

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำเวย์ตัวอย่าง

##### 4.1.1 สมบัติด้านกายภาพของน้ำเวย์

ผลการวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี พบว่าค่าความสว่างของสี (ค่า  $L^*$ ) ค่าสีแดงและสีเขียว (ค่า  $a^*$ ) และ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (ค่า  $b^*$ ) ของตัวอย่างน้ำเวย์ มีค่าเท่ากับ  $56.76 \pm 0.73$  -  $1.32 \pm 0.17$  และ  $-1.12 \pm 0.79$  ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างของน้ำเวย์มีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน เพราะว่าโดยปกติ น้านมจะมีสีขาว เนื่องจากมีการกระจายแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ โดยเม็ดไขมันขนาดเล็กสามารถกระจายแสงได้ดีกว่า แต่เมื่อมีการตกตะกอนโปรตีนและเม็ดไขมันมีการรวมตัวกันได้ขนาดใหญ่ก็จะลดการมองเห็นเป็นสีขาวให้น้อยลง แล้วสีเหลืองอ่อนที่สังเกตได้ก็มาจากแคโรทีนที่ละลายในไขมันนมที่มีอยู่ในนั้น นอกจากนี้ยังสีสารประกอบพวกแซนฟิลและไรโบฟลาวินจะให้สีเหลืองเช่นเดียวกัน แต่ไรโบฟลาวินสามารถละลายในน้ำได้ จึงเป็นตัวที่ทำให้น้านมที่ปราศจากไขมันมีสีเหลืองอ่อนเกิดขึ้น ส่วนค่าความหนืด (viscosity) ซึ่งเป็นความต้านทานต่อการไหลของของเหลว มีค่าเท่ากับ  $1.50 \pm 0.01$  เซนติพอยส์ ซึ่งน้ำเวย์โดยปกติจะมีค่าความหนืดอยู่ประมาณ 1.2 เซนติพอยส์ (นิธิยา, 2541; วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531)

ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของน้ำเวย์เมื่อวัดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ  $1.02 \pm 0.01$  โดยในน้านมวัวมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.0135-1.0510 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งผันแปรกับปริมาณของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งในน้ำ และแปรผกผันกับปริมาณของไขมันนม น้ำเวย์ตัวอย่างมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) เท่ากับร้อยละโดยน้ำหนักต่อ น้ำหนัก (w/w)  $7.14 \pm 0.06$  ขณะที่น้ำเวย์ทั่วไปจะมีปริมาณของแข็ง เท่ากับร้อยละ (w/w) 6.35 (นิธิยา, 2541) สมบัติด้านกายภาพของน้ำเวย์ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสี ค่าความหนืด ค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่มีอยู่ในน้ำเวย์ตัวอย่าง

สมบัติทางกายภาพ	ผลการทดลอง
- ค่าสี L*	56.76±0.73
a*	-1.32±0.17
b*	-1.12±0.79
- ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) ที่ 20 องศาเซลเซียส (เซนติพอยส์)	1.50±0.01
- ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 20 องศาเซลเซียส	1.02±0.01
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ (w/w)	7.14±0.06

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.1.2 สมบัติด้านเคมีของน้ำเวย์

น้ำเวย์ตัวอย่างมีปริมาณน้ำตาลแลคโตส และปริมาณไขมันจะได้ เท่ากับร้อยละ (w/w) 4.78±0.03 และ 0.70±0.08 ตามลำดับ สอดคล้อง คือ มีน้ำตาลแลคโตสประมาณร้อยละ (w/w) 4.85 และไขมันร้อยละ (w/w) 0.5 (นิธิยา, 2541) ส่วนปริมาณโปรตีนจะวิเคราะห์ด้วยวิธี Bradford โดยจะติดตามค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 nm ของสารละลายในระบบที่แปรผันตามปริมาณของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง coomassie reagent ซึ่งเป็นสีย้อม ที่ไปจับกับโปรตีนในสารละลาย ตัวอย่างที่ตรวจสอบ พบว่าตัวอย่างน้ำเวย์มีปริมาณโปรตีน เท่ากับร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) 0.37±0.01 โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ของ Bradford method ส่วนค่า pH ของน้ำเวย์ตัวอย่าง มีค่า เท่ากับ 4.78±0.25 สมบัติทางด้านเคมีของน้ำเวย์ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์จึงมีค่าใกล้เคียงกับตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นองค์ประกอบทั่วไปโดยประมาณที่วิเคราะห์ได้ในน้ำนมวัวและในน้ำเวย์

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาลแลคโตส ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน ที่มีอยู่ในน้ำเวย์ตัวอย่าง

สมบัติทางเคมี	ผลการทดลอง
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วย pH meter	4.78±0.25
- วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลแลคโตส ร้อยละ (w/w)	4.77±0.03
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ร้อยละ (w/v)	0.37±0.01
- วิเคราะห์ปริมาณไขมัน ร้อยละ (w/w)	0.70±0.08

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าวิเคราะห์โดยประมาณระหว่างนํ้านมวัวและนํ้าเวย์

องค์ประกอบในสารละลาย	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (% w/v)	
	Milk	Whey
Casein protein	2.8	<0.1
Whey protein <sup>1</sup>	0.7	0.7
Fat	3.7	0.1
Ash	0.7	0.5
Lactose	4.9	4.9
Total solids	12.8	6.3

ที่มา: Smithers (2008)

หมายเหตุ: <sup>1</sup> วิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธีเจลดาร์ล (kjeldahl method)

## 4.2 ศึกษาผลของการเตรียมน้ำเวย์ที่มีต่อสมบัติเกี่ยวกับฟองของน้ำเวย์ตัวอย่าง

### 4.2.1 สมบัติเกี่ยวกับฟองของน้ำเวย์ตัวอย่างเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

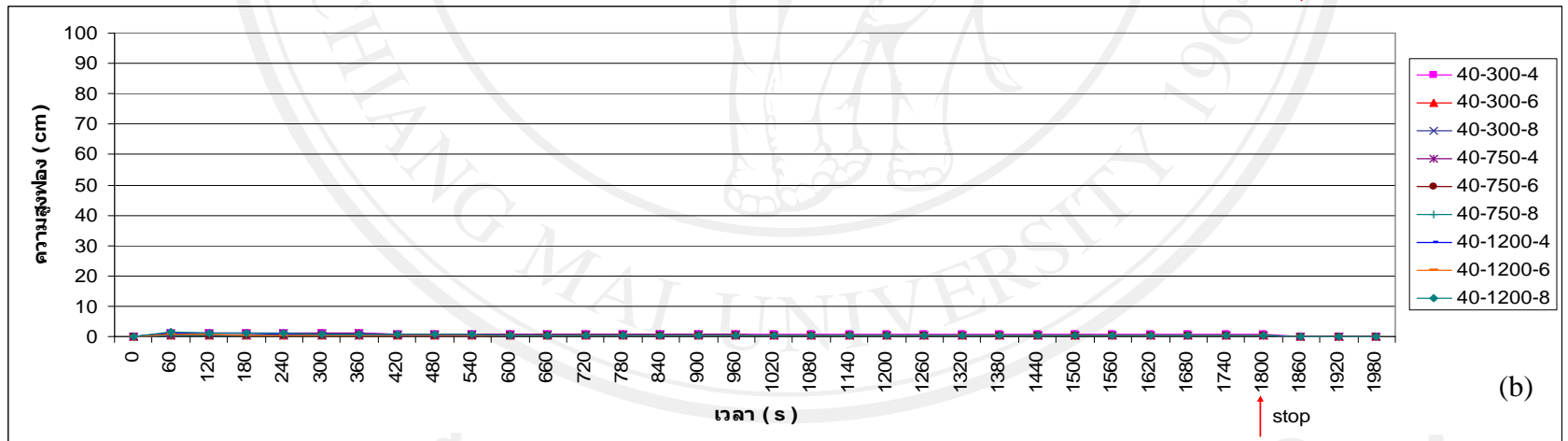
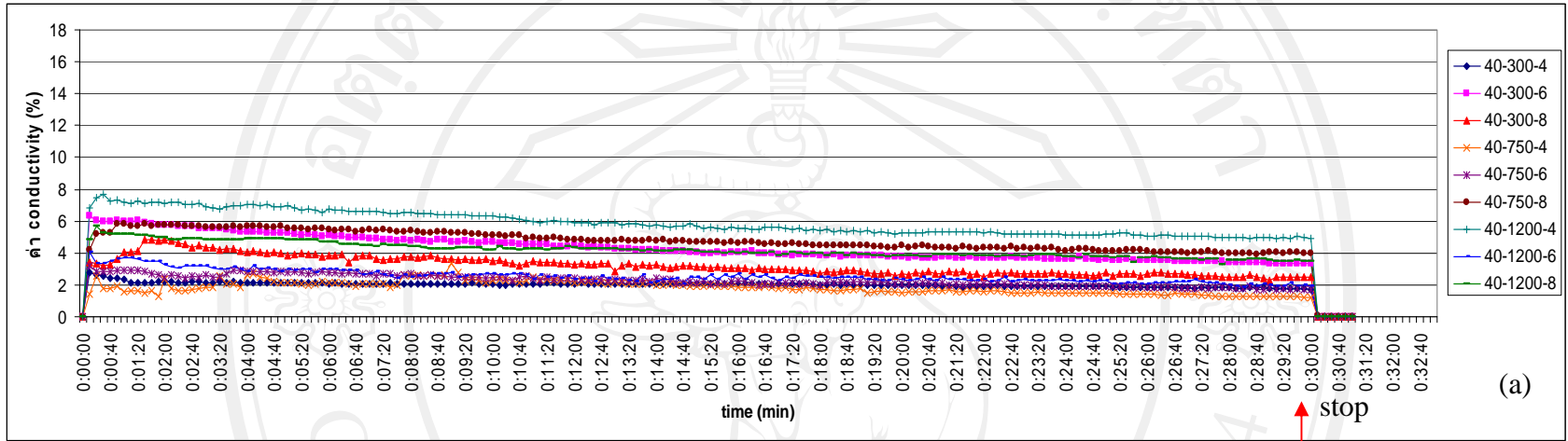
ทำการให้ความร้อนแก่น้ำเวย์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการเตรียมสภาวะของน้ำเวย์ในช่วงระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ตามที่กำหนดก่อนใส่เข้าไปในคอลัมน์แก้ว โดยเมื่อเริ่มเปิดให้อากาศเข้าสู่อุปกรณ์สร้างฟองที่ติดตั้งไว้ด้านล่างของคอลัมน์แก้ว แต่เนื่องจาก ณ ที่อุณหภูมินี้ฟองเกิดขึ้นได้น้อยมาก น้ำเวย์จึงถูกคั้นให้ยกตัวสูงขึ้นสู่ด้านบนของคอลัมน์แก้ว ลักษณะของเส้นกราฟในช่วงต้นของวินาทีแรกจะมีความชันมาก เนื่องจากแรงดันอากาศที่ปล่อยออกมาในช่วงแรกนั้นจะมีฟองอากาศผุดขึ้นไปด้านบนคอลัมน์อย่างรวดเร็ว ฟองอากาศที่ถูกคั้นขึ้นไปนี้จะมีปริมาณของเหลวอยู่สูง เมื่อผ่านตรงบริเวณแท่งหลอดทองแดงที่ใช้เป็นอิเล็กโทรดในการวัดค่าการนำไฟฟ้าของฟองน้ำเวย์ ที่ในสภาวะเริ่มต้นเช่นนี้ฟองน้ำเวย์จะมีปริมาณส่วนของของเหลวมาก หรือในอีกความหมายหนึ่งคือ ฟองอากาศจะเปียกมาก ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดออกมาในช่วงเริ่มต้นนั้น ค่าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะแนวโน้มของเส้นกราฟที่ได้จะมีความชันมาก ซึ่งไม่ว่าที่ระยะเวลาในการคงอุณหภูมิ และค่า pH ใดๆ แนวโน้มของเส้นกราฟจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จนเมื่อถึงช่วงระยะเวลาหนึ่งค่าการนำไฟฟ้าก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจะถึงระยะที่ค่าการนำไฟฟ้าค่อยๆ ลดลง จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด มีค่าประมาณ 8 % เมื่อเวลาในการคงอุณหภูมิเป็น 1,200 วินาที และน้ำเวย์มีค่า pH เท่ากับ 4 หลังจากให้อากาศเป็นเวลานาน 30 นาที จึงหยุดให้อากาศ ในระหว่างที่เครื่องสร้างฟองกำลังทำงานอยู่นั้นลักษณะแนวโน้มของเส้นกราฟที่ได้จะค่อยๆ ลดลงทุกในสภาวะที่ใช้ในการเตรียมน้ำเวย์ ทั้งระยะเวลาในการคงอุณหภูมิไว้ เป็นเวลานาน 300, 750 และ 1,200 วินาที และน้ำเวย์ที่มีการปรับค่า pH เป็น 4, 6 และ 8 ของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิเดียวกันนี้

เมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงความสูงของฟองน้ำเวย์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสแล้วจะสังเกตได้ว่า ความสูงของฟองในทุกสภาวะที่ใช้ในการเตรียมน้ำเวย์ ฟองที่เกิดขึ้นมีความเสถียรน้อยมากจึงแทบจะไม่มี ความสูงของฟองเกิดขึ้นหรือมีได้น้อยมาก เนื่องจากที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสนี้ไม่เอื้ออำนวยในการเกิดฟองของน้ำเวย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Borcherding *et al.* (2008a) พบว่าสภาวะที่ทำการศึกษาถึงผลต่อการโฮโมจีไนเซชันในนมและอุณหภูมิในการเกิดฟองมีผลต่อโครงสร้างขนาดเล็กที่เกิดขึ้นในฟองที่ได้จากนมพลาสเจอไรซ์ โดยที่อุณหภูมิของการเกิดฟองจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส ดีกว่าการเกิดในอุณหภูมิต่ำ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าของความหนืดปรากฏและแรงตึงผิวจะลดลงทำให้การเกิด

ฟองของสารละลายเกิดขึ้นได้ดี นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงจำนวนของการเกิดปฏิสัมพันธ์ของพันธะไฮโดรโฟบิกก็มีมากขึ้นด้วย



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



รูปที่ 4.1 ค่าความนำไฟฟ้าและความสูงของฟองน้ำเวย์ที่เตรียมจากน้ำเวย์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

#### 4.2.2 สมบัติเกี่ยวกับฟองของน้ำเวย์ตัวอย่างเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

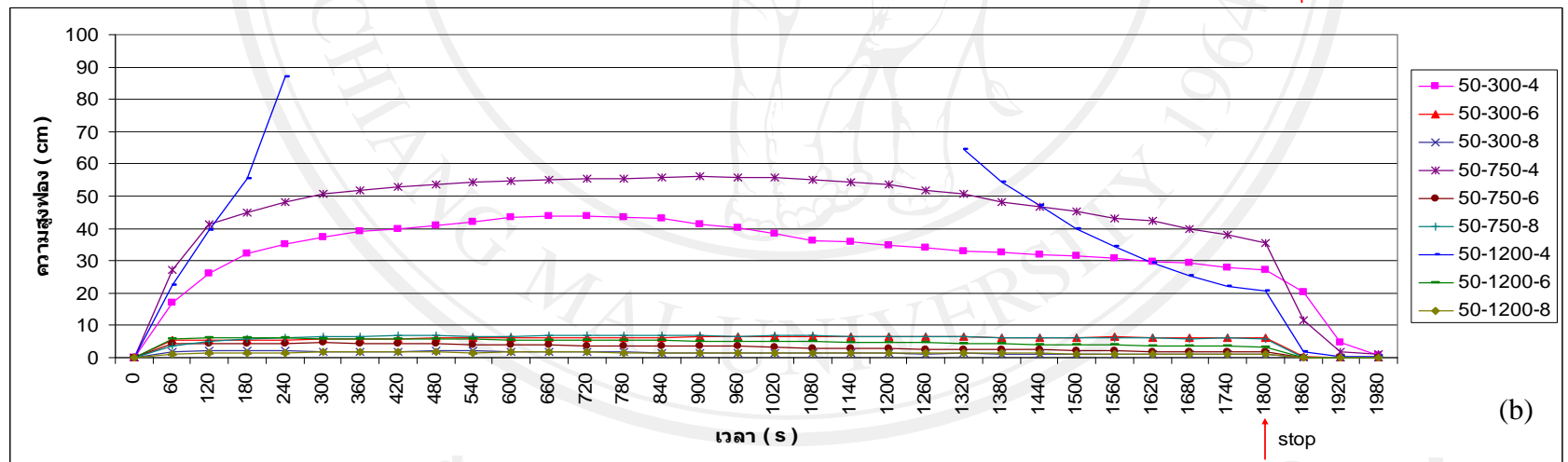
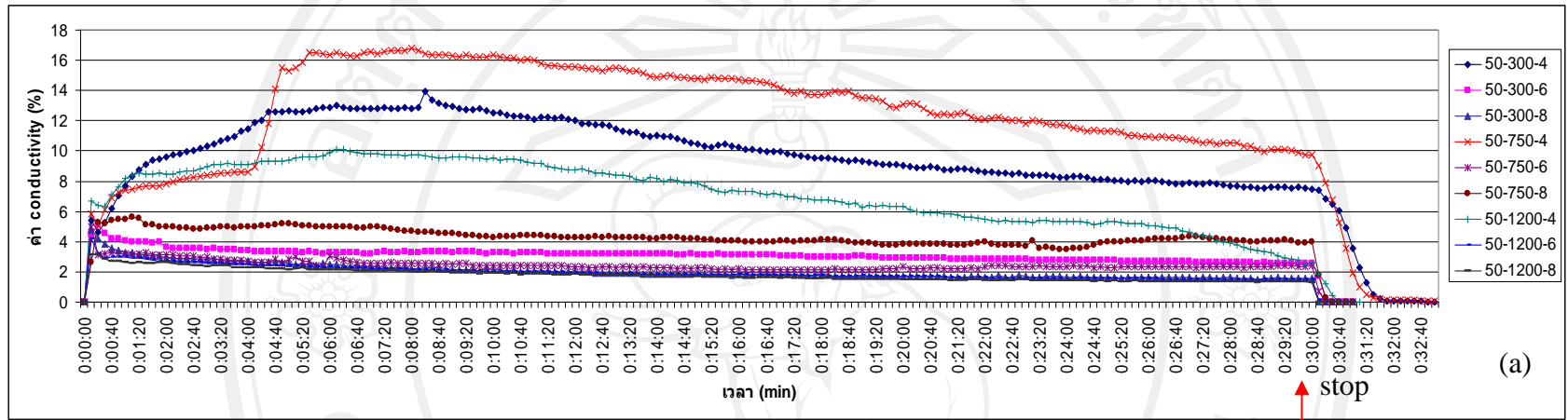
ฟองน้ำเวย์ที่ได้จากน้ำเวย์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่าความนำไฟฟ้าและความสูงของฟองที่มีค่าสูงกว่าฟองที่เตรียมจากน้ำเวย์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเริ่มต้นที่เปิดเครื่อง เส้นกราฟจะพุ่งขึ้นเป็นแนวตั้งเช่นเดียวกันเพราะเป็นผลจากการที่ปริมาณของเหลวของน้ำเวย์ถูกยกตัวขึ้นไปสัมผัสกับหัวโลหะทองแดงที่ใช้เป็นตัววัดค่าความนำไฟฟ้าในปริมาณที่มาก ค่าความนำไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะแนวโน้มของเส้นกราฟที่ได้จะมีความชันมาก จากนั้นค่าความนำไฟฟ้าจะค่อยเริ่มคงที่ในช่วงประมาณ 2-6 % ยกเว้นสภาวะของน้ำเวย์ที่มีการปรับค่า pH เป็น 4 จะค่อยๆ มีค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งค่าที่วัดได้สูงสุดไม่เกิน 18 % แล้วค่อยลดลงอย่างช้าๆ แต่มีค่ามากกว่า 6 % ของสภาวะที่มีค่า pH เป็น 6 และ 8 (ภาพที่ 4.2) เนื่องจากค่า pH 4 จะมีค่าใกล้เคียงค่า pI (isoelectric point) ของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำเวย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marinova *et al.* (2009) ที่ศึกษาปัจจัยทางกายภาพและเคมี ที่มีผลต่อการควบคุมลักษณะความสามารถในการเกิดฟองและความคงตัวของฟองของโปรตีนนม คือ โปรตีนจากเคซีนและเวย์โปรตีน เมื่อพิจารณาในส่วนของค่า pH (อยู่ในช่วงระหว่างของค่า isoelectric point หรือค่า pI) และ ค่า ionic strengths พบว่าเวย์โปรตีนเข้มข้นมีความสามารถที่ทำให้เกิดฟองได้มากที่สุด เมื่อค่า pH จะมีค่าเข้าใกล้ pI ประมาณ 4.2 ขณะที่โปรตีนจากเคซีนมีความสามารถในการเกิดฟองได้น้อยที่ใกล้กับค่า pI ประมาณ 4.6 (เกิดเป็นฟองที่มีความเสถียรที่ pH เท่ากับ 6.8) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันกับ ลักษณะของแผ่นฟิล์มบางของฟอง แรงตึงผิว และการดูดซับโปรตีนที่พื้นผิวของฟอง จึงทำให้มีการก่อตัวของฟองเกิดขึ้นได้ดีรวมถึงความคงตัวของฟอง

เมื่อเวลาในการสร้างฟองผ่านไปสักระยะหนึ่งค่าความนำไฟฟ้าของฟองที่วัดได้ก็จะค่อยๆ ลดลงจนเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ก็หยุดให้อากาศ สังเกตเส้นกราฟที่ได้จะเห็นความแตกต่างบางอย่างคือ เส้นกราฟของที่สภาวะค่า pH 6 และ 8 ที่ระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์เป็น 300, 750 และ 1,200 วินาที แนวโน้มจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อจับเวลาภายในระยะเวลา 1 นาที แต่เส้นกราฟของสภาวะค่า pH เป็น 4 ที่ระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์เป็น 300 และ 750 วินาที จะค่อยๆ ลดลง ส่วนที่ระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์เท่ากับ 1,200 วินาที นั้นเส้นกราฟจะค่อยลดลงตั้งแต่ยังไม่สิ้นสุดการให้อากาศแต่ก็ยังมีค่าความนำไฟฟ้าของฟองที่สูงกว่าในสภาวะอื่นๆ ลักษณะที่ปรากฏเช่นนี้แสดงถึงความคงตัวของฟองที่ดีกว่าที่สภาวะการเตรียมน้ำเวย์อื่นๆ เนื่องจากเมื่อไม่มีแรงดันอากาศแล้วฟองจึงไม่ถูกสร้างขึ้นมาใหม่อีก ทำให้มีการยุบตัวของฟองเกิดขึ้น ถ้าฟองยังคงมีความคงตัวได้ดีลักษณะฟองนั้นจะไม่มีแตกตัวสลายไปอย่างทันทีแต่ค่อยๆ รวมตัวให้ขนาดใหญ่ขึ้นจนมีปริมาณน้ำที่ผิวของฟองน้อยลง เมื่อน้ำหนักของของเหลวมีการเหนี่ยวนำ

พื้นผิวของฟองมากจนทำให้แผ่นฟิล์มของฟองบางลง ฟองจึงแตกออก แต่ถ้าฟองมีความคงตัวไม่ดี ฟองก็จะแตกตัวอย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณาความสูงของฟองที่เกิดขึ้น (รูปที่ 4.2) ก็พบว่าที่สถานะของน้ำเวย์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่ปรับให้มีค่า pH เป็น 4 ของที่ทุกสถานะการคงอุณหภูมิ นั้นความสูงของฟองจะมากกว่าที่สถานะอื่นๆ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 0-10 เซนติเมตร สำหรับสถานะที่มีระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์เป็น 300 และ 750 วินาที ความสูงที่ได้จะอยู่ในช่วง 40-60 เซนติเมตร ส่วนที่ระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์เป็น 1,200 วินาที ความสูงของฟองจะมากกว่าความสูงของคอลัมน์แก้วจึงทำให้ไม่สามารถทราบความสูงของฟองที่สูงสุดได้แน่นอน และเมื่อเวลาผ่านไปช่วงระยะหนึ่งความสูงของฟองก็จะค่อยๆ ลดลง เมื่อหยุดการให้อากาศจะสังเกตเห็นว่าการลดลงของความสูงฟองจะมีความแตกต่างกัน โดยที่สถานะของระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์เป็น 300 วินาทีที่ค่า pH เท่ากับ 4 จะลดลงช้ากว่าที่สถานะระยะเวลาในการคงอุณหภูมิ 750 และ 1,200 วินาทีที่ค่า pH เท่ากับ 4 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความนำไฟฟ้าของฟองที่วัดได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Borcherding *et al.* (2008b) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดฟองและสถานะของเวลากับอุณหภูมิต่างๆ ในน้ำนม ซึ่งเกิดฟองได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส และมีความคงตัวดีที่อุณหภูมิในช่วงนี้ ซึ่งในขณะที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสนั้น โปรตีนที่มีกลุ่มไฮโดรโฟบิกอยู่จะอยู่ภายในโครงสร้างโปรตีนที่ไม่เปิดตัวออก ส่งผลให้เกิดฟองได้ไม่ดีนัก





หมายเหตุ : เส้นกราฟที่หายไปเนื่องจากการเกิดฟอง สูงเกินกว่าความสูงของคอลัมน์แก้วที่ตั้งไว้

รูปที่ 4.2 ค่าความนำไฟฟ้าและความสูงของฟองน้ำเวย์ที่เตรียมจากน้ำเวย์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

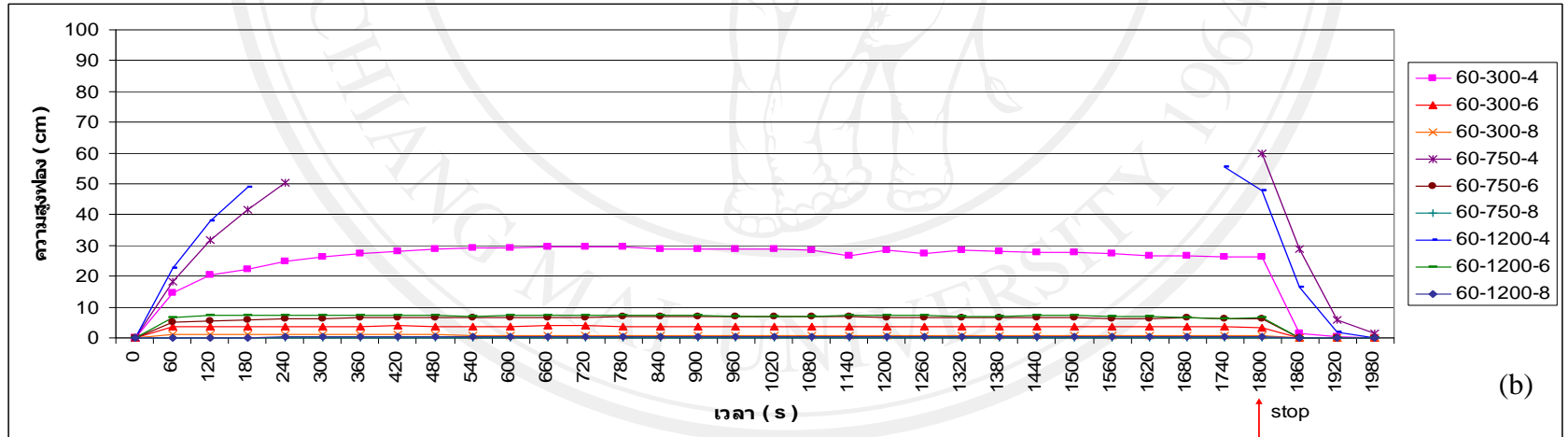
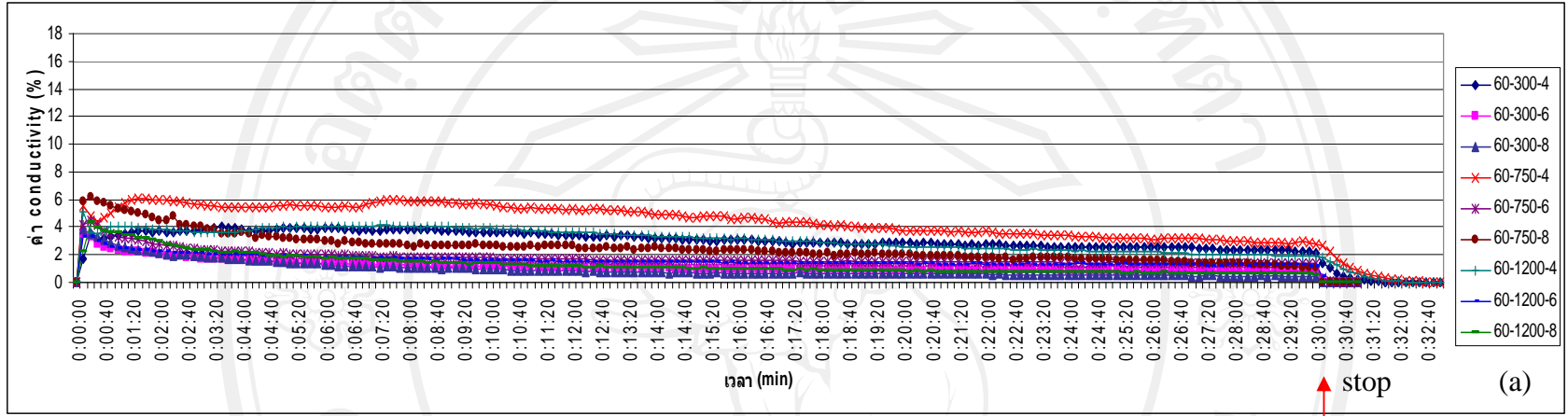
#### 4.2.3 สมบัติเกี่ยวกับฟองของน้ำเวย์ตัวอย่างเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ลักษณะแนวโน้มน้ำของเส้นกราฟที่ได้ของค่าความนำไฟฟ้าของฟองจะมีค่าใกล้เคียงกับฟองที่เตรียมจากน้ำเวย์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่วนการเกิดฟองของน้ำเวย์นั้นเกิดขึ้นได้ดีเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การที่ค่าความนำไฟฟ้าของฟองจะไม่สูงใกล้เคียงกับค่าความนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนั้น บางทีอาจเป็นผลเนื่องมาจากความร้อนที่ให้แก่ น้ำเวย์เริ่มทำให้โปรตีนในน้ำเวย์มีการเสียสภาพไปบางส่วนบ้างแล้ว โดยสังเกตลักษณะของสีของน้ำเวย์มีสีซีดจางลงเล็กน้อยกว่าเดิมจากที่เป็นสีเหลืองอ่อน ฟองที่เกิดขึ้นจึงอาจมีปริมาณของของเหลวที่ถูกดันขึ้นไปสัมผัสกับหัวของโลหะแท่งทองแดงที่ใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของฟองน้ำเวย์ได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าที่ได้จึงไม่สูงเท่ากันหรือใกล้เคียง โดยในช่วงเริ่มต้นที่เปิดเครื่องเส้นกราฟจะพุ่งขึ้นเป็นแนวคิงเช่นเดียวกันเพราะเป็นผลจากการที่ปริมาณของเหลวของน้ำเวย์ถูกยกตัวขึ้นไปสัมผัสกับหัวของโลหะแท่งทองแดงที่ใช้เป็นอิเล็กโทรดวัดค่าความนำไฟฟ้าในปริมาณที่มากพร้อมกับฟอง ค่าความนำไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะแนวโน้มน้ำของเส้นกราฟจึงมีความชันสูงในช่วงแรก จนถึงค่าสูงสุดประมาณ 6 % แล้วจึงค่อยๆ ลดลงซึ่งเกิดขึ้นกับในสถานะอื่นด้วยเช่นกัน (รูปที่ 4.3)

Dybowska (2011) ทำการศึกษาความคงตัวของอิมัลชันของเวย์โปรตีนพบว่า การให้ความร้อนแก่น้ำเวย์ ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของการกระจายตัวของเวย์โปรตีนที่มีอยู่ในน้ำเวย์ และสมบัติความคงตัวของโปรตีนประมาณ 30 % ของอิมัลชันในรูปแบบน้ำมันกระจายตัวในน้ำ (oil in water) การให้ความร้อนแก่น้ำเวย์จะมีผลต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน เช่น ขนาดอนุภาคของโปรตีน ความหนืด ค่า EC (emulsifying capacity) และค่าความนำไฟฟ้าของโปรตีน แต่จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า Emulsion conductivity ของการให้ความร้อนแก่น้ำเวย์ที่มีตั้งแต่ non-heat, 60, 70, 80, 90 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าค่าความนำไฟฟ้าที่วัดนั้นมีผลที่วัดอยู่ในช่วงค่าที่ต่ำ อาจเกิดจากกลุ่มของโปรตีนมีการรวมตัว เกิดการจัดเรียงใหม่ในระหว่างกระบวนการ ประจุในน้ำเวย์จึงมีการกระจายตัวอย่างสมดุล

เมื่อหยุดให้อากาศแล้วพบว่าค่าความนำไฟฟ้าของฟองจะค่อยๆ ลดลงแสดงให้เห็นว่าฟองที่ได้ไม่มีความเสถียรและความคงตัวมากกว่าฟองที่เตรียมจากน้ำเวย์ที่มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อมาพิจารณาความสูงของฟอง (รูปที่ 4.3) ก็จะเห็นว่ามีความสูงในลักษณะเดียวกับฟองน้ำเวย์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสคือความสามารถในการเกิดฟองเกิดขึ้นได้ดี ฟองที่ได้มีความสูงจนเกินคอลัมน์แก้วออกมาภายนอกทำให้การวัดค่าความสูงในบางช่วงทำไม่ได้ และสอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Borcherding *et al.* (2008b) ที่ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดฟองและสภาวะของเวลากับอุณหภูมิต่างๆ ในการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่นมขาดมันเนยหรือหางนมที่มีผลต่อสมบัติการเกิดฟอง โดยที่อุณหภูมิของการเกิดฟองจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส และมีความคงตัวดี ณ ที่อุณหภูมิในช่วงนี้โปรตีนจะมีการกระจายตัวและมีอัตราในการดูดซับสูง จากปัจจัยนี้เป็นส่วนสำคัญต่อการก่อตัวขึ้นเป็นฟองที่ดีซึ่งโปรตีนจะมีการคลายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ช่วยในการเปิดตัวของกลุ่มไฮโดรโฟบิกในเวย์โปรตีนออกมา ซึ่งในขณะที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสนั้นโปรตีนที่มีกลุ่มไฮโดรโฟบิกอยู่นี้จะอยู่ในโครงสร้างโปรตีนที่ไม่เปิดตัวออก ความสูงของฟองที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดได้ดีที่สภาวะของสารละลายมีค่า pH เท่ากับ 4 โดยเรียงลำดับระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์ที่เกิดฟองมากไปหาที่เกิดฟองน้อย คือ 750, 1,200 และ 300 ตามลำดับ เพราะค่า pH 4 นี้ใกล้เคียงกับค่า pI ของสารละลาย ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ Marinova *et al.* (2009) ข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว



หมายเหตุ : เส้นกราฟที่หายไปเนื่องจากการเกิดฟอง สูงเกินกว่าความสูงของคอลัมน์แก้วที่ตั้งไว้

รูปที่ 4.3 ค่าความนำไฟฟ้าและความสูงของฟองน้ำเวย์ที่เตรียมจากน้ำเวย์ที่ผ่านการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

#### 4.2.4 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการเกิดฟอง (foamability) ของการวัดค่าความนำไฟฟ้าและการวัดปริมาตร

ความสามารถในการเกิดฟองของน้ำเวย์ (foamability) โดยใช้วิธีการวัดค่าความนำไฟฟ้า (conductometric method) ที่หาได้จากความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้าของฟองน้ำเวย์ ณ นาทีที่ 30 กับค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเวย์ ซึ่งได้ดัดแปลงจาก Glaser *et al.* (2007) และทำการวัดปริมาตรของฟอง (volumetric method) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า foam expansion (% FE) ดัดแปลงจาก Mohan *et al.* (2006) ผลของความสามารถในการเกิดฟองน้ำเวย์ที่ได้ (ตารางที่ 4.4) พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการเกิดฟองคือ น้ำเวย์ที่ผ่านการทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่า pH เท่ากับ 4 และระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำเวย์ก่อนนำเข้าสู่เครื่องสร้างฟองเป็น 750 วินาที โดยมีความสามารถเกิดฟองได้สูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสังเกตได้จากภาพที่ 4.2 a จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ได้จะมีปริมาณค่าความนำไฟฟ้าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส และจากภาพที่ 4.2 b และ 4.3 b ฟองน้ำเวย์ที่ถูกสร้างมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง ความสูงของน้ำเวย์เริ่มคงที่แล้วจะค่อยๆ ลดลง แต่ก็มีบางสภาวะที่ใช้ในการเตรียมน้ำเวย์ฟองมีความสูงเกินความยาวคอลัมน์แก้วที่ใช้ในการทดลอง ส่วนผลของการวัดปริมาตรของฟองน้ำเวย์ (ตารางที่ 4.5) พบว่า จากการเตรียมตัวอย่างน้ำเวย์ที่สภาวะที่ดีที่สุดในการเกิดฟองนั้นคือ น้ำเวย์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH เท่ากับ 4 และระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำเวย์ก่อนนำเข้าสู่เครื่องสร้างฟองเป็น 750 วินาที สามารถเกิดฟองได้มากที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) แต่เนื่องจากฟองที่เกิดขึ้นนั้นมีความสูงเกินคอลัมน์แก้วจึงไม่สามารถหาความสูงที่แท้จริงได้ว่าฟองน้ำเวย์มีความสูงที่สุดท้ายเป็นเท่าไร และที่สภาวะในการให้ความร้อนแก่น้ำเวย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH เท่ากับ 4 และระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำเวย์ก่อนนำเข้าสู่เครื่องสร้างฟองเป็น 1,200 วินาที ก็มีความสูงเกินจากความสูงของคอลัมน์แก้วด้วยเช่นกัน จากภาพที่ 4.2 b และ 4.3 b เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.1 b ฟองน้ำเวย์จะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิในการเตรียมน้ำเวย์สูงกว่า 40 องศาเซลเซียสขึ้นไป ดังเช่นดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Borcherding *et al.* (2008b) แต่ถ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในการเตรียมน้ำเวย์ที่ 50 กับ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าอุณหภูมิในการเตรียมน้ำเวย์ที่ 60 องศาเซลเซียส จะเกิดฟองได้ในปริมาณมากกว่าและมีระยะเวลาในเกิดฟองได้อย่างต่อเนื่องนานกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำจำนวนพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย รวมทั้งค่า pH เท่ากับ 4 ก็เป็นปัจจัยร่วมเสริมให้การเกิดฟองเป็นไปได้ด้วยดีเนื่องจากมีค่าเข้าใกล้ค่า pI ของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำเวย์

ตารางที่ 4.4 ผลค่าการตอบสนองความสามารถในการเกิดฟองของการวัดค่าความนำไฟฟ้า

ผลการตอบสนอง <sup>1/</sup>	ระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำแวนซ์ (วินาที)								
	300			750			1200		
	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8
ความสามารถในการเกิดฟอง (ร้อยละ)	อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส								
	1.73 <sup>ghijklm</sup> ±0.22	3.35 <sup>def</sup> ±0.42	2.51 <sup>efghi</sup> ±1.21	1.24 <sup>hijklm</sup> ±0.48	1.71 <sup>ghijklm</sup> ±0.06	3.99 <sup>cd</sup> ±1.16	4.91 <sup>c</sup> ±0.54	1.91 <sup>ghijkl</sup> ±0.20	3.49 <sup>de</sup> ±0.63
	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส								
	7.50 <sup>b</sup> ±1.16	2.53 <sup>efghi</sup> ±0.44	1.59 <sup>ghijklm</sup> ±0.19	9.74 <sup>a</sup> ±0.51	2.40 <sup>efghij</sup> ±0.96	4.01 <sup>cd</sup> ±2.24	2.57 <sup>efgh</sup> ±0.86	1.46 <sup>ghijklm</sup> ±0.24	1.28 <sup>hijklm</sup> ±0.27
	อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส								
	2.10 <sup>fghijk</sup> ±0.54	0.86 <sup>klm</sup> ±0.17	0.42 <sup>m</sup> ±0.13	2.79 <sup>defg</sup> ±0.60	1.36 <sup>hijklm</sup> ±0.05	1.10 <sup>ijklm</sup> ±0.35	1.17 <sup>ijklm</sup> ±0.09	2.01 <sup>fghijk</sup> ±0.47	0.59 <sup>lm</sup> ±0.07

หมายเหตุ :<sup>1/</sup> 1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)  
 2) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.5 ผลค่าการตอบสนองความสามารถในการเกิดฟองของการวัดปริมาตร

ผลการตอบสนอง L	ระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำเวย์ (วินาที)								
	300			750			1200		
	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8
ความสามารถ ในการเกิดฟอง (ร้อยละ)	อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส <sup>ns</sup>								
	2.56±0.80	1.15±0.00	0.77±0.00	2.05±0.22	1.15±0.00	0.90±0.22	1.28±0.44	1.15±0.00	0.90±0.22
	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส								
	104.10 <sup>d</sup> ±22.83	23.33 <sup>f</sup> ±4.78	3.97 <sup>f</sup> ±1.60	136.92 <sup>c</sup> ±14.12	6.25 <sup>f</sup> ±0.79	22.05 <sup>f</sup> ±14.05	79.49 <sup>c</sup> ±12.43	12.95 <sup>f</sup> ±1.24	4.23 <sup>f</sup> ±1.39
	อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส								
	100.90 <sup>de</sup> ±53.63	13.33 <sup>f</sup> ±5.11	2.31 <sup>f</sup> ±1.92	230.90 <sup>a</sup> ±33.66	24.29 <sup>f</sup> ±4.39	0.51 <sup>f</sup> ±0.23	184.23 <sup>b</sup> ±12.75	24.87 <sup>f</sup> ±2.25	1.41 <sup>f</sup> ±1.78

หมายเหตุ : L 1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)  
 2) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)  
 3) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.2.5 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการคงฟอง (foam stability) ของการวัดค่าความนำไฟฟ้าและการวัดปริมาตร

ความสามารถในการคงตัวของฟองที่ได้จากน้ำเวย์ (foam stability) ใช้วิธีการวัดค่าความนำไฟฟ้า (conductometric method) และวัดปริมาตรของฟอง (volumetric method) หรือ foam expansion (% FE) เช่นเดียวกับข้อ 4.2.4 แต่เป็นการหาความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้าในเทอมของ foam density stability (FDS) ซึ่งเป็นการดัดแปลงจาก Glaser *et al.* (2007) และหาความสัมพันธ์ของการวัดปริมาตรในเทอมของ foam volume stability (FVS) ซึ่งเป็นการดัดแปลงจาก Mohan *et al.* (2006) อีกเช่นกัน จากการทดลองวัดค่าความนำไฟฟ้าและการวัดปริมาตรของฟองน้ำเวย์ พบว่า สภาวะในการเตรียมน้ำเวย์ที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่า pH เท่ากับ 4 และระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำเวย์ก่อนนำเข้าสู่เครื่องสร้างฟองเป็น 300 วินาที (ตารางที่ 4.6 และ 4.7) จะมีความคงตัวของฟองมากที่สุดทั้งสองวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสามารถใช้บ่งบอกคุณลักษณะของฟองที่ถูกรวบรวมขึ้นนั้นจะคงตัวอยู่ได้นานเท่าไรจึง เหมาะสมต่อการนำไปใช้ศึกษาถึงพฤติกรรมของฟองในรูปแบบต่างๆ ได้ดี

จากภาพที่ 4.1 พบว่าหลังจากเวลาในการให้อากาศสิ้นสุดลง เส้นกราฟของทั้งภาพที่ 4.1 a และ 4.1 b ลดลงอย่างทันที แสดงว่าไม่มีความคงตัวของฟองน้ำเวย์เกิดขึ้น และฟองน้ำเวย์ที่ได้มีความสูงน้อยมากจึงยิ่งทำให้ระยะเวลาที่ฟองมีความคงตัวน้อยลงรวดเร็ว แตกต่างกับภาพที่ 4.2 และ 4.3 ที่มีการแสดงความคงตัวของฟองน้ำเวย์ได้ดีอย่างได้ชัดเจน หลังสิ้นสุดการให้อากาศในการสร้างฟอง ฟองน้ำเวย์ที่เกิดขึ้นจะไม่รวมตัวกันและแตกตัวอย่างทันทีทันใด นั้นเป็นเพราะอุณหภูมิและระดับค่า pH ที่เหมาะสมต่อสภาวะที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้เกิดและคงตัวได้ดีของฟองน้ำเวย์ ส่วนในภาพที่ 4.3 b ของอุณหภูมิที่ให้ความร้อนแก่น้ำเวย์เป็น 60 องศาเซลเซียสนั้น หลังจากสิ้นสุดการให้อากาศในนาที่ที่ 30 แล้ว แนวโน้มของเส้นกราฟที่ได้มีการเกิดฟองของน้ำเวย์ได้ดีกว่าอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่น้ำเวย์ที่ 50 องศาเซลเซียส แต่ความคงตัวของฟองน้ำเวย์จะน้อยกว่า ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟหลังจากนาที่ที่ 30 นั้นจะลดลงโดยมีความชันของเส้นกราฟสูงกว่า



ตารางที่ 4.6 ผลค่าการตอบสนองความสามารถในการคงตัวของฟองของการวัดค่าความนำไฟฟ้า

ผลการตอบสนอง <sup>L</sup>	ระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำแวย์ (วินาที)								
	300			750			1200		
	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8
ความสามารถในการคงตัวของฟอง (ร้อยละ)	อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส <sup>ns</sup>								
	0.74±0.11	0.47±0.08	0.65±0.28	1.21±0.12	0.92±0.22	0.57±0.25	0.27±0.04	0.59±0.09	0.38±0.13
	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส								
	48.05 <sup>a</sup> ±20.29	0.60 <sup>d</sup> ±0.10	0.93 <sup>d</sup> ±0.18	19.97 <sup>c</sup> ±5.19	0.59 <sup>d</sup> ±0.14	0.53 <sup>d</sup> ±0.42	0.76 <sup>d</sup> ±0.11	1.18 <sup>d</sup> ±0.14	1.24 <sup>d</sup> ±0.25
	อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส								
	11.97 <sup>c</sup> ±5.79	1.38 <sup>d</sup> ±0.16	2.99 <sup>d</sup> ±0.74	31.56 <sup>b</sup> ±8.51	0.93 <sup>d</sup> ±0.18	1.37 <sup>d</sup> ±0.35	30.45 <sup>b</sup> ±5.79	1.15 <sup>d</sup> ±0.31	1.95 <sup>d</sup> ±0.36

หมายเหตุ : <sup>L</sup> 1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)  
 2) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)  
 3) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.7 ผลค่าการตอบสนองความสามารถในการคงตัวของฟองของการวัดปริมาตร

ผลการตอบสนอง <sup>u</sup>	ระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำแข็ง (วินาที)								
	300			750			1200		
	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8	pH 4	pH 6	pH 8
ความสามารถในการคงตัวของฟอง (ร้อยละ)	อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส <sup>ns</sup>								
	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส								
	77.74 <sup>a</sup> ±26.70	5.08 <sup>d</sup> ±2.14	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	33.06 <sup>c</sup> ±18.55	10.54 <sup>d</sup> ±4.49	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	9.60 <sup>d</sup> ±6.07	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	0.00 <sup>d</sup> ±0.00
	อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส								
	6.88 <sup>d</sup> ±2.99	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	46.42 <sup>b</sup> ±15.13	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	34.97 <sup>bc</sup> ±8.35	0.00 <sup>d</sup> ±0.00	0.00 <sup>d</sup> ±0.00

หมายเหตุ : <sup>u</sup> 1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)  
 2) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)  
 3) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการทดลองในตอนที 2 เมื่อพิจารณาผลการทดลองของการเตรียมน้ำเวย์ที่มีผลต่อสมบัติเกี่ยวกับฟอง (foaming properties) ของน้ำเวย์ ซึ่งเป็นการศึกษาในระบบปฏิบัติการแบบกะ (batch system) เพื่อวัดค่าผลตอบสนองของฟองน้ำเวย์ที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาจาก ความสามารถในการเกิดฟอง (foamability) และความสามารถในการคงตัวของฟอง (foam stability) ทำการหาค่าของผลการทดลองจากสองวิธีที่ใช้ในการปฏิบัติคือ วิธีการวัดความนำไฟฟ้า (conductometric method) และวิธีการวัดปริมาตร (volumetric method) แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (one-way ANOVA) เพื่อแปรผลออกมาเป็นข้อมูลทางด้านสถิติ พบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ทดลองในตอนที 3 ในตอนต่อไป คือสถานะที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่น้ำเวย์เป็น 50 องศาเซลเซียส ค่า pH เท่ากับ 4 และระยะเวลาที่คงอุณหภูมิไว้ให้กับน้ำเวย์ก่อนนำเข้าเครื่องสร้างฟองเป็น 300 วินาที เนื่องจากการวัดผลตอบสนองจะพิจารณาความคงตัวของฟองน้ำเวย์เป็นสำคัญ ซึ่งถ้าฟองนั้นมีความคงตัวได้ดี จะโอกาสที่โปรตีนจะถูกดูดซับที่ผิวของฟองย่อมเกิดได้นานขึ้น และจากผลการทดลองที่ได้ มีแนวโน้มของระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่น้ำเวย์นั้น ใช้ระยะเวลาในการคงอุณหภูมิของน้ำเวย์ไม่นานนักเพียง 300 วินาที หรือเท่ากับ 5 นาทีเท่านั้น ทำให้ไม่เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนมากเกินไป ส่วนสถานะที่ค่า pH เป็น 6 และ 8 นั้นไม่เหมาะสมต่อการสร้างฟองน้ำเวย์ การเกิดฟองจึงเกิดได้ไม่ค่อยดีนัก จึงเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีในการปรับค่า pH เพราะค่า pH ของน้ำเวย์จากที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองนั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 4-5 กว่าๆ ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถสร้างให้เกิดเป็นฟองได้ดี

จากปัจจัยเหล่านี้เองทำให้อาจจะไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยทำให้เกิดฟอง เพราะสมบัติของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำเวย์นั้นมีแรงดึงผิวต่ำทำให้เกิดฟองได้ง่าย แต่โปรตีนในน้ำเวย์ที่ได้จากโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนมไม่สามารถทำให้ฟองมีความคงตัวได้นาน ซึ่งถ้าอยากให้ฟองที่เกิดขึ้นนั้นมีความคงตัวอยู่ได้นานขึ้น อาจใช้วิธีการคล้ายกับผลิตภัณฑ์นมบางชนิดเช่น การทำให้เย็นจัดของไอศกรีม หรืออาจเติมสารเพิ่มความคงตัว เช่น กัม หรือสารที่ทำให้เกิดเจลลงไปด้วย (นิธิยา, 2545) นอกจากนี้มีงานวิจัยของ Sodini *et al.* (2006) ศึกษาการประยุกต์ใช้ค่า pH และการให้ความร้อน ในการปรับสภาพสมบัติหน้าที่ต่างๆ ของเวย์ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ความสามารถในการละลาย การให้ความร้อนในการทำให้เกิดเจล การทำให้เกิดฟองและเกิดเป็นอิมัลชันระหว่างของเหลวทั้งสองชนิด ในกระบวนการผลิตเวย์ของเวย์โปรตีนเข้มข้น ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ต ผลที่ได้ทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่โยเกิร์ต อีกทั้งยังปรับปรุงทั้งกลิ่นและรสชาติอีกด้วย

### 4.3 ศึกษาตัวแปรด้านการปฏิบัติการที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการแยกเวย์โปรตีนจากน้ำเวย์ โดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

เมื่อมีการเก็บรวบรวมฟองของน้ำเวย์ที่สร้างขึ้นในแต่ละสภาวะของการเตรียมน้ำเวย์จากตัวแปรที่ได้กำหนดไว้คือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ ความเร็วการไหลของอากาศ และขนาดรูพรุนของ glass filter จะทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) กับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ ซึ่งเป็นน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง จากนั้นพิจารณาว่าผลการวิเคราะห์ระหว่างก่อนและหลังการสร้างฟองว่ามีความแตกต่างกันของสมบัติทางกายภาพและเคมีหรือไม่ โดยทุกค่าที่วิเคราะห์จะเก็บตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัวเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 60 นาที ยกเว้นเฉพาะค่าปริมาณ โปรตีนที่จะเก็บตัวอย่างในนาที่ที่ 20, 40 และ 60 ภายในระยะเวลา 60 นาที เช่นเดียวกัน เนื่องจากต้องการทราบแนวโน้มของการแยกโปรตีนที่มีความสนใจเป็นหลักในงานวิจัยครั้งนี้

#### 4.3.1 สมบัติด้านกายภาพ

##### 4.3.1.1 ค่าสี

1) ค่าสี  $L^*$  เป็นค่าแสดงความสว่าง ซึ่งค่าสี  $L^*$  มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ และถ้าค่าสี  $L^*$  เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาว หรือสีจาง สำหรับค่าสี  $a^*$  เป็นค่าแสดงถึงสีแดงและสีเขียว โดยถ้าค่าสี  $a^*$  เป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีแดง ส่วนค่าสี  $a^*$  เป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีเขียว และในส่วนของค่าสี  $b^*$  เป็นค่าแสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน ซึ่งถ้าค่าสี  $b^*$  เป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีเหลือง และถ้าค่าสี  $b^*$  เป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (สุคนธ์ชื่น และวรรณวิบูลย์, 2543) ผลที่ได้พบว่าค่าสีที่วัดนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแล้ว น้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากน้ำเวย์ถูกให้อากาศเพื่อสร้างฟองในคอลัมน์แก้ว (ตารางที่ 4.8) เนื่องจากน้ำเวย์ที่ได้เป็นผลผลิตมาจากกระบวนการผลิตเนยแข็ง ที่ใช้น้ำมันสัตว์เป็นวัตถุดิบเป็นหลัก ดังนั้นองค์ประกอบอื่นๆ ในน้ำมัน เช่น ไขมัน โปรตีน เกลือแร่ มีผลต่อสีของน้ำมัน คือถ้าองค์ประกอบเหล่านี้มีปริมาณลดลง น้ำมันจะมีสีอมฟ้า เช่นหางนมซึ่งมีสีอมฟ้าอ่อนๆ ส่วนสีของน้ำเวย์มีสีออกเขียวปน เพราะประกอบด้วยไรโบฟลาวินอยู่ด้วย ซึ่งไม่มีเคซีน เคซีนฟอสเฟต สีที่แตกต่างไปจากข้างต้นนั้นนับว่าเป็นสีที่ผิดปกติ บางครั้งอาจจะพบว่า น้ำมันมีสีชมพูแดง เนื่องจากจุลินทรีย์ *Serratia marcescens* หรือ สีฟ้าเนื่องจาก *Pseudomonas cyanogenes* (วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531)

ตารางที่ 4.8 ค่าสี (L\*, a\* และ b\*) ของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่าสี (L*, a* และ b*) <sup>ns</sup>								
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter								
		160-100 (µm)			100-40 (µm)			40-16 (µm)		
		ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
2.1	60	48.06 ± 2.10	-0.96 ± 0.34	-1.43 ± 0.77	47.31 ± 0.72	-1.14 ± 0.30	-1.05 ± 0.25	46.01 ± 2.70	-1.46 ± 0.20	0.15 ± 0.33
	80	48.02 ± 3.69	-1.05 ± 0.70	-1.35 ± 0.66	48.33 ± 3.21	-1.23 ± 0.49	-0.73 ± 0.52	47.62 ± 3.07	-1.79 ± 0.49	0.02 ± 0.39
	100	49.26 ± 3.44	-1.54 ± 0.70	-0.64 ± 0.83	47.73 ± 3.23	-1.73 ± 0.61	-0.16 ± 0.28	49.78 ± 3.34	-1.58 ± 0.66	0.10 ± 1.16
3.6	150	48.43 ± 1.86	-1.35 ± 0.53	-0.35 ± 1.39	51.46 ± 2.01	-1.68 ± 1.04	0.04 ± 0.67	48.03 ± 3.97	-1.27 ± 0.29	-0.93 ± 0.92
	200	49.52 ± 2.46	-1.42 ± 0.56	-0.03 ± 1.08	47.32 ± 2.68	-1.3 ± 0.87	-0.26 ± 0.37	46.75 ± 2.53	-1.12 ± 0.47	-0.89 ± 0.88
	250	50.03 ± 1.25	-1.38 ± 1.13	-0.16 ± 0.71	47.34 ± 3.20	-1.66 ± 0.68	-0.14 ± 0.52	48.71 ± 5.39	-1.47 ± 0.84	-0.55 ± 1.16
5.6	400	48.21 ± 4.43	-1.28 ± 0.77	-1.22 ± 0.57	51.73 ± 4.60	-1.52 ± 0.78	-0.16 ± 1.38	49.57 ± 3.84	-1.53 ± 0.72	-1.33 ± 1.53
	500	49.53 ± 7.42	-1.72 ± 0.61	-0.53 ± 0.42	46.81 ± 1.79	-0.92 ± 0.75	-1.25 ± 1.00	48.35 ± 3.61	-1.52 ± 0.53	-1.31 ± 1.75
	600	47.15 ± 2.52	-1.80 ± 0.16	-0.32 ± 0.39	49.83 ± 5.85	-1.62 ± 0.39	-0.64 ± 0.47	49.40 ± 2.94	-1.60 ± 0.60	-0.86 ± 1.76
ตัวอย่างควบคุม		57.7 ± 11.63    -2.09 ± 1.17    1.04 ± 1.51								

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p≤0.05)

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

#### 4.3.1.2 ค่าความหนืด

ความหนืด (viscosity) ของน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) ทำการวัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (brookfield viscometer) ที่ความเร็วรอบ 200 rpm พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟองแล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.9) ซึ่งตัวแปรต่างๆ นั้นไม่มีผลต่อความหนืด เช่นตัวอย่างงานวิจัยของ Glaser *et al.* (2007) ศึกษาพฤติกรรมของสารผสมสองตัวระหว่าง Bovine serum albumin (BSA) กับ protamin (P) พบว่าความหนืดของ BSA ที่มีการเติม P ในอัตราส่วนต่างๆ กัน โดย P นี้เป็นเปปไทด์ชนิดหนึ่ง จะทำหน้าที่ช่วยเสริมการเกิดฟองของโปรตีนและมีสมบัติในการช่วยต่อต้านแบคทีเรีย ทั้งยังมีค่า pI สูง ( $pI > 11$ ) ซึ่ง สารละลาย BSA:P จะมีความหนืดสูงกว่า BSA ที่ค่า pH ต่างๆ โดยผันแปรตามความเข้มข้นของสารละลาย ถ้าความเข้มข้นสูงขึ้นความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น แต่จะไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากความหนืดของในส่วนสารละลายที่มี protamine จากการทดลองนั้นตัวอย่างน้ำเวย์เป็นตัวอย่างที่ไม่มีปรับให้มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันก่อน จึงเป็นไปได้ว่าความหนืดจึงไม่แตกต่างกันหลังจากผ่านเข้าเครื่องสร้างฟองแล้ว แสดงว่าน้ำเวย์ทั้งก่อนและหลังผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟองนี้ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากเท่าใด

ตารางที่ 4.9 ค่าความหนืดของของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่าความหนืดของสารละลาย (cP) <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (µm)	100-40 (µm)	40-16 (µm)
2.1	60	1.66 ± 0.22	1.84 ± 0.29	1.76 ± 0.18
	80	1.74 ± 0.30	1.76 ± 0.22	1.87 ± 0.32
	100	1.78 ± 0.31	1.74 ± 0.21	1.83 ± 0.24
3.6	150	1.82 ± 0.43	1.96 ± 0.27	1.99 ± 0.30
	200	1.83 ± 0.26	1.99 ± 0.13	1.90 ± 0.32
	250	1.84 ± 0.34	2.05 ± 0.45	2.16 ± 0.42
5.6	400	1.81 ± 0.15	1.83 ± 0.29	2.00 ± 0.38
	500	1.95 ± 0.16	1.95 ± 0.47	2.07 ± 0.32
	600	2.05 ± 0.38	1.99 ± 0.63	1.96 ± 0.32
ตัวอย่างควบคุม		1.78 ± 0.22		

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

#### 4.3.1.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแล้ว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากน้ำเวย์ถูกให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง (ตารางที่ 4.10) ค่าความถ่วงจำเพาะหาได้จากในเทอมของความหนาแน่นของสารส่วนด้วยความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากความหนาแน่นที่วิเคราะห์ผลก่อนหน้านั้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงใดๆ จากการให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟองของน้ำเวย์ ค่าความถ่วงจำเพาะจึงไม่มีความแตกต่างกันเมื่อมีการเปรียบเทียบ

**ตารางที่ 4.10** ค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ความถ่วงจำเพาะ <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (µm)	100-40 (µm)	40-16 (µm)
2.1	60	1.03 ± 0.00	1.01 ± 0.02	1.00 ± 0.03
	80	1.02 ± 0.01	1.00 ± 0.02	1.01 ± 0.01
	100	1.00 ± 0.02	1.01 ± 0.01	1.02 ± 0.01
3.6	150	1.03 ± 0.01	1.01 ± 0.01	1.02 ± 0.01
	200	1.02 ± 0.01	1.02 ± 0.02	1.00 ± 0.01
	250	1.03 ± 0.01	1.02 ± 0.00	1.03 ± 0.01
5.6	400	1.02 ± 0.01	1.01 ± 0.01	1.03 ± 0.00
	500	1.01 ± 0.01	1.01 ± 0.01	1.02 ± 0.02
	600	1.02 ± 0.01	1.02 ± 0.00	1.02 ± 0.01
ตัวอย่างควบคุม		1.03 ± 0.01		

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

#### 4.3.1.4 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด

ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ของน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากน้ำเวย์ถูกให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง (ตารางที่ 4.11) สำหรับในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด เช่น การผลิตโยเกิร์ตในอุตสาหกรรมนม นั้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดจะมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ด้วย โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดมีผลต่อการเพิ่มความคงตัว (firmness) ของผลิตภัณฑ์ และทำให้มีการแยกตัวของเนื้ออาหารเป็นชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันในระดับที่ต่ำ ซึ่ง Amatayakul *et al.* (2006) ศึกษาในการผลิตโยเกิร์ต เพื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วการเพิ่ม



ปริมาณของแข็งในน้ำนม จะเป็นการช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโปรตีนภายในโครงสร้างขนาดเล็กและลดการแยกตัวเป็นชั้นของโยเกิร์ต ซึ่งมักเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เพราะในการผลิตจะมีความคงตัวของโยเกิร์ตต่ำ และเกิดการแยกตัวเป็นชั้นของเวย์ที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 4.11** ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ (w/w) <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (µm)	100-40 (µm)	40-16 (µm)
2.1	60	6.92 ± 0.15	6.99 ± 0.23	6.80 ± 0.05
	80	7.05 ± 0.42	6.71 ± 0.36	6.82 ± 0.63
	100	7.37 ± 0.79	6.94 ± 0.40	6.92 ± 0.16
3.6	150	6.84 ± 0.19	7.36 ± 0.28	6.96 ± 0.40
	200	6.87 ± 0.30	6.93 ± 0.44	6.78 ± 0.33
	250	6.33 ± 1.31	6.87 ± 0.13	6.75 ± 0.28
5.6	400	6.69 ± 0.36	6.68 ± 0.88	6.99 ± 0.14
	500	7.06 ± 0.19	7.66 ± 2.03	6.87 ± 0.48
	600	6.79 ± 0.19	7.04 ± 0.10	7.06 ± 0.18
ตัวอย่างควบคุม		7.21 ± 0.40		

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p≤0.05)

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ต้นแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

#### 4.3.2 สมบัติทางเคมี

##### 4.3.2.1 ค่า pH

ค่า pH ของน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแล้ว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) หลังจากน้ำเวย์ถูกให้

อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง (ตารางที่ 4.12) เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างของน้ำเวย์ไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำเวย์นั้น

**ตารางที่ 4.12** ค่า pH ของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่า pH ของสารละลาย <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (µm)	100-40 (µm)	40-16 (µm)
2.1	60	4.11 ± 0.34	4.15 ± 0.14	4.11 ± 0.17
	80	4.09 ± 0.27	4.11 ± 0.17	4.12 ± 0.17
	100	4.08 ± 0.20	4.11 ± 0.18	4.09 ± 0.19
3.6	150	4.01 ± 0.06	4.00 ± 0.02	4.03 ± 0.03
	200	4.00 ± 0.05	4.03 ± 0.06	4.03 ± 0.09
	250	3.98 ± 0.05	4.02 ± 0.05	4.04 ± 0.11
5.6	400	4.09 ± 0.09	4.06 ± 0.15	4.03 ± 0.07
	500	4.02 ± 0.02	4.08 ± 0.03	4.06 ± 0.07
	600	4.00 ± 0.06	4.04 ± 0.05	4.05 ± 0.12
ตัวอย่างควบคุม		4.00 ± 0.00		

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

#### 4.3.2.2 ค่าปริมาณไขมัน

ค่าปริมาณไขมันของน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากน้ำเวย์ถูกให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง (ตารางที่ 4.13) เนื่องจากไขมันนั้นไม่มีสมบัติของพันธะไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิกเช่นเดียวกับโปรตีนเพราะไขมันนั้นจะไม่ละลายในน้ำ ซึ่งในน้ำเวย์จะมีน้ำเป็นส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบหลักมากที่สุด

**ตารางที่ 4.13** ค่าปริมาณไขมันของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ปริมาณไขมัน ร้อยละ (w/w) <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (µm)	100-40 (µm)	40-16 (µm)
2.1	60	0.30 ± 0.10	0.27 ± 0.14	0.26 ± 0.17
	80	0.29 ± 0.17	0.24 ± 0.18	0.41 ± 0.39
	100	0.34 ± 0.13	0.29 ± 0.12	0.27 ± 0.16
3.6	150	0.30 ± 0.16	0.37 ± 0.25	0.28 ± 0.18
	200	0.31 ± 0.14	0.29 ± 0.22	0.27 ± 0.19
	250	0.29 ± 0.22	0.28 ± 0.20	0.30 ± 0.25
5.6	400	0.33 ± 0.24	0.31 ± 0.13	0.26 ± 0.19
	500	0.36 ± 0.25	0.29 ± 0.18	0.30 ± 0.18
	600	0.31 ± 0.18	0.28 ± 0.16	0.27 ± 0.16
ตัวอย่างควบคุม		0.48 ± 0.50		

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

#### 4.3.2.3 ค่าปริมาณน้ำตาลแลคโตส

ค่าปริมาณน้ำตาลแลคโตสของน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากน้ำเวย์ถูกให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง (ตารางที่ 4.14) เนื่องจากน้ำตาลแลคโตสนั้นเป็นน้ำตาลที่ละลายในน้ำได้ไม่ดี อาจส่งผลทำให้มีการตกตะกอนของผลึกน้ำตาลได้ ทำให้การเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิกได้ไม่ดีเช่นเดียวกับโปรตีน การสร้างฟองโดยให้อากาศแก่น้ำเวย์จึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารเมื่อได้มีการเปรียบเทียบ

**ตารางที่ 4.14** ค่าปริมาณแลคโตสของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ปริมาณน้ำตาลแลคโตส ร้อยละ (w/w) <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (μm)	100-40 (μm)	40-16 (μm)
2.1	60	4.64 ± 0.04	4.68 ± 0.03	4.62 ± 0.03
	80	4.74 ± 0.24	4.53 ± 0.29	4.50 ± 0.26
	100	4.67 ± 0.07	4.64 ± 0.04	4.54 ± 0.14
3.6	150	4.55 ± 0.06	4.74 ± 0.25	4.45 ± 0.11
	200	4.44 ± 0.25	4.50 ± 0.16	4.45 ± 0.18
	250	4.44 ± 0.09	4.36 ± 0.11	4.45 ± 0.11
5.6	400	4.59 ± 0.07	4.34 ± 0.23	4.57 ± 0.08
	500	4.48 ± 0.24	4.44 ± 0.12	4.51 ± 0.15
	600	4.52 ± 0.12	4.75 ± 0.33	4.62 ± 0.04
ตัวอย่างควบคุม		4.58 ± 0.12		

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย <sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

#### 4.3.2.4 ค่าปริมาณโปรตีน

ค่าปริมาณโปรตีนของน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแล้วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากน้ำเวย์ถูกให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง (ตารางที่ 4.15) เนื่องจากในโมเลกุลของโปรตีนจะประกอบไปด้วยอะตอมที่สำคัญอยู่ 3 ตัวคือ อะตอมของไนโตรเจน อะตอมของออกซิเจน และอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งมีจำนวนมาก ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของโปรตีน จึงมีสมบัติด้านไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิก หรือมีหมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic group) ที่ต้องมีการสร้างพันธะกับน้ำจึงละลายอยู่ในน้ำเวย์ (นิธิยา, 2545)

ตารางที่ 4.15 ค่าปริมาณโปรตีนของตัวอย่างน้ำเวย์ที่ได้จากฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อสร้างฟอง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ปริมาณ โปรตีน ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ )								
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter								
		160-100 ( $\mu\text{m}$ )			100-40 ( $\mu\text{m}$ )			40-16 ( $\mu\text{m}$ )		
		นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 40	นาที่ที่ 60	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 40	นาที่ที่ 60	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 40	นาที่ที่ 60
2.1	60	251.43 <sub>abcde</sub> $\pm$	231.91 <sub>abcde</sub> $\pm$	209.05 <sub>cde</sub> $\pm$	264.76 <sub>abcd</sub> $\pm$	248.57 <sub>abcde</sub> $\pm$	252.86 <sub>abcde</sub> $\pm$	263.33 <sub>abcd</sub> $\pm$	207.62 <sub>cde</sub> $\pm$	242.86 <sub>abcde</sub> $\pm$
		49.43	25.17	39.65	20.27	22.32	53.78	13.27	32.15	32.17
	80	257.14 <sub>abcde</sub> $\pm$	272.86 <sub>abcd</sub> $\pm$	226.67 <sub>bcd</sub> $\pm$	251.43 <sub>abcde</sub> $\pm$	243.33 <sub>abcde</sub> $\pm$	239.05 <sub>abcde</sub> $\pm$	265.71 <sub>abcd</sub> $\pm$	206.67 <sub>cde</sub> $\pm$	239.05 <sub>abcde</sub> $\pm$
		8.92	56.66	19.71	19.85	47.86	40.64	19.22	40.01	46.74
	100	248.57 <sub>abcde</sub> $\pm$	242.38 <sub>abcde</sub> $\pm$	247.62 <sub>abcde</sub> $\pm$	257.62 <sub>abcde</sub> $\pm$	263.33 <sub>abcd</sub> $\pm$	227.62 <sub>bcd</sub> $\pm$	248.10 <sub>abcde</sub> $\pm$	258.57 <sub>abcde</sub> $\pm$	234.29 <sub>abcde</sub> $\pm$
		7.56	41.07	67.38	12.48	23.79	33.08	2.97	96.88	49.14
3.6	150	230.95 <sub>abcde</sub> $\pm$	244.29 <sub>abcde</sub> $\pm$	290.95 <sub>abcd</sub> $\pm$	256.19 <sub>abcde</sub> $\pm$	252.86 <sub>abcde</sub> $\pm$	273.81 <sub>abcd</sub> $\pm$	256.67 <sub>abcde</sub> $\pm$	253.81 <sub>abcde</sub> $\pm$	269.05 <sub>abcd</sub> $\pm$
		23.57	51.33	72.20	12.32	18.68	52.53	21.06	9.51	55.19
	200	249.05 <sub>abcde</sub> $\pm$	255.71 <sub>abcde</sub> $\pm$	270.00 <sub>abcd</sub> $\pm$	251.43 <sub>abcde</sub> $\pm$	268.10 <sub>abcd</sub> $\pm$	263.33 <sub>abcd</sub> $\pm$	239.52 <sub>abcde</sub> $\pm$	279.05 <sub>abcd</sub> $\pm$	229.05 <sub>bcd</sub> $\pm$
		19.81	65.01	29.93	26.07	7.87	41.02	27.34	37.91	35.12
	250	250.00 <sub>abcde</sub> $\pm$	257.14 <sub>abcde</sub> $\pm$	266.19 <sub>abcd</sub> $\pm$	236.67 <sub>abcde</sub> $\pm$	257.62 <sub>abcde</sub> $\pm$	261.90 <sub>abcd</sub> $\pm$	242.86 <sub>abcde</sub> $\pm$	256.19 <sub>abcde</sub> $\pm$	263.81 <sub>abcd</sub> $\pm$
		5.71	33.29	57.36	21.87	15.01	49.37	40.23	22.96	57.33
5.6	400	226.67 <sub>bcd</sub> $\pm$	248.57 <sub>abcde</sub> $\pm$	280.48 <sub>abcd</sub> $\pm$	257.62 <sub>abcde</sub> $\pm$	246.19 <sub>abcde</sub> $\pm$	316.66 <sub>a</sub> $\pm$	252.86 <sub>abcde</sub> $\pm$	257.62 <sub>abcde</sub> $\pm$	270.95 <sub>abcd</sub> $\pm$
		46.21	2.47	49.93	32.87	45.72	58.25	37.23	41.66	57.86
	500	235.71 <sub>abcde</sub> $\pm$	256.19 <sub>abcde</sub> $\pm$	271.43 <sub>abcd</sub> $\pm$	261.90 <sub>abcd</sub> $\pm$	259.52 <sub>abcde</sub> $\pm$	279.05 <sub>abcd</sub> $\pm$	275.24 <sub>abcd</sub> $\pm$	233.33 <sub>abcde</sub> $\pm$	293.33 <sub>abc</sub> $\pm$
		34.64	35.49	42.16	28.87	67.86	63.09	7.33	60.23	58.28
	600	269.52 <sub>abcd</sub> $\pm$	260.95 <sub>abcd</sub> $\pm$	270.48 <sub>abcd</sub> $\pm$	280.00 <sub>abcd</sub> $\pm$	235.24 <sub>abcde</sub> $\pm$	305.24 <sub>ab</sub> $\pm$	279.05 <sub>abcd</sub> $\pm$	263.33 <sub>abcd</sub> $\pm$	308.09 <sub>ab</sub> $\pm$
		33.02	52.18	59.27	37.47	21.96	63.77	14.31	43.48	67.41
ตัวอย่างควบคุม 1		205.24 <sup>de</sup> $\pm$ 2.97								
ตัวอย่างควบคุม 2		174.30 <sup>ef</sup> $\pm$ 7.94								
ตัวอย่างควบคุม 3		109.52 <sup>f</sup> $\pm$ 4.36								

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p < 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

4) ทำการเจือจางน้ำเวย์ 10 เท่า ก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสง

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างน้ำเวย์ ที่ได้จากการสร้างฟองน้ำเวย์ที่แตกตัว (collapsed foam) มีการวัดค่าต่างๆ ได้แก่ ค่า pH ค่าปริมาณไขมัน ค่าปริมาณน้ำตาลแลคโตส และค่าปริมาณโปรตีน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมของน้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการให้อากาศเพื่อใช้สร้างฟอง พบว่า มีแต่เฉพาะค่าปริมาณ โปรตีนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้เพราะเทคนิคการแยกสาร โดยอาศัยการสร้างฟองนี้เหมาะที่จะใช้แยกสารประเภทโปรตีน เนื่องจากสมบัติของโปรตีนอย่างหนึ่งคือ ในโมเลกุลของโปรตีนจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นสมบัติของพันธะไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิก เป็นการสร้างพันธะไฮโดรเจนที่มีน้ำเป็นตัวกลางทำให้มีการดูดซับสารประเภทโปรตีนได้ที่ผิวของฟอง ซึ่งงานวิจัยของ Shea *et al.* (2009) ได้ศึกษาการแยกสาร โปรตีน แอลฟาแลคโตบูมิน และบีต้าแลคโตกลอบูลินด้วยการสร้างฟองในสารละลายเวย์ ตัวอย่างที่ใช้เป็นเวย์ผงที่นำมาปรับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นก่อน แล้วจึงเจือจางให้ได้ความเข้มข้นเริ่มต้น เป็น 0.075 และ 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยในการทดลองได้ควบคุม ค่า pH ความเร็วของก๊าซที่ใช้สร้างฟอง และอุณหภูมิที่ใช้ พบว่าถ้าใช้ความเข้มข้นโปรตีนต่ำๆ ปรับค่า pH ใกล้เคียงกับค่า pI ของสารละลาย และใช้ความเร็วของก๊าซที่ใช้สร้างฟองสูงๆ จึงจะสามารถแยกสาร โปรตีนออกมาได้ดี

เนื่องจากโปรตีนที่อยู่ในสารละลายแต่ละชนิดมีลักษณะ โครงสร้างของโมเลกุลเฉพาะ เพื่อให้เหมาะสมกับหน้าที่ของโปรตีนนั้นๆ เมื่อโปรตีนละลายอยู่ในน้ำจะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของออกซิเจนหรือไนโตรเจน จะเกิด van der Waals' forces และ hydrophobic interaction ระหว่างหมู่ R- ที่เป็นไฮโดรโฟบิกสองหมู่มาอยู่ใกล้กัน และเมื่อมีการสร้างฟองให้เกิดขึ้น ซึ่งเป็นระบบคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง ที่เป็นก๊าซผสมกระจายตัวในของเหลวที่มีความหนืดที่เหมาะสม ระหว่างผิวของอนุภาคก๊าซและของเหลวที่เป็นตัวกลางในฟองจะมีลักษณะเหมือนกับระหว่างผิวของของเหลวสองชนิดในอิมัลชัน ฟองอากาศขนาดเล็กจะถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มบางๆ ของของเหลว โปรตีนจะถูกทำให้เกิดการแยกจากส่วนของไฮโดรฟิลิกที่อยู่ในน้ำ กับส่วนไฮโดรโฟบิกที่อยู่ในอากาศ (นิธิยา, 2545) ทำให้โปรตีนที่มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกถูกแยกออกมาพร้อมกับฟองที่ถูกสร้างขึ้นในน้ำเวย์ ส่วนค่าวิเคราะห์ทางเคมีอื่นนั้นอาจจะมีการแยกออกมาด้วยได้บ้างเล็กน้อยจึงทำให้ไม่พบว่ามีค่าแตกต่างกันระหว่างในฟองของสารละลายกับน้ำเวย์ จากผลการทดลองพบว่า ตัวแปรด้านการปฏิบัติการที่ใช้ศึกษาการแยกโปรตีนออกมาโดยวิธีนี้ให้ค่าสูงสุด เท่ากับ  $316.66 \pm 58.25$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรหรือเท่ากับร้อยละ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v)  $0.32 \pm 0.06$  (จากน้ำเวย์ที่เจือจาง 10 เท่า) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์แก้วเป็น 5.6 เซนติเมตร ความเร็วการไหลของอากาศเป็น 400 มิลลิลิตรต่อนาที และขนาดรูพรุนของ glass filter เป็น 100-40 ไมโครเมตร

#### 4.3.3 การประเมินประสิทธิภาพการแยกสารไขมัน น้ำตาลแลคโตส และโปรตีนโดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

##### 4.3.3.1 อัตราส่วนการเพิ่มค่าของสาร (Enrichment)

ค่า Enrichment ของปริมาณไขมัน ปริมาณน้ำตาลแลคโตส และปริมาณโปรตีนจากน้ำเวย์ โดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังในตารางที่ 4.16, 4.17 และ 4.18

ตารางที่ 4.16 ค่า Enrichment ของไขมันที่แยกโดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่า Enrichment ของไขมัน <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 ( $\mu\text{m}$ )	100-40 ( $\mu\text{m}$ )	40-16 ( $\mu\text{m}$ )
2.1	60	1.53 $\pm$ 1.60	1.13 $\pm$ 0.96	0.82 $\pm$ 0.42
	80	1.06 $\pm$ 0.71	0.67 $\pm$ 0.26	1.01 $\pm$ 0.30
	100	1.68 $\pm$ 1.60	1.35 $\pm$ 1.24	1.00 $\pm$ 0.69
3.6	150	1.23 $\pm$ 0.95	1.18 $\pm$ 0.60	0.92 $\pm$ 0.51
	200	1.49 $\pm$ 1.34	0.72 $\pm$ 0.34	0.94 $\pm$ 0.64
	250	0.79 $\pm$ 0.39	0.79 $\pm$ 0.30	0.64 $\pm$ 0.51
5.6	400	0.93 $\pm$ 0.37	1.45 $\pm$ 1.29	0.74 $\pm$ 0.40
	500	1.00 $\pm$ 0.45	0.97 $\pm$ 0.55	1.12 $\pm$ 0.79
	600	1.26 $\pm$ 1.05	1.04 $\pm$ 0.70	1.01 $\pm$ 0.66

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

ตารางที่ 4.17 ค่า Enrichment ของแกลกโตสที่แยกโดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่า Enrichment ของแกลกโตส <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (μm)	100-40 (μm)	40-16 (μm)
2.1	60	1.02 ± 0.02	1.02 ± 0.03	1.01 ± 0.04
	80	1.04 ± 0.08	0.99 ± 0.04	0.98 ± 0.08
	100	1.02 ± 0.02	1.02 ± 0.03	0.99 ± 0.02
3.6	150	0.99 ± 0.01	1.04 ± 0.06	0.97 ± 0.03
	200	0.97 ± 0.04	0.98 ± 0.01	0.97 ± 0.05
	250	0.97 ± 0.03	0.95 ± 0.01	0.97 ± 0.03
5.6	400	1.00 ± 0.02	0.95 ± 0.07	1.00 ± 0.03
	500	0.98 ± 0.05	0.97 ± 0.05	0.99 ± 0.06
	600	0.99 ± 0.04	1.04 ± 0.05	1.01 ± 0.03

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p≤0.05)

3) a หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

สภาวะที่ใช้ในการศึกษาส่งผลน้อยมากต่อการแยกไขมันและน้ำตาลแลคโตส เมื่อพิจารณา ค่า Enrichment ของปริมาณ โปรตีนพบว่าสภาวะการปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ไม่มีผลต่อค่า Enrichment ของโปรตีนเช่นกัน ถ้าเป็นการเปรียบเทียบค่าปริมาณ โปรตีนที่ได้จากฟองที่แตกตัวกับ ตัวอย่างควบคุมของน้ำเวย์ที่ไม่ผ่านการให้อากาศ (ตารางที่ 4.15) พบว่า ปริมาณของ โปรตีนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการสร้างฟองมีศักยภาพในการใช้เพื่อแยกโปรตีนจากน้ำเวย์ได้



ตารางที่ 4.18 ค่า Enrichment ของโปรตีนที่แยกโดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่า Enrichment ของโปรตีน <sup>ns</sup>								
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	อัตราการไหลของอากาศ (ml/min)	ขนาดรูพรุนของ glass filter								
		160-100 (µm)			100-40 (µm)			40-16 (µm)		
		นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 40	นาที่ที่ 60	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 40	นาที่ที่ 60	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 40	นาที่ที่ 60
2.1	60	1.59 ± 0.30	1.51 ± 0.52	1.34 ± 0.30	1.75 ± 0.68	1.60 ± 0.41	1.64 ± 0.44	1.74 ± 0.60	1.39 ± 0.60	1.60 ± 0.54
	80	1.71 ± 0.66	1.71 ± 0.29	1.51 ± 0.52	1.68 ± 0.71	1.55 ± 0.38	1.56 ± 0.47	1.73 ± 0.51	1.34 ± 0.42	1.55 ± 0.43
	100	1.66 ± 0.67	1.54 ± 0.34	1.63 ± 0.59	1.72 ± 0.74	1.70 ± 0.48	1.50 ± 0.47	1.64 ± 0.61	1.61 ± 0.48	1.51 ± 0.36
3.6	150	1.50 ± 0.43	1.53 ± 0.23	1.89 ± 0.58	1.68 ± 0.54	1.68 ± 0.69	1.76 ± 0.41	1.71 ± 0.69	1.65 ± 0.53	1.71 ± 0.32
	200	1.65 ± 0.66	1.58 ± 0.16	1.76 ± 0.42	1.64 ± 0.54	1.76 ± 0.63	1.70 ± 0.40	1.55 ± 0.42	1.77 ± 0.38	1.48 ± 0.36
	250	1.65 ± 0.58	1.66 ± 0.47	1.76 ± 0.62	1.55 ± 0.53	1.67 ± 0.52	1.68 ± 0.36	1.55 ± 0.37	1.65 ± 0.42	1.72 ± 0.51
5.6	400	1.47 ± 0.48	1.63 ± 0.58	1.85 ± 0.60	1.72 ± 0.68	1.58 ± 0.46	2.04 ± 0.49	1.62 ± 0.33	1.67 ± 0.52	1.72 ± 0.27
	500	1.56 ± 0.63	1.66 ± 0.51	1.77 ± 0.51	1.70 ± 0.49	1.66 ± 0.48	1.82 ± 0.58	1.81 ± 0.63	1.50 ± 0.47	1.87 ± 0.33
	600	1.75 ± 0.48	1.73 ± 0.69	1.79 ± 0.64	1.81 ± 0.49	1.51 ± 0.38	1.96 ± 0.45	1.86 ± 0.74	1.70 ± 0.48	2.00 ± 0.56

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) a หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

ถึงแม้ว่าสถานะการปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ ไม่มีผลต่อค่า Enrichment ของปริมาณไขมัน น้ำตาลแลคโตส และ โปรตีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรในด้านการปฏิบัติการต่างๆ เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพการแยกของสาร พบว่ามีข้อสังเกตที่น่าสนใจดังนี้

1.) แนวโน้มของ Enrichment ของไขมันจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ (ภาคผนวก ง) แนวโน้มประสิทธิภาพการแยกของตัวแปรด้านการปฏิบัติการต่างๆ พบว่าขนาดของคอลัมน์แก้วที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีผลทำให้ค่า Enrichment เพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาขนาดของคอลัมน์แก้วเป็นหลัก ส่วนความเร็วการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ ถ้าใช้ขนาดรูพรุนของ glass filter ในช่วงขนาดกลาง (M) มีผลทำให้ค่า Enrichment เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (ภาพที่ ง-1) และเมื่อพิจารณาคอลัมน์ที่ใช้ให้มีขนาดใหญ่ที่สุดและใช้ขนาดของรูพรุนต่างกันแต่ให้ความเร็วการไหลของอากาศเท่ากันโดยใช้ความเร็วสูงที่สุด พบว่าค่า Enrichment จะเพิ่มขึ้นในทุกสถานะของตัวแปรด้านการปฏิบัติการ (ภาพที่ ง-2) สำหรับการพิจารณาในส่วนของความเร็วการไหลของอากาศเป็นหลัก (ภาพที่ ง-3 และ ง-4) ถ้าความเร็วการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มค่า Enrichment สูงขึ้นเมื่อใช้ขนาดของคอลัมน์เดียวกันหรือเมื่อมีการใช้ขนาดของรูพรุนเท่ากัน แต่ทั้งนี้ต้องเลือกสถานะที่เหมาะสมต่อการทำให้ค่า Enrichment เพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการประเมินประสิทธิภาพการแยกไขมันด้วยเทคนิคการสร้างแบบต่อเนื่องนี้ สามารถทำให้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นมาได้ อาจจะเป็นเพราะไขมันเป็นลิพิดชนิดหนึ่งมีโครงสร้างของโมเลกุลต่างจากโปรตีนเพราะไม่ได้เป็นสารประกอบจำพวกพอลิเมอร์ จึงมีโมเลกุลขนาดเล็ก และเกาะตัวกันด้วย non-covalent force ของโมเลกุลลิพิด สามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นโพลาร์ มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก หรือละลายได้ในน้ำ จัดเป็นส่วนหัว (head) ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกซึ่งเป็นส่วนหาง (tail) และเมื่อหยดน้ำมันแผ่ออกบนผิวของน้ำทำให้เกิดระบบคอลลอยด์แบบ non-dispersed ซึ่งจะเรียกว่า monomolecular film เกิดขึ้น ซึ่งมีส่วนหัวที่เป็นไฮโดรฟิลิกอยู่ในน้ำ และส่วนหางที่เป็นไฮโดรโฟบิกชี้ขึ้นมาบนอากาศ ลักษณะดังกล่าวนี้เมื่อเกิดขึ้นกับอาหารและเมื่อเกิดการแห้งอยู่บนผิวของอาหาร จะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเดชันได้ ฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้เป็นคอลลอยด์ชนิดหนึ่งระหว่างอากาศและน้ำ การเกิดเป็นฟิล์มนี้ไม่ได้ทำให้ไขมันละลายน้ำได้ เนื่องจากไขมันและน้ำมันทุกชนิดมีสมบัติการละลายคือ ไม่ละลายน้ำ (นิธิยา, 2545)

2.) แนวโน้มของ Enrichment ของน้ำตาลแลคโตส พบว่าทุกสถานะของตัวแปรด้านการปฏิบัติการทุกๆ ตัวแปรนั้นไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน จากเส้นกราฟที่ได้ (รูปที่ ง-5 ถึง ง-8) แสดงว่าจากตัวแปรด้านการปฏิบัติการดังกล่าวที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อค่า Enrichment

ของน้ำตาลแลคโตสใดๆ เนื่องจากน้ำตาลแลคโตสเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ไม่ดี เกิดการตกผลึก (crystallization) ได้ง่ายและน้ำตาลที่ละลายอยู่นี้จัดเป็น non ionic solution คือเป็นการละลายของสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในน้ำโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นที่โครงสร้างของโมเลกุลของสาร (นิธิยา, 2545) วิธีการแยกสารด้วยการสร้างฟองนี้จึงไม่เหมาะสม

3.) การสังเกตแนวโน้มของ Enrichment ของโปรตีน จากกราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาที่แตกต่างกันสามจุด คือ นาทีที่ 20, 40 และ 60 ของประสิทธิภาพการแยกโปรตีนของตัวแปรด้านการปฏิบัติการต่างๆ พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นน้ำเวย์ที่ได้จากการแตกตัวของฟองน้ำเวย์ที่เก็บได้จากเครื่องสร้างฟองนั้นจะมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ทำให้มีแนวโน้มของค่า Enrichment เพิ่มขึ้น (รูปที่ ง-9 ถึง ง-20) เมื่อมีการใช้คอลัมน์แก้วที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และขนาดของรูพรุน glass filter มีขนาดกลางแต่ต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม อีกทั้งความเร็วในการไหลของอากาศถ้ามากขึ้นในระดับที่พอเหมาะก็จะทำให้ค่า Enrichment เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อให้เวลาในการปฏิบัติการเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่โปรตีนจะถูกดูดซับที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลวก็มีมากขึ้น ประกอบกับโปรตีนมีสมบัติของไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จึงทำให้มีคุณลักษณะของสารที่ไวต่อผิวสัมผัส (surface active) อีกทั้งยังมีการแตกตัวเป็นไอออนและกระจายอยู่ในน้ำได้เป็นอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ในสารละลายที่มีตัวกลางเป็นน้ำเนื่องจากโมเลกุลของน้ำมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบจะทำให้เกิด hydration ระหว่างโมเลกุลของน้ำกับไอออนประจุบวก หรือ ไอออนประจุลบ (นิธิยา, 2545)

#### 4.3.3.2 อัตราส่วนค่าดึงกลับของสาร (Recovery)

ผลของตัวแปรด้านการปฏิบัติการไม่มีผลต่อค่า Recovery ของปริมาณไขมัน ปริมาณน้ำตาลแลคโตส และปริมาณโปรตีน ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกับ ค่า Enrichment ดังในตารางที่ 4.19, 4.20 และ 4.21

**ตารางที่ 4.19** ค่า Recovery ของไขมันที่แยกโดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่า Recovery ของไขมัน <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 ( $\mu\text{m}$ )	100-40 ( $\mu\text{m}$ )	40-16 ( $\mu\text{m}$ )
2.1	60	0.66 $\pm$ 0.64	0.52 $\pm$ 0.38	0.38 $\pm$ 0.27
	80	0.53 $\pm$ 0.32	0.33 $\pm$ 0.13	0.49 $\pm$ 0.20
	100	0.99 $\pm$ 1.00	0.76 $\pm$ 0.71	0.55 $\pm$ 0.43
3.6	150	0.69 $\pm$ 0.47	0.59 $\pm$ 0.32	0.49 $\pm$ 0.24
	200	0.91 $\pm$ 0.81	0.39 $\pm$ 0.21	0.57 $\pm$ 0.40
	250	0.49 $\pm$ 0.25	0.45 $\pm$ 0.21	0.39 $\pm$ 0.31
5.6	400	0.57 $\pm$ 0.22	0.70 $\pm$ 0.57	0.37 $\pm$ 0.22
	500	0.61 $\pm$ 0.26	0.51 $\pm$ 0.28	0.55 $\pm$ 0.32
	600	0.78 $\pm$ 0.66	0.56 $\pm$ 0.35	0.59 $\pm$ 0.39

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

3) <sup>a</sup> หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

ตารางที่ 4.20 ค่า Recovery ของน้ำตาแลคโตสที่แยกโดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่า Recovery ของแลคโตส <sup>ns</sup>		
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	ความเร็วการไหลของอากาศ (ml/min) <sup>a</sup>	ขนาดรูพรุนของ glass filter		
		160-100 (μm)	100-40 (μm)	40-16 (μm)
2.1	60	0.43 ± 0.20	0.50 ± 0.08	0.43 ± 0.17
	80	0.53 ± 0.12	0.49 ± 0.05	0.48 ± 0.13
	100	0.53 ± 0.17	0.57 ± 0.02	0.52 ± 0.09
3.6	150	0.59 ± 0.06	0.50 ± 0.08	0.53 ± 0.05
	200	0.58 ± 0.03	0.53 ± 0.03	0.59 ± 0.01
	250	0.60 ± 0.02	0.52 ± 0.07	0.59 ± 0.03
5.6	400	0.62 ± 0.01	0.48 ± 0.05	0.49 ± 0.05
	500	0.60 ± 0.03	0.52 ± 0.01	0.52 ± 0.06
	600	0.61 ± 0.02	0.58 ± 0.08	0.60 ± 0.02

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p<0.05)

3) a หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

ตารางที่ 4. 21 ค่า Recovery ของโปรตีนที่แยกโดยเทคนิคการสร้างฟองแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างน้ำเวย์		ค่า Recovery ของโปรตีน <sup>ns</sup>								
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (cm)	อัตราการไหลของอากาศ (ml/min)	ขนาดรูพรุนของ glass filter								
		160-100 (µm)			160-100 (µm)			160-100 (µm)		
		นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20	นาที่ที่ 20
2.1	60	0.75 ± 0.44	0.92 ± 0.35	0.83 ± 0.19	0.95 ± 0.54	1.00 ± 0.26	1.01 ± 0.27	1.04 ± 0.40	0.87 ± 0.37	0.99 ± 0.31
	80	0.80 ± 0.64	1.00 ± 0.31	0.92 ± 0.31	0.90 ± 0.58	0.97 ± 0.24	0.95 ± 0.26	0.75 ± 0.72	0.83 ± 0.27	0.96 ± 0.26
	100	0.73 ± 0.68	0.93 ± 0.25	1.01 ± 0.36	0.91 ± 0.60	0.94 ± 0.41	0.90 ± 0.26	0.93 ± 0.46	0.98 ± 0.29	0.93 ± 0.22
3.6	150	0.77 ± 0.33	0.77 ± 0.18	1.04 ± 0.34	0.91 ± 0.33	0.94 ± 0.37	0.97 ± 0.19	0.97 ± 0.39	0.95 ± 0.40	0.98 ± 0.22
	200	0.84 ± 0.44	0.79 ± 0.19	0.94 ± 0.26	0.83 ± 0.35	1.00 ± 0.38	0.94 ± 0.18	0.88 ± 0.25	1.02 ± 0.31	0.85 ± 0.22
	250	0.78 ± 0.43	0.75 ± 0.29	0.85 ± 0.43	0.70 ± 0.37	0.85 ± 0.39	0.86 ± 0.30	0.84 ± 0.22	0.87 ± 0.38	0.94 ± 0.39
5.6	400	0.72 ± 0.40	0.93 ± 0.30	0.95 ± 0.27	0.83 ± 0.46	0.95 ± 0.25	1.13 ± 0.35	0.84 ± 0.26	1.01 ± 0.33	1.01 ± 0.19
	500	0.72 ± 0.49	0.92 ± 0.32	0.88 ± 0.25	0.85 ± 0.34	1.00 ± 0.27	1.01 ± 0.40	0.99 ± 0.38	0.91 ± 0.30	1.12 ± 0.20
	600	0.68 ± 0.40	0.90 ± 0.46	0.81 ± 0.36	0.87 ± 0.37	0.91 ± 0.21	1.02 ± 0.44	0.96 ± 0.49	1.02 ± 0.31	1.19 ± 0.33

หมายเหตุ: 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) เครื่องหมาย<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p≤0.05)

3) a หมายถึง ความเร็วการไหลของอากาศที่แปลงค่ามาจาก superficial air velocity 3 ระดับ คือ 0.25, 0.33 และ 0.42 cm/s ที่ผันแปรตามพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์แก้ว

จากสถานะการปฏิบัติการใช้ไม่มีผลต่อค่า Recovery ของปริมาณไขมัน น้ำตาลแลคโตส และ โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่แนวโน้มของค่า Recovery ที่ได้จากกราฟแสดง ความสัมพันธ์ (ภาคผนวก จ) มีแนวโน้มประสิทธิภาพการแยกของตัวแปรด้านการปฏิบัติการต่างๆ จะคล้ายคลึงกัน คือมีการเพิ่มขึ้นของค่า Recovery แต่ในบางสถานะก็มีแนวโน้มสวนทางกัน ดังนั้น จึงต้องพิจารณาความสัมพันธ์บางสถานะแยกเป็นกรณีไป แล้วแต่ค่า Recovery ที่จะทำการ ประเมินประสิทธิภาพการแยกนั้น ต้องการไปในทิศทางใด

1.) แนวโน้มของ Recovery ของไขมันจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการ แยกของตัวแปรด้านการปฏิบัติการต่างๆ พบว่าขนาดของคอลัมน์แก้วที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีรูพรุนของ glass filter มากขึ้นค่า Recovery จะเพิ่มขึ้น (รูปที่ จ-1) และถ้ามีการเพิ่มความเร็วการไหลของอากาศ มากขึ้นก็จะทำให้มีแนวโน้มค่า Recovery สูงตามด้วย (รูปที่ จ-2 และ จ-4) แต่ในบางสถานะเมื่อมี ความเร็วการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นโดยใช้ขนาดคอลัมน์แก้วเล็กลง ค่า Recovery กลับเพิ่มขึ้น (รูป ที่ จ-3) ทั้งนี้แนวโน้มอาจจะไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จำเป็นต้องอาศัยตัวแปรในการ ปฏิบัติการที่เหมาะสมต่อจุดประสงค์ที่ต้องการใช้ในการทดลองต่อไป การมีแนวโน้มของการแยก ไขมันด้วยเทคนิคการสร้างแบบต่อเนื่องออกมาได้บางส่วนนั้น เป็นเหตุผลเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้น ของค่า Enrichment ที่เป็นระบบคอลลอยด์แบบ non-dispersed ซึ่งก็คือ monomolecular film โดยมี ส่วนหัวที่เป็นไฮโดรฟิลิกอยู่ในน้ำ และส่วนหางที่เป็นไฮโดรโฟบิกชี้ขึ้นมาบนอากาศ ฟิล์มที่ เกิดขึ้นจึงเป็นคอลลอยด์ชนิดหนึ่งระหว่างอากาศและน้ำ

2.) แนวโน้มของ Recovery ของน้ำตาลแลคโตส พบว่าทุกสถานะของตัวแปรด้านการ ปฏิบัติการทุกๆ ตัวแปรนั้นมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ จากเส้นกราฟที่ได้ (รูปที่ จ-5 ถึง จ-8) แสดงว่า จากตัวแปรด้านการปฏิบัติการดังกล่าวที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อค่า Recovery ของน้ำตาลแลค โตสใดๆ เช่นกัน

3.) ค่า Recovery ของโปรตีน จากกราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาที่ แดกต่างกันสามจุด คือ นาทีที่ 20, 40 และ 60 ของประสิทธิภาพการแยกโปรตีนของตัวแปรด้านการ ปฏิบัติการต่างๆ (รูปที่ จ-9 ถึง จ-20) พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นแนวโน้มของ ค่า Recovery ค่อนข้างเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกับค่า Enrichment เมื่อใช้คอลัมน์แก้วที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และความเร็วการไหลของอากาศเพิ่มมากขึ้นแต่ในบางสถานะก็ไม่ได้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน บ้าง และเนื่องจากโปรตีนมีสมบัติของไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จึง ทำให้ Recovery ของสาร โปรตีนได้ด้วยเช่นกัน