

การพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์

**THE ELECTRONIC NOSE DEVELOPMENT USING THE MULTIPLE  
DISCRIMINANT ANALYSIS**

ชนะ จันทร์ศรี

CHANA CHANSRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

# การพัฒนาจุ่มอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลติเป็ดดิสทริมิแนนต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

**THE ELECTRONIC NOSE DEVELOPMENT USING THE MULTIPLE  
DISCRIMINANT ANALYSIS**

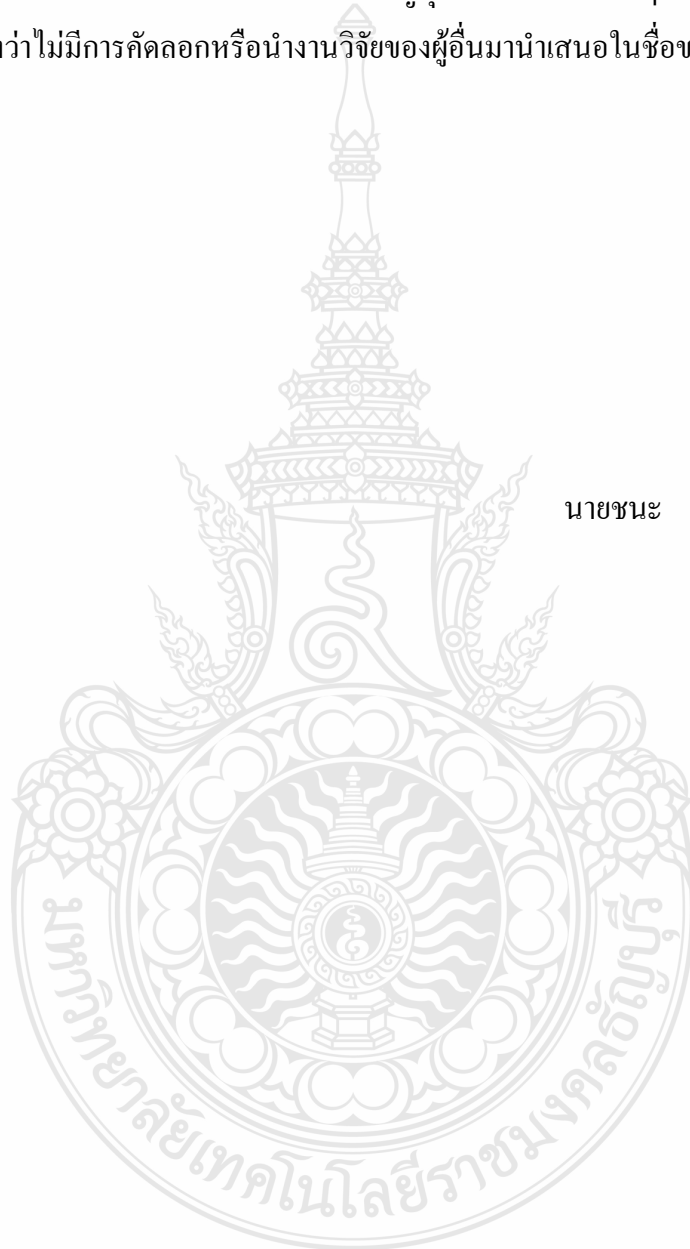
CHANA CHANSRI

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  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับ  
นี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายชนะ จันทร์ศรี



COPYRIGHT © 2010

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์



# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์  
มัลติเปิลดิสคริมิแนนต์

THE ELECTRONIC NOSE DEVELOPMENT USING THE  
MULTIPLE DISCRIMINANT ANALYSIS

ชื่อนักศึกษา

นายชนะ จันทร์ศรี

รหัสประจำตัว

115170420205-0

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร

วัน เดือน ปี ที่สอบ

18 กันยายน 2553

สถานที่สอบ

ห้องรวมข่าว ชั้น 7 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ดร. สมภพ สูงสถิตานนท์)

..... กรรมการ

(ดร. อำนาจ เรืองวาริ)

..... กรรมการ

(ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม)

..... กรรมการ

(ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย หิรัญวโรดม)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาจุ่มอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์
ชื่อนักศึกษา	นาย ชนะ จันทร์ศรี
รหัสประจำตัว	115170420205-0
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาจุ่มอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์ (MDA) ซึ่งได้นำแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์มาทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่น เนื่องด้วยมีความทนทาน เชื่อถือได้และสะดวกในการออกแบบวงจร โดยตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดเป็นกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครหลังการสวมใส่

เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะของแก๊สเซ็นเซอร์แต่ละตัวให้ผลตอบสนองต่อสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายของตัวอย่างไม่เหมือนกัน ดังนั้นค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์จึงเป็นตัวจับสัญญาณของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย จากนั้นนำค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุด มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA และ MDA ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้อาสาสมัครจำนวน 8 คน

เบื้องต้นการใช้เทคนิค PCA วิเคราะห์ข้อมูลของอาสาสมัครจำนวนตั้งแต่ 4 คนขึ้นไป พบว่าสามารถจำแนกข้อมูลของจำนวนอาสาสมัครได้ไม่เกิน 5 คน เนื่องจากเกิดการซ้อนของผลการจำแนกเมื่อมีข้อมูลจำนวนมากขึ้นและได้เปอร์เซ็นต์การสกัดความสัมพันธ์ของ  $PCA_1$  กับ  $PCA_2$  เท่ากับ 94.76 จากนั้นจึงได้ปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยใช้เทคนิค MDA และจากผลการทดลองพบว่าการใช้เทคนิค MDA ให้ผลการจำแนกที่ดีกว่าเทคนิค PCA โดยสามารถเพิ่มจำนวนข้อมูลของอาสาสมัครสูงขึ้นเป็น 7 คน ซึ่งได้ผลการสกัดความสัมพันธ์ของ  $DF_1$  และ  $DF_2$  เท่ากับ 97.02 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: จุ่มอิเล็กทรอนิกส์, การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก, เทคนิคการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์, แก๊สเซ็นเซอร์

**Thesis Title :** THE ELECTRONIC NOSE DEVELOPMENT USING THE  
MULTIPLE DISCRIMINANT ANALYSIS

**Student Name :** Mr. Chana Chansri

**Student ID :** 115170420205-0

**Degree Award :** Master of Engineering

**Study Program :** Electrical Engineering  
(Electronic and Telecommunication Engineering)

**Academic Year :** 2010

**Thesis Advisor :** Dr. Jakkree Srinonchat

### ABSTRACT

This thesis presents the electronic nose development using the Principal Component Analysis (PCA) and Multiple Discriminant Analysis (MDA). The metal oxide gas sensors have been used to measure the shirt odor samples because it is stable, reliable and convenience to design the electronic nose.

According to each gas sensor provides vary values of Volatile Organic Compounds (VOCs) responsibility from each sample that depends on the property of particular gas sensor. Thus the voltage output of gas sensor can detected and classified the signal of VOCs. The PCA and MDA techniques are used to analyze the highest signal changing value. There are 8 volunteers that provide the odor samples.

Preliminary results, the PCA techniques are used to analyze the data from 4 to 8 volunteers and found that the technique cannot classify the data more than 5 volunteers. The percentage accumulation of relative extraction of  $PCA1$  and  $PCA2$  are 94.76. After that the MDA techniques had been used to improve the system. The results show that the MDA techniques can classify the amount volunteers up to 7 persons. The percentage accumulation of relative extraction of  $DF1$  and  $DF2$  are 97.02

Keywords: electronic nose, principle component analysis, discriminant analysis, gas sensor

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำงานวิจัยนี้อย่างใกล้ชิด ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ระหว่างที่ได้ทำการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษานี้ ซึ่งผู้วิจัยได้นำความรู้เหล่านั้นมาใช้ดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณคุณสมชาย เปาะทองคำ ที่ให้คำแนะนำในการทดลองและการวิเคราะห์ผล เพื่อนๆ พนักงานบริษัท ไทยยูนิค จำกัด ที่ให้คำแนะนำเรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี ขอขอบคุณ คุณอภิรักษ์ มาลาอ่อน ที่ให้คำแนะนำเรื่องโปรแกรม ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการประมวลผลสัญญาณที่ให้ความสนใจ และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

ชนะ จันทศรี

18 กันยายน 2553





# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 หลักการและเหตุผล	1
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.6 ข้อยกเว้นของการศึกษา	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คำนำ	4
2.2 ธรรมชาติของแก๊สและคุณสมบัติทั่วไป	4
2.3 แก๊สที่มีความสำคัญต่อมนุษย์	7
2.4 การทำงานของจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์	9
2.5 เซ็นเซอร์รับกลิ่น	11
2.6 เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์	18
2.7 กลิ่นตัวของมนุษย์	24
2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)	25
2.9 การวิเคราะห์มัลติเปิลดิสคริมิแนนต์ (Multiple Discriminant Analysis)	32
2.10 ค่าไอเกน และไอเกนเวกเตอร์ (Eigen value and eigen vector)	46
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	58
3.1 คำนำ	58

## สารบัญ (ต่อ)

3.2 การออกแบบจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้น	61
3.3 การพัฒนาประสิทธิภาพของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์	63
3.4 การดำเนินการทดลอง	71
3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	77
บทที่ 4 ผลการทดลอง	83
4.1 คำนำ	83
4.2 ผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้น	83
4.3 ผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ที่ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพ	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	115
5.1 คำนำ	115
5.2 จุ่มอิเล็กทรอนิกส์คมกลืนเดี่ยวบุคคลขั้นต้น	115
5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพจุ่มอิเล็กทรอนิกส์	116
5.4 ข้อเสนอแนะการพัฒนาปรับปรุงในอนาคต	118
เอกสารอ้างอิง	119
ภาคผนวก	122
ก. ชุดทดลองที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	123
ข. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	125
ประวัติผู้เขียน	145

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรอร์เซ็นต์ปริมาตรของแก๊สหลาย ๆ ตัวในอากาศ สะอาดและแห้ง	4
2.2 สูตรลัดและสูตรเคมีของธาตุบางธาตุ	5
3.1 ชนิดและรุ่นของแก๊สเซ็นเซอร์ที่ใช้ดมกลิ่นเสื้อbukklขั้ันต้น	61
3.2 รุ่นและชนิดสารเคมีที่ตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ตัวใหม่ที่ใช้เป็นจุมุกอิเล็กทรอนิกส์	64
3.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานของแก๊สเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่ใช้งาน	66
3.4 ตารางความจริงของระบบควบคุมแก๊สออกซิเจน	69
3.5 ลำดับขั้นตอนและช่วงเวลาในการทดลอง	73
4.1 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ขั้ันต้นต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 4 คน	84
4.2 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดจากจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ขั้ันต้น	85
4.3 แรงดันตอบสนองของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 4 คน	88
4.4 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค PCA	89
4.5 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค MDA	91
4.6 แรงดันตอบสนองของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 5 คน	93
4.7 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค PCA	94
4.8 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค MDA	96
4.9 แรงดันตอบสนองของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 6 คน	98
4.10 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 6 คน ด้วยเทคนิค PCA	99
4.11 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขั้ันใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 6 คน ด้วยเทคนิค MDA	101

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 แรงดันตอบสนองของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ้นเสื่อของ อาสาสมัครจำนวน 7 คน	103
4.13 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก อาสาสมัครจำนวน 7 คน ด้วยเทคนิค PCA	105
4.14 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก อาสาสมัครจำนวน 7 คน ด้วยเทคนิค MDA	107
4.15 แรงดันตอบสนองของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ้นเสื่อของ อาสาสมัครจำนวน 8 คน	109
4.16 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก อาสาสมัครจำนวน 8 คน ด้วยเทคนิค PCA	111
4.17 เปรอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก อาสาสมัครจำนวน 8 คน ด้วยเทคนิค MDA	113
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก	116
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หมัดติเปิดคิสคริมิแนนต์	
5.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก และการวิเคราะห์หมัดติเปิดคิสคริมิแนนต์ของตัวแปรสองตัวแรก	117

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์	10
2.2 เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับจุ่มกือเล็กทรอนิกส์	11
2.3 ชนิดของเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับจุ่มกือเล็กทรอนิกส์	12
2.4 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีที่ใช้กล้อง CCD ทำการตรวจวัดแสงสีที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบ different substituted metalloporphyrins	13
2.5 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Pellistor	14
2.6 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity	14
2.7 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor	15
2.8 เซ็นเซอร์แบบ Amperometri	15
2.9 (ก) Potentiometric แบบ Vibrating capacitor (Kelvin probe) (ข) Potentiometric แบบ Insulated gate field-effect transistor	16
2.10 เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave	17
2.11 เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave	18
2.12 เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave	18
2.13 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor รุ่นต่างๆ	19
2.14 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์	20
2.15 (ก) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ (ข) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำการวัดแก๊ส	21
2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณของแก๊ส	22
2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์	23
2.18 วงจรพื้นฐานสำหรับแก๊สเซ็นเซอร์โลหะออกไซด์	23
2.19 ข้อมูลระดับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่บันทึกได้จากเซ็นเซอร์หลายๆ ตัว	53
2.20 สัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแก๊สเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำหอม	53
2.21 ผลการจำแนกเนื้อสัตว์ตามระดับอุณหภูมิต่างๆ ด้วยเทคนิค MDA	54
2.22 ระบบจุ่มกือเล็กทรอนิกส์สำหรับจำแนกแก๊สต่างๆ โดยใช้เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 ผลการตรวจวัดแสดงเป็นค่าความนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์	55
2.24 ระดับการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแก๊สเซ็นเซอร์ของการตรวจวัด	56
2.25 ผลการวิเคราะห์หักกลืนตัวของอาสาสมัครทั้งสองด้วยเทคนิค PCA	56
2.26 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเทคนิค PCA และ MDA	57
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	60
3.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้นที่ใช้ในการตรวจวัดกลิ่นเสื้อ	61
3.3 ตัวอย่างระดับสัญญาณที่ได้ตรวจวัดกลิ่นเสื้ออาสาสมัครด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้น	62
3.4 วงจรของแก๊สเซ็นเซอร์ที่พร้อมใช้งาน	65
3.5 แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ รุ่น TGS 813	65
3.6 ความต้านทานตอบสนองต่อ ไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ Rs/Ro ของเซ็นเซอร์ TGS 813	65
3.7 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้น รุ่น SMTSH07	67
3.8 วงจรกำเนิดพัลส์ที่ต่อร่วมกับตัววัดความชื้น รุ่น SMTSH07	67
3.9 เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ทำจากแก๊สเซ็นเซอร์ใช้ดมกลิ่นเสื้อบุคคล	68
3.10 ไดอะแกรมการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ดมกลิ่นเสื้อบุคคล	68
3.11 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ NI USB Multifunction รุ่น NI U-6008	69
3.12 สัญญาณจากการ Sampling	70
3.13 โปรแกรมบันทึกสัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์บนโปรแกรม LabVIEW 7.1	71
3.14 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์เมื่อเริ่มทำการเปิดระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์	72
3.15 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัว เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	73
3.16 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 2602 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	74
3.17 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 2600 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	74
3.18 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 822 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	75

## สารบัญรูป (ต่อ)

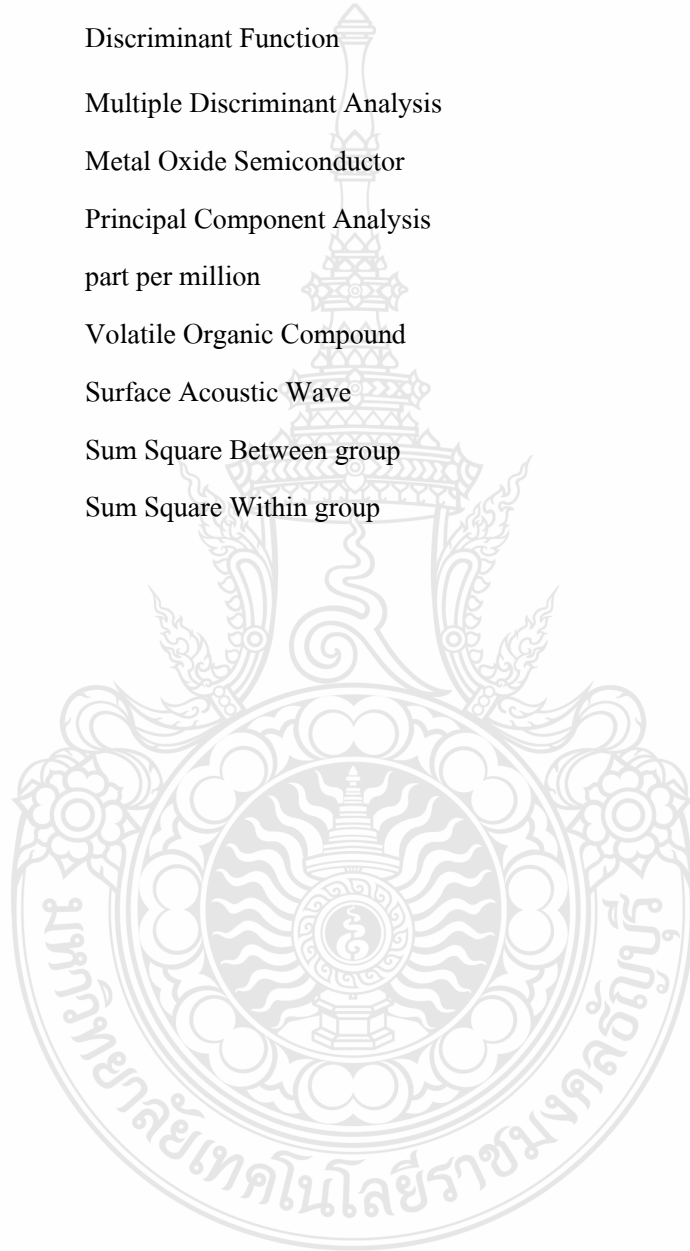
รูปที่	หน้า
3.19 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 813 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	75
3.20 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 832 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	75
3.21 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 826 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	76
3.22 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 825 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	76
3.23 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น SMTSH07 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง	76
3.24 ค่าสูงสุดและต่ำสุดของสุ่มตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์แต่ละตัว	77
3.25 ขั้นตอนการวิเคราะห์การทดลอง	78
4.1 เปรี่เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ข้อมูลจากอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้นของตัวแปรใหม่	85
4.2 ข้อมูลการจำแนกของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้นหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA	86
4.3 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของทั้ง 3 ตัวแปร	87
4.4 เปรี่เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค PCA	90
4.5 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน	90
4.6 เปรี่เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค MDA	91
4.7 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA ของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน	92
4.8 เปรี่เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค PCA	95
4.9 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน	95





## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\lambda$	Eigen value
amu	atom mass unit
BAW	Bulk Acoustic Wave
DF	Discriminant Function
MDA	Multiple Discriminant Analysis
MOS	Metal Oxide Semiconductor
PCA	Principal Component Analysis
ppm	part per million
VOCs	Volatile Organic Compound
SAW	Surface Acoustic Wave
SSB	Sum Square Between group
SSW	Sum Square Within group



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 คำนำ

การรับรู้กลิ่นของมนุษย์เป็นความรู้สึกเมื่อมีโมเลกุลของสารส่งกลิ่นหรือไอระเหยจากสารชนิดต่างๆ มาสัมผัสต่ออวัยวะรับรู้กลิ่นซึ่งก็คือจมูก แต่อย่างที่ทราบกันว่าจมูกมนุษย์มีขีดจำกัดในการใช้งาน เช่น จมูกสามารถดมกลิ่นได้บางกลิ่น ประสิทธิภาพการดมกลิ่นขึ้นกับสุขภาพเจ้าของจมูก ไม่เหมาะสำหรับดมกลิ่นสารพิษต่างๆ เป็นต้น เมื่อจมูกมนุษย์มีข้อจำกัดในการใช้งาน จึงต้องอาศัยเครื่องมือที่สามารถระบุกลิ่นหรือแก๊สที่เรียกว่า จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) ซึ่งถูกออกแบบและสร้างเพื่อตรวจสอบ และจดจำกลิ่นหรือแก๊สต่างๆ ได้คล้ายการทำงานของจมูกมนุษย์ ทั้งนี้จุดเด่นของการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการเคมีวิธีอื่นคือ เป็นอุปกรณ์ใช้งานง่าย รู้ผลการตรวจเร็ว และบอกข้อมูลเชิงคุณภาพของกลิ่นที่สนใจได้ถูกต้อง เป็นต้น

### 1.2 หลักการและเหตุผล

จมูกของมนุษย์มีหน้าที่สำหรับแยกชนิดและปริมาณของกลิ่นไอเคมีต่างๆ แต่ความสามารถของจมูกมนุษย์มีขีดจำกัดอยู่ที่ จมูกมนุษย์มีโอกาสเกิดความผิดพลาดเนื่องจากความเหนื่อยล้าของระบบและอันตรายที่เกิดขึ้นจากสารที่เป็นพิษ ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์จึงถูกพัฒนาขึ้นมา ซึ่งจะมีข้อดีในเรื่องของการควบคุมคุณภาพ และการจำแนกกลิ่นของสารที่มีลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีที่ใกล้เคียงกันมากจนยากที่มนุษย์จะแยกแยะได้ หรือสารเคมีบางอย่างที่มนุษย์ไม่สามารถรับรู้กลิ่นได้ อีกทั้งระบบอิเล็กทรอนิกส์มีความถูกต้องเชื่อถือได้สูงกว่าเนื่องจากการไม่มีการเหนื่อยล้าของระบบ

เนื่องด้วยกลิ่นตัวมนุษย์มีความแตกต่างกันตามแต่ละบุคคลจึงมีแนวความคิดใช้ความสามารถของจมูกอิเล็กทรอนิกส์จำแนกกลิ่นเสื้อที่มีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งเกิดจากมนุษย์มีการขับเหงื่อออกทางรูขุมขนทั่วร่างกายโดยเหงื่อที่ปล่อยออกมามีส่วนประกอบของโปรตีนและไขมัน เมื่อเจอกับแบคทีเรียบนผิวหนังโปรตีนและไขมันเหล่านั้นทำให้เกิดกลิ่นขึ้น ซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์ใช้กับงานสืบสวนดมกลิ่นเสื้อผ้าหรือสิ่งของของผู้ต้องสงสัยกับหลักในที่เกิดเหตุได้หรือพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์ใช้เป็นส่วนประกอบของหุ่นยนต์เพื่อใช้ดมกลิ่นได้ในอนาคต

### 1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ
- 1.3.2 ศึกษาหลักการทำงานแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ
- 1.3.3 ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก (PCA)
- 1.3.4 ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์หมัลติปีลดิสคริมิแนนต์ (MDA)
- 1.3.5 ประยุกต์ใช้แก๊สเซ็นเซอร์หลายชนิดมาต่อรวมกันแบบอาร์เรย์เพื่อสร้างเป็นจมูกอิเล็กทรอนิกส์
- 1.3.6 พัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์ใช้กับงานจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล

### 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ออกแบบและทดสอบระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล
- 1.4.2 ใช้การต่อแก๊สเซ็นเซอร์ร่วมกันจำนวน 7 ตัว และเซ็นเซอร์วัดความชื้น 1 ตัว ในการพัฒนาระบบ
- 1.4.3 สามารถจำแนกกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครได้อย่างน้อย 4 คน
- 1.4.4 ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์หมัลติปีลดิสคริมิแนนต์ในการจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล
- 1.4.5 สามารถสกัดความสัมพันธ์ของข้อมูลได้มากกว่าร้อยละ 80

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

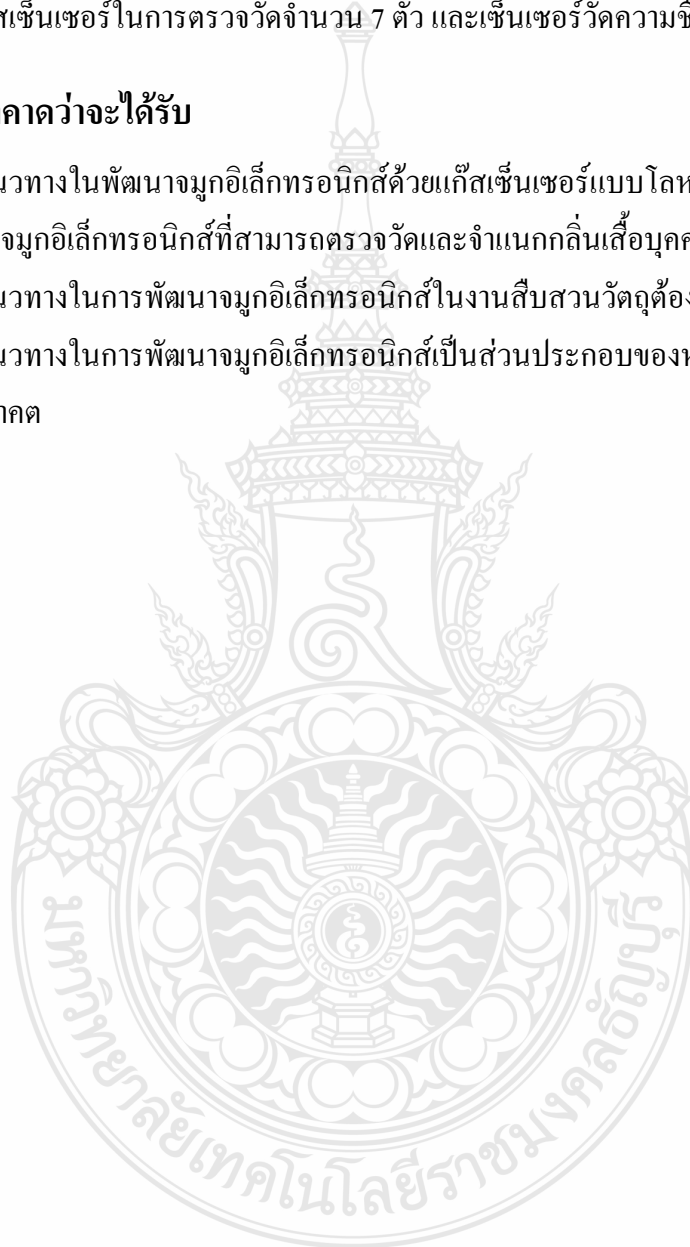
- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์
- 1.5.2 ศึกษาหลักการทำงานแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ
- 1.5.3 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB
- 1.5.4 ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก และการวิเคราะห์หมัลติปีลดิสคริมิแนนต์
- 1.5.5 ทำการออกแบบและสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แก๊สเซ็นเซอร์หลายชนิดมาต่อรวมกันแบบอาร์เรย์
- 1.5.6 ทำการทดลองดมกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครหลังการออกกำลังกาย
- 1.5.7 ทำการประมวลผลการทดลองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์หมัลติปีลดิสคริมิแนนต์จำแนกกลิ่นเสื้อของอาสาสมัคร

## 1.6 ข้อกำหนดของการศึกษา

- 1.6.1 ใช้อาสาสมัครเข้าร่วมการทดลองอย่างน้อย 4 คน โดยทุกคนมีการดำเนินชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกัน
- 1.6.2 เสื้อของอาสาสมัครที่ใช้ในการทดลองผ่านการใส่ออกกำลังกาย
- 1.6.3 ใช้ชนิดของแก๊สพาทที่เป็นไนโตรเจน
- 1.6.4 ใช้แก๊สเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดจำนวน 7 ตัว และเซ็นเซอร์วัดความชื้น 1 ตัว

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 เป็นแนวทางในพัฒนาจุกอเล็กทรอนิกส์ด้วยแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์
- 1.7.2 พัฒนาจุกอเล็กทรอนิกส์ที่สามารถตรวจวัดและจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคลได้
- 1.7.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาจุกอเล็กทรอนิกส์ในงานสืบสวนวัตถุต้องสงสัยในอนาคต
- 1.7.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาจุกอเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบของหุ่นยนต์เพื่อดมกลิ่นในอนาคต



## บทที่ 2

# งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 คำนำ

งานวิจัยนี้ศึกษาการทำงานและออกแบบจุ่มกึ่งอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้จำแนกกลิ่นเสื้อของบุคคลโดยอาศัยการทำงานของเซ็นเซอร์แก๊สหลายชนิดมาต่อรวมกันแบบอาร์เรย์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเซ็นเซอร์แก๊สและเทคนิคการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์อีกทั้งต้องศึกษางานวิจัยที่มีผู้ค้นคว้าไว้แล้วมาช่วยในการพัฒนางานวิจัย ซึ่งจะทำได้ผลการวิจัยที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในอนาคต

### 2.2 ธรรมชาติของแก๊สและคุณสมบัติทั่วไป

ธรรมชาติของแก๊สได้ถูกค้นพบมาเป็นเวลากว่า 300 ปีแล้ว พบว่า อากาศที่ไม่มีมลภาวะที่ระดับน้ำทะเลจะมีแก๊ส (หรือธาตุ) ต่าง ๆ มากมาย ดังตารางที่ 9.1 ซึ่งพบว่าจะมีไนโตรเจน ( $N_2$ ) อยู่ราว 78 % แก๊สออกซิเจน ( $O_2$ ) อยู่ประมาณ 21 % ที่เหลือเป็นแก๊สอาร์กอนส่วนใหญ่ราว 1 % และก็มีจำนวนของแก๊สต่าง ๆ เช่น  $CO_2$  และ  $H_2O$  (ในรูปของไอน้ำ) อยู่เล็กน้อย

#### 2.2.1 โมเลกุลและไอออน (Molecules and ions)

แก๊สที่มีสมบัติและจำนวนของอะตอมที่แน่นอนเฉพาะตัว จะเรียกว่า “โมเลกุล” ทั้งอะตอมเดี่ยวและโมเลกุลที่สามารถได้รับอนุภาคจากตัวอื่นหรือเปลี่ยนไปเป็นอนุภาคอื่น เราเรียกว่า “ไอออน”

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซนต์ปริมาตรของแก๊สหลาย ๆ ตัวในอากาศ สะอาดและแห้ง

แก๊ส	เปอร์เซ็นต์ปริมาตร	แก๊ส	เปอร์เซ็นต์ปริมาตร	แก๊ส	เปอร์เซ็นต์ปริมาตร
$N_2$	78.09	$CH_4$	0.00015	$O_3$	0.000002
$O_2$	20.94	Kr	0.0001	$NH_3$	0.000002
Ar	0.93	$H_2$	0.00005	$NO_2$	0.00001
$CO_2$	0.032	$N_2O$	0.000025	$SO_2$	0.00000002
Ne	0.0018	CO	0.00001		
He	0.00052	Xe	0.000008		

#### ก. สูตรเคมี (Chemical formulas)

สารประกอบทางเคมีของธาตุต่าง ๆ ปกติจะแสดงในรูปสั้น ๆ ที่เรียกว่า “สูตรเคมี” สูตรเคมีนั้นมีสองอย่างด้วยกัน อย่างแรกคือ “สูตรลัด” ประกอบด้วยอัตราส่วนอย่างง่ายของอะตอม หรือ

จำนวนตัวเลขน้อยที่สุดที่สามารถเขียนได้อย่างที่สองคือ “สูตรโมเลกุล” ประกอบด้วยจำนวนตัวเลขที่แน่นอนของอะตอมในโมเลกุล เช่น น้ำจะมีทั้งสูตรโมเลกุลและสูตรลัดเหมือนกันคือ  $H_2O$  แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีสูตรลัดเป็น HO และมีสูตรโมเลกุลเป็น  $H_2O_2$  เมื่อต้องการบอกความหมายจะใช้สูตรโมเลกุล เพราะสูตรโมเลกุลจะบอกทั้งอัตราส่วนของอะตอมและจำนวนจริงของอะตอม ในการแสดงสถานะทางกายภาพก็จะใช้ g, l และ s เพื่อแสดงว่าอยู่ในสถานะแก๊สของเหลวและของแข็ง ตามลำดับ แต่หากมีตัวย่อเป็น aq (aqueous) จะหมายถึงสารที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ จะเขียนได้เป็น  $CO_{2(aq)}$

ตารางที่ 2.2 สูตรลัดและสูตรเคมีของธาตุบางธาตุ

สาร	สูตรลัด	สูตรโมเลกุล
น้ำ	$H_2O$	$H_2O$
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	HO	$H_2O_2$
ซิลิคอนไดออกไซด์	$SiO_2$	$(SiO_2)_2$
อีธีลีน	$CH_2$	$C_2H_4$
ไซโคลเฮกเซน	$CH_2$	$C_6H_{12}$
กรดโอซาลิก	$HCO_2$	$H_2C_2O_4$

#### ข. โมเลกุล (Molecules)

คือ อะตอมจำนวนหนึ่งที่อยู่ติดกันเป็นอนุภาคเล็กที่สุดของสารที่รักษาส่วนประกอบและคุณสมบัติของสารนั้นไว้ โมเลกุลจึงเป็นการรวมตัวทางเคมีของอะตอมหนึ่งตัวหรือมากกว่า ในรูปที่ 9.1 จะแสดงตัวอย่างของโมเลกุลบางตัว แต่แก๊สเฉื่อยซึ่งไม่รวมตัวกับธาตุใด ๆ จะไม่ใช่โมเลกุล เราจะเรียกอนุภาคที่เล็กที่สุดของแก๊สเฉื่อยว่า อะตอม พบว่าในอุณหภูมิสูง ๆ โมเลกุลจะแยกตัวออกจากกันอยู่ในรูปของอะตอม

#### ค. สารไอออน (Ionic substances)

นอกจากอะตอมและโมเลกุล ยังมีอนุภาคชนิดที่สามที่เกิดในสาร โดยเรียกอนุภาคนี้ว่า “ไอออน” ไอออนก็คือ อะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่สามารถนำประจุไฟฟ้าได้

#### 2.2.2 โมล (Mole)

สมมติว่ามีคลอรีนที่กั้นสระน้ำเราสามารถหาน้ำหนักอะตอมของส่วนประกอบคลอรีนซึ่งแยกได้ดังนี้ Ca เท่ากับ 40.08 amu , Cl เท่ากับ 35.453 amu แต่ก็ยังมีปัญหาตรงที่เราใช้น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล และน้ำหนักของสูตรเคมี เพื่อเปรียบเทียบมวลของสาร ในห้องทดลองส่วนมากจะใช้หน่วยวัดกรัมเพื่อวัดน้ำหนักมากกว่า amu (atom mass unit) แต่หากต้องการรู้จำนวน

อะตอมของสารเราจะทราบได้อย่างไรพิจารณาชั้นชาที่มีน้ำอยู่เต็ม เราพบว่าจะมีโมเลกุลของน้ำจำนวนมากมายที่อยู่ (ประมาณ  $1.7 \times 10^{23}$ ) สมมติว่าต้องการวัดน้ำในมหาสมุทรบนโลกทั้งหมด การวัดด้วยจำนวนดังกล่าวจึงมากและทอะทะ จึงต้องใช้วิธีในการวัดจำนวนสารที่มากกว่าจำนวนของหน่วยสูตรเคมีหรือสูตรโมเลกุล (ในทางปฏิบัติเรานับไขเป็นหน่วยโหล กระดาษเป็นริม หรือ 500 แผ่น ที่คลิบ กระดาษเป็นกรุส หรือ 144 อัน ทำให้ง่ายต่อการนับจำนวนของมากกว่าจะนับเป็นอัน) เพื่อหลีกเลี่ยงการนับจำนวนที่มากเกินไปเมื่อทำการวัดสาร เราจึงใช้หน่วยที่เรียกว่า “โมล” โดยหนึ่งโมลประกอบไปด้วย  $6.022 \times 10^{23}$  อะตอมโมเลกุล หรือหน่วยของสูตรเคมี ในการกำหนดค่านี้จะเรียกว่า “จำนวนอะโวกาโดร” ซึ่งเราจะได้ยินบ่อย ๆ ในงานที่เกี่ยวข้องกับการวัดสาร หรือจำนวนอะตอมหรือโมเลกุล

### 2.2.3 กฎการรั่วไหลและการแพร่กระจายของแกรแฮม

การเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊สตรวจจับได้สองวิธีด้วยกัน

#### ก. การรั่วซึม (Effusion)

คือ การผ่านของแก๊สที่สามารถผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรู เช่นลูกโป่งที่บรรจุฮีเลียมเมื่อตั้งไว้นานจะมีขนาดไม่เท่าเดิมเนื่องจากมีฮีเลียมบางส่วนที่เล็ดลอดออกไปจากโครงสร้างธรรมชาติของยางที่ใช้ทำ

#### ข. การแพร่กระจาย (Diffusion)

หากมีใครก็ตามที่สามารถดมหรือรับรู้กลิ่นของฮีเลียมที่รั่วไหลออกมาจากข้อแรกได้ นั่นก็คือ เกิดการแพร่กระจายของแก๊สนั่นเอง อัตราการรั่วไหลและการแพร่กระจาย โมเลกุลของแก๊สที่แตกต่างกันจะเคลื่อนที่ที่อัตราแตกต่างกัน โมเลกุลที่เบากว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลที่หนักกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่า แก๊สไฮโดรเจนที่บรรจุในลูกโป่งจะเล็ดลอดออกมาได้เร็วกว่าแก๊สฮีเลียมและ เล็ดลอดออกมาได้เร็วกว่าแก๊สไนโตรเจน

กฎของแกรแฮม กล่าวว่า การรั่วไหลของแก๊สจะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์ ตามกฎของแกรแฮม อัตราการรั่วไหล ( $r$ ) ของแก๊สสองตัวที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะสัมพันธ์กันดังสมการที่ (2.1)

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{MM_2}}{\sqrt{MM_1}} \quad (2.1)$$

## 2.3 แก๊สที่มีความสำคัญต่อมนุษย์

ก่อนที่จะทำการวัดหรือตรวจจับแก๊ส ต้องมีความเข้าใจคุณสมบัติและความสำคัญของแก๊สที่จะตรวจวัดก่อน ต่อไปนี้จะเป็นตัวอย่างแก๊สที่มีความสำคัญ ซึ่งมีผลทั้งตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์

### 2.3.1 ออกซิเจน (Oxygen)

ออกซิเจน เป็นธาตุที่มีอยู่มากบริเวณเปลือกโลก แม้กระทั่งน้ำประกอบด้วยออกซิเจนถึง 88.9 % ของมวล แร่ส่วนใหญ่ก็ประกอบด้วยออกซิเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกซิเจน ซึ่งเมื่อรวมกับธาตุอื่น ๆ แล้วก่อให้เกิดรูปสารประกอบใหม่ที่เรียกว่า “ออกไซด์” แก๊สออกไซด์ได้แก่  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{F}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}$ ,  $\text{ClO}_2$  และ  $\text{Cl}_2\text{O}$  (อยู่ที่ตำแหน่งด้านขวาบนของตารางธาตุ) ออกซิเจนในอากาศจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ตัวมันเองจะไม่ติดไฟ แต่ช่วยให้ไฟติด ออกซิเจนในเชิงพาณิชย์ทำได้โดยการกลั่นจากอากาศแต่ก็มีจำนวนน้อย หรือไม่ก็หาจากสถานะที่บริสุทธิ์มากนั่นคือ การแยกด้วยไฟฟ้าของสัลเฟตที่เป็นของเหลว หรือโดยการใช้ความร้อนแยกเกลือออกไซด์ (Oxide salt)

บทบาทของออกซิเจนต่อความปลอดภัยของมนุษย์มีตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน เช่น ผลกระทบ atmospheric anoxia ที่ขาดออกซิเจนอันเนื่องจากการขึ้นไปที่สูง หรืออยู่ในที่ที่มีออกซิเจนน้อย เป็นต้น ตัวอย่างนี้คือ ภาวะในการขาดออกซิเจนเนื่องจากกลไกต่าง ๆ ของมนุษย์ นอกจากนี้อันตรายตรง ๆ จากออกซิเจนที่มีความเข้มข้นสูง อาจจะทำให้เกิดการลุกไหม้ไฟ จึงไม่ควรให้ออกซิเจนดังกล่าวอยู่ใกล้เปลวไฟใด ๆ หรือในทางการรักษาผู้ป่วยพบว่าการใช้ออกซิเจนที่มีความดันสูง อาจจะทำให้มีการชักได้ และเชื่อว่าออกซิเจนจะมีพิษต่อเอ็นไซม์ในสมอง นอกจากนี้ภาวะ Retrolental hyperplasia ในทารกซึ่งทำให้ตาบอด เป็นอาการแทรกซ้อนจากการรักษาด้วยออกซิเจนที่สำคัญด้วย ดังนั้น ในทางการพยาบาลจึงต้องมีการควบคุมความกดดันและความเข้มข้นของออกซิเจนตามความเหมาะสมของแต่ละกรณี ทั้งหมดเราคงพอจะเห็นความสำคัญของออกซิเจนที่มีผลต่อมนุษย์โดยตรงบ้างแล้ว ส่วนบทบาทของแก๊สออกซิเจนเบื้องต้นในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหล็ก งานเชื่อม งานรักษาลังแควดลุ่ม การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

### 2.3.2 แก๊สตระกูลคาร์บอน (Carbon species)

คาร์บอนมีอยู่ด้วยกันสองรูปที่เป็นแก๊สออกไซด์ซึ่งมีความเสถียร คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )

#### ก. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส นอกจากนี้มันยังมีพิษอีกด้วย เพราะว่ามันจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนในฮีโมโกลบิน (Hb) ในเส้นเลือดของมนุษย์ คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นฐานประมาณ 80% ของ CO ในบรรยากาศมาจากรถยนต์ ส่วนการใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น ใช้ลดออกซิเจนในการถลุงเหล็กจากแร่ เป็นต้น ระดับควบคุมการสัมผัสคาร์บอนมอนอกไซด์ในสถานประกอบการ ให้อยู่ในระดับ



ความเข้มข้นไม่เกิน 35 พีพีเอ็ม Time Weighted Average (TWA) โดยอาศัยการวัดด้วยเครื่องมือวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ชนิด hopcalite และระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผู้ปฏิบัติการสัมผัสต้องไม่เกิน 200 พีพีเอ็ม เป็นอันตราย ถ้าพบระดับสูงกว่านี้ต้องสั่งหยุดการทำงาน และเมื่อระดับเกิน 500 พีพีเอ็ม ให้รีบอพยพคนออกจากสถานที่นั้นโดยทันที

#### ข. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่ช่วยให้ติดไฟ  $\text{CO}_2$  เป็นแก๊สเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า  $-78^\circ\text{C}$  ที่ความดัน 1 atm  $\text{CO}_2$  จะเป็นของแข็งมากกว่าจะเป็นของเหลว  $\text{CO}_2$  เป็นผลมาจากการไหม้ที่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติหรือเชื้อเพลิงที่มีฐานของคาร์บอน  $\text{CO}_2$  เป็นแก๊สที่ช่วยในการดำรงชีพของมนุษย์ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มเบา ๆ และในเครื่องดับเพลิง ในมนุษย์ขณะที่สารอาหารในร่างกายไม่ทำงานผลผลิตของ  $\text{CO}_2$  บางส่วนจะช่วยให้ความเป็นกรดของเลือดเหมาะสม ความผิดปกติหนึ่งของกลไกการหายใจของมนุษย์คือ การสะอึก วิธีการรักษาคือ ให้หายใจเข้าออกถูกระบายเพื่อสร้างระดับ  $\text{CO}_2$  เข้าไปในปอด  $\text{CO}_2$  จะเข้าไปเป็นตัวกระตุ้นให้หยุดการสะอึก แต่หากมีระดับของ  $\text{CO}_2$  ในร่างกายสูงเกินไปก็ไม่มีประโยชน์ โดยหากหายใจ  $\text{CO}_2$  ในอากาศที่เกินกว่า 10% อาจทำให้คนหมดสติ และหากรับ  $\text{CO}_2$  ที่ระดับสูงต่อเนื่องไปอีก อาจทำให้การหายใจล้มเหลวและตายในที่สุด

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานสิ่งแวดล้อม ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกใช้เป็นตัวบอกระดับของอากาศในห้อง ถ้าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องมากเกินไป (อยู่ที่ระดับไม่เกิน 1000 ppm) จะทำให้รู้สึก “อึดอัดและอับ” คุณภาพของอากาศในห้องที่ไม่ดีเป็นเหตุให้เกิดอาการโรคอ่อนล้า สูญเสียสมาธิและเจ็บป่วยและเป็นเหตุให้เกิดความไม่สบาย หรืออีกหลายกรณีหากว่าการระบายอากาศเป็นไปอย่างไม่เหมาะสมความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ในระบบควบคุมการระบายอากาศตามความต้องการ DCV จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับระบบการจ่ายอากาศบริสุทธิ์ โดยการติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์  $\text{CO}_2$  ไว้กับที่ และต้องมีการตรวจสอบเกณฑ์ในการปรับด้วย

#### 2.3.3 มีเทน (Methane)

เป็นรูปแบบหนึ่งของสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนไฮโดรเจน (ไฮโดรคาร์บอน)เป็นส่วนประกอบ มีสูตรเคมีเป็น  $\text{CH}_4$  เกิดจากธรรมชาติจากการเน่าหมักหมมในหนองบึง หรือการสลายตัวของโปรตีน มีเทนเป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ แต่ติดไฟได้ ให้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับ อีเทน โพรเพน และบิวเทน

#### 2.3.4 เบนซีน (Benzene)

มีสูตรเคมี  $\text{C}_6\text{H}_6$  เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีกลิ่นและติดไฟง่าย เป็นพวกริงคอมปาวด์ ใช้ละลายไขมันและสารอินทรีย์ต่าง ๆ และใช้สังเคราะห์สารเคมีมากมายหลายชนิด

### 2.3.5 เมทานอลและอีธานอล (Methanol and ethanol)

#### ก. เมทานอล

เรียกอีกอย่างว่าแอลกอฮอล์ไม้ เมทิลแอลกอฮอล์ หรืออีคาร์บินอลเป็นของเหลวที่ไม่มีสี ติดไฟง่าย ผสมกับน้ำได้ดี เป็นพิษต่อประสาทโดยตรง กินไม่ได้ อาจทำให้ตาบอดได้ เมื่อเป็นของเหลวจะเดือดกลายเป็นไอที่  $65^{\circ}\text{C}$  เมทานอลใช้เป็นตัวทำละลายของสารอินทรีย์ต่าง ๆ และใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเบนซินได้เป็นตัวทำละลายวัสดุอินทรีย์เช่น เซลลูลอสและวานิช ใช้ทำพลาสติก กาวเรซิน และกรดอะเซติก

#### ข. อีธานอล

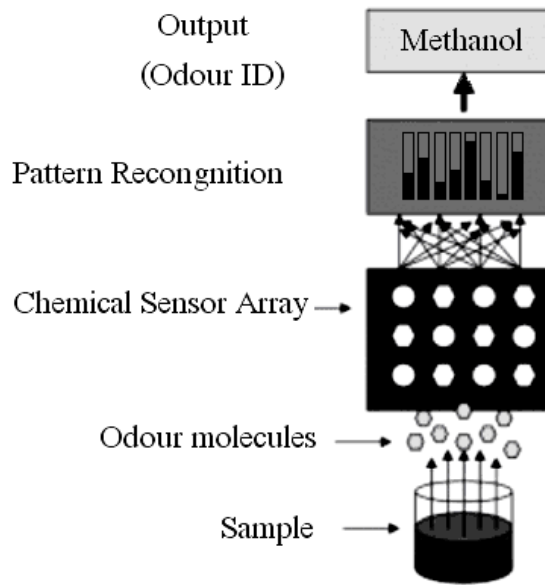
เรียกอีกอย่างว่าเอทิลแอลกอฮอล์ ระเหยกลายเป็นไอที่  $78^{\circ}\text{C}$  เป็นของเหลวที่ไม่มีสี ไม่ติดไฟไม่เป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากรับประทานเข้าไปมากๆ ใช้เป็นตัวทำละลายและเป็นตัวทำปฏิกิริยาในการเตรียมสารอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอีธานอล ได้แก่ การเจือจางในส่วนผสมของยาทำพลาสติก เหล้า แอลกอฮอล์และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงรถได้อีกด้วย โดยในแก๊สโซลีนจะผสมอีธานอลประมาณ 10% แอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์ 100% จะถูกเรียกว่า “แอลกอฮอล์สัมบูรณ์” (Absolute alcohol)

### 2.3.6 ไฮโดรเจน (Hydrogen)

ส่วนประกอบที่เห็นส่วนใหญ่ของไฮโดรเจนคือน้ำ พบอยู่ในน้ำมัน แก๊สธรรมชาติ ในอนาคตจะถูกนำมาใช้ทำเป็นเซลล์เชื้อเพลิง ไฮโดรเจนมีอยู่ที่อุณหภูมิห้องแต่สามารถจะเปลี่ยนไปเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง ปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจนสามารถนำมาทำเป็นเซลล์เชื้อเพลิงได้ไฮโดรเจนนั้นสามารถถูกคิดไฟได้ง่าย และได้รับความเชื่อใจให้ถูกเลือกเป็นเชื้อเพลิงในอนาคตสำหรับรถยนต์และอากาศยาน ปฏิกิริยาของมันจะทำให้ผลิตน้ำออกมา เป็นผลให้ไม่เกิดมลภาวะ

## 2.4 การทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์

การทำงานของจมูกมนุษย์ก็มีข้อจำกัดอยู่ตรงที่ความสามารถของแต่ละคนไม่เหมือนกันหรือไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการตรวจสอบ รวมถึงความเหนื่อยล้าของสมองทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย และสารเคมีที่มีกลิ่นทั้งหลายเป็นสารระเหยที่มีอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาแทนที่การทำงานของมนุษย์ในส่วนนี้ ลักษณะของจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะมีโครงสร้างเหมือนกับการทำงานของจมูกมนุษย์ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.5 [1] ส่วน Chemical sensor array ทำหน้าที่รับกลิ่นไอของสารเคมี และส่วนของ Pattern recognition system ทำหน้าที่แยกแยะชนิดของสารเคมี

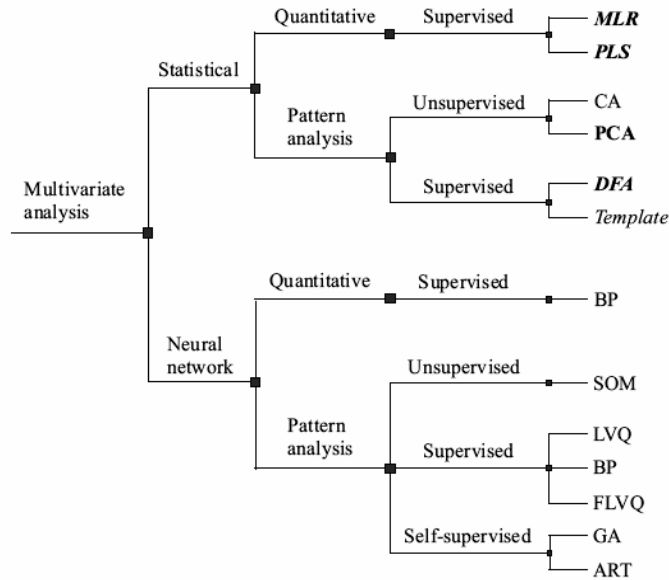


รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [1]

จมูกอิเล็กทรอนิกส์จะพยายามเลียนแบบธรรมชาติในแทบทุกด้าน ยกตัวอย่าง เวลาที่เราดมกลิ่นอะไรนานๆ จะเกิดความเคยชินและอาจไม่รู้สึกลึกลับกลิ่นนั้นๆ ในระยะเวลาหนึ่ง เช่น ถ้าเราเดินเข้าไปในห้องที่มีกลิ่นสีแล้วนั่งอยู่สักพัก เราก็จะเริ่มไม่ได้กลิ่นสี แต่ถ้าเราเดินออกมาสูดอากาศข้างนอกสักพักแล้วเดินกลับเข้าไปใหม่เราก็จะได้กลิ่นสีอีก จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีอาการเช่นเดียวกัน ถ้าเราเอามันมาดมกลิ่นทุเรียนแล้วเอาไปดมกลิ่นไวน์ทันที มันก็จะอาจจะไม่สามารถรับรู้กลิ่นไวน์ได้ดี เนื่องจากโมเลกุลกลิ่นทุเรียนได้เข้าไปจับตัวเซ็นเซอร์ทำให้เซ็นเซอร์ไม่สามารถจับกับโมเลกุลกลิ่นอื่นๆ ที่เข้ามาใหม่ได้ จึงต้องมีการไล่กลิ่นเดิมออกไปด้วยการเป่าอากาศเข้าไปที่ตัวเซ็นเซอร์ นอกจากนี้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็เหมือนจมูกมนุษย์ที่ต้องการการเรียนรู้ ตอนที่เรากัดมานั้นเราแทบไม่มีข้อมูลของกลิ่นอยู่เลยในสมองของเรา เราต้องเรียนรู้ตั้งแต่เด็กๆ ว่าทุเรียนมีกลิ่นอย่างไร สตรอเบอรี่มีกลิ่นอย่างไร จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็เช่นเดียวกันที่ต้องการการฝึกฝน เพื่อให้สามารถจดจำแยกแยะกลิ่นได้

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีลักษณะที่เลียนแบบระบบรับรู้กลิ่นในธรรมชาติดังนี้ ส่วนรับกลิ่นประกอบไปด้วยตัวนำกลิ่นเข้ามาซึ่งอาจมีมอเตอร์ดูดอากาศ มีท่อรวบรวมกลิ่น (Concentrator) เพื่อให้กลิ่นมีความเข้มข้นสูงขึ้นและที่สำคัญที่สุดก็คือ เซ็นเซอร์รับกลิ่นจำนวนมาก ตั้งแต่ 4 ตัวไปจนถึงนับพันตัว ซึ่งหากจะเปรียบเทียบกับธรรมชาติก็ถือว่าน้อยมาก เช่น สุนัขอาจมีเซลล์รับกลิ่นนับล้านเซลล์ และ ส่วนรวบรวมสัญญาณ ซึ่งจะทำการแปรสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Transducing) และทำการจัดการสัญญาณ (Signal conditioning) เช่น ลดสัญญาณรบกวน จากนั้นก็จะแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล (A/D converter) สุดท้ายเป็นส่วนประมวลผลซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้รับมาทำการ

เปรียบเทียบเชิงสถิติกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม ซึ่งอาจจะใช้วิธีทางสถิติหรือการระบบประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อทำการแยกแยะกลิ่น ซึ่งเทคนิคต่างๆ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล [2] ที่ได้จากจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [2]

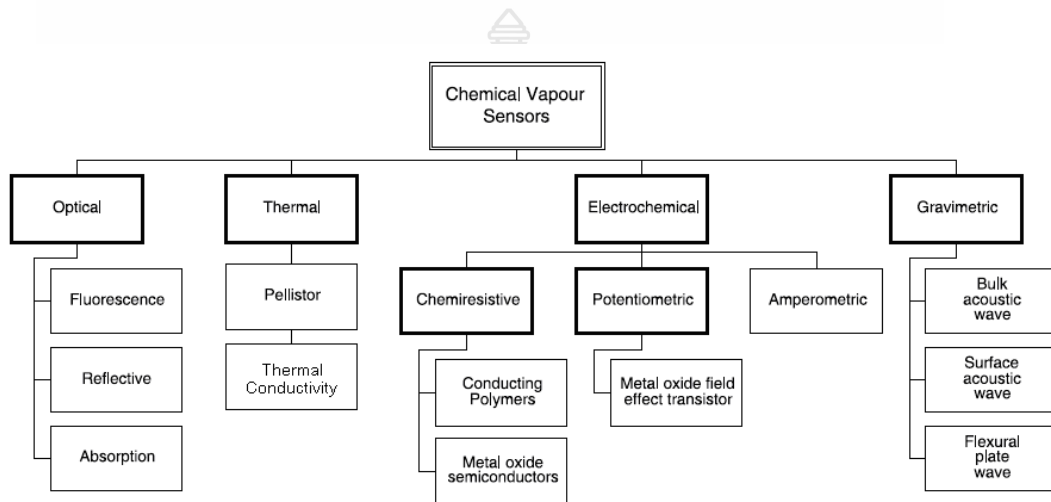
วิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์มี 2 วิธีใหญ่ๆ คือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทดังรูปที่ 2.48 โดยทั้งสองวิธีการจะแยกเป็นการวิเคราะห์ย่อยอีก 2 ลักษณะคือการวัดปริมาณ (Quantitative) และการวิเคราะห์ชนิดโดยการวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล (Pattern analysis)

## 2.5 เซ็นเซอร์รับกลิ่น

ตัวรับกลิ่นหรือเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สุดของทั้งจมูกอิเล็กทรอนิกส์และจมูกธรรมชาติ สำหรับจมูกธรรมชาตินั้นเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็นโมเลกุลโปรตีนที่ฝังตัวอยู่ในเมมเบรน ซึ่งแม้จะมีสูตรทางเคมีต่างกัน (ลำดับกรดอะมิโนในโครงสร้างแปรผันไปต่างๆ กัน) แต่ก็เชื่อว่าจะมีโครงสร้างที่คล้ายๆกัน กล่าวคือเป็นโปรตีนที่มีสายโซ่พันข้ามไปมา (Tran membrane) ระหว่างผิวด้านในและด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์จำนวนประมาณ 7 รอบ ถึงแม้เซ็นเซอร์ที่มีรูปร่างเดิมแต่การแปรผันลำดับกรดอะมิโนในสายโซ่เหล่านั้นสามารถทำให้เซ็นเซอร์เหล่านั้นเกิดความหลากหลายในการจับกับโมเลกุลกลิ่นได้จำนวนมากนับหมื่นๆชนิดขึ้นไป ความหลากหลายในการจับตัวกับโมเลกุลกลิ่นนี้ประกอบกับการมีส่วนประมวลผลที่ดีขึ้น (สมองส่วนรับรู้และจดจำกลิ่น) ใดๆก็ดีโมเลกุล

รับกลิ่นของสัตว์เลี้ยวถูกด้วยนมก็ยังมีขีดจำกัดหลายประการ เช่น มันไม่สามารถตรวจพบแก๊สพิษ โมเลกุลเล็กอย่างคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งมีอันตรายถึงตายได้

นอกจากนั้นมันยังไม่สามารถจับตัวกับโมเลกุลกลิ่นที่มีขนาดใหญ่เกิน 300 ดาลตัน (1 Dalton เท่ากับน้ำหนักอะตอมไฮโดรเจน) ทำให้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีข้อได้เปรียบเหนือจมูกสัตว์เลี้ยวถูกด้วยนมสำหรับการใช้งานหลายๆด้าน



รูปที่ 2.3 ชนิดของเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [3]

เซ็นเซอร์รับกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีหลักการง่ายๆคือเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติซึ่งอาจเป็นสมบัติทางแสง สมบัติทางไฟฟ้า เมื่อมีโมเลกุลกลิ่นมาเกาะ ปัจจุบันมีการค้นคว้าวิจัยเซ็นเซอร์รับกลิ่นประเภทต่างๆขึ้นมามากมายเซ็นเซอร์ที่ใช้การพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังรูปที่ 2.3 [3] ซึ่งแสดงชนิดของเซ็นเซอร์แบบต่างๆที่ใช้ในการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานของเซ็นเซอร์รับกลิ่นชนิดต่างๆ มีหลักการดังนี้

### 2.5.1 เซ็นเซอร์แบบแสง (Optical sensor)

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้เทคนิคทางแสง คือเซ็นเซอร์ที่อาศัยคุณสมบัติทางแสงต่อสารเคมีที่ต้องการตรวจวัด เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีข้อดีที่ความไวสูงสามารถวัดในระดับต่ำๆ ได้แต่มีความยุ่งยากในการออกแบบวงจรเพื่อนำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไปใช้งาน ซึ่งมีอยู่ด้วย 3 เทคนิคคือ

#### ก. การเรืองแสง (Fluorescence)

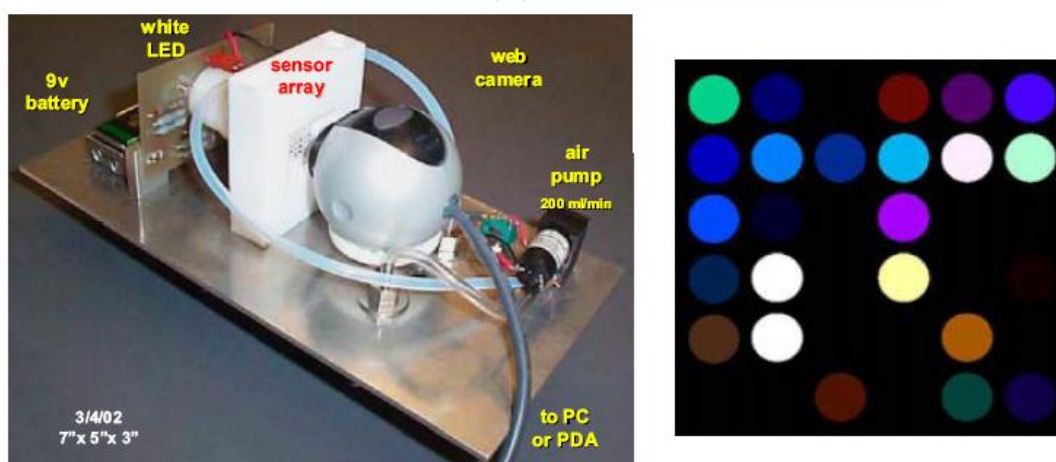
อาศัยคุณสมบัติการเรืองแสงออกมาในบางความยาวคลื่นแสงของตัวอย่างแล้วทำการตรวจวัดปริมาณแสงที่เกิดจากการเรืองแสง

#### ข. การหักเหแสง (Reflective)

อาศัยคุณสมบัติการหักเหของแสงของตัวอย่างแล้วทำการตรวจวัดแสงที่หักเหจากการผ่านตัวอย่าง

### ก. การดูดกลืนแสง (Absorption)

อาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นแสงในบางความยาวของตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดแล้วทำการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ งานวิจัยที่เกี่ยวกับเซ็นเซอร์แบบแสงกำลังอยู่ในขั้นวิจัย ดังเช่นในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่อยู่บนพื้นฐานของเซ็นเซอร์แบบแสง เมื่อตัวอย่างผ่านชุดเซ็นเซอร์ อาร์เรย์คุณสมบัติของตัวอย่างจะทำการดูดกลืนแสงในช่วงความถี่ทำให้สีของเซ็นเซอร์ตำแหน่งต่างๆของเซ็นเซอร์อาร์เรย์มีค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงไป จากนั้นทำการตรวจวัดแสงที่เปลี่ยนแปลงด้วยกล้อง CCD ซึ่งจะได้ข้อมูลเป็นสีที่เปลี่ยนไป เมื่อทำการตรวจวัดสารเคมีที่ต่างชนิดกันก็จะได้รูปแบบของสีที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์แตกต่างกันไป



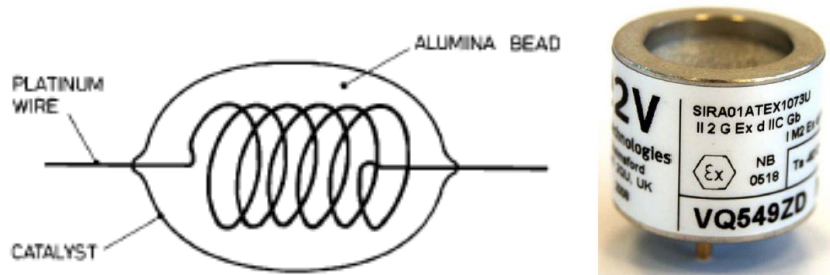
รูปที่ 2.4 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีที่ใช้กล้อง CCD ทำการตรวจวัดแสงสีที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบ Different substituted metalloporphyrins [2]

### 2.5.2 เซ็นเซอร์แบบความร้อน (Thermal Sensor)

Thermal Sensor สำหรับรับคลื่นมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.5 เซ็นเซอร์แบบ Thermal sensor มีข้อดีที่ใช้งานง่ายและสามารถวัดได้ในระดับต่ำ แต่ต้องมีการควบคุมการรบกวนทำงานจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ เซ็นเซอร์แบบนี้มี 2 ชนิด คือ

#### ก. Pellistor

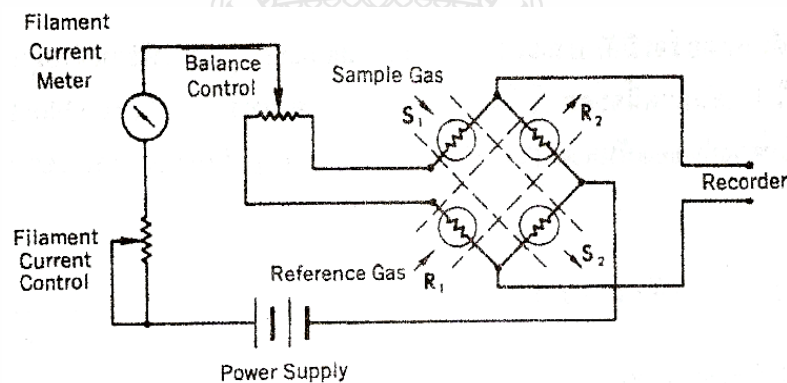
เซ็นเซอร์แบบ Pellistor ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ใช้สำหรับตรวจจับแก๊สที่ติดไฟง่าย หรือที่มีความสามารถในการนำพาความร้อน (Thermal conductivity) แตกต่างจากอากาศ ค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อตรวจพบแก๊สต่างชนิดไปจากอากาศมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Pellistor [4]

### ข. Thermal Conductivity

เซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity มีโครงสร้างและหลักการทำงานเหมือนเซ็นเซอร์แบบ Pellistor แต่ทำมาจากเส้นลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทาน เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกันอยู่เป็นวงจรบริดจ์ โดยอาศัยหลักการนำพาความร้อนเปรียบเทียบกับแก๊สชนิดใดชนิดหนึ่งดังรูปที่ 2.6 ซึ่งเมื่อมีแก๊สตัวอย่างเข้ามาจะทำให้วงจรบริดจ์ไม่สมดุลก็จะสามารถตรวจจับแก๊สตัวอย่างได้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity [5]

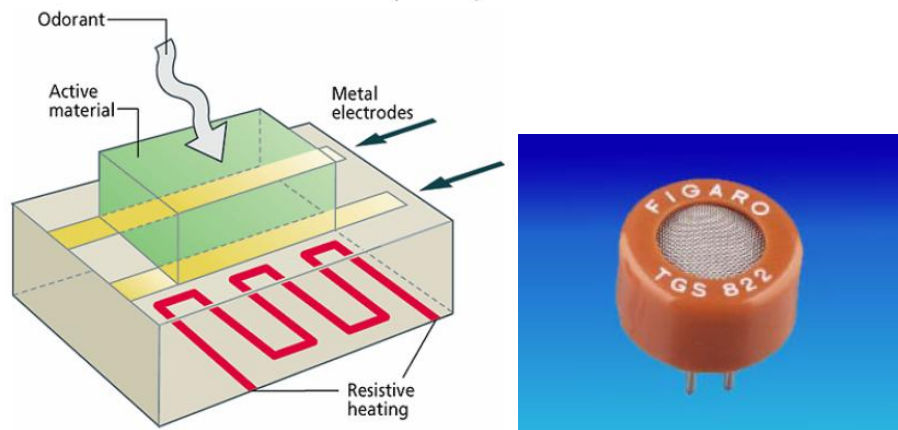
### 2.5.3 เซ็นเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Sensor)

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้เทคนิค Electrochemical หรือ ไฟฟ้าเคมี มีข้อดีที่การออกแบบวงจรเพื่อนำไปใช้งานทำได้ง่าย มีด้วยกัน 3 เทคนิค คือ

#### ก. Chemical resistive

เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ได้รับความนิยมสูงที่สุดเนื่องจากเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor) หรือ MOS มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 ซึ่งมีการนำมาใช้เชิงพาณิชย์ทั่วไป ค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแก๊สตัวอย่างมาเกาะที่ตัวเซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์ประเภทนี้จะมีการใช้งานเชิงพาณิชย์แล้ว อีกทั้งยังมีราคาที่ย่อมเยา

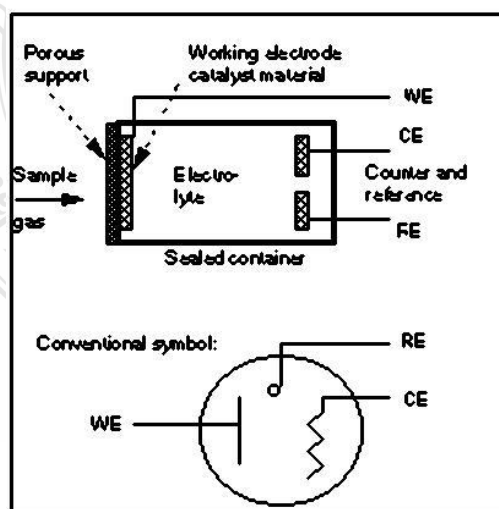
## Metal Oxide Semiconductors (MOS)



รูปที่ 2.7 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor [1][6]

### บ. Amperometric

อาศัยคุณสมบัติโครงสร้างของ Amperometric แสดงดังรูปที่ 2.8 ขั้วอิเล็กโทรดจะถูกจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เหมาะสม ขั้วอิเล็กโทรดทำงาน (Working electrode) ทำมาจากแพลตทินัม (Platinum) หรือทอง ตัวอย่างแก๊สจะสามารถผ่านเมมเบรน (Membrane) มาได้ ซึ่งจะสัมผัสกับขั้วอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์ในเวลาเดียวกัน จึงทำให้เกิดการออกซิไดซ์ขึ้นซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดความแตกต่างขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า Counter Electrode (CE) และ Reference Electrode (RE) ซึ่งความแตกต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองทำให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์นั่นเอง

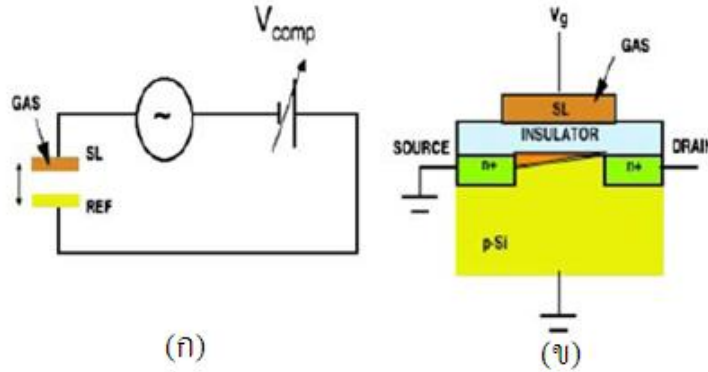


รูปที่ 2.8 เซ็นเซอร์แบบ Amperometric [7]



### ก. Potentiometric

เซ็นเซอร์แบบ potentiometric เป็นเซ็นเซอร์ทางเคมีชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับวัดปริมาณความเข้มข้นขององค์ประกอบแก๊ส มีหลักการทำงานโดยการวัด Electrical potential ของ electrode ระหว่าง working electrode กับ reference electrode ซึ่ง potential ของ working electrode จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สที่ทำการตรวจวัด ตัวเซ็นเซอร์มีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 (ก) Potentiometric แบบ Vibrating capacitor (Kelvin probe)

(ข) Potentiometric แบบ Insulated gate field-effect transistor [8]

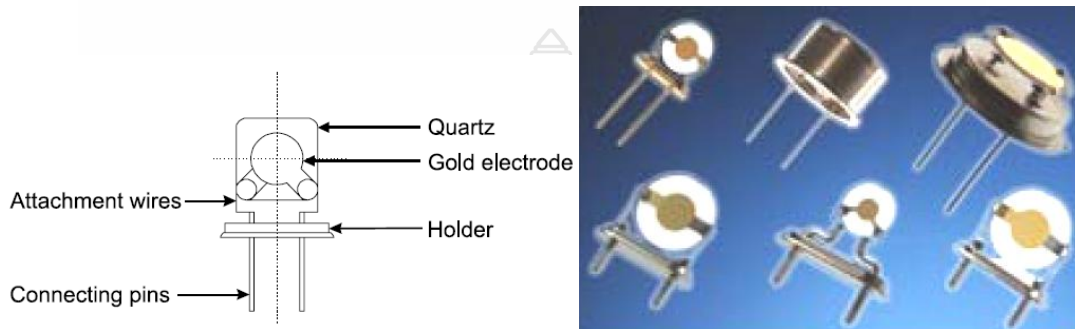
### 2.5.4 เซ็นเซอร์แบบวัดน้ำหนัก (Gravimetric)

เซ็นเซอร์รับคลื่นที่ใช้เทคนิค Gravimetric คือเซ็นเซอร์ที่วัดตัวอย่างโดยใช้เทคนิคน้ำหนักของตัวอย่างทำให้ค่าทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เปลี่ยนแปลงไป เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีข้อดีที่สามารถตรวจวัดได้ในระดับต่ำ แต่การออกแบบวงจรการทำงานค่อนข้างซับซ้อน ที่ใช้งานกันมีดังต่อไปนี้

#### ก. Bulk Acoustic Wave

เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave (BAW) มีโครงสร้างแบบ Piezoelectric crystals มักทำจากควอตซ์ (Quartz) ซึ่งมีความทนทานต่อเสียงก้องของคลื่นวิทยุได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะเมื่อยามที่มีการเพิ่มระดับของคลื่นเสียงภายในตัว Crystal ตามปกติชนิดของ Crystal ที่ใช้ในเครื่องนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่หรือเวลาที่ใช้อ้างอิง Piezoelectric crystals นี้จะถูกเคลือบด้วยตัวเคลือบที่ไวสูงโดยมีความหนาประมาณ 2-3 ไมโครเมตร ซึ่งตัวเคลือบที่ใช้จะต้องมีความทนต่อสารเคมีและความร้อนปกติแล้ว Piezoelectric crystals จะมีหลักการทำงานง่าย ๆ คือ เมื่อปัจจัย ต่างๆ เช่น อุณหภูมิหรือมวลของสารประกอบคลื่นที่ทดสอบ เกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ความถี่ของคลื่นเสียงที่ตอบสนองเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสารประกอบคลื่นถูกดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของตัวเคลือบก่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่างๆ อีกทั้งระดับของความถี่สะท้อนก็เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงทั้งความถี่และระดับของความถี่สะท้อนล้วนมีสัมพันธ์กับน้ำหนักของสารประกอบคลื่นต่างๆ แต่ถึงอย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นสูง ๆ การเปลี่ยนแปลงจะสวนทางกับระดับของความถี่สะท้อนจึงมีความจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นในการทดสอบแทน ความไวของตัวเซ็นเซอร์ชนิดนี้สัมพันธ์

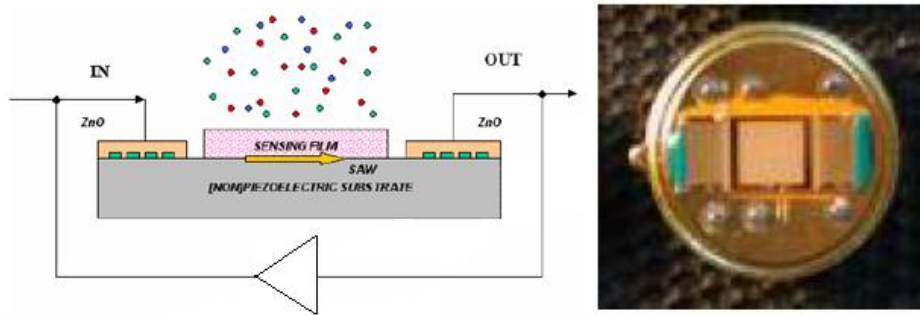
กับกระบวนการให้ความถี่ โดยทั่วไปจะให้ความถี่ในช่วง 10 ถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนมากจะใช้ในการวัดความจำเพาะของแก๊สและวิธีเลือกใช้นั้นจะขึ้นกับจำนวนองค์ประกอบของสารประกอบคลื่นการใช้เซ็นเซอร์ ชนิดนี้จึงยากในการควบคุมไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิหรือความชื้นของแก๊สเองก็ตาม โครงสร้างและลักษณะของเซ็นเซอร์แบบ Bulk acoustic wave แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave [1] [9]

#### ข. Surface Acoustic Wave

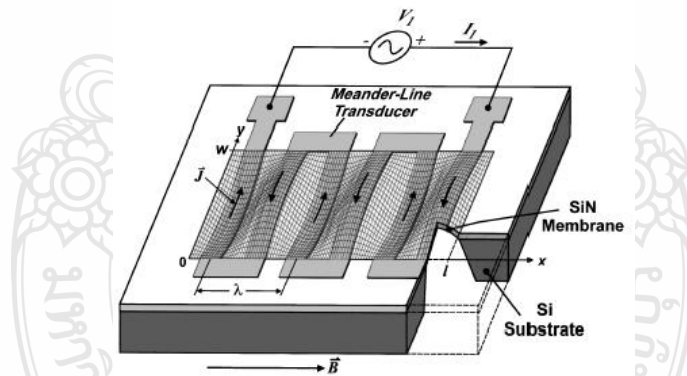
เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave (SAW) กระบวนการทำงานจะคล้ายๆ กับเซ็นเซอร์ BAW เว้นแต่เซ็นเซอร์แบบ SAW จะมีการเปลี่ยนแปลงคลื่นความถี่วิทยุจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงจากสนามไฟฟ้า สร้างขั้วไฟฟ้าที่บริเวณผิวหน้าของเซ็นเซอร์ และจะไม่เข้าไปข้างใน การให้ความถี่ในช่วงตั้งแต่ 100-1000 เมกะเฮิร์ตซ์ สื่อนำของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยเข้าร่วมในการดูดซับโมเลกุลของตัวอย่างบนตัวเซ็นเซอร์ด้วย การเปลี่ยนแปลงความถี่จะสัมพันธ์กับจำนวนของการดูดซับของตัวอย่างที่บนชั้นผิวหน้าของเซ็นเซอร์ในส่วนของตัวเซ็นเซอร์ซึ่งมักจะทำจากควอตซ์ (Quartz) หรือลิเทียม (Lithium) มักจะเคลือบโดยตัวเคลือบ 2 ชนิด ซึ่งมักจะทำจากอลูมิเนียม โดยมีคุณสมบัติในการแพร่และการสะท้อนคลื่น โดยชนิดแรกใช้ในการเป็นตัวเซ็นเซอร์และอีกชนิดหนึ่งจะใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยในระบบของตัวอ้างอิงของตัวเซ็นเซอร์ชนิดนี้จะคล้ายกับการเปลี่ยนรูปของสารซิลิโคน ความไวของ Sensor ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการของการให้คลื่นความถี่ คือ ความถี่ของคลื่นเสียงที่ใช้ต้องมีความถี่สูงและมีความสัมพันธ์ของสัญญาณไฟฟ้า สำหรับการผลิตเซ็นเซอร์ชนิดนี้นั้นจะใช้สารซิลิโคน (Silicon) ที่มีราคาแพง เพราะว่าจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการที่มีความถี่สูงมาก เพราะในการผลิตแต่ละครั้งต้องมีการควบคุมเพื่อให้ในกระบวนการมีความผิดพลาดของผลผลิตน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โครงสร้างและลักษณะเซ็นเซอร์แบบ SAW ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave [1] [10]

ค. Flexural plate wave

เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave มีโครงสร้างคล้ายกับเซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave และมีหลักการทำงานที่คล้ายๆกัน ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.12 ซึ่งอาศัยความถี่รีโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์ ซึ่งเมื่อจ่ายความถี่ให้กับเซ็นเซอร์จะทำให้เซ็นเซอร์เกิดการตอบสนองในลักษณะการเกิดคลื่นผิวที่ความถี่หนึ่งขึ้น เมื่อมีตัวอย่างเข้ามาจะทำให้คลื่นผิวเปลี่ยนความถี่ไปทำให้เกิดเป็นสัญญาณอีกความถี่ขึ้นมาเมื่อขับตัวอย่างแก๊สออกไปเซ็นเซอร์ก็จะกลับมาเกิดคลื่นผิวที่ความถี่เดิม



รูปที่ 2.12 เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave [11]

2.6 เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์ชนิดนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นในปี 1971 โดยนายทาคุชิ ในทางอุตสาหกรรมนั้นจะทำจากเซรามิกและมีการเคลือบด้วยฟิล์มกึ่งตัวนำ ซึ่งใช้ติบูกออกไซด์เป็นตัวเคลือบ ตัวฟิล์มนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้โลหะเปลี่ยนไปเป็นสเปกตรัม (Spectrum) เพื่อให้ง่ายต่อการแยกชนิดของสารประกอบเคมีแต่ละสารที่มีในกลิ่นทดสอบ ปัจจุบันได้พัฒนาให้เซ็นเซอร์ชนิดนี้สามารถทำตรวจสอบได้ในที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-400 องศาเซลเซียส ดังนั้นชนิดของตัวเซ็นเซอร์แต่ละตัวที่ใช้ในเครื่องควรมีความไว

ในการทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีแต่ละตัวที่ไม่เท่ากันทั้งนี้เพื่อที่จะได้ครอบคลุมสารเคมีชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นที่ทดสอบ และในที่สุดสามารถที่จะจำแนกชนิดของกลิ่น โดยหลักการแล้วผลตอบสนองทางเคมีของกลิ่นที่มีต่อเซ็นเซอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากเซ็นเซอร์รับกลิ่นแบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์หรือเรียกสั้นๆว่าเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์แบบนี้เป็นเซ็นเซอร์ที่ได้รับคามนิยมสูงที่สุด เพราะว่ามีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดนี้มาหลายๆแบบตามแต่ความต้องการ วัสดุ MOS อยู่ในรูปผลึกเล็กๆจำนวนมากที่มีผิวสัมผัสต่อกัน โดยในการนำไฟฟ้าผ่านอิเล็กตรอนก็จะต้องวิ่งข้ามไปมาระหว่างผิวสัมผัสเหล่านั้นซึ่งมักจะถูกเคลือบบางๆด้วยชั้นของแก๊สออกซิเจนซึ่งก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานไฟฟ้าที่ทำให้อิเล็กตรอนข้ามไปมาได้ลำบากยิ่งขึ้น แต่ถ้ามีแก๊สซึ่งมีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 200-500 องศา ก็จะทำให้ชั้นของออกซิเจนที่เคลือบอยู่นั้นลดลงไป ทำให้วัสดุ MOS นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งสมบัติเช่นนี้เองที่เราใช้ในการตรวจหากลิ่นที่มีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง

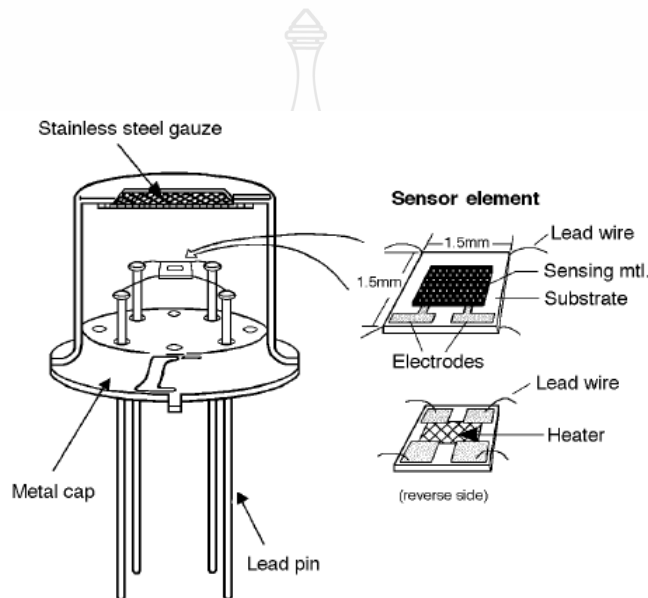


รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor รุ่นต่างๆ [6]

เซ็นเซอร์ชนิดนี้จึงต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งเพื่อเผาให้วัสดุมีอุณหภูมิเหมาะสม ชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ n-type semiconductors (Zinc, iron oxide) ใช้ในปฏิกิริยา Reducing compound อีกชนิดคือ p-type semiconductors (Nickel, Cobaltoxide) ใช้กับปฏิกิริยา Oxidizing compound งานวิจัยและพัฒนาเซ็นเซอร์ประเภทนี้ก็ยังคงดำเนินต่อไป โดยเฉพาะในมหาวิทยาลัย ในประเทศไทยเองก็มีการวิจัยเซ็นเซอร์ MOS ที่ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ [12]

## 2.6.1 โครงสร้างของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

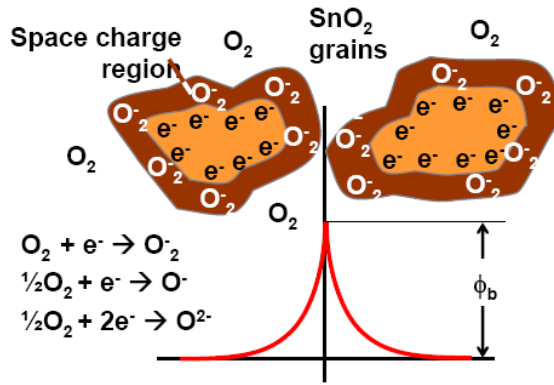
โครงสร้างของเซ็นเซอร์แก๊สแบบโลหะออกไซด์ [6] แสดงดังรูปที่ 2.13 มี Active material ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่เป็นโลหะออกไซด์วางอยู่บน Substrate ต่ออยู่กับขั้ว Electrode ตัวออกไซด์โลหะตัวเช่นดีบุกออกไซด์ ( $\text{SnO}_2$ ) สังกะสีออกไซด์ ( $\text{ZnO}$ ) ทังสเตนออกไซด์ ( $\text{WO}_3$ ) เหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) เป็นต้น ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วย Heater เพื่อควบคุมอุณหภูมิและเป็นตัวช่วยในการทำ Deoxidizing



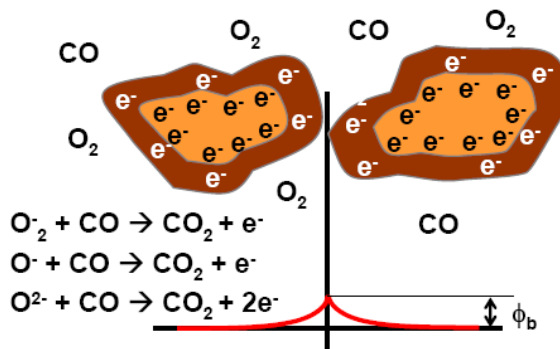
รูปที่ 2.14 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ [6]

## 2.6.2 การทำงานของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์แก๊ส ที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดแก๊สที่สร้างจากออกไซด์ของโลหะเช่น ออกไซด์ของโลหะดีบุก ( $\text{SnO}_2$ ) เมื่อผลึกออกไซด์ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของออกซิเจนจะไปเกาะตัวที่ผิวของผลึกออกไซด์โลหะด้วยประจุที่เป็นลบ (Negative charge) ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ผิว และประจุบวกอยู่ภายนอกดังแสดงแบบจำลองและสมการทางเคมีในรูปที่ 2.18 (ก) โมเลกุลของออกซิเจนสร้างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผลึกออกไซด์โลหะซึ่งกีดขวางการไหลของอิเล็กตรอน จึงทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมีตัวอย่างที่ต้องการวัดผ่านเข้ามาทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงหรือทำให้เกิดการ Deoxidizing ขึ้น ทำให้เกิดการดึงออกซิเจนออกจากผิวของผลึกออกไซด์โลหะทำให้ความหนาแน่นประจุลบที่ผิวผลึกออกไซด์โลหะลดลง และทำให้ศักย์ไฟฟ้าซึ่งขวางการไหลของอิเล็กตรอนลดลงด้วย เป็นผลให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 (ก) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ  
 (ข) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะวัดแก๊ส [1]

สมการที่ (2.2) เป็นสมการเคมีอธิบายการทำงานของเซ็นเซอร์ขณะเซ็นเซอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสภาวะปกติออกซิเจนหนึ่งอะตอมจะจับอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเซ็นเซอร์) เกิดเป็น  $O^-$  ซึ่งจะขวางการเดินทางของกระแสไฟฟ้า เป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยลงหรืออีกนัยหนึ่งคือ ความต้านทานของเซ็นเซอร์สูงนั่นเอง



แต่เมื่อมีแก๊สตัวอย่างใด ๆ  $R(g)$  ผ่านเข้ามาจะจับกับออกซิเจนเป็นผลให้มีการดึงออกซิเจนออกจากตัวเซ็นเซอร์ดังสมการที่ (2.3) จึงเป็นเหตุให้  $O^-$  ที่ขวางการไหลของกระแสไฟฟ้าลดลงเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลได้สูงขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งคือทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลงนั่นเอง

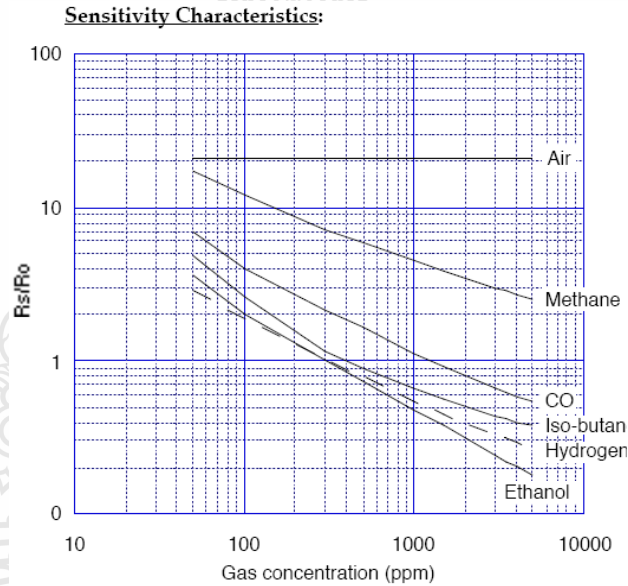


ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ และความเข้มข้นของ Deoxidizing gas แสดงดังสมการที่ (2.4)

$$R_s = A[C]^{-\alpha} \quad (2.4)$$

โดยที่  $R_s$  คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์  $A$  คือค่าคงที่  $[C]$  คือค่าความเข้มข้นของแก๊ส และ  $\alpha$  คือความชันของกราฟความต้านทาน  $R_s$

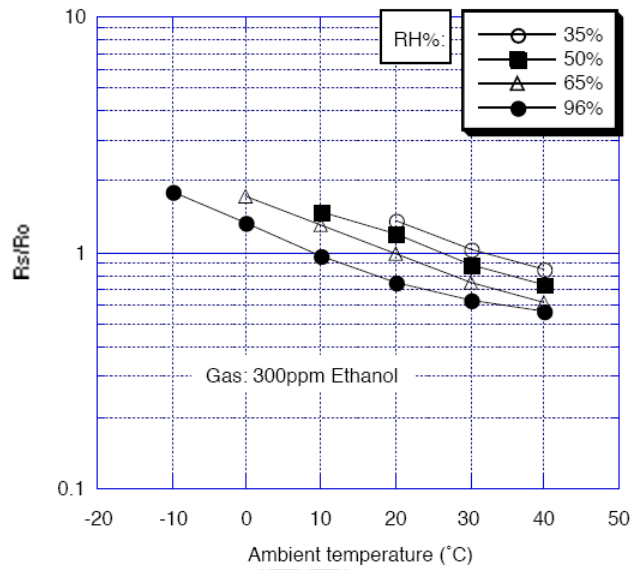
ความไวต่อความเข้มข้นของแก๊สสามารถอธิบายด้วยอัตราส่วนของความต้านทานของเซ็นเซอร์ขณะที่มีแก๊สเป้าหมาย  $R_s$  ต่อความต้านทานของเซ็นเซอร์ที่อยู่ในอากาศ  $R_o$  ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณของแก๊ส [6]

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชันที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.17

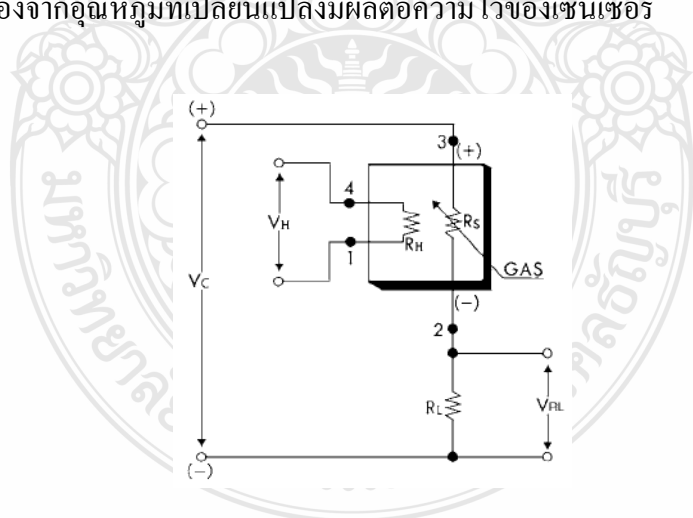
Temperature/Humidity Dependency:



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์ [6]

### 2.6.3 วงจรของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

วงจรของเซ็นเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จากวงจร  $V_H$  เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อน (Heater) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับเซ็นเซอร์ให้คงที่เพื่อควบคุมความไวของเซ็นเซอร์ให้คงที่อีกทีหนึ่ง เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์



รูปที่ 2.18 วงจรพื้นฐานสำหรับแก๊สเซ็นเซอร์โลหะออกไซด์ [6]



ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)

$$R_S = \left( \frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L \quad (2.5)$$

กำลังงานไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ใช้ไปสามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)

$$P_S = \frac{V_C^2 \times R_S}{(R_S + R_L)^2} \quad (2.6)$$

## 2.7 กลิ่นตัวของมนุษย์

### 2.7.1 สาเหตุการเกิดกลิ่นตัว

คนเรามีแหล่งกำเนิดกลิ่นอยู่บนร่างกายด้วยกันหลายจุด จุดสำคัญที่สุดของกลิ่นตัว คือต่อมเหงื่อชนิดหนึ่งที่พบมากบริเวณรักแร้ และอวัยวะเพศ ต่อมเหงื่อชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า อโปไครน์ (Apocrine) ซึ่งจะเริ่มทำงานเมื่อเข้าสู่วัยรุ่น ต่อมเหงื่อชนิดนี้มีหน้าที่สร้างสารที่มีกลิ่นคล้ายฟีโรโมน สารชนิดนี้มีสีขาวขุ่น ในระยะแรกที่หลั่งออกมาจะไม่มีกลิ่น หลังจากถูกย่อยโดยเชื้อแบคทีเรียซึ่งอาศัยอยู่บนผิวหนังจึงทำให้เกิดกลิ่นขึ้น [13] ส่วนเหงื่อใส ๆ ที่หลั่งออกมาเวลาอากาศร้อนขณะออกกำลังกาย หรือเป็นไขนั้นหลั่งออกมาจากต่อมเหงื่ออีกชนิดหนึ่งเรียกว่า เอ็คไครน์ (Eccrine) เหงื่อชนิดนี้เป็นน้ำใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่จะเป็นตัวนำพาให้กลิ่นตัวที่เกิดจากต่อมอโปไครน์กระจายออกไป นอกจากนี้กลิ่นตัวยังเกิดได้จากเซลล์ผิวหนังที่อับชื้น และถูกย่อยสลายโดยเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายของไขมันที่หลั่งออกมาจากต่อมไขมันตามผิวหนังซึ่งมักพบในคนผิวมัน และยังสามารถเกิดจากสารที่รับประทานเข้าไปแล้วขับออกมาทางเหงื่อ เช่น ยาบางชนิด สารหนู และอาหารบางอย่าง โดยเฉพาะจำพวกเครื่องเทศต่าง ๆ เป็นต้น

### 2.7.2 ความหลากหลายของกลิ่นตัว

ถ้าลองสังเกตจะรู้สึกได้ว่าบนร่างกายของคนเรานั้นมีกลิ่นที่แตกต่างกันไปในแต่ละจุด รวมถึงคนแต่ละคนก็มีกลิ่นตัวที่แตกต่างกันออกไปด้วยเช่น บนตัวคนมีสารที่ทำให้เกิดกลิ่นตัวอยู่หลายประเภท นอกจากนี้ยังขึ้นกับกลไกการเกิดกลิ่น ตำแหน่งที่เกิดกลิ่น ตลอดจนชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกลิ่น กลิ่นตัวบริเวณรักแร้ส่วนใหญ่เกิดจากการย่อยสลายของสารที่หลั่งออกมาจากต่อมเหงื่อ อโปไครน์ กลิ่นตามซอกพับและที่เท้าเกิดจากการย่อยสลายของเซลล์ผิวหนังและกลิ่นบริเวณหนังศีรษะ บนใบหน้า ส่วนใหญ่เกิดจากการย่อยสลายของไขมันจากต่อมไขมันที่ผิวหนัง สารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายเหล่านี้เป็นสารเคมีที่แตกต่างกัน จึงทำให้กลิ่นตัวในแต่ละตำแหน่งของร่างกายแตกต่างกันไปด้วย เช่นเดียวกันกับกลิ่นที่เกิดจากสารที่ขับออกมาทางเหงื่อก็จะมี

กลิ่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กลิ่นอันหลากหลายบนเรือนกายของแต่ละคนเมื่อรวมกันแล้วก็จะทำให้คนแต่ละคนมีกลิ่นกายเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน คนในภูมิอากาศร้อนชื้น หรือผู้ที่มีความสุขอนามัยไม่ดีพอ เชื้อแบคทีเรียบนผิวหนังจะเจริญได้ดี และมีจำนวนมากจึงทำให้กลิ่นตัวรุนแรงขึ้น

### 2.7.3 ปัจจัยที่ส่งเสริมทำให้เกิดกลิ่นตัว

นอกจากกลิ่นตัวจะมีสาเหตุจากธรรมชาติของร่างกายทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียที่อยู่ตามผิวหนังแล้วยังมีปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เช่น สภาพอากาศในฤดูร้อน หรือในสภาวะที่มีอากาศร้อนชื้น เชื้อแบคทีเรียที่ผิวหนังจะเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว แบคทีเรียเหล่านี้จะย่อยสลายเหงื่อที่หลั่งจากต่อมออกไปโครนั้ ไขมันจากต่อมไขมัน และเซลล์ผิวหนังได้เร็วขึ้น จึงทำให้กลิ่นตัวเกิดขึ้นได้ง่ายและรุนแรงขึ้น การสวมใส่เสื้อผ้าที่หนาหรือผ้าบางชนิดเช่นผ้าใยสังเคราะห์จะทำให้เหงื่อระบายช้า ผิวหนังจึงมีความอับชื้น ทำให้ปริมาณแบคทีเรียบนผิวหนังเพิ่มขึ้นและเกิดกลิ่นตัวง่ายขึ้น อาหารหรือยาบางชนิด เช่น กระเทียม หัวหอม เครื่องเทศ และสารหนู เป็นต้นก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นตัว เพราะสารเหล่านี้เป็นสารที่มีกลิ่นซึ่งจะถูกขับออกมาทางเหงื่อ สำหรับคนที่เป็นโรคบางชนิดเช่นโรคเบาหวาน โรคเก๊าท์ โรคทางสมอง และภาวะผิดปกติทางระบบเผาผลาญอาหารบางชนิด ร่างกายจะสร้างสารเคมีบางอย่างที่มีกลิ่น และขับออกมาทางเหงื่อ ดังนั้นทำให้คนที่เป็โรคดังกล่าวอาจมีกลิ่นตัวเกิดขึ้นได้ บางครั้งท่านผู้ฟังอาจจะนึกไม่ถึงว่าอารมณ์มันเกี่ยวอะไรกับกลิ่นตัวอันนี้มีรายงานได้กล่าวไว้ว่า คนที่มีอารมณ์เครียด โกรธ ตกใจ ร่างกายจะกระตุ้นให้ต่อมเอ็คโครนั้ได้รักรั้ว หน้าผาก และฝ่ามือออกมามากขึ้นทำให้ผิวหนังบริเวณดังกล่าวมีความชื้น มากขึ้นแบคทีเรียที่ผิวหนังจึงมีจำนวนมากขึ้นเลยทำให้คนที่มอารมณ์ดังกล่าวมีกลิ่นตัวไปโดยไม่รู้ตัว

## 2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

### 2.8.1 ความหมายของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ในการทำวิจัยไม่ว่าจะเป็นวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น มักจะมีข้อมูลและตัวแปรจำนวนมาก ซึ่งทำให้เป็นการยากในการวิเคราะห์และสรุปผล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน จึงมีแนวคิดที่จะลดจำนวนตัวแปรโดยให้ตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่มีความผันแปรหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิมไว้มากที่สุดและเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก [14] ก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ลดจำนวนตัวแปร

กระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบถือกำเนิดขึ้นมาในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 โดย Spearman แต่การวิเคราะห์องค์ประกอบในสมัยนั้นยังเป็นวิธีการที่ยู่ยากซับซ้อนและเสียเวลามากในการวิเคราะห์ ดังนั้น การวิเคราะห์องค์ประกอบจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายในหมู่นักวิจัยสมัยนั้น จนกระทั่งคอมพิวเตอร์ได้ถือกำเนิดขึ้นมาและตามมาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยเหลือในการวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบจึงได้แพร่หลายออกไปในหมู่นักวิจัยกันอย่างกว้างขวาง

จุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์องค์ประกอบมี 2 ประการคือ

1. เพื่อสำรวจหรือค้นหาตัวแปรแฝงที่ซ่อนอยู่ภายใต้ตัวแปรที่สังเกตหรือวัดได้ เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory factor analysis)
2. เพื่อพิสูจน์ ตรวจสอบหรือยืนยันทฤษฎีที่ผู้อื่นค้นพบ เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจจะใช้ในการสำรวจข้อมูล จำนวนองค์ประกอบอธิบายความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรเมื่อผู้วิจัยไม่มีหลักฐานอ้างอิงเพียงพอสำหรับเป็นกรอบของสมมติฐานเกี่ยวกับจำนวนขององค์ประกอบภายใต้ข้อมูลที่สอบวัดได้

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรเทคนิคหนึ่ง โดยการสร้างชุดของตัวแปรใหม่ให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิมและชุดของตัวแปรใหม่จะมีรายละเอียดหรือข้อมูลของตัวแปรเดิม จำนวนตัวแปรใหม่จะต้องไม่เกินที่จำนวนตัวแปรเดิม นั่นคือ กรณีที่มีตัวแปรเดิม  $p$  ตัว ตัวแปรใหม่เท่ากับ  $m$  ตัว จะได้ว่า  $m \leq p$

### 2.8.2 หลักการของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรที่มีจำนวนมาก เช่น  $p$  ตัว โดยการสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรเดิม  $p$  ตัว และจะต้องสกัดหรือดึงรายละเอียดหรือค่าแปรปรวนจากตัวแปรเดิมมาไว้ในตัวแปรใหม่ให้มากที่สุด ในที่นี้จะใช้  $PC_1$  แทนองค์ประกอบหลักที่  $i; i = 1, 2, \dots, p$  การสร้าง  $PC_1$  จะมีขั้นตอนดังนี้  
ขั้นที่ 1 การสร้าง  $PC_1$  หรือตัวประกอบหลักที่ 1 ซึ่งเป็นตัวแปรใหม่ตัวแรก โดยให้  $PC_1$  เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิมทั้ง  $p$  ตัว และจะต้องสกัดหรือดึงค่าความแปรปรวนจากตัวแปรทั้ง  $p$  ตัว มาไว้ใน  $PC_1$  ให้มากที่สุด ซึ่งจะทำให้  $PC_1$  มีค่าความแปรปรวนมากที่สุด เมื่อเทียบกับ  $PC_i; i = 1, 2, \dots, p$  โดยที่

$$PC_1 = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1p}X_p$$

หรือ  $PC_1 = w'_1 x$  ที่ทำให้  $Var(w'_1 x)$  มีค่ามากที่สุด และ  $w'_1 w_1 = 1$

ขั้นที่ 2 การสร้างองค์ประกอบหลักที่ 2 หรือ  $PC_2$

$PC_2$  จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม  $p$  ตัว และสกัดรายละเอียดหรือความแปรปรวนที่เหลือจาก  $PC_1$  โดยจะต้องสกัดความผันแปรที่เหลือจาก  $PC_1$  มาไว้ที่  $PC_2$  ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้และ  $PC_2$  จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับ  $PC_1$  หรือจะต้องตั้งฉาก (orthogonal) กับ  $PC_1$

$$PC_2 = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2p}X_p$$

หรือ  $PC_2 = w'_2 x$  ที่ทำให้  $Var(w'_2 x)$  มีค่ามากที่สุด

โดยมีเงื่อนไข  $w'_2 w_2 = 1, w'_1 w_2 = 0$  และ  $Cov(w'_1 x, w'_2 x) = 0$

ขั้นที่ k การสร้างองค์ประกอบหลักที่ k หรือ  $PC_k$

$PC_k$  จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม  $p$  ตัว และสก็ดรายละเอียดหรือความแปรปรวนที่เหลือจาก  $PC_1, PC_2, \dots, PC_{k-1}$  มาไว้ใน  $PC_k$  ให้มากที่สุด และ  $PC_k$  จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับ  $PC_1, PC_2, \dots, PC_{k-1}$

โดยที่

$$PC_k = w_{k1}X_1 + w_{k2}X_2 + \dots + w_{kp}X_p$$

หรือ

$$PC_k = w'_k x \text{ ที่ทำให้ } \text{Var}(w'_k x) \text{ มีค่ามากที่สุด}$$

โดยมีเงื่อนไข  $w'_k w_k = 1, w'_j w_k = 0 ; j \neq k$

$$\text{และ } \text{Cov}(w'_k x, w'_j x) = 0 \text{ สำหรับ } j < k$$

ขั้นที่ p การสร้างองค์ประกอบหลักที่ p หรือ  $PC_p$

$PC_p$  จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม  $p$  ตัว โดย  $PC_p$  จะมีความผันแปรของตัวแปรเดิมที่เหลือจาก  $PC_1, PC_2, \dots, PC_{p-1}$  และไม่มีความสัมพันธ์กับ  $PC_1, PC_2, \dots, PC_{p-1}$

โดยที่

$$PC_p = w_{p1}X_1 + w_{p2}X_2 + \dots + w_{pp}X_p$$

หรือ

$$PC_p = w'_p x \text{ ที่ทำให้ } \text{Var}(w'_p x) \text{ มีค่ามากที่สุด}$$

โดยมีเงื่อนไข  $w'_p w_p = 1$ , และ  $\text{Cov}(w'_p x, w'_j x) = 0$  สำหรับ  $j < p$

ความผันแปรรวมของตัวแปรเดิม  $p$  ตัว = ความผันแปรของตัวประกอบหลัก  $p$  ตัว หรือ

$$\text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + \dots + \text{Var}(X_p) = \text{Var}(PC_1) + \text{Var}(PC_2) + \dots + \text{Var}(PC_p)$$

จากวิธีการข้างต้นจะทำให้ ค่าแปรปรวนของ  $PC_1$  จะมากที่สุดและค่าแปรปรวนของ  $PC$  จะลดลงเรื่อยๆจนทำให้ค่าแปรปรวนของ  $PC_p$  ต่ำสุดหรือ

$\text{Var}(PC_1) \geq \text{Var}(PC_2) \geq \dots \geq \text{Var}(PC_p)$  ถ้าเวกเตอร์ตัวแปรสุ่ม  $x' = (X_1, X_2, \dots, X_p)$  ซึ่งมีเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม  $\Sigma$  และมีค่าไอเกน  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  โดยเขียนตัวประกอบหลักให้อยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปร  $X_1, X_2, \dots, X_p$  คือ

$$\begin{aligned} PC_1 &= w'_1 x = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1p}X_p \\ PC_2 &= w'_2 x = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2p}X_p \\ &\vdots \\ PC_p &= w'_p x = w_{p1}X_1 + w_{p2}X_2 + \dots + w_{pp}X_p \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\text{Var}(PC_i) = w'_i \Sigma w_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (2.8)$$

สำหรับความแปรปรวนร่วมของ  $PC_i$  และ  $PC_k$  คือ

$$\text{Cov}(PC_i, PC_k) = w'_i \Sigma w_k \quad ; \quad i \neq k \quad ; \quad k, i = 1, 2, \dots, p \quad (2.9)$$

โดยที่  $PC_1, PC_2, \dots, PC_p$  เป็นตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลัก  $p$  ตัว และ  $w_{ij}$  เป็นสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนักของตัวแปรเดิม  $X_{ij}$  ที่มีต่อตัวประกอบหลัก  $PC_i$  โดยที่  $PC_1, PC_2, \dots, PC_p$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน  $PC_1$  เป็นตัวแปรใหม่ตัวที่ 1 หรือตัวประกอบหลักที่ 1 ซึ่งฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม ซึ่งทำให้ค่าแปรปรวน  $\text{Var}(PC_1) = w'_1 \Sigma w_1$  มีค่ามากที่สุด หรือ

$PC_1 =$  ฟังก์ชันเชิงเส้น  $w'x$  ที่ทำให้  $\text{Var}(w'_1 x)$  มีค่ามากที่สุด ซึ่งมี  $w'_1 w_1 = 1$  หรือ

$$w'_1 w_1 = w_{11}^2 + w_{12}^2 + \dots + w_{1p}^2 = 1$$

$PC_2$  ฟังก์ชันเชิงเส้นที่ 2 ของ  $X_1, X_2, \dots, X_p = w'_2 x$  ที่ทำให้  $\text{Var}(w'_2 x)$  มีค่ามากที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่า  $w'_2 w_2 = 1$  และ  $\text{Cov}(w'_1 x, w'_2 x) = \text{Cov}(PC_1, PC_2) = 0$  หรือ  $PC_2$  ไม่มีความสัมพันธ์กับ  $PC_1$

$PC_k$  ฟังก์ชันเชิงเส้นที่  $k$  ของ  $X_1, X_2, \dots, X_p = w'_k x$  ที่ทำให้  $\text{Var}(PC_k)$  มีค่ามากที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่า  $w'_k w_k = 1$  และ  $\text{Cov}(w'_k x, w'_i x) = 0$  เมื่อ  $i < k$  หรือ  $PC_k$  ไม่มีความสัมพันธ์กับ  $PC_i$  โดยที่  $i < k$

สรุปถ้าเวกเตอร์  $x' = (X_1, X_2, \dots, X_p)$  ซึ่งมีเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม  $\Sigma$  ที่มีค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกน  $(\lambda_1, w_1), (\lambda_2, w_2), \dots, (\lambda_p, w_p)$  โดยที่ค่าไอเกน  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  และเวกเตอร์ไอเกน  $w' = (w_1, w_2, \dots, w_p)$  ถ้า  $PC_1 = w'_1 x, PC_2 = w'_2 x, \dots, PC_p = w'_p x$  เป็นตัวประกอบหลัก  $p$  ค่าแล้วจะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(X_i) = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \dots + \sigma_{pp} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p = \sum_{i=1}^p \text{Var}(PC_i)$$

$$\therefore PC_k \text{ มีสัดส่วนของค่าแปรปรวน} = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, p$$

เช่น ถ้า  $PC_1$  มีสัดส่วนของค่าแปรปรวน = 0.7 หมายถึง  $PC_1$  สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปร  $X$ 's ทั้งหมด 70% สำหรับค่าไอเกน  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  ของตัวประกอบหลัก

$PC_1, PC_2, \dots, PC_p$  ตามลำดับ โดยที่ ค่าไอเกนที่  $i(\lambda_i)$  จะเป็นค่าแปรปรวนร่วมของตัวประกอบหลักที่  $i(PC_i)$  ส่วนเวกเตอร์ไอเกนที่  $k(w_k)$  จะเป็นน้ำหนักของตัวแปรเดิมในตัวประกอบหลักที่  $k(PC_k)$

### 2.8.3 จำนวนองค์ประกอบหลัก

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นการลดจำนวนตัวแปร  $p$  ตัว โดยที่  $m \leq p$  โดยตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักที่สร้างขึ้น คือ  $PC_1, PC_2, \dots, PC_m$  จะมีความแปรปรวนของตัวแปรเดิมให้มากที่สุด เช่น ถ้ามีตัวแปรเดิม 20 ตัว ( $p \leq 20$ ) และค่าแปรปรวนทั้งหมด  $= \sum_{i=1}^{20} Var(X_i)$  จะสามารถสร้างตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักได้ 20 ตัว แต่ถ้าพบว่าตัวประกอบ 3 ตัวแรกสามารถสกัดความแปรผันของตัวแปรเดิมได้ 80%

$$\text{หรือ} \quad \frac{Var(PC_1) + Var(PC_2) + Var(PC_3)}{\sum_{i=1}^{20} Var(X_i)}$$

ในกรณีนี้ควรให้  $m = 3$  เนื่องจากตัวแปรใหม่เพียง 3 ตัว มีความผันแปร หรือสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรเดิมได้มากถึงร้อยละ 80 ดังนั้น จึงสามารถใช้ตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลัก 3 ตัว แทนตัวแปรเดิม 20 ตัว

การพิจารณาจำนวนตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักที่เหมาะสมหรือพิจารณาค่า  $m$  ว่าควรเป็นเท่าใด จะพิจารณาจากร้อยละความผันแปรที่สามารถอธิบายตัวแปรเดิมได้ ซึ่งขึ้นกับความสัมพันธ์ของตัวแปรเดิม ถ้าตัวแปรเดิม  $p$  ตัว มีความสัมพันธ์กันมาก จะทำให้ได้ตัวแปรใหม่ที่มีค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนมากเพียงไม่กี่ค่า เช่น มีเพียง 1 หรือ 2 ค่าที่มีค่าไอเกนมาก นั่นคือ  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  มีค่ามาก ซึ่งมีผลทำให้  $\lambda_3, \dots, \lambda_p$  มีค่าน้อยมาก แต่ถ้าตัวแปรเดิมมีความสัมพันธ์กันน้อย จำนวนตัวประกอบหลักจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับจำนวนตัวแปรเดิม

### 2.8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวประกอบหลัก

ดังที่กล่าวแล้วว่าตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักจะไม่มีความสัมพันธ์กันเอง ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง  $PC_i$  และ  $PC_j (i \neq j)$  จะเป็นศูนย์ แต่ตัวประกอบหลักกับตัวแปรเดิมจะมีความสัมพันธ์ โดยวัดความสัมพันธ์ระหว่าง  $PC_i$  กับ  $X_j$  ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และเรียกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักและตัวแปรเดิมว่า loading ดังนั้น ค่า loading จึงเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรเดิมที่มีต่อการสร้างตัวประกอบหลัก ถ้าค่า loading ของตัวแปรเดิมใดมีค่ามาก (ใกล้ +1 หรือ -1) แสดงว่าตัวแปรเดิมนั้นมีความสำคัญหรือมีส่วนร่วมในการสร้างตัวประกอบหลักมาก สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวประกอบหลักดังนี้



1. ตัวประกอบหลักตัวแรกๆ มีค่าแปรปรวนมาก เช่น  $PC_1$  มีค่าแปรปรวนสูง ในขณะที่  $PC$  อื่นๆ มีค่าแปรปรวนต่ำมาก

2. ตัวประกอบหลักจะเป็นตัวแทนของตัวแปรเดิมที่มีแปรปรวนมาก หรือกรณีที่ตัวแปรเดิมมีหน่วยต่างกันมาก การที่หน่วยต่างกันจะทำให้ค่าแปรปรวนต่างกันมากเช่นกัน

ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากเป็นตัวแปรที่สำคัญในการสร้างตัวประกอบหลัก จึงควรปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปมาตรฐาน (standardized) ก่อน หรือแทนที่จะใช้เมตริกซ์ค่าแปรปรวนหรือค่าแปรปรวนร่วม ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $\rho$  หรือ  $R$ ) การที่ใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตัวอย่าง  $R$  จะทำให้ค่าไอเกน(แปรปรวน) และเวกเตอร์ค่าไอเกน ( $w_{ij}$ ) เปลี่ยนไปจากเดิมที่ใช้เมตริกซ์  $S$

### 2.8.6 การพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า จำนวนตัวประกอบหลักจะเท่ากับจำนวนตัวแปรเดิม คือ  $p$  ตัว แต่ตัวประกอบหลักตัวต่างๆ จะมีสัดส่วนความแปรปรวนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ตัวแปรปรวนเดิมมีความสัมพันธ์กันมาก จะทำให้มีตัวประกอบหลักเพียงไม่กี่ตัวที่มีสัดส่วนความแปรปรวนสูง จึงมักมีคำถามว่าจำนวนตัวประกอบหลักควรมีกี่ตัวจึงเหมาะสม นอกจากนั้นวัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก คือ การลดจำนวนตัวแปร ดังนั้น จำนวนตัวประกอบหลักควรจะต้องน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิม แนวทางในการพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักมีดังนี้

1. พิจารณาจากร้อยละความแปรปรวนสะสม ถ้าร้อยละความแปรปรวนสะสมของตัวประกอบหลัก  $m$  ตัวแรก เป็นอย่างต่ำร้อยละ 80 ก็ควรให้จำนวนตัวประกอบหลักเท่ากับ  $m$  โดยที่  $m < p$  เช่น ถ้า  $p=10$  และมีตัวประกอบหลักเพียง 3 ตัวแรก ที่ค่าสะสมของร้อยละของร้อยละของความแปรปรวนเป็น 82 ขณะที่ตัวประกอบหลักตัวที่ 4 มีร้อยละของความแปรปรวนเพียง 7.5 กรณีนี้จำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม คือ 3 ( $PC_1, PC_2, PC_3$ )

2. ใช้กราฟ scree ในการพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม โดยการพล็อตค่าไอเกน การพิจารณากราฟ scree นั้น ถ้าตัวประกอบหลักตัวที่  $m+1, \dots, p$  หรือควรมีตัวประกอบหลัก  $m$  ตัวเท่านั้น

3. ให้พิจารณาค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักแต่ละตัว ถ้าค่าแปรปรวนของตัว

ประกอบหลักตัวใดน้อยกว่าค่าแปรปรวนเฉลี่ย  $\left( \frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{p} \right)$  จะตัดทิ้ง

การใช้ค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักสำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปมาตรฐานแล้ว การพิจารณาเฉพาะตัวประกอบหลักที่มีค่าไอเกนมากกว่าหนึ่งนั้นอาจทำให้จำนวนตัวประกอบหลักที่ได้มากหรือน้อยจนเกินไป ดังนั้นควรใช้หลักเกณฑ์อื่นๆมาร่วมพิจารณาด้วย



## 2.8.7 ความหมายของตัวประกอบหลัก

ความหมายของตัวประกอบหลักควรจะอธิบายถึงความหมายตัวแปรเดิม เนื่องจากตัวประกอบหลักเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าค่า loading จะเป็นค่าที่ใช้อธิบายความหมายของตัวประกอบหลักแต่ละตัว เนื่องจากค่า loading ( $I_{ij}$ ) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมที่  $j(X_j)$  กับตัวประกอบหลักที่  $i(PC_i)$  การศึกษาว่าความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรเดิมตัวใดบ้างนั้น ให้พิจารณาจากค่า loading ของตัวแปรเดิมตัวใดมีค่ามากกว่าความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรนั้น โดยทั่วไปกำหนดว่า ถ้าค่า loading มากกว่าหรือเท่ากับ  $\pm 0.5$  จะพิจารณาความหมายของตัวแปรเดิมนั้นให้เป็นความหมายของตัวประกอบหลัก

## 2.9 การวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์ (Multiple Discriminant Analysis)

### 2.9.1 ความหมายของการวิเคราะห์ มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์

การวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หรือการหาสาเหตุเทคนิคหนึ่ง [14] โดยมีตัวแปรตาม 1 ตัว ( $Y$ ) ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ และมีตัวแปรอิสระ  $p$  ตัว ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ) โดย  $p \geq 1$  การวิเคราะห์จะคล้ายกับการวิเคราะห์ความถดถอยคือ มีตัวแปรตาม 1 ตัว ตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ต่างกันตรงที่ลักษณะหรือชนิดของตัวแปรตาม โดยที่การวิเคราะห์ความถดถอยตัวแปรตามคือตัวแปรเชิงปริมาณ ในขณะที่การวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์ตัวแปรตามคือตัวแปรเชิงคุณภาพหรือตัวแปรเชิงกลุ่ม

ตัวแปรเชิงคุณภาพหรือตัวแปรเชิงกลุ่ม ( $Y$ ) ของการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์ เรียกว่าเป็นตัวแปรที่แสดงกลุ่ม นั่นคือ การวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เป็นเทคนิคที่มีการแบ่งกลุ่มคน สัตว์ สิ่งของ องค์กร ฯลฯ ออกเป็นกลุ่มย่อยอย่างน้อย 2 กลุ่มขึ้นไป ดังนั้นตัวแปรตามระบุกลุ่มที่แต่ละหน่วยอยู่ เช่น ถ้าแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตัวแปรตาม  $Y$  จะมีค่า 1 หรือ 2 หรือ 3 โดยผู้ศึกษาจะต้องเป็นผู้แบ่งกลุ่มมาก่อนว่าจะให้แต่ละหน่วยอยู่กลุ่มใด และแต่ละกลุ่มจะไม่มี การซ้ำซ้อนกัน โดยมีหลักเกณฑ์ในการแบ่งคือ ให้หน่วยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความคล้ายกันในปัจจุบันหรือตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม ส่วนหน่วยที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีความแตกต่างกันในตัวแปรที่ใช้แบ่งกลุ่ม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจะอยู่ในรูปเชิงเส้นดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + e \quad (2.12)$$

$$\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p \quad (2.13)$$

โดยที่สมการที่ (2.12) สำหรับข้อมูลตัวอย่างขนาด  $n, X_1, X_2, \dots, X_p$  เป็นตัวแปรอิสระ ซึ่ง  $(X_1, X_2, \dots, X_p) p \geq 1$  แต่ละตัวแปรอิสระอาจเป็นตัวแปรเชิงปริมาณทุกตัว หรืออาจจะมีตัวแปรอิสระบางตัวเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ หรือตัวแปรเชิงกลุ่ม (Categorical variable) กรณีที่มีตัวแปรอิสระที่เป็นแปรเชิงคุณภาพจะต้องปรับให้เป็นตัวแปรหุ่น (Dummy หรือ Indicator variable) ในการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์จะเรียกสมการที่ (2.12) และ (2.13) ฟังก์ชันจำแนก (Discriminant function)

### 2.9.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์

1. เพื่อศึกษาสาเหตุที่ทำให้กลุ่มมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการศึกษาว่าตัวแปรอิสระใดบ้างเป็นตัวแปรที่ทำให้กลุ่มต่างกัน โดยการสร้างฟังก์ชันการจำแนกกลุ่ม สมการที่ (2.13) ซึ่งในรูปเชิงเส้น
2. เพื่อพยากรณ์คนใหม่ที่ยังไม่ทราบกลุ่มว่าควรอยู่กลุ่มใดในอนาคต เช่น พยากรณ์ลูกค้าสินเชื่อรายใหม่ ว่าในอนาคตจะอยู่ในกลุ่มใด ถ้าพยากรณ์ว่านาย A จะอยู่กลุ่มที่มีปัญหา ก็แสดงว่ามีความเสี่ยงที่จะให้กู้

### 2.9.3 การประมาณสัมประสิทธิ์ของการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์

การวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เป็นเทคนิคที่สร้างฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ  $(X_1, X_2, \dots, X_p)$  ที่จะทำให้หน่วยที่อยู่ต่างกลุ่มกัน มีความแตกต่างกันมากที่สุด เมื่อเทียบกับความแตกต่างของหน่วยที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกัน กำหนดให้  $k$  เท่ากับจำนวนกลุ่ม ในที่นี้  $k$  เท่ากับ 5 นั่นคือ จะแบ่งกลุ่มข้อมูล  $n$  หน่วย ออกเป็น 2 กลุ่มย่อย และถ้ามีจำนวนตัวแปรอิสระ 2 ตัว ( $p = 2$ ) คือ  $X_1$  และ  $X_2$  ซึ่งเป็นเชิงปริมาณทั้งคู่ หลักการในการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะใช้วิธีของฟิชเชอร์ (Fisher approach) ดังนี้

ถ้าแบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่ม 1 และ 2 ส่วนตัวแปรอิสระ  $p$  ตัว  $(X_1, X_2, \dots, X_p)$  โดยที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ  $n$  และอยู่ในกลุ่ม 1 จำนวน  $n_1$  หน่วย โดยที่  $n = n_1 + n_2$  ฟิชเชอร์ได้ศึกษากรณี ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กำหนดให้

กลุ่มที่ 1 : มีเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย  $\mu_1$  และเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม  $\Sigma_1$

กลุ่มที่ 2 : มีเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย  $\mu_2$  และเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม  $\Sigma_2$

ถ้า  $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma_{p \times p}$  ฟังก์ชันจำแนกประเภทที่อยู่ในรูปเชิงเส้นดังนี้

$$\hat{Y} = b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p$$

หรือ  $Y = b'x$

โดย  $x$  เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรอิสระ  $p$  ตัว โดย  $x' = (X_1, X_2, \dots, X_p)$

$b$  เป็นเวกเตอร์สัมประสิทธิ์จำแนกประเภท โดย  $b' = (b_1, b_2, \dots, b_p)$

เป้าหมาย คือการค่าเวกเตอร์สัมประสิทธิ์  $b$  ที่ทำให้อัตราส่วนระหว่างความผันแปรระหว่างกลุ่มกับความผันแปรภายในกลุ่มมีค่ามากที่สุด หรือหาค่า  $b$  ที่ทำให้  $L = \frac{SSB}{SSW}$  มีค่ามากที่สุด

โดยที่ SSB (Sum Square Between group) หมายถึง ผลบวกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างกลุ่ม  
SSW (Sum Square Within group) หมายถึง ผลบวกกำลังสองของความแตกต่างภายในกลุ่ม

$$Y = b'x$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 : } \bar{Y}_1 = b' \bar{x}_1$$

$$\text{ค่าเฉลี่ย ของกลุ่มที่ 2 : } \bar{Y}_2 = b' \bar{x}_2$$

โดยที่  $X_1$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $p \times n_1$  ของข้อมูลในกลุ่มที่ 1

$X_2$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $p \times n_2$  ของข้อมูลในกลุ่มที่ 2

$\bar{x}_1$  เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $p$  ตัว ในกลุ่มที่ 1

$\bar{x}_2$  เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $p$  ตัว ในกลุ่มที่ 2

$$X_1 = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n_1,1} & X_{n_1,2} & \dots & X_{n_1,p} \end{bmatrix} \text{ และ } X_2 = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n_2,1} & X_{n_2,2} & \dots & X_{n_2,p} \end{bmatrix}$$

$$SSW = \sum_{i=1}^{n_1} (Y_{1i} - \bar{Y}_1)^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (Y_{2j} - \bar{Y}_2)^2 \quad (2.14)$$

แทน  $Y_i = b'x_i$  และ  $\bar{Y}_i = b'\bar{x}_i$  ลงในสมการที่ (2.14) จะได้

$$SSW = \sum_{i=1}^{n_1} b'(x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{1i} - \bar{x}_1)'b + \sum_{j=1}^{n_2} b'(x_{2j} - \bar{x}_2)(x_{2j} - \bar{x}_2)'b'$$

หรือ 
$$SSW = b' \left[ \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{1i} - \bar{x}_1)' \right] b + b' \left[ \sum_{j=1}^{n_2} (x_{2j} - \bar{x}_2)(x_{2j} - \bar{x}_2)' \right] b$$

$$SSW = b' \left[ \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{1i} - \bar{x}_1)' + \sum_{j=1}^{n_2} (x_{2j} - \bar{x}_2)(x_{2j} - \bar{x}_2)' \right] b \quad (2.15)$$

เทอมแรกในวงเล็บของสมการที่ (2.15) เป็นผลบวกกำลังสองของความแตกต่างภายในกลุ่มที่ 1 ส่วนเทอมที่ 2 เป็นผลบวกกำลังสองของความแตกต่างภายในกลุ่มที่ 2 กรณีที่  $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma$  สมการที่ (2.15) จะกลายเป็น

$$SSB = n_1(\bar{y}_1 - \bar{y})^2 + n_2(\bar{y}_2 - \bar{y})^2 \quad (2.16)$$

แทนค่า  $Y = b'x$  ลงในสมการที่ (2.16) จะได้

$$SSB = b' \left[ n_1(x_1 - \bar{x})(x_2 - \bar{x})' + n_2(x_2 - \bar{x})(x_2 - \bar{x})' \right] b \quad (2.17)$$

โดยที่  $\bar{x} = \frac{n_1\bar{x}_1 + n_2\bar{x}_2}{n_1 + n_2}$

หรือ  $\bar{x}_1 - \bar{x} = \frac{n_2(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{n_1 + n_2} = -\frac{n_2}{n_1 + n_2}(d)$  (2.18)

และ  $\bar{x}_2 - \bar{x} = \frac{n_1(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)}{n_1 + n_2} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}(d)$  (2.19)

โดยที่  $d = \bar{x}_2 - \bar{x}_1$  เป็นเวกเตอร์ของผลต่างของเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่ม

แทนค่า  $\bar{x}_1 - \bar{x}$  ในสมการที่ (2.18) และ  $\bar{x}_2 - \bar{x}$  ในสมการที่ (2.19) ลงในสมการที่ (2.17) จะได้

$$SSB = b' \left[ n_1 \left( \frac{n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 dd' + n_2 \left( \frac{n_1}{n_1 + n_2} \right)^2 dd' \right] b \quad (2.20)$$

หรือ  $SSB = b' dd' b$

$$\therefore L = \frac{SSB}{SSW} = \frac{b' dd' b}{b' \Sigma b}$$

ดังนั้นวิธีของ Fisher คือ การหาเวกเตอร์สัมประสิทธิ์จำแนกประเภท ที่ทำให้  $L$  มีค่าสูงสุด

$$\frac{\partial L}{\partial b} = \frac{[(b' \Sigma b)(2dd' b) - (b' dd' b)(2 \Sigma b)]}{(b' \Sigma b)^2} = 0 \quad (2.21)$$

นำ  $\frac{1}{2} b' \Sigma b$  คูณสมการที่ (2.21) จะได้

$$dd' b - L \Sigma b = 0$$

$$b = \left(\frac{1}{L}\right) \Sigma^{-1} d d' b$$

$$\therefore b \alpha \Sigma^{-1} d$$

โดยที่  $L$  และ  $d' b$  เป็นสเกลาร์

กรณีที่ไม่ทราบค่า  $\Sigma$  จะประมาณด้วย  $S_p$  โดยที่  $S_p$  เป็นเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมตัวอย่างรวมกัน (Pooled sample variance-covariance matrix)

$$\therefore b = S_p^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad (2.22)$$

โดยที่  $S_p = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} (\bar{x}_1' x_1 - \bar{x}_2' x_2)$

#### 2.9.4 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์หลัก成分เปิดติสคริมิแนนต์

1. การตรวจสอบเงื่อนไขเกี่ยวกับการแจกแจงของตัวแปรอิสระ  $p$  ตัวที่ระบุว่าต้องมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร
2. การตรวจสอบเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของแต่ละกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่ จะใช้สถิติทดสอบบ็อกซ์ (Box's Test) โดย Box ได้ศึกษาและเสนอวิธีการทดสอบและสมมติฐาน

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_k = \Sigma$$

$$H_1 : \text{มี } \Sigma_i \neq \Sigma_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่ ; } i \neq j$$

สถิติทดสอบ  $B = (1-c) \left\{ \left[ \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \right] \ln |S_p| - \left[ \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \right] \ln |S_i| \right\}$

โดยที่

$$c = \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{\sum_{i=1}^k (n_i - 1)} \right] \left[ \frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(k-1)} \right] \quad (2.23)$$

โดยที่  $p$  เป็นจำนวนตัวแปรอิสระ  
 $n_i$  เป็นจำนวนข้อมูลในกลุ่มที่  $i$   
 $k$  เป็นจำนวนกลุ่ม  
 $S_i$  เป็นเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมตัวอย่างของกลุ่มที่  $i; i = 1, 2, \dots, k$   
 $S_p$  เป็นเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมตัวอย่างของทุกกลุ่ม

สถิติทดสอบ  $B$  จะมีการแจกแจงแบบไคกำลังสองที่องศาอิสระ  $\frac{1}{2} p(p+1)(k-1)$   
 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $B > \chi^2_{\frac{1}{2} p(p+1)(k-1)}$

ในกรณีที่เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ซึ่งจากวิธีของ Fisher จะใช้สมการที่ (2.22) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การจำแนก ( $b$ ) โดยที่  $S_p$  เป็นเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมเมื่อรวมข้อมูลทุกกลุ่มเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขหรือข้อสมมติที่ว่า  $\Sigma_1 = \Sigma_2$  แต่เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่า  $\Sigma_1 \neq \Sigma_2$  ถ้าผู้วิจัยยังคงใช้สมการของฟิชเชอร์จะไม่ถูกต้อง

### 2.9.5 การทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์หัตถ์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์

ในการวิเคราะห์หัตถ์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ผู้วิจัยเป็นผู้แบ่งกลุ่มเองก่อนที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุ ดังนั้นกลุ่มที่แบ่งอาจจะไม่ได้ต่างกันได้ จึงต้องทำการตรวจสอบว่ากลุ่มต่างกันจริงหรือไม่ โดยการทดสอบค่าเฉลี่ยหรือจุดกลางกลุ่ม ว่าต่างกันหรือไม่

ก. กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว

ถ้ามีตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัว ( $X$ ) การทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยที่  $\mu_i$  = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่  $i; i = 1, 2$

สถิติทดสอบ 
$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.24)$$

ถ้า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  โดยที่  $t$  มีองศาอิสระ  $n_1 + n_2 - 2$  และ  $S_p^2$  = ค่าแปรปรวนรวม (pooled variance) เมื่อยกกำลังสองสมการที่ (2.24) จะได้

$$t^2 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^2}{S_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

หรือ 
$$t^2 = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \left( \frac{1}{S_p^2} \right) (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \quad (2.25)$$

โดยที่  $t^2$  มีการแจกแจงแบบ F ที่องศาอิสระ  $1, n_1 + n_2 - 2$

ข. กรณีที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว

กรณีที่มีตัวแปรอิสระ  $p$  ตัว  $(X_1, X_2, \dots, X_p)$  และ  $\bar{x}_i =$  เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $p$  ตัว ของกลุ่มที่  $i; i = 1, 2$

สถิติทดสอบ  $t^2$  ในสมการที่ (2.25) จะเป็น

$$\begin{aligned} T^2 &= \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S_p^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \\ &= \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} D^2 \end{aligned}$$

โดยที่ 
$$D^2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

สถิติ  $T^2$  เรียกว่า Hotelling  $T^2$

$$F = \frac{n_1 + n_2 - p - 1}{p(n_1 + n_2 - 2)} T^2 = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - p - 1)}{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 - 2)p} \cdot D^2 \sim F_{(p, n_1 + n_2 - p - 1)}$$

โดยที่  $F_{(p, n_1 + n_2 - p - 1)}$  มีการแจกแจงแบบ F ที่องศาอิสระ  $p, n_1 + n_2 - p - 1$  ตามลำดับ

การทดสอบ  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

การสรุปผลการทดสอบ : จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $\frac{(n_1 + n_2 - p - 1)}{p(n_1 + n_2 - 2)} T^2 > F_{(p, n_1 + n_2 - p - 1)}$  ที่ระดับ

นัยสำคัญ  $\alpha$

## 2.9.6 การพยากรณ์กลุ่ม

หลังจากที่สร้างฟังก์ชันเชิงเส้นจำแนกกลุ่ม ได้ดังนี้

$$\hat{Y} = b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p \quad (2.26)$$

จะสามารถใช้สมการที่ (2.26) พยากรณ์แต่ละหน่วยว่าอยู่กลุ่มใด เมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระ  $X_1, X_2, \dots, X_p$  โดยคำนวณค่าคะแนนจำแนก  $\hat{Y}$  ของแต่ละหน่วย

ค่า  $\hat{Y}$  ที่คำนวณได้อาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้ ผู้ศึกษาจะทราบได้อย่างไรว่า ถ้า  $Y = 0.5$  หรือ  $Y = 1.7$  แล้ว ควรจะพยากรณ์ว่าหน่วยดังกล่าวควรอยู่กลุ่มใด (กลุ่มที่ 1 หรือกลุ่มที่ 2) ถ้าเวกเตอร์  $x_j$  เป็นเวกเตอร์ของข้อมูลของหน่วยที่  $j$  ที่ต้องการพยากรณ์กลุ่ม เกณฑ์ในการตัดสินใจว่า ควรจะจัดให้หน่วยที่  $j$  ที่มีค่าตัวแปรอิสระ  $x_j$  อยู่ในกลุ่มที่ 1 หรือ 2 นั้น อาจพิจารณาได้หลายรูปแบบ

### ก. การพยากรณ์กลุ่มด้วยระยะห่าง

การพิจารณาจากระยะห่างของหน่วยที่  $j$  ไปยังจุดกลางกลุ่มหรือค่าเฉลี่ยของคะแนนจำแนกโดยเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ การเปรียบเทียบระยะห่างหรือความแตกต่างของหน่วยที่  $j$  กับจุดกลางกลุ่มที่ 1 และระยะห่างระหว่างหน่วยที่  $j$  กับจุดกลางหน่วยที่ 2 ถ้าระยะห่างใดสั้นกว่าก็จะจัดหรือพยากรณ์ให้หน่วยที่  $j$  อยู่กลุ่มนั้น

เกณฑ์การพยากรณ์หรือจัดหน่วยที่  $j$

กำหนดให้  $D_1 =$  ระยะห่างจากหน่วยที่  $j(x_j)$  กับค่ากลางของกลุ่มที่ 1 ( $\bar{x}_1$ )

$$D_1 = \left| b'(x_j - \bar{x}_1) \right|$$

$D_2 =$  ระยะห่างจากหน่วยที่  $j(x_j)$  กับค่ากลางของกลุ่มที่ 2 ( $\bar{x}_2$ )

$$D_2 = \left| b'(x_j - \bar{x}_2) \right|$$

ถ้า  $D_1 < D_2$  จะจัดให้หน่วยที่  $j(x_j)$  อยู่กลุ่มที่ 1

ถ้า  $D_2 < D_1$  จะจัดให้หน่วยที่  $j(x_j)$  อยู่กลุ่มที่ 2

### 1. เมื่อขนาดตัวอย่างของ 2 กลุ่มเท่ากัน ( $n_1 = n_2$ )

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างของทั้ง 2 กลุ่มเท่ากัน ( $n_1 = n_2$ ) หรือขนาดตัวอย่างของ 2 กลุ่มใกล้เคียงกันเพื่อทำให้ง่ายขึ้น จะคำนวณค่าที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มคือ  $Y_c$

โดยที่  $Y_c$  เป็นค่าเฉลี่ยของคะแนนฟังก์ชันจำแนกระหว่างจุดกลางกลุ่มของทั้ง 2 กลุ่ม หรือกล่าวได้ว่า ค่าที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม  $Y_c$  จะอยู่ห่างจากจุดกลางกลุ่มทั้ง 2 กลุ่มเท่าๆ กัน



$$Y_c = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2}$$

$$\text{โดยที่ } \bar{Y}_1 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S^{-1} \bar{x}_1 = b' \bar{x}_1$$

$$\bar{Y}_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S^{-1} \bar{x}_2 = b' \bar{x}_2$$

$$\therefore Y_c = \frac{1}{2} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S^{-1} (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) \quad (2.27)$$

2. เมื่อขนาดตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มไม่เท่ากัน ( $n_1 \neq n_2$ )

กรณีที่ขนาดตัวอย่างจาแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ( $n_1 \neq n_2$ ) โดยเฉพาะกรณีที่แตกต่างกันมาก การคำนวณค่า  $Y_c$  ในสมการที่ (2.27) จะกลายเป็น

$$Y_c^* = \frac{n_1 \bar{Y}_1 + n_2 \bar{Y}_2}{n_1 + n_2}$$

โดยที่  $Y_c^*$  เป็นค่าเฉลี่ยซึ่งถ่วงน้ำหนักด้วยขนาดตัวอย่าง จะพบว่าถ้าใช้ค่าแบ่งกลุ่มที่มีการถ่วงน้ำหนักด้วยขนาดตัวอย่าง ( $Y_c^*$ ) จะทำให้  $Y_c^*$  อยู่ใกล้ค่ากลางกลุ่มที่ 2 หรือกลุ่มที่มีขนาดตัวอย่างเล็กมากกว่ากลุ่มที่ขนาดตัวอย่างใหญ่ ขณะที่ถ้าใช้  $Y_c$  จะห่างจากจุดกลาง ( $\mu_1$  และ  $\mu_2$ ) เท่าๆ กัน

ข. การพยากรณ์ด้วยอัตราส่วนความควรจะเป็น

Welch ได้ศึกษาการพยากรณ์ของการจัดกลุ่ม โดยใช้อัตราส่วนความควรจะเป็น (Likelihood ratio) โดยที่ถ้าค่าตัวแปรอิสระของหน่วยใดๆ  $x$  (มีตัวแปรอิสระ  $p$  ตัว) อาจจะมาจกประชากรที่ 1 หรือกลุ่มที่ 1 หรืออาจจะมาจากหรือประชากรที่ 2 นั่นคือ

$$x \sim f_1(x; \mu_1, \Sigma) \quad \text{หรือ} \quad N_p(\mu_1, \Sigma)$$

$$\text{หรือ} \quad x \sim f_2(x; \mu_2, \Sigma) \quad \text{หรือ} \quad N_p(\mu_2, \Sigma)$$

โดย  $f_1, f_2$  เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปร  $x$  ที่มาจากประชากรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดย  $f_1$  และ  $f_2$  มีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร หรือ

ถ้า  $f_1(x; \mu_1, \Sigma) > f_2(x; \mu_2, \Sigma)$  หน่วย  $x$  ควรจะมาจากประชากรที่ 1

ถ้า  $f_2(x; \mu_2, \Sigma) > f_1(x; \mu_1, \Sigma)$  หน่วย  $x$  ควรจะมาจากประชากรที่ 2

ให้  $\lambda$  เป็นอัตราส่วนความควรจะเป็นหรือ

$$\lambda = \frac{f_1(x; \mu_1, \Sigma)}{f_2(x; \mu_2, \Sigma)}$$

เกณฑ์ในการจัดหรือการพยากรณ์ คือ

จะจัด  $x$  อยู่ในประชากรที่ 1 หรือกลุ่มที่ 1 ถ้า  $\lambda > 1$

จะจัด  $x$  อยู่ในประชากรที่ 2 หรือกลุ่มที่ 2 ถ้า  $\lambda \leq 1$

$$\text{หรือ } \lambda = \exp \left[ (\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} x - \frac{1}{2} (\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \right] \quad (2.28)$$

เกณฑ์ในการจัดกลุ่มหรือพยากรณ์กลุ่มคือ

จะจัด  $x$  อยู่ในกลุ่มที่ 1 ถ้า

$$(\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} x - \frac{1}{2} (\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) > 0$$

และจะจัด  $x$  ให้อยู่ในกลุ่มที่ 2 ถ้า

$$(\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} x - \frac{1}{2} (\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \leq 0$$

กรณีที่ไมทราบค่าประชากร จะประมาณด้วยค่าสถิติที่ไม่เอนเอียง คือ ประมาณ  $(\mu_1 - \mu_2)$  ด้วย  $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$  และประมาณเมตริกซ์แปรปรวนและแปรปรวนร่วม  $\Sigma$  ด้วยเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมตัวอย่าง  $S$

ค. การพยากรณ์กลุ่มโดยใช้ความน่าจะเป็นก่อนและความน่าจะเป็นหลัง

การศึกษาอัตราส่วนความควรจะเป็น และขยายไปสู่ความน่าจะเป็นก่อน (Prior probability) ของกลุ่มที่ 1 และ 2 โดยกำหนดให้

ความน่าจะเป็นก่อนของกลุ่มที่ 1 =  $P$  (หน่วยหนึ่งๆ จะอยู่ในกลุ่มที่ 1) =  $g$

ความน่าจะเป็นก่อนของกลุ่มที่ 2 =  $P$  (หน่วยหนึ่งๆ จะอยู่ในกลุ่มที่ 2) =  $1 - g$

ถ้าเงื่อนไขทั้ง 2 ข้อของการวิเคราะห์ห้ผลลัพธ์เปิดคดีศรัทธาเป็นจริงคือข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปรและเมตริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของกลุ่มที่ 1 และ 2 เท่ากัน ( $\Sigma_1 = \Sigma_2$ )

ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข คือ

$$p(x' | \text{กลุ่มที่ 1}) = \frac{1}{|S_p| \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \bar{x}_1)' S_p^{-1} (x - \bar{x}_1) \right\} \quad (2.29)$$

หรือเขียนฟังก์ชัน  $(x - \bar{x}_1)' S_p^{-1} (x - \bar{x}_1) = D_1^2$  หรือระยะห่าง Mahalanobis กำลังสองหรือระยะห่าง  $x'$  ไปยังจุดกลางกลุ่มที่ 1 จะทำให้สมการที่ (2.30) กลายเป็น

$$p(x' | \text{กลุ่มที่ 1}) = \frac{1}{|S_p| \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} D_1^2 \right\} \quad (2.30)$$

ในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นของ  $x$  โดยกำหนดว่า  $x$  มาจากกลุ่มที่ 2 คือ

$$p(x' | \text{กลุ่มที่ 2}) = \frac{1}{|S_p| \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} D_2^2 \right\} \quad (2.31)$$

การใช้ทฤษฎีของเบย์ (Bayes's Theorem) เมื่อทราบค่าข้อมูล  $x$  ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขที่  $x$  จะมาจากกลุ่มที่ 1 หรือความน่าจะเป็นหลัง (Posterior probability) ของการอยู่ในกลุ่มที่ 1 คือ ในทำนองเดียวกันความน่าจะเป็นหลังของการอยู่ในกลุ่มที่ 2 คือ

$$P(\text{อยู่ในกลุ่มที่ 1} | x') = \frac{g[P(x' | \text{group1})]}{g[P(x' | \text{group1})] + (1-g)[P(x' | \text{group2})]} \quad (2.32)$$

ในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นหลังของการอยู่ในกลุ่มที่ 2 คือ

$$P(\text{อยู่ในกลุ่มที่ 2} | x') = \frac{(1-g)[P(x' | \text{group2})]}{g[P(x' | \text{group1})] + (1-g)[P(x' | \text{group2})]} \quad (2.33)$$

ในการจัดกลุ่มหรือพยากรณ์กลุ่ม จึงพิจารณาจากอัตราส่วนของสมการที่ (2.32) กับ (2.33) ถ้าอัตราส่วนมากกว่า 1 จะจัดให้  $x$  อยู่ในกลุ่มที่ 1 หรือจะจัดให้  $x$  อยู่ในกลุ่มที่ 1 ถ้า

$$\frac{[P(x' | \text{group1})]}{(1-g)[P(x' | \text{group2})]} > 1 \quad (2.34)$$

จะจัดให้  $x$  อยู่ในกลุ่มที่ 2 ถ้า

$$\frac{[P(x' | group1)]}{(1-g)[P(x' | group2)]} \leq 1$$

นำสมการที่ (2.30) และ (2.31) แทนค่าในสมการที่ (2.34) จะได้

$$\left(\frac{g}{1-g}\right) \cdot e^{-\frac{1}{2}(D_1^2 - D_2^2)} > 1 \quad (2.35)$$

หาค่า  $\log_e$  สมการที่ (2.35) จะได้

$$\ln\left(\frac{g}{1-g}\right) - \frac{1}{2}(D_1^2 - D_2^2) > 0 \quad (2.36)$$

โดยที่  $\frac{1}{2}(D_1^2 - D_2^2) = b'x - \frac{1}{2}(\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2)$

และ  $\hat{Y} = b'x$  และ  $Y_c = \frac{1}{2}(\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2)$

จากสมการที่ (2.36) จะได้

$$\ln\left(\frac{g}{1-g}\right) - (\hat{Y} - Y_c) > 0$$

$$\therefore \hat{Y} < Y_c + \ln\left(\frac{g}{1-g}\right) \quad (2.37)$$

ดังนั้น เกณฑ์ในการจัดกลุ่ม คือ

$$\text{ถ้า } \hat{Y} < Y_c + \ln\left(\frac{g}{1-g}\right) \text{ จะจัดให้หน่วยใหม่อยู่ในกลุ่มที่ 1}$$

โดย  $\hat{Y}$  เป็นคะแนนจำแนกหน่วยใหม่  $= b'x$

แต่ถ้า  $\hat{Y} < Y_c + \ln\left(\frac{g}{1-g}\right)$  จะจัดให้หน่วยใหม่อยู่ในกลุ่มที่ 2

1. กรณีที่ความน่าจะเป็นก่อนของกลุ่มที่ 1 และ 2 เท่ากัน คือ  $g = 1 - g$  จะทำให้  $\ln\left(\frac{g}{1-g}\right) = \ln(1) = 0$  ดังนั้นสมการที่ (2.37) จะกลายเป็นจัดหน่วยใหม่ให้อยู่ในกลุ่มที่ 1 ถ้า  $Y < Y_c$
2. กรณีที่ความน่าจะเป็นก่อนของกลุ่มที่ 1 มากกว่ากลุ่มที่ 2 ( $g > 1 - g$ ) จะทำให้  $\ln\left(\frac{g}{1-g}\right)$  มีค่ามากกว่าศูนย์ ทำให้ค่าที่ใช้แบ่งกลุ่ม  $\left(Y_c + \ln\left(\frac{g}{1-g}\right)\right)$  ในสมการที่ (2.37) มีค่ามากขึ้น ทำให้มีโอกาสจัดให้หน่วยต่างๆ อยู่ในกลุ่มที่ 1 มากขึ้น
3. กรณีที่ความน่าจะเป็นก่อนของกลุ่มที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มที่ 1 ( $1 - g > g$ ) จะทำให้  $\ln\left(\frac{g}{1-g}\right)$  มีค่าต่ำกว่าศูนย์ ซึ่งมีผลทำให้ค่าที่ใช้แบ่งกลุ่มในสมการที่ (2.37) มีค่าน้อยลง จึงทำให้โอกาสที่จะจัดให้หน่วยต่างๆ อยู่ในกลุ่มที่ 1 ลดลง

### 2.9.7 การประเมินความเหมาะสมของฟังก์ชันจำแนกกลุ่ม

ในการวิเคราะห์ความถดถอยมักจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R$ )<sup>2</sup> เพื่อศึกษาว่าตัวแปรตามขึ้นกับค่าตัวแปรอิสระมากน้อยเพียงใด สำหรับวิเคราะห์ที่มีมิติเปิดดิสคริมิแนนต์เมื่อนำฟังก์ชันจำแนกกลุ่มไปพยากรณ์หรือจัดกลุ่มให้คนใหม่หรือหน่วยใหม่ว่าควรอยู่กลุ่มใด ความถูกต้องของการจัดกลุ่มหรือพยากรณ์เป็นสิ่งที่สำคัญ การประเมินหรือการตัดสินใจว่าจะนำฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่ได้จากการคำนวณหรือแบ่งกลุ่ม  $Y_c$  ไปใช้หรือไม่จะพิจารณาจากร้อยละของการพยากรณ์หรือจัดกลุ่มได้ถูกต้อง การตรวจสอบความถูกต้องของการใช้ฟังก์ชันจำแนกกลุ่ม ทำให้ 3 ดังนี้

#### ก. การใช้ข้อมูลทั้งหมด

ถ้าข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างฟังก์ชันจำแนกกลุ่มเชิงเส้น คือ  $n$  และได้ทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่มมาก่อน โดยเป็นกลุ่มที่ 1 ขนาด  $n_1$  หน่วยและกลุ่มที่ 2 มีขนาด  $n_2$  หน่วย โดยผู้ศึกษาเป็นผู้แบ่งกลุ่มมาก่อนที่จะวิเคราะห์หรือสร้างฟังก์ชัน นั่นคือต้องทราบมาก่อนว่า แต่ละหน่วยอยู่กลุ่มใดมาก่อน แล้วนำข้อมูลทั้งหมด  $n$  หน่วยมาสร้างฟังก์ชันจำแนกได้สมการ

$$\hat{Y} = a + b_1 + X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p$$

แล้วสร้างเกณฑ์การแบ่งกลุ่มแล้วนำค่าของข้อมูลแต่ละหน่วยใน  $n$  หน่วยข้างต้นคำนวณหาค่า  $\hat{Y}$  แล้วพยากรณ์กลุ่มและตรวจสอบว่าพยากรณ์ได้ถูกต้องหรือไม่ แต่เมื่อสร้างสมการ

จำแนกประเภทแล้วใช้เกณฑ์การพยากรณ์หรือจัดกลุ่มด้วยเกณฑ์ในหัวข้อ 2.8.6 แล้วพบว่าพยากรณ์ข้อมูลอยู่ในกลุ่มที่ 2 หมายถึงจัดหรือพยากรณ์ไม่ถูกต้อง

#### ข. การแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน

ในหัวข้อ ก. ซึ่งไม่มีการแบ่งข้อมูล ทำให้ข้อมูลทั้งหมดสร้างฟังก์ชันแล้วเอาฟังก์ชันมาพยากรณ์ข้อมูลชุดเดิม อาจจะทำให้สัดส่วนการพยากรณ์ได้ถูกต้องมีค่าสูง ทำให้ผู้ศึกษาเกิดความมั่นใจที่จะนำฟังก์ชันการจำแนกกลุ่มไปพยากรณ์หน่วยใหม่หรือคนใหม่ทั้งที่เมื่อไปพยากรณ์คนใหม่ อาจจะไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลส่วนที่นำมาใช้สร้างฟังก์ชันการจำแนกกลุ่ม ซึ่งเรียกข้อมูลชุดนี้ว่า Training data ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะต้องมีหน่วยต่างๆ ทั้ง 2 กลุ่ม โดยที่ให้  $m_1$  = จำนวนข้อมูลหรือจำนวนหน่วยในส่วนที่ 1

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่นำมาใช้เพื่อตรวจสอบจึงเรียกข้อมูลส่วนนี้ว่า Testing data โดยนำฟังก์ชันที่ได้จากการใช้ข้อมูลส่วนที่ 1 มาพยากรณ์หน่วยหรือคนที่อยู่ในส่วนที่ 2 แล้วคำนวณร้อยละที่พยากรณ์ได้ถูกต้อง โดยให้  $m_2$  = จำนวนข้อมูลหรือจำนวนหน่วยในส่วนที่ 2

$$n = m_1 + m_2$$

#### ค. การใช้ข้อมูล $n-1$ หน่วย

Crask และ Perreault ได้เสนอให้ใช้ jackknife validation หรือเรียกว่าวิธี U (U-method) โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้ คือใช้ข้อมูล  $n-1$  ค่ามาสร้างสมการจำแนก แล้วนำสมการที่สร้างขึ้นไปพยากรณ์หรือจัดกลุ่ม หน่วยที่เหลืออีก 1 หน่วย ทำเช่นนี้ไป  $n$  ครั้ง แล้วนับจำนวนพยากรณ์กลุ่มผิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ครั้งที่ 1 ใช้ข้อมูลจำนวน  $n-1$  หน่วยคือหน่วยที่ 2 ถึงหน่วยที่  $n$  มาสร้างสมการจำแนก แล้วนำสมการที่สร้างขึ้นมาพยากรณ์กลุ่มให้หน่วยที่ 1 แล้วตรวจสอบว่าพยากรณ์ถูกหรือผิด

ครั้งที่ 2 ใช้ข้อมูลจำนวน  $n-1$  หน่วยคือหน่วยที่ 1 และหน่วยที่ 3 ถึงหน่วยที่  $n$  มาสร้างสมการจำแนก โดยเก็บหน่วยที่ 2 ไว้ตรวจสอบ แล้วนำผลวิเคราะห์มาพยากรณ์กลุ่มให้หน่วยที่ 2 แล้วตรวจสอบว่า พยากรณ์ถูกหรือผิด

ครั้งที่  $n$  ใช้ข้อมูลหน่วยที่ 1 ถึง  $n-1$  โดยเก็บหน่วยที่  $n$  ไว้ตรวจสอบ มาสร้างสมการจำแนกประเภทแล้วพยากรณ์กลุ่มให้หน่วยที่  $n$  ตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์

สำหรับโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติส่วนใหญ่ เช่น SPSS, Minitab, JMP เป็นต้น จะตรวจสอบโดยใช้วิธีที่ 1 คือข้อมูลทั้งหมดและวิธีที่ 3 ซึ่งเรียกวินิที่ 3 นี้ว่า Cross validation หรือ Leave one out validation

### 2.9.8 การวิเคราะห์ห้ำลติเปิลติสคริมิแนนต์เมื่อเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมไม่เท่ากัน

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้กลุ่มต่างประเทศและพยากรณ์กลุ่มให้กับหน่วยใหม่หรือคนใหม่ มีข้อสมมุติหรือเงื่อนไขว่า เวกเตอร์ตัวแปรอิสระ  $x$  ต้องมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปรและเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมของตัวแปร  $x$  ของแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน นั่นคือ กรณีที่มี 2 กลุ่มจะต้องมี  $\Sigma_1 = \Sigma_2$

ในบางครั้งจะพบว่า  $\Sigma_1 \neq \Sigma_2$  ทำให้เงื่อนไขไม่เป็นจริง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพยากรณ์กลุ่มให้กับหน่วยต่างๆ จึงต้องมรการปรับเกณฑ์ในการพยากรณ์กลุ่ม ดังนี้

1. การศึกษาให้ใช้เกณฑ์อัตราส่วนความน่าจะเป็น  $\lambda$  จากสมการที่ (2.28) โดยปรับให้เป็นฟังก์ชันจำแนกในรูปกำลังสอง (Quadratic discriminant function)

$$g(x) = (x - \mu_2)' \Sigma_2^{-1} (x - \mu_2) - (x - \mu_1)' \Sigma_1^{-1} (x - \mu_1) - \ln \left[ \frac{|\Sigma_1|}{|\Sigma_2|} \right]$$

หรือกรณีที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์  $\mu_1, \mu_2, \Sigma_1$  และ  $\Sigma_2$  จะประมาณด้วยสถิติที่ไม่เอนเอียงคือ  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, S_1$  และ  $S_2$  ตามลำดับ จะได้

$$g(x) = (x - \bar{x}_2)' S_2^{-1} (x - \bar{x}_2) - (x - \bar{x}_1)' S_1^{-1} (x - \bar{x}_1) - \ln \left[ \frac{|S_1|}{|S_2|} \right]$$

เกณฑ์การพยากรณ์จะจัดให้  $x$  อยู่ในกลุ่มที่ 1 ถ้า  $g(x) > 0$  แต่ถ้า  $g(x) < 0$  จะจัดให้  $x$  อยู่ในกลุ่มที่ 2 หรือกล่าวได้ว่าจะจัดให้  $x$  อยู่ในกลุ่มที่ 1 ถ้า

$$(x - \bar{x}_1)' S_2^{-1} (x - \bar{x}_1) < (x - \bar{x}_2)' S_1^{-1} (x - \bar{x}_2) - \ln \left[ \frac{|S_1|}{|S_2|} \right] \quad (2.38)$$

และจะจัด  $x$  ให้อยู่ในกลุ่มที่ 2 ถ้ามีค่าอื่นๆ

2. การศึกษาฟังก์ชันการจำแนกสำหรับ 2 กลุ่มที่เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน โดยยังคงใช้ฟังก์ชันการจำแนกในรูปเชิงเส้น แต่ปรับค่าที่ใช้แบ่งกลุ่มเป็น

$$\hat{Y} = x'(tS_1 + (1-t)S_2)^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

จะพยากรณ์ว่า  $x$  อยู่ที่กลุ่มที่ 1 ถ้า  $y > c$

จะพยากรณ์ว่า  $x$  อยู่ที่กลุ่มที่ 2 ถ้า  $y \leq c$

โดยจะใช้ทฤษฎีของเบย์ส์ มินนิแมกซ์และให้ความผิดพลาดในการพยากรณ์น้อยที่สุด เพื่อหาค่า  $t$  และ  $c$  โดยที่

$$c = \frac{1}{2}(\bar{x}_1 + \bar{x}_2)'(tS_1 + (1-t)S_2)^{-1}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

จะหาค่า  $t$  ที่ทำให้การพยากรณ์ผิดน้อยที่สุด

ผลกระทบเมื่อเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน โดยจากการศึกษาถึงผลกระทบเนื่องจากการใช้ฟังก์ชันจำแนกในรูปเชิงเส้นทั้งที่เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมของแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับการใช้ฟังก์ชันจำแนกในรูปกำลังสอง ด้วยการพิจารณาจากโอกาสที่จะพยากรณ์กลุ่มไม่ถูกต้อง โดยให้เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมของกลุ่มหนึ่งเป็นหลายๆ เท่าของอีกกลุ่มหนึ่ง และสรุปได้ว่าถ้าเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกันอย่างมาก ยังคงสามารถใช้ฟังก์ชันจำแนกเชิงเส้นได้

### 2.9.9 การวิเคราะห์หลักตติเปิดคิสคริมิแนนต์เมื่อมีมากกว่า 2 กลุ่ม

ในกรณีที่แบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย มากกว่า 2 กลุ่มหรือกล่าวโดยทั่วไปว่า แบ่งเป็น  $k$  กลุ่ม โดยที่  $k \geq 3$  ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มมากกว่า 2 กลุ่ม

ข้อสมมติของการวิเคราะห์หลักตติเปิดคิสคริมิแนนต์เมื่อมีมากกว่า 2 กลุ่ม

1. ตัวแปรอิสระของแต่ละกลุ่มต้องมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร

หรือ  $\bar{x}_i \sim N_p(\mu_i, \Sigma_i); i=1, 2, \dots, k; k > 2$

2. เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของทุกกลุ่มเท่ากัน

$$\Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_k = \Sigma$$

ในกรณีที่มีมากกว่า  $k$  กลุ่ม จะสามารถสร้างสมการจำแนกกลุ่มได้เท่ากับ  $\min\{p, k-1\}$  เช่น ถ้ามีตัวแปรอิสระ 5 ตัว ( $p=5$ ) และแบ่งกลุ่มได้ 4 กลุ่ม ( $k=4$ )

จำนวนสมการจำแนกกลุ่มเท่ากับ  $\min\{5, 4-1\} = 3$  สมการ

$$\hat{Y}_i = b_{i1}X_1 + b_{i2}X_2 + b_{i3}X_3 + b_{i4}X_4 + b_{i5}X_5; i=1, 2, 3$$



เมื่อกำหนดความน่าจะเป็นก่อนและค่าใช้จ่ายหรือค่าเสียหายเนื่องจากการพยากรณ์ผิด โดยการประมาณเมตริกซ์ความแปรปรวนและแปรปรวนร่วมได้ดังนี้

$$S = \frac{1}{n-k} \sum_{j=1}^k A_j$$

โดยที่  $A_j$  เป็นเมตริกซ์ผลบวกกำลังสองและผลคูณของกลุ่มที่  $j$ ;  $j = 1, 2, \dots, k$

เกณฑ์ในการพยากรณ์กลุ่ม ถ้า  $x$  เป็นข้อมูลของหน่วยใหม่ที่ไม่ทราบกลุ่มจะคำนวณคะแนนฟังก์ชันการจำแนกเชิงเส้น

$$W_{ij} = \bar{x}' S^{-1} (\bar{x}_i - \bar{x}_j) - \frac{1}{2} (\bar{x}_i + \bar{x}_j)' S^{-1} (\bar{x}_i - \bar{x}_j)$$

จะพยากรณ์กลุ่มให้  $x$  ให้อยู่ในกลุ่มที่  $i$  ถ้า  $W_{ij} > 0$ ;  $j \neq i$  และ  $W_{ij} = -W_{ji}$

ถ้ามี 3 กลุ่ม ( $k \geq 3$ ) และมีจำนวนตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ( $p \geq 2$ ) จะคำนวณค่า  $W_{12}, W_{13}$  และ  $W_{23}$  ดังนี้

$$W_{12} = \bar{x}' S^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \frac{1}{2} (\bar{x}_1 + \bar{x}_2)' S^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

$$W_{13} = \bar{x}' S^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_3) - \frac{1}{2} (\bar{x}_1 + \bar{x}_3)' S^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_3)$$

$$W_{23} = \bar{x}' S^{-1} (\bar{x}_2 - \bar{x}_3) - \frac{1}{2} (\bar{x}_2 + \bar{x}_3)' S^{-1} (\bar{x}_2 - \bar{x}_3)$$

เนื่องจาก  $W_{23} = W_{13} - W_{12}$  ดังนั้นคำนวณหา  $W_{12}$  และ  $W_{13}$  เท่านั้น จะจัดกลุ่มให้  $x$

อยู่ในกลุ่มที่ 1 ถ้า  $W_{12} > 0$  และ  $W_{13} > 0$

อยู่ในกลุ่มที่ 2 ถ้า  $W_{12} < 0$  และ  $W_{13} < W_{12}$

อยู่ในกลุ่มที่ 3 ถ้า  $W_{13} < 0$  และ  $W_{12} > W_{13}$

ถ้า  $k = 3$  กลุ่มแต่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว คือ  $p = 1$  และถ้าได้  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2 < \bar{X}_3$  เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มจะเป็น จัด  $x$  ให้อยู่ใน

กลุ่มที่ 1 ถ้า  $X < \frac{1}{2}(\bar{X}_1 + \bar{X}_2)$

กลุ่มที่ 2 ถ้า  $\frac{1}{2}(\bar{X}_1 + \bar{X}_2) \leq X \leq \frac{1}{2}(\bar{X}_2 + \bar{X}_3)$

กลุ่มที่ 3 ถ้า  $X > \frac{1}{2}(\bar{X}_2 + \bar{X}_3)$

การจัดกลุ่มโดยพิจารณาจากระยะห่าง ในกรณีนี้จะพิจารณาจากระยะห่าง Mahalanobis กำลังสอง

$$D_i^2 = (x - \bar{x}_i)' S^{-1} (x - \bar{x}_i); i = 1, 2, \dots, k$$

จะจัด  $x$  ให้อยู่ในกลุ่มที่  $i$  ถ้า  $D_i^2 = \min \{D_1^2, D_2^2, \dots, D_k^2\}$  นั่นคือเปรียบเทียบระยะห่างของ  $x$  ไปยังจุดกลางของแต่ละกลุ่ม ถ้าห่างจากจุดกลางกลุ่มใดสั้นที่สุด ก็จะจัดให้อยู่ในกลุ่มนั้น  
เกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อพยากรณ์กลุ่ม คือ จะจัดหน่วยที่มีข้อมูลตัวแปรอิสระ  $x$  ให้อยู่

อยู่ในกลุ่มที่ 1 ถ้า  $W_{12} > 0$  และ  $W_{13} > 0$

อยู่ในกลุ่มที่ 2 ถ้า  $W_{12} < 0$  และ  $W_{23} = W_{13} - W_{12} > 0$

อยู่ในกลุ่มที่ 3 ถ้า  $W_{13} < 0$  และ  $W_{23} < 0$

## 2.10 ค่าไอเกนและไอเกนเวกเตอร์ (Eigen value and eigen vector)

ในทางคณิตศาสตร์ไอเกนเวกเตอร์ของการแปลงเชิงเส้นนั้นต้องเป็นเมตริกซ์ที่ไม่ใช่เมตริกซ์ศูนย์ที่เมื่อนำไปใช้ในการแปลงนั้นจะเปลี่ยนระยะแต่ไม่เปลี่ยนทิศทาง สำหรับทุกไอเกนเวกเตอร์ของการแปลงเชิงเส้น จะมีค่าสเกลาร์ที่เรียกว่า ค่าไอเกน สำหรับเมตริกซ์นั้น ซึ่งกำหนดผลรวมไอเกนเวกเตอร์เป็นมาตราส่วนภายใต้การแปลงเชิงเส้น ตัวอย่างเช่น ค่าไอเกน เท่ากับ +2 หมายความว่าไอเกนเวกเตอร์มีความยาวและจุดเป็นเท่าตัวในทิศทางเดิม, ค่าไอเกนเท่ากับ +1 หมายความว่าไอเกนเวกเตอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวและจุด, ในขณะที่ค่าไอเกนเท่ากับ -1 หมายความว่าไอเกนเวกเตอร์จะมีทิศทางผกกลับ ปริภูมิลักษณะเฉพาะ (Eigen space) ของการแปลงที่ให้มา สำหรับค่าไอเกนเฉพาะส่วนเป็นเซตหรือผลการแผ่เชิงเส้นของไอเกนเวกเตอร์ที่ความสัมพันธ์กับค่าไอเกนนี้ พร้อมทั้งเวกเตอร์ศูนย์หรือไม่มีทิศทาง

ในกรณีการแปลงเชิงเส้น  $T: V \rightarrow V$  มี  $A$  เป็นเมตริกซ์การแปลงของ  $T$  ที่ทำให้  $T(v) = Av$  สำหรับทุก  $v \in V$  ถ้ามีสเกลาร์  $\lambda$  ที่ทำให้มีเวกเตอร์  $v$  ที่ไม่เป็นเวกเตอร์ศูนย์ที่ทำให้  $Av = \lambda v$  แล้วจะทำให้การคำนวณง่ายขึ้น ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในหลายสาขา

กำหนดให้  $A$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $m \times n$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

และ  $v$  เป็นเวกเตอร์หลัก (Column vector) และ  $\lambda$  เป็นค่าคงที่ใดๆ โดยที่ทำให้

$$v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$

โดยที่ทำให้ 
$$Av = \lambda v \tag{2.39}$$

เมื่อ  $A$  แทน ค่าเมตริกซ์  
 $\lambda$  แทน เป็นค่าคงที่ใดๆ เป็นสเกลาร์  
 $v$  แทน ค่าไอเกนเวกเตอร์

เรียกสเกลาร์  $\lambda$  ที่ทำให้สมการมีคำตอบที่ไม่เป็นศูนย์ (Nontrivial solution) ว่า ค่าไอเกน (Eigen value) ของ  $A$  และเรียกเวกเตอร์  $v$  ซึ่งเป็นคำตอบที่ไม่ใช่เวกเตอร์ศูนย์นั้น ว่า ไอเกนเวกเตอร์ (Eigen vector) สำหรับ  $\lambda$

ตัวอย่างเช่น  $v = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$  เป็นไอเกนเวกเตอร์ สำหรับค่าไอเกน  $\lambda = 3$  ของเมตริกซ์  $A = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix}$

หรือไม่

จะเห็นว่า 
$$Av = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 6 \end{bmatrix}$$

และ 
$$\lambda v = 3 \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 6 \end{bmatrix}$$

แสดงว่า 
$$Av = \lambda v$$

ดังนั้น 
$$v = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$$
 เป็นไอเกนเวกเตอร์ สำหรับค่าไอเกน  $\lambda = 3$

ส่วนการหาค่าไอเกนของเมตริกซ์  $A$  สามารถอธิบายโดยตัวอย่างต่อไปนี้

เมื่อกำหนดให้เมตริกซ์  $A = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix}$  จะสามารถหาค่าไอเกนได้ดังนี้

เมื่อ 
$$Av = \lambda v$$

ดังนั้น 
$$\begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$\lambda \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\left( \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda - 3 & 0 \\ -8 & \lambda + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ผลเฉลยไม่เป็นศูนย์ เมื่อ

$$\begin{vmatrix} \lambda - 3 & 0 \\ -8 & \lambda + 1 \end{vmatrix} = 0$$

$$(\lambda - 3)(\lambda + 1) - (-8)0 = 0$$

$$(\lambda - 3)(\lambda + 1) = 0$$

$$\lambda = 3, -1$$

ดังนั้น ค่าไอเกนของเมตริกซ์  $A$  มี 2 ค่า คือ  $\lambda_1 = 3$  และ  $\lambda_2 = -1$  โดยทั่วไปจากสมการ  $Av = \lambda v$  จะเห็นว่า  $v = 0$  ที่ทำให้สมการ เป็นจริงทุกๆ ค่าของ  $\lambda$  สามารถจัดสมการให้อยู่ในรูป ระบบสมการเอกพันธ์ (Homogeneous system) คือ

$$(\lambda I - A)v = 0 \tag{2.40}$$

เมื่อ

$A$  แทน ค่าเมตริกซ์

$I$  แทน เมตริกซ์เอกลักษณ์

$\lambda$  แทน เป็นค่าคงที่ใดๆ เป็นสเกลาร์

$v$  แทน ค่าไอเกนเวกเตอร์

ซึ่งระบบสมการดังกล่าวจะมีผลเฉลยที่ไม่เป็นศูนย์เมื่อดีเทอร์มิแนนต์ของเมตริกซ์  $\det(\lambda I - A) = 0$  มีสัมประสิทธิ์ไม่เป็น 0 นั่นคือ

$$|\lambda I - A| = 0 \tag{2.41}$$

ซึ่งสมการที่ (2.41) ใช้ในการหาค่าไอเกน เรียกว่า สมการแคแรกเตอร์ริสติก (Characteristic Equation) ของ  $A$  โดยการแก้สมการเพื่อหาค่าไอเกน  $\lambda$  ตามต้องการ ตัวอย่างเช่น เมื่อ

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

สมการแคแรกเตอร์ริสติก คือ  $|\lambda I - A| = 0$

$$\begin{vmatrix} \lambda - 3 & 0 - 2 \\ 0 - (-1) & \lambda - 0 \end{vmatrix} = 0$$

$$\begin{vmatrix} \lambda - 3 & -2 \\ 1 & \lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$(\lambda - 3)\lambda - 1(-2) = 0$$

$$\lambda^2 - 3\lambda + 2 = 0$$

$$\lambda = 1, 2$$

ดังนั้น ค่าไอเกนของเมตริกซ์  $A$  มี 2 ค่า คือ  $\lambda_1 = 1$  และ  $\lambda_2 = 2$

สรุป ถ้า  $A$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $m \times n$  และ  $\lambda$  เป็นจำนวนจริงแล้วจะได้

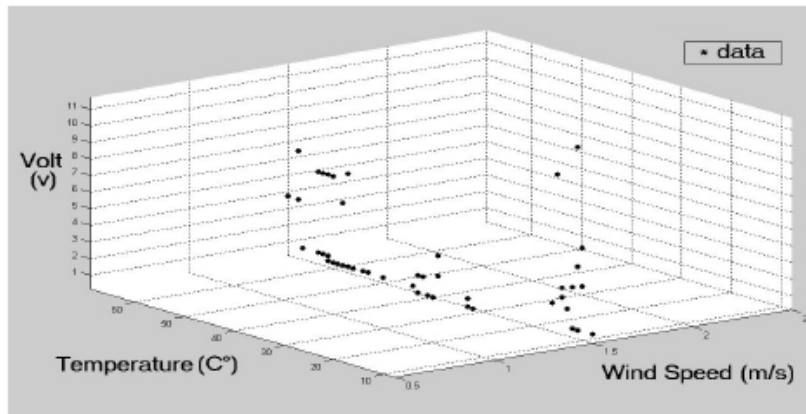
1.  $\lambda$  เป็นค่าไอเกนของเมตริกซ์  $A$
2. ระบบสมการ  $(\lambda I - A)v = 0$  มีคำตอบที่ไม่เป็นเวกเตอร์ศูนย์
3.  $|\lambda I - A| = 0$
4. มีเวกเตอร์  $v \neq 0$  ใน  $\mathbf{R}$  ที่ทำให้  $Av = \lambda v$

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันจุมุกอเล็กทรอนิกส์มีการนำพัฒนานำไปใช้งานต่างๆ หลากหลาย ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้เซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่น เนื่องจากมีขนาดเล็กสะดวกที่จะนำเซ็นเซอร์หลายตัวต่อรวมกัน ทนทาน เชื่อถือได้และการต่อวงจรเพื่อนำสัญญาณเอาต์พุตไปประมวลผลต่อก็ทำได้ง่าย ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่นำเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ไปใช้มีดังนี้

### 2.11.1 การเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศ

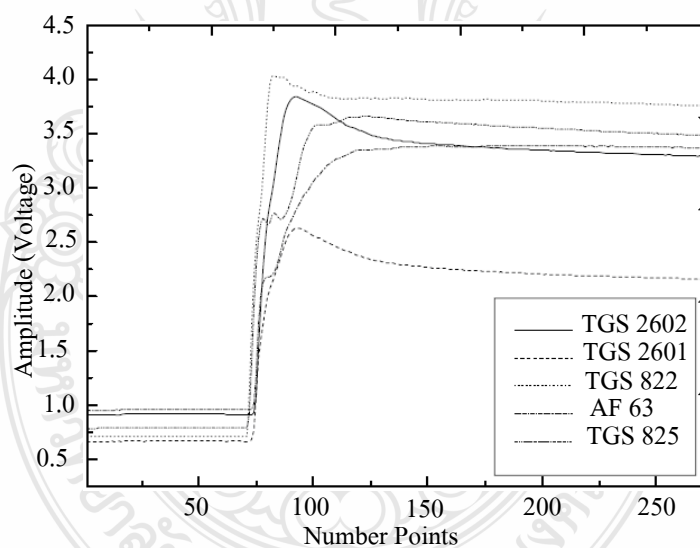
งานวิจัยของ Iman Morsi [15] ได้นำแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จำนวน 5 ตัว คือ TGS 822, TGS 2442, TGS 813, TGS 4160 และ TGS 2600 มาต่อรวมกัน และยังมีการตรวจวัดอุณหภูมิความชื้น และความเร็วลม เซ็นเซอร์ทั้งหมดควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำจุมุกอเล็กทรอนิกส์ตรวจวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามท้องถนนต่างๆ ในเมืองเปรียบเทียบกัน โดยใช้เทคนิคการถอดอยเชิงเส้นโค้งเพื่อหาความสัมพันธ์ในความเป็นไปได้ในการเตือนระดับมลพิษ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลข้อมูล



รูปที่ 2.19 ข้อมูลระดับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่บันทึกได้จากเซ็นเซอร์หลายๆ ตัว

### 2.11.2 การจำแนกตัวอย่างกลิ่นน้ำหอม

งานวิจัยของรุ่งโรจน์ เมลาพันธ์ [12] ได้ใช้แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จำนวน 5 ตัว คือ TGS2620 TGS2610 TGS822 TGS825 และ AF63 ตรวจสอบกลิ่นน้ำหอมกับแอลกอฮอล์ซึ่งได้การเปลี่ยนแปลงสัญญาณของแก๊สเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 2.19

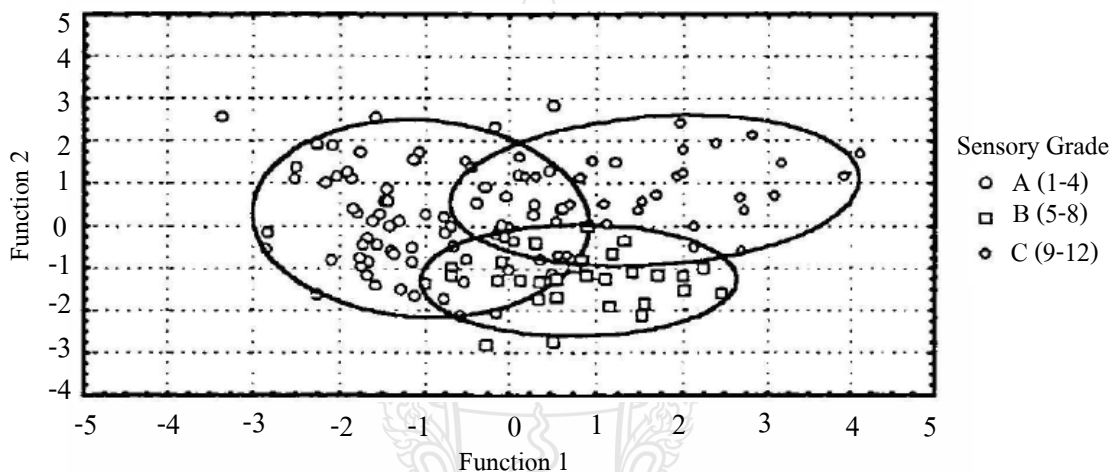


รูปที่ 2.20 สัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแก๊สเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำหอม [12]

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้เทคนิค PCA ในการจำแนกกลิ่นการทดลองได้คัดเลือกตัวอย่างน้ำหอมทั้งหมด 2 กลิ่น สารโพพานอลและเอทานอล ซึ่งเอทานอลเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่พบในน้ำหอมและโพพานอลใช้เป็นสารเปรียบเทียบสำหรับผลการทดลอง

### 2.11.3 การจำแนกคุณภาพเนื้อสัตว์

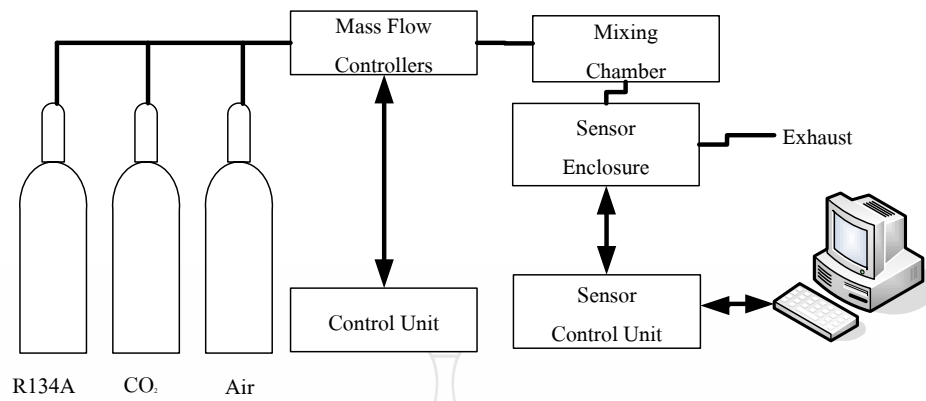
งานวิจัยของ Chen Cunshec และคณะ [16] ใช้แก๊สเซ็นเซอร์จำนวน 6 ตัว คือ MQ136, MQ 137, MQ 138, MQ 139, MQ 140 และ MQ 141 ตรวจวัดกลิ่นเนื้อสัตว์เพื่อคุณภาพ เนื่องจากการใช้เทคนิคเทคนิคประสาทสัมผัสตรวจสอบที่ไวอยู่เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งจะใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นเนื้อที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดวิเคราะห์ผล โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



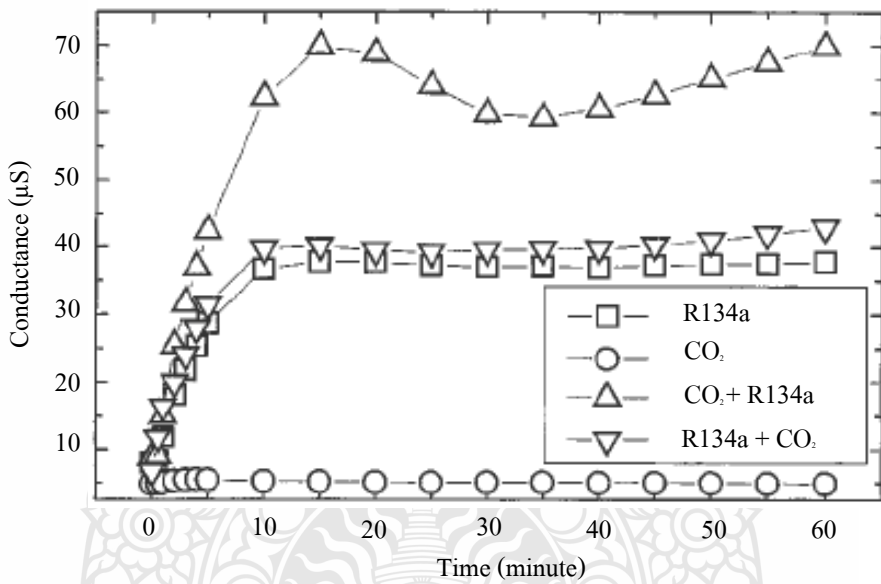
รูปที่ 2.21 ผลการจำแนกเนื้อสัตว์ตามระดับอุณหภูมิต่างๆ ด้วยเทคนิค MDA [16]

### 2.11.4 การจำแนกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สอื่นๆ

งานวิจัยของ Frederic Sarry และ Martine Lumbreras [17] ได้นำแก๊สเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัว คือ TGS800, TGS813 และ TGS832 มาต่อกันเป็นอาร์เรย์ มาใช้ตรวจวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และสารทำความเย็น R134a และสารผสมของแก๊สทั้งสอง ซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อนและการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการตรวจวัดจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ ซึ่งมีการทำงานระบบและผลการตรวจวัดที่ได้ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับจำแนกแก๊สต่างๆ โดยใช้เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ [17]



รูปที่ 2.23 ผลการตรวจวัดแสดงเป็นค่าความนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ [17]

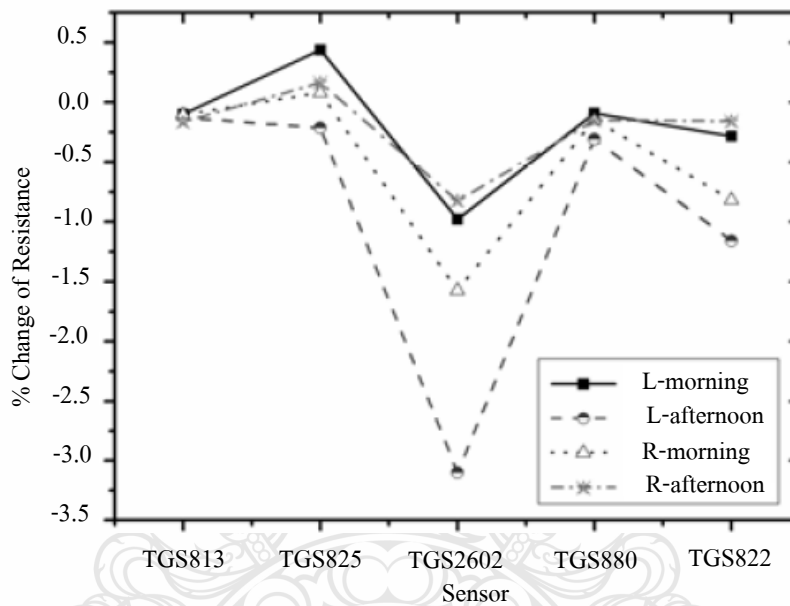
### 2.11.5 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ตรวจจับกลิ่นตัวมนุษย์

งานวิจัยของ A.W.Teo และ คณะ [18] ซึ่งใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ผสมสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่เกิดจากกลิ่นตัวมนุษย์ โดยได้ใช้แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์รุ่น TGS2600, TGS825, TGS826 จำแนกกลิ่นตัวมนุษย์เปรียบเทียบกับกลิ่นของวัตถุหรือสิ่งอื่นๆ อย่างเช่น กลิ่นของไข่ไก่ ปลา กุ้ง น้ำปัสสาวะ เป็นต้น โดยการทำงานร่วมกับระบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์นำไปใช้สำรวจผู้ประสบภัยที่ติดอยู่ภายใต้ซากสิ่งก่อสร้างที่เกิดการถล่ม เนื่องจากจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กและสามารถลอดเข้าไปตามช่องทางต่างๆ ที่ยากต่อหน่วยกู้ภัยเข้าถึง จะทำให้มีความรวดเร็วในการช่วยผู้บาดเจ็บเพราะไม่จำเป็นต้องรื้อซากสิ่งก่อสร้างทั้งหมดเพื่อผู้ประสบภัย

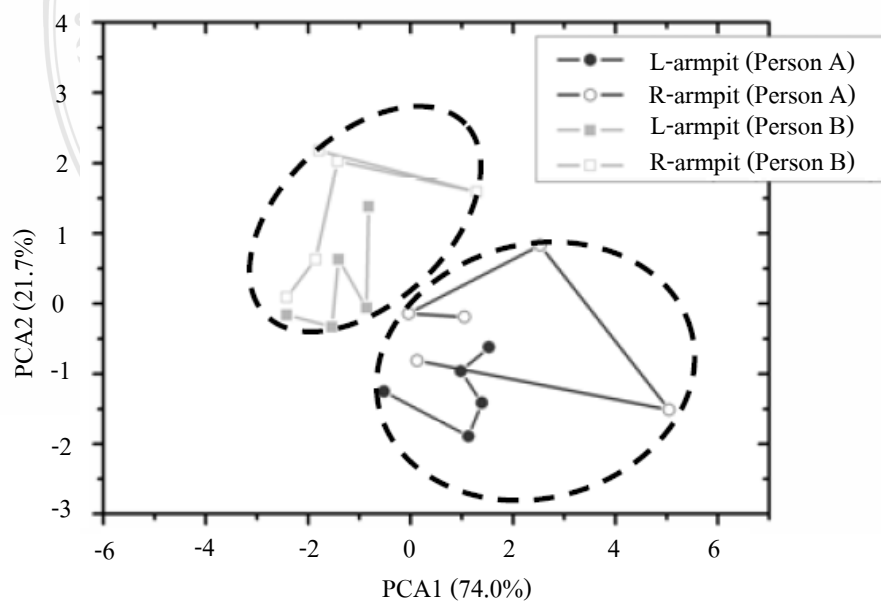


### 2.11.6 จมูกอิเล็กทรอนิกส์จำแนกกลิ่นตัวมนุษย์

งานวิจัยของชัชวาล วงศ์ชูศักดิ์และคณะ [19][20] ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นตัวมนุษย์ เพื่อแยกแยะว่าตัวอย่างกลิ่นเป็นของคนใด โดยใช้อาสาสมัครจำนวน 2 คนซึ่งทั้งสองมีการดำเนินชีวิตประจำวันที่คล้ายคลึงกันและใช้แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จำนวน 5 ตัว คือ TGS813, TGS822, TGS825, TGS880 และ TGS2602 ตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดจะใช้สำลีเช็ดเหงื่อจากซอกแขน ทั้งข้างซ้ายและขวา โดยระดับการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแก๊สเซ็นเซอร์ของการตรวจวัดเป็น ดังรูปที่ 2.22

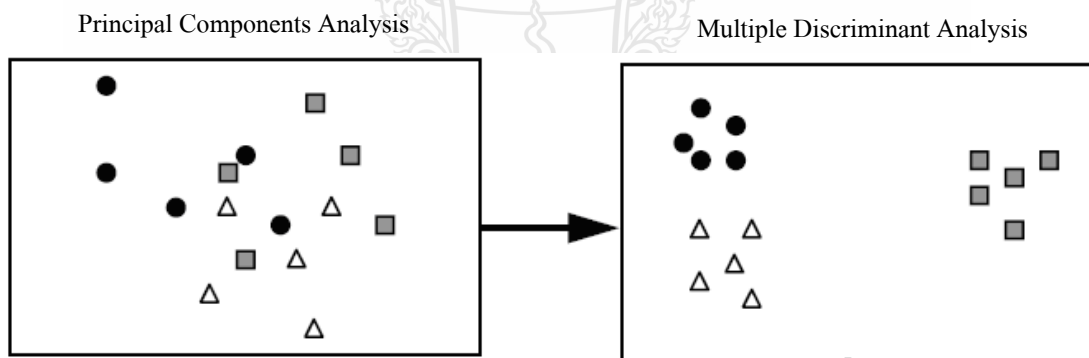


รูปที่ 2.24 ระดับการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแก๊สเซ็นเซอร์ของการตรวจวัด [19][20]



รูปที่ 2.25 ผลการวิเคราะห์หลักกลิ่นตัวของอาสาสมัครทั้งสองด้วยเทคนิค PCA [19][20]

จากนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดกลิ่นตัวจะนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อจำแนกความสัมพันธ์ของแก๊สเซ็นเซอร์แต่ละตัวที่ใช้ตรวจวัด เช่นเดียวกับงานของ Jie Hu [21] ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นดังรูปที่ 2.25 ซึ่งจะเห็นว่าผลการพล็อตกราฟการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักยังให้การจำแนกได้ยังไม่ดีพอเพราะเป็นการวิเคราะห์แบบการเรียนรู้ที่ไม่มีการสอน (Unsupervised) ซึ่งจากการศึกษาเราสามารถนำข้อมูลเดียวกันนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เพื่อจะทำได้ผลการจำแนกที่ดีกว่าโดยมีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์ร่วมด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูล ตัวอย่างเช่น การจำแนกปริมาณสาร Forane 134a และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากเครื่องทำความเย็นของ Claude Delpha และคณะ [22][23] เนื่องจากเทคนิคการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์เป็นเทคนิควิเคราะห์ที่มีการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised) จึงให้การจำแนกที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ดังเช่นงานของ Royston Goodacre [24] ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์ให้การจำแนกที่ดีกว่า ดังรูปที่ 2.26 เราจึงนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นเสื้อบุคคล



รูปที่ 2.26 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเทคนิค PCA และ MDA [24]

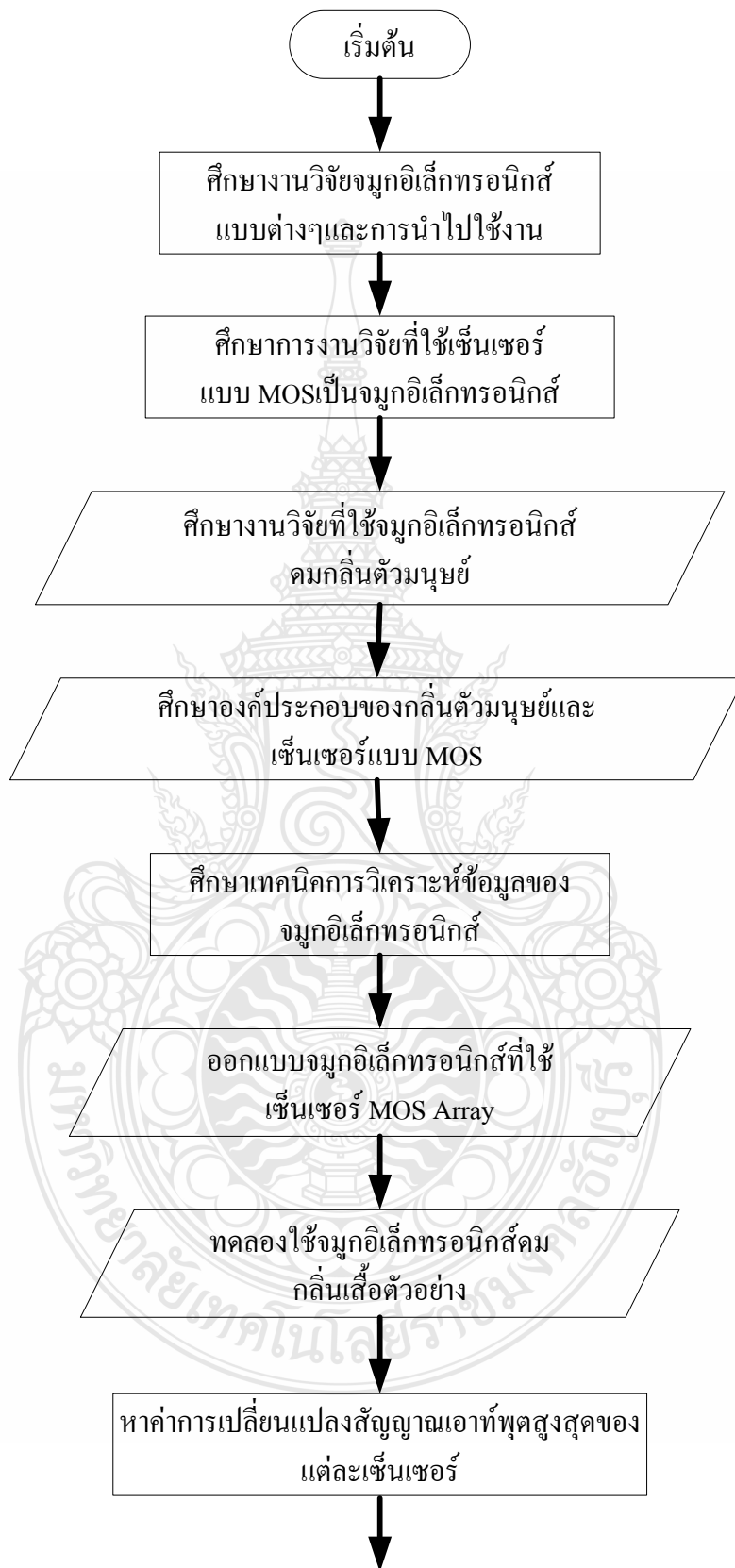
## บทที่ 3

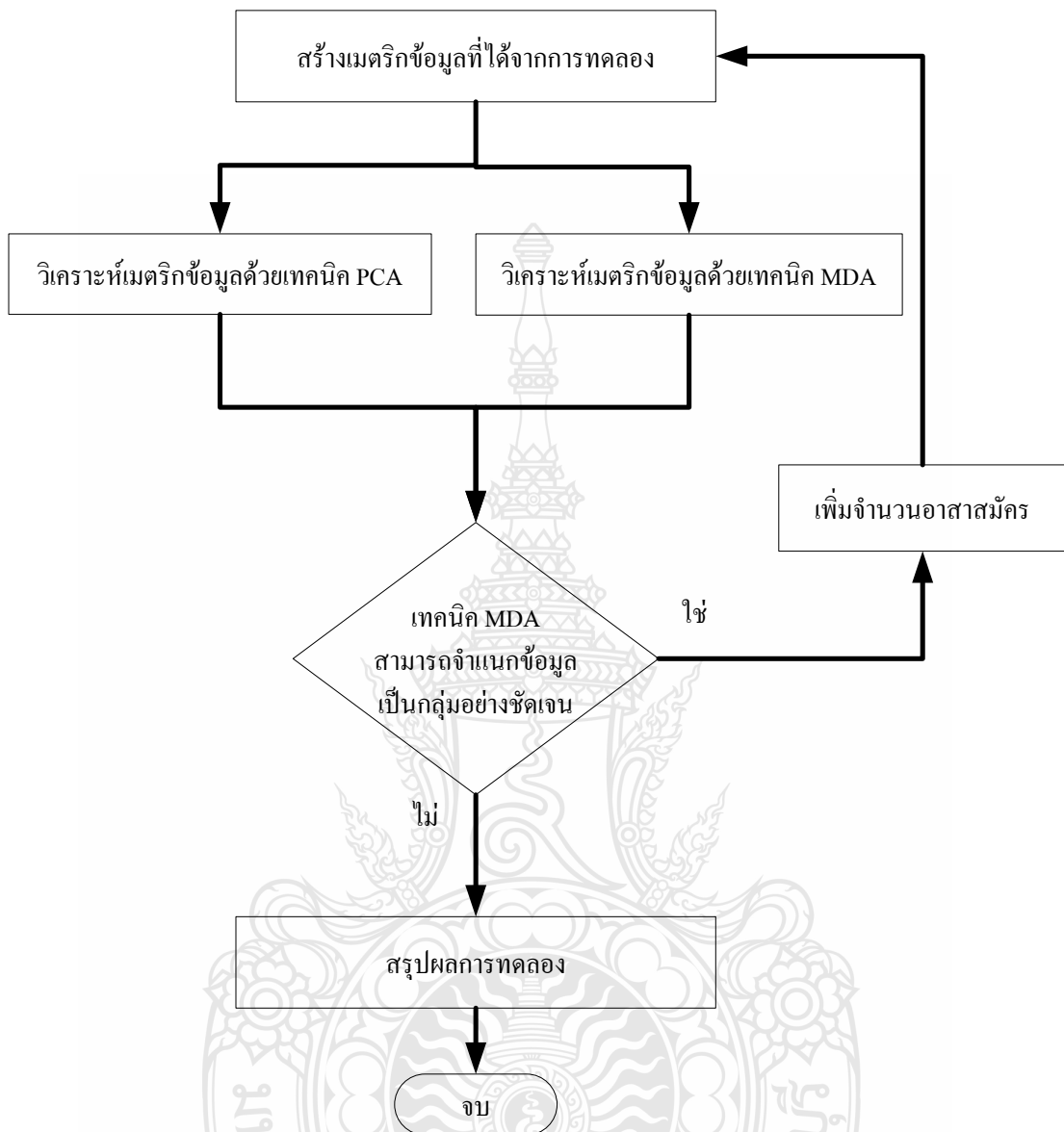
### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 คำนำ

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) ซึ่งถูกออกแบบและสร้างเพื่อตรวจสอบและจำแนกกลิ่นหรือแก๊สต่างๆ ได้คล้ายการทำงานของจมูกมนุษย์ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ใช้ง่าย รู้ผลการตรวจเร็ว และบอกข้อมูลเชิงคุณภาพของกลิ่นที่สนใจได้ถูกต้อง โดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะทำการดมกลิ่นและจำแนกแบบแผน (Pattern) [25] ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากตัวอย่าง ซึ่งจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีการนำไปใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น การตรวจสอบคุณภาพอาหาร [26] การจำแนกผลิตภัณฑ์เบียร์ [27] การจำแนกไขมันของหมูว่ามาจากแหล่งใด [28] การจำแนกไขมันเนื้อสัตว์เพื่อดูว่ามาจากแหล่งการผลิตจากที่ใด แม้กระทั่งใช้จำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดจากลมหายใจ [29] เป็นต้น เนื่องจากการค้นคว้าวิจัยโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นตัว พบว่า กลิ่นตัวของมนุษย์มีความจำเพาะเจาะจงในแต่ละบุคคล [19][20] ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ดมกลิ่นเสื้อที่ผ่านการสวมใส่ เนื่องจากการดำเนินชีวิตประจำวันมนุษย์ มีการขับเหงื่อออกทางรูขุมขนทั่วร่างกาย และของเสียเหล่านั้นเมื่อออกสู่ภายนอกร่างกายจะเจอแบคทีเรียที่อยู่บนผิวหนัง การย่อยสลายจากแบคทีเรียจะทำให้เกิดสารเคมีต่างๆติดบนเสื้อ ซึ่งจะเป็ตัวอย่างที่เราจะทำการวัดและจำแนกด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีเซนเซอร์รับกลิ่นเป็นแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์หลายตัวต่อรวมกัน ควบคู่กับการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการตรวจวัดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเทคนิคมิติเปิดดิสক্রิมิแนนต์ ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบการเรียนรู้ที่มีการสอน (Unsupervised) และ การเรียนรู้ที่ไม่มีมีการสอน (Supervised) ตามลำดับ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในเรื่องการพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสক্রิมิแนนต์เพื่อจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล มีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานไว้ดังนี้





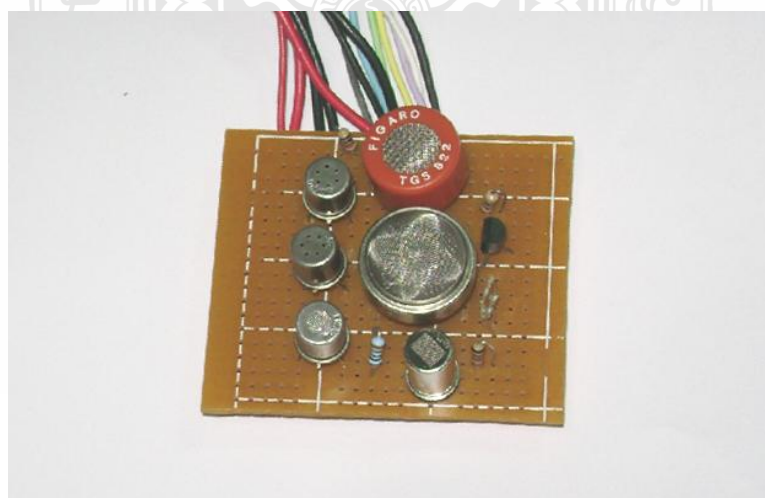
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.2 การออกแบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้น

การศึกษาพบว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์ถูกนำไปใช้ในงานต่างๆ อย่างหลากหลาย เนื่องจากความสะดวกรวดเร็วในการตรวจวัดและบอกข้อมูลเชิงคุณภาพได้อย่างถูกต้อง จากงานวิจัยของชัชวาล วงศ์ชูศักดิ์และคณะ [19] ที่ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์จำแนกกลิ่นตัวมนุษย์โดยใช้ลำโพงเชื่อมกับบริเวณซอกแขนของอาสาสมัครจำนวน 2 คน มานำเป็นตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาการใช้งานโดยการนำกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครซึ่งมีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ติดอยู่มาทดลองใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์จำแนกโดยใช้แก๊สเซ็นเซอร์จำนวน 6 ตัว และเซ็นเซอร์วัดความชื้นอีก 1 ตัวในการตรวจวัด โดยมีรุ่นต่างๆ ดังนี้

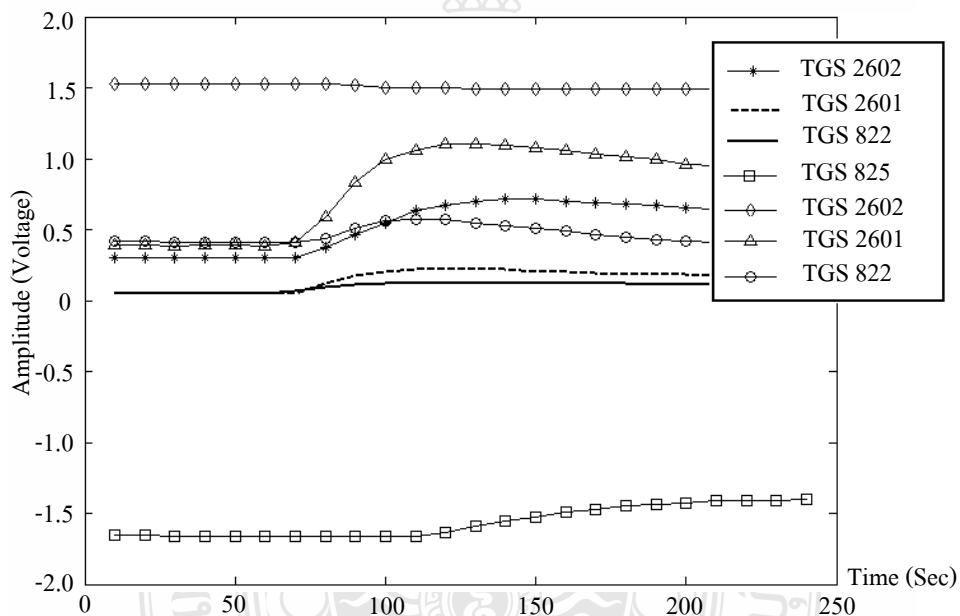
ตารางที่ 3.1 ชนิดและรุ่นของแก๊สเซ็นเซอร์ที่ใช้ดมกลิ่นเสื้อบุคคลขั้นต้น

ตัวที่	รุ่น	ชนิดของสารเคมีที่ตอบสนอง
1	TGS 822	ไอระเหยสารละลายอินทรีย์
2	TGS 2620	ไอระเหยสารละลายอินทรีย์
3	TGS 832	เอทานอล
4	SMTHS07	ความชื้น
5	TGS 3870	แก๊สมีเทน
6	TGS 2600	สารปนเปื้อนในอากาศ
7	TGS 2602	สารปนเปื้อนในอากาศ



รูปที่ 3.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้นที่ใช้ในการตรวจวัดกลิ่นเสื้อ

จากนั้นนำจุกอิเล็กทรอนิกส์ไปทดสอบลมกลืนเส้นของอาสาสมัครหลังการออกกำลังกาย เพื่อให้เกิดเหงื่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ทำได้รวดเร็วและง่ายต่อการควบคุมสภาพแวดล้อม ซึ่งหลังจากออกกำลังกายจะทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างเส้น โดยจะใส่ไว้ในภาชนะที่ปิดแน่นป้องกันการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ จากนั้นนำตัวอย่างเส้นมาตรวจวัดทันที โดยใช้เวลาทดสอบ 4 นาที คือ ช่วงเวลา 1 นาที สำหรับการใช้แก๊สออกซิเจนไหลผ่านเพื่อสารเคมีต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเซ็นเซอร์ซึ่งจะรบกวนการผลการทดลองและมีผลให้ระดับสัญญาณของระบบคงที่ จากนั้นเมื่อผ่าน 1 นาที ระบบจะปล่อยให้แก๊สออกซิเจนไหลเข้าภาชนะที่ใส่เส้นตัวอย่างเพื่อนำเอาสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่อยู่บนเส้นมาสู่กล่องที่มีเซ็นเซอร์อาร์เรย์ โดยจะใช้เวลาอีก 3 นาที เพื่อให้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายไหลเข้ามาจนมีระดับความเข้มข้นสูงสุด ซึ่งผลการตรวจวัดจะได้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างระดับสัญญาณที่ได้ตรวจวัดกลิ่นเส้นอาสาสมัครด้วยจุกอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นต้น

สัญญาณแต่ละเส้นในช่วง 1 นาทีแรกมีระดับไม่ได้อยู่ที่ศูนย์ เนื่องจากค่าแรงดันเอาต์พุตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแก๊สเซ็นเซอร์ตัวนั้นๆ ที่มีต่อแก๊สออกซิเจน แต่เมื่อระบบเปิดโซลินอยล์วาล์วให้แก๊สออกซิเจนนำสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายเข้าสู่แก๊สเซ็นเซอร์จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณขึ้น จากนั้นจะทำการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่เอาต์พุตของทุกเซ็นเซอร์และนำค่าที่ได้จัดเรียงในรูปแบบตริกซ์ เนื่องจากมีอาสาสมัครจำนวน 4 คน และตรวจวัดวันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 5 วัน ทำให้ได้เมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $20 \times 7$  หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อผลการจำแนก ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

### 3.3 การพัฒนาประสิทธิภาพของจุมุกิเล็กทรอนิกส์

การออกแบบจุมุกิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ตรวจวัดกลิ่นเสียด่างอย่างของอาสาสมัครหลังการสวมใส่ จะต้องมีการศึกษาหาความรู้ในหลายๆ ด้านเพื่อนำมาใช้พัฒนาจุมุกิเล็กทรอนิกส์ให้มีความสามารถ และประสิทธิภาพในการทำงานอย่างสูงสุด โดยการทำงานของระบบจะอยู่บนพื้นฐานของการใช้ เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ ซึ่งการออกแบบจุมุกิเล็กทรอนิกส์ในขั้นต้นแก๊สเซ็นเซอร์ที่ใช้ยังให้ ความไว (Sensitivity) ต่อกลิ่นตัวมนุษย์ต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อประสิทธิภาพ การทำงานจุมุกิเล็กทรอนิกส์ให้ดียิ่งขึ้น

#### 3.3.1 การเลือกใช้แก๊สเซ็นเซอร์

เนื่องจากแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์มีการออกแบบมาเพื่อใช้งานกับสารเคมีต่างๆ หลายชนิด ดังนั้นการเลือกแก๊สเซ็นเซอร์เพื่อมาทำหน้าที่เป็นตัวรับกลิ่น จะต้องมีการศึกษา องค์ประกอบของกลิ่นตัวมนุษย์ว่าประกอบด้วยสารเคมีอะไรบ้าง จากงานวิจัยที่ได้ทดสอบตรวจวัด กลิ่นตัวมนุษย์ด้วยเครื่อง GC/MS [30][31] ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดน้ำหนักมวลโมเลกุลพบว่ากลิ่นตัว ประกอบด้วยสารหลัก 4 กลุ่ม คือ

##### ก. กลุ่มสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons)

สารไฮโดรคาร์บอน คือ กลุ่มของสารที่มีเฉพาะธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็น ส่วนประกอบเท่านั้น โครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบ่งออกเป็นแบบโซ่เปิดและแบบวง ส่วนสารที่พบในกลิ่นตัว เช่น 1-Octene, Decane, Undecane, Dodecane เป็นต้น เมื่อเราพิจารณาแล้ว แก๊สเซ็นเซอร์ที่จะนำมาใช้ตรวจวัดสารดังกล่าว คือ TGS 2602, TGS 2600, TGS 822, TGS 813 ซึ่ง แก๊สเซ็นเซอร์รุ่นเหล่านี้ตอบสนองได้ดีกับกลุ่มสารไฮโดรคาร์บอน

##### ข. กลุ่มแอลกอฮอล์ (Alcohols)

แอลกอฮอล์ คือ สารประกอบอินทรีย์ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ต่อกับอะตอมคาร์บอน ของหมู่แอลคิลหรือหมู่ที่แทนแอลคิล ส่วนสารที่พบในกลิ่นตัว เช่น 1-Butanol, 1-Hexanol, 2-Ethylhexanol, Octanol, 1-Decano เป็นต้น เมื่อเราพิจารณาแล้วแก๊สเซ็นเซอร์ที่จะนำมาใช้ตรวจวัดสาร ดังกล่าว คือ TGS 832 ซึ่งเป็นแก๊สเซ็นเซอร์รุ่นที่ใช้ตรวจวัดแอลกอฮอล์

##### ค. กลุ่มกรด (Acids)

กรด คือ สารชนิดหนึ่งในทางเคมี โดยทั่วไปแล้วหมายถึงสารชนิดใดก็ได้ที่สามารถ ละลายน้ำได้ และเกิดสารละลายที่มีค่า pH น้อยกว่า 7 ในทางวิทยาศาสตร์ กรดหมายถึงโมเลกุลหรือ ไอออนที่สามารถให้โปรตอนแก่เบสได้ ส่วนสารที่พบในกลิ่นตัว เช่น Acetic acid, Butyric acid เป็น ต้น เมื่อเราพิจารณาแล้วแก๊สเซ็นเซอร์ที่จะนำมาใช้ตรวจวัดสารดังกล่าว คือ TGS 825 ซึ่งเป็นแก๊ส เซ็นเซอร์รุ่นที่ใช้ตรวจวัดแก๊สที่มีคุณสมบัติเป็นกรด



### ง. กลุ่มคีโตนและอัลดีไฮด์ (Ketones and aldehydes)

คีโตนและอัลดีไฮด์ คือ เป็นกลุ่มของสารเคมีที่มีหมู่ C=O อยู่แต่อีก 2 แขนของ C จะจับสารอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน ถ้าเป็นอัลดีไฮด์แขนหนึ่งต้องจับกับ H ส่วนอีกแขนก็จับกับกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ส่วนคีโตน ทั้ง 2 แขนจะจับกับกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอื่นครบ สารทั้ง 2 กลุ่มมีทั้งที่เป็นสารธรรมชาติและสารที่ถูกสร้างขึ้น ส่วนสารที่พบในกลิ่นตัว เช่น Decanal, 4-Methyl-2-pentanone, 6-Methyl-5-heptenone, Octanal, Nonanal เป็นต้น เมื่อเราพิจารณาแล้วแก๊สเซ็นเซอร์ที่จะนำมาใช้ตรวจวัดสารดังกล่าว คือ TGS 826 ซึ่งเป็นแก๊สเซ็นเซอร์รุ่นที่ใช้ตรวจวัดสารจำพวกคีโตนและอัลดีไฮด์

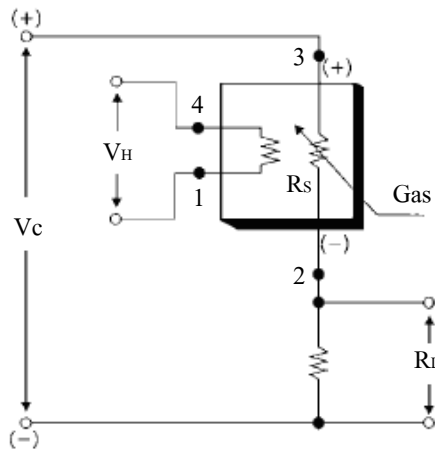
แต่เนื่องจากความชื้นที่มีเข้ามาในระบบจะมีผลต่อการตรวจวัดของแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ด้วยเราจึงเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นเข้ามาต่อรวมในเซ็นเซอร์อาร์เรย์ด้วย เพื่อจะนำค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมาเป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งเราจะใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นรุ่น SMTHS07 เราจะได้รุ่นและชนิดสารเคมีที่ตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ที่จะนำมาใช้งานดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รุ่นและชนิดสารเคมีที่ตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ตัวใหม่ที่ใช้เป็นจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ลำดับ	เบอร์	ชนิดสารเคมีที่ตอบสนอง	ใช้วัดกลุ่มสาร
1	TGS 2602	สารปนเปื้อนในอากาศ	กลุ่มสารไฮโดรคาร์บอน
2	TGS 2600	สารปนเปื้อนในอากาศ	กลุ่มสารไฮโดรคาร์บอน
3	TGS 822	ไอระเหยสารละลายอินทรีย์	กลุ่มสารไฮโดรคาร์บอน
4	TGS 813	กลุ่มแก๊สที่เผาไหม้ได้	กลุ่มสารไฮโดรคาร์บอน
5	TGS 832	เอทานอล	กลุ่มแอลกอฮอล์
6	TGS 826	สารประกอบเอมีน	กลุ่มคีโตนและอัลดีไฮด์
7	TGS 825	แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์	กรด
8	SMTHS07	ความชื้น	ความชื้นของกลิ่น

#### 3.3.2 การออกแบบแก๊สเซ็นเซอร์อาร์เรย์

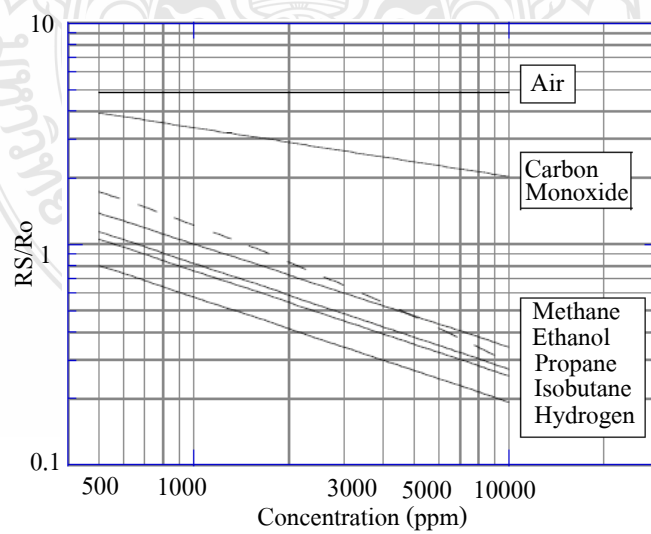
โดยทั่วไปแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จะมีการต่อวงจรใช้งานที่มีลักษณะคล้ายกันคือ มีแรงดันไฟจ่ายให้กับวงจร VC เป็นแรงดันไปกระแสตรงค่าไม่เกิน 5V และ แรงดันที่จ่ายกับ Heater (VH) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แรงดัน 5.0 V



รูปที่ 3.4 วงจรของแก๊สเซ็นเซอร์ที่พร้อมใช้งาน [6]



รูปที่ 3.5 แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ รุ่น TGS 813 [6]



รูปที่ 3.6 ความต้านทานตอบสนองต่อไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ  $R_s/R_o$  ของเซ็นเซอร์ TGS 813 [6]

ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (3.1)

$$R_S = \left( \frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L \quad (3.1)$$

จากสมการที่ (3.1) เราจะนำไปใช้คำนวณหาค่าความต้านทานโหลด (RL) ที่จะนำไปใช้ต่อในวงจรและกำลังงานไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ใช้ไปสามารถหาได้จากสมการที่ (3.2)

$$P_S = \frac{V_C^2 \times R_S}{(R_S + R_L)^2} \quad (3.2)$$

ซึ่งเราจะได้รุ่นของแก๊สเซ็นเซอร์ที่จะใช้สร้างเป็นจุ่มกืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดันที่จ่ายให้วงจร (VC), แรงดันที่จ่ายให้กับ Heater (VH), ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ (RS), ค่าความต้านทานของ Heater (RH), กำลังที่ใช้ของ Heater (PH) ของเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตัว ดังตารางที่ 3.3

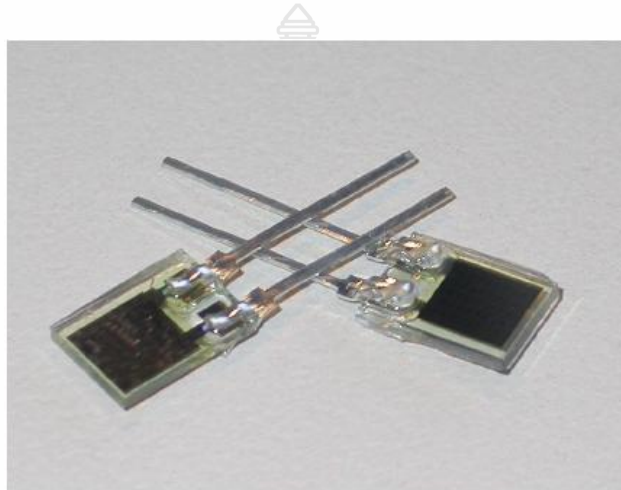
ตารางที่ 3.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานของแก๊สเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่ใช้งาน

รุ่น	แรงดัน VC (V)	แรงดัน VH (V)	RS (kΩ)	RH (Ω)	PH (mW)
TGS 2602	5.0 ± 0.2	5.0 ± 0.2	10-100	59.0	280
TGS 2600	5.0 ± 0.2	5.0 ± 0.2	10-90	83.0	210
TGS 822	Max. 24	5.0 ± 0.2	1-10	38.0 ± 3.0	660
TGS 813	Max. 24	5.0 ± 0.2	5-15	30.0 ± 3.0	835
TGS 832	Max. 24	5.0 ± 0.2	4-40	30.0 ± 3.0	835
TGS 826	Max. 24	5.0 ± 0.2	20-100	30.0 ± 3.0	833
TGS 825	Max. 24	5.0 ± 0.2	3-30	38.0 ± 3.0	660

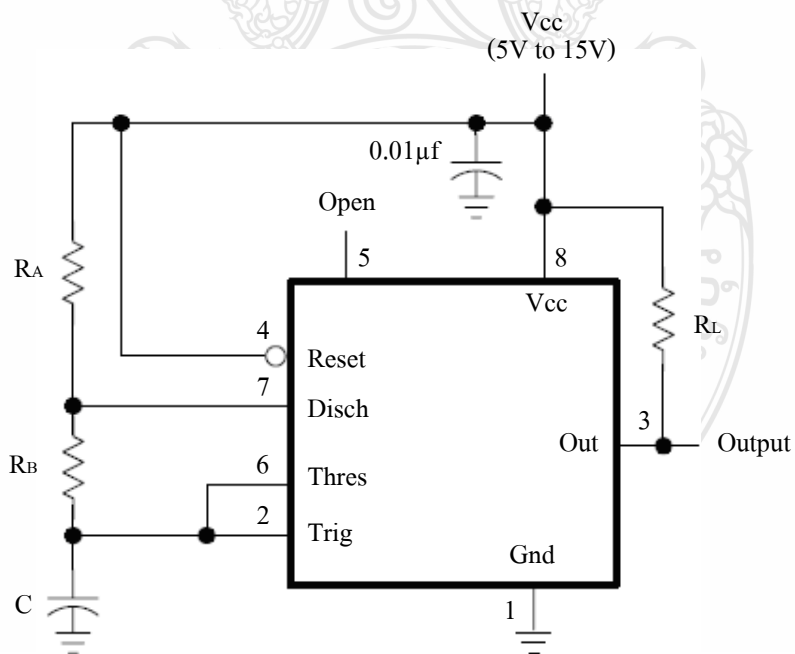
ส่วนการตรวจวัดค่าความชื้น (Humidity) จะใช้เซ็นเซอร์รุ่น SMTSH07 ซึ่งอาศัยหลักการทำงานที่ค่าคาปาซิแตนซ์จะเปลี่ยนแปลง เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ที่มันอยู่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเรานำไปต่อกับวงจรกำเนิดพัลส์ โดยเมื่อความชื้นที่รอบตัวมันเปลี่ยนแปลงทำให้ความถี่ที่วงจรกำเนิดเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยจะสามารถคำนวณค่าคาปาซิแตนซ์ ( $C_c$ ) ได้จากสมการที่ (3.3)

$$C_c = C_s + S * (X_{rh} - 55) \quad (3.3)$$

โดยที่  $C_s$  แทน ค่าคาปาซิแตนซ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ปริมาณ 55%  
 $X_{rh}$  แทน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัด  
 $S$  แทน ความไว (Sensitivity)



รูปที่ 3.7 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้น รุ่น SMTSH07 [32]



รูปที่ 3.8 วงจรกำเนิดพัลส์ที่ต่อร่วมกับตัววัดความชื้น รุ่น SMTSH07

จากนั้นนำอุปกรณ์ต่างๆ ดังที่กล่าวมาประกอบลงแผ่นพรีนขนาด 5 cm × 8 cm เพื่อความกะทัดรัดในการประกอบลงกล่อง ซึ่งจะได้เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้ดมกลิ่นเสื่อบุคคล ดังรูปที่ 3.7

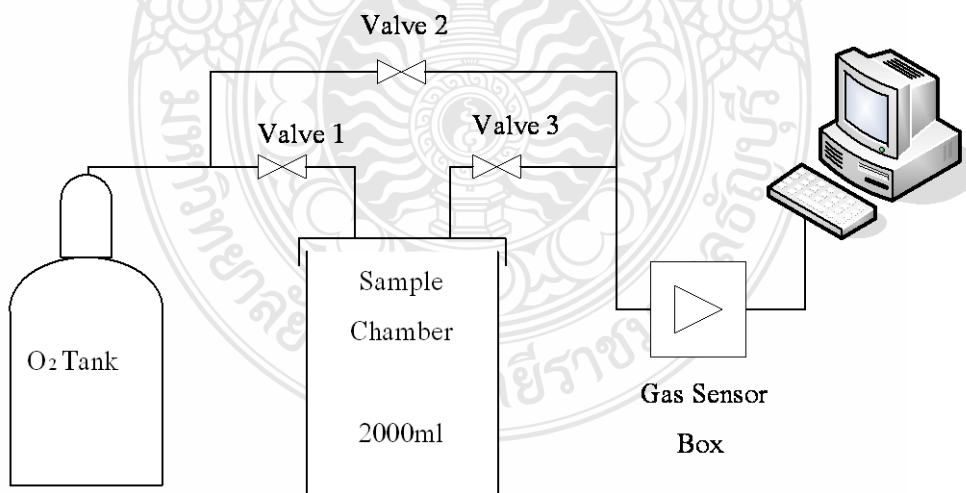
ทำการทดสอบการทำงานของวงจรและต่อสายสัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ทุกตัวเพื่อนำสัญญาณบันทึกผลการวัดลงคอมพิวเตอร์โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลด้วยอุปกรณ์บันทึกสัญญาณ USB Multifunction รุ่น NI U- 6008 ของบริษัท National Instrument



รูปที่ 3.9 เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ทำจากแก๊สเซ็นเซอร์ใช้ดมกลิ่นเสื้อบุคคล

### 3.3.3 การออกแบบระบบการทำงาน

ระบบการตรวจวัดของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ มีหลักการทำงานคล้ายๆ กับการทำงานจริงของจมูกมนุษย์ คือ จะต้องมีการนำกลิ่นหรือไอระเหยจากสารชนิดต่างๆ มาสัมผัสส่ววัยวะรับรู้กลิ่นในที่นี้เราจะใช้แรงผลักของแก๊สออกซิเจนเป็นตัวพาห้กลิ่นหรือสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเสื้อตัวอย่างเข้าสู่เซ็นเซอร์รับกลิ่นทั้ง 8 ตัว ซึ่งไดอะแกรมการทำงานของระบบตรวจวัดเป็นดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ดมกลิ่นเสื้อบุคคล

จากไดอะแกรมการทำงานของระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าประกอบด้วย ส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ระบบการควบคุมการไหลของแก๊สซึ่งมีออกซิเจนเป็นแก๊สพาห้, ชุด แก๊สเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ต่อร่วมกันแบบอาร์เรย์และระบบการบันทึกสัญญาณ ซึ่งมีตาราง ความจริงของระบบควบคุมการไหลของแก๊สออกซิเจนดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.4 ตารางความจริงของระบบควบคุมแก๊สออกซิเจน

วาล์วตัวที่ 1	วาล์วตัวที่ 2	วาล์วตัวที่ 3	สถานะการทำงาน
ปิด	เปิด	ปิด	ไล่สารตกค้างในระบบ
เปิด	ปิด	เปิด	ตรวจวัดตัวอย่าง

### 3.3.4 การบันทึกผลการทดลอง

ส่วนระบบการบันทึกสัญญาณพัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW 7.1 โดยทำงานร่วมกับ Multifunction I/O รุ่น NI U-6008 ของ National Instrument ทำหน้าที่เป็น Data acquisition และ ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ NI USB Multifunction รุ่น NI U-6008 [33]

โดยการสุ่มตัวอย่างหรือ Sampling ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณ ไม่ต่อเนื่อง  $x(n)$  จากสัญญาณต่อเนื่อง  $x(t)$  โดยอาศัยความถี่ในการซั๊ก (Sampling rate หรือ Sampling frequency) ซึ่งจะได้สัญญาณ  $x(n)$  เป็น

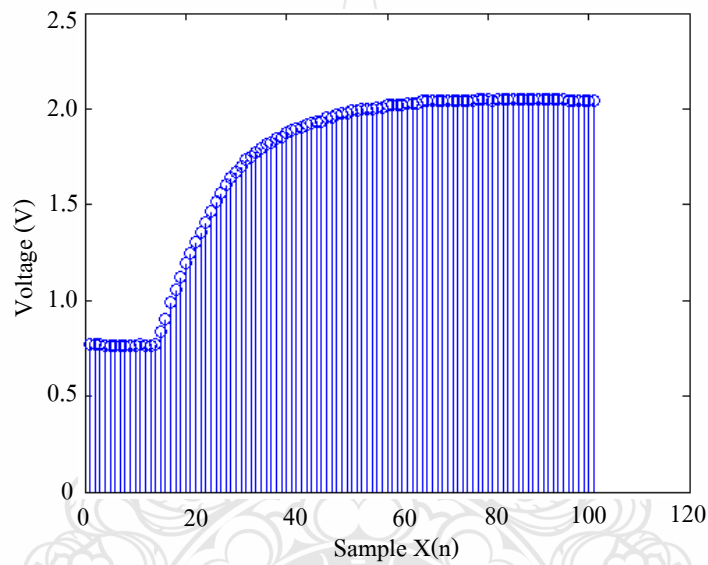
$$x(n) \cong x(nT) \quad (3.4)$$

เมื่อ  $T$  คือคาบของการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาระดับของการ Quantization ( $Q$ ) ข้อมูลจะได้

$$x(n) \cong Q(x(nT)) \quad (3.5)$$

สัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจะเป็นดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 สัญญาณจากการสุ่มตัวอย่าง

จากนั้นหาค่าสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณ (Signal) ของเซ็นเซอร์แต่ละตัว ดังสมการที่ (3.6) และ (3.7) ตามรูปที่ 3.10

$$x_{(\max)} = \text{Max}(x(n)) \quad (3.6)$$

$$x_{(\min)} = \text{Min}(x(n)) \quad (3.7)$$

เมื่อได้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณก็จะมาคำนวณหาผลต่าง ดังสมการที่ (3.8) ซึ่งจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณ

$$x_{(dif)} = \text{Max}(x(n)) - \text{Min}(x(n)) \quad (3.8)$$

โปรแกรมที่ใช้บันทึกสัญญาณจากการคมกลืนเสื่อตัวอย่าง เราได้ออกแบบให้สามารถดูสัญญาณที่เกิดขึ้นกับเซ็นเซอร์แต่ละตัวได้ โดยมีช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่างทุก 1 วินาที หรือ มีค่า Sampling rate เท่ากับ 1 Hz และสามารถบันทึกข้อมูลลงชื่อไฟล์และตำแหน่งการเก็บไฟล์ได้ตามต้องการเพื่อความสะดวกในใช้งาน โปรแกรมมีลักษณะดังรูปที่ 3.13

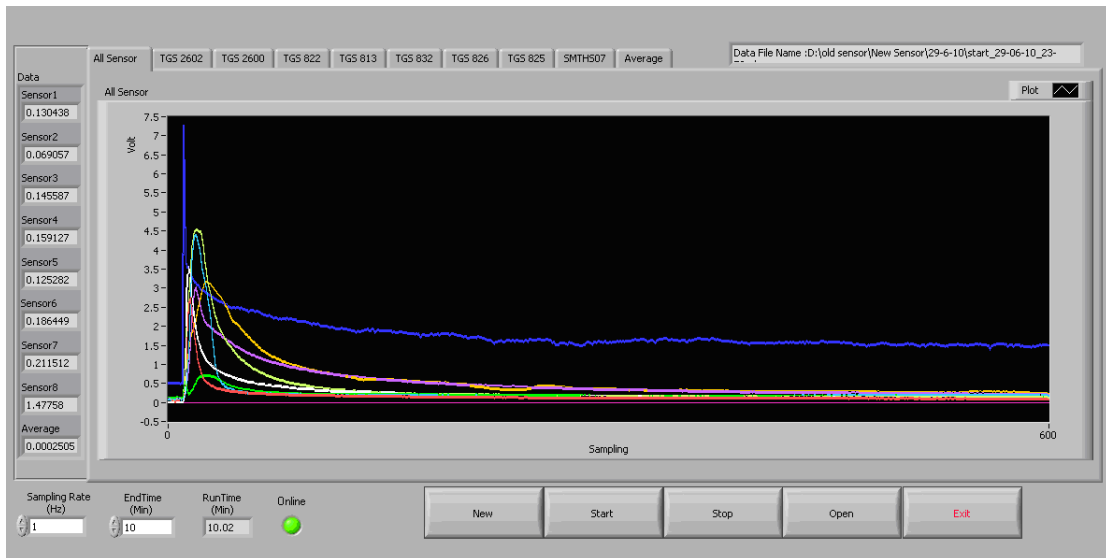


รูปที่ 3.13 โปรแกรมบันทึกสัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์บนโปรแกรม LabVIEW 7.1

### 3.4 การดำเนินการทดลอง

การทดสอบใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์คมกลืนเสื่อ เมื่อเราได้ออกแบบและประกอบชุดทดลองเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งจะให้อาสาสมัครจำนวน 8 คน โดยทุกคนเป็นเพศชาย มีอายุในช่วง 30-35 ปี สวมใส่เสื่อที่จะนำมาทดสอบออกกำลังกายเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดเหงื่อและเกิดการย่อยสลายของแบคทีเรียทำให้เกิดกลิ่นขึ้น หลังจากนั้นนำตัวอย่างเสื่อที่ได้ใส่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีการปิดแน่นมิดชิดป้องกันการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ และนำไปทดสอบตรวจวัดด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทันที เนื่องจากตัวอย่างที่ใหม่จะได้ผลการทดลองที่ดี ในส่วนการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ก่อนทำการตรวจวัด เมื่อเริ่มเปิดสวิทช์ระบบและเปิดควาล์วถังแก๊สออกซิเจนจะต้องใช้เวลาเริ่มต้น (Initial) ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ตัวทำความร้อน (Heater) ของแก๊สเซ็นเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความชื้นที่เกิดจากตัวอย่างรบกวนการทำงานของระบบทำงานคงที่ (Stable) และปล่อยให้แก๊สออกซิเจนซึ่งมีอัตราการไหลเข้าสู่ระบบปริมาณ 1 ลิตร/นาที เพื่อไล่สารตกค้างและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มาเกาะตัวเซ็นเซอร์ขณะที่ไม่ได้ใช้งาน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสัญญาณของเซ็นเซอร์แต่ละตัวจะค่อยๆ มีระดับคงที่และนิ่งเรียบในที่สุด ดังรูปที่ 3.14





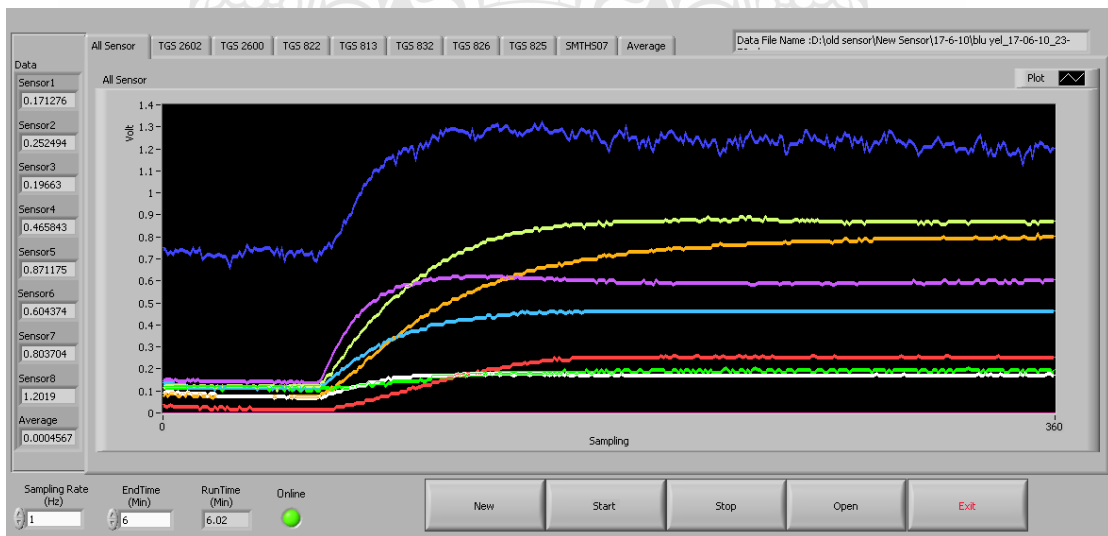
รูปที่ 3.14 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์เมื่อเริ่มทำการเปิดระบบจุ่มอิเล็กโทรนิกส์

ซึ่งในตอนน้ระบบพร้อมทำการตรวจวัดคลื่นเลือดตัวอย่างแล้ว เราจึงนำเลือดตัวอย่างใส่ในภาชนะขนาด 2000 ml ซึ่งมีการปิดสนิท หลังจากนั้นทำการสร้างชื่อไฟล์ที่จะเก็บสัญญาณของการตรวจวัดโดยการกดปุ่ม New แล้วเลือก Folder ที่ใช้เก็บตามต้องการ จากนั้นกดปุ่ม Start ระบบก็จะเริ่มบันทึกสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดโดยมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 1 ข้อมูล/วินาที ซึ่งในขณะน้ตำแหน่งของวาล์วตัวที่ 1, 3 อยู่ในสถานะปิดและวาล์วตัวที่ 2 อยู่ในสถานะเปิด ให้ออกซิเจนไหลผ่านแก๊สเซ็นเซอร์โดยตรงเพื่อดูค่าคงที่ของระดับสัญญาณต่ำสุดขณะก่อนตรวจวัดตัวอย่างเพื่อจะใช้ในการคำนวณระดับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในการตรวจวัด ซึ่งสัญญาณของแต่ละเซ็นเซอร์ก็จะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ จะเห็นว่าสัญญาณของแก๊สเซ็นเซอร์ทุกตัวจะอยู่ใกล้ศูนย์ มีค่าแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแก๊สเซ็นเซอร์ต่อแก๊สออกซิเจนของแต่ละตัว และเมื่อเวลาการทดสอบผ่านไป 1 นาที ระบบก็จะปิดวาล์วตัวที่ 2 และเปิดวาล์วตัวที่ 1, 3 เพื่อให้แก๊สพาห้ นำสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเลือดตัวอย่างไหลเข้าสู่กล่องเซ็นเซอร์อาร์เรย์ทั้ง 8 ตัว เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ตัวอย่างไหลเข้าสู่เซ็นเซอร์อาร์เรย์จนมีระดับสัญญาณที่สูงสุดแล้ว จากนั้นเมื่อครบเวลา 6 นาที ของการตรวจวัดตัวอย่าง ระบบจะทำการปิดวาล์วตัวที่ 1, 3 และเปิดวาล์วตัวที่ 2 เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้แก๊สออกซิเจนไล่เอาตัวอย่างที่ตกค้างภายในระบบออกไป ซึ่งจะทำให้ระดับสัญญาณกลับมาคงที่ค่าเดิมเท่ากับก่อนการตรวจวัดตัวอย่างอีกครั้ง โดยสามารถเขียนเป็นตารางการทำงานของระบบและรูปสัญญาณที่ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนและช่วงเวลาในการทดลอง

ลำดับ	ช่วงเวลา (นาที)	เวลาที่ใช้ (นาที)	การทำงาน
1	เริ่มต้น	-	เปิดวาล์วถังออกซิเจน
2	0-10	10	ระบบเริ่มต้นการทำงาน
3	10	-	เริ่มบันทึกสัญญาณ
4	10-11	1	ปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และ เปิดวาล์วตัวที่ 2
5	11-16	5	เปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และ ปิดวาล์วตัวที่ 2
6	16-18	2	ปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และ เปิดวาล์วตัวที่ 2
7	18 ขึ้นไป	-	ทดสอบตัวอย่างถัดไป
8	จบการทดลอง	2	ปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และ เปิดวาล์วตัวที่ 2

สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากการคมกลืนเชื้อราบันทึกโดยใช้โปรแกรม Labview ซึ่งเราสามารถดูการเปลี่ยนแปลงสัญญาณตลอดการทดลอง 6 นาที เพื่อดูการตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัว ซึ่งจะทำให้การผลแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตัวนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.15

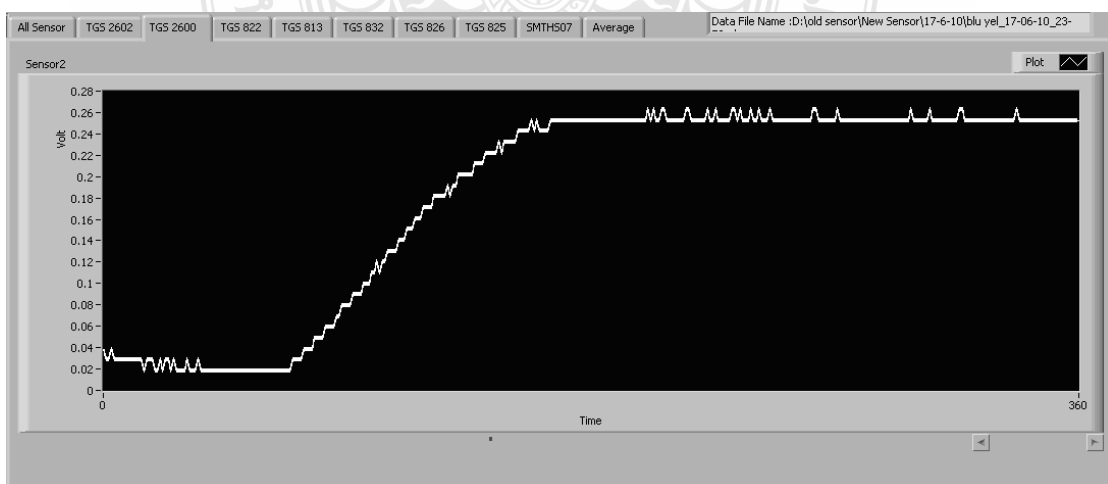


รูปที่ 3.15 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัว เมื่อทดสอบคมกลืนเชื้อตัวอย่าง

จากรูปที่ 3.12 เป็นสัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัว โดยเส้นสีขาวจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 2602, เส้นสีแดงจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 2600, เส้นสีเขียวจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 822, เส้นสีฟ้าจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 813, เส้นสีเหลืองจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 832, เส้นสีม่วงจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 826, เส้นสีส้มจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 825 และเส้นสีน้ำเงินจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ SMTSH07 จะเห็นว่าช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบจนถึงหนึ่งนาที่ระดับสัญญาณของระบบคงที่เข้าใกล้ศูนย์ เนื่องจากในระบบมีเฉพาะแก๊สออกซิเจนและเมื่อเวลาต่อมาระบบจะทำการเปิดวาล์วให้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเสื้อไหลเข้าสู่เซ็นเซอร์ โดยการพาห้ของแก๊สออกซิเจนจะเห็นว่าระดับสัญญาณค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเริ่มคงที่ ระบบจะทำการตรวจวัดไปจนครบเวลาการทดลอง 6 นาที ส่วนการตอบสนองของเซ็นเซอร์ในแต่ละตัวมีดังรูปที่ 3.16-3.23



รูปที่ 3.16 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 2602 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง



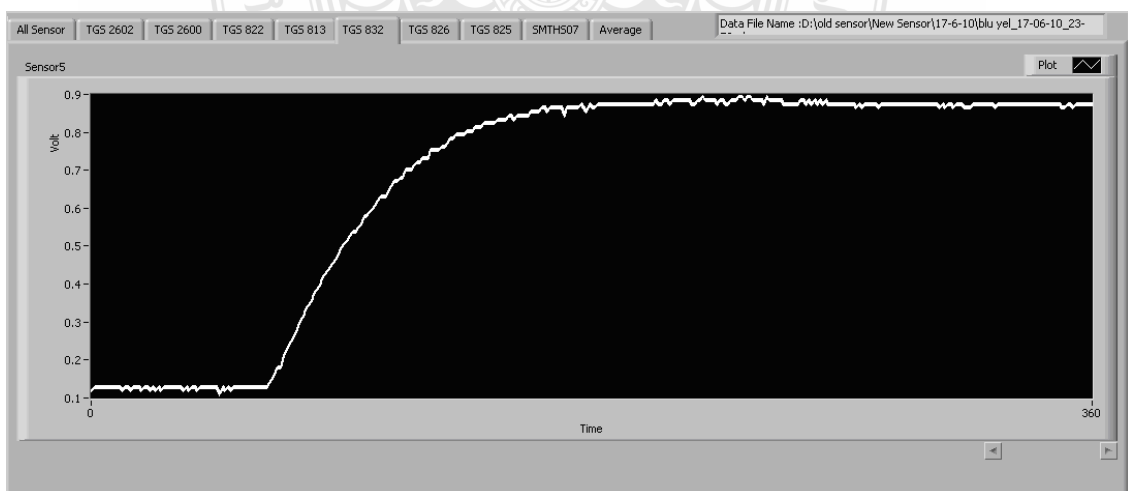
รูปที่ 3.17 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 2600 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง



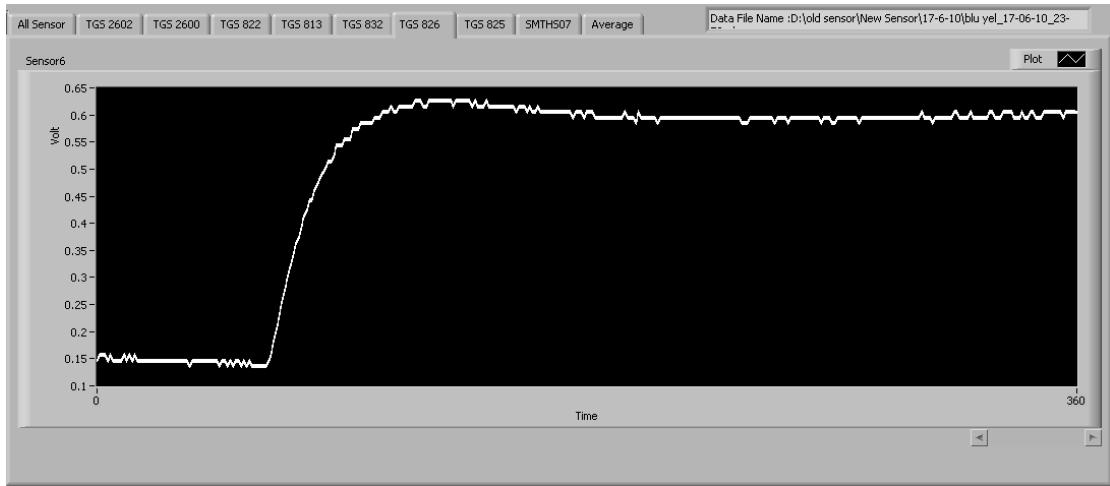
รูปที่ 3.18 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 822 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง



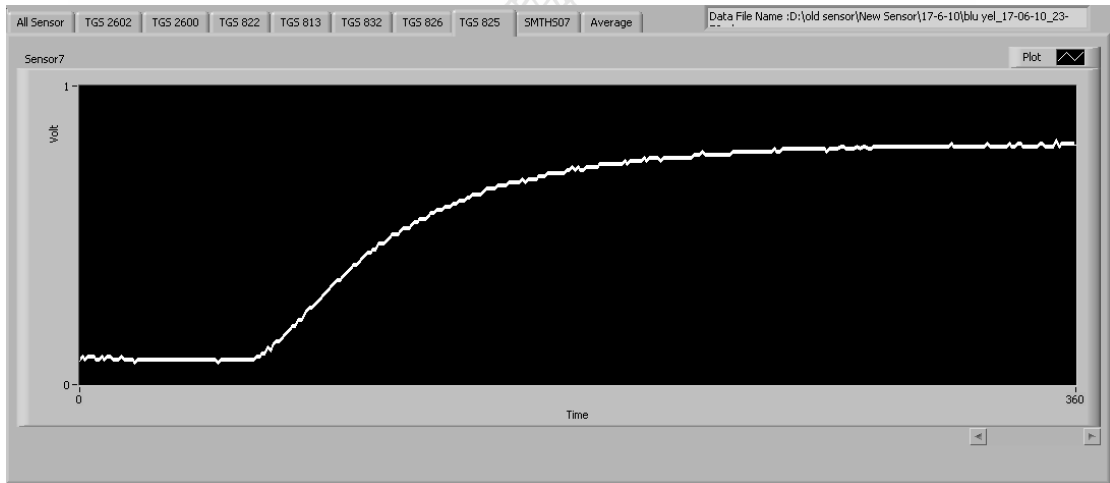
รูปที่ 3.19 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 813 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง



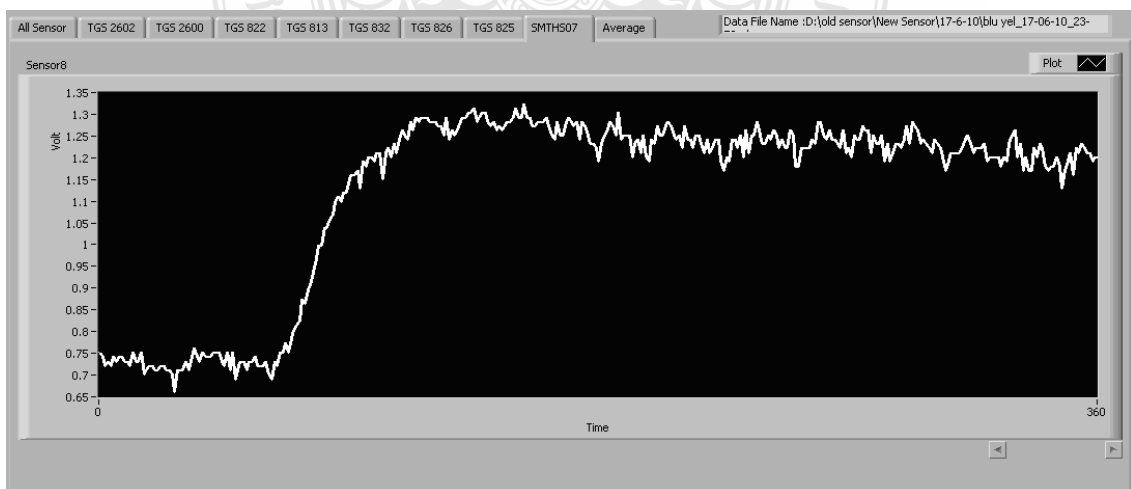
รูปที่ 3.20 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 832 เมื่อทดสอบดมกลิ่นเสื้อตัวอย่าง



รูปที่ 3.21 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 826 เมื่อทดสอบคมกลิ้งสี่ตัวอย่าง

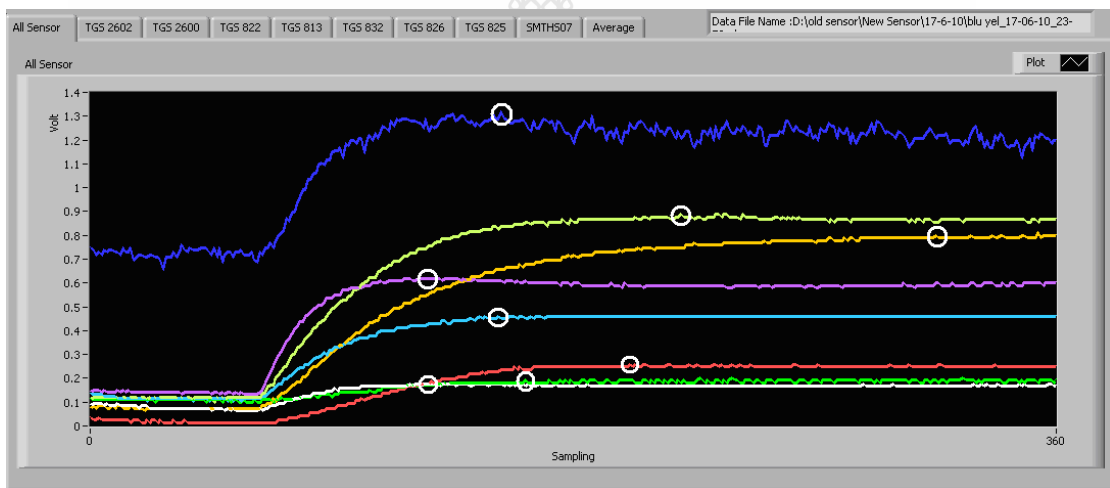


รูปที่ 3.22 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น TGS 825 เมื่อทดสอบคมกลิ้งสี่ตัวอย่าง



รูปที่ 3.23 สัญญาณเอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์รุ่น SMTSH07 เมื่อทดสอบคมกลิ้งสี่ตัวอย่าง

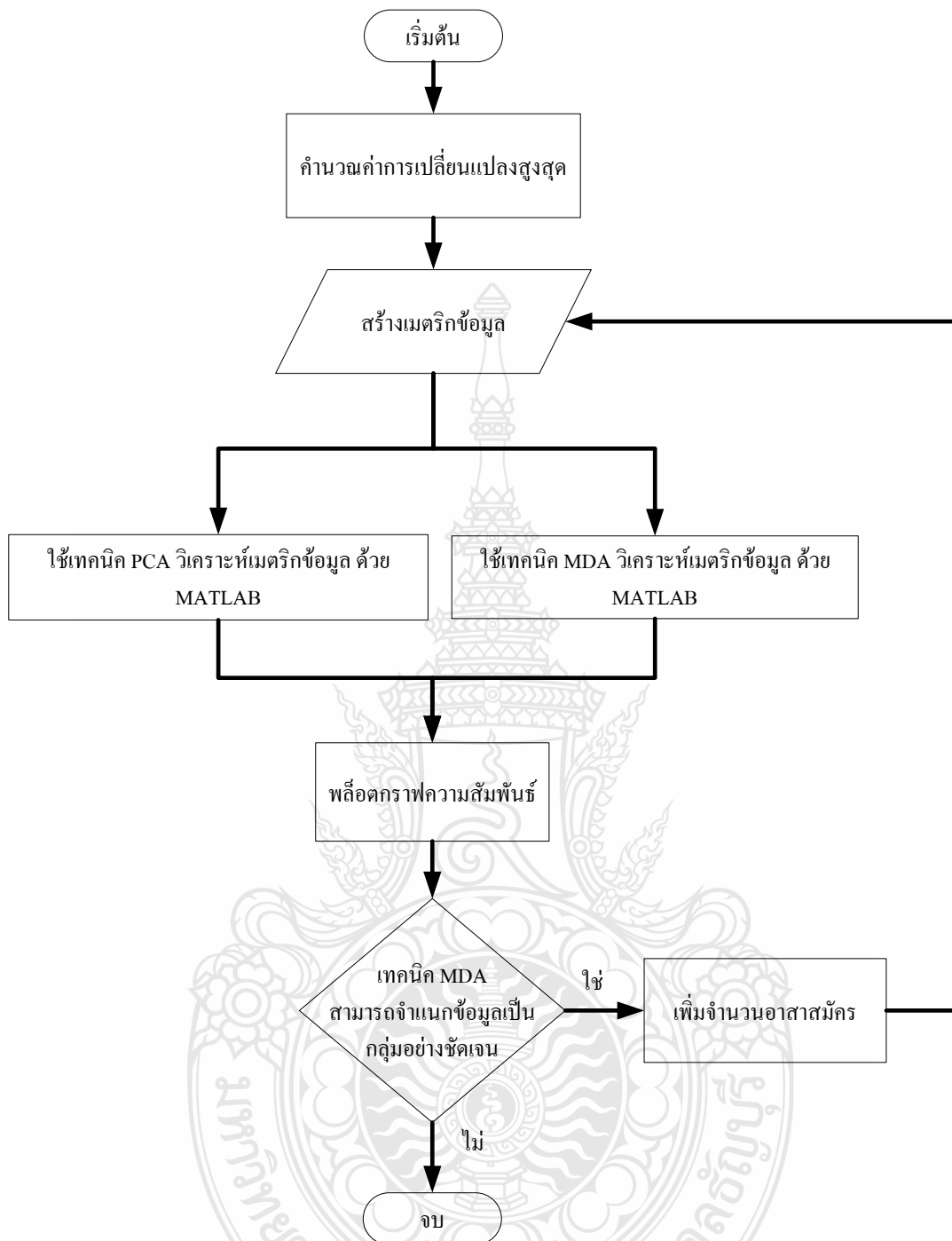
เสื่อตัวอย่างที่นำมาทำการตรวจวัดมาจากอาสาสมัครจำนวน 8 คน ซึ่งได้ออกกำลังกายจนเกิดเหงื่อ โดยทุกคนมีการดำเนินชีวิตประจำวันคล้ายคลึงกัน ซึ่งการตรวจวัดจะใช้เวลา 5 วันและจะนำตัวอย่างเสื่อมาตรวจวัดทันทีหลังการออกกำลังกายทุกครั้ง หลังได้ตรวจวัดจนเสร็จแล้วจะทำการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณที่เอาต์พุตของเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัว โดยใช้สมการที่ (3.8) ในการหาค่าต่ำสุดซึ่งเกิดในช่วงเวลาที่แรกก่อนมีกลิ่นตัวอย่างเสื่อเข้ามาและค่าสูงสุดของสัญญาณ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงมีกลิ่นตัวอย่างเสื่อเข้ามาในระบบมากที่สุดดังแสดงจุดวงกลมในรูปที่ 3.24 จากนั้นนำข้อมูลที่จัดเป็นรูปเมตริกซ์ โดยเวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ 1 จะเป็นแถวที่ 1 ของเมตริกซ์ เวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ 2 จะเป็นแถวที่ 2 ของเมตริกซ์ จนถึงเวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ n จะเป็นแถวที่ n ของเมตริกซ์ ส่วนจำนวนคอลัมน์จะได้เท่ากับ 8 ตามจำนวนเซ็นเซอร์ ดังนั้นจะได้เมตริกซ์ขนาด  $40 \times 8$



รูปที่ 3.24 ค่าสูงสุดและต่ำสุดของสุ่มตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์แต่ละตัว

### 3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้เมตริกซ์ข้อมูลจากการคำนวณผลการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแก๊สเซ็นเซอร์แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์หลักดิพลิตสคริมิแนนต์เพื่อจำแนกกลิ่นเสื่อของอาสาสมัครแต่ละคน ซึ่งขั้นตอนของทั้งสองเทคนิคเริ่มด้วยการนำข้อมูลมาเรียงให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ โดยเราจะให้ผลการวัดกลิ่นเสื่อในแต่ละคนอยู่เป็นแถวที่ 1 ถึง แถวที่ n ส่วนคอลัมน์ที่ 1 ถึง คอลัมน์ที่ 8 จะเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัด ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการวิเคราะห์การทดลอง

การวิเคราะห์เราจะเริ่มตั้งแต่การใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการเรียนรู้แบบไม่มีการสอนดูการจำแนกขั้นต้นว่าสามารถถึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลของตัวแปร  $PCA1$  และ  $PCA2$  ได้มากกว่าร้อยละ 80 และเมื่อมีการจำแนกดีหรือไม่ ถ้าการจำแนกไม่ดีเราจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลักดิเบลิคสคริมิแนนต์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการเรียนรู้แบบมีการสอนเพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ให้มีการจำแนกที่ดีขึ้น โดยการวิเคราะห์จะเริ่มจากการใช้ผลการวัดคลื่นเสียงของอาสาสมัคร

จำนวน 4 คนและค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทีละคนเพื่อดูความสามารถในการจำแนกของเทคนิคการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี

### 3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคองค์ประกอบหลัก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เมื่อเราได้สร้างเมตริกซ์ข้อมูลแล้ว จากนั้นหาเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ด้วยสมการที่ (3.10), (3.11), (3.12) และ (3.13) ตามลำดับ

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.09)$$

$$x^{(j)} \leftarrow x^{(j)} - \bar{x} \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.10)$$

$$x_i^{(k)} \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad \text{and} \quad x_j^{(k)} \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3.11)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} x_j^{(k)} \quad (3.12)$$

โดยที่

$\bar{x}_i$  แทน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมตริกซ์  $X$  ในแต่ละหลัก

$x^{(j)}$  แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมตริกซ์ข้อมูล

$s_{ij}$  แทน เมตริกซ์ของความแปรปรวน

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ลบด้วยค่าเฉลี่ยของทุกคอลัมน์ เมื่อจัดรูปแบบข้อมูลแล้วคำนวณหา Covariance เมตริกซ์ด้วยสมการที่ (3.14)

$$S(X) = \frac{1}{n-1} xx^T \quad (3.13)$$

$$XX^T = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x^{(k)} - \bar{x})(x^{(k)} - \bar{x})^T \quad (3.14)$$

ขั้นตอนต่อมาหาค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกนของเมตริกซ์ความแปรปรวนที่ได้จากสมการที่ (3.14) ซึ่งค่าเมตริกซ์เวกเตอร์ไอเกนที่ได้จะนำไปสร้างตัวแปรใหม่ ดังนี้



$$\begin{aligned}
 PC_1 &= w_1' = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1n}X_n \\
 PC_2 &= w_2' = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2n}X_n \\
 PC_n &= w_n' = w_{n1}X_1 + w_{n2}X_2 + \dots + w_{nn}X_n
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

เมื่อ เป็นตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมีจำนวนสูงสุดเท่ากับจำนวนขนาดของเมตริกซ์ความแปรปรวน โดยจะสามารถดึงความสัมพันธ์ของตัวแปรเดิมเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ซึ่งพิจารณาจากค่าไอเกนที่ได้ของเมตริกซ์ความแปรปรวนซึ่งจะเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยเช่นกัน โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากร้อยละของค่าไอเกนสะสมของตัวประกอบหลังค่าไอเกนตัวแรกเป็นอย่าต่ำร้อยละ 80 เช่น มีจำนวนตัวแปรใหม่  $n = 8$  ตัว แต่มีสัดส่วนค่าไอเกนสะสม 2 ตัวแรกร้อยละ 84 ในกรณีนี้เราจะสามารถใช้ตัวแปรใหม่ และแทนตัวแปรเดิมทั้งหมดได้ ผลลัพธ์จากเทคนิค PCA จะได้ค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกน โดยข้อมูลทั้งสองมีความสมนัยซึ่งกันและกัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงเพื่อแสดงเป็นภาพฉายโดยจะเลือกแกนจากเวกเตอร์ไอเกนที่มีการกระจายสูงสุดและมีค่าอธิบายความสัมพันธ์ได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นตัวแปรใหม่  $PCA_1, PCA_2$  และ  $PCA_3$  ทั้งตัวแปรสามารถแสดงเป็นภาพฉายได้ในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์

### 3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์มิติลดมิติสคริมิแนนต์

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA จะเริ่มต้นวิธีการเหมือนกับเทคนิค PCA คือ การคำนวณหาค่าไอเกนหรือที่เรียกว่า Discriminant criterion หรือ Characteristic roots เขียนแทนด้วย สัญลักษณ์  $\lambda$  ค่าไอเกน คือ ความแปรปรวนของคะแนนแปลงรูป  $Y$  ที่แปลงมาจาก  $X_1, X_2, \dots, X_p$  เขียนในรูปสมการได้เป็น

$$\lambda = \frac{SS_b(Y)}{SS_w(Y)}
 \tag{3.16}$$

โดยที่

$SS_b(Y)$  แทน Sum of Square of between group จากคะแนน  $Y$   
 $SS_w(Y)$  แทน Sum of Square of within group จากคะแนน  $Y$

ในที่นี้คำนวณหา  $\lambda$  โดยใช้สมการที่ (3.17)

$$(W^{-1}B - \lambda I) = 0 \quad (3.17)$$

โดยที่  $W^{-1}$  แทน อินเวอร์สเมทริกซ์ของผลรวมของกำลังสองและของผลคูณ (SSCP) ภายในกลุ่ม  
 $B$  แทน เมทริกซ์ของผลรวมกำลังสองและของผลคูณ (SSCP) ระหว่างกลุ่ม  
 $\lambda$  แทน ค่าไอเกน  
 $I$  แทน ไอเด้นติทีเมทริกซ์ (Identity matrix)

ค่า  $\lambda$  อาจมีได้หลายค่า จำนวนของค่า  $\lambda$  จะเท่ากับจำนวนกลุ่มลบด้วย 1 ( $k-1$ ) หรือเท่ากับจำนวนตัวแปร ( $p$ ) แล้วแต่ว่าจำนวนใดจะน้อยกว่ากัน จากนั้นคำนวณหาค่า  $V$  แต่ละชุด หลังจากหาค่า  $\lambda$  แต่ละค่าแล้ว นำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่า  $V$  แต่ละชุด ค่า  $\lambda_1$  จะให้ค่า  $V_1$  ค่า  $\lambda_2$  จะให้ค่า  $V_2$  และค่า  $\lambda_3$  ก็จะให้ค่า  $V_3$  ดำเนินการจนครบ  $\lambda$  ทุกค่า แต่ละค่าดำเนินการดังนี้จากสมการที่ (3.18)

$$(W^{-1}B - \lambda I)V = 0 \quad (3.18)$$

ขั้นที่ 1 นำเอาค่า  $\lambda$  ไปแทนค่าใน  $(W^{-1}B - \lambda I) = 0$  และคำนวณออกมา

ขั้นที่ 2 คำนวณ  $adj(W^{-1}B - \lambda I)$

ขั้นที่ 3 นำเอาค่าในคอลัมน์ใดคอลัมน์หนึ่งของ  $adj(W^{-1}B - \lambda I)$  , มายกกำลังสองรวมกันและถอดรากที่สอง นำไปหารค่าเดิมแต่ละค่าผลที่ได้จะเป็น  $V$  ที่สอดคล้องกับ  $V_1$  นั้น  
 กรณีที่ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจำแนกของแต่ละตัวแปร ก็ควรแปลง  $V_1$  แต่ละตัวในเมทริกซ์  $V$  ให้เป็นรูปมาตรฐานคือ  $V_{mi}^*$  สมการที่ (3.19)

$$V_{mi}^* = \sqrt{W_{ii}} V_{mi} \quad (3.19)$$

โดยที่  $V_{mi}^*$  แทน น้ำหนักของการจำแนกที่เป็นมาตรฐานของสมการจำแนกกลุ่ม

$W_{ii}$  แทน สมาชิกในแนวทแยงของเมทริกซ์  $W$  (เมทริกซ์ของผลรวมของ กำลังสองและของผลคูณภายในกลุ่ม)

$V_{mi}$  แทน น้ำหนักของการจำแนกในรูปคะแนนดิบของสมการจำแนกกลุ่ม

การเปรียบเทียบค่า  $V$  เพื่อบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการจำแนก และการบ่งชี้ประสิทธิภาพการจำแนกจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเราเปรียบเทียบในรูปของคะแนนมาตรฐาน ซึ่งจะขจัดอิทธิพลจากหน่วยที่ใช้ในตัวแปรนั้น ๆ ได้ จากนั้นเขียนสมการจำแนก (Discriminant Function) เขียนสมการจำแนกโดยการนำเอาค่า  $V$  แต่ละชุดมาเขียนสมการจำแนกกลุ่ม โดยมีรูปสมการดังนี้

$$\begin{aligned} Y_1 &= V_{11}X_1 + V_{12}X_2 + \dots + V_{1p}X_p \\ Y_2 &= V_{21}X_1 + V_{22}X_2 + \dots + V_{2p}X_p \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ Y_k &= V_{k1}X_1 + V_{k2}X_2 + \dots + V_{kp}X_p \end{aligned} \quad (3.20)$$

ในกรณีที่ผู้วิจัยทำการทดสอบนัยสำคัญของแต่ละสมการ ก็จะสามารถคำนวณหาค่า  $V_m$  ได้ถ้า นำค่า  $V_m$  ของแต่ละสมการมารวมกันก็ได้ค่า  $V$  ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ทดสอบสมการจำแนกกลุ่มโดยภาพรวม สมการจำแนกกลุ่มแต่ละสมการจะไม่สัมพันธ์กัน นั่นคือ  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$  เป็นอิสระจากกัน สมการจำแนกกลุ่มสมการหลัง ๆ มักส่งผลน้อยมากจนบางครั้งไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาหรือเสนอสมการในรายงาน ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการทดสอบนัยสำคัญของสมการ ถ้าพบว่าไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าสมการนั้นส่งผลน้อยมาก สมการจำแนกกลุ่มสมการแรก ( $V_1$ ) มีอำนาจจำแนกสูงสุด สมการต่อมา มีอำนาจจำแนกรองลงมาตามลำดับ เมื่อต้องการเปรียบเทียบว่าสมการจำแนกกลุ่มแต่ละสมการ มีสัดส่วนจำแนกได้มากน้อยอย่างไร สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (3.21)

$$P_i = \frac{\lambda_i}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m)} \quad (3.21)$$

โดยที่  $p$  แทน ค่าอำนาจในการจำแนกตัวแปร  
 $\lambda$  แทน ค่าไอเกนของเมตริกซ์ข้อมูล

ซึ่งจะดูผลการเปรียบเทียบว่าสมการแต่ละสมการมีความสามารถในการจำแนกเท่าไร ซึ่งสมการแรกจะมีความสามารถในการจำแนกสูงสุด สมการต่อมา มีความสามารถในการจำแนกรองลงมาตามลำดับ ส่วนสมการสุดท้ายมีอำนาจจำแนกน้อยมากหรือส่งผลน้อยมากนั่นเอง ซึ่งเราจะนำไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์เพื่อดูข้อมูลต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 คำนำ

การทำงานของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์มีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ การตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายและการวิเคราะห์ผลการตรวจวัด ซึ่งการตรวจวัดจะได้ผลที่ดีจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบและเลือกแก๊สเซ็นเซอร์ที่จะนำมาใช้กับตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัด ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวตัวอย่างและทำการเลือกแก๊สเซ็นเซอร์ที่เหมาะสม เนื่องจากข้อจำกัดของการตอบสนองทางเคมีของแก๊สเซ็นเซอร์มีบางชนิดที่มีการผลิตขึ้นมาจำหน่าย ส่วนในเทคนิคในการวิเคราะห์ผลการทดลองมีหลายเทคนิค ซึ่งแต่ละเทคนิคก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับเทคนิคการวิเคราะห์หมัดเปิดดิสคริมีแนนต์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการเรียนรู้แบบไม่มีการสอนและเรียนรู้แบบมีการสอนตามลำดับ ซึ่งเทคนิคทั้งสองมีข้อดีที่สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็วและสามารถบอกประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลได้

#### 4.2 ผลการทดลองจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ต่อมลพิษสิ่งแวดล้อม

ในการทดลองขั้นต้นเป็นการนำแก๊สเซ็นเซอร์จำนวน 6 ตัวทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดความชื้นอีกหนึ่งตัว เพื่อตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 4 คน ซึ่งหลังการตรวจวัดตัวอย่างเสื้อจะทำการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของเซ็นเซอร์แต่ละตัว โดยใช้สมการที่ (4.1)

$$x_{(dif)} = \text{Max}(x(n)) - \text{Min}(x(n)) \quad (4.1)$$

ผลจากการทดลองจะได้ค่าแรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อกลิ่นเสื้ออาสาสมัครแต่ละคน ซึ่งจะทำการทดสอบหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 5 วัน ซึ่งหลังจากคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดจะได้ดังตารางที่ 4.1

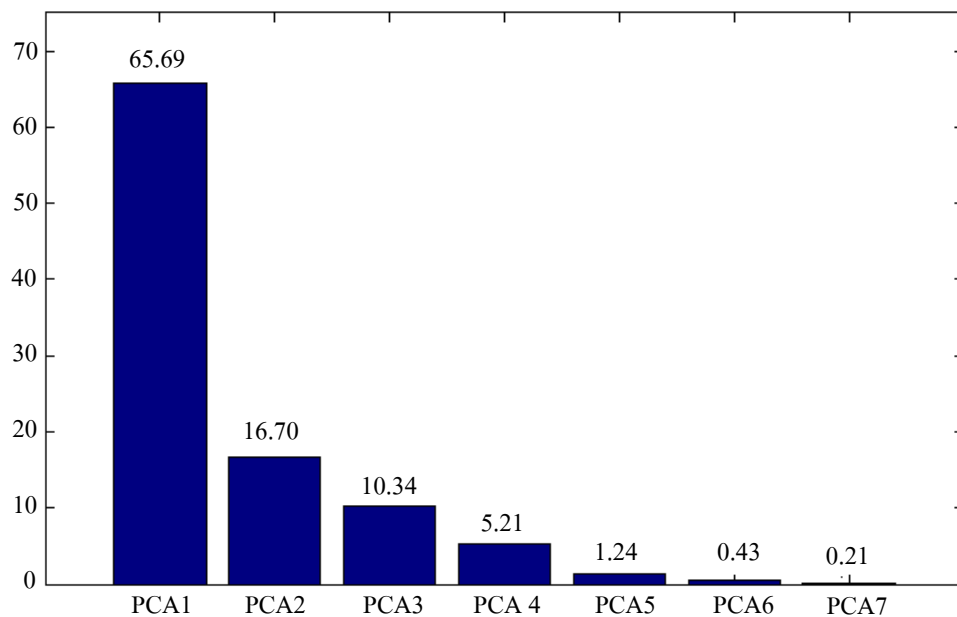
ตารางที่ 4.1 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ขั้นต้นต่อกลิ้นเสื้อของ  
อาสาสมัครจำนวน 4 คน

ครั้งที่	TGS 822 (V)	TGS2620 (V)	TGS 832 (V)	SMTHS07 (V)	TGS3870 (V)	TGS2600 (V)	TGS2602 (V)
คนที่ 1							
1	0.413	0.246	0.122	0.041	0.051	0.978	0.246
2	0.513	0.256	0.122	0.031	0.051	1.071	0.266
3	0.439	0.225	0.123	0.143	0.051	0.958	0.174
4	0.408	0.184	0.091	0.122	0.041	0.802	0.163
5	0.488	0.184	0.091	0.122	0.041	0.902	0.163
คนที่ 2							
1	0.589	0.241	0.112	0.184	0.071	1.019	0.246
2	0.548	0.225	0.092	0.204	0.071	1.101	0.224
3	0.618	0.24	0.095	0.235	0.075	1.03	0.235
4	0.589	0.26	0.112	0.184	0.081	0.953	0.26
5	0.674	0.245	0.102	0.306	0.082	1.19	0.275
คนที่ 3							
1	0.245	0.113	0.061	0.152	0.041	0.459	0.072
2	0.296	0.133	0.061	0.041	0.071	0.52	0.113
3	0.286	0.113	0.061	0.092	0.062	0.469	0.102
4	0.183	0.113	0.071	0.041	0.051	0.449	0.082
5	0.215	0.123	0.081	0.031	0.051	0.439	0.143
คนที่ 4							
1	0.143	0.082	0.061	0.011	0.03	0.51	0.377
2	0.133	0.062	0.071	0.011	0.03	0.61	0.377
3	0.174	0.097	0.056	0.021	0.046	0.68	0.398
4	0.183	0.113	0.071	0.041	0.051	0.449	0.382
5	0.23	0.133	0.081	0.035	0.057	0.474	0.302

จากตารางที่ 4.1 เราสามารถนำมาเขียนในรูปแบบเมทริกซ์ข้อมูลขนาด  $20 \times 7$  เพื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อถึงความสัมพันธ์ของเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตัวที่มีต่อกันของอาสาสมัครแต่ละคนเป็นตัวแปรใหม่ คือ ตัวแปร  $PCA1-PCA7$  ซึ่งแต่ละตัวก็จะมีคุณสมบัติถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แตกต่างกัน คือ ตัวแปร  $PCA1$  จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การถึงความสัมพันธ์มากที่สุดและจะลดลงเรื่อยๆ จนตัวแปร  $PCA7$  ค่าเปอร์เซ็นต์การถึงความสัมพันธ์น้อยที่สุดตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

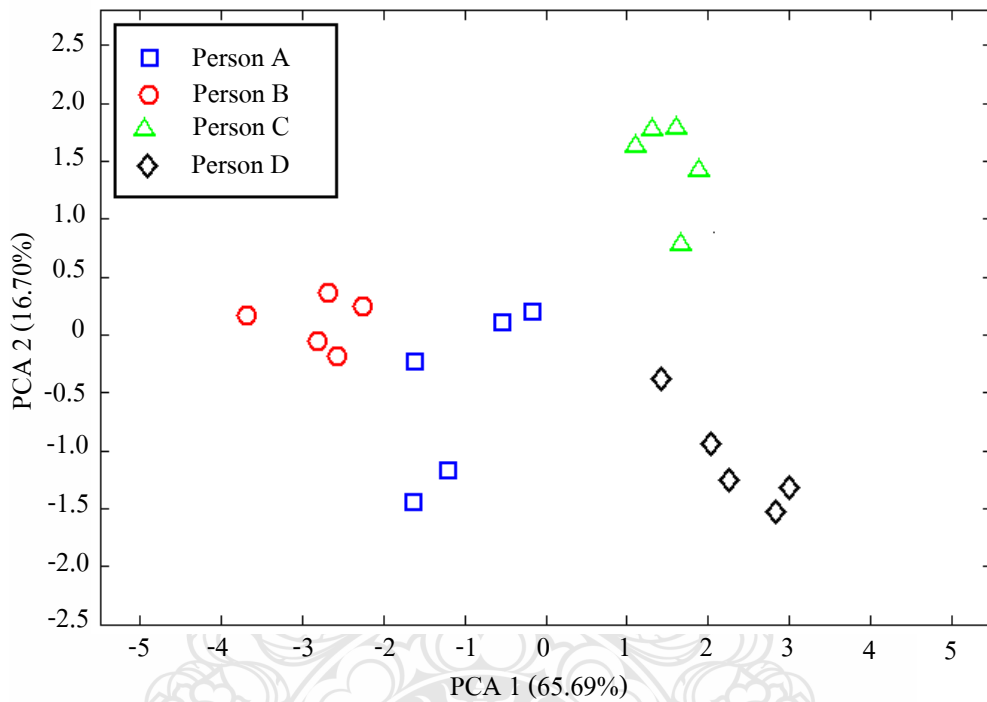
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์การถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดจากข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้น

ตัวแปรใหม่	เปอร์เซ็นต์การถึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
PCA1	65.69	65.69
PCA2	16.70	82.39
PCA3	10.34	92.73
PCA4	5.21	97.94
PCA5	1.42	99.36
PCA6	0.43	99.79
PCA7	0.21	100



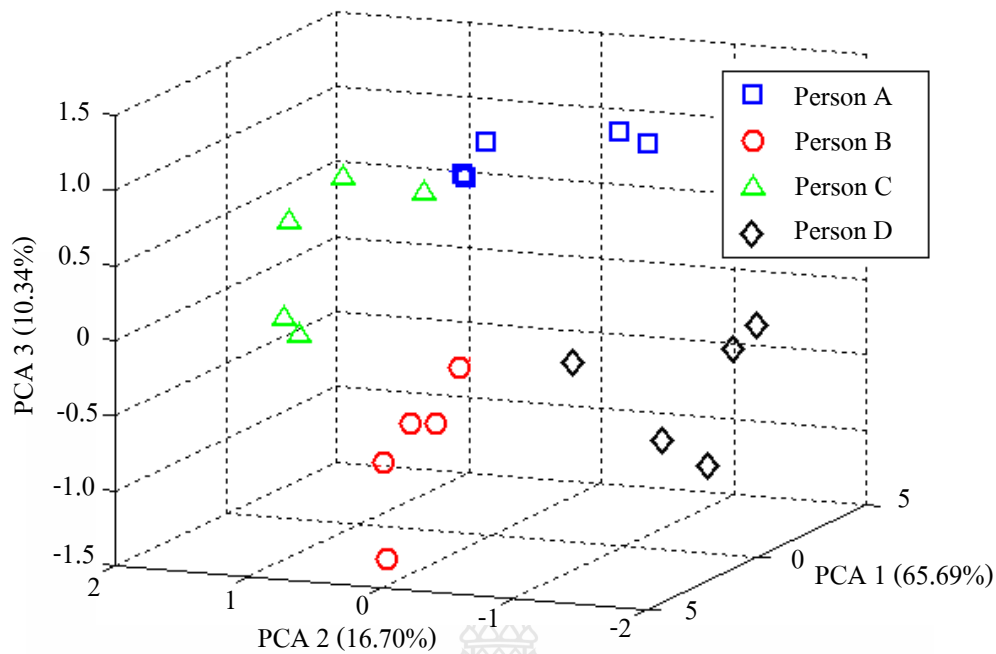
รูปที่ 4.1 เปอร์เซนต์การถึงความสัมพันธ์ข้อมูลจากอิเล็กทรอนิกส์ขั้นต้นของตัวแปรใหม่

ซึ่งจากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า ตัวแปร  $PCA1$  มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 65.69 ส่วนตัวแปร  $PCA2$  มีค่าเท่ากับ 16.70 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 82.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร  $PCA1$  และ  $PCA2$  เป็นตัวแทนของทั้ง 7 ตัวแปรได้ ตามหลักการพิจารณาตัวประกอบหลักที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 2.8.6 เราสามารถดูความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรโดยการนำไปพล็อตกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ข้อมูลการจำแนกของจุมกือเล็กทรอนิกส์ขั้นต้นหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA

ในการพิจารณาการจำแนกข้อมูลการดมกลั่นเดี่ยวของจุมกือเล็กทรอนิกส์ เพื่อเราสามารถพิจารณาการจำแนกได้ง่ายและมีมุมมองมากขึ้นเราสามารถนำตัวแปร  $PCA3$  ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 10.34 เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย ซึ่งจะทำให้เราได้ค่าผลรวมเท่ากับ 92.73 นอกจากจะได้เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์มากขึ้นแล้ว เรายังนำทั้งสามตัวแปร คือ ตัวแปร  $PCA1$ ,  $PCA2$  และ  $PCA3$  พล็อตกราฟร่วมกันทำให้ช่วยเพิ่มมุมมองเพราะเราสามารถมองในทางสามมิติได้ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของทั้ง 3 ตัวแปร

### 4.3 ผลการทดลองจุมกอีเล็กทรอนิกส์ที่ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพ

การวิจัยจุมกอีเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล ในขั้นต้นเราได้ทดลองนำแก๊ส เช่น เซอร์ซนิต โลหะออกไซด์ จำนวน 6 ตัว มาต่อร่วมกัน และนำไปตรวจวัดกลิ่นเสื้อของอาสาสมัคร จำนวน 4 คน หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาสร้างเป็นเมตริกซ์ข้อมูลและใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อดูการจำแนกข้อมูลพบว่า การจำแนกได้มีการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็น 4 กลุ่มอย่างชัดเจน แต่เมื่อเราต้องการทราบความสามารถของระบบจุมกอีเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จะรองรับการจำแนกกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครได้สูงสุดเป็นจำนวนเท่าไร ผู้วิจัยจึงได้ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำมาพัฒนาและออกแบบจุมกอีเล็กทรอนิกส์ขึ้นให้มีประสิทธิภาพในการจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคลที่มากขึ้น โดยการศึกษาองค์ประกอบของกลิ่นตัวมนุษย์ว่าประกอบด้วยสารเคมีอะไรบ้าง เพื่อนำไปพิจารณาคัดเลือกแก๊สเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมนำมาใช้วัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่อยู่บนเสื้อของอาสาสมัคร ซึ่งหลังการออกแบบจุมกอีเล็กทรอนิกส์โดยใช้แก๊สเซ็นเซอร์ที่ตอบสนองต่อสารเคมีตัวใหม่โดยใช้จำนวนแก๊สเซ็นเซอร์ 7 ตัว และเซ็นเซอร์วัดความชื้น 1 ตัว นำมาตรวจวัดกลิ่นเสื้อของอาสาสมัคร จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก และการวิเคราะห์มัลติเปิลดิสคริมิแนนต์ โดยการวิเคราะห์จะเริ่มใช้ข้อมูลกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 4 คน และเมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้วจะพิจารณาการจำแนกข้อมูลว่าสามารถการจำแนกได้ดีหรือไม่ โดยดูจากการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ไม่มีการซ้อนทับของข้อมูล และจากนั้นจะเพิ่มจำนวนข้อมูลของอาสาสมัครขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าการจำแนกข้อมูลกลิ่นเสื้อจะให้ผลการวิเคราะห์ไม่ดี



### 4.3.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลของอาสาสมัครจำนวน 4 คน

ผลการใช้จุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบใหม่ตรวจวัดคลื่นเสียงของอาสาสมัคร โดยในหัวข้อนี้เราจะนำข้อมูลของอาสาสมัครจำนวน 4 คน มาวิเคราะห์เพื่อนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับการใช้จุ่มกือเล็กทรอนิกส์ตัวเดิม ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อคลื่นเสียงของอาสาสมัครจำนวน 4 คน

ครั้งที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 1								
1	0.153	0.245	0.102	0.317	0.562	0.561	0.664	0.663
2	0.153	0.265	0.112	0.409	0.776	0.672	0.694	0.776
3	0.163	0.265	0.102	0.399	0.889	0.642	0.684	0.306
4	0.153	0.265	0.102	0.327	0.726	0.561	0.765	0.653
5	0.164	0.285	0.122	0.368	0.868	0.582	0.919	0.592
คนที่ 2								
1	0.041	0.143	0.092	0.225	0.143	0.122	0.327	0.561
2	0.041	0.112	0.061	0.174	0.122	0.112	0.234	0.429
3	0.041	0.153	0.071	0.215	0.174	0.123	0.296	0.47
4	0.051	0.143	0.061	0.153	0.123	0.132	0.276	0.439
5	0.061	0.184	0.061	0.194	0.163	0.153	0.347	0.48
คนที่ 3								
1	0.132	0.255	0.091	0.327	0.532	0.479	0.623	0.674
2	0.112	0.204	0.091	0.256	0.409	0.418	0.388	0.673
3	0.122	0.224	0.092	0.296	0.551	0.5	0.521	0.429
4	0.122	0.224	0.091	0.286	0.5	0.408	0.439	0.541
5	0.133	0.225	0.092	0.328	0.531	0.571	0.5	0.572

ตารางที่ 4.3 แรงดันคอบสนองของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ่นเสื่อของอาสาสมัคร  
จำนวน 4 คน (ต่อ)

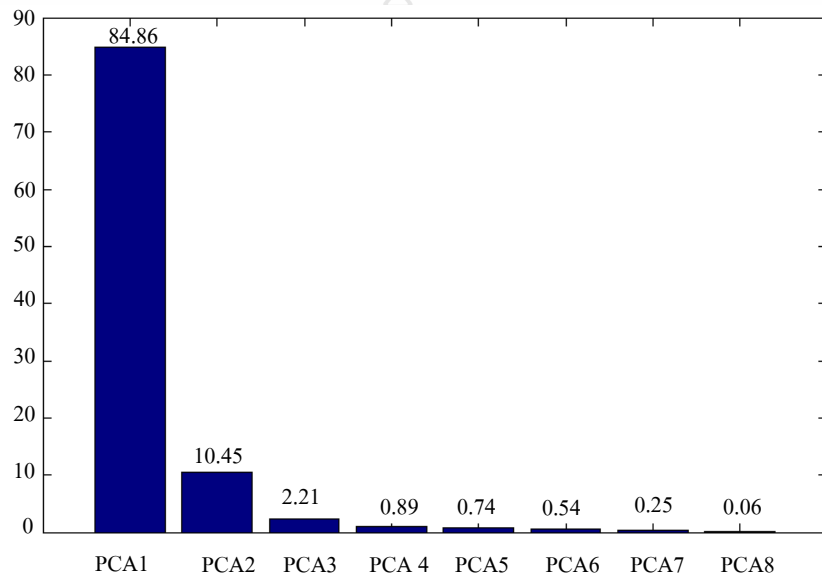
ครั้ง ที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 4								
1	0.215	0.347	0.153	0.767	1.124	1.019	1.379	0.735
2	0.164	0.296	0.143	0.532	1.104	0.744	0.97	0.837
3	0.205	0.327	0.143	0.665	1.605	0.876	1.031	0.429
4	0.184	0.306	0.132	0.563	1.307	0.754	1.062	0.603
5	0.194	0.296	0.122	0.552	1.288	0.734	1.072	0.633

จากตารางที่ 4.3 เราสามารถนำมาเขียนในรูปเมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $20 \times 8$  เพื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อถึงความสัมพันธ์ของเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัว ที่มีต่อกลิ่นเสื่อของอาสาสมัครแต่ละคนเป็นตัวแปรใหม่ คือ ตัวแปร  $PCA1 - PCA8$  ซึ่งได้ผลการถึงความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

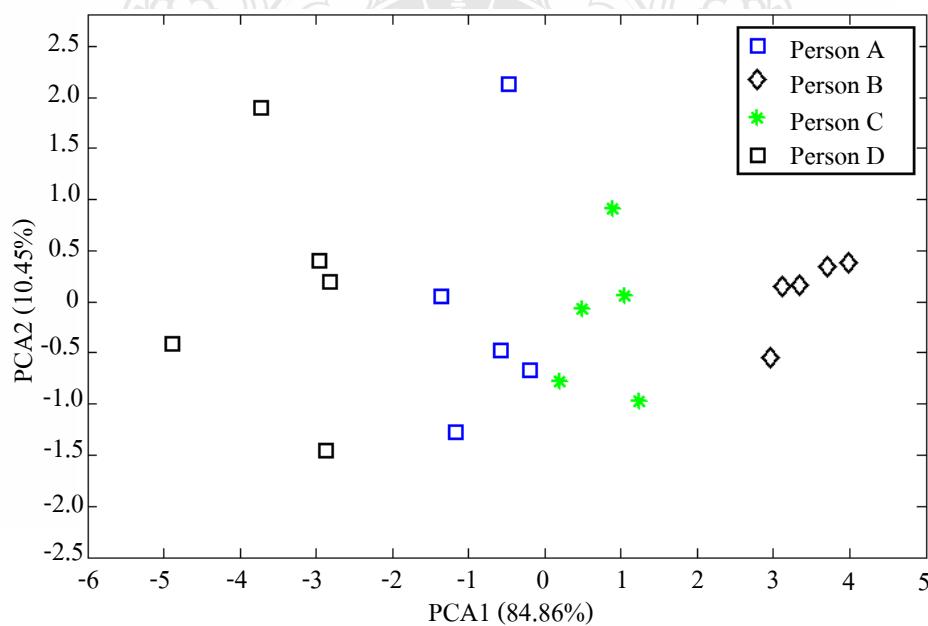
ตารางที่ 4.4 เปรอ์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค PCA

ตัวแปรใหม่	เปอร์เซ็นต์การถึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
PCA1	84.86	84.86
PCA2	10.45	95.31
PCA3	2.21	97.52
PCA4	0.89	98.41
PCA5	0.74	99.15
PCA6	0.54	99.69
PCA7	0.25	99.94
PCA8	0.06	100

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า ตัวแปร  $PCA1$  มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 84.86 ส่วนตัวแปร  $PCA2$  มีค่าเท่ากับ 10.45 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 95.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร  $PCA1$  และ  $PCA2$  เป็นตัวแทนของทั้ง 8 ตัวแปรได้ ตามหลักการพิจารณาตัวประกอบหลักที่เหมาะสม เราสามารถดูความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปร โดยการนำไปพล็อตกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 เปอร์เซนต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมูกอเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค PCA

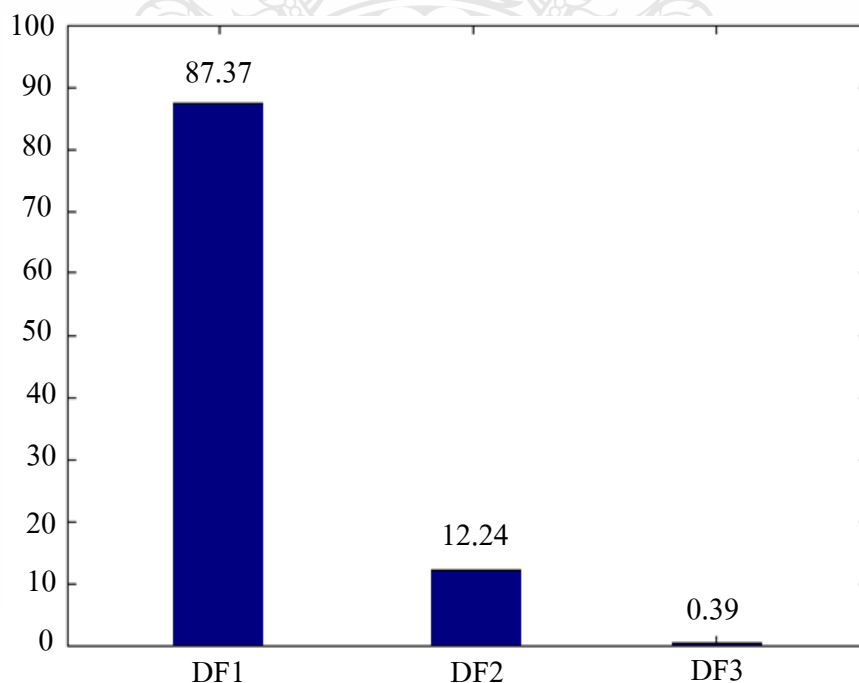


รูปที่ 4.5 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของจุมูกอเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน

ในการวิเคราะห์ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบใหม่นี้ เราได้นำเทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกให้ดีขึ้น เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีการเรียนรู้แบบมีการสอน โดยเราจะนำเมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $20 \times 8$  ที่ในใช้วิเคราะห์ด้วยเทคนิคองค์ประกอบหลักมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเทคนิคที่ใช้การจำแนกทั้งสอง โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์เช่นกัน ซึ่งผลการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลที่ได้หลังจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เป็นดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

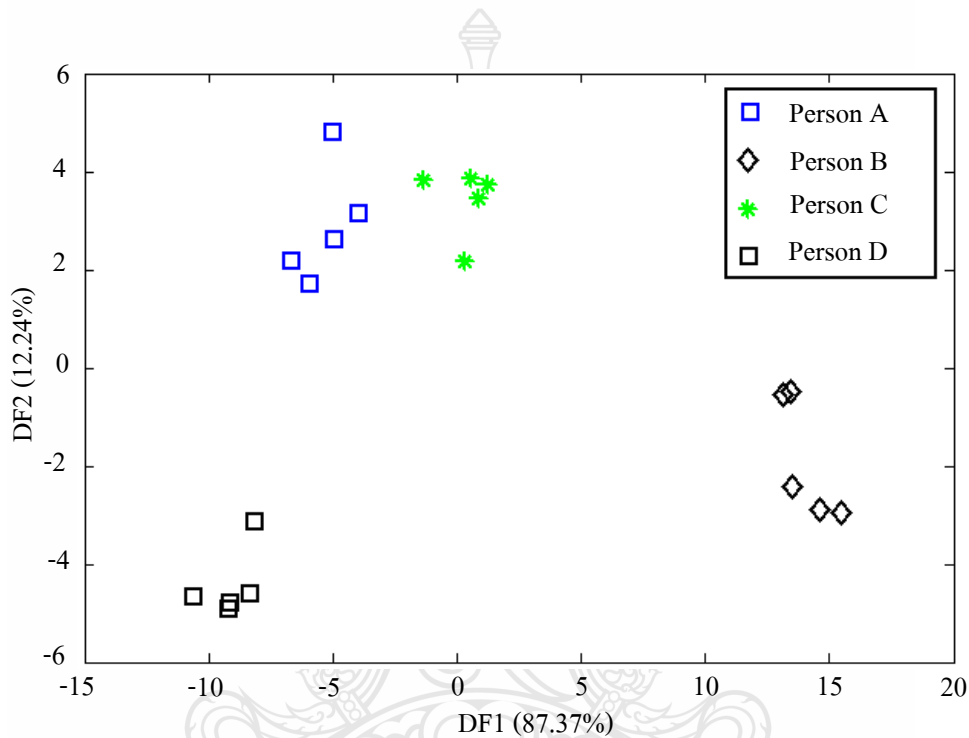
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค MDA

ฟังก์ชันการจำแนก	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
DF1	87.37	87.37
DF2	12.24	99.61
DF3	0.39	100



รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน ด้วยเทคนิค MDA

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์ใช้ฟังก์ชันการจำแนกเพียง 3 ตัวเท่านั้น ก็สามารถถึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลได้ทั้งหมด โดยมีค่า DF1 เท่ากับ 87.37 เปอร์เซ็นต์ และ DF2 เท่ากับ 12.24 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลรวมเท่ากับ 99.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคองค์ประกอบหลัก โดยเราสามารถพล็อตความสัมพันธ์ของตัวแปร DF1 และ DF2 เพื่อดูผลการจำแนกข้อมูล ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 4 คน

#### 4.3.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลของอาสาสมัครจำนวน 5 คน

ผลการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบใหม่ตรวจวัดกลิ่นเสื้อของอาสาสมัคร โดยในหัวข้อนี้เราจะนำเพิ่มข้อมูลของอาสาสมัครเป็นจำนวน 5 คน มาวิเคราะห์ เพื่อดูความสามารถในการจำแนก ของเทคนิคที่ใช้ทั้งสอง ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แรงดันตอบสนองของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัคร  
จำนวน 5 คน

ครั้งที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 1								
1	0.153	0.245	0.102	0.317	0.562	0.561	0.664	0.663
2	0.153	0.265	0.112	0.409	0.776	0.672	0.694	0.776
3	0.163	0.265	0.102	0.399	0.889	0.642	0.684	0.306
4	0.153	0.265	0.102	0.327	0.726	0.561	0.765	0.653
5	0.164	0.285	0.122	0.368	0.868	0.582	0.919	0.592
คนที่ 2								
1	0.041	0.143	0.092	0.225	0.143	0.122	0.327	0.561
2	0.041	0.112	0.061	0.174	0.122	0.112	0.234	0.429
3	0.041	0.153	0.071	0.215	0.174	0.123	0.296	0.47
4	0.051	0.143	0.061	0.153	0.123	0.132	0.276	0.439
5	0.061	0.184	0.061	0.194	0.163	0.153	0.347	0.48
คนที่ 3								
1	0.132	0.255	0.091	0.327	0.532	0.479	0.623	0.674
2	0.112	0.204	0.091	0.256	0.409	0.418	0.388	0.673
3	0.122	0.224	0.092	0.296	0.551	0.5	0.521	0.429
4	0.122	0.224	0.091	0.286	0.5	0.408	0.439	0.541
5	0.133	0.225	0.092	0.328	0.531	0.571	0.5	0.572
คนที่ 4								
1	0.215	0.347	0.153	0.767	1.124	1.019	1.379	0.735
2	0.164	0.296	0.143	0.532	1.104	0.744	0.97	0.837
3	0.205	0.327	0.143	0.665	1.605	0.876	1.031	0.429
4	0.184	0.306	0.132	0.563	1.307	0.754	1.062	0.603
5	0.194	0.296	0.122	0.552	1.288	0.734	1.072	0.633

ตารางที่ 4.6 แรงดันตอบสนองของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อคลื่นเสียงของอาสาสมัคร  
จำนวน 5 คน (ต่อ)

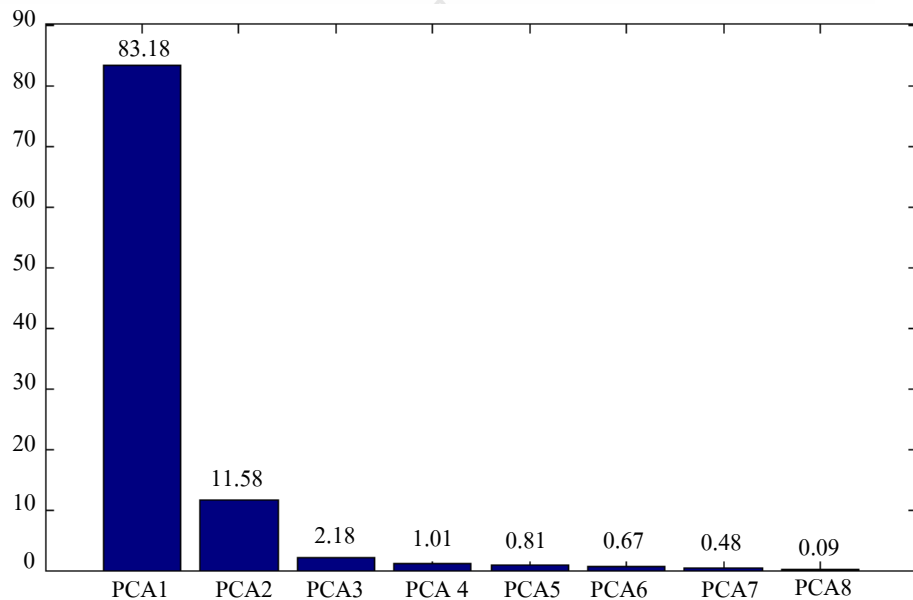
ครั้งที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 5								
1	0.072	0.224	0.102	0.327	0.337	0.316	0.612	0.469
2	0.061	0.184	0.081	0.215	0.153	0.071	0.449	0.592
3	0.051	0.174	0.061	0.174	0.143	0.081	0.388	0.704
4	0.062	0.203	0.081	0.235	0.286	0.265	0.347	0.674
5	0.061	0.214	0.071	0.245	0.296	0.215	0.398	0.613

จากตารางที่ 4.6 เราสามารถนำมาเขียนในรูปเมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $25 \times 8$  เพื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งได้ผลการถึงความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8

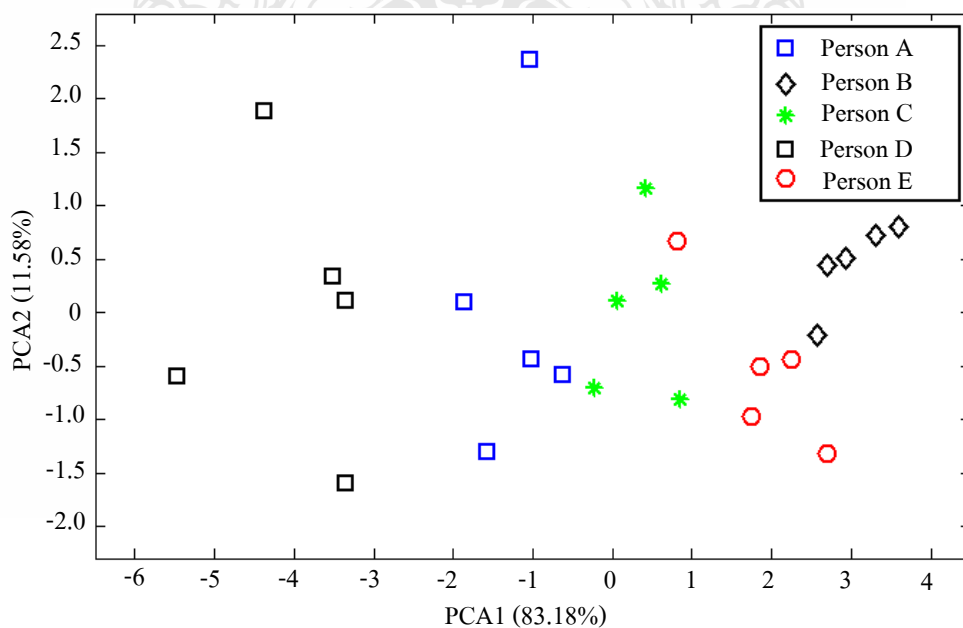
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค PCA

ตัวแปรใหม่	เปอร์เซ็นต์การถึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
PCA1	83.18	83.18
PCA2	11.58	94.76
PCA3	2.18	96.94
PCA4	1.01	97.95
PCA5	0.81	98.76
PCA6	0.67	99.43
PCA7	0.48	99.91
PCA8	0.09	100

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่า ตัวแปร  $PCA1$  มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 83.18 ส่วนตัวแปร  $PCA2$  มีค่าเท่ากับ 11.58 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 94.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร  $PCA1$  และ  $PCA2$  เป็นตัวแทนของทั้ง 8 ตัวแปรได้ เราสามารถดูความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปร โดยการนำไปพล็อตกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 เปอร์เซนต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค PCA



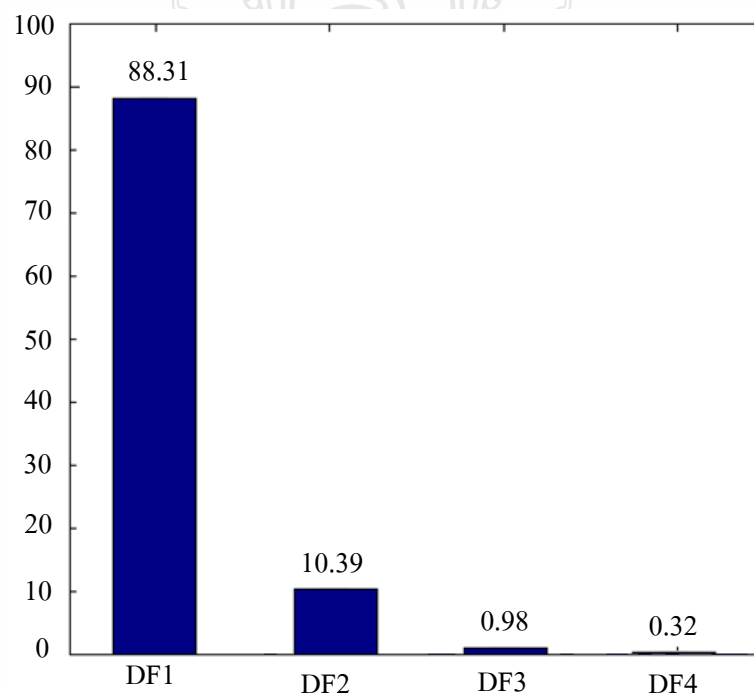
รูปที่ 4.9 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน



ขั้นตอนต่อไปเราจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกให้ดีขึ้น โดยเราจะนำเมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $25 \times 8$  ที่ใช้ในวิเคราะห์ด้วยเทคนิคองค์ประกอบหลักมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเทคนิคที่ใช้การจำแนกทั้งสอง โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งผลการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลที่ได้หลังจากใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพิลดิสคริมิแนนต์เป็นดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.10

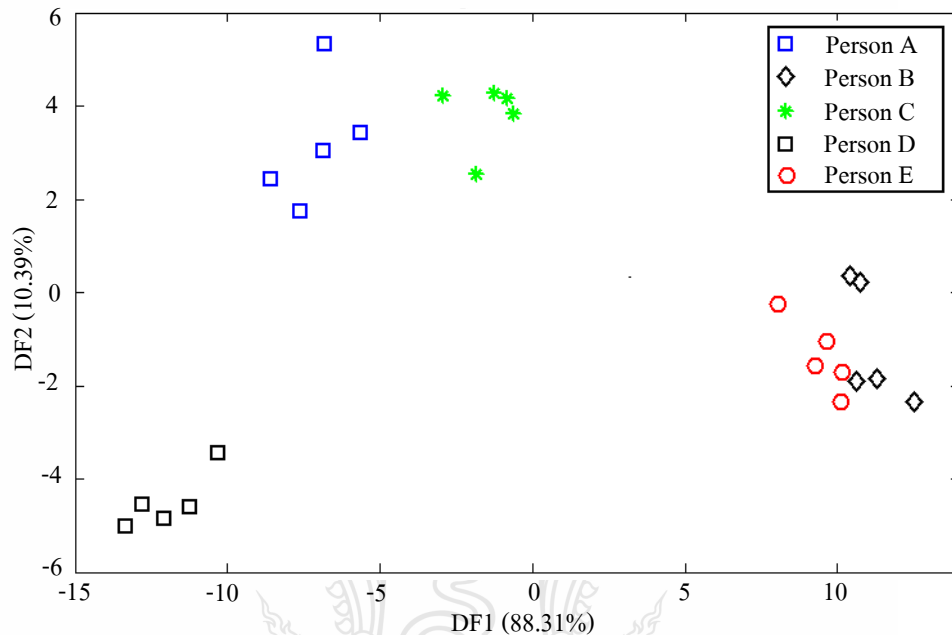
ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค MDA

ฟังก์ชันการจำแนก	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
DF1	88.31	88.31
DF2	10.39	98.7
DF3	0.98	99.68
DF4	0.32	100



รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค MDA

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ห้มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ใช้ฟังก์ชันการจำแนกเพียง 4 ตัว ก็สามารถถึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลได้ทั้งหมด โดยมีค่า DF1 เท่ากับ 88.31 เปอร์เซ็นต์ และ DF2 เท่ากับ 10.39 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลรวมเท่ากับ 98.7 เปอร์เซ็นต์ โดยเราสามารถพล็อตความสัมพันธ์ของตัวแปร DF1 และ DF2 เพื่อดูผลการจำแนกข้อมูล ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 5 คน

#### 4.3.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลของอาสาสมัครจำนวน 6 คน

ผลการใช้จุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบใหม่ตรวจวัดคลื่นเสียงของอาสาสมัคร โดยในหัวข้อนี้เราจะนำเพิ่มข้อมูลของอาสาสมัครเป็นจำนวน 6 คน มาวิเคราะห์ เพื่อดูความสามารถในการจำแนกของเทคนิคทั้งสอง ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แรงดันตอบสนองของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัคร  
จำนวน 6 คน

ครั้งที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 1								
1	0.153	0.245	0.102	0.317	0.562	0.561	0.664	0.663
2	0.153	0.265	0.112	0.409	0.776	0.672	0.694	0.776
3	0.163	0.265	0.102	0.399	0.889	0.642	0.684	0.306
4	0.153	0.265	0.102	0.327	0.726	0.561	0.765	0.653
5	0.164	0.285	0.122	0.368	0.868	0.582	0.919	0.592
คนที่ 2								
1	0.041	0.143	0.092	0.225	0.143	0.122	0.327	0.561
2	0.041	0.112	0.061	0.174	0.122	0.112	0.234	0.429
3	0.041	0.153	0.071	0.215	0.174	0.123	0.296	0.47
4	0.051	0.143	0.061	0.153	0.123	0.132	0.276	0.439
5	0.061	0.184	0.061	0.194	0.163	0.153	0.347	0.48
คนที่ 3								
1	0.132	0.255	0.091	0.327	0.532	0.479	0.623	0.674
2	0.112	0.204	0.091	0.256	0.409	0.418	0.388	0.673
3	0.122	0.224	0.092	0.296	0.551	0.5	0.521	0.429
4	0.122	0.224	0.091	0.286	0.5	0.408	0.439	0.541
5	0.133	0.225	0.092	0.328	0.531	0.571	0.5	0.572
คนที่ 4								
1	0.215	0.347	0.153	0.767	1.124	1.019	1.379	0.735
2	0.164	0.296	0.143	0.532	1.104	0.744	0.97	0.837
3	0.205	0.327	0.143	0.665	1.605	0.876	1.031	0.429
4	0.184	0.306	0.132	0.563	1.307	0.754	1.062	0.603
5	0.194	0.296	0.122	0.552	1.288	0.734	1.072	0.633

ตารางที่ 4.9 แรงดันตอบสนองของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัคร  
จำนวน 6 คน (ต่อ)

ครั้งที่	TGS	TGS	TGS	TGS	TGS	TGS	TGS	SMTH
	2602	2600	822	813	832	826	825	S07
	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
คนที่ 5								
1	0.072	0.224	0.102	0.327	0.337	0.316	0.612	0.469
2	0.061	0.184	0.081	0.215	0.153	0.071	0.449	0.592
3	0.051	0.174	0.061	0.174	0.143	0.081	0.388	0.704
4	0.062	0.203	0.081	0.235	0.286	0.265	0.347	0.674
5	0.061	0.214	0.071	0.245	0.296	0.215	0.398	0.613
คนที่ 6								
1	0.143	0.275	0.122	0.46	0.562	0.571	0.898	0.596
2	0.143	0.265	0.122	0.409	0.776	0.673	0.807	0.541
3	0.112	0.225	0.081	0.275	0.47	0.378	0.541	0.858
4	0.122	0.245	0.112	0.358	0.787	0.51	0.816	0.551
5	0.112	0.234	0.091	0.296	0.603	0.48	0.643	0.664

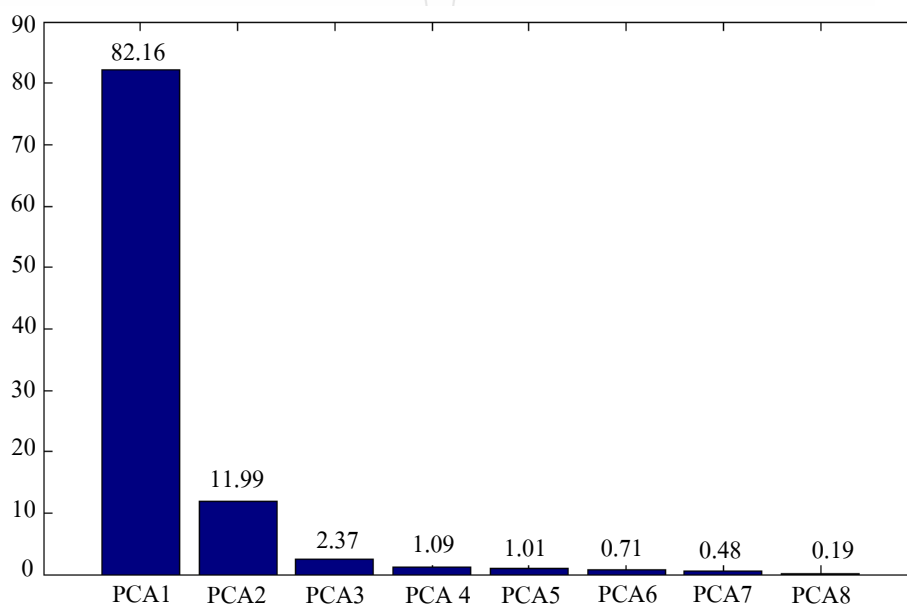
จากตารางที่ 4.9 เราสามารถนำมาเขียนในรูปเมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $30 \times 8$  เพื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งได้ผลการถึงความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 6 คน ด้วยเทคนิค PCA

ตัวแปรใหม่	เปอร์เซ็นต์การถึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
PCA1	82.16	82.16
PCA2	11.99	94.15
PCA3	2.37	96.52
PCA4	1.09	97.61
PCA5	1.01	98.62

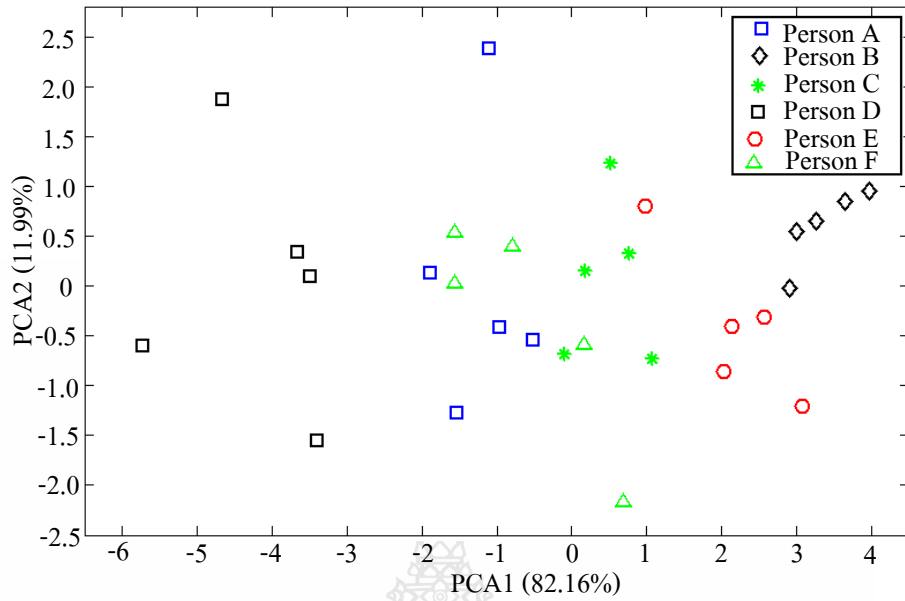
ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 6 คน ด้วยเทคนิค PCA (ต่อ)

ตัวแปรใหม่	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
PCA6	0.71	99.33
PCA7	0.48	99.81
PCA8	0.19	100



รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 6 คน ด้วยเทคนิค PCA

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่า ตัวแปร *PCA1* มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 82.16 ส่วนตัวแปร *PCA2* มีค่าเท่ากับ 11.99 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 94.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร *PCA1* และ *PCA2* เป็นตัวแทนของทั้ง 8 ตัวแปรได้ เราสามารถดูความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรโดยการนำไปพล็อตกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ดังรูปที่ 4.13

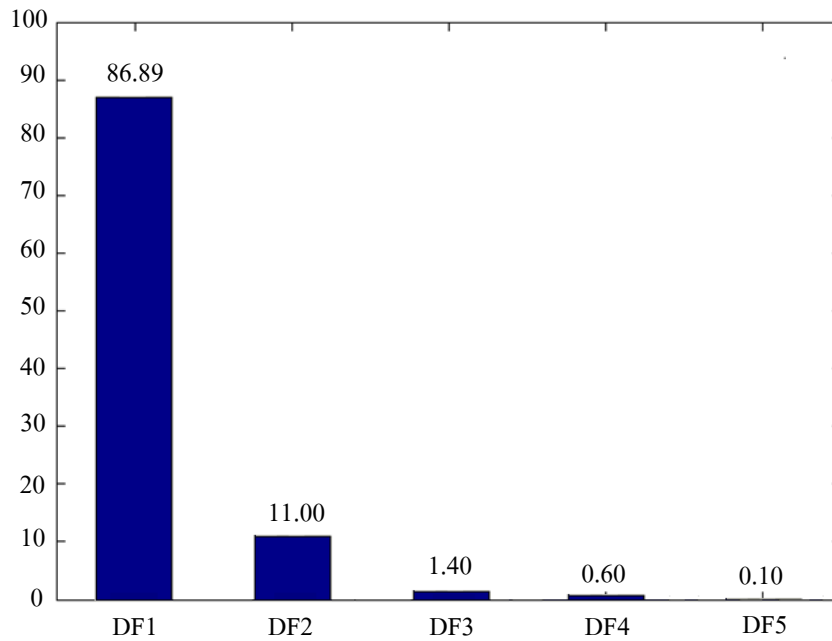


รูปที่ 4.13 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 6 คน

จะเห็นการใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการจำแนกเริ่มมีการซ้อนทับของข้อมูลบ้าง เราจึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้มิติเปิดดิสคริมิแนนต์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกให้ดีขึ้น โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งผลการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลที่ได้ หลังจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้มิติเปิดดิสคริมิแนนต์เป็นดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.14

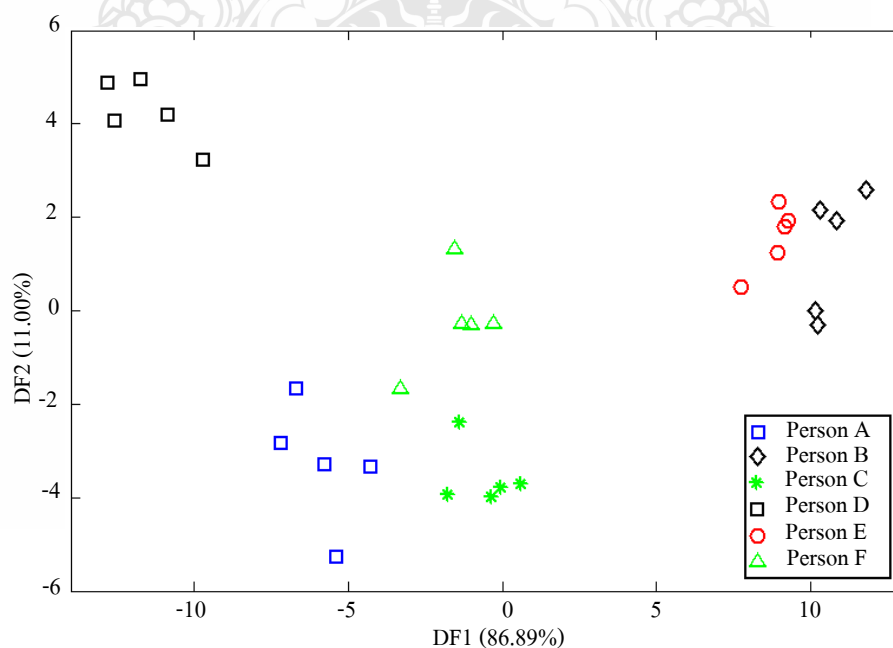
ตารางที่ 4.11 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 6 คน ด้วยเทคนิค MDA

ฟังก์ชันการจำแนก	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
DF1	86.89	86.89
DF2	11.00	97.89
DF3	1.41	99.3
DF4	0.60	99.9
DF5	0.10	100



รูปที่ 4.14 เปอร์เซนต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 6 คน ด้วยเทคนิค MDA

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีมิติเปิดดิสคริมิแนนต์ใช้ฟังก์ชันการจำแนกเป็น 5 ตัว เพื่อดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลให้ได้ทั้งหมด โดยมีค่า DF1 เท่ากับ 86.89 เปอร์เซนต์ และ DF2 เท่ากับ 11.00 เปอร์เซนต์ ได้ผลรวมเท่ากับ 97.89 เปอร์เซนต์ โดยเราสามารถพล็อตความสัมพันธ์ของตัวแปร DF1 และ DF2 เพื่อดูผลการจำแนกข้อมูล ได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 6 คน

#### 4.3.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลของอาสาสมัครจำนวน 7 คน

ผลการใช้จุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบใหม่ตรวจวัดคลื่นเสียงของอาสาสมัคร โดยในหัวข้อนี้เราจะนำเพิ่มข้อมูลของอาสาสมัครเป็นจำนวน 7 คน เพื่อดูความสามารถในการจำแนกข้อมูลของเทคนิคทั้งสอง ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แรงดันตอบสนองของจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อคลื่นเสียงของอาสาสมัครจำนวน 7 คน

ครั้งที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 1								
1	0.153	0.245	0.102	0.317	0.562	0.561	0.664	0.663
2	0.153	0.265	0.112	0.409	0.776	0.672	0.694	0.776
3	0.163	0.265	0.102	0.399	0.889	0.642	0.684	0.306
4	0.153	0.265	0.102	0.327	0.726	0.561	0.765	0.653
5	0.164	0.285	0.122	0.368	0.868	0.582	0.919	0.592
คนที่ 2								
1	0.041	0.143	0.092	0.225	0.143	0.122	0.327	0.561
2	0.041	0.112	0.061	0.174	0.122	0.112	0.234	0.429
3	0.041	0.153	0.071	0.215	0.174	0.123	0.296	0.47
4	0.051	0.143	0.061	0.153	0.123	0.132	0.276	0.439
5	0.061	0.184	0.061	0.194	0.163	0.153	0.347	0.48
คนที่ 3								
1	0.132	0.255	0.091	0.327	0.532	0.479	0.623	0.674
2	0.112	0.204	0.091	0.256	0.409	0.418	0.388	0.673
3	0.122	0.224	0.092	0.296	0.551	0.5	0.521	0.429
4	0.122	0.224	0.091	0.286	0.5	0.408	0.439	0.541
5	0.133	0.225	0.092	0.328	0.531	0.571	0.5	0.572



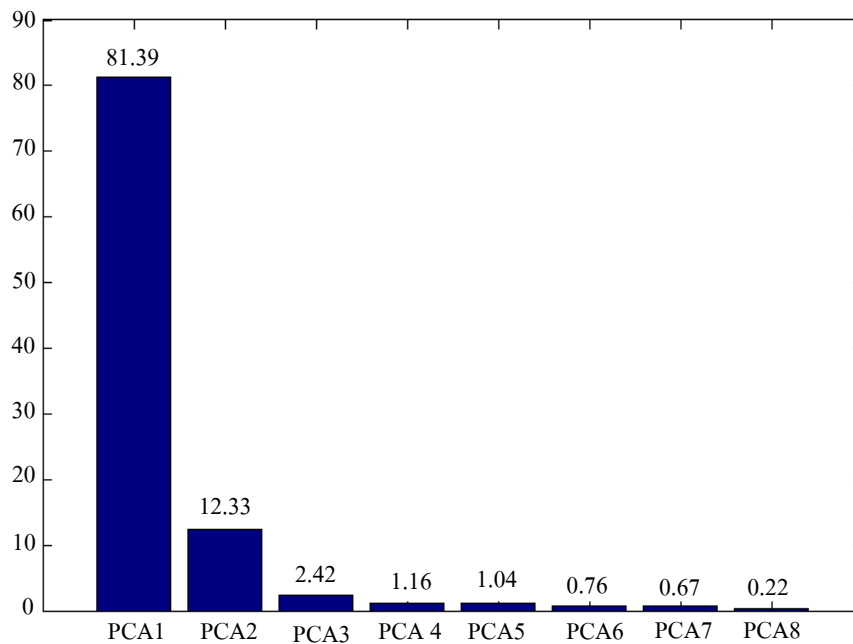
ตารางที่ 4.12 แรงดันตอบสนองของจุ่มกัลวานิกที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ่นเสียของอาสาสมัคร  
จำนวน 7 คน (ต่อ)

ครั้งที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 4								
1	0.215	0.347	0.153	0.767	1.124	1.019	1.379	0.735
2	0.164	0.296	0.143	0.532	1.104	0.744	0.97	0.837
3	0.205	0.327	0.143	0.665	1.605	0.876	1.031	0.429
4	0.184	0.306	0.132	0.563	1.307	0.754	1.062	0.603
5	0.194	0.296	0.122	0.552	1.288	0.734	1.072	0.633
คนที่ 5								
1	0.072	0.224	0.102	0.327	0.337	0.316	0.612	0.469
2	0.061	0.184	0.081	0.215	0.153	0.071	0.449	0.592
3	0.051	0.174	0.061	0.174	0.143	0.081	0.388	0.704
4	0.062	0.203	0.081	0.235	0.286	0.265	0.347	0.674
5	0.061	0.214	0.071	0.245	0.296	0.215	0.398	0.613
คนที่ 6								
1	0.143	0.275	0.122	0.46	0.562	0.571	0.898	0.596
2	0.143	0.265	0.122	0.409	0.776	0.673	0.807	0.541
3	0.112	0.225	0.081	0.275	0.47	0.378	0.541	0.858
4	0.122	0.245	0.112	0.358	0.787	0.51	0.816	0.551
5	0.112	0.234	0.091	0.296	0.603	0.48	0.643	0.664
คนที่ 7								
1	0.092	0.245	0.102	0.307	0.551	0.418	0.49	0.918
2	0.102	0.224	0.082	0.276	0.398	0.449	0.429	0.643
3	0.102	0.235	0.092	0.317	0.521	0.408	0.551	0.776
4	0.092	0.234	0.091	0.286	0.542	0.357	0.428	0.613
5	0.102	0.224	0.092	0.286	0.551	0.418	0.684	0.602

จากตารางที่ 4.12 เราสามารถนำมาเขียนในรูปเมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $35 \times 8$  เพื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งได้ผลการดึงความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.16

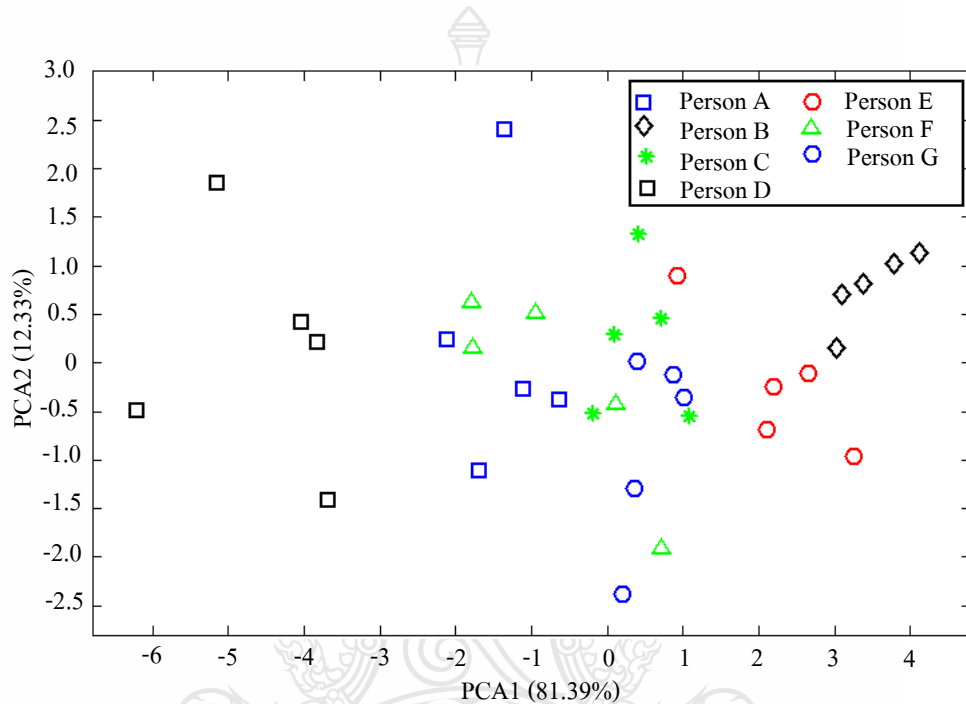
ตารางที่ 4.13 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 7 คน ด้วยเทคนิค PCA

ตัวแปรใหม่	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
PCA1	81.39	81.39
PCA2	12.33	93.72
PCA3	2.42	96.14
PCA4	1.17	97.31
PCA5	1.04	98.35
PCA6	0.76	99.11
PCA7	0.67	99.78
PCA8	0.22	100



รูปที่ 4.16 เปอร์เซนต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 7 คน ด้วยเทคนิค PCA

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่า ตัวแปร  $PCA1$  มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 81.39 ส่วนตัวแปร  $PCA2$  มีค่าเท่ากับ 12.33 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 93.72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร  $PCA1$  และ  $PCA2$  เป็นตัวแทนของทั้ง 8 ตัวแปรได้ เราสามารถดูความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรโดยการนำไปพล็อตกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ดังรูปที่ 4.17

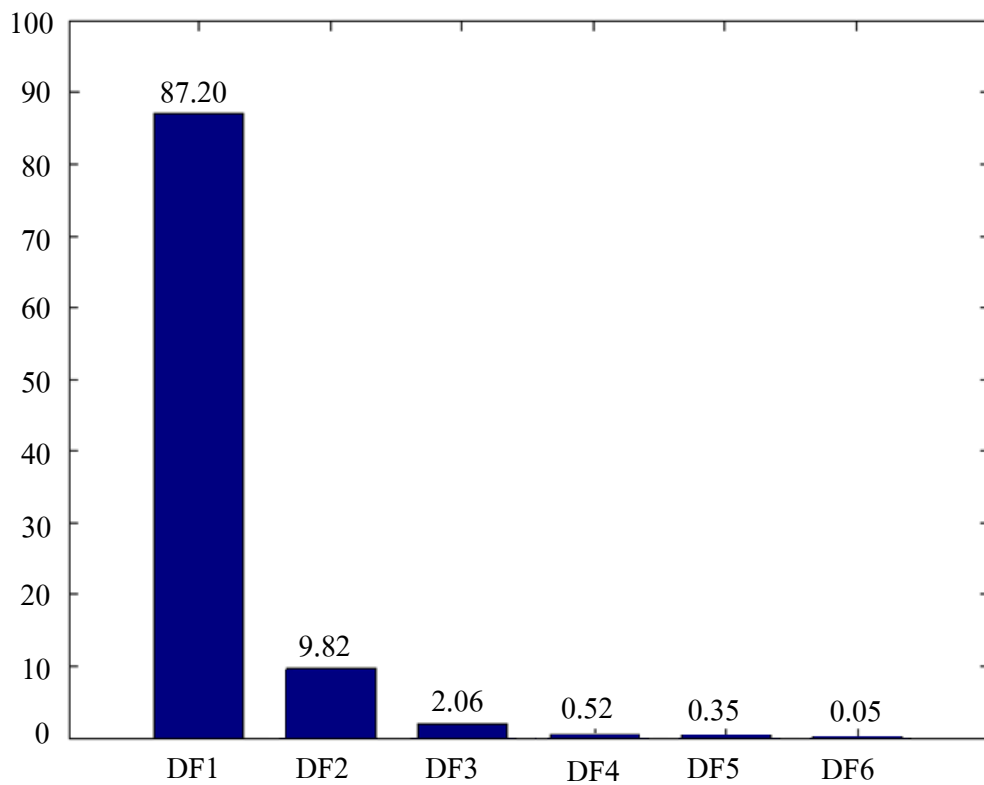


รูปที่ 4.17 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 7 คน

ขั้นตอนต่อไปเราจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกให้ดีขึ้น เนื่องจากข้อมูลที่ได้หลังการใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมีการซ้อนทับของข้อมูลมากขึ้น ไม่สามารถจำแนกได้ในบางบุคคล ซึ่งผลการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลที่ได้ หลังจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์เป็นดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.18

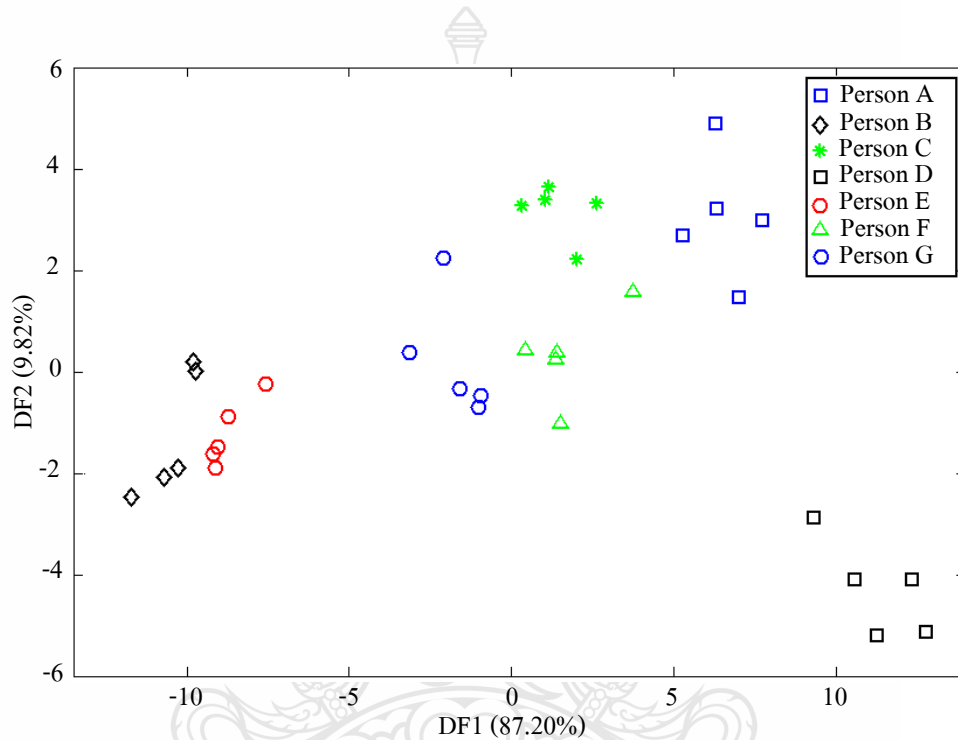
ตารางที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
 อาสาสมัครจำนวน 7 คน ด้วยเทคนิค MDA

ฟังก์ชันการจำแนก	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
DF1	87.20	87.2
DF2	9.82	97.02
DF3	2.06	99.08
DF4	0.52	99.6
DF5	0.35	99.95
DF6	0.05	100



รูปที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
 อาสาสมัครจำนวน 7 คน ด้วยเทคนิค MDA

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ห้ำลติเปิลดิสคริมิแนนต์ใช้ฟังก์ชันการจำแนกเป็น 6 ตัวเพื่อตั้งความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลให้ได้ทั้งหมดเนื่องจากข้อมูลเริ่มมีความใกล้เคียงกัน โดยมีค่า DF1 เท่ากับ 87.20 เปอร์เซ็นต์ และ DF2 เท่ากับ 9.82 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลรวมเท่ากับ 97.02 เปอร์เซ็นต์ โดยเราสามารถพล็อตความสัมพันธ์ของตัวแปร DF1 และ DF2 เพื่อดูผลการจำแนกข้อมูล ได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA ของจุมูกอิล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 7 คน

#### 4.3.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลของอาสาสมัครจำนวน 8 คน

ผลการใช้จุมูกอิล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบใหม่ตรวจวัดคลื่นเสียงของอาสาสมัคร โดยในหัวข้อนี้เราจะนำเพิ่มข้อมูลของอาสาสมัครเป็นจำนวน 8 คน เพื่อดูความสามารถในการจำแนกของเทคนิคทั้งสอง เนื่องจากข้อมูลผลการจำแนกของเทคนิคการวิเคราะห์ห้ำลติเปิลดิสคริมิแนนต์กับอาสาสมัครจำนวน 7 คน ให้ผลการตั้งความสัมพันธ์ลดลงมาก ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แรงดันตอบสนองของจุ่มกอลิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัคร

จำนวน 8 คน

ครั้งที่	TGS	TGS	TGS	TGS	TGS	TGS	TGS	SMTH
	2602	2600	822	813	832	826	825	S07
	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
คนที่ 1								
1	0.153	0.245	0.102	0.317	0.562	0.561	0.664	0.663
2	0.153	0.265	0.112	0.409	0.776	0.672	0.694	0.776
3	0.163	0.265	0.102	0.399	0.889	0.642	0.684	0.306
4	0.153	0.265	0.102	0.327	0.726	0.561	0.765	0.653
5	0.164	0.285	0.122	0.368	0.868	0.582	0.919	0.592
คนที่ 2								
1	0.041	0.143	0.092	0.225	0.143	0.122	0.327	0.561
2	0.041	0.112	0.061	0.174	0.122	0.112	0.234	0.429
3	0.041	0.153	0.071	0.215	0.174	0.123	0.296	0.47
4	0.051	0.143	0.061	0.153	0.123	0.132	0.276	0.439
5	0.061	0.184	0.061	0.194	0.163	0.153	0.347	0.48
คนที่ 3								
1	0.132	0.255	0.091	0.327	0.532	0.479	0.623	0.674
2	0.112	0.204	0.091	0.256	0.409	0.418	0.388	0.673
3	0.122	0.224	0.092	0.296	0.551	0.5	0.521	0.429
4	0.122	0.224	0.091	0.286	0.5	0.408	0.439	0.541
5	0.133	0.225	0.092	0.328	0.531	0.571	0.5	0.572
คนที่ 4								
1	0.215	0.347	0.153	0.767	1.124	1.019	1.379	0.735
2	0.164	0.296	0.143	0.532	1.104	0.744	0.97	0.837
3	0.205	0.327	0.143	0.665	1.605	0.876	1.031	0.429
4	0.184	0.306	0.132	0.563	1.307	0.754	1.062	0.603
5	0.194	0.296	0.122	0.552	1.288	0.734	1.072	0.633

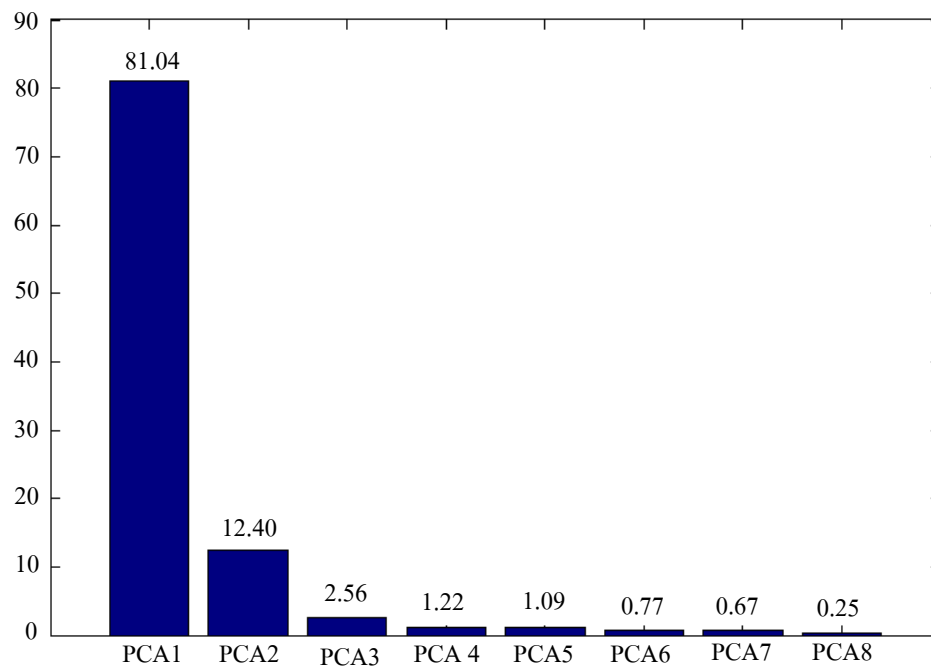
ตารางที่ 4.15 แรงดันตอบสนองของจุ่มกัลวานิกที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อกลิ้นเสื้อของอาสาสมัคร  
จำนวน 8 คน (ต่อ)

ครั้งที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMTH S07 (V)
คนที่ 5								
1	0.072	0.224	0.102	0.327	0.337	0.316	0.612	0.469
2	0.061	0.184	0.081	0.215	0.153	0.071	0.449	0.592
3	0.051	0.174	0.061	0.174	0.143	0.081	0.388	0.704
4	0.062	0.203	0.081	0.235	0.286	0.265	0.347	0.674
5	0.061	0.214	0.071	0.245	0.296	0.215	0.398	0.613
คนที่ 6								
1	0.143	0.275	0.122	0.46	0.562	0.571	0.898	0.596
2	0.143	0.265	0.122	0.409	0.776	0.673	0.807	0.541
3	0.112	0.225	0.081	0.275	0.47	0.378	0.541	0.858
4	0.122	0.245	0.112	0.358	0.787	0.51	0.816	0.551
5	0.112	0.234	0.091	0.296	0.603	0.48	0.643	0.664
คนที่ 7								
1	0.092	0.245	0.102	0.307	0.551	0.418	0.49	0.918
2	0.102	0.224	0.082	0.276	0.398	0.449	0.429	0.643
3	0.102	0.235	0.092	0.317	0.521	0.408	0.551	0.776
4	0.092	0.234	0.091	0.286	0.542	0.357	0.428	0.613
5	0.102	0.224	0.092	0.286	0.551	0.418	0.684	0.602
คนที่ 8								
1	0.122	0.234	0.102	0.306	0.542	0.418	0.52	0.807
2	0.122	0.234	0.091	0.286	0.47	0.459	0.49	0.623
3	0.122	0.224	0.092	0.296	0.562	0.49	0.51	0.603
4	0.112	0.224	0.081	0.265	0.399	0.367	0.582	0.695
5	0.082	0.194	0.071	0.235	0.316	0.306	0.459	0.592

จากตารางที่ 4.15 เราสามารถนำมาเขียนในรูปเมตริกซ์ข้อมูลขนาด  $40 \times 8$  เพื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งได้ผลการดึงความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 8 คน ด้วยเทคนิค PCA

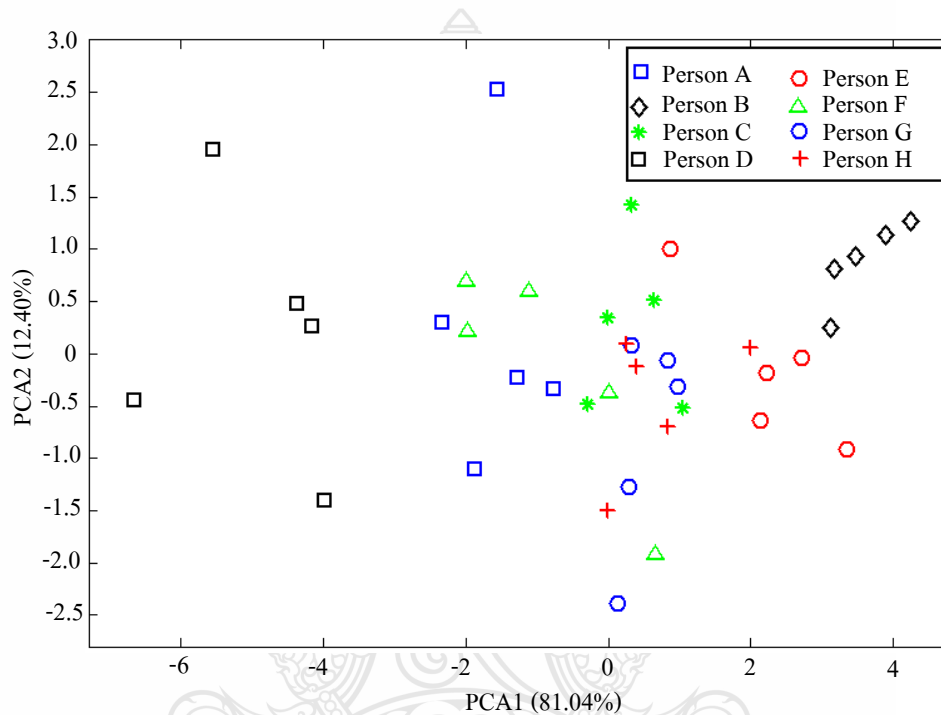
ตัวแปรใหม่	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
PCA1	81.04	81.04
PCA2	12.40	93.44
PCA3	2.56	96
PCA4	1.22	97.22
PCA5	1.09	98.31
PCA6	0.77	99.08
PCA7	0.67	99.75
PCA8	0.25	100



รูปที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของจุมกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 8 คน ด้วยเทคนิค PCA



จากตารางที่ 4.16 จะเห็นว่า ตัวแปร  $PCA1$  มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 81.39 ส่วนตัวแปร  $PCA2$  มีค่าเท่ากับ 12.33 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 93.72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร  $PCA1$  และ  $PCA2$  เป็นตัวแทนของทั้ง 8 ตัวแปรได้ เราสามารถดูความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรโดยการนำไปพล็อตกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ดังรูปที่ 4.21

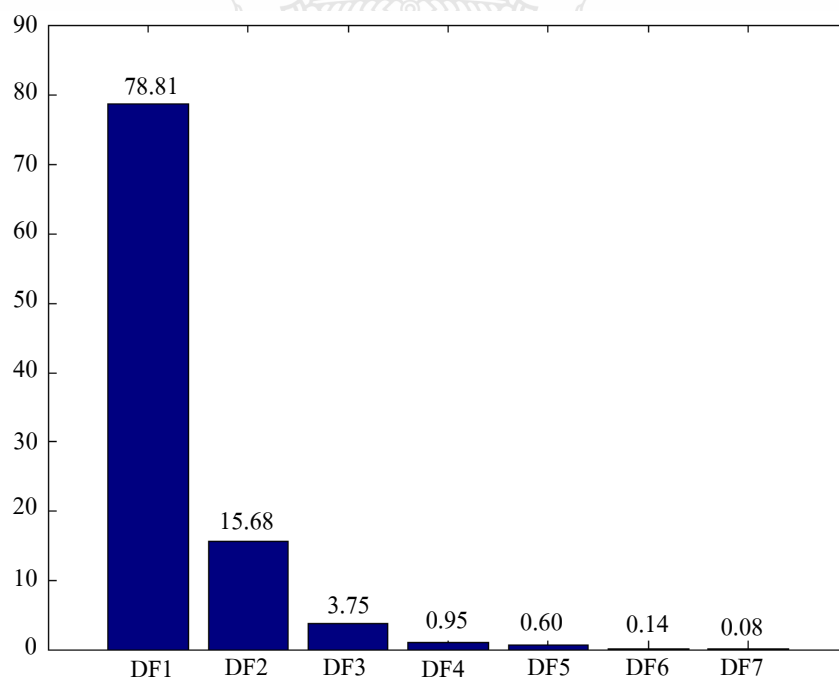


รูปที่ 4.21 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ของจุมก้อเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 8 คน

ขั้นตอนต่อไปเราจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลักมิติเปิดดิสক্রิมิแนนต์เข้ามาจำแนกให้ดีขึ้น เนื่องจากข้อมูลการจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมีการซ้อนทับกันมาก โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งผลการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลที่ได้ หลังจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลักมิติเปิดดิสক্রิมิแนนต์เป็นดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.22

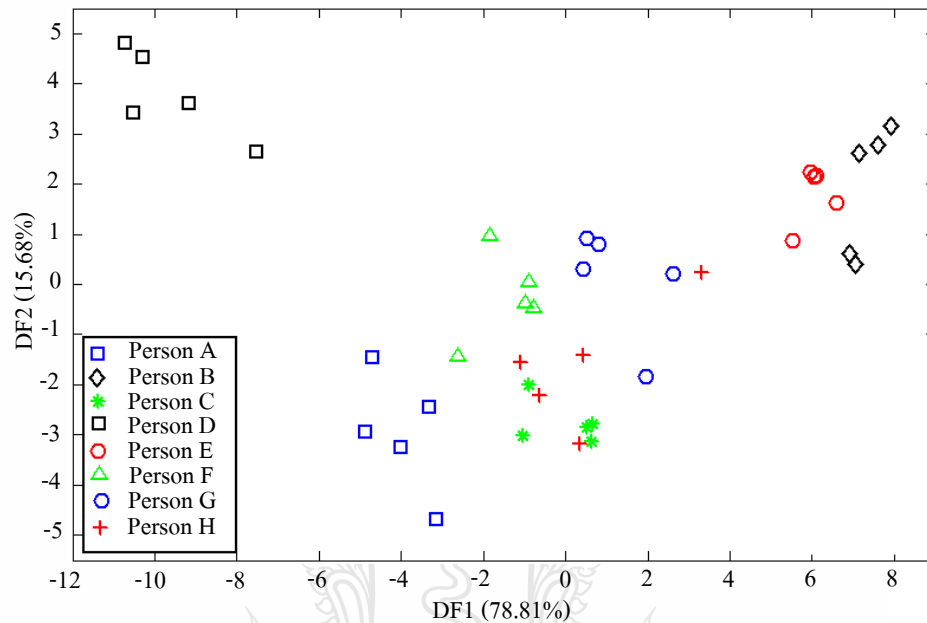
ตารางที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 8 คน ด้วยเทคนิค MDA

ฟังก์ชันการจำแนก	เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์สะสม
DF1	78.81	78.81
DF2	15.68	94.49
DF3	3.75	98.24
DF4	0.95	99.18
DF5	0.60	99.78
DF6	0.14	99.92
DF7	0.08	100



รูปที่ 4.22 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จาก  
อาสาสมัครจำนวน 8 คน ด้วยเทคนิค MDA

จากตารางที่ 4.17 จะเห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ห้ำลติเปิลดิสคริมิแนนต์ใช้ฟังก์ชันการจำแนกถึง 7 ตัว เพื่อดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลให้ได้ทั้งหมด โดยมีค่า DF1 เท่ากับ 78.81 เปอร์เซ็นต์ และ DF2 เท่ากับ 15.68 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลรวมเท่ากับ 94.49 เปอร์เซ็นต์ โดยเราสามารถพล็อตความสัมพันธ์ของตัวแปร DF1 และ DF2 เพื่อดูผลการจำแนกข้อมูล ได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ข้อมูลการจำแนกหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA ของจุมูกอิล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่จากอาสาสมัครจำนวน 8 คน

จากผลการจำแนกของเทคนิคการวิเคราะห์ห้ำลติเปิลดิสคริมิแนนต์ที่อาสาสมัครจำนวน 8 คน พบว่าข้อมูลมีการซ้อนทับ ทำให้ไม่สามารถการจำแนกกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครคนที่เพิ่มเข้ามาได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุมูกอิล็กทรอนิกส์ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่รองรับการจำแนกกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครได้จำนวน 7 คน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 คำนำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบจุกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์หลายตัวต่อร่วมกันตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งติดอยู่บนเสื้อที่อาสาสมัครสวมใส่เนื่องจากการศึกษาพบว่ากลิ่นตัวของมนุษย์มีความจำเพาะเจาะจงไปตามแต่ละบุคคล ซึ่งผู้วิจัยได้เริ่มออกแบบจุกอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้นและนำไปตรวจวัดกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครหลังจากการออกกำลังกาย พบว่าเมื่อนำสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดันที่เอาท์พุทของเซ็นเซอร์แต่ละตัวมาคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดต่อสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายขณะทำการตรวจวัด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงในรูปเมตริกซ์ โดยให้ข้อมูลในแต่ละแถวเป็นข้อมูลของบุคคลที่ทำกรวัดและคอลัมน์เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัด หลังจากนั้นนำเมตริกซ์ข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่าเมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์พบว่าข้อมูลมีการแยกออกเป็นกลุ่มตามจำนวนอาสาสมัครและจากผลการทดลองจุกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นเสื้อบุคคลขั้นต้น ผู้วิจัยทางพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น โดยการศึกษาองค์ประกอบของกลิ่นตัวมนุษย์เพื่อนำมาคัดเลือกแก๊สเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความไวของแก๊สเซ็นเซอร์ต่อกลิ่นเสื้อตัวอย่างและใช้เทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดคลัสตริเมเนต ซึ่งให้ผลการจำแนกที่ดีกว่าเข้ามาวิเคราะห์

#### 5.2 จุกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นเสื้อบุคคลขั้นต้น

ผลการใช้จุกอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบมาใช้ดมกลิ่นเสื้อบุคคลขั้นต้น เราใช้อาสาสมัครเข้าร่วมการทดลองจำนวน 4 คน พบว่าเมื่อนำเมตริกซ์ข้อมูลมาวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งจะได้ตัวแปรใหม่ที่เกิดจากการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูล ดังนี้  $PCA1$  ได้ 65.69  $PCA2$  ได้ 16.70  $PCA3$  ได้ 10.34  $PCA4$  ได้ 5.21  $PCA5$  ได้ 1.42  $PCA6$  ได้ 0.43  $PCA7$  ได้ 0.21 จะเห็นว่าผลรวมของตัวแปร  $PCA1$  และ  $PCA2$  เท่ากับ 82.39 ซึ่งเกินร้อยละ 80 ของตัวแปรทั้งหมดและเราสามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด เมื่อนำตัวแปรทั้งสองมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์พบว่าข้อมูลแยกออกเป็นกลุ่มดี อีกทั้งเราสามารถนำตัวแปร  $PCA3$  เข้าร่วมการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งจะได้ผลรวมเท่ากับ 92.73 ซึ่งเมื่อนำไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์จะได้กราฟสามมิติจะช่วยให้เราเพิ่มมุมมองในการจำแนกยิ่งขึ้น

### 5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพจุมุกอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากการเราต้องการทราบว่าการใช้แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์มาทำงานร่วมกันเป็นจุมุกอิเล็กทรอนิกส์จะสามารถรองรับตรวจวัดจำนวนอาสาสมัครได้เท่าใด ผู้วิจัยจึงออกแบบชุดแก๊สเซ็นเซอร์ใหม่ โดยการปรับเปลี่ยนรุ่นของแก๊สเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมกับกลิ่นตัวมนุษย์มากขึ้น หลังจากการใช้จุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่ตรวจวัดกลิ่นเสื้อตัวอย่าง และนำสัญญาณที่ได้คำนวณการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและสร้างเมตริกซ์ข้อมูลวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่าได้เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลสูงขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยจะปรับปรุงการทำงานของแก๊สเซ็นเซอร์แล้วยังใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพล็กซ์คริมิแนนต์ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการเรียนรู้แบบมีการสอนมาเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

จำนวนอาสาสมัคร	ตัวแปรใหม่							
	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5	PCA6	PCA7	PCA8
4	84.86	10.45	2.21	0.88	0.73	0.53	0.25	0.05
5	83.18	11.58	2.18	1.01	0.81	0.67	0.48	0.09
6	82.16	11.99	2.37	1.09	1.01	0.71	0.48	0.19
7	81.39	12.33	2.42	1.16	1.04	0.76	0.67	0.22
8	81.04	12.40	2.56	1.22	1.09	0.77	0.67	0.25

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์มัลติเพล็กซ์คริมิแนนต์

จำนวนอาสาสมัคร	ฟังก์ชันการจำแนก						
	DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6	DF7
4	87.37	12.24	0.39	N/A	N/A	N/A	N/A
5	88.31	10.39	0.98	0.32	N/A	N/A	N/A
6	86.89	11.00	1.40	0.60	0.10	N/A	N/A
7	87.20	9.82	2.06	0.52	0.35	0.05	N/A
8	78.81	15.68	3.75	0.95	0.60	0.14	0.08

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์เมตริกซ์ข้อมูลของตัวแปรการจำแนก  $DF1$  ในการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์จะได้ค่าการสกัดความสัมพันธ์ของข้อมูลมากกว่าตัวแปรใหม่  $PCA1$  ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในทุกเมตริกซ์ข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการจำแนกข้อมูลของเทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 5 คน เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้ค่าการสกัดความสัมพันธ์ของตัวแปร  $PCA1$  เท่ากับร้อยละ 83.18 แต่เมื่อใช้ข้อมูลชุดเดียวกันวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ได้ค่าการสกัดความสัมพันธ์ของตัวแปร  $DF1$  เท่ากับร้อยละ 88.31 ส่วนตัวแปรอื่นๆ ก็จะลดลงไปตามความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยถ้าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากเปอร์เซ็นต์การสะสมจากตัวแปรที่ 1 ถึงตัวแปรที่  $n$  จะเข้าใกล้ 100 รวดเร็วกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันน้อยกว่า ส่วนจำนวนตัวแปรที่ได้หลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในทีนี้ตัวแปรอิสระเท่ากับ 8 ซึ่งก็คือข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ 8 ตัวนั่นเอง ส่วนจำนวนตัวแปรของเทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์จะเท่ากับจำนวนกลุ่มที่นำมาวิเคราะห์ลบหนึ่ง ( $k - 1$ ) หรือเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระแล้วแต่ตัวใดมีค่าน้อยกว่า ในทีนี้เท่ากับ 4 เนื่องจากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวน 5 กลุ่ม และเมื่อเรากำหนดค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเฉพาะสองตัวแรกที่นำมาพล็อตกราฟจะได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ของตัวแปรสองตัวแรก

จำนวนอาสาสมัคร	เทคนิค PCA			เทคนิค MDA		
	PCA1	PCA2	ผลรวม	DF1	DF1	ผลรวม
4	84.86	10.45	95.31	87.37	12.24	99.61
5	83.18	11.58	94.76	88.31	10.39	98.70
6	82.16	11.99	94.15	86.89	11.00	97.89
7	81.39	12.33	93.72	87.2	9.82	97.02
8	81.04	12.40	93.44	78.81	15.68	94.49

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นว่าการใช้เทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ให้ผลการดึงเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลที่สูงกว่าเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ดังตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 6 คน พบว่า ได้

เปอร์เซ็นต์การสกัดความสัมพันธ์ของตัวแปร *PCA1* เท่ากับ 82.16 และ *PCA2* เท่ากับ 11.99 ได้ผลรวมทั้งสองตัวแปรเท่ากับ 94.15 ซึ่งน้อยกว่าตัวแปร *DF1* และ *DF2* ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.89 และ 11.00 ตามลำดับ ได้ผลรวมทั้งสองตัวแปรเท่ากับ 97.89 และเมื่อนำสองตัวแปรแรกของทั้งสองเทคนิคไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ พบว่าการใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักไม่สามารถจำแนกข้อมูลได้เมื่อมีข้อมูลของอาสาสมัครจำนวน 6 คน ขึ้นไป แต่ยังสามารถจำแนกข้อมูลได้เป็นอย่างดี ถ้าใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลักตีเปิดดิสคริมิแนนต์และผลการวิเคราะห์พบว่าเทคนิคนี้จะเริ่มมีการซ้อนทับของข้อมูลเมื่อมีจำนวนอาสาสมัครเพิ่มเป็น 8 คน ซึ่งทำให้เราทราบว่าจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่สามารถรองรับการดมกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครสูงสุดจำนวน 7 คน เนื่องจากการทำงานของจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จะทำงานได้ดี เมื่อใช้ตรวจวัดกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครที่มีความแตกต่างกัน แต่จะเกิดปัญหาในคนที่มีระดับกลิ่นตัวคล้ายคลึงกัน เนื่องจากระดับการวัดต่ำสุด (Detection limit) ของแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดนี้อยู่ในระดับหนึ่งในล้านส่วน (ppm) ซึ่งได้ค่าระดับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ใกล้เคียงกันเมื่อทำการตรวจวัดกลิ่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันจึงทำให้มีปัญหาในการจำแนกข้อมูลที่ได้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับเทคนิคการวิเคราะห์หลักตีเปิดดิสคริมิแนนต์

#### 5.4 ข้อเสนอแนะการพัฒนาปรับปรุงในอนาคต

จากผลการทดลองพบว่าการใช้จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นเสื้อบุคคลและนำข้อมูลการตรวจวัดมาวิเคราะห์การทำงานโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลักตีเปิดดิสคริมิแนนต์ให้ผลการจำแนกค่อนข้างดี แต่จะเกิดปัญหาในกรณีที่ใช้ดมกลิ่นเสื้อบุคคลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งการจำแนกจะเกิดการซ้อนทับของข้อมูลแนวทางการปรับปรุงการทำงานอาจจะต้องมีการใช้เซ็นเซอร์ชนิดอื่นที่สามารถตรวจวัดได้ในระดับต่ำกว่านี้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถแก้ปัญหาการจำแนกกลิ่นตัวของบุคคลที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน หรือใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ได้มากขึ้นอีก

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Paisan Doungjak, **Electronic nose**. Center of Complex Systems, School of Science, Walailak University & Center of Nanoscience and Nanotechnology, Faculty of Science, Mahidol University. (Online) Available : <http://nanotech.sc.mahidol.ac.th> (20 March 2010)
- [2] Julian William Gardner, “Conventional Electronic noses and Their Possible Application To The Detection of Explosives,” **Review of Electronic Noses & Sensors for the Detection of Explosives**, 2004 Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- [3] David James, Simon M. Scott, Zulfiqur Ali and William T. O’Hare , **Review Chemical Sensors for Electronic Nose Systems**, published online December 17, 2004, Springer-Verlag 2004
- [4] e2v technologies (uk) limited 2008 ,**Pellistor Sensor**, United Kingdom (Online) Available:[http://newlogicsensors.com/files/datasheet/vq549zd\\_w1.pdf](http://newlogicsensors.com/files/datasheet/vq549zd_w1.pdf) (20 November 2009)
- [5] แม้น อมรสิทธิ์, “เทอร์มัลคอนดักติวิตีดีเทกเตอร์”, ใน **เอกสารประกอบการบรรยาย AAS & GC**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, หน้า 845-847
- [6] Figaro company, **Gas sensor datasheet**, (Online) Available:[www.figaro.co.jp](http://www.figaro.co.jp) (10 March 2010)
- [7] Chang-Dong Feng, Richard A. Payne, **Self-Depleting Amperrometric Sensor For ppb Level Dissolved Oxygen**, Irvine CA USA : Manager of sensor technology V.P. of Engineering Irvine
- [8] Jiri Janata & Mira Josowicz, **Review of Organic semiconductors in potentiometric gas sensors**, J Solid State Electrochem, Springer-Verlag 2008 (Online) Atlanta U.S.A., 2008 pp. 41-49 (24 June 2009)
- [9] Thomas Frisk<sup>1</sup>, Lars Eng<sup>2</sup>, Shaohua Guo<sup>1</sup>, Wouter van der Wijngaart<sup>1</sup>, Göran Stemme<sup>1</sup>, A MINIATURISED INTEGRATED QCM-BASED ELECTRONIC NOSE MICROSYSTEM, **Proceeding of MEMS Conferences IEEE 2007**, 21-25 January 2007, Kobe, Japan, 2007. pp.417-420
- [10] Xing CHEN, Mingfu CAO, Yan Hao, Yi LI, Ping WANG, “A Non-invasive Detection of Lung Cancer Combined Virtual Gas Sensors Array with Imaging Recognition Technique,” **Proceedings of Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference the 2005 IEEE** , September 2005 Shanghai, China, 2005. pp. 5873-5876



- [11] P. Hogben, B. Drage, & R.M. Stuetz, **Review of Electronic sensory systems for taste and odour monitoring in water Developments and limitations** The University of New South Wales, Sydney, NSW, Australia.
- [12] รุ่งโรจน์ เมลาณนท์, การจำแนกตัวอย่างกลิ่นน้ำหอมด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ , Proceedings นเรศวรวิจัยครั้งที่ 3, 28-29 กรกฎาคม 2550, หน้า 53-56
- [13] สุดสายชล หอมทอง, กลิ่นตัว. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, (Online) Available : <http://www.pheromone.tht.in/article7> (23 February 2010)
- [14] กัลยา วาณิชย์บัญชา, “การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก,” ใน การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร, กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ส.น.พ. 2551. หน้า 182-213
- [15] Iman Morsi, **Electronic Noses for Monitoring Environmental Pollution and Building Regression Model**, Arab Academy for Science and Technology, Egypt/ Alexandria, page 1730-1735
- [16] Chen Cunshe, Li xiaojuan and Yuan huimei, **Quality Assessment of Beef Based of Computer Vision and Electronic Nose**, Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, pp. 627-631
- [17] Frederic Sarry and Martine Lumbreras, **Gas Discrimination in an Air-Conditioned System**, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 49 , No. 4 pp. 809-812
- [18] A.W. Teo, H.K. Garg and S.Puthusserypady, **Detection of Humans Buried in Rubble : An Electronic Nose to Detection Human Body Odor**, Proceeding of the Joint EMBS/BMES Conference, pp. 1811-1812
- [19] Chatchawal Wongchoosuk, Mario Lutz and Teerakiat Kerdcharoen, **Correction of Humidity Effect for Detection of Human Body Odor**, Proceedings of ECTI-CON 2008, pp. 845-848
- [20] Chatchawal Wongchoosuk, Mario Lutz and Teerakiat Kerdcharoen, **Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose**, *Sensors* 2009, pp. 7234-7249
- [21] Jie Hu, **Application of PCA Method on Pest Information Detection of Electronic Nose**, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Information Acquisition Weihai, Shandong, China

- [22] Claude Delpha, Martine Lumbreras and Maryam Siadat, **An Intelligent Gas Sensor Application For The Discriminant of Forane 134a and Carbon Dioxide Gas Concentrations: The Effect of Relative Humidity**, Universitd de Metz
- [23] Claude Delpha, Martine Lumbreras and Maryam Siadat, **Identification of Forane R134a in an Air-Conditioned Atmosphere With a TGS Sensor Array**, IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol. 50, No. 5, pp. 1370-1374
- [24] Royston Goodacre, **A Bit About Multivariate Analysis**, Department of Chemistry, UMIST
- [25] Zhou Tao, Wang Lei and Jionghua Teng, **Pattern Recognition of the Universal Electronic Nose**, Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, pp. 249-253
- [26] Corrado Di Natale, Antonella Macagnano and Alessandro Mantini, **Advances in Food Analysis by Electronic Nose**, IEEE Catalog Number: 97THS280, pp. SS122-SS127
- [27] Chomtip Pornpanomchai and Nattutha Suthamsmai, **Beer Classification by Electronic Nose**, Proceedings of the 2008 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Hong Kong, pp. 333-338
- [28] Ana I, Carrapiso and Jesus Ventanas, **An Electronic Nose to Classify Iberian Pig Fats with Different Fatty Acid Composition**, JAOCS, Vol. 78, No. 4, page 415-418
- [29] Rossella Blatt, Andrea Bonarini, Elisa Calabro, **Lung Cancer Identification by an Electronic Nose based on an Array of MOS Sensors**, International Conference on Neural Networks, August 12-17, 2007
- [30] Shinichiro Haze, Yoko Gozu and Shoji Nakamura, **2-Nonenal Newly Found in Human Body Odor Tends to Increase with Aging**, Shiseido Co. Ltd., Product Development Center, Yokohama, Japan
- [31] Edward J. Staples, **Analysis of Body Odor Using the zNose**, (Online) Available : <http://www.estcal.com/TechPapers/LifeScience> (2 February 2010)
- [32] Smartec Capacitive Humidity Sensor, **SMTSH07 Datasheet**, (Online) Available: [http://www.soselectronic.hu/a\\_info/resource/c/SMTSH07.pdf](http://www.soselectronic.hu/a_info/resource/c/SMTSH07.pdf) (5 May 2010)
- [33] User Guide and Specifications, **NI USB-6008**, (Online) Available: <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-117> (5 May 2010)



**ภาคผนวก**

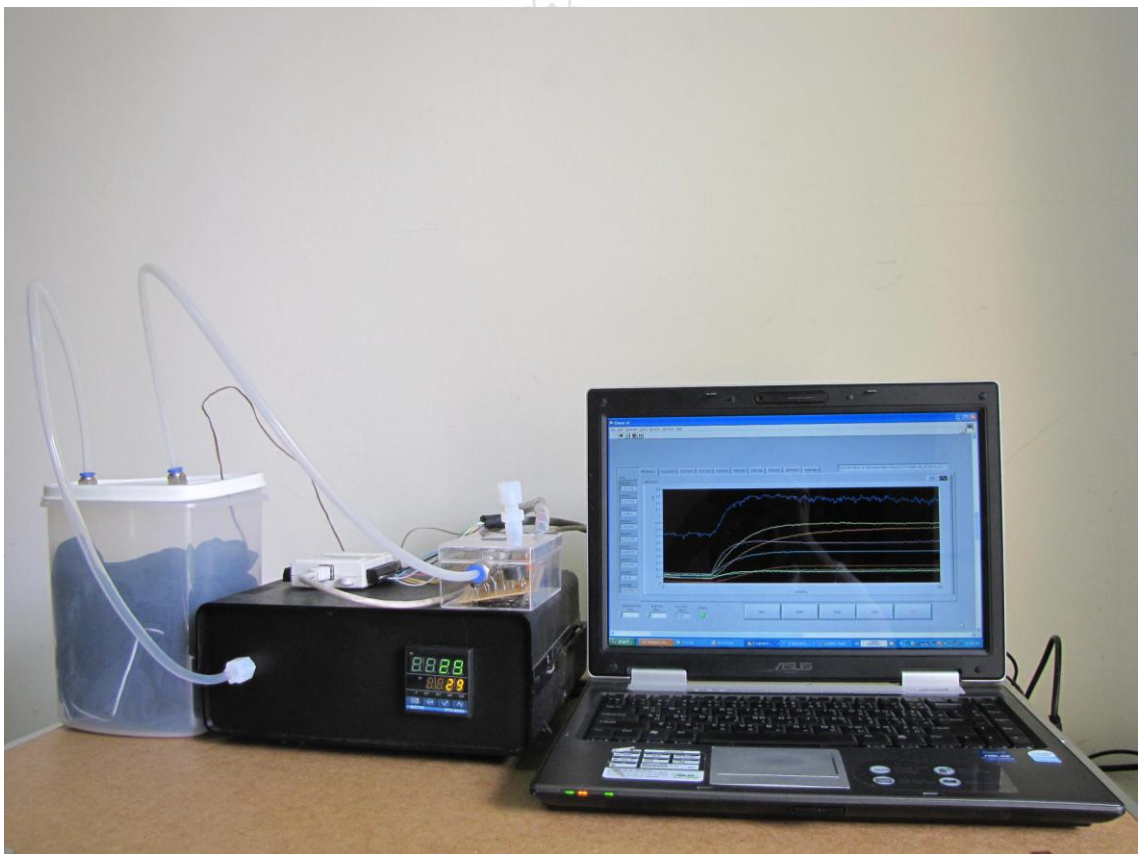
**ภาคผนวก ก ชุดทดลองที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย**

**ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่**

ภาคผนวก ก

ชุดทดลองที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย





ชุดทดลองที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ภาคผนวก ข  
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่





# PROCEEDINGS VOL. 2

- CM - Communication
- EL - Electronics
- DS - Digital Signal Processing
- PH - Photonics
- GN - General Engineering and Science
- BE - Biomedical Engineering

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๒  
๒๘-๓๐ ตุลาคม ๒๕๕๒ โรงแรมทวารวดี รีสอร์ท จ.ปราจีนบุรี

32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference  
28-30 October 2009 Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand



จัดการประชุมโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
เทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ  
และภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

## การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

### Reviewers

Adisorn Leelasantitham  
Akekachai Deesiri  
Amnart Suksri  
Amnoiy Ruengwaree  
Anuchit Charean  
Anuree Lorsawatsiri  
Anuwat Jangwanitlert  
Aphibal Pruksanubal  
Apichai Bhatranand  
Apirada Namsang  
Apirat Siritaratiwat  
Arkhom Mounghaodaeng  
Arporn Teeramongkonrasmee  
Arthit Sode-Yome  
Athikom Roeksabutr  
Benjamas Panomruttanarug  
Boonchuay Supmonchai  
Boonlert Suechoey  
Boonruk Chipipop  
Boonsri Kaewkham-ai  
Boonyang Plangklang  
Boonying Knobnob  
Bundhit Eua-arporn  
Bundit Thipakorn  
Bunlung Neammanee  
Chai Chompoo-inwai  
Chainarong Buttapeng  
Chainarong Klimanee  
Chaiwut Chat-Uthai  
Chaiyo Thammarat R.T.N.  
Chakkaphong Suthaputchakun  
Chanatip Tumrongwittayapak  
Chanchai Thaijiam  
Chanchana Tangwongsan  
Chanin Wissawinthanon  
Chanuan Uakarn  
Chaodit Aswakul  
Charnchai Pluempitwiryawej  
Chatchai Neatpisarnvanit  
Chatchai Suppitaksakul  
Chatchai U-thaiwasin  
Chatree Mahatthnajatuphat  
Cherdkul Sopavanit  
Chiranut Sa-ngiamsak  
Chirasak Sinsukudomchai  
Chirasak Songboonkaew  
Chokchai Sangdao

### Organizations

University of the Thai Chamber of Commerce  
Sripatum University  
Khon Kaen University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Kasem Bundit University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Khon Kaen University  
Srinakharinwirot University  
Chulalongkorn University  
Siam University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chulalongkorn university  
South-East Asia University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chiang Mai University  
Rajamagala University of Technology Thanyaburi  
Rajamagala University of Technology Thanyaburi  
Chulalongkorn University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
University of the Thai Chamber of Commerce  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
South-East Asia University  
Bangkok University  
Kasem Bundit University  
Srinakharinwirot University  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Kasem Bundit University  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Mahidol University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
South-East Asia University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chulalongkorn University  
Khon Kaen University  
South-East Asia University  
Thonburi University  
Mahanakorn University of Technology





## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

## การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

### Reviewers

Adisorn Leelasantitham  
Akekachai Deesiri  
Amnart Suksri  
Amnoiy Ruengwaree  
Anuchit Charean  
Anuree Lorsawatsiri  
Anuwat Jangwanitlert  
Aphibal Pruksanubal  
Apichai Bhatranand  
Apirada Namsang  
Apirat Siritaratiwat  
Arkhom Moungkhaodaeng  
Arporn Teeramongkonrasmee  
Arthit Sode-Yome  
Athikom Roeksabutr  
Benjamas Panomruttanarug  
Boonchuay Supmonchai  
Boonlert Suechoey  
Boonruk Chipipop  
Boonsri Kaewkham-ai  
Boonyang Plangklang  
Boonying Knobnob  
Bundhit Eua-arporn  
Bundit Thipakorn  
Bunlung Neammanee  
Chai Chompoo-inwai  
Chainarong Buttapeng  
Chainarong Klimanee  
Chaiwut Chat-Uthai  
Chaiyo Thammarat R.T.N.  
Chakkaphong Suthaputchakun  
Chanatip Tumrongwittayapak  
Chanchai Thaijiam  
Chanchana Tangwongsan  
Chanin Wissawinthanon  
Chanuan Uakarn  
Chaodit Aswakul  
Charnchai Pluempitwiriyawej  
Chatchai Neatpisarnvanit  
Chatchai Suppitaksakul  
Chatchai U-thaiwasin  
Chatree Mahatthnajatuphat  
Cherdkul Sopavanit  
Chiranut Sa-ngiamsak  
Chirasak Sinsukudomchai  
Chirasak Songboonkaew  
Chokchai Sangdao

### Organizations

University of the Thai Chamber of Commerce  
Sripatum University  
Khon Kaen University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Kasem Bundit University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Khon Kaen University  
Srinakharinwirot University  
Chulalongkorn University  
Siam University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chulalongkorn university  
South-East Asia University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chiang Mai University  
Rajamagala University of Technology Thanyaburi  
Rajamagala University of Technology Thanyaburi  
Chulalongkorn University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
University of the Thai Chamber of Commerce  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's Institute of Technolgy Ladkrabang  
South-East Asia University  
Bangkok University  
Kasem Bundit University  
Srinakharinwirot University  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Kasem Bundit University  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Mahidol University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
South-East Asia University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chulalongkorn University  
Khon Kaen University  
South-East Asia University  
Thonburi University  
Mahanakorn University of Technology



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

## การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

### Reviewers

Choompol Antarasena  
Chuttchaval Jeraputra  
Chuwong Phongcharoenpanich  
Daranee Hormdee  
Deacha Puangdownreong  
Decha Wilairat  
Diew Koolpiruck  
Duang-arthit Srimoon  
Dulpichet Rerkpreedapong  
Ekachai Leelarasmee  
Ekapon Siwapornsathain  
Ekarin Vasansong  
Issarachai Ngamroo  
Ittipong Chaisayun  
Jakkree Srinonchat  
Jirasak Vilasdechanon  
Jukkrit Tagapanij  
Kamon Jirasereeamornkul  
Kanat Poolsawasd  
Kanjana Pattanaworapan  
Keerati Chayakulkheeree  
Khatathap Swatdipisal  
Kitiphon Chitsakul  
Kittiphong Meesawat  
Kittisak Tripipatpornchai  
Kobchai Dejhan  
Kosin Chamnongthai  
Kunnthphong Srisathit  
Lunchakorn Wuttisittikulij  
Manop Wongsaisuwan  
Miti Ruchanurucks  
Mongkol Konghirun  
Montri Suwanapingkarl  
Montri Karnjanadecha  
Naebboun Hoonchareon  
Narong Buabthong  
Narong Yoothanom  
Nattavut Chayavanich  
Natthaphob Nimpitiwan  
Nimit Boonpirom  
Niruth Prombutr  
Nisachon Tangsangiumvisai  
Noppadol Wanichworanant  
Nopporn Leeprechanon  
Nuntiya Chaiyabut  
Ouen Pinngern  
Paisan Boonchiam

### Organizations

Chulalongkorn University  
Mahidol University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Khon Kaen University  
Faculty of Engineering, South-East Asia University  
Mahidol University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rangsit University  
Kasetsart University  
Chulalongkorn University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
South-East Asia University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Chiang Mai University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Mahidol University  
Bangkok University  
Sripatum University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Khon Kaen University  
Rangsit University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's Uni of Tech Thonburi  
Mahanakorn University of Technology  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Prince of Songkla University  
Chulalongkorn University  
Thammasat University  
Sripatum University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Bangkok University  
Sripatum University  
Mahidol University  
Chulalongkorn University  
Mahidol University  
Thammasat University  
Bangkok University  
Ramkhamhaeng University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

### Reviewer

Pakorn Kaewtrakulpong  
Panhathai Buasri  
Parnjit Damrongkulkamjorn  
Pasawee Srimode  
Pasu Kaewplung  
Patamaporn Sripadungtham  
Peerapol Jirapong  
Peerapol Yuvapoositanon  
Petch Nantivatana  
Phaiboon Booppha  
Phichet Moungnoul  
Phoemphun Oothongsap  
Phongsuk Amphap  
Phumin Kirawanich  
Pichaya Tandayya  
Pinit Jitjing  
Pinit Kumhom  
Pinit Thepsatorn  
Pisit Wisitmeteeorn  
Pisit Phokharatkul  
Piya Warabuntaweasuk  
Pongsatorn Sedtheetorn  
Poonlap Lamsrichan  
Pornchai Supnithi  
Pornchai Chanyagorn  
Prajuab Pawarangkoon  
Pranchalee Rattanasakornchai  
Prayoot Akkaraekthalin  
Preecha Kocharoen  
Punyaphat Phumiphak  
Rangsipan Marukatat  
Ravee Phromloungsri  
Rungsimant Sitdhikorn  
Sakchai Thipchaksurat  
Sallitip Sinthusonthishat  
Samphan Phrompichai  
Samroeng Hintamai  
Sansanee Auephanwiryakul  
Sanya Khunkhao  
Sarawan Wongsas  
Sarawuth Chaimool  
Sermsak Uatrongjit  
Sirichai Dangeam  
Siripong Chaysin

### Organizations

King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Khon Kaen University  
Kasetsart University  
Sripatum University  
Chulalongkorn University  
Kasetsart university  
Chiang Mai University  
Mahanakorn University of Technology  
Sripatum University  
Kasem Bundit University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Mahidol University  
Prince of Songkla University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Srinakharinwirot University  
Mahanakorn University of Technology  
Mahidol University  
Bangkok University  
Mahidol University  
Kasetsart University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Mahidol University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Sripatum University  
Mahanakorn University of Technology  
Mahidol University  
Udon Thani Rajabhat University  
Mahanakorn university of technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Mahanakorn University of Technology  
Mahanakorn University of Technology  
Sripatum University  
Chiang Mai University  
Sripatum University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chiang Mai University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Srinakharinwirot University



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

#### Reviewers

Siroj Sirisukprasert  
Sirivat Poonvasin  
Sirivit Taechajedcadarungsri  
Siriwich Tadsuan  
Somboon Nuchprayoon  
Somchai Biansoongnern  
Somchai Hiranvarodom  
Somchart Chokchaitam  
Somchat Jiriwibhakorn  
Soming Thainimi  
Sommart Sang-Ngern  
Somnida Ratanapanachote  
Somporn Sirisumrannukul  
Somsak Walairacht  
Somyot Kaitwanidvilai  
Songkran Kantawong  
Songphol Kanjanachuchai  
Suchada Tantisatirapong  
Suksun Nungam  
Sulee Bunjongjit  
Sumate Naetiladdanon  
Sumrit Hungsasutra  
Suneat Pranonsatit  
Suntorn Witosurapot  
Supachai Vorapopisut  
Supakit Chotigo  
Supaporn Kiattisin  
Supatana Auethavekiat  
Surachai Chaitusaney  
Surakarn Duangphasuk  
Surapan Airphaiboon  
Surapol Jantorn  
Suratose Tritilanunt  
Suree Pumrin  
Surin Khomfoi  
Surin Ngaemngam  
Suthee Rukkaphan  
Suwat Pattaramalai  
Tanin Duangjan  
Tasanee Chayavanich  
Tatcha Chulajata  
Teera Rerkmaneevan  
Teeravisit Laohapensaeng  
Teratam Bunyagul

#### Organizations

Kasetsart University  
Kasetsart University  
Khon Kaen University  
South-East Asia University  
Chiang Mai University  
Rajamangala University of Technology Thayaburi  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Thammasat University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Kasetsart University  
Mahanakorn University of Technology  
Mahidol University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Bangkok University  
Chulalongkorn University  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Khon Kaen University  
Kasetsart University  
Prince of Songkla University  
Thammasat University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
University of the Thai Chamber of Commerce  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Sripatum University  
Mahidol University  
Chulalongkorn University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Kasem Bundit University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Mahidol University  
Kasem Bundit University  
Mahanakorn University of Tecgnology  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

### Reviewers

Thanadol Pritranan  
Thanapat Promwattanapakdee  
Thanaphat Sittithumwat  
Thavatchai Tayasanant  
Theerayod Wiangtong  
Thumrongrat Amornraksa  
Toempong Phetchakul  
Umaporn Thongrak  
Vech Vivek  
Veerachai Malyavej  
Viahai Surapatana  
Viboon Chunkag  
Vichai Saelee  
Vijit Kinnares  
Virote Pirajnanchai  
Vorapong Silaphan  
Wanchai Chanlaipol  
Wanchai Chimchavee  
Wanchai Pijitrojana  
Wanchai Subsingha  
Wanchak Lenwari  
Watcharachai Wiriyasuttiwong  
Weerachai Asawamethapant  
Weerapun Rungseevijitprapa  
Wekin Piyarat  
Werapon Chiracharit  
Werasak Kurutach  
Wichit Krueasuk  
Wijitra Petchakit  
Wilaiporn Lee  
Wipavan Narksarp  
Wuthiporn loetwassana  
Wutthichai Polwisate  
Yongyuth Naras  
Youthana Kulvitit

### Organizations

Mahidol University  
Sripatum University  
Siam University  
Chulalongkorn University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Sripatum University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Mahanakorn University of Technology  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
South-East Asia University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Mahanakorn University of Technology  
Sripatum University  
University of the Thai Chamber of Commerce  
Thammasat University, Rangsit Campus  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Srinakharinwirot University  
Thammasat University  
Chulalongkorn University  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Mahanakorn University of Technology  
Sripatum University  
Walailak University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Siam University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Siam University  
Chulalongkorn University



สารบัญ

EL 025	<p>การวิเคราะห์วงจรขอสซิลเลเตอร์โคลพิดดส์แอมป์ปลิวคุมอดูเลชันหลายโครงสร้างโดยอาศัยฟังก์ชันบังคับ</p> <p>ศักดิ์ดา สงควง จิรสุดา โกมัยยาภรณ์ และ ปราโมทย์ วาดเขียน</p> <p>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</p>	955
EL 026	<p>วงจรถ่ายทอดสัญญาณรูปคลื่นซายน์แบบหลายเฟสโหมดกระแสที่ควบคุมด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้อุปกรณ์แอคทีฟเพียงอย่างเดียว</p> <p>ศุภวัฒน์ ลาวณิชย์วิสุทธิ และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์</p> <p>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ</p>	959
EL 027	<p>จุมกอัลเล็คทรอนิกส์จำแนกคลื่นเดี่ยวบุคคล</p> <p>ชนะ จันทร์ศรี และ จักรี ศรีนันทจักร</p> <p>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี</p>	963
EL 028	<p>ผลของการแปรผันดันท่อมต่อค่าอายุของพหะในซิลิกอนไดโอดแบบรอยต่อพีเอ็น</p> <p>ธงชัย ธงวิจิตรมณี<sup>1,2</sup> จีรวัดน์ ปราบเขต<sup>1</sup> อัมพร โพธิ์โย<sup>2</sup> สุรศักดิ์ เนียมเจริญ<sup>1</sup> และ วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรือง<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup> สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</p> <p><sup>2</sup> ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ</p>	967
EL 029	<p>วงจรถองความถี่แบบ KHN โหมดกระแสที่ให้อิมพีแดนซ์เอาต์พุตสูงโดยใช้ CCCII</p> <p>ศราวุฑู คงลำพันธ์<sup>1</sup>, อติเรก จันตะคุณ<sup>1</sup> และมนตรี ศิริปรัชญานันท์<sup>2</sup></p> <p><sup>1</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน</p> <p><sup>2</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ</p>	971
EL 030	<p>วงจรถ่ายทอดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ในโหมดกระแส ชนิดควอดเจอร์เอาต์พุตอิมพีแดนซ์สูงที่ควบคุมความถี่ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ CTTA ที่ควบคุมด้วยกระแส</p> <p>นิติพัฒน์ พิสุทธิพงศ์<sup>1</sup> และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์<sup>2</sup></p> <p><sup>1</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน</p> <p><sup>2</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ</p>	975

# จมูกอิเล็กทรอนิกส์จำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล

## Clothing Personality Odor Classification by Electronic Nose

ชมนะ จันทร์ศรี และ ชักซี่ ศรีนันทน์ดี

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.พทุมธานี 12110

E-mail: chana@thaiunique.com, jakkree.s@en.rmutt.ac.th

EL 027

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจำแนกกลิ่นเสื้อของบุคคลโดยการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องด้วยกลิ่นตัวของมนุษย์มีความแตกต่างกันตามแต่ละบุคคล ผู้วิจัยจึงนำเสื้อที่อาสาสมัครสวมใส่หลังจากการออกกำลังกาย 2 ชั่วโมง มาทำการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่เกิดจากเหงื่อของอาสาสมัครที่ติดอยู่บนเสื้อโดยใช้เซ็นเซอร์แก๊สแบบอาร์เรย์ เนื่องด้วยการทำงานของเซ็นเซอร์แก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไปตามปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่เข้ามาเกาะภายในเซ็นเซอร์และมีอัตราผันแปรของสัญญาณที่เข้ามาด้วยกันทำให้เกิดสัญญาณที่แตกต่างกันตามคุณสมบัติของแก๊สเซ็นเซอร์แต่ละตัวและมีมาค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณที่ได้จากการวัดแต่ละครั้งมาวิเคราะห์โดยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(PCA) เพื่อจำแนกความสัมพันธ์ของแก๊สเซ็นเซอร์แบบอาร์เรย์ที่มีต่อกลิ่นเสื้อของอาสาสมัคร ซึ่งจากการทดลองพบว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นสามารถจำแนกกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครทั้ง 4 คนได้ โดยพิจารณาจากการแบ่งกลุ่มของข้อมูลหลังใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งสามารถดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของตัวแปร PCA1 และ PCA 2 ได้ร้อยละ 82.39

คำสำคัญ: จมูกอิเล็กทรอนิกส์, การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก, เซ็นเซอร์แก๊สแบบอาร์เรย์

### Abstract

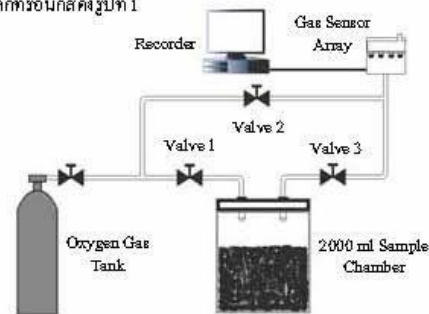
This paper presents the classify personal shirt odor by electronic nose. Because body odor of a particular person varies, the researcher has picked up 4 volunteers to do exercise for 2 hours. After that bring their shirts to evaluate volatile organic compounds (VOCs) from the dirt on that shirts. The resistance of gas sensor array in the electronic nose will be changed depend on the amount VOCs when various kinds of gas sensor are combined together, the result will vary according to the property of each particular gas sensor. Then evaluate highest signal changing value of gas sensor and analyze by Principle

Component Analysis (PCA). This technique is to identify the influence of the gas sensor array on the volunteer's shirts odor. From the experiment, we found that electronic nose can identify the odor of each shirt well, the data has been separated to 4 groups after analyze by PCA technique. It can extract data relation and percentage accumulation of PCA1 and PCA2 are 82.39.

Keywords: electronic nose, principle component analysis, gas sensor array

### 1. คำนำ

จมูกอิเล็กทรอนิกส์มีการนำไปใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น การตรวจสอบคุณภาพอาหาร [1] การเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศ [2] แม้กระทั่งใช้จำแนกผู้ป่วยโรคกระเพาะจากลมหายใจ [3] เนื่องจากจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถจำแนกแบบแผน (Pattern) [4] ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบได้และเนื่องจากการดำรงชีวิตในปัจจุบันมนุษย์มีการสัมผัสออกทางรูขุมขนที่ผิวหนังโดยเหงื่อที่ปล่อยออกมามีส่วนประกอบของโปรตีนและไขมัน เมื่อเจอกับแบคทีเรียบนผิวหนังโปรตีนและไขมันเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นขึ้นมาซึ่งมีความแตกต่างตามบุคคล [5] งานวิจัยนี้จึงนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาใช้งานบนกลิ่นตัวที่ติดบนเสื้อของอาสาสมัคร โดยมีโคอะกกรมการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โคอะกกรมการทำงานจมูกอิเล็กทรอนิกส์จำแนกกลิ่นเสื้อ





$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij} \quad 1 \leq j \leq m \quad (3)$$

$$C_{ij} = A_{ij} - M_j \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i C_i^T \quad (5)$$

เมื่อ  $M_j$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมตริก  $A_{ij}$  ในแต่ละหลัก

$C_{ij}$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมตริกข้อมูล

$S$  คือ เมตริกของความแปรปรวน

ขั้นตอนต่อมาหาค่าไอเกน(Eigen Value) และเวกเตอร์ไอเกน (Eigen Vector) ของเมตริกความแปรปรวนที่ได้จากสมการที่ 5 ซึ่งค่าเมตริกเวกเตอร์ไอเกนที่ได้จะนำไปสร้างตัวแปรใหม่ ดังนี้

$$\begin{aligned} PC_1 &= w'_1 x = w_{11} X_1 + w_{12} X_2 + \dots + w_{1n} X_n \\ PC_2 &= w'_2 x = w_{21} X_1 + w_{22} X_2 + \dots + w_{2n} X_n \\ PC_n &= w'_n x = w_{n1} X_1 + w_{n2} X_2 + \dots + w_{nm} X_n \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ  $PC_j$  เป็นตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมีจำนวนสูงสุดเท่ากับจำนวนขนาดของเมตริกความแปรปรวน โดยจะสามารถดึงความสัมพันธ์ของตัวแปรเดิมเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ซึ่งพิจารณาจากค่าไอเกนที่ได้ของเมตริกความแปรปรวนซึ่งจะเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยเช่นกัน โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากร้อยละของค่าไอเกนสะสมของตัวประกอบหลังค่าไอเกนตัวแรกเป็นอย่างต่ำร้อยละ 80 เช่น มีจำนวนตัวแปรใหม่  $n = 8$  ตัว แต่มีสัดส่วนค่าไอเกนสะสม 2 ตัวแรกร้อยละ 84 ในกรณีนี้เราจะสามารถใช้ตัวแปรใหม่  $PC_1$  และ  $PC_2$  แทนตัวแปรเดิมทั้งหมดได้

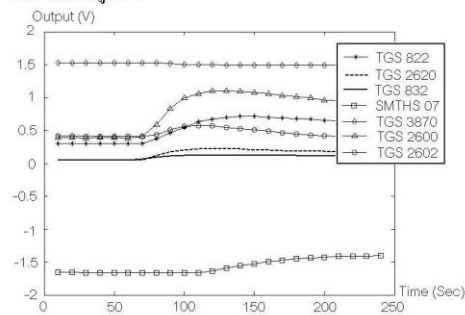
#### 4. การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่คิดบนเสื่อนั้น ตัวอย่างเสื่อที่นำมาทดสอบดมกลิ่นด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะให้อาสาสมัครจำนวน 4 คน สวมใส่โดยทุกคนผ่านการควบคุมให้อยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันและออกกำลังกายคนละ 2 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดเหงื่อและกลิ่นตัวติดบนเสื่อที่สวมใส่ต่อจากนั้นนำมาทดสอบกับจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีโคะแกรมการทำงานดังรูปที่ 1 โดยประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ระบบการควบคุมการไหลของแก๊สออกซิเจน แก๊สเซ็นเซอร์แบบอาร์เรย์และระบบการบันทึกสัญญาณ ซึ่งใช้อุปกรณ์ DAQ NI-USB 6008 ร่วมกับโปรแกรม Labview 7.1

ตารางที่ 2 ตารางความจริงของระบบควบคุมแก๊ส

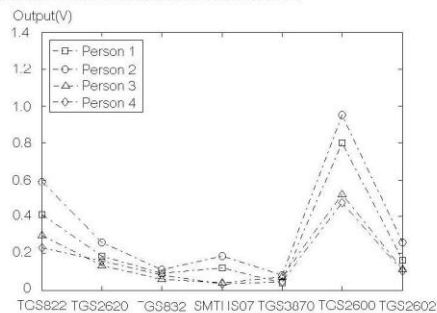
Valve 1	Valve 2	Valve 3	System Status
OFF	ON	OFF	Purging
ON	OFF	ON	Sampling

ขั้นตอนการทดลองเริ่มด้วยการปล่อยให้แก๊สออกซิเจนเพียงอย่างเดียวไหลผ่านแก๊สเซ็นเซอร์อาร์เรย์โดยการปิดโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 กับ 3 และเปิดโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 เพื่อกำจัดการรบกวนของสารเคมีอื่นๆและทิ้งไว้จนสัญญาณของแก๊สเซ็นเซอร์อาร์เรย์คงที่ระหว่างนี้ก็ให้นำตัวอย่างเสื่อใส่ในภาชนะ (Sample Chamber) ขนาด 2,000 ml และเมื่อสัญญาณแก๊สเซ็นเซอร์คงที่แสดงว่าระบบพร้อมตรวจวัดจึงทำการเปิดโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 กับ 3 และปิดโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 ให้แก๊สออกซิเจนนำพาสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเสื่ออาสาสมัครเข้าสู่แก๊สเซ็นเซอร์อาร์เรย์ ทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีการเปลี่ยนแปลงและเพื่อให้ง่ายต่อการดูผลการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซ็นเซอร์เราจึงบันทึกระดับแรงดันของความต้านทาน RL ที่เปลี่ยนแปลงตามกันดังเช่นในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดกลิ่นเสื่ออาสาสมัคร

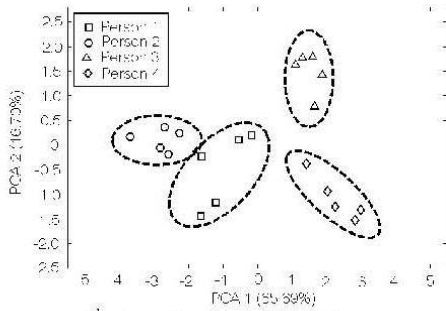
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าสัญญาณแต่ละเส้นมีระดับ Baseline ไม่ได้อยู่ที่ศูนย์ เนื่องจากค่าโวลต์เดออาท์พุดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแก๊สเซ็นเซอร์ที่มีต่อแก๊สออกซิเจน แต่เมื่อเราเปิดโซลินอยด์วาล์วให้แก๊สออกซิเจนนำพาสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายเข้าสู่แก๊สเซ็นเซอร์แบบอาร์เรย์จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่ความต้านทาน RL จากนั้นเราจะพิจารณาระดับการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแต่ละเซ็นเซอร์ในการทดลองแต่ละครั้งบันทึกเก็บไว้



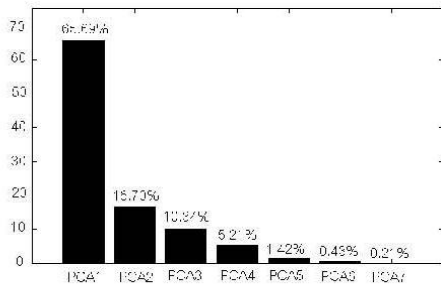
รูปที่ 5 ค่าสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ความต้านทาน RL ในการตรวจวัดของแต่ละแก๊สเซ็นเซอร์

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงสัญญาณสูงสุดจากการตรวจวัดกลิ่นเสื่อของอาสาสมัครแต่ละคนมีระดับแตกต่างกันออกไปโดยจะเก็บข้อมูลหลังการออกกำลังเป็นเวลา 5 วัน เมื่อได้

ข้อมูลครบแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อดูความสัมพันธ์ ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7

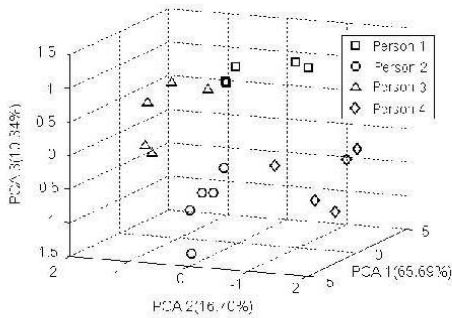


รูปที่ 6 ข้อมูลหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA



รูปที่ 7 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของตัวแปรใหม่

จากรูปที่ 6 เป็นการพลอตความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใหม่ PCA 1 กับ PCA 2 ซึ่งมีผลรวมเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 82.39 ซึ่งถือว่าเพียงพอสำหรับการใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด จะเห็นว่ามีกลุ่มของข้อมูลเป็น 4 กลุ่ม ซึ่งแสดงถึงการจำแนกแบบแผน (pattern) การตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ต่อกลิ่นเสื่อของอาสาสมัครทั้ง 4 คน และถ้าเราต้องการความสัมพันธ์ของตัวแปร PCA 3 ด้วย เราสามารถพลอตเป็นสามมิติ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ข้อมูลหลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA

จากรูปที่ 8 เมื่อเรานำตัวแปร PCA 3 มาพิจารณาาร่วมด้วยทำให้ผลรวมเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์เท่ากับร้อยละ 92.73 และเราสามารถดูการจำแนกได้หลายมุมมอง ซึ่งผลจากการใช้เทคนิค PCA วิเคราะห์ เราจึงสามารถรู้ได้ว่าเสื่อตัวไหนเป็นของอาสาสมัครท่านใด เมื่อใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่น

#### 4. สรุป

จากการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจากแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ มาต่อรวมแบบอาร์เรย์ใช้ดมกลิ่นเสื่อของอาสาสมัครจำนวน 4 คน หลังการออกกำลังกาย พบว่า เมื่อนำค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาท์พุทสูงสุดของแก๊สเซ็นเซอร์แต่ละตัว ซึ่งเกิดจากการตอบสนองสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ติดบนเสื่อ มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) สามารถดึงความสัมพันธ์จากข้อมูลของตัวแปร PCA1 และ PCA 2 ได้ร้อยละ 82.39 เมื่อนำมาพลอตกราฟเพื่อดูแบบแผน (Pattern) การตอบสนองของกลิ่นเสื่อในแต่ละคน ผลที่ได้สามารถจำแนกกลิ่นเสื่อของอาสาสมัครออกเป็นกลุ่มตามแต่ละบุคคล ซึ่งนั่นหมายความว่าเราสามารถนำสิ่งที่ได้จากวิจัยไปใช้กับการจำแนกกลิ่นของวัตถุต้องสงสัยในงานสืบสวนที่มีความซับซ้อนกว่า ซึ่งอาจจะต้องมีการเพิ่มแก๊สเซ็นเซอร์หลายตัวและใช้งานร่วมกับระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เพื่อความถูกต้องมากขึ้น

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Corrado Di Natale, "Advances in Food Analysis by Electronic Nose", IEEE Catalog Number: 97THS280, Page SS122-SS127
- [2] Iman Morsi, "Electronic Noses for Monitoring Environmental Pollution and Building Regression Model", Arab Academy for Science and Technology, Egypt/ Alexandria
- [3] Rossella Blatt, "Lung Cancer Identification by an Electronic Nose based on an Array of MOS Sensors", International Conference on Neural Networks, August 12-17, 2007
- [4] Zhou Tao1, "Pattern Recognition of the Universal Electronic Nose", Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application 2008
- [5] Chatchawal Wongchoosuk, Mario Lutz and Teerakiat Kerdcharoen, "Correction of Humidity Effect for Detection of Human Body Odor", Proceedings of ECTI-CON 2008

#### ประวัติผู้เขียนบทความ



ชนะ จันทร์ศรี จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในสถาบันเดียวกัน งานวิจัยที่สนใจ คือ จมูกอิเล็กทรอนิกส์และการประมวลผลสัญญาณ โครงข่ายประสาทเทียม



จักรี ศรีนนท์ศิริ จบการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Northumbria University, UK ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาเอกวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม งานวิจัยที่สนใจคือการประมวลผลสัญญาณ การบีบอัดสัญญาณเสียงและภาพ โครงข่ายประสาทเทียม

Editors:

Dr. V. Mahadevan and Dr.Zhou Jianhong

# 2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering

Singapore  
February 26 - 28, 2010

**Volume 2**



**IEEE**



# Organizing Committees

## Honorary Chairs

Prof. Jun Wang, Chinese University of Hong Kong, Hong Kong

Prof. Derong Liu, University of Illinois at Chicago, USA

## Conference Chair

Prof. K. Jusoff, Universiti Putra Malaysia, Malaysia

Prof. Nazir Ahmad Zafar, University of Central Punjab, Pakistan

Prof. Muhammad Sulleman Memon, Quaid e Awam University of Engineering, Science and Technology, Pakistan

Dr. J.H.Zhou, Sichuan University, China

## PC Chairs

Prof. S.R.Bhadra Chaudhuri, Bengal Engineering & Science University, India

Dr. V. Mahadevan, Swinburne University of Technology, Australia

Dr. H. Ferdinando, Petra Christian University, Indonesia

Dr. Jason Kang, Journal of Electronic Science and Technology of China, China

Dr. Norbert HERENCSÁR, Brno University of Technology, Czech Republic

## Technical Members

Mohamed Muftah Tekala, Almergib University, Libya

S.Mohan Mahalakshmi Naidu, International Institute of Information Technology, India

Lin Niu, Chengdu University, China

Xian-Min Ma, Xi'an University of Science & Technology, China

Rajesh Joseph Abraham, Manipal University, India

V.Manickavasagam, Alagappa University, India

Jagadeesh Chandra A.P, Sri Jayachamarajendra College of Engineering, India

Xiuhe Wang, Shandong University, China

Sakthivel Kumarasamy, Yonsei University, Korea

Chunxiang Li, Shanghai University, China

**ICCAE 2010 Session 30**

<b>Living and Working in Automated Environments--Evaluating the Concerns of End-Users in Technology-Enhanced Spaces</b>	<b>513</b>
<i>Carsten Röcker</i>	
<b>Fault Isolation Using Stateless Server Model in L4 Microkernel</b>	<b>518</b>
<i>Tae-You Lee, Hyung-Rok Seo, Dong-Ryeol Shin</i>	
<b>Research on Mechatronics Products Modular Interface Technology and Its Application in Robot</b>	<b>523</b>
<i>He Bin, Lv Hai Feng, Han Li Zhi, Liu Wen Zhen</i>	
<b>Stability analysis of biped robot with direct control of zero moment point</b>	<b>528</b>
<i>Setareh Yazdekhasti, Farid Sheikholeslam, Mostafa Ghayour</i>	
<b>Research on Allocation for Block Workload of Container Yard under Multi-ship Delivery</b>	<b>533</b>
<i>Leilin Yu, Zhiqiang Lu, Lifeng Xi</i>	
<b>The Research of Characters of Biorthogonal Non-tensor Three-dimensional Wavelet Packets</b>	<b>538</b>
<i>LUO Ping, TIAN Xin-Xian</i>	
<b>Digital Signature Model of Sensor Network Using Hash Chain</b>	<b>543</b>
<i>Young-Soo Kim, Ning Sun, Sang-Ho Lee</i>	
<b>Discovering Vital Patterns From UST Students Data by Applying Data Mining Techniques</b>	<b>547</b>
<i>Asma A. Al-shargabi, Ali N. Nusari</i>	
<b>The Research of WSN Routing Technology Based on the Gradient and the Residual Energy Ant Algorithm</b>	<b>552</b>
<i>Dianwu Gao, Hao Wang</i>	
<b>New Potential Functions for Multi robot path planning : SWARM or SPREAD</b>	<b>557</b>
<i>Sung-hwan Kim, Gyungtae Lee, Inpyo Hong, Young-Joo Kim, Daeyoung Kim</i>	

**ICCAE 2010 Session 31**

<b>Personal Shirt Odor Classification Using an Electronic Nose</b>	<b>562</b>
<i>Chana Chansri, Jakkree Srinonchat</i>	
<b>An Improved Ant Colony Algorithm for Independent Tasks Scheduling of Grid</b>	<b>566</b>
<i>Youchan Zhu, Qiujuan Wei</i>	
<b>Research on Increasing Pressure of Large-scale Territorial Gas Pipeline Network Using Improved Genetic Algorithm</b>	<b>570</b>
<i>Liu Wu, Liu Yi, Xu Yuan, Feng Xiaohong, Ai Muiyang</i>	
<b>Pose Estimation of 3D Face Images using Fuzzy Nearest Distance in Fuzzy Interpolation Line</b>	<b>575</b>
<i>Beryamin Kusumoputro, Lina</i>	
<b>A Policy Oriented Multi-Interface Selection Framework for Mobile IPv6 Using the ID/Locator Split Concepts in the Next Generation Wireless Networks</b>	<b>580</b>
<i>Chakchai So-In, Raj Jain, Subharthi Paul, and Jianli Pan</i>	
<b>Real-time Foreground Segmentation Based on A Fused Background Model</b>	<b>585</b>

# Personal Shirt Odor Classification Using an Electronic Nose

Chana Chansri

Signal Processing Research Laboratory  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Phatumthani, Thailand 12110  
chanachansri@hotmail.com

Jakkree Srinonchat

Signal Processing Research Laboratory  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Phatumthani, Thailand 12110  
Jakkree.s@en.rmutt.ac.th

**Abstract**— This paper presents the classify personal shirt odor by electronic nose. Because body odor of a particular person varies, the researcher has picked up 4 volunteers to do exercise for 2 hours. After that bring their shirts to evaluate volatile organic compounds (VOCs) from the dirt on that shirts. The resistance of gas sensor array in the electronic nose will be changed depend on the amount VOCs when various kinds of gas sensor are combined together, the result will vary according to the property of each particular gas sensor. Then evaluate highest signal changing value of gas sensor and analyze by Principal Component Analysis (PCA). This technique is to identify the influence of the gas sensor array on the volunteer's shirts odor. From the experiment, we found that electronic nose can identify the odor of each shirt well, the data has been separated to 4 groups after analyze by PCA technique. It can extract data relation and percentage accumulation of PCA1 and PCA2 are 82.39.

**Keywords**- human odor; electronic nose; principal component analysis; gas sensor array

## I. INTRODUCTION

Electronic nose has been utilized in various fields such as food quality assessment [1], air pollution monitoring [2], identifying patients who suffer lung cancer from their breath [3]. Because electronic nose is able to discriminate the patterns [4][5] of volatile organic compounds (VOCs) during examining the samples. The human body generates VOCs that can give some information about diseases, behavior, emotional state and health status of a person Also, body odor is one of the physical characteristics of human which can be used to identify people. An example of using the human odor was explained by Chatchawal Wongchoosuk [6] in 2008. They detected the human body odor from armpits is sweat to classified the body odor of 2 persons. The electronic nose combines a sensing array with a data analysis system. The sensing array consists of several gas sensors which is the mainpart in detecting odors . In several electronic nose systems, metal oxide sensor is widely used due to low cost and user-friendly. In this paper, we present the electronic nose for classify shirt odor because our daily work or activity, sweat is always extruded through skin. Sweat which contains protein and fat will interact with bacteria on the skin, resulting in the smell or odor on the shirts. We use 4 people to volunteer by everyone have a similar life style. The samples to be tested with the electronic

nose as a volunteer to wear the shirt after exercise for 2 hours to get the sweat and body odor this step is to prepare the sample very well to be tested. After that the results of measurements to analyze test results by PCA. Simple statistical methods then most convenient to make us recognize that a sample of how.

## II. GAS SENSOR ARRAY DESIGN

Gas sensor is a transducer device with its electrical resistance varies according to the environment it exposes, especially in different types of gas; for example, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), Methane (CH<sub>4</sub>), or Sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>). The gas sensor is composed of sensing element, sensor base and sensor cap. The sensing element contains sensing material and heater to heat up sensing element. Depending on the target gas, the sensing element will utilize different materials such as Tin dioxide (SnO<sub>2</sub>), Tungsten oxide (WO<sub>3</sub>), etc. When a metal oxide crystal such as SnO<sub>2</sub> is heated at a certain high temperature in air, oxygen is adsorbed on the crystal surface with a negative charge. Then donor electrons in the crystal surface are transferred to the adsorbed oxygen, resulting in leaving positive charges in a space charge layer. Thus, surface potential is formed to serve as a potential barrier against electron flow. Inside the sensor, electric current flows through the conjunction parts (grain boundary) of SnO<sub>2</sub> micro crystals. At grain boundaries, adsorbed oxygen forms a potential barrier which prevents carriers from moving freely. The electrical resistance of the sensor is attributed to this potential barrier. In the presence of a deoxidizing gas, the surface density of the negatively charged oxygen decreases, so the barrier height in the grain boundary is reduced as figure 1. The reduced barrier height decreases sensor resistance. The relationship between sensor resistance and the concentration of deoxidizing gas can be expressed by the following equation over a certain range of gas concentration

$$R_s = A[C]^{-\alpha} \quad (1)$$

where  $R_s$  = electrical resistance of the sensor  
 $A$  = constant

$[C]$  = gas concentration  
 $\alpha$  = slope of  $R_s$  curve

Due to the logarithmic relationship between sensor resistance and gas concentration, semiconductor type sensors have an advantage of high sensitivity to gas even at low gas concentration. The excellent stability and performance of the semiconductor type sensor provides maintenance-free, long lived, and low cost gas detection.

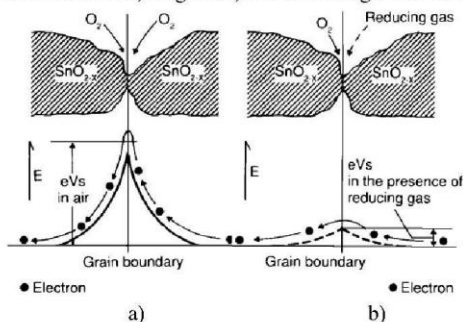


Figure 1. Model of inter-grain potential barrier a) In the absence of gases b) In the presence of gases

Each gas sensor responds to the environment differently whereas the sensitivity specifically depends upon the qualification the kind of the gas sensor designed for the assessment of each particular chemical substance. In the experiment, many kinds of gas sensor were combined to measure the volatile organic compounds on the shirts, as shown in table 1.

TABLE 1. Metal Oxide Sensors contained in the sensor box

No.	Model	Gas Detection
1	TGS 822	Organic Solvent Vapor
2	TGS 2620	Solvent Vapor
3	TGS 832	Halogen
4	SMTHS07	Humidity
5	TGS 3870	Methane and CO <sub>2</sub>
6	TGS 2600	Air Contaminate
7	TGS 2602	Air Contaminate

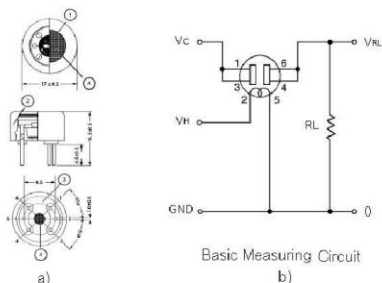


Figure 2 a) Structure of gas sensor model TGS 822  
b) basic measuring circuit

Fig. 2, it is found that the structure of gas sensor Model TGS822 with an inbuilt heater which is also found in most gas sensor. Heater could help both eliminate humidity and protect collection of assessed substance in the sensor. If there is humidity, it may cause fluctuation on the resistance. The sample of gas sensor TG S822, resistance ( $R_s$ ) can be calculated by

$$R_s = \left( \frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L \quad (2)$$

Therefore, an experiment under consistently controlled temperature and humidity will yield an absolute result and in order to achieve that goal a sensor to measure temperature. IC model LM335 is added in the electronic nose to observe the changes of the temperature, as shown is figure

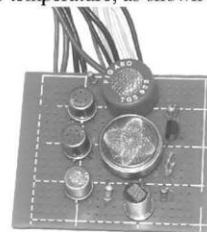


Figure 3. Electronic nose for shirt odor detection.

### III. PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

Principal Component Analysis (PCA) is a technique to eliminate variables by converting a new set of variables in to a linear function of the former variables whereas the number of new variables will not exceed the former ones. For example, the number of the original variable is  $p$ , the number the new variables is  $m$ , therefore  $m \leq p$ . The new variables will extract correlation or variance as much as possible from the former variables to the new ones. The process of the analysis starts transforming all sets of data in to the metric.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Vector of data set number 1 will the first row of metric, and vector of data set number 2 will belong to second row metric. Therefore, vector of data set number  $n$  will be long to row  $n$ . Thus we will get the metric size  $n \times m$ . Form the

data, covariance matrix can be calculated by the equation number 4, 5 and 6 accordingly.

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij} \quad 1 \leq j \leq m \quad (4)$$

$$C_{ij} = A_{ij} - M_j \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m \quad (5)$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i C_i^T \quad (6)$$

where  $M_j$  = average for each column of  $A_{ij}$   
 $C_{ij}$  = standard deviation of data matrix  
 $S$  = variance matrix

Next is to calculate eigen value and eigen vector from variance metric obtained by equation 6 and then the eigen vector value will create new variables as follow.

$$PC_1 = w_1'x = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1n}X_n$$

$$PC_2 = w_2'x = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2n}X_n \quad (7)$$

$$PC_n = w_n'x = w_{n1}X_1 + w_{n2}X_2 + \dots + w_{nm}X_n$$

New created  $PC_i$  variables which are as many as the number of variance metric are able to extract relationship of the original variables to continuum for maximum to minimum. Therefore, eigen values upshot from variance metric are placed like which of the original variables too. Such results are mostly calculated from the percentage of accumulated eigen value of the component from the first eigen value minimum 80%, for example, an emergence of new variables. Therefore  $n=8$ , the proportion of the first 2 accumulative eigen value is 84%. That is the new  $PC_1$  and  $PC_2$  are able to replace all the original variables.

#### IV. EXPERIMENTAL AND RESULT

The experiment to measure the volatile organic compounds (VOCs) on the shirts is conducted by four volunteers wearing those shirts used for the experiments. The environments is under control, in addition the work out equally 2 hours. After that the sweat occurred on the shirts will be examined by electronic nose which is shown in the form of diagram in figure 4. The diagram includes 3 main parts: oxygen flowing control system, gas sensor array system and signal recording system. The data acquisition was realized by a DAQ NI-USB 6008. The recorder data program used LabVIEW version 7.1. The measurement circuit uses the voltage divider resistor for each sensor. The sensor outputs collection uses the sampling rate every 1 second for subsequent analyses

TABLE 2. Truth table of gas control valve

Valve 1	Valve 2	Valve 3	System Status
OFF	ON	OFF	Purging
ON	OFF	ON	Sampling

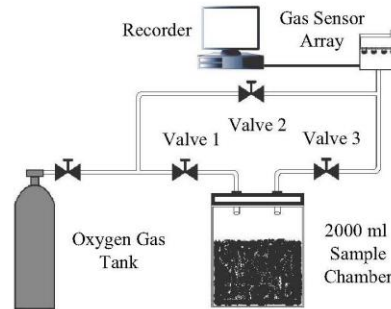


Figure 4. Schematic diagram of electronic nose system.

The experiment begins with the emission of oxygen through gas sensor array and in order to get rid of any problems spurred from other chemical substances, the first and the third solenoid valve are close, while the second one stays open. Then wait until the gas sensor signals stable. At the same time the shirts to experiment will be put in a sample chamber 2000 ml. If the gas sensor signals stable, the system is ready for the test. After that the first and the third solenoid valves will be turn on while the second one is turn off. Oxygen will convey volatile organic compounds on the shirts to gas sensor array which leads to the changes of the resistance on the gas sensor and resulting in the change on the signal accordingly as shown in figure 5

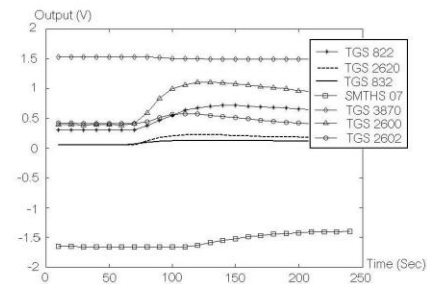


Figure 5. Signal of shirt odor detection

Fig. 5, the baseline belonging to each signal is not at zeros because the voltage output depends on the properties of gas sensor reacting to oxygen but when the solenoid valve is turned on and oxygen can carry volatile organic compounds to gas sensor array, the reaction occurs as seen



in figure 5. Then the maximum level of the changes of the sensor in each experiment will be examined and recorded.

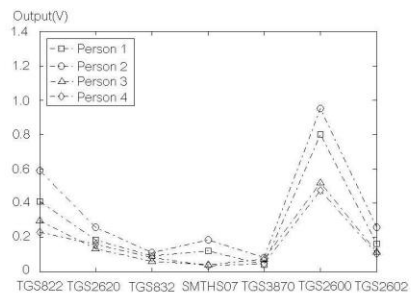


Figure 6. Maximum change in the signal of resistance RL

Fig. 6, the maximum change in the signal spurred from the examination of the sweat on the shirts has been found. Such change varies according to each person. The data is collected 5 days after an exercise to assess the relationship of results, the principal component analysis (PCA) is conducted as shown in figure 7 and figure 8

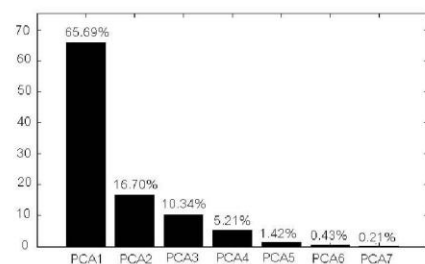


Figure 7. Percentage of extract relationship after analysis data by PCA

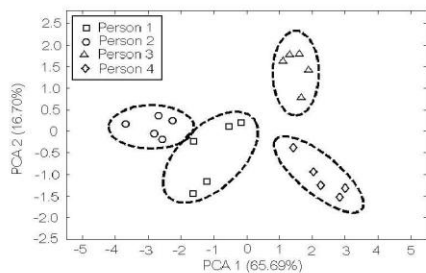


Figure 8. Plotting between the PCA 1 and PCA 2

Fig. 8 shows plotting on correlation between the new variables PCA 1 and PCA 2 which the total percentage of correlation extract is 82.39. Such result can sufficiently represent the all datum. Then the data is divided into 4 groups each represents the pattern of the response of the electronic nose toward the body odor from the 4 volunteers.

The correlation of PCA3 variables is plotted in three dimensions as shown in figure 9

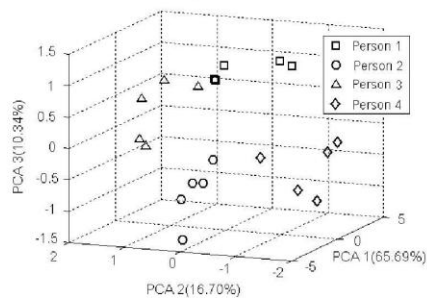


Figure 9. 3D Plotting between the PCA 1, PCA 2 and PCA 3

Fig. 9, when PCA 3 is taken into account, the total percentage of correlation extract becomes 92.73 which classification can be viewed from various angles. The results from the PCA technique can identify the shirt of each volunteer. Therefore, the result of use of electronic nose.

## V. CONCLUSION

The electronic nose which is composed from the array model combination of various gas sensor has been employed to examine the body odor of the four volunteers and the maximum output of signal transformation value of each gas sensor upshot from the response of the volatile organic compounds (VOCs) is analyzed to evaluate the correlation by using principle component analysis (PCA). The correlation of data from PCA1 and PCA 2 can be extract 82.39%. When result is plotted in graph to examine the pattern in response to the odor of each volunteer, it can identify correctly. That is the result of the study can be employed to identify the smell of suspicious objects in a more complicated investigation. Moreover, in order to accomplish a cooperative utility with the artificial neural network (ANN) and more of the gas sensor could be added.

## REFERENCES

- [1] Corrado Di Natale, "Advances in Food Analysis By Electronic Nose" IEEE Catalog Number: 97THS280, Page SS122-SS127
- [2] Iman Morsi, "Electronic Noses for Monitoring Environmental Pollution and Building Regression Model" Arab Academy for Science and Technology, Egypt/ Alexandria
- [3] Rossella Blatt, "Lung Cancer Identification by an Electronic Nose based on an Array of MOS Sensors" International Conference on Neural Networks, August 12-17, 2007
- [4] Zhou Tao1, "Pattern Recognition of the Universal Electronic Nose" 2nd International Symposium On Intelligent Information Technology Application 2008
- [5] Chontip Pompanomchai, "Beer Classification by Electronic Nose" International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Hong Kong, 30-31 Aug. 2008
- [6] Chatchawal Wongchoosuk, "Correction of Humidity Effect for Detection of Human Body Odor" ECTI-CON, May 14-17 2008.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายชนะ จันทร์ศรี  
วัน เดือน ปีเกิด 21 พฤษภาคม 2522  
ที่อยู่ 38/2 หมู่ 8 ต.ท่าเรือ อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80290  
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ.2545  
ประวัติการทำงาน  
พ.ศ. 2545-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกร  
บริษัทไทยยูนิค จำกัด

### ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

ชนะ จันทร์ศรี และจักรี ศรีนนท์ฉัตร, “การจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคลโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์”, เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32, โรงแรมทราวดี รีสอร์ท จ.ปราจีนบุรี 28-30 ตุลาคม 2552. หน้า 963-966

Chana Chansri, Jakkree Srinonchat, “Personal Shirt Odor Classification Using Electronic Nose”, The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, Feb 26 - 28, 2010, Singapore, Vol 2, pp. 562-565