

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 บทนำ

จากงานวิจัยการประยุกต์ใช้ประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ชนิด SnO<sub>2</sub> ในงานวิจัยจุ่มอิเล็กโทรดของ Xiangsheng และคณะ[47] H. MARICOU และคณะ [48] P. Hogben<sup>1</sup> และคณะ [49] P. Mielle และคณะ [50] J.G. Crespo ry และคณะ [51] J.A. Covington และคณะ [52] F.K. Che Harun และคณะ [53] และงานของ Ping WANG และคณะ [54] ได้ทำงานวิจัยจุ่มอิเล็กโทรดที่ไว้สำหรับตรวจวัดปริมาณสารระเหย VOCs ในรูปแบบต่างๆซึ่งลักษณะงานเน้นการตรวจวัดสารระเหยที่มีลักษณะเป็นสารระเหยหลายชนิดรวมกัน ไม่สามารถแยกชนิดของสารระเหยได้อันเนื่องมาจากอันตรายที่เกิดจากสารระเหยแต่ละชนิดต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมไม่เท่ากัน ดังนั้นนอกจากจะสามารถวัดปริมาณได้แล้วควรจะสามารถวิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้ด้วย และในกรณีที่มีสารระเหยหลายชนิดผสมกันก็ควรจะบอกได้ว่าเป็นสารระเหยชนิดใดผสมกันมาบ้างและแต่ละชนิดมีค่าเท่าไร ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงระบบจุ่มอิเล็กโทรดโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีที่มีคอลัมน์เป็นตัวแยกสารก่อนทำการตรวจวัด [31][32] เมื่อนำเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีมาใช้งานรวมก็จะสามารถแยกชนิดของสารระเหยได้เป็นเหตุให้สามารถวัดสารที่มีการผสมกันมาได้ จากคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอสารเคมีก็จะสามารถวัดปริมาณของไอสารเคมีเหล่านั้นได้ และสามารถลดจำนวนเซ็นเซอร์ลงเหลือเพียงหนึ่งตัวซึ่งจะลดความยุ่งยากในการตรวจวัดลง ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบที่ใช้คอลัมน์ของแก๊สโครมาโตกราฟีที่ยาวขึ้นและมีระบบควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ เพื่อควบคุมการแยกของคอลัมน์ให้มีประสิทธิภาพขึ้น

ผู้วิจัยได้ศึกษาการใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นและการถดถอยพหุนามมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารระเหย การทดลองได้ทำการทดสอบกับปริมาณสารระเหยที่ผสมอยู่น้ำขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในเรื่องการพัฒนาระบบจุ่มอิเล็กโทรดโดยเทคนิคแก๊สโครมาโต กราฟีมีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานไว้ดังนี้

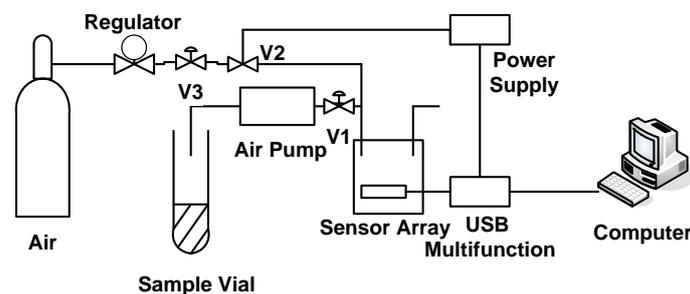


### 3.2 หลักการและลำดับขั้นตอนการทดลอง

วัตถุประสงค์ในการศึกษาคือการออกแบบระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์สำหรับทำการตรวจวัดปริมาณสารระเหยที่ผสมอยู่ในน้ำ ซึ่งผู้วิจัยต้องการพัฒนาให้ระบบสามารถบ่งบอก ปริมาณและชนิดของสารระเหยได้ โดยการพัฒนายอยู่บนพื้นฐานของการใช้เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ ชนิดติบูกออกไซด์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 รูปแบบคือจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบเปิด จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบปิด และจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี เพื่อเปรียบเทียบหลักการทำงานและคุณสมบัติต่างๆ

#### 3.2.1. จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบเปิด

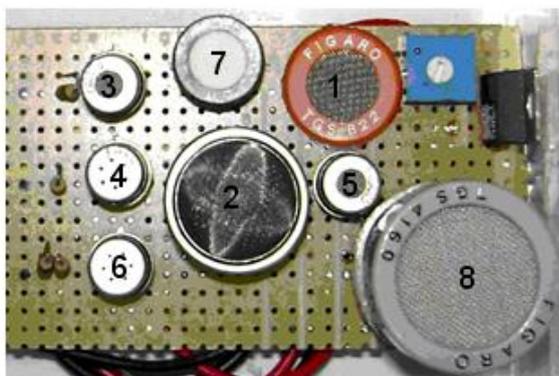
จากโครงสร้างพื้นฐานของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ระบบเปิดที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.8.1 ได้ทำการพัฒนาระบบโดยใช้เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์อาร์เรย์จำนวน 8 ตัวเป็นตัวตรวจวัดสารระเหยและใช้ USB Multifunction I/O รุ่น NI U-6008 ของ National Instrument ทำหน้าที่เป็น Data Acquisition และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว ส่วนของโปรแกรมพัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW V7.0 ซึ่งระบบที่พัฒนาแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบเปิดที่พัฒนา

#### ก. หลักการทำงานโครงสร้างของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด

โครงสร้างของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นระบบเปิด เลียนแบบโครงสร้างการทำงานจุ่มก๊อของสิ่งมีชีวิต ใช้ปั๊มดูดอากาศ (Air Pump) เป็นตัวนำตัวอย่างกลิ่นเข้าสู่ชุด แก๊สเซ็นเซอร์ โดยมีวาล์ว V1 เป็นวาล์วควบคุมปริมาณการไหลเข้าของตัวอย่าง และวาล์ว V2 เป็นโซลินอยด์วาล์ว สำหรับขับตัวอย่างทิ้ง และวาล์ว V3 ควบคุมปริมาณของอากาศที่ใช้ขับตัวอย่างทิ้ง



รูปที่ 3.3 เซ็นเซอร์อาร์เรย์

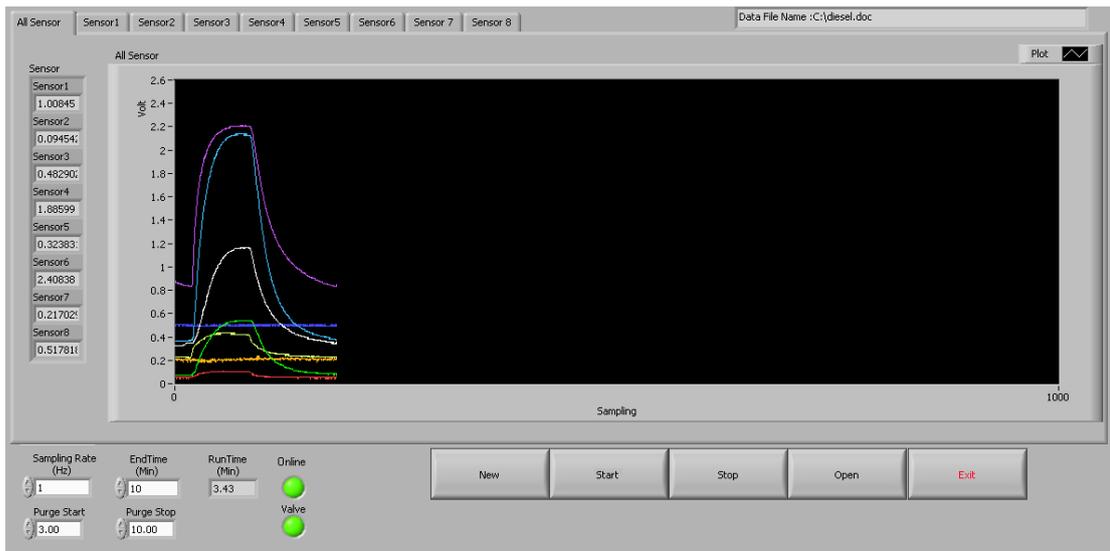
เซ็นเซอร์แสดงที่ใช้ทั้งหมด 8 ตัวดังรูปที่ 3.3 รายละเอียดของเซ็นเซอร์แต่ละตัวแสดงดัง ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับเซ็นเซอร์อาร์เรย์ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด

เซ็นเซอร์ตัวที่	เบอร์	ชนิดแก๊ส
1	TGS822	Organic Solvent Vapor
2	TGS832	Halogen
3	TGS2620	Solvent Vapor
4	TGS2600	Air Contaminate
5	TGS2611	methane and natural gases
6	TGS2602	Air Contaminate
7	TGS6810	Methane & LPG
8	TGS4160	CO2

ข.โปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด

ส่วนของโปรแกรมพัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW V7.0 โดยทำงานร่วมกับ Multifunction I/O รุ่น NI U-6008 ของ National Instrument ทำหน้าที่เป็น Data Acquisition และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว โปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด

ค. การทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง

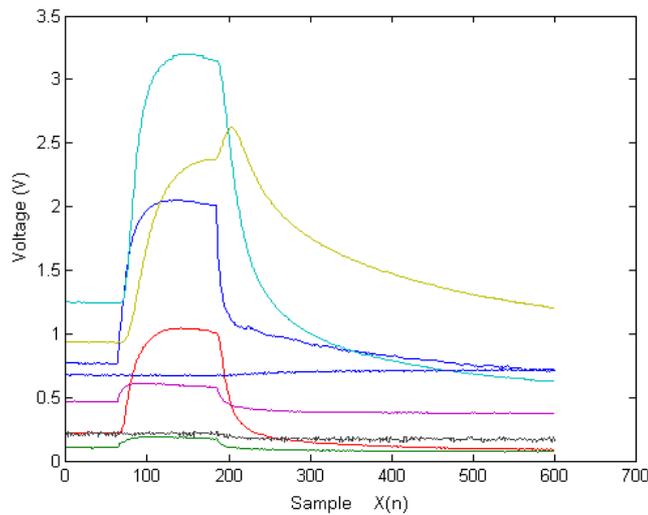
ปรับวาล์ว V1 ให้อัตราการไหลของอากาศที่ดูดเข้าเท่ากับ 300 มิลลิลิตรต่อนาทีสำหรับดูดตัวอย่างเข้า ปรับเร็กกูเลเตอร์แก๊สและวาล์ว V3 ให้อัตราการไหลของอากาศ ที่วาล์ว V2 เป็น 500 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับขับตัวอย่างที่ค้างออก ก่อนทำการทดลองในแต่ละครั้งให้ทำการเปิด ปุ่มดูดอากาศทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที จนเส้นสัญญาณเรียบ จากนั้นนำตัวอย่างปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมในขวดขนาด 5 มิลลิลิตรวางตัวอย่างทิ้งเอาไว้ 5 นาที แล้วทำการเริ่มบันทึกข้อมูลอากาศเปล่า 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างเข้ามาทดสอบโดยการดูดไอของตัวอย่างเข้าระบบทำการบันทึกค่า 2 นาทีนำตัวอย่างออก แล้วเปิดวาล์ว V2 ไว้อีก 7 นาที พร้อมทำการบันทึกข้อมูล เมื่อครบเวลาทำการเตรียมเพื่อจะวัดตัวอย่างครั้งต่อไป โดยเปิดปุ่มดูดอากาศ ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีจนเส้นสัญญาณเรียบ แล้วจึงทำการวัดครั้งต่อไป ดังตารางที่ 3.2 ลำดับการทำงานดังนี้

ตารางที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนในการทดลอง

ลำดับ	เวลา (นาที)	เวลาบันทึกผล (นาที)	การทำงาน
1	เริ่มต้น	-	On Air Pump
3	10	-	Prepare Sample
4	15	0	Start Acquisition Air
5	16	1	Start Acquisition Sample
6	18	3	Stop Acquisition Sample
7	18	3	On Valve 2 purge sample
8	25	10	Off Valve 2

ตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองมีทั้งหมด 15 ชนิด ประกอบด้วย น้ำมันเบนซิน91 (แก๊สโซลีน91) เบนซิน95(แก๊สโซลีน95) แก๊สโซฮอล์91 แก๊สโซฮอล์95 อี20 เอทานอล เมทานอล น้ำมันก๊าด (Kerosene) ดีเซล ปี5 ปี50 ปี100 น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์ม 50% กับน้ำมันดีเซล 50% น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ทำการวัดตัวอย่างน้ำมันแต่ละชนิดๆละ 5 ครั้ง ตัวอย่างผลจากการวัดน้ำมันแต่ละครั้งแสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นตัวอย่างผลการวัดน้ำมันดีเซล

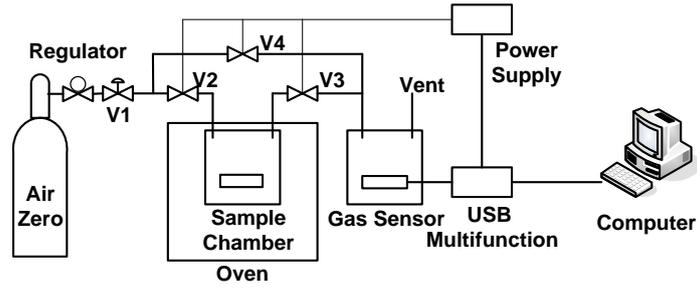
ทำการวัดค่าน้ำมันทุกชนิดจนเสร็จแล้วจากนั้นนำข้อมูลเฉพาะค่าที่อ่านได้สูงสุดจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวจากการทดลองทั้งหมดมาจัดเรียงให้อยู่ในรูปการวิเคราะห์แบบ PCA



รูปที่ 3.5 ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันดีเซล

### 3.2.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบปิด

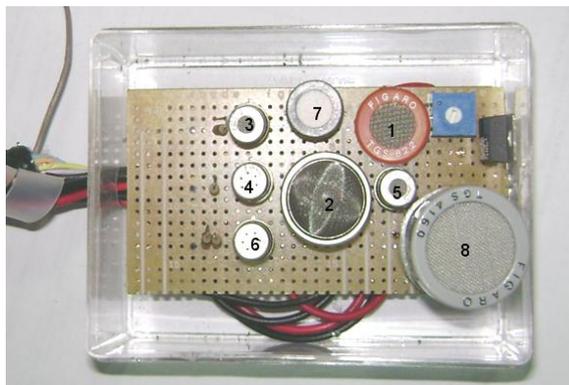
จากโครงสร้างพื้นฐานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบปิดที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.8.2 ได้ทำการพัฒนาระบบโดยใช้เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์อาร์เรย์จำนวน 8 ตัวเป็นตัวตรวจวัดสารระเหยและใช้ USB Multifunction I/O รุ่น NI U-6008 ของ National Instrument ทำหน้าที่เป็น Data Acquisition และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว ส่วนของโปรแกรมพัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW V7.0 ซึ่งระบบที่พัฒนาแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ระบบของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบปิดที่พัฒนา

ก. หลักการทำงานโครงสร้างของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ระบบปิด

โครงสร้างของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นระบบปิด เนื่องจากจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ในระบบเปิดประสบปัญหาเรื่องของไอสารระเหยหรือกลิ่นต่างๆที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศมีผลรบกวนการทำงานของระบบแต่ระบบต้องการประยุกต์ใช้สำหรับงานตรวจสอบคุณภาพจึงต้องการให้มีสิ่งรบกวนจากภายนอกน้อยที่สุด และอุณหภูมิในที่วางตัวอย่างก็มีผลต่อการระเหยเป็นไอของตัวอย่างซึ่งหากไม่ควบคุมทำให้ผลการวัดในแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงได้เพิ่มชุดควบคุมอุณหภูมิในแฮมเบอร์สำหรับตัวอย่างขึ้นมา ในระบบจึงใช้อากาศแบบถัง เป็นตัวนำตัวอย่างจากชุดแฮมเบอร์ตัวอย่างเข้าสู่ชุดเซ็นเซอร์อาร์เรย์ โดยมีวาล์ว V1 เป็นวาล์วบายพาส วาล์ว V2 และ V3 เป็นวาล์วนำพาตัวอย่างเข้าสู่ระบบตรวจวัด ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างภายในแฮมเบอร์ให้คงที่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่วนของโปรแกรมพัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW V7.0 โดยทำงานร่วมกับ Multifunction I/O รุ่น NI U-6008 ของ National Instrument ทำหน้าที่เป็น Data Acquisition และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว



รูปที่ 3.7 เซ็นเซอร์อาร์เรย์

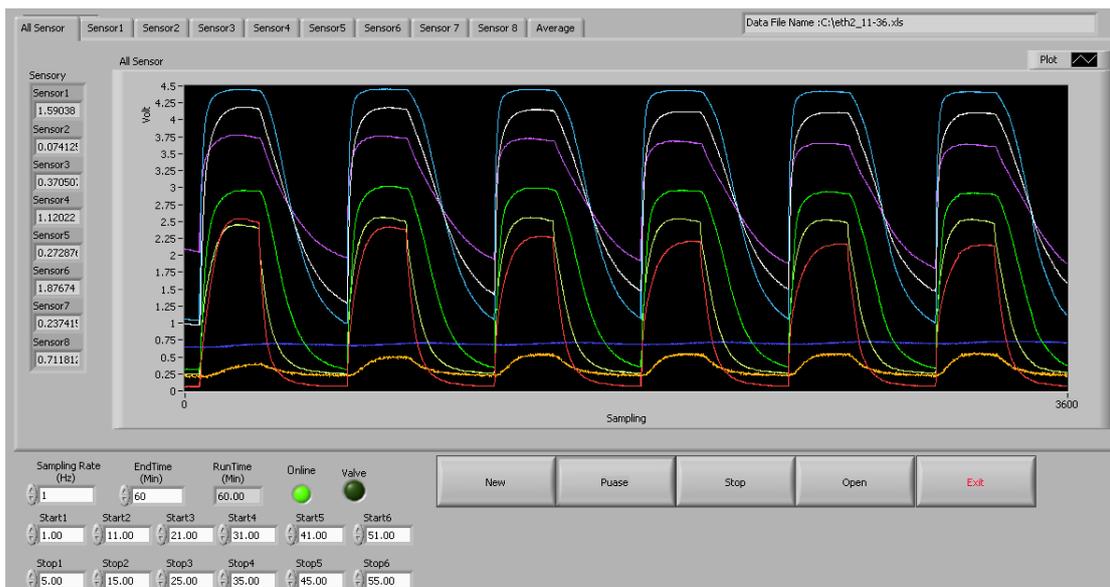
เซ็นเซอร์แสดงที่ใช้ทั้งหมด 8 ตัวดังรูปที่ 3.7 รายละเอียดของเซ็นเซอร์แต่ละตัวแสดงดัง ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับเซ็นเซอร์อาร์เรย์ของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ระบบปิด

เซ็นเซอร์ตัวที่	เบอร์	ชนิดแก๊ส
1	TGS822	Organic Solvent Vapor
2	TGS832	Halogen
3	TGS2620	Solvent Vapor
4	TGS2600	Air Contaminate
5	TGS2611	methane and natural gases
6	TGS2602	Air Contaminate
7	TGS6810	Methane & LPG
8	TGS4160	CO2

ข. โปรแกรมจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด

ส่วนของโปรแกรมพัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW V7.0 โดยทำงานร่วมกับ Multifunction I/O รุ่น NI U-6008 ของ National Instrument ทำหน้าที่เป็น Data Acquisition และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 โปรแกรมจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบปิด

โปรแกรมในส่วนนี้ทำหน้าที่อ่านค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์แต่ละตัวซึ่งมีทั้งหมด 8 ตัว บันทึกค่าลงในไฟล์และควบคุมเวลาในการอ่านค่าและทำหน้าที่เปิด-ปิดวาล์วตัวอย่าง ส่วนการวิเคราะห์ค่าจะนำไปวิเคราะห์บนโปรแกรม อีกครั้งหนึ่ง

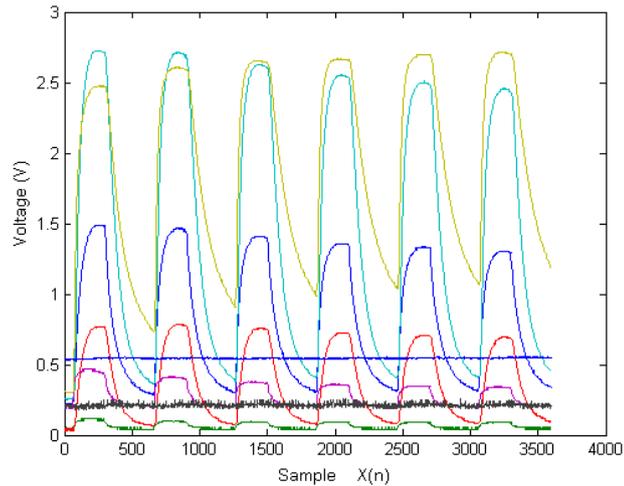
ค. การทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง

ปรับวาล์ว V1 ให้อัตราการไหลของอากาศที่ดูดเข้าเท่ากับ 200 มิลลิลิตรต่อนาที เปิดวาล์ว V4 ทิ้งไว้ 10 นาทีจนเส้นสัญญาณเรียบ จากนั้นนำตัวอย่างปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมในถ้วยตัวอย่างขนาด 5 มิลลิลิตรวางตัวอย่างทิ้งเอาไว้ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างมาวางในแชมเบอร์ รอต้อย่างนิ่งอีก 10 นาที บันทึกอากาศเปล่าก่อนทำการวัดครั้งละ 1 นาที แล้วเปิดวาล์ว V2 และ V3 เพื่อทำการวัดตัวอย่างครั้งละ 4 นาที และซับตัวอย่างทิ้งครั้งละ 5 นาที ทั้งหมด 6 ครั้ง โดยครั้งแรกสุดเป็นการ ล้างเซ็นเซอร์ด้วยตัวอย่าง

ตารางที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนในการทดลอง

ลำดับ	เวลา (นาทีก)	เวลาบันทึกผล (นาทีก)	การทำงาน
1	เริ่มต้น	-	On Valve V4
3	10	-	Prepare Sample
4	15	-	Input Sample in to Chamber
5	25	0	Start Acquisition Air
6	26	1	On Valve 2, Valve 3, Start Acquisition Sample
7	30	5	Off Valve 2 , Valve 3
8	36	11	On Valve 2, Valve 3, Start Acquisition Sample
9	40	15	Off Valve 2, Valve 3
10	46	21	On Valve 2, Valve 3, Start Acquisition Sample
11	50	25	Off Valve 2, Valve 3
12	56	31	On Valve 2, Valve 3, Start Acquisition Sample
13	60	35	Off Valve 2, Valve 3
14	66	41	On Valve 2, Valve 3, Start Acquisition Sample
15	70	45	Off Valve 2
16	76	51	On Valve 2, Valve 3, Start Acquisition Sample
17	80	55	Off Valve 2
18	85	60	End

ตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองมีทั้งหมด 15 ชนิด ประกอบด้วย น้ำมันเบนซิน91 (แก๊สโซลีน91) เบนซิน95(แก๊สโซลีน95) แก๊สโซฮอล์91 แก๊สโซฮอล์95 อี20 เอทานอล เมทานอล น้ำมันก๊าด (Kerosine) ดีเซล บี5 บี50 บี100 น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์ม 50% กับน้ำมันดีเซล 50% น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ทำการวัดตัวอย่างน้ำมันเพื่อวิเคราะห์แต่ละชนิดๆละ 5 ครั้ง ตัวอย่างผลจากการวัดน้ำมันแต่ละครั้งแสดงดังรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นตัวอย่างผลการวัดน้ำมันดีเซล



รูปที่ 3.9 ผลการวัดน้ำมันดีเซลจากเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัว

### 3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์

การทำงานของมอดูอิเล็กทรอนิกส์แบบที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์ เริ่มจากการเก็บข้อมูลโดยอุปกรณ์เก็บข้อมูล Data Acquisition ของ National Instrument ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 NI USB Multifunction รุ่น NI U-6008

โดยการชักตัวอย่างหรือ Sampling ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง  $x(n)$  จากสัญญาณต่อเนื่อง  $x(t)$  โดยอาศัยความถี่ในการชัก (Sampling Rate หรือ Sampling frequency) ซึ่งจะได้สัญญาณ  $x(n)$  เป็น

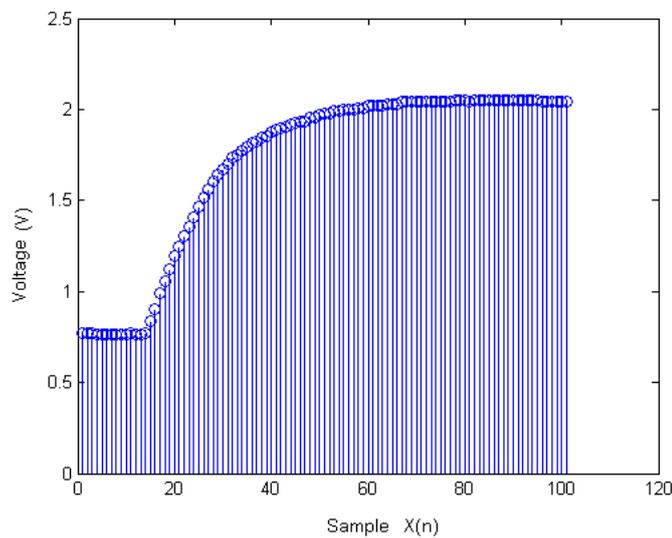
$$x(n) \cong x(nT) \quad (3.1)$$

เมื่อ  $T$  คือคาบของการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาระดับของการ quantization (Q) ข้อมูลจะได้

$$x(n) \cong Q(x(nT)) \quad (3.2)$$

สัญญาณที่ได้จากการ Sampling จะเป็นดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจากการซัดตัวอย่างแต่ละครั้งจะได้ค่าความสูงของสัญญาณมา 1 ค่า ดังนั้นสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างลักษณะสัญญาณในรูป 3.11 เป็นระดับความสูงของสัญญาณที่เกิดจากการซัดตัวอย่าง 100 ครั้ง

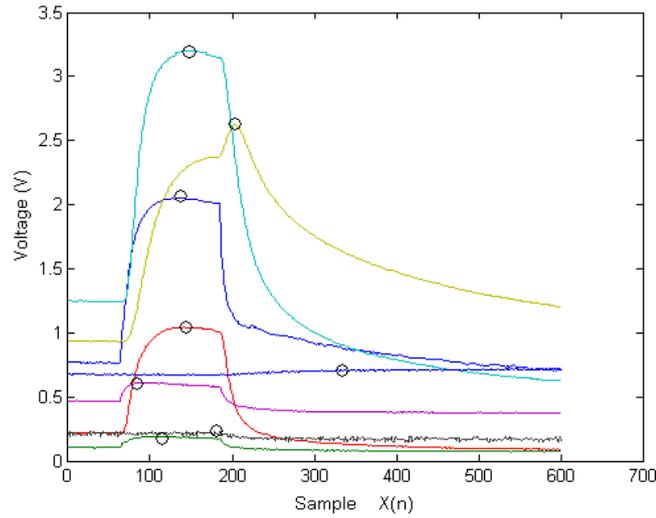


รูปที่ 3.11 สัญญาณที่ได้จากการซัดตัวอย่าง

จากนั้นหาค่าสูงสุดของสัญญาณ (Max) ของเซ็นเซอร์แต่ละตัวดังสมการที่ 3.3

$$x_{(\max)} = \text{Max}(x(n)) \quad (3.3)$$

ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าสูงสุดของสัญญาณที่ทำการซัดมาจากตัวอย่างและรูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งของค่าสูงสุดจากเซ็นเซอร์แต่ละตัว



รูปที่ 3.12 ค่าสูงสุดของเซ็นเซอร์แต่ละตัว

จากการวัดแต่ละครั้งให้อ่าค่าสูงสุดในการวัดที่ได้มาทำการจัดเป็นรูปเมทริกซ์ โดยเวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ 1 จะเป็นแถวที่ 1 ของเมตริก เวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ 2 จะเป็นแถวที่ 2 ของเมตริก จนถึงเวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่  $n$  จะเป็นแถวที่  $n$  ของเมตริก ดังนั้นจะได้เมตริกขนาด  $n \times m$  โดย  $x_m^{(n)}$  คือ  $x_{(\max)}$  ของเซ็นเซอร์  $n$  ใดๆ ในการวัดครั้งที่  $m$  ใดๆ ซึ่งจะได้การจัดเรียงข้อมูลเป็นเมทริกซ์

$$X = [x^{(1)} x^{(2)} x^{(3)} \dots x^{(n)}] = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_1^{(n)} \\ x_2^{(1)} & x_2^{(2)} & \dots & x_2^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^{(1)} & x_m^{(2)} & \dots & x_m^{(n)} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

จากนั้นหาเมตริกค่าแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ด้วยสมการที่ 3.5, 3.5, 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.5)$$

$$x^{(j)} \leftarrow x^{(j)} - \bar{x} \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.6)$$

$$x_i^{(k)} \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad \text{and} \quad x_j^{(k)} \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3.7)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} x_j^{(k)} \quad (3.8)$$

$\bar{x}_i$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมตริก  $X$  ในแต่ละหลัก

$x^{(j)}$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมตริกข้อมูล

$s_{ij}$  คือ เมตริกของความแปรปรวน

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ลบด้วยค่าเฉลี่ยของทุกคอลัมน์เมื่อจัดรูปแบบข้อมูลแล้วคำนวณหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ด้วยสมการที่ 3.10

$$S(X) = \frac{1}{n-1} xx^T \quad (3.9)$$

$$XX^T = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x^{(k)} - \bar{x})(x^{(k)} - \bar{x})^T \quad (3.10)$$

ขั้นตอนต่อมาหาค่าไอเกน (Eigen Value) และเวกเตอร์ไอเกน (Eigen Vector) ของเมตริกความแปรปรวนที่ได้จากสมการที่ 3.10 ซึ่งค่าเมตริกเวกเตอร์ไอเกนที่ได้จะนำไปสร้างตัวแปรใหม่ ดังนี้

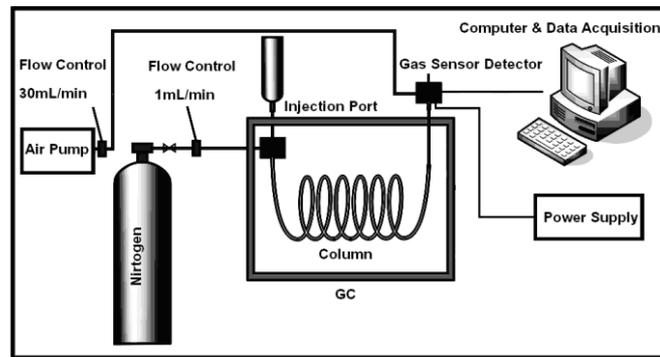
$$\begin{aligned} PC_1 &= w_1' = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1n}X_n \\ PC_2 &= w_2' = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2n}X_n \\ PC_n &= w_n' = w_{n1}X_1 + w_{n2}X_2 + \dots + w_{nn}X_n \end{aligned} \quad (3.11)$$

เมื่อ เป็นตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมีจำนวนสูงสุดเท่ากับจำนวนขนาดของเมตริกความแปรปรวน โดยจะสามารถดึงความสัมพันธ์ของตัวแปรเดิมเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ซึ่งพิจารณาจากค่าไอเกนที่ได้ของเมตริกความแปรปรวนซึ่งจะเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยเช่นกัน โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากร้อยละของค่าไอเกนสะสมของตัวประกอบหลังค่าไอเกนตัวแรกเป็นอย่างต่ำร้อยละ 80 เช่น มีจำนวนตัวแปรใหม่  $iPC \ n = 8$  ตัว แต่มีสัดส่วนค่าไอเกนสะสม 2 ตัวแรกร้อยละ 84 ในกรณีนี้เราจะสามารถใช้ตัวแปรใหม่ และแทนตัวแปรเดิมทั้งหมดได้ ผลลัพธ์จาก PCA จะได้ค่าไอเกน และ เวกเตอร์ไอเกน ซึ่งข้อมูลทั้งสองมีความสมนัยซึ่งกันและกัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงเพื่อแสดง

เป็นภาพฉายโดยจะเลือกแกนจากเวกเตอร์ไอเกนที่มีการกระจายสูงสุดและมีค่าอธิบายความสัมพันธ์ได้มากกว่าหรือเท่ากับ 80% ซึ่งโดยทั่วไปจะ เป็นแกน Projection 1(PC1), Projection 2 (PC2) และ Projection 3 (PC3) ทั้งสามแกนสามารถแสดงเป็นภาพฉายได้ในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์

### 3.2.4 จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี

จากโครงสร้างพื้นฐานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟีที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.8.3 ทางผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะใช้เทคนิคนี้ในการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถวัดชนิดและปริมาณของสารระเหยได้จึงได้พัฒนาระบบขึ้นมา โดยใช้เซ็นเซอร์แก๊สแบบ SnO<sub>2</sub> เบอร์ TGS822 ของบริษัท Figaro ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent Vapors) ซึ่งครอบคลุมในการตรวจวัดสารระเหยหลายชนิดและใช้ Data Acquisition ของ Varian รุ่น ACDC Board ทำงานร่วมกับ Software Star Workstation V6.2 ทำหน้าที่เป็นเก็บข้อมูลซึ่งระบบที่พัฒนาแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 โครงสร้างของจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี

ก. เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการทดลองและชุดทดลอง

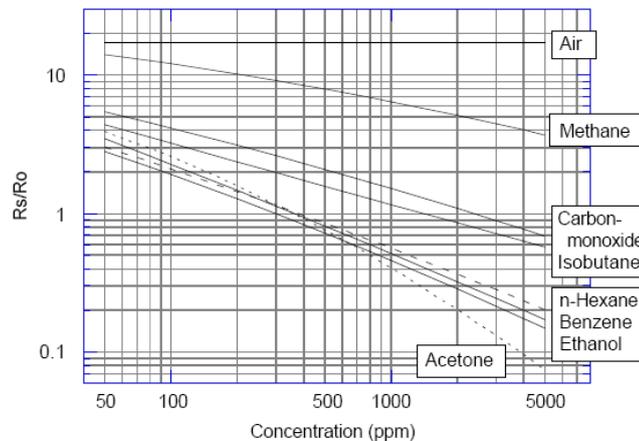
เซ็นเซอร์เบอร์ TGS822 เป็นเซ็นเซอร์แบบดีบุกออกไซด์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.14 ซึ่งจากคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตัวนี้จากผู้ผลิตไว้สำหรับตัวจับไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์ เช่นอะซีโตน (Acetone) เอทานอล (Ethanol) และแก๊สพิษบางชนิดเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) และ ไอโซบิวเทน (Isobutene) เป็นต้น เซ็นเซอร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 ลักษณะของเซ็นเซอร์เบอร์ TGS822

ข้อมูลจากผู้ผลิตในด้านคุณสมบัติของเซ็นเซอร์เบอร์ TGS 822 จะมีความไวสูงในการตรวจจับไอสารอินทรีย์ระเหยง่ายเช่นเมทานอลซึ่งอธิบายด้วยความต้านทานตอบสนองต่อไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ  $R_s/R_o$  ในรูปที่ 3.15 มีความเที่ยงตรงสูงในการวัดค่าซ้ำมีอายุการใช้งานยาวนานมีราคาถูกและวงจรใช้งานที่ง่ายมากดังแสดงในรูปที่ 3.16 และค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ใช้งานตามเอกสารของผู้ผลิตแสดงดังตารางที่ 3.5 ใช้แรงดัน Heater (VH) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แรงดัน  $5.0 \pm 0.2V$  ใช้ไฟจ่ายให้กับวงจร VC เป็นแรงดันไปกระแสตรงค่าไม่เกิน 24V ซึ่งจะใช้พลังงานประมาณ 15mW โดยที่ใช้ RL ไม่ต่ำกว่า  $0.45k\Omega$

**Sensitivity Characteristics:**

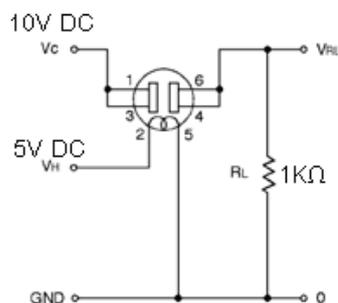


รูปที่ 3.15 ความต้านทานตอบสนองต่อไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ  $R_s/R_o$

ตารางที่ 3.5 ค่าแรงดันและความต้านทาน RL ที่ใช้กับเซ็นเซอร์จากผู้ผลิต

รายการ	สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้งาน	หมายเหตุ
Heater Voltage	VH	$5 \pm 0.2V$	AC or DC
Circuit Voltage	VC	Max 24V	DC only $PS \leq 15mW$
Load Resistance	RL	Variable	$0.45k\Omega$ min.

ค่า RL ต่ำสุดที่ผู้ผลิตกำหนดคือ  $0.45k\Omega$  ดังนั้นผู้วิจัยได้กำหนดให้เป็น 2 เท่าของค่าต่ำสุดเป็น  $0.9k\Omega$  ซึ่งค่าใกล้เคียงที่เหมาะสมที่มีใช้งานในห้องทดลองคือ  $1k\Omega$  และค่าแรงดัน VC สูงสุดที่ผู้ผลิตกำหนดคือ 24V และค่าแรงดันสูงสุดของ Data Acquisition ที่ใช้งานเท่ากับ 10 V ดังนั้นค่าแรงดัน VC สูงสุดที่ใช้งานได้ต้องไม่เกิน 10 V วงจรที่ใช้งานจึงกำหนดค่า  $RL=1k\Omega$  และ  $VC = 10VDC$  ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรของเซ็นเซอร์เบอร์ TGS 822 ที่พร้อมใช้งาน

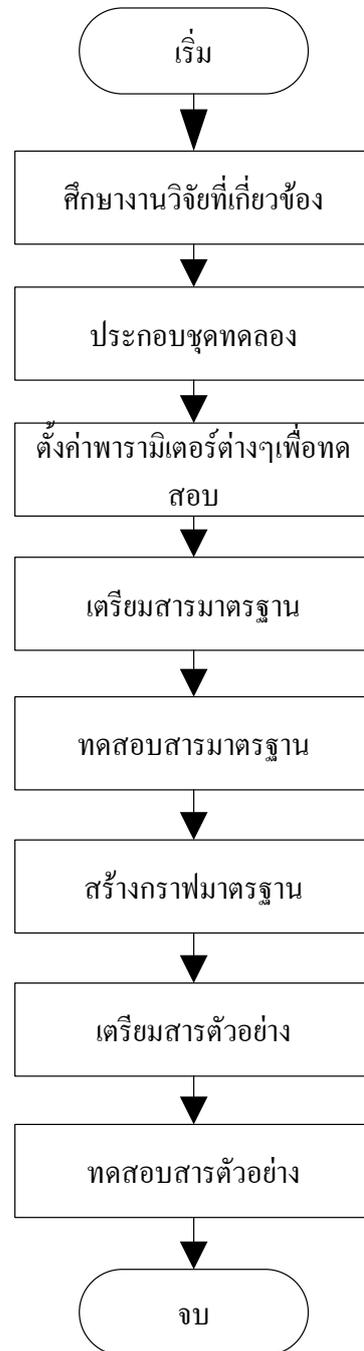
ประกอบชุดทดลองตามไดอะแกรมในรูปที่ 3.16 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์

- แก๊สเซ็นเซอร์พร้อมวงจร
- Air Pump
- แก๊สไนโตรเจน
- Regulator ปรับความดัน
- Mass Flow Control
- Needle Valve Control
- GC Column Oven
- GC Injection Port
- GC Column
- Temperature Control +Heater and Probe 2 ชุด
- Data Acquisition Board
- Computer
- Power Supply

ข. การทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง

ในการทดลองหลังเริ่มจากประกอบชุดทดลอง ใช้คอลัมน์ ชนิด CP-SIL 5 ความยาว 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ความหนาฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตรติดตั้งเข้ากับ อินเจ็คเตอร์ แบบออนคอลัมน์ (On Column) ปรับอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนซึ่งคือแก๊สพาที่ 1 มิลลิตรต่อนาที ปลายอีกด้านของคอลัมน์ต่อเข้ากับแก๊สเซ็นเซอร์และปรับอัตราการไหลของแก๊สอากาศให้กับเซ็นเซอร์แก๊สที่ 30 มิลลิตรต่อนาที ตั้งค่าอุณหภูมิของอินเจ็คเตอร์ 150 องศาเซลเซียส

และของตู้คอนกรีต 40 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที ใช้ Data acquisition ของ Varian รุ่น ACDC Board ร่วมกับโปรแกรม Star Workstation เป็นตัวเก็บข้อมูล เปิดระบบทั้งหมดเพื่อทำการเริ่มการทำงานเครื่องโดยรอให้อุณหภูมิที่ได้คงที่ลำดับขั้นตอนทดลองดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ลำดับขั้นตอนในการทดลอง

## ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- ประกอบชุดทดลอง
- ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือแก๊สพาที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ปลายอีกด้านของคอลัมน์
- ต่อเข้ากับแก๊สเซ็นเซอร์ และปรับอัตราการไหลของแก๊สอากาศให้กับแก๊สเซ็นเซอร์ที่ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งค่าอุณหภูมิของอินเจ็คเตอร์ 150 องศาเซลเซียส และของตู้คอลัมน์ 40 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที
- เตรียมสารมาตรฐาน
- ทดสอบสารมาตรฐาน
- สร้างกราฟมาตรฐาน
- ทดสอบสารตัวอย่างทดสอบ
- วิเคราะห์ผลการทดลอง

### ค. การเตรียมสารมาตรฐาน

การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับการทดสอบเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับทดสอบสารตัวอย่าง มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างดังนี้

- Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
- Auto pipette ขนาด 200 ไมโครลิตร
- ขวดตัวอย่างขนาด 10 มิลลิลิตร
- น้ำกลั่น
- เมทานอล

เตรียมสารมาตรฐานเพื่อใช้ในการทำกราฟมาตรฐาน โดยเตรียมสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆดังนี้ 0.005%Vol, 0.01%Vol, 0.02%Vol, 0.05%Vol, 0.1%Vol, 0.2%Vol และ 0.5%Vol ซึ่งวิธีการเตรียมสารมาตรฐานเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

- ความเข้มข้น 0.005 %

$$0.005\% = 100\text{mL} \times \left( \frac{0.005}{100} \right)$$

$$= 0.005\text{mL}$$

$$= 5\mu\text{L}$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 5 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตรแล้ว เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.005%

- ความเข้มข้น 0.01 %

$$0.01\% = 100\text{mL} \times \left( \frac{0.01}{100} \right)$$

$$= 0.01mL$$

$$= 10\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 10 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.01%

- ความเข้มข้น 0.02 %

$$0.02\% = 100mL \times \left( \frac{0.02}{100} \right)$$

$$= 0.02mL$$

$$= 20\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 20 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.02%

- ความเข้มข้น 0.05 %

$$0.05\% = 100mL \times \left( \frac{0.05}{100} \right)$$

$$= 0.05mL$$

$$= 50\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 50 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.05%

- ความเข้มข้น 0.1 %

$$0.1\% = 100mL \times \left( \frac{0.1}{100} \right)$$

$$= 0.1mL$$

$$= 100\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 100 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1%

- ความเข้มข้น 0.2 %

$$0.2\% = 100mL \times \left( \frac{0.2}{100} \right)$$

$$= 0.2mL$$

$$= 200\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 200 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.2%

- ความเข้มข้น 0.5 %

$$0.5\% = 100mL \times \left( \frac{0.5}{100} \right)$$

$$= 0.5mL$$

$$= 500\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 500ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.5%

#### ง. การนำสารมาตรฐานเข้าทดสอบ

เมื่อทำการเตรียมสารมาตรฐานเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ทำการทดสอบวัดสารมาตรฐานโดยใช้เข็มฉีดยาที่ใช้สำหรับการฉีดตัวอย่างของเหลว (Liquids syringe) โดยการฉีดสารมาตรฐานด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร สารมาตรฐานละหนึ่งครั้ง

#### จ. การเตรียมสารตัวอย่าง

เตรียมสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการทำการทดสอบ โดยเตรียมสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆดังนี้ 0.04%Vol, 0.05%Vol, 0.07%Vol, 0.13%Vol และ 0.20%Vol

- ความเข้มข้น 0.04 %

$$0.04\% = 100mL \times \left( \frac{0.04}{100} \right)$$

$$= 0.04mL$$

$$= 40\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอลขนาด 40 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.04%

- ความเข้มข้น 0.05 %

$$0.05\% = 100mL \times \left( \frac{0.05}{100} \right)$$

$$= 0.05mL$$

$$= 50\mu L$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอลขนาด 50 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.05%

- ความเข้มข้น 0.07 %

$$0.07\% = 100mL \times \left( \frac{0.07}{100} \right)$$

$$= 0.07mL$$

$$= 70\mu L$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอลขนาด 70 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.07%

- ความเข้มข้น 0.13 %

$$\begin{aligned}0.13\% &= 100\text{mL} \times \left(\frac{0.13}{100}\right) \\ &= 0.13\text{mL} \\ &= 130\mu\text{L}\end{aligned}$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอลขนาด 130 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.13%

- ความเข้มข้น 0.2 %

$$\begin{aligned}0.2\% &= 100\text{mL} \times \left(\frac{0.2}{100}\right) \\ &= 0.2\text{mL} \\ &= 200\mu\text{L}\end{aligned}$$

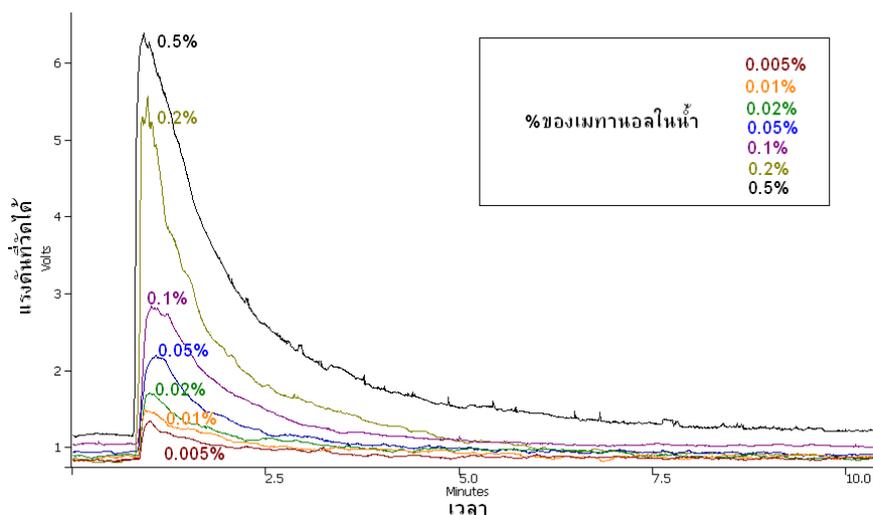
ดูดสารตัวอย่างเมทานอลขนาด 200 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.2%

#### ฉ. การนำตัวอย่างเข้าทดสอบ

เมื่อทำการเตรียมสารตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ทำการทดสอบวัดสารตัวอย่างโดยใช้เข็มฉีดยาตัวอย่างที่ใช้สำหรับการฉีดตัวอย่างของเหลว Liquids syringe โดยการฉีดสารตัวอย่างด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร สารตัวอย่างความเข้มข้นละหนึ่งครั้ง

#### ข. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลจากการทดสอบสารมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 3.21 ซึ่งเป็นความสูงของโครมาโตแกรมที่ได้จากการฉีดแต่ละครั้งตามระดับความเข้มข้นของตัวอย่าง พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของตัวอย่างเพิ่มค่าความสูงของโครมาโตแกรมที่ปรากฏจะสูงขึ้นด้วย และเวลาที่ใช้ในการทดสอบของทุกครั้งที่ทดสอบเป็น 10 นาที ในการวิเคราะห์จะทำการอ่านค่าความสูงของพีคและพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากโปรแกรมบันทึกผลตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.18 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการทดลองได้ค่าเวลาพีก (Retention Time:RT) ค่าความสูงของแรงดันที่วัดได้ (Peak Height:H) และพื้นที่ใต้กราฟ (Area Count) ของเมทานอลแต่ละระดับดังแสดงในตารางที่ 3.6 และลักษณะของโครมาโตแกรมดังรูปที่ 3.18 จากผลการทดลองอ่านค่าพื้นที่ใต้กราฟ ค่าความสูงของกราฟ และเวลาที่เกิดความสูงยอดของสัญญาณหรือจุดสูงสุดแสดงค่าของผลการวัดสารมาตรฐานดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลของการวัดสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น $X_i$ (%)	เวลาที่เกิดพีก RT (Min)	ความสูง H (mV)	พื้นที่ใต้กราฟ Area (Count)
0.005	1.061	426.60	1483414
0.010	1.051	553.48	2568842
0.020	1.073	774.18	4086912
0.050	1.111	1204.58	5575904
0.100	1.114	1730.07	10568587
0.200	0.989	4254.25	21315380
0.500	1.010	5043.96	38171328

ข. การวิเคราะห์ข้อมูลจากมุขอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี

การวิเคราะห์ด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นมีสมการดังสมการที่ 3.12

$$g(x) = a_0 + a_1x \quad (3.12)$$

ค่าคงตัว  $a_0$  และ  $a_1$  ในสมการที่ 3.12 สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่าง  $x_i$  กับพื้นที่ใต้กราฟของพีค (Area) ซึ่งกำหนดให้เป็น  $y_i$  การคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ทำการสุ่ม เมื่อ  $F$  คือ ความถี่ในการสุ่มข้อมูล (Sampling Frequency) ดังนั้น สามารถหาค่าช่วงเวลาในการสุ่มแต่ละครั้งหรือ  $h$  ได้จาก

$$h = \frac{1}{F} \quad (3.13)$$

จากการสุ่มสัญญาณอะนาล็อกจะมีการ quantization (Q) ข้อมูล ทำให้สัญญาณที่ถูกบันทึกจะเป็นระดับค่าสัญญาณที่ถูก quantization จะได้

$$x(n) \cong Q(x(nT)) \quad (3.14)$$

การคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟจะคำนวณพื้นที่จากตำแหน่งที่เกิดพีค หากว่าการสุ่มสัญญาณทั้งหมดเท่ากับ  $n$  ครั้ง ณ ตำแหน่งที่เกิด พีคจะอยู่ในช่วง  $a$  ถึง  $b$  ดังนั้นเมื่อใช้กฎของสี่เหลี่ยมคางหมู จะได้

$$I = h \left( \frac{f(x_a) + f(x_b)}{2} + \sum_{i=a+1}^{b-1} f(x_i) \right) \quad (3.15)$$

ซึ่งจะได้พื้นที่ของพีคแต่ละตัว จากนั้นนำพื้นที่พีคที่ได้มาเขียนในรูปเมตริกดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

และหาค่า

$$a_0 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n y_i \right) \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)}{n \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3.17)$$

$$a_1 = \frac{n \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3.18)$$

เมื่อได้ค่าคงตัว  $a_0$  และ  $a_1$  ที่คำนวณได้นี้แทนลงก็จะได้สมการเส้นตรงที่แสดงการถดถอยแบบเชิงเส้นตามที่ต้องการ เมื่อทำการทดสอบตัวอย่างที่เป็นตัวไม่ทราบค่าความเข้มข้น เมื่อทดสอบเราจะได้พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างนั้นมา ( $y$ ) ดังนั้นจะได้

$$g(x) = y \quad (3.19)$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 3.12 จะได้

$$y = a_0 + a_1x \quad (3.20)$$

หาค่าความเข้มข้น ( $x$ ) จะได้

$$x = \frac{y - a_0}{a_1} \quad (3.21)$$

ค่าที่แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างกับพื้นที่ใต้กราฟของกราฟมาตรฐานที่อ่านได้คือค่า สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) หรือค่า  $r$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.22 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) หรือค่า  $R^2$  กราฟมาตรฐานที่ได้จากการวัดสารมาตรฐาน จะมีสอดคล้องกับปริมาณสารที่อ่านค่าได้หรือไม่สามารถคำนวณจากค่า  $R^2$  จากสมการที่ 3.23 โดยที่ค่า  $R^2$  ที่ดีต้องมีค่าเข้าใกล้ 1

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right)\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}} \quad (3.22)$$

ดังนั้น

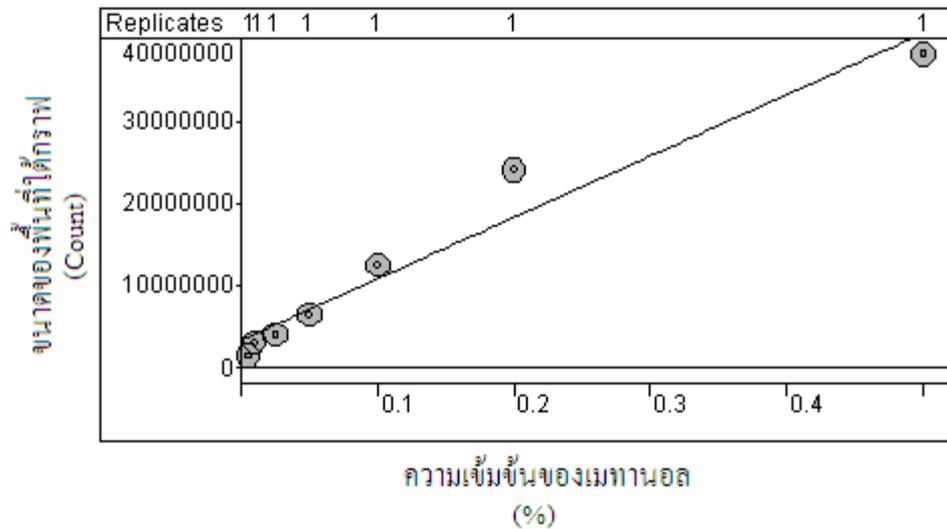
$$R^2 = r^2 \quad (3.23)$$

โดยที่  $r$  คือ สหสัมพันธ์ ค่า  $R^2$  คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เมื่อ  $\bar{x}$  คือค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของสารที่วัดและ  $\bar{y}$  คือค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3.24 และ 3.5 ตามลำดับ

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.24)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.25)$$

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาทำกราฟมาตรฐานได้กราฟมาตรฐานแบบเชิงเส้นดังรูปที่ 3.19 ซึ่งเป็นกราฟการถดถอยเชิงเส้นสำหรับไว้ทำการพยากรณ์หาความเข้มข้นของตัวอย่างจากลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นจะพบว่าค่าพื้นที่ใต้กราฟจะแปรผันตามค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นพื้นที่ใต้กราฟจะเพิ่มขึ้นด้วยนั่นเอง



รูปที่ 3.19 กราฟมาตรฐานแบบเชิงเส้นของสารมาตรฐานทั้งหมด

สมการของกราฟมาตรฐานและค่า  $R^2$  ของกราฟมาตรฐาน ในรูปที่ 3.19 ได้เท่ากับสมการที่ 3.26 และสมการที่ 3.27 ตามลำดับ

$$y = 7.4537e + 07x + 2.490e + 06 \quad (3.26)$$

และ

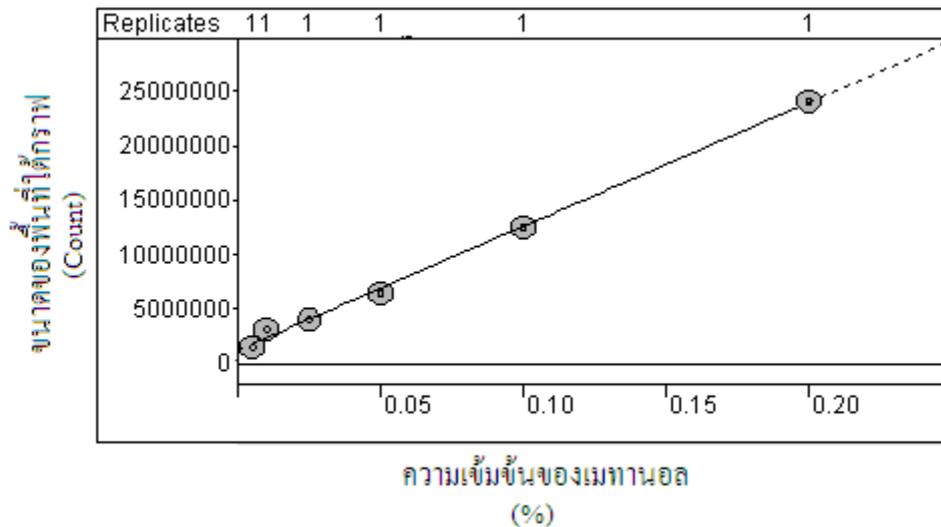
$$R^2 = 0.980422 \quad (3.27)$$

เมื่อใช้สมการที่ 3.1 ทดสอบวัดค่าที่ได้จากการฉีดทดสอบอ่านค่าได้ตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลของการวัดสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆจากกราฟมาตรฐาน  
สมการที่ 3.26

ความเข้มข้น Xi (%)	พื้นที่ได้กราฟ Area (Count)	ความเข้มข้น ที่อ่านได้ C (%)	เปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาด Error (%)
0.04	5367350	0.0386	3.50
0.05	6367130	0.0520	4.00
0.07	8199189	0.0766	9.43
0.13	13485552	0.1475	13.46
0.20	21315380	0.2526	26.30

ค่าความผิดพลาดในการวัดตัวอย่างจริงค่อนข้างสูง เช่นที่ความเข้มข้นจริง 0.20% วัดค่าได้ 0.2526% และมีค่าผิดพลาด 26.3% ดังนั้นเมื่อได้กราฟมาตรฐานพิจารณาพบว่าช่วงความเข้มข้นสูงเริ่มไม่เป็นเชิงเส้นจึงตัดจุด 0.5% ออกได้กราฟมาตรฐานแบบเชิงเส้นใหม่ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 กราฟมาตรฐานแบบเชิงเส้นที่ได้เมื่อตัดจุดวัดช่วงไม่เป็นเชิงเส้นออก

สมการของกราฟมาตรฐานและค่า  $R^2$  ของตัวตรวจวัดแบบใหม่ช่วงที่เป็นเชิงเส้นของกราฟมาตรฐานในรูปที่ 3.20 ได้เท่ากับสมการที่ 28 และสมการที่ 29 ตามลำดับ

$$y = 9.9286e + 07x + 1.1463e + 06 \quad (3.28)$$

และ

$$R^2 = 0.996162 \quad (3.29)$$

เมื่อใช้สมการที่ 3 วัดค่าที่ได้จากการฉีดตัวอย่างทดสอบอ่านค่าได้ตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ผลของการวัดสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆจากกราฟมาตรฐานสมการที่

3.28

ความเข้มข้น Xi (%)	พื้นที่ใต้กราฟ Area (Count)	ความเข้มข้นที่ อ่านได้ C (%)	เปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาด Error (%)
0.04	5367350	0.0425	6.25
0.05	6367130	0.0526	5.20
0.07	8199189	0.0710	1.43
0.13	13485552	0.1243	4.38
0.20	21315380	0.2031	1.55

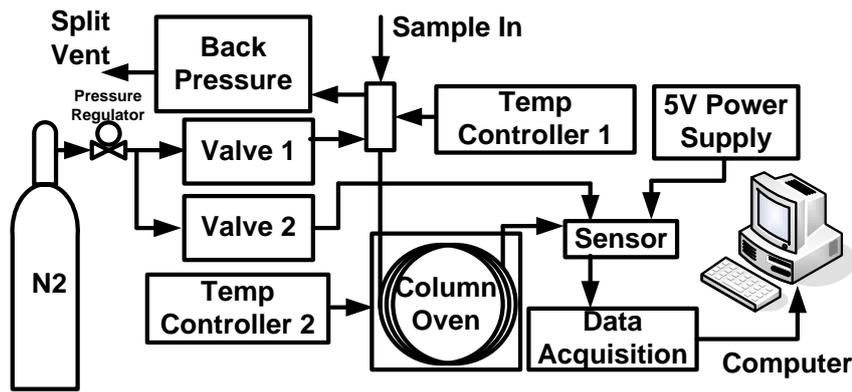
จากระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาพบว่าระบบมีสัญญาณรบกวนสูง และสัญญาณที่ได้มีหาง (tail) กว้างมากทำให้ฐานของพีคกว้างและยังทำการทดสอบกับสารระเหยตัวอย่างเพียงชนิดเดียว

### 3.3 การพัฒนาจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี

โดยได้พบปัญหาต่างๆที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นเป็นข้อๆ ดังนี้

- สัญญาณรบกวนสูง
- พีคมีหาง (Tailing)
- เวลาที่เกิดพีคไม่คงที่
- ระบบได้ทำการตรวจวัดสารระเหยเพียงตัวเดียว
- ชุดทดลองมีขนาดใหญ่

จากปัญหาทั้งหมดจะได้ปรับปรุงดังแสดงในรูปที่ 3.21



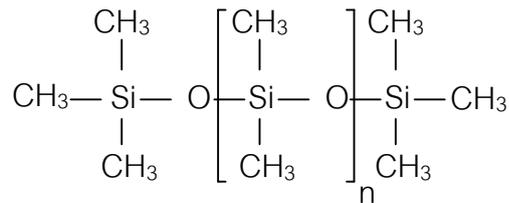
รูปที่ 3.21 โครงสร้างของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ปรับปรุง

ส่วนประกอบของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ปรับปรุงประกอบด้วย

- แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen)
- Pressure Regulator
- Valve 1 Mass flow Control
- Valve 2 Needle Valve
- Back Pressure
- Injector
- Temperature Controller1, Heater & Probe for Injector
- Column Oven & Column
- Temperature Controller 2, Heater & Probe for Column Oven
- Gas Sensor
- Data Acquisition Board
- Computer
- 5V Power supply

### 3.3.1 ศึกษาคอลัมน์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

คอลัมน์สำหรับการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟีมีมากมายหลายชนิดซึ่งผู้ผลิตๆมา สำหรับวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างต่างๆมากมายแตกต่างกันไปดังนั้นในการวิเคราะห์กลิ่นไอสารเคมีที่ใช้เรามุ่งวิเคราะห์สารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์จึงพิจารณาเลือกคอลัมน์สำหรับวิเคราะห์แอลกอฮอล์ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.22

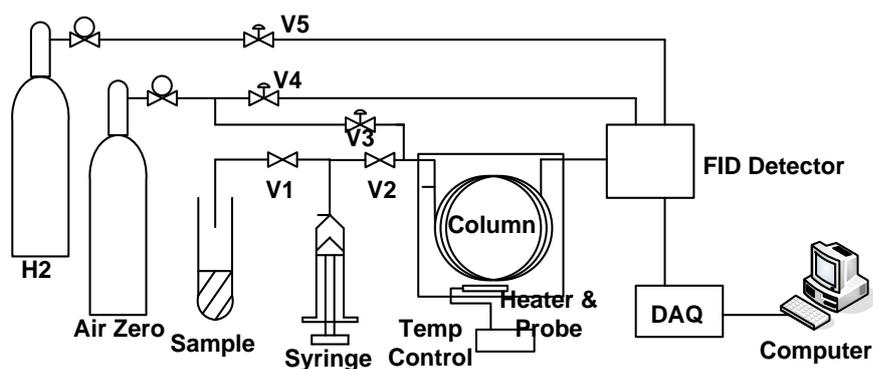


รูปที่ 3.22 โครงสร้าง Stationary Phase แบบ dimethylpolysiloxane

โดย Stationary Phase ที่เคลือบอยู่ภายในคอลัมน์คือ dimethylpolysiloxane 100% โดยมีรหัสของคอลัมน์จากผู้ผลิตบริษัท Varian ว่า CP-SIL 5 ความยาว 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 ไมโครเมตร ความหนาของ Stationary Phase 1.0 ไมโครเมตร ซึ่งไว้สำหรับทำการวิเคราะห์แยกสารกลุ่ม Alcohols, Aromatic hydrocarbon, esters, flavors and aromas, free fatty acids, glycols, halogenated hydrocarbon, hydrocarbon, ketones, organic acids, oxygenates, PAHs, pesticides, polymers, steroids, solvents, sulfur compounds ซึ่งเป็นคอลัมน์ที่สามารถแยกสารเคมีได้หลากหลายจึงเหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้

ก. การทดสอบคอลัมน์ที่ใช้งาน

การทดสอบคอลัมน์ที่เลือกใช้จะทำทดสอบโดยประยุกต์ใช้กับโครงสร้างของจุมกอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่แสดงดังรูปที่ 3.23 มีโครงสร้างเหมือนจุมกอิเล็กทรอนิกส์ระบบเปิดแต่ได้เพิ่มส่วนของคอลัมน์เข้ามา



รูปที่ 3.23 ระบบของจุมกอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ที่น่าเสนอ

หลักการการทำงานคือปรับอัตราการไหลของวาล์ว V3 ให้ได้ประมาณ 0.5 มิลลิตรต่อนาที เพื่อเป็นแก๊สพา นำตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์เมื่อทำการเปิดวาล์ว V1 จะใช้ Syringe ดูกลืนของตัวอย่างมาเก็บไว้ปริมาตร 1 มิลลิตร จากนั้นปิดวาล์ว V1 แล้วเปิด วาล์ว V2 แล้วฉีดตัวอย่างในเข็มฉีดตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ กลิ่นที่มีการผสมกันอยู่จะถูกคอลัมน์แยกออกจากกัน เมื่อไปถึงปลายทาง จะเข้าสู่ตัวตรวจวัด

วัดสัญญาณออกมาเป็นโครมาโตแกรม สำหรับวิเคราะห์ผลต่อไป ส่วนวาล์ว V4 และ วาล์ว V5 เป็นวาล์วสำหรับ ปรับอัตราไหลสู่ตัวตรวจวัด

ข. การวิเคราะห์คุณสมบัติของคอลัมน์

จากผลการทดลองพิจารณาเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของ Column โดยพิจารณาค่าต่อไปนี้

- ค่าเพลททางทฤษฎี (number of a theoretical plate,  $N$ ) สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 3.30

$$N = 5.54 \left( \frac{t_R}{w_{50}} \right)^2 \quad (3.30)$$

- สามารถหาค่าอำนาจการแยกของสารได้จากสมการที่ 3.31

$$R = \frac{\Delta t_R}{4\sigma} = \frac{t_{R_2} - t_{R_1}}{0.5(w_1 + w_2)} \quad (3.31)$$

### 3.3.2 ศึกษาคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ และคัดเลือกเซ็นเซอร์ที่เหมาะสม

จากตารางเซ็นเซอร์ของผู้จำหน่าย เซ็นเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับทำการวัดสารระเหย คือเบอร์ TGS 2620 ซึ่งสำหรับตรวจวัด Alcohol & Solvent vapors หรือสารกลุ่มแอลกอฮอล์และสารระเหยตัวทำละลายต่างๆ ซึ่งมีความไวในกาตอบสนองอยู่ที่ 0-5000 พีพีเอ็ม มีความเที่ยงตรงสูงในการวัดค่าซ้ำมีอายุการใช้งานยาวนานมีราคาถูกและวงจรใช้งานที่ง่ายมากดังแสดงในรูปที่ 3.24 เซ็นเซอร์ใช้แรงดัน Heater (VH) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แรงดัน  $5.0 \pm 0.2$  V ใช้ไฟจ่ายให้กับวงจร VC เป็นแรงดันไปกระแสตรงค่าไม่เกิน 5V(DC)

RL ต่ำสุดที่ผู้ผลิตกำหนดคือ 0.45k $\Omega$  ดังนั้นผู้วิจัยได้กำหนดให้เป็น 2 เท่าของค่าต่ำสุดเป็น 0.9k $\Omega$  ซึ่งค่าใกล้เคียงที่เหมาะสมที่มีใช้งานในท้องตลาดคือ 1k $\Omega$  และค่าแรงดัน VC สูงสุดที่ผู้ผลิตกำหนดคือ 5V และค่าแรงดันสูงสุดของ Data Acquisition ที่ใช้งานเท่ากับ 10 V ดังนั้นค่าแรงดัน VC สูงสุดที่ใช้งานได้ต้องไม่เกิน 5 V วงจรที่ใช้งานจึงกำหนดค่า RL=1k $\Omega$  และ VC = 5VDC ดังรูปที่ 3.26



### TGS 2620 - for the detection of Solvent Vapors

#### Features:

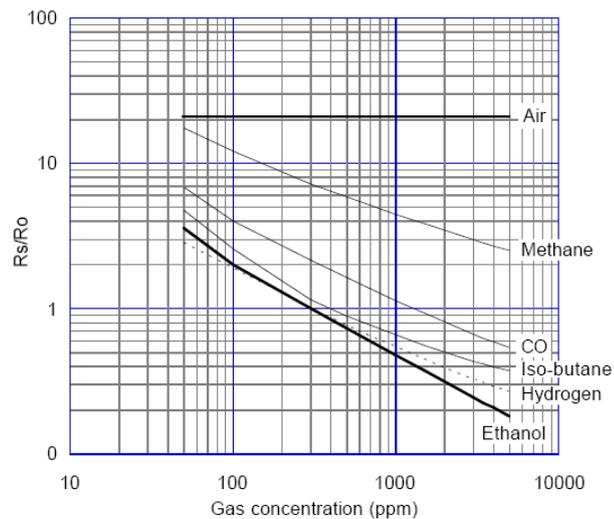
- \* Low power consumption
- \* High sensitivity to alcohol and organic solvent vapors
- \* Long life and low cost
- \* Uses simple electrical circuit

#### Applications:

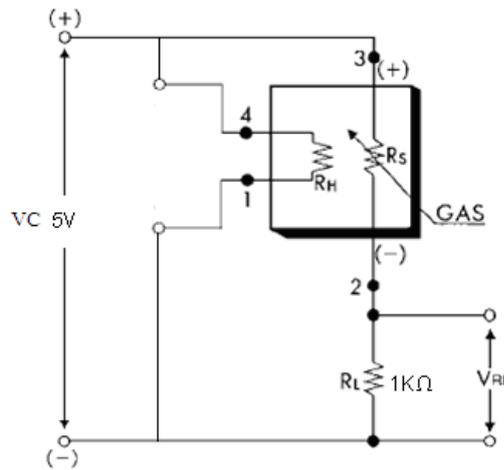
- \* Alcohol testers
- \* Organic vapor detectors/alarms
- \* Solvent detectors for factories, dry cleaners, and semiconductor industries

รูปที่ 3.24 เซ็นเซอร์แบบ MOS เบอร์ TGS 2620 [21]

#### Sensitivity Characteristics:



รูปที่ 3.25 ความต้านทานตอบสนองต่อไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ  $R_s/R_o$  เซ็นเซอร์เบอร์ TGS 2620 [21]



รูปที่ 3.26 วงจรของเซ็นเซอร์เบอร์ TGS 822 ที่พร้อมใช้งาน

ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 3.32

$$R_S = \left( \frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L \quad (3.32)$$

กำลังไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ใช้ไปสามารถหาได้จากสมการที่ 3.33

$$P_S = \frac{V_C^2 \times R_S}{(R_S + R_L)^2} \quad (3.33)$$

### 3.3.3 ลำดับขั้นในการทดลอง

ในการทดลองมีลำดับขั้นตอนเหมือนดังรูปที่ 3.17 โดยมีรายละเอียดคือ เมื่อประกอบชุดทดลองใช้คอลัมน์ ชนิด CP-SIL 5 ความยาว 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ความหนาฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร ติดตั้งเข้ากับอินเจ็คเตอร์แบบออนคอลัมน์ปรับอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนซึ่งคือแก๊สพาที่ 1 มิลลิตรต่อนาที ปลายอีกด้านของคอลัมน์ต่อเข้ากับเซ็นเซอร์แก๊ส และปรับอัตราการไหลของแก๊สอากาศ ให้กับเซ็นเซอร์แก๊สที่ 30 มิลลิตรต่อนาที ตั้งค่าอุณหภูมิของอินเจ็คเตอร์ 150 องศาเซลเซียสและของตู้คอลัมน์ 40 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที ใช้ Data acquisition ของ Varian รุ่น ACDC Board ร่วมกับโปรแกรม Star Workstation เป็นตัวเก็บข้อมูล เปิดระบบทั้งหมดเพื่อทำการเริ่มการทำงานเครื่องโดยรอให้อุณหภูมิที่ได้คงที่ลำดับขั้นตอนทดลองดังนี้

- ประกอบชุดทดลอง พร้อมตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือแก๊สพาที่ 1 มิลลิตรต่อนาที ปลายอีกด้านของคอลัมน์ต่อเข้ากับเซ็นเซอร์แก๊ส และปรับอัตราการไหลของแก๊สอากาศ ให้กับเซ็นเซอร์แก๊สที่ 30 มิลลิตรต่อนาที ตั้งค่าอุณหภูมิของอินเจ็คเตอร์ 150

องศาเซลเซียส และของตู้คอลัมน์ 40 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที อุณหภูมิห้องทดลองอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้น 40-80%

- เตรียมสารมาตรฐาน
- ทดสอบสารมาตรฐาน
- สร้างกราฟมาตรฐาน
- ทดสอบสารตัวอย่างทดสอบ
- วิเคราะห์ผลการทดลอง

ก. ประกอบชุดทดลองและพารามิเตอร์ต่างๆ

ประกอบชุดทดลองตามโครงสร้างในรูปที่ 3.38 ซึ่งจะเป็นชุดทดลองตามรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ชุดทดลอง

เมื่อประกอบชุดทดลองตามรูปแล้วก็ทำการทดสอบเครื่องโดยทำการจ่ายไฟให้ชุดทดลองเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ โดยจ่ายไฟให้ชุดทดลองไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

- ปรับความดันของไนโตรเจนที่ 40 PSI
- ปรับค่าอัตราไหลของแก๊สไนโตรเจนของที่วาล์ว 1 ให้ได้ค่า Split Vent 10 มิลลิลิตรต่อนาทีเพื่อเป็นการลดปริมาณของตัวอย่างที่เข้าสู่คอลัมน์ทำให้ตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ได้เร็วขึ้นซึ่งจะทำให้ลดหางของพีคลงได้
- ปรับค่า Back Pressure ให้ได้ค่าอัตราไหลของแก๊สไนโตรเจนเข้าคอลัมน์เป็น 1 มิลลิลิตรต่อนาทีเพื่อเป็นแก๊สพา
- ปรับค่าอัตราไหลของวาล์ว 2 ให้ได้ค่า Split Vent 50 มิลลิลิตรต่อนาทีเพื่อเป็นแก๊สขับตัวอย่างออกมาจากเซ็นเซอร์
- ปรับอุณหภูมิอินเจ็คเตอร์ 150 องศาเซลเซียส

- ปรับอุณหภูมิคอลัมน์ ตั้งอุณหภูมิของตู้อบคอลัมน์ 35 องศาเซลเซียส

ข. การเตรียมสารระเหยมาตรฐาน

เตรียมสารมาตรฐานเพื่อใช้ในการทำกราฟมาตรฐาน โดยเตรียมสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆดังนี้ 0.002%Vol, 0.004%Vol, 0.008%Vol, 0.01%Vol, 0.02%Vol, 0.04%Vol, 0.08%Vol, 0.1%Vol, 0.2%Vol และ 0.5%Vol

- ความเข้มข้น 0.002 %

$$0.002\% = 100mL \times \left( \frac{0.002}{100} \right)$$

$$= 0.002mL$$

$$= 2\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ขนาด 2 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.002%

- ความเข้มข้น 0.004 %

$$0.004\% = 100mL \times \left( \frac{0.004}{100} \right)$$

$$= 0.004mL$$

$$= 4\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ขนาด 4 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.004%

- ความเข้มข้น 0.008 %

$$0.008\% = 100mL \times \left( \frac{0.008}{100} \right)$$

$$= 0.008mL$$

$$= 8\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ขนาด 8 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.008%

- ความเข้มข้น 0.01 %

$$0.01\% = 100mL \times \left( \frac{0.01}{100} \right)$$

$$= 0.01mL$$

$$= 10\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ขนาด 10 ไมโครลิตร เติมนลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.01%

- ความเข้มข้น 0.02 %

$$0.02\% = 100mL \times \left( \frac{0.02}{100} \right)$$

$$= 0.02mL$$

$$= 20\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ขนาด 20 ไมโครลิตร เติมนลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.02%

- ความเข้มข้น 0.04 %

$$0.04\% = 100mL \times \left( \frac{0.04}{100} \right)$$

$$= 0.04mL$$

$$= 40\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ขนาด 40 ไมโครลิตร เติมนลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.04%

- ความเข้มข้น 0.08 %

$$0.08\% = 100mL \times \left( \frac{0.08}{100} \right)$$

$$= 0.08mL$$

$$= 80\mu L$$

ดูดสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ขนาด 80 ไมโครลิตร เติมนลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.08%

- ความเข้มข้น 0.1 %

$$0.1\% = 100mL \times \left( \frac{0.1}{100} \right)$$

$$= 0.1mL$$

$$= 100\mu L$$

คูตสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 100 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1%

- ความเข้มข้น 0.2 %

$$\begin{aligned}0.2\% &= 100\text{mL} \times \left(\frac{0.2}{100}\right) \\ &= 0.2\text{mL} \\ &= 200\ \mu\text{L}\end{aligned}$$

คูตสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 100 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.2%

- ความเข้มข้น 0.5 %

$$\begin{aligned}0.5\% &= 100\text{mL} \times \left(\frac{0.5}{100}\right) \\ &= 0.5\text{mL} \\ &= 500\ \mu\text{L}\end{aligned}$$

คูตสารมาตรฐานเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 500 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.5%

- ค. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆดังนี้ 0.01%Vol, 0.02%Vol, 0.04%Vol, 0.08%Vol, 0.1%Vol และ 0.2%Vol ซึ่งขั้นตอนในการเตรียมสารตัวอย่างเป็นดังนี้

- ความเข้มข้น 0.01 %

$$\begin{aligned}0.01\% &= 100\text{mL} \times \left(\frac{0.01}{100}\right) \\ &= 0.01\text{mL} \\ &= 10\ \mu\text{L}\end{aligned}$$

คูตสารตัวอย่าง เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 10 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.01%

- ความเข้มข้น 0.02 %

$$0.02\% = 100\text{mL} \times \left(\frac{0.02}{100}\right)$$

$$= 0.02mL$$

$$= 20\mu L$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 20 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.02%

- ความเข้มข้น 0.04 %

$$0.04\% = 100mL \times \left( \frac{0.04}{100} \right)$$

$$= 0.04mL$$

$$= 40\mu L$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 40 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.04%

- ความเข้มข้น 0.08 %

$$0.08\% = 100mL \times \left( \frac{0.08}{100} \right)$$

$$= 0.08mL$$

$$= 80\mu L$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 80 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.08%

- ความเข้มข้น 0.1 %

$$0.1\% = 100mL \times \left( \frac{0.1}{100} \right)$$

$$= 0.1mL$$

$$= 100\mu L$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 100 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.1%

- ความเข้มข้น 0.2 %

$$0.2\% = 100mL \times \left( \frac{0.2}{100} \right)$$

$$= 0.2mL$$

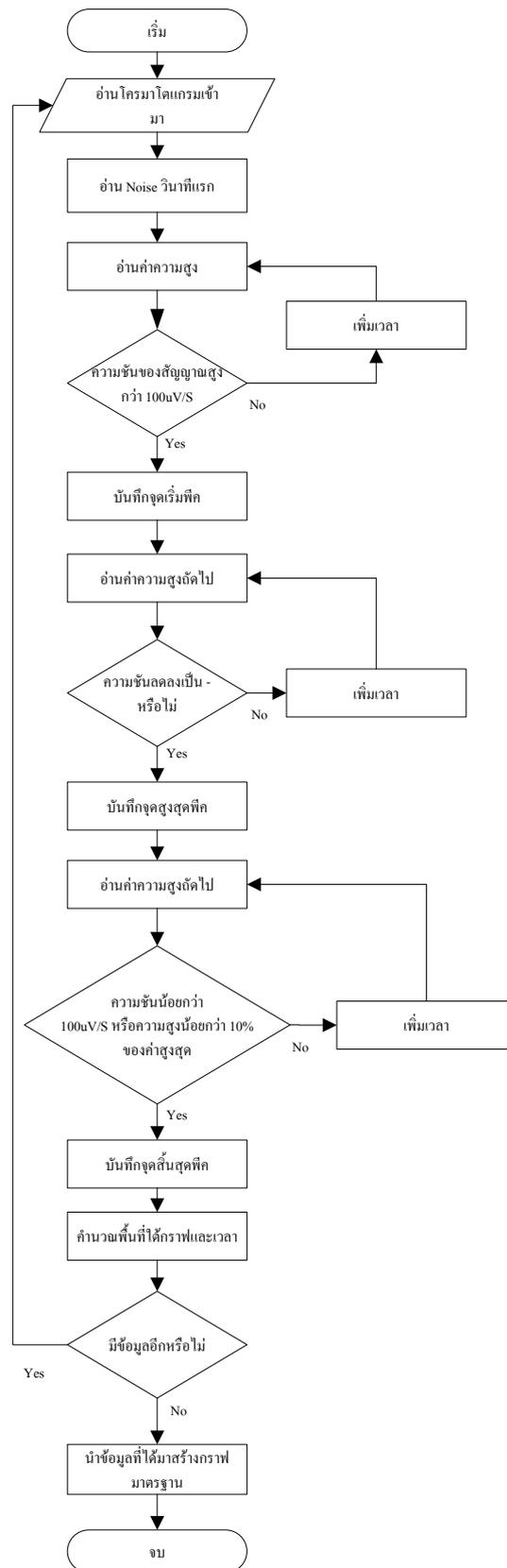
$$= 200\mu L$$

ดูดสารตัวอย่างเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอพีเค ขนาด 200 ไมโครลิตร เติมลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นสารตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.2%

ง. ลำดับการทดสอบสารมาตรฐาน

- เมื่อทำการเตรียมสารมาตรฐานเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ทำการทดสอบวัดสารมาตรฐานโดยการใช้เข็มฉีดยาตัวอย่างที่ใช้สำหรับการฉีดยาของเหลว Liquid syringe ดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยการฉีดยามาตรฐานด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร สารมาตรฐานละ 1 ครั้ง
- จากนั้นฉีดยาตัวอย่างปริมาตร ไมโครลิตร ตัวอย่างละ 5 ครั้ง

จ. ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์พีคเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน มีลำดับดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์พีคสร้างกราฟมาตรฐาน

วิธีการที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โดยจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟีนี้ผู้ทดลองได้เลือกใช้ 2 วิธีคือ วิธีการถดถอยเชิงเส้น และถดถอยพหุนามซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- การวิเคราะห์ด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นมีสมการดังสมการที่ 3.12 ถึงสมการที่ 3.25
- การวิเคราะห์ด้วยวิธีถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic)

จากพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากสมการที่ มาวิเคราะห์โดยวิธีการถดถอยพหุนามในสมการที่ ซึ่งจะได้พื้นที่ของพีคแต่ละตัว นำมาเขียนในรูปเมตริกใหม่ดังสมการที่ 3.34

$$g(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m \quad (3.34)$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^m \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+3} \\ \sum_{i=1}^n x_i^m & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} & \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m y_i \end{Bmatrix} \quad (3.35)$$

สมการที่ใช้จะเป็นสมการกำลังสอง Quadratic Calibration ซึ่งจะได้รูปสมการดังสมการที่ จากสมการที่ แก๊สมการเพื่อหาค่าคงตัว  $a_0$ ,  $a_1$  และ  $a_2$  แทนลงในสมการที่ก็จะได้สมการกราฟมาตรฐานตามที่ต้องการ

$$g(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (3.36)$$

เมื่อทำการทดสอบตัวอย่างที่เป็นตัวไม่ทราบค่าความเข้มข้น เมื่อทดสอบเราจะได้พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างนั้นมา ( $y$ ) ดังนั้นจะได้

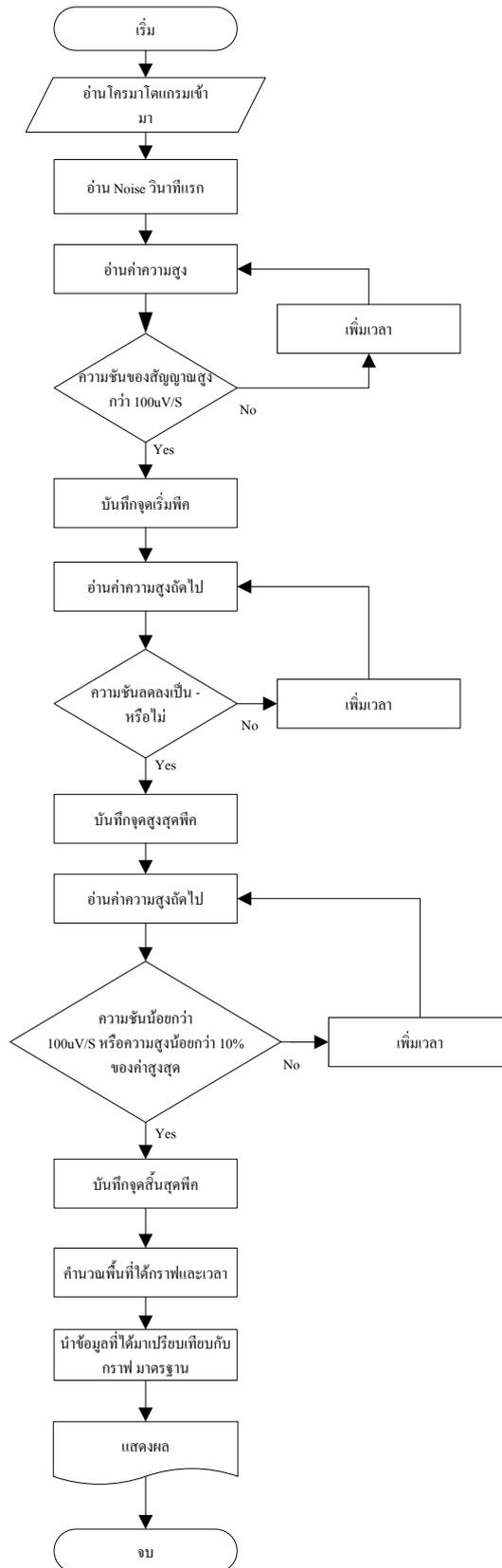
$$y = g(x) \quad (3.37)$$

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (3.38)$$

และสามารถหาค่าความเข้มข้น ( $x$ ) ได้จากสมการ

$$x = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - y)}}{2a_2} \quad (3.39)$$

ฉ. ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์พีคตัวอย่าง มีลำดับดังรูปที่ 3.29

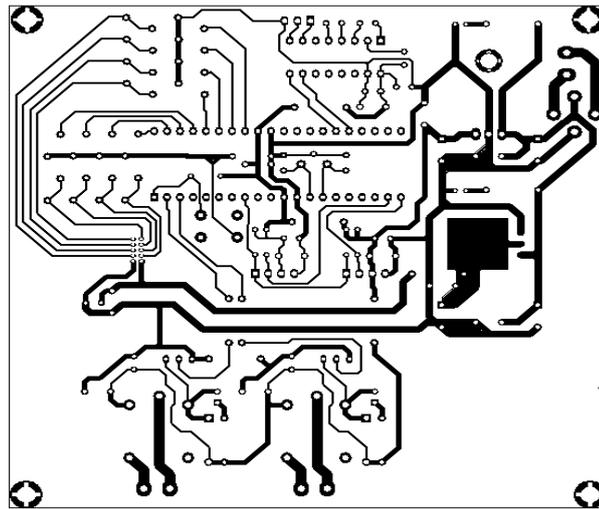


รูปที่ 3.29 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์พีคตัวอย่าง

### 3.4 การออกแบบวงจรสมองกลฝังตัวสำหรับบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย

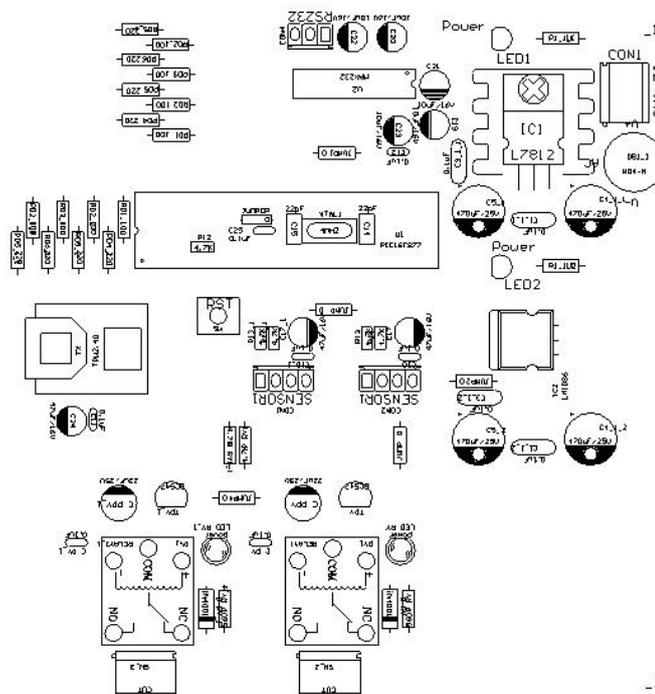
การออกแบบระบบสมองกลฝังตัวในส่วนนี้จะทำหน้าที่เก็บค่าผลลัพธ์ที่จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์วัดค่าได้และส่งผลไปส่วนกลางเพื่อเก็บข้อมูล โดยในการออกแบบและสร้างนั้นได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F887 ตัวประมวลผลกลาง ผลการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.30 – 4.58

- 1) สร้างแผ่นลายวงจรหน่วยประมวลผล

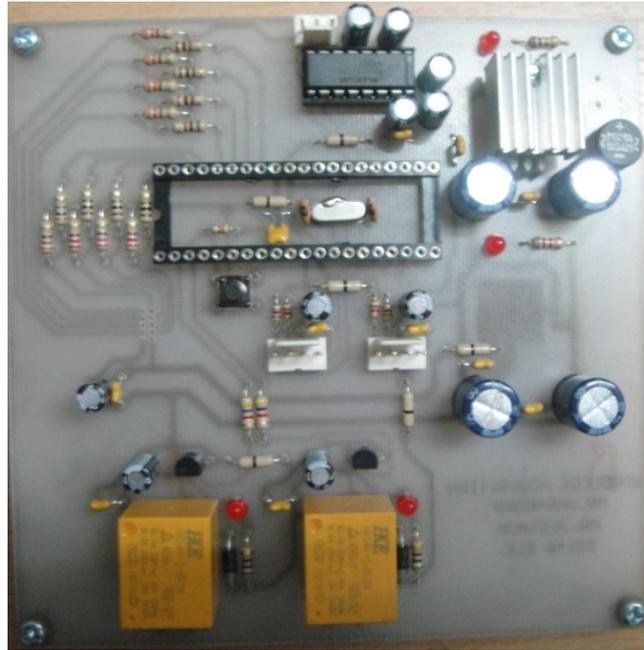


รูปที่ 3.30 ลายวงจรหน่วยประมวลผล

- 2) รูปอุปกรณ์ต่างๆ บนแผ่นลายวงจรที่ออกแบบขึ้นมีลักษณะ ดังรูปที่ 4.54

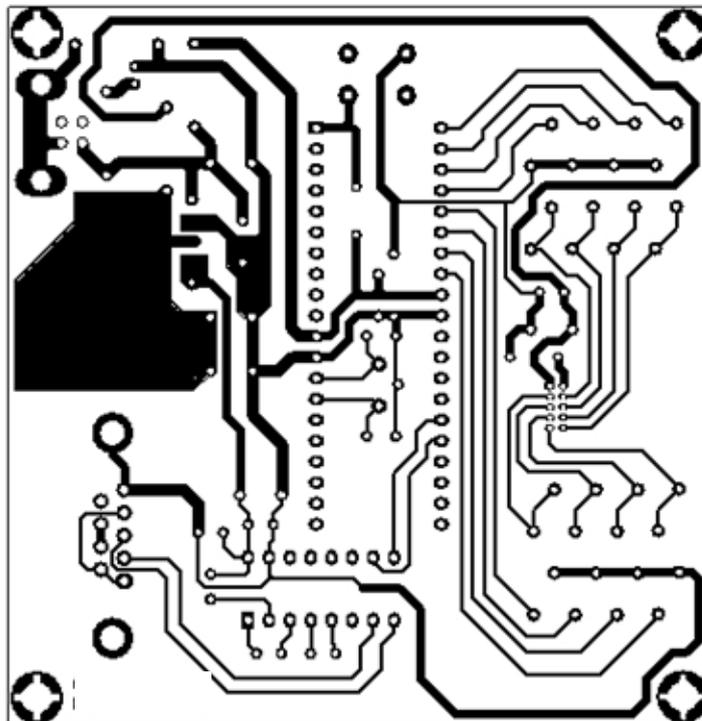


รูปที่ 3.31 อุปกรณ์ต่างๆ บนแผ่นลายวงจรหน่วยประมวลผล



รูปที่ 3.32 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นลายวงจรหน่วยประมวลผล

3) สร้างแผ่นลายวงจรภาครับ



รูปที่ 3.33 ลายวงจรภาครับ

