บทที่ 2

# วารสารปริทัศน์

## 2.1 การผลิตขนมปัง

### 2.1.1 ชนิดและหน้าที่ของส่วนผสม

แป้งสาลี เป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบ(baking product)ทุกชนิด องค์ประกอบที่สำคัญของแป้งสาลีได้แก่ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน ไขมัน และเถ้า แต่องค์ประกอบสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแป้งสาลีคือโปรตีนซึ่งทั้งปริมาณและคุณภาพถือเป็นปัจจัยแรกในการกำหนดความเหมาะสมที่จะนำแป้งสาลีไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่างๆ แป้งสาลีที่ผลิตขายสำหรับอุตสาหกรรมขนมอบนั้นที่สำคัญมี 3 ชนิด(7) คือ

1. แป้งขนมปัง มีโปรตีนสูง คือร้อยละ 12-14 โม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งพวก hard red spring หรือ hard red winter ใช้ในการผลิตขนมปังจืด ขนมปังหวาน และผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะทางกายภาพอันหนึ่งของแป้งชนิดนี้คือ เมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกระคายมือเนื่องจากเนื้อแป้งหยาบ มีสีครีม แป้งไม่เกาะตัวกัน และแป้งชนิดนี้ใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู

2. แป้งเอนกประสงค์ มีโปรตีนสูงปานกลาง คือร้อยละ 10-11 เป็นแป้งที่ได้จากการผสมข้าวสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่พอเหมาะใช้ทำขนมปังหวานบางชนิด เค้กบางชนิด คุกกี้ พาย และบะหมี่ แป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปังและแป้งเค้กรวมกัน สารที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์และผงฟู

3. แป้งเค้ก มีโปรตีนต่ำ คือร้อยละ 7-9 ได้จากการโม่ข้าวสาลีชนิดอ่อนพวก soft หรือ soft red winter ลักษณะของแป้งอ่อนนุ่ม เนียนละเอียด มีสีขาวกว่าสองชนิดแรก แป้งจะเกาะกันเป็นก้อนเมื่อเอานิ้วกด แป้งชนิดนี้ใช้สารเคมีช่วยทำให้ขึ้นฟูเท่านั้นไม่ใช้ยีสต์ สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ผงฟู และเบคกิ้งโซดา

องค์ประกอบของแป้งสาลี

แป้งสาลีที่ได้จากการโม่โดยแยกเอาส่วนของแป้งในเอนโดสเปิร์มออกแล้วจะมีองค์ประกอบโดยเฉลี่ยดังนี้คือ ความชื้นร้อยละ 12-14 คาร์โบไฮเดรทร้อยละ 68-76 โปรตีนร้อยละ 7.5-15 ไขมันร้อยละ 1.0-1.5 เส้นใยร้อยละ 0.4-0.5 และเถ้าร้อยละ 0.3-1.0(8)

โปรตีนที่สำคัญในแป้งสาลีคือ ไกลอะดิน(gliadin) และ กลูทินิน(glutenin) (8) เมื่อผสมแป้งสาลีกับน้ำแล้วนวด กลูทินินจะพองตัวแล้วดูดซับไกลอะดิน และโปรตีนชนิดอื่นทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า กลูเตน(gluten) ทำให้ก้อนแป้งผสม(dough)มีลักษณะเหนียว(cohesive) และยืดหยุ่น (elastic) จึงให้สมบัติในการอุ้มก๊าซและพองตัวได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งเป็นลักษณะพิเศษเฉพาะของแป้งสาลี

คาร์โบไฮเดรทส่วนใหญ่ในแป้งสาลีคือ สตาร์ช(starch) น้ำตาลชนิดต่างๆคือ ฟรุคโตส (fructose) ซูโครส(sucrose) มอลโตส(maltose) และอื่นๆมีเพียงร้อยละ 0.50 ของปริมาณคาร์โบไฮเดรททั้งหมด(8) ระหว่างนวดแป้งให้เกิดเป็นก้อนแป้งผสม สตาร์ชจะฝังอยู่ในเนื้อกลูเตน และในระหว่างการหมักก้อนแป้งผสมเพื่อทำขนมปัง สตาร์ชจะจัดเรียงตัวขนานกับโครงสร้างของกลูเตนซึ่งล้อมรอบเซลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ในขณะอบเมื่อได้รับความร้อนเซลก๊าซนี้จะขยายตัวทำให้ร่างแหกลูเตนซึ่งยืดหยุ่นได้ยืดตามออกไป ในระยะหลังของการอบสตาร์ชจะดูดซับน้ำออกจากกลูเตนเหลือเป็นโครงสร้างกลูเตนที่มีรอยแตก รอยแตกนี้มีประโยชน์เนื่องจากเป็นทางออกสำหรับก๊าซ ถ้าก๊าซไม่มีทางออกจะทำให้เกิดแรงดันสูงภายในเป็นเหตุให้ผลิตภัณฑ์ยุบหรือหดตัวลงมากเมื่อทิ้งให้เย็นลง(9) นอกจากนั้นสตาร์ชในแป้งสาลียังเป็นแหล่งอาหารให้แก่เซลยีสต์ในกระบวนการหมักอีกด้วย

นอกจากโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทซึ่งมีความสำคัญในการผลิตขนมปังแล้ว ในแป้งสาลียังมีเอนไซม์ที่สำคัญคือเบต้าอะไมเลส($\beta$ - amylase) และ อัลฟาอะไมเลส($\alpha$- amylase)(10) เอนไซม์เหล่านี้จำเป็นสำหรับการทำขนมปัง เบต้าอะไมเลสจะย่อยเดกซทริน(dextrin) และสารละลายแป้งส่วนหนึ่งให้เป็นน้ำตาลมอลโตสซึ่งจะเป็นอาหารของเซลยีสต์ในระหว่างกระบวนการหมัก ส่วนอัลฟาอะไมเลสจะย่อยสลายแป้งให้เป็นเดกซทริน

น้ำ ทำให้โปรตีนในแป้งสาลีรวมตัวกันเกิดเป็นกลูเตน ทำให้สตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์(gelatinize)ในระหว่างการอบ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและกระจายส่วนผสมต่างๆให้ทั่วก้อนแป้ง(9) แป้งสาลีที่มีโปรตีนในปริมาณสูงสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าพวกที่มีโปรตีนต่ำและยังให้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บนานกว่าด้วยเนื่องจากทำให้ขนมปังเก็บความชื้นได้มากไม่แห้งร่วนเร็ว(4) คุณภาพของน้ำมีผลต่อลักษณะก้อนแป้งผสมคือน้ำที่ pH ค่อนข้างเป็นด่างจะขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ในยีสต์ น้ำกระด้างที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมอิออนจะทำให้ก้อนแป้งผสมแข็งนวดยากและไม่ค่อยขึ้นฟู ส่วนน้ำอ่อนจะทำให้ก้อนแป้งผสมเละและติดมือหรือติดตามภาชนะที่ใช้ผสม(4)จึงควรใช้น้ำที่ pH เป็นกลางในการผลิตขนมปัง

ยีสต์ ที่ใช้ทำขนมปังเป็นสายพันธุ์ Saccharomyces cerevisiae ในประเทศไทยนิยมใช้ยีสต์ชนิดแห้ง(instant dried yeast)ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 92 แต่ในบางประเทศนิยมใช้ในรูปยีสต์สดชนิดอัดเป็นก้อน (compressed yeast) ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 70 ในขนมปังยีสต์จะใช้สารอาหารในการเกิดปฏิกิริยาหมักเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู มีปริมาตรเพิ่มขึ้น และมีกลิ่นรสเฉพาะตัวสำหรับอาหารชนิดนั้น

น้ำตาล ที่เติมในก้อนแป้งผสมในปริมาณพอเหมาะจะเป็นแหล่งอาหารสำหรับยีสต์ในกระบวนการหมัก แต่ถ้ามีการใช้น้ำตาลในปริมาณสูงเกินไปจะขัดขวางกระบวนการหมักด้วยผลทางออสโมซิส(9) น้ำตาลนอกจากให้ความหวานและรสชาติแก่ขนมปังแล้วยังมีผลต่อความนุ่มของเนื้อใน(crumb)ของขนมปัง ทำให้ขนมที่อบแล้วเก็บความชื้นได้มากและนุ่มนาน มีอายุการเก็บนานขึ้น เนื่องจากซูโครสเปลี่ยนไปเป็นฟรุคโตสโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ในยีสต์ และฟรุคโตสสามารถเก็บความชื้นได้มากกว่าซูโครส ปริมาณน้ำตาลมีผลต่อลักษณะและปริมาตรของผลิตภัณฑ์ คือในระหว่างการอบน้ำตาลเฮกโซส(hexose)ที่มากเกินพอจะช่วยให้ผิวนอก(crust)ของขนมปังเกิดเป็นสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard และ caramelization อีกด้วย(9)

เกลือ ที่ใช้ในขนมปังและขนมอบทำหน้าที่ให้รสชาติโดยเน้นความหวานของน้ำตาลให้เด่นชัดขึ้น นอกจากนั้นยังควบคุมการทำงานของยีสต์และควบคุมอัตราการหมักโดยมีผลทางออสโมซิสต่อเซลยีสต์ กล่าวคือ ถ้ามีแรงดันออสโมซิสสูงขึ้นอัตราเร็วในการหมักด้วยยีสต์จะลดลง เนื่องจากเซลยีสต์ขาดน้ำและมีผลกระทบต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism)(9) แม้ปริมาณเกลือที่ใช้จะอยู่ในระดับต่ำแต่ผลทางแรงดันออสโมซิสของเกลือมีมากกว่าน้ำตาล ถ้าใช้เกลือในปริมาณมากเกินไปจะขัดขวางไม่ให้เกิดการหมักในเวลาที่เหมาะสม แต่ถ้าไม่ใส่เกลือในก้อนแป้งผสมเลยจะทำให้อัตราการหมักเกิดเร็วเกินไปซึ่งจะเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อหยาบและรสชาติไม่ดี ผลอีกประการหนึ่งของเกลือต่อก้อนแป้งผสมคือ ทำให้กลูเตนเหนียวมากขึ้นซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยานี้ยังไม่เป็นที่เข้าใจดีในขณะนี้(9)

ไขมัน ช่วยเพิ่มปริมาตรของขนมปัง ช่วยให้เปลือกขนมปังนุ่ม เนื้อในละเอียดและนุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากไขมันมีปฏิกิริยาในการหล่อลื่นจึงช่วยให้กลูเตนสามารถขยายตัวได้มากและสะดวก ปริมาตรของขนมปังจึงเพิ่มขึ้น(9) แต่ถ้าใช้ไขมันมากเกินไปขนมปังที่ได้จะมีขนาดเล็กเนื้อแน่นไม่ขึ้นฟูเท่าที่ควร เนื่องจากไขมันทำให้ก้อนแป้งผสมมีลักษณะหนักกว่าปกติก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถดันให้ขึ้นฟูได้(4)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 วิธีผสมแป้งในการผลิตขนมปัง

วิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ การผสมแบบขั้นตอนเดียว(straight dough method) และการผสมแบบสองขั้นตอน(sponge dough method) ในการผสมแบบขั้นตอนเดียว จะผสมแป้ง เกลือ น้ำตาลในเครื่องผสมโดยใช้ความเร็วต่ำจนเข้ากันดีจากนั้นจึงเติมของเหลวและยีสต์ ผสมด้วยความเร็วต่ำต่อไปจนส่วนผสมต่างๆรวมกันเป็นก้อน จึงเติมไขมันลงไปแล้วผสมด้วยความเร็วปานกลางจนแป้งเนียนได้ที่ การที่ไม่ใส่ไขมันลงผสมพร้อมแป้งก็เพราะไขมันจะทำให้อัตราการดูดน้ำของแป้งต่ำลงทำให้ต้องใช้เวลาในการผสมนานกว่าปกติ(11) ในการผสมแบบสองขั้นตอนครั้งแรกใช้แป้งประมาณร้อยละ 70 ของแป้งทั้งหมดที่ใช้ในสูตร ผสมกับน้ำและยีสต์ให้เข้ากัน หมักให้ขึ้นจนได้ที่ ส่วนผสมครั้งแรกนี้เรียกว่า สปันส์(sponge) หลังจากหมักสปันส์ได้ที่ดีแล้วเติมแป้งและส่วนผสมที่เหลือแล้วผสมอีกครั้งจนแป้งเนียนได้ที่เหมือนกับการผสมแบบขั้นตอนเดียว(11)

วิธีผสมแป้งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกันคือ วิธีผสมแบบขั้นตอนเดียวใช้เวลาในการหมักสั้นกว่า เป็นการประหยัดเวลา แต่ขนมปังที่ได้มีกลิ่นไม่หอมเท่าที่ควร ส่วนวิธีผสมแบบสองขั้นตอนใช้พื้นที่และเวลาในการหมักมากกว่า แต่ขนมปังที่ได้มีปริมาตรมากกว่า ลักษณะเนื้อขนมปังนุ่มกว่าและมีกลิ่นหอมกว่าด้วย นอกจากนั้นวิธีผสมแบบสองขั้นตอนยังสามารถใช้กับแป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ปานกลางจนถึงสูง

2.1.3 การหมัก

หลังจากนวดแป้งผสมจนได้ที่แล้วจะหมักที่สภาวะเหมาะสมสำหรับการทำงานของยีสต์ คือที่อุณหภูมิ 27 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75-80 แม้ว่าที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ยีสต์จะเจริญเร็วกว่าแต่จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการก็จะเจริญได้ดีด้วย และที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้อัตราการหมักจะเกิดช้าเกินไป(9) ความชื้นสัมพัทธ์มีความสำคัญต่ออัตราการหมักและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กล่าวคือ ผิวก้อนแป้งผสมซึ่งหมักที่ความดันบรรยากาศในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 70 จะแห้งทำให้อัตราเร็วในการหมักลดลงและขนมปังที่ได้มีลักษณะผิวไม่เรียบ(4) ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการหมักก้อนแป้งผสมด้วยยีสต์ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์ และสารประกอบอื่นๆเช่น กรด และเอสเทอร์(esters) ในปริมาณเล็กน้อย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักไม่ได้ทำให้เกิดเซลอากาศใหม่แต่จะทำให้เซลอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการผสมขยายตัว การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่กระจายเข้าสู่เซลอากาศที่มีอยู่แล้วได้จะต้องมีความเข้มข้นสูงพอจึงจะมีความดันมากกว่าความดันภายในเซลอากาศนั้น ดังนั้นอัตราเร็วในการหมักที่พอเหมาะที่สุดจึงมีความสำคัญเพราะจะทำให้เกิดก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมด้วย(9) โดยทั่วไปถือว่าการหมักเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อก้อนแป้งผสมมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของปริมาตรเดิม ระยะเวลาสำหรับการหมักขึ้นกับปริมาณยีสต์ น้ำตาล เกลือ และอุณหภูมิระหว่างการหมัก ก้อนแป้งที่หมักได้ที่แล้วจะต้องนำมากดลงเพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้ก้อนแป้งมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ และให้เซลยีสต์พร้อมทั้งสารอาหารของมันกระจายตัวใหม่อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน นอกจากนั้นการกดยังช่วยแบ่งเซลอากาศให้มีความสม่ำเสมอซึ่งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังในตอนสุดท้ายด้วย(9)

หลังสิ้นสุดการหมักจะนำแป้งผสมมาตัดแบ่งให้ได้ขนาดและน้ำหนักตามต้องการ ม้วนเพื่อขึ้นรูปแล้ว วางในพิมพ์อบ ในการผลิตปริมาณมากจะใช้เครื่องอัตโนมัติในขั้นตอนการตัดแบ่งเพื่อให้ได้น้ำหนักตามต้องการ การม้วนขึ้นรูปและการบรรจุลงพิมพ์ ก้อนแป้งที่บรรจุลงพิมพ์แล้วนั้นก่อนนำเข้าอบต้องนำมาหมักอีกครั้งให้ก้อนแป้งฟูจนได้ที่เสียก่อน เรียกขั้นตอนนี้ว่า proof สภาวะที่เหมาะสมในการ proof คือ อุณหภูมิ 35-37 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85(11) ระยะเวลาที่ใช้ในการ proof จะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณโปรตีนในแป้ง หากแป้งที่ใช้มีปริมาณโปรตีนสูงจะใช้เวลานานในการขึ้นฟู ปฏิกิริยาที่เกิดระหว่าง proof เหมือนกับที่เกิดระหว่างการหมักครั้งแรกแต่อัตราเร็วจะสูงกว่าเพราะมีเซลอากาศอยู่มากแล้วในก้อนแป้งนั้น(9)

2.1.4 การอบ

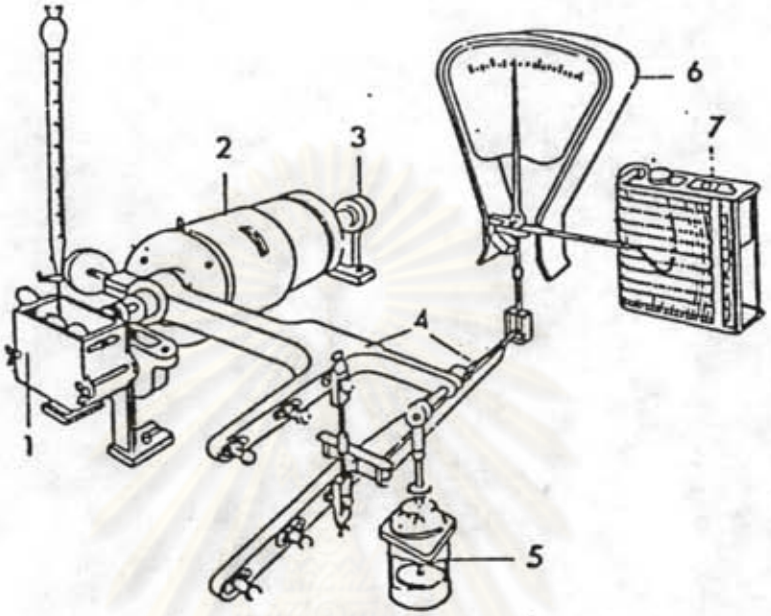
หลังจากก้อนแป้งผสมขึ้นฟูได้ที่แล้วจึงอบที่อุณหภูมิระหว่าง 177-232 °ซ ใช้เวลาประมาณ 25-60 นาที(9) อุณหภูมิและเวลาอบของขนมปังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ประการแรกได้แก่ ขนาดและรูปร่างของขนมปัง ถ้าเป็นขนมปังขนาดเล็กไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเพราะจะทำให้ปริมาตรเพิ่มได้น้อยเนื่องจากเกิดการแข็งตัวของผิวภายนอกเร็วเกินไป ถ้าเป็นพวกที่มีขนาดใหญ่ควรใช้อุณหภูมิในการอบให้สูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิอบที่ต่ำเกินไปทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นช้าจนไม่สามารถเกิด oven spring และเป็นผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรต่ำกว่าที่ควร ปัจจัยอีกประการที่สำคัญได้แก่ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในสูตร โดยทั่วไปถ้าใช้น้ำตาลมากจะต้องลดอุณหภูมิอบให้ต่ำลงเพื่อไม่ให้เปลือกนอกมีสีเข้มเร็วเกินไป แต่ถ้ามีน้ำตาลอยู่น้อยควรใช้อุณหภูมิอบสูงเพื่อให้เปลือกนอกเป็นสีน้ำตาลทั่วถึง(11) ปัจจัยสุดท้ายที่มีผลต่อเวลาอบได้แก่ กลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ขณะอบจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและทางกายภาพหลายขั้นตอน ปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นรสและลักษณะเฉพาะตัวในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นถ้านำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาอบก่อนปฏิกิริยาสิ้นสุดจะทำให้รสชาติ กลิ่น และลักษณะปรากฏด้อยกว่าที่ควร ในทางตรงข้ามถ้าใช้เวลาในการอบนานเกินไปสารระเหยได้ต่างๆที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาก็จะระเหยออกไปทำให้ขนมปังที่ได้มีกลิ่นไม่หอม(9)

ระหว่างอบก้อนแป้งผสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ(9) คือ ระยะแรกใช้เวลาประมาณร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมด เป็นระยะที่อุณหภูมิภายในค่อยๆสูงขึ้นถึงประมาณ 60 °ซ เซลยีสต์จะถูกทำลายหมดภายใน 10 นาที ระยะนี้ก้อนแป้งผสมจะมีการขยายตัวได้มากที่สุดเพราะอัตราการขยายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงสุดที่อุณหภูมินี้ นอกจากนั้นการที่อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างช้าๆจะช่วยเร่งการทำงานของยีสต์ให้ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในปริมาณสูงก่อนที่ตัวมันจะถูกทำลายจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น การขึ้นฟูอย่างรวดเร็วของก้อนแป้งผสม เรียกว่า oven spring ระยะที่ 2 ของการอบใช้เวลาประมาณร้อยละ 50 ของเวลาทั้งหมด อุณหภูมิภายในก้อนแป้งจะอยู่ระหว่าง 98-99 °ซ ระยะนี้กลูเตนจะแข็งตัว สตาร์ชเกิดเจลลาติไนซ์ภายในโครงสร้างของกลูเตนและดึงน้ำบางส่วนออกจากกลูเตนทำให้โครงสร้างของขนมปังเริ่มอยู่ตัว จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ระยะสุดท้ายของการอบซึ่งโครงสร้างของขนมปังจะอยู่ตัว และสีของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

