บทที่ 2

ระเบียบวิธีวิจัย

เนื้อหาในบทนี้ครอบคลุมรายละเอียดของขอบเขตการทดลองที่ใช้เป็นกรณีศึกษาของโครงการวิจัยนี้ และระเบียบวิธีวิจัยทั้งหมดที่ประยุกต์ใช้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยโดยกล่าวแสดงในหัวข้อหลักได้แก่ กรรมวิธีที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมการไหลของแป้งโด กรรมวิธีที่ใช้ในเพื่อการยืนยันความถูกต้องของผลการจำลอง กรรมวิธีการทดลอง และเทคนิคการประมวลผลการจำลองเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่สะดวกต่อการใช้เพื่องานกำหนดค่าตัวแปรควบคุมกระบวนการแปรรูปแป้งโดข้าวเจ้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร

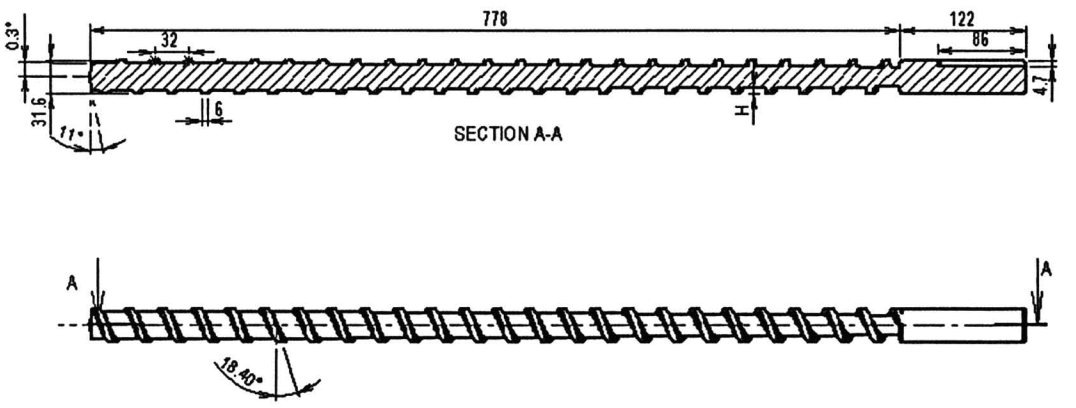
2.1 มิติและรายละเอียดของสกรู

การจำลองพฤติกรรมการไหลของแป้งโดภายในเครื่องเอกซ์ทรูชันกำหนดขอบเขตของงานศึกษาวิจัยเฉพาะให้กับกระบวนการแปรรูปแป้งโดข้าวเจ้าด้วยการใช้เครื่องเอกซ์ทรูชันชนิดสกรูเดี่ยวโดยการจำลองและการทดลองเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลของแป้งโดในเครื่องเอกซ์ทรูชันเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรหลักที่ใช้ควบคุมกระบวนการแปรรูปใช้แบบสกรูเดี่ยวของเครื่อง Betol รุ่น BC 32 โดยใช้หัวดายแบบช่องทางไหลออกเดี่ยวซึ่งในที่นี้ใช้ชื่อเรียกเป็น แบบสกรู Model 1 ดังที่มีรายละเอียดโดยสรุปด้านมิติแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ส่วนงานศึกษาวิจัยเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของมิติตัวสกรูโดยเฉพาะอัตราส่วนค่าความลึกของช่องการไหล (channel depth ratio, D:H) ที่มีต่อพฤติกรรมการไหลของแป้งโดระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยเครื่องเอกซ์ทรูชันใช้แบบสกรูจำลองโดยมีแบบหัวดายแบบสี่ช่องทางไหลออกซึ่งในที่นี้ใช้ชื่อเรียกเป็นแบบสกรู Model 2 และ Model 3 ดังที่มีรายละเอียดโดยสรุปด้านมิติของแบบสกรูทั้งสองชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 เช่นกัน ทั้งนี้ภาพเขียนแบบวิศวกรรมของแบบสกรูทั้งสามได้แสดงไว้ในส่วนของภาคผนวก ข สำหรับมิติของหัวดายที่ใช้สำหรับการทดลองและใช้สำหรับการจำลองสำหรับสกรู Model 1 ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.4

