บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กรรมวิธีการทำให้แห้ง

2.1.1 การทำอาหารแห้งแบบต่าง ๆ

การทำแห้งคือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย (3)

การทำอาหารแห้งมีหลายวิธี เช่น การตากแดด การอบแห้ง การพ่นฝอย (Spray drying) และการทำให้แห้งแบบเย็นเยือกแข็ง (Freeze drying) เป็นต้น

การที่จะเลือกใช้วิธีใดก็ต้องพิจารณาจาก ลักษณะของของที่จะทำให้แห้ง ความยากง่ายในการทำ ความพร้อมของเครื่องมือ และต้นทุนในการทำ เป็นต้น (4)

2.1.2 การปรับปรุงกรรมวิธีการทำให้แห้ง

การทำอาหารแห้งเป็นวิธีถนอมอาหารวิธีหนึ่ง ที่นิยมทำกันมากทั้งในระดับชาวบ้านและระดับอุตสาหกรรม วิธีการทำอาหารแห้งที่นิยมกันมากที่สุดโดยเฉพาะในประเทศที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวัน ได้แก่ การตากแดด เพราะวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย การถนอมอาหารโดยวิธีตากแดดนี้ แม้ว่าจะทำกันมานานตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบันก็ยังคงใช้วิธีเดิม ไม่ค่อยมีการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นคือ นำอาหารที่จะตากแดดมาวางบนตะแกรงหรือถาดโดยไม่มีอะไรปกปิด แล้วทิ้งไว้จนกว่าอาหารนั้นจะแห้งได้ที่ ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกสุขลักษณะและอาหารที่แห้งแล้วมักจะสกปรกปนเปื้อนไปด้วย ผง ฝุ่นละออง ทั้งยังถูกแมลง นก หนู และสัตว์เลี้ยงรบกวน โดยเฉพาะถ้าการตากแดดนั้นต้องใช้เวลาตากติดต่อกันหลายวัน เช่น อาหารพวกเนื้อสัตว์ อาหารทะเล เป็นต้น หรือในกรณีมีฝนตกในระหว่างการตากแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าการเน่าเสียของอาหารยังอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากแมลงมาไข่ทิ้งไว้และเจริญเติบโตขึ้นภายหลังการตากแห้ง

ในประเทศไทยมีรายงานที่เชื่อถือได้ว่ามีการใช้ยาฆ่าแมลงพ่นฉีดลงบนอาหารในขณะที่นำมาตากแห้ง เพื่อป้องกันการรบกวนของแมลงซึ่งนับเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคอย่างยิ่ง ถ้าหากนำอาหารนั้นไปรับประทานโดยที่ฤทธิ์ของยาฆ่าแมลงนั้นยังไม่เสื่อมสลายไป (5)

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จะปรับปรุงกรรมวิธีการตากแห้งโดยการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ปลาหมึกกระดอง ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปประยุกต์สร้างขึ้นมาจากหลักการที่ว่าวัตถุที่มีสีดำสามารถจะสะสมความร้อนได้ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่มีสีดำสามารถดูดและเก็บความร้อนได้ดี ดังนั้นภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงทาด้วยสีดำและตัวตู้ปิดด้วยวัตถุใสเพื่อให้แสงแดดและความร้อนผ่านเข้าตู้ได้

พลังงานแสงอาทิตย์ถ่ายทอดจากดวงอาทิตย์มายังโลกโดยการแผ่รังสีในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) พลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อยู่ในช่วงอุลตราไวโอเล็ท (Ultravivlet) และใกล้อินฟราเรด (Near-infrared) ซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.20-25 ไมโครเมตร แต่เนื่องจากบรรยากาศจะเป็นตัวกลางกั้นพลังงานแสงอาทิตย์ไว้บางส่วน ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหลือมายังพื้นโลกส่วนใหญ่จะมีค่าลดลงเหลือเพียงพลังงานที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.29-3 ไมโครเมตรเท่านั้น ซึ่งพลังงานในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นช่วงที่มีค่าพลังงานมากที่สุดและเป็นพลังงานความร้อนที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ (6)

การปรับปรุงกรรมวิธีการทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีผลดีกว่าการตากแดดกลางแจ้งคือ ใช้เวลาน้อยกว่า เนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งจะสะอาดปราศจากฝุ่นละออง การรบกวนจากแมลง นก หนู หรือสัตว์เลี้ยง และสะดวก ประหยัดพลังงาน โดยไม่จำเป็นต้องเก็บเข้าเมื่อฝนตกและนำออกไปตากแดดใหม่ แต่ก็อาจจะมีผลเสียคือ ทำแห้งได้เฉพาะช่วงที่มีแสงแดด และการควบคุมสภาวะการทำแห้งทำได้ยาก เนื่องจากว่าสภาวะการทำแห้งจะแปรตามสภาพอากาศในขณะทำแห้ง แต่ในปัจจุบันอาจทำแห้งแบบต่อเนื่องโดยนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เสริมพลังงานไฟฟ้า ดังตัวอย่างที่มีการทำเครื่องอบกล้วยโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ควบแล่งอาทิตย์ (7) ซึ่งสามารถอบกล้วย 7,000 ผล โดยใช้เวลา 26 ชั่วโมง 30 นาที ในขณะที่ตู้อบไฟฟ้าใช้เวลา 49 ชั่วโมง อบกล้วยจำนวนเท่ากัน โดยที่ตู้อบแห้งทั้ง 2 แบบ มีอุณหภูมิอากาศร้อน 50 องศาเซลเซียส

2.2 ประเภทของเครื่องอบแห้ง

2.2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแล่งอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแล่งอาทิตย์ อาจแบ่งตามวิธีการนำความร้อนจากแล่งอาทิตย์มาใช้ได้ 3 ประเภท (8) คือ

ก. เครื่องอบแห้งพลังงานแล่งอาทิตย์แบบโดยตรง (Direct solar dryers) ผลิตผลที่ต้องการทำให้แห้งวางในที่ปิดมิดชิด ซึ่งมีฝาปิดชนิดโปร่งใสที่ด้านบนหรือด้านข้าง ความร้อนที่ได้เกิดจากผลิตผลดูดกลืนแล่งอาทิตย์โดยตรงและดูดกลืนได้ดีเท่ากับผิวด้านในของส่วนที่ใช้อบ (Drying chamber) ความร้อนนี้ระเหยความชื้นจากผลิตผลนอกจากนี้ยังทำให้อากาศในส่วนนี้ร้อนและขยายตัวทำให้ความชื้นออกจากผลิตผลได้โดยการหมุนเวียนของอากาศ

ข. เครื่องอบแห้งพลังงานแล่งอาทิตย์แบบโดยอ้อม (Indirect solar dryers) แล่งอาทิตย์ไม่ได้ตกกระทบบนผลิตผลโดยตรง อากาศถูกทำให้ร้อนในส่วนรับแล่ง (Solar collector) ก่อนแล้วจึงผ่านเข้าในส่วนที่ใช้อบเพื่อทำให้ผลิตผลแห้ง

ค. เครื่องอบแห้งพลังงานแล่งอาทิตย์แบบผสม (Mixed mode solar dryers-direct and indirect) ตู้อบแห้งพลังงานแล่งอาทิตย์ แบบนี้ใช้ความร้อนที่เกิดจากแล่งอาทิตย์ตกกระทบบนผลิตผลโดยตรง รวมกับความร้อนที่ได้จากส่วนที่เป็นตัวทำอากาศให้ร้อน (Solar air-heater)

