บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้แบบใสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน ในการกำหนดลักษณะคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญ โดยใช้แบบทดสอบชิมดังภาคผนวก ข ได้ผลดังนี้

ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพัฒนา ได้แก่

1. ลักษณะที่ปรากฏภายนอก	ผู้บริโภค 14 คน บอกว่าควรเป็น สี
	ผู้บริโภค 15 คน บอกว่าควรเป็น ความใส
2. กลิ่นและรสชาติ	ผู้บริโภค 13 คน บอกว่าควรเป็น กลิ่น
	ผู้บริโภค 15 คน บอกว่าควรเป็น รสหวาน
	ผู้บริโภค 14 คน บอกว่าควรเป็น รสเปรี้ยว
	ผู้บริโภค 7 คน บอกว่าควรเป็น รสเค็ม

จากข้อมูลข้างต้นแสดงว่าลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ได้แก่

1. สีของผลิตภัณฑ์
2. ความใสของผลิตภัณฑ์
3. ผลิตภัณฑ์ควรมีกลิ่นของผักและผลไม้
4. ผลิตภัณฑ์ควรมีรสหวาน
5. ผลิตภัณฑ์ควรมีรสเปรี้ยว

ส่วนรสเค็มของผลิตภัณฑ์นั้นจะไม่ถือว่าเป็นลักษณะที่สำคัญ เนื่องจากผู้บริโภคจำนวนน้อย (ประมาณร้อยละ 46.67) ที่ให้ความสำคัญ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเค้าโครงสัดส่วน (Ratio Profile Test) ทำโดยการวัดความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดตำแหน่งของ ตัวอย่าง (Sample) แล้วนำมาหารด้วยค่าความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดแสดงตำแหน่งที่เหมาะสม (Ideal) นำค่าสัดส่วนที่ได้ของผู้ชิมแต่ละคนในลักษณะเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยที่ได้นำมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่าง ๆ ให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ตลอดจนสามารถบอกความต้องการของผู้บริโภคในเชิงปริมาณได้

การแปลความหมายของค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ค่าสัดส่วนเฉลี่ย

ถ้าสัดส่วนเท่ากับ 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลง เป็นลักษณะที่ดีเท่ากับลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภคในอุดมคติ

ถ้าสัดส่วนมากกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้น ๆ มีความจำเป็นต้องลดความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้น ๆ ลง

ถ้าสัดส่วนน้อยกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้น ๆ มีความจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้น ๆ ขึ้น

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 หมายความว่า ผู้บริโภคมีความเห็นตรงกันหรือพ้องกัน

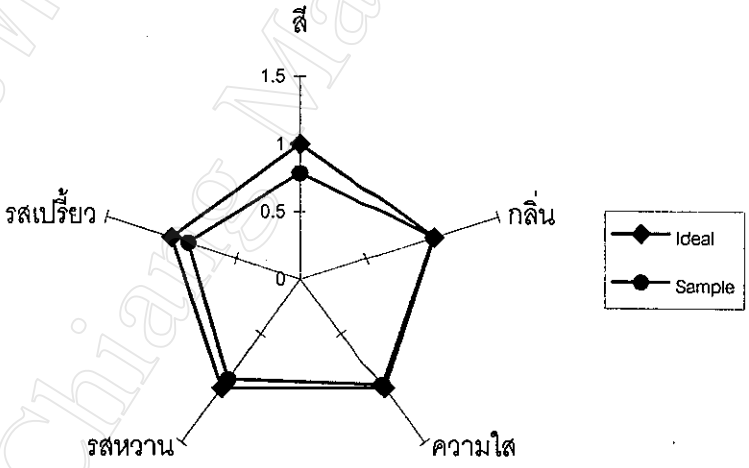
ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 หมายความว่า ผู้บริโภคมีความเห็นต่างกันบ้าง

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 หมายความว่า ผู้บริโภคมีความเห็นต่างกันมาก ในกรณีนี้จะต้องพิจารณาด้วยความรอบคอบ ต้องมีเหตุผลอื่นประกอบก่อนที่จะตัดสินใจดำเนินการต่อไป

ข้อมูลจากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ เมื่อนำมาหาค่าสัดส่วนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ค่าดังตารางที่ 4.1 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะและค่าสัดส่วนอุดมคติจะถูกนำมาสร้างเป็นแผนภาพเค้าโครง (Profile) ในรูปแบบกราฟใยแมงมุม แสดงดังภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์

ลักษณะสำคัญ	ค่าสัดส่วนเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สีของผลิตภัณฑ์	0.79	0.36
ความใส	0.97	0.37
กลิ่น	1.00	0.14
รสหวาน	0.92	0.17
รสเปรี้ยว	0.87	0.25



ภาพที่ 4.1 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของน้ำผักผสมผลไม้ในท้องตลาด (ตรายูนิฟ)

จากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในครั้งแรก จะสามารถกำหนดค่าอุดมคติถาวร (Fixed ideals) ของแต่ละลักษณะได้ โดยการนำค่าอุดมคติของลักษณะเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจุดอุดมคติถาวรนี้จะนำไปใช้ตลอดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครั้งนี้

4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์เพคติเนสต่อการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้

4.1.1 ผลของเอนไซม์เพคติเนสต่อการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิด

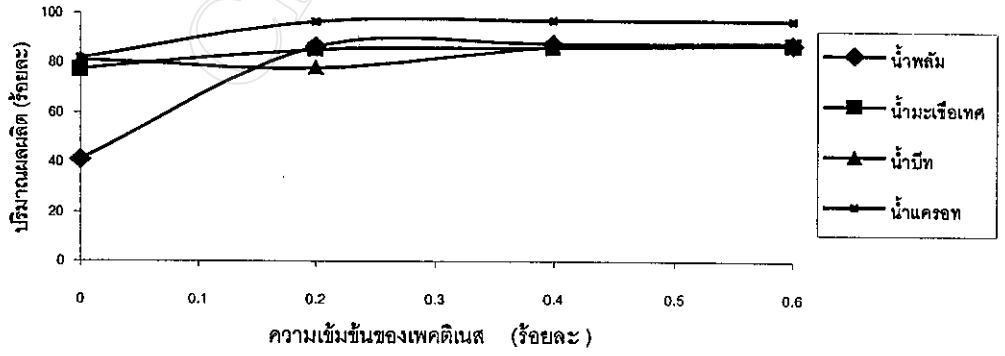
เมื่อเติมเอนไซม์เพคติเนสลงไปในน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิด ได้แก่ น้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท ในความเข้มข้นร้อยละ 0.0, 0.2, 0.4 และ 0.6 (v/w) แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที จึงยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำเดือด น้ำผักและน้ำผลไม้ที่ได้จะนำมาหาปริมาณผลผลิตและวัดความหนืด ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยของน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดเมื่อทำการสกัดด้วยเพคติเนสที่ความเข้มข้นต่างกัน

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)			
		น้ำพลัม	น้ำมะเขือเทศ	น้ำบีท	น้ำแครอท
1	0.0	41.06 ± 0.77^{b}	77.47 ± 1.19^{c}	81.00 ± 4.40^{bc}	81.89 ± 0.44^{b}
2	0.2	86.50 ± 0.86^{a}	85.25 ± 0.23^{b}	77.83 ± 3.02^{c}	96.47 ± 0.51^{a}
3	0.4	87.67 ± 1.89^{a}	86.09 ± 0.20^{ab}	86.13 ± 3.59^{ab}	97.07 ± 0.21^{a}
4	0.6	87.39 ± 0.92^{a}	87.39 ± 0.44^{a}	88.25 ± 1.72^{a}	97.01 ± 0.28^{a}

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตของน้ำผักและน้ำผลไม้เมื่อใช้เพคติเนสในระดับความเข้มข้นต่างกัน

ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสต่อร้อยละปริมาณผลผลิต (%Yield) ของน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิด จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เอนไซม์เพคติเนสสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตในการสกัดน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท โดยเฉพาะในน้ำพลัมซึ่งให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าเปรียบเทียบกับเมื่อไม่ใช้เอนไซม์ ผลของเอนไซม์เพคติเนสต่อการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณเพคตินที่เป็นองค์ประกอบในเซลล์ของผักและผลไม้ชนิดนั้น ๆ รวมถึงสภาวะที่ใช้ในการสกัด เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ยังส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสด้วย จากผลการทดลองเอนไซม์เพคติเนสมีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตของน้ำพลัมมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพลัมเป็นผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินสูง เอนไซม์เพคติเนสที่เติมลงไป จึงย่อยสลายเพคติน ทำให้ปริมาณผลผลิตในการสกัดเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) พบว่า เอนไซม์เพคติเนสสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำพลัมและน้ำแครอทได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้เอนไซม์ แต่การใช้เอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.2 ถึง 0.6 ไม่ให้ปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 4.2

สำหรับน้ำมะเขือเทศ พบว่า เอนไซม์เพคติเนสสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้เอนไซม์ โดยเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด อย่างไรก็ตาม การใช้เอนไซม์ในระดับนี้ไม่ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เมื่อเทียบกับที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ก็ให้ปริมาณผลผลิตที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 4.2

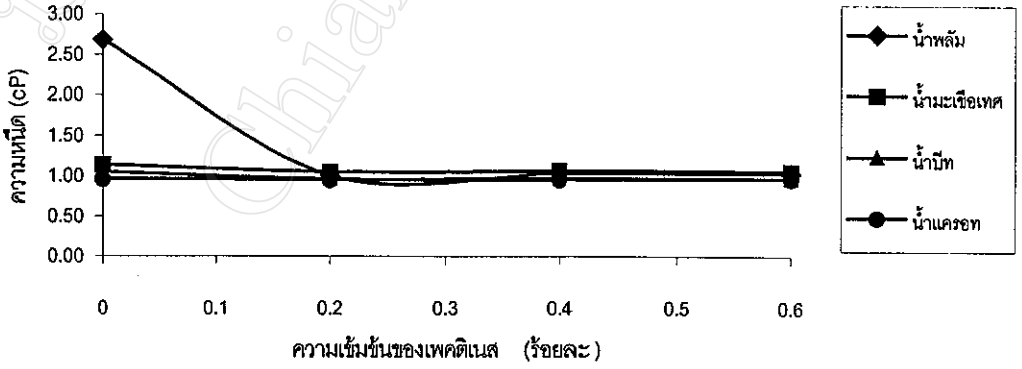
ในกรณีของน้ำบีท พบว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสร้อยละ 0.6 จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด แต่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.4 และ 0.6 ปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่จะแตกต่างกับที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.2

นอกจากเอนไซม์เพคติเนสจะสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตแล้ว ยังทำให้น้ำผลไม้มีความใสมากขึ้น และมีความหนืดลดลง ทำให้ง่ายต่อการสกัด ผลของเอนไซม์เพคติเนสต่อความหนืดของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความหนืดเฉลี่ยของน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดเมื่อใช้เพคติเนสความเข้มข้นต่างกัน

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ)	ความหนืด (cP)			
		น้ำพลัม	น้ำมะเขือเทศ	น้ำบีท	น้ำแครอท
1	0.0	2.681 ± 0.128^{a}	1.134 ± 0.005^{a}	1.047 ± 0.012^{a}	0.961 ± 0.006
2	0.2	1.006 ± 0.007^{b}	1.049 ± 0.006^{b}	0.964 ± 0.022^{b}	0.950 ± 0.002
3	0.4	1.031 ± 0.010^{b}	1.063 ± 0.007^{b}	0.971 ± 0.012^{b}	0.956 ± 0.007
4	0.6	1.035 ± 0.010^{b}	1.056 ± 0.026^{b}	0.967 ± 0.007^{b}	0.965 ± 0.009

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉลี่ยของน้ำผักและน้ำผลไม้เมื่อใช้เพคติเนสในระดับความเข้มข้นต่างกัน

ภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์เพคติเนสสามารถลดความหนืดของน้ำผักและน้ำผลไม้ โดยเฉพาะในน้ำพลัม ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์จะเข้าไปย่อยสลายเพคติน (vicous soluble pectin) ในผักและผลไม้ ส่งผลให้น้ำผักและน้ำผลไม้มีความหนืดลดลง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD พบว่า เอนไซม์เพคติเนสสามารถลดความหนืดของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ และน้ำบีทลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้เอนไซม์ แต่การใช้เอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.2 ถึง 0.6 ให้ค่าความหนืดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับน้ำแครอท พบว่า เอนไซม์เพคติเนสไม่มีผลต่อความหนืดของน้ำแครอทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

การทดลองในขั้นต่อไปเป็นการศึกษาหาความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส และเวลาที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิด โดยช่วงความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสที่เลือกมาศึกษา จะผันแปรในช่วงที่แคบลงและอาจต่างกันสำหรับน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับข้อมูลด้านปริมาณผลผลิตและความหนืดของน้ำผักและน้ำผลไม้ที่ได้จากการทดลองในขั้นต้น โดยน้ำพลัมและน้ำแครอท เลือกความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.1 ถึง 0.3 น้ำมะเขือเทศและน้ำบีท เลือกความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.3 ถึง 0.5 ส่วนเวลาที่ใช้ในการบ่ม จะศึกษาในช่วง 120 ถึง 180 นาทีสำหรับน้ำผักและน้ำผลไม้ทุกชนิด

4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้

ในการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงผลของการใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการสกัดน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท โดยพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณผลผลิต และการลดลงของความหนืด การทดลองนี้จะนำเอาข้อมูลจากตอนที่แล้วมาศึกษาให้ละเอียดขึ้น โดยผันแปรระดับของความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสให้แคบลง รวมถึงศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการบ่มน้ำผักและน้ำผลไม้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิด น้ำผักและน้ำผลไม้ที่เติมเอนไซม์และทำการบ่มจนครบตามเวลาที่กำหนดจะนำมายับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำเดือด จึงหาปริมาณผลผลิตและวัดความหนืด ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 ปริมาณผลผลิตของน้ำผักและน้ำผลไม้เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของเพคติเนส (ร้อยละ)	เวลาในการบ่ม (นาที)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	
		น้ำพลัม	น้ำแครอท
0.1	120	94.97	96.79
0.3	120	94.94	97.42
0.1	180	94.95	97.57
0.3	180	95.05	97.61
0.2	150	95.17	96.91
0.2	150	95.25	97.64
0.2	150	95.37	97.38

ตารางที่ 4.4 ปริมาณผลผลิตของน้ำผักและน้ำผลไม้เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ความเข้มข้นของเพคติเนส (ร้อยละ)	เวลาในการบ่ม (นาที)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	
		น้ำมะเขือเทศ	น้ำบีท
0.3	120	88.31	80.45
0.5	120	89.35	93.13
0.3	180	88.87	81.35
0.5	180	89.72	84.13
0.4	150	89.29	84.13
0.4	150	88.91	83.76
0.4	150	88.78	85.92

ตารางที่ 4.5 ความหนืดของน้ำผักและน้ำผลไม้เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของเพคติเนส (ร้อยละ)	เวลาในการบ่ม (นาที)	ความหนืด (cP)	
		น้ำพลัม	น้ำแครอท
0.1	120	0.952 ± 0.005	0.935 ± 0.005
0.3	120	0.974 ± 0.008	0.948 ± 0.005
0.1	180	0.965 ± 0.007	0.946 ± 0.004
0.3	180	0.967 ± 0.007	0.941 ± 0.002
0.2	150	0.974 ± 0.011	0.953 ± 0.002
0.2	150	0.968 ± 0.004	0.949 ± 0.001
0.2	150	0.978 ± 0.007	0.960 ± 0.002

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.5 ความหนืดของน้ำผักและน้ำผลไม้เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ความเข้มข้นของเพคติเนส (ร้อยละ)	เวลาในการบ่ม (นาที)	ความหนืด (cP)	
		น้ำมะเขือเทศ	น้ำบีท
0.3	120	1.003 ± 0.005	0.985 ± 0.007
0.5	120	1.033 ± 0.006	0.995 ± 0.002
0.3	180	1.009 ± 0.000	0.979 ± 0.004
0.5	180	0.998 ± 0.002	0.957 ± 0.003
0.4	150	1.022 ± 0.003	0.976 ± 0.003
0.4	150	1.010 ± 0.000	0.972 ± 0.001
0.4	150	0.992 ± 0.000	0.972 ± 0.003

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสที่ใช้และเวลาในการบ่ม) กับตัวแปรตาม (ปริมาณผลผลิตและความหนืด) โดยอธิบายในรูปสมการถดถอย (Multiple Regression) สมการความสัมพันธ์ที่ได้จะต้องเป็นสมการที่มีนัยสำคัญ (Significant equations) เนื่องจากสมการถดถอยที่ได้เป็นสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส จึงต้องทำการถอดรหัส (Decoding) ก่อน การถอดรหัสสมการสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional หรือคำนวณด้วยตัวเอง กล่าวคือ

$$\text{ปัจจัยที่ไม่ได้ถอดรหัส} = \frac{\text{ค่าจริง} - [\text{ค่าที่ระดับสูง} + \text{ค่าที่ระดับต่ำ}] / 2}{[\text{ค่าที่ระดับสูง} - \text{ค่าที่ระดับต่ำ}] / 2}$$

ปริมาณผลผลิต และความหนืดของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอทที่ได้จากการทดลองตอนนี้ เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสมการ Regression ปรากฏว่าได้สมการที่มีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.6 เมื่อทำการถอดรหัสสมการแล้ว ได้สมการดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 สมการปริมาณผลผลิตและความหนืดที่มีนัยสำคัญของของน้ำผักและน้ำผลไม้

น้ำผัก/น้ำผลไม้	สมการ (Coded)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R^2
น้ำพลัม	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	$95.2633 - 0.28583\ A^2$	R^2=0.8016
น้ำมะเขือเทศ	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	89.0329 + 0.47250 A + 0.23250 B	R^2=0.8133
น้ำบีท	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	84.8714 + 4.17250 A – 1.71750 B – 2.16750 AB	R^2=0.9410
	ความหนืด (cP)	0.97657 – 0.01100 B – 0.00800 AB	R^2=0.8187
น้ำแครอท	ความหนืด (cP)	$0.95400 - 0.01150\ A^2$	R^2=0.4981

หมายเหตุ A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส โดยมีค่าในช่วงร้อยละ 0.1 - 0.3 สำหรับน้ำพลัมและน้ำแครอท และมีค่าในช่วงร้อยละ 0.3 - 0.5 สำหรับน้ำมะเขือเทศและน้ำบีท

B แทน เวลาในการบ่ม โดยมีค่าในช่วง 120 - 180 นาที

ตารางที่ 4.7 สมการปริมาณผลผลิตและความหนืดที่ได้จากการ Decoding แล้ว

น้ำผัก/น้ำผลไม้	สมการ (Decoded)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R^2
น้ำพลัม	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	$94.11998 + 11.4332\ A - 28.583\ A^2$	R^2=0.8016
น้ำมะเขือเทศ	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	85.9804 + 4.725 A + 0.00775 B	R^2=0.8133
น้ำบีท	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	33.4189 + 150.1 A + 0.23175 B – 0.7225 AB	R^2=0.9410
	ความหนืด (cP)	$0.87157 + 0.4\ A + 7.0\times10^{-4}\ B - 0.00267\ AB$	R^2=0.8187
น้ำแครอท	ความหนืด (cP)	$0.908 + 0.46\ A - 1.15\ A^2$	R^2=0.4981

หมายเหตุ A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส โดยมีค่าในช่วงร้อยละ 0.1 - 0.3 สำหรับน้ำพลัมและน้ำแครอท และมีค่าในช่วงร้อยละ 0.3 – 0.5 สำหรับน้ำมะเขือเทศและน้ำบีท

B แทน เวลาในการบ่ม โดยมีค่าในช่วง 120 – 180 นาที

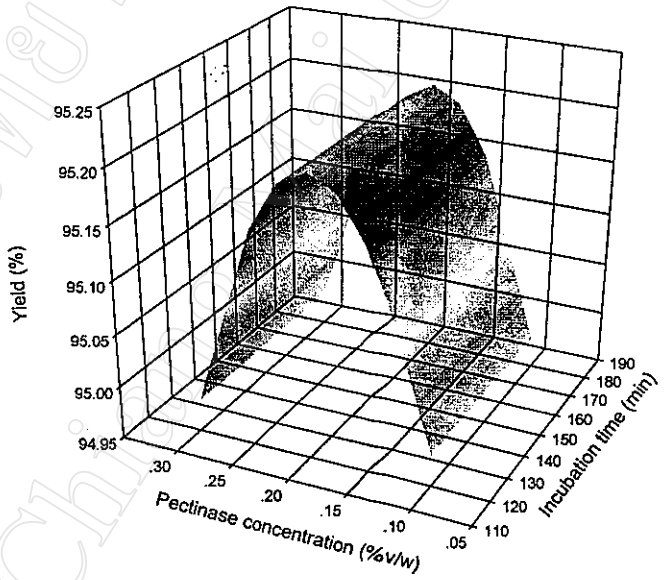
จากสมการที่ทำการ Decoding แล้ว (ตารางที่ 4.7) แสดงให้เห็นว่าปริมาณผลผลิตของน้ำพลัมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสเพียงอย่างเดียว โดยความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสมีผลแบบกำลังสอง (Quadratic effect) ต่อปริมาณผลผลิต ส่วนเวลาที่ใช้ในการบ่มนั้น

ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำพลัม กล่าวคือ ไม่ว่าจะใช้ความยาวนานของเวลาในการบ่มเท่าไร ในช่วง 120 ถึง 180 นาที จะส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำพลัมเท่า ๆ กัน ส่วนสมการความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตของน้ำมะเขือเทศ พบว่า ทั้งความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อปริมาณผลผลิต และตัวแปรทั้งสองมีผลแบบเส้นตรง (Linear effect) ต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมะเขือเทศ ในกรณีของน้ำบีท พบว่า นอกจากความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาในที่ใช้การบ่มจะมีผลแบบเส้นตรงต่อปริมาณผลผลิตแล้ว ความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ยังมีผลต่อปริมาณผลผลิตด้วย ในด้านความหนืดของน้ำบีท พบว่า เวลาที่ใช้ในการบ่ม และ interaction ของความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อความหนืด สำหรับสมการความหนืดของน้ำแครอทนั้น อธิบายได้ว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสมีผลแบบกำลังสองต่อความหนืด อย่างไรก็ตามสมการความหนืดของน้ำแครอทนั้นมีค่า R^2 ค่อนข้างต่ำ แสดงว่าสมการนี้ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของชุดข้อมูลนี้ได้ไม่ค่อยดีนัก

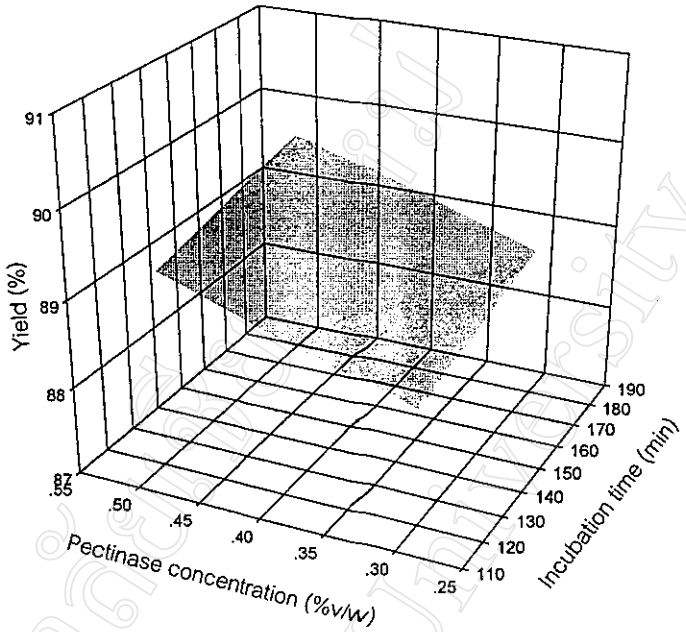
สมการถดถอยที่ได้ทั้งหมดจะทำการ optimization เพื่อหาความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการบ่มที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิด พบว่าในกรณีของน้ำพลัม การใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด ส่วนเวลาที่ใช้ในการบ่มไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิต ในการสกัดน้ำมะเขือเทศ พบว่า ความเข้มข้นของเพคติเนสที่ร้อยละ 0.5 และเวลาในการบ่ม 180 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ในการสกัดน้ำบีท พบว่า เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และเวลาในการบ่ม 120 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด แต่เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เวลาในการบ่ม 180 นาที น้ำบีทจะมีความหนืดต่ำสุด สำหรับการสกัดน้ำแครอท พบว่า เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และร้อยละ 0.3 จะให้น้ำแครอทที่มีความหนืดต่ำสุด ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ร้อยละ 0.1 เพื่อลดต้นทุนการผลิต สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.8 และพื้นที่การตอบสนองของสมการต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.4 ถึง 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท

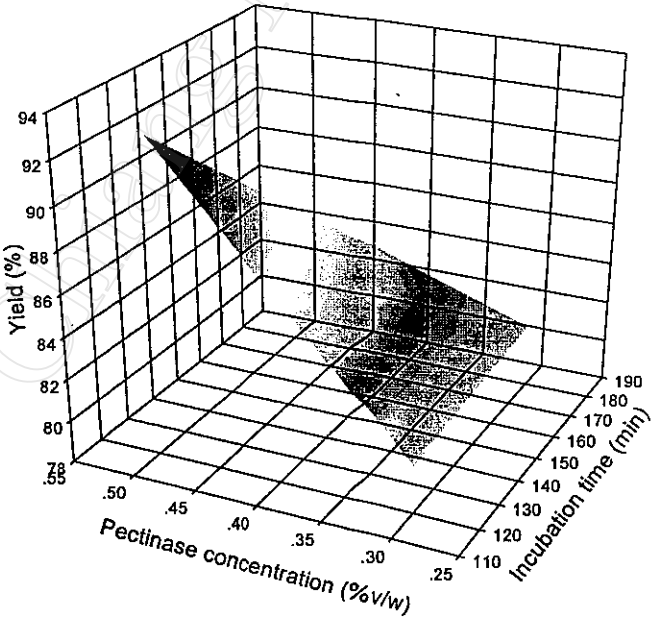
น้ำผักหรือผลไม้	ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ)	เวลาที่ใช้ในการบ่ม (นาที)
น้ำพลัม	0.2	120
น้ำมะเขือเทศ	0.5	180
น้ำบีท	0.5	150
น้ำแครอท	0.1	120



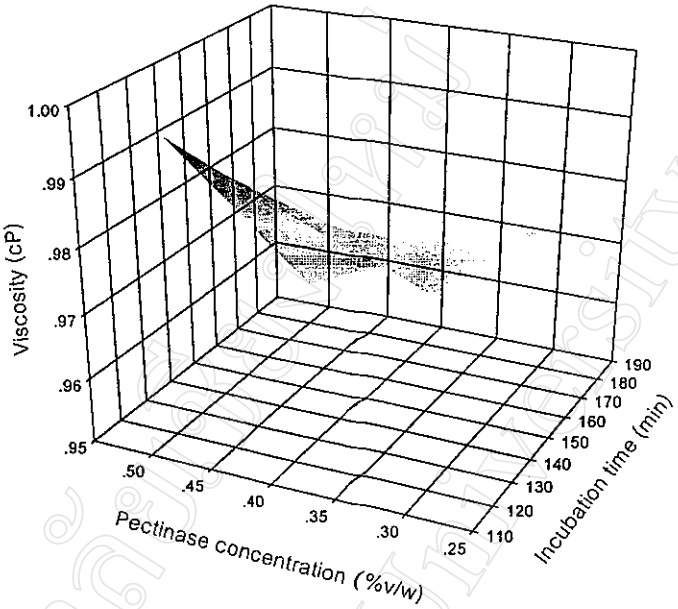
ภาพที่ 4.4 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณผลผลิตน้ำพลัมเมื่อใช้เอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการบ่มต่างกัน



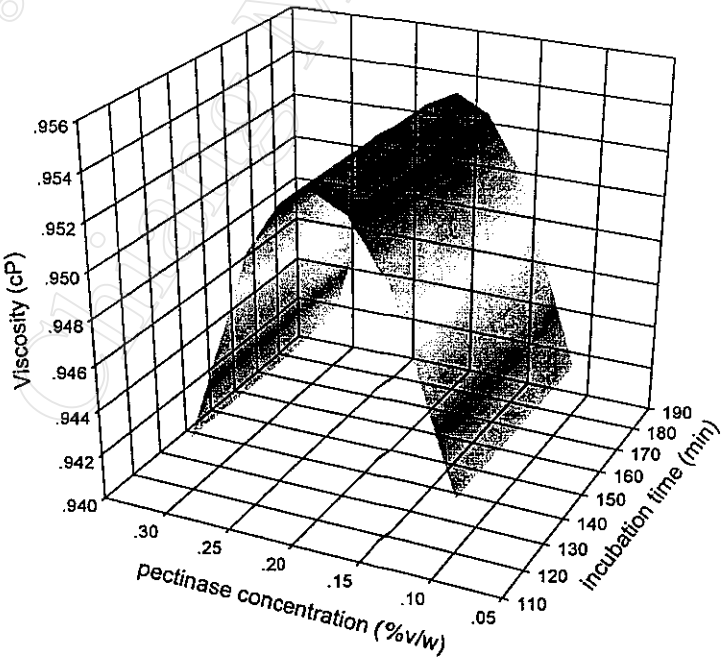
ภาพที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณผลผลิตน้ำมะเขือเทศเมื่อใช้เอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการบ่มต่างกัน



ภาพที่ 4.6 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณผลผลิตน้ำบีทเมื่อใช้เอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการบ่มต่างกัน



ภาพที่ 4.7 พื้นที่การตอบสนองของความหนืดของน้ำบีทเมื่อใช้เอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการบ่มต่างกัน



ภาพที่ 4.8 พื้นที่การตอบสนองของความหนืดของน้ำแครอทเมื่อใช้เอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการบ่มต่างกัน

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสมที่จะใช้ในสูตรการผลิต

เมื่อนำสูตรการผลิตทั้ง 4 สูตร ไปทำการผลิตน้ำผักผสมผลไม้ โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคคงที่ในทุกสูตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัส นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statisitix version 4.0 เพื่อหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Regression) ระหว่างตัวแปร และใช้โปรแกรม POM ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ในการหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดของน้ำผักและน้ำผลไม้ ทั้งนี้อัตราส่วนดังกล่าวจะต้องอยู่ในข้อจำกัด (Constrains) ที่ตั้งไว้ โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Lag range ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จาก Mixture Design

สูตร	ค่าสี		
	L	a	b
1	49.25 ± 2.53	47.01 ± 0.80	29.34 ± 0.59
2	55.69 ± 1.27	40.30 ± 1.59	27.84 ± 1.04
3	60.32 ± 0.49	35.55 ± 0.61	24.07 ± 0.53
4	57.51 ± 3.60	36.95 ± 3.76	28.97 ± 2.12

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.9 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสูตรทั้ง 4 มีค่าสี L, a, b ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดที่ใช้ในสูตร โดยค่าสี L (ความสว่าง) จะมีค่าอยู่ในช่วง 49.25 ถึง 60.32 จากการพิจารณาอัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่ใช้ในสูตร พบว่าน้ำผักผสมผลไม้สูตรที่มีค่าสี L สูงสุด มีปริมาณน้ำมะเขือเทศและน้ำแครอทเป็นส่วนผสมอยู่สูง คือ ร้อยละ 30 ซึ่งทั้งน้ำมะเขือเทศและน้ำแครอทนั้นมีสีค่อนข้างใส และมีความสว่างสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสี L สูงกว่าน้ำผักผสมผลไม้สูตรอื่น ๆ ในด้านค่าสี a (สีแดง - เขียว) พบว่า น้ำผักผสมผลไม้สูตรที่มีค่า a สูงที่สุด (47.01) คือ น้ำผักผสมผลไม้สูตรที่มีน้ำพลัมเป็นองค์ประกอบอยู่มากที่สุด คือ ร้อยละ 45 ซึ่งเนื่องมาจากน้ำพลัมมีสีแดง ส่วนค่าสี b (สีเหลือง - น้ำเงิน) พบว่าน้ำผักผสมผลไม้ทั้ง 4 สูตร มีค่าสี b ไม่ค่อยแตกต่างกัน คืออยู่ในช่วง 24.07 – 29.34

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จาก Mixture Design

สูตร	ความเป็นกรด - ด่าง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละในรูปกรดมาลิก)
1	3.17 ± 0.01	20.47 ± O.12	0.715 ± 0.011
2	3.28 ± 0.01	19.13 ± O.06	0.540 ± 0.006
3	3.31 ± 0.01	19.10 ± O.00	0.551 ± 0.006
4	3.27 ± 0.01	18.87 ± O.12	0.540 ± 0.013

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

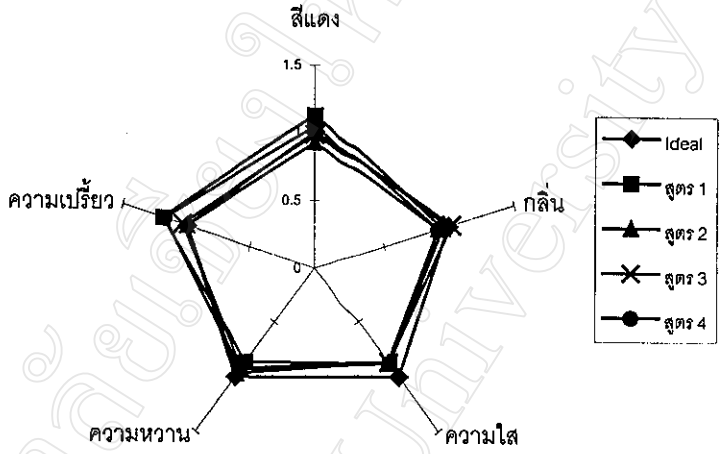
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้ทั้ง 4 สูตร ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก พบว่า ค่าต่าง ๆ ดังกล่าวของน้ำผักผสมผลไม้แต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เป็นส่วนประกอบในสูตร โดยค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 3.17 - 3.31 ปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.540 - 0.715 น้ำผักผสมผลไม้ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด คือ น้ำผักผสมผลไม้สูตรที่ 1 ซึ่งเป็นสูตรที่มีน้ำพลัมเป็นส่วนประกอบอยู่มากที่สุด ทั้งนี้เพราะน้ำพลัมเป็นน้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวและมีปริมาณกรดอยู่สูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 18.87 - 20.47 โดยน้ำผักผสมผลไม้สูตรที่ 1 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงสุด และสูตรที่ 4 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำสุด

ตารางที่ 4.11 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะของน้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จาก Mixture Design

สูตร	สีที่ปรากฏ	กลิ่น	ความใส	รสหวาน	รสเปรี้ยว
1	1.124 ± 0.086	0.947 ± 0.178	0.883 ± 0.223	0.863 ± 0.268	1.194 ± 0.231
2	0.916 ± 0.129	0.919 ± 0.170	0.860 ± 0.149	0.975 ± 0.106	0.998 ± 0.182
3	0.984 ± 0.065	1.022 ± 0.154	0.868 ± 0.141	0.920 ± 0.100	1.028 ± 0.213
4	1.040 ± 0.097	0.920 ± 0.159	0.877 ± 0.173	0.929 ± 0.210	1.168 ± 0.218

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio scores) ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแต่ละลักษณะในแต่ละสูตรจะนำมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ ในรูปแบบกราฟใยแมงมุม แสดงได้ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ต่างกัน

จากภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า สูตรที่ 1 ซึ่งมีปริมาณน้ำพลัมเป็นองค์ประกอบอยู่สูงนั้น มักส่งผลทางด้านลบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะลักษณะด้านรสหวานและรสเปรี้ยว จะเห็นได้ว่าน้ำผักผสมผลไม้สูตรที่มีน้ำพลัมเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า จะมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยของรสหวานและรสเปรี้ยวเข้าใกล้สัดส่วนอุดมคติมากกว่า

ในการวิเคราะห์หาอัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสม จะนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และค่า Mean ideal ratio ของการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในแต่ละสิ่งทดลองมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Regression) ระหว่างอัตราส่วนของน้ำผักและน้ำผลไม้ที่ใช้ในแต่ละสิ่งทดลองกับลักษณะต่าง ๆ (Attributes) ที่ศึกษา โดยทำการ regress ค่าของลักษณะนั้นกับอัตราส่วนของน้ำผัก น้ำผลไม้ที่ต้องการศึกษาทีละคู่ รวมถึง interaction ของอัตราส่วนดังกล่าวด้วย อัตราส่วนของน้ำผักและน้ำผลไม้ที่ใช้ในแต่ละสิ่งทดลอง และ interaction แสดงได้ดังตารางที่ ง.1 ในภาคผนวก ง สมการเชิงเส้น (Linear regression) ที่ได้จะนำมาทำ Partial derivatives และใช้เทคนิค Lag range จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์เพื่อหาอัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสมต่อลักษณะนั้น ๆ ด้วยโปรแกรมเชิงเส้น (POM) ตัวอย่างการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมแสดงได้ดังตัวอย่างที่ ง.1 ในภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเชิงเส้น ได้อัตราส่วนของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอท แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 อัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีท และน้ำแครอทที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเชิงเส้น

ลักษณะ	น้ำพลัม (ร้อยละ)	น้ำมะเขือเทศ (ร้อยละ)	น้ำบีท (ร้อยละ)	น้ำแครอท (ร้อยละ)
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	35.26	18.52	11.83	34.73
ความเป็นกรด – ด่าง	34.52	18.23	12.22	35.07
ค่าสี L	34.82	20.30	11.99	32.91
ค่าสี b	39.30	15.10	12.30	33.30
สีที่ปรากฏ	34.61	15.86	14.06	35.45
กลิ่นน้ำผักผสมผลไม้	32.68	17.47	12.57	37.31
ความใส	33.84	18.51	12.33	35.36
รสหวาน	33.89	17.96	12.31	35.83
รสเปรี้ยว	37.40	16.02	11.98	34.62
ค่าเฉลี่ย (Mean)	35.15	17.55	12.40	34.95
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	2.02	1.63	0.66	1.31

ตารางที่ 4.12 สามารถอธิบายได้ว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำพลัม : น้ำมะเขือเทศ : น้ำบีท : น้ำแครอท ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี L ค่าสี b สีที่ปรากฏ กลิ่นน้ำผักผสมผลไม้ ความใส รสหวาน และรสเปรี้ยว เมื่อนำค่าของอัตราส่วนของน้ำพลัม : น้ำมะเขือเทศ : น้ำบีท : น้ำแครอท ของลักษณะทั้งหมดในตารางที่ 4.12 มาเฉลี่ยได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ดังนี้

น้ำพลัม	ร้อยละ 35.15 ± 2.02
น้ำมะเขือเทศ	ร้อยละ 17.55 ± 1.63
น้ำบีท	ร้อยละ 12.40 ± 0.66
น้ำแครอท	ร้อยละ 34.95 ± 1.31

และสามารถทำนายผลการวิเคราะห์ได้ว่า หากมีการใช้อัตราส่วนของน้ำพลัม น้ำมะเขือเทศ น้ำบีทและน้ำแครอท ในอัตราส่วนดังกล่าว การวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมีและการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสสำหรับลักษณะต่าง ๆ จะให้ผลดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.15

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของน้ำผักผสมผลไม้เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสมตามที่คำนวณได้

ลักษณะ	ค่าการวิเคราะห์
ค่าสี L	52.87 ± 0.87
ค่าสี a	39.61 ± 1.02
ค่าสี b	26.88 ± 0.33

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสมตามที่คำนวณได้

ลักษณะ	ค่าการวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	3.14 ± 0.02
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	18.84 ± 0.21
ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปร้อยละของกรดมาลิก)	0.575 ± 0.020

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของน้ำผักผสมผลไม้เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสมตามที่คำนวณได้

ลักษณะ	สัดส่วนเฉลี่ย
สีที่ปรากฏ	0.982 ± 0.021
ความใส	0.841 ± 0.006
กลิ่นน้ำผักผสมผลไม้	0.913 ± 0.005
รสหวาน	0.886 ± 0.013
รสเปรี้ยว	1.060 ± 0.020

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลของการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำผักและน้ำผลไม้แต่ละชนิดที่จะใช้ในการผลิตน้ำผักผสมผลไม้โดยใช้แผนการทดลองแบบ Mixture Design ได้อัตราส่วนที่ประกอบด้วยน้ำพลัม ร้อยละ 35.15 ± 2.02 น้ำมะเขือเทศ ร้อยละ 17.55 ± 1.63 น้ำบีท ร้อยละ 12.40 ± 0.66 และน้ำแครอท ร้อยละ 34.95 ± 1.31

ตารางที่ 4.15 ค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio scores) ของลักษณะด้านความใส กลิ่นและรสหวานมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าสัดส่วนในอุดมคติ ส่วนรสเปรี้ยวมีค่าที่สูงกว่าค่าสัดส่วนอุดมคติ แม้ว่าจะใช้อัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่ดีที่สุดแล้ว ดังนั้นในการทดลองต่อไปจำเป็นต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผู้บริโภคมีการยอมรับมากขึ้น โดยทำการศึกษาส่วนผสมที่ช่วยในการปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิค

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.3 ผลการศึกษาหาปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะใช้ในสูตรการผลิต

ผลการทดลองตอนที่ 4.2 ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ ในการทดลองนี้จะศึกษาหาปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ที่จะใช้ในสูตร ได้แก่ น้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิค โดยในการผลิตจะใช้อัตราส่วนน้ำผักและน้ำผลไม้ตามที่คำนวณได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.16 ถึง 4.18

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสม

สูตร	ค่าสี		
	L	a	b
1	72.28 ± 2.72	24.91 ± 3.46	16.08 ± 3.05
2	71.71 ± 2.59	26.30 ± 3.71	16.45 ± 2.99
3	74.77 ± 2.33	21.56 ± 3.26	13.73 ± 2.57
4	69.77 ± 1.14	28.84 ± 1.96	17.74 ± 1.44
5	76.64 ± 1.83	19.14 ± 2.61	12.67 ± 2.19
6	78.16 ± 0.75	16.39 ± 1.03	12.56 ± 0.91
7	77.70 ± 1.57	16.78 ± 2.23	13.77 ± 1.83
8	72.94 ± 0.68	28.37 ± 1.25	7.86 ± 0.59
9	78.11 ± 3.15	16.49 ± 4.96	13.98 ± 4.39
10	77.56 ± 2.43	16.87 ± 3.21	14.32 ± 3.43
11	75.96 ± 2.00	19.11 ± 2.30	15.68 ± 2.39

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคนั้นมีค่าสี L, a, b ที่แตกต่างกัน โดยค่าสี L (ค่าความสว่าง) จะมีค่าอยู่ในช่วง 69.77 - 78.16 ค่าสี a (สีแดง - เขียว) มีค่าในช่วง 16.39 - 28.84 และค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน) มีค่าในช่วง 7.86 -17.74 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณน้ำตาล เกลือ และกรดแอสคอร์บิคที่เติมลงไปนั้น มีผลต่อค่าสีดังกล่าว นอกจากนั้นอาจมีผลจากกระบวนการฆ่าเชื้อ เพราะไม่สามารถทำการฆ่าเชื้อน้ำผักผสมผลไม้ทั้ง 11 สูตรได้ในคราวเดียวกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสม

สูตร	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละในรูปกรดมาลิก)	ปริมาณเกลือ (ร้อยละ)
1	3.53 ± 0.00	11.70 ± 0.12	0.499 ± 0.006	0.132 ± 0.007
2	3.51 ± 0.01	15.10 ± 0.23	0.510 ± 0.006	0.127 ± 0.010
3	3.49 ± 0.01	12.50 ± 0.12	0.553 ± 0.008	0.202 ± 0.015
4	3.48 ± 0.00	15.25 ± 0.20	0.570 ± 0.011	0.195 ± 0.020
5	3.50 ± 0.00	12.68 ± 0.06	0.581 ± 0.077	0.137 ± 0.000
6	3.43 ± 0.01	15.75 ± 0.00	0.439 ± 0.013	0.127 ± 0.010
7	3.43 ± 0.00	13.23 ± 0.17	0.486 ± 0.006	0.182 ± 0.020
8	3.32 ± 0.01	18.20 ± 0.00	0.506 ± 0.006	0.172 ± 0.020
9	3.47 ± 0.00	16.50 ± 0.00	0.447 ± 0.011	0.156 ± 0.014
10	3.46 ± 0.01	17.05 ± 0.00	0.467 ± 0.003	0.166 ± 0.026
11	3.48 ± 0.01	17.05 ± 0.12	0.443 ± 0.006	0.169 ± 0.011

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สูตร	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)		ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	ปริมาณวิตามินซี (mg / 100 ml)
	ก่อนอินเวอร์ชัน	หลังอินเวอร์ชัน		
1	5.87 ± 0.04	16.32 ± 0.08	9.93 ± 0.04	194.4 ± 2.9
2	6.32 ± 0.09	19.05 ± 0.06	12.09 ± 0.08	50.7 ± 0.0
3	5.78 ± 0.06	14.42 ± 0.29	8.21 ± 0.29	841.9 ± 21.5
4	6.26 ± 0.05	19.16 ± 0.34	12.25 ± 0.35	50.7 ± 0.0
5	5.33 ± 0.02	14.66 ± 0.12	8.86 ± 0.11	253.6 ± 0.0
6	5.70 ± 0.11	19.17 ± 0.24	12.80 ± 0.17	353.8 ± 1.8
7	5.28 ± 0.06	15.74 ± 0.19	9.93 ± 0.13	451.4 ± 28.7
8	7.89 ± 0.11	22.00 ± 0.13	13.41 ± 0.21	792.9 ± 2.9
9	5.40 ± 0.19	17.77 ± 0.05	11.76 ± 0.07	299.2 ± 0.0
10	5.72 ± 0.08	18.17 ± 0.15	11.82 ± 0.10	1045.0 ± 14.4
11	5.44 ± 0.00	17.55 ± 0.22	11.51 ± 0.17	1097.0 ± 27.3

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ทั้ง 11 สูตร มีค่าดังตารางที่ 4.17 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ อยู่ในช่วง 3.32 - 3.53 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าในช่วง 11.70 - 18.20 °Brix ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.439 - 0.581 (ในรูปของกรดมาลิก) และปริมาณเกลือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.127 - 0.202 ปริมาณน้ำตาลซูโครส อยู่ในช่วงร้อยละ 8.21 - 13.41 และมีปริมาณวิตามินซี อยู่ในช่วง 50.7 - 1097.0 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จะเห็นว่าปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้มีค่าที่แปรผันมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากความล่าช้า (Delay time) ในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้วิตามินซีสูญเสียไป และอาจเป็นผลจากกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ตารางที่ 4.18 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสม

สูตร	สีที่ปรากฏ	กลิ่น	ความใส
1	1.005 ± 0.117	1.011 ± 0.097	0.962 ± 0.072
2	1.011 ± 0.085	1.017 ± 0.117	0.909 ± 0.160
3	0.950 ± 0.050	0.979 ± 0.096	0.971 ± 0.076
4	0.980 ± 0.052	1.011 ± 0.070	0.973 ± 0.055
5	0.858 ± 0.098	0.985 ± 0.136	0.974 ± 0.085
6	0.824 ± 0.139	0.955 ± 0.082	1.000 ± 0.076
7	0.848 ± 0.116	0.964 ± 0.092	0.993 ± 0.074
8	1.022 ± 0.048	1.000 ± 0.149	1.014 ± 0.041
9	0.858 ± 0.135	1.025 ± 0.130	0.926 ± 0.146
10	0.846 ± 0.107	1.002 ± 0.084	0.995 ± 0.059
11	0.844 ± 0.091	0.994 ± 0.110	1.002 ± 0.073

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

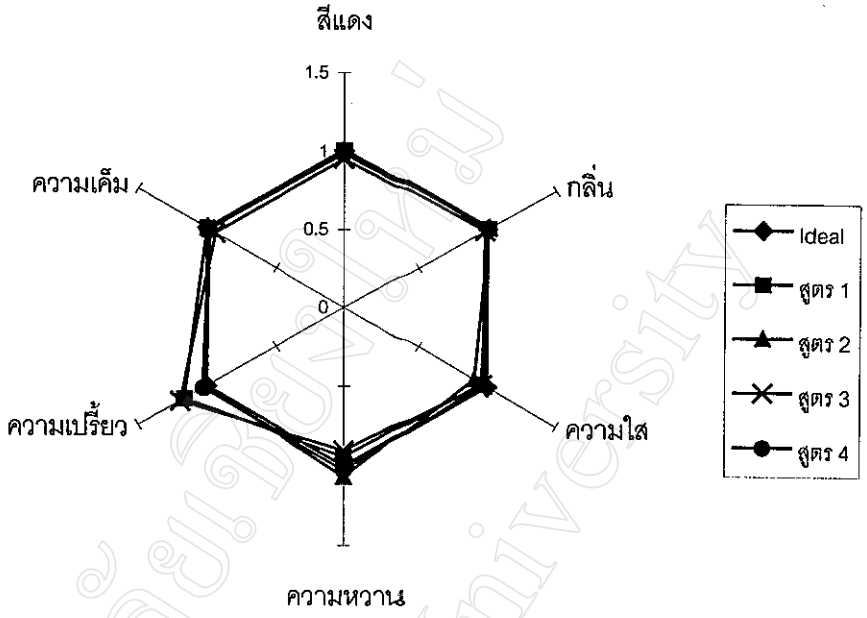
ตารางที่ 4.18 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสม (ต่อ)

สูตร	รสหวาน	รสเปรี้ยว	รสเค็ม
1	0.943 ± 0.146	1.165 ± 0.196	1.000 ± 0.164
2	1.070 ± 0.141	1.011 ± 0.107	0.982 ± 0.247
3	0.904 ± 0.067	1.196 ± 0.118	0.942 ± 0.320
4	1.030 ± 0.142	1.031 ± 0.113	0.988 ± 0.205
5	0.893 ± 0.142	1.168 ± 0.257	1.059 ± 0.390
6	1.060 ± 0.096	0.989 ± 0.102	0.959 ± 0.189
7	0.934 ± 0.076	1.106 ± 0.200	1.023 ± 0.450
8	1.092 ± 0.122	0.955 ± 0.071	0.942 ± 0.127
9	0.992 ± 0.129	1.033 ± 0.134	1.088 ± 0.377
10	1.019 ± 0.078	1.085 ± 0.128	1.053 ± 0.395
11	0.936 ± 0.144	1.033 ± 0.124	1.076 ± 0.110

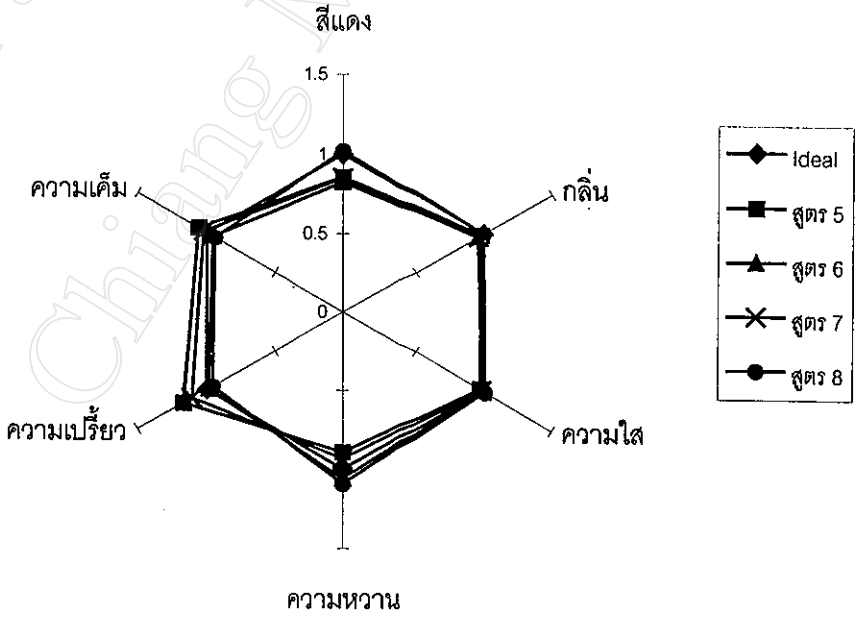
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เนื่องจากในการทดลองนี้มีการผันแปรปริมาณเกลือ ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบเพื่อหาจุดอุดมคติถาวรของลักษณะด้านรสเค็มของผลิตภัณฑ์ขึ้น โดยให้ผู้บริโภคกำหนดค่าอุดมคติของลักษณะด้านรสเค็ม และนำมาหาค่าเฉลี่ย จุดอุดมคติถาวรของรสเค็มนี้จะนำมาใช้ในการทดสอบผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การทดลองนี้เป็นต้นไป

ค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio scores) ของลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ จะถูกนำมาสร้างเป็นเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกราฟใยแมงมุม เพื่อให้ง่ายแก่การดู จะทำการแยกกราฟออกเป็น 3 กราฟ แสดงดังภาพที่ 4.10 ถึง 4.12

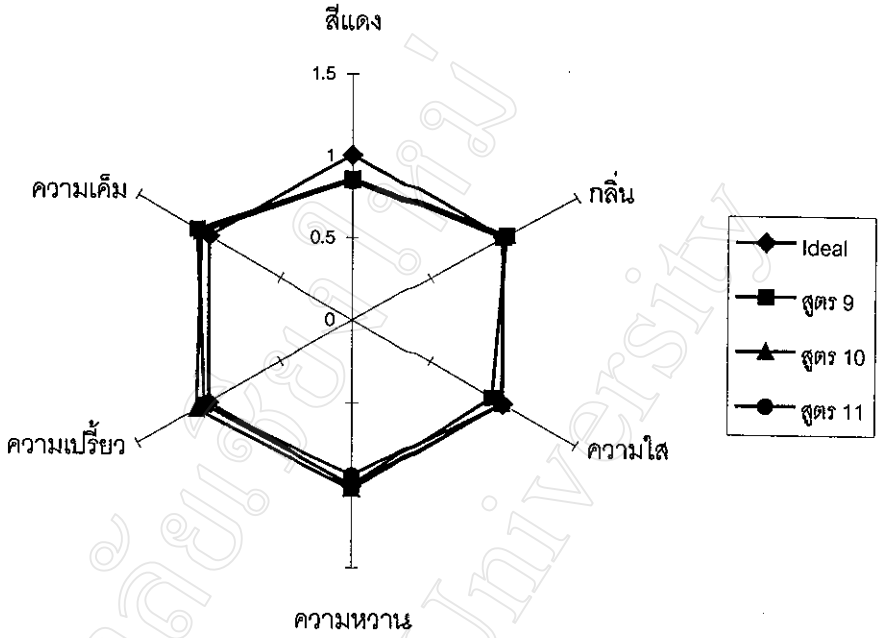


ภาพที่ 4.10 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้สูตรที่ 1 ถึง 4 เมื่อทำการผันแปรปริมาณส่วนผสม



ภาพที่ 4.11 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้สูตรที่ 5 ถึง 8 เมื่อทำการผันแปรปริมาณส่วนผสม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



ภาพที่ 4.12 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้สูตรที่ 9 ถึง 11 เมื่อทำการผันแปรปริมาณส่วนผสม

เมื่อนำข้อมูลทางด้านกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส มาทำการวิเคราะห์หาสมการถดถอย (Multiple Regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (Y) กับปริมาณส่วนผสม (น้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิค) ที่เติมลงไป ผลการวิเคราะห์ได้สมการถดถอยที่มีนัยสำคัญ 8 สมการ สมการถดถอยที่วิเคราะห์ได้นี้เป็นสมการที่ยังไม่ได้ทำการถอดรหัส จำเป็นจะต้องทำการถอดรหัสก่อน จึงจะสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าผลของการตอบสนอง (Y) ได้ การถอดรหัสจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional สมการถดถอยที่มีนัยสำคัญและสมการถอดรหัสของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 สมการที่มีนัยสำคัญของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสม

สมการ (Coded)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R^2
ค่าสี L	77.2100 – 1.1013 A – 2.9638 A^2 – 1.3388 AB + 2.1138 C	0.8466
ค่าสี b	14.0782 – 2.1425 C – 1.3000 AC – 1.1800 ABC	0.8452
ปริมาณเกลือ	0.1571 + 0.0285 B	0.8085
ความเป็นกรด - ด่าง	3.4609 – 0.02750 A – 0.0313 B – O.0413 C – 0.0200 AC– 0.0138 BC	0.9695
ปริมาณซูโครส	11.1430 + 1.7021 A	0.8176
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	16.8667 + 1.7738 A – 2.5654 A^2 + 0.4938 B + 0.6638 C	0.9229
รสหวาน	0.9885 + 0.0723 A + 0.0190 BC	0.8846
รสเปรี้ยว	1.05033 – 0.0811 A + 0.0273 A^2 – 0.0184 BC – 0.0231 C	0.9398

หมายเหตุ : เมื่อ A แทน ปริมาณน้ำตาล อยู่ในช่วงร้อยละ 12.03 – 17.97

B แทน ปริมาณเกลือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 – 0.09

C แทน ปริมาณกรดแอสคอร์บิค อยู่ในช่วงร้อยละ 0.34 – 0.46

ตารางที่ 4.20 สมการถอดรหัสของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากการผันแปรปริมาณส่วนผสม

สมการ (Decoded)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R^2
ค่าสี L	-40.72 + 11.96 A – 0.336 A^2 + 450.76 B+ 35.23 C – 30.05 AB	0.8466
ค่าสี b	183.24 +10.33 A – 2648.71 B – 422.91 C + 176.58 AB + 25.81 AC + 6621.77 BC – 441.51 ABC	0.8452
ปริมาณเกลือ	0.0146 + 1.90 B	0.8085
ความเป็นกรด - ด่าง	2.899 + 0.036 A + 4.028 B + 2.140 C – 0.112 AC – 15.28 BC	0.9695
ปริมาณซูโครส	2.5464 + 0.5731 A	0.8176
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	64.42 + 9.32 A – 0.291 A^2 + 32.92 B + 11.06 C	0.9229
รสหวาน	1.2569 + 0.0243 A – 1.583 C+ 21.1111 BC	0.8846
รสเปรี้ยว	1.6981 – 0.1201 A + 0.0031 A^2 – 20.4111 BC + 8.1644 B + 1.1453 C	0.9398

หมายเหตุ : เมื่อ A แทน ปริมาณน้ำตาล อยู่ในช่วงร้อยละ 12.03 – 17.97

B แทน ปริมาณเกลือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 – 0.09

C แทน ปริมาณกรดแอสคอร์บิค อยู่ในช่วงร้อยละ 0.34 – 0.46

สมการถดถอยที่วิเคราะห์ได้มีค่า R^2 ค่อนข้างสูง แสดงว่าสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้ค่อนข้างดี สำหรับสมการปริมาณเกลือและสมการปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้ อยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) อธิบายได้ว่าปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้ มีความสัมพันธ์กับปริมาณเกลือและน้ำตาลที่เติมลงไปแบบเส้นตรง (Linear effect)

ค่าสี L ค่าสี b ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด รสหวาน และรสเปรี้ยวสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ Multiple Regression ดังตารางที่ 4.20 สมการที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมดสามารถใช้ในการทำนายค่าตอบสนองได้ในกรณีที่น้ำตาลซูโครส มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 12.03 ถึง 17.97 เกลือ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 ถึง 0.09 และกรดแอสคอร์บิค มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.34 ถึง 0.46

การหาปริมาณน้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ ทำได้โดยการแทนค่าปริมาณน้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคลงในสมการที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สมการด้านรสหวาน และรสเปรี้ยว แล้วดูค่า Ideal ratio scores ที่คำนวณได้ ปริมาณน้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคที่เหมาะสมสำหรับแต่ละลักษณะ คือปริมาณที่ทำให้ค่า Ideal ratio scores ที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด ตัวอย่างการหาปริมาณน้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคที่เหมาะสมแสดงได้ดังตารางที่ ง.2 ในภาคผนวก ง

จากการแทนค่าลงในสมการ ปรากฏว่า ปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับลักษณะด้านรสวาน คือ น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 15 เกลือ ร้อยละ 0.075 และกรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.4 สำหรับลักษณะด้านรสเปรี้ยว ได้ปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสม คือ น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 17.97 เกลือ ร้อยละ 0.06 และกรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.34 ปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับแต่ละลักษณะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส

ลักษณะ	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	น้ำตาล	เกลือ	กรดแอสคอร์บิค
รสหวาน	15.00	0.075	0.40
รสเปรี้ยว	17.97	0.06	0.34
ค่าเฉลี่ย	16.49	0.068	0.37
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.10	0.011	0.04

การหาปริมาณน้ำตาล เกลือ และกรดแอสคอร์บิคที่เหมาะสมที่จะใช้ในสูตรการผลิต ทำได้โดยนำค่าปริมาณส่วนผสมแต่ละชนิดของทุกลักษณะมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.21 และเมื่อนำปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่คำนวณได้ ไปแทนค่าลงในสมการด้านรสหวานและรสเปรี้ยว จะให้ผลดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยที่คำนวณได้เมื่อใช้ปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสม

ลักษณะ	สมการ	ค่าสัดส่วนเฉลี่ย
รสหวาน	$1.257 + 0.024\,(16.49) - 8.44\,(0.068) - 1.583\,(0.37) + 21.11(0.068)(0.37)$	1.029
รสเปรี้ยว	$1.6981 - 0.1201(16.49) + 0.0031\,(16.49)^2 - 20.4111(0.068)(0.37) + 8.1644\,(0.068) + 1.1453\,(0.37)$	1.024

จากการแทนค่าปริมาณน้ำตาลซูโครส เกลือ และกรดแอสคอร์บิคที่เหมาะสมลงในสมการด้านรสหวานและรสเปรี้ยว พบว่า รสหวาน มีค่า Ideal ratio เท่ากับ 1.029 และรสเปรี้ยว มีค่า Ideal ratio เท่ากับ 1.024

ผลของการศึกษาเพื่อหาปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ สามารถสรุปปริมาณส่วนผสมได้ดังนี้

ปริมาณน้ำตาลซูโครส	ร้อยละ 16.49 ± 2.10
ปริมาณเกลือ	ร้อยละ 0.068 ± 0.011
ปริมาณกรดแอสคอร์บิค	ร้อยละ 0.37 ± 0.04

4.4 ผลของการกรองด้วยเมมเบรนต่อคุณภาพของน้ำผักผสมผลไม้

การทดลองพัฒนาสูตรในเบื้องต้น สามารถสรุปสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ได้ ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการกรองด้วยเมมเบรนต่อคุณภาพของน้ำผักผสมผลไม้ รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีเมมเบรนมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำผักผสมผลไม้ เพื่อพัฒนาคุณภาพของน้ำผักผสมผลไม้ให้ดียิ่งขึ้น และนำมาทดแทนกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน การกรองด้วยเมมเบรนที่ทำการศึกษา คือการกรองแบบ Microfiltration (MF) โดยใช้การกรองแบบ dead-end filtration ซึ่งเป็นการกรองที่สารละลาย feed เริ่มต้นจะไหลผ่านเมมเบรน ทำให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า pore size ของเมมเบรนสามารถผ่านทะลุเมมเบรนได้และเกิดเป็น permeate ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะถูกแยกออกไป โดยติดอยู่ที่บริเวณผิวหน้าเมมเบรน

สำหรับการเตรียมน้ำผักผสมผลไม้ก่อนนำมาเข้าเครื่องกรองเมมเบรน เตรียมเช่นเดียวกับการทดลองอื่น ๆ โดยใช้สูตรที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 และ 3 นำน้ำผักผสมผลไม้ไปให้ความร้อน เติมน้ำตาลซูโครสและเกลือ คนอย่างสม่ำเสมอ ให้ความร้อนต่อจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที เพื่อให้ส่วนผสมละลายและเป็นการลดเชื้อจุลินทรีย์บางส่วน ทำให้เย็น จึงเติมกรดแอสคอร์บิคและคนให้ละลาย เมื่อน้ำผักผสมผลไม้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) จึงนำไปกรองด้วยเครื่องกรองเมมเบรน

นำน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย Sartobran P มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางจุลชีววิทยาเปรียบเทียบกับน้ำผักผสมผลไม้ก่อนผ่านการกรอง ในขณะ operate เครื่อง ทำการวัด permeate flux ทุก ๆ 2 นาที โดยใช้กระบอกตวงและนาฬิกาจับเวลา ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำผักผสมผลไม้ก่อนและหลังการกรองด้วย MF แสดงดังตารางที่ 4.23 ถึง 4.25

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังผ่านการกรองด้วย MF

ลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์	
	ก่อนผ่าน MF	หลังผ่าน MF
ค่าสี L	35.80 ± 2.23	36.12 ± 0.03
ค่าสี a	51.58 ± 2.34	56.20 ± 0.01
ค่าสี b	19.10 ± 0.75	19.89 ± 0.02
ความหนืด	1.308^{b} ± 0.003	1.460^{a} ±0.011
ความขุ่น (NTU)	24.00^{a} ± 0.00	0.163^{b} ± 0.006

หมายเหตุ : การวัดสีใช้เครื่องวัดสี ColorQuest II Colorimeter
ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำผักผสมผลไม้ก่อนและหลังผ่านกระบวนการ MF พบว่า ค่าสี L (ความสว่าง) ค่าสี a (สีแดง-เขียว) และค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน) ของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังผ่านการกรองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองด้วย MF มีค่าสี L ค่าสี a และค่าสี b เพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ผลิตภัณฑ์มีค่าสี L เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำผักผสมผลไม้รวมถึงเพคตินที่เหลืออยู่ถูกแยกออกไป ผลิตภัณฑ์จึงมีความใสและมีความสว่างมากขึ้น สำหรับค่าสี a และค่าสี b ที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านการกรองนั้นอาจเนื่องมาจากอนุภาคบางส่วนถูกแยกออกไปในระหว่างการกรอง ในด้านความหนืด พบว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย MF มีความหนืดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 1.308 ± 0.003 เป็น 1.460 ± 0.011 ด้านความขุ่น ผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าความขุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 0.163 ± 0.006 NTU ในขณะที่น้ำผักผสมผลไม้ก่อนกรอง มีค่า 24.0 ± 0.0 NTU ความขุ่นเกิดจากอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.1 μ และอนุภาคในน้ำผลไม้ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 μ ขึ้นไปสามารถตกตะกอนและกำจัดออกได้โดยการกรอง (filtration) ฉะนั้นอนุภาคที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำผลไม้จึงมีขนาดในช่วง 0.1-0.5 μ (Van Buren, 1989) ซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการ MF

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังผ่านการกรองด้วย MF

ลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์	
	ก่อนผ่าน MF	หลังผ่าน MF
ความเป็นกรด – ด่าง	$3.73^{a} \pm 0.00$	$3.69^{b} \pm 0.01$
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	$14.87^{b} \pm 0.12$	$18.10^{a} \pm 0.17$
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละในรูปของกรดมาลิก)	$0.424^{b} \pm 0.019$	$0.458^{a} \pm 0.019$
ปริมาณเกลือ (ร้อยละ)	0.114 ± 0.006	0.127 ± 0.001
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (ร้อยละ)	$2.69^{b} \pm 0.03$	$3.56^{a} \pm 0.34$
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชัน (ร้อยละ)	$14.91^{b} \pm 0.11$	$17.75^{a} \pm 0.11$
ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	$11.61^{b} \pm 0.08$	$13.48^{a} \pm 0.23$
ปริมาณวิตามินซี (mg/100 ml)	$89.79^{a} \pm 1.74$	$80.94^{b} \pm 1.66$

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้ก่อนและหลังผ่านการกรองด้วย MF น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ (ในรูปของกรดมาลิก) ปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชัน รวมถึงปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นปริมาณเกลือที่มีค่าสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้หลังผ่าน MF มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการกรอง การที่ผลิตภัณฑ์หลังผ่าน MF มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชันและปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น แสดงว่า กรด-อินทรีย์ เกลือ กลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และของแข็งที่ละลายได้อื่น ๆ เช่น รงควัตถุ (anthocyanin, betacyanin และ carotene) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำผักผสมผลไม้สามารถผ่านเมมเบรนได้ดี เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก แต่การที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ถูกแยกออกไป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในน้ำผักผสมผลไม้ลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของ

น้ำผักผสมผลไม้หลังผ่านกระบวนการ MF สูงขึ้น พิจารณาได้จากความหนาแน่นของน้ำผักผสมผลไม้ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 1.032 g/cm^3 เป็น 1.048 g/cm^3 (ไม่ได้แสดงข้อมูล) จึงส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชัน รวมถึงปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้เพิ่มขึ้น และจากการที่น้ำผักผสมผลไม้หลังผ่านการกรองด้วยเมมเบรนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความหนืดของผลิตภัณฑ์หลังผ่านเมมเบรนที่วัดได้จึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนผ่านเมมเบรน (ตารางที่ 4.23) สำหรับปริมาณวิตามินซี พบว่าน้ำผักผสมผลไม้ก่อนผ่านเมมเบรนมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าในน้ำผักผสมผลไม้หลังผ่านเมมเบรนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่า 89.79 ± 1.74 และ 80.94 ± 1.66 มิลลิกรัมต่อน้ำผักผสมผลไม้ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิคที่ลดลง อาจเป็นผลมาจากความล่าช้าในกระบวนการผลิตทำให้วิตามินซีถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูป diketogulonic acid ซึ่งไม่สามารถถูกรีดิวซ์กลับได้ ปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้จึงลดลง สำหรับกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนไม่น่าจะมีผลต่อปริมาณวิตามินซีที่ลดลง เพราะวิตามินซีเป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก มีมวลโมเลกุลเพียง 176 ดาลตัน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าน้ำตาลซูโครส จึงน่าจะผ่านเมมเบรนได้เป็นอย่างดี

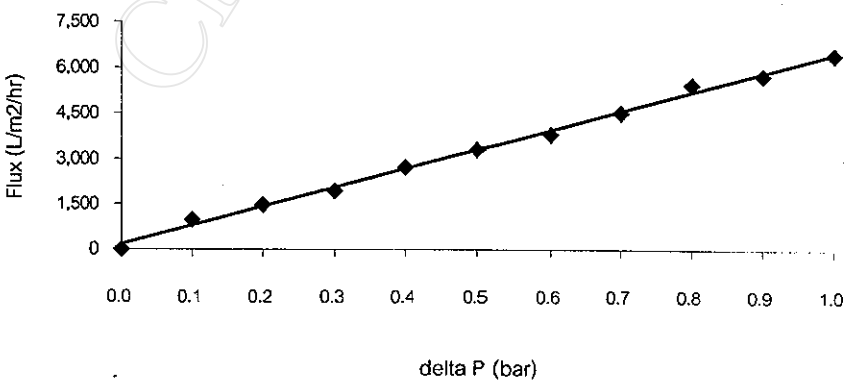
ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังผ่านการกรองด้วย MF

จุลินทรีย์ที่ทำการวิเคราะห์	ค่าที่วิเคราะห์ได้	
	ก่อนผ่าน MF	หลังผ่าน MF
เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/ml)	586.7^a ± 275.7	1.7^b ± 1.4
ยีสต์และรา (cfu/ml)	725.0^a ± 377.2	40.0^b ± 36.1
Coliforms และ E. coli (MPN)	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังผ่านกระบวนการกรองด้วย MF พบว่า ตัวอย่างน้ำผักผสมผลไม้ก่อนผ่าน MF มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) และปริมาณยีสต์และรา (Yeast and Mold) สูงกว่าในน้ำผักผสมผลไม้หลังผ่าน MF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าการกรองด้วยเมมเบรน (MF) สามารถลดเชื้อจุลินทรีย์ลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในความเป็นจริงแล้ว ไม่ควรพบเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนที่มี pore size ขนาด 0.2 μ เพราะเมมเบรนที่มี pore size ขนาดนี้สามารถกรองเชื้อจุลินทรีย์ได้ และสามารถใช้เป็น cold sterilization ได้ สำหรับจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียนั้นสามารถถูกกำจัดออกได้โดยใช้เมมเบรนที่มี pore size ขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.6 μ (Schweitzer, 1997) การตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย MF อาจเกิดจากการปนเปื้อน (contamination) จากเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ เพราะในการทำงาน (operate) การเก็บตัวอย่างและการบรรจุไม่ได้ทำในห้องที่ปลอดเชื้อ สำหรับการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Coliforms และ E. coli โดยวิธี MPN ของตัวอย่างน้ำผักผสมผลไม้ก่อนและหลังการกรองด้วย MF ไม่พบ Coliforms และ E. coli ในน้ำผักผสมผลไม้ทั้งก่อนและหลังการกรอง หรือมีค่า MPN เป็น 0 (ตารางที่ 4.25)

ก่อนทำการกรองน้ำผักผสมผลไม้ด้วย Sartobran P จะต้องทำการ Run น้ำเพื่อเก็บ flux ไว้เป็นข้อมูลสำหรับการล้างเมมเบรนหลังจากทำงานเสร็จ น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำ RO หรือน้ำ DI เพื่อป้องกันการอุดตันของเมมเบรนอันเนื่องมาจากอิออนที่อยู่ในน้ำ flux ของน้ำ RO ที่ ΔP ต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ ง.3 ในภาคผนวก ง และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง flux ของน้ำ RO ที่ ΔP ต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.13



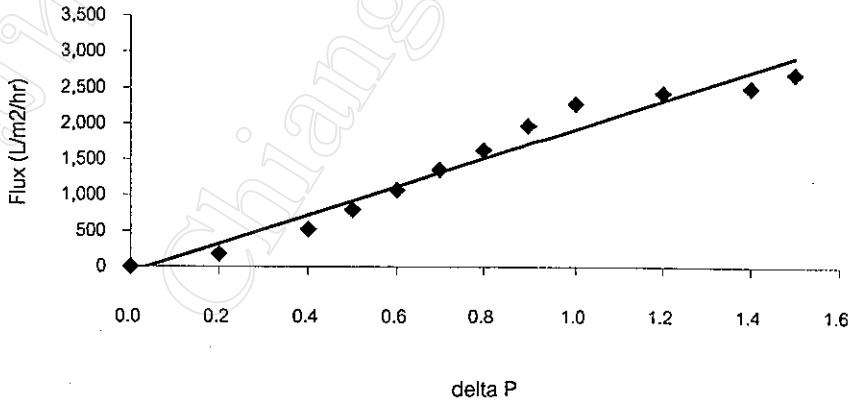
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Flux ของน้ำกับ ΔP ของ Sartobran P ก่อนใช้งาน

จากข้อมูล flux น้ำ ที่ ΔP ต่าง ๆ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Regression) ด้วยโปรแกรม Statistix version 4.0 ปรากฏว่าได้สมการออกมา ดังนี้

Water Flux = 6521.20 (ΔP) $R^2 = 0.9983$

จากสมการที่ได้ แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเพิ่ม ΔP Flux ของน้ำก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความเชื่อถือสูงเพราะมีค่า R^2 สูง แสดงว่าสมการความสัมพันธ์ของ water flux กับ ΔP มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก และสามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนได้ดี

สำหรับสภาวะที่ใช้การกรองน้ำผักผสมผลไม้นั้น จะใช้ flow rate และอุณหภูมิคงที่ อุณหภูมิที่ใช้คืออุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) และเริ่มใช้ ΔP ที่ 0.2 bar การเริ่มต้นที่ ΔP ต่ำ ๆ เพื่อป้องกันการเกิด concentration polarization และ fouling ทำการวัด permeate flux ทุก ๆ 2 นาที ตลอดการทดลอง permeate flux ของน้ำผักผสมผลไม้ที่ ΔP ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ ง.4 ในภาคผนวก ง กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง flux ของน้ำผักผสมผลไม้ที่ ΔP ต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.14



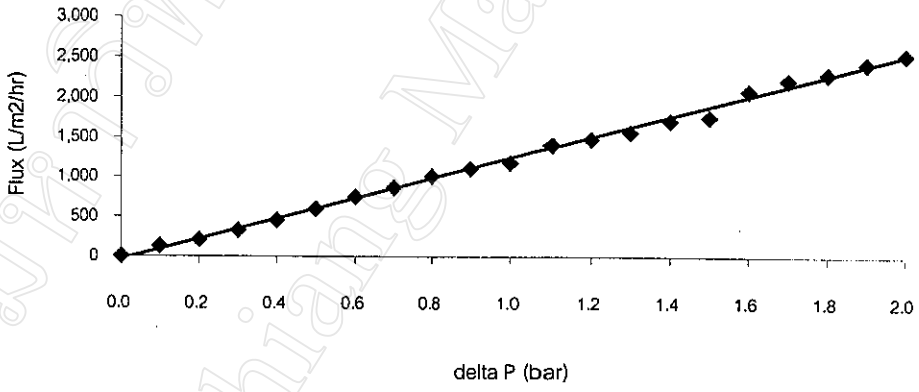
ภาพที่ 4.14 Permeate flux ของน้ำผักผสมผลไม้ที่ ΔP ต่าง ๆ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง permeate flux กับ ΔP โดยใช้ Linear Regression ได้สมการ คือ

Juice Flux = 1919.65 (ΔP) $R^2 = 0.9870$

หลังทำงานทุกครั้ง ต้องทำการล้างเมมเบรน โดยใช้น้ำสะอาด ซึ่งอาจใช้น้ำ RO หรือน้ำ DI ในปริมาณมากพอ run process ต่อเนื่องหลังการกรองแล้วเสร็จ และทำการตรวจเช็ค flux ของน้ำเปรียบเทียบกับ flux ของน้ำก่อนใช้งาน flux ของน้ำหลังจากล้างเมมเบรนแล้วควรมีค่าใกล้เคียงกับ flux เริ่มต้น (ก่อนการใช้งาน)

flux ของน้ำหลังการล้างเมมเบรนที่ ΔP ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ ง.5 ในภาคผนวก ง และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง flux ของน้ำกับ ΔP หลังใช้งาน แสดงดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Flux ของน้ำกับ ΔP ของ Sartobran P หลังใช้งาน

จากข้อมูลของ flux ที่ ΔP ต่าง ๆ ของ Sartobran P หลังการล้าง เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Regression) ได้สมการความสัมพันธ์ คือ

Water Flux = 1250.27 (ΔP) $R^2 = 0.9987$

เมื่อเปรียบเทียบ flux ของน้ำก่อนและหลังใช้งานที่ ΔP ตั้งแต่ 0.1 - 1.0 bar ปรากฏว่า flux มีค่าลดลง ประมาณ 82.71 ± 2.33 (ตารางที่ ง.6) หรือมีค่าประมาณ 17.29 ± 2.33 ของ flux เริ่มต้น (ตารางที่ ง.6) ทั้งนี้ flux ของน้ำหลังทำการล้างเมมเบรนไม่ควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 70 ของ flux เริ่มต้น หาก flux มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 70 แสดงว่าการล้างเมมเบรนยังไม่สะอาด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าน้ำ RO ไม่เหมาะสมในการล้างเมมเบรนชนิดได้ หากต้องการให้ flux ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ควรมีการปรับปรุงวิธีทำความสะอาดเมมเบรน เช่น ใช้สารทำความสะอาดที่จำเพาะเจาะจงกับชนิดของเมมเบรน เช่น ใช้สารละลายกรด/ด่าง หรือใช้เอนไซม์ในการล้าง ซึ่งอาจทำความสะอาดเมมเบรนได้ดีขึ้น แต่การใช้สารทำความสะอาดที่จำเพาะต่อชนิดเมมเบรนจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย หรืออาจต้องปรับปรุงกระบวนการ prefiltration (Sartorius AG, 1997)

การศึกษาผลของการกรองน้ำผักผสมผลไม้ด้วย MF ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าสี L, a, b ความใส ความหนืด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชัน และปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณวิตามินซีลดลง การกรองด้วย MF ยังสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ ซึ่งถ้าหากมีการควบคุมสภาวะการทำงานให้ปลอดเชื้อ ก็สามารถใช้ MF แทนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนได้

4.5 ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของน้ำผักผสมผลไม้

จากการทดลองที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงผลของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน แบบ MF ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และทางจุลชีววิทยาของน้ำผักผสมผลไม้ การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของกระบวนการผลิตน้ำผักผสมผลไม้ที่ต่างกันสองกระบวนการ คือ กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนแบบ MF และวิธีดั้งเดิม หรือกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน นำน้ำผักผสมผลไม้ที่เตรียมจากสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในขั้นต้นมาให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ส่วนผสมทั้งหมดละลายและเป็นการลดเชื้อปริมาณจุลินทรีย์บางส่วน จากนั้นแบ่งน้ำผักผสมผลไม้ออกเป็นสองส่วน หลังจากทำให้ส่วนแรกเย็นลง เติมกรดแอสคอร์บิค คนให้ละลายและทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) นำน้ำผักผสมผลไม้ที่ได้มาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองเมมเบรน (Sartocon II Plus) โดยใช้ไส้กรอง Sartobran P ที่มี pore size ขนาด 0.2 μ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว น้ำผักผสมผลไม้ส่วนที่สอง หลังจากเติมกรดแอสคอร์บิค จะนำไปบรรจุในกระป๋องที่ล้างทำความสะอาดแล้ว ไล่อากาศ ปิดฝา และต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือด เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำให้เย็น นำผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.26 ถึง 4.29

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนและกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์	
	Microfiltration	Heat Treatment
ค่าสี L	$36.22^{a} \pm 0.13$	$34.94^{b} \pm 1.17$
ค่าสี a	$56.24^{a} \pm 0.09$	$53.70^{b} \pm 1.22$
ค่าสี b	$19.86^{b} \pm 0.06$	$20.28^{a} \pm 0.42$
ความหนืด	$1.450^{b} \pm 0.014$	$1.569^{a} \pm 0.014$
ความขุ่น (NTU)	$0.233^{b} \pm 0.077$	$36.78^{a} \pm 0.44$

หมายเหตุ : การวัดสีใช้เครื่องวัดสี ColorQuest II Colorimeter

ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่า การใช้กระบวนการผลิตที่ต่างกัน มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของน้ำผักผสมผลไม้ โดยพบว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจะมีสีคล้ำกว่า และมีสีแดงเจือจางกว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี L (ความสว่าง) ค่าสี a (สีแดง-เขียว) และค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน) ที่วิเคราะห์ได้ กล่าวคือ น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าสี L และค่าสี a สูงกว่า แต่มีค่าสี b ต่ำกว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าสี L 36.22 ± 0.13 และ 34.94 ± 1.17 ค่าสี a 56.24 ± 0.09 และ 53.70 ± 1.22 และค่าสี b 19.86 ± 0.06 และ 20.28 ± 0.42 ตามลำดับ น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนยังมีความหนืดต่ำกว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เพราะการกรองด้วย MF สามารถกำจัดเพคตินออกจากน้ำผักผสมผลไม้ได้ เพคตินนอกจากจะเป็นสารที่ทำให้น้ำผลไม้ข่นแล้วยังทำให้มีความหนืด ในด้านความข่นพบว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย MF มีความข่นต่ำกว่าน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากกระบวนการ MF สามารถกำจัดสารที่ทำให้เกิดความข่นและอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เช่น เพคติน แป้งและสารไฮโดรคอลลอยด์อื่นออกไป โดยสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.2 μ ออกได้ น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จึงมีความข่นต่ำมาก คือมีความข่นน้อยกว่า 1 NTU สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่มีผลให้น้ำผักผสมผลไม้มีความข่นมากกว่ากระบวนการกรองด้วยเมมเบรน อาจเนื่องจากความร้อนทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันและเกิดตะกอนได้ เช่น อาจทำให้โปรตีนในน้ำผักผสมผลไม้เสียสภาพธรรมชาติ (Denaturation) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง กล่าวคือโปรตีนมีการคลายตัวออก ทำให้มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปเป็นโพลีเปปไตด์สายยาว โพลีเปปไตด์ที่คลายตัวออกเป็นสายยาวจะเกาะตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ตกตะกอนได้ง่าย การเสียสภาพธรรมชาติยังส่งผลให้สมบัติของโปรตีนเปลี่ยนไป เช่น ความสามารถในการละลายลดลง และมีความหนืดเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2539) ซึ่งเป็นผลให้น้ำผักผสมผลไม้มีความข่นและความหนืดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนและกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์	
	Microfiltration	Heat Treatment
ความเป็นกรด – ด่าง	$3.70^{a} \pm 0.01$	$3.68^{b} \pm 0.01$
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	$18.08^{b} \pm 0.12$	$20.11^{a} \pm 0.14$
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละในรูปของกรดมาลิก)	$0.458^{b} \pm 0.017$	$0.618^{a} \pm 0.024$
ปริมาณเกลือ (ร้อยละ)	$0.123^{b} \pm 0.014$	$0.159^{a} \pm 0.005$
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (ร้อยละ)	$3.54^{b} \pm 0.31$	$5.88^{a} \pm 0.74$
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชัน (ร้อยละ)	18.44 ± 0.90	19.12 ± 0.30
ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	$14.15^{a} \pm 0.81$	$12.57^{b} \pm 0.61$
ปริมาณวิตามินซี (mg/100 ml)	80.76 ± 1.08	73.71 ± 9.20

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนและกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปร้อยละของกรดมาลิก ปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชันต่ำกว่าในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงกว่าในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองด้วย MF มีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าแสดงว่ามีปริมาณกรดน้อยกว่าซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชันในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองด้วย MF มีค่าต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เพราะในน้ำผักผสมผลไม้มีกรดเป็นองค์ประกอบ ในขณะทำการฆ่าเชื้อ ความร้อนอาจเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ (Acid Hydrolysis) น้ำตาลซูโครสที่เป็นส่วนผสมในน้ำผักผสมผลไม้เกิดเป็นกลูโคสและฟรุคโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชันที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จึงมีค่าสูงกว่าในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรน และยังส่งผลให้

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน มีปริมาณน้ำตาลซูโครสต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองด้วย MF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชันและปริมาณวิตามินซีในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตจากทั้งสองกระบวนการ มีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนและกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

จุลินทรีย์ที่ทำการวิเคราะห์	ค่าที่วิเคราะห์ได้	
	Microfiltration	Heat Treatment
เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/ml)	2.9 ± 4.0	1.0 ± 1.3
ยีสต์และรา (cfu/ml)	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Coliforms และ E. coli (MPN)	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

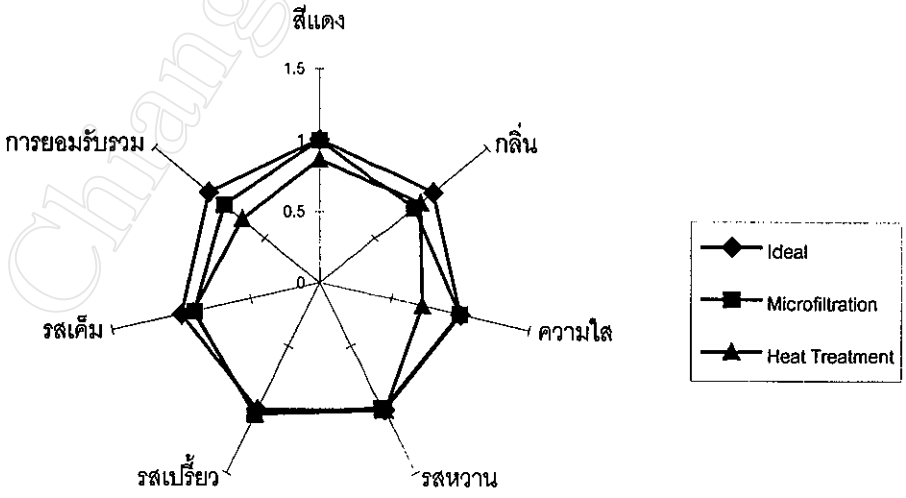
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตจากทั้งสองกระบวนการมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา Coliforms และ E. coli ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย MF มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.9 ± 4.0 cfu/ml และน้ำผักผสมผลไม้ที่ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.0 ± 1.3 cfu/ml ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา Coliforms และ E. coli ทั้งในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย MF และที่ทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ผลการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยาแสดงว่ากระบวนการกรองด้วย MF สามารถทดแทนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนได้ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วย ผลการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตจากทั้งสองกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 4.29 และกราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ (Ideal ratio profile) ของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากกระบวนการผลิตทั้งสองวิธี แสดงได้ดังภาพที่ 4.16

ตารางที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนและกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ลักษณะ	ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของน้ำผักผสมผลไม้	
	Microfiltration	Heat Treatment
สีที่ปรากฏ	$0.997^{a} \pm 0.110$	$0.860^{b} \pm 0.177$
ความใส	$0.999^{a} \pm 0.033$	$0.721^{b} \pm 0.112$
กลิ่น	0.830 ± 0.193	0.882 ± 0.188
รสหวาน	0.987 ± 0.166	1.010 ± 0.198
รสเปรี้ยว	1.044 ± 0.128	1.037 ± 0.172
รสเค็ม	0.905 ± 0.104	0.914 ± 0.145
การยอมรับรวม	$0.862^{a} \pm 0.074$	$0.703^{b} \pm 0.114$

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.16 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตด้วยกระบวนการผลิตที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.29 แสดงผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยใช้ Ideal ratio profile technique ของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตจากกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน (MF) และกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ภาพที่ 4.16 แสดงเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ต่างกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย MF มีค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) ของลักษณะด้านสีที่ปรากฏ ความใส และการยอมรับรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะด้านสีที่ปรากฏและความใสมีค่าเท่ากับ 0.997 ± 0.110 และ 0.999 ± 0.033 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ค่าสัดส่วนอุดมคติมาก (ค่าสัดส่วนอุดมคติมีค่าเท่ากับ 1.0) และมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยของการยอมรับรวมเท่ากับ 0.862 ± 0.074 เมื่อพิจารณาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนเฉลี่ยของทุกลักษณะพบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 0.5) แสดงว่า ผู้บริโภคมีความเห็นที่สอดคล้องหรือมีความเห็นที่ค่อนข้างตรงกัน สำหรับค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะด้านกลิ่นและรสชาติ (รสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม) ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างของกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่มาจากกระบวนการผลิตที่ต่างกันได้ ทั้งนี้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกับ 1.0 แต่ลักษณะด้านกลิ่นมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยไม่สูงนัก คือ มีค่าเท่ากับ 0.830 ± 0.193 ในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการกรองด้วย MF และมีค่า 0.882 ± 0.188 ในน้ำผักผสมผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จากข้อมูลด้านประสาทสัมผัส สรุปได้ว่า การผลิตน้ำผักผสมผลไม้ด้วยกระบวนการ MF และกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ไม่มีผลต่อกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ แต่มีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สีและความใสของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยกระบวนการ MF จะมีลักษณะดังกล่าวดีกว่า ผลิตภัณฑ์จึงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตโดยกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนแบบ MF และกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน สามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนมีคุณภาพดีขึ้นและมีการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะด้านสีและความใสที่ดีกว่า สำหรับคุณภาพทางเคมี กระบวนการผลิตที่ต่างกันทั้งสองวิธีมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเกลือ ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณ

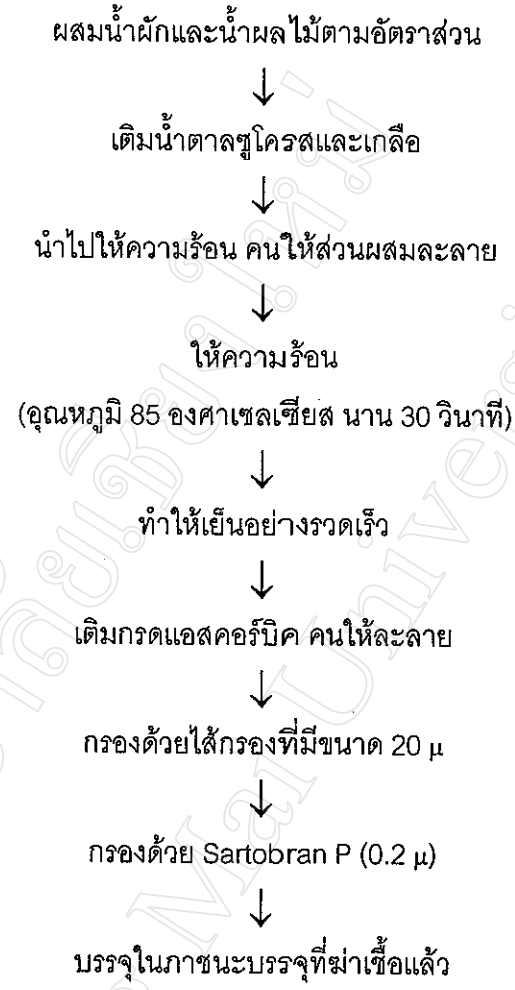
น้ำตาลซูโครส และปริมาณวิตามินซี อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลด้านประสาทสัมผัส ผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างทางด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ได้ ฉะนั้นคุณภาพทางเคมีที่ต่างกันของน้ำผักผสมผลไม้ทั้งสองจึงไม่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค จึงสรุปว่า กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนแบบ MF มีความเหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้แบบใสมากกว่ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

จากการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตน้ำผักผสมผลไม้แบบใส ที่ใช้วัตถุดิบจากพลัม บีท มะเขือเทศเชอร์รี่ และแครอท ทำให้ทราบสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย

สูตรการผลิต

- น้ำพลัม ร้อยละ 35.15
- น้ำมะเขือเทศ ร้อยละ 17.55
- น้ำบีท ร้อยละ 12.40
- น้ำแครอท ร้อยละ 34.95
- น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 16.49 ของน้ำผักผสมผลไม้
- เกลือ ร้อยละ 0.068 ของน้ำผักผสมผลไม้
- กรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.37 ของน้ำผักผสมผลไม้

กระบวนการผลิต แสดงได้ดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตจากสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม มีดังนี้

☆ ค่าสี L (ความสว่าง)	38.76 ± 0.05
☆ ค่าสี a (สีแดง-เขียว)	56.51 ± 0.15
☆ ค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน)	21.20 ± 0.02
☆ ความหนืด (cP ที่ 25 องศาเซลเซียส)	1.513 ± 0.006
☆ ความขุ่น (NTU)	0.23 ± 0.08
☆ ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	1.077 ± 0.000
☆ ความเป็นกรด-ด่าง	3.61 ± 0.01

☆ ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละของกรดมาลิก)	0.42 ± 0.02
☆ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	17.93 ± 0.12
☆ ปริมาณวิตามินซี (mg/100 ml)	81.17 ± 0.93
☆ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (ร้อยละ)	3.44 ± 0.36
☆ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชัน (ร้อยละ)	17.15 ± 0.18
☆ ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	13.37 ± 0.18
☆ เถ้า (ร้อยละ)	0.300 ± 0.000
☆ ปริมาณเพคติน (Alcohol test)	Negative

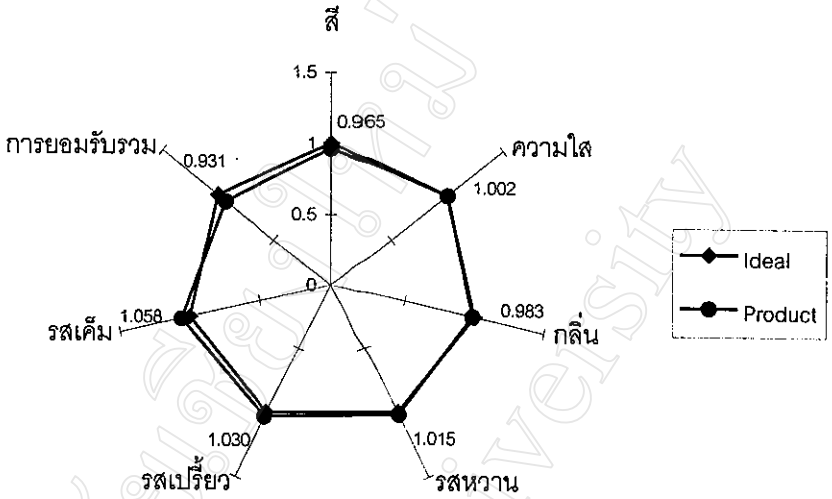
ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal ratio profile technique ของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตจากสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 4.30 และกราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ แสดงดังภาพที่ 4.18

ตารางที่ 4.30 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้และ t value ของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะต่าง ๆ กับค่าสัดส่วนอุดมคติ

ลักษณะ	สัดส่วนเฉลี่ย	t value
สีที่ปรากฏ	0.965 ± 0.045	-2.502*
ความใส	1.002 ± 0.026	0.190
กลิ่น	0.983 ± 0.058	0.930
รสหวาน	1.015 ± 0.098	0.494
รสเปรี้ยว	1.030 ± 0.098	0.958
รสเค็ม	1.058 ± 0.164	1.119
การยอมรับรวม	0.931 ± 0.049	-4.465*

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ที่กำกับ t value แสดงว่าค่าสัดส่วนเฉลี่ยมีความแตกต่างกับค่าสัดส่วนอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.18 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต

จากกราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ผลิตจากสูตร และ กระบวนการผลิตที่เหมาะสม พบว่า ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย สีที่ปรากฏ ความใส กลิ่นของผลิตภัณฑ์ รสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม และการยอมรับรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนอุดมคติมาก คือมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะด้านสีที่ปรากฏ 0.965 ± 0.045 ความใส 1.002 ± 0.026 กลิ่น 0.983 ± 0.058 รสหวาน 1.015 ± 0.098 รสเปรี้ยว 1.030 ± 0.098 รสเค็ม 1.058 ± 0.164 และการยอมรับรวม 0.931 ± 0.049 จากการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนเฉลี่ยและค่าสัดส่วนอุดมคติของลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.30) พบว่า ลักษณะด้านความใส กลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ลักษณะด้านสีที่ปรากฏและการยอมรับรวม มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยต่ำกว่าค่าสัดส่วนอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ข้อมูลทางประสาทสัมผัสที่ได้จากการทดสอบชิมโดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน จะนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับรวมกับลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ Multiple Regression ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Statistix version 4.0 ได้สมการความสัมพันธ์ คือ

การยอมรับรวม = -0.3866 + 0.2302 (ความใส) - 0.1945 (กลิ่น) - 0.0558 (รสเค็ม)
+ 3.8998 (รสเปรี้ยว) - 0.3996 (รสหวาน) - 2.1260 (รสเปรี้ยว)^2

$R^2 = 0.9918$

จากสมการ พบว่า ในการตัดสินใจยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำผักผสมผลไม้ที่ทำการพัฒนานั้น ผู้บริโภคจะพิจารณาทั้งลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ รวมถึงกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะปรากฏที่พิจารณา ได้แก่ ความใสของผลิตภัณฑ์ ในด้านกลิ่นและรสชาติ ผู้บริโภคจะพิจารณาลักษณะด้านกลิ่น รสหวาน รสเปรี้ยว และรสเค็มของผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University