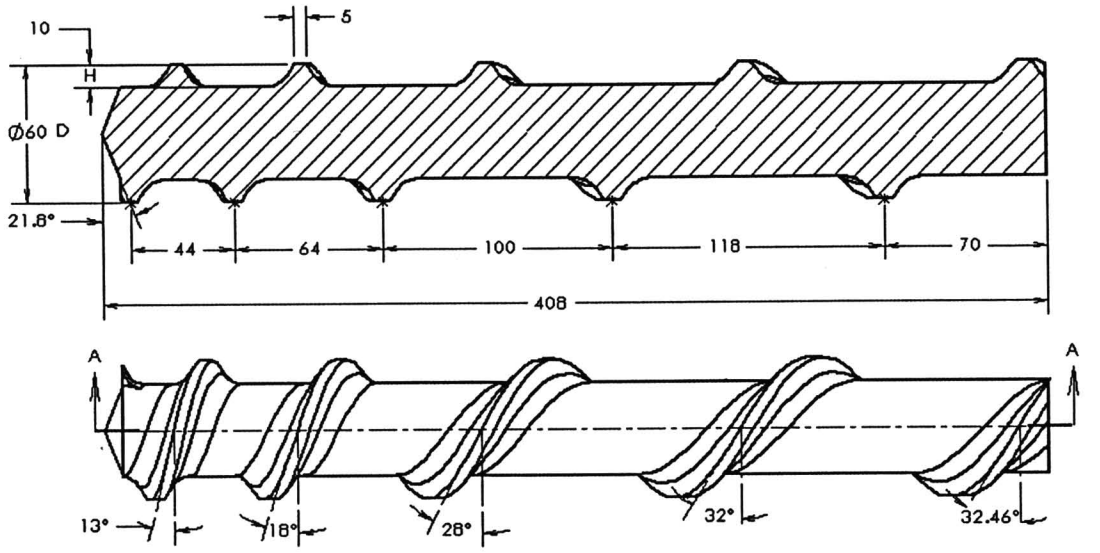
ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดโดยสรุปด้านมิติของแบบสกรูที่ใช้ในโครงการวิจัย

Model 1		Model 2		Model 3	
ตัวแปรมิติ	ขนาด	ตัวแปรมิติ	ขนาด	ตัวแปรมิติ	ขนาด
L/D	24.62	L/D	6.8	L/D	6.8
D	31.6 mm.	D	60 mm.	D	60 mm
Vary D/H	5 – 15.8	D/H	6	D/H	4
Helix angle	18.4°	Vary Helix angle	14.32 – 33.8°	Vary Helix angle	14.32 – 33.8°

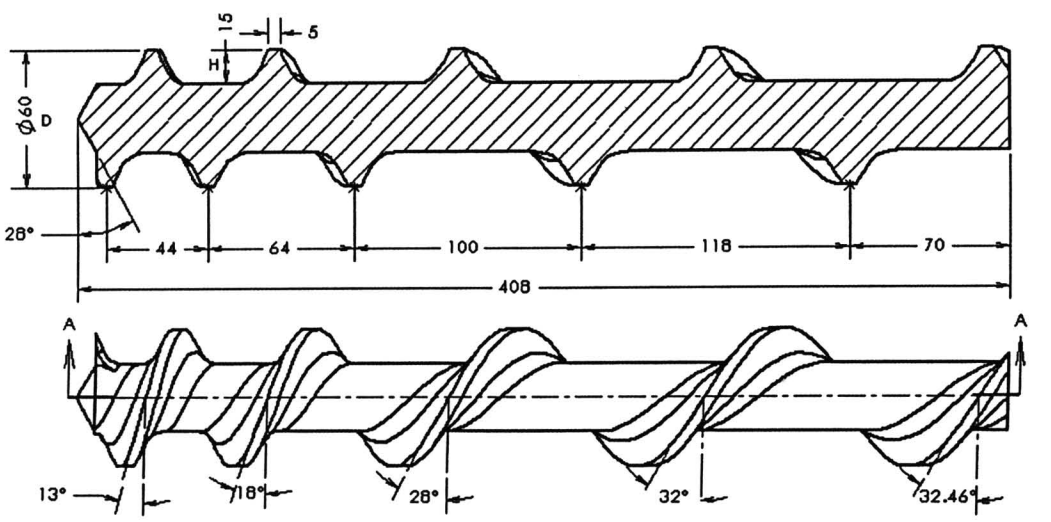
L = ความยาวสกรู, D = เส้นผ่านศูนย์กลางสกรู, H = ความลึกช่องทางการไหล



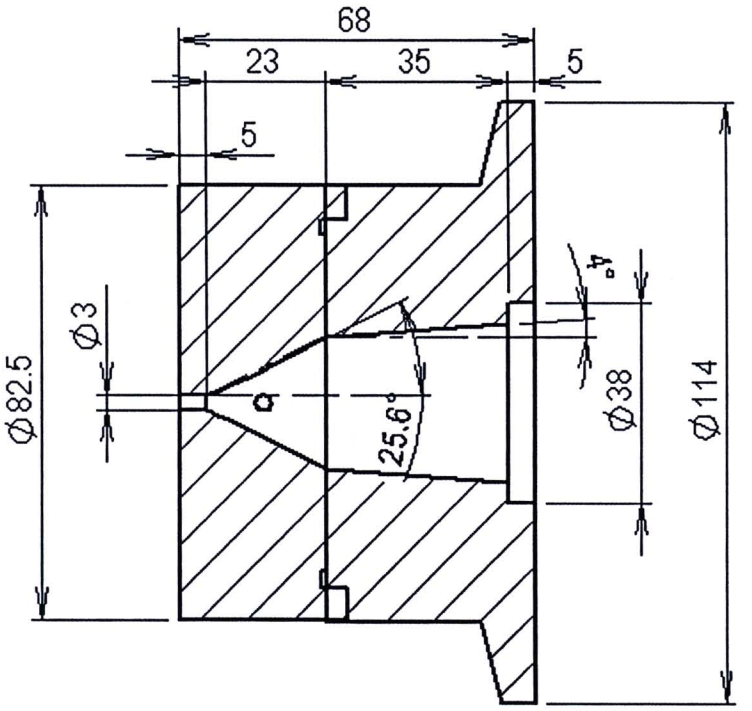
รูปที่ 2.1 ภาพประกอบแสดงรายละเอียดโดยสรุปด้านมิติของแบบสกรู Model 1



รูปที่ 2.2 ภาพประกอบแสดงรายละเอียดโดยสรุปด้านมิติของแบบสกรู Model 2



รูปที่ 2.3 ภาพประกอบแสดงรายละเอียดโดยสรุปด้านมิติของแบบสกรู Model 3



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.4 ภาพมิติของหัวดายที่ใช้ในการทดลองและใช้สำหรับการจำลองของสกรู Model1

2.2 กรรมวิธีการสร้าง Mesh Element

การสร้าง mesh element ให้กับช่องทางการไหลของแป้งโดข้าวเจ้าภายในเครื่องเอกซ์ทรูชันชนิดสกรูเดี่ยวกระทำโดยใช้ซอฟท์แวร์ Gambit 2.4.6 โดยสร้าง mesh element ครอบคลุมตลอดความยาวของสกรู mesh element ที่สร้างเป็นแบบ 3D Unstructured Meshes ซึ่งประกอบไปด้วย mesh element ชนิด hexahedra และ tetrahedral

2.3 กรรมวิธีการจำลองพฤติกรรมการไหลของแป้งโดข้าวเจ้าในเครื่องเอกซ์ทรูชัน

การจำลองพฤติกรรมการไหลของแป้งโดข้าวเจ้าภายในเครื่องเอกซ์ทรูชันชนิดสกรูเดี่ยวกระทำโดยประยุกต์ใช้ซอฟท์แวร์คำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล Fluent 6.3.26 ทำการจำลองภายใต้สภาวะการผลิตแบบอุณหภูมิคงตัว (Isothermal) และกระบวนการไหลแบบไม่อัดตัวในสภาวะคงตัว (Steady state-incompressible flow) โดยมีรายละเอียดการจำลองดังนี้

2.3.1 Solver Module และ Solver Control

การจำลองพฤติกรรมการอัดตัวของแป้งข้าวเจ้าใช้ Solver Module ชนิด 3d, pressure-based, laminar และใช้ Solver control ดังนี้

Relaxation

Variable	*Relaxation Factor*
Pressure	0.3
Density	0.9
Body Forces	1
Momentum	0.4
Energy	0.9

