บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

1. ชนิดของสารให้ความคงตัวไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณเริ่มต้นของโพรไบติกสายพันธุ์ *L. casei* 01 โดยมีปริมาณ *L. casei* 01 เริ่มต้นอยู่ที่ 7.61-7.69 log cfu/ml และในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติกแสดงค่า pH ต่ำกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมโพรไบโอติก ($p \leq 0.05$) โดยส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติกแสดงค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 6.53 – 6.62 ในขณะที่ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมแสดงค่า pH อยู่ช่วง 6.75 – 6.76

2. ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผลิตขึ้นทั้ง 8 สูตรทั้งหมดมีพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด Shear-thinning จากการทดสอบโดยให้แรงเฉือน พบว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทุกสูตรแสดงค่า Yield stress อยู่ระหว่าง 0.444 – 3.822 Pa โดยไอศกรีมที่ใช้แซนแทนกัมทั้งสูตรโพรไบโอติกและสูตรควบคุมทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับแคปป้า – คาราจีแนนมี Yield stress สูงกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้กัวร์กัมทั้งสูตรโพรไบโอติกและสูตรควบคุมทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับแคปป้า–คาราจีแนน ($p \leq 0.05$) และพบว่าค่า Flow behavior index อยู่ในช่วง 0.500 – 0.713 และส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติกและส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมที่ใช้สารให้ความคงตัวชนิดแซนแทนกัมแสดงค่า Flow behavior index ต่ำกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้กัวร์กัม และส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรโพรไบโอติกและสูตรควบคุมที่ใช้แซนแทนกัมทั้งใช้เดี่ยวและใช้ร่วมกับแคปป้า - คาราจีแนน แสดงค่า Consistency index สูงกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรโพรไบโอติกและสูตรควบคุมที่ใช้สารให้ความคงตัวชนิดกัวร์กัมทั้งใช้เดี่ยวและใช้ร่วมกับแคปป้า-คาราจีแนน ($p \leq 0.05$)

3. ค่าความหนืดปรากฏส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.224 - 0.328 Pa.s และพบว่าค่าความหนืดปรากฏระหว่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมกับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติกที่ใช้สารให้ความคงตัวชนิดเดียวกันไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

4. จากการทดสอบเชิงพลวัตของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมพบว่าทั้งส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติกและส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมที่ใช้สารให้ความคงตัวชนิดแซนแทนกัมแสดงค่า G' สูงกว่าค่า G'' แสดงถึงพฤติกรรมแบบเจลอ่อน (Weak gel) ในขณะ

ที่ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมและส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติกที่ใช้สารให้ความคงตัวชนิดกัวร์กัมแสดงให้เห็นจุดตัดกันระหว่างค่า G′ และ G″ คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของสารละลายเข้มข้น (Concentrated solution)

5. เมื่อเปรียบเทียบค่า G′ และ G″ ระหว่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรโพร-ไบโอติกและส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมที่ใช้สารให้ความคงตัวชนิดเดียวกันพบว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติกแสดงค่า G′ และ G″ สูงกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุม สำหรับค่าความหนืดเชิงซ้อนแสดงผลไปในทางเดียวกันกับค่าความหนืดปรากฏ คือ ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ไม่มีการเติมโพรไบโอติกจะมีค่าความหนืดเชิงซ้อน η^* ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโพรไบโอติก แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการเติมแคปป้า – คาราจีแนนที่ใช้ร่วมด้วย

6. จากข้อมูลทางสมบัติวิทยากระแสทั้งแบบการให้แรงเฉือนและการทดสอบเชิงพลวัตของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมแสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตและเครื่องจักรที่มีอยู่เดิม

7. จากผลของกระบวนการปั่นเป็นไอศกรีมต่อร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ผลิตขึ้นทั้ง 8 สูตร พบว่าไอศกรีมโพรไบโอติกและไอศกรีมสูตรควบคุมแสดงค่าร้อยละการขึ้นฟูไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยการขึ้นฟูอยู่ในช่วงร้อยละ 31.07 – 39.59 แต่เมื่อเปรียบเทียบในไอศกรีมสูตรโพรไบโอติกพบว่าไอศกรีมโพรไบโอติกที่ใช้กัวร์กัมมีร้อยละการขึ้นฟูสูงกว่าไอศกรีมโพรไบโอติกสูตรอื่น ($p \leq 0.05$)

8. จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารให้ความคงตัวต่อการรอดชีวิตของ *L. casei* 01 จากกระบวนการปั่นเป็นไอศกรีม พบว่าชนิดของสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อการรอดชีวิตของ *L. casei* 01 ($p > 0.05$) โดย *L. casei* 01 มีการรอดชีวิตอยู่ช่วงร้อยละ 90.40 – 92.23 และมีจำนวน *L. casei* 01 ที่รอดชีวิตมากกว่า 7 log cfu/ml

9. จากการศึกษาค่า pH ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น ค่า pH ของไอศกรีมโพรไบโอติกมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) โดย pH ลดลงจาก 6.62 – 6.53 เป็น 6.39 – 6.41 แต่สำหรับไอศกรีมสูตรควบคุมค่า pH ของไอศกรีมไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บ ($p > 0.05$)

10. ไอศกรีมที่ผลิตขึ้นทุกสูตรมีพฤติกรรมแบบเจลอ่อน (Weak gel) ที่แสดงค่า G′ สูงกว่าค่า G″ เล็กน้อย และเมื่อใช้สารให้ความคงตัวร่วมกับแคปป้า – คาราจีแนนไอศกรีมทั้งสูตร

ควบคุมและไอศกรีมโพรไบโอติกแสดงค่า G′ และ G″ สูงขึ้น และการเติม *L. casei* 01 ลงในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมแสดงค่า G′ และ G″ สูงขึ้น

11. จากการศึกษาค่า G′ และค่า G″ และค่า η^* ของไอศกรีมทุกสูตร พบว่าค่า G′, G″ และค่า η^* ของไอศกรีมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเก็บรักษา โดยค่า G′ ของไอศกรีมทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าค่า G″ ตลอดอายุการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบค่า G′ ของไอศกรีมที่ผลิตขึ้น พบว่าเมื่อใช้สารใช้ความคงตัวชนิดเดียวกัน G′ของไอศกรีมสูตรโพรไบโอติกสูงกว่าสูตรควบคุม และ G′ ของไอศกรีมที่ใช้แซนแทนกัมทั้งในสูตรควบคุมและสูตรโพรไบโอติกมีค่าสูงกว่าไอศกรีมที่ใช้กัวร์กัมทั้งในสูตรควบคุมและสูตรโพรไบโอติก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง G′ ของไอศกรีมกับอายุการเห็บรักษาตั้งแต่วันที่ 45 - 210 วัน แสดงให้เห็นว่าไอศกรีมโพรไบโอติกและสูตรควบคุมที่ใช้แซนแทนกัมแสดงค่าความชันของ G′ ต่ำกว่าไอศกรีมที่ใช้กัวร์กัม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลึกน้ำแข็งมีขนาดเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาและการใช้สารให้ความคงตัวที่ต่างชนิดกันทำให้อัตราการขยายขนาดผลึกน้ำแข็งหรือความสามารถในการยับยั้งกระบวนการ Ice recrystallization แตกต่างกัน ส่งผลให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งแตกต่างกัน

12. จากการศึกษาผลของอายุการเก็บต่อการรอดชีวิตของ *L. casei* 01 พบว่า *L. casei* 01 มีจำนวนอยู่ระหว่าง 7.44 – 7.54 log cfu/ml โดยไม่มีอิทธิพลของอายุการเก็บรักษา ($p > 0.05$) และไม่มีอิทธิพลของชนิดของสารให้ความคงตัวต่อการรอดชีวิตในระหว่างการเก็บรักษาในทุกช่วงเวลาที่เก็บ ($p > 0.05$) โดยมีปริมาณที่รอดชีวิตเพียงพอที่จะสร้างประโยชน์แก่ร่างกายของผู้บริโภค

13. เมื่ออายุการเก็บสูงขึ้นทำให้ค่า First drip และ ค่า Total melting time ของไอศกรีมทุกสูตรมีแนวโน้มสูงขึ้น และการเติมแคปป้า – คาราจีแนนลงในไอศกรีม ทำให้ค่า First drip ของไอศกรีมสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่ไม่ได้เติมแคปป้า - คาราจีแนน ทั้งในไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรโพรไบโอติก ($p \leq 0.05$)

14. จากผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อไอศกรีมที่ผลิตขึ้น เมื่อเปรียบเทียบไอศกรีมโพรไบโอติกกับไอศกรีมสูตรควบคุม พบว่า *L. casei* 01 สามารถเพิ่มการยอมรับในด้านกลิ่นรส รสชาติและเนื้อสัมผัส ของไอศกรีมได้ โดยเฉพาะเมื่อเติม *L. casei* 01 ร่วมกับแซนแทนกัม หรือไอศกรีมที่ใช้แคปป้า – คาราจีแนน ทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

15. จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า *L. casei* 01 สามารถรอดชีวิตได้ดีทั้งในไอศกรีมไขมันต่ำที่ใช้แซนแทนกัมหรือกัวร์กัมทั้งแบบเดี่ยวหรือที่ใช้ร่วมกับแคปป้า – คาราจีแนนซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าการรอดชีวิตของ *L. casei* 01 ไม่ได้เป็นผลมาจากความสามารถในการยับยั้งกระบวนการ Ice recrystallization ของสารให้ความคงตัว ดังนั้นการเลือกใช้สารให้ความคงตัวของไอศกรีมโพรไบโอติกมีข้อพิจารณาจากการยอมรับของผู้บริโภค จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าในการผลิตไอศกรีมโพรไบโอติกไขมันต่ำควรเลือกใช้สารให้ความคงตัวชนิดแซนแทนกัม หรือแซนแทนกัมร่วมกับแคปป้า – คาราจีแนน เนื่องจากมีปริมาณ *L. casei* 01 ที่รอดชีวิตสูงและคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูง นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการผลิตในอุตสาหกรรม โดยไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวัดค่าสมบัติวิทยากระแสของไอศกรีมควรใช้อุณหภูมิในวัดที่ –18 °C เพื่อให้แสดงถึงโครงสร้างที่แท้จริงของไอศกรีมในระหว่างการเก็บรักษา

2. ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีมที่เติม *L. casei* 01 ด้วย HPLC เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนนม น้ำตาลแลคโตสหรืออินูลิน

3. ควรมีการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับคุณสมบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของไอศกรีม นอกเหนือจากที่ได้ทำการศึกษาไปแล้ว เช่น โครงสร้างของไอศกรีม ขนาดของผลึกน้ำแข็ง การวิเคราะห์ขนาดของเซลล์อากาศ การเกิด Recrystallization ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน และการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) เช่น Glass transition temperature

4. ควรเพิ่มการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา เพื่อใช้บอกความแตกต่างระหว่างไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรโพรไบโอติก เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

5. ควรมีการศึกษา Clinical trial ของไอศกรีมโพรไบโอติกที่ผลิตได้