

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 การศึกษาเค้าโครงกลิ่นและองค์ประกอบสารให้กลิ่นควันเทียนอบชนิดแห้ง

การทดลองที่ 1.1 การศึกษาเค้าโครงกลิ่นเทียนอบชนิดแห้งโดยการวิเคราะห์ทาง ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Sensory Analysis)

ทำการคัดกรองผู้ทดสอบที่มีความสามารถในการรับรู้ด้านกลิ่น โดยใช้แบบสอบถามคัดกรองเบื้องต้น (prescreening questionnaire) และแบบทดสอบการอ่านสเกล ดึงภาคผนวก ก-1 จากจำนวนผู้ทดสอบเริ่มต้น 40 คน พบว่า ผู้ทดสอบที่สามารถตอบคำถามได้ชัดเจนถูกต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และข้อสอบชุดการอ่านสเกลต้องอ่านได้ถูกต้องและผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งผ่านเข้าสู่การทดสอบด้านความเฉียบแหลม (acuity test) เพียง 20 คน จากนั้น ให้ผู้ทดสอบทำแบบทดสอบ Triangle test, Duo-trio test และ Ranking test โดยกำหนดเกณฑ์ผู้ที่ผ่านเข้ารอบต่อไปคือ มีความสามารถแยกความแตกต่างในแบบทดสอบ Triangle test ถูกต้อง 50-60% Duo-trio test ถูกต้อง 70-80% และผู้ที่ผ่านการทดสอบการจัดอันดับสามารถจัดอันดับได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80 จากนั้นคัดกรองให้ได้ผู้ทดสอบที่มีความเหมาะสมที่สุด ผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการฝึกหัดจำนวน 10 คน พบว่า เป็นชาย 2 คน และหญิง 8 คน โดยเป็นนักศึกษาในระดับปริญญาตรีจำนวน 2 คน ระดับปริญญาโทจำนวน 7 คน และเจ้าหน้าที่ผู้ช่วยนักวิจัย 1 คน จากภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แล้วเปิดอภิปรายกลุ่มเพื่อฝึกฝนผู้ทดสอบให้เข้าใจและประเมินผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยใช้เวลาฝึกฝน 8 ชั่วโมง (2 ชั่วโมง/การประชุม) ได้ผลดังนี้

การประชุมครั้งที่ 1

หลังจากเปิดอภิปรายกลุ่มเพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญของกลิ่นเทียนอบ ผู้ทดสอบสามารถระบุคุณลักษณะที่สำคัญที่พบในกลิ่นเทียนอบตามลำดับการรับรู้ก่อน-หลัง ได้ทั้งหมด 6 คุณลักษณะ และระบุตัวอย่างอ้างอิงที่มีกลิ่นใกล้เคียงกับคุณลักษณะต่างๆ ของกลิ่นเทียนอบได้มากถึง 20 ตัวอย่าง ดังนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการคัดเลือกตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดกับคุณลักษณะต่างๆ

เพียงตัวอย่างเดียว จึงจัดเรียงตัวอย่างอ้างอิงทั้งหมดเป็นหมวดหมู่ให้สอดคล้องกับลักษณะของแต่ละกลิ่น ดังตารางที่ 4.1

การประหลุมครั้งที่ 2

หลังจากเปิดอภิปรายกลุ่ม ผู้ทดสอบทำการคัดเลือกตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมในแต่ละคุณลักษณะเพียงตัวอย่างเดียว (จากตารางที่ 4.1) ซึ่งสามารถสรุปตัวอย่างอ้างอิงที่ให้กลิ่นเด่นชัดสำหรับแต่ละคุณลักษณะของกลิ่นเทียนอบ และกำนัลยามได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 กลุ่มตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละคุณลักษณะของกลิ่นเทียนอบ

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง			
ไหม้ฉุน (acid)	ด้ายไหม้(ใส่เทียน)	ก้านไม้จืดไหม้		ยางไหม้
ไหม้ (burnt)	ด้ายไหม้(ใส่เทียน)	ก้านไม้จืดไหม้		
เขม่า (ashy)	ควัน/เขม่าจากใส่เทียน ควัน/เขม่าจากกระดาษกรอง Whatman No. 4			
พาราฟิน (paraffin)	เทียนไขบดหยาบ			
น้ำหอม (perfumey)	น้ำอบไทย	น้ำปรุง	ธูปหอม	น้ำลอยดอกมะลิ
	กลิ่นดอกมะลิ	ดินสอพอง	แป้งร่ำ	น้ำมันจันทน์
	กลิ่นดอกจำเริญก กลิ่นดอกจำดวน			
หอมหวาน (sweet aromatic)	น้ำกะทิ	ใบเตย	กลิ่นนมแมว	น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายแดง

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างอ้างอิงและคำนิยามที่เหมาะสมสำหรับแต่ละคุณลักษณะของกลิ่นเทียนอบโดยใช้ความเห็นร่วมกันของผู้ประเมินจำนวน 10 คน

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง	คำนิยาม
ไหม้ฉุน (acrid)	ด้ายไหม้ (ไส้เทียน)	กลิ่นคล้ายไส้เทียนไหม้ (ด้ายหรือ ผ้าชุบน้ำมัน)
ไหม้ (burnt)	ก้านไม้ขีดไหม้	กลิ่นคล้ายกลิ่นไหม้จากไม้ (เหม็นฉุน)
เขม่า (ashy)	ควัน/เขม่าจากกระดาษ (Whatman No.4)	กลิ่นคล้ายควันธูปธูป เช่น กลิ่นกระดาษไหม้
พาราฟิน (paraffin)	เทียนไข	กลิ่นคล้ายเทียนไขที่ไม่ผ่านการแต่งกลิ่น
น้ำหอม (perfumey)	รูปหอม	กลิ่นคล้ายดอกไม้ไทย เช่น จำปี กระดังงา
หอมหวาน (sweet aromatic)	กลิ่นนมแมว	กลิ่นคล้ายวัตถุดิบที่มีรสหวาน เช่น น้ำอ้อย น้ำตาลไหม้ น้ำเชื่อม เป็นต้น

การประชุมครั้งที่ 3

หลังจากเตรียมตัวอย่างอ้างอิงที่เหมาะสมในแต่ละคุณลักษณะที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ทำการเปิดอภิปรายกลุ่ม ผู้ทดสอบประเมินระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิงโดยใช้ความเห็นร่วมกัน ได้คะแนนดังตารางที่ 4.3

การประชุมครั้งที่ 4

ผู้ทดสอบประเมิน warm-up sample สำหรับทั้ง 6 คุณลักษณะ โดยใช้ความเห็นร่วมกันของผู้ประเมินจำนวน 10 คน ได้คะแนนดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงสำหรับแต่ละคุณลักษณะที่ความเข้มข้น 3 ระดับ และสเกลคะแนนของแต่ละระดับ

คุณลักษณะ	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงที่ระดับต่างๆ	สเกล*
ไหม้ฉุน (acrid)	ตัดกลุ่มด้าย (ใส่เทียน) ความยาว 3 cm. หนัก 0.25 กรัม แล้วเผาจนหมด โดยใช้ เวลา 40 วินาที หย่อนใส่ขวดสีชา	
	• ทิ้งให้ควันระเหยไปบางส่วน จับเวลา 2 นาที แล้วปิดฝาขวด	4.30
	• ทิ้งให้ควันระเหยไปบางส่วน จับเวลา 1 นาที แล้วปิดฝาขวด	8.40
	• ปิดฝาขวดทันที	12.50
ไหม้ (burnt)	ใช้ก้านไม้ขีดตัดหัว (ความยาว 3.5 cm.) เผาจนหมดก้านใช้เวลา 40 วินาที หย่อน ใส่ขวดสีชา	
	• ทิ้งให้ควันระเหยไปบางส่วน จับเวลา 2 นาที แล้วปิดฝาขวด	2.00
	• ทิ้งให้ควันระเหยไปบางส่วน จับเวลา 1 นาที แล้วปิดฝาขวด	8.30
	• ปิดฝาขวดทันที	9.30
เขม่า (ashy)	เผากระดาษกรองจนหมดแผ่น แล้วหย่อนใส่ขวดสีชา	
	• ทิ้งให้ควันระเหยไปบางส่วน จับเวลา 1 นาที แล้วปิดฝาขวด	1.70
	• ทิ้งให้ควันระเหยไปบางส่วนจับเวลา 30 วินาที แล้วปิดฝาขวด	3.70
	• ปิดฝาขวดทันที	9.10
พาราฟิน (paraffin)	ขูดเนื้อเทียนไข แล้วบดหยาบๆ นำไปชั่งน้ำหนัก	
	• น้ำหนัก 0.50 กรัม	2.80
	• น้ำหนัก 2.00 กรัม	4.00
	• น้ำหนัก 5.00 กรัม	8.40
น้ำหอม (perfumey)	ขูดเฉพาะเนื้อรูปหอมแล้วบดละเอียด นำไปชั่งน้ำหนัก	
	• น้ำหนัก 0.0100-0.0110 กรัม	5.70
	• น้ำหนัก 0.10 กรัม	8.70
	• น้ำหนัก 0.40 กรัม	11.60
หอมหวาน (sweet aromatic)	เจือจางกลิ่นนมแมว โดยใช้ propylene glycol เป็นตัวทำละลาย	
	• เจือจางโดยใช้อัตราส่วน กลิ่นนมแมว : propylene glycol เท่ากับ 1 : 99	7.70
	• เจือจางโดยใช้อัตราส่วน กลิ่นนมแมว : propylene glycol เท่ากับ 1 : 9	10.40
	• เจือจางโดยใช้อัตราส่วน กลิ่นนมแมว : propylene glycol เท่ากับ 1 : 1	12.50

* ได้จากความคิดเห็นร่วมกันของผู้ทดสอบจำนวน 10 คน

ตารางที่ 4.4 ระดับความเข้มของ warm-up sample ในแต่ละคุณลักษณะของกลิ่นเทียนอบ โดยใช้ความเห็นร่วมกันของผู้ประเมินจำนวน 10 คน

คุณลักษณะ	ระดับความเข้ม
กลิ่นไหม้จุน	5.23
กลิ่นไหม้	4.66
กลิ่นเหม่า	4.23
กลิ่นพาราฟิน	7.24
กลิ่นน้ำหอม	4.45
กลิ่นหอมหวาน	4.17

หลังจากฝึกฝนผู้ทดสอบจนครบ 4 ตอนแล้ว จึงทำการประเมินกลิ่นเทียนอบจำนวน 4 ตัวอย่าง สำหรับ 6 คุณลักษณะ ได้แก่ กลิ่นไหม้จุน กลิ่นไหม้ กลิ่นเหม่า กลิ่นพาราฟิน กลิ่นน้ำหอม และกลิ่นหอมหวาน โดยทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง จากแบบทดสอบการประเมินผลิตภัณฑ์ ทำการวัดระยะทางบนสเกลเส้นตรงในหน่วยเซนติเมตร จากปลายซ้ายสุดถึงตำแหน่งที่ผู้ทดสอบแต่ละคนทำเครื่องหมายขีด (|) ไว้ในแต่ละคุณลักษณะ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของตัวแปรหลัก (main effect) ได้แก่ ชนิดของตัวอย่าง ผู้ทดสอบ และการทดสอบซ้ำ และวิเคราะห์ความแปรปรวนของอิทธิพลร่วมของตัวแปรหลัก (interaction effect) ในแต่ละคุณลักษณะ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรหลักและอิทธิพลร่วมของตัวแปรหลักในแต่ละคุณลักษณะของกลิ่นเทียนอบ

	ค่า F					
	ตัวอย่าง (S) (df =3)	ผู้ทดสอบ (P) (df =9)	การทดสอบซ้ำ (R) (df =1)	SxP (df =27)	PxR (df =9)	SxR (df =3)
กลิ่นไหม้ฉุน	161.52***	3.72**	5.93*	3.26**	2.70*	8.82***
กลิ่นไหม้	84.17***	5.54***	0.01	3.67**	4.54***	1.96
กลิ่นเหม่า	85.77***	4.65***	2.41	2.45**	1.85	5.59**
กลิ่นพาราฟิน	23.00***	1.94	0.07	1.43	1.72	0.72
กลิ่นน้ำหอม	33.22***	0.69	3.09	1.58	0.13	1.10
กลิ่นหอมหวาน	61.44***	1.67	2.96	1.51	0.46	3.13*

*, **, *** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$ ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ตัวอย่างกลิ่นเทียนอบจำนวน 4 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ มีคะแนนความเข้มความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.001$) ในทุกคุณลักษณะทั้งด้านกลิ่นไหม้ฉุน กลิ่นไหม้ กลิ่นเหม่า กลิ่นพาราฟิน กลิ่นน้ำหอม และกลิ่นหอมหวาน

นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทำการประเมินคุณลักษณะด้านกลิ่นไหม้ฉุน กลิ่นไหม้และกลิ่นเหม่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความคล้ายคลึงกันของทั้ง 3 กลิ่นข้างต้น ส่งผลให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกกลิ่นออกจากกันได้อย่างชัดเจน อาจประเมินสลับไปบ้างในแต่ละกลิ่น และเมื่อพิจารณาอิทธิพลจากการทดสอบซ้ำ พบว่าในการประเมินซ้ำทั้ง 2 ครั้ง กลิ่นไหม้ฉุนมีคะแนนต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างผู้ทดสอบและผู้ทดสอบและผู้ทดสอบซ้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับคุณลักษณะกลิ่นเหม่า กลิ่นพาราฟิน กลิ่นน้ำหอม และกลิ่นหอมหวาน แสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบทุกคนทำการประเมินซ้ำทั้งสองครั้ง ใน 4 คุณลักษณะข้างต้นไม่ต่างกัน ส่วนคุณลักษณะด้านกลิ่นไหม้ฉุน และกลิ่นไหม้ พบว่าผู้ทดสอบประเมินแตกต่างกันในแต่ละครั้ง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างผู้ทดสอบคมกับตัวอย่างที่ทำการประเมิน พบว่า ผู้ทดสอบทำการประเมินตัวอย่างแตกต่างกันในด้านกลิ่นใหม่ฉุน กลิ่นใหม่ และกลิ่นเหม็น แสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนทั้ง 3 กลิ่นข้างต้นแตกต่างกัน กล่าวคือ ผู้ทดสอบไม่มีความแม่นยำต่อตัวอย่างในคุณลักษณะทั้ง 3 ดังกล่าวข้างต้น

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและการทำซ้ำ พบว่า คุณลักษณะด้านกลิ่นใหม่ฉุน กลิ่นเหม็น และกลิ่นหอมหวาน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างถูกประเมินทั้ง 3 คุณลักษณะข้างต้นแตกต่างกันสำหรับการประเมินแต่ละครั้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนในการเตรียมตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละครั้ง ทำให้ตัวอย่างเดียวกันมีความเข้มแตกต่างกันไปบ้าง โดยผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่างอ้างอิงคนละ 1 ชุด สำหรับตัวอย่างด้ายใหม่ ก้านไม้ขีดใหม่ และกระดาษกรองใหม่นั้น ถึงแม้ได้ควบคุมระยะเวลาที่ใช้เผาและขนาดของตัวอย่างไว้แล้ว แต่การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละครั้งนั้นไม่สามารถเตรียมพร้อมกันในครั้งเดียว อีกทั้งไม่สามารถระบุความเข้ม/ความแรงที่แน่ชัดในการเตรียมแต่ละครั้ง เมื่อเทียบกับการเตรียมตัวอย่างด้วยสารเคมีหรือส่วนผสมอื่นๆ ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนซึ่งให้ได้ค่าตอบสนองที่แม่นยำกว่า ด้วยสาเหตุนี้จึงส่งผลต่อระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิงที่ผู้ทดสอบแต่ละคนได้รับ ทำให้การประเมินตัวอย่างในแต่ละครั้งเกิดความคลาดเคลื่อนได้

ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผู้ทดสอบแต่ละคนสำหรับ 3 คุณลักษณะ ได้แก่ กลิ่นใหม่ฉุน กลิ่นใหม่ และกลิ่นเหม็น โดยวิธี Duncan's multiple comparison tests แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คะแนนเฉลี่ยของผู้ทดสอบแต่ละคนสำหรับกลิ่นไหม้จุน กลิ่นไหม้ และกลิ่นเขม่า

กลิ่นไหม้จุน		กลิ่นไหม้		กลิ่นเขม่า	
ผู้ทดสอบ คนที่	คะแนนเฉลี่ย*	ผู้ทดสอบ คนที่	คะแนนเฉลี่ย*	ผู้ทดสอบ คนที่	คะแนนเฉลี่ย*
4	4.43a	6	3.69a	6	4.16a
9	4.45a	5	4.05ab	4	4.44ab
5	4.46a	10	4.27ab	5	4.55ab
2	4.72ab	7	4.34ab	10	4.62abc
6	4.75ab	4	4.36ab	1	4.74abcd
10	4.82abc	3	4.41b	7	4.86bcde
8	4.91abc	9	4.58b	8	5.18cdef
1	5.03bc	1	4.75b	2	5.28def
7	5.14bc	2	5.09bc	9	5.41ef
3	5.32c	8	5.57c	3	5.52f

* จากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน โดยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ($n = 8$; ตัวอย่างเทียนอบจำนวน 4 ชนิด ทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง)

จากตารางที่ 4.6 ช่วงคะแนนระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะที่ได้จากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน พบว่า คุณลักษณะกลิ่นไหม้จุนมีค่าเท่ากับ 0.89 กลิ่นไหม้มีค่าเท่ากับ 1.88 กลิ่นเขม่ามีค่าเท่ากับ 1.36 ทั้งนี้เนื่องมาจาก ความแตกต่างในการรับรู้ของผู้ทดสอบแต่ละคน (Moon and Li-Chen, 2007) นอกจากนี้ กลิ่นไหม้จุน กลิ่นไหม้ และกลิ่นเขม่าเป็นกลิ่นที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ผู้ทดสอบบางคนไม่สามารถแยกกลิ่นทั้งสามชนิดออกจากกันได้อย่างชัดเจน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการระบุกลิ่น ประกอบกับความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังที่อภิปรายไปแล้ว เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.6 พบว่า ผู้ทดสอบหมายเลข 3 ประเมินคุณลักษณะด้านกลิ่นไหม้จุนและกลิ่นเขม่า ในระดับที่มากกว่าผู้ทดสอบคนอื่นๆ ดังนั้นก่อนดำเนินการทดลองในครั้งต่อไป ผู้ทดสอบหมายเลข 3 ควรได้รับการฝึกฝนเพิ่มเติมเพื่อประเมินให้ใกล้เคียงกับผู้ทดสอบคนอื่นๆ

ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficients) และค่าความน่าจะเป็น (P) ระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะที่ประเมิน โดยผู้ทดสอบแต่ละคน เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของผู้ทดสอบที่เหลือทั้งหมด

ผู้ทดสอบคนที่		คุณลักษณะ*					
		กลิ่นใหม่จุน	กลิ่นใหม่	กลิ่นเข้มมา	กลิ่นพาราฟิน	กลิ่นน้ำหอม	กลิ่นหอมหวาน
1	Coefficient (P)	0.686 (0.000)	0.405 (0.000)	0.556 (0.000)	0.487 (0.000)	0.342 (0.003)	0.734 (0.000)
2	Coefficient (P)	0.759 (0.000)	0.636 (0.000)	0.729 (0.000)	0.486 (0.000)	0.543 (0.000)	0.730 (0.000)
3	Coefficient (P)	0.843 (0.000)	0.651 (0.000)	0.734 (0.000)	0.454 (0.000)	0.643 (0.000)	0.723 (0.000)
4	Coefficient (P)	0.751 (0.000)	0.570 (0.000)	0.645 (0.000)	0.357 (0.002)	0.683 (0.000)	0.559 (0.000)
5	Coefficient (P)	0.825 (0.000)	0.657 (0.000)	0.751 (0.000)	0.498 (0.000)	0.692 (0.000)	0.731 (0.000)
6	Coefficient (P)	0.742 (0.000)	0.698 (0.000)	0.800 (0.000)	0.530 (0.000)	0.492 (0.000)	0.639 (0.000)
7	Coefficient (P)	0.548 (0.000)	0.645 (0.000)	0.652 (0.000)	0.141 (0.239)	0.479 (0.000)	0.767 (0.000)
8	Coefficient (P)	0.727 (0.000)	0.022 (0.852)	0.479 (0.000)	0.425 (0.000)	0.512 (0.000)	0.685 (0.000)
9	Coefficient (P)	0.829 (0.000)	0.610 (0.000)	0.768 (0.000)	0.498 (0.000)	0.730 (0.000)	0.794 (0.000)
10	Coefficient (P)	0.834 (0.000)	0.702 (0.000)	0.697 (0.000)	-0.024 (0.841)	0.571 (0.000)	0.786 (0.000)

* ตัวเลขสีเข้ม แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีค่า coefficient มากกว่า 0.600 ($n=8$; ตัวอย่างเทียนอบ 4 ชนิด ทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง)

ตารางที่ 4.8 ค่า F-ratio และค่าความน่าจะเป็น (P) จากผลการทดสอบซ้ำของผู้ทดสอบแต่ละคนในแต่ละคุณลักษณะ

ผู้ทดสอบ คนที่		คุณลักษณะ*					
		กลิ่นใหม่ ฉุน	กลิ่นใหม่	กลิ่นเข้มมา	กลิ่น พาราฟิน	กลิ่น น้ำหอม	กลิ่นหอม หวาน
1	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.262 (0.627)	0.080 (0.787)	0.080 (0.787)	0.068 (0.803)	0.287 (0.611)	0.098 (0.764)
2	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.510 (0.502)	0.386 (0.557)	0.250 (0.635)	0.047 (0.836)	0.008 (0.932)	0.146 (0.715)
3	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.004 (0.951)	0.370 (0.565)	0.062 (0.811)	0.619 (0.461)	0.132 (0.729)	0.201 (0.670)
4	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.001 (0.982)	0.101 (0.761)	1.039 (0.347)	1.242 (0.308)	0.337 (0.583)	0.108 (0.754)
5	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.254 (0.632)	0.007 (0.934)	0.369 (0.566)	0.306 (0.600)	0.013 (0.912)	0.002 (0.970)
6	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.357 (0.572)	0.302 (0.602)	0.002 (0.962)	0.001 (0.977)	0.433 (0.535)	1.098 (0.335)
7	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	1.127 (0.329)	0.084 (0.781)	1.161 (0.323)	0.830 (0.397)	0.013 (0.913)	0.001 (0.976)
8	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	1.240 (0.308)	14.785 (0.009)	0.849 (0.392)	3.459 (0.112)	0.139 (0.722)	0.000 (0.993)
9	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.196 (0.674)	0.586 (0.473)	0.001 (0.971)	0.220 (0.655)	0.003 (0.956)	0.083 (0.783)
10	<i>F</i> -ratio (<i>P</i>)	0.083 (0.783)	0.033 (0.863)	0.172 (0.693)	0.383 (0.559)	0.440 (0.532)	0.224 (0.653)

* ตัวเลขที่เข้มแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ($n=8$; ตัวอย่างเทียนอบ 4 ชนิด ทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง)

จากตารางที่ 4.7 พบว่า คะแนนของผู้ทดสอบคนที่ 3, 5 และ 9 มีความสัมพันธ์กับคะแนนของผู้อื่นทางบวก และมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางถึงสูง (coefficient ≥ 0.600) ในทุกคุณลักษณะ ยกเว้น คุณลักษณะด้านกลิ่นพาราฟิน พิจารณาตารางที่ 4.8 แสดงค่า F-ratio และค่าความน่าจะเป็นของผลการทดสอบซ้ำสำหรับผู้ทดสอบแต่ละคน พบว่า ในการทดสอบแต่ละครั้งนั้น ผู้ทดสอบคนที่ 8 ประเมินกลิ่นใหม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น ก่อนการทดลองครั้งต่อไป จำเป็นจะต้องฝึกฝนผู้ทดสอบคนที่ 8 ด้านกลิ่นใหม่โดยให้ประเมินให้แต่ละซ้ำไม่แตกต่างกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า เทียนอบทั้ง 4 ตัวอย่าง มีความเข้มของกลิ่นทั้ง 6 คุณลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตาราง 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนของตัวอย่างในแต่ละคุณลักษณะ โดยวิธี Duncan's multiple comparison tests

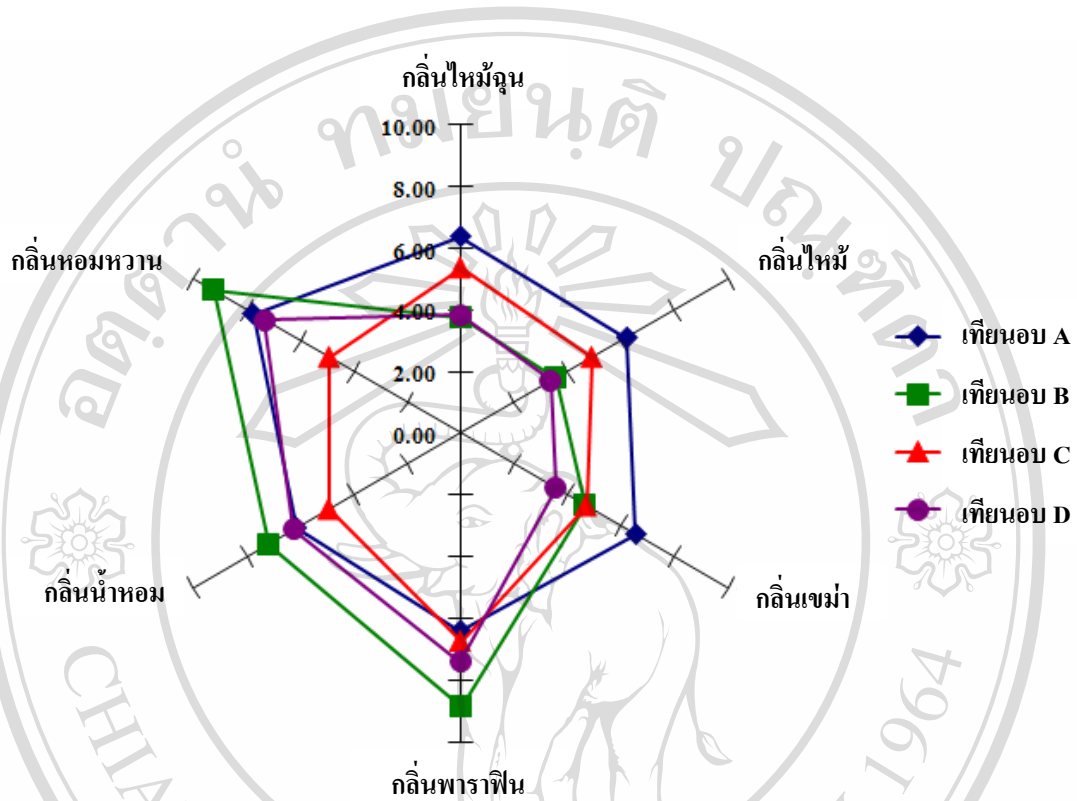
ตารางที่ 4.9 คะแนนของตัวอย่างกลิ่นเทียนอบจำนวน 4 ชนิด ในแต่ละคุณลักษณะ โดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

คุณลักษณะ	คะแนนของตัวอย่างเทียนอบ*			
	A	B	C	D
กลิ่นใหม่จุน	6.38±0.94a	3.74±0.55c	5.27±0.57b	3.82±0.82c
กลิ่นใหม่	6.21±1.18a	3.60±1.11c	4.86±0.89b	3.37±1.09c
กลิ่นเหม่า	6.55±1.34a	4.68±0.74b	4.71±0.58b	3.58±0.70c
กลิ่นพาราฟิน	6.40±1.41c	8.86±0.74a	6.73±0.93c	7.40±1.40b
กลิ่นน้ำหอม	6.14±0.81b	7.20±0.61a	4.93±0.51c	6.24±0.99b
กลิ่นหอมหวาน	7.75±1.20b	9.26±0.70a	5.03±0.74c	7.35±1.59b

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอน แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (n=20; จากผู้ทดสอบ 10 คน ทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง)

จากตาราง 4.9 พบว่า ตัวอย่างเทียนอบทั้ง 4 ชนิด มีระดับความเข้มในแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างเทียนอบ A มีคุณลักษณะด้านกลิ่นใหม่จุน กลิ่นใหม่ และกลิ่นเหม่าสูงที่สุด และแตกต่างจากตัวอย่าง B, C และ D ส่วนตัวอย่างเทียนอบ B มี

คุณลักษณะด้านกลิ่นพาราฟิน กลิ่นน้ำหอม และกลิ่นหอมหวานสูงที่สุดและแตกต่างจากตัวอย่าง A, C และ D ดังแสดงในรูปที่ 4.1

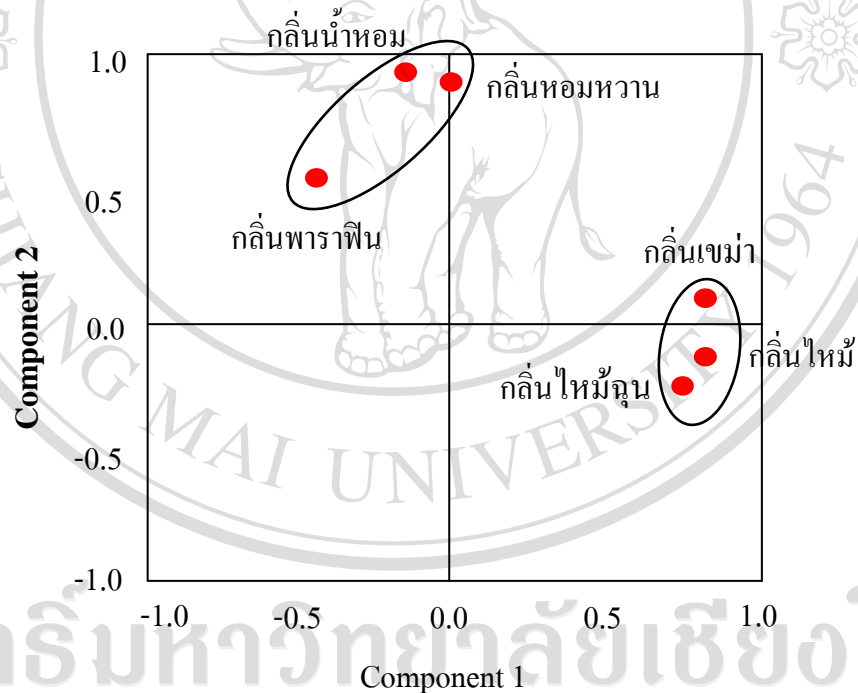


รูปที่ 4.1 แผนภาพใยแมงมุมแสดงเค้าโครงกลิ่นของตัวอย่างเทียนอบ 4 ชนิด โดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ตัวประกอบโดยวิธี Principle Component Analysis (PCA) ทำการสกัดปัจจัยที่ค่า eigen value มากกว่า 1.0 พบว่า ค่า eigen value ของ Factor 2 มีค่าน้อยมาก (1.65) เมื่อเทียบกับ eigen value ของ Factor 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.11 ส่วนค่า loading score ของกลิ่นทั้ง 6 คุณลักษณะ แสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ Factor 1 พบว่า loading score ของตัวแปร กลิ่นเขม่า กลิ่นใหม่ และกลิ่นใหม่จูน มีค่ามาก จึงจัดให้ 3 ตัวแปรดังกล่าวอยู่ใน Factor 1 ส่วนตัวแปรกลิ่นน้ำหอม กลิ่นหอมหวาน และกลิ่นพาราฟินจัดให้อยู่ใน Factor 2 นอกจากนี้ พบว่า Factor 1 และ Factor 2 สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ 42.04% และ 37.17% ตามลำดับ รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งของตัวแปรที่เกิดจากการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax with Kaiser normalization

ตารางที่ 4.10 ค่า factor loadings ของคุณลักษณะต่างๆ เมื่อผ่านการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax

คุณลักษณะ	Factor 1	Factor 2
ไหม้ฉุน	0.912	0.110
ไหม้	0.860	-0.167
เขม่า	0.852	-0.341
พาราฟิน	-0.113	0.938
น้ำหอม		0.927
หอมหวาน	-0.460	0.578



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งกลุ่มคุณลักษณะของเทียนอบโดยวิธีการจำแนกกลุ่มตัวแปร

ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis

ผลการทดสอบความชอบด้านกลิ่นควันเทียนอบจำนวน 4 ชนิด โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของตัวอย่างเทียนอบจำนวน 4 ชนิด

ตัวอย่างเทียนอบ	คะแนนของตัวอย่างเทียนอบ*
A (ตรากล้วยไม้)	6.09 ± 1.12c
B (ตรากุหลาบ)	7.10 ± 0.96a
C	6.01 ± 1.09c
D	6.44 ± 1.06b

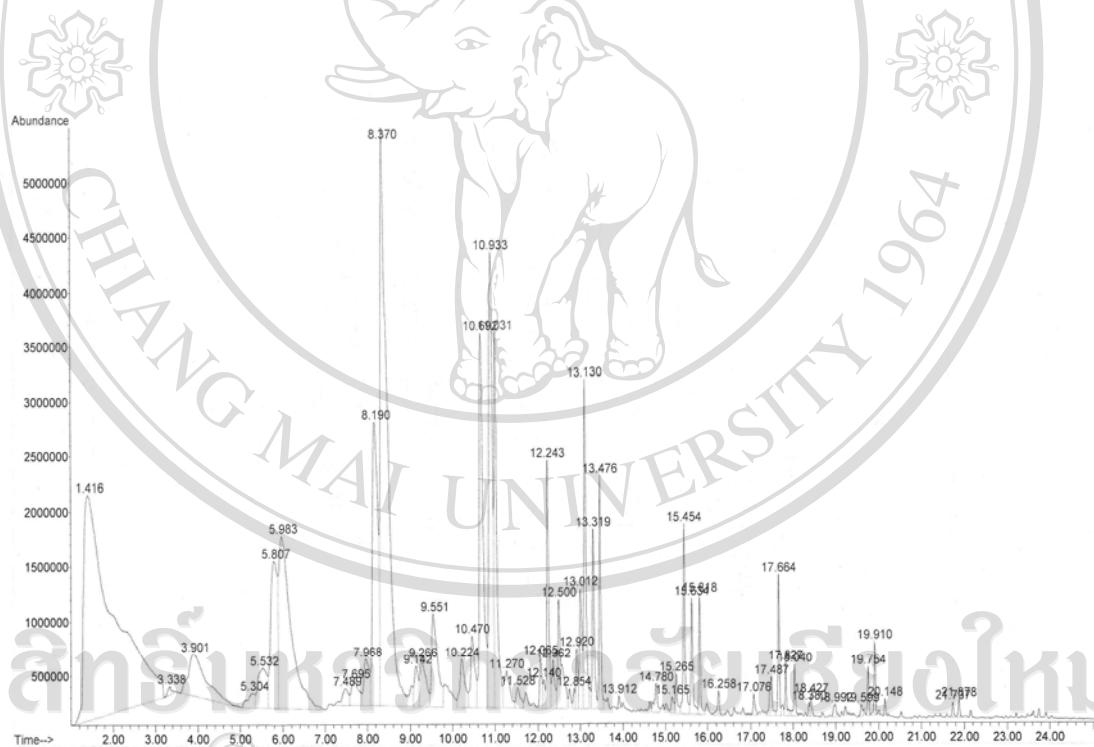
* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (n=100; จากผู้ทดสอบ 100 คน)

จากตารางที่ 4.11 พบว่า เทียนอบตรากุหลาบมีคะแนนความชอบสูงที่สุดและแตกต่างจากเทียนอบชนิดอื่นๆ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีความชอบในระดับชอบปานกลาง และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแต่ละคุณลักษณะของกลิ่นควันเทียนอบ ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา พบว่า เทียนอบตรากุหลาบ (B) มีระดับความแรงในคุณลักษณะกลิ่นพาราฟิน กลิ่นน้ำหอม และกลิ่นหอมหวาน มากกว่าเทียนอบชนิดอื่นๆ ที่ใช้ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีระดับอ่อนในคุณลักษณะกลิ่นไหม้จุน กลิ่นไหม้ และกลิ่นเขม่า ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ลักษณะกลิ่นควันเทียนอบที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูงที่สุดสำหรับการทดลองนี้ จะมีความ “แรง” ด้านกลิ่นหอม และ “อ่อน” ด้านกลิ่นไหม้

การทดลองที่ 1.2 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารให้กลิ่นควันเทียนอบชนิดแท้

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบการยอมรับ ด้วยการให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นของควันเทียนอบ พบว่า เทียนอบตรากุหลาบ มีคะแนนความชอบสูงสุดและแตกต่างจากเทียนอบชนิดอื่นที่ใช้ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น จึงนำเทียนอบตรากุหลาบมาวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารให้กลิ่น ทดสอบสุ่มไอของสารระเหยที่อุณหภูมิ 25°C โดยใช้ SPME fiber ดูดซับสารระเหย แล้วฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography - Mass Spectrometer; GC-MS) ซึ่งเป็นเทคนิคการใช้แมสสเปก-

โตรมิเตอร์ต่อเข้ากับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโดยตรง แมสสเปกโตรมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ผลิตแยก และตรวจวัดไอออนในแก๊ส (จันคณา, 2543) ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแมสสเปกโตรมิเตอร์มี 2 ลักษณะ คือ แมสสเปกตรัม (mass spectrum) และโครมาโทแกรม โดยแมสสเปกตรัมของแต่ละโมเลกุลจะถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่ออ่านค่า และนำไปเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมของสารมาตรฐาน ซึ่งมีลักษณะเฉพาะสำหรับสารแต่ละชนิดที่มีอยู่ในเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟีทำหน้าที่แยกสารแต่ละชนิด และแมสสเปกโตรมิเตอร์จะใช้พิสูจน์เอกลักษณ์ของสารต่างๆ ในของผสมได้ จากเทคนิค GC-MS ทำให้สามารถระบุชนิดขององค์ประกอบของสารให้กลิ่นได้ รูปที่ 4.3 แสดงโครมาโทแกรมของสารให้กลิ่นควินเทียนอบชนิดแห้ง โดยพบว่า องค์ประกอบที่ให้กลิ่นส่วนใหญ่ อยู่ในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนประเภทอัลเคน (alkane hydrocarbon) โดยมีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 11-16 อะตอม รายละเอียดขององค์ประกอบสารให้กลิ่น แสดงในตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมของสารให้กลิ่นควินเทียนอบชนิดแห้งโดยวิธี GC-MS

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบและรายละเอียดของสารให้กลิ่นวันเทียนอบชนิดแห้ง

Retention time	องค์ประกอบ	สูตรทางเคมี	LRI	% Identity to library
5.532	Phenylethyne	C_6H_8	985	91
5.807	Styrene	$C_6H_5CH=CH_2$	988	92
8.190	Decene	$CH_2=CH(CH_2)_7CH_3$	1094	83
9.551	1-Propynyl benzene	C_9H_{10}	1148	94
10.692	Undecene	$CH_3(CH_2)_9CH_3$	1193	95
10.933	3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol	$C_{10}H_{18}O$	1203	92
11.031	Nonanal	$CHO(CH_2)_7CH_3$	1207	87
12.500	Phenylmethylacetate	$C_6H_5CH_2COOCH_3$	1267	97
13.130	Dodecene	$CH_2=CH(CH_2)_9CH_3$	1292	95
13.319	Dodecane	$CH_3(CH_2)_{10}CH_3$	1300	96
13.476	Dodecanal	$CHO(CH_2)_{10}CH_3$	1307	91
15.454	Tridecene	$CH_2=CH(CH_2)_{10}CH_3$	1392	99
15.634	Tridecane	$CH_3(CH_2)_{11}CH_3$	1399	98
15.818	Tridecanal	$CHO(CH_2)_{11}CH_3$	1408	91
17.664	Tetradecane	$CH_3(CH_2)_{12}CH_3$	1491	98
19.754	Pentadecene	$CH_2=CH(CH_2)_{12}CH_3$	1591	99
19.910	Pentadecane	$CH_3(CH_2)_{13}CH_3$	1599	98
21.737	Hexadecene	$CH_2=CH(CH_2)_{13}CH_3$	1691	95
21.878	Hexadecane	$CH_3(CH_2)_{14}CH_3$	1699	98

จากการทดลอง พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอัลเคน มีสูตรโมเลกุลเท่ากับ C_nH_{2n+1} จัดเป็นไฮโดรคาร์บอนประเภทอิ่มตัว ให้ลักษณะของกลิ่นพาราฟิน (Reineccius, 2006) และยังพบสาร 3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol หรือ linalool ที่รีเทนชันไทม์เท่ากับ 10.933 ซึ่งเป็น terpenoid alcohol ให้ลักษณะกลิ่นหอมของดอกไม้ นอกจากนี้ กลิ่นวันเทียนอบยังประกอบด้วย สาร phenylmethylacetate ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มเอสเทอร์ (ester) ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง methanol (alcohol, -OH) และ phenylacetic acid (carboxylic acid, -COOH) เป็น

กลุ่มของสารประกอบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกลิ่นรสและอุตสาหกรรมน้ำหอม โดยจะให้กลิ่นคล้ายน้ำผึ้ง (Civille and Lyon, 2001) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบที่กลิ่นควันเทียนอบที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี GC-MS กับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาในการทดลองที่ 1.1 มีความสอดคล้องกัน คือ ทั้งสองวิธีดังกล่าว สามารถระบุได้ว่า กลิ่นควันเทียนอบชนิดแห้งมีคุณลักษณะของกลิ่นพาราฟิน กลิ่นหอมของดอกไม้ และกลิ่นหอมหวาน แต่ไม่สามารถตรวจพบองค์ประกอบของสารให้กลิ่นใหม่และกลิ่นเข้มได้ด้วยวิธี GC-MS ได้ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก อุณหภูมิบริเวณส่วนที่ฉีดสาร (injection port) ของเครื่อง GC-MS เพื่อใช้ในการปล่อยองค์ประกอบของสารที่ถูกดูดซับด้วย SPME fiber มีค่ามากถึง 230°C ทำให้องค์ประกอบของสารให้กลิ่นใหม่และกลิ่นเข้ม่าสูญสลาย จึงไม่สามารถระบุชนิดของสารให้กลิ่นทั้งสองประเภทข้างต้นได้

ตอนที่ 2 การพัฒนาไมโครแคปซูลจากกลิ่นรสเทียนอบสังเคราะห์

การทดลองที่ 2.1 การศึกษาวัสดุห่อหุ้มที่เหมาะสมสำหรับเก็บกักกลิ่นรสเทียนอบ

ทำการศึกษานิคมของวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มกลิ่นรสเทียนอบที่เหมาะสม โดยประเมินคุณภาพของไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่ผลิตได้ ทางด้านเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ผลการทดลองที่ได้ แสดงในตารางที่ 4.12-4.15

ตารางที่ 4.13 ร้อยละผลผลิตของไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ เมื่อใช้วัสดุห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 5 ชนิด

วัสดุห่อหุ้ม	ผลผลิต*(%)
มอลโทเดกซ์ทริน (DE 10)	67.43 ± 1.17a
กัมอะราบิก	60.75 ± 0.62b
สตาร์ชดัดแปร (Hicap-100®)	49.67 ± 1.77c
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยการทำให้แบบพ่นฝอย)	ND
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยกระบวนการ inclusion complex)	ND

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ND (Not detected) คือ ไม่สามารถระบุได้

จากตารางที่ 4.13 พบว่า เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม ให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับร้อยละ 67.43 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เทียบกับวัสดุห่อหุ้มชนิดอื่น เมื่อใช้กัมอะราบิกและสตาร์ชคัดแปรมีผลผลิตเท่ากับร้อยละ 60.75 และ 49.67 ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า สารละลายกัมอะราบิกเข้มข้นร้อยละ 30 มีความหนืดค่อนข้างมาก ทำให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวพ่นฝอย จึงส่งผลให้ร้อยละผลผลิตที่ได้มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม นอกจากนี้ เมื่อใช้สตาร์ชคัดแปรเป็นวัสดุห่อหุ้ม พบว่า สารละลายเกิดฟองมาก ในขั้นตอนการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ ทำให้สูญเสียปริมาณของแข็งในสตาร์ชคัดแปร (solid content) ไปในระหว่างขั้นตอนการกรองสารละลายเพื่อขจัดตะกอนออก ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตที่ได้มีค่าต่ำ และเมื่อใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม พบว่า สารละลายเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเกิดการตกตะกอนทำให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวพ่นฝอย จนไม่สามารถดำเนินการทำแห้งสารละลายที่เหลือต่อไปได้ ทำให้ร้อยละผลผลิตมีค่าต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจากเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 1.85 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25°C (O'Boyle *et al.*, 1999) ไม่เหมาะนำมาใช้ในการเก็บกักกลิ่นรสด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โมเลกุลของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นโครงสร้างวงแหวนที่แข็งแรง เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนขอบบนและล่างจะไม่เท่ากัน โมเลกุลจึงมีลักษณะคล้ายทรงกรวย นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยา เนื่องจากช่องว่างภายในที่มีขนาดเฉพาะ ทำให้โมเลกุลของยาถูกล้อมรอบด้วย เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (Charumane, 2004) นอกจากนี้ American Maize Co. รายงานว่า มีการใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นวัสดุในการเก็บกักกลิ่นรส แต่ให้ผลไม่น่าพึงพอใจ ถึงแม้ว่าเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินได้รับการพิจารณาว่าเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ อนุญาตให้ใช้ในประเศญี่ปุ่นและยุโรปตะวันออก แต่ยังไม่อนุญาตให้ใช้เป็นสารเจือปนอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกา (Dziezak, 1988) อีกทั้งยังมีราคาแพง จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

สำหรับการทดลองนี้ นอกจากทดลองเก็บกักกลิ่นรสเทียนอบด้วยเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ยังได้ทดลองนำสารละลายเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินที่ผ่านการเติมกลิ่นเทียนอบไปกรองผ่านกรวยกรอง จากนั้นตะกอนที่ได้ไปอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาบดให้ละเอียด เรียกว่า การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน (inclusion complex) จากนั้นนำไมโครแคปซูลกลิ่นเทียนอบที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพเช่นเดียวกับสิ่งทดลองอื่นๆ

ตารางที่ 4.14 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลีนิรสเทียนอบ เมื่อใช้วัสดุห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 5 ชนิด

วัสดุห่อหุ้ม	ปริมาณความชื้น (%)	ความสามารถในการดูดความชื้น (%)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี
มอลโทเดกซ์ทริน (DE10)	5.40 ± 0.34d*	8.66 ± 0.58c	0.27 ± 0.02c
กัมอะราบิก	6.68 ± 0.55b	14.46 ± 1.58b	0.19 ± 0.11d
สตาร์ชตัดแปร (Hicap-100®)	4.55 ± 0.10e	15.90 ± 0.36a	0.30 ± 0.02b
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยการทำให้แบบพ่นฝอย)	6.11 ± 0.20c	6.41 ± 0.66d	0.19 ± 0.01d
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยกระบวนการ inclusion complex)	15.37 ± 0.14a	0.00 ± 0.83e	0.56 ± 0.01a

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.14 พบว่า เมื่อใช้สตาร์ชตัดแปรเป็นวัสดุเก็บกักกลีนิรสเทียนอบ มีปริมาณความชื้นต่ำสุดร้อยละ 4.55 แต่มีค่าความสามารถในการดูดความชื้นสูงสุดร้อยละ 15.90 ซึ่งต่างจากการใช้วัสดุห่อหุ้มชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) Tonon *et al.* (2008) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผง açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) โดยการทำให้แบบพ่นฝอย พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำ จะมีค่าความสามารถในการดูดความชื้นสูง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์และความชื้นของอากาศที่อยู่รอบๆ มีค่าเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ Goula *et al.* (2004) ได้ทดลองทำให้แห้งเนื้อมะเขือเทศโดยวิธีการทำให้แบบพ่นฝอย พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แปรผกผันความสามารถในการดูดความชื้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ พบว่า ไมโครแคปซูลกลีนิรสเทียนอบที่เก็บกักด้วยสตาร์ชตัดแปรมีปริมาณความชื้นต่ำ แต่มีร้อยละความสามารถในการดูดความชื้นสูง แต่ยังคงพบว่า เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE10) เป็นวัสดุห่อหุ้มมีปริมาณความชื้นและความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ นอกจากนี้ เมื่อใช้กัมอะราบิกและเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม ให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.193 และ 0.194 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการใช้มอลโทเดกซ์ทรินและสตาร์ชตัดแปร

นอกจากนี้ เมื่อใช้เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเป็นวัสดุเก็บกักกลิ่นรสโดยกระบวนการ inclusion complex ให้ค่าความชื้นและค่าออคเตอร์แอคทีวิตีสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 15.37 และเท่ากับ 0.56 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากอุณหภูมิของลมร้อนในการทำแห้งค่อนข้างต่ำ (30°C) ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีความชื้นอยู่มากทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาต่อไป (Office of Technology Assessment; OTA, 1979)

ตารางที่ 4.15 ค่าสีและขนาดของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ เมื่อใช้วัสดุห่อหุ้มแตกต่างกัน 5 ชนิด

วัสดุห่อหุ้ม	ค่าสี			ขนาดอนุภาค โดยมวล (mm.)
	L*	a*	b*	
มอลโทเดกซ์ทริน (DE10)	95.33 ± 0.31a*	0.38 ± 0.05c	5.75 ± 0.21b	0.641 ± 0.04a
กัมอะราบิก	85.45 ± 0.06d	0.80 ± 0.05b	5.75 ± 0.14b	0.658 ± 0.09a
สตาร์ชคัดแปร (Hicap-100®)	88.81 ± 0.06b	0.33 ± 0.03d	4.50 ± 0.09c	0.427 ± 0.03b
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยการทำให้แบบ พ่นฝอย)	79.25 ± 0.19e	1.47 ± 0.03a	13.35 ± 0.21a	0.474 ± 0.08b
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยกระบวนการ inclusion complex)	87.61 ± 0.13c	0.34c ± 0.01d	4.51 ± 0.03c	0.214 ± 0.05c

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าสี L* a* b* (ระบบ CIE) โดยค่า L* เป็นค่าความสว่างซึ่งมีช่วงระหว่าง 0-100 โดยค่า 0 หมายถึงสีดำ ค่า 50 หมายถึงสีเทา และค่า 100 แสดงถึงสีขาว ส่วนพารามิเตอร์ a* แสดงมิติของสีแดงถึงสีเขียว โดยหาก a* มีค่าเป็น + จะมีสีในทิศทางเป็นสีเทาสีแดง และพารามิเตอร์ b* แสดงมิติของสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน หาก b* มีค่าเป็น + จะมีสีในทิศทางสีเทา

ถึงสี่เหลี่ยม จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้มจะมีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุด (95.33) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากเมื่อใช้วัสดุอื่นๆ ซึ่งวัสดุที่ห่อหุ้มให้ค่าความสว่างรองลงมา ได้แก่ สตาร์ชคัดแปร (88.81) เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยกระบวนการ inclusion complex (87.61) กัมอะราบิก (85.45) และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย (79.25) นอกจากนี้ พบว่า ไมโครแคปซูลกลีนิรสเทียนอบที่เก็บกักโดยใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยวิธีการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย มีค่า a^* และ b^* สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากเมื่อใช้วัสดุห่อหุ้มอื่นๆ โดยเมื่อพิจารณาด้วยสายตา พบว่า ผงกลีนิรสเทียนอบที่ห่อหุ้มด้วยเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินมีสีน้ำตาลอ่อน

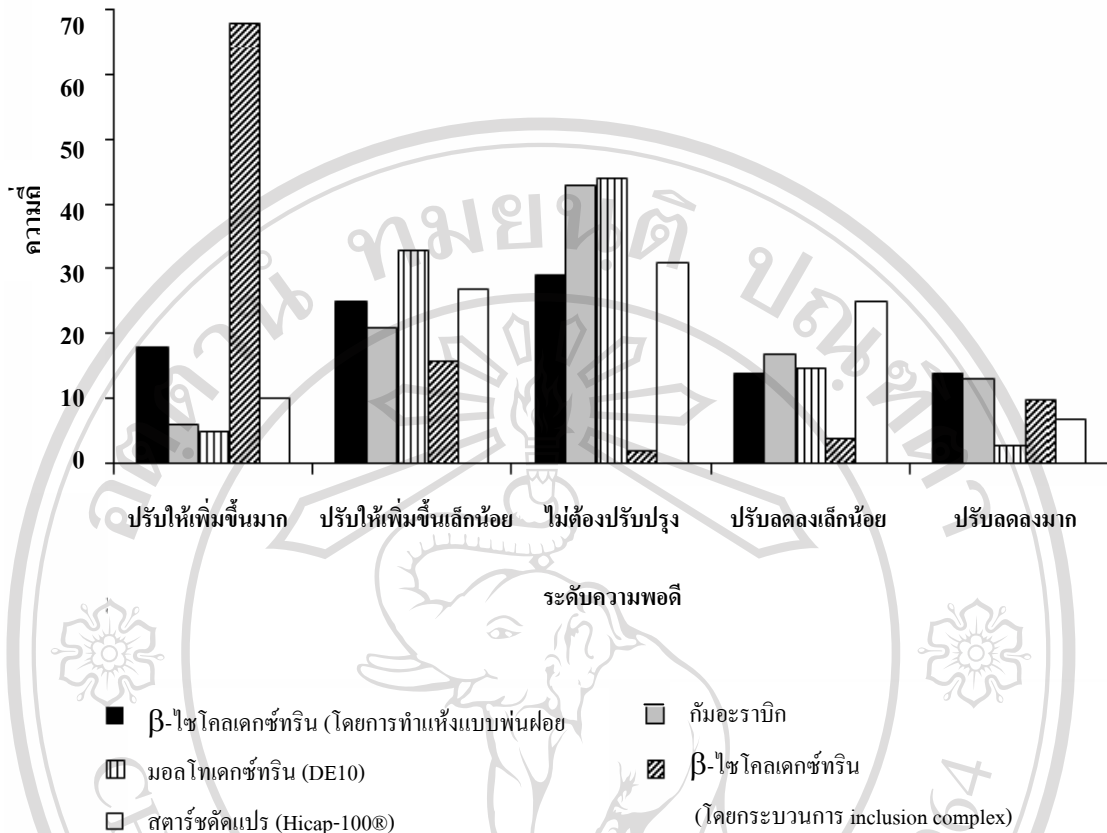
เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคโดยมวลของไมโครแคปซูลกลีนิรสเทียนอบ พบว่า เมื่อใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน เป็นวัสดุห่อหุ้มด้วยกระบวนการ inclusion complex มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (0.214 มิลลิเมตร) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากเมื่อใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้มโดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และสตาร์ชคัดแปร โดยมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 0.474 และ 0.427 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิกมีขนาดอนุภาคไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือมีขนาดเท่ากับ 0.641 และ 0.658 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ ความคลาดเคลื่อนจากการหาขนาดอนุภาคโดยใช้ตะแกรงร่อนอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น การจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลีนิรสเทียนอบ ทำให้น้ำหนักมวลส่วนใหญ่ของผง ติดอยู่ในชั้นที่มีขนาดรูตะแกรงใหญ่กว่าขนาดที่แท้จริงของอนุภาค โดยทั่วไปแล้ว ผงที่ได้จากกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยจะมีขนาดอนุภาคเล็ก อยู่ระหว่าง 10-100 μm . (0.010-0.100 mm.) ซึ่งทำให้เกิดการเกาะตัวกัน ทำให้มีการเติมสารป้องกันการเกาะตัวเป็นก้อน (anti-caking agent) ช่วยปรับปรุงความสามารถด้านการไหล (flowability) เช่น เดิมซิลิกา (2%) ในการเก็บกักน้ำมันเนย (butteroil) ด้วยแอลโดส ซูโครส และแป้งเอนกประสงค์ (Konstance *et al.*, 1995) นอกจากนี้ Keogh (2005) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและความหนืดของสารละลายที่ป้อนเข้าเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยของผลิตภัณฑ์ ultra filtered whole milk concentrated โดยการทดลองดังกล่าว พบว่า อนุภาคผงมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ โดยพบว่า เมื่อใช้กัมอะราบิกเป็นวัสดุห่อหุ้มจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด (0.66 มิลลิเมตร) ทั้งนี้เนื่องจาก สารละลายกัมอะราบิกมีความหนืดสูง จึงส่งผลให้อนุภาคผงมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย และนอกจากนี้ พบว่า อนุภาคผงมีการจับตัวเป็นก้อนเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม ส่งผลให้ขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากเมื่อใช้กัมอะราบิกเป็นวัสดุห่อหุ้ม

ตารางที่ 4.16 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของผู้บริโภค ที่มีต่อสารละลายของไมโครแคปซูลกลิ่นรส เทียนอบเมื่อใช้วัสดุห่อหุ้มต่างกัน 5 ชนิด

วัสดุห่อหุ้ม	คะแนนความชอบด้านกลิ่น*
มอลโทเดกซ์ทริน (DE10)	6.49 ± 1.67a
กัมอะราบิก	6.35 ± 1.92ab
สตาร์ชตัดแปร (Hicap-100®)	5.96 ± 1.92b
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยการทำให้แบบพ่นฝอย)	5.09 ± 2.19c
เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (โดยกระบวนการ inclusion complex)	3.06 ± 1.59d

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดสอบความชอบโดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน ใช้ผู้ประเมินจำนวน 50 คน ทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเตรียมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ โดยละลายไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบในน้ำอุณหภูมิ 80°C ในอัตราส่วน 3:10 แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ โดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน พบว่า เมื่อเก็บกักกลิ่นรสเทียนอบโดยใช้มอลโทเดกซ์ทริน จะมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากที่สุด (6.49) ซึ่งไม่แตกต่างจากเมื่อใช้กัมอะราบิก (6.35) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง วัสดุห่อหุ้มที่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรองลงมา คือ สตาร์ชตัดแปร (5.96) เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยการทำให้แบบพ่นฝอย (5.09) และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยกระบวนการ inclusion complex (3.06) ตามลำดับ นอกจากนี้ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ระบุเพิ่มเติมในแบบสอบถามว่า กลิ่นเทียนอบที่ถูกเก็บกักโดยใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยกระบวนการ inclusion complex มีกลิ่นอ่อนมาก ควรปรับให้เพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ภายในโครงสร้างของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน เป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ดังนั้น หมู่สารที่ไม่ชอบน้ำที่มีขนาดเหมาะสม สามารถแทรกตัวอยู่ในวงแหวนโครงสร้างได้ (วรรณ, 2549) แต่เนื่องจากกลิ่นรสเทียนอบนั้น องค์ประกอบของสารให้กลิ่นส่วนใหญ่ละลายอยู่ในโพรพิลีนไกลคอล จึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปจับภายในวงแหวนของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินได้ ส่งผลให้ไม่สามารถเก็บกักกลิ่นรสเทียนอบได้ การเก็บกักกลิ่นด้วยเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินจะมีประสิทธิภาพเพียงไร ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น (Jeon *et al.*, 2002)



รูปที่ 4.4 ความถี่สำหรับแต่ละระดับสเกลความพอดิด้านกลืนของสารละลายไมโครแคปซูล กลืนรสเทียนอบ เมื่อใช้วัสดุห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 5 ชนิด จากผู้ประเมินจำนวน 100 คน

เมื่อพิจารณาระดับความพอดิด้านกลืน (รูปที่ 4.4) พบว่า เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทริน γ-อะมิโนบิวทิริก สตาร์ชตัดแปร และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน โดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เป็นวัสดุห่อหุ้ม ผู้บริโภคส่วนใหญ่ ระบุว่าไม่ต้องปรับปรุงเป็นจำนวนร้อยละ 44 43 31 และ 29 ตามลำดับ ส่วนเมื่อใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยกระบวนการ inclusion complex เป็นวัสดุห่อหุ้ม พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จำนวนร้อยละ 68 ระบุว่าปรับกลืนให้เพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นโมเลกุลไม่ชอบน้ำ ทำให้สารละลายกลืนเทียนอบไม่สามารถเข้าไปแทรกในช่องว่างของโมเลกุลได้ อีกทั้ง การอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก็เป็นสาเหตุให้เกิดการระเหยของกลืนรสได้ จากการทดลองนี้ พบว่า เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้มจะให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงที่สุด อีกทั้งมีปริมาณความชื้น ความสามารถในการดูดความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ในระดับที่ไม่สูงมากเกินไป และยังมีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นมากกว่าเมื่อใช้วัสดุอื่นๆ นอกจากนี้ การใช้γ-อะมิโนบิวทิริกเป็นวัสดุห่อหุ้มก็ให้ผลในการทำนองเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีวัสดุห่อหุ้มชนิดใดเพียงชนิดเดียวมีคุณสมบัติครบทุก

ประการ ในทางปฏิบัตินิยมผสมวัสดุห่อหุ้มแต่ละชนิดเข้าด้วยกัน ดังนั้น ในการทดลองต่อไป จึงผสมวัสดุห่อหุ้มระหว่างมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิกเข้าด้วยกัน แล้วหาสัดส่วนที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินไม่มีคุณสมบัติของตัวทำอิมัลชัน ส่วนกัมอะราบิกเป็นไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติ มีสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เนื่องจากมีส่วนที่เป็น arabinogalactan protein (AGP) และ glycoprotein (GP) ซึ่งมีร้อยละของโปรตีนสูง โดยโปรตีนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างน้ำและน้ำมัน นอกจากนี้ยังมีสมบัติการเกิดฟิล์มซึ่งมาจากส่วนที่เป็น arabinogalactan แต่พบว่า กัมอะราบิกมีราคาแพง จึงมีการผสมกับมอลโทเดกซ์ทริน ดังงานวิจัยของ Apintanapong and Noomhorm (2003) ได้ศึกษาวัสดุห่อหุ้ม ซึ่งเป็นส่วนผสมของกัมอะราบิกและมอลโทเดกซ์ทรินในอัตราส่วนต่างๆ ต่อปริมาณการคงเหลือของสาร 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งเป็นสารหอมที่อยู่ในข้าว พบว่า เมื่อใช้กัมอะราบิกและมอลโทเดกซ์ทรินในอัตราส่วน 70:30 มีปริมาณ 2-acetyl-1-pyrroline คงเหลือมากที่สุด นอกจากนี้ Krishnan *et al.* (2005) ได้ศึกษาระยะเวลาครึ่งชีวิตของการคงอยู่ (half-life of retention) ของสาร 1,8-cineol, α -terpinyl acetate และ สารที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ oleoresin จากกระวาน (cardamom) โดยใช้วัสดุห่อหุ้มที่ผสมระหว่างกัมอะราบิกและมอลโทเดกซ์ทริน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกัมอะราบิกเพิ่มขึ้น ระยะเวลาครึ่งชีวิตของสารดังกล่าวข้างต้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การทดลองที่ 2.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกลิ่นรสเทียนอบและวัสดุห่อหุ้ม

วางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design) โดยมุ่งเน้นศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ว่ามีอิทธิพลมากน้อยเพียงใดต่อค่าสังเกตหรือค่าตอบสนอง (response) โดยผลกระทบดังกล่าว แสดงลักษณะความสัมพันธ์ในรูปแบบรีเกรสชัน (regression) แล้วนำผลความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้คาดคะเนถึงองค์ประกอบของส่วนผสมที่ทำให้มีค่าตอบสนองที่ต้องการ ทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติหาสมการถดถอย และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Design-Expert

ตารางที่ 4.17 ค่าคุณภาพทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบทั้ง 12 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี	ปริมาณความชื้น (%)	ความสามารถในการดูดความชื้น (%)	ปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (%)
1	0.239 ± 0.014ab*	6.40 ± 0.33abc	10.57 ± 1.03b	7.18 ± 0.46cde
2	0.125 ± 0.012e	5.11 ± 0.28de	13.67 ± 0.74a	6.91 ± 0.86de
3	0.218 ± 0.034abc	6.34 ± 0.44abcd	13.34 ± 1.12a	9.01 ± 0.38abc
4	0.138 ± 0.025e	4.95 ± 0.39e	12.31 ± 0.52ab	8.84 ± 1.65abcd
5	0.237 ± 0.008ab	6.63 ± 0.31ab	12.84 ± 2.13a	7.82 ± 0.34bcd
6	0.213 ± 0.004bc	5.90 ± 0.08bcde	13.35 ± 1.81a	9.19 ± 1.72ab
7	0.146 ± 0.011de	5.56 ± 0.85bcde	12.22 ± 0.44ab	7.94 ± 0.93bcd
8	0.156 ± 0.006de	5.38 ± 0.24cde	12.60 ± 0.39a	5.77 ± 0.48e
9	0.183 ± 0.011cd	4.93 ± 0.19e	10.54 ± 0.79b	7.04 ± 0.20de
10	0.190 ± 0.004cd	5.38 ± 0.45cde	12.96 ± 0.98a	8.70 ± 2.61abcd
11	0.236 ± 0.004ab	6.20 ± 0.46abcd	10.54 ± 0.20b	8.19 ± 0.69bcd
12	0.261 ± 0.009a	7.18 ± 0.22a	12.98 ± 1.10a	10.53 ± 0.77a

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.17 พบว่า สิ่งทดลองที่ 12 ซึ่งส่วนผสมของกัมอะราบิกมากที่สุด (24%) มีค่าวอเตอร์แอคทีวิตีและปริมาณความชื้นสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 0.261 และ 7.18% ตามลำดับ การใช้กัมอะราบิกในปริมาณมากมีผลทำให้สารละลายมีความหนืดสูง (วรรณ, 2549) ซึ่งส่งผลต่ออัตราการแห้ง โดย Papadakis *et al.* (1998) รายงานว่า สารละลายที่มีความหนืดสูง จะถูกทำให้แห้งยากเมื่อนำไปผ่านกระบวนการแห้งแบบพ่นฝอย จากรายงานของ Tonon *et al.* (2008) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผง açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ใช้แปรผกผันกับความสามารถในการดูดความชื้น จึงทำให้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารเก็บกักกลิ่นรสที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับการ

ทดลองนี้ เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดความชื้นในสิ่งทดลองที่ 9 และ 11 มีค่าต่ำ (10.54%) ซึ่งมีปริมาณของมอลโทเดกซ์ทรินมากถึง 22-24%

ในระบบของสารละลายที่ประกอบด้วยสารที่ระเหยได้กับสารที่ไม่ระเหย สามารถใช้ตัวทำละลายอินทรีย์สกัดแยกสารทั้งสองชนิดออกจากกันได้ โดยสารที่ไม่ระเหย เช่น น้ำมัน ไขมัน จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนสารที่ระเหยได้จะละลายในส่วนที่เป็นน้ำ และสามารถตรวจหาปริมาณขององค์ประกอบในตัวอย่างได้ โดยการระเหยส่วนที่เป็นสารละลายออกไป (Maleeny, 1961) ทำการทดลองหาปริมาณสารที่สกัดได้โดยใช้ไดเอทิลอีเธอร์ และปริมาณสารที่สามารถละลายได้ในน้ำ ปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากผลต่างของปริมาณสารข้างต้น เนื่องจาก ไมโครแคปซูลกลีนาเรสเทียโนบประกอบด้วยสัดส่วนของวัสดุห่อหุ้มและกลีนาเรสเทียโนบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละสิ่งทดลอง จากตารางที่ 4.17 พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 12 จะมีปริมาณสารหอมระเหยสูงที่สุด (10.53%) โดยในสิ่งทดลองนี้ ประกอบด้วยกัมอะราบิกสูงถึง 24% ทั้งนี้ Shaikh *et al.* (2004) รายงานว่า ความสามารถในการเก็บกักสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุที่ใช้ห่อหุ้ม โดยพบว่า การเก็บกักสารที่ระเหยได้โดยใช้กัมอะราบิกเป็นวัสดุห่อหุ้มจะมีประสิทธิภาพดี เนื่องจากกัมอะราบิกมีความสามารถในการเกิดฟิล์ม (film-forming) ได้ดี และมีคุณสมบัติการเป็นพลาสติกดีกว่าคุณสมบัติคล้ายแก้ว (glassy) เนื่องจากคุณสมบัติการเป็นพลาสติกสามารถป้องกันการแตกร้าวของไมโครแคปซูลได้

ตารางที่ 4.18 ร้อยละผลผลิต ขนาดอนุภาคโดยมวล และค่าสีของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลีนิรสร เทียนอบทั้ง 12 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	ผลผลิต (%)	ขนาดอนุภาค โดยมวล (mm)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
1	42.35	0.153 ± 0.009e*	84.06 ± 0.49g	1.12 ± 0.02b	7.19 ± 0.05b
2	62.33	0.456 ± 0.052ab	87.17 ± 0.17c	0.70 ± 0.01e	4.68 ± 0.05h
3	60.25	0.440 ± 0.045abc	85.04 ± 0.02f	1.09 ± 0.04b	7.03 ± 0.18bc
4	65.33	0.470 ± 0.074ab	85.46 ± 0.04ef	0.92 ± 0.02c	6.85 ± 0.05c
5	60.00	0.420 ± 0.054bcd	86.63 ± 0.01d	0.71 ± 0.01de	5.33 ± 0.05f
6	58.92	0.501 ± 0.016ab	83.86 ± 0.10g	1.28 ± 0.01a	7.96 ± 0.11a
7	66.17	0.336 ± 0.039cd	88.48 ± 0.08a	0.50 ± 0.01f	4.15 ± 0.05i
8	64.00	0.324 ± 0.029d	85.86 ± 0.09e	0.94 ± 0.01c	6.52 ± 0.14d
9	56.65	0.428 ± 0.008abcd	86.73 ± 0.19cd	0.75 ± 0.01de	5.90 ± 0.05e
10	52.99	0.530 ± 0.013a	85.13 ± 0.12f	0.93 ± 0.06c	6.89 ± 0.17c
11	53.52	0.209 ± 0.014e	87.89 ± 0.05b	0.46 ± 0.02f	4.45 ± 0.04h
12	55.05	0.430 ± 0.050abcd	86.83 ± 0.09cd	0.76 ± 0.03d	4.92 ± 0.12g

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.18 พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 1 มีผลผลิตต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 42.35 ซึ่งประกอบด้วยกัมมะฮากมากถึงร้อยละ 22 และจากปริมาณส่วนผสมดังกล่าว ทำให้สารละลายมีความหนืดสูง และเนื่องจากความหนืดของส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณของแข็งไปสัมผัสกับผนังด้านข้างของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและเหนียวติด ทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้มีค่าลดลง (Cai and Corke, 2000) ในสิ่งทดลองที่ 6 พบว่า ไมโครแคปซูลกลีนิรสรเทียนอบมีอนุภาคขนาดใหญ่ (0.501 mm) โดยสิ่งทดลองนี้ มีปริมาณกัมมะฮากค่อนข้างสูง (20%) ทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง ซึ่ง Tonon *et al.* (2008) รายงานว่า เมื่อสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากขนาดหยดของเหลวจะแปรผันตรงกับความหนืดของสารละลาย เมื่อหยดของเหลวมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ขนาดอนุภาคใหญ่ตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาค่าสี L^* a^* b^* จากตารางที่ 4.18 พบว่า ในสิ่งทดลอง 7 มีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุดเท่ากับ 88.48 และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากในสิ่งทดลองนี้ มีสัดส่วนของมอลโทเดกซ์ทรินสูงถึงร้อยละ 24 เช่นเดียวกับสิ่งทดลองที่ 11 ซึ่งมีค่าความสว่างรองลงมา โดยมีค่าเท่ากับ 87.89

เพื่อให้ได้รูปแบบของสมการถดถอยที่เหมาะสม ซึ่งสมการดังกล่าวจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน ปริมาณกัมอะราบิก และปริมาณกลีเซอรอล) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ซึ่งตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้ได้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้อง และมีค่า R^2 (coefficient of determination) สูง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ศึกษา ทั้งนี้ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอย พบว่า ปริมาณกัมอะราบิก ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน และปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้มีความสัมพันธ์กับบางคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.19

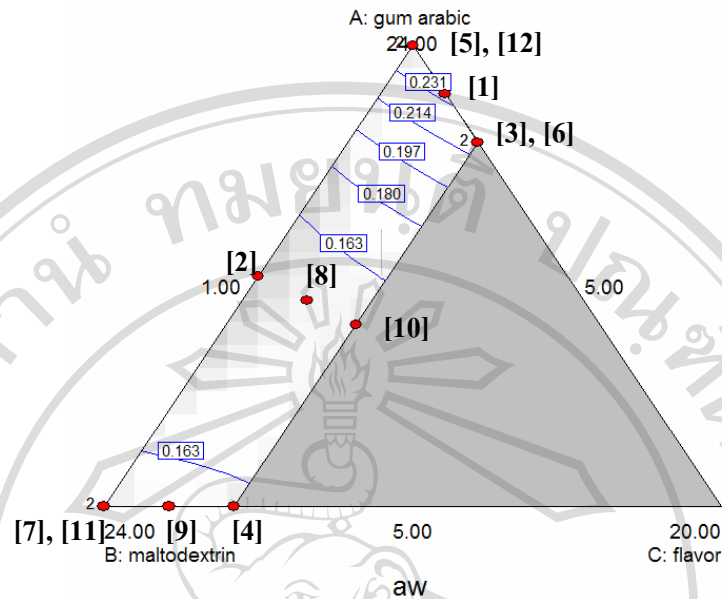
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและค่าตอบสนองด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ

	สมการถดถอย	Adjusted R ²	ระดับนัยสำคัญ (p)
L*	$= 2.883(X1) + 2.973(X2) + 2.329(X3)$	0.8451	< 0.0001
a*	$= 0.026(X1) + 0.010(X2) + 0.121(X3)$	0.8675	< 0.0001
b*	$= 0.133(X1) + 0.087(X2) - 3.166(X3)$ $+ 0.162(X1*X3) + 0.160(X2*X3)$	0.9336	< 0.0001
a _w	$= 0.012(X1) + 0.008657(X2) +$ $0.001696(X3) - 0.000726(X1*X2)$	0.5477	0.0247
ปริมาณความชื้น(%)	$= 0.287(X1) + 0.221(X2) + 0.040(X3)$ $- 0.009506(X1*X2)$	0.7623	0.0020
ความสามารถในการดูดความชื้น(%)	$= 0.431(X1) + 0.358(X2) + 10.045(X3)$ $+ 0.017(X1*X2) - 0.395(X1*X3)$ $- 0.391(X2*X3)$	0.6194	0.0456

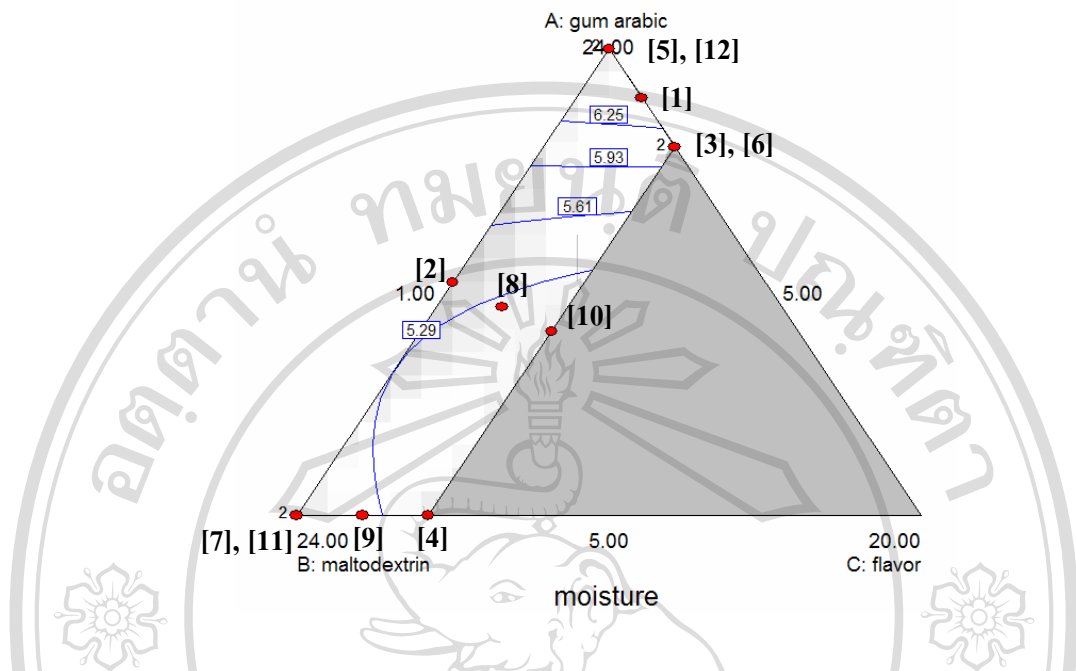
X1= กัมมะราบิก; X2= มอลโทเดกซ์ทริน; X3= กลิ่นรสเทียนอบ

จากสมการถดถอยทั้ง 6 สมการ พิจารณาเฉพาะตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ ได้แก่ ค่าอเตอร์แอคทีวิตี ปริมาณความชื้น และความสามารถในการดูดความชื้น ส่วนสมการของค่าสี L* a* และ b* ไม่นำมาทำนายหาสูตรที่เหมาะสม เนื่องจาก ค่าสีของผลิตภัณฑ์ไม่ได้บ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง ดังนั้น เมื่อนำสมการถดถอยของตัวแปรค่าอเตอร์แอคทีวิตี ปริมาณความชื้น และความสามารถในการดูดความชื้น ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนองของส่วนผสม (Mixture Response Surface) ที่ผันแปรปริมาณกัมมะราบิก มอลโทเดกซ์ทริน และกลิ่นรสเทียนอบ ได้ดังรูปที่ 4.5-4.7



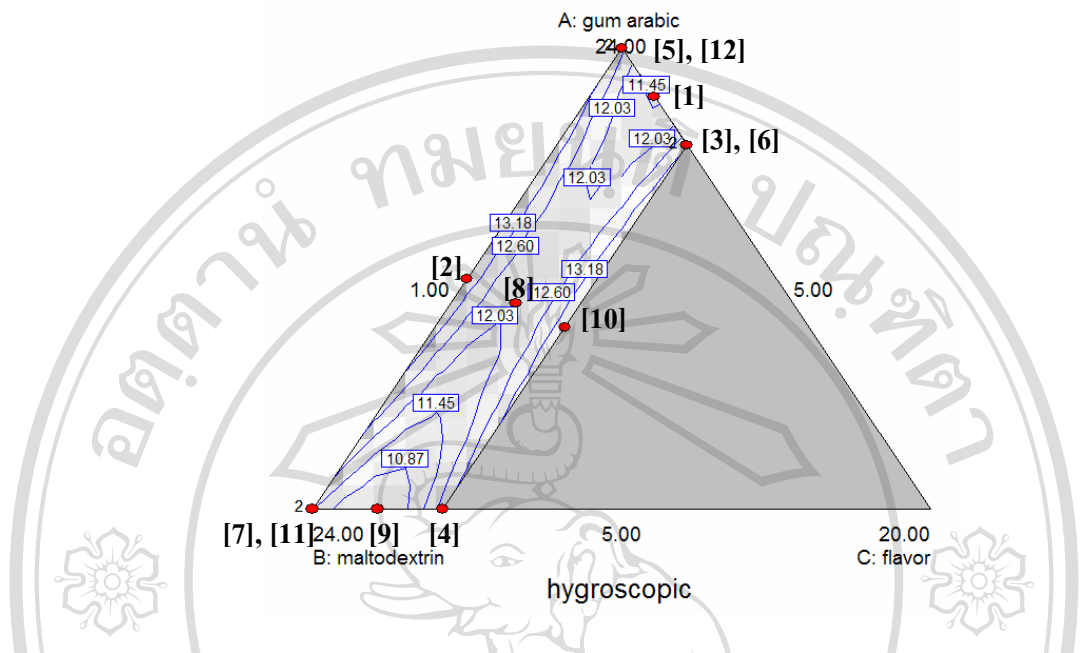
รูปที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ เมื่อผันแปรปริมาณกัมอะราบิก มอลโทเดกซ์ทริน และกลิ่นรสเทียนอบ (ตัวเลขในวงเล็บแสดงตำแหน่งของสิ่งทดลองตามตารางที่ 3.1)

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของกัมอะราบิก จะมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เพิ่มมากขึ้น ในสิ่งทดลองที่ 12, 1, 5 และ 3 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณกัมอะราบิกร้อยละ 24, 22, 20 และ 20 ตามลำดับ จะมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สูง (0.218-0.261) ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน จะมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำ โดยพิจารณาจากสิ่งทดลองที่ 4 และ 7 ซึ่งใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 20 และ 24 ตามลำดับ จะให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เท่ากับ 0.138 และ 0.146 ตามลำดับ (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.6 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ เมื่อผันแปรปริมาณกัมอะราบิก มอลโทเดกซ์ทริน และกลิ่นรสเทียนอบ (ตัวเลขในวงเล็บแสดงตำแหน่งของสิ่งทดลองตามตารางที่ 3.1)

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองของค่าร้อยละปริมาณความชื้น พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของกัมอะราบิก จะมีค่าร้อยละความชื้นเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ในสิ่งทดลองที่ 12, 5, 1 และ 3 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณกัมอะราบิกร้อยละ 24, 24, 22 และ 20 ตามลำดับ จะให้ค่าร้อยละความชื้นสูง (6.34-7.18%) ทั้งนี้ เนื่องจากสารละลายกัมอะราบิกมีความหนืดสูง จะถูกทำให้แห้งยากเมื่อนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Papadakis *et al.*, 1998) ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน จะมีค่าร้อยละความชื้นต่ำ พิจารณาจากสิ่งทดลองที่ 9 และ 4 ซึ่งใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 22 และ 20 ตามลำดับ จะให้ค่าร้อยละปริมาณความชื้นเท่ากับ 4.93 และ 4.95 (รูปที่ 4.6)

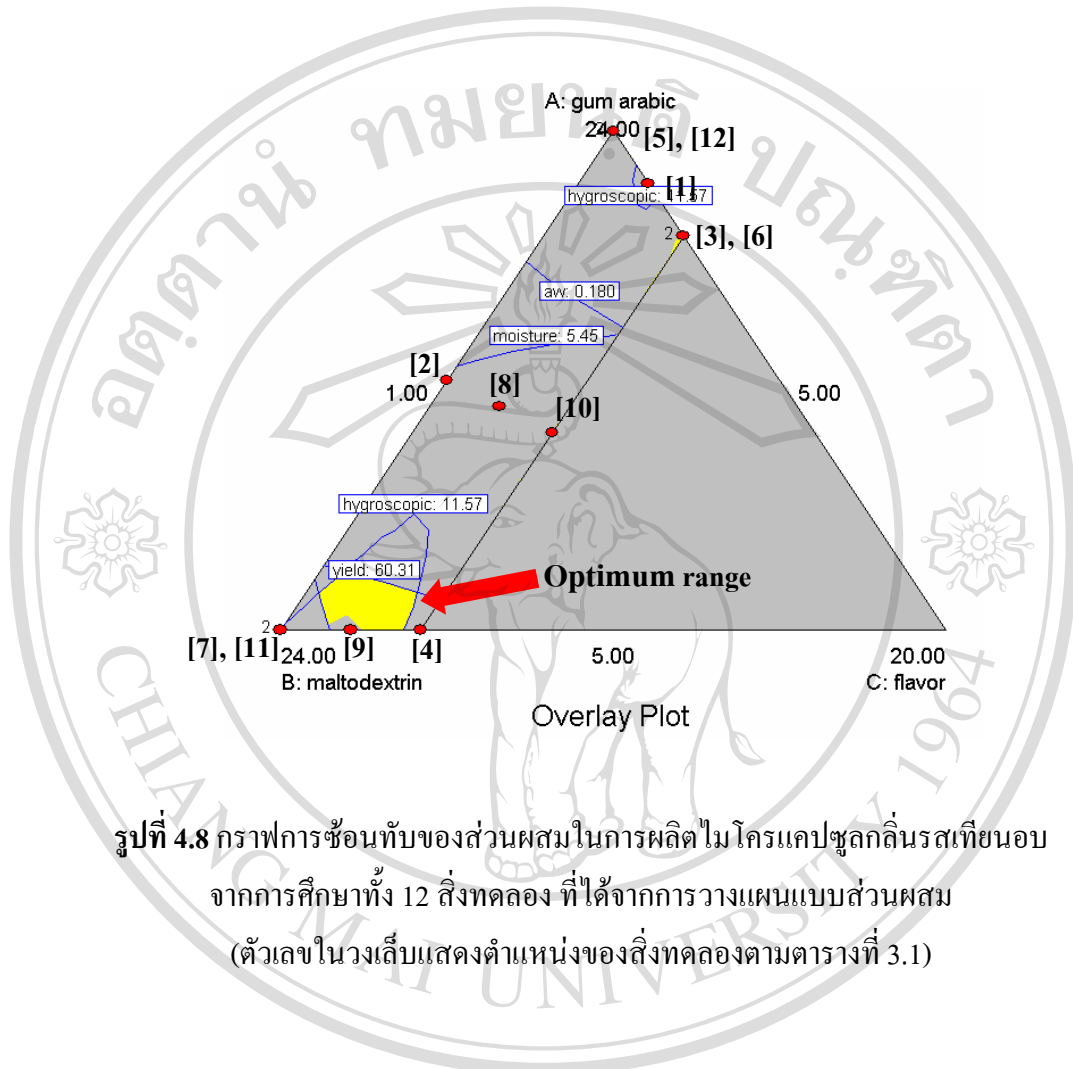


รูปที่ 4.7 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าความสามารถในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูล กลิ่นรสเทียนอบเมื่อผันแปรปริมาณกัมอะราบิก มอลโทเดกซ์ทริน และกลิ่นรสเทียนอบ (ตัวเลขในวงเล็บแสดงตำแหน่งของสิ่งทดลองตามตารางที่ 3.1)

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองของค่าร้อยละความสามารถในการดูดความชื้น พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของกัมอะราบิก จะมีค่าร้อยละความสามารถในการดูดความชื้นสูง พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 6 และ 3 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณกัมอะราบิกร้อยละ 20 จะให้ค่าร้อยละความสามารถในการดูดความชื้นสูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13.35 และ 13.34 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน จะมีค่าร้อยละความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ พิจารณาจากสิ่งทดลองที่ 9 และ 11 ซึ่งใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 22 และ 24 ตามลำดับ จะให้ค่าร้อยละความสามารถในการดูดความชื้นเท่ากับ 10.54 (รูปที่ 4.7)

จากพื้นที่ตอบสนองของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ปริมาณความชื้น และร้อยละความสามารถในการดูดความชื้น (รูปที่ 4.5-4.7) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่เหมาะสมจึงกำหนดให้ค่าดังกล่าวข้างต้นมีค่าต่ำสุด เมื่อทำนายสูตรที่เหมาะสม พบว่า ประกอบด้วยมอลโทเดกซ์ทริน กัมอะราบิก และกลิ่นรสเทียนอบในปริมาณร้อยละ 20.47, 6.43 และ 3.10 ตามลำดับ รูปที่ 4.8 แสดงช่วงที่เหมาะสม (บริเวณพื้นที่สีเหลือง) ของส่วนผสมที่ใช้เก็บกักกลิ่นรสเทียนอบ ซึ่งช่วงดังกล่าวทำให้ค่า

วอเตอร์แอกติวิตี ร้อยละความชื้น และร้อยละของความสามารถในการดูดความชื้นมีค่าต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.125-0.170, 4.93-5.50 และ 10.54-11.00 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 กราฟการซ้อนทับของส่วนผสมในการผลิตไมโครแคปซูลกลีนาเรสเทียโนบจากการศึกษาทั้ง 12 สิ่งทดลอง ที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม (ตัวเลขในวงเล็บแสดงตำแหน่งของสิ่งทดลองตามตารางที่ 3.1)

การทดลองที่ 2.3 การศึกษาคุณภาพและการคงอยู่ของสารที่ระเหยได้ทั้งหมดของไมโครแคปซูลกลีนาเรสเทียโนบ

2.3.1 คุณภาพทางเคมี-กายภาพของไมโครแคปซูลกลีนาเรสเทียโนบ

ทำการผลิตไมโครแคปซูลกลีนาเรสเทียโนบ โดยใช้มอลโทเดกซ์ทริน กัมอะราบิก และกลีนาเรสเทียโนบ ในปริมาณร้อยละ 20.47 6.43 และ 3.10 ตามลำดับ นำสารละลายไปทำแห้งแบบพ่นฝอย แล้วนำไมโครแคปซูลกลีนาเรสเทียโนบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ไปตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมี ผลแสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี – กายภาพของไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่ผลิตจากสูตรที่เหมาะสมโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ค่าสังเกต	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้*
ผลผลิตที่ได้ทั้งหมด (%)	59.21 ± 2.45
L*	85.83 ± 0.14
a*	0.90 ± 0.02
b*	6.45 ± 0.08
ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยมวล (mm.)	0.492 ± 0.073
ค่า Bulk density (g/ml.)	0.511 ± 0.010
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	0.157 ± 0.010
ปริมาณความชื้น (%)	4.95 ± 0.32
ความสามารถในการดูดความชื้น (%)	11.87 ± 0.31
ปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (%)	7.38 ± 0.42

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณความชื้น และความสามารถในการดูดความชื้นของไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่ผลิตได้จริงตามสูตรที่เหมาะสม และค่าที่ได้จากการทำนายโดยวิธีการหาพื้นที่ตอบสนอง พบว่า มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่างร้อยละ 5.09-9.01 แสดงดังตารางที่ 4.21

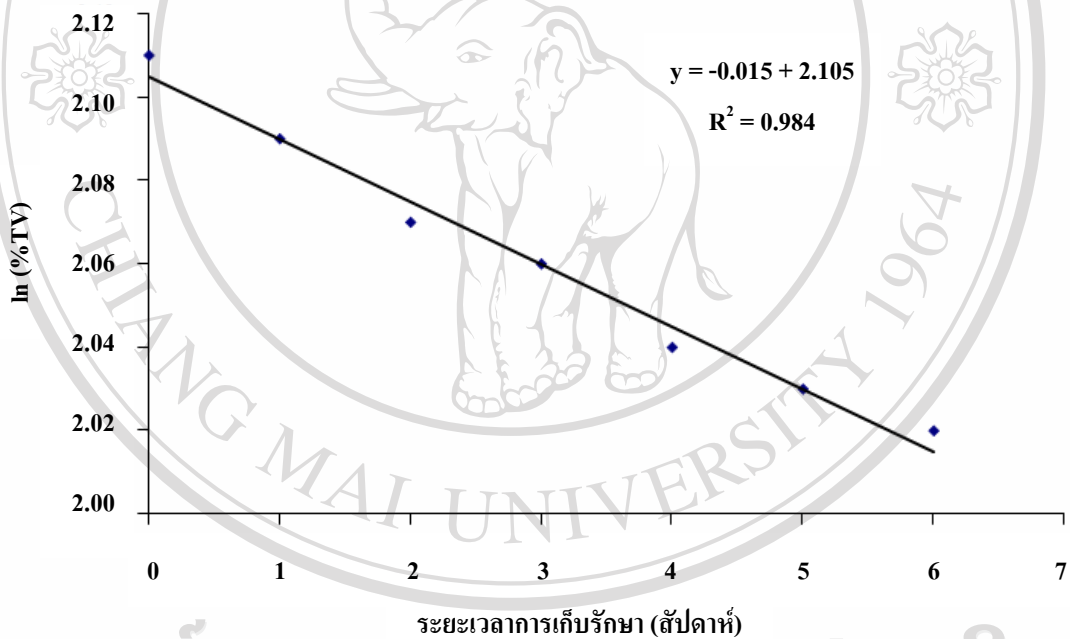
ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบค่าคุณภาพทางกายภาพของไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่ได้จากการทำนายและจากการผลิตจริงและร้อยละความคลาดเคลื่อน

ลักษณะทางกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทำนาย	ค่าที่ได้จากการทดสอบจริง	ความคลาดเคลื่อน* (%)
วอเตอร์แอกติวิตี	0.165	0.157	5.09
ปริมาณความชื้น (%)	5.24	4.95	5.86
ความสามารถในการดูดความชื้น (%)	10.80	11.87	9.01

*ค่าความคลาดเคลื่อน (%) = |(ค่าจากการทดสอบจริง - ค่าจากการทำนาย)/ค่าจากการทดสอบจริง| x 100

2.3.2 การประเมินระยะเวลาครึ่งชีวิตจากการคงอยู่ของสารที่ระเหยได้ทั้งหมด

ปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile) เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพของไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ เนื่องจากองค์ประกอบของสารให้กลิ่นส่วนใหญ่เป็นสารที่ระเหยได้ ดังนั้น จึงวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละสัปดาห์ โดยเก็บรักษาไมโครแคปซูลในบรรจุภัณฑ์ชนิดโพลีเอทิลีน ในโถดูดความชื้นภายในมีซิลิกาเจลสำหรับดูดความชื้น ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 6 สัปดาห์ จากนั้น ทำการพล็อตกราฟระหว่าง semi-log ของปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (%TV) กับระยะเวลาการเก็บรักษา ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมดที่สกัดได้จากไมโครแคปซูล
กลิ่นรสเทียนอบที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

การสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่เป็นไปตามสมการ ดังนี้

$$\frac{dA}{dt} = kA^n$$

โดยกำหนดให้

A คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์

θ คือ เวลา

k คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่าวอเตอร์แอกติวิตี

n คือ อันดับของปฏิกิริยาซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (A) ที่เปลี่ยนแปลงไป

$\frac{dA}{d\theta}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (A) ที่เวลาหนึ่งๆ

ถ้ามีค่าเป็น (-) คือ อัตราการสูญเสียปริมาณคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (A)

ถ้ามีค่าเป็น (+) คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ไม่พึงปรารถนา (an undesirable end product)

โดยทั่วไป ปฏิกิริยาการสูญเสียสารตั้งต้นไม่ได้ลดลงอย่างสม่ำเสมอ ($n=0$) แต่จะเป็นการลดลงแบบ exponential ($n=1$) ดังนั้น ค่าความชันที่ได้จากการพล็อตกราฟดังกล่าวข้างต้น ที่อุณหภูมิคงที่ คือ ค่า k

$$\frac{dA}{d\theta} = kA^n$$

$$-\frac{dA}{d\theta} = kA^1$$

$$-\int_{A_0}^{A_s} dA = \int_0^{\theta_s} kd\theta$$

$$\int_{A_0}^A \frac{dA}{A} = -\int_0^{\theta} kd\theta$$

$$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta$$

$$\ln \frac{A_E}{A_0} = -k\theta_s$$

เพราะฉะนั้น

$$\theta_s = \frac{\ln \frac{A_0}{A_E}}{k}$$

โดยกำหนดให้

θ_s = เวลาสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา

A_0 = ปริมาณคุณภาพเริ่มต้น

A = ปริมาณคุณภาพที่เหลืออยู่

A_E = ปริมาณคุณภาพที่เหลืออยู่ ณ จุดสิ้นสุดของอายุการเก็บรักษา θ_s ($A_E \neq 0$)

k = อัตราคงที่

ดังนั้น การหาระยะเวลาครึ่งชีวิต (half-life) $A_E = 0.5 A_0$

จาก (1)

$$\begin{aligned} \theta_{\frac{1}{2}} &= \frac{\ln \frac{A_0}{0.5A_0}}{k} \\ &= \frac{\ln 2}{k} \\ &= \frac{0.693}{k} \end{aligned}$$

การสูญเสียคุณภาพของอาหารที่เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ($n=1$) ได้แก่ ปฏิกิริยาการเหม็นหืน เช่น ในน้ำมันสลัด หรือผักแห้ง การเจริญเติบโตและการตายของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสดและปลาสด การเกิดเชื้อจุลินทรีย์และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (off-flavor) เช่น ในเนื้อ ปลา และสัตว์ปีก การสูญเสียวิตามินในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องและอาหารแห้ง การสูญเสียคุณภาพของโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง สำหรับการพล็อตกราฟระหว่างปริมาณคุณภาพที่เหลืออยู่กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป จะได้กราฟที่ไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้น ในการนำเสนอการสูญเสียแบบ exponential จึงต้องพล็อตระหว่างการสูญเสียคุณภาพกับระยะเวลาในรูปแบบของ semi-log (Labuza, 1982)

จากกราฟในรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้น

$$Y = -0.015X + 2.105 \quad ; R^2 = 0.984$$

ค่าความชัน (slope) ของเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 0.015 (สัมประสิทธิ์ของตัวแปร X) สามารถคำนวณหาระยะเวลาครึ่งชีวิต ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สารที่ระเหยได้ทั้งหมดเริ่มต้นลดลงไปครึ่งหนึ่ง จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาครึ่งชีวิต} = \frac{0.693}{k}$$

โดย k คือ ความชันของกราฟที่พล็อตระหว่าง semi-log ของร้อยละการคงอยู่ของสารที่ระเหยได้ทั้งหมดกับระยะเวลาที่ผ่านไป

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ระยะเวลาครึ่งชีวิตของสารที่ระเหยได้ทั้งหมด} &= \frac{0.693}{0.015} \\ &= 46.20 \text{ สัปดาห์} \end{aligned}$$

Shaikh *et al.* (2006) ทำการศึกษาหาระยะเวลาครึ่งชีวิตของสารที่ระเหยได้ทั้งหมดในไมโครแคปซูลของ black pepper oleoresin พบว่า เมื่อเก็บกักด้วยสตาร์ชตัดแปรและกัมอะราบิกจะมีระยะเวลาครึ่งชีวิตเท่ากับ 26.34 และ 25.76 สัปดาห์ ตามลำดับ ทั้งนี้ ประสิทธิภาพของการเก็บกักจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุห่อหุ้ม สัดส่วนปริมาณขององค์ประกอบที่ใช้ รวมถึงคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพตามลักษณะธรรมชาติของวัสดุห่อหุ้มนั้นๆ จึงควรพิจารณาคุณสมบัติดังกล่าวในหลายๆ ปัจจัยควบคู่กันไป จากการเก็บกักกลิ่นรสเทียนอบด้วยวัสดุผสมระหว่างมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิก เป็นการนำเอาข้อได้เปรียบของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน โดยกัมอะราบิกทำหน้าที่สร้างฟิล์มห่อหุ้มกลิ่นรส ป้องกันกลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อม เช่น ปฏิกริยาออกซิเดชัน แสงแดด ความชื้น ส่วนการใช้มอลโทเดกซ์ทรินทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ หากผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงจะทำให้ผนังที่ห่อหุ้มกลิ่นรสแตกออก ส่งผลให้เกิดการระเหยของกลิ่นรส ดังนั้น การเก็บกักกลิ่นรสด้วยพอลิเมอร์สองชนิดรวมกันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ มีระยะเวลาครึ่งชีวิตของสารที่ระเหยได้ทั้งหมดยาวนานขึ้น

ตอนที่ 3 การประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบในผลิตภัณฑ์อาหาร

การทดลองที่ 3.1 การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลง
ไปของผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำควน โดยเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ
โดยวิธีการทดสอบการยอมรับ

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic scaling) ใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน กำหนดให้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ไปถึง 9 = ชอบมากที่สุด ด้านความชอบโดยรวม ความชอบด้านกลิ่น และความชอบด้านกลิ่นรส โดยเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำควนที่ผ่านกรรมวิธีด้วยเทียนอบชนิดแห้ง การใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และการใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 60 คน ทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบในสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 ได้ผลดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำควนจำนวน 3 ชนิด

สัปดาห์ที่	รมควันเทียน	สารละลายกลิ่นรส	ไมโครแคปซูลกลิ่นรส
		เทียนอบ	เทียนอบ
0	6.52 ± 1.85a*	5.56 ± 1.69b	5.27 ± 1.67b
1	6.54 ± 1.59a	5.41 ± 1.49b	5.06 ± 1.44b
2	6.44 ± 1.68a	5.44 ± 1.65b	5.60 ± 1.61b
3	6.86 ± 1.45a	5.57 ± 1.41b	5.62 ± 1.41b
4	7.02 ± 1.24a	5.77 ± 1.48b	5.72 ± 1.47b

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ประเมินจำนวน 60 คน ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.22 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำควนที่ผ่านกรรมวิธีด้วยควันเทียนอบชนิดแห้ง มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากที่สุดในทุกสัปดาห์ที่ทำการสุ่มทดสอบ โดยมีความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบและการใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ ส่วนผลิตภัณฑ์กลีบลำควนที่

เดิมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบและไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกสัปดาห์ที่ทำการสุ่มมาทดสอบโดยมีความชอบในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 4.23 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ขนมเกล็ดลำดวนจำนวน 3 ชนิด

สัปดาห์ที่	รวมวันเทียน	สารละลายกลิ่นรส	
		เทียนอบ	ไมโครแคปซูลกลิ่นรส เทียนอบ
0	6.46 ± 1.73a*	5.90 ± 1.78b	5.63 ± 1.72b
1	6.96 ± 1.29a	6.17 ± 1.35b	5.86 ± 1.52b
2	6.46 ± 1.79a	5.97 ± 1.65b	6.29 ± 1.60ab
3	7.00 ± 1.23a	5.88 ± 1.54b	5.50 ± 1.59c
4	6.92 ± 1.22a	5.77 ± 1.48b	6.07 ± 1.48b

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ประเมินจำนวน 60 คน ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.23 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมเกล็ดลำดวนที่ผ่านรมด้วยควันเทียนอบชนิดแห้ง มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมากที่สุด โดยมีความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบและไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ แต่เมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า ขนมเกล็ดลำดวนที่ผ่านการรมด้วยควันเทียนมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์เกล็ดลำดวนที่เดิมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบและไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบมีคะแนนมากกว่า (5.88) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ (5.50) ทั้งนี้ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองทางประสาทสัมผัสอาจเกิดได้จากปัจจัยบางประการ ได้แก่ สภาวะทางจิตวิทยาของผู้ประเมิน เช่น อารมณ์ ความเครียด หรือสภาวะทางกาย เช่น ความหิว ความอิม เป็นต้น (เพ็ญขวัญ, 2550)

ตารางที่ 4.24 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมกลีบบ
 ลำควนจำนวน 3 ชนิด

สัปดาห์ที่	รวมวันเทียน	สารละลายกลีบนรส	ไมโครแคปซูลกลีบนรส
		เทียนอบ	เทียนอบ
0	6.60 ± 1.58a*	5.98 ± 1.42b	5.67 ± 1.61b
1	6.91 ± 1.34a	6.08 ± 1.29b	5.85 ± 1.46b
2	6.50 ± 1.61a	6.09 ± 1.42b	6.11 ± 1.64ab
3	7.05 ± 1.21a	5.99 ± 1.41b	5.67 ± 1.40b
4	7.01 ± 1.17a	5.86 ± 1.40b	5.92 ± 1.48b

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ประเมินจำนวน 60 คน ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.24 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำควนที่ผ่านการรมควันด้วยเทียนอบชนิด
 แห่งมีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดในทุกสัปดาห์ที่ทำการสุ่มทดสอบ โดยมีความชอบใน
 ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากเมื่อใช้
 สารละลายกลีบนรสเทียนอบและไมโครแคปซูลกลีบนรสเทียนอบ และเมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 2
 พบว่า ขนมกลีบลำควนที่ผ่านการรมควันด้วยเทียนอบชนิดแห่ง มีคะแนนความชอบโดยรวม (6.50)
 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการใช้ไมโครแคปซูลกลีบนรสเทียนอบ (6.11) แต่
 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการใช้สารละลายกลีบนรสเทียนอบ (6.09) นอกจากนี้
 ยังพบว่า ในผลิตภัณฑ์กลีบลำควนที่ใช้สารละลายกลีบนรสเทียนอบและการใช้ไมโครแคปซูลกลีบน
 รสเทียนอบ มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกสัปดาห์ที่สุ่มมา
 ทดสอบ โดยมีความชอบในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย

จากผลการทดสอบความชอบโดยรวม ความชอบด้านกลิ่น และความชอบด้านกลีบนรส
 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำควนที่ผ่านการรมควันเทียนอบชนิดแห่ง มีความชอบในทุกๆ ด้าน
 มากกว่าการใช้สารละลายกลีบนรสเทียนอบและไมโครแคปซูลกลีบนรสเทียนอบ ทั้งนี้ เนื่องจากจาก
 กลิ่นที่ได้จากการรมควันเทียน และกลิ่นของสารละลายกลีบนรสเทียนอบ มีคุณลักษณะของกลิ่นบาง
 ประการแตกต่างกัน เช่น กลิ่นที่ได้จากการรมควันเทียนจะมีคุณลักษณะของกลิ่นควัน กลิ่นเขม่า
 และกลิ่นพาราฟิน (จากการทดลองที่ 1.1 และ 1.2) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ที่พบในขนม
 ไทยที่สืบทอดมายาวนาน ทำให้ผู้บริโภคชาวไทยสามารถจดจำและระบุได้ทันทีที่รับประทาน แต่

ทั้งสามคุณลักษณะดังกล่าวข้างต้นไม่ปรากฏในสารละลายกลิ่นเทียนอบ แต่ทั้งนี้ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และไม่โครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันในทุกคุณลักษณะที่ทดสอบ ดังนั้น การประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ ไม่สามารถระบุถึงความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทั้งสองตัวอย่างข้างต้นได้ นอกจากนี้ ยังไม่สามารถระบุถึงประสิทธิภาพของกระบวนการเก็บกักกลิ่นรสที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่นำไปประยุกต์ใช้ได้ จึงทำการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบความแตกต่าง และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารให้กลิ่นหลักโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟรมไอออนไนเซชันดีเทกเตอร์ (GC-FID)

การทดลองที่ 3.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไปของผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน โดยเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ โดยวิธีการทดสอบความแตกต่าง

จากการทดสอบโดยผู้ประเมินจำนวน 24 คน เลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกับตัวอย่างควบคุม (C) หรือตัวอย่างที่ผลิตใหม่ในทุกสัปดาห์ที่ทดสอบ โดยให้เลือกระหว่างขนมกลีบลำดวนที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ (F) หรือขนมกลีบลำดวนที่เติมไม่โครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ (M) ที่เก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ ทำการประเมินคุณลักษณะด้านกลิ่นและกลิ่นรส นำผลการทดลองที่ได้ มาคำนวณหาค่า χ^2 เพื่อทดสอบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์

จากสูตรการคำนวณ

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$$= \frac{(O_1 - E_1)^2}{E_1} + \frac{(O_2 - E_2)^2}{E_2}$$

โดย $N =$ จำนวนผู้ประเมินทั้งหมด
 $O_1 =$ จำนวนคำตอบที่เลือก F
 $O_2 =$ จำนวนคำตอบที่เลือก M
 $E_1 =$ คำตอบที่คาดว่าตอบ F $= \frac{1}{2} \times N$
 $E_2 =$ คำตอบที่คาดว่าตอบ M $= \frac{1}{2} \times N$

จำนวนผู้เลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกับตัวอย่างที่ผลิตใหม่ด้านกลิ่นและกลิ่นรส และค่า χ^2 ที่คำนวณได้ แสดงดังตารางที่ 4.25-4.26

ตารางที่ 4.25 จำนวนผู้เลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมือนตัวอย่างควบคุม ในคุณลักษณะด้านกลิ่น และค่าไควสแควร์จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ

สัปดาห์ที่	จำนวนผู้เลือกตัวอย่างที่เหมือนกับตัวอย่าง C			χ^2 คำนวณ
	F	M	รวม	
0	13	11	24	0.167
1	7	17	24	4.167*
3	12	12	24	0.000
4	14	10	24	0.667
6	7	19	24	8.167*
8	7	17	24	4.167*
10	7	17	24	4.167*

$$\text{ความถี่ที่คาดหวัง (E)} = \frac{1}{2} \times N$$

$$= \frac{1}{2} \times 24$$

ให้ C = ตัวอย่างควบคุม F = ตัวอย่างที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และ M = ตัวอย่างที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ

* หมายถึง ค่าไควสแควร์ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าไควสแควร์ที่ได้จากตาราง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (3.84, df=1)

ตารางที่ 4.26 จำนวนผู้เลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมือนตัวอย่างควบคุม ในคุณลักษณะด้านกลิ่นรส และค่าไคว์สแควร์จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ

สัปดาห์ที่	จำนวนผู้เลือกตัวอย่างที่เหมือนกับตัวอย่าง C			χ^2 จำนวน
	F	M	รวม	
0	14	10	24	0.667
1	12	12	24	0.000
3	11	13	24	0.167
4	14	10	24	0.667
6	9	15	24	1.500
8	10	14	24	0.667
10	10	14	24	0.667

$$\text{ความถี่ที่คาดหวัง (E)} = \frac{1}{2} \times N$$

12 12 - -

$$= \frac{1}{2} \times 24$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เมื่อพิจารณาค่า χ^2 ของคุณลักษณะด้านกลิ่น (ตารางที่ 4.25) พบว่า ในสัปดาห์ที่หนึ่ง และสัปดาห์ที่หกถึงสัปดาห์ที่สิบ ค่า χ^2 ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า ค่า χ^2 ที่ได้จากตารางสถิติ (3.84, df=1) จึงสรุปได้ว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผู้ประเมินสามารถระบุความแตกต่างด้านกลิ่นระหว่างผลิตภัณฑ์ที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และผลิตภัณฑ์ที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยผู้ทดสอบส่วนใหญ่ (จำนวน 17-19 คน จากผู้ทดสอบทั้งหมด 24 คน) ระบุว่า ตัวอย่างที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ผลิตใหม่ ซึ่งจากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบให้กลิ่นเหมือนกับตัวอย่างที่ผลิตใหม่ตลอด

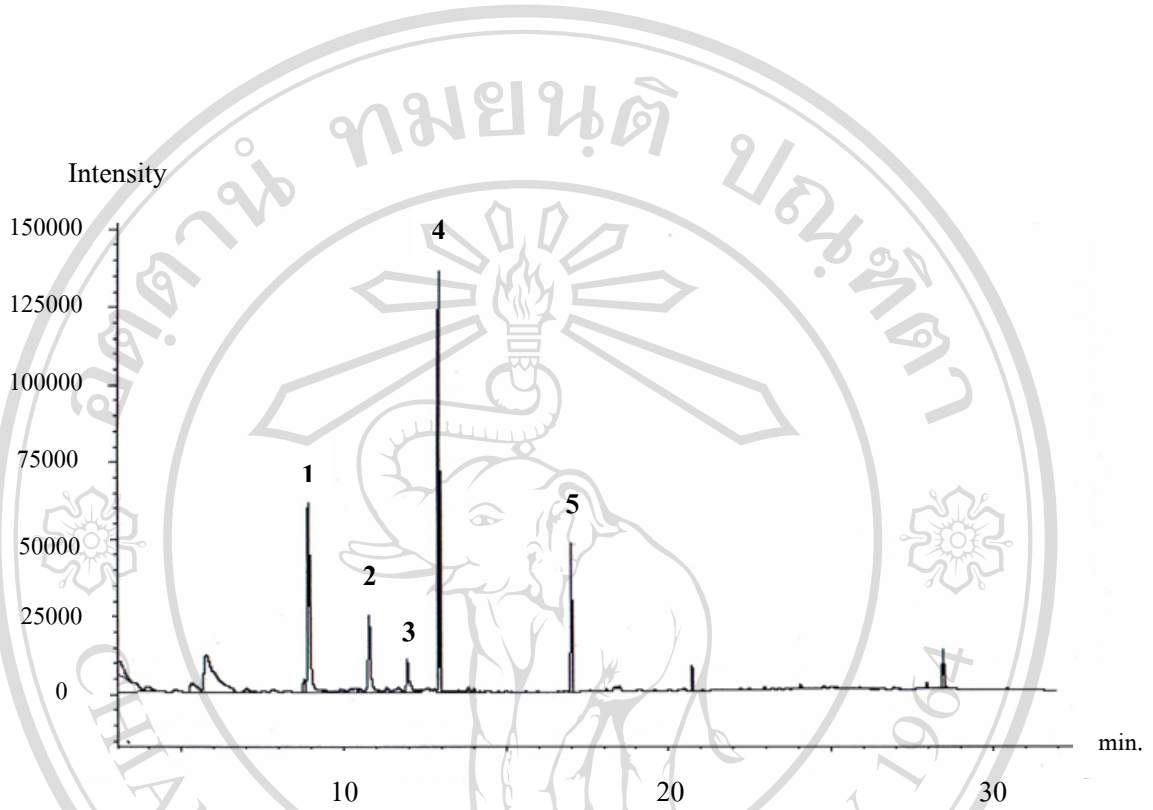
ระยะเวลาการเก็บรักษา (ทั้งในช่วงสัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์สุดท้าย) เนื่องจากการห่อหุ้มกลิ่นรสด้วยพอลิเมอร์ที่รับประทานได้ จะช่วยควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นหรือช่วยชะลอการระเหยของกลิ่น ส่วนตัวอย่างที่เดิมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบมีความแตกต่างทางด้านกลิ่นจากตัวอย่างที่ผลิตใหม่ในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจาก กลิ่นรสที่ไม่ถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ จะค่อยๆ ระเหยออกไป จนผู้บริโภคสามารถระบุได้ว่ามีความแตกต่างจากตัวอย่างที่ผลิตใหม่

จากตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาคูณลักษณะด้านกลิ่นรส พบว่า ในทุกสัปดาห์ที่ทดสอบ ค่า χ^2 ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่า ค่า χ^2 ที่ได้จากราย จึงสรุปได้ว่า ที่ความเชื่อมั่น 95% ผู้ทดสอบไม่สามารถระบุความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ที่เดิมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และผลิตภัณฑ์ที่เติมไมโคร-แคปซูลกลิ่นรสเทียนอบได้ กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดข้างต้นมีคุณลักษณะด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ผลิตใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่หกถึงสัปดาห์ที่สิบ พบว่า ผู้ที่เลือกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบเหมือนกับตัวอย่างที่ผลิตใหม่ มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่วนตัวอย่างที่เดิมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบนั้น มีจำนวนผู้ที่เลือกว่าเหมือนกับตัวอย่างที่ผลิตใหม่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจาก กลิ่นรสที่ไม่ถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ จะค่อยๆ ระเหยออกไป แต่ทั้งนี้ เพื่อให้เห็นแนวโน้มของผลการทดลองที่เด่นชัดและมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ อาจทำการทดสอบที่ระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น

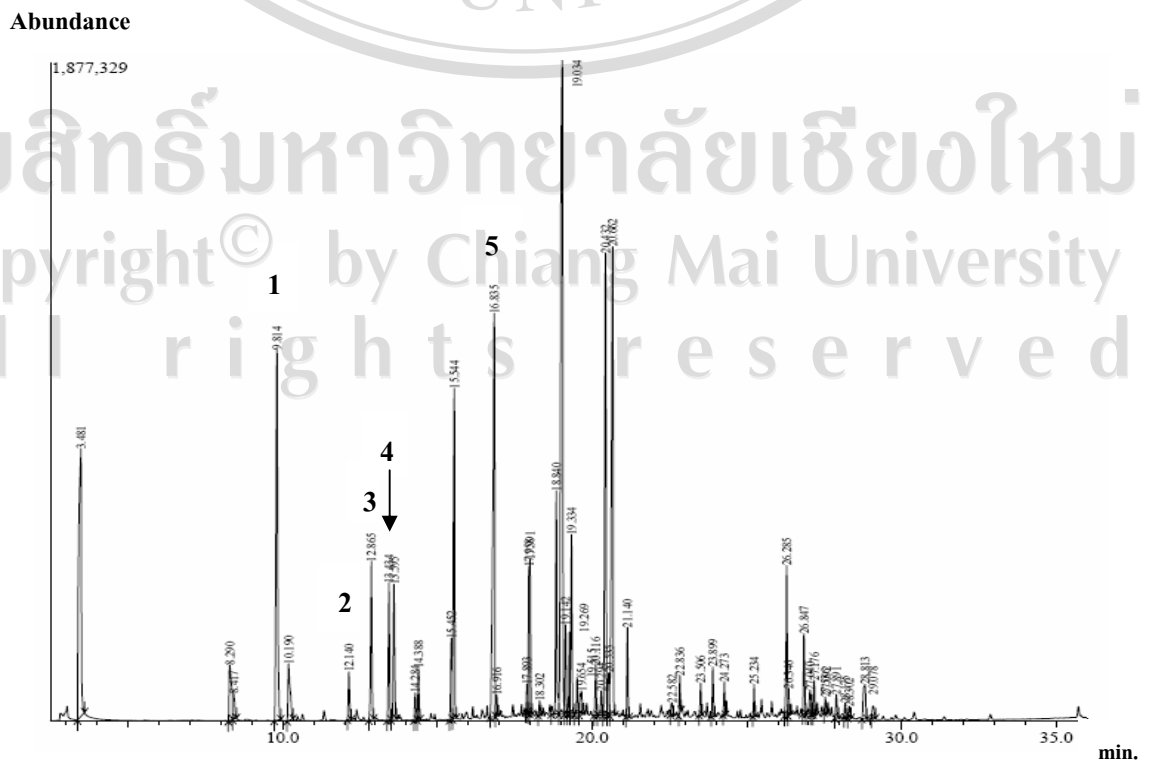
การทดลองที่ 3.3 วิเคราะห์ปริมาณสารให้กลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆ

โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี-เฟรมไอออนเซชันดีเทกเตอร์ (GC-FID)

ทำการวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่เป็นองค์ประกอบ ในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบคำดวนที่เดิมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และผลิตภัณฑ์ขนมกลีบคำดวนที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยสุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C โดยใช้ GC-FID พบว่า ปรากฏพิกที่สำคัญจำนวน 5 พิก ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งการตรวจวิเคราะห์ด้วย GC-FID นี้ เป็นวิธีการตรวจหาปริมาณสาร แต่ไม่สามารถระบุชนิดขององค์ประกอบของสารตัวอย่างได้ ดังนั้น จึงทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC-MS) ซึ่งสามารถระบุชนิดขององค์ประกอบของให้กลิ่นได้ ดังตารางที่ 4.26



รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมของสารให้กลิ่นหลักในผลิตภัณฑ์ขันทมกลีบดำควน
ที่มีส่วนผสมของกลิ่นรสเทียนอบ วิเคราะห์โดยวิธี GC-FID



รูปที่ 4.11 โครมาโทแกรมของสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน
ที่มีส่วนผสมของกลิ่นรสเทียนอบ วิเคราะห์โดยวิธี GC-MS

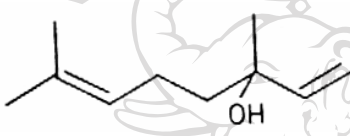
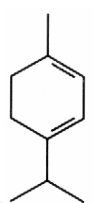
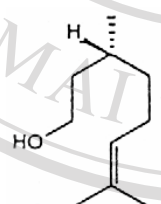
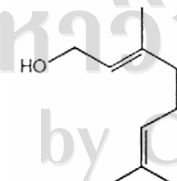
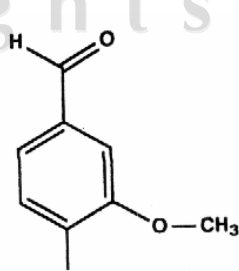
ตารางที่ 4.27 องค์ประกอบของสารให้กลิ่นหลักที่พบในผลิตภัณฑ์กลีบลำดวนที่มีส่วนผสมของ
กลิ่นรสเทียนอบโดยวิธี GC-MS

ลำดับพีค	สารให้กลิ่น	Retention time	% Identity to library
1	Linalool	9.814	99
2	α -Terpineol	12.140	97
3	β -Citronellol	12.865	98
4	Geraniol	13.424	97
5	Vanillin	16.835	92

โดยโครงสร้างและลักษณะของสารให้กลิ่นหลักทั้ง 5 ที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์
ขนมกลีบลำดวน แสดงในตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.12-4.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารให้
กลิ่นหลักแต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยสุ่ม
ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C โดยทำการวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ศูนย์และสิบหกตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

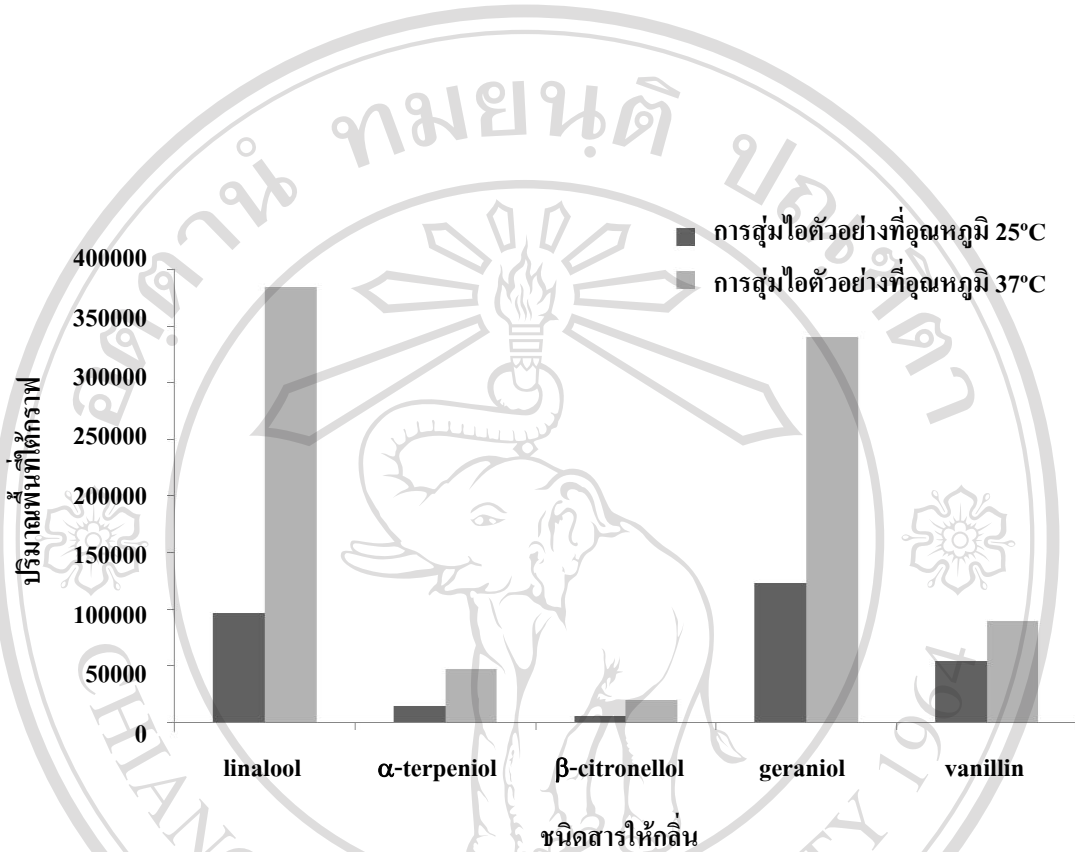
ตารางที่ 4.28 ลักษณะ โครงสร้างและลักษณะกลิ่นของสารให้กลิ่นหลักที่พบในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบ
 ลำดับที่มีส่วนผสมของกลิ่นรสเทียนอบ

องค์ประกอบ	ลักษณะโครงสร้าง	ลักษณะกลิ่น
Linalool		กลิ่นผลไม้ ดอกไม้
α -Terpineol		กลิ่นสารระเหยจากไม้สน
β -Citronellol		กลิ่นของพืชจำพวกตะไคร้
Geraniol		กลิ่นคล้ายกุหลาบ
Vanillin		กลิ่นหวานคล้ายวนิลลินผสมกับ maltol (maltol เป็นสารประกอบอินทรีย์ใช้เป็นสารเสริมกลิ่นรสที่สำคัญ ได้จากเปลือกไม้ และใบของต้นสน) หรืออาจเป็นลักษณะของ ethyl vanillin (กลิ่น

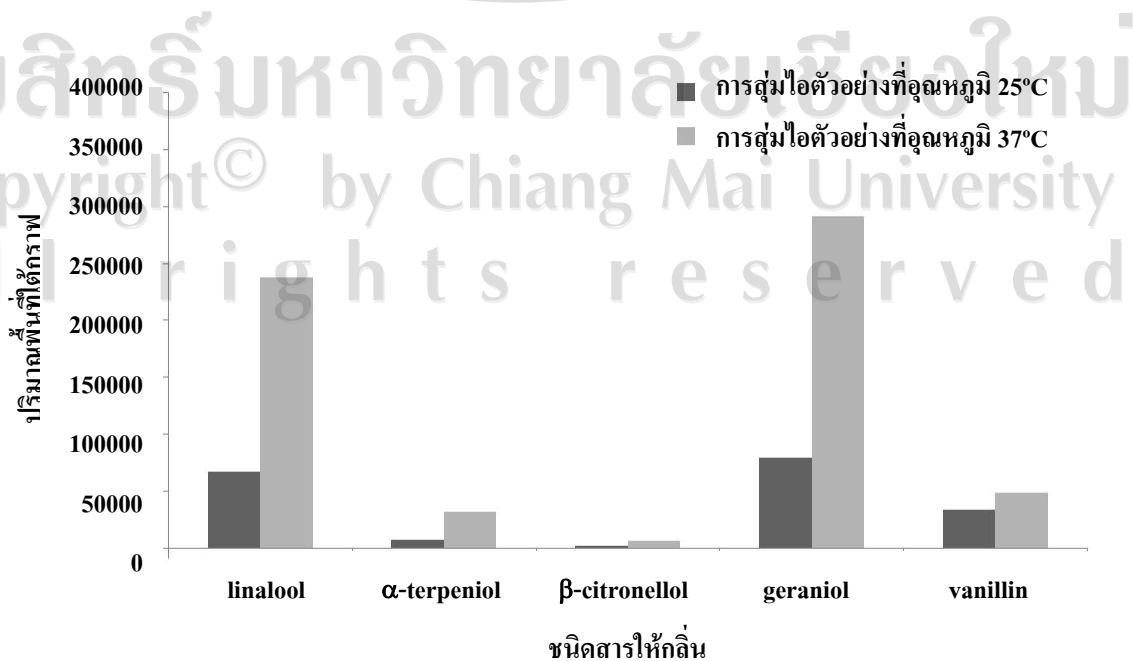
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

เขียนแบบวนิตลา

ที่มา: Boelens (1991), Reineccius (2006), Ohloff and Lawrence (1994) และ Matheis (1998b)



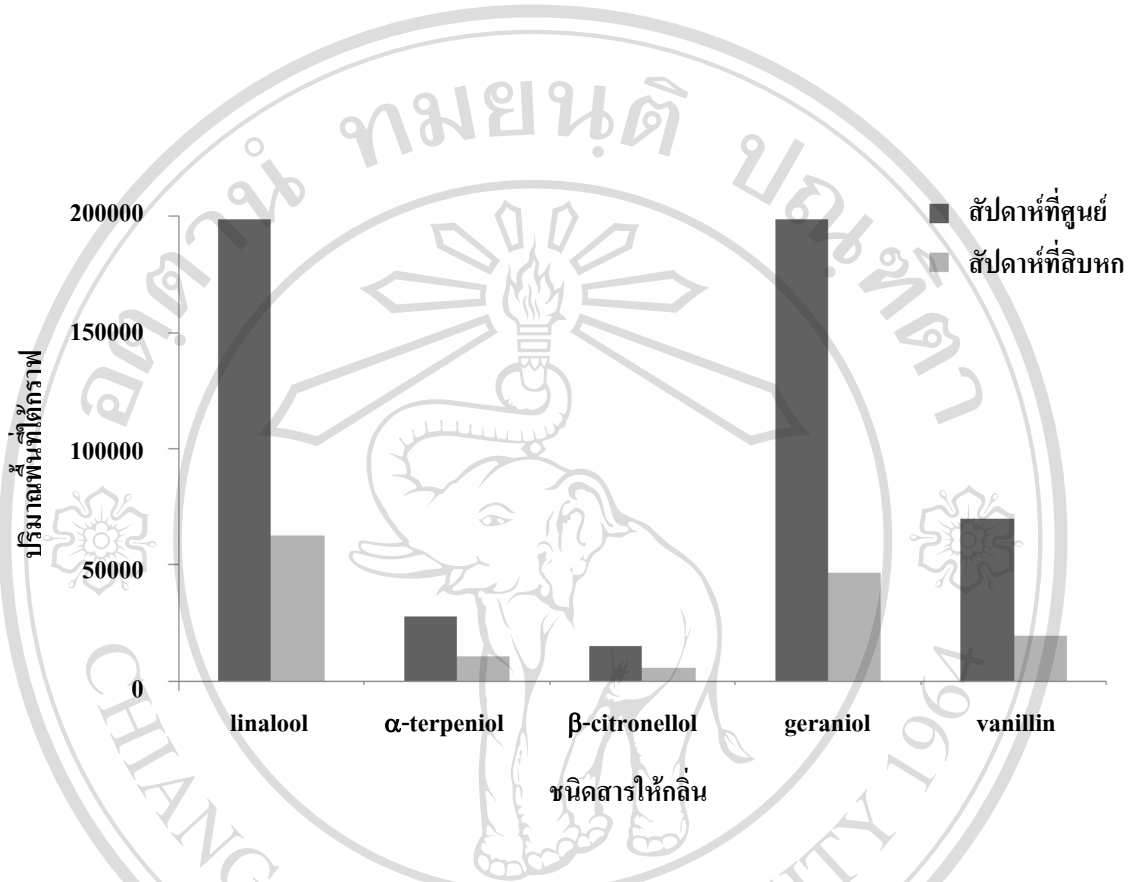
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบปริมาณสารให้กลิ่นหลักแต่ละชนิดโดยสู่มไอน้ำของตัวอย่างขนมกลีบ
ลำควนที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C ในสัปดาห์ที่ศูนย์



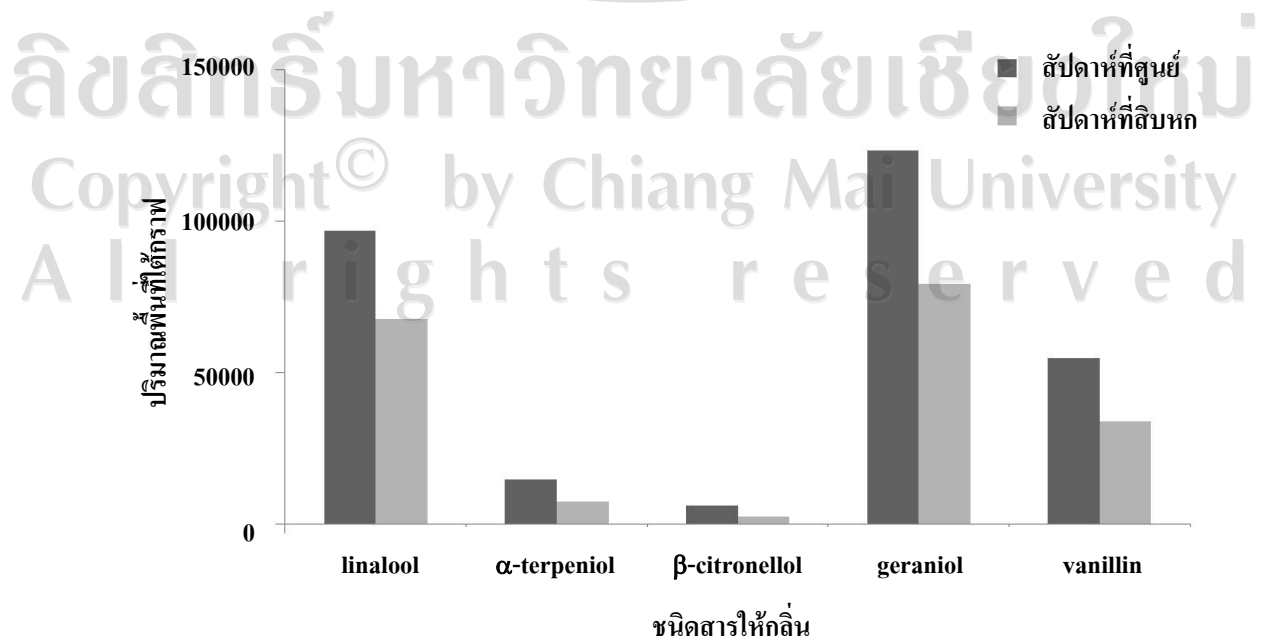
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบปริมาณสารให้กลิ่นหลักแต่ละชนิดโดยสู่มไอของตัวอย่างขนมกลีบ
ลำควนที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C ในสัปดาห์ที่สิบหก

จากรูปที่ 4.12-4.13 พบว่า เมื่อทดสอบสู่มไอของตัวอย่างที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (25°C และ 37°C) จะมีการปลดปล่อยสารให้กลิ่นในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่า การสู่มไอของตัวอย่างที่เติมน้ำที่อุณหภูมิ 37°C จะมีปริมาณสารให้กลิ่นมากกว่าการสู่มไอตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C โดย Heath (1978) รายงานว่า ข้อดีของกลิ่นรสที่อยู่ในรูปไมโครแคปซูล คือ จะมีความคงตัวในสภาพแห้ง แต่เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นหรือเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน ผนังของแคปซูลจะแตกออกและละลายในน้ำ กลิ่นรสจึงถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ โดยพบว่า ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ จะปลดปล่อยกลิ่นที่อุณหภูมิสูงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ Tan (1995) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารให้กลิ่นสำหรับไมโครแคปซูลที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีความสัมพันธ์กับทฤษฎีการแพร่แบบเลือกผ่าน (Selective diffusion Theory) โดย Voilley and Le Mest (1985) รายงานว่า การแพร่ของกลิ่นรสจะลดลง เมื่อปริมาณความชื้นในระบบลดลง นอกจากนี้ Whorton (1995) กล่าวถึง ผลซึมผ่านของสารภายในไมโครแคปซูล (core material) ที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุผสมที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นผลึกได้ (the amorphous matrix) พบว่า เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ไมโครแคปซูลจะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง (glassy) ไปสู่สภาพยาง (rubbery) ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุล และปริมาตรของโครงสร้างพอลิเมอร์อิสระมากขึ้น และเกิดการแพร่ของกลิ่นรสที่อยู่ภายในออกมามากขึ้น ส่งผลให้อัตราของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณความชื้นในระบบลดลง ทำให้ไมโครแคปซูลอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง กลิ่นรสจะถูกเก็บกักและโมเลกุลไม่มีการเคลื่อนที่ ส่งผลให้อัตราการแพร่ต่ำ การซึมผ่านของออกซิเจนลดลง ช่วยป้องกันการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

เมื่อพิจารณาปริมาณสารให้กลิ่นแต่ละชนิด พบว่า ทั้งการสู่มไอที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C จะมีปริมาณของสารให้กลิ่น geraniol และ linalool มากกว่าสารให้กลิ่นชนิดอื่น ซึ่งจะให้กลิ่นที่มีลักษณะหอมคล้ายดอกไม้ เช่น กุหลาบ

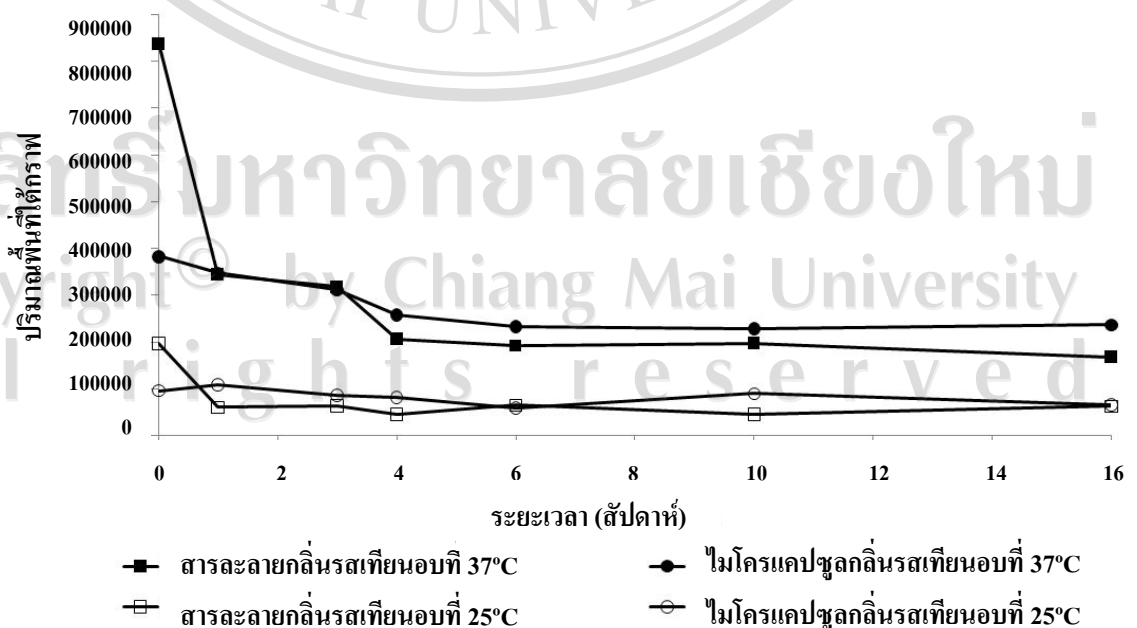


รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบปริมาณสารให้กลิ่นหลักแต่ละชนิดโดยส่วนของตัวอย่างขมนกเล็บดำควนที่เติมสารละลายกลั่นรสเทียบอบที่อุณหภูมิ 25°C ในสัปดาห์ที่ศูนย์และสัปดาห์ที่สิบหก



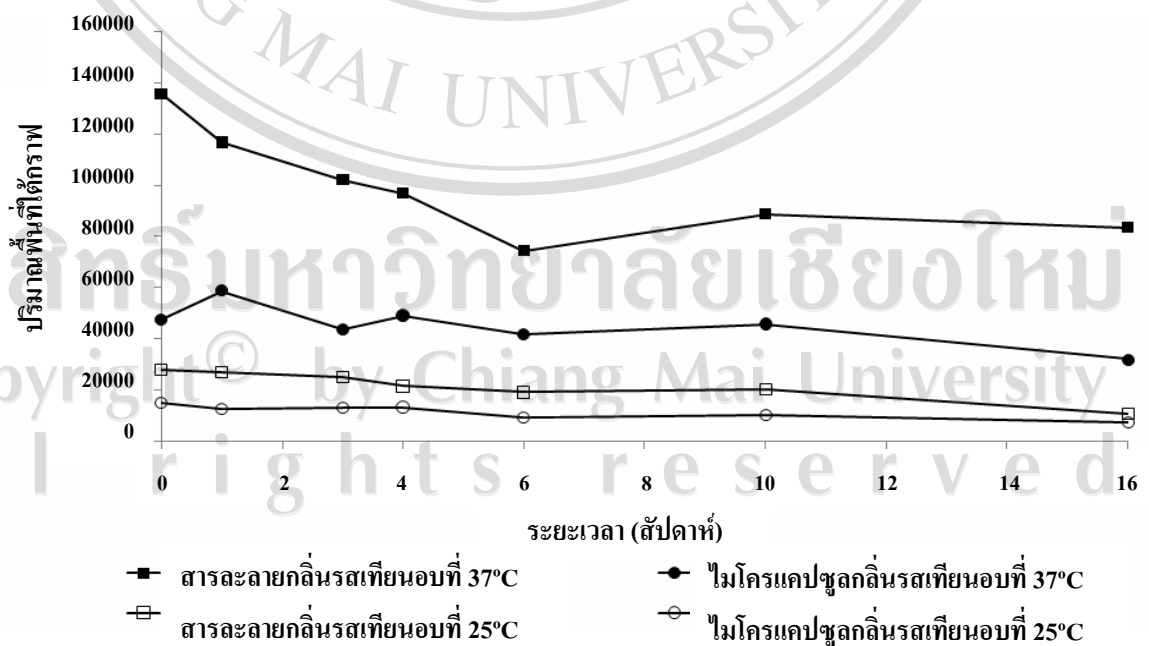
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบปริมาณสารให้กลิ่นหลักแต่ละชนิดโดยสู่มไอของตัวอย่างขนมกลีบ ลำคานที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่อุณหภูมิ 25°C ในสัปดาห์ที่ศูนย์และสัปดาห์ที่สิบหก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารให้กลิ่นหลักแต่ละชนิด ในสัปดาห์ที่ศูนย์และสัปดาห์ที่สิบ จากการสู่มไอตัวอย่างของขนมกลีบลำคานที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ ที่อุณหภูมิ 25°C (รูปที่ 4.14) พบว่า ปริมาณสารให้กลิ่นหลัก ได้แก่ linalool geraniol และ vanillin มีปริมาณลดลงอย่างมาก จากสัปดาห์ที่ศูนย์ถึงสัปดาห์ที่สิบหก แต่เมื่อทำการสู่มไอตัวอย่างของขนมกลีบลำคานที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบที่อุณหภูมิ 25°C ในสัปดาห์ที่ศูนย์และสัปดาห์ที่สิบ (รูปที่ 4.15) พบว่า สารให้กลิ่นหลักแต่ละชนิดมีปริมาณลดลงไม่มากนัก และในสัปดาห์ที่สิบหกซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการทดสอบ พบว่า ขนมกลีบลำคานที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบจะมีปริมาณสารให้กลิ่นหลัก ซึ่ง ได้แก่ สาร linalool α -terpeniol β -citronellol geraniol และ vanillin มากกว่าขนมกลีบ ลำคานที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบที่อุณหภูมิ 25°C แสดงให้เห็นว่า เมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ จะมีความสามารถในการปลดปล่อยสารภายในในอัตราคงที่ เมื่อเวลาผ่านไป แต่การใช้ในรูปแบบของสารละลายจะมีการปลดปล่อยสารให้กลิ่นอย่างต่อเนื่อง และลดลงอย่างรวดเร็ว

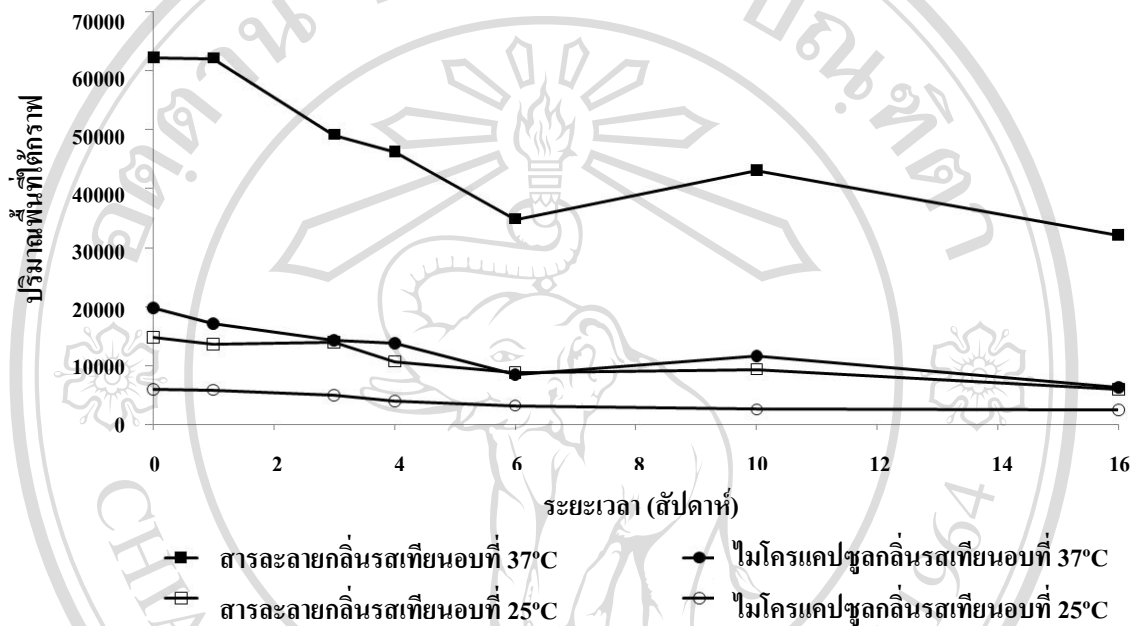


รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่น linalool ในสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยสู่มไอดีตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 จากการสู่มไอดีตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C ของขนมกลีบดำควนที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ พบว่า ปริมาณสารให้กลิ่น linalool จะมีการลดลงอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงสัปดาห์ที่สิบหก ส่วนขนมกลีบดำควนที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบจะมีการปลดปล่อยสารให้กลิ่น linalool อย่างคงที่ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ (● และ ○) โดยในสัปดาห์สุดท้ายของการทดสอบ (สัปดาห์ที่สิบหก) พบว่า การใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ มีปริมาณสารให้กลิ่น linalool มากกว่าการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ Li และ Reineccius (1995) รายงานว่า เมื่อนำไมโครแคปซูลกลิ่นรสสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิสูง จะปลดปล่อยกลิ่นรสได้ดีกว่ากลิ่นรสที่อยู่ในรูปของสารละลาย จากรูปที่ 4.16 พบว่า การใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบจะปลดปล่อยกลิ่นรสได้ดีกว่าการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ แต่ทั้งนี้ ผลที่ได้อาจมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก เนื่องจาก การสู่มไอดีตัวอย่างที่อุณหภูมิ 37°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก ส่งผลให้การปลดปล่อยกลิ่นรสมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก

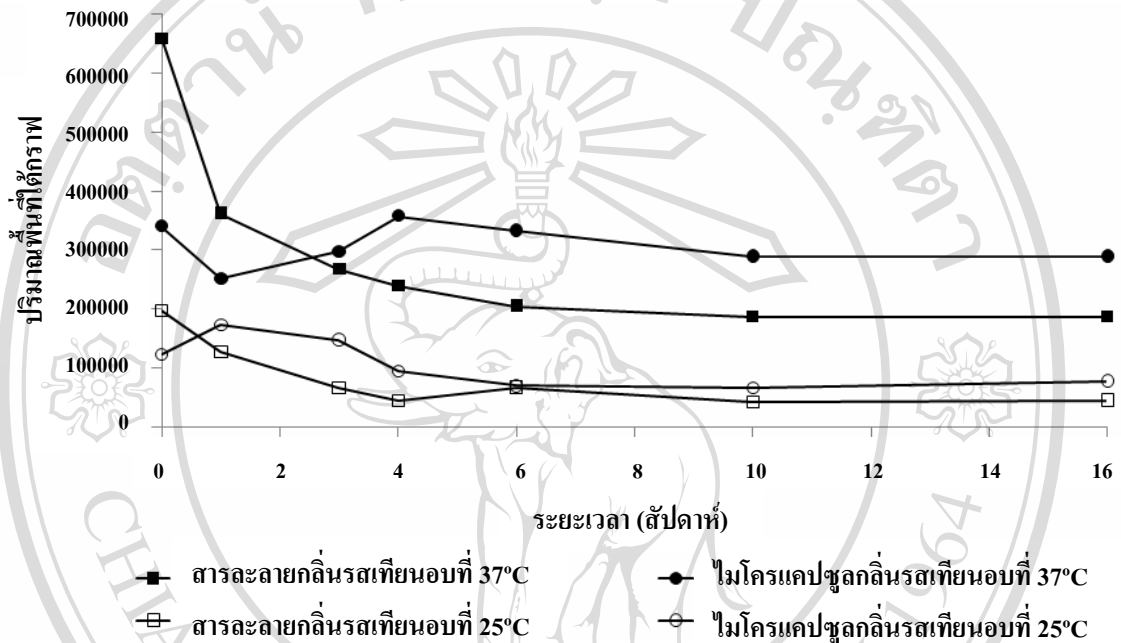


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่น α -terpineol ในสารละลายกลั่นรสเทียนอบ และไมโครแคปซูลกลั่นรสเทียนอบ โดยสู่มไอดีตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่น β -citronellol ในสารละลายกลั่นรสเทียนอบ และไมโครแคปซูลกลั่นรสเทียนอบ โดยสู่มไอดีตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C

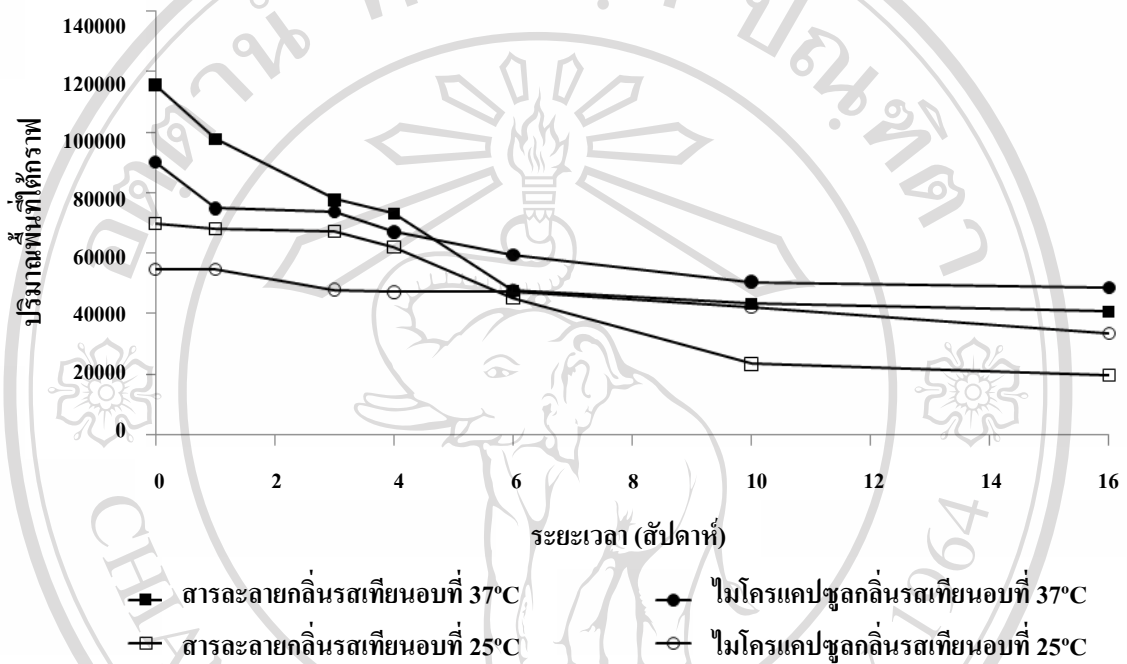
จากรูปที่ 4.17-4.18 เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละอุณหภูมิที่สู่มไอดีตัวอย่างมาทดสอบ (25°C และ 37°C) พบว่า การใช้สารละลายกลั่นรสเทียนอบจะมีปริมาณสารให้กลิ่น α -terpineol และ β -citronellol มากกว่าการใช้ไมโครแคปซูลกลั่นรสเทียนอบในทุกสัปดาห์ที่ทดสอบ Tan (1995) กล่าวว่า ในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย องค์ประกอบของสารให้กลิ่นแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ เช่น ความดันไอ (vapor pressure) จุดเดือด (boiling point) ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) ความร้อนจำเพาะของของเหลวและไอ (specific heat of liquid and vapor) รวมถึง partition coefficient ระหว่างตัวทำละลายกลั่นรสและน้ำภายในอนุภาคของอิมัลชันแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้องค์ประกอบของสารให้กลิ่นบางชนิดสูญเสียไปบ้างระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย และเป็นผลให้ กลิ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีเค้าโครงกลิ่นแตกต่างจากกลิ่นที่ไม่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่น geraniol ในสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยสู่มไอดัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C

เมื่อพิจารณาเส้นกราฟลักษณะ □ และ ○ ซึ่งเป็นการสู่มไอดัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ศูนย์นั้น ขนหมกลีบดำควนที่เดิมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ (ลักษณะกราฟ □) มีอัตราการลดลงของสารให้กลิ่น geraniol มากกว่าในขนหมกลีบดำควนที่ใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ (ลักษณะกราฟ ○) แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่า การใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบมีปริมาณสารให้กลิ่น geraniol มากกว่าการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบในสัปดาห์ที่สามถึงสัปดาห์ที่สิบหก และเมื่อพิจารณาการสู่มไอดัวอย่างที่อุณหภูมิ 37°C (■ และ ●) พบว่า ในสัปดาห์ที่ศูนย์ การใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบมีปริมาณสารให้กลิ่น geraniol มากกว่าการใช้ ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบอย่างชัดเจน แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป การใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบจะมีปริมาณสาร geraniol ลดลงไปเรื่อยๆ ในขณะที่การใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบจะมีปริมาณสารให้กลิ่น geraniol ที่เพิ่มขึ้นและไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก ซึ่งเมื่อ

พิจารณาที่สัปดาห์สุดท้ายของการทดสอบ พบว่า การใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบจะมีปริมาณสาร geraniol มากกว่าการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ ทั้งนี้ เนื่องจากกลิ่นรสที่ถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ที่รับประทานได้ ช่วยป้องกันกลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อม เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอากาศ ทำให้มีการปลดปล่อยกลิ่นรสในอัตราที่คงที่ ไม่ระเหยหรือสูญเสียอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่น vanillin ในสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ และไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยสุ่มไอตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C

จากรูปที่ 4.20 เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารให้กลิ่น vanillin เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่เติมไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ ทั้งจากการสุ่มไอตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C (○ และ ● ตามลำดับ) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารให้กลิ่น vanillin ไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ (□ และ ■) โดยจะเห็นว่า เมื่อใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ จะมีการลดลงของปริมาณสารให้กลิ่น vanillin อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จนในสัปดาห์สุดท้ายของการทดสอบ ปรากฏว่า ทั้งจากการสุ่มไอตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C การใช้ไมโครแคปซูลยังคงมีปริมาณสารให้กลิ่น vanillin มากกว่าการใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบ

สำหรับการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณสารให้กลิ่น linalool geraniol และ vanillin จากการสุ่มไอตัวอย่างที่มีส่วนผสมของไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ โดยเติมน้ำลงไปตัวอย่างที่อุณหภูมิ 37°C ให้ผลไม่แตกต่างอย่างเด่นชัดจากการสุ่มไอตัวอย่างที่เติมสารละลายกลิ่นรสเทียนอบ ทั้งนี้อาจ

เนื่องจาก การจำลองสภาวะการปลดปล่อยกลิ่นรสขณะเคี้ยวขนมกลีบลำควนที่อุณหภูมิ 37°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก ส่งผลให้ปริมาณสารให้กลิ่นบางชนิดที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่มากอย่างเด่นชัด ส่วนปริมาณสารให้กลิ่น α -terpineol และ β -citronellol พบว่า การใช้สารละลายกลิ่นรสเทียนอบมีปริมาณของสารทั้งสองดังกล่าวมากกว่าการใช้ไมโครแคปซูลกลิ่นรสเทียนอบ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก การสูญเสียขององค์ประกอบของสารให้กลิ่นดังกล่าวด้วยความร้อนในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพของไมโครแคปซูลจะได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่นำไปประยุกต์ โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน เนื่องจาก กลิ่นรสที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ที่รับประทานได้นั้น จะถูกป้องกันการระเหยจากสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น อากาศ ความร้อน จึงสามารถควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นและรสชาติในอัตราที่คงที่ ในขณะที่การใช้กลิ่นรสในรูปสารละลาย จะมีการระเหยของกลิ่นอย่างต่อเนื่อง แต่ทั้งนี้ การผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นการทำให้กลิ่นสูง ทำให้องค์ประกอบของสารให้กลิ่นบางชนิดสูญเสียได้ ส่งผลให้มีไมโครแคปซูลที่ได้ มีลักษณะของกลิ่นบางประการที่แตกต่างไปจากกลิ่นที่ไม่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Tan, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved