

การตรวจวัดสารระเหยอินทรีย์โดยใช้ตัวตรวจรู้ชนิด QCM



นาย ภาคภูมิ สมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

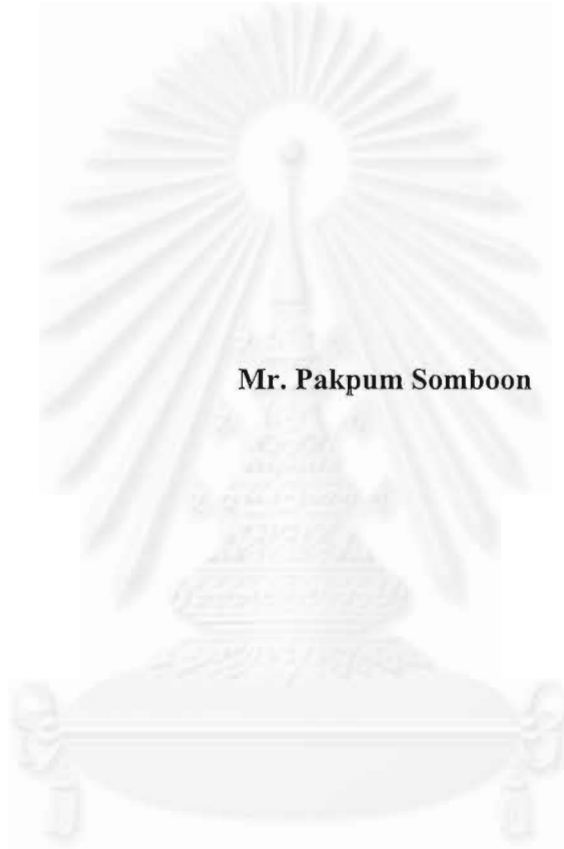
ISBN 974-333-938-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I14253485

12 พ.ย. 2546

**DETECTION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS
USING QCM SENSORS**



Mr. Pakpum Somboon

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering**


**Faculty of Engineering
Chulalongkorn University**

Academic Year 1999

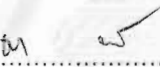
ISBN 974-333-938-8

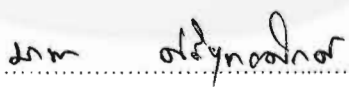
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจวัดสารระเหยอินทรีย์โดยใช้ตัวตรวจรู้ชนิด QCM
โดย นาย ภาคภูมิ สมบูรณ์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

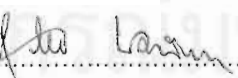
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชารา ชลปราณี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพิระยุธ)

ภาคภูมิ สมบูรณ์ : การตรวจวัดสารระเหยอินทรีย์โดยใช้ตัวตรวจรู้ชนิด QCM
(DETECTION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS USING QCM SENSORS)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์, 71 หน้า. ISBN 974-333-938-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการประดิษฐ์ระบบแยกแยะชนิดของสารระเหยอินทรีย์ โดยระบบที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ประกอบด้วยระบบวัดก๊าซชนิดไอโพลผ่านที่ควบคุมการทำงานของระบบโดยคอมพิวเตอร์และหัววัดก๊าซชนิดต่าง ๆ ซึ่งหัววัดก๊าซเหล่านี้จะถูกประดิษฐ์ขึ้นจากการนำสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ SnO_2 , ZnO , PdCl_2 , NiO_2 , TiO_2 , $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Fe}$, WO_3 , SnCl_2 และ CuO รวม 9 ชนิดมาสร้างเป็นเมมเบรนวัดบนผิวหน้าของทรานส์ดิวเซอร์ชนิด QCM (Quartz Crystal Microbalance) โดยทดสอบความสามารถในการแยกแยะของระบบจะแยกแยะสารระเหยอินทรีย์ 5 ชนิด คือ อะซิโตน เมทานอล เอทานอล โทลูอิน แอมโมเนีย และน้ำปลดออิออนรวมทั้งหมด 6 ชนิด

โดยในขั้นตอนแรกจะนำหัววัดก๊าซชนิดต่างๆ ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นไปวัดทดสอบกับสารตัวอย่าง ทั้ง 6 ชนิดข้างต้นเพื่อคัดเลือกหัววัดก๊าซที่เหมาะสมไปใช้ในกระบวนการแยกแยะ ซึ่งได้ทำการคัดเลือกหัววัดก๊าซชนิด ZnO , NiO_2 , WO_3 และ SnCl_2 รวมทั้งหมด 4 หัววัด

ในกระบวนการแยกแยะจะนำข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลตอบสนองที่ได้จากหัววัดก๊าซที่เวลา 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 และ 225 วินาทีภายหลังจากเริ่มไหลผ่านสารตัวอย่างไปทำการแยกแยะโดยระบบเครือข่ายประสาทสองชนิดคือ radial basis neural networks (RBNNs) และ back propagation neural networks (BP-NNs)

จากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขในการแยกแยะสารตัวอย่างดังกล่าวที่ให้ความถูกต้องในการแยกแยะสูงสุดได้จากการใช้ข้อมูล 7 จุดที่เวลา 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 วินาที ร่วมกับการใช้ระบบเครือข่ายประสาทชนิด radial basis โดยได้ความถูกต้องในการแยกแยะประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการใช้ระบบเครือข่ายประสาทชนิด back propagation ที่ให้ความถูกต้องในการแยกแยะสูงสุดเพียง 62%

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่อนิติศ.....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นว ปรียทนต์.....
ปีการศึกษา 2542

4070555621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD :

Identification / QCM / VOCs / Gas sensor

PAKPUM SOMBOON : DETECTION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

USING QCM SENSORS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. MANA SRIYUDTHSAK,

Dr. Eng. 71 pp. ISBN 974-333-938-8

This thesis presents a fabrication of volatile organic compounds(VOCs) identification system. The system consists of computer-controlled vapor flow unit and gas sensors. The quartz crystal microbalances(QCMs) were used as transducers. Inorganic materials SnO₂, ZnO, PdCl₂, NiO₂, TiO₂, C₁₀H₁₀Fe, WO₃, SnCl₂ and CuO were used as sensing membrane for modifying the QCMs. 5 VOCs such as acetone, methanol, ethanol, toluene, ammonia and de-ionized water were used to investigate the identification performance.

Response characteristics of each sample were measured. Then only 4 sensors(ZnO, NiO₂, WO₃ and SnCl₂ gas sensors) were selected for identification process.

In the identification process, frequency change datas at 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 and 225 seconds, after starting flow, from the response characteristic curves were used as representative information. Two types of neural networks ; radial basis neural networks(RB-NNs) and conventional back propagation neural networks(BP-NNs) were utilized.

It was found that the best discrimination condition for the above-mentioned VOCs was obtained when using only 7 representative datas position at 50 , 75 , 100 , 125 , 150 , 175 and 200. And the accuracy of discrimination was about 90% by using the RB-NNs. This is better than the using of the BP-NNs, which is obtained only 62% accuracy.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อบัณฑิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2542.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทฉบับนี้จัดทำการศึกษาที่ห้องปฏิบัติการวิจัยไบโออิเล็กทรอนิกส์(BERL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยความช่วยเหลือทั้งด้านวิชาการและด้านปฏิบัติการจาก รศ.ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ Prof.Toyosaka Moriizumi , Assoc.Prof.Takamichi Nakamoto ที่ได้ให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์ และบ.NIRECO Co. ที่เอื้อเพื่อเครื่องวัดความถี่ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อาภรณ์ ชีรมงคลศรีที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ ร่วมห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ให้คำแนะนำและกำลังใจตลอดระยะเวลาในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาของข้าพเจ้า ซึ่งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาคือ รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ เป็นอย่างสูง สำหรับความกรุณาต่าง ๆ ที่มอบให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2. หลักการและทฤษฎีของห้วงวัดก๊าซชนิด QCM	7
2.1 การใช้ QCM เป็นทรานส์ดิวเซอร์ในการประดิษฐ์ห้วงวัดก๊าซ.....	7
2.2 การใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัด.....	11
2.3 การตรวจวัดผลการเปลี่ยนแปลงมวลโดย QCM.....	11
3. สารตัวอย่างที่จะทำการแยกแยะและแนวทางในการแยกแยะ.....	15
3.1 สารตัวอย่าง.....	15
3.2 แนวทางในการแยกแยะสารตัวอย่าง.....	15
4. ระบบวัด.....	19
4.1 ระบบนำพาทิ้งก๊าซ.....	20
4.2 Sample selector.....	21
4.3 เซลล์วัด.....	23
4.4 วงจรกำเนิดสัญญาณ.....	24
4.5 เครื่องวัดความถี่.....	25
4.6 โปรแกรมควบคุมระบบวัด.....	26
4.7 การทดสอบระบบวัด.....	28
5. การทดลองและผลการทดลอง.....	31
5.1 การประดิษฐ์ห้วงวัดก๊าซ.....	31
5.2 ผลการตอบสนองของห้วงวัดก๊าซต่อสารตัวอย่าง.....	33

สารบัญ(ต่อ)

5.3 กระบวนการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่าง.....	52
5.4 ผลการแยกแยะ.....	57
6. สรุป.....	63
รายการอ้างอิง	65
ภาคผนวก	67
ประวัติผู้เขียน.....	71



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ประเภทของหัววัดก๊าซ.....	3
1.2 ข้อดี-ข้อเสียของหัววัดก๊าซ.....	4
2.1 ค่าสมมูลย์ทางไฟฟ้าของผลึกควอตซ์โดยประมาณ.....	9
3.1 รายละเอียดต่าง ๆ ของสารตัวอย่างที่จะทำการแยกแยะ.....	15
4.1 รหัสควบคุมจังหวะการทำงานของ sample selector.....	22
4.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่องวัดความถี่.....	26
5.1 สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างเมมเบรนวัด.....	31
5.2 สารเจือปนในการสร้างเมมเบรนวัด.....	32
5.3 จุดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการแยกแยะ.....	55
5.4 การกำหนดค่า output layer ของสารตัวอย่างชนิดต่าง ๆ.....	56
5.5 ค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเครือข่ายประสาท.....	56
5.6 ผลการแยกแยะ โดย RB -NN ที่ $SSE = 10^{-2}$	57
5.7 ผลการแยกแยะ โดย RB -NN ที่ $SSE = 10^{-20}$	59
5.8 ผลการแยกแยะ โดย BP-NN ที่ $SSE = 10^{-2}$	61

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 องค์ประกอบของหัววัดก๊าซ.....	2
1.2 บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนในการตรวจวัด และจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์.....	5
2.1 ก) ลักษณะทางกายภาพของ QCM.....	8
ข) สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ QCM.....	8
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่ออุณหภูมิของผลึกควอตซ์.....	8
2.3 วงจรสมมูลย์ของผลึกควอตซ์.....	9
2.4 วงจรสมมูลย์ของผลึกควอตซ์เมื่อถูกกดทับด้วยมวล.....	10
2.5 การทำงานร่วมกันระหว่าง QCM และเมมเบรนวัด.....	11
2.6 ส่วนประกอบของวงจรออสซิลเลเตอร์.....	12
2.7 วงจร gate oscillator.....	13
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของ NOT gate.....	14
2.9 การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของ QCM.....	14
3.1 บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปทำการแยกแยะ โดยระบบเครือข่ายประสาท.....	16
3.2 โครงข่ายระบบประสาทแบบป้อนไปข้างหน้า.....	17
3.3 แบบจำลองของโครงข่ายประสาท 1 ชั้น.....	17
3.4 การเลือกข้อมูลจากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซเพื่อนำไปทำการแยกแยะ.....	18
3.5 ขั้นตอนในการนำข้อมูลผลตอบสนองของหัววัดก๊าซมาทำการแยกแยะ โดยระบบเครือข่ายประสาท.....	18
4.1 ระบบวัด.....	19
4.2 ระบบนำพาห้ก๊าซ.....	20
4.3 โครงสร้างของ sample selector.....	21
4.4 ลำดับการทำงานของ sample selector.....	21
4.5 การควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว.....	22
4.6 ภาพนะบรรจุมารตัวอย่าง.....	23
4.7 ภาพตัดขวางของเซลล์วัด.....	23
4.8 ตำแหน่งหัววัดก๊าซภายในเซลล์วัด.....	24
4.9 วงจร gate oscillator.....	24

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความถี่	25
4.11 รูปแบบการส่งข้อมูลของเครื่องวัดความถี่	25
4.12 control panel	27
4.13 การรบกวนกันของสัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ	28
4.14 ตำแหน่งและการสลับตำแหน่งของหัววัดก๊าซในเซลล์วัด	29
4.15 ก) ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซก่อนเปลี่ยนตำแหน่ง	29
ข) ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซหลังเปลี่ยนตำแหน่ง	29
4.16 ก) ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เมื่อทำการโฟลว์ก๊าซพาห้ผ่านขวดเปล่า	30
ข) ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เมื่อไม่ทำการโฟลว์ก๊าซพาห้	30
5.1 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂	33
5.2 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂	34
5.3 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂	34
5.4 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂	35
5.5 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂	35
5.6 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂	36
5.7 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂ เมื่อเจือปนด้วย Au	37
5.8 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂ เมื่อเจือปนด้วย Rh	37
5.9 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂ เมื่อเจือปนด้วย Ru	38
5.10 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂ เมื่อเจือปนด้วย Pd	38
5.11 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO ₂ เมื่อเจือปนด้วย Pt	39
5.12 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl ₂	40
5.13 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl ₂ เมื่อเจือปนด้วย Au	40
5.14 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl ₂ เมื่อเจือปนด้วย Pt	41
5.15 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl ₂ เมื่อเจือปนด้วย Pd	41
5.16 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl ₂ เมื่อเจือปนด้วย Rh	42
5.17 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl ₂ เมื่อเจือปนด้วย Ru	42
5.18 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ZnO	44
5.19 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ZnO	44

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด NiO ₂	46
5.21 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด TiO ₂	47
5.22 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด WO ₃	48
5.23 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ferrocene.....	49
5.24 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด CuO.....	50
5.25 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด PdCl ₂	51
5.26 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด NiO ₂	53
5.27 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ZnO.....	53
5.28 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด WO ₃	54
5.29 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl ₂	54
5.30 ตำแหน่งจุดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการแยกแยะโดย ระบบเครือข่ายประสาท.....	55
5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดที่ใช้กับความถูกต้องในการแยกแยะ โดย RB-NN ที่ SSE = 0.01.....	57
5.32 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารตัวอย่างแต่ละ ชนิดโดยใช้จุดข้อมูล 7 จุด โดย RB-NN ที่ SSE = 0.01.....	58
5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดที่ใช้กับความถูกต้องในการแยกแยะ โดย RB-NN ที่ SSE = 10 ⁻²⁰	59
5.34 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารตัวอย่างแต่ละ ชนิดโดยใช้จุดข้อมูล 7 จุด โดย RB-NN ที่ SSE = 10 ⁻²⁰	60
5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดที่ใช้กับความถูกต้องในการแยกแยะ โดย BP-NN ที่ SSE = 0.01.....	61
5.36 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารตัวอย่างแต่ละ ชนิดโดยใช้จุดข้อมูล 1 จุด โดย BP-NN ที่ SSE = 0.01.....	62



1.1 ความเป็นมา

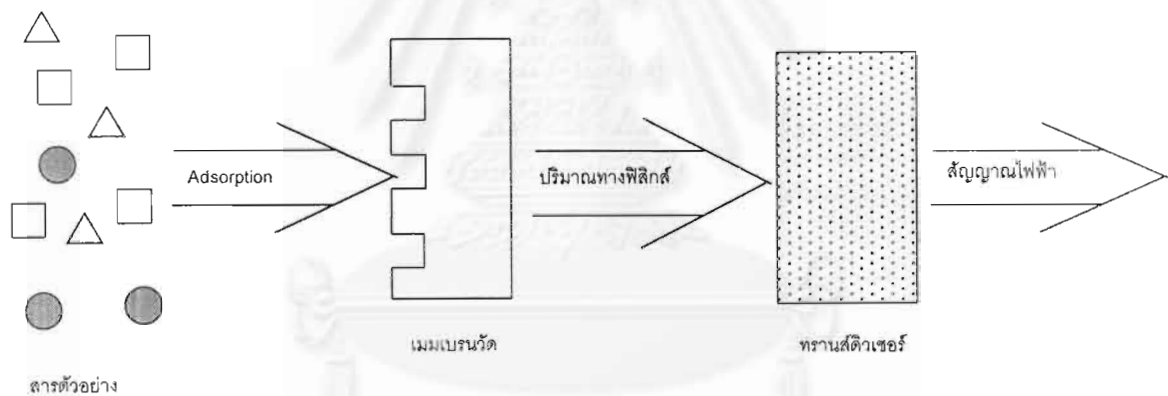
ความต้องการในการตรวจวัดปริมาณและจำแนกชนิดของสารต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานสารชนิดต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นทั้งปริมาณการใช้และชนิดของสารที่นำมาใช้งาน จึงทำให้การตรวจวัดปริมาณและชนิดของสารต่าง ๆ มีความสำคัญสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในสาขาต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรม เกษตรกรรม เคมี เทคโนโลยีชีวภาพ การแพทย์ และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยสารตัวอย่างที่ต้องการทำการวัดเหล่านี้สามารถแบ่งตามสถานะได้คือ สถานะของแข็ง สถานะของเหลว และสถานะก๊าซ จากสถานะที่แตกต่างกันนี้ทำให้ลักษณะวิธีในการตรวจวัดมีความแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมและความต้องการในการประยุกต์ใช้งาน

สารระเหยอินทรีย์ (Volatile organic compounds: VOCs) เป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่มีความต้องการในการตรวจวัดและจำแนกชนิดเป็นอย่างมาก และมีการทำการตรวจวัดและจำแนกชนิดกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากสารในกลุ่มนี้ถูกใช้งานในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตและสังเคราะห์สารเคมีต่าง ๆ [1] นอกจากนี้ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญหลายชนิดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและโดยการสังเคราะห์ให้ผลผลิตออกมาเป็นสารระเหยอินทรีย์ ดังนั้นถ้าสามารถทำการตรวจวัดสารระเหยอินทรีย์เหล่านี้ก็จะสามารถทราบถึงปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นได้เช่น การตรวจวัดปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์เพื่อตรวจวัดการย่อยสลายแข็งของจุลินทรีย์ เป็นต้น อีกทั้งสารบางชนิดในกลุ่มนี้เป็นสารที่มีอันตรายต่อมนุษย์และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมทำให้มีการตรวจวัดเพื่อควบคุมและป้องกันอันตรายจากสารเหล่านี้ด้วย [2, 3]

เนื่องจากสารในกลุ่มนี้สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง และมักพบอยู่ในสถานะแวดล้อมในรูปของก๊าซ ทำให้การตรวจวัดสารกลุ่มนี้มักทำการตรวจวัดในสถานะก๊าซ ซึ่งโดยส่วนมากแล้วการตรวจวัดปริมาณและจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์เหล่านี้จะสามารถทำได้โดยเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณและจำแนกชนิดของก๊าซทั่วไปเช่น เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Analyzer) เป็นต้น [4] ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องมือเหล่านี้จะอาศัยความสามารถในการเคลื่อนที่ของก๊าซในตัวกลางที่แตกต่างกันในการตรวจวัดและจำแนกชนิดของก๊าซ แต่อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องมือเหล่านี้ในการตรวจวัดและจำแนกชนิดของก๊าซยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่หลายประการ เช่น มีราคาแพง ต้องใช้ผู้มีความรู้และทักษะสูงในการใช้งาน และยังเป็นภาระสิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็นในกรณีที่ต้องการจำแนกก๊าซตัวอย่างเพียงไม่กี่ชนิด อีกทั้งเครื่องมือเหล่านี้มีขนาดใหญ่จึงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้

จากข้อจำกัดในการใช้งานของเครื่องมือข้างต้นเหล่านี้ทำให้ในปัจจุบันเกิดการคิดค้นและพัฒนาาระบบวัดที่ใช้หัววัดก๊าซ(gas sensor) ขึ้นมาทดแทน ซึ่งหัววัดก๊าซนี้จะมีขนาดเล็ก สะดวกในการพกพาไปใช้งานในการวัดตามสถานที่ต่าง ๆ และยังมีราคาถูกกว่า [5] ทำให้การตรวจวัดและจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์เหล่านี้มีความเหมาะสมและสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางขึ้น

หลักการทำงานของหัววัดก๊าซเหล่านี้จะใช้คุณสมบัติของหัววัดก๊าซในการแปลงปริมาณของก๊าซที่ต้องการวัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า และจะนำการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางไฟฟ้าดังกล่าวไปประมวลผลเพื่อแปลงกลับไปเป็นปริมาณของก๊าซที่ทำการวัด โดยความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของหัววัดก๊าซชนิดนั้น ๆ และนอกจากหัววัดก๊าซจะสามารถแปลงปริมาณก๊าซที่ต้องการวัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าแล้ว หัววัดก๊าซยังต้องมีความจำเพาะ(selectivity)กับก๊าซที่ต้องการวัดด้วย ซึ่งการที่จะประดิษฐ์หัววัดก๊าซที่มีคุณสมบัติที่สำคัญสองประการนี้หัววัดก๊าซจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วนตามรูปที่ 1.1 [5] คือ



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของหัววัดก๊าซ

1.เมมเบรนวัด(sensing membrane) มีหน้าที่ในการจับหรือดูดซับ(adsorption) ก๊าซที่ต้องการวัดอย่างจำเพาะ และส่งผ่านผลของปฏิกิริยาการดูดซับที่เกิดขึ้นซึ่งอยู่ในรูปของปริมาณทางฟิสิกส์ไปสู่ทรานสดิวเซอร์

2.ทรานสดิวเซอร์(transducer) มีหน้าที่ในการแปลงปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นให้อยู่ในรูปของปริมาณทางไฟฟ้า

ดังนั้นในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซจะต้องทำการเลือกทรานสดิวเซอร์และเมมเบรนวัดที่เหมาะสม กล่าวคือเมมเบรนวัดจะต้องสามารถจับหรือดูดซับก๊าซที่ต้องการวัดได้อย่างจำเพาะและทรานสดิวเซอร์จะต้องสามารถแปลงผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นให้อยู่ในรูปของปริมาณทางไฟฟ้าได้ จึงจะทำ

ให้การใช้งานหัววัดก๊าซในการตรวจวัดก๊าซที่ต้องการเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยตัวอย่างในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซเพื่อตรวจวัดและแยกแยะสารระเหยอินทรีย์ เช่น คณะของ G.Matsuno(1995) [6] และ คณะของ Xu(1995) [7] ได้ใช้ QCM(quartz crystal microbalance) เป็นทรานส์ดิวเซอร์ร่วมกับการใช้ lipid membrane เป็นเมมเบรนวัด คณะของ E.Llobet (1997) [8], คณะของ H.Gong (1999) [9] และคณะของ M.Sriyudthsak (1996) [10] ได้ใช้หัววัดก๊าซที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ(semiconductor gas sensor) มาใช้ในการตรวจวัดและแยกแยะสารระเหยอินทรีย์เป็นต้น โดยในปัจจุบันประเภทของหัววัดก๊าซที่ใช้ในการวัดปริมาณและจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์อย่างแพร่หลายสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทดังที่แสดงตามตารางที่ 1.1[6 - 14]

ประเภทแรกของหัววัดก๊าซจะใช้สารอินทรีย์เช่น สารจำพวกโปรตีน ไขมัน หรือ โพลีเมอร์เป็นเมมเบรนวัดและใช้การเปลี่ยนแปลงความถี่ของทรานส์ดิวเซอร์เป็นสัญญาณในการวัดซึ่งทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้ในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซในประเภทนี้คือ quartz crystal microbalance(QCM) ส่วนหัววัดก๊าซในประเภทที่สองจะใช้สารอนินทรีย์เช่น SnO_2 หรือ ZnO เป็นเมมเบรนวัด (semiconductor gas sensor) และใช้การเปลี่ยนแปลงสภาพนำไฟฟ้าของสารอนินทรีย์เหล่านี้เป็นสัญญาณ

ตารางที่ 1.1 ประเภทของหัววัดก๊าซ

สัญญาณที่วัด	เมมเบรนวัด	สารที่ต้องการวัด	วิธีเคลือบ
การเปลี่ยนแปลงความถี่(QCM)	PVC –blended Lipid	VOCs	LB-film
	Lipid protein mixed	VOCs	Spray
	Polysiloxane	VOCs	Dip
การเปลี่ยนแปลงสภาพนำไฟฟ้า	tin dioxide(SnO_2)	VOCs	Paint
	Silver-doped SnO_2	H_2S	screen-printing
	SnO_2 : Pd	CO	spray pyrolysis
	SnO_2 : (Pd,Al,Pt)	VOCs	Sputtering
	ZnO : (Pd ,Fe)	NH_3	thick film
	SnO_2	NH_3 , methanol	thick film

ในการวัด ซึ่งลักษณะการใช้งานหัววัดก๊าซทั้งสองประเภทมีข้อดี-ข้อเสียดังแสดงในตารางที่ 1.2

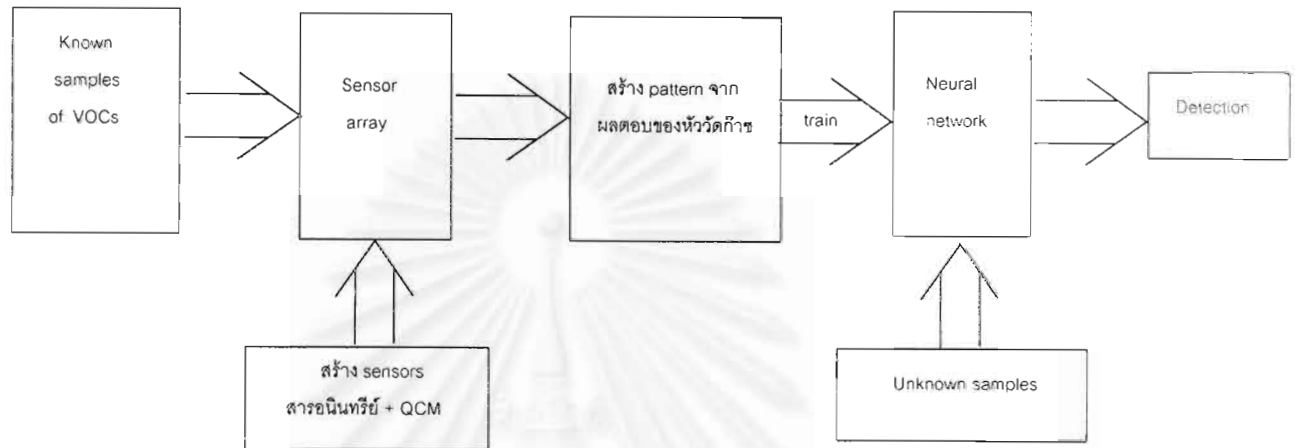
ตารางที่ 1.2 ข้อดี-ข้อเสียของหัววัดก๊าซทั้งสองประเภท

ชนิดของหัววัดก๊าซ	ข้อดี	ข้อเสีย
วัดการเปลี่ยนแปลงความถี่ (QCM)	- ใช้งานได้ที่อุณหภูมิห้อง	- อายุการใช้งานสั้น - ความจำเพาะต่ำ
วัดการเปลี่ยนแปลงสภาพนำไฟฟ้า (semiconductor gas sensor)	- อายุการใช้งานยาวนาน	- ใช้งานที่อุณหภูมิสูง - ความจำเพาะต่ำ

จากตารางที่ 1.2 หัววัดก๊าซที่ใช้การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นสัญญาณในการวัดมีข้อดีคือสามารถใช้งานในการวัดได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่มีข้อเสียคือมีอายุการใช้งานสั้นเนื่องจากใช้สารอินทรีย์ที่เสื่อมสภาพได้ง่ายเป็นเมมเบรนวัด ส่วนหัววัดก๊าซที่ใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงสภาพนำไฟฟ้าเป็นสัญญาณในการวัดจะมีจุดเด่นคือจะมีการใช้งานที่ยาวนานเนื่องจากการใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัดแต่ไม่สามารถใช้ทำการวัดที่อุณหภูมิห้องได้ โดยในการใช้งานหัววัดก๊าซประเภทนี้ต้องให้การให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของหัววัดก๊าซให้สูงกว่า $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไปจึงจะใช้งานได้ ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และอาจทำให้เกิดอันตรายจากการระเบิดของก๊าซ และจากตารางที่ 1.2 จะเห็นว่าหัววัดก๊าซทั้งสองประเภทมีความจำเพาะในการวัด (selectivity) ต่ำทำให้ประสิทธิภาพในการใช้หัววัดก๊าซทั้งสองประเภทในการจำแนกชนิดของก๊าซไม่สูงเท่าที่ควร

จากความไม่เหมาะสมในการใช้งานหัววัดก๊าซในการตรวจวัดและจำแนกสารระเหยอินทรีย์ในด้านต่าง ๆ ที่มีในปัจจุบัน ทำให้คณะผู้วิจัยเกิดความคิดในการพัฒนาระบบวัดและหัววัดก๊าซให้มีความเหมาะสมในการใช้งานและมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดและจำแนกสารระเหยอินทรีย์ให้ดียิ่งขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะทำการประดิษฐ์หัววัดก๊าซโดยจะนำ quartz crystal microbalance (QCM) [15] มาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ร่วมกับการใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัดเพื่อพัฒนาหัววัดก๊าซที่ใช้ในการตรวจวัดและแยกแยะสารระเหยอินทรีย์เพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนานและสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นการรวมข้อดีและลดข้อด้อยของหัววัดก๊าซที่มีอยู่ในปัจจุบันและจะทำการ

นำระบบเครือข่ายประสาทเข้ามาใช้ร่วมกับระบบวัดเพื่อช่วยในการเพิ่มความสามารถในการตรวจวัดและจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์ให้มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับระบบในการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น โดยขั้นตอนในการตรวจวัดและจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์โดยระบบวัดที่จะสร้างขึ้นนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนในการตรวจวัดและจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1.ศึกษา ออกแบบ และสร้างระบบวัดที่ใช้ quartz crystal microbalance เป็นทรานสดิวเซอร์ในการวัดสารระเหยอินทรีย์
- 2.ประดิษฐ์หัววัดก๊าซโดยใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัด
- 3.ศึกษาผลตอบสนองของหัววัดก๊าซที่สร้างขึ้นต่อสารระเหยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ
- 4.ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลตอบสนองที่ได้จากหัววัดก๊าซที่สร้างขึ้นมาใช้ในการจำแนกชนิดของสารระเหยอินทรีย์โดยระบบเครือข่ายประสาท

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.สร้างระบบวัดก๊าซที่ใช้ผลึกควอตซ์(QCM)เป็นทรานสดิวเซอร์
- 2.สร้างหัววัดก๊าซโดยใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัด
- 3.หาผลตอบสนองของหัววัดก๊าซที่สร้างขึ้นต่อสารระเหยอินทรีย์ที่กำหนด
- 4.ศึกษาการแยกแยะสารระเหยอินทรีย์โดยระบบเครือข่ายประสาท

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ข้อดีของการวัดก๊าซแบบต่าง ๆ เข้ามารวมกัน และลดข้อด้อยที่มีอยู่
2. เพิ่มความรู้ในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซ
3. สามารถเป็นแนวทางในการสร้างระบบวัดก๊าซเพื่อใช้งานจริงในการตรวจวัดสารกลุ่ม VOCs หรือสารชนิดอื่นได้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีของหัววัดก๊าซชนิด QCM

ในงานวิจัยนี้จะทำการประดิษฐ์หัววัดก๊าซขึ้นเพื่อใช้ในการแยกแยะชนิดของสารระเหยอินทรีย์ โดยหัววัดก๊าซที่จะประดิษฐ์ขึ้นนี้เป็นหัววัดก๊าซชนิด QCM (Quartz Crystal Microbalance) จากหลักการทำงานของหัววัดก๊าซตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 หัววัดก๊าซจะประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือทรานส์ดิวเซอร์และเมมเบรนวัด ซึ่งส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้ต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กันการวัดจึงจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หัววัดก๊าซที่จะประดิษฐ์ขึ้นนี้ก็เช่นเดียวกัน คือจะประกอบด้วยส่วนของทรานส์ดิวเซอร์คือ QCM และใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของการใช้ QCM เป็นทรานส์ดิวเซอร์ร่วมกับการใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัดในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซ และจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของหัววัดก๊าซชนิดนี้ร่วมกับวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อให้ได้สัญญาณในการวัดที่ถูกต้องตามลำดับดังนี้

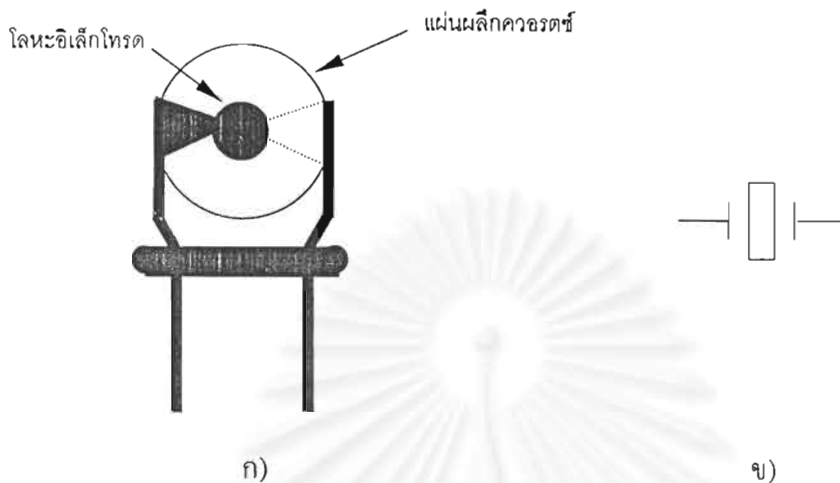
2.1 การใช้ QCM เป็นทรานส์ดิวเซอร์ในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซ

QCM เป็นอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากผลึกควออตซ์ (piezoelectric quartz crystal) ที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงมวล (mass transducer) ที่เกิดขึ้นที่ผิวของผลึกควออตซ์ ซึ่งการประยุกต์ใช้งานผลึกควออตซ์ในลักษณะนี้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ เคมี และปริมาณทางชีวภาพ [16] การใช้งาน QCM ในลักษณะนี้อาศัยคุณสมบัติเฉพาะของผลึกควออตซ์คือ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลบนผิวหน้าของผลึกควออตซ์จะทำให้ค่าสมมูลทางไฟฟ้าของผลึกควออตซ์เปลี่ยนแปลงไป ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของหลักการในการใช้งาน QCM เป็นทรานส์ดิวเซอร์จะกล่าวถึงลักษณะและคุณสมบัติพื้นฐานของอุปกรณ์ผลึกควออตซ์ดังนี้

ผลึกควออตซ์ (Quartz crystal)

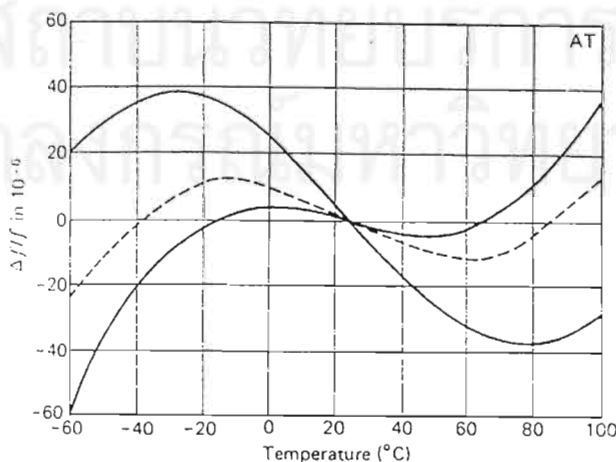
ผลึกควออตซ์ เป็นวัสดุจำพวกซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide: SiO_2) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric) และเนื่องจากคุณสมบัติความเป็นเพียโซอิเล็กทริกนี้ ผลึกควออตซ์จึงมีความสามารถในการเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกลของโครงผลึก และแปลงกลับการเปลี่ยนแปลงทางกลของโครงผลึกไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้เช่นกัน ผลึกควออตซ์จึงถูกนำไปใช้งานเป็นองค์ประกอบทางไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator) และวงจรกรอง (filter) อย่างแพร่หลาย [17] ตัวอย่างหนึ่งของลักษณะรูปร่างและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของผลึก-

ควออตซ์สามารถแสดงดังรูปที่ 2.1 ก) และ 2.1 ข) ตามลำดับ อุปกรณ์ผลึกควออตซ์ประกอบด้วย แผ่นผลึกควออตซ์และโลหะอิเล็กโทรดที่ใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ก) ลักษณะทางกายภาพ ข) สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า

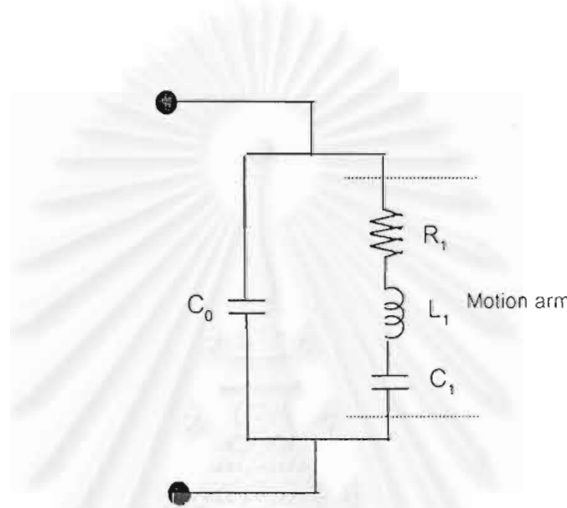
ชนิดของผลึกควออตซ์จะถูกกำหนดจากกระบวนการในการตัดก้อนผลึกควออตซ์(orientation) มาเป็นแผ่นควออตซ์ที่จะนำมาใช้งาน ซึ่งกระบวนการตัดนี้จะทำให้คุณสมบัติของผลึกควออตซ์แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของการใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ผลึกควออตซ์ชนิด AT cut [17-18] ผลึกควออตซ์ชนิดนี้เป็นชนิดที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการใช้ในลักษณะของ QCM คุณสมบัติที่สำคัญของผลึกควออตซ์ชนิดนี้คือมีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความถี่ต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป(temperature coefficient) ค่าที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้สามารถนำมาใช้วัดได้อย่างสะดวกที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากไม่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในระบบวัด



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่ออุณหภูมิของผลึกควออตซ์

หลักการของ QCM

วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของผลึกควอตซ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยที่ค่า C_0 เป็นค่าความจุไฟฟ้าของผลึกควอตซ์ ส่วนค่า L_1, C_1 และ R_1 ซึ่งรวมกันเรียกว่า motion arm เป็นค่าสมมูลที่ได้มาจากการสั่นทางกล(mechanical) ของผลึกควอตซ์เทียบกลับมาเป็นค่าทางไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดของการ derive ค่า L_1, C_1 และ R_1 นี้สามารถดูได้จากการคำนวณของ Mason [19] โดยที่ค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของผลึกควอตซ์และมีค่าโดยประมาณดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของผลึกควอตซ์

ตารางที่ 2.1 ค่าสมมูลทางไฟฟ้าของผลึกควอตซ์โดยประมาณ

Cut	Frequency Range(MHz)	Range of C_0 (pF)	Range of $C_1(10^{-3} \text{ pf})$	Range of $R_1(\Omega)$	Range of $L_1(\text{mH})$
AT	3 – 30	10 – 120	20 – 200	2 – 500	0.1 – 150
AT	10 – 75	1–5	0.5 – 20	5 – 200	0.1 – 500

จากวงจรสมมูลของผลึกควอตซ์จะได้ผลรวมของ admittance ทั้งหมดดังสมการที่ 2.1

$$Y = j\omega C_0 + \frac{1}{Z_m} \quad (2.1)$$

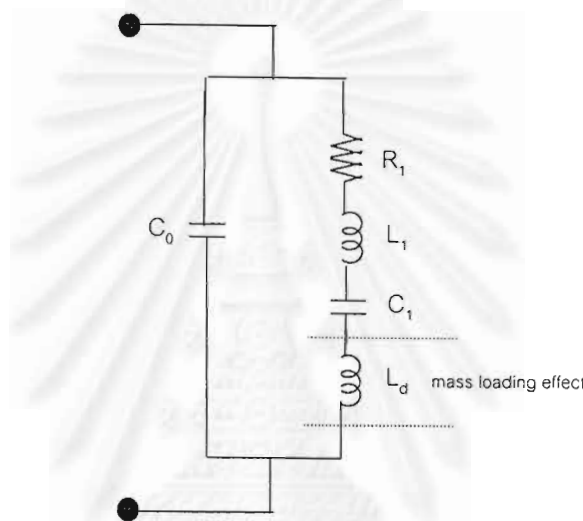
โดยที่ $j = \sqrt{-1}$ และ Z_m เท่ากับ

$$Z_m = R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \quad (2.2)$$

และจะได้ว่า f_s (series resonance frequency) มีค่าเท่ากับ

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (2.3)$$

หลักการในการนำผลึกควอตซ์มาใช้เป็นทรานส์ดิวเซอร์ในการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลที่ผิวของผลึกนั้นคือ เมื่อผลึกควอตซ์ถูกกดทับ(load) ด้วยมวลจะมีผลทำให้ค่าสมมูลย์ในวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของผลึกควอตซ์เปลี่ยนไป โดยจะเสมือนมีค่าตัวเหนี่ยวนำ L_d เพิ่มขึ้นทาง motion arm[20] ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลย์ของผลึกควอตซ์เมื่อถูกกดทับด้วยมวล

จากสมการที่ 2.3 จะได้ว่าเมื่อค่าความเหนี่ยวนำทางด้าน motion arm เพิ่มขึ้นจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ของผลึกควอตซ์ลดลง ซึ่งความสัมพันธ์ของความถี่เรโซแนนซ์ที่ลดลง(Δf) กับมวลที่เปลี่ยนแปลงไปที่ผิวของผลึกควอตซ์(Δm) สามารถแสดงได้ตามสมการของ Sauerbrey [21] คือ

$$\Delta f \cong -2.26 \times 10^{-6} f_0^2 \Delta m / A \quad (2.4)$$

โดยที่ f_0 คือ ความถี่ในการสั่นของผลึกก่อนมีมวลเพิ่ม มีหน่วยเป็น MHz

A คือพื้นที่ผิวของแผ่นควอตซ์มีหน่วยเป็น cm^2

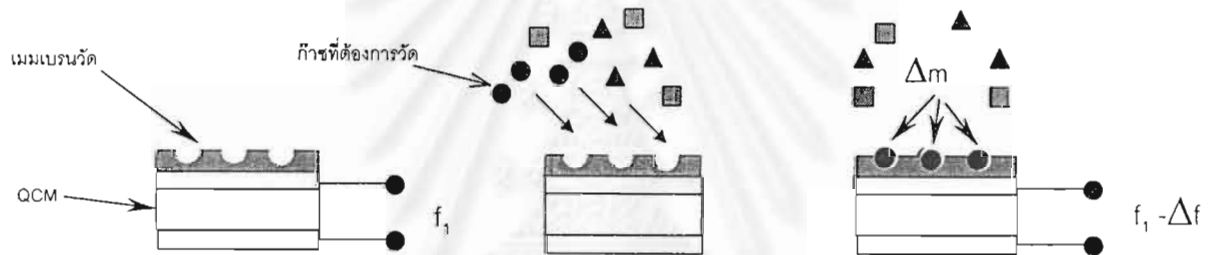
m คือมวลมีหน่วยเป็น ng

จากสมการที่ 2.4 ถ้ากำหนดให้พื้นที่ผิวของแผ่นควอตซ์ (A) เท่ากับ 1 cm^2 จะเห็นว่าถ้าใช้ผลึกควอตซ์ที่มีความถี่พื้นฐาน 10 MHz จะสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงมวลได้ละเอียดถึงประมาณ 4 ng ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการใช้ QCM ในการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลมีความไว

(sensitivity) ในการวัดที่สูงมาก ซึ่งทำให้มีการนำผลึกควออตซ์มาประยุกต์ใช้งานในการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลที่มีค่าต่ำอย่างแพร่หลาย

2.2 การใช้สารอินทรีย์เป็นเมมเบรนวัด

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ถึงแม้ QCM จะมีความไวในการวัดมวลที่สูงมาก แต่การใช้ QCM เพียงลำพังนั้นไม่สามารถทำให้มีความจำเพาะ(selectivity)กับสารที่ต้องการวัดได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถี่อันเนื่องมาจากมวลที่เกาะที่ผิวของ QCM เกิดขึ้นได้กับสารทุกชนิด ดังนั้น เพื่อเพิ่มความจำเพาะให้กับ QCM ในการใช้เป็นหัววัดก๊าซในงานวิจัยนี้จึงจะทำการเคลือบ(coat) สารอินทรีย์บนผิวหน้าของ QCM เพื่อใช้ในการดูดซับสารตัวอย่างที่ต้องการวัดอย่างจำเพาะ โดยการทำงานในการวัดของหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทำงานร่วมกันระหว่าง QCM และเมมเบรนวัด

สารอินทรีย์ที่จะนำมาใช้เป็นเมมเบรนวัดนี้ จะทดลองนำสารอินทรีย์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการประดิษฐ์เมมเบรนวัดสำหรับหัววัดก๊าซที่วัดการเปลี่ยนแปลงสภาพนำไฟฟ้าเป็นสัญญาณในการวัดดังตารางที่ 1.1 เช่น SnO_2 , ZnO , TiO_2 และ WO_3 เป็นต้น โดยมีสมมติฐานว่าสารอินทรีย์กลุ่มนี้จะมีความสามารถในการดูดซับสารตัวอย่างได้ดีและมีความจำเพาะต่อสารตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ที่จะทำการแยกแยะแตกต่างกัน

2.3 การตรวจวัดผลการเปลี่ยนแปลงมวลโดย QCM

จากหลักการในการใช้ QCM ในการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลตามที่กล่าวมาแล้วนั้น การตรวจวัดผลทางไฟฟ้าเพื่อแปลงปริมาณการเปลี่ยนแปลงมวลที่ได้จาก QCM มาเป็นสัญญาณในการวัดสามารถทำได้สองลักษณะคือ

1. ใช้ Impedance Analyzer ทำการหาจุดความถี่ โชนแนนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไป
2. ทำการนำ QCM ประกอบร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ ทางไฟฟ้าเพื่อสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์และทำการวัดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์นี้มาเป็น

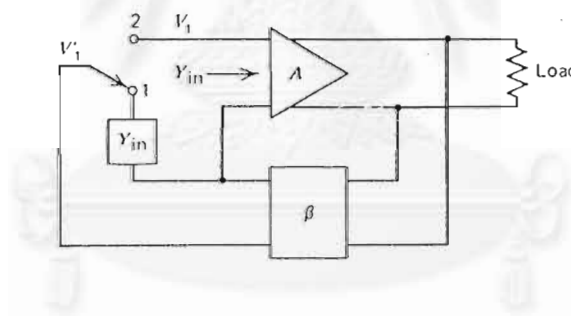
สัญญาณในการวัดซึ่งเมื่อค่าสมมูลทางไฟฟ้าของ QCM เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความถี่ของสัญญาณที่กำเนิดจากวงจรออสซิลเลเตอร์นี้เปลี่ยนแปลงไปด้วย

โดยค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงที่ได้จากวิธีทั้งสองนี้จะมีค่าใกล้เคียงกัน [15] ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีที่สองในการวัดผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ QCM คือจะใช้ QCM ร่วมกับวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิด gate oscillator และใช้เครื่องวัดความถี่(frequency counter) วัดความถี่ที่เปลี่ยนไปมาใช้เป็นสัญญาณในการวัด โดยรายละเอียดของหลักการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์เป็นดังต่อไปนี้

2.3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator circuit)

หลักการทำงาน

วงจรออสซิลเลเตอร์จะใช้หลักการในการป้อนกลับ(feedback) ของสัญญาณที่สร้างขึ้นในการกำเนิดสัญญาณที่มีขนาดและความถี่คงที่ จากหลักการนี้วงจรออสซิลเลเตอร์จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนตามรูปที่ 2.6 โดยที่ส่วน A คือส่วนขยาย(amplifier) ที่มีอัตราขยายและมีมุมเฟสของระบบเท่ากับ A_m และ θ_A ($A_m \angle \theta_A$) ตามลำดับ และ ส่วน B คือส่วนป้อนกลับ(feedback)ที่มีอัตราขยายและมีมุมเฟสของระบบเท่ากับ B_m และ θ_B ตามลำดับ ($B_m \angle \theta_B$) เช่นกัน



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของวงจรออสซิลเลเตอร์

ในขณะที่เริ่มการทำงาน open loop gain (เมื่อ switch อยู่ตำแหน่งที่ 1) มีค่าเท่ากับ

$$A_L = V'_i(\text{output})/V_i(\text{input}) = AB \quad (2.5)$$

และเมื่อสัญญาณถูกป้อนกลับไปยังส่วน A (เมื่อ switch อยู่ตำแหน่งที่ 2) การที่จะคงขนาดและมุมเฟสของสัญญาณได้(วงจรกำเนิดสัญญาณคงที่) สัญญาณ V'_i ที่ถูกป้อนกลับมาจะต้องเท่ากับสัญญาณ V_i ดังนั้นจาก closed loop จะได้ว่า

$$V'_i(\text{output})/V_i(\text{input}) = AB = 1 \quad (2.6)$$

เมื่อพิจารณา AB

จะได้ว่า

$$A_m B_m = 1 \quad (2.7)$$

และ

$$\theta_a + \theta_b = 0 \text{ หรือ } 2\pi n \quad (2.8)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนเต็ม
นั่นคือ

$$\text{Re}(AB) = 1 \quad (2.9)$$

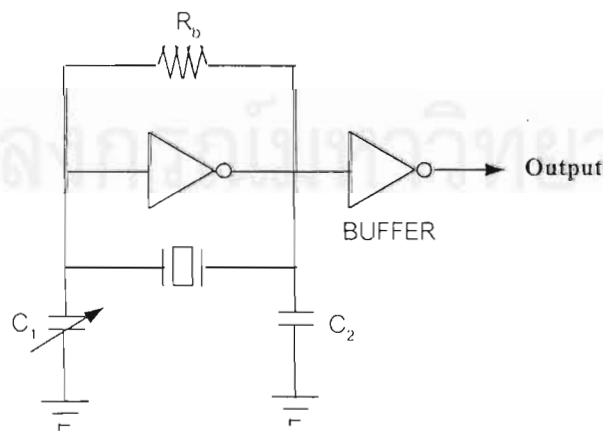
$$\text{Im}(AB) = 0 \quad (2.10)$$

ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณที่มีขนาดและความถี่คงที่จากวงจรกำเนิดสัญญาณแบบป้อนกลับ (feedback oscillator) ซึ่งเงื่อนไขนี้เรียกว่า Barkhausen criterion [17]

ในการประยุกต์ใช้งานจริงของวงจรออสซิลเลเตอร์ ค่าของ open loop gain ($A_m B_m$) จะมีค่าสูงกว่า 1 ในขณะเริ่มแรกและจะมีค่าต่ำลงจนเท่ากับ 1 เนื่องจากความไม่เป็นอุดมคติของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า และการปรับความถี่ของสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์จะทำได้โดยการปรับค่าความต้านทาน ค่าตัวเก็บประจุ หรือค่าขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรออสซิลเลเตอร์

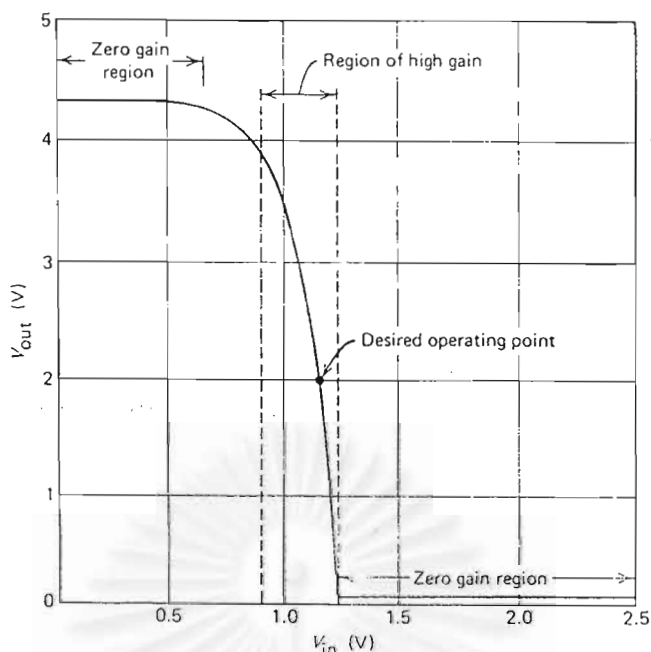
วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ gate oscillator

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ gate oscillator เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้โดยมีรูปแบบวงจรประกอบด้วยส่วนต่างๆดังรูปที่ 2.7 ซึ่งหลักการทำงานของวงจรมีเหมือนกับวงจรกำเนิดสัญญาณทั่วไปคือจะประกอบด้วยส่วนขยายและส่วนป้อนกลับ โดยในส่วนขยายนั้นจะใช้ตัว NOT gate เป็นส่วนขยายโดยความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} กับ V_{out} ของ NOT gate จะเป็นดังรูปที่ 2.8 ซึ่งช่วงอัตราขยายของ NOT gate จะประกอบด้วย ช่วงอัตราขยายเป็นศูนย์ (zero gain region)



รูปที่ 2.7 วงจร gate oscillator

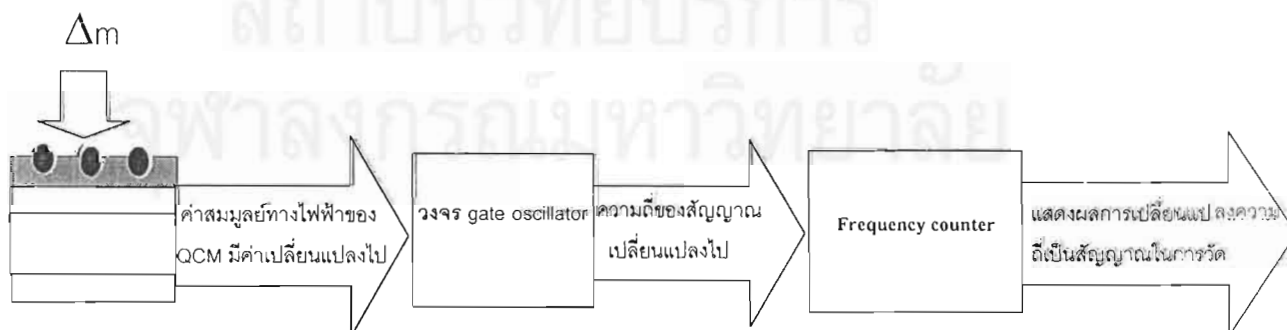
และช่วงที่มีอัตราขยายสูง (high gain region) ดังนั้นจะใช้ตัวต้านทาน R_b ในการ bias ให้จุดเริ่มทำงานของ NOT gate อยู่ในช่วงอัตราขยายสูง



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของ NOT gate

ส่วนผลึกควอตซ์จะทำหน้าที่หลักในการกำหนดความถี่ของสัญญาณที่ถูกกำเนิดโดยวงจร ซึ่งเมื่อค่าสมมูลทางไฟฟ้าของผลึกควอตซ์เปลี่ยนไปในขณะทำการวัดก็จะทำให้สัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์มีความถี่เปลี่ยนไปตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจะทำการวัดการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์โดยเครื่องวัดความถี่มาใช้เป็นสัญญาณในการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของ QCM

ส่วนตัวเก็บประจุปรับค่าได้ C_v จะทำหน้าที่ในการช่วยปรับความถี่และเสถียรภาพของสัญญาณให้มีความเหมาะสมในการนำไปทำการวัดต่อไป การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของ QCM สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การตรวจวัดการเปลี่ยนมวลของ QCM

บทที่ 3

สารตัวอย่างที่จะทำการแยกแยะและแนวทางในการแยกแยะ

3.1 สารตัวอย่าง(samples)

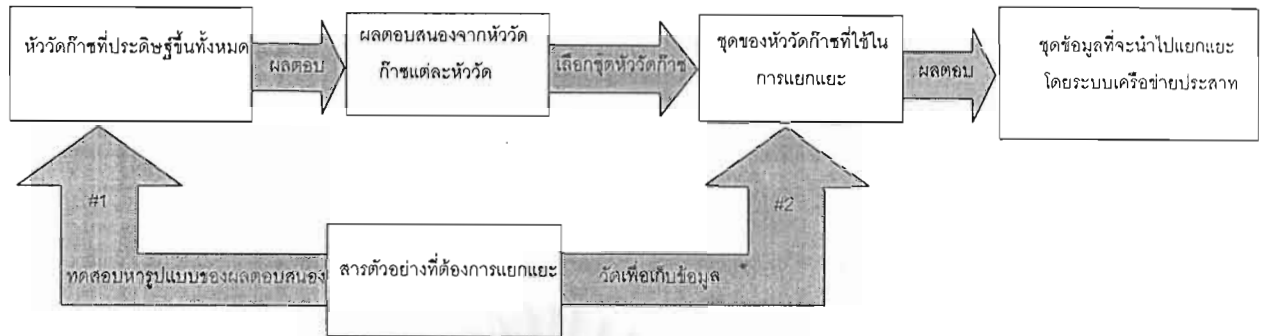
สารตัวอย่างที่จะทำการแยกแยะ โดยระบบวัดที่สร้างขึ้นประกอบด้วยสารระเหยอินทรีย์ (Volatile Organic Compounds: VOCs) 5 ชนิดและน้ำปอดคิออน(de-ionized water) โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ของสารตัวอย่างดังแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดต่างๆของสารตัวอย่างที่จะทำการแยกแยะ

ชนิด	สูตรเคมี	มวลโมเลกุล	ความเข้มข้น (% โดยปริมาตร)
Ethanol	C_2H_5OH	46.07	99.7
Methanol	CH_3OH	32.04	99.9
Acetone	CH_3COCH_3	58.08	99.8
DI Water	H_2O	18.02	100
Toluene	C_7H_8	97.13	99.5
Ammonia	NH_3	17.03	30

3.2 แนวทางในการแยกแยะสารตัวอย่าง

จากจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการแยกแยะสารระเหยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวข้างต้นด้วยระบบวัดที่สร้างขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างหัววัดก๊าซโดยใช้สารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เป็นเมมเบรนวัด และจะนำหัววัดก๊าซทั้งหมดที่สร้างขึ้นนี้ไปทำการวัดทดสอบกับสารตัวอย่างที่ต้องการแยกแยะ จากนั้นจะนำผลตอบสนองของหัววัดก๊าซแต่ละตัวมาพิจารณาว่ามีรูปแบบ(pattern) การตอบสนองกับสารตัวอย่างชนิดต่าง ๆ เป็นอย่างไร เพื่อทำการคัดเลือกชุดหัววัดก๊าซที่เหมาะสมมาเป็นชุดของหัววัดที่จะใช้ในระบบแยกแยะก๊าซ จากนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างผลตอบสนองของชุดหัววัดก๊าซนี้เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบความสามารถในการแยกแยะของระบบที่สร้างขึ้นต่อไป ขั้นตอนในการเก็บผลตอบสนองของชุดของหัววัดก๊าซเพื่อที่จะนำไปทำการแยกแยะ โดยระบบเครือข่ายประสาทในขั้นตอนต่อไป สามารถแสดงสรุปได้ตามรูปที่ 3.1



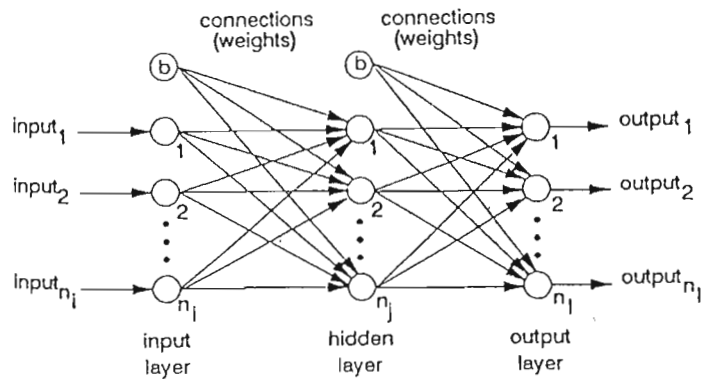
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปทำการแยกแยะ โดยระบบเครือข่ายประสาท

หลังจากการเก็บผลตอบของชุดหัวข้อก๊าซที่ได้ทำการเลือกต่อสารตัวอย่างที่ต้องการทำการแยกแยะแล้ว ในขั้นตอนต่อมาจะทำการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างแต่ละชนิดออกจากกันโดยใช้ระบบเครือข่ายประสาท (neural network) เข้ามาช่วย โดยสถาปัตยกรรมของระบบเครือข่ายประสาทสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ระบบเครือข่ายประสาทจะเป็นเครือข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า (feedforward) แต่ละเส้นประสาทจะประกอบด้วยพารามิเตอร์ประจำโหนดคือ น้ำหนัก (weight: w), ไบแอส (bias: b) และฟังก์ชันถ่ายโอน (f) ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกใช้ประกอบกันในการคำนวณค่า output ของแต่ละเส้นประสาทดังแสดงในรูปที่ 3.3 สมการสำหรับการคำนวณค่า output เป็นดังสมการที่ (3.1) และ (3.2) โดยที่ระบบเครือข่ายประสาทจะพยายามหาเมตริก

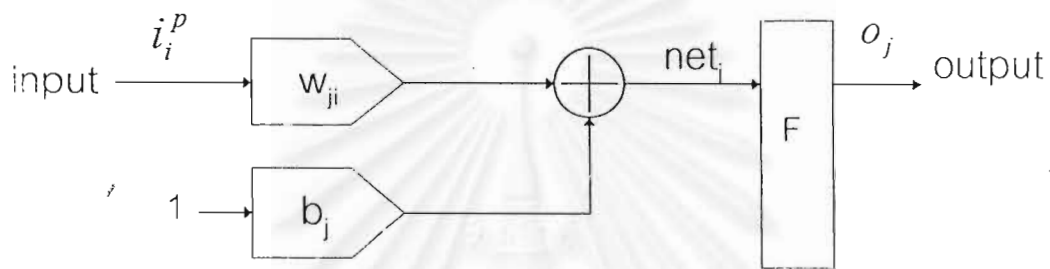
$$net_j = \sum_i w_{ji} i_i + b_j \quad (3.1)$$

$$o_j^p = f_j(net_j^p) \quad (3.2)$$

(matrix) น้ำหนัก และเมตริกไบแอสที่เหมาะสมเพื่อนำมาแทนระบบได้อย่างถูกต้อง การที่ระบบเครือข่ายประสาทจะหาเมตริกดังกล่าวได้อย่างถูกต้องนั้น เราจะต้องทำการกำหนดชุดข้อมูลของค่าอินพุต และค่าเอาต์พุตของระบบให้กับระบบเครือข่ายประสาท ซึ่งชุดข้อมูลนี้เรียกว่าชุดฝึก (training set) ระบบเครือข่ายประสาทจะเรียนรู้โดยจะทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวแทนระบบที่ถูกต้องตามที่กำหนด รูปแบบในการเรียนรู้ของระบบเครือข่ายประสาทมีหลายวิธี ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเปรียบเทียบการใช้ระบบเครือข่ายประสาทแบบ Back propagation ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้



รูปที่ 3.2 โครงข่ายระบบประสาทแบบป้อนไปข้างหน้า



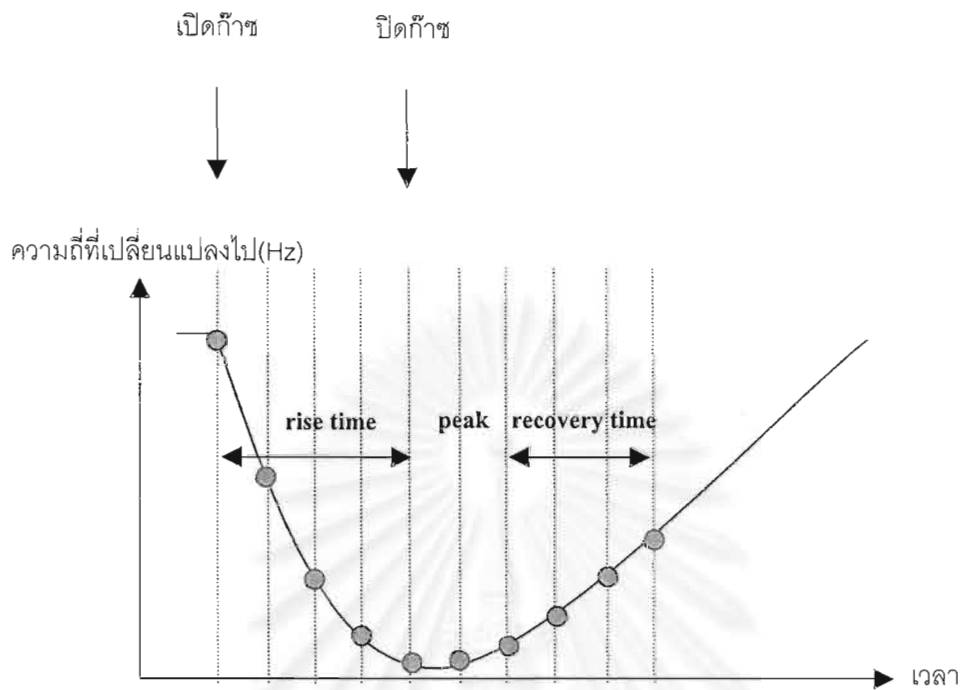
รูปที่ 3.3 แบบจำลองของโครงข่ายประสาท 1 ชั้น

กันอย่างแพร่หลายกับระบบเครือข่ายประสาทแบบ Radial Basis เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแยกแยะสารตัวอย่างและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานกับระบบวัดแยกก๊าซที่สร้างขึ้น

ในการนำข้อมูลผลตอบแทนของหัววัดก๊าซต่อสารตัวอย่างมาทำการแยกแยะโดยระบบเครือข่ายประสาทนั้นสามารถทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ได้จากผลตอบแทนของหัววัดก๊าซ ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลเพียงจุดเดียว การใช้วิธีนี้อาจทำให้การแยกไม่มีประสิทธิภาพมากเท่าที่ควรและยังเป็นการใช้ข้อมูลที่มีอยู่อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ต่อมาจึงได้มีการใช้จุดข้อมูลจุดอื่นเข้ามาประกอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกแยะ[22,23] แต่อย่างไรก็ดียังไม่มีการศึกษาถึงผลของจำนวนจุดข้อมูลและการเลือกตำแหน่งของจุดข้อมูลที่น่ามาใช้ที่มีต่อความสามารถในการแยกแยะของระบบเครือข่ายประสาท

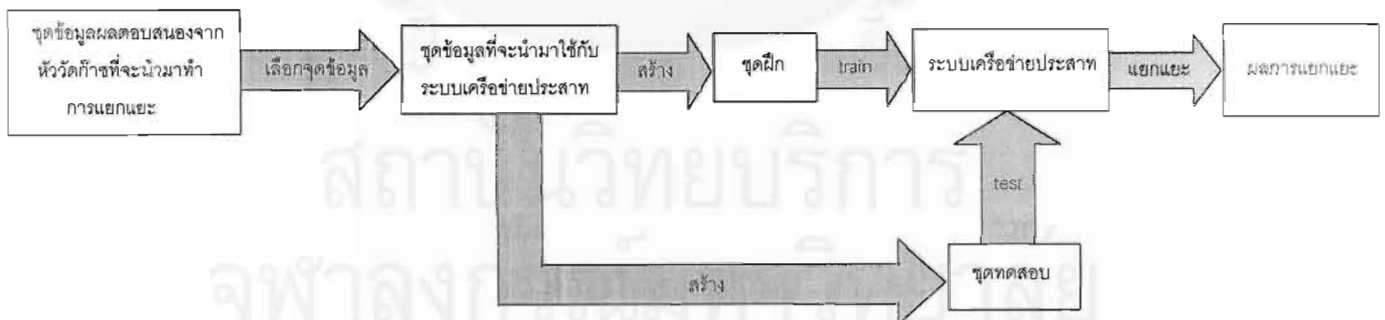
งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของการใช้จำนวนข้อมูลจากผลตอบแทนที่ได้ต่อความสามารถในการแยกแยะของระบบ โดยจะนำข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงความถี่จากผลตอบแทนของหัววัดก๊าซ ณ เวลาต่าง ๆ ตามที่แสดงไว้ดังรูปที่ 3.4 มาทำการแยกแยะโดยค่า เวลา ณ จุดต่าง ๆ ที่จะเลือกใช้ในการดึงข้อมูลนี้จะทำการเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะผลตอบแทนของหัววัดก๊าซกล่าวคือจะเลือกให้ครอบคลุมช่วงของผลตอบแทนทั้งสามช่วงคือช่วง rise time, peak และช่วง recovery time ส่วนจำนวนของจุดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการแยกแยะนี้จะทำการแปรจำนวนจุดข้อมูล โดยใช้

จำนวนจุดข้อมูล 1, 3, 5, 7 และ 9 จุด เพื่อหาจำนวนจุดข้อมูลที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการแยกแยะเพื่อให้ได้ผลการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างได้ถูกต้องมากที่สุด



รูปที่ 3.4 การเลือกข้อมูลจากผลตอบของหัววัดก๊าซเพื่อนำไปทำการแยกแยะ

ขั้นตอนในการนำข้อมูลผลตอบสนองของหัววัดก๊าซมาทำการแยกแยะโดยระบบเครือข่ายประสาทสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.5

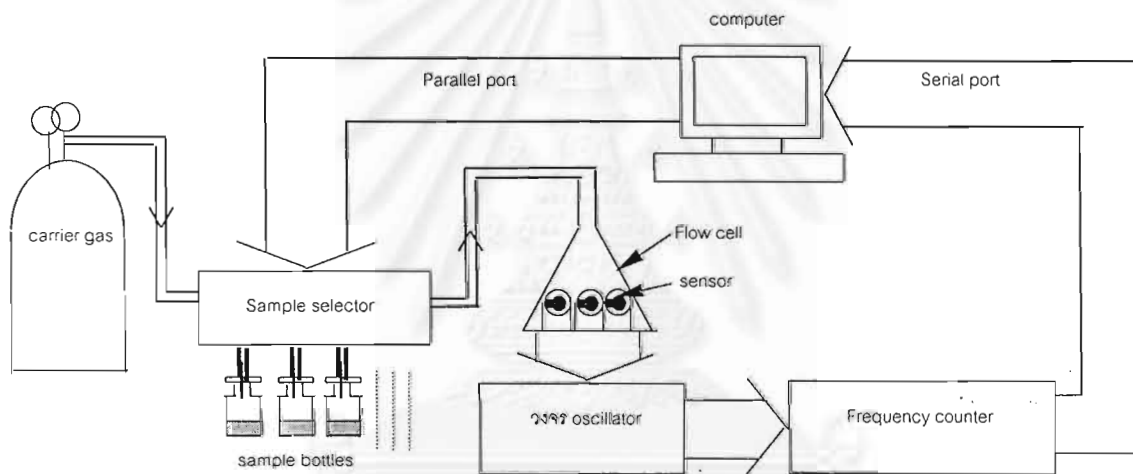


รูปที่ 3.5 ขั้นตอนในการนำข้อมูลผลตอบสนองของหัววัดก๊าซมาทำการแยกแยะโดยระบบเครือข่ายประสาท

บทที่ 4

ระบบวัด

ระบบวัดที่จะทำการออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นระบบวัดแบบไอไหลผ่าน (Vapor flow system) โดยระบบวัดที่สร้างขึ้นนี้จะประกอบด้วยส่วนหลักสามส่วนคือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการผ่านไอของสารตัวอย่างที่จะทำการวัดเข้าสู่หัววัดก๊าซ ส่วนที่สองจะทำหน้าที่ในการนำสัญญาณที่เกิดจากการวัดสารตัวอย่างของหัววัดก๊าซไปประมวลผล แสดงผลและเก็บบันทึกข้อมูล และส่วนที่สามจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบวัด ภาพรวมของการทำงานของระบบวัดทั้งสามส่วนนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



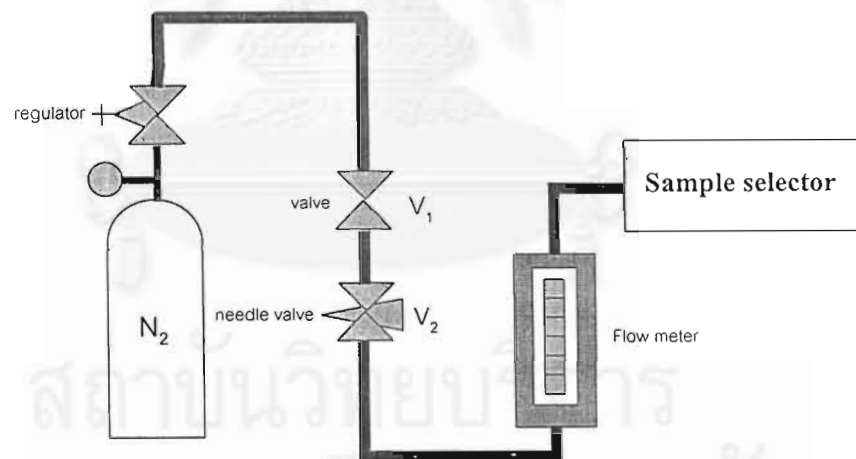
รูปที่ 4.1 ระบบวัด

การทำงานของระบบวัดเป็นดังนี้คือ ก๊าซพาห้(carrier gas)จากระบบนำพาห้ก๊าซจะนำพาห้ก๊าซของสารตัวอย่างที่ต้องการวัดเข้าสู่หัววัดก๊าซในเซลล์วัด(flow cell) โดยการผ่านก๊าซพาห้เข้าไปสู่ขวดใส่สารตัวอย่างผ่าน sample selector ซึ่งก๊าซพาห้จะนำพาห้ไอของสารตัวอย่างออกจากขวดใส่สารตัวอย่างเข้าสู่เซลล์วัด เมื่อก๊าซของสารตัวอย่างเข้าสู่เซลล์วัดก็จะเกิดการดูดซับที่ผิวของหัววัดก๊าซที่อยู่ในเซลล์วัดทำให้เกิดสัญญาณในการวัดขึ้นในรูปของการเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรถ่ายสัญญาณ(oscillator)ที่ต่อกับหัววัดก๊าซแต่ละหัววัด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรถ่ายสัญญาณนี้จะถูกวัดโดยเครื่องวัดความถี่(frequency counter) โดยจะทำการวัดการเปลี่ยนแปลง

ความถี่ทุกๆ 1 วินาทีและเครื่องวัดความถี่จะส่งข้อมูลของการวัดความถี่ของสัญญาณเหล่านี้ไปสู่คอมพิวเตอร์ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเพื่อที่คอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการประมวลผลเพื่อแสดงเป็นกราฟข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงความถี่กับเวลาแบบเวลาจริง(real time) และเมื่อเสร็จสิ้นการวัดก็จะทำการเก็บบันทึกข้อมูล เพื่อที่จะนำข้อมูลผลตอบของหัววัดก๊าซกับสารตัวอย่างชนิดต่างๆไปทำการวิเคราะห์เพื่อแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างต่อไป การทำงานของระบบวัดนี้จะถูกควบคุมโดยโปรแกรมควบคุมระบบ ซึ่งรายละเอียดในส่วนต่างๆ ของระบบวัดและโปรแกรมควบคุมระบบมีดังนี้

4.1 ระบบนำพาท่ำก๊าซ

ระบบนำพาท่ำก๊าซสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยจะใช้ท่ำไนโตรเจน(99.8%) เป็นท่ำพาห้(carrier gas) มีหน้าที่ในการนำท่ำสารตัวอย่างที่จะทำการวัดเข้าสู่หัววัดท่ำในเซลล์วัด การทำงานของระบบนำพาท่ำก๊าซจะเป็นดังนี้คือ ท่ำไนโตรเจนจากถังบรรจุท่ำจะไหลผ่านวาล์ว V_1 และ วาล์ว V_2 และไหลเข้าสู่โฟลว์มิเตอร์(flow meter) ตามลำดับ จากนั้นจะไหลเข้าสู่ sample selector อัตราการไหลของท่ำ(flow rate) จะถูกวัดโดยโฟลว์มิเตอร์ และสามารถทำการปรับอัตราการไหลของท่ำพาห้ผ่านทางวาล์ว V_2 ส่วนวาล์ว V_1 จะทำหน้าที่ในการเปิด-ปิดท่ำที่จะไหลเข้ามาในระบบวัด

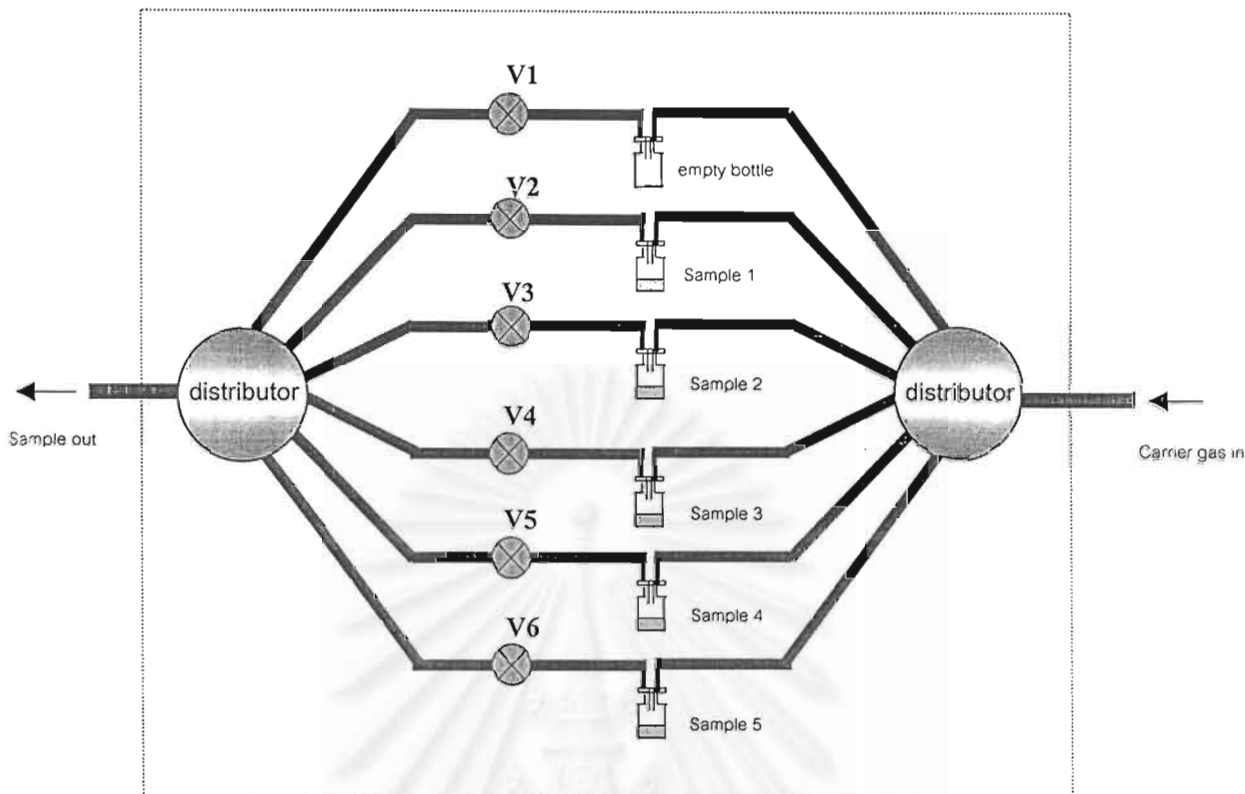


รูปที่ 4.2 ระบบนำพาท่ำก๊าซ

4.2 Sample selector

Sample selector มีหน้าที่ในการควบคุมลำดับและเวลาในการไหลผ่านสารตัวอย่างชนิดต่างๆ เข้าสู่หัววัดท่ำในเซลล์วัด โดยการทำงานของ sample selector จะถูกควบคุมผ่านทางพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ โครงสร้างของ sample selector แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ท่ำพาห้จากระบบนำพาท่ำ

Sample Selector



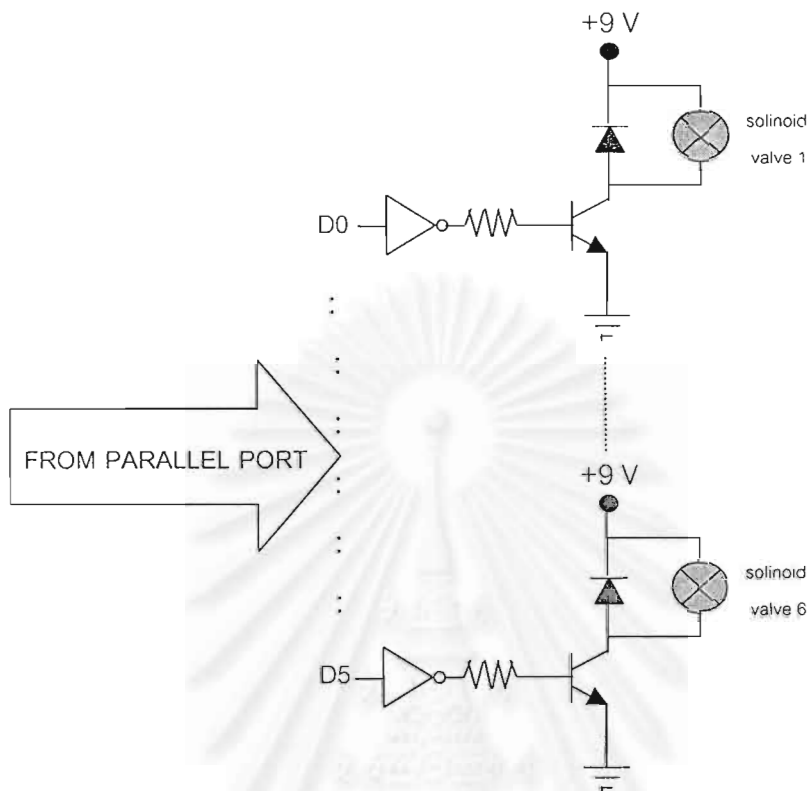
รูปที่ 4.3 โครงสร้างของ sample selector

ก๊าซจะไหลผ่านตัวแยก(distributor) แยกไหลไปตามขวดใส่สารตัวอย่างแต่ละชนิดซึ่งสามารถวัดได้สูงสุด 5 ชนิด และไหลผ่านนำไอของก๊าซสารตัวอย่างออกจากขวดใส่สารตัวอย่างเพื่อที่จะนำไปสู่หัววัดก๊าซในเซลล์วัดเพื่อทำการวัดต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.3 วาล์ว V_2-V_6 ที่ต่อเชื่อมกับขวดใส่สารตัวอย่างจะเปิด-ปิดเพื่อควบคุมการผ่านก๊าซสารตัวอย่างไปสู่หัววัดก๊าซ โดยจะกำหนดรูปแบบและลำดับการไหลผ่านสารตัวอย่างให้เป็นไปดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยการ bypass จะเป็นการผ่านก๊าซพาห้เข้าสู่ขวดเปล่า เวลาในการไหลผ่านสารตัวอย่าง(T_r)และเวลาในการbypass(T_b) จะสามารถเลือกเวลาได้ตามความเหมาะสมโดยทำการใส่ค่าตัวเลขเวลาเป็นวินาทีผ่านทางโปรแกรมควบคุมระบบซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

start	<u>Bypass</u>	Sample#1	<u>Bypass</u>	Sample#2	<u>Bypass</u>	Sample#5	<u>Bypass</u>	stop
	100 sec	T_r sec	T_b sec	T_r sec	T_b sec	T_r sec	T_b sec	

รูปที่ 4.4 ลำดับการทำงานของ sample selector

การควบคุมการเปิด-ปิด solinoid valve ที่ตำแหน่งต่างใน sample selector จะทำการควบคุมผ่านทางพอร์ตขนานโดยใช้ขา D0 – D5 ของพอร์ตขนานในการควบคุมดังรูปที่ 4.5



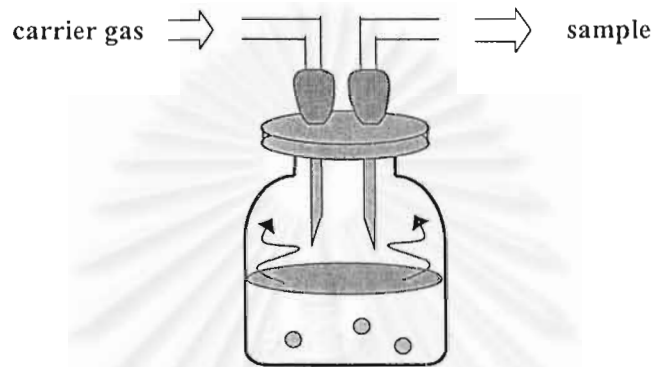
รูปที่ 4.5 การควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว

โดยรหัสในการควบคุมการทำงานของ sample selector เป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รหัสการควบคุมจังหวะการทำงานของ sample selector

จังหวะการทำงาน	รหัสควบคุม(HEX)
bypass	BE
flowsample#1	BD
flowsample#2	BB
flowsample#3	B7
flowsample#4	AF
flowsample#5	9F

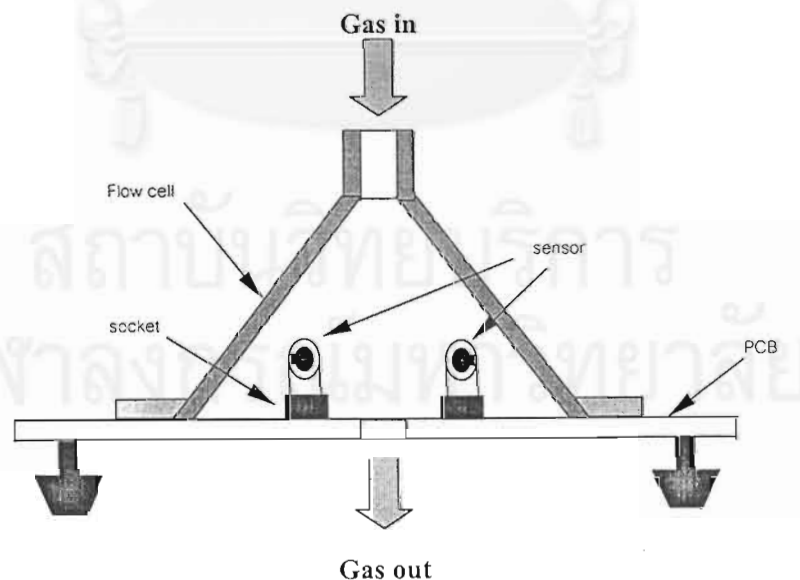
โดยในส่วนของคุณวคที่ใช้สำหรับบรรจุสารตัวอย่างที่ต้องการทำการวัดตามรูปที่ 4.1 จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยคุณวคใส่สารตัวอย่างจะเป็นคุณวคแก้วที่มีปริมาตร 10 cc. ปิดด้วยจุกยางและใช้เข็มฉีดยาเป็นทางในการผ่านเข้า-ออกของก๊าซพาห้และก๊าซของสารตัวอย่าง โดยจะกำหนดปริมาณของสารตัวอย่างที่จะบรรจุในคุณวคสารตัวอย่างเท่ากับ 5 cc. ลักษณะการวัดแบบนี้จึงเป็นการวัดแบบ head space



รูปที่ 4.6 ภาพขณะบรรจุสารตัวอย่าง

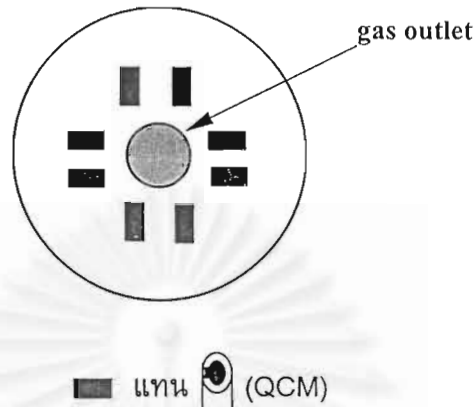
4.3 เซลล์วัด(flow cell)

เซลล์วัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบรรจุหัววัดก๊าซไว้เพื่อทำปฏิกิริยาในการวัดกับสารตัวอย่าง ลักษณะรูปร่างของเซลล์วัดที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.7 เซลล์วัดทำจากแก้วมีรูปทรงเป็นทรงกรวย



รูปที่ 4.7 ภาพตัดขวางของเซลล์วัด

เซลล์วัดจะมีทางเข้าของก๊าซอยู่ทางด้านบนและมีทางออกของก๊าซอยู่ด้านล่าง ซึ่งในระบบวัดนี้จะทำการออกแบบให้ในเซลล์วัดสามารถบรรจุหัววัดก๊าซได้สูงสุด 8 หัววัด ตำแหน่งของหัววัดก๊าซในเซลล์วัดจะเป็นดังรูปที่ 4.8 ซึ่งหัววัดก๊าซทั้งหมดจะถูกเรียงตามแนวรัศมีของทางเข้า-ออกของ

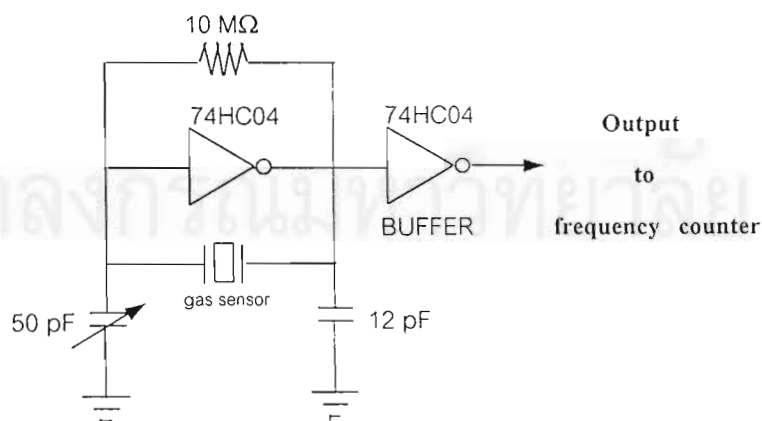


รูปที่ 4.8 ตำแหน่งหัววัดก๊าซภายในเซลล์วัด

ก๊าซเพื่อที่หัววัดก๊าซแต่ละตัวจะได้สัมผัสกับก๊าซของสารตัวอย่างที่ทำการวัดได้อย่างสม่ำเสมอ (uniform) ส่วนของแผ่นฐานของเซลล์วัดจะมีลายทองแดงที่เชื่อมติดกับขาของหัววัดก๊าซตัววงจรกำเนิดสัญญาณที่อยู่ในอีกส่วนหนึ่งเพื่อที่วงจรกำเนิดสัญญาณจะทำการแปลงสัญญาณในการวัดที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของหัววัดก๊าซให้ไปอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าต่อไป

4.4 วงจรกำเนิดสัญญาณ

วงจรถ่ายสัญญาณจะใช้วงจร gate oscillator โดยมีองค์ประกอบทางต่าง ๆ ทางไฟฟ้าดังรูปที่ 4.9 โดยจะใช้ทั้งหมด 8 วงจรสำหรับหัววัดก๊าซแต่ละตัว โดยจะทำการแยกแต่ละวงจรถ่ายเป็น

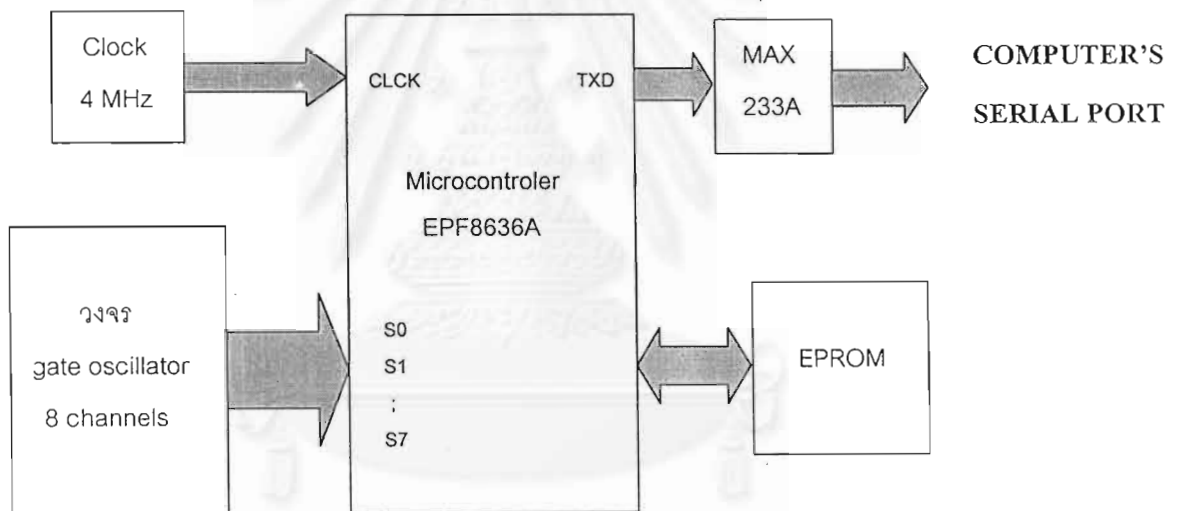


รูปที่ 4.9 วงจร gate oscillator

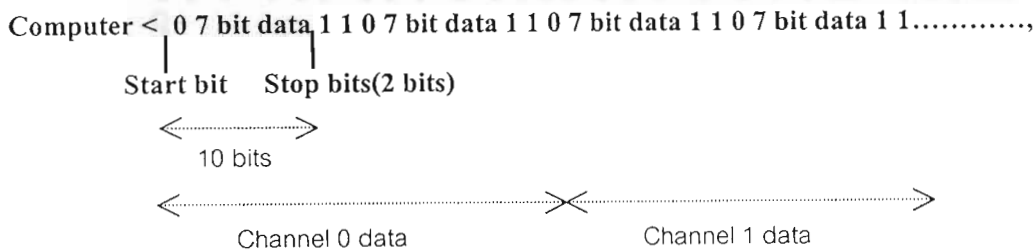
คนละแผ่นวงจรทั้งหมด 8 แผ่นวงจร

4.5 เครื่องวัดความถี่(frequency counter)

เครื่องวัดความถี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวัดความถี่รุ่น MZ0530.0-01 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์(EPF8636A)ในการควบคุมการวัดความถี่และส่งผลการวัดความถี่ไปยังคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบของเครื่องวัดความถี่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 ในการทำงานของเครื่องวัดความถี่จะทำการรับสัญญาณที่จะทำการนับความถี่ที่ได้จากวงจร gate oscillator ผ่านทางขาอินพุต S0 – S7 ซึ่งจะสามารถรับสัญญาณที่จะทำการวัดความถี่ได้สูงสุด 8 สัญญาณในเวลาเดียวกัน จากนั้นจะทำการประมวลผลและส่งค่าที่นับได้ออกทางพอร์ตสื่อสารทุก ๆ 1 วินาทีเข้าสู่พอร์ตอนุกรม(serial port)ของคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะนำค่าที่นับได้จากเครื่องวัดความถี่นี้ไปประมวลผลและเก็บบันทึกต่อไป รายละเอียดต่าง ๆ ของเครื่องวัดความถี่นี้แสดงได้ตามตารางที่ 4.2 และรูปแบบในการส่งข้อมูลของเครื่องวัดความถี่แสดงได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความถี่



รูปที่ 4.11 รูปแบบการส่งของมูลผลการวัดความถี่ของเครื่องวัดความถี่ไปยังคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่องวัดความถี่

Specification	Number of channels 8 Gate time 1 sec Method of communication with a computer RS232C Communication speed 9600Baud Allowable maximum frequency deviation 16384 Hz Maximum frequency of input signals 78 Mhz
RS232C format	Baud rate 9600 Number of data bits 7 Parity None Flow Control None Number of stop bits 2 Number of start bits 2

4.6 โปรแกรมควบคุมระบบวัด

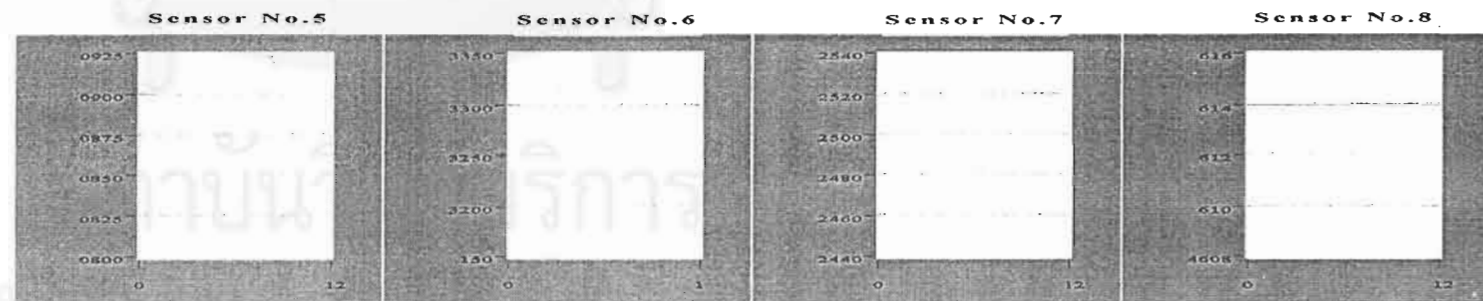
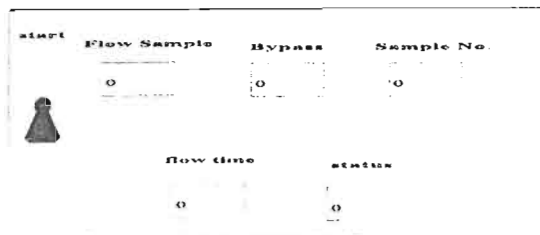
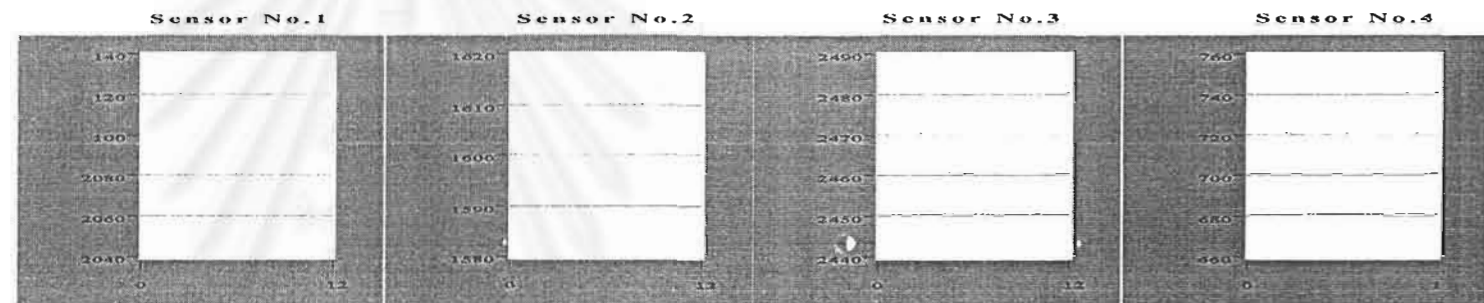
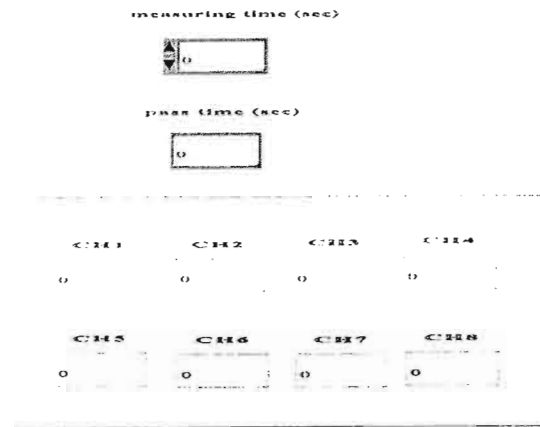
โปรแกรมควบคุมระบบวัดมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของระบบวัด โดยมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. ทำการรับค่าเวลาในการวัด, เวลาในการไหลผ่านสารตัวอย่าง(T_p) และเวลาในการ bypass (T_b)
2. เริ่มทำการวัดโดยการกด start ที่ control panel
3. คอมพิวเตอร์จะส่งค่าควบคุมที่ถูกต้องผ่านทางพอร์ตขนานไปที่ sample selector เพื่อควบคุมการไหลผ่านสารตัวอย่างและการ bypass
4. คอมพิวเตอร์จะรับค่าความถี่จากเครื่องวัดความถี่ผ่านทางพอร์ตอนุกรม แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปทำการแสดงบน control panel แบบเวลาจริงทุก ๆ 1 วินาที
5. เริ่มทำซ้ำข้อ 3 และ 4 จนครบเวลาในการวัด
6. บันทึกค่าความถี่ที่ได้จากการวัด

โดยที่ control panel ของโปรแกรมควบคุมระบบเป็นดังรูปที่ 4.12

VOCs identification system

bioelectronic laboratory



รูปที่ 4.12 control panel ของโปรแกรมควบคุมระบบ

4.7 การทดสอบระบบวัด

ทำการทดสอบระบบวัดที่สร้างขึ้นเพื่อคว่าระบบที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมหรือไม่ โดยได้ทำการทดสอบแยกเป็นสามส่วนดังนี้คือ

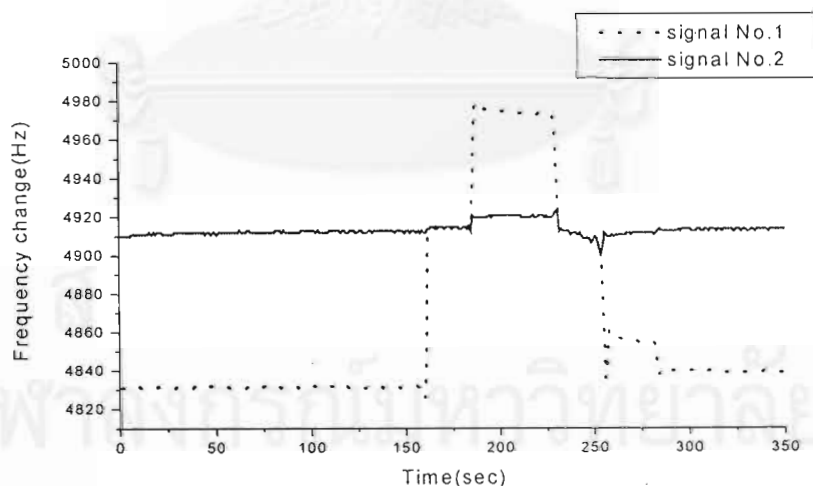
ส่วนของวงจรวัด

การวัดและแสดงค่าความถี่

ทำการทดสอบโดยทำการป้อนสัญญาณที่ทราบค่าความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ให้กับเครื่องวัดความถี่ แล้วทำการเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณนี้ เพื่อดูผลของค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่แสดงออกทาง control panel และดูค่าของข้อมูลความถี่ที่โปรแกรมควบคุมได้ทำการบันทึกไว้ ปรากฏว่าระบบวัดสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทั้งในการแสดงข้อมูลของความถี่กับเวลาและการบันทึกค่าความถี่

วงจรถ่ายสัญญาณ

ทำการทดสอบวงจรถ่ายสัญญาณที่สร้างขึ้นทั้ง 8 วงจร ปรากฏว่าสามารถกำเนิดสัญญาณที่ต้องการได้อย่างถูกต้องและมีเสถียรภาพ โดยค่าของการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อเวลาของแต่ละวงจรอยู่ที่ประมาณ $\pm 1\text{Hz} / 5$ นาที จากนั้นได้ทำการทดลองประกอบวงจรถ่ายสัญญาณในแต่ละช่องสัญญาณเข้ากับเครื่องวัดความถี่และทำการปรับค่าความถี่จากแต่ละวงจรถ่ายสัญญาณและดูผลการเปลี่ยนแปลงความถี่จาก control panel ปรากฏว่าเมื่อปรับความถี่ของวงจรถ่ายสัญญาณใดตัวหนึ่งให้เข้าใกล้กันมากกว่า 60 Hz สัญญาณความถี่จากวงจรทั้งสองนี้จะรวมกันเป็นสัญญาณเดี่ยวกล่าวคือสัญญาณทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงตามกันตลอดดังรูปที่ 4.13

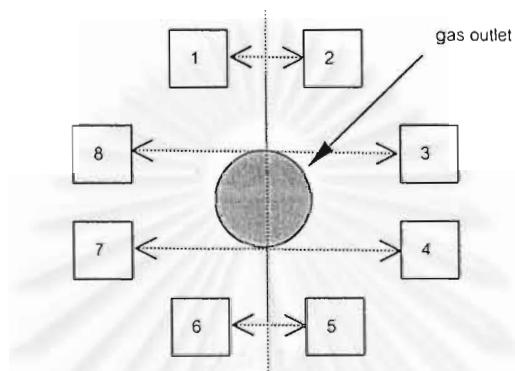


รูปที่ 4.13 การรบกวนกันของสัญญาณที่ได้จากวงจรถ่ายสัญญาณ

ดังนั้นในการทำการวัดจะทำการปรับความถี่ให้ความถี่ของแต่ละวงจรแตกต่างกันมากกว่า 200 Hz เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันของแต่ละสัญญาณ

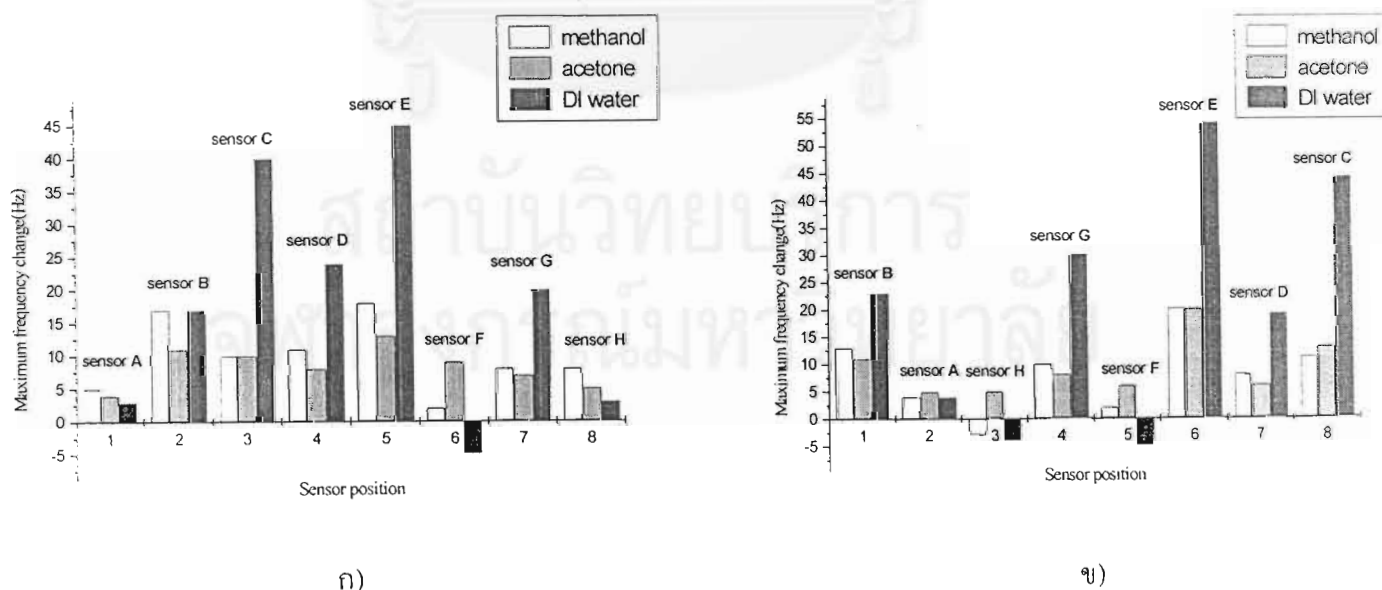
เซลล์วัด

ทำการทดสอบว่าตำแหน่งของการวางหัววัดก๊าซในเซลล์วัดมีผลต่อผลตอบสนองของหัววัดก๊าซมากน้อยเพียงไร(หัววัดก๊าซที่ตำแหน่งต่างๆรับปริมาณก๊าซที่จะทำการวัดเท่ากันหรือไม่)โดยใช้หัววัดก๊าซที่สร้างขึ้นทำการวัดก๊าซสารตัวอย่างจากนั้นทำการเปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดก๊าซในเซลล์วัดเพื่อทดสอบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งในเซลล์วัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองของหัววัดก๊าซต่อสารตัวอย่างหรือไม่ โดยในการวัดครั้งแรกได้ทำการจัดตำแหน่งของหัววัดก๊าซแต่ละตัวที่มีลักษณะสมบัติแตกต่างกันตามรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งและการสลับตำแหน่งของหัววัดก๊าซในเซลล์วัด

ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซแต่ละตัวต่อสารตัวอย่าง(ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุด)แสดงดังรูปที่ 4.15 ก) ต่อมาได้ทำการเปลี่ยนตำแหน่งหัววัดก๊าซตามแนวสมมาตรซ้าย-ขวาคือทำการเปลี่ยนตำแหน่งกันระหว่าง 1 กับ 2, 3 กับ 8, 4 กับ 7 และ 5 กับ 6 ได้ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซแต่ละตัวต่อสารตัวอย่างเมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดก๊าซแสดงดังรูปที่ 4.15 ข)

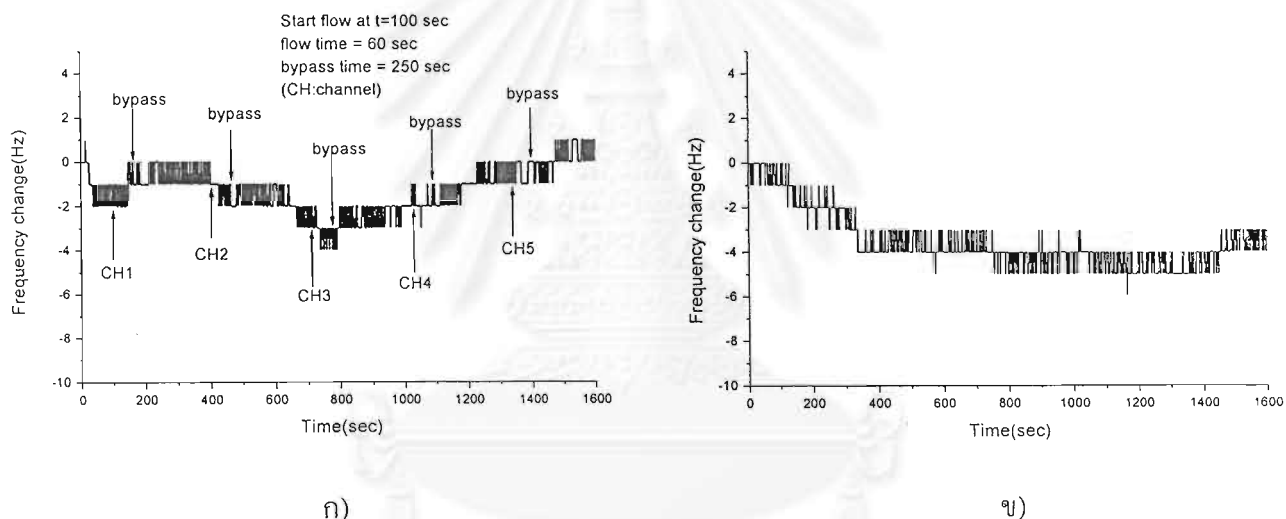


รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซ ก) ก่อนเปลี่ยนตำแหน่ง ข) หลังเปลี่ยนตำแหน่ง

จากการเปรียบเทียบผลตอบสนองของหัววัดก๊าซต่อสารตัวอย่างก่อนการเปลี่ยนตำแหน่ง และหลังการเปลี่ยนตำแหน่ง ปรากฏว่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นตำแหน่งของหัววัดก๊าซใน เซลล์วัดสามารถถือได้ว่าได้รับปริมาณก๊าซเท่า ๆ กัน

Sample selector

ทำการทดสอบ sample selector หัวอัตราเร็วในการไหลของแต่ละ channel โดยการทำการ โพล์ก๊าซพาห์ผ่านขวดเปล่าและทำการวัดอัตราเร็วในการไหลที่ได้ค่าอัตราเร็วในการไหลของแต่ละ channel ไม่แตกต่างกันมากนักคืออยู่ที่ประมาณ $\pm 5\%$ และเมื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ ของหัววัดก๊าซที่ไม่ได้ทำการเคลือบเมมเบรนวัด(bare)เมื่อทำการ โพล์ก๊าซพาห์ผ่านขวดเปล่าดังรูป ที่ 4.16 ก) เทียบกับผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เมื่อไม่ได้ทำการ โพล์ก๊าซพาห์ตามรูปที่ 4.16 ข) จะ เห็นว่าผลของการ โพล์ก๊าซพาห์ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่แตกต่างไปจากเมื่อไม่ได้ทำ



รูปที่ 4.16 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ ก)เมื่อทำการ โพล์ก๊าซพาห์ผ่านขวดเปล่า ข)เมื่อไม่ได้ทำการ โพล์ก๊าซพาห์

การ โพล์แต่เพื่อให้ระบบแยกแยะมีความเชื่อถือมากขึ้นในขั้นตอนที่จะวัดสารตัวอย่างเพื่อทำการ แยกแยะจะทำการหมุนเวียนตำแหน่งของสารตัวอย่างใน sample selector สลับกันไปในการวัดแต่ละครั้ง

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดตามลำดับขั้นตอน โดยจะเริ่มตั้งแต่การประดิษฐ์หัววัดก๊าซ การหาผลตอบสนองของหัววัดก๊าซที่สร้างขึ้นต่อสารตัวอย่าง กระบวนการแยกแยะสารตัวอย่าง และผลการแยกแยะสารตัวอย่าง ตามลำดับดังนี้

5.1 การประดิษฐ์หัววัดก๊าซ

ในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซจะนำสารอนินทรีย์ดังตารางที่ 5.1 มาใช้สร้างเป็นเมมเบรนวัด ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 สารเหล่านี้ส่วนหนึ่งจะถูกปรับแต่งโดยใช้สารเจือปนชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.2 โดยในการเจือปนจะใช้ปริมาณ 0.1 % ของน้ำหนักสารอนินทรีย์

ตารางที่ 5.1 สารอนินทรีย์ที่ใช้สร้างเมมเบรนวัด

ชนิด	มวลโมเลกุล
SnO_2	150.69
ZnO	81.38
PdCl_2	177.30
SnCl_2	189.62
$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Fe}$	186.03
WO_3	231.86
CuO	115.54
TiO_2	79.90
NiO_2	90.69

ตารางที่ 5.2 สารเจือปน(dopant)ในการสร้างเมมเบรนวัด

สาร	น้ำหนักอะตอม (at.wt.)	ความเข้มข้น(mmol/l)
Au	196.96	2.0
Rh	102.90	2.5
Ru	101.07	2.5
Pd	106.42	2.5
Pt	195.08	2.5

กระบวนการประดิษฐ์หัววัดก๊าซแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. วิธี dip วิธีนี้จะใช้ในการเคลือบสารอนินทรีย์สองชนิดคือ SnCl_2 และ ferrocene โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1. นำสารอนินทรีย์ดังกล่าวในปริมาณที่เหมาะสมผสมลงในเมทานอล โดยในกรณีที่จะทำการปรับแต่งจะผสมสารเจือปนลงไปด้วย

ขั้นที่ 2. นำควอร์ตซ์ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจุ่มลงไปในการละลายที่เตรียมไว้ แล้วยกขึ้นช้า ๆ

ขั้นที่ 3. นำควอร์ตซ์ที่ได้ขึ้นมาตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และทำการวัดความถี่ที่เปลี่ยนไปของหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้น (เป็นค่า df) เพื่อให้ทราบถึงปริมาณในการเคลือบของสารอนินทรีย์ จากนั้นจะนำไปเก็บที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำไปใช้ต่อไป

2. วิธี drop วิธีนี้จะใช้ในการเคลือบสารอนินทรีย์ชนิดที่เหลือคือ SnO_2 , ZnO , WO_3 , CuO , PdCl_2 , TiO_2 และ NiO_2 โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1. นำสารอนินทรีย์ที่จะใช้มาบดให้ละเอียด

ขั้นที่ 2. นำสารอนินทรีย์ที่ผ่านการบดมาทำการผสมกับสาร dispex 5% ของน้ำหนักของสารอนินทรีย์

ขั้นที่ 3. เติมน้ำปอดค้อกลงไปจนได้สัดส่วนที่เหมาะสม โดยในกรณีที่จะทำการปรับแต่งจะผสมสารเจือปนลงไปด้วย

ขั้นที่ 4. นำไมโครปิเปตดูดสารที่ผสมได้ปริมาณ 20 μl และหยดลงบนโลหะอิเล็กโทรดด้านหนึ่งของควอร์ตซ์

ขั้นที่ 5. นำควอร์ตซ์ที่ได้ ไปอบให้น้ำบนผิวหน้าของควอร์ตซ์ให้ระเหยออกไปให้หมด โดยจะอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 – 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบประมาณ 1 ชั่วโมง

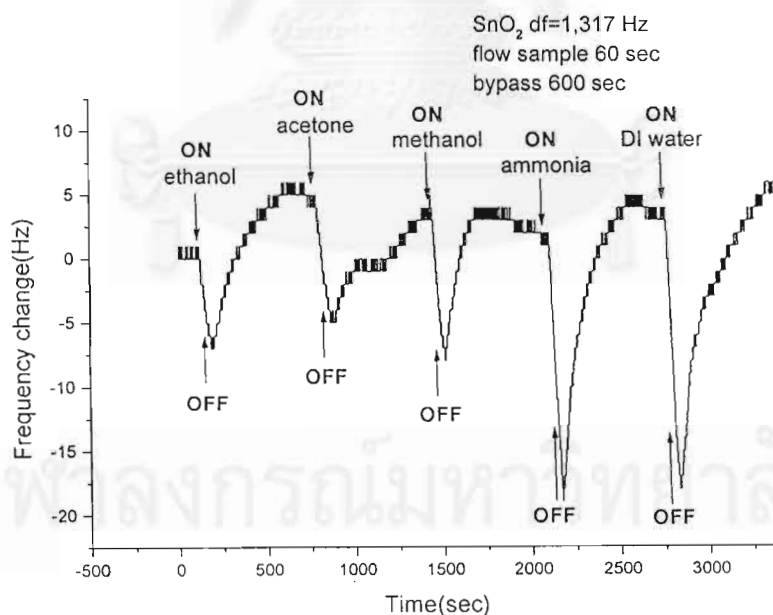
ขั้นที่ 6. นำหัววัดก๊าซที่ผ่านการอบแล้วไปทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง นำหัววัดก๊าซที่ได้มาทำการวัดความถี่ที่เปลี่ยนไป(เป็นค่า Δf)เพื่อให้ทราบถึงปริมาณในการเคลือบของสารอนินทรีย์ จากนั้นจะนำไปเก็บที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำไปใช้ต่อไป

5.2 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซต่อสารตัวอย่าง

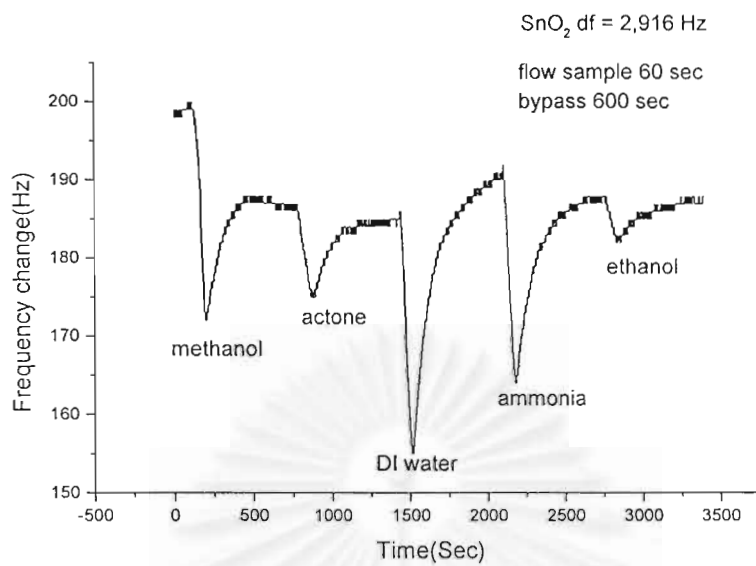
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดผลตอบสนองของหัววัดก๊าซที่สร้างขึ้นต่อสารตัวอย่างชนิดต่าง ๆ เพื่อดูรูปแบบ(pattern) และขนาดของผลตอบที่ได้จากหัววัดก๊าซชนิดต่าง ๆ เพื่อที่จะทำการคัดเลือกหัววัดก๊าซที่เหมาะสมไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของหัววัดก๊าซในการแยกแยะชนิดของก๊าซต่อไป โดยได้ทำการหาเวลาและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวัด ซึ่งเงื่อนไขที่เหมาะสมคือ ใช้อัตราในการไหลผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่เซลล์วัด 100 ml/min, เวลาในการไหลผ่านสารตัวอย่างจากขวดใส่สารตัวอย่าง(T_p) ประมาณ 60-100 วินาที และเวลาในการ bypass(T_b)ประมาณ 600 – 700 วินาที ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้นต่อสารตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 หัววัดก๊าซชนิด SnO_2

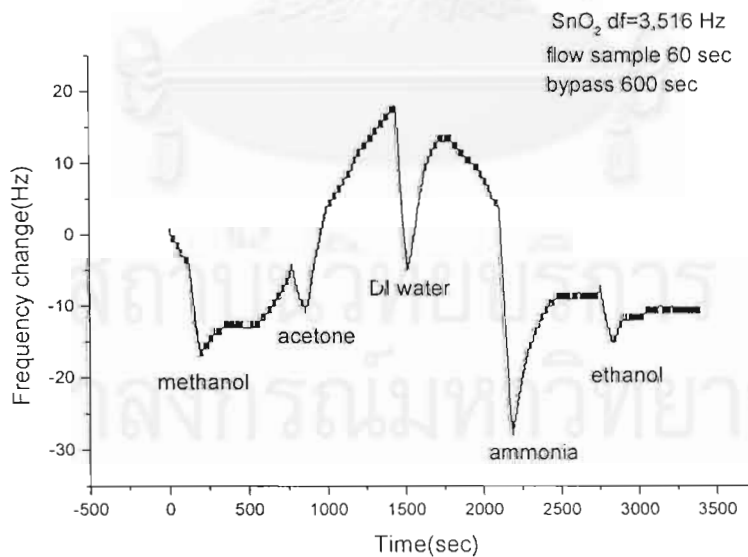
รูปที่ 5.1 – รูปที่ 5.6 แสดงผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO_2 โดยเรียงตามลำดับของการเปลี่ยนแปลงความถี่หลังจากการเคลือบด้วย SnO_2 จากน้อยไปมากดังนี้



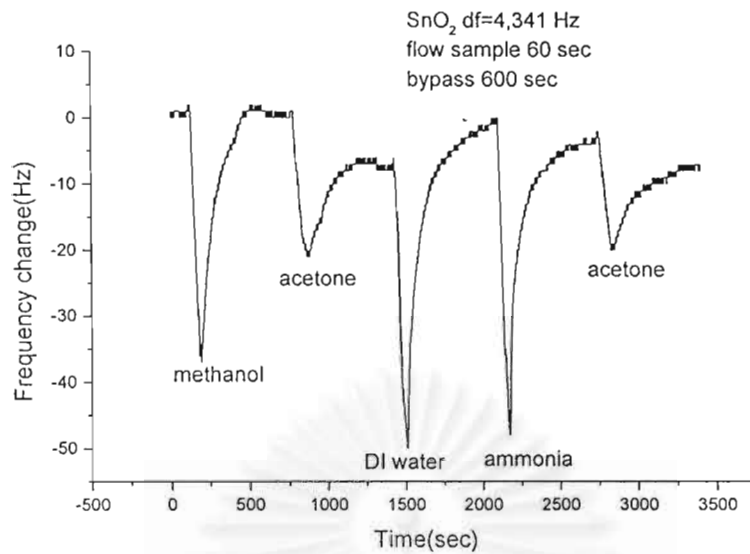
รูปที่ 5.1 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO_2



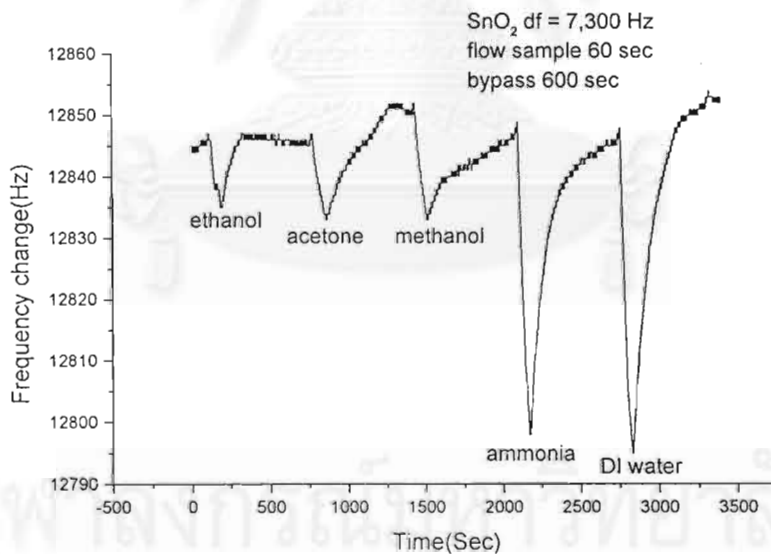
รูปที่ 5.2 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂



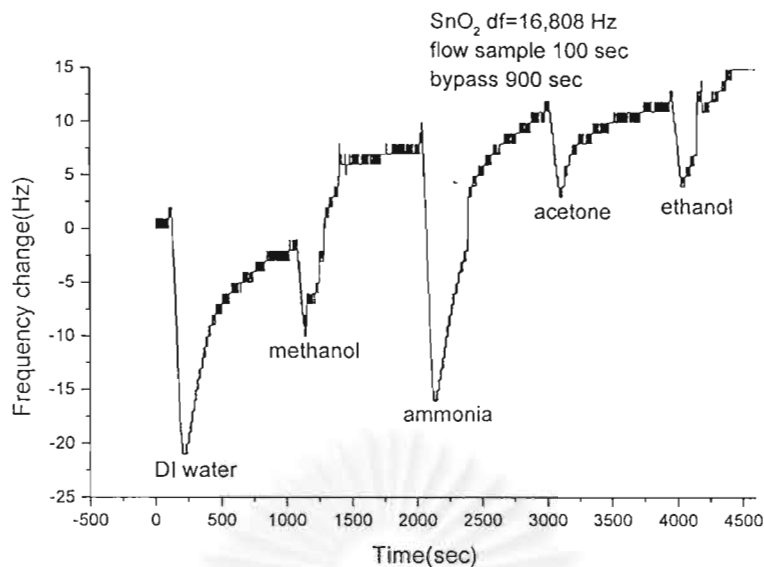
รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂



รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂



รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂

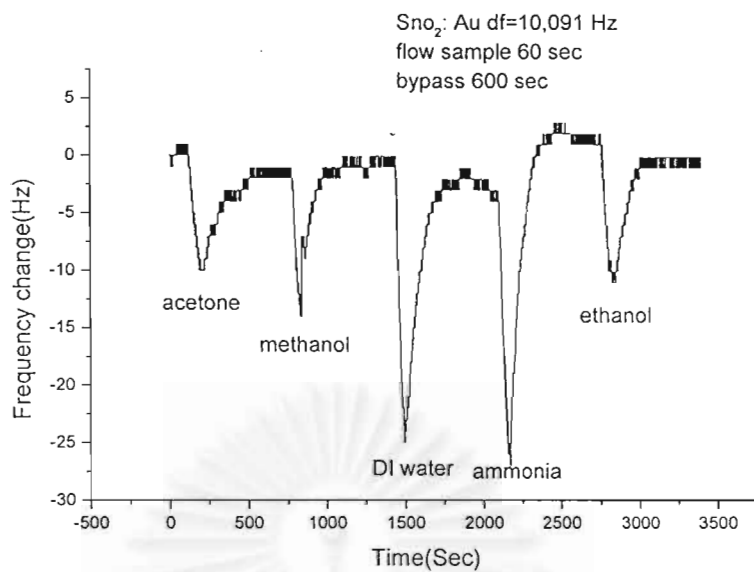


รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂

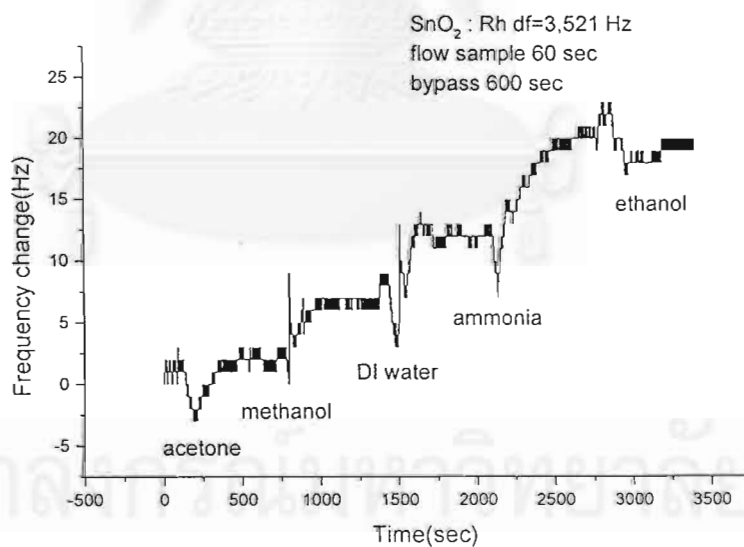
เมื่อพิจารณาเฉพาะรูปที่ 5.1 – 5.5 จะเห็นว่าขนาดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ต่อสารตัวอย่างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ SnO₂ ที่เคลือบที่ผิวเซนเซอร์ จากข้อมูลเหล่านี้อาจจะกล่าวได้ว่าในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิด SnO₂ นี้สามารถทำให้เมมเบรนกระจายบนผิวควออตซ์ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอและมีความสามารถในการทำซ้ำ (reproducibility) ได้ ส่วนในกรณีของหัววัดก๊าซในรูปที่ 5.6 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ภายหลังการตรึงสูงที่สุดแต่มีผลตอบสนองค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเนื่องมาจากสองสาเหตุคือ อาจเกิดจากการกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอของสารที่ทำการเคลือบคือแทนที่จะแผ่ตามพื้นที่ผิวของควออตซ์กลับไปซ้อนทับกันในแนวตั้งทำให้เมมเบรนวัดหนาขึ้นทำให้พื้นที่ประสิทธิผลในการรับก๊าซสารตัวอย่างขณะทำการวัดลดน้อยลง หรืออาจเกิดจากใช้ปริมาณสารที่ทำการเคลือบมากเกินไปถึงจุดที่ทำให้ควออตซ์สูญเสียคุณสมบัติไป

และจากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ โดยรวมตามรูปที่ 5.1 – 5.6 จะเห็นว่าสามารถตอบกับน้ำปอดคือนและแอมโมเนียได้สูงเมื่อเทียบกับสารตัวอย่างชนิดอื่น

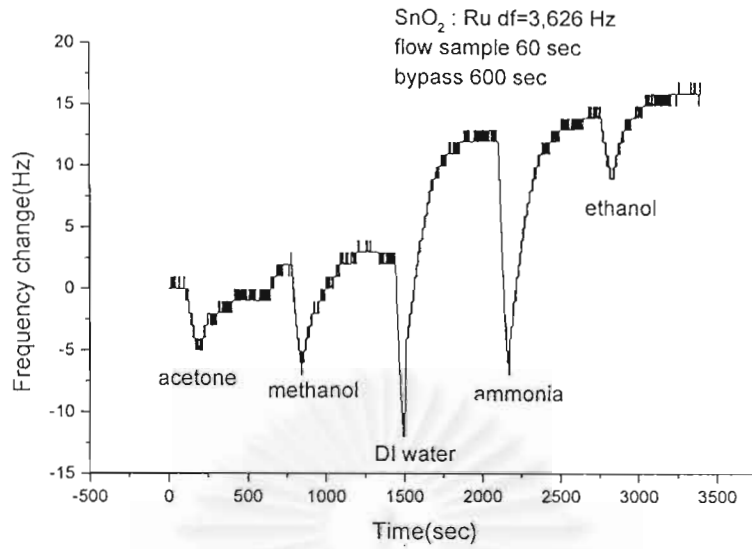
ในขั้นตอนนี้ต่อไปจะทำการปรับแต่งสารเมมเบรนวัดโดยเชื้อสารเจือปนชนิดต่าง ๆ ลงไปใน SnO₂ ซึ่งได้ผลดังแสดงได้ดังรูปที่ 5.7 - 5.11



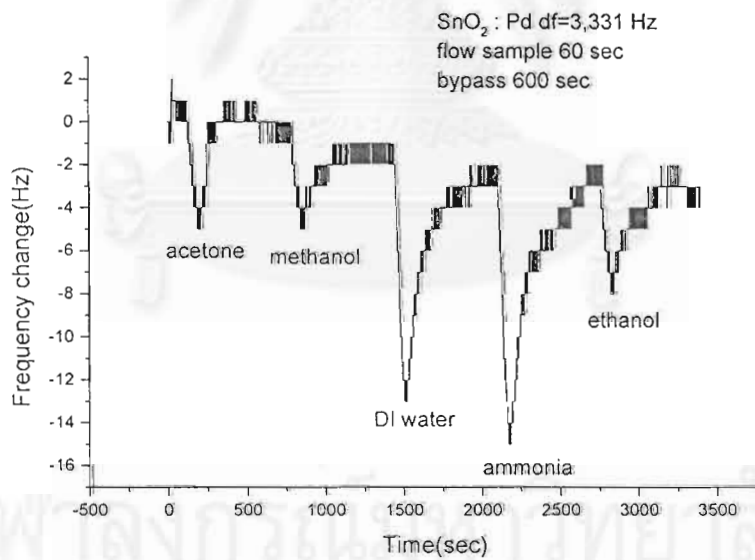
รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ เมื่อเจือปนด้วย Au



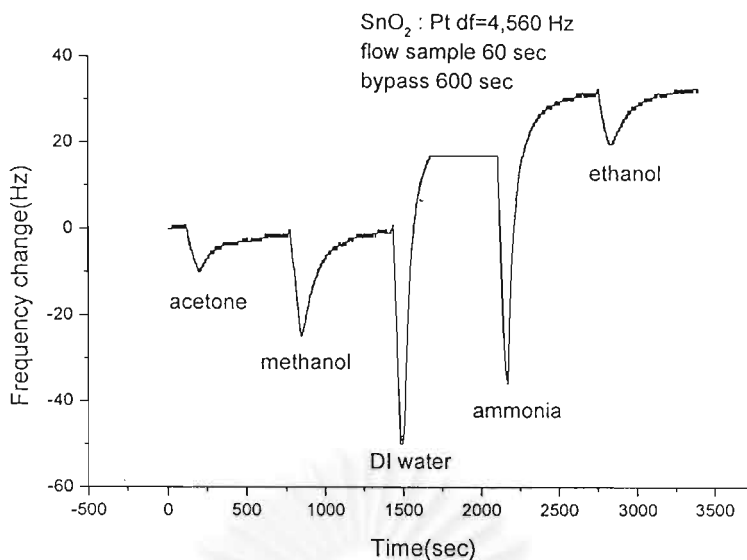
รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ เมื่อทำการเจือปนด้วย Rh



รูปที่ 5.9 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ เมื่อเจือปนด้วย Ru



รูปที่ 5.10 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ เมื่อเจือปนด้วย Pd

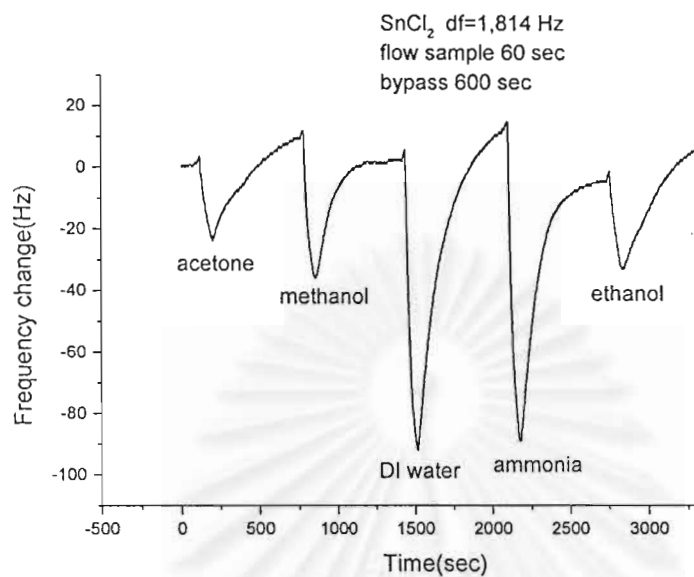


รูปที่ 5.11 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ เมื่อเจือปนด้วย Pt

จากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ เมื่อเจือปนด้วยสารเจือปนชนิดต่าง ๆ ไม่สามารถเห็นความแตกต่างของรูปแบบของผลตอบสนองและขนาดของผลตอบสนองอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับหัววัดก๊าซชนิด SnO₂ ที่ไม่ได้ทำการเจือสารเจือปน

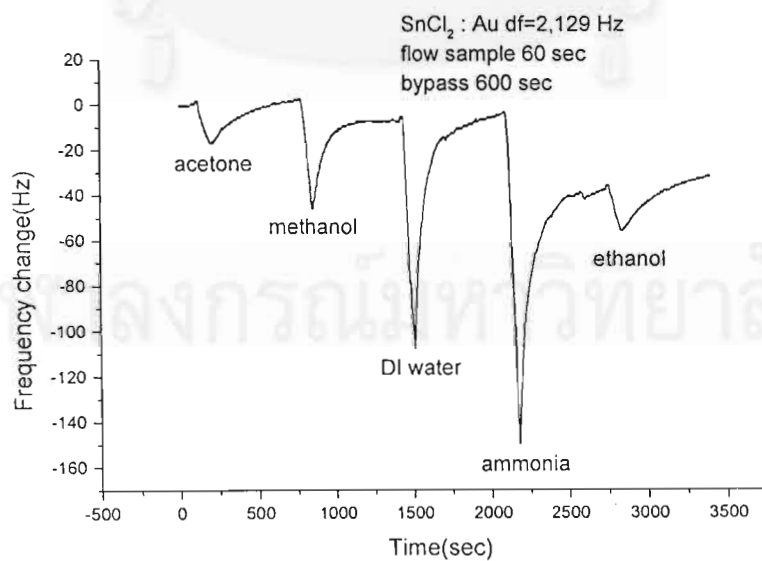
5.2.2 หัววัดก๊าซชนิด SnCl_2

ทำการประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิด SnCl_2 ได้ผลตอบสนองตามรูปที่ 5.12

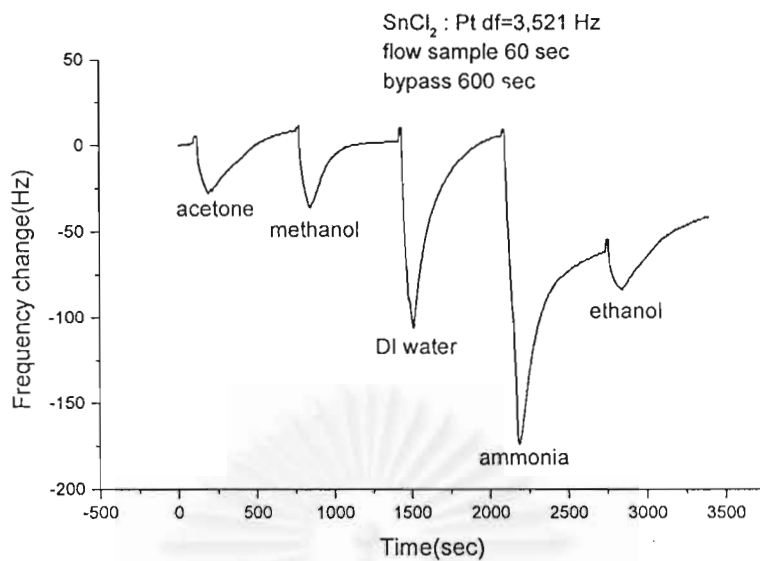


รูปที่ 5.12 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2

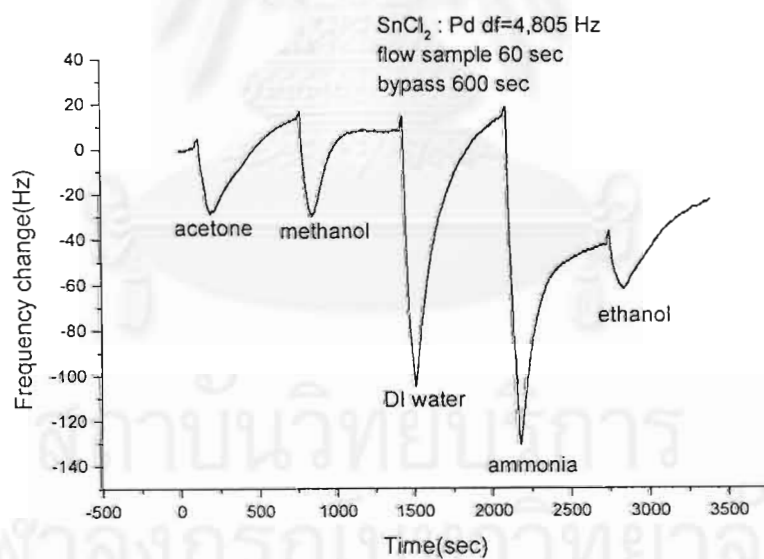
ทำการปรับแต่ง SnCl_2 ด้วยตัวสารเจือปนชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างเมมเบรนวัดซึ่งได้ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2 ที่ทำการปรับแต่งด้วยสารเจือปนชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.13 - 5.17



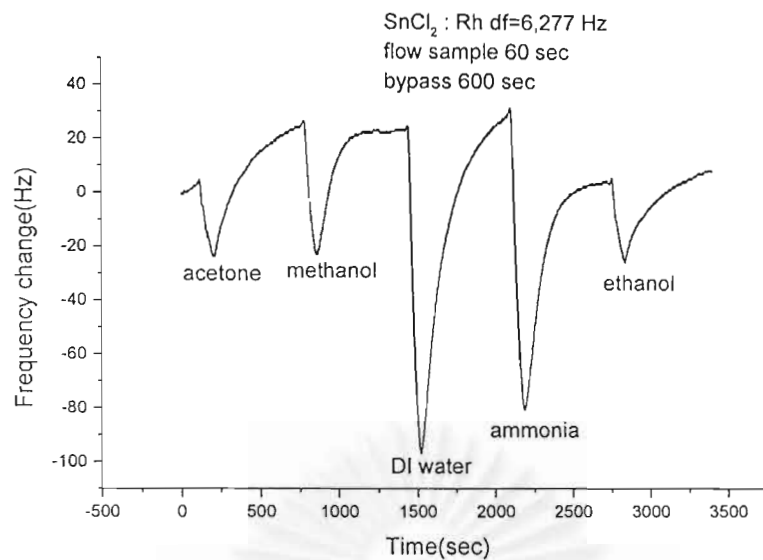
รูปที่ 5.13 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2 ที่เจือปนด้วย Au



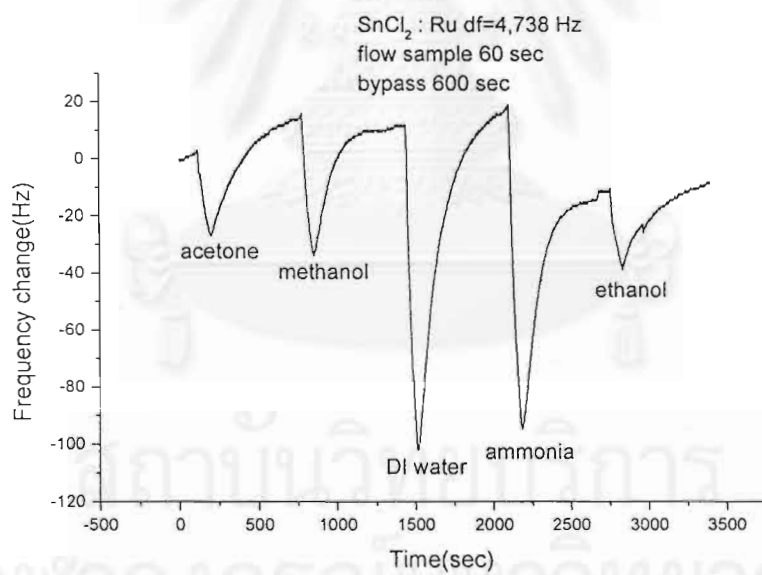
รูปที่ 5.14 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl₂ ที่เจือปนด้วย Pt



รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl₂ ที่เจือปนด้วย Pd



รูปที่ 5.16 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl₂ ที่เจือปนด้วย Rh



รูปที่ 5.17 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl₂ ที่เจือปนด้วย Ru

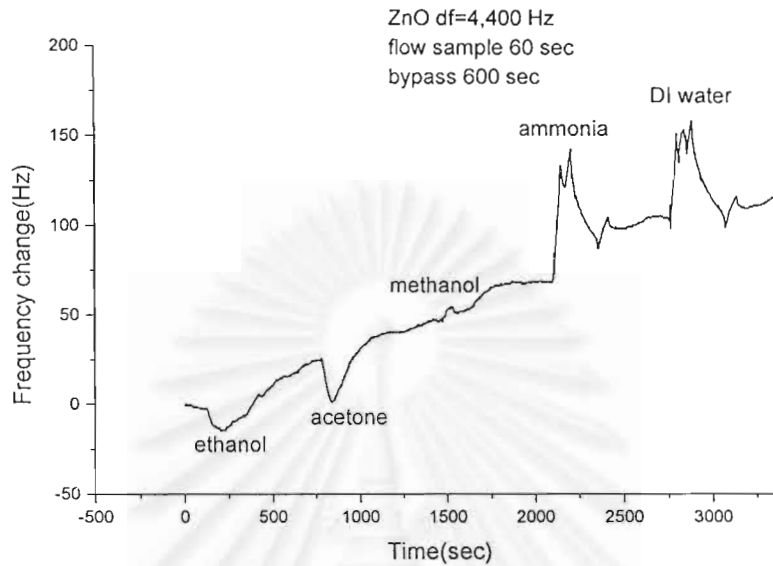
จากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2 ตามรูปที่ 5.12 – 5.17 ไม่สามารถเห็นผลของการปรับแต่งด้วยสารเจือปนในการทำให้รูปแบบและขนาดของผลตอบสนองเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือผลตอบสนองที่ได้จากหัววัดก๊าซแต่ละหัววัดมีความใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ยังพบว่าในการประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดนี้มีความสามารถในการทำซ้ำได้สูง และจากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดนี้จะเห็นว่าตอบสนองกับน้ำปลอคอิออนและแอม โมเนียได้ดีที่สุดพอถ่วงลงมาคือเมทานอล



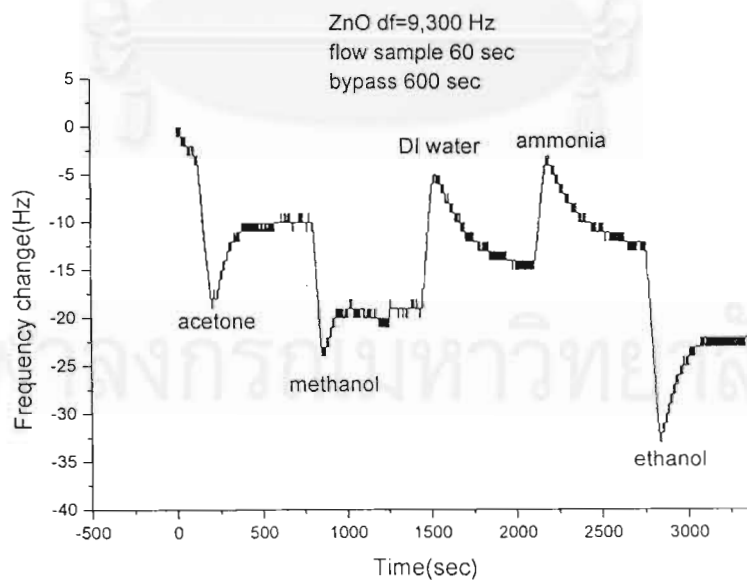
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 หัววัดก๊าซชนิด ZnO

ทำการประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิด ZnO และนำมาวัดหาผลตอบสนองต่อสารตัวอย่าง ได้ผลตอบสนองของหัววัด ZnO ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่หลังจากทำการเคลือบเมมเบรนต่าง ๆ กันดังนี้



รูปที่ 5.18 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ZnO



รูปที่ 5.19 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ZnO

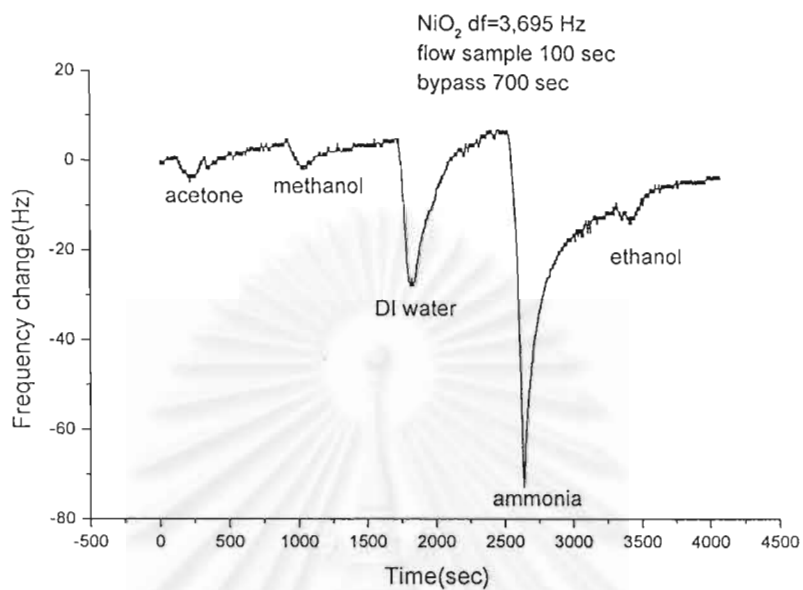
จากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ZnO ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ภายหลังการเคลือบเมมเบรน
วัดแตกต่างกัน จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันของลักษณะรูปร่างของผลตอบต่อสารตัวอย่างแต่ละ
ชนิด แต่เมื่อดูภาพรวมของผลตอบของหัววัดแต่ละตัวจะเห็นว่า มีรูปแบบของผลตอบที่คล้ายกันคือ
จะมีผลตอบสนองเปลี่ยนแปลงความถี่เพิ่มขึ้นกับน้ำปลออคอิออนและแอมโมเนีย แต่การตอบสนอง
เปลี่ยนแปลงความถี่ลดลงกับอะซิโตนและเอทานอล และไม่ตอบสนองกับเมทานอล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4 หัววัดก๊าซชนิด NiO_2

ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด NiO_2 แสดงดังรูปที่ 5.20



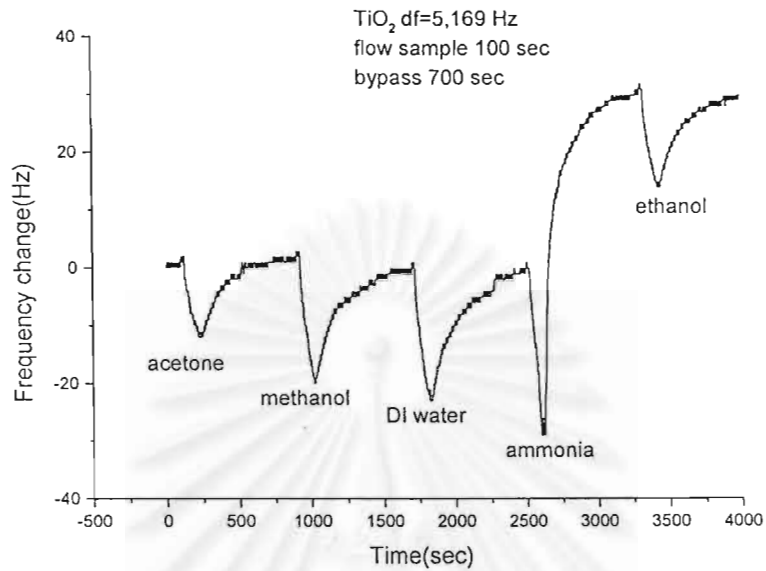
รูปที่ 5.20 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด NiO_2

จากรูปที่ 5.20 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหัววัดก๊าซชนิด NiO_2 ตอบสนองกับแอมโมเนียได้ดีที่สุดในขณะที่การตอบสนองต่อน้ำปอดอื่อนั้นมีขนาดต่ำกว่าเมื่อเทียบกับหัววัดก๊าซชนิด SnO_2 หรือ SnCl_2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.5 หัววัดก๊าซชนิด TiO_2

ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด TiO_2 แสดงดังรูปที่ 5.21

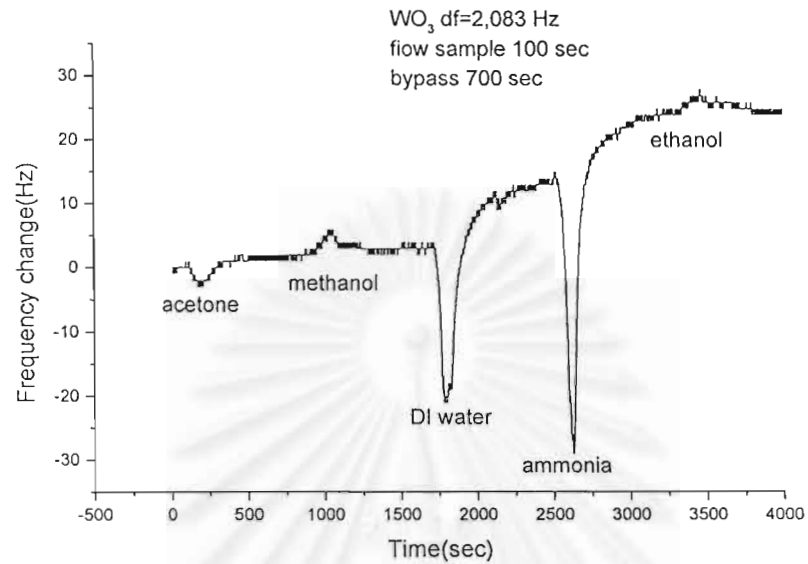


รูปที่ 5.21 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด TiO_2

จากรูปที่ 5.21 จะเห็นว่าหัววัดก๊าซชนิด TiO_2 ตอบสนองต่อสารตัวอย่างแต่ละชนิดได้ใกล้เคียงกันซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างจากหัววัดก๊าซชนิดอื่น

5.2.6 หัววัดก๊าซชนิด WO_3

ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด WO_3 แสดงดังรูปที่ 5.22



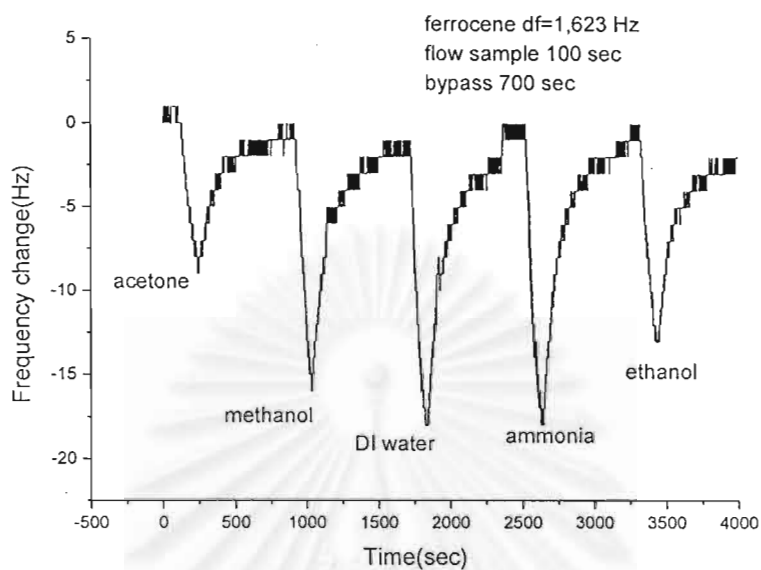
รูปที่ 5.22 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด WO_3

จากรูปที่ 5.22 จะเห็นว่าหัววัดก๊าซชนิด WO_3 ตอบสนองกับแอมโมเนียได้ดีที่สุด รองลงมาคือน้ำปลออดอิออน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.7 หัววัดก๊าซชนิด ferrocene($C_{10}H_{10}Fe$)

ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ferrocene แสดงดังรูปที่ 5.23

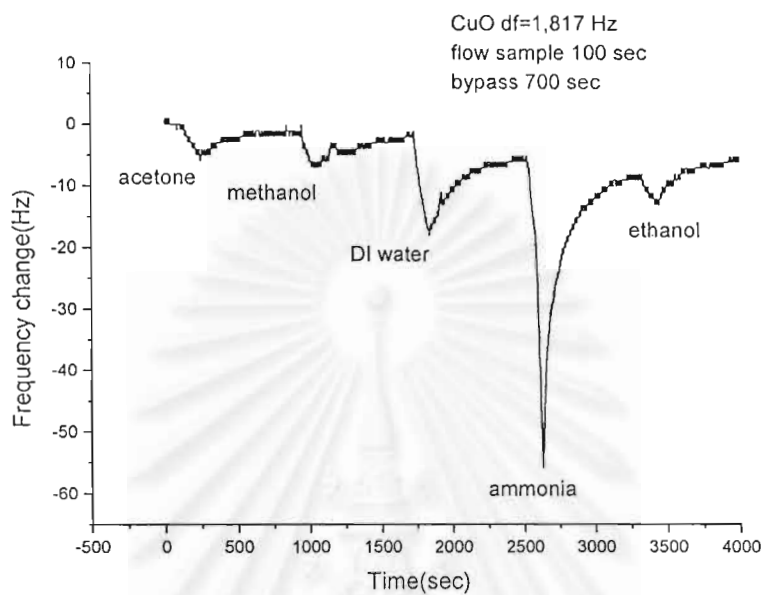


รูปที่ 5.23 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ferrocene

จากรูปที่ 5.23 จะเห็นว่าหัววัดก๊าซชนิด ferrocene ตอบสนองต่อสารตัวอย่างแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับหัววัดก๊าซชนิด TiO_2

5.2.8 หัววัดก๊าซชนิด CuO

ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด CuO แสดงดังรูปที่ 5.24



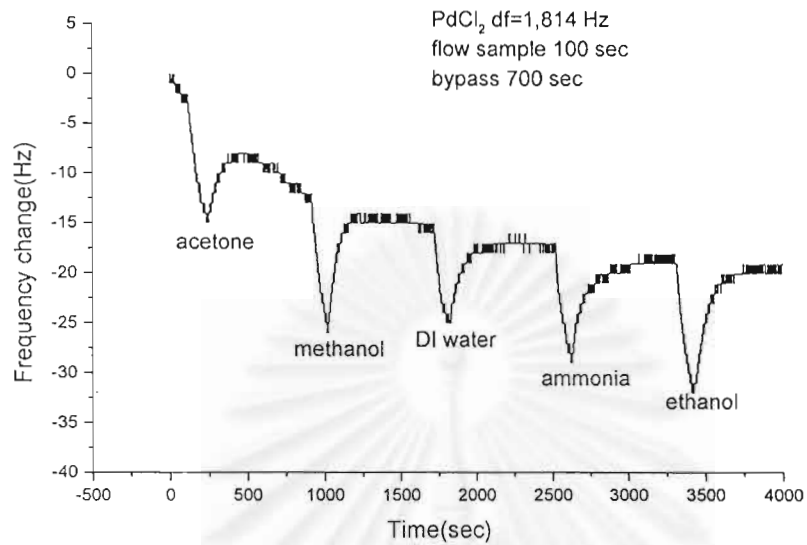
รูปที่ 5.24 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด CuO

จากรูปที่ 5.24 จะเห็นว่าหัววัดก๊าซชนิด CuO ตอบสนองกับแอมโมเนียได้ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.9 หัววัดก๊าซชนิด PdCl₂

ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด PdCl₂ แสดงได้ดังรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด PdCl₂

จากรูปที่ 5.25 จะเห็นว่าหัววัดก๊าซชนิด PdCl₂ ตอบสนองกับสารตัวอย่างใกล้เคียงกัน

5.3 กระบวนการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่าง

5.3.1 การเลือกหัววัดก๊าซมาใช้ในระบบแยกแยะ

เมื่อพิจารณาจากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซทั้งหมดจากหัวข้อที่ 5.2 ได้ทำการเลือกชุดของหัววัดก๊าซซึ่งประกอบด้วยหัววัดก๊าซชนิด NiO_2 (ตามรูปที่ 5.20), หัววัดก๊าซชนิด ZnO (ตามรูปที่ 5.19), หัววัดก๊าซชนิด WO_3 (ตามรูปที่ 5.22) และหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2 (ตามรูปที่ 5.12) รวมทั้งหมด 4 หัววัดเพื่อนำมาใช้เป็นชุดของหัววัดก๊าซในขั้นตอนการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด โดยเพิ่มโทลูอินอีก 1 ชนิด ซึ่งผลตอบสนองของหัววัดก๊าซต่อโทลูอินสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.26 – 5.29

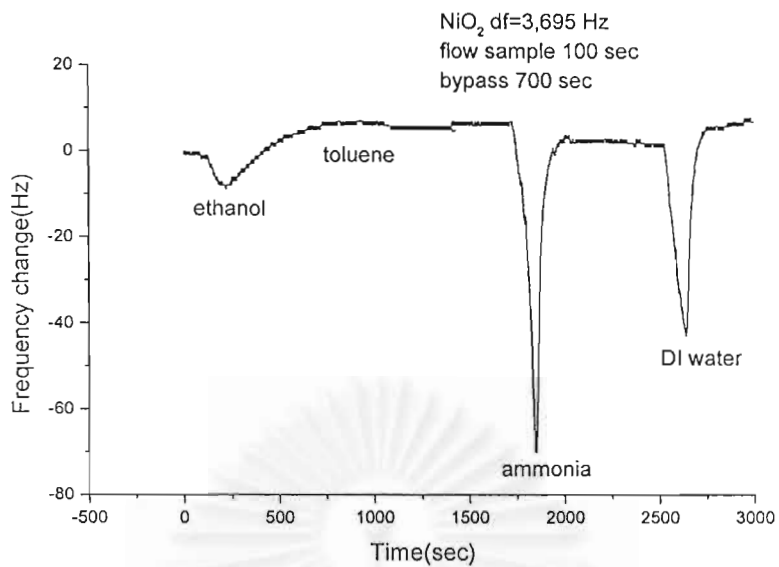
5.3.2 การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลผลตอบสนองของชุดของหัววัดก๊าซทั้ง 4 หัววัดต่อสารตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด คือ เมทานอล เอทานอล อะซิโตน น้ำปลอตกอออน แอมโมเนีย และ โทลูอิน เพื่อนำไปทำการแยกแยะโดยระบบเครือข่ายประสาท จะทำการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 ชุด โดยทำการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง ครั้งแรก 8 ชุดและครั้งที่สอง 7 ชุดซึ่งการวัดครั้งแรกกับครั้งที่สองห่างกันเป็นเวลา 2 วัน โดยใช้เงื่อนไขในการวัดดังนี้

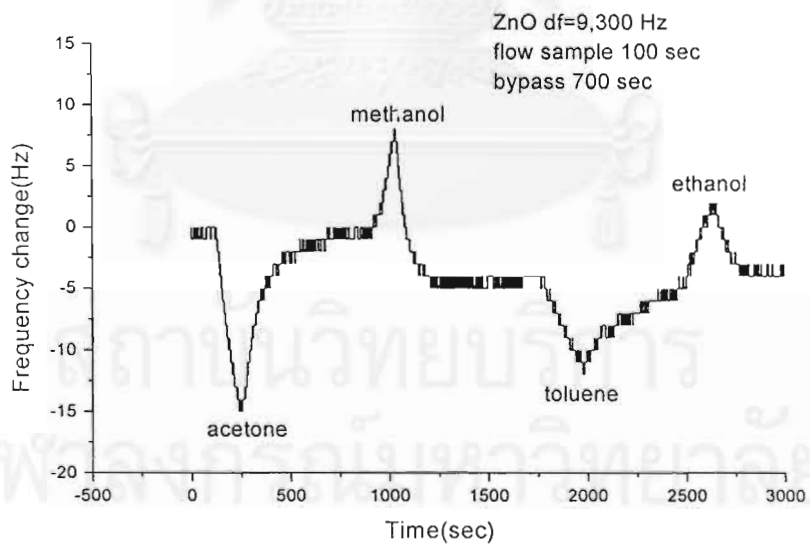
- อัตราเร็วในการผ่านสารตัวอย่าง 100 ml/min
- เวลาในการผ่านสารตัวอย่าง(T_p) 100 วินาที
- เวลาในการ bypass(T_b) 700 วินาที

5.3.3 การเตรียมข้อมูลจากผลตอบสนองของชุดหัววัดก๊าซเพื่อแยกแยะ โดยระบบเครือข่ายประสาท

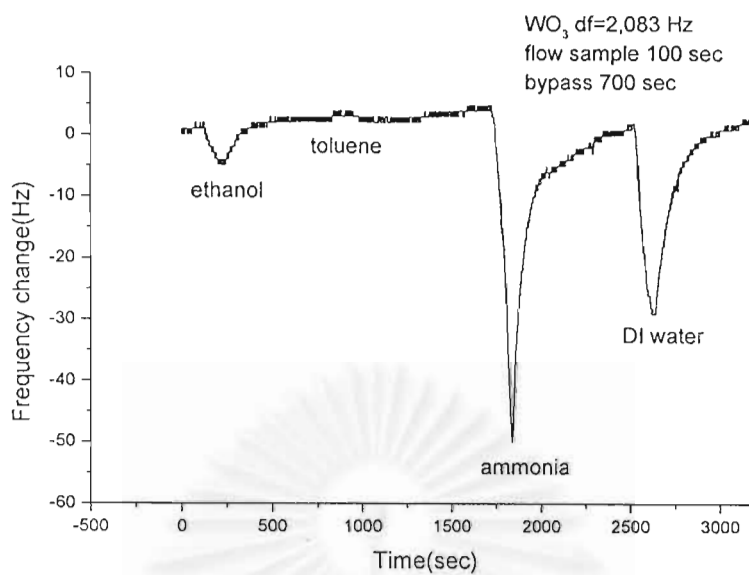
ข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็น input ของระบบเครือข่ายประสาทในการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างจะได้จากการนำค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เวลาหลังจากการเริ่มวัดผ่านไป 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 และ 250 วินาที รวมทั้งหมด 9 จุดดังแสดงตัวอย่างตามรูปที่ 5.30 การกำหนดจุดต่าง ๆ เหล่านี้จะกำหนดให้เหมาะสมกับผลการเปลี่ยนแปลงความถี่กับเวลาของหัววัดก๊าซให้ครอบคลุมทุกช่วงของผลตอบสนองดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยกำหนดชื่อตำแหน่งของจุดข้อมูลที่เวลาต่าง ๆ เป็นจุดที่ #1 – จุดที่ #9 (รูปที่ 5.30)



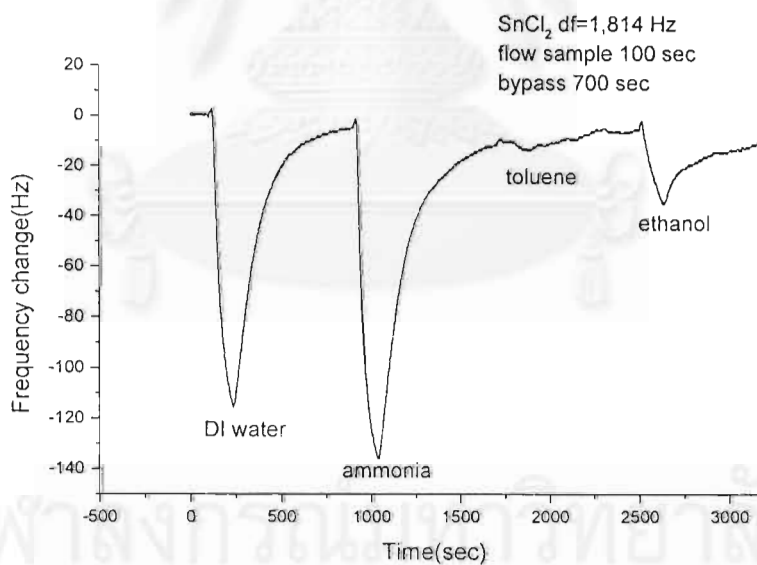
รูปที่ 5.26 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด NiO₂



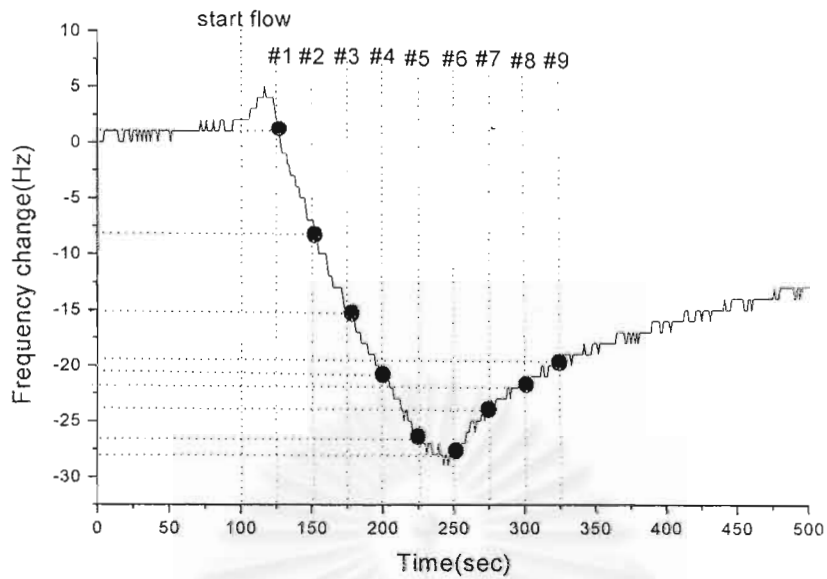
รูปที่ 5.27 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด ZnO



รูปที่ 5.28 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด WO_3



รูปที่ 5.29 ผลตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2



รูปที่ 5.30 ตำแหน่งจุดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการแยกแยะโดยระบบเครือข่ายประสาท

ในการทดลองทำการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างโดยระบบเครือข่ายประสาท จะทำการศึกษาถึงผลของจำนวนจุดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการแยกแยะที่มีต่อความถูกต้องในการแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างเพื่อหาจำนวนจุดข้อมูลที่ได้ผลของการแยกแยะสูงที่สุด ซึ่งจะใช้จุดข้อมูล 1, 3, 5, 7 และ 9 จุด ตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 จุดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการแยกแยะ

จำนวนจุดข้อมูลที่จะนำมาใช้	ตำแหน่งจุดข้อมูลที่จะนำมาใช้
1	#5
3	#2, #5, #8
5	#2, #3, #5, #7, #8
7	#2, #3, #4, #5, #6, #7, #8
9	#1, #2, #3, #4, #5, #6, #7, #8, #9

ส่วนค่าของ output layer จะกำหนดให้มี 3 โหนดโดยกำหนดค่าดังตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.4 การกำหนดค่า output layer ของสารตัวอย่างชนิดต่าง ๆ

ค่าoutput layer	ชนิดของสารตัวอย่าง
(0,0,0)	Acetone
(0,0,1)	Methanol
(0,1,0)	DI water
(1,1,0)	Ammonia
(1,1,1)	Toluene
(1,0,1)	Ethanol

ส่วนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสอนระบบเครือข่ายประสาทจะกำหนดดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเครือข่ายประสาท

ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
จำนวน hidden node	20
ค่าผิดพลาด(SSE)	0.01 และ 10^{-20}
Maximum Epoch	15,000

โดยจะทดลองทำการเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ radial basis(RB-NN) และ back propagation (BP-NN) โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบเหมือนกันตามตารางที่ 5.5 ซึ่งขั้นตอนในการทดสอบความสามารถในการแยกแยะของระบบมีลำดับดังต่อไปนี้

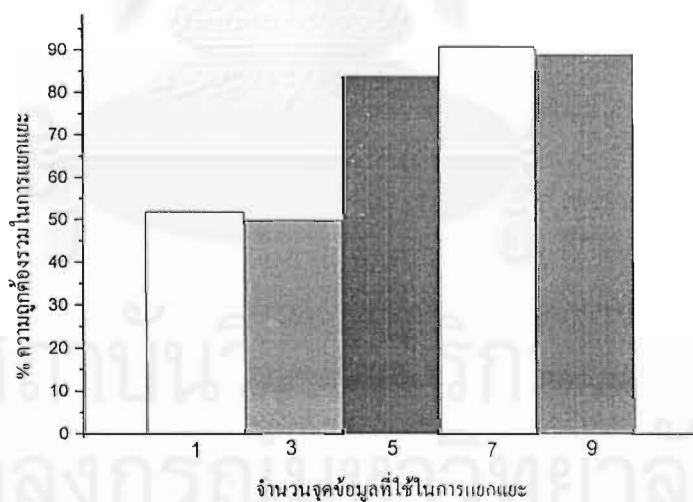
1. สอนระบบด้วยเมตริกซ์ข้อมูลของ input layer 2 ชุดข้อมูล
2. ทดสอบการแยกแยะของระบบด้วยเมตริกซ์ข้อมูลของ input layer ชุดที่เหลือ
3. ทำการนับจำนวนข้อมูลที่สามารถแยกแยะชนิดของสารตัวอย่างได้ถูกต้อง
4. ทำซ้ำใหม่อีก 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยในการแยกแยะของระบบ และนำค่าเฉลี่ยที่ได้นี้มาทำการหาเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะ

5.4 ผลการแยกแยะ

5.4.1 ผลการแยกแยะโดย RB-NN เมื่อกำหนด $SSE = 0.01$ สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.6 ตารางที่ 5.6 ผลการแยกแยะโดย RB-NN($SSE=0.01$)

จำนวนจุดข้อมูลที่ใช้	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะโดย RB-NN($SSE=0.01$)						
	acetone	methanol	DI water	ammonia	toluene	ethanol	รวม
1	46	61	76	0	92	38	52
3	46	62	23	15	92	53	50
5	76	76	84	76	100	92	84
7	92	76	84	100	100	92	91
9	84	76	84	92	100	100	89

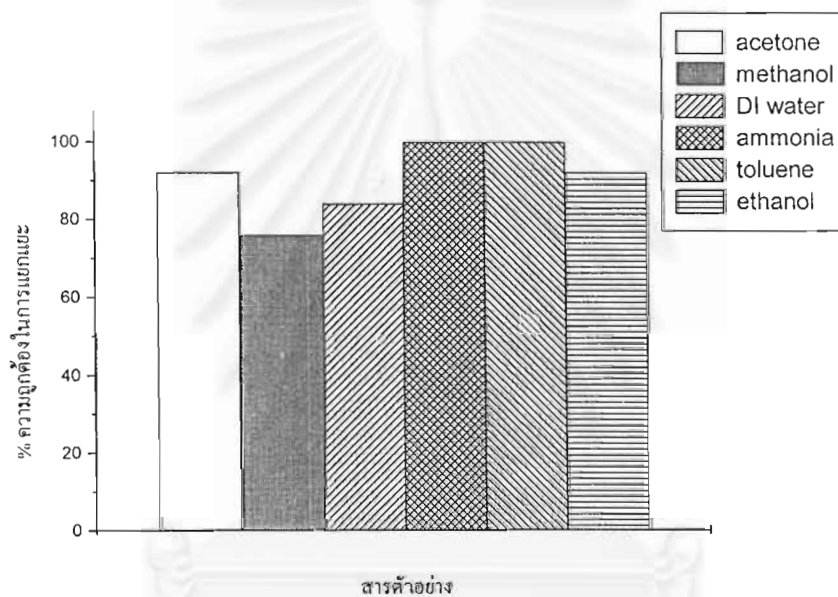
จากตารางที่ 5.6 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดที่ใช้กับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมเป็นไปตามรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดข้อมูลที่ใช้กับความถูกต้องในการแยกแยะ

โดยจากรูปที่ 5.31 จะเห็นว่าการใช้ข้อมูล 7 จุดข้อมูลมีความถูกต้องในการแยกแยะมากที่สุด ใกล้เคียงกับการใช้ 9 จุดข้อมูลคือ 91 % และ 89 % ตามลำดับ การใช้ 5 จุดจะมีความถูกต้องรองลงมาซึ่งจะดีกว่าการใช้ 3 จุดและ 1 จุด

ดังนั้นในกรณีของ RB-NN เมื่อใช้ $SSE = 0.01$ การใช้ข้อมูล 7 จุดตามตำแหน่งที่กำหนดจะให้ความถูกต้องในการแยกแยะสูงที่สุด โดยเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารแต่ละชนิดในการใช้จำนวนข้อมูล 7 จุด ดังแสดงในรูปที่ 5.32 พบว่าสามารถแยกแยะแอมโมเนียและโทลูอีนได้ความถูกต้องสูงสุด และแยกแยะเมทานอลได้ต่ำที่สุด



รูปที่ 5.32 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารตัวอย่างแต่ละชนิดโดยใช้จุดข้อมูล 7 จุด

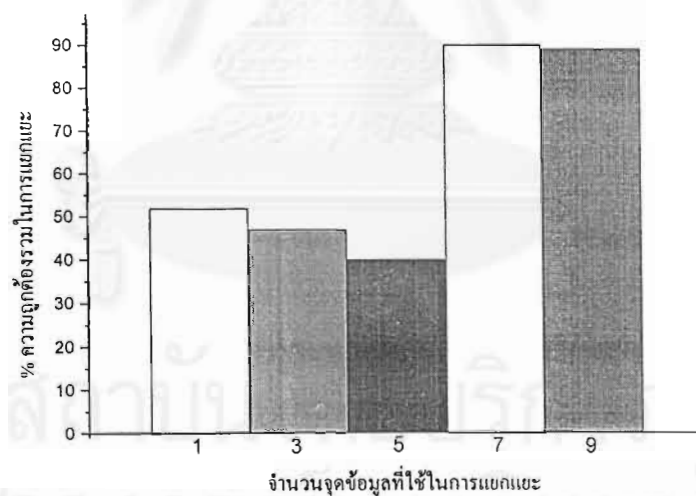
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 ผลการแยกแยะโดย RB-NN เมื่อกำหนด $SSE = 10^{-20}$ สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลการแยกแยะโดย RB-NN($SSE = 10^{-20}$)

จำนวนจุดข้อมูลที่ใช้	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะโดย RB-NN($SSE = 10^{-20}$)						
	acetone	methanol	DI water	ammonia	toluene	ethanol	รวม
1	50	60	77	0	92	38	52
3	45	60	15	15	100	46	47
5	50	31	15	15	92	38	40
7	95	65	85	100	100	92	90
9	95	75	77	92	100	92	89

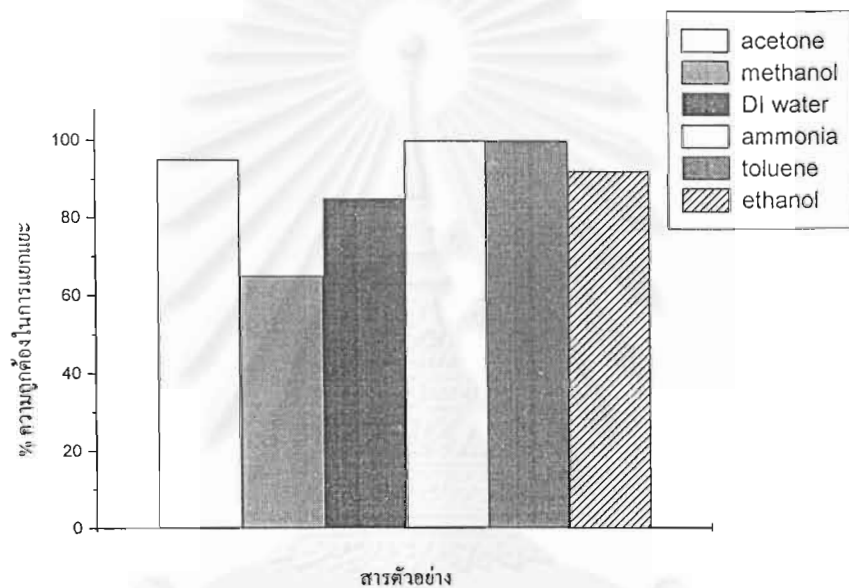
จากตารางที่ 5.7 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดที่ใช้กับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมเป็นไปตามรูปที่ 5.33



รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดข้อมูลที่ใช้กับความถูกต้องในการแยกแยะ

โดยจากรูปที่ 5.33 จะเห็นว่าการใช้ข้อมูล 7 จุดข้อมูลมีความถูกต้องในการแยกแยะมากที่สุดใกล้เคียงกับการใช้ 9 จุดข้อมูลคือ 90 % และ 89 % ตามลำดับ การใช้ 1 จุดจะมีความถูกต้องรองลงมาและใกล้เคียงกับการใช้ 3 จุด ส่วนการใช้จุดข้อมูล 5 จุดให้ความถูกต้องในการแยกแยะต่ำที่สุด

ดังนั้นในกรณีของ RB-NN เมื่อใช้ $SSE = 10^{-20}$ การใช้ข้อมูล 7 จุดตามตำแหน่งที่กำหนดจะให้ความถูกต้องในการแยกแยะสูงที่สุด โดยเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารแต่ละชนิดในการใช้จำนวนข้อมูล 7 จุด ดังแสดงในรูปที่ 5.34 พบว่าสามารถแยกแยะแอมโมเนียและโทลูอินได้ความถูกต้องสูงสุด และแยกแยะเมทานอลได้ต่ำที่สุด



รูปที่ 5.34 เปอร์เซนต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารแต่ละชนิดโดยใช้จุดข้อมูล 7 จุด

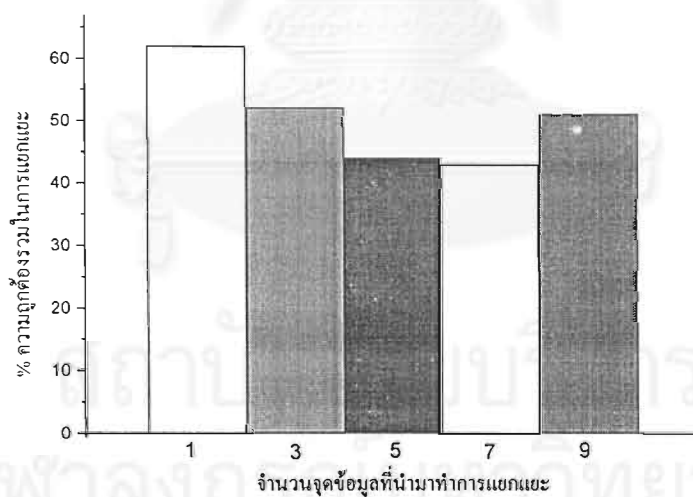
จากผลการทดลองการแยกแยะด้วยระบบเครือข่ายประสาทแบบ radial basis โดยการใช้ SSE เท่ากับ 0.01 และ 10^{-20} ปรากฏว่าได้ผลความถูกต้องในการแยกแยะใกล้เคียงกันโดยสามารถแยกแยะได้ความถูกต้องโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 90% ในส่วนของจำนวนจุดข้อมูลที่นำมาใช้พบว่าการใช้จุดข้อมูล 7 จุดให้ความถูกต้องสูงสุดทั้งการใช้ SSE เท่ากับ 0.01 และ 10^{-20} แต่ในการใช้ SSE เท่ากับ 0.01 การใช้จุดข้อมูล 5 จุดให้ผลการแยกแยะต่ำที่สุดซึ่งแตกต่างกับการใช้ SSE เท่ากับ 10^{-20}

5.4.3 ผลการแยกแยะ โดย BP-NN เมื่อกำหนด SSE = 0.01 สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ผลการแยกแยะ โดย BP-NN(SSE=0.01)

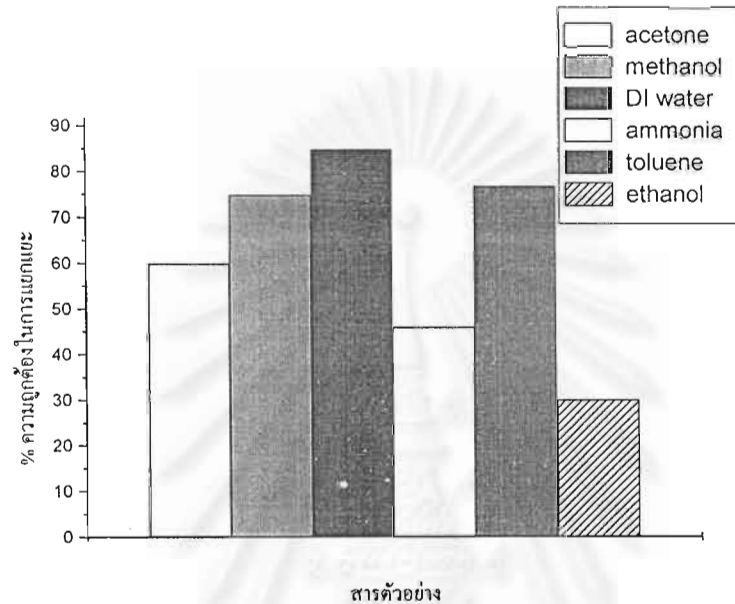
จำนวนจุดข้อมูลที่ใช้	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะ โดย BP-NN(SSE=0.01)						รวม
	acetone	methanol	DI water	ammonia	toluene	ethanol	
1	60	75	85	46	77	30	62
3	45	80	30	38	70	46	52
5	35	70	15	38	61	46	44
7	45	65	15	30	70	30	43
9	35	75	23	53	92	30	51

จากตารางที่ 5.8 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดที่ใช้กับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องรวมในการแยกแยะเป็นไปตามรูปที่ 5.35



รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดข้อมูลที่ใช้กับความถูกต้องในการแยกแยะ

โดยจากรูปที่ 5.35 จะเห็นว่าการใช้ข้อมูล 1 จุดข้อมูลมีความถูกต้องในการแยกแยะมากที่สุดคือ 62% และการใช้ข้อมูล 5 จุดจะมีความถูกต้องต่ำที่สุดคือ 44% และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารแต่ละชนิดในการใช้จำนวนข้อมูล 1 จุดดังแสดงในรูปที่ 5.36 พบว่าสามารถแยกแยะน้ำปอดคือน้ำได้ความถูกต้องสูงสุด และแยกแยะเอทานอลได้ต่ำที่สุด



รูปที่ 5.36 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะสารแต่ละชนิด โดยใช้จุดข้อมูล 1 จุด

5.4.4 ใช้ BP-NN โดยกำหนด $SSE = 10^{-20}$ ปรากฏว่าไม่สามารถทำการสอนระบบเครือข่ายประสาทให้ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด

สรุปผลการแยกแยะ

จากผลการแยกแยะทั้งหมดจะได้ว่าความถูกต้องรวมในการแยกแยะสูงสุดโดยระบบที่สร้างขึ้นมีค่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความถูกต้องสูงในการแยกแยะสารตัวอย่างแต่ละชนิดนั้นระบบสามารถแยกแยะแอมโมเนียและโทลูอินได้สูงสุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ระบบเครือข่ายประสาทชนิด radial basis ร่วมกับการใช้จุดข้อมูลตามตำแหน่งที่กำหนด 7 จุดข้อมูลให้ผลความถูกต้องในการแยกแยะสูงที่สุด

บทที่ 6

สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการพัฒนาระบบแยกแยะสารระเหยอินทรีย์ โดยใช้ QCM ร่วมกับสารอินทรีย์ และได้ทำการแยกแยะน้ำปลอดอออนและสารระเหยอินทรีย์ 5 ชนิด ซึ่งมีสารสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ได้ทำการประดิษฐ์ระบบวัดแบบไอไหลผ่านที่ควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบวัดที่สร้างขึ้นนี้สามารถวัดหัววัดก๊าซได้พร้อมกันสูงสุด 8 ตัว และสามารถวัดสารตัวอย่างสูงสุด 5 ชนิด

2. ได้ทำการประดิษฐ์หัววัดก๊าซโดยใช้ QCM ร่วมกับสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ คือ SnO_2 , ZnO , PdCl_2 , NiO_2 , TiO_2 , $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Fe}$, WO_3 , SnCl_2 และ CuO และได้้นำหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ไปทำการวัดหาผลตอบสนองต่อน้ำปลอดอออนและสารระเหยอินทรีย์ 5 ชนิดคือ อะซิโตน เมทานอล เอทานอล โทลูอิน และ แอมโมเนีย โดยนำผลตอบสนองที่ได้ไปพิจารณาและคัดเลือกชุดหัววัดก๊าซที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในระบบแยกแยะต่อไป ซึ่งหัววัดก๊าซที่ถูกคัดเลือกคือหัววัดก๊าซชนิด NiO_2 , หัววัดก๊าซชนิด ZnO , หัววัดก๊าซชนิด WO_3 และหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2 รวมทั้งหมด 4 หัววัด

3. ทำการแยกแยะน้ำปลอดอออนและสารระเหยอินทรีย์ทั้ง 5 ชนิด โดยระบบแยกแยะที่สร้างขึ้น โดยได้นำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความถี่ของหัววัดก๊าซ ณ เวลาหลังจากเริ่มไหลผ่านไอสารตัวอย่าง 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 และ 225 วินาที มาใช้เป็นตัวแทนข้อมูลจากผลตอบสนองของหัววัดก๊าซเพื่อทำการแยกแยะด้วยระบบเครือข่ายประสาทแบบ radial basis และแบบ back propagation และทำการแปรจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการแยกแยะคือ 1, 3, 5, 7 และ 9 จุดจากการศึกษาพบว่า

3.1 การใช้ระบบเครือข่ายประสาทแบบ radial basis ให้ผลความถูกต้องในการแยกแยะสูงกว่าและใช้เวลาในการสอนน้อยกว่า อีกทั้งมีความเชื่อถือได้สูงกว่าการใช้ระบบเครือข่ายประสาทแบบ back propagation ภายใต้งื่อนไขเดียวกัน

3.2 การใช้ระบบเครือข่ายประสาทแบบ radial basis ในการแยกแยะร่วมกับการใช้จำนวนจุดข้อมูล 7 จุด (50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200) ให้ผลความถูกต้องในการแยกแยะสูงที่สุด

3.3 ระบบสามารถแยกแยะแอมโมเนียและโทลูอินได้สูงสุดคือ 100% ในขณะที่สามารถแยกแยะ อะซิโตน , เมทานอล , เอทานอล และน้ำปอลอดิออนได้ 92 % , 76% , 92% และ 84 % ตามลำดับ โดยให้ผลความถูกต้องในการแยกแยะของระบบรวมประมาณ 90 %

นอกจากนี้ พบว่าหัววัดก๊าซทั้ง 4 ชนิดนี้สามารถใช้งานในการวัดสารตัวอย่างได้ทั้งหมดมากกว่า 100 ครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของหัววัดก๊าซชนิด SnCl_2 พบว่าหลังจากที่ทำการวัดมากกว่า 500 ครั้งก็ยังคงได้รูปแบบสัญญาณของผลตอบสนองในลักษณะเดิม โดยมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดสัญญาณอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแยกแยะนี้ในการแยกแยะชนิดของก๊าซชนิดต่าง ๆ ให้ได้ความถูกต้องในการแยกแยะสูงและสามารถใช้งานได้มากกว่า 1000 ครั้งพอสมควร



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง



- [1] Morrison, R., and Boyd, R. **Organic Chemistry**. New Jersey: Prentice Hall, 1992.
- [2] Sawyer, N., Mccarty, L., and Parkin, F. **Chemistry for Environmental Engineering**. New York: Mcgraw - Hill , 1994.
- [3] Horrillo, M.C., Getino, J., Gutierrez, J., Ares, L., Robla, J.I., Garcia, C., and Sayago, I. Measurements of VOCs in soils through a tin oxide multisensor system. **Sensors and Actuators B**. 43 (1997): 193-199.
- [4] Skoog, A., Holler, F., and Nieman, A. **Principles of Instrumental Analysis**. Chicaco: Saunders College Publishing, 1992.
- [5] มานะ ศรียุทธศักดิ์. ก๊าซเซนเซอร์ (Gas sensor): ชนิดและหลักการทำงาน. **สัมมนาเรื่อง The Development and Applications of Sensors for Environmental Monitoring**. (2541): 1 –14.
- [6] Matsuno, G., Yamayaki, D., Ogita, E., Mikuriya, K., and Ueda, T. A Quartz Crystal Microbalance - Type Odor Sensor Using PVC-Blended Lipid Membrane. **IEEE Trans.Instrumentation And Measurement**. 44 (1995): 739-742.
- [7] Xu, H., Matsuda, T., Nakamoto, T., and Moriizumi, T. Phospholipid Film Electrodeposition of Quartz Resonator and Its Application to Odor Sensing. **Jpn. J.Appl.Phys.** 34 (1995): 3914 – 3919.
- [8] Llobet, E., Brezmes, J., Vilanova, X., Sueiras, J., and Correig, X. Qualitative and quantitative analysis of volatile organic compounds using transient and steady-state responses of a thickfilm tin oxide gas sensor array. **Sensors and Actuators B**. 41 (1997): 13 –21.
- [9] Gong, H., Wang, Y.J., Teo, S.C., and Huang, L. Interaction between thin-film oxide gas sensor and five organic vapors. **Sensors and Actuators B**. 54 (1999): 232 –235.
- [10] Anothainart, K., Teeramongkonrasmee, A., and Sriyudthsak, M. Fabrication of Tin Oxide-Based Thick Film Gas Sensors. **Proceeding of the 19th Conference of Electrical Engineering**. (1996): EL-132-EL-136.
- [11] Korotchenkov, G., Brynzari, V., and Dmitriev, S. SnO₂ thin film gas sensors for fire-alarm systems. **Sensors and ActuatorsB**. 54 (1999): 191 –196.

- [12] Lantto, V., and Mizsei, J. H₂S monitoring as an air pollutant with silver-doped SnO₂ thin-film sensors. **Sensors and Actuators B**. 5 (1991): 21-25.
- [13] Trivikrama Rao, G.S., and Tarakarama Rao, D. Gas sensitivity of ZnO based thick film sensor to NH₃ at room temperature. **Sensors and Actuator B**. 55 (1999): 166 –169.
- [14] Saitoh, A., Murioz, S., and Moriizumi, T. Characterization of QCM Sensors Coated with LB Films. **International Conference On Solid-State Sensors and Actuator**. (1997): 1351- 1354.
- [15] Nakamoto, T., Nakamura, K., and Moriizumi, T. Study of Oscillator-Circuit Behavior for QCM Gas Sensor. **IEEE Trans. Ultrasonics Symposium**. (1996): 351-354.
- [16] Vanyek, P. Quartz Crystal Microbalance in Electroanalytical Applications. **IEEE International Frequency Control Symposium**. (1997): 49-55.
- [17] Parzen, B. **Design of Crystal and other Harmonic Oscillators**. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- [18] Yong, Y., and Stewart, J. Mass-Frequency Influence Surface, Mode Shapes, and Frequency Spectrum of a Rectangular AT-Cut Quartz Plate. **IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics And Frequency Control**. 38 (1991): 67-73.
- [19] Mason, W.P. **Electromechanical Transducers and Wave Filters**. New York: Van Nostrand, 1942.
- [20] Nakamoto, T., and Moriizumi, T. A Theory of a Quartz Crystal Microbalance Based upon a Mason Equivalent Circuit. **Jpn. J. Appl. Phys.** 29 (1990): 963 – 969.
- [21] Sauerbrey, G. Verwendung von Schwingquarzen zur Wagung dünner Schichten und zur Mikrowagung. **Z. Phys.** (1959) : 155-206.
- [22] Sriyudthsak, M., Lertnimitthum, N., and Nakpeerayuth, S. Novel Technique Using Response Characteristics to Identify Volatile Organic Compounds. **International Conference on Solid-state Sensors and Actuators, Transducer ' 97**. (1997) : 967-970.
- [23] Sriyudthsak, M., Teeramongkonrasmee, A., and Moriizumi, T. Radial Basis Neural Networks for Identification of Volatile Organic Compounds. **Technical digest of seventh international meeting on Chemical Sensors**. (1998): 154-156.

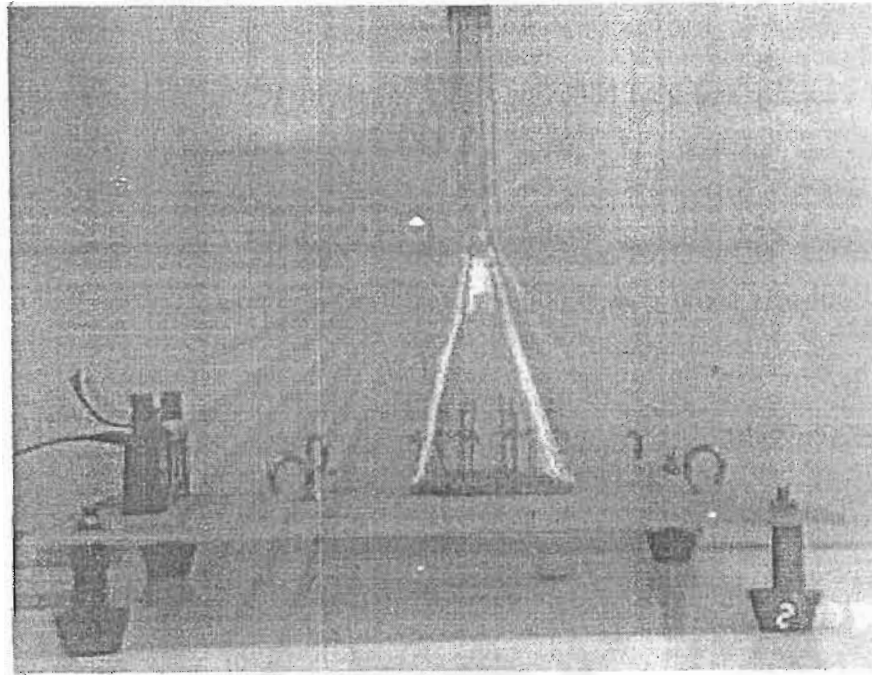


ภาคผนวก

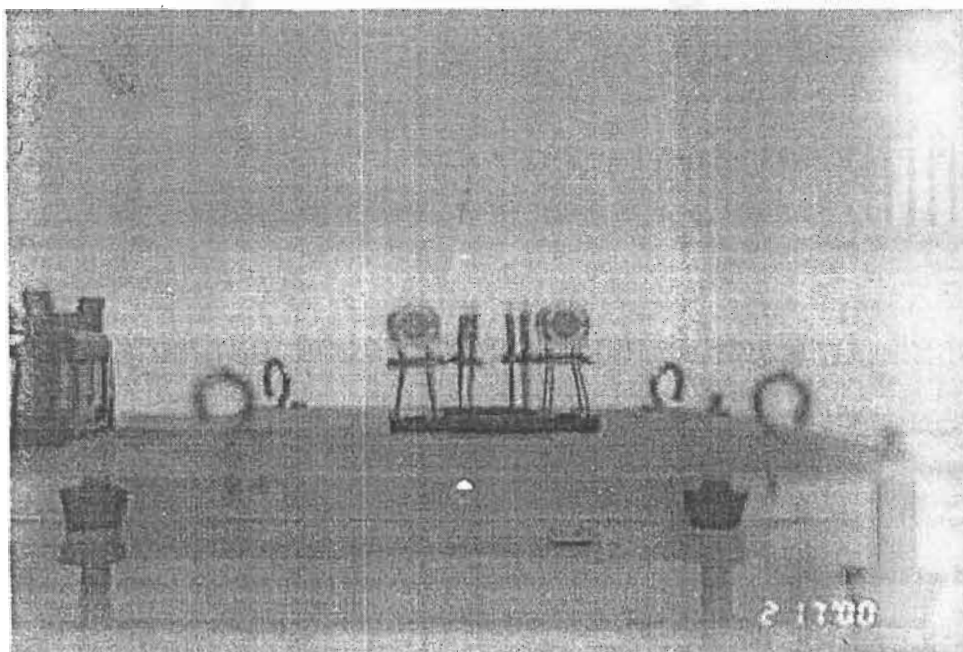
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพอุปกรณ์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น

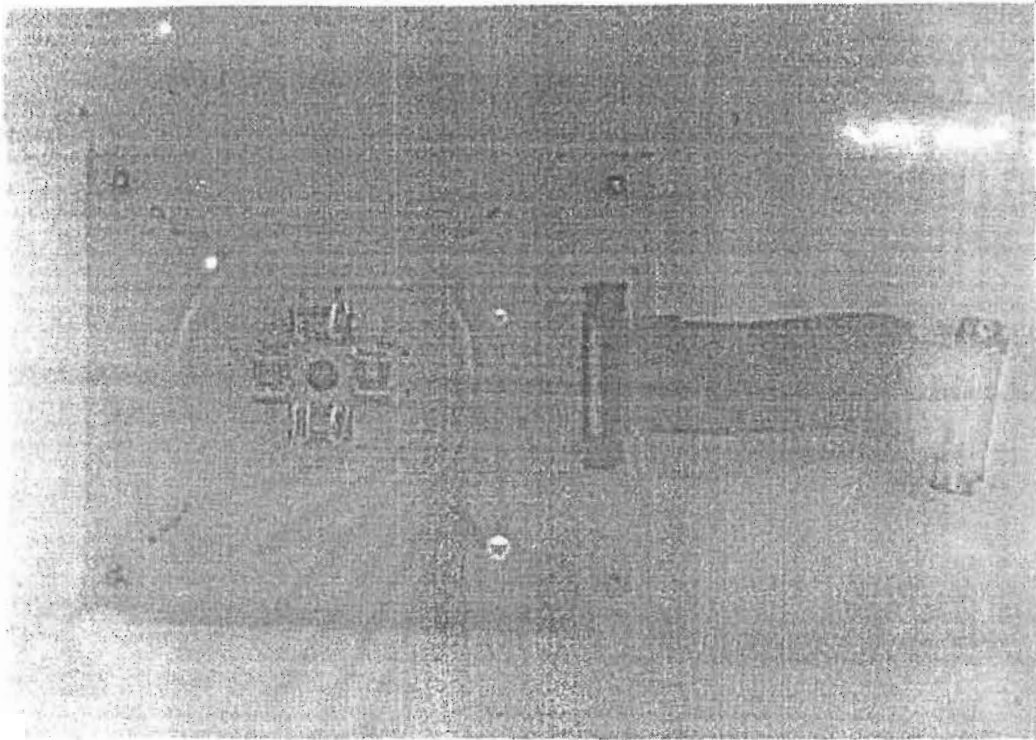
1. เซลล์วัด (flow cell)



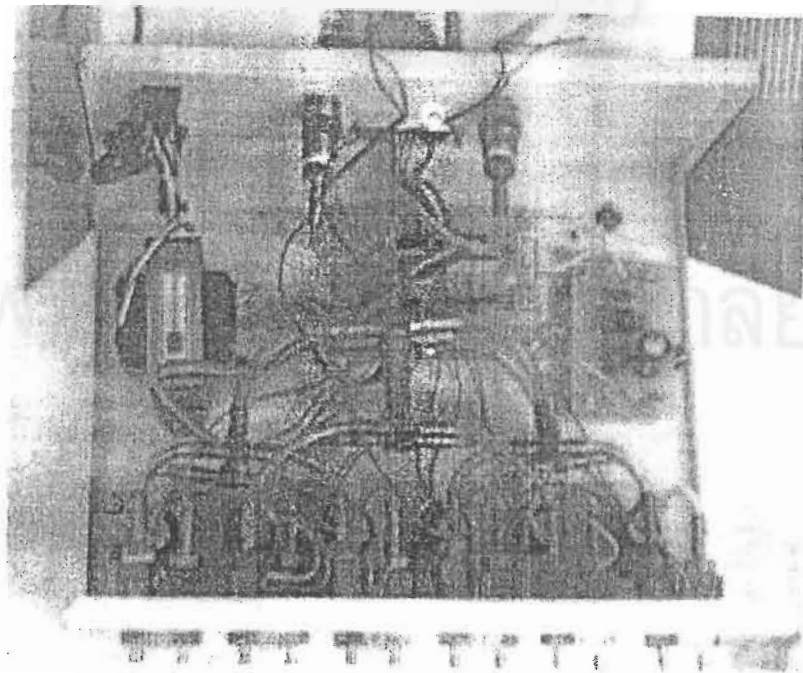
2. หัววัดก๊าซภายในเซลล์วัด



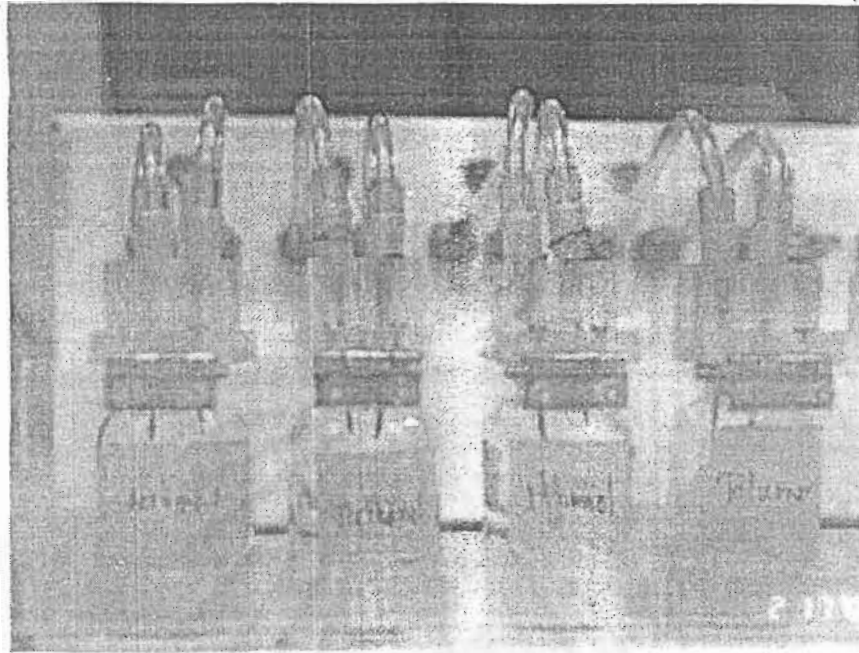
3. ตำแหน่งหัววัดก๊าซภายในเซลล์วัด



4. Sample selector



5. ขวดใส่สารตัวอย่างใน sample selector



6. วงจรออกสวิตเตเตอร์



ประวัติผู้เขียน

นาย ภาคภูมิ สมบูรณ์ เกิดวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาใบโออีเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย