

บทที่ 1



บทนำ

1.1 แป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีชื่อภาษาอังกฤษเรียกทั่วไปว่า cassava ชื่อภาษาอื่นๆก็เช่นภาษาสเปนเรียก yuca, ภาษาฝรั่งเศสเรียก manioc และภาษาโปรตุเกสเรียก mandioca เมื่อนำมาทำแป้งเรียกว่า tapioca starch ชื่อวิทยาศาสตร์ของมันสำปะหลังคือ *Manihot esculenta* Cranz (Cifferi, 1938) มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยทำรายได้เข้าประเทศสูงเป็นลำดับตามรองจากข้าว และยางพารา(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) ปลูกกันมากในประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง และมีปริมาณโปรตีนต่ำ โดยเฉลี่ยหัวมันสำปะหลังประกอบด้วย น้ำร้อยละ 60-65 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30-35 โปรตีนร้อยละ 1-2 เส้นใยร้อยละ 2 และปริมาณแร่ธาตุกับวิตามินค่อนข้างต่ำ (Jackson, 1976)

1.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 ($C_6H_{10}O_5$)_n แป้งเป็นโพลิเมอร์ของหน่วยกลูโคส ที่เชื่อมเข้าด้วยกันด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมของออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่หนึ่งของหน่วยกลูโคสหนึ่งกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่สี่ของกลูโคสหน่วยถัดไป พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมโยงระหว่างกลูโคสนี้เรียกว่าพันธะกลูโคไซด์ หรือพันธะกลูโคซิดิก (glucoside หรือ glucosidic bond) แป้งจึงจัดเป็นคาร์โบ

ไฮเครตซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของอะไมโลส(amylose) และอะไมโลเพกติน(amylopectin) ซึ่งโครงสร้างของโมเลกุล และสมบัติแตกต่างกันดังตารางที่ 1.1

อะไมโลสเกิดจากการเรียงต่อกันเป็นสายตรง ที่หน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -D(1 \rightarrow 4)glucosidic มีหน่วยกลูโคส (anhydroglucose unit :AGU) ประมาณ 200-2000หน่วย ดังรูปที่ 1.1 (Wurzburg, 1972) สามารถลดความชื้น และกระจายตัว(disperse) ในน้ำได้ดี เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งจนเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่โมเลกุลอะไมโลสจะละลายออกมาจากเม็ดแป้งมีความหนืดต่ำ เมื่อเย็นตัวลงเกิดการคืนตัวมากโมเลกุลอะไมโลสรวมตัวกัน โดยถ้าสารละลายแป้งมีความเข้มข้นของแป้งน้อยการรวมตัวกันของอะไมโลส ทำให้เกิดการตกตะกอน (precipitate) หรือถ้าสารละลายมีความเข้มข้นของแป้งมาก การรวมตัวกันของอะไมโลสทำให้เกิดเจล ดังรูปที่ 1.2

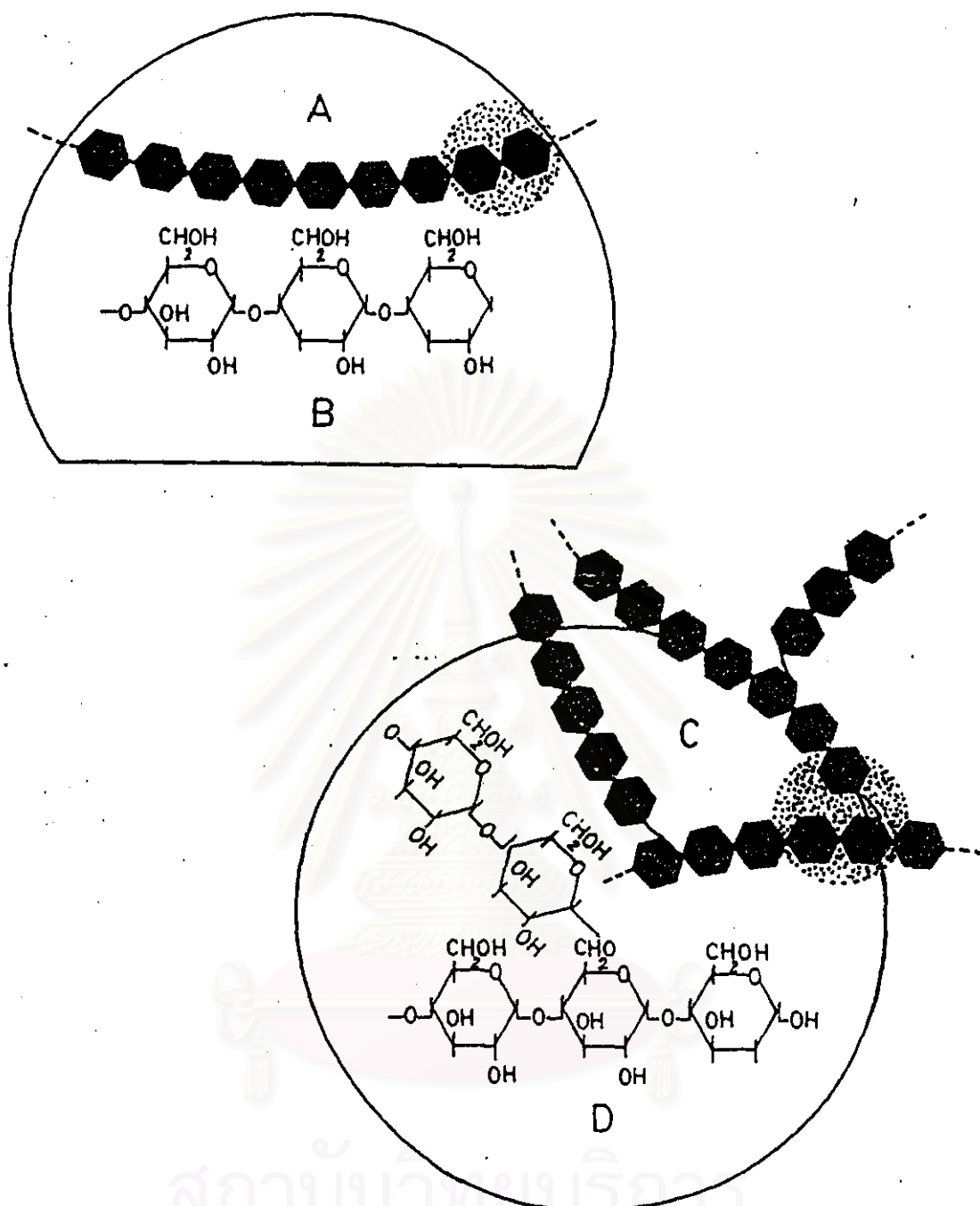
อะไมโลเพกติน เป็นโพลีเมอร์ที่มีกิ่งสาขามาก หน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -D(1 \rightarrow 4)glucosidic และส่วนที่เป็นกิ่งสาขา เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -D(1 \rightarrow 6)glucosidic แต่ละสาขาประกอบด้วยAGUประมาณ 15-25 หน่วยดังรูปที่ 1.1 (Wurzburg,1972) เนื่องจากอะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ และมีกิ่งก้านสาขามาก ดังนั้นโอกาสที่โมเลกุลจับกันเองก็น้อยลง เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง แป้งเปียกที่ได้ไม่มีสี และใส มีความหนืดสูง เมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลเกิดการระเหอะระกะจึงรวมตัวกันยาก และคืนตัวน้อย (O' Dell, 1977)

ตารางที่ 1.1 สมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
<p>1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงประกอบด้วยกลูโคส 200-1200 หน่วย</p> <p>2. ละลายน้ำได้ดี</p> <p>3. เมื่อต้มในน้ำจะข้นหนืดน้อยและพุ่ง</p> <p>4. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน</p> <p>5. ต้มแล้วตั้งทิ้งไว้จับตัวเป็นก้อนได้</p>	<p>1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันและมีกิ่งก้านสาขาแต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย</p> <p>2. ละลายน้ำได้น้อย</p> <p>3. เมื่อต้มในน้ำจะข้นหนืดมากและใส</p> <p>4. ให้สีม่วงแดงกับสารละลายไอโอดีน</p> <p>5. ต้มแล้วตั้งทิ้งไว้ไม่จับตัวเป็นก้อน</p>

ที่มา : Kerr(1950)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



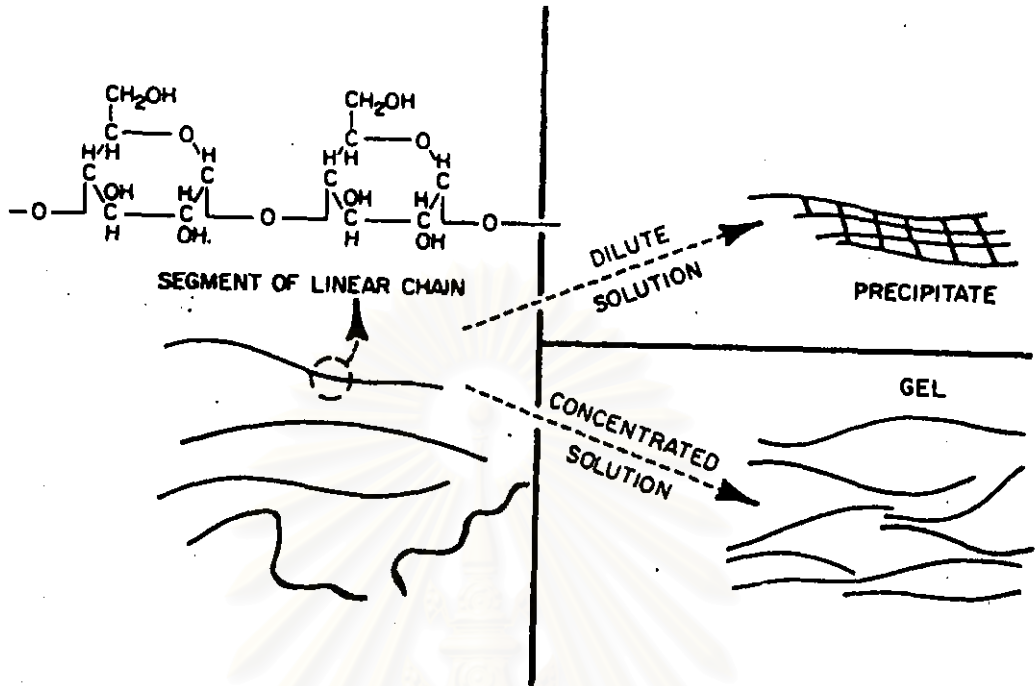
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Meyer, 1976)

A : ภาพแสดงการเรียงโมเลกุลอะไมโลส

B : ภาพขยายโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส

C : ภาพแสดงการเรียงโมเลกุลอะไมโลเพคติน

D : ภาพขยายโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน



รูปที่ 1.2 กลไกการกลับคืนตัวของแป้ง(Symposium Proceeding, 1970)

แป้งมันสำมันปะหลังมีน้ำหนักรวมของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินประมาณ 2.10×10^5 และ 3.0×10^6 ตามลำดับ(Peat, 1954) มีอัตราส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินประมาณ 17 ต่อ 83 (Odigdoh, 1983; Swinkle, 1983) การจัดเรียงตัวของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้งมีลักษณะแตกต่างกัน แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกโมเลกุลจัดเรียงตัวเป็นกลุ่มๆ อย่างมีระเบียบเหมือนผลึก เรียกส่วนนี้ว่า บริเวณผลึก (crystalline region) ประกอบด้วยอะไมโลสเป็นส่วนใหญ่ การดูดน้ำและพองตัวเกิดอย่างจำกัด เมื่อค่อนข้างแข็งและไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับสารอื่น(Greenwood, 1979) บริเวณของแป้งที่โมเลกุลจัดตัวกันไม่เป็นระเบียบเรียกว่าบริเวณอสัณฐาน(amorphous region) ประกอบด้วย อะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ เป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดีและไวต่อการเกิดปฏิกิริยา(Wurzburg, 1972)

1.1.2 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลัง

สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังที่สำคัญได้แก่ ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง, การพองตัว, การละลาย, ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน และความหนืด

1.1.2.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง

เมื่อตรวจแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด ขรรมตา และที่ใช้แสงโพลาไรซ์ พบเม็ดแป้งขนาดตั้งแต่ 5-35 ไมโครเมตร แต่มีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 20 ไมโครเมตร (Brautleoh, 1953) รูปร่างของเม็ดแป้ง โดยมากเป็นรูปไข่ คัดปลายข้างหนึ่ง ผิวบริเวณที่ตัดเว้าเข้าข้างใน ส่วนใหญ่ปรากฏรอยบุ๋ม และวงแหวนบนเม็ดแป้งอย่างชัดเจน และอาจเกิดรอยแตกขึ้นในระหว่างการผลิตแป้ง เนื่องมาจากการล้าง การแยกแป้ง และการทำให้แห้ง แต่ผิวบริเวณส่วนตัดเรียบ (Fitt, 1984)

1.1.2.2 การพองตัวและการละลาย

แป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซับน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้(Kerr, 1950) ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกัน(intermixed)ระหว่างโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินภายในเม็ดแป้ง โมเลกุลส่วน crystalline อยู่กันหนาแน่นแข็งแรงเป็น micelle (Leach, McCowen and Schoch, 1959) ดังนั้นจะป้องกันการกระจายตัว และจะไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วน amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะกันอย่างหลวมๆไม่เป็นระเบียบระหว่าง micelle (รูปที่ 1.3ก) จะมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ดังนั้นจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการดูดน้ำได้บ้างแม้ในน้ำเย็น แต่เมื่อทำให้น้ำแป้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วน amorphous จะดูดซับน้ำได้มาก และการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystalline เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจะมีการดูดซับน้ำได้ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น(Collision,

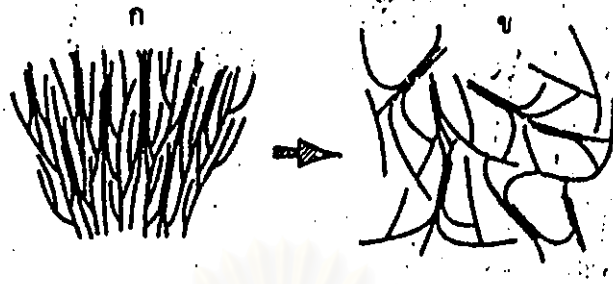
1968) โมเลกุลในส่วน crystalline ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแห เรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้(รูปที่ 1.3จ)ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมี โมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกมาจากเม็ดแป้งทำให้เกิดสภาพการละลายขึ้น เมื่อให้อุณหภูมิที่น้ำแป้งสูงขึ้น ไปอีกส่วน crystalline ที่เหลืออยู่ก็ละลายตัว ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จนแตกในที่สุดทำให้เกิดสภาพการละลายมาก (Swinkles, 1985)

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การพองตัวจะมากขึ้น เนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนโมเลกุลของเม็ดแป้งแยกห่างออกจากกัน การพองตัวจึงเกิดเนื่องจากการแยกพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมออก และเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำแทนที่ ดังนั้นการพองตัวจะเร็วหรือช้าจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพันธะไฮโดรเจน นั่นคือขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลในเม็ดแป้งที่เป็นส่วน amorphous และ crystalline ในการพองตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนจะแบ่งเป็นช่วงการพองตัวได้ 3 ช่วง (Owusu-ansah, 1981) คือ

ช่วงที่ 1 การพองตัวเนื่องจาก amorphous เดิมเพียงอย่างเดียว ส่วน crystalline จะยังไม่เกิด

ช่วงที่ 2 การพองตัวเนื่องจาก amorphous เดิม และ amorphous ใหม่ที่เกิดขึ้นจากส่วน crystalline ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ช่วงที่ 3 การพองตัวเนื่องจาก amorphous เดิม และ amorphous ใหม่ที่เกิดขึ้นจากส่วน crystalline ทั้งหมด รูปแบบการพองตัวของแป้งแต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกัน ซึ่งทำให้กราฟแสดงความสามารถในการพองตัวมีลักษณะแตกต่างกัน แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ ลักษณะเป็นเส้นตรง หรือเส้นโค้งตอนเดียว และลักษณะเป็นเส้นโค้งสองตอน ความแตกต่างของรูปแบบการพองตัวจะขึ้นอยู่กับการพองตัวช่วงที่สอง ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้



รูปที่ 1.3 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเม็ดแข็งก่อน และหลังการพองตัว

ส่วนของ โมเลกุลที่เป็น crystalline (เส้นทึบ) และ amorphous (เส้นบาง)

ก. ไม่พองตัว (unswollen network)

ข. พองตัว (swollen network)

ที่มา : Leach และคณะ (1959)

กลุ่มที่ 1 กลุ่มแข็งที่มีลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง หรือเส้นโค้งตอนเดียว แป้งกลุ่มนี้มีส่วน crystalline น้อย มีผลให้ส่วน amorphous เดิมพองตัวได้ค่อนข้างอิสระ และส่วน amorphous ใหม่เกิดขึ้นน้อย หรือต่างจากเดิมน้อยมาก ทำให้มีอิทธิพลต่อการพองตัวน้อย การพองตัวในช่วงที่ 2 จึงขึ้นอยู่กับ amorphous เดิมเป็นส่วนใหญ่ การพองตัวจึงสม่ำเสมอตลอดตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง หรือโค้งตอนเดียว แป้งที่มีลักษณะกราฟเช่นนี้ประกอบด้วยแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งเท้ายายม่อม และแป้งถั่วเขียว

กลุ่มที่ 2 กลุ่มแข็งที่มีลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งสองตอน แป้งกลุ่มนี้มีส่วน crystalline มาก ทำให้การพองตัวในช่วงที่หนึ่งของ amorphous เดิมพองตัวไม่เป็นอิสระ การพองตัวจึงน้อย ในช่วงที่สองการพองตัวของ amorphous ยังถูกจำกัดและขณะเดียวกันมีการละลายตัวของ crystalline การ

พองตัวสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิม แสดงว่า การกลายตัวเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งอาจเป็นการกลายตัวจาก crystalline ที่แข็งแรงไปเป็น crystalline ที่อ่อนลง เมื่อ crystalline เริ่มเปลี่ยนเป็น amorphous แล้วจะมีการพองตัวของ amorphous เดิมซึ่งไม่ถูกจำกัด และ amorphous ใหม่ที่เกิดขึ้นทำให้การพองตัวเพิ่มขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเท่าเดิม ซึ่งสังเกตได้จากกราฟช่วงหลังมีความชันมากกว่าช่วงแรกมาก แป้งที่มีลักษณะกราฟเช่นนี้ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า และ แป้งข้าวโพด

1.1.2.3 ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature range)

แป้งเมื่อนำใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง (Sair and Fetzer, 1944) ทำให้แป้งมีความชื้นเพิ่มขึ้น แต่จะไม่พองตัวหรือพองตัวน้อยมาก และสังเกตได้ยากที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เพราะในสภาวะธรรมชาติในเม็ดแป้งมีการจับกันของโมเลกุลอะไมโลส และ อะไมโลเพคตินในบริเวณที่เป็น crystalline หนาแน่นและแข็งแรง แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วน amorphous ของเม็ดแป้งซึ่งไม่แข็งแรงได้ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระสามารถจับกลุ่มกันด้วยพันธะไฮโดรเจนได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนกับแป้งจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส (Osman, 1967) จะมีผลทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของแป้งบริเวณ crystalline กลายตัวลง เกิดปฏิกิริยาการดูดน้ำ และเกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้สารละลายแป้งมีความหนืด และมีความใสขึ้น ช่วงอุณหภูมินี้เรียกว่า ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature range) นั่นคือช่วงอุณหภูมิที่แป้งมีการดูดน้ำและพองตัวอย่างรวดเร็ว (Leach, 1965) เมื่อนำแป้งที่ทำการเจลาติไนเซชันมาต่อด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นที่สำคัญคือ การเกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง และเครื่องหมายากบาทภายในเม็ดแป้งจะหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะแปรผันไปตามสายพันธุ์ของพืช เพราะเม็ดแป้ง

จากแต่ละสายพันธุ์ของพืชก็จะมีส่วน crystalline ที่แตกต่างกันทั้งระดับการอยู่ร่วมกัน (degree of association) และความสม่ำเสมอและเม็ดแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็จะได้เจลาตินในเข้้นไม่พร้อมกันทุกเม็ด ปกติจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน 8-10 องศาเซลเซียส

1.1.2.4 ความหนืด (viscosity)

ความหนืด คือคุณสมบัติในการต้านทานการไหลของของไหล มีนิยามเท่ากับอัตราการไหลของของไหลต่อแรงหนึ่งหน่วย จากคุณสมบัติ rheology ทำให้สามารถแบ่งของไหลออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้ (Newport Scientific, 1995)

1. newtonian ของเหลวชนิดนี้ความหนืดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และส่วนประกอบของของเหลวเท่านั้น

2. non-newtonian นอกจากอุณหภูมิและส่วนประกอบของของเหลวแล้วความหนืดจะขึ้นอยู่กับ shear rate ด้วย ของเหลวที่มีความหนืดเป็น non-newtonian ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

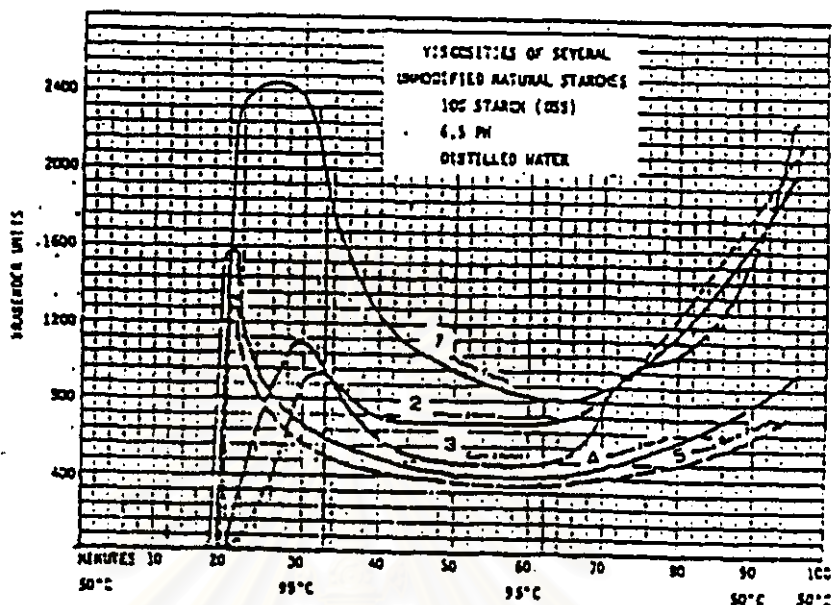
ก. time independent ของเหลวที่ความหนืดขึ้นกับค่า N_1 (อัตราส่วนระหว่าง shear stress กับ shear rate) เท่านั้น มี 2 ลักษณะคือ shear-thinning ของเหลวที่มีค่าความหนืดลดลงเมื่อ shear rate เพิ่มขึ้นเรียกว่า pseudoplastic และ shear-thickening ของเหลวที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อ shear rate เพิ่มขึ้นเรียกว่า dilatant

ข. time dependent ของเหลวที่ความหนืดขึ้นกับ N_1 นอกจากจะขึ้นอยู่กับ shear rate แล้วยังขึ้นอยู่กับ duration of shear มี 2 ลักษณะ คือ thixotropic ที่ shear rate มีค่าคงที่ ความหนืดจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และ rheopectic ที่ shear rate มีค่าคงที่ ความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

สำหรับแป้งเปียกจะมีคุณสมบัติด้าน rheology เป็นแบบ shear-thinning และ thixotropic ในระบบ SI ความหนืดจะมีหน่วย Ns/m^2 หรือ Pa.s โดย $1\text{Pa.s} = 10\text{P} = 1000\text{cP}$

คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งคือ เมื่อให้ความร้อนจะสามารถพองตัวในน้ำ และให้ความหนืด พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะ และแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของพืช เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่ง และพองตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าช่วงอุณหภูมิการเกิดเจล เม็ดแป้งแต่ละชนิดจะเกิดเจล และพองตัวเต็มที่อย่างอิสระ โมเลกุลของแป้งที่ดูดซึมน้ำเต็มที่นี้ก็แยกตัวออกจากกันโดยพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย แล้วกระจายสู่สารละลายรอบๆทำให้เม็ดที่พองตัวแตกได้ง่ายขึ้นเมื่อมีการผสมที่รุนแรง ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของแป้งแต่ละชนิด และอุณหภูมิได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.4 ความหนืดของแป้งจากแป้งที่ยังไม่ได้ดัดแปรชนิดต่างๆ โดยความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ใช้ เป็นกรัมแห้งต่อน้ำแป้ง 500 มิลลิลิตร (วัดด้วยเครื่อง Brabender-visco Amylograph)

1. แป้งมันฝรั่ง
2. แป้งสาลี
3. แป้งข้าวโพด
4. แป้งมันสำปะหลัง
5. แป้ง waxy corn

ที่มา : Hann (1969)

1.2 แป้งดัดแปร (Modified starch)

แป้งดัดแปรคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งเช่นแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และ/หรือทางกายภาพ ด้วยวิธีทางกายภาพ และ/หรือ เอนไซม์ และ/หรือทางเคมี เพื่อให้แป้งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

(Smith, 1979 ; Trimble, 1983) การตัดแปรแป้งทำให้แป้งมีสมบัติแปรเปลี่ยนไปจากเดิม การเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมี และกายภาพ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแป้งตัดแปร

วิธีการตัดแปรแป้งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การตัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ และการตัดแปรโดยวิธีทางเคมี (Greenwood, 1979)

1.2.1 การตัดแปร โดยวิธีทางกายภาพ (physical modification)

หลักการคือ ให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งที่เข้มข้น จนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาตินในเซชันแล้วทำให้แห้งทันที เพื่อป้องกันการเกิดริโทรเกรเดชัน(Howling, 1974) แป้งที่ตัดแปรโดยวิธีนี้เรียกว่าพรีเจลาตินสตาร์ช(pregelatinization starch) วิธีการที่นิยมคือ นำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40-50 ส่งเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง(drum dryer)ซึ่งอาจใช้แบบลูกกลิ้งเดี่ยว(single drum dryer) หรือลูกกลิ้งคู่ (double drum dryer) ที่มีระบบการควบคุมความร้อนจากผิวหน้าลูกกลิ้งที่ได้จากไอน้ำ จะทำให้แป้งเกิดเจลาตินในเซชัน และมีการระเหยน้ำพร้อมไปด้วย แป้งตัดแปรที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ฉาบผิวหน้าลูกกลิ้ง ซึ่งจะมีใบมีดที่ติดกับเครื่องขูดลอก แล้วนำแป้งตัดแปรที่ได้ไปบด ร้อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่ต้องการ นอกจากนี้อาจผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์(spray dryer) หรือเครื่องเอกทรูดเคอร์ก็คี้(Howling, 1974 ; Snyder, 1984) แป้งตัดแปรนี้สามารถละลายในน้ำเย็น และให้ความข้นหนืดแก่ผลิตภัณฑ์

1.2.2 การตัดแปร โดยวิธีทางเคมี (chemical modification)

การตัดแปรแป้งทางเคมีเป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลแป้งกับสารที่ใช้ตัดแปรในภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา แบ่งเป็น 2 ประเภท(Greenwood, 1979) ได้แก่ เคเกรเคทีฟ เคมิคอล โมดิฟิเคชัน(degradative chemical modification) และ นอนเคเกรเคทีฟ เคมิคอล โมดิฟิเคชัน(nondegradative chemical modification)

1.2.2.1 เคเจอร์เคทีฟ เคมิคอล โมดิฟิเคชัน

การดัดแปรแป้งแบบนี้จะทำให้โครงสร้างของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเกิดที่ตำแหน่ง α - D(1 \rightarrow 4) glucoside linkage เป็นส่วนมากทำให้ความหนืดของแป้งลดลง รวมถึงการเกิดออกซิเดชันของหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่อัลดีไฮด์ คีโตน หรือคาร์บอกซิล(Fleeh, 1985) การดัดแปรแบบนี้เช่น

1.2.2.1.1 แอซิด คอนเวอร์ชัน(acid conversion)

เตรียมโดยการย่อยสลายสารแขวนลอยแป้งด้วยกรด ซึ่งนิยมดัดแปรในแป้งข้าวโพด (Moore, Tushhoff และ Hasting, 1984) ความเข้มข้นร้อยละ 36 - 40 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินเซชันของแป้ง กรดที่นิยมใช้คือกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก กรดจะตัด α - D glucosidic linkage ของอะไมโลเพคตินได้ง่าย ทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง เมื่อความหนืดได้ตามต้องการจะหยุดปฏิกิริยาโดยการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง กรอง ถ้าง แล้วทำให้แห้ง(Wurzburg, 1972; Trimble, 1983; Wurzburg, 1986) แป้งที่ได้มีความหนืดในขณะร้อน(hot paste viscosity)ต่ำกว่าแป้งดิบ (Heckman, 1977) แป้งดัดแปรที่ได้เรียกว่า acid - thined หรือ thin - boiling starch

1.2.2.1.2 การดัดแปรด้วยการฟอก(alkaline conversion)

เตรียมโดยการย่อยสลายสารแขวนลอยแป้งด้วยสารออกซิไดซ์เช่น โซเดียมไฮพอกโลไรด์ โพแทสเซียมเพอแมงกาเนต หรือไฮโดรเจนเพอออกไซด์ สารเคมีที่นิยมใช้คือ ด่างพวกไฮพอกโลไรด์(Wurzburg, 1986) ปฏิกิริยาจะเกิดโดยหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่แอลดีไฮด์ คีโตน หรือคาร์บอกซิล ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลของแป้งจะมีขนาดเล็กลง แป้งดัดแปรที่ได้จากการฟอกนี้ มีการเกิดมถน้อยกว่าแป้งที่ดัดแปรด้วยกรด เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลจะป้องกัน

การรวมตัวกันใหม่ของโมเลกุลแป้ง(Wurzburg, 1972; Trimble, 1983) นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังฟอสฟอรีนในธรรมชาติของแป้งให้ขาวขึ้น (Hood, 1982; Wurzburg, 1986)

1.2.2.1.3 ไพโรคอนเวอร์ชัน หรือเดคริไนเซชัน(pyroconversion หรือ dextrinization)

เดกซ์ทรินเกิดจากการไฮโดรไลซ์โมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้ง ทำให้แป้งดังกล่าวมีปริมาณน้ำตาล หรือของแข็งที่ละลายในน้ำเย็นได้มากกว่าแป้งดัดแปรชนิดอื่นๆ สามารถผลิตได้โดยใช้เอนไซม์ หรือกรดในสภาพสารแขวนลอย หรือในรูปแป้งแห้ง (dry granular form) ในขณะเดียวกันก็ให้ความร้อนด้วย การหยุดปฏิกิริยาทำได้โดยการให้ความเย็น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 ชนิดคือ

- white dextrins conversion ปฏิกิริยาเกิดแบบไฮโดรไลซิสแป้งที่มีความชื้น กรดในปริมาณสูง และอุณหภูมิต่ำเป็นตัวช่วย (110 - 160 องศาเซลเซียส)

- yellow dextrins conversions กระบวนการผลิตจะใช้กรดในปริมาณสูง ความชื้นต่ำ และอุณหภูมิก่อนข้างสูง (135 -160 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนืดต่ำ

- british gums เครียมโดยใช้กรดเล็กน้อย หรือไม่ใช้เลย และอุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์นี้จะมีความหนืดสูงสุด (Wurzburg, 1972)

1.2.2.2 นอนเคเกรเคทีฟ เคมิคอล โมดิฟิเคชัน

การดัดแปรแบบนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยไม่ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยด้วยปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารที่ใช้ดัดแปรในภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่

1.2.2.2.1 การดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิง

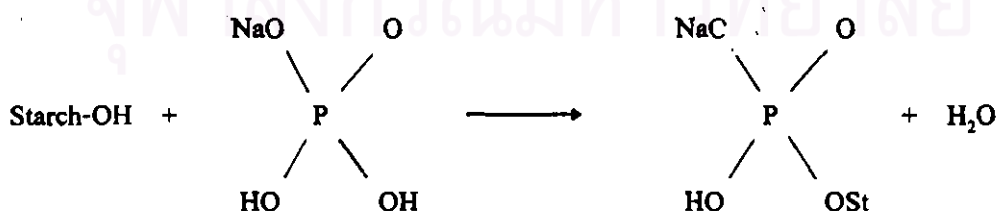
เป็นวิธีการที่ใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ซึ่งมีกลุ่มที่ทำปฏิกิริยาได้ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปทำปฏิกิริยากับแป้ง (Hullinger, 1967) พันธะที่เกิดขึ้นเป็นพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ซึ่งจะช่วยส่งเสริมพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ที่ยึดเม็ดแป้งเข้าด้วยกัน ทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (Rutenburg and Selarek, 1984)

1.2.2.2.2 การดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่

การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาการแทนที่เป็นการปรับปรุงสมบัติ ของแป้งโดยใช้สารที่มีหมู่สำหรับเกิดปฏิกิริยาเพียงหมู่เดียวเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง สารเหล่านี้ได้แก่ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride, propylene oxide, 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride เป็นต้น ปฏิกิริยาแทนที่ที่เกิดขึ้นอาจเป็นปฏิกิริยา esterification หรือ eterification (Fleche, 1985) คือ

