

### บทที่ 3

#### การทดลอง

##### 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

แป้งข้าวที่จะใช้ในการทดลองจะใช้แป้งข้าวเหนียว เพราะสามารถควบคุมความชื้นและเก็บเอาไว้ใช้ในการทดลองครั้งต่อไปได้ง่าย การเตรียมแป้งข้าวเหนียวที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้นำข้าวไปโม่แป้งที่โรงงานวันเสาร์วันออก จังหวัดฉะเชิงเทรา ทั้งนี้เพราะสามารถโม่ได้ครั้งละมาก ๆ และรวดเร็ว การโม่แป้งมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้คือ นำข้าวที่จะโม่มาแช่น้ำประปา เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง จนเม็ดข้าวพองและเปื่อยดี จากนั้นนำข้าวที่แช่แล้วมาบดด้วยเครื่องบดแบบ hammer mill ระหว่างบดจะเติมน้ำลงไปตลอดเวลา ของผสมที่บดแล้วจะถูกนำไปเทียงแยกเปลือกออก น้ำแป้งที่แยกเปลือกแล้วจะถูกนำมาตกตะกอนบนรางไต้ยาว เมื่อแป้งตกตะกอนแล้ว จะชูดแป้งที่ได้นำมาล้างให้สะอาด โดยชูดแป้งใส่ถังเติมน้ำลงไป แล้วใช้ใบพัดปั่นให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนแป้งตกตะกอน แล้วรินน้ำใสข้างบนทิ้ง จึงเติมน้ำล้างไซล้างอีก จะล้าง 3 ครั้ง จนแป้งมีสีขาวสะอาด เมื่อเห็นว่าล้างครั้งสุดท้ายทิ้ง ชูดตะกอนแป้งกันถังใสในถุงผ้าดิบห้อยไว้จนสะเด็ดน้ำ แล้วนำแป้งจากถุงผ้าเป็นก้อนเล็ก ๆ อบในตู้อบแบบ tray dryer ที่ 40 ° ซ จนแป้งแห้งสนิท นำมาบดด้วยเครื่องบดแบบ Fitz Mill DASO-6 Model D (รูปที่ 3.1) จะได้แป้งแห้งไว้ใช้ในการทดลอง

##### 3.2 การทำวันเส้น (รูปที่ 3.2)

ใส่แป้งข้าวเหนียวลงในเครื่องผสมแบบ Horizontal Z-arm mixer เติมน้ำ (อุณหภูมิห้อง) เพื่อให้แป้งมีความชื้น 40% เปิดเครื่องผสม 2 นาที จึงหยุดเครื่อง ใช้พายยางชูดแป้งที่ติดตามขอบเครื่อง คนให้เข้ากันแล้วเปิดเครื่องต่ออีก 2 นาที จึงใส่แป้งเปียกที่เตรียมไว้ใหม่ ๆ ลงไป การเตรียมแป้งเปียกทำโดยใส่น้ำอุ่นลงในแป้งผสมควรร คนจนแป้งแขวนลอยไม่เกาะกันเป็นก้อน จึงเติมน้ำเดือดลงไป รีบคนเร็ว ๆ ให้เข้ากัน แป้งจะสุกใส ปริมาณน้ำที่เติมลงไปทั้งหมด (น้ำอุ่นและน้ำเดือด) จะคำนวณเพื่อให้แป้งเปียกที่ได้มีความเข้มข้น 10% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้ง เปิดเครื่องผสม 1.5 นาที หยุดเครื่อง ใช้พายยางชูดแป้งตามขอบเครื่อง คนให้ส่วน



รูปที่ 3.1 เครื่องบดแบบ Fitz Mill DASO-6 Model D

ผสมเข้ากัน เปิดเครื่องต่ออีก 1.5 นาที ระหว่างนี้จะชั่งน้ำที่จะใช้ผสมนวด แล้วแบ่งไว้ 50 กรัม เมื่อครบกำหนดเวลาจะเติมน้ำลงไปครึ่งหนึ่งของน้ำที่เหลือจากแบ่งไว้ การเติมน้ำจะค่อย ๆ เติมน้ำลงไปผสมจากช่อง เปิดบดฝาของ เครื่องผสม ขณะที่เครื่องกำลังทำงานอยู่จนครบ 3 นาที ปิดเครื่อง ใช้พายยางขูดและคนแห้งให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง เปิดเครื่องให้ทำงาน พร้อมกับเติมน้ำที่เหลืออีก ครึ่งหนึ่งลงไป ครบ 3 นาที จึงเทออกใส่กระบวนวด เติมน้ำที่แบ่งเอาไว้ 50 กรัม นวดด้วยมือต่ออีกจนครบตามกำหนดเวลา จึงนำไปกดเส้น โดยใส่โดลงในกระบะสำหรับกดเส้น ซึ่งตั้งอยู่เหนือ กระทะน้ำร้อน กันกระบะอยู่ห่างจากผิวหน้าในกระทะประมาณ 20 ซม. ตัวกระบะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปาก 26 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางที่กันกระบะ 21 ซม. รูที่กันกระบะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.795 ซม. (รูปที่ 3.3) ใช้มือตบแป้งให้ไหลเป็นเส้นลงไปในกระทะน้ำร้อน ซึ่งต้องหมั่นเติมน้ำและน้ำมันพืชสำหรับปรุงอาหารลงไป เพื่อไม่ให้น้ำเดือด ถ้าน้ำเดือดพล่าน เส้นที่กดลงมาจะขาด เมื่อเส้นสุกจะลอยขึ้นบนผิวหน้า ใช้ไม้แหลมและไม้ก้านมะพร้าว เขี่ยเส้นที่ลอยขึ้นมาให้ไหลตามรางซีเมนต์ซี่ต่อจากปากกระทะ ในรางมีน้ำเย็นไหลหล่ออยู่ตลอดเวลา สาวเส้นที่ไหลออกมาพันกัน ให้เป็นวงกลม เมื่อได้ปริมาณพอสมควร จึงสอดราวไม้ไผ่กลางวง นำไปล้างน้ำเย็น นำขึ้นพาดราว ผึ่งไว้จนเส้นหมาด จึงนำไปแช่แข็งที่  $-10^{\circ}$  ซ 18 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดเวลา นำเส้น ออกมาละลายน้ำแข็ง โดยแช่ในน้ำประปาจนน้ำแข็งละลายหมด จากนั้นนำเส้นมาล้างน้ำ ขยี้ให้ แยกกระจายไม่ติดกัน นำไปผึ่งแดดจัด ๆ ประมาณ 5-8 ชั่วโมง จะได้เส้นแห้งที่มีความชื้น ประมาณ 10-14% ระหว่างผึ่งแดด เมื่อเส้นจะเริ่มแห้ง จะต้องคอยฉีกแยกเส้นออกให้กระจาย ถ้าไม่ฉีกเส้น เส้นจะติดกันเมื่อแห้ง (รูปที่ 3.2)

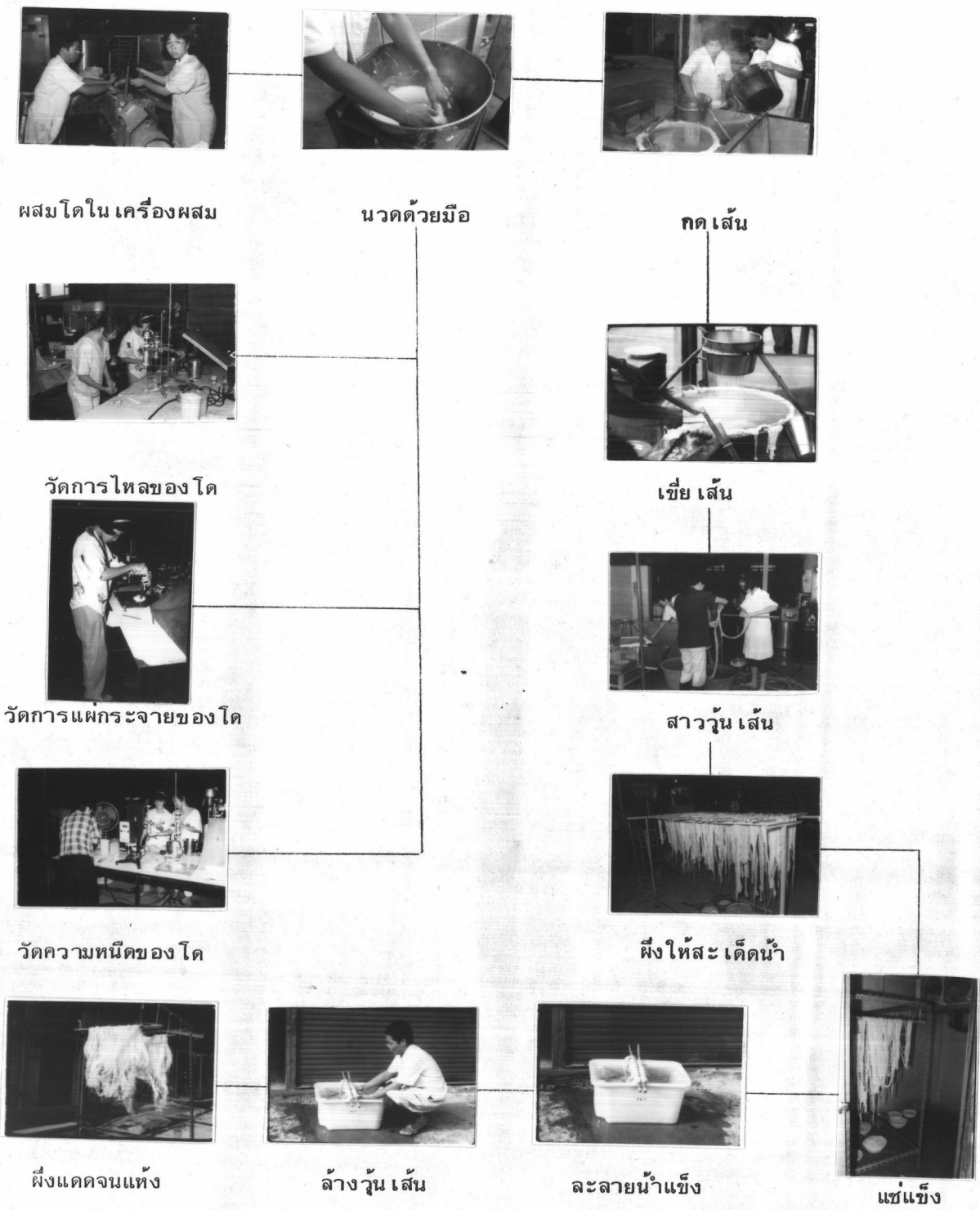
### 3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งถั่วต่าง ๆ คือ แป้งถั่วเขียว แป้งถั่วมันแดง แป้งถั่ว-ขาว แป้งถั่วดำ แป้งถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 และแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US ด้านต่าง ๆ คือ

3.3.1.1 ศึกษาขนาดและลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งโดยภาพถ่ายขยายจาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope) ใช้กล้อง Model JSM T-20 ของศูนย์ เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1.2 ศึกษาแบบแผนความหนืดของแป้งจากเครื่องบราเบนเดอร์ (Brabender Viskograph) (41-43) โดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ Model 8004 40 หัววัดขนาด 350 cmg. ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (รูปที่ 3.4) ใช้ความ เข้มข้น





รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตจูนเส้นในการทดลอง



รูปที่ 3.3 กระบะสำหรับกวดวินเส้น



รูปที่ 3.4 Brabender Viskograph Model 8004 40

ของน้ำแข็งต่าง ๆ กัน 5 ความเข้มข้น ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.1.3 ศึกษาปริมาณอะไมโลสในแป้ง โดยใช้วิธีของ Juliano (44) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.1.4 ศึกษาการละลายและการพองตัวของแป้งที่อุณหภูมิ 30, 35 และ 95 °ซ โดยใช้วิธีของ Schoch (45) ซึ่งดัดแปลงวิธีการเล็กน้อย ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.1.5 ศึกษาความสามารถในการเกาะเกี่ยวน้ำ (water binding capacity) ใช้วิธีของ Medcalf และ Gilles (46) โดยดัดแปลงวิธีการเล็กน้อย ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.2 ศึกษาผลของตัวแปรบางตัวในกระบวนการผลิตวุ้นเส้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต

ในการศึกษานี้จะทดลองทำวุ้นเส้นตามวิธีในหัวข้อ 3.2 โดยทดลองศึกษากับระบบที่ใช้แป้งถั่วเขียวล้วน ทั้งนี้เนื่องจากการทำวุ้นเส้นจะใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบสำคัญ ตัวแปรในกระบวนการผลิตที่นำมาศึกษา คือ

3.3.2.1 ผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมโด ทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 2 asymmetric factorial design ทำ 2 ซ้ำ ปริมาณน้ำที่จะใช้มี 3 ระดับคือ 50, 51 และ 52% (น้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักโด ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่จะใช้ผสม นวดคือ 55 และ 30 °ซ ตัวแปรอื่นที่กำหนดให้คงที่คือ

- ปริมาณแป้งที่นำไปทำแป้งเปียก คือ 3% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งทั้งหมด
- แป้งเปียกมีความเข้มข้นของแป้ง 10% (น้ำหนักแห้ง)
- เวลानวดด้วยมือ 5 นาที

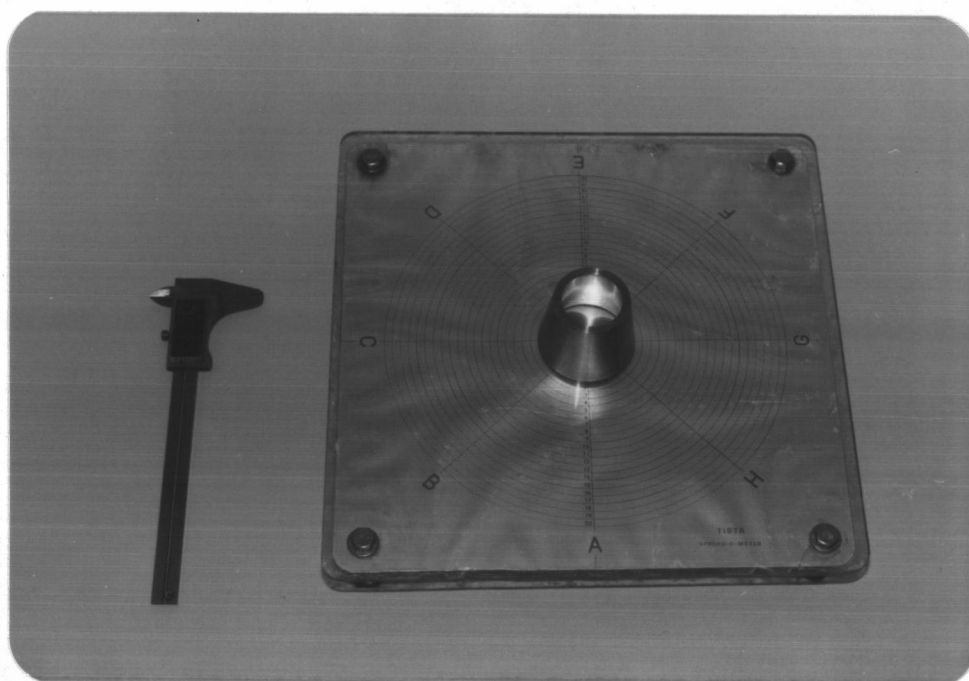
เมื่อนวดแป้งจนได้โดที่พร้อมจะนำไปกดเส้น จะแบ่งโดส่วนหนึ่งไปตรวจวิเคราะห์