การนำพลังงานแล่งอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จะต้องมีตัวรับแล่งอาทิตย์แล้วเปลี่ยนพลังงานแล่งอาทิตย์ไปเป็นพลังงานรูปอื่นที่เป็นประโยชน์ ตัวรับแล่งที่ใช้ในตู้อบแห้งพลังงานแล่งอาทิตย์จะเป็นตัวรับแล่งชนิดแผ่นราบ โดยทั่วไปมีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ แผ่นรับแล่ง (Collector plate) มีหน้าที่ดูดกลืนแล่งอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน โดยทั่วไปเป็น

โลหะ เพื่อให้นำความร้อนได้ดีและเคลือบสีดำด้าน แผ่นปิดโปร่งใส (Transparent cover) อาจเป็นกระจกหรือพลาสติกซึ่งยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่แผ่นรับแสง แต่จะกันรังสีความร้อน (อินฟราเรด) ที่แผ่ออกจากแผ่นรับแสงและยังลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาจากแผ่นรับแสงอีกด้วย ด้านล่างและด้านข้างของตัวรับแสงบุด้วยฉนวนกันความร้อน เช่น ใยแก้วหรือโฟม

2.2.2 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ Cabinet (9)

เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ Cabinet (Tray dryer) เป็นเครื่องมืออบแห้งแบบ Batch คือทำการอบแห้งผลิตผลครั้งหนึ่งเสร็จแล้วก็นำผลิตผลออกเอาผลิตผลใหม่ใส่เข้าไปอบเป็นครั้ง ๆ ไป และการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพา (Convection) โดยอากาศจะถูกทำให้ร้อนขึ้นและไหลผ่านไประหว่างชั้นของถาดหรือตะแกรงใส่ผลิตผลอบแห้งแต่ละชั้นในลักษณะขนานหรือตั้งฉากกับถาดหรือตะแกรงใส่ผลิตผล แล้วจะพาเอาน้ำระเหยออกจากผลิตผลที่อบแห้ง เมื่อผลิตผลแห้งตามต้องการแล้วจะนำเอาถาดหรือตะแกรงใส่ผลิตผลออกจากตู้อบ

2.3 การศึกษาวิจัยการทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการทำแห้งในประเทศไทยได้ให้ความสนใจกันมาก โดยมีการศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สุวัฒน์ ไทยนะ และ ปรีดา วิบูลย์วัลย์ (10) ได้ศึกษาวิจัยตู้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในการอบแห้ง พืชเศรษฐกิจ ผลไม้ ปลาหรือเนื้อ แบบต่าง ๆ โดยอบแห้งผ้าสำลีพันเป็นแท่งสี่เหลี่ยมจำนวนมากชุบน้ำให้ชุ่ม พบว่า ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีแผงรับรังสีแยกให้อัตราการระเหยของความชื้นสูงกว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบไม่มีแผงรับรังสี 18 เปอร์เซ็นต์ และช่องระบายอากาศขนาด 0.8 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่รับแสงในแนวระนาบของตู้อบแห้งให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงที่สุด

สุรศักดิ์ บำรุงวงศ์ (110) ได้ศึกษาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการบ่มใบยาสูบ โดยทดลองบ่มใบยาสูบที่จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองพบว่า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทำให้สามารถลดพลังงานหลักลงได้มากกว่า 13 เปอร์เซ็นต์

ปิยะรัตน์ พราหมณี (12) ได้ศึกษาการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในการอบกล้วย ผลการทดลองพบว่า การอบกล้วยในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะอบกล้วยให้แห้งได้เร็วกว่าการตากแดดกลางแจ้ง และใช้ปริมาณกล้วยในการอบได้สูงสุด 10 กิโลกรัม ต่อตารางเมตรของพื้นที่แผ่นรับแสง เวลาอบกล้วยในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์คือ $2\frac{1}{2}$ วัน

Kesari (13) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยแสงอาทิตย์ ขนาดอบแห้งข้าวเปลือกครั้งละ 1 ตัน พื้นที่ของตู้อบมีขนาด 11.5 ตารางเมตร และพื้นที่รับแสง 34.5 ตารางเมตร ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งยังได้ผลดีที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 15 เซนติเมตร

Srianong (14) ได้ศึกษาวิจัยการทำแห้งปลาสลิด โดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้อบข้าวเปลือกมาดัดแปลงเพื่อให้ได้สภาวะในการอบแห้งต่าง ๆ กัน คือใช้พลาสติกสีดำปิดส่วนต่าง ๆ ของตู้ เช่น หนึ่งในสามของแผงรับแสงหรือส่วนที่ใช้อบแห้ง หรือตรงทางอากาศเข้าตู้ พบว่า การใช้พลาสติกสีดำปิดส่วนที่ใช้อบแห้งนั้นจะอบแห้งได้ช้ากว่าตากแดดกลางแจ้ง

ในการศึกษานี้จะเลือกใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบมีแผงรับรังสีแยก ดังที่ สุวัฒน์ ไทยนะ และ ปรีดา วิบูลย์วัลย์ (10) ได้ศึกษาพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากเครื่องอบแห้งประเภทตัวรับแสงแยกนี้เป็นเครื่องอบแห้งขนาดเล็กที่ใช้งานได้ผล โดยมีการหมุนเวียนของอากาศร้อนตามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพสูงและอายุการใช้งานนานกว่า เครื่องอบแห้งขนาดเล็กประเภทกล่อง หรือเต้นท์ โดยส่วนแผงรับรังสีของเครื่องอบแห้งช่วยให้อัตราการระเหยน้ำสูงขึ้น เพราะแผงรับรังสีรับพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้อบสูงขึ้น นอกจากนี้สามารถสร้างได้ง่ายและเคลื่อนย้ายได้สะดวก

2.4 กลไกของการแห้งทางทฤษฎี (15, 16)

การแห้งของของแข็งเชื่อว่ามี 2 กระบวนการที่เป็นพื้นฐานเกี่ยวข้องคือ

ก. การส่งผ่านของความร้อนเพื่อไประเหยของเหลว

ข. การส่งผ่านของมวลในลักษณะของของเหลวและไอภายในของแข็งและในลักษณะของไอจากผิว

ล่องกระบวนการนี้เกิดขึ้นพร้อมกันและองค์ประกอบซึ่งควบคุมอัตราของแต่ละกระบวนการจะเป็นตัวกำหนดอัตราของการแห้ง

2.4.1 เงื่อนไขภายในและภายนอกของการแห้ง

การศึกษาถึงวิธีการแห้งอาจจะขึ้นกับกลไกภายในของการไหลของของเหลวหรือขึ้นกับผลของเงื่อนไขภายนอกของอุณหภูมิ ความชื้น อัตราการไหลของอากาศ เป็นต้น

2.4.1.1 กลไกภายในของการไหลของของเหลว การไหลของของเหลวภายในอาจเกิดจากกลไกมากมายหลายอย่างขึ้นกับโครงสร้างของของแข็ง กลไกที่เป็นไปได้คือ

ก. การแพร่ในของแข็งที่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด

ข. การไหลผ่านรูเล็ก ๆ (Capillary flow) ในของแข็งที่เป็นรู

ค. การไหลเนื่องจากการหดตัวและความแตกต่างของความดัน

ง. การไหลเนื่องจากการกลั่นตัว-การกลายเป็นไอ

จ. การไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

ฉ. การไหลเนื่องจากความต่างศักย์ทางไฟฟ้า คือ อิเลคโทร-ออสโมซิส (Electro-osmosis)

ช. การไหลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ คือ การแพร่เนื่องจากความร้อน (Thermal diffusion)

แม้ว่าที่เวลาหนึ่งอาจจะมีกลไกมากกว่าหนึ่งอย่างที่มีผล แต่ว่ามักจะมีเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่เด่นชัด อย่างไรก็ตามกลไกที่เด่นชัดอาจจะต่างกันที่เวลาต่างกัน

2.4.1.2 ตัวแปรภายนอกที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลของอากาศ

อากาศที่มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับไอน้ำไว้ได้มากจนกว่าจะถึงความชื้นสมดุลย์ ค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศถูกควบคุมโดยปริมาณความร้อนและการไหลเวียนของอากาศ

อัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นวัสดุได้มากหรือน้อยขึ้นกับความต้านทานในการไหล ซึ่งเกิดจากความต้านทานของชั้นวัสดุ และความต้านทานของชั้นตากซึ่งมีลักษณะเป็นรูหรือช่องที่ ซึ่งหากว่าพื้นที่ช่องหรือรูนี้คิดเป็นประมาณร้อยละ 10 หรือมากกว่าของพื้นที่ชั้นตากทั้งหมดแล้ว ถือได้ว่าความต้านทานเนื่องจากรูนี้น้อยมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานเนื่องจากการไหลผ่านชั้นวัสดุจึงละทิ้งได้ ความต้านทานเกิดขึ้นเนื่องจากสูญเสียพลังงานจากความฝืด (Friction) และความปั่นป่วน (Turbulence) และสามารถลดความต้านทานนี้ได้โดยเพิ่มความดัน (Pressure) ที่ทางเข้าหรือโดยทำให้เกิดสูญญากาศ (Vacuum) ที่ทางออกของอากาศ หากความต้านทานในการไหลน้อยอัตราการไหลของอากาศจะสูงขึ้นช่วยให้อัตราการแห้งเร็วขึ้น

ความสามารถในการอบแห้งขึ้นกับอัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการถ่ายเทมวลสาร ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจะถูกพาไปที่ผิววัสดุหรือใกล้กับผิววัสดุ หรือภายในผิววัสดุ ขึ้นกับชนิดของวัสดุและสภาวะในการอบแห้ง

2.4.2 ช่วงเวลาของการแห้ง

การแห้งของของแข็งมักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นในของแข็งมี 2 แบบคือ

ก. ใช้ของเปียกเป็นพื้นฐาน (Wet basis)

ข. ใช้ของแห้งเป็นพื้นฐาน (Dry basis)

ความชื้นร้อยละที่ใช้ของเปียกเป็นพื้นฐาน หาได้โดยเอาน้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในของแข็งหารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง

$$\text{ความชื้นร้อยละ (Wet basis)} = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100$$

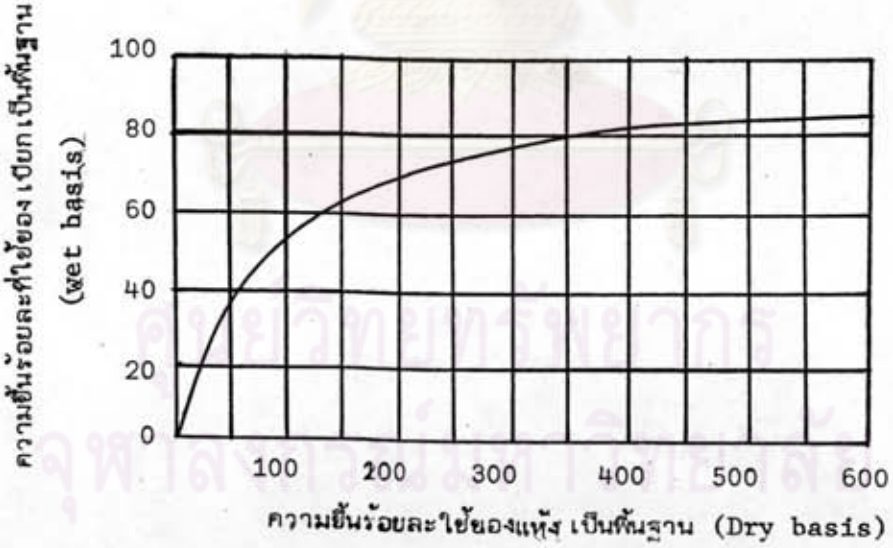
เมื่อ W_w = น้ำหนักของน้ำ

W_d = น้ำหนักของวัตถุแห้ง

ความยื้นร้อยละที่ใช้ของแห้งเป็นพื้นฐาน หาได้โดยเอาน้ำหนักน้ำหารด้วยน้ำหนักของวัตถุแห้ง

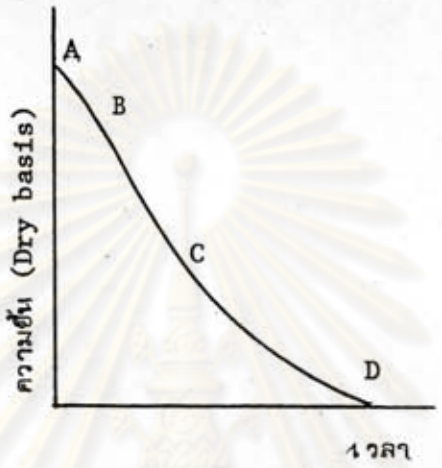
$$\text{ความยื้นร้อยละ (Dry basis)} = \frac{W_w}{W_d} \times 100$$

ในสมการที่ใช้ของแห้งเป็นพื้นฐาน ตัวหารของสมการมีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับปริมาณความยื้นในของแข็ง ดังนั้นการบอกความยื้นร้อยละที่ใช้ของแห้งเป็นพื้นฐานจึงมีประโยชน์ในสมการการแห้ง รูปที่ 2.1 เป็นกราฟระหว่างความยื้นร้อยละที่ใช้ของเปียกเป็นพื้นฐานและที่ใช้ของแห้งเป็นพื้นฐาน (15)



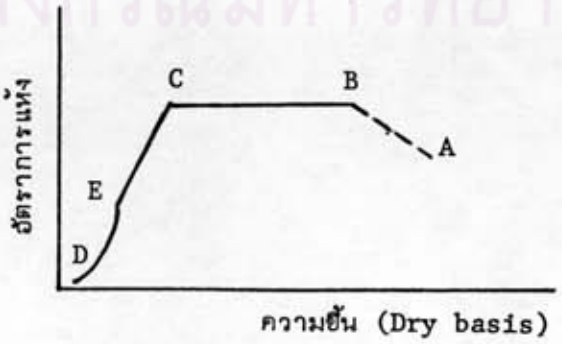
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยื้นร้อยละที่ใช้ของเปียกเป็นพื้นฐานและที่ใช้ของแห้งเป็นพื้นฐาน (15)

ในการทดลองการทำแห้งของของแข็ง ข้อมูลที่นำมาใช้มักเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา โดยนำมาเขียนเป็นกราฟระหว่างความชื้น (Dry basis) W กับเวลา θ ดังรูปที่ 2.2 (15) จากกราฟแสดงถึงกรณีทั่วไปเมื่อของแข็งที่เปียกสูญเสียความชื้นครั้งแรกโดยการระเหยจากผิวที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ติดตามด้วยการระเหยจากผิวที่อิ่มตัวที่มีชื้นที่ค่อย ๆ น้อยลง และถึงขั้นสุดท้ายเมื่อน้ำระเหยจากส่วนในของของแข็ง

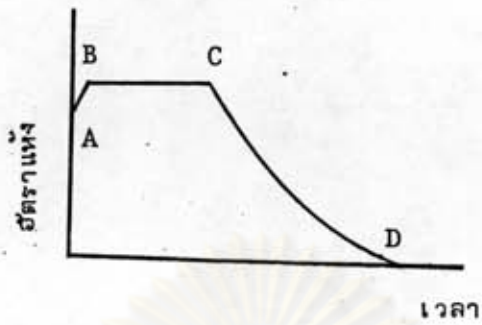


รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา (15)

แม้ว่ารูปที่ 2.2 จะแสดงถึงว่าอัตราการแห้งขึ้นกับการแปรค่าของเวลาหรือความชื้นในของแข็ง การแปรค่านี้สามารถแสดงให้ชัดเจนขึ้นด้วยกราฟหรือดิฟเฟอเรนชิเอท (Numerically differentiate) เส้นกราฟและเขียนกราฟระหว่าง $dW/d\theta$ กับ W ดังรูปที่ 2.3 (15) หรือ $dW/d\theta$ กับ θ ดังรูปที่ 2.4 (15) เส้นกราฟเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการแห้งไม่ใช่กระบวนการที่ราบเรียบติดต่อกันที่กลไกเพียงอย่างเดียวถ้ามารถควบคุมได้ตลอด



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้งกับความชื้น (15)



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้งกับเวลา (15)

เส้น BC ของกราฟแต่ละรูปแทนช่วงเวลาที่อัตราการแห้งคงที่ (Constant rate period) ในรูปที่ 2.2 เส้น BC เป็นเส้นตรงที่มีความชัน $dW/d\theta$ คงที่ ซึ่งจะกลายเป็นเส้นตรงในแนวราบในรูปที่ 2.3 และ 2.4

เส้น CD ในรูปที่ 2.2 กำหนดให้เป็น ช่วงเวลาที่อัตราการแห้งลดลง (Falling rate period) (เช่นเดียวกับ CD ในรูปที่ 2.3 และ 2.4) และเป็นช่วงที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ในช่วงสุดท้ายของวัฏจักรการแห้ง (Drying cycle)

จุด E ในรูปที่ 2.3 แสดงถึงจุดที่ผิวภายนอกของของแข็งไม่อิ่มตัวโดยสิ้นเชิง (Completely unsaturated) และเป็นจุดเริ่มต้นที่อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในของแข็งเป็นตัวควบคุมอัตราการแห้ง

จุด C เป็นเวลาที่อัตราการแห้งคงที่สิ้นสุดลง และเป็นจุดเริ่มต้นของอัตราการแห้งลดลง จุดนี้กำหนดให้เป็นความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical moisture content)

เส้น AB เป็นช่วงเวลาเริ่มต้น (Warming-up period)

2.4.2.1 <u>ช่วงเวลาที่อัตราการแห้งคงที่</u> การแห้งดำเนินไปโดยการแพร่ของไอจากผิวที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำของวัตถุผ่านชั้นบาง ๆ ของอากาศนิ่ง (Stagnant-air film) ไปยังสิ่งแวดล้อม การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในของแข็งเร็วเพียงพอที่จะรักษาสภาพอิ่มตัวที่ผิว

และอัตราการส่งผ่านความร้อนไปยังผิวจะควบคุมอัตราการแห้ง อัตราการส่งผ่านมวลสัมดุลย์กับอัตราการส่งผ่านความร้อนและอุณหภูมิของผิวที่อิ่มตัวยังคงคงที่ กลไกของการเคลื่อนที่ของความชื้นไม่ขึ้นกับธรรมชาติของของแข็งนั้น

2.4.2.2 ช่วงเวลาที่อัตราการแห้งลดลง เริ่มต้นเมื่อช่วงเวลาที่อัตราการแห้งคงที่สิ้นสุดลง คือที่ความชื้นที่จุดวิกฤต ถ้าความชื้นสุดท้ายในของแข็งอยู่เหนือความชื้นที่จุดวิกฤต กระบวนการแห้งทั้งหมดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่อัตราการแห้งคงที่ ในทางตรงข้าม ถ้าความชื้นเริ่มต้นในของแข็งอยู่ใต้ความชื้นที่จุดวิกฤต กระบวนการแห้งทั้งหมดจะเกิดในช่วงเวลาที่อัตราการแห้งลดลง ซึ่งช่วงนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

ก. บริเวณของการแห้งของผิวที่ไม่อิ่มตัว

ข. บริเวณที่การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเป็นตัวควบคุม

ในบริเวณแรก ผิวที่กำลังระเหยทั้งหมดไม่สามารถรักษาสภาพอิ่มตัวโดยการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในของแข็งได้อีกต่อไป ดังนั้นอัตราการแห้งในบริเวณที่ไม่อิ่มตัวจึงลดลง ทำให้อัตราการแห้งที่ผิวทั้งหมดลดลงด้วย

ขณะที่การแห้งดำเนินต่อไป ก็จะมาถึงจุดที่ผิวที่กำลังระเหยไม่อิ่มตัว การระเหยจะเคลื่อนตัวเข้าไปในของแข็ง กระบวนการแห้งเข้าสู่ช่วงเวลาที่อัตราการแห้งลดลงช่วงที่สอง ซึ่งขณะนี้อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในจะควบคุมอัตราการแห้ง ตัวแปรภายนอกไม่มีผลอีกต่อไป จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของความชื้นภายใน พบว่า กลไกควบคุมที่เป็นไปได้มีหลายอย่างที่สำคัญคือ การแพร่ การดึงดูดของรูเล็ก (Capillarity) และผลต่างของความดันเนื่องจากการหดตัว

2.5 การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในการทำแห้ง (17)

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical changes)

การให้ความร้อนกับปลาหมึกและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลอื่น ๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) กลิ่นรส (Flavor) และสี (Color) เป็นสำคัญ ในกระบวนการทำแห้งจะเกิดการหดตัวเนื่องมาจากการรวมกันของกล้ามเนื้อโปรตีน

เป็นผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสมีความเหนียว หรือสูญเสียความนุ่มไป และจะเกิดกลิ่นรสที่เรียกว่า Cured flavor ขึ้นด้วย ลีก็เป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งของอาหารที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับในอาหารนั้น ปรากฏการณ์การเกิดสีน้ำตาล (Browning phenomenon) ในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์โบไฮเดรตกับโปรตีนของผลิตภัณฑ์นั้นในระหว่างที่ให้ความร้อนในการทำแห้ง

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical changes)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำแห้งจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพในผลิตภัณฑ์ สูญเสียคุณค่าทางอาหาร และเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (Nonenzymatic browning) เป็นต้น

โดยทั่วไปการทำแห้งจะเกิดการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์จนถึงระดับหนึ่งที่สามารถป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ และโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดปฏิกิริยามิลลาร์ด(Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนที่เป็นกลุ่มเอฟซิลอนอะมิโน (Є-amino groups) ของไลซีนที่เหลือ (Lysine residues) กับสารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl compounds) เช่น น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugars) ทำให้เกิดการเชื่อมของพันธะเปปไทด์ภายใน (Internal peptide link) ซึ่งโครงสร้างโปรตีนจะแข็งแรงขึ้นและเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ด้วย นอกจากนี้ยังอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของไขมัน เป็นต้น (18)

2.6 ปลาหมึกกระดอง (Sepia sp.)

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานี้คือ ปลาหมึกกระดอง ซึ่งส่วนใหญ่จะแพร่กระจายอยู่ตามชายฝั่งทั้งสองของอ่าวไทย

2.6.1 ชนิดของปลาหมึกกระดอง (19)

ปลาหมึกกระดองจัดอยู่ในพวกเดียวกับหอย คือ Phylum Mollusca อยู่ใน Class Cephalopoda และ Family Sepiidae ซึ่งมี 2 Genus คือ

Genus Sepia Linnaeus, 1758

Sepia aculeata	Ferussac & d'Orbigny, 1835-48
Sepia brevimana	Steenstrup, 1875
Sepia lysidas	Gray, 1849
Sepia pharaonis	Ehrenberg, 1831
Sepia recurvirosta	Steenstrup, 1875

Genus Sepiella Gray, 1849

Sepiella inermis	Ferussac & d'Orbigny, 1835-48

ลักษณะทั่วไปของปลาหมึกกระดองใน Family Sepiidae นี้คือ ลำตัวแบนรูปไข่ ครีบอยู่ที่ของด้านล่างของลำตัว หัวแบนกว้าง หนังตาล่างรูปโค้ง ถุงหมึกมีขนาดใหญ่ กระดองภายในเป็นแผ่นแบนหนากว้าง เป็นสารประกอบของแคลเซี่ยมมีลักษณะคล้ายฝอลัค

ในการศึกษานี้ ปลาหมึกกระดองที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบไม่ได้จำแนกว่าเป็นชนิดใด ดังนั้นจึงใช้เรียกรวม ๆ ว่า Sepia sp. และลักษณะของปลาหมึกกระดองที่ใช้ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 2.5

2.6.2 ปริมาณการจับปลาหมึกกระดอง (1)

ปริมาณการจับปลาหมึกกระดองของประเทศไทยทั้งหมด เป็นปลาหมึกกระดองที่จับได้ในอ่าวไทยร้อยละ 89.80 (เฉลี่ยปี 2514-2524) และเป็นปลาหมึกกระดองทางฝั่งทะเลอันดามันร้อยละ 10.20 ปริมาณการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปลาหมึกกระดองทางฝั่งทะเลอันดามัน มีผลกระทบต่อผลผลิตปลาหมึกกระดองทั้งประเทศไม่มากนัก ผลกระทบโดยตรงจะเนื่องมาจากปริมาณปลาหมึกกระดองที่จับได้ในอ่าวไทย

ปริมาณการจับปลาหมึกกระดองตั้งแต่ปี 2521 ถึงปี 2525 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

087001
011801

รูปที่ 2.5 ปลาหมึกกระดอง (Sepia sp.)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณปลาหมึกกระดองของประเทศไทย อ่าวไทยและทางฝั่งทะเลอันดามัน (1)

ปี	ปริมาณปลาหมึกกระดองของประเทศไทย	ปริมาณปลาหมึกกระดองในอ่าวไทย	ปริมาณปลาหมึกกระดองทางฝั่งทะเลอันดามัน
2521	34,484	30,756	3,728
2522	30,570	26,293	4,277
2523	26,748	23,444	3,304
2524	27,275	26,428	847
2525	39,009	-	-

ปริมาณ : ตัน

\- : ไม่มีตัวเลขรายงานไว้

2.6.3 การเพาะเลี้ยงปลาหมึกกระดองเชิงพาณิชย์

ปลาหมึกเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่ทวีความสำคัญขึ้นอย่างมากโดยเฉพาะในระยะ 4-5 ปี ที่ผ่านมาปริมาณและมูลค่าการจับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่จำนวนของเรือประมงปลาหมึกก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกด้วย ปลาหมึกจึงตกอยู่ในสภาพเดียวกับทรัพยากรปลาหน้าดินในอ่าวไทย กล่าวคือ ปริมาณการจับปลาหมึกสูงกว่าศักย์การผลิตอยู่ประมาณร้อยละ 12 (20) ดังนั้นจึงมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงปลาหมึกกระดองขึ้นคือ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทดลองเพาะเลี้ยงที่สถานีประมงน้ำกร่อย จังหวัดระยอง ร่วมกับภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (21) โดยทดลองเพาะเลี้ยงปลาหมึก 3 ชนิดคือ ปลาหมึกหอม (Sepioteuthis lessoniama) ปลาหมึกกระดอง (Sepia pharaonis) และปลาหมึกกระดองกันไหม้ (Sepiella inermis)

การเพาะเลี้ยงปลาหมึกทั้งสามชนิด กระทำโดยรวบรวมไข่จากแหล่งน้ำธรรมชาติ ไข่ปลาหมึกที่ได้นำมาฟักในบ่อซีเมนต์เพาะฟักและอาหารสำหรับปลาหมึกแรกเกิด

คือ เคยตาดำ (Mesopodopsis sp.) จากแหล่งน้ำธรรมชาติ จนกระทั่งอายุประมาณ 20 วัน จึงเริ่มให้พวกลูกปลาชนิดต่าง ๆ กุ้งฝอย เคยตาแดง (Acetes sp.) รวมด้วย

การทดลองพบว่า ปลาหมึกหอมจะให้อัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด แต่มีอัตราการรอดตายต่ำ ส่วนปลาหมึกกระดองทั้งสองชนิด ให้อัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าปลาหมึกหอม แต่มีอัตราการรอดตายดีกว่า

เมื่อพิจารณาโดยส่วนรวม พบว่า ปลาหมึกหอมเป็นปลาหมึกที่เหมาะแก่การเพาะเลี้ยงมากที่สุด รองลงมาคือ ปลาหมึกกระดองกันไหม้ และปลาหมึกกระดอง (Sepia pharaonis) ตามลำดับ และการค้นคว้าวิจัยยังคงดำเนินต่อไป เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตของปลาหมึกทั้งด้านการเพาะเลี้ยงและการจับ เช่น การศึกษาผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อปลาหมึก และอิทธิพลของคุณภาพน้ำต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของปลาหมึกเพื่อกำหนดระดับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือในบ่อดิน ซึ่งคาดว่าจะประสบผลสำเร็จทำให้มีการเพิ่มปริมาณปลาหมึกกระดองขึ้น เพื่อเป็นการเตรียมรองรับวัตถุดิบที่จะมีเพิ่มขึ้น จึงได้ศึกษาการแปรรูปปลาหมึกกระดองเป็นผลิตภัณฑ์แห้ง ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

2.6.4 <u>คุณค่าทางอาหารของปลาหมึกกระดอง</u>

คุณค่าทางอาหารของปลาหมึกกระดองเทียบกับสัตว์น้ำอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (22) ปลาหมึกให้แคลอรี่ (Calories) ใกล้เคียงกับเนื้อปลาหรือกุ้ง หรือปู และมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับสัตว์น้ำอื่น ๆ ดังนั้นปลาหมึกจึงเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สมบูรณ์อีกแหล่งหนึ่ง

2.6.5 <u>ลักษณะโครงสร้างของเนื้อปลาหมึก</u> (23)

ลักษณะโครงสร้างของเนื้อปลาหมึก ประกอบด้วยเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (Muscle tissue) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางอาหารของปลาหมึกกระดองเทียบกับสัตว์น้ำชนิด ๆ (22)

ชนิดของสัตว์น้ำ	องค์ประกอบของเนื้อสัตว์น้ำ, 100 กรัม																	
	พลังงาน	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรตไม่รวมเยื่อใย	เยื่อใย	เถ้า	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก	ไซเตียม	โปแตสเซียม	Retinol	B-Carotene equivalent	Thiamine	Riboflavin	Niacin	Ascobic acid
	แคลอรี่	ร้อยละ	กรัม	กรัม	กรัม	กรัม	กรัม	มิลลิกรัม	มิลลิกรัม	มิลลิกรัม	มิลลิกรัม	มิลลิกรัม	ไมโครกรัม	ไมโครกรัม	มิลลิกรัม	มิลลิกรัม	มิลลิกรัม	มิลลิกรัม
ปลา	93	73.2	20.0	0.8	0	0	6.0	689	660	1.5	-	-	-	-	0.2	0.15	3.2	0
ปู	100	76.8	17.9	2.0	1.4	0	2.0	107	192	1.8	316	322	35	5	0.05	0.08	3.0	1
กุ้ง	87	79.2	17.6	0.9	0.9	0	1.4	79	184	1.6	185	333	20	5	0.04	0.08	2.3	1
ปลาหมึกขาว	68	83.9	13.5	1.1	0	0	1.5	12	151	0.9	-	-	5	0	0.12	0.11	533	0
ปลาหมึกกล้วย	75	82.0	15.3	0.8	0.7	0	1.2	15	194	1.0	176	266	15	0	0.03	0.08	3.2	0
ปลาหมึกกระดอง	81	81.0	16.1	0.9	1.0	0	1.0	27	143	0.8	-	273	0	0	0.07	0.05	2.6	0

- ไม่มีรายงานไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. <u>เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ</u> (Muscle tissue) เป็นชั้นของกล้ามเนื้อที่เรียงตัวอยู่ระหว่างเปลือก (Tunic) ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ซึ่งเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อประกอบด้วย เส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) 2 กลุ่ม เรียงตัวไขว้กัน คือ

1. เส้นใยกล้ามเนื้อตามแนวเส้นรอบวง (Circumferential muscle fiber) มีลักษณะเป็นกล้ามเนื้อรูปวงแหวนซ้อน ๆ กัน

2. เส้นใยตามแนวรัศมี (Radial fiber) มีทิศทางตั้งฉากกับเปลือกทั้งสองของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

เส้นใยกล้ามเนื้อทั้งสองกลุ่มมีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.50 ± 2.50 ไมโครเมตร

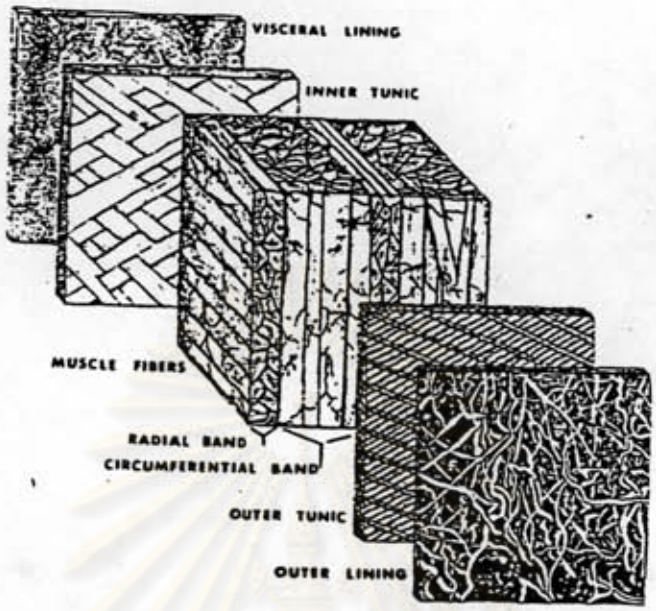
จากการเรียงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อในลักษณะดังกล่าว จึงเป็นการง่ายที่จะฉีกเนื้อปลาหมึกออกในลักษณะที่เป็นแว่น ๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกล้ามเนื้อปลาหมึกที่แตกต่างไปจากลักษณะกล้ามเนื้อของสัตว์โดยทั่ว ๆ ไป

ข. <u>เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน</u> (Connective tissue) แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. เปลือกชั้นนอก (Outer tunic) ประกอบด้วย เส้นใยซึ่งมีแบบของการเรียงตัวที่เฉพาะ

2. เปลือกชั้นใน (Inner tunic) ประกอบด้วย เส้นใยที่เรียงตัวกันอย่างไม่มีระเบียบ

ขนาดเส้นใยของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.10 ไมโครเมตร และขนาดรูปร่างจะแตกต่างกันไปบ้างในแต่ละกลุ่มของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ที่ผิวของเปลือกชั้นนอกและชั้นใน (Outer and Inner tunic) จะมีเยื่อบาง ๆ อยู่คือ หนังชั้นนอก (Outer lining) ปกคลุมเปลือกชั้นนอกมีลักษณะเป็นเส้นใยที่เรียงตัวอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ (Randomly oriented fiber) และหนังชั้นใน (Inner lining) ปกคลุมเปลือกชั้นใน มีลักษณะเป็นหนังบาง ๆ ซึ่งไม่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Nonfibrous visceral lining)



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของเนื้อปลาหมึก (23)

2.7 ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกกระดองแห้ง

2.7.1 ปลาหมึกกระดองแห้ง (Dried Cuttlefish)

2.7.1.1 วิถีทางการส่งออก (2)

การผลิตในระหว่างปี 2521-2525 มีการผลิตปลาหมึกแห้งเฉลี่ยปีละ 23,277 เมตริกตัน มีอัตราเพิ่มเฉลี่ยปีละ 4.63 ปลาหมึกแห้งที่ผลิตได้ประมาณร้อยละ 88 จะใช้บริโภคภายในประเทศที่เหลือส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ ในปี 2526 ผลิตปลาหมึกแห้งได้ 29,000 เมตริกตัน และการผลิตปลาหมึกแห้งในปี 2527 จะสามารถผลิตได้มากกว่าปี 2526 เล็กน้อย ปลาหมึกแห้งที่ผลิตได้ ได้แก่ ปลาหมึกกระดองแห้งและปลาหมึกสายแห้ง ซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดต่างประเทศ และปลาหมึกกล้วยแห้งซึ่งนิยมบริโภคภายในประเทศ

การส่งออก ประเภทของปลาหมึกแห้งที่ส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศแยกเป็น

ก. ปลาหมึกกระดองแห้ง

ข. หนวดปลาหมึกกระดองแห้ง

ค. ปลาหมึกกล้วยแห้ง

ง. ปลาหมึกลายแห้ง

ปริมาณและมูลค่าส่งออกในปี 2526 คือ 3,500 เมตริกตัน มูลค่า 650.00 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 87.50 และ 81.25 ของเป้าหมายการส่งออก และในปี 2527 คาดว่าจะสามารถส่งออกได้ 3,600 เมตริกตัน มูลค่า 730.00 ล้านบาท

ปลาหมึกกระดองแห้ง เป็นปลาหมึกแห้งที่ส่งออกมากที่สุด และในระยะ 5 ปีที่ผ่านมา (2521-2525) มีการส่งออกเฉลี่ยปีละ 2,544 เมตริกตัน มูลค่า 402.70 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 91.05 และ 93.48 ของปริมาณและมูลค่าการส่งออกทั้งหมด ในปี 2526 สามารถส่งออกได้ 3,125 เมตริกตัน มูลค่า 603,50 ล้านบาท

ตลาดประจำที่สำคัญที่สุดสำหรับการส่งออกปลาหมึกแห้งของไทยมีเพียง 2 ประเทศ คือ ญี่ปุ่น และฮ่องกง ซึ่งประเทศไทยส่งออกได้รวมกันเกินกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณและมูลค่าการส่งออกปลาหมึกแห้งของไทยในแต่ละปี ตลาดประจำที่มีความสำคัญอันดับรองลงไปคือ สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส มาเลเซีย และแคนาดา ซึ่งแต่ละประเทศมีการนำเข้าจากไทยสม่ำเสมอ แต่ปริมาณไม่แน่นอน ส่วนตลาดจรกับตลาดใหม่เป็นตลาดที่ไม่มีความแน่นอนในการนำเข้าจากไทย และการนำเข้าก็มักมีปริมาณไม่มากนัก ตลาดเหล่านี้ได้แก่ ออสเตรเลีย ซาอุดิอาระเบีย สหราชอาณาจักร สวิตเซอร์แลนด์ เนเธอร์แลนด์ และสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน

ลักษณะโครงสร้างของตลาดปลาหมึกแห้งของไทยแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย ตลาดประจำที่สำคัญยังคงเป็นญี่ปุ่น ซึ่งต้องการสินค้าที่มีคุณภาพดี และราคาค่อนข้างสูง และฮ่องกงซึ่งต้องการสินค้าที่ไม่ค่อยจำกัดคุณภาพเท่าใดนักและราคาค่อนข้างต่ำ ส่วนตลาดประจำอื่น ๆ มี สหรัฐอเมริกา และแคนาดาเท่านั้นที่มีการนำเข้าจากไทยปี 2526 เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ส่วนประเทศอื่น ๆ มีการนำเข้าจากไทยลดลง

2.7.1.2 การทำปลาหมึกกระดองแห้ง

การทำปลาหมึกแห้งในประเทศไทยนิยมแพร่หลายกันในหมู่ยำวประมงแถบจังหวัดระยอง จังหวัดใกล้และภาคใต้ของประเทศ เช่น จังหวัดสงขลา เป็นต้น

ในการทำปลาหมึกแห้งของยำวประมงตำบลบ้านเพ จังหวัดระยอง และหมู่ยำวประมงใกล้เคียง (24) มักทำกันเป็นอุตสาหกรรมภายในครอบครัว ปลาหมึกที่ใช้คือ ปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกหลอด ส่วนปลาหมึกชนิดอื่นไม่นิยมใช้ วิธีทำก็คือ ผ่าท้องปลาหมึกจากส่วนหัวตลอดตามยาวของลำตัว เอาไข่และส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ภายในตัวออกเอาหนังออก เสร็จแล้วใส่ในกะละมังที่มีน้ำทะเล เพื่อล้างยี้หมึกสีดำออก แล้วล้างอีกครั้งให้สะอาดนำไปเรียงไว้บนแผงตะแกรงลวดตาย่ายจนเต็มแผง นำไปตากแดดบนราวไม้ไผ่ที่เตรียมไว้ วันใดแดดจัดตากปลาหมึกเพียง 7-8 ชั่วโมง ก็ใช้ได้ การตากปลาหมึกนั้นเมื่อตากไปได้ประมาณ 5 ชั่วโมง ก็กลับแผงเอาส่วนล่างขึ้นข้างบนโดยไม่ต้องเก็บปลาหมึก เพราะปลาหมึกจะแห้งติดแผงตะแกรงลวด ยำวประมงเก็บปลาหมึกที่แห้งแล้วมากองไว้ภายในบ้าน แล้วใช้ขวดเบียร์ใส่ทรายให้เต็มคลึงทับตัวปลาหมึกไปมา เพื่อให้ปลาหมึกเรียบ

การทำปลาหมึกกระดองแห้งในประเทศอื่น ๆ แถบเอเชียก็มีทำกัน เช่น ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการทำปลาหมึกกระดองแห้งกันมานานแล้ว และเป็นที่นิยมบริโภคกันมาก การทำแห้งจะใช้วิธีตากแดดกลางแจ้ง และปลาหมึกที่ตากแห้งจะไม่เอากระดองออก ส่วนลำตัวและหัวจะผ่าเอาส่วนอวัยวะภายในและตาออก ปลาหมึกกระดองจะตากแดดจนได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 18-22 สำหรับปลาหมึกกระดองขนาดใหญ่ (ประมาณ 1-2 ตัวต่อกิโลกรัม) จะใช้เวลาตากแดด 7-8 วัน (25) นอกจากนี้ก็ยังมีประเทศมาเลเซียจะทำแห้งปลาหมึกกระดองโดยไม่เอากระดองออก ผ่าเอาอวัยวะภายในและตาออกเช่นกัน แล้วนำไปตากแดดให้ได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 18-22 (26)

2.7.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหมึกต่อการแบ่งระดับคุณภาพของปลาหมึกแห้ง (25)

ความสดของปลาหมึกจะมีความสัมพันธ์กับค่า Total volatile nitrogen คือ ปลาหมึกที่มีความสดมากจะมีค่า Total volatile nitrogen ต่ำ ซึ่งค่า Total volatile nitrogen นี้ใช้เป็นดัชนีความสดได้ Total volatile nitrogen ได้แก่พวก Volatile amines และ ammonia ซึ่งได้มาจากการที่เชื้อจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายโปรตีนของปลาหมึก และความสดของปลาหมึกที่ใช้ทำแห้งจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อทำแห้งแล้ว ดังนั้นจึงมีการแบ่งคุณภาพของปลาหมึกสดที่จะนำมาทำเป็นปลาหมึกแห้งเป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Total volatile nitrogen (mg %) ของปลาหมึกสด และคุณภาพของปลาหมึกแห้ง (25)

ลำดับคุณภาพปลาหมึกแห้ง	Total volatile nitrogen (mg %)
ลำดับที่หนึ่ง	น้อยกว่า 5-10
ลำดับที่สอง	ประมาณ 15
ลำดับที่สาม	20 - 30
ลำดับที่สี่	ประมาณ 40
ลำดับที่ห้า	ประมาณ 50

2.7.1.4 การเกิดผงนวลขาว (White powder) ในปลาหมึกกระดองแห้ง (27)

ในระหว่างการเก็บปลาหมึกซึ่งตากแห้งแล้วไว้ระยะหนึ่งจะพบว่ามีผงสีขาว (White powder) คล้ายแป้งขึ้นตามบริเวณผิวของปลาหมึก ซึ่งลักษณะดังกล่าวพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งอื่น ๆ ด้วย ผงสีขาวนี้ไม่ได้เกิดขึ้นโดยสาเหตุจากจุลินทรีย์ และจากผลทางเปเปอร์โครมาโตกราฟี (Paper chromatography) พบว่า ผงสีขาวนี้ประกอบด้วย Betaine, Taurine, Aspartic acid, Glutamic acid, Histidine

และ Threonine เมื่อเกิดผงสีขาวขึ้นเล็กน้อยบนเนื้อปลาหมึกตากแห้งแล้ว ปริมาณของผงสีขาวนี้จะมีมากขึ้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นหรือเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

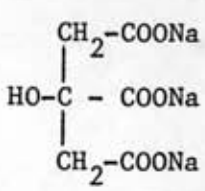
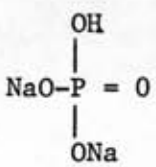
2.7.2 ปลาหมึกกระดองแห้งดูดน้ำคืน (Rehydrated Cuttlefish)

ปลาหมึกกระดองแห้งดูดน้ำคืน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาปลาหมึกกระดองแห้งมาแช่น้ำเพื่อให้ปลาหมึกกระดองแห้งดูดน้ำเข้าไปในเนื้อ ซึ่งสามารถนำมาประกอบอาหารชนิดต่าง ๆ ได้

2.7.2.1 การใช้สารช่วยในการดูดน้ำคืนของปลาหมึกกระดองแห้ง

จากรายงานการศึกษาทดลองในประเทศญี่ปุ่น (27) พบว่าสารที่สามารถช่วยให้ปลาหมึกแห้งดูดน้ำคืนได้ดีคือ Sodium citrate และ di-Sodium hydrogen phosphate ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัยในอาหาร (Generally Recognized as Safe for Use in Foods) ตามข้อบังคับของ FDA (Food and Drug Administration) สารทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติต่าง ๆ ของ Sodium citrate และ di-Sodium hydrogen phosphate (28)

Sodium citrate	di-Sodium hydrogen phosphate
1. มีความสามารถในการดูดน้ำสูง (High hydrating capability) 2. ส่วนมากใช้ในอาหารสำพวกเครื่องดื่มเนื้อ 3. สูตร 	1. มีความสามารถในการดูดน้ำสูง (High hydrating capability) 2. ส่วนมากใช้ในอาหารสำพวก เนย อาหารเสริม 3. สูตร 

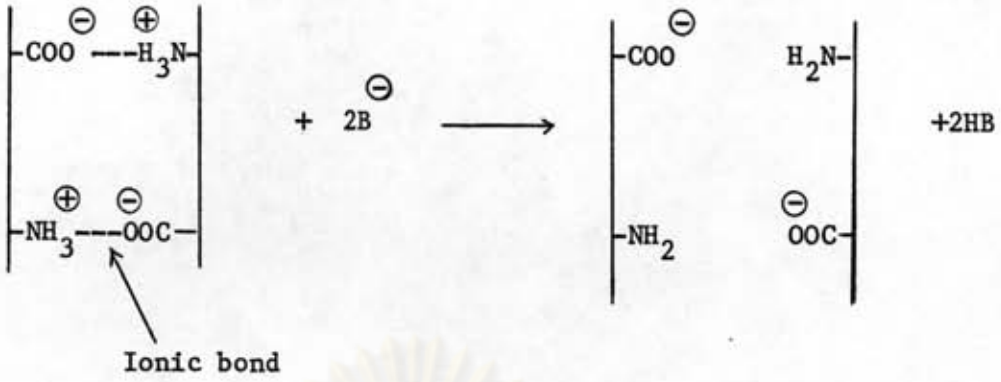
เมื่อสารทั้งสองชนิดมาใช้จะใช้กับปลาหมึกสด โดยนำปลาหมึกสดมาแช่ในสารละลาย Sodium citrate หรือdi-Sodium hydrogen phosphate ความเข้มข้นร้อยละ0.4-1.0 เป็นเวลา 8-24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปทำแห้งและปลาหมึกแห้งที่ได้สามารถดูดน้ำคืนได้ดี

การที่สารทั้งสองอาจมีส่วนช่วยในการดูดน้ำคืนของปลาหมึกกระตองแห้ง อาจเนื่องจากการที่สารทั้งสองมีความสามารถในการดูดน้ำสูงและสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้า (Electrical charges) ของกล้ามเนื้อโปรตีน (Muscle proteins) คือทำลายพันธะอิออนิก (Ionic bonds) ของกล้ามเนื้อโปรตีนทำให้มีกลุ่มของประจุลบอิสระเพิ่มขึ้นเกิดแรงผลักทางไฟฟ้า (Electrostatic repulsion) โปรตีนจึงพองตัวและกลุ่มประจุลบอิสระของโปรตีนสามารถจับกับกลุ่มของประจุบวกอิสระของโมเลกุลน้ำได้ทำให้คืนน้ำได้ดี (29)

2.7.2.2 การทำให้เนื้อปลาหมึกนุ่ม (Softening) หลังจากดูดน้ำคืน

โดยทั่วไปความเป็นกรดด่างหรือ pH มีผลต่อการพองตัวหรือหดตัวของโมเลกุลโปรตีน คือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุของโมเลกุลโปรตีน เช่น ในสภาวะที่ pH มีค่าสูงขึ้นจะทำให้โปรตีนมีประจุลบอิสระเพิ่มขึ้นและจะเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างประจุลบอิสระ ทำให้โปรตีนเกิดการพองตัวและสามารถดูดซึมน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่วนในสภาวะที่ pH มีค่าต่ำลงจะทำให้โปรตีนมีประจุบวกอิสระเพิ่มขึ้นและเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างประจุบวกอิสระ ทำให้โปรตีนเกิดการพองตัวเช่นกัน (29)

จากรายงานการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น (27) พบว่าสารที่ช่วยให้เนื้อปลาหมึกนุ่มขึ้นได้ดีที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล (Normal) การที่เนื้อปลาหมึกนุ่มขึ้นเนื่องจากโปรตีนเกิดการพองตัว โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีสภาพเป็นด่างจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าของโปรตีนคือ ทำลายพันธะอิออนิกของโปรตีน ทำให้มีกลุ่มประจุลบอิสระเพิ่มขึ้นเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าขึ้นโปรตีนจึงพองตัวซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การพองตัวของโปรตีนเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง

2.7.3 ปลาหมึกกระดองแห้งปรุงรส (Dried Seasoned Cuttlefish)

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (30) ปลาหมึกแห้งปรุงรส หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งทำจากปลาหมึกสด ที่เอาเครื่องในตาและปากออกแล้วนำมาปรุงแต่งรสด้วยเครื่องปรุงรสก่อนหรือหลังทำแห้งก็ได้ การทำให้สุกและแห้งต้องไม่ผ่านการทอดน้ำมัน สำหรับปลาหมึกแห้งปรุงรสที่ทำจากปลาหมึกกระดอง ต้องลอกหนังออก โดยจะต้องมีคุณลักษณะดังนี้ ความชื้นไม่เกินร้อยละ 28 ของน้ำหนัก กลิ่นรส ต้องเป็นไปตามส่วนประกอบที่ใช้ทำ ต้องไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่นรสที่น่ารังเกียจอื่นใด จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดไม่เกิน 5×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และราไม่เกิน 10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกแห้งปรุงรสที่มีขายตามตลาดในประเทศส่วนใหญ่จะมีรูปแบบในลักษณะที่เป็นเส้นหรือเป็นชิ้นฝอยหรือเป็นตัวบดอัด ซึ่งทำมาจากวัตถุดิบที่เป็นปลาหมึกแห้ง (31) แต่ในการศึกษานี้จะศึกษาจากวัตถุดิบที่เป็นปลาหมึกกระดองสด และศึกษาในรูปแบบที่ยังไม่มีจำหน่ายอย่างแพร่หลายในตลาดในประเทศ เช่น ปลาหมึกบดแผ่นปรุงรสหรือปลาหมึกป่นปรุงรส เป็นต้น

2.8 ภาชนะบรรจุและอายุการเก็บผลิตภัณฑ์แห้ง

2.8.1 ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุที่ดีสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นจะต้องมีลักษณะดังนี้

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติต่าง ๆ ของโพลีเอทธีลีนของโพลีโปรไพลีน (32)

Plastics	Cost in Bahts per kg.	Clarity	Water-Vapor Transmission[a]	Gas Premeability[b]			Chemical resistance[c]			Temperature range°F
				O_2	N_2	CO_2	Acid	Alkalies	Solvents	
Polyethylene low-density	35	Transparent	1.30	550	180	2,900	G	G	G	-70-180
Polypropylene	37	Transparent	0.70	240	60	80	E	E	E	0-275

a ; g.loss/24 hr./100sq.in/mil at 95°F, 90 % RH

b ; cc/24 hr./100 sq.in/mil at 77°F, 50 % RH

c ; E = excellent, G = good

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ล่ามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากความชื้นอากาศและฝุ่นละอองได้ดี มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน ขนาดรูปร่างและลักษณะปรากฏต้องช่วยส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์และสะดวกในการใช้ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและมีราคาไม่แพง

ในการศึกษาได้เลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นถุงพลาสติก 2 ชนิดคือ

ก. โพลีเอทธีลีน (Polyethylene)

ข. โพลีโปรไพลีน(Polypropylene)

คุณสมบัติของพลาสติกทั้งสองชนิดได้แสดงดังตารางที่ 2.5

2.8.2 อายุการเก็บผลิตภัณฑ์

ตามคำจำกัดความของ The Institute of Food Technologists' Expert Panel on Food Safety and Nutrition (IFT) (33) อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หมายถึง ช่วงระยะเวลาระหว่างการผลิตไปจนถึงการนำออกขายปลีก โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจของผู้บริโภค

อายุของผลิตภัณฑ์แห้งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ในการศึกษานี้จะเก็บผลิตภัณฑ์ปลาหมึกกระดองแห้งเป็นเวลา 4 เดือน ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะ ๆ ไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย