บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

เค้ก

เค้กเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ขึ้นฟูด้วยสารเคมี และ/หรือ อากาศ ทำจากแป้งสาลี น้ำตาล เกลือ ผงฟู ไขมัน น้ำนม ไข่ และกลิ่นรส ส่วนผสมเหล่านี้เมื่อรวมกันจะได้แป้งผสมที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นเทใส่ภาชนะได้ และเมื่อนำส่วนผสมนี้ไปอบจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อละเอียด ฟู และ เบา (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2527)

ประเภทของเค้ก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

เค้กแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. เค้กเนย (Batter Type Cake) เป็นเค้กที่มีเปอร์เซ็นต์ของไขมันสูง มีลักษณะส่วนผสมข้นขึ้นฟูน้อยจากการตีเนยให้ฟูตัว โดยเม็ดไขมันจะเก็บอากาศแทรกไว้ในเนื้อครีมซึ่งจะขยายตัวในระหว่างการอบ เค้กประเภทนี้ได้แก่ บัตเตอร์เค้ก เยลโลเค้ก ไวท์เค้ก ฟรุตเค้ก
2. เค้กไข่ (Foam Type Cake) เป็นเค้กที่ขึ้นฟูด้วยการขยายตัวของไข่ขาวที่ถูกนำมาตีจนเป็นฟองซึ่งจะเก็บอากาศเข้าไว้ในระหว่างการตีไข่ ทำให้เค้กขยายตัวในระหว่างการอบ เค้กประเภทนี้ได้แก่ แองเจิลฟูดเค้ก สปันจ์เค้ก แยมโรล เป็นต้น
3. เค้กชิฟฟอน (Chiffon Type Cake) เป็นเค้กที่มีลักษณะรวมของเค้กเนยและเค้กไข่ โดยมีโครงสร้างที่ละเอียดเหมือนเค้กไข่และมีเนื้อเค้กที่มันเงาเหมือนเค้กเนย แต่ต่างจากเค้กเนยตรงที่เค้กชิฟฟอนใช้น้ำมันพืชผสมแทนเนยขาว เค้กประเภทนี้ได้แก่ ชิฟฟอนเค้ก

1. ส่วนผสมและหน้าที่ของส่วนผสม

ส่วนผสมหลักของเค้กแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ส่วนผสมที่ช่วยให้โครงร่างแก่เค้ก ได้แก่ แป้ง ไข่ และนม และ ส่วนผสมที่ให้ความนุ่มแก่เค้ก ได้แก่ น้ำตาล ไขมัน และผงฟู นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมที่ช่วยในการปรุงแต่งสีและรสชาติ ได้แก่ สารที่ให้กลิ่นรส สีผสมอาหาร ผลไม้ ถั่ว โกโก้และช็อกโกแลต เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

แป้งสาลี

ควรเป็นแป้งที่โม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อน โดยกรรมวิธีที่แตกต่างจากการโม่ข้าวสาลีชนิดแข็งบ้าง กล่าวคือ ในการโม่ข้าวสาลีชนิดอ่อนนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อการลดขนาดของแป้งให้ลดละเอียดและสม่ำเสมอ โดยไม่ทำให้เม็ดสตาร์ชเสียหาย ดังนั้นในระบบการโม่จึงมีลูกกลิ้งลดขนาดมาก รวมทั้งมีระบบการร่อนมากกว่า หรืออาจใช้ขั้นตอนการคัดขนาดด้วยลมเป่าช่วยให้การแยกขนาดแป้งอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังต้องเลือกส่วนของแป้งที่มีโปรตีนต่ำอยู่ในช่วงการสกัดเพียงร้อยละ 45-65 ของแป้งทั้งหมด จึงจะได้แป้งสาลีชนิดอ่อนคุณภาพเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์เค้กชนิดต่าง ๆ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

แป้งสาลีที่ใช้ในการทำเค้กเนยควรมีโปรตีนร้อยละ 9.1 และเถ้าร้อยละ 0.42 แป้งที่ใช้ทำเค้กควรจะมีโปรตีนต่ำให้ลักษณะกลูเตนนุ่ม เมื่อผสมแล้วจะไม่ให้ความเหนียวและแข็งแก่เนื้อเค้กแต่ควรจะมีความคงตัวเป็นโครงร่างขึ้นฟู มีรูพรุนและเนื้อนิ่ม ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของแป้ง มีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอรีนที่ใช้ปรับสภาพแป้งเพื่อให้ลักษณะเนื้อสัมผัสดี ปริมาณเหมาะสม 1,250-2,500 ส่วนในล้านส่วนของแป้ง จึง

จะช่วยให้เค้กมีปริมาตรและลักษณะต่าง ๆ ของเค้กเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะเกิดผลเสีย เนื่องจากคลอรีนมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างของแป้งเปลี่ยนไป โดยถ้ามีคลอรีนมากจะทำให้แป้งมีความเป็นกรดมากขึ้น คุณสมบัติที่ดีของแป้งเกี่ยวกับการเกิดเจล การละลาย การพองตัว รวมทั้งการอุ้มน้ำเปลี่ยนแปลง ทำให้เค้กมีปริมาตรต่ำมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงควรใส่คลอรีนในปริมาณเหมาะสม และได้แป้งที่มีความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4-5 เนื้อแป้งที่ใช้ทำเค้กควรมีขนาดเล็กสม่ำเสมอจึงจะทำให้เค้กมีเนื้อสัมผัสดี(อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

ไข่

มีส่วนช่วยในการให้โครงร่าง สี กลิ่นรส และคุณค่าทางอาหารแก่ขนมอบ ทำให้เค้กขึ้นฟู โครงสร้างเกิดจากการรวมตัวของโปรตีนในไข่ระหว่างการอบ ลักษณะการขึ้นฟูของเค้กขึ้นกับความสามารถในการเก็บฟองอากาศไว้ในโครงร่างของไข่แต่ละชนิดและเวลาที่ใช้ในการตีไข่ ไข่ขาวจะมีผลต่อการขึ้นฟูในลักษณะฟองอากาศเล็กและอยู่ตัวดีกว่าไข่ทั้งฟองและไข่แดง ระยะเวลาในการตีไข่มีผลต่อขนาดของฟองอากาศ ถ้าเริ่มตีไข่ด้วยความเร็วสูงจะทำให้ไข่ขาวแตกกระจายเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) โปรตีนไข่โดยเฉพาะ egg albumin มีผลต่อปริมาตร ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีต่อเค้ก เพราะคุณสมบัติในการละลายและการเป็นโฟม (Lee และคณะ,1991) นอกจากนี้ ไข่มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ของไข่แดงช่วยในการเกิดเป็นอิมัลชั่นของ batter (McWilliams, 1979)

น้ำนม

เป็นส่วนหนึ่งของโครงร่างของเค้ก เนื่องจากมีโปรตีนในองค์ประกอบ น้ำตาลแลคโตสในน้ำนมให้รสหวาน เมื่อทำปฏิกริยากับโปรตีนจะให้สีแก่เปลือกเค้กไขมันในน้ำนมให้ความชุ่มฉ่ำ นอกจากนี้ยังใช้แทนส่วนของน้ำในสูตรได้ เพราะมีน้ำมากถึงร้อยละ 87 เป็นตัวทำละลาย ช่วยเสริมคุณค่าทางอาหารและกลิ่นรสแก่เค้กด้วย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

ไขมัน

ไขมันมีหน้าที่สำคัญในเค้กดังนี้

1. ทำหน้าที่ในการจับอากาศ (Aeration)

การผสมเค้กโดยใช้ creaming method ช่วงการตีเนยกับน้ำตาลด้วยความเร็วสูงนั้น ไขมันจะทำหน้าที่ในการจับอากาศจากนั้นไขมันช่วยเก็บอากาศในขณะที่ตีส่วนผสมทำให้เค้กขึ้นฟู (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2527) โดยฟองอากาศจะกระจายใน liquid fat ซึ่งอยู่รอบ ๆ ผลึกไขมัน ไขมันจะเก็บอากาศไว้ได้ดีเมื่อผลึกไขมันอยู่ใน β' form มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม (ภาพ 2.1 ก) ฟองอากาศจะมีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 micrometer หรือน้อยกว่าและมีปริมาณมาก ทำให้ไขมันมีลักษณะเป็นครีมเนียน หากเก็บรักษาไขมันไว้ที่อุณหภูมิสูงเกินไป ผลึกจะเปลี่ยนเป็น β form ซึ่งเสถียรกว่าและมีลักษณะเป็นแผ่นแบน (ภาพ 2.1 ข) ทำให้มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าผลึก β' form จึงจับกับของเหลวได้น้อยกว่า ทำให้ไขมันมีลักษณะเป็นเม็ดหยาบ อากาศที่เก็บไว้ภายในจะลดลง (Stauffer, 1993)

ลักษณะเนื้อสัมผัส และปริมาตรของเค้กจะขึ้นอยู่กับขนาดและการกระจายตัวของฟองอากาศในส่วนผสมเหลว โดยภายในส่วนผสมเหลวเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งไอน้ำจากการอบก๊าซที่เกิดขึ้น

เหล่านี้ จะเข้าไปรวมกับฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างการตีเนยด้วยความเร็วสูง ถ้าส่วนผสมเหลวมีฟองอากาศขนาดเล็ก และกระจายอย่างสม่ำเสมอจะได้เค้กที่มีปริมาตรดี และเนื้อสัมผัสละเอียด (Stauffer, 1993) ไขมันทำหน้าที่ในการจับอากาศเพื่อรวมตัวเข้าไปใน batter การกระจายของ fat globules ทำให้อากาศขนาดเล็กและมีจำนวนเซลมาก สารอิมัลซิฟายเออร์ช่วยในการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของ fat globules ขนาดเล็ก ดังนั้นการเพิ่ม air bubbles ขนาดเล็กถูกรวมเข้าไปซึ่งทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น (Bundy และคณะ, 1981)

(ก) (ข)

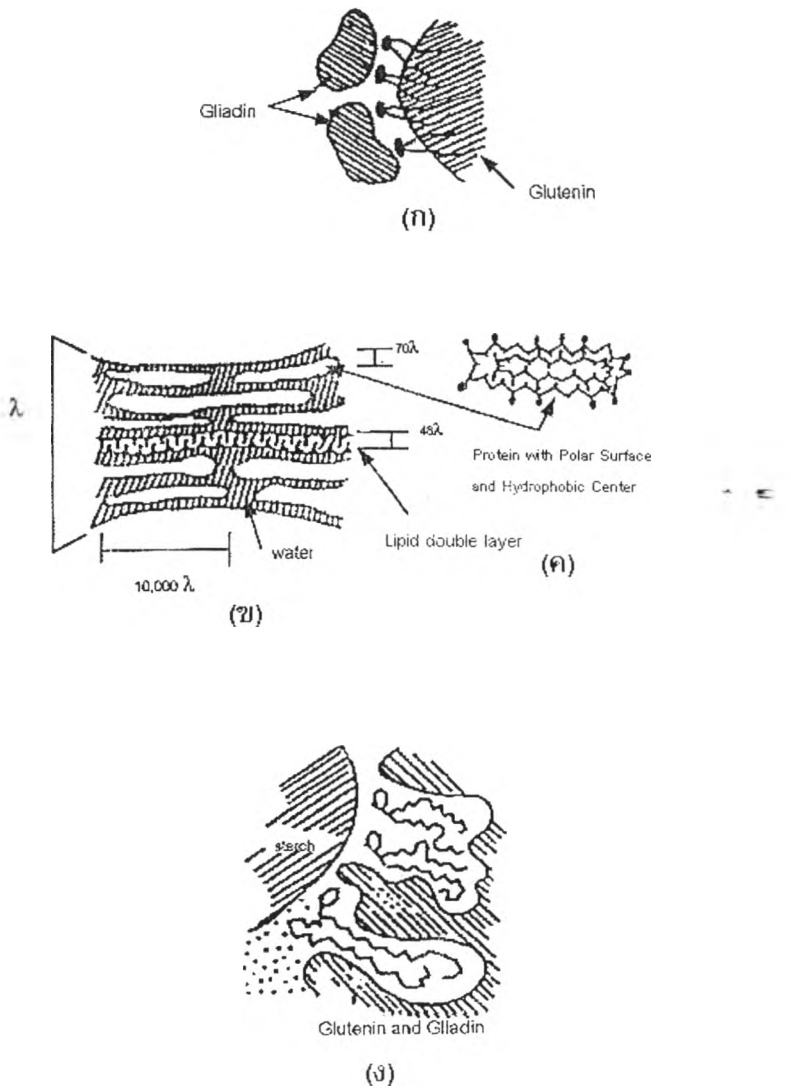
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของไขมัน (ก) ผลึกรูปเบต้าไพร์ (ข) ผลึกรูปเบต้า

ที่มา : Stauffer, 1993

2. ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสกับเค้ก (Texture) (Stauffer, 1993)

ไขมันช่วยลดการประสานตัวของ gluten และการจับตัวกันของ gluten กับเม็ดแป้งในระหว่างการผสมโดย gliadin และ glutenin จากแป้งจะทำปฏิกริยากัน ได้สารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า gluten โดยมีน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและไขมันจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างโปรตีนทั้งสอง (ภาพที่ 2.2 ก) ไขมันจะเชื่อมกับโปรตีน gliadin ด้วย hydrogen bond หรือ electrostatic bond และเชื่อมกับโปรตีน gluten ด้วย hydrophobic bond gluten ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นแผ่น (protein platelet)(ภาพที่ 2.2 ข) แผ่นโปรตีนนี้จะมีชั้นนอกเป็น hydrophillic มีผิวที่มีขั้วไฟฟ้าและชั้นในเป็น hydrophobic center (ภาพที่ 2.2 ค) แผ่นโปรตีนนี้สามารถประสานกันระหว่างแผ่นด้วย electronic bond, hydrogen bond และ Van der wall bond แผ่นโปรตีนซึ่งประสานตัวกันมากก็จะเกาะกันเป็นกลุ่มใหญ่ที่แข็งแรง ทำให้เค้กมีเนื้อแน่นและแข็ง ดังนั้นการผสมไขมันลงไปในส่วนผสมจะช่วยลดการประสานตัวของ gluten และไขมันยังเป็นตัวเชื่อมและช่วยหล่อลื่นไม่ให้ gluten และเม็ดแป้งเกาะกัน (ภาพที่ 2.2 ง) เกิดเป็นก้อนซึ่งจะทำให้เค้กมีเนื้อหยาบเป็นก้อน ดังนั้นการเติมไขมันจะช่วยให้เค้กมีเนื้อนุ่ม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.2 กลไกของไขมันในการลดการประสานตัวของ gluten

ที่มา : Stauffer, 1993

3. ช่วยในการหล่อลื่น (Lubrication)

ไขมันมีคุณสมบัติในการหล่อลื่น โดยจะช่วยป้องกันไม่ให้เค้กมีลักษณะเหนียวและนำออกจากพิมพ์ได้ง่าย รวมทั้งให้ความชุ่มแก่เค้กด้วย (Stauffer, 1993)

4. ให้ลักษณะทางประสาทสัมผัส (Organoleptic Properties)

ไขมันจะให้ความรู้สึกทางด้านประสาทสัมผัส กลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะแก่เค้ก (Stauffer, 1993)

5. ให้ความนุ่ม (Tenderization)

ไขมันมีหน้าที่สำคัญในการทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบอ่อนนุ่ม โดยเฉพาะในขนมปังและเพสตรีซึ่งมีน้ำตาลน้อย ไขมันจะไม่ละลายในน้ำแต่จะแทรกในระหว่างการเกิดกลูเตนในขั้นตอนการผสม ไขมันถูกดูดซึมบนผิวหน้า

ของ gluten protein ถูกแทรกด้วย hydration ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างของกลูเตน (Stauffer, 1993) น้ำมันและไขมันมี tenderizing effect เมื่อใช้ในส่วนผสมแป้ง ไขมันป้องกันการเกิดกลูเตน ไขมันเคลือบสายกลูเตน ทำให้โครงสร้างกลูเตนไม่จับตัวกันแน่นเมื่อสายกลูเตนถูกเคลือบด้วยไขมัน การเกิดกลูเตนลดลงเพราะน้ำไม่สามารถเข้าไปถึงกลูเตนได้ ไขมันมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมอบ เช่น ไขมันทำให้เพสตรีมีความนุ่มและเป็นชั้น ๆ แต่ถ้าใช้น้ำมันจะทำให้เพสตรีมีความนุ่มเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ไขมันยังช่วยเพิ่มกลิ่นรสอีกด้วย (McWilliams, 1979)

ไขมันช่วยในการแทรกตัวระหว่างโปรตีนและสตาร์ช ทำให้เนื้อเนียน ลื่น มีผลต่อความนุ่มของเนื้อเค้ก ถ้าไขมันที่ใช้มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ จะช่วยให้ส่วนผสมที่เป็นของเหลวเข้ากับส่วนผสมอื่นได้ดีจึงทำให้เนื้อเค้กมีความชุ่ม อ่อนนุ่ม เนื่องจากมีฟองอากาศในเนื้อเค้กขนาดเล็กและสม่ำเสมอ (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2527)

ไขมันที่นิยมใช้ในเค้กเนยมีดังนี้ (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2527)

1. เนยสด (Butter) ทำมาจากส่วนที่เป็นไขมันของน้ำนมวัว ประกอบด้วยไขมัน 80% มีสีเหลือง รสหวาน เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นหอม เนยสดมีคุณสมบัติด้อยในการเป็นครีม เนยสดจะตีเป็นครีมไม่ดีและขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน เค้กที่ทำจากเนยสดอย่างเดียวจะมีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กหยาบ แต่มีกลิ่นหอม

2. ไขพืช (Hydrogenated Vegetable Oil) หรือเรียกว่า Vegetable shortening ทำมาจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ปราศจากกลิ่น เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง โดยนำไปผ่านก๊าซไฮโดรเจนซึ่งมีนิเกิลเป็นคะตะลิสต์ ยิ่งผ่านก๊าซไฮโดรเจนมากเพียงใดไขมันจะยิ่งแข็งขึ้น และอาจเติม Monoglyceride และ Diglyceride เข้าไปเพื่อให้ไขพืชมีความสามารถในการดูดซึมและเก็บความชื้นได้มาก ซึ่งจัดเป็น High-ratio-shortening ตีเป็นครีมได้ไม่ดี แต่จะใช้กับส่วนผสมที่มีน้ำตาลและน้ำสูง สำหรับไขพืชที่ไม่เติม Mono-diglyceride ลงไป เป็นไขพืชที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดและดีเป็นครีมได้ดี ไฮโดรเจนที่ผ่านเข้าไปในน้ำมันพืชจะเป็นตัวควบคุมการแข็งตัวของ ไขพืชนั้น ๆ ให้มีความแข็งตัวตามต้องการ ไขพืชส่วนใหญ่มีสีขาวเรียกว่าเนยขาว จะไม่มีกลิ่นรส เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาณไขมันถึง 100% การใช้เนยขาวที่ผ่านการเติมไฮโดรเจนเข้าไปนั้น จะดีกับน้ำตาลให้ลักษณะส่วนผสมที่เป็นครีมได้ดี เพราะไขมันแข็งสามารถจับอากาศที่ได้จากการตีเป็นครีมมากกว่า เนยขาวมีลักษณะยืดหยุ่นไม่แข็งที่อุณหภูมิต่ำ ไม่เหลวที่อุณหภูมิสูง ทำให้ได้เค้กที่มีเนื้อละเอียด

เนยสดมีสภาพยืดหยุ่นไม่ดี เมื่อวางไว้ในที่เย็นจะแข็งมากและเมื่อวางในอุณหภูมิห้องจะเหลวง่าย จึงไม่เหมาะในการทำเค้กเนยซึ่งเป็นเค้กเนื้อหนัก แต่เนื่องจากเนยสดมีกลิ่นรสที่ดี แม้ว่าคุณสมบัติในการเป็นครีมจะไม่ดี จึงมักนิยมผสมเนยขาวกับเนยสดในอัตราส่วน 1:1 เพื่อให้ได้เนื้อเค้กที่ดีจากเนยขาว และกลิ่นรสจากเนยสด เนยสดกับเนยขาวสามารถใช้แทนกันได้ หากต้องการใช้เนยสดหรือเนยขาวเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งแต่ให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งเมื่อใช้แทนกันจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนยสด ซึ่งมีประมาณ 16-18% เมื่อใช้เนยสดแทนเนยขาว จะต้องเพิ่มปริมาณเนยสดให้มากขึ้นและต้องลดปริมาณน้ำออกจากสูตรตามปริมาณน้ำในเนยสดด้วย หากต้องการใช้เนยขาวแทนเนยสด ต้องลดปริมาณเนยและเพิ่มน้ำในสูตรให้พอเหมาะด้วย เนยขาวอาจจะเติมสารอิมัลซิฟายเออร์เช่น monoacylglycerol เพื่อทำให้เนยขาวสามารถใช้ทำเค้กสูตรที่มีน้ำตาลสูงได้ (Rossell และ Pritchard,1991)

จากหน้าที่และความสำคัญของส่วนผสมของเค้ก ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงถึง 9 kcal./g. นอกจากนี้ไขมันยังใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทอื่น ๆ อีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไขมันที่มีในผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ

Product type	Typical fat content (%)	Approx.kcal./100g	Approx.%kcal from fat
Yeast-leavened breads	1.0-3.0	250	3.6-10.8
Muffins	9-10	285	28-32
Cakes/Cupcakes	10-20	370	24-48
Danish pastry	23-25	425	49-53
Chocolate chip cookies	20-30	495	39-54
Yeast-leavened doughnuts	25-30	420	54-64

ที่มา : Vetter,1993

ส่วนผสมของเค้กส่วนใหญ่จะเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงแก่ร่างกาย ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กแคลอรีต่ำ จะมีการลดปริมาณไขมันลงโดยการใช้สารทดแทนไขมันเพื่อทำหน้าที่แทนไขมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีพลังงานลดลง เมื่อมีการลดไขมันลงแล้วผู้บริโภคยังต้องการให้ผลิตภัณฑ์เค้กแคลอรีต่ำมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และลักษณะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเต็ม

สารที่ช่วยให้ขึ้นฟู

ลักษณะของเค้กที่ขึ้นฟูได้นั้นเนื่องจากสิ่งที่ช่วยให้การขึ้นฟู 3 ชนิดหลัก คือ อากาศที่แทรกตัวอยู่ในส่วนผสมจากการตีหรือผสมส่วนผสมต่าง ๆ ให้เข้ากัน เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีในส่วนผสม โดยการใส่ยีสต์หรือผงฟูลงไปให้เกิดปฏิกริยาในขณะผสม ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทรกตัวอยู่ และการขึ้นฟูเนื่องจากไอน้ำที่เกิดขึ้นในขณะอบ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) ผงฟูมีผลต่อปริมาตรของเค้กเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสมปริมาตรของเค้กจะเพิ่มขึ้น หากใช้ในปริมาณมากเกินไปความดันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะไปทำลายผนังเซลของเค้กให้เค้กยุบ (McWilliams, 1979)

ผงฟูมีโซเดียมไบคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 30 ผสมกับกรดเกลือชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน มีสตาร์ชข้าวโพดเป็นสารป้องกันไม่ให้ผงฟูจับกันเป็นก้อน เนื่องจากโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นเกลือที่เกิดจากด่างแก่ (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ทำปฏิกริยากับกรดอ่อน (คาร์บอนิก) จึงมีสภาพเป็นด่าง จะทำปฏิกริยากับกรดของเกลือในส่วนผสมของผงฟูให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นกับกรดของเกลือที่เป็นส่วนผสม โดยสามารถแบ่งผงฟูเป็น 2 แบบคือ แบบเกิดปฏิกิริยาเร็ว หรือแบบเกิดปฏิกิริยาช้า เมื่อใช้ผงฟูแบบเกิดปฏิกิริยาเร็วจะมีก๊าซเกิดขึ้นทันทีในระหว่างผสม ถ้าทิ้งส่วนผสมไว้นานก๊าซอาจจะออกจากส่วนผสมก่อนนำเข้าอบซึ่งมีผลทำให้ขนมฟูไม่ดีนัก ส่วนผงฟูแบบเกิดปฏิกิริยาช้าจะมีก๊าซเกิดขึ้น 2 ครั้งคือในขณะผสมและขณะอบ ข้อบังคับของ FDA ได้กำหนดไว้ว่าผงฟูที่ผลิตออกมาจำหน่าย ต้องสามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่น้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์ นัยวิกุล,2532) การใช้สารเคมีในการขึ้นฟูจาก $NaHCO_3$ จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ เช่น ammonium bicarbonate และ sodium carbonate มีข้อจำกัดในการใช้ เพราะเนื้อเค้กชุ่ม แอมโมเนียอาจตกค้างจาก ammonium bicarbonate และผลของก๊าซคาร์บอเนตในผลิตภัณฑ์ จะมีความเป็นด่างสูง (Delcour และคณะ, 1991) การใช้สารที่ช่วยให้ขึ้นฟูเพื่อผลิตก๊าซ ทำให้ผนังเซลเกิดการขยายตัวเพื่อเพิ่มปริมาตรและความนุ่ม leavening agent ควรมีปริมาตรที่เหมาะสมเพียงพอในระหว่างการอบ เพื่อยึดโครงสร้างของbatterในเตาอบและรักษาปริมาตรสูงสุดจนกระทั่ง

เกิดการตกตะกอนของโครงสร้างโปรตีนจะให้ความแข็ง ซึ่งจำเป็นในการรองรับโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลังจากออกจากเตาอบ (McWilliams, 1979)

น้ำตาล

น้ำตาลช่วยให้เค้กมีความหวาน นุ่ม เพราะน้ำตาลมีผลให้โปรตีนในแป้งอ่อนตัวและช่วยเก็บความชื้นทำให้เค้กมีความชุ่มฉ่ำคุณภาพในการเก็บดี นอกจากนี้น้ำตาลยังช่วยในการตีครีมและไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู ทำให้เกิดสีเปลือกของเค้ก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) ความหวานของเค้กได้จากน้ำตาลทราย น้ำผึ้ง ไซรัป ซึ่งให้ทั้งความหวานและกลิ่นด้วย น้ำตาลช่วยให้เกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าเค้กในระหว่างการอบ เกิดจากเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและน้ำตาล น้ำตาลมีผลต่อความนุ่มและปริมาตรของเค้ก น้ำตาลเป็น hygroscopic ซึ่งมี affinity ต่อน้ำสูง เมื่อเติมน้ำตาลลงในของเหลวบางส่วนจะละลายน้ำตาลทำให้น้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดกลูเตน น้ำตาลจึงมีผลหน่วงการเกิดกลูเตนในส่วนผสมเหลว เนื่องจากทำให้การผสมส่วนผสมต่าง ๆ ทั่วถึงโดยไม่ทำให้เกิดกลูเตนซึ่งจะทำให้เค้กมีความนุ่ม การเกิดร่างแหกลูเตน (gluten network) ในระหว่างการผสม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาตรในระหว่างการผสม ก๊าซในส่วนผสมเหลวจะขยายตัวและผนังเซลจะเริ่มยืดออกไนโดจะมีน้ำตาลน้อยหรือไม่มีเลย กลูเตนจะเกิดขึ้นในระหว่างการผสมทำให้ต้านทานการขยายตัวของก๊าซได้ แต่ถ้าไม่มีกลูเตน เซลจะต้านทานความดันจากการขยายตัวของก๊าซได้น้อย ความแตกต่างของการเกิดโครงร่างแหกลูเตนในส่วนผสมเหลวที่มีและไม่มีน้ำตาล ปริมาตรเค้กขนาดใหญ่กว่าเมื่อมีน้ำตาล แต่ถ้าไม่มีน้ำตาลปริมาตรจะเล็กกว่า (McWilliams, 1979)

เกลือ

เกลือช่วยเพิ่มรสชาติให้กับเค้ก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

ของเหลว

ของเหลวที่ใช้ในเค้ก เช่น น้ำ น้ำนม นมเปรี้ยว ครีมเปรี้ยว มีหน้าที่สำคัญในการช่วยให้เกิดกลูเตน เมื่อเติมของเหลวลงในส่วนผสมแป้งจะเกิดกลูเตนขึ้นเนื่องจากมีของเหลว แป้งจะเกิดการเจลาติไนส์บางส่วนในระหว่างอบ นมหรือของเหลวอื่นทำหน้าที่เป็นตัวละลายของส่วนผสมแข็ง เช่น น้ำตาล เกลือ นอกจากนี้ของเหลวยังเป็นตัวละลายของผงฟู ของเหลวบางอย่าง เช่น น้ำนม น้ำผลไม้ ช่วยให้เกิดกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร (McWilliams, 1979)

สารให้กลิ่นรส

กลิ่นรสของเค้กเกิดจากกลิ่นรสของส่วนผสมทั้งหมดร่วมกัน อาจเติมสารเฉพาะที่ให้กลิ่นรสเสริมลงไปได้ สารที่ให้รสซึ่งนิยมเติมในขนมเค้ก ได้แก่ เกลือ เครื่องเทศ ส่วนสารให้กลิ่นมี 3 ลักษณะคือ สารสกัดจากธรรมชาติ เช่น มะนาว สารสังเคราะห์ในรูปน้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นคล้ายธรรมชาติ เช่น วานิลลิน สารให้กลิ่นของวานิลลา และกลิ่นของผลไม้แท้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

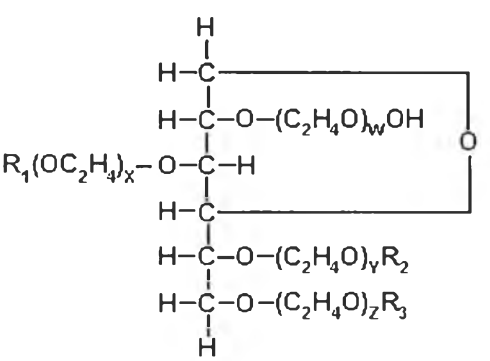
สีผสมอาหาร

สีผสมอาหารที่เติมลงในขนมเค้กควบคู่กับกลิ่นรส เพื่อเสริมลักษณะความพอใจของผู้บริโภค สีที่ใช้ผสมในอาหารนั้นมี 2 ประเภท คือ สีธรรมชาติ และสีสังเคราะห์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

อิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier)

สารอิมัลซิฟายเออร์แบ่งเป็น 4 กลุ่มตามชนิดของขั้ว คือ anionic, cationic, zwitterionic และ nonionic สารอิมัลซิฟายเออร์ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันช่วยให้อิมัลชันคงตัว ปรับปรุงเนื้อสัมผัสและช่วยไม่ให้เกิดการตกผลึกของไขมันในผลิตภัณฑ์ (Kissell และ Prentice, 1979) โดยทั่วไปสารอิมัลซิฟายเออร์ที่ใช้ในเค้กมีประมาณ 1-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้ง ส่วนในผลิตภัณฑ์เช่น icing, cream fillings, whipped toppings ประมาณ 1-4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเนยขาว สารอิมัลซิฟายเออร์ช่วยให้เกิดการรวมตัวของอากาศเข้าไปในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรดี ความหนาแน่นต่ำ และได้ลักษณะเนื้อสัมผัสดี การเลือกใช้สารอิมัลซิฟายเออร์จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับระบบอิมัลชันของผลิตภัณฑ์อาหารโดยสารอิมัลซิฟายเออร์ที่มีค่า hydrophilic-lipophilic balance (HLB) สูง ใช้ในระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ส่วนสารอิมัลซิฟายเออร์ที่มีค่า hydrophilic-lipophilic balance (HLB)ต่ำ ใช้ในระบบอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน นอกจากนี้สารอิมัลซิฟายเออร์ต้องได้รับอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ สำหรับเค้กจัดว่าเป็นระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ควรเลือกสารอิมัลซิฟายเออร์ที่มีค่าhydrophilic-lipophilic balance (HLB) สูง จากเกณฑ์ดังกล่าวจะนำมาใช้ในการพิจารณาเลือกสารอิมัลซิฟายเออร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งได้แก่ polysorbate 60 , monoglyceride และ sucrose ester โดยสารอิมัลซิฟายเออร์ทั้งสามนี้มีลักษณะที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในเค้กได้เพราะ สามารถลดแรงตึงผิวได้ดีมีประสิทธิภาพสูงแม้จะใช้ในปริมาณน้อยและไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสี กลิ่นรสที่ผิดปกติในเค้ก สารอิมัลซิฟายเออร์ที่ใช้ในงานวิจัยมีลักษณะดังนี้

1.Polysorbate 60 หรือ Polyoxyethylene (20) sorbotan monostearate มีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (Wenning และ McEwen, 1992) polysorbate 60 เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ชนิด nonionic (Macrae, Robinson, และ Sadler, 1993) ผลิตได้จากการนำ ethylene oxide ไปทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง stearic acid กับ sorbital polysorbate 60 เป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ชอบน้ำ ปริมาณที่ใช้ทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนัก สำหรับ polysorbate 60 เป็นของเหลวข้น หนืด ใส ไม่มีสี และละลายในน้ำได้

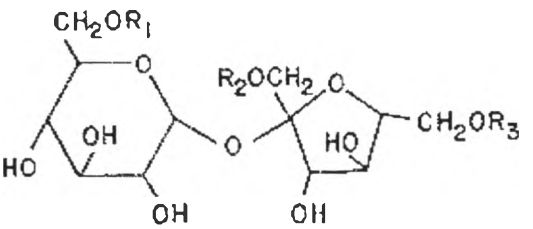


ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของ Polysorbate 60

ที่มา : Artz ,1989

2.Sucrose ester มีสูตรโครงสร้างเคมีดังรูปที่ 2.4 (Sugar Research Foundation Inc., 1960) Sucrose ester เป็นอิมัลซิฟายเออร์ชนิด nonionic (Macrae และคณะ, 1993) ผลิตได้จากการนำ Sucrose ไปทำปฏิกิริยากับ ester ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง fatty acid และ polyhydric alcohol

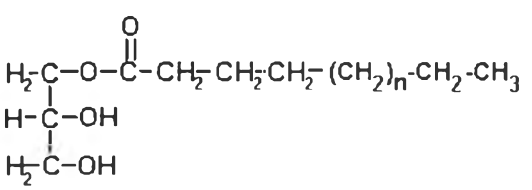
(Becher,1957) สมบัติของ Sucrose ester ที่ผลิตได้ ขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนหมู่ fatty acid ที่ต่อกับโมเลกุลของ Sucrose ทำให้ Sucrose ester ลักษณะตั้งแต่เป็นของแข็งกรอบไปจนถึงน้ำมันที่ไหลได้อิสระ และมีสมบัติตั้งแต่เป็นแว็กซ์ที่ไม่ละลายน้ำไปจนถึงสมบัติเป็นของเหลวที่กระจายตัวได้ในน้ำ การเลือกชนิด fatty acid ที่เหมาะสม และการควบคุม degree of esterification ทำให้สามารถกำหนดสมบัติของ Sucrose ester ให้เป็น hydrophilic หรือ lypophilic ได้ตามต้องการ (Sugar Research Foundation Inc., 1960)



ภาพที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของ Sucrose ester

ที่มา : Artz, 1989

3.Monoglyceride ซึ่งเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ที่มีค่าไอโอดีน 2-15 เตรียมจาก glycerin ที่มี straight chain fatty acids เหมือนที่พบในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ซึ่งมีคาร์บอน C 8-22 อะตอมและมีความอิ่มตัว monoglyceride มีชื่อทางการค้าคือ Myverol18-06 นอกจากนี้ monoglycerides อาจทำมาจากการ esterifying กรดไขมันชนิดต่าง ๆ จากนั้นผสมจนได้ ค่าไอโอดีนตามต้องการ หรือผลิตโดยใช้กรดทำให้ได้ degree of saturation ตามต้องการ (Johnson.1983)



ภาพที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของ 1(3) - monoglycerides.

ที่มา : Henry,1995

2. กรรมวิธีในการผลิต (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

ขั้นตอนการผลิตเค้กประกอบด้วย การผสม ใส่พิมพ์ และเข้าอบ ซึ่งการผสมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีการเก็บอากาศไว้ภายในส่วนผสมมากที่สุด และให้เนื้อแป้งกลายเป็นกลูเตนน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้ส่วนผสมเหนียวและเนื้อแน่นหลังการอบ

วิธีผสมเค้กเนย (จิตธนา แจ่มเมฆ, 2527)

มีวิธีผสมหลายวิธี จะมุ่งให้เกิดเซลอากาศเก็บไว้ในแป้งผสมมากที่สุดและนานที่สุดก่อนนำไปอบ ไขมันเป็นส่วนที่เก็บเซลอากาศไว้ได้มากที่สุด จึงต้องตีให้ไขมันกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับแป้งผสม ซึ่งต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้สูญเสียเซลอากาศ เพราะจะทำให้ปริมาตรเค้กลดลง เนื้อเค้กแข็งกระด้าง และแฉะตรงกลาง

วิธีผสมเค้กเนยมี 4 วิธี

1. วิธีครีมเนย (Creaming Method) ตีไขมันกับน้ำตาลให้ส่วนผสมอยู่ในสภาพอ่อนตัวปานกลาง และเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะเป็นครีม ใช้ความเร็วของเครื่องผสมปานกลาง เซลอากาศที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บไว้ในส่วนผสม ทำให้ส่วนผสมเบา และฟูตัว ค่อย ๆ เติมไข่ลงไปทีละฟอง ตีต่อไปจนส่วนผสมเข้ากันอย่างทั่วถึง เมื่อเติมไข่ลงไปหมดแล้วส่วนผสมจะเบาและอ่อนตัว หลังจากนั้นเติมของเหลวและแป้งทั้งหมดที่ใช้ในส่วนผสมโดยเติมของเหลว เช่น น้ำหรือน้ำนม สลับกับแป้ง โดยเริ่มด้วยแป้งและสิ้นสุดด้วยแป้ง สลับกันไปเพื่อให้แป้งค่อย ๆ ดูดซึมน้ำบางส่วนและป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ผสมต่อไปจนส่วนผสมเรียบเนียน

2. วิธีคนผสม (Blending Method) ใช้สำหรับเค้กที่มีส่วนผสมของน้ำตาล และน้ำในเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าแป้ง ซึ่งเรียกว่า High-Ratio-Cake เค้กที่ทำด้วยวิธีนี้จะมีปริมาตรต่ำ แต่มีความชุ่ม นุ่ม เนื้อเค้กละเอียด มีคุณภาพในการเก็บดี ขั้นตอนแรก ผสมแป้งกับไขมันให้เข้ากันจนเม็ดแป้งถูกห่อหุ้มด้วยไขมันอย่างทั่วถึง แล้วจึงเติมส่วนผสมแห้งอื่น ๆ ลงไป เติมของเหลวลงไป ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของของเหลวที่ใช้ รวมทั้งไข่ด้วย ผสมระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงเติมของเหลวที่เหลือลงไป ผสมต่อไปจนกระทั่ง ส่วนผสมเรียบเนียน

3. วิธีชูก้า-วอเตอร์ (Sugar-Water Method) ผสมน้ำตาลที่ใช้ในสูตรทั้งหมดลงในชามผสมที่มีน้ำคนจนน้ำตาลเป็นสารละลายแล้วจึงเติมส่วนผสมแห้งอื่น ๆ เช่น แป้ง นมผง เกลือ ผงฟู ลงไปด้วยอัตราเร็วปานกลางจนกระทั่งขึ้นฟู จึงเติมไข่ลงไป เนื่องจากวิธีผสมนี้จะให้เค้กขึ้นฟูดี และไม่จำเป็นต้องปาดส่วนผสมที่ติดอยู่ข้าง ๆ อ่างผสมบ่อย ๆ เหมือนวิธีครีมเนย และวิธีคนผสม

4. วิธีผสมครั้งเดียว (Single-Stage Method) เป็นการผสมส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในสูตรรวมเข้าด้วยกัน ยกเว้นไข่ ผสมด้วยความเร็วสูงประมาณ 1 นาทีแล้วจึงเติมไข่ลงไป จากนั้นผสมต่อไปโดยใช้ความเร็วต่ำประมาณ 30 วินาที วิธีผสมครั้งเดียวนี้ นิยมใช้สำหรับเค้กสำเร็จรูป

การอบเค้กเนย

เมื่อผสมส่วนผสมต่างๆเสร็จแล้วเทส่วนผสมประมาณ 1/2 หรือ 2/3 ของพิมพ์ที่ทาด้วยเนยขาวเฉพาะที่กันพิมพ์ไม่ต้องทาด้านข้าง หรือจะใช้กระดาษรองกันพิมพ์ก็ได้ซึ่งไม่ต้องทาเนยขาว

ในการอบเค้กสิ่งสำคัญคือ การตั้งอุณหภูมิของเตาให้คงที่ก่อนนำส่วนผสมเข้าอบ โดยเมื่อผสมเสร็จแล้วควรรีบใส่พิมพ์เข้าอบทันที เพราะถ้าทิ้งไว้นานจะเกิดปฏิกิริยาของผงฟูกับของเหลวในส่วนผสมผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ทำให้ขนมเค้กขึ้นฟูจะสูญเสียออกไปมาก ในระหว่างการรอเข้าเตาอบทำให้เซลอากาศภายในส่วนผสมสูญเสียไป อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเค้กเนยคือ 180°C ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบขึ้นกับ ขนาดของเค้ก ขนาดของเตาอบ รวมทั้งปริมาณเค้กที่เข้าอบแต่ละครั้ง โดยทั่วไปเค้กเนยใช้เวลาในการอบ 20-30 นาที

ระหว่างการอบ ส่วนผสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ช่วงอุณหภูมิ 37-40°C ไขมันเปลี่ยนรูปร่างจาก irregular shape เป็น spherical droplet เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 40-80 °C สตาร์ชจะดูดน้ำและเกิดการพองตัว แป้งเกิดการ gelatinization บางส่วน โปรตีนในไข่เกิดการตกตะกอน เริ่มเกิดโครงร่างของเค้กและการขยายตัวของฟองอากาศ เมื่อสตาร์ชเกิดเป็นเจลเกือบสมบูรณ์จะเร่งการตกตะกอนของโปรตีนให้เกิดเร็วขึ้น ส่วนผสมเปลี่ยนสภาพจาก sol เป็น gel ทำให้การขยายตัวของฟองอากาศต่ำลง และมีการปล่อยก๊าซบางส่วนออกมา จากนั้นการขยายตัวของส่วนผสมจะหยุดลงและโครงร่างเค้กจะคงที่ การให้ความร้อนต่อไปจนสิ้นสุดการอบ จะทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนในไข่และในแป้งเกิดเป็นโครงร่างที่แข็งแรงขึ้น (Shepherd, 1976 และ Mizukoshi, 1980)

3. อายุการเก็บเค้ก

เค้กเนยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน น้ำตาล และความชื้น (moisture content) สูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อายุการเก็บรักษา (shelf life) สั้น (Ashurst, 1991) ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการทำให้เย็นภายหลังการอบและควรทำให้ผิวหน้าของเค้กแห้งเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของราบนผิวหน้า อายุการเก็บรักษาอยู่ในระหว่าง 5-7 วัน (Sacharow, 1980) ซึ่งในช่วงนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญคือ การสูญเสียความชื้น นอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา เชื้อจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่ คือ รา Rhizopus nigricans (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535) ซึ่งสามารถยับยั้งหรือชะลอการเจริญเติบโตโดยการใช้วัตถุเจือปนในอาหารเพื่อกันเสีย เช่น sorbic acid, propionic acid เป็นต้น (Bushill, 1968) นอกจากนี้การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมสามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ (Paine, 1983)

สารทดแทนไขมัน (Fat Replacer)

สารทดแทนไขมันจะต้องแสดงคุณสมบัติด้านความนุ่มและการหล่อลื่น นอกจากนี้ยังความรู้สึกชุ่มชื้นในปากให้เหมือนไขมัน และจะต้องมีคุณสมบัติเป็นสารสร้างลักษณะเนื้อสัมผัส (texturizing agent) เป็นลักษณะสำคัญร่วมกับลักษณะเมื่อสัมผัสในปาก (mounthfeel) ปนครีมมันคล้ายไขมัน ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม สามารถทนความร้อนระดับปานกลางและสูงในขณะแปรรูปผลิตภัณฑ์ได้ และที่สำคัญควรมีปริมาณแคลอรีต่ำ ไม่จับกับสารอาหารหลัก วิตามิน หรือกลิ่นรสใด ๆ และไม่มีผลข้างเคียงของสารที่ไม่ถูกย่อยโดยระบบของร่างกายเมื่อบริโภค เช่น การระบายท้อง เป็นต้น (จันทรัตน์ เลิศมโนรัตน์, 2539)

สำหรับงานวิจัย เลือกใช้สารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรต ทั้งนี้เนื่องจากสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง เช่น เค้ก โดยสารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรตนี้เมื่อรวมกับน้ำแล้วจะมีลักษณะเป็นเจลคล้ายไขมัน ส่วนสารทดแทนไขมันจากโปรตีนไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในเค้กเนื่องจากไม่สามารถทนความร้อนในการอบได้ และสารทดแทนไขมันจากไขมันส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

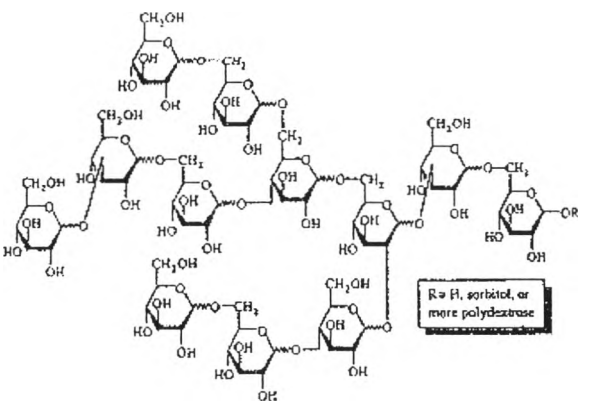
สารทดแทนไขมัน (fat replacer) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี คือ

1. สารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate-based fat replacer) เป็นกลุ่มสารละลายคอลลอยด์ของแป้งซึ่งถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ความร้อน หรือเอนไซม์ modified starch และ gum เมื่อรวมกันในระดับที่เหมาะสมแล้ว สามารถทำหน้าที่แทนไขมันในอาหารที่ลดลงไปได้ เนื่องจากสามารถรวมกับน้ำให้ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) และ ความข้นหนืด (viscosity / consistency) สารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้เหมาะสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ เช่น เค้ก (Khan, 1993)

สารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรตเป็นสารทดแทนไขมันกลุ่มใหญ่ที่สุด แบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี ดังนี้

1.1. Polydextrose (Carole S. Setser และ Wendi L. Racette, 1992)

ประกอบด้วย glucose polymers sorbitol และ citric acid ในอัตราส่วน 89:10:1 polydextrose มี 4 รูปคือ เป็นผงหยาบและละเอียด (Pfizer, Inc; A.E. Staley) type N (70% solution) type k (powder) และ type F (powder, Litesse®, Pfizer, Inc.) polydextrose มีลักษณะเป็นผง สีขาว-สีน้ำตาลอ่อน ละลายน้ำได้ดี และให้สารละลายที่มีความข้นหนืด ไม่ให้รสหวาน หากใช้ในปริมาณสูงจะให้รสขม มี pH 2.5-3.5 สามารถใช้แทนไขมันบางส่วนในผลิตภัณฑ์อาหาร จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัส ความรู้สึกเมื่อรับประทาน (mouthfeel) เพิ่มขึ้น รวมทั้งช่วยดูดความชื้น และช่วยชลอการเกิด stalingในผลิตภัณฑ์ขนมอบ polydextrose จะถูกย่อยได้เพียงบางส่วนในร่างกายให้พลังงาน 1 kcal/g. (4.2 kJ/g) ดังนั้นจะช่วยลดพลังงานจาก sucrose ได้ 25% หรือลดพลังงานจากไขมันได้ 11% นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น เค้ก ขนมปัง โดนัท และลูกกวาด ไอศกรีม น้ำสลัด โยเกิร์ต เป็นต้น



ภาพที่ 2. 6 สูตรโครงสร้างของ polydextrose.

ที่มา : Craig และคณะ, 1998

1.2. Starch Derivatives (Frye และ Setser, 1993)

อนุพันธ์ของแป้ง (starch derivative) รวมทั้ง maltodextrins, dextrins และ modified starches อื่น ๆ

- Maltodextrin $[(c_6H_{12}O_5)_nH_2O]$ ผลิตจากการย่อยสลายแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด หรือแป้งมันฝรั่งด้วยเอ็มไซม์หรือกรด maltodextrins เป็นสารโพลีเมอร์ของน้ำตาลที่ประกอบด้วย D-glucose units เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha(1\rightarrow4)$ ไม่มีรสหวาน สามารถย่อยสลายในระบบทางเดินอาหารเช่นเดียวกับแป้งจึงให้พลังงาน 4 kcal/g. และเมื่อนำไปใช้เป็นสารทดแทนไขมันจะใช้ในรูปของ gel หรือ sol โดยมีอัตราส่วน น้ำ : maltodextrins (3:1) จึงให้พลังงานเพียง 1 kcal/g และมีค่า D.E.(dextrose equivalent) ต่ำกว่า 20 นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซุป น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น

1.3. Fiber (Frey และ Setser, 1993)

fiber เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืช เช่น ธัญพืช ผลไม้ ถั่ว และผัก ซึ่งจะให้ส่วนประกอบของ fiber ต่างกัน ทั้งนี้ยังรวมถึง cellulose hemi-celluloses gums pectins beta glucans และ lignins fiber จะใช้ในผลิตภัณฑ์โดยจะให้ bulking property ของน้ำตาลและไขมันและไม่ให้พลังงาน

ตารางที่ 2.2 : สารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรด

Replacer	Trade name (Developer)	Conc. Used (%Solids)	Special features
Corn starch	Steller™ (A.E.Staley)		Acid hydrolyzed; forms microparticulate gel; extends shelf life in laminated pastries up to 2 weeks
Potato maltodextrin	Paselli SA2 (Avebe America Inc.)	> 20	Enzymatically hydrolyzed; used in dips dressing, frozen desserts, and bakery products.
Tapioca dextrin	N-Oil®, Instant N-Oil® (National Starch & Chemical)	20-35	Used for frozen desserts, salad dressings
Tapioca maltodextrin	Instant N-Oil® II (National Starch & Chemical)	30-40	
Waxy corn maltodextrin	N-Lite™ B (National Starch & Chemical)	25-30	Used as gel in laminated doughs; extends shelf life and replaces up to 100% shortening
Blend of hydrolyzed wheat, potato, corn, and tapioca starches	Colestra™ (Reach Associates)	25	

ที่มา : Frey และ Setser, 1993

2. สารทดแทนไขมันจากโปรตีน (Protein-based fat replacer) ทำจากวิธีการผลิตซึ่งเรียกว่า microparticulated protein ซึ่งมีส่วนผสมของไข่ขาว น้ำนมปราศจากไขมัน เพคติน และกรดซิตริก ถูกนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิระดับการพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization temperature) และคนตลอดเวลาให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นโปรตีนจะเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ (globule) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1-3.0 μm. สามารถใช้ทดแทนไขมันได้เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ จะให้ลักษณะของเหลวที่เป็นครีม (creamy fluid) นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์นม เช่น yogurt cheese spread cream cheese และ sour cream นอกจากนี้ยังสามารถใช้ใน margarine spreads salad dressing และ mayonnaise ตัวอย่างของสารทดแทนไขมันจากโปรตีนแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 : สารทดแทนไขมันจากโปรตีน

Product	Trade Name (developer)	Special features	Energy, kJ/g. (kcal/g.)
Milk-derived solid	Dairylight™ (Ault Foods)[130]	Used for frozen desserts	
Zein (corn protein)	Lita® (Optra Ingredients)	Microspheres	6.3(1.5)
Egg white and milk protein	Simplesse® (NutraSweet)	Microparticles; used in cold applications	4.2-8.4(1-2)
whey protein	Simplesse® 100 (NutraSweet)	Microparticles; can be used for baking	

ที่มา : Setser และ Racette, 1992

3. สารทดแทนไขมันจากกรดไขมัน (Fatty acid-based fat replacer) สารทดแทนไขมันจากกรดไขมันเป็นกลุ่มที่มีคุณสมบัติคล้ายไขมันมากกว่าสารทดแทนไขมันชนิดอื่น เนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะเดียวกับไขมัน โดยกรดไขมันบางตัวในโครงสร้างของไขมันถูกเปลี่ยนแปลงโดยขบวนการทางเคมี ทำให้ร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ จึงไม่ให้พลังงาน สารทดแทนไขมันจากกรดไขมัน ส่วนใหญ่ยังไม่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากยังไม่ได้รับอนุญาตจาก FDA ให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ยกเว้น caprenin ตัวอย่างสารทดแทนไขมันจากกรดไขมันแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 : สารทดแทนไขมันจากไขมัน

Product	Trade Name (developer)	Special features	Energy, kJ/g. (kcal/g.)
Caprocaprylobehehin	Caprenin (Proter & Gamble)	Replaces cocoa butter; behenic acid only partially absorbed	21(5)
Dialkyl dihexadecylmalonate	DDM (Frito-Lay)	Designed for high temperature applications	0
Esterifed propoxylated glycerol	EPG (ARCO Chemical)	Used in high temperature or cold applications	0
Sucrose polyesters	Olestra (Procter & Gamble)	For hot or cold applications	0
Trialokoxytricarballylate	TATCA (Best Foods)	Used in margarine and mayonnaise type products	0

ที่มา : Setser และ Racette,1992

การใช้สารทดแทนไขมัน (fat replacer) ในเค้กแคลอรีต่ำ

ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงถึง 9 kcal/g อุตสาหกรรมเบเกอรี่ได้พัฒนา low-fat bakery product ตามความต้องการของผู้บริโภค โดยลดพลังงานลงอย่างน้อย 1/3 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม และมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเต็ม การลดไขมันในระบบที่เป็น high or intermediate moisture bakery เช่น เค้ก จะทำได้เนื่องจากมีน้ำช่วยรักษาความชุ่มของผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ fat replacer ในการแทนที่ไขมัน สูตรและกรรมวิธีการผลิตเค้กจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Vatter, 1991) การลดไขมันเพียงอย่างเดียวทำให้อากาศใน batter ลดลง ซึ่งจะมีผลต่อปริมาตรของเค้ก ลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว ดังนั้นการลดไขมันควรเพิ่มปริมาณน้ำ แต่จะมีผลต่อ batter ด้วยโดยจะทำให้เค้กมีปริมาตรไม่ดี ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และอายุของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป จากรายงานของ Van Gijssel และ Van der Steen ในปี ค.ศ.1990 พบว่าการลดไขมันใน puff pastry, shortbread และ cake มีผลต่อผลิตภัณฑ์ทั้งด้านความนุ่ม ความเหนียว และประสาทสัมผัส (Van Gijssel และ Van der Steen, 1990)

จากรายงานของ Bollinger และ Freund ในปี ค.ศ. 1992 พบว่าการใช้ maltodextrin เพื่อแทนที่ไขมันใน sponge cake จะใช้ได้เพียง 50% เท่านั้น ทั้งนี้เพราะมีผลต่อปริมาตร และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป (Khan, 1993) นอกจากนี้ Yackel และ Cox (1992) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก เช่นเค้ก สามารถใช้แป้งและ hydrocolloid แทนไขมันได้ เนื่องจากแป้งและ hydrocolloid มีคุณสมบัติเลียนแบบไขมันในด้านลักษณะเมื่อรับประทาน โดยสารละลายของ maltodextrin ที่มีค่า DE ต่ำ ซึ่งมีความเข้มข้น 20-25% จะมีลักษณะเหมือนไขมัน (Yackel และ Cox, 1992)

ในปี ค.ศ.1992 Lawson และ Lin ศึกษาการใช้ gum ร่วมกับอิมัลซิฟายเออร์ที่ระดับ 0.01-0.04% ในรูปผง พบว่าสามารถใช้แทนที่ไขมันใน layer cake, muffin, devils food cake และ cookies ได้ถึง 100% (Khan, 1993)

มัชฌิมาพร และอังคณา(2540) ได้ทดลองใส่สารทดแทนไขมัน polydextrose และ maltodextrin 4 ชนิด แทนที่ shortening ในเค้กช็อกโกแลตที่ระดับ 50% และ 75% และใช้ fructose แทนที่ sucrose การทดลองพบว่า การใช้สารทดแทนไขมันประเภท maltodextrin ที่ระดับ 50% จะให้เค้กที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเค้กที่มีไขมันเต็มมากที่สุด

Response-Surface Methodology

1. Response-Surface Methodology (RSM) คือการวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับการตอบสนอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองที่มีหลายตัวแปรมักใช้วิธี Multiple Regression Analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและค่าตอบสนองในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจเป็นสมการกำลังหนึ่ง (First order model) หรือสมการกำลังสอง (Second order model)ที่มีหลายเทอม (Polynomials) และจากสมการที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำมาสร้างภาพกราฟ 3 มิติที่เรียกว่า Response surface plot ซึ่งแสดงระดับของตัวแปรในแนวระนาบ และแสดงค่าตอบสนองในแนวแกนตั้ง หรือสร้างกราฟ 2 มิติที่เรียกว่า Contour plot ซึ่งแสดงค่าตอบสนองในรูปเส้นกราฟหลายเส้น กราฟทั้งสองประเภทนี้ มีประโยชน์ในการอธิบาย

1.1. ผลของตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง

1.2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา

1.3. ผลร่วมของตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง

นอกจากนี้ ในกรณีที่มีตัวแปรที่ต้องการศึกษามากกว่า 2 ตัวแปร หรือมีค่าตอบสนองที่ต้องการศึกษามากกว่า 1 ค่า อาจใช้เทคนิคการซ้อนภาพกราฟ Contour plot ช่วยในการพิจารณาเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสมได้ (Henika,1982; Mason, Gunst, และ Hess,1989)

2. ขั้นตอนการวางแผนการทดลองโดย RSM

2.1 กำหนดตัวแปรอิสระ (Independent variable) ช่วงของตัวแปรอิสระและผลตอบสนอง (Response)

ตัวแปรอิสระที่ถูกกำหนดขึ้นจะต้องมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการผลิต ตัวแปรอิสระอาจเป็นส่วนผสม เช่น ปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำตาล หรือสภาวะที่ใช้ในการผลิต เช่น ระดับอุณหภูมิ เวลา เป็นต้น โดยต้องกำหนดช่วงตัวแปรให้เหมาะสม หากช่วงตัวแปรกว้างเกินไปหรือไม่สามารถระบุสภาวะของตัวแปรที่ทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมได้อย่างชัดเจน จะต้องวางแผนการทดลองใหม่ โดยกำหนดช่วงของตัวแปรให้แคบลง นอกจากนี้ จะต้องกำหนดค่าตอบสนองที่ต้องการวัด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษา เช่น ในการผลิตแฮมให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยกำหนดตัวแปรอิสระ คือ ปริมาณเกลือ และปริมาณน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนผสมในการผลิตแฮม ค่าตอบสนองที่ต้องการวัด คือ คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกสภาวะของตัวแปร คือ ปริมาณเกลือ และปริมาณน้ำตาลที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด (Henika,1982; Mason, Gunst, และ Hess,1989)

2.2 กำหนดแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม

แบบแผนการทดลองที่เหมาะสมกับ RSM คือ Central composite design ซึ่งเป็นแบบการทดลองที่สามารถใช้ใน RSM เพื่อทำนายผลการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการทดลองจำนวนไม่มากนัก ในการทดลองจะมีตัวแปรที่ใช้ศึกษา 2ตัวแปร แต่ละตัวแปรมี 5 ระดับจะมีการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง (Henika, 1982; Mason, Gunst, และ Hess, 1989)

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

นำข้อมูลของค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลองที่เหมาะสม มาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่ศึกษาโดยวิธี Multiple regression ในรูปของสมการกำลังสอง รูปสมการที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ คือ สมการโพลีโนเมียลกำลังสองซึ่งมีรูปแบบโดยทั่วไป ดังนี้

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^{k} B_i X_i + \sum_{i=1}^{k} B_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{i'=i+1}^{k} B_{ii'} X_i X_{i'}$$

เมื่อ Y คือ ค่าตอบสนองที่เกิดจากการแปรค่าตัวแปร X_i

B_0 คือ ค่าคงที่

$\sum_{i=1}^{k} B_i X_i$ คือ เทอมที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ X_i

$\sum_{i=1}^{k} B_{ii} X_i^2$ คือ เทอมที่แสดงถึงอิทธิพลของกำลังสองของตัวแปรอิสระ

$\sum_{i=1}^{k} \sum_{i'=i+1}^{k} B_{ii'} X_i X_{i'}$ คือ เทอมที่แสดงถึงอิทธิพลร่วมอิสระ 2 ตัวแปร

K คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

เนื่องจาก สามารถอธิบายผลของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อค่าตอบสนอง (Linear effect) และผลร่วมของตัวแปรอิสระที่มีต่อค่าตอบสนองได้ (Interaction effect) จากสมการดังกล่าว เมื่อได้ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้ว จะสามารถสร้างกราฟ Contour plot โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปได้ โดยกราฟ Contour plot จะมีลักษณะเป็นอนุกรมของเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ซึ่งแสดงสภาวะตัวแปรซึ่งให้ค่าตอบสนองคงที่ซึ่งมีหลายรูปแบบ ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนอง ดังนั้นจาก Contour plot ที่ได้ทำให้สามารถเลือกสภาวะของตัวแปรที่ให้ค่าตอบสนองที่เหมาะสม (Optimal point) ตามที่ต้องการได้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ STATGRAPHICS Version 5.0 ของ Graphic Software System, Inc. USA

Henika, 1982 ได้นำวิธี RSM มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้า ซึ่งมีตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต 3 ตัวแปร คือ pH อยู่ในช่วง 5.6 - 6.2 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 140 -160°C และสารปรุงแต่งอยู่ในช่วง 0-2 % โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าให้มีการละลายน้ำดีขึ้น มี wettability time ลดลง และคะแนนการยอมรับในด้านรสชาติสูงขึ้น โดยออกแบบการทดลองที่เหมาะสม และนำผลการทดลองที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับตัวแปร ในรูปสมการกำลังสอง พบว่าตัวแปรที่ศึกษาทั้ง 3 ตัวแปรมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และได้สร้าง contour plot ขึ้นจากสมการดังกล่าวเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต

Henselman และคณะ, 1974 ได้นำวิธี RSM มาใช้ในการสร้างสูตรขนมปังโปรตีนสูง เพื่อพัฒนาให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและให้มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 20 % โดยแต่เดิมมีโปรตีนเพียง 12 % โดยแปรแหล่งโปรตีน 3 ชนิด ๆ ละ 3 ระดับ จำนวนการทดลอง 15 การทดลอง