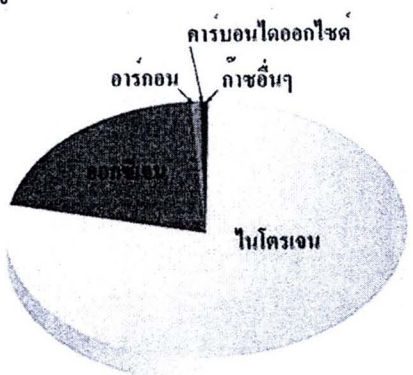
บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำนำ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและออกแบบระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้แยกแยะและควบคุมคุณภาพเครื่องดื่มประเภทที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่โดยอาศัยการทำงานของเซ็นเซอร์ก๊าซหลายชนิดมาต่อร่วมกันแบบอาร์เรย์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติและการทำงานของเซ็นเซอร์ก๊าซและเทคนิคการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์อีกทั้งต้องศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อนหน้ามาช่วยในการพัฒนางานวิจัย ซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิจัยที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต

2.2 ธรรมชาติของก๊าซและคุณสมบัติทั่วไป

ในบรรยากาศของโลกพบว่า อากาศที่ไม่มีมลภาวะที่ระดับน้ำทะเลจะมีก๊าซ ต่าง ๆ มากมาย ดังรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1 ซึ่งพบว่าจะมีไนโตรเจน (N_2) อยู่ราว 78 % ก๊าซออกซิเจน (O_2) อยู่ประมาณ 21 % ที่เหลือเป็นก๊าซอาร์กอนส่วนใหญ่ราว 1 % และก็มีจำนวนของก๊าซต่าง ๆ เช่น CO_2 และ H_2O (ในรูปของไอน้ำ) อยู่เล็กน้อย



ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรของก๊าซหลาย ๆ ตัวในอากาศ สะอาดและแห้ง

ก๊าซ	เปอร์เซ็นต์ปริมาตร	ก๊าซ	เปอร์เซ็นต์ปริมาตร	ก๊าซ	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	0.0000002
Ne	0.0018	CO	0.00001		
He	0.00052	Xe	0.000008		

2.2.1 โมเลกุลและอิออน (Molecules and ions)

ก๊าซที่มีสมบัติและจำนวนของอะตอมที่แน่นอนเฉพาะตัว จะเรียกว่า "โมเลกุล" ทั้งอะตอมเดี่ยวและโมเลกุลที่สามารถได้รับอนุภาคจากตัวอื่นหรือเปลี่ยนไปเป็นอนุภาคอื่น เราเรียกว่า "อิออน"

ก. สูตรเคมี (Chemical formulas)

สารประกอบทางเคมีของธาตุต่าง ๆ ปกติจะแสดงในรูปสั้น ๆ ทีเรียกว่า "สูตรเคมี" สูตรเคมีนั้นมีสองอย่างด้วยกัน อย่างแรกคือ "สูตรลัด" ประกอบด้วยอัตราส่วนอย่างง่ายของอะตอม หรือจำนวนตัวเลขน้อยที่สุดที่สามารถเขียนได้อย่างที่สองคือ "สูตรโมเลกุล" ประกอบด้วยจำนวนตัวเลขที่แน่นอนของอะตอมในโมเลกุล เช่น น้ำจะมีทั้งสูตรโมเลกุลและสูตรลัดเหมือนกันคือ H_2O แต่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะมีสูตรลัดเป็น HO และมีสูตรโมเลกุลเป็น H_2O_2 เมื่อต้องการบอกความหมายจะใช้สูตรโมเลกุล เพราะว่าสูตรโมเลกุลจะบอกทั้งอัตราส่วนของอะตอมและจำนวนจริงของอะตอม ในการแสดงสถานะทางกายภาพก็จะใช้ g ,l และ s เพื่อแสดงว่าอยู่ในสถานะก๊าซ ของเหลวและของแข็ง 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	$(SiO_2)_2$
อิธีลีน	CH_2	C_2H_4
ไซโคลเฮกเซน	CH_2	C_6H_{12}
กรดโอซาลิก	HCO_2	$H_2C_2O_4$

ข. โมเลกุล (Molecules)

คือ อะตอมจำนวนหนึ่งที่ต่อเข้าด้วยกันเป็นอนุภาคเล็กที่สุดของสารที่รักษาส่วนประกอบและคุณสมบัติของสารนั้นไว้ โมเลกุลจึงเป็นการรวมตัวทางเคมีของอะตอมหนึ่งตัวหรือมากกว่า ในรูปที่ 9.1 จะแสดงตัวอย่างของโมเลกุลบางตัว แต่ก๊าซเฉื่อยซึ่งไม่รวมตัวกับธาตุใด ๆ จะไม่ใช่โมเลกุล เราจะเรียกอนุภาคที่เล็กที่สุดของก๊าซเฉื่อยว่า อะตอม พบว่าในอุณหภูมิสูง ๆ โมเลกุลจะแยกตัวออกจากกันอยู่ในรูปของอะตอม

ค. สารอิออน (Ionic substances)

นอกจากอะตอมและโมเลกุล ยังมีอนุภาคชนิดที่สามที่เกิดในสาร โดยเรียกอนุภาคนี้ว่า "อิออน" อิออนก็คือ อะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่สามารถนำประจุไฟฟ้าได้

2.2.2 โมล (Mole)

สมมติว่ามีคลอรีนที่ก้นสระน้ำเราสามารถหาน้ำหนักอะตอมของส่วนประกอบคลอรีนซึ่งแยกได้ดังนี้ Ca เท่ากับ 40.08 amu , Cl เท่ากับ 35.453 amu แต่ก็ยังมีปัญหาตรงที่เราใช้น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล และน้ำหนักของสูตรเคมี เพื่อเปรียบเทียบมวลของสาร ในห้องทดลองส่วนมากจะใช้หน่วยวัดกรัมเพื่อวัดน้ำหนักมากกว่า amu (atom mass unit) แต่หากต้องการรู้จำนวนอะตอมของสารเราจะทราบได้อย่างไรพิจารณาช้อนชาที่มีน้ำอยู่เต็ม เราพบว่าจะมีโมเลกุลของน้ำจำนวนมากมายที่อยู่ในนี้ (ประมาณ 1.7×10^{23}) สมมติว่าต้องการวัดน้ำในมหาสมุทรบนโลกทั้งหมด การวัดด้วยจำนวนดังกล่าวจึงมากและเทอะทะ จึงต้องใช้วิธีในการวัดจำนวนสารที่มากกว่าจำนวนของหน่วยสูตรเคมีหรือสูตรโมเลกุล (ในทางปฏิบัติเรานับไข่เป็นหน่วยโหล กระดาษเป็นรีม หรือ 500 แผ่น ที่คลิปกระดาษเป็นกุรุส หรือ 144 อัน ทำให้ง่ายต่อการนับจำนวนของมากกว่าจะนับเป็นอัน) เพื่อหลีกเลี่ยงการนับจำนวนที่มากเกินไปเมื่อทำการวัดสาร เราจึงใช้หน่วยที่เรียกว่า "โมล" โดยหนึ่งโมลประกอบไปด้วย 6.022×10^{23} อะตอมโมเลกุล หรือหน่วยของสูตรเคมี ในการกำหนดค่านี้จะเรียกว่า "จำนวนอะโวกาโดร" ซึ่งเราจะได้ยินบ่อย ๆ ในงานที่เกี่ยวข้องกับการวัดสาร หรือจำนวนอะตอมหรือโมเลกุล

2.2.3 กฎการรั่วไหลและการแพร่กระจายของแกรแฮม

การเคลื่อนที่ของอนุภาคก๊าซตรวจจับได้สองวิธีด้วยกัน

ก. <u>การรั่วซึม (Effusion)</u>

คือ การผ่านของก๊าซที่สามารถผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรู เช่นลูกโป่งที่บรรจุฮีเลียมเมื่อตั้งไว้นานจะมีขนาดไม่เท่าเดิมเนื่องจากมีฮีเลียมบางส่วนที่เล็ดลอดออกไปจากโครงสร้างธรรมชาติของยางที่ใช้ทำ

ข. <u>การแพร่กระจาย (Diffusion)</u>

หากมีใครก็ตามที่สามารถดมหรือรับรู้กลิ่นของฮีเลียมที่รั่วไหลออกมาจากข้อแรกได้ นั่นก็คือ เกิดการแพร่กระจายของก๊าซนั่นเอง อัตราการรั่วไหลและการแพร่กระจาย โมเลกุลของก๊าซที่แตกต่างกันจะเคลื่อนที่ที่อัตราแตกต่างกัน โมเลกุลที่เบากว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลที่หนักกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่า ก๊าซไฮโดรเจนที่บรรจุในลูกโป่งจะเล็ดลอดออกมาได้เร็วกว่าก๊าซฮีเลียมและ เล็ดลอดออกมาได้เร็วกว่าก๊าซไนโตรเจน

กฎของแกรแฮม กล่าวว่า การรั่วไหลของก๊าซจะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์ ตามกฎของแกรแฮม อัตราการรั่วไหล (r) ของก๊าซสองตัวที่อุณหภูมิและความอันเดียวกันจะสัมพันธ์กันดังสมการที่ (2.1)

$$\frac{r_1}{r_1} = \frac{\sqrt{M M_2}}{\sqrt{M M_1}} \qquad (2.1)$$

2.3 ก๊าซที่มีความสำคัญต่อมนุษย์

ก่อนที่จะทำการวัดหรือตรวจจับก๊าซ ต้องมีความเข้าใจคุณสมบัติและความสำคัญของก๊าซที่จะตรวจวัดก่อน ต่อไปนี้จะเป็นตัวอย่างก๊าซที่มีความสำคัญ ซึ่งมีผลทั้งตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์

2.3.1 ออกซิเจน (Oxygen)

ออกซิเจน เป็นธาตุที่มีอยู่มากบริเวณเปลือกโลก แม้กระทั่งน้ำประกอบด้วยออกซิเจนถึง 88.9 % ของมวล แร่ส่วนใหญ่ก็ประกอบด้วยออกซิเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกซิเจน ซึ่งเมื่อรวมกับธาตุอื่น ๆ แล้วก่อให้เกิดรูปสารประกอบใหม่ที่เรียกว่า "ออกไซด์" ก๊าซออกไซด์ได้แก่ CO_2, CO, N_2O_4, N_2O_3, NO_2, NO, N_2O ,SO_2, F_2O, Cl_2O_2, ClO_2 และ Cl_2O (อยู่ที่ตำแหน่งด้านขวาบนของตารางธาตุ) ออกซิเจนในอากาศจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ตัวมันเองจะไม่ติดไฟ แต่ช่วยให้ไฟติด ออกซิเจนในเชิงพาณิชย์ทำได้โดยการกลั่นจากอากาศแต่ก็มีจำนวนน้อย หรือไม่ก็หาจากสถานะที่บริสุทธิ์มากนั่นคือ การแยกด้วยไฟฟ้าของสาละลายที่เป็นของเหลว หรือโดยการใช้ความร้อนแยกเกลือออกไซด์ (Oxide salt)

บทบาทของออกซิเจนต่อความปลอดภัยของมนุษย์มีตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน เช่น ผลกระทบ atmospheric anoxia ที่ขาดออกซิเจนอันเนื่องจากการขึ้นไปที่สูง หรืออยู่ในที่ที่มีออกซิเจนน้อย เป็นต้น ตัวอย่างนี้คือ ภาวะในการขาดออกซิเจนเนื่องจากกลไกต่าง ๆ ของมนุษย์ นอกจากนี้อันตรายตรง ๆ จากออกซิเจนที่มีความเข้มข้นสูง อาจจะทำให้เกิดการลุกไหม้ไฟ จึงไม่ควรให้ออกซิเจนดังกล่าวอยู่ใกล้เปลวไฟใด ๆ หรือในทางการรักษาผู้ป่วยพบว่าการใช้ออกซิเจนที่มีความดันสูง อาจจะทำให้มีการชักได้ และเชื่อว่าออกซิเจนจะมีพิษต่อเอ็นไซน์ในสมอง นอกจากนี้ภาวะ Retrolental hyperplasma ในทารกซึ่งทำให้ตาบอด เป็นอาการแทรกซ้อนจากการรักษาด้วยออกซิเจนที่สำคัญด้วย ดังนั้น ในทางการพยาบาลจึงต้องมีการควบคุมความกดดันและความเข้มข้นของออกซิเจนตามความเหมาะสมของแต่ละกรณี ทั้งหมดเราคงพอจะเห็นความสำคัญของออกซิเจนที่มีผลต่อมนุษย์โดยตรงบ้างแล้ว ส่วนบทบาทของก๊าซออกซิเจนเบื้องต้นในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหล็ก งานเชื่อม งานรักษาสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.3.2 ก๊าซตระกูลคาร์บอน (Carbon species)

คาร์บอนมีอยู่ด้วยกันสองรูปที่เป็นก๊าซออกไซด์ซึ่งมีความเสถียร คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ก. <u>คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)</u>

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส นอกจากนี้มันยังมีพิษอีกด้วย เพราะว่ามันจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนในฮีโมโกลบิน (Hb) ในเส้นเลือดของมนุษย์ คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นฐานประมาณ 80% ของ CO ในบรรยากาศมาจากรถยนต์ ส่วนการใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น ใช้ลดออกซิเจนใน

การถลุงเหล็กจากแร่ เป็นต้น ระดับควบคุมการสัมผัสคาร์บอนมอนอกไซด์ในสถานประกอบการ ให้อยู่ในระดับความเข้มไม่เกิน 35 พีพีเอ็ม Time Weighted Average (TWA) โดยอาศัยการวัดด้วยเครื่องมือวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ชนิด hopcalite และระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผู้ปฏิบัติการสัมผัสต้องไม่เกิน 200 พีพีเอ็ม เป็นอันขาด ถ้าพบระดับสูงกว่านี้ต้องสั่งหยุดการทำงาน และเมื่อระดับเกิน 500 พีพีเอ็ม ให้รีบอพยพคนออกจากสถานที่นั้นโดยทันที

ข. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่ช่วยให้ติดไฟ CO_2 เป็นก๊าซเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า -78° C ที่ความดัน 1 atm CO_2 จะเป็นของแข็งมากกว่าจะเป็นของเหลว CO_2 เป็นผลมาจากการไหม้ที่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติหรือเชื้อเพลิงที่มีฐานของคาร์บอน CO_2 เป็นก๊าซที่ช่วยในการดำรงชีพของมนุษย์ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มเบา ๆ และในเครื่องดับเพลิง ในมนุษย์ขณะที่สารอาหารในร่างกายไม่ทำงานผลผลิตของ CO_2 บางส่วนจะช่วยให้ความเป็นกรดของเลือดเหมาะสม ความผิดพลาดหนึ่งของกลไกการหายใจของมนุษย์คือ การสะอึก วิธีการรักษาคือ ให้หายใจเข้าออกถุงกระดาษเพื่อสร้างระดับ CO_2 เข้าไปในปอด CO_2 จะเข้าไปเป็นตัวกระตุ้นให้หยุดการสะอึก แต่หากมีระดับของ CO_2 ในร่างกายสูงเกินไปก็ไม่มีประโยชน์ โดยหากหายใจ CO_2 ในอากาศที่เกินกว่า 10% อาจทำให้คนหมดสติ และหากรับ CO_2 ที่ระดับสูงต่อเนื่องไปอีก อาจทำให้การหายใจล้มเหลวและตายในที่สุด

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานสิ่งแวดล้อม ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกใช้เป็นตัวบอกคุณภาพของอากาศในห้อง ถ้าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องมากเกินไป (อยู่ที่ระดับไม่เกิน 1000 ppm) จะทำให้รู้สึกว่า "อบอ้าวและอับ" คุณภาพของอากาศในห้องที่ไม่ดีเป็นเหตุให้เกิดอาการโรคอ่อนล้า สูญเสียสมาธิและเจ็บป่วยและเป็นเหตุให้เกิดความไม่สบาย หรืออีกหลายกรณีหากว่าการระบายอากาศเป็นไปอย่างไม่เหมาะสมความเข้มข้นของ CO_2 ในระบบควบคุมการระบายอากาศตามความต้องการ DCV จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับระบบการจ่ายอากาศบริสุทธิ์ โดยการติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์ CO_2 ไว้กับที่ และต้องมีการตรวจสอบเกณฑ์ในการปรับด้วย

2.3.3 มีเธน (Methane)

เป็นรูปแบบหนึ่งของสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนไฮโดรเจน (ไฮโดรคาร์บอน)เป็นส่วนประกอบ มีสูตรเคมีเป็น CH_4 เกิดจากธรรมชาติจากการเน่าหมักหมมในหนองบึง หรือการสลายตัวของโปรตีน มีเธนเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ แต่ติดไฟได้ ให้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับ อีเธน โปรเพน และบิวเทน

2.3.4 เบนซิน (Benzene)

มีสูตรเคมี C_6H_6 เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีกลิ่นและติดไฟง่าย เป็นพวกริงคอมปาวด์ ใช้ละลายไขมันและสารอินทรีย์ต่าง ๆ และใช้สังเคราะห์สารเคมีมากมายหลายชนิด

2.3.5 เมทานอลและเอทานอล (Methanol and ethanol)

ก. เมทานอล

เรียกอีกอย่างว่าแอลกอฮอล์ไม้ เมทิลแอลกอฮอล์ หรือคาร์บินอลเป็นของเหลวที่ไม่มีสี ติดไฟง่าย ผสมกับน้ำได้ดี เป็นพิษต่อประสาทโดยตรง กินไม่ได้ อาจทำให้ตาบอดได้ เมื่อเป็นของเหลวจะเดือดกลายเป็นไอที่ 65°C เมธานอลใช้เป็นตัวทำละลายของสารอินทรีย์ต่าง ๆ และใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเบนซินได้เป็นตัวทำละลายวัสดุอินทรีย์เช่น เชลแล็กและวานิช ใช้ทำพลาสติก กาวเรซิน และกรดอะเซติก

ข. เอทานอล

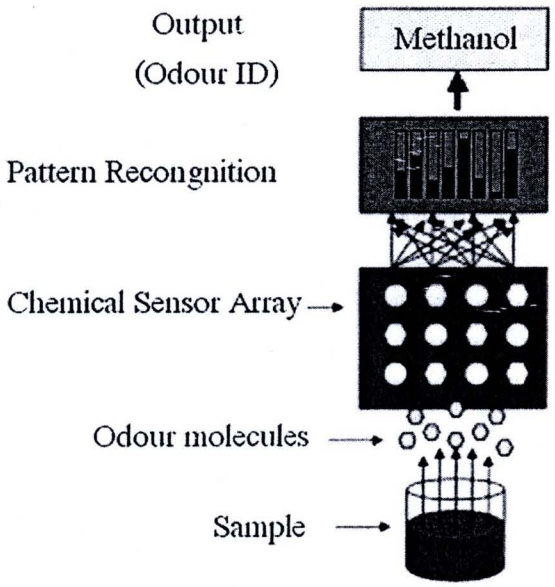
เรียกอีกอย่างว่าเอทิลแอลกอฮอล์ ระเหยกลายเป็นไอที่ 78°C เป็นของเหลวที่ไม่มีสี ไม่ติดไฟไม่เป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากรับประทานเข้าไปมากๆ ใช้เป็นตัวทำละลายและเป็นตัวทำปฏิกิริยาในการเตรียมสารอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเอทานอล ได้แก่ การเจือจางในส่วนผสมของยา ทำพลาสติก เหล้า แลกเกอร์และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงรถได้อีกด้วย โดยในก๊าซโซลีนจะผสมเอทานอลประมาณ 10% แอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์ 100 % จะถูกเรียกว่า “แอลกอฮอล์สัมบูรณ์” (Absolute alcohol)

2.3.6 ไฮโดรเจน (Hydrogen)

ส่วนประกอบที่เห็นส่วนใหญ่ของไฮโดรเจนคือ น้ำ พบอยู่ในน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ในอนาคตจะถูกนำมาใช้ทำเป็นเซลล์เชื้อเพลิง ไฮโดรเจนมีอยู่ที่อุณหภูมิห้องแต่สามารถจะเปลี่ยนไปเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง ปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจนสามารถนำมาทำเป็นเซลล์เชื้อเพลิงได้ไฮโดรเจนนั้นสามารถลุกติดไฟได้ง่าย และได้รับความเชื่อใจให้ถูกเลือกเป็นเชื้อเพลิงในอนาคตสำหรับรถยนต์และอากาศยาน ปฏิกิริยาของมันจะทำให้ผลิตน้ำออกมา เป็นผลให้ไม่เกิดมลภาวะ

2.4 การทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์

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



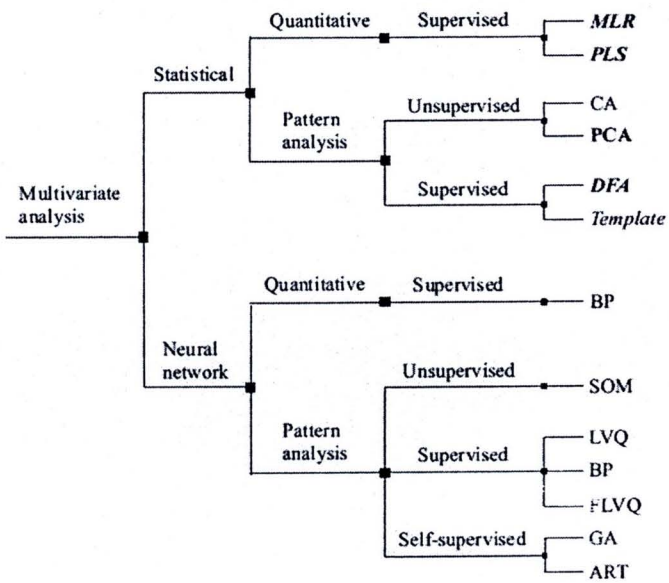
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์

จมูกอิเล็กทรอนิกส์จะพยายามเลียนแบบธรรมชาติในแทบทุกด้าน ยกตัวอย่าง เวลาที่เราดมกลิ่นอะไรนานๆ จะเกิดความเคยชินและอาจไม่รู้สึกถึงกลิ่นนั้นๆในระยะเวลาหนึ่ง เช่น ถ้าเราเดินเข้าไปในห้องที่มีกลิ่นสีแล้วนั่งอยู่สักพัก เราก็จะเริ่มไม่ได้กลิ่นสี แต่ถ้าเราเดินออกมาสูดอากาศข้างนอกสักพักแล้วเดินกลับเข้าไปใหม่เราก็จะได้กลิ่นสีอีก จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีอาการเช่นเดียวกัน ถ้าเราเอามันมาดมกลิ่นทุเรียนแล้วเอาไปดมกลิ่นไวน์ทันที มันก็จะอาจจะไม่สามารถรับรู้กลิ่นไวน์ได้ดี เนื่องมาจากโมเลกุลกลิ่นทุเรียนได้เข้าไปจับตัวเซ็นเซอร์ทำให้เซ็นเซอร์ไม่สามารถจับกับโมเลกุลกลิ่นอื่นๆที่เข้ามาใหม่ได้ จึงต้องมีวิธีการไล่กลิ่นเดิมออกไปด้วยการเป่าอากาศเข้าไปที่ตัวเซ็นเซอร์ นอกจากนั้นจมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็เหมือนจมูกมนุษย์ที่ต้องการการเรียนรู้ ตอนที่เราเกิดมานั้นเราแทบไม่มีข้อมูลของกลิ่นอยู่เลยในสมองของเรา เราต้องเรียนรู้ตั้งแต่เด็กๆว่าทุเรียนมีกลิ่นอย่างไร สตรอเบอรี่มีกลิ่นอย่างไร จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็เช่นเดียวกันที่ต้องการการฝึกฝน เพื่อให้สามารถจดจำแยกแยะกลิ่นได้

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีลักษณะที่เลียนแบบระบบรับรู้กลิ่นในธรรมชาติดังนี้ ส่วนรับกลิ่นประกอบไปด้วยตัวนำกลิ่นเข้ามาซึ่งอาจมีมอเตอร์ดูดอากาศ มีท่อรวบรวมกลิ่น (Concentrator) เพื่อให้กลิ่นมีความเข้มข้นสูงขึ้นและที่สำคัญที่สุดก็คือ เซ็นเซอร์รับกลิ่นจำนวนมาก ตั้งแต่ 4 ตัวไปจนถึงนับพันตัว ซึ่งหากจะเปรียบเทียบกับธรรมชาติก็ถือว่าน้อยมาก เช่น สุนัขอาจมีเซลล์รับกลิ่นนับล้านเซลล์ และส่วนรวบรวมสัญญาณ ซึ่งจะทำการแปรสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Transducing) และทำการจัดการสัญญาณ (Signal conditioning) เช่น ลดสัญญาณรบกวน จากนั้นก็จะแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล (A/D converter) สุดท้ายเป็นส่วนประมวลผลซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้รับมาทำการเปรียบเทียบเชิงสถิติกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม ซึ่งอาจจะใช้วิธีทางสถิติหรือการระบบประสาทเทียม

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

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.2 เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์

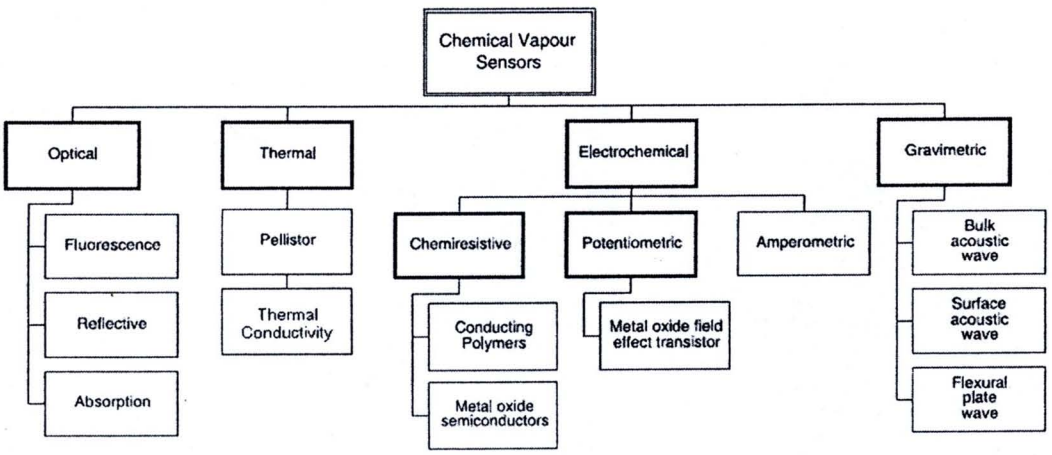
วิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์มี 2 วิธีใหญ่ๆ คือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทดังรูปที่ 2.48 โดยทั้งสองวิธีการจะแยกเป็นการวิเคราะห์ย่อยอีก 2 ลักษณะคือการวัดปริมาณ (Quantitative) และการวิเคราะห์ชนิดโดยการวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล (Pattern analysis)

2.5 เซ็นเซอร์รับกลิ่น

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

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 2 8 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 246455

นอกจากนั้นมันยังไม่สามารถจับตัวกับโมเลกุลกลิ่นที่มีขนาดใหญ่เกิน 300 ดาลตัน (1 Dalton เท่ากับน้ำหนักอะตอมไฮโดรเจน) ทำให้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีข้อได้เปรียบเหนือจมูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสำหรับการใช้งานหลายๆด้าน



รูปที่ 2.3 ชนิดของเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์

เซ็นเซอร์รับกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีหลักการง่ายๆคือเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติซึ่งอาจเป็นสมบัติทางแสง สมบัติทางไฟฟ้า เมื่อมีโมเลกุลกลิ่นมาเกาะ ปัจจุบันมีการค้นคว้าวิจัยเซ็นเซอร์รับกลิ่นประเภทต่างๆขึ้นมามากมายเซ็นเซอร์ที่ใช้การพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังรูปที่ 2.3 [3] ซึ่งแสดงชนิดของเซ็นเซอร์แบบต่างๆที่ใช้ในการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานของเซ็นเซอร์รับกลิ่นชนิดต่างๆ มีหลักการดังนี้

2.5.1 เซ็นเซอร์แบบแสง (Optical sensor)

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้เทคนิคทางแสง คือเซ็นเซอร์ที่อาศัยคุณสมบัติทางแสงต่อสารเคมีที่ต้องการตรวจวัด เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีข้อดีที่ความไวสูงสามาถวัดในระดับต่ำๆ ได้แต่มีความยุ่งยากในการออกแบบวงจรเพื่อนำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไปใช้งาน ซึ่งมีอยู่ด้วย 3 เทคนิคคือ

ก. <u>การเรืองแสง</u> (Fluorescence)

อาศัยคุณสมบัติการเรืองแสงออกมาในบางความยาวคลื่นแสงของตัวอย่างแล้วทำการตรวจวัดปริมาณแสงที่เกิดจากการเรืองแสง

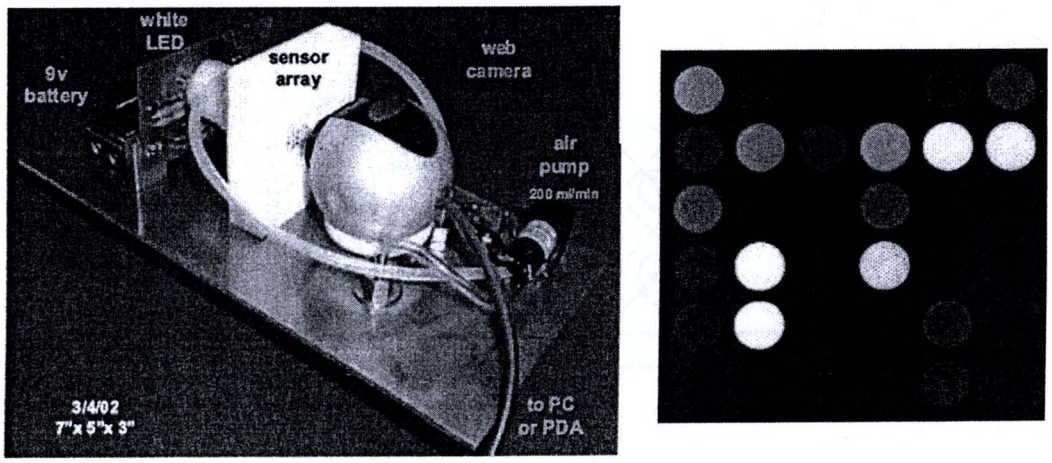
ข. <u>การหักเหแสง</u> (Reflective)

อาศัยคุณสมบัติการหักเหของแสงของตัวอย่างแล้วทำการตรวจวัดแสงที่หักเหจากการผ่านตัวอย่าง

ค. <u>การดูดกลืนแสง</u> (Absorption)

อาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นแสงในบางความยาวของตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดแล้วทำการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ งานวิจัยที่เกี่ยวกับเซ็นเซอร์แบบแสงกำลังอยู่

ในขั้นวิจัย ดังเช่นในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่อยู่บนพื้นฐานของเซ็นเซอร์แบบแสง เมื่อตัวอย่างผ่านชุดเซ็นเซอร์ อาร์เรย์คุณสมบัติของตัวอย่างจะทำการดูดกลืนแสงในบางช่วงความถี่ทำให้สีของเซ็นเซอร์ตำแหน่งต่างๆของเซ็นเซอร์อาร์เรย์มีค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงไป จากนั้นทำการตรวจวัดแสงที่เปลี่ยนแปลงด้วยกล้อง CCD ซึ่งจะได้ข้อมูลเป็นสีที่เปลี่ยนไป เมื่อทำการตรวจวัดสารเคมีที่ต่างชนิดกันก็จะได้รูปแบบของสีที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์แตกต่างกันไป



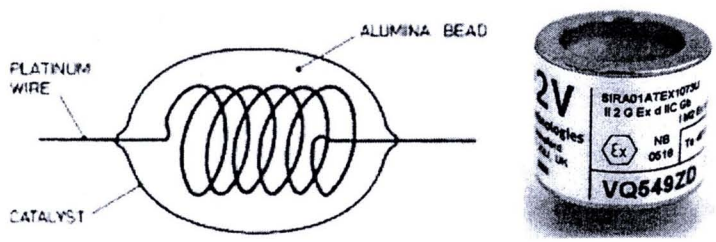
รูปที่ 2.4 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีที่ใช้กล้อง CCD ทำการตรวจวัดแสงสีที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบ Different substituted metalloporphyrins

2.5.2 เซ็นเซอร์แบบความร้อน (Thermal Sensor)

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

ก. Pellistor

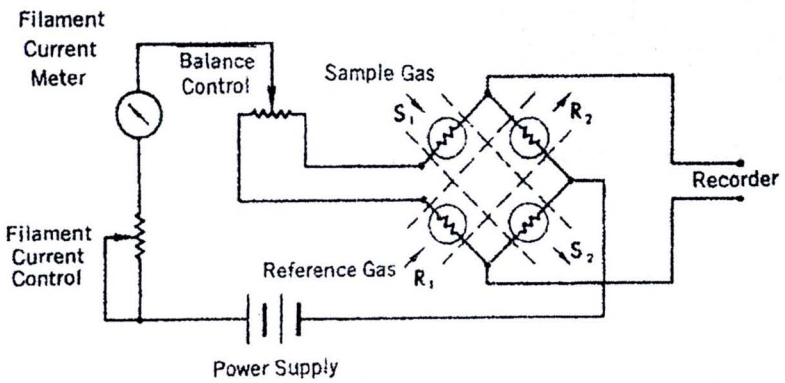
เซ็นเซอร์แบบ Pellistor ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ใช้สำหรับตรวจจับก๊าซที่ติดไฟง่ายหรือที่มีความสามารถในการนำพาความร้อน (Thermal conductivity) แตกต่างจากอากาศ ค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อตรวจพบก๊าซต่างชนิดไปจากอากาศมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Pellistor

ข. Thermal Conductivity

เซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity มีโครงสร้างและหลักการทำงานเหมือนเซ็นเซอร์แบบ Pellistor แต่ทำมาจากเส้นลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทาน เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนต่อกันอยู่เป็นวงจรบริดจ์ โดยอาศัยหลักการนำพาความร้อนเปรียบเทียบกับก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่ง ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งเมื่อมีก๊าซตัวอย่างเข้ามาก็จะทำให้วงจรบริดจ์ไม่สมดุลก็จะสามารถตรวจจับก๊าซตัวอย่างได้



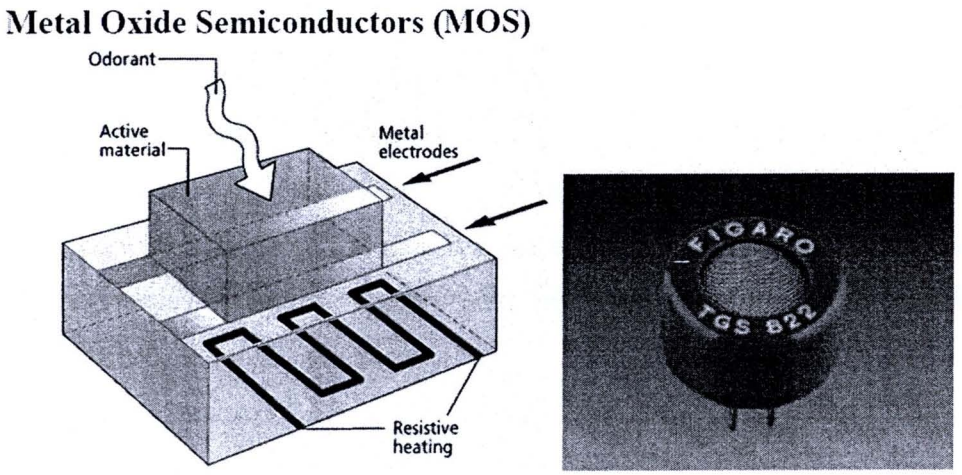
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity [5]

2.5.3 เซ็นเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Sensor)

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้เทคนิค Electrochemical หรือไฟฟ้าเคมี มีข้อดีที่การออกแบบวงจรเพื่อนำไปใช้งานทำได้ง่าย มีด้วยกัน 3 เทคนิค คือ

ก. Chemical resistive

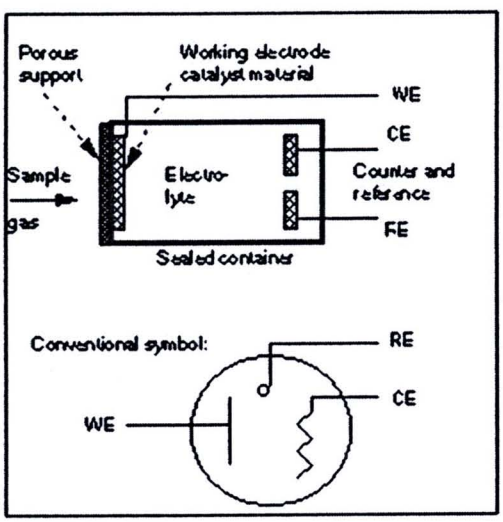
เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ได้รับความนิยมสูงที่สุดเนื่องจากเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor) หรือ MOS มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 ซึ่งมีการนำมาใช้เชิงพาณิชย์ทั่วไป ค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีก๊าซตัวอย่างมาเกาะที่ตัวเซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์ประเภทนี้จะมีการใช้งานเชิงพาณิชย์แล้ว อีกทั้งยังมีราคาที่ค่อนข้างถูก



รูปที่ 2.7 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor

ข. Amperometric

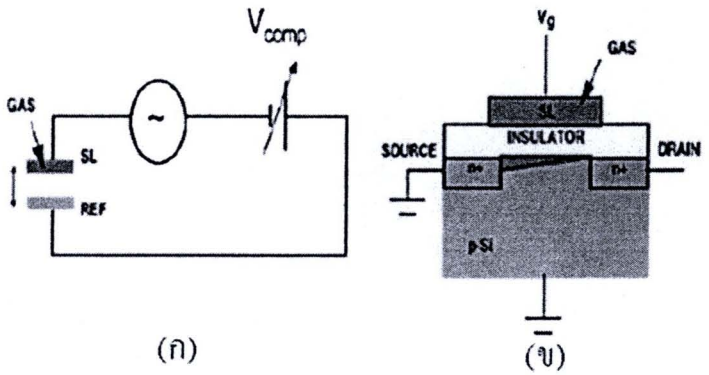
อาศัยคุณสมบัติโครงสร้างของ Amperometric แสดงดังรูปที่ 2.8 ขั้วอิเล็กโทรดจะถูกจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลท์ (Electrolyte) ที่เหมาะสม ขั้วอิเล็กโทรดทำงาน (Working electrode) ทำมาจากแพลททินั่ม (Platinum) หรือทอง ตัวอย่างก๊าซจะสามารถผ่านเมมเบรน (Membrane) มาได้ ซึ่งจะสัมผัสกับขั้วอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลท์ในเวลาเดียวกัน จึงทำให้เกิดการอ๊อกซิไดซ์ขึ้นซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดความแตกต่างขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า Counter Electrode (CE) และ Reference Electrode (RE) ซึ่งความแตกต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองทำให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณเอาท์พุทของเซ็นเซอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.8 เซ็นเซอร์แบบ Amperometric

ค. Potentiometric

เซ็นเซอร์แบบ potentiometric เป็นเซ็นเซอร์ทางเคมีชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับวัดปริมาณความเข้มข้นขององค์ประกอบก๊าซ มีหลักการทำงานโดยการวัด Eelectrical potential ของ electrode ระหว่าง working electrode กับ reference electrode ซึ่ง potential ของ working electrode จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซที่ทำการตรวจวัด ตัวเซ็นเซอร์มีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 (ก) Potentiometric แบบ Vibrating capacitor (Kelvin probe)
(ข) Potentiometric แบบ Insulated gate field-effect transistor

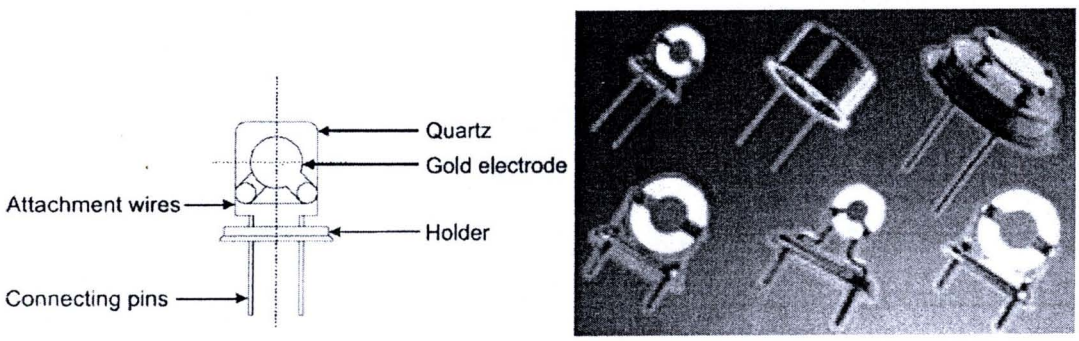
2.5.4 เซ็นเซอร์แบบวัดน้ำหนัก (Gravimetric)

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้เทคนิค Gravimetric คือเซ็นเซอร์ที่วัดตัวอย่างโดยใช้เทคนิคน้ำหนักของตัวอย่างทำให้ค่าทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เปลี่ยนแปลงไป เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีข้อดีที่สามารถตรวจวัดได้ในระดับต่ำ แต่การอาแบบวงจรการทำงานค่อนข้างซับซ้อน ที่ใช้งานกันมีดังต่อไปนี้

ก. Bulk Acoustic Wave

เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave (BAW) มีโครงสร้างแบบ Piezoelectric crystals มักทำจากควอตซ์ (Quart) ซึ่งมีความทนทานต่อเสียงก้องของคลื่นวิทยุได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเมื่อยามที่มีการเพิ่มระดับของคลื่นเสียงภายในตัว Crystal ตามปกติชนิดของ Crystal ที่ใช้ในเครื่องนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่หรือเวลาที่ใช้อ้างอิง Piezoelectric crystals นี้จะถูกเคลือบด้วยตัวเคลือบที่ว่องไวสูงโดยมีความหนาประมาณ 2-3 ไมโครเมตร ซึ่งตัวเคลือบที่ใช้จะต้องมีความทนต่อสารเคมีและความร้อน ปกติแล้ว Piezoelectric crystals จะมีหลักการง่ายๆ คือ เมื่อปัจจัย ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ หรือมวลของสารประกอบกลิ่นที่ทดสอบ เกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ความถี่ของคลื่นเสียงที่ตอบสนองเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสารประกอบกลิ่นถูกดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของตัวเคลือบก่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่นเสียงที่ความถี่ต่างๆ อีกทั้งระดับของความถี่สะท้อนก็เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงทั้งความถี่และระดับของความถี่สะท้อนล้วนมีสัมพันธ์กับน้ำหนักของ

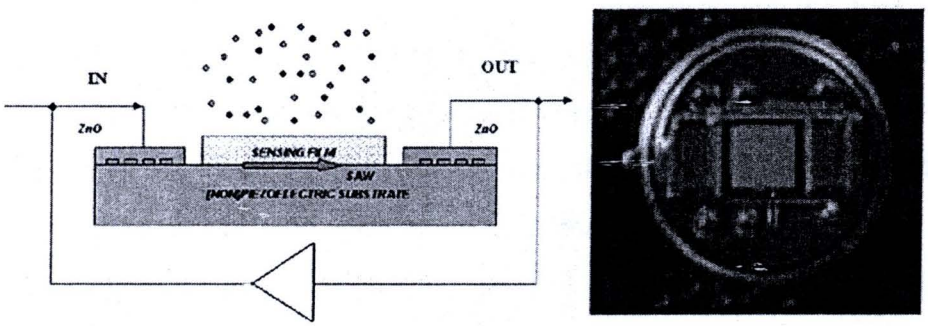
สารประกอบกลิ่นต่างๆ แต่ถึงอย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นสูง ๆ การเปลี่ยนแปลงจะสวนทางกับระดับของความถี่สะท้อนจึงมีความจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นในการทดสอบแทน ความว่องไวของตัวเซ็นเซอร์ชนิดนี้สัมพันธ์กับกระบวนการให้ความถี่ โดยทั่วไปจะให้ความถี่ในช่วง 10 ถึง 30 เมกะเฮิรตซ์ ส่วนมากจะใช้ในการวัดความจำเพาะของก๊าซและวิธีเลือกใช้นั้นจะขึ้นกับจำนวนองค์ประกอบของสารประกอบกลิ่นการใช้เซ็นเซอร์ ชนิดนี้จึงยากในการควบคุมไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิหรือความชื้นของก๊าซเองก็ตาม โครงสร้างและลักษณะของเซ็นเซอร์แบบ Bulk acoustic wave แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave

ข. Surface Acoustic Wave

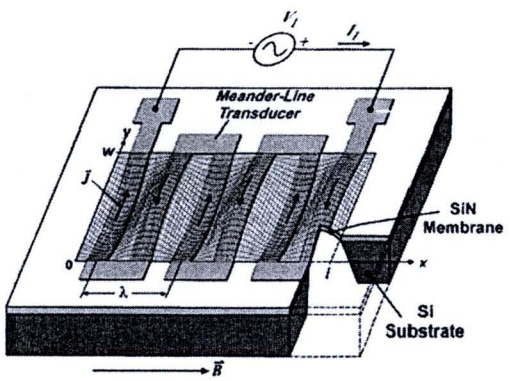
เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave (SAW) กระบวนการทำงานจะคล้ายๆ กับเซ็นเซอร์ BAW เว้นแต่เซ็นเซอร์แบบ SAW จะมีการเปลี่ยนคลื่นความถี่วิทยุจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงจากสนามไฟฟ้า สร้างขั้วไฟฟ้าที่บริเวณผิวหน้าของเซ็นเซอร์ และจะไม่เข้าไปข้างใน การใช้ความถี่ในช่วงตั้งแต่ 100-1000 เมกะเฮิรตซ์ สื่อนำของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยเข้าร่วมในการดูดซับโมเลกุลของตัวอย่างบนตัวเซ็นเซอร์ด้วย การเปลี่ยนแปลงความถี่จะสัมพันธ์กับจำนวนของการดูดซับของตัวอย่างที่บนชั้นผิวหน้าของเซ็นเซอร์ในส่วนของตัวเซ็นเซอร์ซึ่งมักจะทำจากควอตซ์ (Quart) หรือลิเธียม (Lithium) มักจะเคลือบโดยตัวเคลือบ 2 ชนิด ซึ่งมักจะทำจากอลูมิเนียม โดยมีคุณสมบัติในการแพร่และการสะท้อนคลื่น โดยชนิดแรกใช้ในการเป็นตัวเซ็นเซอร์และอีกชนิดหนึ่งจะใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยในระบบของตัวอ้างอิงของตัวเซ็นเซอร์ชนิดนี้จะคล้ายกับการเปลี่ยนรูปของสารซัลเฟอร์ ความไวของ Sensor ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการของการให้คลื่นความถี่ คือ ความถี่ของคลื่นเสียงที่ใช้ต้องมีความถี่สูงและมีความสัมพันธ์ของสัญญาณไฟฟ้า สำหรับการผลิตเซ็นเซอร์ชนิดนี้นั่นจะใช้สารซิลิคอน (Silicon) ที่มีราคาแพง เพราะว่าจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการที่มีความถี่สูงมาก เพราะในการผลิตแต่ละครั้งต้องมีการควบคุมเพื่อให้ในกระบวนการมีความผิดพลาดของผลผลิตน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โครงสร้างและลักษณะเซ็นเซอร์แบบ SAW ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave

ค. Flexural plate wave

เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave มีโครงสร้างคล้ายกับเซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave และมีหลักการทำงานที่คล้ายๆกัน ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.12 ซึ่งอาศัยความถี่รีโซแนนท์ของเซ็นเซอร์ ซึ่งเมื่อจ่ายความถี่ให้กับเซ็นเซอร์จะทำให้เซ็นเซอร์เกิดการตอบสนองในลักษณะการเกิดคลื่นผิวที่ความถี่หนึ่งขึ้น เมื่อมีตัวอย่างเข้ามาจะทำให้คลื่นผิวเปลี่ยนความถี่ไปทำให้ เกิดเป็นสัญญาณอีกความถี่ขึ้นมาเมื่อขับตัวอย่างก๊าซออกไปเซ็นเซอร์ก็จะกลับมาเกิดคลื่นผิวที่ความถี่เดิม



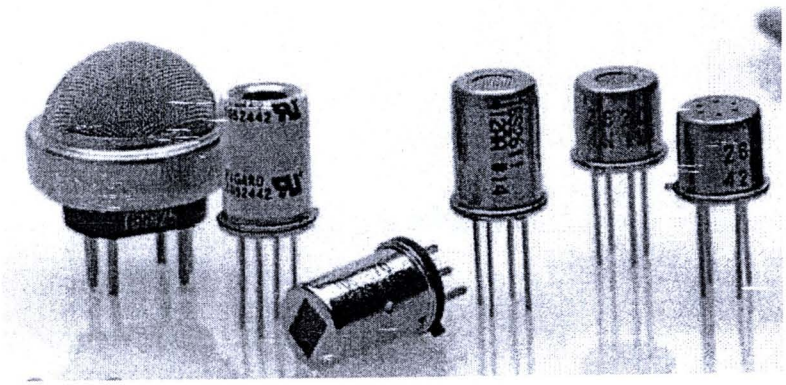
รูปที่ 2.12 เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave

2.6 เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์ชนิดนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นในปี 1971 โดยนายทากูชิ ในทางอุตสาหกรรมนั้นจะทำจากเซรามิกและมีการเคลือบด้วยฟิล์มกึ่งตัวนำ ซึ่งใช้ดีบุกออกไซด์เป็นตัวเคลือบ ตัวฟิล์มนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้โลหะเปลี่ยนไปเป็นสเปกตรัม (Spectrum) เพื่อให้ง่ายต่อการแยกชนิดของสารประกอบเคมีแต่ละสารที่มีในกลิ่นทดสอบ ปัจจุบันได้พัฒนาให้เซ็นเซอร์ชนิดนี้สามารถทำตรวจสอบได้ในที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-400 องศาเซลเซียส ดังนั้นชนิดของตัวเซ็นเซอร์แต่ละตัวที่ใช้ในเครื่องควรมีความไวในการทำ

ปฏิกิริยาต่อสารเคมีแต่ละตัวที่ไม่เท่ากันทั้งนี้เพื่อที่จะได้ครอบคลุมสารเคมีชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นที่ทดสอบ และในที่สุดสามารถที่จะจำแนกชนิดของกลิ่น โดยหลักการแล้วผลตอบสนองทางเคมีของกลิ่นที่มีต่อเซ็นเซอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากเซ็นเซอร์รับกลิ่นแบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์หรือเรียกสั้นๆว่าเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์แบบนี้เป็นเซ็นเซอร์ที่ได้รับความนิยมสูงที่สุด เพราะว่ามีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดนี้มาหลายๆแบบตามแต่ความต้องการ วัสดุ MOS อยู่ในรูปผลึกเล็กๆจำนวนมากที่มีผิวสัมผัสต่อกัน โดยในการนำไฟฟ้านั้น อิเล็กตรอนก็จะต้องวิ่งข้ามไปมาระหว่างผิวสัมผัสเหล่านั้นซึ่งมักจะถูกเคลือบบางๆด้วยชั้นของก๊าซออกซิเจนซึ่งก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานไฟฟ้าที่ทำให้อิเล็กตรอนข้ามไปมาได้ลำบากยิ่งขึ้น แต่ถ้ามีก๊าซซึ่งมีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 200-500 องศา ก็จะทำให้ชั้นของออกซิเจนที่เคลือบอยู่นั้นลดลงไป ทำให้วัสดุ MOS นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งสมบัติเช่นนี้เองที่เราใช้ในการตรวจหากลิ่นที่มีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง

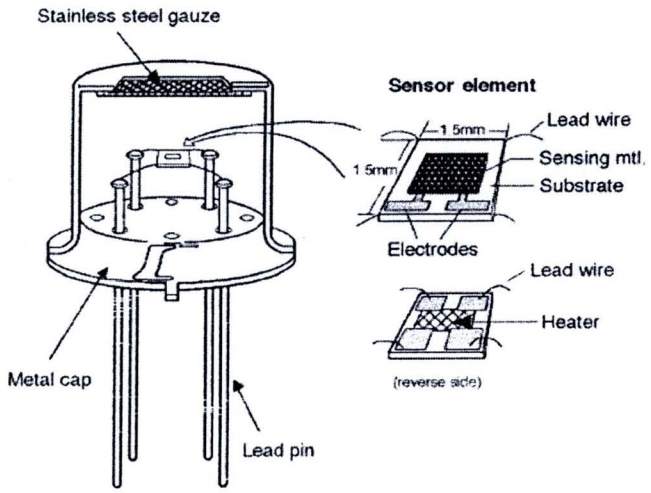


รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor รุ่นต่างๆ

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

2.6.1 โครงสร้างของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

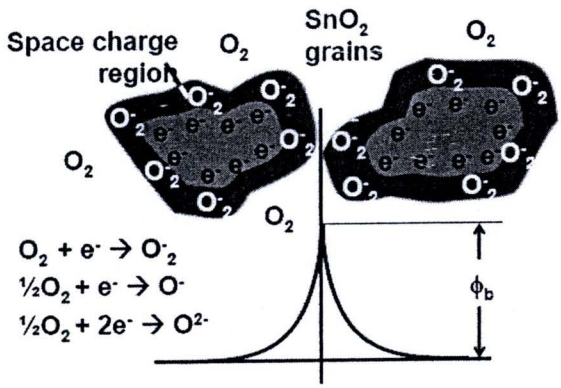
โครงสร้างของเซ็นเซอร์ก๊าซแบบโลหะออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2.13 มี Active material ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่เป็นโลหะออกไซด์วางอยู่บน Substrate ต่ออยู่กับขั้ว Electrode ตัวออกไซด์โลหะตัวเช่นดีบุกออกไซด์ (SnO_2) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ทังสะเตนออกไซด์ (WO_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็นต้น ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วย Heater เพื่อควบคุมอุณหภูมิและเป็นตัวช่วยในการทำ Deoxidizing



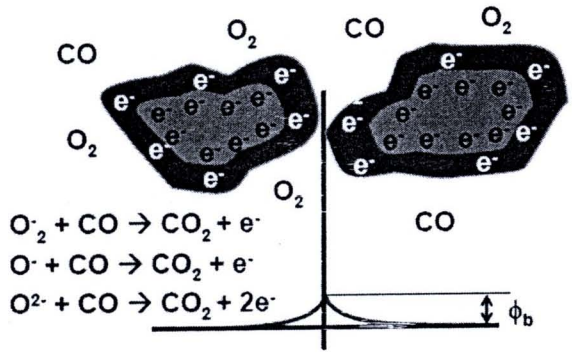
รูปที่ 2.14 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

2.6.2 การทำงานของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์ก๊าซ ที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดก๊าซที่สร้างจากออกไซด์ของโลหะเช่น ออกไซด์ของโลหะดีบุก (SnO_2) เมื่อผลึกออกไซด์ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของออกซิเจนจะไปเกาะตัวที่ผิวของผลึกออกไซด์โลหะด้วยประจุที่เป็นลบ (Negative change) ทำให้เกิดศักดิ์ไฟฟ้าขึ้นที่ผิวและประจุบวกอยู่ภายนอกดังแสดงแบบจำลองและสมการทางเคมีในรูปที่ 2.18 (ก) โมเลกุลของออกซิเจนสร้างศักดิ์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผลึกออกไซด์โลหะซึ่งกีดขวางการไหลของอิเล็กตรอน จึงทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมีตัวอย่างที่ต้องการวัดผ่านเข้ามาทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง หรือทำให้เกิดการ Deoxidizing ขึ้น ทำให้เกิดการดึงออกซิเจนออกจากผิวของผลึกออกไซด์โลหะทำให้ความหนาแน่นประจุลบที่ผิวผลึกออกไซด์โลหะลดลง และทำให้ศักดิ์ไฟฟ้าซึ่งขวางการไหลของอิเล็กตรอนลดลงด้วย เป็นผลให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 (ก) แบบจำลองอธิบายศักดิ์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ
(ข) แบบจำลองอธิบายศักดิ์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออก ไซด์โลหะขณะวัดก๊าซ

สมการที่ (2.2) เป็นสมการเคมีอธิบายการทำงานของเซ็นเซอร์ขณะเซ็นเซอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสภาวะปกติออกซิเจนหนึ่งอะตอมจะจับอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเซ็นเซอร์) เกิดเป็น O^- ซึ่งจะขวางการเดินทางของกระแสไฟฟ้า เป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยลงหรืออีกนัยหนึ่งคือความต้านทานของเซ็นเซอร์สูงนั่นเอง

$$e + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow O(s)^- \qquad (2.2)$$

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

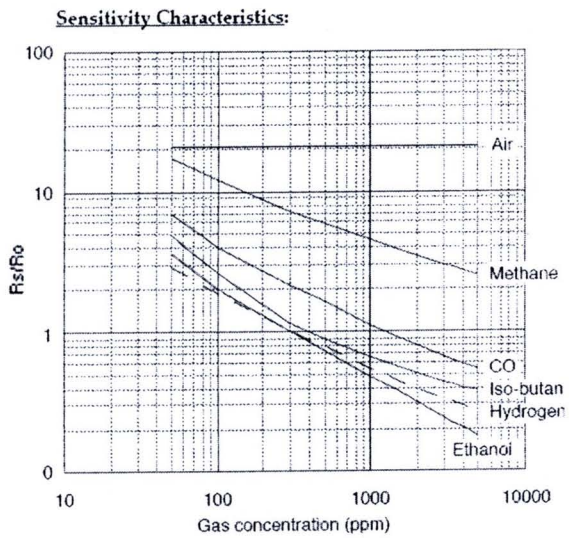
$$R(g)+O(s)^{-} \rightarrow RO(g)+e \qquad (2.3)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ และความเข้มข้นของ Deoxidizing gas แสดงดังสมการที่ (2.4)

$$R_S = A[C]^{-\alpha} \qquad (2.4)$$

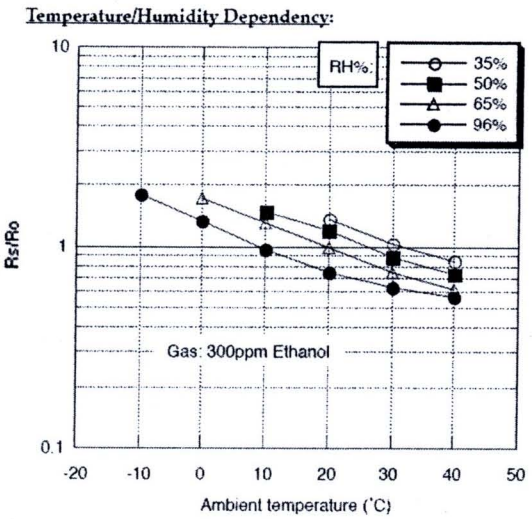
โดยที่ R_S คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ A คือค่าคงที่ $[C]$ คือค่าความเข้มข้นของก๊าซ และ α คือความชันของกราฟความต้านทาน R_S

ความไวต่อความเข้มข้นของก๊าซสามารถอธิบายด้วยอัตราส่วน ของความต้านทานของเซ็นเซอร์ขณะที่มีก๊าซเป้าหมาย R_S ต่อความต้านทานของเซ็นเซอร์ที่อยู่ในอากาศ R_O ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณของก๊าซ

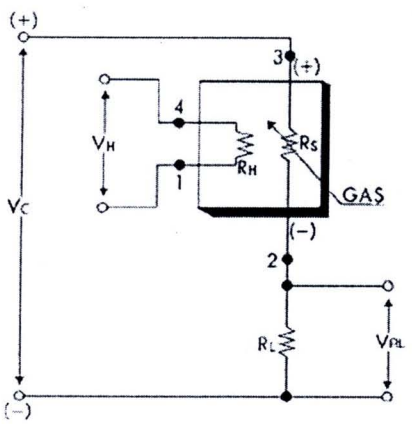
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไว ของเซ็นเซอร์

2.6.3 วงจรของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

วงจรของเซ็นเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จากวงจร V_H เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อน (Heater) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับเซ็นเซอร์ให้คงที่เพื่อควบคุมความไวของเซ็นเซอร์ให้คงที่อีกทีหนึ่ง เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์



รูปที่ 2.18 วงจรพื้นฐานสำหรับก๊าซเซ็นเซอร์โลหะออกไซด์

ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)

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

กำลังงานไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ใช้ไปสามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)

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

2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

2.7.1 ความหมายของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ในการทำวิจัยไม่ว่าจะเป็นวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น มักจะมีข้อมูลและตัวแปรจำนวนมาก ซึ่งทำให้เป็นการยากในการวิเคราะห์และสรุปผลโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน จึงมีแนวคิดที่จะลดจำนวนตัวแปรโดยให้ตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่มีความผันแปรหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิมไว้มากที่สุดและเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ลดจำนวนตัวแปร

กระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบถือกำเนิดขึ้นมาในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 โดย Spearman แต่การวิเคราะห์องค์ประกอบในสมัยนั้นยังเป็นวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อนแบะเสียเวลามากในการวิเคราะห์ ดังนั้น การวิเคราะห์องค์ประกอบจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายในหมู่นักวิจัยสมัยนั้น จนกระทั่งคอมพิวเตอร์ได้ถือกำเนิดขึ้นมาและตามมาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยเหลือในการวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบจึงได้แพร่หลายออกไปในหมู่นักวิจัยกันอย่างกว้างขวาง

จุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์องค์ประกอบมี 2 ประการคือ

1.เพื่อสำรวจหรือค้นหาตัวแปรแฝงที่ซ่อนอยู่ภายใต้ตัวแปรที่สังเกตหรือวัดได้ เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory factor analysis)

2. เพื่อพิสูจน์ ตรวจสอบหรือยืนยันทฤษฎีที่ผู้อื่นค้นพบ เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจจะใช้ในการสำรวจข้อมูล จำนวนองค์ประกอบอธิบายความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรเมื่อผู้วิจัยไม่มีหลักฐานอ้างอิงเพียงพอสำหรับเป็นกรอบของสมมติฐานเกี่ยวกับจำนวนขององค์ประกอบภายใต้ข้อมูลที่สอบวัดได้

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก [13] เป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรเทคนิคหนึ่ง โดยการสร้างเซตของตัวแปรใหม่ให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม และเซตของตัวแปรใหม่จะมีรายละเอียดหรือข้อมูลของตัวแปรเดิม จำนวนตัวแปรใหม่จะต้องไม่เกินที่จำนวนตัวแปรเดิม นั้นคือ กรณีที่มีตัวแปรเดิม p ตัว ตัวแปรใหม่เท่ากับ m ตัว จะได้ว่า $m \leq p$

2.7.2 หลักการของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรที่มีจำนวนมาก เช่น p ตัว โดยการสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรเดิม p ตัว และจะต้องสกัด

หรือดึงรายละเอียดหรือค่าแปรปรวนจากตัวแปรเดิมมาไว้ในตัวแปรใหม่ให้มากที่สุด ในที่นี้จะใช้ PC_i แทนองค์ประกอบหลักที่ $i; i = 1, 2, ..., p$ การสร้าง PC_i 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 $PC_i; i = 1, 2, ..., p$ โดยที่

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

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 ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และ PC_2 จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับ PC_1 หรือจะต้องตั้งฉาก (orthogonal) กับ PC_1

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

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 และสกัดรายละเอียดหรือความแปรปรวนที่เหลือจาก PC_1, $PC_2, ..., PC_{k-1}$ มาไว้ใน PC_k ให้มากที่สุด และ PC_k จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับ PC_1, $PC_2, ..., PC_{k-1}$

โดยที่

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

หรือ $PC_k = w'_k x$ ที่ทำให้ $Var(w_k 'x)$ มีค่ามากที่สุด

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

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

ขั้นที่ p การสร้างองค์ประกอบหลักที่ p หรือ PC_p

PC_p จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม p ตัว โดย PC_p จะมีความผันแปรของตัวแปรเดิมที่เหลือจาก PC_1, $PC_2, ..., PC_{p-1}$ และไม่มีความสัมพันธ์ PC_1, $PC_2, ..., PC_{p-1}$

โดยที่

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

หรือ $PC_p = w'_p x$ ที่ทำให้ $Var(w_p'x)$ มีค่ามากที่สุด

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

ความผันแปรรวมของตัวแปรเดิม p ตัว = ความผันแปรของตัวประกอบหลัก p ตัว หรือ

$$Var(X_1)+Var(X_2)+...+Var(X_p)=Var(PC_1)+Var(PC_2)+...+Var(PC_p)$$

จากวิธีการข้างต้นจะทำให้ ค่าแปรปรวนของ PC_1 จะมากที่สุดและค่าแปรปรวนของ PC จะลดลงเรื่อยๆจนทำให้ค่าแปรปรวนของ PC_p ต่ำสุดหรือ $Var(PC_1) \geq Var(PC_2) \geq ... \geq Var(PC_p)$ ถ้าเวกเตอร์ตัวแปรสุ่ม $x' = (X_1, X_1, ..., X_p)$ ซึ่งมีเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม $\sum$ และมีค่าไอเกน $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq ... \lambda_p \geq 0$ โดยเขียนตัวประกอบหลักให้อยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปร $X_1, X_2, ..., X_p$ คือ

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

$$Var(PC_i) = w'_i \sum w_i \quad ; \quad i = 1,2,...,p \qquad (2.8)$$

สำหรับความแปรปรวนร่วมของ PC_i และ PC_k คือ

$$Cov(PC_i, PC_k) = w'_i \sum w_k \quad ; \quad i \neq k \quad ; \quad k,i = 1,2,...,p \qquad (2.9)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

เช่น ถ้า PC_1 มีสัดส่วนของค่าแปรปรวน = 0.7 หมายถึง PC_1 สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปร $X's$ ทั้งหมด 70% สำหรับค่าไอเกน $\lambda_1, \lambda_2, ... \lambda_p$ ของตัวประกอบหลัก $PC_1, PC_2, ..., PC_p$ ตามลำดับ โดยที่ ค่าไอเกนที่ $i(\lambda_i)$ จะเป็นค่าแปรปรวนร่วมของตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$ ส่วนเวกเตอร์ไอเกนที่ $k(w_k)$ จะเป็นน้ำหนักของตัวแปรเดิมในตัวประกอบหลักที่ $k(PC_k)$

2.7.3 จำนวนองค์ประกอบหลัก

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

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

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 นั้นคือ λ_1 และ λ_2 มีค่ามาก ซึ่งมีผลทำให้ $\lambda_3,...,\lambda_p$ มีค่าน้อยมาก แต่ถ้าตัวแปรเดิมมีความสัมพันธ์กันน้อย จำนวนตัวประกอบหลักจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับจำนวนตัวแปรเดิม

2.7.4 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

$$
\begin{aligned}
Z_1 &= l_{11}PC_1 + l_{12}PC_2 + ... + l_{1p}PC_p \\
Z_2 &= l_{21}PC_1 + l_{22}PC_2 + ... + l_{2p}PC_p \\
&\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
Z_p &= l_{p1}PC_1 + l_{p2}PC_2 + ... + l_{pp}PC_p
\end{aligned}
$$

(2.10)

โดยที่ Z_j เป็นตัวแปร X_j ที่ปรับให้อยู่ในรูปมาตรฐาน ; $j = 1, 2, ..., p$

ตัวอย่างเช่น คำนวณหาค่าเมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวประกอบหลักได้ดังนี้

$$
\begin{array}{c} \\ X_1 \\ X_2 \end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{cc} PC_1 & PC_2 \end{array} \\
\begin{bmatrix} 0.94126 & -0.33768 \\ 0.92684 & 0.37545 \end{bmatrix}
\end{array}
$$

จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง PC_1 กับ X_1 และ X_2 เป็น 0.94126 และ 0.92684 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามาก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า X_1 และ X_2 มีผลกระทบหรือมีอิทธิพลอย่างมากในการสร้าง PC_i และค่า loading นี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายความหมายของตัวประกอบหลัก สำหรับค่า loading นอกจากจะคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แล้ว ยังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11)

$$l_{ij} = \frac{w_{ij}}{S_j}\sqrt{\lambda_i} \tag{2.11}$$

โดยที่ l_{ij} เป็น loading ของตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$ กับ ตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$

w_{ij} เป็นloading ของตัวแปรเดิมที่ j กับ ตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$

λ_{ij} เป็นค่าไอเกนของตัวประกอบหลักที่ i (ค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$)

S_j เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรเดิมที่ $j(X_i)$

2.7.5 ชนิดของข้อมูลในการสร้างตัวประกอบหลัก

ในการสร้างตัวประกอบในสมการที่ (2.7) เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนัก (w_{ij}) ของตัวแปรเดิม โดยจะคำนวณจากเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม ($\sum$ หรือ S) ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะพบว่าถ้ามีแปรเดิมตัวใดตัวหนึ่งมีค่าแปรปรวนมากกว่าตัวแปรอื่นๆ มาก หรือกรณีที่ตัวแปรเดิมมีหน่วยที่แตกต่างกัน จะทำให้ตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากมีส่วนในการสร้างตัวประกอบหลักมาก ในขณะที่ตัวแปรเดิมมีค่าแปรปรวนต่ำๆ แทบจะไม่มีผลต่อการสร้างตัวประกอบหลักเลย หรือกล่าวได้ว่าตัวประกอบหลักที่ได้จะขึ้นกับตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากเท่านั้น กรณีที่ค่าแปรปรวนของตัวแปรเดิมต่างกันมากๆ ถ้าใช้เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมในการสร้างตัวประกอบหลัก จะทำให้

1. ตัวประกอบหลักตัวแรกๆ มีค่าแปรปรวนมาก เช่น PC_1 มีค่าแปรปรวนสูง ในขณะที่ PC อื่นๆ มีค่าแปรปรวนต่ำมาก
2. ตัวประกอบหลักจะเป็นตัวแทนของตัวแปรเดิมที่มีแปรปรวนมาก หรือกรณีที่ตัวแปรเดิมมีหน่วยต่างกันมาก การที่หน่วยต่างกันจะทำให้ค่าแปรปรวนต่างกันมากเช่นกัน

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

2.7.6 การพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า จำนวนตัวประกอบหลักจะเท่ากับจำนวนตัวแปรเดิม คือ p ตัว แต่ตัวประกอบหลักตัวท้ายๆ 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 $m+1,...,p$ หรือควรมีตัวประกอบหลัก m ตัวเท่านั้น

3.ให้พิจารณาค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักแต่ละตัว ถ้าค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักตัวใดน้อยกว่าค่าแปรปรวนเฉลี่ย $\left(\frac{\sum_{i=1}^{p}\lambda_i}{p}\right)$ จะตัดทิ้ง

การใช้ค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักสำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปมาตรฐานแล้ว การพิจารณาเฉพาะตัวประกอบหลักที่มีค่าไอเกนมากกว่าหนึ่งนั้นอาจทำให้จำนวนตัวประกอบหลักที่ได้มากหรือน้อยจนเกินไปดังนั้นควรใช้หลักเกณฑ์อื่นๆมาร่วมพิจารณาด้วย

2.7.7 ความหมายของตัวประกอบหลัก

ความหมายของตัวประกอบหลักควรจะอธิบายถึงความหมายตัวแปรเดิม เนื่องจากตัวประกอบหลักเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม ดังที่ได้กลางแล้วว่าค่า loading จะเป็นค่าที่ใช้อธิบายความหมายของตัวประกอบหลักแต่ละตัว เนื่องจากค่า loading (l_{ij}) เป็นค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$ กับตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$ การศึกษาว่าความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรเดิมตัวใดบ้างนั้น ให้พิจารณาจากค่า loading ของตัวแปรเดิมตัวใดมีค่ามากความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรนั้น โดยทั่วไปกำหนดว่า ถ้าค่า loading มากกว่าหรือเท่ากับ ± 0.5 จะพิจารณาความหมายของตัวแปรเดิมนั้นให้เป็นความหมายของตัวประกอบหลัก

2.8 ค่าไอเกนและไอเกนเวกเตอร์ (Eigen value and eigen vector)

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

ในกรณีการแปลงเชิงเส้น $T:V\to V$ มี A เป็นเมตริกซ์การแปลงของ T ที่ทำให้ $T(v)=Av$ สำหรับทุก $v\in V$ ถ้ามีสเกลาร์ λ ที่ทำให้มีเวกเตอร์ v ที่ไม่เป็นเวกเตอร์ศูนย์ที่ทำให้ $Av=\lambda v$ แล้ว จะทำให้การคำนวณง่ายขึ้น ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในหลายสาขา

กำหนดให้ A เป็นเมตริกซ์ขนาด $m\times n$

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

และ v เป็นเวกเตอร์หลัก (Column vector) และ λ เป็นค่าคงที่ใดๆ โดยที่ทำให้

$$v=\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_3 \end{bmatrix}$$

โดยที่ทำให้ $Av=\lambda v$ (2.39)

เมื่อ A แทน ค่าเมตทริกซ์

λ แทน เป็นค่าคงที่ใดๆ เป็นสเกลาร์

v แทน ค่าไอเกนเวกเตอร์

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

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 λ สามารถจัดสมการให้อยู่ในรูประบบสมการเอกพันธ์ (Homogeneous system) คือ

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

เมื่อ A แทน ค่าเมตริกซ์

I แทน เมตริกซ์เอกลักษณ์

λ 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 λ 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 λ เป็นจำนวนจริงแล้วจะได้

1. λ เป็นค่าไอเกนของเมตริกซ์ A

2.ระบบสมการ $(\lambda I - A)v = 0$ มีคำตอบที่ไม่เป็นเวกเตอร์ศูนย์

3. $|\lambda I - A| = 0$

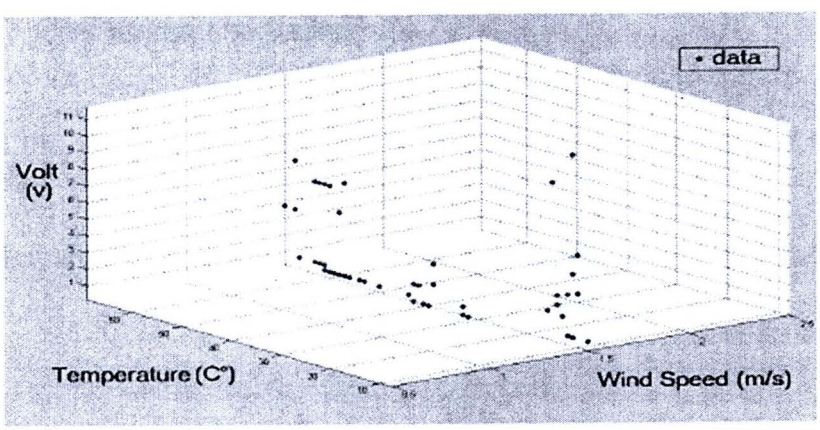
4. มีเวกเตอร์ $v \neq 0$ ใน $\boldsymbol{R}$ ที่ทำให้ $Av = \lambda v$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีการนำพัฒนานำไปใช้งานต่างๆ หลากหลาย ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้เซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่น เนื่องจากมีขนาดเล็กสะดวกที่จะนำเซ็นเซอร์หลายตัวต่อรวมกัน ทนทาน เชื่อถือได้และการต่อวงจรเพื่อนำสัญญาณเอาต์พุตไปประมวลผลต่อก็ทำได้ง่าย ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่นำเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ไปใช้มีดังนี้

2.9.1 การเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศ

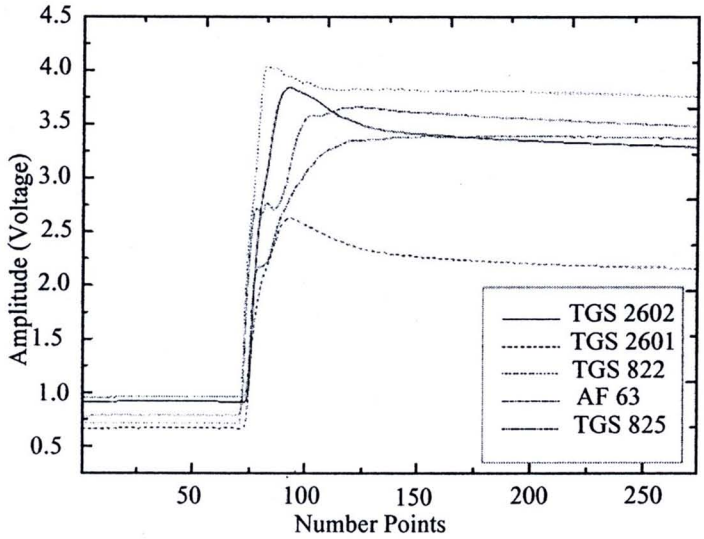
งานวิจัยของ Iman Morsi [14] ได้นำก๊าซเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จำนวน 5 ตัว คือ TGS 822, TGS 2442, TGS 813, TGS 4160 และ TGS 2600 มาต่อร่วมกัน และยังมีการตรวจวัดอุณหภูมิความชื้น และความเร็วลม เซ็นเซอร์ทั้งหมดควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ (CO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามท้องถนนต่างๆ ในเมืองเปรียบเทียบกัน โดยใช้เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นโค้งเพื่อหาความสัมพันธ์ในความเป็นไปได้ในการเตือนระดับมลพิษโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลข้อมูล



รูปที่ 2.19 ข้อมูลระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่บันทึกได้จากเซ็นเซอร์หลายๆ ตัว

2.9.2 การจำแนกตัวอย่างกลิ่นน้ำหอม

งานวิจัยของรุ่งโรจน์ เมาลานนท์ [12] ได้ใช้ก๊าซเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จำนวน 5 ตัว คือ TGS2620 TGS2610 TGS822 TGS825 และAF63 ตรวจวัดกลิ่นน้ำหอมกับแอลกอฮอล์ซึ่งได้การเปลี่ยนแปลงสัญญาณของก๊าซเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 2.19

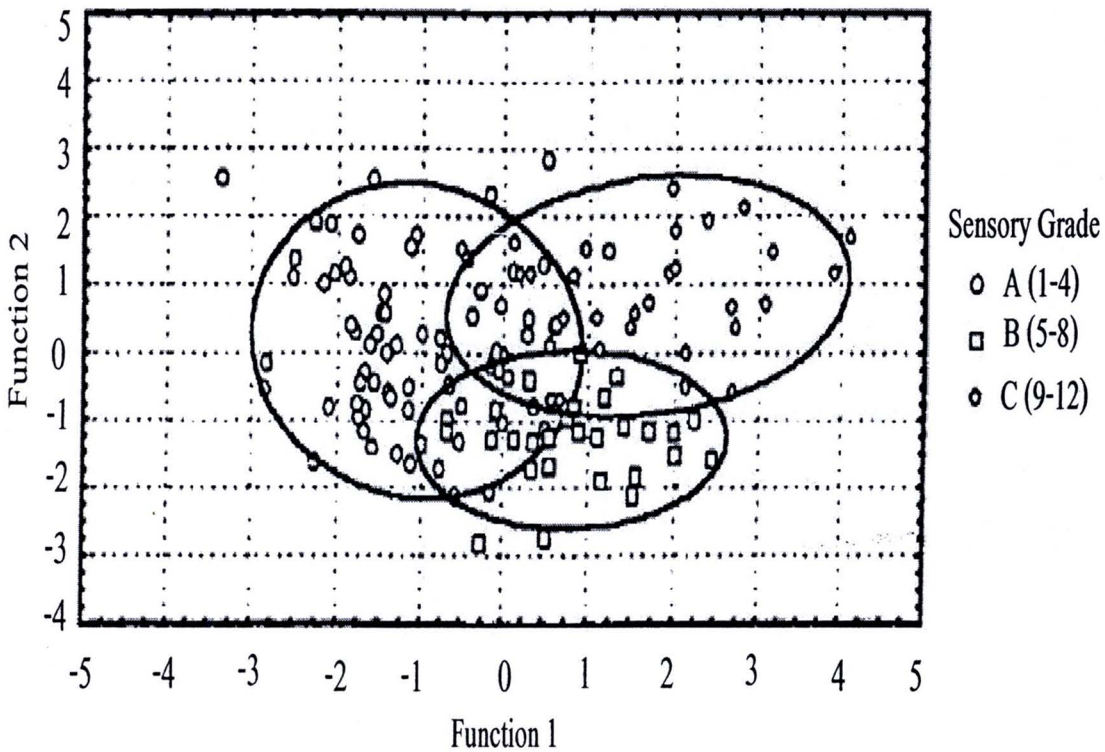


รูปที่ 2.20 สัญญาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำหอม [12]

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้เทคนิคPCA ในการจำแนกกลิ่นการทดลองได้คัดเลือกตัวอย่างน้ำหอมทั้งหมด 2 กลิ่น สารโพรพานอลและเอทานอล ซึ่งเอทานอลเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่พบในน้ำหอมและโพรพานอลใช้เป็นสารเปรียบเทียบสำหรับผลการทดลอง

2.9.3 การจำแนกคุณภาพเนื้อสัตว์

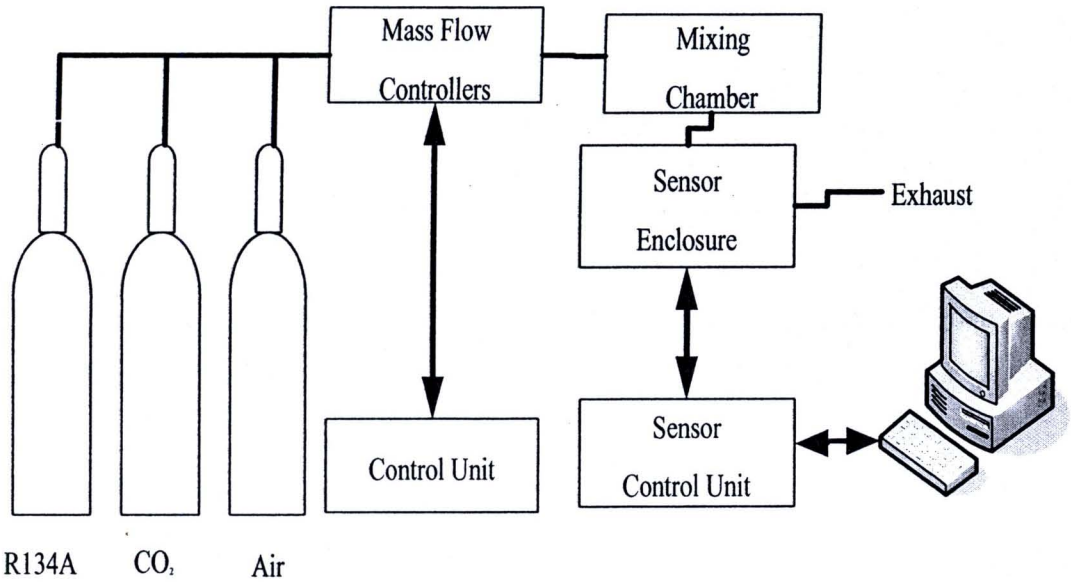
งานวิจัยของ Chen Cunshec และคณะ [15] ใช้ก๊าซเซ็นเซอร์จำนวน 6 ตัว คือ MQ136, MQ 137, MQ 138, MQ 139, MQ 140และ MQ 141 ตรวจวัดกลิ่นเนื้อสัตว์เพื่อดูคุณภาพ เนื่องจากการใช้เทคนิคเทคนิคประสาทสัมผัสตรวจสอบที่ใช้อยู่เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งจะใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ดมกลิ่นเนื้อที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเปิลดิสคริมิแนนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



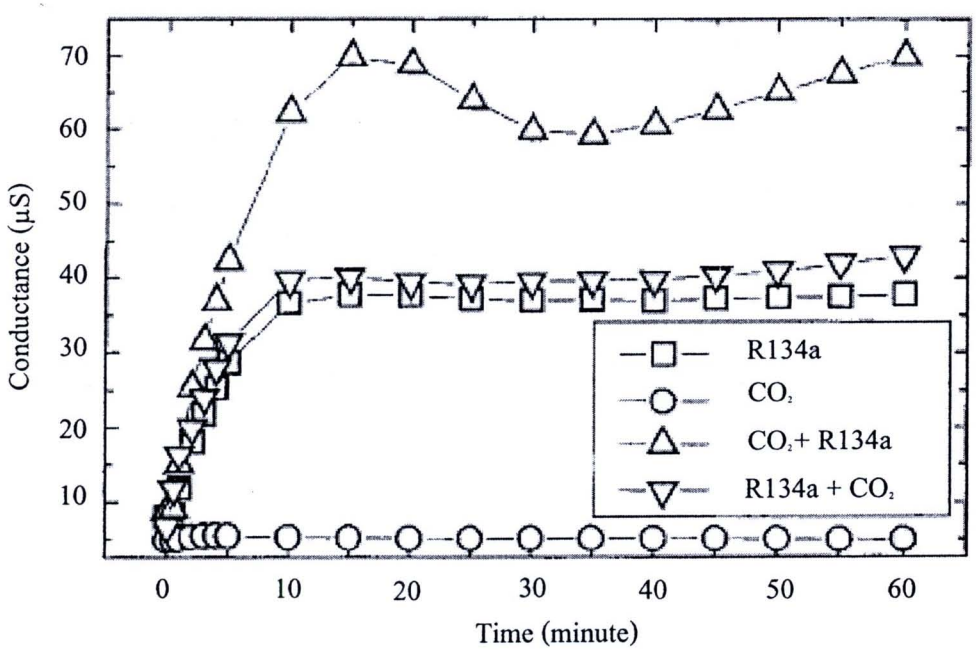
รูปที่ 2.21 ผลการจำแนกเนื้อสัตว์ตามระดับอุณหภูมิต่างๆ ด้วยเทคนิค MDA

2.9.4 การจำแนกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซอื่นๆ

งานวิจัยของ Frederic Sarry และ Martine Lumbreras [16] ได้นำก๊าซเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัว คือ TGS800, TGS813 และ TGS832 มาต่อกันเป็นอาร์เรย์ มาใช้ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารทำความเย็น R134a และสารผสมของก๊าซทั้งสอง ซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อนและการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการตรวจวัดจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์มัลติเปิลดิสคริมิแนนต์ ซึ่งมีการทำงานระบบและผลการตรวจวัดที่ได้ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับจำแนกก๊าซต่างๆ โดยใช้เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์



รูปที่ 2.23 ผลการตรวจวัดแสดงเป็นค่าความนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์