# บทที่ 1

# บทนำ

ยีสต์ขนมปัง (Baker's yeast) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Saccharomyces cerevisiae ซึ่งมีการเจริญโดยใช้อากาศได้ดี ให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงในอาหารที่เป็นกากน้ำตาล มีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา และมีคุณสมบัติทำให้เกิดโด(dough)ได้ดี (Peppler,1967) ยีสต์ขนมปังดำรงชีพอยู่ในสภาพเซลล์เดียวเป็นส่วนใหญ่ มีรูปร่างกลมขนาด 5 - 10 ไมครอน และขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ (budding) หรือโดยการแบ่งตัวออกเป็นสองเซลล์โดยการ fission คล้ายแบคทีเรีย (Trivedi, Jacobson, and Tesch,1986)

## 1.1 บทบาทของยีสต์ต่อการทำขนมปัง

1.1.1. ทำให้แป้งขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้น จากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการหมักคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในแป้งขนมปัง ซึ่งเป็นส่วนที่ยีสต์สามารถใช้ได้ พร้อมทั้งทำให้ได้ขนมปังที่มีคุณสมบัติเฉพาะ คือ มีลักษณะฟู มีรูอากาศ มีความยืดหยุ่น และอ่อนนุ่ม

1.1.2. ให้กลิ่นรสเฉพาะของขนมปัง

1.1.3. เพิ่มคุณค่าทางอาหารของขนมปังแต่ถือเป็นหน้าที่รองเพราะใช้ยีสต์ในปริมาณเล็กน้อย (Burrow,1970)

## 1.2 เอนไซม์ที่สำคัญของยีสต์ขนมปังที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาในโด (dough)

1.2.1. อินเวอร์เทส (invertase) ทำหน้าที่ย่อยซูโครสที่เติมลงไปในการทำขนมปังให้อยู่ในรูปน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักได้

1.2.2. มอลเทส (maltase) ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลมอลโทสที่มีอยู่ในแป้งขนมปังให้เป็นกลูโคส ซึ่งยีสต์สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง

1.2.3. ไซเมส (zymase) เป็นชื่อรวมของเอนไซม์หลายชนิดที่ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลอินเวอร์ท (invert sugar) จากข้อ 1.2.1 และกลูโคสจากข้อ 1.2.2 แล้วเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ทำให้โดขยายตัวเพิ่มปริมาตร (Suomalzinen, Dettwiler, and Sinda,1972)

1.3 <u>รูปแบบของยีสต์ขนมปัง</u>

โดยทั่วไปยีสต์ทำขนมปังมีรูปแบบต่างๆ ดังนี้

1.3.1 ยีสต์สด (Fresh or Compressed yeast) เป็นยีสต์ขนมปังที่อัดเป็นก้อนคล้ายเนยมีสีน้ำตาลอ่อนค่อนข้างขาว มีความชื้นประมาณ 69 - 71 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีปริมาณไนโตรเจน 8 - 9 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1 - 4 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนเซลล์ประมาณ 2.2 $x10^{10}$ เซลล์ต่อกรัม (Peppler,1967) การผลิตยีสต์ขนมปังในลักษณะยีสต์สด มีขั้นตอนในการเก็บเกี่ยวคือ นำน้ำหมักที่ได้มาเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงและถูกนำไปผ่านเครื่องกรองแบบหมุนภายใต้สภาพสูญญากาศจนได้ยีสต์ในลักษณะ yeast cake เพื่อให้ yeast cake เกาะกันอย่างดี สามารถทำได้โดยการเติมเกลือแกง (NaCl) ความเข้มข้น 0.2 - 0.6 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ก่อนที่จะนำเข้าเครื่องกรองซึ่งจะทำให้ยีสต์เกิดการหดตัว เนื่องจากแรงดันออสโมซิส หลังจากนั้นในระหว่างการกรองภายใต้สภาพสูญญากาศจะมีการพ่นน้ำลงไปบนผิวของยีสต์เพื่อจะล้างเอาน้ำเกลือที่เหลือค้างอยู่ระหว่างเซลล์ออกไปกรณีนี้จะทำให้สภาพสมดุลของออสโมติก (osmotic balance) สูญเสียไป ซึ่งในช่วงนี้ยีสต์ต้องใช้เวลา 1 - 2 นาที ดังนั้นเซลล์ยีสต์จะดูดน้ำที่มีอยู่รอบๆ เซลล์ ในขณะที่ผ่านการกรองเท่านั้นจึงทำให้ก้อน yeast cake มีความแน่นยิ่งขึ้น (Trivedi *et al.*,1986) จากนั้นนำไปบรรจุใส่ถุงหรืออัดเป็นก้อนโดยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และน้ำลงไปด้วย อิมัลซิไฟเออร์ที่ดีจะทำให้ yeast cake ขาวขึ้น และลดการเกิดจุดที่เนื่องมาจากน้ำบนผิวหน้าอันเนื่องมาจากการเคลื่อนย้ายของน้ำ ซึ่งอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมคือ น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการแล้วบางตัว กลีเซอรอล โมโนสเตียเรท และ แลคทิลเลทเตท โมโนกลีเซอไรด์ (Peppler,1967) การเก็บยีสต์สดให้มีเสถียรภาพที่ดี ควรเก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่โดยทั่วไปจะเก็บยีสต์สดไว้ที่อุณหภูมิ 3 - 7 องศาเซลเซียสเพื่อความเป็นไปได้ในเชิงการค้า ซึ่งประสิทธิภาพของยีสต์จะลดลง 5 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์แรกและต่อไปจะลดลงอย่างช้า ๆ อายุการใช้งานของยีสต์ประมาณ 3 - 4 สัปดาห์ การเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ไกลโคเจนภายในเซลล์ยีสต์หายไปอย่างรวดเร็ว ตามมาด้วยความเข้มข้นของทรีฮาโลสลดลงและในที่สุดจะเกิดออโตไลซิส(autolysis) (Reed and Nagodawithana,1991)

1.3.2. ยีสต์เม็ด (Active Dry Yeast หรือ ADY) จากการใช้ยีสต์สดซึ่งให้ผลดีต่อขนมปังอย่างมาก แต่มีข้อจำกัดคือ จำเป็นต้องเก็บไว้ในตู้เย็นเท่านั้น ทำให้มีปัญหาในการเก็บรักษาและมีอายุการใช้งานสั้น จึงได้มีการปรับปรุงให้มีการผลิตยีสต์แห้งในรูปยีสต์เม็ด โดยมีจุดประสงค์ให้มีความสามารถในการหมักเหมือนยีสต์สดที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากันแต่อย่างไรก็ตามยีสต์แห้งมักจะให้กิจกรรมที่ต่ำลงเนื่องจากขั้นตอนการทำแห้งทำให้เวลานำไปใช้ต้องใช้เซลล์ยีสต์ในปริมาณที่สูง

กว่ายีสต์สด ขั้นตอนการทำยีสต์เม็ดมีบางขั้นตอนที่แตกต่างไปจากการทำยีสต์สดเช่น สายพันธุ์ยีสต์ที่ใช้ต้องเป็นสายพันธุ์พิเศษที่สามารถทนต่อการทำแห้งได้ ปริมาณไนโตรเจนที่ป้อนต้องให้ได้ปริมาณของไนโตรเจนของเซลล์อยู่ระหว่าง 6 - 7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Thorn and Reed,1959) ขั้นตอนการผลิตยีสต์เม็ดจะเริ่มจากการนำยีสต์สดมาอัดโดยตรงผ่านแผ่นซึ่งเป็นรูทำให้เกิดเป็นเส้นที่มีลักษณะคล้ายเส้นสปาเกตตี และตัดให้เป็นท่อนสั้นๆ จากนั้นจะทำการอบแห้งให้เหลือความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์ (Peppler,1967) เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวต่ออุณหภูมิและมีอายุการเก็บนานขึ้น ได้มีการปรับปรุงโดยการเติมสารพวกไลโปฟิลิค เอสเทอร์ (lipophilic esters) สารลดแรงตึงผิวและสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ (antioxidant) ก่อนการทำแห้ง (Chen and Cooper,1962) เมื่อจะนำยีสต์เม็ดไปใช้ทำขนมปังจะต้องนำมาละลายในน้ำอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (Thorn and Reed,1959)

1.3.3. ยีสต์ผง (Instant Active Dry Yeast หรือ IADY ) ยีสต์ที่ใช้ในการทำยีสต์ผงจะต้องเป็นสายพันธุ์พิเศษที่สามารถทนต่อกระบวนการทำแห้งได้ดี โดยในกระบวนการทำแห้ง เครื่องอบแห้งที่ใช้มีหลายชนิด เช่น ฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงถึง 149 - 177 องศาเซลเซียส แต่จาก cooling effect ของ moisture evaporation อุณหภูมิที่อนุภาคยีสต์จะสูงกว่า 38 องศาเซลเซียสเล็กน้อย โดยยีสต์จะถูกทำแห้งอย่างรวดเร็ว มีความชื้นประมาณร้อยละ 5 เนื่องจากยีสต์ผงมีความหนาแน่นต่ำ พื้นที่ผิวสูงและอนุภาคละเอียดจึง rehydrate ได้อย่างรวดเร็ว สามารถนำยีสต์ผงไปผสมกับแป้งเพื่อทำขนมปังได้ทันที โดยไม่ต้องแยกทำ rehydration ก่อน เนื่องจากเกิด rehydration ได้ง่าย ยีสต์ผงจึงไม่อยู่ตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศ การใส่สารลดแรงตึงผิว จะทำให้ยีสต์ผงมีความอยู่ตัวเพิ่มขึ้น (Burrows,1976 )

## 1.4 <u>ส่วนประกอบของยีสต์แห้ง</u>

ยีสต์แห้งไม่ว่าจะเป็นชนิดยีสต์เม็ดหรือยีสต์ผงก็ตามส่วนประกอบของยีสต์แห้งทั้งสองชนิดก็ยังคงเหมือนกันดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ส่วนประกอบของยีสต์แห้ง

| องค์ประกอบ | ร้อยละของน้ำหนักแห้ง | ค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง |
|---|---|---|
| คาร์บอน (C) | 45.0 - 49.0 | 47.00 |
| ไฮโดรเจน (H) | 5.0 - 7.0 | 6.00 |
| ออกซิเจน (O) | 30.0 - 35.0 | 32.50 |
| ไนโตรเจน (N) | 7.1 - 10.8 | 8.50 |
| เถ้าทั้งหมด | 4.7 - 10.5 | 6.00 |
| ฟอสเฟต ($P_2O_5$) | 1.9 - 5.5 | 2.60 |
| โปแตส ($K_2O$) | 1.4 - 4.3 | 2.50 |
| แคลเซียม (CaO) | 0.005 - 0.2 | 0.05 |
| แมกนีเซียม (MgO) | 0.1 - 0.7 | 0.40 |
| อลูมิเนียม ($Al_2O_3$) | 0.002 - 0.02 | 0.005 |
| ซัลเฟต ($SO_4$) | 0.01 - 0.05 | 0.03 |
| คลอไรด์ (Cl) | 0.004 - 0.1 | 0.02 |
| เหล็ก ($Fe_2O_3$) | 0.005 - 0.012 | 0.007 |
| ทองแดง (Cu) | 10 - 100 ส่วนในล้านส่วน | 20 ส่วนในล้านส่วน |

ที่มา : White,1954

## 1.5 ประวัติความเป็นมา

ยีสต์แห้งเริ่มมีการทดลองผลิตตั้งแต่ช่วงแรกของคริสตศตวรรษที่ 19 โดยนำยีสต์มาวางบนกระดาษซับแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง แต่การพัฒนาเป็นการค้าจริงๆ นั้นเริ่มปี ค.ศ. 1920 ความต้องการแอคทีฟ ดราย ยีสต์ มีมากขึ้นในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เพราะยีสต์สดไม่สะดวกที่จะใช้ในภาคสนามของกองทัพบก ในปี ค.ศ. 1940 มีการผลิตแอคทีฟ ดราย ยีสต์ 3 ล้านปอนด์ ต่อมาในปี 1945 มีปริมาณ 13 ล้านปอนด์ โดยทั้งหมดใช้ในกองทัพบก เมื่อสงครามสิ้นสุดลงการผลิตลดลงประมาณ 4 ล้านปอนด์ ต่อมาการผลิตแอคทีฟ ดราย ยีสต์ ในเชิงการค้า ได้เริ่มมีบทบาทมากขึ้นและในช่วงปีค.ศ. 1960 แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ได้พัฒนาขึ้นมาเป็น อินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย

ยีสต์แล้วขยายในตลาดสำคัญๆ อย่างรวดเร็ว และปัจจุบันเกือบทุกแห่งที่มีการผลิตยีสต์แห้งก็ผลิตยีสต์ชนิดนี้ (Thorn and Reed,1959)

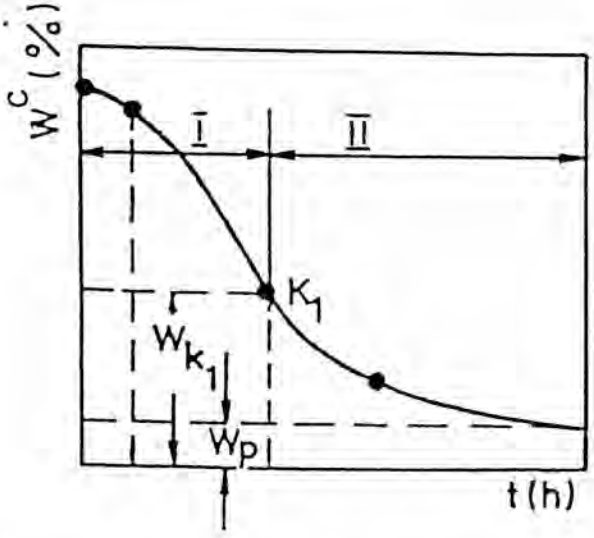
ในกระบวนการผลิตยีสต์แห้งนั้นมีปัจจัยหลายประการที่จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีประโยชน์ในการนำมาใช้สูงสุด ซึ่งได้มีผู้ศึกษาไว้ปัจจัยเหล่านั้นคือ

1.6. <u>สายพันธุ์ของยีสต์</u>

ยีสต์ขนมปังที่ผลิตในเชิงการค้าจะใช้ชนิด Saccharomyces cerevisiae ซึ่งใช้เกณฑ์จากการสังเกต leavening power ผลผลิตระหว่างการผลิต และความคงตัวระหว่างการเก็บโดยจะแบ่งยีสต์ออกเป็น 2 ชนิดอย่างชัดเจน เมื่อจำแนกตามการตอบสนองต่อวิตามินที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์ ( bios response ) ชนิดแรก หรือที่เรียกว่า Bios No. 23 ( หรือที่รู้จักกันว่าสายพันธุ์ Gebruder Mayer ) จะมี leavening activity น้อยกว่าชนิดที่สอง แต่จะมีความคงตัวมากกว่าชนิดที่สอง และให้ผลผลิตในการผลิตยีสต์มากกว่า โดยสายพันธุ์นี้ มีการใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในและนอกสหรัฐอเมริกา ยีสต์ American Type Culture Collection สายพันธุ์ No. 7752 จะเป็นตัวอย่างของยีสต์ชนิดนี้ ชนิดที่สอง คือ Bios No. 236 มีความคงตัวต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมน้อยกว่าและค่อนข้างที่จะให้ผลผลิตในการผลิตยีสต์น้อยกว่า แต่จะให้ผลดีต่อ leavening activity เชื้อยีสต์ American Type Culture Collection สายพันธุ์ No. 2335 จะเป็นตัวอย่างของชนิด Bios No. 236 ( Schultz and Atkin, 1947 อ้างถึงใน Johnston, 1959 ) โดยในการผลิต แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ส่วนใหญ่จะใช้สายพันธุ์ No. 7752 เพราะเป็นสายพันธุ์ที่ทนต่อการทำแห้งได้ดี ให้ขนาดของเซลล์ใหญ่กว่าขนาดของเซลล์ที่ใช้ในการผลิต Compressed yeast สายพันธุ์นี้แข็งแรง แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เติบโตในภาวะที่มีไนโตรเจนเกิน 8.5 % (Reed and Nagodawithana,1991) โดยการปรับปรุงสมบัติของยีสต์แห้งจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของยีสต์พบว่าสายพันธุ์ของยีสต์ที่คงตัวต่อการทำแห้งควรจะมีทรีฮาโลสมากกว่าหรือเท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของ Compressed Yeast และควรมีการแตกหน่อของยีสต์น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และเกลือที่เหลืออยู่ใน Compressed Yeast อันเนื่องมาจากกระบวนการเติมเกลือระหว่างการกรองจะต้องถูกล้างออกให้หมด มิฉะนั้นจะทำให้เกิดอันตรายต่อยีสต์ระหว่างทำแห้ง ( Clement, 1983 ) ได้มีสิทธิบัตรมากมายที่ถือสิทธิ์สายพันธุ์ของ Saccharomyces cerevisiae บางตัวเป็นพิเศษ ในการใช้เพื่อผลิตแอคทีฟ ดราย ยีสต์ โดยจะมีการใช้ภาวะในกระบวนการผลิตที่แน่นอน สายพันธุ์ดังกล่าวอาจจะได้มาจากการไฮบริไดซ์เซชัน โปรโตพลาสฟิวชัน หรือ การกลายพันธุ์

1.7 <u>กระบวนการทำแห้ง</u>

อัตราการอบแห้งของยีสต์จะขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย คือ อุณหภูมิและความชื้นของลมที่ใช้ทำแห้ง ความเร็วลม ขนาดและรูปร่างของเม็ดยีสต์ แต่อย่างไรก็ตาม รูปแบบของการทำแห้งโดยทั่วไปจะเป็นดังรูปที่ 1.1




รูปที่ 1.1 ลักษณะ drying curve ของยีสต์ โดย $Wk_1$ คือ ปริมาณ bound water ( เปอร์เซ็นต์ ), Wp คือ ความชื้นของยีสต์หลังจากการทำแห้ง ( เปอร์เซ็นต์ )

ที่มา : ( Beker and Rapoport, 1987 อ้างถึงใน Reed and Nagodawithana,1991 )

โดยในช่วง I จะเป็นช่วงการทำแห้งในอัตราที่เร็วเป็นช่วงของการสูญเสียน้ำอิสระ(free water) ในช่วง II เป็นการทำแห้งในอัตราที่ช้ากว่า โดยจะเป็นช่วงของการสูญเสีย bound water โดยจุดเปลี่ยนของ drying curve มักจะอยู่ที่ความชื้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหนือจากจุดนี้ไปจะมีการเปลี่ยนแปลงในด้านการรอดชีวิต และการซึมผ่านของผนังเซลล์ในส่วนน้อย ที่ระดับความชื้นต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ การหายใจจะหยุดและส่วนประกอบของเซลล์จะถูกชะออกมาถ้ายีสต์ถูก rehydrate ในการทำแห้งเพื่อให้ได้ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ จะทำแห้งจนกระทั่งความชื้นอยู่ที่ 7.5 - 8.5 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเป็นอินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ความชื้นจะอยู่ที่ 4 - 6 เปอร์เซ็นต์

โดยทั่วไปวิธีการก่อนที่จะทำแห้งจะมีการผสม Compressed Yeast กับสารความชื้นต่ำที่กินได้ เช่น Compressed Yeast 1 กิโลกรัมจะผสมกับแป้งความชื้นต่ำ 5 กิโลกรัม จากนั้นทำแห้งด้วยอากาศ ( Rupprecht and Popp, 1970 อ้างถึงใน Reed and Nagodawithana,1991) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวในเชิงการค้าไม่เหมาะสม โดยทั่วไปการผลิตแอคทีฟ ดราย ยีสต์ จะใช้

belt tunnel driers แบบต่อเนื่องเป็นเครื่องอบแห้ง โดยในกรณีนี้ Compressed Yeast จะถูกอัดให้เป็นเส้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 - 2 มิลลิเมตร และตัดให้มีความยาว 1 - 2 เซนติเมตร จากนั้นจะถูกนำไปวางในแผ่นลวดตาข่ายของสายพานที่ต่อเนื่อง โดยจะผ่านห้องทำแห้ง 3 ถึง 6 ห้อง โดยห้องอบแต่ละห้องจะมีอุณหภูมิของลมที่ใช้ทำแห้งเปลี่ยนแปลงต่างกัน อากาศในการทำแห้งจะพ่นในแนวระหว่างข้างบนลงข้างล่าง และข้างล่างขึ้นข้างบนสลับกัน ในทิศทางที่ผ่านยีสต์ เวลาในการทำแห้งจะอยู่ที่ 2 - 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิทางเข้าของลมจะอยู่ที่ 28 - 42 องศาเซลเซียส การทำแห้งด้วย Tunnel สามารถทำเป็นแบทช์ (batch) ได้ในห้องเดี่ยว แต่เหมาะสำหรับขนาดที่เล็กลงมา (Reed and Nagodawithana,1991) การทำแห้งแบบกะยังสามารถทำได้ใน Rotolouver drier โดยเครื่องอบแห้งชนิดนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรกในประเทศสวีเดน ใช้สำหรับอบชิ้นไม้และเยื่อกระดาษ ต่อมามีผู้นำมาใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร เคมีภัณฑ์ ถ่านหิน และซีเมนต์ ตัวเครื่องประกอบด้วยกระบอกกลวง ผนังภายในมีครีบ ( fin plates ) ติดเป็นรัศมี ทำให้เกิดเป็นห้องเล็ก ๆ มากมาย ขนาดของกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 11.5 ฟุตและความยาว 8 - 35 ฟุต โดยการอบแห้งแบบกะ ยีสต์ที่ถูกอัดให้เป็นเส้นจะถูกป้อนเข้าไปในกระบอกซึ่งหมุนรอบตัวด้วยความเร็ว 1 - 4 รอบ/นาที พ่นลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เข้าไปในกระบอกโดยผ่านทางช่องลมเล็ก ๆ ที่ปิดปากกระบอกอยู่ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบอยู่ในช่วง 10 - 20 ชั่วโมง เครื่องที่ใหญ่ที่สุดสามารถระเหยน้ำได้ 12,000 ปอนด์/ชั่วโมง ( Marshall and Friedman, 1950 ) เครื่องอบชนิดนี้สามารถใช้ในระบบต่อเนื่องได้ ในการผลิตอินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ เครื่องอบแห้งที่ดีคือ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งในการทำแห้งแบบกะ จะนำยีสต์สดมาผ่านเครื่องอัดให้เป็นเส้นเล็ก ๆ แล้วป้อนเข้าห้องอบแห้ง ซึ่งภายในมีแผ่นตะแกรงโลหะอยู่ด้านล่าง จากนั้นพ่นลมร้อนจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนด้วยอัตราความเร็วพอเหมาะที่จะให้ยีสต์ลอยตัวอยู่ในห้องอบแห้งได้ โดยทั่วไป ในการอบด้วยฟลูอิดไดซ์เบด จะใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการใช้เครื่องอบแห้งแบบ belt tunnel drier โดยระยะเวลาในการอบแห้งจะอยู่ในช่วง 10 นาทีถึง 4 ชั่วโมงใช้อุณหภูมิของลมที่ใช้ทำแห้งระหว่าง 100 - 150 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของการอบ โดยใช้เวลา 10 - 30 นาที และรักษาอุณหภูมิของยีสต์ให้อยู่ระหว่างช่วง 24 - 40 องศาเซลเซียส(Langejan,1972) ในเชิงการค้าจะใช้ฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ซึ่งได้มีการปรับปรุงให้เป็นระบบต่อเนื่องโดยมีห้องอบหลายชุดต่อกัน ( multichamber air-lift dryer ) ซึ่งใช้ภาวะการผลิต ดังนี้ ความเร็วลม 4,000 เมตรต่อชั่วโมง ปริมาตรของกระแสลม 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิของลมในห้องอบ 4 ห้อง คือ 46, 36, 32 และ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ ระยะเวลาคงอยู่ 3 ชั่วโมง ผลผลิตยีสต์ที่ได้ 160 - 350 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยมี

ความชื้นสุดท้ายของยีสต์เท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ( Pressindustria, 1971 ) นอกจากนี้ยังมีการอบแห้งวิธีการอื่น ๆ อีกคือ การใช้เครื่องอบแห้งแบบสเปรย์ โดยจะให้ผลผลิตสูงและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่จะมีการสูญเสียกิจกรรมของยีสต์สูง วิธีการอบแห้งคือ พ่นสารแขวนลอยยีสต์ซึ่งมีส่วนของแข็ง 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ เข้าไปในห้องอบซึ่งเป่าด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิทางเข้า 100 - 120 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิทางออก 65 - 67 องศาเซลเซียส ความชื้นจากยีสต์จะระเหยไปกับกระแสลมร้อน ยีสต์แห้งที่ได้จะมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 6 - 7 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งแบบ Freeze drying ซึ่งพบว่า มีการสูญเสียการรอดชีวิตและกิจกรรมของยีสต์สูงมาก วิธีนี้อาจใช้ในการเก็บรักษาเชื้อแต่ไม่เหมาะสำหรับการผลิตแอคทีฟ ดราย ยีสต์ในเชิงการค้า

1.8 <u>สารเติมแต่ง</u>

ในการผลิตแอคทีฟ ดราย ยีสต์ หรืออินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ได้มีการเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ที่จะช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเมื่อผ่านการอบแห้งแล้วมีประสิทธิภาพดีมากขึ้น โดยในยุคแรก ๆ ได้นำ Compressed Yeast ที่มีความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ มาดูดซับน้ำออกด้วยการเติมแป้งลงไป เช่น แป้งข้าวโพด มอลท์ จนความชื้นลดลงเหลือประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเติมน้ำตาลลงไป 2 - 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเติมเกลือลงไปเพื่อเร่งการดึงน้ำออกจากเซลล์ เมื่อผ่านกระบวนการทำให้แห้งแล้วจะได้ยีสต์แห้งที่มีความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์หรือน้อยกว่า(Klein, 1922) ต่อมาได้มีการปรับปรุงนำยีสต์สดมาทำให้เกิดสภาพเป็นสารแขวนลอยโดยเติมน้ำมันพืชลงไปและมีการเติมน้ำตาลลงไปด้วยเพื่อให้ยีสต์ยังคงรักษากิจกรรมภายในเซลล์ไว้ จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการทำแห้ง โดยดึงน้ำออกจากสารแขวนลอยยีสต์ด้วยการเป่าลม แล้วจึงแยกเอาน้ำมันออกให้เหลือน้ำมันน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะได้ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ที่มีความชื้นน้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ( Johnston, 1959 )

ในปี ค.ศ. 1962 Chen และ Cooper ได้ค้นพบวิธีการทำแห้งยีสต์โดยไม่ต้องเก็บยีสต์ไว้ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยการทำให้ยีสต์เป็นสารแขวนลอย ด้วยการเลือกเติม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันหมู หรือโพรพิลีนไกลคอล ในปริมาณระหว่าง 0.5 - 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำมันเหล่านี้จะช่วยให้สารแขวนลอยยีสต์จับกับสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ ซึ่งได้แก่ บิวทิลเลทไฮดรอกซีอะนิโซล บิวทิลเลทไฮดรอกซีโทลูอีน โพรพิลแกลเลท โดยใช้ในปริมาณ 0.025 - 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีการเติมสารจำพวก สารลดแรงตึงผิว เพื่อช่วยในการขึ้นรูปยีสต์ในกระบวนการทำแห้ง คือ ซอร์บิแทนโมโนลอเรท ซอร์บิแทนโมโนปาล์มมิเทท ซอร์บิแทนโมโนโอลีเอท ซอร์บิแทนไตรโอลีเอท ซอร์บิแทนโมโนสเตียเรท โมโนกลีเซอร์ไรด์

ไดกลีเซอร์ไรด์ จากนั้นจะลดความชื้นในยีสต์เปียกโดยผ่านเข้า filter press ความชื้นจะลดลงเหลือเพียง 68 - 72 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง โดยจะถูกขึ้นรูปให้เป็นเส้นคล้ายเส้นก๋วยเตี๋ยว มีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบ spray dryer มีการเติมสารเติมแต่งลงในยีสต์สดทำให้แรงดันออสโมติกภายในเซลล์ยีสต์เพิ่มขึ้นทำให้สามารถดึงน้ำออกจากเซลล์ได้อย่างรวดเร็วสารเติมแต่งเหล่านี้ได้แก่ เกลือโลหะอัลคาไลน์ของ mineral acid เกลือโลหะอัลคาไลน์ของกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดแลคติก กรดซัคซินิก กรดมาลิก กรดฟูมาริก กรดไกลโคลิก และกลุ่มของโพลีไฮดริก อัลกอฮอล์ เช่น กลีเซอรีน ซอร์บิทอล โพรพิลีนไกลคอล และยังพบว่ายีสต์แห้งจะมีความเสถียรมากขึ้นในระยะการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ด้วยการเติมสารที่ช่วยทำให้เสถียร ( stabilizing agent ) ซึ่งเลือกได้จาก natural gum คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส เมทธิลเซลลูโลส โพลีฟอสเฟต เลซิทิน โซเดียมอัลจีเนท และกรดแอสคอบิก โดยใช้ไม่เกิน 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ( Aizawa *et al.*, 1968 ) ต่อมาทางบริษัท Kyowa Hakko Kogyo Co. Ltd. ( 1969 ) ได้ผลิต อินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบ spray dryer เพื่อพยายามแก้ปัญหาอัตราการตายที่สูงของยีสต์ ทางบริษัทพบว่า การเติมกรดอะมิโนอย่างน้อยหนึ่งชนิดในยีสต์สด จะช่วยให้ยีสต์รอดชีวิตมากยิ่งขึ้นระหว่างการทำแห้ง โดยกรดอะมิโนมีผลป้องกันเซลล์โดยสร้างภาวะบัฟเฟอร์ที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยป้องกันความร้อนที่จะสลายเซลล์จากน้ำทั้งภายในและภายนอกเซลล์ขณะทำแห้ง และพบว่ามีการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์ เมื่อเติมกรดอะมิโน ลงในยีสต์พบว่า กรดอะมิโนนี้จะกลายเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบที่ให้รสชาติดังนั้นจึงได้รสชาติที่ดีขึ้นในขนมปังและยังพบว่ากรดอะมิโนจะให้ผลดียิ่งเมื่อทำงานร่วมกับโมโนกลีเซอร์ไรด์ ในการปกป้องเซลล์ กรดอะมิโนที่ใช้ได้แก่ ลิวซีน ไลซีน โซเดียมกลูตาเมท ฟีนิลอะลานีน โดยเติมในปริมาณ 0.05 - 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเติม โมโนกลีเซอร์ไรด์ในปริมาณ 0.05 - 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในการปรับปรุงการผลิตอินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ให้ดีขึ้นจะใช้สารเติมแต่งประเภท swelling agent ซึ่งได้แก่ เมทธิลเซลลูโลส และคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส โดยใช้ในปริมาณ 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก รวมถึงใช้สารประเภทwetting agent ซึ่งได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรท ซอร์บิแทนโมโนปาล์มมิเทท ซอร์บิแทนโมโนสเตียเรท ซอร์บิแทนโมโนโอลีเอท กลีเซอริลโมโนสเตียเรท กลีเซอริลไดสเตียเรท กลีเซอริลโมโนปาล์มมิเทท และ โพรพิลีนไกลคอล โมโนสเตียเรท เป็นสารเติมแต่ง โดยใช้ในปริมาณ 1 - 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.9. <u>ของแข็งที่ถูกชะออกเนื่องจากกระบวนการ rehydration</u>

ในการใช้ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ เพื่อทำขนมปังจะต้องมีการ rehydrate ในน้ำที่อุณหภูมิ 30 - 40 องศาเซลเซียส โดยพบว่าการ rehydrate ด้วยน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า จะทำให้กิจกรรมในการหมักของ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ น้อยลง โดยสารที่ถูกชะออกจากเซลล์ยีสต์ จะส่งผลทำให้เกิด slackening effect กับโดอันเนื่องจากสารประกอบ เช่น กลูตาไธโอน หรือ ซีสเตอีน ลดลง โดยส่วนใหญ่แล้วโดมักจะไม่ต้องการให้เกิด slackening effect แต่ในกรณีของ bucky doughs อาจจะต้องการให้เกิดเพราะทำมาจากแป้งแข็ง แต่จะเป็นการดีกว่าที่จะควบคุมรูปแบบโดยการเติมเอนไซม์ประเภท proteolytic หรือ ซีสเตอีนลงไปในโด ในกรณีของ อินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ไม่จำเป็นต้องมีการ rehydrate ในน้ำแต่จะผสมกับส่วนประกอบแห้งที่ใช้ทำโดอื่น ๆ เลย โดยเมื่อผสมโดยตรงจะให้กิจกรรมที่ดีกว่าการนำไปแยก rehydrate ก่อน (Langejan , 1980 ) ซึ่งคงเนื่องมาจากความแตกต่างในด้านความชื้นระหว่างแอคทีฟ ดราย ยีสต์ และ อินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์

1.10. <u>เสถียรภาพในการเก็บรักษาและบรรจุภัณฑ์ของแอคทีฟ ดราย ยีสต์</u>

เสถียรภาพในการเก็บ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นที่เพิ่มขึ้น และการที่บรรจุภัณฑ์มีอากาศซึ่งแอคทีฟ ดราย ยีสต์ จะสูญเสียกิจกรรมในการหมักประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ต่อเดือน ถ้าเก็บโดยไม่ใช้บรรยากาศเฉื่อยที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการเก็บภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน หรือบรรจุแบบสูญญากาศ จะสูญเสียกิจกรรมประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน และโดยทั่วไปจะน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ในการเก็บ อินสแตนท์ แอคทีฟ ดราย ยีสต์มักจะอยู่ในถุงที่ปิดจนอากาศเข้าไม่ได้ในสภาพสูญญากาศหรืออยู่ในบรรยากาศเฉื่อย Hill (1987) ได้เปรียบเทียบผลของบรรยากาศต่างๆ ในการทดสอบการเก็บโดยเร่งด้วยอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 1.2 การทดสอบแบบเร่งดังกล่าวเป็นประโยชน์ในแง่ของการควบคุมคุณภาพ แต่ไม่ได้ให้ข้อมูลที่แท้จริงของภาวะในเชิงการค้า เว้นแต่ว่าจะใช้เวลาในการเก็บนานขึ้นภายใต้อุณหภูมิปกติ

ในถุงบรรจุภัณฑ์ของยีสต์แห้งอาจจะเป็นถุงดีบุกหรืออลูมินัมฟอยล์ที่พ่นไนโตรเจนเข้าไปจนเต็ม โดยมีการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนต่ำ อลูมินัมฟอยล์จะถูกซ้อนให้เป็นชั้นด้วยฟิล์มพลาสติกซึ่งติดผนึกด้วยความร้อน เช่น Saran หรือ Pliofilm โดยได้แยกชั้นฟิล์มออกเป็น 4 ชั้น คือ โพลีเอสเทอร์ 20 ไมโครเมตร อลูมินัม 12 ไมโครเมตร โพลีเอสเทอร์ 12 ไมโครเมตร โพลีเอทธิลีน 8 ไมโครเมตร ฟิล์มดังกล่าวเหมาะสมสำหรับขนาดบรรจุภัณฑ์ใหญ่ๆ คือขนาด 500 กรัม และ 10 กิโลกรัม โดยเป็นการบรรจุแบบสูญญากาศ นอกจากนี้ถุงดีบุกที่มี

ตารางที่ 1.2 เสถียรภาพในการเก็บของ แอคทีฟ ดราย ยีสต์ ในบรรยากาศต่าง ๆ

| บรรยากาศ* | กิจกรรมที่เหลืออยู่** |
|---|---|
| ไนโตรเจน | 79.5% |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | 81.9% |
| คาร์บอนมอนอกไซด์ | 85.2% |
| อาร์กอน | 80.7% |
| ไฮโดรเจน | 88.9% |
| อากาศ | 43.3% |
| สูญญากาศ*** | 70.3% |

ที่มา : Hill , 1987

* ความดันภายใน 400 torr ในหลอดแก้ว ampoules ที่ผนึกแน่น

** หลังจากเก็บนาน 3 วัน ที่ 55 องศาเซลเซียส

*** ความดันภายใน 10 Torr ในหลอดแก้ว ampoules ที่ผนึกแน่น

ขนาดเล็กกว่ายังอาจจะถูกใช้แบบสูญญากาศ โดยมีขนาดบรรจุ 2 ปอนด์ ในถุงดีบุกขนาด 10 กิโลกรัมจะต้องมี การใช้ไนโตรเจนพ่นเข้าไป เพื่อป้องกันการยุบของถุงเมื่อเป็นสูญญากาศ

ในการเปิดถุง แอคทีฟ ดราย ยีสต์ แต่ละถุงควรต้องใช้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรให้โดนบรรยากาศที่มีความชื้นสูงเพราะเมื่อความชื้นในบรรยากาศสูง แอคทีฟ ดราย ยีสต์ จะสูญเสียกิจกรรมสูงเมื่อเก็บต่อไป (Reed and Nagodawithana, 1991)

## 1.11 <u>การอบแห้ง</u> ( dehydration )

การอบแห้ง หมายถึง การแยกเอาของเหลวที่ระเหยง่ายคือความชื้นออกจากสสารให้เหลือเพียงของแข็ง โดยน้ำจะออกมาจากส่วนที่เป็น bulk phase หรือส่วนที่เกาะอย่างหลวมๆ กับของแข็ง หรือส่วนที่ถูกกักไว้ในของแข็งที่ไม่ใช่ bound water เพราะ bound water ไม่ระเหยด้วยความร้อน เนื่องจากเกาะกับโมเลกุลของของแข็งแน่นมาก โดยเมื่อของแข็งเปียกเข้าสู่กระบวนการอบแห้งจะเกิดกระบวนการ 2 แบบ คือ

1.11.1 การส่งผ่านพลังงาน โดยมักเป็นพลังงานความร้อน จากสภาวะแวดล้อมเข้าสู่ของแข็งเพื่อระเหยน้ำออกจากผิวหน้าของของแข็ง

1.11.2 การส่งความชื้นจากภายในออกมาสู่ผิวหน้าของของแข็ง เพื่อทดแทนความชื้นที่ระเหยออกไปตามกระบวนการในข้อ 1.11.1

เมื่อความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุถูกอากาศร้อนพาออกไปทำให้ความดันไอบริเวณผิวหน้าวัตถุลดต่ำลงกว่าความดันไอภายในวัตถุ จึงเกิดเป็น water vapor pressure gradient อันจะเป็นแรงขับความชื้นภายในออกมาได้ โดยทั่วไปปรากฏการณ์นี้อาศัยกลไกหลายอย่าง เช่น

ก. แรงดันคะปิลารี่

ข. การแพร่เนื่องจากความเข้มข้นของสารต่างกัน

ค. การแพร่เพื่อไปเกาะกับของแข็งที่ผิว

ง. การแพร่ของไอเนื่องจากความดันไอต่างกัน

อัตราเร็วของการอบแห้งขึ้นอยู่กับ อัตราเร็วของกระบวนการทั้งสองนี้ โดยพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่ผ่านเข้าไปสู่ของแข็งอาจเป็นผลของการนำความร้อน การพาความร้อน หรือการแผ่รังสี หรืออาจเกิดจากปรากฏการณ์หลาย ๆ อย่างรวมกัน ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น กระบวนการส่งผ่านความร้อนมักเป็นการแยกเอาน้ำออกจากผิวของแข็งในรูปของไอน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายนอกของของแข็ง ความชื้นในอากาศและอัตราเร็วของการไหลของอากาศ พื้นผิวหน้าสัมผัสของของแข็ง และความดัน จากนั้นกระบวนการส่งความชื้นจากภายในออกมาสู่ผิวหน้าของของแข็งจะเป็นการเคลื่อนตัวของของเหลวภายในของแข็งนั้นซึ่งจะขึ้นกับลักษณะทางฟิสิกส์ของของแข็งในการอบแห้ง กระบวนการที่กล่าวมาอย่างใดอย่างหนึ่งสามารถเป็นสิ่งที่กำหนดอัตราเร็วของการอบแห้งได้ แม้ว่าทั้งสองกระบวนการจะเกิดพร้อมกันไปก็ตาม โดยทั่วไปลักษณะของการอบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

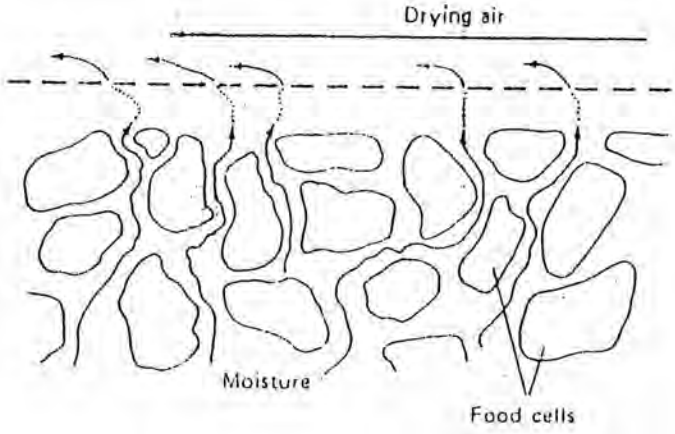
1.11.3 ระยะอัตราคงที่ ( The constant rate period )

เป็นระยะที่แสดงถึงอัตราการแห้งค่อนข้างคงที่และไม่ขึ้นต่อปริมาณน้ำในอาหารจึงมีลักษณะคล้ายกับการระเหยของความชื้น ซึ่งเป็นน้ำอิสระที่ผิว ( free water content ) การลดความชื้นในระยะนี้จะเกิดในช่วงเวลาสั้นมาก

1.11.4 ระยะอัตราลดลง ( The falling rate period )

เป็นระยะต่อจากระยะอัตราคงที่ ช่วงต่อระหว่างระยะจะเกิดความชื้นวิกฤต (Critical moisture content ) ขึ้น โดยเป็นจุดที่เมื่อลดความชื้นไปเรื่อยๆ อัตราการส่งความชื้นออกสู่ผิวจะต่ำกว่าอัตราการส่งความชื้นออกสู่บรรยากาศภายนอก ระยะอัตราลดลงนี้เป็นระยะที่สำคัญ

มาก เพราะการลดความชื้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงนี้ การลดความชื้นในระยะนี้ จะถูกควบคุมโดยภาวะแวดล้อมของอาหาร การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในมาสู่ผิวโดยการแพร่ และการนำความชื้นออกไปจากผิว (Jroller,1978)




รูปที่ 1.2 การเคลื่อนตัวของความชื้นในอาหารระหว่างการอบแห้ง

1.12 Water activity ( Aw )

น้ำเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในอาหารเกือบทุกประเภท และเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมเสถียรภาพของอาหาร โดยอาหารต่างชนิดกันแต่มีปริมาณน้ำเท่ากันกลับมีอัตราเน่าเสียต่างกัน ดังนั้นปริมาณความชื้นเพียงอย่างเดียวจึงใช้เป็นเครื่องบ่งบอกการเน่าเสียได้ไม่ดีนัก เนื่องจากน้ำเกาะยึดกับตัวถูกละลายด้วยแรงที่ต่างกัน หากแรงยึดเหนี่ยวสูง จุลินทรีย์จะใช้น้ำส่วนนี้ได้ลำบาก แต่หากยึดกันด้วยพันธะอ่อนๆ น้ำส่วนนี้มีโอกาสไปสนับสนุนการเจริญของจุลินทรีย์ได้ น้ำที่กล่าวถึงนี้ไม่ได้หมายถึง ปริมาณน้ำสัมบูรณ์ ( absolute moisture activity ) แต่หมายถึงน้ำที่สามารถนำเอาไปใช้ได้ (available moisture) หรือ water activity ( Aw ) ( Rockland , 1969 ) อาหารที่ค่า Aw ต่างๆ กันจะมีความเสียหายต่างๆ กัน

โดยที่ $Aw = P / Po$

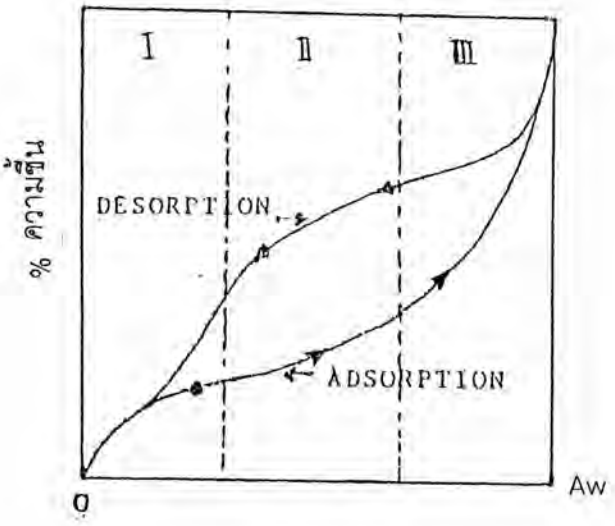
$= \%\ ERH / 100$

เมื่อ P : ความดันไอน้ำของอาหาร

$P_0$ : ความดันไอน้ำของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ERH : ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Acker,1969)

Aw ของผลิตภัณฑ์อาหารจะขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี ภาวะขององค์ประกอบ ปริมาณ และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ หากเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ค่า Aw หนึ่ง กับค่า Aw นั้น ณ อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง จะได้กราฟที่เรียกว่า มอยส์เจอร์ ซอร์พชัน ไอโซเทอม ( moisture sorption isotherm) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีรูปร่างคล้ายตัวเอส (S-shape) ประกอบด้วยเส้นของการสูญเสียน้ำ (desorption) และการดูดซับน้ำ (adsorption) ของผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 1.3




รูปที่ 1.3 ซอร์พชัน ไอโซเทอมทั่วไป (Hall,1980)

## 1.13 ซอร์พชัน ไอโซเทอม

ซอร์พชัน ไอโซเทอม คือ กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของอาหารกับค่า water activity ของอาหารนั้นที่อุณหภูมิคงที่ โดยข้อมูลที่ได้รับจากกราฟมีประโยชน์ต่อ

ก. กระบวนการการทำให้เข้มข้น และการอบแห้ง เพราะความยากง่ายในการแยกน้ำออกจากตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับค่า Aw

ข. การศึกษาความเสถียร หรืออายุการเก็บของอาหาร

ในรูปที่ 1.3 เส้นกราฟไอโซเทอมสามารถแบ่งออกเป็นช่วง I, II และ III ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะการจับตัวของน้ำแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เมื่อเติมน้ำในอาหารอบแห้งโมเลกุลน้ำจะถูกดูดซับไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมจนหมด ฉะนั้นน้ำที่ถูกดูดซับอยู่ในชั้นนี้จึงเป็น ชั้นโมโน (monolayer) ซึ่ง

อยู่ในช่วงที่ I ของ ไอโซเทอมและที่ใกล้จุดสมบูรณ์ของชั้นโมโนนี้เองจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำซึ่งจะทำให้มีผลต่อค่า Aw น้ำในชั้นนี้ค่อนข้างคงตัวซึ่งจะทำตัวเป็นส่วนหนึ่งของของแข็งและเชื่อว่าไม่สามารถทำให้เกิดการแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิใด ๆ โดยน้ำในช่วงที่ I มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดในอาหาร ในช่วงที่ II แสดงลักษณะการจับตัวไม่ค่อยแน่นเหมือนชั้นโมโน การดูดซับของน้ำจะเป็นแบบหลาย ๆ ชั้น (multilayer) น้ำในช่วง I และ II จะเป็นน้ำที่ต่างจากน้ำอิสระ ซึ่งเกิดขึ้นช่วงที่ III แม้ว่าน้ำในช่วงนี้จะไม่จับกันโดยทางกลอย่างแท้จริงแต่ว่าการจับตัวนั้นจะจับด้วยแรงที่ค่อนข้างอ่อนซึ่งสามารถสังเกตได้จากความลาดชันของเส้นโค้งไอโซเทอม เราไม่สามารถจะกำหนดเขตที่แบ่งเป็นช่วงได้อย่างแน่นอน เพราะบางครั้งอาจมีช่วงที่ซ้อนทับกัน ดังนั้นโมเดล (model) หนึ่ง ๆ จะไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ทุกกรณี (ไพบูลย์,2532)

1.13.1 วิธีการหา มอยส์เจอร์ ซอร์พชัน ไอโซเทอม (พรพรรณ,2531)

1.13.1.1 โดยการนำตัวอย่างอาหารที่ต้องการหา มอยส์เจอร์ ซอร์พชัน ไอโซเทอม ใส่ลงในภาชนะปิด ซึ่งมีสารละลายอิ่มตัวของเกลือต่าง ๆ ที่ทราบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล ทำให้บรรยากาศในภาชนะมี %ERH ต่างกันแล้วแต่ชนิดของสารละลาย ปล่อยตัวอย่างอาหารไว้ในภาชนะนั้นจนกระทั่งภายในภาชนะถึงภาวะสมดุลของความชื้นจึงนำเอาตัวอย่างอาหารนั้นไปหาความชื้นจะได้ค่าความชื้นและค่า %ERH ต่าง ๆ

1.13.1.2 โดยวิธีของ Taylor โดยการวัดความดันไอของน้ำขณะเกิดภาวะสมดุลกับอาหารที่มีความชื้นที่ต้องการจะวัดด้วยแมนอมิเตอร์ (Manometer) ที่ไวมาก

1.13.1.3 โดยวิธีการใช้เครื่องมือวัด %ERH แล้วนำตัวอย่างนั้นไปหาความชื้น

1.13.2 ทฤษฎีของไอโซเทอม

ทฤษฎีที่นิยมใช้ คือ BET Isotherm Theory (Brunaner-Emettes-Teller Adsorption Theory) จากสมมติฐานดังนี้

1.13.2.1 Heat of sorption ($Q_1$ ) ที่พื้นที่ผิวแรก (first layer or monolayer) มีค่าคงที่เท่ากับ heat of vaporization (total $H_v$) รวมกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง (constant heat ) ซึ่งขึ้นอยู่กับ site interaction , $Q_s$ (heat of site interaction)

1.13.2.2 $Q_1$ ของพื้นที่ผิวทั้งหมดเหนือ monolayer มีค่าเท่ากับ $H_v$

สมการ BET มีดังนี้

$$Aw/(1-Aw)V = 1/V_mC + Aw(C-1)/ V_mC$$

โดยที่ Aw : Water activity

V : ปริมาณน้ำที่ดูดซับ (น้ำหนักน้ำเป็นกรัม/น้ำหนักตัวอย่างแห้งเป็นกรัม)

$V_m$ : ค่าความชื้นที่ผิวเนื้อเยื่อชั้นเดียว

C : kexp ($Q_s$ /RT)

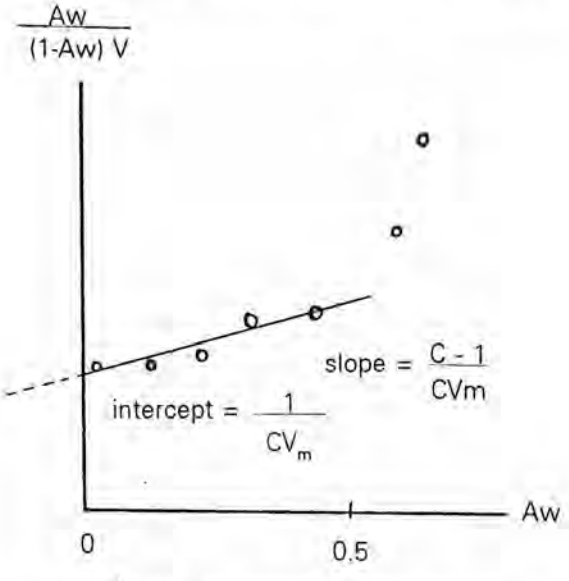
K : accommodation coefficient/frequency factor ~ 1

$Q_s$ : ค่าความร้อนของการดูดติด (Heat of adsorption on homogeneous sites)

R : ค่าคงที่ก๊าซ

T : อุณหภูมิ (องศาสัมบูรณ์ , เคลวิน) (Johnson,1974)

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Aw/(1-Aw)V กับค่า Aw จะได้กราฟเส้นตรงดัง รูปที่ 1.4




รูปที่ 1.4 BET monolayer plot (Hall,1980)

จากรูปที่ 1.4 ค่าความชันและจุดตัดแกนที่ได้จากกราฟสามารถนำมาคำนวณหาค่าของ monolayer ได้ โดย BET Isotherm จะใช้ได้ผลดีเฉพาะที่มีค่า Aw 0.1 - 0.5 ซึ่งใช้ไม่ได้กับอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ๆ การที่สามารถหาค่า monolayer ได้จะสามารถเกี่ยวโยงไปถึง heat of adsorption ได้ด้วย

## 1.14 มูลเหตุจูงใจในการวิจัย

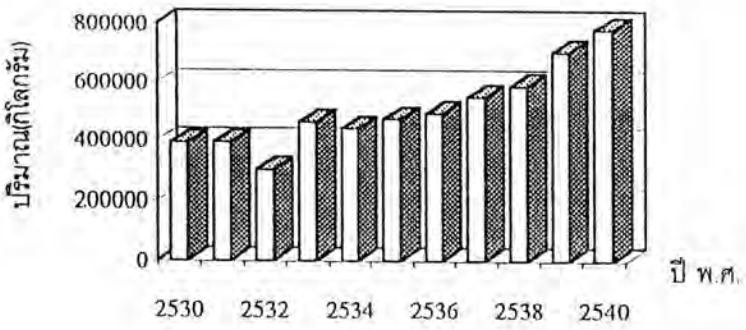
เนื่องจากในปัจจุบันได้มีผู้นิยมบริโภคขนมปังมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ตลาดเบเกอรี่ภายในประเทศไทยเติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะอาหารประเภทนี้กำลังทวีบทบาทขึ้นเป็นอาหารในชีวิตประจำวันของคนไทยในเมือง เนื่องจากมีความสะดวก ง่าย รวดเร็ว และประหยัดเวลา ไม่ยุ่งยากในการเตรียม ส่งผลให้ปัจจัยที่ต้องใช้ในการผลิตขนมปัง คือ ยีสต์ทำขนมปังมีความต้องการเพิ่ม

มากขึ้นตามไปด้วยโดยพบว่าแนวโน้มความต้องการยีสต์ทำขนมปังในประเทศไทยมีเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของตลาดยีสต์ทำขนมปังภายในประเทศเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศในรูปของยีสต์ผง โดยข้อมูลการนำเข้าได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 การนำเข้ายีสต์ผง ที่สั่งเข้าในประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2530 - 2540

| ปีพุทธศักราช | ปริมาณ (กิโลกรัม) | มูลค่า (บาท) |
|---|---|---|
| 2530 | 389,430 | 29,416,401 |
| 2531 | 391,240 | 31,789,234 |
| 2532 | 298,400 | 21,379,973 |
| 2533 | 462,932 | 38,715,666 |
| 2534 | 437,992 | 35,714,907 |
| 2535 | 472,045 | 41,059,224 |
| 2536 | 493,172 | 39,612,083 |
| 2537 | 549,464 | 44,312,793 |
| 2538 | 586,391 | 53,712,014 |
| 2539 | 700,696 | 70,395,587 |
| 2540 | 777,162 | 78,569,528 |

ที่มา : กรมศุลกากร (2541)




รูปที่ 1.5 แนวโน้มปริมาณการนำเข้ายีสต์ขนมปังแห้งในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2530-2540

ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตยีสต์สด (Compressed Yeast) ที่ใช้ภายในประเทศไทยอยู่แล้วแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากยีสต์สดมีข้อจำกัดคือ เก็บได้ในระยะเวลาสั้น ต้องเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำตลอดเวลาทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง (Thorn and Reed,1959) ยีสต์แห้งจึงได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากไม่มีข้อจำกัดดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตยีสต์ขนมปังแห้งเพื่อผลิตใช้เองภายในประเทศจึงเป็นสิ่งที่เกิดประโยชน์อย่างยิ่ง เพราะเมื่อมีการพัฒนากระบวนการผลิตจนสามารถทำให้ประเทศไทยมีเทคโนโลยีเป็นของตัวเอง และสามารถผลิตยีสต์ผงได้จะทำให้มีการลดมูลค่าการนำเข้ายีสต์ทำขนมปังจากต่างประเทศ และส่งผลให้เงินตราภายในประเทศไม่รั่วไหลออกนอกประเทศ โดยในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งยีสต์ขนมปัง เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ยีสต์ผง ซึ่งทางสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้มีการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงยีสต์ขนมปังโดยใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหลักและมีสายพันธุ์ยีสต์ที่เหมาะสมคือ Saccharomyces cerevisiae สายพันธุ์ SG1 ไว้แล้ว และจากงานวิจัยนี้จะได้ข้อมูลพื้นฐานในการผลิตยีสต์ผง และจะก่อให้เกิดการพัฒนากระบวนการในการผลิตต่อไป

## 1.15 ขั้นตอนการทำวิจัย

1.15.1. ศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่งต่าง ๆที่เติมลงในยีสต์ทำขนมปังก่อนนำเข้าสู่กระบวนการอบแห้งโดยศึกษาผลของการเติมสารในกลุ่มต่าง ๆ คือ stabilizer, swelling agent และ wetting agent ลงในการเตรียมยีสต์สด โดยเปรียบเทียบร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ทำขนมปังเมื่อใช้สารเหล่านี้ที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้วิธี Methylene blue technique (Parkkinen *et al*,1976) เป็นวิธีการตรวจนับจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต

1.15.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบยีสต์ทำขนมปังให้แห้งเป็นผลิตภัณฑ์ยีสต์ผง โดยศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่เหมาะสม

1.15.3 ศึกษาอิทธิพลของขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ทำขนมปัง โดยขึ้นรูปให้ยีสต์ขึ้นเป็นรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน

1.15.4. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางด้านแอดซอร์พชัน ไอโซเทอม (adsorption isotherm) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อเป็นข้อมูลในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ต่อไป

1.15.5 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์