนเพียงเล็กน้อย (ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.17) และเมื่อถอด Shield พบว่ายังมีหยดน้ำอยู่บนผิวหน้าของเซนเซอร์แต่หยดน้ำมีขนาดเล็กลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า การดูดความชื้นสามารถช่วยกำจัดความชื้นและหยดน้ำตกค้างหรือสะสมภายในเซนเซอร์ได้หากมีการดูดความชื้นเป็นประจำ แต่ทั้งนี้ในการทดลองยังไม่สามารถทำให้ค่าความชื้นของสมการดังกล่าวกลับมามีค่าสูงเช่นเดิมได้

ผลการทดลองตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน แสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นของสมการมาตรฐานของเซนเซอร์ทุกชุดมีแนวโน้มลดลง ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบการวัดค่า Voltage output เพื่อดูการตอบสนองของเซนเซอร์ทุกชุด ซึ่งพบว่ากราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ที่วัดในเดือนพฤศจิกายนเทียบกับการวัดในเดือนกรกฎาคม สามารถสังเกตเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของความไวในการตอบสนองที่ลดลง (Sensitivity decay) อย่างชัดเจน รวมถึงเซนเซอร์บางชุดเกิดภาวะ Voltage spike ของ Baseline ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อเซนเซอร์ใกล้หมดอายุการใช้งาน



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.18 กราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ของเครื่องมือวิจัยหมายเลข 3 (ก) และ 5 (ข) ในช่วงเดือนกรกฎาคม (Jul) เทียบกับเดือนพฤศจิกายน (Nov)

4.6 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

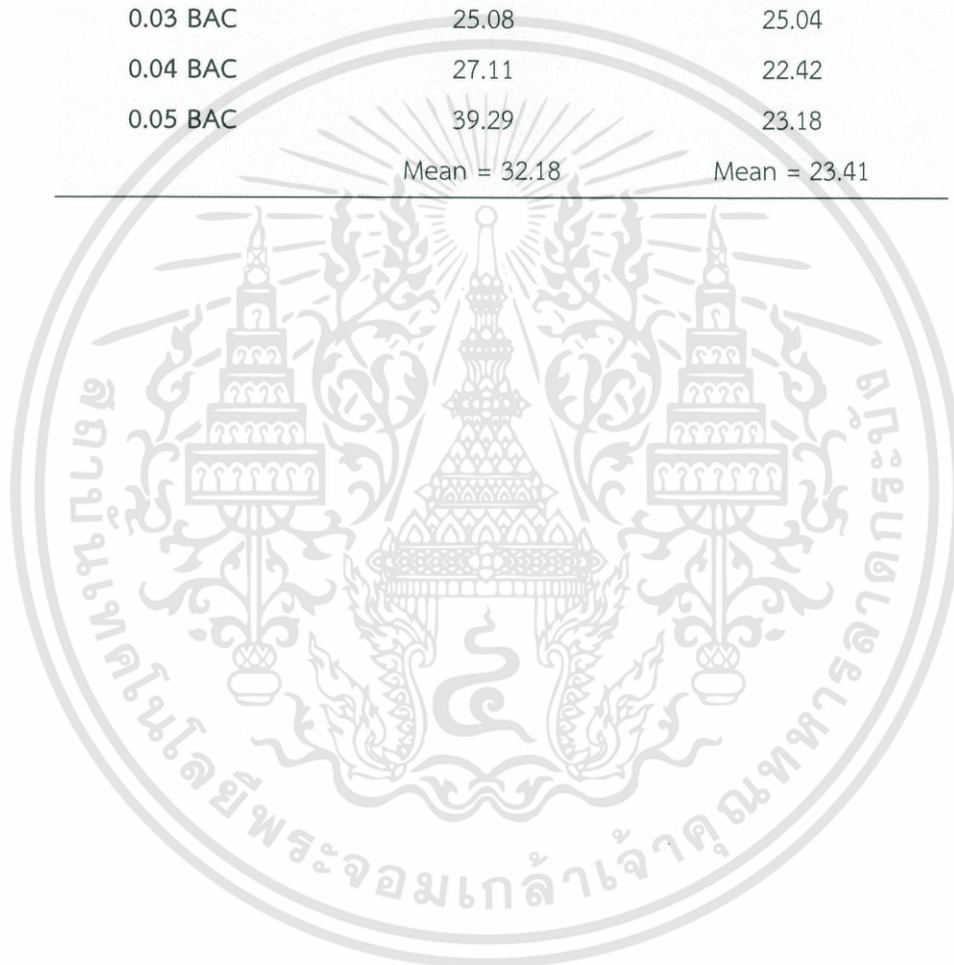
จากการดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตามแนวทางข้างต้น และนำเครื่องมื่อดังกล่าวไปทดสอบคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงาน พบว่า ในการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือวิจัยทุกชุด ให้ผลทดสอบที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ภายในช่วงความเข้มข้นที่กำหนด กล่าวได้ว่า คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นและความสามารถในการทดสอบซ้ำในช่วงเวลาเดียวกันของเครื่องมือวิจัยนี้สามารถยอมรับได้ แต่คุณสมบัติในด้านความถูกต้องของผลการวัดยังไม่สามารถยอมรับได้เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปเครื่องมือวิจัยนี้วัดค่าได้ลดลงหรือไม่เท่ากับค่าตามสมการมาตรฐานเดิม เนื่องจากค่าความชันของสมการมาตรฐานที่ได้จากการวัดค่าระดับ BAC ด้วยเครื่องมือวิจัยทุกชุดในระยะเวลาตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายนมีค่าลดลง

ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า ค่าความชันของสมการมาตรฐานที่มีแนวโน้มลดลงนั้นเกิดจากการทำงานของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบการวัดค่า Voltage output เพื่อดูการตอบสนองของเซนเซอร์ทุกชุด ซึ่งพบว่ากราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ที่วัดในเดือนพฤศจิกายนเทียบกับการวัดในเดือนกรกฎาคม สามารถสังเกตเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของความไวในการตอบสนองที่ลดลงหรือเรียกว่า Sensitivity decay อย่างชัดเจน เกิดภาวะ Voltage spike ของ Baseline ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อเซนเซอร์ใกล้หมดอายุการใช้งาน ส่งผลให้ค่าความชันของสมการมาตรฐานมีค่าลดลง โดยสามารถสรุปผลการทดลองของเครื่องมือวิจัยทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไขได้ดังตารางที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางสรุปผลการทดลองของเครื่องมือวิจัยทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไข

	ก่อนการแก้ไขปรับปรุง	หลังการแก้ไขปรับปรุง
Response Time	140. sec	5 sec
Recovery Time	365 sec	135 sec
	at 0.05 BAC	at 0.05 BAC
%RSD		
0.01 BAC	37.88	22.98
0.02 BAC	31.54	23.42
0.03 BAC	25.08	25.04
0.04 BAC	27.11	22.42
0.05 BAC	39.29	23.18
	Mean = 32.18	Mean = 23.41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ทโฟน ที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ในราคาที่ย่อมเยา สะดวกและใช้งานง่าย เหมาะกับการใช้งานโดยบุคคลทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกน้อยที่สุด โดยตัวตรวจจับของชุดทดสอบจะส่งข้อมูลการตรวจวัดผ่านสัญญาณ NFC จากสมาร์ทโฟน และสามารถส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายออนไลน์ เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลได้ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสังเกตการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระดับแอลกอฮอล์ในเลือดได้มากขึ้น

ในการพัฒนาชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ทโฟน ได้เลือกใช้เซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ ซึ่งจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของแก๊สที่ตรวจจับได้ จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าความชัน (Slope) เป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่สามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (BAC) กับค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปได้ชัดเจนที่สุดในระยเวลาน้อยที่สุด แล้วจึงทำการทดลองโดยการวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ของสารละลายที่เตรียมไว้เทียบกับเครื่อง AlcoScan รุ่น AL-8000 ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการทดลองนี้ เพื่อสร้างสมการมาตรฐานในรูปแบบ $y=mx$ โดยใช้เทคนิค Simple linear regression จากนั้นจึงทำการทดลองซ้ำเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการมาตรฐานโดยคำนึงถึงการใช้งานในสภาวะจริง โดยใส่เคสประกอบเข้ากับตัวเซนเซอร์ของเครื่องมือวิจัยและทดลองใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าในห้องทดลอง ผลจากการทดลองเมื่อหาค่าความชันเฉลี่ยของสมการมาตรฐานของการทดลองซ้ำเทียบกับการทดลองเดิม ซึ่งเว้นระยะการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าค่าความชันของสมการมีค่าลดลง ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษารายละเอียดของการทดลองอีกครั้งเพื่อระบุสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจที่ผิดพลาดจากการใช้เครื่องมือวิจัย พร้อมทั้งหาแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตามแนวทางในหัวข้อ 4.3 และนำเครื่องมือดังกล่าวไปทดสอบคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น ความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือ ความสามารถในการทำซ้ำและความถูกต้องของผลการวัด พบว่า ในการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือวิจัยทุกชุด ให้ผลทดสอบที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ภายใน

ในช่วงความเข้มข้นที่กำหนด กล่าวได้ว่า คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นและความสามารถในการทดสอบซ้ำ (ความเที่ยง) ในช่วงเวลาเดียวกันของเครื่องมือวิจัยนี้สามารถยอมรับได้ แต่คุณสมบัติในด้านความถูกต้อง (ความแม่นยำ) ของผลการวัดเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานยังไม่สามารถยอมรับได้เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปเครื่องมือวิจัยนี้วัดค่าได้ลดลงหรือไม่เท่ากับค่าตามสมการมาตรฐานเดิม เนื่องจากค่าความชันของสมการมาตรฐานที่ได้จากการวัดค่าระดับ BAC ด้วยเครื่องมือวิจัยทุกชุดในระยะเวลาตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายนมีค่าลดลง แม้ว่าจะมีการวิเคราะห์และแก้ไขปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลต่อการวัดค่าแล้วก็ตาม

ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า ค่าความชันของสมการมาตรฐานที่มีแนวโน้มลดลงนั้นเกิดจากการทำงานของเซนเซอร์ในเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบการวัดค่า Voltage output เพื่อดูการตอบสนองของเซนเซอร์ทุกชุด ซึ่งพบว่ากราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ที่วัดในเดือนพฤศจิกายนเทียบกับการวัดในเดือนกรกฎาคม สามารถสังเกตเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของความไวในการตอบสนองที่ลดลงหรือเรียกว่า Sensitivity decay อย่างชัดเจน เกิดภาวะ Voltage spike ของ Baseline ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อเซนเซอร์ใกล้หมดอายุการใช้งาน ส่งผลให้ค่าความชันของสมการมาตรฐานมีค่าลดลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปคุณสมบัติและความสามารถในการทำงานของชุดทดสอบวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดด้วยลมหายใจ ณ จุดทดสอบ โดยแสดงผลผ่านสัญญาณ NFC บนสมาร์ตโฟนในงานวิจัยได้ดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปคุณสมบัติและความสามารถในการทำงานของเครื่องมือวิจัย

Features	Alcohol meter prototype
Reading Range	0.00 to 0.40 BAC
Breath Sampling time	5 sec
Response time	5 sec
Recovery/Warm-up time	135 sec at 0.05 BAC
Resolution	0.01 BAC
Sensor	Fuel Cell Sensor
Power supply	3V Lithium battery CR2032 x1
Accuracy	± 0.01 BAC
NFC	✓
Memory	Cloud Storage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 อภิปรายผล

การเกิด Sensitivity decay สามารถเกิดได้ในทุกแก๊สเซนเซอร์ อาจเป็นผลมาจากปัจจัยด้านอายุการใช้งานของเซนเซอร์ หรือปัจจัยภายนอกอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการทดลอง โดยมีระยะเวลาในการทดลองที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความไวในการตอบสนองของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้มีการลดลงที่เร็วกว่าปกติ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการออกแบบการทดลอง แต่ด้วยระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยที่จำกัด และค้นพบปัญหาดังกล่าวในระยะหลังของการดำเนินงาน จึงทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถเปลี่ยนเซนเซอร์เพื่อทำการทดลองใหม่ได้ อีกทั้งในการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้ระยะที่ค่อนข้างนานในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาต่อเพื่อเก็บข้อมูลและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเพิ่มเติม เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการใช้งานแก๊สเซนเซอร์ประเภทเซลล์ไฟฟ้าเคมีต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญจากสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้มีข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อการพัฒนาชิ้นงานต่อไปในอนาคต ดังนี้

5.3.1 ด้านการออกแบบระบบการวัดเพื่อลด Recovery time

5.3.1.1 ออกแบบ Mouthpiece ให้อากาศที่เป่าเข้ามาผ่านผิวหน้าเซนเซอร์แบบทางอ้อม (รูปที่ 5.1) เพื่อให้ปริมาณอากาศและความชื้นที่ผ่านเข้าไปในเซนเซอร์มีปริมาณน้อยลง และเพื่อป้องกันการสะสมหรือตกค้างของความชื้นภายในเซนเซอร์ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งส่งผลให้เกิด Sensitivity decay



รูปที่ 5.1 ทิศทางการไหลของอากาศเมื่อผ่าน Mouthpiece แบบทางอ้อม

5.3.1.2 มีระบบกำจัดหรือดูดอากาศเก่าที่อาจตกค้างอยู่ภายในเซนเซอร์ออก เพื่อให้เซนเซอร์กลับสู่สภาวะปกติและพร้อมใช้งานในการวัดผลครั้งถัดไปได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัชชา โอเจริญ. “อุบัติเหตุทางถนน...ความเสียหายร้ายแรงต่อเศรษฐกิจไทย.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://tdri.or.th/2017/08/econ_traffic_accidents/. 2560.
- [2] สคอ. “สงกรานต์นี้ดื่มไม่ขับ กลับบ้านปลอดภัย” ข้อมูลประกอบการดำเนินงานเฝ้าระวังป้องกันและลดอุบัติเหตุทางถนนช่วงเทศกาลสงกรานต์ ปี 2560. มีนาคม 2561. หน้า 2-12.
- [3] จินดา กลับกลาย. (กองบัญชาการศึกษา สำนักงานตำรวจแห่งชาติ). “บทความเรื่องการบังคับใช้กฎหมาย ‘เมาแล้วขับ’.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://ldpthailand.org/th/2016/07/บทความเรื่อง-การบังคับ/>. 2559.
- [4] Gaw A CR, O'Reilly D, Stewart M, Shepherd J. *Clinical biochemistry, an illustrated colour text*. Edinburgh: Churchill Livingstone Publishers : 1995. 12-38 : 116-7.
- [5] Widmark EP. *Principles and applications of medicolegal alcohol determination*. Davis: Biomedical Publications : 1981. p. 107-8.
- [6] “Exploring the benefits and risks of drinking alcohol. Alcohol and the Body.” [Online]. Available : <http://iml.jou.ufl.edu/projects/fall05/garcia/body.html>. 2014.
- [7] อานนท์ จำลองกุล. (2016). เอทิลแอลกอฮอล์ในมุมมองของนิติเวชศาสตร์. *Chula Medical Journal*. 60/3: 283–96.
- [8] Giang, Y., Ph, D., Wang, S., & Tsai, C. (2007). Analyzing alcohol in breath, blood, saliva, and urine for forensic purposes : Taiwanese population. *Forensic Science Journal*. 6/1: 1–19.
- [9] กลุ่มป้องกันการบาดเจ็บ สำนักโรคไม่ติดต่อ, กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. “ปัจจัยที่มีผลต่อระดับแอลกอฮอล์ในเลือด” วารสารเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และอุบัติเหตุทางถนน มีอะไรน่ารู้บ้าง. หน้า 2-3.
- [10] ศูนย์เรียนรู้สุขภาวะ, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. “เมา ขาดสติ ผลลัพธ์ มีแต่เสีย” ขุดนิทรรศการยิ้ม - คีน ส่งเสริมการพัฒนาชีวิตเรื่อง เหล้าอยากเล่า. ปีที่ 3, ฉบับที่ 1. มีนาคม 2561. หน้า 54-56.
- [11] ดาริกา วอทอง. “Ethanol.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.summacheeva.org/index_thaitox_ethanol.htm/. 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

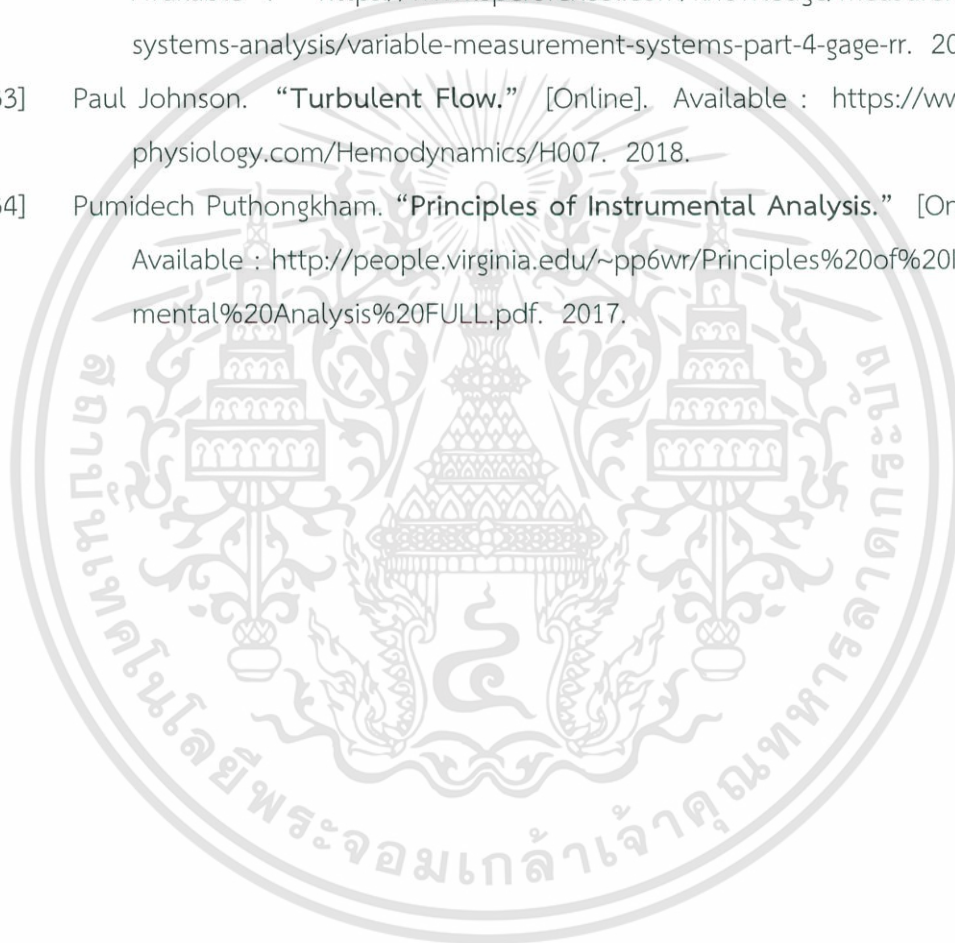
- [12] ทักษพล ธรรมรังสี และ อรทัย วลีวงศ์, ศูนย์วิจัยปัญหาสุรา. (2559). เอกสารวิชาการชุด แอลกอฮอล์และสมอง: สุรา สารพิษ สารกดสมอง และสารเสพติด. [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. เอกสารวิชาการ, หน้า 1-8.
- [13] สำนักงานคณะกรรมการควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์. “การได้รับบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุที่มาจากสาเหตุเมาแล้วขับ” คู่มือการดำเนินงานควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ประจำปี 2561. 2561. หน้า 9-19.
- [14] คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล. “เวชศาสตร์การจราจร.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.si.mahidol.ac.th/sirirajcme/profession/LaM/lae346.7.asp>. 2561.
- [15] ศูนย์บริการวิชาการและพัฒนาบุคลากรด้านการป้องกันและแก้ไขปัญหาสารเสพติด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (26 มกราคม 2561). “ว่าด้วยเรื่องเครื่องเป่าแอลกอฮอล์.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://h2c.cimjournal.com/2018/01/26/ว่าด้วยเรื่องเครื่องเป่า/>. 2561.
- [16] บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. “ความรู้เกี่ยวกับระบบ RFID.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.pen1.biz/TipRFID.html>. 2561.
- [17] ธเนศ พัฒนธาตพงษ์ และนภัทร สระเอี่ยม. “ทิศทางและแนวโน้มการใช้งานเทคโนโลยี Near Field Communication (NFC) ในประเทศไทย.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www1.telecom.kmitl.ac.th/telecom/download-document/nfc.html>. 2561.
- [18] Seokheun Choi. “Powering point-of-care diagnostic devices.” [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975015300549>. 2015.
- [19] อโณทัย เวทยากร. “เตรียมพร้อมรับมือ ‘อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง’.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.forbesthailand.com/commentaries-detail.php?did=248>. 2559.
- [20] วิชญ์ศุทธิ์ เมาระพงษ์. (2013). NFC เทคโนโลยีการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบไร้สายแห่งอนาคต. *TPA News* : 9–10.
- [21] Meola, A. (2016). Internet of Things in healthcare: Information technology in health. Business Insider.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] ไพศาล เสตสุวรรณ และคณะ. “การพัฒนาแก๊สเซ็นเซอร์ซึ่งใช้ออกไซด์ของดีบุก : ระยะที่ 1.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.researchgate.net/publication/39026072_karphathnakaessensexr_sungchixksidkxngdibuk_rayathi_1.2561.
- [23] สาทิต พันธุ์ชาติ และอานนท์ อ่อนสกุล. “โครงการเครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สไวไฟรั่วไหล (LPG Gas alam sensor).” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://gas-lpg-alam-sensor.blogspot.com/2017/02/lpg-gas-alam-sensor.html>. 2561.
- [24] “การเกิดปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์เซ็นเซอร์แบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=akron1486128648911217&disposition=inline. 2561.
- [25] SPEC Sensors LLC. “3SP_Ethanol_1000 Package 110-202.” [Online]. Available : https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2016/02/3SP_Ethanol_1000-P-Package-110-202.pdf. 2017.
- [26] SPEC Sensors LLC. “SPEC Sensor Operation Overview.” [Online]. Available : <https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2016/05/SPEC-Sensor-Operation-Overview.pdf>. 2016.
- [27] สันติชัย ชิวสุททธิศิลป์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. “ความสามารถของกระบวนการวัด Gauge R&R (Repeatability and Reproducibility).” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.oconnors.co.th/instrument/download/QC-Gauge%20R&R.pdf>. 2547.
- [28] “การปรับเส้น และการประมาณค่า.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : [http://e-book.ram.edu/e-book/p/PH615\(51\)/PH615-8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/p/PH615(51)/PH615-8.pdf). 2551.
- [29] “การวิเคราะห์การถดถอย Regression Analysis.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://home.dsd.go.th/kamphaengphet/km/information/RESECARCH/014Regression.pdf>. 2561.
- [30] “การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกรณี 1 และ 2 กลุ่ม.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://home.kku.ac.th/sompo_pu/spweb/stat/02.doc. 2561.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [31] อุดมศักดิ์ จิตสงบ. “การวิเคราะห์ระบบการวัด Measurement System Analysis (MSA) 4th Edition.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : [http://bigqtraining.net/ckfinder/data-file/files/การวิเคราะห์ระบบการวัดMeasurement%20System%20Analysis%20\(MSA\)%204th%20Edition.pdf](http://bigqtraining.net/ckfinder/data-file/files/การวิเคราะห์ระบบการวัดMeasurement%20System%20Analysis%20(MSA)%204th%20Edition.pdf). 2561.
- [32] Bill McNeese. “Variable Measurement Systems - Gage R&R.” [Online]. Available : <https://www.spcforexcel.com/knowledge/measurement-systems-analysis/variable-measurement-systems-part-4-gage-rr>. 2007.
- [33] Paul Johnson. “Turbulent Flow.” [Online]. Available : <https://www.cvphysiology.com/Hemodynamics/H007>. 2018.
- [34] Pumidech Puthongkham. “Principles of Instrumental Analysis.” [Online]. Available : <http://people.virginia.edu/~pp6wr/Principles%20of%20Instrumental%20Analysis%20FULL.pdf>. 2017.





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ผู้วิจัยลำดับที่ 1

ชื่อ-นามสกุล นางสาวเมอมาลย์ อีโต
 วัน เดือน ปีเกิด 5 กันยายน 2539
 ที่อยู่ 227/4 ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20110
 สถานศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้วิจัยลำดับที่ 2

ชื่อ-นามสกุล นางสาวธัญรดา ไทยวงษ์
 วัน เดือน ปีเกิด 22 เมษายน 2540
 ที่อยู่ 160/10 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ 39 ซอยเกษตร ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัด
 ขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40000
 สถานศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง