# การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น

โดย

นางสาวนภัสสร ทยากรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Ref. code: 25626010110028OTE

# การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น

โดย

นางสาวนภัสสร ทยากรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Ref. code: 25626010110028OTE

# PREDICTION OF CHICKEN MEAT DEGRADATION LEVEL USING IMAGE AND ODOR

BY

MS. NAPASSORN TAYAGORNKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2019
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

Ref. code: 25626010110028OTE

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวนภัสสร ทยากรกุล

เรื่อง

การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2563

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พิศาล
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิศาล แก้วประภา)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติการ นิ่มสุข)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์)

คณบดี
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีร เจียศิริพงษ์กุล)

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น |
| ชื่อผู้เขียน | นางสาวนภัสสร ทยากรกุล |
| ชื่อปริญญา | วิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย | วิศกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติการ นิ่มสุข |
| ปีการศึกษา | 2562 |

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น โดยการวิเคราะห์ด้วยกลิ่นจะใช้เครื่องตรวจวัดกลิ่นมาเป็นอุปกรณ์ในการตรวจสอบ โดยผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของภาพและกลิ่นมีความสอดคล้องกัน เนื่องจากในระยะเวลาการเสื่อมสภาพ การเปลี่ยนแปลงของภาพและกลิ่นของเนื้อไก่ไปในแนวทางเดียวกัน แต่การเปลี่ยนแปลงกลิ่นของเนื้อไก่จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของเนื้อไก่ที่สังเกตได้คือการมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณสูงขึ้น โดยในชั่วโมงที่ 30 จะแสดงโดยมีค่าเพิ่มขึ้น 4 เท่าเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นในการวัดค่าของกลิ่นที่เซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และผลจากการนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อจำแนกกลุ่มตามระดับการเน่าเสีย สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ ปกติ เน่าเสียเล็กน้อยถึงปานกลางและเน่าเสียอย่างมากและการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่คือการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีเหลืองขุ่นและกลายเป็นสีเขียวในที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่จำเป็นที่จะต้องใช้การวิเคราะห์การเน่าเสียทั้ง 2 แบบร่วมกันเพื่อเพิ่มความแม่นยำและถูกต้องในการวิเคราะห์มากขึ้น

**คำสำคัญ:** เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์, การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก, กลิ่น, ค่าสี RGB, เนื้อไก่, การเสื่อมสภาพ

| | |
|---|---|
| Thesis Title | PREDICTION OF CHICKEN MEAT DEGRADATION LEVEL USING IMAGE AND ODOR |
| Author | Ms. Napassorn Tayagornkul |
| Degree | Master of Engineering |
| Major Field/Faculty/University | Electrical and Computer Engineering<br>Faculty of Engineering<br>Thammasat University |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Nitikarn Nimsuk, Ph.D. |
| Academic Years | 2019 |


## ABSTRACT


This thesis presents a prediction of chicken meat degradation level using image and odor through a newly developed odor detection device or electronic nose. Results showed that changes in odor and appearance of the chicken meat were consistent insofar as changes involving odor and physical degradation of chicken meat were parallel. The odor of chicken meat clearly changed faster than its appearance. Change in odor of chicken meat was observed to accompany higher levels of hydrogen sulfide. The results of principal component analysis were classified into three levels of rottenness: normal, half-rotten, and fully rotten. The color of chicken meat changed from red to turquoise, and finally, green. Consequently, to analyze the degradation of chicken meat, it was shown that both odor and image analyses must be used to increase system accuracy.



**Keywords:** Electronic nose, Principal component analysis, Odor, Red, green and blue (RGB), Chicken meat, Degradation level

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมาธิการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิศาล แก้วประภา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์ ที่มีความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอก โดยเฉพาะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติการ นิ่มสุข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และชี้แนะให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้อย่างใกล้ชิด ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ ระหว่างที่ได้ทำการศึกษาในระดับมหาบัณฑิตศึกษานี้ ซึ่งผู้จัดทำได้นำความรู้เหล่านั้นมาใช้ดำเนินโครงงาน ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณครอบครัวผู้ศึกษาที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไขในการศึกษาต่อไป

นางสาวนภัสสร ทยากรกุล

Ref. code: 25626010110028OTE

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | (1) |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | (2) |
| กิตติกรรมประกาศ | (3) |
| สารบัญตาราง | (8) |
| สารบัญภาพ | (9) |
| บทที่ 1 บทนำ | **1** |
| 1.1 บทความและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ | 4 |
| 1.5.1 การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยใช้ภาพ | 4 |
| 1.5.2 การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยใช้กลิ่น | 7 |
| 1.5.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ (GC-MS) | 11 |
| 1.5.4 สรุปการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ | 13 |
| 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเซ็นเซอร์แก๊สชนิด MOS ของเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ | 13 |
| 1.7 สรุปขอบข่ายของงานวิจัย | 17 |

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 19

2.1 การเสื่อมเสียของอาหาร 19
2.1.1 การแบ่งประเภทของอาหารตามความยากง่ายของการเสื่อมสภาพ 19
2.1.2 สาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร 19
2.1.3 การเสื่อมเสียของอาหารประเภทผักและผลไม้ 22
2.2 เทคโนโลยีการตรวจวัดกลิ่น 24
2.2.1 เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (E-Nose) 25
2.2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ 25
2.2.1.2 หลักการทำงาน 26
2.2.1.3 การประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ 26
2.3 เซ็นเซอร์แก๊ส 28
2.3.1 เซ็นเซอร์แก๊สชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ 29
2.3.2 โครงสร้างของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ 31
2.3.3 การทำงานของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ 31
2.3.4 วงจรของเซ็นเซอร์ 36
2.4 กระบวนการที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลกลิ่น 36
2.4.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก 37
2.5 เทคนิคการประมวลผลภาพที่ใช้ในงาน 40
2.5.1 ระบบสีแบบ RGB 40
2.5.2 ระบบสีแบบ CMYK 41
2.5.3 ระบบสีแบบ HSB 41
2.5.4 ระบบสีแบบ Lab 42

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 43

3.1 ขั้นตอนวิธีในการดำเนินงานวิจัย 43
3.1.1 เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 44
3.1.2 กระบวนการทดลอง 44

Ref. code: 25626010110028OTE

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 44
3.2.1 เครื่องตรวจวัดกลิ่นโดยใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ 44
3.2.2 กล่องพลาสติกบรรจุเนื้อไก่ตัวอย่าง 47
3.2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 48
3.2.4 กล้องถ่ายรูป Canon power shot G16 48
3.2.5 เครื่องวัดแสง SWE 2330 LX 48
3.2.6 เนื้อไก่ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 49
3.3 กระบวนการทดลอง 49
3.3.1 การตรวจสอบเครื่องวัดกลิ่น 50
3.3.1.1 ทดสอบการควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 50
3.3.2 การตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยกลิ่น 50
3.3.3 การตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยภาพ 56

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 59

4.1 ผลการทดสอบเครื่องตรวจวัดกลิ่น 59
4.2 ผลการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยกลิ่น 60
4.2.1 ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ได้จากเนื้อไก่ปีกบนโดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ 61
4.2.2 ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ได้จากเนื้ออกไก่โดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ 70
4.2.3 ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ได้จากเนื้อสันในไก่โดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ 80
4.2.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 89
4.2.4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ปีกบน 90
4.2.4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้ออกไก่ 91
4.2.4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อสันในไก่ 92
4.2.4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด 93
4.3 ผลการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยภาพ 94
4.3.1 ผลการตอบสนองค่าสีในรูปแบบ RGB ของเนื้อไก่ปีกบน 94

Ref. code: 25626010110028OTE

4.3.2 ผลการตอบสนองค่าสีในรูปแบบ RGB ของเนื้ออกไก่ 95
4.3.3 ผลการตอบสนองค่าสีในรูปแบบ RGB ของเนื้อสันในไก่ 96
4.3.4 ผลการตอบสนองค่าสีในรูปแบบ RGB ของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด 97
4.4 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น 98
4.4.1 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ปีกบนระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น 98
4.4.2 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้ออกไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น 99
4.4.3 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อสันในไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น 100
4.4.4 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิดระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น 101
4.5 ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ 102
4.5.1 ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อไก่ปีกบนกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ 103
4.5.2 ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้ออกไก่กับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ 104
4.5.3 ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อสันในไก่กับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ 105

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 107

5.1 สรุปผลการวิจัย 107
5.2 ปัญหาและอุปสรรคของงานวิจัย 108
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต 108

รายการอ้างอิง 109

ประวัติผู้เขียน 115

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์การเสื่อมสภาพโดยใช้กลิ่นและภาพ 10
1.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลกลิ่น 12
3.1 รายละเอียดเซ็นเซอร์แก๊สที่บรรจุภายในเครื่องตรวจวัดกลิ่น 45
4.1 เปรียบเทียบค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์, ค่าสี RGB และคะแนนความคิดเห็นผู้ตอบแบบสำรวจของเนื้อไก่ปีกบน 103
4.2 เปรียบเทียบค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์, ค่าสี RGB และคะแนนความคิดเห็นผู้ตอบแบบสำรวจของเนื้ออกไก่ 104
4.3 เปรียบเทียบค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์, ค่าสี RGB และคะแนนความคิดเห็นผู้ตอบแบบสำรวจของเนื้อสันในไก่ 105

Ref. code: 25626010110028OTE

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | หน้า |
|---|---|
| 1.1 ความแตกต่างระหว่าง colorimeter กับ framework | 5 |
| 1.2 พล็อตคะแนนของสององค์ประกอบหลักแรกสำหรับข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างไก่ | 6 |
| 1.3 พล็อตกลุ่มคะแนนที่มีสอง LDs ที่กระจัดกระจายจากสามกลุ่มเนื้อสัตว์ | 7 |
| 1.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของไก่สดและผลการวิเคราะห์แบบ ANN | 8 |
| 1.5 แรงดันขาออกของเซ็นเซอร์ | 9 |
| 1.6 การวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของกลุ่มผลิตภัณฑ์คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกัน (fresh, semi-fresh, spoilt) ของผลิตภัณฑ์เนื้อวัวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆตามที่กำหนดโดยฟังก์ชันการจำแนกประเภทแรก (จุดสีแดงระบุ centroids ของกลุ่ม) | 10 |
| 1.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบระเหยที่ได้จากเครื่อง GC-MS และค่าเซ็นเซอร์ที่ได้จากเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยเครื่อง GC-MS | 11 |
| 1.8 เปรียบเทียบระดับความสุกระหว่างดิบและสุกของมะม่วงพันธุ์ Cogshall โดยการใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์และนำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มมาใช้ในการวิเคราะห์สำหรับมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในวันที่ (ก)61, (ข)75, (ค)103, และ (ง) 115 (ดิบ) และ หลังจากทิ้งไว้ภายในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (สุก) และ (จ) เปรียบเทียบระดับความสุกระหว่างดิบและสุกของมะม่วงพันธุ์ Keitt สำหรับมะม่วงที่เก็บเกี่ยวทันที (ดิบ) และหลังจากทิ้งไว้ภายในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (สุก) | 14 |
| 1.9 เปรียบเทียบระดับความสุกของมะม่วงพันธุ์ Cogshall ในระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน โดยการใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์และนำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มมาใช้ในการวิเคราะห์ (ก) สำหรับมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในวันที่ 61, 75, 103 และ 115 (ดิบ) และ (ข) หลังจากทิ้งไว้ | 15 |
| 1.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเมล็ดงาในช่วง 3 วันในการเก็บตัวอย่าง | 16 |
| 2.1 จมูกธรรมชาติเทียบกับเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ | 26 |
| 2.2 การนำไปใช้ตรวจสอบคุณภาพไวน์ที่ไร่องุ่นกรานมอนเต้ เขาใหญ่ | 27 |
| 2.3 การใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ของ Bill Hanson กับผู้ป่วย | 27 |

2.4 การสวมใส่เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ 28

2.5 Gas sensor 29

2.6 เซ็นเซอร์แบบ Metal oxide semiconductor 30

2.7 เซ็นเซอร์แบบ Metal oxide semiconductor 31

2.8 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ 32

2.9 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ 32

2.10 แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ 33

2.11 แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะวัดแก๊ส 33

2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณของแก๊ส 35

2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไว 35

2.14 วงจรพื้นฐานสำหรับแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ 36

2.15 ระบบสี RGB 41

2.16 ระบบสี CMYK 41

2.17 ระบบสี HSB 42

2.18 ระบบสี Lab 42

3.1 กระบวนการศึกษาวิจัย 43

3.2 เครื่องตรวจวัดกลิ่นโดยใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ 44

3.3 ลักษณะของเครื่องตรวจวัดกลิ่นและอุปกรณ์ต่าง ๆ 45

3.4 ระบบการทำงานทางกายภาพระบบเปิด 46

3.5 ระบบการทำงานทางกายภาพระบบปิด 47

3.6 อุปกรณ์สำหรับเก็บเนื้อไก่ตัวอย่าง 47

3.7 กล้องถ่ายรูป Canon Power Short G16 48

3.8 เครื่องวัดแสง SWE 2330 LX 48

3.9 ตัวอย่างการเก็บรูปเนื้อไก่ตัวอย่างเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป 49

3.10 ตัวอย่างรูปภาพที่จะนำไปใช้ในการแยกเฉดสีระบบ RGB 49

3.11 การทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยจะเป็นการทำงานสลับกันระหว่างโซลินอยด์วาล์ว A และโซลินอยด์วาล์ว B ซึ่งทำงานสลับกันทุก ๆ 240 วินาที 50

3.12 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการรับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างโดยใช้เครื่องตรวจวัดกลิ่น 51


Ref. code: 25626010110028OTE

3.13 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการปรับบรรทัดฐานกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง 52
3.14 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างโดยใช้เครื่องตรวจวัดกลิ่น 53
3.15 ตัวอย่างผลที่ได้จากค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มาใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่าง 54
3.16 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการปรับบรรทัดฐานของเนื้อไก่ตัวอย่าง 55
3.17 ตัวอย่างรูปภาพที่จะนำมาใช้ในการแยกเฉดสีระบบ RGB 57
4.1 ผลการทำงานของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของแอลกอฮอล์สลับกับอากาศทุก ๆ 120 วินาที 59
4.2 ผลการทดลองเนื้อไก่ตัวอย่าง 60
4.3 ผลการทดลองเนื้อไก่ปีกบน 61
4.4 ผลการทดลองเนื้ออกไก่ 71
4.5 ผลการทดลองเนื้อสันในไก่ 80
4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ปีกบน 90
4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้ออกไก่ 91
4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อสันในไก่ 92
4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด 93
4.10 ผลตอบสนองค่าสี RGB ของเนื้อไก่ปีกบน 94
4.11 ผลตอบสนองค่าสี RGB ของเนื้ออกไก่ 95
4.12 ผลตอบสนองค่าสี RGB ของเนื้อสันในไก่ 96
4.13 ผลตอบสนองค่าสี RGB ของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด 97
4.14 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อไก่ปีกบน 98
4.15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้ออกไก่ 99
4.16 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อสันในไก่ 100
4.17 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อไก่ 101

Ref. code: 25626010110028OTE

ทั้ง 3 ชนิด
4.18 แบบสำรวจการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นกับกลไกของมนุษย์ 102

Ref. code: 25626010110028OTE

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 บทความและความสำคัญของปัญหา

จากสรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปีของกองระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข ทำให้ทราบว่าสถานการณ์ของโรคที่เกิดการอาหารเป็นสื่อแต่ละโรคเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา กล่าวคือ พบว่า แนวโน้มการเกิดโรคอุจจาระร่วงเฉียบพลัน เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2544-2553) โดยอัตราป่วยสูงที่สุดในปี 2553 คือ 2,168.9 ต่อประชากร 10,000 คน ส่วนใหญ่พบว่าอัตราป่วยสูงสุดจะเกิดในช่วงเดือนมิถุนายนของทุกปี การรายงานการเกิดโรคอุจจาระร่วงเฉียบพลันในระยะหลัง ๆ นี้มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศทางอ้อมเกี่ยวกับการท่องเที่ยว และการส่งสินค้าออกไปต่างประเทศ ในขณะเดียวกันพบว่ามีแนวโน้มอัตราป่วยด้วยโรคอาหารเป็นพิษก็สูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีอัตราป่วยสูงสุดในปี 2553 คือ 171.2 ต่อประชากร 100,000 คนลักษณะการเกิดโรคที่เกิดจากอาหารเป็นสื่อนี้มักมีอัตราป่วยสูงในช่วงฤดูร้อน สาเหตุส่วนใหญ่มักเกิดจากการบริโภคอาหารและน้ำที่ไม่สะอาด การมีสุขวิทยาส่วนบุคคลและสุขนิสัยในการเตรียมปรุงอาหารไม่เหมาะสม การปรุงหรือการบริโภคอาหารดิบ ๆ สุก ๆ โดยเฉพาะอาหารพวกเนื้อสัตว์ ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคที่เกิดจากอาหารเป็นสื่อได้ทั้งสิ้น

ปัญหาการเน่าเสียของเนื้อสัตว์ที่สามารถพบได้ทั่วไป คือ จากจุลินทรีย์สร้างสารประกอบบางชนิดขึ้นมาระหว่างเจริญบนเนื้อสัตว์ ส่งผลให้เนื้อสัตว์มีกลิ่น สี และรสชาติผิดปกติไป โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากจุลินทรีย์เป็นสาเหตุนั้น มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง สี กลิ่น รสชาติและนุ่มเหนียว

ในปัจจุบันวิธีการตรวจสอบปัญหาการเน่าเสียของเนื้อสัตว์ขั้นพื้นฐาน คือ การตรวจสอบโดยการใช้สายตาในการแยกแยะ แต่ข้อเสียในการตรวจสอบ คือ มีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูง ทำให้ต้องหาวิธีการตรวจสอบอื่น ๆ ที่เหมาะสม และมีความถูกต้องแม่นยำมาช่วยในการตรวจสอบ

การใช้จมูกของมนุษย์เป็นเครื่องมือในการประเมินกลิ่นถูกจำกัด ด้วยความจริงที่ว่ากลิ่นของเราเป็นเรื่องส่วนตัวทำให้รู้สึกเหนื่อยง่ายและเป็นเรื่องยากที่จะใช้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับเครื่องมือที่สามารถเลียนแบบความรู้สึกของมนุษย์ในการใช้งานและการใช้งานในอุตสาหกรรมประจำ เพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีนี้ให้เป็นไปตามอุตสาหกรรมเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซและกลิ่นโลหะออกไซด์กลายเป็นตัวอย่างในอุตสาหกรรมอาหารการควบคุมสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมยานยนต์การตรวจสอบและตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารอุตสาหกรรมการผลิตยารักษาโรคและ

ด้านความปลอดภัยเพื่อระบุชื่อ – กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกกำลังตรวจสอบว่ามีความสำคัญต่อลักษณะต่าง ๆ ของคุณสมบัติการตรวจวัดก๊าซ / กลิ่น

เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การควบคุมคุณภาพ [3-10] การจัดแบ่งตามประเภท [11-14] การแพทย์ [15-17] ด้านสภาพแวดล้อม [18-19] ด้านความปลอดภัย [20] เป็นต้น จากบทความข้างต้น ทำให้ทราบว่าเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานได้หลายด้าน ดังนั้น ผู้จัดทำจึงมีความสนใจและได้นำจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการตรวจสอบหรือตรวจจับกลิ่นต่าง ๆ ผ่านเซ็นเซอร์ที่อยู่ภายใน และมีระบบการจดจำรูปแบบมาประยุกต์ใช้ในการลดระยะเวลาในการคัดแยกเนื้อสัตว์ที่เน่าเสียออก และนอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มความเชื่อมั่นในการตรวจจับความเน่าเสียของเนื้อสัตว์ให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการตรวจสอบโดยการใช้สายตา

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการใดที่จะสามารถคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ได้เมื่อเนื้อสัตว์เกิดการเสื่อมสภาพขึ้น ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาในการที่เนื้อสัตว์ที่จะเกิดการเสื่อมสภาพ ผู้จัดทำจึงมีความคิดที่จะใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์เพื่อบ่งบอกระดับของการเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ที่ยังเหมาะสมกับการนำมาบริโภค โดยเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (E-nose) และเนื้อสัตว์ที่นำมาทดลอง คือ เนื้อไก่ ซึ่งเป็นเนื้อสัตว์เศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย และเพื่อความแม่นยำของการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ ผู้จัดทำจึงมีความคิดที่จะใช้การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยภาพ เข้ามาช่วยในการตัดสินใจในการนำเนื้อสัตว์มาบริโภคและจากวิธีการในการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น เพื่อความชัดเจนและถูกต้องของการคาดการณ์การเสื่อมสภาพ ผู้จัดทำจึงได้นำมาเปรียบเทียบกับการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยกลไกการรับรู้ของมนุษย์ ซึ่งกลไกการรับรู้ของมนุษย์ คือ การรับรู้ทางตาและจมูก โดยผู้จัดทำได้กำหนดวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยกลิ่น
2. เพื่อคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพ
3. เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของภาพและกลิ่น

4. เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น เป็นการนำเนื้อไก่ส่วนต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยจะทำการเก็บเนื้อไก่ตัวอย่างไว้ที่ลักษณะของอากาศ 2 แบบ คือ เก็บเนื้อไก่ตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส และเก็บเนื้อไก่ตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิของตู้เย็น เพื่อทำการเปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่เมื่อทำการเก็บเนื้อไก่ตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และทำการวิเคราะห์ภาพด้วยการถ่ายรูปจากกล้องดิจิตอล เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพ โดยจะทำการถ่ายภาพในสถานที่เดียวกันและความเข้มแสงที่เท่ากัน

1. ศึกษาการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อไก่เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพเมื่อทำการเก็บเนื้อไก่ตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน
3. ศึกษาการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยถ่ายที่ถูกถ่ายด้วยกล้อง ด้วยความเข้มแสงที่เท่ากัน

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยกลิ่น
2. สามารถคาดการณ์เสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพ
3. สามารถประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของภาพและกลิ่น
4. สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์

## 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์

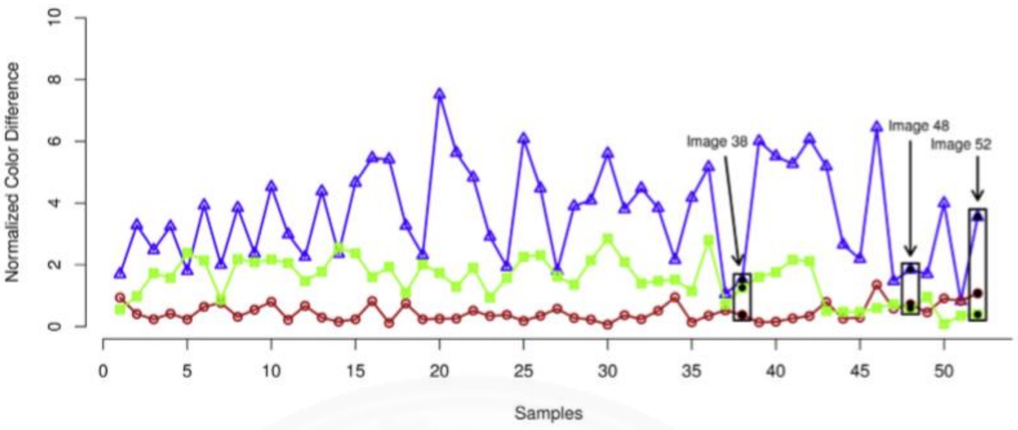
เนื่องจากในปัจจุบันวิธีการตรวจสอบปัญหาการเน่าเสียของเนื้อสัตว์ขั้นพื้นฐาน คือ การตรวจสอบโดยการใช้สายตาในการแยกแยะ แต่ข้อเสียในการตรวจสอบ คือ มีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูง ทำให้ต้องหาวิธีตรวจสอบอื่น ๆ ที่เหมาะสมและมีความถูกต้องแม่นยำมาช่วยในการตรวจสอบ

### 1.5.1 การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยใช้ภาพ

การตรวจสอบการเน่าเสียโดยการใช้ภาพในการวิเคราะห์ จะใช้กล้องเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพเข้ามาสู่คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไป โดยภาพที่ใช้ในการประมวลผลนั้น จะมีอยู่หลายรูปแบบเพื่อนำมาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์การเน่าเสียและเพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์

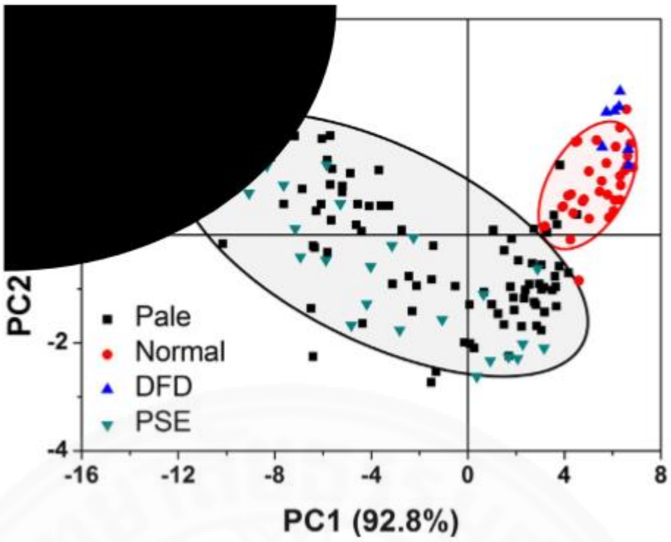
D. F.Barbin และคณะ ได้ทำการตรวจสอบสีเนื้อสัตว์ปีกเป็นคุณลักษณะที่มีคุณภาพที่สำคัญในการตรวจหา "โรคสัตว์ปีกอ่อน ๆ " อย่างรวดเร็วเนื่องจากได้รับผลกระทบจากเงื่อนไขของสวัสดิภาพสัตว์ระหว่างช่วงก่อนคลอด อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อสัตว์ต้องการวิธีการที่รวดเร็วและไม่ต้องติดต่อเพื่อประเมินเนื้อสีที่ถูกต้อง ในการศึกษาครั้งนี้คอมพิวเตอร์ได้รับการทดสอบเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการทำนายการวัดสีเทียบกับคุณลักษณะของ CIELab ในอกไก่ (pectoralis major) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอ้างอิง วิธีการที่เสนอโดยใช้การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ประสบความสำเร็จในการหลีกเลี่ยงพิกเซลที่มีข้อมูลน้อย (การสะท้อนแบบ specular) และขึ้นอยู่กับขั้นตอนการทำให้เป็นมาตรฐานการส่องสว่างนั้นได้รับความสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ระหว่างการวัดค่าสีกับกรอบที่เสนอ (Delta E = 5.2) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงระหว่างวิสัยทัศน์คอมพิวเตอร์และเครื่องวัดสีตรวจสอบวิธีการวัดองค์ประกอบสี L * ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดคือ $R^2$ = 0.99 สำหรับ L * นอกจากนี้กรอบการทำงานของเรายังมี $R^2$ = 0.74 สำหรับ a และ $R^2$ = 0.88 สำหรับส่วนประกอบ b * ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีการมองเห็นคอมพิวเตอร์ในอุปกรณ์ RGB สามารถเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการประเมินคุณภาพเนื้อไก่ได้อย่างรวดเร็วในโรงงานแปรรูปขนาดใหญ่ [21]

Ref. code: 25626010110028OTE



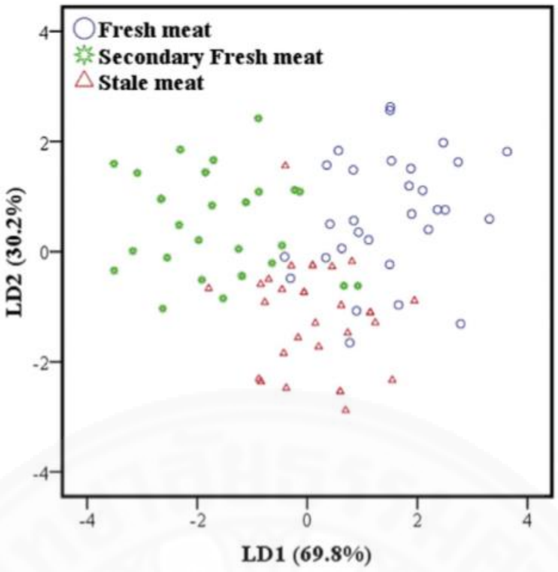

ภาพที่ 1.1 ความแตกต่างระหว่าง colorimeter กับ framework [21]

D. F. Barbin และคณะ ได้ทำการตรวจสอบความสามารถในการสะท้อนแสงแบบอินฟราเรด (NIR) เป็นเทคนิคที่มีศักยภาพในการทำนายคุณลักษณะคุณภาพของอกไก่ (Pectoralis major) Spectra ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400 ถึง 2500 นาโนเมตรได้รับการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (PCA) และคุณลักษณะคุณภาพถูกคาดการณ์โดยใช้การถดถอยน้อยที่สุดของสแควร์ส (PLSR) PCA ดำเนินการในชุดข้อมูล NIR พบว่าอิทธิพลของการสะท้อนของกล้ามเนื้อ (L *) มีผลต่อสเปกตรัม PCA ไม่ประสบความสำเร็จในการเลือกปฏิบัติระหว่างอ่อนอ่อนและอ่อนเพลีย (PSE) และกล้ามเนื้อซีดเท่านั้น ได้รับ PLSR คุณภาพสูงสำหรับโมเดล L * และ pH ที่คาดการณ์ไว้เป็นรายบุคคล ($R_2$CV เท่ากับ 0.91 และ 0.81 และ SECV เท่ากับ 1.99 และ 0.07 ตามลำดับ) ความสามารถในการถือน้ำถือเป็นคุณลักษณะที่ท้าทายที่สุดในการกำหนด ($R_2$CV เท่ากับ 0.70 และ SECV 2.40%) ตัวอย่างการปั่นและการเตรียมสเปคตรัมที่แตกต่างกันไม่จำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายของโมเดลให้มากที่สุด ผลการวิจัยพบว่า NIR spectroscopy สามารถเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการประเมินคุณภาพอกไก่ [22]




ภาพที่ 1.2 พล็อตคะแนนของสององค์ประกอบหลักแรกสำหรับข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างไก่ [22]

H. Li และคณะ ได้ทำการตรวจสอบเนื้อสัตว์ที่อุดมด้วยเมทริกซ์เป็นแหล่งโปรตีนจากสัตว์ที่เป็นตัวเลือกแรกของคนจำนวนมากทั่วโลก แต่ยังมีความเสี่ยงต่อการเน่าเสียสูงเนื่องจากกิจกรรมทางเคมีและจุลชีววิทยา ในงานวิจัยนี้เราได้พยายามศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจจับความสดของเนื้อสัตว์ได้อย่างรวดเร็วและไม่ฉุนโดยใช้เทคนิคการกระจายแสง ประการแรกเราได้พัฒนาระบบกระจายแสงสำหรับการควบรวมภาพ การวิเคราะห์พื้นผิวใช้สำหรับการแยกตัวแปรลักษณะจากพื้นที่ที่น่าสนใจ (ROI) ของภาพกระเจิง การวิเคราะห์เชิงเส้นแบบเชิงเส้น (LDA) และเครื่องเวกเตอร์ (SVM) ได้แก่ตัวอย่างการวิเคราะห์เชิงเส้นทางเรขาคณิตแบบเชิงเส้น (LAM) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลการจำแนกตามอัลกอริธึม AdaBoost-OLDA ดีกว่าอัลกอริทึม LDA และ SVM และในที่สุดก็มีอัตราการจัดหมวดหมู่ 100% ในชุดสอบเทียบและทำนาย งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการกระจายแสงที่พัฒนาแล้วมีศักยภาพในการตรวจจับความสดของเนื้อสัตว์ที่ไม่ติดเชื้อ [23]




ภาพที่ 1.3 พล็อตกลุ่มคะแนนที่มีสอง LDs ที่กระจัดกระจายจากสามกลุ่มเนื้อสัตว์ [23]

**1.5.2 การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์โดยใช้กลิ่น**

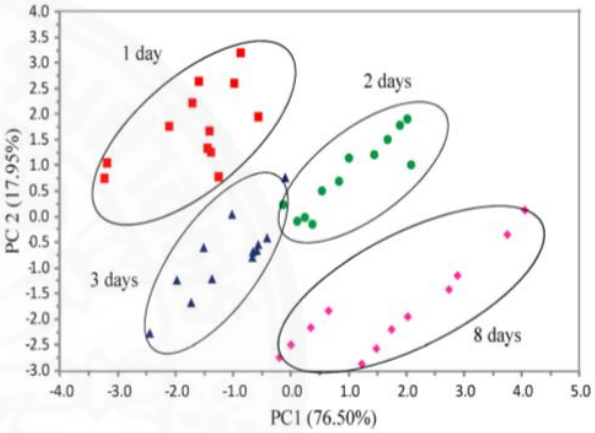
การตรวจสอบการเน่าเสียโดยการใช้กลิ่นในการวิเคราะห์จะมีเครื่องที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบอยู่หลายประเภท แต่ที่นิยมคือการใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยในการตรวจสอบ โดยจะใช้เซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ เป็นตัวรับกลิ่นแล้วแปลงเป็นสัญญาณส่งต่อเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปประมวลผลโดยวิธีการต่าง ๆ ต่อไป โดยการใช้กลิ่นมาวิเคราะห์จะมีความถูกต้องอยู่ในระดับที่สูง

เครื่อง E-nose จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คือ ระบบการนำกลิ่นเข้าสู่เครื่อง และ อุปกรณ์ที่ใช้สั่งการทำงานเครื่อง โดยในเครื่อง E-nose จะมีแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ บรรจุอยู่ภายในซึ่งมีระบบปิดกั้นอากาศจากภายนอก รวมไปถึงยังมีซอฟแวร์ที่ใช้ในการรับค่าจากเครื่องและนำไปประมวลผลต่อไป โดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องมือที่ใช้อย่างแพร่หลายขึ้นในปัจจุบัน เช่น ใช้ในการวิเคราะห์การเน่าเสียของเนื้อสัตว์ เป็นต้น และเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีหลายชนิด เช่น QCS Artinose FOX2000&3000&4000 [5, 31, 33] และยังมีการพัฒนาขึ้นใช้เอง [15, 24-25, 33] เป็นต้น

K. Timsorn ศึกษาเกี่ยวกับการนำเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา (E-nose) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจำแนกกลิ่นจากเซ็นเซอร์แก๊สออกไซด์ 8 ชนิด เพื่อนำไปจำแนกและคาดการณ์ความสดของเนื้อไก่ในช่วงวันที่เก็บรักษา โดยมีการนำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และเครือข่ายประสาทเทียม (ANN) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลอง ในการนำการวิเคราะห์

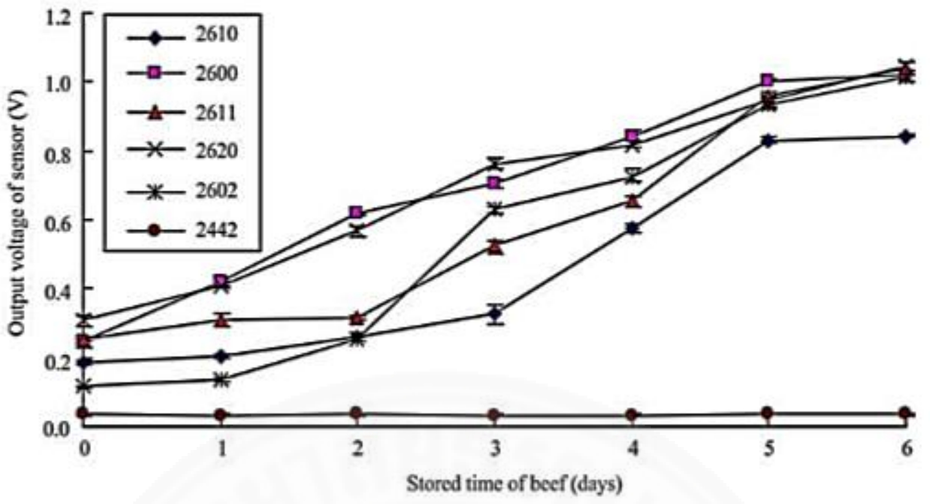
องค์ประกอบหลัก (PCA) มาใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองสามารถจำแนกความสดของเนื้อไก่เกี่ยวกับวันที่เก็บรักษาได้ ซึ่งผลของ ANN สอดคล้องอย่างดีกับผลของ PCA โดยอัตราในการจัดหมวดหมู่ของ ANN คือ 97.92% จากผลของ PCA และ ANN พบว่า เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (E-nose) สามารถจำแนกและคาดการณ์ความสดของเนื้อไก่ได้ดีและมีข้อดีมากกว่าวิธีการอื่น ๆ เช่น การใช้งานง่าย สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง รวมไปถึงความปลอดภัยสำหรับเนื้อสัตว์ [26]

| Storage Days | Classification Results (97.92%) | | | | | Correct Percentage (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 day | 2 days | 3 days | 8 days | Total | |
| 1 day | 12 | 0 | 0 | 0 | 12 | 100.00 |
| 2 days | 0 | 12 | 0 | 0 | 12 | 100.00 |
| 3 days | 0 | 1 | 11 | 0 | 12 | 91.67 |
| 8 days | 0 | 0 | 0 | 12 | 12 | 100.00 |



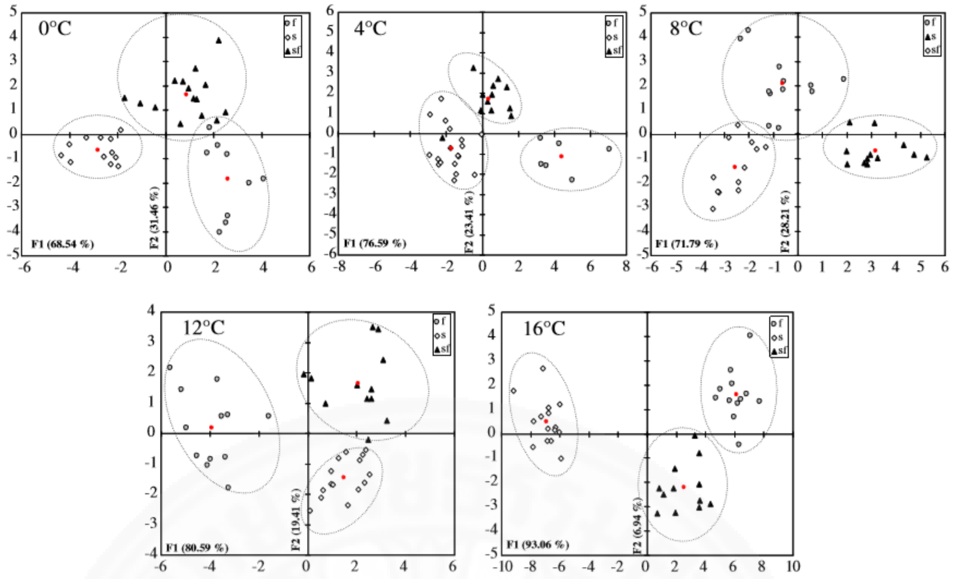

ภาพที่ 1.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของไก่สดและผลการวิเคราะห์แบบ ANN [26]

Z. Zhang และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์ระดับการเน่าเสียของเนื้อสัตว์โดยการใช้เซ็นเซอร์ชนิด MOS ทั้งหมด 6 ตัวมาใช้ในการวัดกลิ่นและยังใช้ภาพที่ได้จากการถ่ายรูปและจมูกของมนุษย์เป็นตัวรับกลิ่น โดยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 7 วันซึ่งจะใช้ข้อมูลทั้ง 3 อย่างเป็นส่วนประกอบไว้ใช้ในการอ้างอิงต่อไป [27]




ภาพที่ 1.5 แรงดันขาออกของเซ็นเซอร์ [27]

O. S.Papadopoulou และคณะ ได้ศึกษาการนำเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการประเมินการเน่าเสียของเนื้อวัวในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (0, 4, 8, 12 และ 16 องศาเซลเซียส) โดยข้อมูลของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะถูกรวบรวมจาก Headspace ของตัวอย่างเนื้อวัวควบคู่ไปกับข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา สำหรับการนับจำนวนประชากรของพลวัตของจำนวนที่มีชีวิตทั้งหมด Pseudomonas spp. Brochothrix thermospacta แบคทีเรียกรดแลคติกและ Enterobacteriaceae การตีความเชิงคุณภาพของข้อมูลจมูกอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นอยู่กับการจำแนกตัวอย่างทางประสามสัมผัสใน 3 ระดับ (สด, กึ่งสด และเน่าเสีย) ได้มีการพัฒนารูปแบบการจำแนกตัวอย่างเนื้อวัวในระดับคุณภาพตามลำดับและมีความสัมพันธ์กับพลวัตของประชากรในกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีการตอบสนองของเซ็นเซอร์ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในการจำแนกตัวอย่างเนื้อวัวในหนึ่งในสามระดับคุณภาพที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ความถูกต้องของการจัดหมวดหมู่โดยรวมของการคาดคะเนสูงกว่า 89% ได้มาจาก 3 ระดับทางประสาทสัมผัส โดยไม่คำนึงถึงอุณหภูมิในการเก็บรักษา สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยของ SVM พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง 0.96 และ 0.86 ระหว่างจำนวนจุลินทรีย์ที่สังเกตได้และคาดการณ์สำหรับชุดข้อมูลการฝึกอบรมและการทดลอง ตามลำดับ [28]



ภาพที่ 1.6 การวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของกลุ่มผลิตภัณฑ์คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกัน (fresh, semi-fresh, spoilt) ของผลิตภัณฑ์เนื้อวัวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆตามที่กำหนดโดยฟังก์ชันการจำแนกประเภทแรก (จุดสีแดงระบุ centroids ของกลุ่ม) [28]

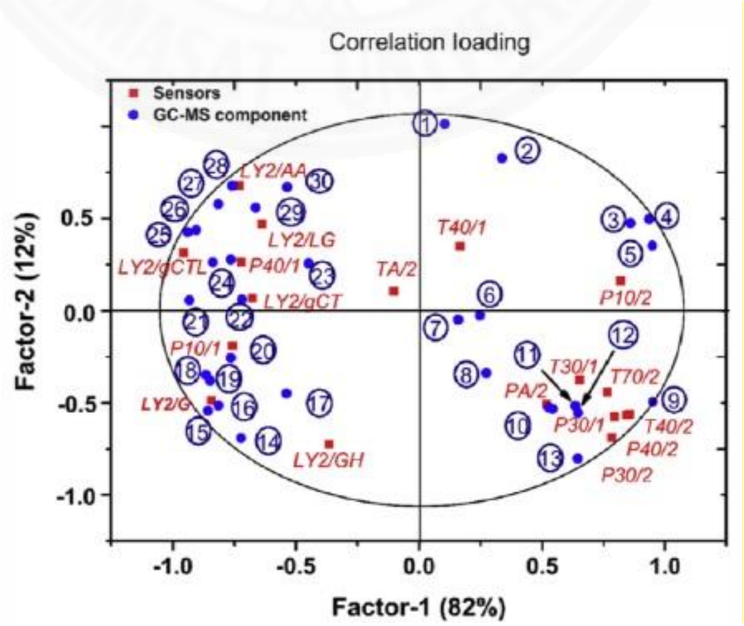
ตารางที่ 1.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์การเสื่อมสภาพโดยใช้กลิ่นและภาพ

| แหล่งที่นำมาวิเคราะห์ | ตัวอย่าง | วิธีการ | อ้างอิง |
|---|---|---|---|
| ภาพ | อกไก่ | การวัดสีเทียบกับคุณลักษณะของอกไก่ | [21] |
| | อกไก่ | การสะท้อนแสงแบบอินฟราเรด | [22] |
| | เนื้อสัตว์ | การกระจายแสง | [23] |
| กลิ่น | เนื้อไก่ | PCA, ANN [เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์] | [26] |
| | เนื้อสัตว์ | - [เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์] | [27] |
| | เนื้อวัว | SVM [เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์] | [28] |

### 1.5.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ (GC-MS)

หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ คือ เมื่อเตรียมตัวอย่างสารเสร็จเรียบร้อยก็นำมาฉีดเข้าทาง injector ของเครื่อง GC จากนั้นสารก็จะถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ เมื่อผ่านเข้าสู่ column ที่อยู่ใน oven แต่มีข้อกำหนดว่าตัวอย่างที่จะนำมาฉีดนั้นจะต้องเป็นสารละลายใสไม่มีตะกอน จากนั้นองค์ประกอบใดที่ถูกแยกออกมาจาก column ก่อนก็จะผ่านเข้าไปในส่วนของเครื่อง MS ซึ่งมีสภาวะเป็นสุญญากาศก่อนเข้าไปเจอกับ ion source ซึ่งจะทำหน้าที่ ionize โมเลกุลที่ผ่านเข้ามาให้กลายเป็นประจุจากนั้นประจุเหล่านี้ก็จะเดินทางผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกแยะขนาดของประจุดูว่าประจุเหล่านั้นประกอบไปด้วยขนาดมวลเท่าใดบ้าง ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่เครื่องตรวจวัดปริมาณประจุเพื่อตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปลผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีอยู่ในสารตัวอย่างนั้น [33, 35-39]

J. A. Pino ได้ทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารระเหยของไวน์มะม่วง โดยการนำเครื่อง GC รุ่น HP-6890 และเครื่อง MS รุ่น HP-5973 มาใช้รวมกันเพื่อนนำไปใช้ในการจำแนกสารระเหยของไวน์มะม่วง โดยผลจากการทดลองทำให้ทราบว่าไวน์มะม่วงนั้น มีสารระเหยทั้งหมด 102 ชนิด แยกออกได้เป็น สารจำพวกเอสเทอร์ 40 ชนิด แอลกอฮอล์ 15 ชนิด เทอร์พีน 12 ชนิด กรดต่าง ๆ 8 ชนิด แอลดีไฮด์และคีโตน 6 ชนิด แลคโตน 4 ชนิด ฟีนอล 2 ชนิด ฟิวแรน 2 ชนิด และสารประกอบอื่น ๆ อีก 13 ชนิด โดยที่จะมี isopentanol และ 2-phenylethanol เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกลิ่นไวน์มะม่วง ซึ่งในสารแต่ละชนิดก็จะมีปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันไป [36]




Ref. code: 25626010110028OTE

ภาพที่ 1.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบระเหยที่ได้จากเครื่อง GC-MS และค่าเซ็นเซอร์ที่ได้จากเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยเครื่อง GC-MS สามารถจำแนกสารระเหยได้ทั้งหมด 30 ชนิด แยกออกได้เป็น (1) ethyl oleate; (2) naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl); (3) a-selinene; (4) phthalic acid, butyl isohexylester; (5) 10,13-octadecadienoic acid, methyl ester; (6) linoleic acid methyl ester; (7) cyclooctene, 4-methylene-6-(1-propenylidene); (8) nerolidol; (9) calarene; (10)viridiflorol; (11) 9,17-octadecadienal; (12) b-neoclovene ; (13) g-muurolene; (14)espatulenol; (15) g-pyronene; (16) a-gurjunene; (17) b-caryophyllene; (18) b-sesquiphellandrene;(19) alloaromadendrene; (20) a-bergamotene; (21) a-copaene; (22)hinesol; (23) a-curcumene; (24) a-calacorene; (25) guaiol; (26) g-gurjunene; (27)octanal; (28) b-farnesene; (29) b-panasinsene; (30) g-selinene และค่าเซ็นเซอร์ที่ได้จากเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 18 ตัว คือ P10/1, P10/2, P30/1, P40/1, P40/2, P30/1, PA/2, T70/2, T40/2, TA/2, T40/1, LY2/AA, LY2/LG, LY2/GCTL, LY2/GCT, LY2/G, and LY2/GH. [33]

ตารางที่ 1.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการวิเคราะห์ข้อมูลกลิ่น

| เครื่องมือตรวจวัดกลิ่น | ตัวอย่าง | รายละเอียด | อ้างอิง |
|---|---|---|---|
| เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ | ไวน์มะม่วง | ใช้เครื่อง GC รุ่น HP-6890 และ MS รุ่น HP-5973 | [36] |
| | เหล้าจีน | ใช้เครื่อง GC รุ่น 7890 และ MS รุ่น 5973C | [37] |
| | น้ำมันหอมระเหยกุหลาบ | ใช้เครื่อง GC-MS รุ่น Varian 3400 | [38] |
| | โสม | ใช้เครื่อง GC รุ่น Agilent 6890 และ MS รุ่น Agilent 5975 | [33] |
| | มะม่วง | ใช้เครื่อง GC-MS รุ่น Varian 3400 | [35] |
| | มะม่วง | ใช้เครื่อง GC รุ่น Clarus 680 และ MS รุ่น Clarus 600T | [39] |

### 1.5.4 สรุปการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์

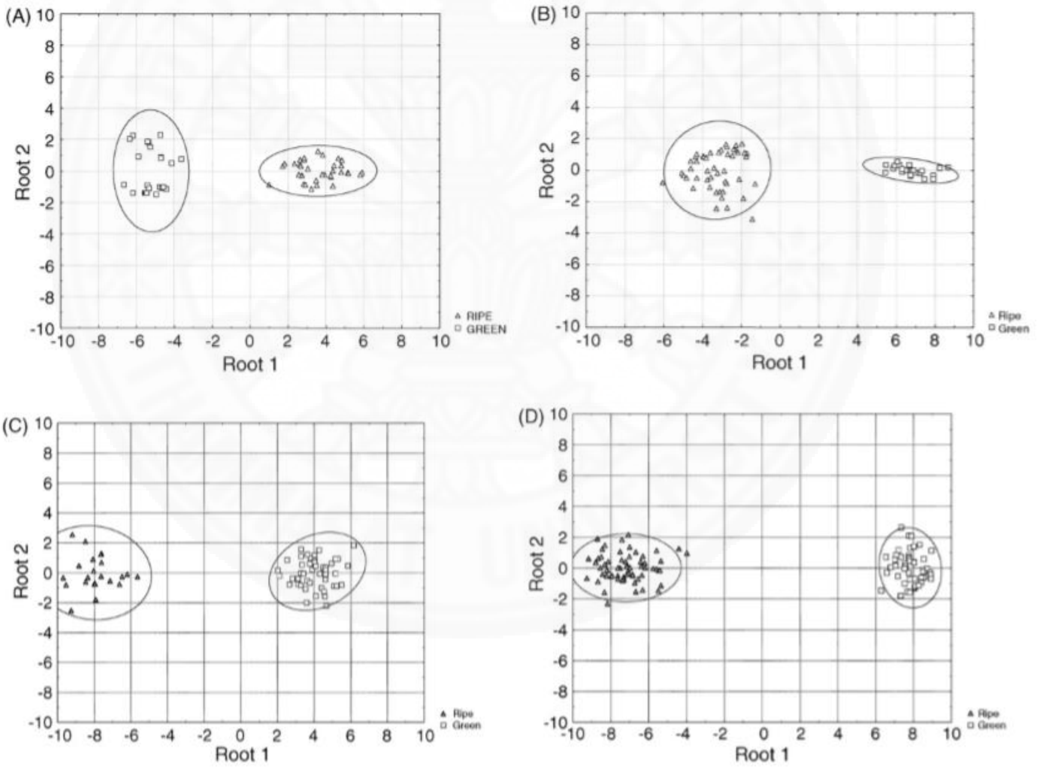
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์มีความแตกต่างกันไปตามวิธีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การวัดเทียบสี การกระจายแสง หรือเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ดังนั้น เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพโดยภาพมาทำการวิเคราะห์จึงเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่น่าสนใจต่อการนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ รวมถึงเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีความแม่นยำและรวดเร็วในการตรวจสอบกลิ่นมาใช้ในการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ให้มีความแม่นยำและมีคุณภาพมากขึ้น

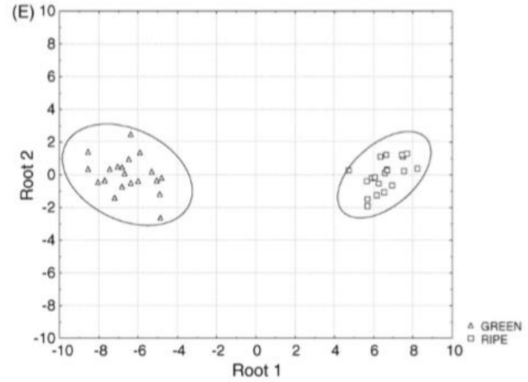
## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเซ็นเซอร์แก๊สชนิด MOS ของเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์

เซ็นเซอร์แก๊สส่วนมากจะใช้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับแก๊สหรือกลิ่นต่าง ๆ แทนจมูกของมนุษย์ โดยส่วนมากจะถูกบรรจุอยู่ภายในเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คือ ระบบการนำกลิ่นเข้าสู่เครื่อง แก๊สชนิดต่าง ๆ บรรจุอยู่ภายในกล่อง โดยส่วนมากจะนิยมใช้เซ็นเซอร์แก๊สชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Sensor : MOS) และอุปกรณ์ที่ใช้สั่งการทำงานของเครื่อง โดยจะมีซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการรับค่าจากตัวเครื่องและนำไปประมวลผล โดยเซ็นเซอร์แก๊สมีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีโมเลกุลของกลิ่นมาเกาะเข้ากับเซ็นเซอร์แก๊ส เซ็นเซอร์จะทำการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีให้เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าหรือความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งกลิ่นแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อเซ็นเซอร์แก๊สที่แตกต่างกัน โดยความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้าจะทำให้เกิดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะตัวเกิดขึ้น เมื่อเปลี่ยนกลิ่นหรือชนิดสารให้กลิ่นใหม่จะได้ชุดสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะอีกแบบที่ต่างออกไป และสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์จะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์ประมวลผลและส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปใช้การวิเคราะห์ชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการจำแนกกลุ่มข้อมูลหรือคัดแยกข้อมูล ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ที่นิยมใช้กัน คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) และการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminate Analysis: LDA) เป็นต้น [5, 12, 15, 25, 29-32]

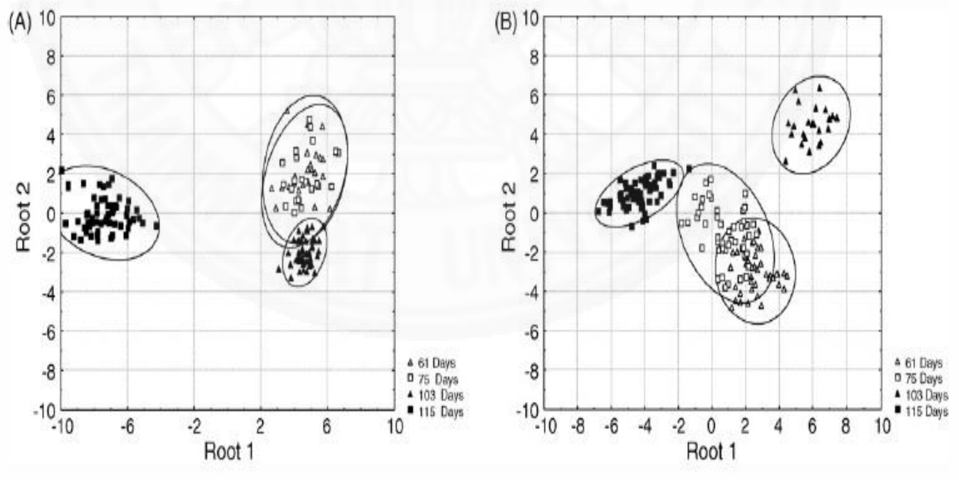
S. Cui และคณะ ศึกษาเกี่ยวกับการคัดแยกโสมของอเมริกากับโสมของเอเชีย โดยใช้เครื่องมือ 2 ชนิดในการวิเคราะห์ คือ E-nose รุ่น FOX4000 ซึ่งภายในเครื่องจะมีเซ็นเซอร์แก๊สชนิด MOS เป็นอุปกรณ์สำคัญและมีหลักการทำงาน คือ เมื่อโมเลกุลของกลิ่นมาเกาะกับเซ็นเซอร์แก๊ส เซ็นเซอร์จะทำการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีจากกลิ่นหรือแก๊สตัวอย่างให้เป็นคุณสมบัติทาง

ไฟฟ้า โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าหรือความต้านทานไฟฟ้ากับ GC-MS รุ่น Agilent 6890 และ MS รุ่น Agilent 5975 มีหลักการทำงาน คือ กลิ่นจะถูกแยกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ และทำให้กลายเป็นประจุจากนั้นประจุเหล่านี้จะเดินทางผ่านเครื่องคัดเลือก แยกแยะขนาดของประจุ และนำไปตรวจสอบกับมวล เพื่อดูว่าเป็นสารชนิดอะไร โดยเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดจะมีวิธีการรับรู้กลิ่นและการประมวลผลกลิ่นที่แตกต่างกัน เมื่อได้ข้อมูลจากเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดแล้วจะนำผลที่ได้ไปใช้การวิเคราะห์แบบ PCA เพื่อคัดแยกชนิดของโสมออกจากกัน โดยจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดสามารถคัดแยกโสมของอเมริกากับโสมของเอเชียได้อย่างแม่นยำแต่เครื่อง E-nose จะมีความสามารถในการคัดแยกได้ถูกต้องแม่นยำมากกว่า และมีความรวดเร็วในการคัดแยกที่ดีกว่า GC-MS [33]



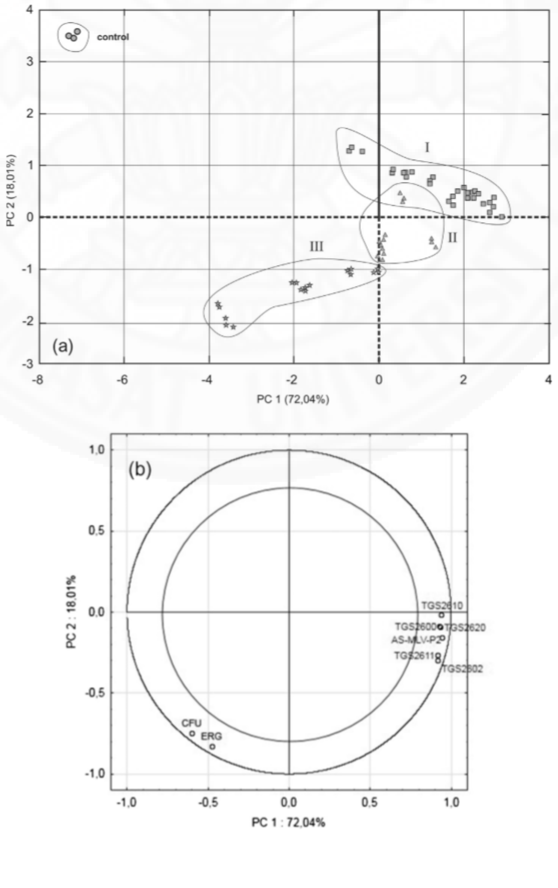



ภาพที่ 1.8 เปรียบเทียบระดับความสุกระหว่างดิบและสุกของมะม่วงพันธุ์ Cogshall โดยการใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์และนำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มมาใช้ในการวิเคราะห์ สำหรับมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในวันที่ (ก) 61, (ข) 75, (ค) 103, และ (ง) 115 (ดิบ) และ หลังจากทิ้งไว้ภายในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (สุก) และ (จ) เปรียบเทียบระดับความสุกระหว่างดิบและสุกของมะม่วงพันธุ์ Keitt สำหรับมะม่วงที่เก็บเกี่ยวทันที (ดิบ) และ หลังจากทิ้งไว้ภายในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (สุก) [33]




ภาพที่ 1.9 เปรียบเทียบระดับความสุกของมะม่วงพันธุ์ Cogshall ในระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน โดยการใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์และนำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มมาใช้ในการวิเคราะห์ (ก) สำหรับมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในวันที่ 61, 75, 103 และ 115 (ดิบ) และ (ข) หลังจากทิ้งไว้ [33]

G. Marek และคณะ ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์กับเซ็นเซอร์ MOS เพื่อทำนายคุณภาพของเมล็ดงา ซึ่งเมล็ดงาเป็นหนึ่งในวัตถุดิบหลักที่ถือได้ว่าเป็นแหล่งที่มาของน้ำมันพืชสำหรับมนุษย์จัดเก็บเพื่อรักษาความต่อเนื่องของการผลิตสามารถรับการเสื่อมสภาพของคุณภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีวิธีการประเมินคุณภาพอย่างรวดเร็ว คุณภาพของเมล็ดงาในช่วง 31 วันของการเก็บรักษา (ERG), ฟูเรียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ได้รับการตรวจสอบโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Agrinose) จมูกอิเล็กทรอนิกส์ถูกสร้างขึ้นจาก 8 เซ็นเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ (ชนิด MOS) และอีก 1 ชิ้นแสดงถึงเทคโนโลยี Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) การวิเคราะห์ส่วนประกอบชิ้นส่วนหลัก (PCA) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกลุ่มสายพันธุ์ที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ได้ทำการวิเคราะห์ sensorgrams (sensor drift) ที่มีสัญญาณแรงหกจากแปดเซ็นเซอร์ให้การตอบสนองที่ชัดเจนต่อ VOCs rapeseed ใจแตก ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีทางจุลชีววิทยาและเคมีในการประเมินคุณภาพกับการตอบสนองของเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี [34]




ภาพที่ 1.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเมล็ดงาในช่วง 3 วันในการเก็บตัวอย่าง [34]

เซ็นเซอร์แก๊ส ถือเป็นอุปกรณ์ขั้นพื้นฐานที่สำคัญของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยเซ็นเซอร์แก๊สที่ใช้เป็นอุปกรณ์รับกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ เซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ หรือ MOS (Metal Oxide Semiconductor) โดยเซ็นเซอร์แก๊สชนิด MOS นี้มีใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการยอมรับ เนื่องจากมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและมีการตอบสนองต่อแก๊สที่ดี ดังนั้นเซ็นเซอร์แก๊สชนิด MOS จึงเหมาะแก่การนำมาคัดแยกกลิ่นได้อย่างถูกต้องและแม่นมากขึ้น

**1.7 สรุปขอบข่ายของงานวิจัย**

ในปัจจุบันเราพบปัญหาอาหารยังคงเป็นสื่อที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งเป็นปัญหาในการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยพบว่าแนวโน้มการเกิดโรคอุจจาระร่วงเฉียบพลันมีแนวโน้มที่สูงขึ้นและในขณะเดียวกันพบว่ามีแนวโน้มอัตราการป่วยด้วยโรคอาหารเป็นพิษและโรคอหิวาตกโรคก็สูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นเดียวกัน ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มักเกิดจากการนำเนื้อสัตว์ที่มีการเสื่อมสภาพมาประกอบอาหาร ซึ่งการเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์นี้เองเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคที่เกิดจากอาหารเป็นสื่อได้จนทำให้เกิดการเจ็บป่วยขึ้น รวมไปถึงยังเป็นสาเหตุทำให้อาหารไม่มีความปลอดภัยต่อการบริโภคของมนุษย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้บริโภคยังคงตกอยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยจากโรคที่เกิดจากการบริโภคอาหารที่นำเนื้อสัตว์ที่มีการเสื่อมสภาพมาประกอบอาหาร ซึ่งจากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผลกระทบที่เกิดจากการนำเนื้อสัตว์ที่มีการเสื่อมสภาพมาประกอบอาหารนั้นสามารถเกิดได้ทั้งผลกระทบทางตรงและผลกระทบทางอ้อม โดยผลกระทบทางตรง ได้แก่ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมนุษย์โดยตรง โดยเฉพาะโรคที่เกิดจากอาหารเป็นสื่อ โดยโรคอุจจาระร่วงยังคงเป็นโรคที่มีอัตราป่วยสูงติดอันดับของโรคที่ต้องเฝ้าระวังและยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น เช่นเดียวกับโรคอาหารเป็นพิษและผลกระทบทางอ้อม ได้แก่ผลกระทบทางเศรษฐกิจ เมื่อเกิดการเจ็บป่วยอันเนื่องมาจากการบริโภคอาหารที่มาจากการนำเนื้อสัตว์ที่มีการเสื่อมสภาพมาประกอบอาหาร สิ่งที่จะตามมาคือการสูญเสียทางเศรษฐกิจเป็นจำนวนมากและผลกระทบต่อชื่อเสียงของประเทศ เนื่องจากในปัจจุบันการแพร่กระจายข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อต่าง ๆ เป็นไปอย่างรวดเร็ว กรณีที่เกิดจากการเจ็บป่วยด้วยโรคที่เกิดจากการรับประทานอาหารที่นำเนื้อสัตว์ที่มีการเสื่อมสภาพมาประกอบอาหาร โดยเฉพาะถ้าเกิดกับนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในส่วนต่าง ๆ และในระยะยาวจะส่งผลต่อความเชื่อมั่นของประเทศในฐานะผู้ให้บริการด้านอาหาร ซึ่งจะส่งผลกระทบชื่อเสียงของประเทศอย่างมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพโดยการนำกลิ่นมาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพและเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความแม่นยำและรวดเร็วในการตรวจสอบกลิ่นมาใช้ในการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ให้มีความแม่นยำในการตรวจสอบมากยิ่งขึ้นและสามารถเพิ่มคุณภาพของเนื้อสัตว์ก่อนที่ผู้บริโภคจะนำมาบริโภค ซึ่งผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์การตรวจสอบการเน่าเสียของเนื้อสัตว์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเนื้อสัตว์เป็นแหล่งอาหารที่บริโภคกันอย่างกว้างขวางและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อย ๆ

Ref. code: 25626010110028OTE

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การเสื่อมเสียของอาหาร

การเสื่อมเสียของอาหารคือ การเสื่อม หรือการลดลงของคุณภาพอาหาร ทางด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส รสชาติ เนื้อสัมผัส สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้อาหารไม่เป็นที่ต้องการ ไม่ปลอดภัย หรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค การเสื่อมเสียของอาหารมีสาเหตุได้ทั้งทางกายภาพ ทางเคมีจากปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์

### 2.1.1 การแบ่งประเภทของอาหารตามความยากง่ายของการเสื่อมสภาพ

1. อาหารที่เสื่อมเสียง่าย เป็นอาหารที่มีความชื้นสูง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) สูงกว่า 0.9 ได้แก่ อาหารสด เช่น น้ำนม เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ อาหารในกลุ่มนี้หากไม่เก็บ รักษาในสภาวะที่เหมาะสม จะเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 วัน หรือไม่เกิน 1 สัปดาห์ ซึ่งการ เสื่อมเสียเกิดมาจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

2. อาหารที่เสื่อมเสียเร็วปานกลาง อาหารที่มีความชื้นปานกลาง เช่น ไข่ ผลไม้ประเภทผลแห้ง เช่น มะขาม มะพร้าว พืชหัว เช่น หอมหัวใหญ่มันฝรั่ง มันเทศ ซึ่งมีเปลือกหุ้มเพื่อปกป้อง จึงทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ระยะหนึ่ง เกิดการเน่าเสียได้ภายใน 1-2 สัปดาห์

3. อาหารที่เน่าเสียได้ยาก คืออาหารที่มีความชื้นต่ำ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ น้อยกว่า 0.6 จัดในกลุ่มอาหารแห้ง เช่น แป้ง ธัญพืชถั่วเมล็ดแห้ง น้ำตาล สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่ต้องระวังการดูดความชื้นกลับ โดยการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม และควบคุมสภาวะแวดล้อมให้มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

### 2.1.2 สาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร

การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์ เป็นการเสื่อมเสียของอาหารที่มีสาเหตุหลักคือ จุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย รา หรือยีสต์ ซึ่งเกิดการปนเปื้อนและเพิ่มจำนวนขึ้นในอาหาร แล้วทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่ทำให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนไปจนไม่เป็นที่ยอมรับ การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์อาจเป็นอันตรายต่อการบริโภค หากเป็นการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค อาจจะทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้

ลักษณะการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์

1. การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ เช่น เกิดสารระเหยที่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวและรสเปรี้ยวจาก กรดอินทรีย์ กลิ่นแอลกอฮอล์ กลิ่นเหม็นเน่าเหมือนอุจจาระจากสาร indole กลิ่นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

2. เกิดฟองแก๊ส

3. การเปลี่ยนสี แบคทีเรียบางพวกสร้างรงควัตถุได้สารพวก แคโรทีนอยด์ และแบคทิริโอคลอโรฟิลด์

4. การเกิดเมือก การเกิดเมือกที่ผิวเกิดจากแบคทีเรียที่มีแคปซูล ซึ่งเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ เมื่อแบคทีเรียเจริญเพิ่มจำนวนมากขึ้นในอาหาร ทำให้อาหารเกิดลักษณะเป็นเมือกเหนียวยืด

ลักษณะการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ที่พบมี ดังนี้

1. อาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล น้ำนม ถั่ว มักเสื่อมเสียเนื่องจาก แบคทีเรียที่มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยโปรตีนได้ เช่น protease ย่อยโปรตีนโมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดแอมิ โนและย่อยสลายต่อไปเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นเหม็น เช่น การสลายตัวของกรดแอมิโนที่มีกำมะถันเป็น ส่วนประกอบ ได้แก่ กรดแอมิโน ซีสตีน ได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งมีกลิ่นไข่เน่า การสลายตัวของกรด แอมิโนทริพโตเฟนทำให้ได้ indole and skatole ซึ่งมีกลิ่นเหม็นเน่าเหมือนอุจจาระ

2. อาหารที่มีไขมันสูง อาจจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์ย่อยไขมัน เช่น เอนไซม์ลิเพส ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ ถูกย่อยเป็นโมเลกุลของกรดไขมันอิสระ ซึ่งหากเป็นกรดไขมันที่มี สายโมเลกุลสั้นจะระเหยได้ง่าย และให้กลิ่น และกรดไขมันอิสระที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนได้

3. คาร์โบไฮเดรต จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีเอนไซม์ ซึ่งสามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตชนิดต่าง ๆ ได้ทั้ง polysaccharide น้ำตาลโมเลกุลคู่ และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวให้เป็นกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแล็กทิก กรดแอซีติก กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก ทำให้อาหารมีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นเปรี้ยวและยังได้แอซีโตน บิวทิแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ และก๊าซต่าง ๆ เกิดขึ้น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนทำให้มีฟองก๊าซปุดขึ้น หรือทำให้บรรจุภัณฑ์โป่งบวมชนิดและสัดส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และชนิดของคาร์โบไฮเดรต

การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตของจุลินทรีย์อาจเป็นแบบ fermentation หรือ oxidation หรืออาจย่อยสลายได้ทั้ง 2 แบบขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตแบบ fermentation เกิดขึ้นในสภาพไม่มีออกซิเจน เช่น แบคทีเรียแล็กทิก เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรด

แล็กทิกส่วนการย่อยสลายแบบ oxidation เกิดขึ้นในสภาพมีออกซิเจนโดยแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ ในกลุ่มสร้างกรดแอซีติก ได้แก่ Acetobacter เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแอซีติก

การเสื่อมเสียทางกายภาพ เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากแรงทางกายภาพ เช่น การแตกหัก การช้ำ ที่มีสาเหตุมาจากแรงกล ได้แก่ แรงการกระแทก แรงอัด แรงเจาะ ระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การแปรรูป และการเก็บรักษา การงอกของพืชหัว การกัดกินของแมลง

การเสื่อมเสียทางกายภาพเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียทางเคมีและจุลินทรีย์ต่อไปอีก เนื่องจากบาดแผลจากรอยแตกหักหรือรอยช้ำ ซึ่งอาจป้องกันได้ด้วยการใช้วัสดุป้องกันการสั่นกระแทก การเสื่อมเสียทางกายภาพยังเร่งให้สารอาหารทำปฏิกิริยากับเอนไซม์หรือทำปฏิกิริยากันเองหรือกับสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน หรือความชื้นในบรรยากาศได้ง่ายอีกด้วยการเสื่อมเสียทางกายภาพอาจเนื่องมาจากการแปรรูป เช่น การแช่เยือกแข็งที่ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทิ่มแทงเซลล์ ให้ฉีกขาด เมื่อนำอาหารแช่เยือกแข็งมาหลอมละลายจะทำให้อาหารสูญเสียของเหลวหรือสภาพการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการผ่านเข้าออกของน้ำได้ไม่ดี ในอาหารสดหรืออาหารแช่เยือกแข็ง ทำให้ระเหยออกได้ ส่งผลให้สูญเสียน้ำหนัก ผิวหน้าแห้ง หรือในกรณีอาหารแห้ง น้ำจะซึมผ่านบรรจุภัณฑ์เข้าไปได้ อาหารจะดูดน้ำกลับเข้าไป ทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น สูญเสียความกรอบ หรือเกาะตัวกันเป็นก้อนและยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้อีก

การเสื่อมเสียเนื่องจากเอนไซม์ เอนไซม์เป็นโปรตีนที่พบในสิ่งที่มีชีวิต ทั้งพืชและสัตว์ มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งที่มีชีวิต เช่น การสลายโมเลกุลของสารอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง รวมทั้งเร่งการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ เมื่อพืชและสัตว์ถูกเก็บเกี่ยวหรือฆ่าเพื่อนำเนื้อสัตว์มาใช้เป็นอาหาร เอนไซม์ที่ยังคงทำหน้าที่อยู่เป็นการเร่งการสลายโมเลกุลของอาหาร เช่น เร่งให้ผลไม้สุกสีเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเปลี่ยนสตาร์ชให้เป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวานและมีเนื้อนิ่มลง

ในระหว่างการเตรียมวัตถุดิบ อาหารอาจถูกปอกเปลือก หั่น สับ บด ทำให้เอนไซม์ในอาหารสัมผัสกับโมเลกุลของซับสเตรตมากขึ้น จึงเร่งให้เกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ได้แก่ ฟีนอเลส พอลิฟีนอเลส พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล ซึ่งพบในผัก ผลไม้ เช่น กล้วย แอปเปิ้ล มันฝรั่ง เปลือกมะพร้าวอ่อน เปลี่ยนเป็นสารที่มีสีน้ำตาล โดยเฉพาะเมื่อผักและผลไม้พวกนี้ถูกปอก เปลือก และหั่นชิ้นให้สัมผัสกับออกซิเจน

เอนไซม์ลิเพสและเอนไซม์ลิพอกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่เร่งการย่อยสลายไขมัน พบทั่วไปในอาหารซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำนม เนื้อสัตว์ พืช และอาหารสด ที่มีไขมันสูงเกิดกลิ่นหืน โดย

เอนไซม์นี้จะเร่งการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ ให้เป็นกรดไขมันอิสระหากกรดไขมันอิสระสายสั้นมีโมเลกุลเล็ก ระเหยได้ง่าย ให้กลิ่น รส กรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัวจะเกิดการแตกตัวต่อไปเกิดเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็นหืน

เอนไซม์เพกทิเนสจะเร่งการยอยสลายเพกทิน ซึ่งเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นตัวเชื่อมประสานทำให้โครงสร้างเซลล์ของผักและผลไม้แข็งแรง ทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อนิ่ม นอกจากนี้เอนไซม์เพกทิเนสยังทำให้น้ำผักผลไม้ที่คั้นสดที่ตั้งทิ้งไว้แยกชั้นไม่เป็นเนื้อเดียวกันเหมือนที่คั้นใหม่

การเสื่อมเสียทางเคมี เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนประกอบของอาหารระหว่างอาหารกับบรรจุภัณฑ์หรือระหว่างอาหารกับสภาวะแวดล้อม การเสื่อมเสียทางเคมี ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลของอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์และการเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด

### 2.1.3 การเสื่อมเสียของอาหารระเภทผักและผลไม้

ผักและผลไม้เป็นอาหารสดและเป็นวัตถุดิบซึ่งใช้เพื่อการแปรรูปอาหาร ผักและผลไม้ เป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย เนื่องจากมีปริมาณน้ำสูง มีสารอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์และมีลักษณะอวบน้ำ เมื่อมีแรงกระแทกจากการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวจะทำให้บอบช้ำได้ง่าย โดยการเสื่อมเสียของผักและผลไม้สด มีสาเหตุหลักดังต่อไปนี้

1. การเสื่อมเสียของผักและผลไม้เนื่องจากจุลินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์หลายชนิดที่มักพบเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ผักและผลไม้เน่าเสีย ได้แก่

1.1 แบคทีเรียที่พบในผักและผลไม้ที่เป็นโรคพืช และเป็นสาเหตุให้ผักผลไม้เน่าเสีย ได้แก่ แบคทีเรียที่ต้องการอากาศ เช่น Pseudomonas, Xanthomonas, Erwinia, Bacillus, Chromo-bacterium และพบแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กทิก เช่น Streptococcus, Lactobacillus, Leuconostoc รวมทั้งแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้สุขลักษณะการเกษตร เช่น Escherichia coli, Enterobacter แบคทีเรียที่เกิดจากการสัมผัสของมนุษย์ เช่น Staphylococcus รวมทั้งสปอร์ของแบคทีเรียของClostridium และ Bacillus ที่อยู่ในดิน และฝุ่นละอองในอากาศ

1.2 แบคทีเรียก่อโรค เช่น Escherichia coli, Salmonella, Listeria monocytogenes

1.3 ราที่มักพบในผักผลไม้ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคและการเน่าเสียของผัก ผลไม้ ได้แก่ เชื้อราในสกุล Alternaria, Botrytis, Aspergillus, Fusarium, Penicillium, Rhizopus, Geotricum เป็นต้น มีลักษณะเป็นเส้นใยปกคลุมผิวของผลไม้ เช่น ส้ม มะนาว

1.4 ยีสต์

2. การเสื่อมเสียของผักและผลไม้เนื่องจากจุลินทรีย์มีผลทำให้เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติของผักและผลไม้เปลี่ยนไป เช่น

2.1 ความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลง เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น เช่น กรดแล็กทิก กรดแอซีติก

2.2 เนื้อสัมผัสนิ่ม เน่าเละ เนื่องจากจากแบคทีเรียมีเอนไซม์เพกทิเนส แบคทีเรีย เช่น Pseudomonas ซึ่งย่อยสลายสารเพกทิน

2.3 มีกลิ่นหมักจากการหมักของยีสต์ให้เกิดเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น

3. การเสื่อมเสียของผักผลไม้เนื่องจากสาเหตุทางกายภาพ

ผักและผลไม้เป็นเนื้อเยื่อพืชที่อวบน้ำจึงการเสื่อมเสียได้ง่ายเนื่องจากแรงทางกายภาพที่มีสาเหตุมาจากแรงกล ได้แก่ แรงการกระแทก แรงอัด แรงเจาะ การกัดกินของแมลงและสัตว์กัดแทะที่เกิดขึ้นก่อนการเก็บเกี่ยวระหว่างระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การแปรรูปและการเก็บรักษา ทำให้ผักผลไม้มีการแตกหักช้ำมีบาดแผล นอกจากนี้การงอกของพืชหัว เช่น หอมหัวใหญ่ มันฝรั่งก็จัดเป็นการเสื่อมเสียทางกายภาพเพราะสารอาหาร เช่น สตาร์ชและน้ำตาลในหัวพืชถูกนำไปใช้ระหว่างการงอก ทำให้รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสเสียไป

การเสื่อมเสียของผักและผลไม้เนื่องจากสาเหตุทางกายภาพยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผักผลไม้ต่อเนื่องจากสาเหตุทางเคมีและจุลินทรีย์ต่อไปได้อีก เนื่องจากบาดแผลจากรอยแตกหักหรือรอยช้ำ ซึ่งอาจป้องกันได้ด้วยการใช้วัสดุป้องกันการสั่นกระแทก การเสื่อมเสียทางกายภาพยังเร่งให้สารอาหาร ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์หรือทำปฏิกิริยากันเองกับสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน หรือ ความชื้นในบรรยากาศได้ง่ายอีกด้วย

การป้องกันการเสื่อมเสียของผักและผลไม้ทางกายภาพ ทำได้โดยเลือกใช้กรรมวิธี เก็บเกี่ยว การขนส่งที่เหมาะสม และกระทำอย่างระมัดระวัง ใช้วัสดุและบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรองรับ การกระแทก ระหว่างการขนส่งและการจัดจำหน่าย

4. การเสื่อมเสียของผักและผลไม้เนื่องจากเอนไซม์

เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีนที่พบในสิ่งมีชีวิต มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายใน เซลล์ และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เช่น การสลายโมเลกุลของสารอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลงรวมทั้ง เร่งการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ภายในเซลล์เมื่อผักและผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวเอนไซม์ที่ยังคงทำ

หน้าที่อยู่จะไปเร่งการสลายโมเลกุลของอาหาร เช่น เร่งให้ผลไม้สุก สีเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง เปลี่ยนสตาร์ซให้เป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวาน มีเนื้อนิ่ม

ในระหว่างการเตรียมวัตถุดิบผักและผลไม้อาจถูกปอกเปลือกและลดขนาดด้วยการ หั่น สับ บด ทำให้เอนไซม์ในอาหารสัมผัสกับโมเลกุลของซับเสตรตมากขึ้น จึงเร่งให้เกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ฟีนอเลส พอลิฟีนอเลส พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะเร่งปฏิกิริยาให้สารประกอบในกลุ่มฟีนอล ซึ่งพบมากในผัก ผลไม้ เช่น กล้วย แอปเปิ้ล มันเทศ มะเขือ กระท้อน เปลือกมะพร้าวอ่อน เปลี่ยนเป็น สารที่มีสีน้ำตาล โดยเฉพาะเมื่อผักผลไม้พวกนี้ถูกปอกเปลือกหั่นชิ้นให้สัมผัสกับออกซิเจน

เอนไซม์เพกทิเนสจะเร่งการย่อยสลายเพกทิน ซึ่งเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นตัวเชื่อมประสานทำให้โครงสร้างเซลล์ของผักและผลไม้แข็งแรง ทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัสนิ่ม นอกจากนี้ เอนไซม์เพกทิเนสยังทำให้น้ำผัก น้ำผลไม้ที่คั้นสดที่ตั้งทิ้งไว้ แยกชั้นไม่เป็นเนื้อเดียวกันเหมือนที่คั้นใหม่

5. การเสื่อมเสียของผักและผลไม้เนื่องจากสารเคมี

เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างส่วนประกอบของอาหารระหว่างอาหารกับบรรจุภัณฑ์ หรือ ระหว่างอาหารกับสภาวะแวดล้อม การเสื่อมเสียทางเคมีได้แก่

5.1 การเกิดสีน้ำตาลของอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

5.2 การเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน

## 2.2 เทคโนโลยีการตรวจวัดกลิ่น

จมูกของมนุษย์มีข้อจำกัดในการรับกลิ่นมากมาย เช่น ไม่สามารถรับกลิ่นที่มีค่าความเข้มข้นที่ต่ำเกินขีดจำกัดได้ ไม่มีความเที่ยงตรง และแม่นยำมากพอในการตรวจสอบกลิ่นต่าง ๆ ได้ โดยประสิทธิภาพในการตรวจสอบกลิ่นด้วยจมูกของมนุษย์นั้นไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งแต่ละบุคคลจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกลิ่นที่แตกต่างกัน มีความชอบที่ไม่เหมือนกันและการรับกลิ่นบางประเภทนั้นจะเป็นอันตรายต่อสภาพร่างกายของมนุษย์ได้ เมื่อทำการสูดดมเข้าไปในปริมาณที่มากพอ ดังนั้นจึงมีการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดกลิ่น เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบหรือตรวจวัดกลิ่นต่าง ๆ แทนจมูกของมนุษย์ เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดกลิ่นนั้นมีความแม่นยำ สามารถตรวจสอบกลิ่นที่มีค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่าที่จมูกของมนุษย์สามารถรับได้และแยกแยะชนิดของสารเคมีได้ โดยในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจวัดกลิ่นอยู่มาก แต่ที่แพร่หลายอยู่

Ref. code: 25626010110028OTE

ในปัจจุบัน คือ การใช้แก๊สเซ็นเซอร์เป็นตัววัดค่ากลิ่นซึ่ง ส่วนมากจะบรรจุอยู่ภายในเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose : E-NOSE)

**2.2.1 เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (E-nose)**

**2.2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ**

ระบบสัมผัสของมนุษย์นั้นมี ตา หู จมูก ลิ้น กาย ที่เราเรียกกันว่าสัมผัสทั้งห้า ซึ่งในปัจจุบันคนส่วนใหญ่มีความเข้าใจในระบบสัมผัสทั้งห้าเป็นอย่างดี ยกเว้นระบบสัมผัสทางด้านกลิ่นที่เพิ่งจะเริ่มศึกษาและพัฒนาความเข้าใจพื้นฐานไม่นานมานี้ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าไม่เห็นความสำคัญของระบบสัมผัสทางด้านกลิ่นทั้ง ๆ ที่ความสุขในชีวิตของมนุษย์เรื่องการรับประทานอาหารนั้นขึ้นอยู่กับการทำหน้าที่อย่างสมบูรณ์ของจมูก ซึ่งลิ้นมีหน้าที่เพียงรับรสบอกได้เพียงว่าอาหารที่รับประทานเข้าไปนั้นมี รสหวาน รสเปรี้ยว รสขม และรสเค็ม เท่านั้น แต่จมูกทำหน้าที่บอกความแตกต่างของกลิ่นอาหารที่เรากินว่าแต่ละอย่างมีความแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งจะส่งผลต่อความต้องการในการรับประทานอาหารมากยิ่งขึ้น สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ นั้นหน้าที่การรับกลิ่นหรือระบบสัมผัสไอโมเลกุลมีความสำคัญต่อการอยู่รอดของเผ่าพันธุ์เลยทีเดียว ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเลียนแบบการดมกลิ่นของมนุษย์ซึ่งมีพื้นฐานการทำงานคล้ายคลึงกันกับจมูกของมนุษย์ เพื่อนำมาแยกแยะกลิ่นซึ่งบางครั้งจมูกของมนุษย์นั้นไม่สามารถแยกแยะได้เนื่องจากข้อจำกัดบางประการ เช่น ความเข้มข้นของโมเลกุลของกลิ่นซึ่งอาจจะมีปริมาณน้อยหรือมากเกินไป โดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะมีลักษณะที่เลียนแบบระบบรับรู้กลิ่นทางธรรมชาติดังนี้

1. ส่วนรับกลิ่น ประกอบไปด้วยตัวนำกลิ่นเข้า อาจจะมีมอเตอร์ดูดอากาศ มีท่อรวบรวมกลิ่น เพื่อให้กลิ่นมีความเข้มข้นสูงขึ้นและที่สำคัญที่สุดคือเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่มีจำนวนไม่น้อยกว่า 4 ตัวขึ้นไปจนถึงพันตัว ซึ่งหากจะเปรียบเทียบกับระบบการรับรู้กลิ่นทางธรรมชาติถือว่ามีเซ็นเซอร์รับกลิ่นจำนวนน้อยมาก เช่น สุนัขมีเซลล์รับกลิ่นจำนวนล้านเซลล์ เป็นต้น

2. ส่วนรวบรวมสัญญาณ ทำหน้าที่แปรสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Transducing) และจัดการสัญญาณ เช่น ลดสัญญาณรบกวน เป็นต้น จากนั้นแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล (A/D Converter)

3. ส่วนประมวลผล ทำหน้าที่นำสัญญาณที่ได้รับมาเปรียบเทียบเชิงสถิติกับฐานข้อมูลเดิมที่มีอยู่ ซึ่งอาจจะใช้วิธีการระบบประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อช่วยแยกแยะกลิ่น

ภาพที่ 2.1 จมูกธรรมชาติเทียบกับเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [44]

**2.2.1.2 หลักการทำงาน**

เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ส่วนแรกคือ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เป็นฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซึ่งประกอบด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ ระบบส่งข้อมูลและระบบจัดเก็บข้อมูล และส่วนที่สองคือ โปรแกรมรับ บันทึก และประมวลผลข้อมูลซึ่งเป็นซอฟแวร์ (Software) การทำงานเริ่มจากแก๊สเซ็นเซอร์หรือส่วนรับกลิ่นของเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์เกิดปฏิกิริยากับกลิ่นที่ผ่านเข้ามา โดยส่วนรับกลิ่นประกอบด้วยแก๊สเซ็นเซอร์หลายชนิด เซ็นเซอร์แต่ละชนิดจะตอบสนองต่อกลิ่นหรือแก๊สชนิดเดียวกันได้แตกต่างกัน เมื่อมีการตอบสนองไม่เหมือนกันเซ็นเซอร์แต่ละชนิดจะส่งสัญญาณไฟฟ้าออกมาต่างกัน ความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้าทำให้เกิดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะ เมื่อเปลี่ยนกลิ่นหรือสารให้กลิ่นใหม่จะได้ชุดสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะอีกแบบที่แตกต่างออกไป โดยสามารถใช้ซอฟแวร์ในการบันทึกและจัดเก็บรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าต่าง ๆ ไว้ในหน่วยความจำเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทำงานจริงต่อไป การนำเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ตรวจหากลิ่นหรือแก๊สที่สนใจคือการเปรียบเทียบชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อยู่ในหน่วยความจำกับชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากชุดเซ็นเซอร์ ณ เวลานั้นว่า มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันเพียงใด

**2.2.1.3 การประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ**

1. อาหารและการเกษตร การควบคุมและตรวจสอบคุณภาพอาหาร เช่น น้ำปลาหรือไวน์เป็นของแท้หรือไม่ ปลา กุ้ง สดหรือไม่ และเป็นเครื่องตรวจวัดคุณภาพของเครื่องดื่ม เช่น ไวน์ เป็นต้น

ภาพที่ 2.2 การนำไปใช้ตรวจสอบคุณภาพไวน์ที่ไร่องุ่นกรานมอนเต้ เข้าใหญ่ [45]

นอกจากนั้นเทคโนโลยีของจมูกอิเล็กทรอนิกส์อาจนำไปใช้ผสมผสานกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้อีก เช่น นำไปติดกับหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์มีอวัยวะสัมผัสด้านกลิ่น การนำเซ็นเซอร์รับกลิ่นไปรวมกับเทคโนโลยีขี้ผงอัจฉริยะ (Smart Dust) ทำให้สามารถตรวจสอบเชื้อโรค สิ่งแปลกปลอมในฟาร์มปศุสัตว์หรือโรงงานอุตสาหกรรมได้

2. การแพทย์ Bill Hanson จากภาควิชาการแพทย์แห่งมหาวิทยาลัยเพนซินวาเนีย ได้คิดค้นเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า Cyranose มีขนาดเท่ากับวิทยุพกพาซึ่งทำงานโดยการสูดอากาศ (ลมหายใจของผู้ป่วย) เข้าไปที่ตัวเซ็นเซอร์ แล้วนำไปแปลความหมายผ่านโปรแกรมจากนั้นก็แสดงผลออกมา ซึ่งกลิ่นจากแบคทีเรียที่ได้แต่ละชนิดก็มีรูปแบบข้อมูลที่แตกต่างกันไป

ภาพที่ 2.3 การใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ของ Bill Hanson กับผู้ป่วย [46]

เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบสวมใส่ได้ใช้ตรวจวัดกลิ่นตัวของผู้สวมใส่ เพื่อประเมินสถานะทางสุขภาพ เนื่องจากกลิ่นตัวของมนุษย์นั้นประกอบด้วยโมเลกุลต่าง ๆ ที่ร่างกายปลดปล่อยออก ซึ่งจะบ่งชี้สภาพทางชีวภาพในร่างกายได้

ภาพที่ 2.4 การสวมใส่เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [47]

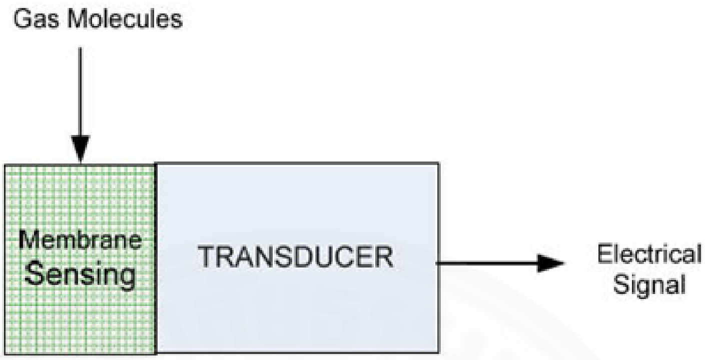
3. ด้านความปลอดภัย Emmanuel Scorsone ได้พัฒนาเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจจับไฟ โดยการใช้เซ็นเซอร์ชนิดโพลิเมอร์นำไฟฟ้าทั้งหมด 8 ตัว โดยการตรวจสอบควันไฟที่เกิดจากเปลวไฟ ซึ่งใช้สิ่งของที่เป็นต้นเพลิงทั้งหมด 5 ชนิด คือ บุหรี่ ผ้าฝ้าย กระดาษ ยูรีเทน และไม้ เพื่อตรวจสอบและแยกแยะชนิดของกลิ่นควันไฟ

4. ด้านสภาพแวดล้อม T.Pogfay ได้พัฒนาเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมของพื้นที่หรือภายในห้อง โดยการใช้เซ็นเซอร์ชนิดสารโลหะออกไซด์ทั้งหมด 5 ตัว โดยการตรวจสอบกลิ่นจากพื้นที่ทั้งหมด 4 พื้นที่คือ พื้นที่ที่ใช้ในการทดลองทางชีวภาพ ห้องทดลองเคมี ห้องทดลองเคมีและพื้นที่สะอาดทั่วไป

## 2.3 เซ็นเซอร์แก๊ส

เซ็นเซอร์แก๊สเป็นอุปกรณ์จำพวกทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับตรวจจับก๊าซพิษและการตรวจจับก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ในยานยนต์ โรงงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือน ตลอดจนที่ต่างๆ แล้วทำการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้า ตามคุณสมบัติที่ต้องการตรวจสอบ อุปกรณ์ชิ้นนี้มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ แผ่นตรวจจับ (Membrane sensing) ทำหน้าที่ตรวจจับหรือทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซที่ต้องการวัด ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงปริมาณ

ของก๊าซที่เกิดขึ้นกับส่วนตรวจจับเป็นสัญญาณไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.6 ทั้งสองส่วนอาจรวมเข้าเป็นตัวเดียวกันได้




ภาพที่ 2.5 Gas sensor

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์แก๊สที่สำคัญ คือ

1. ความไวในการตอบสนอง: ตอบสนองอย่างรวดเร็วในทันทีเมื่อก๊าซที่ทำการวัดมาสัมผัสกับเซ็นเซอร์

2. ความไวในการวัด: ความแตกต่างของปริมาณก๊าซ คุณสมบัติข้อนี้จะสำคัญเฉพาะกรณีก๊าซที่เราวัดมีปริมาณน้อย ๆ หรือต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้น

3. ความจำเพาะ: สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างก๊าซที่ต้องการวัดกับก๊าซที่ไม่ต้องการวัด เช่น เซ็นเซอร์สำหรับวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะจำเพาะเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่านั้น

4. ความเสถียร: ผลในการวัดก๊าซคงที่ไม่เสื่อมสภาพเร็ว เพื่อให้เซ็นเซอร์สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่อง

5. พิสัยการวัด: ช่วงกว้างของการวัดของเซ็นเซอร์บางตัวสามารถวัดก๊าซปริมาณตั้งแต่ 100 - 1,000 ppm (part per millions: ppm) แต่บางตัวใช้วัดใน Range 10 - 50 ppm

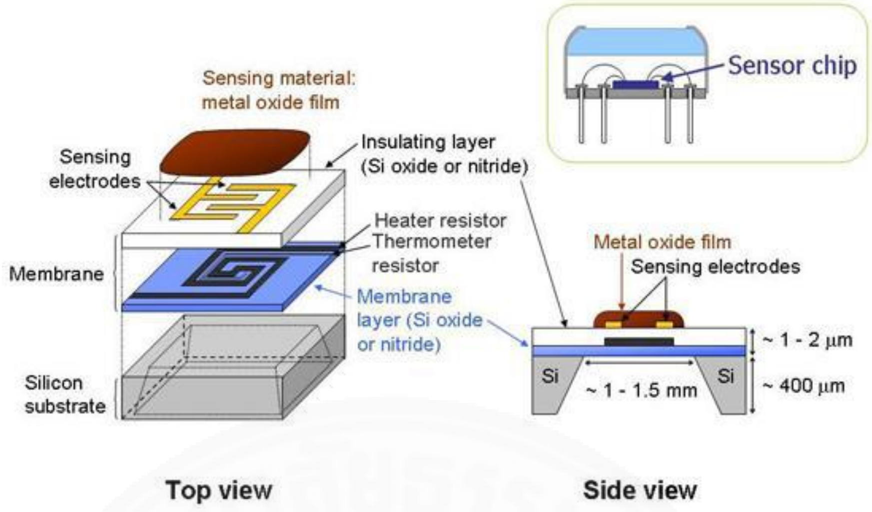
**2.3.1 เซ็นเซอร์แก๊สชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor; MOS)**

เซ็นเซอร์ชนิดนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นในปี 1971 โดยนายทากูชิ ในทางอุตสาหกรรมนั้นจะทำจากเซรามิกและมีการเคลือบด้วยฟิล์มกึ่งตัวนำ ซึ่งใช้ดีบุกออกไซด์เป็นตัวเคลือบตัวฟิล์มนี้จะ

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้โลหะเปลี่ยนไปเป็นสเปกตรัม (Spectrum) เพื่อให้ง่ายต่อการแยกชนิดของสารประกอบเคมีแต่ละสารที่มีในกลิ่นทดสอบ ปัจจุบันได้พัฒนาให้เซ็นเซอร์ชนิดนี้สามารถทำการตรวจสอบได้ในที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-400 องศาเซลเซียส ดังนั้นชนิดของตัวเซ็นเซอร์แต่ละตัวที่ใช้ในเครื่องควรมีความไวในการทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีแต่ละตัวที่ไม่เท่ากันทั้งนี้ที่จะได้ครอบคลุมสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นที่ทดสอบและในที่สุดสามารถที่จะจำแนกชนิดของกลิ่น โดยหลักการแล้วผลตอบสนองทางเคมีของกลิ่นที่มีต่อเซ็นเซอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากเซ็นเซอร์รับกลิ่นแบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์หรือเรียกสั้น ๆ ว่าเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ลักษณะแสดงดังภาพที่ 2.7 เซ็นเซอร์แบบนี้เป็นเซ็นเซอร์ที่ได้รับความนิยมสูงที่สุด เพราะว่ามีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดนี้มาหลาย ๆ แบบตามแต่ความต้องการวัสดุ MOS อยู่ในรูปผลึกเล็ก ๆ จำนวนมากที่มีผิวสัมผัสต่อกัน โดยในการนำไฟฟ้านั้นอิเล็กตรอนก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานไฟฟ้าที่ทำให้อิเล็กตรอนข้ามไปมาได้ลำบากยิ่งขึ้น แต่ถ้ามีแก๊สซึ่งมีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 200-500 องศาเซลเซียสก็จะทำให้ชั้นของออกซิเจนที่เคลือบอยู่นั้นลดลงไป ทำให้วัสดุ MOS นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งสมบัติเช่นนี้เองที่เราใช้ในการตรวจหากลิ่นที่สมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง

ภาพที่ 2.6 เซ็นเซอร์แบบ Metal oxide semiconductor [48]

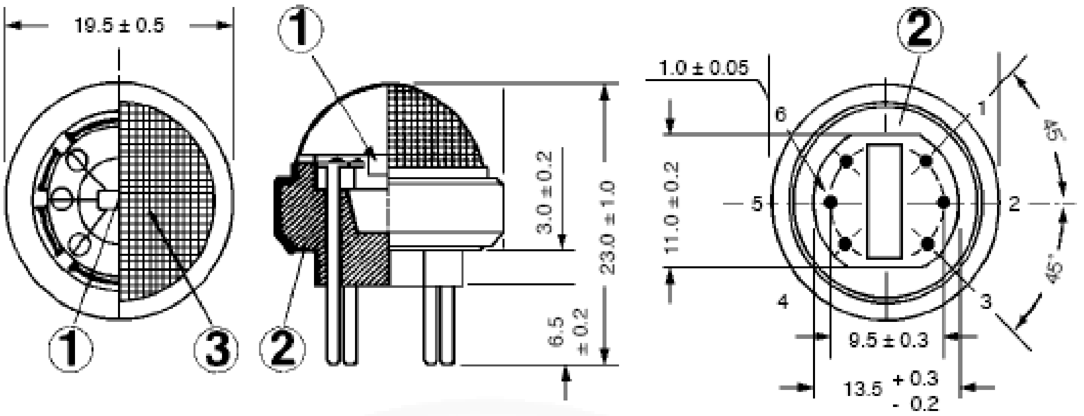



ภาพที่ 2.7 เซ็นเซอร์แบบ Metal oxide semiconductor [1]

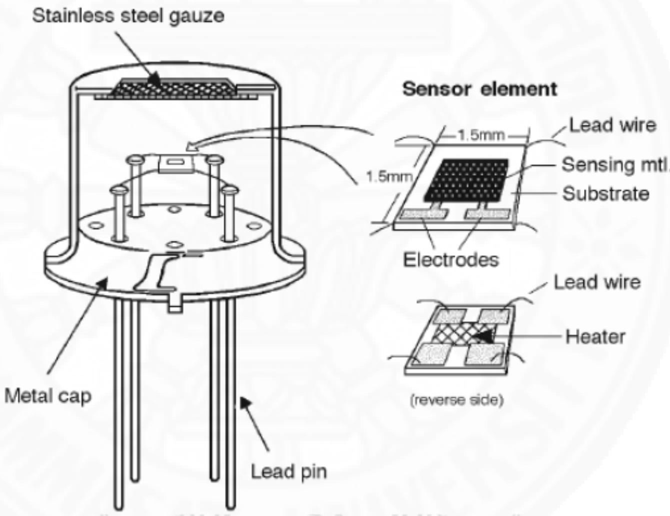
เซ็นเซอร์ชนิดนี้จึงต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งเพื่อเผาให้วัสดุมีอุณหภูมิเหมาะสม ชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ n-type semiconductors (Zinc, Iron oxide) ใช้ในปฏิกิริยา Reducing compound อีกชนิดคือ p-type semiconductors (Nickel, Cobalt oxide) ใช้กับปฏิกิริยา Oxidizing compound งานวิจัยและพัฒนาเซ็นเซอร์ประเภทนี้ก็ยังคงดำเนินต่อไป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

**2.3.2 โครงสร้างของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์**

โครงสร้างของเซ็นเซอร์แก๊สแบบโลหะออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 2.10 มี Active material ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่เป็นโลหะออกไซด์วางอยู่บนวัตถุฐานรองต่ออยู่กับขั้วไฟฟ้าตัวออกไซด์โลหะตัวเช่น ดีบุกออกไซด์ ($SnO_2$) สังกะสีออกไซด์ ($ZnO$) ทังสะเตนออกไซด์ ($WO_3$) เหล็กออกไซด์ ($Fe_2O_3$) เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็น n-type semiconductors ที่อุณหภูมิ 200-500 องศาเซลเซียส ซึ่งตอบสนองต่อแก๊สเช่น $H_2$, $CH_4$, CO, $C_2H_5$ หรือ $H_2S$ ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วยอุปกรณ์ทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิและเป็นตัวช่วยในการทำขจัดปริมาณออกซิเจน




ภาพที่ 2.8 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ [1]

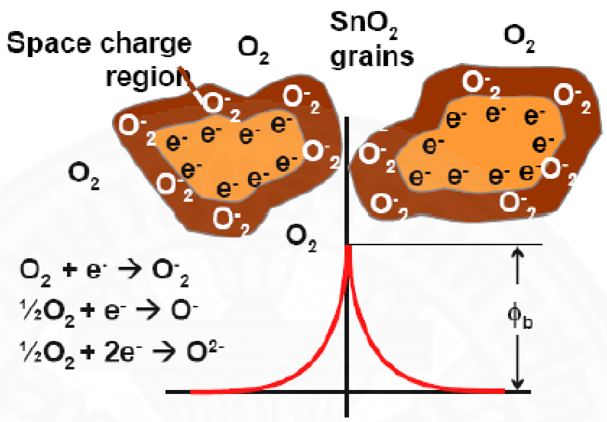



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ [1]

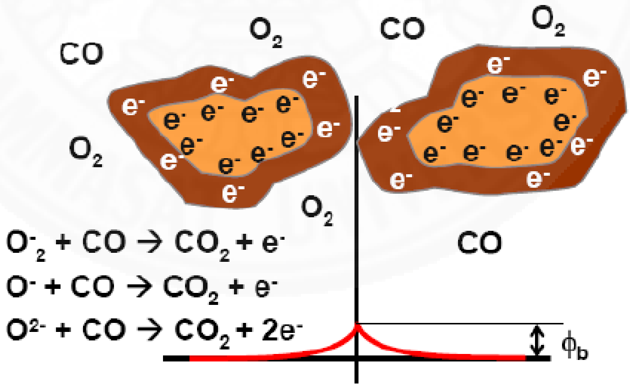
### 2.3.3 การทำงานของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์แก๊สที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดแก๊สที่สร้างจากออกไซด์ของโลหะเช่น ออกไซด์ของโลหะดีบุก ($SnO_2$) เมื่อผลึกออกไซด์ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของออกซิเจนจะไปเกาะตัวที่ผิวของผลึกออกไซด์โลหะด้วยประจุที่เป็นลบ ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ผิวและประจุบวกอยู่ภายนอกดังแสดงแบบจำลองและสมการทางเคมีในภาพที่ 2.11 โมเลกุลของออกซิเจนสร้างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผลึกออกไซด์โลหะ ซึ่งกีดขวางการไหลของอิเล็กตรอนจึงทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์

เพิ่มขึ้น เมื่อมีตัวอย่างที่ต้องการวัดผ่านเข้ามาทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงหรือทำให้เกิดการทำขจัดปริมาณออกซิเจนขึ้น ทำให้เกิดการดึงออกซิเจนออกจากผิวของผลึกออกไซด์โลหะทำให้ความหนาแน่นประจุลบที่ผิวผลึกออกไซด์โลหะลดลงและทำให้ศักย์ไฟฟ้าซึ่งขวางการไหลของอิเล็กตรอนลดลงด้วยเป็นผลให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลงดังแสดงในภาพที่ 2.12




ภาพที่ 2.10 แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ [1]




ภาพที่ 2.11 แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะวัดแก๊ส [1]

สมการที่ (2) เป็นสมการเคมีอธิบายการทำงานของเซ็นเซอร์ขณะเซ็นเซอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสภาวะปกติออกซิเจนหนึ่งอะตอมจะจับอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้

Ref. code: 25626010110028OTE

กับเซ็นเซอร์) เกิดเป็น $O^-$ ซึ่งจะขวางการเดินทางของกระแสไฟฟ้า เป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยลงหรืออีกนัยหนึ่งคือ ความต้านทานของเซ็นเซอร์สูงนั่นเอง

$$e + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow O(s)^- \tag{2}$$

แต่เมื่อมีแก๊สตัวอย่างใด ๆ R(g) ผ่านเข้ามาจะจับกับออกซิเจนเป็นผลให้มีการดึงออกซิเจนออกจากตัวเซ็นเซอร์ดังสมการที่ (3) จึงเป็นเหตุให้ $O^-$ ที่ขวางการไหลของกระแสไฟฟ้าลดลงเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลได้สูงขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งคือทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลงนั่นเอง [13]

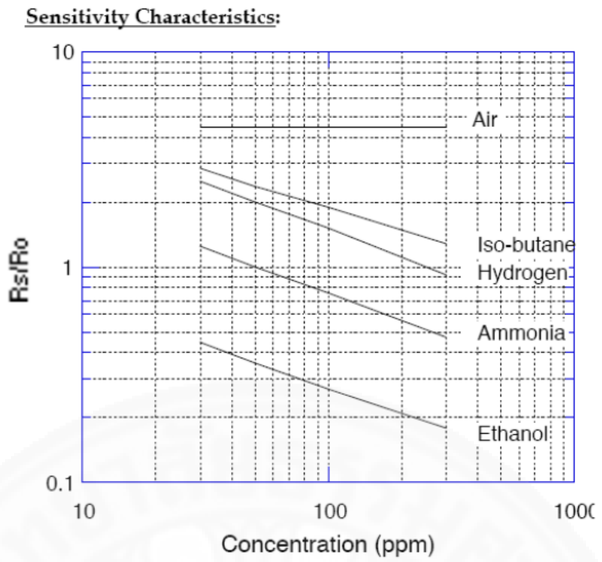
$$R(g) + O(s)^- \longrightarrow RO(g) + e \tag{3}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์และความเข้มข้นของการขจัดปริมาณออกซิเจน แสดงดังสมการที่ (4)

$$R_S = A(C)^{\alpha} \tag{4}$$

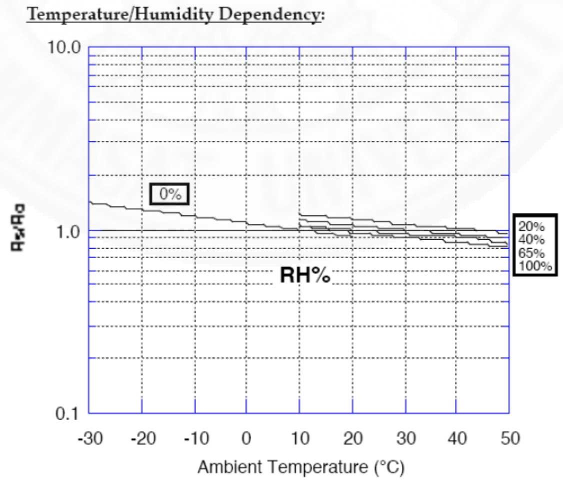
โดยที่ $R_S$ คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ A คือค่าคงที่ (C) คือค่าความเข้มข้นของแก๊ส และ $\alpha$ คือความชันของกราฟความต้านทาน $R_S$

กราฟความสัมพันธ์ของเซ็นเซอร์ขณะที่มีแก๊สเป้าหมาย $R_S$ ต่อความต้านทานของเซ็นเซอร์ที่อยู่ในอากาศ $R_O$ ดังภาพที่ 2.12




ภาพที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณของแก๊ส

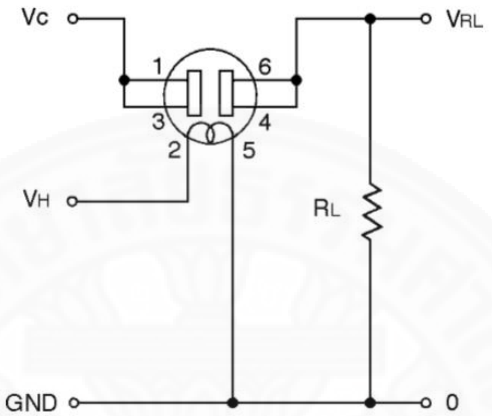
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์ แสดงดังภาพที่ 2.13




ภาพที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซ็นเซอร์และความชื้นที่มีผลต่อความไว

### 2.3.4 วงจรของเซ็นเซอร์

วงจรของเซ็นเซอร์ดังแสดงในภาพที่ 2.15 จากวงจร VH เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อน (Heater) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับเซ็นเซอร์ให้คงที่เพื่อควบคุมความไวของเซ็นเซอร์ให้คงที่อีกทีหนึ่ง เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์ [40]




ภาพที่ 2.14 วงจรพื้นฐานสำหรับแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ [40]

ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ (Rs) สามารถหาได้จากสมการที่ (5)

$$R_S = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1\right) \times R_L \qquad (5)$$

กำลังงานไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ (Ps) ใช้ไปสามารถหาได้จากสมการที่ (6)

$$P_S = \frac{V_C^2 \times R_S}{(R_S + R_L)^2} \qquad (6)[41]$$

## 2.4 กระบวนการที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลกลิ่น

การวิเคราะห์ข้อมูลคือการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้หรือข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาจำแนกเพื่อตอบประเด็นปัญหา โดยการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถแบ่งออกได้หลักๆ 2 อย่างคือ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่สามารถทำเป็นปริมาณได้ ดังนั้นจึงไม่

สามารถจะใช้วิธีการทางสถิติได้ ซึ่งจะเป็นวิธีการสรุปรวมข้อมูลหรือสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบประเด็นปัญหาหรือทดสอบสมมุติฐานและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ คือ วิธีการวิเคราะห์ที่จะต้องใช้วิธีการทางสถิติมาช่วยในการสรุปข้อมูล เพื่อนำมาตอบประเด็นปัญหา

### 2.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA)

การวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญเป็นหนึ่งในเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร โดยการลดขนาดเมตริกซ์ของตัวแปรให้เล็กลงหรือใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมนำมาใช้จัดหมวดหมู่ของข้อมูล โดยจุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญ คือการที่สามารถกะประมาณเมตริกซ์สหสัมพันธ์ โดยการหาไอเกนเวกเตอร์และค่าไอเกน โดยค่าทั้งสองค่านี้จะได้มาจากการคำนวณซ้ำ ๆ และนำมาทดสอบเปรียบเทียบกันตามเกณฑ์ ซึ่งก็คือการนำเวกเตอร์แรกที่ได้ไปคำนวณต่อเพื่อนำไปปรับเป็นเวกเตอร์ที่สองและนำทั้งสองเวกเตอร์มาเปรียบเทียบกันตามเกณฑ์ โดยจะทำไปเรื่อย ๆ จนพบความสอดคล้องกันระหว่างเวกเตอร์แรกกับเวกเตอร์ที่สอง โดยเวกเตอร์สุดท้ายที่ได้จะเป็นไอเกนเวกเตอร์แรกของเมตริกซ์ ซึ่งส่วนประกอบสำคัญส่วนแรกจะถูกสกัดออกมาจากผลคูณระหว่างรากที่สองของค่าไอเกนกับค่าแต่ละค่าในไอเกนเวกเตอร์ โดยจะเป็นค่าน้ำหนักองค์ประกอบของแต่ละตัวแปรที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบ โดยส่วนประกอบสำคัญส่วนแรกนี้คือ องค์ประกอบทั่วไปที่อธิบายความแปรปรวนในเมตริกซ์สหสัมพันธ์ได้มากที่สุด ส่วนประกอบสำคัญที่สกัดออกมาทุก ๆ ส่วน แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนทั้งหมดในเมตริกซ์สหสัมพันธ์นั้น อธิบายได้ด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักองค์ประกอบกำลังสองในแต่ละส่วนประกอบ และสัดส่วนของความแปรปรวนในเมตริกซ์จะอธิบายได้ด้วย ส่วนประกอบต่าง ๆ โดยมีวิธีการคำนวณตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการตรวจสอบข้อมูลก่อนว่าต้องทำข้อมูลให้เป็นคะแนนมาตรฐานซี (Z-score) หรือไม่ โดยสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทแรกจะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับคะแนนและคะแนนเต็มของข้อมูลแต่ละชุดมีค่าเท่ากัน เช่น การสอบถามระดับความพึงพอใจของลูกค้า ระดับคะแนนของคุณภาพสินค้า คะแนนประสิทธิภาพของรถยนต์ เป็นต้น โดยข้อมูลจำพวกนี้จะนำข้อมูลที่มีมาทำ Z-score หรือไม่ต้องทำก็ได้ หรือประเภทที่สองเป็นข้อมูลที่ไม่ทราบคะแนนเต็มของแต่ละชุดข้อมูล หรือข้อมูลแต่ละชุดมีคะแนนเต็มที่ไม่เท่ากันจำเป็นที่จะต้องทำ Z-score เพื่อขจัดหน่วยที่ไม่เท่ากันออกไปและทำให้ข้อมูลใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยค่า PC ที่นำข้อมูลมาทำ Z-score กับไม่ทำจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน โดยคำนวณได้จาก

$$Z\text{-}score = \frac{x - \bar{x}}{S.D.(x)} \tag{7}$$

Z - Score = คะแนนมาตรฐานที่มีทรวงทรงการกระจายเป็นโค้งปกติ

x = คะแนนดิบ

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล x

S.D. = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. นำข้อมูลที่ได้จากข้อที่ 1 มาทำเป็นเมตริกซ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด โดยคำนวณได้จาก

$$R = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \tag{8}$$

R = เมตริกซ์สหสัมพันธ์

x = ข้อมูลชุดที่หนึ่ง $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่หนึ่ง

y = ข้อมูลชุดที่สอง $\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่สอง

3. นำเมตริกซ์สหสัมพันธ์ที่ได้มาจากข้อที่ 2 มาทำการคำนวณ PC โดยที่ PC ต้องการที่จะหาค่า a, b, c ที่ทำให้ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ u มีค่ามากที่สุด u = ax+by+cz โดยที่มีเงื่อนไข คือ $a_2+b_2+c_2=1$ โดยที่ $s_u^2$ คือค่าความแปรปรวนของ u ที่มีค่ามาก ที่สุด

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1}\left\{(u_2 - \bar{u})^2 + (u_2 - \bar{u})^2 + \ldots + (u_2 - \bar{u})^2\right\} \tag{9}$$

นำ u = ax+by+cz ไปแทนเข้าใส่สมการ

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1}[\{(ax_2 + by_1 + cz_1) - (a\bar{x} + b\bar{y} + c\bar{z})\}^2 + \ldots + \{(ax_2 + by_1 + cz_1) - (a\bar{x} + b\bar{y} + c\bar{z})\}^2$$

$$= \frac{1}{n-1}[\{a(x_1 - \bar{x}) + b(y_1 - \bar{y}) + c(z_1 - \bar{z})\}^2 + \ldots + \{a(x_n - \bar{x}) + b(y_n - \bar{y}) + c(z_n - \bar{z})\}^2] \tag{10}$$

$$S_u^2 = a^2 s_x^2 + b^2 s_y^2 + c^2 s_z^2 + 2ab\, s_{xy} + 2bc\, s_{yz} + 2ac\, s_{xz} + \lambda(a^2 + b^2 + c^2 - 1) \tag{11}$$

และใช้วิธี Lagrange's equations เข้าสมการจะได้

$$L = a^2 s_x^2 + b^2 s_y^2 + c^2 s_z^2 + 2ab s_{xy} + 2bc s_{yz} + 2ca s_{xz} + \lambda(a^2 + b^2 + c^2 - 1) \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial a} = 2a s_x^2 + 2b s_{xy} + 2c s_{xz} - 2\lambda \qquad a = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = 2a s_{xy} + 2b s_y^2 + 2c s_{xz} - 2\lambda \qquad b = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial L}{\partial c} = 2a s_{xy} + 2b s_{yz} + 2c s_z^2 - 2\lambda \qquad c = 0 \quad (15)$$

นำสมการข้างต้นมาจัดอยู่ในรูปเมตริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} s_x^2 & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{xy} & s_y^2 & s_{yz} \\ s_{xz} & s_{yz} & s_z^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad \text{... เมตริกซ์ที่ 1} \quad (16)$$

$$s\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (17)$$

ซึ่ง $\lambda$ คือค่า Eigen value ที่ต้องการทราบ และทำการการแก้เมตริกซ์ จะได้ค่า a, b , c ออกมา

$$s_u^2 = \begin{pmatrix} a & b & c \end{pmatrix}\begin{bmatrix} s_x^2 & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{xy} & s_y^2 & s_{yz} \\ s_{xz} & s_{yz} & s_z^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (18)$$

ดังนั้นจากสมการข้างต้นจะทำให้ทราบว่า $s_u^2 = \lambda$

หลังจากได้ค่า $\lambda$ แล้วทำการทำซ้ำกับเมตริกซ์ที่ 1 จะได้ค่า $\lambda$ ตัวอื่น ๆ ออกมา หลังจากนั้นทำการเรียงค่าของ $\lambda$ จากมากไปน้อยตามลำดับ $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq 0$

## 2.5 เทคนิคการประมวลผลภาพที่ใช้งานวิจัย

สีเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิต ซึ่งมนุษย์สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันและคงต้องยอมรับว่าสีเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สร้างความสะดุดตาแก่ผู้ที่ทำการพบเห็นวัตถุนั้น ๆ โดยใช้เป็นตัวที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุต่าง ๆ ได้ เช่น การแยกแยะแอปเปิ้ลสีแดงกับแอปเปิ้ลสีเขียวออกจากกัน หรือการสังเกตสีคล้ำที่เกิดขึ้นตามบริเวณเปลือกของแอปเปิ้ลที่เกิดการเน่าเสียเกิดขึ้น เป็นต้น

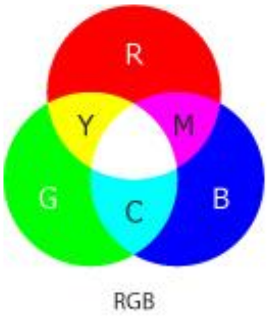
โดยทั่วไปสีในธรรมชาติและสีที่สร้างขึ้นจะมีรูปแบบการมองเห็นของสีที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบการมองเห็นสี ที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไปนั้นมีอยู่ด้วยกัน 4 ระบบ คือ

1. ระบบสีแบบ RGB ตามหลักการแสดงสีของเครื่องคอมพิวเตอร์
2. ระบบสีแบบ CMYK ตามหลักการแสดงสีของเครื่องพิมพ์
3. ระบบสีแบบ HSB ตามหลักการมองเห็นสีของสายตามนุษย์
4. ระบบสีแบบ Lab ตามมาตรฐานของ CIE ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ใด ๆ

### 2.5.1 ระบบสีแบบ RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึมจะเกิดแถบสีที่เรียกว่า สีรุ้ง (Spectrum) ซึ่งแยกสีตามที่สายตามองเห็นได้ 7 สี คือ แดง แสด เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม ม่วง ซึ่งเป็นพลังงานอยู่ในรูปของรังสีที่มีช่วงคลื่นที่สายตาสามารถมองเห็นได้และเมื่อศึกษาดูแล้วแสงสีทั้งหมดเกิดจากแสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) โดยทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสงในสัดส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกันเมื่อนำมาผสมกันทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นได้โดยปกติ และจุดที่สีทั้งสามสีรวมกันจะกลายเป็นสีขาว หรือถ้านำมาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ อีก 3 สี คือ

น้ำเงิน + เขียว = สีฟ้าอมเขียว (Cyan)
แดง + น้ำเงิน = สีม่วงแดง (Magenta)
แดง + เขียว = สีเหลือง (Yellow)




ภาพที่ 2.15 ระบบสี RGB

**2.5.2 ระบบสีแบบ CMYK**

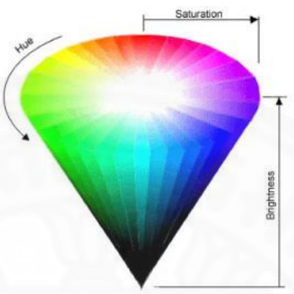
ระบบสี CMYK ประกอบด้วยสีพื้นฐาน คือ สีฟ้าอมเขียว (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และเมื่อนำสีทั้ง 3 สีมาผสมกันจะเกิดสีเป็นสีดำ (Black) แต่จะไม่ดำสนิท จึงต้องเพิ่มสีดำเข้ามาช่วยเราเรียกสีดำที่มาชดเชยนี้ว่า "Key color" หรือ K นั่นเองโดยหลักการเกิดสีของระบบนี้คือ สีหนึ่งจะดูดกลืนสีจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่าง ๆ เช่น สีฟ้าอมเขียวดูดกลืนสีม่วงแดงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลักของระบบ RGB การเกิดสีนี้ในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB

ภาพที่ 2.16 ระบบสี CMYK

**2.5.3 ระบบสีแบบ HSB**

เป็นระบบสีพื้นฐานในการมองเห็นสีด้วยสายตาของมนุษย์ ประกอบด้วยลักษณะของสี 3 ลักษณะ คือ Hue คือ สีต่าง ๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุเข้ามายังตาของเรา ทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ได้ ซึ่งมักจะเรียกสีตามชื่อสี เช่น สีเขียว สีเหลือง สีแดง เป็นต้น

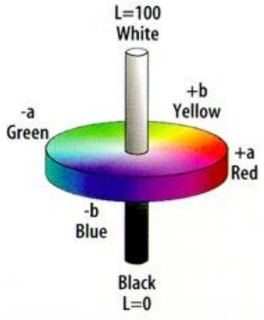
Saturation คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนด Saturation ที่ 0 สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสดมาก Brightness คือ ระดับความสว่างและความมืดของสี โดยค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 ความสว่างจะน้อยซึ่งจะเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสว่างมากที่สุด ยิ่งมีค่า Brightness มากจะทำให้สีนั้นสว่างมากขึ้น




ภาพที่ 2.17 ระบบสี HSB

### 2.5.4 ระบบสีแบบ Lab

ระบบสีแบบ Lab เป็นค่าสีที่สีมาตรฐานกลางของการวัดสีทุกรูปแบบ ครอบคลุมทุกสีใน RGB และ CMYK และใช้ได้กับสีที่เกิดจากอุปกรณ์ทุกอย่างไม่ว่าจะเป็นจอคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนและอื่น ๆ ส่วนประกอบของโหมดสีนี้ได้แก่ L หรือ Luminance เป็นการกำหนดความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 จะกลายเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 จะกลายเป็นสีขาว A เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง B เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปสีเหลือง

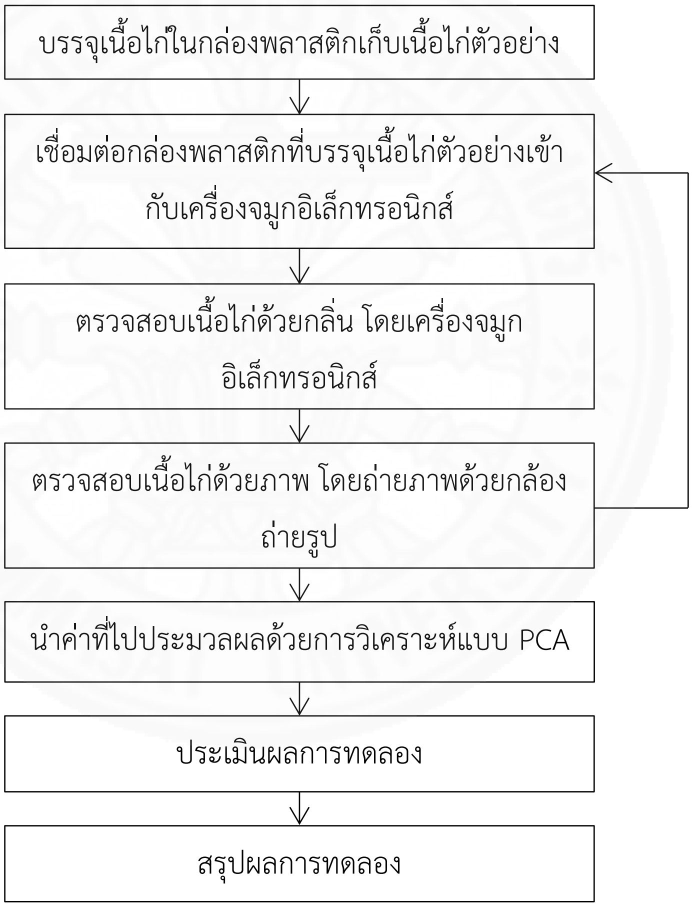



ภาพที่ 2.18 ระบบสี Lab

# บทที่ 3
# วิธีการวิจัย

## 3.1 ขั้นตอนวิธีในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยการวิเคราะห์ภาพและกลิ่น โดยมีกระบวนการศึกษาวิจัย ดังภาพที่ 3.1




ภาพที่ 3.1 กระบวนการศึกษาวิจัย

**3.1.1 เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

ชุดการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยกลิ่นและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยภาพ มีรายละเอียดดังนี้ เครื่องตรวจวัดกลิ่นโดยใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (E-nose), กล่องพลาสติกขนาด 5.1x24.2x7.5 เซนติเมตร, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (โปรแกรม Arduino), กล้องถ่ายรูป Canon power shot G16, เครื่องวัดแสง SWE 2330 LX

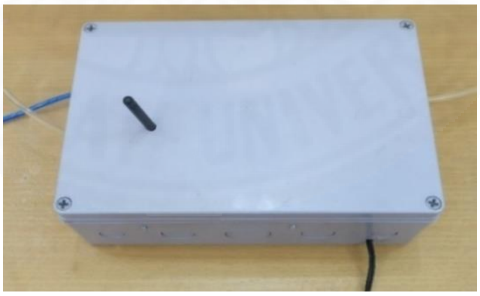
**3.1.2 กระบวนการทดลอง**

เนื้อไก่ที่นำมาใช้ในการทดลองได้ทำการซื้อมาจากห้างสรรพสินค้า เพื่อมาใช้ในการทดลองจำนวน 3 ชิ้น ตลอดเวลาที่ใช้ในการทดลองและถูกจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ตั้งแต่การเก็บรักษาจนถึงทำการทดลองเสร็จ

## 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

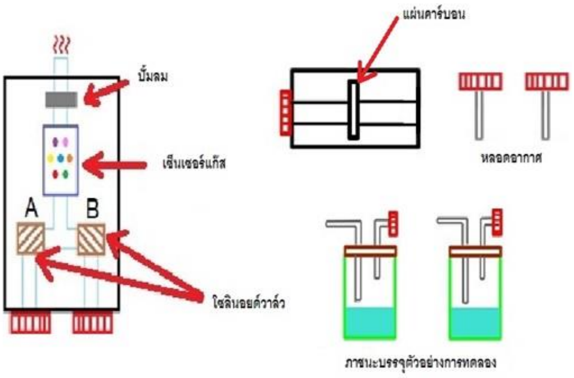
ชุดการทดลองประกอบด้วย อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยกลิ่นและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยภาพ มีรายละเอียดดังนี้

**3.2.1 เครื่องตรวจวัดกลิ่นโดยใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (E-nose)**



ภาพที่ 3.2 เครื่องตรวจวัดกลิ่นโดยใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์

Ref. code: 25626010110028OTE




ภาพที่ 3.3 ลักษณะของเครื่องตรวจวัดกลิ่นและอุปกรณ์ต่าง ๆ

เครื่องตรวจวัดกลิ่นจะมีระบบการทำงานเริ่มต้นด้วยโซลินอยด์วาล์วซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลของกลิ่นที่รับจากภายนอกและส่งต่อไปยังกล่องที่บรรจุเซ็นเซอร์วัดกลิ่นที่บรรจุเซ็นเซอร์ไว้ทั้งหมด 7 ตัว โดยแต่ละตัวจะมีความสามารถในการรับกลิ่นหรือมีค่าความไวในการตอบสนองของกลิ่นที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งจะครอบคลุมในการตรวจวัดกลิ่นต่าง ๆ รวมถึงรองรับการตรวจจัดแก๊สที่เกิดจากการเน่าเสียที่ออกมาจากเนื้อไก่ โดยการที่มีเซ็นเซอร์วัดกลิ่นบรรจุไว้ภายในเครื่องหลายตัวเพื่อเป็นการสร้างลักษณะจำเพาะของกลิ่นแต่ละกลิ่น

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเซ็นเซอร์แก๊สที่บรรจุภายในเครื่องตรวจวัดกลิ่น

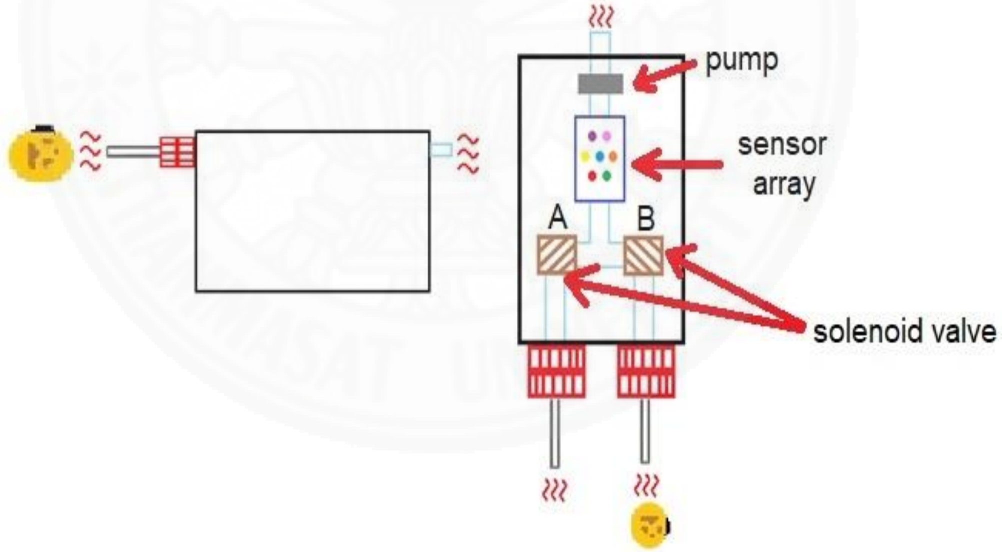
| ลำดับ | ชื่อแก๊สเซนเซอร์ | รายละเอียด |
|---|---|---|
| 1 | TGS825 | มีความไวสูงต่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) |
| 2 | TGS826 | มีความไวสูงต่อแก๊สแอมโมเนีย ($NH_3$) |
| 3 | TGS2600 | มีความไวสูงต่อ Air Contaminant |
| 4 | TGS2602 | มีความไวสูงต่อ Air Contaminants |
| 5 | TGS2610 | มีความไวสูงต่อ LP Gas |
| 6 | TGS2612 | มีความไวสูงต่อแก๊สมีเทน และ LP Gas |
| 7 | TGS2620 | มีความไวสูงต่อไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์รวมทั้งไอระเหยอื่น ๆ |

หลังจากนั้นกลิ่นที่ทำการทดลองจะไหลออกไปสู่ปั๊มลมที่มีหน้าที่ในการดูดกลิ่นจากภายนอกเครื่องและไหลออกจากเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยโซลินอยด์วาล์วและเซ็นเซอร์

ทั้งหมดจะถูกควบคุมการทำงานด้วย Arduino ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ชนิดหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ซึ่งหลักการทำงานของเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 การทำงานแบบระบบเปิด

หลักการทำงาน คือ นำอุปกรณ์เสริมที่เป็นหลอดอากาศมาต่อเข้ากับตัวเครื่อง และนำตัวอย่างการทดลองที่ต้องการตรวจวัดมาวางไว้ที่บริเวณปากหลอดอากาศ ปั๊มลมจะดูดอากาศจากภายใน เพื่อนำกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ต้องการทดลองเข้าสู่ระบบโดยในครั้งแรกจะเข้าสู่ระบบในช่องทาง A ซึ่งเป็นช่องที่รับกลิ่นของอากาศปกติเข้าไปภายในตัวเครื่อง หลังจากนั้นโซลินอยด์วาล์วจะสลับการทำงานจาก A ไปสู่ B ซึ่งเป็นช่องที่รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง (A ปิด B เปิด) เมื่อเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 240 วินาที อากาศที่เข้าสู่โซลินอยด์วาล์วไปแล้วจะเข้าสู่กล่องเก็บเซ็นเซอร์ และไหลออกจากตัวเครื่องทางปั๊มลม โดยที่ในการทดลองนี้จะใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 600 วินาที โดยมีโครงสร้างทำงานแบบระบบเปิดดังแสดงในภาพที่ 3.4 ซึ่งการทำงานด้วยระบบเปิดจะมีข้อดีคือสามารถนำไปตรวจวัดค่ากลิ่นที่ไหนก็ได้ แต่จะมีข้อเสียคือจะมีความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดค่ากลิ่นเนื่องจากอาจจะมีกลิ่นอย่างอื่นรบกวนในการวัดค่า

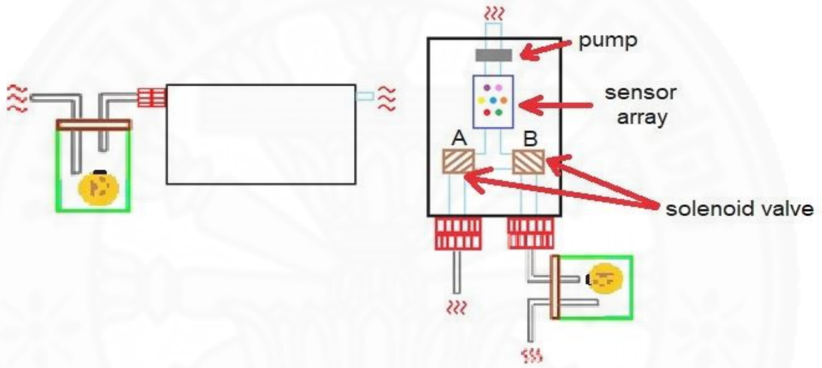



ภาพที่ 3.4 ระบบการทำงานทางกายภาพระบบเปิด

แบบที่ 2 การทำงานแบบระบบปิด

หลักการทำงาน คือนำอุปกรณ์เสริมที่เป็นขวดบรรจุสารตัวอย่างต่อเข้ากับตัวเครื่อง จากนั้นนำเนื้อไก่ตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดมาใส่ในขวดบรรจุสารตัวอย่าง ปั๊มลมจะดูดอากาศจากภายใน เพื่อนำกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ต้องการทดลองเข้าสู่ระบบโดยในครั้งแรกจะเข้าสู่

ระบบในช่องทาง A ซึ่งเป็นช่องที่รับกลิ่นของอากาศปกติเข้าไปภายในตัวเครื่องหลังจากนั้นโซลินอยด์วาล์วจะสลับการทำงานจาก A ไปสู่ B ซึ่งเป็นช่องที่รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง (A ปิด B เปิด) เมื่อเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 240 วินาที อากาศที่เข้าสู่โซลินอยด์วาล์วไปแล้วจะเข้าสู่กล่องเก็บเซ็นเซอร์และไหลออกจากตัวเครื่องทางปั๊มลม โดยที่ในการทดลองนี้จะใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 600 วินาที โดยมีโครงสร้างทำงานแบบระบบเปิดดังแสดงในภาพที่ 3.5 ซึ่งการทำงานด้วยระบบปิดจะมีข้อดีคือ สามารถวัดค่ากลิ่นของตัวอย่างในการทดลองได้แม่นยำ แต่จะมีข้อเสียจะมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของตัวอย่างในการทดลองที่จะนำเข้าสู่ขวดการทดลอง




ภาพที่ 3.5 ระบบการทำงานทางกายภาพระบบปิด

**3.2.2 กล่องพลาสติกขนาด 5.1x24.2x7.5 เซนติเมตร ที่สามารถบรรจุเนื้อไก่ตัวอย่างลงไปได้** (ภาพที่ 3.6)

ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์สำหรับเก็บเนื้อไก่ตัวอย่าง

**3.2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (โปรแกรม Arduino)**

ที่ใช้รับค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์จากเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ บันทึกข้อมูล และทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการจำแนกกลิ่นของเนื้อไก่

**3.2.4 กล้องถ่ายรูป  Canon Power Shot G16**

โดยมีสเปคกล้อง ดังนี้ ค่าสมดุลแสงขาว 1/400, รูรับแสง f/2.2, ความไวแสง ISO 200, สัดส่วนภาพนิ่ง 12M 4000x3000 (ภาพที่ 3.7)

ภาพที่ 3.7 กล้องถ่ายรูป Canon power shot G16

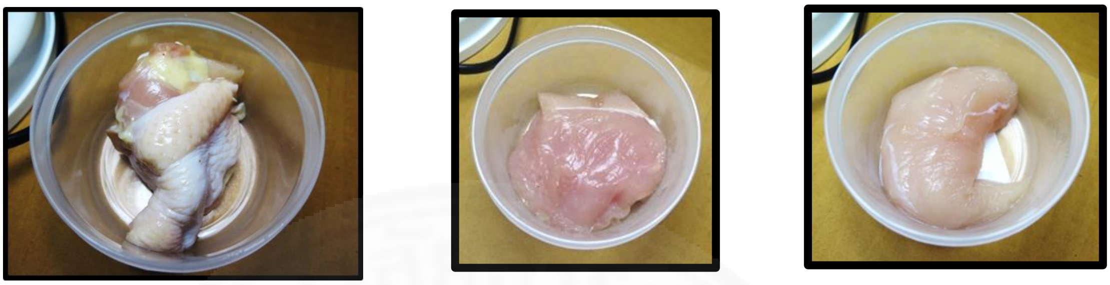
**3.2.5 เครื่องวัดแสง SWE 2330 LX** (ภาพที่ 3.8)

โดยทำการควบคุมความเข้มแสงอยู่ที่ 4390 lux

ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดแสง SWE 2330 LX

### 3.2.6 เนื้อไก่ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

มีทั้งหมด 3 ชนิด คือเนื้อไก่ปีกบน, เนื้ออกไก่, และเนื้อสันในไก่ (ภาพที่ 3.9-3.10)



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างการเก็บรูปเนื้อไก่ตัวอย่างเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างรูปภาพที่จะนำไปใช้ในการแยกเฉดสีระบบ RGB

## 3.3 กระบวนการทดลอง

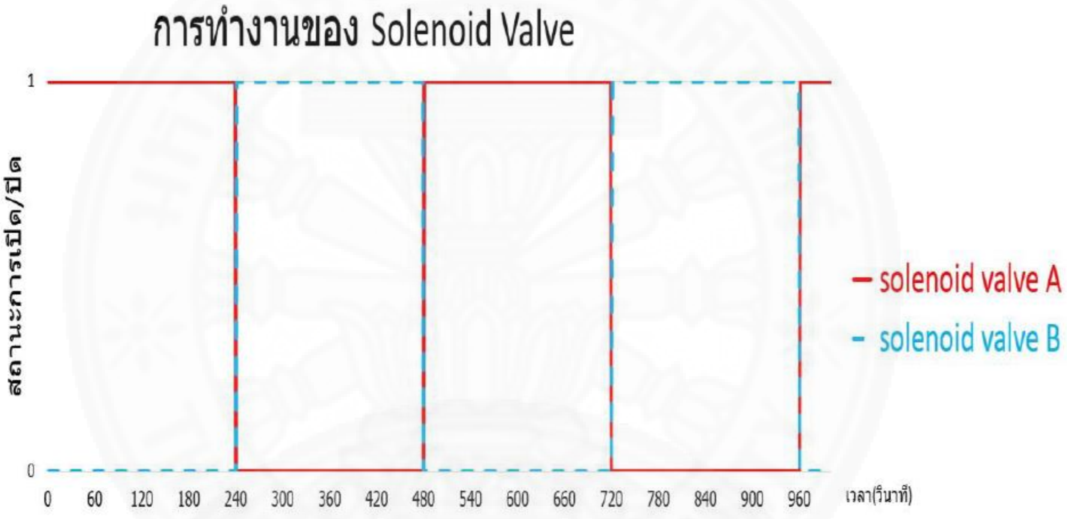
เนื้อไก่ที่นำมาใช้ในการทดลองได้ทำการซื้อมาจากห้างสรรพสินค้า เพื่อมาใช้ในการทดลองจำนวน 3 ชิ้น ขนาดชิ้นละ 0.264, 0.304 และ 0.180 กิโลกรัม เนื้อไก่แต่ละชิ้นจะถูกแบ่งออกเป็นจำนวน 3 ชิ้นขนาดเท่า ๆ กัน คือขนาด 0.04 กิโลกรัม และถูกบรรจุไว้ในกล่องพลาสติก 1 กล่องต่อ 1 ชิ้นย่อย ดังภาพที่ 3.6 ตลอดเวลาที่ใช้ในการทดลองและถูกจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ตั้งแต่การเก็บรักษาจนถึงทำการทดลองเสร็จ

### 3.3.1 การตรวจสอบเครื่องตรวจวัดกลิ่น

การตรวจสอบเครื่องตรวจวัดกลิ่นจะทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานต่าง ๆ ที่อยาอยาภายในวงจร

#### 3.3.1.1 ทดสอบการควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

จากการทดสอบพบว่าโปรแกรมที่ตั้งค่าไว้สามารถควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วให้สามารถเปิดหรือปิดการไหลของอาหารได้ตามเวลาที่กำหนดภายในโปรแกรมได้อย่างแม่นยำ

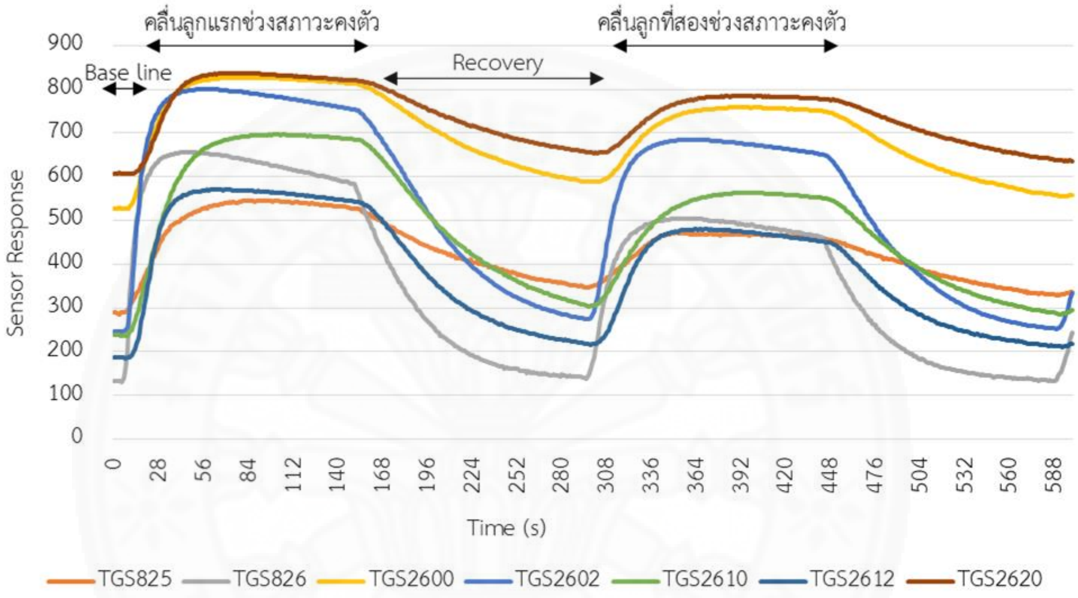



ภาพที่ 3.11 การทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยจะเป็นการทำงานสลับกันระหว่างโซลินอยด์วาล์ว A และโซลินอยด์วาล์ว B ซึ่งทำงานสลับกันทุก ๆ 240 วินาที

### 3.3.2 การตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยกลิ่น

การตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยกลิ่น จะใช้เครื่องตรวจวัดกลิ่นมาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ค่าการรับกลิ่น เนื่องจากภายในของเครื่องตรวจวัดกลิ่นจะบรรจุเซ็นเซอร์แก๊สชนิดต่าง ๆ เอาไว้เพื่อรับกลิ่น และแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลต่อไป โดยการทดลองการรับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งเครื่องจะทำการรับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างสลับกับกลิ่นของอากาศปกติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างหรือความเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเนื้อไก่ตัวอย่าง โดยจะทำการทดลองแบบระบบปิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอ่านค่าของเครื่อง

ตรวจวัดกลิ่น โดยการเปิดช่องทางการรับกลิ่นของเครื่องฝั่งอากาศปกติเป็นเวลา 240 วินาที และทำการสลับช่องทางการรับกลิ่นของเครื่องเป็นฝั่งของเนื้อไก่ที่นำมาทดลองเป็นเวลา 240 วินาที ทำสลับวนกันไปเรื่อย ๆ เป็นระยะเวลา 600 วินาที จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปบันทึกลงในคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปจัดกลุ่มด้วยการใช้วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก




ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการรับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างโดยใช้เครื่องตรวจวัดกลิ่น

จากภาพที่ 3.12 ลักษณะผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการรับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างโดยใช้เครื่องตรวจวัดกลิ่น โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ช่วง Baseline เป็นช่วงที่เครื่องทำการรับกลิ่นของอากาศเข้ามาเพื่อเตรียมพร้อมการใช้งานวัดกลิ่นของตัวอย่างการทดลอง ช่วงสภาวะคงตัว (Steady state) เป็นช่วงที่เครื่องทำการรับกลิ่นของตัวอย่างการทดลองแล้วค่ากลิ่นที่วัดมีลักษณะกลิ่นที่แตกต่างไปจากกลิ่นของอากาศปกติ และช่วงสุดท้ายคือช่วง Recovery คือช่วงที่เครื่องทำการรับกลิ่นของอากาศปกติเพื่อทำการปรับสภาพของเซ็นเซอร์ให้มีลักษณะปกติก่อนที่จะทำการวัดกลิ่นของตัวอย่างในการทดลองต่อไป

ซึ่งผลที่จะนำไปใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะต้องถูกปรับบรรทัดฐานของผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่น โดยการปรับบรรทัดฐานคำนวณได้จาก

$$X_n = Max(S_1 - B) + Max(S_2 - R) \tag{19}$$

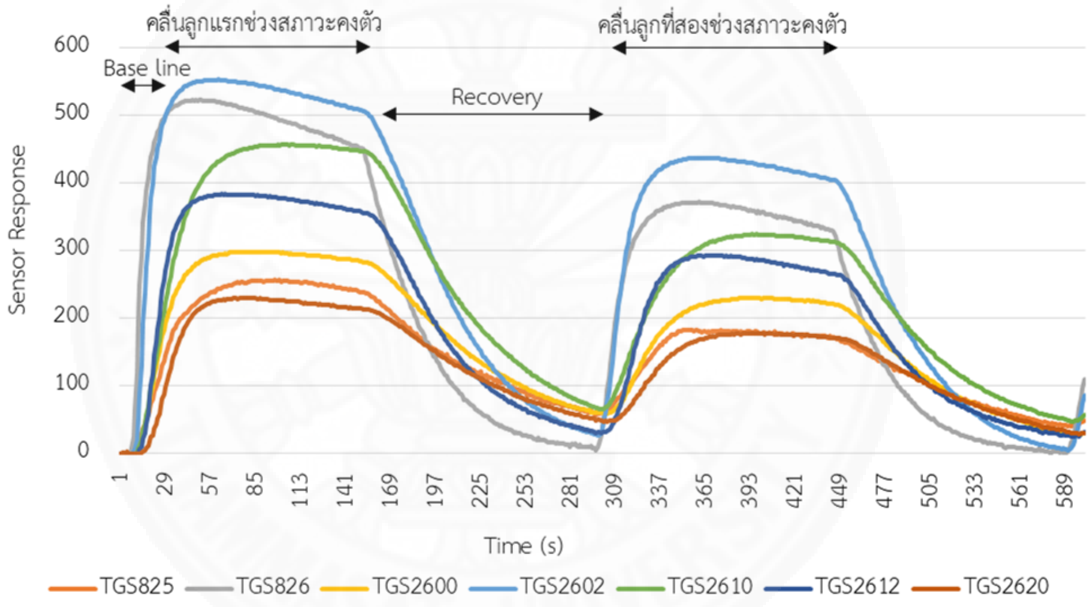
$X_n$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นหลังปรับบรรทัดฐาน

$S_1$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกแรกช่วงสภาวะคงตัว

B = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Base Line

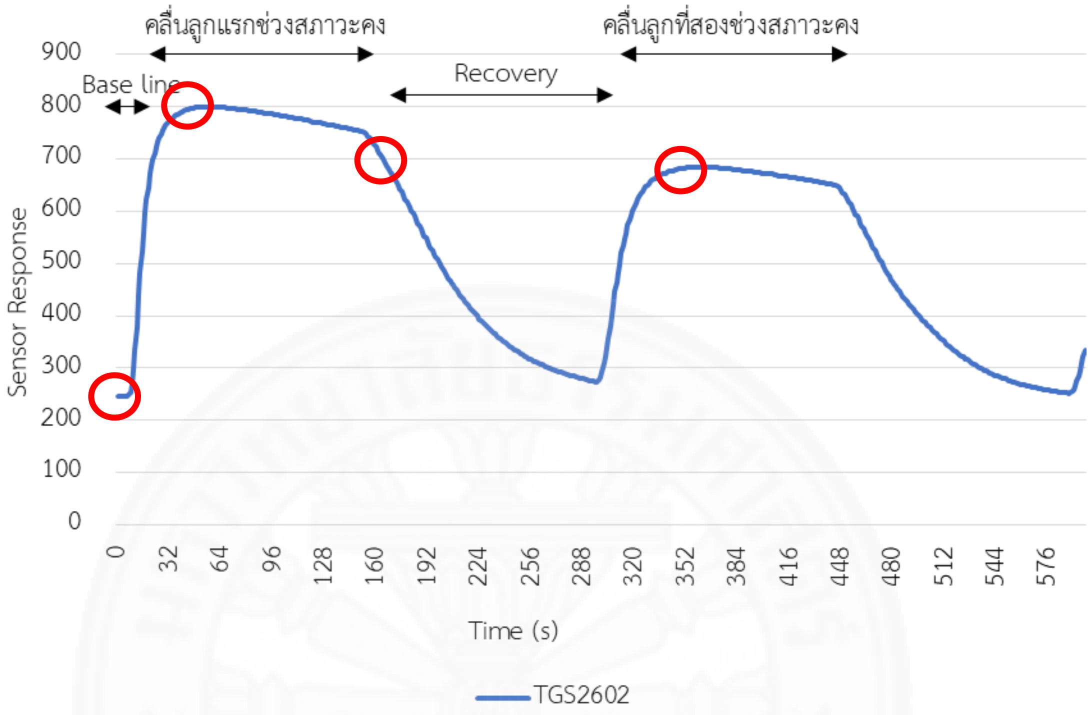
$S_2$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกที่สองช่วงสภาวะคงตัว

R = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Recovery




ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการปรับบรรทัดฐานกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 3.1 การปรับบรรทัดฐานของผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง




ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการรับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างโดยใช้เครื่องตรวจวัดกลิ่น

จากภาพที่ 3.14 จะสามารถปรับบรรทัดฐานโดยคำนวณดังนี้

$S_1$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกแรกช่วงสภาวะคงตัว = ค่าที่อยู่ในช่วงค่าตอบสนองที่ 750–800

$S_2$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกที่สองช่วงสภาวะคงตัว = ค่าที่อยู่ในช่วงค่าตอบสนองที่ 650-700

B = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Base Line = 250

R = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Recovery = 690

จากสมการ $X_n = \mathrm{Max}(S_1 - B) + \mathrm{Max}(S_2 - R)$

$X_n$ = Max (800-250) + Max (700-690)

$X_n$ = 550 + 10

$X_n$ = 560

ดังนั้น ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการปรับบรรทัดฐานกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างจุดหนึ่งของเซ็นเซอร์ตอบสนอง TGS2602 เท่ากับ 560

จากภาพที่ 3.13 เป็นตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการปรับบรรทัดฐานกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง เพื่อนำผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการปรับบรรทัดฐานกลิ่นที่ได้ไปจำแนกกลุ่มต่อไป โดยค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ในช่วงค่าสูงสุดของคลื่นลูกแรกช่วงสภาวะคงตัวของกราฟลบกับค่าต่ำสุดของช่วง Baseline และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยกับค่าสูงสุดของคลื่นลูกที่สองช่วงสภาวะคงตัวของกราฟลบกับค่าต่ำสุดของช่วง Recovery ดังสมการที่ (20)

$$P_n = \overline{X}((Max(S_1) - Min(B)) + (Max(S_2) - Min(R))) \quad (20)$$

$P_n$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

n = จำนวนเซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 – 7

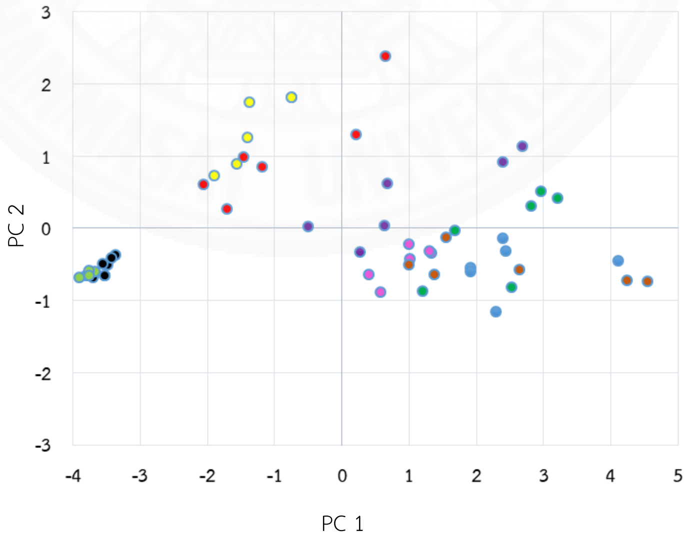
$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในคลื่นลูกแรกและคลื่นลูกที่สอง

$S_1$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกแรกช่วงสภาวะคงตัว

B = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Base Line

$S_2$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกที่สองช่วงสภาวะคงตัว

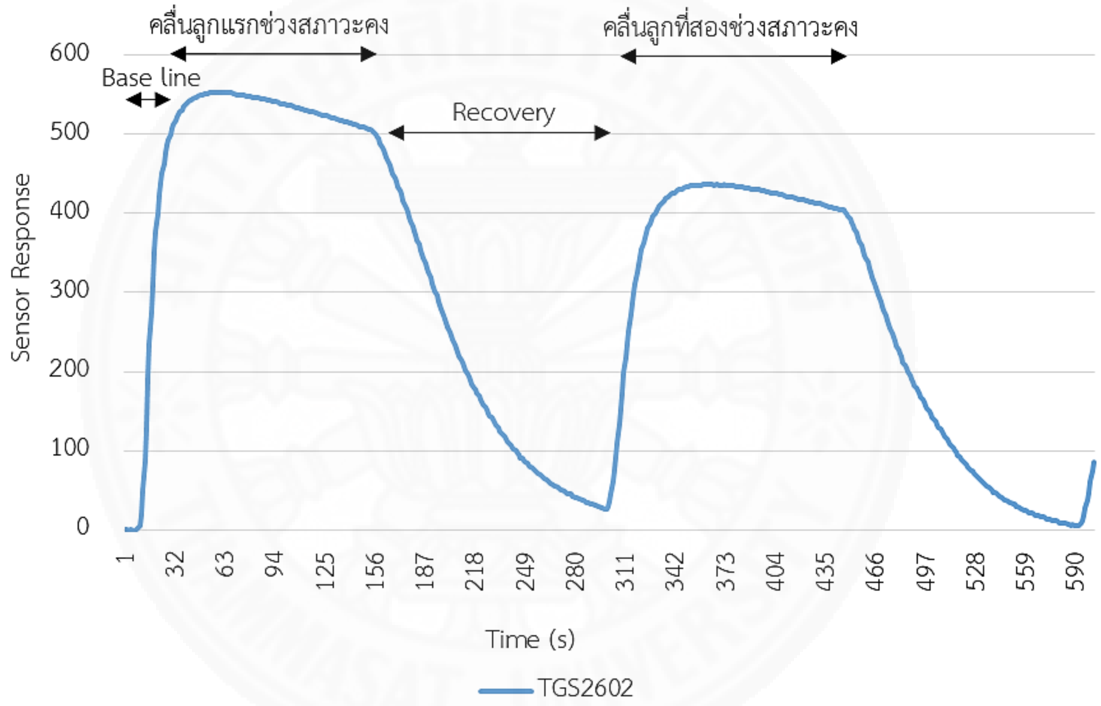
R = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Recovery




ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างผลที่ได้จากค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มาใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่าง

จากภาพที่ 3.15 เป็นตัวอย่างผลการนำเอาค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ทำการวัดกลิ่นของตัวอย่างในการทดลองมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อนำผลที่ได้ไปจำแนกกลุ่มต่อไป โดยค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ในช่วงค่าสูงสุดของคลื่นลูกแรกช่วงสภาวะคงตัวของกราฟลบกับค่าต่ำสุดของช่วง Baseline และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยกับค่าสูงสุดของคลื่นลูกที่สองช่วงสภาวะคงตัวของกราฟลบกับค่าต่ำสุดของช่วง Recovery

ตัวอย่างที่ 3.2 ผลการนำค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก




ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเมื่อทำการปรับบรรทัดฐานกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง

จากภาพที่ 3.16 จะสามารถคำนวณค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มาใช้วิธีการองค์ประกอบหลักดังนี้

$S_1$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกแรกช่วงสภาวะคงตัว = 500-550

B = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Base Line = 0

$S_2$ = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในคลื่นลูกที่สองช่วงสภาวะคงตัว = 400-430

R = ค่าเซ็นเซอร์รับกลิ่นในช่วง Recovery = 30-490

n = จำนวนเซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 – 7

จากสมการ

$$P_n = \overline{X}((Max(S_1) - Min(B)) + \overline{X}(Max(S_2) - Min(R)))$$

$$P_1 = \overline{X}((550-0) + (430-30))$$

$$P_1 = \overline{X}(550 + 400)$$

$$P_1 = -5.07$$

ดังนั้น ผลการคำนวณค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มาใช้วิเคราะห์การองค์ประกอบหลักของเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 เท่ากับ -5.06658

ซึ่งเมื่อทำการคำนวณครบทุกเซ็นเซอร์และทุกชั่วโมงในการทดลองแล้ว จะได้ข้อมูลในรูปแบบเมตริกซ์ ดังนี้

$$P1 = [-5.07 \quad -0.84 \quad 0.79 \quad -0.04 \quad 0.35 \quad 0.13 \quad 0.07]$$

และนำค่าที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรม Matlab โดยใช้คำสั่งสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และนำกราฟที่ได้มาทำการจำแนกกลุ่มต่อไป

### 3.3.3 การตรวจสอบเนื้อไก่โดยภาพ

การตรวจสอบเนื้อไก่ด้วยภาพ จะทำการทดลองโดยการใช้กล้องมาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพเพื่อนำภาพที่ได้ไปทำการทดลองหาค่าสี RGB เนื่องจากเป็นระบบสีที่มีความง่ายและรู้จักกันโดยทั่วไปและแยกสีแต่ละสีได้อย่างชัดเจนตามแม่สีพื้นฐาน โดยการนำภาพที่ได้จากการถ่ายไปตัดภาพให้เหลือแต่เนื้อไก่ตัวอย่าง โดยใช้วิธีการตัดภาพให้เหลือแต่ภาพเนื้อไก่อย่างเดียวและทำการตัดพื้นหลังออกให้หมดและบันทึกภาพเป็นไฟล์ตระกูล PNG เพื่อทำให้พื้นหลังที่ทำการตัดออกเป็นสีใส

ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างรูปภาพที่จะนำไปใช้ในการแยกเฉดสีระบบ RGB

และนำภาพที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรม Matlab โดยใช้คำสั่งสำหรับการวิเคราะห์ RGB ของสี และนำค่าสี RGB ไปใช้ในการจำแนกสภาพของเนื้อไก่ตัวอย่างในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยค่าสีของแต่ละสีคำนวณได้จาก

$$\overline{R_n} = \frac{\sum R_n}{A} \tag{21}$$

$$\overline{G_n} = \frac{\sum G_n}{A} \tag{22}$$

$$\overline{B_n} = \frac{\sum B_n}{A} \tag{23}$$

$\overline{R_n}$ = ค่าเฉลี่ยค่าสีแดงของเนื้อไก่ตัวอย่างในแต่ละชั่วโมง

$\overline{G_n}$ = ค่าสีแดงของเนื้อไก่ตัวอย่างในแต่ละชั่วโมง

$\overline{B_n}$ = ค่าเฉลี่ยค่าสีเขียวของเนื้อไก่ตัวอย่างในแต่ละชั่วโมง

$R_n$ = ค่าสีแดงของเนื้อไก่ตัวอย่างในแต่ละชั่วโมง

$G_n$ = ค่าสีเขียวของเนื้อไก่ตัวอย่างในแต่ละชั่วโมง

$B_n$ = ค่าสีน้ำเงินของเนื้อไก่ตัวอย่างในแต่ละชั่วโมง

A = พื้นที่ของเนื้อไก่ตัวอย่าง

n = ชั่วโมงที่ทำการทดลองตั้งแต่ 0 ถึง 48

Ref. code: 25626010110028OTE

โดยการเก็บบันทึกภาพเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์จะต้องทำการถ่ายภาพในสถานที่เดียวกันตลอดเวลา และต้องทำการควบคุมความสว่างของแสงโดยการใช้เครื่องวัดแสงตลอดระยะเวลาในการถ่ายภาพ เพื่อให้เกิดความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลน้อยที่สุดโดยเนื้อไก่ตัวอย่างหนึ่งผลจะต้องทำการถ่ายภาพทั้งหมด 3 ภาพต่อ 1 ชิ้น เพื่อให้ครอบคลุมทั้งเนื้อไก่และนำภาพที่ได้ไปบันทึกประจำวันไว้ และนำภาพที่บันทึกไว้ไปทำการอ่านค่าสีของเนื้อไก่แต่ละชิ้นและนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อนำไปทำเป็นกราฟและแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของเนื้อไก่ เมื่อเนื้อไก่มีลักษณะปกติกับลักษณะการเน่าเสียจะมีค่าสีที่ต่างกันหรือการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเป็นยังไง

ตัวอย่างที่ 3.3 ผลการคำนวณค่าสีของแต่ละสีของเนื้อไก่ตัวอย่าง

จากภาพที่ 3.17 จะสามารถคำนวณค่าสีของเนื้อไก่ตัวอย่างได้ดังนี้

$R_n$ = ค่าสีแดงของเนื้อไก่ตัวอย่างในแต่ละชั่วโมง = 196.5564

A = พื้นที่ของเนื้อไก่ตัวอย่าง = 6.02

n = ชั่วโมงที่ทำการทดลองตั้งแต่ 0 ถึง 48 = 3

จากสมการ

$$\overline{R_n} = \frac{\sum R_n}{A}$$

$$\overline{R_3} = \frac{196.5564}{6.02}$$

$$\overline{R_3} = 32.6452$$

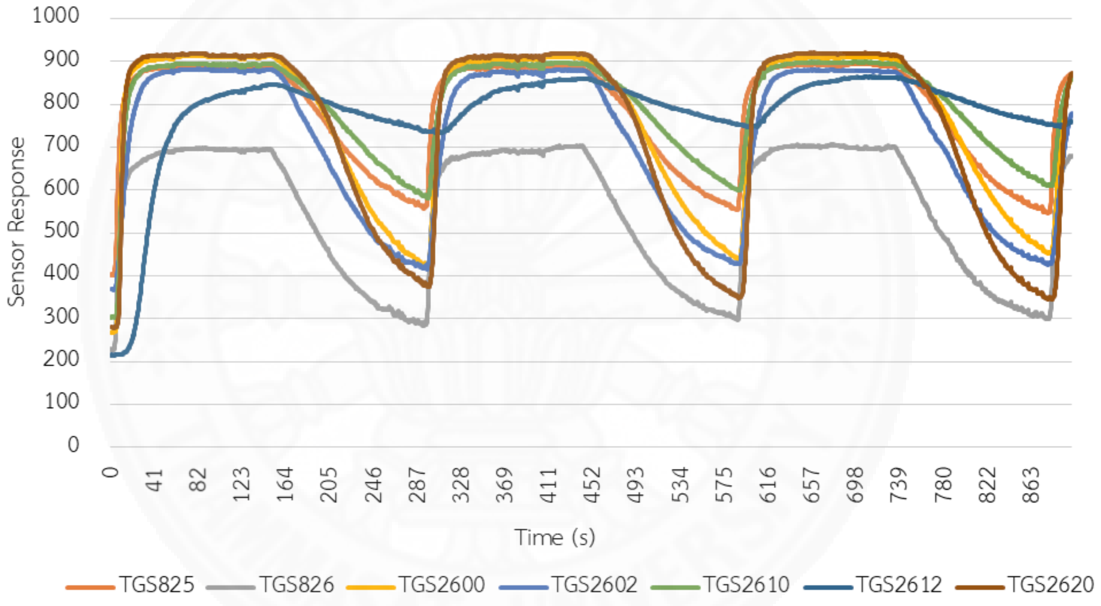
ดังนั้น ค่าสีแดงของเนื้อไก่ตัวอย่างในชั่วโมงที่ 3 ของเนื้อไก่ตัวอย่าง เท่ากับ 32.6452

Ref. code: 25626010110028OTE

# บทที่ 4
# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

## 4.1 ผลการทดสอบเครื่องตรวจวัดกลิ่น

จากวิธีการทดสอบในหัวข้อที่ 3.3.1 พบว่าผลการทดสอบเครื่องตรวจวัดกลิ่น เพื่อตรวจสอบการทำงานของเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยทำการรับกลิ่นจากแอลกอฮอล์กับอากาศในการทำงานระบบเปิดและระบบปิด

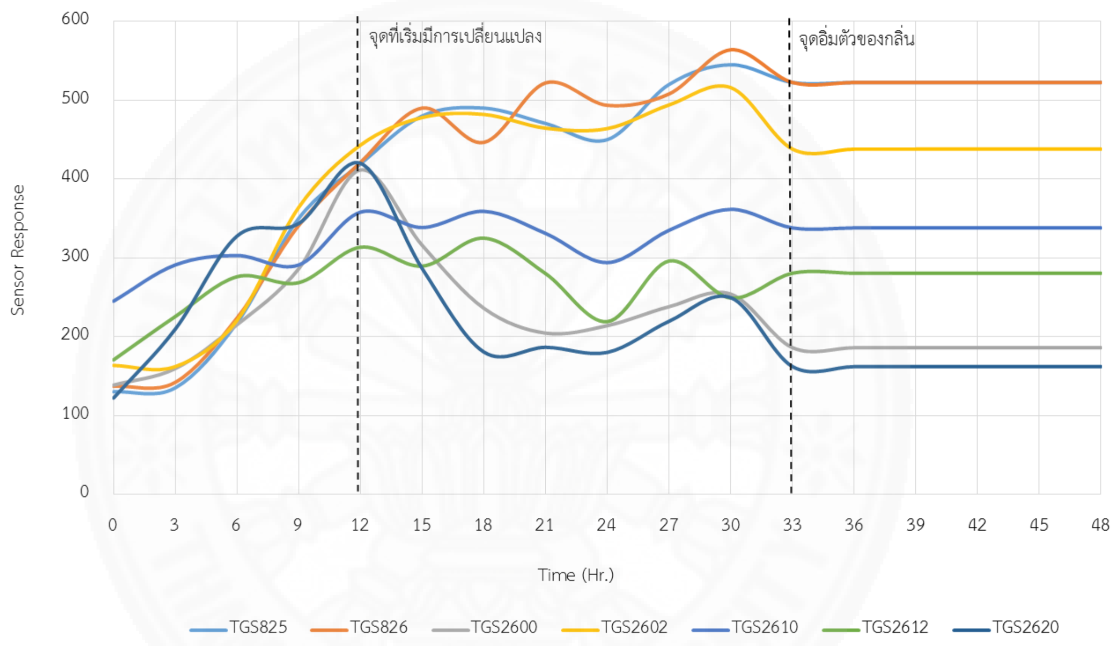



ภาพที่ 4.1 ผลการทำงานของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของแอลกอฮอล์สลับกับอากาศทุก ๆ 120 วินาที

จากภาพที่ 4.1 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ทำการตรวจวัดกลิ่นของอากาศปกติสลับกับกลิ่นของแอลกอฮอล์ในระบบการทำงานแบบระบบปิด เพื่อตรวจสอบการทำงานของเซ็นเซอร์และดูลักษณะของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์เมื่อทำงานในระบบปิด ซึ่งสัญญาณที่วัดได้จะมีค่าความเสถียรเหมาะกับการนำค่าที่วัดได้ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

## 4.2 ผลการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยกลิ่น

ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ชนิดที่บรรจุอยู่ในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถตอบสนองต่อกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีระดับความเสื่อมสภาพแตกต่างกัน โดยจะมีลักษณะของเส้นกราฟและค่าตอบสนองที่แตกต่างกันตามระดับความเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ตัวอย่าง โดยมีตัวอย่างผลการทดลองดังภาพที่ 4.2



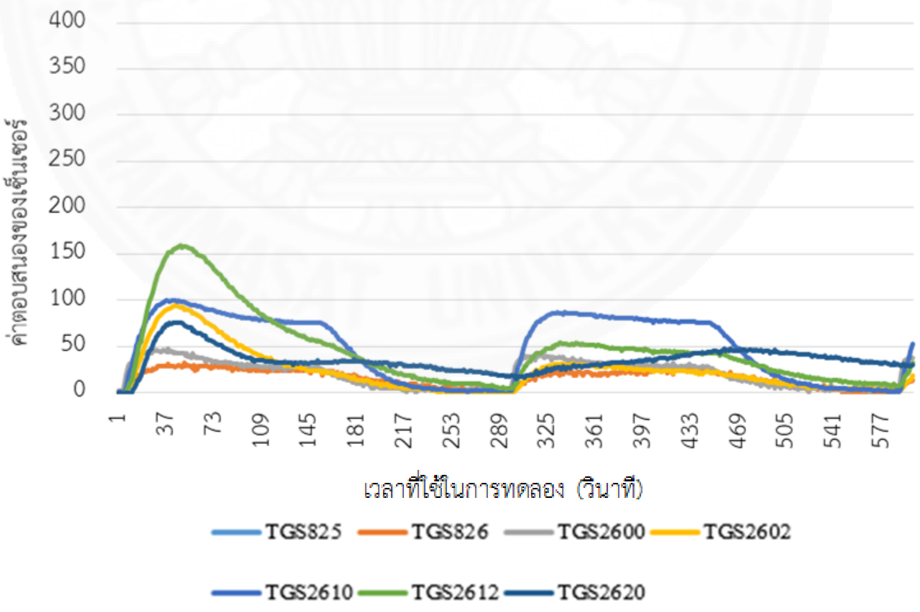

ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองเนื้อไก่ตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.2 แสดงถึงผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์แก๊สทั้ง 7 ชนิดที่บรรจุอยู่ในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถตอบสนองต่อกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีระดับความเสื่อมสภาพที่แตกต่างกัน โดยจะมีลักษณะของเส้นกราฟและค่าตอบสนองที่แตกต่างกัน ถ้าเนื้อไก่ตัวอย่างมีลักษณะทางกายภาพปกติไม่เกิดการเสื่อมสภาพ เมื่อนำค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์วัดกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับอากาศปกติจะพบว่ากราฟระหว่างค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์วัดกลิ่นกับค่าการตอบสนองของอากาศปกติไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเนื้อไก่ตัวอย่างเกิดการแปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือมีการเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น เนื้อไก่ที่มีการเสื่อมสภาพจะเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งเซ็นเซอร์ที่ตรวจจับแก๊สทั้งสองชนิดจะได้แก่ TGS825, TGS826 และ TGS2602 ซึ่งจากผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์จะพบว่าในชั่วโมงที่ 12 ซึ่งเป็นจุดเริ่ม

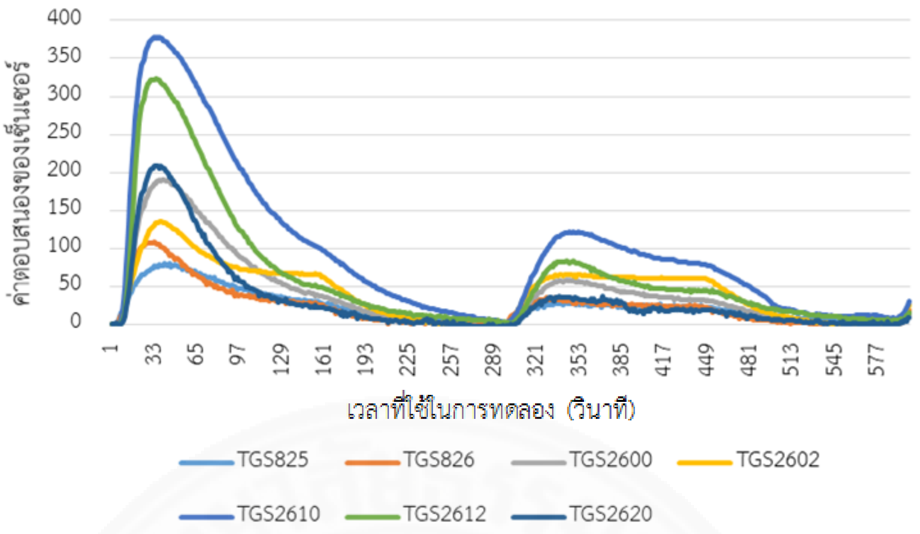
มีการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง เนื้อไก่ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นเล็กน้อย ทำให้กราฟและค่าตอบสนองเกิดความแตกต่างกันระหว่างค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างกับค่าตอบสนองของอากาศปกติ และในชั่วโมงที่ 33 ซึ่งเป็นจุดอิ่มตัวของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่าง พบว่าความแตกต่างของกราฟและค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ถึงจุดอิ่มตัวของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนีย

### 4.2.1 ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ได้จากเนื้อไก่ปีกบนโดยเทคโนโลยีมูกอิเล็กทรอนิกส์

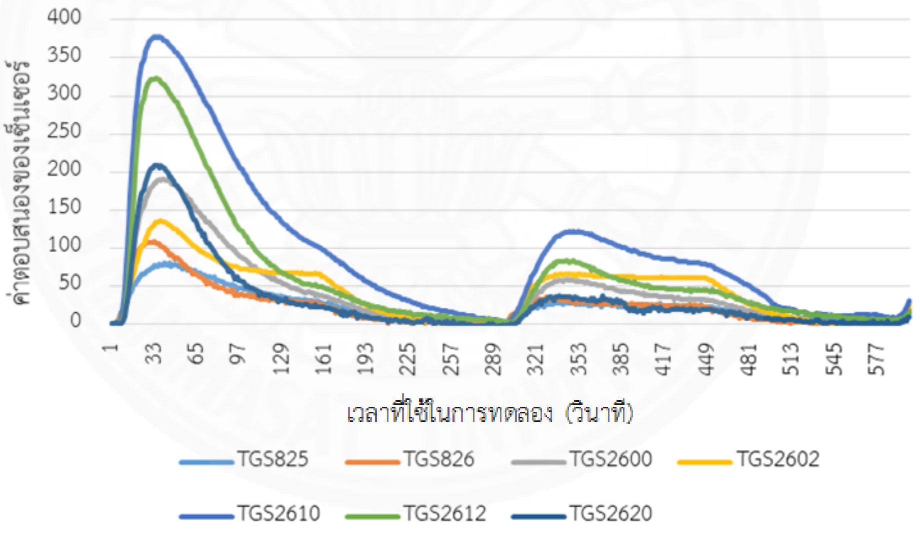
ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ชนิดที่บรรจุอยู่ในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถตอบสนองต่อกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบนที่มีระดับความเสื่อมสภาพแตกต่างกันตามระยะเวลาในการทดลอง โดยจะมีลักษณะของเส้นกราฟและค่าตอบสนองที่แตกต่างกันตามระดับความเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบน โดยมีตัวอย่างผลการทดลองดังภาพที่ 4.3



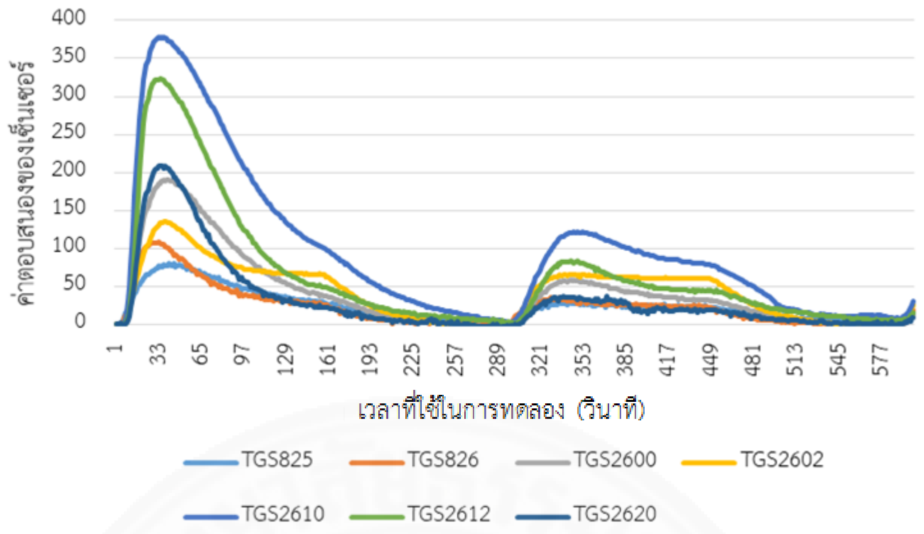

(กก.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 0



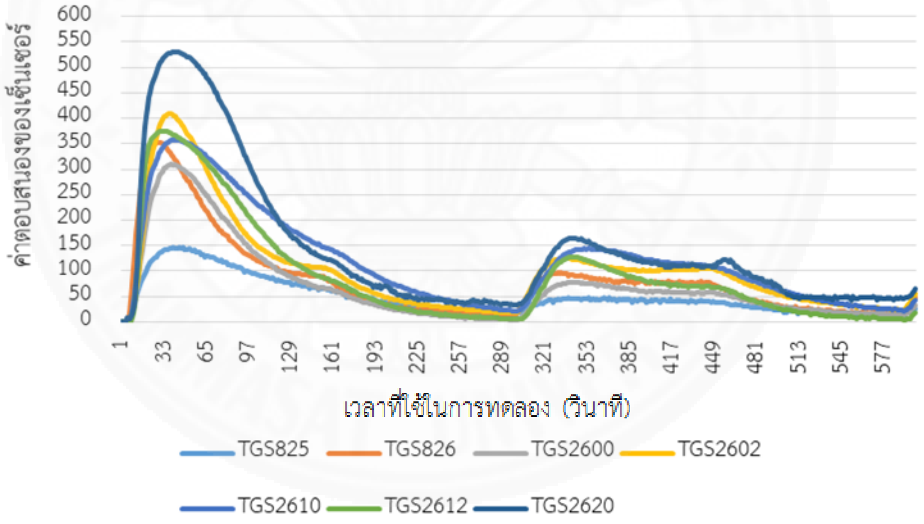

(กข.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 3



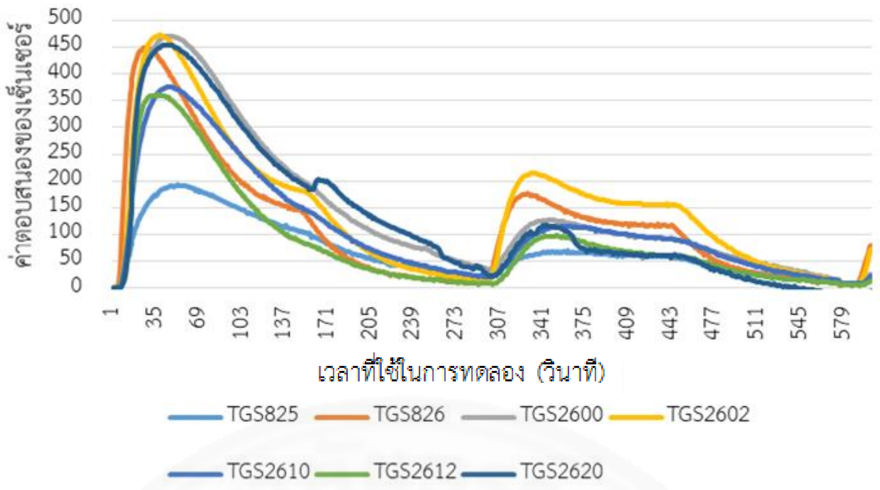

(กค.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 6



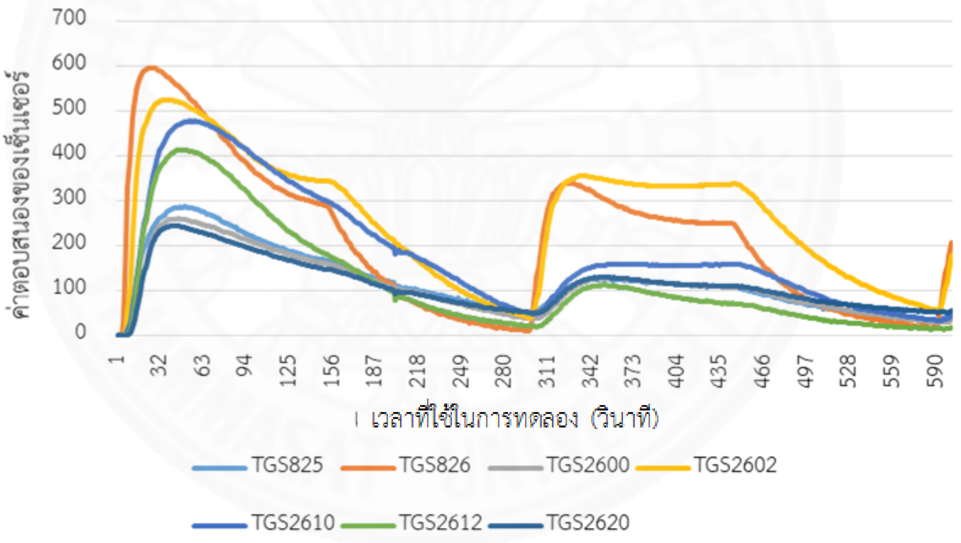

(กง.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 9



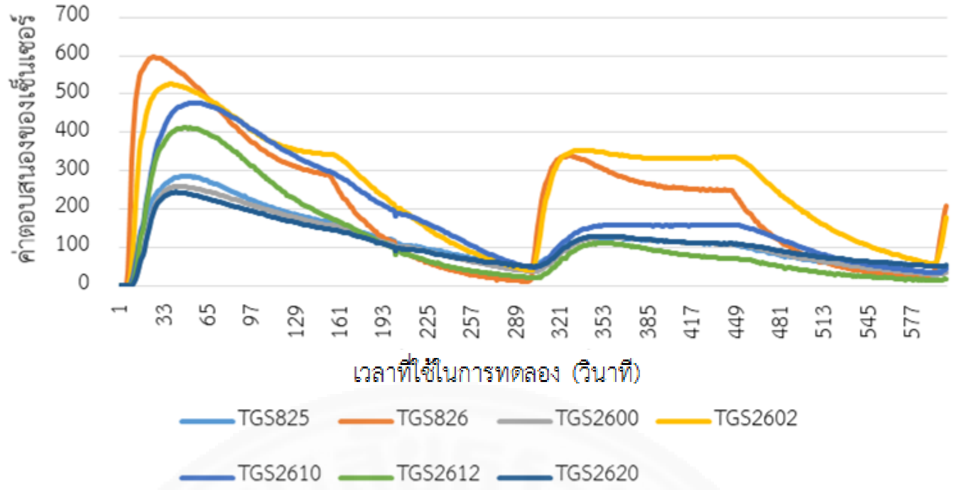

(กจ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 12



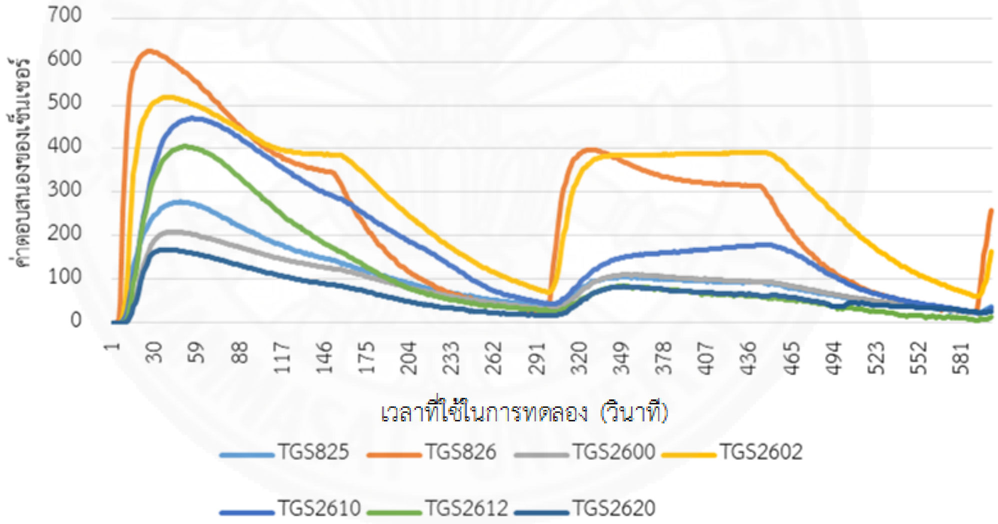

(กฉ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 15



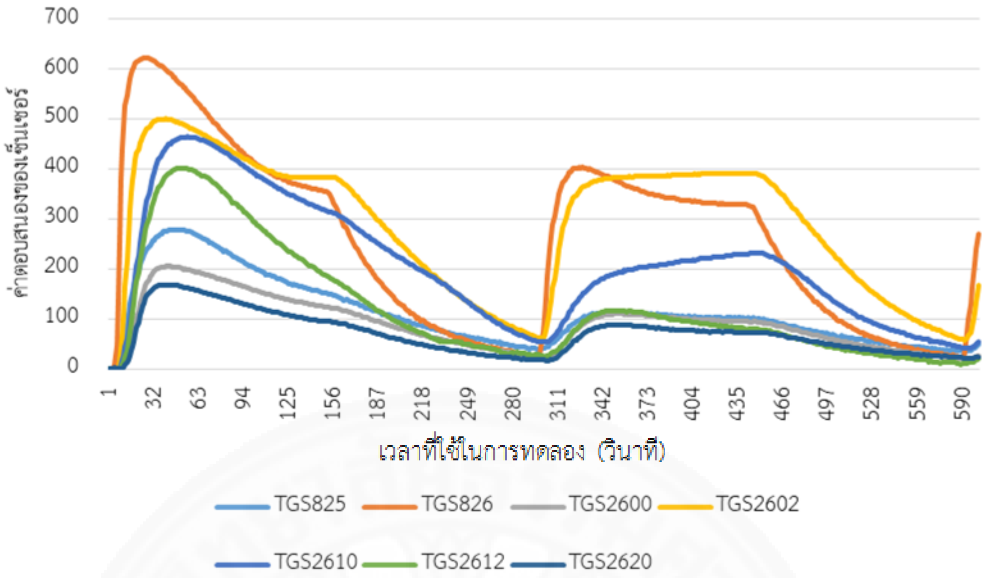

(กช.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 18



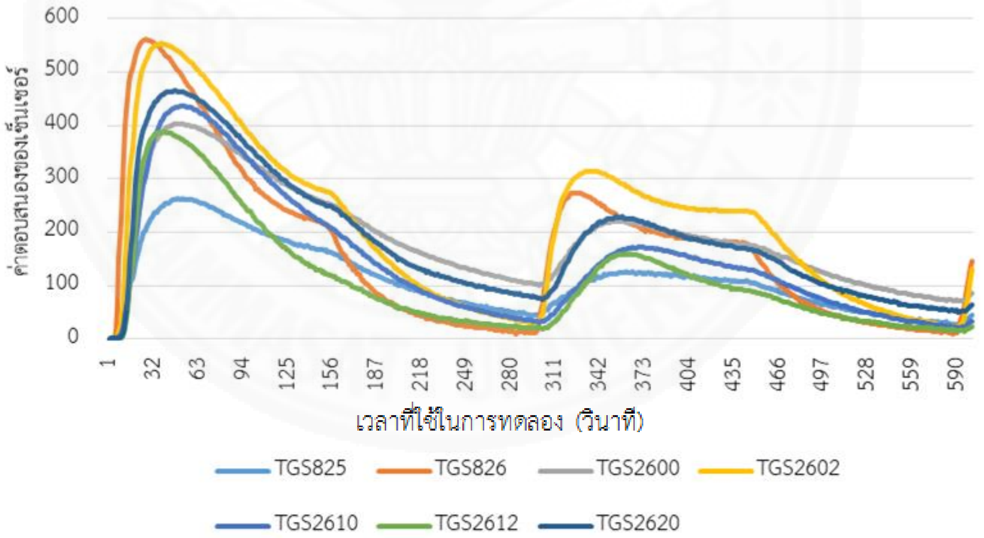

(กซ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 21



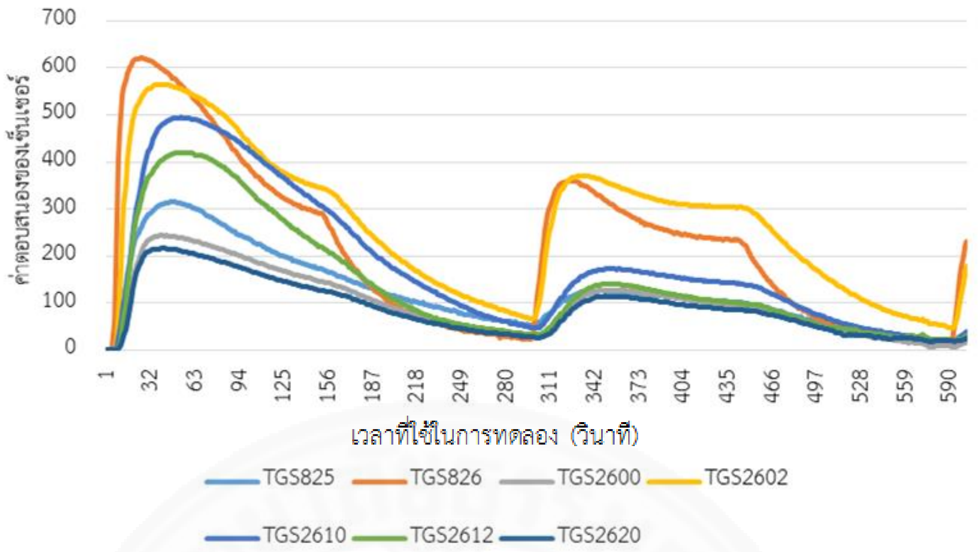

(กญ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 24



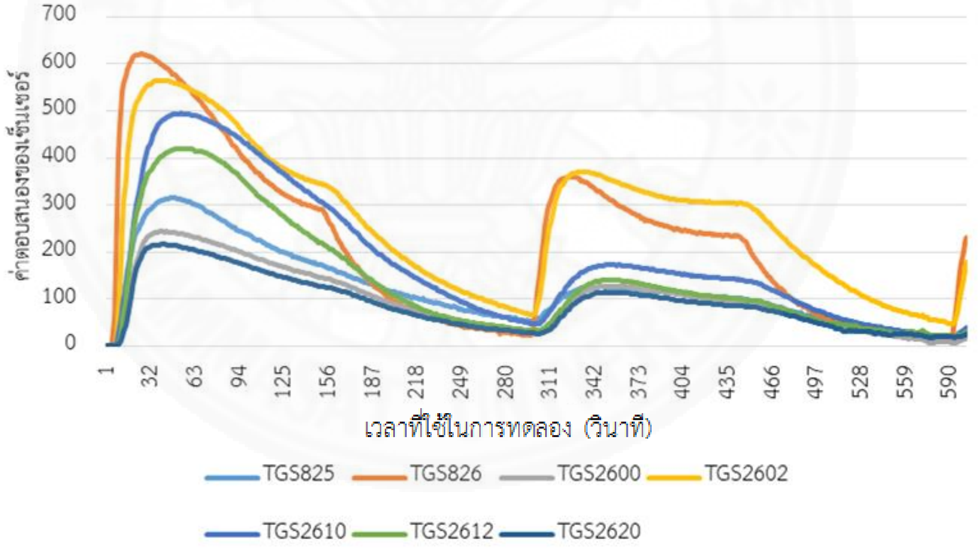

(กฎ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 27



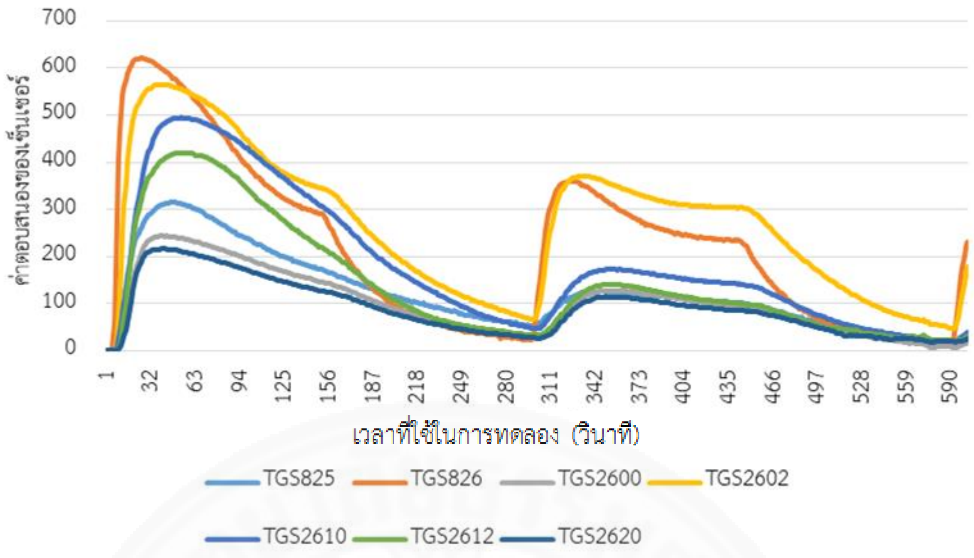

(กฎ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 30



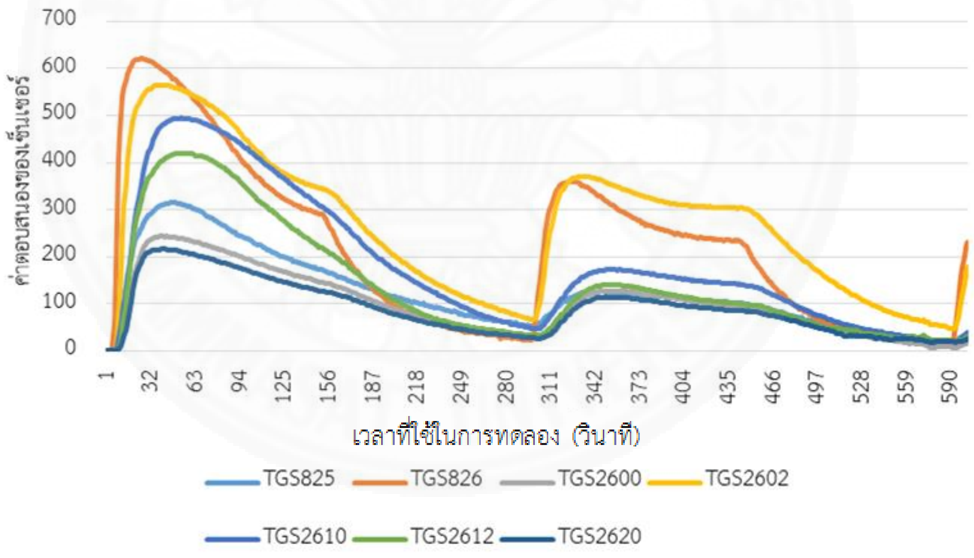

(กฐ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 33



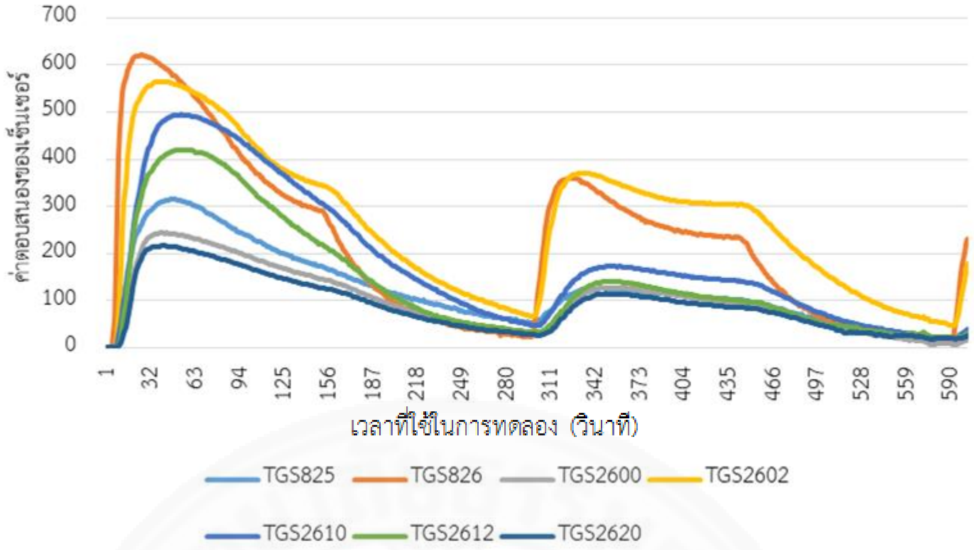

(กฑ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 36



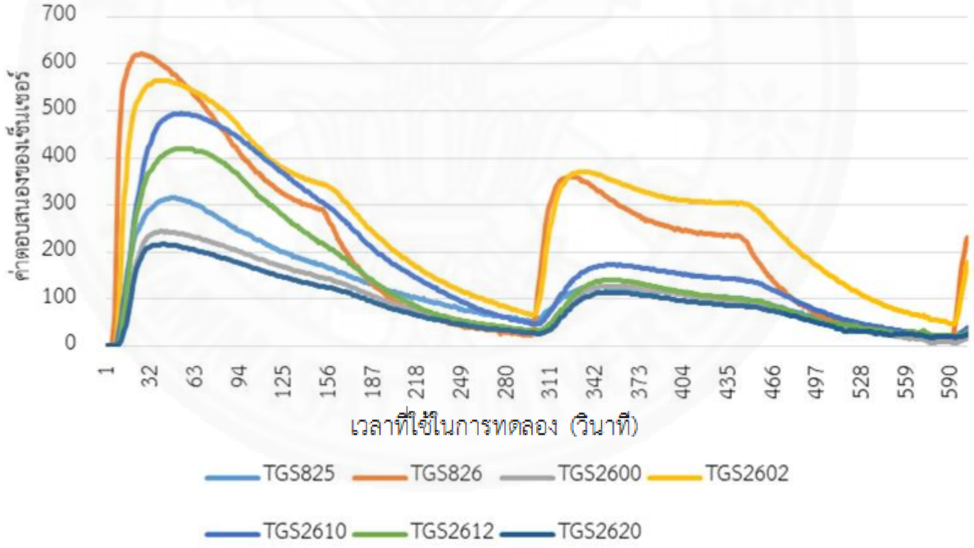

(กฒ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 39




(กณ.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 42




(กด.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 45




(กต.) ตัวอย่างเนื้อไก่ปีกบน ณ ชั่วโมงที่ 48

ภาพที่ 4.3 ผลการทดลองเนื้อไก่ปีกบน (กก.-กต.)

จากภาพที่ 4.3 แสดงถึงผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อกลิ่นของเนื้อไก่ปีกบน ซึ่งตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 เนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบน ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่น

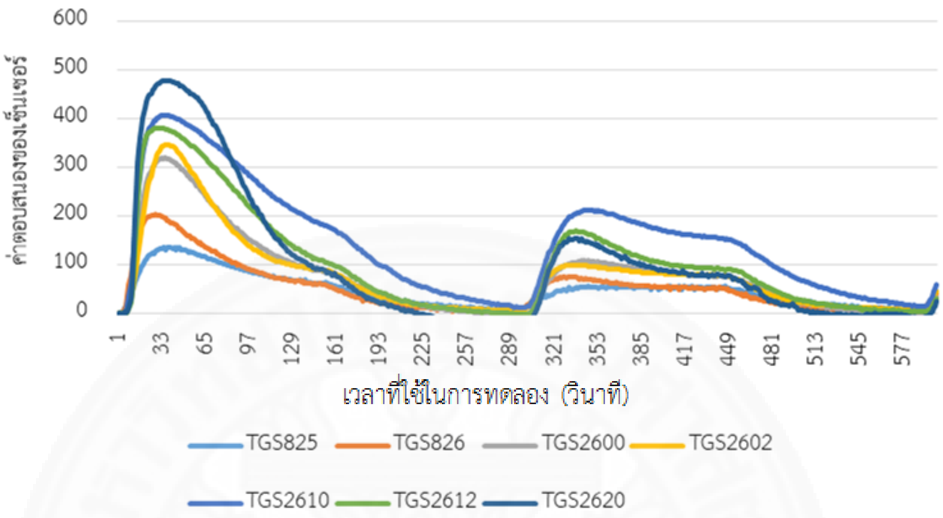
ของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดนเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งได้แก่ TGS 825, TGS826 และ TGS2602 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละชนิดมีค่าตอบสนองอยู่ที่ 70, 100 และ 140 และในชั่วโมงที่ 12 ซึ่งเป็นจุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง เนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบนเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นทั้ง 3 ชนิดมีค่าตอบสนองที่สูงขึ้น โดยค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มีการเพิ่มขึ้นจาก 70, 100 และ 140 เป็น 150, 350 และ 400 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 2.1, 3.5 และ 2.8 เท่าของเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ซึ่งเป็นจุดอิ่มตัวของการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของเนื้อไก่ ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 30 ถึงชั่วโมงที่ 48 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นมีค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์อยู่ที่ 300, 600 และ 570 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 โดยค่าตอบสนองเพิ่มขึ้นจาก 70, 100 และ 140 เป็น 300, 600 และ 570 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 4.3, 6.0 และ 4.1 เท่าของเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 30 โดยค่าเพิ่มขึ้นจาด 200, 450 และ 460 เป็น 300, 600 และ 570 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 1.5, 1.3 และ 1.2 เท่าของเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน

จากผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 48 พบว่า เมื่อเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนียจะมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบนจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 30 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ถึงชั่วโมงที่ 48 จะพบว่าค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นมีค่าตอบสนองที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 ซึ่งสามารถแสดงได้ว่าเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพมากที่สุดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 เป็นต้นไป

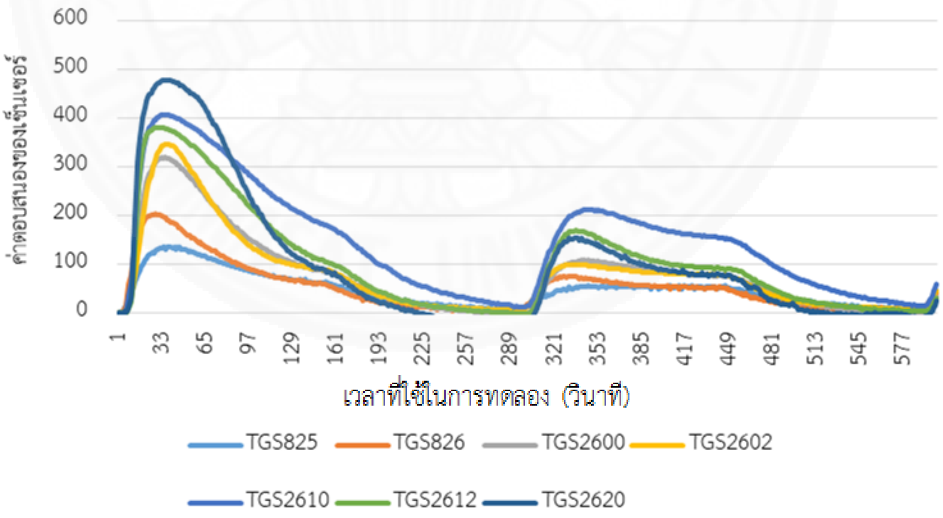
### 4.2.2 ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ได้จากเนื้ออกไก่โดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ชนิดที่บรรจุอยู่ในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถตอบสนองต่อกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่ที่มีระดับความเสื่อมสภาพแตกต่างกันตาม

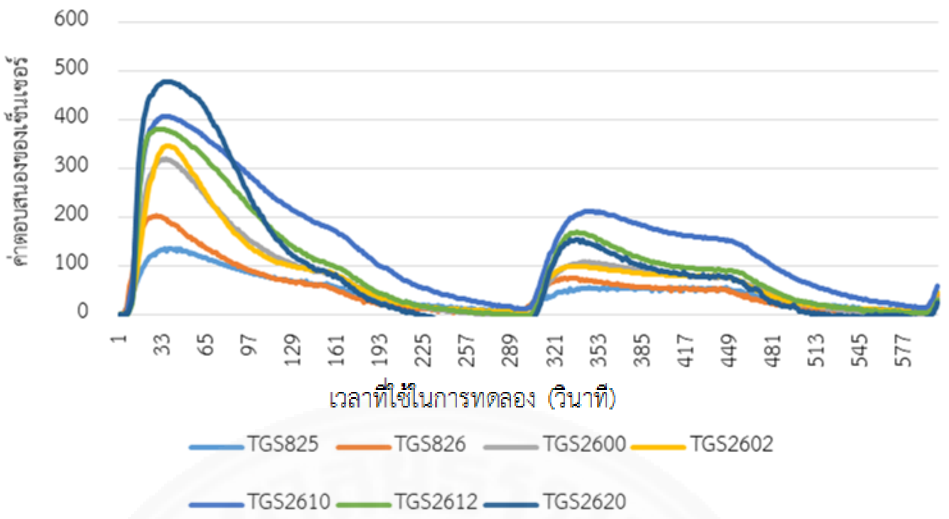
ระยะเวลาในการทดลอง โดยจะมีลักษณะของเส้นกราฟและค่าตอบสนองที่แตกต่างกันตามระดับความเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่ โดยมีตัวอย่างผลการทดลองดังภาพที่ 4.4



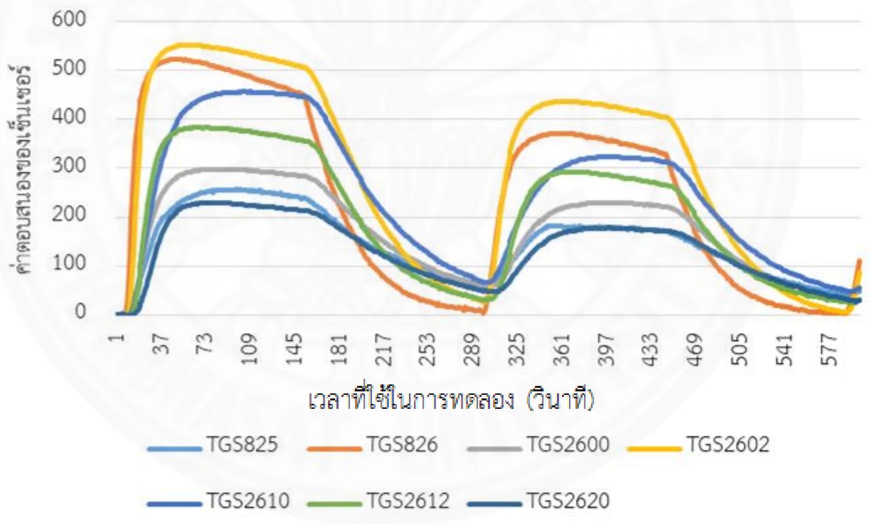

(ขก.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 0



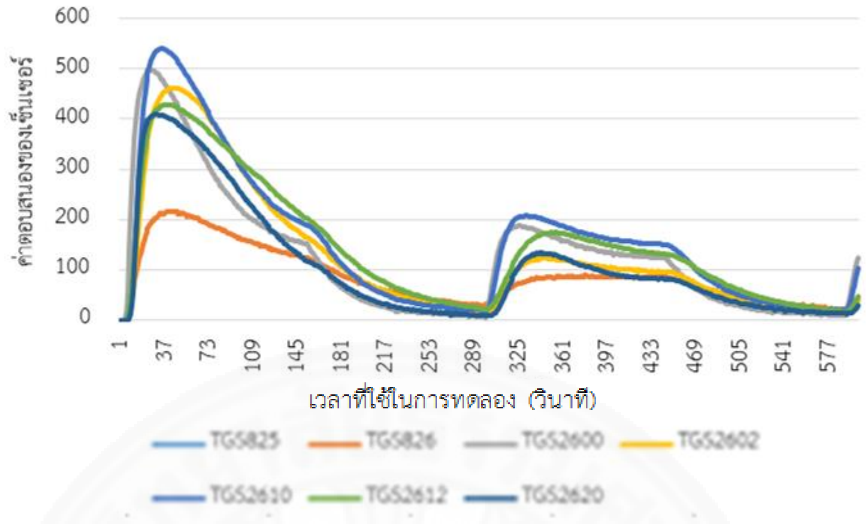

(ขข.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 3



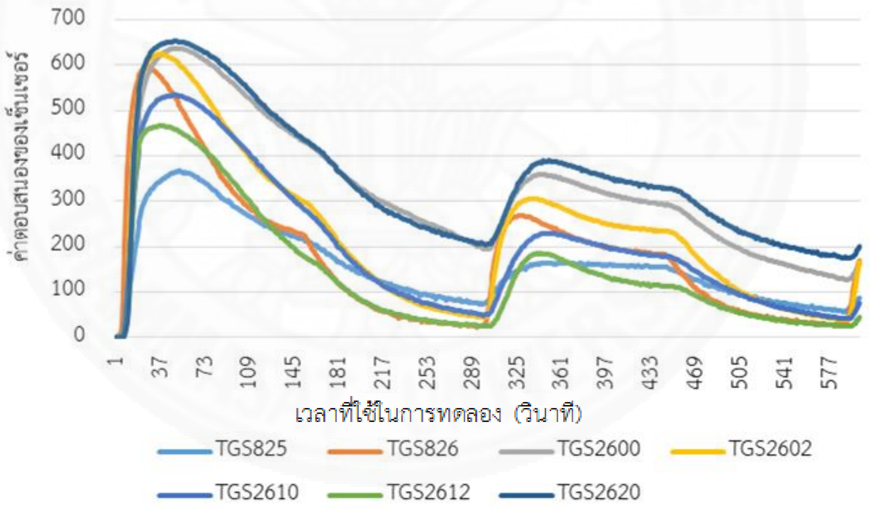

(ขค.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 6



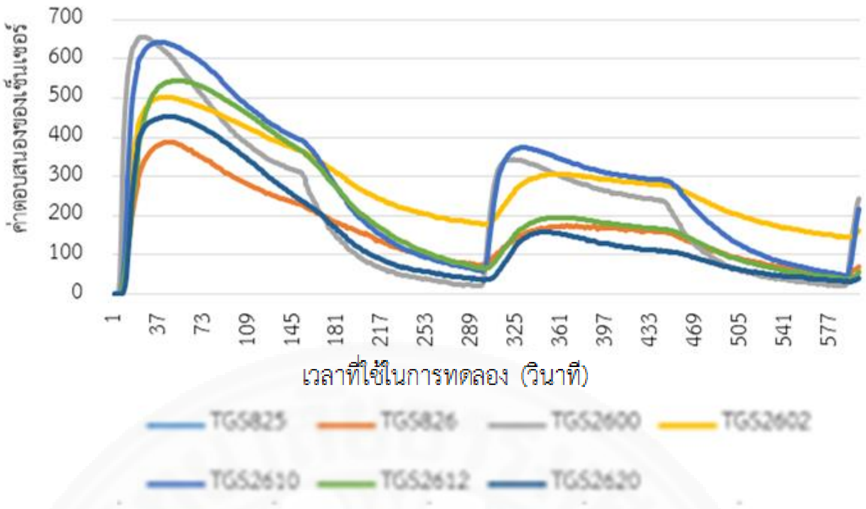

(ขง.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 9



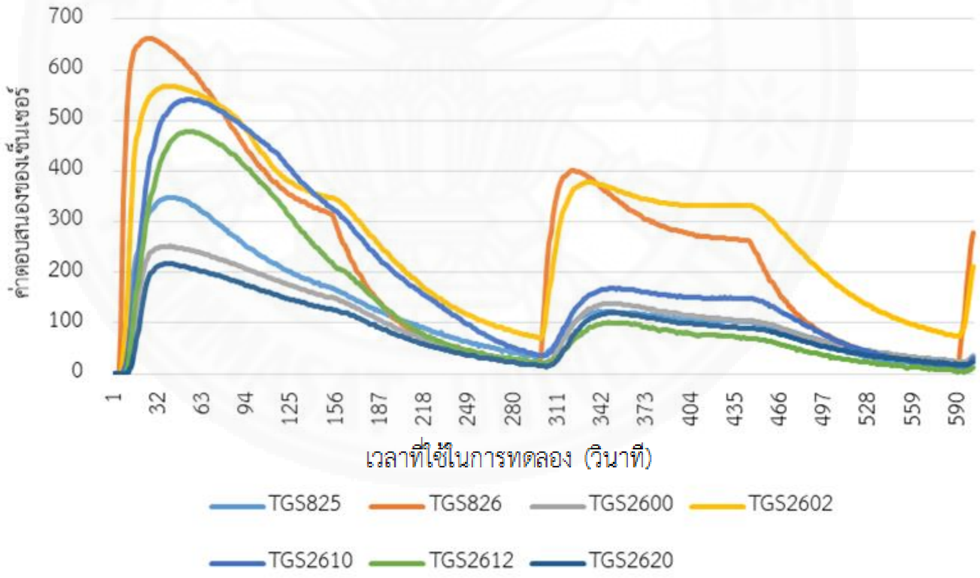

(ขจ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 12



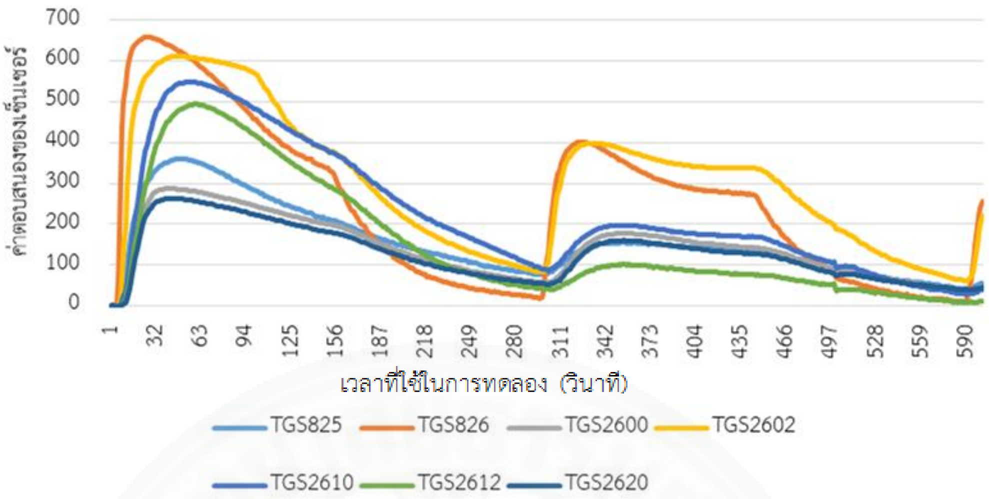

(ขฉ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 15



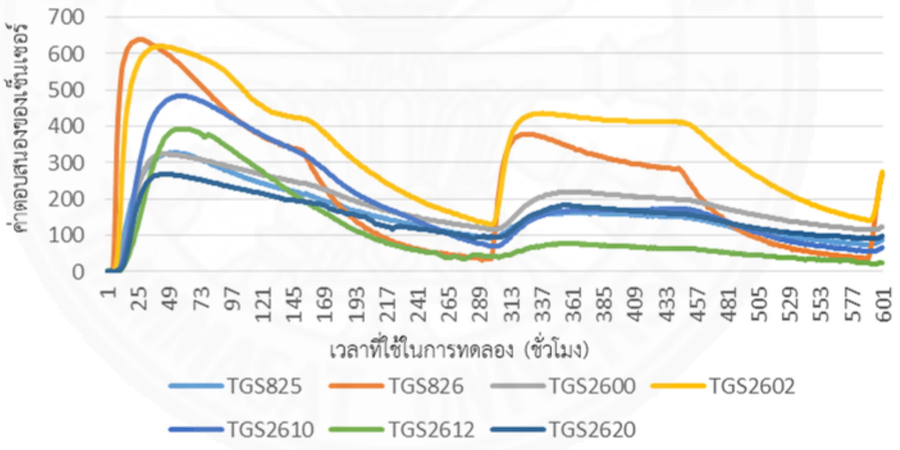

(ขช.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 18



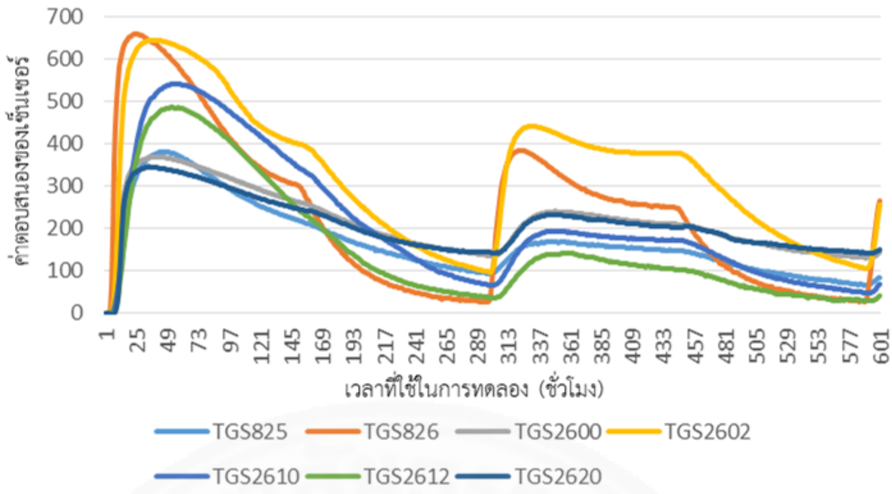

(ขซ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 21



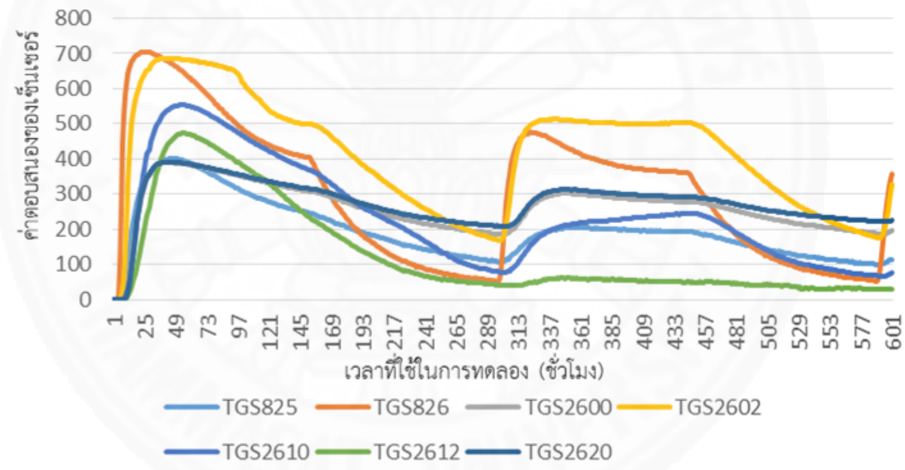

(ขญ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 24



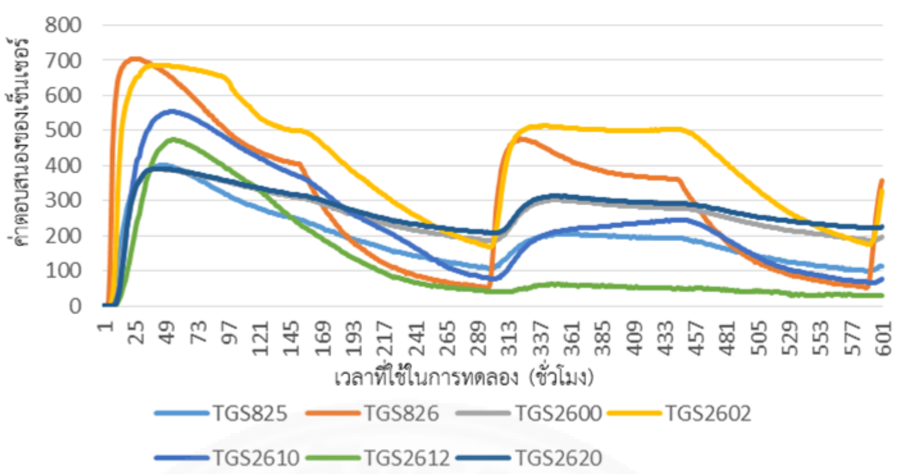

(ขฎ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 27



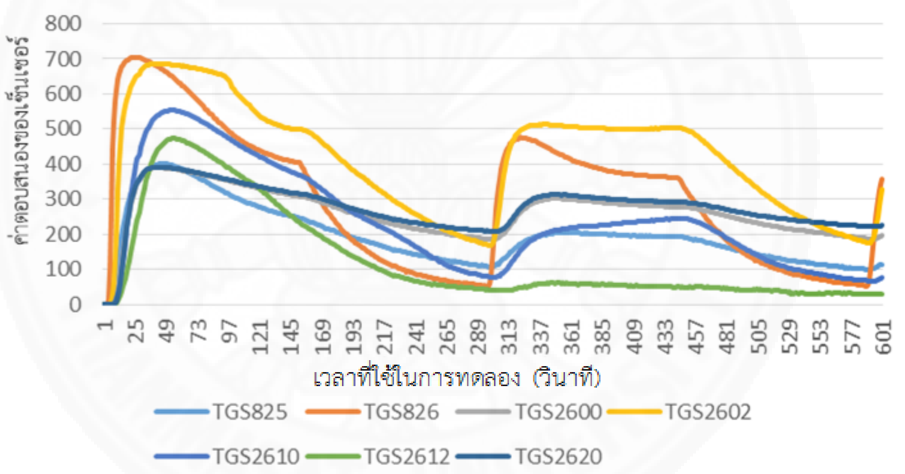

(ขฎ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 30



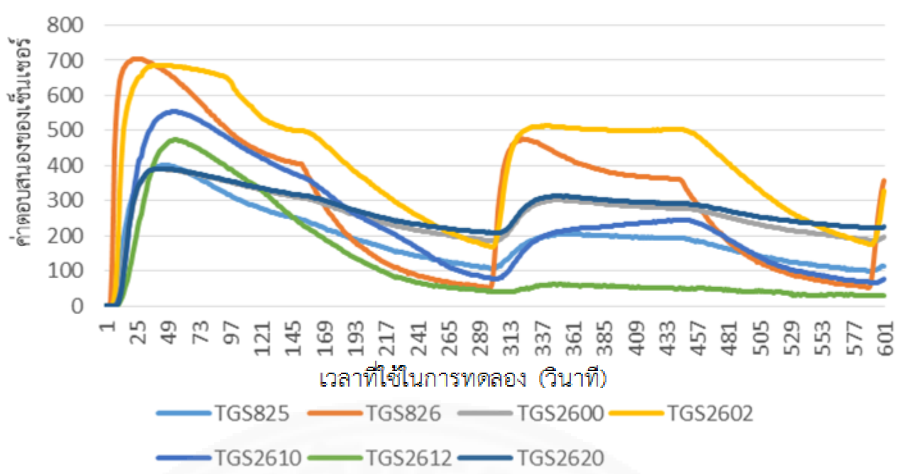

(ขฐ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 33



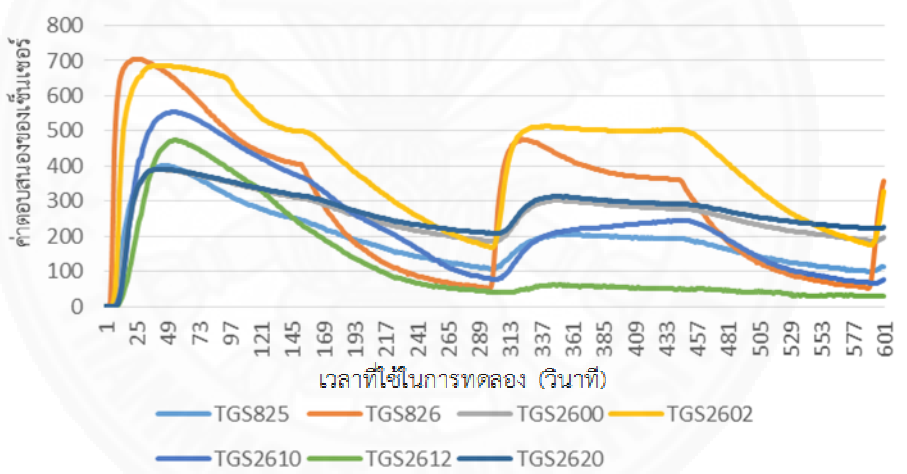

(ขฑ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 36



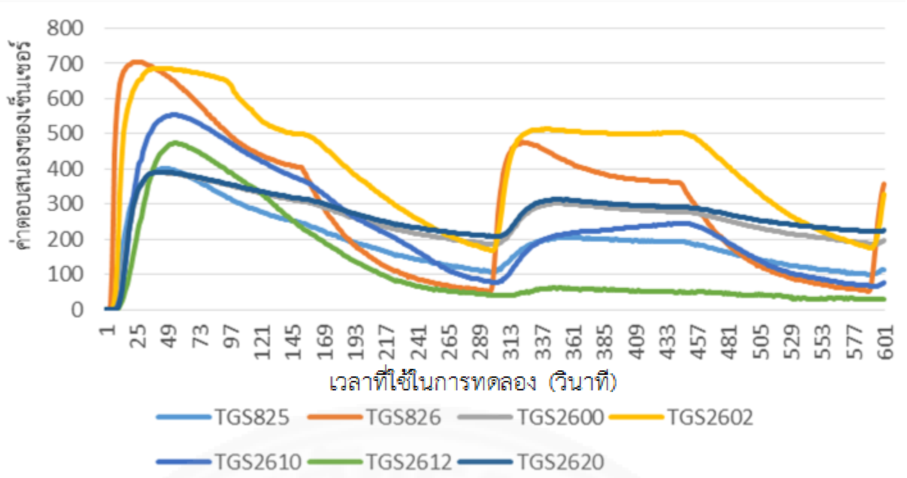

(ขฒ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 39




(ขณ.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 42




(ขด.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 45




(ขต.) ตัวอย่างเนื้ออกไก่ ณ ชั่วโมงที่ 48

ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่

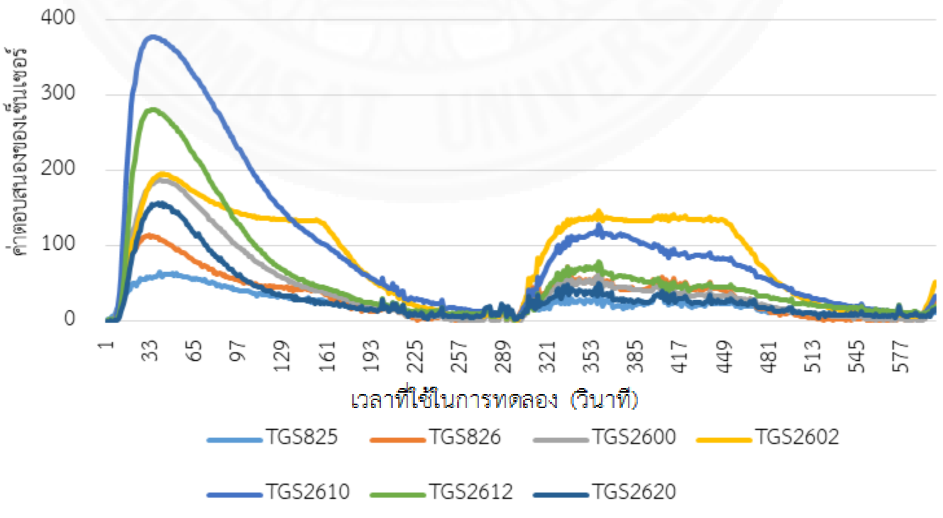
จากภาพที่ 4.4 แสดงถึงผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อกลิ่นของเนื้ออกไก่ ซึ่งตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 เนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่ ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดนเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งได้แก่ TGS825, TGS826 และ TGS2602 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละชนิดมีค่าตอบสนองอยู่ที่ 110, 200 และ 350 และในชั่วโมงที่ 12 ซึ่งเป็นจุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง เนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นทั้ง 3 ชนิดมีค่าตอบสนองที่สูงขึ้น โดยค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มีการเพิ่มขึ้นจาก 110, 200 และ 350 เป็น 350, 500 และ 530 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 3.5, 2.5 และ 1.5 เท่าของเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ซึ่งเป็นจุดอิ่มตัวของการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของเนื้อไก่ ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ถึงชั่วโมงที่ 48 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นมีค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์อยู่ที่ 400, 700 และ 700 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 โดยค่าตอบสนองเพิ่มขึ้นจาก 110, 200 และ 350 เป็น 400, 700 และ 700 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 3.6, 3.5 และ 2.0 เท่าของเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 30 โดยค่าเพิ่มขึ้นจาก 350, 500 และ 530 เป็น 400, 700 และ 700 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 1.1, 1.4 และ 1.3 เท่าของเซ็นเซอร์ชิดเดียวกัน

Ref. code: 25626010110028OTE

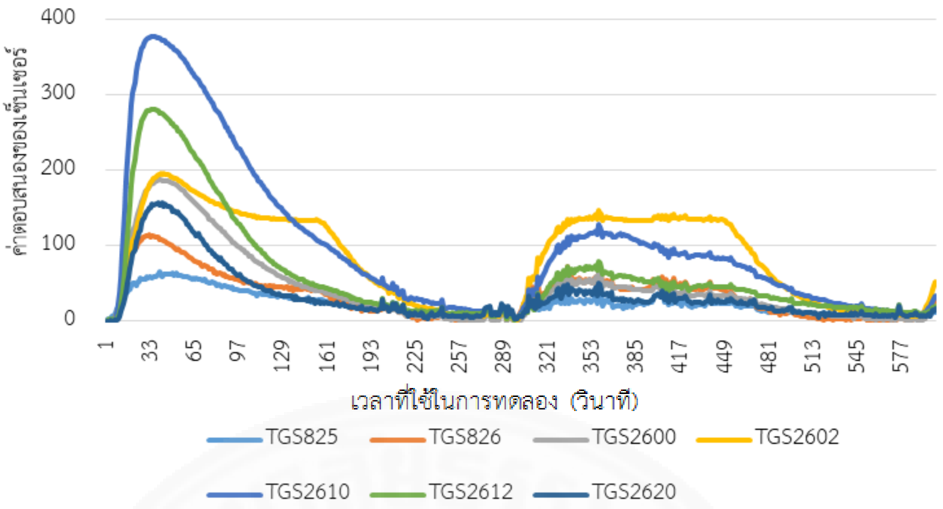
จากผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 48 พบว่า เมื่อเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนียจะมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 30 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ถึงชั่วโมงที่ 48 จะพบว่าค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นมีค่าตอบสนองที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 ซึ่งสามารถแสดงได้ว่าเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพมากที่สุดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 เป็นต้นไป

**4.2.3 ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ได้จากเนื้อสันในไก่โดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์**

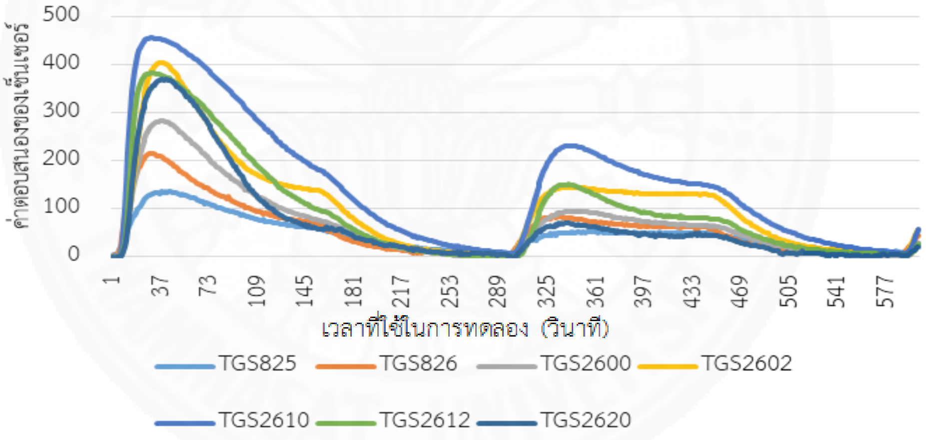
ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ชนิดที่บรรจุอยู่ในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถตอบสนองต่อกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อสันในไก่ที่มีระดับความเสื่อมสภาพแตกต่างกันตามระยะเวลาในการทดลอง โดยจะมีลักษณะของเส้นกราฟและค่าตอบสนองที่แตกต่างกันตามระดับความเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อสันในไก่ โดยมีตัวอย่างผลการทดลองดังภาพที่ 4.5



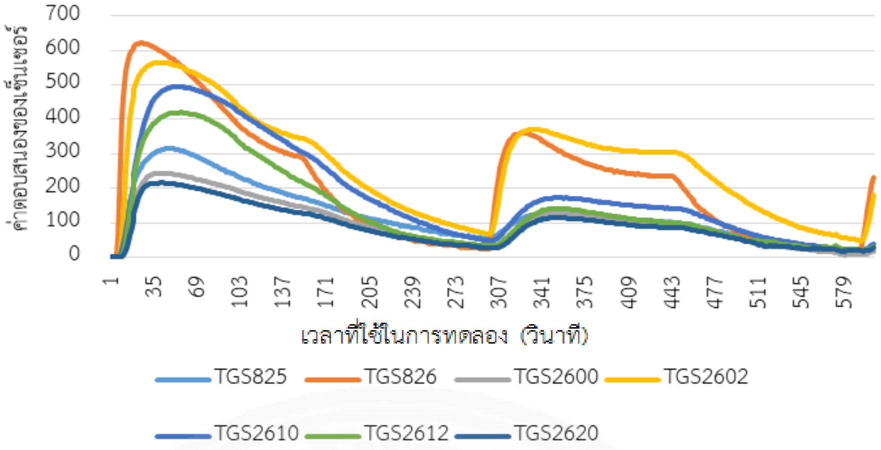

(คก.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 0



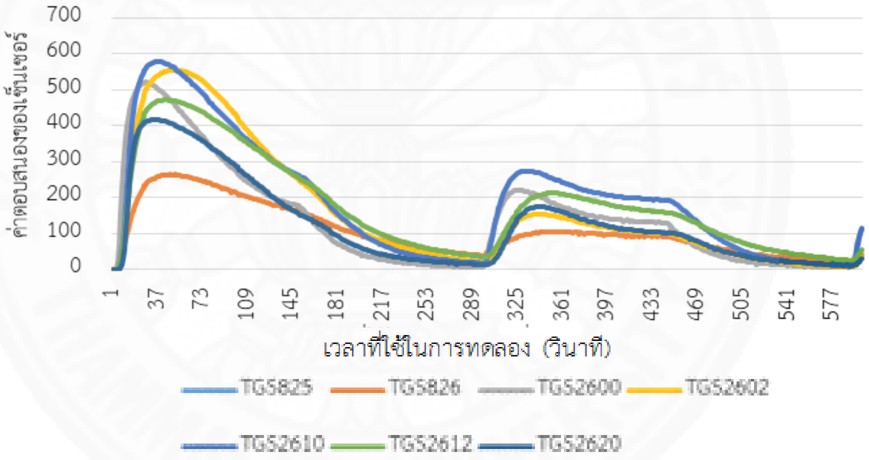

(คข.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 3



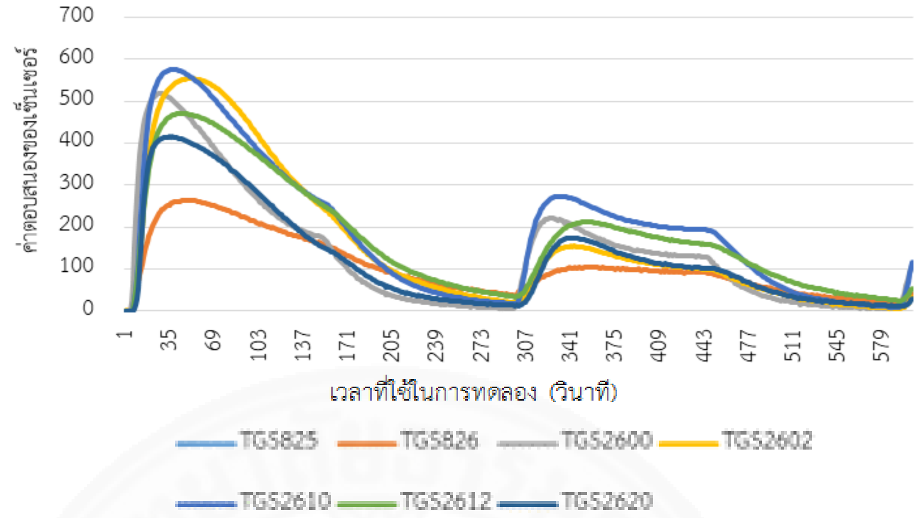

(คค.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 6



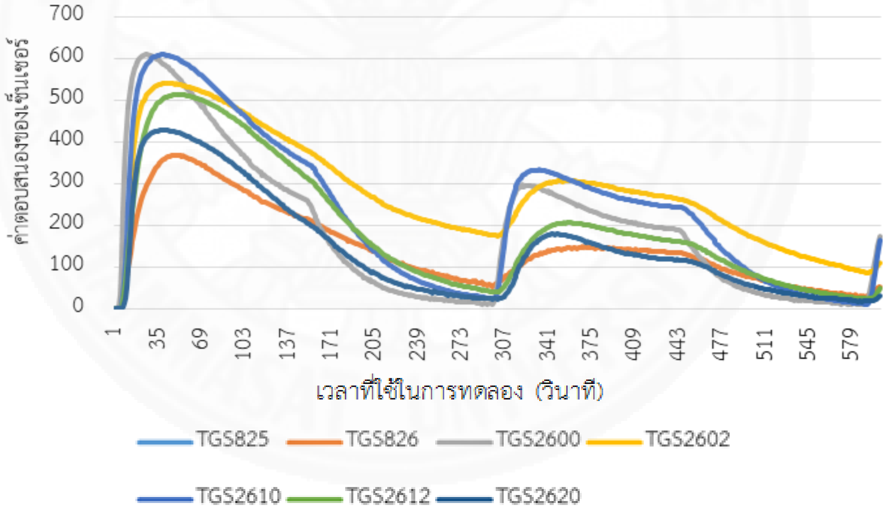

(คง.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 9



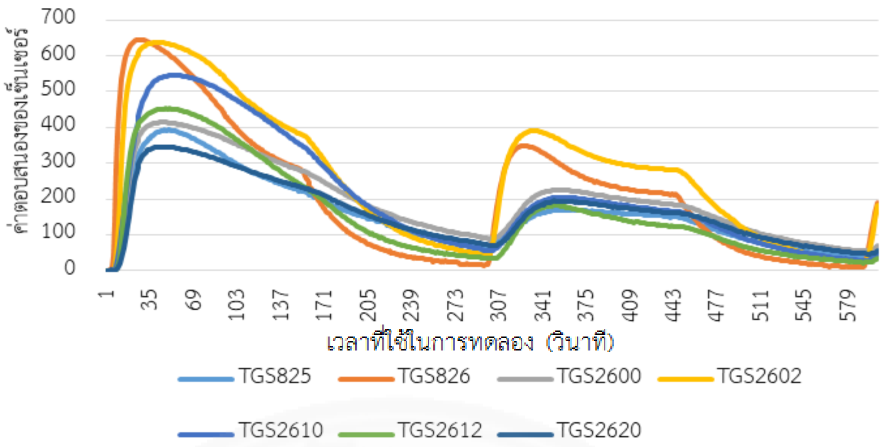

(คจ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 12



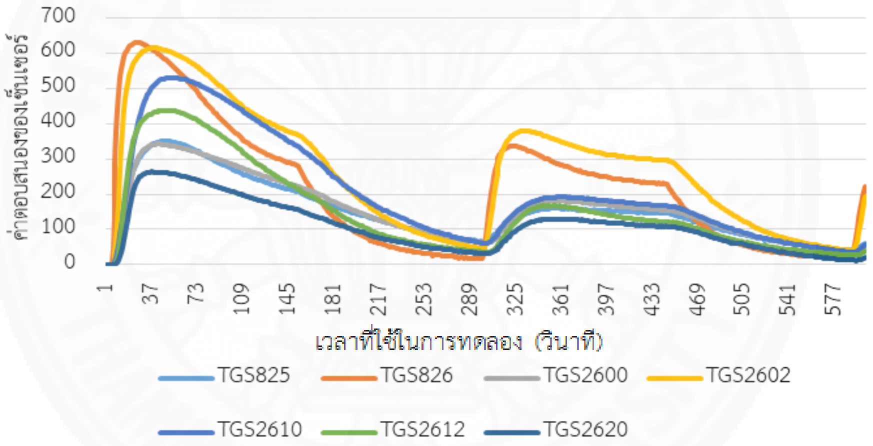

(คฉ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 15



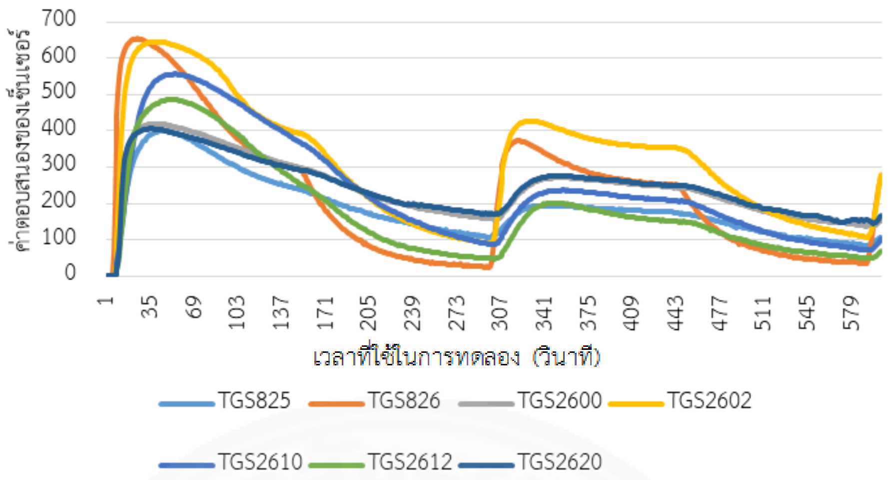

(คช.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 18



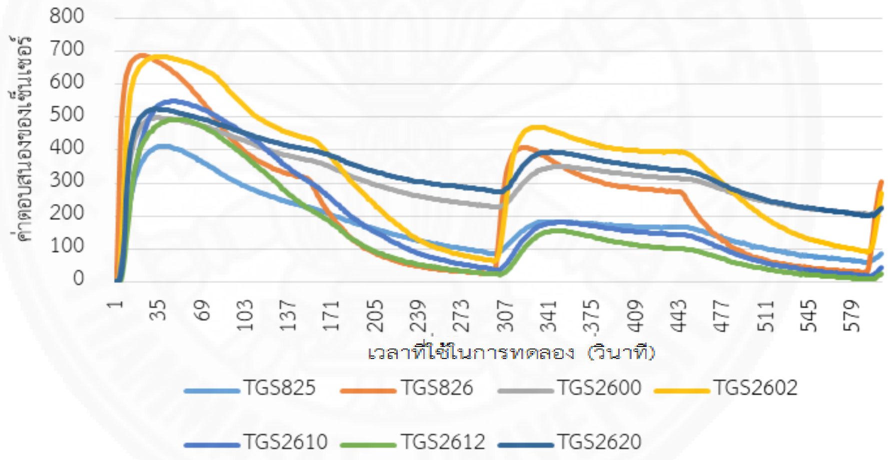

(คช.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 21



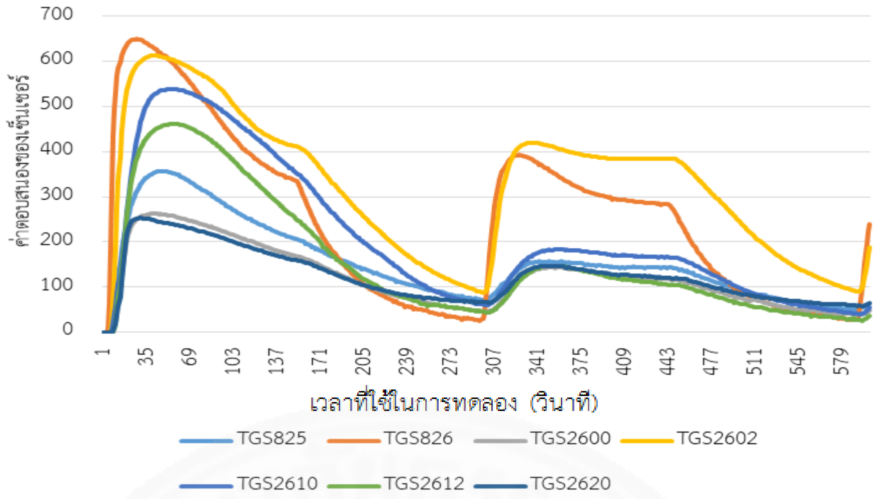

(คญ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 24



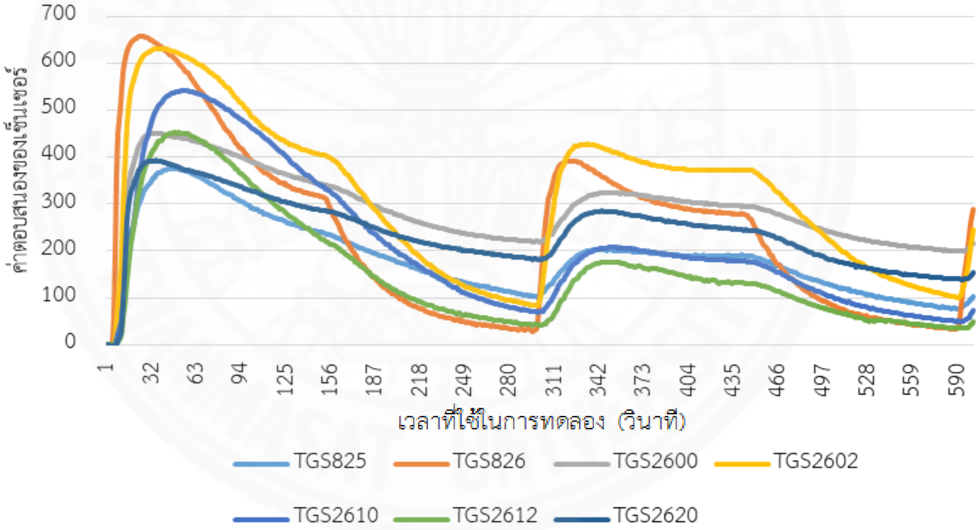

(คฎ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 27



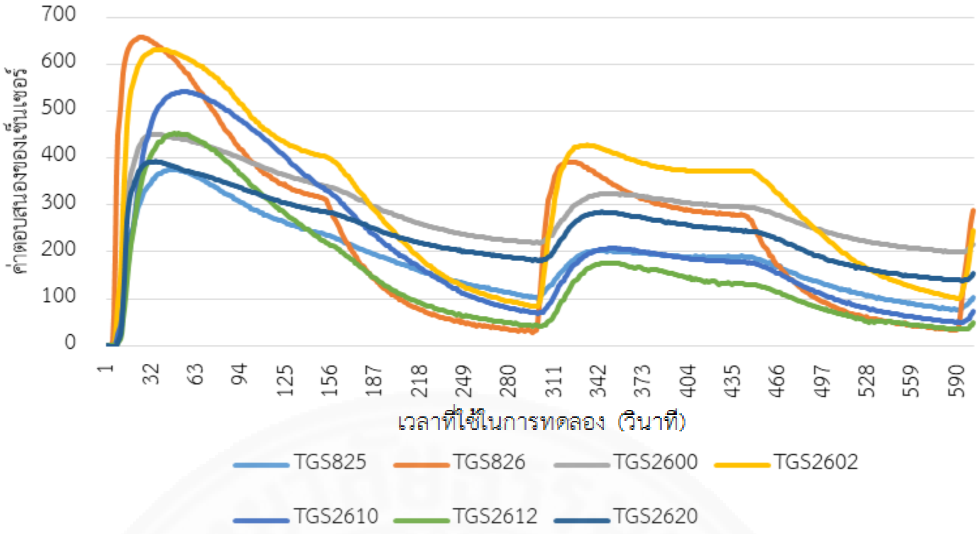

(คฎ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 30



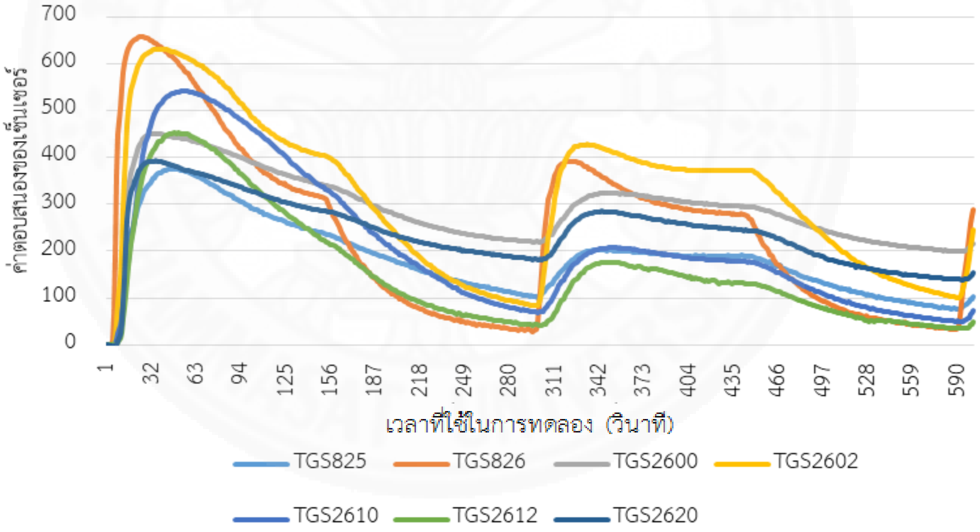

(คฐ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 33



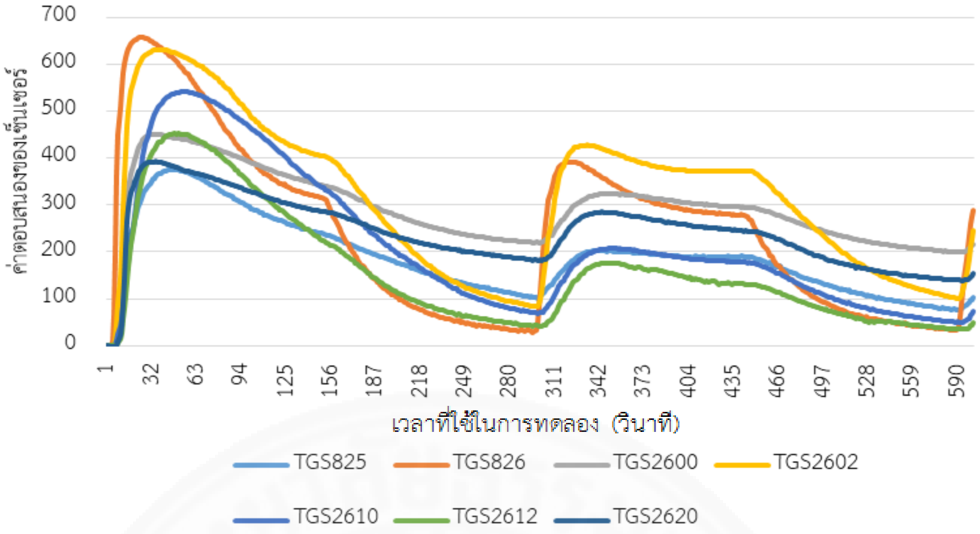

(คฑ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 36



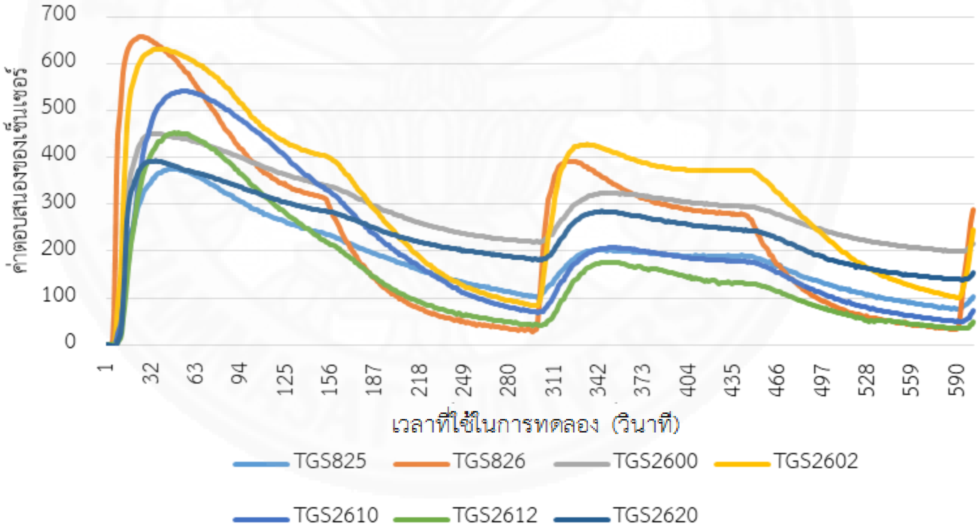

(คฒ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 39




(คณ.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 42




(คด.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 45




(คต.) ตัวอย่างเนื้อสันในไก่ ณ ชั่วโมงที่ 48

ภาพที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเนื้อสันในไก่

จากภาพที่ 4.5 แสดงถึงผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อกลิ่นของเนื้อสันในไก่ ซึ่งตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 เนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อสันในไก่ ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดนเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งได้แก่ TGS825,

TGS826 และ TGS2602 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละชนิดมีค่าตอบสนองอยู่ที่ 70, 100 และ 200 และในชั่วโมงที่ 12 ซึ่งเป็นจุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง เนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อสันในไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นทั้ง 3 ชนิดมีค่าตอบสนองที่สูงขึ้น โดยค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มีการเพิ่มขึ้นจาก 70, 100 และ 200 เป็น 300, 250 และ 550 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 4.3, 2.5 และ 2.8 เท่าของเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ซึ่งเป็นจุดอิ่มตัวของการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของเนื้อไก่ ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ถึงชั่วโมงที่ 48 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นมีค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์อยู่ที่ 400, 700 และ 700 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 โดยค่าตอบสนองเพิ่มขึ้นจาก 70, 100 และ 200 เป็น 400, 700 และ 700 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 3.6, 7.0 และ 3.5 เท่าของเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 30 โดยค่าเพิ่มขึ้นจาก 300, 250 และ 550 เป็น 400, 700 และ 700 ซึ่งมีอัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นเป็น 1.3, 2.8 และ 1.3 เท่าของเซ็นเซอร์ชิดเดียวกัน

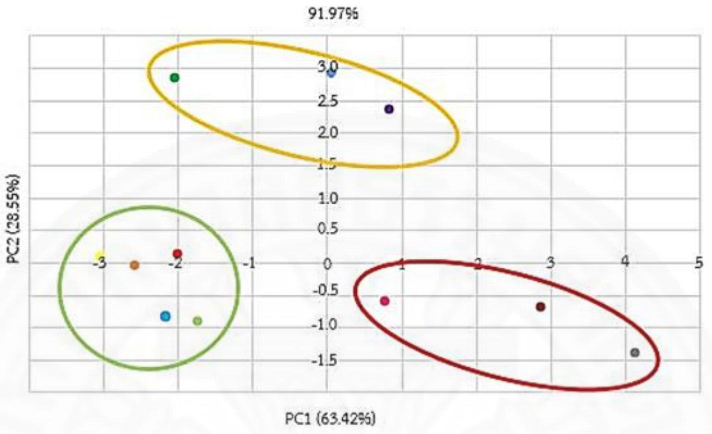
จากผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 48 พบว่า เมื่อเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อสันในไก่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนียจะมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อสันในไก่จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 30 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 ถึงชั่วโมงที่ 48 จะพบว่าค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นมีค่าตอบสนองที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 9 ซึ่งสามารถแสดงได้ว่าเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพมากที่สุดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33 เป็นต้นไป

#### 4.2.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

นำค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์ในช่วงค่าสูงสุดของคลื่นลูกแรกช่วงสภาวะคงตัว – ค่าต่ำสุดของ Baseline และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยกับค่าสูงสุดของคลื่นลูกที่สอบช่วงสภาวะคงตัว – ค่าต่ำสุดของ Recovery ของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้งหมด โดยจะเป็นเมทริกซ์ขนาดมิติ (จำนวนชิ้น x จำนวนชั่วโมงทดลองทั้งหมด) x 7 มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อทำการจำแนกเนื้อไก่ที่มีลักษณะการเน่าเสียกับเนื้อไก่ที่มีลักษณะปกติออกจากกัน พบว่า PC1 กับ PC2 มีค่า Variance

รวมกันมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์คือ 91.61% จึงนำมาใช้ทำการวาดกราฟ โดยให้ค่า PC1 อยู่ในแกน X และค่า PC2 อยู่ในแกน Y และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกกลุ่มของการเน่าเสีย

**4.2.4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ปีกบน**



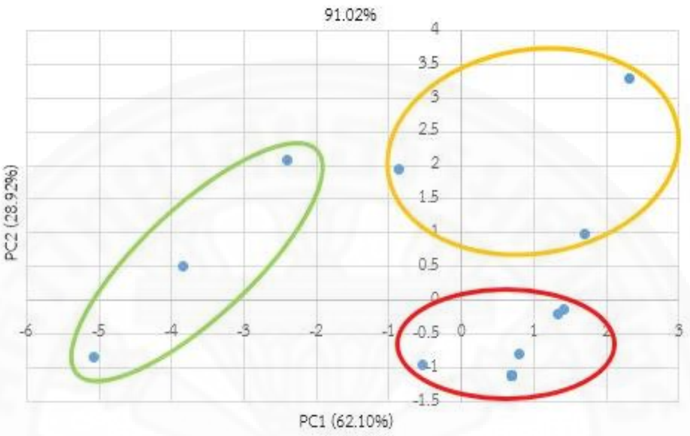

ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ปีกบน

จากภาพที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อไก่ปีกบน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะสามารถจำแนกกลุ่มของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือการเกิดความเสื่อมสภาพได้ทั้งหมด 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพ, กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่นแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นและกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณธทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจน ซึ่งในแต่ละกลุ่มของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 48 โดยกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 12 กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นจะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในขั่วโมงที่ 15 ถึงชั่วโมงที่ 21 และกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจนจะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 48

Ref. code: 25626010110028OTE

จากการจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผลการจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างมีความสอดคล้องกับผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์และแก๊สแอมโมเนีย

**4.2.4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้ออกไก่**



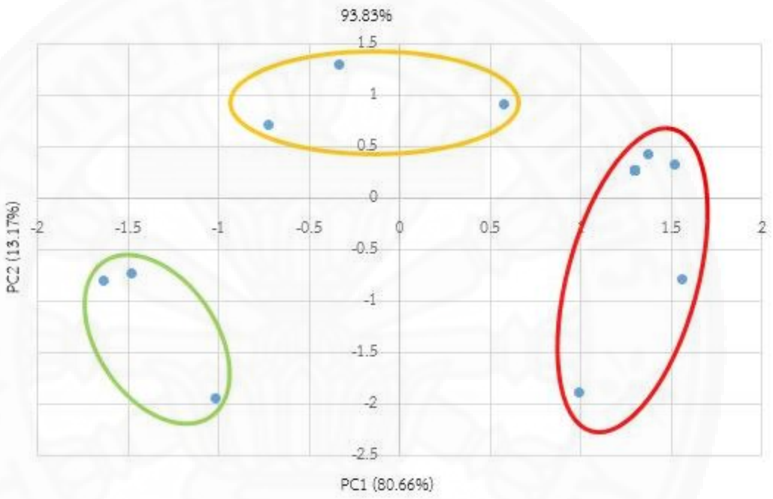

ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้ออกไก่

จากภาพที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้ออกไก่ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะสามารถจำแนกกลุ่มของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือการเกิดความเสื่อมสภาพได้ทั้งหมด 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพ, กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่นแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นและกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณธทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจน ซึ่งในแต่ละกลุ่มของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 48 โดยกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 6 กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นจะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในขั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 18 และกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทาง

กายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจนจะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 21 ถึงชั่วโมงที่ 48

จากการจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผลการจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างมีความสอดคล้องกับผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์และแก๊สแอมโมเนีย

**4.2.4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อสันในไก่**

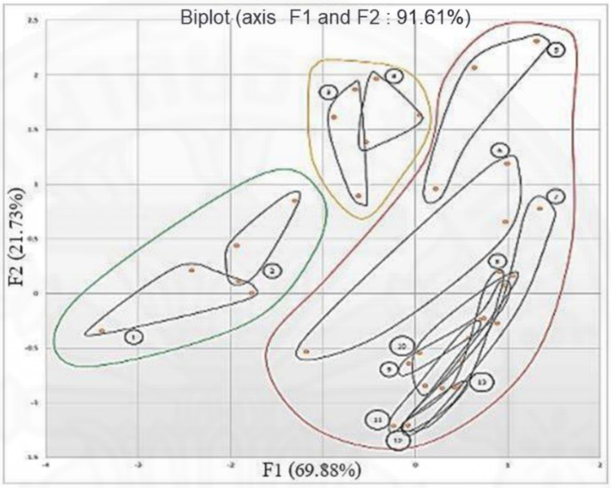



ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อสันในไก่

จากภาพที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างชนิดเนื้อสันในไก่ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะสามารถจำแนกกลุ่มของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือการเกิดความเสื่อมสภาพได้ทั้งหมด 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพ, กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่นแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นและกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณธทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจน ซึ่งในแต่ละกลุ่มของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 48 โดยกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 6 กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของ

ลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นจะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในขั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 18 และกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจนจะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 21 ถึงชั่วโมงที่ 48

**4.2.4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด**




ภาพที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด

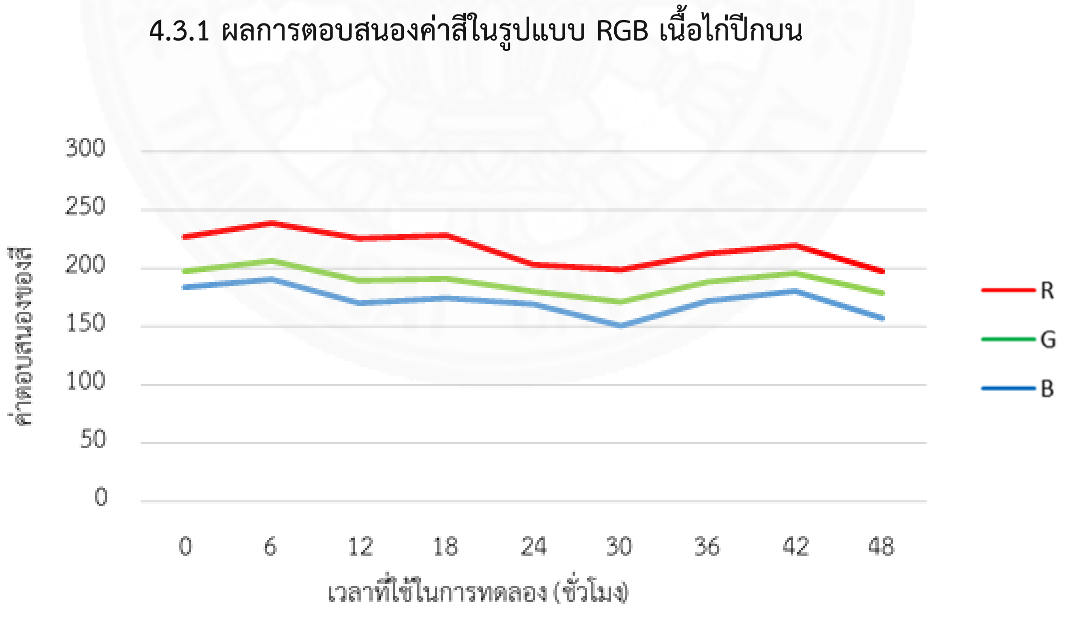
จากภาพที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดได้แก่ เนื้อไก่ชนิดปีกบน, เนื้อไก่ชนิดอกไก่และเนื้อไก่ชนิดสันในไก่ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะสามารถจำแนกกลุ่มของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือการเกิดความเสื่อมสภาพได้ทั้งหมด 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพ, กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่นแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นและกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณธทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจน ซึ่งในแต่ละกลุ่มของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ตัวอย่างแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 48 โดยกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่จะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 3 กลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น

จะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นในชั่วโมงที่ 6 ถึงชั่วโมงที่ 9 และกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเกิดการเสื่อมสภาพอย่างชัดเจนจะประกอบด้วยผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 48

จากการจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผลการจำแนกกลุ่มของเนื้อไก่ตัวอย่างมีความสอดคล้องกับผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ทำการตรวจจับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์และแก๊สแอมโมเนีย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด คือ เนื้อไก่ปีกบน, เนื้ออกไก่และเนื้อสันในไก่ พบว่า เนื้อไก่ปีกบน มีจุดที่เริ่มมีเปลี่ยนแปลงหลังจากชั่วโมงที่ 12 ไปแล้ว และมีการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มที่มีการเสื่อมสภาพมากตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าเนื้ออกไก่และเนื้อสันในไก่ โดยเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากชั่วโมงที่ 6 ไปแล้ว และมีการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มที่มีการเสื่อมสภาพมากตั้งแต่ชั่วโมงที่ 21 สามารถคาดการณ์ได้ว่าเนื้อไก่ปีกบน ซึ่งเป็นส่วนที่มีหนังติดอยู่จะมีการเสื่อมสภาพช้ากว่าเนื้อไก่ที่ไม่มีหนังเป็นเวลาอย่างน้อย 6 ชั่วโมง

### 4.3 ผลการคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยภาพ

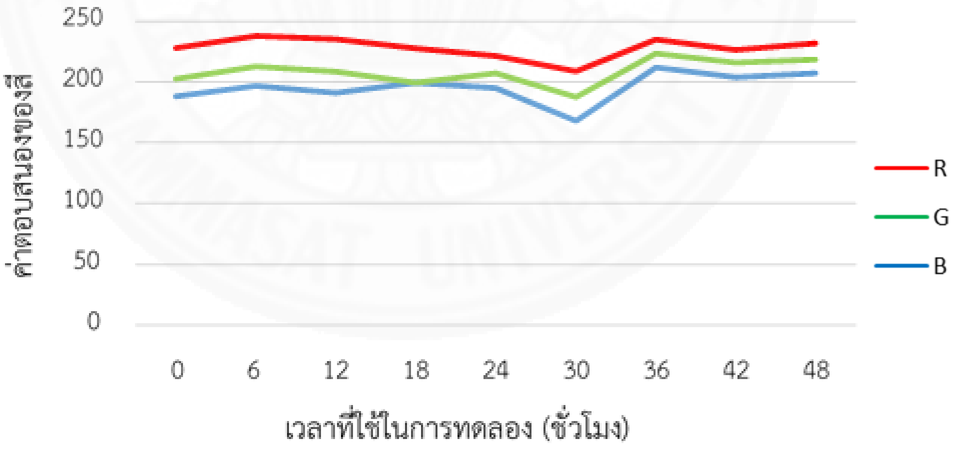



ภาพที่ 4.10 ผลตอบสนองค่าสี RGB ของเนื้อไก่ปีกบน

จากภาพที่ 4.10 แสดงถึงผลการตอบสนองของค่าสี RGB ของเนื้อไก่ปีกบน พบว่า ค่าสีเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งค่าสีของทั้ง 3 สีมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นจากจุดเริ่มต้นหรือชั่วโมงที่ 0 ซึ่งค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจาก 230 เป็น 240 ค่าสีเขียวเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 210 และค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นจาก 180 เป็น 190 และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 18 ค่าสี RGB มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งค่าสีแดงลดลงจาก 230 เหลือ 200 ค่าสีเขียวลดลงจาก 190 เหลือ 170 และค่าสีน้ำเงินลดลงจาก 170 เหลือ 160 และค่าสี RGB จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงชั่วโมงที่ 30 ถึง ชั่วโมงที่ 42 โดยค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 230 ค่าสีเขียวเพิ่มขึ้นจาก 170 เป็น 200 และค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นจาก 150 เป็น 180

จากภาพที่ 4.11 สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่ปีกบนได้ออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงชั่วใมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 6 เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าสี ต่อมาช่วงชั่วโมงชั่วโมงที่ 18 ถึงชั่วโมงที่ 30 เป็นช่วงที่มีการลดลงของค่าสี RGB อย่างชัดเจนและช่วงสุดท้ายคือช่วงชั่วโมงที่ 30 ถึงชั่วโมงที่ 42 เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขึ้ของค่าสี RGB

### 4.3.2 ผลการตอบสนองค่าสีในรูปแบบ RGB ของเนื้ออกไก่



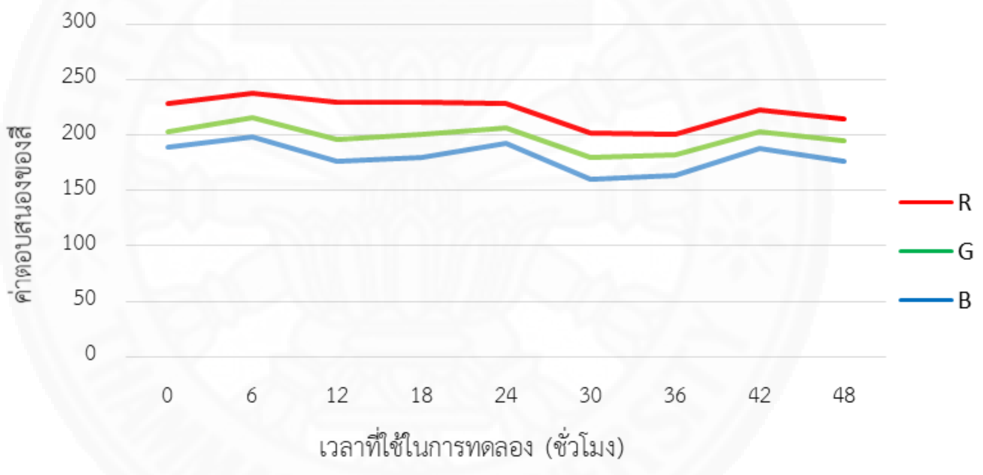

ภาพที่ 4.11 ผลตอบสนองค่าสี RGB ของเนื้ออกไก่

จากภาพที่ 4.11 แสดงถึงผลการตอบสนองของค่าสี RGB ของเนื้ออกไก่ พบว่า ค่าสีเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งค่าสีของทั้ง 3 สีมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นจากจุดเริ่มต้นหรือชั่วโมงที่ 0 ซึ่งค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจาก 230 เป็น 240 ค่าสีเขียวเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 210 และค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นจาก 190 เป็น 200 และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ค่าสีแดงมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงชั่วโมงที่ 24 โดย

Ref. code: 25626010110028OTE

ลดลงจาก 240 เหลือ 205 และค่าสีแดงเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงชั่วโมงที่ 30 โดยเพิ่มขึ้นจาก 205 เป็น 240 และลดลงอีกครั้งหลังจากชั่วโมงที่ 36 โดยลดลงจาก 240 เหลือ 230 แต่หลังจากชั่วโมงที่ 6 ถึงชั่วโมงที่ 18 ค่าสีเขียวลดลงจาก 210 เหลือ 200 และเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาสั้นในช่วงชั่วโมงที่ 18 ถึงชั่วโมงที่ 24 โดยเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 205 และค่าสีเขียวจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 30 คือลดลงจาก 205 เหลือ 180 และหลังจากชั่วโมงที่ 30 ค่าสีเขียวจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจาก 180 เป็น 230 และค่าสีน้ำเงินในช่วงชั่วโมงที่ 6 ถึงชั่วโมง 12 โดยลดลงจาก 200 เหลือ 190 และในช่วงชั่วโมงที่ 18 ถึงชั่วโมงที่ 30 จะมีค่าสีน้ำเงินที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือลดลงจาก 200 เหลือ 160 และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในชั่วโมงที่ 30 ถึงชั่วโมงที่ 36 โดยเพิ่มจาก 160 เป็น 210

**4.3.3 ผลการตอบสนองค่าสีในรูปแบบ RGB ของเนื้อสันในไก่**



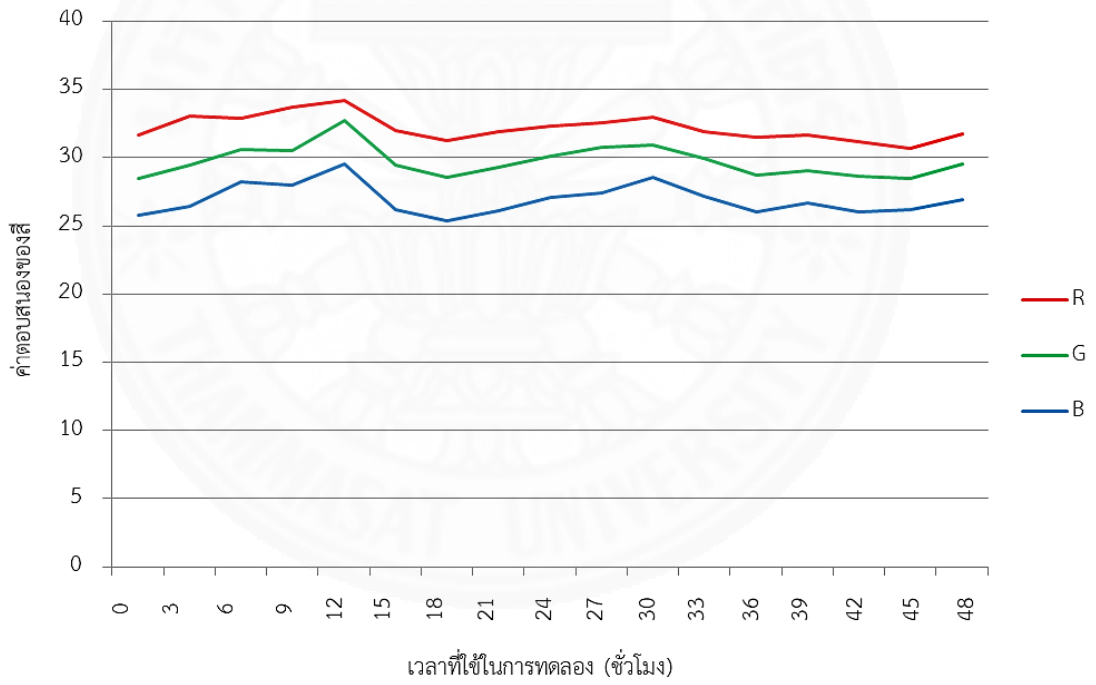

ภาพที่ 4.12 ผลตอบสนองค่าสี RGB ของเนื้อสันในไก่

จากภาพที่ 4.12 แสดงถึงผลการตอบสนองของค่าสี RGB ของเนื้อสันในไก่ พบว่า ค่าสีเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งค่าสีของทั้ง 3 สีมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นจากจุดเริ่มต้นหรือชั่วโมงที่ 0 ซึ่งค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจาก 230 เป็น 240 ค่าสีเขียวเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 210 และค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นจาก 180 เป็น 190 และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 24 ค่าสี RGB มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งค่าสีแดงลดลงจาก 230 เหลือ 200 ค่าสีเขียวลดลงจาก 100 เหลือ 180 และค่าสีน้ำเงินลดลงจาก 200 เหลือ 160 และค่าสี RGB จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงชั่วโมงที่ 30 ถึง ชั่วโมงที่ 42 โดยค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 230 ค่าสีเขียวเพิ่มขึ้นจาก 170 เป็น 200 และค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นจาก 150 เป็น 180

จากภาพที่ 4.13 สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่ปีกบนได้ออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 6 เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าสี ต่อมาช่วงชั่วโมงชั่วโมงที่ 18 ถึงชั่วโมงที่ 30 เป็นช่วงที่มีการลดลงของค่าสี RGB อย่างชัดเจนและช่วงสุดท้ายคือช่วงชั่วโมงที่ 30 ถึงชั่วโมงที่ 42 เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขึ้ของค่าสี RGB

### 4.3.4 ผลการตอบสนองค่าสีในรูปแบบ RGB ของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด

ผลการตอบสนองของค่าสี RGB ของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ที่มีระดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือความเสื่อมสภาพแตกต่างกัน โดยลักษณะของเส้นกราฟที่แตกต่างกันตามระดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือความเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ตัวอย่างโดยมีตัวอย่างผลการทดลองดังภาพที่ 4.13



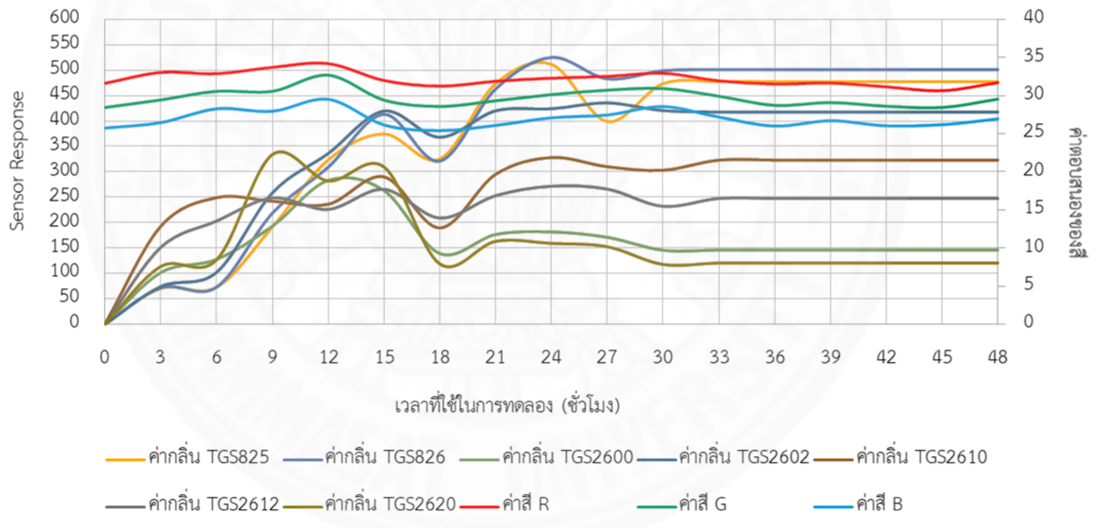

ภาพที่ 4.13 ลักษณะค่าสี RGB ที่เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการเน่าเสียของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดเมื่อเวลาผ่านไปตั้งแต่เนื้อไก่ตัวอย่างมีลักษณะปกติจนถึงเกิดการเสื่อมสภาพ

จากการนำภาพของเนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดมาหาค่าสี RGB ทำให้ทราบว่าเมื่อเนื้อไก่อยู่ในสภาพปกตินั่นจะมีค่าสีแดงอยู่ที่ประมาณ 30-34 ค่าสีเขียวอยู่ที่ 28-33 และค่าสีน้ำเงินอยู่ที่ประมาณ 26-29 และเนื้อไก่ที่นำมาใช้ในการทดลองเริ่มมีสภาพที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีการ

เสื่อมสภาพมากขึ้นค่าสีของ RGB จะค่อย ๆ ลดต่ำลงโดยค่าสีแดงอยู่ที่ประมาณ 32-34 ค่าสีเขียวอยู่ที่ประมาณ 27-32 และค่าสีน้ำเงินอยู่ที่ 25-29 และสุดท้ายเมื่อเนื้อไก่เกิดการเน่าเสียทั้งชิ้น จะมีค่าสีแดงอยู่ที่ประมาณ 33 ค่าสีเขียวอยู่ที่ประมาณ 31 และค่าสีน้ำเงินอยู่ที่ประมาณ 28 โดยเราใช้จมูกในการดมกลิ่นหรือสายตามองเนื้อไก่เป็นตัวตัดสินว่าเนื้อไก่ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีการเน่าเสียหรือยัง โดยเป็นการตัดสินใจอย่างง่ายโดยใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์

## 4.4 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น

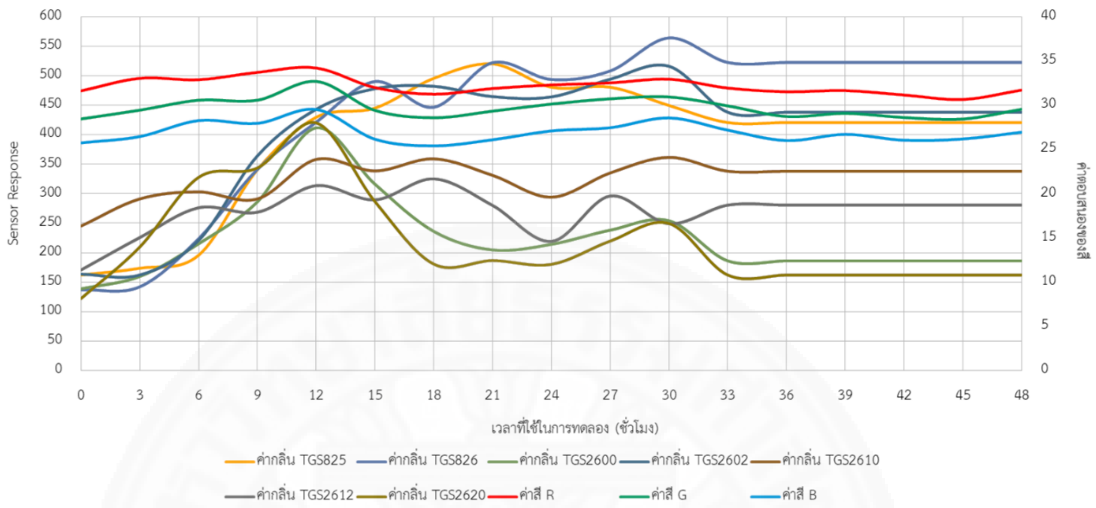
### 4.4.1 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ปีกบนระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น




ภาพที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อไก่ปีกบน

จากภาพที่ 4.14 แสดงผลการการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ปีกบนระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น พบว่า ในชั่วโมงที่ 12 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825, TGS826 และ TGS2602 ที่ตรวจวัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์และแก๊สแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าสี RGB ของเนื้อไก่ที่มีค่าลดลงและช่วงชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 30 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มีค่าลดลงแต่ค่าสี RGB มีค่าเพิ่มขึ้น

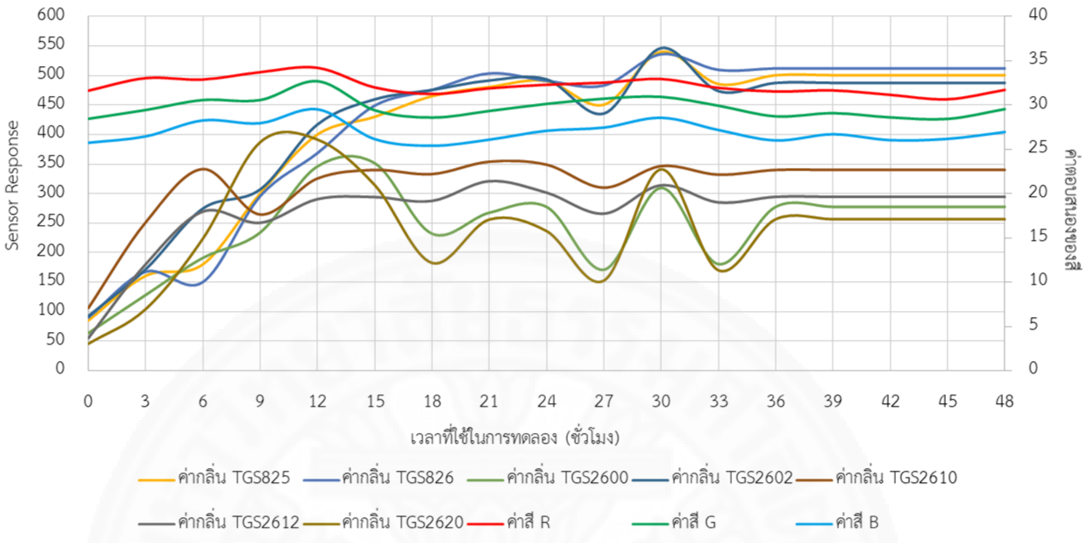
**4.4.2 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้ออกไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น**




ภาพที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้ออกไก่

จากภาพที่ 4.15 แสดงผลการการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้ออกไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น พบว่า ในชั่วโมงที่ 12 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825, TGS826 และ TGS2602ที่ตรวจวัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์และแก๊สแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าสี RGB ของเนื้อไก่ที่มีค่าลดลงและช่วงชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 30 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มีค่าลดลงแต่ค่าสี RGB มีค่าเพิ่มขึ้น

**4.4.3 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อสันในไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น**




ภาพที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อสันในไก่

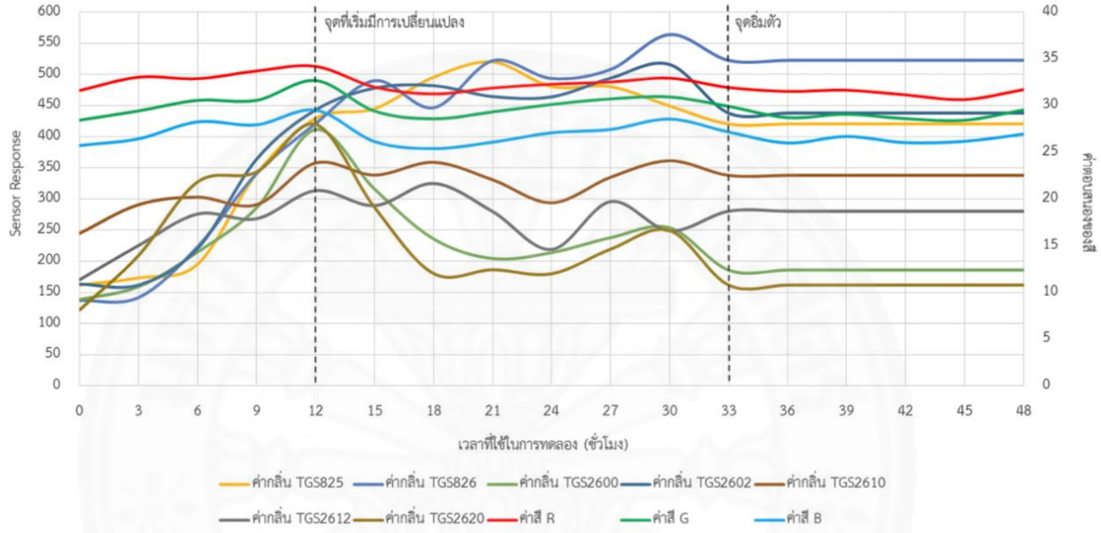
จากภาพที่ 4.16 แสดงผลการการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อสันในไก่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น พบว่า ในชั่วโมงที่ 12 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825, TGS826 และ TGS2602 ที่ตรวจวัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์และแก๊สแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าสี RGB ของเนื้อไก่ที่มีค่าลดลงและช่วงชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 30 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มีค่าลดลงแต่ค่าสี RGB มีค่าเพิ่มขึ้น

จากการประเมินความสัมพันธ์ระกว่างการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพและการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยกลิ่น พบว่า เนื้อไก่ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด คือ เนื้อไก่ปีกบน, เนื้ออกไก่และเนื้อสันในไก่ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแนวทางเดียวกันคือ ในชั่วโมงที่ 12 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825, TGS826 และ TGS2602 ตรวจวัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์และแก๊สแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นและค่าสี RGB ของเนื้อไก่ที่มีค่าลดลงและช่วงชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 30 ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์มีค่าลดลงแต่ค่าสี RGB มีค่าเพิ่มขึ้น

Ref. code: 25626010110028OTE

**4.4.4 ผลการประเมินความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิดระหว่างการเปลี่ยนแปลงภาพและกลิ่น**

ผลการทดลองจะเป็นการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกลิ่นและผลการวิเคราะห์ด้วยภาพเพื่อมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์กัน




ภาพที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อไก่ทั้ง 3 ชนิด

จากภาพที่ 4.17 เป็นผลที่ได้จากการทดลองของเนื้อไก่ตัวอย่างจะทำให้ทราบว่าเนื้อไก่จะเริ่มมีการเน่าเสียเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงไปแล้ว โดยสามารถดูได้จากลักษณะเส้นกราฟที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน จากเนื้อไก่ตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยกลิ่นและและการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยภาพจะเห็นว่าการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยภาพมีผลต่อการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของเนื้อไก่น้อยกว่าการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยกลิ่นรวมถึงยังมีโอกาสที่จะผิดพลาดมากกว่าอีกด้วย

## 4.5 ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์

เป็นการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ โดยกลุ่มคนที่ใช้ในการทำแบบสอบถามในการทดลองเป็นกลุ่มของผู้ขายและผู้ซื้อเนื้อไก่ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้ 1 คะแนน คือเนื้อไก่มีลักษณะปกติที่สามารถนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขายได้ตามปกติ, 2 คะแนน คือเนื้อไก่มีลักษณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสีและกลิ่นซึ่งจะสามารถนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขายได้ และ 3 คะแนน คือเนื้อไก่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ซึ่งไม่เหมาะกบการนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขาย

แบบสำรวจการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นของเนื้อไก่

| ชั่วโมง | ระดับความคิดเห็น | | |
|---|---|---|---|
| | 3 | 2 | 1 |
| 0 | | | |
| 6 | | | |
| 12 | | | |
| 18 | | | |
| 24 | | | |
| 30 | | | |
| 36 | | | |
| 42 | | | |
| 48 | | | |

**ระดับความคิดเห็น**

1 คะแนน = เนื้อไก่สามารถนำไปประกอบอาหารหรือบริโภคได้

2 คะแนน = เนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ยังสามารถนำไปประกอบอาหารหรือบริโภคได้

3 คะแนน = เนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งกลิ่นและสีอย่างเห็นได้ชัด ไม่เหมาะสมนำไปประกอบอาหารหรือบริโภค

ภาพที่ 4.18 แบบสำรวจการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นกับกลไกของมนุษย์

**4.5.1 ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อไก่ปีกบนกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์**

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์, ค่าสี RGB และคะแนนความคิดเห็นผู้ตอบแบบสำรวจของเนื้อไก่ปีกบน

| ชั่วโมง | ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ | | | ค่าสี RGB | | | คะแนนของกลุ่มผู้ตอบแบบสำรวจ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TGS825 | TGS826 | TGS2602 | R | G | B | ผู้ขาย | ผู้ซื้อ |
| 0 | 30 | 50 | 100 | 230 | 200 | 190 | 1 | 1 |
| 6 | 70 | 100 | 140 | 240 | 205 | 190 | 1 | 1 |
| 12 | 150 | 350 | 400 | 230 | 190 | 170 | 2 | 2 |
| 18 | 300 | 550 | 550 | 230 | 190 | 180 | 2 | 2 |
| 24 | 300 | 600 | 500 | 200 | 170 | 160 | 2 | 2 |
| 30 | 300 | 605 | 505 | 200 | 170 | 150 | 3 | 3 |
| 36 | 300 | 605 | 570 | 220 | 190 | 170 | 3 | 3 |
| 42 | 300 | 605 | 570 | 230 | 200 | 170 | 3 | 3 |
| 48 | 300 | 605 | 570 | 200 | 170 | 150 | 3 | 3 |

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ตามกลไกการรับรู้ของมนุษย์สังเกตได้ว่า ในชั่วโมงที่ 6 สีของเนื้อไก่เริ่มการเปลี่ยนแปลง โดยมีสีแดงลดลงและมีสีเหลืองขุ่นเพิ่มขึ้น แต่กลิ่นของเนื้อไก่ยังไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงจากช่วงโมงแรกที่ทำการทดลอง ต่อมาในช่วงชั่วโมงที่ 12 พบว่าสีของเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีสีเหลืองขุ่นเพิ่มขึ้น และในชั่วโมงที่ 15 พบว่าเนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากชั่วโมงแรกที่ทำการทดลอง แต่ความรู้สึกของมนุษย์คิดว่ายังสามารถนำมาประกอบอาหารหรือซื้อขายได้ ในชั่วโมงที่ 24 พบว่ากลิ่นของเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีกลิ่นเหม็นเน่าเพิ่มขึ้น ซึ่งความคิดเห็นของมนุษย์เริ่มลังเลที่จะนำเนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวมาประกอบอาหารหรือซื้อขายและหลังจากชั่วโมงที่ 30 ไปแล้ว พบว่าเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้น โดยมีกลิ่นเหม็นเน่าเพิ่มขึ้นและสีที่เหลือขุ่นจนเกือบทั้งชิ้นและจากการสังเกตของมนุษย์สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเวลาที่ 12 ชั่วโมงเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงแต่สามารถนำมาประกอบอาหารหรือซื้อขายได้ ในชั่วโมงที่ 24 เนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหลังจากชั่วโมงที่ 12 ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินที่จะนำเนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวมาประกอบอาหารหรือซื้อขายเล็กน้อย และสุดท้ายหลังจากชั่วโมงที่ 30 ไปแล้ว ทั้ง

ผู้ซื้อและผู้ขายลงความเห็นตรงกันว่า เนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวมีกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนโดยเนื้อไก่ส่งกลิ่นเหม็นเน่าและสีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขาย

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ พบว่า เนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตามความรับรู้ของมนุษย์ เมื่อค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825 มีค่า 150 TGS825 มีค่า 350 และ TGS2602 มีค่า 400 และเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตามความรับรู้ของมนุษย์เมื่อค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825 มีค่า 300 TGS826 มีค่า 605 และ TGS2602 มีค่า 505

### 4.5.2 ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้ออกไก่กับกลไกการรับรู้ของมนุษย์

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์, ค่าสี RGB และคะแนนความคิดเห็นผู้ตอบแบบสำรวจของเนื้ออกไก่

| ชั่วโมง | ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ | | | ค่าสี RGB | | | คะแนนของกลุ่มผู้ตอบแบบสำรวจ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TGS825 | TGS826 | TGS2602 | R | G | B | ผู้ขาย | ผู้ซื้อ |
| 0 | 110 | 200 | 320 | 230 | 200 | 190 | 1 | 1 |
| 6 | 205 | 500 | 510 | 240 | 220 | 200 | 2 | 2 |
| 12 | 250 | 505 | 550 | 230 | 210 | 190 | 2 | 2 |
| 18 | 350 | 600 | 600 | 220 | 200 | 200 | 2 | 2 |
| 24 | 370 | 650 | 600 | 240 | 210 | 200 | 2 | 2 |
| 30 | 400 | 700 | 700 | 210 | 180 | 160 | 3 | 3 |
| 36 | 400 | 700 | 700 | 250 | 230 | 210 | 3 | 3 |
| 42 | 400 | 700 | 700 | 230 | 220 | 200 | 3 | 3 |
| 48 | 400 | 700 | 700 | 230 | 220 | 210 | 3 | 3 |

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ตามกลไกการรับรู้ของมนุษย์สังเกตได้ว่า ในชั่วโมงที่ 6 สีและกลิ่นของเนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง โดยกลิ่นของเนื้อไก่มีสีแดงที่ลดลงและมีสีเหลืองขุ่นเล็กน้อยบริเวณโดยรอบชิ้น โดยเนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวยังสามารถนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขาย

ได้ ต่อมาในช่วงชั่วโมงที่ 12 พบว่าเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 6 โดยเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยกลิ่นของเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและสีของเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่ยังสามารถนำมาประกอบอาหารและซื้อขายได้ และสุดท้ายหลังจากชั่วโมงที่ 30 ไปแล้ว ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายลงความเห็นตรงกันว่า เนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวมีกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยเนื้อไก่ส่งกลิ่นเหม็นเน่าและสีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขาย

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ พบว่า เนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตามความรับรู้ของมนุษย์ เมื่อค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825 มีค่า 205 TGS825 มีค่า 500 และ TGS2602 มีค่า 510 และเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตามความรับรู้ของมนุษย์เมื่อค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825 มีค่า 400 TGS826 มีค่า 700 และ TGS2602 มีค่า 700

#### 4.5.3 ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภาพและกลิ่นของเนื้อสันในไก่กับกลไกการรับรู้ของมนุษย์

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์, ค่าสี RGB และคะแนนความคิดเห็นผู้ตอบแบบสำรวจของเนื้อสันในไก่

| ชั่วโมง | ค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ | | | ค่าสี RGB | | | คะแนนของกลุ่มผู้ตอบแบบสำรวจ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TGS825 | TGS826 | TGS2602 | R | G | B | ผู้ขาย | ผู้ซื้อ |
| 0 | 50 | 100 | 200 | 240 | 200 | 190 | 1 | 1 |
| 6 | 120 | 200 | 400 | 245 | 220 | 200 | 2 | 2 |
| 12 | 250 | 510 | 550 | 230 | 200 | 170 | 2 | 2 |
| 18 | 270 | 600 | 520 | 230 | 200 | 170 | 2 | 2 |
| 24 | 370 | 610 | 620 | 230 | 205 | 195 | 2 | 2 |
| 30 | 400 | 700 | 700 | 200 | 170 | 160 | 3 | 3 |
| 36 | 400 | 700 | 700 | 200 | 170 | 160 | 3 | 3 |
| 42 | 400 | 700 | 700 | 220 | 200 | 180 | 3 | 3 |
| 48 | 400 | 700 | 700 | 210 | 200 | 180 | 3 | 3 |

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ตามกลไกการรับรู้ของมนุษย์สังเกตได้ว่า ในชั่วโมงที่ 6 สีและกลิ่นของเนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง โดยกลิ่นของเนื้อไก่มีสีแดงที่ลดลงและมีสีเหลืองขุ่นเล็กน้อยบริเวณโดยรอบชิ้น โดยเนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวยังสามารถนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขายได้ ต่อมาในช่วงชั่วโมงที่ 12 พบว่าเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 6 โดยเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยกลิ่นของเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและสีของเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่ยังสามารถนำมาประกอบอาหารและซื้อขายได้ และสุดท้ายหลังจากชั่วโมงที่ 30 ไปแล้ว ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายลงความเห็นตรงกันว่า เนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวมีกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยเนื้อไก่ส่งกลิ่นเหม็นเน่าและสีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปประกอบอาหารหรือซื้อขาย

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ พบว่า เนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตามความรับรู้ของมนุษย์ เมื่อค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825 มีค่า 120 TGS825 มีค่า 200 และ TGS2602 มีค่า 400 และเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตามความรับรู้ของมนุษย์เมื่อค่าตอบสนองของเซ็นเซอร์ TGS825 มีค่า 400 TGS826 มีค่า 700 และ TGS2602 มีค่า 700

จากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพและกลิ่นกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์ สามารถสรุปได้ว่า เนื้อไก่ปีกบนเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 12 ซึ่งเนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวยังสามารถนำมาประกอบอาหารหรือบริโภคได้ และหลังจากชั่วโมงที่ 30 ไปแล้ว เนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งไม่เหมาะสมที่นำมาประกอบอาหารหรือซื้อขาย และเนื้ออกไก่ละเนื้อสันในไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแลปงในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งเนื้อไก่ในชั่วโมงดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งยังสามารถนำมาประกอบอาหารหรือซื้อขายได้ และหลังจากชั่วโมงที่ 30 ไปแล้ว เนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลลงอย่างชัดเจน ซึ่งไม่เหมาะสมที่นำมาประกอบอาหารหรือซื้อขาย

สามารถสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์และผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่โดยภาพมีความสอดคล้องกับกลไกการรับรู้ของมนุษย์

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัย

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ด้วยกลิ่นโดยใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ได้ โดยสามารถดูได้จากกราฟที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากเมื่อเซ็นเซอร์ได้รับกลิ่นเนื้อไก่ตัวอย่างที่มีสถานะปกติค่าที่ได้จะแสดงกราฟไม่แตกต่างกับกลิ่นของสภาพแวดล้อมภายนอก แต่เมื่อเนื้อไก่ตัวอย่างตัวอย่างเริ่มมีการเน่าเสียจะมีการปล่อยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งเป็นแก๊สที่เกิดจากการที่จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์ย่อยสลายแล้วปล่อยแก๊สดังกล่าวออกมาทำให้เซ็นเซอร์ที่บรรจุอยู่ภายในสามารถที่จะรับกลิ่นที่แตกต่างกับกลิ่นของสภาพแวดล้อมภายนอกโดยที่เนื้อไก่ตัวอย่างมีอาการเน่าเสียช่วงแรกเซ็นเซอร์จะรับกลิ่นการเน่าเสียได้เล็กน้อยทำให้กราฟที่แสดงออกมาเห็นความแตกต่างระหว่างช่วงที่เครื่องตรวจวัดกลิ่นรับกลิ่นของอากาศปกติกับกลิ่นของเนื้อไก่ได้ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับเมื่อเนื้อไก่มีการเน่าเสียมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีค่ามากถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นของเนื้อไก่ที่สังเกตได้คือการมีก๊าซไฮโดนเจนซัลไฟด์ปริมาณสูง โดยในชั่วโมงที่ 30 จะแสดงโดยค่าเพิ่มขึ้น 4 เท่าเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นในการวัดค่าของกลิ่นที่เซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน

การวิเคราะห์ด้วยภาพโดยการใช้วิธีการจำแนกค่าสี RGB ทำให้ทราบว่าเมื่อเนื้อไก่มีสถานะปกติไปจนถึงเมื่อเนื้อไก่มีสถานะการเน่าเสียเป็นอย่างมาก โดยการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่จะเปลี่ยนจากสีแดงกลายเป็นสีเหลืองขุ่นและกลายเป็นสีเขียวในที่สุด ค่าสีที่อ่านได้จากรูปภาพจะมีค่าลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ ตามระดับการเน่าเสียของเนื้อไก่ โดยที่เมื่อเนื้อไก่มีลักษณะปกติค่าสีที่วัดได้สีแดงมีค่าประมาณ 30-34 ค่าสีเขียวมีค่าประมาณ 28-33 และค่าสีน้ำเงินมีค่าประมาณ 26-29 และเมื่อเนื้อไก่มีลักษณะการเน่าเสียค่าสีที่วัดได้จะมีสีแดงจะมีค่าประมาณ 32-34 สีเขียวมีค่าประมาณ 27-32 และสีน้ำเงินมีค่าประมาณ 25-29 และจะต่ำลงเรื่อย ๆ จนค่าสีมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของเนื้อไก่ที่มีลักษณะปกติเมื่อเนื้อไก่มีลักษณะการเน่าเสียทั้งชิ้น

จากผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ด้วยภาพและกลิ่นมีผลที่สอดคล้องกันคือเนื้อไก่ปีกบนจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่าเนื้ออกไก่และเนื้อสันในไก่ เนื่องจากเนื้ออกไก่และเนื้อสันในไก่มีปริมาณของโปรตีนที่มากกว่าเนื้อไก่ปีกบนประมาณ 15.5 กรัม จึงส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนได้รวดเร็วกว่าเนื้อไก่ที่มีปริมาณน้อย โดยเนื้อไก่ปีกบนจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 12 แต่เนื้ออกไก่และเนื้อสันในไก่จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 6

Ref. code: 25626010110028OTE

เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบ มาเปรียบเทียบกันทำให้ทราบว่า ผลที่ได้จะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ซึ่งเมื่อนำเนื้อไก่มาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ด้วยกลิ่นและด้วยภาพจะเพิ่มความถูกต้องในการตรวจสอบมากขึ้น

ดังนั้นในการวิเคราะห์การเน่าเสียของเนื้อไก่จำเป็นที่จะต้องใช้การวิเคราะห์การเน่าเสียทั้ง 2 แบบ คือการใช้ทั้งภาพและกลิ่น เพื่อเพิ่มความแม่นยำและถูกต้องในการวิเคราะห์มากขึ้น

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคของงานวิจัย

จากการศึกษาและทำการวิจัย ผู้ศึกษาได้พบปัญหาและอุปสรรคดังนี้ เนื่องจากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์กลิ่นและภาพอาจมีความคลาดเคลื่อนทางเวลาอยู่เล็กน้อยเนื่องจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบไม่สามารถทำพร้อมกันได้ รวมถึงในระหว่างการทดลองมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น เนื่องจากมีกลิ่นแปลกปลอมเข้ามารวมเข้าไปในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

## 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

แนวทางในการพัฒนาต่อในอนาคตนั้น สามารถนำการวิเคราะห์ด้วยกลิ่นไปตรวจสอบความเน่าเสียของน้ำในแม่น้ำ/ลำคลองเพื่อตรวจสอบความเน่าเสียของน้ำ เพื่อเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาน้ำเสียในแม่น้ำ/ลำคลองต่อไป หรือนำการวิเคราะห์กลิ่นไปตรวจสอบเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ เพื่อเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์เพื่อความมั่นใจของผู้บริโภคหรือนำไปใช้ในการตรวจหาระยะเวลาในการเสื่อมสภาพ โดยสามารถอ้างอิงจากผลการทดลอง

# รายการอ้างอิง


## หนังสือและบทความในหนังสือ

1. T.C. Pearce, S.S.Schiffman, H.T. Nagle, and J.W. Gardner, “Introduction to Chemosensors,” Handbook of Machine Olfaction, Electronic Nose Technology, Weinheim, ch.4, sec.4.1, pp. 79-84.
2. ชนะ จันทร์ศรี, การพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์มัลติเปิลดิสคริมิแนนต์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

## บทความวิชาการ

3. B. Tudu, A. Jana, A. Metla, D Ghosh, N. Bhattacharyya and R. Bandyopadhyay, “Electronic nose for black tea quality evaluation by an incremental RBF network”, Sensors and Actuators B 138 (2009), pp. 90–95.
4. A. Jonsson, F. Winquist, J. Schnurer, H. Sundgren and I. Lundstrom, “Electronic nose for microbial quality classification of grains”, International Journal of Food Microbiology 35 (1997), pp. 187-193.
5. Y. Dai, R. Zhi, L. Zhao, H. Gao, B. Shi and H. Wang, “Longjing tea quality classification by fusion of features collected from E-nose”, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 144 (2015), pp. 63–70.
6. S. Saevels, J. Lammertyn, A. Z. Berna, E. A. Veraverbeke, C. Di Natale and B. M. Nicolaï, “An electronic nose and a mass spectrometry-based electronic nose for assessing apple quality during shelf life”, Postharvest Biology and Technology 31 (2004), pp. 9-19.
7. C. Di Natale, A. Macagnano, E. Martinelli, R. Paollesse, E. Proietti and A. D’Amico, “The evaluation of quality of post-harvest oranges and apples by means of an electronic nose”, Sensors and Actuators B 78 (2001), pp. 26-31.


Ref. code: 25626010110028OTE

8. A. Sanaeifar, S. Saeid Mohtasebi, M. Ghasemi-Varnamkhasti and H. Ahmadi, "Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties", Measurement 82 (2016), pp. 105-114.
9. X. Hong, J. Wang and G. Qi, "E-nose combined with chemometrics to trace tomato-juice quality", Journal of Food Engineering 149 (2015), pp. 38-43.
10. H. Zhang, M. Chang, J. Wang and S. Ye, "Evaluation of peach quality indices using an electronic nose by MLR, QPST and BP network", Sensors and Actuators B 134 (2008), pp. 332-338.
11. H. Reinhard, F. Sager and O. Zoller, "Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements", Food Science and Technology 41 (2008), pp. 1906-1912.
12. S. Qiu, L. Gao and J. Wang, "Classification and regression of ELM, LVQ and SVM for E-nose data of strawberry juice", Journal of Food Engineering 144 (2015), pp. 77–85.
13. S. Trirongjitmoah, Z. Juengmunkong, K. Srikulnath and P. Somboon, "Classification of garlic cultivars using an electronic nose", Computers and Electronics in Agriculture 113 (2015), pp. 148–153.
14. M. Pardo, G. Niederjaufner, G. Benussi, E. Comini, G. Faglia, G. Sberveglieri, M. Holmberg and I. Lundstrom, "Data preprocessing enhances the classification of different brands of Espresso coffee with an electronic nose", Sensors and Actuators B 69 (2000), pp. 397–403.
15. E. Westenbrink, R.P.Arasaradna, N.O'Connell, C.Bailey, C.Nwokolo, K.D. Bardhan and J.A.Covington, " Development and application of a new electronic nose instrument for the detection of colorectal cancer", Biosensors and Bioelectronics 67 (2015), pp. 733–738.
16. T. Thepudom, T. Kerdcharoen, A. Tuantranont and T. Pogfay, "Health-Care Electronic Nose to Detect Beer Odor in Breath after Drinking", The 2012 Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2012).

17. Z. Zhezhou and L. Xuejuan. “Study on Application of Medical Diagnosis by Electronic Nose”, World Science and Technology Modernization of Traditional Chinese Medicine and Material Medica (2012), pp. 2115–2119.
18. T. Pogfay, N. Watthanawisuth, W. Pimpao, A. Wisitsoraat, S. Mongpraneet, T. Lomas, M. Sangworasil and A. Tuantranont, “Development of Wireless Electronic Nose for Environment Quality Classification”.
19. D. Hodgins, “The development of an electronic 'nose' for industrial environmental applications”, Sensors and Actuators B 26-27 (1995), pp. 255-258.
20. E. Scorsone, A. M. Pisanelli and K. C. Persaud, “Development of an electronic nose for fire detection”, Sensors and Actuators B 116 (2006), pp. 55–61.
21. D. H. Barbin, S. M. Mastelini and S. B. Jr., “Digital image analyses as an alternative tool for chicken quality assessment”, Biosystem Engineering 144 (2016), pp. 85-93.
22. D. F. Barbin, C. M. Kaminishikawahara and A. L. Soares, “Prediction of chicken quality attribures by near infrared spectroscopy”, Food chemistry 168 (2015), pp. 554-560.
23. H. Li, X. Sun and W. Pan, “Feasibility study on nondestructively sensing meat’s frshness using light scattering imaging technique”, Meat Science 119 (2016), pp. 102-109.
24. Y. Yin, H. Yu, B. Chu and Y. Xiao, “A sensor array optimization method of electronic nose based on elimination transform of Wilks statistic for discrimination of three kinds of vinegars”, Journal of Food Engineering 127 (2014), pp. 43–48.
25. D. Chatterjee, P. Bhattacharjee and N. Bhattacharyya, “Development of methodology for assessment of shelf-life of fried potato wedges using electronic noses: Sensor screening by fuzzy logic analysis”, Journal of Food Engineering 133 (2014), pp. 23–29.
26. K. Timson, C. Wongchoosuk and P. Wattuya, “Discrimination of chicken freshness using electronic nose combined with PCA and ANN”, in The 11$^{th}$ Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON), Nakhon Ratchasima, Thailand, 14-17 May 2014.

Ref. code: 25626010110028OTE

27. Z. Zhang, J. Tong, D. Chen and Y. Lan, “Electronic Nose with an Air Sensor Matrix for Detecting Beef Freshness”, Journal of Bionic Engineering 5 (2008), pp. 67–73.
28. O. S. Papadopoulos, “Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandern with support vector machine analysis”, Food research Int. l 5 (2013), pp. 241-249.
29. L. Xu, X. Yu, L. Liu and R. Zhang, “A novel method for qualitative analysis of edible oil oxidation using an electronic nose”, Food Chemistry 202 (2016), pp. 229–235.
30. X. Tian, J. Wang and S. Cui, “Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors”, Journal of Food Engineering 119 (2013), pp. 744–749.
31. M. Lebrun, A. Plotto, K. Goodner, M. Ducampa and E. Baldwin, “Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography”, Postharvest Biology and Technology 48 (2008), pp. 122–131.
32. S. Kiani, S. Minaei and M. Ghasemi-Varnamkhasti, “A portable electronic nose as an expert system for aroma-based classification of saffron”, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 156 (2016), pp. 148–156.
33. S. Cui, J. Wu, J. Wang and X. Wang, “Discrimination of American ginseng and Asian ginseng using electronic nose and gas chromatographyemass spectrometry coupled with chemometrics”, J Ginseng Res (2016), pp. 1-11.
34. G. Marek, “ Application of electronic nose with MOS sensors to prodiction of rapeseed quality”, Measurement 133 (2017), pp. 227-234.
35. M. Lebrun, A. Plotto, K. Goodner, M. Ducampa and E. Baldwin, “Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography”, Postharvest Biology and Technology 48 (2008), pp. 122–131.
36. J. A. Pino and O. Queris, “Analysis of volatile compounds of mango wine”, Food Chemistry 125 (2011), pp. 1141–1146.
37. Z. Xiaoa, D. Yua, Y. Niua, F. Chenb, S. Songa, J. Zhua and G. Zhu, “ Characterization of aroma compounds of Chinese famous liquors bygas

Ref. code: 25626010110028OTE

chromatography–mass spectrometry and flash GC electronic-nose” Journal of Chromatography B, 945–946 (2014), pp. 92–100.

38. A. Gorji-Chakesparia, A. M. Nikbakhta, F. Sefidkonb ,M. Ghasemi-Varnamkhastic and E. L. Valero, “ Classification of essential oil composition in Rosa damascena Mill. genotypes using an electronic nose” , Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants (2016)
39. H.F. Hawari, N.M. Samsudin, A.Y. Md. Shakaff, Y. Wahab, U. Hashim, A. Zakaria, S.A. Ghani and M.N. Ahmad, “ Highly selective molecular imprinted polymer (MIP) based sensor array using interdigitated electrode (IDE) platform for detection of mango ripeness”, Sensors and Actuators B 187 (2013), pp. 434–444.
40. Manuela Baietto, Letizia Pozzi, Alphus Dan Wilson and Daniele Bassi., “Evaluation of a portable MOS electronic nose to detect root rots in shade tree species”, Computers and Electronics in Agriculture 96 (2013), pp. 117–125.
41. Ashok Kanade and Dr.A.D.Shaligram., “Development of an E-Nose Using Metal Oxide Semiconductor Sensors for the Classification of Climacteric Fruits”, International Journal of Scientific & Engineering Research (2014), pp. 467-472.
42. Balakrishnama, S., and Ganapathiraju, A. (1998). Linear discriminant analysis: a brief tutorial. Mississippi State (MS): Institute for Signal and information Processing, Mississippi State University.
43. Juwei L., Plataniotis, K.N., Venetsanopoulos, A.N. (2003). Boosting Linear Discriminant Analysis for Face Recognition. In Proceedings IEEE International Conference on Image Processing (pp. 657-660).

**สื่ออิเล็กทรอนิกส์**

44. "Electronic Nose คืออะไร?," สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2559, จาก http://smartfarmthailand.com/precisionfarming/index.php/product/e-nose/77-electronic-nose

45. "งานวิจัยในด้าน IT," สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2559, จาก http://itzone.6te.net/Research.html
46. นิภาภรณ์ สีถาการ, "จมูกอิเล็กทรอนิกส์," สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2559, จาก http://www.vcharkarn.com/vnews/135310
47. "จมูกอิเล็กทรอนิกส์" เทคโนโลยีใหม่สำหรับเกษตร-อาหาร," สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2559, จาก https://kasetmodern.wordpress.com/2014/12/10/electronic-nose-3/
48. พรพล ธรรมรงค์รัตน์, ลัดดา ปรีชาวีรกุล, และวิภาดา เวทย์ประสิทธิ์. (2551). "การจำแนกประเภทเว็บเพจโดยใช้ค่าความถี่เอกสารและซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน," จาก http://www.ssruir.ssru.ac.th/bitstream/ssruir/377/1/080-53.pdf
49. "GCMS-TQ8050," สืบค้นเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2560, จาก https://www.shimadzu.com/an/gcms/8050/index.html

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ | นางสาวนภัสสร ทยากรกุล |
| วันเดือนปีเกิด | 06 กุมภาพันธ์ 2538 |
| วุฒิการศึกษา | ปีการศึกษา 2559: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต<br>มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |

ผลงานทางวิชาการ

1.) Analysis of Chicken Meat Degradation using Electronic Nose Technology จัดโดย สมาคมวิชาการไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสมเทศ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
2.) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์และการประมวลผลภาพสำหรับวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเนื้อไก่ ณ การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 11

| | |
|---|---|
| ประสบการณ์ทำงาน | ปัจจุบัน – พ.ศ. 2560 วิศวกรควบคุมคุณภาพ<br>บริษัท ไทยสแตนเลย์การไฟฟ้า จำกัด (มหาชน) |