

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณภาพทางเคมี และกายภาพของมะม่วงสุกก่อนการอบแห้ง

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงสุกก่อนการอบแห้งที่สภาวะต่างๆในการศึกษาครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 5 โดยระดับความหวานของมะม่วงสุกที่นำมาใช้ในการอบแห้งพิจารณาจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าในช่วง 15-18 องศาบริกซ์ โดยเป็นช่วงความสุกของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ที่เหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการทำมะม่วงอบแห้ง เพื่อให้สามารถพัฒนากลิ่นรสได้ดีในระหว่างทำการอบแห้ง (Mahayothee, 2005) เนื่องจากระดับความสุกของผลไม้ไม่สามารถวัดได้จากค่าใดค่าหนึ่ง จึงพยายามควบคุมพารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการสุกของมะม่วงให้มีความสม่ำเสมอ อันได้แก่ สีเปลือก สีเนื้อ ค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้และความแน่นเนื้อ (दनัย และ นิธิยา, 2535) จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าในการศึกษานี้มะม่วงสุกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองในแต่ละสภาวะ มีค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆดังกล่าวข้างต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นค่าอัตราส่วนของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อกรด (TSS/TA, sugar-acid ratio) และความแน่นเนื้อ ซึ่งเราไม่สามารถควบคุมได้ แต่จะเห็นว่าเมื่อแยกพิจารณาเป็นชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและชุดทดลองศึกษาผลของเวลาพารามิเตอร์แต่ละชุดการทดลองมีความใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นเมื่อพิจารณาในภาพรวมพอสรุปได้ว่า มะม่วงสุกที่ใช้ในการศึกษานี้ สามารถควบคุมระดับความสุกได้ใกล้เคียงกัน สำหรับการทดลองแต่ละสภาวะทั้งการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและผลของเวลาในการอบแห้ง

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงสุกพันธุ์โชคอนันต์ก่อนการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

พารามิเตอร์	สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะม่วงสดก่อนการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ				
	50°C	60°C	70°C	*T60°C	*T70°C
TSS, °Brix	14.0 ^{ns} ±0.71	16.8 ^{ns} ±0.28	15.5 ^{ns} ±0.71	15.5 ^{ns} ±0.71	16.5 ^{ns} ±0.71
TA, mg/100g	0.26 ^{ns} ±0.08	0.23 ^{ns} ±0.08	0.23 ^{ns} ±0.04	0.24 ^{ns} ±0.06	0.20 ^{ns} ±0.04
TSS/ TA	53.85 ^d	73.04 ^b	67.39 ^{bc}	64.58 ^c	82.5 ^a
สีของเนื้อ					
L*	55.15 ^{ns} ±0.08	55.53 ^{ns} ±0.77	55.47 ^{ns} ±0.69	54.70 ^{ns} ±0.17	54.70 ^{ns} ±0.17
a*	7.93 ^{ns} ±0.11	8.23 ^{ns} ±0.19	7.46 ^{ns} ±0.25	7.33 ^{ns} ±0.09	7.33 ^{ns} ±0.09
b*	49.88 ^{ns} ±0.33	48.57 ^{ns} ±1.57	47.79 ^{ns} ±0.92	48.06 ^{ns} ±0.37	48.06 ^{ns} ±0.37
สีของเปลือก					
L*	61.44 ^{ns} ±0.26	59.58 ^{ns} ±0.39	59.58 ^{ns} ±0.39	62.58 ^{ns} ±1.03	62.58 ^{ns} ±1.03
a*	6.91 ^{ns} ±0.05	7.80 ^{ns} ±0.07	7.80 ^{ns} ±0.07	3.77 ^{ns} ±0.31	3.77 ^{ns} ±0.31
b*	48.80 ^{ns} ±0.24	48.80 ^{ns} ±0.65	48.80 ^{ns} ±0.65	43.74 ^{ns} ±1.06	43.74 ^{ns} ±1.06
ปริมาณความชื้น (%)	69.23 ^{ns} ±0.28	63.59 ^{ns} ±3.36	69.23 ^{ns} ±0.28	69.34 ^{ns} ±0.29	69.34 ^{ns} ±0.29
ความแน่นเนื้อ (g)	33.16 ^a ±1.18	30.15 ^b ±0.99	30.15 ^b ±0.99	25.52 ^c ±1.87	25.52 ^c ±1.87

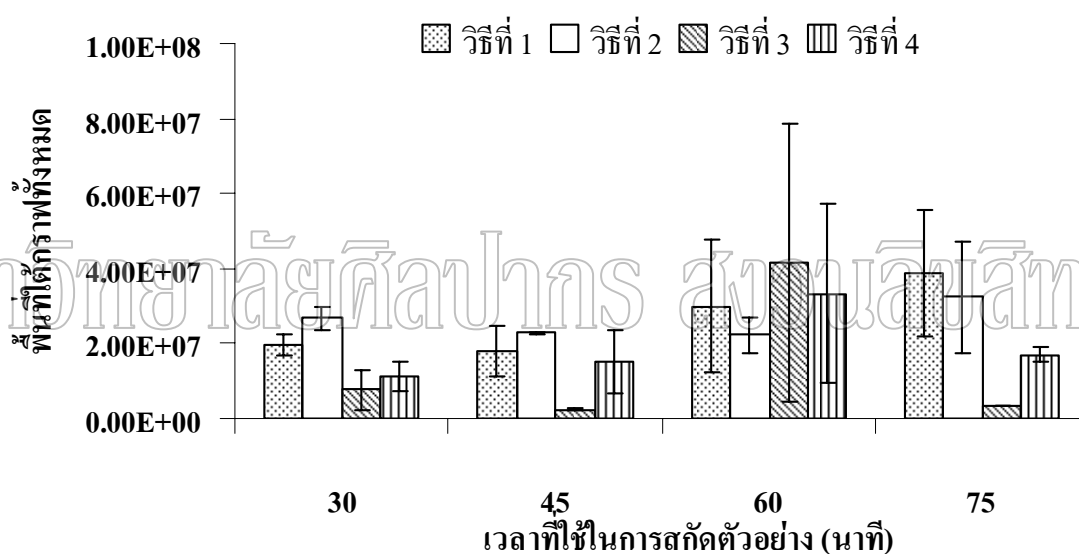
*T คือการทดลองศึกษาผลของเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส

^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (n = 2)

*a...d ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2 วิธีที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการสกัดสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นด้วย HS-SPME-GC-MS

จากการศึกษาผลของการเตรียมตัวอย่าง 4 วิธี แล้วนำมาดูดซับด้วยเทคนิค HS-SPME ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่ร่างกายจะได้รับกลิ่นจากการบริโภคมะม่วง ทำการดูดซับที่เวลาต่างๆ พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีที่ 2 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่พบพิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดมีความแปรปรวนต่ำกว่าวิธีอื่นๆ และที่เวลาในการดูดซับต่างๆ ของวิธีการเตรียมวิธีที่ 2 จะให้ค่าพื้นที่ใต้กราฟที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงอบแห้งที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีต่างๆ 4 วิธี และใช้เวลาในการดูดซับด้วย HS-SPME ที่ 30, 40, 60 และ 75 นาที ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส ($n = 2$)

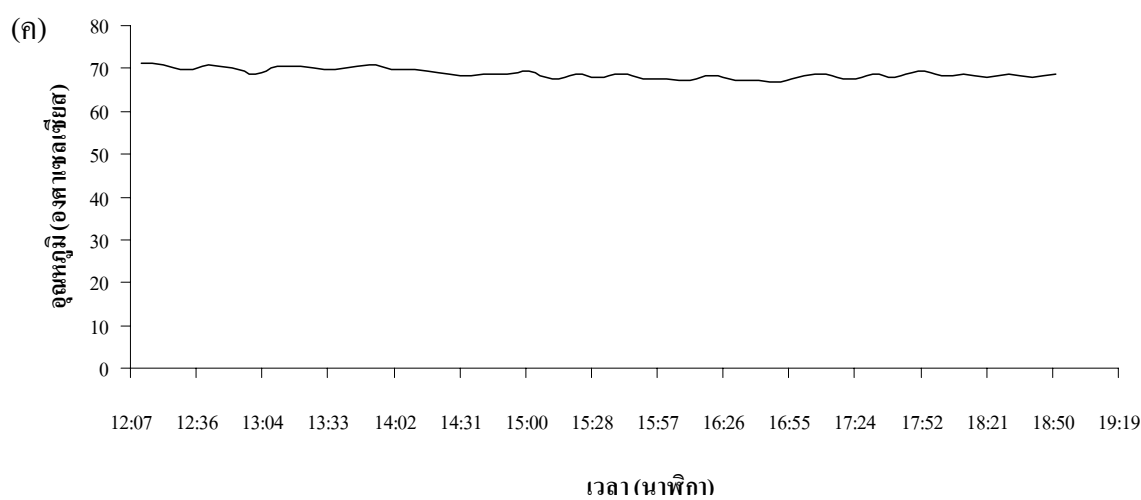
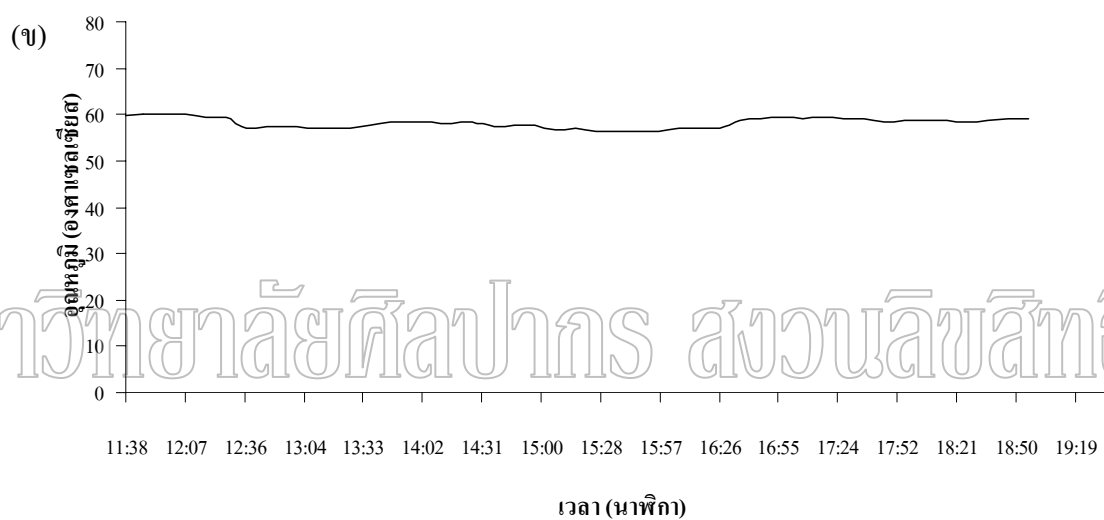
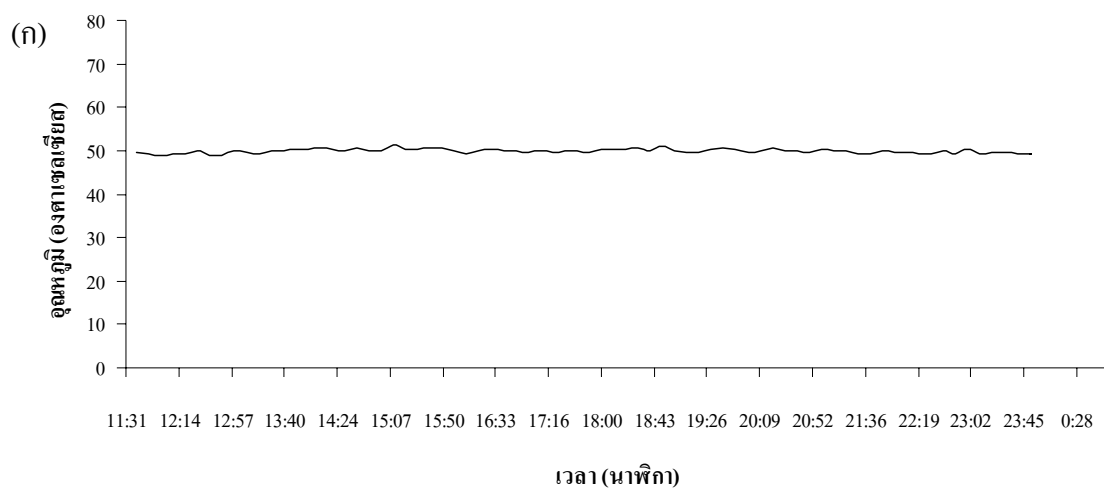
อุณหภูมิและเวลาในการสกัดเป็นตัวแปรที่สำคัญมากในการสกัดสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสโดยใช้ HS-SPME เนื่องจากมีผลต่อความสมดุลของระบบขณะทำการสกัด แต่ในการทดลองนี้ใช้การสกัดที่อุณหภูมิคงที่ที่ 36 องศาเซลเซียส เนื่องจากต้องการศึกษา ณ สภาวะอุณหภูมิที่ร่างกายของมนุษย์สามารถรับกลิ่นได้จริงขณะที่ทำการชิมตัวอย่างเข้าไปในปาก ซึ่ง Ibáñez และคณะ (1998) รายงานว่าการวิเคราะห์สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในผลไม้ ควรใช้อุณหภูมิที่เหมือนกับอุณหภูมิที่ผู้บริโภครับประทานตามปกติจากภาพที่ 6 ซึ่งแสดงผลของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสจากการใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างทั้ง 4 วิธี (ข้อ 3.4.5 ในบทที่ 3) ที่ใช้เวลาแตกต่างกันในการดูดซับสารด้วย HS-SPME จะเห็นว่าวิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 เมื่อเวลาการดูดซับสารตัวอย่างนานขึ้น ความเข้มข้นของตัวอย่างในไฟเบอร์ก็เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการดูดซับสารตัวอย่างจนเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งที่ระบบเกิดสมดุล (equilibrium) ที่ 60 นาที จากนั้นความเข้มข้นของตัวอย่างในไฟเบอร์ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใต้กราฟจากวิธีการสกัดที่ 1 พบว่าเมื่อเวลาในการดูดซับสารตัวอย่างนานกว่า 45 นาที แนวโน้มความเข้มข้นของตัวอย่างในไฟเบอร์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งคล้ายกับการทดลองสกัดสารประกอบระเหยง่ายจากองุ่นที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่พบว่าความเข้มข้นของสารประกอบมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาการทำการดูดซับนานขึ้น (Sánchez-Palomo, Díaz-Maroto และ Pérez-Coello, 2005) เนื่องจากวิธีการสกัดตัวอย่างด้วย SPME เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อประหยัดระยะเวลาในการสกัดตัวอย่าง ดังนั้นหากเราเตรียมตัวอย่างด้วยระยะเวลา 60 หรือ 70 นาที จะนานเกินไป เมื่อพิจารณาวิธีการสกัดที่ 2 พบว่า recovery ที่ได้สูงกว่าวิธีอื่นๆ ที่เวลาการดูดซับสารที่ 30 และ 45 นาที

เมื่อพิจารณาวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วย HS-SPME แล้วเวลาที่ใช้เพื่อให้ถึงจุดสมดุลของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นระหว่างเฟสของของแข็งกับบริเวณเหนือผิวหน้าตัวอย่าง (headspace) ที่มากเกินไปจึงไม่จำเป็นและไม่เป็นที่ต้องการ และในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของการอบแห้งต่อสารประกอบระเหยง่าย ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าความสัมพันธ์ได้ ดังนั้นจึงเลือกวิธีที่ 2 คือวิธีการตัดมะม่วงเป็นชิ้นขนาด 3×3 มิลลิเมตร ควบคุมอุณหภูมิด้วยไนโตรเจนเหลว ก่อนนำไปใส่ในขวดเก็บสารแล้วนำไปดูดซับสารประกอบระเหยง่ายด้วย SPME ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที

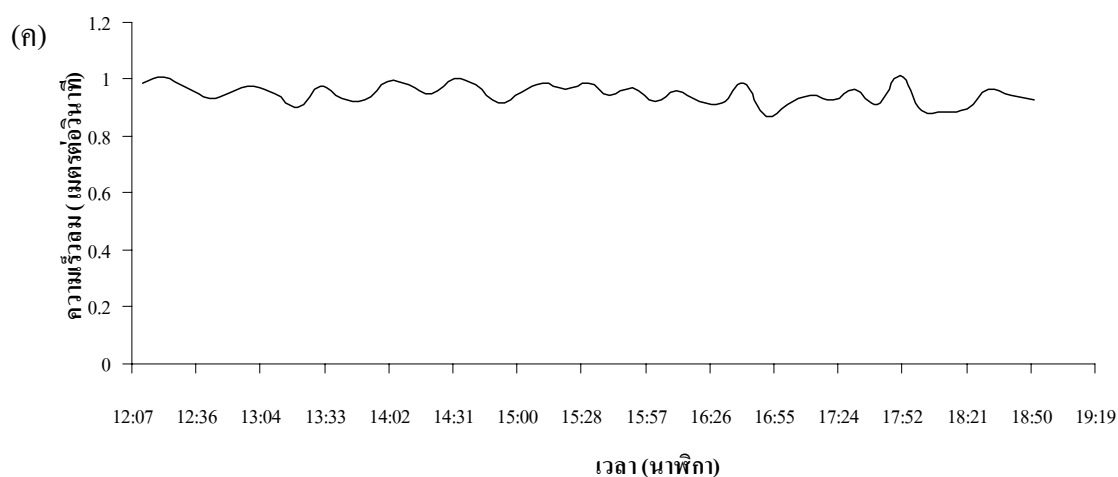
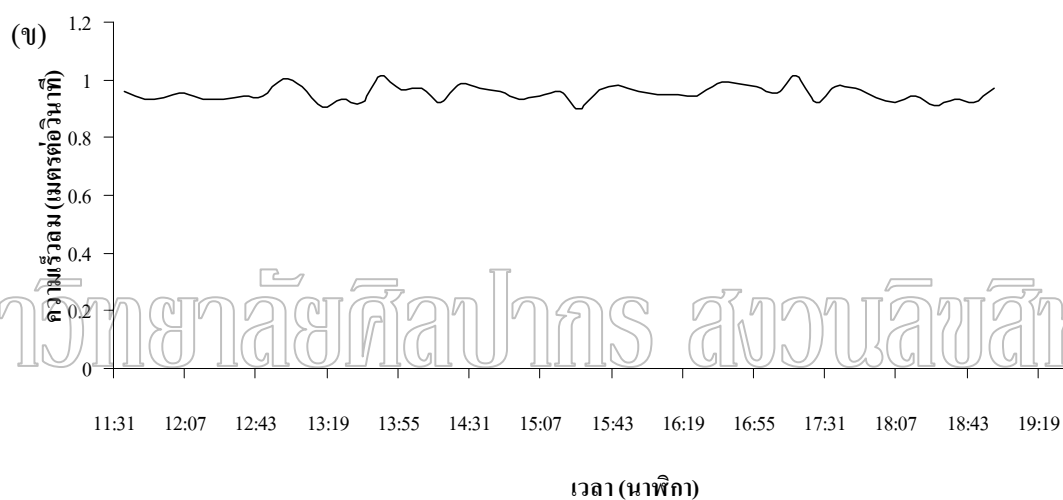
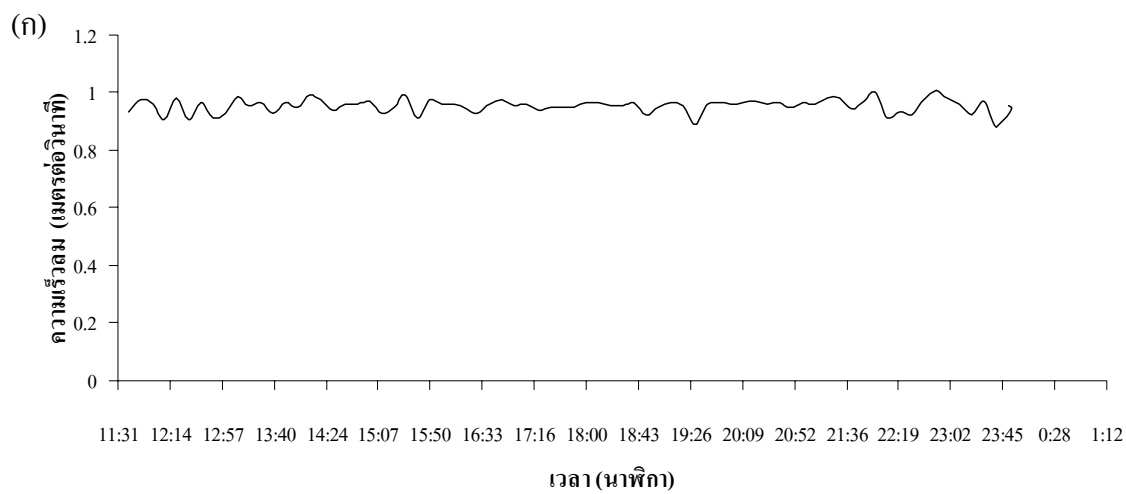
4.3 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนภายในตู้อบแห้งที่ใช้ในอบแห้งขึ้นมะม่วงที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบแห้งมีความคงที่ตลอดการทดลอง ดังแสดงตัวอย่างข้อมูลจากการทดลองซ้ำที่ 1 แสดงดังภาพที่ 7 8 และ 9 จะเห็นว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสภาวะมีประสิทธิภาพดีในการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง ทำให้ในระหว่างการอบแห้งอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าคงที่ (stable) ในภาพที่ 7 แสดงถึงอุณหภูมิลมร้อนขณะทำการอบแห้งขึ้นมะม่วง พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของลมร้อนโดยเฉลี่ยจะมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 49.86 ± 0.50 , 59.65 ± 0.87 และ 68.83 ± 1.18 องศาเซลเซียส สำหรับการอบแห้งที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ ภาพที่ 8 แสดงความเร็วลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าความเร็วของลมร้อนขณะทำการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ ค่อนข้างคงที่ที่ 0.95 ± 0.03 เมตรต่อวินาที

โดยทั่วไปขณะที่ทำการอบแห้ง ความชื้นจากผลิตภัณฑ์จะเข้าไปสู่ลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง หากความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนในระหว่างการอบแห้งสูง ลมร้อนจะสามารถรับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ได้น้อยลง มีผลทำให้อัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่ำ (Hajime และคณะ, 2548) จากภาพที่ 9 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมขาเข้าและลมร้อนขาออก

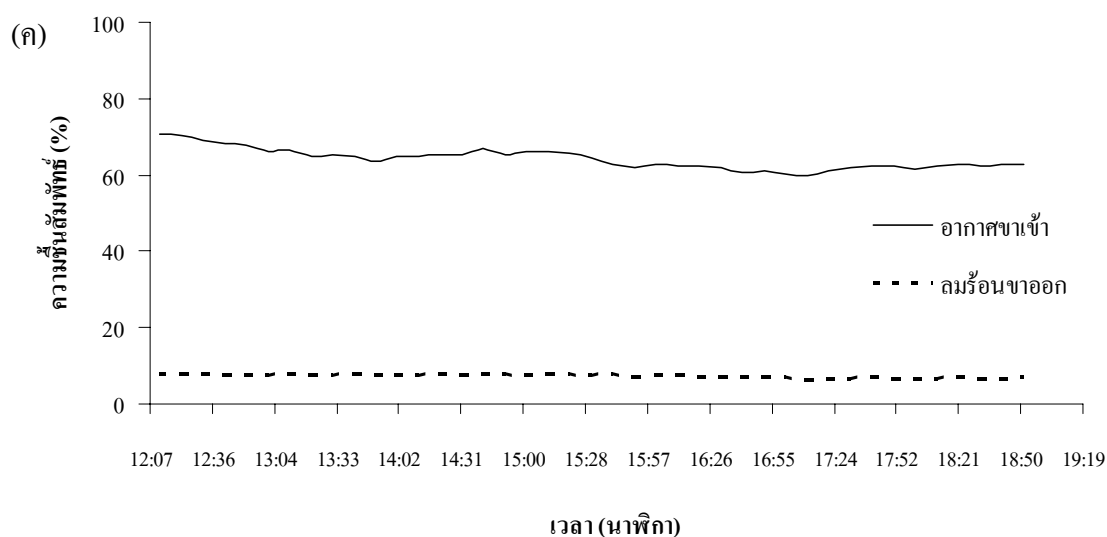
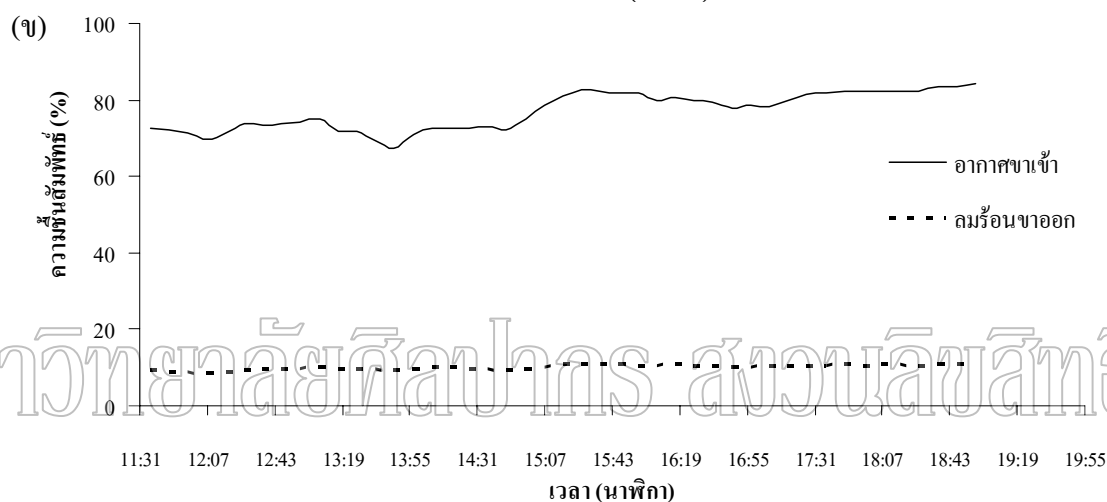
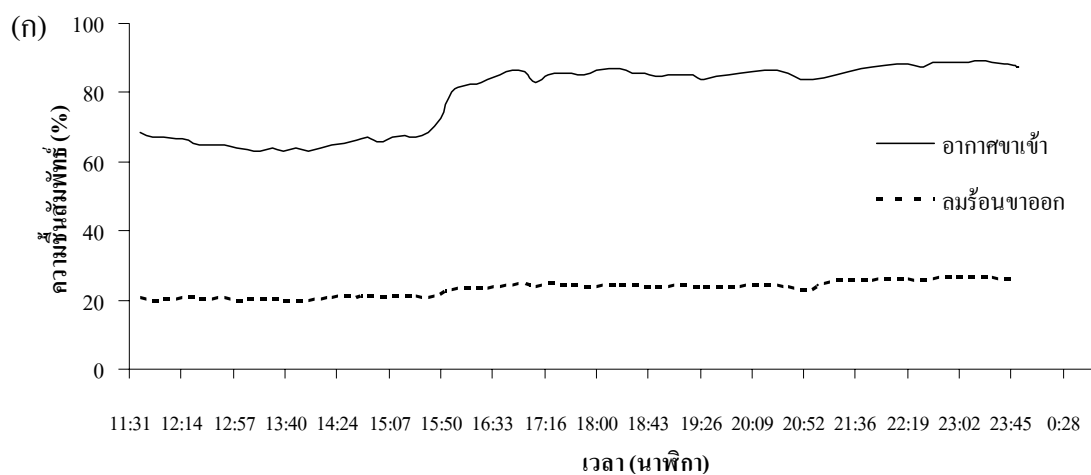


ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อนในระหว่างการอบแห้งขึ้นมะม่วงที่อุณหภูมิ (ก) 50 องศาเซลเซียส (ข) 60 องศาเซลเซียส และ (ค) 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ที่ใช้ในการอบแห้งชั้นมะม่วงที่อุณหภูมิ

(ก) 50 องศาเซลเซียส (ข) 60 องศาเซลเซียส และ (ค) 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมขาเข้าและลมร้อนขาออก
ที่ใช้ในการอบแห้งชิ้นมะม่วงที่อุณหภูมิ (ก) 50 องศาเซลเซียส (ข) 60 องศาเซลเซียส และ
(ค) 70 องศาเซลเซียส

4.4 กราฟการทำแห้งของมะม่วงที่อุณหภูมิการทำแห้งต่างๆ

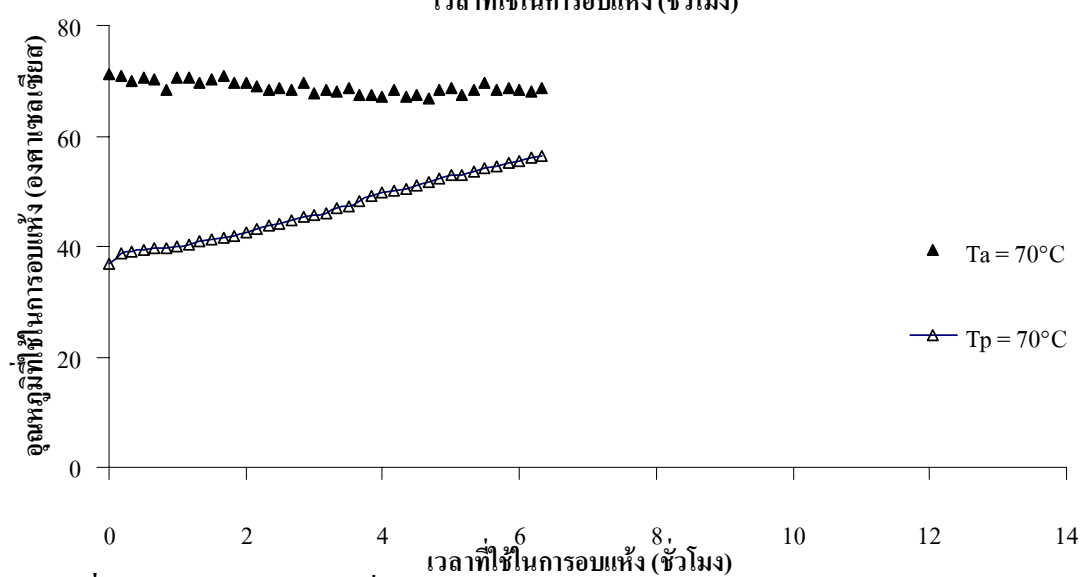
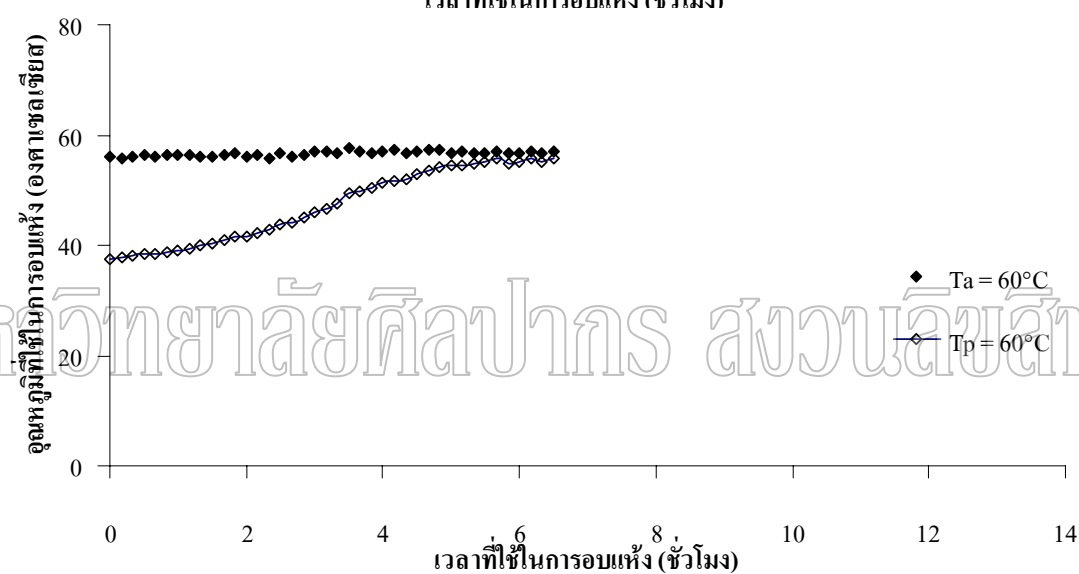
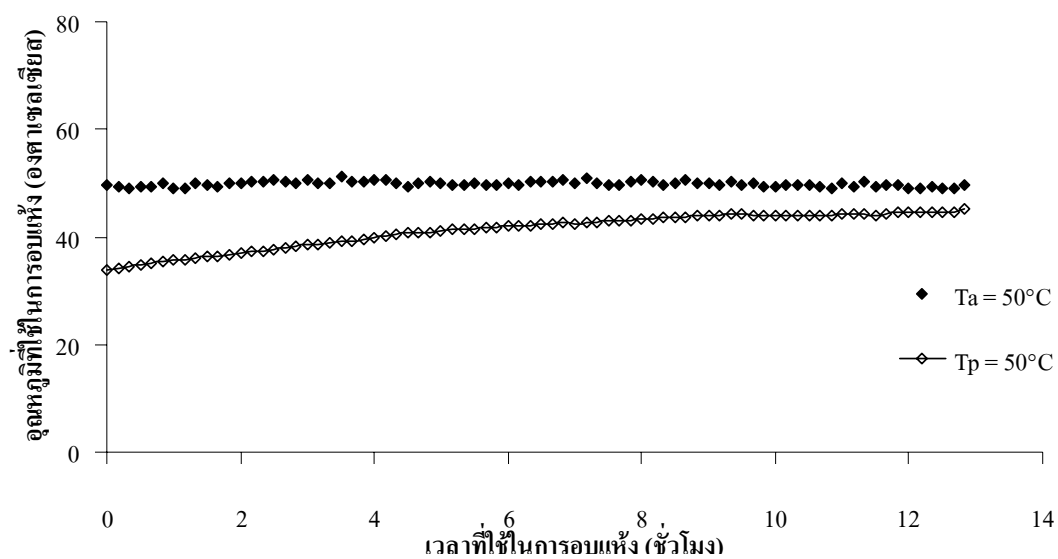
เวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.60 แสดงไว้ดังตารางที่ 6 จะเห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 6-7 ชั่วโมง ในขณะที่การอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส จะใช้เวลานานกว่าเกือบ 2 เท่า ในระหว่างการอบแห้งความร้อนภายในชั้นผลไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงดังภาพที่ 10 โดยพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่สูงจะทำให้ภายในชั้นผลไม้มีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่รวดเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้อุณหภูมิภายในชั้นมะม่วงที่อบที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีลักษณะการเพิ่มของอุณหภูมิภายในของผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าเมื่ออบแห้งได้ 6 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในชั้นมะม่วงสูงถึง 60 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสที่ 6 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในชั้นมะม่วงสูงเพียง 40 องศาเซลเซียส และในการศึกษานี้พบว่าอุณหภูมิภายในชั้นมะม่วงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและ 70 องศาเซลเซียส จะเพิ่มสูงมากที่สุดประมาณ 60 องศาเซลเซียส ภาพที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของชั้นมะม่วงต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส การลดลงของปริมาณความชื้นจะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง นั่นคือการลดลงของปริมาณความชื้นของมะม่วงที่อบแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีการลดลงที่เร็วกว่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 4 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการแห้งและปริมาณความชื้นสุดท้าย ที่อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูง เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะสั้นและมีความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่าที่อุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในการอบแห้งชั้นมะม่วงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบ Thin-layer ของ Goyal และคณะ (2006) และการทดลองอบแห้งกล้วยของ Boudhrioua, Giampaoli และ Bonazzi (2003) และ Demirel และ Turhan (2003)

ตารางที่ 6 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์มะม่วงที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

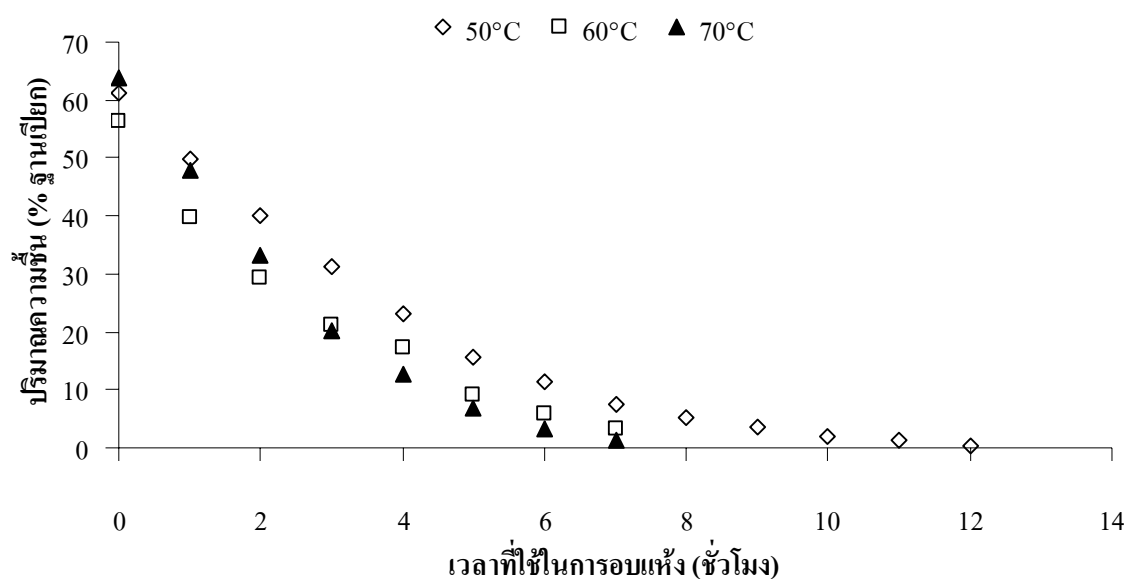
อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการ อบแห้ง (ชั่วโมง)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Aw)	ปริมาณความชื้น (%)
50	13	0.620±0.014	18.81±0.23
60	6.5	0.570±0.989	18.13±0.40
70	6.3	0.610±0.064	16.07±0.21

แต่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปของมะม่วงและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งในการศึกษาครั้งนี้อาจนำมาใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งได้ไม่ได้นัก เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นหากต้องการใช้กราฟในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งแต่ละเวลา ต้องสร้างกราฟโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

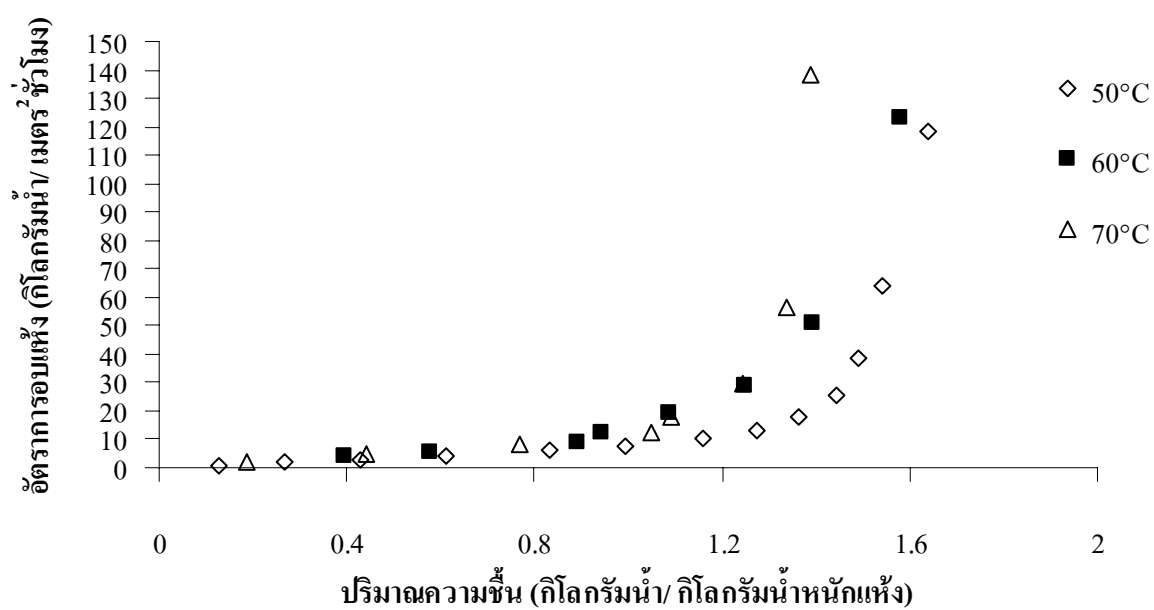


ภาพที่ 10 อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (drying air temperature: T_a) และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (product temperature: T_p)



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของมะม่วง (%ฐานเปียก) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 12 ลักษณะสมบัติการอบแห้งของชิ้นมะม่วงที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 12 แสดงลักษณะสมบัติการอบแห้งของชั้นมะม่วงที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมคงที่ จากกราฟจะพบว่า การอบแห้งมะม่วงในการศึกษานี้ไม่มีช่วงเวลาการอบแห้งที่คงที่ (โดยพิจารณาจากช่วงแรกของการอบแห้ง นั่นคือทางด้านขวาของกราฟ ซึ่งจะเป็นความชันสูงขึ้น) และอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้น พฤติกรรมนี้คล้ายกับการทดลองของ Demirel และ Turhan (2003) ซึ่งทำการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งในชั้นกล้วย 2 พันธุ์ คือ Dwarf Cavendish กับ Gros Michel เพื่อศึกษาผลของการทำและไม่ทำพรีทรีตเมนต์ต่อพฤติกรรมการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสถึง 70 องศาเซลเซียส โดยรายงานว่า อัตราการอบแห้งของกล้วยจะไม่ขึ้นอยู่กับการพรีทรีตเมนต์ และอัตราการอบแห้งของกล้วยที่ไม่ผ่านการพรีทรีตเมนต์จะเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

4.5 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส

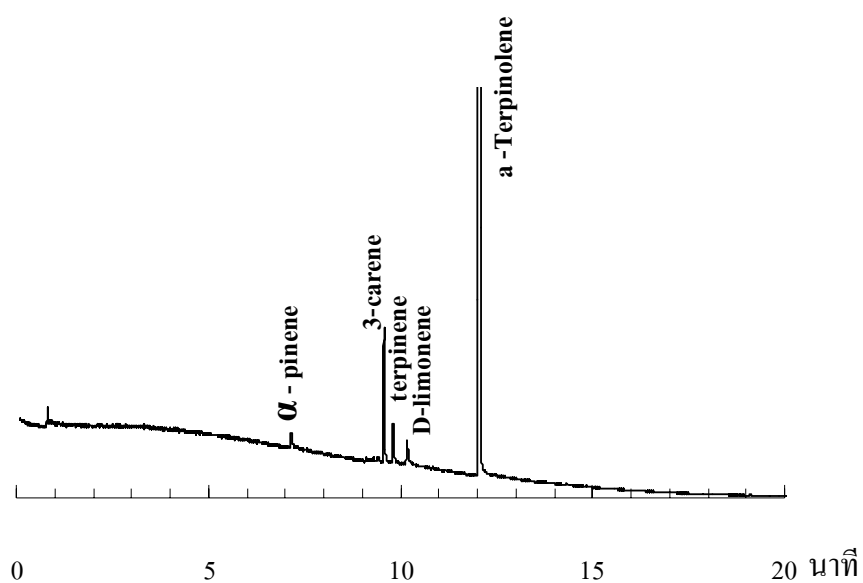
ชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์ก่อนการอบแห้งพบว่า มี 5 ชนิด ได้แก่ α -terpinolene, 3-carene, α -terpinene, D-limonene และ α -pinene ดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่พบในการศึกษานี้มีชนิดน้อยกว่าที่มีรายงานไว้ในมะม่วงพันธุ์อื่นๆที่ใช้เทคนิค HS-SPME ในการสกัดเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 13) โดย Lalel, Singh และ Tan (2003a) พบสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส 49 ชนิด ในมะม่วงพันธุ์ Kensington Pride ที่สกัดด้วยวิธี SPME โดยใช้ไฟเบอร์ชนิดที่เคลือบด้วยโพลีไดเมทิลไซโลเซน (polydimethylsiloxane) ความหนา 100 ไมโครเมตร ใช้เวลาในการดูดซับสารประกอบระเหยง่ายนาน 30 นาที โดยสารประกอบหลักที่พบคือ α -terpinolene รองลงมาคือ 3-carene นอกจากนี้ Malundo และคณะ (1997) ศึกษาสารประกอบในมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ซึ่งใช้วิธี Headspace extraction วิเคราะห์สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสได้ 13 ชนิด โดยมี 3-carene เป็นสารประกอบหลักที่พบมากที่สุด อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงจะแตกต่างกันไปขึ้นกับพันธุ์ ระดับความสุก และแหล่งที่เพาะปลูก

จากตารางที่ 7 พบว่าสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่พบมากทั้งในมะม่วงสดและมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับที่ศึกษาคือสารประกอบประเภทโมโนเทอร์พีน ซึ่งสารประกอบระเหยง่ายที่พบมากที่สุดทั้งในมะม่วงสดและมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสคือ α -terpinolene และ 3-carene โดยพบ α -terpinolene ร้อยละ 70 - 90 รองลงมาคือ 3-carene พบร้อยละ 5 - 10 ซึ่งชนิดของสารประกอบหลักที่พบในผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Maneepun และ Yunchalad (2004) ที่ทำการศึกษาสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงไทย 6 สายพันธุ์ รวมทั้งมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ โดยใช้วิธีสกัดแบบ simultaneous distillation extraction (SDE) พบว่าสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่มีปริมาณมากที่สุดในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์คือ α -terpinolene และรองลงมาคือ 3-Carene อย่างไรก็ตาม Maneepun และ Yunchalad (2004) ยังรายงานว่าสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์อีกชนิดหนึ่งที่ไม่พบในมะม่วงพันธุ์ไทยอื่นๆคือ Linalool ซึ่งให้กลิ่นเหมือนดอกไม้ (fresh flowery aroma) แต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถตรวจพบ Linalool อาจเป็นไปได้ที่เกิดความแตกต่างในเรื่องของระดับความสุก แหล่งการเพาะปลูก และวิธีการศึกษาของการเลือกระดับความสุกของมะม่วงและวิธีที่ใช้ในการสกัดแตกต่างกัน (Lalel, Singh และ Tan, 2003d; Lalel, Singh และ Tan, 2004)

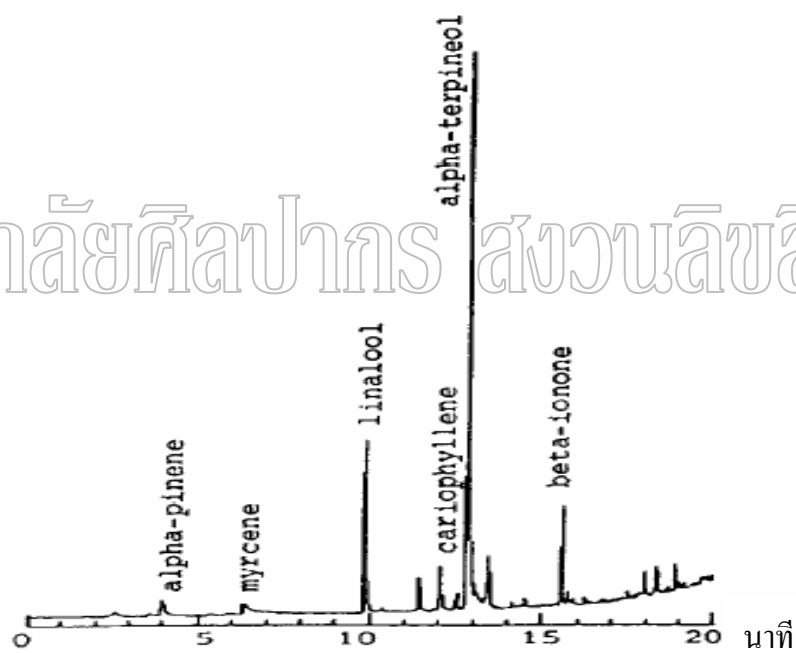
ตารางที่ 7 ชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส (ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในมะม่วงสด และมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ ให้กลิ่นรส	Retention Index	Retention time (นาที)	พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสต่อกรัมน้ำหนักแห้ง			
			มะม่วงสด	มะม่วงอบแห้ง		
				50°C	60°C	70°C
ethanol	-	0.91	-	4.51E+06	3.42E+06	3.46E+06
ethyl acetate	-	1.36	-	3.67E+05	3.02E+05	-
butanoic acid	788	3.61	-	6.04E+06	2.40E+06	7.70E+05
α -pinene	1068	7.18	2.55E+05 - 3.20E+05	7.52E+05	1.55E+05	5.22E+05
β -terpinene	1006	9.12	-	3.43E+05	-	-
2-carene	1001	9.29	-	2.66E+05	-	-
α -thujene	1197	9.41	-	2.94E+05	-	-
hexanoic acid	1194	9.50	-	6.40E+06	-	-
3-carene	1192	9.58	9.30E+04 - 1.32E+06	5.00E+06	2.40E+06	3.16E+06
α -terpinene	1184	9.81	4.94E+05 - 5.34E+04	1.91E+06	2.98E+05	8.06E+05
D-limonene	1157	10.68	4.89E+05 - 6.80E+05	1.45E+06	3.36E+05	5.31E+05
α -terpinolene	1113	12.06	4.77E+05 - 1.96E+07	6.37E+07	1.68E+07	2.24E+07
octanoic acid	1382	15.90	-	1.59E+06	1.92E+05	-
1H-cyclopropazulene	1515	22.89	-	3.05E+05	1.45E+05	1.45E+05

(1)



(2)



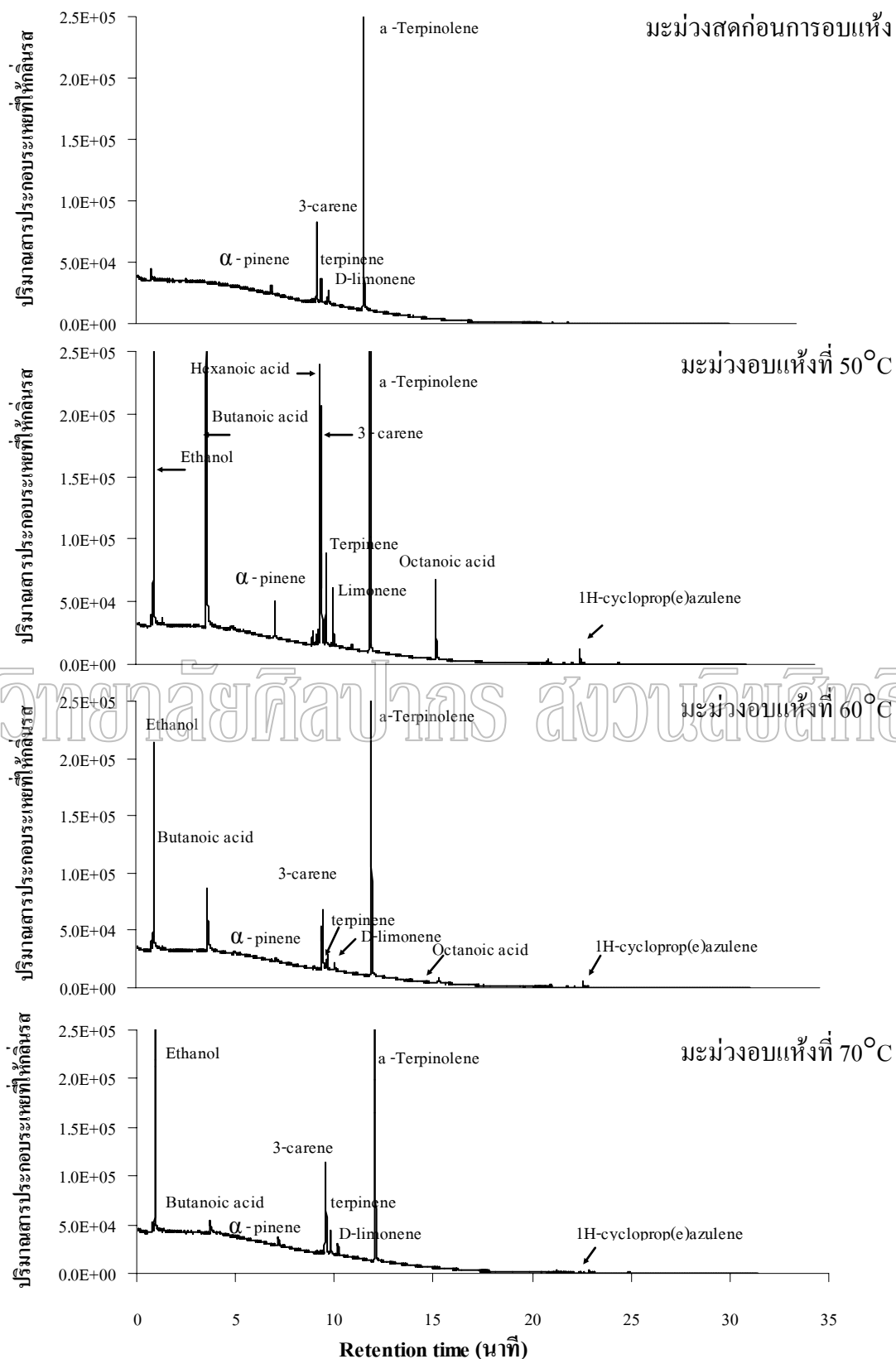
ภาพที่ 13 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย HS-SPME-GC-MS ในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์สด (1) เปรียบเทียบกับที่รายงานไว้ใน Ibáñez และคณะ (1998) (2)

ชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่พบในมะม่วงสดพบว่า มีชนิดที่น้อยกว่า มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ (ภาพที่ 14 และตารางที่ 7) โดยสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่พบในมะม่วงสดจะเป็นสารประกอบประเภทมโนเทอร์พีน ได้แก่ α -terpinolene, 3-carene, D-limonene, α -terpinene และ α -pinene สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่พบใน มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ พบว่ามี 14 ชนิด ซึ่งสารประกอบที่เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการ อบแห้งที่วิเคราะห์ได้จาก GC-MS เป็นสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์ กรด และเอสเทอร์ ได้แก่ ethanol, butanoic acid, octanoic acid และ ethyl ester โดยมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสมากที่สุดคือ 14 ชนิด เป็นสารประกอบกลุ่มมโนเทอร์พีน 8 ชนิด แอลกอฮอล์ 1 ชนิด เอสเทอร์ 1 ชนิด กรด 3 ชนิด และ 1H-cyclopropazulene 1 ชนิด รองลงมาคือที่อุณหภูมิการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส พบ สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส 10 ชนิด (มโนเทอร์พีน 5 ชนิด แอลกอฮอล์ 1 ชนิด เอสเทอร์ 1 ชนิด กรด 2 ชนิด และ 1H-cyclopropazulene 1 ชนิด) และที่อุณหภูมิการอบแห้งที่ 70 องศา เซลเซียส พบสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส 8 ชนิด (มโนเทอร์พีน 5 ชนิด แอลกอฮอล์ 1 ชนิด เอสเทอร์ 1 ชนิด และ 1H-cyclopropazulene 1 ชนิด)

การเกิดสารประกอบแอลกอฮอล์ กรด และเอสเทอร์ ในมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งแล้ว เนื่องจากกระบวนการอบแห้งทำให้ความร้อนภายในชิ้นมะม่วงสูงขึ้น ซึ่งทำให้ไปเร่งเกิดการ ปฏิกริยาไลโปออกซิเดชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Belitz, Grosch และ Schieberle, 2004) โดยเฉพาะ การเกิดไลโปออกซิเดชัน เพราะพบว่าในผลไม้ส่วนใหญ่กรดไขมันเป็นสารตั้งต้นหลักที่เปลี่ยนไป เป็นสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสด้วยการสังเคราะห์ชีวภาพ (biosynthesis) ดังที่ Lalel, Singh และ Tan (2003a) รายงานว่ามะม่วงพันธุ์ Kensington Pride ประกอบไปด้วยกรดไขมันคาร์โบริก (caproic acid) กรดลอริก (lauric acid) กรดไมริสติก (myristic acid) กรดปาล์มิก (palmitic acid) กรดปาล์มิโอเลอิก (palmitoleic acid) และกรดโอเลอิก (oleic acid) และเป็นสารตั้งต้นหลักในการ เกิดเป็นสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส โดยเส้นทางการเกิดมี 2 เส้นทางคือ เส้นทางบีต้าออกซิ เดชัน (β -oxidation) กับเส้นทาง lipoxygenase โดยการเกิดในเส้นทางของบีต้าออกซิเดชันจะเกิด การสังเคราะห์กลิ่นขั้นปฐมภูมิ (primary aromas) ในผลไม้ระหว่างเกิดการสุก ส่วนเส้นทางของ lipoxygenase จะทำให้ได้สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสจากกรดไขมันในเนื้อเยื่อของผลไม้ เช่นเดียวกับ Dixon และ Hewett (2000) พบว่าการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ lipoxygenase ใน แอปเปิ้ลจะทำให้เกิดสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มแอลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ แลคโตน และเอส เทอร์ขึ้น

การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป) ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะค่อยๆแห้งและเกิดปฏิกิริยา pyrolysis ของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดฟีนอลิกขึ้น ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้นและทำให้กลิ่นผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสารประกอบระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะมีหลายชนิด แต่เป็นสารที่มี Threshold สูง ดังนั้นอาจมีเพียงสารประกอบบางชนิดเท่านั้นที่สามารถเกิด aroma active ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการความร้อน (Belitz, Grosch และ Schieberle, 2004) ในขณะที่มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีน้ำตาลสูง (Freeman และ Worthington, 1989; Mahayothee, 2005) ดังนั้นในการเกิดสารประกอบกลุ่มแอลกอฮอล์ เอสเทอร์ หรือกรดในการศึกษาครั้งนี้จึงอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

นอกจากนี้จากการที่มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีสารแคโรทีนอยด์สูง (Pott และคณะ, 2003; Mahayothee, 2005) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สามารถละลายได้ในไขมัน แคโรทีนอยด์เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญและสามารถแตกตัวทำให้เกิดกลิ่นในผลไม้ กระบวนการผลิตต่างๆมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของชนิดและปริมาณสารแคโรทีนอยด์ โดยเกิดจากเส้นทางของเอนไซม์ β -oxidation โดยการใช้เอนไซม์หรือการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตจะเหนี่ยวนำให้เกิดการแตกตัวโดยใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดการสูญเสียหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของบีต้าแคโรทีนไป Pott และคณะ (2003) รายงานว่าการอบแห้งมะม่วงพันธุ์ Kent และ Tommy Atkins ด้วยลมร้อนที่ 75 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิด isomerization ของแคโรทีนอยด์ไปเป็น all-trans-carotenoids และทำให้เกิด 13-cis- β -carotene ในผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยพบว่าการเปลี่ยนรูปของแคโรทีนอยด์เกิดจากเอนไซม์ lipoxygenase (carotene oxidase) และสามารถเกิดได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส Belitz, Grosch และ Schieberle (2004) รายงานว่าการแตกตัวของแคโรทีนอยด์ จะเกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งส่งผลต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์ Lalel, Singh และ Tan (2003c) รายงานว่าการเกิดเมตาบอลิซึมของแคโรทีนอยด์ จะสัมพันธ์กับการเกิด β -ionone ซึ่งเป็นสารประเภท norisoprenoids และพบว่า β -ionone มีระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถให้กลิ่นได้ที่ต่ำ (0.007 ppb) ซึ่งสามารถพบได้ในมะม่วงพันธุ์ Kensington Pride และมีความสำคัญต่อกลิ่นของมะม่วงที่ผ่านกระบวนการผลิตเช่น เนื้อมะม่วงดิบบรรจุกระป๋อง โดย β -ionone จะให้กลิ่นที่เหมือนน้ำผึ้ง แต่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบ β -ionone อาจเนื่องจากสารมีความเข้มข้นที่ต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องแมสสเปกโตรเมตรี



ภาพที่ 14 โครมาโตกราฟของสารประกอบระเหยง่ายในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์สดและมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 8 แสดงร้อยละสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงสดก่อนอบแห้ง และมะม่วงอบแห้ง โดยพบว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสจากมะม่วงสด ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในสารประกอบหลัก ยกเว้น α -terpinolene ซึ่งพบว่ามีร้อยละของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสลดลงจากมะม่วงสด สำหรับมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของสารประกอบหลักบางชนิดได้แก่ 3-carene, pinene, terpinene และ 1H-cyclopropazulene แต่มีสารประกอบบางชนิดซึ่งมีแนวโน้มลดลงได้แก่ α -terpinolene, limonene

จากการศึกษาทั่วไปในผลิตภัณฑ์หรือผลไม้ชนิดอื่น มีรายงานไว้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ต่ำจะทำให้มีการสูญเสียกลิ่นที่น้อยกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง เช่น Boudhrioua, Giampaoli และ Bonazzi (2003) ซึ่งศึกษาในกล้วย Krokida และ Philippopoulos (2006) ศึกษาในแอปเปิล และ Dalai และคณะ (2006) ศึกษาในอัลฟัลฟา ทั้งนี้จากการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของมะม่วงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำที่เร็วที่สุดประกอบกับสารประกอบระเหยง่ายจะระเหยได้ง่ายไปพร้อมกับการกลั่นตัวของน้ำ จึงทำให้การพัฒนากลิ่นขณะทำการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส และมีความน่าจะเป็นที่จะมีอัตราการสูญเสียกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่มากกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ โดยอัตราการระเหยง่ายของสารประกอบระเหยง่ายเปลี่ยนแปลงไปตามการระเหยของความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Krokida และ Philippopoulos (2006) ที่รายงานไว้ว่าการอบแห้งแบบธรรมดาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สูญเสียสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นเร็วขึ้น โดยพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่สูงคือ 70 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในแอปเปิลที่มีค่าสูงตามไปด้วย

นอกจากนี้ Timoumi, Mihoubi และ Zagrouba (2006) ซึ่งศึกษาการสูญเสียกลิ่นของขึ้นแอปเปิลระหว่างการอบแห้งด้วยอินฟราเรดซึ่งแปรค่าอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40 ถึง 50 องศาเซลเซียส รายงานไว้ว่าสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสมีความไวต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยปริมาณทั้งหมดของสารประกอบระเหยง่ายจะลดลงจาก 180 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เป็น 6 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งการลดลงนี้สามารถอธิบายได้ว่า สารประกอบบางชนิดจะถูกทำลายไปเนื่องจากความร้อน และสารประกอบบางชนิดซึ่งละลายน้ำได้ จะถูกกำจัดไปพร้อมกับในน้ำระหว่างการอบแห้ง

แต่ในการศึกษาการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยง่ายในผลไม้ชนิดอื่นที่ผ่านมาพบว่าสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์จะมีชนิดและปริมาณของสารที่ลดลง แต่ในการศึกษามะม่วงอบแห้งครั้งนี้พบว่าให้ผลตรงกันข้าม ซึ่งพบว่าชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งไปแล้ว ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่อุณหภูมิในการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิจะเป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาในผลไม้ชนิดอื่น ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่สารสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบอื่นได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงจาก Geranyl diphosphate จนกระทั่งได้ α -terpineol และ limonene ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทมอโนเทอร์พีน (Belitz, Grosch และ Schieberle, 2004) และเนื่องจากการอบแห้งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ผ่านการพรีทรีตเมนต์ใดๆ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่สูง (85 องศาเซลเซียส) พอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของสารประกอบเทอร์พีนสามารถเกิดได้จากการทำงานของเอนไซม์บีต้ากลูโคซิเดส (β -glucosidase) ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วมะม่วงพันธุ์ต่างๆกันจะประกอบไปด้วยสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสทั้งในลักษณะอิสระและลักษณะ glycosidically-bound monoterpene และ sesquiterpene hydrocarbons (ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 2.3) เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนแก่มะม่วงจะเร่งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบเทอร์พีนให้อยู่ในลักษณะอิสระมากขึ้น

ตารางที่ 8 สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงสดก่อนอบแห้งและมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ ให้กลิ่นรส	Retention time (นาที)	ร้อยละของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสต่อกรัมน้ำหนักแห้ง					
		50°C		60°C		70°C	
		มะม่วงสด	มะม่วงอบแห้ง	มะม่วงสด	มะม่วงอบแห้ง	มะม่วงสด	มะม่วงอบแห้ง
ethanol	0.91	-	4.85	-	12.93	-	10.88
ethyl acetate	1.36	-	0.39	-	1.14	-	-
butanoic acid	3.61	-	6.50	-	9.07	-	2.42
α -pinene	7.18	-	0.81	-	0.59	1.44	1.64
β -terpinene	9.12	-	0.37	-	-	-	-
2-carene	9.29	-	0.29	-	-	-	-
α -thujene	9.41	-	0.32	-	-	-	-
hexanoic acid	9.50	-	6.89	-	-	-	-
3-carene	9.58	5.27	5.38	5.70	9.07	5.08	9.94
α -terpinene	9.81	-	2.06	-	1.13	2.22	2.54
D-limonene	10.68	-	1.56	-	1.27	3.06	1.67
α -terpinolene	12.06	94.73	68.55	94.30	63.52	88.19	70.45
octanoic acid	15.90	-	1.71	-	0.73	-	-
1H-cyclopropazulene	22.89	-	0.33	-	0.55	-	0.46

4.6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น

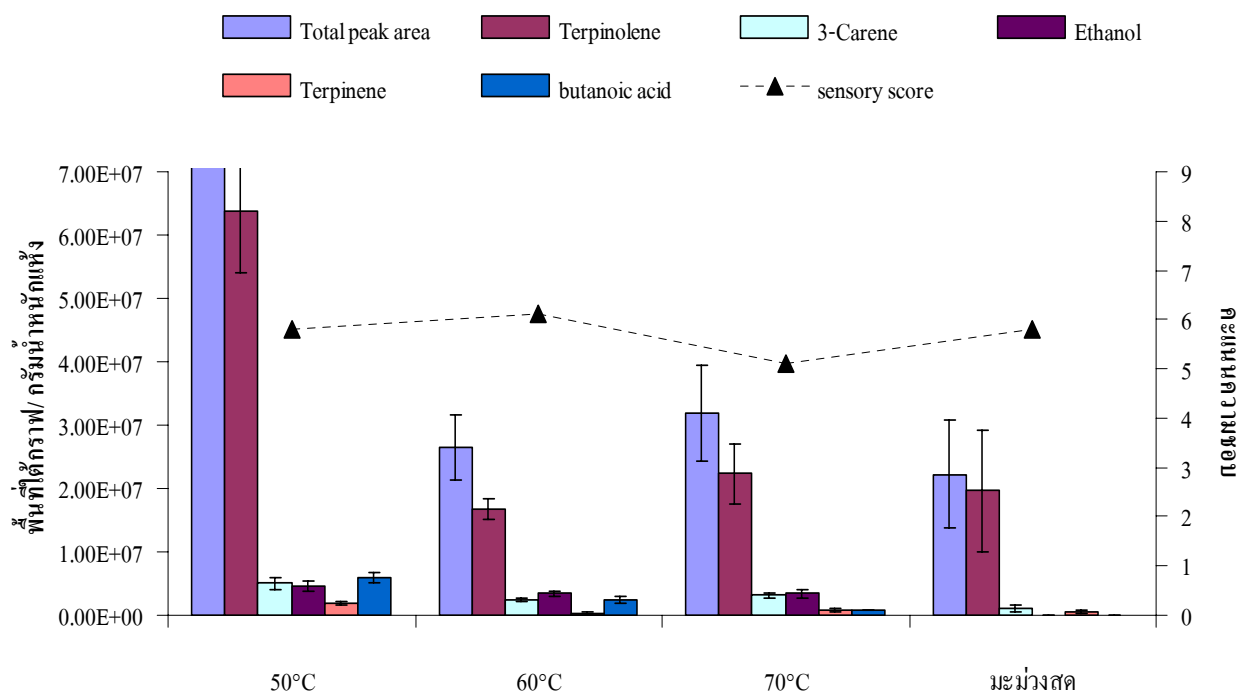
ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยมีมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้คะแนนความชอบระดับชอบเล็กน้อย ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นน้อยที่สุดประมาณคือ ๔.๙๓ และมีคะแนนความชอบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิอื่นๆ

ตารางที่ 9 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นของมะม่วงอบแห้งพันธุ์โชคอนันต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (°C)	คะแนนความชอบ*
50	5.50 ^{ab} ± 1.73
60	6.10 ^a ± 1.35
70	4.93 ^b ± 1.57

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (n = 2)

เมื่อนำผลการทดสอบการยอมรับทางด้านความชอบด้านกลิ่นของมะม่วงสดและผลิตภัณฑ์มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ มาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์กับปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่ได้จากการติดตามด้วย HS-SPME-GC-MS โดยเลือกพิจารณาเทียบสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสหลัก 5 ชนิดที่พบในมะม่วงอบแห้งได้แก่ α -terpinolene 3-carene, ethanol, terpinene และ butanoic acid ให้ผลแสดงดังภาพที่ 15 เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของสารประกอบระเหยง่ายแต่ละชนิดกับคะแนนความชอบด้านกลิ่น แต่เมื่อเทียบปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายแต่ละชนิดของมะม่วงอบแห้งเทียบกับมะม่วงสดพบว่ามะม่วงที่อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ใกล้เคียงกับมะม่วงสด เมื่อพิจารณาเทียบกับ α -terpinolene ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่พบมากที่สุด ในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ และให้กลิ่นที่หอมของดอกไม้ หวาน และกลิ่นแบบ pine-like (Lalel, Singh และ Tan, 2003a; MacLeod และ Synder, 1985; MacLeod และ Pieris, 1984) ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเช่นกัน แต่พบว่าปริมาณของ α -terpinolene ของมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณที่ใกล้เคียงกับในมะม่วงสด และได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นจากผู้ชิมที่ใกล้เคียงกัน (มะม่วงอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบ 6.10 และมะม่วงสดได้รับคะแนนความชอบ 5.80) และคะแนนความชอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั้นอาจหมายความว่าเมื่ออบแห้งมะม่วงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถรักษาคูณภาพกลิ่นไว้ได้ใกล้เคียงกับกลิ่นในมะม่วงสด ซึ่งดีต่อผลิตภัณฑ์เพราะเนื่องจากว่าวัตถุประสงค์ของการอบแห้งผลไม้คือต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นที่มีความใกล้เคียงกับผลไม้สดมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่า α -terpinolene จะเป็นสารประกอบหลักที่พบในมะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์ แต่กลิ่นในมะม่วงที่น่าจะส่งผลต่อผู้บริโภคน่าจะเกิดจากสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสหลายชนิดรวมกัน ซึ่งจากการศึกษาของ Mahattanatawee, Goodner and Baldwin (2005) รายงานว่าสารประกอบประเภทเทอร์พีนในมะม่วงพันธุ์ Keitt คือ 3-carene และ limonene เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด แต่ไม่พบว่ากลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ของมะม่วง แต่กลิ่นที่พบที่น่าจะให้กลิ่นของมะม่วงเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ แอลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์

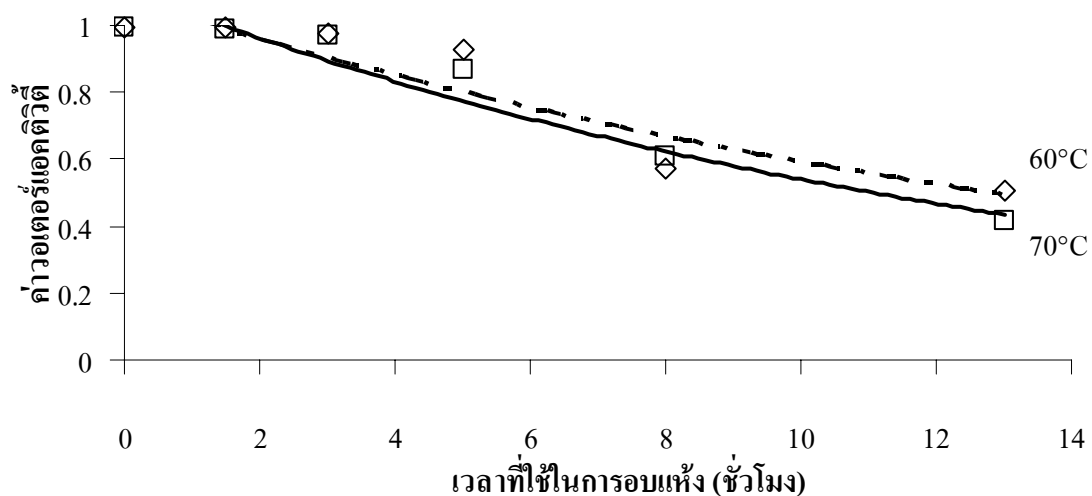


ภาพที่ 15 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสหลักและคะแนนความชอบด้านกลิ่นของ

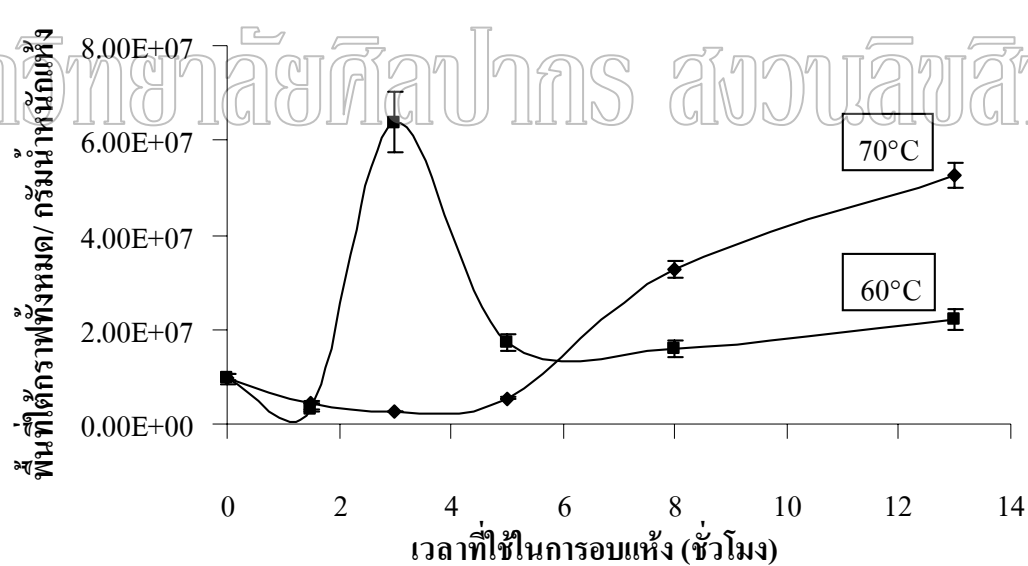
มะม่วงสดและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

4.7 ผลของเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส พบว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นมากและน้อยที่สุดตามลำดับ ดังนั้นเพื่อทราบการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอบแห้ง จึงใช้อุณหภูมิทั้งสองในการศึกษาผลของเวลาในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส และถึงแม้ว่าการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสจะให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส แต่การอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบแห้งที่นานกว่ามาก (ตารางที่ 6 ข้อ 4.4) จึงเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างนานเกินไปไม่เหมาะสมในการอบแห้งขึ้นมะม่วง จึงไม่เลือกในการศึกษานี้ ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตีและปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงอบแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 16 และ 17 ตามลำดับ

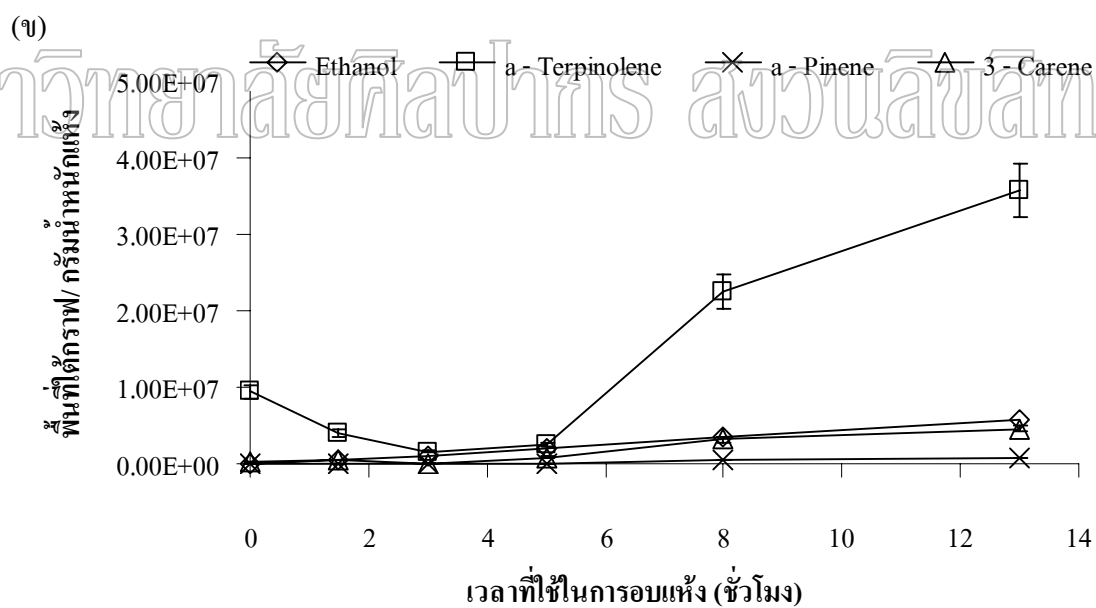
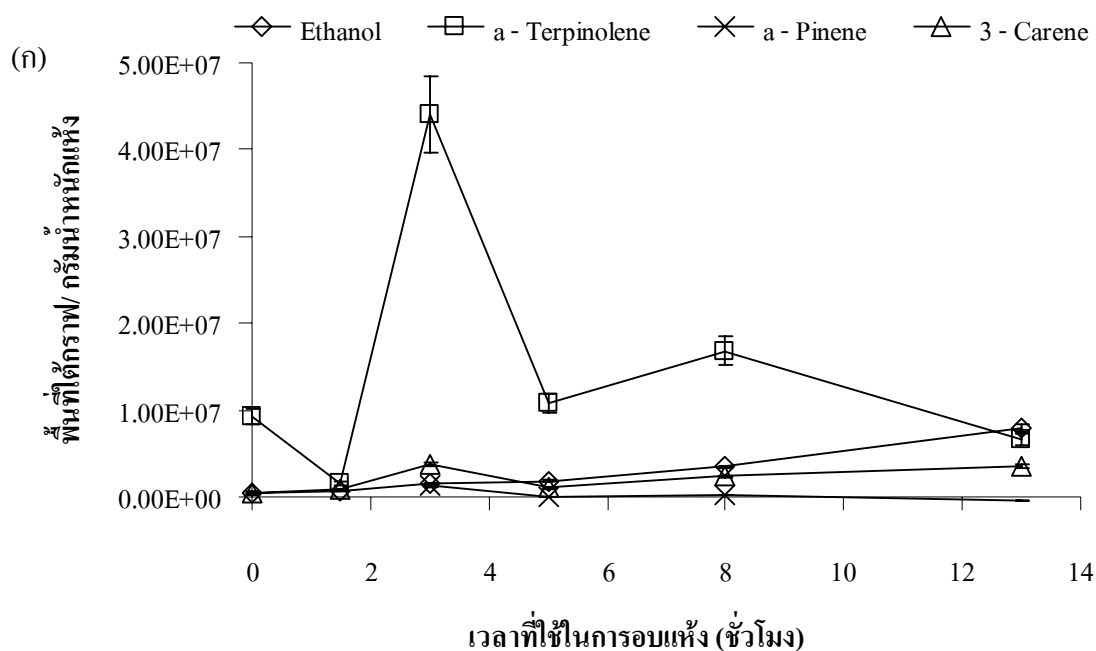


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในระหว่างการอบแห้งมะม่วงที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 17 พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการอบแห้งต่างๆ

จากภาพที่ 16 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของมะม่วงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการอบแห้งที่ 0-8 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.6-0.9 ซึ่งในช่วงนี้อัตราการเกิดไลโปออกซิเดชันและเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมไซเอนไซม์จะเกิดสูง และเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลานานขึ้นที่ระยะเวลา 8-13 ชั่วโมง พบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.4-0.6 โดยในช่วงนี้อัตราการเกิดไลโปออกซิเดชันและเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมไซเอนไซม์จะต่ำลง (Belitz, Grosch และ Schieberle, 2004) ดังจะเห็นได้จากกราฟที่ 17 ปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสทั้ง 2 อุณหภูมิใน 1.5 ชั่วโมงแรก ค่อยๆลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่กราฟอบแห้งมีอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นอย่างรวดเร็วและความร้อนของผลิตภัณฑ์ค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 10 และ 11 ข้อ 4.4) จากนั้นอัตราการลดลงของสารประกอบระเหยง่ายช้าลงหลังจากผ่าน 1.5 ชั่วโมงแรกไป โดยที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณพื้นที่ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างช่วง 1.5 ถึง 3 ชั่วโมง จากนั้นปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสจะค่อยๆลดลงอีกครั้ง จนกระทั่งที่ระยะเวลาการอบแห้งนาน 5 ชั่วโมง ปริมาณพื้นที่ทั้งหมดเริ่มคงที่ ในขณะที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณพื้นที่ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เวลาการอบแห้ง 5 ชั่วโมงขึ้นไป จนกระทั่งที่ระยะเวลาการอบแห้งสุดท้ายคือ 13 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสของมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณที่มากกว่าปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสของมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายในช่วงแรกเกิดจากการระเหยของสารประกอบระเหยง่ายไปพร้อมกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ และเมื่ออบเป็นระยะเวลานานถึง 13 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดได้จากการทำปฏิกิริยาของเอมีนกับกลุ่มคาร์บอนิลที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 60 องศาเซลเซียส) และที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำ โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Boudhrioua, Giampaoli และ Bonazzi (2003) ที่รายงานว่า การลดลงของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในช่วงแรกของการอบแห้งกล้วย (2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง) เกิดเนื่องจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงจากน้ำในผลิตภัณฑ์ไปเป็นไอน้ำในระหว่างการอบแห้ง ทำให้มีการสูญเสียของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรส และเมื่อทำการอบแห้งนานขึ้นปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสจะเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในกล้วยที่ระยะเวลาการอบแห้งที่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสมากกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสหลัก 4 ชนิด ที่พบในมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ (ก) 60 และ (ข) 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาการอบแห้ง 0, 1.5, 3, 5, 8 และ 13 ชั่วโมง

ภาพที่ 18 พบว่า α -terpinolene เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้น อาจเกิดจากการแตกพันธะระหว่างสารประกอบเทอร์พีนกับน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เบต้ากลูโคซิเดส โดยมีอุณหภูมิไปเร่งการทำปฏิกิริยา (ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนที่ 4.5) (Belitz, Grosch และ Schieberle, 2004) Lalé, Singh และ Tan (2003a) รายงานว่ามีการศึกษาสารประกอบระเหยง่ายที่ทำให้กลิ่นรสโดยใช้วิธีการสกัดแบบ Simultaneous distillation-extraction (SDE) โดยวิธีนี้ทำให้เกิดสารประกอบแปลกปลอม (artifacts) ซึ่งเกิดจากความร้อนที่ใช้ในการสกัดตัวอย่างและพบว่าสารประกอบมอโนเทอร์พีน ไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ และไซคลิออลิเทอร์พีน มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อทำการสกัดสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในน้ำเสาวรส (passion fruit juice) ด้วยวิธี SDE แต่โดยทั่วไปปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสหลักจะลดลง เมื่อผลิตภัณฑ์ทำการอบแห้งเป็นเวลานาน ทำให้สูญเสียความสดใหม่ไป (Timoumi, Mihoubi และ Zagrouba, 2006)

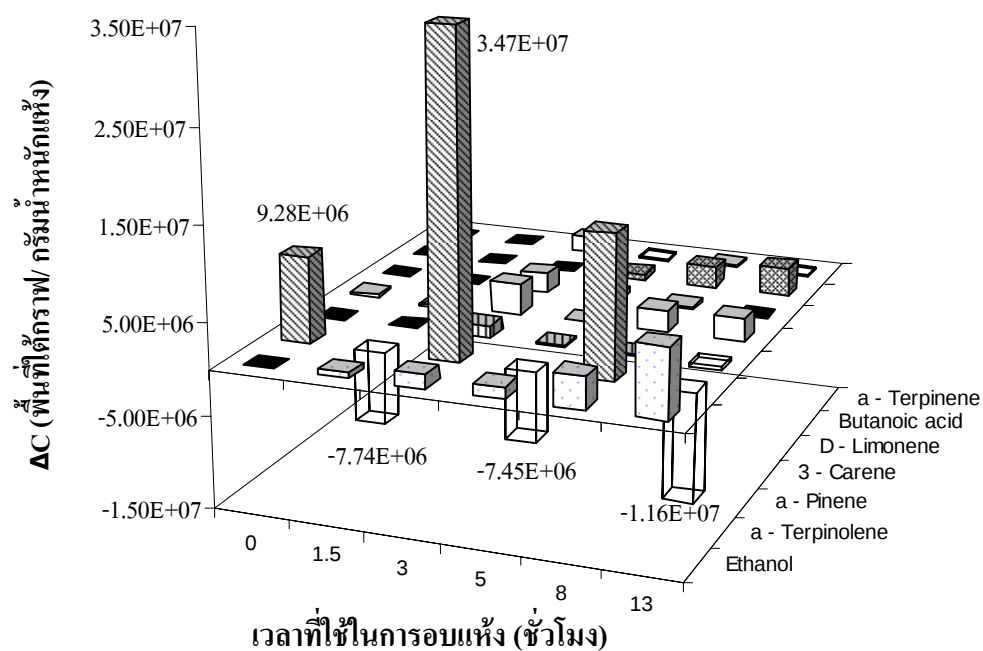
ตารางที่ 10 แสดงชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไปจากมะม่วงสดก่อนการอบแห้งที่ระยะเวลาต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบกลุ่มแอลกอฮอล์ กรด และเอสเทอร์ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งทั้ง 2 อุณหภูมิ มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะเห็นได้ว่าเอทานอลซึ่งเป็นกลุ่มของแอลกอฮอล์จะเกิดขึ้นเมื่อทำการอบแห้งได้เพียง 1.5 ชั่วโมง ส่วนสารประเภทกรดและเอสเทอร์ เช่น butanoic acid, octanoic acid และ ethyl acetate จะเกิดขึ้นหลังจากทำการอบแห้งเป็นเวลา 5 ชั่วโมงขึ้นไป โดยเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 10 จะนำมาพล็อตเป็นกราฟดังภาพที่ 19 เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสของสารประกอบหลัก 7 ชนิด โดยในแต่ละชนิดจะแสดงเป็นค่าความต่าง (ΔC) ของปริมาณพื้นที่ใต้กราฟตัวอย่างมะม่วงอบแห้ง (C) เทียบกับปริมาณพื้นที่ใต้กราฟของมะม่วงสดก่อนการอบแห้ง (C_0) [$\Delta C = C - C_0$] จากกราฟพบว่าเอทานอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้น ในทิศทางเดียวกัน สารประกอบกลุ่มกรดและเอสเทอร์ได้แก่ กรด butanoic กรด octanoic และ ethyl acetate สารประกอบทั้ง 2 กลุ่มนี้มีแนวโน้มว่ามีปริมาณสารประกอบระเหยที่เพิ่มขึ้นเหมือนกับเอทานอล แต่ต้องใช้เวลาในการอบแห้งที่นานตั้งแต่ 5 ชั่วโมงขึ้นไปจึงเกิดสารประกอบขึ้น ในขณะที่สารประกอบกลุ่มมอโนเทอร์พีน เช่น α -terpinolene พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ และการเปลี่ยนแปลงของ α -terpinolene ในอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งทั้ง 2 อุณหภูมิ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันไป ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของ 3-carene ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายการเปลี่ยนแปลงของ ส่วนสารประกอบมอโนเทอร์พีนอื่นๆ เช่น 3-carene ที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียสและ α -pinene ที่อุณหภูมิอบแห้งทั้ง 2 อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการอบแห้งซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างคงที่

ตารางที่ 10 ชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับมะม่วงสด ที่เวลา 0, 1.5, 3, 5, 8 และ 13 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับมะม่วงสด

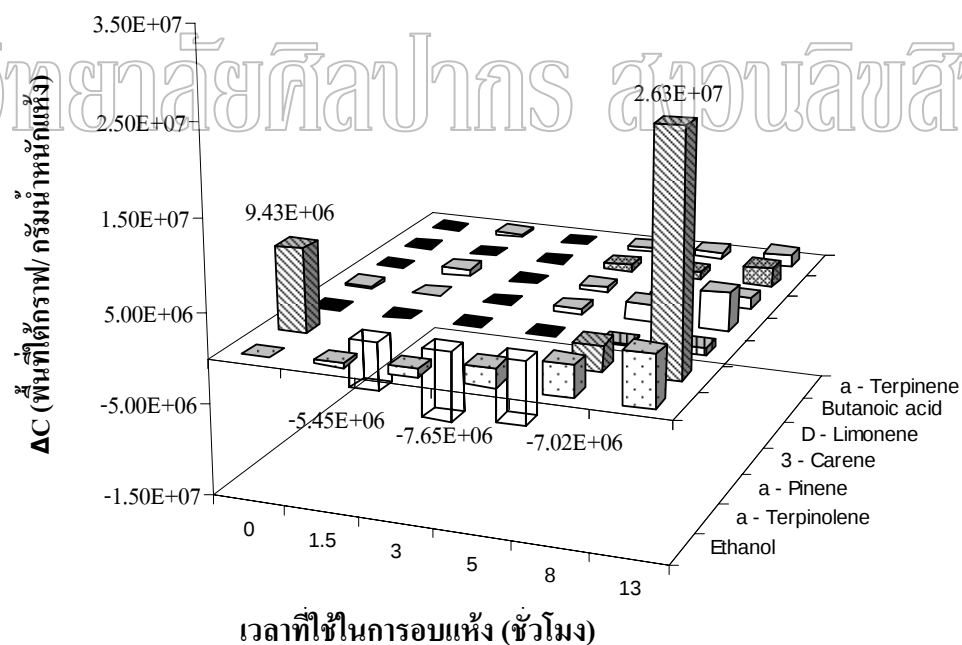
สารประกอบระเหยง่ายอบแห้ง	RT (นาทีก)	พื้นที่ใต้กราฟต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่เวลาต่างๆที่อุณหภูมิ 60 °C					
		0 hr	1.5 hr	3 hr	5 hr	8 hr	13 hr
ethanol	0.92	-	6.72E+05 ^c	1.51E+06 ^c	1.27E+06 ^d	3.42E+06 ^b	7.44E+06 ^a
ethyl acetate	1.35	-	-	-	-	3.02E+05 ^b	6.33E+05 ^a
butanoic acid	3.66	-	-	-	6.31E+05 ^c	2.40E+06 ^b	3.15E+06 ^a
α -pinene	7.17	-	-	1.25E+06 ^a	1.03E+05 ^c	1.55E+05 ^b	-3.98E+05 ^c
3-carene	9.57	3.42E+05 ^d	-3.42E+05 ^f	3.36E+06 ^a	1.40E+05 ^c	2.40E+06 ^c	2.58E+06 ^b
α -terpinene	9.81	-	-	1.65E+06 ^a	-1.72E+05 ^c	2.98E+05 ^b	-2.18E+05 ^c
D-limonene	10.18	-	-	2.17E+06 ^a	6.88E+05 ^b	3.36E+05 ^c	-1.41E+06 ^d
α -terpinolene	12.06	9.28E+06 ^c	-7.74E+06 ^d	3.47E+07 ^a	-7.45E+06 ^d	1.53E+07 ^b	-1.16E+07 ^c
octanoic acid	15.49	-	-	-	-	1.92E+05 ^b	3.54E+05 ^a
1H-cycloprop[e]azulene	22.89	-	-	1.22E+05 ^a	-	1.45E+05 ^a	-
สารประกอบระเหยง่ายอบแห้ง	RT (นาทีก)	พื้นที่ใต้กราฟต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่เวลาต่างๆที่อุณหภูมิ 70 °C					
		0 hr	1.5 hr	3 hr	5 hr	8 hr	13 hr
ethanol	0.92	-	4.64E+05 ^c	9.40E+05 ^d	2.05E+06 ^c	3.46E+06 ^b	5.65E+06 ^a
ethyl acetate	1.35	-	-	-	-	-	3.64E+05
butanoic acid	3.66	-	-	-	7.06E+05 ^b	7.70E+05 ^b	2.13E+06 ^a
α -pinene	7.17	-	-	-	-	2.02E+05 ^b	7.58E+05 ^a
3-carene	9.57	3.15E+05 ^d	1.12E+05 ^c	-	5.03E+05 ^c	2.03E+06 ^b	4.29E+06 ^a
α -terpinene	9.81	-	4.23E+05 ^{bc}	-	4.43E+05 ^b	3.12E+05 ^c	1.34E+06 ^a
D-limonene	10.18	-	7.69E+05 ^b	-	5.29E+05 ^b	-1.49E+05 ^c	1.19E+06 ^a
α -terpinolene	12.06	9.43E+06 ^b	-5.45E+06 ^d	-7.65E+06 ^c	-7.02E+06 ^{de}	2.75E+06 ^c	2.63E+07 ^a
octanoic acid	15.49	-	-	-	-	-	-
1H-cycloprop[e]azulene	22.89	-	-	-	-	1.45E+05	-

a...f ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยตามแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(ก)

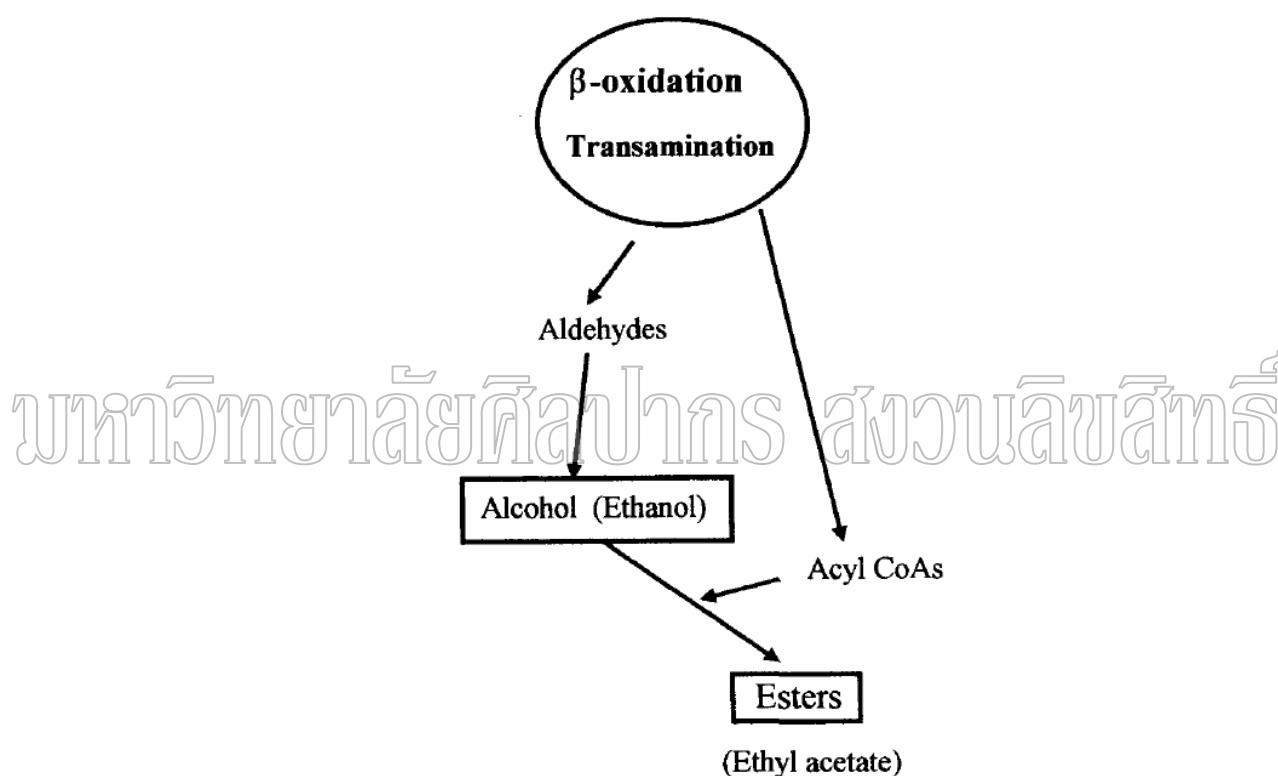


(ข)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยง่ายหลักที่พบในมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่เวลา
ต่างๆ เปรียบเทียบกับมะม่วงสด (ก) อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส และ (ข) อบแห้งที่ 70
องศาเซลเซียส

การเกิด ethanol ในช่วงแรกของการอบแห้งและพบสารประกอบเอสเทอร์หลังจากอบแห้งนาน 5 ชั่วโมง อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของลิพิดออกซิเดชัน ในเส้นทางของเอนไซม์บีต้าออกซิเดชันไปเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารประกอบแอลดีไฮด์และเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ (ethanol) สุดท้ายจึงเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเอสเทอร์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของลิพิดออกซิเดชัน โดยเส้นทางของเอนไซม์บีต้าออกซิเดชันไปเป็นสารประกอบเอสเทอร์โดยตรงจะใช้เอนไซม์เอซิลโคเอนไซม์เอ (acyl co-enzyme A) แสดงดังภาพที่ 20 (Dixon และ Hewett, 2000)



ภาพที่ 20 เส้นทาง (pathway) การเกิดเอทานอลและสารประกอบเอสเทอร์

ที่มา ดัดแปลงจาก Dixon และ Hewett, 2000

4.8 ผลของเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น

จากการติดตามผลของเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสด้วย HS-SPME-GC-MS แล้ว จากนั้นจึงทำการติดตามคะแนนความชอบด้านกลิ่นของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 11 พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อมะม่วงที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 อุณหภูมิที่ศึกษา โดยมะม่วงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นคล้ายมะม่วงสดและได้คะแนนความชอบมากกว่าที่อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งที่เวลาดังกล่าวเป็นเวลาที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีค่าวอเตอร์แอคทีวี่ที่ต้องการ และที่ระยะเวลาการอบแห้งประมาณ 3 ชั่วโมงและ 13 ชั่วโมง จะเป็นช่วงที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นต่ำ โดยมะม่วงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมงจะได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากมะม่วงที่อบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ที่ระยะเวลาอบแห้งนาน 13 ชั่วโมง คะแนนความชอบด้านกลิ่นของมะม่วงที่อบที่ 60 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบที่ไม่แตกต่างจากมะม่วงสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่มะม่วงที่อบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาอบแห้งนาน 13 ชั่วโมง ได้รับคะแนนความชอบต่ำที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ α -terpinolene กับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ภาพที่ 21) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาอบแห้งนาน 5 และ 8 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาอบแห้งนาน 1.5 และ 5 ชั่วโมง มีคะแนนความชอบที่ใกล้เคียงกับในมะม่วงสดและในทางเดียวกันปริมาณของ α -terpinolene ของอุณหภูมิทั้งสองที่ระยะเวลาดังกล่าว จะมีปริมาณของ α -terpinolene ที่ใกล้เคียงกับปริมาณ α -terpinolene ในมะม่วงสด

ตารางที่ 11 ผลของเวลาในการอบแห้งต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นของมะม่วงอบแห้ง

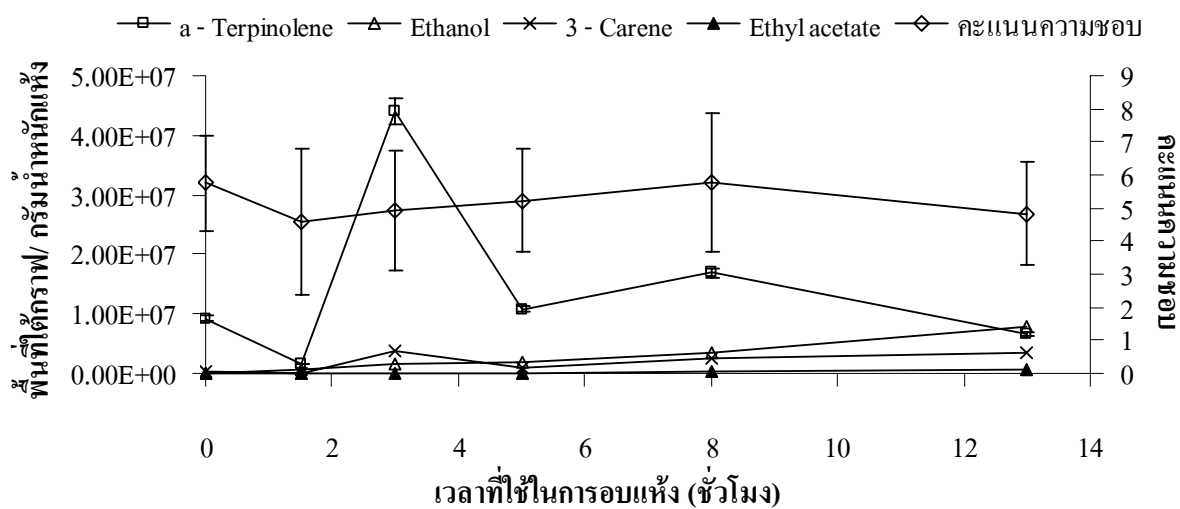
ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	คะแนนความชอบด้านกลิ่นของมะม่วง	
	ที่ 60°C	ที่ 70°C
0 (มะม่วงสด)	5.77 ^a ± 1.45	5.60 ^a ± 1.71
1.5	4.59 ^b ± 2.22	5.43 ^{ab} ± 1.63
3	4.95 ^{ab} ± 1.81	4.73 ^b ± 1.51
5	5.23 ^{ab} ± 1.54	5.27 ^{ac} ± 1.51
8	5.77 ^a ± 2.11	4.70 ^b ± 1.51
13	4.82 ^{ab} ± 1.56	4.53 ^c ± 1.83

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (n = 2)

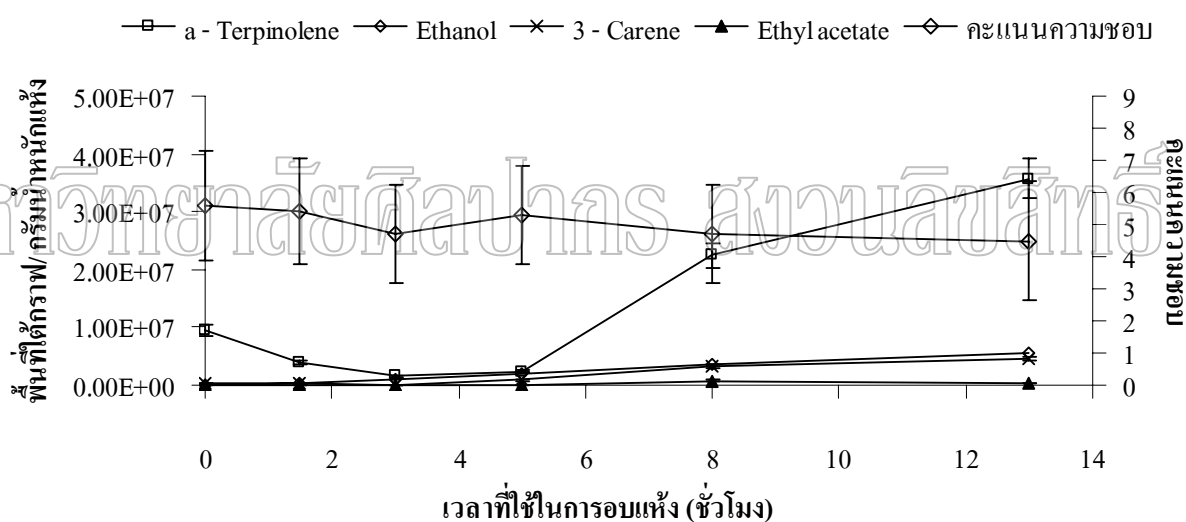
จากรูปที่ 21 เมื่อระยะเวลาการอบแห้งนาน 1.5 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสของทั้งอุณหภูมิค่อยๆ ลดลง แนวโน้มของคะแนนการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งของผู้ทดสอบชิมก็มีแนวโน้มที่ลดลงด้วยเช่นกัน หลังจากที่ใช้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้นตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไป ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีแนวโน้มว่าปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสมีแนวโน้มที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบชิมก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งพบว่าปริมาณของเอทานอลก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาการอบแห้งที่ 5 ชั่วโมง ขึ้นไป ปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งกลับลดลง ทั้งนี้ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วง เกิดจากสารประกอบหลายชนิดรวมกัน โดยอิทธิพลของสารประกอบต่อกลิ่นของมะม่วงน่าจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น ซึ่งพบว่าเอทานอลมีระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถให้กลิ่นได้ (thresholds) อยู่ที่ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างสูง (Belitz, Grosch และ Schieberle, 2004) ดังนั้นอิทธิพลของเอทานอลต่อกลิ่นของมะม่วงอบแห้งจึงจำเป็นต้องมีปริมาณเอทานอลที่สูงระดับหนึ่ง ในขณะที่สารประกอบเทอร์ปีนมีระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถให้กลิ่นได้ที่ต่ำกว่าเอทานอล เช่น limonene 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นต้น ดังนั้นสารประกอบประเภทเทอร์ปีน

หากมีในปริมาณที่ต่ำก็อาจจะมีอิทธิพลต่อกลิ่นของมะม่วงอบแห้งมากกว่า ซึ่งจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคซึ่งส่วนใหญ่ชอบกลิ่นของมะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์ เนื่องจากกลิ่นรสไม่รุนแรงเกินไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกลิ่นรสระหว่างมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส ผู้บริโภคชอบมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสมากกว่า เนื่องจากมีกลิ่นรสที่ใกล้เคียงของสด ซึ่งไม่รุนแรงเกินไป ซึ่งหากสังเกตจากภาพที่ 21 จะพบว่าปริมาณของ α -terpinolene ที่ใกล้เคียงกับมะม่วงสดจะได้รับคะแนนความชอบที่ใกล้เคียงกัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการอบแห้ง 13 ชั่วโมง จะพบว่ามีปริมาณของ α -terpinolene ที่ใกล้เคียงกับมะม่วงสด แต่คะแนนความชอบลดลง อาจเกิดจากอิทธิพลของกลิ่นรสจากสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ คือ เอทานอลและ ethyl acetate ซึ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆระหว่างการอบแห้ง เนื่องจากสารประกอบกลุ่มเอสเทอร์มีความสำคัญต่อการแสดงกลิ่นของผลไม้ เรียกว่าสารประกอบกลุ่มนี้ว่า สารประกอบเชิงบวก (positive compounds) เช่น acetate, ethyl esters, ethyl-2-methyl butanoate (แสดงกลิ่นแบบผลไม้) แต่สารประกอบ ethyl acetate กลับให้กลิ่นที่ค่อนข้างดีต่อผลิตภัณฑ์ ส่วนสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอลมีความสำคัญในการให้กลิ่นแบบการหมัก เรียกว่า สารประกอบเชิงลบ (negative compounds) (Scalzo และคณะ, 2001) ส่วนอุณหภูมิการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบลดลง เมื่อเวลาการอบแห้งนานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของ α -terpinolene ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นและอาจให้กลิ่นที่รุนแรงเกินไป รวมถึงอิทธิพลของเอทานอลและ ethyl acetate ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการอบแห้งด้วยเช่นกัน

(ก)



(ข)



ภาพที่ 21 ปริมาณ α -terpinolene ของมะม่วงที่ผ่านการอบแห้ง (ก) 60 องศาเซลเซียส และ (ข) 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0, 1.5, 3, 5, 8 และ 13 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.9 คุณลักษณะของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงที่วิเคราะห์ด้วย gas chromatography-olfactory (GC-O)

การใช้ GC-O เป็นการใช้ระบบประสาทสัมผัสของมนุษย์ในการดมกลิ่นที่แยกได้จากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ดังนั้นคุณลักษณะของกลิ่นที่ปรากฏจึงได้จากกลิ่นที่ผู้ทดสอบคุ้นเคย คุณลักษณะของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์และมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 12, 13 และ 14 พบว่ามะม่วงสดพบสารประกอบระเหยง่ายที่แสดงลักษณะของกลิ่นรส 8 ชนิด ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบ 10 และ 13 ชนิดตามลำดับ ซึ่งมีสารประกอบระเหยง่ายมากกว่าในมะม่วงสด

จากการทดลองที่ผ่านมาโดยการวิเคราะห์สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อหาความชอบด้านกลิ่นของมะม่วงสดและมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งแล้ว พบว่ามะม่วงสดกับมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้รับความชอบที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และอุณหภูมิที่ได้รับความชอบน้อยที่สุดคือ อุณหภูมิที่ผ่านการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส (ข้อ 4.6) จากตารางที่ 11 และ 12 จะเห็นได้ว่ากลิ่นโดยรวมของมะม่วงสดและมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีลักษณะกลิ่นหวานและกลิ่นเขียวของมะม่วง โดยเฉพาะกลิ่นที่มีความเข้มข้นปานกลางที่มีลักษณะกลิ่นน้ำหวาน ซึ่งน่าจะส่งผลต่อความชอบผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส ในขณะที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 14) พบว่ามีกลิ่นโดยรวมที่มีลักษณะของแก๊สหรือควั่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลิ่นที่มีความเข้มข้นกลิ่นที่สูงที่แสดงลักษณะกลิ่นของแก๊สที่รุนแรง ซึ่งน่าจะส่งผลกระทบต่อความชอบด้านกลิ่นของมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งในการศึกษากลิ่นในมะม่วงสด MacLeod and Synder (1985) ได้ทำการศึกษาไว้ในมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins และ Keitt โดยพบว่าทั้งสองมะม่วงพันธุ์มีสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสที่เป็น aroma active คือ 3-carene ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นเขียวในมะม่วงทั้งสองพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในมะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์ครั้งนี้

แต่เนื่องจากการทดลองในส่วนของ GC-O นี้ต้องใช้เครื่องมือจากภายนอกมหาวิทยาลัย และสามารถศึกษาได้อย่างจำกัด เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในการศึกษาในส่วนนี้จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 12 คุณลักษณะของกลิ่นที่วิเคราะห์จากมะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์

Retention time (นาทีก)	ลักษณะกลิ่นที่พบ	ความเข้ม
0.43	เขียว มะม่วง	อ่อนมาก
1.68	หวาน	อ่อน
1.78	น้ำหวาน	ปานกลาง
2.66	แก๊ส	อ่อนมาก
15.26	แก๊ส	อ่อน
19.96	เขียว แก๊ส	อ่อน
22.86	เขียว	อ่อนมาก
23.02	หวาน	อ่อนมาก

ตารางที่ 13 คุณลักษณะของกลิ่นที่วิเคราะห์จากมะม่วงอบแห้งพันธุ์โชคอนันต์ ที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส

Retention time (นาทีก)	ลักษณะกลิ่นที่พบ	ความเข้ม
0.43	เขียว มะม่วง	อ่อนมาก
0.58	น้ำหวาน	ปานกลาง
1.99	หวาน เย็น	อ่อนมาก
4.57	แก๊สหุงต้ม	อ่อน
11.38	กลิ่นเขียว	อ่อนมาก
11.66	หวาน	อ่อนมาก
23.93	ดอกไม้	อ่อนมาก
25.00	มะม่วงเขียว	อ่อนมาก
25.11	หวาน	อ่อน
25.23	หวาน	อ่อนมาก

ตารางที่ 14 คุณลักษณะของกลิ่นที่วิเคราะห์จากมะม่วงอบแห้งพันธุ์โชคอนันต์ ที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส

Retention time (นาที)	ลักษณะกลิ่นที่พบ	ความเข้ม
1.41	หวาน	อ่อนมาก
3.07	แก๊ส ควัน	อ่อนมาก
3.32	หวาน	อ่อนมาก
8.52	แก๊ส	อ่อนมาก
11.37	หวาน	อ่อนมาก
14.28	ควัน	อ่อน
15.14	แก๊ส	สูง
16.46	แก๊ส	อ่อน
17.23	แก๊ส	อ่อนมาก
17.37	หวาน	อ่อนมาก
20.86	ดอกไม้	อ่อน
21.37	แก๊ส	อ่อน
25.56	เขียวมะม่วง	อ่อน