บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของเนื้อมะม่วงโชคอนันต์

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟม คือองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโฟม ปริมาณของสารที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณของเนื้ออาหาร ชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม และ ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวของโฟม (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ไพโรจน์ วิริยจารี 2547) ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของเนื้อมะม่วงโชคอนันต์สุกที่ผ่านการบด แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพบางประการของเนื้อมะม่วงโชคอนันต์สุกบด

องค์ประกอบ	ปริมาณเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น (ร้อยละ)	85.00±0.47
ค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (ร้อยละ)	0.21±0.00
ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	14.10±0.14
ค่าความเป็น กรด-ด่าง	4.53±0.01
อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดทั้งหมด	68.13±1.61
ค่าปริมาณ Ascorbic acid (มิลลิกรัมต่อ100 กรัมบริโภคได้)	36.00±1.41
ค่าปริมาณ β-carotene (ไมโครกรัมต่อ100 กรัมบริโภคได้)	2.79±0.01
ค่าความสว่างของสี (L*)	95.14±2.25
ค่าความเป็นสีแดง/ค่าความเป็นสีเขียว (a*)	9.67±0.13
ค่าความเป็นสีเหลือง/ค่าความเป็นสีน้ำเงิน (b*)	46.14±0.28

* เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

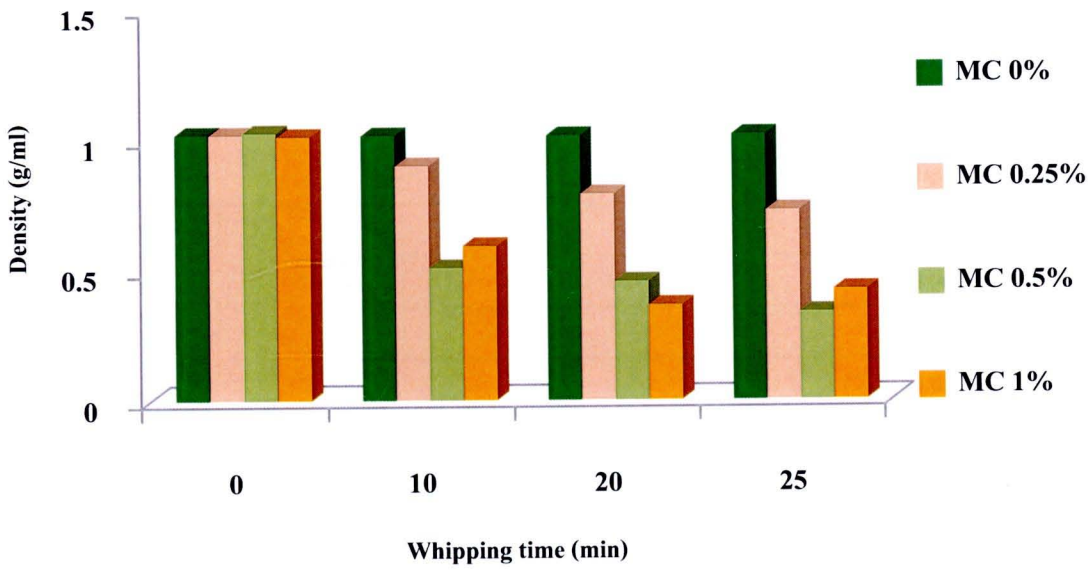
จากตารางที่ 2 พบว่าเนื้อมะม่วงโชคอนันต์สุกที่ผ่านการบดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 85.00 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ร้อยละ 0.21 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 14.10 องศาบริกซ์ ความเป็นกรด 4.53 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมด 68.13 ปริมาณ ascorbic acid 36.00 มิลลิกรัมต่อ

100 กรัมบริโภคได้ และ ปริมาณ β-carotene 2.79 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมบริโภคได้ ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของเกษม นันทชัย และ สมไฉน นาถภากุล (2543) ซึ่งรายงานไว้ว่ามะม่วงโชคอนันต์สุกมีองค์ประกอบ คือ ดังนี้ ค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 82.3 ค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ร้อยละ 0.3 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 16.9 องศาบริกซ์ และมีปริมาณβ-carotene ประมาณ 2.4 ไมโครกรัมกรัม100กรัมบริโภคได้ จากการวัดค่าสีของมะม่วงโชคอนันต์ พบว่ามะม่วงโชคอนันต์มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เป็น 95.14, 9.67 และ 46.14 ตามลำดับ รุจิภรณ์ พัฒนจันทร์ (2546) ได้สรุปไว้ว่า ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่บ่มให้สุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสีกล่าวคือ ค่าความสว่างของเนื้อมะม่วงจะลดลงเมื่อเทียบกับมะม่วงดิบ ส่วนค่าความเป็นสีแดงนั้นพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเขียวเป็นสีแดงเมื่อสุกและมีความเป็นสีแดงมากขึ้นเมื่อผลสุกมากขึ้น สำหรับค่า ความเป็นสีเหลืองพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงในช่วงหลังของการสุก การเปลี่ยนสีของผลมะม่วงเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เป็นส่วนประกอบของผลมะม่วงซึ่งเป็นสารให้สีเขียวกับผลมะม่วง และหลังจากมะม่วงสุกสีของผลมะม่วงจะเป็นสีเหลือง-แดง และสีเข้มขึ้นเนื่องจากสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ปกติสารกลุ่มแคโรทีนอยด์นี้มีอยู่ในผลมะม่วงตั้งแต่เริ่มแรก แต่ที่ไม่สามารถมองเห็นได้แต่แรกเพราะถูกสารสีกลุ่มคลอโรฟิลล์บดบังไว้ เมื่อสารสีคลอโรฟิลล์เสื่อมสลายตัว สารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์จึงปรากฏให้เห็นชัดเจนเมื่อผลสุก (Britton and Hornero-Mendez 1998)

4.2 ผลของปริมาณเมทิลเซลลูโลส และเวลาในการตีปั่นต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ ของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์

4.2.1 ผลของปริมาณเมทิลเซลลูโลส และเวลาในการตีปั่นต่อค่าความหนาแน่นของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ ดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 14) พบว่าปริมาณของสาร เมทิลเซลลูโลส และเวลาในการตีปั่นมีผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 9 และตารางที่ 3



ภาพที่ 9 ผลของปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อค่าความหนาแน่นของโฟมเนื้อมะม่วง

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อค่าความหนาแน่นของโฟมเนื้อมะม่วง

ระดับของสารเมททิลเซลลูโลส (ร้อยละ)	เวลาตีปั่น (นาที)	ความหนาแน่น (g/ml)
0.0	0	1.02 ± 0.00^{ab}
	10	1.01 ± 0.00^{b}
	20	1.01 ± 0.00^{b}
	25	1.02 ± 0.00^{b}
0.25	0	1.02 ± 0.00^{ab}
	10	0.90 ± 0.00^{c}
	20	0.79 ± 0.00^{d}
	25	0.73 ± 0.00^{e}
0.50	0	1.03 ± 0.01^{a}
	10	0.51 ± 0.00^{g}
	20	0.45 ± 0.00^{h}
	25	0.34 ± 0.01^{k}
1.0	0	1.01 ± 0.00^{b}
	10	0.59 ± 0.00^{f}
	20	0.36 ± 0.00^{j}
	25	0.42 ± 0.00^{i}

*a,b….. อักษรที่มีตัวเลขกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากภาพที่ 9 และตารางที่ 3 พบว่าการใช้สารเมทิลเซลลูโลสทุกระดับความเข้มข้นโดยไม่ได้ตีปั่น (0นาที) จะไม่ทำให้เนื้อมะม่วงบดเกิดเป็นโฟมเพราะไม่มีฟองอากาศแทรกเข้าไปในเนื้อมะม่วงดังนั้นของผสมระหว่างเนื้อมะม่วงกับสารเมทิลเซลลูโลสจึงมีค่าความหนาแน่นสูงคืออยู่ระหว่าง 1.01 ถึง 1.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) การตีปั่นเนื้อมะม่วงบดที่เวลา10 20 และ 25 นาทีโดยไม่เติมสารเมทิลเซลลูโลสก็จะไม่ทำให้เกิดโฟม ขึ้นเช่นกันทั้งนี้เพราะไม่มีสารที่จะเชื่อมยึดระหว่างฟองอากาศและของเหลวในเนื้อมะม่วงบดจึงทำให้ของผสมระหว่างเนื้อมะม่วงบดและสารเมทิลเซลลูโลสมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.013 ถึง 1.015 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

การเติมสารเมทิลเซลลูโลสตั้งแต่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-1.0 และใช้เวลาในการตีปั่น 10-25 นาที จะทำให้เนื้อมะม่วงเกิดเป็นโฟมขึ้นนั่นคือมีฟองอากาศแทรกตัวเข้าไปในเนื้อมะม่วงและผิวของฟองอากาศถูกล้อมรอบด้วยสารเมททิลเซลลูโลสจึงทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดต่ำลง โดยเฉพาะการใช้เมททิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และใช้เวลาตีปั่น 25 นาที จะทำให้โฟมที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทาง

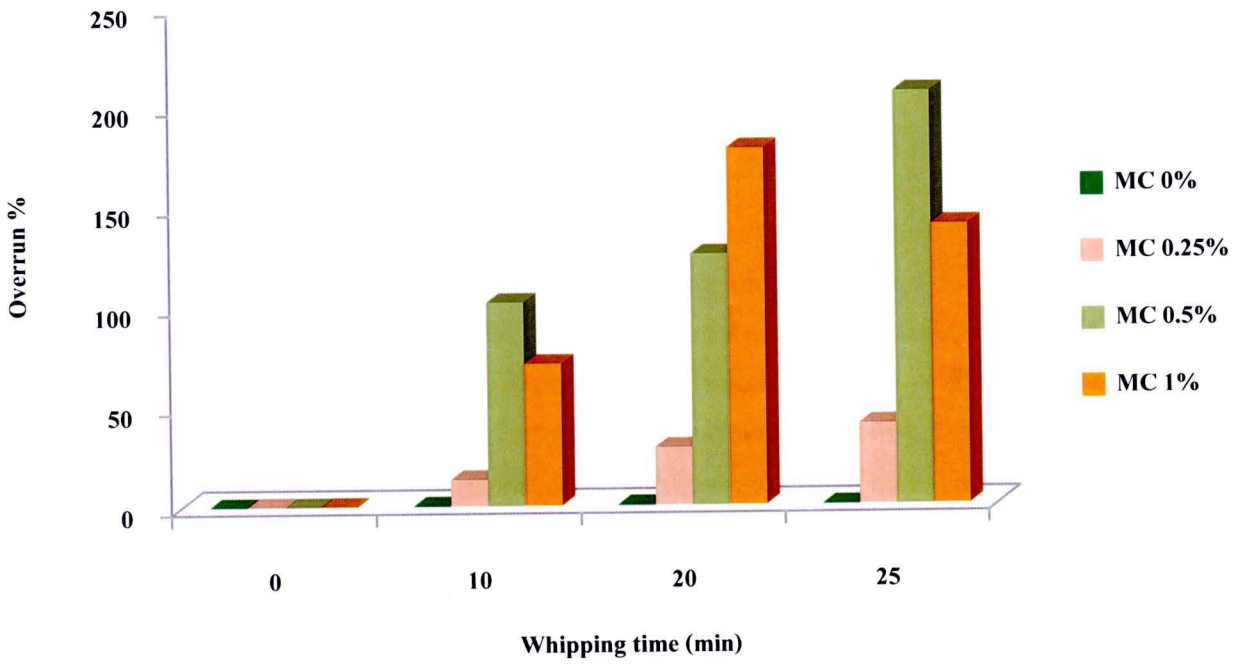
สถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 0.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การใช้สารเมททิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และตีปั่น 20 และ 25 นาทีจะทำให้ความหนาแน่นของโฟมเป็น0.36 และ0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้เมททิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และใช้เวลาตีปั่น 25 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้สารเมททิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นเกินร้อยละ 0.5 อาจทำให้เนื้อมะม่วงบดมีค่าความหนืดสูงกว่าค่าความหนืดสูงสุดที่ยอมให้ฟองอากาศแทรกตัวเข้าไปได้มากที่สุด (Karim and Wai 1999)

เป็นที่น่าสังเกตว่าการใช้สารเมททิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และเพิ่มเวลาในตีปั่นจาก 20 นาทีเป็น 25 นาทีจะทำให้โฟมที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เพราะการเพิ่มเวลาตีปั่นในสารผสมที่ข้นหนืดอาจทำให้ฟองอากาศแตกตัวและโฟมเกิดการยุบตัวลงส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้น (Karim and Wai 1999)

ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hart and others (1963) ซึ่งพบว่าค่าความหนาแน่นของโฟมที่เหมาะสมสำหรับนำไปทำแห้งควรอยู่ในระหว่าง 0.4-0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรทั้งนี้เพราะโฟมที่มีความหนาแน่นในช่วงดังกล่าวจะมีความคงตัวสูงและไม่เกิดการยุบตัวในระหว่างการทำแห้ง

4.2.2 ผลของปริมาณเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อค่าร้อยละการขยายตัวของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการขยายตัวโฟมเนื้อมะม่วงโชอนันต์ ดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 15) พบว่าปริมาณของสารเมททิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นมีผลต่อค่าดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 10 และตารางที่ 4



ภาพที่ 10 ผลของปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อค่าร้อยละการขยายตัวของโฟมเนื้อมะม่วง

ตารางที่ 4 ผลของปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อค่าร้อยละการขยายตัวของโฟมเนื้อมะม่วง

ระดับของสารเมททิลเซลลูโลส (ร้อยละ)	เวลาตีปั่น (นาที)	ร้อยละการขยายตัวของโฟม
0.0	0	0.00 ± 0.00^{j}
	10	0.40 ± 0.31^{j}
	20	0.52 ± 0.40^{j}
	25	0.24 ± 0.07^{j}
0.25	0	0.00 ± 0.00^{j}
	10	13.25 ± 0.63^{i}
	20	28.80 ± 0.28^{h}
	25	40.20 ± 0.27^{g}
0.50	0	0.00 ± 0.00^{j}
	10	101.81 ± 0.74^{e}
	20	125.51 ± 1.26^{d}
	25	206.17 ± 6.08^{a}
1.0	0	0.00 ± 0.00^{j}
	10	70.91 ± 0.72^{f}
	20	178.09 ± 2.58^{b}
	25	139.76 ± 5.81^{c}

*a,b..... อักษรที่มีตัวเลขกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากภาพที่ 10 และตารางที่ 4 พบว่าที่ระดับเมทธิลเซลลูโลสตั้งแต่ร้อยละ 0.5-1 และเวลาในการตีปั่นตั้งแต่ 10 ถึง 25 นาที ค่าร้อยละการขยายตัวของโฟมมะม่วงจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับการไม่เติมสารเมทิลเซลลูโลสและไม่ตีปั่น โดยเฉพาะการใช้เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 และตีปั่น 25 นาที จะทำให้โฟมเนื้อมะม่วงมีค่าร้อยละการขยายตัวของโฟมสูงที่สุดคือ 206.17 ทั้งนี้เพราะที่สภาวะดังกล่าวโฟมที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นต่ำที่สุดซึ่งแสดงว่ามีการแทรกตัวของอากาศในโฟมมากที่สุดซึ่งก็ส่งผลให้โฟมมีการขยายตัวสูงสุดนั่นเอง (Karim and Wai 1999) แต่เมื่อเติมสารเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.0 และตีปั่นเป็นเวลา10, 20 และ 25 นาทีจะทำให้ค่าร้อยละการขยายตัวของโฟมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 และตีปั่น 25 นาที ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้สารเมทิลเซลลูโลสที่ระดับร้อยละ 1.0 จะทำให้ของผสมมีความหนืดมากเกินไปและการเพิ่มเวลาตีปั่นจาก 20 นาที เป็น 25 นาที เมื่อใช้เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.0 อาจทำให้ฟองอากาศแตกจึงทำให้โฟมยุบตัวลงซึ่งก็ส่งผลให้ค่าร้อยละการขยายตัวลดลงจาก 178.09 เป็นร้อยละ 139.76 ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานของ Bikerman (1973) ที่รายงานว่าการเพิ่มความหนืดให้กับของผสมที่ต้องการให้เกิดโฟมสามารถเพิ่มได้จนถึงค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น ถ้าค่าความหนืดสูงมากเกินไปจะไปขัดขวางการกักเก็บ

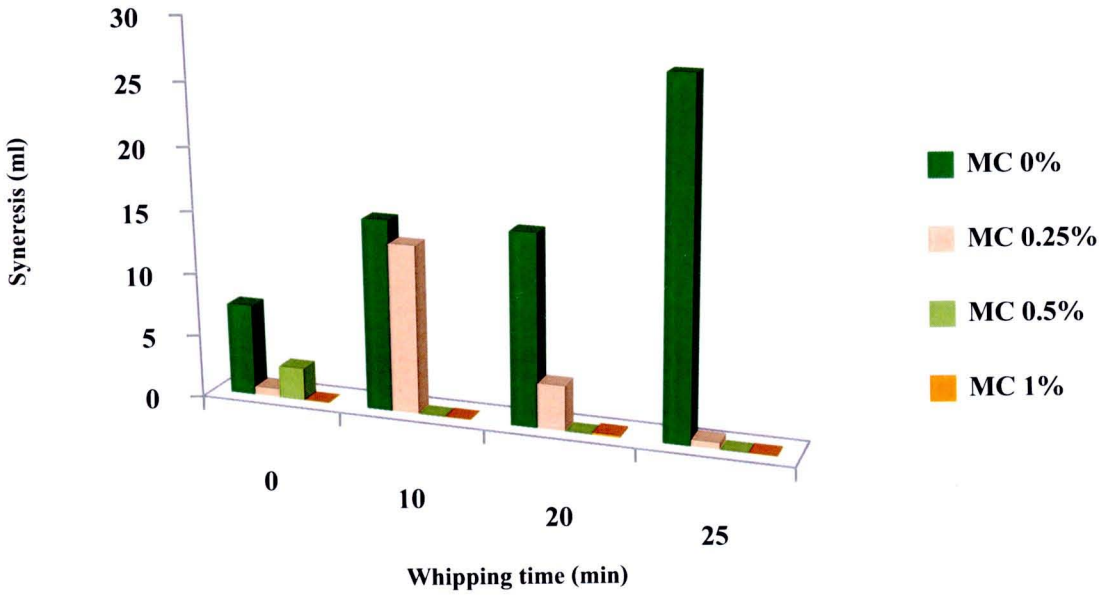
อากาศในขณะที่ตีโฟมทำให้ค่าร้อยละการขยายตัว (overrun) ลดลง ซึ่งบ่งบอกถึงการกักเก็บอากาศที่ลดลงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมมากขึ้นดังนั้นการใช้ปริมาณสารช่วยให้เกิดฟองมากเกินไปอาจจะไปเพิ่มความหนืดให้แก่ตัวอย่าง ทำให้ไปขัดขวางการดักจับอากาศในระหว่างการตีปั่นได้

จากผลการทดลองที่ 4.2.1 และ 4.2.2 พอจะสรุปได้ว่า การขยายตัวหรือการขึ้นฟูของโฟมที่เพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้สารเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 และตีปั่น 25 นาทีนั้นส่งผลให้โฟมมีค่าความหนาแน่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ด้วยเช่นกัน การที่ค่าการขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นนี้ชี้ให้เห็นว่าโฟมสามารถดักจับอากาศได้มากและนั้นเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นของโฟมลดต่ำลงด้วย

4.2.3 ผลของปริมาณเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโฟม ดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 16) พบว่าปริมาณของสารเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นมีผลต่อค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 11 ตารางที่ 5 ซึ่งพบว่า เมื่อไม่มีการเติมสารเมทิลเซลลูโลส แต่ยังคงมีการตีปั่นอากาศเข้าไปเนื้อมะม่วงจะมีน้ำแยกตัวออกจากของผสมระหว่างเนื้อมะม่วงในปริมาณ 7.25 ถึง 27.25 มิลลิลิตร แต่เมื่อเติมสารเมทิลเซลลูโลสที่ระดับตั้งแต่ร้อยละ 0.5-1.0 และใช้เวลาในการตีปั่น 10-25 นาที จะไม่มีน้ำแยกตัวออกจากโฟมของเนื้อมะม่วงทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเติมสาร เมทิลเซลลูโลสจะช่วยทำให้ฟองอากาศที่แทรกตัวเข้าไปในเนื้อมะม่วงบดในระหว่างการตีปั่นและน้ำหรือของเหลวในเนื้อมะม่วงบดอยู่ร่วมกันได้และเกิดเป็นโฟมที่คงตัวขึ้น กล่าวคือสารเมทิลเซลลูโลสจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าจับกับฟองอากาศและหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าจับกับส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำนอกจากนี้การเติมสารเมทิลเซลลูโลสอาจเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ให้กับเนื้อมะม่วงบดจึงทำให้โฟมที่เกิดขึ้นมีความคงตัวมากและไม่ปล่อยให้น้ำแยกออกมาจากโฟมได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชุติมาและคณะ (2553) ซึ่งพบว่าการเติมของผสมระหว่างเมทิลเซลลูโลส(เมทโทเซล)และคาร์บอกซเมทิลเซลลูโลสในอัตราส่วน 1 ต่อ 1ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 จะทำให้โฟมของน้ำตะไคร้มีความคงตัวสูงกล่าวคือมีน้ำไหลออกจากโฟมเพียง 0.028 มิลลิลิตรต่อนาที

จากผลการทดลองในข้อ 4.2.1-4.2.3 ของงานวิจัยครั้งนี้พอจะสรุปได้ว่าเมื่อความหนืดของส่วนผสมระหว่างเนื้อมะม่วงกับสารเมททิลเซลลูโลสขณะตีปั่นให้เกิดโฟมมีค่าเพิ่มขึ้นจนเกินระดับสูงสุดที่เหมาะสมจะทำให้ค่าความหนาแน่นของโฟมเนื้อมะม่วงเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าร้อยละการขยายตัวลดลงและค่าของการแยกตัวของของเหลวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ คุ้มเกล้า และคณะ (2552) ที่พบว่าเมื่อความหนืดของส่วนผสมน้ำกระเทียมดองมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นของโฟมน้ำกระเทียมดองเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าร้อยละการขยายตัวลดลงและค่าของการแยกตัวของของเหลวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Karim and Wai (1999) ได้รายงานว่าหากของเหลวมีความหนืดสูงขึ้นอาจไปขัดขวางการกักเก็บฟองอากาศในระหว่างการตีโฟมจะทำให้ค่าการขึ้นฟูของโฟมลดลงซึ่งแสดงว่าความสามารถในการกักเก็บอากาศในโฟมลดลงด้วยจึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมมากขึ้นและมีการปลดปล่อยของเหลวออกจากโฟมได้มากขึ้น



ภาพที่ 11 ผลของปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อปริมาณของน้ำที่แยกออกจากโฟม ของโฟม เนื้อมะม่วง

ตารางที่ 5 ผลของปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์

ระดับของสารเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ)	เวลาตีปั่น (นาที)	ปริมาณของน้ำที่แยกออกจากโฟม (มิลลิลิตร)
0.0	0	7.25 ±1.43 [c]
	10	15.03 ±4.95 [b]
	20	15.00 ±1.41 [b]
	25	27.25 ±1.77 [a]
0.25	0	3.65 ±0.14 [d]
	10	13.25 ±1.06 [b]
	20	3.50 ±0.71 [d]
	25	0.00 ±0.00 [f]
0.50	0	3.47 ±2.55 [d]
	10	0.00 ±0.00 [f]
	20	0.00 ± 0.00 [f]
	25	0.00 ±0.00 [f]
1.0	0	0.15 ±0.21 [e]
	10	0.00±0.00 [f]
	20	0.00±0.00 [f]
	25	0.00±0.00 [f]

*a,b….. อักษรที่มีตัวเลขกำกับต่างกันในแยวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

อย่างไรก็ตาม Prin (1988) รายงานว่าโฟมของอาหารจะมีความคงตัวมากขึ้น (ซึ่งวัดได้จากการที่มีอัตราการแยกตัวของของเหลวน้อยลง) เมื่อระดับความหนืดสูงขึ้น (แต่ไม่เกินระดับที่เหมาะสม) ทั้งนี้เพราะการเพิ่มความหนืดจะช่วยให้เกิดฟิล์มที่แข็งแรงบริเวณผิวหน้าสัมผัสระหว่างฟองอากาศและของเหลว และป้องกันไม่ให้เกิดการแตกของฟองอากาศได้ง่าย Bikerman (1973) รายงานว่าการเพิ่มความหนืดของโฟมสามารถเพิ่มได้จนถึงค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น หากค่าความหนืดสูงเกินไป จะไปขัดขวางการกักเก็บอากาศในขณะที่ตีโฟมทำให้ค่าการขยายตัวลดลงซึ่งบ่งบอกถึงการกักเก็บอากาศที่ลดลงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมมากขึ้นและทำให้ความคงตัวของโฟมลดลงด้วย

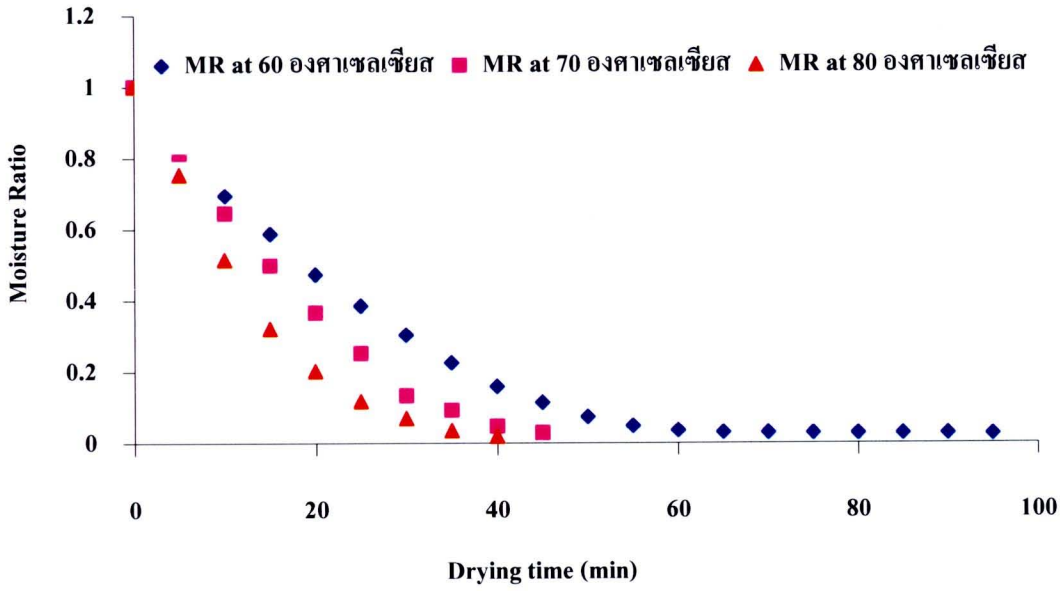
จากผลการทดลองครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้เนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์บดเกิดเป็นโฟมที่มีความความหนาแน่นต่ำที่สุด มีการขยายตัวมากที่สุด และไม่มีการแยกตัวของของเหลวออก

จากตัวโฟมคือการใช้สารเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 ใช้เวลาในการตีปั่น 25 นาที และสภาวะดังกล่าวนี้จะใช้สำหรับการทดลองเรื่องการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงบดต่อไป

4.3 ผลของอุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและสมบัติของโฟมแห้งที่ได้

4.3.1 ผลของอุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ

จากการนำโฟมเนื้อมะม่วงบดซึ่งมีความคงตัวสูงที่เตรียมได้จากการผสมเนื้อมะม่วงบดกับสารเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 0.5 และตีปั่นเป็นเวลา 25 นาทีไปเกลี่ยบนถาดให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายตามต้องการได้ผลดังแสดงในภาพที่ 12

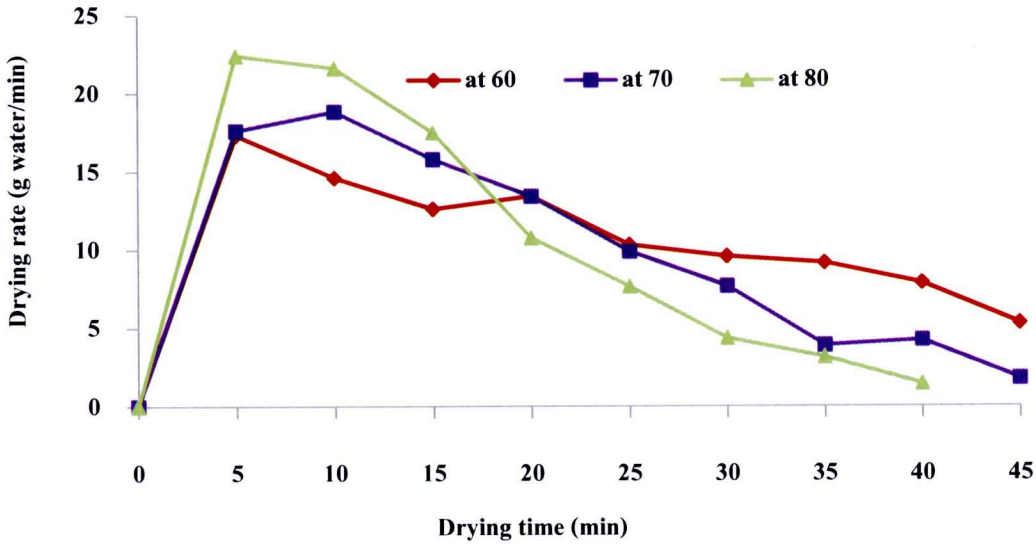


ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพที่ 12 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่าอัตราส่วนความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งให้สูงขึ้นจะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายหรือมีค่าอัตราส่วนความชื้นที่เท่ากันสั้นลง เช่นการอบแห้งโฟมเนื้อมะม่วงที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียสจะใช้เวลาเป็น95 นาที 45 นาที และ 40 นาทีตามลำดับเพื่อให้โฟมแห้งมีค่าอัตราส่วนความชื้นประมาณ 0.02 ทั้งนี้เพราะการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะทำให้น้ำในอาหารแพร่และระเหยออกจากอาหารได้เร็วขึ้นซึ่งก็ส่งผลให้เวลาในการทำแห้งลดลง (Fellows 2000)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากระบวนการทำแห้งแบบโฟม (foam-mat drying) เป็นกระบวนการซึ่งอาหารที่เป็นของเหลวหรือกึ่งแข็ง-กึ่งเหลวถูกทำให้เกิดเป็นโฟมที่คงตัวโดยการตีปั่นอากาศเข้าไปในอาหารร่วมกับการเติมสารที่ทำให้เกิดโฟม จากนั้นนำโฟมของอาหารที่คงตัวเกลี่ยเป็นชั้นบางและนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน การที่อาหารมีลักษณะที่เป็นโฟมจะช่วยทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการทำแห้ง Rajkumar and others (2007) ได้เปรียบเทียบการทำแห้งเนื้อมะม่วงบดและโฟมเนื้อมะม่วงโดยเกลี่ยลงบนถาดให้มีความหนาที่เท่ากัน (1 2 และ 3 มิลลิเมตร) แล้วทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสพบว่าทุกระดับของความหนานั้นเวลาในการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงจะสั้นกว่าเนื้อมะม่วงบดเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่เท่ากัน

สำหรับอัตราการทำแห้งของโฟมเนื้อมะม่วงบดที่อุณหภูมิต่างๆแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับเวลาในการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพที่ 13 ซึ่งแสดงอัตราการทำแห้งของโฟมเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งจะเกิดขึ้น 2 ช่วงคือช่วงการปรับตัวหรือช่วง heat up ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วง 5 นาทีแรกของการทำแห้งและช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thuwapanichayanan and others (2008) ซึ่งพบว่าการทำแห้งโฟมของเนื้อกล้วยบดโดยใช้โฟมที่มีความหนาแน่น 0.3, 0.5 และ 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเกลี่ยให้มีความหนา 5 มิลลิเมตรและทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะเกิดขึ้น 2 ช่วงคือช่วง heat up และช่วงอัตราการทำแห้งลดลง นอกจากนี้ Rajkumar and others (2007) ก็พบการทำแห้งทั้ง 2 ช่วงนี้เช่นกัน สำหรับการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงพันธ์ alphonso ที่เกลี่ยให้มีความหนา 1-3 มิลลิเมตร แล้วทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส วิริยา พรมกองและคณะ (2552) ก็รายงานไว้ว่าการทำแห้งโฟมเนื้อมะขามจะพบทั้งในช่วง heat up และช่วงอัตราการทำแห้งลดลง

จากภาพที่ 13 จะเห็นว่าในช่วง 5 นาทีแรกของการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์บดที่อุณหภูมิ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียสนั้นค่าอัตราการทำแห้งจะเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากในช่วงต้นของการทำแห้ง (early state of

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

drying) ความชื้นของโฟมเนื้อมะม่วงยังคงสูงอยู่ดังนั้นค่าอัตราการทำแห้งจึงเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น (Thuwapanichayanan and others 2008) หลังจากนั้น (หลังจาก 5 นาที) การทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงของอุณหภูมิที่ศึกษาจะเคลื่อนเข้าสู่ช่วงอัตราการทำแห้งลดลงทั้งนี้เพราะหลังจากการทำแห้งผ่านไป 5 นาที ผิวหน้าของโฟมเนื้อมะม่วงเริ่มแห้งและอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในโฟมไปยังผิวหน้าของโฟมจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าอาหาร (Fellows 2000)

จากภาพที่ 13 ยังพบอีกว่าในช่วง 18-20 นาที แรกของการทำแห้งค่าอัตราการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งให้สูงขึ้นและอัตราการทำแห้งจะสูงสุดเมื่อใช้อุณหภูมิของลมร้อนเป็น 80 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นแล้วพบว่าอัตราการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เริ่มสูงกว่าที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วง 18-20 นาที แรกของการทำแห้งการระเหยน้ำออกจากโฟมเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งเป็น 80 องศาเซลเซียส เกิดได้เร็วว่าที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นภายหลังจาก 18-20 นาที ของการทำแห้งตัวอย่างโฟมที่ทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส จึงเหลือปริมาณน้ำมากกว่าที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส จึงเป็นเหตุให้ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปต่อหน่วยเวลาของการทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส สูงกว่าอีก 2 อุณหภูมิ ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Akpinar and others (2003) ซึ่งรายงานว่าอัตราการทำแห้งของ red pepper slices ที่ 70 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าที่ 65 และ 60 องศาเซลเซียส เฉพาะในช่วง 75 นาทีแรกของการทำแห้งและหลังจากนั้นการทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการทำแห้งสูงกว่าที่ 65 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งผู้วิจัยก็ให้เหตุผลหรือคำอธิบายในลักษณะเช่นเดียวกัน

โดยทั่วไปแล้วการทำแห้งแบบโฟมมักเกิดขึ้นในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) เป็นส่วนใหญ่ (Thuwapanichayanan and others 2008, Rajkumar and others 2007) ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งจึงนิยมใช้กฎการแพร่ของ Fick โดยถือว่าค่าความชื้นสมดุลในแต่ละอุณหภูมิของการทำแห้งมีค่าน้อยมากหรือเป็น 0 (Thuwapanichayanan and others 2008: Kadam and Balasubramanian 2011) เมื่อนำข้อมูลการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ (ในรูปที่อัตราส่วนความชื้นแปรเปลี่ยนตามเวลา) ที่อุณหภูมิต่างๆไป fit กับสมการที่สร้างจากกฎการแพร่ของฟิคก็จะทำให้สามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆได้ ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ(D_{eff}) (m^2/s)
60	4.27×10^{-9} ($r^2 = 0.903$)
70	5.13×10^{-9} ($r^2 = 0.909$)
80	6.18×10^{-9} ($r^2 = 0.923$)

จากตารางที่ 6 ซึ่งแสดง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 4.27×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที เป็น 5.13×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที และ 6.18×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thuwapanichayanan and others (2008) ซึ่งรายงานว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งโฟมกล้วยบดจะเพิ่มขึ้นจาก 2.34×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที เป็น 3.60×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที เมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มจาก 60 องศาเซลเซียสเป็น 80 องศาเซลเซียส Kadam and Balasubramanian (2011) รายงานว่าเมื่อนำโฟมของเนื้อมะเขือเทศที่มีส่วนผสมของ egg albumin ร้อยละ 5 ไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียสโดยเกลี่ยให้มีความหนา 2.5 มิลลิเมตร พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งจะเพิ่มขึ้นจาก 2.02×10^{-8} ตารางเมตรต่อวินาที เป็น 3.04×10^{-8} ตารางเมตรต่อวินาที และ 3.05×10^{-8} ตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

สำหรับความสัมพันธุ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำกับอุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งสามารถอธิบายได้โดยใช้ความสัมพันธุ์แบบ Arrhenius ดังนี้

$$D = 13473.168 \exp\left(\frac{-22220}{RT}\right) \quad (r^2 = 0.973) \quad \text{.....(10)}$$

จากสมการที่ (10) พบว่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ที่ทำแห้งในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียสมีค่าเป็น 22.22 กิโลจูลต่อกิโลโมล Thuwapanichhayanan and others (2008) รายงานว่าค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ของน้ำในการทำแห้งโฟมกล้วยที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส มีค่าเป็น 21.08 กิโลจูลต่อกิโลโมล

4.3.2 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งแบบโฟมต่อคุณสมบัติของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้งที่ได้หลังการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 17-19) พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองของโฟมแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสีของโฟมมะม่วงโชคอนันต์แห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

Drying Temperature (^{o}C)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
60	82.60^{a} ±0.135	4.10^{a} ±0.11	36.41^{a} ±0.09
70	82.31^{b} ±0.02	4.06^{b} ±0.06	36.13^{b} ±0.02
80	80.21^{c} ±0.071	3.80^{c} ±0.01	38.03^{c} ±0.04

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)
หมายเหตุ: สำหรับเนื้อมะม่วงสดบดมีค่า L* = 95.14 มีค่า a* = 9.17 และค่า b* = 46.14

จากตารางที่ 7 ซึ่งแสดงค่าสีของโฟมมะม่วงโชคอนันต์แห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นจะทำให้ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ของโฟมแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) แต่ค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเพิ่มอุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งอาจไปเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอ็นไซม์ซึ่งอาจจะเป็น Maillard reaction และ ascorbic degradation ให้สูงขึ้น ดังนั้นจึงพบว่าการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์โดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจึงทำให้โฟมแห้งที่ได้ค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด ($p\leq 0.05$) เมื่อเทียบกับที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ Rzepecka-Stuchly (1976) ซึ่งได้รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งน้ำส้มเข้มข้นโดยวิธีโฟม-แมทจาก 70 เป็น 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงของโฟมแห้งลดลงแต่ค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้วยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชุติมาและคณะ (2553) ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งน้ำตะไคร้แบบโฟมจาก 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส จะทำให้โฟมแห้งที่ได้มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงลดลงส่วนความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นในทุกๆระดับความเข้มข้นของสารช่วยทำให้เกิดโฟมที่ใช้

4.3.3 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งแบบโฟมต่อองค์ประกอบทางเคมีของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้งที่ได้หลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 20-22) พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งไม่มีผลต่อ ค่าปริมาณความชื้นและค่าปริมาณ β-carotene อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อค่าปริมาณ ascorbic acid อย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

Drying Temperature (^{o}C)	Moisture content (%db)	β-carotene (µg/100g solid)	Ascorbic acid (mg/100g solid)
60	3.70^{a} ±1.01	13.18^{a} ±1.41	71.82^{c} ±1.56
70	3.50^{a} ±0.87	12.28^{a} ±2.54	158.55^{a} ±2.91
80	3.72^{a} ±0.51	12.13^{a} ±2.47	109.35^{b} ±2.58

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
หมายเหตุ : เพื่อให้ความชื้นสุดท้ายเท่ากันคือร้อยละ 3-4 (น้ำหนักแห้ง) การทำแห้งที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 95, 45 และ 40 นาที ตามลำดับ

จากตารางที่ 8 ซึ่งแสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีของโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่าปริมาณความชื้นแบบฐานแห้ง (dry basis) ของโฟมแห้งที่ได้จากทั้งสามอุณหภูมิไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.50-3.72 ทั้งนี้เพราะในการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงในทุกๆอุณหภูมิได้ควบคุมความชื้นสุดท้ายของโฟมแห้งให้คงที่ ดังนั้นเวลาในการทำแห้งในแต่ละอุณหภูมิจึงไม่เท่ากันสำหรับการทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 95 นาที ส่วนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะใช้เวลา 45 นาที และการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพียง 40 นาที เพื่อให้ตัวอย่างโฟมเนื้อมะม่วงแห้งมีความชื้นอยู่ในช่วงดังกล่าว

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อปริมาณ β-carotene ของโฟมแห้งพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณ β-carotene ลดลงจาก 13.18 ไมโครกรัมต่อ100 กรัมของแข็ง เป็น 12.28 และ 12.13 ไมโครกรัมต่อ100 กรัมของแข็ง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณ ascorbic acid ในโฟมแห้งนั้นพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้โฟมแห้งที่ได้มีปริมาณของ ascorbic acid หลงเหลืออยู่มากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 158.55 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมของแข็ง ส่วนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้โฟมแห้งที่ได้มีปริมาณ ascorbic acid หลงเหลืออยู่ 109.35 และ 71.82 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมของแข็ง ตามลำดับ โดยปกติแล้ววิตามินซี หรือ ascorbic acid เป็นวิตามินที่สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2551) ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนจึงมีผลต่อการสลายตัวของวิตามินซี ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำแห้งแตกต่างกันเพื่อให้โฟมแห้งที่ได้มีความชื้นเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 45 นาที แต่การทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาถึง 95 นาที ดังนั้นแม้อุณหภูมิในการทำแห้งจะสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส แต่เวลาในการทำแห้งสั้นลงถึง 50 นาที ดังนั้นการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 45 นาทีจึงทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 95 นาที หากเปรียบเทียบ

การทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 40 นาที แต่การทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 45 นาที ดังนั้นแม้จะเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งให้สูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส แต่เวลาในการทำแห้งไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 45 นาทีจึงทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

Rajkuma and others (2007) รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงพันธ์ Alphonso ที่เกลี่ยให้มีความหนาที่เท่ากันให้สูงขึ้นจาก 60 เป็น 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณ β-carotene และ ascorbic acid ลดลงทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการทดลองของนักวิจัยกลุ่มดังกล่าวได้ใช้เวลาในการทำแห้งเท่าๆกันในทั้งสามอุณหภูมิที่ใช้ดังนั้นจึงไม่มีผลของเวลาการทำแห้งเข้ามาเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสารดังกล่าว

4.3.4 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งแบบโฟมต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้ง

ผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และ โคลิฟอร์มแบคทีเรียในโฟมเนื้อมะม่วงแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆแสดงในตารางที่ 9 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และตรวจไม่พบ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย

ตารางที่ 9 จำนวนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆในโฟมมะม่วงแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (^{0} C)	ชนิดของจุลินทรีย์		
	Total Plate count (CFU/g)	Yeast and mold (CFU/g)	Coliform Bacteria (MPN method)
60	75	20	ตรวจไม่พบ
70	65	15	
80	55	20	

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย จากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 9 ซึ่งแสดงจำนวนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆในโฟมมะม่วงแห้งพบว่าโฟมเนื้อมะม่วงแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส นั้นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และตรวจไม่พบ โคลิฟอร์มแบคทีเรียในโฟมแห้งที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอาหารผงแห้งชนิดต่างๆ เช่นผงปรุงรสอาหาร (มผช 494/2547 2547) ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^4 โคโลนีต่อกรัม มียีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัมและมีโคลิฟอร์มด้วยวิธี MPN น้อยกว่า 3 ต่อกรัม ก็พอจะสรุปได้ว่าโฟมมะม่วงผงแห้งที่ได้มีความปลอดภัยต่อการบริโภคหรือนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆได้

การที่โฟมเนื้อมะม่วงแห้งซึ่งได้จากการทำแห้งทั้งสามอุณหภูมิมีจุลินทรีย์ในปริมาณค่อนข้างต่ำ อาจเป็นเพราะโฟมแห้งที่ได้ มีค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ระหว่าง 0.04 ถึง 0.44 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของชุติมาและคณะ (2553) ซึ่งได้รายงานว่าผงตะไคร้แห้งที่ได้จากการทำแห้งน้ำตะไคร้แบบโฟมโดยใช้ของผสมระหว่างเมโทเซลและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 เป็นสารให้เกิดโฟมและทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 26.6 โคโลนีต่อกรัมมีปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และมีโคลิฟอร์มด้วยวิธี MPN น้อยกว่า 2 ต่อกรัม ผงตะไคร้แห้งที่ผู้วิจัยกลุ่มนี้ผลิตได้โดยใช้สภาวะดังกล่าวมีค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.49 และมีความชื้นร้อยละ 4.50

4.3.5 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งแบบโฟมต่อคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์โฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์แห้ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านต่างๆที่ผู้ทดสอบทดสอบชิมจำนวน 30 คน มีต่อโฟมแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 23-25) พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อคะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น และ ความชอบโดยรวมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าคะแนนความชอบด้านต่างๆของโฟมมะม่วงแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	คะแนนความชอบด้านต่างๆ		
	สี	กลิ่น	ความชอบโดยรวม
60	$6.97^{a} \pm 1.03$	$5.77^{a} \pm 1.16$	$6.37^{a} \pm 1.24$
70	$6.70^{a} \pm 1.18$	$6.07^{a} \pm 1.38$	$6.50^{a} \pm 1.10$
80	$6.57^{a} \pm 1.55$	$6.23^{a} \pm 1.07$	$6.97^{a} \pm 1.13$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 10 ซึ่งแสดงค่าคะแนนความชอบด้านต่างๆของโฟมมะม่วงแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้โฟมแห้งมีคะแนนความชอบทางด้านสี 6.97 ด้านกลิ่น 5.77 และความชอบโดยรวม 6.37 ส่วนการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส โฟมแห้งที่ได้จะมีคะแนนความชอบทางด้านสี 6.70 ด้านกลิ่น 6.07 และความชอบโดยรวม 6.50 สำหรับโฟมแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส มีคะแนนความชอบทางด้านสี 6.57 ด้านกลิ่น 6.23 และความชอบโดยรวม 6.97 ตามลำดับ

การที่ค่าคะแนนความชอบในด้านต่างๆของโฟมแห้งที่ได้จากการทำแห้งทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นั้น อาจเนื่องมาจากช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่แตกต่างกันจนเกินไป จึงให้ผู้ทดสอบชิมมีความชอบในด้านต่างๆใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองในข้อที่ 4.3.2-4.3.5 จะเห็นได้ว่าการทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที นอกจากจะทำให้โฟมแห้งสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าที่สภาวะการทำแห้งอื่นๆ แล้วยัง

ทำให้โฟมแห้งมีความปลอดภัยในแง่ของจุลินทรีย์และได้รับคะแนนความชอบในด้านต่างๆที่ไม่แตกต่างจากการทำแห้งที่สภาวะอื่นๆอีกด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้การทำแห้งโฟมเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

4.4 ผลของการประยุกต์ใช้โฟมมะม่วงแห้งที่บดเป็นผงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

เมื่อนำเนื้อมะม่วงใน 2 ลักษณะคือเนื้อมะม่วงสดและเนื้อมะม่วงคืนรูปจากผงมะม่วงแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟมไปผลิตเป็น ไอศกรีมจากนั้นนำไอศกรีมทั้ง 2 สูตรไปตรวจสอบลักษณะการขึ้นฟู ค่าร้อยละการละลาย และทดสอบความชอบด้านต่างๆซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลของลักษณะเนื้อมะม่วงต่อค่าร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมมะม่วง

เมื่อนำค่าร้อยละของการขึ้นฟูตัวอย่างไอศกรีมเนื้อมะม่วงสดและไอศกรีมเนื้อมะม่วงคืนรูปไปประเมินความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 26) พบว่าลักษณะของมะม่วงมีผลต่อค่าร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงสดและเนื้อมะม่วงคืนรูป

ตัวอย่างไอศกรีม	ค่าร้อยละการขึ้นฟู
ไอศกรีมเนื้อมะม่วงคืนรูป	$20.00^{b} \pm 1.09$
ไอศกรีมเนื้อมะม่วงสด	$23.85^{a} \pm 0.12$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 11 พบว่าไอศกรีมเนื้อมะม่วงสดมีค่าร้อยละการขึ้นฟูเป็น 23.85 ส่วนไอศกรีมเนื้อมะม่วงคืนรูปที่มีค่าร้อยละการขึ้นฟู 20.00 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุวีณา จันทพิรักษ์ (2553) ที่รายงานว่าไอศกรีมเสาวรสมีค่าร้อยละการขึ้นฟูประมาณ 25.31-25.48

การที่ร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงคืนรูปมีค่าต่ำกว่าไอศกรีมจากเนื้อมะม่วงสดนั้นอาจเป็นเพราะว่าเนื้อมะม่วงคืนรูปมีอนุภาคที่เล็กกว่าดังนั้นที่ระดับความชื้นเดียวกันเนื้อมะม่วงคืนรูปจึงมีความหนืดกว่าเนื้อมะม่วงสด ดังนั้นในระหว่างการปั่นไอศกรีมจึงอาจทำให้ฟองอากาศแทรกตัวของเข้าไปในส่วนผสมของไอศกรีมได้น้อยลงซึ่งก็เป็นเหตุให้การขึ้นฟูน้อยลงนั่นเอง

4.4.2 ผลของลักษณะเนื้อมะม่วงต่อค่าร้อยละการหลอมตัวของไอศกรีมมะม่วง

เมื่อประเมินความแปรปรวนค่าร้อยละการหลอมตัวของตัวอย่างไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงสดและไอศกรีมเนื้อมะม่วงคืนรูปดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 27) พบว่าลักษณะของมะม่วงมีผลต่อค่าร้อยละการหลอมตัวของไอศกรีมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่12

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 12 ค่าร้อยละการหลอมตัวของไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงสดและเนื้อมะม่วงคืนรูป

ตัวอย่างไอศกรีม	ค่าร้อยละการหลอมตัว
ไอศกรีมเนื้อมะม่วงคืนรูป	31.24 [a] ±0.75
ไอศกรีมเนื้อมะม่วงสด	36.64 [a] ±1.93

a,b,.. ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 12 พบว่าไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงสดมีค่าร้อยละการหลอมตัวเป็น 36.64 ซึ่งสูงกว่า (แม้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ) ไอศกรีมเนื้อมะม่วงคืนรูปที่มีค่าการหลอมตัวเป็น 31.24 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงคืนรูปนอกจากจะมีสารอิมัลซิไฟเออร์และสารสเตบิไลซ์เซอร์ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความคงตัวและการหลอมตัวของไอศกรีมเท่ากับในสูตรที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงสดแล้วยังมีสารเมทิลเซลลูโลสอีกด้วยซึ่งสารดังกล่าวนี้นอกจากจะช่วยทำให้เกิดโฟมในเนื้อมะม่วงบดแล้วอาจยังทำหน้าที่เป็นสารสเตบิไลซ์เซอร์ในไอศกรีมด้วย (Soukoulis and others 2010)

4.4.3 ผลของลักษณะเนื้อมะม่วงต่อคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านต่างๆ ของไอศกรีมเนื้อมะม่วง ดังแสดงในภาคผนวก ก (ตารางที่ 28-32) พบว่าชนิดของเนื้อมะม่วงมีผลต่อคะแนนความชอบด้าน สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ชนิดของเนื้อมะม่วงมีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 คะแนนความชอบด้านต่างๆของไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงสดและเนื้อมะม่วงคืนรูป

ลักษณะที่ประเมิน	ไอศกรีมมะม่วงคืนรูป	ไอศกรีมมะม่วงสด
สี	5.83 [b] ±0.21	7.20 [a] ±0.21
กลิ่นรส	5.80 [b] ±0.16	6.37 [a] ±0.17
รสชาติ	5.50 [b] ±0.20	6.47 [a] ±0.20
เนื้อสัมผัส	6.37 [a] ±0.19	6.90 [a] ±0.19
ความชอบโดยรวม	5.87 [b] ±0.17	6.80 [a] ±0.17

a,b,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 13 พบว่าคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงคืนรูปมีค่าเป็น 5.83, 5.80, 5.50, 6.67 และ 5.87 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบเล็กน้อย ส่วนคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของไอศกรีมที่ผลิตจากเนื้อมะม่วงสดมีค่าเป็น 7.20, 6.37, 6.47, 6.90 และ 6.80 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เป็นที่น่าสังเกตว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของไอศกรีมทั้ง 2 สูตรไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทั้ง 2 สูตรมีเนื้อสัมผัสที่เนียนละเอียดและมีค่าการละลายที่ไม่ต่างกันนั่นเอง

Karim and Wai (1999) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์มะเฟืองแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง-ระเหิดแห้ง (freeze drying) จะมีค่าความสว่างสูงกว่าผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟม ส่วนผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบโฟมจะมีสีน้ำตาลเล็กน้อยซึ่งน่าจะเกิดจากปฏิกิริยา non-enzymatic browning หรือ caramelization ของน้ำตาลที่อยู่ในระหว่างการทำแห้ง และเมื่อนำไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟมมีกลิ่นที่อ่อนกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบระเหิดแห้ง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามะม่วงผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟมแม้จะนำไปคืนรูปจนมีความชื้นเท่ากับเนื้อมะม่วงสดแต่เมื่อนำมาผลิตไอศกรีมก็ยังให้ผลด้อยกว่าเนื้อมะม่วงสดทั้งนี้อาจเป็นเพราะความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งอาจทำให้เกิดการระเหยของสารให้กลิ่นรสออกจากโฟมมะม่วงและขณะเดียวกันความร้อนที่ใช้อาจทำให้เกิดการสลายตัวของβ-carotene และวิตามินซี รวมทั้งเกิดสีน้ำตาล (Fellows 2000) ในโฟมด้วย ดังนั้นจึงทำให้กลิ่นรส (flavor) สี และคุณค่าทางโภชนาการของโฟมเนื้อมะม่วงแห้งด้อยลงเมื่อเทียบกับเนื้อมะม่วงสด