บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 หอยเป๋าฮื้อ (abalone)

หอยเป๋าฮื้อ หอยโข่งทะเล หรือหอยร้อยรู จัดอยู่ในวงศ์ฮาลิโอทิดี (Family *Haliotidae*) สกุลฮาลิโอทิส (Genus *Haliotis*) เป็นหอยทะเลฝาเดียวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ (จักรพันธุ์ กังวาฬ, 2547) นิยมบริโภคกันมาก และกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดโลกและตลาดภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัวและเนื้อสัมผัสที่ดี ราคาแพง มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นหนึ่งในสัตว์ทะเลเพียงไม่กี่ชนิดที่มีปริมาณโปรตีนสูงในขณะที่มีไขมันและแคลอรี่ต่ำ ชาวจีนเชื่อกันว่าหอยเป๋าฮื้อเป็นอาหารบำรุงสุขภาพ บำรุงสายตา ตับและไต ส่วนที่นำมาบริโภคคือกล้ามเนื้อส่วนเท้าที่หนาและแข็งแรง (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2547) นิยมบริโภคทั้งในสหรัฐอเมริกา ประเทศในแถบยุโรป ญี่ปุ่น จีน และไต้หวัน ทำให้หอยเป๋าฮื้อตามธรรมชาติลดจำนวนลงมากและไม่เพียงพอต่อการบริโภค ดังนั้นในหลายประเทศจึงได้เริ่มมีการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อขึ้น โดยแหล่งผลิตแห่งแรกอยู่ที่ไต้หวัน

ปัจจุบันประเทศผู้ผลิตหอยเป๋าฮื้อเพื่อจำหน่ายสู่ตลาดโลกได้แก่ เม็กซิโก ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ แอฟริกาใต้ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เกาหลี ไต้หวัน และจีน แม้ว่าจะมีผลผลิตเพิ่มมากขึ้นแต่ราคาของหอยเป๋าฮื้อในตลาดยังคงไม่ลดลง เนื่องจากปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้น ในเอเชียการบริโภคหอยเป๋าฮื้อมีมูลค่า 7,500 – 10,000 ล้านบาท/ปี ราคาจำหน่าย 2,000 – 2,400 บาท/กิโลกรัม โดยตลาดใหญ่อยู่ที่ญี่ปุ่น ฮ่องกง จีน รวมทั้งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ทศพล ตั้งเติมศักดิ์, 2545)

2.1.1 หอยเป๋าฮื้อในประเทศไทย

หอยเป๋าฮื้อมีประมาณ 75 – 100 ชนิดทั่วโลก แต่มีเพียง 20 ชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งส่วนมากเป็นหอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ขนาดใหญ่หรือขนาดสเต็ก หอยเป๋าฮื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ *Haliotis rufescens* อยู่ในอเมริกาเหนือ และหอยเป๋าฮื้อที่จัดว่ามีรสชาติดีที่สุดคือ *H. fulgens* และ *H. sorenseni* อยู่ในอเมริกาเหนือเช่นกัน (ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี, 2547) สำหรับหอยเป๋าฮื้อที่พบในประเทศไทยมีเพียง 3 ชนิด ได้แก่ *H. asinina, H. ovina* และ *H. varia* ซึ่งชนิด *H. asinina* เป็นชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่สุด เนื่องจากเป็นหอยเป๋าฮื้อชนิดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งตรงกับความต้องการของตลาดบางประเทศที่นิยมบริโภคหอยเป๋าฮื้อขนาดเล็ก เช่น ไต้หวัน รวมทั้งมีสัดส่วนของเนื้อที่ใช้เป็นอาหารมาก คือมีน้ำหนัก

เนื้อต่อน้ำหนักตัวสูงถึง 85% และมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างเร็ว (ทศพล ตั้งเติมศักดิ์, 2545; Jarayabhand and Paphavasit, 1996)

หอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ไทยมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับสายพันธุ์อื่นที่จำหน่ายกันในประเทศอื่นๆ แต่หอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ไทยมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ใช้เวลาเลี้ยงสั้นประมาณ 8 – 12 เดือน ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ดีและสามารถกระตุ้นให้วางไข่ได้ตลอดปี (เผดิมศักดิ์ จารยะพันธ์, 2547) นอกจากนี้ปัจจุบันตลาดหอยเป๋าฮื้อขนาดเล็กหรือขนาดค็อกเทลกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น ขนาด 20 – 25 กรัม/ตัว หรือ 40 – 50 ตัว/กิโลกรัม ราคาประมาณ 1,000 – 1,500 บาท/กิโลกรัม เนื่องจากกลิ่นรสที่นุ่มนวล ขนาดที่พอเหมาะสำหรับปรุงเป็นอาหารในงานเลี้ยง รวมทั้งมีราคาต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อขนาดใหญ่มาก (Jarayabhand and Paphavasit, 1996) ทำให้ตลาดมีความต้องการหอยเป๋าฮื้อขนาดเล็กมากขึ้น และเกิดโอกาสในการผลิตหอยเป๋าฮื้อขนาดค็อกเทลเข้าสู่ตลาด ซึ่งสามารถผลิตและส่งขายไปยังประเทศจีน ญี่ปุ่นและเกาหลี โดยประเทศผู้ผลิตหลักคือไต้หวันและจีน แต่สายพันธุ์ของไต้หวันและจีนนั้นจะเจริญเติบโตถึง 100 กรัม ต้องใช้เวลา 4 – 5 ปี ในขณะที่หอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ไทยใช้เวลาเพียง 2 – 2.5 ปี เท่านั้น (ทศพล ตั้งเติมศักดิ์, 2545)

กรมประมงสามารถเพาะพันธุ์หอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ได้เป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ศูนย์พัฒนาประมงอ่าวไทยฝั่งตะวันออก จังหวัดระยอง และหลังจากนั้นได้มีการวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงมาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2540 ได้พัฒนาการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ไทยชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ในเชิงพาณิชย์และสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางอาชีพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดใหม่นี้ให้กับเกษตรกร (ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี, 2547) ถึงแม้ว่าปัจจุบันในประเทศไทยได้เริ่มมีการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเชิงพาณิชย์แล้ว แต่การบริโภคผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อแปรรูปภายในประเทศนั้นส่วนใหญ่ยังนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นหากมีการนำหอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ที่พบในประเทศไทยจากการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆบรรจุในภาชนะบรรจุที่สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โดยยังคงคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน นอกจากจะเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าให้กับหอยเป๋าฮื้อมากขึ้นแล้ว ยังสามารถผลิตเป็นสินค้าส่งออกไปขายยังต่างประเทศเพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศไทยได้อีกด้วย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 ประโยชน์ของหอยเป๋าฮื้อ

2.1.2.1 คุณค่าทางอาหาร

เนื้อหอยเป๋าฮื้อ 100 กรัม ให้พลังงาน 83 แคลอรี่ โปรตีน 19.4 กรัม ไขมัน 0.1 กรัม คาร์โบไฮเดรต 2.7 กรัม คอเลสเตอรอล 59 มิลลิกรัม โซเดียม 182 มิลลิกรัม โปแตสเซียม 299 มิลลิกรัม เหล็ก 0.5 มิลลิกรัม สังกะสี 0.9 มิลลิกรัม โฟเลซิน 8 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 35 มิลลิกรัม ดีบุก 95 มิลลิกรัม วิตามิน B_1 0.01 มิลลิกรัม วิตามิน B_2 0.27 มิลลิกรัม วิตามิน B_6 0.07 มิลลิกรัม วิตามิน B_{12} 4.93 มิลลิกรัม และวิตามิน E 0.62 มิลลิกรัม (บริษัท ภูเก็ตเป๋าฮื้อฟาร์ม จำกัด, 2547)

2.1.2.2 การบริโภคหอยเป๋าฮื้อ

การบริโภคหอยเป๋าฮื้อสามารถบริโภคได้ทั้งในลักษณะหอยเป๋าฮื้อสดหรือผ่านการแปรรูปแล้ว ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่นนิยมบริโภคแบบหอยสด ส่วนประเทศจีนนิยมบริโภคแบบแปรรูปแล้ว เป็นต้น (Oakes and Ponte, 1996)

