

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 วิธีการสกัดน้ำมะเข็ญที่เหมาะสม

จากวิธีการสกัดน้ำมะเข็ญทั้ง 5 วิธี คือ การบดแล้วคั้น การต้มแล้วคั้น การย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 2,000 ppm การย่อยด้วยเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm และการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 2,000 ppm ร่วมกับเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm โดยใช้ น้ำมะเข็ญต่อ น้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 0.5 โดยน้ำหนัก พบว่าวิธีการสกัดโดยการย่อยด้วยเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm ให้ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัดที่ได้สูงสุดถึงร้อยละ 75.47 ± 0.01 ของผลมะเข็ญและน้ำที่เติม รวมทั้งมีปริมาณกาก และปริมาณสูญเสียเนื้อที่ต่ำสุด (ร้อยละ 23.00 ± 0.01 และ 1.53 ± 0.01 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.1) รองลงมาคือ การสกัดโดยการย่อยเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 2,000 ppm ร่วมกับเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm (ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัด ร้อยละ 70.67 ± 0.01 ของผลมะเข็ญและน้ำคั้นที่เติม) การบดแล้วคั้น (ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัด ร้อยละ 64.00 ± 0.00 ของผลมะเข็ญและน้ำคั้นที่เติม) การต้มแล้วคั้น (ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัด ร้อยละ 57.13 ± 0.01 ของผลมะเข็ญและน้ำคั้นที่เติม) และการสกัดโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 2,000 ppm (ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัด ร้อยละ 46.67 ± 0.01 ของผลมะเข็ญและน้ำคั้นที่เติม)

จากการใช้เอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm ได้ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีอื่น เกิดจากการที่เอนไซม์เพคตินเนสไปย่อยสารประกอบเพคตินให้มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถสกัดน้ำมะเข็ญออกมาได้มากขึ้น (Landbo *et al.*, 2007) ซึ่งได้มีรายงานการใช้เอนไซม์ในการสกัดผลไม้ เช่น การสกัดน้ำสาลี (รุจิรา, 2542) พบว่า เมื่อเติมเอนไซม์เพคตินเนส ปริมาณ 50 ppm บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที เทียบกับไม่เติมเอนไซม์เพคตินเนส ได้ปริมาณผลผลิตของน้ำสาลีสกัด ร้อยละ 60.72 และ 50.08 ตามลำดับ ในขณะที่ พิระวุฒิ และสิวะพร (2553) ได้รายงานการสกัดน้ำมะเข็ญโดยการย่อยด้วยเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 1,500 ppm เทียบกับการต้มแล้วคั้น พบว่า ได้ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัดออกมาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ที่ร้อยละ 71.6 ± 2.4 และ 69.4 ± 0.5 ของผลมะเข็ญและน้ำที่เติม ตามลำดับ

การใช้เอนไซม์เพคตินเนสเพียงอย่างเดียว นอกจากจะทำให้ผลผลิตสูงสุดแล้ว น้ำมะเข็ญสกัดที่ได้มีลักษณะที่ใสกว่าวิธีการสกัดโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าวิธีการสกัดโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสไปย่อยเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชได้น้ำตาลกลูโคส (ปราณี, 2547) แต่

ในทางปฏิบัติของงานวิจัยนี้ เอนไซม์เซลลูเลสย่อยเซลลูโลสได้ไม่ดีพอ จึงย่อยได้เป็นแค่กากของแข็งไม่ได้น้ำตาลกลูโคส ซึ่งอนุภาคกากของแข็งมีขนาดเล็กจึงเกิดการอุดตันรูขุมคั้น ทำให้ได้ปริมาณน้ำมะกึ่งสกัดน้อยที่สุด และมีปริมาณสารแขวนลอยสูง ซึ่งการที่มีสารแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้สูงนี้จะทำให้โอกาสเกิดการตกตะกอนมาก ส่งผลให้ในกระบวนการทำน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นเกิดปัญหาการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์น้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นได้ ส่วนการสกัดโดยการย่อยเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 2,000 ppm ร่วมกับเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm ได้ปริมาณน้ำมะกึ่งสกัดน้อยกว่าการใช้เอนไซม์เพคตินเนสเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการใช้เอนไซม์เซลลูเลสร่วมด้วย ทำให้เกิดอนุภาคกากของแข็งขนาดเล็กไปอุดตันรูขุมคั้น การสกัดน้ำมะกึ่งโดยการใช้เอนไซม์เซลลูเลส และการใช้เอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 2,000 ppm ร่วมกับเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm จึงไม่เหมาะสม

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า น้ำมะกึ่งสกัดจากวิธีการต้มแล้วคั้นมีค่าความสว่างของสี (L) น้อยที่สุด และมีความเข้มข้นมากที่สุด เป็นผลเนื่องมาจากน้ำมะกึ่งสกัดสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าวิธีอื่น จึงทำให้สีของน้ำมะกึ่งมีสีเข้ม ส่วนน้ำมะกึ่งสกัดจากวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm นั้นมีค่าความสว่างและความเข้มสีใกล้เคียงกับน้ำมะกึ่งสด (ผลบดแล้วคั้น) ค่าเฉลี่ย (h*) ทั้ง 5 วิธีได้น้ำมะกึ่งสกัดเป็นสีม่วงถึงม่วงแดง และมีความขุ่นหนืดใกล้เคียงกัน

เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า น้ำมะกึ่งสกัดที่ได้จากวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงขึ้น เนื่องจากมีการปรับความเป็นกรด-ด่าง เป็น 4 เพื่อให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ส่วนปริมาณกรดทั้งหมด พบว่าวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์เพคตินเนสความเข้มข้น 2,000 ppm มีน้อยที่สุดซึ่งส่งผลให้ความเปรี้ยวของน้ำมะกึ่งสกัดลดลง กลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระมีปริมาณลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมะกึ่งสด

ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมะกึ่งคือ การปั่นผลมะกึ่งผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 0.5 โดยน้ำหนัก ปรับ pH เป็น 4.00 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วเติมเอนไซม์เพคตินเนสที่ความเข้มข้น 2,000 ppm ย่อยที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วคั้นแยกน้ำมะกึ่งออกด้วยเครื่องคั้นแบบไฮดรอลิก เนื่องจากวิธีการนี้ให้ปริมาณน้ำมะกึ่งที่สกัดได้สูงที่สุดถึงร้อยละ 75.47 ± 0.01 ของผลมะกึ่งและน้ำที่เติม และมีปริมาณกาก ปริมาณสูญเสีย และปริมาณสารแขวนลอยต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของน้ำมะเข็ญสกัดโดยวิธีการสกัดต่างๆ

ลักษณะคุณภาพ ¹	การสกัด				
	บดแล้ว คั้น	ต้มแล้ว คั้น	ใช้เอนไซม์เพคตินเอส 2,000 ppm	ใช้เอนไซม์เซลลูเลส 2,000 ppm	ใช้เอนไซม์เซลลูเลส 2,000 ppm เอนไซม์เพคตินเอส 2,000 ppm
ผลการสกัดน้ำมะเข็ญ					
ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัดที่ได้จากผลมะเข็ญ (ร้อยละ)	64.00 ^c ± 0.00	57.13 ^d ± 0.01	75.47 ^a ± 0.01	46.67 ^c ± 0.01	70.67 ^b ± 0.01
ปริมาณกากมะเข็ญที่ได้จากผลมะเข็ญ (ร้อยละ)	31.75 ^c ± 0.00	33.33 ^b ± 0.01	23.00 ^c ± 0.01	46.00 ^a ± 0.01	28.13 ^d ± 0.01
ปริมาณที่สูญเสียระหว่างการผลิต (ร้อยละ)	4.25 ^{bc} ± 0.00	9.57 ^a ± 0.01	1.53 ^c ± 0.01	7.33 ^b ± 0.01	1.20 ^c ± 0.01
คุณภาพทางกายภาพ					
ค่าสี L (ความสว่าง)	14.08 ^a ± 0.83	12.66 ^b ± 0.68	13.01 ^b ± 0.16	11.31 ^c ± 0.03	11.31 ^c ± 0.00
C (ความเข้มสี)	18.32 ^d ± 0.08	29.69 ^a ± 0.13	10.09 ^c ± 0.37	22.48 ^c ± 0.11	28.88 ^b ± 0.12
h* (ช่วงสี)	352.50 ^c ± 0.17	356.60 ^b ± 0.17	325.57 ^c ± 2.15	348.53 ^d ± 0.11	358.93 ^a ± 0.06
ความเข้มของสีเมื่อเจือจาง 100 เท่า (OD ₅₂₀)	0.033 ^c ± 0.00	0.087 ^a ± 0.00	0.025 ^d ± 0.00	0.051 ^b ± 0.00	0.02 ^c ± 0.00
ความขุ่นหนืด (เซนติฟอยล์)	1.47 ^b ± 0.03	1.96 ^a ± 0.01	1.45 ^b ± 0.04	1.42 ^b ± 0.02	1.42 ^b ± 0.00
คุณภาพทางเคมี					
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	2.80 ^d ± 0.01	2.70 ^c ± 0.00	4.00 ^c ± 0.01	4.20 ^a ± 0.00	4.10 ^b ± 0.00
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	2.23 ^a ± 1.80	1.85 ^b ± 0.50	0.49 ^d ± 0.40	0.72 ^c ± 0.26	0.78 ^c ± 0.58

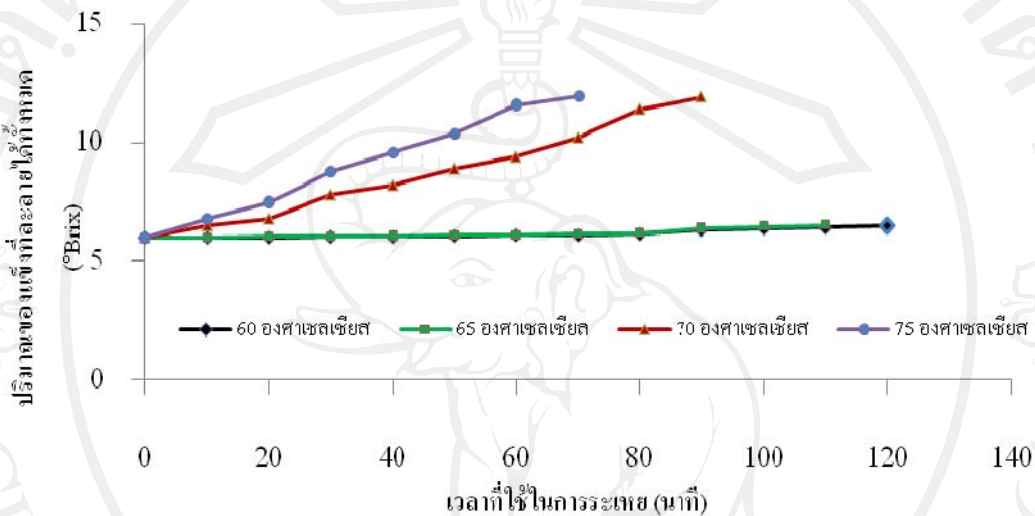
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ลักษณะคุณภาพ ¹	การสกัด				
	บดแล้ว	ต้มแล้ว	ใช้เอนไซม์เพคตินเนส	ใช้เอนไซม์เซลลูเลส	ใช้เอนไซม์เซลลูเลส 2,000 ppm
	กัณ	กัณ	2,000 ppm	2,000 ppm	เอนไซม์เพคตินเนส 2,000 ppm
คุณภาพทางเคมี					
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	6.20 ^a ± 0.00	6.00 ^b ± 0.00	6.00 ^b ± 0.00	6.00 ^b ± 0.00	6.20 ^a ± 0.00
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	6.47 ^a ± 0.38	5.00 ^c ± 0.07	2.30 ^c ± 0.06	5.57 ^b ± 0.02	4.00 ^d ± 0.08
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	93.53 ^c ± 0.38	95.00 ^c ± 0.07	97.70 ^a ± 0.06	94.43 ^d ± 0.02	96.00 ^b ± 0.38
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	479.89 ^a ± 1.63	326.42 ^c ± 1.88	261.58 ^d ± 1.72	375.08 ^b ± 1.26	252.17 ^c ± 0.00
ปริมาณแทนนิน (ร้อยละ)	1.63 ^a ± 0.79	0.54 ^c ± 0.00	1.35 ^b ± 0.26	1.28 ^b ± 0.46	1.20 ^b ± 0.11
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	37.36 ^b ± 0.06	36.00 ^c ± 0.05	34.70 ^d ± 0.15	38.25 ^a ± 0.11	24.03 ^c ± 0.24
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ					
วิธี DPPH (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	0.021 ^a ± 0.03	0.012 ^d ± 0.03	0.011 ^d ± 0.04	0.018 ^b ± 0.02	0.016 ^c ± 0.03
วิธี ABTS (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	0.33 ^a ± 0.02	0.23 ^d ± 0.03	0.20 ^c ± 0.04	0.30 ^b ± 0.03	0.25 ^c ± 0.03
วิธี FRAP (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	9.45 ^a ± 0.03	8.77 ^d ± 0.04	8.54 ^c ± 0.02	9.28 ^b ± 0.03	9.14 ^c ± 0.02

หมายเหตุ : 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05)

4.2 สภาวะเหมาะสมในการระเหยน้ำมะกึ่งสกัดโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ

จากการใช้อุณหภูมิในการระเหยในระหว่างการระเหยภายใต้สุญญากาศที่ต่างกัน 4 ระดับคือ 60 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส เมื่อสุ่มตัวอย่าง น้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้น ตรวจวัดทุกๆ 10 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้น และพบว่าหากมีการใช้อุณหภูมิที่ต่ำจะมีการใช้ระยะเวลาในการระเหยนานกว่า การใช้อุณหภูมิที่สูง (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำมะกึ่ง ในระหว่างการระเหยภายใต้สุญญากาศ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

เมื่อนำน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นที่ได้ ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ค่าความสว่างของสี (L) ลดลง น้ำมะกึ่งที่ได้มีความเข้มข้นมากขึ้นจึงทำให้สีของน้ำมะกึ่งมีสีเข้ม โดยน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นั้นมีสีที่เข้มกว่าน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70 65 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นผลเนื่องมาจากการที่น้ำมะกึ่งสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิในการระเหยสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มของสี (C) ที่เพิ่มขึ้น มีค่าเจดสี (h^*) เป็นสีม่วงถึงม่วงแดง และมีความขุ่นหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำถูกระเหยออกไป (ตารางที่ 4.2)

เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า น้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นที่ได้ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มลดลง (จาก 4.00 เป็น 3.70) เนื่องจากน้ำมะกึ่งมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าความเป็น กรด-ด่าง ลดลง (นิธิยา, 2545) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่ามากกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด เนื่องจากวิธีการวัดต่างกัน โดยการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ใช้หลักการหักเหของแสงโดยเครื่องมือ Refractometer ส่วนการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด ใช้หลักการของน้ำหนัก โดยการอบแห้ง เมื่อเทียบกับน้ำ

มะเข็ญคั้นสด พบว่าน้ำมะเข็ญหลังทำให้เข้มข้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นประมาณ 2.0 เท่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น 1.7 เท่า เนื่องมาจากความเข้มข้นของน้ำมะเข็ญที่มากขึ้น ส่วนปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการระเหยน้ำมะเข็ญเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.2) สอดคล้องกับการศึกษาอัตราการเสื่อมสลายของสารแอนโทไซยานินในระหว่างการพาสเจอร์ไรส์น้ำแครอทม่วง พบว่าการเสื่อมสลายของสารแอนโทไซยานินในน้ำแครอทม่วงที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เกิดการเสื่อมสลายมากที่สุด (Alasavar *et al.*, 2004) ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหลังทำให้เข้มข้นได้แก่ สารประกอบฟีนอล และสารแทนนินมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการระเหยน้ำมะเข็ญสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยน้ำออกไป แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการระเหยน้ำมะเข็ญสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 75 องศาเซลเซียส โดยอัตราการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (Nicoli *et al.*, 1999) จากงานวิจัยได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Skrede และ Wrolstad (2002) พบว่าการใช้อุณหภูมิต่ำคือ 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับการระเหยภายใต้สุญญากาศ สามารถระเหยน้ำออกจากสารสกัดได้ และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลในสารสกัดได้อีกด้วย แสดงให้เห็นว่าสารต้านอนุมูลอิสระจะเกิดการเสื่อมสลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จากการใช้ทรัพยากรในการผลิตน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้น โดยวิธีระเหยภายใต้สุญญากาศ พบว่าการใช้อุณหภูมิในการระเหยน้ำมะเข็ญสกัด 75 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการระเหย และมีต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุด (70 นาที และ 2.98 บาท ตามลำดับ) รองลงมาคือ การใช้อุณหภูมิในการระเหยน้ำมะเข็ญสกัดอุณหภูมิ 70 65 และ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้ระยะเวลา (90 110 และ 120 นาที ตามลำดับ) แต่การระเหยน้ำมะเข็ญสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้นสูง ราคาต้นทุนการผลิต (คิดเฉพาะค่าน้ำมะเข็ญสกัดไฟฟ้า และน้ำหล่อเย็น) จึงมีราคาต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด (54.47 ± 0.00 บาท/กิโลกรัมของน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้น) และรองลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส (61.92 ± 0.00 85.76 ± 0.00 และ 103.24 ± 0.00 บาท/กิโลกรัมของน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้น ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.3)

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการระเหยน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้นคือ การใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดันคงที่ -0.94 บาร์ เนื่องจากวิธีการนี้ได้น้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้น ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 11.93 ± 0.06 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 1.11 ± 0.06 และได้ผลผลิตสุดท้ายร้อยละ 56.00 ± 1.00 อีกทั้งยังพบว่ามีการประกอบฟีนอลทั้งหมด และสารแทนนินเพิ่มขึ้นประมาณ 1.9 และ 1.7 เท่าของน้ำคั้นสด ซึ่งมีราคาต้นทุนในการผลิต (คิดเฉพาะค่าน้ำมะเข็ญสกัด ไฟฟ้า และน้ำหล่อเย็น) 85.76 ± 0.00 บาท/กิโลกรัมของน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้น

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้นจากวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ ที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ ¹	อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหย (องศาเซลเซียส)			
	60	65	70	75
ผลการสกัดน้ำมะเข็ญ				
ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้น (ร้อยละ)	89.19 ^a ±0.01	78.00 ^b ±1.00	56.00 ^c ±1.00	45.90 ^d ±1.00
ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป (ร้อยละ)	2.74 ^d ±0.01	14.50 ^c ±0.01	35.00 ^b ±0.01	45.06 ^a ±0.81
ปริมาณที่สูญเสียระหว่างการผลิต (ร้อยละ)	8.06 ^{ab} ±0.01	6.50 ^b ±1.64	9.00 ^a ±0.50	9.50 ^a ±0.01
คุณภาพทางกายภาพ				
ค่าสี L (ความสว่าง)	11.36 ^a ±2.11	8.22 ^b ±0.17	7.98 ^b ±0.09	7.79 ^b ±0.03
C (ความเข้มสี)	15.65 ^b ±0.20	15.84 ^b ±0.48	17.08 ^{ab} ±0.07	17.93 ^a ±1.03
h* (ช่วงสี)	339.80 ^a ±1.82	335.13 ^b ±3.49	331.63 ^{bc} ±0.57	330.47 ^c ±0.32
ความเข้มของสีเมื่อเจือจาง 100 เท่า (OD ₅₂₀)	0.032 ^d ±0.00	0.077 ^c ±0.01	0.085 ^b ±0.01	1.03 ^a ±0.01
ความขุ่นหนืด (เซนติพอยต์)	1.44 ^b ±0.53	1.46 ^b ±0.12	1.51 ^{ab} ±0.09	1.65 ^a ±0.09
คุณภาพทางเคมี				
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	3.80 ^a ±0.10	3.80 ^a ±0.06	3.70 ^b ±0.10	3.70 ^b ±0.10
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	0.65 ^c ±0.10	0.66 ^c ±0.21	1.11 ^b ±0.06	1.26 ^a ±0.42
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	6.50 ^b ±0.10	6.53 ^b ±0.06	11.93 ^a ±0.06	11.97 ^a ±0.06
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	5.54 ^c ±0.04	5.58 ^c ±0.03	8.93 ^b ±0.08	10.64 ^a ±0.04
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	94.46 ^a ±0.04	94.42 ^a ±0.03	91.07 ^b ±0.08	89.36 ^c ±0.04
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	683.66 ^d ±0.29	746.75 ^c ±0.25	916.16 ^a ±4.13	893.16 ^b ±3.13
ปริมาณแทนนิน (ร้อยละ)	1.28 ^d ±0.01	1.45 ^c ±0.01	2.77 ^a ±0.01	2.75 ^b ±0.01
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	37.50 ^d ±0.05	30.33 ^c ±0.45	27.05 ^b ±0.66	25.29 ^a ±1.37
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ				
วิธี DPPH (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	0.029 ^d ±0.01	0.041 ^{bc} ±0.01	0.085 ^a ±0.01	0.055 ^b ±0.01
วิธี ABTS (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	0.36 ^d ±0.01	0.57 ^c ±0.01	1.24 ^a ±0.04	0.68 ^b ±0.01
วิธี FRAP (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	9.14 ^c ±0.07	9.34 ^b ±0.05	9.67 ^a ±0.06	9.13 ^c ±0.07

หมายเหตุ : 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (≤ 0.05)

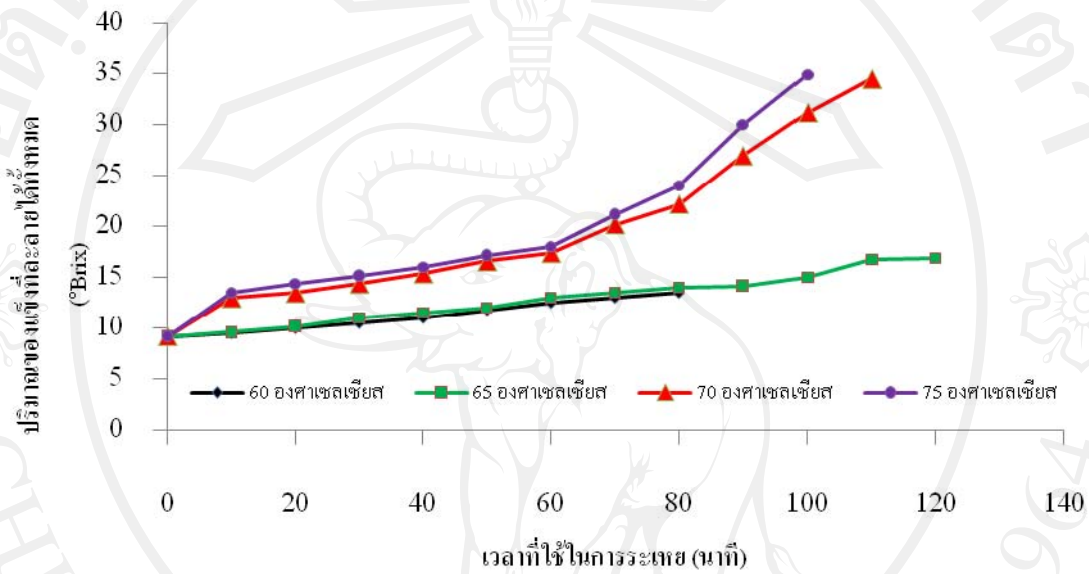
ตารางที่ 4.3 การใช้ทรัพยากรและต้นทุนในการผลิตของน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นจากวิธีระเหยภายใต้
สูญญากาศ ที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน

การใช้ทรัพยากรและต้นทุนในการผลิต	อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหย (องศาเซลเซียส)			
	60	65	70	75
สถานะการผลิตน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้น				
ความดันในการระเหย (บาร์)	-0.94±0.00	-0.94±0.00	-0.94±0.00	-0.94±0.00
ระยะเวลาในการระเหย (นาที)	120.00±0.00	110.00±0.00	90.00±0.00	70.00±0.00
การใช้ทรัพยากรและผลผลิตที่ได้				
น้ำมะกึ่งเริ่มต้น (ก.ก.)	2.00±0.00	2.00±0.00	2.00±0.00	2.00±0.00
ไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	1.35±0.00	1.25±0.00	1.10±0.00	0.80±0.00
น้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็น (ลิตร)	49.00±0.00	49.00±0.00	49.00±0.00	49.00±0.00
น้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นที่ได้ (ก.ก.)	1.78±0.01	1.56±0.01	1.12±0.01	0.92±0.01
ผลผลิตน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้นที่ได้ (ร้อยละ)	89.19±0.01	78.00±1.00	56.00±1.00	45.90±1.00
ต้นทุนในการสกัดน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้น				
น้ำมะกึ่งสกัด (บาท)	91.60±0.00	91.60±0.00	91.60±0.00	91.60±0.00
ไฟฟ้า (บาท)	4.87±0.00	4.51±0.00	3.97±0.00	2.89±0.00
น้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็น (บาท)	0.49±0.00	0.49±0.00	0.49±0.00	0.49±0.00
รวม (บาท/กิโลกรัมของน้ำมะกึ่งสกัด)	96.96±0.00	96.60±0.00	96.06±0.00	94.98±0.00
ต้นทุนการผลิตน้ำมะกึ่งสกัดเข้มข้น	54.47±0.00	61.92±0.00	85.70±0.00	103.24±0.00
คิดเฉพาะค่าน้ำมะกึ่งสกัด ไฟฟ้า และ น้ำหล่อเย็น (บาท/กิโลกรัมของน้ำมะกึ่ง สกัดเข้มข้น)				

4.3 สถานะเหมาะสมในการระเหยน้ำหมอนสกัดโดยการระเหยภายใต้สูญญากาศ

จากการใช้อุณหภูมิในการระเหยในระหว่างการระเหยภายใต้สูญญากาศที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 60 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส เมื่อสุ่มตัวอย่าง น้ำหมอนสกัดเข้มข้น ตรวจวัดทุกๆ 10 นาที พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้น และพบว่าหากมีการใช้อุณหภูมิที่ต่ำจะมีการใช้ระยะเวลาในการระเหยนานกว่าการใช้อุณหภูมิที่สูง แต่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อระเหยน้ำหมอนสกัดได้ 90 นาที พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่ม

เป็น 14.5 องศาบริกซ์ ในขณะที่ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เท่าเดิม น้ำหมอนไม่เกิดการเดือดอีกต่อไป (รูปที่ 4.2) เนื่องจากในสารละลายที่เข้มข้นขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะดึงดูดกับ โมเลกุลของตัวทำละลาย ทำให้ตัวทำละลายกลายเป็นไอได้ยากขึ้น ดังนั้นจุดเดือดของสารละลายจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ความดันไอของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น แปรผันตามจำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายที่อยู่ในตัวทำละลาย (นิธิยา, 2545)



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำหมอน ในระหว่างการระเหย ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

เมื่อนำน้ำหมอนสกัดเข้มข้นที่ได้ ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ค่าความสว่างของสี (L) ลดลง น้ำหมอนที่ได้มีความเข้มข้นมากขึ้นจึงทำให้สีของน้ำหมอนมีสีเข้ม โดยน้ำหมอนสกัดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสนั้นมีสีที่เข้มกว่า น้ำหมอนสกัดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70 65 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นผลเนื่องมาจากการที่น้ำหมอนสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิในการระเหยสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มของสี (C) ที่เพิ่มขึ้น มีค่าเจดสี (h^*) เป็นสีม่วงถึงม่วงแดง และมีความขุ่นหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหมอนสกัดมีสารประกอบเพคตินซึ่งเป็นคอลลอยด์ เมื่อนำไปให้ความร้อนเพคตินจะอยู่ในรูปของซอล (sol) คืออนุภาคคอลลอยด์เป็นของแข็ง และตัวกลางเป็นของเหลว เมื่อปล่อยให้เย็นลงทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ได้ช้าลง ช่วยให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกาะกัน ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.5)

เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า น้ำหม่อนสกัดเข้มข้นที่ได้ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และเมื่อเทียบกับน้ำหม่อนสกัดสด พบว่า น้ำหม่อนหลังทำให้เข้มข้น (ตารางที่ 4.4) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นประมาณ 3.8 เท่า เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำหม่อนที่มากขึ้น ส่วนความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหลังทำให้เข้มข้น ได้แก่ สารประกอบฟีนอล สารแทนนิน และ สารแอนโทไซยานินทั้งหมด มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการระเหยน้ำหม่อนสกัดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการระเหยน้ำออกไป แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการระเหยน้ำหม่อนสกัดเพิ่มสูงขึ้น เป็น 75 องศาเซลเซียส แสดงว่า อุณหภูมิที่สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส มีผลต่อการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการใช้ทรัพยากรในการผลิตน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นโดยวิธีระเหยภายใต้สุญญากาศ พบว่า การใช้อุณหภูมิในการระเหยน้ำหม่อนสกัด 60 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการระเหยน้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้จุดเดือดของน้ำหม่อนเพิ่มขึ้นสูงมากกว่า 60 องศาเซลเซียส น้ำหม่อนจึงไม่เดือดทำให้ไม่เกิดการระเหยขึ้น เวลาที่ใช้ในการระเหยจึงได้แค่ 90 นาที ในขณะที่การใช้อุณหภูมิในการระเหยน้ำหม่อนสกัดที่สูงขึ้นคือ 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส จะใช้ระยะเวลาในการระเหยลดลง (120 110 และ 100 นาที ตามลำดับ) ทำให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าลดต่ำลง แต่เนื่องจากปริมาณผลผลิตน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นที่ได้ลดลง จึงทำให้ราคาต้นทุนการผลิต (คิดเฉพาะค่าน้ำหม่อนสกัด ไฟฟ้า และน้ำหล่อเย็น) กลับสูงขึ้น โดยการใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีราคาต้นทุนการผลิตสูงที่สุด (222.48 ± 0.00 บาท/กิโลกรัม) รองลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 70 65 และ 60 องศาเซลเซียส (210.97 ± 0.00 101.55 ± 0.00 และ 70.38 ± 0.00 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.5)

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการระเหยน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นคือ การใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดันคงที่ -0.94 บาร์ เนื่องจากวิธีการนี้ได้ใช้น้ำมะเกลือสกัดเข้มข้น ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแทนนิน และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด เพิ่มขึ้นประมาณ 2.0 8.4 และ 12.08 เท่าของน้ำคั้นสด ตามลำดับ ซึ่งมีราคาต้นทุนในการผลิต (คิดเฉพาะค่าน้ำหม่อนสกัด ไฟฟ้า และน้ำหล่อเย็น) 210.97 ± 0.00 บาท/กิโลกรัมของน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นจากวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ ¹	อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหย (องศาเซลเซียส)			
	60	65	70	75
ผลการสกัดน้ำหม่อน				
ปริมาณน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น (ร้อยละ)	68.75 ^a ±0.01	55.33 ^b ±1.00	26.40 ^c ±1.00	25.07 ^d ±1.00
ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป (ร้อยละ)	26.56 ^d ±0.01	40.67 ^c ±0.01	70.27 ^b ±0.01	71.26 ^a ±0.81
ปริมาณที่สูญเสียระหว่างการผลิต (ร้อยละ)	4.69 ^a ±0.01	4.00 ^b ±1.64	3.33 ^d ±0.50	3.67 ^c ±0.01
คุณภาพทางกายภาพ				
ค่าสี L (ความสว่าง)	19.54 ^a ±0.15	18.97 ^a ±0.20	18.17 ^b ±0.59	17.42 ^c ±0.08
C (ความเข้มข้น)	11.34 ^d ±0.05	11.44 ^c ±0.03	11.63 ^b ±0.04	11.89 ^a ±0.05
h* (ช่วงสี)	331.03 ^a ±0.57	331.43 ^a ±0.47	329.13 ^b ±0.72	331.17 ^a ±0.68
ความเข้มของสีเมื่อเจือจาง 100 เท่า (OD ₅₂₀)	0.19 ^d ±0.00	0.21 ^c ±0.01	1.42 ^b ±0.01	1.48 ^a ±0.01
ความขุ่นหนืด (เซนติพอยส์)	1.44 ^c ±0.05	1.62 ^c ±0.06	5.55 ^b ±0.07	6.11 ^a ±0.08
คุณภาพทางเคมี				
ความเป็นกรด-ด่าง ^{ns} (pH)	3.20±0.06	3.20±0.01	3.20±0.01	3.17±0.06
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	1.04 ^d ±0.01	1.12 ^c ±0.04	2.12 ^b ±0.01	2.44 ^a ±0.02
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	14.50 ^c ±0.05	16.90 ^b ±0.01	34.50 ^a ±0.00	34.90 ^a ±0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	5.54 ^d ±0.04	13.59 ^c ±0.13	32.10 ^b ±0.03	33.44 ^a ±0.06
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	94.46 ^a ±0.04	86.41 ^b ±0.13	67.90 ^c ±0.03	66.56 ^d ±0.06
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	559.58 ^c ±0.14	695.42 ^b ±1.61	928.67 ^a ±11.80	900.58 ^a ±10.00
ปริมาณแทนนิน (ร้อยละ)	1.12 ^d ±0.01	1.14 ^c ±0.01	2.78 ^a ±0.01	2.77 ^b ±0.01
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิตร)	17.05 ^c ±0.82	45.86 ^b ±16.16	190.92 ^a ±16.17	181.58 ^a ±16.27
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ				
วิธี DPPH (มิลลิโมลต่อมิลลิตร)	0.120 ^c ±0.01	0.130 ^c ±0.01	0.417 ^a ±0.01	0.323 ^b ±0.01
วิธี ABTS (มิลลิโมลต่อมิลลิตร)	0.09 ^c ±0.00	0.10 ^c ±0.01	0.17 ^a ±0.00	0.13 ^b ±0.01
วิธี FRAP (มิลลิโมลต่อมิลลิตร)	5.75 ^c ±0.41	5.81 ^c ±0.04	8.10 ^a ±0.02	6.92 ^b ±0.03

หมายเหตุ : 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 4.5 การใช้ทรัพยากรและต้นทุนในการผลิตของน้ำหมอนสกัดเข้มข้นจากวิธีระเหยภายใต้
สภาวะอากาศ ที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน

การใช้ทรัพยากรและต้นทุนในการผลิต	อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหย (องศาเซลเซียส)			
	60	65	70	75
สภาวะการผลิตน้ำหมอนสกัดเข้มข้น				
ความดันในการระเหย (บาร์)	-0.98±0.00	-0.96±0.00	-0.94±0.00	-0.94±0.00
ระยะเวลาในการระเหย (นาที)	90.00±0.00	120.00±0.00	110.00±0.00	100.00±0.00
การใช้ทรัพยากรและผลผลิตที่ได้				
น้ำมะกียงเริ่มต้น (ก.ก.)	2.00±0.00	2.00±0.00	2.00±0.00	2.00±0.00
ไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	1.20±0.00	1.53±0.00	1.44±0.00	1.40±0.00
น้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็น (ลิตร)	49.00±0.00	49.00±0.00	49.00±0.00	49.00±0.00
น้ำหมอนสกัดเข้มข้นที่ได้ (ก.ก.)	1.57±0.01	1.10±0.01	0.53±0.01	0.50±0.01
ผลผลิตน้ำหมอนสกัดเข้มข้นที่ได้ (ร้อยละ)	68.75±0.01	55.33±1.00	26.40±1.00	25.07±1.00
ต้นทุนในการสกัดน้ำหมอนสกัดเข้มข้น				
น้ำหมอนสกัด (บาท)	105.70±0.00	105.70±0.00	105.70±0.00	105.70±0.00
ไฟฟ้า (บาท)	4.32±0.00	5.52±0.00	5.20±0.00	5.05±0.00
น้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็น (บาท)	0.49±0.00	0.49±0.00	0.49±0.00	0.49±0.00
รวม (บาท/กิโลกรัมของน้ำหมอนสกัด)	110.51±0.00	111.71±0.00	111.39±0.00	112.24±0.00
ต้นทุนการผลิตน้ำหมอนสกัดเข้มข้น	70.38±0.00	101.55±0.00	210.97±0.00	222.48±0.00
คิดเฉพาะค่าน้ำหมอนสกัด ไฟฟ้า และ น้ำหล่อเย็น (บาท/กิโลกรัมของน้ำหมอน สกัดเข้มข้น)				

4.4 สูตรที่เหมาะสมของน้ำมะเข็ญผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น

จากสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมะเข็ญและน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น ที่เลือกได้จากขั้นตอนที่ 2 และ 3 นำน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นทั้งสองชนิดมาผสมกัน โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design กำหนดให้ในส่วนผสม คือ น้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้นร้อยละ 60 - 100 น้ำหม่อนสกัดเข้มข้นร้อยละ 5 - 30 และปริมาณน้ำตาลที่เติมร้อยละ 0 - 10 แผนการทดลองกำหนดให้ 9 สูตร (ตารางที่ 4.6) โดยสูตรต่าง ๆ โปรแกรม Mixture Design กำหนดให้มีการกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ที่สนใจตามแผนผังสามเหลี่ยม (รูปที่ 4.3) นำไปผลิตเป็นน้ำมะเข็ญผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ พบว่าค่าสีมีค่าตามอัตราส่วนของน้ำมะเข็ญและน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น ซึ่งสูตรที่ 4 มีปริมาณน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น และน้ำตาลสูง ส่งผลให้มีค่าความหนืดสูงสุด (2.50 ± 0.03 เซนติพอยส์)

เมื่อนำไปวิเคราะห์พบคุณภาพทางด้านเคมี พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ทั้ง 9 สูตรใกล้เคียงกัน ปริมาณกรดมีค่าตามอัตราส่วนของน้ำมะเข็ญและน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น น้ำมะเข็ญผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น ส่วนค่า Brix acid ratio มีค่าสูงสุดในสูตรที่ 4 และพบว่าสารในกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยเมื่อกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูง ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระก็มีค่าสูงตาม สำหรับสูตรที่ 3 พบว่าสารในกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงสุด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ และสารแทนนิน รองลงมาคือสูตรที่ 4 (ตารางที่ 4.7)

เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมะเข็ญผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นทั้ง 9 สูตร พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนลักษณะคุณภาพมากที่สุดคือ สูตรที่ 4 (น้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้นร้อยละ 60 ผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นร้อยละ 30 และปริมาณน้ำตาลที่เติมร้อยละ 10) โดยมีคะแนนในลักษณะคุณภาพด้านกลิ่น ความเปรี้ยว ความหวาน และความกลมกล่อมสูงที่สุด (6.31 ± 1.28 6.74 ± 1.44 6.51 ± 1.72 และ 6.17 ± 1.79 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.8) ซึ่งได้ผลการถดถอยของลักษณะคุณภาพด้าน ๆ ทางประสาทสัมผัส สามารถใช้เป็นสมการสำหรับประมาณคะแนนคุณภาพด้านต่าง ๆ ตามทฤษฎี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างสูง (ตารางที่ 4.9)

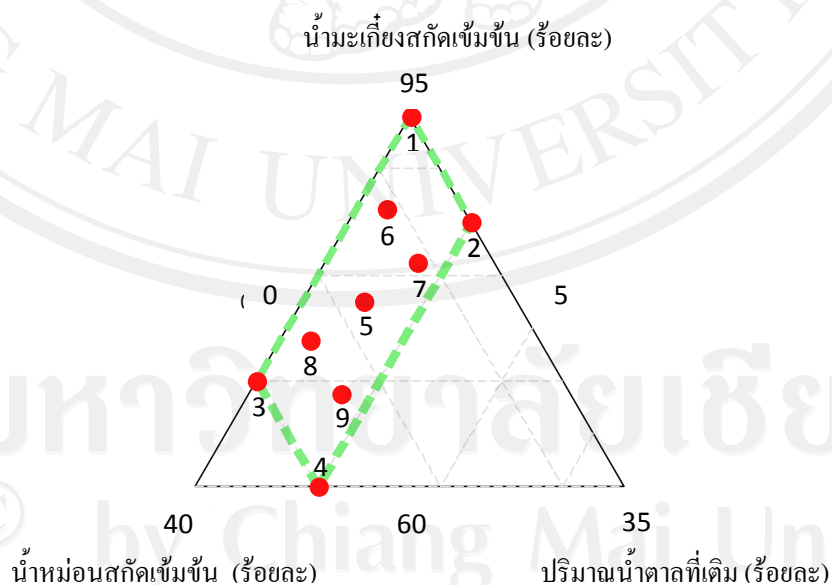
ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมของน้ำมะเข็ญผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น คือ น้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้นร้อยละ 60 ผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นร้อยละ 30 และปริมาณน้ำตาลที่เติมร้อยละ 10 เนื่องจากปริมาณสารในกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ยังคงมีปริมาณอยู่สูง รวมทั้งมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมสูงสุดอยู่ในระดับขอบเล็กน้อย

ตารางที่ 4.6 สูตรน้ำมะเข็ญผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นที่ได้จากโปรแกรม Mixture Design

สูตรที่	ส่วนผสม		
	น้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้น (ร้อยละ)	น้ำหมอนสกัดเข้มข้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาลที่เติม (ร้อยละ)
1	95.00	5.00	0
2	85.00	5.00	10.0
3	70.00	30.00	0
4	60.00	30.00	10.0
5	77.50	17.50	5.0
6	86.25	11.25	2.5
7	81.25	11.25	7.5
8	73.75	23.75	2.5
9	68.75	23.75	7.5

หมายเหตุ สัดส่วนที่กำหนดสูงสุด ต่ำสุดดังนี้

- น้ำมะเข็ญสกัดเข้มข้นร้อยละ 60 – 100
- น้ำหมอนสกัดเข้มข้นร้อยละ 5 – 30
- ปริมาณน้ำตาลที่เติมร้อยละ 0 – 10



รูปที่ 4.3 แผนผังสามเหลี่ยมของ Mixture Design แสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ที่ทดลองของสูตรต่าง ๆ ในน้ำมะเข็ญผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้น

ตารางที่ 4.7 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีน้ำมะกึ่งผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น จากวิธีระเหยภายใต้สุญญากาศในสูตรต่างๆ

ลักษณะคุณภาพ ¹	สูตรน้ำมะกึ่งผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
คุณภาพทางกายภาพ									
ค่าสี									
L (ความสว่าง)	12.01 ^{dc} ±0.53	11.54 ^c ±1.48	13.60 ^{cd} ±0.89	16.32 ^{ab} ±0.19	14.95 ^{bc} ±0.54	13.43 ^{cd} ±1.19	15.75 ^{ab} ±1.18	16.56 ^a ±0.22	16.73 ^a ±0.32
C (ความเข้มสี)	13.12 ^b ±0.18	14.10 ^a ±0.44	14.10 ^a ±0.67	14.16 ^a ±0.10	13.98 ^a ±0.04	13.86 ^a ±0.30	13.67 ^a ±0.10	13.89 ^a ±0.06	14.00 ^a ±0.10
h* (ช่วงสี)	332.10 ^{dc} ±0.10	329.73 ^e ±0.99	335.87 ^a ±0.90	330.03 ^{fg} ±0.98	334.60 ^b ±0.230	332.97 ^{cd} ±0.74	333.43 ^{ab} ±0.15	333.73 ^{ab} ±0.32	331.95 ^{cf} ±0.32
ความเข้มของสีเมื่อเจือจาง 100 เท่า (OD ₅₂₀)	0.121 ^h ±0.01	0.084 ⁱ ±0.01	0.267 ^d ±0.01	0.426 ^a ±0.01	0.164 ^f ±0.01	0.147 ^e ±0.01	0.174 ^c ±0.01	0.291 ^c ±0.01	0.317 ^b ±0.01
ความขุ่นหนืด (เซนติพอยล์)	1.43 ^f ±0.02	1.91 ^{cd} ±0.01	1.93 ^{cd} ±0.03	2.50 ^a ±0.03	1.90 ^{cd} ±0.02	1.63 ^c ±0.03	1.94 ^c ±0.03	1.87 ^d ±0.05	2.07 ^b ±0.04
คุณภาพทางเคมี									
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.67 ^a ±0.06	3.53 ^c ±0.06	3.50 ^c ±0.00	3.40 ^d ±0.00	3.60 ^b ±0.00	3.50 ^c ±0.00	3.50 ^c ±0.00	3.40 ^d ±0.00	3.40 ^d ±0.00
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	1.16 ^c ±0.01	1.05 ^f ±0.01	1.66 ^a ±0.01	1.35 ^c ±0.01	1.36 ^c ±0.01	1.18 ^c ±0.01	1.17 ^c ±0.01	1.46 ^b ±0.01	1.26 ^d ±0.01
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	10.80 ⁱ ±0.20	19.03 ^c ±0.06	15.90 ^e ±0.10	26.00 ^a ±0.10	17.83 ^c ±0.06	15.10 ^h ±0.10	18.83 ^d ±0.06	17.17 ^f ±0.10	21.90 ^b ±0.10
Brix : acid ratio (องศาบริกซ์ : ร้อยละ)	9.3 : 1	18.1 : 1	9.6 : 1	19.3 : 1	13.1 : 1	12.8 : 1	16.1 : 1	11.7 : 1	17.4 : 1
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	8.81 ⁱ ±0.04	18.87 ^c ±0.03	15.46 ^e ±0.20	25.01 ^a ±0.03	16.74 ^c ±0.08	14.00 ^h ±0.06	17.73 ^d ±0.04	15.75 ^f ±0.07	20.68 ^b ±0.01
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	91.19 ^a ±0.04	81.13 ^e ±0.09	84.54 ^c ±0.70	74.99 ⁱ ±0.01	83.26 ^c ±1.81	86.00 ^b ±0.01	82.27 ^f ±0.83	84.25 ^d ±0.01	79.32 ^h ±0.04

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ลักษณะคุณภาพ ¹	สูตรน้ำมะกึ่งผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
คุณภาพทางเคมี									
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	891.25 ^a ±0.25	837.00 ^d ±0.50	898.33 ^a ±0.38	848.17 ^c ±0.14	863.50 ^{bc} ±0.90	869.42 ^b ±0.72	848.20 ^c ±0.09	872.42 ^b ±0.58	849.25 ^c ±0.25
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	32.03 ^c ±0.99	21.77 ^f ±1.50	73.21 ^a ±6.98	69.27 ^a ±2.64	51.57 ^c ±3.26	43.81 ^d ±1.07	43.00 ^d ±2.53	63.99 ^b ±1.29	60.29 ^b ±1.37
ปริมาณแทนนิน (ร้อยละ)	2.32 ^a ±0.14	1.89 ^{bc} ±0.22	2.34 ^a ±0.08	2.10 ^b ±0.13	2.19 ^b ±0.09	2.28 ^a ±0.11	1.78 ^c ±0.05	2.25 ^a ±0.05	2.11 ^b ±0.05
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ									
วิธี DPPH (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	0.096 ^f ±0.01	0.089 ^f ±0.01	0.179 ^a ±0.01	0.173 ^a ±0.01	0.136 ^c ±0.01	0.118 ^d ±0.01	0.108 ^e ±0.01	0.158 ^b ±0.01	0.151 ^b ±0.01
วิธี ABTS (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	1.099 ^a ±0.01	1.001 ^b ±0.02	0.909 ^{cd} ±0.01	0.811 ^c ±0.01	0.982 ^b ±0.01	1.021 ^b ±0.01	0.998 ^b ±0.01	0.935 ^c ±0.01	0.889 ^d ±0.04
วิธี FRAP (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	8.62 ^a ±0.01	8.14 ^c ±0.01	8.49 ^a ±0.01	8.08 ^c ±0.01	8.42 ^{ab} ±0.01	8.50 ^a ±0.01	8.27 ^{bc} ±0.01	8.48 ^a ±0.01	8.25 ^{bc} ±0.01

หมายเหตุ : 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้น จากวิธีระเหยภายใต้สุญญากาศในสูตรต่างๆ

ลักษณะคุณภาพ ทางประสาทสัมผัส ¹	สูตรน้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้น								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
กลิ่น	4.74 ^c ±1.80	6.06 ^{ab} ±1.33	5.37 ^{bc} ±1.93	6.31 ^a ±1.28	5.86 ^{ab} ±1.52	5.26 ^{bc} ±1.54	5.69 ^{ab} ±1.34	5.54 ^{ab} ±1.56	6.06 ^{ab} ±1.41
ความเปรี้ยว	3.14 ^c ±2.09	5.86 ^b ±1.80	3.46 ^{dc} ±1.87	6.74 ^a ±1.44	4.70 ^c ±2.35	3.89 ^d ±1.98	5.54 ^b ±1.82	4.63 ^c ±1.91	6.00 ^b ±1.59
ความหวาน	2.70 ^d ±1.36	5.70 ^b ±1.78	3.03 ^d ±1.58	6.51 ^a ±1.72	4.11 ^c ±2.01	3.29 ^d ±1.58	4.63 ^c ±1.85	3.97 ^c ±1.85	6.17 ^{ab} ±2.08
ความกลมกล่อม	2.63 ^d ±1.37	5.46 ^b ±1.63	3.23 ^d ±1.66	6.17 ^a ±1.79	4.20 ^c ±1.84	2.97 ^d ±1.64	4.31 ^c ±2.03	4.11 ^c ±1.89	5.86 ^{ab} ±1.93
ความชอบรวม	2.71 ^c ±1.38	5.60 ^b ±1.70	3.29 ^{dc} ±1.53	6.60 ^a ±1.67	4.20 ^c ±1.84	3.46 ^d ±1.65	3.46 ^d ±1.90	4.31 ^c ±1.91	6.20 ^{ab} ±1.66

หมายเหตุ : 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 4.9 สมการถดถอยแสดงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเกี๋ยงผลสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น

ลักษณะคุณภาพ ทางประสาทสัมผัส	สมการถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
กลิ่น	กลิ่น = 4.53(น้ำมะเกี๋ยง) + 3.77(น้ำหม่อน) + 10.55(น้ำตาล) + 5.17(น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำหม่อน) + 8.01(น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำตาล)	0.97
ความเปรี้ยว	ความเปรี้ยว = 2.76(น้ำมะเกี๋ยง) - 4.84(น้ำหม่อน) + 59.67(น้ำตาล) + 14.68(น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำหม่อน) - 33.50 (น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำตาล)	0.98
ความหวาน	ความหวาน = 2.54(น้ำมะเกี๋ยง) + 7.72(น้ำหม่อน) + 50.61(น้ำตาล) - 4.51(น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำหม่อน) - 21.84 (น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำตาล)	0.95
ความกลมกล่อม	ความกลมกล่อม = 2.35(น้ำมะเกี๋ยง) + 10.75(น้ำหม่อน) + 31.15(น้ำตาล) - 7.007(น้ำมะเกี๋ยง) (น้ำหม่อน) - 1.06(น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำตาล)	0.93
ความชอบรวม	ความชอบรวม = 2.46(น้ำมะเกี๋ยง) + 5.91(น้ำหม่อน) + 50.05(น้ำตาล) + 0.19(น้ำมะเกี๋ยง) (น้ำหม่อน) - 23.21(น้ำมะเกี๋ยง)(น้ำตาล)	0.94

4.5 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์น้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม

จากสูตรที่เหมาะสมของน้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 นำมาบรรจุขวด ปิดฝา แล้วต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือดที่ระยะเวลา 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 นาที จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ตัวอย่างมีค่าความสว่างของสี (L) ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.10) ค่าความเข้มของสี (C) มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากความร้อนทำให้สารสีในน้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม ส่วนใหญ่เป็นสารแอนโทไซยานินถูกทำลาย จึงทำให้น้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่มมีสีอ่อนลงเล็กน้อย ค่าเฉลี่ย (h^*) เป็นสีม่วงถึงม่วงแดง และความขุ่นหนืด พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อ เนื่องจากน้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่มมีสารประกอบเพคตินซึ่งเป็นคอลลอยด์ เมื่อนำไปต้มฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเพคตินจะอยู่ในรูปของซอล (sol) คืออนุภาคของคอลลอยด์เป็นของแข็ง และตัวกลางเป็นของเหลว เมื่อปล่อยให้เย็นลงทำให้อนุภาคของคอลลอยด์เคลื่อนที่ได้ช้าลง ช่วยให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกาะตัวกัน ทำให้มีความขุ่นหนืดเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางเคมี เมื่อใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ และสารในกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแทนนิน และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด ลดลงมากที่สุดเมื่อใช้เวลาในการต้มฆ่าเชื่อนาน 6 นาที แสดงว่าอัตราการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาในการสัมผัสกับความร้อนนานขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของปีทมา (2552) ได้ศึกษาเวลาการต้มฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์น้ำหมอนเข้มข้นโดยเทคนิคการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณลดลงเมื่อใช้เวลาในการต้มฆ่าเชื่อนานขึ้น

เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ ตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และกลุ่มของเชื้อยีสต์และรา พบว่า เวลาที่ใช้ในการต้มฆ่าเชื้อทั้ง 3 ระดับ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดให้เหลือน้อยกว่า 25 cfu/ml ยีสต์และราให้เหลือน้อยกว่า 10 cfu/ml ซึ่งปลอดภัยในการบริโภคตามข้อกำหนดของเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่ระบุไว้ว่า ต้องตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1,000 cfu/ml และกลุ่มของยีสต์และราไม่เกิน 100 cfu/ml (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214/2543) ซึ่งผลิตภัณฑ์น้ำมะเขีงผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม จัดอยู่ในอาหารประเภทที่มีความเป็นกรด (acid food) ที่มี pH เท่ากับ 3.40 (ไพบูลย์, 2532) การฆ่าเชื้อในน้ำเดือด 2 นาที จึงเพียงพอสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำหมอนเข้มข้นบรรจุขวดขนาด 45 มิลลิลิตร สำหรับการรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่ในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่ามิฉะนั้นต่ำสุด (ตารางที่ 4.11)

ดังนั้นการต้มฆ่าเชื้อน้ำมะเกลือผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมต้มบรรจุขวดที่เหมาะสม คือใช้เวลา 4 นาที เนื่องจากสามารถทำลายจุลินทรีย์ให้อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับการบริโภค อีกทั้งยังคงมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญลดลงเล็กน้อย ได้แก่ สารประกอบฟีนอล สารแทนนิน และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (833.08 ± 0.05 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ร้อยละ 2.44 ± 0.06 และ 41.32 ± 1.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) แต่ไม่พบสารเคอร์ซีทิน ส่วนความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระวิธี DPPH ABTS และ FRAP ลดลงเล็กน้อย (0.118 ± 0.01 0.344 ± 0.02 และ 8.31 ± 0.04 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) และเมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการฆ่าเชื้อในน้ำเดือด 4 นาที ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนลักษณะคุณภาพทางด้านความกลมกล่อม และความชอบรวมสูงสุด (6.57 ± 1.55 และ 6.57 ± 1.16 ตามลำดับ) ในระดับชอบเล็กน้อย ด้านความหวานได้คะแนนรองลงมาจาก การต้มฆ่าเชื้อ 6 นาที ส่วนด้านกลิ่นและความเปรี้ยว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ โดยคงคุณค่าสารอาหารที่สำคัญของผลไม้และผลหมอนไว้ จึงมีการเติมน้ำตาลเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 10) เพื่อปรับปรุงรสชาติให้กลมกล่อม และเมื่อผ่านการต้มฆ่าเชื้อ 4 นาที สีของผลิตภัณฑ์ยังคงมีสีม่วงแดงเข้มใกล้เคียงกับสีน้ำหมอนและน้ำมะเกลือสด จากงานวิจัยของปีทมา (2552) ได้ศึกษาการผลิตน้ำหมอนเข้มข้นโดยเทคนิคการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าเมื่อทำการทดสอบชิมผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความข้นหนืด และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนความกลมกล่อมได้คะแนนการยอมรับ 5.7 ± 1.97 (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ) เนื่องจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีปริมาณกรดทั้งหมด ร้อยละ 5.32 ± 0.24 และไม่มีการเติมน้ำตาล จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติเปรี้ยว ในขณะที่ผลิตภัณฑ์น้ำหมอนสกัดเข้มข้นเสริมเกสรดอกไม้จากผึ้ง พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัส อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (สมชาย และคณะ, 2553)

เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตน้ำมะเกลือผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมต้ม ซึ่งบรรจุในขวดแก้วปิดฝาเกลียวขนาด 45 มิลลิลิตร โดยคำนวณจากต้นทุนของผลไม้ ส่วนผสมอื่นๆ เอนไซม์เพคตินเนส น้ำหล่อเย็น พลังงานไฟฟ้า บรรจุภัณฑ์ และค่าแก๊สหุงต้ม แล้วบวกเพิ่มอีกร้อยละ 30 เพื่อเป็นค่าแรงงาน ค่าเสื่อมราคา และค่าการจัดการ รวมต้นทุนเป็น 9.55 บาท/ขวด

ตารางที่ 4.10 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของน้ำมะเข็ญผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้น พร้อมดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่เวลาแตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ ¹	เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (นาที)		
	2	4	6
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าสี L (ความสว่าง)	14.10 ^c ± 0.05	14.21 ^b ± 0.04	14.38 ^a ± 0.06
C (ความเข้มสี) ^{ns}	18.13 ± 0.42	17.93 ± 0.06	17.73 ± 0.07
h* (ช่วงสี)	339.60 ^a ± 0.10	338.63 ^b ± 0.06	338.40 ^b ± 0.02
ความเข้มสี (ร้อยละ)	0.424 ^a ± 0.01	0.367 ^b ± 0.01	0.338 ^c ± 0.01
ความขุ่นหนืด (เซนติพอยต์)	2.54 ^b ± 0.03	2.75 ^a ± 0.19	2.78 ^a ± 0.04
คุณภาพทางเคมี			
ความเป็นกรด-ด่าง ^{ns} (pH)	3.40 ± 0.00	3.40 ± 0.00	3.40 ± 0.00
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	1.36 ^a ± 0.03	1.33 ^b ± 0.10	1.30 ^c ± 0.05
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	25.90 ^a ± 0.10	25.67 ^b ± 0.06	25.23 ^c ± 0.06
Brix acid ratio (องศาบริกซ์ : ร้อยละ)	19.0 : 1	19.3 : 1	19.4 : 1
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	24.91 ^c ± 0.32	25.37 ^{ab} ± 0.02	25.56 ^a ± 0.04
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	75.09 ^a ± 0.32	74.63 ^{ab} ± 0.02	74.44 ^b ± 0.04
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	840.25 ^a ± 0.01	833.08 ^b ± 0.05	820.75 ^c ± 0.01
ปริมาณแทนนิน (ร้อยละ)	2.50 ^a ± 0.02	2.44 ^a ± 0.06	2.06 ^b ± 0.06
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	59.51 ^a ± 1.50	41.32 ^b ± 1.10	30.00 ^c ± 1.07
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ			
วิธี DPPH (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	0.160 ^a ± 0.01	0.118 ^b ± 0.01	0.103 ^c ± 0.01
วิธี ABTS (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	0.378 ^a ± 0.01	0.344 ^{ab} ± 0.02	0.335 ^b ± 0.01
วิธี FRAP (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร)	8.37 ^a ± 0.05	8.31 ^a ± 0.04	8.00 ^b ± 0.03
คุณภาพทางจุลินทรีย์			
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/ml)	<25	<25	<25
จำนวนยีสต์และรา (cfu/ml)	<10	<10	<10

หมายเหตุ : 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05), : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 4.11 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมะกึ่งผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่เวลาแตกต่างกัน

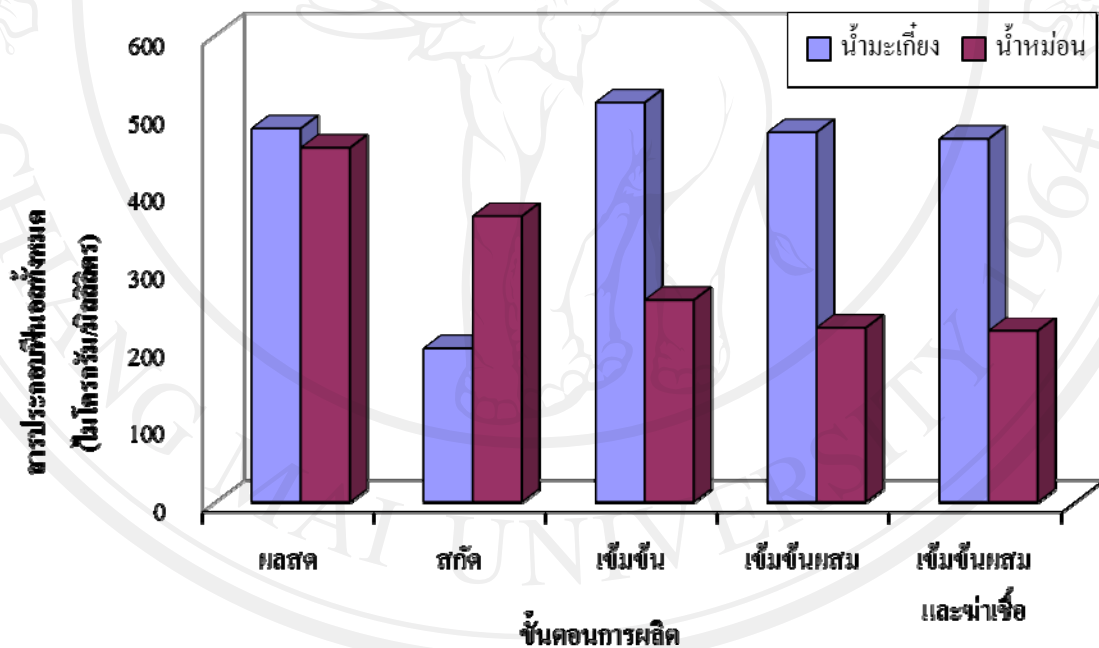
ลักษณะคุณภาพ ทางประสาทสัมผัส ¹	เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (นาที)		
	2	4	6
กลิ่น ^{ns}	6.36 ± 1.05	6.36 ± 1.55	6.43 ± 2.06
ความเปรี้ยว ^{ns}	5.86 ± 2.18	6.79 ± 1.19	6.50 ± 1.51
ความหวาน	5.21 ^b ± 2.12	6.36 ^{ab} ± 1.28	6.43 ^a ± 1.55
ความกลมกล่อม	5.50 ^b ± 1.99	6.57 ^a ± 1.55	6.50 ^a ± 1.65
ความชอบรวม	5.17 ^b ± 1.82	6.57 ^a ± 1.16	6.21 ^{ab} ± 1.53

หมายเหตุ : 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

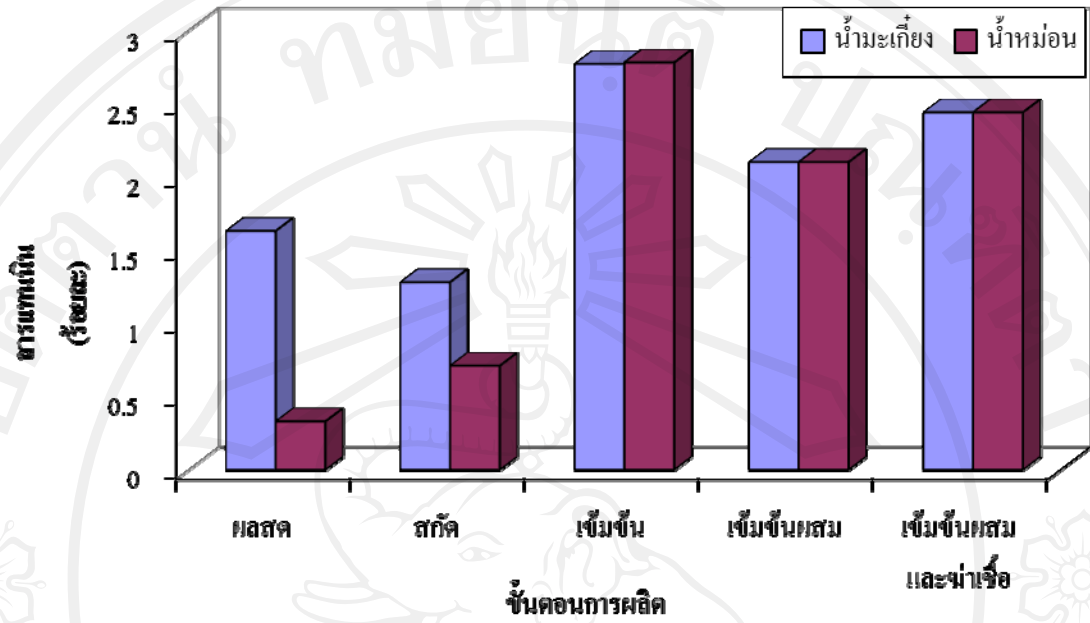
: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณคงเหลือของสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ในขั้นตอนการผลิตน้ำมะกึ่งผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่มโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตน้ำมะกึ่งผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม กับผลมะกึ่งสดและผลหม่อนสด พบว่า ในขั้นตอนการสกัดน้ำมะกึ่งหรือน้ำหม่อนนั้นปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลงเล็กน้อย อาจติดไปกับกากตอตันด้วยเครื่องคั้นแบบไฮดรอลิก ในขณะที่ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระจะเพิ่มสูงขึ้นในขั้นตอนของการทำน้ำมะกึ่งและน้ำหม่อนให้เข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่ต่ำลงจากจุดเดือดของน้ำในการระเหยน้ำออก คือใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความดัน -0.94 บาร์ ทำให้ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ส่วนในขั้นตอนของการนำน้ำมะกึ่งเข้มข้นร้อยละ 60 มาผสมกับน้ำหม่อนเข้มข้นร้อยละ 30 และเติมน้ำตาลลงไปอีกร้อยละ 10 เพื่อปรับปรุงรสชาตินั้น พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ จะลดลงไปตามสัดส่วนของน้ำมะกึ่งและน้ำหม่อนเข้มข้นที่ผสมกัน ส่วนในขั้นตอน

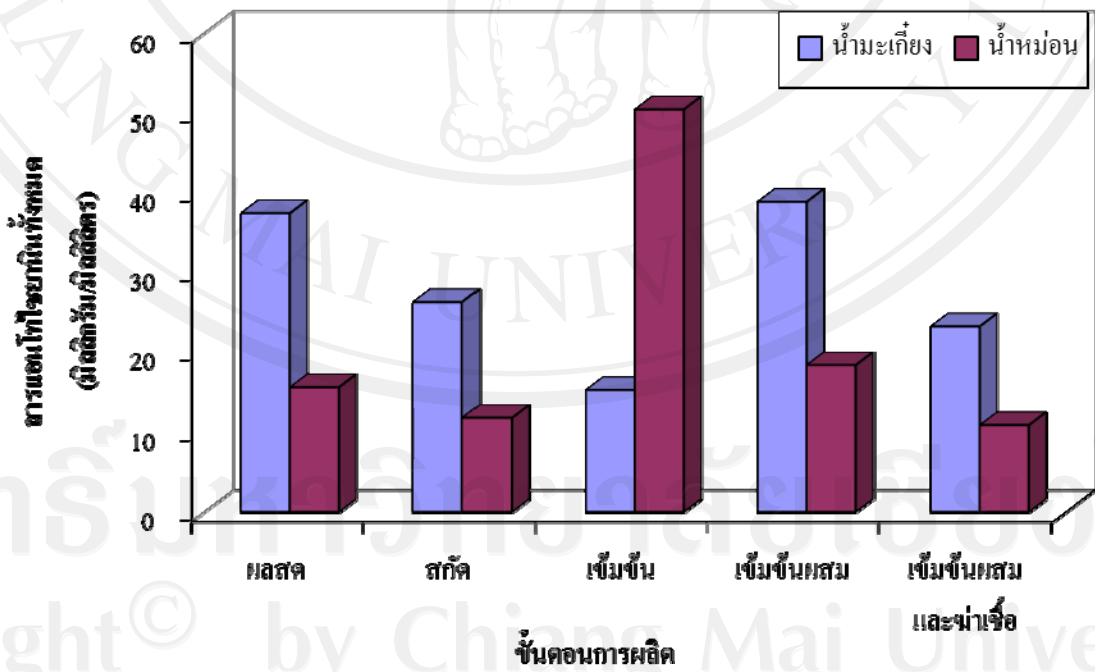
การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำมะกึ่งผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม นั้น พบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลงไปอีก เนื่องจากสัมผัสกับอุณหภูมิน้ำเดือดที่สูงถึง 100 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที ส่วนสารเคอร์ซีทีน ตรวจไม่พบในน้ำมะกึ่ง แต่พบเฉพาะในผลหมอนสดเท่านั้น (ตารางที่ 4.12) และเมื่อน้ำหมอนสดสัมผัสความร้อนเมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ ส่งผลให้สารเคอร์ซีทีนเกิดการสลายตัว ทำให้ไม่สามารถตรวจพบสารเคอร์ซีทีนในขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำมะกึ่งผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้น (รูปที่ 4.4 – 4.9)



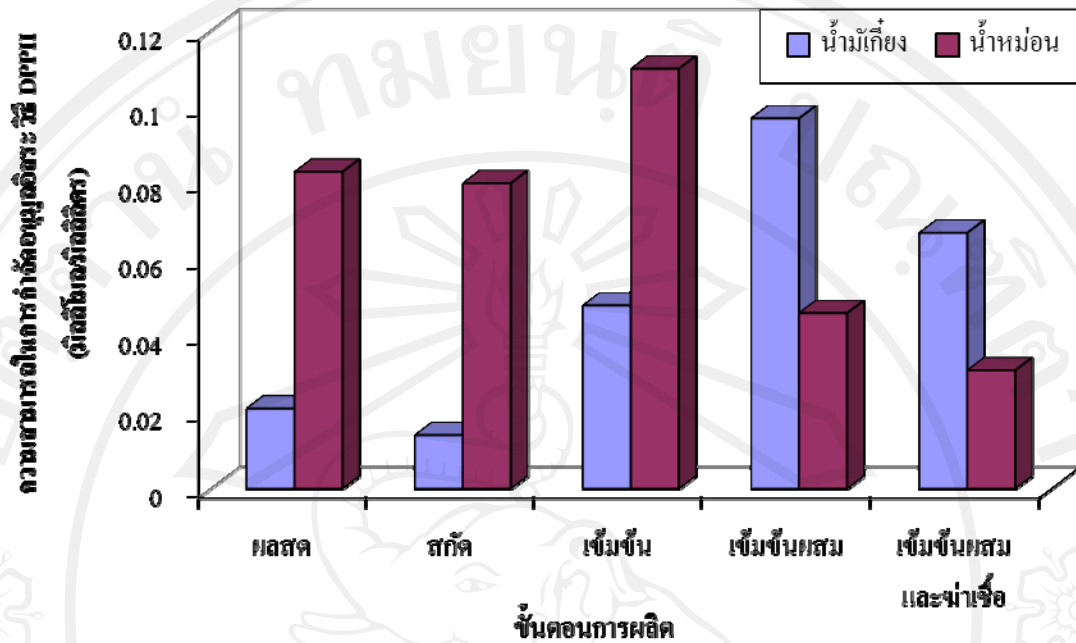
รูปที่ 4.4 ปริมาณคงเหลือของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในน้ำมะกึ่งผสมน้ำหมอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม จากขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ



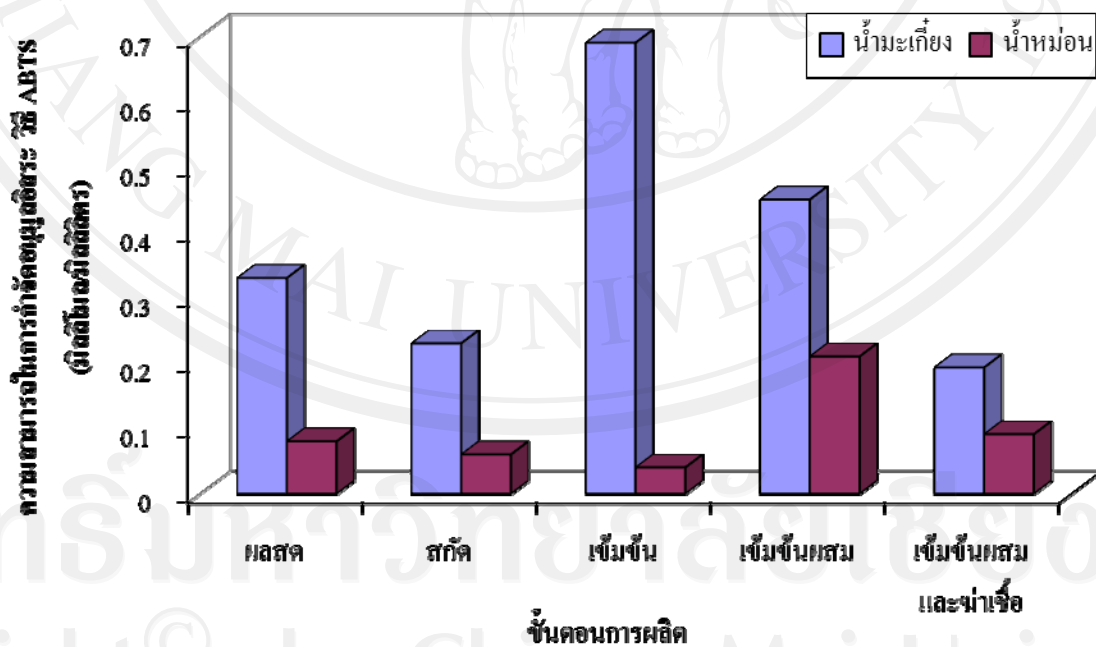
รูปที่ 4.5 ปริมาณคงเหลือของสารแทนนิน ในน้ำมะเกี๋ยงผสมน้ำห่มอนสกัดเข้มข้นดื่ม จากขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ



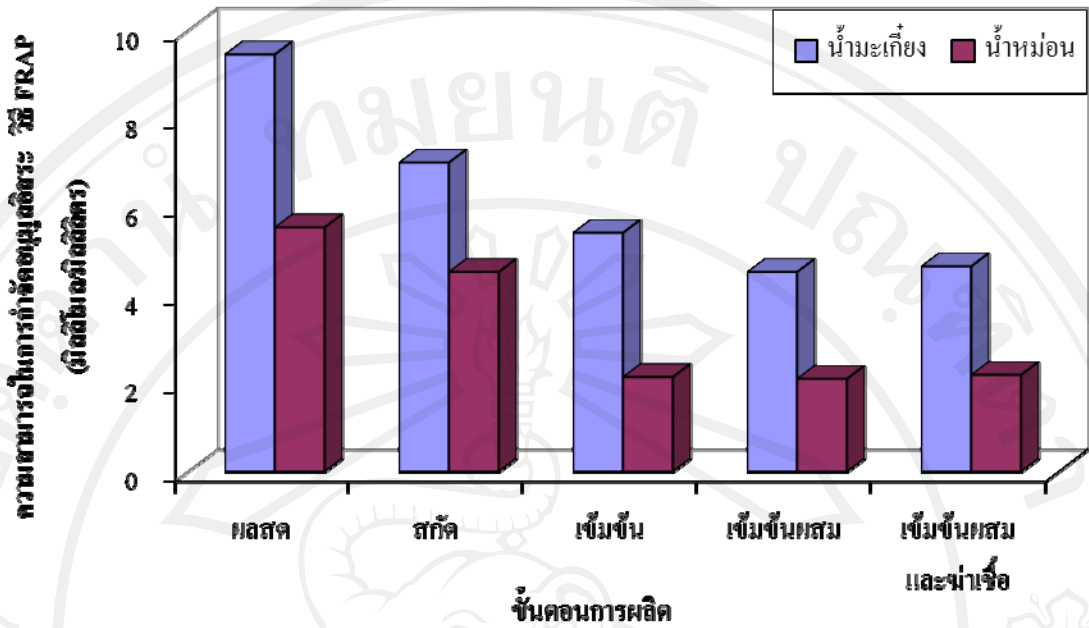
รูปที่ 4.6 ปริมาณคงเหลือของสารแอนโทไซยานินทั้งหมด ในน้ำมะเกี๋ยงผสมน้ำห่มอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม จากขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 ปริมาณคงเหลือของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH) ในน้ำมะเขี๋ยผสมน้ำห่มอนสกัดเข้มข้นดื่ม จากขั้นตอนการผลิตต่างๆ



รูปที่ 4.8 ปริมาณคงเหลือของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิธี ABTS) ในน้ำมะเขี๋ยผสมน้ำห่มอนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม จากขั้นตอนการผลิตต่างๆ



รูปที่ 4.9 ปริมาณคงเหลือของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (วิธี FRAP) ในน้ำมะเกลือผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม จากขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ

ตารางที่ 4.12 ปริมาณคงเหลือของสารเคอร์ซีทิน ในน้ำมะเกลือผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม จากขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ

ขั้นตอนการผลิต	ปริมาณสารเคอร์ซีทิน (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	
	น้ำมะเกลือ	น้ำหม่อน
ผลสด	ตรวจไม่พบ	75.1
การสกัด	ตรวจไม่พบ	ไม่ได้วิเคราะห์
การทำเข้มข้น	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
การผสมน้ำมะเกลือผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
การฆ่าเชื้อน้ำมะเกลือผสมน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นพร้อมดื่ม	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