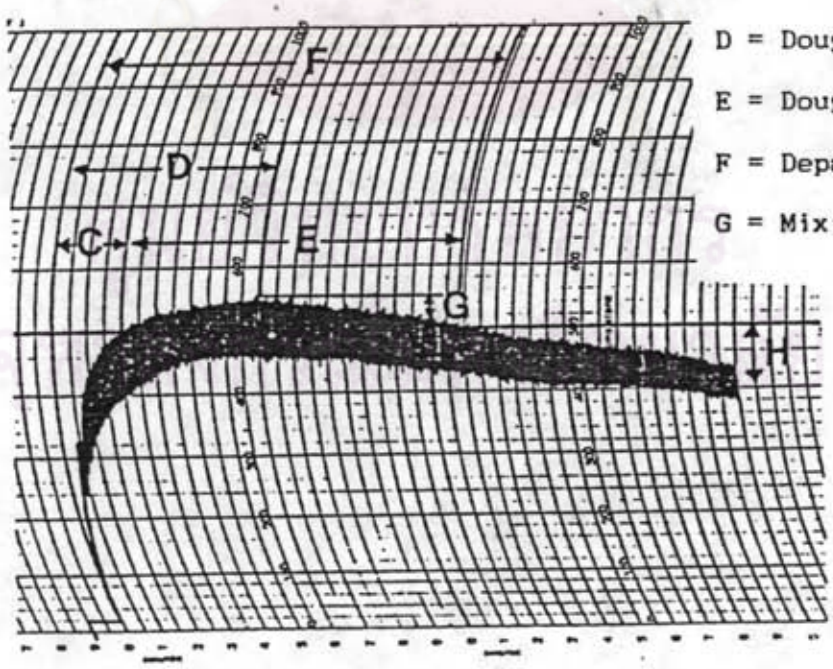
2.2 <u>วิธีตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของแป้งที่ใช้ผลิตขนมปัง(4)</u>

2.2.1 Farinograph เป็นเครื่องบันทึกการผสมของก้อนแป้ง รูปที่ 2.1 เป็นแผนผังของเครื่องซึ่งประกอบด้วยอ่างผสม(mixing bowl)หมายเลข 1 ภายในมีใบพัดรูปตัว Z 2 ตัวหมุนในทิศทางตรงกันข้ามด้วยความเร็ว 60 และ 90 รอบ/นาที เมื่อเติมแป้งและของแห้งลงในอ่างผสมแล้วจะเริ่มเปิดให้เครื่องทำงาน จากนั้นเติมน้ำจากบิวเรต(buret)ลงไป กำลังบิด (torque) ที่เกิดขึ้นบนแผ่นใบพัดจะทำให้ dynamometer หมายเลข 2 เกิดการหมุนซึ่งจะสัมพันธ์กับคานหมายเลข 4 และจะส่งผลไปยังหน้าปัดหมายเลข 6 แล้วบันทึกออกมาเป็นกราฟหมายเลข 7 อ่างผสมมีการควบคุมอุณหภูมิโดยระบบ water-jacketed อ่างผสมมีความจุ 2 ขนาดคือ 300 และ 50 กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงหลักการของ Brabender Farinograph(4)




D = Dough delvelopment time

E = Dough stability

F = Departure time

G = Mixing tolerance index

รูปที่ 2.2 ลักษณะของ Farinograph(4)

รูปที่ 2.2 เป็นรูปของ farinogram หรือ farinograph กราฟนี้จะใช้ในการหาค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง นอกจากนี้ยังใช้บอกสมบัติอื่นๆของแป้ง ค่าต่างๆที่อ่านได้จากกราฟมีดังนี้คือ

- water absorption เป็นค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง ซึ่งวัดได้จากปริมาณน้ำที่เติมเพื่อให้ได้ความกลมกลืนสูงสุด(maximum consistency) ที่ 500 B.U

- dough development time หรือ peak time เป็นเวลาที่เหมาะสมในการผสม(optimum mixing time) ซึ่งวัดจากจุดเริ่มต้นที่เติมน้ำจนถึงจุดที่มีความกลมกลืนสูงสุด (จุดสูงสุดของกราฟ) แป้งที่มีโปรตีนสูงจะมี peak time มากกว่าแป้งที่มีโปรตีนต่ำ

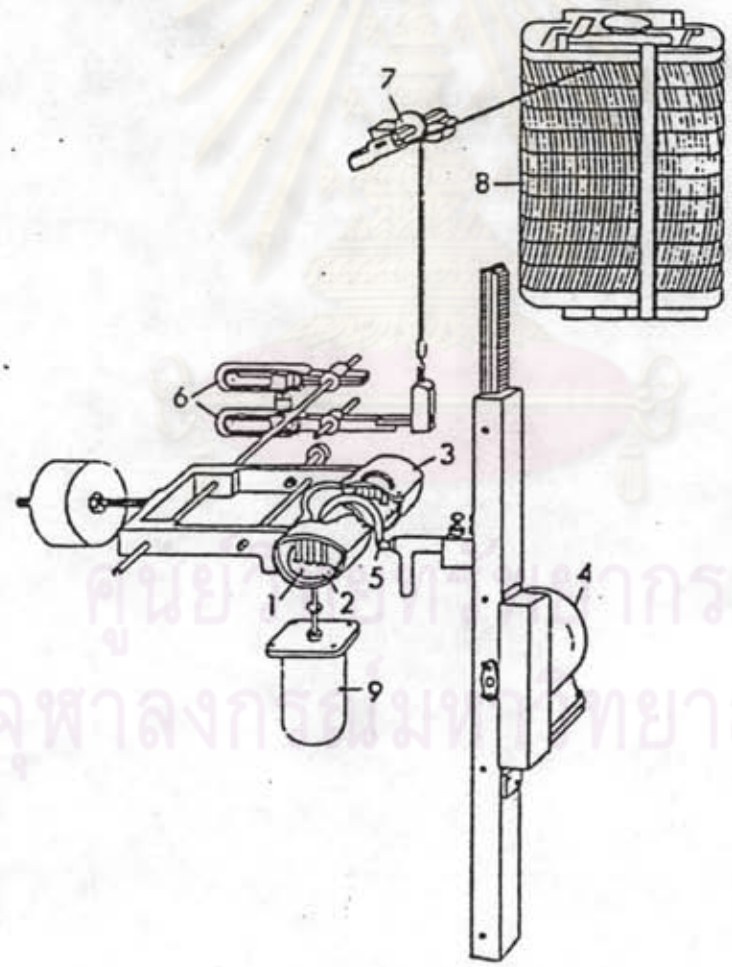
- dough stability เป็นเวลาที่วัดจากจุดที่กราฟมาสัมผัสเส้น 500 B.U จนกระทั่งกราฟเดินพ้นจากเส้น 500 B.U แป้งที่มีโปรตีนสูงจะมีเสถียรภาพสูงด้วย

- departure time เป็นเวลาที่วัดจากจุดเริ่มต้นของการเติมน้ำจนกระทั่งกราฟ เดินพ้นเส้น 500 B.U สำหรับแป้งที่มีโปรตีนสูงจะมี departure time นานกว่าแป้งที่มีโปรตีนต่ำ

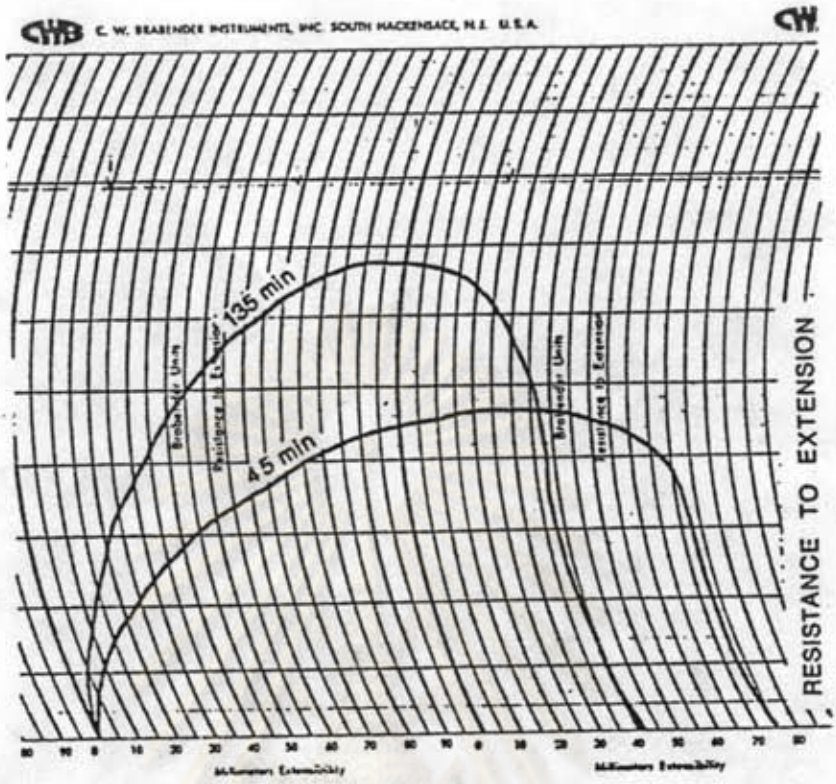
- mixing tolerance index(MTI) เป็นค่าความแตกต่างเป็น B.U ของจุดสูงสุดของกราฟกับจุดที่ผ่านการผสมไปแล้ว 5 นาที แป้งที่มีโปรตีนสูงจะมีค่า MTI ต่ำ แป้งที่มีโปรตีนต่ำจะมีค่า MTI สูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 Extensigraph หรือ Extensigram เป็นเครื่องบันทึก load extension curve ของก้อนแป้งผสมเมื่อถูกดึงให้ยืดจนขาด extensigraph ใช้ประเมินคุณภาพทั่วไปของแป้ง โดยนำก้อนแป้งที่มีอัตราการดูดน้ำพอเหมาะจากเครื่อง farinograph มาตัดแบ่งในขนาดก้อนละ 150 กรัม คลึงให้กลม แล้วผ่านเครื่องม้วนให้เป็นรูปขอนไม้ นำไปวางลงในที่จับซึ่งมี clamp ยึดอยู่ เมื่อพักก้อนแป้งไว้เป็นเวลา 45 นาที แล้วจึงนำมาดึงให้ยืดออกตามแผนผังรูปที่ 2.3 โดย clamp หมายเลข 3 ซึ่งยึดก้อนแป้งหมายเลข 1 รองรับด้วย balance fork หมายเลข 2 ขณะที่มอเตอร์ หมายเลข 4 จะเป็นตัวบังคับให้ตะขอหมายเลข 5 เริ่มทำงาน ตะขอจะเริ่มเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่พร้อมทั้งดึงส่วนกลางของก้อนแป้งให้ยืดออก แรงดึงที่เกิดขึ้นบนก้อนแป้งจะส่งผ่านไปยังคาน หมายเลข 6 ส่งต่อไปยัง balance หมายเลข 7 และบันทึกออกมาบนกราฟหมายเลข 8




รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงหลักการของ Brabender Extensigraph(4)




รูปที่ 2.4 ลักษณะของ Extensigraph(4)

ค่าที่อ่านได้จากกราฟรูปที่ 2.4 มีดังนี้คือ

- resistance to extension เป็นค่าที่ได้จากความสูงของกราฟ มีหน่วยเป็น B.U

- extensibility เป็นความกว้างของกราฟ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าได้จากการนำข้าวหักหรือปลายข้าวมาโม่บดให้ละเอียด แล้วล้างด้วยน้ำจนได้แป้งที่ขาวสะอาด แป้งข้าวเจ้ามีโปรตีนประมาณร้อยละ 6.4(12) องค์ประกอบของโปรตีนของข้าวเจ้าและข้าวสาลีแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณดังนี้คือ ข้าวสาลีมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10-15 ขณะที่ข้าวเจ้ามีประมาณร้อยละ 8-10 (โดยน้ำหนักแห้ง) โปรตีนในข้าวสาลีประกอบด้วยอัลบูมิน (alblumin)ร้อยละ 3-5 โกลบูลิน(globulin)ร้อยละ 6-10 โพลามิน(prolamin)ร้อยละ 40-50 และกลูทิลิน(glutelin)ร้อยละ 30-40 ส่วนโปรตีนในข้าวเจ้ามีอัลบูมินในปริมาณน้อยมาก (trace) มีโกลบูลินร้อยละ 2-8 โพลามินร้อยละ 1-5 กลูทิลินร้อยละ 85-90 กลูทิลินและโพลามินของข้าวสาลีคือ กลูทินินและไกลอะดินตามลำดับ ส่วนกลูทิลินในข้าวเจ้าคือ ออริเซนิน (oryzenin)(13) ดังได้กล่าวแล้วว่าโปรตีนที่สำคัญในแป้งสาลีคือ ไกลอะดิน และ กลูทินิน ซึ่งจะรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า กลูเตน ดังนั้นจะเห็นว่าแป้งข้าวเจ้านอกจากจะมีปริมาณอัตราส่วนของโพลามิน และ กลูทิลิน ไม่เหมือนในแป้งสาลีแล้วกลูเตลินในแป้งข้าวเจ้ายังเป็นคนละชนิดกับกลูทิลินในข้าวสาลี ด้วยเหตุนี้เมื่อนวดผสมแป้งข้าวเจ้าเพื่อผลิตขนมปัง ก้อนแป้งผสมที่ได้จึงมีความสามารถในการอุ้มก๊าซต่ำมาก

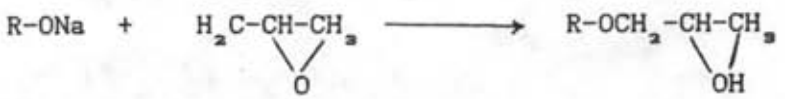
2.4. สารเชื่อมบางชนิดที่ใช้ในการผลิตขนมปังจากแป้งที่ไม่มี gluten

Kim และ De Ruiter(14) กล่าวว่าสารเชื่อมที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังจากแป้งที่ไม่มีกลูเตนต้องมีสมบัติดังต่อไปนี้คือ ประการแรกต้องมีแรงยึดเกาะเม็ดแป้งเพียงพอเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก ประการที่สองแรงที่ยึดเกาะต้องมีความยืดหยุ่นในระดับที่ทำให้มี oven spring เกิดขึ้นได้ และสุดท้ายต้องทำให้ขนมปังที่ได้มีเนื้อสัมผัสดี นุ่มและยืดหยุ่นได้ สารเชื่อมที่อาจใช้ได้มีดังนี้

2.4.1 Methyl cellulose (MC)และ Hydroxypropylmethyl cellulose (HPMC) จัดเป็นพวก gum สังเคราะห์ชนิดหนึ่งซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาของ alkaline cellulose กับ methyl chloride และ propylene oxide ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้ (15)

$$\underset{\text{cellulose}}{R\text{-}OH} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{alkali cellulose}}{R\text{-}ONa} + H_2O$$

$$R\text{-}ONa + \underset{\text{methyl chloride}}{CH_3Cl} \longrightarrow \underset{\text{methyl cellulose(MC)}}{R\text{-}OCH_3} + NaCl$$

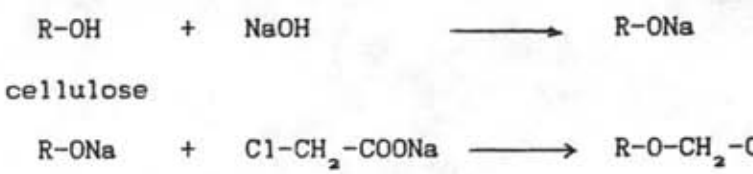


propylene oxide hydroxypropylmethyl cellulose(HPMC)

สมบัติของ gum ชนิดนี้แตกต่างกันไปขึ้นกับความมากน้อยและสภาวะของปฏิกิริยาการแทนที่โดยหมู่ methyl ความสม่ำเสมอของการเข้าแทนที่ และชนิดของกลุ่มที่เข้าแทนที่ ตัวอย่างชนิดของ HPMC ได้แก่ ชนิด 60HG4000 (ปัจจุบันเรียกว่าชนิด E4M) มีปริมาณการเข้าแทนที่ของหมู่ hydroxypropylmethyl เป็น 0.17-0.30 D.S(degree of substitution) อุณหภูมิในการเกิดเจล 55-60 °ซ ชนิด 65HG4000 (ปัจจุบันเรียกว่าชนิด F4M) มีปริมาณการเข้าแทนที่ของหมู่ hydroxypropylmethyl เป็น 0.10-0.18 D.S อุณหภูมิในการเกิดเจล 60-65 °ซ ชนิด 90HG4000 (ปัจจุบันเรียกว่าชนิด K4M) มีปริมาณการเข้าแทนที่ของหมู่ hydroxypropylmethyl เป็น0.10-0.30 D.S อุณหภูมิในการเกิดเจล 85 °ซ ความหนืดของ HPMC ทั้ง 3 ชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 4000 เซนติพอยส์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 และอุณหภูมิ 20 °ซ

ทั้ง MC และ HPMC ละลายน้ำได้และให้โครงสร้างเจลที่มีลักษณะคล้ายโครงสร้างของกลูเตนจากแป้งสาลี จึงมีผู้ทดลองใช้ในการผลิตขนมปังจากแป้งที่มีกลูเตนน้อยหรือไม่มีกลูเตนเลย (14,16,17,18,21) โครงสร้าง HPMC เจลที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวให้โครงสร้างแก่ขนมปัง และแม้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่างๆที่ทำจากแป้งสาลีเองเช่น โดนัท แยมโรล เค้ก รวมทั้งขนมปัง ก็นิยมใช้ gum ทั้ง 2 ชนิดนี้ช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ และช่วยเพิ่มความทนทานต่อการผสมของแป้ง ซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี ปริมาตรใหญ่ขึ้น และเนื่องจาก gum ชนิดนี้สามารถดูดน้ำได้มากกว่าน้ำหนักตัวถึง 40 เท่า จึงทำให้ใช้น้ำในสูตรได้มากขึ้นช่วยให้สตาร์ชเกิดเจลลาติไนซ์ได้อย่างสมบูรณ์และทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บความชื้นได้มากขึ้น(15)

2.4.2 Carboxymethyl cellulose (CMC)(15) เป็น gum สังเคราะห์เช่นเดียวกับ HPMC โดยหมู่ที่เข้าแทนที่หมู่ hydroxyl คือ carboxymethyl ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



cellulose

sodium monochloroacetate CMC

CMC ละลายน้ำได้ดีและมีสมบัติที่สำคัญคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของสารละลายจะลดลงแต่เมื่อทิ้งให้เย็นลงสารละลายจะมีความหนืดสูงขึ้นเกือบเท่าเดิม ดังนั้นเมื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการให้ความร้อน ความหนืดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์จะไม่เปลี่ยนมากนัก CMC ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบจะช่วยในการแขวนลอยของสตาร์ชและของแข็งอื่นๆทำให้เกิดความสม่ำเสมอก่อนการเกิดเจลลาติไนซ์ กรณีที่มีกลูเตนอยู่ด้วย CMC จะช่วยเร่งการดูดซึมน้ำและเร่งการเกิดโครงสร้างกลูเตนซึ่งจะเป็นผลให้สามารถ ลดเวลาในการผสมลง

2.4.3 Alginate(15) เป็น gum ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล โครงสร้างโมเลกุลของ alginic acid เป็น polymer ของ anhydro - 1,4 - $\beta$ - D - mannuronic acid และ L - guluronic acid alginic acid ไม่ละลายน้ำดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงใช้ในรูปเกลือของกรด alginic สารละลายของ alginate สามารถเกิดโครงสร้างเจลในสภาวะที่เป็นกรดหรือสภาวะที่มี $Ca^{2+}$ โดยปฏิกิริยา cross linking ได้เจลที่มีลักษณะใสและอยู่ตัวที่อุณหภูมิห้อง alginate ที่นิยมใช้อยู่ในรูปเกลือโซเดียม เกลือโปแตสเซียม และเกลือแอมโมเนียม บางกรณีอาจใช้ในรูป ester ของกรด alginic เช่น propylene glycol alginate ซึ่งนิยมใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหารที่มีความเป็นกรดสูงเช่น น้ำสลัด เจลลี่(jelly) เป็นต้น

## 2.5 การผลิตขนมปังจากแป้งที่ไม่มีกลูเตน

ได้มีผู้พยายามศึกษาการผลิตขนมปังจากแป้งที่ไม่มีกลูเตนมาตั้งแต่ปี ค.ศ 1954 โดยในปี ค.ศ 1961 Jongh(18) ทำขนมปังจากสตาร์ชแป้งสาลี(wheat starch) โดยใช้ glyceride monostearate(GMS) เป็นสารเชื่อม พบว่าขนมปังที่ทำจากสตาร์ชมีลักษณะเนื้อหยาบ ผนังเซลหนาและแห้งแข็งทันทีที่เย็น แต่เมื่อผสม GMS ลงไปเพียงร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักสตาร์ช จะได้ขนมปังที่มีเนื้อโปร่ง เซลอากาศละเอียดสม่ำเสมอ ผู้วิจัยได้อธิบายถึงอิทธิพลของ GMS ต่อก้อนแป้งผสมไว้ว่า GMS ถูกดูดซับไว้บนเม็ดแป้งจึงทำให้แรงเกาะกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวแล้วอ่อนลง ทำให้เนื้อขนมปังมีความนุ่มขึ้น ถ้าเพิ่มปริมาณ GMS ให้สูงขึ้นตามลำดับก้อนแป้งผสมที่ได้จะมีลักษณะคล้ายก้อนของแข็ง(solid paste)มากขึ้นทุกที ในขณะเดียวกันอัตราการขึ้นฟูของก้อนแป้งผสมขณะหมักก็จะลดลงด้วย ต่อมาในปี ค.ศ 1968 Kim และ De Ruiter (14) ได้ศึกษาวิธีการผลิตขนมปังจากแป้งที่ไม่มีกลูเตนโดยแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ ประเภทแรก ศึกษาการผลิตขนมปังจากสตาร์ชแป้งสาลีโดยเปรียบเทียบผลของการใช้สารเชื่อม 4 ชนิดคือ GMS egg albumin gliadin และ polyoxyethylene stearate (POES) ที่ระดับต่างๆ พบว่าปริมาณ GMS egg albumin และ

15575

gliadin ที่ทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงสุดคือ ร้อยละ 0.1 1.0 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วน POES ให้ขนมปังที่มีลักษณะไม่ดีคือเนื้อหยาบ ประเภทที่ 2 ศึกษาการผลิตขนมปังจากแป้งมันเทศผสมแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำ ใช้สารเชื่อม 2 ประเภทคือ ประเภทที่ทำให้เกิดการพองได้แก่ carboxymethyl cellulose(CMC) guar gum alginate methylcellulose และสารเชื่อมอีกประเภทที่ใช้คือ ประเภทที่ลดแรงตึงผิวได้แก่ soya lecithin กับ GMS พบว่าสารเชื่อมทั้ง 2 ประเภทให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าพวกที่ไม่ได้ใช้สารเชื่อม และประเภทที่ 3 ที่ศึกษาคือการผลิตขนมปังจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน ที่อัตราส่วน 80:20 ใช้ GMS เป็นสารเชื่อมซึ่งผลจากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรจำเพาะสูง ลักษณะเซลอากาศละเอียดสม่ำเสมอ ในปีค.ศ 1970 Hart และคณะ (19)ได้ทดลองผลิตขนมปังจากแป้งข้าวฟ่าง (sorghum flour) และแป้งข้าวบาเล่ย์(barley flour) โดยใช้สารเชื่อมรวม 10 ชนิด ได้แก่ gum tragacanth guar derivative gum CMC gum arabic methylcellulose (Methocel) และ mono กับ diglycerides ผู้วิจัยพบว่า Methocel ที่มีความหนืด 4000 เซนติพอยส์ เมื่อใช้ในปริมาณร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักแป้ง ให้ก้อนแป้งผสมที่สามารถกักเก็บก๊าซได้ดีและทำให้ขนมปังที่ได้มีลักษณะเนื้อดี ต่อมาในปี ค.ศ 1972 Tanaka(20) ศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งสาลีในการผลิตขนมปังโดยทดแทนแป้งข้าวเจ้าในแป้งสาลีร้อยละ 20 และ 40 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด จาก Farinograph Extensigraph และ Amylograph ของแป้งผสมดังกล่าวพบว่าค่า water absorption ค่า dough development time ค่า extensibility และค่า resistence to extension จะลดลงอย่างมาก เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ทดแทนเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า oxidizing agent ที่มีผลต่อความเหนียวของแป้งสาลีไม่มีผลต่อการขึ้นฟูของขนมปังแป้งผสม ขณะที่อัลฟาอะไมเลสมีผลอย่างมากต่อการขึ้นฟู แป้งข้าวเจ้าที่มีอนุภาคขนาดใหญ่(ประมาณ 40-60 ไมครอน) ให้ขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าพวกที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (ประมาณ 80-150 ไมครอน )และแป้งข้าวเจ้าที่มีการผ่านกระบวนการ parched และ puffed ให้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพวกที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีดังกล่าว ในปี ค.ศ 1976 Nishita (21) ผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าผสม gum ชนิดต่างๆเช่น hydroxymetyhl cellulose(HPMC) CMC xanthan gum carrageenan locust bean gum และ guar gum ผู้วิจัยพบว่า HPMC ชนิด90HG4000 (ปัจจุบันคือ ชนิด K4M) ในปริมาณร้อยละ 3.0 ของน้ำหนักแป้งให้ขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะสูงสุดและมีลักษณะเนื้อดีที่สุดด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสารลดแรงตึงผิวไม่ว่าจะเป็นชนิดใดก็ไม่สามารถทำให้ก้อนแป้งผสมขึ้นฟูได้

สำหรับงานที่ทำในประเทศไทยนั้นใน พ.ศ 2526 บุญชู ตันชัชวาล (22)ได้ศึกษาเบื้องต้นถึงผลของการใช้แป้งข้าวฟ่างในการผลิตขนมปัง โดยใช้ข้าวฟ่าง 3 พันธุ์คือ Hegari TSS1-12 และ TS-9278 ทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 10 15 20 25 และ 30 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด ปรากฏผลว่า ถ้าใช้แป้งข้าวฟ่างเกินร้อยละ 25 ขนมปังที่ได้จะมีปริมาตรเล็ก และลักษณะสี กลิ่นรสชาติ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ และจากการเปรียบเทียบแป้งข้าวฟ่างทั้ง 3 พันธุ์ พบว่า TSS1-12 ให้ขนมปังที่มีลักษณะดีที่สุด ทั้งปริมาตรจำเพาะ สี และลักษณะเนื้อ

2.6 <u>การใช้โปรตีนจากแหล่งอื่นในการผลิตขนมปังจากแป้งที่ไม่มี gluten</u>

ได้มีผู้ทดลองใช้โปรตีนจากหลายแหล่งเป็นส่วนเสริมและปรับปรุงคุณภาพขนมปังที่ผลิตจากแป้งที่ไม่มีกลูเตน Kim และ De Ruiter(14) ทดลองใช้แป้งถั่วเหลือง แป้งถั่วลิสง และโปรตีนจากเนื้อปลาผสมกับแป้งมันเทศในการผลิตขนมปัง Dendy และคณะ(25)ใช้แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันผสมกับแป้งมันสำปะหลังในการผลิตขนมปัง ทั้ง 2 กรณีพบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพของขนมปังได้โดยทำให้เนื้อขนมปังนุ่มขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยเสริมคุณค่าทางอาหารของขนมปังให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรตีน 2 ชนิดคือ โปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน(defatted soy flour) และ กลูเตนแป้งสาลี(wheat gluten) สมบัติบางประการของโปรตีนจากแหล่งต่างๆที่ใช้ในการผลิตขนมปังมีดังนี้คือ

2.6.1 แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน(defatted soy flour) ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งเป็นหลายรูปแบบตามปริมาณโปรตีน เช่น แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม(full-fat soy flour) มีโปรตีนร้อยละ 41 ไขมันร้อยละ 20 แป้งถั่วเหลืองไขมันสูง(high-fat soy flour) มีโปรตีนร้อยละ 46 ไขมันร้อยละ 14 แป้งถั่วเหลืองไขมันต่ำ(low-fat soy flour) มีโปรตีนร้อยละ 52 ไขมันร้อยละ 4 แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน(defatted soy flour) มีโปรตีนร้อยละ 53 ไขมันร้อยละ 0.6 นอกจากนี้ยังมีโปรตีนสกัดจากแป้งถั่วเหลืองได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น(concentrate soy protein) มีโปรตีนร้อยละ 66 ไขมันร้อยละ 0.3 และโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นสูง( isolate soy protein) มีโปรตีนร้อยละ 93 ไขมันน้อยกว่าร้อยละ 0.1 (4)

โปรตีนในแป้งถั่วเหลืองมีคุณค่าทางอาหารสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบถ้วน โปรตีนที่สำคัญคือ กลูซินิน(glucinin) และ โกลบูลินซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 80-90 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดในแป้งถั่วเหลือง ที่เหลือเป็นอัลบูมินและกลูทินิน(4) โปรตีนในแป้งถั่วเหลืองแตกต่างจากโปรตีนแป้งสาลีทั้งทางด้านองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพกล่าวคือ ไม่มีความยืดหยุ่น

ในการใช้แป้งถั่วเหลืองร่วมกับแป้งสาลีเพื่อผลิตขนมปังไม่ควรผสมแป้งถั่วเหลืองลงในส่วนสปันส์ เพราะจะทำให้โครงสร้างกลูเตนอ่อนตัวลง ทำให้ก้อนแป้งผสมมีลักษณะเหนียวแฉะ(sticky) การกักเก็บก๊าซไม่ดี ยากต่อการขึ้นรูป ขนมปังที่ได้จะมีเนื้อหยาบและเซลอากาศไม่สม่ำเสมอ แต่ลักษณะดังกล่าวนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าผสมแป้งถั่วเหลืองลงในส่วนก้อนแป้งผสม ปริมาณแป้งถั่วเหลืองที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 1-3 ของปริมาณแป้งสาลีที่ใช้ในสูตร

แม้ว่าแป้งถั่วเหลืองจะไม่ให้ความยืดหยุ่นแก่ก้อนแป้งผสม แต่ก็มีประโยชน์ทางด้านอื่นต่อผลิตภัณฑ์ขนมอบหลายประการ คือ เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บนานขึ้นเนื่องจากสามารถลดอัตราการระเหยของน้ำจากเนื้อในขนมปัง ทำให้การแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างเจลของสตาร์ชกับกลูเตนช้าลง (เกิด staling ช้าลง) และลดการสลายพันธะของไขมันที่ใช้ในสูตรเนื่องจากในแป้งถั่วเหลืองมีพวก phosphate ทำให้เกิดกลิ่นหืนช้าลง ปรับปรุงลักษณะเนื้อขนมปัง เนื่องจากทำให้เกิดความสม่ำเสมอในการขึ้นฟู นอกจากนี้ยังให้ลักษณะ body และ firmness แก่เนื้อในขนมปัง

2.6.2 กลูเตนแป้งสาลี(wheat gluten) สกัดจากแป้งสาลีที่มีโปรตีนสูง มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อนมีความชื้นร้อยละ 4-6 โปรตีนร้อยละ 75-77 แร่ธาตุร้อยละ 0.9-1.1 และไขมันร้อยละ 0.7-1.5 (4) โปรตีนดังกล่าวนี้นอกจากจะใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบแล้วยังสามารถใช้เป็นสารเชื่อมในผลิตภัณฑ์ประเภทไส้กรอกได้ด้วย ประโยชน์ของกลูเตนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมอบคือ ทำให้ก้อนแป้งผสมมีความทนทานต่อการผสมมากขึ้น ให้เสถียรภาพที่ดีแก่ก้อนแป้งผสมขณะหมักขึ้นรูป และ proof ทำให้ก้อนแป้งผสมมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากขึ้นร้อยละ 1.25-1.75 ของทุกๆ ร้อยละ 1.0 ของกลูเตนที่ใช้ จากประโยชน์ต่างๆที่กล่าวมานี้ทำให้ขนมปังที่ได้มีปริมาตรใหญ่ขึ้น ลักษณะเนื้อมีเซลอากาศละเอียดขึ้น เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น และอายุการเก็บยาวขึ้นด้วย

2.7 <u>อายุการเก็บของขนมปัง</u>

ขนมปังไม่ว่าจะเป็นชนิดใดจะมีคุณภาพดีที่สุดเมื่อรับประทานหลังอบเพียงไม่กี่ชั่วโมง เนื่องจากยังนุ่มและใหม่อยู่ หลังจากเก็บไว้ 3-4 วัน ขนมปังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า staling(4)เมื่อ ขนมปังเกิด staling เปลือกด้านนอกซึ่งปกติจะมีลักษณะแห้งเปราะ จะเหนียวคล้ายหนัง กลิ่นรสหายไป ปฏิกิริยานี้เรียกว่า crust staling เกิดจากการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อขนมปังมายังส่วนเปลือก อีกปฏิกิริยาหนึ่งเรียกว่า crumb staling เกิดกับเนื้อขนมปัง โดยส่วนเนื้อจะมีลักษณะกระด้าง แห้งร่วน เปราะ และกลิ่นรสเปลี่ยน สาเหตุที่ทำให้ขนมปังเกิด

staling ได้แก่ การสูญเสียความชื้นกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี(29) สำหรับการสูญเสียความชื้นนั้นพบว่าหลังอบความชื้นจะค่อยๆลดลง ทำให้ขนมปังเริ่มแห้งและมีเนื้อกระด้างขึ้นในไม่กี่วันต่อมา การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อมักเกิดขึ้นพร้อมกับการสูญเสียกลิ่นด้วย การเกิด staling ของขนมปังจึงเริ่มจากการสูญเสียความชื้นหลังอบ ดังนั้นการป้องกันสภาวะดังกล่าวนี้จะเป็นผลให้สามารถยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้ขนมปังเกิด staling คือ การเกิดรีโทรเกรเดชัน(retrogradation)ของสตาร์ช กล่าวคือเมื่อส่วนของเม็ดแป้งได้รับความร้อนในระหว่างการอบ เม็ดแป้งจะพองตัวและขณะพองบางส่วนของโมเลกุลของอะไมโลส(amylose) และส่วนกิ่งก้านของอะไมโลเพคติน(amylopectin)จะละลายออกจากเม็ดแป้ง หลังอบเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงโมเลกุลเหล่านี้จะมายึดเกาะกันเอง ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายขึ้นบนเม็ดแป้งนั้น เกิดเจลที่แข็งแรงขึ้น(24) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้เกิดขึ้นได้แม้จะบรรจุขนมปังในสภาวะปิดผนึก(29)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย