บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

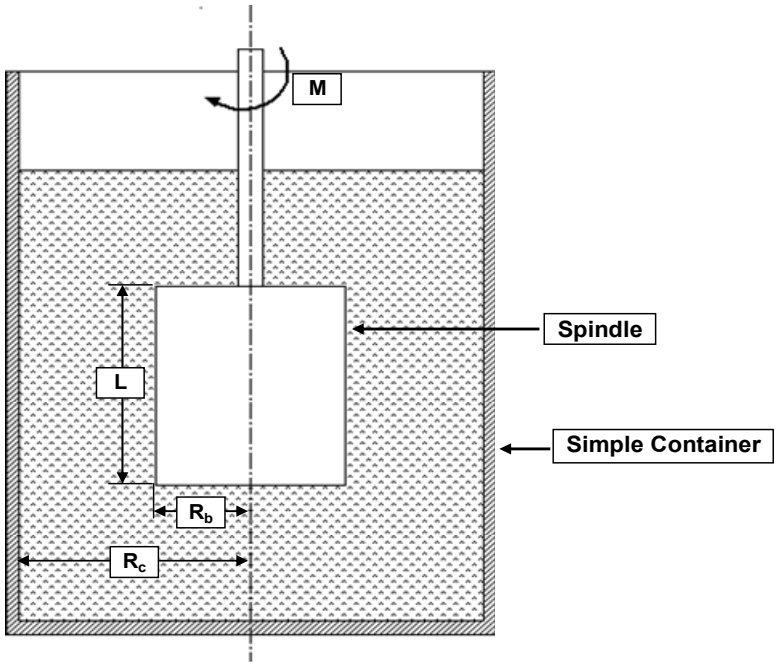
การออกแบบการทำวิจัยเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ นั้นคือถ้ามีการออกแบบการทำวิจัยที่ดีก็จะทำให้การวิจัยเป็นไปตามแผนไม่เสียเวลาและได้ผลการวิจัยที่มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทำวิจัย ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย ขั้นตอนการคำนวณ และขั้นตอนในการทำวิจัย

3.1 อุปกรณ์ในการศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร ได้ศึกษาตัวแปรที่น่าสนใจ 4 ตัวแปร ได้แก่ ความหนืด สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความสามารถในการไหล และความหนาแน่น ซึ่งรายละเอียดในการศึกษาเป็นดังนี้

3.1.1 เครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน (rotational viscometer)

ในการหาค่าความหนืดของอาหารได้ใช้เครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน (rotational viscometer) รุ่น DV-II+ -ของบริษัท Brookfield Engineering Laboratories (รูปที่ 3.1) ซึ่งเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุนรุ่นนี้มีเข็มวัดเป็นรูปทรงกระบอก โดยเข็มวัดค่าความหนืดมีหลายเบอร์ ซึ่งแต่ละเบอร์ใช้แตกต่างกันไปตามความหนืดของอาหารที่ต้องการใช้วัด โดยในการวัดความหนืดได้เพิ่มความเร็วรอบของเข็มวัดขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อดูค่าแรงบิด (torque) ที่เปลี่ยนไป และนำความเร็วรอบรวมทั้งค่าแรงบิดมาผ่านกระบวนการการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าความหนืดดังนี้



รูปที่ 3.1 การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน

ในการหาค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ของอาหารสามารถใช้สมการที่ (2.5) คือ

$$\tau = \frac{M}{2\pi R_b^2 L} \tag{2.5}$$

มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

อัตราเฉือน (shear rate) หาได้จากสมการ

$$S = \frac{2\omega R_c^2 R_b^2}{x^2 (R_c^2 - R_b^2)} \tag{2.6}$$

มีหน่วยเป็น วินาที$^{-1}$(s^{-1})

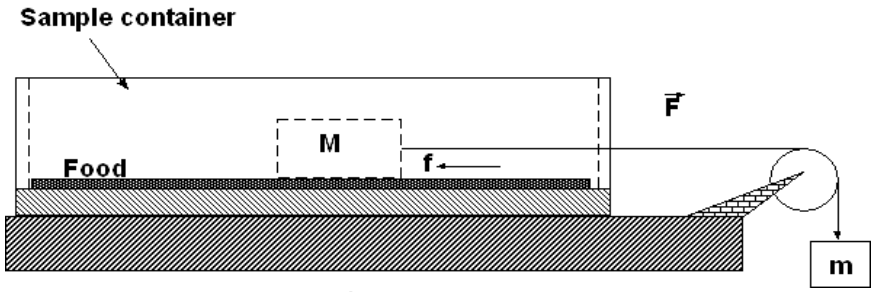
การคำนวณความหนืด (viscosity) ใช้สมการที่ (2.1) คือ

$$\mu = \frac{\tau}{S} \tag{2.1}$$

มีหน่วยเป็น ปาสคาล-วินาที (mPa.sec)

ในที่นี้ M คือแรงบิดที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร (N-m) L คือความยาวของเข็มที่มีผลมีหน่วยเป็นเมตร (m) ω คือความเร็วเชิงมุม (rad/sec) R_c คือ รัศมีของภาชนะที่ใช้ใส่อาหารมีหน่วยเป็นเมตร (m) R_b คือ รัศมีของเข็มวัดมีหน่วยเป็นเมตร (m) x รัศมีที่ต้องการวัดอัตราเฉือนมีหน่วยเป็นเมตร (m)

3.1.2 ชุดทดลองความเสียดทาน (Surface friction measurement)

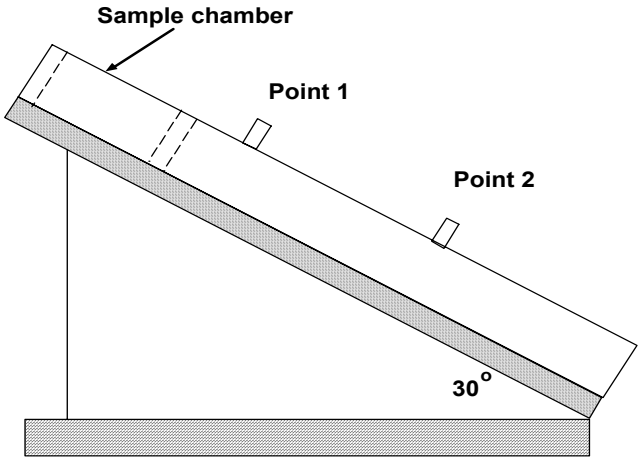


รูปที่ 3.2 ชุดทดลองความเสียดทาน

ชุดทดลองความเสียดทานออกแบบเพื่อศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอาหารที่บริเวณพื้นผิว โดยสร้างจากพลาสติกใสมีลักษณะเป็นกล่องเปิดด้านบน ขนาด 50 มิลลิเมตรx 250 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ทำการทดลองโดยการใส่อาหารลงในช่องใส่อาหาร (sample container) ซึ่งอุณหภูมิของอาหารคงที่ ที่ 37°C ใช้อาหารปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทาบนพื้นของชุดทดลองให้เป็นฟิล์มบาง ๆ นำมวลตัวอย่าง (M) หนัก 14.22 กรัม วางทับอาหาร ดึงมวลตัวอย่าง ด้วยแรง F โดยแรง F ได้จากการใช้มวลถ่วง (m) แขวนผ่านรอกที่ไม่มีความเสียดทานและเพิ่มมวลถ่วง ขึ้นเรื่อย ๆ จนมวลตัวอย่าง เริ่มเคลื่อนที่ จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์ (η_s)

$$\eta_s = \frac{m}{M} \tag{3.1}$$

3.1.3 ชุดทดลองความสามารถในการไหล (Flowability Measurement)



รูปที่ 3.3 ชุดทดลองความสามารถในการไหล

ความสามารถในการไหลเป็นตัวแปรที่นิยามขึ้นมาเพื่อศึกษาการไหลตัวอย่างอิสระของอาหาร โดยนิยามของความสามารถในการไหลตัว คืออัตราส่วนระหว่างความเร็วของอาหาร ต่อความเร็วน้ำ

$$F = \frac{v}{v_{water}} \tag{3.2}$$

ชุดทดลองความสามารถในการไหลของอาหารออกแบบมาเพื่อศึกษาความสามารถไหลตัวอย่างอิสระของอาหาร โดยสร้างจากพลาสติกใสมีลักษณะเป็นกล่องขนาด 70 มิลลิเมตร x 250 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตรเปิดด้านบน ยกเอียงมุม 30 องศา มีช่องใส่อาหาร มีตำแหน่งในการตรวจจับความเร็วที่ จุด 1 จุด 2 และมีเครื่องจับเวลาดิจิตอล โดยเครื่องจับเวลาดิจิตอลที่ใช้ประกอบด้วย แผงวงจรในการจับเวลา และขั้วไฟฟ้า 2 ตัว ซึ่งขั้วไฟฟ้าวางอยู่ที่ จุดที่ 1 และจุดที่ 2 จุดละ 1 ตัว ซึ่งทำการทดลองโดยการใส่อาหารปริมาตร 40 มิลลิลิตรในช่องใส่อาหาร (sample chamber) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิของอาหารที่ 37°C และเปิดทางให้อาหารไหล เมื่ออาหารไหลผ่านจุด 1 เครื่องจับเวลาก็จะเริ่มนับเวลาและหยุดนับเมื่ออาหารผ่านจุด 2

3.1.4 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งที่ใช้เป็นเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 2 ตำแหน่งของกรัม ใช้สำหรับหาความหนาแน่นของอาหารตั้งต้น รวมทั้งอาหารผสม โดยชั่งที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

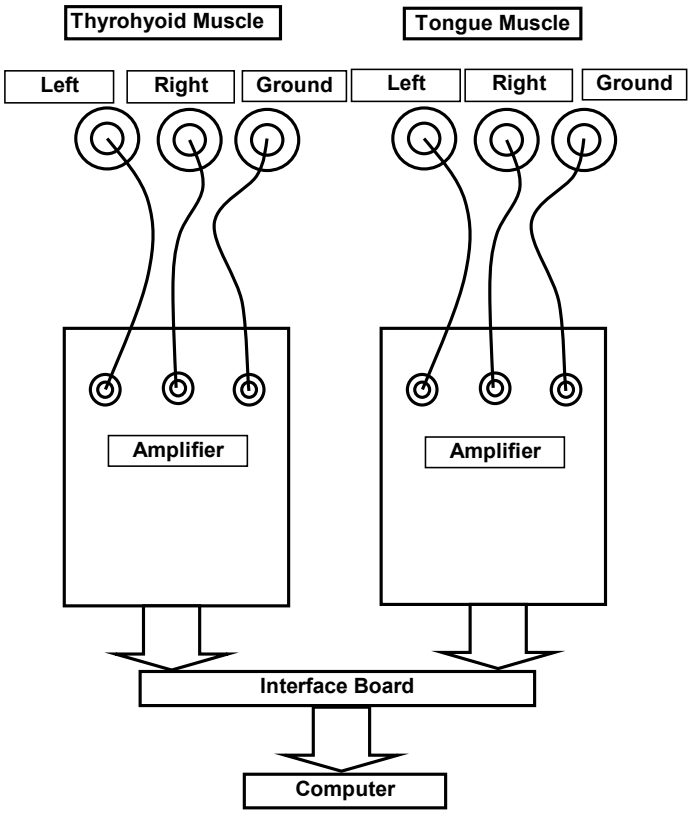
3.1.5 บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร

บีกเกอร์ใช้สำหรับใส่อาหารที่ต้องการวัดความหนืด โดยนำบีกเกอร์ที่ใส่อาหารแล้ววัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน

3.2 อุปกรณ์ในการจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอ

3.2.1 ชุดขั้วไฟฟ้าชนิดปิดผิวหนัง (surface electrode)

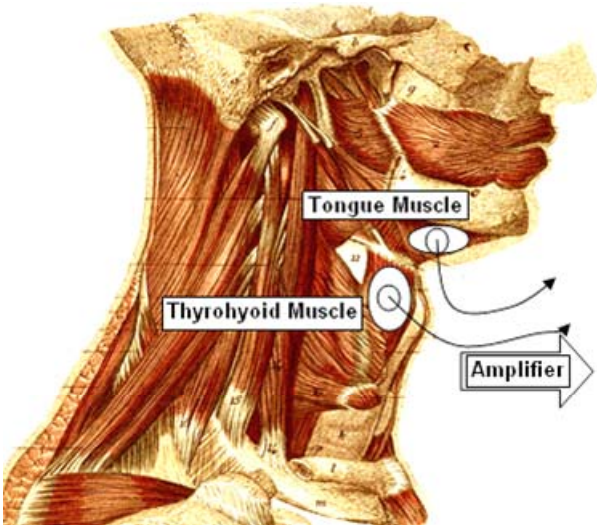
ชุดขั้วไฟฟ้าชนิดปิดผิวหนังที่ใช้มีจำนวนขั้วไฟฟ้า 6 ขั้ว ซึ่งใช้สำหรับกล้ามเนื้อลิ้น 3 ขั้ว กล้ามเนื้อคอ 3 ขั้ว โดยขั้วไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลิ้นแต่ขั้วจะปิดที่กล้ามเนื้อลิ้นด้านซ้าย 1 ขั้ว ด้านขวา 1 ขั้ว และปิดที่ติ่งหู 1 ขั้ว ซึ่งขั้วไฟฟ้าของกล้ามเนื้อคอก็เช่นกันคือปิดที่กล้ามเนื้อคอด้านซ้าย 1 ขั้ว ด้านขวา 1 ขั้ว และปิดที่ติ่งหู 1 ขั้ว การปิดขั้วไฟฟ้าที่ติ่งหูเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณของกล้ามเนื้อด้านซ้ายขวา เนื่องจากบริเวณติ่งหูไม่มีการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อขณะกลืน(รูปที่ 3.4) โดยขั้วไฟฟ้าชนิดปิดผิวหนังที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าชุปทองของบริษัทกราซ อินสทรูเมนท์ (Grass Instrument) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร



รูปที่ 3.4 ชุดขั้วไฟฟ้าชนิดปิดผิวหนัง

3.2.2 ครีมขั้วไฟฟ้า

ครีมขั้วไฟฟ้าใช้เพื่อทำให้ขั้วไฟฟ้ายึดติดกับกล้ามเนื้อที่ต้องการจับสัญญาณซึ่งสามารถจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอได้ดีขึ้นและลดสัญญาณรบกวน โดยใช้ของบริษัทกราซอินสทรูเมนท์ (Grass Instrument)



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งในการปิดชุดขั้วไฟฟ้าบนกล้ามเนื้อลิ้นและคอ

3.2.3 เทปกาว

เทปกาวเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับช่วยในการยึดติดระหว่างขั้วไฟฟ้าและกล้ามเนื้อ โดยเทปกาวที่ใช้เป็นของ บริษัท 3 เอ็ม เฮ็ลธ แคร์ (3M Health Care) รุ่น 3 เอ็ม ซึ่งมีความกว้างของเทป 1 นิ้ว

3.2.4 ชุดขยายสัญญาณไฟฟ้า (preamplifier)

ชุดขยายสัญญาณจะขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากขั้วไฟฟ้าก่อนที่จะส่งสัญญาณที่ขยายแล้วไปยังการ์ดแปลงสัญญาณ โดยชุดขยายสัญญาณเป็นชนิดไอเอสโอ-เดม (Iso-Dam) ของบริษัทเวิลด์ พรีซิชั่น อินสทรูเมนท์ (World Precision Instrument) ซึ่งตอบสนองต่อย่านความถี่จากดีซี (DC) ถึง 10 กิโลเฮิร์ท (KHz) และมีตัวกรองขนาดต่าง ๆ

3.2.5 การ์ดแปลงสัญญาณ

การ์ดแปลงสัญญาณทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง โดยการ์ดแปลงสัญญาณเป็นของบริษัท เนชั่นนอล อินสทรูเมนท์ (National Instrument) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์

3.2.6 คอมพิวเตอร์

ทำหน้าที่ในการแสดงภาพและเก็บบันทึกข้อมูล โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเพนเที่ยม ทู (Pentium II) 450 เมกกะเฮิร์ท (MHz)

3.2.7 โปรแกรมสำเร็จรูปแล็บวิว เวอร์ชั่น 7 (Labview version 7)

เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับแปลงข้อมูลซึ่งใช้ควบคู่กับการ์ดแปลงสัญญาณและนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาวิเคราะห์ โดยในตัวโปรแกรมสำเร็จรูปแล็บวิวสามารถเขียนไดอะแกรมด้วยรูปภาพซึ่งทำให้ง่ายและสะดวกในการเขียนไดอะแกรมเพื่อใช้วิเคราะห์แต่ละปัญหา

3.3. การวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอ

ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอสามารถทำได้โดยนำข้อมูลเลขฐานสองที่บันทึกไว้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปแล็บวิว เวอร์ชั่น 7 (Labview version 7) ซึ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.1 นำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอขณะกลืนที่ผ่านการประมวลผลด้วยแอลกอริทึ่มที่ใช้ศึกษา คูณกันที่เวลาเดียวกันและหารากที่สองของผลคูณเพื่อหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean) ของกล้ามเนื้อทั้งสอง โดยสมการ

$$G = \left(T \times H\right)^{1/2} \tag{3.3}$$

เมื่อ G คือสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตของกล้ามเนื้อทั้งสอง T คือสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้น H คือสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อคอ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

3.3.2 นำสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้ในข้อ 3.3.1 มาหาค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง (rms) ดังสมการ

$$rms = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} y_i^2 \right]^{1/2} \tag{3.4}$$

เมื่อ N คือจำนวนข้อมูล y คือข้อมูล

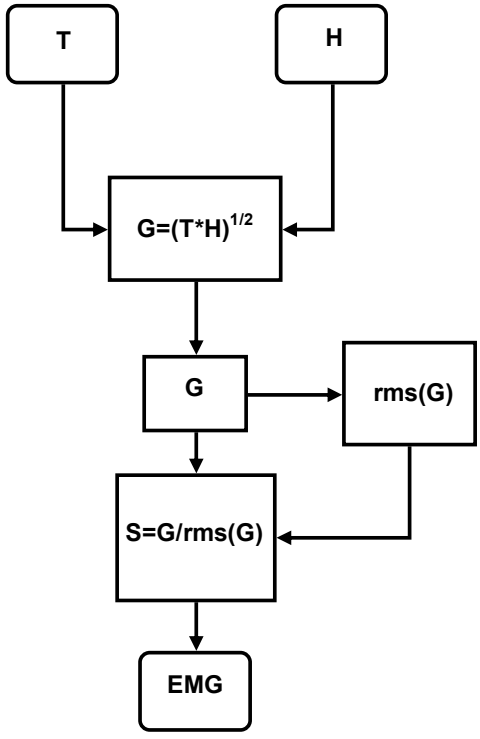
3.3.3 ปรับฐาน (normalize) สัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตในสมการ (3.3) ด้วยค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง (rms) ในสมการ (3.4) จะได้

$$S = \frac{G}{rms} \tag{3.5}$$

3.3.4 นำสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ปรับฐานในสมการที่ (3.5) มาหาค่าพื้นที่ใต้กราฟโดยสมการ

$$AUC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} y_i \tag{3.6}$$

เมื่อ AUC คือค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟ N คือจำนวนข้อมูล y คือข้อมูล

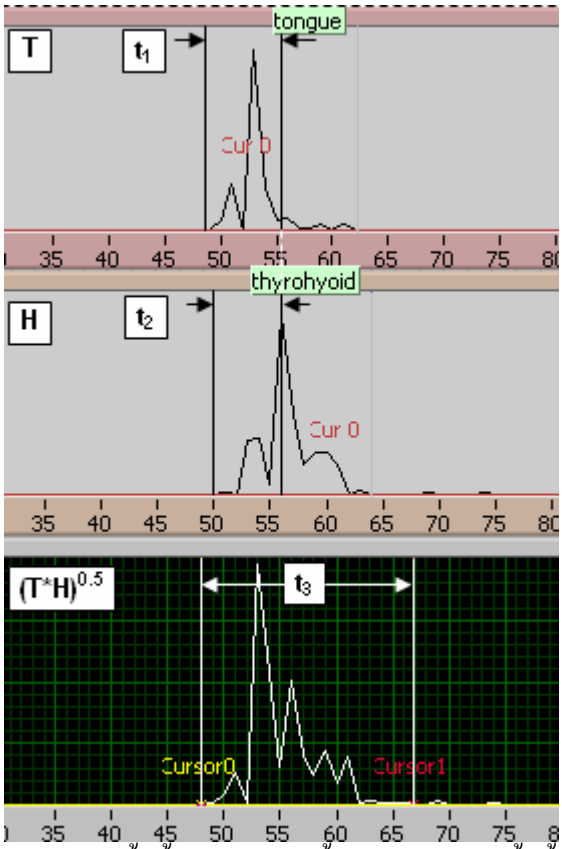


รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณ

3.3.5 นำค่าพื้นที่ใต้กราฟในสมการที่ (3.6) หารด้วยเวลาที่เกิดสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตของกล้ามเนื้อลิ้นและคอ ดังรูปที่ 3.7 (ค) จะได้สมการ

$$EMG = \frac{AUC}{t_3} \tag{3.7}$$

เมื่อ EMG คืออัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตของกล้ามเนื้อลิ้นและคอต่อเวลา t_3 คือเวลาที่เกิดสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยเรขาคณิตของกล้ามเนื้อลิ้นและคอ



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.7 สัญญาณไฟฟ้า (ก) กล้ามเนื้อลิ้น (ข) กล้ามเนื้อคอ (ค) กล้ามเนื้อลิ้นและกล้ามเนื้อคอเมื่อผสมสัญญาณ หลังผ่านการประมวลผลด้วยแอลกอริทึ่ม

3.3.6 หาค่าความเร็วเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการกลืนระหว่างช่วงลิ้นถึงคอ ด้วยสมการ

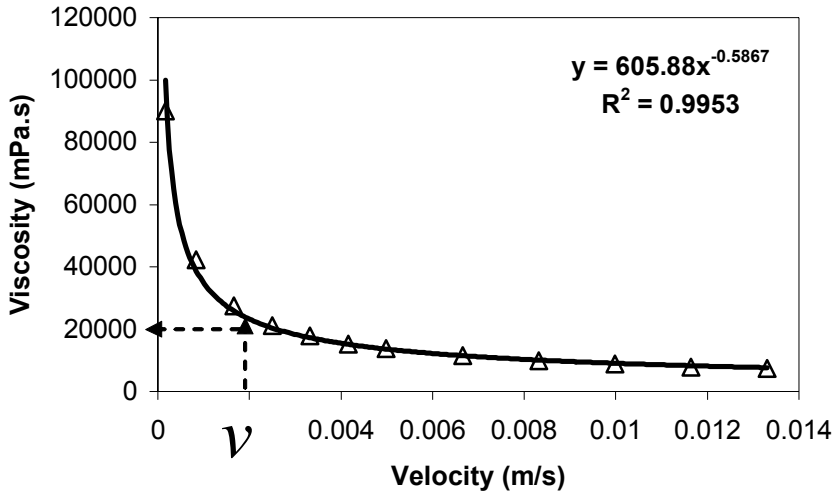
$$v = \frac{s}{t_1} \tag{3.8}$$

เมื่อ v คือความเร็วเฉลี่ย s คือระยะทางระหว่างลิ้นถึงคอ ซึ่งในการคำนวณใช้ระยะทางคงที่ ที่ 8 เซนติเมตร (Robert and Freitas, 1999) t_1 คือเวลาที่อาหารเริ่มเคลื่อนที่จากลิ้นถึงคอ มีหน่วยเป็นวินาที

3.3.7 นำค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากสมการที่ (3.8) ไปหาความหนืดที่นำมาใช้ เนื่องอาหารที่ได้มีคุณสมบัติเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน มีความหนืดไม่คงที่ โดยอาศัยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเร็วเชิงเส้น ซึ่งแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3.8 โดยกราฟดังกล่าวได้จากการทดลองวัดค่าความหนืดของโจ๊กปั่นสูตรที่ 3 และความเร็วเชิงเส้น (velocity) ที่แสดงในกราฟได้จากสมการ

$$v = \omega R_b \tag{3.9}$$

เมื่อ v คือความเร็วเชิงเส้นมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) ω คือความเร็วเชิงมุม (rad/sec) R_b คือรัศมีของเข็มวัดมีหน่วยเป็นเมตร (m)



ภาพที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และความเร็วเชิงเส้น (velocity) ของโจ๊กปั่นสูตรที่ 3

3.3.8 คำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดอาหารช่วงคอด้วยสมการ

$$Q = Av \tag{3.10}$$

$$Q = \frac{V}{t_2} \tag{3.11}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \tag{3.12}$$

$$d = \left(\frac{4V}{\pi v t_2} \right)^{1/2} \tag{3.13}$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหล v คือความเร็วเฉลี่ยของอาหารช่วงลิ้นถึงคอ V คือปริมาตรของอาหารที่กลืนซึ่งในการทดลองควบคุมปริมาตรคงที่ ๆ 10 มิลลิลิตร t_2 คือเวลาที่กล้ามเนื้อคอทำงาน A คือพื้นที่หน้าตัดของหลอดอาหารบริเวณช่วงคอ d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดอาหารบริเวณช่วงคอ

3.3.9 นำค่าต่าง ๆ ที่หาไว้มาหาค่าเรโนด์ (Reynolds number) ดังสมการ

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v d}{\mu} \tag{3.14}$$

เมื่อ Re คือ ค่าเรโนด์ ρ คือความหนาแน่นของอาหาร d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดอาหารช่วงคอ μ คือค่าความหนืด

3.3.10 นำค่า *EMG* ในสมการที่ (3.7) และค่า Re ในสมการที่ (3.14) มาสร้างความสัมพันธ์ทางสถิติโดยอาศัยซอฟแวร์ SPSS for Window มาช่วยในการวิเคราะห์

3.4 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

3.4.1 ศึกษาค่าความหนืดและลักษณะทางกายภาพของอาหารตั้งต้น โดยวัดความหนืดของน้ำลาย แบเรียม น้ำ น้ำสลัด เจลลี่ ข้าวปั่น โยเกิร์ต กล้วยหอมปั่น ข้าวโอ๊ต ไข่ตุ๋น สาหร่ายผมนาง แครอท เจลลี่นม เต้าหู้ เต้าฮวย ซอสแอปเปิล กล้วยเกอร์เบอร์ วุ้น น้ำมัน น้ำผึ้ง และเจลาติน ที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ด้วยการควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าเท่ากับ 37°C โดยใช้เครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน (rotational viscometer) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง ของความหนืด ของอาหารตั้งต้นเหล่านี้ และใช้เป็นฐานข้อมูลในการสร้างอาหารผสมที่มีความหลากหลายของความหนืดและมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน

3.4.2 เตรียมอาหารผสมที่มีความหลากหลายของความหนืด โดยในขั้นตอนนี้ ได้เตรียมอาหารจำนวน 8 ชนิด ประกอบด้วยอาหารคาว 4 ชนิด คือซุปข้าวโพด ซุปบะหมี่หยก โจ๊กปั่น และนมถั่วเหลืองปั่น อาหารหวาน 4 ชนิด คือชาเขียว เผือกปั่น ฟักทองปั่น และแยมสตรอเบอรี่ ซึ่งในแต่ละชนิดอาหารมี 3 ค่าความหนืด โดยในการวัดความหนืดควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C และวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน (rotational viscometer) เช่นเดียวกับอาหารตั้งต้น

3.4.3 ศึกษาลักษณะจำเพาะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอของอาสาสมัคร ขณะกลืนอาหารที่มีความหนืดต่างๆ กัน โดยศึกษาในอาสาสมัครจำนวน 50 คน ซึ่งอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการวิจัยได้ต้องมีอายุระหว่าง 20-70 ปี มีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีอาการกลืนลำบาก ไม่ป่วยด้วยโรคที่มีผลต่อการทำงานของระบบประสาท และกล้ามเนื้อบริเวณศีรษะและลำคอต้องไม่เคยได้รับการผ่าตัด หรือฉายแสง ต้องไม่รับประทานยาที่มีผลต่อการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้ออาสาสมัครจะถูกแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มดังตารางที่ 3.1 ซึ่งในการบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอในอาสาสมัครทำโดย ให้อาสาสมัครกลืนอาหารที่มีค่าความหนืดต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ชนิดละ 3 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตรเพื่อศึกษาลักษณะจำเพาะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอ ว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของอาหารที่ใช้ในการทดลองอย่างไร

ตารางที่ 3.1 จำนวนอาสาสมัคร

กลุ่มที	อายุ (ปี)	จำนวน (คน)
1	20-30	10
2	31-40	11
3	41-50	10
4	51-60	10
5	61-70	10

3.4.4 วิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอของอาสาสมัคร

3.4.5 สร้างและทดสอบโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของอาหารกับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลิ้นและคอในอาสาสมัคร