หัวข้อวิจัย	ผลของการใช้ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา เพื่อใช้ในการดับเพลิงประเภท Class B
ผู้ดำเนินการวิจัย	ดร. ณัฐบดี วิริยาวัฒน์ ผศ. ดร. สุรชาติ สินวรณ์
หน่วยงาน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2557

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราโดยใช้ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ นำมาใช้ในการดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซ (คลาสบี) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์เพื่อในการสกัดน้ำโปรตีน แล้วปั่นแยกสารละลายโปรตีนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำสารละลายโปรตีนมาปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 4.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นทำการผลิตสารดับเพลิง โดยนำสารละลายโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารามาผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างและไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ การศึกษานี้จะผลิตสารดับเพลิง3 สูตร แต่ละสูตรมีอัตราส่วนผสม ของสารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อไมโครสังกะสีออกไซด์ ตามลำดับดังนี้สูตรที่ 1 ได้แก่ 80:5:10:5 สูตรที่ 2 ได้แก่ 80:5:5:10 สูตรที่ 3 ได้แก่ 80:5:0:15 แล้วนำมาบรรจุลงในถังอลูมิเนียม อัดด้วยก๊าซไนตรัสออกไซด์ ทดสอบประสิทธิภาพสารดับเพลิงแต่ละสูตรในแง่ของระยะเวลาและการเกิดก๊าซมลพิษ (ก๊าซ CO และก๊าซ NOx) เปรียบเทียบกับสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ที่จำหน่ายตามท้องตลาด

ผลการทดลองพบว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ในสูตรที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ โดยสามารถดับเพลิงได้ในระยะเวลา 16.43 ± 4.75 วินาที ในขณะสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงต่ำที่สุดโดยใช้ระยะเวลา 53.58 ± 6.16 วินาที จากการวิเคราะห์การเกิดก๊าซมลพิษได้แก่ CO และ NOx จากการดับเพลิงพบว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ในสูตรที่ 2 ให้ปริมาณก๊าซ CO น้อยที่สุดเท่ากับ 0.16 ± 0.07 พีพีเอ็มส่วนสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 ให้ปริมาณก๊าซ NOx น้อยที่สุดเท่ากับ 16.82 ± 2.83 พีพีเอ็ม นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ผลประโยชน์ต้นทุนโดยการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์พบว่า สารดับเพลิงประเภทโปรตีนมีจุดคุ้มทุนกว่าสารดับเพลิงประเภทโฟมที่จำหน่ายในท้องตลาดถึง 1.23 เท่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์สูตรที่ 1 จึงมีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาผลิตเป็นสารดับเพลิงในเชิงพาณิชย์

Research Title The Effects of Micronized Zinc Oxide to improve the effective of Fire Extinguisher from Para rubber seeds Protein Extracted for Class B Fire Fighting
Researcher Miss Nuttabodee Viriyawattana
Asst. Professor Surachat Sinworn
Organization Faculty of Science and Technology, Suan Dusit Rajabhat University
Year 2015

This research aimed to investigate the production of fire extinguishing agents from para rubber seeds protein extracted by adding micronized zinc oxide for fire fighting caused by oil and gas (class B). In this experiment a sodium hydroxide solution of about 0.02 mular used to separate protein with centrifuge of 5,000 rounds/min for 30 min at 4 °c. The protein solution was adjusted to egual the concentration of 4 mg/ml. Then, produce fire extinguishing agent by mixed para rubber seeds protein solution with alkaline catalyst solution and micronized zinc oxide. In this study fire extinguishing agent were produced in three formulas. Each formula has a ratio of protein solution to alkaline catalyst solution to water to micronized zinc oxide 80:5:10:5, 80:5:5:10 and 80:5:0:15 respectively.