1.2.2.2.2.1 เอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification)

starch ester เป็นแป้งดัดแปรที่มีการแทนที่ของสารเคมีเช่น โซเดียมออร์โทฟอสเฟต ซึ่งเป็น starch phosphate monoester ดังสมการ (Wurzburg, 1986)



1.2.2.2.2 อีเทอร์ฟิเคชัน (etherification)

เป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยใช้สารที่มีหมู่สำหรับเกิดปฏิกิริยาเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่ประเภทอีเทอร์ฟิเคชัน กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง แป้งคัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาการแทนที่ประเภทนี้เช่น แป้งประจุบวก(cationic starch)

แป้งประจุบวก(cationic starch) ได้จากการนำแป้งธรรมชาติมาเติมสารพวก tertiary amine หรือ quaternary amine เข้าไปใน โมเลกุลแป้งทำให้แป้งมีประจุบวก เราสามารถแบ่งแป้งประจุบวกได้ดังนี้

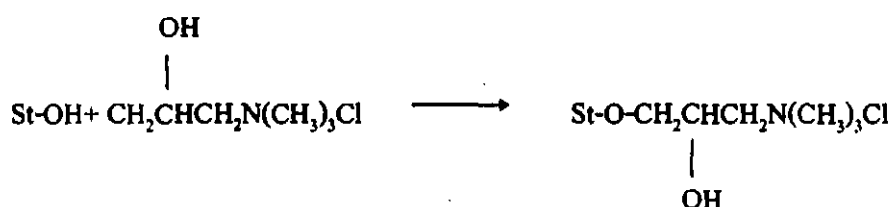
- แป้งเทอเทียอะมิโนอัลคิล(tertiary aminoalkyl starch)

แป้งชนิดนี้เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่โดยใช้สารเคมีเช่น 2-(diethylaminoethyl) chloride hydrochloride ดังปฏิกิริยา



- แป้งควอเทอร์นารีแอมโมเนียม(quaternary ammonium starch)

แป้งชนิดนี้เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่โดยใช้สารเคมีเช่น 3-chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride ดังปฏิกิริยา



สมบัติของแป้งคัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่คือ เมื่อเกิดปฏิกิริยาแทนที่บนโมเลกุลแป้งด้วยหมู่ต่างๆ แรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลง สมบัติของแป้งคัดแปรจึงแตกต่างจากแป้งธรรมชาติ โดยสมบัติต่างๆของแป้งคัดแปรเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ อุณหภูมิการเกิดเจลลดลง (Moore และคณะ, 1984; Jaronenko, 1987) แป้งเปียกหลังการทำให้สุกมีลักษณะใสและเหนียวยืดมากขึ้น เกิดการกินตัวและแยกตัวของน้ำจากแป้งเปียกข้างตง สมบัติของแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาการแทนที่จะแตกต่างกันขึ้นกับธรรมชาติของหมู่ที่เกิดการแทนที่ การตรวจสอบว่าการคัดแปรแป้งโดยปฏิกิริยาการแทนที่เกิดได้ดีหรือไม่ ตรวจสอบได้จาก ระดับการแทนที่(Degree of substitution :DS) ระดับการแทนที่บ่งบอกถึงจำนวนกลุ่มไฮดรอกซิลในกลูโคสหนึ่งหน่วยที่ถูกแทนที่ด้วยกลุ่มสารเคมี คือในโมเลกุลกลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซิลที่จะถูกแทนที่ได้ 3 หมู่คือคาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ดังนั้นถ้าหมู่ ไฮดรอกซิลทั้ง 3 หมู่ถูกแทนที่ก็จะมึระดับการแทนที่เท่ากับ 3.0 เราสามารถคำนวณระดับการแทนที่ได้จากสูตร (Carr and Bagby, 1981)

$$\text{Degree of substitution(DS)} = \frac{162(\%N)}{1400-117(\%N)}$$

กำหนดให้

$$N = \text{ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจากแป้งมันสำปะหลัง}$$

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่

1.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการคัดแปร

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวกระทำแทนที่สามารถแทรกซึมผ่านเมือคั้งเพิ่มขึ้น (Lim, Liang, and Seib, 1992) Carr, และ Bagby(1981) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคั้งแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียสจะลดลง, Hubbard(1981)ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคั้งแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าอุณหภูมิที่ใช้คั้งแปรไม่ควรเกิน 50 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดเจลาติโนเซชัน, Khalil, Farag และ Hashem(1993)ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคั้งแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 40-70 องศาเซลเซียส และ Khalil, Hashem และ Hebeish(1995) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคั้งแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท esterification พบว่าระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 เป็น 60 และ 70 องศาเซลเซียส

1.3.2 อิทธิพลของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ หรือค่า pH

การคั้งแปรแป้งโดยปฏิกิริยาการแทนที่ในระบบที่เป็นน้ำ ปฏิกิริยาเกิดในภาวะที่เป็นคั้ง เพราะกลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบ base หรือ alkaline catalyst (Khalil และคณะ, 1993 ; Carr and Bagby , 1981) จึงคั้งเติม alkaline metal หรือ alkaline earth metal hydroxide เช่น ไฮเดียมไฮดรอกไซด์ , ลิเทียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น โดยใช้ปริมาณ 0.02-0.4 โมลต่อแป้ง (Caracci and Yoshida, 1973) หรือปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 9-13 (Goldstein และคณะ, 1966)

Carr และ Bagby (1981) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มถึงจุดหนึ่ง ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะลดลง, Hubbard (1981) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคัดแปร โดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 11-12, Khalil และคณะ(1993) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคัดแปร โดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มถึงจุดๆหนึ่งการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะลดลง

1.3.3 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการคัดแปร

Carr และ Bagby (1981) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการคัดแปรเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งถึงแม้จะเพิ่มเวลา ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ก็ไม่เพิ่มขึ้น, Hubbard(1981) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าเวลาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 12-20 ชั่วโมง, Khalil และคณะ(1993) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าระดับการแทนที่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการคัดแปรเพิ่มขึ้นจาก 0.25-2 ชั่วโมง, Khalil และคณะ(1995) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งคัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท estherification พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการคัดแปรเพิ่มขึ้นจาก 0.5-4.0 นาที

1.3.4 อิทธิพลของตัวกระทำแทนที่(substituent reagent)

Carr และ Bagby (1981) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวกระทำแทนที่ (3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride) เพิ่มขึ้น, Aiyeye, Akingbala และ Oguntimein (1993) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ประเภท esterification พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวกระทำแทนที่ (glacial acetic acid) และเกิดได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 13.9 โมลาร์ แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะลดลง, Khalil และคณะ (1993) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวกระทำแทนที่ (3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride) แต่เมื่อถึงจุดๆหนึ่งเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวกระทำแทนที่พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาจะต่ำลง, Khalil และคณะ (1995) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ประเภท esterification พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของตัวกระทำแทนที่ (acetic anhydride) เพิ่มขึ้น

1.3.5 อิทธิพลของความเข้มข้นแป้ง

Carr และ Bagby (1981) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแป้ง โดยจะมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 35 แต่ที่ความเข้มข้นมากกว่านี้ จะมีค่าลดลง, Aiyeye และคณะ (1993) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการ

แทนที่ ประเภท esterification พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง และจะมีค่ามากที่สุดที่ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 25 แต่จะลดลง เมื่อความเข้มข้นแป้งมากกว่านี้, Khalil และคณะ(1993) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งตัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ประเภท etherification ชนิดแป้งประจุบวก พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแป้ง โดยจะมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 20 และ 30 แต่ถ้าความเข้มข้นแป้งมากกว่าร้อยละ 30 ระดับการแทนที่ จะลดลง, Khalil และคณะ(1995) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งตัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ประเภท esterification พบว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะเกิดได้สูงสุดที่ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 25 แต่ที่ความเข้มข้นแป้งมากกว่านี้ ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา และระดับการแทนที่ จะลดลง

1.4 ประโยชน์โดยทั่วไปของแป้งตัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่

1.4.1 ในอุตสาหกรรมกระดาษ ดังในงานวิจัย

Marton, J. และ Marton, T. (1976) ศึกษาว่าแป้งประจุบวกสามารถปรับปรุงพันธะระหว่างเส้นใย เพิ่มความแข็งแรงของผิวกระดาษ เพิ่มอัตราการระบายน้ำ และการดกค้ำงของเศษเยื่อ

Harvey และคณะ(1982) รายงานผลที่ได้จากการเติมแป้งประจุบวกมีมากมายคือ เพิ่มการดกค้ำงของเศษเยื่อ และฟิลเตอร์ ปรับปรุงความต้านทานแรงดึง ปรับปรุงความยืดตัว(elongation) ปรับปรุงความต้านทานการพับ(folding endurance) ปรับปรุงความแข็งแรงผิว(pick resistance) ปรับปรุงสก๊อตบอนด์(scott bond) เพิ่มอัตราการระบายน้ำ ปรับปรุงความต้านทานแรงดันตะรุ เพิ่มประสิทธิภาพความต้านทานการซึมน้ำ เพิ่มความแข็งแรงเมื่อเปียก ปรับปรุงความสามารถในการทรงรูป ลดความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี(Biochemical Oxygen Demand : BOD)

Brouwer(1991)ได้ทดลองเติมแป้งเพื่อทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารช่วยเพิ่มการคก้างสรุปว่า

- เติมแป้งเพียงอย่างเดียวช่วยเพิ่มการคก้างเล็กน้อย
- เติมสารช่วยเพิ่มการคก้างอย่างเดียวให้การคก้างดีกว่าเติมแป้งเพียงอย่างเดียว
- เติมทั้งแป้ง และสารช่วยเพิ่มการคก้างให้ผลดีกว่า เติมเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศไทย มีการนำเศษกระดาษกลับมาใช้ใหม่สูงถึงร้อยละ 50 (สมโพธิ หอมจัญญ, 2537) และยิ่งกระแสอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทวีความรุนแรงขึ้น กอปรกับราคาของเยื่อกระดาษมีราคาแพงขึ้น เพราะวัตถุดิบในการผลิตเยื่อลดลง ทำให้ราคาของเยื่อกระดาษสูงขึ้นตามไปด้วย ในการนำเศษกระดาษกลับมาใช้ใหม่นี้ปัญหาที่ต้องคำนึงถึงคือ เศษกระดาษมีข้อจำกัดด้านความเหนียว เพราะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง ซึ่งส่งผลให้เส้นใยถูกตัดสั้นลงทำให้ความแข็งแรงของเส้นใย(fiber strength)ลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลให้เมื่อผลิตเป็นกระดาษแล้วจะได้ความเหนียวของกระดาษต่ำเกินไป ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการเติมสารเพิ่มความเหนียวเช่น แป้งลงไป มีการใช้แป้งในอุตสาหกรรมกระดาษมานานแล้ว ก่อนที่จะมีการคิดเครื่องจักรผลิตกระดาษเยื่ออีก ขั้นตอนในอุตสาหกรรมกระดาษที่มีการใช้แป้งคือ

(Kweon, Bhirud and Solsulki, 1996)

1. ชั้น wet-end เป็นขั้นตอนที่เติมแป้งลงไปผสมกับน้ำเยื่อก่อนการเดินแผ่น
2. หลังการเดินแผ่นกระดาษจะมีการสเปรย์แป้งเพื่อฉาบผิวกระดาษ (surface sizing)

แป้งที่ใช้ wet-end ที่ดีควรมีลักษณะดังนี้ (Scott, 1992)

1. กระจายตัวง่าย แป้งประจุบวกสามารถกระจายในน้ำได้ดี (Lim, Liang and Seib, 1992)

2. การดกค้ำคิ แป้งจะทำหน้าที่ได้ดี เมื่อดกค้ำอยู่บนกระดาษเท่านั้น ถ้าการดกค้ำต่ำ แป้งจะอยู่ในระบบและน้ำหมุนเวียนกลายเป็นเศษประจุลบ และบวก และจะรบกวนระบบในที่สุด

3. ไม่เสื่อมสภาพ

1.4.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น แป้งดัดแปรมีความสำคัญไม่น้อย เพราะด้ายที่จะใช้สำหรับ ทอต้องผ่านการชุบแป้งก่อนจึงนำมาทอเป็นผืนได้ เพื่อให้ด้ายนั้นลื่น เรียบ และไม่มันจนเวลาที่ทอ ทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบิดหมุนให้ดีขึ้น งานวิจัยที่มีการนำแป้งดัดแปรมาใช้ใน อุตสาหกรรมสิ่งทอคือ Hasuly, Solark และ Jarowenko (1983) พบว่า diethylaminoalkyl starch ที่มีไนโตรเจนร้อยละ 0.5-0.9 จะมีสมบัติคือมีความหนืดคงที่ และใช้เคลือบเส้นด้าย, Solarek (1986) พบว่าน้ำยาปรับผ้ามีการใช้แป้งดัดแปรพวก glycidyltrimethylammonium chloride และ ethylene หรือ propylene oxide และพบว่าใช้ quaternary ammonium starch เดิมลงในน้ำยาซักกริด เพื่อปรับปรุงความเรียบของผ้า

1.4.3 อุตสาหกรรมน้ำยาซักล้าง และเครื่องสำอางค์

Solarek (1986) พบว่า hydroxyalkylated, quaternary ammonium starch ether มาใช้ใน ผลิตภัณฑ์แชมพู, แป้งมันฝรั่งที่มี quaternary nitrogen ร้อยละ 2.63 นำมาใช้ในน้ำยาล้างจานเพื่อ ป้องกันการเป็นคราบของน้ำ, quaternary ammonium starch ether ที่มีค่าระคายเคืองแทนที่ 0.1-0.45 มาใช้เป็น emulsifier ในอิมัลชันพวก oil-in-water และ water-in-oil ในปริมาณ 10-75 ppm และ พบว่ามีการนำ tertiary aminoalkyl starch ether มาใช้ใน hair-holding

1.4.4 อุตสาหกรรมการทำกาวย

Solarek (1986) มีการทำกาวยโดยใช้ส่วนผสมของ quaternary ammonium starch ether, oxidized starch และ แป้งข้าวโพด, ใช้ diethylaminoethyl starch ether เป็นกาวยใช้ใน paperboard เพื่อปรับปรุงความแข็งแรง

1.5 ดังปฏิกรณ์ (Reactor)

การออกแบบดังปฏิกรณ์แต่ละชนิดอาจแตกต่างกันไปตามความประสงค์ในการคิดแปรแปง แต่โดยทั่วไปจะต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานคือ มีความแข็งแรง มีระบบการกวนดี มีระบบควบคุมอุณหภูมิ มีที่เก็บตัวอย่างสะดวก ด้านในของถังกวนมีพื้นผิวเรียบ ทนต่อการกัดกร่อน และทำจากวัสดุราคาถูกแต่มีคุณภาพตามต้องการ

ลักษณะของใบพัดของเครื่องกวน (Robert, 1996)

การออกแบบเครื่องกวน เพื่อให้เหมาะสมกับภาวะของไหล และให้มีตัวใบพัดใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด ควรเลือกใบพัดที่ให้ประสิทธิภาพการกวนสูง

ลักษณะของใบพัดเครื่องกวน อาจแบ่งตามประเภทของการทำงานได้ 4 ชนิดดังนี้

1. propellers เป็นใบพัดของเครื่องกวนใช้กับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ไม่มีแรงต้านทานในเรื่องของขนาด และรูปร่างของภาชนะ ปริมาตรการไหลส่งของเหลวไปรอบๆเกิดขึ้นด้วยการหมุนที่สูง อัตราการไหลมีผลต่อการกำหนดตัวใบพัดมาก ตัวอย่างเช่น

1.2 การออกแบบ ปัจจุบัน propeller ปรับปรุงใช้กับเรือเดินทะเลได้ทั่วไป ลักษณะเป็นใบพัดสามใบ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แสดงถึงวิวัฒนาการของรูปแบบใบพัดจากสองใบเป็นสี่ใบ

1.2 ความบิดของใบพัด(pitch) ใบพัดแต่ละใบเอียงห่างกันอย่างต่อเนื่องจากต้นถึงปลายใบ

1.3 แขน(hand) ระยะใบพัดมีความสัมพันธ์กับทิศทางการหมุน เมื่อใบพัดหมุนตามเข็มนาฬิกา หรือจากซ้ายไปขวา(left-handed propeller) เมื่อมองจากด้านบนของโหลถูกผลัดลงด้านล่าง ในทางตรงกันข้ามเมื่อใบพัดหมุนทวนเข็มนาฬิกา หรือจากขวาไปซ้าย(right-handed propeller) ของโหลถูกผลัดขึ้นด้านบนที่ภาวะการทำงานที่เหมือนกัน การผลิตใบพัดควมต่างๆมีมาตรฐานการออกแบบไม่เหมือนกันทุกชนิด

2. turbines เป็นใบพัดของเครื่องกวนที่มีการใช้ประโยชน์ต่างๆ อย่างกว้างขวาง โดยไม่กล่าวถึงการออกแบบ และลักษณะของการไหล A.I.Ch.E. "Standard Test Procedure for Impeller-Type Mixing Equipment" (1960) กำหนด turbine เป็นใบพัดที่ต้องมีมุมใบพัดคงที่สัมพันธ์กับแนวตั้งมากกว่าความยาวของใบพัดทั้งหมด ใบพัดแต่ละใบตั้งอยู่ในแนวตั้งหรือที่มุมน้อยกว่า 90 องศา กับแนวตั้ง ใบพัดอาจเป็นรูปโค้งหรือแบน พื้นฐานลักษณะทางกายภาพของ turbine มี 2 ประการคือ ลักษณะใบพัดแบบแฉก และใบพัดชนิดบิดพลิกไปตามแกน รูปที่ 1.5 เป็นภาพ turbine และการพัฒนาให้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น

2.1 flat blade ใบพัดมีลักษณะตรง มองจากด้านบนและล่างเห็นเป็นแฉก ความเร็วรอบที่ใช้มีค่าอยู่ในช่วง 600-900 ฟุตต่อนาที (182.88-274.32 เมตรต่อนาที) ความกว้างใบพัดที่ใช้ทั่วไปคือ $1/5-1/8$ ของเส้นผ่านศูนย์กลาง

2.2 disk flat blade ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม ลักษณะการทำงานเหมือนกับ flat blade turbine มีข้อแตกต่างกันในเรื่องของการใช้กำลังงาน

2.3 pitched vane Brumagin (1946) กล่าวไว้ว่าใบพัดเป็นแฉก เป็นการดัดแปลงใบพัดแบบ disk อย่างง่ายเพื่อลดพื้นที่โดยทำให้ใบพัดบิดเอียงตามแนวตั้ง ข้อดีของใบพัดลักษณะนี้คือ ความเร็วรอบสูง แต่ใช้กำลังงานต่ำ ปริมาณกำลังงานที่ใช้้น้อยมาก

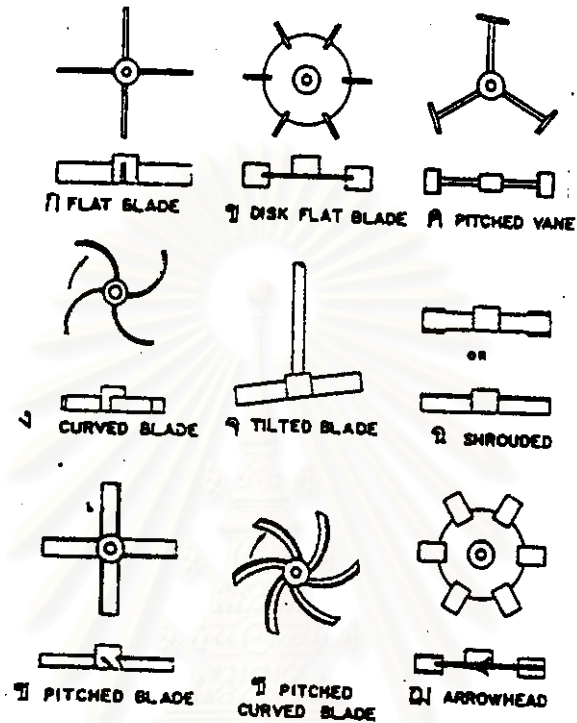
2.4 curved blade ใบพัดมีลักษณะโค้งหรือเบนเข้าข้างใน โค้งไปทางเดียวกันตลอดตามทิศทางของการหมุน

2.5 tilted blade อธิบายถึง curved blade ที่มีผลกระทบของการเพิ่มความลึกของการไหล และการปรับปรุงการทำงานทั่วไปโดยไม่ต้องเพิ่มกำลังงาน

2.6 shrouded การเพิ่มแผ่นโลหะทั้งหมด หรือบางส่วนตามแนวราบด้านบน หรือด้านล่างของ turbine ที่ไหลเป็นแฉก เพื่อควบคุมรูปแบบการไหล ในรูปที่ 1.5จ รูปบนมีแหวนเป็นวงทั้งด้านบนและด้านล่าง การออกแบบรูปต่างเป็นการนำแผ่นโลหะติดเต็มด้านบน Cooper และคณะ(1944) ใช้ใบพัดรูปแบบที่พัฒนาต่อมานี้ในการกระจายแก๊ส และเรียกว่า vaned disk ก็นำแผ่นโลหะติดเต็มด้านล่างของใบพัดซึ่งทำให้ใบพัดเข้าใกล้พื้นผิวของเหลว สามารถเพิ่มการหมุนเวียนได้มากขึ้น

2.7 pitched blade เป็นใบพัดที่มีมุมใบพัดกวากงที่มากกว่าความยาวทั้งหมดของใบพัด ลักษณะการหมุนของใบพัดเป็นไปตามแกนเดิมแต่ส่วนประกอบยังเป็นแฉก ความลาดชันของใบพัดอยู่ได้ทุกตำแหน่งจาก 0 ถึง 90 องศา แต่มาตรฐานคือ 45 องศา

2.8 pitched curved blade เป็นใบพัดที่ความบิดของใบพัด ที่โค้งเป็นการรวมผลกระทบของรูปที่ 1.5จ และ 1.5ข มาใช้ ไม่มีข้อมูลการทำงานและกำลังงาน โครงสร้างของเครื่องกวนชนิดนี้มีราคาสูง ไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานทั่วไป ยกเว้นการประยุกต์งานที่เฉพาะเจาะจงมาก



รูปที่ 1.5 ใบพัดแบบ turbine

2.9 arrowhead เป็นใบพัดที่ใช้กับการไหลแบบผสมกัน(ตามแกนและเป็นฉาก)

ศึกษาโดย Fourst และคณะ(1944) และ Olney และCarlson(1947) แต่ไม่ค่อยประสบผลสำเร็จ

3. paddles เป็นใบพัดที่เป็นการพัฒนาต่อมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการกวน พื้นฐานรูปแบบใบพัดประกอบด้วย 2 ลักษณะคือ แนวนอนหรือแนวตั้ง การออกแบบใบพัดแบ่งได้ดังรูปที่

3.1 basic paddle เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดคือ แผ่นเหล็กแบนแผ่นเดียววางตามแนวนอน อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางถึงกวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-0.9 ช่วงความเร็วรอบนอกเท่ากับ 250-450 ฟุตต่อนาที(76.2-137.16 เมตรต่อนาที) ในอเมริกาใช้อัตราส่วนความกว้างต่อเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด(W/D)1/6-1/12 แต่ยุโรปใช้ W/D ประมาณ 1/4 -1/6

3.2 reverse pitch คือการพลิกใบพัดด้านบนลงด้านล่าง ดังรูปที่ 1.6ข มุมใบพัด 45 องศา พลิกผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณสามส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องกวน และการหมุนทำให้เกิดการไหลในส่วนด้านบนเพิ่มขึ้น

3.3 glassed steel ใบพัดมี 3 ใบ เกลือบด้วยแก้ว ใบพัดแต่ละใบบิดประมาณ 30 องศา จากแนวตั้งหรือโค้ง ส่วนมากมักใช้งานกับของไหลที่มีความหนืดต่ำ

3.4 anchor-ใบพัดที่มีรูปร่างคล้ายกันดังเป็นรูปสมอ หรือรูปเกือกม้า ขนาดของใบพัดจำกัดด้วยความยาวของเส้นสัมผัสถึงกวมที่ต่ำหรือใบพัดสูงต่อเนื่องขึ้นตามผนังด้านข้างถึงกวม ช่องว่างระหว่างใบพัด และผนังถึงกวมประมาณ 1/8-3นิ้ว ขึ้นกับเส้นผ่านศูนย์กลางถึง และการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้น

3.5 leaf เป็นใบพัดที่มีอัตราส่วน W/Dมากที่สุด

3.6 gate นำแขนใบพัดจำนวนมากมาต่อกันตามแนวตั้ง การออกแบบนี้มักนำมาใช้กับถึงกวมที่มีขนาดใหญ่

3.7 finger การนำใบพัดมาต่อรวมกันตามแนวตั้งและมีแผ่นกันแทรก ดังรูปที่ 1.6ข ใบพัดแบบนี้ใช้กันมานานแต่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับกำลังงานหรือการทำงาน การใช้งานเหมาะกับถึงกวมขนาดเล็กแบบกะ (น้อยกว่า 1000 แกลลอน) เพราะการออกแบบโครงสร้างทำได้ยาก

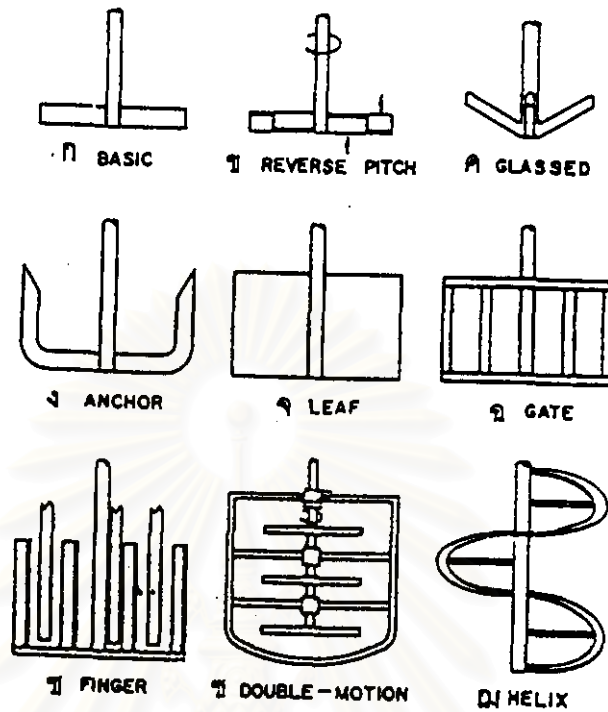
3.8 double-motion เป็นการนำใบพัดแบบ gate, anchor และ multiple-pitched มารวมกัน การหมุนของสองส่วนสวนทางกัน การจับเคลื่อนเฉพาะที่มีการหมุนสวนทางกันออกจากแกนที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน การใช้เหมาะกับงานที่มีปัญหาที่ต้องการการกวนผสมที่รุนแรงของของไหลที่เป็นนอนนิวโทเนียน (very non-Newtonian Fluid)

3.9 helix รูปร่างภายนอกของใบพัดชนิดนี้มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับ basic paddle น้อยที่สุด ใบพัดนี้ทำงานในช่วงการไหลแบบราบเรียบใบพัดปกติเข้ายึด $1/3-1/5$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางถึง helix ribbon มีเส้นผ่านศูนย์กลางเกือบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางถึง ดังรูปที่ 1.6๗ ในอดีตไม่ค่อยนิยมใช้ แต่ใบพัดชนิดนี้ได้นำกลับมาใช้อีกโดย Nagata และคณะ(1957) และยังนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม

4. high sheer impellers ใบพัดชนิดนี้เหมาะกับงานที่มีเลขเรย์โนลด์สูง, ความเร็วรอบสูง และพื้นที่ใบพัดน้อย ลักษณะเฉพาะของเครื่องกวนคือ การไหลต่ำ ความเร็วสูง ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแฉก ดังรูปที่ 1.7 แบ่งได้ดังนี้

4.1 disk แผ่นเหล็กกลมแบน สามารถทำงานที่ความเร็วรอบสูงมีความสัมพันธ์กับความต้องการกำลังงานต่ำ และใช้งานได้ดีกับของเหลวที่มีความหนืดต่ำมากเท่านั้น ดังรูปที่ 1.7ก

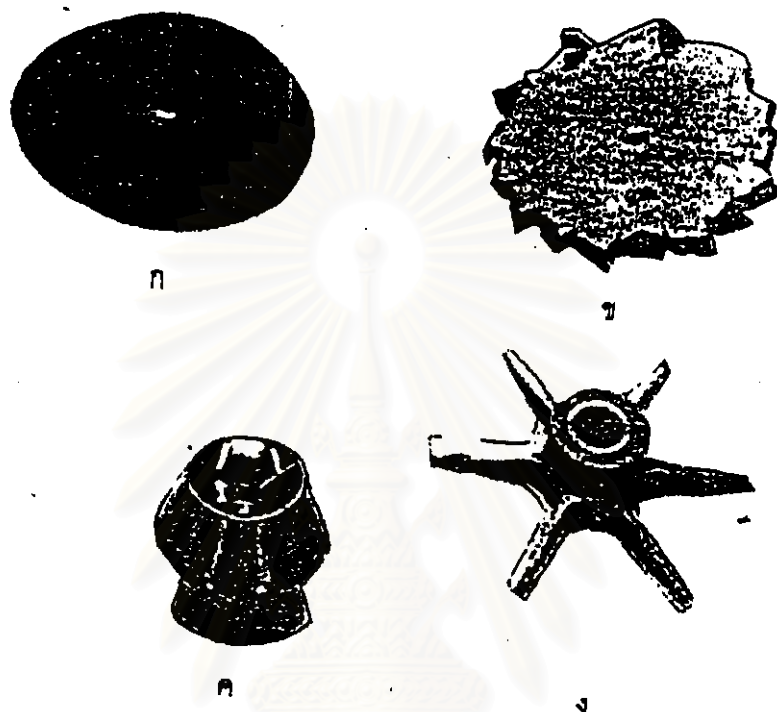
4.2 modified disk การออกแบบให้ขอบของแผ่นเหล็กกลมมีลักษณะเป็นฟันเลื่อย ดังรูปที่ 1.7ข ในทางตรงกันข้าม การปรับปรุงนี้ไม่ได้ทำให้ลักษณะแรงเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ทำให้แผ่นเหล็กกลมมีความสามารถขยายการไหลได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 1.6 เครื่องกวนใบพัดแบบ paddle

4.3 modified cone ใบพัดเป็น รูปคล้ายกรวย ปลายเปิดทั้งสองด้าน และมีจุดศูนย์กลางร่วมกับบนแกน มีการใช้กันกว้างขวางสำหรับการทำให้กระจาย ทำให้เป็นแจกตลอดความยาวด้านข้างของช่อง ดังรูปที่ 1.7ก

4.4 modified turbine การออกแบบใบพัดแผ่นแบนให้เร็วแหลมดังรูปที่ 1.7ง การปรับปรุงนี้ทำให้ความสามารถการไหลต่ำได้ตามระดับที่ต้องการ ซึ่งเป็นการใช้กำลังให้ได้ประโยชน์มากที่สุด แต่ยังคงการลักษณะแรงเฉือนรอบนอก



รูปที่ 1.7 ใบพัดในเครื่องกวนมีแรงเฉือนสูง

4.5 reciprocation impeller ใบพัดประเภทนี้เป็นการปะทะที่อิสระ ในอเมริกาใช้
 ประโยชน์กับหม้อน้ำขนาดเล็กที่มีขนาดกวาดไซลิโนยด์

มุมมองของใจในการทำวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังพัฒนาอุตสาหกรรม ปิโตรเคมีซึ่งสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมก็คือ วัตถุดิบที่หาง่าย และราคาถูก เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมาตั้งแต่อดีต ผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศมีหลายชนิด ปริมาณมาก และราคาถูก เช่น แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ปลูกกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย ไม่ต้องการน้ำและปุ๋ยมากนัก ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี สะดวกในการดูแลรักษา ไม่มีแมลง และโรคพืชรบกวน ทำให้ประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี ดังตารางที่ 1.4

ดังนั้นถ้าอุตสาหกรรมสามารถใช้วัตถุดิบจากผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น แป้งมันสำปะหลัง จะทำให้อุตสาหกรรมนั้นๆดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนอกจากจะส่งเสริมการนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ตามนโยบายมันสำปะหลังปี 2537-2541 แล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของแป้งมันสำปะหลัง และลดปริมาณการนำเข้าแป้งคัดแปรจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง โดยส่งออกในรูปแบบแป้งมันสำปะหลังคัดแปร ซึ่งต้นทุนในการคัดแปรในต่างประเทศอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำและมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงทำการคัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิบัติการแทนที่

ตารางที่ 12 ผลผลิตและราคามันต่ำปะหลัง พ.ศ. 2529-2538 (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2539)

พ.ศ.	ผลผลิต(×1000ตัน)	ราคาที่เกษตรกรขายได้(บาท/กิโลกรัม)
2530	19,554	0.90
2531	22,307	0.60
2532	24,264	0.54
2533	20,701	0.64
2534	19,705	0.83
2535	20,356	0.77
2536	20,203	0.66
2537	19,091	0.58
2538	16,217	1.15
2539	17,388	0.98

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ดัดแปรแป้งมันต่ำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ประเภท tertiary aminoalkyl starch และ quaternary ammonium starch ศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (physicochemical properties) และภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลที่บ่งชี้ถึงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด tertiary aminoalkyl starch และ quaternary ammonium starch เพื่อเพิ่มคุณค่าแป้งมันสำปะหลัง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย