บทที่ 4

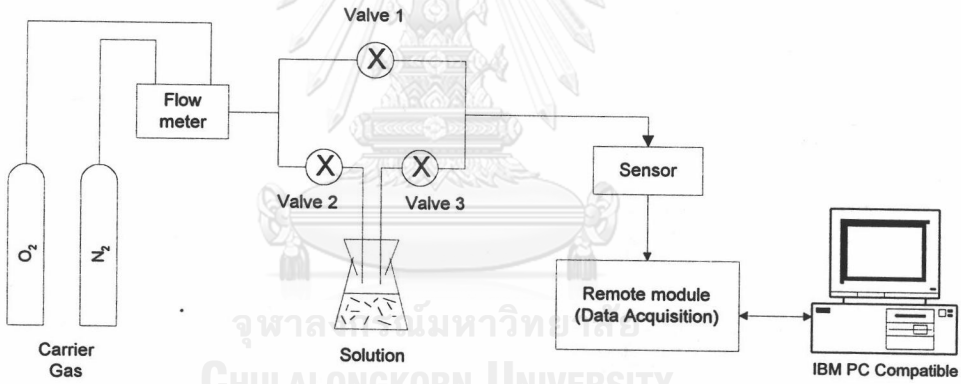
ลักษณะสมบัติของระบบเก็บข้อมูลย่อย

ความนำ

บทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของสัญญาณจากการวัดสารตัวอย่างที่วัดได้จากระบบตรวจวัดก๊าซ การวิเคราะห์หาเมตริกซ์ปรับเทียบ ที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง และผลการทดลองโดยสั่งให้ remote module คำนวณค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างแล้วส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่

4.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ

เนื่องจากระบบที่ใช้ในการวัดก๊าซจะทดสอบและจัดเตรียมก๊าซตัวอย่างได้ยาก จึงได้ดัดแปลงระบบมาเป็นระบบที่วัดก๊าซที่ไหลผ่านไอของสารละลาย ที่มีผังการทำงานดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบวัดสารตัวอย่าง

ระบบที่ทดสอบจะเป็นการวัดสารแบบที่ให้ก๊าซผ่านไปด้านบนของสารละลายสารตัวอย่าง (head space) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เริ่มต้นด้วยก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนที่ใช้เป็นก๊าซพาห์จะถูกควบคุมด้วยวาล์วปรับความดัน (pressure regulator) และจะถูกควบคุมอัตราการไหลและอ่านได้จากโฟล์วมิเตอร์ โดยสามารถควบคุมอัตราส่วนของก๊าซทั้งสองได้ตามที่ต้องการ ก๊าซที่ถูกควบคุมอัตราส่วนแล้วจะไหลผ่านไปยังก๊าซเซนเซอร์ โดยผ่านโซเลนอยด์วาล์วตัวที่ 1 ในขณะที่โซเลนอยด์วาล์วตัวที่ 2 และ 3 จะปิดอยู่ เมื่อต้องการวัดก๊าซที่ผ่านสารละลายก็จะปิดโซเลนอยด์วาล์วตัวที่ 1 และเปิดโซเลนอยด์วาล์วตัวที่ 2 และ 3 ก๊าซพาห์จะพาไอระเหยของสารตัวอย่างเข้าไปยังก๊าซเซนเซอร์ ค่าความนำไฟฟ้าของก๊าซเซนเซอร์จะเพิ่มขึ้นตามชนิดและความเข้มข้นของสารตัวอย่าง สัญญาณที่วัดได้จะเป็นสัญญาณแอนะลอก ซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลที่ remote module แล้วทำการประมวลผลเบื้องต้นเพื่อส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่

4.2 สัญญาณที่ได้จากการวัดสารตัวอย่าง

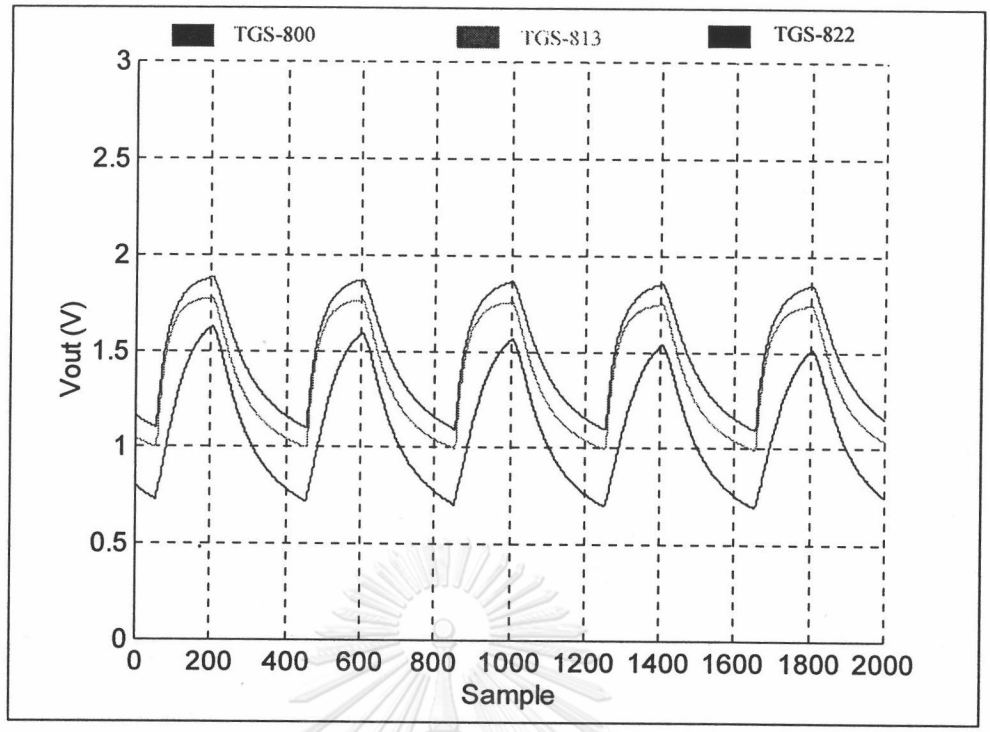
การวัดสารตัวอย่างจะใช้ก๊าซเซนเซอร์ทั้งหมด 3 ตัว ทำการวัดค่าพร้อมกัน เนื่องจากก๊าซเซนเซอร์แต่ละตัวก็จะตอบสนองต่อสารต่างชนิดกัน ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้ก็จะแตกต่างกัน การวัดจะวัดเป็นรูปแบบที่แน่นอน โดยแต่ละรูปแบบจะนาน 4 นาที โดยเริ่มต้นการวัดจะเปิดโซเลนอยด์วาล์วให้ก๊าซพาห์ไหลผ่านไปยังหัวตรวจวัดก๊าซเป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบเวลาก็จะเปิดโซเลนอยด์วาล์วให้ก๊าซพาห์ไหลผ่านไปยังภาชนะที่ใส่สารละลายตัวอย่าง ก๊าซพาห์จะพาไอระเหยของสารตัวอย่างไปยังก๊าซเซนเซอร์เป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที แล้วจึงเปิดวาล์วให้ก๊าซพาห์ไหลผ่านไปยังก๊าซเซนเซอร์เป็นเวลา 2 นาที ในการวัดจะกำหนดให้คาบเวลาของการสุ่มตัวอย่างมีค่า 0.6 วินาที ดังนั้นในการวัดแต่ละครั้งก็จะได้ข้อมูล 400 ค่า ส่วนเงื่อนไขอื่นๆ ของการวัดจะแสดงได้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขของระบบสำหรับการทดลองตรวจวัดก๊าซ

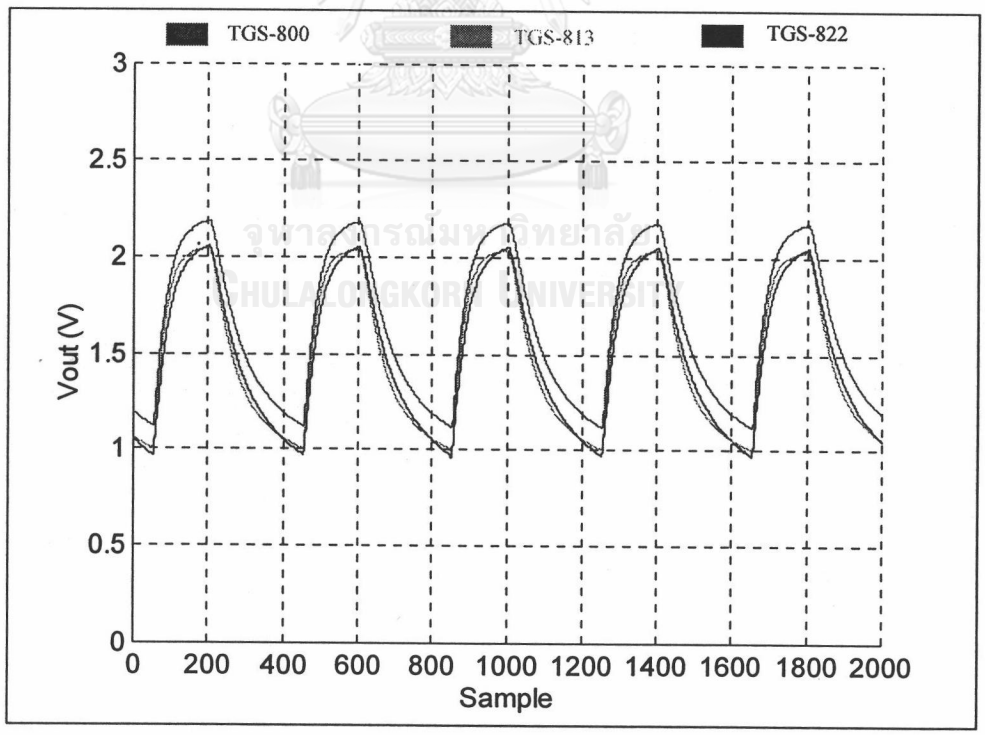
เงื่อนไข	หัวตรวจวัดก๊าซ		
	TGS-800	TGS-813	TGS-822
V_{bias}(V)	9		
V_{heat}(V)	5		
ก๊าซพาห์	81 kOhms	45 kOhms	45 kOhms
อัตราการไหลของก๊าซพาห์	ออกซิเจน 40 ml/min และ ไนโตรเจน 160 ml/min		
สารตัวอย่าง	1. น้ำบริสุทธิ์ 2. สารละลายแอมโมเนีย (NH_3 35% d=0.88 g/ml) 0.01%, 0.05% และ 0.1% v/v ในน้ำบริสุทธิ์ 3. สารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ (CH_3OH 99.8%) 0.01%, 0.05% และ 0.1% v/v ในน้ำบริสุทธิ์		
ปริมาตรสารตัวอย่างที่ใช้วัด	25 ml ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml		

ในการวัดแต่ละครั้งจะวัดติดต่อกัน 5 ครั้ง (5 รูปแบบต่อเนื่องกัน) โดยแสดงตัวอย่างของการวัดได้ดังรูปที่ 4.2-4.8

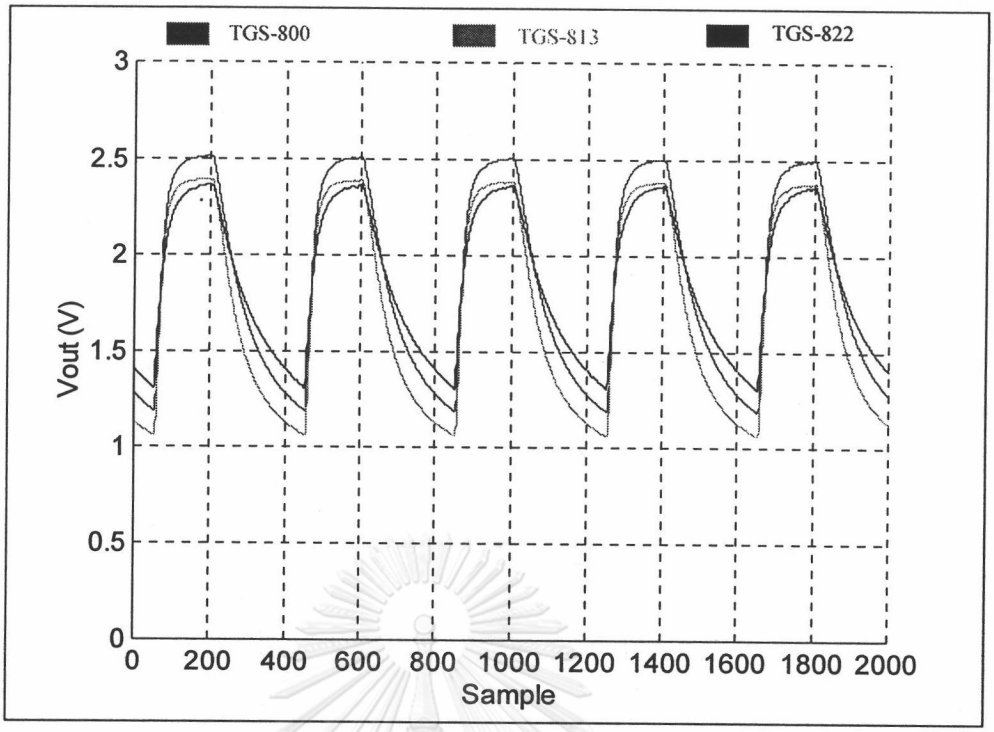
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



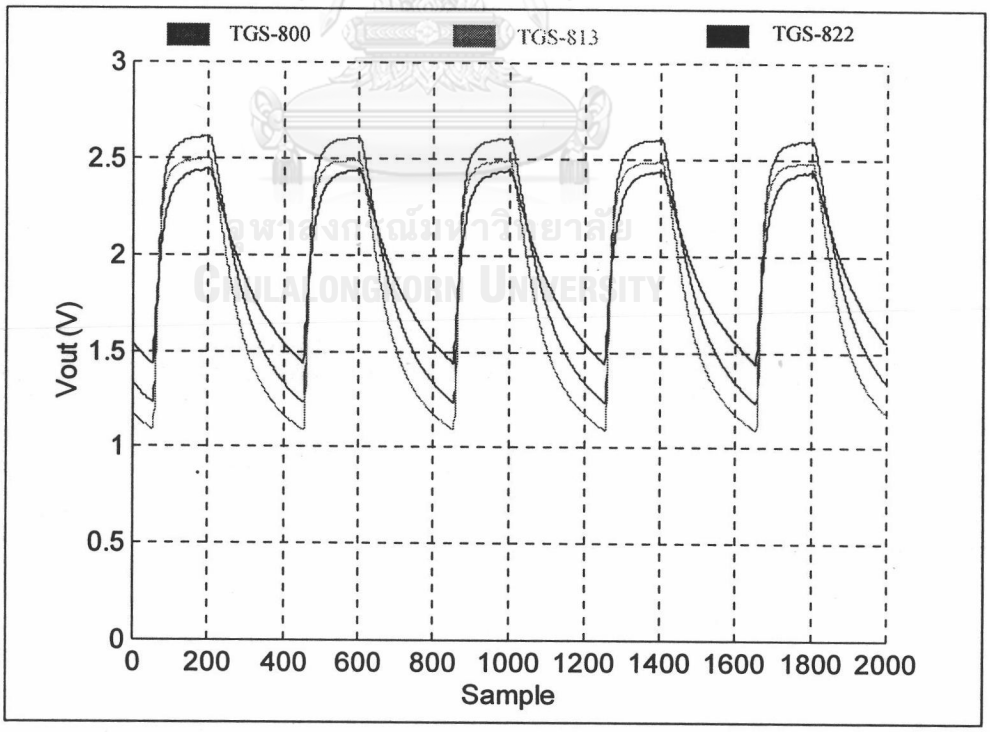
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ได้จากการวัดน้ำบริสุทธิ์



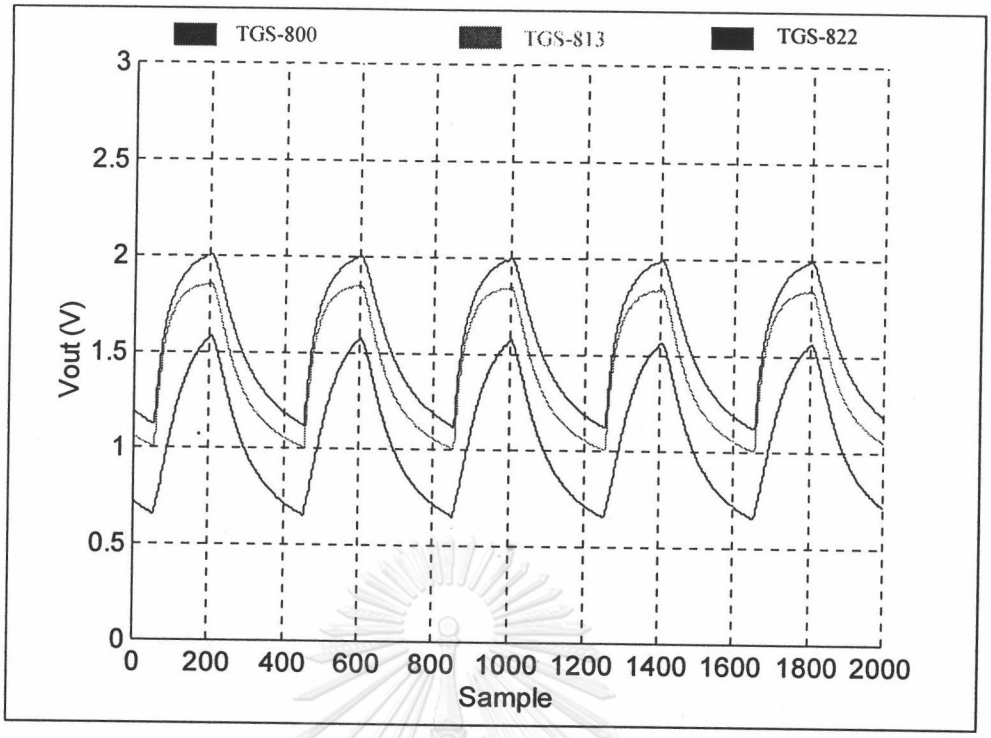
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0.01 %v/v (100 ppm)



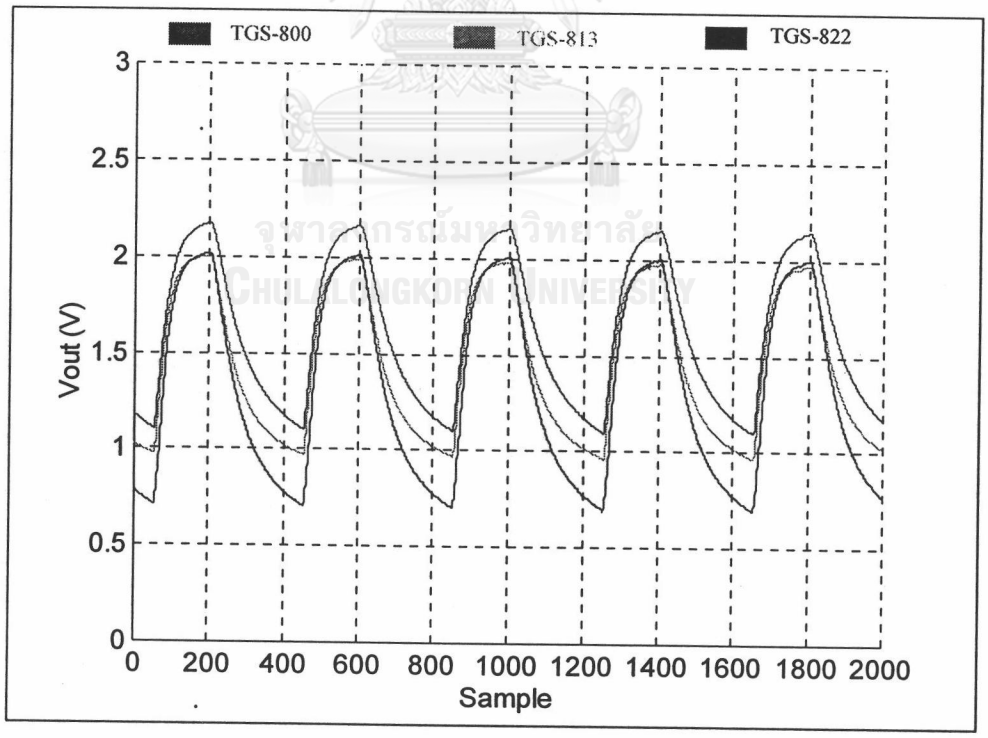
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0.05 %v/v (500 ppm)



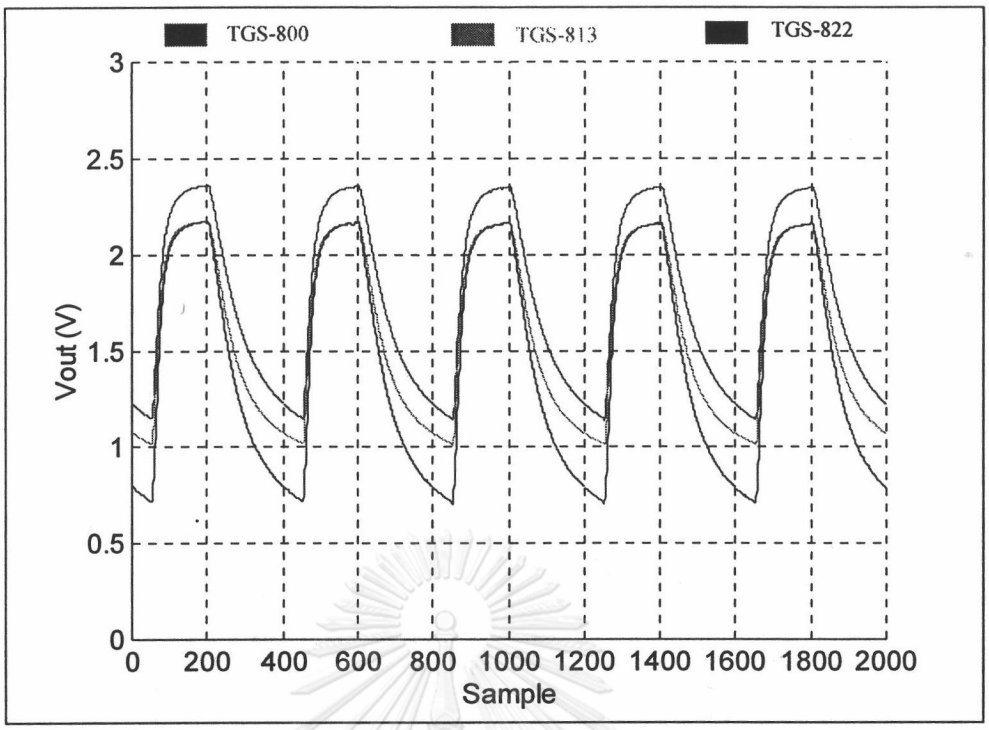
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0.1 %v/v (1000 ppm)



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 0.01 %v/v (100 ppm)



รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 0.05 %v/v (500 ppm)



รูปที่ 4.8 สัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 0.1 %v/v (1,000 ppm)

4.3 การวิเคราะห์สัญญาณที่วัดจากก๊าซเซนเซอร์และการหาเมตริกซ์ปรับเทียบ

หลังจากที่เก็บข้อมูลจากก๊าซเซนเซอร์เสร็จแล้วก็จะเป็นขั้นตอนการจัดเตรียมเมตริกซ์ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาเมตริกซ์ปรับเทียบ การหาเมตริกซ์ปรับเทียบจะใช้ Chemometrics Toolbox ของ Matlab จะต้องกำหนดอินพุตสองตัวคือ เมตริกซ์ดูดกลืน (absorbance matrix) ที่ได้จากสัญญาณของก๊าซเซนเซอร์และเมตริกซ์ความเข้มข้น (concentration matrix) โดยเมตริกซ์ดูดกลืนเป็นเมตริกซ์ที่นำข้อมูลมาจากสารที่ต้องการวิเคราะห์และทราบค่าความเข้มข้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.1 การเปลี่ยนข้อมูลที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลย่อยฯ เป็นเมตริกซ์ข้อมูลของ Matlab

เริ่มต้น ด้วยการเขียนโปรแกรมของ Matlab ที่ใช้ในการอ่านค่าจากไฟล์ข้อมูลแล้วแปลงเป็นตัวแปรของ Matlab (ไฟล์ DIS2000.M ที่แสดงในภาคผนวก ง.) หลังจากที่รันโปรแกรมแล้วก็จะได้เมตริกซ์ y1, y2 และ y3 แต่ละตัวมีขนาด 400 x 5 โดย y1 เป็นข้อมูลที่ได้จาก TGS-800, y2 เป็นข้อมูลที่ได้จาก TGS-813, y3 เป็นข้อมูลที่ได้จาก TGS-822 พร้อมกับวาดกราฟค่าของ y1, y2 และ y3 ออกที่หน้าต่างกราฟ

หลังจากที่เปลี่ยนไฟล์ข้อมูลเป็นเมตริกซ์ของ Matlab แล้วให้ save เก็บค่าตัวแปรโดยตั้งชื่อตามสารและความเข้มข้น เช่น เมตริกซ์ข้อมูลของ แอลกอฮอล์ 0.01% ให้ใช้คำสั่ง

```
save al01-2
```

หลังจากที่ทำงานเสร็จแล้วก็จะได้ไฟล์เพิ่มอีก 1 ไฟล์ชื่อ al01-2.mat ที่เป็นข้อมูลตัวแปรต่างๆ ของ Matlab ถัดมาให้ให้เปลี่ยนข้อมูลของสารทุกตัวให้เสร็จ

4.3.2 การจัดเตรียมเมตริกซ์ดูดกลืนที่ได้จากก๊าซเซนเซอร์

เนื่องจากตัว remote module ที่ใช้มีหน่วยความจำที่จำกัด การทำงานในโหมดส่งข้อมูลพิเศษ ตัว remote module จะเหลือหน่วยความจำให้เก็บข้อมูลของแต่ละก๊าซเซนเซอร์เพียง 256 ค่า ส่วนในการวัดในแต่ละ pattern ที่นาน 4 นาทีซึ่งคิดเป็นข้อมูล 400 ค่า จะต้องทำการตัดข้อมูลให้เหลือเพียง 256 ค่า ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดลองนำข้อมูลตัวที่ 45-300 มาใช้

ในการวิเคราะห์ค่าจะต้องป้อนอินพุตเป็นเมตริกแถวตั้ง (column matrix) โดยแต่ละแถวตั้งก็จะแทนข้อมูลของสารแต่ละตัว สำหรับระบบที่ทดลองนี้ได้ต่อก๊าซเซนเซอร์วัดข้อมูล 3 ตัวพร้อมกัน การกำหนดเมตริกซ์อินพุตจึงได้นำเอาข้อมูลจากก๊าซเซนเซอร์ทั้งสามตัวมาเรียงต่อกัน โดยจะเรียงจาก TGS-800, TGS-813 และ TGS-822 ทำให้ข้อมูลแต่ละชุดมีความยาว 768 ค่า

การกำหนดข้อมูลเมตริกซ์ดูดกลืนจะนำข้อมูลชุดที่ 1,2,4 และ 5 ของสารละลายแต่ละความเข้มข้นมาคำนวณหาเมตริกซ์ปรับเทียบ ส่วนข้อมูลในชุดที่ 3 จะใช้ในการทดสอบ ดังนั้นสำหรับสารละลายแอมโมเนีย 3 ความเข้มข้นก็จะได้ข้อมูล 12 แถวตั้ง สำหรับสารละลายแอลกอฮอล์ 3 ความเข้มข้นก็จะได้ข้อมูล 12 แถวตั้ง สำหรับน้ำบริสุทธิ์ก็จะได้ข้อมูล 4 แถวตั้ง สรุปได้ว่า เมตริกซ์ดูดกลืนจะมีขนาด 768 x 28

สำหรับการกำหนดเมตริกซ์ทดสอบ (validation matrix) จะเป็นข้อมูลของสารละลายที่ใช้ในการทดสอบว่าเมตริกซ์ปรับเทียบที่คำนวณค่าได้นั้นถูกต้องมากน้อยแค่ไหน ในการทดสอบนี้จะนำข้อมูลในชุดที่ 3 มาใช้ทดสอบ โดยเมตริกซ์ทดสอบนี้จะมีขนาด 768 x 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.3 การจัดเตรียมเมตริกซ์ความเข้มข้น

สำหรับเมตริกซ์ความเข้มข้นก็จะเป็นเมตริกซ์แถวตั้งโดยแต่ละแถวจะแทนความเข้มข้นของสารละลายแต่ละตัว เนื่องจากการทดลองนี้ต้องการหาค่าของสารละลาย 2 ชนิด ทำให้เมตริกซ์ความเข้มข้นจะมี 2 แถวนอน โดยแถวแรก เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนีย แถวที่ 2 เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ โดยจะต้องกำหนดข้อมูลของแต่ละแถวตั้งของเมตริกซ์ความเข้มข้นให้ตรงกับข้อมูลของเมตริกซ์ดูดกลืน เช่น ถ้ากำหนดค่าแถวตั้งที่ 10 ของเมตริกซ์ดูดกลืนเป็นข้อมูลจากสารละลายแอมโมเนีย 0.1% ข้อมูลแถวตั้งที่ 10 ของเมตริกซ์ความเข้มข้นก็จะมีค่า

0.1

0

การกำหนดให้ค่าสารละลายที่ไม่ได้ผสมนี้มีค่าเป็น 0 เมื่อนำไปหาเมตริกซ์ปรับเทียบแล้ว และนำเมตริกซ์ปรับเทียบนั้นไปคูณกับเมตริกซ์ดูดกลืน ผลลัพธ์ที่ได้บางตัวจะมีค่าติดลบ ซึ่งไม่มีความหมาย เพื่อที่

I17151090

จะแก้ปัญหาของคำตอบที่มีค่าติดลบ ได้ทำการจัดการข้อมูลของเมตริกซ์ความเข้มข้นโดยทำการหาค่าลอกริทึมของค่าความเข้มข้น

ซึ่งการกำหนดให้เมตริกซ์ความเข้มข้นเป็นค่าลอกการิทึมของค่าความเข้มข้น ก็จะพบปัญหาตรงที่ค่า 0 จะไม่สามารถหาค่าได้ ดังนั้นจึงต้องกำหนดใหม่ให้ค่าน้อยๆ ค่าหนึ่งมีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ เช่นกำหนดให้ค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 เท่ากับศูนย์ (กำหนดให้ $10^{-3} \approx 0$) ดังนั้นเมตริกซ์ความเข้มข้นใหม่ในส่วนของ แอมโมเนีย 0.1% ก็จะมีค่า

-1 (จาก log(0.1)=-1)

-3 (จาก log(0.001)=-3)

เนื่องจากเมตริกซ์ดูดกลืนก๊าซเซนเซอร์มีขนาด 28 แถวตั้ง ดังนั้นเมตริกซ์ความเข้มข้นจะมีขนาด 2 x 28

การแก้ไขปัญหาของค่า log(0) จะเกิดปัญหาตามมาว่าจะกำหนด ให้ค่าน้อยเพียงใดจึงจะประมาณให้เท่ากับ 0 ซึ่งก็จะต้องทดลองหาค่าโดยนำค่าเมตริกซ์ดูดกลืนและเมตริกซ์ความเข้มข้นที่กำหนดให้ $10^{-x} \approx 0$ โดยทดลองเปลี่ยนค่า x เป็นค่าต่างๆ แล้วนำเมตริกซ์ปรับเทียบที่ได้ของแต่ละกรณีมาคูณกับเมตริกซ์ทดสอบแล้วหาแล้วหาว่ากรณีใดจะให้ค่าผลรวมผลต่างกำลังสองของผลลัพธ์มีค่าน้อยที่สุดก็จะเลือกค่านั้น

ขั้นตอนการเตรียมเมตริกซ์ดูดกลืนที่ได้จากก๊าซเซนเซอร์ เมตริกซ์ความเข้มข้น เมตริกซ์ทดสอบ และเมตริกซ์ความเข้มข้นทดสอบสำหรับกรณีที่กำหนดให้ 0.001 ประมาณเท่ากับ 0 จะอยู่ในไฟล์ genall3.m (รายละเอียดของไฟล์ดูได้ที่ภาคผนวก ง) ที่เป็นไฟล์ภาษาของ Matlab เรียกใช้โดยพิมพ์

genall3

เมื่อเรียกเสร็จก็จะได้ตัวแปรของ Matlab ชื่อ training ที่เป็นเมตริกซ์สัญญาณดูดกลืนที่ได้จากก๊าซเซนเซอร์มีขนาด 768 x 28 ตัวแปร c ที่เป็นเมตริกซ์ความเข้มข้นขนาด 2 x 28 ตัวแปร validation ที่เป็นเมตริกซ์ทดสอบขนาด 768 x 7 และ cv ที่เป็นเมตริกซ์ความเข้มข้นทดสอบขนาด 2 x 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.4 <u>การหาเมตริกซ์ปรับเทียบ</u>

หลังจากที่เตรียมเมตริกซ์ดูดกลืนและเมตริกซ์ความเข้มข้นเสร็จแล้ว ก็พร้อมสำหรับการหาค่าเมตริกซ์ปรับเทียบ การหาเมตริกซ์ปรับเทียบจะใช้วิธีการคำนวณ 2 วิธี คือ Q-matrix calibrations และ Principal Component Regression (PCR)

<u>การหาเมตริกซ์ปรับเทียบโดยใช้ Q-matrix</u> ทำได้โดยเรียกใช้คำสั่ง Chemometrics Toolbox ของ Matlab ดังนี้

```
qcal = qmatrix(training,c)
```

ก็จะได้ qcal เป็นเมตริกซ์ปรับเทียบของวิธี Q-matrix ขนาด 2 x 768

การหาเมตริกซ์ปรับเทียบโดยใช้ Principal Component Regression จะมีสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการหาเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvectors หรือ Abstract Factors) ของเมตริกซ์ดูดกลืนก่อน ซึ่งเรียกใช้คำสั่งดังนี้

vc = pca(training)

โดย vc จะเป็นเวกเตอร์เจาะจงของเมตริกซ์ดูดกลืน เมื่อได้เวกเตอร์เจาะจงของเมตริกซ์ดูดกลืนแล้วก็จะสามารถหาเมตริกซ์ปรับเทียบโดยเรียกใช้คำสั่งดังนี้

fcal = pcrcal(training,c,vc,n)

โดยค่า factor n เป็นจำนวนเวกเตอร์เจาะจงที่เลือกใช้ ซึ่งจะมีขั้นตอนการหาค่าว่าจะใช้ค่า factor (dimension, component) ที่เท่าใดจึงจะเหมาะสม ส่วน fcal เป็นเมตริกซ์ปรับเทียบโดยคำนวณจาก PCR มีขนาด 2 x 768

เมตริกซ์ปรับเทียบจะมีขนาด 2 x 768 เมื่อได้ค่าแล้วก็จะนำไปทดสอบ โดยนำเมตริกซ์ปรับเทียบไปคูณกับเมตริกทดสอบ ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นเมตริกซ์แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายแต่ละตัว

4.3.5 การเปลี่ยนเมตริกซ์ปรับเทียบเป็นเวกเตอร์อ้างอิงสำหรับ remote module

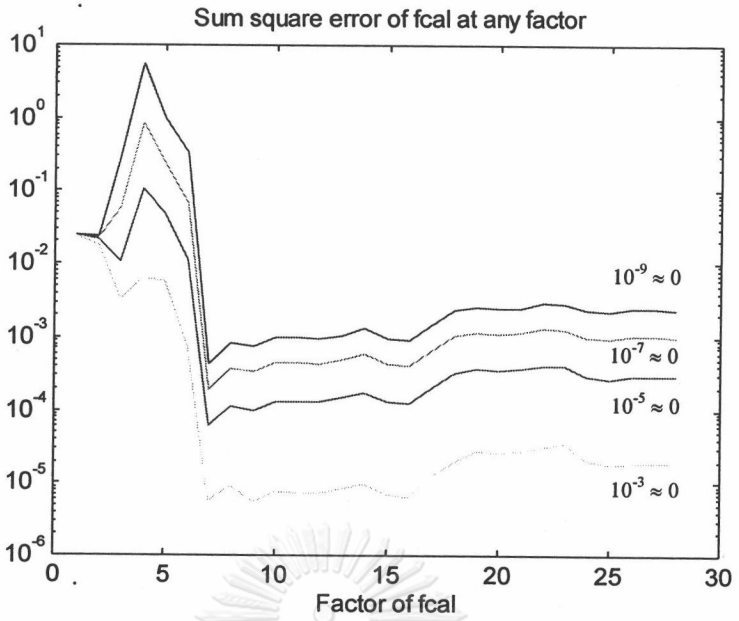
หลังจากที่ได้เมตริกซ์ปรับเทียบขนาด 2 x 768 แล้วจะนำเมตริกซ์ที่ได้ไปตัดแบ่งเป็นชุดของเวกเตอร์อ้างอิงสำหรับเซนเซอร์แต่ละตัวขนาด 2x256 จำนวน 3 ชุด เพื่อพร้อมที่จะโหลดไปยัง remote module (ดูหัวข้อ 3.4.1) เริ่มต้นด้วยการนำข้อมูลแถวนอนแถวที่ 1 ของเมตริกซ์ปรับเทียบที่มีขนาด 768 ตัวมาแบ่งเป็นเวกเตอร์อ้างอิง 3 ชุดสำหรับแต่ละเซนเซอร์ โดยข้อมูลตัวที่ 1-256 จะเป็นเวกเตอร์อ้างอิง 1 ของเซนเซอร์ 1 ข้อมูลตัวที่ 257-512 แปลงเป็นเวกเตอร์อ้างอิง 1 ของเซนเซอร์ 2 ข้อมูลตัวที่ 513-768 จะเป็นเวกเตอร์อ้างอิง 1 ของเซนเซอร์ 3 ส่วนข้อมูลในแถวนอนแถวที่ 2 จะแปลงเป็นเวกเตอร์อ้างอิง 2 ของเซนเซอร์ 1, เซนเซอร์ 2 และ เซนเซอร์ 3 ตามลำดับ เมื่อถึงขั้นตอนนี้ก็จะได้เวกเตอร์อ้างอิงจำนวน 6 ตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.6 การหาจุดเหมาะสมในการประมวลผล

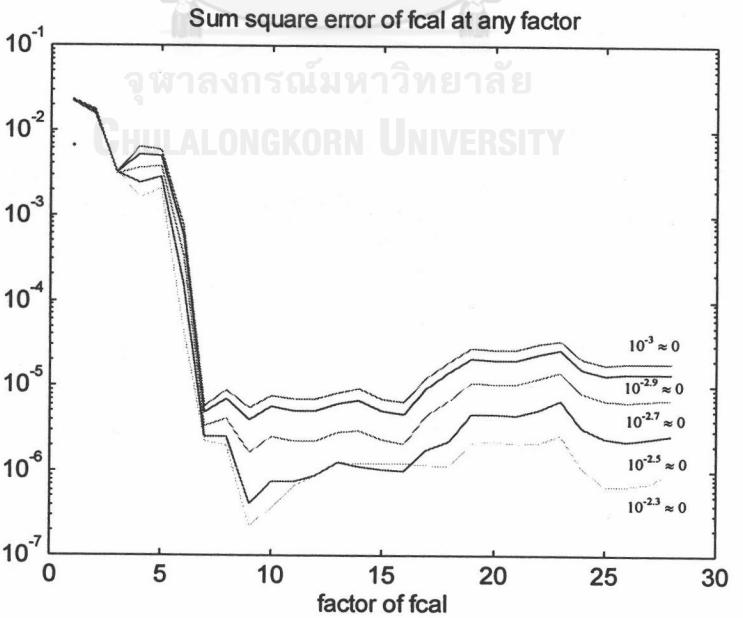
การกำหนดให้ค่าน้อยมากเพียงไรมีค่าเท่ากับศูนย์ ทำได้โดยการทดลองกำหนดค่า 0 ของเมตริกซ์ความเข้มข้นมีค่าต่างๆ แล้วนำไปหาเมตริกซ์ปรับเทียบ จากนั้นนำเมตริกซ์ปรับเทียบที่ได้ไปคูณกับเมตริกซ์ทดสอบแล้วทำการอินเวอร์สลอกการิทึมค่าผลลัพธ์เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าความเข้มข้น แล้วนำค่าความเข้มข้นที่ได้ไปคำนวณหาค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสอง (sum square error : sse) เปรียบเทียบของแต่ละกรณีแล้วหาว่ากรณีไหนจะมีค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุดจึงเลือกค่านั้น

ในการทดสอบจะทดสอบโดยใช้เมตริกซ์ปรับเทียบที่ได้จาก PCR โดยจะวาดกราฟค่าค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองสำหรับกรณีที่เลือกเฟคเตอร์ n เป็นค่าต่าง ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังกราฟในรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นกราฟในกรณีที่กำหนดให้ 10^{-3}, 10^{-5}, 10^{-7} และ 10^{-9} มีค่าประมาณเท่ากับศูนย์



รูปที่ 4.9 ค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองของผลลัพธ์ที่ได้จาก fcal ค่า factor ต่างๆ เมื่อกำหนดให้10^{-3}, 10^{-5}, 10^{-7} และ 10^{-9} ประมาณเท่ากับศูนย์

จากกราฟในรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าถ้ากำหนด $10^{-3} \approx 0$ จะให้ค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองที่น้อยที่สุด ถัดมาได้ทำการหาค่าผลรวมความผิดพลาดสูงสุดโดยกำหนดให้ $10^{-2.3} \approx 0$, $10^{-2.5} \approx 0$, $10^{-2.7} \approx 0$, $10^{-2.9} \approx 0$ และ $10^{-3} \approx 0$ ซึ่งจะแสดงกราฟได้ดังรูปที่ 4.10



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.9 ค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองของผลลัพธ์ที่ได้จาก fcal ค่า factor ต่างๆ เมื่อกำหนดให้$10^{-2.3}$, $10^{-2.5}$, $10^{-2.7}$, $10^{-2.9}$ และ 10^{-3} ประมาณเท่ากับศูนย์

จากกราฟจะพบว่าค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองเมื่อกำหนดให้ $10^{-2.3} \approx 0$, $10^{-2.5} \approx 0$, $10^{-2.7} \approx 0$, $10^{-2.9} \approx 0$ และ $10^{-3} \approx 0$ จะมีค่าต่างกันน้อยมาก (ค่าอยู่ในช่วง 10^{-5}) ดังนั้นจึงได้เลือกกำหนดใช้ $10^{-3} \approx 0$ แล้วหาเมตริกซ์ปรับเทียบโดยใช้ Q-matrix ส่วนการหาเมตริกซ์ปรับเทียบโดยใช้ PCR ให้สังเกตที่รูปที่ 4.9 กราฟเส้นของ $10^{-3} \approx 0$ จะมีค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองต่ำสุดที่ เมื่อใช้เพียงแค่ 7 component จึงกำหนดค่า factor ของ PCR ที่ 7 component โดยจะมีค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองเท่ากับ 5.8355×10^{-6}

4.4 ผลการคำนวณค่าความเข้มของสารละลายโดยใช้เมตริกซ์ปรับเทียบ

หลังจากที่หาค่าเมตริกซ์ปรับเทียบได้แล้ว ก็จะนำเมตริกซ์ปรับเทียบที่ได้คูณกับเมตริกซ์ทดสอบ และนำค่าผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณค่า rms (root mean square) ของค่าความผิดพลาดของข้อมูลแต่ละชุดจะได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายโดยใช้ Q matrix และ PCR 7 factor

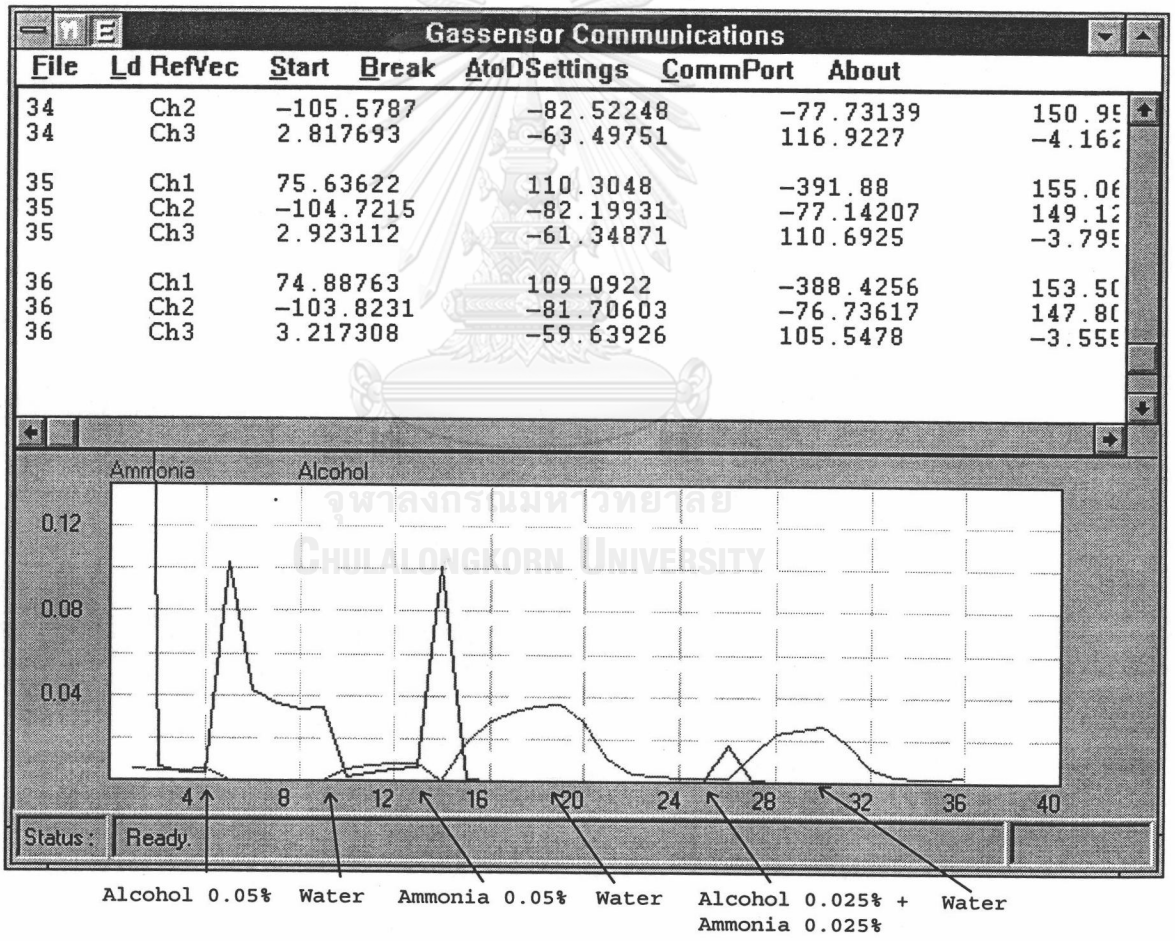
สารตัวอย่าง	ค่าที่คำนวณได้จาก Q matrix		rms. error	ค่าที่คำนวณได้จาก PCR 7 factor		rms. error
ความเข้มข้น (%)	แอมโมเนีย	แอลกอฮอล์	(%)	แอมโมเนีย	แอลกอฮอล์	(%)
แอมโมเนีย 0.01	0.0098	0.0011	2.2361	0.0101	0.0011	1.4142
แอมโมเนีย 0.05	0.0533	0.0009	6.6030	0.0513	0.0009	2.6077
แอมโมเนีย 0.1	0.1001	0.0009	0.1414	0.1005	0.0010	0.5000
แอลกอฮอล์ 0.01	0.0010	0.0108	8.0000	0.0010	0.0099	1.0000
แอลกอฮอล์ 0.05	0.0010	0.0527	5.4000	0.0010	0.0492	1.6000
แอลกอฮอล์ 0.1	0.0010	0.1003	0.3000	0.0010	0.1018	1.8000
น้ำบริสุทธิ์	0.0010	0.0010	0	0.0010	0.0010	0

* หมายเหตุ แอลกอฮอล์ ในที่นี้คือ เมทิลแอลกอฮอล์

จากตารางจะพบว่าเมื่อใช้เมตริกซ์ปรับเทียบ PCR 7 factor จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า Q Matrix โดยจะให้ค่า rms ของความผิดพลาดไม่เกิน 2.6077% จึงเลือกใช้เมตริกซ์ปรับเทียบ PCR 7 factor มาทำการแปลงเป็นเวกเตอร์อ้างอิงสำหรับก๊าซเซนเซอร์แต่ละตัว โดยจะโหลดเวกเตอร์อ้างอิงไปยัง remote module แล้วสั่งให้ remote module ทำงานโหมดส่งข้อมูลพิเศษส่งเฉพาะค่าผลคูณภายในระหว่างข้อมูลของแต่ละก๊าซเซนเซอร์คูณกับค่าเวกเตอร์อ้างอิง แล้วส่งค่าที่ได้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์แม่เพียงแค่นำผลคูณภายในที่ได้จากเวกเตอร์อ้างอิงแถวเดียวกัน เช่น นำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากเวกเตอร์อ้างอิง 1 เซนเซอร์ 1, 2 และ 3 มาบวกกัน แล้วทำการหาอินเวอร์สลอกการิทึมของค่าที่ได้ ก็จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตามที่ต้องการ

4.5 ผลการทดสอบโดยสั่งให้ remote module คำนวณค่าความเข้มข้นส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่

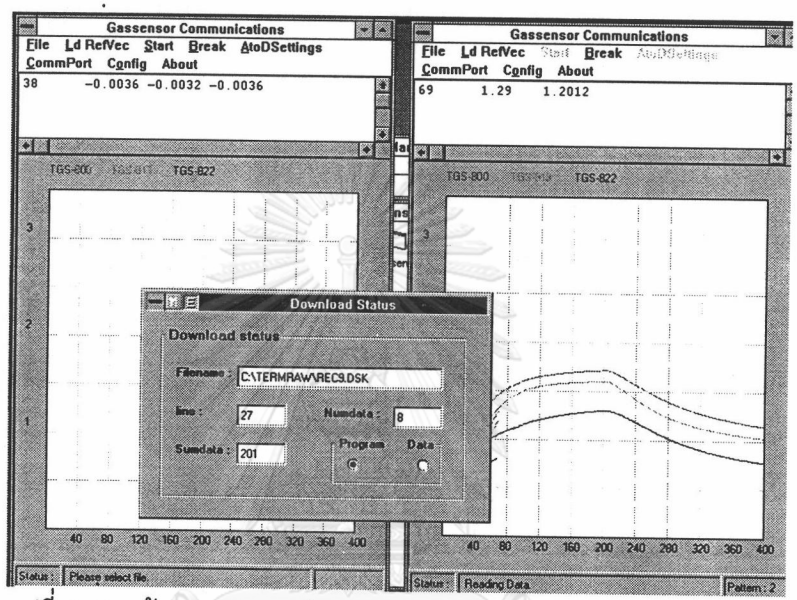
ในการทดลองจะเริ่มต้นโดยวัดน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 16 นาที (4 รูปแบบ) ถัดมาวัดสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ 0.05% เป็นเวลา 20 นาที (5 รูปแบบ) แล้ววัดน้ำบริสุทธิ์ 16 นาที (4 รูปแบบ) แล้วจึงเปลี่ยนสารละลายเป็นแอมโมเนีย 0.05% แล้วทำการวัดค่าต่อเป็นเวลา 24 นาที (6 รูปแบบ) และได้เปลี่ยนเป็นน้ำบริสุทธิ์และวัดค่าต่อเป็นเวลา 28 นาที (7 รูปแบบ) และได้นำสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.05% ปริมาตร 25ml ผสมกับสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 0.05% ปริมาตร 25 ml แล้วนำสารละลายผสมที่ได้จำนวน 25 ml มาวัดต่ออีกเป็นเวลา 16 นาที (4 รูปแบบ) ท้ายสุดได้วัดน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 24 นาที (6 รูปแบบ) รวมทั้งหมด 36 รูปแบบ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์แสดงได้ในรูปที่ 4.11 พบว่าผลการตอบสนองต่อแอลกอฮอล์และแอมโมเนียให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าจริง แม้ว่าจะเกิดความผิดพลาดในช่วงทรานเซียนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการวัดแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.11 ผลการวัดค่าโดยให้ remote module คำนวณค่าความเข้มข้นแล้วส่งมาให้

4.6 การทดสอบการทำงานของ remote module สองชุดพร้อมกัน

โปรแกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่จะทำงานบน Windows 3.1x ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่สามารถทำงานพร้อมกันได้หลายโปรแกรม ในการทดสอบสั่งให้ remote module สองตัวทำงานพร้อมกันแสดงได้ในรูปที่ 4.12 โดยหน้าจอด้านซ้ายจะต่อผ่านพอร์ตอนุกรม 1 (com 1) ของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยกำลังดาน์โหลดตัวโปรแกรมของ remote module ส่วนหน้าจอด้านขวาเป็นการต่อผ่านพอร์ตอนุกรม (com 2) และต่อผ่านโมเดมโดยทำงานในโหมดส่งข้อมูลพื้นฐาน



รูปที่ 4.12 หน้าจอแสดงการทำงานของ remote module สองชุดพร้อมกัน

4.7 ปัจจัยที่มีผลทำให้การทดสอบระบบผิดพลาด

1. ค่าความต้านทานพื้นหลัง (background resistance) เป็นค่าความต้านทานของก๊าซเซนเซอร์ขณะที่ป้อนก๊าซพาห์ตลอดเวลา) ของก๊าซเซนเซอร์ที่ใช้มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

2. การทดลองที่ได้เปลี่ยนจากการวัดตัวก๊าซโดยตรงมาเป็นการวัดไอของสารละลาย จะควบคุมค่าพารามิเตอร์ของการวัด เช่น อุณหภูมิของสารละลาย, ค่าความดันไอของสาระลาย เป็นต้น ได้ลำบาก

3. จุกยางที่ใช้ปิดขวดรูปชมพู่ที่ใส่สารละลายจะมีกลิ่นมารบกวน กลิ่นของสารตัวอย่างที่ต้องการวัดโดยเฉพาะในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นน้อยๆ

4. รูปแบบการวัดค่าแต่ละครั้งต้องใช้เวลานานถึง 4 นาที ซึ่งอาจจะนานเกินไป ควรจะปรับปรุงให้ใช้เวลาน้อยลง ซึ่งมีข้อเสนอว่าให้ทดลองปรับค่าอัตราการไหลของก๊าซมาตรฐานให้ไหลเร็วขึ้นเพื่อให้ในช่วงที่ให้ก๊าซมาตรฐานไหลไปยังก๊าซเซนเซอร์ ก๊าซเซนเซอร์จะกลับคืนสู่สถานะเดิมได้รวดเร็วขึ้นเป็นการลดคาบเวลาของการวัดค่า