บทที่ 2 การทบทวนผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติของสตาร์ชข้าวและมันสำปะหลัง

2.1.1 องค์ประกอบของสตาร์ช

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 ภายในเม็ดสตาร์ชจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะมิโลสและอะมิโลเพคติน อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 250-2,000 หน่วย มาเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ ∞-1,4-Glucosidic linkage (Zobel and Stephen, 1995) โมเลกุลอะมิโลสจะมีน้ำหนักประมาณ 10^6 ดาลตัน ซึ่งสตาร์ชแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุล (degree of polymerization, DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน สตาร์ชที่มีโมเลกุลอะมิโลสสายยาวจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง (Whistler and Bemiller, 1999) อะมิโลสมีบทบาทในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ชที่ผ่านการสุก ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์และลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การขับน้ำออกจากเจลอะมิโลเพคติน เป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง (branched structure) ซึ่งสายพอลิเมอร์เกิดจากหน่วยกลูโคสมาเชื่อมต่อกัน โดยประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ ∞-1,4-Glucosidic linkage และส่วนแตกเป็นกิ่ง (branching point) เชื่อมต่อด้วยพันธะ ∞-1,6-Glucosidic linkage อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^7-10^9 ดาลตัน ซึ่งสูงกว่าของอะมิโลสมาก (Zobel and Stephen, 1995)

สตาร์ชแต่ละชนิดประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน สตาร์ชมันสำปะหลังจัดว่าเป็นสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างต่ำ จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มพบว่าปริมาณอะมิโลสของแป้งมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันเป็นดังนี้ 17-24 เปอร์เซ็นต์ (Moorthy and Ramanujam, 1986) 16-20 เปอร์เซ็นต์ (Asoaka *et al.*, 1991), 24.3 เปอร์เซ็นต์ (Kasemsuwan *et al.*, 1998) 18-24 เปอร์เซ็นต์ (Defloor *et al.*, 1998), 17.3 เปอร์เซ็นต์ (Sriburi, 1999), และ 19.8 เปอร์เซ็นต์ (Gunaratne and Hoover, 2002) และจากการศึกษาของ Pongsawatmanit *et al.* (2002) พบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลสโดยเฉลี่ยเท่ากับ 17.0 เปอร์เซ็นต์และมีจำนวนโมเลกุลกลูโคส (Degree of polymerization) เท่ากับ 2,760 หน่วยกลูโคส

สำหรับสตาร์ชข้าวมีปริมาณอะไมโลส หลายระดับขึ้นอยู่กับชนิดหรือพันธ์ข้าว ข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสต่ำมาก (0-5 เปอร์เซ็นต์) ส่วนข้าวเจ้าสมารถจัดกลุ่มได้ตามปริมาณอะมิโลสได้แก่ กลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมาก จะมีค่าอยู่ในช่วง 5 -12 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ จะมีค่าอยู่ในช่วง 12 - 20 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง จะมีค่าอยู่ในช่วง 20 - 25 เปอร์เซ็นต์และ กลุ่มที่มีปริมาณอะไมโลสสูง จะมีค่าอยู่ในช่วง 25 - 33 เปอร์เซ็นต์ (Juliano, 1992)

นอกจากอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแล้วในสตาร์ชอาจมีองค์ประกอบอื่นๆ อยู่ด้วยในปริมาณน้อย เช่น ไขมัน โปรตีน หรือเถ้า Pongsawatmanit *et al.* (2002) ศึกษาพบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า 0.11, 0.07, 0.12 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ของสตาร์ชข้าวประกอบด้วย โปรตีน 0.69- 0.73 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.8 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 0.25 - 0.27 เปอร์เซ็นต์และฟอสฟอรัส 0.1เปอร์เซ็นต์ (Raina *et al.*, 2007)

2.1.2 รูปร่างและขนาดเม็ดสตาร์ช

สตาร์ชมันสำปะหลังมีรูปร่างกลมและปลายด้านหนึ่งเป็นรอยตัด (Rickard *et al.*, 1991; Sriroth *et al.*, 1999) มีขนาดเม็ดสตาร์ชอยู่ในช่วงระหว่าง 3-32 ไมโครเมตร หรือโดยเฉลี่ย 19.5-23.6 μm (Defloor *et al.*, 1998); 5-20 ไมโครเมตร (Kasemsuwan *et al.*, 1998); 5-45 ไมโครเมตร (Gunaratne and Hoover, 2002) ขณะที่เม็ดสตาร์ชข้าวมีรูปร่างเป็นแบบหลายเหลี่ยม และมีขนาดเฉลี่ย

อยู่ในช่วง 3.0 - 5.0 ไมโครเมตร (Singh *et al.*, 2003) หรือ 3-8 ไมโครเมตร (Ellis *et al.*, 1998) โดยเม็ดสตาร์ชข้าวจะอยู่รวมกลุ่มกันประมาณ 20 และ 60 เม็ด ทำให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้นเป็น 150 ไมโครเมตร (Juliano, 1985) ขณะที่ รุ่งนภาและคณะ (2546) พบว่าสตาร์ชข้าวไทยจำนวน 16 พันธุ์ มีขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชคล้ายกัน มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชอยู่ในช่วงแคบระหว่าง 3-12 ไมโครเมตร และส่วนใหญ่จะมีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 6 -9 ไมโครเมตร

ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังโดยการตรวจด้วยเครื่อง X-ray difraองศาสเซลเซียstometer เป็นทั้งแบบ A (Sriburi, 1999; Gunaratne and Hoover, 2002) แบบองศาสเซลเซียสที่ใกล้เคียงกับแบบ A (C_A) (Asoaka *et al.*, 1991; Kasemsuwan *et al.*, 1998) คือมีลักษณะอยู่ระหว่าง A และB ซึ่งสามารถพบในมันสำปะหลังที่ปลูกในที่ อุณหภูมิต่ำ (Blanshard, 1987) ขณะที่โครงสร้างผลึกของสตาร์ชข้าวเป็นแบบ A (Tongdang, 2001; Noosuk *et al.*, 2003)

2.1.3 การเกิดเจลาติไนเซชั่น

กระบวนการเจลาติไนเซชั่น เกิดได้เมื่อมีการให้ความร้อนกับสารละลายสตาร์ช จะทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลคลายตัวและถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำสามารถจับกับหมู่ ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระทำให้สตาร์ชสูญเสียความสามารถในการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ เกิดการพองตัว ความหนืดเพิ่มขึ้น เม็ดสตาร์ชแตก โมเลกุลอะมิโลสถูกปลดปล่อยจากเม็ดสตาร์ชและเกิดการละลาย ชัน (Atwell *et al.*, 1988; Blanshard, 1987; Biliaderis *et al.*, 1980; Donovan, 1979; Evans and Haisman, 1982; Stevens and Elton, 1981; Zobel *et al.*, 1988) การเกิดเจลาติไนเซชันสามารถตรวจสอบได้โดยดูการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างแบบไบฟรินเจนส์ซึ่งสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีแสงโพลาไรซ์ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบโดยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) โดยตรวจวัดช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่น (Gelatinization temperature) และปริมาณพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาติไนเซชัน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการเกิดเจลาติไนเซชั่นเช่น กำลังการพองตัว ความสามารถในการละลาย และการเปลี่ยนแปลงความหนืดก็มีวิธีการตรวจสอบเช่นกัน อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ เช่น สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ปริมาณไขมัน รวมทั้งการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเม็ดสตาร์ช

สตาร์ชมันสำปะหลัง มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ อยู่ระหว่าง 61.5-82 องศาเซลเซียส (Kasemsuwan *et al.*, 1998) 54-82 (Defloor *et al.*, 1998), 63-81.5 องศาเซลเซียส (Gunaratne and Hoover, 2002) 64.5-71.0 องศาเซลเซียส (Li and Yeh, 2001) และมีค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน (enthalpy, ΔH) เท่ากับ 13.0 จูลต่อกรัม (Hung and Morita, 2005)

สตาร์ชข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (12-20 เปอร์เซ็นต์) มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชั่นอยู่ในช่วง 68.92-76.86 องศาเซลเซียส และใช้พลังงานในการทำลายพันธะภายในเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้า เท่ากับ 14.98 จูลต่อกรัม (Raina *et al.*, 2006)

ในระหว่างการให้ความร้อนและเกิดเจลาติไนเซชั่นเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวในระหว่างการให้ความร้อน RVA ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-95-50 องศาสเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ที่ 67.05 องศาเซลเซียสมีค่าความหนืดสูงสุดซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากเม็ดสตาร์ชมีการดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวเต็มที่ (peak viscosity) เท่ากับ 4994 เซ็นติพอยท์ มีค่าความหนืดที่อุณหภูมิสูง หรือความหรือต่ำสุด (trough viscosity) เท่ากับ 2076 เซ็นติพอยท์ เป็นค่าความหนืดที่มีการคงไว้ที่อุณหภูมิ 95 องศาสเซลเซียส ในขณะที่เม็ดสตาร์ชมีการแตกตัวจึงทำให้มีค่าความหนืดลดลง และมีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เท่ากับ 7075 เซ็นติพอยท์ เป็นความหนืดที่เกิดขึ้น เมื่อสตาร์ชเปียกของสตาร์ชข้าวเจ้าเย็นตัวลงทำ ให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของ

โมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ชสาลีที่แตกตัว มีความแตกต่างของค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุด เท่ากับ 2915 เซ็นติพอยท์ และมีผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายและความหนืดสูงสุดเท่ากับ 4999 เซ็นติพอยท์ (Raina *et al*, 2006)

2.1.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

หลังการเกิดเจลาติไนเซชั่น เม็ดสตาร์ชเกิดการแตกตัว โมเลกุลของอะมิโลสถูกปลดปล่อยจากเม็ดสตาร์ช เมื่อปล่อยสารละลายสตาร์ชให้เย็นตัวลง โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันโดยเฉพาะโมเลกุลอะมิโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้เร็วกว่า อะมิโลเพคติน ทำให้เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ (recrystallization) ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดซับน้ำเข้ามาอีก (Whistler and Bemiller, 1999) ทำให้สตาร์ชมีความหนืดเพิ่มขึ้นและคงตัวมากขึ้นเกิดเจลเหนียว ขุ่นและทึบแสง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัว (Atwell *et al.*, 1988) และเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกนอกเจล ซึ่งจะเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า การแยกตัวของน้ำ (syneresis) ซึ่งการคืนตัวของสตาร์ชหากเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Hermanson and Svegmark, 1996) การรีโทรเกรเดชันมีผลกระทบต่อคุณภาพของลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ ในกระบวนการผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวและกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ มีผลทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชัน เช่น การทำแห้ง การทอด การอบ เป็นต้น ซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสกรอบ (Huang and Rooney, 2001) การตรวจสอบการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช อาจจะประมาณได้จากค่าการคืนตัว ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด ซึ่งสามารถใช้เครื่อง Brabender หรือ RVA ในการวิเคราะห์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยนำสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนเซชันแล้วบ่มในสภาวะที่กำหนดเพื่อให้เกิดรีโทรเกรเดชันแล้วนำสตาร์ชไปตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC แล้วบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ ซึ่งค่ารีโทรเกรเดชันของสตาร์ชจะสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของเอนทัลปีของสตาร์ชที่เกิดรีโทรเกรเดชันต่อค่า เอนทัลปีของสตาร์ชที่ผ่านการเกิดเจลาติไนเซชัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

2.2 สมบัติสตาร์ชผสม

สมบัติของสตาร์ชผสมขึ้นอยู่กับชนิดและสัดส่วนของสตาร์ชที่นำมาผสมกัน เช่น คุณสมบัติทางด้านความหนืด ความใส การเกิดรีโทรเกรเดชัน และความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายของสตาร์ชผสมแต่ละชนิด ที่สัดส่วนเดียวกัน จะให้ค่าที่แตกต่างกันออกไป และสตาร์ชผสมชนิดเดียวกัน ที่สัดส่วนแตกต่างกัน จะให้ค่าที่แตกต่างกันด้วย มีรายงานการศึกษาสมบัติของสตาร์ชผสมเช่น สตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวโพด (Wang *et al.*, 2000) สตาร์ชชุบทอด ระหว่างข้าวกับข้าวโพด สตาร์ชสาลีและสตาร์ชข้าว Xue and Ngadi (2006) สตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ช กล้วย สตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ช กล้วย (Bello-Perez *et al.*, 2001)

นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้สตาร์ชผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่นสมบัติของเส้นบะหมี่จีนที่เตรียมจากสตาร์ชสาลีผสมกับสตาร์ชมันสำปะหลัง (Charles *et al*, 2007) วุ้นเส้นด้วยสตาร์ชมันสำปะหลังผสมกับสตาร์ชเปียกของสตาร์ชข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูง (Kaseamsuwan *et al.*, 1998)

Kaseamsuwan *et al.* (1998) ศึกษาการเตรียมวุ้นเส้น โดยการใช้สตาร์ชผสมระหว่างสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรโดยวิธี ครอสลิงก์ กับสตาร์ชข้าวโพดอะมิโลสูง พบว่าได้วุ้นเส้นที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากกว่าวุ้นเส้นจากสตาร์ชถั่วเขียว อย่างไรตามผู้วิจัยไม่ได้ศึกษาสมบัติ ของสตาร์ชผสม

สมบัติของสตาร์ชสาคูมีความคล้ายคลึงกับสตาร์ชมันสำปะหลังกับสตาร์ชมันสำปะหลังในแง่ของ กำลังการพองตัว การละลาย อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่น ความหนืดสูงสุด และอุณหภูมิ ณ. ภาวะที่มีความหนืดสูงสุด ส่วนการเกิด รีโทรเกรเดชั่นมีความคล้ายคลึงกับสตาร์ชข้าวโพด (Maaruf *et al.*, 2001) อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการศึกษา ว่าหากผสม สตาร์ช สอง ชนิดนี้เข้าด้วยกันแล้ว สมบัติต่างๆ จะเหมือนเดิมหรือเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร และส่งผลอย่างไรต่อลักษณะผลิตภัณฑ์

Wang *et al.* (2000) ศึกษาคุณสมบัติของสตาร์ชผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวโพด ในสัดส่วน 3:1 และ 1:3 โดยน้ำหนัก พบว่า อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวโพด ในสัดส่วน 3:1 และ 1:3 มีค่าเท่ากับ 83.0 และ 84.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าว ที่มีค่าเท่ากับ 87.0 องศาเซลเซียส แต่มีค่าไม่แตกต่างจากอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวโพด ที่มีค่าเท่ากับ 83.0 องศาเซลเซียส สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดจากเม็ดสตาร์ชข้าวโพดในสตาร์ชผสมเกิดการพองตัวก่อน ในขณะที่ได้รับความร้อน

Karim *et al.* (2001) ศึกษาคุณสมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวโพด ในสัดส่วน 75:25 50:50 และ 75:25 และวิเคราะห์ไคเนติกส์การเกิดรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 5 15 และ 25 องศาเซลเซียส ของสตาร์ชผสมดังกล่าว ด้วยสมการ Avrami ผลการศึกษา พบว่าไคเนติกส์การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชผสมระหว่างสตาร์ชผสม มีค่าไม่แตกต่างจากไคเนติกส์การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวอย่างมีนัยสำคัญหรืออาจกล่าวได้ว่าสตาร์ชข้าวมีอิทธิพลในการควบคุมการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวโพด ในสัดส่วนต่างๆ

Ortega-Ojeda and Eliasson (2001) ศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชันระหว่างสตาร์ชผสม 2 ชนิด คือ สตาร์ชมันฝรั่ง-สตาร์ชข้าวโพดเหนียว สตาร์ชมันฝรั่ง-สตาร์ชข้าวบาร์เล่ย์ และสตาร์ชข้าวโพดเหนียว-สตาร์ชข้าวบาร์เล่ย์ พบว่าผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ของสตาร์ชผสมยกเว้นสตาร์ชมันฝรั่ง-สตาร์ชข้าวบาร์เล่ย์ จะปรากฏพีค 2 พีค ซึ่งจะเป็นลักษณะของสตาร์ชแต่ละชนิดที่ผสมกัน กล่าวคือ การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชไม่ขึ้นอยู่กับการผสมของสตาร์ชที่แตกต่างกัน แต่ในกรณีของสตาร์ชมันฝรั่ง-สตาร์ชข้าวบาร์เล่ย์จะมีพีคเพียง 1 พีค ทั้งนี้เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของแต่ละสตาร์ชที่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน ทำให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างพีคของสตาร์ชทั้ง 2 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามการผสมสตาร์ชจะมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าการเจลาติไนเซชันของสตาร์ชชนิดเดียว

เทวีและมุทิตา (2550) ศึกษาสมบัติของสตาร์ชผสมระหว่างมันสำปะหลังกับสาคูที่มีปริมาณของสตาร์ชสาคู 6, 12, 18 และ 24 เปอร์เซ็นต์ พบว่าพฤติกรรมการพองตัวของสตาร์ชผสมในช่วงอุณหภูมิ 55-95องศาเซลเซียสมีลักษณะใกล้เคียงกับพฤติกรรมการพองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลัง นอกจากนี้อุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชผสมอยู่ในช่วงที่ครอบคลุม อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชสาคู มีผลให้ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันกว้างกว่าสตาร์ชเดี่ยว ๆ และอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสตาร์ชสาคูเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าสมบัติของสตาร์ชผสมเป็นสมบัติที่สตาร์ชทั้งสองชนิดแสดงออกร่วมกันและมีผลให้สมบัติดังกล่าวต่างไปจากสตาร์ชเดี่ยว โดยสตาร์ชผสมมีลักษณะใกล้เคียงกับสตาร์ชมันสำปะหลังมากกว่าสตาร์ชสาคู ทั้งนี้เป็นเพราะสตาร์ชผสมมีสัดส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังมากกว่าสตาร์ชสาคู และสมบัติต่างๆ ดังกล่าวจะเบี่ยงเบนไปจากสตาร์ชมันสำปะหลังมากขึ้น เมื่อปริมาณสตาร์ชสาคูเพิ่มขึ้น ขณะที่ Zaidul *et al* (2007a) ศึกษาสมบัติการเกิดสตาร์ชเปียกของสตาร์ชสาลีผสมสตาร์ชมันฝรั่งที่มีฟอสฟอรัสในระดับต่างๆ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว หรือ RVA พบว่า ความหนืดของสตาร์ชเปียกสตาร์ชผสม สูงกว่าของสตาร์ชสาลี ขณะเดียวกันผู้วิจัยกลุ่มนี้ยังได้ศึกษาสมบัติการเกิดสตาร์ชเปียกของสตาร์ชสาลีผสมกับสตาร์ชพืชหัว

(มันฝรั่ง มันเทศและ มันสำปะหลัง) และสรุปว่าสามารถใช้สตาร์ชพืชหัวทดแทนสตาร์ชสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชสาลีได้ (Zaidul *et al.*, 2007b)

2.3 สตาร์ชพรีเจล

สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch) หรือสตาร์ชพรีเจล ทางการค้าเรียกว่า อัลฟาสตาร์ช (Alpha starch) เป็นสตาร์ชดัดแปรทางกายภาพด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์ มีผลให้สตาร์ชมีสมบัติแตกต่างไปจากสตาร์ชดิบกล่าวคือ สามารถดูดซับและละลายในน้ำเย็นได้ วิธีการพรีเจลาติไนซ์ เป็นกระบวนการที่ทำให้สตาร์ช (ที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยในน้ำ) เกิดการสุก เช่น การต้มนึ่ง การใช้เครื่องมือแปรรูปบางอย่างเช่น เครื่องเอ็กทรูเดอร์ (extruder) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เครื่องทำแห้งแบบผง (spray dryer) กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ (Sheng, 1995) การผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์สามารถใช้ได้ทั้งสตาร์ชดิบและสตาร์ชดัดแปรทางเคมีชนิดต่างๆ การผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (double drum dryer) สารแขวนลอยของสตาร์ชจะถูกป้อนระหว่างช่องว่างของลูกกลิ้งทั้ง 2 ที่มีการปรับอุณหภูมิให้สูง มีผล ให้สตาร์ชสุกหรือเกิดเจลาติไนซ์และแห้ง ปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อสมบัติของสตาร์ชพรีเจลที่เตรียมด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เช่น ความเข้มข้นของสตาร์ชในสารแวนลอย อุณหภูมิของลูกกลิ้ง ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ระยะห่างของลูกกลิ้ง

Elevina *et al.* (1997) ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ความเข้มข้นของน้ำสตาร์ช 20 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งเท่ากับ 152 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ให้ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการละลาย กำลังการพองตัว มีค่าสูงกว่าสตาร์ชดิบ ความหนืดเริ่มต้นสูงกว่าสตาร์ชดิบขณะที่ความหนืดสูงสุดและอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ต่ำกว่าสตาร์ชดิบ

ระดับความเข้มข้นของน้ำสตาร์ชมีผลต่อปริมาณผลผลิตของสตาร์ชพรีเจล สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) พบว่าที่สภาวะการผลิตสตาร์ชพรีเจล คือความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.010 นิ้ว ระดับความเข้มข้นของน้ำสตาร์ช ที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดของสตาร์ชข้าวเจ้า สตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชถั่วเขียว คือ 40, 35, 40 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะให้แผ่นสตาร์ชที่บางมาก เมื่อใบมีดขูดจึงเป็นละอองไม่เป็นแผ่นทำให้สูญเสียไปมาก ในขณะที่น้ำสตาร์ชความเข้มข้นสูงจะให้แผ่นสตาร์ชที่หนาเกินไปและแห้งไม่ทันเกาะติดกันเป็นแผ่นบริเวณใบมีดทำให้สูญเสียได้มากนอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของสตาร์ชพรีเจลแตกต่างกันตามองค์ประกอบของสตาร์ช เช่นสตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูงที่สุดจึงให้ความหนืดมากกว่าสตาร์ชชนิดอื่นๆ สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูงกว่าสตาร์ชดิบมากถึง 10-20 เท่าตัว โดยจะดูดซับไว้ได้ระหว่าง 9-22 มิลลิลิตรต่อสตาร์ช 1 กรัม ขึ้นกับชนิดของสตาร์ช

ภานุมาศ รุ่งเรืองอารี (2541) ศึกษาระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เหมาะสมของเครื่องทำสตาร์ชแบบลูกกลิ้งคู่ในการผลิตสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์จากสตาร์ชข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร โดยสภาวะที่ทำการศึกษาคือ น้ำสตาร์ชเข้มข้นเปอร์เซ็นต์ 40 โดยน้ำหนักความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.25 รอบต่อนาที ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 3 ระดับ คือ 0.01, 0.015, 0.02 นิ้ว พบว่าทุกสภาวะการทดลองได้แผ่นสตาร์ชหนาประกบติดกัน เพราะมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งสูงประกอบกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่ำ ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์ได้มาก ความหนืดเพิ่มมากขึ้น แผ่นสตาร์ชที่ถูกรีดออกมาประกบติดกันและได้แผ่นสตาร์ชที่ไม่เรียบ อีกทั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งจะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01

นิ้ว จะได้แผ่นสตาร์ชที่ดีที่สุด แห้ง ไม่เรียบ ผิวย่น นอกจากนี้มีการศึกษาผลของความดันไอน้ำหรืออุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้ง 3 ระดับ คือ 10 (105 องศาเซลเซียส), 20 (115 องศาเซลเซียส) และ 30 (122 องศาเซลเซียส) ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าที่ความดันไอน้ำ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แผ่นสตาร์ชที่ได้จะหนาประกบติดกัน ส่วนที่ความดันไอน้ำ 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้วแผ่นสตาร์ชที่ได้ยังไม่แห้งเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไป ในขณะที่ความดันไอน้ำ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้วได้แผ่นสตาร์ชที่แห้งบางและเรียบมัน ไม่ประกบติดกัน เนื่องจากเป็นสภาวะที่การระเหยเป็นไปอย่างช้าและสม่ำเสมอ เมื่อศึกษาสมบัติของสตาร์ช พบว่าสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มีดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำสูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าดิบ สำหรับการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA เปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวเจ้าดิบพบว่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด และความหนืดสูงสุดของสตาร์ชพรีเจลมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าดิบ ขณะที่ความหนืดที่อุณหภูมิต่ำ (30 องศาเซลเซียส) มีค่าสูงกว่า

จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย และทิพย์สุดา ศาสกุล (2545) ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชข้าวอะมิโลสสูงพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงและลูกแดงปัตตานีโดยวิธีพรีเจลาติไนเซชันด้วยเครื่องทำสตาร์ชแบบลูกกลิ้งคู่ โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสตาร์ช 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและผลของอุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้ง 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบ 1.5 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.03 นิ้ว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำสตาร์ชเพิ่มขึ้นดัชนีการดูดซับน้ำและการละลาย รวมทั้งค่าความหนืดที่อุณหภูมิห้องและที่ 40 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และเมื่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าดูดซับน้ำ และความหนืดของสตาร์ชทั้ง 2 อุณหภูมิ มีแนวโน้มลดลงในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ แต่อุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งไม่มีผลต่อค่าการละลายอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าการละลายมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำปริมาณของแข็งในน้ำสตาร์ชมีน้อยเมื่อสัมผัสความร้อนจากลูกกลิ้งทำให้เม็ดสตาร์ชมีโอกาสเกิดเจลาติไนซ์และพองตัวสูงกว่ากรณีที่มีปริมาณของแข็งสูง สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ที่ได้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ดีส่งผลให้ความหนืดสูงด้วยเช่นกัน

Waliszewski *et al.* (2003) ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชกล้วยพันธุ์ *Musa var. valery* โดยวิธีทางเคมีร่วมกับวิธีพรีเจลาติไนซ์ พบว่าค่าการดูดซับน้ำของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มีค่าสูงกว่าสตาร์ชดิบในทุกระดับอุณหภูมิที่ทำการศึกษาและที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าสตาร์ชที่ถูกดัดแปรด้วยวิธีทางเคมี กำลังการพองตัวของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิ 50-70องศาเซลเซียส มีกำลังการพองตัวสูงที่สุดและสูงกว่าสตาร์ชดิบ เนื่องจากสตาร์ชดิบของกล้วยมีความสามารถในการละลายต่ำจึงมีการดัดแปรทางเคมีหรือวิธีพรีเจลาติไนซ์เพื่อช่วยเพิ่มการละลาย โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มีค่าการละลายสูงกว่าสตาร์ชดิบและที่ 60 องศาเซลเซียส สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มีความสามารถในการละลายสูงที่สุด