บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศเข้มข้น

มะเขือเทศเข้มข้น ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยการผลิตมะเขือเทศผงครั้งนี้ เป็นมะเขือเทศเข้มข้นที่บรรจุกระป๋อง tin plate ขนาด 108 ออนซ์ จากบริษัทดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ซึ่งใช้มะเขือเทศพันธุ์ TW3, TW4 และพันธุ์อื่นๆที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว นำมาระเหยน้ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ ออกจนเหนียวข้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 28-30 องศาบริกซ์ และบรรจุลงกระป๋อง มีน้ำหนักสุทธิ ไม่ต่ำกว่า 3,200 กรัม นี้ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่า มีปริมาณความชื้น 70.48 %(โดยน้ำหนักเปียก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 28.17 องศาบริกซ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมด 29.52 %(โดยน้ำหนักเปียก) ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก 7.28 %(โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณวิตามินซี 85.65 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ค่าสี โดยมีค่าความสว่าง(L) 37.50 ค่าสีแดง(a) 14.86 ค่าสีเหลือง(b) 11.19 และมีความหนืด (ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 13 องศาบริกซ์) 131.37 พอยซ์ โดยองค์ประกอบต่างๆ ขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูปมะเขือเทศเข้มข้น ชนิดสายพันธุ์มะเขือเทศ ลักษณะการเพาะปลูก ฤดูกาล สภาพดินฟ้าอากาศ รวมถึงความอ่อนแก่ (Gould, 1992)

4.2 สภาวะการเกิดโฟมที่คงตัวในมะเขือเทศเข้มข้น

นำมะเขือเทศเข้มข้นที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพจากข้อ 4.1 มาหาสภาวะการเกิดโฟมที่คงตัว โดยแปรปริมาณของแข็งทั้งหมดในมะเขือเทศเข้มข้น 5 ระดับ คือ 22, 25, 28, 31 และ 34 %(โดยน้ำหนักเปียก) แปรปริมาณสารที่ทำให้เกิดโฟมใช้ glyceryl monostearate (GMS) 3 ระดับ คือ 0, 1 และ 2%(โดยน้ำหนักแห้ง) เวลาในการตีปั่นให้เกิดโฟม ตั้งแต่ 0 ถึง 12 นาที แล้วนำมาตรวจวัดความหนาแน่นและอัตราการยุบตัวของโฟม ซึ่งความหนาแน่นของโฟมนี้ จะเป็นตัวบ่งบอกการเกิดโฟม โดยความหนาแน่นโฟมลดลง แสดงว่าเกิดโฟมในมะเขือเทศเข้มข้น ส่วนอัตราการยุบตัวของโฟม นี้จะเป็นตัวบ่งบอกความคงตัวของโฟม โดยอัตราการยุบตัวของโฟมน้อย แสดงว่า โฟมมีความคงตัวสูง

โดยในขั้นแรก เป็นการวัดความหนาแน่นของโฟม ที่มีการหยุดวัดทุก ๆ 1 นาที จน ถึง 12 นาที แสดงผลดังรูปที่ 3.1 พบว่า มะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS ทุกระดับความเข้มข้นของปริมาณของแข็งทั้งหมด เมื่อตีปั่นเป็นเวลา 0 ถึง 12 นาที พบว่า ทำให้ความหนาแน่นของโฟมไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยคงอยู่ที่ประมาณ 1.10 กรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากมะเขือเทศเข้มข้น มีสารที่ทำให้เกิดโฟมไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดโฟม แต่เมื่อนำมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระดับต่าง ๆ มาเติมสารทำให้เกิดโฟม คือ GMS ในปริมาณ 1 และ 2% (โดยน้ำหนักแห้ง) พบว่า เมื่อนำมาตีปั่น ทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง เนื่องจาก GMS เป็นสารลดแรงตึงผิวทำให้มะเขือเทศเข้มข้น อุ้มกาซไนโตรเจนไว้ภายในได้มากขึ้น และฟองกาซไนโตรเจนนั้นไม่แตกออก แต่ถ้ามีการตีปั่นไปเรื่อย ๆ หลังจากความหนาแน่นของโฟมลดลงต่ำสุด จะทำให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้น เนื่องจากโฟมไม่สามารถคงตัวอยู่ได้ เพราะฟองกาซไนโตรเจนไม่แข็งแรงพอที่จะทนต่อแรงเฉือน เนื่องจากการตีปั่น ทำให้ฟองกาซไนโตรเจนเหล่านี้แตกออก นำไปสู่การยุบตัวของโฟมเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "fatigue phenomena" (Berry, Bissett and Lastinger, 1965) ซึ่ง Hart และคณะ (1963) อธิบายปรากฏการณ์นี้ว่าโฟมจะเกิดโครงสร้างที่หยาบ (coarse structure) ดังนั้น เมื่อมีการตีปั่นต่อไปจะมีการรั่วซึมของกาซไนโตรเจนในฟองกาซ ทำให้ฟองกาซไนโตรเจนแตกและยุบตัว จะทำให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณการเติม GMS 1 และ 2%(โดยน้ำหนักแห้ง) พบว่า การเพิ่มปริมาณการเติมเป็น GMS 2%(โดยน้ำหนักแห้ง)ในมะเขือเทศเข้มข้นทุกระดับความเข้มข้นของปริมาณของแข็งทั้งหมด ไม่มีผลต่อการลดความหนาแน่นของโฟม แต่จะลดเวลาในการตีปั่นให้มีความหนาแน่นของโฟมต่ำสุด ซึ่งผลการทดลอง ให้ทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Brygidyr และคณะ(1977) ที่ศึกษาการเติม mono & diglyceride ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมในมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 27 % (โดยน้ำหนักเปียก)

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในมะเขือเทศเข้มข้น พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดขึ้นในช่วง 22 ถึง 31 %(โดยน้ำหนักเปียก) จะทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง โดยปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 %(โดยน้ำหนักเปียก) มีความหนาแน่นของโฟมต่ำสุด แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดขึ้นเป็น 34%(โดยน้ำหนักเปียก) ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 34%(โดยน้ำหนักเปียก) เป็นของเหลวมีความหนืดสูง จะป้องกันการแทรกซึมของอากาศ ในระหว่างการตีปั่น (Bilkerman, cited in Karim and Wai, 1999) แสดงให้เห็นว่า การเกิดโฟมต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสม โดย Ginnett และคณะ (1963) รายงานปริมาณของแข็งทั้งหมดของมะเขือ

เทศเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเกิดโฟม ควรมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณ 30%(โดยน้ำหนักเปียก) ซึ่งเป็นสภาวะที่ดีที่สุด

ซึ่งการตีปั่นโฟมแบบนี้เป็นการตีปั่นที่มีการหยุดวัดทุก ๆ 1 นาที แต่ถ้ามีการปฏิบัติจริงต้องปั่นตีต่อเนื่อง จึงเลือกปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 และ 34%(โดยน้ำหนักเปียก) ปริมาณ GMS 0 และ 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ไปศึกษาเพิ่มเติม แสดงผลดังรูปที่ 3.2 และหาอัตราการยุบตัวของโฟมเพื่อดูความคงตัวของโฟม แสดงผลดังตารางที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 พบว่า มะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 และ 34%(โดยน้ำหนักเปียก) เมื่อตีปั่นเป็นเวลา 0 ถึง 12 นาที พบว่าทำให้ความหนาแน่นของโฟม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยคงที่อยู่ที่ ประมาณ 1.10 กรัมต่อมิลลิตร มีความหนาแน่นสูง ไม่เกิดโฟม แต่หลังจากมีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง ใช้เหตุผลเดียวกันกับการอธิบายในกราฟ รูปที่ 3.1 โดยเวลาที่ทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลงต่ำสุด พบว่า ใช้มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ตีปั่นเป็นเวลา 7 นาที จะทำให้มีความหนาแน่นของโฟม 0.36 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีอัตราการยุบตัวของโฟม 3.31% (โดยปริมาตรของโฟมต่อชั่วโมง) โดยปกติความหนาแน่นของโฟมประมาณ 0.4-0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งจะได้ฟองกาซ ที่มีลักษณะกลม (spherical bubble) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร กระจายในส่วนต่อเนื่องที่เป็นเฟสของเหลว (Morgan, 1974)

สรุปในขั้นตอนการหาสภาวะการเกิดโฟมที่คงตัวนั้น มะเขือเทศเข้มข้นมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) ปริมาณความเข้มข้น GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) เวลาในการปั่นตี 7 นาที

4.3 สภาวะการทำแห้งสุญญากาศ

4.3.1 การหาเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้ง

นำมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS ที่แปรระดับความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 0 และ 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณ GMS 0 %(โดยน้ำหนักแห้ง) หรือไม่มีการเติม GMS ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) จึงมีการศึกษาอีกครั้ง

จากนั้นนำไปตีปั่น 7 นาที แล้วเกลี่ยโฟมที่ตีปั่นได้ บนถาด ขนาด 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร โดยแปรความหนาของโฟม 2 ระดับ คือ 3 และ 5 มิลลิเมตร จากนั้น นำถาด เข้าอบในเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 1±0.05 นิ้วปรอท ที่แปรอุณหภูมิทำแห้ง 2 ระดับ คือ 65 และ 75 องศาเซลเซียส หาเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้ง โดยวัดอุณหภูมิของโฟมมะเขือเทศเข้มข้น และอุณหภูมิเครื่องทำแห้งสุญญากาศทุก ๆ 10 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งสองใกล้เคียงกัน แล้วนำโฟมมะเขือเทศเข้มข้นออกมาหาปริมาณความชื้น จนมีปริมาณความชื้น ไม่เกิน 5 %(โดยน้ำหนักแห้ง) ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 - รูปที่ 3.10 และตารางที่ 3.3

จากกราฟพบว่า ในช่วงเวลาแรก ๆ อุณหภูมิของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นและอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งสุญญากาศลดต่ำลง เพราะเกิดจากความร้อนภายในเครื่องทำแห้ง แผ่รังสีความร้อนให้น้ำในโฟมมะเขือเทศเข้มข้นระเหยกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของโฟมมะเขือเทศเข้มข้น และอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งสุญญากาศจะใกล้เคียงกัน แสดงว่าโฟมมะเขือเทศเข้มข้นเริ่มที่จะแห้งแล้ว จากนั้น จึงนำโฟมมะเขือเทศเข้มข้นออกมาหาปริมาณความชื้น จนมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 5 %(โดยน้ำหนักแห้ง)

จากรูปที่ 3.3-3.10 และตารางที่ 3.3 สามารถหาเวลาที่ใช้ในการทำแห้งได้ดังแสดงในตารางที่ 3.4 พบว่าโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อทำให้เกิดโฟม จะใช้เวลาทำแห้งสั้นกว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้น ที่ไม่มีการเติม GMS เนื่องจาก การเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) จะทำให้เกิดโฟมมะเขือเทศเข้มข้น มีฟองกาซไนโตรเจนที่ละเอียดและสม่ำเสมอ มีพื้นที่ผิวที่จะเกิด การระเหยน้ำมาก ทำให้น้ำภายในโฟม ซึ่งอยู่ในรูปฟิลม์บางๆ สามารถระเหยออกได้ง่ายและต่อเนื่อง (Morgan, 1974) และ การเพิ่มอุณหภูมิและความหนาของชั้นโฟม ทำให้เวลาในการทำแห้งสั้นขึ้น โดยที่อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส ความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร ใช้เวลาทำแห้งสั้นที่สุด ในการทดลองครั้งนี้ ใช้เวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 5 %(โดยน้ำหนักแห้ง) ที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองต่อไป ซึ่งเวลาในการทำแห้งที่แท้จริง ควรเป็นเวลาที่ ทำให้โฟมมะเขือเทศเข้มข้นมีปริมาณความชื้น 5 % (โดยน้ำหนักแห้ง) จึงจะถูกต้อง ทำให้เวลาทำแห้งที่ใช้ในการทดลองต่อไปนั้น คลาดเคลื่อนประมาณ 30 นาที แต่จะพบว่า ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น มีแนวโน้มคล้ายกัน

4.3.2 ผลของระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง

ภายหลังการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้นแล้วหาระยะการยุบตัว ได้ผลดังตารางที่ 3.5-3.8 พบว่าโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ให้เกิดโฟมจะมีการยุบตัวมากกว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS เพราะการทำแห้งแบบสุญญากาศ มีการลดความดัน เพื่อทำให้เป็นภาวะสุญญากาศ กาซไนโตรเจนจึงถูกดึงออกไป จึงทำให้ มีระยะการยุบตัวมากขึ้น ซึ่งระยะการยุบตัวมากนี้ไม่ดี เพราะ ลดพื้นที่ผิวในการสัมผัสความร้อนของมะเขือเทศเข้มข้น ทำให้อัตราการทำแห้งช้าลง โดยที่การเพิ่มอุณหภูมิทำแห้ง และความหนาของชั้นโฟม จะทำให้ระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้งเพิ่มขึ้น

4.3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศผง

ภายหลังการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น นำมาบดและร่อนให้เป็นผง แล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทางด้านปริมาณวิตามินซี แสดงผลการทดลองดัง ตารางที่ 3.9-3.13

พบว่าปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง อยู่ในช่วง 30.77-40.96 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง โดยพบว่า มะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีวิตามินซีต่ำกว่ามะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS เนื่องจาก ในช่วงการนำโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่แห้งแล้วออกจากเครื่องทำแห้งสุญญากาศ ทำในระบบเปิด เป็นผลให้โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อทำให้เกิดโฟม มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับกาซออกซิเจนมากขึ้น ทำให้กรดแอสคอร์บิกเกิดการสลายตัวโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Kirk, 1981) ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งและความหนาของชั้นโฟม มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผงลดลง เนื่องจาก กรดแอสคอร์บิกเกิดการสลายตัวโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นกัน

4.3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศผง

ภายหลังจากทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น นำมาบดและร่อนให้เป็นผง แล้ววิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้าน สีในรูปผงและหลังคืนตัว ค่าการกระจายตัว และความหนืดหลังคืนตัว แสดงผลการทดลองดัง ตารางที่ 3.14-3.25

ค่าสีในรูปผงและหลังคืนตัว เมื่อพิจารณา ค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง(b) พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) จะให้ค่าความสว่าง(L) สูงกว่า ส่วนค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง(b) ต่ำกว่ามะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS และเมื่อนำเอามะเขือเทศผงมาคืนตัว พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) จะให้ค่าความสว่าง(L) สูงกว่า และส่วนค่าสีแดง(a) ต่ำกว่า เหมือนในรูปผง ส่วนค่าสีเหลือง(b) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ฉะนั้น จะเห็นได้ว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) ทำให้สีในรูปผงและหลังคืนตัวอ่อนกว่า ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brygidyr และ คณะ(1977) ที่พบว่า การลดความหนาแน่นของโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 27%(โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม mono & diglyceride ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม ทำให้สีของมะเขือเทศผงหลังคืนตัวอ่อนลง ซึ่ง Ginnette และคณะ (1963) ให้เหตุผลว่า มะเขือเทศผงมีการกักเก็บฟองกาซเอาไว้ ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟมทำให้ค่าสีลดลงมากขึ้น

ค่าการกระจายตัว พบว่า OD (optical density) ที่ ความยาวคลื่น 520 nm หมายถึง ความสามารถในการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการกระจายตัว ของอนุภาคผงซึ่งมีน้ำหนักเท่ากัน ในน้ำว่ากระจายตัวได้รวดเร็วจะมีความหนาแน่นสูง และดูดซับแสงเอาไว้ได้มากทำให้ ค่า OD ที่วัดได้ค่าสูง จากผลการทดลองพบว่า ค่า OD ที่วัดได้จากมะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีค่าสูงกว่า เนื่องจากมะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีขนาดอนุภาคเล็ก และลักษณะเป็นรูพรุนทำให้มีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายได้มากกว่า และน้ำสามารถแทรกเข้าไปในเนื้อมะเขือเทศผงได้ง่ายและรวดเร็วกว่า ดังนั้น มะเขือเทศผง ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) สามารถละลายได้เร็วกว่า ทำให้กระจายตัวออกไปในน้ำได้ดีและรวดเร็วกว่าในเวลาเท่ากัน ดังนั้น น้ำจึงมีความขุ่นมากกว่า

ความหนืดหลังคืนตัว พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) พบว่ามีความหนืดมากกว่ามะเขือเทศผง ที่ไม่มีการเติม GMS อาจจะเนื่องมาจาก GMS ช่วยในการละลายของมะเขือเทศผง โดยมะเขือเทศผง ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส ชั้นโฟมหนา 3 มิลลิเมตร มีความหนืดมากที่สุด

4.3.5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงในรูปผงและหลังคืนตัว

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผง ในรูปผงและหลังคืนตัว แสดงผลดังตารางที่ 3.26-3.35

ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงในรูปผง พบว่า มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS จะให้คะแนนด้านสีและกลิ่น ดีกว่า ส่วนคะแนนความร่วน พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีความร่วนมากกว่า เนื่องจาก ในการทดลอง กำหนดเวลาในการทำแห้ง ที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 5% (โดยน้ำหนักแห้ง) ทำให้มะเขือเทศผงที่ได้ มีปริมาณความชื้นไม่เท่ากัน จึงมีคะแนนความร่วนแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาคะแนนด้านการยอมรับรวม พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีคะแนนด้านการยอมรับรวมมากกว่า เนื่องจาก เกณฑ์ในการตัดสินการยอมรับรวมของผู้บริโภค ให้ความสนใจ ความร่วนในมะเขือเทศผง เป็นอันดับแรก ส่วนสีและกลิ่นในมะเขือเทศผง ถึงแม้ จะแตกต่างกันบ้าง แต่ก็ยังเป็นที่ยอมรับได้ จึงใช้เป็นเกณฑ์ ในการตัดสินใจ ลำดับต่อมา และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคหลังคืนตัวมะเขือเทศผง ในรูปซอสมะเขือเทศ พบว่า ซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS มีคะแนนด้านสีใกล้เคียงกับซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศเข้มข้น มากกว่า แต่ซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีคะแนนด้านความหนืดใกล้เคียงกับซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศเข้มข้นผลิต มากกว่า ส่วนคะแนนด้านกลิ่นรส พบว่าทั้งซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงที่มี และไม่มีการเติม GMS มีกลิ่นรสอ่อนกว่าปานกลาง เมื่อเทียบกับซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศเข้มข้น เนื่องจากมะเขือเทศผงได้จาก การทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น โดยวิธีทำแห้งสุญญากาศ ซึ่งการทำแห้งสุญญากาศ นี้ จะมีการสูญเสียกลิ่นรสเพราะในช่วงการทำแห้งจะมีการดึงอากาศออก เพื่อทำให้เป็นระบบสุญญากาศ ทำให้กลิ่นรสของมะเขือเทศเข้มข้น ติดไปกับอากาศที่ดึงออกไปด้วย ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saravacos และ Moyer (1968) ที่ศึกษาการทำแห้งน้ำองุ่นด้วยวิธีทำแห้งสุญญากาศ ส่วนคะแนนด้านการยอมรับรวม พบว่า ซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผง ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีคะแนนการยอมรับสูงกว่า โดยเฉพาะซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผง ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร เนื่องจาก เกณฑ์ในการตัดสินใจการยอมรับรวม ของผู้บริโภคให้ความสนใจความหนืด ในซอสมะเขือเทศ เป็นหลัก ส่วนสี ถึงแม้ จะแตกต่างกันบ้าง แต่ก็ยังเป็นที่ยอมรับได้ จึงใช้เป็นเกณฑ์ ในการตัดสินใจ ลำดับต่อมา

จะเห็นได้ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านเคมีและกายภาพ

ฉะนั้นจากการพิจารณา ผลของปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้งและความหนาชั้นโฟม ต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของมะเขือเทศผง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งสุญญากาศ คือ มะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส ความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร

4.4 องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นเปรียบเทียบกับมะเขือเทศผงทางการค้า และ moisture sorption isotherm ของมะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้น

4.4.1 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผง

นำมะเขือเทศผงที่เลือกสภาวะการผลิตได้จากข้อ 4.2 และ 4.3 คือ มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 % (โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ตีปั่นเป็นเวลา 7 นาที ทำแห้งสุญญากาศ ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 1±0.5 นิ้วปรอท ที่อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร ขนาด 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร เป็นเวลา 110 นาที มาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส กับมะเขือเทศผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

จากผลการทดลองดังแสดงผลในตารางที่ 3.36 พบว่า มะเขือเทศที่ผลิตขึ้น มีปริมาณความชื้น และกรดในรูปซิตริกอยู่ในช่วงของมะเขือเทศผงทางการค้า มีความหนาแน่นปรากฏมากกว่า และเมื่อพิจารณาค่าสีในรูปผงและหลังคืนตัวจากค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง(b) พบว่า มะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นมีสีอ่อนกว่า และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสดังแสดงในตารางที่ 3.37 พบว่า ผู้บริโภคชอบสีของข้าวเกรียบรสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นมากกว่า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$) อาจจะเนื่องมาจาก มะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้น มีความหนาแน่นปรากฏมากกว่า จึงทำให้มีการกระจายตัวในข้าวเกรียบอย่างทั่วถึง ทำให้มีสีสม่ำเสมอ ทำให้ผู้บริโภคชอบมากกว่า ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ความร่วน และการยอมรับรวม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$)

ดังนั้นจะเห็นได้มะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพใกล้เคียงกับมะเขือเทศผงทางการค้า

4.4.2 moisture sorption isotherm ของมะเขือทศผง

ผลการทดลองแสดงในรูป 3.11 ซึ่งเป็น moisture sorption isotherm (MSI) ลักษณะของอาหารแห้งดูดความชื้น (adsorption) เพื่อบอกการดูดความชื้นของมะเขือเทศผงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่า water activity (a_w) ในช่วงการเก็บรักษา ซึ่งข้อมูล MSI มีประโยชน์ดังนี้ (Fennema, 1996)

(1) ใช้กำหนดสภาวะสุดท้ายของกระบวนทำให้เข้มข้นและการทำแห้ง เพราะน้ำที่ถูกดึงออกไปได้ยากมีความสัมพันธ์กับค่า a_w

(2) ใช้สำหรับการผสมสูตรอาหารที่ต้องการป้องกันการส่งผ่านความชื้นกันระหว่างส่วนผสม (ingredient)

(3) ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติการป้องกันความชื้นของภาชนะบรรจุ

(4) ใช้สำหรับวัดปริมาณความชื้นเพื่อบ่งบอกการเสื่อมเสีย เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

(5) เพื่อทำนายความคงตัวทางเคมีและกายภาพของอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

โดยปกติ ในอาหารส่วนใหญ่ MSI จะมีลักษณะเป็นรูปตัว S (sigmoidal shape) แต่จากทดลอง พบว่า MSI ของมะเขือเทศผง จะมีลักษณะไม่เป็นรูปตัว S แต่จะมีลักษณะรูปเหมือนตัว J มากกว่า ซึ่ง MSI มีลักษณะรูปเหมือนตัว J จะพบในอาหารจำพวกผลไม้ (Fennema, 1996)

4.5 ผลของ silicon dioxide(SiO_2) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเขือเทศผงระหว่างการเก็บ

มะเขือเทศผง มีความสามารถในการดูดความชื้นกลับได้เร็ว(hygroscopic) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวหนืด(sticky) ได้ง่าย ในสภาวะที่มีความชื้นหรืออุณหภูมิสูง (Goose and Binsted, 1973)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บ มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นตามมา ได้แก่ การจับตัวเป็นก้อน (caking) การเกิดสีน้ำตาล (browning) การสลายตัวของวิตามินซี และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกลิ่นรส การเปลี่ยนแปลงต่างๆเหล่านี้จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สำหรับปริมาณ SiO_2ที่ใช้จะแปร 3 ระดับคือ 0, 0.5 และ 1.0 %(โดยน้ำหนักเปียก) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเขือเทศผง ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ภาชนะที่ใช้ในการทดลองนี้ คือถุงลามิเนต (PET/PE/Al/PE/LLDPE) ขนาด 15 เซนติเมตร x 18 เซนติเมตร เหตุผลที่เลือกใช้ภาชนะบรรจุชนิดนี้เนื่องจาก linear low density polyethylene (LLDPE) มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ส่วน aluminium foil (Al) นั้น จะช่วยป้องกันแสงความชื้น และออกซิเจน รวมทั้ง การปนเปื้อนของจุลินทรีย์และสำหรับ polyethylene terepthalate (PET) จะเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงต่อภาชนะบรรจุ สามารถป้องกันการซึมผ่านและการระเหยของกลิ่นอาหารได้ดี รวมทั้งช่วยป้องกันชั้นต่างๆ ที่เชื่อมติดกัน (laminate) ร่อนออกจากกันด้วย (Stern, 1980) บรรจุภายใต้สภาวะกาซเฉื่อย คือ กาซไนโตรเจน

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น ค่า water activity (a_w) และ %uncaking ของมะเขือเทศผง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ค่า water activity และ %uncaking ของมะเขือเทศผงระหว่างการเก็บแสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นและ ค่า water activity ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับ %uncaking ที่ลดลงหรืออาจกล่าวได้ว่า เมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น และ ค่า water activity เพิ่มขึ้น จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการจับตัวเป็นก้อน ทั้งนี้สามารถอธิบายผลได้ว่าการดูดความชื้นของอนุภาคที่มีสารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งในที่นี้ก็คือมะเขือเทศผงจะทำให้เกิด liquid layer แล้วอาจขยายไปยังอนุภาคใกล้เคียงจนเกิดเป็น interparticle liquid bridge เมื่อ bridge เกิดการแข็งตัวหรือตกผลึกจะทำให้เกิด solid bridge เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการจับตัวเป็นก้อนและไม่มี free-flowing property กระบวนการนี้เรียกว่า humidity caking ซึ่งเป็น caking mechanism ที่พบโดยทั่วไปในอาหารผง (Peleg and Hollenbach, 1984)

เมื่อพิจารณา %uncaking ของมะเขือเทศผงระหว่างการเก็บดังรูปที่ 3.12 จะเห็นว่า %uncaking ของมะเขือเทศผงที่มีและไม่มีการเติม SiO_2 มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 2 สัปดาห์แรก และหลังจากนั้น %uncaking มีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นและค่า water activity ที่เพิ่มขึ้นโดยมะเขือเทศที่มีการเติม SiO_2 1%(โดยน้ำหนักเปียก) มี %uncaking ลดลงน้อยสุดอย่าง

มีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)ทั้งนี้อธิบายได้ว่า SiO_2 ซึ่งเป็น anticaking agent ชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติสามารถขัดขวางกระบวนการ humidity caking โดยการขัดขวางความต่อเนื่องของ liquid layer และแม้เมื่อเกิด solid bridge แล้ว anticaking agent จะช่วยให้ mechanism strength ของ solid bridge ลดลง ดังนั้นจึงสามารถทำลายได้โดยง่าย รวมถึง SiO_2 มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำสูง (Peleg and Hollenbach, 1984)

4.5.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี

จากผลการทดลอง ดังตารางที่ 3.45 แสดงให้เห็นว่า เวลาการเก็บนานขึ้น มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซี ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก มะเขือเทศผงมีค่า water activity อยู่ในช่วง 0.138-0.163 ดังแสดงในตารางที่ 3.39 ซึ่งค่า water activity ที่อยู่ในช่วงนี้ ยังเกิดการสลายตัว ของกรดแอสคอร์บิกโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ อิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คือ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณกาซออกซิเจน และการเคลื่อนที่ของโลหะ (transition metal) (Kirk,1981; Labuza and Saltmarch, 1981)

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าการกระจายตัว

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ SiO_2 และระยะเวลาการเก็บ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าการกระจายตัวของมะเขือเทศผง นอกจากนี้ จะเห็นว่าค่าการกระจายตัว มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณความชื้นและ ค่า water activity และ %uncaking ของมะเขือเทศผง โดยเมื่อมะเขือเทศผง มีปริมาณความชื้น และ ค่า water activity เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์จับตัวเป็นก้อนมากขึ้น (%uncaking ลดลง) ซึ่งจะมีผลทำให้ ค่าการกระจายตัวเพิ่มขึ้น การใช้ SiO_2 ในปริมาณ 0.5 หรือ 1.0 %(โดยน้ำหนักเปียก) ในมะเขือเทศผงจะช่วยชะลอการเพิ่มการจับตัวเป็นก้อนของมะเขือเทศผง ดังนั้นจึงมีผลช่วยให้ค่าการกระจายตัวของมะเขือเทศผงค่อนข้างคงที่หลังจากเก็บนาน 6 สัปดาห์

4.5.4 การเปลี่ยนแปลงของสี

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.48 พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นทำให้ค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง(a) และ ค่าสีเหลือง(b) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) หรือมีสีในมะเขือเทศผงเข้มขึ้น เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ โดยจะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Kirk,1981; Labuza and Saltmarch, 1981) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในรงควัตถุสีแดง (lycopene) โดยมีอิทธิพลจากการออกซิเจนที่หลงเหลือในมะเขือเทศผง(Lovrić, Sablek and Bošković, 1970) ปริมาณความชื้นและค่า water activity ที่เพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษาปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์จะเกิดได้ดี เนื่องจากน้ำทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของระบบเมื่อปริมาณ free water มากขึ้น ทำให้ mobiliy ของสารตั้งต้นของปฏิกิริยาดีขึ้น โอกาสที่จะเข้าทำปฏิกิริยาจึงเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อค่า water activity เพิ่มขึ้นจนมากกว่า 0.60 ปฏิกิริยาจะเกิดได้น้อยลงทั้งนี้เพราะ "product inhibition" เนื่องจากน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา เมื่อผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ นอกจากนี้ปริมาณ free water ที่มากขึ้นยังทำให้เกิด dilution effect ทำให้ปฏิกิริยาเกิดน้อยลง (Karel, 1975)