

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แก้ว

ผลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แก้วเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการสร้างอุปกรณ์แก้วที่เหมาะสมต่อการใช้แก้วข้าวแก้วสมุนไพร โดยออกแบบให้อุปกรณ์แก้ว เป็นระบบถ่ายเทความร้อนที่ผิวแบบการนำความร้อน สามารถผลิตตัวอย่างต่อเนื่อง ควบคุมอัตราการให้ความร้อนให้ได้คงที่มากที่สุด โดยใช้ระบบตัดต่อพลังงาน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้สม่ำเสมอ สร้างอุปกรณ์แก้วตามแบบที่เขียนขึ้น โดยมีแนวคิดที่จะใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ ซึ่งง่ายต่อการสร้างและการถอดประกอบ เพื่อการซ่อมแซมและดูแลรักษาง่าย วัสดุที่เลือกนำมาใช้จะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงแต่น้ำหนักไม่มากจนเกินไปเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายโดยใช้แรงงานคน อุปกรณ์ที่ได้สามารถใช้งานได้ครั้งละไม่น้อยกว่า 2 กิโลกรัม

องค์ประกอบของเครื่องแก้วข้าวแก้วสมุนไพร ประกอบไปด้วย

1. ชุดถังแก้ว
2. ชุดต้นกำลัง
3. ชุดควบคุมความเร็วรอบในการหมุนถังแก้ว
4. ชุดให้ความร้อน
5. ชุดควบคุมอุณหภูมิและระบบไฟฟ้า
6. ฐานเครื่องแก้ว
7. ระบบแก๊ส



ภาพที่ 4.1 เครื่องคว่ำขี้ผึ้งอัตโนมัติ

1. ขุดถังคว่ำ ทำจากสแตนเลสเบอร์ 304 หนา 1 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร เป็นรูปร่างทรงกระบอก ปากถังผสมสอปเข้า มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร บริเวณก้นถังด้านนอกเชื่อมติดกับเพลาคับเหล็ก ขนาด 1 นิ้ว มีลูกปืนรองเพลาลูก 2 ชุด ภายในประกอบด้วย ครีบทวนตัวอย่างอาหาร 2 ครีบทวน กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร ทำมุมเอียงกับตัวถังคว่ำ 30 องศา โดยครีบทวนทั้ง 2 ครีบทวนติดตั้งอยู่ตรงข้ามกัน ด้านในถังคว่ำ และครีบทวนทั้ง 2 ครีบทวนนี้จะยื่นออกมาจากผิวถังด้านใน 3 เซนติเมตร ที่ใบครีบทวนมีการติดตั้งแบบทำมุมเอียง และ ยื่นออกมาจากผิวถังเพื่อให้เกิดการไหลของตัวอย่างอาหารไปได้ครีบทวนหนึ่ง และ ครีบทวนที่เอียงจะดันตัวอย่างอาหารให้มีการไหลเวียนย้อนขึ้นและลงตามแนวความยาวของตัวถัง นอกจากการไหลไปตามแนวรัศมีของตัวถังด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคว่ำ และการคลุกเคล้าให้เข้ากันของตัวอย่างอาหาร ตัวถังคว่ำนี้สามารถหมุนได้รอบตัว โดยการหมุนของเพลาก็ยึดติดที่ก้นถัง

เพลาชับเหล็ก และ ลูกปืน 2 ชุด



ครีบ 2 ครีบ

ภาพที่ 4.2 ชุดถังคั่ว

2. ชุดต้นกำลัง ใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า เป็นต้นกำลัง ส่งกำลังผ่านสายพาน ความยาว 38 นิ้ว ด้วยพูล์ของตัวมอเตอร์ ไปยังเฟืองทดรอบ อัตรา 1 ต่อ 30 เพื่อส่งกำลังไปยังเพลาชับเหล็ก ที่ติดกับกันถึงคั่วด้านนอกขนาด 1 นิ้ว ทำให้ถึงคั่วหมุนได้

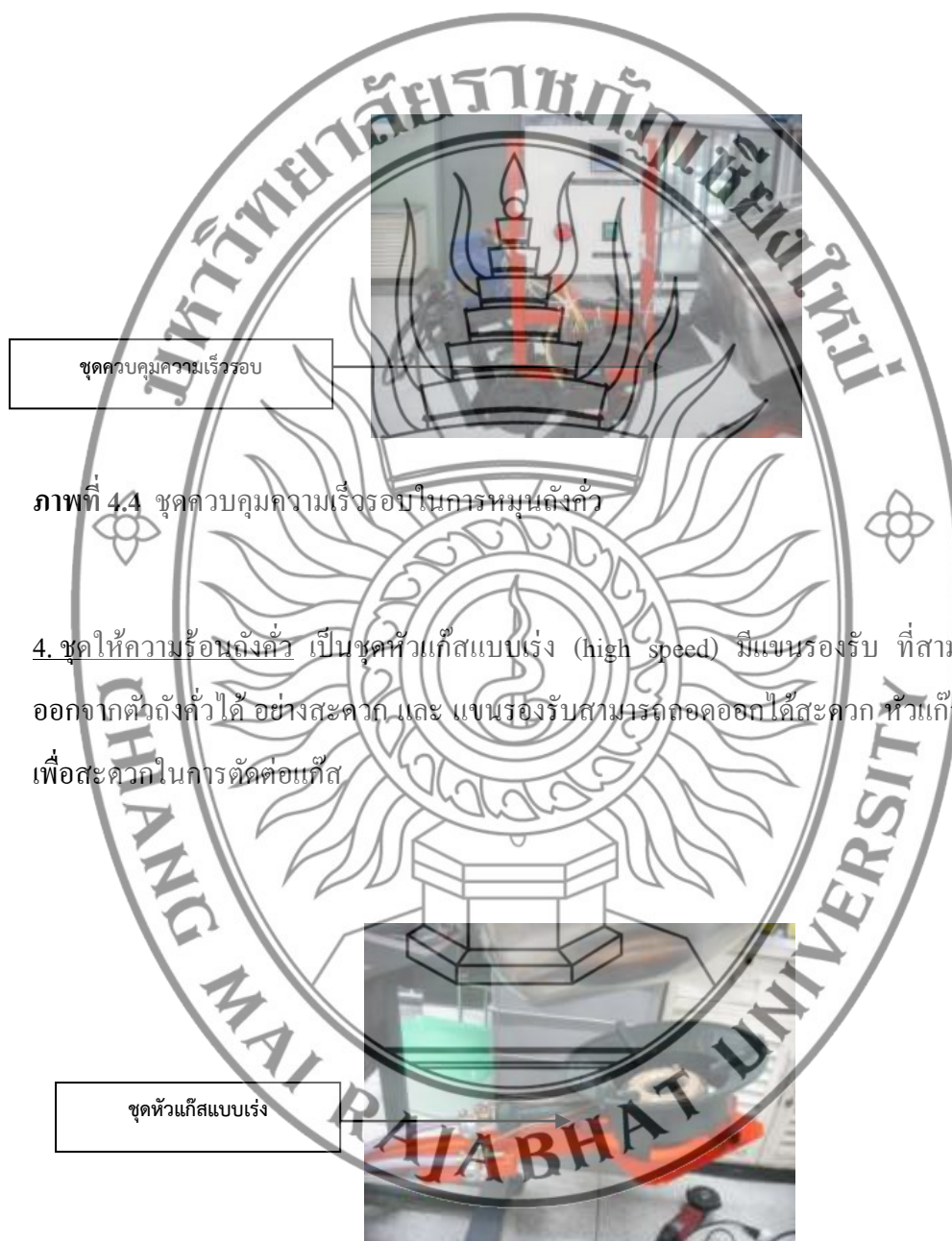
มอเตอร์

เฟืองทดรอบ



ภาพที่ 4.3 ชุดต้นกำลัง

3. ชุดควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของถังคว่ำใช้อินเวอร์เตอร์ แบบไฟเข้า 1 เฟส ไฟออก 3 เฟส ขนาดควบคุมมอเตอร์ 2 แรงม้า เป็นตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งจะไปมีผลต่อ ความเร็วรอบ ในการหมุนถังคว่ำตามต้องการ



ภาพที่ 4.4 ชุดควบคุมความเร็วรอบในการหมุนถังคว่ำ

4. ชุดให้ความร้อนถังคว่ำ เป็นชุดหัวแก๊สแบบแรง (high speed) มีแขนรองรับ ที่สามารถเลื่อนเข้า ออกจากถังคว่ำได้ อย่างสะดวก และ แขนรองรับสามารถถอดออกได้สะดวก หัวแก๊สจะมีไฟเลี้ยง เพื่อสะดวกในการตัดต่อแก๊ส

ชุดหัวแก๊สแบบแรง

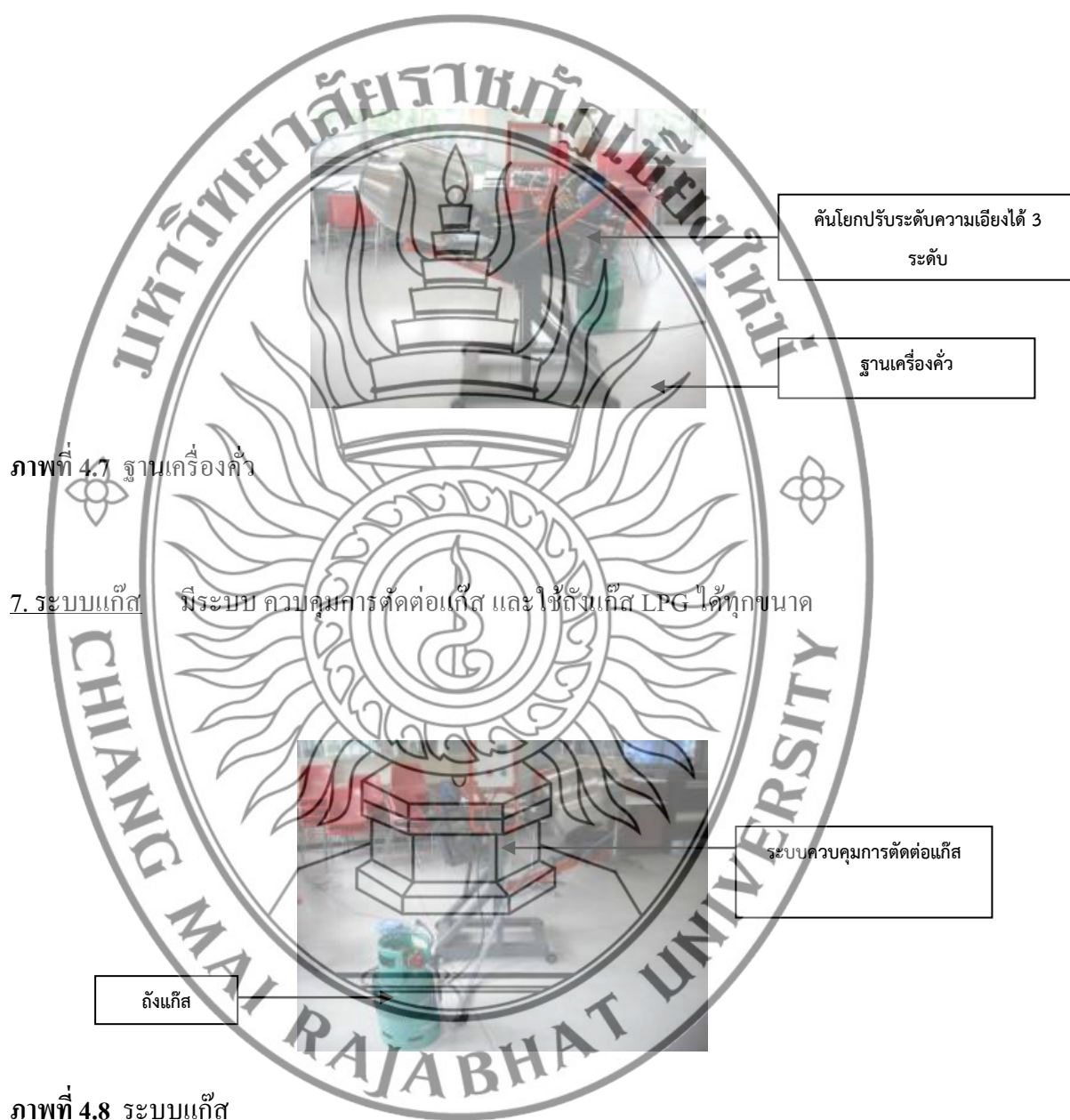
ภาพที่ 4.5 ชุดให้ความร้อนถังคว่ำ

5. ชุดควบคุมอุณหภูมิและระบบไฟฟ้า ประกอบด้วยตัววัดและควบคุมอุณหภูมิ มีสวิตช์สำหรับ ปิด-เปิด และ หัววัดอุณหภูมิ (probe) ที่ยื่นเข้าไปในถังคั่ว และส่งสัญญาณต่อมายัง ตัวควบคุม อุณหภูมิ ซึ่งจะแสดงผลด้วยระบบดิจิทัลโดยเมื่ออากาศในถังคั่วถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการที่มีการ ตั้งโปรแกรมไว้แล้ว ระบบควบคุมนี้จะทำการตัดการจ่ายแก๊สจากถังแก๊สด้วยโซลินอยด์วาล์ว ทำให้ ไฟที่หัวแก๊สดับลงเหลือไว้แต่ไฟเลี้ยงเท่านั้นและเมื่ออุณหภูมิของอากาศในถังคั่วลดลงกว่าที่ตั้งค่า อุณหภูมิไว้ ตัวควบคุมอุณหภูมิจะส่งต่อกระแสไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์วาล์วเพื่อให้จ่ายแก๊สจากถัง แก๊สไปยังหัวแก๊ส ซึ่งมีไฟเลี้ยงรออยู่จะทำให้ไฟติดอีกครั้งหนึ่ง โดยระบบจะทำงานได้อัตโนมัติ และต่อเนื่องจนกว่าเสร็จสิ้นกระบวนการคั่วข้าวคั่ว ส่วนระบบไฟฟ้าใช้ไฟฟ้า 1 เฟส ความต่างศักย์ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต



ภาพที่ 4.6 ชุดควบคุมอุณหภูมิและระบบไฟฟ้า

6. ฐานเครื่องคว่ำ ทำจากเหล็ก มีล้อเลื่อน 4 ล้อ มีชุดปรับระดับความเอียงถึงคว่ำได้ 3 ระดับ เพื่อช่วยให้ถึงคว่ำเอียงตัวรับกับไฟจากถังแก๊ส ได้ตามมุมที่ต้องการ 3 ระดับ นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของการเทตัวอย่างอาหารออกจากถึงคว่ำได้อย่างสะดวกด้วย



วิธีการใช้งานเครื่องคว่ำ

1. ทำความสะอาดถึงคั่วก่อนการใช้งาน และ ปรับระดับความเอียงของตัวถังให้ได้ระดับที่ต้องการ
2. เทตัวอย่างอาหารที่ต้องการคว่ำใส่ในถังคว่ำ พร้อมปิดฝา และ ปรับระดับถังคว่ำ เสียบ probe วัดอุณหภูมิที่ช่องเสียบ probe บนฝาดังกล่าวให้ลึกเข้าไปประมาณ 5 เซนติเมตร
3. เสียบปลั๊ก ที่มีสายดิน (แบบมี 3 ขา)
4. เปิดหัวแก๊ส และ จุดไฟเลี้ยงที่หัวแก๊ส และ ดันแขนรองรับหัวแก๊สเข้าไปอยู่ในแนวได้ท่อนของถังคว่ำ
5. เปิดสวิทช์หลักที่กล่องควบคุม
6. ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการคว่ำ ที่ตัวควบคุมอุณหภูมิ เมื่อตั้งเสร็จแล้ว แก๊สจะตัดต่อโดยอัตโนมัติ
7. ตั้งความเร็วรอบในการหมุนของถังคว่ำ ที่ปุ่มปรับความเร็วรอบของ อินเวอร์เตอร์ ดังจะหมุนด้วยอัตราเร็วรอบตามต้องการ
8. เมื่อกระบวนการคว่ำเสร็จสมบูรณ์ ปิดอินเวอร์เตอร์ ปิดสวิทช์หลัก ปิดหัวแก๊ส และ ปิดถังแก๊ส ดึงแขนรองรับหัวแก๊สออกจากแนวได้ท่อนของถังคว่ำ และ ถอดปลั๊ก
9. ดึง Probe ที่เสียบออกมาจากฝาดังกล่าว เปิดฝาดังกล่าว หากขณะรองรับ ตัวอย่างอาหารคว่ำที่บริเวณปากถังคว่ำ
10. ปรับระดับถังคว่ำให้อยู่ในตำแหน่งเอียงตัวอย่าง ออกจากถังคว่ำ ใส่ในภาชนะรองรับ
11. เมื่อนำตัวอย่างที่คว่ำแล้วออกจากถังคว่ำหมดแล้ว ทำความสะอาดถังคว่ำ โดยใช้ น้ำผสมน้ำยาทำความสะอาดภาชนะได้ตามปกติ

วิธีบำรุงรักษาเครื่องคว่ำ

1. ควรมีการถ่ายน้ำมันหล่อลื่น สำหรับเกียร์ทดรอบ ทุกๆ 5,000 ชั่วโมงการทำงาน ด้วยน้ำมันหล่อลื่น เบอร์ 40
2. ควรมีการล้างถังคว่ำ ทุกครั้ง หลังการใช้งาน เนื่องจากป้องกันการกัดกร่อน และ อาจจะก่อให้เกิดเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ได้ และ ห้ามไม่ให้ระบบต่างๆ ที่ทำงานด้วยไฟฟ้าเปียกน้ำ
3. ควรมีการตรวจสอบสิ่งผิดปกติของระบบควบคุม และ ระบบไฟฟ้าเป็นระยะ
4. ควรมีการใส่สารหล่อลื่น ลูกปืน ทุก 2 เดือน

4.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคั่วข้าวคั่ว

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคั่วข้าวคั่ว 4 ระดับ คือ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในเครื่องคั่วข้าวที่สร้างขึ้น และนำมาวิเคราะห์ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ปริมาณความชื้น ให้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าปริมาณน้ำอิสระและความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่คั่ว(องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำอิสระ(a_w)	ปริมาณความชื้น(%)
60	$0.431^a \pm 0.164$	$0.82^a \pm 0.059$
70	$0.267^b \pm 0.376$	$0.60^b \pm 0.020$
80	$0.055^c \pm 0.416$	$0.51^c \pm 0.030$
90	$0.015^d \pm 0.252$	$0.31^d \pm 0.018$

หมายเหตุ-ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 0.431 และข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำอิสระน้อยที่สุดเท่ากับ 0.015 เนื่องจากอุณหภูมิของข้าวคั่วในการคั่วที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำอิสระ (free water) ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อาหารได้ง่าย (นิริยา, 2545) ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิในการคั่วข้าวเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการระเหยของน้ำภายในข้าวคั่วสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณน้ำอิสระของข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสจึงมีปริมาณน้อยที่สุด

จากการวิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่คั่วทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วทั้ง 4 อุณหภูมิ โดยข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดเท่ากับ 0.82 เปอร์เซ็นต์และข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ 0.31 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ค่า L , a และ b ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว โดยค่า L หมายถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว ในส่วน ค่า a หมายถึงค่าสีเขียว-แดง และค่า b หมายถึง ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ให้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า L , a และ b ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่คั่ว (องศาเซลเซียส)	ค่าสี		
	L	a	b
60	$90.32^a \pm 0.001$	$-1.23^d \pm 0.57$	$8.00^d \pm 0.014$
70	$90.23^b \pm 0.015$	$0.59^c \pm 0.006$	$10.51^c \pm 0.005$
80	$81.42^c \pm 0.042$	$3.15^b \pm 0.493$	$15.78^b \pm 0.379$
90	$69.11^d \pm 0.012$	$6.04^a \pm 0.015$	$20.40^a \pm 0.030$

หมายเหตุ - ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่า L , a และ b ของข้าวคั่วทั้ง 4 อุณหภูมิคือ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 69.11 – 90.32 โดยข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีค่า L (ความสว่าง) สูงที่สุดเท่ากับ 90.32 รองลงมาคือข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสมีค่า L เท่ากับ 90.23 และ 81.42 ตามลำดับ และข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีค่า L ต่ำที่สุดเท่ากับ 69.11

ค่า a (ค่าสีเขียว-แดง) ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง -1.23 – 6.04 โดยข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีค่า a มากที่สุดเท่ากับ 6.04

ค่า b (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว พบว่าให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.0 – 20.40 พบว่าข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 8.0 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วมีความเป็นสีเหลืองค่อนข้างต่ำ ส่วนข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สีของข้าวคั่วมีลักษณะเหลืองคล้ำเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ผิวของถังข้าวคั่วในแต่ละการทดลองมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นแตกต่างกัน ส่งผลให้ข้าวคั่วที่คั่วทั้ง 4 ระดับอุณหภูมิ มีค่า L , a และ b ที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทั่วไป สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้ผู้บริโภครที่มีความชำนาญในการผลิตข้าวคั่ว จำนวน 30 คน มีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้ 4 = ดีมาก, 3 = ดี, 2 = พอใช้ และ 1 = ควรปรับปรุง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) พบว่าลักษณะทั่วไปของข้าวคั่วทั้ง 4 อุณหภูมิให้ผลแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้าน คุณลักษณะทั่วไป สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ข้าวคั่ว ที่คั่วโดยใช้ระดับอุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

ลักษณะที่ ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่ กำหนด	คะแนนเฉลี่ย			
		60°C	70°C	80°C	90°C
คุณลักษณะ ทั่วไป	ต้องเป็นผงละเอียดหรือ หยาบแห้งไม่จับตัวเป็น ก้อน	3.12±0.094	3.16±0.057	3.26±0.073	3.20±0.064
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติ ของข้าวคั่วอาจมีสีคล้ำต้อง ไม่ไหม้เกรียม	2.16 ^d ±0.449	2.81 ^b ±0.406	3.36 ^a ±0.490	2.66 ^c ±0.439
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตาม ธรรมชาติของข้าวคั่ว ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่ พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม	2.13 ^d ±0.507	2.56 ^c ±0.504	3.46 ^a ±0.685	2.73 ^b ±0.512

หมายเหตุ - ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.3 การประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว ให้ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านคุณลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่คั่วทั้ง 4 อุณหภูมิ ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้าวคั่วที่ผ่านการคั่วทั้ง 4 อุณหภูมิ มีลักษณะเป็นผงละเอียดและไม่จับตัวเป็นก้อนตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550)

การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว พบว่าให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์และผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสได้คะแนนเฉลี่ยจากผู้บริโภคมามากที่สุดเท่ากับ 3.36 คะแนน หมายถึงข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนั้นผู้บริโภคให้การยอมรับทางด้านสีมากกว่าข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 90 องศาเซลเซียส

การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว พบว่าให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสได้คะแนนเฉลี่ยจากผู้บริโภคมากที่สุดเท่ากับ 3.46 คะแนน หมายถึงข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนั้นผู้บริโภคให้การยอมรับทางด้านกลิ่นมากกว่าข้าวคั่วที่คั่วที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 90 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสทั้งสามด้านคือคุณลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส พบว่าผู้ทดสอบยอมรับ ผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 90 องศาเซลเซียส ดังนั้นการคั่วข้าวคั่วโดยใช้เครื่องคั่วที่สร้างขึ้น ควรเลือกใช้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพราะที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว มีสีใกล้เคียงกับสีน้ำตาลตามธรรมชาติของข้าวคั่ว และมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของข้าวคั่ว

4.3 ศึกษาอายุการเก็บและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว

นำผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่ผ่านการคั่วโดยใช้เครื่องคั่วที่สร้างขึ้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งได้คะแนนรวมเฉลี่ยจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด มาศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาข้าวคั่ว โดยเก็บในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดได้แก่ โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้อง (28-32 องศาเซลเซียส) และเก็บตัวอย่างตรวจทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ ทั้ง 4 ชนิด

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่เก็บรักษาในถุง 4 ชนิด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วไว้ที่อุณหภูมิห้อง และเก็บตัวอย่างตรวจทุก 3 วัน ให้ผลปริมาณความชื้น ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่างชนิด (โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ)

วันที่ทำการเก็บรักษา	ปริมาณความชื้น (%) ในผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว			
	โพลีเอทิลีน	โพลีโพรพิลีน	อลูมิเนียมฟอยล์	ถุงสุญญากาศ
0	1.52±0.048 ^{Ia}	1.50±0.032 ^{Ka}	1.49±0.010 ^{Ka}	1.50±0.010 ^{Ja}
3	1.68±0.116 ^{Ha}	1.64±0.021 ^{Jb}	1.62±0.032 ^{Jb}	1.63±0.028 ^{Ib}
6	1.82±0.064 ^{Ga}	1.71±0.006 ^{Ib}	1.66±0.027 ^{Ib}	1.68±0.005 ^{Ib}
9	2.00±0.098 ^{Fa}	1.94±0.075 ^{Ha}	1.87±0.087 ^{Ib}	1.91±0.015 ^{Ha}
12	2.29±0.040 ^{Fa}	2.13±0.061 ^{Gb}	2.07±0.103 ^{Fd}	2.19±0.012 ^{Gc}
15	2.60±0.069 ^{Da}	2.45±0.059 ^{Fb}	2.24±0.036 ^{Ed}	2.35±0.020 ^{Fc}
18	2.68±0.030 ^{Da}	2.57±0.020 ^{Fb}	2.40±0.055 ^{Ed}	2.51±0.022 ^{Fc}
21	2.90±0.064 ^{Ca}	2.80±0.051 ^{Db}	2.65±0.049 ^{Cd}	2.72±0.034 ^{Dc}
24	3.21±0.052 ^{Ba}	3.08±0.031 ^{Cb}	2.93±0.060 ^{Bd}	3.00±0.059 ^{Cc}
27	3.26±0.096 ^{Ba}	3.17±0.104 ^{Bb}	3.03±0.122 ^{Bd}	3.11±0.075 ^{Bc}
30	3.68±0.073 ^{Aa}	3.29±0.023 ^{Ab}	3.16±0.056 ^{Ac}	3.21±0.017 ^{Ac}

หมายเหตุ - ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยความชื้นเริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 1.50 เปอร์เซนต์ พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่บรรจุในถุง อลูมิเนียมฟอยล์ และถุงสุญญากาศเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเก็บรักษาข้าวคั่ว โดยมีปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วหลังจากเก็บรักษานาน 30 วันให้ผลไม่แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่บรรจุในถุง อลูมิเนียมฟอยล์และถุงสุญญากาศ มีปริมาณความชื้นในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วไม่น้อย เท่ากับ 3.16 และ 3.21 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

การที่บรรจุภัณฑ์ชนิด โพลีเอทิลีน ให้ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นมาก อาจเนื่องจาก บรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีน มีคุณสมบัติในการให้อไอน้ำและไขมันซึมผ่านได้ โดยมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1.3 กรัม/ตารางเมตร/วัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่เก็บรักษามีการ

เปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มขึ้นมากกว่าบรรจุกัณฑ์ชนิดอื่น ในขณะที่ข้าวคั่วที่เก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยด์ และ ถุงสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อย ส่วนอลูมิเนียมฟอยด์มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำเท่ากับ 0.1 กรัม/ตารางเมตร/วัน ทำให้ข้าวคั่วที่บรรจุใน อลูมิเนียมฟอยด์ ยังคงรักษาคุณภาพของข้าวคั่วไว้ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา (ปุ่น, 2541)

4.3.2 ศึกษาคุณลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรสของข้าวคั่วที่เก็บรักษาในบรรจุกัณฑ์ทั้ง

4 ชนิด เป็นเวลา 30 วัน

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทั่วไป สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์วันที่ 30 ในบรรจุกัณฑ์ต่างชนิดได้แก่ โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยด์ และถุงสุญญากาศ ทำการทดสอบโดยใช้ผู้บริโภครที่มีความชำนาญในการผลิตข้าวคั่วจำนวน 30 คนเป็นผู้ตรวจสอบคุณลักษณะทั่วไป สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว มีหลักเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้ 4 = ดีมาก, 3 = ดี, 2 = พอใช้ และ 1 = ควรปรับปรุง ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบคุณลักษณะทั่วไป สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วเมื่อการเก็บรักษา ตัวอย่างไว้เป็นเวลา 30 วัน ในบรรจุกัณฑ์พลาสติก 4 ชนิด

ลักษณะที่ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	คะแนนเฉลี่ย			ถุงสุญญากาศ
		โพลีเอทิลีน	โพลีโพรพิลีน	อลูมิเนียมฟอยด์	
คุณลักษณะทั่วไป	ต้องเป็นผงละเอียดหรือหยาบแห้งไม่จับตัวเป็นก้อน	3.10±0.305	3.23±0.430	3.26±0.447	3.19±0.80
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวคั่วอาจมีสีคล้ำต้องไม่ไหม้เกรียม	2.70±0.466 ^c	2.96±0.556 ^b	3.10±0.480 ^a	3.00±0.74 ^a
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของข้าวคั่ว ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม	2.36±0.490 ^c	3.03±0.450 ^b	3.20±0.484 ^a	3.13±0.73 ^a

หมายเหตุ - ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4.5 พิจารณาจากผลการตรวจสอบคุณลักษณะทั่วไป สี กลิ่น รส ในบรรจุภัณฑ์ ชนิด โพลีเอทิลีน, โพลีโพรพิลีน, อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ พบว่า ด้านคุณลักษณะทั่วไป ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์ชนิด โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย ด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์ชนิด โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ใน ถุงอลูมิเนียมฟอยล์มีคะแนนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.10 ด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์ ชนิด โพลีเอทิลีน, โพลีโพรพิลีน, อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยที่ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์มีคะแนนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20 ส่วนข้าวคั่วที่เก็บในถุงสุญญากาศ, โพลีโพรพิลีน และ โพลีเอทิลีน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.13, 3.03, 2.36 ตามลำดับ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่ได้จากการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ตรวจสอบคุณลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่ เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดโพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วคือ อลูมิเนียมฟอยล์ และ ถุงสุญญากาศ ทั้งนี้จะเลือกใช้ชนิดไหนควรคำนึงถึงราคา ความต้องการของตลาด กลุ่มเป้าหมาย และ ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์

4.4 ศึกษาชนิดของสมุนไพรที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วสมุนไพร

การศึกษารับชอบรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวคั่วสมุนไพร เมื่อนำข้าวคั่วกลิ่นสมุนไพรมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-Hedonic scale (9= ชอบมากที่สุด, 8= ชอบมาก, 7= ชอบปานกลาง, 6= ชอบเล็กน้อย 5= เฉยๆ, 4= ไม่ชอบเล็กน้อย, 3= ไม่ชอบปานกลาง, 2= ไม่ชอบมาก, 1= ไม่ชอบมากที่สุด) เพื่อประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวม ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยวิธี 9-Hedonic scale

ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส	ข้าวคั่วกลิ่นขิง	ข้าวคั่วกลิ่นข่า	ข้าวคั่วกลิ่นตะไคร้	ข้าวคั่วกลิ่นมะกรูด
สี	5.80 ^a ±1.323	5.36 ^b ±0.928	5.23 ^d ±1.006	5.26 ^c ±0.980
กลิ่น	5.33 ^{ab} ±0.994	5.73 ^a ±1.013	5.40 ^b ±1.003	5.26 ^c ±0.980
ความชอบโดยรวม	6.49 ^a ±1.104	6.23 ^b ±1.278	6.33 ^c ±1.322	6.40 ^b ±1.220

หมายเหตุ -ตัวเลขแสดงในตารางค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตาราง 4.6 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-Hedonic scale test พบว่าค่าสี กลิ่น และ ความชอบโดยรวม ของข้าวคั่วสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยที่ข้าวคั่วกลิ่นขิงมีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดเท่ากับ 6.49 คะแนน จึงน่าจะเลือกขิงมาเป็นส่วนผสมในการผลิตข้าวคั่วสมุนไพร

4.5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่

การถ่ายทอดความรู้สู่ชุมชน ได้มีการนำข้อมูลงานวิจัยคืนสู่ชุมชน เริ่มตั้งแต่ต้นทางซึ่งใช้กระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน นักวิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและรวบรวมเพื่อนำมาสังเคราะห์แก้ปัญหา คลังทางโดยมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในระหว่างการทำวิจัย และปลายทางได้นำความรู้สู่ชุมชนและบูรณาการการเรียนการสอนกับนักศึกษา มีการจัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพร เผยแพร่ให้ผู้นำชุมชน ผู้ประสานงานทางด้านชุมชนแปรรูปอาหาร เจ้าหน้าที่วิสาหกิจชุมชน กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร กลุ่มแปรรูปอาหารชาวบ้าน นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป เข้าร่วมอบรม 65 คน รวมถึงได้จัดทำแผ่นพับเผยแพร่ จาก การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน กลุ่มแม่บ้านเมืองแกนพัฒนา อ. แม่แตง ที่แต่เดิมใช้ภูมิปัญญามีการลองผิดลองถูกในการคั่วข้าวคั่วสมุนไพรโดยใช้กระทะร้อนที่อุณหภูมิสูง ใช้เวลานานต้องคอยเฝ้าเพื่อไม่ให้ข้าวไหม้ บางทีก็สีไม่สม่ำเสมอ มีความสนใจเครื่องคั่วที่สร้างขึ้นเนื่องจากมีข้อดีคือ ถังคั่วที่สร้างขึ้นหมุนได้ไม่ต้องคอยนั่งคนหรือกลับข้าวไปมา ทำให้ข้าวได้รับความร้อนสม่ำเสมอ ทำได้ปริมาณครั้งละมากกว่าการคั่วด้วยกระทะ สามารถตั้งอุณหภูมิ มีระบบตัดต่อ ทำให้ได้ข้าวคั่วที่มี สีสม่ำเสมอ ข้าวคั่วสุกพร้อมกัน ถังคั่วมีฝาปิดสามารถรักษากลิ่นไว้ได้

4.6 การนำผลงานไปใช้ประโยชน์

จากศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยี ผู้ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ ได้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่มชาวบ้านและภายนอกกลุ่มแปรรูปอาหาร มีการแบ่งปันประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ทำให้ผู้นำกลุ่มเกิดแนวคิดที่จะใช้เทคโนโลยีเข้าไปเสริมและประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีมากในท้องถิ่น เครื่องคั่วที่ออกแบบและสร้างขึ้นนอกจากจะคั่วข้าวคั่วสมุนไพรแล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีมากในจังหวัดเชียงใหม่ เช่น ชา กาแฟ พริก กระเทียม หอม และสมุนไพรอื่นๆ ซึ่งอาจเรียกเครื่องคั่วนี้ว่าเครื่องคั่วอเนกประสงค์ ที่จะช่วยเพิ่มรายได้ให้ครอบครัวชุมชน และท้องถิ่น ทำให้ผู้นำกลุ่มและกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร เกิดโครงการอื่นๆ ที่อาจจะสามารถนำมาของบประมาณสนับสนุนจาก อบต. หน่วยงานราชการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเพิ่มรายได้และแก้ปัญหาผลิตผลเกษตรล้นตลาดในช่วงที่มีมากตามฤดูกาลได้ด้วยตนเอง เกิดเป็นชุมชนที่เข้มแข็งขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดแนวคิดว่างานวิจัยต่อเนื่อง จากการถ่ายทอดองค์ความรู้ผู้ชุมชนทั้งสองทางคือกับชาวบ้านและนักศึกษา นักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มีความสนใจที่จะทำวิจัยในการใช้เครื่องคั่วมาประยุกต์กับสมุนไพรพื้นบ้านที่มีมากและที่ใช้เป็นอาหาร ชา และกาแฟ โดยได้คิดหัวข้อที่จะทำวิจัย เกิดโจทย์งานวิจัยเพิ่มขึ้นหลังจากได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน