

จมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบเชิงคุณภาพกระบวนการทำเบียร์สด

Electronic Nose for Draft Beer Process Qualitative Monitoring



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้

ประจำปี 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปองค์กรอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลเอกสารทั้งหมดซึ่งมีอยู่ต่อไป

Abstract

This research presents the creation of electronic nose which is the measurement system of sensor array by 7 type of metal oxide sensors and processes data by principal component analysis (PCA) technique. Three types of draft beer formulas are investigated and the results make the matrix data for signature processing. The loading values relation between original data and factor scores are 81.79 percent of PCA1 and 17.06 percent of PCA2. When combined PCA1 and PCA2 together, the loading value is 98.85 percent which greater than 80 percent and sufficiency for data explanation. The results can separate the 3 types of draft beer very clearly. The application is used for monitoring the quality of draft beer process. The data are gathered every hour for 10 days process which is 240 process step and bring it to make data matrix. The signature processing shows the loading value between the original and factor score are 96.55 percent of PCA1 and 2.3 percent of PCA2. The combined of PCA1 and PCA2 of loading value is 98.78 percent which is greater than 80 percent which is sufficiency for data explanation. The results of monitoring measurement for quality controlling of draft beer process can observe the changing in the process clearly. It would benefit for production process to ensure a consistent quality standard production.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในการเอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการไมโครอิเล็กทรอนิกส์ในการวิจัยต้นแบบ ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ นายชลินทร์ สุทธิไตร ผู้ช่วยนักวิจัยในโครงการวิจัยนี้

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างสูงแก่ทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือเป็นกัลยามิตรไม่ว่าโดยตรงหรือโดยอ้อมก็ตาม อาทิเช่นคณะกรรมการพิจารณาให้ทุนสนับสนุน เป็นต้น และหวังว่าคงจะได้รับการสนับสนุนการวิจัยในโอกาสต่อไป



รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล
(หัวหน้าโครงการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญรูป.....	ix
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 หลักการและเหตุผล.....	1
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คำนำ.....	3
2.2 ธรรมชาติของก๊าซและคุณสมบัติทั่วไป.....	3
2.2.1 โมเลกุลและไอออน.....	4
2.2.2 โมล.....	4
2.2.3 กฎการร่วไหลและการแพร่กระจายของแกรแฮม.....	5
2.3 ก๊าซที่มีความสำคัญต่อมนุษย์.....	5
2.3.1 ออกซิเจน.....	5
2.3.2 ก๊าซตระกูลคาร์บอน.....	6
2.3.3 มีเทน.....	7
2.3.4 เบนซิน.....	7
2.3.5 เมทานอลและเอทานอล.....	7
2.3.6 ไฮโดรเจน.....	7
2.4 การทำงานของจุมูกอิลีกทรอนิกส์.....	7
2.5 เซนเซอร์รับกลิ่น.....	12
2.5.1 เซนเซอร์แบบแสง.....	13
2.5.2 เซนเซอร์แบบความร้อน.....	14
2.5.3 เซนเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี.....	15
2.5.4 เซนเซอร์แบบวัดน้ำหนัก.....	16

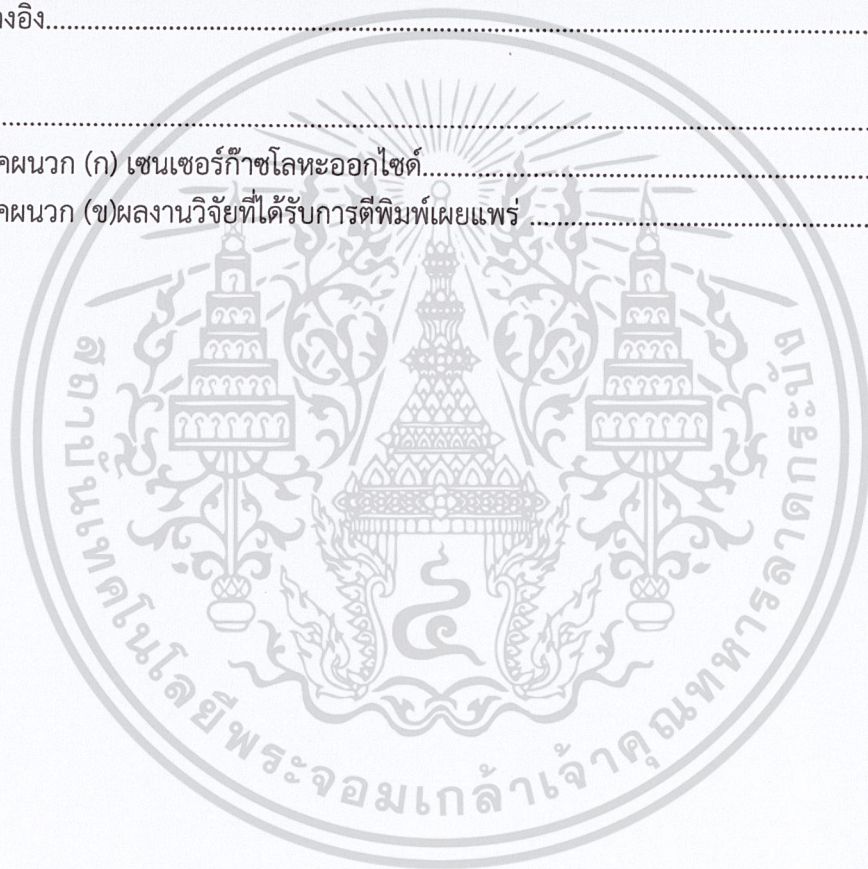
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์.....	18
2.6.1 โครงสร้างของเซนเซอร์แบบโลหะออกไซด์.....	19
2.6.2 การทำงานของเซนเซอร์แบบโลหะออกไซด์.....	20
2.6.3 วงจรของเซนเซอร์แบบโลหะออกไซด์.....	23
2.7 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก.....	23
2.7.1 ความหมายของการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก.....	23
2.7.2 หลักการของการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก.....	24
2.7.3 จำนวนองค์ประกอบหลัก.....	26
2.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวองค์ประกอบหลัก.....	27
2.7.5 ชนิดของข้อมูลในการสร้างตัวองค์ประกอบหลัก.....	28
2.7.6 การพิจารณาจำนวนตัวองค์ประกอบหลักที่เหมาะสม.....	28
2.7.7 ความหมายตัวองค์ประกอบหลัก.....	29
2.8 ค่าไอเกนและไอเกนเวกเตอร์.....	29
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
2.9.1 การแผ่รังสีมลพิษทางอากาศ.....	32
2.9.2 การจำแนกตัวอย่างกลิ่นน้ำหอม.....	33
2.9.3 การจำแนกคุณภาพเนื้อสัตว์.....	33
2.9.4 การจำแนกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซอื่น ๆ	34
2.10 การผลิตเบียร์.....	35
2.10.1 ประวัติการผลิตเบียร์ในต่างประเทศ.....	36
2.10.2 ประวัติการผลิตเบียร์ในประเทศไทย.....	37
2.10.3 กรรมวิธีการผลิตเบียร์.....	40
2.10.4 ประเภทของเบียร์.....	49
2.10.5 ผลดีของการดื่มเบียร์.....	50
2.10.6 ผลเสียของการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	51
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	53
3.1 คำนำ.....	53
3.2 การออกแบบจุ่มอิเล็กทรอนิกส์.....	54
3.2.1 การออกแบบก๊าซเซนเซอร์อาร์เรย์.....	54
3.2.2 การออกแบบระบบการทำงาน.....	57
3.2.3 การบันทึกผลการทดลอง.....	58
3.3 การดำเนินการทดลอง.....	59.....

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	65
4.1 คำนำ.....	65
4.2 ผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์วัดแยกแยะชนิดของเบียร์สด.....	65
4.3 ผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เฝ้าติดตามวัดเครื่องต้มแอลกอฮอล์เบียร์สด.....	68
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	89
5.1 สรุปผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์วัดแยกแยะชนิดของเบียร์สด.....	89
5.2 สรุปผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์วัดแยกแยะชนิดของเบียร์สด.....	90
5.3 สรุปผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เฝ้าติดตามวัดเครื่องต้มแอลกอฮอล์เบียร์สด.....	90
เอกสารอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก (ก) เซนเซอร์ก๊าซโลหะออกไซด์.....	94
ภาคผนวก (ข) ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และVI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	เปอร์เซ็นต์ปริมาตรของก๊าซหลาย ๆ ตัวในอากาศ สะอาดและแห้ง.....	3
ตารางที่ 2.2	สูตรลัดและสูตรเคมีของธาตุบางธาตุ.....	4
ตารางที่ 3.1	เซนเซอร์ก๊าซที่นำมาใช้และชนิดของก๊าซ.....	54
ตารางที่ 3.2	ค่าแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานของแก๊สเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่ใช้งาน.....	57
ตารางที่ 3.3	วิธีควบคุมการปิดเปิด.....	58
ตารางที่ 3.4	ลำดับขั้นตอนและช่วงเวลาในการทดลอง.....	60
ตารางที่ 4.1	แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการวัดเบียร์สดทั้ง 3 สูตร.....	66
ตารางที่ 4.2	เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดถึงความสัมพันธ์.....	66
ตารางที่ 4.3	แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์ในการเฝ้าติดตามวัดเบียร์สดในขบวนการหมัก.....	68

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ก๊าซชนิดต่าง ๆ ในบรรยากาศของโลก.....	3
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์หนึ่งมิติ.....	11
รูปที่ 2.3 เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์.....	12
รูปที่ 2.4 ชนิดของเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์.....	13
รูปที่ 2.5 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีใช้กล้อง CCD.....	14
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Pellistor	14
รูปที่ 2.7 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity.....	15
รูปที่ 2.8 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor.....	15
รูปที่ 2.9 เซ็นเซอร์แบบ Amperometric.....	16
รูปที่ 2.10 (ก) Potentiometric แบบ Vibrating capacitor (Kelvin probe).....	16
รูปที่ 2.10 (ข) Potentiometric แบบ Insulated gate field-effect transistor.....	16
รูปที่ 2.11 เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave.....	16
รูปที่ 2.12 เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave.....	17
รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave.....	18
รูปที่ 2.14 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor รุ่นต่างๆ.....	18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์.....	19
รูปที่ 2.16 (ก) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ...20	
รูปที่ 2.16 (ข) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะวัดก๊าซ.....	21
รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณของก๊าซ.....	22
รูปที่ 2.18 กราฟความสัมพันธ์อุณหภูมิของเซ็นเซอร์ความชื้นที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์.....	22
รูปที่ 2.19 วงจรพื้นฐานสำหรับก๊าซเซ็นเซอร์โลหะออกไซด์.....	23
รูปที่ 2.20 ข้อมูลระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่บันทึกได้จากเซ็นเซอร์หลายๆ ตัว.....	33
รูปที่ 2.21 สัญญาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำหอม.....	33
รูปที่ 2.22 ผลการจำแนกเนื้อสัตว์ตามระดับอุณหภูมิต่างๆ ด้วยเทคนิค MDA.....	34
รูปที่ 2.23 ระบบจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์สำหรับจำแนกก๊าซต่างๆใช้เซ็นเซอร์ แบบโลหะออกไซด์... 34	
รูปที่ 2.24 ผลการตรวจวัดแสดงเป็นค่าความนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์.....	35
รูปที่ 2.25 วัตถุประสงค์หลักในการผลิตเบียร์.....	35
รูปที่ 2.26 ภาพแกะสลักหินแสดงการผลิตเบียร์.....	36
รูปที่ 2.27 ภาพเขียนสีการผลิตเบียร์ของชาวอียิปต์โบราณ.....	36
รูปที่ 2.28 โรงเบียร์บุญรอด เมื่อปี พ.ศ. 2503.....	37
รูปที่ 2.29 ขวดเบียร์ที่บรรจุแล้ว พร้อมนำไปปิดฉลากบรรจุลงถัง.....	38
รูปที่ 2.30 ดอกฮอป (Hop).....	40
รูปที่ 2.31 ต้นฮอป (Hop).....	41
รูปที่ 2.32 ข้าวมอลต์ที่บดให้แตก แล้วผสมน้ำในถังผสม.....	41

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.33 ถังหมักแบบเปิดทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมัก.....	42
รูปที่ 2.33 เครื่องกรองเบียร์.....	42
รูปที่ 2.34 หม้อต้มเบียร์ และถังผสมหรือถังกรองทำด้วยสแตนเลสหุ้มด้วยทองแดง.....	42
รูปที่ 2.35 ข้าวบาร์เลย์ (Barley) วัตถุดิบหลักที่นำไปทำข้าวมอลต์(Malt).....	44
รูปที่ 2.36 ข้าวบาร์เลย์ (Barley) เมื่อแก่จัดเมื่อสุกแล้วจะมีสีเหลืองทอง.....	44
รูปที่ 2.37 เมล็ดข้าวบาร์เลย์ (Barley)รูปที่ 2.38 กรรมวิธีการผลิตเบียร์.....	45
รูปที่ 2.38 กรรมวิธีการผลิตเบียร์.....	47
รูปที่ 2.39 ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมอัตโนมัติในการผลิตเบียร์สด.....	48
รูปที่ 3.1 เซนเซอร์จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการตรวจวัดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	54
รูปที่ 3.2 วงจรของแก๊สเซ็นเซอร์ที่พร้อมใช้งาน.....	55
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างก๊าซเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ รุ่น TGS 2600.....	55
รูปที่ 3.4 ความต้านทานตอบสนองต่อไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ Rs/Ro.....	56
รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	57
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ NI USB Multifunction รุ่น NI USB-6211.....	58
รูปที่ 3.7 สัญญาณจากการสุ่มตัวอย่าง.....	59
รูปที่ 3.8 สัญญาณเอาต์พุตอยู่ในรูปแรงดันต่อเวลาวินาทีของแก๊สเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตัว.....	61
รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ข้อมูลจมูกอิเล็กทรอนิกส์ของตัวแปรใหม่.....	67
รูปที่ 4.2 การจำแนกของจมูกอิเล็กทรอนิกส์หลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA.....	45
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของข้อมูล (Box Plot).....	45
รูปที่ 4.4 ลักษณะการตอบสนองของเซนเซอร์และการกระจายตัวของข้อมูล (Box Plot).....	46
รูปที่ 4.5 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 2.....	75
รูปที่ 4.6 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 3.....	46
รูปที่ 4.7 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 4.....	76
รูปที่ 4.8 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 6.....	77
รูปที่ 4.9 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 7.....	78
รูปที่ 4.10 การตอบสนองของเซนเซอร์ TGS 2600.....	78
รูปที่ 4.11 การตอบสนองของเซนเซอร์ TGS 2602.....	79
รูปที่ 4.12 การตอบสนองของเซนเซอร์ทั้งหมด.....	80
รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 1.....	80
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 2.....	81
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 3.....	82
รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 4.....	82
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 5.....	83
รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 6.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IX อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 7.....	84
รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 8.....	85
รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 9.....	85
รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 10.....	86
รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 1-10.....	86
รูปที่ 4.24 เปอร์เซนต์การถึงความสัมพันธ์ข้อมูลภูมิอิเล็กทรอนิกส์ของตัวแปรใหม่.....	87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ X ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ขบวนการหรือขั้นตอนในการผลิตเครื่องตีประเภทแอลกอฮอล์ เช่นสุราและเมรัยต่าง ๆ ในธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม การจะควบคุมคุณภาพทั้งในเรื่องของรสชาติกลิ่นหอมและปริมาณแอลกอฮอล์จะต้องใช้เครื่องมือ ตรวจสอบสารต่าง ๆ ที่อยู่ในเครื่องดื่มเหล่านั้นโดยต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีที่มีราคาแพง เช่นเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและเครื่องวิเคราะห์ห้องประกอบสารเคมี เพื่อหาสารประกอบที่สำคัญเช่นปริมาณแอลกอฮอล์ ทำให้การควบคุมคุณภาพทำได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ เพราะต้องอาศัยการสุ่มตรวจเป็นระยะ และต้องนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการทางเคมี และต้องใช้ความชำนาญของมนุษย์ในการตรวจสอบเรื่องกลิ่นสีและรสชาติ หากมีเครื่องมือบางอย่างที่สามารถช่วยงานเหล่านี้ได้ จมูกอิเล็กทรอนิกส์จึงน่าจะเหมาะสมในการนำมาใช้งานเพื่อตรวจสอบคุณภาพในขบวนการผลิตเบียร์ในเบื้องต้น เนื่องจากมีความเหมาะสมทางด้านราคาและสะดวกในการพกพาไปใช้ในงานยังสถานที่ผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

1.2 หลักการและเหตุผล

จมูกของมนุษย์มีหน้าที่สำหรับแยกชนิดและปริมาณของกลิ่นไอเคมีต่างๆ แต่ความสามารถของจมูกมนุษย์มีขีดจำกัดอยู่ที่ จมูกมนุษย์มีโอกาสเกิดความผิดพลาดเนื่องจากความเหนียวล้าของระบบ อาจเกิดอันตรายขึ้นจากสารเคมีที่เป็นพิษ หรืออาจจะสูดดมรับเข้าร่างกายมากเกินไป ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์จึงถูกพัฒนาขึ้นมา ซึ่งจะมีข้อดีในเรื่องของการควบคุมคุณภาพ และการจำแนกกลิ่นของสารที่มีลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีที่ใกล้เคียงกันมากจนยากที่มนุษย์จะแยกแยะได้ หรือสารเคมีบางอย่างที่มนุษย์ไม่สามารถรับรู้กลิ่นได้ อีกทั้งระบบอิเล็กทรอนิกส์มีความถูกต้องเชื่อถือได้สูงกว่า เนื่องจากไม่มีความเหนียวล้าเหมือนอย่างมนุษย์ ทำให้สามารถทำการวัดได้บ่อยเท่าที่ต้องการและสามารถกำหนดระยะเวลาและช่วงเวลาการวัดได้อย่างแม่นยำ

เนื่องด้วยกลิ่นและรส ของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีความสำคัญต่อการรับรู้รสชาติและคุณภาพของผู้บริโภค ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มจึงจำเป็นต้องสร้างระบบตรวจวัดมาใช้ในขบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เช่นเบียร์สด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้สูงขึ้น

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.3.1 ศึกษาหลักการทำงานของระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ
- 1.3.2 ศึกษาหลักการทำงานก๊าซเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ
- 1.3.3 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ห้องประกอบหลัก (PCA)
- 1.3.4 สร้างระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ก๊าซเซ็นเซอร์หลายชนิดมาต่อรวมกันแบบอาร์เรย์
- 1.3.5 สร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ทดสอบแยกแยะชนิดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เบียร์สด และเฝ้า

ติดตามขบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เบียร์สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ออกแบบและทดสอบระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เพื่อจำแนกเครื่องตี๋มแอลกอฮอล์เปียร์สด
- 1.4.2 ใช้การต่อก๊าชเซ็นเซอร์ร่วมนกันจำนวน 7 ตัวในการพัฒนาระบบ
- 1.4.3 สามารถจำแนกกลิ่นของเครื่องตี๋มแอลกอฮอล์เช่นเปียร์สดได้
- 1.4.4 ใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการจำแนกกลิ่น

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์
- 1.5.2 ศึกษาหลักการการทำงานก๊าชเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ
- 1.5.3 ศึกษาการใช้งานโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมและประมวลผล
- 1.5.4 ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)
- 1.5.5 ทำการออกแบบและสร้างจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ก๊าชเซ็นเซอร์หลายชนิดมาต่อรวมกันหรือ แบบอาร์เรย์
- 1.5.6 ทำการทดลองวัดเครื่องตี๋มแอลกอฮอล์
- 1.5.7 ทำการประมวลผลการทดลองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ในการแยกแยะเครื่องตี๋มแอลกอฮอล์ และเฝ้าติดตาม

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

- 1.6.1 ใช้เครื่องตี๋มแอลกอฮอล์เปียร์สดเป็นตัวอย่งในการทดสอบ
- 1.6.2 ใช้ชนิดของก๊าชพาห้เป็นไนโตรเจน หรือออกซิเจน
- 1.6.3 ใช้ก๊าชเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดจำนวน 7 ตัว

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 เป็นแนวทางในพัฒนาจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ด้วยก๊าชเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์
- 1.7.2 พัฒนาจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่สามารถตรวจวัดและจำแนกเครื่องตี๋มแอลกอฮอล์เช่นเปียร์สด
- 1.7.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ ที่จะใช้เป็นส่วนประกอบของระบบการตรวจวัดในขบวนการผลิตเครื่องตี๋มแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

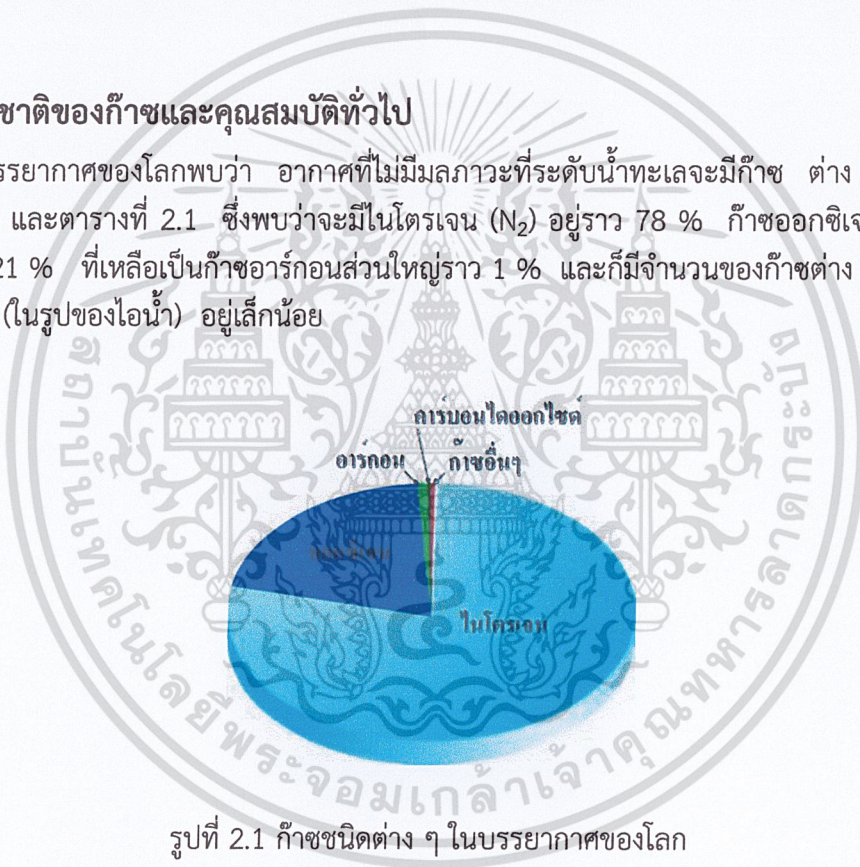
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำนำ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและออกแบบระบบจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้แยกแยะและควบคุมคุณภาพเครื่องตีมีประเภทที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่โดยอาศัยการทำงานของเซ็นเซอร์ก๊าซหลายชนิดมาต่อรวมกันแบบอาร์เรย์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติและการทำงานของเซ็นเซอร์ก๊าซและเทคนิคการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์อีกทั้งต้องศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อนหน้ามาช่วยในการพัฒนางานวิจัย ซึ่งจะทำได้ผลการวิจัยที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต

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



รูปที่ 2.1 ก๊าซชนิดต่าง ๆ ในบรรยากาศของโลก

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรของก๊าซหลาย ๆ ตัวในอากาศ สะอาดและแห้ง

ก๊าซ	เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร	ก๊าซ	เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร	ก๊าซ	เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร
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		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 โมเลกุลและไอออน (Molecules and ions)

ก๊าซที่มีสมบัติและจำนวนของอะตอมที่แน่นอนเฉพาะตัว จะเรียกว่า “โมเลกุล” ทั้งอะตอมเดี่ยวและโมเลกุลที่สามารถได้รับอนุภาคจากตัวอื่นหรือเปลี่ยนไปเป็นอนุภาคอื่น เราเรียกว่า “ไอออน”

1. สูตรเคมี (Chemical formulas)

สารประกอบทางเคมีของธาตุต่าง ๆ ปกติจะแสดงในรูปสั้น ๆ ที่เรียกว่า “สูตรเคมี” สูตรเคมีนั้นมีสองอย่างด้วยกัน อย่างแรกคือ “สูตรลัด” ประกอบด้วยอัตราส่วนอย่างง่ายของอะตอม หรือจำนวนตัวเลขน้อยที่สุดที่สามารถเขียนได้อย่างที่สองคือ “สูตรโมเลกุล” ประกอบด้วยจำนวนตัวเลขที่แน่นอนของอะตอมในโมเลกุล เช่น น้ำจะมีทั้งสูตรโมเลกุลและสูตรลัดเหมือนกันคือ H_2O แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีสูตรลัดเป็น HO และมีสูตรโมเลกุลเป็น H_2O_2 เมื่อต้องการบอกความหมายจะใช้สูตรโมเลกุล เพราะว่าสูตรโมเลกุลจะบอกทั้งอัตราส่วนของอะตอมและจำนวนจริงของอะตอม ในการแสดงสถานะทางกายภาพก็จะใช้ g, l และ s เพื่อแสดงว่าอยู่ในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็ง 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}
กรดไอซาลิก	HCO_2	$H_2C_2O_4$

2. โมเลกุล (Molecules)

คือ อะตอมจำนวนหนึ่งที่อยู่ติดกันเป็นอนุภาคเล็กที่สุดของสารที่รักษาส่วนประกอบและคุณสมบัติของสารนั้นไว้ โมเลกุลจึงเป็นการรวมตัวทางเคมีของอะตอมหนึ่งตัวหรือมากกว่า จะแสดงตัวอย่างของโมเลกุลบางตัว แต่ก๊าซเฉื่อยซึ่งไม่รวมตัวกับธาตุใด ๆ จะไม่ใช่โมเลกุล เราจะเรียกอนุภาคที่เล็กที่สุดของก๊าซเฉื่อยว่า อะตอม พบว่าในอุณหภูมิสูง ๆ โมเลกุลจะแยกตัวออกจากกันอยู่ในรูปของอะตอม

3. 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 แต่ก็มีปัญหาตรงที่เราใช้น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล และน้ำหนักของสูตรเคมี เพื่อเปรียบเทียบมวลของสาร ในห้องทดลองส่วนมากจะใช้หน่วยวัดกรัมเพื่อวัดน้ำหนักมากกว่า amu (atom mass unit) แต่หากต้องการรู้จำนวนอะตอมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเราจะทราบได้อย่างไร พิจารณาชั้นอากาศที่มีน้ำอยู่เต็ม เราพบว่าจะมีโมเลกุลของน้ำจำนวนมากมายที่
 อยู่ในนี้ (ประมาณ 1.7×10^{23} โมเลกุล) สมมติว่าต้องการวัดน้ำในมหาสมุทรบนโลกทั้งหมด การวัด
 ด้วยจำนวนดังกล่าวจึงมากและท้อหะ จึงต้องใช้วิธีในการวัดจำนวนสารที่มากกว่าจำนวนของหน่วย
 สูตรเคมีหรือสูตรโมเลกุล (ในทางปฏิบัติเรานับใช่เป็นหน่วยโหล กระจดาขเป็นริ้ม หรือ 500 แผ่น ที่
 คลิป กระจดาขเป็นกรุส หรือ 144 อัน ทำให้ง่ายต่อการนับจำนวนของมากกว่าจะนับเป็นอัน) เพื่อ
 หลีกเลียงการนับจำนวนที่มากเกินไปเมื่อทำการวัดสาร เราจึงใช้หน่วยที่เรียกว่า “โมล” โดยหนึ่งโมล
 ประกอบไปด้วย 6.022×10^{23} อะตอมโมเลกุล หรือหน่วยของสูตรเคมี ในการกำหนดค่านี้จะ
 เรียกว่า “จำนวน อะโวกาโดร” ซึ่งเราจะได้ยินบ่อย ๆ ในงานที่เกี่ยวข้องกับการวัดสาร หรือจำนวน
 อะตอมหรือโมเลกุล

2.2.3 กฎการรั่วไหลและการแพร่กระจายของแกรแอม

การเคลื่อนที่ของอนุภาคก๊าซตรวจจับได้สองวิธีด้วยกัน

1. การรั่วซึม (Effusion)

คือ การผ่านของก๊าซที่สามารถผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูเช่นลูกโป่งที่บรรจุฮีเลียมเมื่อตั้งไว้นานจะมี
 ขนาดไม่เท่าเดิมเนื่องจากมีฮีเลียมบางส่วนที่สามารถเล็ดลอดออกไปจากโครงสร้างธรรมชาติของยางได้

2. การแพร่กระจาย (Diffusion)

หากมีใครก็ตามที่สามารถดมหรือรับรู้กลิ่นของฮีเลียมที่รั่วไหลออกมาจากข้อแรกได้ นั่นก็คือ เกิด
 การแพร่กระจายของก๊าซนั่นเอง อัตราการรั่วไหลและการแพร่กระจาย โมเลกุลของก๊าซที่แตกต่างกัน
 จะเคลื่อนที่ที่อัตราแตกต่างกัน โมเลกุลที่เบาว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลที่หนักกว่า หรืออาจ
 กล่าวได้ว่า ก๊าซไฮโดรเจนที่บรรจุในลูกโป่งจะเล็ดลอดออกมาได้เร็วกว่าก๊าซฮีเลียมและ เล็ดลอดออกมา
 ได้เร็วกว่าก๊าซไนโตรเจน

กฎของแกรแอม กล่าวว่า การรั่วไหลของก๊าซจะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์ ตาม
 กฎของแกรแอม อัตราการรั่วไหล (r) ของก๊าซสองตัวที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะสัมพันธ์กันดัง
 สมการที่ (2.1)

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad (2.1)$$

2.3 ก๊าซที่มีความสำคัญต่อมนุษย์

ก่อนที่จะทำการวัดหรือตรวจจับก๊าซ ต้องมีความเข้าใจคุณสมบัติและความสำคัญของก๊าซที่จะ
 ตรวจวัดก่อน ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างก๊าซที่มีความสำคัญ ซึ่งมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์

2.3.1 ออกซิเจน (Oxygen)

ออกซิเจน เป็นธาตุที่มีอยู่มากบริเวณเปลือกโลก แม้กระทั่งน้ำประกอบด้วยออกซิเจนถึง 88.9 %
 ของมวล แร่ส่วนใหญ่ก็ประกอบด้วยออกซิเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกซิเจน ซึ่งเมื่อรวมกับธาตุ
 อื่น ๆ แล้วก่อให้เกิดรูปรสารประกอบใหม่ที่เราเรียกว่า “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 ออกซิเจนในเชิงพาณิชย์
 ทำได้โดยการกลั่นจากอากาศแต่ก็มีจำนวนน้อย หรือไม่ก็หาจากสถานะที่บริสุทธิ์มากนั่นคือ การแยก
 ด้วยไฟฟ้าของสาละลายที่เป็นของเหลว หรือโดยการใช้ความร้อนแยกเกลือออกไซด์ (Oxide salt)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ส่วนบทบาทของก๊าซออกซิเจนเบื้องต้นในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหล็กงานเชื่อม งานรักษาสิ่งแวตล่อม การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.3.2 ก๊าซตระกูลคาร์บอน (Carbon species)

คาร์บอนมีอยู่ด้วยกันสองรูปที่เป็นก๊าซออกไซด์ซึ่งมีความเสถียร คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

1. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส นอกจากนี้มันยังมีพิษอีกด้วย เพราะว่ามันจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนในฮีโมโกลบิน (Hb) ในเส้นเลือดของมนุษย์ คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นฐานประมาณ 80% ของ CO ในบรรยากาศมาจากรถยนต์ ส่วนการใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น ใช้ลดออกซิเจนในการถลุงเหล็กจากแร่ เป็นต้น ระดับควบคุมการสัมผัสคาร์บอนมอนอกไซด์ในสถานประกอบการ ให้อยู่ในระดับความเข้มข้นไม่เกิน 35 พีพีเอ็ม Time Weighted Average (TWA) โดยอาศัยการวัดด้วยเครื่องมือวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ชนิด hopcalite และระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผู้ปฏิบัติการสัมผัสต้องไม่เกิน 200 พีพีเอ็ม เป็นอันตราย ถ้าพบระดับสูงกว่านี้ต้องสั่งหยุดการทำงาน และเมื่อระดับเกิน 500 พีพีเอ็ม ให้รีบอพยพคนออกจากสถานที่นั้นโดยทันที

2. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่ช่วยให้ติดไฟ CO₂ เป็นก๊าซเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า -78° C ที่ความดัน 1 atm CO₂ จะเป็นของแข็งมากกว่าจะเป็นของเหลว CO₂ เป็นผลมาจากการไหม้ที่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติหรือเชื้อเพลิงที่มีฐานของคาร์บอน CO₂ เป็นก๊าซที่ช่วยในการดำรงชีพของมนุษย์ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มเบา ๆ และในเครื่องดับเพลิง ในมนุษย์ขณะที่สารอาหารในร่างกายไม่ทำงานผลผลิตของ CO₂ บางส่วนจะช่วยให้ความเป็นกรดของเลือดเหมาะสม ความผิดพลาดหนึ่งของกลไกการหายใจของมนุษย์คือ การสะอึก วิธีการรักษาคือ ให้หายใจเข้าออกถูกระดากเพื่อสร้างระดับ CO₂ เข้าไปในปอด CO₂ จะเข้าไปเป็นตัวกระตุ้นให้หยุดการสะอึก แต่หากมีระดับของ CO₂ ในร่างกายสูงเกินไปก็ไม่มีประโยชน์ โดยหากหายใจ CO₂ ในอากาศที่เกินกว่า 10% อาจทำให้คนหมดสติ และหากรับ CO₂ ที่ระดับสูงต่อเนื่องไปอีก อาจทำให้การหายใจล้มเหลวและตายในที่สุด

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานสิ่งแวดล้อม ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกใช้เป็นตัวบอกคุณภาพของอากาศในห้อง ถ้าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องมากเกินไป (อยู่ที่ระดับไม่เกิน 1000 ppm) จะทำให้รู้สึกว้าว “อบอ้าวและอับ” คุณภาพของอากาศในห้องที่ไม่ดีเป็นเหตุให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศโรคร้อนล้ำ สูญเสียสมาธิและเจ็บป่วยและเป็นเหตุให้เกิดความไม่สบาย หรืออีกหลายกรณีหากว่าการระบายอากาศเป็นไปอย่างไม่เหมาะสมความเข้มข้นของ CO₂ ในระบบควบคุมการระบายอากาศตามความต้องการ DCV จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับระบบการจ่ายอากาศบริสุทธิ์ โดยการติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์ CO₂ ไว้กับที่ และต้องมีการตรวจสอบเกณฑ์ในการปรับด้วย

2.3.3 มีเทน (Methane)

เป็นรูปแบบหนึ่งของสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนไฮโดรเจน (ไฮโดรคาร์บอน)เป็นส่วนประกอบ มีสูตรเคมีเป็น CH₄ เกิดจากธรรมชาติจากการเน่าหมักหมมในหนองบึง หรือการสลายตัวของโปรตีน มีเทนเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ แต่ติดไฟได้ ให้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับ อีเทน โพรเพน และบิวเทน

2.3.4 เบนซีน (Benzene)

มีสูตรเคมี C₆H₆ เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีกลิ่นและติดไฟง่าย เป็นพวกริงคอมปาวด์ ใช้ละลายไขมันและสารอินทรีย์ต่าง ๆ และใช้สังเคราะห์สารเคมีมากมายหลายชนิด

2.3.5 เมทานอลและเอทานอล (Methanol and ethanol)

1. เมทานอล

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

2. เอทานอล

เรียกอีกอย่างว่าเอทิลแอลกอฮอล์ ระเหยกลายเป็นไอที่ 78°C เป็นของเหลวที่ไม่มีสี ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย 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 ไฮโดรเจนมีอยู่ที่อุณหภูมิต่ำแต่สามารถจะเปลี่ยนไปเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง ปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจนสามารถนำมาทำเป็นเซลล์เชื้อเพลิงได้ไฮโดรเจนนั้นสามารถถูกติดไฟได้ง่าย และได้รับความเชื่อใจให้ถูกเลือกเป็นเชื้อเพลิงในอนาคตสำหรับรถยนต์และอากาศยาน ปฏิกิริยาของมันจะทำให้ผลิตน้ำออกมา เป็นผลให้ไม่เกิดมลภาวะ

2.4 การทำงานของจุกอเล็กทรอนิกส์

ระบบสัมผัสของมนุษย์นั้น มีตา หู จมูก ลิ้น กาย ที่เราเรียกกันว่า สัมผัสทั้งห้า ซึ่งปัจจุบันมนุษย์เราก่อนข้างมีความเข้าใจในประสาทสัมผัสต่างๆ เหล่านั้นเป็นอย่างดียกเว้น สัมผัสทางด้านกลิ่น ซึ่งเราเพิ่งจะเริ่มศึกษาและพัฒนาความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของมันเมื่อไม่นานมานี้เอง ทั้งนี้อาจจะเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะว่า เราไม่ค่อยเห็นความสำคัญของมัน ทั้งๆ ที่ความสุขในชีวิตของมนุษย์เราในเรื่องการรับประทานอาหารนั้นขึ้นอยู่กับการทำหน้าที่อย่างสมบูรณ์ของจมูก เพราะลิ้นที่รับรสนั้นบอกได้แต่เพียงหวาน เปรี้ยว ขม เค็ม เท่านั้น แต่จมูกต่างหากที่บอกว่าข้าวหน้าเปิดต่างจากข้าวมันไก่อย่างไร อร่อยหรือไม่อย่างไร สำหรับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ นั้น การทำหน้าที่รับกลิ่นของจมูกหรือ ระบบสัมผัสไอโมเลกุล มีความสำคัญต่อการอยู่รอดเผ่าพันธุ์ของมันเลยทีเดียว

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดตั้งแต่สิ่งมีชีวิตชั้นต่ำอย่างแบคทีเรีย มาจนถึงสิ่งมีชีวิตชั้นสูงอย่าง มนุษย์ล้วนมีระบบสัมผัสที่ตอบรับกับโมเลกุลเคมีต่างๆ ที่มีอยู่รอบตัว (Molecular Sensing) ซึ่งมีความสำคัญกับการดำรงชีพ เช่น เป็นสัญญาณของอาหาร การจดจำถิ่นที่อยู่ เวลาของการผสมพันธุ์ไปจนถึงสัญญาณเตือนภัยต่างๆ สิ่งมีชีวิตชั้นสูง เช่น มนุษย์นั้นได้พัฒนาระบบการรับรู้โมเลกุลเคมี จนก้าวหน้าไปอย่างมากทั้งระบบฮาร์ดแวร์ที่ประกอบด้วยต่อมรับกลิ่น ไปจนถึงระบบประสาทที่ส่งสัญญาณไปประมวลผลที่สมองกับ ระบบซอฟต์แวร์ที่สามารถจดจำ ประมวลผล ในรูปแบบของความรู้สึกถึง “ กลิ่นและรส ” ได้ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมบางชนิด เช่น หนูแฮมสเตอร์นั้นมียีน (Gene) ที่เข้ารหัสโปรตีนที่เป็นโมเลกุลรับกลิ่น (Receptor) ถึง 1,000 ยีน คิดเป็น 3 % ของจีโนมหรือรหัสพันธุกรรมทั้งหมดของสิ่งมีชีวิต นั้นย่อมแสดงให้เห็นว่า ประสาทในเรื่องการรับรู้กลิ่นและไอระเหย มีความสำคัญเพียงใด

ระบบรับรู้กลิ่นในโพรงจมูกของมนุษย์นั้นมีความซับซ้อนมาก อย่างเช่นผู้เชี่ยวชาญที่ถูกฝึกฝนมา โดยเฉพาะเช่น นักดมน้ำหอม อาจมีความสามารถจดจำกลิ่นได้ถึง 10,000 ชนิด สำหรับคนทั่วไปนั้นจะจดจำกลิ่นได้จำนวนในหลักร้อยหรือพันเท่านั้น โดยสามารถแยกแยะกลิ่นไปต่างๆ นานาตามประสบการณ์ ของตน เช่น กลิ่นไหม้ กลิ่นเปรี้ยว กลิ่นวานิลลา กลิ่นโลหะ กลิ่นหิน กลิ่นกุหลาบ กลิ่นกาแฟ และอื่นๆ โดยจมูกมนุษย์นั้นมิชอบจำกัดที่ไม่สามารถจับกลิ่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่หนักกว่า 300 ดาลตัน (หนักเท่าไฮโดรเจน 300 อะตอม) ทำให้ไม่สามารถดมกลิ่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง รวมทั้งก๊าซพิษหลายๆ ชนิด เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ เป็นต้น อีกทั้งการระบுகลิ้นก็ไม่เที่ยงตรง แต่ละคนจะมีความรู้สึกไม่เท่ากัน ที่สำคัญที่สุดคือ ไม่สามารถระบுகลิ้นในเชิงปริมาณได้ รู้เพียงว่ากลิ่นแรงหรืออ่อนๆ เท่านั้น ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในเชิงวิศวกรรมเรื่องระบบระดมกลิ่นขึ้น โดยการเลียนแบบจมูกมนุษย์ด้วยการสร้างอุปกรณ์ที่เรียกว่า จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose) ขึ้นมา

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุปกรณ์ที่เลียนแบบการทำงานของจมูกมนุษย์จริงๆ ก่อนอื่นต้องมาทำความเข้าใจการทำงานของจมูกมนุษย์กันก่อน เมื่อคนเราสูดดมอากาศเข้าไป อากาศก็จะนำพาไอของโมเลกุลซึ่งอาจมีกลิ่นเข้าไปในโพรงจมูกของเรา ซึ่งกระแสลมแปรปรวน (Turbulence) ในโพรงจมูกจะช่วยให้ไอโมเลกุลนั้นเกิดการสัมผัสกับต่อมรับกลิ่นซึ่งอยู่บนเซลล์ประสาทรับกลิ่น โดยปลายข้างหนึ่งของเซลล์นี้จะไปรวมกันที่ต่อมรวมประสาท (Glomeruli) ซึ่งมันจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ (Amplifier) แล้วนำสัญญาณประสาทส่งไปสู่สมองส่วนรับรู้กลิ่น (Olfactory Cortex) การรับรู้กลิ่นเกิดจากการทำงานในระดับนาโน กล่าวคือ โมเลกุลของกลิ่นจะเกิดอันตรกิริยาหรือจับตัวเข้ากับโมเลกุลรับกลิ่น (Receptor) ซึ่งมีอยู่หลากหลายชนิด สมมุติว่าเราดมกลิ่นทุเรียนเข้าไปไอระเหยของทุเรียนนั้นมีโมเลกุลอินทรีย์นับสิบชนิด โมเลกุลอินทรีย์จากทุเรียนสามารถเข้าจับกับโมเลกุลรับกลิ่นในจมูกก็จะเกิดรูปแบบขึ้นมา สมองก็จะจดจำว่าถ้ากลิ่นทุเรียนมากก็รู้ว่าเป็นทุเรียน ทีนี้ถ้าทุเรียนต่างชนิดกัน เช่น หมอนทอง กับ ชะนี ก็อาจมีชนิดของโมเลกุลอินทรีย์ต่างกัน ทำให้สมองจำรูปแบบได้ว่าเป็นทุเรียนคนละประเภท นี้คือ คำอธิบายว่าทำไมสุนัขถึงจดจำเจ้าของได้ เพราะรูปแบบที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลกลิ่น-โมเลกุลรับกลิ่น มีความจำเพาะเจาะจงและซับซ้อน อีกทั้งยังมีความหลากหลายทำให้ไม่ซ้ำกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) จมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบเชิงคุณภาพกระบวนการทำเบียร์สด

ชื่อโครงการ(ภาษาอังกฤษ) Electronic Nose for Draft Beer Process Qualitative Monitoring
แหล่งเงิน เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์.....

ประจำปีงบประมาณ 2557.....

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2556 ถึง กันยายน 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัดและ อีเมล
หัวหน้าโครงการวิจัย.....

รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล (หัวหน้าโครงการ).....

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ร่วมวิจัย

นายชลินทร์ สุทธิเนตร

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำสำคัญ (Keywords) Electronic nose, Sensor arrays, Draft beer, PCA,

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้นำเสนอการสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์ หรือระบบวัดเซนเซอร์อาร์เรย์ โดยใช้เซนเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ จำนวน 7 ตัวทำการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle component analysis :PCA) จากนั้นทำการทดลองวัดเบียร์สด 3 สูตร แล้วนำผลที่ได้มาสร้างเป็นเมตริกซ์ข้อมูล เมื่อนำมาประมวลผลหาเอกลักษณ์ของข้อมูลพบว่ามีค่าการดึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเก่ากับตัวแปรใหม่ (Loading) ขององค์ประกอบหลักที่ 1 (PCA1) เท่ากับร้อยละ 81.79 ส่วนขององค์ประกอบหลักที่ 2 (PCA2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 17.06 เมื่อรวมองค์ประกอบหลักที่ 1 (PCA1) และองค์ประกอบหลักที่ 2 (PCA2) เข้าด้วยกันให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับร้อยละ 98.85 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 เพียงพอในการอธิบายข้อมูลได้ทั้งหมด และผลจากการวัด สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลที่เป็นค่าของเบียร์สดแต่ละสูตรเป็น 3 กลุ่มได้อย่างชัดเจน จากนั้นใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ ทำการวัดเฝ้าติดตามขบวนการผลิตเบียร์สด ทำการวัดทุก ๆ ชั่วโมง เป็นเวลา 10 วัน รวมจำนวนทั้งสิ้น 240 ครั้งแล้วนำผลที่ได้มาสร้างเป็นเมตริกซ์ข้อมูล เมื่อนำมาประมวลผลหาเอกลักษณ์ของข้อมูลพบว่ามีค่าการดึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเก่ากับตัวแปรใหม่ (Loading) ขององค์ประกอบหลักที่ 1 (PCA1) เท่ากับร้อยละ 96.55 ส่วนขององค์ประกอบหลักที่ 2 (PCA2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.23 ผลรวมองค์ประกอบหลักที่ 1 (PCA1) และองค์ประกอบหลักที่ 2 (PCA2) ให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับร้อยละ 98.78 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 เพียงพอในการอธิบายข้อมูลได้ทั้งหมด และผลของการวัดเฝ้าติดตามขบวนการผลิตเบียร์สด พบว่าสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของขบวนการหมักบ่มเบียร์สดได้อย่างชัดเจนซึ่งจะมีประโยชน์ในการนำมาเป็นข้อมูลที่จะใช้เปรียบเทียบกับผู้ผลิตได้ปรับขบวนการผลิตให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอได้มาตรฐานในการผลิตทุก ๆ ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุป ระบบรับรู้กลิ่นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ประกอบด้วย

1. ส่วนรับกลิ่นซึ่งรวมถึงตัวรับกลิ่นและระบบนำกลิ่นเข้ามา
2. ระบบนำสัญญาณประสาทซึ่งรวมถึงระบบส่งและขยายสัญญาณ
3. ระบบประมวลผลซึ่งจะสามารถแยกแยะและจดจำกลิ่นได้

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีลักษณะที่เลียนแบบระบบรับรู้ กลิ่นในธรรมชาติดังนี้ ส่วนรับกลิ่น ประกอบไปด้วยตัวนำกลิ่นเข้ามา ซึ่งอาจมีมอเตอร์ดูดอากาศ มีท่อรวบรวมกลิ่น (Cocentrator) เพื่อให้กลิ่นมีความเข้มข้นสูงขึ้นและที่สำคัญที่สุดก็คือ เซ็นเซอร์รับกลิ่นจำนวนมาก ตั้งแต่ 4 ตัว ไปจนถึงนับพันตัว ส่วนรวบรวมสัญญาณ ซึ่งจะทำให้การแปรสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Tranducing) และทำการจัดการสัญญาณ (Signal Conditioning) เช่น ลดสัญญาณรบกวน จากนั้นก็จะแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกให้เป็นดิจิตอล (A/D Converter) ส่วนประมวลผลซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้รับมาทำการเปรียบเทียบเชิงสถิติกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม ซึ่งอาจจะใช้วิธีการระบบประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) หรือวิธีทางสถิติเพื่อทำการแยกแยะกลิ่น รวมไปถึงการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของกลิ่น

งานประยุกต์ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์นั้นมิได้มากมายเช่น การวัดความสุกของผลไม้ จากการศึกษาวิจัยนั้น ได้มีการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาจำแนกระดับความสุกของผลไม้หลายชนิด แล้ว เช่น กล้วย ส้มจินบลูเบอร์รี่ เป็นต้น โดยในการใช้งานสามารถทำได้ด้วยวิธีง่ายๆ คือ นำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาสูดดมกลิ่นจากผลไม้ ซึ่งก็พบว่า กล้วยหอมมีความสุกถึง 7 ระดับ โดยระดับความสุกที่ 5-6 เป็นความสุกที่รสชาติของกล้วยหอมชนิดที่ดีที่สุดสำหรับส้มจินบลูเบอร์รี่นั้นมีความสุกอยู่ 4 ระดับ ซึ่งนักวิจัยได้พยายามศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษา ของมันให้ได้นานโดยการตรวจคุณภาพจากกลิ่นของมัน

การควบคุมคุณภาพของไวน์และเครื่องดื่มอื่นๆ เป็นหัวข้อที่นิยมที่สุดในการใช้งานจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะในยุโรปมีการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการควบคุมคุณภาพไวน์ พบว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถจำแนกยี่ห้อของไวน์ได้ หรือแม้แต่ว่าสามารถจำแนกไวน์เครื่องหมายการค้าเดียวกันแต่ผลิตในปีที่ต่างกันได้นั้นจมูกอิเล็กทรอนิกส์จึงสามารถ จำแนกไวน์แท้หรือปลอมแปลงได้อย่างรวดเร็ว ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการลองนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการควบคุมคุณภาพของเหล้าสาเก สำหรับประเทศไทย เรามีผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทไวน์ และสุรา นานาชนิด ทั้งประเภทเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และ OTOP จึงน่าจะมีการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาใช้เพื่อควบคุมคุณภาพในสายการผลิต เนื่องจากจมูกอิเล็กทรอนิกส์ สามารถติดตั้งให้มีการใช้งานในรูปแบบออนไลน์ได้เลยไม่เหมือนกับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ชนิดอื่นๆ ที่ต้องมีการจัดตั้งห้องปฏิบัติการทดลองขึ้นมาต่างหาก เช่น อาจมีการติดตั้งจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในถังหมักเบียร์ เพื่อประเมินระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักเบียร์ให้ มีรสชาติคงที่ซึ่งปัจจุบันต้องมีการคอยเก็บชิมเป็นระยะ

การตรวจวัดความสดของปลา กุ้ง เนื้อสัตว์ จมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถจำแนกระดับความสดของเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อวัว กุ้ง ปลาแซลมอน ปลาทูน่า เป็นต้น ทำให้ผู้ผลิตอาหารแช่แข็งส่งออก สามารถประเมินระดับความสดของผลิตภัณฑ์ได้ ในปัจจุบันการรับซื้อกุ้งหน้าโรงงานแช่แข็งของไทยมักจะใช้นักชิม เพื่อทดสอบความสดของกุ้ง ซึ่งน่าจะมีการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยในการตรวจสอบร่วมด้วย เพื่อให้เกิดความมั่นใจมากขึ้น เนื่องจากจมูกมนุษย์จะไม่ได้กลิ่นไอโมเลกุลหลายชนิด ที่ปลอมปนมากับเนื้อกุ้ง

การเก็บรักษาอาหาร ปัจจุบันผู้ผลิตพยายามคิดค้นและพัฒนาวิธีการเก็บรักษาอาหาร ปัจจุบันผู้ผลิตพยายามคิดค้นและพัฒนาวิธีการเก็บรักษาคุณภาพอาหารให้อยู่ได้นานๆ โดยรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง จมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาใช้วิเคราะห์รสชาติอาหารได้อย่างรวดเร็วทำให้งานวิจัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพัฒนาทำได้ทันความต้องการ เช่น มีการศึกษาการ เก็บไข่ปลาคอต โดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ ประเมินกลิ่นที่เปลี่ยนแปลง ไปตามระยะเวลาต่างๆ การจำแนกกลิ่นของผลอัลมอนด์ที่ปลูกที่ถิ่น แดกต่างซึ่งจะทำให้รสชาติแตกต่างกัน

ผลิตภัณฑ์จากนม ประเทศอุตสาหกรรมเกษตรหลายประเทศในยุโรปเริ่มมีการนำจมูก อิเล็กทรอนิกส์ มาใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มาจากนม เช่น นมสด เนย โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์ปรุงรส ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ควบคุมคุณภาพซีอิ๊ว ซึ่งก็ พบว่าสามารถทำงานได้ค่อนข้างดี สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นผู้ผลิตซอสปรุงรสรายใหญ่ของโลก รวมทั้ง น้ำปลา จึงน่าจะมียานประยุกต์ในอุตสาหกรรมประเภทนี้ได้หลากหลายทีเดียว ซึ่งปัจจุบัน ในการผลิต น้ำปลาของไทย ยังคงใช้นักชิมเป็นผู้ตรวจ สอบคุณภาพการหมัก เป็นหลัก ซึ่งก็มีปัญหาความเที่ยงตรง อยู่พอสมควร

สมุนไพร และผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เป็นหัวข้อที่เพิ่งจะได้รับความสนใจไม่นาน โดยมีการลองนำจมูก อิเล็กทรอนิกส์มาใช้จำแนกพืชพรรณ ที่ให้ผลิตภัณฑ์กลิ่น ซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารและยา ซึ่งจมูกอิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำมาใช้กำหนดคุณภาพ และราคาของวัตถุดิบดังกล่าวได้ ก่อนนำมาสกัด สารออกฤทธิ์ที่อยู่ในต้นพืช

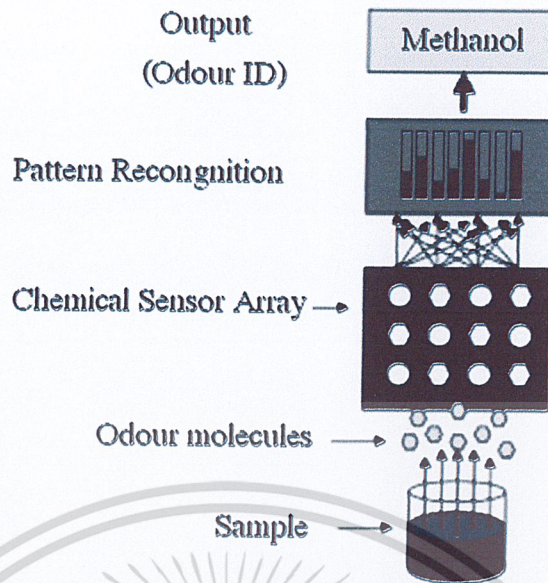
ชาและกาแฟ ปัจจุบันประเทศไทยเป็นทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคชาและกาแฟรายใหญ่ ทำให้การ ประเมินคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์มีความสำคัญ งานวิจัยจำนวนมากระบุว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ค่อนข้างใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์จำพวกนี้ ซึ่งดีกว่าเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ชนิดอื่น เนื่องจากจมูก อิเล็กทรอนิกส์เลียนแบบจมูกมนุษย์ ผลการวิเคราะห์จากจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะสัมพันธ์กับจมูกคนเรา ซึ่ง จะสามารถระบุความหอมनाดีมของชาและกาแฟได้

ผลิตภัณฑ์สกัดจากพืช เช่น น้ำมันพืช น้ำมันไบโอดีเซล ก็สามารถใช้ จมูกอิเล็กทรอนิกส์ประเมิน คุณภาพได้ดีเช่นกัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีสารหอมระเหยในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง

นอกจากนี้เทคโนโลยีของจมูกอิเล็กทรอนิกส์อาจนำไปใช้ผสมผสานกับเทคโนโลยีอื่นๆ ได้อีก เช่น นำไปติดกับหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์มีอวัยวะสัมผัสด้านกลิ่น การนำเซนเซอร์รับกลิ่นไปรวมกับเทคโนโลยีซี ฝังอัจฉริยะ (Smart Dust) ทำให้สามารถตรวจสอบเชื้อโรค สิ่งแปลกปลอม ในฟาร์มปศุสัตว์หรือโรงงาน อุตสาหกรรม เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติอันมากของจมูกอิเล็กทรอนิกส์นี้เอง ประเทศต่างๆ ทั้งในยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น แม้แต่ประเทศกำลังพัฒนาอย่างบราซิล และอาร์เจนตินา ซึ่งมีความหลากหลายทาง ชีวภาพสูง ล้วนแล้วแต่จะหมักหมนทำวิจัยทางด้านนี้ โดยเฉพาะยุโรปได้ก่อตั้งเครือข่ายจมูก อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาถึง 2 เครือข่าย ประเทศไทยซึ่งมีความหลากหลายทางด้านทรัพยากรชีวภาพ เป็น ผู้นำในการผลิตอาหารของโลกจึงจำเป็นต้องติดตามและพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความทัดเทียม และก้าวหน้าต่อไป[19][20]

การทำงานของจมูกมนุษย์ก็มีข้อจำกัดอยู่ตรงที่ความสามารถของแต่ละคนไม่เหมือนกันหรือไม่ เท่ากันจึงทำให้เกิดความไม่เป็นแน่นอนในการตรวจสอบ รวมถึงความเหนื่อยล้าของสมองทำให้เกิดความ ผิดพลาดได้ง่าย และสารเคมีที่มีกลิ่นทั้งหลายเป็นสารระเหยที่มีอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงได้มีการ พัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาแทนที่การทำงานของมนุษย์ในสวนนี้ ลักษณะของจมูก อิเล็กทรอนิกส์จะมีโครงสร้างเหมือนกับการทำงานของจมูกมนุษย์ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.2 [1] ส่วน Chemical sensor array ทำหน้าที่รับกลิ่นไอของสารเคมี และส่วนของ Pattern recognition system ทำหน้าที่แยกแยะชนิดของสารเคมี

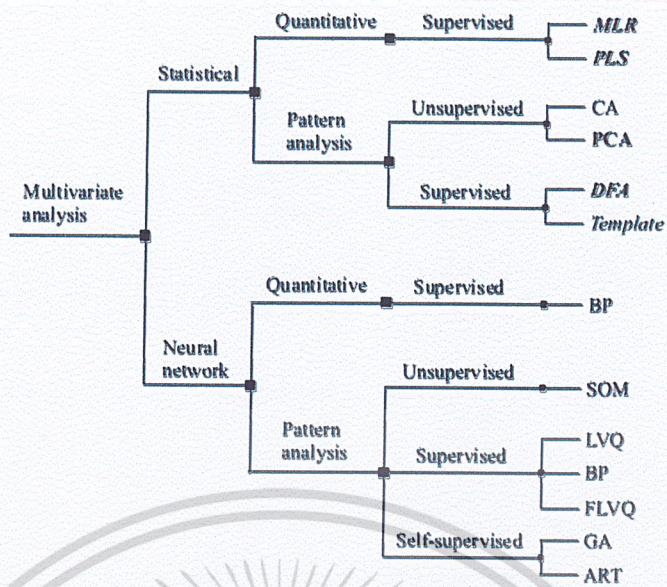
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [1]

จมูกอิเล็กทรอนิกส์จะพยายามเลียนแบบธรรมชาติในแทบทุกด้าน ยกตัวอย่าง เวลาที่เราดมกลิ่นอะไรนานๆ จะเกิดความเคยชินและอาจไม่รู้สึกลึกลับกลิ่นนั้นๆ ในระยะเวลาหนึ่ง เช่น ถ้าเราเดินเข้าไปในห้องที่มีกลิ่นสีแล้วนั่งอยู่สักพัก เราก็จะเริ่มไม่ได้กลิ่นสี แต่ถ้าเราเดินออกมาสูดอากาศข้างนอกสักพักแล้วเดินกลับเข้าไปใหม่เราก็จะได้กลิ่นสีอีก จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีอาการเช่นเดียวกัน ถ้าเราเอามันมาดมกลิ่นทุเรียนแล้วเอาไปดมกลิ่นไวน์ทันที มันก็จะอาจจะไม่สามารถรับรู้กลิ่นไวน์ได้ดี เนื่องจากโมเลกุลกลิ่นทุเรียนได้เข้าไปจับตัวเซ็นเซอร์ทำให้เซ็นเซอร์ไม่สามารถจับกับโมเลกุลกลิ่นอื่นๆ ที่เข้ามาใหม่ได้ จึงต้องมีวิธีการไล่กลิ่นเดิมออกไปด้วยการเป่าอากาศเข้าไปที่ตัวเซ็นเซอร์ นอกจากนั้นจมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็เหมือนจมูกมนุษย์ที่ต้องการการเรียนรู้ ตอนที่เราเกิดมานั้นเราแทบไม่มีข้อมูลของกลิ่นอยู่เลยในสมองของเรา เราต้องเรียนรู้ตั้งแต่เด็กๆ ว่าทุเรียนมีกลิ่นอย่างไร สตรอเบอร์รี่มีกลิ่นอย่างไร จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็เช่นเดียวกันที่ต้องการการฝึกฝน เพื่อให้สามารถจดจำแยกแยะกลิ่นได้

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีลักษณะที่เลียนแบบระบบรับรู้กลิ่นในธรรมชาติดังนั้น ส่วนรับกลิ่นจะประกอบไปด้วยตัวนำกลิ่นเข้ามาซึ่งอาจมีมอเตอร์ดูดอากาศ มีท่อรวบรวมกลิ่น (Concentrator) เพื่อให้กลิ่นมีความเข้มข้นสูงขึ้นและที่สำคัญที่สุดก็คือ เซ็นเซอร์รับกลิ่นจำนวนมาก ตั้งแต่ 4 ตัวไปจนถึงนับพันตัว ซึ่งหากจะเปรียบเทียบกับธรรมชาติก็ถือว่าน้อยมาก เช่น สุนัขอาจมีเซลล์รับกลิ่นนับล้านเซลล์ และส่วนรวบรวมสัญญาณ ซึ่งจะทำการแปรสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Transducing) และทำการจัดการสัญญาณ (Signal conditioning) เช่น ลดสัญญาณรบกวน จากนั้นก็จะแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล (A/D converter) สุดท้ายเป็นส่วนประมวลผลซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้รับมาทำการเปรียบเทียบเชิงสถิติกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม ซึ่งอาจจะใช้วิธีทางสถิติหรือการระบบประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อทำการแยกแยะกลิ่น ซึ่งเทคนิคต่างๆ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล [2] ที่ได้จากจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีดังรูปที่ 2.3



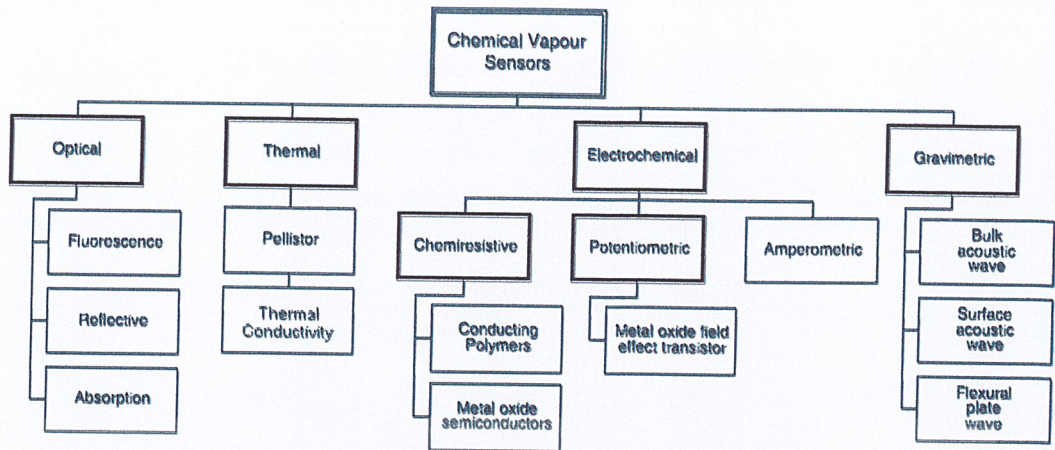
รูปที่ 2.3 เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ [2]

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

2.5 เซ็นเซอร์รับกลิ่น

ตัวรับกลิ่นหรือเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สุดของทั้งจุ่มกือเล็กทรอนิกส์และจุ่มกือธรรมชาติ สำหรับจุ่มกือธรรมชาตินั้นเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็นโมเลกุลโปรตีนที่ฝังตัวอยู่ในเมมเบรน ซึ่งแม้จะมีสูตรทางเคมีต่างกัน (ลำดับกรดอะมิโนในโครงสร้างแปรผันไปต่างๆ กัน) แต่ก็เชื่อว่าจะมีโครงสร้างที่คล้ายๆกัน กล่าวคือเป็นโปรตีนที่มีสายโซ่พันข้ามไปมา (Tran membrane) ระหว่างผิวด้านในและด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์จำนวนประมาณ 7 รอบ ถึงแม้เซ็นเซอร์ที่มีรูปร่างเดิมแต่การแปรผันลำดับกรดอะมิโนในสายโซ่เหล่านั้นสามารถทำให้เซ็นเซอร์เหล่านั้นเกิดความหลากหลายในการจับกับโมเลกุลกลิ่นได้จำนวนมากนับหมื่นๆชนิดขึ้นไป ความหลากหลายในการจับตัวกับโมเลกุลกลิ่นนี้ประกอบกับการมีส่วนร่วมประมวลผลที่ดีขึ้น (สมองส่วนรับรู้และจดจำกลิ่น) อย่างไรก็ตามโมเลกุลรับกลิ่นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมก็ยังมีขีดจำกัดหลายประการ เช่น มันไม่สามารถตรวจพบก๊าซพิษโมเลกุลเล็กอย่างคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งมีอันตรายถึงตายได้

นอกจากนั้นมันยังไม่สามารถจับตัวกับโมเลกุลกลิ่นที่มีขนาดใหญ่เกิน 300 ดาลตัน (1 Dalton เท่ากับน้ำหนักอะตอมไฮโดรเจน) ทำให้จุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีข้อได้เปรียบเหนือจุ่มกือสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสำหรับการใช้งานหลายๆด้าน



รูปที่ 2.4 ชนิดของเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [3]

เซ็นเซอร์รับกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีหลักการง่าย ๆ คือเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติซึ่งอาจเป็นสมบัติทางแสง สมบัติทางไฟฟ้า เมื่อมีโมเลกุลกลิ่นมาเกาะ ปัจจุบันมีการค้นคว้าวิจัยเซ็นเซอร์รับกลิ่นประเภทต่างๆ ขึ้นมามากมาย เซ็นเซอร์ที่ใช้การพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังรูปที่ 2.4 [3] ซึ่งแสดงชนิดของเซ็นเซอร์แบบต่างๆ ที่ใช้ในการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานของเซ็นเซอร์รับกลิ่นชนิดต่างๆ มีหลักการดังนี้

2.5.1 เซ็นเซอร์แบบแสง (Optical sensor)

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้เทคนิคทางแสง คือเซ็นเซอร์ที่อาศัยคุณสมบัติทางแสงต่อสารเคมีที่ต้องการตรวจวัด เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีข้อดีที่ความไวสูงสามารถวัดในระดับต่ำๆ ได้แต่มีความยุ่งยากในการออกแบบวงจรเพื่อนำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไปใช้งาน ซึ่งมีอยู่ด้วย 3 เทคนิคคือ

1. การเรืองแสง (Fluorescence)

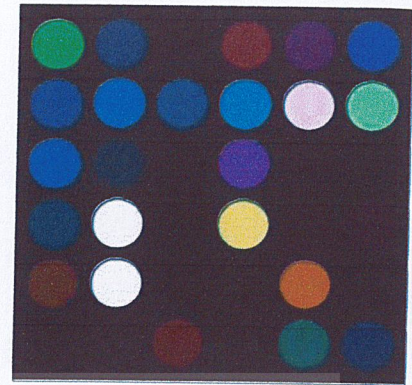
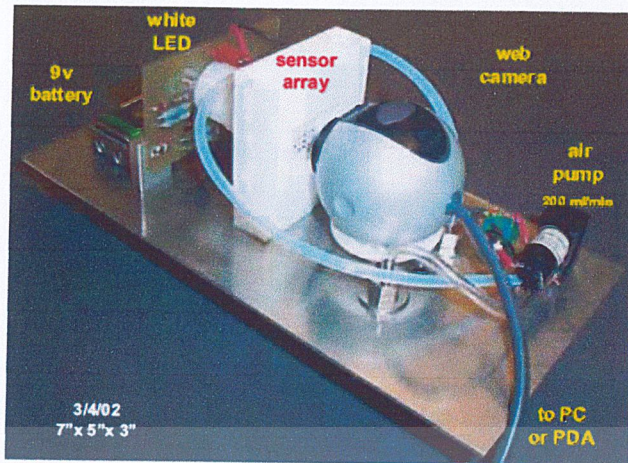
อาศัยคุณสมบัติการเรืองแสงออกมาในบางความยาวคลื่นแสงของตัวอย่างแล้วทำการตรวจวัดปริมาณแสงที่เกิดจากการเรืองแสง

ข. การหักเหแสง (Reflective)

อาศัยคุณสมบัติการหักเหของแสงของตัวอย่างแล้วทำการตรวจวัดแสงที่หักเหจากการผ่านตัวอย่าง

ค. การดูดกลืนแสง (Absorption)

อาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนแสงในบางความยาวของตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดแล้วทำการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ งานวิจัยที่เกี่ยวกับเซ็นเซอร์แบบแสงกำลังอยู่ในขั้นวิจัย ดังเช่นในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่อยู่บนพื้นฐานของเซ็นเซอร์แบบแสง เมื่อตัวอย่างผ่านชุดเซ็นเซอร์ อาร์เรย์คุณสมบัติของตัวอย่างจะทำการดูดกลืนแสงในช่วงความถี่ทำให้สีของเซ็นเซอร์ตำแหน่งต่างๆ ของเซ็นเซอร์อาร์เรย์มีค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงไปจากนั้นทำการตรวจวัดแสงที่เปลี่ยนแปลงด้วยกล้อง CCD ซึ่งจะได้ข้อมูลเป็นสีที่เปลี่ยนไป เมื่อทำการตรวจวัดสารเคมีที่ต่างชนิดกันก็จะได้รูปแบบของสีที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์แตกต่างกันไป



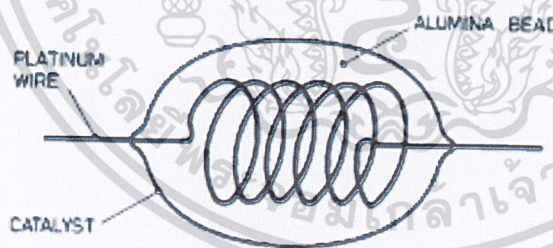
รูปที่ 2.5 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีที่ใช้กล้อง CCD ทำการตรวจวัดแสงสีที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์อาร์เรย์แบบ Different substituted metalloporphyrins [2]

2.5.2 เซ็นเซอร์แบบความร้อน (Thermal Sensor)

Thermal Sensor สำหรับรับกลิ่นมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.6 เซ็นเซอร์แบบ Thermal sensor มีข้อดีที่ใช้งานง่ายและสามารถวัดได้ในระดับต่ำ แต่ต้องมีการควบคุมการรบกวนทำงานจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ เซ็นเซอร์แบบนี้มี 2 ชนิด คือ

1. Pellistor

เซ็นเซอร์แบบ Pellistor ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ใช้สำหรับตรวจจับก๊าซที่ติดไฟง่าย หรือที่มีความสามารถในการนำพาความร้อน (Thermal conductivity) แตกต่างจากอากาศ ค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อตรวจพบก๊าซต่างชนิดไปจากอากาศมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.6

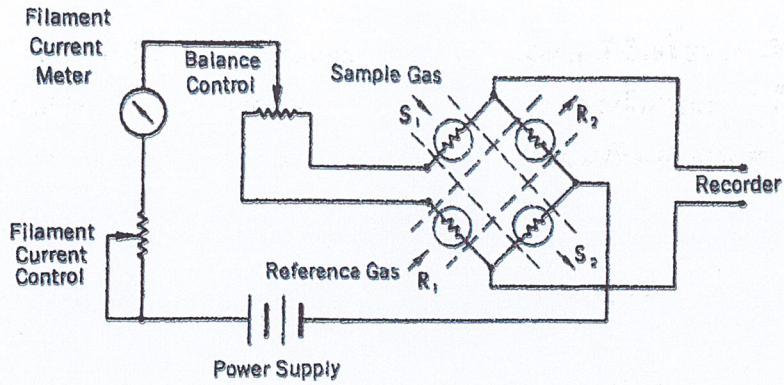


รูปที่ 2.6 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Pellistor [4]

2. Thermal Conductivity

เซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity มีโครงสร้างและหลักการการทำงานเหมือนเซ็นเซอร์แบบ Pellistor แต่ทำมาจากเส้นลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทาน เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกันอยู่เป็นวงจรรบริดจ์ โดยอาศัยหลักการนำพาความร้อนเปรียบเทียบกับก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่งดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเมื่อมีก๊าซตัวอย่างเข้ามาก็จะทำให้วงจรรบริดจ์ไม่สมดุลก็จะสามารถตรวจจับก๊าซตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างเซ็นเซอร์แบบ Thermal conductivity [5]

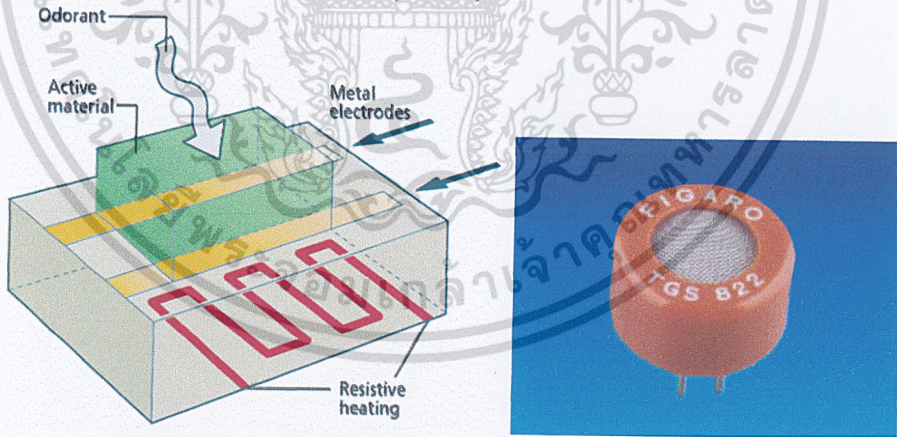
2.5.3 เซ็นเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Sensor)

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ใช้เทคนิค Electrochemical หรือไฟฟ้าเคมี มีข้อดีที่การออกแบบวงจรเพื่อนำไปใช้งานทำได้ง่าย มีด้วยกัน 3 เทคนิค คือ

1. Chemical resistive

ค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีก๊าซตัวอย่างมาเกาะที่ตัวเซ็นเซอร์ เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ได้รับความนิยมสูงที่สุด เซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor) หรือ MOS มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีการนำมาใช้เชิงพาณิชย์แล้ว ยังมีเซ็นเซอร์อีกประเภทหนึ่งที่มีความไวสูงราคาถูก แต่ยังอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนา คือเซ็นเซอร์ท่อนาโนคาร์บอน [17][18]

Metal Oxide Semiconductors (MOS)



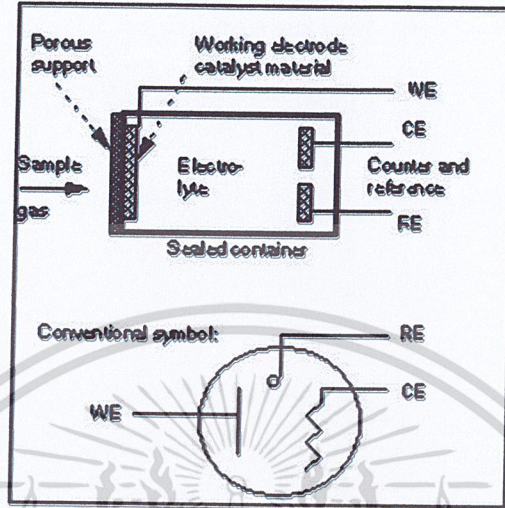
รูปที่ 2.8 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor [1][6]

2. Amperometric

อาศัยคุณสมบัติโครงสร้างของ Amperometric แสดงดังรูปที่ 2.9 ขั้วอิเล็กโทรดจะถูกจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เหมาะสม ขั้วอิเล็กโทรดทำงาน (Working electrode) ทำมาจากแพลตทินัม (Platinum) หรือทอง ตัวอย่างก๊าซจะสามารถผ่านเมมเบรน (Membrane) มาได้ ซึ่งจะสัมผัสกับขั้วอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์ในเวลาเดียวกัน จึงทำให้เกิดการออกซิไดซ์ขึ้นซึ่งจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

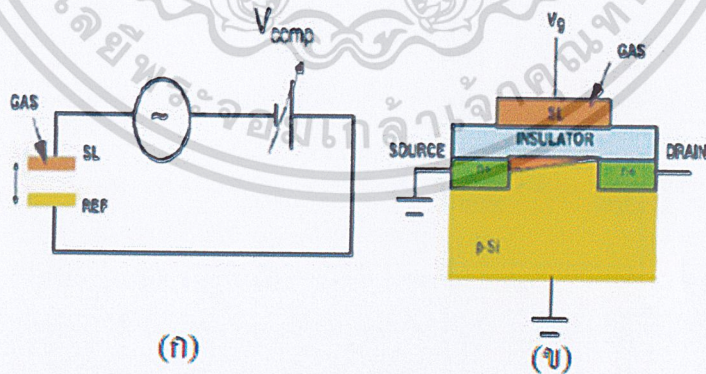
อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดความแตกต่างขั้วที่ขั้วไฟฟ้า Counter Electrode (CE) และ Reference Electrode (RE) ซึ่งความแตกต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองทำให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.9 เซ็นเซอร์แบบ Amperometric [7]

3. Potentiometric

เซ็นเซอร์แบบ potentiometric เป็นเซ็นเซอร์ทางเคมีชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับวัดปริมาณความเข้มข้นขององค์ประกอบก๊าซ มีหลักการทำงานโดยการวัด Electrical potential ของ electrode ระหว่าง working electrode กับ reference electrode ซึ่ง potential ของ working electrode จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซที่ทำการตรวจวัด ตัวเซ็นเซอร์มีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 (ก) Potentiometric แบบ Vibrating capacitor (Kelvin probe)
(ข) Potentiometric แบบ Insulated gate field-effect transistor [8]

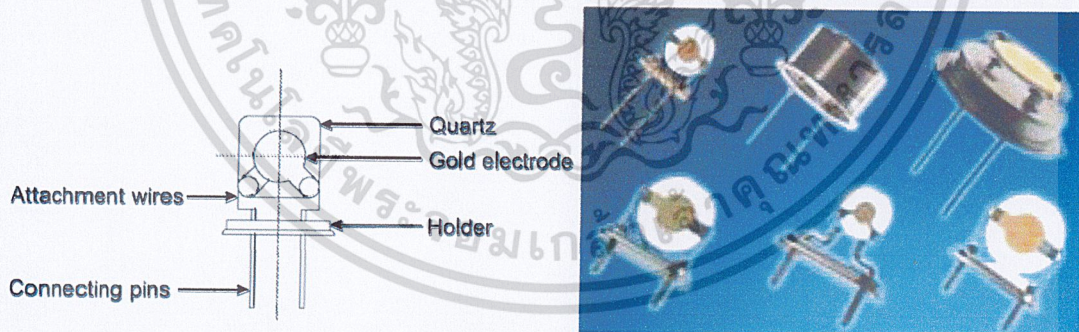
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เซ็นเซอร์แบบวัดน้ำหนัก (Gravimetric)

เซ็นเซอร์รับคลื่นที่ใช้เทคนิค Gravimetric คือเซ็นเซอร์ที่วัดตัวอย่างโดยใช้เทคนิคน้ำหนักของตัวอย่างทำให้ค่าทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เปลี่ยนแปลงไป เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีข้อดีที่สามารถตรวจวัดได้ในระดับต่ำ แต่การออกแบบวงจรการทำงานค่อนข้างซับซ้อน ที่ใช้งานกันมีดังต่อไปนี้

1. Bulk Acoustic Wave

เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave (BAW) มีโครงสร้างแบบ Piezoelectric crystals มักทำจากควอตซ์ (Quartz) ซึ่งมีความทนทานต่อเสียดสีของคลื่นวิทยุได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะเมื่อยามที่มีการเพิ่มระดับของคลื่นเสียงภายในตัว Crystal ตามปกติชนิดของ Crystal ที่ใช้ในเครื่องนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่หรือเวลาที่ใช้อ้างอิง Piezoelectric crystals นี้จะถูกเคลือบด้วยตัวเคลือบที่ว่องไวสูงโดยมีความหนาประมาณ 2-3 ไมโครเมตร ซึ่งตัวเคลือบที่ใช้จะต้องมีความทนต่อสารเคมีและความร้อน ปกติแล้ว Piezoelectric crystals จะมีหลักการง่าย ๆ คือ เมื่อปัจจัย ต่างๆ เช่น อุณหภูมิหรือมวลของสารประกอบคลื่นที่ทดสอบ เกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ความถี่ของคลื่นเสียงที่ตอบสนองเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสารประกอบคลื่นถูกดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของตัวเคลือบก่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่างๆ อีกทั้งระดับของความถี่สะท้อนก็เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงทั้งความถี่และระดับของความถี่สะท้อนล้วนมีสัมพันธ์กับน้ำหนักของสารประกอบคลื่นต่างๆ แต่ถึงอย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นสูง ๆ การเปลี่ยนแปลงจะสวนทางกับระดับของความถี่สะท้อน จึงมีความจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นในการทดสอบแทน ความว่องไวของตัวเซ็นเซอร์ชนิดนี้สัมพันธ์กับกระบวนการให้ความถี่ โดยทั่วไปจะให้ความถี่ในช่วง 10 ถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนมากจะใช้ในการวัดความจำเพาะของก๊าซและวิธีเลือกใช้นั้นจะขึ้นกับจำนวนองค์ประกอบของสารประกอบคลื่นการใช้เซ็นเซอร์ ชนิดนี้จึงยากในการควบคุมไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิหรือความชื้นของก๊าซเองก็ตาม โครงสร้างและลักษณะของเซ็นเซอร์แบบ Bulk acoustic wave แสดงดังรูปที่ 2.11



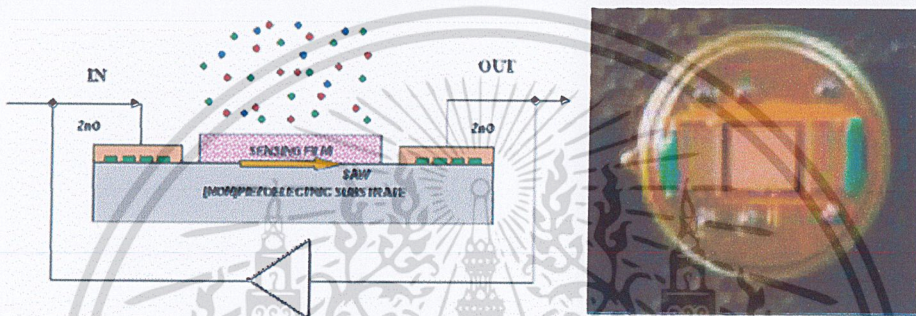
รูปที่ 2.11 เซ็นเซอร์แบบ Bulk Acoustic Wave [1] [9]

2. Surface Acoustic Wave

เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave (SAW) กระบวนการทำงานจะคล้ายๆ กับเซ็นเซอร์ BAW เว้นแต่เซ็นเซอร์แบบ SAW จะมีการเปลี่ยนคลื่นความถี่วิทยุจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงจากสนามไฟฟ้า สร้างขั้วไฟฟ้าที่บริเวณผิวหน้าของเซ็นเซอร์ และจะไม่เข้าไปข้างใน การใช้ความถี่ในช่วงตั้งแต่ 100-1000 เมกะเฮิร์ตซ์ สื่อนำของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยเข้าร่วมในการดูดซับโมเลกุลของตัวอย่างบนตัวเซ็นเซอร์ด้วย การเปลี่ยนแปลงความถี่จะสัมพันธ์กับจำนวนของการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

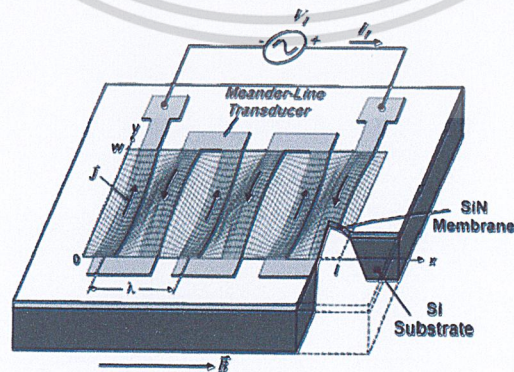
ของตัวอย่างที่บนชั้นผิวหน้าของเซ็นเซอร์ในส่วนของตัวเซ็นเซอร์ซึ่งมักจะทำจากควอตซ์ (Quart) หรือลิเทียม (Lithium) มักจะเคลือบโดยตัวเคลือบ 2 ชนิด ซึ่งมักจะทำจากอลูมิเนียม โดยมีคุณสมบัติในการแพร่และการสะท้อนคลื่น โดยชนิดแรกใช้ในการเป็นตัวเซ็นเซอร์และอีกชนิดหนึ่งจะใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยในระบบของตัวอ้างอิงของตัวเซ็นเซอร์ชนิดนี้จะคล้ายกับการเปลี่ยนรูปของสารซัลเฟอร์ ความไวของ Sensor ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการของการให้คลื่นความถี่ คือ ความถี่ของคลื่นเสียงที่ใช้ต้องมีความถี่สูงและมีความสัมพันธ์ของสัญญาณไฟฟ้า สำหรับการผลิตเซ็นเซอร์ชนิดนี้นั้นจะใช้สารซิลิคอน (Silicon) ที่มีราคาแพง เพราะจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการที่มีความถี่สูงมาก เพราะในการผลิตแต่ละครั้งต้องมีการควบคุมเพื่อให้ในกระบวนการมีความผิดพลาดของผลผลิตน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โครงสร้างและลักษณะเซ็นเซอร์แบบ SAW ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave [1] [10]

3. Flexural plate wave

เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave มีโครงสร้างคล้ายกับเซ็นเซอร์แบบ Surface Acoustic Wave และมีหลักการทำงานที่คล้ายๆกัน ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.13 ซึ่งอาศัยความถี่รีโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์ ซึ่งเมื่อจ่ายความถี่ให้กับเซ็นเซอร์จะทำให้เซ็นเซอร์เกิดการตอบสนองในลักษณะการเกิดคลื่นผิวที่ความถี่หนึ่งขึ้น เมื่อมีตัวอย่างเข้ามาจะทำให้คลื่นผิวเปลี่ยนความถี่ไปทำให้เกิดเป็นสัญญาณอีกความถี่ขึ้นมาเมื่อขับตัวอย่างก็เข้าออกไปเซ็นเซอร์ก็จะกลับมาเกิดคลื่นผิวที่ความถี่เดิม



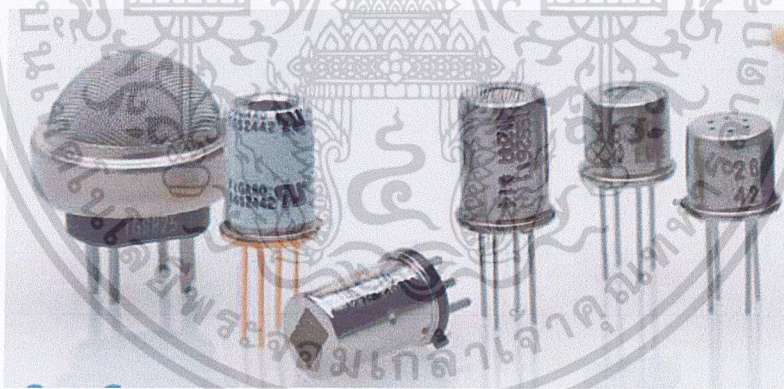
รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์แบบ Flexural plate wave [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์ชนิดนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นในปี 1971 โดยนายทาคุชิ ในทางอุตสาหกรรมนั้นจะทำจากเซรามิกและมีการเคลือบด้วยฟิล์มกึ่งตัวนำ ซึ่งใช้ติบุกออกไซด์เป็นตัวเคลือบ ตัวฟิล์มนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้โลหะเปลี่ยนไปเป็นสเปกตรัม (Spectrum) เพื่อให้ง่ายต่อการแยกชนิดของสารประกอบเคมีแต่ละสารที่มีในกลิ่นทดสอบ ปัจจุบันได้พัฒนาให้เซ็นเซอร์ชนิดนี้สามารถทำตรวจสอบได้ในที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-400 องศาเซลเซียส ดังนั้นชนิดของตัวเซ็นเซอร์แต่ละตัวที่ใช้ในเครื่องควรมีความไวในการทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีแต่ละตัวที่ไม่เท่ากันทั้งนี้เพื่อที่จะได้ครอบคลุมสารเคมีชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นที่ทดสอบ และในที่สุดสามารถที่จะจำแนกชนิดของกลิ่น โดยหลักการแล้วผลตอบสนองทางเคมีของกลิ่นที่มีต่อเซ็นเซอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากเซ็นเซอร์รับกลิ่นแบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์หรือเรียกสั้นๆว่าเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.14 เซ็นเซอร์แบบนี้เป็นเซ็นเซอร์ที่ได้รับความนิยมสูงสุด เพราะว่ามีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดนี้มาหลายรูปแบบตามแต่ความต้องการวัสดุ MOS อยู่ในรูปผลึกเล็กๆจำนวนมากที่มีผิวสัมผัสต่อกัน โดยในการนำไฟฟ้านั้น อิเล็กตรอนก็จะต้องวิ่งข้ามไปมาระหว่างผิวสัมผัสเหล่านั้นซึ่งมักจะถูกเคลือบบางๆด้วยชั้นของก๊าซออกซิเจนซึ่งก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานไฟฟ้าที่ทำให้อิเล็กตรอนข้ามไปได้ลำบากยิ่งขึ้น แต่ถ้ามีก๊าซซึ่งมีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 200-500 องศา ก็จะทำให้ชั้นของออกซิเจนที่เคลือบอยู่นั้นลดลงไป ทำให้วัสดุ MOS นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งสมบัติเช่นนี้เองที่เราใช้ในการตรวจหากลิ่นที่มีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง



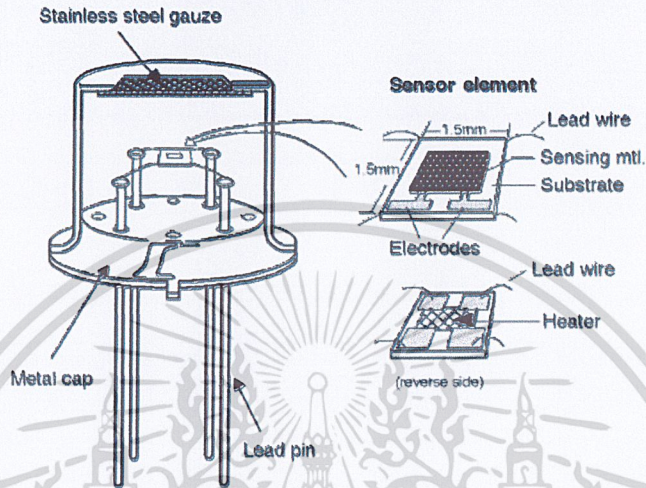
รูปที่ 2.14 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor รุ่นต่างๆ [6]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 โครงสร้างของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

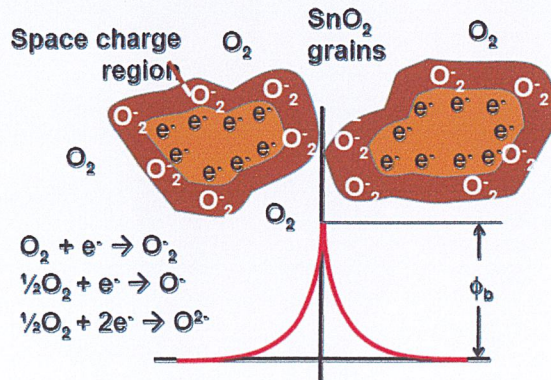
โครงสร้างของเซ็นเซอร์ก๊าซแบบโลหะออกไซด์ [6] แสดงดังรูปที่ 2.15 มี Active material ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่เป็นโลหะออกไซด์วางอยู่บน Substrate ต่ออยู่กับขั้ว Electrode ตัวออกไซด์โลหะตัวเช่น ดีบุกออกไซด์ (SnO₂) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ทังสเตนออกไซด์ (WO₃) เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) เป็นต้น ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วย Heater เพื่อควบคุมอุณหภูมิและเป็นตัวช่วยในการทำ Deoxidizing



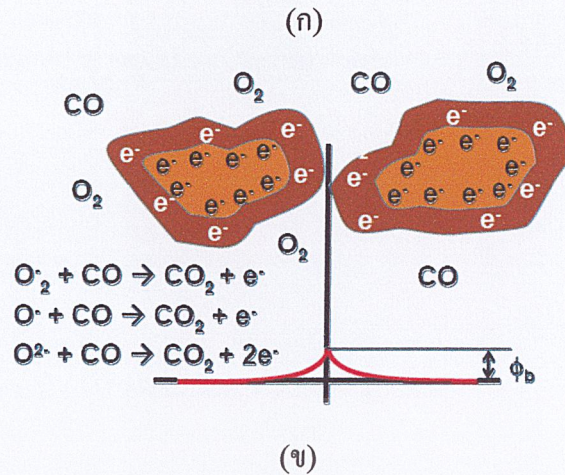
รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ [6]

2.6.2 การทำงานของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์ก๊าซ ที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดก๊าซที่สร้างจากออกไซด์ของโลหะเช่น ออกไซด์ของโลหะดีบุก (SnO₂) เมื่อผลึกออกไซด์ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของออกซิเจนจะไปเกาะตัวที่ผิวของผลึกออกไซด์โลหะด้วยประจุที่เป็นลบ (Negative charge) ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ผิวและประจุบวกอยู่ภายนอกดังแสดงแบบจำลองและสมการทางเคมีในรูปที่ 2.16 (ก) โมเลกุลของออกซิเจนสร้างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผลึกออกไซด์โลหะซึ่งกีดขวางการไหลของอิเล็กตรอน จึงทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมีตัวอย่างที่ต้องการวัดผ่านเข้ามาทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง หรือทำให้เกิดการ Deoxidizing ขึ้น ทำให้เกิดการดึงออกซิเจนออกจากผิวของผลึกออกไซด์โลหะทำให้ความหนาแน่นประจุลบที่ผิวผลึกออกไซด์โลหะลดลง และทำให้ศักย์ไฟฟ้าซึ่งขวางการไหลของอิเล็กตรอนลดลงด้วย เป็นผลให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 (ก) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ
 (ข) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะวัดก๊าซ [1]

สมการที่ (2.2) เป็นสมการเคมีอธิบายการทำงานของเซ็นเซอร์ขณะเซ็นเซอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสภาวะปกติออกซิเจนหนึ่งอะตอมจะจับอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเซ็นเซอร์) เกิดเป็น O⁻ ซึ่งจะขวางการเดินทางของกระแสไฟฟ้า เป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยลงหรืออีกนัยหนึ่งคือ ความต้านทานของเซ็นเซอร์สูงนั่นเอง



แต่เมื่อมีก๊าซตัวอย่างใดๆ R(g) ผ่านเข้ามาจะจับกับออกซิเจนเป็นผลให้มีการดึงออกซิเจนออกจากตัวเซ็นเซอร์ดังสมการที่ (2.3) จึงเป็นเหตุให้ O⁻ ที่ขวางการไหลของกระแสไฟฟ้าลดลงเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลได้สูงขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งคือทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลงนั่นเอง



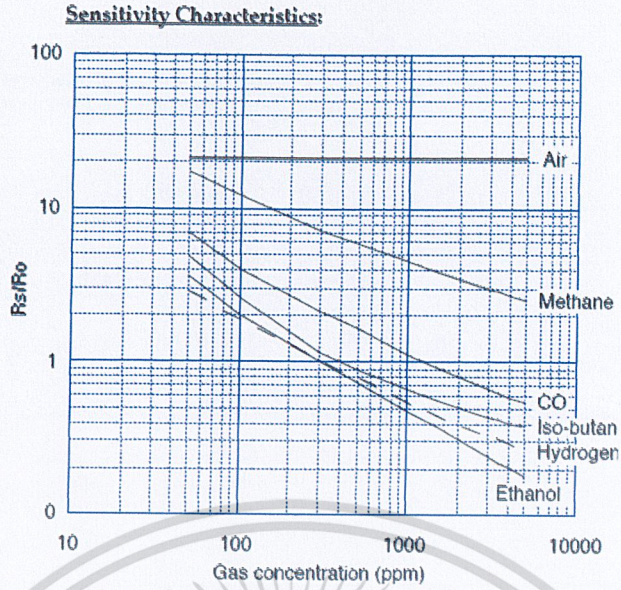
ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ และความเข้มข้นของ Deoxidizing gas แสดงดังสมการที่ (2.4)

$$R_s = A[C]^\alpha \tag{2.4}$$

โดยที่ R_s คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ A คือค่าคงที่ [C] คือค่าความเข้มข้นของก๊าซ และ α คือความชันของกราฟความต้านทาน R_s

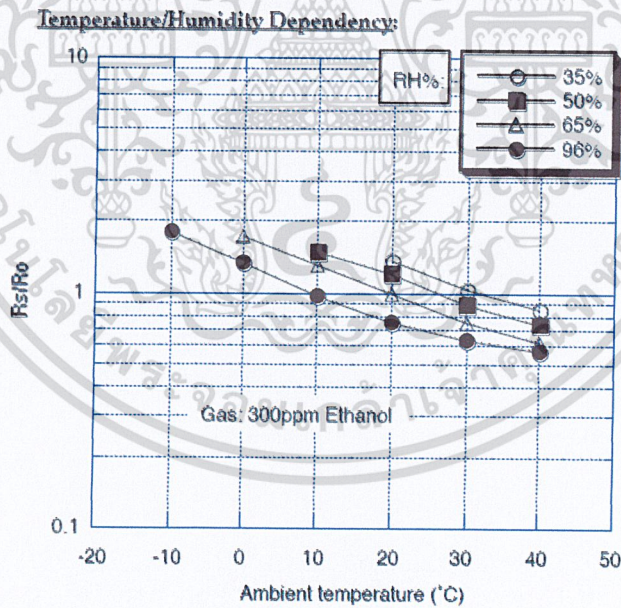
ความไวต่อความเข้มข้นของก๊าซสามารถอธิบายด้วยอัตราส่วน ของความต้านทานของเซ็นเซอร์ขณะที่มีก๊าซเป้าหมาย R_s ต่อความต้านทานของเซ็นเซอร์ที่อยู่ในอากาศ R₀ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณของก๊าซ [6]

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2.18

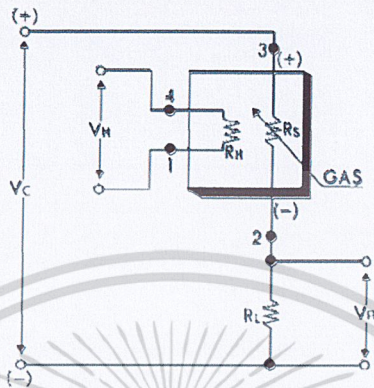


รูปที่ 2.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 วงจรของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

วงจรของเซ็นเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.19 จากวงจร V_H เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อน (Heater) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับเซ็นเซอร์ให้คงที่เพื่อควบคุมความไวของเซ็นเซอร์ให้คงที่อีกที่หนึ่ง เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์



รูปที่ 2.19 วงจรพื้นฐานสำหรับก๊าซเซ็นเซอร์โลหะออกไซด์ [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 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

2.7.1 ความหมายของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ในการทำวิจัยไม่ว่าจะเป็นวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น มักจะมีข้อมูลและตัวแปรจำนวนมาก หรือเมื่อนำมาแสดงในรูปของกราฟถ้ามีตัวแปรมากกว่า 4 ตัวแปรขึ้นไปก็จะนำมาพิจารณาได้ยาก ซึ่งทำให้มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์และสรุปผลโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน จึงมีแนวคิดที่จะลดจำนวนตัวแปรโดยให้ตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่มีความผันแปรหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิมไว้มากที่สุดและเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ลดจำนวนตัวแปรได้

กระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบถือกำเนิดขึ้นมาในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 โดย Spearman แต่การวิเคราะห์องค์ประกอบในสมัยนั้นยังเป็นวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อนและเสียเวลามากในการวิเคราะห์ ดังนั้น การวิเคราะห์องค์ประกอบจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายในหมู่นักวิจัยสมัยนั้น จนกระทั่งคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ถือกำเนิดขึ้นมาและตามมาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยเหลือในการวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบจึงได้แพร่หลายออกไปในหมู่นักวิจัยกันอย่างกว้างขวาง

จุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์องค์ประกอบมี 2 ประการคือ

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

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจจะใช้ในการสำรวจข้อมูล จำนวนองค์ประกอบอธิบายความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรเมื่อผู้วิจัยไม่มีหลักฐานอ้างอิงเพียงพอสำหรับเป็นกรอบของสมมติฐานเกี่ยวกับจำนวนขององค์ประกอบภายใต้ข้อมูลที่สอบวัดได้

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

2.7.2 หลักการของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรที่มีจำนวนมาก เช่น p ตัว โดยการสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรเดิม p ตัว และจะต้องสกัดหรือดึงรายละเอียดหรือค่าแปรปรวนจากตัวแปรเดิมมาไว้ในตัวแปรใหม่ให้มากที่สุด ในที่นี้จะใช้ PC_i แทนองค์ประกอบหลักที่ $i; i = 1, 2, \dots, p$ 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 $PC_i; i = 1, 2, \dots, p$ โดยที่

$$PC_1 = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1p}X_p \quad (2.7)$$

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

$$PC_2 = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2p}X_p \quad (2.8)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Cov}(PC_i, PC_k) = w'_i \Sigma w_k; i \neq k; k, i = 1, 2, \dots, p \quad (2.14)$$

โดยที่ PC_1, PC_2, \dots, PC_p เป็นตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลัก p ตัว และ w_{ij} เป็นสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนักของตัวแปรเดิม X_j 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

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

$$w'_1 w_1 = w_{11}^2 + w_{12}^2 + \dots + w_{1p}^2 = 1 \quad (2.15)$$

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 $x' = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ ซึ่งมีเมทริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม Σ 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 ค่า แล้วจะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(X_i) = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \dots + \sigma_{pp} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p = \sum_{i=1}^p \text{Var}(PC_i) \quad (2.16)$$

$$\therefore PC_k \text{ มีสัดส่วนของค่าแปรปรวน} = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}; k = 1, 2, \dots, p \quad (2.17)$$

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 (λ_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, \dots, PC_m จะมีความแปรปรวนของตัวแปรเดิมให้มากที่สุด เช่น ถ้ามีตัวแปรเดิม 20 ตัว ($p \leq 20$) และค่าแปรปรวนทั้งหมด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)

$$l_{ij} = \frac{w_{ij}}{S_j} \sqrt{\lambda_i} \quad (2.20)$$

โดยที่ l_{ij} เป็น loading ของตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$ กับ ตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$
 w_{ij} เป็น loading ของตัวแปรเดิมที่ j กับ ตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$
 λ_i เป็นค่าไอเกนของตัวประกอบหลักที่ i (ค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$)
 S_j เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$

2.7.5 ชนิดของข้อมูลในการสร้างตัวองค์ประกอบหลัก

ในการสร้างตัวประกอบในสมการที่ (2.7) เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนัก (w_{ij}) ของตัวแปรเดิม โดยจะคำนวณจากเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม (Σ หรือ S) ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะพบว่าถ้ามีตัวแปรเดิมตัวใดตัวหนึ่งมีค่าแปรปรวนมากกว่าตัวแปรอื่นๆ มาก หรือกรณีที่ตัวแปรเดิมมีหน่วยที่แตกต่างกัน จะทำให้ตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากมีส่วนในการสร้างตัวประกอบหลักมาก ในขณะที่ตัวแปรเดิมมีค่าแปรปรวนต่ำๆ แทบจะไม่มีผลต่อการสร้างตัวประกอบหลักเลย หรือกล่าวได้ว่าตัวประกอบหลักที่ได้จะขึ้นกับตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากเท่านั้น กรณีที่ค่าแปรปรวนของตัวแปรเดิมต่างกันมากๆ ถ้าใช้เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมในการสร้างตัวประกอบหลัก จะทำให้

1. ตัวประกอบหลักตัวแรกๆ มีค่าแปรปรวนมาก เช่น PC_1 มีค่าแปรปรวนสูง ในขณะที่ PC อื่นๆ มีค่าแปรปรวนต่ำมาก
2. ตัวประกอบหลักจะเป็นตัวแทนของตัวแปรเดิมที่มีแปรปรวนมาก หรือกรณีที่ตัวแปรเดิมมีหน่วยต่างกันมาก การที่หน่วยต่างกันจะทำให้ค่าแปรปรวนต่างกันมากเช่นกัน ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากเป็นตัวแปรที่สำคัญ ในการสร้างตัวประกอบหลัก จึงควรปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปมาตรฐาน (standardized) ก่อน หรือแทนที่จะใช้เมตริกซ์ค่าแปรปรวนหรือค่าแปรปรวนร่วม ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ หรือ R) การที่ใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตัวอย่าง R จะทำให้ค่าไอเกน(แปรปรวน) และเวกเตอร์ค่าไอเกน (w_{ij}) เปลี่ยนไปจากเดิมที่ใช้เมตริกซ์ S

2.7.6 การพิจารณาจำนวนตัวองค์ประกอบหลักที่เหมาะสม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พิจารณาจากร้อยละความแปรปรวนสะสม ถ้าร้อยละความแปรปรวนสะสมของตัวประกอบหลัก m ตัวแรก เป็นอย่างต่ำร้อยละ 80 ก็ควรให้จำนวนตัวประกอบหลักเท่ากับ m โดยที่ $m < p$ เช่น ถ้า $p = 10$ และมีตัวประกอบหลักเพียง 3 ตัวแรก ที่ค่าสะสมของร้อยละของร้อยละของความแปรปรวน เป็น 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 ถ้าค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักตัวใดน้อยกว่าค่าแปรปรวนเฉลี่ย $\left(\frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{p} \right)$ จะตัดทิ้ง

การใช้ค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักสำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปมาตรฐานแล้ว การพิจารณาเฉพาะตัวประกอบหลักที่มีค่าไอเกนมากกว่าหนึ่งนั้นอาจทำให้จำนวนตัวประกอบหลักที่ได้มากหรือน้อยจนเกินไปดังนั้นควรใช้หลักเกณฑ์อื่น ๆ มาร่วมพิจารณาด้วย

2.7.7 ความหมายของตัวองค์ประกอบหลัก

ความหมายของตัวประกอบหลักควรจะอธิบายถึงความหมายตัวแปรเดิม เนื่องจากตัวประกอบหลักเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าค่า Loading จะเป็นค่าที่ใช้อธิบายความหมายของตัวประกอบหลักแต่ละตัว เนื่องจากค่า Loading (L_{ij}) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$ กับตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$ การศึกษาว่าความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรเดิมตัวใดบ้างนั้น ให้พิจารณาจากค่า Loading ของตัวแปรเดิมตัวใดมีค่ามากกว่าความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรนั้น โดยทั่วไปกำหนดว่า ถ้าค่า Loading มากกว่าหรือเท่ากับ ± 0.5 จะพิจารณาความหมายของตัวแปรเดิมนั้นให้เป็นความหมายของตัวประกอบหลัก

2.8 ค่าไอเกนและไอเกนเวกเตอร์ (Eigen value and Eigen vector)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีการแปลงเชิงเส้น $T:V \rightarrow V$ 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 $m \times n$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

และ v เป็นเวกเตอร์หลัก (Column vector) และ λ เป็นค่าคงที่ใดๆ โดยที่

$$v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

โดยที่ $Av = \lambda v$ (2.23)

เมื่อ A แทน ค่าเมตริกซ์
 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 $\lambda = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการหาค่าไอเกนของเมตริกซ์ A สามารถอธิบายโดยตัวอย่างต่อไปนี้

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

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 สามารถจัดสมการให้อยู่ในระบบสมการเอกพันธ์ (Homogeneous system) คือ

$$(\lambda I - A)v = 0 \quad (2.24)$$

เมื่อ

A แทน ค่าเมตริกซ์

I แทน เมตริกซ์เอกลักษณ์

λ แทน เป็นค่าคงที่ใดๆ เป็นสเกลาร์

v แทน ค่าไอเกนเวกเตอร์

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

$$|\lambda I - A| = 0 \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สรุป ถ้า A เป็นเมทริกซ์ขนาด $m \times n$ และ λ เป็นจำนวนจริงแล้วจะได้

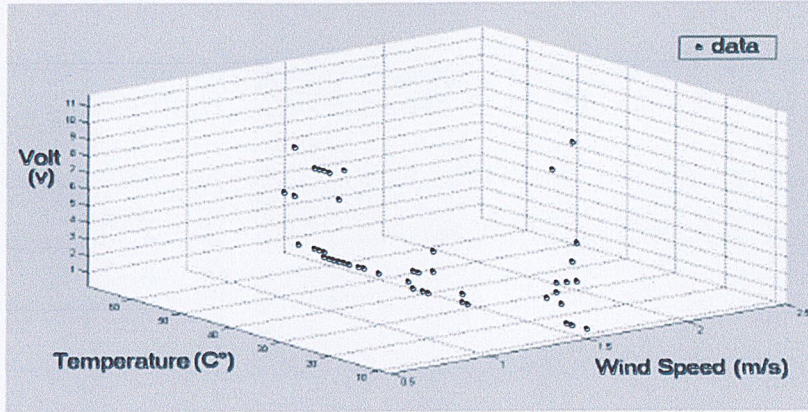
1. λ เป็นค่าไอเกนของเมทริกซ์ A
2. ระบบสมการ $(\lambda I - A)v = 0$ มีคำตอบที่ไม่เป็นเวกเตอร์ศูนย์
3. $|\lambda I - A| = 0$
4. มีเวกเตอร์ $v \neq 0$ ใน R ที่ทำให้ $Av = \lambda v$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันจุมูกอิลีกทรอนิกส์มีการนำพัฒนานำไปใช้งานต่างๆ หลากหลาย ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้เซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่น เนื่องจากมีขนาดเล็กสะดวกที่จะนำเซ็นเซอร์หลายตัวต่อรวมกัน ทนทาน เชื่อถือได้และการต่อวงจรเพื่อนำสัญญาณเอาต์พุตไปประมวลผลต่อก็ทำได้ง่าย ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่นำเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ไปใช้มีดังนี้

2.9.1 การเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศ

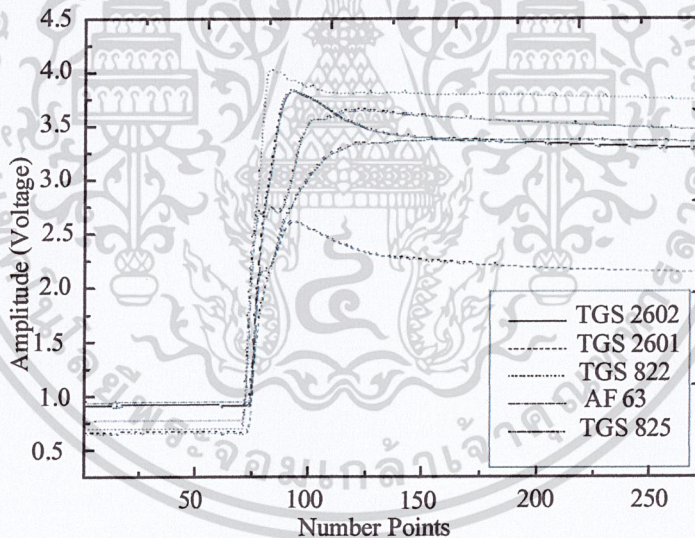
งานวิจัยของ Iman Morsi [14] ได้นำก๊าซเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จำนวน 5 ตัว คือ TGS 822, TGS 2442, TGS 813, TGS 4160 และ TGS 2600 มาต่อรวมกัน และยังมี การตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม เซ็นเซอร์ทั้งหมดควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำจุมูกอิลีกทรอนิกส์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามท้องถนนต่างๆ ในเมืองเปรียบเทียบกัน โดยใช้เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นโค้งเพื่อหาความสัมพันธ์ในความเป็นไปได้ในการเตือนระดับมลพิษโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลข้อมูลผลการทดลองดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ข้อมูลระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่บันทึกได้จากเซ็นเซอร์หลายๆ ตัว

2.9.2 การจำแนกตัวอย่างกลิ่นน้ำหอม

งานวิจัยของรุ่งโรจน์ เมาลานนท์ [12] ได้ใช้ก๊าซเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จำนวน 5 ตัว คือ TGS2620 TGS2610 TGS822 TGS825 และ AF63 ตรวจสอบกลิ่นน้ำหอมกับแอลกอฮอล์ซึ่งได้การเปลี่ยนแปลงสัญญาณของก๊าซเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 2.21



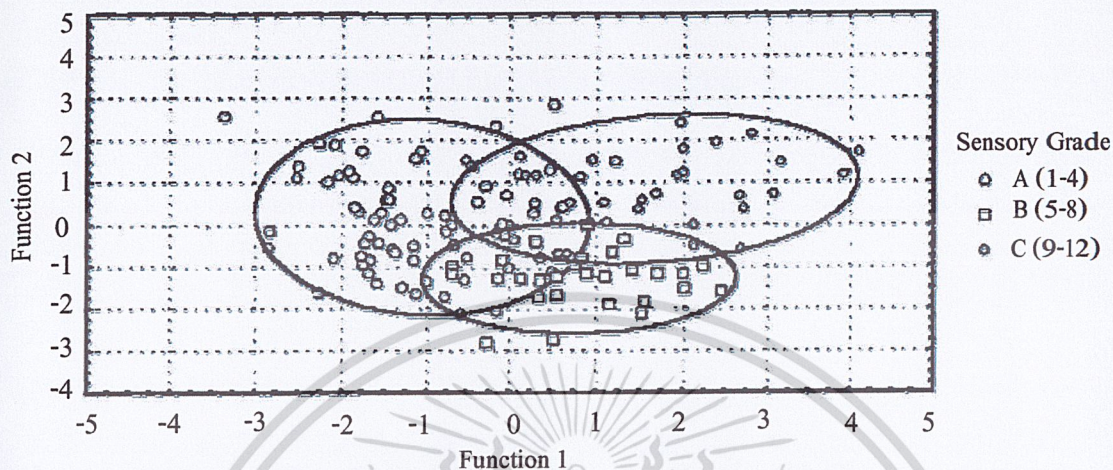
รูปที่ 2.21 สัญญาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำหอม [12]

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้เทคนิคPCA ในการจำแนกกลิ่นการทดลองได้คัดเลือกตัวอย่างน้ำหอมทั้งหมด 2 กลิ่น สารโพรพานอลและเอทานอล ซึ่งเอทานอลเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่พบในน้ำหอมและโพรพานอลใช้เป็นสารเปรียบเทียบสำหรับผลการทดลอง

2.9.3 การจำแนกคุณภาพเนื้อสัตว์

งานวิจัยของ Chen Cunshec และคณะ [15] ใช้ก๊าซเซ็นเซอร์จำนวน 6 ตัว คือ MQ136, MQ137, MQ138, MQ139, MQ140 และ MQ141 ตรวจสอบกลิ่นเนื้อสัตว์เพื่อคุณภาพ เนื่องจากการใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

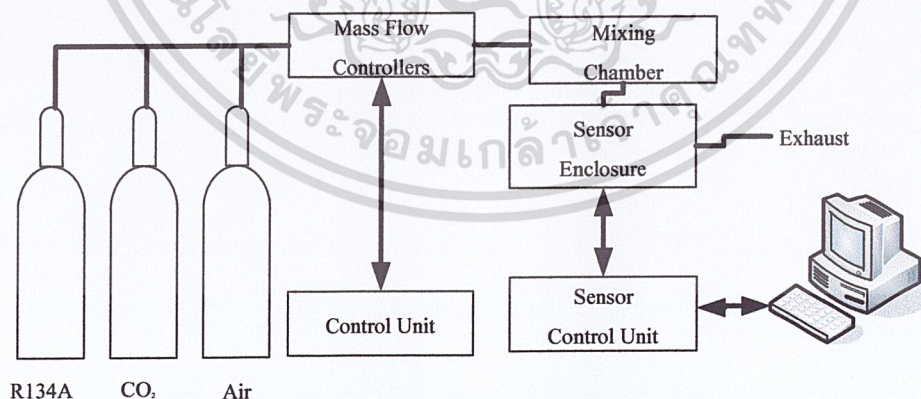
เทคนิคเทคนิคประสาทสัมผัสตรวจสอบที่ใช้อยู่เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งจะใช้ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ตามกลิ่นเนื้อที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ผลการจำแนกเนื้อสัตว์ตามระดับอุณหภูมิต่างๆ ด้วยเทคนิค MDA [16]

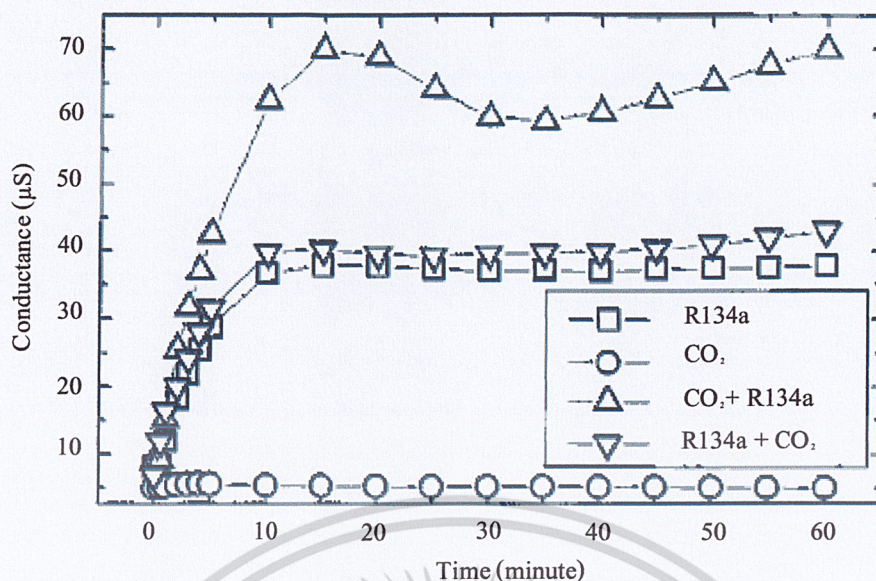
2.9.4 การจำแนกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซอื่นๆ

งานวิจัยของ Frederic Sarry และ Martine Lumbreras [16] ได้นำก๊าซเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัว คือ TGS800, TGS813 และ TGS832 มาต่อกันเป็นอาร์เรย์ มาใช้ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารทำความเย็น R134a และสารผสมของก๊าซทั้งสอง ซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อนและการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการตรวจวัดจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ ซึ่งมีการทำงานระบบและผลการตรวจวัดที่ได้ดังรูปที่ 2.23 และ 2.24 ตามลำดับ



รูปที่ 2.23 ระบบจุ่มอิเล็กทรอนิกส์สำหรับจำแนกก๊าซต่างๆ โดยใช้เซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ผลการตรวจวัดแสดงเป็นค่าความนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์

2.10 การผลิตเบียร์

เบียร์ เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (Alcoholic beverage) ที่ได้จากการหมัก (Fermentation) วัตถุดิบหลักในการผลิตเบียร์ คือมอลต์ (Malt) หรือข้าวงอก ยีสต์ (Yeast) ฮอป (Hop) และน้ำ ดังรูปที่ 2.25 มอลต์ได้จากการนำเมล็ดธัญพืช (cereal grain) เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี (wheat) ที่เพาะให้งอก (Malting) ระหว่างการงอก จะเกิด เอนไซม์หรือตัวเร่งปฏิกิริยามาทำการ ย่อยสตาarch (Starch) หรือโพลีแซกคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ที่พบในพืช เช่น เมล็ดธัญพืชให้มีโมเลกุลเล็กลง ให้กลายเป็นน้ำตาลแล้วจึงนำมาหมักด้วยยีสต์ ให้เกิดแอลกอฮอล์ก่อนการหมักมีการเติมฮอป (Hop) เพื่อให้กลิ่นและรสขมของเบียร์



รูปที่ 2.25 วัตถุดิบหลักในการผลิตเบียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 ประวัติการผลิตเบียร์ของต่างประเทศ

ในเรื่องประวัติความเป็นมาของเบียร์นั้น เชื่อกันว่าเบียร์เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดแรกของโลก เกิดขึ้นก่อนสุรา เป็นที่นิยมของผู้บริโภคมาตั้งแต่สมัยโบราณ ประมาณ 6,000 ปีก่อนคริสตกาล มีการค้นพบภาพแกะสลักหินแสดงการผลิตเบียร์ ดังรูปที่ 2.26 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเบียร์ได้แก่ข้าว ซึ่งจะงอกเป็นข้าวอะไรก็ได้แล้วแต่ความนิยม เช่น ญี่ปุ่นใช้ข้าวเจ้า รัสเซียใช้ข้าวไรเยอร์มณีและไทยใช้ข้าวบาร์เลย์ นอกจากนี้ข้าวโพดก็ใช้ทำเบียร์ได้ ในเม็กซิโกบางท้องถิ่นใช้ต้นกระบองเพชร

แคว้นเมโสโปเตเมีย (Mesopotamia) ราว 2,800 ปีก่อนคริสต์ศักราช มีการค้นพบบันทึกเกี่ยวกับการแบ่งปันเบียร์และขนมปังให้กับผู้ใช้แรงงานในสมัยนั้น การทำเบียร์และบริโภคในสมัยนั้นพบว่า ใกล้เคียงกับข้อบัญญัติที่บังคับใช้ในสมัยของกษัตริย์ฮัมมูราบี (Hammurabi, 1728 ถึง 1686 ก่อนคริสต์ศักราช) แห่งแคว้นบาบิโลเนีย (Babylonia)



รูปที่ 2.26 ภาพแกะสลักหินแสดงการผลิตเบียร์

สมัยอียิปต์โบราณก็พบว่า มีการผลิตเบียร์ และนิยมดื่มเบียร์กันอย่างกว้างขวาง โดยการพบหลักฐานที่เป็นภาพเขียน และภาพสลักเกี่ยวกับเรื่องราวของการผลิตเบียร์บนแผ่นหินรูปที่ 2.27 เบียร์ของอียิปต์ผลิตขึ้น โดยเอาขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวบาร์เลย์ ที่เอาเมล็ดข้าวบาร์เลย์มาเพาะให้รากงอกแล้วเอามาป่นหยาบๆ ผสมกับน้ำปั่นเป็นก้อน ต่อจากนั้นจึงเอาไปปิ้งไม่ต้องให้สุกดีแล้วเอาไปแช่น้ำหมักทิ้งค้างคืนไว้ ขนมปังจะเริ่มบูดโดยเชื้อยีสต์ในอากาศและเกิดแอลกอฮอล์ขึ้น เมื่อเอามากรองจะได้น้ำเบียร์สีขาวมีฟองรสเปรี้ยว ใช้เป็นเครื่องดื่ม บางครั้งอาจมีการเติมสมุนไพรลงไปเพื่อทำให้มีกลิ่นหอม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส.รูปที่ 2.27 ภาพเขียนสีการผลิตเบียร์ของชาวอียิปต์โบราณนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชาวอินเดียแดง ในทวีปอเมริกาใต้ ก่อนที่ชาวฝรั่งเศสจะเข้ายึดครองพบว่า ชาวอินเดียแดง รู้จักผลิตสุรา โดยใช้แป้งข้าวโพดมาทำเป็นส่ำหมัก

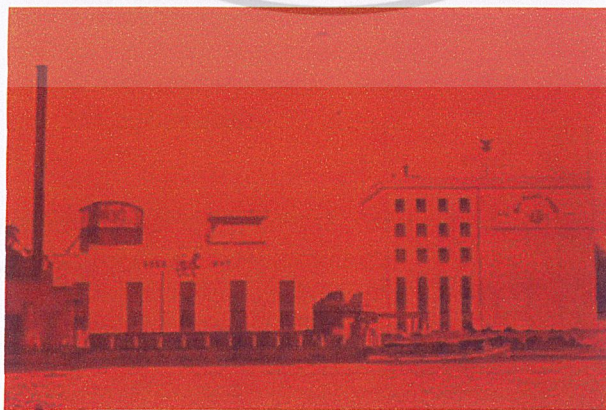
ในทวีปยุโรป เบียร์เป็นเครื่องดื่มที่นิยมกันในชนชาติเยอรมัน ซึ่งในสมัยก่อน จะผลิตกันภายในครอบครัว เหมือนการเตรียมอาหารประจำวัน โดยสตรีจะมีหน้าที่ผลิตด้วยวิธีการง่ายๆ ต่อมาการผลิตเบียร์ได้กระจายเข้าไปมีบทบาท ในศาสนาคริสต์ โดยมีการผลิตในปริมาณมากขึ้น เพื่อแจกจ่ายให้กับผู้มาร่วมงานทางศาสนา

ชาวเยอรมันในสมัยโบราณรู้จักผลิตเบียร์ขึ้นก่อนประเทศอื่นๆ ในทวีปยุโรป และตั้งชื่อของสุราประเภทที่ผลิตด้วยแป้งจากข้าวบาร์เลย์ที่เพาะให้รากงอก แล้วนำมาคั่ว บด ต้ม และนำไปหมักกว่า บีเออร์ (Bior) เครื่องดื่มบีเออร์นี้ มีรสเปรี้ยวอมหวานและใช้บริโภคนับเป็นอาหารประจำวันหลักฐานทางโบราณคดียังพบว่า เมื่อนำกากแห้งที่ติดอยู่ในภาชนะดินเผาซึ่งขุดพบในซากเมืองโบราณมาวิเคราะห์พบว่า มีเบียร์ดีกรีสูงที่ผลิตจากข้าวสาลีผสมน้ำผึ้ง เบียร์ชนิดนี้ เรียกว่า อโล (Alo) ซึ่งน่าจะเพี้ยนมาเป็นเอล (Ale) ซึ่งคือเบียร์ชนิดหนึ่งในยุคต่อมา

ในสมัยก่อนมีการนำพืชชนิดต่างๆ ที่มีกลิ่นหอม เช่น เครื่องเทศ และดอกไม้แห้งมาผสมเข้าด้วยกัน แล้วใส่ลงไป เพื่อให้เบียร์มีกลิ่นหอม ต่อมาในศตวรรษที่ 14 มีการนำดอกฮอป (Hop) มาใช้เป็นส่วนผสมสำคัญของการทำเบียร์ เพื่อให้มีกลิ่นหอมดังกล่าว รสและกลิ่นหอมของดอกฮอป (Hop) เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค จึงนิยมกันอย่างแพร่หลายมาก จนดอกฮอป (Hop) กลายเป็นของมีค่ามีราคาสูง และนิยมปลูกกันมาก

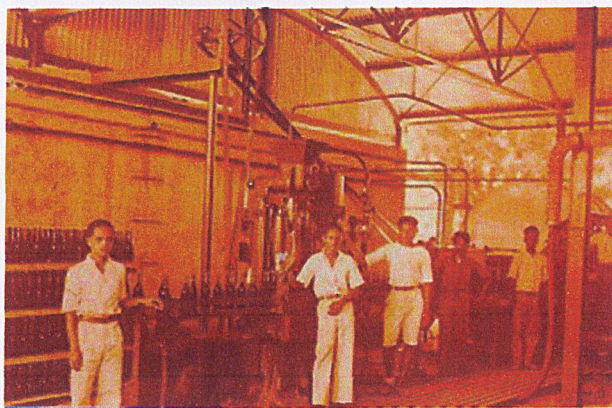
ในศตวรรษที่ 15 พบว่า วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตเบียร์มีปริมาณน้อยลง เนื่องจากผลกระทบจากสภาพธรรมชาติ ทำให้เก็บเกี่ยวข้าวบาร์เลย์ และฮอป (Hop) ได้น้อย จึงมีการนำพืชชนิดอื่นมาใช้แทนฮอป (Hop) ขณะเดียวกัน ก็มีการนำธัญชาติอื่น ที่ใช้สำหรับทำขนมปังมาใช้แทนข้าวบาร์เลย์ ดังนั้นในปี ค.ศ. 1516 จึงมีการตั้งกฎแห่งความบริสุทธิ์ (Purity law) ในประเทศเยอรมนี เพื่อกำหนดให้ผู้ผลิตเบียร์ต้องใช้เฉพาะข้าวมอลต์ฮอป (Hop) และน้ำ เท่านั้นสำหรับการผลิตเบียร์เหตุผลก็คือ ต้องการให้ผู้บริโภคได้รับความยุติธรรมในเรื่องของราคาและคุณภาพเมื่อใช้วัตถุดิบที่เหมือนกัน และยังใช้กฎนี้มาจนทุกวันนี้ กฎดังกล่าวมิได้กำหนดบังคับใช้ในประเทศอื่น ดังนั้นจึงมีการนำเอาข้าวเจ้า ข้าวโพด มันหรือน้ำตาล มาใช้เป็นส่วนผสม ปนกับข้าวมอลต์ในการผลิตเบียร์

2.10.2 ประวัติการผลิตเบียร์ในประเทศไทย



รูปที่ 2.28 โรงเบียร์บุญรอด เมื่อปี พ.ศ. 2503

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ขวดเบียร์ที่บรรจุแล้ว พร้อมนำไปปิดฉลากบรรจุลงถัง

ส่วนประวัติของอุตสาหกรรมเบียร์ในประเทศไทยนั้น ได้เริ่มต้นในรัชสมัยของ พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว ซึ่งทรงมีพระปรีชาญาณในด้านเศรษฐกิจ พาณิชยกรรม และธุรกิจเป็นอย่างสูง ทรงปรารถนาที่จะให้คนไทยดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรม ทัดเทียมประเทศเพื่อนบ้าน จึงทรงดำเนินนโยบายมุ่งส่งเสริมคนไทย ให้ได้ประกอบกิจการอุตสาหกรรม ที่สำคัญต่างๆ

ในปี พ.ศ. 2473 พระยาภิรมย์ภักดี (บุญรอด เศรษฐบุตร) ได้ยื่นเรื่องขออนุญาตผลิตเบียร์ ต่อกระทรวงพระคลังมหาสมบัติ ซึ่งมีพระยาโกมารกุลมนตรี เป็นเสนาบดี กระทรวงพระคลังมหาสมบัติ อยู่ในขณะนั้น พร้อมทั้งทูลเกล้าฯถวายฎีกาขอพระราชทานพระบรมราชานุญาตโดยเห็นว่า เบียร์เป็นสินค้าที่ชาวต่างประเทศได้ส่งเข้ามาจำหน่ายในประเทศสยามนานแล้ว ทำให้มีเงินออกนอกประเทศมาก ถ้าสามารถผลิตขึ้นได้เองก็จะป้องกันเงินออกนอกประเทศ และประหยัด รวมทั้งได้ประโยชน์ที่จะสามารถขายได้ราคาสูงกว่า สามารถใช้ปลายข้าวแทนข้าวมอลต์ ทำให้กรรมกรไทยมีงานทำ

ความคิดที่จะผลิตเบียร์ขึ้นเองของพระยาภิรมย์ภักดีนั้น เนื่องมาจากพระยาภิรมย์ภักดี มีกิจการเดินเรือเมล์ระหว่างตลาดพลุกับท่าเรือราชวงศ์โดยใช้ชื่อว่า บริษัทบางหลวง จำกัด ต่อมารัฐบาลได้เริ่มสร้างสะพานพระพุทธยอดฟ้าและตัดถนนเชื่อมตลาดพลูและประตูน้ำภาษีเจริญ ซึ่งเป็นเส้นทางเดียวกับที่พระยาภิรมย์ภักดีมีกิจการเดินเรืออยู่ ทำให้ไม่สามารถเดินเรือได้ จึงต้องหาหนทางขยับขยายกิจการเดินเรือไปทำกิจการค้าอย่างอื่นเพื่อรองรับ เมื่อศึกษาเห็นว่าเบียร์สามารถผลิตในประเทศเขตร้อนได้ จึงได้เริ่มโครงการที่จะตั้งโรงงานผลิตเบียร์ขึ้นในประเทศไทยเป็นครั้งแรก เมื่อยื่นเรื่องขออนุญาตต่อกระทรวงพระคลังมหาสมบัติแล้ว ทำให้มีการพิจารณากันอย่างมาก เนื่องจากรัฐบาลยังไม่มียุทธศาสตร์ในเรื่องนี้มาก่อน โดยเฉพาะในเรื่องการพิจารณาภาษีเบียร์ ซึ่งครั้งแรกกำหนดให้เสียภาษีลิตรละ 63 สตางค์ ระหว่างที่รอการอนุญาตจากทางรัฐบาล พระยาภิรมย์ภักดีได้เดินทางไปเมืองไซ่ง่อน ประเทศอินโดจีน ในปีพ.ศ.2474 เพื่อศึกษาแบบแปลนเครื่องจักร ตลอดจนวิธีผลิตเบียร์ หลังจากรัฐบาลพิจารณาเรื่องการอนุญาตให้ตั้งโรงงานผลิตเบียร์และการเก็บภาษีเบียร์ผ่านไประมาณ 1 ปี จึงได้อนุญาตให้พระยาภิรมย์ภักดีผลิตเบียร์ได้ แต่ห้ามการผูกขาด และให้คิดภาษีเบียร์ ในปีแรกลิตรละ 1 สตางค์ ปีที่สองลิตรละ 3 สตางค์ ปีที่สามลิตรละ 5 สตางค์ ส่วนปีต่อไป จะพิจารณาตามความเห็นสมควร

ต่อมาประมาณเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2475 กระทรวงมูรธาธร โดยพระองค์เจ้าศุภโยคเกษม ได้มีหนังสือกราบบังคมทูลละอองธุลีพระบาท ความว่า ได้รับรายงานจากกรมสรรพสามิตว่า นายลักกับนายเปกคัง ยีหื้อที้เคียวได้ยื่นเรื่องขออนุญาตผลิตเบียร์ขึ้นจำหน่ายในพระราชอาณาเขต โดยรับรองว่า จะผลิตเบียร์ชนิดที่ทำด้วยฮอป (Hop) และมอลต์ชนิดเดียวกับเบียร์ต่างประเทศ โดยจะผลิตประมาณ 10,000 เฮกโตลิตรต่อปี พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว จึงมีพระราชกระแสว่า "เป็นเรื่องแย่งกับ
 เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พระยาภิรมย์ และถ้าให้ทำ ก็คงทำสำเร็จก่อนพระยาภิรมย์ภักดี เพราะฉะนั้นคนที่เริ่มคิดก่อน และเป็นพ่อค้าไทย กลับจะต้องฉิบหาย และทำไม่สำเร็จ" ทรงเห็นว่า "ไม่ควรอนุญาต "พระยาภิรมย์ขอทำก่อน" ให้อุญาตไปแล้ว เวลานั้นยังไม่ควรอนุญาตให้ใครทำอีก เพราะจะมีผล 2 อย่าง คือ

1. คนไทยกินเบียร์กันต้องแตกตายหมด เพราะจะแย่งกันขายลดราคาแข่งกัน
2. คงมีใครฉิบหายคนหนึ่ง ถ้าหากไม่ฉิบหายกันหลายคน"

สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าบริพัตรสุขุมพันธุ์ กรมพระนครสวรรค์วรพินิต ได้กราบบังคมทูลสนับสนุนว่า "ไม่ควรอนุญาตให้ผลิตในเวลาสั้น ควรรอดูว่า พระยาภิรมย์จะสำเร็จหรือไม่ และคอยสังเกตเรื่องการบริโภคก่อน นอกจากนั้นผู้ขออนุญาตรายนี้เป็นคนต่างด้าว จึงสามารถที่จะอ้างได้ว่า ต้องอุดหนุนคนไทย และอุตสาหกรรมที่มีทุนไทยก่อน" ทรงโปรดเกล้าฯ ให้เสนาบดีกระทรวงพระคลังตอบว่า "ยังไม่ให้อุญาต รัฐบาลได้อุญาตไปรายหนึ่งแล้ว ต้องรอดูก่อนว่า จะได้ผลอย่างไร เพราะเรื่องนี้สำคัญสำหรับความสุขของราษฎร และฝ่ายพระยาภิรมย์ จะใช้ข้าวและผลพลอยได้ (By-product) ของข้าวด้วย ฝ่ายรายที่ขออนุญาตใหม่ ไม่ใช่ข้าวเลย"

มีข้อที่น่าสังเกตที่พระยาภิรมย์บันทึกไว้ว่า

1. ที่จะอนุญาตให้พระยาภิรมย์นั้น ภูมิพระราชประสงค์จะอุดหนุนการตั้งโรงงานของไทย
2. อัครราชสี ราชพระยาภิรมย์นั้น เป็นทำนองรัฐบาลให้เป็นพิเศษแก่พระยาภิรมย์ผู้เริ่มคิด ให้ได้ตั้งต้นได้ โดยใช้อัตราทั่วไป
3. รายใหม่นี้ในเงื่อนไขไม่ได้กำหนดภาษีลงไป แต่คลังรายงานเป็นทำนองว่า จะเก็บภาษีอัตราเดียวกับที่จะเก็บจากพระยาภิรมย์

4. แม้มักจะไม่ให้โมโนโพลี (Monopoly) แก่พระยาภิรมย์ภักดี ก็เคยมีพระราชดำริอยู่ว่า ชั้นนี้ควรอนุญาตให้พระยาภิรมย์ทำคนเดียวก่อน ถ้าให้หลายคนก็เป็น อิคอนอมิก ซูอไซด์ (Economic suicide) จึงนับได้ว่า กรณีการส่งเสริมการตั้งโรงงานผลิตเบียร์ เป็นพระบรมราชโองการ ส่งเสริมการลงทุนฉบับแรกของเมืองไทย ก่อนที่จะมีกฎหมายส่งเสริมการลงทุน เพื่ออุตสาหกรรม ใน พ.ศ. 2501 เมื่อได้รับอนุญาตจากทางรัฐบาลให้ตั้งโรงงานผลิตเบียร์แล้ว พระยาภิรมย์ภักดี จึงเดินทางไปยุโรป เพื่อซื้อเครื่องจักรในการผลิตเบียร์ แต่เมื่อกลับมาเมืองไทย มีการเปลี่ยนแปลงการปกครองได้รัฐบาลใหม่ โดยมีพระยามโนปกรณนิติธาดาเป็นหัวหน้ารัฐบาล ทางรัฐบาลไทยไม่ยอมให้เสียภาษีตามพิกัดเดิมที่ตกลงกันไว้กับรัฐบาลเก่า แต่ได้ตกลงกันให้เสียภาษี ในอัตราลิตรละ 10 สตางค์ เมื่อประมาณเดือนเมษายน พ.ศ. 2476 หลังจากนั้น จึงได้สร้างโรงงานขึ้น บริเวณที่ดินริมแม่น้ำเจ้าพระยา ย่านบางกระบือ โดยขอเช่าจากเจ้าพระยารามราฆพ ต่อมาจึงได้ขอซื้อมาเป็นกรรมสิทธิ์ ขณะทำการก่อสร้างนั้น พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาเสด็จฯ มาชมการก่อสร้างโรงงานถึงสองครั้ง พระยาภิรมย์ภักดีตั้งใจว่า จะตั้งชื่อบริษัทขณะจัดรูปแบบของบริษัทอยู่นั้นว่า บริษัทเบียร์สยาม แต่ถูกทักท้วงว่า ในบ้านเมืองนี้ อะไรก็ชื่อสยามทั้งนั้น จึงตัดสินใจเอาชื่อของตนเองมาตั้งเป็นชื่อบริษัท โดยให้ชื่อว่า บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด เบียร์ไทยที่ผลิตออกมาครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2477 นั้น ได้นำไปทดลองดื่มกันในงานสโมสรคณะราษฎร เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2477 สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้ากรมพระยานริศรานุวัดติวงศ์ ผู้สำเร็จราชการแทนพระองค์ ทรงเปิดป้ายบริษัท เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2477 เบียร์รุ่นแรก ที่ผลิตออกมา และวางจำหน่าย ในราคาขวดละ 32 สตางค์นั้น มีเครื่องหมายการค้าอยู่หลายตรา คือ ตราหมี ตราสิงห์แดง ตราสิงห์ขาว ตราหม่อม ตราพระปรางค์ทอง ตราว่าวปักเป้า ตรากัญแจ ตรารถไฟ และตราสิงห์ ซึ่งไม่ว่า จะเป็นตราอะไรก็ตาม ชาวบ้านสมัยนั้น มักจะเรียกรวมกันไปว่า "เบียร์เจ้าคุณ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในปี พ.ศ. 2504 มีโรงเบียร์แห่งที่สองเกิดขึ้น คือ บริษัทบางกอกเบียร์ ผลิตเบียร์ตราหนู มาน ตราแผนที่ และตรากระทิง แต่ไม่ได้รับความนิยมจากผู้ดื่มจึงได้เลิกกิจการไป ต่อมาในปี พ.ศ. 2509 จึงได้เปลี่ยนเจ้าของกิจการและเปลี่ยนชื่อเป็น บริษัทไทยอมฤต บริวเวอรี่ จำกัด ผลิตเบียร์อมฤต และซื้อลิขสิทธิ์ยี่ห้อเบียร์จากต่างประเทศชื่อ คลอสเตอร์ มาผลิตเมื่อ พ.ศ. 2521

ภายหลังจากที่ประเทศไทยมีโรงงานเบียร์แห่งที่สองแล้ว ภาครัฐก็ไม่ได้มีการสนับสนุนให้มีการตั้ง โรงงานเพิ่ม เนื่องจากเห็นว่าเบียร์เป็นสินค้าฟุ่มเฟือย และตั้งกำแพงภาษีเพื่อให้ความคุ้มครองกับผู้ผลิต ในประเทศ จนกระทั่ง พ.ศ. 2535 ภาครัฐมีนโยบายเปิดเสรีทางการค้า โดยการเปลี่ยนเงื่อนไขของผู้ผลิต เบียร์ จากที่กำหนดให้ผู้ถือหุ้นใหญ่ต้องเป็นบุคคลสัญชาติไทย เป็นนิติบุคคลสัญชาติไทย เพื่อจูงใจให้นัก ลงทุนต่างชาติสนใจเข้ามาลงทุนสร้างโรงงานในประเทศ ปัจจุบันกลุ่มบริษัทผู้ผลิตเบียร์ในประเทศไทย ได้แก่

บริษัท บุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด ผู้ผลิตเบียร์ตราสิงห์ โรงงานอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี ขอนแก่น และมีโครงการปลูกข้าวบาร์เลย์ โรงงานแปรรูปมอลท์อยู่ทางภาคเหนือ

บริษัท ไทยอมฤต บริวเวอรี่ จำกัด ผู้ผลิตเบียร์ตราอมฤต เอ็นบี คลอสเตอร์ และรับผลิตเบียร์บัด ไวเซอร์ จากสหรัฐอเมริกา ตั้งโรงงานอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี ปัจจุบันถูกซื้อกิจการโดย ซาน มิเกล จาก ฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ. 2547

บริษัท คอสมอส บริวเวอรี่ (ประเทศไทย) จำกัด ผู้ผลิตเบียร์ตราช้าง ของกลุ่มนายเจริญ สิริวัฒนภักดี ตั้งโรงงานอยู่ที่อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

บริษัท เบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัด ผู้ผลิตเบียร์ตราช้าง ของกลุ่มนายเจริญ สิริวัฒนภักดี ตั้งโรงงานอยู่ที่อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

บริษัท เบียร์ไทย (1991) จำกัด ผู้ผลิตเบียร์ช้าง ของกลุ่มนายเจริญ สิริวัฒนภักดี ตั้งโรงงานอยู่ที่ จังหวัดกำแพงเพชร

บริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด ผู้ผลิตเบียร์ไฮเนเก้น เบียร์จากประเทศเนเธอร์แลนด์ เริ่มวางจำหน่ายเมื่อเดือนกรกฎาคม 2538 ตั้งโรงงานอยู่ที่จังหวัดนนทบุรี

2.10.3 กรรมวิธีการผลิตเบียร์



รูปที่ 2.30 ดอกฮอป (Hop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 ต้นฮอป (Hop)

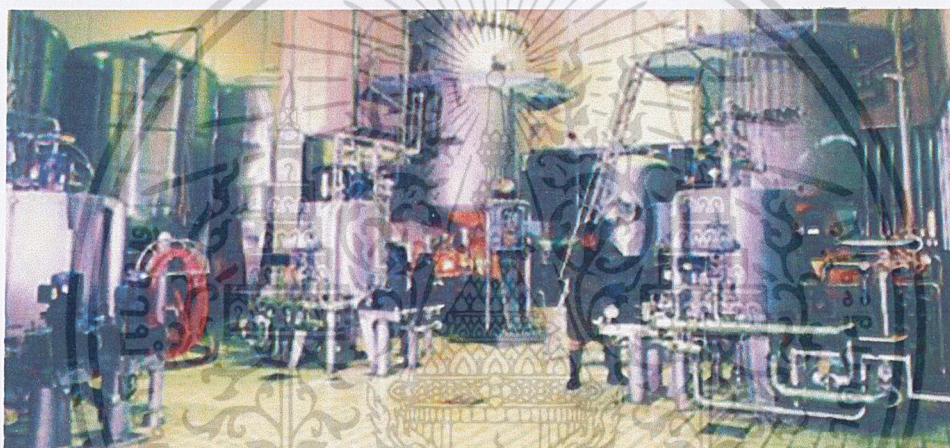


รูปที่ 2.32 ข้าวมอลต์ที่บดให้แตก แล้วผสมน้ำในถังผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 ถังหมักแบบเปิดทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิต



รูปที่ 2.33 เครื่องกรองเบียร์



รูปที่ 2.34 หม้อต้มเบียร์ และถังผสมหรือถังกรองทำด้วยสแตนเลสหุ้มด้วยทองแดง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วัตถุดิบ

ส่วนผสมในการทำเบียร์นั้น วัตถุดิบหลักที่สำคัญขาดไม่ได้เลยคือข้าวมอลต์ (Malt) น้ำดอกฮอป (Hop) และยีสต์ (Yeast)

ข้าวมอลต์

ได้มาจากข้าวบาร์เลย์ ซึ่งเป็นธัญพืชที่นิยมปลูกในประเทศที่มีภูมิอากาศเย็น จะมีการปลูกกันมากในประเทศทางทวีปยุโรป เช่น ฝรั่งเศส เยอรมนี ออสเตรีย อังกฤษ ไอร์แลนด์ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังนิยมปลูกในประเทศแคนาดา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ประเทศทางทวีปเอเชียก็มีการปลูกกันมากในประเทศจีน ส่วนประเทศไทยมีการนำสายพันธุ์ข้าวบาร์เลย์เข้ามาปลูกในแถบภาคเหนือ ซึ่งมีภูมิอากาศเย็นมีการส่งเสริมการปลูกข้าวบาร์เลย์ แต่ยังมีปริมาณไม่มากและไม่แพร่หลายเหมือนในประเทศอื่นๆ ที่กล่าวข้างต้น

ข้าวบาร์เลย์ (Barley) ที่เก็บเกี่ยวแล้วจะนำไปเปลี่ยนสภาพให้เป็นข้าวมอลต์ในโรงงานทำมอลต์ที่เรียกว่า มอลต์เทอร์รี่ (Maltery) ส่วนผู้ที่มีหน้าที่ในการทำข้าวบาร์เลย์เป็นข้าวมอลต์เรียกว่า มอลต์สเตอร์ (Maltster) ในขั้นตอนแรกจะนำข้าวบาร์เลย์ไปขบวนการ Malting แขน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส เพื่อให้เมล็ดได้รับความชื้นพร้อมกับได้รับออกซิเจน ซึ่งจะทำให้เซลล์ (Cells) ของเมล็ดได้รับการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการงอกของรากอ่อนและใบอ่อน ต่อจากนั้นจึงถายน้ำออกแล้วนำเมล็ดข้าวบาร์เลย์ไปผึ่งบนตะแกรง ซึ่งมีการเป่าลมที่มีความเย็นประมาณ 18 องศาเซลเซียสขึ้นไปซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว เพื่อสร้างเอนไซม์ ในช่วงนี้รากอ่อนและใบอ่อนจะงอกจากเมล็ด ทั้งไว้ให้มีการงอกของรากอ่อนยาวประมาณ 2/3 ถึง 3/4 ของเมล็ด แล้วจึงนำเมล็ดข้าวไปอบให้แห้งอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส การอบจึงจะแล้วเสร็จ ข้าวที่อบเสร็จแล้วนี้เรียกว่า ข้าวมอลต์ ซึ่งจะนำไปขัดเอารากอ่อนและใบอ่อนออก การอบให้แห้งนั้น อุณหภูมิของการอบจะเป็นตัวชี้ว่า ข้าวมอลต์ที่อบแล้วจะเป็นข้าวมอลต์ประเภทใด เช่น ถ้าอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จะทำให้เปลือกข้าวและเมล็ดเป็นสีดำ จึงเรียกข้าวมอลต์ชนิดนี้ว่า มอลต์ดำ (black malt) หรือ คาราเมลมอลต์ (caramel malt) เป็นต้น ชนิดของเอนไซม์จะมีสองตัวหลัก ที่ใช้ในขบวนการย่อยแป้ง คือ แอลฟา-อะไมเลส (alpha-amylase) และ เบตา-อะไมเลส (beta-amylase) ทั้งแอลฟา-อะไมเลส และเบตา-อะไมเลสพบในเมล็ดธัญพืช (cereal grain) เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ที่มีการเพาะให้เมล็ดธัญพืชงอก (malting) ก่อนนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเบียร์ แล้วจึงนำมาเตรียมเป็นเวอร์ต (wort) หรือของเหลวที่ได้จากการหมักข้าวบาเลย์รวมกับน้ำ ระหว่างนี้เอนไซม์อะไมเลสในข้าวมอลต์ จะไฮโดรไลซ์สตาร์ช (starch) หรือการทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้สารโมเลกุลใหญ่แตกตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง หากผลที่ได้มีปริมาณน้ำตาลมาก เมื่อนำไปหมักจะได้แอลกอฮอล์มากด้วย เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จะทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าเอนไซม์เบตา-อะไมเลส หากการไฮโดรไลซ์ได้เดกซ์ทรินสูง จะได้แอลกอฮอล์น้อย ถ้าอุณหภูมิต่ำ เบตา-อะไมเลส จะทำงานได้ดี ได้น้ำตาลมอลโทสมากและได้เดกซ์ทริน (Dextrin) ต่ำ ซึ่งเดกซ์ทรินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กกว่าแป้งแต่ใหญ่กว่าน้ำตาล เมื่อนำไปหมักจะได้ แอลกอฮอล์มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 ข้าวบาร์เลย์ (Barley) วัตถุดิบหลักที่นำไปทำข้าวมอลต์(Malt)



รูปที่ 2.36 ข้าวบาร์เลย์ (Barley) เมื่อแก่จัดเมื่อสุกแล้วจะมีสีเหลืองทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 เมล็ดข้าวบาร์เลย์ (Barley)

น้ำ

เป็นวัตถุดิบที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง เนื่องจากเบียร์มีส่วนประกอบที่เป็นน้ำมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพของน้ำที่ใช้สำหรับการผลิตเบียร์ ขึ้นอยู่กับลักษณะของเบียร์ที่จะผลิตว่าต้องการให้เป็นเช่นไร ความกระด้างของน้ำ จะมีผลต่อรสชาติของเบียร์ หรือมีผลต่อความเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เป็นต้นว่า สารที่ให้ความขมที่มีอยู่ในดอกฮอป (Hop) จะให้ความขมแก่เบียร์ได้มากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับความกระด้างและค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ โดยทั่วไปน้ำมักนิยมจะใช้น้ำที่เรียกกันว่าน้ำอ่อน หรือน้ำที่ได้มาจากน้ำผิวดินที่เป็นดินทรายจะมีคุณภาพที่ดี หรือน้ำบาดาลที่มีความกระด้างของน้ำน้อย

ดอกฮอป (Hop)

เป็นพืชล้มลุกประเภทไม้เลื้อย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Humulus lupulus* นิยมปลูกกันมากในประเทศแถบยุโรป เช่น ประเทศเยอรมนี อังกฤษ สาธารณรัฐเชค นอกจากนี้มีในประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ในแถบเอเชียจะมีการปลูกฮอป (Hop) ในประเทศจีนและญี่ปุ่น

การใช้ฮอป (Hop) ในการผลิตเบียร์นั้น มีจุดประสงค์อยู่ด้วยกัน 3 อย่าง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพื่อให้ได้รสขม ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของเครื่องดื่มเบียร์ ที่โคนกลีบดอกของดอกฮอป (Hop) จะมีอับละอองเรณู ลักษณะสีเหลืองใสๆ ติดอยู่ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จะสามารถให้ความขมออกมาได้

2. เพื่อช่วยให้โปรตีนตกตะกอนเร็วขึ้น ในกลีบดอกของดอกฮอป (Hop)จะมีสารที่เรียกว่า โพลีฟีนอล (Polyphenol) ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาจับตัวกับโปรตีน ซึ่งมีอยู่ในเวิร์ท ทำให้โปรตีนตกตะกอนเร็วขึ้น และทำให้เบียร์ใส

3. เพื่อช่วยให้เบียร์มีกลิ่นหอม บริเวณอับละอองเรณูของดอกฮอป (Hop) จะมีสารเหนียวๆ และให้กลิ่นหอมอยู่ด้วย เป็นพวกน้ำมันหอมระเหย (Volatile oil) ซึ่งจะให้กลิ่นหอม ที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวแก่เบียร์

นอกจากนั้นดอกฮอป (Hop) ยังมีผลเป็นยาปฏิชีวนะ ต่อต้านจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ไม่ใช่ยีสต์ ส่งผลดีต่อการหมัก

ชนิดของดอกฮอป (Hop)ที่นิยมปลูกกันนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่ให้รสขม (Bitter hops)
2. ชนิดที่ให้กลิ่นหอม (Aroma hops)

ฮอป (Hop)ที่ดีและมีชื่อเสียงมาก เป็นฮอป(Hop) ที่ให้กลิ่นหอม ชื่อ ซาซ (Saaz) มีถิ่นที่มาจากประเทศสาธารณรัฐเชค และที่รู้จักกันในชื่อ Noble Hops โดยทั่วไปนั้นหมายถึง พันธุ์ฮอปส์ 4 ชนิดที่มีคุณลักษณะพิเศษคือจะมีกลิ่นแรงแต่ความขมน้อย ซึ่งฮอปส์ทั้ง 4 นี้จัดเป็นพืชที่ปลูกบริเวณยุโรปตอนกลาง ประกอบไปด้วยสายพันธุ์ Hallertau, Tettnanger, Spalt, และ Saaz ซึ่งชื่อนั้นส่วนใหญ่มาจากชื่อเมืองหรือท้องถิ่นที่ฮอป (Hop) เหล่านี้ถูกปลูกในครั้งแรกในสมัยก่อน จะใส่ฮอป (Hop) ทั้งดอกลงไปในการทำเบียร์ ปัจจุบันมีการอัดให้เป็นเม็ดเล็กๆ หรือสกัดเอาความขม และน้ำมันหอมระเหยออกมาใช้ เพื่อความสะดวกในการขนส่ง

ยีสต์

หรือที่ชาวบ้านทั่วไปเรียกว่า “สำ” จัดเป็นจุลินทรีย์ประเภทรา ที่สามารถใช้น้ำตาลจากมอลต์เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และเพิ่มประชากร การใช้น้ำตาลเป็นอาหารของยีสต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเรียกว่า การหมักขณะเดียวกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย

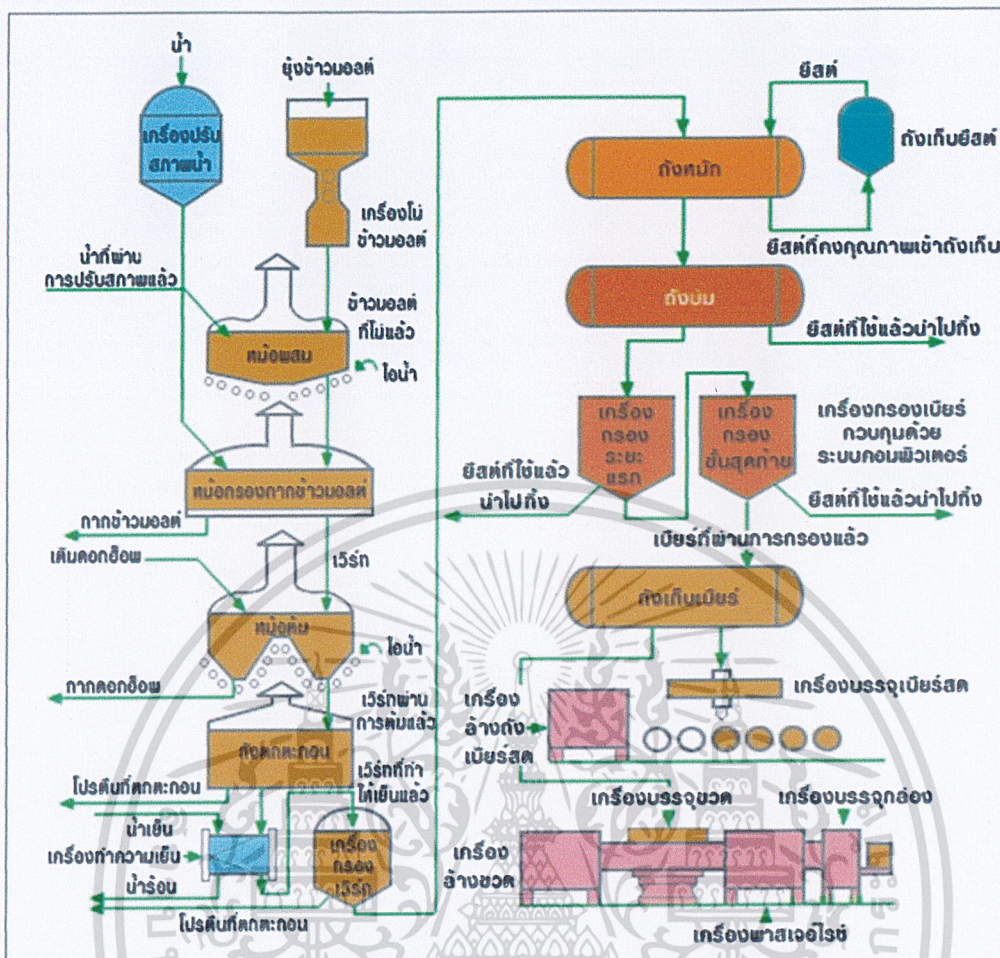
ยีสต์ที่ใช้เป็นสำสำหรับหมักเบียร์นั้น แบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ

1. ยีสต์ลอย หรือ ทอปยีสต์ (top yeast)
2. ยีสต์จม หรือ บอตทอมยีสต์(bottom yeast)

ส่วนผสมข้างเคียงหรือแอดจังก์ท์ (Adjunct)

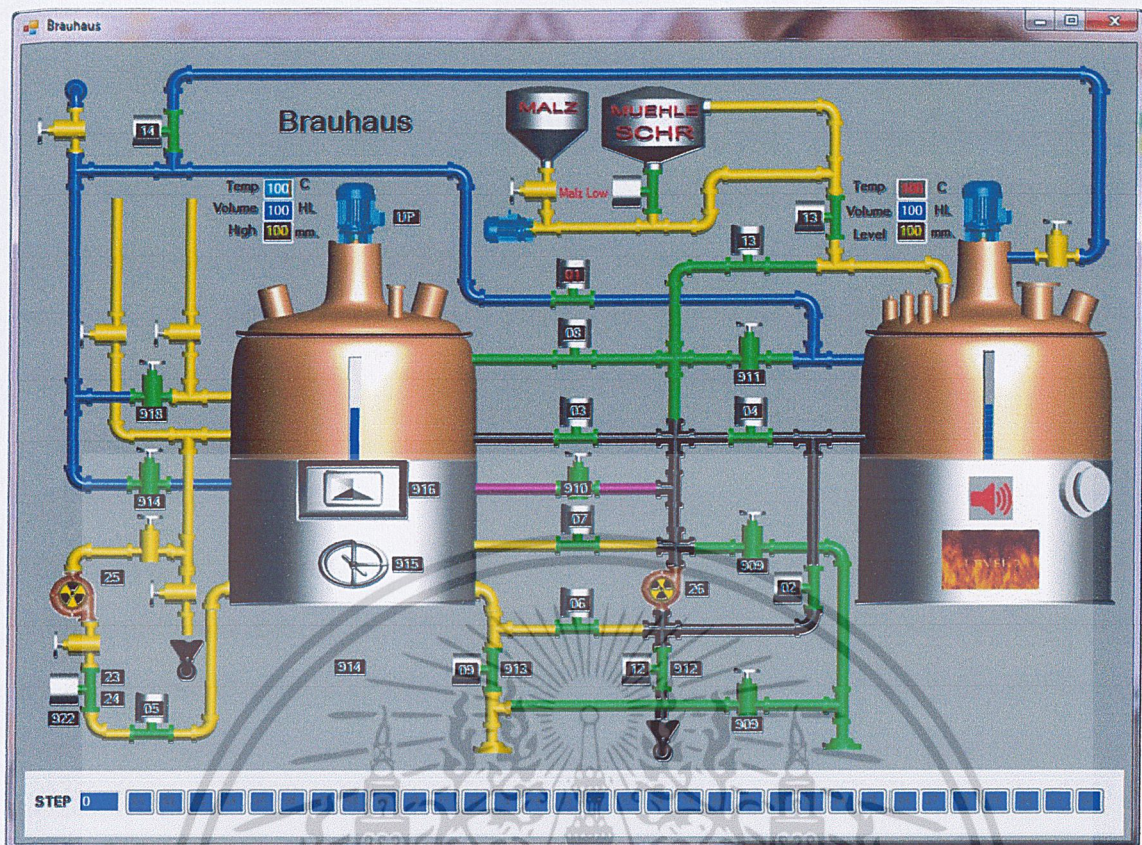
จะเป็นส่วนผสมอื่นๆ เป็นตัวตัวช่วยให้รสชาติดีขึ้น และจะใส่ลงไปเพื่อต้องการสร้างเอกลักษณ์เฉพาะตัวของเบียร์แต่ละยี่ห้อ บ่งบอกแหล่งที่ผลิตสร้างมูลค่าเพิ่ม ที่นิยมใส่ลงไปเช่นผลเชอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และเมล็ดธัญพืชอื่น เช่น เมล็ดข้าวสาลี (Wheat) ผลไม้และพืชสมุนไพรแต่ละท้องถิ่น เป็นต้น

2. วิธีการผลิต



รูปที่ 2.38 กรรมวิธีการผลิตเบียร์

จากรูป 2.38 การผลิตเบียร์เริ่มจากการนำข้าวมอลต์มาบดให้เมล็ดแตก พร้อมทั้งใส่น้ำผสมลงในถังผสม ถังผสมต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ในสมัยก่อนนั้น นิยมทำด้วยทองแดง เนื่องจากทองแดงเป็นวัสดุที่สามารถนำมาดัดเพื่อให้ได้รูปทรงที่สวยงามต่างๆ ได้ง่าย ตัวทองแดงเองนอกจากจะมีความสวยงามแล้ว ยังเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ทำให้ความร้อนสามารถผ่านไปของผสมในถังผสมได้เร็วขึ้น ปัจจุบันทองแดงมีราคาแพงขึ้นมาก หาว์สดุได้น้อยลงและจะต้องเสียเวลาบำรุงรักษามาก จึงมีการคิดค้นนำวัสดุสแตนเลสมาทำเป็นถังผสมสำหรับผสมข้าวและต้มเบียร์ ซึ่งนอกจากราคาจะถูกกว่าทองแดงแล้ว ยังสามารถทำความสะอาดด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งประหยัด ปลอดภัย และไม่เสียเวลาในการดูแลรักษามากนัก และในปัจจุบันยังนิยมใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมอัตโนมัติในการผลิตเบียร์สด ดังรูปที่ 2.39 อีกด้วย โดยเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการผลิตและการควบคุมคุณภาพให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.39 ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมอัตโนมัติในการผลิตเบียร์สด

เมื่อผสมข้าวและน้ำลงไปจนถึงผสมหรือหม้อผสมแล้ว จึงให้ความร้อนในอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยนิยมใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน เพื่อให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในข้าวมอลต์ เปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลมอลโตส (Maltose) หลังจากนั้นจึงแยกเอาของเหลวออกจากกากข้าว ของเหลวดังกล่าวเรียกว่า เวิร์ท (Wort) ซึ่งจะมีความหวานของน้ำตาลมอลโตสอยู่จากนั้นจึงต้มเวิร์ทให้เดือดพร้อมทั้งใส่ดอกฮอป (Hop) เมื่อต้มเวิร์ท จนได้ที่แล้วจะปล่อยให้ตกตะกอนก่อน หลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลงพร้อมทั้งใส่ยีสต์และเติมอากาศเพื่อการเจริญของยีสต์ แล้วนำไปหมักในถังหมัก อุณหภูมิของการหมักขึ้นอยู่กับชนิดของเบียร์และชนิดของยีสต์ที่ใช้ โดยทั่วไป ถ้าใช้ทอปยีสต์ จะหมักที่ประมาณ 20 – 22 องศาเซลเซียส ถ้าใช้บอตทอมยีสต์ จะหมักที่ประมาณ 8 – 13 องศาเซลเซียส การหมักจะใช้เวลาประมาณ 3 - 5 วัน สำหรับทอปยีสต์ ส่วนบอตทอมยีสต์ใช้เวลา 7 - 10 วัน

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการหมักแล้ว จึงแยกยีสต์ออก เบียร์ที่ได้ในช่วงนี้เรียกว่า กรีนเบียร์ (Green beer) หรือ ยังเบียร์ (Young beer) ซึ่งจะต้องนำไปเก็บบ่มต่อไปอีกระยะหนึ่ง โดยการควบคุมความเย็นโดยปกติจะใช้อุณหภูมิ ต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ส่วนแรงดัน ถ้าใช้แรงดันสูงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ ก็จะมีผลต่อฟองและความซ่าของเบียร์ โดยทั่วไป Larger และ Brisner เบียร์จะควบคุมแรงดันให้อยู่ประมาณ 0.8 bar และ Ale เบียร์จะคุมแรงดันให้ต่ำกว่า 0.6 bar เทคนิคการควบคุมแรงดันให้สูงภายในถังบ่มสามารถทำให้เบียร์ใสขึ้นได้ และมีรสชาติที่กลมกล่อม หลังจากนั้นนำไปกรอง เพื่อแยกเอาตะกอนแขวนลอย และยีสต์ที่ตกค้างออก จึงจะได้เบียร์ที่ใส พร้อมดื่ม หลังจากนั้นก็นำไปเข้าถังเก็บเพื่อนำไปบรรจุหรือจัดจำหน่ายต่อไป เบียร์ที่กรองพร้อมดื่มแล้วนี้ เรียกกันว่า ดราฟท์เบียร์ (Draft beer) หรือเบียร์สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบียร์สด หรือ ดราฟท์เบียร์ (Draft beer)

เบียร์สดที่จำหน่ายกันทั่วไปนั้นจะหมายถึง เบียร์ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตมาแบบเดียวกันกับเบียร์ขวดหรือเบียร์กระป๋องโดยใช้วิธีดังกล่าวมาข้างต้น แต่เบียร์สดจะแตกต่างจากเบียร์ธรรมดาตรงที่ เมื่อหมักได้แล้วจะนำมาจำหน่ายทันที โดยไม่ผ่านกรรมวิธีการพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization) หรือฆ่าเชื้อ ทำให้เบียร์เปลี่ยนสภาพเร็วเสี้ง่ายอายุสั้น มีข้อดีคือรสชาติจะสดใหม่กว่า แต่เบียร์กระป๋องหรือขวด จะทำการการพาสเจอร์ไรส์ ทำให้เชื้อตายสามารถเก็บไว้ได้นานไม่เปลี่ยนสภาพเร็ว

ในสมัยก่อนจะมีการบรรจุลงถังไม้ (Barrel) ต่อมามีการนำถังที่เป็นวัสดุอะลูมิเนียมมาแทนถังไม้ เนื่องจากไม้มีน้ำหนักมาก ยากต่อการดูแลรักษาไม่ให้เกิดการตกกระแทก และผุเปื่อยไปตามเวลา แต่ก็พบว่า ผิวของอะลูมิเนียม เมื่อสัมผัสกับเบียร์ ซึ่งมีสภาพเป็นกรดเป็นระยะเวลาานาน จะทำให้เกิดการกัดกร่อนเป็นรูพรุน จึงมีการคิดค้นเอาวัสดุสแตนเลสมาทำเป็นถัง สำหรับใส่เบียร์สดแทน โดยเรียกถังชนิดนี้ว่า เค้ก (Keg) ซึ่งสะดวกต่อการขนส่ง เคลื่อนย้าย และบำรุงรักษา ตลอดจนการล้างทำความสะอาด ถังที่ปลอดแสงสว่าง ซึ่งในแสงสว่างจะมีคลื่นย่านอัลตราไวโอเล็ต (UV) จะมีผลทำให้สีของเบียร์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการบรรจุเบียร์ลงในภาชนะที่เป็นขวด จึงนิยมใช้ขวดที่มีสี เช่น สีน้ำตาล หรือสีเขียว ซึ่งจะช่วยป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ตไม่ให้ผ่านเข้าไปได้ และเบียร์ถ้ามีออกซิเจน (Oxygen) ปนลงไปจะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเบียร์ได้ (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หมายถึงปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากวงโคจรให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน) เราป้องกันปัญหานี้ได้โดยใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เติมลงไปแทนเพื่อป้องกัน ออกซิเจน (Oxygen) ไม่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยา เบียร์บางชนิดไม่นิยมกรองให้ใส Coor ale แต่จะนิยมดื่ม โดยยังมียีสต์ปนอยู่ด้วย เช่น วิทเบียร์(Wheat Beer) นิยมดื่มกันมากในรัฐบาวาเรีย ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศเยอรมนี

2.10.4 ประเภทของเบียร์

กลิ่นและรสเบียร์มาจากดอกฮอป (Hop) ซึ่งเป็นไม้เลื้อยชนิดหนึ่ง ถ้าไม่ใช่ดอกฮอป (Hop) จะไม่ได้รสขมอย่างอ่อน ๆ ของเบียร์จะได้ไวน์แทนเบียร์ ฮอป (Hop) ที่ปลูกต่างท้องที่กันให้รสชาติต่างกันอย่างเล็กน้อย ที่ถือว่าดีเลิศมาจากสาธารณรัฐเช็ก ผู้ผลิตแต่ละคนมีสูตรผสมดอกฮอป (Hop) ต่างกัน เป็นลักษณะเฉพาะของเบียร์แต่ละชนิดการแบ่งประเภทของเบียร์นั้นจะแบ่งได้หลายวิธี เบียร์แบ่งตามชนิดของยีสต์ที่ใช้และวิธีการหมักมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. เบียร์ยีสต์เชื้อลอย (Top-fermenting yeast Beer)

คือเบียร์เกิดจากเชื้อยีสต์ที่จะลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของเบียร์เมื่อเสร็จสิ้นการหมัก

2. เบียร์ยีสต์เชื้อจม (Bottom-fermenting yeast Beer)

คือเบียร์เกิดจากเชื้อยีสต์ที่จะจมอยู่ที่ก้นภาชนะเมื่อเสร็จสิ้นการหมัก

นอกจากนี้การแบ่งประเภทยังแบ่งตามลักษณะของเบียร์ เช่น สี, วัตถุดิบที่ใช้, กระบวนการผลิต, ปริมาณแอลกอฮอล์ และ อื่นๆ

แบ่งตามลักษณะของเบียร์

1. เอลเบียร์ (Ale beer) หรือ มีสีค้ำอ่อนรสค่อนข้างขมถึงขมมาก เพราะใช้ยีสต์เชื้อลอย ในการหมัก มีกลิ่นของมอลต์ หมักด้วยอุณหภูมิที่สูงมากพอสมควร มีแอลกอฮอล์ประมาณ 4.8 % กำเนิดและนิยมที่ Düsseldorf

2. พอร์ตเตอร์เบียร์ (Porter beer) ใช้ยีสต์เชื้อลอย ในการหมัก จัดเป็นเอลเบียร์ประเภทหนึ่ง แต่กลิ่นของดอกฮอป (Hop) น้อยกว่า รสชาติคล้ายสเตาต์เบียร์แต่มีรสหวานและมีฟองมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เบียร์ขาว หรือไวท์เบียร์ (White beer) หรือ Weizenbier หรือ Weißbier ใช้ยีสต์เชื้อลอย ในการหมักมีระดับแอลกอฮอล์ 5 - 5.6 % มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า Ale ให้รสชาติคล้ายเบียร์สด แต่ไม่อร่อยเท่าเบียร์สด มีกลิ่นหอม เป็นที่นิยมในทางตอนใต้ แถบบาเยิร์น และตอนเหนือของเยอรมันบางพื้นที่
4. เคล็ช (Koelsch) หรือ (Kölsch) ใช้ยีสต์เชื้อลอย ในการหมัก ชื่อนี้ได้จากชื่อเมือง Cologne หรือ Köln มีรสขมอ่อนๆ แอลกอฮอล์ 4.8 %
5. สเตาต์เบียร์ (Stout beer) ใช้ยีสต์เชื้อลอย ในการหมัก เป็นเบียร์ที่มีสีดำเข้มข้นจัดเป็นเอลเบียร์ประเภทหนึ่ง แต่สเตาต์เบียร์มีรสชาติดูหวานกว่ามีกลิ่นฉุนของดอกฮอป (Hop) และมอลต์ชัดเจน เป็นที่นิยมมากในหมู่ชาวอังกฤษ สกอต ไอร์แลนด์ ในเมืองไทยราคาค่อนข้างแพง แต่คอกเบียร์มีอายุจะชอบ เพราะเชื่อว่าสเตาต์เบียร์บำรุงสุขภาพมากกว่าเบียร์ประเภทอื่น ๆ
6. ลาเกอร์เบียร์ (Lager beer) ผลิตจากมอลต์ ใช้ยีสต์เชื้อจมในการหมัก สีของเบียร์จะไม่เข้ม แอลกอฮอล์ค่อนข้างสูง เมืองไทยมีเบียร์ประเภทนี้มากที่สุดเนื่องจากรสชาติถูกคอคนไทย ผลิตมากในสหรัฐอเมริกา ตัวอย่างเบียร์ชนิดนี้ก็ เช่น เบียร์สิงห์ คลอสเตอร์ ไฮเนเกน ซ้าง บัดไวเซอร์ คาร์ลส์เบอร์ก หากลดคิรีแอลกอฮอล์ลงจะกลายเป็นไลท์เบียร์ เช่น สิงห์ไลท์ บัดไลท์ ฯลฯ
7. พิลเซนเบียร์ (Pilsen beer) หรือ Pilsner หรือ Pils เบียร์ชนิดนี้ถูกเรียกตามชื่อเมือง Pilsen ให้รสขมอ่อนๆ แตกต่างกันไปตามการผลิต มีแอลกอฮอล์ 4 - 4.9 % เป็นที่นิยมดื่มกันมากในประเทศเยอรมัน
8. บอกเบียร์ (Bock beer) ใช้ยีสต์เชื้อจมในการหมัก มีรสชาติดูเข้มข้น มีแอลกอฮอล์สูง ในเยอรมนีจะผลิตเบียร์พวกนี้มาก
9. ดับเบิลบอกเบียร์ (Double bock beer) ใช้ยีสต์เชื้อจมในการหมัก มีรสชาติดูเข้มข้น หวานนำนิด ๆ คล้ายบอกเบียร์ แต่จะเข้มข้นกว่าบอกเบียร์ มีแอลกอฮอล์สูงกว่าบอกเบียร์
10. เบียร์ดำ ดาร์คเบียร์ (dark beer) หรือ Schwarzbier ใช้ยีสต์เชื้อจมในการหมัก เบียร์ชนิดนี้จะมีสีดำ ซึ่งส่วนใหญ่จะผลิตกันอยู่ทางตอนกลางของประเทศเยอรมัน รสชาติดูเข้มข้นมีแอลกอฮอล์ 4.8 - 5 %
11. ไดเอทเบียร์ (Diet beer) คือเบียร์ที่ทำการควบคุมปริมาณน้ำตาลให้มีปริมาณต่ำเหมาะกับคนที่ต้องการลดน้ำหนัก
12. เบียร์ไร้แอลกอฮอล์ (Alcohol free beer or Non-Alcoholic Beer) คือเบียร์ที่หลังจากการหมักบ่มแล้วจะทำการกลั่นเอาแอลกอฮอล์ออกมามีประโยชน์ในการบำรุงร่างกาย

นอกจากนี้ยังมีเบียร์ของเยอรมันที่มีชื่อเอกลักษณ์ตามสถานที่ผลิตเช่น

1. Berliner Weiße มีการผลิตเฉพาะที่ทำให้เบียร์มีรสอมเปรี้ยวนิดๆ แต่มีแอลกอฮอล์เพียง 2.8 % ซึ่งน้อยมากสำหรับเบียร์โดยทั่วไป เป็นที่นิยมในเบอร์ลิน
2. Helles เป็นเบียร์ที่ให้สีเหลืองทอง ผลิตในบาเยิร์น มีส่วนผสมที่เป็นเอกลักษณ์เพื่อจะได้มีแอลกอฮอล์ที่สูงกว่าปกติ แต่ปริมาณแอลกอฮอล์อาจไม่แน่นอน เป็นเบียร์ที่นิยมดื่มในงานเลี้ยง โดยเฉพาะงาน Oktoberfest ใน เมืองมิวนิค หรือที่เรียกกันว่า Wiesnbier
3. Zoigl Beer เป็นเบียร์ที่หมักกันเฉพาะท้องถิ่น พบได้ทางตอนเหนือของเยอรมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 องค์ประกอบทางเคมีของเบียร์

ในเบียร์นั้นส่วนประกอบหลักจะเป็นน้ำ และจะมีสารประกอบชนิดอื่น ๆ อีกประมาณ 800 กว่าชนิด แต่สารหลัก ๆ ที่พบในเบียร์จะประกอบด้วย

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) ประมาณ 3-4% ที่พบในธรรมชาติคือสารจำพวกแป้งต่าง ๆ

โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharides) โอลิโกแซ็กคาไรด์ คือ คาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยมอนแซ็กคาไรด์ ตั้งแต่ 2 ถึง 10 โมเลกุล มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) การเชื่อมต่อกันแต่ละครั้งจะสูญเสียน้ำ 1 โมเลกุล ตัวอย่าง คาร์โบไฮเดรตกลุ่มนี้คือ ซูโครส มอลโตส แล็กโตส กาแลกโตส-โตไบโอส เมลลิไบโอส ราฟฟิโนส และสตาซิโอส

เดกตริน (dextrin) คือกลุ่มโมเลกุลน้ำหนักเบาของคาร์โบไฮเดรต

มอนแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) คือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เป็นรูปแบบ คาร์โบไฮเดรต ที่ง่ายที่สุด ประกอบด้วย หนึ่งโมเลกุลของ น้ำตาล ซึ่งอยู่ในรูปของ ผลึก ของแข็งไม่มีสี ละลายน้ำ ได้ดี มอนแซ็กคาไรด์ บางตัวมี รส หวาน ตัวอย่างของมอนแซ็กคาไรด์เช่น กลูโคส (glucose หรือ dextrose) ฟรุคโทส (fructose) กาแล็กโทส (galactose)

แอลกอฮอล์ (Alcohols) 0.05-12.5% เอทานอล (ethanol)หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการนำเอาพืชมาหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย ส่วนใหญ่ผลิตจากพืชสองประเภทคือ พืชประเภทน้ำตาล เช่นอ้อย บีทรูท และพืชจำพวกแป้งเช่น มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด

กลีเซอรอล (Glycerol) อาจเรียกว่า กลีเซอรีน (Glycerine หรือ Glycerin) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโพลีออล (polyol) เป็นสารที่เป็นของเหลว สี ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานเล็กน้อย ในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้ละลายน้ำได้ดี มีสมบัติในการจับกับน้ำได้ดี (hygroscopic) กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบหลักในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งได้จากการรวมตัวของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล

3-Methyl butanol เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง สีใสเป็นของเหลวไวไฟ

สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic compounds) 0.5-2g/l สารประกอบอนินทรีย์มักไม่มีพันธะเชื่อมระหว่างอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) คาร์บอเนต (carbonate)

โปรตีน (Protein) เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ สายยาวของกรดอะมิโน (amino acid) โปรตีนเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของเซลล์สิ่งมีชีวิต

อะมิโนเปปไทด์ (Aminoacids peptide) คือ โมเลกุลของโปรตีนอะมิโน แอซิด หลายๆ โมเลกุล มาเกาะกันเป็นสายโซ่สั้นๆ 0.2-0.6 g/100 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอมีน(Amine) เป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนียที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่ไฮโดรเจนของแอมโมเนีย

สารอนุพันธ์กรดนิวคลีอิก (Nucleic acid derivative) สารเคมีที่มีโครงสร้างคล้ายกับกรดนิวคลีอิก เป็นโพลีเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) ประกอบด้วยนิวคลีโอไซด์ (nucleoside) ซึ่งเป็นโมเลกุลของเบสยึดเกาะกับน้ำตาล จับกับหมู่ฟอสเฟตอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกจึงประกอบด้วยหมู่เบส น้ำตาล และฟอสเฟต

วิตามิน (vitamin) ในเบียร์มีวิตามินสูง เช่น Pantothenic Acid วิตามินบี 3 และไนอาซิน

กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) หรือกรดฟีนอล เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพรถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืชซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต กรดฟีนอลิก มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถละลายน้ำได้

สารประกอบกำมะถัน (Sulphur compound)

ดอกฮอป และ กรดที่ให้ความขม (Hop and bitter acid) 10-100 mg/l

สารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compounds) เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวง เช่น เบนซีน(C₆H₆) อะโรมาติกเป็นสารที่ไม่อินทรีย์ แต่มีความเสถียร สารกลุ่มนี้จะให้กลิ่นออกมา

สารที่ให้กลิ่นหอมในเบียร์ ส่วนใหญ่ก็จะเป็นสารประกอบที่ระเหยง่ายที่อยู่ในเบียร์ เช่น แอลกอฮอล์ สารประกอบกำมะถัน และกลุ่มสารประกอบอะโรมาติก

2.10.6 ผลดีของการดื่มเบียร์

ยังเป็นที่ถกเถียงกันในหมู่นักวิจัยเกี่ยวกับเรื่องประโยชน์และโทษของการดื่มเบียร์ โดยมีการวิจัยออกมามากมาย และที่สำคัญพบว่าโทษของเบียร์เกิดเนื่องมาจากแอลกอฮอล์ที่อยู่ในเบียร์ เป็นตัวการสำคัญ จึงมีแนวคิดในการผลิตเบียร์ไร้แอลกอฮอล์ หรือแอลกอฮอล์ต่ำออกมา เพื่อเลี่ยงผลเสียในการดื่มเบียร์ เราพบว่าเบียร์ มีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ถึงอย่างไรก็ควรดื่มพอประมาณ เราพบว่าเบียร์มีสารต่างๆ มากกว่า 1,000 ชนิด รวมทั้งวิตามินและเกลือแร่ เช่น สังกะสี แมกนีเซียม เหล็ก และแร่ธาตุที่จำเป็น ซึ่งช่วยให้เส้นประสาทและกล้ามเนื้อ แข็งแรง ยังมีประโยชน์อย่างอื่นอีก เช่น

ผลดีต่อระบบเลือด ป้องกันโรคหัวใจพบว่า ผู้ที่ดื่มเบียร์มีความเสี่ยงต่อโรคหัวใจน้อยกว่าผู้ที่ไม่ได้ดื่มเบียร์ 40 - 60% แต่ควรดื่มไม่เกินครึ่งลิตรต่อวัน เบียร์มีสารปกป้องหัวใจ ช่วยลดความเสี่ยงโรคอัมพฤกษ์ อัมพาต สารที่มีประโยชน์ในเบียร์สามารถช่วยป้องกันเส้นเลือดอุดตันจึงช่วยป้องกันโรคอัมพฤกษ์ อัมพาตได้ ช่วยลดความดันโลหิต แพทย์ชาวฮอลแลนด์และจากมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดค้นพบว่า การดื่มเบียร์ช่วยลดความดันโลหิตสูงได้

ป้องกันเบาหวาน ผู้ที่ดื่มเบียร์มีจำนวนน้อยที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน เหตุผลก็คือ เบียร์ทำให้ร่างกายสามารถปรับฮอร์โมนอินซูลิน ให้สมดุลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยให้กระดูกแข็งแรง เบียร์ให้ผลดีต่อกระดูก สามารถช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุนได้ แต่ได้ผลเฉพาะกับหนุ่มสาวเท่านั้น

ป้องกันท้องร่วง โมเลกุลในเบียร์มีส่วนประกอบเหมือนกันกับกรดนมและน้ำส้มสายชู สารที่ว่านี้ขัดขวางเชื้อโรคนำไส้ที่เป็นสาเหตุของท้องร่วงไม่ให้แพร่ เชื้อจนท้องเสีย

ด้านความเครียด นักวิชาการจากมหาวิทยาลัย Montreal ค้นพบว่า คนทำงานที่ได้ดื่มเบียร์บ้าง เป็นครั้งคราวมีความเครียดน้อยกว่าผู้ที่ไม่ดื่มเบียร์

ป้องกันนิวในถุงน้ำดีและในไต นักวิชาการจากเมืองเฮลซิงกิ ประเทศฟินแลนด์ค้นพบว่า การดื่มเบียร์วันละหนึ่งขวดก็จะได้รับแมกนีเซียม ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงโรคนิวในไตได้ถึง 40%

ป้องกันโรคนอนไม่หลับ สารจากดอก Hop ใน เบียร์เปรียบเสมือนยานอนหลับจากธรรมชาติ ช่วยให้ประสาทผ่อนคลาย ดังนั้น การดื่มเบียร์หนึ่งแก้วในตอนเย็นจึงเหมือนกับการกินยานอนหลับ

ช่วยต้านมะเร็ง เบียร์มีสารโพลีฟีนอยด์ที่จะช่วยป้องกันมะเร็ง โดยการดักจับอนุมูลอิสระตัวร้าย ออกจากร่างกาย สารโพลีฟีนอยด์หลักก็คือ Xanthohumol ซึ่งมีข้อดี คือ ช่วยยับยั้งโปรตีนที่ช่วยในการพัฒนาการของมะเร็ง

ช่วยให้ผิวสวย ในเบียร์มีวิตามินสูง เช่น Pantothenic Acid วิตามินบี 3 และไนอาซิน ซึ่งจะช่วยกระตุ้นการผลิตเซลล์ผิวใหม่ ช่วยสร้างสารคอลลาเจนและเม็ดสี ผิวจึงเรียบเนียนและอ่อนนุ่ม

2.10.7 ผลเสียของการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ คือสารที่เราพบได้ใน สุราหรือเหล้า เบียร์ เป็นสารธรรมชาติที่ได้มาจากกระบวนการหมักน้ำตาล (เช่น จากข้าว อุ่น ข้าวโพด) กับยีสต์ เกิดเป็นสารที่เรียกว่า เอทานอล (ethanol) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเครื่องดื่มประเภทสุรา แต่การที่จะดื่ม เอทานอลที่บริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว นั้น ไม่สามารถดื่มได้ เพราะรสชาติแรงบาดคอ จึง ต้องมีส่วนผสมเพื่อให้รสชาติดีขึ้น เราเรียก ส่วนผสมนั้นว่า คอนจีนอร์ (congener) คือสารปรุงแต่งให้รสชาติไปในทำนองเดียวกัน

ตามหลักสากลทั่วไป คำว่า 1 ดริงก์ (drink) นั้น หมายถึง เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ 12 กรัม ซึ่งเทียบเท่ากับเบียร์ (3.6% เอทานอล) ขนาด 12 ออนซ์ (1 ออนซ์ เท่ากับ 30 มิลลิลิตร) 1 กระป๋อง หรือวิสกี้ 80 ดีกรี (40% เอทานอล) 1 ออนซ์ (30 มิลลิลิตร)

คำว่า ดีกรี หมายถึง ความเข้มข้น เช่น เหล้า 100 ดีกรี หมายถึง เหล้าที่มีแอลกอฮอล์ 100 ส่วน ผสมน้ำ 100 ส่วน เหล้า 80 ดีกรี หมายถึง เหล้าที่มีแอลกอฮอล์ 80 ส่วน ผสมน้ำ 100 ส่วน

โดยทั่วๆ ไปแล้วได้มีการกำหนดอย่างคร่าวๆ สำหรับชาวเอเชียว่า ผู้ชายที่ติดเหล้า คือ ผู้ที่ดื่ม 4 ดริงก์ต่อวัน และถ้าเป็นผู้หญิง ที่ติดเหล้าคือ ผู้ที่ดื่ม 3 ดริงก์ต่อวัน

แอลกอฮอล์ที่คนบริโภคเข้าไปนั้น ประมาณร้อยละ 90 จะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็ว โดยลำไส้เล็ก ส่วนต้น และภายในเวลา 30 - 90 นาที ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดจะ ขึ้นสูงสุด แอลกอฮอล์จะกระจายในร่างกาย ได้อย่างรวดเร็ว ผลที่เห็นได้อย่างชัดเจนลำดับแรกคือ ฤทธิ์ต่อสมอง ในระยะแรก จะทำให้ผู้ดื่มเกิดความรู้สึกกระปรี้กระเปร่า คึกคักนอน แต่ในขณะเดียวกันก็เริ่มมีผล ต่อการตัดสินใจ การพูด ความว่องไวใน การทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ จะช้าลง ทำให้มีผลต่อการขับชียานพาหนะ และเมื่อระดับของแอลกอฮอล์เพิ่มสูงขึ้นอีก จะทำให้สูญเสียด้านการทรงตัว การมองเห็น สมาธิความจำ และอาจรุนแรงถึงขั้นหมดสติได้ นอกจากนี้ การดูดซึมของแอลกอฮอล์ ที่บริเวณลำไส้เล็กก็จะทำให้การดูดซึมของวิตามินบีชนิดต่างๆลดลงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิตามินบี 1 โดยภาวะพร่องวิตามินบี 1 จะทำให้เกิดโรคสมองเสื่อมขึ้นได้ และจะเป็นอย่างถาวรถ้าแก้ไขไม่ทัน และแน่นอน ที่สุด แอลกอฮอล์จะไปมีผลทำให้เกิดการอักเสบของเซลล์ตับ ก่อให้เกิดตับอักเสบ ไขมันสะสมในตับ และตับแข็งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ยังมีผลต่อหลอดเลือดและหัวใจได้ โดยทำให้เกิดภาวะความดันโลหิตสูง ระดับคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจขาดเลือดเนื่องจากภาวะหลอดเลือดหัวใจตีบ นอกจากนี้ แอลกอฮอล์ยังเป็นพิษโดยตรงต่อกล้ามเนื้อหัวใจอีกด้วย จึงเห็นได้ว่า แอลกอฮอล์นั้นมีผลต่อระบบภายในร่างกายหลายระบบ ยิ่งบริโภคในปริมาณที่มากและต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ก็ยิ่งเสี่ยงต่ออันตรายต่างๆ เหล่านี้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินงานวิจัย

3.1 คำนำ

จุมุกอิเล็กทรอนิกส์คือการเลียนแบบการรับรู้กลิ่นของสิ่งมีชีวิต จมูกของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติจะรับรู้กลิ่นได้โดยเมื่อมีอนุภาคของกลิ่นฟุ้งไปในอากาศ เมื่อไปกระทบกับ ต่อมรับรู้กลิ่นในโพรงจมูก ต่อมรับรู้กลิ่นจะมีอยู่จำนวนมากซึ่งแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อกลิ่นแต่ละแบบที่แตกต่างกันไปเมื่อ ต่อมรับรู้กลิ่นตอบสนองต่อกลิ่นต่างๆแล้วก็จะส่งสัญญาณไฟฟ้าเคมีไปยังสมองสมองจะทำการประมวลผลโดยการเปรียบเทียบกับกลิ่นที่เคยจดจำได้ในอดีต จากความทรงจำนำมาประมวลผลเทียบเคียง จึงแยกแยะและรู้ได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร จำนวนของต่อมรับรู้กลิ่นในโพรงจมูกนั้นมีจำนวนมหาศาล ถ้าเทียบกับเซนเซอร์ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นได้ในปัจจุบัน การที่จะเลียนแบบการทำงานของจมูกจริงๆ จึงเป็นการยากที่จะทำได้ละเอียดอ่อนเท่ากับจมูกและสมองของสิ่งมีชีวิตอีกทั้งเซลล์สมองของสิ่งมีชีวิตก็มีจำนวนมากมายมหาศาลที่จะใช้ประมวลผลในการแยกแยะกลิ่นต่างๆ จมูกอิเล็กทรอนิกส์จึงยังอยู่ในขั้นเริ่มต้นที่จะต้องพัฒนาต่อไป โดยประโยชน์ของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้กันก็จะมี การตรวจสอบคุณภาพอาหาร การจำแนกผลิตภัณฑ์เปียร์ การจำแนกกลิ่นน้ำหอมว่าแท้หรือไม่ผลิตมาจากแหล่งใดการจำแนกไขมันหรือเนื้อสัตว์เพื่อดูว่ามาจากแหล่งการผลิตจากที่ใด ใช้จำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดจากลมหายใจ และใช้ตรวจหาวัตถุระเบิดในสนามรบ เป็นต้น ในการค้นคว้าวิจัยจะใช้เซนเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ หลายตัวมาต่อรวมกันเป็นตัวรับกลิ่นและจำแนกลักษณะของกลิ่นด้วยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในเรื่องการพัฒนาจุมุกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ที่มีการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยจุมุกอิเล็กทรอนิกส์แบบต่าง ๆ และวิธีการนำไปใช้งาน
2. ศึกษางานวิจัยจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซนเซอร์ชนิด สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์
3. ศึกษางานวิจัยที่ใช้จุมุกอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดเครื่องดื่มประเภทที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม
4. ศึกษาองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์
5. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ใช้กันในงานจุมุกอิเล็กทรอนิกส์
6. ออกแบบระบบจุมุกอิเล็กทรอนิกส์แบบใช้เซนเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์มาต่อรวมกัน (Array sensor)
7. ทดลองใช้จุมุกอิเล็กทรอนิกส์ลองวัดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์
8. หาค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ตอบสนองสูงสุดของแต่ละเซนเซอร์
9. นำสัญญาณที่ได้มาอยู่ในรูปของเมตริกซ์
10. นำเมตริกซ์การตอบสนองของเซนเซอร์มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis :PCA)
11. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบจุ่มอิเล็กทรอนิกส์

จากการศึกษาสารตัวอย่างที่จะทำการวัดพบว่า เบียร์สดมีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำและมีสารประกอบต่าง ๆ มากมายประมาณ 800 ชนิด และที่สำคัญกลิ่นของเบียร์สดหรือสารระเหยง่ายที่อยู่ในเบียร์เป็นสารที่จะทำการวัดนั้นมีสารหลัก ๆ ประกอบด้วยสารกลุ่มแอลกอฮอล์ สารประกอบกำมะถัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพวกสารอโรมาติก หรือสารที่ให้กลิ่นต่าง ๆ เช่น ฮอป เป็นต้น โดยการเลือกเซนเซอร์ เราจะเลือกเซนเซอร์ที่ตอบสนองต่อสารดังกล่าวข้างต้นเป็นหลัก โดยเฉพาะแอลกอฮอล์ จะพิจารณาจากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ของผู้ผลิต พบว่าเซนเซอร์ที่เลือกมาจะตอบสนองกับแอลกอฮอล์ทุกตัว และเลือกมาใช้ดังตารางที่ 3.1 แต่จะตอบสนองมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละเบอร์เซนเซอร์โลหะออกไซด์ชนิดต่าง ๆ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั้งหมดพบว่าชนิดที่นำมาใช้งานในจุ่มอิเล็กทรอนิกส์มีเพียงเซนเซอร์ที่ตอบสนองต่อก๊าซได้ดีได้เพียงบางกลุ่มเท่านั้น

ตารางที่ 3.1 เซนเซอร์ก๊าซที่นำมาใช้และชนิดของก๊าซ

ตัวที่	รุ่น	ชนิดก๊าซที่ตรวจจับ
1	MQ 2	General Combustible
2	MQ 3	Alcohol
3	MQ 4	Natural, Methane
4	MQ 6	LPG, Propane
5	MQ 7	Carbon Monoxide
6	TGS2600	Air Contaminants
7	TGS2602	Air Contaminants



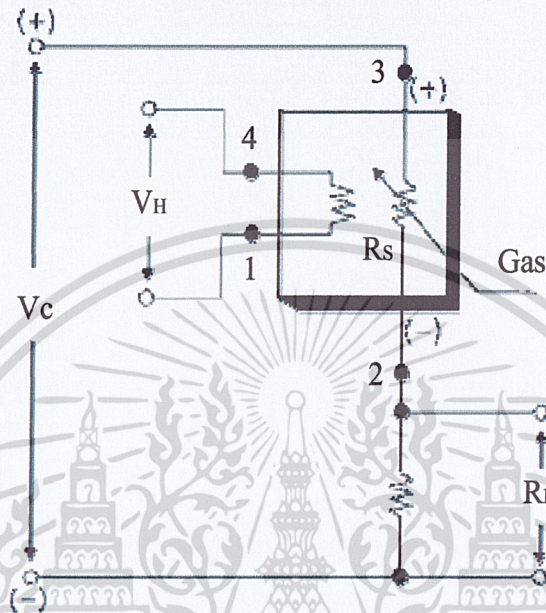
รูปที่ 3.1 เซนเซอร์จุ่มอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการตรวจวัดเครื่องต้มแอลกอฮอล์

จากนั้นนำจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ไปทดสอบวัดเครื่องต้มแอลกอฮอล์ จากนั้นจะทำการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่เอาต์พุตของทุกเซนเซอร์และนำค่าที่ได้จัดเรียงในรูปเมตริกซ์ เนื่องจากวัดเครื่องต้มแอลกอฮอล์เบียร์สด 3 ชนิด ทำการวัดซ้ำ 5 ครั้งและตรวจวัดโดยใช้เซนเซอร์ 7 ตัว ทำให้ได้เมตริกซ์ข้อมูลขนาด 15×7 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อดูผลการจำแนก ซึ่งจะกล่าวไว้ในบทต่อไป

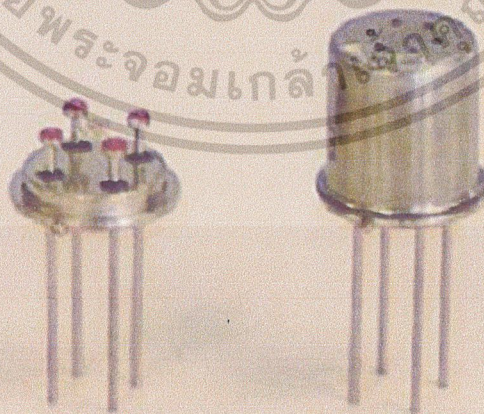
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบก๊าซเซนเซอร์อาร์เรย์

โดยทั่วไปก๊าซเซนเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์จะมีการต่อวงจรใช้งานที่มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีแรงดันไฟจ่ายให้กับวงจร VC เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าไม่เกิน 5V และ แรงดันที่จ่ายกับ Heater (VH) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ขนาดแรงดัน 5.0 V

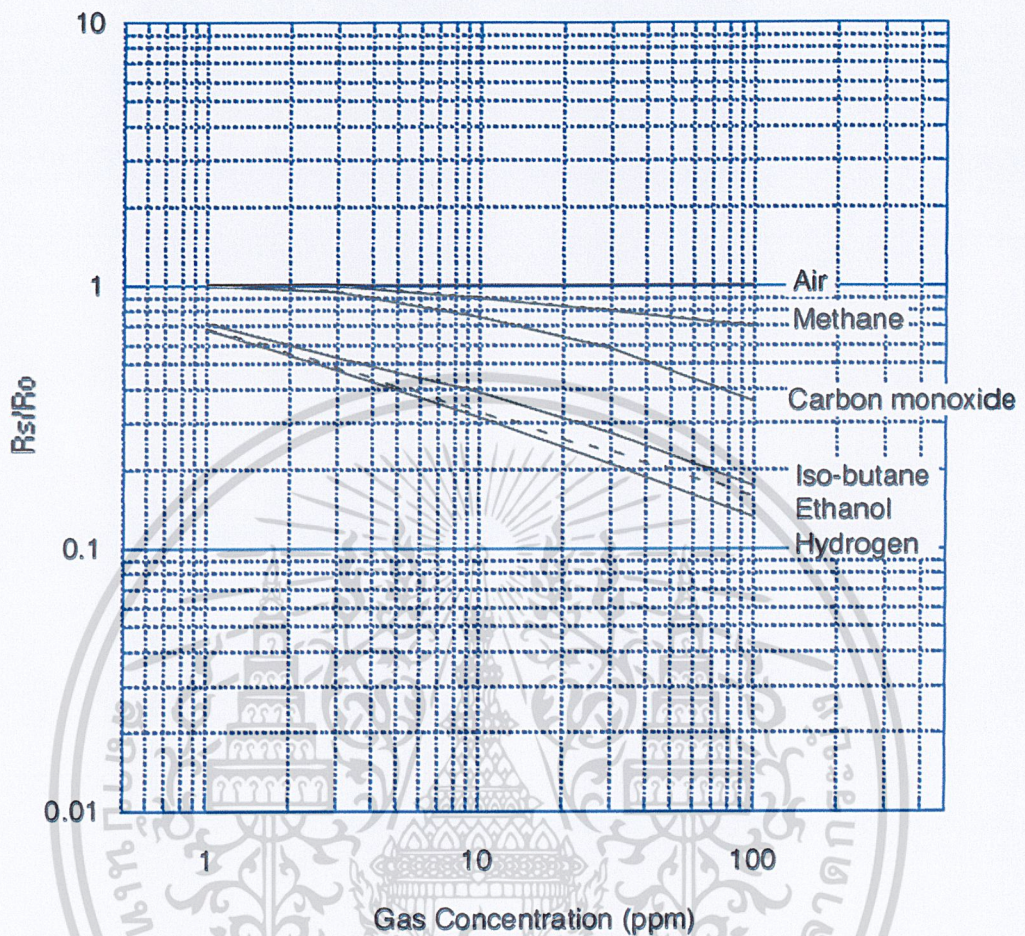


รูปที่ 3.2 วงจรของก๊าซเซนเซอร์ที่พร้อมใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างก๊าซเซนเซอร์แบบโลหะออกไซด์ รุ่น TGS 2600

รูปที่ 3.4 ความต้านทานตอบสนองต่อไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ R_s/R_o ของเซนเซอร์ TGS 2600

ค่าความต้านทานของเซนเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (3.1)

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

จากสมการที่ (3.1) เราจะนำไปใช้คำนวณหาค่าความต้านทานโหลด (R_L) ที่จะนำไปใช้ต่อในวงจรและกำลังงานไฟฟ้าที่เซนเซอร์ใช้ไปสามารถหาได้จากสมการที่ (3.2)

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

ซึ่งเราจะได้รับรุ่นของก๊าซเซนเซอร์ที่จะใช้สร้างเป็นจุ่มกอลิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดันที่จ่ายให้วงจร (V_C), แรงดันที่จ่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กับ Heater (VH), ค่าความต้านทานของเซนเซอร์ (RS), ค่าความต้านทานของ Heater (RS), กำลังที่ใช้ของ Heater (PH) ของเซนเซอร์ทั้ง 7 ตัว ดังตารางที่ 3.3

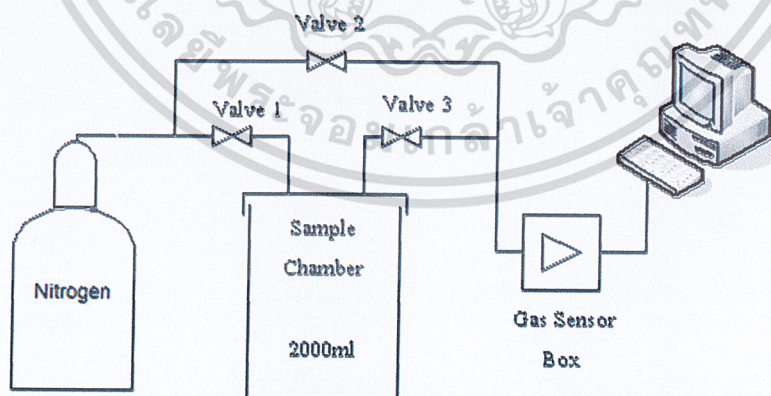
ตารางที่ 3.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานของก๊าซเซนเซอร์ต่างๆ ที่ใช้งาน

รุ่น	แรงดัน VC (V)	แรงดัน VH (V)	RS (K Ω)	RH (Ω)
TGS 2602	5.0 \pm 0.2	5.0 \pm 0.2	10-100	57.0
TGS 2600	5.0 \pm 0.2	5.0 \pm 0.2	10-90	78.0
MQ 2	5.0 \pm 0.1	5.0 \pm 0.1	3-30	33.0 \pm 3.0
MQ 3	5.0 \pm 0.1	5.0 \pm 0.1	1-8	33.0 \pm 3.0
MQ 4	5.0 \pm 0.1	5.0 \pm 0.1	10-60	33.0 \pm 3.0
MQ 6	5.0 \pm 0.1	5.0 \pm 0.1	2-20	33.0 \pm 3.0
MQ 7	5.0 \pm 0.1	5.0 \pm 0.1	2-20	33.0 \pm 3.0

ทำการทดสอบการทำงานของวงจรและต่อสายสัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์ทุกตัวเพื่อนำสัญญาณบันทึกผลการวัด ลงคอมพิวเตอร์โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ด้วยอุปกรณ์บันทึกสัญญาณ USB Multifunction รุ่น NI USB-6211 ของบริษัท National Instrument

3.2.2 การออกแบบระบบการทำงาน

ระบบการตรวจวัดของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ มีหลักการทำงานคล้ายๆ กับการทำงานจริงของจุ่มกมนุขย์ คือ จะต้องมีการนำกลิ่นหรือไอระเหยจากสารชนิดต่างๆ มาสัมผัสส่ววาระรับรู้กลิ่นในที่นี้เราจะใช้การพัดพาของก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาที่กลิ่นหรือสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่อยู่ในเครื่องต้มแอลกอฮอล์เข้าสู่เซนเซอร์รับกลิ่นทั้ง 7 ตัว ซึ่งไดอะแกรมการทำงานของระบบตรวจวัดเป็นดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมการทำงานของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์

จากไดอะแกรมการทำงานของระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ในรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ระบบการควบคุมการไหลของก๊าซซึ่งมีไนโตรเจนเป็นก๊าซพาห้, ชุดก๊าซเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ต่อร่วมกันแบบอาร์เรย์และระบบการบันทึกสัญญาณ ซึ่งมีตารางควบคุมการไหลของก๊าซดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีควบคุมการปิดเปิด

วาล์วตัวที่ 1	วาล์วตัวที่ 2	วาล์วตัวที่ 3	การทำงาน
ปิด	เปิด	ปิด	ไล่สารตกค้าง
เปิด	ปิด	เปิด	ตรวจวัดสารตัวอย่าง

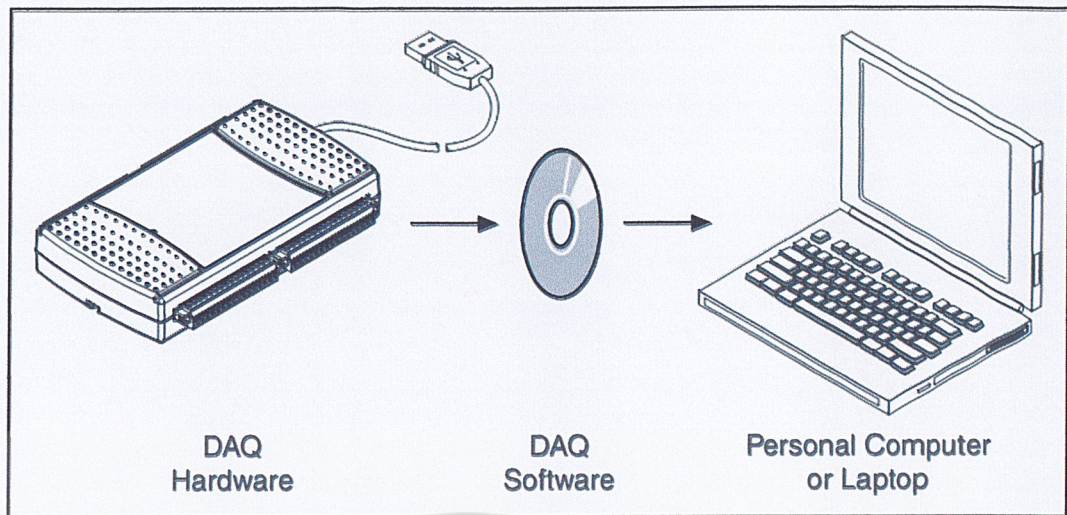
3.2.3 การบันทึกผลการทดลอง

ส่วนระบบการบันทึกสัญญาณพัฒนาบนโปรแกรม NI LabVIEW โดยทำงานร่วมกับ Multifunction I/O รุ่น NI USB-6211 ของ National Instrument ทำหน้าที่เป็น Data acquisition และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว ดังรูปที่ 3.6 โดยรุ่นนี้จะมีความละเอียด 16 bit

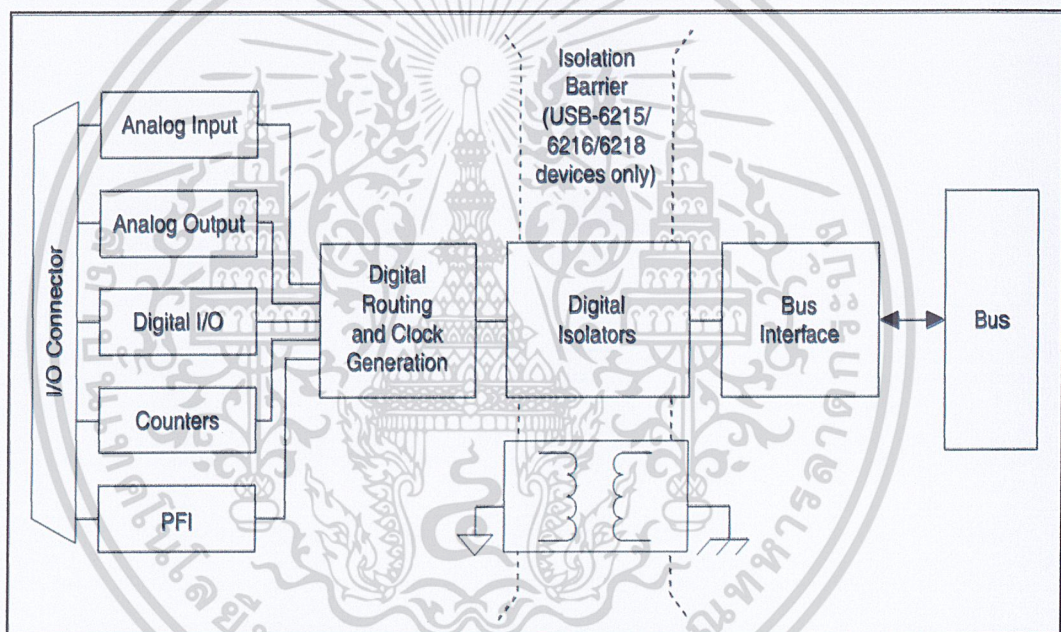


รูปที่ 3.6 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ NI USB Multifunction รุ่น NI USB-6211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



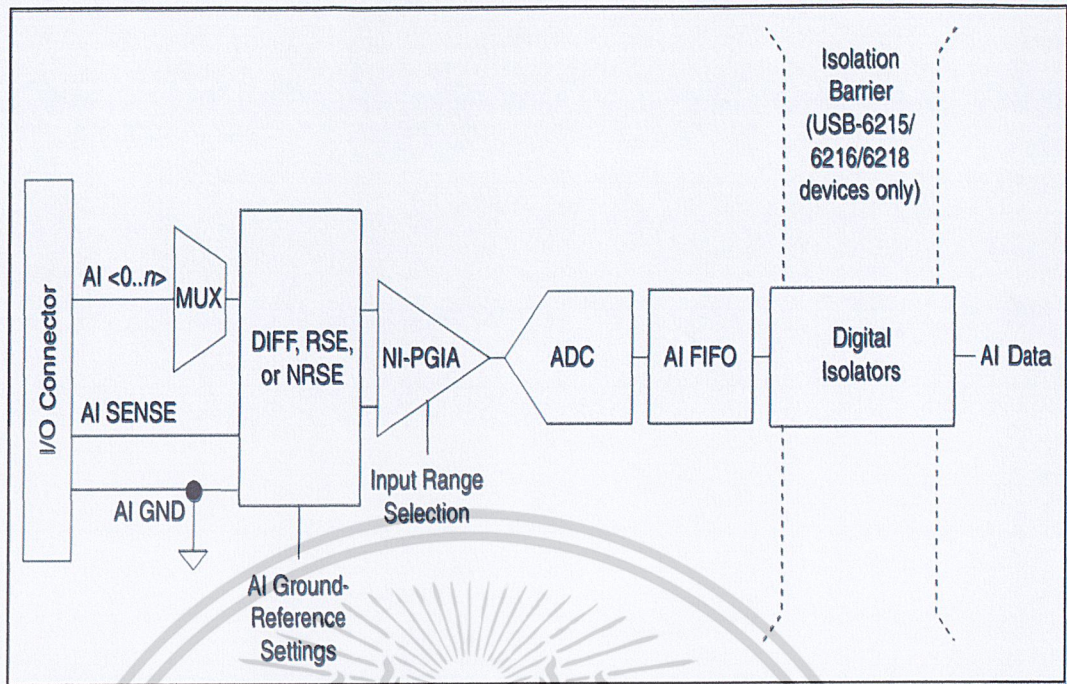
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ



รูปที่ 3.8 ผังการทำงานของอุปกรณ์บันทึกสัญญาณ

ในการทำงานของส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล จะกระทำผ่านโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการสัญญาณ หรือ Data Acquisition (DAQ) ในที่นี้คือ Software NI LabVIEW โดยโปรแกรมจะทำการดึงค่าสัญญาณอนาลอกจาก กล้อง NI USB-6211 แปลงมาเป็น ค่าดิจิตอลในคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ประมวลผลต่อไปดังรูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานภายในแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 จะประกอบด้วย I/O Connector คือขั้วต่อภายนอก ส่วนของ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกอินพุท วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเอาต์พุท ส่วนของสัญญาณดิจิตอลอินพุทและเอาต์พุท วงจรเคาต์เตอร์ และพอร์ทอเนกประสงค์อื่น ๆ จากนั้นจะผ่านสัญญาณเข้าออกและการควบคุมการสุ่มสัญญาณ ผ่านทาง Digital Routing and Clock Generation จากนั้นจะเป็นส่วนของการป้องกันแยกขาดทางไฟฟ้า Digital Isolator ส่งผ่านไปยังระบบ Bus ของคอมพิวเตอร์เพื่อเอาสัญญาณทางไฟฟ้าไปใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ผังการทำงานของอุปกรณ์บันทึกสัญญาณในส่วนของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

ในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลนั้นจากรูปที่ 3.9 ขั้วต่อภายนอก จะเข้ามายังตัว Multiplexer ทำหน้าที่สลับสัญญาณอินพุตเข้ามายังภาคหน้าของวงจรรอบแอมป์ที่สามารถจะเลือก Mode การทำงานได้ หลังจากนั้นจะเข้ามายังส่วนขยายสัญญาณ NI-PGIA แล้วทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่ ADC หลังจากนั้นจะส่งเข้า Buffer First In First Out ได้เป็นสัญญาณทางดิจิทัลนำไปใช้งานต่อไป

โดยการสุ่มตัวอย่างหรือ Sampling ข้อมูลจากเซนเซอร์ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องหรือดิจิทัล $x(n)$ จากสัญญาณต่อเนื่อง $x(t)$ โดยอาศัยความถี่ในการซึก (Sampling rate หรือ Sampling frequency) ซึ่งจะได้สัญญาณ $x(n)$ เป็น

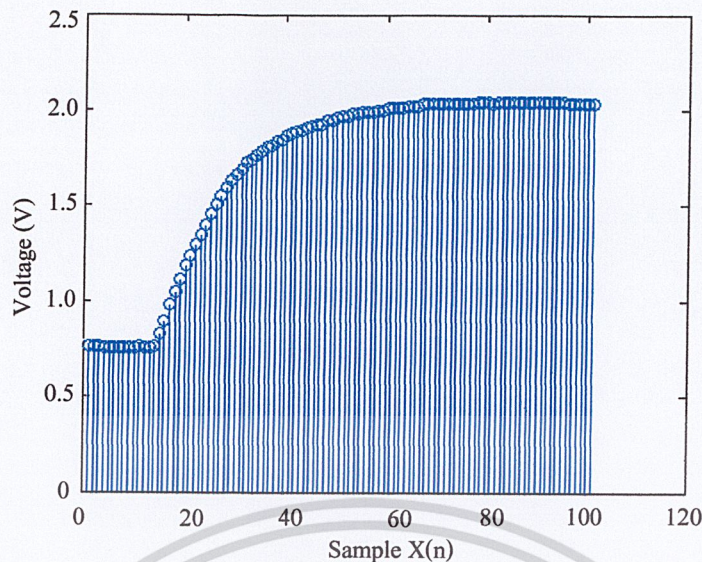
$$x(n) \equiv x(nT) \quad (3.4)$$

เมื่อ T คือคาบของการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาระดับของการ Quantization (Q) ข้อมูลจะได้

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

สัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจะเป็นดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 สัญญาณจากการสุ่มตัวอย่าง

จากนั้นหาค่าสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณ (Signal) ของเซนเซอร์แต่ละตัว ดังสมการที่ (3.6) และ (3.7)

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

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

เมื่อได้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณก็จะมาคำนวณหาผลต่าง ดังสมการที่ (3.8) ซึ่งจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณ

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

โปรแกรมที่ใช้บันทึกสัญญาณจากการวัด โดยมีช่วงเวลากการสุ่มตัวอย่างทุก 1 วินาที หรือ มีค่า Sampling rate เท่ากับ 1 Hz

3.3 การดำเนินการทดลอง

การทดสอบใช้จุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์วัดเครื่องตีแมลลอคฮอลล์เมื่อเราได้ออกแบบและประกอบชุดทดลองเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งจะใช้เบียร์สด 3 สูตรส่วนการทำงานของจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์ก่อนทำการตรวจวัด เมื่อเริ่มเปิดสวิชระบบและเปิดวาล์วถึงก๊าซไนโตรเจนจะ ต้องใช้เวลาเริ่มต้น (Initial) ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ตัวทำความร้อน (Heater) ของก๊าซเซนเซอร์ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความชื้นที่เกิดจากตัวอย่างรบกวนการทำงานของระบบเพื่อให้การทำงานคงที่ (Stable) และปล่อยก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่สารตกค้างและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มาเกาะตัวเซนเซอร์ขณะที่ไม่ได้ใช้งาน

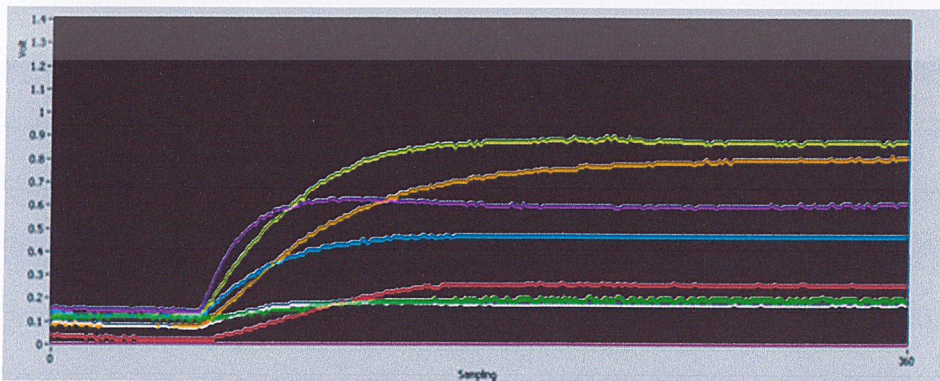
ซึ่งในตอนนั้ระบบพร้อมทำการตรวจวัดตัวอย่างแล้ว เราจึงนำไปใส่ในภาชนะขนาด 2000 ml ซึ่งมีการปิดสนิท หลังจากนั้นวาล์วตัวที่ 1, 3 อยู่ในสถานะปิดและวาล์วตัวที่ 2 อยู่ในสถานะเปิด ให้ไนโตรเจนไหลผ่านก๊าซเซนเซอร์โดยตรงเพื่อดูค่าคงที่ของระดับสัญญาณต่ำสุดขณะก่อนตรวจวัดตัวอย่างเพื่อจะใช้ในการคำนวณระดับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในการตรวจวัด ซึ่งสัญญาณของแต่ละเซนเซอร์ก็จะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ สัญญาณของก๊าซเซนเซอร์ทุกตัวจะอยู่ใกล้ศูนย์ มีค่าแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของก๊าซเซนเซอร์ต่อก๊าซไนโตรเจนของแต่ละตัว และเมื่อเวลาการทดสอบผ่านไป 1 นาที ระบบก็จะปิดวาล์วตัวที่ 2 และเปิดวาล์วตัวที่ 1, 3 เพื่อให้ก๊าซพาหน์นำสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่อยู่ในเบียร์สดไหลเข้าสู่กล่องเซนเซอร์อาร์เรย์ทั้ง 7 ตัว เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ตัวอย่างไหลเข้าสู่เซนเซอร์อาร์เรย์จนมีระดับสัญญาณที่สูงสุดแล้ว จากนั้นเมื่อครบเวลา 6 นาที ของการตรวจวัดตัวอย่างระบบจะทำการปิดวาล์วตัวที่ 1, 3 และเปิดวาล์วตัวที่ 2 เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนไล่เอาตัวอย่างที่ตกค้างภายในระบบออกไป ซึ่งจะทำให้ระดับสัญญาณกลับมาคงที่ค่าเดิมเท่ากับก่อนการตรวจวัดตัวอย่างอีกครั้ง โดยสามารถเขียนเป็นตารางการทำงานของระบบและรูปสัญญาณที่ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนและช่วงเวลาในการทดลอง

ลำดับ	ช่วงเวลา (นาที)	เวลาที่ใช้ (นาที)	การทำงาน
1	เริ่มต้น	-	เปิดวาล์วไนโตรเจน
2	0-10	10	ระบบเริ่มต้นการทำงาน
3	10	-	เริ่มบันทึกสัญญาณ
4	10-11	1	ปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และเปิดวาล์วตัวที่ 2
5	11-16	5	เปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และปิดวาล์วตัวที่ 2
6	16-18	2	ปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และเปิดวาล์วตัวที่ 2
7	20 ขึ้นไป	-	ทดสอบตัวอย่างถัดไป
8	จบการทดลอง	2	ปิดวาล์วตัวที่ 1,3 และเปิดวาล์วตัวที่ 2

สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากการวัดเรอาน์บันทึกโดยใช้โปรแกรม NI LabVIEW ซึ่งเราสามารถดูการเปลี่ยนแปลงสัญญาณตลอดการทดลอง 6 นาที เพื่อดูการตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละตัว ซึ่งจะให้ผลการแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติของเซนเซอร์ตัวนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.11 สัญญาณเอาต์พุตอยู่ในรูปแรงดันต่อเวลาวินาทีของก๊าซเซนเซอร์ทั้ง 7 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 เป็นสัญญาณเอาต์พุตของก๊าซเซนเซอร์ทั้ง 7 ตัว โดยเส้นสีขาวจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 2602, เส้นสีแดงจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ TGS 2600, เส้นสีเขียวจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ MQ 2, เส้นสีฟ้าจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ MQ 3, เส้นสีเหลืองจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ MQ 4, เส้นสีม่วงจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ MQ 6, และเส้นสีส้มจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ MQ 7 จะเห็นว่าช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบจนถึงหนึ่งนาที่ระดับสัญญาณของระบบคงที่เข้าใกล้ศูนย์ เนื่องจากในระบบมีเฉพาะก๊าซไนโตรเจนและเมื่อเวลาต่อมาระบบจะทำการเปิดวาล์วให้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่อยู่ในเบียร์สดไหลเข้าสู่เซนเซอร์ โดยการพาห์ของก๊าซไนโตรเจนจะเห็นวาระดับสัญญาณค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนเริ่มคงที่ ระบบจะทำการตรวจวัดไปจนครบเวลา 6 นาที จนจบการทดลอง

แล้วหลังจากนั้นจะทำการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณที่เอาต์พุตของเซนเซอร์ทั้ง 7 ตัว โดยใช้สมการที่ (3.8) ในการหาค่าต่ำสุดซึ่งเกิดในช่วงนาที่แรกก่อนมีสารตัวอย่างเข้ามาและค่าสูงสุดของสัญญาณ ซึ่งเกิดขณะในช่วงมีสารตัวอย่างเข้ามาในระบบมากที่สุด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อัดเป็นรูปเมตริกซ์ โดยเวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ 1 จะเป็นแถวที่ 1 ของเมตริกซ์ เวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ 2 จะเป็นแถวที่ 2 ของเมตริกซ์ จนถึงเวกเตอร์ของข้อมูลชุดที่ n จะเป็นแถวที่ n ของเมตริกซ์

3.4 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้เมตริกซ์ข้อมูลจากการคำนวณผลการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของก๊าซเซนเซอร์แล้ว ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการนำข้อมูลที่ได้อัดมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อจำแนกเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เบียร์สดแต่ละสูตรซึ่งขั้นตอนแรกเริ่มด้วยการนำข้อมูลมาเรียงให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ โดยเราจะให้ผลการวัดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในแต่ละสูตรอยู่เป็นแถวที่ 1 ถึง แถวที่ n ส่วนคอลัมน์ที่ 1 ถึง คอลัมน์ที่ 7 จะเป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัด ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

ขั้นตอนการวิเคราะห์การทดลอง

1. คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของเซนเซอร์
2. สร้างเมตริกซ์ของข้อมูล
3. วิเคราะห์สัญญาณจากเมตริกซ์ข้อมูลโดยใช้ โปรแกรม MATLAB
4. สร้างกราฟวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์เราจะเริ่มตั้งแต่การใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการเรียนรู้แบบไม่มีการสอนการจำแนกขั้นต้นว่าสามารถถึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลของตัวแปร $PCA1$ และ $PCA2$ ได้มากกว่าร้อยละ 80 เพื่อดูว่าการจำแนกดีหรือไม่

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เมื่อเราได้สร้างเมตริกซ์ข้อมูลแล้ว จากนั้นหาเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ด้วยสมการที่ (3.9), (3.10), (3.11), (3.12) และ (3.13) ตามลำดับ

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.9)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โดยที่ \bar{x}_i แทน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมตริกซ์ X ในแต่ละหลัก
 $x^{(k)}$ 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 ดังสมการ (3.15)

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

เมื่อ เป็นตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมีจำนวนสูงสุดเท่ากับจำนวนขนาดของเมตริกซ์ความแปรปรวน โดยจะสามารถถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรเดิมเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ซึ่งพิจารณาจากค่าไอเกนที่ได้ของเมตริกซ์ความแปรปรวนซึ่งจะเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยเช่นกัน โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากร้อยละของค่าไอเกนสะสมของตัวประกอบหลังค่าไอเกนตัวแรกเป็นอย่างไร้อยละ 80 เช่น มีจำนวนตัวแปรใหม่ $n = 7$ ตัว แต่มีสัดส่วนค่าไอเกนสะสม 2 ตัวแรกร้อยละ 84 ในกรณีนี้เราจะสามารถใช้ตัวแปรใหม่และแทนตัวแปรเดิมทั้งหมดได้ ผลลัพธ์จากเทคนิค PCA จะได้ค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกน โดยข้อมูลทั้งสองมีความสมนัยซึ่งกันและกัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงเพื่อแสดงเป็นภาพฉายโดยจะเลือกแกนจากเวกเตอร์ไอเกนที่มีการกระจายสูงสุดและมีค่าอธิบายความสัมพันธ์ได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นตัวแปรใหม่ $PCA1$, $PCA2$ และ $PCA3$ ทั้งตัวแปรสามารถแสดงเป็นภาพฉายได้

ในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ เพื่อนำไปใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คำนำ

การทำงานของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์มีส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนการวัดคลื่นหรืออนุภาคของสารที่ระเหยง่าย และส่วนการวิเคราะห์ประมวลผลที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งการตรวจวัดสามารถ แยกแยะคลื่นได้ดีหรือไม่ขึ้น ขึ้นอยู่กับเซนเซอร์ที่ใช้วัดว่ามีความไวในการตรวจรู้และมีความสามารถในการแยกแยะคลื่นต่าง ๆ ได้ดีเพียงใด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างว่าประกอบด้วยอะไรบ้างเพื่อจะได้ทำการเลือกก๊าซเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมในการวัด เนื่องจากข้อจำกัดการตอบสนองทางเคมีของก๊าซเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์มันจะตอบสนองกับก๊าซได้ดีเพียงบางกลุ่มบางชนิดเท่านั้น ส่วนเทคนิคในการวิเคราะห์ผลการทดลองมีหลายเทคนิค ซึ่งแต่ละเทคนิคก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีข้อดีโดยสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว

จากการทดลองเป็นการนำก๊าซเซ็นเซอร์จำนวน 7 ตัว มาต่อร่วมกันทำการตรวจวัดคลื่นของเครื่องตีมแอลกอฮอล์เปียร์สโต โดยเราจะต้องจ่ายแรงดันให้กับเซนเซอร์ 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนของ Heater และ ส่วนของเซนเซอร์ที่จะได้เป็นแรงดันขาออกของเซนเซอร์โดยผ่านมาทางแรงดันตกคร่อมความต้านทานของโหลด หลังจากการตรวจวัดสารตัวอย่างแล้วนำมาทำการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของเซ็นเซอร์แต่ละตัว โดยผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเซนเซอร์จากการที่มีคลื่นเข้ามาบริเวณเซนเซอร์ จะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dividers) จากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิตอลแล้วกลายมาเป็นค่าตัวเลขดังสมการที่ (4.1) ซึ่งจะอยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม n ซึ่งเป็นค่าผลต่างของแรงดันระหว่างค่าสูงสุดกับต่ำสุดนั่นเอง

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

4.2 ผลการทดลองจุมุกอิเล็กทรอนิกส์วัดแยกแยะชนิดของเปียร์สโต

ในการทดลองส่วนนี้ จะเป็นการนำเอาจุมุกอิเล็กทรอนิกส์มาทำการวัดเปียร์สโต โดยทำการวัดเปียร์ตัวอย่าง 3 สูตรที่มีความแตกต่างกันทำการวัด 5 ครั้งในแต่ละสูตร เราจะได้ค่าแรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อตัวอย่างเครื่องตีมแอลกอฮอล์เปียร์สโตแต่ละชนิด ซึ่งหลังจากคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดจะได้ค่าดังตารางที่ 4.1 นำข้อมูลที่ได้มาเขียนในรูปเมตริกซ์ขนาด 15×7 เพื่อนำไปวิเคราะห์แยกแยะด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อตีความสัมพันธ์ของเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตัว มาเป็นตัวแปรใหม่ คือ ตัวแปร $PCA1 - PCA7$ ซึ่งแต่ละตัวก็จะมีความสามารถตีเอาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แตกต่างกัน คือ ตัวแปร $PCA1$ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การตีความสัมพันธ์มากที่สุดและจะลดลงเรื่อยๆ จนตัวแปร $PCA7$ ค่าเปอร์เซ็นต์การตีความสัมพันธ์น้อยที่สุดดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 กราฟ Scree Plot แสดงการตีความสัมพันธ์ข้อมูลของตัวแปรใหม่ ตารางที่ 4.1 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการวัดเปียร์สโตทั้ง 3 สูตร

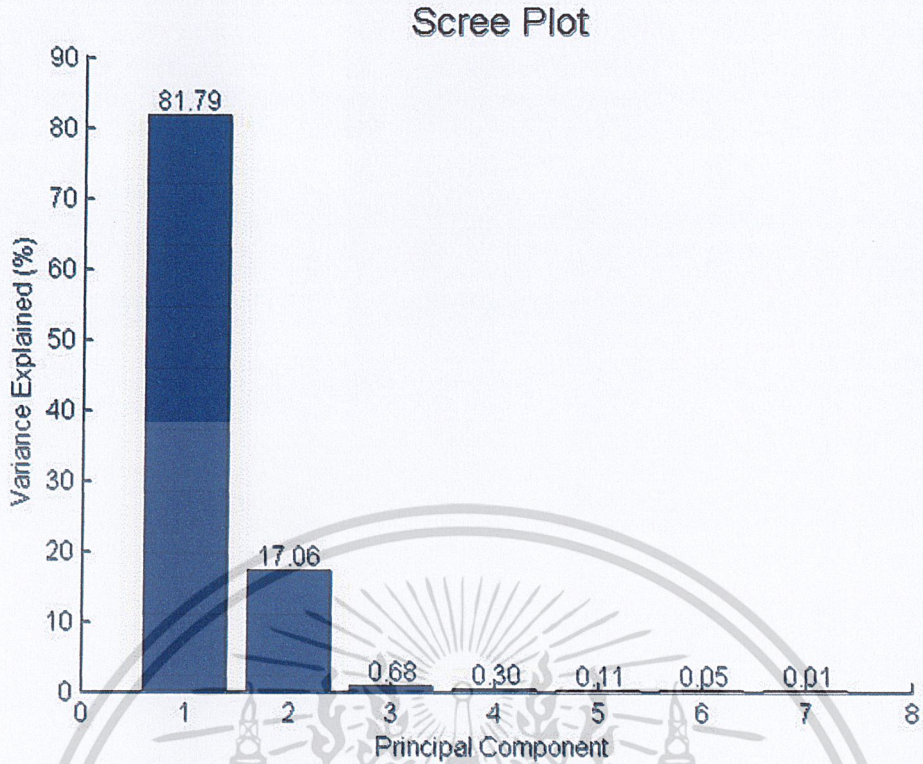
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	MQ 2 (Volt)	MQ 3 (Volt)	MQ 4 (Volt)	MQ 6 (Volt)	MQ 7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
สูตรที่ 1							
1	0.469	0.221	0.112	0.174	0.061	1.039	0.276
2	0.428	0.205	0.092	0.202	0.061	1.121	0.264
3	0.478	0.230	0.073	0.242	0.065	1.234	0.255
4	0.469	0.250	0.098	0.224	0.071	1.472	0.282
5	0.454	0.235	0.096	0.306	0.072	1.395	0.295
สูตรที่ 2							
1	0.125	0.103	0.061	0.042	0.071	0.466	0.162
2	0.176	0.123	0.064	0.031	0.061	0.551	0.153
3	0.166	0.143	0.072	0.072	0.052	0.469	0.132
4	0.162	0.163	0.075	0.051	0.041	0.459	0.102
5	0.195	0.113	0.062	0.021	0.041	0.449	0.163
สูตรที่ 3							
1	0.023	0.072	0.041	0.031	0.021	0.937	0.397
2	0.013	0.052	0.051	0.011	0.021	0.816	0.397
3	0.054	0.087	0.046	0.021	0.036	0.872	0.358
4	0.063	0.104	0.071	0.031	0.041	0.959	0.392
5	0.050	0.121	0.061	0.035	0.048	0.984	0.342

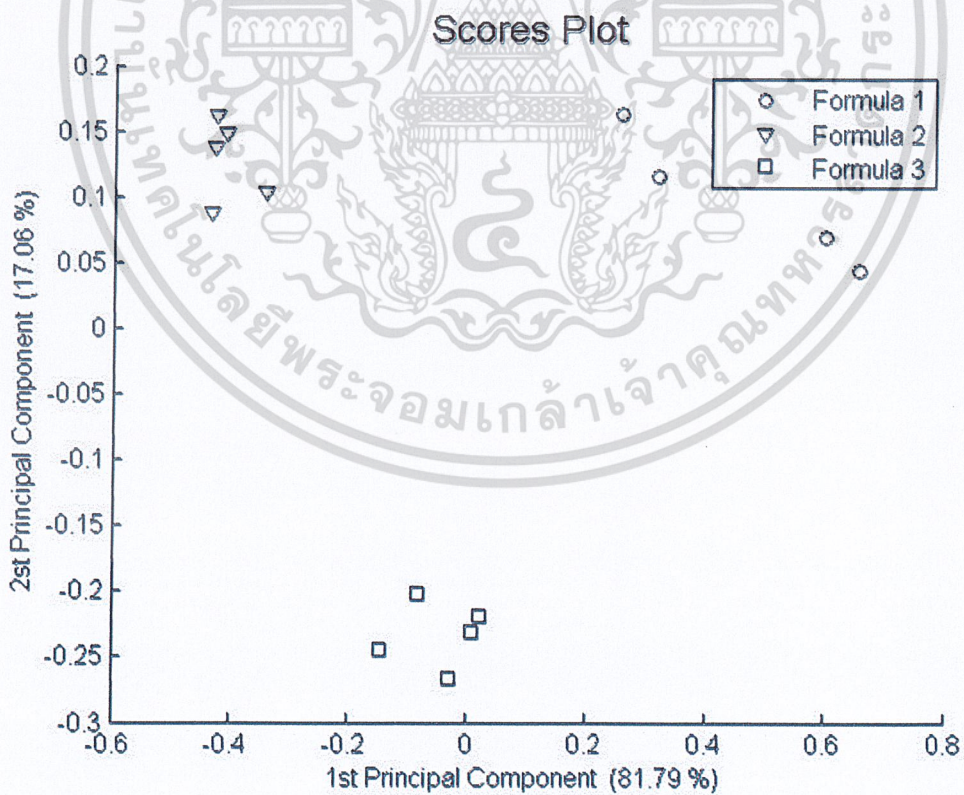
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดถึงความสัมพันธ์

ตัวแปรใหม่	เปอร์เซนต์การดึงความสัมพันธ์	เปอร์เซนต์สะสม
PCA1	81.79	81.79
PCA2	17.06	98.85
PCA3	0.68	99.53
PCA4	0.30	99.83
PCA5	0.11	99.94
PCA6	0.05	99.99
PCA7	0.01	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เปอร์เซนต์การดึงความสัมพันธ์ข้อมูลจากอิเล็กทรอนิกส์ของตัวแปรใหม่



รูปที่ 4.2 การจำแนกของจุมกอิเล็กทรอนิกส์หลังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า ตัวแปร $PCA1$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 81.79 ส่วนตัวแปร $PCA2$ มีค่าเท่ากับ 17.06 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 98.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร $PCA1$ และ $PCA2$ เป็นตัวแทนของทั้ง 7 ตัวแปรได้ ตามหลักการพิจารณาตัวประกอบหลักที่เหมาะสม เราสามารถดูความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรโดยการนำไปสร้างกราฟ (Scree Plot) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ดังรูปที่ 4.1

จากการทดลองนำก๊าซเซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์จำนวน 7 ตัว มาต่อร่วมกัน และนำไปตรวจวัดสารตัวอย่างเบียร์สด โดยนำตัวอย่างเบียร์สดที่มีความแตกต่างกัน 3 สูตร คือเบียร์สด Ale Beer, Larger Beer และ Dark Beer ทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาสร้างเป็นเมตริกซ์ข้อมูลและใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อหาเอกลักษณ์ของข้อมูลพบว่า สูตรที่ 1 สัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม สูตรที่ 2 สัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม สูตรที่ 3 สัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็น 3 กลุ่มได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.2 กราฟที่ได้เรียกว่า Scores Plot จะสังเกตได้ว่าในแนวแกนนอนที่เป็นค่าของ $PCA1$ หรือองค์ประกอบหลักที่ 1 ค่าของตัวแปรกระจายตัวอยู่ประมาณ -0.4 ถึงประมาณ 0.7 ซึ่งจะมีช่วงที่กว้างกว่า ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ข้อมูลของตัวแปรใหม่ที่มีค่า 81.79 เปอร์เซ็นต์ $PCA2$ หรือองค์ประกอบหลักที่ 2 ค่าของตัวแปรกระจายอยู่ประมาณ -0.3 ถึงประมาณ 0.15 ซึ่งเป็นช่วงที่แคบกว่า ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ข้อมูลของตัวแปรใหม่ที่มีค่า 17.06 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่านัยสำคัญสูงกว่า องค์ประกอบหลักที่ 2 ถ้าจะพิจารณาค่าของ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักก็พิจารณาค่าลำดับแรก ๆ เป็นสำคัญ

4.3 ผลการทดลองจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เฝ้าติดตามวัดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เบียร์สด

การทดลองใช้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เฝ้าติดตามขบวนการผลิตเบียร์สด ได้ทำการวัดตั้งแต่วันที่เริ่มทำการหมักบ่มจนถึงวันที่ทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ทำการเก็บข้อมูล ทุก ๆ ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง ใช้เวลาทดลองทั้งสิ้นประมาณ 10 วัน ได้ผลการทดลองมาดังตารางที่ 4.3 โดยในส่วนหัวของตารางจะแสดง วันที่ (Day) ชั่วโมง (Hour) ค่าแรงดันจากเซ็นเซอร์ MQ2 MQ3 MQ4 MQ6 MQ7 TGS2600 และ TGS2602 ตามลำดับ ผลการตรวจวัด มีจำนวน 10 วัน ๆ ละ 24 ชั่วโมง ก็จะมีผลทั้งสิ้น 240 แถว ซึ่งก็คือจำนวนครั้งในการวัด

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการเฝ้าติดตามวัดเบียร์สดในขบวนการหมัก

Day	Hour	MQ2 (Volt)	MQ3 (Volt)	MQ4 (Volt)	MQ6 (Volt)	MQ7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
1	1	0.041	0.216	0.522	0.412	0.324	0.508	0.202
1	2	0.047	0.196	0.512	0.401	0.319	0.501	0.223
1	3	0.059	0.225	0.523	0.433	0.301	0.508	0.189
1	4	0.048	0.194	0.541	0.422	0.326	0.504	0.203
1	5	0.028	0.184	0.531	0.394	0.314	0.508	0.223
1	6	0.048	0.214	0.511	0.412	0.295	0.501	0.211
1	7	0.069	0.241	0.522	0.405	0.323	0.519	0.206
1	8	0.058	0.215	0.532	0.414	0.342	0.505	0.213
1	9	0.048	0.241	0.545	0.435	0.325	0.521	0.208
1	10	0.023	0.231	0.512	0.424	0.311	0.513	0.204

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการเฝ้าติดตามวัดเบียร์สดในขบวนการหมัก(ต่อ)

Day	Hour	MQ2 (Volt)	MQ3 (Volt)	MQ4 (Volt)	MQ6 (Volt)	MQ7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
1	11	0.045	0.226	0.542	0.411	0.321	0.538	0.201
1	12	0.066	0.216	0.522	0.421	0.341	0.511	0.219
1	13	0.029	0.225	0.513	0.413	0.321	0.508	0.201
1	14	0.078	0.204	0.541	0.422	0.341	0.512	0.193
1	15	0.048	0.214	0.521	0.442	0.361	0.509	0.223
1	16	0.058	0.214	0.511	0.412	0.321	0.504	0.183
1	17	0.042	0.241	0.502	0.424	0.354	0.519	0.216
1	18	0.058	0.225	0.532	0.404	0.311	0.501	0.204
1	19	0.038	0.241	0.525	0.435	0.325	0.532	0.235
1	20	0.042	0.262	0.512	0.414	0.341	0.504	0.211
1	21	0.053	0.246	0.522	0.441	0.321	0.518	0.226
1	22	0.041	0.256	0.532	0.431	0.341	0.531	0.221
1	23	0.067	0.225	0.523	0.443	0.361	0.528	0.201
1	24	0.049	0.264	0.521	0.422	0.349	0.502	0.213
2	1	0.072	0.246	0.512	0.412	0.351	0.528	0.236
2	2	0.043	0.256	0.532	0.431	0.371	0.541	0.246
2	3	0.064	0.225	0.513	0.443	0.365	0.538	0.198
2	4	0.027	0.214	0.541	0.446	0.341	0.532	0.213
2	5	0.046	0.224	0.501	0.452	0.372	0.523	0.208
2	6	0.038	0.214	0.531	0.442	0.335	0.507	0.221
2	7	0.027	0.241	0.512	0.454	0.354	0.529	0.246
2	8	0.038	0.225	0.532	0.401	0.341	0.501	0.224
2	9	0.046	0.242	0.505	0.435	0.375	0.531	0.235
2	10	0.079	0.213	0.512	0.414	0.349	0.553	0.261
2	11	0.034	0.245	0.502	0.406	0.352	0.532	0.215
2	12	0.065	0.213	0.521	0.452	0.361	0.559	0.242
2	13	0.056	0.223	0.511	0.441	0.373	0.523	0.223
2	14	0.046	0.213	0.531	0.422	0.362	0.569	0.232
2	15	0.053	0.233	0.511	0.441	0.381	0.549	0.272
2	16	0.085	0.223	0.551	0.431	0.371	0.539	0.253
2	17	0.063	0.212	0.531	0.411	0.362	0.541	0.257
2	18	0.058	0.222	0.511	0.405	0.383	0.534	0.277
2	19	0.094	0.207	0.536	0.421	0.346	0.563	0.298
2	20	0.072	0.213	0.541	0.441	0.351	0.549	0.282
2	21	0.122	0.263	0.531	0.435	0.387	0.574	0.242
2	22	0.104	0.257	0.556	0.421	0.376	0.582	0.318
2	23	0.123	0.213	0.541	0.441	0.341	0.549	0.282
2	24	0.141	0.233	0.551	0.435	0.357	0.574	0.302
3	1	0.113	0.246	0.522	0.441	0.351	0.578	0.246
3	2	0.143	0.256	0.542	0.431	0.358	0.571	0.271
3	3	0.158	0.225	0.563	0.443	0.368	0.558	0.268
3	4	0.172	0.284	0.541	0.422	0.382	0.542	0.298
3	5	0.168	0.314	0.531	0.442	0.378	0.562	0.288
3	6	0.138	0.294	0.551	0.422	0.348	0.582	0.309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการเฝ้าติดตามวัดเบียร์สดในขบวนการหมัก(ต่อ)

Day	Hour	MQ2 (Volt)	MQ3 (Volt)	MQ4 (Volt)	MQ6 (Volt)	MQ7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
3	7	0.178	0.341	0.542	0.454	0.368	0.579	0.348
3	8	0.198	0.325	0.572	0.404	0.398	0.541	0.338
3	9	0.158	0.341	0.555	0.425	0.378	0.552	0.329
3	10	0.149	0.367	0.572	0.434	0.399	0.563	0.341
3	11	0.174	0.345	0.562	0.406	0.384	0.591	0.355
3	12	0.205	0.363	0.551	0.452	0.405	0.559	0.346
3	13	0.186	0.332	0.581	0.441	0.366	0.582	0.356
3	14	0.206	0.383	0.561	0.422	0.356	0.569	0.363
3	15	0.183	0.413	0.571	0.461	0.373	0.579	0.355
3	16	0.215	0.423	0.551	0.431	0.415	0.589	0.343
3	17	0.183	0.382	0.561	0.451	0.383	0.552	0.363
3	18	0.201	0.452	0.571	0.481	0.393	0.613	0.384
3	19	0.194	0.397	0.564	0.461	0.394	0.592	0.357
3	20	0.213	0.413	0.593	0.481	0.373	0.559	0.381
3	21	0.195	0.453	0.581	0.492	0.395	0.574	0.404
3	22	0.204	0.397	0.596	0.481	0.424	0.621	0.393
3	23	0.189	0.413	0.571	0.491	0.389	0.579	0.452
3	24	0.231	0.423	0.591	0.495	0.421	0.574	0.403
4	1	0.213	0.466	0.602	0.471	0.443	0.618	0.413
4	2	0.253	0.476	0.622	0.491	0.408	0.621	0.439
4	3	0.259	0.485	0.583	0.463	0.438	0.658	0.408
4	4	0.248	0.489	0.621	0.442	0.478	0.632	0.468
4	5	0.278	0.424	0.641	0.452	0.459	0.612	0.478
4	6	0.238	0.484	0.601	0.462	0.488	0.669	0.469
4	7	0.309	0.421	0.612	0.444	0.458	0.687	0.448
4	8	0.288	0.525	0.652	0.479	0.489	0.641	0.458
4	9	0.338	0.442	0.659	0.465	0.474	0.702	0.519
4	10	0.309	0.463	0.632	0.474	0.531	0.653	0.474
4	11	0.329	0.545	0.612	0.456	0.516	0.691	0.551
4	12	0.325	0.513	0.641	0.462	0.506	0.659	0.516
4	13	0.316	0.453	0.631	0.481	0.543	0.701	0.506
4	14	0.366	0.503	0.661	0.502	0.515	0.676	0.543
4	15	0.353	0.463	0.671	0.521	0.563	0.659	0.515
4	16	0.335	0.543	0.681	0.531	0.533	0.719	0.543
4	17	0.313	0.562	0.661	0.541	0.574	0.692	0.533
4	18	0.353	0.462	0.671	0.511	0.583	0.723	0.574
4	19	0.334	0.567	0.686	0.521	0.552	0.684	0.583
4	20	0.367	0.483	0.681	0.541	0.574	0.729	0.532
4	21	0.371	0.513	0.689	0.535	0.603	0.704	0.574
4	22	0.394	0.497	0.716	0.521	0.613	0.722	0.583
4	23	0.383	0.523	0.689	0.541	0.653	0.709	0.613
4	24	0.412	0.541	0.751	0.535	0.633	0.724	0.583
5	1	0.453	0.526	0.722	0.541	0.669	0.748	0.613
5	2	0.413	0.514	0.792	0.531	0.658	0.721	0.629

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านเทคโนโลยีเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการเฝ้าติดตามวัดเบียร์สดในขบวนการหมัก(ต่อ)

Day	Hour	MQ2 (Volt)	MQ3 (Volt)	MQ4 (Volt)	MQ6 (Volt)	MQ7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
5	3	0.439	0.553	0.773	0.543	0.678	0.708	0.608
5	4	0.408	0.594	0.801	0.522	0.698	0.732	0.618
5	5	0.448	0.534	0.831	0.535	0.689	0.702	0.638
5	6	0.478	0.624	0.841	0.574	0.672	0.723	0.659
5	7	0.419	0.584	0.802	0.584	0.708	0.753	0.648
5	8	0.468	0.565	0.852	0.554	0.729	0.751	0.618
5	9	0.458	0.594	0.845	0.535	0.714	0.731	0.659
5	10	0.479	0.546	0.832	0.584	0.694	0.783	0.674
5	11	0.474	0.645	0.853	0.546	0.726	0.752	0.645
5	12	0.531	0.563	0.861	0.555	0.746	0.759	0.696
5	13	0.496	0.583	0.845	0.571	0.753	0.731	0.686
5	14	0.506	0.623	0.869	0.592	0.735	0.769	0.683
5	15	0.503	0.613	0.871	0.621	0.723	0.779	0.645
5	16	0.515	0.623	0.881	0.631	0.763	0.739	0.673
5	17	0.543	0.682	0.861	0.611	0.734	0.774	0.693
5	18	0.533	0.662	0.871	0.611	0.709	0.803	0.674
5	19	0.574	0.697	0.856	0.621	0.732	0.761	0.683
5	20	0.583	0.613	0.871	0.641	0.754	0.779	0.652
5	21	0.532	0.653	0.891	0.635	0.763	0.794	0.674
5	22	0.574	0.697	0.856	0.621	0.742	0.765	0.703
5	23	0.583	0.673	0.881	0.641	0.718	0.769	0.652
5	24	0.623	0.623	0.891	0.635	0.724	0.784	0.683
6	1	0.613	0.646	0.902	0.641	0.739	0.818	0.733
6	2	0.633	0.656	0.872	0.631	0.768	0.821	0.719
6	3	0.629	0.735	0.883	0.653	0.728	0.808	0.678
6	4	0.608	0.684	0.911	0.642	0.778	0.792	0.728
6	5	0.658	0.694	0.901	0.692	0.741	0.814	0.688
6	6	0.648	0.724	0.931	0.672	0.756	0.852	0.748
6	7	0.649	0.651	0.912	0.704	0.746	0.829	0.708
6	8	0.618	0.665	0.942	0.684	0.771	0.861	0.681
6	9	0.608	0.673	0.915	0.715	0.765	0.842	0.689
6	10	0.669	0.764	0.912	0.694	0.781	0.863	0.728
6	11	0.674	0.745	0.932	0.706	0.765	0.824	0.738
6	12	0.645	0.763	0.921	0.722	0.741	0.849	0.759
6	13	0.626	0.733	0.931	0.741	0.721	0.821	0.694
6	14	0.666	0.753	0.941	0.732	0.762	0.869	0.725
6	15	0.673	0.773	0.951	0.721	0.776	0.849	0.696
6	16	0.615	0.723	0.961	0.741	0.767	0.839	0.756
6	17	0.643	0.782	0.941	0.751	0.732	0.843	0.713
6	18	0.633	0.762	0.951	0.741	0.735	0.874	0.725
6	19	0.674	0.797	0.936	0.721	0.776	0.844	0.753

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการเฝ้าติดตามวัดเบียร์สดในขบวนการหมัก(ต่อ)

Day	Hour	MQ2 (Volt)	MQ3 (Volt)	MQ4 (Volt)	MQ6 (Volt)	MQ7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
6	20	0.683	0.737	0.951	0.741	0.751	0.829	0.713
6	21	0.632	0.723	0.961	0.765	0.787	0.874	0.754
6	22	0.674	0.797	0.936	0.731	0.746	0.883	0.783
6	23	0.683	0.713	0.951	0.741	0.772	0.849	0.752
6	24	0.632	0.773	0.961	0.735	0.757	0.874	0.724
7	1	0.613	0.746	0.972	0.751	0.731	0.878	0.793
7	2	0.643	0.786	0.942	0.731	0.781	0.871	0.772
7	3	0.639	0.755	0.963	0.743	0.755	0.858	0.733
7	4	0.608	0.804	0.971	0.752	0.741	0.882	0.756
7	5	0.648	0.841	0.961	0.736	0.761	0.902	0.809
7	6	0.628	0.754	0.971	0.772	0.741	0.872	0.778
7	7	0.679	0.771	0.942	0.752	0.731	0.919	0.738
7	8	0.648	0.832	0.982	0.784	0.769	0.901	0.768
7	9	0.618	0.813	0.975	0.795	0.756	0.881	0.752
7	10	0.689	0.825	0.962	0.784	0.781	0.915	0.819
7	11	0.674	0.834	0.972	0.806	0.722	0.892	0.771
7	12	0.645	0.852	0.961	0.812	0.741	0.929	0.814
7	13	0.696	0.811	0.983	0.821	0.771	0.953	0.833
7	14	0.686	0.864	0.951	0.812	0.762	0.898	0.803
7	15	0.683	0.832	0.971	0.801	0.731	0.949	0.769
7	16	0.615	0.861	0.981	0.831	0.751	0.939	0.773
7	17	0.643	0.832	0.961	0.811	0.743	0.912	0.829
7	18	0.633	0.795	0.971	0.851	0.739	0.954	0.809
7	19	0.674	0.782	0.956	0.821	0.716	0.943	0.839
7	20	0.683	0.834	0.971	0.841	0.751	0.949	0.806
7	21	0.632	0.781	0.981	0.835	0.767	0.974	0.814
7	22	0.674	0.822	0.956	0.821	0.746	0.981	0.833
7	23	0.683	0.853	0.941	0.841	0.731	0.949	0.849
7	24	0.632	0.785	0.981	0.835	0.757	0.974	0.814
8	1	0.613	0.822	0.952	0.841	0.761	0.978	0.828
8	2	0.653	0.823	0.962	0.831	0.721	0.971	0.832
8	3	0.639	0.843	0.973	0.843	0.751	0.988	0.854
8	4	0.608	0.841	0.961	0.852	0.745	0.942	0.868
8	5	0.688	0.804	0.971	0.842	0.731	0.938	0.801
8	6	0.628	0.782	0.961	0.872	0.761	0.952	0.858
8	7	0.669	0.793	0.942	0.884	0.782	0.997	0.802
8	8	0.648	0.811	0.972	0.874	0.771	0.961	0.832
8	9	0.618	0.776	0.985	0.855	0.765	0.941	0.872
8	10	0.689	0.824	0.952	0.884	0.781	0.973	0.819
8	11	0.674	0.794	0.962	0.886	0.732	0.991	0.801
8	12	0.645	0.843	0.973	0.852	0.741	0.997	0.833
8	13	0.696	0.832	0.981	0.841	0.771	0.972	0.873
8	14	0.686	0.864	0.961	0.892	0.762	0.948	0.804
8	15	0.683	0.782	0.971	0.846	0.751	0.989	0.859

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการเฝ้าติดตามวัดเปียร์สัดในขบวนการหมัก(ต่อ)

Day	Hour	MQ2 (Volt)	MQ3 (Volt)	MQ4 (Volt)	MQ6 (Volt)	MQ7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
8	16	0.615	0.794	0.981	0.851	0.751	1.009	0.822
8	17	0.643	0.784	0.961	0.874	0.724	0.973	0.869
8	18	0.633	0.832	0.971	0.861	0.761	1.003	0.849
8	19	0.674	0.793	0.976	0.883	0.726	0.991	0.839
8	20	0.683	0.783	0.991	0.894	0.751	1.026	0.814
8	21	0.624	0.834	0.981	0.875	0.737	1.034	0.872
8	22	0.674	0.814	0.956	0.892	0.746	1.018	0.812
8	23	0.683	0.783	0.971	0.891	0.751	1.049	0.849
8	24	0.631	0.823	0.981	0.935	0.767	1.024	0.874
9	1	0.673	0.819	0.952	0.903	0.743	1.008	0.885
9	2	0.633	0.874	0.982	0.941	0.751	1.021	0.849
9	3	0.629	0.788	0.973	0.933	0.736	1.058	0.874
9	4	0.608	0.872	0.961	0.952	0.741	1.022	0.818
9	5	0.688	0.843	0.991	0.942	0.721	1.062	0.871
9	6	0.648	0.852	0.971	0.922	0.761	1.042	0.828
9	7	0.679	0.814	0.962	0.944	0.731	1.019	0.822
9	8	0.648	0.878	0.942	0.964	0.741	1.061	0.872
9	9	0.618	0.841	0.985	0.945	0.765	1.034	0.822
9	10	0.639	0.833	0.972	0.934	0.781	1.053	0.861
9	11	0.674	0.825	0.942	0.906	0.722	1.055	0.875
9	12	0.645	0.853	0.961	0.952	0.741	1.059	0.872
9	13	0.616	0.873	0.981	0.921	0.771	1.026	0.813
9	14	0.686	0.843	0.963	0.912	0.762	1.039	0.822
9	15	0.683	0.827	0.971	0.931	0.751	1.049	0.882
9	16	0.615	0.863	0.981	0.961	0.781	1.039	0.843
9	17	0.643	0.842	0.961	0.932	0.733	1.032	0.877
9	18	0.633	0.862	0.971	0.925	0.787	1.023	0.847
9	19	0.674	0.897	0.956	0.921	0.776	1.065	0.878
9	20	0.683	0.823	0.971	0.956	0.746	1.049	0.882
9	21	0.634	0.873	0.981	0.935	0.737	1.024	0.822
9	22	0.674	0.897	0.956	0.921	0.759	1.043	0.858
9	23	0.683	0.843	0.971	0.941	0.751	1.059	0.882
9	24	0.632	0.833	0.981	0.935	0.727	1.014	0.842
10	1	0.613	0.846	0.962	0.921	0.787	1.028	0.846
10	2	0.633	0.856	0.972	0.931	0.751	1.051	0.866
10	3	0.619	0.825	0.983	0.903	0.723	1.018	0.874
10	4	0.608	0.874	0.991	0.942	0.741	1.052	0.863
10	5	0.688	0.884	0.951	0.922	0.771	1.022	0.813
10	6	0.628	0.894	0.971	0.932	0.781	1.042	0.853
10	7	0.68	0.841	0.962	0.924	0.731	1.019	0.846
10	8	0.648	0.825	0.982	0.904	0.751	1.021	0.824
10	9	0.618	0.842	0.975	0.915	0.745	1.031	0.835
10	10	0.689	0.861	0.972	0.924	0.781	1.053	0.861

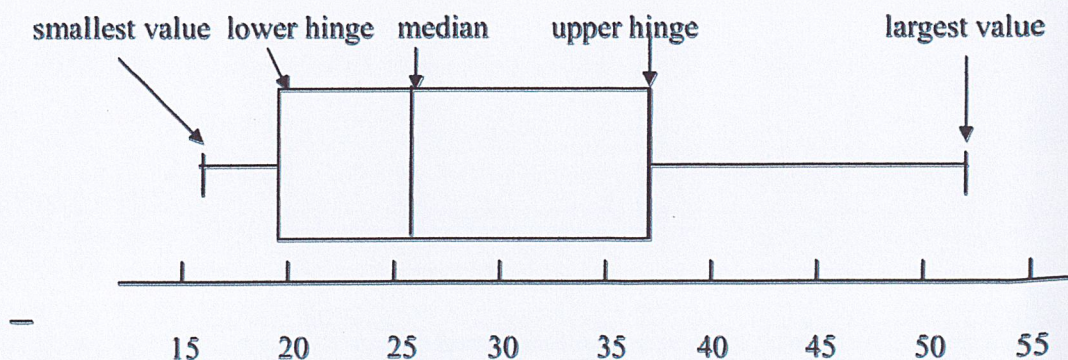
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในการเฝ้าติดตามวัดเบียร์สดในขบวนการหมัก(ต่อ)

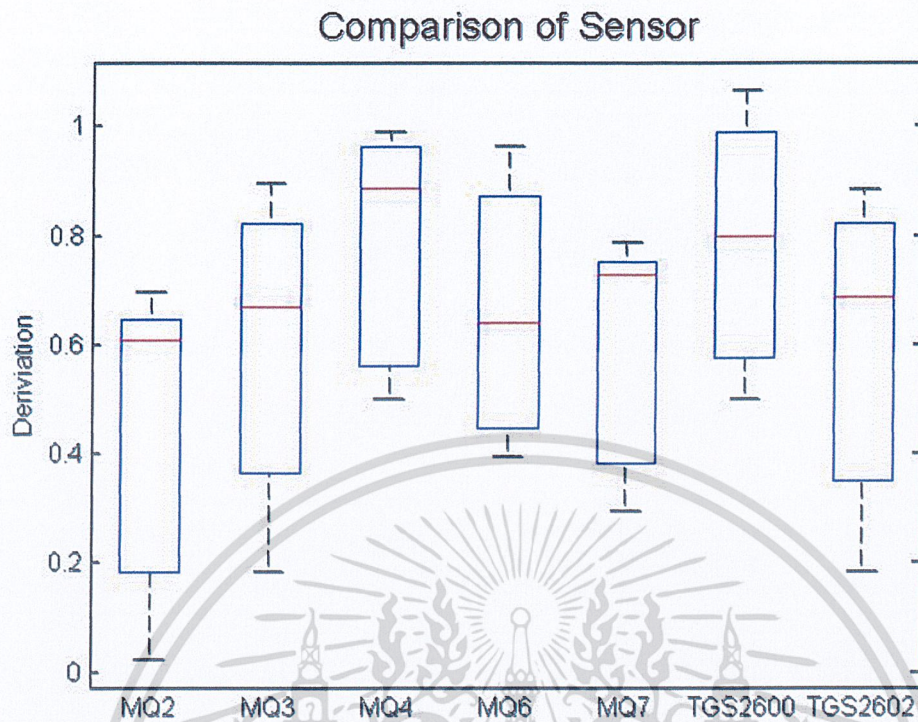
Day	Hour	MQ2 (Volt)	MQ3 (Volt)	MQ4 (Volt)	MQ6 (Volt)	MQ7 (Volt)	TGS2600 (Volt)	TGS2602 (Volt)
10	11	0.674	0.845	0.962	0.906	0.772	1.042	0.875
10	12	0.645	0.823	0.961	0.932	0.741	1.039	0.872
10	13	0.696	0.873	0.981	0.941	0.731	1.022	0.813
10	14	0.646	0.893	0.951	0.922	0.762	1.059	0.822
10	15	0.683	0.823	0.974	0.911	0.741	1.049	0.882
10	16	0.675	0.873	0.981	0.931	0.759	1.039	0.843
10	17	0.653	0.882	0.966	0.911	0.732	1.044	0.877
10	18	0.643	0.852	0.971	0.931	0.743	1.033	0.857
10	19	0.674	0.857	0.956	0.941	0.756	1.052	0.868
10	20	0.683	0.813	0.971	0.921	0.734	1.049	0.882
10	21	0.622	0.803	0.981	0.935	0.754	1.054	0.812
10	22	0.674	0.867	0.956	0.921	0.756	1.063	0.858
10	23	0.683	0.853	0.971	0.919	0.772	1.039	0.832
10	24	0.632	0.813	0.981	0.935	0.757	1.054	0.857

จากนั้นก็มาพิจารณาคุณลักษณะการตอบสนองของเซ็นเซอร์และการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้ Box Plot โดยที่ Box Plot เป็นเครื่องมือที่ช่วยแสดงลักษณะของข้อมูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งกลางของข้อมูล การกระจาย และลักษณะความเบ้ของข้อมูล จากรูปที่ 4.3 เราจะทำการวาดรูปกล่อง (Box) และแขน ยื่นออกจากกล่อง (Whisker) โดยเราจะใช้ค่าของ มัธยฐาน, The Lower hinge, The Upper hinge, ค่าต่ำสุด, และค่าสูงสุด จากรูปจะได้ว่า 50% ของข้อมูลจะมีค่าอยู่ ภายในกล่อง 25% ของข้อมูลจะอยู่ในช่วงของ Whisker ทางซ้ายมือ และอีก 25% ของข้อมูลจะอยู่ในช่วงของ Whisker ทางขวามือ จากข้อมูลข้างต้นเราจะพบว่าข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา เพราะว่าข้อมูลที่ต่ำกว่า 50% มีความหนาแน่นหรือมีช่วงที่ แคบกว่าข้อมูลที่สูงกว่า 50% ของข้อมูล สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะสมมาตร เราจะพิจารณาจากเส้นตรงที่ แสดงตำแหน่งของ Median ซึ่งจะต้องอยู่ ตรงกลางกล่องและ Whisker ทั้งสองข้างจะต้องมีลักษณะหรือความยาวที่ ใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน โดยทั่วไปแล้วเมื่อเส้น Median เข้าใกล้ตำแหน่ง Lower hinge แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา และถ้าเส้น Median เข้าใกล้ ตำแหน่ง Upper hinge แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะเบ้ซ้าย



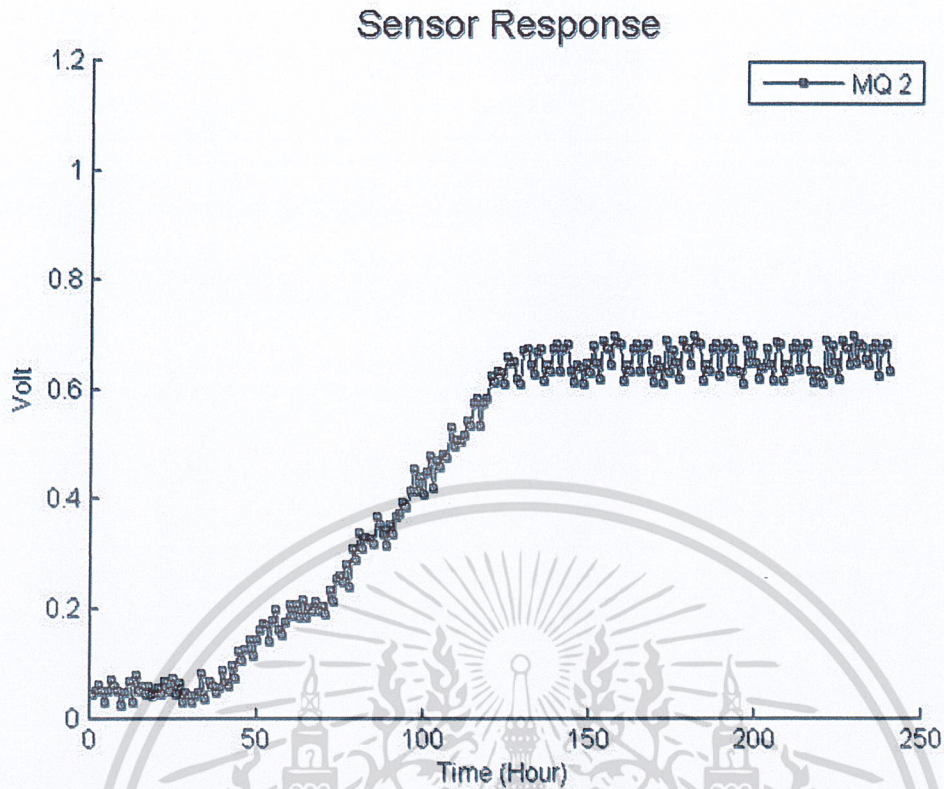
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของข้อมูล (Box Plot)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบเห็นสมควรให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



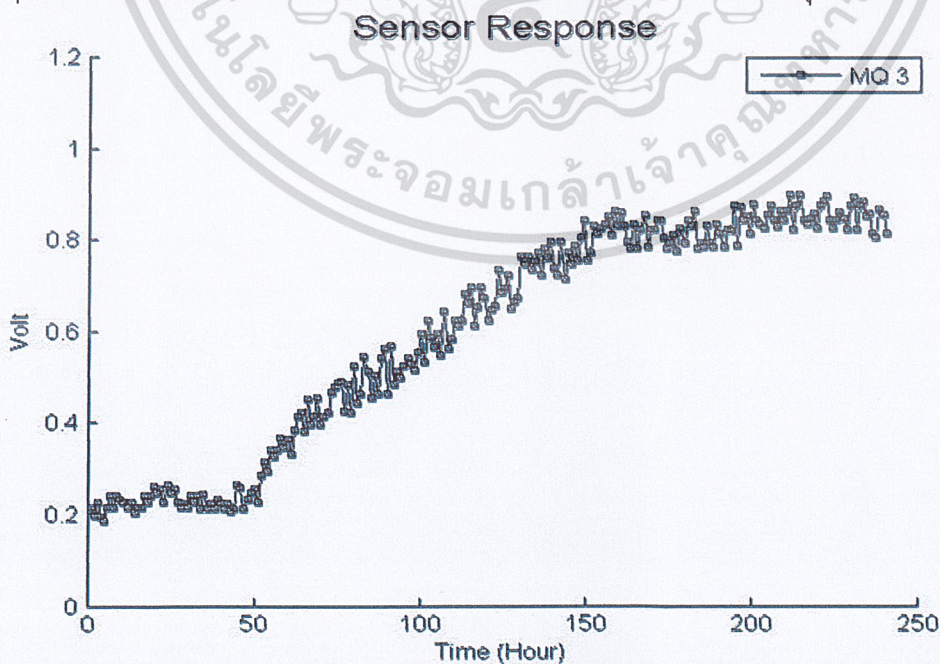
รูปที่ 4.4 ลักษณะการตอบสนองของเซนเซอร์และการกระจายตัวของข้อมูล (Box Plot)

จากผลการทดลองวัดสัญญาณของเซนเซอร์สร้างออกมาเป็นกราฟ Box Plot ดังรูปที่ 4.4 การตอบสนองของเซนเซอร์และการกระจายตัวของข้อมูล เซนเซอร์ MQ2 เส้นแสดงค่ามัธยฐาน (Median) จะอยู่ชิดไปทาง Upper hinge แสดงว่าข้อมูลเบ้ไปทางซ้ายมาก เซนเซอร์ MQ3 เส้นแสดงค่ามัธยฐาน (Median) จะอยู่ตรงกลางค่อนข้างไปทาง Upper hinge แสดงว่าข้อมูลเบ้ไปทางซ้ายเล็กน้อย เซนเซอร์ MQ4 เส้นแสดงค่ามัธยฐาน (Median) อยู่ชิดไปทาง Upper hinge แสดงว่าข้อมูลเบ้ไปทางซ้าย เซนเซอร์ MQ6 เส้นแสดงค่ามัธยฐาน (Median) จะอยู่ตรงกลางชิดไปทาง Lower hinge เล็กน้อยแสดงว่าข้อมูลเบ้ไปทางขวาเล็กน้อย เซนเซอร์ MQ7 เส้นแสดงค่ามัธยฐาน (Median) จะอยู่ชิดไปทาง Upper hinge แสดงว่าข้อมูลเบ้ไปทางซ้ายมาก เซนเซอร์ TGS2600 เส้นแสดงค่ามัธยฐาน (Median) จะอยู่ตรงกลางแสดงว่าข้อมูลค่อนข้างสมมาตร เซนเซอร์ TGS2602 เส้นแสดงค่ามัธยฐาน (Median) จะอยู่ตรงกลางค่อนข้างไปทาง Upper hinge แสดงว่าข้อมูลเบ้ไปทางซ้ายเล็กน้อย ทั้งหมดนั้นแสดงให้เห็นว่าลักษณะของสัญญาณของแต่ละเซนเซอร์ มีการกระจายตัวที่ต่างกันอย่างชัดเจน และจะสัมพันธ์กับกราฟสัญญาณการตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละตัว



รูปที่ 4.5 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 2

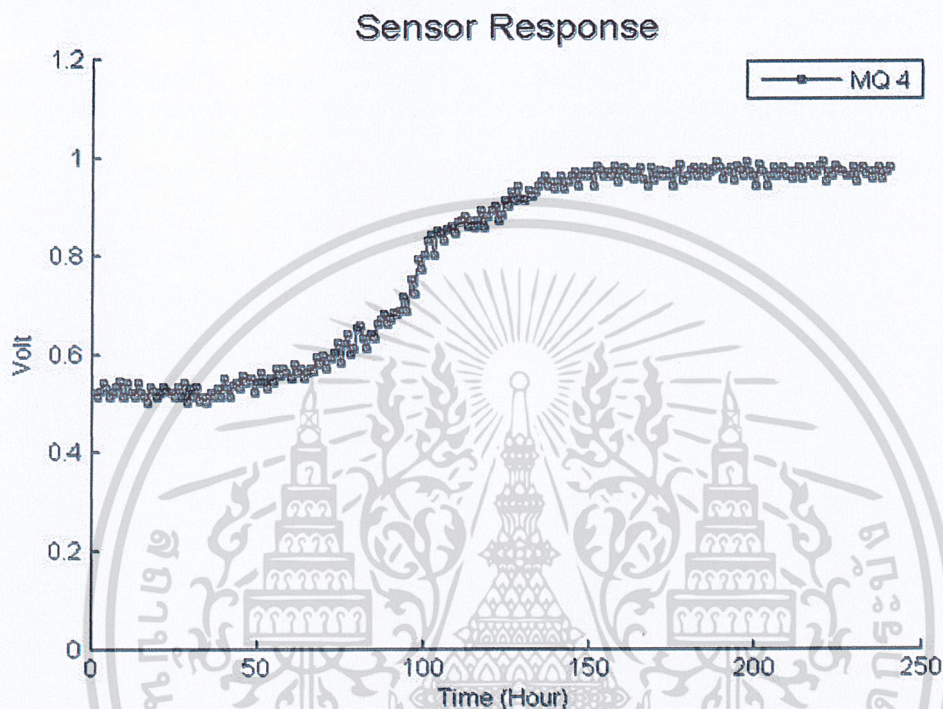
จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 2 ในรูปที่ 4.5 สัญญาณจะเริ่มต้นที่ค่าประมาณไม่ถึง 0.1 Volt ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 40 จะเริ่มไต่ขึ้นด้วยความชันค่อนข้างจะคงที่ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 130 ก็จะมีค่าประมาณ 0.6 กว่า ๆ และหลังจากนั้นจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อยไปจนถึงชั่วโมงที่ 240 หรือสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.6 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 3

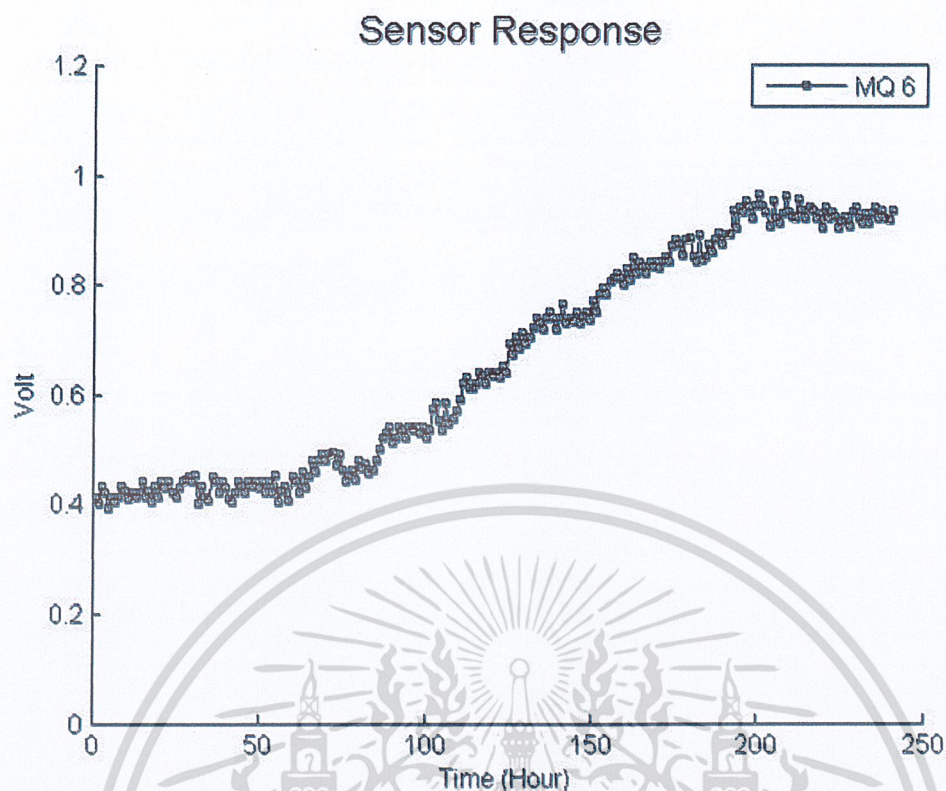
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 3 ในรูปที่ 4.6 สัญญาณจะเริ่มต้นที่ค่าประมาณ 0.2 Volt ค่อนข้างคงที่จากนั้นแกว่งตัวเล็กน้อยขึ้นลงเล็กน้อยจนเวลาไปถึงประมาณชั่วโมงที่ 50 จะเริ่มได้ขึ้นด้วยความชันเส้นกราฟจะโค้งตัวเล็กน้อยจากนั้นได้ขึ้นไปค่อนข้างจะคงที่ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 150 ก็จะเริ่มคงที่มีค่าประมาณ 0.8 และจากนั้นจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อยไปจนถึงชั่วโมงที่ 240 หรือสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.7 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 4

จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 4 ในรูปที่ 4.7 สัญญาณจะเริ่มต้นที่ค่าประมาณ 0.5 Volt กว่า ๆ ค่อนข้างคงที่จากนั้นค่อย ๆ ขยับตัวเล็กน้อยขึ้นประมาณชั่วโมงที่ 50 และโค้งตัวขึ้นไปจนถึงชั่วโมงที่ 100 จากนั้นจะไต่ขึ้นค่อนข้างจะคงที่ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 150 ก็จะเริ่มคงที่ และมีค่าประมาณเกือบ 1 Volt และจากนั้นจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อยไปจนถึงชั่วโมงที่ 240 หรือสิ้นสุดการทดลอง

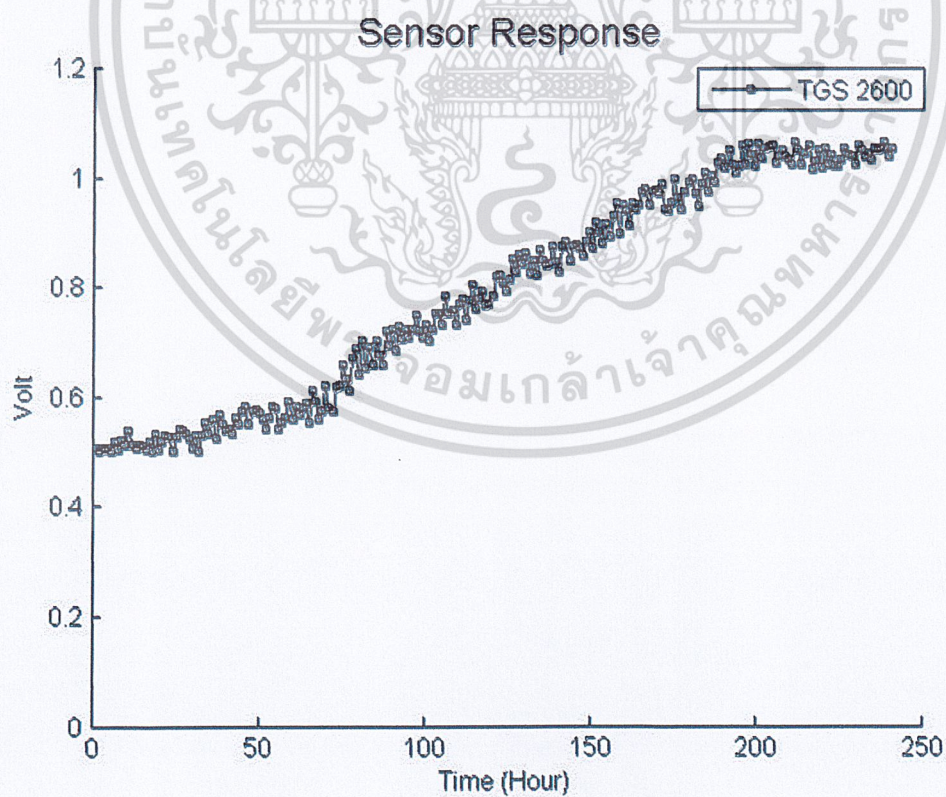
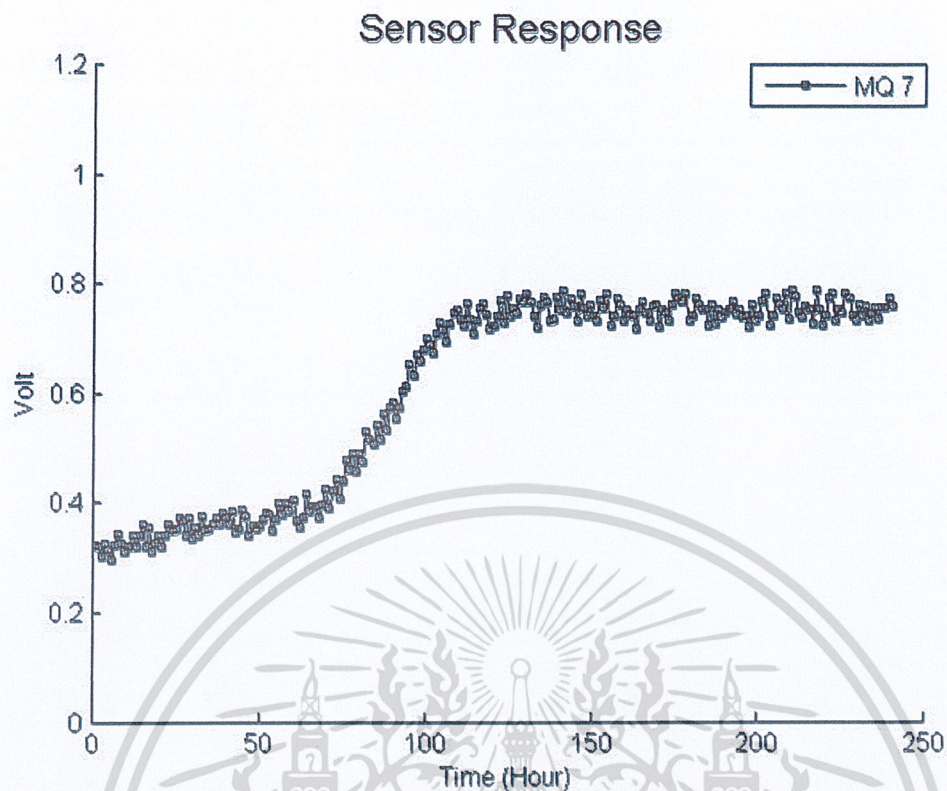


รูปที่ 4.8 การตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 6

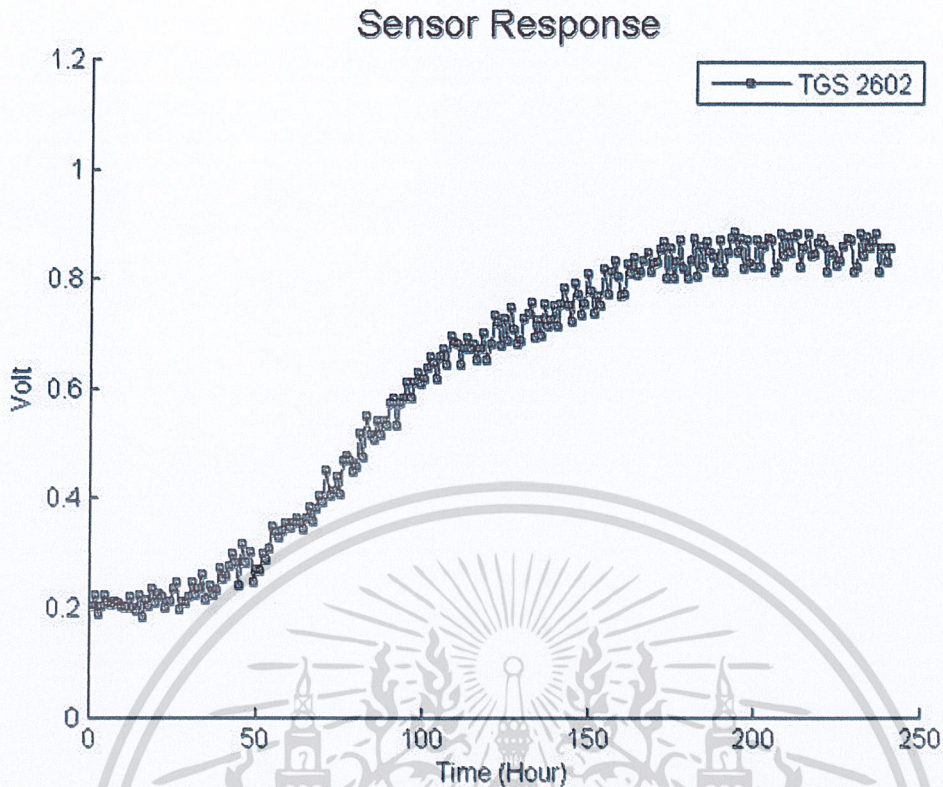
จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 6 ในรูปที่ 4.8 สัญญาณจะเริ่มต้นที่ค่าประมาณ 0.4 Volt ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 50 กว่า ๆ จะเริ่มไต่ขึ้นด้วยความชันค่อนข้างจะคงที่ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 200 ก็จะมีค่าประมาณ 0.9 กว่า ๆ และหลังจากนั้นจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อยไปจนถึงชั่วโมงที่ 240 หรือสิ้นสุดการทดลอง

จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ MQ 7 ในรูปที่ 4.9 สัญญาณจะเริ่มต้นที่ค่าประมาณ 0.3 Volt กว่าค่อย ๆ ยกตัวขึ้นค่อนข้างคงที่แต่ความชันไม่สูงมากนักจากนั้นประมาณชั่วโมงที่ 70 จะเริ่มไต่ขึ้นด้วยความชันที่สูงมากขึ้นเส้นกราฟจะไต่ขึ้นไปเรื่อย ๆ คงที่ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 110 ก็จะมีค่าประมาณเกือบถึง 0.8 Volt และจากนั้นจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อยไปจนถึงชั่วโมงที่ 240 หรือสิ้นสุดการทดลอง

จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ TGS 2600 ในรูปที่ 4.10 สัญญาณจะเริ่มต้นที่ค่าประมาณ 0.5 Volt ค่อย ๆ ยกตัวขึ้นค่อนข้างคงที่ไปจนถึงชั่วโมงที่ 200 มีค่าอยู่ประมาณ 1 Volt มีการแกว่งตัวเล็กน้อยไปจนถึงชั่วโมงที่ 240 หรือสิ้นสุดการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

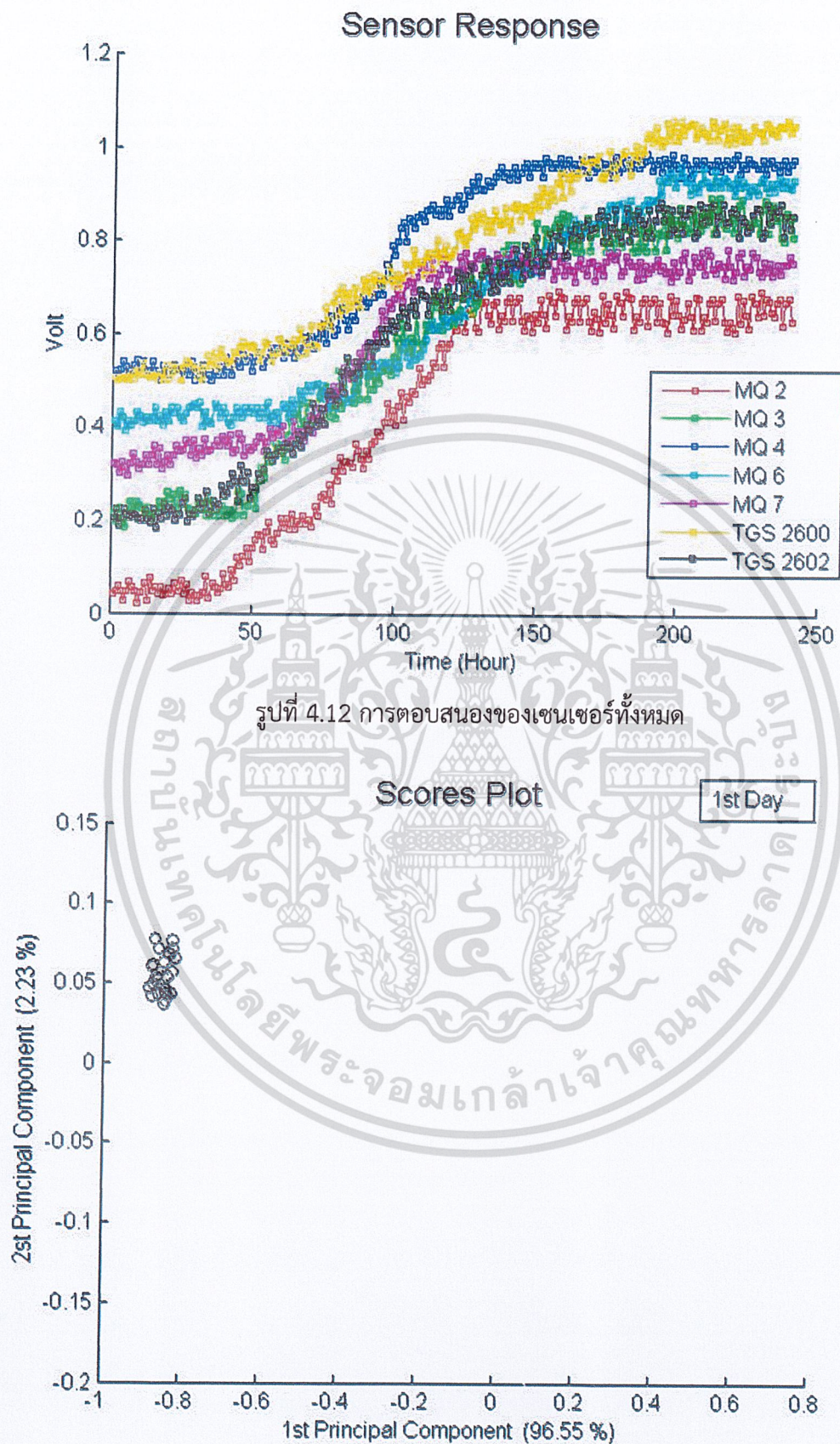


รูปที่ 4.11 การตอบสนองของเซนเซอร์ TGS 2602

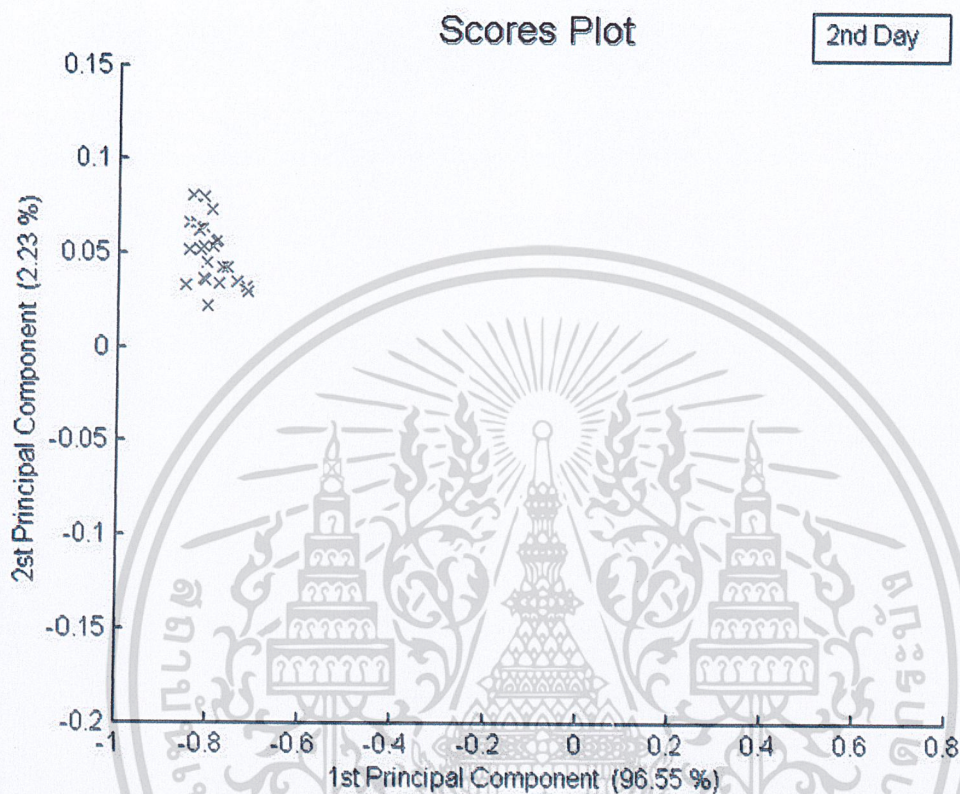
จากกราฟการตอบสนองของเซนเซอร์ TGS 2602 ในรูปที่ 4.11 สัญญาณจะเริ่มต้นที่ค่าประมาณ 0.2 Volt ค่อย ๆ ยกตัวขึ้นค่อนข้างคงที่ในชั่วโมงที่ 25 ลักษณะเส้นกราฟค่อยไต่ตัวขึ้นไปจนถึงชั่วโมงที่ 175 มีค่าอยู่ประมาณ 0.8 Volt มีการแกว่งตัวเล็กน้อยไปจนถึงชั่วโมงที่ 240 หรือสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อนำเอาสัญญาณจากเซนเซอร์ MQ2 MQ3 MQ4 MQ6 MQ7 TGS2600 และ TGS2602 มาแสดงรวมกัน จะได้ออกมาดังรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงการตอบสนองของเซนเซอร์ทั้งหมด เราจะเห็นการตอบสนองของเซนเซอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงการขยับตัวเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในประมาณชั่วโมงที่ 50 และจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ จนถึงประมาณชั่วโมงที่ 150 เซนเซอร์ทุกตัวจะค่อย ๆ ขยับเปลี่ยนแปลงน้อยลง แสดงว่าขั้นตอนของการหมักบ่มจะได้เบียร์ที่หมักบ่มใกล้จะสมบูรณ์แล้ว แต่จะมีเซนเซอร์บางตัวยังคงเปลี่ยนแปลงมากอยู่เช่น TGS 2600 แสดงว่ายังคงมีการเปลี่ยนแปลงในเบียร์สดไปจนถึงประมาณชั่วโมงที่ 200 สัญญาณเซนเซอร์ทุก ๆ ตัวก็คงที่แกว่งตัวเล็กน้อย แสดงว่าการหมักบ่มสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว

จากนั้นนำเอาสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้งหมดดังที่แสดง ในรูปที่ 4.12 นำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลัก ด้วยโปรแกรม MATLAB ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 1 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของข้อมูลกระจุกตัวอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าอยู่ประมาณ -0.9 องค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าอยู่ประมาณ 0.05 ดังในรูปที่ 4.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



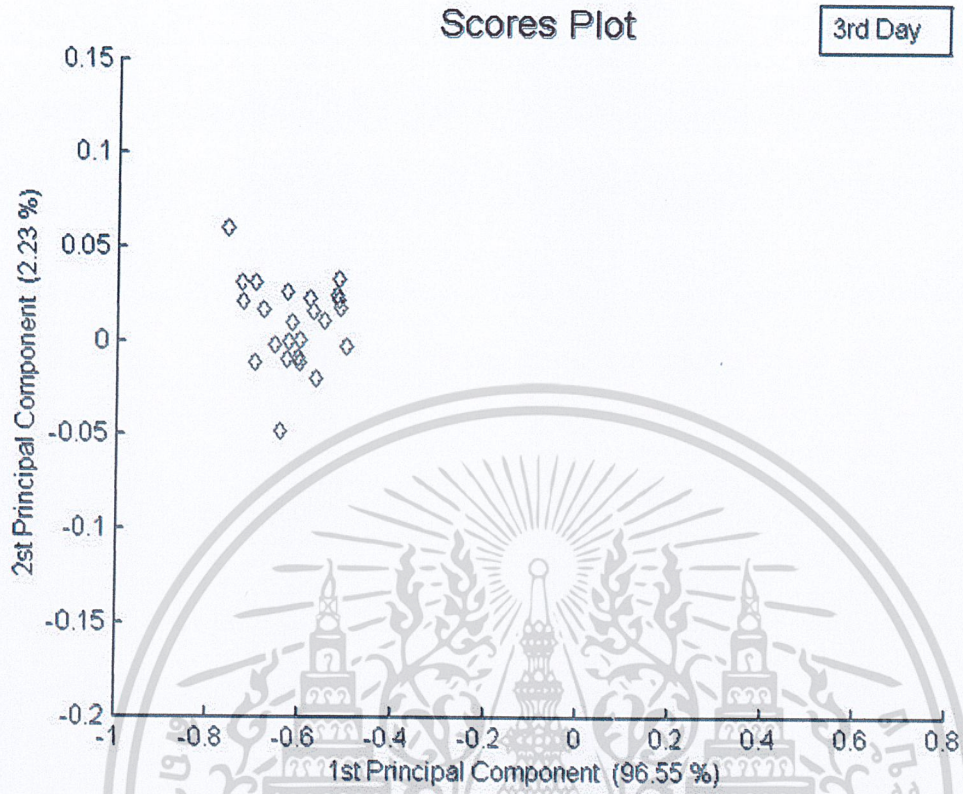
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 2

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 2 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของข้อมูลกระจุกตัวอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าอยู่ประมาณ -0.9 องค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าอยู่ประมาณ 0.05 แต่มีการกระจายตัวมากกว่า ในวันแรก ดังในรูปที่ 4.14

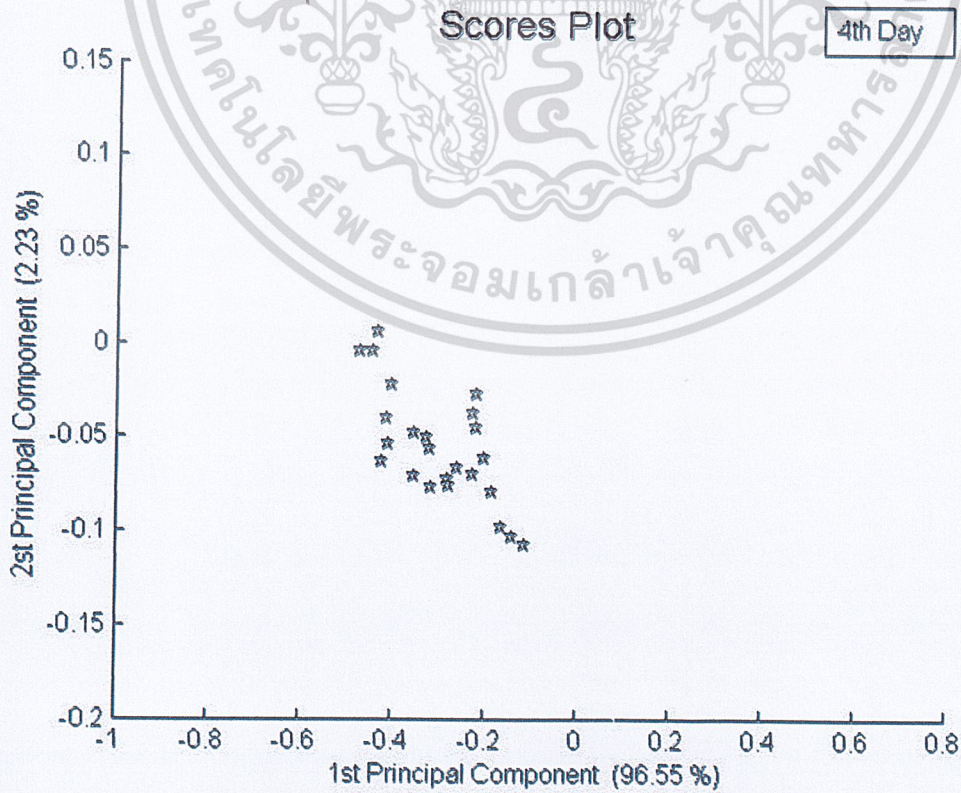
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 3 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของข้อมูลเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าศูนย์กลางอยู่ประมาณ -0.6 องค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าอยู่ประมาณ 0 และมีการกระจายตัวมากกว่า ในวันแรก และวันที่ 2 ดังในรูปที่ 4.15

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 4 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของข้อมูลเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าศูนย์กลางอยู่ประมาณ -0.3 องค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าอยู่ประมาณ -0.05 และมีการกระจายตัวมากกว่า ในวันที่ 1, 2 และ 3 ดังในรูปที่ 4.16

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 5 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของข้อมูลเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าศูนย์กลางอยู่ประมาณ 0.1 องค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าอยู่ประมาณ -0.15 และมีการกระจายตัวไม่มากกว่า ในวันที่ 4 ดังในรูปที่ 4.17

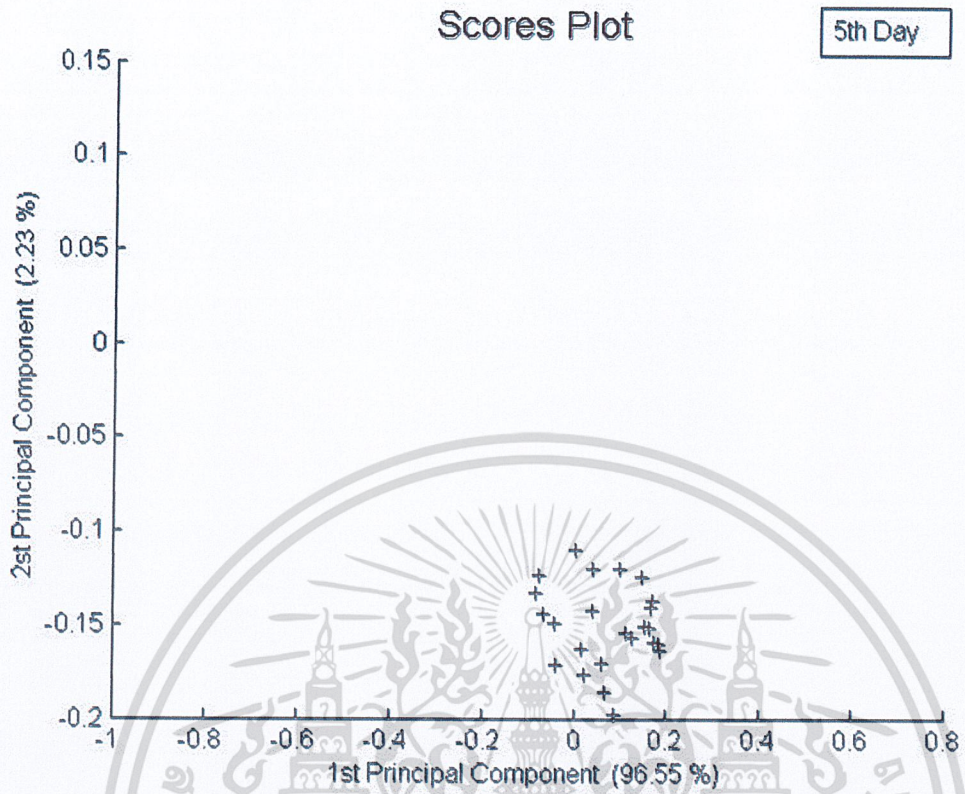


รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 3

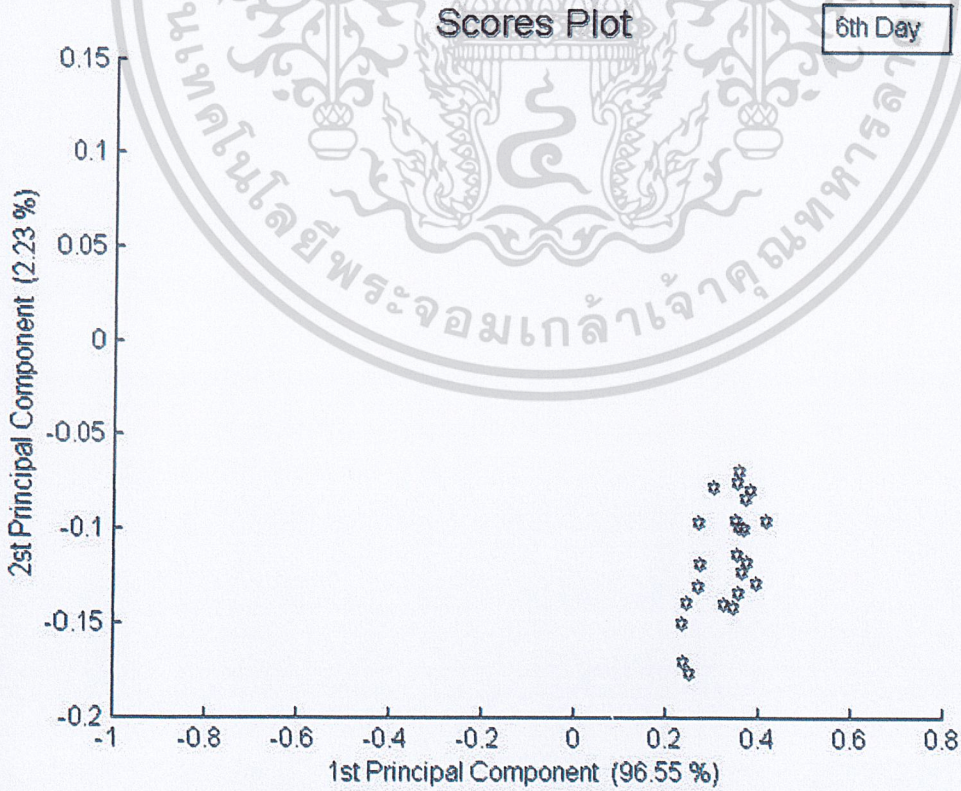


รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



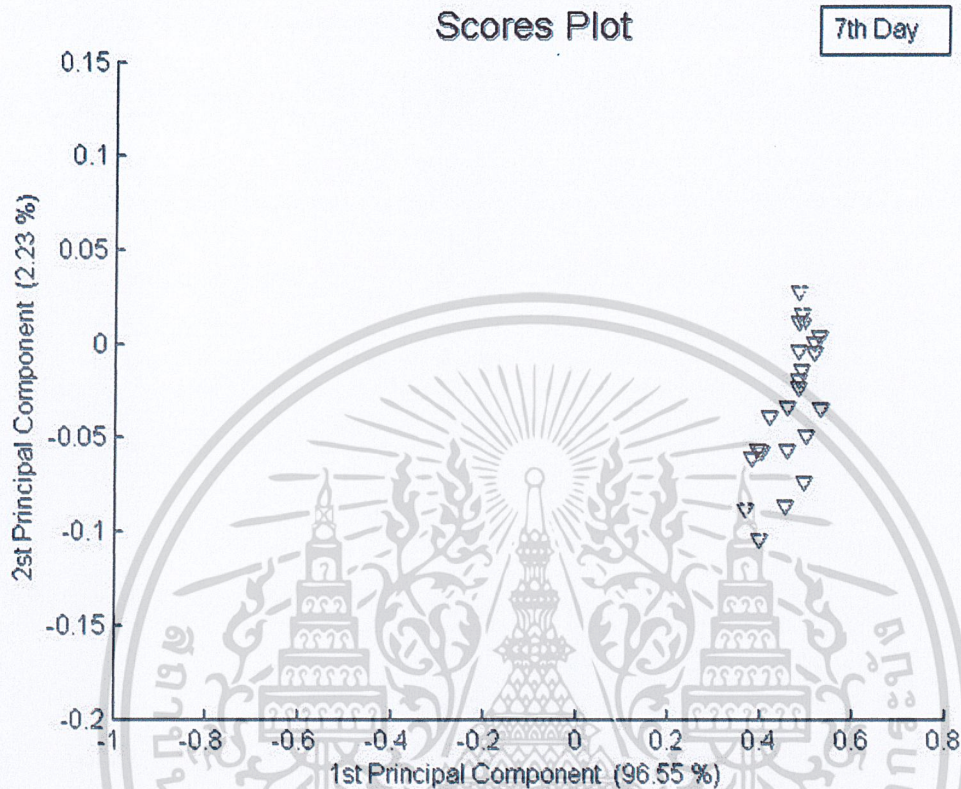
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 5



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 6 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของ ข้อมูลเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าศูนย์กลางอยู่ประมาณ 0.3 องค์ประกอบหลักที่ 2 มี ค่าอยู่ประมาณ -0.10 และมีการกระจายตัวในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 มากกว่าดังในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 7

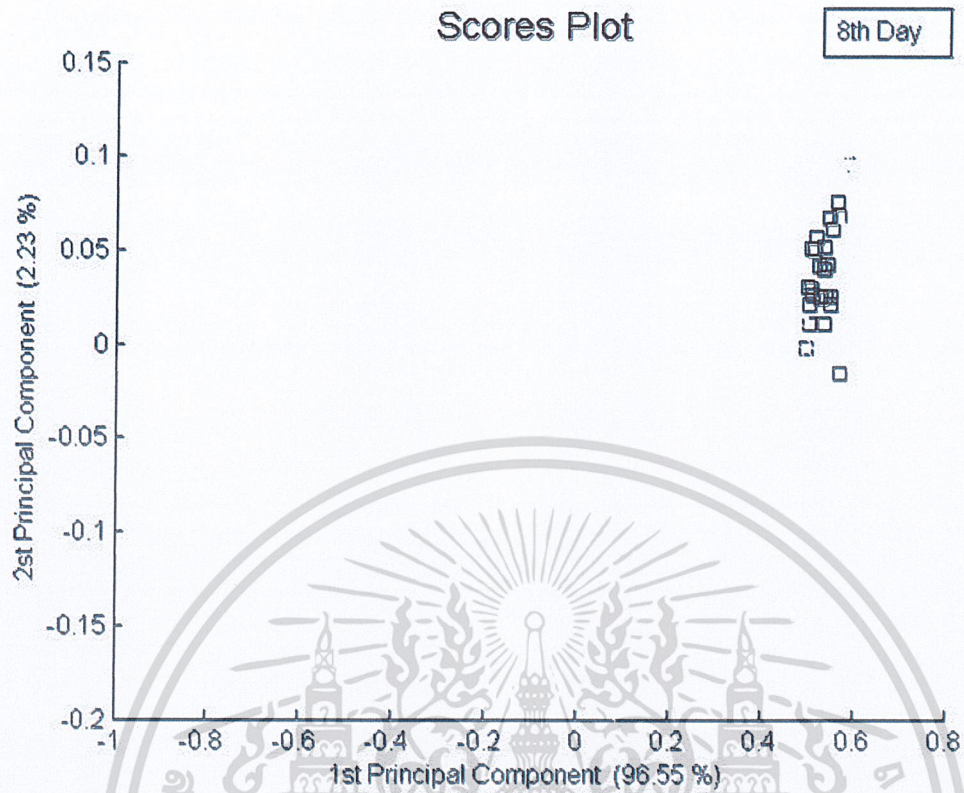
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 7 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของ ข้อมูลเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าศูนย์กลางอยู่ประมาณ 0.4 องค์ประกอบหลักที่ 2 มี ค่าอยู่ประมาณ -0.5 และมีการกระจายตัวในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 มากกว่า แนวแกน องค์ประกอบหลักที่ 1 ดังในรูปที่ 4.19

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 8 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของ ข้อมูลเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าศูนย์กลางอยู่ประมาณ 0.5 ไม่กระจายตัวมากและ องค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าอยู่ประมาณ 0.5 และมีการกระจายตัวในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 มากกว่า แนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 ดังในรูปที่ 4.20

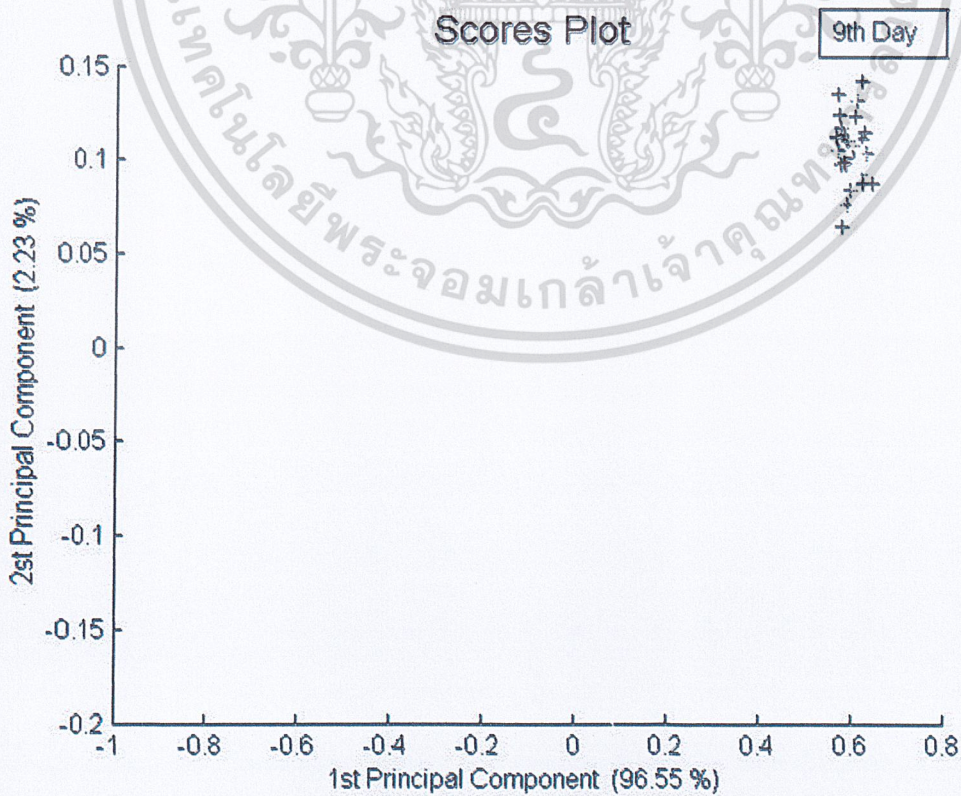
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 9 ตลอด 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีการจับกลุ่มของ ข้อมูลเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีค่าศูนย์กลางอยู่ประมาณ 0.6 ไม่กระจายตัวมากและ องค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าอยู่ประมาณ 0.1 และมีการกระจายตัวในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 มากกว่า แนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 ดังในรูปที่ 4.21

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 10 ตลอด 24 ชั่วโมงคล้ายกับวันที่ 9 แสดงว่าไม่ค่อยมี อะไรเปลี่ยนแปลงแล้วค่อนข้างคงที่ ดังในรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 แสดงการเคลื่อนตัวของกลุ่มข้อมูล ทั้งหมดตลอด 10 วัน

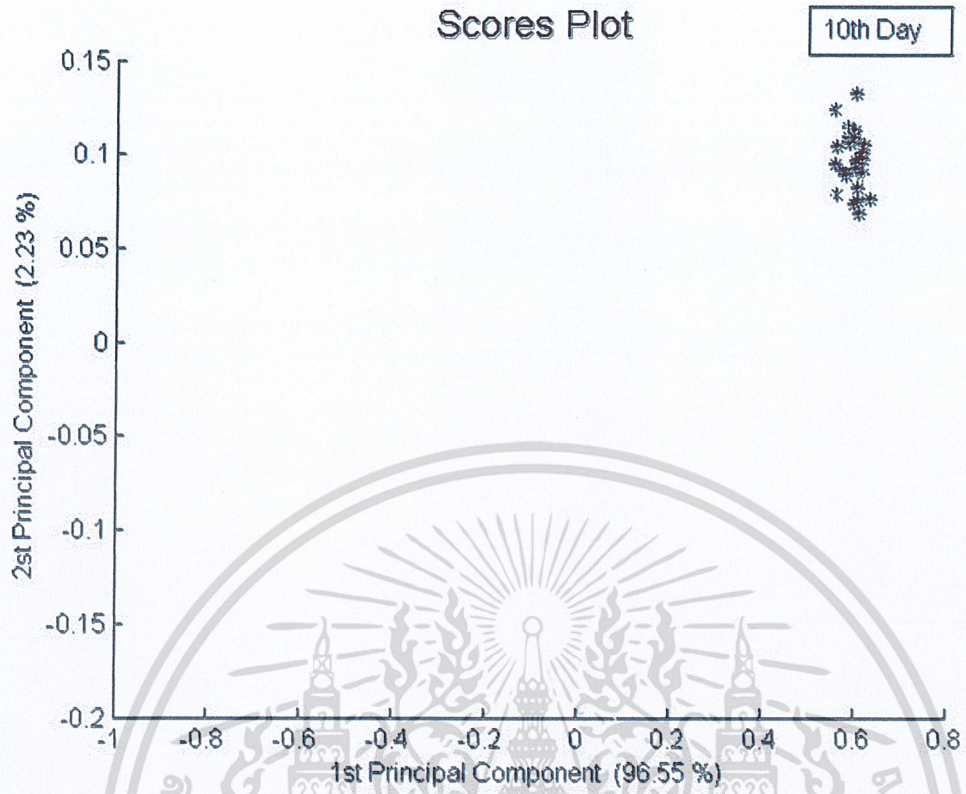
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



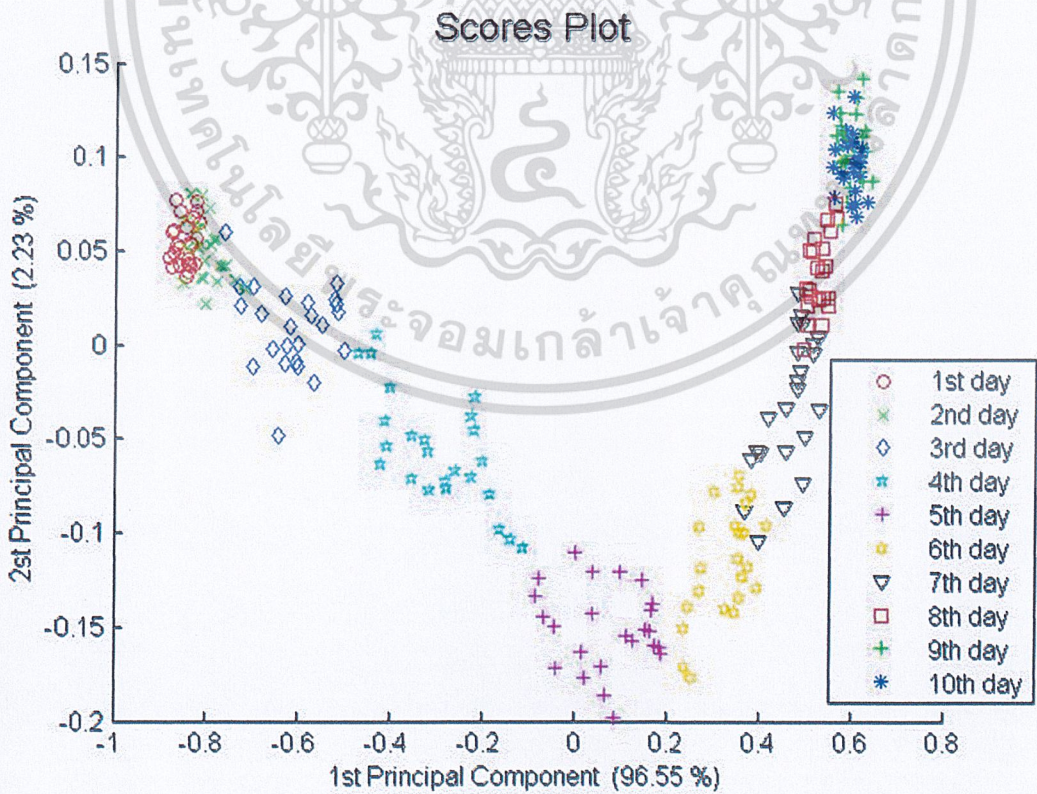
รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 9 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



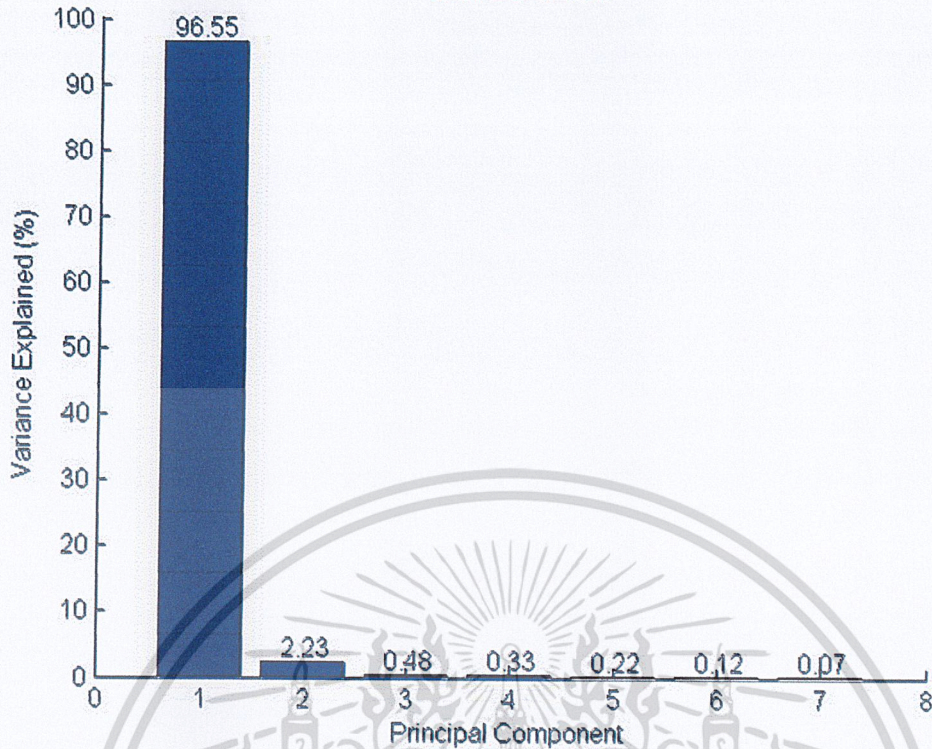
รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 10



รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในวันที่ 1-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Scree Plot



รูปที่ 4.24 เปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ข้อมูลจากองค์ประกอบหลักของตัวแปรใหม่ (Scree Plot)

ผลของการวัดการตอบสนองของเซนเซอร์ MQ2 MQ3 MQ4 MQ6 MQ7 TGS2600 และ TGS2602 เราจะเห็นลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 4.4 ผลจากการเฝ้าติดตามวัดแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของแรงดันตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละตัวตั้งแต่ชั่วโมงแรกที่ทำการวัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซนเซอร์ MQ2 MQ3 MQ4 MQ6 MQ7 TGS2600 และ TGS2602 ดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.11 และแสดงภาพรวมในรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก ๆ จนเข้าในช่วงประมาณชั่วโมงที่ 50 หรือประมาณวันที่ 2 ของการหมักแรงดันการตอบสนองของเซนเซอร์ก็จะเริ่มเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเข้าประมาณวันที่ 7 ถึง 8 ก็จะเปลี่ยนแปลงน้อยลง แสดงถึงขั้นตอนการหมักสมบูรณ์แล้วพร้อมจะนำไปบ่มต่อไป แต่ก็ได้เก็บผลต่อเนื่องจนถึงวันที่ 10 เพราะในขบวนการหมักอาจมีการคลาดเคลื่อนกันไปบ้างเนื่องจากสภาพแวดล้อมวัตถุที่ใช้และส่วนผสมต่าง ๆ อาจแตกต่างกันไปในแต่ละถัง

จากนั้นนำมาวิเคราะห์ต่อยอดด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งองค์ประกอบที่พิจารณาว่ามีผลมากน้อยเพียงใดก็ดูจากจากกราฟเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ข้อมูล (Scree Plot) จากรูปที่ 4.24 ผลการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลพิจารณาได้จากรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.22 และแสดงภาพรวมดัง รูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนตัวของกลุ่มตัวแปร ไล่กันมาตั้งแต่วันแรก ๆ ของการวัดซึ่งไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักไป ไปถึงช่วงวันที่สองเป็นต้นไปก็จะเริ่มเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเรื่อย ๆ สอดคล้องกับขบวนการหมัก ในช่วงกลาง ๆ ของการหมักที่กลุ่มตัวแปรค่อนข้างกระจายตัวมีการเปลี่ยนแปลงสูงจนถึงวันท้าย ๆ ที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักแสดงให้เห็นว่าเบียร์สดที่ได้พร้อมที่จะนำไปจัดจำหน่ายได้แล้วในวันที่ แปดหรือเก้าเป็นต้นไปซึ่งช่วงนี้ตัวแปรจะไม่ค่อยกระจายตัวและสิ้นสุดในวันที่ 10 ซึ่งก็สอดคล้องกับขบวนการหมักบ่มที่เกิดขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อที่ควรพิจารณาในการคัดเลือกก๊าซเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วัดสารประกอบต่าง ๆ นั้น นอกจากการศึกษาสารตัวอย่างว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้างแล้ว ก็ต้องหาเซ็นเซอร์ที่ตอบสนองต่อสารนั้น ให้เหมาะสม และก็ยังต้องนำมาใช้ทดสอบกับสารนั้นจริง ๆ ว่าเหมาะสมในการแยกแยะได้จริงหรือไม่ เพราะสารตัวอย่างที่นำมาวัดมักมีสารประกอบ ต่าง ๆ จำนวนมากหลายชนิด อาจจะทำให้เซ็นเซอร์ ตอบสนองเท่า ๆ กันซึ่งทำให้ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยและการทดลองสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้วัดเบียร์สด เนื่องจากความจำเป็นที่จะต้องควบคุมคุณภาพในการผลิตเนื่องด้วยกลิ่นและรส ของเครื่องต้มแอลกอฮอล์มีความสำคัญต่อการรับรู้รสชาติและคุณภาพของผู้บริโภค ดังนั้นการสร้างระบบตรวจวัดมาใช้ในขบวนการผลิตเครื่องต้มแอลกอฮอล์เช่นเบียร์สด จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการผลิตดียิ่ง ๆ ขึ้นไปมีความแน่นอนได้มาตรฐาน เป็นที่เชื่อถือของลูกค้า และสะดวกต่อผู้ทำการผลิตในการเฝ้าติดตามควบคุมคุณภาพ

5.1 สรุปผลการทดลองจมูกอิเล็กทรอนิกส์วัดแยกแยะชนิดของเบียร์สด

ในการวัดตัวอย่างเครื่องต้มแอลกอฮอล์เบียร์สดเพื่อทดสอบว่าสามารถแยกแยะชนิดหรือประเภทของเบียร์สดที่ทำการผลิตได้หรือไม่ โดยนำตัวอย่างเบียร์สดที่มีความแตกต่างกัน 3 สูตร คือเบียร์สด White Beer, Lager Beer และ Dark Beer ทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาสร้างเป็นเมตริกซ์ข้อมูลและใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อหาเอกลักษณ์ของข้อมูลพบว่า สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็น 3 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยตัวแปร $PCA1$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูลเท่ากับ 81.79 ส่วนตัวแปร $PCA2$ มีค่าเท่ากับ 17.06 ซึ่งทั้งสองตัวแปรให้ผลรวมการดึงความสัมพันธ์เท่ากับ 98.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นเราสามารถถือเอาตัวแปร $PCA1$ และ $PCA2$ เป็นตัวแทนของทั้ง 7 ตัวแปรได้

5.2 สรุปผลการทดลองจมูกอิเล็กทรอนิกส์เฝ้าติดตามวัดเครื่องต้มแอลกอฮอล์เบียร์สด

ในการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์เฝ้าวัดและติดตามเพื่อควบคุมขบวนการผลิตเบียร์สดนั้น ได้ทำการวัดเป็นเวลา 10 วัน ตลอดการหมักบ่ม ได้ผลออกมาว่าสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามขั้นตอนในการหมักบ่มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ และก๊าซต่าง ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในขบวนการหมักทำให้เซนเซอร์ตรวจรู้ได้ และเกิดลักษณะเฉพาะของสัญญาณ เกิดเป็นเอกลักษณ์ของเบียร์นั้น ๆ ผลการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ทำการวัดเมื่อนำเมตริกซ์ข้อมูลมาวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งจะได้อัตราใหม่ที่เกิดจากการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ข้อมูล ดังนี้ $PCA1$ ได้ 96.55 $PCA2$ ได้ 2.33 $PCA3$ ได้ 0.48 $PCA4$ ได้ 0.33 $PCA5$ ได้ 0.22 $PCA6$ ได้ 0.12 $PCA7$ ได้ 0.07 จะเห็นว่าผลรวมของตัวแปร $PCA1$ และ $PCA2$ เท่ากับ 98.78 ซึ่งเกินร้อยละ 80 ของตัวแปรทั้งหมดและเราสามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด เมื่อเรานำตัวแปรทั้งสองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์พบว่าข้อมูลแยกออกเป็นกลุ่มดี อีกทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถนำตัวแปร *PCA3* เข้าร่วมการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งจะได้ผลรวมเท่ากับ 99.26 ซึ่งเมื่อเรานำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์จะได้กราฟสามมิติจะช่วยให้เราเพิ่มมุมมองในการจำแนกยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะและการพัฒนาปรับปรุงในอนาคต

จากผลการทดลองพบว่าการใช้จุมุกอิเล็กทรอนิกส์วัดเบียร์สดและนำข้อมูลการตรวจวัดมาวิเคราะห์การทำงานโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักให้ผลการจำแนกได้ดี แต่จะเกิดปัญหาในกรณีที่เบียร์บางสูตรมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งการจำแนกจะเกิดการซ้อนทับของข้อมูลแนวทางการปรับปรุงการทำงานอาจจะต้องมีการใช้เซ็นเซอร์ชนิดอื่นที่สามารถตรวจวัดได้ในระดับต่ำกว่านี้ ซึ่งจะทำได้แก้ปัญหาค่าการจำแนกเบียร์สดที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน หรือใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ได้มากขึ้นอีก

5.4 สรุปผลการวิจัยโดยภาพรวม

โดยภาพรวมถือว่าจุมุกอิเล็กทรอนิกส์สามารถที่จะแยกแยะและติดตามกระบวนการหมักเบียร์สดได้ ทำให้การควบคุมคุณภาพสามารถทำได้ดียิ่งขึ้น ทำให้คุณภาพเบียร์สดที่ได้มีคุณภาพที่ได้มาตรฐานเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามการใช้ระบบจุมุกอิเล็กทรอนิกส์จะต้องใช้งานร่วมกับมนุษย์หรือผู้เชี่ยวชาญจึงจะทำให้มีประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ ผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานร่วมกับระบบจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ อาจจะไม่จำเป็นต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญในระดับมีความสามารถพิเศษ แต่สามารถที่จะนำพนักงานมาฝึกทักษะและใช้ระบบจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพและมาตรฐานที่ดีได้ ซึ่งมีประโยชน์กับการผลิตในอุตสาหกรรมเบียร์สดเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Paisan Dounjak, **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] T.C.Pearce,S.S.Schiffman, H.T.Nagle, and J.W.Gardner. 2009. Handbook of Machine Olfaction Electronic Nose Technology. WILEY-VCH Verlag GmbH &Co.KGaA.
- [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 (20 November 2009)
- [5] แม้น อมรสิทธิ์, “เทอร์มัลคอนดักติวิตีเทคเตอร์”, ใน **เอกสารประกอบการบรรยาย AAS & GC**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, หน้า 845-847
- [6] Figaro company, **Gas sensor datasheet**, www.figaro.co.jp (10 March 2010)
- [7] Chang-Dong Feng, Richard A. Payne, **Self-Depleting Amperometric 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 Frisk1, Lars Eng2, Shaohua Guo1, Wouter van der Wijngaart1,Göran Stemme1, **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 เมฆานนท์, **การจำแนกตัวอย่างกลิ่นน้ำหอมด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์**, Proceedings นเรศวรวิจัยครั้งที่ 3, 28-29 กรกฎาคม 2550, หน้า 53-56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] กัลยา วานิชย์บัญชา, “การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก,” ใน การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ส.น.พ. 2551. หน้า 182-213
- [14] Iman Morsi, **Electronic Noses for Monitoring Environmental Pollution and Building Regression Model**, Arab Academy for Science and Technology, Egypt/ Alexandria, page 1730-1735
- [15] 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
- [16] 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
- [17] Shu Peng, James O’Keeffe, Chengyu Wei, K. Cho, **Carbon Nanotube Chemical and Mechanical Sensors**, Conference Paper for the 3Rd International Workshop on Structural Health Monitoring
- [18] Chalin Sutthinet, Assuchol Sangnual, Toempong Phetchakul, **Alcohol Sensor Based on Multi-Wall Carbon Nanotube**, Integrated Circuits, ISIC '09. 12th International Symposium, pp 321-323
- [19] **Asia pacific food industry Thailand** May- June 2006 pp. 39
- [20] **Asia pacific food industry Thailand** March- April 2006 pp. 54-55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Monitoring of Draft Beer Fermentation Process by Electronic Nose

Toempong Phetchakul¹ and Chalin Sutthinet¹

¹Electronic Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520.

^akptoempo@kmitl.ac.th, ^bchalin_sutthinet@yahoo.com,

Keywords: Electronic nose, Monitoring, Draft beer, Fermentation, PCA

Abstract. The draft beer fermentation process was monitored by using electronic nose. The system used the seven types of generally commercial metal oxide gas sensor in array. The selected process was one of the commercial processes and the data were gathered every hour for 10 day process which was 240 steps. It was processed for monitoring the chemical reaction for quality control. The results showed the good difference of the chemical reaction of the each day very clearly. The signature processing showed the variance 98.78 %, 96.55 % of the first component (PC1) and 2.3 % of the second component (PC2), which was sufficiency for data explanation in 2D plot. It would be useful for production process to ensure a quality standard.

Introduction

The electronic nose is the system that can detect and discriminate among complex odors using the sensor array. The sensor array consists of non-specific sensors that are treated with a variety of odor sensitive biological and chemical materials. An odor stimulus generates smell print from the sensor array. We can identify them by recognize the unique pattern. The application extend to many fields such as cosmetic production, food and beverage quality assurance [1], environment monitoring [2], medical diagnostics [3], health monitoring [4], recognition natural product[5], process monitoring[6], automotive and aerospace industry [7].

Draft beer fermentation process is the chemical reaction process that change with time normally in several days. The flavor of draft beer depends on the materials and the fermentation period. In normal beer, we stop the process by pasteurize process before contain or keep it in can or bottle. In draft beer, we drink it after the fermentation time. Each draft beer has a unique taste and smell depend on the ingredient and fermentation process. The ingredient composes of malt, hop, yeast and water. The quality is normally controlled by expert that is limited in quantity, experience and time. Electronic nose would help in this step that can monitor and recognize the standard process in each step. The deviation from the standard pattern of mixed chemical odor will be detected and will be taken to analyzed further.

A commercial draft beer process in Thailand was studied in this work. This fermentation process was ten days. The data were gathered each an hour along ten days. The PCA technique was used for processing the data from the sensor array for the discriminate the chemical reaction odor pattern of each time during the fermentation periods. The each day pattern difference will be used as the comparable standard of the next process for quality assurance. This system can be developed for checking and analyzing the problem for process tuning.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental

The electronic nose system in this work is shown in Fig.1.

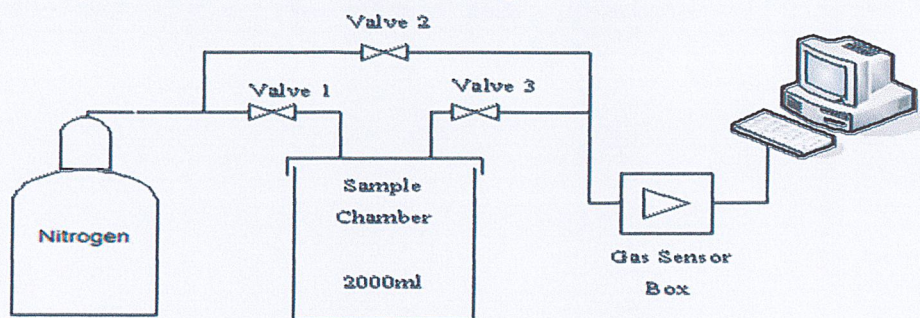


Fig 1 Schematic diagram of Electronic nose system.

It composes of sample chamber that contain the sample and uses the nitrogen gas carriers the odor into the gas sensor box. Valves 1 and 3 controlled the gas flow for the cycle of measurement. The sensor array composes of seven commercial metal oxide semiconductor sensors. The specific gas for detecting of each sensor is listed in Table 1. The data were carried out via NI USB-6211 data acquisition (DAQ) that was controlled by LABVIEW. In the part of signal processing, the principal component analysis (PCA) was used by MATHLAB for identify and monitoring the data from the fermentation process. The sensors were warm up before for 10 minutes at first. The nitrogen gas and valve 2 were opened while valve 1 and 3 were closed for the starting value baseline for 1 minute. Then valve 1 and 3 were opened and valve 2 was closed when the sample odor was measured for 5 minutes. Valve 2 was opened and vale 1 and 3 closed again for cleaning the sensors for the next measurement. The response is the percent of resistance changing via voltage division was calculated by the following equation;

$$S = \frac{S_{MAX} - S_{MIN}}{S_{MIN}} \times 100 \quad (1)$$

where S_{MAX} and S_{MIN} are maximum and minimum output signal respectively.

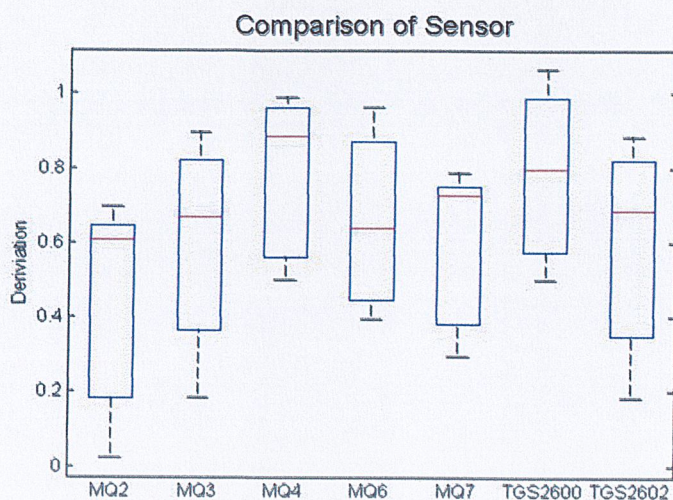
Table 1 Specification of Metal Oxide Gas Sensors

No.	Sensor	Target gas
1	MQ 2	General Combustible
2	MQ 3	Alcohol
3	MQ 4	Natural, Methane
4	MQ 6	LPG, Propane
5	MQ 7	Carbon Monoxide
6	TGS2600	Air Contaminants
7	TGS2602	Air Contaminants

Results and Discussion

A draft beer process in Thailand was selected for this study. It takes 10 days long for standard process. We monitor the chemical reaction odor of fermentation process every one hour along 10 days. The 240 steps data per sensor were collected. The distribution of the response data of each sensor was plot in box plot as shown in Fig. 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Sensor types
Fig 2 Box plots of the sensors.

The flat line showed the median value that could tell the distribution of response. Some sensors that the median value closed to the lower hinge were response to chemical reaction odor faster than the others that closed to the upper hinge. All sensors responded to the odor in difference way that good for discrimination. Figure 3 shows the voltage output response varied with time of all sensors.

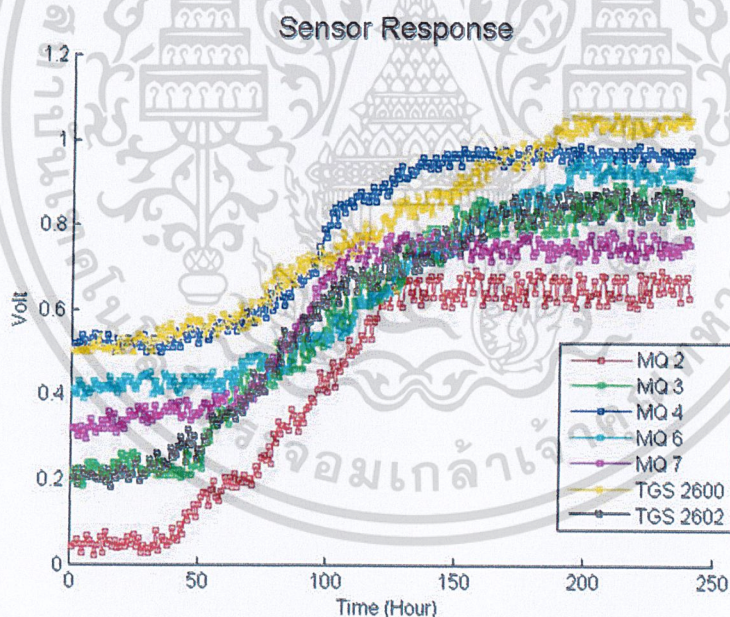


Fig 3 Sensor responses versus time of all sensors.

They show characteristic of response continuously from minimum to maximum according to box plot in Fig.2. The PCA is used for processing data. Figure 4 is scree plot of the variance versus principle component. Figure 5 is the PCA plot of two dimensions between the first component PC1 and the second component PC2 of fermentation process. From Fig.4 and Fig. 5, the plot represents 98.78 % of the variation explained by PC1 (96.55%) and PC2 (2.33%). The percent of variance shows that the two dimensions plot of PC1 and PC2 as shown in Fig.5 is enough for discrimination the data. In Fig.5, the group of data at the first and second days are closed that shows the reaction of fermentation start slowly. During the third day to the ninth day, the distribution of the process shows the discrimination very clearly. This time the chemical reaction goes faster than the first two days. In the ninth and tenth days at the end of process, we observe that the data are so closed again. We can

select and recognize the pattern distribution of standard process by comparing for quality assurance. The monitoring process will help the producer to check and follow fermentation process and can tune by expert if there are some deviation.

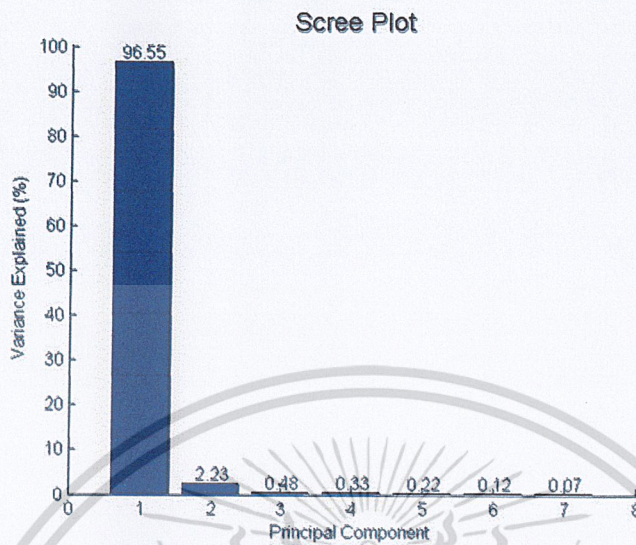


Fig 4 Scree plot of variance versus principle component.

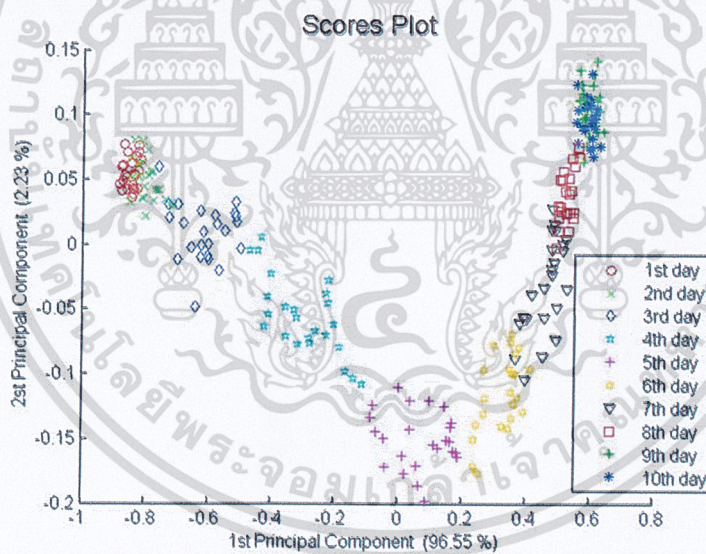


Fig 5 Two dimensions plot of 10 days draft beer fermentation process.

Conclusion

The electronic nose is used for monitoring draft beer fermentation process. A commercial 10 day process in Thailand was selected for this study. The sensors are metal oxide semiconductors and the processing part uses PCA. The results show that it discriminates the chemical reaction of process in each day very clearly. It will be useful for manufacturing consistent quality of draft beer fermentation process. It also uses with the expert for following and monitoring for tuning the process.

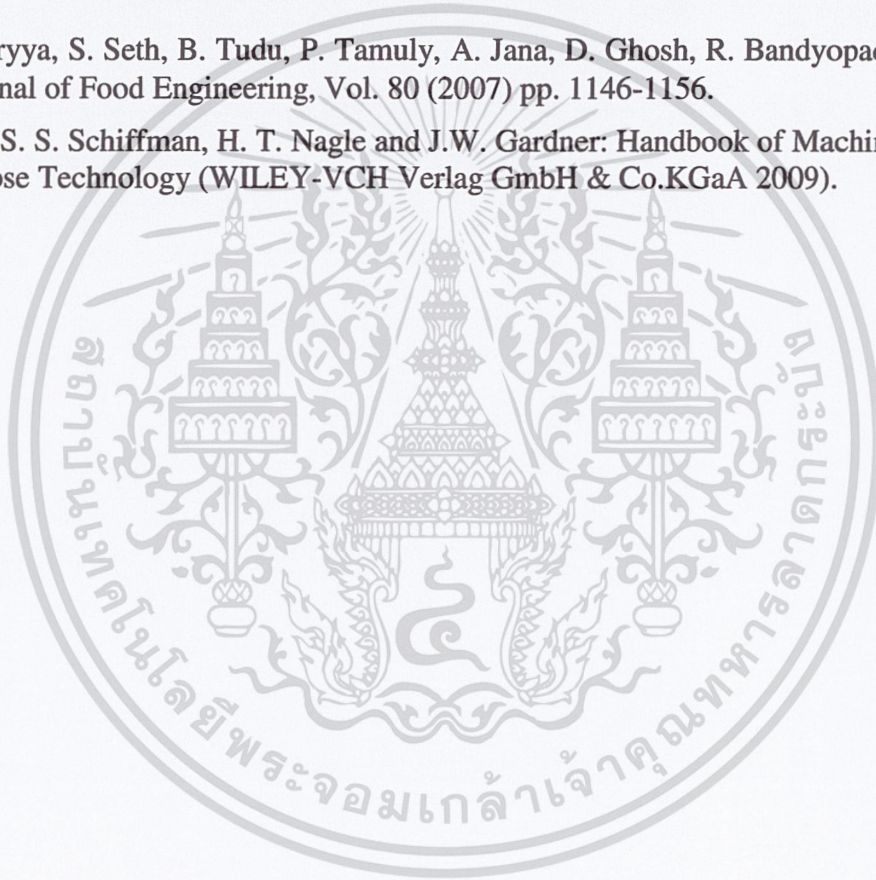
Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge for financial support of Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

References

- [1] M.Ghasemi-Varnamkhasti, S. S. Mohtasebi, M. Siadat, J. Lozano, H. Ahmadi, S. H. Razavi and A. Dicko: *Sensors and Actuators B*, Vol. 159 (2011) pp. 51-59.
- [2] Ritabrata Dutta and Ritaban Dutta: *Sensors and Actuators B*, Vol. 120(2006) pp.156-165.
- [3] E.C. Alcilja, N.L. Ritchie, D.L. Grooms: *IEEE Sensors Journal*, Vol: 3 (2003) pp.801-805.
X. Chen, M. CAO, Y. Hao, Y.P. Wang: *IEEE 27th Proceeding of Engineering in Medicine and Biology 2005*, pp. 5873-5876.
- [4] J.W. Gardner, E.L. Hines, F. Molinier, P.N. Bartlett, T.T. Mottram: *IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology*, Vol.146 (1999) pp. 102 – 106.
- [5] A. H. Gomez, J. Wang, G. Hu and A. G. Pereira: *Journal of Food Engineering* Vol.85 (2008) pp.625-63.
- [6] N. Bhattacharyya, S. Seth, B. Tudu, P. Tamuly, A. Jana, D. Ghosh, R. Bandyopadhyay and M. Bhuyan: *Journal of Food Engineering*, Vol. 80 (2007) pp. 1146-1156.
- [7] T. C. Pearce, S. S. Schiffman, H. T. Nagle and J.W. Gardner: *Handbook of Machine Olfaction Electronic Nose Technology* (WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGAA 2009).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้