

บทที่ 2

ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) คือกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือกิจกรรมโดยการบ่งชี้ปริมาณพลังงาน วัตถุดิบที่ใช้ และของเสียที่ปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม และประเมินผลกระทบของสิ่งเหล่านั้น เพื่อหาความเป็นไปได้ที่สิ่งต่างๆ เหล่านั้นจะส่งผลกระทบต่อพัฒนาสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินนี้ได้รวมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือกิจกรรม และกระบวนการนำวัตถุดิบมาใช้ ขั้นตอนการผลิต การขนส่ง และการจัดจำหน่าย การใช้ หรือการใช้ซ้ำ การซ่อมบำรุง การนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงาน และวัตถุดิบที่ใช้รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการผลิต ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

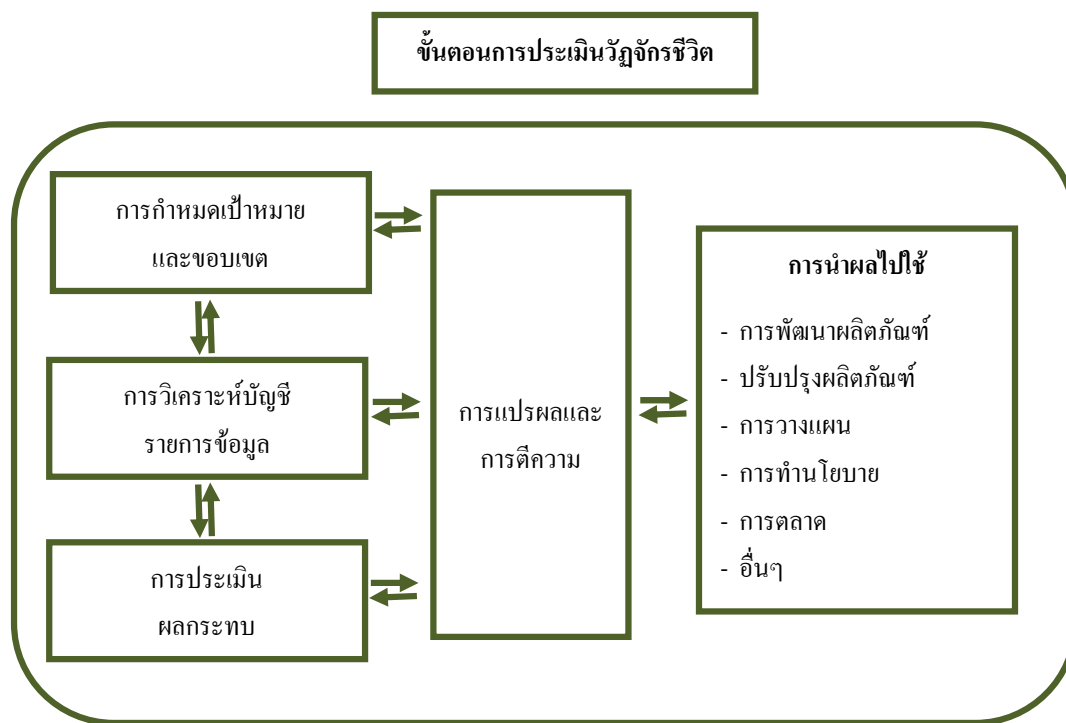
2.1.2 หลักการสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การกำหนด และระบุปริมาณของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Loads) ในทุกๆ กิจกรรมที่เกี่ยวข้อง และที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น พลังงาน วัตถุดิบที่ใช้ การปล่อยของเสีย และการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม
2. การประเมิน และการหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts) ที่มีโอกาสเกิดขึ้นโดยพิจารณาจากปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่ถูกกำหนดมาในขั้นตอนแรก
3. การประเมินหาโอกาสการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม และใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมเหล่านั้นเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ

2.1.3 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

ขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1

ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

(ที่มา: ดร.สมนึก ศิริสุนทร, 2549)

1. การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตของการศึกษา เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะในส่วนของวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับการกำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

1.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal Definition)

ขั้นตอนแรกของการศึกษาคือ การตั้งเป้าหมาย เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด ซึ่งแสดงถึงเหตุผลของการศึกษา และการนำผลการศึกษาไปใช้ ดังนั้น จึงจะต้องกำหนดเป้าหมายของการศึกษาอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ควรประเมินว่าวิธีใดสามารถใช้ในการศึกษาได้บ้าง เนื่องจากการที่จะนำผลการที่วิเคราะห์ไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะนำไปสู่การสรุปผลได้อย่างไม่ถูกต้อง หรือผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาด

1.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope)

การกำหนดขอบเขตเป็นการกำหนดขอบเขตของการศึกษา กล่าวคือ เป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและจำกัดรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการศึกษา ซึ่งการกำหนดขอบเขตของการศึกษาควรจะมีการอธิบายหรือกำหนดอย่างเพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่ารายละเอียดที่จะใช้ในการศึกษามีความเกี่ยวข้อง และมีปริมาณเพียงพอต่อเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขต คือ การกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมิน และจำกัดรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

- การกำหนดสิ่งที่จะศึกษารวมทั้งกำหนดหน่วยหน้าที่ต่างๆ
- การเลือกระบบอ้างอิง หรือผลิตภัณฑ์อ้างอิงเพื่อแสดงให้เห็นถึง

วัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ชัดเจน

- การออกแบบตัวแปร (Parameter) ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

- กำหนดกระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

- การกำหนดขอบเขตของเวลา สำหรับการตัดสินใจที่จะใช้ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์รวมทั้งกำหนดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในระบบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการประเมินทางสิ่งแวดล้อม

- การจัดสรรการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

1.3 การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional Unit)

หน่วยหน้าที่จะเป็นหน่วยอ้างอิง หรือหน่วยพื้นฐานสำหรับจัดเก็บข้อมูลขาเข้า และขาออกของระบบ หน่วยหน้าที่ของระบบควรมีการระบุหน่วยไว้อย่างชัดเจน สามารถวัดค่าได้ และต้องตั้งให้อยู่บนพื้นฐานของหน้าที่เดียวกัน ซึ่งการกำหนดหน่วยหน้าที่สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกับวัฏจักรชีวิตของหลายๆ ผลิตภัณฑ์ได้

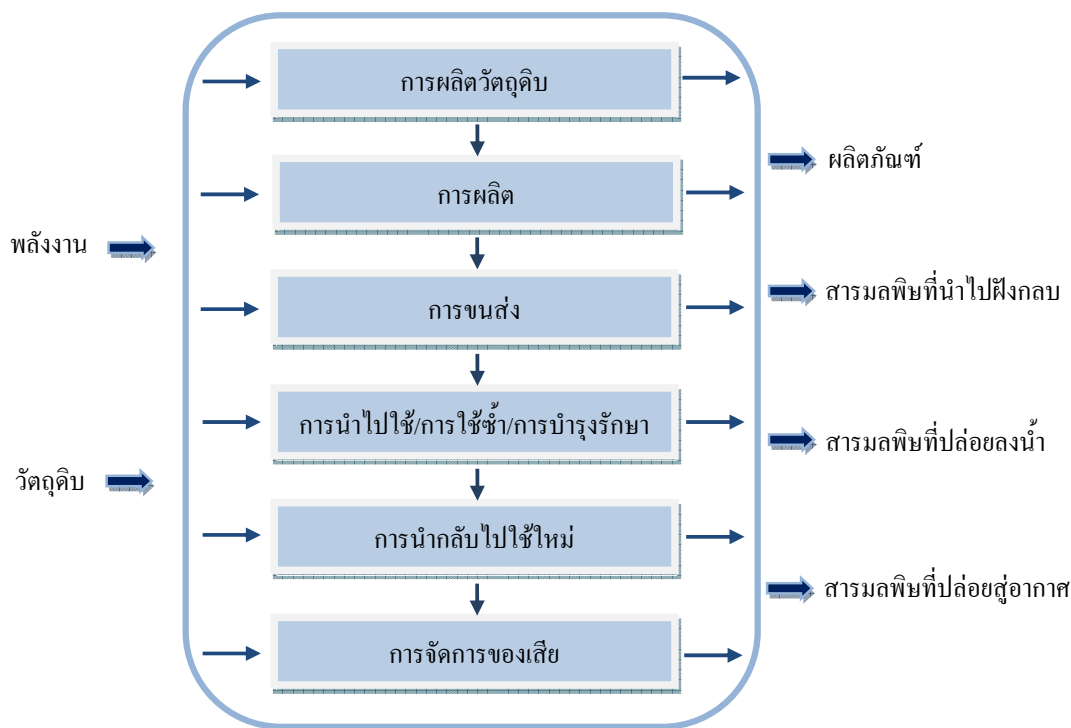
เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้กำหนดหน่วยหน้าที่ประกอบด้วย

- ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
- ความคงทนของผลิตภัณฑ์
- คุณสมบัติพื้นฐาน

นอกจากนี้เมื่อหน่วยหน้าที่ยังสามารถนำมาเปรียบเทียบกับระบบที่แตกต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายๆ ผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียว ทำให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้า และสารที่ออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานสามารถมีได้หลายรูปแบบ

1.4 ขอบเขตของระบบ (System Boundaries)

ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์ (Product System) กับสิ่งแวดล้อม หรือกับผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์คือ หน่วยที่รวบรวมวัสดุ และพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกันระหว่างหน่วยงานต่างๆ ที่ทำหน้าที่อย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง โดยที่สามารถแบ่งกระแสขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบ หรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ โดยทั่วไปขอบเขตของระบบในขั้นตอนของการรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย การผลิตวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การนำไปใช้ การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการของเสีย ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2

ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

(ที่มา: ทวินทร์ สิริโชคชัยกุล, 2542)

1.5 คุณภาพของข้อมูล (Data Quality)

คุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาชี้รายการย่อมมีผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวัฏจักรของสิ่งที่น่าสนใจ การที่จะระบุคุณภาพของข้อมูลควรครอบคลุมถึงตัวแปรที่สำคัญ เช่น

- ช่วงเวลาของข้อมูล เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเวลาใด และระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาเท่าใด
- ลักษณะที่มาของข้อมูล ว่าเป็นข้อมูลมาจากกระบวนการใด เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการผลิตจริง หรือข้อมูลที่ได้มาจากสถิติ และข้อมูลที่ได้เป็นตัวแทนของโรงงานเดียว หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากตัวแทนของภาพรวมของอุตสาหกรรม
- ด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับข้อมูล ว่าเป็นข้อมูลที่น่ามาศึกษาเป็นข้อมูลที่ได้จากสภาวะการผลิตที่ปกติ ผิดปกติ หรือได้ข้อมูลจากช่วงที่มีกำลังในการผลิต

สูงสุด เนื่องจากสิ่งต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ผล และมีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน และหากข้อมูลที่ได้ต้องใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอธิบายสมมติฐานต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด เพื่อที่จะให้ผู้อ่านผลการศึกษได้ทราบถึงที่มาของข้อมูล และผลการวิเคราะห์อย่างแท้จริง

2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)

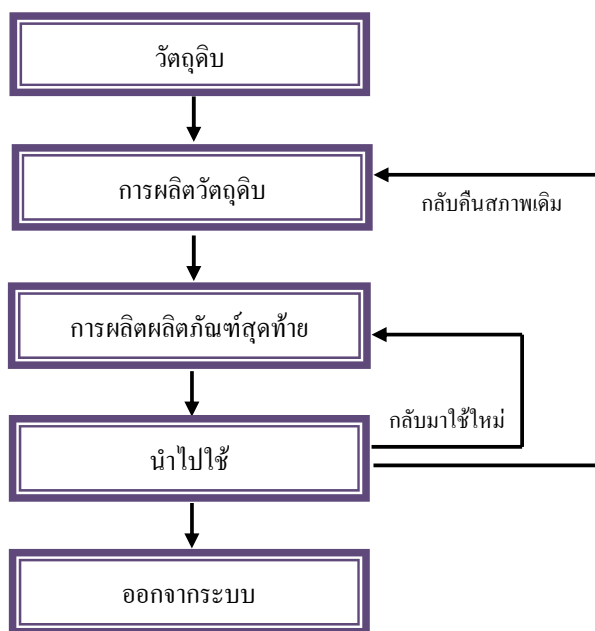
จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการกำหนดไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope Definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณของสิ่งเข้า และปริมาณของสิ่งออกจากระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจรวมถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ หรือการปล่อยของเสียเข้าสู่ อากาศ น้ำ และดิน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมนั้นควรจะพิจารณาในประเด็นต่างๆ ต่อไปนี้

2.1 การคัดเลือกข้อมูล (Data Selection)

กระบวนการวิเคราะห์บัญชีรายการจะรวมถึงการคัดเลือก และจัดการกับข้อมูลของวัตถุดิบที่นำมาใช้ ของเสีย และสิ่งที่มีผลกระทบต่อทุกขั้นตอนของวัฏจักรชีวิต โดยข้อมูลสามารถจัดหาได้จากหน่วยงาน สถานที่ต่างๆ โดยข้อมูลต้องคัดเลือกจากทุกๆ กระบวนการในการผลิต ซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

การวิเคราะห์บัญชีรายชื่อ และการเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถพิจารณาได้อย่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3

ตัวอย่าง Simple Flow Sheet ที่ใช้ในการคัดเลือกข้อมูล

(ที่มา: Henrick, 1997)

2.2 การกลั่นกรองขอบเขตระบบ (Refining System Boundaries)

ขอบเขตของระบบจะถูกกำหนดเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการการกำหนดขอบเขตหลังจากที่เก็บข้อมูลชุดแรกเสร็จสิ้นแล้ว ขอบเขตของระบบจะสามารถถูกกลั่นกรองได้ เช่น การตัดสินใจในการคัดเลือกขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือการยกเว้นข้อมูลของวัตถุดิบบางชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเท่าที่ควร

2.3 การคำนวณ (Calculation Procedures)

การคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมที่สามารถนำมาคำนวณได้ และการเลือกโปรแกรมที่จะนำมาคำนวณผลจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้อมูล

2.4 การได้ข้อมูลที่ถูกต้อง (Validation Of Data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจะต้องดำเนินการในระหว่างการจัดเก็บรวบรวมข้อมูล หรือการคัดเลือกข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล และ

การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะสามารถแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูล หรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกับกระบวนการอื่นๆ

2.5 การเชื่อมโยงข้อมูลที่สัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ ของระบบ (Relating Data to The Specific System)

พื้นฐานของข้อมูลเข้า และข้อมูลออก บ่อยครั้งที่สามารถได้จากโรงงานในหน่วยที่กำหนดเอง เช่น พลังงาน ในหน่วยเมกะจูลต่อเครื่องต่อหนึ่งสปีดาร์ หรือของเสียในระบบการจัดการของเสีย เช่น น้ำหนักของโลหะต่อปริมาตรน้ำเสีย ซึ่งจะไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงนั้นมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิต

2.6 การจัดสรรข้อมูล (Allocation)

การที่จะทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปได้ที่จะทำการจัดการเพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบ และผลที่ได้จากขอบเขตของระบบได้ทั้งหมด การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

- การเพิ่มขอบเขตของระบบ
- การจัดสรรผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ตรงปัญหากับการศึกษา

ซึ่งการจัดสรรเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการเพิ่มขอบเขตของระบบ เนื่องจากการลดปัญหาความซับซ้อนของระบบ และเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหที่เกิดขึ้นจริง

3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

มาตรฐาน ISO 14000 (International Standard for Organization) ได้ให้คำนิยามสำหรับการแปลผลไว้ 2 ความหมายคือ วิเคราะห์ผลเพื่อให้ได้ข้อสรุป อธิบายข้อจำกัด และข้อแนะนำโดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการ เพื่อรายงานผลของการแปลผลวัฏจักรชีวิตในลักษณะที่ชัดเจน และเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต และวิเคราะห์บัญชีรายการที่จะสามารถเข้าใจได้ สมบูรณ์ ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษา ประเด็นหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้ จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

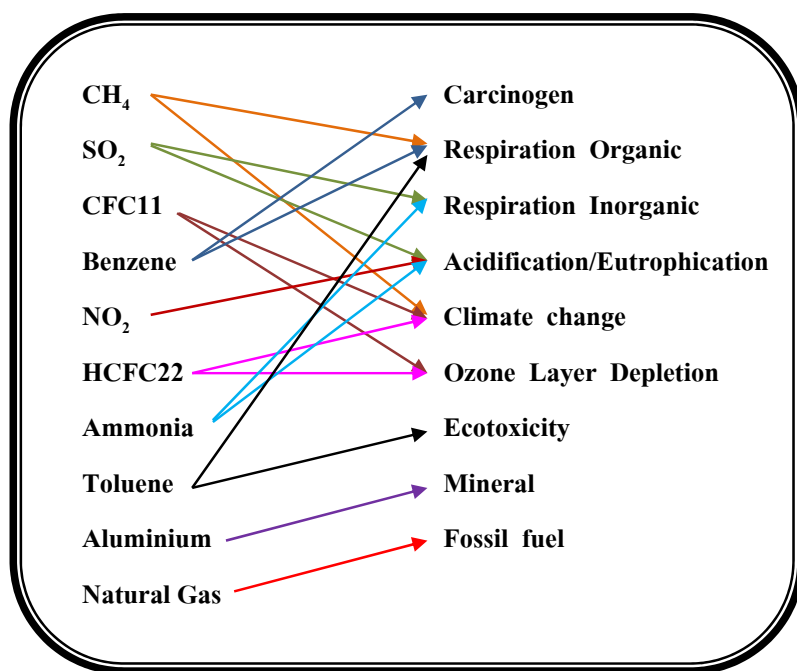
- การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การระบุประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียด และเที่ยงตรง

- การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา
ข้อจำกัด และสมมติฐานอื่นๆ หรือไม่

การประเมินผลกระทบเป็นขั้นตอนที่สามของการประเมินวัฏจักรชีวิต
เพื่อจำแนก และประเมินผลทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะประกอบไปด้วยประเด็นที่สำคัญ
ดังต่อไปนี้

3.1 การจำแนกประเภท (Classification)

การจำแนกประเภทเป็นขั้นตอนการจำแนก หรือการจัดกลุ่มข้อมูลเข้า
และข้อมูลขาออก ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ เช่น มีเทน (CH_4) อยู่ในกลุ่ม
ที่ส่งผลกระทบประเภททำให้โลกร้อนขึ้น (Climate Change) และยังมีสารเคมีบางชนิด
ที่สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายด้าน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นปัจจัย
ที่สำคัญที่ส่งผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพของมนุษย์ และส่งผลกระทบทางด้านความเป็นกรด
ซึ่งการจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4

การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

(ที่มา: Pre'Consultants, 2001)

3.2 การกำหนดบทบาท (Characterization)

เป็นขั้นตอนในการแสดงของผลกระทบให้อยู่ในรูปของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization Factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ และทำการรวมค่าทั้งหมดของผลกระทบ ดังสมการ

$$EP_j = \sum (Q_i \times EF_{ij})$$

EP_j (Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (Kg Substance Equivalent)

Q_i (Quantity of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร i ที่ปล่อยออกมา (Kg Substance j)

EF_{ij} (Equivalency Factor) คือค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (Kg Substance Equivalent / Kg Substance j)

3.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

เป็นขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ หรือ การบริการโดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ หรือบริการที่ต้องการอ้างอิง ดังสมการ

$$NP_{j(Product)} = \frac{EP_j}{T \times ER_j}$$

NP_j (Product) (Normalized Environment Impact Potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (Person)

T (Life Time of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Year)

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดขึ้นจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (Kg Substance Equivalent / Person / Year)

3.4 การกำหนดค่าน้ำหนัก (Weighting)

เป็นขั้นตอนในการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ การใช้ทรัพยากร และรวมค่าของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภท ให้เป็นคะแนนเดียว ดังสมการ

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

Wp_j (Weighting Environment Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for Target Year ; Pt)

WF_j (Weighting Factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายไว้

4. การแปลผลและการตีความ (Interpretation)

การแปลผล และการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบมารวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อที่จะได้พิจารณาบทวนจากข้อมูล และอาจจะต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่ได้รวบรวมมาให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

การแปลความหมายนี้เป็นขั้นตอน หรือกระบวนการที่ 4 ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ซึ่งเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้

- การกำหนดประเด็นสำคัญต่างๆ เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินค่า
- การสรุปและการให้ความเห็น

หลังจากทำการประเมินวงจรชีวิต (LCA) จะทำให้ทราบว่า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดเป็นอันตรายที่สุดและจะเกิดจากกระบวนการใด เพื่อที่จะวิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ไข และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านต่างๆ ดังนี้

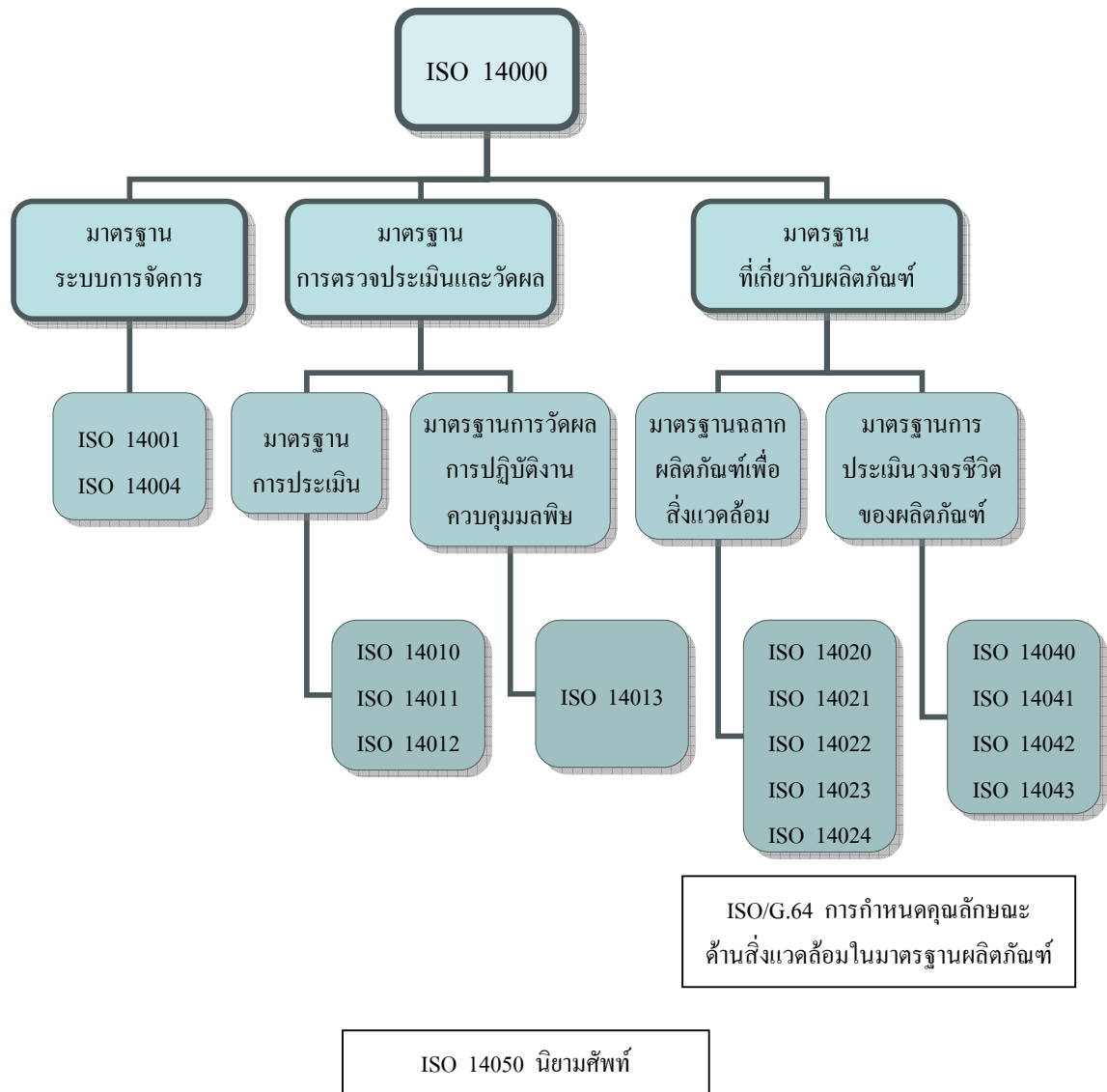
- ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์
- ปัจจัยทางด้านเทคโนโลยี
- ปัจจัยความต้องการของผู้บริโภค

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระบบมาตรฐาน ISO 14000 กับการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เป็นแนวทางหนึ่งซึ่งถูกบันทึกอยู่ในมาตรฐาน ISO 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) อนุกรมของ ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) มีดังนี้

- ISO 14000 - Environmental Management Life Cycle Assessment - Principle and Performance
- ISO 14041 - Environmental Management Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis
- ISO 14042 - Environmental Management Life Cycle Assessment - Impact Assessment
- ISO 14043 - Environmental Management Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation

ภาพที่ 2.5 จะทำให้สามารถเห็นความสัมพันธ์ระหว่าง ISO 14000 กับการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.5

แผนภูมิแสดงมาตรฐาน ISO 14000
(ที่มา: ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป 2544)

2.2 ทฤษฎีผลิตภัณฑ์ขนมปัง

คำนิยามของขนมปังมีหลากหลายตั้งแต่อดีตถึงในปัจจุบัน “ขนมปัง” จะหมายถึงเฉพาะขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลัก (ปริยาพร, 2546)

ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ขึ้นฟูด้วยยีสต์ ผลิตภัณฑ์นี้ประกอบด้วยส่วนผสมหลักที่สำคัญ 4 อย่าง คือ แป้งสาลี ยีสต์ น้ำ เกลือ ส่วนผสมแต่ละอย่างทำหน้าที่เฉพาะในขนมปัง และถ้าขาดอย่างใดอย่างหนึ่งแล้วจะไม่สามารถทำขนมปังที่มีคุณภาพเพื่อบริโภคได้นอกจากส่วนผสมหลัก 4 อย่างนี้แล้ว น้ำตาล น้ำมัน ไขมัน ไข่ ผลไม้รวม สารให้กลิ่นรสเฉพาะอย่าง อาจเติมเข้าไปกับส่วนผสมหลัก เพื่อให้เกิดคุณลักษณะบางประการของขนมปังที่ส่วนผสมหลักที่ไม่สามารถทำให้เกิดลักษณะเหล่านั้นได้ เกิดเป็นขนมปังชนิดต่างๆ ขึ้นอีกมากมาย เช่น ขนมปังหวาน ขนมปังลูกเกด เคนนิชเพสตรี โดนัท ซอฟบัน และโรลต่างๆ ตามสัดส่วนของวัตถุดิบที่มีอยู่ในส่วนผสมนั้นๆ (วัฒน์, 2543)

ขนมปังใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากแป้งสาลีมีคุณสมบัติเฉพาะที่แป้งอื่นไม่มี คือ แป้งสาลีจะประกอบด้วยโปรตีนที่สำคัญ 2 ชนิดคือ ไกลอะดิน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อนำแป้งมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว จะเกิดสารที่มีลักษณะยืดหยุ่น เหนียวยืดเป็นยาง เรียกว่า กลูเตน (Gluten) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นร่างแห สามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างหมักไว้ได้ ทำให้เกิดโครงสร้างที่ยืดหยุ่น และเป็นฟองของผลิตภัณฑ์เมื่ออบเสร็จ ไกลอะดิน เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความยืดมาก แต่มีสภาพยืดหยุ่นน้อย ละลายได้ในแอลกอฮอล์ ส่วนกลูเตนินเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความยืดน้อย แต่มีสภาพยืดหยุ่นมาก ละลายได้ในกรด หรือเบส เมื่อรวมกันเป็นกลูเตนจะได้ลักษณะที่เหมาะสม มีความยืดหยุ่นพอดี (อรอนงค์, 2549)

2.2.1 ประเภทของขนมปัง (รุ่งฤดี, 2547)

สามารถแบ่งขนมปังออกเป็น 4 ประเภท ได้ดังนี้

1. ขนมปังชนิดแข็ง (Hard Bread) ได้แก่ ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังอิตาลี และขนมปังเวียนนา ขนมปังทั้ง 3 ประเภท ทำจากโดที่มีปริมาณไขมันต่ำประมาณร้อยละ 0-3 โดยของขนมปังประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมเหมือนกัน ต่างกันที่ขนมปังฝรั่งเศสมีน้ำตาล หรือมอลต์เติมลงไปด้วย แป้งที่ใช้ทำขนมปังชนิดนี้จะต้องมีปริมาณกลูเตนสูงเพื่อที่จะสามารถทนต่อการหมักได้นาน ทนต่อการพักตัว และการขึ้นฟูของโด ในระยะแรกของการบ่ม

ควรผสมโดให้เข้ากันดี โดยใช้เครื่องผสมที่มีความเร็วสูง ขนมปังประเภทนี้จะต้องมีความคงตัวต่อการขึ้น การปั้นก้อน และการปั้นรูปของขนมปังโดยใช้เครื่องอัดโนมตี

โดที่ผสมเป็นรูปแล้วจะต้องทาผิวด้วยน้ำ แล้วจึงตัดให้เป็นรอยเฉียงขวางบนก้อนโดก่อนที่จะนำไปอบ

ขนมปังประเภทนี้จะต้องอบให้แห้ง และกรอบ อย่าอบในตู้อบที่ร้อนมากเกินไป ควรให้มีไอน้ำอยู่ในตู้อบก่อนที่จะนำโดเข้าอบ และคงปล่อยให้อิอน้ำอยู่ต่อไปจนกระทั่งโดขึ้นเต็มที่และเริ่มมีสีน้ำตาลที่เปลือกนอก

2. ขนมปังจี๊ด (Load Bread) ได้แก่ ขนมปังปอนด์ หัวกะโหลก แชนดวิช และขนมปังนม เป็นขนมปังที่ชาวอเมริกันนิยมบริโภคกันมาก เพราะมีเนื้อขนมปังขาวนุ่ม ทำจากโดที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 3-6 และใช้ในการทำแชนดวิชชนิดต่างๆ ซึ่งต่างจากโรลล์ตรงที่ขนมปังเหล่านี้ทำเป็นแท่ง โดยใช้พิมพ์ขนาดยาวแคบ เพื่อบังคับรูปร่าง และปริมาณของโดให้เสมอกันทั้ง 2 ข้าง มีเนื้อละเอียดนุ่ม ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของขนมปัง เมื่อนำมาพับทำแชนดวิชจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ถ้าใช้พิมพ์ขนมปังแบบธรรมดา ก็จะเป็นขนมปังปอนด์ หัวกะโหลก

3. ซอฟต์โรล (soft rolls หรือ soft buns) เป็นขนมปังที่ทำจากโดที่มีความเข้มข้นสูง ปกติจะทำจากโดที่มีน้ำตาล และไขมันมากกว่าขนมปัง 2 ชนิดแรก (ไขมันร้อยละ 6 - 12) ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น หรืออาจไม่ใช้ก็ได้ แบ่งที่ใช้เป็นแบ่งที่มีความแข็งปานกลาง คือ กลูเตนไม่แข็งแรงมาก โรลที่อบได้จะมีรสหวาน นุ่ม และมีเนื้อละเอียด

ซอฟต์โรลจะมีการพักร่อนเพื่อให้ขึ้นฟูก่อนถึงขั้นสูงสุด โดยทั่วไปจะอบในถาด และทิ้งช่วงให้แห้งเล็กน้อย พอที่โรลจะติดกันหลังจากอบแล้วซึ่งเป็นลักษณะของโรลประเภทนี้ โดยเฉพาะแฮมเบอร์เกอร์ และฮอตดอกโรล สำหรับผลิตภัณฑ์อื่นที่ทำจากซอฟต์โรลนี้ เช่น โคเวอริลล์ และบัดเตอร์เฟลกโรลจะอบในถาดหลุมหลังจากขึ้นเต็มที่แล้ว อาจใช้ไอน้ำช่วยในการอบเพื่อให้เปลือกของโรลบาง และช่วยให้เกิดสีเร็วขึ้นที่เปลือก สำหรับโรลที่มีชื่อปาร์เคอร์เฮาส์ มักจะอบโดยไม่มีไอน้ำ แต่จะทาผิวด้วยนมหรือนมละลายก่อนอบ

4. ขนมปังหวาน (sweet dough) ขนมปังหวานมีหลายชนิด ที่รู้จักกว้างขวางได้แก่ ขนมปังหวานทั่วไป คอฟฟี่เค้ก และขนมปังลูกเกด โดที่ทำขนมปังหวานจะต้องมีสูตรที่เข้มข้นกว่าโดที่ทำขนมปังจี๊ด โดยมีปริมาณน้ำตาล นม ไขมัน และไข่สูงกว่าขนมปังจี๊ด (ไขมันร้อยละ 12 - 24) ขนมปังหวานจากสูตรพื้นฐานเพียงสูตรเดียวนั้นดัดแปลงให้เกิดเป็น

ขนมปังหวานมากมายหลายชนิดได้ โดยการปั้นให้มีรูปร่าง และขนาดต่างๆ กัน ใส่ไส้ชนิดต่างๆ หรือโรยหน้าด้วยไอซิ่งต่างชนิดกัน แล้วเรียกชื่อขนมปังหวานนั้นได้เป็นชื่อต่างๆ กัน

2.2.2 ส่วนผสมของขนมปัง

ส่วนผสมของขนมปังประกอบด้วยแป้งสาลีโปรตีนสูง หรือที่เรียกทั่วไปว่า แป้งสาลี ชนิดทำขนมปังผสมกับน้ำ ยีสต์และเกลือ ทั้ง 4 อย่างนี้ จัดเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งจำเป็นต้องมี ในสูตรทำขนมปังทั่วไป นอกจากนั้น อาจใส่สารอื่นเพื่อปรับปรุงลักษณะของขนมปังให้แตกต่าง ไปตามความต้องการของผู้บริโภค ได้แก่ ไขมัน แป้งมอลต์ แป้งถั่วเหลือง ธัญชาติอื่นๆ อาหาร ยีสต์ สารที่ทำให้น้ำกับน้ำมันเข้ากันได้ (Emulsifiers) นํ้านม และผลิตภัณฑ์จากนํ้านม ผลไม้ และกลูเตน เป็นต้น (พรวิณัส, 2544)

1. วัตถุดิบหลักที่ใช้ทำขนมปัง

1.1 แป้งสาลี

แป้งที่ใช้ทำขนมอบส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นแป้งสาลี แป้งสาลีมีหลายชนิด มีคุณสมบัติในการทำขนมอบต่างกัน บางชนิดเหมาะทำขนมปัง บางชนิด เหมาะทำเค้ก เพราะแป้งสาลีที่ใช้มีปริมาณโปรตีนต่างกัน แป้งสาลีที่ใช้ทำขนมอบทุกชนิดจัดเป็น แป้งสาลีอย่างเบา คือมีโปรตีนต่ำ และน้ำหนักน้อยกว่าปกติ (อรอนงค์, 2549) แป้งสาลีเมื่อมีน้ำ แทรกอยู่ และได้รับความร้อนจะมีผลทำให้เกิดเจลเมื่อทำให้เย็นจะคงตัว และมีลักษณะฟูขึ้น ข้น เป็นผลมาจากอะมิโลเพกทินจะเกิดตะกอนฟูขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อร่วนและฟูมากขึ้น เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปให้ความร้อนอีกครั้ง อะมิโลเพกทินจะคืนสภาพเป็นเจลอีกครั้ง แต่อะมิโลสจะไม่ เปลี่ยนแปลง (นันทพร, 2546)

1.1.1 ชนิดของแป้งสาลี

- แป้งขนมปัง (Bread Flour) เป็นแป้งที่ได้จากข้าวสาลีชนิดหนัก มีโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 12-14 แป้งชนิดนี้ใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟูเท่านั้น เพราะยีสต์จะทำให้ก้อนโดพองตัวได้เหมาะสำหรับทำขนมปังโดยเฉพาะ เมื่อนำมาทำขนมปังจะได้ขนมปัง ที่มีปริมาตรและเนื้อในที่มีลักษณะดี เพราะมีโปรตีนที่สามารถจะยึดกันไว้ทำให้ยืดหยุ่นได้ดี เม็ดแป้งชนิดนี้จะหยาบกว่าชนิดทำเค้ก

- แป้งเค้ก (Cake Flour) เป็นแป้งที่ทำมาจากข้าวสาลีชนิดเบา และมีเนื้อละเอียดที่สุด สีขาวที่สุด มีโปรตีนต่ำประมาณร้อยละ 7-9 แป้งชนิดนี้ใช้สารเคมีทำให้ขึ้นฟูเท่านั้นไม่ใช่ยีสต์ สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ผงฟู เบกิงโซดา เกิดสารที่จะยึดกันน้อยกว่าเม็ดแป้งมี ขนาดสม่ำเสมอ ใช้ทำเค้กหรือคุกกี้

- แป้งเพสตรี (Pastry Flour) มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างแป้งสาลีธรรมดา กับแป้งเค้กได้มาจากข้าวสาลีอย่างเบา ใช้สำหรับทำเพสตรี คุกกี้

- แป้งสาลีธรรมดา (All Purpose Flour) เรียกว่า แป้งสาลีเอนกประสงค์ ทำจากแป้งสาลีอย่างหนักและเบาผสมกัน มีโปรตีนสูงปานกลางร้อยละ 10-11 ลักษณะของแป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปังและแป้งเค้กรวมกัน สารที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้ คือ ยีสต์และผงฟู จึงเป็นแป้งที่ทำขนมอบได้ทุกอย่าง ถ้าใช้ทำเค้กคุณภาพจะไม่ดีเท่าการใช้แป้งเค้ก และเมื่อใช้ทำขนมปังก็ไม่ดีเท่าการใช้แป้งขนมปัง

- แป้งที่ขึ้นเอง (Self-Rising Flour) หมายถึง แป้งที่ผสมผงฟูไว้อย่างเหมาะสม บรรจุในกล่องหรือถุง เช่น แป้ง multiple

- แป้งเสริมวิตามิน (Enriched Flour) เป็นแป้งที่ได้เติมสารอาหารบางอย่างลงไป เช่น เติมวิตามิน เหลือแร่

1.1.2 คุณลักษณะทางเคมีของแป้งสาลี (อรอนงค์, 2538)

เมื่อนำข้าวสาลีมาบดเป็นแป้ง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ และทางเคมี คือ การไม่แป้งเป็นการสกัดส่วนเนื้อในของเมล็ดออกมา และบดเป็นแป้งละเอียด ซึ่งแป้งที่ได้นี้จะประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต (ได้แก่สตาร์ชเป็นส่วนใหญ่) ไขมัน เอนไซม์ แร่ธาตุ วิตามิน และสี มีองค์ประกอบอะไรมาน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการสกัดแป้งนั้นออกมาจากเมล็ดข้าวสาลี

- คาร์โบไฮเดรต องค์ประกอบที่สำคัญ และมีปริมาณมากที่สุด ในแป้งสาลี คือ คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล สตาร์ช เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโทแซน น้ำตาลที่มีอยู่ในแป้งนี้มีปริมาณน้อย แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลี การนำแป้งไปทำขนมปัง น้ำตาลอิสระในแป้งจะมีส่วนในการหมักของยีสต์ และการเปลี่ยนสีของขนมปังเป็นสีน้ำตาล

- สตาร์ช มีอยู่ในแป้งสาลีในปริมาณมากที่สุด เนื่องจากเป็นอาหารสะสมของเมล็ดข้าวสาลีในส่วนเนื้อของเมล็ด มีสูตรโครงสร้างประกอบด้วยส่วนอะมิโลส และอะมิโลแพกทิน ทั้งอะมิโลส และอะมิโลแพกทินมีโมเลกุลใหญ่ ทำให้สตาร์ชมีโมเลกุลที่ใหญ่มาก เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สตาร์ชจนเกิดการพองตัวและขึ้นเหนียวเรียกว่า การเกิดเจลลาติไนซ์ (Gelatinization) อุณหภูมิของการขึ้นเหนียวอยู่ระหว่าง 52-63 องศาเซลเซียส เมื่อทิ้งให้สตาร์ชขึ้นเหนียว และใส่เย็นตัวลงจะเกิดลักษณะขุ่นกลับคืน (Retrogradation) เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลสค่อยๆ รวมตัวเป็นผลึกแยกจากส่วนของน้ำ ถ้าเกิดซ้ำจะมีลักษณะ

ตกตะกอน ถ้าเกิดเร็วจะเป็นเจลขุ่น ลักษณะการเกิดผลึกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนมปัง เมื่อนำเข้าอบและทิ้งไว้ให้เย็น ทำให้ขนมปังใหม่สดเปลี่ยนเป็นขนมปังเก่ามีความขุ่น และแห้ง กว่าเดิมเกิดจากการเปลี่ยนแปลง อะมิโลสเป็นผลึก หรือตะกอนอย่างถาวร โดยการเปลี่ยนแปลง ของอะมิโลเพกทินสามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ ถ้ามีการให้ความร้อนแก่ขนมปังเก่า โดยทำให้โครงร่างอะมิโลเพกทินที่ตกตะกอนกลับคืนตัวเหมือนใหม่อีกครั้ง

- เฮมิเซลลูโลสและเพนโทแซน เฮมิเซลลูโลสคือส่วนที่ไม่ละลาย น้ำ และเพนโทแซนเป็นส่วนของน้ำตาลที่สามารถละลายในน้ำ จะมียูในแป้งพาทেন্টประมาณร้อยละ 2-3 โครงร่างทั่วไปประกอบด้วยน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้มากถึง 15 เท่าของน้ำหนักน้ำ และมีความหนืดข้นมากกว่าโปรตีนของแป้งถึง 15-20 เท่า ลักษณะนี้มีส่วน ช่วยในการดูดซึมน้ำของแป้งเพิ่มขึ้น และลดเวลาในการผสมแป้งกับน้ำให้เกิดเป็นโด มีผลทำให้ ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและมีเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น

- ไขมัน ไขมันในแป้งมีส่วนในการเก็บรักษา คุณค่าทางอาหาร และลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ ในการเก็บรักษาเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกซิเดชันที่ก่อให้เกิด การเหม็นหืน ไขมันประเภทที่มีประจุ (Polar Lipids) รวมทั้งไขมันยึดเหนี่ยวกับสารอื่นมีส่วน ช่วยให้อิมัลชันของขนมอบดีขึ้น ไขมันในแป้งมีส่วนช่วยให้เกิดการแทรกตัวร่วมกับโปรตีน ซึ่งขณะผสมจะเกิดเป็นลิพอโปรตีนขึ้นโดยฟอสโฟลิปิด ส่วนไขมันประเภทโพลาร์ และ ไม่โพลาร์มีส่วนเชื่อมคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนให้อยู่ร่วมกันเป็นเนื้อโด

- โปรตีน ปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีชนิดต่างๆ นี้ไม่เท่ากันอยู่ใน เกณฑ์ร้อยละ 8-13 แป้งสาลีชนิดทำขนมปังจะมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 12-13 สูงกว่าแป้งสาลี เอนกประสงค์ร้อยละ 10-11 และแป้งเค้กร้อยละ 8-9 ไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) เกิดจาก การรวมตัวของโปรตีนกับเพนโทแซน ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายได้ในน้ำมีผลต่อคุณลักษณะ การยืดหยุ่นของกลูเตน และการอุ้มก้ำในขณะอบ โปรตีนชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในแป้งสาลี มีความสำคัญทั้งในด้านคุณค่าทางอาหาร และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในส่วน ของไกลอะดิน และกลูเตนินที่รวมตัวเป็นกลูเตน ซึ่งมีความยืดหยุ่นช่วยในการอุ้มก้ำของขนมปัง ในขณะอบ นอกจากนี้โปรตีนบางชนิดยังมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของขนมอบ เกิดจากปฏิกิริยา การเกิดสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ของกรดอะมิโนอิสระบางกลุ่มเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำตาล ชนิดรีดิวซิง

1.2 น้ำ

เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และรวมถึง น้่านม หรือน้ำผลไม้ก็ได้ เป็นส่วนผสมที่ขาดไม่ได้ในการทำโด เพราะน้ำจะทำหน้าที่

- เปลี่ยนสภาพของโปรตีนในแป้งให้เป็นกลูเตน
- ช่วยละลายเกลือ น้ำตาล และส่วนผสมอื่นๆ ที่ละลายได้ให้กระจาย

อย่างทั่วถึง

- ช่วยควบคุมอุณหภูมิของโด และช่วยควบคุมความเหนียวของโด
- ทำให้สตาร์ชเกิดการพองตัว
- ช่วยทำให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น

1.3 สิ่งที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู

สิ่ง que ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบขึ้นฟูมีความเบาได้แก่ อากาศ ไอน้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

- การขึ้นฟูด้วยอากาศเช่น การร่อนแป้ง การตีเนยกับน้ำตาล การตีไข่

จนเป็นฟอง

- การขึ้นฟูด้วยไอน้ำเกิดจากการขยายตัวของน้ำในส่วนผสมเป็นไอน้ำ

เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ เช่น การพองตัวของครีมพัฟ พัพเพสตรี

- การขึ้นฟูด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการขึ้นฟูที่เกิดจาก

กระบวนการทางชีวเคมีได้แก่ ยีสต์ และกระบวนการทางเคมี ได้แก่ เบกกิ้งโซดา เบกกิ้งเพาเดอร์หรือผงฟู และแอมโมเนีย

1.3.1 ยีสต์ เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ อาหารที่จำเป็นคือ น้ำตาล ยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกอฮอล์ได้ในกระบวนการหมักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นในระหว่างการหมักนั้น เป็นสาเหตุให้ก้อนโดขยายตัวพองขึ้น ยีสต์ที่ใช้มี 3 ชนิดคือ ยีสต์สด ยีสต์แห้งชนิดเม็ด และยีสต์แห้งชนิดผง

1.3.2 เบกกิ้งโซดา หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นสารเคมีที่ละลายตัวเมื่อได้รับความร้อน ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ถ้าใช้เดี่ยวๆ จะทำให้เกิดรสเฝื่อน สามารถปรับให้หมดไป โดยการเติมกรดอาหารเช่น นมเปรี้ยว ลงไป

1.3.3 เบกกิ้งเพาเดอร์ หรือผงฟู เป็นส่วนผสมของเบกกิ้งโซดา กับสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด มีแป้งข้าวโพดอยู่ด้วยเพื่อป้องกันมิให้สารทั้งสองสัมผัสกันโดยตรง

ผงฟูที่ผลิตขึ้นมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบมี 2 ชนิดคือ ผงฟูกำลังหนึ่ง เป็นผงฟูที่มีส่วนผสมของโซเดียมไบคาร์บอเนต กับกรดอาหารที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผงฟูชนิดนี้จำเป็นต้องนำเข้าอบทันทีหลังจากผสมแล้ว ผงฟูอีกชนิดหนึ่งคือ ผงฟูกำลังสอง ประกอบด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต กับกรดอาหาร 2 ตัว หรือมากกว่า กรดชนิดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วอีกชนิดหนึ่งเกิดปฏิกิริยาช้า กรดที่ให้ปฏิกิริยาเร็วจะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาส่วนหนึ่ง และกรดที่ให้ปฏิกิริยาช้าจะผลิตออกมาอีกส่วนหนึ่งเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ การใช้ผงฟูชนิดนี้จึงเป็นที่นิยมเพราะไม่ต้องรีบร้อนนำผลิตภัณฑ์เข้าอบ

1.3.4 แอมโมเนีย ได้แก่ แอมโมเนียมคาร์บอเนต หรือ แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กบาง ส่วนมากใช้ในการทำคุกกี้ และครีมน้ำตาล

1.4 เกลือ

เกลือที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ หมายถึงโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลือน้ำเค็มที่ใช้ประกอบอาหารทั่วไป มีหน้าที่

- ช่วยเพิ่มรสชาติให้แก่ผลิตภัณฑ์
- ช่วยให้กล้ามเนื้อของโดมิกำลังในการยืดตัว
- ช่วยควบคุมการทำงานของยีสต์ในระหว่างการหมัก
- ช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการ

1.5 น้ำตาล

น้ำตาลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ หมายถึง น้ำตาลซูโครสมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลไอซิ่ง และน้ำเชื่อมแบบแช่ น้ำตาล มีหน้าที่

- ให้ความหวานและกลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์
- เป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก
- ช่วยให้อายุของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น
- ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้น เก็บได้นาน
- ช่วยในการตีครีมและตีไข่ให้มีความคงตัวดี
- ช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร

1.6 ไขมัน

น้ำมัน และไขมันประกอบด้วยกรดไขมันกับกลีเซอรอลซึ่งจะแตกต่างกันตรงชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า น้ำมัน และที่มีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า ไขมัน ทั้งน้ำมันและไขมันที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ได้มาจากแหล่งผลิตที่เป็นทั้งพืชและสัตว์ จากพืชได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากเมล็ดพืชต่างๆ เช่น ฝ้าย งา ถั่วชนิดต่างๆ จากสัตว์ ได้แก่ ไขมันเนย ได้จากนม ไขมันหมูและไขมันปลา ชนิดของไขมันที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้แก่ เนย มาร์การีน น้ำมันพืช ไขมันพืช/สัตว์ และโกโก้ บัตเตอร์

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยีสต์ ไขมันทำหน้าที่

- ให้ความอ่อนนุ่มและกลิ่นรสที่ดี
- ช่วยกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น ป้องกันอากาศภายนอก ทำให้มีปริมาตรเพิ่ม และมีเนื้อสัมผัสที่ดี

- ช่วยหล่อลื่นกลูเตน ทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น

2. วัตถุดิบที่ไม่ใช่ส่วนผสมที่สำคัญ (สุเมธ, 2546)

1. ไข่

ผลิตภัณฑ์ขนมอบส่วนมากจะใช้ไข่ไก่ และใช้ในรูปแบบของไข่สด ไข่มีหน้าที่

- ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู
- ช่วยให้เกิดสีแก่ผลิตภัณฑ์
- ช่วยให้ความมันแก่ผลิตภัณฑ์
- ให้กลิ่นรสและความเข้มข้น
- ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสดและมีคุณค่าทางอาหาร

2. อาหารของยีสต์

เป็นสารที่ช่วยควบคุมการทำงานของยีสต์ให้ดีขึ้น เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต

3. ผลไม้แห้ง

ผลไม้แห้งที่ใช้ ไม่ควรให้มีอุณหภูมิต่ำเพราะจะไปขัดขวางการทำงานของยีสต์ และผลไม้แห้งที่ใช้ไม่ควรแห้งเกินไป จะทำให้ดึงเอาน้ำในเนื้อขนมปัง ทำให้ขนมปังมีเนื้อแห้ง ผลไม้ที่แห้งอาจจะเติมน้ำลงไปเล็กน้อย หรือนำไปแช่น้ำเชื่อม เหล้า ทำให้มีรสชาติดีขึ้น

4. สารเสริมคุณภาพโด

สารเสริมคุณภาพโด (Bread Improver) หมายถึง ส่วนผสมที่มีคุณสมบัติช่วยเปลี่ยนลักษณะของแป้งให้เหมือนกับแป้งที่ผ่านการหมักมาแล้ว และปรับปรุงคุณภาพของขนมปังให้ดีขึ้น เช่น ยู-99 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยทุ่นเวลาในการทำขนมปัง (dough method or quick dough) ช่วยลดเวลาการผสม ทำให้เนยในขนมปังละเอียด นุ่ม ขนมปังมีขนาดใหญ่ สีสวย และเก็บได้นาน

5. สารปรับปรุงคุณภาพโด

เป็นสารผสมที่ได้จากธรรมชาติ คือจากถั่วเหลือง นม เกลีส และโปรตีนในรูปอื่นๆ ช่วยให้ขนมปัง ละเอียด และช่วยให้เก็บได้นานสามารถใช้ควบคู่กับสารเสริมคุณภาพได้

6. สารป้องกันของเสีย

ช่วยป้องกันการเสียเนื่องจากเชื้อรา และแบคทีเรีย ทำให้ขนมปังเก็บได้นานขึ้น ได้แก่ โซเดียมเบนโซเอท แคลเซียมโปรปิโอเนท น้ำส้มสายชู เป็นต้น การใช้ควรใช้ในปริมาณที่กำหนดตามที่กฎหมายกำหนด

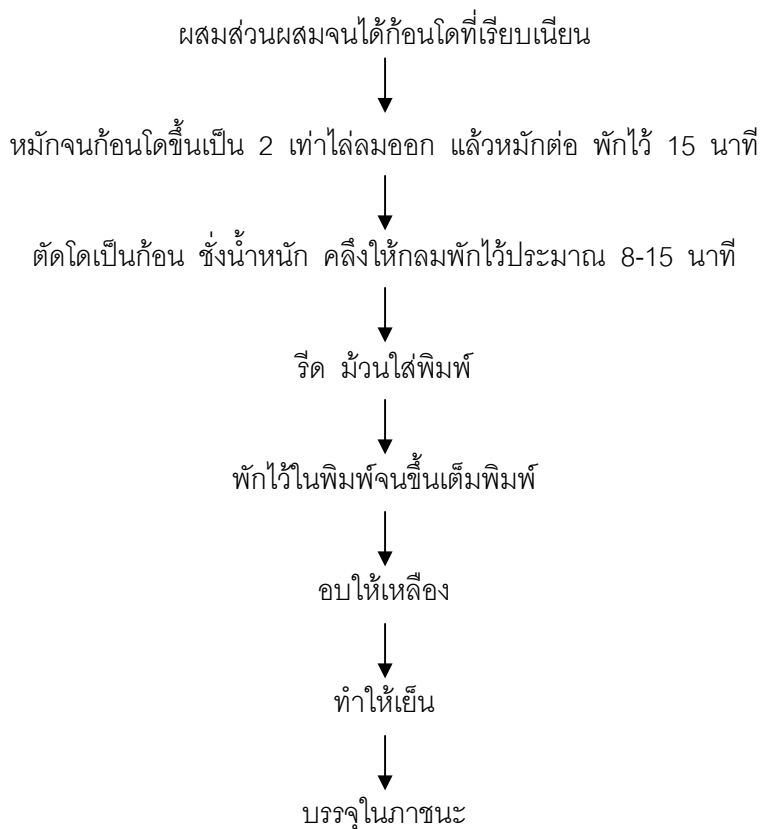
2.2.3 การผลิตขนมปัง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)

1. วิธีทำขนมปัง

ขนมปัง และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้ยีสต์ มีวิธีทำหลายวิธีด้วยกัน ที่นิยมใช้ทั่วไปมี 3 วิธี คือ วิธีผสมแบบสเทรต-โด วิธีผสมแบบสปันจ์-โด และวิธีผสมโน-ไทม์โด

1.1 วิธีผสมแบบสเทรต-โด

วิธีนี้ใช้กันทั่วไปเพราะมีความสะดวกในการทำ โดยนำส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในสูตรมาผสมให้เข้ากันจนได้ก้อนโดที่เรียบเนียน แล้วนำไปหมักจนโดมีขนาดใหญ่กว่าเดิมเกือบ 2 เท่า แล้วไล่ลมออก โดจะยุบตัว กลับโดส่วนล่างให้ขึ้นข้างบน แล้วหมักต่อจนโดขยายตัวเกือบเท่าเดิม จึงนำมาตัดแต่ง ซึ่งน้ำหนักเป็นก้อนตามต้องการ คลึงให้กลม พักไว้ แล้วนำมารีด ม้วนใส่ในพิมพ์ที่ทาไขมันไว้แล้ว แล้วหมักต่อในพิมพ์จนขึ้นเต็มพิมพ์ จึงนำเข้าตู้อบที่ตั้งอุณหภูมิให้ถึงจุดที่ต้องการไว้ก่อน แล้วอบจนกระทั่งเป็นสีน้ำตาลอ่อน เอาออกจากพิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงเข้าเครื่องหั่นเป็นชิ้น บรรจุในภาชนะบรรจุ ดังภาพที่ 2.6



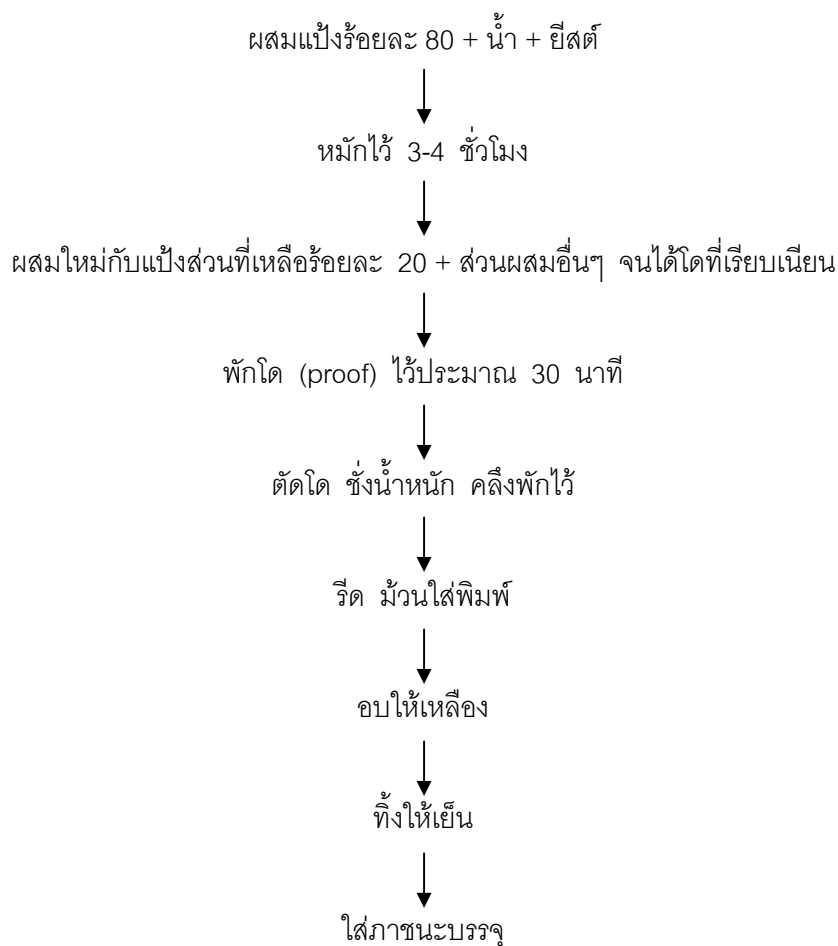
ภาพที่ 2.6

ขั้นตอนการทำขนมปังแบบสเตรทโด

2.1 วิธีผสมแบบสปันจ์-โด

เป็นวิธีผสมที่มีขั้นตอนการผสม และการหมัก 2 ครั้ง โดยแบ่งแบ่งที่ใช้ในส่วนผสมทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วนแบ่งส่วนที่ 1 จะนำมาผสมกับน้ำส่วนหนึ่งที่เหมาะสมกับการดูดซึมของแป้งที่ใช้ มีีสต์และอาหารของีสต์ (ถ้ามี) ผสมอยู่ด้วย นำมาผสมโดยผสมพอให้ส่วนผสมเข้ากันด้วยอัตราความเร็วของเครื่องต่ำ ใช้เวลาผสมสั้นเพียง 4-5 นาที โดที่ได้จากการผสมขั้นตอนนี้ เรียกว่า สปันจ์ นำสปันจ์ไปหมักนานประมาณ 3-4 ชั่วโมงจนโครงร่างของสปันจ์มีความอ่อนตัว เมื่อจับมาดัดยืดสปันจ์จะขาดอย่างเรียบร้อย และมีแรงต้านทานการดัดยืดเพียงเล็กน้อย นำกลับมาเข้าเครื่องผสมอีกครั้งหนึ่ง ผสมแบ่งส่วนที่เหลือกับส่วนผสมอื่นๆ ที่ใช้ในสูตรทั้งหมดลงไปผสมจนเข้ากันเป็นก้อนโดที่มีลักษณะเรียบเนียน ขั้นตอนนี้เรียกว่า โด และส่วนผสมทั้งหมดนี้เป็น สปันจ์-โด หลังจากผสมจนได้โดที่เรียบเนียนแล้วต้องพักไว้อีกระยะหนึ่งเป็นการพัก

ระยะสั้นๆ เพื่อให้โดได้พักตัว และยืดหยุ่นพอที่จะนำไปตัดแต่ง ชั่งน้ำหนัก คลึงให้กลม พักไว้ แล้วรีด ม้วน ใส่ในพิมพ์ที่ทาไขมัน หมักต่อในพิมพ์จนโดขึ้นเต็มพิมพ์ จึงนำไปอบเช่นเดียวกับวิธีทำแบบสเทรต-โด ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7

ขั้นตอนการผสมแบบสปันจ์-โด

3.1 วิธีผสมโน-ไทม์โด

เป็นวิธีผสมขนมปังแบบทุ่นเวลา คือ หลังจากผสมโดแล้ว สามารถนำมา ม้วนใส่พิมพ์ได้โดยไม่ต้องผ่านการหมัก เพียงแต่นำโดที่ผสมได้มาพักตัวหลังการผสมแล้ว ประมาณ 15 นาที แล้วนำมาตัดแบ่ง ชั่งน้ำหนัก รีด ม้วนใส่ในพิมพ์ที่ทาไขมัน แล้วหมักต่อใน พิมพ์จนขึ้นเต็มพิมพ์พร้อมที่จะอบได้ การผสมโดยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้สารเคมีช่วยเร่ง

ให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น และต้องใช้เครื่องผสมที่มีอัตราเร็วของเครื่องสูง แต่สามารถลดเวลาในการทำได้เกือบ 2 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับวิธีผสมแบบสเทรต-โด

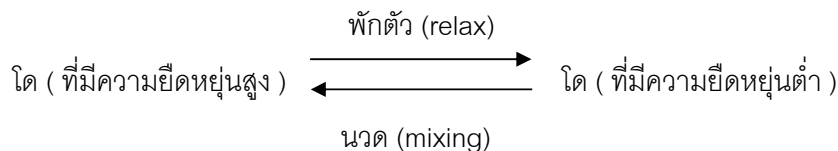
2. กลไกการผลิตขนมปัง ประกอบด้วยกลไกต่างๆ ดังนี้

2.1 การพัฒนาของโด

เมื่อผสมน้ำกับแป้งในปริมาณที่เหมาะสมจะได้ก้อนที่มองเห็นเป็นคล้ายลักษณะร่างแห ที่มีความเหนอะหนะ เนื่องจากเมื่อเราเติมน้ำลงไปผิวหน้าของแป้งจะดูดซับน้ำไว้ทันที เมื่อผสมต่อไปเรื่อยๆ ก้อนแป้งจะแฉะน้อยลง แต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเรียกว่าเกิด “โด (dough)” โดที่เกิดขึ้นจะมีทั้งความเหนียว และยืดหยุ่นและมีแรงต้านทานต่อการดึงยืด ยิ่งนวดมากขึ้นความเหนียวก็จะยิ่งสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง เรียกว่าโดได้มีการพัฒนา (Develope) แล้ว

2.2 การผสม

อนุภาคของสตาร์ชในแป้งขนมปังจะมีลักษณะแน่นในกรณีไม่มีการผสม การซึมผ่านของน้ำเข้าไปในอนุภาคแป้งจะเป็นไปอย่างช้าๆ โดยวิธีการแพร่ การผสมเป็นการทำให้อนุภาคสตาร์ช ขัดสีกันเองจนแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็กลง น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่ายขึ้น และไปล้อมรอบโปรตีนและแป้ง ทำให้โปรตีนสามารถเกิดโครงสร้างเป็นกลูเตนขึ้นมีอนุภาคสตาร์ชเกาะอยู่ตามร่างแหของกลูเตนเกิดลักษณะที่ยืดหยุ่น และสามารถยืดเป็นแผ่นได้ เวลาที่ใช้จนได้ความยืดหยุ่นสูงสุด จะเป็นเวลาที่เหมาะสมในการผสมเนื่องจากแป้งทุกอนุภาพ และโปรตีนจะถูกล้อมรอบด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์ เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะไม่เห็นอนุภาพสตาร์ชเกาะกันเป็นก้อนๆ แล้วแต่จะเห็นเส้นใยโปรตีนเป็นร่างแหที่มีอนุภาคเล็กๆ ของแป้งเกาะอยู่โดยทั่วไป กระบวนการพัฒนาของโดนั้นเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ดังสมการ



การที่โดมีคุณสมบัติดังนี้แสดงว่า พันธะของโดต้องไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ เนื่องจากพันธะโควาเลนต์เป็นพันธะที่แข็งแรง พันธะที่เกิดในโดอาจจะเป็นพันธะไฮโดรเจน หรือพันธะที่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือทั้งสองอย่าง

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของโดคือ คุณสมบัติในการจับอากาศเข้าไว้ได้ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความเหนียวของโดในช่วงการผสมจะมีการจับอากาศไว้ประมาณ

ครึ่งหนึ่งของทั้งหมด ปกติแล้วมักเป็นก๊าซไนโตรเจน ช่วงนี้จะสำคัญมากเพราะจะเป็นการสร้าง เซลล์อากาศ (Air Cell) เมื่อถึงช่วงหมัก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหมัก ของยีสต์ก็สามารถแพร่เข้าไป ในเซลล์อากาศนี้ และเพิ่มปริมาตรขึ้นได้ ถ้าในช่วงผสมมีการจับ อากาศได้น้อย จะได้ขนมปังที่เนื้อหยาบและมีเซลล์ขนาดใหญ่

การผสมโดบางครั้งอาจทำในสภาพสุญญากาศบางส่วน (Partial Vacuum) เช่น การผสมแบบชอร์ลีย์วูด (Chorleywood Process) เพราะการผสมในสภาพนี้ มีความกดอากาศต่ำ ฟองอากาศจะเกิดขึ้นได้เร็ว และเป็นจำนวนมาก จึงได้ขนมปังที่มีเนื้อ ละเอียดกว่าปกติ

2.3 เวลาที่ใช้ในการผสม

เวลาที่เหมาะสมในการผสมได้จากการวัดโดยใช้เครื่อง มิกโซกราฟ (Mixograph) หรือฟาริโนกราฟ (Farinograph) เวลาที่เหมาะสมในการผสมคือ เวลา ณ จุดที่มีความยืดหยุ่นสูงสุดซึ่ง ณ จุดนี้โดจะมีแรงต้านการหมุนของใบพัดในเครื่องผสมมากที่สุด ซึ่งเวลาที่เหมาะสมนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ

- พันธุ์ และสภาวะแวดล้อมในการปลูกข้าวสาลี
- ปริมาณ และชนิดของโปรตีนในแป้งสาลี โดยเฉพาะกลูเตนิน (Glutenin) แป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 12) จะใช้เวลาผสมนาน เพราะมี ปริมาณโปรตีนในการเกิดกลูเตนน้อย
- สารเคมีบางชนิด โดยเฉพาะสารพวกรีดิวซิง เช่น ซีสทีนไบซัลไฟด์ (Cystine Bisulfide) ทำให้เวลาในการผสมลดลง เพราะสารเหล่านี้ไปทำให้พันธะ ไดซัลไฟด์ในกลูเตนแตกออก สายโปรตีนจึงมีขนาดสั้นลง ถูกน้ำล้อมรอบได้ง่าย
- ความเป็นกรดเบส (pH) การผสมโดที่มี pH ต่ำจะลดเวลาในการ ผสมลง โดยที่ pH สูงจะเพิ่มเวลาในการผสม เป็นผลเนื่องมาจากประจุไฟฟ้าของโปรตีน เปลี่ยนแปลงไป

2.4 การผสมที่มากเกินไป

หลังจากจุดที่โดเกิดความยืดหยุ่นสูงสุดแล้ว ถ้าเรายังคงผสมต่อไป โดที่ ได้จะเริ่มนิ่มเหนอะหนะ ซึ่งเรียกว่าโดเกิดการแตกสลาย สาเหตุเกิดจากปรากฏการณ์แรงเฉือน (Shear Thinning) ขณะผสม ทำให้โมเลกุลของโปรตีนที่มีสายยาววางตัวในทิศทางเดียวกับการ ไหลของโด ทำให้แรงต้านทานการผสมลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า การผสมที่มากเกินไปเป็น กระบวนการออกซิเดชัน เพราะลักษณะนี้จะไม่เกิดในสภาพที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน การเติม

สารประกอบที่ไม่อิมิตัวเช่น กรดฟูมาริก และสารออกซิไดส์ที่ทำปฏิกิริยาเร็ว เช่น โพแทสเซียมไฮโดรเจนไดออกไซด์ สามารถเพิ่มอัตราการสลายตัวของโด

2.5 การหมัก

ยีสต์เป็นสิ่งมีชีวิตหลังจากที่เจริญเติบโตระยะหนึ่งเมื่อเกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่นความแห้งแล้ง หรืออุณหภูมิต่ำจะเข้าสู่ระยะพักตัว ซึ่งหลักการนี้ใช้ในการผลิตยีสต์สำหรับทำขนมปัง (Baker Yeast) โดยการผลิตยีสต์แห้งซึ่งยังมีชีวิตอยู่ (Active Dry Yeast) โดยการลดความชื้นหรือทำให้แห้ง และผลิตยีสต์อัดเป็นแท่ง (Compressed Yeast) หรือยีสต์อัดเป็นเม็ด (Crumbled Yeast) โดยการลดอุณหภูมิเมื่อผสมยีสต์เข้ากับน้ำ ในการทำเป็นโดนั้น ยีสต์จะเริ่มเข้าสู่สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ก็จะออกจากสภาพพักตัว มาเป็นสภาพยีสต์ซึ่งมีชีวิตสามารถทำให้เกิดการหมักได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีอากาศ ในกระบวนการผลิตยีสต์ และผลิตเหล้า จะเป็นแบบมีอากาศ แต่สำหรับกระบวนการผลิตขนมปังจะเป็นแบบไม่มีอากาศ ซึ่งปริมาณการเติบโตของยีสต์จะเกิดขึ้นน้อยมากในระหว่างการหมักขนมปัง

ยีสต์ที่ผลิตทางการค้า มักมีการปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์โดยเฉพาะพวกกรดแล็กติกแบคทีเรีย ซึ่งมีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์พวกแครกเกอร์ และโดเปรี้ยว (sour dough) แต่จะมีผลน้อยในผลิตภัณฑ์ขนมปังทั่วๆ ไป

ขณะหมัก ก๊าซออกซิเจนในโดจะถูกยีสต์และแบคทีเรียใช้ไปอย่างรวดเร็ว ในช่วงแรกของการหมักหลังจากนั้นกระบวนการหมักจะเป็นแบบไม่มีอากาศ ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการหมักของยีสต์คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเอทานอล ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะน้อยเนื่องจากยีสต์เพิ่งจะปรับตัวเข้าสู่สภาวะแวดล้อมใหม่ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะละลายไปกับเฟสที่เป็นของเหลวของโด เมื่อเฟสที่เป็นของเหลวนั้นอิมิตัวไปด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปลดปล่อยออกมาในสภาพก๊าซ และกักเก็บไว้ในเซลล์อากาศ และทำให้โดฟองตัวออก

สภาพที่ใช้ในการหมักโดควรสะอาด และปราศจากกลิ่น มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์คือ อุณหภูมิ 78-80 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวหน้าของโดเปื่อยหรือแบ่งเกินไป ถ้าไม่มีห้องหมักควรใช้ผ้าขาวบาง ผ้าใบ ถุงพลาสติกคลุมไว้ ถ้าไม่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ให้ใช้หม้อต้มน้ำแล้วใส่ไว้ในห้อง หรือตู้หมัก ห้องหมักมีความจำเป็นอย่างยิ่งในประเทศที่มีอากาศหนาว แต่ประเทศเราไม่ค่อยเกิดปัญหาเนื่องจาก

อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์สูงอยู่แล้ว อาจหมักไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้วคลุมด้วยผ้าเปียกหมาดๆ

การหมักโดที่อุณหภูมิต่ำ ควรเพิ่มปริมาณยีสต์ เพิ่มอุณหภูมิของโด และยืดเวลาในการหมัก ถ้าอากาศร้อนควรลดปริมาณยีสต์ลง ลดอุณหภูมิโดลง 3-4 องศาเซลเซียส และใช้เวลาหมักสั้นๆ การหมักโดที่นานเกินไปจะได้โดที่แฉะ อ่อน แห้งเร็ว เนื้อในผลิตภัณฑ์ร่วน ปริมาตรต่ำ รูปร่างไม่ดี และสีเปลือกนอกจะซีด หมักโดน้อยเกินไปได้ขนมปังปริมาตรต่ำ สีเปลือกเข้ม กลิ่นรสไม่ดี เนื้อในเป็นสีเทา มีรูห่าง ร่วนง่าย

2.6 วิทยากระแสของโด

วิทยากระแส (Rheology) คือการศึกษาความสามารถของโดในการยืดหยุ่น (Elasticity) การขยายตัว (Expansibility) และความหนืด (Viscous) ปกติแล้วโดจะมีลักษณะไหลหนืด (Viscous Flow) และยืดหยุ่น ซึ่งจะตรวจสอบง่ายๆ โดยวิธีทดสอบการขยายตัว (Spread Test) ซึ่งทำได้โดยการนำแป้งมาผสมจนเกิดเป็นโด นำมาหมักแล้วจึงนำมาทดสอบค่าอัตราส่วนการขยายตัว (Spread Ratio) จะเป็นการวัดการขยายตัวของโดโดยดูจากอัตราส่วนกว้างต่อความสูง (W/H) เมื่อตั้งโดทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง โดที่มีความยืดหยุ่นสูงจะมีค่า Spread Ratio ต่ำกว่าโดที่มีความยืดหยุ่นต่ำ

ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อ วิทยากระแสของโด

1. ยีสต์ การเติมยีสต์ลงไปจะทำให้ค่าอัตราส่วนการขยายตัวลดลงเรื่อยๆ แสดงว่ายีสต์มีผลต่อวิทยากระแสของโดคือ ทำให้ความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งก็เป็นเช่นเดียวกับการเติมสารออกซิไดส์ แสดงว่า ยีสต์ให้ผลเปรียบเหมือนการออกซิไดส์เช่นเดียวกัน

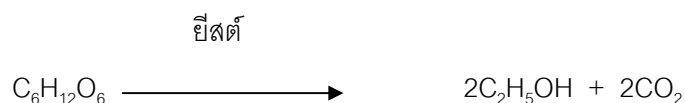
2. สารออกซิไดส์ มีผลต่อวิทยากระแสของโด สารดังกล่าวได้แก่

- สารออกซิไดส์ที่ให้ปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ โพแทสเซียมไฮโอเดต อะซิไธคาร์บอเนต เป็นสารที่ให้ผลเร็ว จะให้ผลตั้งแต่ช่วงผสม
- โพแทสเซียมโบรเมต จะไม่มีผลในช่วงผสมแต่จะมีผลในช่วงการหมัก ซึ่งเกิดจาก pH ที่ลดลงในช่วงหมัก โพแทสเซียมโบรเมตทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH ต่ำ
- กรดแอสคอร์บิกให้ผลเร็วและขึ้นกับเวลา สารออกซิไดส์จะช่วยให้สมบัติในการไหลหนืดลดลงในช่วงการหมัก ดังนั้นโดจะขยายตัวจนเต็มพิมพ์

3. pH ของโด การเปลี่ยน pH ช่วงการหมักมีผลต่อวิทยาการระแสของโด โดที่เพิ่งออกจากเครื่องผสมจะมี pH ประมาณ 6 ระหว่างหมัก pH จะลดลงเหลือประมาณ 5 ปัจจัยที่ทำให้ pH ลดลง เกิดจากการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก ปัจจัยที่สองเกิดจากการที่แบคทีเรียในโด โดยเฉพาะแล็กติกแบคทีเรียสร้างกรดอินทรีย์ขึ้นมา พบว่า pH ยิ่งต่ำ เวลาที่ใช้ในการผสมก็จะต่ำลง เป็นหลักการที่นำไปใช้ในการผสมขนมปังแบบสปันจ์-โด ซึ่งปล่อยให้มีการหมักก่อนการผสมซึ่งทำให้ pH ของโดลดต่ำลง เป็นผลทำให้เวลาในการผสมลดลงไปด้วย

2.7 การสร้างก๊าซ

การหมักเกิดขึ้นโดยยีสต์เป็นแบบไม่มีอากาศ และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทานอลดังสมการ



ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในโดจะอยู่ใน 2 สถานะคือ ในรูปที่เป็นก๊าซอยู่ภายในเซลล์อากาศ และละลายอยู่ในเฟสที่เป็นของเหลว การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำได้จะเกี่ยวกับอุณหภูมิ แต่ที่ pH ปกติของโดแล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนน้อยเท่านั้นที่จะอยู่ในรูปของก๊าซ H_2 , CO_3 , HCO_3^- และ CO_3^{2-} ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถกักเก็บไว้ในโดจะมีเพียงร้อยละ 45 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้ทั้งหมดเท่านั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสูญหายไปในช่วงการหมัก การไล่ลมการขึ้นรูป และการหมักขั้นสุดท้าย ในขณะที่จะเกิดการขยายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์อากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หลุดออกมาจากเฟสที่เป็นของเหลวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ปัจจัยนี้ไม่ใช่ปัจจัยเดียวของการขยายตัวของโด ขณะอบโดจะเกิดการพองตัว (oven spring) เนื่องจากการระเหยของเอทานอล น้ำ ซึ่งจะมีผลต่อการขยายตัวของโดเช่นเดียวกัน

2.8 การเก็บรักษาก๊าซไว้ในโด

ในขณะที่ผสม อากาศจะถูกตีผสมเข้าไปในโดทำให้เกิดฟองอากาศเล็กๆ ในช่วงแรกก๊าซไนโตรเจนจะเป็นก๊าซที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากไม่ละลายน้ำ จึงได้ฟองอากาศขนาดใหญ่กว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนที่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อถึงจะผสมที่เหมาะสมจะมีอากาศเพียงครั้งเดียวเท่านั้นที่ยังคงอยู่ การทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็ก

ละเอียด และมีปริมาตรมากขึ้น ทำได้โดยการไล่ลม หรือนวดได้อีกครั้งหนึ่งการหมักภายใต้สภาวะสุญญากาศซึ่งความดันต่ำ ทำให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือการใช้สารสดแรงตึงผิวทำให้เกิดฟองอากาศได้ง่ายขึ้น

ในการผสมโด ส่วนของกลูเตนจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะดูดซับน้ำไว้ในตัวอย่างมาก ถือเป็นเฟสที่สม่ำเสมอ แต่แป้ง และเซลล์อากาศจะเป็นเฟสที่ไม่สม่ำเสมอ โดยมีเซลล์ของยีสต์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักได้แก่ น้ำตาล กรดอินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระจายอยู่ทั่วๆ ไปในเฟสที่เป็นของเหลว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถ้าละลายในเฟสที่เป็นของเหลวจนอิ่มตัวแล้วก็จะอยู่ในก๊าซแทรกเข้าไปในเซลล์อากาศที่มีอยู่แล้วจากการผสม ทำให้ปริมาตรโดสูงขึ้นหรือเรียกว่า โดพัฒนาเต็มที่แล้ว

2.9 การไล่อากาศ

ในขั้นตอนการหมักปกติแล้วมักมีการไล่ลม และคลึงโดใหม่เพราะขณะหมัก เซลล์อากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ (เพิ่มขนาดไม่ได้เพิ่มปริมาณ) การไล่ลมเป็นการทำให้เซลล์อากาศเกิดขึ้นอย่างมากมาย และสม่ำเสมอ การไล่อากาศ และการคลึงโดยังเป็นการกระจายยีสต์ไปยังจุดต่างๆ ที่ยังไม่ได้มีการหมักอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังเป็นการทำให้โดมีอุณหภูมิสม่ำเสมอทั้งก้อน ไต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนที่มากไปออก และรับอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ ทำให้ยีสต์สามารถทำงานได้ดีขึ้น

การลดปริมาตรจะกระทำเมื่อหมักโดไปได้ร้อยละ 80 ของระยะเวลาที่ใช้หมัก การทดสอบว่าพร้อมจะไล่ลมแล้ว หรือไม่ ทำโดยการแตะนั้นวลบนโดถ้ารอยนิ้วถูกดันขึ้นมาจนไม่เห็นรอยที่กดลงไปแสดงว่ายังหมักไม่ได้ที่ควรหมักต่อ ถ้าเป็นรอยนิ้วแต่ไม่ถูกดันกลับขึ้นมาแสดงว่าหมักนานเกินไป การหมักที่เหมาะสมก็คือรอยนิ้วจะต้องค่อยๆ ถูกดันขึ้นมาแต่ยังคงเห็นเป็นรอยนิ้วติดอยู่ ปกติการหมักจะใช้เวลาประมาณ 60-65 นาที การไล่ไม่ควรทำหลายครั้งเพราะจะทำให้โดเหนียว

2.10 การพักโด

ก่อนจะม้วนโดใส่ลงพิมพ์ควรจะมีการคลึงและพักโดไว้ประมาณ 8-15 นาที เพื่อให้โดคลายตัว ซึ่งมีข้อดีคือ

- ได้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างได้สัดส่วน และมีขนาดสม่ำเสมอ
- ใส่ลงในพิมพ์ได้ง่าย เพราะโดจะอ่อนตัว บั่นง่ายและไม่หดตัว
- เนื้อของผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ ได้เซลล์ที่มีขนาดเล็กสม่ำเสมอ
- กลูเตนจะยึดตัวซ้ำๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรสูงขึ้น

- ผิวเปลือกนอกโดเรียบเนียน ทำให้สามารถหุ้มอากาศไว้ได้ดี
- ไล่อากาศที่เซลล์เก็บไว้ออก เซลล์มีขนาดเล็กลง

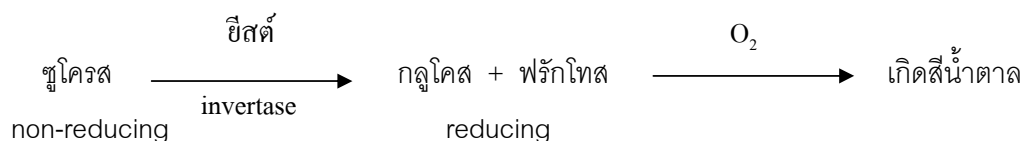
2.11 การอบ

ขณะนำโดเข้าเตาอบ ผิวหน้าของโดจะสัมผัสโดยตรงกับความร้อนของเตาอบทำให้เกิดเปลือกเกือบจะทันที สาเหตุเกิดจากการแห้งของผิวหน้าโด การเกิดเปลือกไม่เกี่ยวกับการกักเก็บก๊าซของขนมปังซึ่งการกักเก็บก๊าซจะเกี่ยวกับคุณสมบัติภายในของโดไม่ใช่ผิวหน้า ในเวลาเพียงไม่กี่นาทีโดจะขยายตัวอย่างเร็วมาก เรียกว่าเกิด Oven-Spring เกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของอากาศภายในเซลล์อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นคือ จะอยู่ในสถานะก๊าซมากขึ้น ยีสต์ทำงานมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น (แต่ไม่เกิน 43 องศาเซลเซียส) สารอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์ และน้ำ ระเหยที่อุณหภูมิสูงขึ้น ช่วงหลังๆ ของการอบจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นที่เปลือกขนมปังเนื่องจากปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เร็วในสภาวะที่แห้ง

การเกิดสีน้ำตาลในขนมปังเกิดจากปฏิกิริยา 2 แบบ คือ

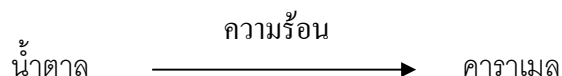
1. ปฏิกิริยามิลลาร์ด (Millard – Type Reaction)

ปฏิกิริยานี้จะมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกขนมปังมาก



2. ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization)

ปฏิกิริยานี้จะมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกขนมปังน้อย



การอบขนมปังควรอบในเตาอบที่มีอุณหภูมิ 400-500 องศาฟาเรนไฮต์ (205-260 องศาเซลเซียส) ใช้เวลา 25-60 นาทีขึ้นกับชนิดของขนมปัง ในช่วงแรกๆ ของการนำขนมปังเข้าอบ ยีสต์ยังคงทำงานอยู่ (ปกติยีสต์จะหยุดทำงานที่ 43 องศาเซลเซียส และจะตายที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส) จึงยังคงมีการผลิตก๊าซอยู่ แบ่งเกิดการเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิ 149 องศาฟาเรนไฮต์ เอนไซม์อะมิเลสจะทำปฏิกิริยาจนถึงอุณหภูมิ 157-167 องศาฟาเรนไฮต์ กลูเตนเกิดการตกตะกอนที่ 165 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์

สุดท้าย เปลือกนอกของโดจะแห้ง แข็งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีความมัน และเงา ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างที่ดีคือ ภายนอกแห้งแข็งแต่ภายในโปร่งเบา และอ่อนนุ่ม

อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์

- ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ต้องให้ความร้อนอย่างช้า ๆ คือ ใช้อุณหภูมิต่ำ แต่อบเป็นเวลานานป้องกันไม่ให้เกิดเปลือกนอกไหม้ก่อนที่เนื้อในจะสุก

- ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก อุณหภูมิที่ใช้ในการอบต้องสูงขึ้น และใช้เวลาอบสั้น เพื่อให้เปลือกนอกและเนื้อในสุกพร้อมกัน

2. ปริมาณน้ำตาลที่มีในโด

- สูตรที่มีน้ำตาลสูง ต้องใช้อุณหภูมิในเตาอบให้ต่ำลง เพื่อป้องกันการไหม้ของเปลือกนอก

- สูตรที่มีน้ำตาลต่ำ ต้องใช้อุณหภูมิในเตาอบให้สูงขึ้น

- สูตรที่มีนมผง ควรใช้อุณหภูมิต่ำ

- ขนมปังที่มีเปลือกหนา และแข็ง เช่น ขนมปังฝรั่งเศส ซึ่งมีปริมาณน้ำตาล และไขมันต่ำ ต้องใช้เวลาในการอบนานขึ้น และใช้อุณหภูมิสูงกว่าขนมปังธรรมดา

ผลของการอบ เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางด้านสี กลิ่นรส และโครงสร้าง การอบขนมปังไม่สุก จะได้ขนมปังที่มีกลิ่นไม่ดี ขนมปังล้น ตัดเป็นชิ้นยาก

การใช้ไอน้ำในเตาอบ ขนมปังบางชนิดต้องการเปลือกที่มีลักษณะแข็งกรอบ และเป็นมันเงา เช่นขนมปังฝรั่งเศส ต้องการความชื้นในระหว่างการอบ เตาอบที่ใช้ควรมีที่ฉีดพ่นไอน้ำ (ถ้าไม่มีอาจต้องฉีดไอน้ำก่อนนำเข้าอบ) ปริมาณความชื้นที่ใช้ควรจะต้องพอเหมาะ เพราะถ้าใช้ไอน้ำมากเกินไป เปลือกนอกขนมปังจะเหนียว

2.2.4 การเสื่อมคุณภาพของขนมปัง

คุณภาพของขนมปังที่ดีที่สุดคือ ขนมปังที่เพิ่งออกจากเตาอบใหม่ๆ ยิ่งตั้งทิ้งไว้นานเท่าใดคุณภาพจะยิ่งลดต่ำลงมากเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดลักษณะที่ไม่ต้องการขึ้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเรียกว่า การเสื่อมคุณภาพ (Staling)

การเสื่อมคุณภาพทำให้เกิดลักษณะดังต่อไปนี้ในขนมปังคือ

- ทำให้เปลือกขนมปังแข็งและเหนียวขึ้น
- เนื้อในขนมปังจะแน่นขึ้น
- กลิ่นรสจะลดน้อยลง

- เนื้อนมปังจะมีความชุ่มมากขึ้น
- ปริมาณสารที่ละลายได้จะลดลง

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษานมปัง

หลังจากอบ เมื่อนำนมปังมาเก็บไว้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้คือ

1. เปลือกนอกจะแข็ง และเหนียว เกิดจากการที่ความชื้นเคลื่อนย้ายจากเนื้อในนมปัง (ความชื้นสูง) ไปยังเปลือกนอกที่มีความชื้นต่ำกว่า ขณะอบใหม่ๆ เปลือกนมปังจะกรอบ และมีความชื้นประมาณร้อยละ 2.5 เมื่อตั้งทิ้งไว้เปลือกจะดูดน้ำจากเนื้อในนมปัง ทำให้ความกรอบลดลง แต่ความเหนียวเพิ่มขึ้น

2. การเปลี่ยนแปลงของเนื้อในนมปัง การแห้งของเนื้อในนมปังไม่ได้เกิดเนื่องจากการสูญเสียความชื้น เนื้อในนมปังจะแน่นขึ้นถึงแม้ความชื้นจะไม่สูญหายไป การเกิดลักษณะเนื้อนมปังที่แน่นขึ้นนี้เกิดจากการตกผลึกอีกครั้งของสตาρχเรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ซึ่งส่วนใหญ่ เกิดขึ้นเนื่องจากการเกาะเกี่ยวภายใน หรือระหว่างโมเลกุลของอะมิโลเพกทิน การเกิดสีขาวขุ่นเกิดจากการขยายตัวของผลึก ทำให้ค่าดัชนีหักเหของแป้งเปลี่ยนแปลงไป ปฏิกริยารีโทรเกรเดชันนั้นเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นนมปังที่นำมาอบใหม่อีกครั้งหนึ่งจะมีคุณภาพดีขึ้น ผลึกของอะมิโลเพกทินจะหายไปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อะมิโลสถึงแม้ว่าจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วหลังจากอบ เป็นสาเหตุทำให้เนื้อนมปังที่แน่นขึ้นในช่วงแรก แต่ไม่มีผลต่อเนื้อนมปังที่แน่นขึ้นในช่วงต่อมา แต่อะมิโลเพกทินจะค่อยๆ รวมตัวกันในระหว่างการเก็บรักษาและมีผลต่อเนื้อนมปังที่แน่นขึ้นในช่วงการเก็บรักษา

การเสื่อมคุณภาพไม่ได้เกิดเฉพาะนมปังเท่านั้น ยังสามารถเกิดในเค้กได้อีกด้วย การเสื่อมคุณภาพในเค้กปัจจัยที่สำคัญคือ การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งแต่ก็ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดนัก เพราะการเสื่อมคุณภาพจะลดลงที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งไม่สอดคล้องกับปรากฏการณ์การเกิดรีโทรเกรเดชัน ที่จริงแล้วปฏิกิริยาการเสื่อมคุณภาพยังไม่มีผู้รู้สาเหตุแท้จริงและยังไม่สามารถอธิบายปฏิกิริยาได้ถูกต้องแน่นอน

ปัจจัยที่ช่วยลดการเสื่อมคุณภาพ

- สารช่วยลดแรงตึงผิว สารนี้จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส ทำให้ได้นมปังที่นุ่มขึ้นลดการพองตัวของแป้งลง ทำให้การละลายของแป้งลดลง
- การเติมไขมัน หรือโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งจะลดการพองตัวของแป้ง ทำให้การละลายของแป้งลดลง ลดการสัมผัสระหว่างเม็ดแป้ง และกลูเตน ลดการเกิดพันธะข้ามของโปรตีน ทำให้อัตราการแน่นของเนื้อนมปังลดลง

2.2.6 การบรรจุหีบห่อและการเก็บรักษา

ขนมปังเมื่ออบเสร็จแล้วควรรีบเคาะออกจากพิมพ์ทันที มิเช่นนั้นจะไหม้เนื่องจากพิมพ์ยังมีความร้อนอยู่ หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นลงประมาณ 27 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำมาหั่น ถ้าหั่นขณะร้อน เนื้อขนมปังจะไม่สม่ำเสมอ แล้วบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน หรือกระดาษเคลือบไข และควรเก็บในสภาพที่ไม่แห้งจนเกินไป มีอุณหภูมิต่ำพอเหมาะ และไม่ควรเก็บนานเกิน 48 ชั่วโมง

ภาชนะบรรจุที่ใช้มีความสำคัญในการป้องกันการสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วของขนมปังไปสู่สภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องใช้วัสดุที่ไอน้ำสามารถซึมผ่านเข้าออกอย่างเหมาะสม ถ้าใช้ขนมปังแข็ง และเหนียวคล้ายยาง และอาจทำให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราได้ นอกจากนี้ภาชนะบรรจุยังช่วยปกปิดความบกพร่องอันเนื่องมาจากสีของเปลือกได้

2.2.7 การตรวจสอบคุณภาพของขนมปัง

การตรวจสอบคุณภาพขนมปังทำได้โดยการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ขนมปังที่ได้จะนำมาประเมินโดยการให้คะแนน โดยพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ การให้คะแนนมักขึ้นกับการตัดสินใจของแต่ละบุคคลโดยเปรียบเทียบกับขนมปังมาตรฐานแต่จริงๆ แล้วการประเมินทางประสาทสัมผัสไม่สามารถบอกคุณลักษณะที่แท้จริงได้ เนื่องจากผู้บริโภคที่ต่างกันก็ต้องการขนมปังที่แตกต่างกัน การให้คะแนนของผู้ชิมแต่ละแห่งก็แตกต่างกันไป คุณภาพที่ถือว่าดีของผู้บริโภคแห่งหนึ่งอาจไม่ใช่คุณภาพที่ดีของผู้บริโภคอีกแห่งหนึ่งก็ได้

1. ปริมาตรของก้อนขนมปัง

ปกติแล้วจะมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของโด และปริมาตรขนมปัง ซึ่งจะมีค่าหนึ่งทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัส และลักษณะเนื้อขนมปังเป็นที่น่าพอใจ วิธีวัดปริมาตรจะได้ค่าเป็นหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร โดยวิธีแทนที่ก้อนขนมปังด้วยเมล็ดพืชขนาดเล็ก เช่น เมล็ดฝิ่น เมล็ดเรป เมล็ดแมงลัก ปริมาตรที่วัดได้อาจมากไป น้อยไป หรือพอดี ปริมาตรที่มากไปจะเกิดลักษณะเนื้อขนมปังแบบเปิด และได้เนื้อสัมผัสที่อ่อนแอ ปริมาตรที่ต่ำเกินไปอาจเกิดจากกลูเตนคุณภาพต่ำ หรือการหมักที่ไม่เหมาะสมหรือไม่เพียงพอโดยยังหมักไม่ได้ที่ นอกจากดูปริมาตรแล้วยังต้องดูรูปร่างของก้อนขนมปัง ความกว้าง ความยาว ความสูงของก้อนขนมปัง จะต้องมีความสัมพันธ์กัน

2. สีของเปลือก

ปกติแล้วสีของเปลือกขนมปังมีตั้งแต่สีเหลืองทองเข้มตรงส่วนบนของก้อนขนมปัง จนถึงสีเหลืองทองอ่อนบริเวณด้านข้างของก้อนขนมปัง

สีของเปลือกจะขึ้นกับอุณหภูมิในการอบและน้ำตาลที่เหลือในโดดังนี้คือ

2.1 ปริมาณน้ำตาลในโด จะขึ้นกับเวลาการหมัก ถ้าหมักนานเกินไป จะได้ขนมปังที่มีเปลือกสีซีด และเพราะเนื่องมาจากมีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่น้อย หรืออาจเกิดเนื่องจากการลืมน้ำตาลในสูตร แต่ในปัจจุบันความสำคัญของผู้บริโภคต่อสีเปลือกขนมปังลดน้อยลง เนื่องจากภาชนะบรรจุช่วยปกปิดลักษณะที่ไม่ดีเอาไว้ การหมักที่ยังไม่ได้ทำให้สีเปลือกขนมปังคล้ำแข็งและเหนียวคล้ายยาง

2.2 สภาพในการอบก็มีผลต่อสีของเปลือก

- ถ้าอบในเตาอบที่มีอุณหภูมิต่ำเกินไป จะได้เปลือกแข็ง และมีสีไม่สดใส (Dull Color)
- ถ้าอบในเตาอบที่ฉีดพ่นไอน้ำมากเกินไปจะได้เปลือกที่แข็ง เหนียวคล้ายยาง ลักษณะเป็นมันวาวมาก

การกระจายความร้อนในเตาอบไม่สม่ำเสมอจะได้เปลือกที่มีความหนา และสีของเปลือกไม่สม่ำเสมอ

3. ลักษณะแตกและลู่เป็นขึ้น

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำบริเวณส่วนบนของก้อนขนมปัง และบริเวณรอบๆ ส่วนบนของก้อนขนมปังตรงส่วนของการพองตัวขึ้นจากขอบพิมพ์ มีผลต่อลักษณะปรากฏของก้อนขนมปัง ลักษณะที่ต้องการคือการแตกและลู่ที่สม่ำเสมอ

4. รูปร่างสมส่วน

ขนมปังที่มีรูปร่างสมส่วน ทำให้ได้ลักษณะก้อนขนมปังที่ดึงดูดในผู้ซื้อ แสดงถึงว่าผ่านการหมักที่เหมาะสม และแสดงถึงการขึ้นฟูในเตาอบที่ดี นอกจากจะดูความสมส่วนของก้อนขนมปังแล้วยังต้องดูถึงขนาดของก้อนขนมปังที่เหมาะสม เช่น ก้อนขนมปังที่สูงไป กว้างไป หรือแคบไปอาจเกิดจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสม ก้อนขนมปังที่ส่วนบนแบนเกิดจากคุณภาพของกลูเตนที่อ่อนแอไป นอกจากนี้บริเวณด้านข้างหรือด้านล่างอาจจะยื่นออกมา หรือเกิดเป็นมุมขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ดี

5. ความสม่ำเสมอในการอบ

ลักษณะของเปลือกที่ต้องการคือ จะต้องมียีสทองสม่ำเสมอ และความหนาสม่ำเสมอ ลักษณะที่ไม่ยอมรับคือเปลือกส่วนบนหนา มีสีคล้ำ แต่ด้านข้าง และด้านล่างซีดหรือลักษณะใหม่ที่ยังแต่ด้านบนสีซีด

6. สีของเนื้อในขนมปัง

เป็นสีภายในของก้อนขนมปังหลังจากหั่นเป็นแผ่นแล้ว สีของเนื้อในขนมปังจะขึ้นกับสีของเอนโดสเปิร์ม และการปนเปื้อนของชิ้นส่วนรำ นอกจากนี้ยังขึ้นกับลักษณะของเนื้อขนมปังด้วย ถ้ามีเนื้อละเอียดจะได้สีเนื้อในที่สวยงามกว่า สีของเนื้อในขนมปังที่ต้องการคือสีขาวครีมอ่อนๆ ไม่มีจุดหรือสิ่งเจือปน

7. ลักษณะเนื้อในขนมปัง

การพิจารณาลักษณะเนื้อในขนมปังจะพิจารณาจากขนาด รูปร่าง และความหนาของเซลล์ขนมปังดังนี้

7.1 ขนาดเซลล์แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- เซลล์เปิด (Open Grain) หมายถึงเนื้อในขนมปังที่เซลล์ส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่
- เซลล์ปิด (Close Grain) หมายถึงเนื้อในขนมปังที่เซลล์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก

7.2 รูปร่างเซลล์ มีลักษณะกลมหรือเป็นรูปยาวรี ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการมากกว่าเซลล์ที่มีลักษณะกลม

- ผนังเซลล์หนา ได้เนื้อในขนมปังที่หยาบ แสดงถึงกลูเตนมีปริมาณไม่เพียงพอหรือกลูเตนอ่อนแอไป
- ผนังเซลล์บาง ได้เนื้อขนมปังที่ละเอียด

8. ลักษณะเนื้อสัมผัส

มักจะแสดงถึงปริมาณความยืดหยุ่นหรือความนุ่มของเนื้อขนมปัง เนื้อสัมผัสจะเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อขนมปัง ผู้ชิมมักสับสนระหว่างเนื้อสัมผัส และความนุ่มของเนื้อขนมปัง เนื้อสัมผัสจะขึ้นอยู่กับการรู้สึกลักษณะทั้งหมด ตรวจดูโดยการใช้นิ้วแตะ และดูไปมา บอกลักษณะ คล้ายโยโย่ นุ่ม ยืดหยุ่น หยาบ แข็ง ร่วน พบว่าเซลล์ขนมปังที่ละเอียด เซลล์จะมีโครงสร้างละเอียดผนังเซลล์บาง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มและยืดหยุ่น เซลล์ที่เปิดและหยาบจะมีเนื้อสัมผัสที่หยาบและแข็ง

9. กลิ่น (Aroma)

คุณภาพของขนมปังนอกจากลักษณะทางกายภาพแล้วยังขึ้นอยู่กับความรู้สึกที่เกิดจากการดมบอกลักษณะ กลิ่นแป้ง กลิ่นถั่ว กลิ่นมอลต์ กลิ่นหวาน กลิ่นเปรี้ยว กลิ่นอับ กลิ่นรา กลิ่นเน่าเสียและกลิ่นหืน

10. รสชาติ

ปกติผู้ชิมจะไม่สามารถแยกรสชาติ และกลิ่นออกจากกันได้ บางครั้งอาจวัดรวมกันเป็นกลิ่นรส ส่วนหนึ่งของความรู้สึกทางด้านรสชาติจะรวมถึงคุณภาพในการเคี้ยวของขนมปังด้วย ขนมปังปกติจะมีรสหวานและเปรี้ยว ควรจะอยู่ได้ง่ายในปากเมื่อเคี้ยว โดยไม่รวมกันเป็นก้อนในปากซึ่งทำให้กลืนยาก รสชาติมักบอกเป็นรสเปรี้ยว รสเค็ม รสหวาน และรสขม

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arnold Tukker (2000) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พบว่าการทำ EIA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเฉพาะในส่วน of โรงงานว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งเป็น 3 ด้านคือ ด้านผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ด้านผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา และด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกระบวนการได้

Anderson และคณะ (1998) ได้ศึกษาถึงการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตซอสมะเขือเทศโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Cradle to Gate ที่ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การทำการเกษตร การผลิต(ซอส ไฟฟ้า และน้ำตาลดิบ) การขนส่ง การบรรจุหีบห่อ การบำบัดน้ำเสีย และการจัดการบรรจุภัณฑ์หีบห่อ ส่วนการผลิตอื่นๆ เช่น การผลิตขวดใส่ซอส การผลิตหมึก การผลิตแก้ว และการผลิตสี ไม่ได้นำมาพิจารณา สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่ได้จากโรงงาน การสัมภาษณ์ และรายงานด้านสิ่งแวดล้อม จากงานวิจัยได้แบ่งผลกระทบออกเป็น ผลกระทบที่ทำให้โลกร้อน การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ การเกิดฝนกรด ปรากฏการณ์ที่ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปรากฏการณ์ Photochemical Oxidation และความเป็นพิษต่อมนุษย์

Athapol และคณะ (1994) ได้ศึกษาถึงผลของการใช้แป้งจากพันธุ์ต่างๆ ของไทยทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปัง โดยใช้ข้าวสาลีพันธุ์ กข 21, กข 23 และเหลืองประทิวทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักแป้ง พบว่าพันธุ์ และปริมาณของแป้งข้าวมีผลต่อปริมาตรและคะแนนความชอบรวมของขนมปัง และสามารถใช้แป้ง

จากข้าวพันธุ์ กข 21 ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกต่ำทดแทนแป้งสาลีได้ถึงร้อยละ 15 โดยที่ผู้บริโภคยอมรับได้ ส่วนแป้งจากข้าวพันธุ์ กข 23 และเหลืองประทิว มีปริมาณอะมิโลส อุณหภูมิแป้งสุก และ Setback Viscosity สูง ซึ่งทำให้ได้ขนมปังที่มีปริมาณต่ำ

Delgado (1997) ได้ศึกษาการทดลองขนมปังแป้งข้าวล้วน จากแป้งข้าว 100 กรัม ยีสต์ชนิดอัดก้อน (compressed yeast) 5 กรัม น้ำตาลทราย 12.5 กรัม เกลือ 2 กรัม น้ำมันพืช 6 กรัม สารเมทอเซล (Methocel) 4 กรัม และน้ำ 90 มิลลิลิตร โดยผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ใส่ลงพิมพ์หรือปั้นก้อน หมักจนได้ปริมาตรที่ต้องการ อบให้สุกก็จะได้ขนมปังแป้งข้าวล้วนที่ผู้บริโภคยอมรับ

M. Asif และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลกระทบต่องานแวดล้อมที่มาจากวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างห้องนอนของบ้านในประเทศสกอตแลนด์ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อดูผลกระทบที่มาจากวัสดุต่างๆ เช่น ไม้ คอนกรีต กระดาษ กระเบื้อง อะลูมิเนียม ฯลฯ ผลการศึกษาพบว่า คอนกรีต กระเบื้อง และไม้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านพลังงานมากที่สุด โดยที่คอนกรีตส่งผลกระทบมากถึง 65% รองลงมาเป็น กระเบื้อง 14% และไม้ 13% เนื่องจากบ้านในประเทศสกอตแลนด์ส่วนใหญ่ใช้คอนกรีตในการก่อสร้าง

Michael Bimpeh และคณะ (2006) ได้ศึกษาการประเมินวงจร (LCA) การผลิตขนมปังในครัวเรือนและอุตสาหกรรมการผลิตขนมปังในประเทศสวีเดน ผลการศึกษาพบว่าการอบขนมปังภายในครัวเรือนใช้พลังงานในการอบค่อนข้างสูงพอกับการอบขนมปังในอุตสาหกรรม ซึ่งผลกระทบทั้งหมดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระดับอากาศบริสุทธิ์ลดลง ปรากฏการณ์ Eutrophication เป็นพิษกับมนุษย์ และเกิดภาวะความเป็นกรด ซึ่งการผลิตขนมปังทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างกันไม่มาก

Nishita และคณะ (1996) ได้ศึกษาการทดลองผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้สารยึดเกาะ (Binding Agent) เข้ามาช่วยให้เกิดโครงสร้างของขนมปังและช่วยในการขึ้นฟู สารยึดเกาะที่ใช้ ได้แก่ Hydroxypropyl Methylcellulose (Methocel), Locust Bean Gum, Carrageenan และ Xanthan Gum พบว่า Hydroxypropyl Methylcellulose เท่านั้นที่ให้ผลดี ส่วนสารยึดเกาะตัวอื่นๆ ทำให้ปริมาตรขนมปังต่ำ

R. Charles และคณะ (2005) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรของข้าวสาลีที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมปัง ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าสภาพภูมิอากาศ

และปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในปุ๋ยมีผลต่อระบบการผลิตและคุณภาพของเมล็ดข้าวสาลี ซึ่งคุณภาพของเมล็ดข้าวสาลีที่เป็นที่น่าพึงพอใจของร้านค้าเบเกอรี่ต้องมีปริมาณโปรตีนอยู่ในเมล็ดข้าวประมาณ 13% เพราะจะมีผลทำให้การผลิตขนมปังมีคุณภาพที่ดี และจากการทดลองยังพบอีกว่าการใส่ปริมาณปุ๋ยต่อหน่วยที่มากเกินไปจะทำให้เกิดผลกระทบต่อพลังงาน ปรากฏการณ์การเลื่อนกระจุก ภาวะความเป็นกรด ความเป็นมลพิษทางดิน และความเป็นพิษต่อมนุษย์เพิ่มมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

Xu และคณะ (1992) ได้ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ต่อคุณภาพของขนมปัง โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 4 ชนิด คือ Sodium Stearoyl (SSL), Distilled Monoglyceride (MG), Diacetyl Tartaric of Mono and Diglycerides (DATEM) และ Sucrose Monopalmitate (SMP) ปริมาณร้อยละ 0.5 พบว่าสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิดสามารถทำให้ขนมปังมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าสูตรควบคุมซึ่งไม่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว

กรกต พรหมโสดา (2551) ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการแปรรูปไม้ยางพาราที่มีขอบเขตตั้งแต่กระบวนการปลูกถึงกระบวนการอบแห้ง โดยผลการประเมินเน้นด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน การเกิดความเป็นกรดของดินและน้ำ และการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำเกินสมดุล จากการวิเคราะห์กระบวนการย่อยของการผลิตไอน้ำพบว่าผลกระทบต่อ การเกิดความเป็นกรดของดินและน้ำมีสัดส่วนสูงสุดคือ 43.7% และมีผลกระทบต่อ การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำเกินสมดุลในสัดส่วน 41% ส่วนกระบวนการปลูกจะทำให้เกิดผลกระทบต่อ การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำเกินสมดุลในสัดส่วน 46% และเกิดผลกระทบต่อ การเกิดความเป็นกรดของดินและน้ำในสัดส่วน 23% นอกจากนี้การทำสมดุลพลังงานสามารถบ่งชี้ประสิทธิภาพระบบผลิตไอน้ำของกระบวนการผลิตไม้ยางพาราแปรรูปได้เท่ากับ 71.42%

ธิดา ทศนราพันธ์ (2543) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้หลักการ Cradle-to-Gate ซึ่งมีขอบเขตเฉพาะขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า การทำเหมืองหิน และการทำเหมืองถ่านหิน และขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และรายงานการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม จากการประเมินผลกระทบพบว่า ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ คือ สารมลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศคือฝุ่นแขวนลอย ก๊าซซัลเฟอร์

ได้ออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ รวมทั้งการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งใช้เป็นดัชนีสิ่งแวดล้อมที่แสดงถึงคุณภาพของอากาศและบ่งบอกความรุนแรงของผลกระทบ

รุ่งฤดี สกุลณา (2547) ได้ศึกษาการใช้แบ่งพรีเจลาตินไนซ์เมล็ดยอดแทนแบ่งสาลีในขนมปังแซนวิช พบว่าการใช้แบ่งพรีเจลาตินไนซ์เมล็ดยอดแทนแบ่งสาลีในขนมปังแซนวิช โดยการนำขนมปังแซนวิชสูตรมาตรฐานมาปรับสัดส่วนของแบ่งพรีเจลาตินไนซ์เมล็ดยอดต่อแบ่งสาลี เป็น 4 ระดับ ดังนี้ 10:90 20:80 30:70 และ 40:60 จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วย 9-Point Hedonic Scale พบว่าขนมปังแซนวิชสูตร 10:90 ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุดในทุกๆ ด้าน โดยมีคะแนนด้านสีเท่ากับ 7.91 คะแนน กลิ่น 6.76 คะแนน รสชาติ 7.34 คะแนน ความนุ่ม 7.62 คะแนน และความชอบรวม 7.39

ลดาวัลย์ เจริญรัตนศรีสุข (2547) ได้ศึกษาการพัฒนาแบ่งขนมปังเสริมโปรตีนและใยอาหารพร้อมใช้ พบว่าสามารถทดแทนแบ่งข้าวหอมมะลิได้ร้อยละ 37.5 และสามารถให้ถั่วแดงผงร้อยละ 3 กากถั่วเหลืองผงร้อยละ 6 ไข่แดงผงร้อยละ 3 และงาขาวร้อยละ 3 ของปริมาณแบ่งผสม 100 กรัม ซึ่งค่าความแข็งของขนมปังลดลงเมื่อปริมาณน้ำ และเนยขาวเพิ่มขึ้นซึ่งปริมาณเนยขาว 8 กรัม และน้ำ 65 กรัมเป็นปริมาณที่เหมาะสม

หทัยชนก ศรีเล็ก (2552) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พรมทอมือ กรณีศึกษาตั้งแต่กระบวนการย้อม – กระบวนการตกแต่งสำเร็จ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต จากการวิจัยพบว่ากระบวนการผลิตพรมทอมือ กระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ กระบวนการย้อม ซึ่งเมื่อพิจารณาจะพบว่า สาเหตุเกิดจากวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งก็คือ เส้นด้ายขนสัตว์ และได้เสนอแนะแนวทางปรับปรุงแก้ไข โดยได้ทำการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้จากเดิมที่ใช้เส้นด้ายขนสัตว์ เปลี่ยนมาใช้เส้นด้ายฝ้ายแทน จากงานวิจัยยังพบอีกว่าเส้นด้ายฝ้าย ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเส้นด้ายขนสัตว์ กล่าวคือผลกระทบทางด้านสารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory Organics) ลดลงได้ประมาณ 21% ผลกระทบทางด้านสารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory in Organics) ลดลงได้ประมาณ 13% ผลกระทบทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ลดลงได้ประมาณ 21% และผลกระทบทางด้านฝนกรด และสารอาหารในแหล่งน้ำ (Acidification/ Eutrophication) ลดลงได้ประมาณ 81%