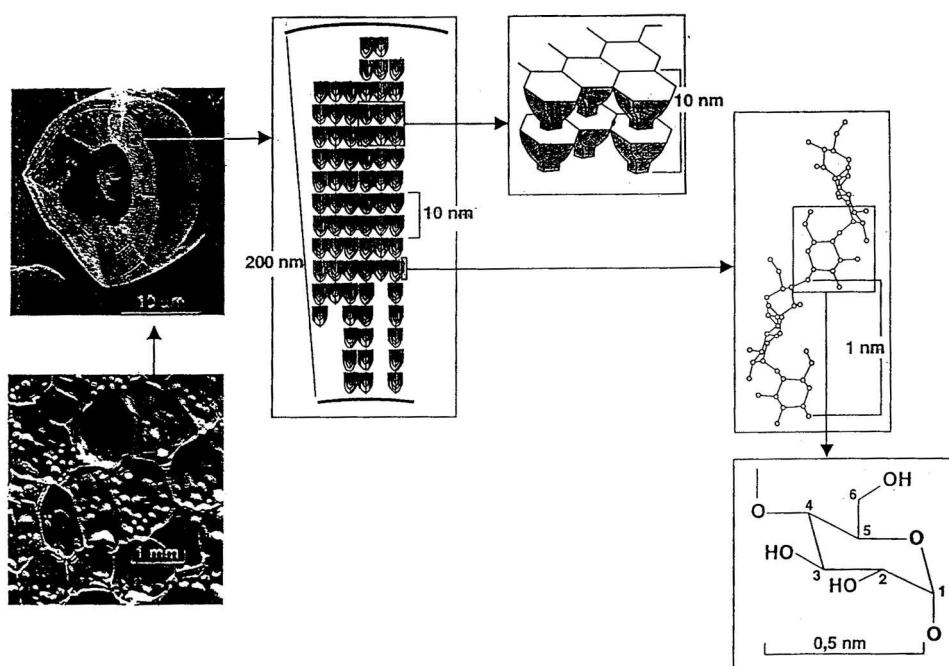


การตรวจเอกสาร

1. แป้งและสมบัติของแป้ง

1.1 แป้ง

แป้งเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 ซึ่งมีสูตรเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส (anhydroglucose unit, AGU) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอน ตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ หน่วยของกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แสดงระดับ โครงสร้างของเม็ดแป้งดังภาพที่ 1 แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกัน (ดังตารางที่ 1) ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน



ภาพที่ 1 ระดับโครงสร้างในเม็ดแป้งมันฝรั่ง

ที่มา: Sanders (1996)

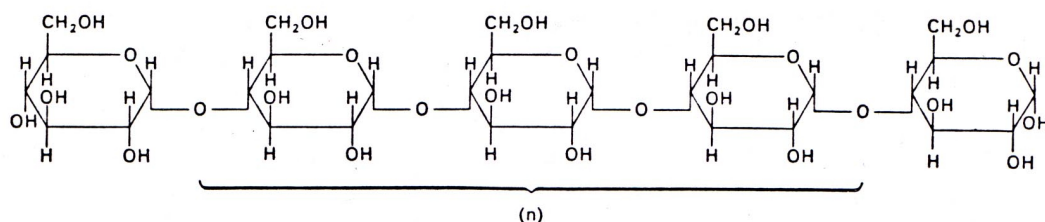
ตารางที่ 1 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200 – 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะ จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: Beynum and Roels (1985)

1.1.1 อะมิโลส (amylose)

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4- glucosidic linkage ดังภาพที่ 2

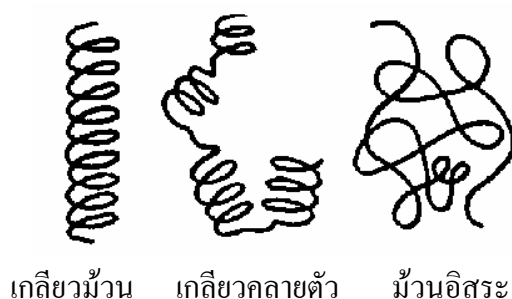


ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา: Knight (1969)

โครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือ ม้วนอิสระ (random coil) ดังภาพที่ 3 ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 มีโมเลกุลเป็นแบบม้วนอิสระและจะไม่ละลายใน

สารละลาย สำหรับอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจจะมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (กลั่นแรงค์ และเกือกูล, 2543)

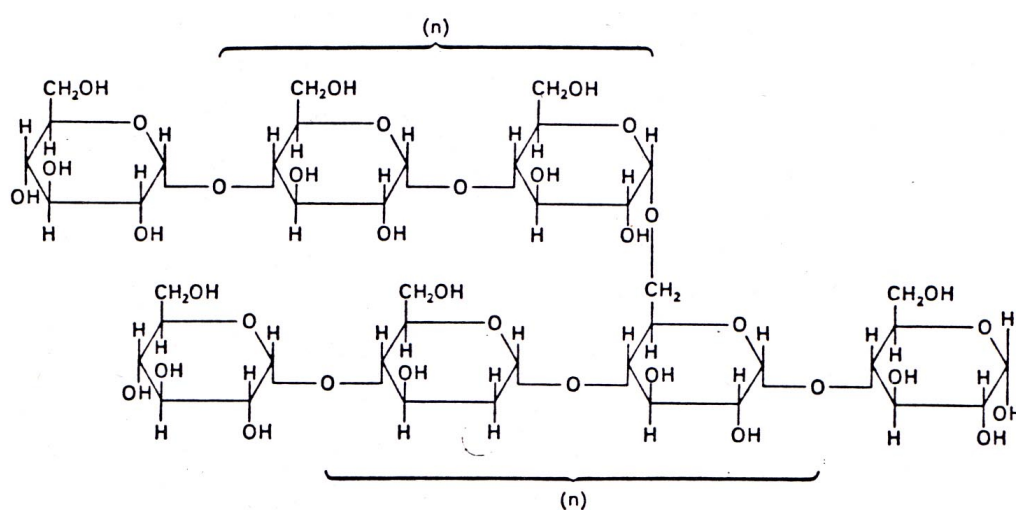


ภาพที่ 3 ลักษณะเกลียวของอะมิโลส

ที่มา: Whistler and Daniel (1984)

1.1.2 อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4- glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6- glucosidic linkage ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างอะมิโลเพกทิน

ที่มา: Knight (1969)

1.2 สมบัติของแป้ง

1.2.1 การพองตัวและการละลาย

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ (Gelatinization temperature) เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กัน แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสของน้ำแป้งเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการเกิด birefringence จะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการตัดแปรแป้งทางเคมี

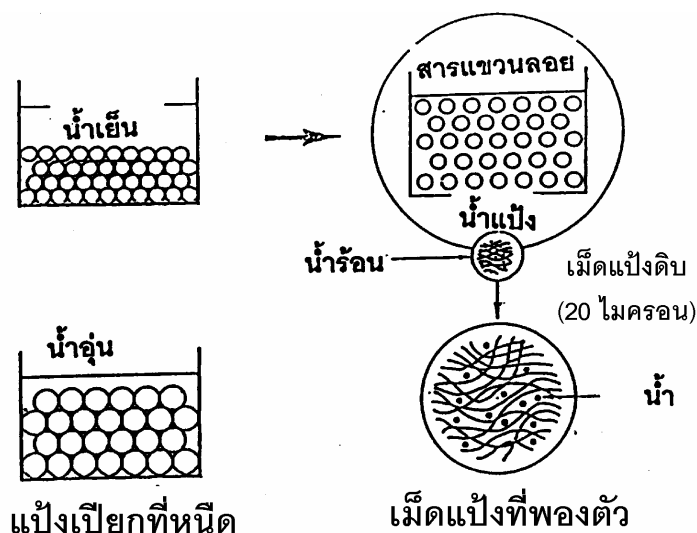
เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วน of แป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้

1.2.2 เจลาติไนเซชันและความหนืด

1.2.2.1 เจลาติไนเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห micelles ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach *et al.*, 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ดังแสดงในภาพที่ 5 ส่วนผสมของน้ำแป้งจึงมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

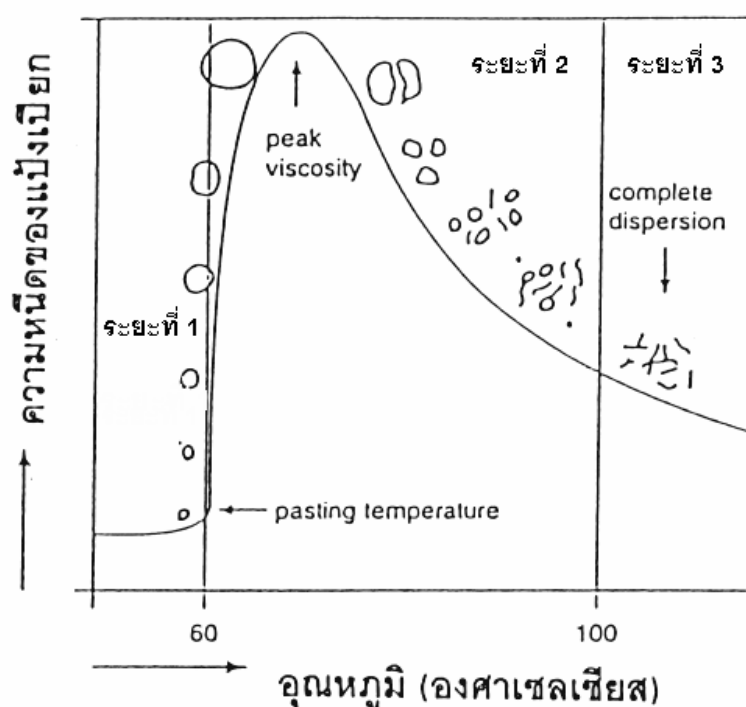


ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม

ที่มา : ดัดแปลงจาก Sanders (1996)

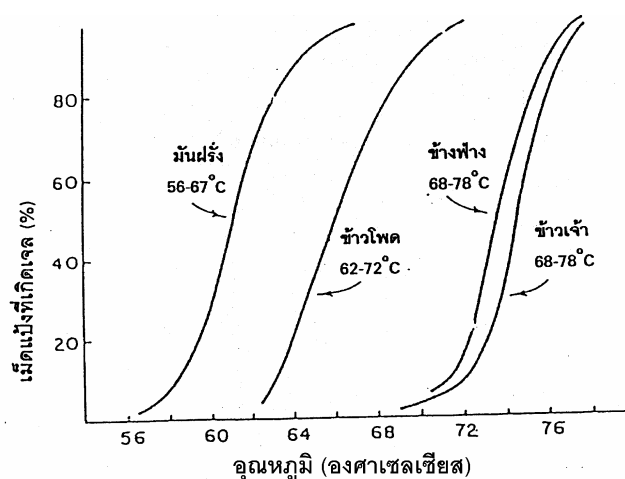
การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (ดังภาพที่ 6) คือระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมี หรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ (micelles) ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่าง ๆ ได้ดีกว่า

ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างเจลาติไนซัจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืด (peak viscosity) สูงที่สุด และมี thickening power สูงด้วย ในขณะที่แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมี peak viscosity ต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะมิโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน แป้งชนิดต่าง ๆ มีลักษณะการเกิดเจลที่ต่างกันไป ดังภาพที่ 7 และตารางที่ 2



ภาพที่ 6 ระยะในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง

ที่มา : Sanders (1996)



ภาพที่ 7 ร้อยละของการเกิดเจลในเซชันของเม็ดแป้งแต่ละชนิด

ที่มา : Sanders (1996)

ตารางที่ 2 ลักษณะการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด

แป้ง	Kofler gelatinization temp. range (°C) ^a	brabender pasting temp. (8%; °C) ^b	brabender peak viscosity (8%; BU) ^{b,c}	swelling power ที่ 95°C	critical conc. ที่ 95°C
แป้งข้าวโพด	62-67-72	75-80	700	24	4.4
แป้งมันฝรั่ง	58-63-68	60-65	3000	1153	0.1
แป้งสาลี	58-61-64	80-85	200	21	5.0
แป้งมันสำปะหลัง	59-64-69	65-70	1200	71	1.4
แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว	63-68-72	65-70	1100	64	1.6
แป้งข้าวฟ่าง	68-74-78	75-80	700	22	4.8
แป้งข้าวเจ้า	68-74-78	70-75	500	19	5.6
แป้งสาคุ	60-66-72	65-70	1100	97	1.0
แป้งท้าวยายม่อม	62-66-70	-	-	54	1.9
แป้ง amylo maize	67-80-92	90-95	-	6	20.2
แป้งมันเทศ	58-65-72	65-70	-	46	2.2

ที่มา : Swinkels (1985b)

หมายเหตุ a : Kofler hot-stage microscope เป็นวิธีหนึ่งในการวัดอุณหภูมิเจลาคีในซึ่ของเม็ดแป้ง

b : starch concentration, 8%

c : BU = Brabender Units

การเกิดเจลาตินในซีไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8 ถึง 12 องศาเซลเซียส (Schoch and Mayward, 1968) การตรวจสอบกระบวนการเจลาตินในเซชัน นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนโครงสร้าง birefringence ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์ เช่น Kofler gelatinization temperature range แล้ว สามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันนี้คือเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งจะวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ปกติพอลิเมอร์ต่าง ๆ ในรูปผลึกและอสัณฐาน จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แบ่งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก อยู่ในช่วง 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่าการหลอมละลายก็คือการเกิดเจลาตินในเซชัน ช่วงของอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature) และอุณหภูมิสูงสุดของการเปลี่ยนแปลง (conclusion temperature) ของความร้อน คือช่วงอุณหภูมิของเจลาตินในเซชันเปลี่ยนนั่นเอง ซึ่งแบ่งแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินต่างกัน (Swinkels, 1985b) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในซีของแป้งชนิดต่าง ๆ ที่มีน้ำอยู่มากพอโดยใช้ DSC (DSC gelatinization temperature ranges) ซึ่งจะเป็นค่าระหว่าง T_o ถึง T_c

แป้ง	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
แป้งข้าวโพด	70 – 89
แป้งมันฝรั่ง	57 – 87
แป้งสาลี	50 – 86
แป้งมันสำปะหลัง	68 – 92
แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว	68 - 90

ที่มา : Swinkels (1985b)

1.2.2.2 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้งและการตัดแปรรูปด้วยวิธีต่าง ๆ

(ก) ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ดังแสดงในภาพที่ 8 ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ จากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไปถึง 95 องศาเซลเซียส และคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จึงลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส อีกครั้ง จะเห็นว่าแป้งแต่ละชนิดจะให้ลักษณะ (profile) ของความหนืดแตกต่างกัน

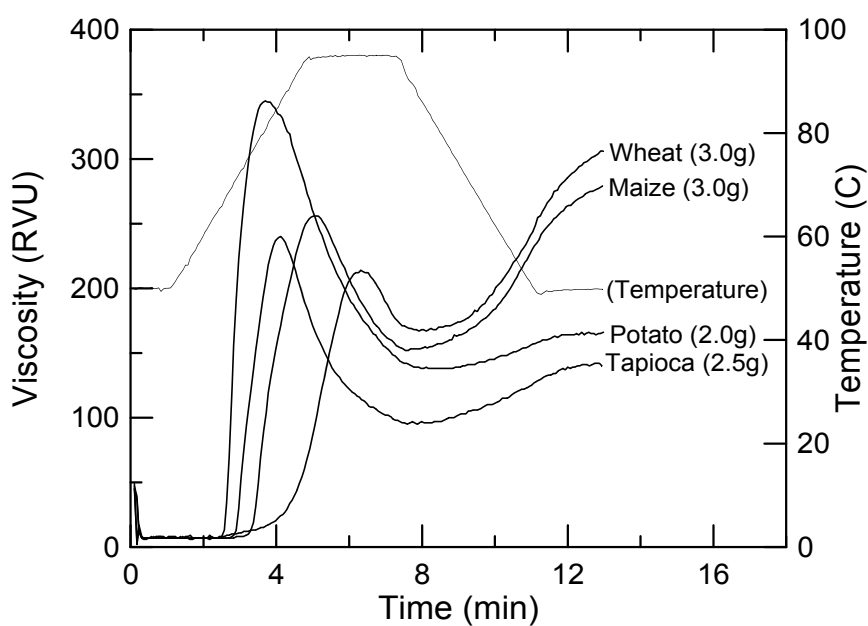
จากการแบ่งประเภทของแป้งตามกราฟแสดงความหนืด ตามวิธีของ Schoch and Maynard (1968) สามารถแบ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้ง แบ่งเป็น 4 แบบ ดังภาพที่ 9 ดังนี้

แบบ a : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (high-swelling starches) เช่น แป้งมันฝรั่ง (potato starch) แป้งข้าวฟ่าง (waxy sorghum starch) เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งแตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นแตกออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงขึ้นน้อยกว่าและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

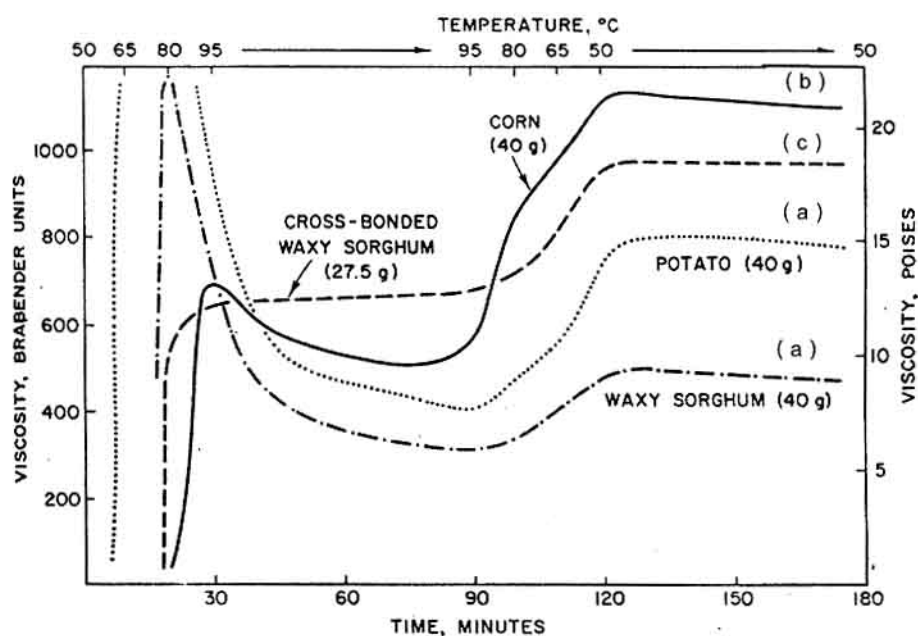
แบบ c : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย (restricted-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ และแป้งครอสลิงหรือครอสบอนด์ (cross-bonded) วิธีครอสลิงทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างต้มสุก

แบบ d : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (highly-restricted swelling starches) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น แป้ง amylo maize มีอะมิโลสร้อยละ 50 ถึง 80 (ไม่มีแสดงในภาพ)



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวสาลี (wheat starch) แป้งข้าวโพด (maize starch) แป้งมันฝรั่ง (potato starch) และแป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch)

ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd. (1995)



ภาพที่ 9 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่าง ๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว

ที่มา : Leach (1965)

(ข) การดัดแปรแป้ง

- การดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ เช่น แป้งพรีเจล (pregelatinized starch) เป็นการดัดแปรโดยให้ความร้อนแก่แป้ง ทำให้แป้งสุกหรือเกิดเจลาติไนซ์ แล้วทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้ง และบดให้ละเอียด แป้งที่ได้จะสามารถละลายและให้ความหนืดได้ทันทีโดยไม่ต้องให้ความร้อน เป็นต้น

- การดัดแปรด้วยกรดหรือเบสทรินไนเซชัน แป้งที่ได้จะมีความหนืดขณะร้อนต่ำกว่าแป้งดิบ แต่เจลที่ได้จะมีลักษณะใสและแข็งกว่า

- การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) ได้แป้งเอสเทอร์ เช่น สตาร์ชแอซิเตต (starch acetate) และสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) ซึ่งมีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบและคงความหนืดไว้ได้ดี อุณหภูมิเริ่มมีความหนืดต่ำกว่าแป้งดิบ ลักษณะเจลใส คงตัวต่ออุณหภูมิต่ำในสภาวะการแช่แข็งและละลาย

- การดัดแปรโดยวิธีครอสลิง (cross-linking) แป้งที่ได้สามารถรักษาความหนืดไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง เหมาะสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง ซึ่งต้องการความหนืดต่ำในช่วงแรกเพื่อให้เกิดการนำความร้อนในกระป๋องเป็นไปอย่างรวดเร็ว และใช้เวลาในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์น้อยลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนืดตามต้องการเมื่อเย็นลง (Rutenberg and Solarek, 1984)

นอกจากปัจจัยทั้งสองดังกล่าวมาแล้ว ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอันเนื่องมาจากชนิดของแป้งเมื่อวิเคราะห์ลงในรายละเอียดคือ ขนาดของเม็ดแป้ง ปริมาณอะมิโลส ก็มีส่วนสำคัญต่อความหนืด กล่าวคือ ขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่มีอ้อมมีกำลังการพองตัวสูงและให้ความหนืดสูงสุดที่สูง ปริมาณอะมิโลสมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ถ้าแป้งชนิดใดมีปริมาณอะมิโลสสูงย่อมแสดงค่าความหนืดสุดท้ายสูงด้วยเช่นกัน สำหรับปัจจัยทางภายนอกคือ ถ้ามีการใช้ความร้อนสูงหรือมีการใช้แรงกลมาก จะทำให้เม็ดแป้งแตกและค่าต่าง ๆ ของความหนืด เช่น ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุดขณะร้อน เป็นต้น ลดลง

1.2.2.3 วิธีวิเคราะห์ความหนืด

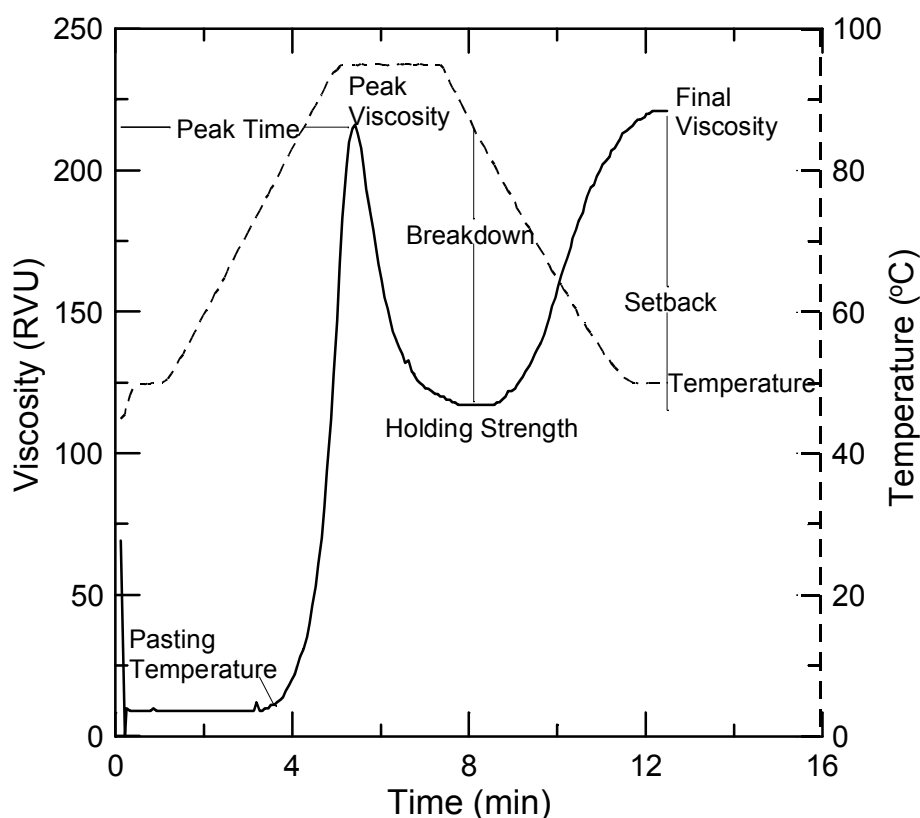
วิธีการตรวจวัดความหนืดสามารถกระทำได้หลายวิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการทำงานและการอ่านค่าความหนืดต่าง ๆ กัน ดังนี้

(ก) การใช้เครื่อง Brookfield viscometer สามารถวัดความหนืดได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การทำงานของเครื่องเกิดจากการหมุนของวัตถุทรงกระบอกหรือแผ่นจานในของเหลวด้วยอัตราเร็วคงที่ ค่าความหนืดของของเหลววัดได้จากค่าความต้านทานการหมุนของเหลวที่อัตราเร็วคงที่ แรงต้านจะทำให้สปริงเกิดการยืดตัวโดยแสดงด้วยเข็มสีแดงบนหน้าปัดเครื่อง ค่านี้อ่านด้วยค่าคงที่ตามความเร็ว ขนาดและชนิดของเครื่อง Brookfield viscometer เครื่องนี้ได้นหน่วยความหนืดของของเหลวเป็นเซนติพอยส์ (centipoise)

(ข) การใช้เครื่อง Capillary viscometer สามารถใช้วัดความหนืดได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เท่านั้น มีหน่วยของความหนืดเป็น mPa.s

(ค) การใช้เครื่อง Brabender amylograph ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลาย หลักการทำงานคือการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้ร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็น ติดตามผล และแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ได้นหน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) สำหรับสารละลายที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian สามารถเปลี่ยนหน่วย BU เป็น centipoise ได้ โดยเทียบความหนืดของสารละลายแป้งสุกความเข้มข้นร้อยละ 5 ความหนืด 500 BU มีค่าเท่ากับ 2,700 centipoise (Brautlecht, 1953)

(ง) Rapid Visco Analyser (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน คุณสมบัติพิเศษคือมีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษามุมให้คงที่ได้ จึงทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดี และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย สมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 10 และตารางที่ 4



ภาพที่ 10 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd. (1995)

ค่าที่เครื่องแสดงผลอ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์ มีดังนี้

- (1) peak time คือ เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็นนาที
- (2) pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- (3) peak viscosity คือ ความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (4) holding strength คือ ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU
- (5) breakdown คือ ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (6) final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU
- (7) setback from peak คือ ผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (8) setback from trough คือ ผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

ตารางที่ 4 สมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

แป้ง	Gelatinization temperature (°C)	peak viscosity	breakdown	setback	paste type	paste clarity
ข้าวสาลี	52 – 65	ต่ำ	ต่ำ/ ปานกลาง	ปานกลาง /สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวโพด	62 – 72	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวโพด ข้าวเหนียว	63 – 72	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง
ข้าวฟ่าง	68 – 78	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวเจ้า	61 – 78	ปานกลาง	ต่ำ/สูง	ปานกลาง /สูง	สั้น	ทึบแสง
มันสำปะหลัง	50 – 68	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง
มันฝรั่ง	56 – 69	สูง	สูง	ปานกลาง	ยาว	โปร่งแสง
สาเก	60 - 72	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง

ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd. (1995)

1.2.2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดของแป้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้งโดยทั่วไป สามารถสรุปเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1) ชนิดของแป้ง จะมีผลกระทบต่อความหนืดที่ได้ กล่าวคือ แป้งจากธัญพืชโดยปรกติมักจะให้ค่าความหนืดสูงสุดที่ต่ำ และมีค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งที่ได้จากพืชหัวหรือราก

2) สภาวะที่ใช้ทดสอบ ความเข้มข้นของแป้ง และ/หรือ ปริมาณน้ำ มีผลต่อความหนืดในหลายเหตุผล คือ ความเข้มข้นจะมีผลต่อความหนืดในลักษณะของสมการยกกำลัง (exponential equation) แต่ที่ความเข้มข้นสูงผลที่ได้จะเกิดจากการแย่งน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดเป็นหลัก อัตราการให้ความร้อน มีผลต่อระดับการพองตัวและการละลายของแป้งแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง เช่น งานวิจัยของ Almeida-Dominguez *et al.* (1997) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนมีผลทำให้ความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวโพดทุกชนิดที่ทำการศึกษาลดลง แต่ลดลงด้วย

อัตราที่ไม่เท่ากัน นอกจากนี้การเตรียมตัวอย่าง ขนาดของตัวอย่าง และเวลาที่เก็บไว้หลังการบดก็มีผลอย่างมีนัยสำคัญ เป็นต้น

Nelles *et al.* (2000) ทดลองปรับสภาวะในการทดสอบโดยใช้ระยะเวลาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็น 90 นาที พบว่าแป้งข้าวโพดแสดงความหนืดเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งจุด โดยความหนืดสูงสุดที่เพิ่มขึ้นมาเกี่ยวข้องกับไขมันที่มีอยู่ในตัวอย่างและสภาวะที่เหมาะสมกับการเกิดความหนืดสูงสุดจุดที่สอง

3) องค์ประกอบอื่น สมบัติของแป้งเปียกอาจเปลี่ยนแปลงได้จากปฏิสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งจากภายในตัวอย่างเอง หรือจากส่วนผสมอื่นที่เติมลงไป เช่น การเติมกัมในปริมาณน้อยจะมีผลทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น เป็นต้น

4) ความเป็นกรด-ด่าง

Wang *et al.* (2000) ศึกษาฟลาวข้าวเจ้า (ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 23.6 โดยน้ำหนักแห้ง) ที่ได้รับผลกระทบจากความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง Brabender พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.2 ฟลาวข้าวเจ้าจะพองตัวเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกันกับแบบ c ในการจัดกลุ่มของ Schoch and Maywald (1968) ในภาพที่ 9 ดังได้แสดงมาแล้ว แต่ต่างจากรายงานของ Kumar และ Ali (1991) ที่จัดไว้เป็นแบบ a ซึ่งมีกำลังการพองตัวสูง เนื่องมาจากการใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.1 ฟลาวข้าวเจ้ามีความหนืดต่ำกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.2 โดยมีรูปแบบความหนืดใกล้เคียงกับแบบ b ซึ่งมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำและลดลงเล็กน้อยขณะหุงต้ม แป้งเปียกจากฟลาวข้าวเจ้าซึ่งเป็นกรดแสดงแนวโน้มไปในทางที่จะเกิดการคืนตัวน้อย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าการพองตัวที่น้อยที่สุดเกิดขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.2 และเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปจากจุดนี้

Roberts and Cameron (2002) ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากความเข้มข้นของแป้งและโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งมันฝรั่ง ทั้งที่อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำกึ่งที่ และอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อแป้งคงที่ พบว่าการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปให้น้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งพองตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว และการพองตัวของเม็ดแป้งในโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมากกว่าในน้ำกลั่น และการเกิดเจลลิตในเซชันจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ถ้าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อแป้งสูงกว่า 5:95

Mali *et al.* (2003) พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 3, 5 และ 6 หรือการเติมกัม (ร้อยละ 0.1-0.5 กรัมของน้ำแป้ง) จะไม่กระทบต่ออุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ และไม่กระทบต่อพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งมันเทศเมื่อวัดด้วยเครื่อง DSC

5) ผลกระทบของแรงเฉือน

แป้งแต่ละชนิดจะมีความทนต่อแรงเฉือนแตกต่างกันไป โดยเมื่อให้ความร้อนพร้อม ๆ กับการกวน แป้งจากส่วนหัว ราก และแป้งข้าวเหนียวจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้มีส่วนของเม็ดแป้งที่ถูกตัดมาก สำหรับแป้งจากธัญพืชจะพองตัวอย่างช้า ๆ ทำให้มีส่วนเม็ดแป้งที่ถูกตัดได้น้อยกว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราการกวนมีแนวโน้มที่เม็ดแป้งจะมีความทนทานต่อการถูกตัดเปลี่ยนแปลงไปได้ด้วยนอกเหนือไปจากชนิดของแป้ง โดยที่แป้งส่วนใหญ่ มักจะมีความหนืดลดลงเมื่อมีการใช้อัตราการกวนเพิ่มขึ้น

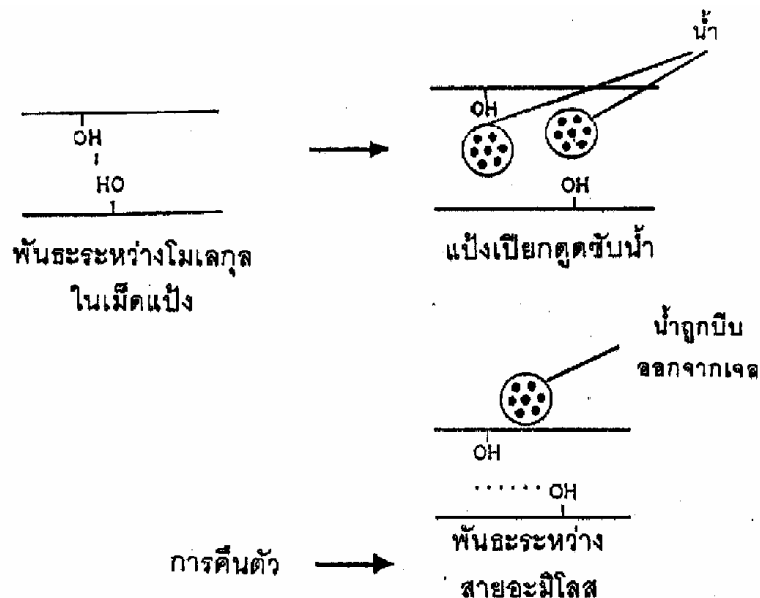
6) การตัดแปรรูป

การตัดแปรรูปเป็นการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของแป้งเพื่อให้ได้ลักษณะที่ต้องการ โดยแบ่งลักษณะการตัดแปรรูปได้เป็น 3 ลักษณะ คือ การตัดแปรรูปทางเคมี การตัดแปรรูปทางกายภาพ และการตัดแปรรูปทางเทคโนโลยีชีวภาพ โดยที่ความหนืดของแป้งมักจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อผ่านกระบวนการตัดแปรรูป แต่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของการตัดแปรรูป เช่น การย่อยด้วยกรดจะทำให้ความหนืดลดลง การตัดแปรรูปชนิดโครอสลิงที่ระดับต่ำจะให้ความหนืดที่สูงขึ้น เป็นต้น

1.2.3 รีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจายกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลของอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารอุ้มน้ำและไม่มีการคูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว หรือ setback (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะ

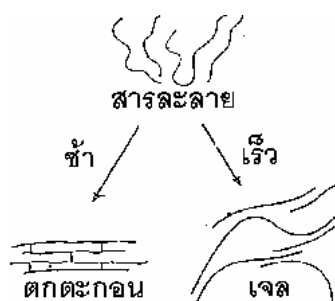
การเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและความหนืดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

ที่มา : กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543)

การคั้นตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจล และโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคั้นตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น ดังแสดงในกลไกการคั้นตัวของแป้งภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กลไกการคั้นตัวของแป้ง

ที่มา : กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543)

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5 – 7 แป้งจะสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับความเป็นกรด-ด่างในช่วงที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือของ monovalent anion และ cation, calcium nitrate และ urea (Swinkels, 1985b)

ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพกทินสูง อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) ที่ degree of polymerization ของอะมิโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกทินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวจะมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะมิโลสในแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องมาจากในแป้งธัญพืชมีปริมาณอะมิโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) มีอะมิโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็น amylose-lipid complex (Swinkels, 1985b) อัตราการคืนตัวของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราการคืนตัวของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดของแป้ง	% การตกตะกอนของส่วนที่ไม่ละลาย		
	5 วัน	10 วัน	30 วัน
แป้งมันฝรั่ง	10	15	20
แป้งข้าวโพด	37	48	62
แป้งสาลี	45	48	52
แป้งมันสำปะหลัง	11	12	13
แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว	0.2	0.5	1

ที่มา : Swinkels (1985a)

การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งแต่ละชนิด อาจประมาณได้จากค่าการคืนตัว (setback) ของแป้ง ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับ

ความหนืดสูงสุด (setback from peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) โดยเครื่อง Brabender หรือ Rapid visco analyzer (RVA) นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสามารถวัดได้โดยการใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) โดยนำแป้งดิบไปหาค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนเซชัน (เอนทัลปี, $\Delta H_{\text{gelatinization}}$) แล้วนำแป้งที่ผ่านเจลลาติไนเซชันนี้ไปบ่มไว้ในสภาวะที่กำหนดเพื่อให้เกิดรีโทรเกรเดชันโดยใช้อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เช่น -20, 4, 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 21 วัน (Shi and Seib, 1992; Yamin *et al.*, 1997; Baker and Rayas-Duarte, 1998) แล้วนำแป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันแล้วไปตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC อีกครั้ง บันทึกค่าพลังงานที่ใช้ ($\Delta H_{\text{retrogradation}}$) ร้อยละของการเกิดรีโทรเกรเดชันสามารถหาได้จากอัตราส่วนของเอนทัลปีของแป้งรีโทรเกรเดชันต่อเอนทัลปีของแป้งเจลลาติไนเซชัน (Yamin *et al.*, 1997) คือ

$$\% \text{ retrogradation} = \frac{\Delta H_{\text{retrogradation}}}{\Delta H_{\text{gelatinization}}} \times 100$$

นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำจากเจล (syneresis) ซึ่งจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติ freeze-thaw stability ของแป้ง โดยแป้งที่มีการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีจะมีค่า freeze-thaw stability ต่ำ ในขณะที่แป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันต่ำจะมีค่า freeze-thaw stability สูง ดังนั้นการวัด freeze-thaw stability จึงสามารถใช้ประเมินการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งได้ (Yuan และ thompson, 1998; Jacobson และ BeMiller, 1998)

2. แป้งดัดแปร

2.1 ความหมายของแป้งดัดแปร

ความหมายของแป้งดัดแปรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (starch) เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ ซึ่งคุณลักษณะเกณฑ์ชี้บ่งต่าง ๆ ของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2535)

2.2 ประเภทของการดัดแปรแป้ง

กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543) อ้างถึง BeMiller (1997) ในการแบ่งกลุ่มของแป้งดัดแปรดังนี้

2.2.1 การดัดแปรทางเคมี

ก. การเกิดอนุพันธ์ (derivatization)

1) การแทนที่สารใน โมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution) ทั้ง ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เช่น แป้งแอซิเตต (starch acetate) หรือ ปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (hydroxyethyl starch)

2) การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งครอสลิง (cross-linked starch)

ข. การลดขนาดโมเลกุลแป้งโดยกรด (acid thinning) เช่น แป้งย่อยด้วยกรด (acid modified starch) หรือ thin-boiling starch

ค. เดกซ์ทรีไนเซชัน (dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะ (depolymerization/transglycosylation) โดยใช้ความร้อน หรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin)

ง. ออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุลโดย ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (bleaching และ depolymerization) เช่น แป้งออกซิไดซ์ (oxidized starch)

จ. การย่อยสลาย (hydrolysis) โดยใช้น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายเป็นน้ำตาล โมเลกุลเล็ก เช่น enzymatically modified starch

2.2.2 การดัดแปรทางกายภาพ

ก. เจลาติไนเซชัน (gelatinization) เป็นการให้ความร้อนแป้งจนผ่านขั้นตอนของเจลาติไนเซชันแล้วทำให้แห้งทันที เช่น แป้งพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch)

ข. แป้งละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch : GCWSS) เป็นการแปรรูปจนได้แป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลลิต์ในเซชัน

ค. การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล การทำให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกล จะได้เม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าปกติ

ง. annealing เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลลิต์ในเซชัน

จ. การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (heat moisture treatment) เป็นการให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลลิต์ในเซชันแก่แป้งในขณะที่แป้งมีความชื้นต่ำ

2.2.3 การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ

การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

ก. waxy starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสต่ำหรือไม่มีเลย

ข. high-amylose starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสสูง

2.3 ชนิดของแป้งดัดแปร

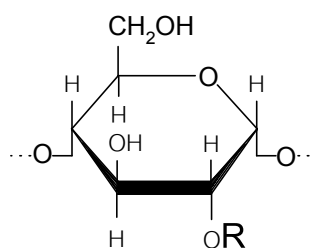
2.3.1 แป้งอีเทอร์ (starch ether) เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการเกิดอนุพันธ์ โดยปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชันเกิดขึ้นระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่อีเทอร์ (etherifying agent) ในสภาวะเบส แบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่

ก. ไฮดรอกซีแอลคิลสตาร์ช (hydroxyalkyl starch) หรือแป้งไม่มีประจุ ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ช (hydroxypropyl starch) ไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ช (hydroxyethyl starch) และไซยาโนเอทิลสตาร์ช (cyanoethyl starch)

ข. คาร์บอกซีเมทิลสตาร์ช (carboxymethyl starch) หรือแป้งประจุลบ

ค. แคทไอออนิกสตาร์ช (cationic starch) หรือแป้งประจุบวก ได้แก่ เทอร์เทียรีอะมิโนแอลคิลสตาร์ชอีเทอร์ (tertiary aminoalkyl starch ether) ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (quaternary ammonium starch ether)

หมู่ฟังก์ชันที่สามารถเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยกลูโคสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แป้งอีเทอร์แสดงดังภาพที่ 13



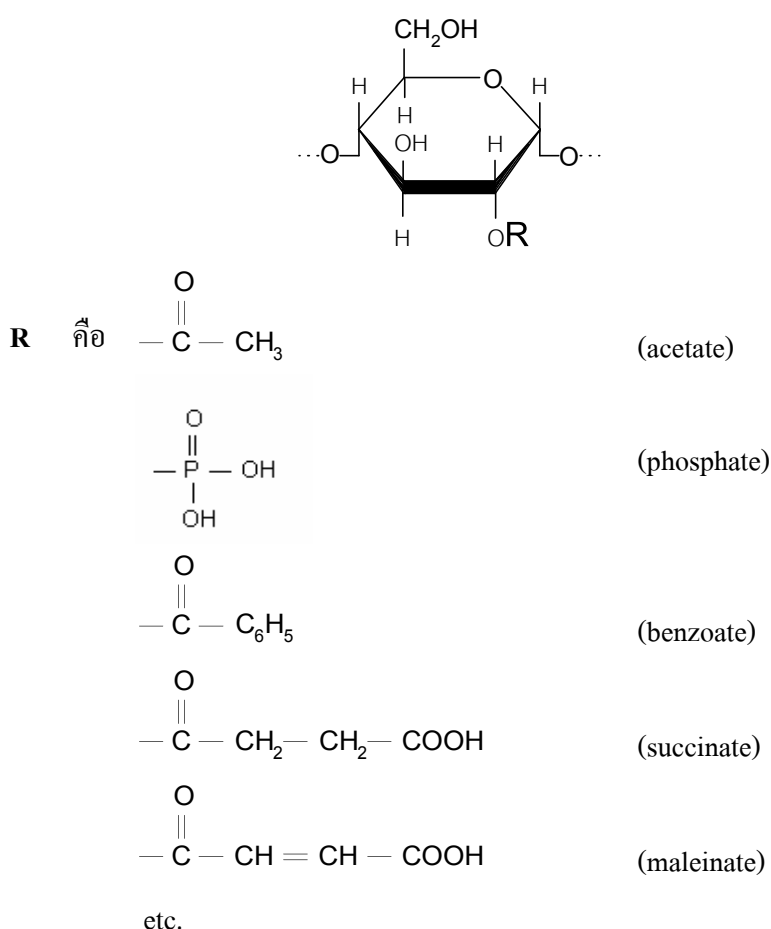
R คือ	— CH ₃	(methyl)
	— CH ₂ — CH ₂ — OH	(hydroxyethyl)
	— CH ₂ — CH — CH ₃ OH	(hydroxypropyl)
	— CH ₂ — CH ₂ — C ≡ N	(cyanoethyl)
	— CH ₂ — CH — CH ₂ — N ⁺ (CH ₃) ₃ OH Cl ⁻	(hydroxypropyl-tri-methyl ammonium chloride)
	— CH ₂ — C ₆ H ₅	(benzyl)
	— CH ₂ — COOH	(carboxymethyl)

ภาพที่ 13 หมู่ฟังก์ชันที่สามารถเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยกลูโคสเพื่อให้ได้แป้งอีเทอร์ ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543)

แป้งอีเทอร์โดยทั่วไปจะมีสมบัติการคั่นตัวน้อยลง แต่ละหมู่ที่เข้ามาแทนที่จะทำให้แป้งมีประสิทธิภาพในการลดการคั่นตัวของแป้งได้ต่างกัน หมู่แทนที่สายยาว (long side-chain) จะมีประสิทธิภาพมากกว่าหมู่แทนที่ที่มีความยาวเท่ากัน หมู่ที่มีประจุจะมีประสิทธิภาพมากกว่าหมู่ที่ไม่มีประจุ อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ต่ำลง ทำให้แป้งสามารถพองตัวได้ในน้ำเย็น มีความต้านทานต่อการทำงานของกรด เบส และสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) อย่างอ่อนได้ แป้งเปียกและฟิล์มสามารถต้านทานต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยสรุปคือสมบัติโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นสารเพิ่มความคงตัว และมีความหนืดสูงกว่าแป้งปกติ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

2.3.2 แป้งเอสเทอร์ (starch ester) เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการเกิดอนุพันธ์ โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาของกลุ่มแอลกอฮอล์กับกรด) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งกับหมู่เอสเทอร์ของสารเคมี แป้งเอสเทอร์ที่นิยมใช้ทางการค้า ได้แก่ แป้งแอซิเตต และสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ แป้งดัดแปรทั้งสองชนิดนี้มีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบ และรักษาความหนืดไว้ได้ดี เมื่อเกิดเจลจะมีความใส มีความอ่อนตัวและยืดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัวต่อสภาวะการแช่แข็งและการละลาย (freeze thaw stability) เหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการเป็นสารช่วยแตกตัวที่ดีและมีราคาถูก จึงมีการนำแป้งเอสเทอร์มาใช้เป็นสารช่วยแตกตัวในการผลิตขนม

หมู่ฟังก์ชันที่สามารถเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยกลูโคสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แป้งเอสเทอร์แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 หมู่ฟังก์ชันที่สามารถเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยกลูโคสเพื่อให้ได้แป้งเอสเทอร์
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2543)

กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2543) อ้างถึง Tessler และ Billmers (1996) ในการแบ่งการผลิตเอสเทอร์ตามระดับการทำปฏิกิริยาออกเป็น 3 ชนิด คือ

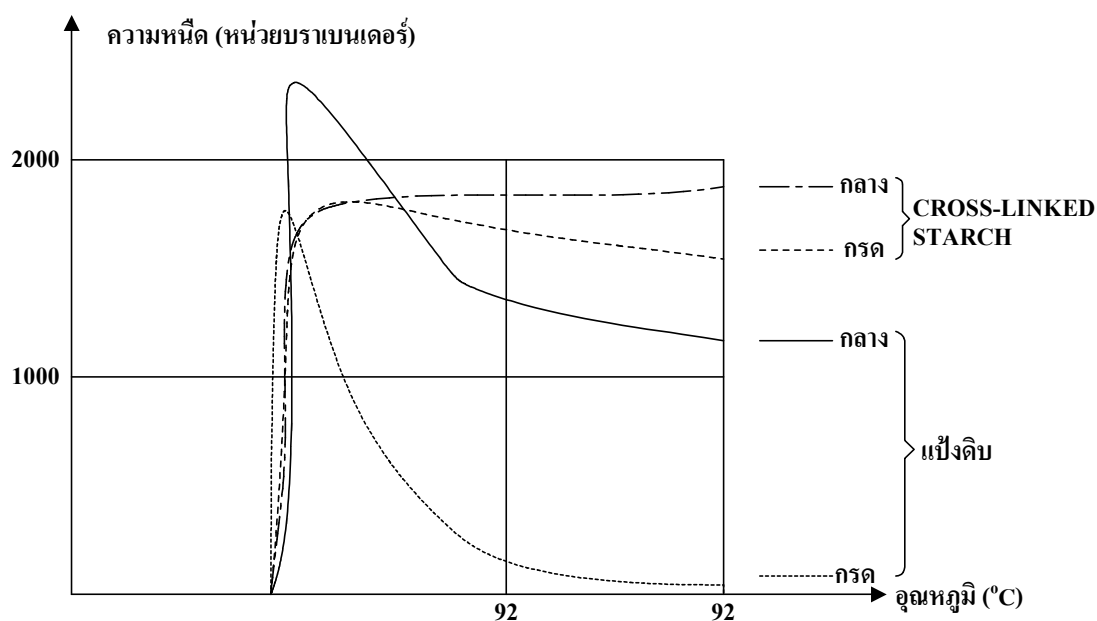
- 1) การทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ให้ระดับการแทนที่ต่ำกว่า 0.2 นิยมทำโดยทั่วไป
- 2) การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง ให้ระดับการแทนที่สูงประมาณ 3 ใช้ไพรีดีน (pyridine) เป็นตัวทำละลาย
- 3) การทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ให้ระดับการแทนที่ปานกลาง ใช้กรดแอซิติกเป็นตัวทำละลาย

ก. แป้งแอซิเตต (starch acetate) ได้จากปฏิกิริยาแอซิทิเลชัน (acetylation) ระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่แอซิดิล เช่น แอซิดิกแอนไฮไดรด์ ไวนิลแอซิเตต หรือกรดแอซิดิก หมู่แอซิติกที่เข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของแป้งจะยับยั้งการรวมตัวกันของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน ทำให้แป้งสามารถต้านทานการคืนตัวหลังจากเกิดแป้งเปียกและทำให้เย็นลงสามารถละลายได้มากขึ้นถ้าระดับการแทนที่ของหมู่แอซิติกเพิ่มขึ้น มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินต่ำลง ความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่เกิดการบีบตัวของน้ำออกมาจนเกิด (syneresis) และทำให้สีของแป้งไม่ขุ่น ฟิล์มจากแป้งแอซิเตต มีความใส มั่นคง ยืดหยุ่น ละลายน้ำได้มาก และมีแนวโน้มที่จะแตกน้อยลง แป้งดัดแปรชนิดนี้ใช้เป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer) และสารเพิ่มความข้น (thickener) ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผงชูรส ซอส พุดดิ้ง ฯลฯ และใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

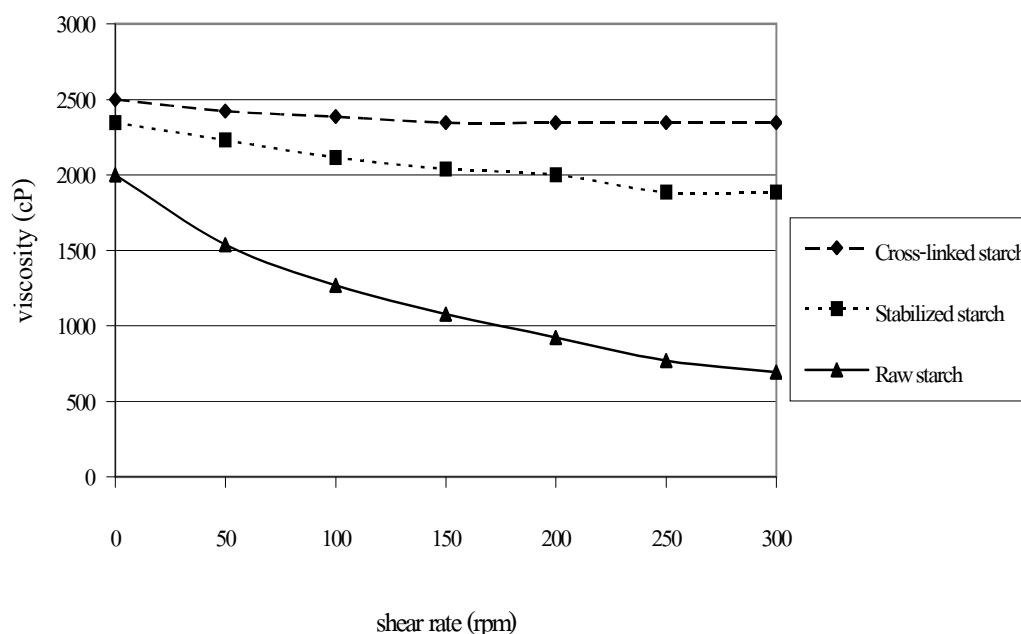
ข. สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) เป็นแป้งดัดแปรที่มีประจุลบ เกิดจากปฏิกิริยาฟอสโฟรีเลชัน (phosphorylation) ระหว่างแป้งกับสารโซเดียมไตรฟอสเฟต ในสภาวะกึ่งแห้ง (semidry reaction) ทำให้มีความหนืดที่สูงขึ้น ใสมากขึ้น ความเสถียรและคงทนต่อการคืนตัวของแป้งได้ดี เนื้อสัมผัสเหนียวและยืดเกาะได้ดี มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินต่ำลง ทำให้แป้งสามารถละลายได้ในน้ำเย็น มีความคงตัวในการแช่แข็งและการละลายสูงกว่าแป้งดัดแปรหลาย ๆ ชนิด มีลักษณะเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดี ฟิล์มมีความโปร่งใส ยืดหยุ่น และ

ละลายน้ำได้ดี มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกาว และเภสัชกรรม เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

2.3.3 แป้งครอสลิง (cross-linked starch) โดยทั่วไปแป้งครอสลิงหรือที่มีการเรียกชื่ออื่น ๆ ว่า crossbonded starch หรือ inhibit starch เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ (multifunctional reagent) เรียกสารเคมีนั้นว่า cross-linking reagent หรือ inhibiting reagent เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันหรือ อีเทอร์ริฟิเคชัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ ซึ่งสามารถจะทำปฏิกิริยากับหมู่ ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งได้มากกว่า 1 หมู่ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslink หรือ bridge) ระหว่างโมเลกุลของแป้งในสภาพแขวนลอย พันธะโควาเลนต์จะช่วยให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้มีความแข็งแรงมากขึ้น ช่วยลดการพองตัวของเม็ดแป้ง เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้งโดยเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะความเป็นกรด ความร้อน และสภาพที่มีแรงเฉือน เพิ่มความเหนียวของแป้งเปียกที่ร้อน ทำให้แป้งเปียกมีลักษณะคล้ายจี๊ต เพิ่มความเหนียวให้แก่เม็ดแป้งที่พองตัว ทำให้เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นหนึ่งเดียวกัน ไม่แตกออก มีสมบัติเป็นสารเพิ่มความข้นที่มีความหนืดสูง ช่วยปรับปรุงสมบัติของแป้งให้เหมาะแก่การหุงต้ม เมื่อเพิ่มระดับการทำครอสลิงจะเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง



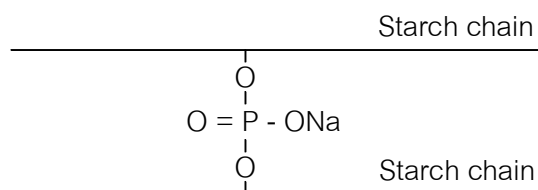
ภาพที่ 15 ความทนทานต่อกรดของแป้งครอสลิงเปรียบเทียบกับแป้งดิบ
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2543)



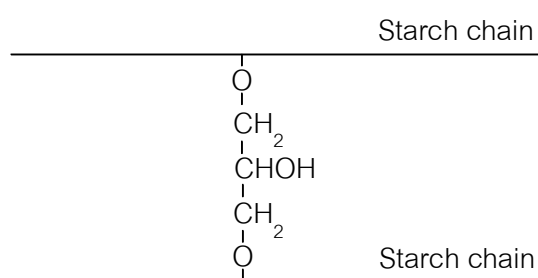
ภาพที่ 16 ผลกระทบของแรงเฉือนต่อความหนืดของแป้งดัดแปรเปรียบเทียบกับแป้งดิบ
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2543)

แป้งครอสลิงมีหลายชนิด เช่น ไดสตาร์ชอะดิเพต (distarch adipate) ไดสตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate) ไดสตาร์ชกลีเซอรอล (distarch glycerol) แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในการผลิต อัตราการเกิดปฏิกิริยา และพันธะที่เกิดครอสลิง

ลักษณะโครงสร้างภายนอกของเม็ดแป้งครอสลิงไม่มีการเปลี่ยนแปลง พันธะเคมีที่เกิดขึ้นเสริมพันธะไฮโดรเจนทำให้เม็ดแป้งแข็งแรงและเสถียรมากขึ้น ไม่แตกง่าย มีการละลายลดลง มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีไนซ์สูงขึ้น แป้งเปียกมีความต้านทานต่อแรงเฉือนและความเป็นกรดมากขึ้น ลักษณะเนื้อครีมเนียนคล้ายขี้ผึ้ง ใช้เป็นสารเพิ่มความข้นในอาหาร เหมาะสำหรับใช้ผลิตอาหารที่มีสภาพเป็นกรด ใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน และมีแรงเฉือนจากการกวนของเครื่องมือหรือส่งผ่านตามท่อโดยใช้ปั๊ม รวมทั้งชะลอการเกิดเจลาคีไนซ์ขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดตามที่ต้องการเมื่อเย็นตัวลง ฟิล์มที่ได้จากแป้งครอสลิงมีคุณสมบัติที่ดี มีความหนืดคงตัวเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)



ไคสตาร์ฟอสเฟต



ไคสตาร์ฟกลีเซอรอล

ภาพที่ 17 โครงสร้างของแป้งครอสลิง

ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543

2.3.4 แป้งย่อยด้วยกรด (acid modified starch) แป้งย่อยด้วยกรด (acid modified starch) ได้จากการลดขนาดโมเลกุลแป้งด้วยกรด (acid thinning) จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับกรดเกลือหรือกรดกำมะถันเจือจาง กรดจะตัดโมเลกุลของแป้งทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง จนได้ความหนืดที่ต้องการ สมบัติของแป้งชนิดนี้จะมีลักษณะเม็ดแป้ง สมบัติ birefringence และสมบัติไม่ละลายในน้ำเย็นเหมือนกับแป้งดิบถ้าการลดขนาดโมเลกุลด้วยกรดนั้นเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ แต่มีคุณสมบัติบางประการที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่ให้ความร้อน เม็ดแป้งย่อยด้วยกรดจะแตกออก ได้แป้งเปียกเป็นของเหลวที่มีความหนืดลดลง มีความเหลว (fluidity) เพิ่มขึ้น จึงสามารถให้ความร้อนแก่แป้งที่มีความเข้มข้นสูงได้ แต่เมื่อเย็นลงจะเกิดการคืนตัวทำให้สูญเสียความใส ได้เป็นเจลแข็งทึบแสง นอกจากนี้แป้งย่อยด้วยกรดยังมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ขึ้นรูปฟิล์ม เนื่องจากมีความหนืดต่ำ สามารถให้ความร้อนได้ถึงแม้ว่าแป้งจะมีความเข้มข้นสูง คุณภาพหรือระเหยน้ำได้น้อย ดังนั้นฟิล์มจะแห้ง แข็ง และเกาะติดได้เร็ว แป้งชนิดนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ผลิตลูกกวาด ท็อปปิ้ง ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้เคลือบเส้นด้าย ทำให้เส้นใยผ้าแข็งแรง และทนต่อการเสียดสีระหว่างการทอ ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยเคลือบ

กระดาษเพื่อกันไม่ให้หมึกซึมผ่านกระดาษ ได้กระดาษที่มีผิวหน้าเรียบ มีคุณสมบัติในการพิมพ์ (printability) ที่ดี และใช้ผลิตกระดาษลูกฟูก (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

2.3.5 เดกซ์ทริน เป็นแป้งที่มีความหนืดต่ำ ได้จากการดัดแปรโดยวิธี เดกซ์ทรินใน เซชัน หรือ pyroconversion เป็นกระบวนการให้ความร้อนกับแป้งแห้งที่มีลักษณะเป็นกรด เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะ α -1,4 และ repolymerization ในเม็ดแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ แบ่งเป็น 3 ชนิดขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และ pH คือ white dextrin, yellow dextrin และ british gum เดกซ์ทรินมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถละลายในน้ำเย็นได้เพิ่มขึ้น มีความหนืดในขณะร้อนลดลง फिल्मที่ได้มีคุณสมบัติยึดเกาะได้มากกว่าฟิล์มจากแป้งดิบ ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารพวกครีมเทียม ลูกกวาด ท็อปปิง ชูบกึ่งสำเร็จรูป เนื่องจากมีความสามารถในการละลายได้สูงกว่าและมีความหนืดน้อยกว่า จึงทำให้ใช้งานได้สะดวกและระเหยน้ำได้อย่างรวดเร็ว ในอุตสาหกรรมกาวใช้ในการผลิตกาวปิดถุง แแถบกาวของจดหมาย แสตมป์ ฉลากปิดขวด เนื่องจากสมบัติฟิล์มของเดกซ์ทรินที่มีความเข้มข้นสูง แห้งได้ง่าย และยึดติดกับพื้นผิวได้เร็ว ใช้เคลือบกระดาษและเส้นใยแก้ว ใช้เคลือบเส้นด้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และใช้ white dextrin เป็นแหล่งสารอาหารคาร์โบไฮเดรตในการผลิตยาปฏิชีวนะ (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

2.3.6 แป้งออกซิไดซ์ (oxidized starch) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในการทำปฏิกิริยาจะทำให้โครงสร้างคุณสมบัติเคมี และขนาดของโมเลกุลเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไป โดยที่แป้งจะมีลักษณะเป็นประจุลบ เนื่องจากมีหมู่ คาร์บอกซิลเข้าไปอยู่ในโมเลกุลอะมิโนส ทำให้อัตราการคืบตัวของแป้งเปียก ลดลง แป้งเปียกที่ร้อนจะมีความหนืดต่ำลง ทำให้สามารถใช้แป้งเปียกที่มีความเข้มข้นสูงในน้ำร้อนได้ แป้งเปียก สารละลาย และฟิล์มมีความใสมากขึ้น เจลที่ได้มีความคงตัวสูง เม็ดแป้งขาวขึ้น กลิ่นดีขึ้น และมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง เนื่องจากการฟอกสีของไฮโปคลอไรท์จะไปละลายส่วนที่ไม่บริสุทธิ์และล้างออกจากแป้ง แป้งดัดแปรชนิดนี้มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ทำลูกกวาด ลูกอม ชูบกึ่งสำเร็จรูป หรืออาหารประเภทของเหลวที่ต้องการความข้น เช่น น้ำสลัดมายองเนส เป็นต้น ใช้เป็นสารยึดเกาะสำหรับเคลือบกระดาษ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่กระดาษ เคลือบผิวหน้ากระดาษให้เรียบและแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของเยื่อกระดาษสำหรับกันหมึกซึม ใช้สำหรับเคลือบเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้เส้นด้ายลื่นและมีความยืดหยุ่น ใช้เป็นส่วนประกอบในอุปกรณ์ก่อสร้าง เช่น ฝาคาน้ำ ฉนวน กระเบื้อง เป็นต้น (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

2.3.7 แป้งดัดแปรด้วยเอนไซม์ (enzymatically modified starch) แป้งย่อยโดยใช้เอนไซม์เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ผลิตโดยผสมสารละลายแป้งกับเอนไซม์ นำไปเจลาติไนซ์โดยใช้ direct steam injection (jet-cooker) เมื่อเอนไซม์ย่อยถึงระดับที่ต้องการ หยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยเพิ่มอุณหภูมิภายใน cooker ให้สูงขึ้น เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของแป้งดัดแปรที่ต้องการ ได้ผลิตภัณฑ์จากการย่อยแป้ง ได้แก่ น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส โซโคลเดกซ์ทริน (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

2.3.8 แป้งพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch) แป้งพรีเจลาติไนซ์ หรือ แป้งพรีเจล เป็นแป้งดัดแปรทางกายภาพที่ทำโดยให้ความร้อนแก่แป้ง ทำให้แป้งสุกหรือเกิดเจลาติไนซ์ แล้วทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้ง แป้งที่ได้สามารถละลายได้ในน้ำเย็น ให้ความหนืดได้ทันที และไม่เกิดเจลหรือมีแนวโน้มในการเกิดเจลลดลง สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ เหมาะสำหรับใช้กับอาหารที่ไม่ต้องให้ความร้อน หรืออาหารที่สามารถละลายและให้ความหนืดได้ทันที ใช้ในเภสัชกรรมเป็นสารยึดเกาะและสารช่วยแตกตัวในการผลิตยาเม็ด ในอุตสาหกรรมกาวและกระดาษใช้แป้งพรีเจลเป็นกาวติดผนังห้อง ใช้เคลือบกระดาษ เป็นต้น (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

2.3.9 แป้งละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch : GCWSS) ได้จากการปรับสภาพแป้งด้วยแอลกอฮอล์และด่าง มีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบ มีความยืดหยุ่น ความมันเงา และความแข็งแรงสูงกว่าแป้งพรีเจล เนื่องจากยังคงสภาพของเม็ดแป้งอยู่ในขณะที่แป้งพรีเจลจะเสียรูปในลักษณะของเม็ดแป้งไปแล้ว ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูปหลายประเภท (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

2.3.10 แป้งซึ่งถูกลดขนาดโดยทางกล เม็ดแป้งถูกทำให้เล็กลงโดยกระบวนการทางกลที่สามารถควบคุมปัจจัยที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิได้ ขนาดของเม็ดแป้งที่ลดลงนี้ทำให้สมบัติหลายอย่างของเม็ดแป้ง เช่น การพองตัว การละลาย เป็นต้น เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น พบได้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การนำไปใช้แทนส่วนของไขมันในอาหารจำพวกไอศกรีม น้ำสลัด เป็นต้น (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

2.3.11 แป้งที่ถูกแปรรูปโดย annealing แป้งดัดแปรชนิดนี้ได้จากการแปรรูปแป้งทางกายภาพโดยใช้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนซ์ เม็ดแป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงภายในระดับของผลึก (crystal) แรงจับตัวระหว่างผลึกกับอสัณฐาน (amorphous

matrix) จะเปลี่ยนไปเช่นกัน ลักษณะของผลึกถ้าตรวจสอบโดย X-ray จะไม่เปลี่ยน แต่อุณหภูมิเจลาตินในเซชันจะเปลี่ยนแปลงอย่างมาก (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

2.3.12 แป้งที่ถูกแปรรูปด้วยความร้อนขึ้น เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการแปรรูปด้วยความร้อนขึ้น คือการให้ความร้อนแป้งมากกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยที่แป้งมีความชื้นมากกว่าปกติเล็กน้อย คือประมาณร้อยละ 18-27 และเวลานาน ๆ ซึ่งเวลาจะแปรผันกับอุณหภูมิสารที่ใช้ ผลที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปด้วยความร้อนขึ้นคือ การเปลี่ยนแปลงในด้านโครงสร้างของผลึกในเม็ดแป้ง โดยเฉพาะแป้งที่มีผลึกประเภท B (พืชหัว เช่น มันฝรั่ง) จะมีส่วนหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลึกประเภท A ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางด้านความร้อนและความหนืดเปลี่ยนไป ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

2.3.13 แป้งอะมิโลสต่ำ (waxy starch) เป็นแป้งที่ประกอบด้วยอะมิโลเพกทินเพียงอย่างเดียว พบในธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ซึ่งเกิดการกลายพันธุ์ (mutation) เป็นสายพันธุ์ที่มียีนโดยเฉพาะ (waxy gene) มีผลต่อชนิดของแป้งที่สังเคราะห์ในเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์ม ดังนั้นเมื่อย้อมสี waxy starch ด้วยไอโอดีนจะได้สีแดงของอะมิโลเพกทิน ต่างจากแป้งโดยทั่วไปซึ่งให้น้ำเงิน จากการที่แป้งชนิดนี้ไม่มีองค์ประกอบของอะมิโลส ทำให้มีสมบัติที่ไม่เกิดการคืนตัวหรือเกิดเพียงเล็กน้อย มีความมันเงาสูง สามารถทำให้ชุ่มน้ำ (remoisten) ได้อย่างรวดเร็ว ใช้ในอุตสาหกรรมกาว และสิ่งทอ (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

2.3.14 แป้งอะมิโลสสูง (high-amylose starch) เป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงพบในพืชบางชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าว บาร์เลย์ ถั่ว เป็นต้น การที่มีปริมาณอะมิโลสในส่วนโครงสร้างผลึกสูงทำให้มีอุณหภูมิการเกิดเจลาตินสูง และมีโครงสร้างผลึกที่คงทนต่อการถูกทำลายในน้ำร้อนได้มากขึ้น แป้งชนิดนี้มีใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่คงทน ไม่แตกง่าย ใช้เป็น sizing material สำหรับ glass fiber เพื่อเพิ่มความแข็งแรงแก่เส้นใย และป้องกันการขาดเนื่องจากการเสียดสี ใช้เป็นสารเคลือบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิววัสดุ ใช้เป็นกาวที่มีคุณสมบัติดี เนื่องจากอะมิโลสสามารถยึดเกาะกับเซลลูโลสได้ดีและยึดติดแน่นกว่าอะมิโลเพกทิน และไม่สามารถชะออกได้โดยน้ำร้อนเหมือนกับอะมิโลเพกทิน (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

3. การใช้ประโยชน์แป้งดัดแปรในผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารมีอยู่มากมายหลายประเภท แต่ละประเภทประกอบด้วยกระบวนการผลิตที่มีสถานะต่าง ๆ และองค์ประกอบอื่น ๆ แตกต่างกันไป การนำแป้งัดแปรไปใช้ประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด การศึกษาถึงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร และสถานะของกระบวนการผลิต จึงเป็นข้อมูลสำคัญที่ควรทำการศึกษา โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้แป้งหรือแป้งัดแปรเป็นส่วนประกอบ ได้แก่

3.1 ผลิตภัณฑ์ซอสและน้ำจิ้ม

ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทซอสและน้ำจิ้มมีการใช้วัตถุดิบปรุงแต่งผลิตภัณฑ์หลายชนิด เพื่อช่วยปรับปรุงกลิ่น รส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ รวมไปถึงการเพิ่มอายุการเก็บรักษา ซึ่งได้แก่ กรด วัตถุดิบแต่งกลิ่นรส สีผสมอาหาร วัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยปรุงแต่งลักษณะเนื้อสัมผัส อิมัลซิไฟเออร์ วัตถุกันเสีย สารให้ความหวานและโพลิไฮดริกแอลกอฮอล์ เป็นต้น (สิวาพร, 2535) ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะชื่นชอบจะข้นและหนืด แต่ทั้งนี้ระดับความข้นและหนืดของซอสแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ สำหรับสารที่ช่วยให้ความข้นและหนืดที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทซอสและน้ำจิ้มควรมีคุณสมบัติ คือ ให้ความข้นหนืดแก่ผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการ คงตัวต่อความร้อนในสถานะที่มีกรดน้ำส้มสายชูอยู่ด้วย และคงตัวต่อกรดน้ำส้มสายชู ในสถานะปกติของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นเวลานาน ๆ และไม่ควรเกิดเจลหรือถ้าเกิดเจล ควรจะสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการและไม่เกิดอีก

วัตถุเจือปนอาหารที่มีการใช้เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จำพวกซอสให้ข้นและหนืดที่สำคัญได้แก่ แป้ง (starch) ชนิดต่าง ๆ และกัม (Gum) นอกจากแป้งดิบชนิดต่าง ๆ แล้ว ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะนิยมใช้แป้งัดแปร ซึ่งมีทั้งแป้งที่ดัดแปรทางกายภาพและทางเคมี แป้งัดแปรที่นิยมใช้กันมากเป็นชนิดที่ดัดแปรมาจากแป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว เนื่องจากให้ความหนืดดี และทนต่อกระบวนการให้ความร้อน มีความคงตัวดี ไม่เกิดเจลและ syneresis (สิวาพร, 2535) ทั้งนี้การเลือกใช้แป้งที่เหมาะสมก็ยังแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอีกด้วย

3.1.1 ซอสหอยนางรมและซอสหอยแมลงภู่

ในการผลิตซอสหอยนางรมและซอสหอยแมลงภู่ในระดับอุตสาหกรรม จะเริ่มจากการสกัดน้ำหอยนางรมก่อน โดยคั้นเนื้อหอยนางรมหรือเนื้อหอยแมลงภู่ที่

บดละเอียดและผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 จนเดือด 30 นาที แล้วปรับอุณหภูมิให้เหลือ 80 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำมาบดซ้ำอีกครั้งหนึ่งแล้วกรองได้น้ำหอยนางรมสกัด ในบางครั้งอาจมีการนำหอยที่ทำความสะอาดแล้วมาบดด้วยเอนไซม์ปาเปน (Papain) ที่อุณหภูมิ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียสก่อน แล้วจึงเพิ่มความร้อนเป็น 80 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายเอนไซม์ปาเปน นำของเหลวที่บดได้มากรอง ได้น้ำหอยนางรมสกัด จากนั้นนำมาปรับความเป็นกรดด้วยน้ำส้มสายชูก่อนผสมส่วนผสมต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องปรุงรส น้ำตาลทราย เกลือ และแป้ง ดังแสดงในตารางที่ 6 (สราวุธ, 2544) โดยแป้งที่ใช้จะนำมาผสมน้ำ และต้มที่ 90 องศาเซลเซียส 15 นาที เพื่อให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ก่อนผสมกับหอยนางรมสกัด เติมน้ำส่วนผสมต่าง ๆ แล้วผสมให้เข้ากัน โดยอาจใช้เครื่องโฮมจิไนเซอร์ และบรรจุขณะร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หรือทำการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน สำหรับแป้งคัดแปรที่นิยมใช้ในซอสหอยนางรมและหอยแมลงภู่ ได้แก่ แป้งพรีเจลาติไนซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และให้ความข้นหนืดทันทีโดยไม่จับตัวกันเป็นก้อน (ภานุมาศ, 2541) และแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง ปัจจุบันนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมซอสหอยนางรม เนื่องจากให้ลักษณะของแป้งเปียกที่มีความใส มีความคงตัวดี ให้ความข้น และมีความหนืดที่เหมาะสม

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในการผลิตซอสหอยนางรมและซอสหอยแมลงภู่

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
หอยนางรมสกัด	13.00
ซีอิ๊วขาว	67.00
น้ำตาล	9.00
แป้งมัน/แป้งข้าวโพด	3.60
เกลือ	3.00
โซเดียมซัคซิเนต	1.03
กรดซัคซินิก	0.31
ผงชูรส (โมโนโซเดียมกลูตาเมต)	2.70
พริกไทย	0.06

ที่มา : สราวุธ (2544)

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ซอสหอยนางรมและซอสหอยแมลงภู่ มีองค์ประกอบหลักที่สนใจศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ อยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาล แป้ง และเกลือ โดยมีความเข้มข้นคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เท่ากับ 9.00, 3.60 และ 3.00 ตามลำดับ โดย

ส่วนประกอบเหล่านี้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 นาที

3.1.2 ชอสมะเขือเทศ

การผลิตชอสมะเขือเทศจะมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7 (อภิญา, 2536) ในการผลิตชอสมะเขือเทศระดับอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ใช้มะเขือเทศเข้มข้นเป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนี้ในชอสมะเขือเทศยังประกอบด้วยน้ำส้มสายชู เกลือ น้ำตาล และส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ เครื่องเทศต่าง ๆ และแป้งคัดแปร เป็นต้น วัตถุดิบเหล่านี้จะนำมาชั่งและผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วแต่สูตรของบริษัทผู้ผลิต ไม่ให้ละเอียดและโฮโมจิไนซ์ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่อากาศออกให้เป็นสุญญากาศ เนื่องจากชอสสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ชอส มีสีเข้มหรือดำ และยังยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศที่ยังหลงเหลืออยู่ในรูปสปอร์ นำไปฆ่าเชื้อโดยกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน จากนั้นบรรจุลงภาชนะที่ปิดผนึกอย่างแน่นหนา เพื่อนำไปจำหน่ายต่อไป สำหรับการผลิตชอสพริกนั้น จะมีวัตถุดิบในการผลิตที่ใกล้เคียงกับการผลิตชอสมะเขือเทศ แต่เปลี่ยนจากมะเขือเทศเข้มข้นมาเป็นพริก คัดเลือกเม็ดที่เน่าเสียออก เด็ดก้าน ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง จากนั้นสับให้ละเอียด นำมาผสมกับวัตถุดิบที่เหลือ จากนั้นกระบวนการผลิตจะเหมือนกับชอสมะเขือเทศ คือการผสมให้เข้ากัน การโฮโมจิไนซ์ การทำสุญญากาศ การฆ่าเชื้อโดยกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน และบรรจุขวด

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในการผลิตชอสมะเขือเทศ

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
มะเขือเทศเข้มข้น 28-30 องศาบริกซ์	30.00
น้ำตาล	14.80
แป้งคัดแปร	1.50
เกลือ	2.40
น้ำส้มสายชู	9.00
เครื่องเทศ	0.60
น้ำ	43.00

ที่มา : อภิญา (2536)

ปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของซอสมะเขือเทศได้แก่ สี โดยซอสมะเขือเทศที่มีคุณภาพดีต้องมีสีแดง ไม่คล้ำ มีความข้นหนืดที่คงตัวสม่ำเสมอ ไม่มีการแยกส่วนเนื้อและน้ำ มีกลิ่นรสของซอสมะเขือเทศที่ดี ไม่มีจุดดำ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25

แป้งดัดแปรที่ใช้ในอุตสาหกรรมซอสเป็นแป้งดัดแปรประเภทครอสลิง (Cross-linked starch) ชนิดไดสตาร์ชฟอสเฟต (Distarch phosphate) หรืออาจเป็นแป้งดัดแปรผสมระหว่าง ครอสลิงและแอซิทิเลชัน (cross-linked starch และ starch acetate) มีวัตถุประสงค์ในการใช้เพื่อเป็นสารให้ความข้น (thickener) และสารให้ความคงตัว (stabilizer) ในซอส โดยแป้ง ครอสลิงจะให้ความหนืดสูงกว่าแป้งดิบ พันธะเคมีในแป้งครอสลิงจะแข็งแรง ทำให้แป้งเปียกมีความต้านทานต่อแรงเฉือนจากการกวน อุณหภูมิสูงและความเป็นกรดในระหว่างกระบวนการผลิต และทนต่อสภาพความเป็นกรดในขณะการเก็บรักษาได้ (ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3.5) และชะลอการเกิดเจลลิตในเซชันทำให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดตามต้องการเมื่อเย็นตัวลง ในขณะที่ แป้งแอซิเตดจะให้ความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิต่ำ ไม่ทำให้เกิดการบีบตัวของน้ำออกมานอกเจล (syneresis) ในการผลิตซอสมะเขือเทศ ซอสพริก และซอสหอยนางรมมีการใช้แป้งดัดแปรผสมร้อยละ 1, 2 และ 4 ของปริมาณซอสทั้งหมดที่ผลิตได้ตามลำดับ การที่ซอสมะเขือเทศใช้แป้งดัดแปรน้อยเนื่องจากในซอสมีสารเพคตินอยู่ ซึ่งจะให้น้ำสัมผัสและความหนืดกับซอสมะเขือเทศ

สรุปได้ว่าซอสมะเขือเทศ มีส่วนประกอบที่สนใจศึกษา คือ น้ำตาล ความเข้มข้นร้อยละ 14.80 แป้งดัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 1.50 และเกลือ ความเข้มข้นร้อยละ 2.40 โดยมีน้ำส้มสายชูเป็นหนึ่งในส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 9.00 โดยน้ำหนักรวม มีผลทำให้มีสถานะเป็นกรด และส่วนประกอบทั้งหมดผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน

3.2 อาหารประเภทเส้นและก๋วยเตี๋ยว

ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจัดเป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ประเทศ ทั้งในประเทศไทย ประเทศในแถบเอเชีย และยุโรป เนื่องจากเป็นอาหารที่บริโภคง่าย สะดวก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งข้าวที่คนไทยทั่วไปรู้จักกันดี และนิยมบริโภคกันมากในประเทศไทย เนื่องจากมีราคาถูก สามารถปรุงได้ง่าย จากข้อมูลการส่งออกอาหารของประเทศไทยประจำปี 2546 ของกระทรวงพาณิชย์ พบว่าผลิตภัณฑ์พวก

อาหารเส้นมีอัตราการขยายตัวที่สูงเป็นลำดับต้น ๆ สามารถนำเงินเข้าประเทศได้หลายพันล้านบาท (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ข้อมูลการส่งออกอาหารประเภทผลิตภัณฑ์เส้นของประเทศไทยประจำปี 2546

ชนิดอาหาร	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)
เส้นหมี่ก้วยเตี๋ยว	33,525	11,236	14.3
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปและอาหารสำเร็จ	221,518	8,906.4	20.2

ที่มา: คัดแปลงจากกระทรวงพาณิชย์, 2546

ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นสามารถแบ่งได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการจัดประเภท ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ และลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนี้

i) ชนิดของแป้งหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

สามารถจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารเส้นซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป ได้ดังนี้ (พจน์, 2540)

ก) อาหารเส้นจากแป้งสาลี ได้แก่ บะหมี่ หมี่ซั่วของจีน เส้นราเมง (เส้นที่ใช้ทำบะหมี่ผัดยากิโซบะ) และอูด้งของญี่ปุ่น รวมถึงเส้นโซบะที่มีสีน้ำตาลที่ทำจากเมล็ดบัควีท (Buckwheat) นอกจากนี้ยังรวมถึงเส้นพาสต้า (Pasta) ซึ่งมีรูปแบบต่าง ๆ กัน

ข) อาหารเส้นจากแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเรียกทั่วไปว่า “ก้วยเตี๋ยว” ได้แก่ ก้วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ เส้นเล็ก และหากเป็นเส้นเล็กมากจะเรียกว่า เส้นหมี่ เป็นต้น

ค) อาหารเส้นจากแป้งชนิดอื่น ๆ ได้แก่ วุ้นเส้น ก้วยเตี๋ยวเซียงไฮ้ ซึ่งทำจากแป้งถั่วเขียว และเส้นชิราตาเกะจากแยม (Yam) เป็นต้น

ii) ลักษณะขนาดและความชื้นของเส้น

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของอาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยวสามารถแบ่งตามลักษณะของเส้นได้ 4 ชนิดคือ (ณรงค์, 2538; วิภา, 2541)

ก) ก๋วยเตี๋ยวสด เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวมาหั่นเป็นเส้นโดยไม่ผ่านการทำแห้ง อาจเป็นเส้นเล็กหรือเส้นใหญ่ก็ได้ เส้นเล็กจะมีขนาด 0.4-0.5 เซนติเมตร สำหรับเส้นใหญ่จะมีขนาด 1.5-2.5 เซนติเมตร โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 62-64 เป็นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บได้ไม่นาน ต้องรับประทานภายใน 1-2 วัน

ข) ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการผึ่งลมมาบ้างแล้ว เพื่อลดความชื้นลง ก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 37 ปกติเก็บได้ 1-2 วันเท่านั้น

ค) ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่มีการตัดเป็นเส้น และทำให้แห้งจนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานในสภาวะที่เหมาะสม

ง) แผ่นก๋วยจั๊บ เป็นก๋วยเตี๋ยวที่นึ่งให้สุกเพียงครึ่งเดียวของความหนา แล้วตัดให้มีขนาด 3.0-3.5 เซนติเมตร มักเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 เมื่อนำมาต้มสุกจะม้วนเป็นหลอด

ii) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเส้น

ก) อาหารเส้นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำ ได้แก่ ขนมหินแป้ง หมัก

ข) อาหารเส้นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปานกลาง ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว ทั้งก๋วยเตี๋ยวสด ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง และแผ่นก๋วยจั๊บ นอกจากนี้ยังมีก๋วยเตี๋ยวญี่ปุ่น (White salt noodle) อีกด้วย

ค) อาหารเส้นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูง ได้แก่ บะหมี่ (Alkaline salt noodle) ซึ่งมีการเติมด่างลงไปในแป้ง เพื่อให้เส้นมีสีเหลือง

3.2.1 ก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวจัดเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวที่คนไทยนิยมบริโภคเป็นอาหารหลักอันดับที่สอง รองจากข้าวเจ้าหุงโดยตรง โดยแรกเริ่มชาวจีนได้นำก๋วยเตี๋ยวและวิธีการผลิตมาเผยแพร่ในประเทศไทย จากนั้นได้มีการพัฒนากรรมวิธีการผลิต ตั้งแต่เป็นอุตสาหกรรมครอบครัว ที่ไม่ใช่เครื่องจักรอุปกรณ์ จนปัจจุบันได้ขยายตัวเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมถึงขนาดใหญ่ ที่มีการนำเอาเทคโนโลยี เครื่องจักรอุปกรณ์มาใช้ ในประเทศไทยมีโรงงานผลิตก๋วยเตี๋ยวกระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งชุมชน สามารถผลิตก๋วยเตี๋ยวได้ปริมาณมากและมีคุณภาพดีที่สามารถตอบสนองความต้องการในประเทศได้ทั่วถึง รวมทั้งยังสามารถส่งเป็นสินค้าออก นำเงินตราเข้าประเทศปีละหลายล้านบาท

คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญ (อรอนงค์, 2540) การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีคุณภาพดีคือ เส้นมีความขาว ผิวเรียบเนียน มีความเหนียวและความคงตัวดี เมื่อนำมาปรุงอาหาร มีกลิ่นรสตามธรรมชาติของข้าว ไม่มีกลิ่นผิดปกติ เมื่อเคี้ยวให้ความรู้สึกที่ไม่แข็งกระด้าง รู้สึกนุ่มและเหนียวพอดี คุณภาพของเส้นขึ้นกับวัตถุดิบและเทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนการผลิตจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ (วิภา, 2541)

ก๋วยเตี๋ยวแต่ละชนิด มีกรรมวิธีการผลิตที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้ (วิภา, 2541; อรอนงค์, 2540) คือ

1. การล้างและแช่ข้าว ข้าวหรือปลายข้าวที่ซื้อมาเป็นวัตถุดิบ มักจะมีสิ่งเจือปน และสิ่งสกปรกมาด้วย อาจจะมีกรวดทราย เศษผงต่าง ๆ ดังนั้นการล้างและทำความสะอาดจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อให้สิ่งสกปรกที่ติดมากับข้าวหลุดออกไป อาจใช้เครื่องจักรหรือแรงคนขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงานที่ทำการผลิต ทำความสะอาดโดยล้างข้าวด้วยน้ำ ซึ่งอาจมีอุปกรณ์ช่วยกวนให้สิ่งสกปรกลอยขึ้นมาแล้วเก็บทิ้ง ล้างจนข้าวสะอาด หรือน้ำที่ล้างข้าวใส จากนั้นแช่น้ำไว้ให้ข้าวอ่อนตัวเพื่อให้ไม่แข็งขึ้น สารอาหารที่ละลายในน้ำจะหลุดออกทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวขาว บางครั้งอาจมีการใช้สารเคมีจำพวกเมตาบิซัลไฟด์ เพื่อฟอกสีและป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ โดยอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมในการแช่ คือประมาณ 1 ต่อ 2.5 โดยแช่ไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง

2. การไม่เปียก การไม่จะทำให้เม็ดแป้งและองค์ประกอบอื่น ๆ หลุดและแตกออกจากกัน โรงงานส่วนใหญ่นิยมใช้ไม้หินที่หมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะใส่

ข้าวและน้ำในอัตราที่สัมพันธ์กัน ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณน้ำต่อข้าวในการโม่ประมาณ 2 ต่อ 1 เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำแป้งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังนั้นต้องพิจารณาปริมาณน้ำที่ใช้จากชนิดและลักษณะของข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ปกติน้ำแป้งควรมีปริมาณของแข็งร้อยละ 38-40 โดยน้ำหนักหรือปรับความเข้มข้นให้อยู่ประมาณ 20 องศาบูเม ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การวัดและปรับความเข้มข้นของน้ำแป้ง โดยสังเกตจากความหนืดของน้ำแป้งที่ได้ จะอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ผลิต ส่วนความหยาบละเอียดของข้าวที่ไม่สามารถปรับได้ โดยปรับระยะห่างระหว่างโมหิน หลังจากโม่แล้ว จะตั้งน้ำแป้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชั่วโมง เพื่อช่วยให้แป้งคูดน้ำได้ดีขึ้น โดยจะมีการกวน เพื่อป้องกันการตกตะกอนของแป้ง

3. การนึ่ง น้ำแป้งที่ได้จะพักไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้แป้งคูดน้ำเต็มที่ แล้วจึงนำมานึ่งต่อ ซึ่งกรรมวิธีการนี้ สามารถทำได้ 2 แบบ คือ แบบพื้นบ้านดั้งเดิม ที่มีลักษณะคล้ายการทำข้าวเหนียวปากหม้อ โดยการใช้ผ้าขาวบางจึงบนกระทะที่มีน้ำต้มเดือด แล้วตักแป้งเทบนผ้าขาวบาง ละเลงให้มีความหนาพอเหมาะ นึ่งประมาณ 1 นาที จึงใช้ไม้แซะยกแผ่นก๋วยเตี๋ยวสุกมาพาดบนที่ตากที่ทำด้วยไม้ไผ่สาน ตากแดดนานประมาณ 4-5 ชั่วโมง สำหรับอีกแบบ นิยมทำเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กและใหญ่โดยใช้เครื่องนึ่ง โดยนำน้ำแป้งที่พักไว้ระยะหนึ่งแล้วมานึ่งบนสายพานที่ทำด้วยแผ่นสแตนเลสหรือผ้าใบ โดยน้ำแป้งจะฉาบบนสายพานแล้วเคลื่อนเข้าสู่อุโมงค์ที่ให้ความร้อนโดยไอน้ำร้อน ความยาวของอุโมงค์หนึ่งประมาณ 30 ฟุต ใช้เวลาที่น้ำแป้งอยู่ในอุโมงค์ประมาณ 3 นาที แป้งที่ออกมาจะสุกพอดีระหว่างแป้งเคลื่อนที่ในอุโมงค์จะมีน้ำมันถั่วลิสงหยดเป็นระยะ ๆ เพื่อให้เส้นมัน ลื่น ไม่ติดเครื่องนึ่ง

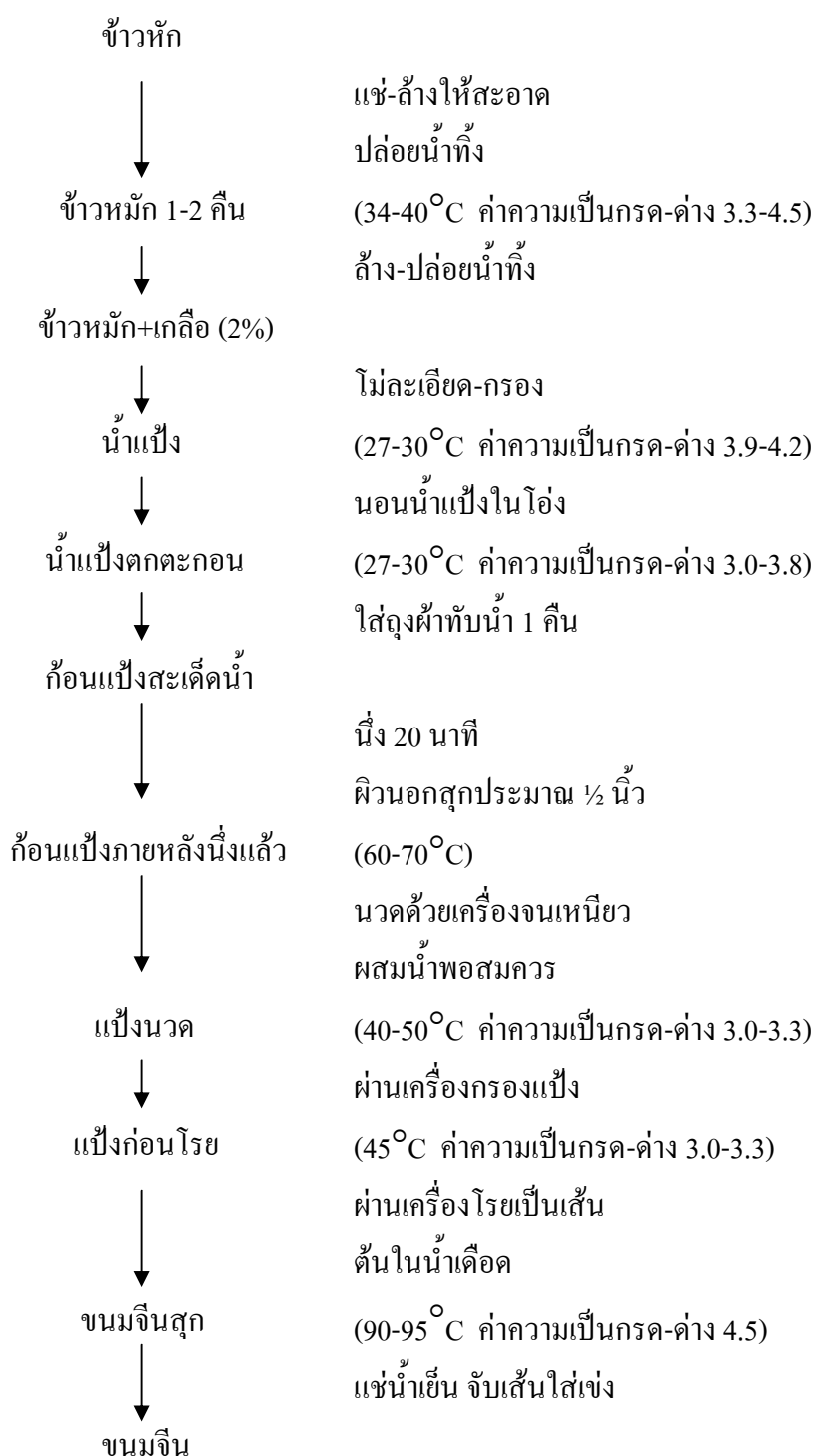
4. การผึ่งลมหรืออบแห้ง สำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นสด เมื่อแผ่นก๋วยเตี๋ยวออกจากอุโมงค์หนึ่งจะมีสายพานเหล็กเป็นซี่ ๆ มารับก๋วยเตี๋ยว ผึ่งลมโดยใช้พัดลมเป่าให้เส้นเย็นลง นำไปตัดเป็นเส้นได้เลย ส่วนการทำเส้นหมัด หลังการผึ่งลมแล้ว จะอบหรือตาก โดยนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นเป่าให้เย็น แผ่นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 30-40 แล้วทำการตัดเส้น นอกจากนี้ยังมีการบ่มเป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง เพื่อให้เส้นมีความชื้นเข้าสู่สมดุล โดยเส้นที่ได้จะเป็นเส้นสด ซึ่งเกิดการเน่าเสียได้ง่ายภายใน 1-2 วัน ดังนั้นการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45-48 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นเพียงร้อยละ 10-12 จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น หลังจากเส้นเย็นแล้วนำไปบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (PE) หรือถุงโพลิโพรพิลีน (PP)

5. การตัดแผ่นและตัดเส้น กว๊ยเดี่ยวที่ได้จะตัดเป็นแผ่น ขนาดประมาณ 30 x 30 ตารางนิ้วก่อน แล้วจึงนำไปตัดเส้นตามขนาดที่ต้องการ สำหรับเส้นจันทร์ได้จากการนำเส้นมาอบ หรือตากเพื่อลดความชื้นให้เหลือประมาณร้อยละ 11-12

3.2.2 ขนมหิน

เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเก่าแก่ของประชาชนชาวไทย ซึ่งบริโภคกัน มาช้านานตั้งแต่สมัยอยุธยาและมีการผลิตเพื่อบริโภคในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยบริโภคแทนข้าว ได้ในแทบทุกมื้ออาหาร (เช้า กลางวัน เย็น) เป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมและประเพณีของชนชาวไทยในทุกงานเทศกาล ตั้งแต่งานทำบุญ ขึ้นบ้านใหม่ แต่งงาน งานพิธีต่าง ๆ ซึ่งทำกันในระดับครัวเรือนในหมู่บ้านชนบท หรือเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือน หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ในปัจจุบันมีรูปแบบเป็นขนมจีนแบบหมัก (หรือขนมจีนแป้งหมัก) ขนมจีนแบบไม่หมัก (หรือขนมจีนแป้งสด) และขนมจีนแห้งกิ่งสำเร็จรูป (อรอนงค์ และคณะ, 2534; Naivikul, 1988)

สำหรับกรรมวิธีการผลิตขนมจีน สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ ทำจาก แป้งไม่หมัก และทำจากแป้งหมัก โดยทั้งสองวิธีจะคล้ายคลึงกัน ยกเว้นในขั้นเริ่มต้นซึ่งในกระบวนการผลิตจากแป้งไม่หมัก จะนำข้าวมาแช่น้ำทิ้งไว้ 12 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า แล้วนำไปโม่ ในขณะที่กระบวนการผลิตจากแป้งหมัก จะนำข้าวมาหมักทิ้งไว้ 2 หรือ 3 วันก่อนนำไปโม่เป็นแป้ง หลังจากได้น้ำแป้งแล้ว ขั้นตอนการผลิตเส้นขนมจีนจากแป้งทั้งสองจะคล้ายคลึงกัน คือ หลังจากได้ แป้งทึบน้ำแล้ว จะนำไปนึ่งให้แป้งสุกบางส่วน แล้วนำไปนวดจนแป้งเหนียว แล้วนำไปผ่านเครื่องโรยเป็นเส้นในน้ำเดือด เพื่อให้เส้นสุก และลอยขึ้นมาบนผิวน้ำ จึงช้อนเส้นขึ้นมาแช่ในน้ำเย็น และจับเส้นวางเป็นจับสำหรับขายต่อไป โดยทั่วไปขนมจีนที่ทำจากแป้งหมักมักจะมีเส้นเหนียวกว่าขนมจีนแป้งสด แต่ผลจากการหมักจะทำให้สีของเส้นที่ได้คล้ำกว่าเส้นที่ได้จากแป้งที่ไม่หมัก



ภาพที่ 18 กรรมวิธีการผลิตขนมจีน

ที่มา: สุภรัตน์ และคณะ (2534)

ข้าวที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และขนมจีน ควรเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง คือ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 27 (งามชื่น, 2541)

เนื่องจากปริมาณอะมิโนสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพข้าวสุกต่างกัน เมื่อใช้ข้าวที่มีปริมาณอะมิโนสสูงมาทำเส้นก๋วยเตี๋ยว หลังจากทำให้แป้งสุกตามกระบวนการผลิต และทำให้เย็นลง แป้งสุกจะเกิดภาวะการคืนตัว และจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่น มีลักษณะเหนียวหยุ่นไม่แฉะติดกัน ข้าวที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยวควรเป็นข้าวเก่า 3-4 เดือน เนื่องจากข้าวเก่าต้องการเวลาในการหุงต้มนานกว่า มีความสามารถดูดน้ำ และขยายปริมาตร ได้มากกว่าข้าวใหม่ ในขณะที่ในน้ำข้าวจะมีของแข็ง (total solid) ลดลง และข้าวสุกร่วนและแข็งขึ้น กลิ่นหอมของข้าวลดลง เมล็ดข้าวเก่ามีสีคล้ำลง เนื่องจากความเหนียวของข้าวสุกลดลง ดังนั้น จึงเหมาะสมสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้น นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนในข้าวก็มีความสำคัญต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว เพราะนอกจากโปรตีนจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำลงแล้ว ยังทำให้ความเหนียวของเส้นลดลงด้วย เนื่องจากโปรตีนไปขัดขวางการเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นของแป้งสุก ทำให้แป้งสุกมีความเหนียวลดลง

ลักษณะอาหารเส้นที่ดี ควรมีความเหนียวนุ่ม ยืดหยุ่น เส้นเรียบเนียน สม่ำเสมอ มีสีเฉพาะตัว เช่น ก๋วยเตี๋ยวมีสีขาว และบะหมี่มีสีเหลือง แต่ในผลิตภัณฑ์อาหารเส้นหลายชนิดก็ยังคงมีปัญหาที่ทำให้ตัวอาหารเส้นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่น เกิดรอยแตกหรือปองसान ทำให้เส้นขุ่น มีความเหนียวน้อยลง มีสาเหตุจากการใช้ความร้อนในการอบแห้งสูงเกินไป หรืออุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งไม่เพียงพอ หรือสีของผลิตภัณฑ์คล้ำซึ่งเกิดจากการใช้น้ำคุณภาพไม่ดี หรือเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ดังนั้นจึงมีการคิดนำแป้งดัดแปรมาใช้ในการผลิตอาหารเส้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารเส้นให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และช่วยในด้านกระบวนการผลิต

3.2.3 บะหมี่

บะหมี่คือผลิตภัณฑ์ที่เป็นเส้น ทำจากแป้งสาลีอย่างเดียวหรือผสมกับแป้งชนิดอื่นโดยผ่านกระบวนการทำให้แห้งและสุก ที่อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมเพื่อเก็บได้นานและสามารถรักษาคุณภาพ กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ไว้ บะหมี่ทางแถบเอเชียแบ่งตามสีได้ 2 ชนิด คือ บะหมี่สีขาวหรือสูตรญี่ปุ่น (White salted noodles) และบะหมี่สีเหลืองหรือสูตรจีน (Yellow alkaline noodles) ซึ่งบะหมี่ทั้งสองประเภทนี้จะมีความแตกต่างทั้งในด้านกระบวนการผลิต และสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ชนิดของบะหมี่ในประเทศแถบเอเชีย

ลักษณะ / สมบัติ	ชนิด	
	White salted noodles	Yellow alkaline noodles
สี	ขาวหรือขาวครีม	เหลือง
วัตถุดิบหลัก	แป้ง, น้ำ, เกลือ	แป้ง, น้ำ, เกลือ, ด่าง
ประเทศที่บริโภค	ญี่ปุ่น, เกาหลี	มาเลเซีย, จีน,ฮ่องกง
ความเป็นกรด-ด่างของบะหมี่	6.5-7.0	9.0-11.0
คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส	นุ่ม, ไม่เหนียว	เหนียว, ยืดหยุ่นดี

ที่มา: อรอนงค์, 2540

วัตถุดิบหลักในการผลิตบะหมี่ คือ แป้งสาลี และน้ำ นอกจากนั้นอาจมีเกลือ ด่าง ไข่ หรือสารอื่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่ ทั้งนี้สารอื่นจะแตกต่างกันตามชนิดของบะหมี่ สำหรับบะหมี่สีขาว หรือสูตรญี่ปุ่นจะใช้แป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำมีโปรตีนร้อยละ 9-10 ผสมน้ำร้อยละ 28 -33 และเกลือร้อยละ 2 โดยไม่ต้องเติมด่าง บะหมี่จะมีสีขาว ส่วนบะหมี่สีเหลืองหรือสูตรจีนใช้แป้งสาลีชนิดอเนกประสงค์มีโปรตีนร้อยละ 10 -12 ผสมกับด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 0.5 - 2.0 และเกลือร้อยละ 1.5 น้ำร้อยละ 30 - 35 อาจมีการเติมหรือไม่เติมไข่ก็ได้ บะหมี่จะมีสีเหลือง คุณสมบัติของส่วนผสมในบะหมี่ มีดังนี้

i) แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักมีประมาณร้อยละ 90-95 ในสูตร ลักษณะทางกายภาพและเคมีของบะหมี่จึงเป็นผลมาจากแป้งสาลีเป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบในแป้งสาลีซึ่งมีผลต่อลักษณะของเส้นบะหมี่ ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน และเอนไซม์

- สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 67 จึงเป็นโครงร่างของเส้นบะหมี่ และมีผลต่อเส้นบะหมี่เมื่อสุก โดยสตาร์ชที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้เส้นบะหมี่มีความยืดตัวดี เส้นเหนียว

- โปรตีน ปริมาณโปรตีนจะมีผลต่อความยืดหยุ่นและความคงตัวของบะหมี่ แป้งสาลีประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ โดยโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำจะมีผลต่อการเกิดเป็นโคของแป้งสาลี

- เอนไซม์ ที่สำคัญ ได้แก่ เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส (α -amylase)

ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เกิดการย่อยสลายสตาร์ชในแป้งสาลี ทำให้แป้งมีความหนืดน้อยลงและเส้นไม่เหนียว เอนไซม์โปรตีเอส (protease) สามารถทำให้คุณสมบัติของกลูเตนเสีย และเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลได้ ดังนั้นบะหมี่จึงไม่ควรมีเอนไซม์หรือมีน้อยที่สุด จึงจะจัดเป็นแป้งที่เหมาะสมในการทำบะหมี่

ii) น้ำ

หน้าที่ของน้ำ คือ เติมน้ำลงไปเพื่อให้แป้งจับตัวกันเป็นก้อนโดที่มีความยืดหยุ่นและรีดเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ โดยถ้าใส่น้ำในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างของบะหมี่จะไม่แข็งแรง ร่วนและโป่ง แต่ถ้าใส่มากเกินไปโดจะแฉะ เหนียว รีดไม่ได้

iii) เกลือ

เกลือมีคุณสมบัติต่อกลูเตนของโด โดยจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและแรงต้านทานการยืดตัวของโด ช่วยให้โดไม่แฉะ ตัดเป็นเส้นแล้วไม่ติดกัน

iv) สารละลายต่าง

ช่วยทำให้เกิดสีเหลืองในบะหมี่จีน และในด้านคุณภาพของเส้นจะช่วยให้เส้นมีเนื้อสัมผัสดี ทนต่อการต้มได้นาน เส้นไม่เปื่อยง่ายและมีความเหนียว

v) ไข่และสารอื่นๆ

ไข่เป็นส่วนผสมที่เดิมเพื่อให้สีและรสชาติดีขึ้น และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ แต่ไม่ควรใส่มากเกินไปเพราะจะทำให้เส้นไม่เหนียว แป้งนวลจะช่วยให้เส้นบะหมี่ไม่เกาะติดกัน ควรเป็นผงละเอียด ส่วนใหญ่นิยมแป้งมันสำปะหลัง

ส่วนประกอบอื่นที่เติมลงไปในช่วงทำบะหมี่ จะมีผลทำให้แป้งสาลีมีสมบัติบางประการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเส้นที่ได้ด้วย (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 10 สมบัติของแป้งและบะหมี่ที่มีการเติมเกลือและด่าง

ปริมาณที่เติมลงในโด (% ของน้ำหนักแป้ง)	NaCl 1%	Na ₂ CO ₃ + K ₂ CO ₃ 0.6%+0.4%	Na ₂ CO ₃ + K ₂ CO ₃ 0.9%+0.1%	NaOH 0.3%	NaOH 1.0%
Viscograph data					
Start of gelatinization					
Time (min)	33.0	34.5	35.9	36.7	28.0
Temperature (°C)	79.5	82.0	84.0	85.0	72.0
Pasting peak (BU)	784	1,233	1,240	1,089	1,785
Time (min)	40.6	43.2	43.1	42.9	37.5
Temperature (°C)	91.0	95.0	94.6	94.3	86.0
Farinograph data					
Water absorption (%)	59.8	62.0	61.4	67.6	70.9
Development time (min)	6.2	5.3	3.4	3.5	1.4
Breakdown (BU)	53	39	60	103	155
Extensograph data (BU)					
Maximum resistance (BU)	391	744	738	-	-
Extensibility (cm)	19.7	13.5	12.9	-	-
Raw noodle properties					
pH	6.2	10.0	9.9	10.0	11.4
Cooked noodle properties					
Water uptake (%)	92	118	119	115	112
pH	6.7	9.8	9.8	9.5	10.4
Optimum cooking time (min)	2.1	4.0	4.0	4.1	4.3

ที่มา : Moss *et al.* (1985)

3.2.4 บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเลขที่ 271-2526 ให้คำนิยามของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป (instant noodle) ว่าหมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยเส้นบะหมี่ที่ทำให้สุกแล้วหรือสุกบ้างแล้ว ชุบและเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรสอื่น ๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม รวมบรรจุในภาชนะเดียวกัน

โดยได้ให้นิยามเส้นบะหมี่ไว้ว่า หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่เป็นเส้นซึ่งทำจากแป้งสาลีหรือแป้งสาลีผสมกับแป้งชนิดอื่นที่อาจใช้ได้บางส่วน และอาจผสมไขลงไปด้วยก็ได้ และผ่านกรรมวิธีทำให้แห้งที่อุณหภูมิและความดันซึ่งรักษาคุณภาพ และกลิ่นรสเดิมของผลิตภัณฑ์

วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตบะหมี่ถึงสำเร็จรูปคือ แป้งสาลี น้ำมันปาล์ม เนื้อสัตว์ (แล้วแต่รสของบะหมี่) และเครื่องปรุงรสต่าง ๆ เป็นต้น ปริมาณและชนิดการใช้แตกต่างกันตามสูตรของแต่ละบริษัทหรือยี่ห้อของบะหมี่ วัตถุดิบเกือบทั้งหมดสามารถหาได้จากในประเทศ กรรมวิธีและขั้นตอนการผลิตเส้นบะหมี่ มีดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการผสมแป้งสาลีกับน้ำ เกลือ และเกลือแร่ต่าง ๆ เพื่อให้แป้งมีความเหนียว นวดให้เข้ากันประมาณ 20 นาที
- ขั้นตอนที่ 2 นำแป้งที่ผสมเรียบร้อยแล้วเข้าเครื่องรีดออกมาเป็นแผ่น โดยใช้ความร้อนประมาณ 110-120 องศาเซลเซียส ในเวลาประมาณ 20 นาที
- ขั้นตอนที่ 3 คัดแป้งออกเป็นเส้นยาว ๆ แล้วส่งเข้าหม้ออบไอน้ำ นึ่งให้เส้นสุกโดยใช้ความดันประมาณ 1.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในเวลาประมาณ 2 นาที
- ขั้นตอนที่ 4 คัดแป้งที่นึ่ง แบ่งออกเป็นส่วน ๆ ตามที่ต้องการ แล้วใส่น้ำชุปลงไป โดยน้ำชุปได้จากการนำเนื้อสัตว์ซึ่งจะเป็นชนิดใดขึ้นอยู่กับรสของบะหมี่ ซิอิ้ว น้ำตาล น้ำมันพืช เกลือ พงชูรส น้ำสะอาด ผสมรวมกันแล้วใส่ในหม้อต้มเคี่ยวประมาณ 2 ชั่วโมง เสร็จแล้วกรองเอาแต่เฉพาะน้ำชุป
- ขั้นตอนที่ 5 เส้นบะหมี่ที่ผ่านการหยอดน้ำชุปแล้วจะนำไปจัดลงในตะแกรงเพื่อนำไปทอดทอดเส้นบะหมี่ในน้ำมันปาล์มที่ร้อนประมาณ 140-150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3 นาทีเพื่อให้กรอบ (ในน้ำมันใส่สาร antioxidant เพื่อกันหืน)
- ขั้นตอนที่ 6 นำเส้นบะหมี่ขึ้นจากกะทะน้ำมัน เป่าด้วยพัดลมให้เย็นประมาณ 3 นาที
- ขั้นตอนที่ 7 นำเส้นบะหมี่จัดเข้าเครื่องบรรจุของพลาสติก และนำซองบะหมี่บรรจุใส่กล่องเพื่อเตรียมจำหน่าย

Kim (1996) รายงานว่า กระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีวัตถุดิบหลักคือ แป้งสาลี เกลือ (ร้อยละ 1.5 - 2.0) และน้ำ นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีก เช่น ค้าง ซึ่งค้างที่ใช้ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต และโพแทสเซียมคาร์บอเนต กัวกัม ไรโบฟลาวิน และน้ำมัน เป็นต้น จากการสำรวจพบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะมีค่าความเป็นกรดค้างประมาณ 6.9 Shelke และคณะ (1990) รายงานว่า บะหมี่สูตรจีนที่นิยมบริโภคในภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ จะใช้แป้งสาลีซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 10 - 15 เกลือร้อยละ 1.4 - 1.7 และโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.7 - 1.2 จะทำให้เส้นบะหมี่ที่ได้มีลักษณะดี ส่วนประกอบที่ใช้ในการทำบะหมี่ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบของบะหมี่ต่าง ๆ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)			
	ชนิดของบะหมี่			
	ญี่ปุ่น (แห้ง)	จีน (แห้ง)	กึ่งสำเร็จรูป	ตะวันออกเฉียงใต้นิยม
แป้ง	100	100	100	100
น้ำ	28-33	30.35	30.35	-
เกลือ	2	1-1.5	-	1.4-1.7
ค้าง	-	1.5	0.5-1	0.7-12 (โซเดียมคาร์บอเนต)
สารให้สี	-	-	เล็กน้อย	-

ที่มา: อรอนงค์ (2540) และ Shelke *et al.* (1990)

แป้งคัดแปรที่ใช้ในอุตสาหกรรมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป คือ แป้งที่ได้จากการผสมของแป้งครอสลิงและแป้งแอซีเตด หรืออาจได้จากการบวนการผลิตที่ให้แป้งดิบทำปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดในขั้นตอนเดียวกัน วัตถุประสงค์ที่ใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ และปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นบะหมี่ การลดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์จะใช้ทดแทนแป้งสาลีที่มีราคาแพงกว่า แต่เดิมใช้แป้งมันสำปะหลังดิบทดแทน แต่ทดแทนได้เพียงร้อยละ 4 ของแป้งสาลีเท่านั้น ต่อมาจึงได้มีการนำแป้งมันสำปะหลังคัดแปรมาใช้แทนแป้งดิบ พบว่าแป้งคัดแปรผสมสามารถทดแทนได้ร้อยละ 10 ของแป้งสาลีทั้งหมด ถ้าใช้มากกว่านี้คุณภาพเส้นจะลดลง

3.3 อาหารประเภทผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์

การบริโภคเนื้อสัตว์ภายในประเทศแบ่งได้ 2 ประเภท คือ การนำเนื้อสัตว์มาประกอบอาหารเพื่อบริโภคโดยตรง และการแปรรูปเนื้อสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ การแปรรูปเนื้อสัตว์มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ เพื่อเก็บรักษาเนื้อสัตว์ที่เหลือจากการจำหน่ายให้สามารถบริโภคได้ต่อไป และเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อสัตว์ การแปรรูปเนื้อสัตว์แบ่งได้ 3 ระดับ ได้แก่

(i) การแปรรูปเนื้อสัตว์ระดับต้น เป็นการนำเนื้อสัตว์มาแช่เย็นหรือแช่แข็ง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อสัตว์ การแช่เย็นเป็นการนำเนื้อสัตว์มาแช่เย็น อายุการเก็บรักษาจึงน้อยกว่าเนื้อสัตว์ที่ผ่านการแช่แข็ง ซึ่งเป็นการทำให้อุณหภูมิของเนื้อสัตว์ลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเนื้อสัตว์ที่ผ่านการแช่เย็นจะมีรสชาติของความสดดีกว่าการแช่แข็ง

(ii) การแปรรูปเนื้อสัตว์ระดับกลาง การแปรรูปในระดับนี้เป็นการแปรรูปอย่างง่าย ในเบื้องต้นการแปรรูประดับนี้จะอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์พื้นฐาน ได้แก่ แหนม หมูยอ ไส้กรอกพื้นบ้าน หมูหยอง หมูแผ่น กุนเชียง ลูกชิ้น เป็นต้น ต่อมาได้รับเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากต่างประเทศ จึงได้มีการผลิตไส้กรอก แฮม และเบคอน ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีตลาดอยู่ในประเทศ ตลาดส่งออกค่อนข้างน้อยเนื่องจากเนื้อสัตว์ที่นำมาแปรรูปส่วนใหญ่จะเป็นเนื้อสุกร ที่อาจมีปัญหาเรื่องโรคปากเปื่อยเท้าเปื่อย (FMD) ซึ่งตลาดสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกาและแคนาดาห้ามนำเข้าเนื้อสัตว์หรือผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ของสัตว์ที่เป็นโรคนี้

(iii) การแปรรูปเนื้อสัตว์ระดับสูง เป็นการนำเนื้อสัตว์มาปรุงให้เป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูป (ready to cook) และอาหารสำเร็จรูป (ready to eat) จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อถนอมอาหาร ได้แก่ การแช่แข็ง การสเตอริไลซ์และบรรจุในกระป๋อง ฯลฯ กระบวนการผลิตมีความซับซ้อนและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหลากหลายมาก

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ของประเทศไทย ส่วนใหญ่จะเป็นการแปรรูปเนื้อสัตว์ระดับกลาง โดยผลิตภัณฑ์สำคัญที่มีการใช้แปรรูปกันมาก คือ ผลิตภัณฑ์พวกลูกชิ้นและไส้กรอก

3.3.1 ลูกชิ้น

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1009-2533) ได้ให้ความหมายของลูกชิ้นว่าหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อสัตว์ เครื่องเทศ เครื่องปรุงรส และวัตถุ

เจือปนอาหารอื่น ๆ โดยการนำมาบดผสมกันอย่างละเอียดจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ลวกให้สุก เนื้อสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบต้องเป็นกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) ของสัตว์ที่ผ่านการตรวจก่อนและหลังการฆ่าแล้วว่าสะอาด ปราศจากกลิ่น สิ่งแปลกปลอม และเหมาะสมเป็นอาหารบริโภคได้ ลักษณะของลูกชิ้นที่ต้องการจะต้องมีสีสม่ำเสมอตามลักษณะเนื้อสัตว์ที่ใช้ทำ กลิ่นหอมน่ารับประทาน รสดี ปราศจากสิ่งแปลกปลอม เนื้อละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ยุ่ยและไม่มีฟองอากาศ

กระบวนการผลิตลูกชิ้น เริ่มจากการนำเนื้อสัตว์ที่จะผลิตลูกชิ้นซึ่งจะเป็นกล้ามเนื้อโครงร่างมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น เกลือ แป้ง น้ำ เป็นต้น เนื้อสัตว์ที่ผสมเรียบร้อยแล้วจะนำมาเข้าเครื่องตีจนเหนียว จากนั้นจะผ่านเข้าเครื่องปั่นให้เป็นลูกกลมที่มีขนาดตามต้องการ ใส่ในหม้อต้มเพื่อให้ลูกชิ้นแข็งตัว จากนั้นนำมาแช่ในน้ำเย็น พึ่งให้สะเด็ดน้ำ บรรจุใส่ถุงขนาดต่าง ๆ นำเข้าตู้เย็นหรือห้องเย็น เก็บรักษาเพื่อรอจำหน่าย

3.3.2 ใส้กรอก

ในการผลิตใส้กรอก วัตถุดิบที่สำคัญ คือ เนื้อหมูซึ่งควรเป็นเนื้อแดง เนื่องจากเนื้อส่วนนี้จะมีปริมาณโปรตีนสูง และเป็นโปรตีนที่สามารถละลายในเกลือได้ดี จึงมีประสิทธิภาพในการเป็นตัวช่วยการรวมตัว (emulsifier) ระหว่างน้ำและไขมัน ให้สามารถเข้ากันได้ดีในกระบวนการผลิต (เขวาลักษณ์, 2536) ใส้บรรจุแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ใส้ธรรมชาติและใส้เทียม ใส้ธรรมชาติจะเป็นใส้ของสัตว์ต่าง ๆ เช่น ใส้หมู ใส้วัว เป็นต้น ส่วนใส้เทียมมีทั้งที่รับประทานได้และรับประทานไม่ได้ ที่รับประทานได้จะเป็นหนังสัตว์ส่วนคอริยมของปลาใส้ ส่วนที่รับประทานไม่ได้จะเป็นใส้ที่ทำจากใยสังเคราะห์ เช่น เซลลูโลส ไนลอน และพลาสติก การผลิตใส้กรอกในประเทศไทยนิยมใช้ใส้เทียม เนื่องจากผลิตได้ในปริมาณมาก ราคาถูก มีหลายขนาดและมีความสม่ำเสมอ ในขณะที่ใส้ธรรมชาติมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ฉีกขาดง่าย ราคาแพง และเน่าเสียได้ง่าย ส่วนเครื่องเทศ เครื่องปรุงรสต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตใส้กรอก ได้แก่ พริกไทย ขิง กานพลู อบเชย เกลือ แป้ง เป็นต้น

การผลิตใส้กรอก มีกระบวนการผลิตดังนี้ คือ นำเนื้อสัตว์มาบดให้มีขนาดเล็กลงในเครื่องบดเนื้อ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้ง่ายต่อการสกัดโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ ผสมเครื่องปรุงต่าง ๆ กับเนื้อสัตว์ที่บดละเอียดให้เข้ากัน สับขนาดเครื่องผสมที่เข้ากันแล้วในเครื่องสับขนาด (chopper) เพื่อทำอิมัลชัน (Emulsion) หรือการรวมตัว ปกติ น้ำและไขมันจะไม่เกิดการรวมตัว

จะเกิดการแยกตัวเป็นชั้น การที่จะทำให้รวมตัวกันได้จะต้องมีตัวที่ช่วยการรวมตัวเรียกว่า อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ซึ่งในไส้กรอกนั้นจะมีตัวอิมัลซิไฟเออร์ คือ โปรตีนที่สามารถละลายในเกลือของเนื้อสัตว์ โดยในขั้นตอนการผสม มีการเติมเกลือในเครื่องปรุง เมื่อเกลือสัมผัสกับเนื้อบด จะทำให้โปรตีนที่ละลายในเกลือได้ละลายออกมา และไปหุ้มเม็ดไขมันไว้ ทำให้เกิดเป็นสารแขวนลอย และไม่เกิดการแยกชั้น (เขาวลัทธิ, 2536) จากนั้นส่วนผสมทั้งหมดจะนำมาบรรจุในไส้ ไส้อากาศ ออกให้หมด นำไปทำให้สุกโดยรมควันในตูรมควัน ในช่วงแรกจะใช้อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จากนั้นจะรมควันที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-25 นาทีเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่จะทำให้ไส้กรอกเน่าเสียและทำให้ผิวนอกของไส้กรอกตึงและเรียบ จากนั้นนำไปทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำเย็นที่สะอาด ไม่มีจุลินทรีย์และโลหะหนัก ไส้กรอกจะมีอุณหภูมิลดลงทำให้เนื้อหดตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้การลอกเปลือกทำได้ง่าย ผึ่งไส้กรอกให้สะเด็ดน้ำ นำเข้าเครื่องลอกไส้ ในกรณีที่บรรจุไส้กรอกในไส้เทียมที่รับประทานไม่ได้ บรรจุใส่ถุงพลาสติกในปริมาณที่ต้องการ ปิดปากถุงให้สนิทแบบสุญญากาศ เก็บในช่องเย็นเพื่อรอการจำหน่าย (เขาวลัทธิ, 2536)

แป้งดัดแปรที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและลูกชิ้นคือ แป้งครอสลิง (cross-linked starch) ที่มีกระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากและมีราคาถูก วัตถุประสงค์ในการใช้แป้งดัดแปรในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและลูกชิ้นเพื่อลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้เนื้อไม่สูญเสียน้ำหนักมากเกินไปในขณะที่มีการให้ความร้อน

แป้งครอสลิงผลิตได้โดยการให้แป้งดิบทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ในโมเลกุล หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งจะเกิดพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลโดยมีหมู่ฟังก์ชันในสารเคมีทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อม พันธะเชื่อมที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะช่วยเสริมให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น เมื่อเม็ดแป้งดัดแปรนี้ได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิต น้ำจะซึมเข้าไปในโมเลกุลแป้งและทำให้เม็ดแป้งพองตัวขึ้น แต่เม็ดแป้งจะไม่แตกออกและความหนืดจะไม่ลดลงเหมือนโมเลกุลแป้งดิบ ทำให้สามารถเก็บน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ยังทำให้การใช้ฟอสเฟตในกระบวนการผลิตลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีเนื่องจากการใช้ฟอสเฟตในกระบวนการผลิตค่อนข้างมีปัญหา เนื่องจากฟอสเฟตสามารถกัดกร่อนโลหะได้และเกลือฟอสเฟตยังละลายน้ำได้ยาก ในขั้นตอนการผสมส่วนผสมทั้งหมดจึงต้องใช้เครื่องผสมที่มีแรงเหวี่ยงสูง

ในไส้กรอกที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งเป็นไส้กรอกที่มีการจำหน่ายตามท้องตลาดจะใช้แป้งัดแปรร้อยละ 14 ของน้ำหนักไส้กรอกทั้งหมด ส่วนไส้กรอกที่มีคุณภาพสูง ซึ่งผลิตให้กับโรงแรมหรือภัตตาคารใหญ่ ๆ จะใช้แป้งัดแปรในปริมาณน้อยมาก คือ ประมาณร้อยละ 2 - 3 เท่านั้น ส่วนผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นจะใช้แป้งัดแปรน้อยกว่าไส้กรอก โดยจะใช้ประมาณร้อยละ 8 เนื่องจากในกระบวนการผลิตลูกชิ้น เมื่อผสมเนื้อสัตว์กับเครื่องปรุงรส รวมทั้งแป้งัดแปรแล้ว เมื่อปั้นเป็นลูกกลม ๆ แล้วจะต้มทันที ถ้าใส่แป้งมากเกินไป แป้งจะคุดน้ำเข้าไปในส่วนผสม ทำให้ส่วนผสมเหลว ไม่สามารถปั้นเป็นลูกกลม ๆ ได้

4. ระบบการเติมปัจจัยที่ต้องการศึกษาในงานวิจัย

การศึกษาผลกระทบจากปัจจัยของส่วนประกอบในอาหาร โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของปัจจัยนั้น ๆ ในสูตรอาหาร มีผลทำให้ส่วนประกอบอื่น ๆ มีสัดส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยส่วนประกอบที่มักมีการเปลี่ยนแปลงในสูตรอาหาร (จากข้อมูลของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้น) ได้แก่ น้ำตาล และเกลือ ซึ่งเมื่อศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถแบ่งระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือ ออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือแทนที่น้ำ และระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือเพิ่ม ดังตารางที่ 12

ระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือแทนที่น้ำ เป็นระบบที่มีการเติมน้ำตาลหรือเกลือลงไปในสูตรอาหาร โดยที่ปริมาณของส่วนประกอบอื่น ๆ คงที่ ยกเว้นปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการแทนที่ของน้ำตาลหรือเกลือ ดังนั้น ความเข้มข้นของแป้งเมื่อคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักรวมของแป้งและน้ำจะเปลี่ยนแปลง แต่ส่วนประกอบอื่นเมื่อคำนวณเป็นร้อยละโดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด จะมีสูตรอาหารหรือส่วนประกอบเช่นเดิม ยกเว้น น้ำตาลหรือเกลือ และปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในฉลากของผลิตภัณฑ์โดยปกติแล้วมักจะไม่ได้แสดงปริมาณน้ำในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

ระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือเพิ่ม เป็นระบบที่มีการเติมน้ำตาลหรือเกลือลงไปในสูตรอาหาร โดยที่ส่วนประกอบอื่น ๆ มีปริมาณคงที่ ทำให้สูตรอาหารหรือส่วนประกอบทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงไปทุกส่วนประกอบเมื่อคำนวณออกมาเป็นร้อยละโดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด แต่ความเข้มข้นของแป้งเมื่อคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักรวมของแป้งและน้ำคงที่

ตารางที่ 12 ระบบการเติมปัจจัยที่ต้องการศึกษา

	ระบบเดิมแทนที่น้ำ	ระบบเดิมเพิ่ม
น้ำหนักน้ำ	ลดลง	ลดลง
น้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์	คงที่	เพิ่มขึ้น
ความเข้มข้นของแป้ง		
- ร้อยละ โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	คงที่	ลดลง
- ร้อยละ โดยน้ำหนักรวมของแป้งและน้ำ	เพิ่มขึ้น	คงที่

งานวิจัยที่ศึกษาถึงผลกระทบของน้ำตาลหรือเกลือ ที่มีผลต่อสมบัติความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ มีดังต่อไปนี้

Sudhakar *et al.* (1995) ศึกษาผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์โดยเลือกใช้ระบบที่มีปริมาณแป้งคงที่ แต่สัดส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเติมเกลือลงไปแทนที่น้ำในระบบ ซึ่งจัดอยู่ในระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือแทนที่น้ำ พบว่าสารละลายแป้งข้าวโพดความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปร้อยละ 0.5, 1.0 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงร้อยละ 0.5, 1.0 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ความหนืดที่ได้จากเครื่อง Brabender viscograph จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 400, 460 และ 420 BU ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิที่เริ่มมีความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 88.0, 89.0 และ 91.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับด้วยเช่นเดียวกัน โดยที่ความหนืดของแป้งข้าวโพดที่ไม่มีการเติมเกลือมีค่าเท่ากับ 370 BU ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือที่เติมลงไปจากงานวิจัยนี้ ยังไม่สามารถระบุลงไปได้ว่าเกิดจากปัจจัยเรื่องปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น สัดส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำ ความหนาแน่นของน้ำแป้ง เป็นต้น

Baltasar Vallés-Pàmies *et al.* (1997) พบว่า การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 แบบเติมเพิ่ม ไม่มีผลต่อความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

Maaurf *et al.* (2001) เลือกใช้ระบบที่มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำตาลที่ในการศึกษาผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งจัดอยู่ในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลหรือเกลือเพิ่ม พบว่า เมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 M ลงไปในน้ำแป้งสาคุ (*Metroxylon sagu*) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 และ 60 จะทำให้อุณหภูมิที่เริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้น แล้วลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น โดยที่ขนาดของอุณหภูมิที่สูงขึ้นและพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำแป้ง

Ratnajothi and Namal (1996) พบว่า การเติมน้ำตาลซูโครส กลูโคส และ ฟรักโทส ความเข้มข้นร้อยละ 36 (w/v) ลงในสตาร์ชจาก Oat แบบแทนที่น้ำ ทำให้การหลุดออกของอะมิโลส และการพองตัวมีค่าลดลง ตามลำดับ โดยที่การหลุดออกของอะมิโลสเกิดน้อยลง เนื่องจากน้ำตาลเข้าไปจับกับสายโซ่ของอะมิโลสในส่วนออสันฐานของเม็ดแป้ง ทำให้หลุดออกมาได้ยากขึ้น และการพองตัวลดลงเนื่องจากหลายสาเหตุ ได้แก่ เกิดการเจลาติไนเซชันเพิ่มขึ้น เกิดจากอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่เกิดร่วมกัน เช่น การจับกันของแป้งกับน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของน้ำเมื่อมีการเติมน้ำตาล และสมบัติ antiplastizing ของน้ำตาลซึ่งสัมพันธ์กับน้ำ เป็นต้น

Ahmad and Williams (1999) พบว่า น้ำตาลช่วยให้อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มสูงขึ้น โดยที่น้ำตาลซูโครสจะมีผลกระทบต่ออุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมากที่สุด รองลงมาคือ มอลโทส กลูโคส ฟรักโทส และไรโบส ตามลำดับ และการเติมน้ำตาลความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 25 จะทำให้แป้งพองตัวสูงขึ้น ในขณะที่การเติมน้ำตาลความเข้มข้นสูงกว่านั้นจะทำให้แป้งพองตัวลดลง

K.I. Al-Malah *et al.* (2000) พบว่าการเติมน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 0-6 (w/v) ลงในน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5(w/v) ทำให้ความหนืดของของผสมเพิ่มขึ้น โดยจัดเป็นการเติมน้ำตาลแบบแทนที่น้ำ เนื่องจากสัดส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำที่มีในของผสมเปลี่ยนแปลง

Acquarone and Rao (2003) พบว่า ซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลกระทบต่อการกระจายขนาดเม็ดแป้งในน้ำแป้งครอสลิงข้าวโพดข้าวเหนียว ถึงแม้ว่าเม็ดแป้งที่ได้รับความร้อนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับเม็ดแป้งที่ไม่ได้รับความร้อน น้ำแป้งที่มีซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก เมื่อได้รับความร้อน ความหนืดปรากฏของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลานานขึ้นเนื่องจากแรงเฉือน การที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นจะ

เป็นการสนับสนุนให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งโดยการเพิ่มพลังงานในการจับกันเป็นร่างแหโครงสร้างขนาดเล็กระหว่างน้ำ ซูโครส และเม็ดแป้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

แป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรรวมทั้งหมด 4 ตัวอย่าง จากบริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ได้แก่

- แป้งมันสำปะหลัง
- แป้งแอซีเทต
- แป้งครอสลิง
- แป้งแอซีเทต-ครอสลิง

โดยมีรายละเอียดของแป้งดัดแปรแต่ละชนิด ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สมบัติของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรทางเคมี

Type of modification	Product No.	Specification	Viscosity
Acetylation	SW-0080	D.S. 0.050 - 0.060	> 750 BU (Max Viscosity)
Cross-Linking	SW-0001	-	200 – 400 cPs (at 95°C)
Acetylation + Cross-Linking	SW-0041	D.S. 0.050 – 0.070	200 – 400 cPs (at 95°C)

2. เครื่องมือ

- Rapid Visco Analyser (Newport Scientific Pty. Ltd., Narrabeen, Australia; model Series 4)

- Rotational Rheometer (Brookfield Engineering Laboratory, Inc., MA, USA; model DV-III+)

3. สารเคมี

- เกลือโซเดียมคลอไรด์ (BDH Laboratory Supplies Pty. Ltd., England)
- น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ ตรามิตรผล ผลิตโดย บริษัท รวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด เลขที่การผลิต 14020621
- กรดไฮโดรคลอริก (Lab-Scan)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Lab-Scan)

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 ผลของน้ำตาลหรือเกลือ

ในการศึกษาผลของน้ำตาลหรือเกลือ จะมีการเตรียมน้ำแบ่ง 2 ระบบ คือ

1.1.1 ระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1)

ระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือแทนที่น้ำ ประกอบด้วยแป้งตัวอย่าง 9.2 กรัมต่อ 100 กรัมของผสม แต่ความเข้มข้นของแป้งต่อน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของน้ำตาลที่เติมเพิ่มขึ้นเป็น 0, 5, 10 และ 20 กรัมต่อ 100 กรัมของผสม หรือปริมาณของเกลือที่เติมเพิ่มขึ้นเป็น 0, 1, 3, และ 5 กรัมต่อ 100 กรัมของผสม เนื่องจากปริมาณน้ำต่อ 100 กรัมของผสมลดลง โดยแสดงเป็นอัตราส่วนได้ดังตารางที่ 13

1.1.2 ระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2)

ระบบการเติมน้ำตาลหรือเกลือเพิ่ม เป็นระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลหรือเกลือลงไป ในน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 9.2 ต่อน้ำหนักของผสม โดยการเติมน้ำตาลลงไปปริมาณ 0, 5, 10 และ

20 กรัมต่อ 100 กรัมของผสม หรือการเติมเกลือลงไปปริมาณ 0, 1, 3, และ 5 กรัมต่อ 100 กรัมของผสม ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของแป้งต่อน้ำหนักรวมของของผสมลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลหรือเกลือ แต่ความเข้มข้นของแป้งต่อน้ำหนักที่ ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำตาล แป้ง และน้ำได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 อัตราส่วนระหว่างน้ำตาล แป้ง และน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์

	ระบบการเติมแทนที่น้ำ (I)*					ระบบการเติมเพิ่ม (II)**				
	น้ำตาล/ เกลือ (g)	แป้ง (g)	น้ำ (g)	ความเข้มข้น ของแป้ง (%)		น้ำตาล/ เกลือ (g)	แป้ง (g)	น้ำ (g)	ความเข้มข้น ของแป้ง (%)	
				C ₁	C ₂				C ₁	C ₂
1. น้ำตาล										
0%	0.0	9.2	90.8	9.2	9.2	0.0	9.2	90.8	9.2	9.2
5%	5.0	9.2	85.8	9.2	9.7	5.3	9.2	90.8	8.8	9.2
10%	10.0	9.2	80.8	9.2	10.2	11.1	9.2	90.8	8.3	9.2
20%	20.0	9.2	70.8	9.2	11.5	25.0	9.2	90.8	7.4	9.2
2. เกลือ										
0%	0.0	9.2	90.8	9.2	9.2	0.0	9.2	90.8	9.2	9.2
1%	1.0	9.2	89.8	9.2	9.3	1.0	9.2	90.8	9.1	9.2
3%	3.0	9.2	87.8	9.2	9.5	3.1	9.2	90.8	8.9	9.2
5%	5.0	9.2	85.8	9.2	9.7	5.3	9.2	90.8	8.8	9.2

* แบ่งมาวิเคราะห์ความหนืด 28 กรัม

** แบ่งมาวิเคราะห์ความหนืด 25 มิลลิลิตร

C₁ คือ ความเข้มข้นแป้งเทียบต่อน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์

C₂ คือ ความเข้มข้นแป้งเทียบต่อน้ำหนักรวมของแป้งกับน้ำ

1.2 ผลของความเป็นกรด-ด่าง

เตรียมน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 9.2 ต่อน้ำหนักของผสม โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด (pH 3.5) และเป็นด่าง (pH 11) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

แล้วจึงปรับน้ำหนักเป็น 28 กรัม ด้วยน้ำซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างตามที่กำหนด สำหรับตัวอย่างที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างจะบันทึกค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำแป้งและใช้เป็นตัวอย่างควบคุม (as is)

1.3 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการผลิต

เตรียมน้ำแป้งทั้ง 4 ตัวอย่าง ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 500 กรัม ภายในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง 3 ลักษณะ คือ 1. ให้ความร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 2. ให้ความร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และ 3. ให้ความร้อนอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Brookfield

2. การวิเคราะห์ความหนืด

2.1 การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA

การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA ในการทดลองนี้ ใช้กับการศึกษาความหนืดจากทุกปัจจัยดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยกเว้น ปัจจัยเรื่องอุณหภูมิในกระบวนการผลิต โดยเลือกใช้รูปแบบ std.1 ดังภาพที่ 11 ข้างต้น คือ เริ่มวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไป 12 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส คงที่ไว้ที่อุณหภูมินี้ 2.5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลง 12 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วคงที่ที่อุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 2 นาที ด้วยความเร็วในการกวน 160 รอบ/นาที บันทึกข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้แก่ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดต่ำสุดขณะร้อน (Trough) ผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดขณะร้อน (Breakdown) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ค่าการคืนตัว (Setback) และอุณหภูมิที่เริ่มมีความหนืด (Pasting temperature)

2.2 การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield

ในกรณีการศึกษาผลของอุณหภูมิในกระบวนการผลิต จะทำการวิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างที่เตรียมไว้ข้างต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ถ้วยบรรจุตัวอย่างปริมาณ

น้อย (Small sample adapter) ที่มีชุดควบคุมอุณหภูมิ ใช้ spindle no. SC4-27 (สำหรับตัวอย่างที่มีความหนืดสูง) และใช้ spindle no. SC4-31 (สำหรับตัวอย่างที่มีความหนืดต่ำ) ทำการวัดค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) ที่อัตราแรงเฉือน (shear rate) ต่าง ๆ โดยแปรค่าแรงเฉือนระหว่าง $1.7-85 \text{ s}^{-1}$ บันทึกค่าความหนืด (Apparent viscosity) ของตัวอย่างหลังจาก spindle หมุนเป็นเวลา 30 วินาทีที่แต่ละอัตราแรงเฉือน