เมนูอาหารที่ใช้หอยเป๋าฮื้อเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ เมนูอาหารญี่ปุ่น เช่น สเต็กหอยเป๋าฮื้อสไตล์ญี่ปุ่นราดหน้าด้วยซอสไส้หอยเป๋าฮื้อ SAKAMUSHI (หอยเป๋าฮื้อนึ่งสาเกญี่ปุ่นทานกับวาซาบิ) TOROROZIRU (ซุปหอยเป๋าฮื้อและมันบดญี่ปุ่น เสิร์ฟพร้อมสาหร่ายและวาซาบิ) SASHIMI (หอยเป๋าฮื้อดิบ) SHIOMUSHI (หอยเป๋าฮื้อเผาเกลือ) และเมนูอาหารจีน เช่น หอยเป๋าฮื้อน้ำแดง หอยเป๋าฮื้อเจี๋ยนน้ำมันหอย หอยเป๋าฮื้อนึ่งซีอิ๊ว เป็นต้น (เผดิมศักดิ์ จารยะพันธ์, 2547)

ผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อแปรรูปที่ผลิตในประเทศไทย เช่น หอยเป๋าฮื้อแช่แข็งเพื่อนำไปปรุงอาหารในภัตตาคารหรือส่งเข้าซุปเปอร์มาร์เก็ต หอยเป๋าฮื้อกระป๋องนิยมบริโภคในแถบเอเชียรวมทั้งประเทศไทยซึ่งไม่คุ้นเคยกับการบริโภคหอยเป๋าฮื้อสด หอยเป๋าฮื้ออบแห้ง มีราคาสูงถึง 7,000 – 20,000 บาท/กิโลกรัม ซอสหอยเป๋าฮื้อใช้ในการปรุงอาหารแทนซอสหอยนางรมกำลังเป็นที่นิยมในเอเชียและมีวางขายตามห้างสรรพสินค้าบางแห่งในประเทศไทย และซุปหอยเป๋าฮื้อสกัด เป็นต้น (บริษัท ภูเก็ตเป๋าฮื้อฟาร์ม จำกัด, 2547)

2.1.3 เนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมทั่วโลก เนื่องจากมีลักษณะพิเศษคือ รสชาติดีและเนื้อสัมผัสเหนียวพอเหมาะ เนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อมีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของโปรตีน ซึ่งโปรตีนตัวสำคัญที่มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อแตกต่างกันคือ คอลลาเจน โดยรายงานของ James และ Olley (1971) กล่าวว่าเนื้อหอยเป๋าฮื้อบริเวณ epipodium และ pedal sole ที่มีปริมาณคอลลาเจนสูงเนื้อจะเหนียวมาก ในขณะที่เนื้อบริเวณ adductor ที่มีปริมาณคอลลาเจนต่ำ

เนื้อจะนุ่มกว่า ซึ่งปริมาณคอลลาเจนที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อขึ้นกับสายพันธุ์ของหอยเป๋าฮื้อ โดย Olaechea และคณะ (1993) พบว่าหอยเป๋าฮื้อ 4 พันธุ์ ได้แก่ *H. discus, H. gigas, H. seibodii* และ *H. discus hannai* มีปริมาณคอลลาเจนและเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน โดยพันธุ์ที่มีปริมาณคอลลาเจนสูงเนื้อสัมผัสจะเหนียวกว่า นอกจากนี้ปริมาณคอลลาเจนยังมีความแปรผันตามฤดูกาลด้วย โดยหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในช่วงฤดูร้อนเนื้อสัมผัสจะนุ่มและมีปริมาณคอลลาเจนต่ำที่สุด ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในช่วงฤดูหนาวเนื้อสัมผัสจะเหนียวและมีปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุด โดยมีโครงสร้างร่างแหของเส้นใยคอลลาเจนเรียงตัวกันแน่นกว่าจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ต่ำกว่าในช่วงฤดูร้อน (Hatae *et al.*, 1995) แต่อย่างไรก็ตามความร้อนมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป๋าฮื้อด้วยเช่นกัน กล่าวคือเมื่อเนื้อหอยเป๋าฮื้อได้รับความร้อน ทำให้คอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินซึ่งละลายน้ำได้ ทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น ดังรายงานของ Hatae และคณะ (1996) ที่พบว่าเนื้อหอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ญี่ปุ่น (*H. discus*) มีปริมาณคอลลาเจนและค่า breaking stress ลดลงอย่างรวดเร็วหลังต้มที่ 98°C นาน 15 นาที และเมื่อต้มนานขึ้น เนื้อจะนุ่มขึ้น

2.2 ความสดของสัตว์น้ำ

คุณภาพที่สำคัญประการหนึ่งของสัตว์น้ำคือ ความสด ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเน่าเสียของสัตว์น้ำที่เริ่มเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังสัตว์ตายทันที โดยเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ (autolysis) และการเจริญของจุลินทรีย์ซึ่งมักติดมากับเมือกหรือสิ่งปฏิกูลต่างๆของสัตว์น้ำ เช่น *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *E. coli*, *Clostridium* และ *Bacillus* เป็นต้น (Huss, 1988 อ้างถึงใน มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545)

การตรวจสอบความสดของสัตว์น้ำโดยมากเป็นการตรวจสอบทางเคมี เช่น การแตกตัวของสารประกอบไนโตรเจน และการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ เป็นต้น

2.2.1 สารประกอบไนโตรเจน

การตรวจสอบการแตกตัวของสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด หรือ total volatile base nitrogen (TVB – N) โดยในปลาสดควรมีปริมาณต่ำกว่า 12 มิลลิกรัม/100 กรัม ปลาที่ยังบริโภคได้อยู่ระหว่าง 12 – 20 มิลลิกรัม/100 กรัม ปลาที่เริ่มเน่าเสียแต่บริโภคได้อยู่ระหว่าง 20 – 25 มิลลิกรัม/100 กรัม และปลาที่เน่าเสียแล้วมีปริมาณสูงกว่า 25 มิลลิกรัม/100 กรัม (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

นอกจากนี้ยังสามารถตรวจหาปริมาณ trimethylamine (TMA) ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของ trimethylamineoxide (TMAO) ที่มีอยู่ในสัตว์น้ำ (Olley and Thrower, 1977) แต่เนื่องจาก

TMAO ในสัตว์น้ำจืดมีปริมาณน้อยมาก ในขณะที่ในสัตว์ทะเลแต่ละชนิดมีปริมาณ TMAO ไม่แน่นอน ดังนั้นการตรวจหาปริมาณ TMAO จึงไม่ใช่ดัชนีที่เหมาะสมในการประเมินความสดของสัตว์น้ำ (Huss, 1988 อ้างถึงใน มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545)

2.2.2 สารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์

สารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์มีบทบาทสำคัญต่อรสชาติของสัตว์น้ำ โดยการแตกตัวจะเริ่มจากสารตั้งต้น adenosine 5'– triphosphate (ATP) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาสัตว์น้ำ และทำให้มีการสะสมของปริมาณ hypoxanthine (Hx) เกิดรสขมและเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอาหารทะเล (Ozogul, Ozogul and Gokbulut, 2006) โดย Hx จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา จึงสามารถใช้เป็นค่าประเมินความสดของสัตว์น้ำในระยะแรกของการเก็บรักษาได้ แต่สัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีปริมาณ Hx แตกต่างกัน จึงมีข้อกำหนดในการยอมรับความสดของสัตว์น้ำที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณ Hx ในปลาแมคเคอเรลสดอยู่ในช่วง 1.0 – 1.1 ไมโครโมล/กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับในปลากะพงแดง เป็นต้น (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

นอกจากนี้สัตว์น้ำแต่ละชนิด ยังมีชนิดและปริมาณของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกัน โดยพบปริมาณ inosine 5'– monophosphate (IMP) ในปลาไหลพันธุ์ *Anguilla anguilla* ปริมาณสูง เนื่องจากเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในปลา แต่พบ ATP, adenosine 5'–diphosphate (ADP) และ adenosine 5'– monophosphate (AMP) ปริมาณต่ำ (Ozogul, Ozogul and Gokbulut, 2006) ในขณะที่หอยเป๋าฮื้อมีการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ได้ 2 แบบ คือ เปลี่ยนจาก ATP → ADP → AMP → IMP → inosine (HxR) → Hx เหมือนในปลาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หรือเปลี่ยนจาก ATP → ADP → AMP → adenosine (AdR) → HxR → Hx เหมือนสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Hatae *et al.*, 1995 cited in Saito and Arai, 1957)

จากการศึกษาการเน่าเสียในปลาคอดพบว่าเมื่อปริมาณ IMP และ HxR เริ่มลดลง ปริมาณ Hx จะเพิ่มขึ้นภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากปลาตาย ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอย่างรวดเร็ว (Huss, 1988 อ้างถึงใน มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545) ดังนั้น ในการตรวจสอบความสดของปลาจึงใช้ค่า K เป็นดัชนีบอกความสด ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนร้อยละระหว่าง HxR และ Hx ต่อปริมาณการแตกตัวของ ATP ดังสมการที่ 2.1 (Chiou *et al.*, 2002) โดยได้มีการกำหนดเกณฑ์ในการตรวจสอบความสดของปลาหลังจากปลาตายทันทีควรมีค่า K น้อยกว่า 5% ปลาดิบอยู่ระหว่าง 20 – 30% และปลาที่เน่าแล้วมากกว่า 60% (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

$$\text{K – value (\%)} = \frac{(\text{HxR} + \text{Hx})}{(\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx})} \times 100 \qquad (2.1)$$

แต่อย่างไรก็ตามค่า K ก็ไม่ใช่ดัชนีที่เหมาะสมในการบอกความสดของสัตว์น้ำทุกชนิด เช่นในรายงานของ Watanabe, Yamanaka และ Yamakawa (1992) และรายงานของ Chiou และคณะ (2002) พบว่าค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในบอกความสดของหอยเป๋าฮื้อ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่า K ช้ามากในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังซึ่งหอยเป๋าฮื้อเกิดการเน่าเสียแล้ว นอกจากนี้ Kawashima และ Yamanaka (1992) พบว่าค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอย scallop เช่นเดียวกัน ดังนั้น Chiou และคณะ (2002) ได้เสนอให้ใช้ค่า K' ซึ่งเป็นดัชนีบอกความสดที่ดีสำหรับสัตว์น้ำจำพวกมีเปลือก เช่น หอย กุ้งและปู เนื่องจากค่า K' จะเพิ่มขึ้นและเห็นการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าค่า K แสดงสมการคำนวณค่า K' ดังสมการที่ 2.2 (Chiou *et al.*, 2002)

$$K'\text{– value (\%)} = \frac{(IMP + HxR + Hx)}{(ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)} \times 100 \qquad (2.2)$$

2.3 สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์อาหาร

สารให้กลิ่น (volatile compound) มีความสำคัญต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหาร โดยสารให้กลิ่นที่พบในอาหารจะขึ้นกับส่วนประกอบของอาหารนั้นๆ ได้แก่

2.3.1 กลิ่นอาหารทะเล

สารให้กลิ่นเฉพาะตัวของอาหารทะเลเป็นสารประกอบที่มีซัลเฟอร์ และ/หรือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (sulfur / nitrogen containing compound) เช่น กลุ่ม pyrazine, thiazole และ alkyl sulfide รวมทั้ง unsaturated methyl ketone (Prost *et al.*, 2004) นอกจากนี้ Matiella และ Hsieh (1990) พบสารให้กลิ่นในเนื้อปู (*Callinectes sapidus*) คือ dimethyl disulfide และ 2 – methyl thiophene ซึ่งให้กลิ่นคล้ายหอมใหญ่

Chen และ Zhang (2006) ศึกษาสารให้กลิ่นใน Chinese metten crab (*Eriocheir sinensis*) พบสารให้กลิ่นเฉพาะตัวกลุ่ม sulfur containing compound ได้แก่ 2 – acetylthiazole, thialdine, dimethyl disulphide และ 2,4,5 – trimethyl – 3 thiazoline เป็นต้น

2.3.2 กลิ่นซอสถั่วเหลือง

ซอสถั่วเหลืองหรือซีอิ๊ว เป็นผลิตภัณฑ์หมักที่ได้จากถั่วเหลือง ใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับปรุงรสอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติและกลิ่นหอมให้อาหารน่ารับประทานมากขึ้น โดย Aishima

(2004) ศึกษาสารให้กลิ่นในซอสถั่วเหลือง รายงานว่าสารให้กลิ่นเป็นสารกลุ่ม alcoholic ได้แก่ isobutyl alcohol, 2 – pentanol, furanone และ 2 – acetylfuran เป็นต้น

2.3.3 กลิ่นขิง

ขิงเป็นพืชสมุนไพรที่สามารถนำมาประกอบอาหารได้มากมาย นอกจากขิงจะมีสรรพคุณทางยาแล้ว ยังให้กลิ่นที่ชวนรับประทานอีกด้วย โดยสังวาล สมบูรณ์ และคณะ (2550) ศึกษาสารให้กลิ่นในขิง (*Zingiber officinale* Rosc.) และรายงานชนิดของสารให้กลิ่นเรียงตามปริมาณ ได้แก่ citral, 1,8 – cineoel, zingiberene, camphene, phenol 2,6 – bis (1,1 – dimethylethyl) – 4 – methyl และ farnesene เป็นต้น

2.3.4 กลิ่นหอมใหญ่

หอมใหญ่เป็นพืชเครื่องเทศและสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีสารให้กลิ่นจำพวก disulphide เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังรายงานของ Mondy และคณะ (2002) ที่ศึกษาสารให้กลิ่นในหอมใหญ่ (*Allium cepa* Linn.) พบว่าสารให้กลิ่นในหอมใหญ่สดเป็นสารกลุ่ม thiosulphinate (Ti) – alkyl และ zwiebelan เช่น Ti – methyl propyl, Ti – propenyl methyl, cis – และ trans – zwiebelane เป็นต้น ส่วนสารให้กลิ่นในหอมใหญ่แช่แข็ง ได้แก่ 2 – methyl – 2 – pentenal, dipropyl disulphide และ propyl 1 – propenyl di – sulphide ในขณะที่สารให้กลิ่นในหอมใหญ่ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ได้แก่ dipropyl disulphide, methyl propyl trisulphide และ dipropyl trisulphide เป็นต้น

2.3.5 กลิ่นหืน

สารให้กลิ่นหืนเป็นสารกลุ่ม aldehyde และ ketone เกิดจากการออกซิเดชั่นของไขมันที่มีในอาหาร หรือ การสลายตัวของ polyunsaturated fatty acid (PUFA) ที่มีอยู่ในสัตว์ทะเลเนื่องจากความร้อน (Prost *et al.*, 2004; Chen and Zhang, 2006) เช่น สารให้กลิ่นหืนในน้ำมันปลา cuttlefish ได้แก่ hexanal, 1 – penten – 3 – ol และ 2, 3 – butanedio (Shen, Xie and Xu, 2007) และสารให้กลิ่นหืนในปลาซาร์ดีน ได้แก่ (Z) – 3 – hexen – 1 – ol, heptanal, hexanal และ (Z) – 4 – heptenal เป็นต้น (Prost *et al.*, 2004)

2.4 แป้งดัดแปร (modified starch)

แป้งเป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เนื่องจากมีสมบัติเฉพาะตัวหลายประการที่มีประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ให้ความข้นหนืด ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุป น้ำปรุง

รสอาหารและไส้พาย ให้ความคงตัวในน้ำสลัด เป็นสารช่วยการยึดจับกันของส่วนผสมในอาหาร เป็นต้น ดังนั้นแป้งที่เติมลงในอาหารจะเป็นตัวช่วยเพิ่มลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ส่วนแป้งดิบ (raw starch หรือ native starch) อาจมีสมบัติบางประการยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่างในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรม เช่น มีความคงทนต่อความร้อนหรือแรงเฉือนต่ำ ซึ่งในกระบวนการผลิตอาหารอาจต้องผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนสูง มีผลให้พันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งอ่อนตัวลง เมื่อเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และเกิดการแตกสลาย ทำให้ความหนืดลดลงได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งดัดแปรเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งสาลี เป็นต้น มาปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีบางประการด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้แป้งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมมากขึ้น (Smith, 1982) ซึ่งการดัดแปรแป้งด้วยวิธีทางเคมีเป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยทำให้โครง-สร้างของโมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยด้วยปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลแป้งกับสารที่ใช้ดัดแปร ในภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา จัดเป็นการดัดแปรแป้งประเภท nondegradative chemical modification เช่น การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาการแทนที่ และปฏิกิริยาเชื่อมขวาง เป็นต้น (Smith, 1982) โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเม็ดแป้งนั้นจะเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของส่วนผลึก (crystalline) และภายในส่วนอสัณฐาน (amorphous) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (cross – linking) เป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งด้วยการสร้างพันธะเชื่อมขวางชนิดโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งสองสาย โดยใช้สารที่มีหมู่สำหรับเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป เช่น phosphorus oxychloride ($POCl_3$) หรือ sodium trimetaphosphate ($Na_3P_3O_9$) เป็นต้น มาทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลแป้งตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไป พันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนซึ่งยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้มีความแข็งแรงมากขึ้น จึงช่วยลดการพองตัวของเม็ดแป้ง เพิ่มความเหนียวให้แก่เม็ดแป้งที่พองตัวและจะแตกออกได้ยาก เพิ่มความต้านทานต่อสภาวะความเป็นกรด ความร้อน และแรงเฉือน ความหนืดของแป้งเปียกจึงมีเสถียรภาพดีขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546; Tuschhoff, 1986)

แป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางมีหลายชนิด เช่น ไดสตาร์ช์อะดิเพท (distarch adipate) ไดสตาร์ช์ฟอสเฟต (distarch phosphate) และไดสตาร์ช์กลีเซอรอล (distarch glycerol) เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นกับสารเคมีที่ใช้ในการผลิต อัตราการเกิดปฏิกิริยา และพันธะที่เกิดการเชื่อมขวาง (Wurzburg, 1986) นอกจากนี้แป้งดัดแปรที่มีระดับการเชื่อมขวางต่างกันจะทำให้

สมบัติความหนืดและเสถียรภาพของแป้งเปียกแตกต่างกันด้วย กล่าวคือเมื่อเพิ่มระดับการเชื่อมขวางจะยิ่งเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปียะจอมขวัญ, 2546) โดยการสร้างพันธะเชื่อมขวางนี้จะได้ผลดีโดยเฉพาะกับแป้งชนิด waxy เช่น แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว และแป้งที่ได้จากรากหรือหัวของพืช เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งมันฝรั่ง เป็นต้น (Wurzburg, 1986)

Raina และคณะ (2006) ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าว (*Oryzae sativa*) กับแป้งดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิวไดสตาร์ชอะดิเพท (hydroxypropyl distarch adipate) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของแป้งดัดแปรลดลงจากของแป้งดิบ เนื่องจากอะดิเพทเอสเตอร์ที่เกิดขึ้นจะขัดขวางไม่ให้ภายในโครงสร้างเม็ดแป้งจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบ ทำให้แรงยึดในส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งลดลง และพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลไม่เป็นระเบียบ น้ำในระบบจึงแทรกเข้าไปจับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของแป้งดัดแปรในช่วงควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับการเชื่อมขวาง ในขณะที่ค่า breakdown และค่า setback ลดลง เมื่อระดับการเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะดิเพทเอสเตอร์ขัดขวางโมเลกุลอะมิโลส ให้กลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่ได้ยากขึ้น จึงเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง

2.5 สมบัติทางการไหล (rheology) (Steffe, 1992; Rao, 1999)

สมบัติทางการไหล คือ การไหลและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสสารเมื่อได้รับแรงกระทำประเภทใดประเภทหนึ่งใน 3 ประเภท คือ แรงเฉือน (shear force), แรงดึง/ยืด (extension) และแรงกด (bulk compression) แต่สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของเหลวจะเกิดจากการได้รับแรงเฉือน โดยสามารถแบ่งประเภทของของเหลวตามลักษณะทางการไหลเป็น 2 ประเภท คือ Newtonian fluid และ Non-Newtonian fluid

2.5.1 Newtonian fluid

ความหนืดของของไหลชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับแรงเฉือนที่ได้รับ และ/หรือค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ที่ตอบสนอง ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราเฉือน (shear rate) ที่ได้รับ โดยการไหลแบบนี้มีค่า flow behavior index หรือ n = 1 แต่ความหนืดของไหลชนิดนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิและองค์ประกอบของของไหลนั้น

2.5.2 Non – Newtonian fluid

ความหนืดของของไหลชนิดนี้จะขึ้นกับแรงเฉือนที่ได้รับ โดยแปรตามอัตราเฉือน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของของไหลประเภทนี้ได้เป็น 2 แบบ คือ time – independent non – Newtonian fluid ที่ความหนืดของของไหลไม่ขึ้นกับเวลาที่ได้รับแรงเฉือน และ time – dependent non – Newtonian fluid ที่ความหนืดของของไหลขึ้นกับเวลาที่ได้รับแรงเฉือน โดยพฤติกรรมการไหลของอาหารเหลวทั่วไปรวมทั้งผลิตภัณฑ์ประเภทซุปจะเป็นแบบ shear – thinning fluid หรือ pseudo plastic fluid ซึ่งเป็นการไหลประเภทหนึ่งใน time – dependent non – Newtonian fluid ที่มีค่า n<1 จะมีความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนที่ได้รับเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและค่าความเค้นเฉือนตาม power law model ดังสมการที่ 2.3

$$\sigma = K\dot{\gamma}^{n} \tag{2.3}$$

และหากของไหลแบบ shear – thinning fluid มีค่า yield stress (σ_0) ของไหลนั้นจะต้องได้รับความเค้นเฉือนที่มากกว่าค่า yield stress ของไหลนั้นจึงจะเกิดการไหลได้ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและค่าความเค้นเฉือนตาม Herschel – Bulkley model ดังสมการที่ 2.4

$$\sigma = \sigma_0 + K\dot{\gamma}^{n} \tag{2.4}$$

โดย K = consistency index

และ n = flow behavior index เป็นค่าบ่งชี้ลักษณะทางการไหล

2.6 รีทอร์ตเพาช์ (retort pouch)

รีทอร์ตเพาช์เป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว (flexible package) ประกอบด้วยวัสดุเชื่อมประสานกันหลายชนิด เช่น พลาสติก อลูมิเนียม มีน้ำหนักเบา ใช้สำหรับบรรจุอาหาร สามารถทนความร้อนและความดันสูงในระหว่างการฆ่าเชื้อได้เช่นเดียวกับกระป๋องโลหะและขวดแก้ว สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้โดยยังคงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้นานตั้งแต่ 6 เดือนจนถึง 2 ปี บรรจุภัณฑ์นี้เริ่มมีมาตั้งแต่ ค.ศ.1950 ได้พัฒนาขึ้นมาโดยศูนย์พัฒนากองทัพทหารของสหรัฐอเมริกา (The US Army Natick Research and Development Center) เพื่อใช้ในโครงการอวกาศอพอลโลและเป็นอาหารเสบียงให้ทหารในกองทัพสหรัฐอเมริกา แต่ปัจจุบันญี่ปุ่นเป็นผู้ผลิตอาหารบรรจุในรีทอร์ต–เพาช์รายใหญ่ที่สุดในโลก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาหารประเภทแกง สตูว์เนื้อและผัก ซุป ข้าว อาหารทะเลสุก และซอสต่างๆ (Herbert and Bettison, 1987 อ้างถึงใน วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ, 2542)

2.6.1 ข้อดีและข้อเสียของรีทอร์ตเพาช์เทียบกับกระป๋องโลหะ (Herbert and Bettison, 1987 อ้างถึงใน วิวัธน์ ปฐมโยธิน, 2542)

2.6.1.1 ข้อดี ได้แก่ อาหารมีคุณภาพที่ดีขึ้นทั้งในด้านคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส สีและความสด เนื่องจากใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่ากระป๋องจึงลดการเกิด overcooking ของอาหารบริเวณใกล้บรรจุภัณฑ์ รีทอร์ตเพาช์มีน้ำหนักเบาจึงสะดวกในการขนย้ายและการกระจายสินค้าสู่ผู้บริโภคทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำลง นอกจากนี้ยังช่วยลดพื้นที่ในการเก็บสินค้าคงคลังในรูปบรรจุภัณฑ์เปล่า เนื่องจากสามารถซ้อนทับกันได้สูง รีทอร์ตเพาช์มีความปลอดภัยไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถพิมพ์ลวดลาย สีและข้อความต่างๆลงบนบรรจุภัณฑ์ได้โดยตรง ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเนื่องจากโลหะหนักและไม่สึกกร่อนหรือเป็นสนิมเช่นกระป๋อง ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกับอาหารกระป๋อง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในรีทอร์ตเพาช์ชนิดที่มี aluminum foil เป็นองค์ประกอบ ช่วยประหยัดพลังงานในการฆ่าเชื้อ เนื่องจากใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่ากระป๋อง นอกจากนี้ยังสามารถเปิดใช้ได้ง่ายโดยออกแบบให้มี notch ไว้ฉีกเปิดถุงได้ง่ายขึ้น เช่น V notch, U notch และ C notch เป็นต้น สามารถอุ่นก่อนบริโภคได้เร็วโดยจุ่มทั้งบรรจุภัณฑ์ในน้ำเดือดหรืออุ่นในเตาอบไมโครเวฟได้

2.6.1.2 ข้อเสีย ได้แก่ กรรมวิธีในการฆ่าเชื้อซับซ้อนกว่ากระป๋อง เนื่องจากมี critical processing parameters ที่ต้องพิจารณามากกว่ากระป๋อง และเครื่องฆ่าเชื้ออาจต้องมีระบบ rack พิเศษ เพื่อให้ถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดและป้องกันการซ้อนทับกัน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนส่วนของระบบและเครื่องจักรสูงมาก มีกำลังการผลิตต่ำกว่าและซับซ้อนกว่ากระป๋อง โดยเฉพาะเครื่องบรรจุและเครื่องปิดผนึก นอกจากนี้มีอัตราการสูญเสียระหว่างการจัดการและการขนส่งสูงเนื่องจากอาจถูกเจาะขาด แตกหรือฉีกขาดได้ง่าย จึงต้องการระบบกันกระแทกในระหว่างการขนส่ง ต้องการการตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพมาก ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการตรวจสอบ เช่น burst tester หรือ tensile tester ในการตรวจสอบรอยรั่วซึมของการปิดผนึก (leak detection) และตรวจสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ (container integrity)

Rizvi และ Acton (1982) ศึกษาการแทรกผ่านความร้อนและปริมาณที่เหลืออยู่ของวิตามิน 3 ชนิด ได้แก่ thiamine (B_1), riboflavin (B_2) และ ß-carotene ในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซุปข้นมันเทศในกระป๋องขนาด 300 x 308 และในรีทอร์ตเพาช์ที่มีขนาดบรรจุ 12 ออนซ์เท่ากัน ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121.1°C และ F_0= 8.0 นาที พบว่ากระป๋องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ 90 นาที ในขณะที่รีทอร์ตเพาช์ใช้เวลาเพียง 36 นาที ซึ่งเป็นเพียง 1/3 ถึง 1/2 ของเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสำหรับกระป๋อง ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของรีทอร์ตเพาช์สูงกว่า

กระป๋อง นอกจากนี้ปริมาณวิตามิน B_1 และ B_2 ที่เหลืออยู่หลังการฆ่าเชื้อในรีทอร์ตเพาช์มีปริมาณสูงกว่าในกระป๋อง 27.48% และ 15.12% ตามลำดับ

Chia, Baker และ Hotchkiss (1983) เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทะเล 3 ชนิด ได้แก่ ปลา rainbow trout (วงศ์ *Salmonidae*), ปลา pollock (วงศ์ *Gadidae*) และกุ้งที่บรรจุในกระป๋องขนาด 303 x 117 กับในรีทอร์ตเพาช์ขนาด 6.5 นิ้ว x 4 นิ้ว ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 250°F หลังผ่านการฆ่าเชื้อพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในรีทอร์ตเพาช์มีปริมาณสาร off – flavor ซึ่งพิจารณาในรูปของแอมโมเนีย, TMA และสารประกอบคาร์บอนิล ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระป๋อง ทั้งนี้เนื่องจากรูปทรงที่แบนและสัดส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรที่สูงกว่า ทำให้ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่ากระป๋อง แอมโมเนียซึ่งเกิดจากการสลายพันธะของโปรตีน, TMA ซึ่งเกิดจากการสลายพันธะของ TMAO และสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งเกิดจากการสลายพันธะของสาร–ประกอบคาร์บอนิลเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ผลิตภัณฑ์ในกระป๋องซึ่งได้รับความร้อนในการฆ่าเชื้อนานกว่าจึงทำให้เกิดสาร off – flavor เหล่านี้สูงกว่า นอกจากนี้พบว่าปริมาณวิตามิน B_1 ที่เหลืออยู่หลังผ่านการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์ในรีทอร์ตเพาช์มีปริมาณสูงกว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่า สีของผลิตภัณฑ์อ่อนกว่า แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่า รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส สี และความชอบโดยรวมได้คะแนนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในกระป๋องด้วย

Kebede, Mannhein และ Miltz (1996) ศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนและการรักษาคุณภาพระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120°C เปรียบเทียบถาดพลาสติกชนิด polypropylene / ethylene vinyl alcohol / polypropylene (PP/EVOH/PP) และชนิด crystallized polyethylene terephthalase (CPET) กับกระป๋องโลหะที่มีปริมาตร 420 มิลลิลิตร เท่ากัน โดยบรรจุสารแขวนลอยเบนโทไนต์เข้มข้น 8% (w/v) ที่มี ascorbic acid 200 มิลลิกรัม พบว่าถาดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด มีอัตราการถ่ายเทความร้อนดีกว่ากระป๋อง ใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้นกว่ามาก ซึ่งถาดพลาสติกใช้เวลาฆ่าเชื้อเพียง 35 นาที ส่วนกระป๋องใช้เวลาฆ่าเชื้อ 85 นาที ทั้งนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์รูปทรงแบน เช่น ถาดหรือรีทอร์ตเพาช์นั้น มีความหนาหรือระยะทางจากผิวสัมผัสถึงจุดที่ร้อนช้าที่สุดน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ทรงกระบอก เช่น กระป๋อง และหลังจากกระบวนการให้ความร้อน พบว่าสารแขวนลอยเบนโทไนต์ในถาดพลาสติกมีปริมาณ ascorbic acid เหลืออยู่สูงกว่าในกระป๋อง โดยในถาดพลาสติกและในกระป๋องมีปริมาณ ascorbic acid เหลืออยู่ 83% และ 75% ตามลำดับ

Mohan และคณะ (2006) ศึกษาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อเวลาในการฆ่าเชื้อและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แกงกะหรี่กุ้งในกระป๋องขนาด 301 x 206 กับในรีทอร์ตเพาช์ชนิด polyester / aluminum foil / cast polypropylene (PET/Al–foil/CPP) ขนาด 16 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121.1°C และ F_0= 8.0 นาที พบว่าเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสำหรับรีทอร์ตเพาช์

เป็น 65% ของกระป๋อง เนื่องจากรีทอร์ตเพาช์มีรูปทรงแบนและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่ากระป๋อง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ในรีทอร์ตเพาช์มีคุณภาพดีกว่าในกระป๋องด้วย กล่าวคือปริมาณ TVB และ TMA ในกระป๋องเพิ่มจากกุ้งดิบมากกว่าในรีทอร์ตเพาช์ ซึ่งปริมาณทั้งสองที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการย่อยสลายของโปรตีน กรดอะมิโน และสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น TMAO กรดนิวคลีอิก และเอมีน นอกจากนี้ในด้านเนื้อสัมผัสยังพบว่าค่า hardness และ chewiness ของผลิตภัณฑ์ในรีทอร์ตเพาช์สูงกว่าในกระป๋อง รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่นและการยอมรับโดยรวมได้คะแนนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในกระป๋องด้วย

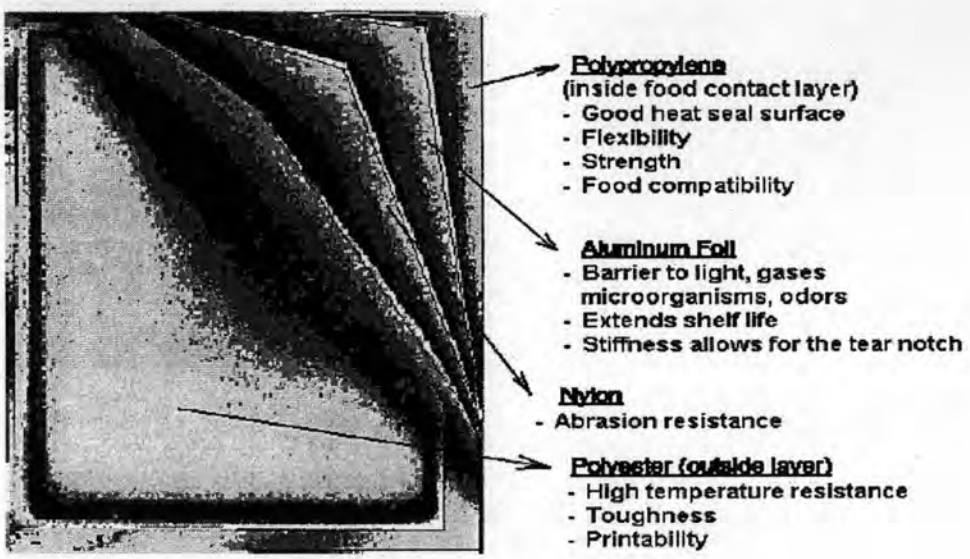
2.6.2 วัสดุที่ใช้ผลิตรีทอร์ตเพาช์ (Herbert and Bettison, 1987 อ้างถึงใน วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ, 2542)

คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ผลิตรีทอร์ตเพาช์ ต้องปลอดภัยและสัมผัสกับอาหารได้โดยไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร อนุญาตให้ใช้ตามกฎหมายของแต่ละประเทศ (สำหรับประเทศไทยต้องเป็นไปตามสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา) มีโครงสร้างแข็งแรง ทนทาน ไม่แตกทะลุหรือฉีกขาดง่าย ทนต่อการบรรจุ การฆ่าเชื้อ การเก็บรักษา การขนส่งและการกระจายสินค้าได้ดี ไม่มีตัวทำละลายหรือสารเคมีตกค้าง สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่างๆได้โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจน (gas permeability) ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ (moisture permeability) ป้องกันการแทรกซึมของไขมัน/น้ำมัน และส่วนประกอบต่างๆของอาหารได้ดี สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อได้ วัสดุชั้นในสุดต้องสามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดีในช่วงกว้าง ควรมีความเป็นขั้ว (polarity) ต่ำ สามารถใช้กับเครื่องขึ้นรูปและเครื่องบรรจุอัตโนมัติได้

2.6.3 โครงสร้างของรีทอร์ตเพาช์

รูปแบบโครงสร้างของรีทอร์ตเพาช์โดยทั่วไปประกอบด้วยวัสดุเชื่อมประสานกัน 4 ชั้น คือ PET 12 ไมครอน, nylon (ON) 15–25 ไมครอน, Al–foil 7–9 ไมครอน และ PP 70–100 ไมครอน (บริษัท สตรองแพค จำกัด (มหาชน), 2547) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งองค์ประกอบแต่ละชั้นมีหน้าที่ต่างกัน จะส่งผลต่ออายุการเก็บ (shelf life) และความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (container integrity) โดยชั้นนอกสุดเป็นชั้นที่เหนียวและทนทานต่อการขีดข่วน สามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อได้ มีความแข็งแรงและพิมพ์ลวดลาย/ข้อความได้ วัสดุที่ใช้ คือ PET ชั้นกลางเป็นชั้นที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ความชื้น และการส่องผ่านของแสง วัสดุที่ใช้ คือ Al–foil ซึ่งสามารถผลิตให้ด้านฝ้าหรือด้านเหลือบออกด้านนอกก็ได้ แต่นิยมให้ด้านฝ้าออกด้านนอกมากกว่า ส่วนชั้นในสุดซึ่งสัมผัสกับอาหารโดยตรงต้องปลอดภัย ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารและสามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้วัสดุที่ใช้ คือ PP (Herbert and Bettison, 1987 อ้างถึงใน วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ, 2542) ซึ่งองค์ประกอบแต่ละชั้นจะเชื่อมประสานกันด้วยกาว modified polyolefilms เช่น ethylene vinyl

acetate (EVA) และด้วยคุณสมบัติของ PET และ PP จะทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ได้สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 135°C ในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุอื่นมาใช้แทน Al–foil เพื่อให้สามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในได้ เช่น polyvinylidene chloride (PVDC) EVOH หรือ ON แต่อย่างไรก็ตามอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จะสั้นลงกว่าปกติ (Canadian Food Inspection Agency, 2002)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างองค์ประกอบของรีทอร์ตเพาช์
ที่มา: Canadian Food Inspection Agency (2002)

รีทอร์ตเพาช์ที่นิยมนำมาใช้บรรจุอาหาร ได้แก่ PET/Al–foil/CPP เป็นถุงที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด แต่เป็นถุงทึบไม่สามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในได้ ในขณะที่ ON/CPP เป็นถุงชนิดใส ซึ่งประเทศญี่ปุ่นใช้บรรจุข้าว ส่วน PET/ON/Al–foil/CPP จะแข็งแรงกว่า PET/Al–foil/CPP เพราะ ON ให้โครงสร้างที่แข็งแรง และ PET/Al–foil/ON/CPP มีโครงสร้างแข็งแรงที่สุด จึงนิยมใช้ทำถุงชนิด stand up pouch และถุงขนาดใหญ่ (Rangarao, 1992 อ้างถึงใน วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ, 2542)

2.6.4 การบรรจุและการปิดผนึกรีทอร์ตเพาช์

การบรรจุและการปิดผนึกจัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในกระบวนการผลิต เนื่องจากปริมาตรและความหนาของผลิตภัณฑ์มีผลต่อความร้อนในการฆ่าเชื้อ ถ้าบรรจุผลิตภัณฑ์มากเกินไปจะทำให้อาหารได้รับความร้อนไม่เพียงพอสำหรับการฆ่าเชื้อ (underprocessing) นอกจากนี้บริเวณรอยปิดผนึกต้องสะอาด ไม่มีอาหารเปื้อน เพราะจะทำให้รอยปิดผนึกรั่วหรือไม่แน่น ซึ่งอาจใช้ guard สวมตรงปากถุงช่วยในการบรรจุ (Canadian Food Inspection Agency, 2002) และหลังจาก

บรรจุอาหารใส่ถุงแล้วจำเป็นต้องไล่อากาศออกจากถุง เพื่อลดแรงเค้นต่อบรรจุภัณฑ์ที่เกิดจากการขยายตัวของอากาศระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อซึ่งอาจทำให้ถุงแตกได้ ถ้ามีอากาศอยู่ในถุงมากจะทำให้การกระจายความร้อนไม่ดีและการฆ่าเชื้อไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ออกซิเจนในอากาศยังทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกด้วย ดังนั้นจึงควรไล่อากาศก่อนปิดผนึก ทำได้โดยการพ่นไอน้ำหรือบรรจุขณะร้อน หรือบรรจุแล้วใช้ปั๊มดึงอากาศออก หรือพ่นก๊าซเฉื่อยเข้าไปแทนที่อากาศในถุง แต่วิธีพ่นไอน้ำเหมาะสำหรับอาหารเหลวซึ่งมีอากาศแทรกในอาหารน้อย โดยทั่วไปนิยมใช้การบรรจุขณะร้อนซึ่งจะช่วยลดเวลาในการฆ่าเชื้อได้อีกด้วย สำหรับการปิดผนึกจะใช้การปิดผนึกร้อน ทำให้พลาสติกหลอมติดกันด้วยอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม โดยทั่วไปเครื่องปิดผนึกมักเป็นแบบใช้แผ่นร้อน (hot plates) แต่ระบบการปิดผนึกแบบ impulse sealing เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีจังหวะการทำงานแบบร้อนสลับเย็น คือ ใช้ความร้อนทำให้พลาสติกหลอมติดกันแล้วมีระบบทำให้เย็นเพื่อป้องกันความร้อนสูงเกินไป ทำให้ควบคุมอุณหภูมิขณะปิดผนึกได้ (Rangarao, 1992 อ้างถึงใน วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ, 2542)

2.7 กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

กระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งการเน่าเสียของอาหารและการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ในอาหาร รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในอาหาร ซึ่งการใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหารมีหลายวิธี จะเลือกใช้วิธีใดขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการแปรรูปอาหารนั้น

การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม เพื่อทำลายจุลินทรีย์ในอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทจนกระทั่งอาหารนั้นอยู่ในสภาพปลอดเชื้อเชิงการค้า (commercial sterility) เป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในกระบวนการผลิตอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท ซึ่งค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) และค่า water activity (a_w) ของอาหารจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญและการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยทั้งสองนี้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จนอยู่ในสภาพปลอดเชื้อทางการค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียซึ่งมีความสำคัญต่อการเน่าเสียและความเป็นพิษของอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทมากกว่ายีสต์และรา (รัศมี ศุภศรี, 2535)

ค่า pH เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการต้านทานความร้อนของแบคทีเรีย ในขณะที่ a_w จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และเป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บของอาหาร แบคทีเรียที่เจริญได้ในอาหารที่มีค่า pH ต่ำ จะทนความร้อนได้น้อยกว่าแบคทีเรียที่เจริญได้ในอาหารที่มีค่า pH สูง (รัศมี ศุภศรี, 2535) จึงทำให้อาหารที่มีค่า pH

สูง มีความเสี่ยงต่อการเน่าเสียและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคมากกว่า แบคทีเรียที่มีความสำคัญที่สุดในวงการอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ หรือ low acid canned food (pH>4.6 และ a_w>0.85) คือ *C. botulinum* ซึ่งจะต้องทำลายไม่ให้เหลือปนเปื้อนอยู่ในอาหาร เชื้อชนิดนี้เจริญได้เฉพาะภาวะไม่มีออกซิเจน ในอาหารที่มีค่า pH>4.6 เมื่อเจริญในอาหารจะผลิตสารพิษประเภท neurotoxin ซึ่งถูกดูดซึมผ่านทางผนังลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดและไปทำลายระบบประสาท ทำให้เห็นภาพซ้อน เป็นอัมพาต และเสียชีวิตได้ *C. botulinum* มี 7 ชนิด ได้แก่ A, B, C, D, E, F และ G โดยชนิดที่เป็นพิษต่อคน ได้แก่ A, B, E และ F ซึ่งสารพิษของชนิด E รุนแรงที่สุด แต่ชนิด A และ B ทนความร้อนได้สูงสุด

อาหารส่วนใหญ่มีค่า a_w>0.95 และแบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ดีที่ a_w>0.95 เช่นกัน จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะสามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w ขั้นต่ำสุดแตกต่างกัน โดยทั่วไปสปอร์ของ *C. botulinum* จะถูกยับยั้งที่ a_w<0.93 (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538)

การฆ่าจุลินทรีย์โดยการสเตอริไลซ์ (sterilization) เป็นการฆ่าจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงและเวลานานเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ ทำลายการทำงานของเอนไซม์ และได้อาหารที่ปลอดเชื้อเชิงการค้า เป็นผลให้อาหารที่ผ่านการสเตอริไลซ์มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนานอย่างน้อย 6 เดือน (Stumbo, 1973 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2545) การสเตอริไลซ์ใช้กับการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท ซึ่งการกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ฆ่าเชื้อของอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์ที่มีอยู่ในอาหาร คุณลักษณะและสมบัติของอาหารซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าไปในอาหารยังใจกลางจุดร้อนช้าที่สุดของอาหารในภาชนะบรรจุนั้น โดยคำนึงถึงการรักษาคุณสมบัติที่ดีของอาหารที่ผู้บริโภคยอมรับ และต้องมั่นใจว่าอาหารนั้นได้รับการฆ่าเชื้อเชิงการค้าอย่างเพียงพอ มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้

- สมบัติการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์ที่ปนเปื้อนในอาหาร
- อัตราการแทรกผ่านความร้อนไปยังจุดที่ร้อนช้าที่สุดของอาหารในภาชนะบรรจุนั้นที่สภาวะการฆ่าเชื้อเหมือนการผลิตจริง
- องค์ประกอบ สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอาหารชนิดนั้น

สมบัติการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ (heat resistance of microbial) ขึ้นกับสภาพความเป็นกรดด่างของอาหาร จุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ได้ส่วนมากจะมีความต้านทานความร้อนต่ำที่สภาวะกรด ยิ่งเป็นกรดมากจุลินทรีย์และสปอร์จะยิ่งถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่าย (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) การต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์จะอยู่ในรูปค่า D

- **ค่า D** หรือ decimal reduction time หมายถึง ระยะเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่งที่ใช้ในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ให้ลดลง 90% ของที่มีอยู่เริ่มต้น ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่า D แตกต่างกัน แสดงออกมาในรูปของกราฟแบบ semi logarithmic graph โดยแกนตั้งเป็น log-scale แสดงจำนวนสปอร์ที่เหลืออยู่ ส่วนแกนนอนเป็นสเกลปกติ แสดงเวลาที่ให้ความร้อน ณ อุณหภูมิค่านั้น กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรง เรียกว่า death rate curve หรือ survivor curve

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D กับความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532 อ้างถึงใน เนื้อน้อง บำราบพาล, 2543) มีดังนี้

- Extremely high heat resistance เป็นจุลินทรีย์ที่ทนทานต่อความร้อนได้สูงมาก มีค่า D_{250}>1.0 เช่น *B. stearothermophillus*
- High heat resistance เป็นจุลินทรีย์พวกที่ทนทานต่อความร้อนได้สูง มีค่า D_{250}>0.1 เช่น *C. botulinum*
- High resistance เป็นจุลินทรีย์ที่ทนทานต่อความร้อน มีค่า D_{250}>0.01 เช่น *B. coagulans*
- Not heat resistance เป็นจุลินทรีย์พวกที่ไม่ทนทานต่อความร้อน หรือไวต่อความร้อน

ในทางทฤษฎีจะไม่สามารถทำลายแบคทีเรียให้หมดได้ อาหารที่ผ่านการสเตอริไลซ์จะไม่ปลอดเชื้อโดยสมบูรณ์ไม่ว่าจะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานแค่ไหนก็ตาม อย่างไรก็ตามสามารถทำนายความเป็นไปได้ที่จะเหลือจุลินทรีย์เพียง 1 สปอร์ ซึ่งเป็นที่มาของหลักการฆ่าเชื้อเชิงการค้า ถ้ามีสปอร์ *C. botulinum* เริ่มต้น 10^5 สปอร์ต่อกระป๋อง ผ่านการฆ่าเชื้อให้เชื้อลดจำนวนลง 90% เป็นจำนวน 12 ครั้ง จุลินทรีย์ที่เหลืออยู่จะมีจำนวน 10^{-7} สปอร์ต่อกระป๋อง หรือ 10^{-12} ของจำนวนเริ่มต้น เรียกว่า กระบวนการ 12D หรือ 12–D cook แต่อย่างไรก็ตาม หากเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหารไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคมากเท่า *C. botulinum* ก็จะฆ่าเชื้อในระดับที่ต่ำลง ทั้งนี้เพราะกระบวนการ 12D อาจทำให้อาหารได้รับความร้อนมากเกินไป และสูญเสียคุณภาพ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะใช้กระบวนการ 5D หรือ 8D ซึ่งให้ความปลอดภัยเพียงพอและเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด (Stumbo, 1973 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2545) แบคทีเรียที่มีความสำคัญในอาหารแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อความร้อนที่แตกต่างกัน โดยจำแนกอาหารตามค่า pH ดังตารางที่ 2.1

- **ค่า Z** หมายถึง จำนวนองศาเซลเซียส (°C) หรือองศาฟาเรนไฮท์ (°F) ที่ต้องการเพื่อทำให้ค่า D เปลี่ยนแปลงไป 1 log cycle (Stumbo, 1973 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2545) ถ้าสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D ของจุลินทรีย์สายพันธุ์หนึ่งบนแกนตั้งที่เป็น log–scale กับอุณหภูมิค่าต่างๆที่ใช้ฆ่าเชื้อบนแกนนอนสเกลปกติ กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรง เรียกว่า thermal death time curve หรือ TDT curve โดยมีค่า Z เป็นความชันของกราฟ แสดงถึงอัตราการตายของจุลินทรีย์หรือการเปลี่ยนแปลงค่า D เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก,

2532 อ้างถึงใน เนื้อน้อง บำราบพาล, 2543) สำหรับเชื้อที่มีค่า Z สูง จะถูกทำลายด้วยความร้อนได้ยากกว่าเชื้อที่มีค่า Z ต่ำ โดยทั่วไปสปอร์ของ *C. botulinum* มีค่า Z=10°C หรือ 18°F นั่นคือ เวลาที่ต้องการในการทำลายสปอร์ให้เหลือเพียง 10^{-12}หรือ 12D ของสปอร์เริ่มต้นในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ คือ 2.45 นาที (F_0=2.45นาที)

ตารางที่ 2.1 ความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่ค่า pH ต่างๆ

ชนิดของอาหารและแบคทีเรีย	ช่วงความทนทานต่อความร้อน	
	D (นาที)	Z (°F)
1. Low acid food (pH>4.6)	D_{250} หรือ $D_{121.1}$	
1.1 Thermophiles (spores)		
Flat-sour (*B. stearothermophilus*)	4.0 – 5.0	14 – 22
Gaseous-spoilage (*C. thermosaccharolyticum*)	3.0 – 4.0	16 – 22
Sulfide stinkers (*C. nigrificans*)	2.0 – 3.0	16 – 22
1.2 Mesophiles (spores)		
Putrefactive anaerobes		
C. botulinum (type A และ B)	0.1 – 0.2	14 – 18
C. sporogenes (including PA3679)	1.0 – 1.5	14 – 18
2. Acid food (pH 4.0 – 4 .6)		
2.1 Thermophiles (spores)	D_{250} หรือ $D_{121.1}$	
B. coagulans (facultatively mesophile)	0.01 – 0.07	14 – 18
2.2 Mesophiles (spores)	D_{212} หรือ D_{100}	
B. polymyxa และ *B. macerans*	0.1 – 0.5	12 – 16
Butyric anaerobes (*C. pasteurianum*)	0.1 – 0.5	12 – 16
3. High acid food (pH<4.0)		
3.1 Mesophilic non-spore forming bacteria	D_{150} หรือ $D_{65.5}$	
Lactobacillus spp., *Leuconostoc* spp., ยีสต์และรา	0.5 – 1.0	8 – 10

หมายเหตุ: ค่า D และค่า Z จากตารางหาโดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์แทนอาหารจริง

ที่มา: Stumbo (1973) อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง (2545)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **ค่า F** (process lethality) หมายถึง ระยะเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิหนึ่งซึ่งใช้ทำลายจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนในอาหารภายใต้สภาวะที่กำหนด การใช้ค่า F จำเป็นต้องระบุอุณหภูมิที่ใช้ (process temperature) และค่า Z ของจุลินทรีย์ที่เป็นเป้าหมายด้วย เขียนเป็นสัญลักษณ์ F_t^Z เช่น $F^{10}_{121.1}$ ถ้า Z=10°C และ T=121.1°C หรือ F^{18}_{250} ถ้า Z=18°F และ T=250°F อาจใช้สัญลักษณ์ย่อเป็น F_0 ซึ่งหมายถึงระยะเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิ 121.1°C หรือ 250°F ที่ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ซึ่งมีค่า Z=10°C หรือ Z=18°F ลงจำนวนหนึ่ง

ค่า F ค่า D และจำนวนจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.5 (Stumbo, 1973 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2545)

$$F = D \log (N_0/N) = D (\log N_0/\log N) \quad (2.5)$$

โดยที่ N_0 = จำนวนเซลล์หรือสปอร์จุลินทรีย์เริ่มต้น

N = จำนวนเซลล์หรือสปอร์จุลินทรีย์สุดท้ายที่เหลืออยู่

D = ค่า D ของจุลินทรีย์ที่ต้องการศึกษา

ตัวอย่างค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทซุปบรรจุกระป๋องที่ใช้ผลิตในทางการค้า แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทซุปบางชนิด

ชนิดของซุป	ขนาดกระป๋อง	ค่า F_0
ซุปมะเขือเทศ	ทุกขนาด	3
ซุปข้าวโพด	307 x 409	5 – 6
ซุปครีม	300 x409	4 – 5
	307 x 409	5 – 6

ที่มา: ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2532) อ้างถึงใน เนื้อน้อง บำราบพาล (2543)

การศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อน (heat penetration) ในการให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ในอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลอัตราการแทรกผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในอาหาร ซึ่งการถ่ายเทความร้อนเข้าไปในอาหารนั้นมี 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน (conduction heating), การพาความร้อน (convection heating) และการถ่ายเทความร้อนแบบผสม (complex heating) เมื่อนำค่าอัตราการแทรกผ่านความร้อนมาเขียนกราฟจะมี 2 รูปแบบ คือ กราฟเส้นตรง (straight line heating curve) และกราฟเส้นหัก (broken heating curve) (Downing, 1996 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2545) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและคุณสมบัติของอาหาร ได้แก่ ค่า pH และค่า a_w ของอาหาร ความข้นหนืด ขนาดของชิ้นอาหาร และอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว

ในอาหาร นอกจากนี้ ลักษณะการบรรจุก็มีผลต่ออัตราการแทรกผ่านความร้อนด้วย เช่น น้ำหนักบรรจุ ช่องว่างเหนืออาหาร (headspace) และอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารก่อนเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ เป็นต้น (Stumbo, 1973 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2545)

Ramaswsmy และ Grabowski (1999) เปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอน (*Oncorhynchus keta*) ในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋องขนาด 401 x 211 กับรีทอร์ต–เพาช์ชนิด PET/Al–foil/PP ซึ่งมีปริมาตร 325 มิลลิลิตร เท่ากัน โดยบรรจุชิ้นปลาแซลมอน 250 กรัม และซอสมะเขือเทศ 50 กรัม ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110, 120 และ 130°C ความดัน 70 kPa และ F_0=10 นาที พบว่าการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นการนำความร้อนร่วมกับการพาความร้อนเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่ารีทอร์ตเพาช์ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อเพียงครึ่งหนึ่งของกระป๋องทั้ง 3 อุณหภูมิ เนื่องจากมีรูปทรงแบนความร้อนจึงสามารถแทรกผ่านเข้าไปยังจุดร้อนช้าที่สุดได้เร็วกว่ากระป๋อง และเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเปรียบเทียบกันระหว่างอุณหภูมิของบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน พบว่าอุณหภูมิสูงกว่าจะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่า ซึ่งสอดคล้องกับหลักการฆ่าเชื้อแบบ high temperature short time (HTST) ที่จะสามารถคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการฆ่าเชื้อแบบ low temperature long time (LTLT) นั่นเอง (Stumbo, 1973 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2545)

Srinivasa Gopal และคณะ (2001) ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แกงกะหรี่ปลาแมค–เคอเรล (*Rastrelliger kanagurta*) บรรจุในรีทอร์ตเพาช์ชนิด PET/Al–foil/CPP โดยผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 172 kPa และ F_0= 8.43 นาที เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25–30°C) ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทุก 3 เดือน จนครบ 12 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทั้งในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม