

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ  | (3)  |
| Abstract  | (5)  |
| กิตติกรรมประกาศ   | (6)  |
| สารบัญ  | (7)  |
| รายการตาราง   | (10) |
| รายการภาพประกอบ   | (13) |
| ตัวย่อและสัญลักษณ์  | (22) |
| บทที่   |      |
| 1 บทนำ  | 1    |
| 1.1 บทนำตั้งเรื่อง  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์  | 3    |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                             | 3    |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย                                     | 3    |
| 2 ทฤษฎี   | 4    |
| 2.1 กลไกการกลืน   | 4    |
| 2.2 คุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร                          | 7    |
| 2.3 แอลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและคอ | 10   |
| 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย                                  | 13   |
| 3.1 อุปกรณ์ในการศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร         | 13   |
| 3.1.1 เครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน                       | 13   |
| 3.1.2 ชุดทดลองความเสียดทาน                                | 15   |
| 3.1.3 ชุดทดลองความสามารถในการไหล                          | 15   |
| 3.1.4 เครื่องชั่ง   | 16   |
| 3.1.5 บีกเกอร์  | 16   |
| 3.2 อุปกรณ์ในการจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและคอ             | 16   |
| 3.2.1 ชุดขั้วไฟฟ้าชนิดปิดผิวหนัง                          | 16   |
| 3.2.2 คริมขั้วไฟฟ้า                                       | 17   |
| 3.2.3 เทปกาว  | 18   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 3.2.4 ชุดขยายสัญญาณไฟฟ้า                                      | 18   |
| 3.2.5 การ์ดแปลงสัญญาณ   | 18   |
| 3.2.6 คอมพิวเตอร์   | 18   |
| 3.2.7 โปรแกรมสำเร็จรูปแล็บวิว เวอร์ชัน 7                      | 18   |
| 3.3 การวิเคราะห์สัญญาณ ไฟฟ้ากล้ำมเนื้อลื่นและคอ               | 18   |
| 3.4 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย                                    | 22   |
| 4 คุณสมบัติทางรีโอ โลยีของอาหาร                               | 24   |
| 4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางรีโอ โลยีของน้ำลายและสารตั้งต้นหลัก | 24   |
| 4.1.1 น้ำลาย  | 24   |
| 4.1.2 แป้งแบเรียม   | 26   |
| 4.1.3 น้ำ   | 27   |
| 4.2 คุณสมบัติทางรีโอ โลยีของอาหารตั้งต้น                      | 28   |
| 4.2.1 ข้าวปั้น  | 28   |
| 4.2.2 ไข่ตุ๋น   | 30   |
| 4.2.3 เต้าหู้   | 31   |
| 4.2.4 น้ำมัน  | 32   |
| 4.2.5 เจลลาติน  | 33   |
| 4.3 คุณสมบัติทางรีโอ โลยีของอาหารผสม                          | 42   |
| 4.3.1 ชุปข้าวโพด  | 42   |
| 4.3.2 โจ๊กปั้น  | 43   |
| 4.3.3 ชุปพะหมี่หยก  | 45   |
| 4.3.4 นมถั่วเหลือง  | 46   |
| 4.3.5 ชาเขียว   | 48   |
| 4.3.6 เผือกปั้น   | 49   |
| 4.3.7 ฟักทองปั้น  | 50   |
| 4.3.8 แยมสตรอเบอร์รี่   | 51   |

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 5 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารกับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ<br>ลึ้นและคอ   | 59   |
| 5.1 ชูปข้าวโพด   | 61   |
| 5.1.1 การตรวจสอบการแจกแจง  | 61   |
| 5.1.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของค่าคลาดเคลื่อน  | 63   |
| 5.1.3 ตรวจสอบระดับความสัมพันธ์   | 65   |
| 5.1.4 การทดสอบความเหมาะสมของสมการ  | 66   |
| 5.1.5 หาค่าพารามิเตอร์ของสมการเส้นตรง  | 67   |
| 5.2 ชูปบะหมี่หยก   | 70   |
| 5.3 โจ๊กปั่น   | 72   |
| 5.4 นมถั่วเหลือง   | 74   |
| 6 สรุป วิเคราะห์และข้อเสนอแนะ  | 81   |
| 6.1 คุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร   | 81   |
| 6.1.1 การศึกษาอาหารตั้งต้น   | 81   |
| 6.1.2 การเตรียมอาหารผสม  | 81   |
| 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารกับสัญญาณไฟฟ้า<br>กล้ามเนื้อลึ้นและคอ   | 82   |
| 6.3 ข้อเสนอแนะ   | 84   |
| บรรณานุกรม   | 85   |
| ภาคผนวก ก กราฟแสดงผลการศึกษาความหนืดของอาหารตั้งต้น  | 87   |
| ภาคผนวก ข แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง<br>คุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารกับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลึ้นและคอ | 104  |
| ประวัติผู้เขียน  | 131  |

## รายการตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 เปรี่เซนต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อคลื่นรบกวนของแอลกอริทึมพีริแควนซ์<br>เวท ไทม์ ซีรี่ส์ เทียบกับวิธีรากเฉลี่ยกำลังสอง                               | 12   |
| 3.1 จำนวนอาสาสมัคร   | 23   |
| 4.1 ชนิดของของไหลและค่าคงที่ของน้ำลายและสารตั้งต้นหลัก   | 28   |
| 4.2 ชนิดของของไหลและค่าคงที่ของน้ำลาย สารตั้งต้นหลักและอาหารตั้งต้น  | 37   |
| 4.3 ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และความสามารถในการไหล<br>ของอาหารตั้งต้น   | 38   |
| 4.4 ชนิดของของไหลและค่าคงที่ของอาหารผสม  | 54   |
| 4.5 ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และความสามารถในการไหล<br>ของอาหารผสม   | 55   |
| 5.1 การตรวจสอบการแจกแจงของ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ของอาสาสมัครเมื่อ<br>กลืนซูปข้าวโพดทุกสูตร   | 63   |
| 5.2 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลืนซูปข้าวโพดสูตร 1   | 66   |
| 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลืนซูปข้าวโพดสูตร 1   | 67   |
| 5.4 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลืนซูปข้าวโพดสูตร 1  | 68   |
| 5.5 การตรวจสอบการแจกแจงของ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ของอาสาสมัครเมื่อ<br>กลืนซูปพะหมี่หยก โจ๊กป่นและนมถั่วเหลืองทุกสูตร                              | 77   |
| 5.6 ค่าเฉลี่ยของ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ของอาสาสมัครเมื่อกลืนอาหารคาว  | 78   |
| 5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าคงที่ของความ<br>สัมพันธ์ระหว่าง $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ของอาสาสมัครเมื่อกลืนอาหารคาว | 79   |
| 5.8 ค่าเฉลี่ยของ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ของอาสาสมัครเพศชายและเพศหญิงเมื่อ<br>กลืนอาหารคาว  | 80   |
| ผข.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลืนซูปข้าวโพด สูตร 2   | 106  |
| ผข.2 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลืนซูปข้าวโพด<br>สูตร 2  | 106  |
| ผข.3 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลืนซูปข้าวโพด<br>สูตร 2   | 106  |

รายการตาราง (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| ผข.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบข้าวโพด สูตร 3           | 108  |
| ผข.5 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบข้าวโพด<br>สูตร 3    | 108  |
| ผข.6 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบข้าวโพด<br>สูตร 3   | 108  |
| ผข.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก สูตร 1          | 110  |
| ผข.8 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก<br>สูตร 1   | 110  |
| ผข.9 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก<br>สูตร 1  | 110  |
| ผข.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก สูตร 2         | 112  |
| ผข.11 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก<br>สูตร 2  | 112  |
| ผข.12 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก<br>สูตร 2 | 112  |
| ผข.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก สูตร 3         | 114  |
| ผข.14 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก<br>สูตร 3  | 114  |
| ผข.15 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นชุบะหมี่หยก<br>สูตร 3 | 114  |
| ผข.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั้น สูตร 1            | 116  |
| ผข.17 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั้น สูตร 1        | 116  |
| ผข.18 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั้น<br>สูตร 1    | 116  |
| ผข.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั้น สูตร 2            | 118  |
| ผข.20 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั้น สูตร 2        | 118  |
| ผข.21 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั้น<br>สูตร 2    | 118  |

รายการตาราง (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| ผข.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ใจักปุ่น สูตร 3                                    | 120  |
| ผข.23 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ใจักปุ่น สูตร 3                                | 120  |
| ผข.24 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ใจักปุ่น สูตร 3                               | 120  |
| ผข.25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง สูตร 1                                 | 122  |
| ผข.26 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง<br>สูตร 1                          | 122  |
| ผข.27 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง<br>สูตร 1                         | 122  |
| ผข.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง สูตร 2                                 | 124  |
| ผข.29 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง<br>สูตร 2                          | 124  |
| ผข.30 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง<br>สูตร 2                         | 124  |
| ผข.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง สูตร 3                                 | 126  |
| ผข.32 ค่าสถิติสรุปของสมการความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง<br>สูตร 3                          | 126  |
| ผข.33 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง<br>สูตร 3                         | 126  |
| ผข.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเพื่อทดสอบผลของ<br>อายุของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปข้าวโพด   | 127  |
| ผข.35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเพื่อทดสอบผลของ<br>อายุของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปบะหมี่หยก | 128  |
| ผข.36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเพื่อทดสอบผลของ<br>อายุของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ใจักปุ่น    | 129  |
| ผข.37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเพื่อทดสอบผลของ<br>อายุของอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง | 130  |

## รายการภาพประกอบ

| ภาพประกอบที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ขั้นตอนการกลืนอาหาร   | 6    |
| 2.2 การไหลระหว่างแผ่นราบ 2 แผ่นเพื่อศึกษานิยามของความหนืด   | 8    |
| 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราเฉือนของไหลชนิดต่าง ๆ  | 9    |
| 2.4 ขั้นตอนการทำงานขณะบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและคอในอาสาสมัคร<br>ตลอดการนำข้อมูลไปสร้างความสัมพันธ์                                   | 11   |
| 3.1 การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน  | 14   |
| 3.2 ชุดทดลองความเสียดทาน  | 15   |
| 3.3 ชุดทดลองความสามารถในการไหล  | 15   |
| 3.4 ชุดขั้วไฟฟ้าชนิดปิดผิวหนัง  | 17   |
| 3.5 ตำแหน่งในการปิดชุดขั้วไฟฟ้าบนกล้ามเนื้อและคอ  | 17   |
| 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณ   | 19   |
| 3.7 สัญญาณไฟฟ้า (ก) กล้ามเนื้อลิ้น (ข) กล้ามเนื้อคอ (ค) กล้ามเนื้อลิ้นและกล้ามเนื้อ<br>คอเมื่อผสมสัญญาณ หลังผ่านการประมวลผลด้วยแอลกอริทึม | 20   |
| 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และความเร็วเชิงเส้น (velocity)<br>ของโຈிகปั่นสูตรที่ 3  | 21   |
| 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate)<br>ของน้ำลาย   | 25   |
| 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ<br>น้ำลายจากการทดลอง   | 25   |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate)<br>ของแป้งเบเรียม  | 26   |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate)<br>ของแป้งเบเรียม  | 26   |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate)<br>ของน้ำ  | 27   |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate)<br>ของน้ำ  | 28   |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของข้าวปุ้น  | 29   |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของข้าวปุ้น  | 29   |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของไข่ตุ๋น   | 30   |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของไข่ตุ๋น  | 30   |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเต้าหู้  | 31   |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเต้าหู้  | 31   |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำมัน   | 32   |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำมัน   | 32   |
| 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ (ก) เจลลาติน อุณหภูมิ 19 °C (ข) เจลลาติน อุณหภูมิ 26 °C (ค) เจลลาติน อุณหภูมิ 37 °C | 34   |
| 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ (ก) เจลลาติน อุณหภูมิ 19 °C (ข) เจลลาติน อุณหภูมิ 26 °C (ค) เจลลาติน อุณหภูมิ 37 °C         | 35   |
| 4.17 ความหนาแน่นของอาหารตั้งต้น โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.2   | 39   |
| 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ของอาหารตั้งต้น โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.2  | 40   |
| 4.19 ค่าความสามารถในการไหลของอาหารตั้งต้น โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.2   | 41   |



## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซูปข้าวโพด    | 42   |
| 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซูปข้าวโพด            | 43   |
| 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของโจ๊กปั่น      | 44   |
| 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของโจ๊กปั่น              | 44   |
| 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซูปมะพร้าวหยก | 45   |
| 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซูปมะพร้าวหยก         | 46   |
| 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของนมถั่วเหลือง  | 47   |
| 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของนมถั่วเหลือง          | 47   |
| 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของชาเขียว       | 48   |
| 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของชาเขียว               | 48   |
| 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเผือกปั่น     | 49   |
| 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเผือกปั่น             | 49   |
| 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของฟักทองปั่น    | 50   |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของฟักทองปั่น                   | 51   |
| 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแฮมสเตอร์เบอร์รี่    | 51   |
| 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแฮมสเตอร์เบอร์รี่            | 52   |
| 4.36 ความหนาแน่นของอาหารผสม โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.5   | 56   |
| 4.37 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ของอาหารผสม โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.5                      | 57   |
| 4.38 ค่าความสามารถในการไหลของอาหารผสม โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.5                                 | 58   |
| 5.1 ฮิสโตแกรมการแจกแจงของค่า Re ของซูปข้าวโพด สูตร 1  | 62   |
| 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ซูปข้าวโพด สูตร 1 | 64   |
| 5.3 ฮิสโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(EMG)$ ของ ซูปข้าวโพด สูตร 1 มีการแจกแจงแบบปกติ                   | 65   |
| 5.4 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปข้าวโพด สูตร 1                        | 69   |
| 5.5 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปข้าวโพด สูตร 2                        | 69   |
| 5.6 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปข้าวโพด สูตร 3                        | 70   |
| 5.7 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปบะหมี่หยก สูตร 1                      | 71   |
| 5.8 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปบะหมี่หยก สูตร 2                      | 71   |
| 5.9 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นซูปบะหมี่หยก สูตร 3                      | 71   |
| 5.10 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั่น สูตร 1                         | 73   |
| 5.11 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั่น สูตร 2                         | 73   |
| 5.12 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นโจ๊กปั่น สูตร 3                         | 73   |
| 5.13 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง สูตร 1                     | 75   |
| 5.14 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง สูตร 2                     | 75   |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.15 ความสัมพันธ์ $\ln(EMG)$ และ $\ln(Re)$ ในอาสาสมัครเมื่อกลิ้นนมถั่วเหลือง สูตร 3                            | 75   |
| ผก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำสลัด                     | 88   |
| ผก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของน้ำสลัด                | 88   |
| ผก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของเจลลี่         | 89   |
| ผก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของเจลลี่                 | 89   |
| ผก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของโยเกิร์ต       | 90   |
| ผก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของโยเกิร์ต               | 90   |
| ผก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของกล้วยหอมปั่น   | 91   |
| ผก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของกล้วยหอมปั่น           | 91   |
| ผก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของข้าวโอ๊ต       | 92   |
| ผก.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของข้าวโอ๊ต              | 92   |
| ผก.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของสาหร่ายผสมนาง | 93   |
| ผก.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของสาหร่ายผสมนาง         | 93   |
| ผก.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) (shear rate) ของแครอท         | 94   |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่  | หน้า |
|---|------|
| ผก.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแคโรท                 | 94   |
| ผก.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเจลลี่นม      | 95   |
| ผก.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเจลลี่นม              | 95   |
| ผก.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเต้าฮวย       | 96   |
| ผก.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเต้าฮวย               | 96   |
| ผก.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซอสแอปเปิล    | 97   |
| ผก.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซอสแอปเปิล            | 97   |
| ผก.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของกล้วยเกอเบอร์ | 98   |
| ผก.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของกล้วยเกอเบอร์         | 98   |
| ผก.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้น          | 99   |
| ผก.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้น                  | 99   |
| ผก.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำผึ้ง       | 100  |
| ผก.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำผึ้ง               | 100  |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่  | หน้า |
|---|------|
| ผก.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้นผสมน้ำมัน           | 101  |
| ผก.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้นผสมน้ำมัน                   | 101  |
| ผก.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้นผสมน้ำผึ้ง          | 102  |
| ผก.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้นผสมน้ำผึ้ง                  | 102  |
| ผก.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้นผสมน้ำมันและน้ำผึ้ง | 103  |
| ผก.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของวุ้นผสมน้ำมันและน้ำผึ้ง         | 103  |
| ผข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ชูปข้าวโพด สูตร 2    | 105  |
| ผข.2 ฮิสโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ ชูปข้าวโพด สูตร 2 มีการแจกแจงแบบปกติ               | 105  |
| ผข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ชูปข้าวโพด สูตร 3    | 107  |
| ผข.4 ฮิสโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ ชูปข้าวโพด สูตร 3 มีการแจกแจงแบบปกติ               | 107  |
| ผข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ชูปพะหนี่หยก สูตร 1  | 109  |
| ผข.6 ฮิสโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ ชูปพะหนี่หยก สูตร 1 มีการแจกแจงแบบปกติ             | 109  |
| ผข.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ชูปพะหนี่หยก สูตร 2  | 111  |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่  | หน้า |
|---|------|
| ผข.8 อีทีไอแอมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ ชูปะพะหมี่หยก สูตร 2<br>มีการแจกแจงแบบปกติ             | 111  |
| ผข.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน<br>ของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น ชูปะพะหมี่หยก สูตร 3 | 113  |
| ผข.10 อีทีไอแอมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ ชูปะพะหมี่หยก สูตร 3<br>มีการแจกแจงแบบปกติ            | 113  |
| ผข.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน<br>ของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น โจ๊กป๋น สูตร 1      | 115  |
| ผข.12 อีทีไอแอมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ โจ๊กป๋น สูตร 1<br>มีการแจกแจงแบบปกติ                  | 115  |
| ผข.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน<br>ของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น โจ๊กป๋น สูตร 2      | 117  |
| ผข.14 อีทีไอแอมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ โจ๊กป๋น สูตร 2<br>มีการแจกแจงแบบปกติ                  | 117  |
| ผข.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน<br>ของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น โจ๊กป๋น สูตร 3      | 119  |
| ผข.16 อีทีไอแอมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ โจ๊กป๋น สูตร 3<br>มีการแจกแจงแบบปกติ                  | 119  |
| ผข.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน<br>ของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น นมถั่วเหลือง สูตร 1 | 121  |
| ผข.18 อีทีไอแอมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ นมถั่วเหลือง สูตร 1<br>มีการแจกแจงแบบปกติ             | 121  |
| ผข.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน<br>ของอาสาสมัครเมื่อกลิ้น นมถั่วเหลือง สูตร 2 | 123  |
| ผข.20 อีทีไอแอมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ นมถั่วเหลือง สูตร 2<br>มีการแจกแจงแบบปกติ             | 123  |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่   | หน้า |
|--|------|
| ผข.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน<br>ของอาสาสมัครเมื่อกลับ นมถั่วเหลือง สูตร 3 | 125  |
| ผข.22 ฮิสโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อนของ $\ln(\text{EMG})$ ของ นมถั่วเหลือง สูตร 3<br>มีการแจกแจงแบบปกติ            | 125  |

## ตัวย่อและสัญลักษณ์

|             |  |
|-------------|--|
| $\mu$       | = ค่าความหนืด (นิวตัน-วินาที ต่อเมตร <sup>2</sup> )                                |
| $\tau$      | = ความเค้นเฉือน (นิวตัน ต่อเมตร <sup>2</sup> )                                     |
| $\tau_0$    | = ความเค้นเฉือนเริ่มต้น (นิวตัน ต่อเมตร <sup>2</sup> )                             |
| $S$         | = อัตราเฉือน (วินาที <sup>-1</sup> )   |
| $k$         | = ค่าคงที่   |
| $n$         | = ค่าคงที่ ที่บอกรูปทรงของของไหล   |
| $M$         | = ทอร์ค (นิวตัน-เมตร)  |
| $L$         | = ความยาวของแกนหมุน(เมตร)  |
| $R_b$       | = รัศมีของแกนหมุน(เมตร)  |
| $R_c$       | = รัศมีของภาชนะที่ใส่อาหาร(เมตร)   |
| $\omega$    | = ความเร็วเชิงมุม(เรเดียนต่อวินาที)  |
| $x$         | = รัศมีที่ต้องการวัดอัตราเฉือน(เมตร)   |
| $d$         | = ผลที่ได้จากสมการอนุพันธ์(โวลต์ <sup>4</sup> ต่อวินาที)                           |
| $N$         | = จำนวนตัวป้อน   |
| $FFT$       | = การเปลี่ยนแปลงฟาสต์ ฟูเรียร์   |
| $w$         | = ผลที่ได้จากสมการสเปกตรัม(โวลต์ <sup>2</sup> ต่อวินาที)                           |
| $p$         | = ผลที่ได้จากสมการฟรีควเอนซี เวท ไทม์ ซีรีส์(โวลต์ <sup>2</sup> ต่อวินาที)         |
| $r$         | = ผลที่ได้จากสมการรากเฉลี่ยกำลังสอง(โวลต์ต่อวินาที)                                |
| $\eta_s$    | = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์   |
| $m$         | = มวลถ่วง(กิโลกรัม)  |
| $F$         | = ค่าความสามารถในการไหล  |
| $v$         | = ความเร็วอาหาร(เมตรต่อวินาที)   |
| $V_{water}$ | = ความเร็วน้ำ(เมตรต่อวินาที)   |
| $G$         | = ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและคอ<br>(โวลต์ <sup>6</sup> ต่อวินาที) |
| $T$         | = สัญญาณไฟฟ้าของลิ้น(โวลต์ <sup>6</sup> ต่อวินาที)                                 |
| $H$         | = สัญญาณไฟฟ้าของคอ(โวลต์ <sup>6</sup> ต่อวินาที)                                   |
| $rms$       | = ค่ารากเฉลี่ยกำลังสองของค่าเฉลี่ยเรขาคณิต(โวลต์ต่อวินาที)                         |



### ตัวย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

|            |  |
|------------|--|
| $y$        | = ข้อมูล   |
| $AUC$      | = ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟ(โวลต์ <sup>5</sup> )                                     |
| $EMG$      | = อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเฉลี่ยของกล้ามเนื้อและคอ<br>(โวลต์ <sup>5</sup> ต่อวินาที) |
| $s$        | = ระยะทางจากลิ้นถึงคอ(เมตร)  |
| $t_1$      | = เวลาที่อาหารเริ่มเคลื่อนที่จากลิ้นถึงคอ(วินาที)                                  |
| $t_2$      | = เวลาที่กล้ามเนื้อคอทำงาน(วินาที)   |
| $t_3$      | = ระยะเวลาที่เกิดสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตของกล้ามเนื้อ<br>ลิ้นและคอ(วินาที)       |
| $Q$        | = อัตราการไหลของอาหารผ่านช่องคอ(เมตร <sup>3</sup> ต่อวินาที)                       |
| $V$        | = ปริมาตรของอาหารที่กลืน(เมตร <sup>3</sup> )                                       |
| $A$        | = พื้นที่หน้าตัด(เมตร <sup>2</sup> )   |
| $Re$       | = ค่าเรโนลด์   |
| $\beta_0$  | = ค่าคงที่ของสมการเส้นตรงที่ตัดแกน $y$   |
| $\beta_1$  | = ค่าความชันของสมการ   |
| $\ln(EMG)$ | = ล็อกธรรมชาติของ EMG  |
| $\ln(Re)$  | = ล็อกธรรมชาติของ Re   |
| $e$        | = ความคลาดเคลื่อน  |