Pressure-Velocity Coupling

Parameter	*Value*
Type	SIMPLE

Discretization Scheme

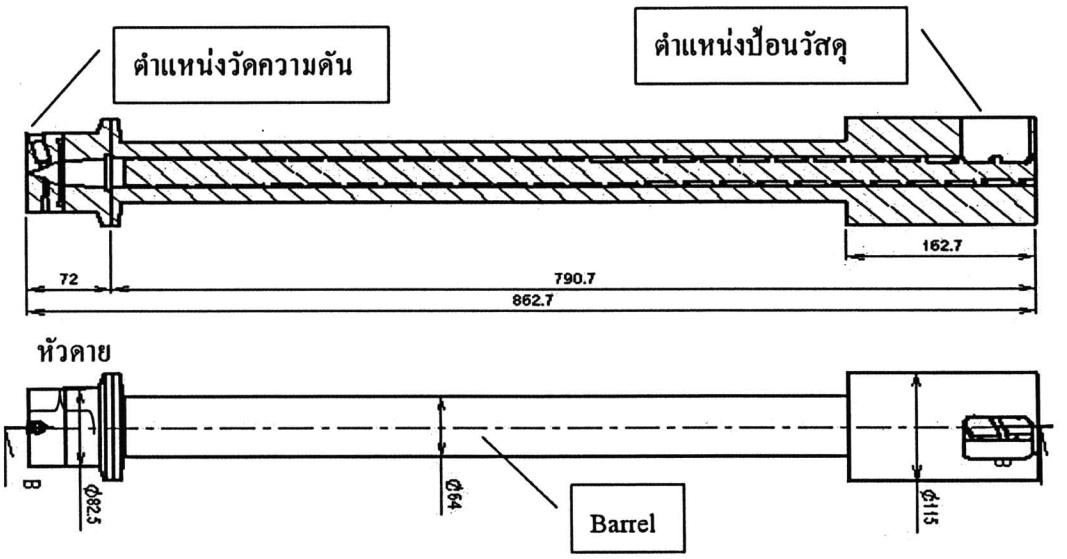
Variable	*Scheme*
Pressure	Standard
Momentum	First Order Upwind
Energy	First Order Upwind

2.4 กรรมวิธีตรวจสอบความถูกต้องของจำนวนเซลที่สร้างเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของแป้งโดข้าวเจ้าในเครื่องเอกซ์ทรูชัน

การตรวจสอบความถูกต้องของจำนวนเซลล์ที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์การไหลกระทำโดยเปรียบเทียบผลของความดันจากผลการจำลองกับผลจากการทดลองและเปรียบเทียบผลการคำนวณจากการจำลองกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์โดย Li and Hsieh (1995) ซึ่งทำการสร้างสมการเพื่อหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ให้กับการไหลของของไหลภายในเครื่องเอกซ์ทรูชันชนิดสกรูเดี่ยว โดยกำหนดให้สกรูหมุนและ barrel หยุดนิ่ง ซึ่งตรงตามสภาวะการทำงานจริงของเครื่องเอกซ์ทรูชันรวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ กล่าวคืองานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองโดยกำหนดให้สกรูเป็นชิ้นส่วนหมุนและกำหนดให้ barrel เป็นชิ้นส่วนที่หยุดนิ่ง

Li and Hsieh (1995) ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ที่สร้างขึ้นกับผลการทดลองของ Choo et al.,(1980) โดย Choo et al. ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนิวโทเนียนในเครื่องเอกซ์ทรูชันชนิดสกรูเดี่ยว โดยเลือกใช้น้ำเชื่อมข้าวโพดเป็นของไหลในการทดลองซึ่งมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้ ความหนาแน่นเท่ากับ 1390 kg/m^3 ความหนืดเท่ากับ 1287 Pa.s ค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 2722 J/kg.k และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.35 W/m.k ทำการทดลองแบบอุณหภูมิคงตัวที่ 40 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบหมุนสกรูเท่ากับ 9,18,27 รอบต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ของ Li and Hsieh (1995) มีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Choo et al., (1980) เป็นอย่างมาก นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองสำหรับแป้งโดข้าวเจ้าซึ่งเป็นของไหลแบบนอนนิวโทเนียนโดยกำหนดให้ของไหลมีค่าความหนืดคงตัวเท่ากับ 43625.5 Pa.s และทำการจำลองที่ความเร็วรอบหมุนสกรูเท่ากับ 30 รอบต่อนาที อุณหภูมิคงตัวที่105 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจสอบผลการจำลองว่าสามารถติดตามพฤติกรรมการอัดตัวที่มีค่าความหนืดสูงได้หรือไม่ โดยผลที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ของ Li and Hsieh (1995) เช่นเดียวกัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและผลเฉลยเชิงวิเคราะห์นั้นประกอบไปด้วย ความเร็วเชิงเส้นในแนว axial และอัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์(อัตราการไหลเชิงมวลที่ทางออกหัวดาย) นอกเหนือจากการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ของน้ำเชื่อมข้าวโพดและแป้งโดข้าวเจ้าที่ค่าความหนืดคงตัวแล้วผู้วิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์สำหรับแป้งโดข้าวเจ้าที่มีลักษณะแบบ power law fluid model โดยทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลเชิงมวลจากผลการจำลองและผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ ที่ความเร็วรอบหมุน สกรู 10,20,30 และ 40 รอบต่อนาทีตามลำดับ ความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปียกและอุณหภูมิคงตัวที่ 105 องศาเซลเซียส โดยมีค่า k = 1643.97 และค่า n = 0.3044

สำหรับวิธีการทดลองกระทำโดยเตรียมแป้งข้าวเจ้าที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปียก นำแป้งที่เตรียมไว้ทำการทดลองการอัดตัวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูชันชนิดสกรูเดี่ยวที่ความเร็วรอบหมุนสกรู 10, 20, 30 และ 40 รอบต่อนาทีตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 90,100 และ 105 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยการทดลองทำการวัดความดันด้วย Pressure Transducers ผลิตโดยบริษัท Dynisco Instruments รุ่น DYNA-4-7C-15 ที่ตำแหน่งหัวดายเพื่อนำค่าความดันที่ได้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากซอฟท์แวร์ด้านพลศาสตร์ของไหล ผลที่ได้ดังกล่าวเป็นดัชนีชี้วัดความน่าเชื่อถือของวิธีการจำลองและคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งโดข้าวเจ้า รูปที่2.5 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งที่ใช้วัดความดันของสกรูที่ใช้ในการจำลองและทดลอง



รูปที่2.5 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งที่ใช้วัดความดัน

2.5 กรรมวิธีแปลงรูปผลการจำลองการไหลเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรหลักที่มีผลต่ออัตราการผลิต

กรรมวิธีแปลงผลการจำลองเพื่อให้ได้มาซึ่งความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์สำหรับตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการผลิตกระทำโดยหาสมการจากกราฟ 3 มิติโดยใช้โปรแกรม SigmaPlot 11.0 โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการผลิตประกอบไปด้วย ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความเร็วรอบหมุนสกรูและความชื้นที่มีอิทธิพลต่อความดันและความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความเร็วรอบหมุนสกรูและความชื้นที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูชัน

2.6 วิธีการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิทยากระแส

2.6.1 วิธีวัดความชื้น

เตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าที่ความชื้นร้อยละ 47,54 และ 60 โดยใส่ตัวอย่างแป้งในภาชนะทรงกระบอกอลูมิเนียมแล้วนำไปตั้งบนน้ำที่มีอุณหภูมิ 90°C และปรับความชื้นด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความชื้นต่างๆ ดังกล่าว การวัดความชื้นของแป้งข้าวเจ้าใช้หลักการอบแห้งเพื่อวัดน้ำหนักแบบรวดเร็วอย่างอัตโนมัติโดยใช้เครื่อง HR73 Halogen Moisture Analyzer ผลิตโดยบริษัท Toledo รุ่น HR73-P กระบวนการวัดใช้ตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าน้ำหนักประมาณ 0.200 กรัมต่อครั้ง ทำการวัดอย่างน้อย 3 ซ้ำ ค่าความชื้นของตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าได้ถูกนำเสนอในรูปเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปียก (% Moisture content , wet basis) โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Moisture content}(\%) = \frac{\text{Wet sample weight (g)} - \text{Dry sample weight (g)} \times 100}{\text{Wet sample weight (g)}} \quad (2\text{-}1)$$

2.6.2 วิธีการวัดความหนาแน่น

การวัดความหนาแน่นของตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าในลักษณะที่ปรากฏ (Bulk Density) กระทำโดยหาอัตราส่วนระหว่างมวลของตัวอย่างต่อหน่วยปริมาตรที่บรรจุ การวัดทำได้โดยนำตัวอย่างแป้งใส่กระบอกตวง เกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ จากนั้นนำตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสูตร

$$Density = \frac{SimpleWeight(g)}{Volume(cc)} \quad (2\text{-}2)$$

2.6.3 วิธีการวัดค่าความหนืด

การวัดค่าความหนืดใช้หลักการวัดความหนืดแบบ capillary rheometer แป้งข้าวเจ้าที่ปรับความชื้นในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยนำมาวัดหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Capillary Rheometer (KAYENESS, Dynisco company) ซึ่งมีค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าความหนืดที่ 90, 105 และ120 °C ที่เส้นผ่านศูนย์กลางหัวดายเท่ากับ 1.0000mm ความสูงของหัวดายเท่ากับ 20.0000mm และเวลาที่แป้งอยู่ในเครื่องก่อนทำการวัดความหนืด (Melt time) เท่ากับ 30 วินาที ผลที่ได้จากการวัดถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้กับแป้งข้าวเจ้าซึ่งแบบจำลองดังกล่าวจะถูกใช้ในการคำนวณด้วยซอฟท์แวร์ทางด้านพลศาสตร์ของไหล