3.3.2.1.1 ความชื้นในโดขณะที่จะนำไปกดเส้น ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.2.1.2 ความหนืดของโด โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield digital viscometer) Model LVTD พร้อม Helipath stand Model D ใช้หัววัดรูปตัวที (T-bar) ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (รูปที่ 3.5) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.5 Brookfield Digital Viscometer Model LVTD พร้อม Helipath Stand Model D และหัววัดรูปตัวที (T-bar)



รูปที่ 3.6 Spread-O-meter และ Vernier



3.3.2.1.3 การแผ่กระจายของโด โดยใช้ เครื่องวัดแบบสเปกโตรมิเตอร์ (รูปที่ 3.6) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.2.1.4 การไหลของโด โดยใช้ เครื่องมือตามรูป 3.7 ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

จากนั้นนำโดไปกดเส้นก่อนกดซึ่งน้ำหนักของโดที่ใช้ เมื่อได้จูนเส้นแท่งจากกระบวนการผลิตแล้ว นำจูนเส้นมาวิเคราะห์

3.3.2.1.5 สารที่ละลายน้ำจากจูนเส้นหลังจากต้มเคี่ยว 10 นาที ตามวิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (13) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.2.1.6 ขนาดของจูนเส้นแท่ง ตามวิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (13) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.2.1.7 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ (% yield)

3.3.2.1.8 เปรียบเทียบความแตกต่างของจูนเส้นที่ได้ในด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส การเกาะติดกัน และการยอมรับรวมของเส้นต้ม และลักษณะปรากฏ คือ สี การเกาะติดกันและการยอมรับรวมของเส้นแท่ง โดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกหัดแล้ว 6 คน ทำ 2 ซ้ำ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.3.2.1.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลจากข้อ 3.3.2.1.1-3.3.2.1.5 และ 3.3.2.1.8 มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (47)

3.3.2.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการนวดด้วยมือ ทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete randomized design 2 ระดับ ทำ 2 ซ้ำ โดยแปรค่าเวลาที่ใช้ นวดด้วยมือ เป็น 5 นาที และ 1 นาที ตัวแปรอื่นที่กำหนดให้คงที่คือ

- ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโดคือ 51% (น้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักโด และน้ำที่ผสมนวดมีอุณหภูมิ 55° ซ เพราะ เป็นปริมาณน้ำและอุณหภูมิที่เหมาะสม จากผลสรุปในข้อ

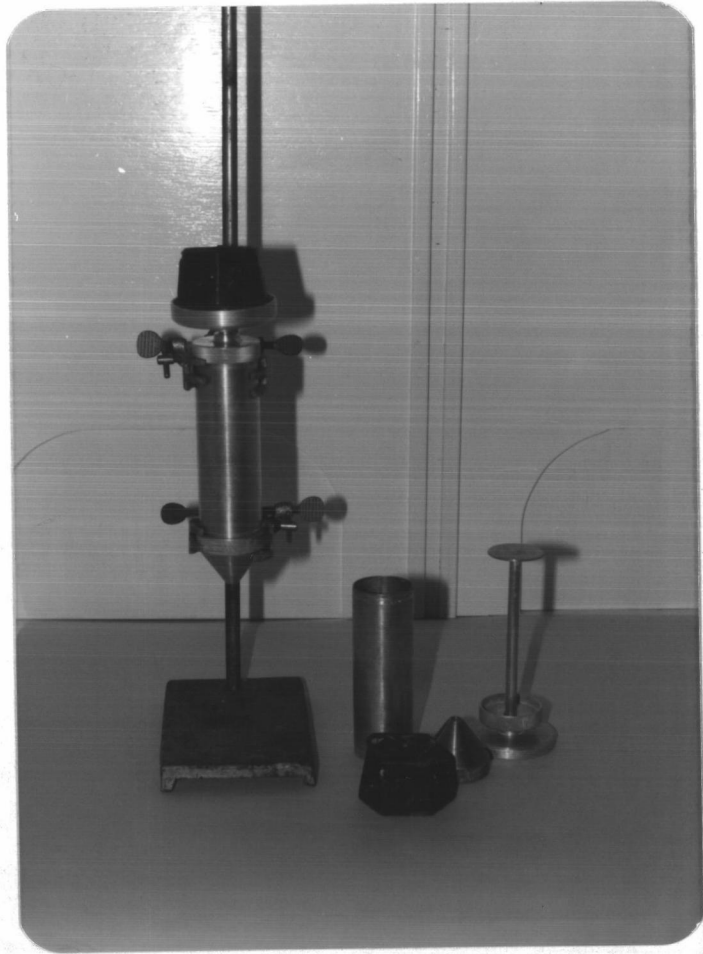
3.3.2.1

- ปริมาณแป้งที่นำไปทำแป้งเปียกคือ 3% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งทั้งหมด

- แป้งเปียกมีความเข้มข้นของแป้ง 10% (น้ำหนักแห้ง)

เมื่อได้โดและจูนเส้นนำมาตรวจวิเคราะห์ตามข้อ 3.3.2.1.1-3.3.2.1.9





รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดการไหลของโต

นอกจากนั้นจะทำการศึกษาโครงสร้างภายในของโค จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.1 โดยเตรียมโคที่มีการนวดด้วยมือต่าง ๆ กัน คือ 0, 1, 5, 7, 10 และ 15 นาที นำโคไปแช่แข็งโดยใช้ plate freezer ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จึงนำไปทำแห้งโดยใช้ Edwards High Vacuum Freeze dryer Model EFO 3 แล้วนำมาถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

3.3.2.3 ผลของปริมาณแป้ง เบียกที่ใช้ ทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete randomized design 3 ระดับ ทำ 2 ซ้ำ โดยใช้ปริมาณแป้งที่นำไปทำแป้ง เบียกต่าง ๆ กัน คือ 2, 3 และ 4% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งทั้งหมด ตัวแปรอื่นที่กำหนดให้คงที่คือ

- ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโคคือ 51% (น้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักโค และใช้น้ำอุณหภูมิ 55 °ซ จากผลสรุปในข้อ 3.3.2.1

- แป้ง เบียกที่เตรียมมีความ เข้มข้นของแป้ง 10% (น้ำหนักแห้ง)

- ใช้เวลานวดด้วยมือ 1 นาที เพราะจากผลในข้อ 3.3.2.2 การนวดด้วยมือ 1 และ 5 นาที ไม่ทำให้โคและจูน เส้นที่ได้ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อได้โคและจูนเส้นนำมาตรวจวิเคราะห์ตามข้อ 3.3.2.1.1-3.3.2.1.9 เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1

3.3.2.3 ผลของความเป็นกรด (acidity) ของน้ำที่ใช้ผสมโค ทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete randomized design 2 ระดับ ทำ 2 ซ้ำ โดยใช้สารละลายกรดน้ำส้ม เข้มข้น 1% เปรียบเทียบกับการใช้น้ำประปาเป็นน้ำที่ใช้ผสมโค ตัวแปรอื่นที่กำหนดให้คงที่คือ

- ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโคคือ 51% (น้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักโค และอุณหภูมิ น้ำคือ 55 °ซ จากผลในข้อ 3.3.2.1

- เวลาที่ใช้ นวดด้วยมือ 1 นาที จากผลในข้อ 3.3.2.2

- ปริมาณแป้งที่นำไปทำแป้ง เบียกคือ 3% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งทั้งหมด จากผลในข้อ 3.3.2.3

- แป้ง เบียกมีความ เข้มข้นของแป้ง 10% (น้ำหนักแห้ง)

เมื่อได้โคและจูนเส้นนำมาตรวจวิเคราะห์ตามข้อ 3.3.2.1.1-3.3.2.1.9 เช่นเดียวกัน

3.3.3 ทดลองทดแทนแป้งถั่วเขียวด้วยแป้งจากถั่วอื่น คือ ถั่วมันแดง ถั่วขาว ถั่วดำ ถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 ถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US แต่ละชนิดนำมาทดแทนแป้งถั่วเขียวในปริมาณ 25, 50 และ 75% (น้ำหนักแห้ง) โดยใช้สภาวะการผลิตที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 คือ

- ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโคจะอยู่ในช่วง 50-51% (น้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักโค เพื่อให้โคมีความหนืดเหมาะสมที่จะนำไปกดเส้น ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโคในการใช้แป้งจากถั่วอื่นทดแทนแป้งถั่วเขียวเพื่อทำวัน เส้น (% โดยน้ำหนักแห้งของน้ำหนักโค)

ชนิดของแป้งถั่วที่ใช้ทดแทน	ปริมาณน้ำที่ใช้ (% โดยน้ำหนักแห้งของน้ำหนักโค)		
	ทดแทน 25%	ทดแทน 50%	ทดแทน 75%
แป้งถั่วมันแดง	50.0	50.0	50.5
แป้งถั่วขาว	50.0	50.0	50.0
แป้งถั่วดำ	50.5	50.5	50.5
แป้งถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3	50.5	50.5	51.0
แป้งถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US	50.5	50.5	50.5

- อุณหภูมิของน้ำที่ใช้คือ 55 ° ซ  
 - เวลาที่ใช้ขนาดด้วยมือ 5 นาที ไม่ใช่ 1 นาที แม้ว่าจะให้ผลเหมือนกัน ดังผลการศึกษาในข้อ 3.3.2.2 ทั้งนี้ เพื่อต้องการให้มีช่วง เวลาเติมน้ำ เพื่อปรับความหนืดของโคให้เหมาะสมที่จะกดเส้น

- ปริมาณแป้งที่นำไปทำแป้ง เบียกคือ 3% (น้ำหนักแห้ง) ของแป้งทั้งหมด
- แป้ง เบียกมีความ เข้มข้นของแป้ง 10% (น้ำหนักแห้ง)

เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัน เส้นที่ได้กับวัน เส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวล้วน ตามข้อ 3.3.2.1.5-3.3.2.1.9



3.3.4 เปรียบเทียบวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วอื่นล้วน คือ ถั่วมันแดง ถั่วขาว ถั่วดำ ถั่วพุ่มพันธุ์ Vita-3 และถั่วพุ่มพันธุ์ 6-1 US กับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวล้วน

เนื่องจากการใช้แป้งถั่วอื่นทุกชนิดทดแทนแป้งถั่วเขียวเพื่อทำวุ้นเส้นนั้น แม้ว่าจะทดแทนถึง 75% ก็ไม่ทำให้ลักษณะ เนื้อสัมผัสแตกต่างจากวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวล้วน แต่จะมีความแตกต่างด้านสีของผลิตภัณฑ์ (ดังผลการทดลองในข้อ 3.3.3) จึงมีการศึกษา เปรียบเทียบวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วอื่น กับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวล้วน โดยมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเล็กน้อย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี คือ ในการละลายน้ำแข็งในเส้นหลังจากแช่แข็ง จะแช่ในสารละลายโซเดียม เมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite, food grade) เข้มข้น 0.2% แทนการแช่ในน้ำประปา ทั้งนี้เพื่อช่วยพอกเส้นให้สีขาวขึ้น สภาวะอื่นในการผลิตที่ใช้คือ

- ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับแป้งถั่วเขียวคือ 51% (น้ำหนักแห้ง) ส่วนของแป้งถั่วอื่นคือ 50.5% (น้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักโค น้ำที่ใช้ขนาดอุณหภูมิ 55 ° C
- เวลาที่ใช้ขนาดด้วยมือเป็น 5 นาที ตามเหตุผลในข้อ 3.3.3
- ปริมาณแป้งที่นำมาทำแป้ง เปียกคือ 3% ของน้ำหนักแห้งแป้งทั้งหมด
- แป้ง เปียกมีความเข้มข้นของแป้ง 10% (น้ำหนักแห้ง)

เปรียบเทียบคุณสมบัติของวุ้นเส้นที่ทำด้วยแป้งถั่วชนิดอื่นกับวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียว ตามข้อ 3.3.2.1.5-3.3.2.1.9