Testing effieiency of fire extinguishing agent in each formulas and analysis of CO and NOx from fire Extinguished. Comparing the performance of fire extinguishing agent from para rubber seed which did not add micronized zinc oxide and commercial fire extinguishing agent. The results showed that the formula 1 was the best formula for fire extinguished when compared with another furmulas. This formula could extinguish fire in 16.43 ± 4.75 seconds. While the fire extinguishing agent without micronized zinc oxide was lowest efficiency in extinguishing the fire. This agent could extinguish fire in 53.58 ± 6.16 seconds. In addition, the concentrations of CO and NOx from fire extinguished in each formulas were analyzed and we found that the formula 2 gaue the minimum concentration of CO at 0.16 ± 0.07 ppm. While, the formula 1 represent the minimum concentration of NOx at 16.82 ± 2.83 ppm. Moreover, this research analyzed cost benefit by economic calculation and we found that fire extinguishing agent from para rubber seeds protein with micronized zinc oxide had the profit higher than commercial fire extinguishing agent approximately 1.23 times. Then, the fire extinguishing agent from para rubber seed protein in formula 1 was suitable for improve in commercial.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณคุณพรธิดา เทพประสิทธ์ ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือสิ่งแวดล้อม รวมถึงคณะเจ้าหน้าที่ศูนย์สิ่งแวดล้อม ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการ ตลอดจนขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ประโยชน์อันเนื่องมาจากงานวิจัยฉบับนี้จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแด่บิดา มารดาและคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

คณะผู้วิจัย
2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	3
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
สารดับเพลิง	5
องค์ประกอบของไฟ	5
กลไกของการเกิดเพลิงไหม้	6
ประเภทของไฟ	7
กลไกของการดับเพลิง	8
ประเภทของสารดับเพลิง	8
ประเภทของโฟมดับเพลิง	10
สารพิษที่อยู่ในควันไฟ	11
ยางพารา	13
สายพันธุ์ยางพารา	14
ลักษณะเมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600	14
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของยางพารา	15
สารพิษในเมล็ดยางพารา	16
โปรตีน	17
สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน	17

	หน้า
การสกัดโปรตีน	21
โฟมโปรตีน	22
ไมโครสังกะสีออกไซด์	22
สารที่เป็นมลพิษทางอากาศ	23
ออกไซด์ของไนโตรเจน	23
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	25
ไนตรัสออกไซด์	26
สารลดแรงตึงผิว	26
ผงฟู	27
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	28
อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน	28
กรอบแนวคิดในการวิจัย	29
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
ประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง	32
การเก็บรวบรวมข้อมูล	32
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	33
เครื่องมือและอุปกรณ์	33
สารเคมี	33
วิธีการทดลอง	34
เก็บรวบรวมเมล็ดยางพารา	34
การสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	34
การวิเคราะห์ความเข้มข้นโปรตีนที่ได้จากการสกัดกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	36
การผลิตสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	36
การทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสูตรต่างๆ	37
การวัดขนาดฟองโฟม	38
การวิเคราะห์การเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมของสารดับเพลิงประเภทโปรตีน	38
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	40
บทที่ 4 ผลการวิจัย	41
การสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	41
การผลิตสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	41
การทดสอบประสิทธภาพของสารดับเพลิงประเภทโปรตีน	43

หน้า

การเปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิง 44
การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 45
การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง 47
การวิเคราะห์ประโยชน์ต้นทุนของการผลิตสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา 49
การเวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโปรตีน 50

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 51
สรุปผลการวิจัย 51
อภิปรายผล 54
ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ 56
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป 56

บรรณานุกรม **57**
บรรณานุกรมภาษาไทย 57
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ 60

ภาคผนวก **61**
ภาคผนวก ก วัตถุดิบ ขั้นตอนในการสกัดโปรตีนและการทดสอบสารดับเพลิง 62
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีแบรดฟอร์ด 69
ภาคผนวก ค การหาอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน 73

ประวัติผู้วิจัย **76**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของเมล็ดยางพาราสด	16
2.2	ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	16
2.3	ส่วนประกอบของโภชนาการต่างๆ ในกากเมล็ดยางพาราชนิดมีเปลือกและไม่มีเปลือก	16
3.1	ร้อยละของส่วนผสมในสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในแต่ละสูตร	37
4.1	การเปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิง	45
4.2	การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง	46
4.3	การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง	48

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดเพลิงไหม้	5
2.2	สัญลักษณ์ประเภทของไฟ	7
2.3	ประเภทของสารดับเพลิง	10
2.4	โครงสร้างของฟอง	18
2.5	การเกิดฟองของโปรตีน	19
2.6	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	29
3.1	ลักษณะเมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 ที่นำมาศึกษา	34
3.2	เครื่องหีบอัดแบบไฮโดรลิค ใช้ในการหีบน้ำมันออกจากเมล็ดยางพารา	35
3.3	เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	35
3.4	เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ	36
3.5	กระบอกอัดอลูมิเนียม ใช้ในการบรรจุสารดับเพลิง	37
3.6	ถาดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ใช้ในการทดสอบสารดับเพลิง	38
3.7	เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล	39
3.8	ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ	39
3.9	เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	40
3.10	เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซออกซ์ของไนโตรเจน	40
4.1	สารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	41
4.2	ลักษณะฟองโฟมหลังจากทำการทดสอบสารดับเพลิงโปรตีนจากกากเนื้อเมล็ดยางพารา ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์	42
4.3	ลักษณะฟองโฟมหลังจากทำการทดสอบสารดับเพลิงโปรตีนจากกากเนื้อเมล็ดยางพารา ที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์	43
4.4	ลักษณะฟองโฟมหลังจากทำการทดสอบสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ที่จำหน่ายในท้องตลอด	43
4.5	การทดสอบประสิทธิภาพสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	44
ก–1	กากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่กระเทาะเปลือกออก	63
ก–2	การบดกากเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยโกร่งบดสาร	63
ก–3	การละลายสารละลายโซเดี่ยมไฮดรอกไซด์กับกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	64
ก–4	การกวนสารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยเครื่องกวนสาร	64
ก–5	สารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราในหลอดเซ็นติฟิว (Centrifuge Tube)	65
ก–6	การปั่นหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	65
ก–7	โปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา	66
ก–8	การเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน	66

ภาพที่ **หน้า**

ก–9 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน 67
ก–10 การวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยเครื่อง CO Analyzer 67
ก–11 วิเคราะห์ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนด้วยเครื่อง NOx Analyzer 68
ข-1 กราฟมาตรฐาน BSA สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ด 71
ข-2 การกรอง Protein assay dye reagent 72
ข-3 การปิเปตProtein assay dye reagent 72
ข-4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน BSA 72
ข-5 การผสมสารละลาย 72

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

อัคคีภัยนับเป็นภัยใกล้ตัวที่เกิดขึ้นแล้วสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน จากสถิติการเกิดอัคคีภัยในประเทศไทยปี 2556 - 2557 พบว่ามีจำนวน 1,693 ครั้ง และมีผู้เสียชีวิตเฉลี่ย 42 คนต่อปี มูลค่าความเสียหาย 1,105,245,397 บาทต่อปี (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2557) การดับเพลิงไหม้ที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซไวไฟชนิดต่างๆ นั้นไม่สามารถดับด้วยน้ำ แต่ต้องใช้สารดับเพลิงประเภทเคมีหรือสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนในการดับเพลิง ในปัจจุบันได้มีการนำสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์มาใช้ในการดับเพลิงที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซไวไฟ เนื่องจากสารดับเพลิงประเภทนี้มีอัตราต้านทานเปลวไฟสูงและมีคุณสมบัติในการตัดอากาศจากไอน้ำมันระเหยติดไฟจึงสามารถกันไม่ให้ของเหลวกลายเป็นไอ แต่ข้อเสียของสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์คือ มีต้นทุนในการผลิตที่ค่อนข้างสูง ซึ่งราคาของสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ของบริษัทนิปปอนขนาด 11.25 ลิตร 1 ถัง มีราคา 3,950 บาท (นิปปอนเคมิคอล, 2557) ดังนั้นการนำโปรตีนจากพืชที่เหลือทิ้งหาได้ง่ายและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการดับเพลิงมาพัฒนาสารดับเพลิงจึงน่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการผลิตสารดับเพลิงต้นทุนต่ำในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาสารดับเพลิงจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราโดยสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราแล้วนำมาผสมกับไมโครสังกะสีออกไซด์เพื่อใช้ในการดับเพลิงประเภทน้ำมัน (คลาสบี) เป็นการต่อยอดงานวิจัยของสุทัศน์ ศรีศิริ และวรากร สุวรรณไตรย์ (2556) ซึ่งได้ผลิตสารดับเพลิงจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราและพบว่าสารดับเพลิงที่ผลิตขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพในการดับเพลิงประเภทน้ำมัน (คลาสบี) ได้ดีโดยสามารถดับเพลิงที่มีขนาดกองเพลิง 475x475 มิลลิเมตร ได้ในระยะเวลา 8.33 ถึง 48.25 วินาทีนอกจากนี้ยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเมล็ดยางพาราหาได้ง่าย เหลือทิ้งและมีราคาถูก ในประเทศไทยมีปริมาณเพียงพอที่สามารถนำมาผลิตสารดับเพลิง จากข้อมูลของประเทศไทยปัจจุบันพบว่ามีพื้นที่ในการปลูกยางพาราทั้งสิ้น 11.6 ล้านไร่ ซึ่งนับว่าเป็นอันดับสองของโลก (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการเพิ่มประสิทธิภาพสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนเป็นสารไม่ไวไฟ ลดแรงตึงผิวจึงทำให้ฟองขยายตัวไปปกคลุมผิวหน้าน้ำมันได้ดี (Hahn Y.B, 2011; วิสาขา ภู่จินดา, 2548) สารดับเพลิงจึงสามารถคลุมไฟได้ดี นอกจากนี้ยังไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเนื่องจากเป็นโปรตีนจากพืชสอดคล้องกับคุณสมบัติในการดับเพลิงของโฟมดับเพลิงที่ดีนั้นจะต้องมีการรวมตัวของฟองอย่างมั่นคงสามารถปกคลุมเปลวไฟในแนวราบได้อย่างเหนียวแน่นและมีประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการต้านทานความร้อน (A Foam Concentrate Manufacturer, USA, 2008)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสารดับเพลิงจากสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราเพื่อใช้ในการดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซ (คลาสบี) โดยใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

2. เพื่อศึกษาขนาดฟองโฟมของสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ กับสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์และสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ในท้องตลาด

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาขึ้นในแง่ของระยะเวลาเปรียบเทียบกับสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ในท้องตลาด

4. เพื่อศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนโดยตรวจวัดเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดการดับเพลิงของสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ กับสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ในท้องตลาด

5. เพื่อศึกษาผลประโยชน์ต้นทุนของสารดับเพลิงจากการสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพโดยใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ด้วยวิธีการทางเศรษฐศาสตร์

ขอบเขตการวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้ใช้เมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 นำมาสกัดโปรตีนเพื่อใช้ในการผลิตสารดับเพลิง

2. เปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิงและวิเคราะห์ค่าการเกิดมลพิษของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพโดยใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์เปรียบเทียบกับสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ในท้องตลาด โดยทำการทดลองตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

3. ศึกษาต้นทุนราคาของผลิตภัณฑ์สารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราในการผลิตสารดับเพลิงจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพของสารดับเพลิงสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราโดยใช้ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

สมมติฐานการวิจัย

1. สารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาโดยใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์สามารถดับเพลิงได้ดีกว่าสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

2. สารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพโดยใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

3. การผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพของสารดับเพลิงโดยใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ มีจุดคุ้มทุนเหมาะสมกว่าสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

โฟมโปรตีน (Protein Foams Concentrates) หมายถึง โฟมที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ดับไฟที่เกิดจากสารไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ฟองโฟมมั่นคง ผลิตขึ้นมาโดยการหมักโปรตีนจากส่วนแข็งของสัตว์ มีการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่างๆ รวมทั้ง ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการสลายตัวของแบคทีเรียและควบคุมความหนืด (ศริศักดิ์ สุนทรไชย, 2556)

โฟมดับเพลิง (Fire Fighting Foam) หมายถึง ฟองขนาดเล็กที่มารวมตัวอย่างมั่นคง มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำและน้ำมัน สามารถปกคลุมในแนวราบได้อย่างเหนียวแน่น โดยการเคลื่อนที่อย่างอิสระเหนือผิวหน้าของเหลวที่กำลังลุกไหม้ แล้วก่อตัวเป็นแผ่นกว้างไล่อากาศออกพร้อมผนึกไอสารไวไฟไม่ให้สัมผัสกับอากาศที่อยู่รอบๆ (A Foam Concentrate Manufacture; USA, 2008)

ไฟประเภท B (Fire Class B) หมายถึง ไฟที่เกิดจากการลุกไหม้ของเหลวและก๊าซ เช่น น้ำมันชนิด แอลกอฮอล์ ทินเนอร์ ยางมะตอย จารบี ก๊าซติดไฟวิธีการดับไฟประเภทคลาสบีคือ กำจัดออกซิเจนโดยใช้ผงเคมีแห้งโฟม (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2544)

ยางพารา (Para rubber) หมายถึง ต้นไม้ขนาดใหญ่ มีอายุยาวนานเป็นร้อยๆปี ต้นยางที่มีอายุมากๆ ในป่าลุ่มแม่น้ำอะเมซอน มีลำต้นโตถึง 5 เมตรสูงถึง 40 เมตรก็มี แต่ต้นยางที่ปลูกแถบเอเชียส่วนมากลำต้นบริเวณโคนเหนือพื้นดินไม่เกิน 1.50 - 2.00 เมตร (วริษฐา สุขย้อย, 2554)

เมล็ดยางพารา (Para rubber seed) หมายถึง เมล็ดยางพาราจะมีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีเมล็ดละหุ่ง มีขนาดยาวประมาณ 2.00 - 2.50 เซนติเมตรกว้างประมาณ 1.50 - 2.50 เซนติเมตร และหนัก 3.5 กรัม (จุฑารัตน์ พรหมพฤกษ์, 2550)

กากเมล็ดยางพารา (Para rubber seed meal) หมายถึง เมล็ดยางพาราที่กะเทาะเปลือกหลังจากแยกเอาส่วนที่เป็นยางออกไปเพื่อทำยางพาราแล้วกากสามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้โดยใช้เป็นแหล่งโปรตีน เพราะมีกากเหลือมากถึง ร้อยละ 53 (วริษฐา สุขย้อย, 2554)

โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) หมายถึง ผงสีขาวเป็นสารที่ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบขึ้นฟูปฏิกิริยาของผงฟูทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผงฟูประกอบด้วยสารเคมีที่

สำคัญคือ โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบคกิ้งโซดา (Sodium Bicarbonate or Baking Soda) (พรประภา ขันธนัส, 2546)

ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ (Micronized Zinc Oxide) หมายถึง เป็นสารที่อยู่กลุ่มโลหะหนัก มีส่วนผสมของธาตุสังกะสีประมาณร้อยละ 99 ส่วนธาตุอื่นที่พบได้แก่ ทองแดง แคลเซียม แมงกานีส เหล็ก ฟอสฟอรัส ซิลิเนียม โพแทสเซียม และโครเมียม มีปริมาณเล็กน้อย ไมโครสังกะสีออกไซด์มีความเสถียรต่อความร้อนและใช้เป็นสารรักษาสภาพน้ำยางได้ดี (อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย, 2554)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น
2. ได้สารดับเพลิงที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
3. ทราบต้นทุนการผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพโดยใช้ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและการพัฒนาประสิทธิภาพของสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราโดยใช้ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์สำหรับการดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซ (คลาสบี) ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดหัวข้อแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

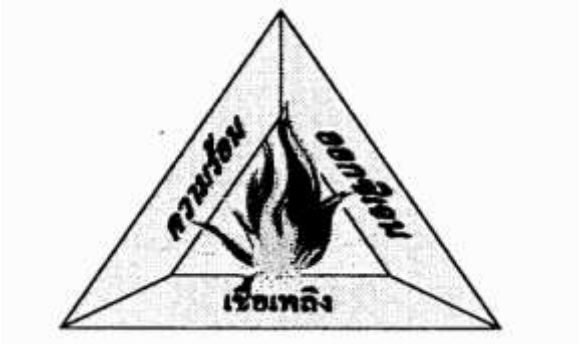
สารดับเพลิง

1. องค์ประกอบของไฟ

การสันดาปหรือการเผาไหม้ (Combustion) หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการรวมตัวของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนซึ่งเป็นผลให้เกิดความร้อนและแสงสว่างกับสภาพการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไฟมี 3 อย่าง คือ

1.1 ออกซิเจน (Oxygen) ซึ่งในบรรยากาศปกติจะมีออกซิเจนอยู่ประมาณร้อยละ 21
1.2 เชื้อเพลิง (Fuel) ซึ่งอยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส
1.3 ความร้อน (Heat) ที่เพียงพอทำให้เกิดการลุกไหม้

ไฟจะติดเมื่อองค์ประกอบครบ 3 อย่าง ทำปฏิกิริยาทางเคมีต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ (Chain Reaction)



ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดเพลิงไหม้
ที่มา: กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (2544)

ภาพที่ 2.1 เป็นภาพปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดเพลิงไหม้หรือสามเหลี่ยมของไฟ แสดงให้เห็นว่าไฟจะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ เชื้อเพลิง (ในรูปแบบของไอระเหย) อากาศ

(ออกซิเจน) และความร้อน (ถึงอุณหภูมิติดไฟ) และการที่จะดับไฟนั้นก็ต้องเอาอย่างใดอย่างหนึ่งออกไปจากองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการลุกติดไฟ

2. กลไกของการเกิดเพลิงไหม้

การเกิดเพลิงไหม้ประกอบด้วย 8 ปัจจัยคือ เชื้อเพลิงความสามารถในการติดไฟของสารจุดวาบไฟจุดติดไฟความหนาแน่นไอออกซิเจนความร้อนปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 เชื้อเพลิง (Fuel) หมายถึง วัตถุใดก็ตามที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วในการเผาไหม้ เช่น ก๊าซ ไม้ กระดาษ น้ำมัน โลหะ พลาสติก เป็นต้น เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซจะสามารถลุกติดไฟได้ แต่เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะของแข็งและของเหลวจะไม่สามารถลุกติดไฟได้ ถ้าโมเลกุลที่ผิวของเชื้อเพลิงไม่อยู่ในสภาพที่เป็นก๊าซ การที่โมเลกุลของของแข็งหรือของเหลวนั้นจะสามารถแปรสภาพกลายเป็นก๊าซได้นั้นจะต้องอาศัยความร้อนที่แตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

2.2 ความสามารถในการติดไฟของสาร (Flamablility Limitts) หมายถึง ปริมาณไอของสารที่เป็นเชื้อเพลิงในอากาศที่มีคุณสมบัติซึ่งพร้อมจะติดไฟได้ในการเผาไหม้นั้นปริมาณไอเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศนั้นจะต้องมีปริมาณพอเหมาะจึงจะติดไฟได้ โดยปริมาณต่ำสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็นร้อยละในอากาศ ซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ค่าต่ำสุดของไอเชื้อเพลิง (Lower Flammable Limit)” และปริมาณสูงสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็นร้อยละ ในอากาศซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิง (Upper Flammable Limit)” ซึ่งสารเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงแตกต่างกันไป

2.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) หมายถึง อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำให้เชื้อเพลิงคายไอออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมถึงจุดที่มีค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงเมื่อมีประกายไฟก็จะเกิดการติดไฟ เป็นไฟวาบขึ้นและดับไป

2.4 จุดติดไฟ (Fire Point) หมายถึง อุณหภูมิของสารที่เป็นเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนถึงจุดที่จะติดไฟได้แต่การติดไฟนั้นจะต้องต่อเนื่องกันไป โดยปกติความร้อนของ Fire Point จะสูงกว่า Flash Point ประมาณ 7 องศาเซลเซียส

2.5 ความหนาแน่นไอ (Vapor Density) หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักของสารเคมีที่อยู่ในสถานะก๊าซต่อน้ำหนักของอากาศเมื่อมีปริมาณเท่ากัน ความหนาแน่นไอ เป็นสิ่งบ่งบอกให้ทราบว่าก๊าซนั้นจะหนักหรือเบากว่าอากาศซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมอัคคีภัย

2.6 ออกซิเจน (Oxygen) อากาศที่อยู่รอบๆ นั้นมีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 21 แต่การเผาไหม้แต่ละครั้งนั้นจะต้องการออกซิเจนประมาณร้อยละ 16 เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดที่อยู่ในบรรยากาศโดยรอบ นั้นจะถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน ซึ่งมีปริมาณเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ยิ่งถ้าปริมาณออกซิเจนยิ่งมากเชื้อเพลิงก็ยิ่งติดไฟได้ดีขึ้นและเชื้อเพลิงบางประเภทจะมีออกซิเจนในตัวเองอย่างเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนที่อยู่รอบข้าง

2.7 ความร้อน (Heat) ความร้อนคือพลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการคายไอออกมา

2.8 ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) หรือการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง คือ กระบวนการเผาไหม้ที่เริ่มตั้งแต่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนติดไฟเมื่อเกิดไฟขึ้น หมายถึง การเกิดปฏิกิริยา กล่าวคืออะตอมจะถูกเหวี่ยงออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิง กลายเป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับไปอยู่ที่ฐานของไฟอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเปลวไฟ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2544)

3. ประเภทของไฟ (Classification of Fire)

ไฟมี 5 ประเภท คือ A B C D K ซึ่งเป็นข้อกำหนดมาตรฐานแสดงสัญลักษณ์ภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 สัญลักษณ์ประเภทของไฟ
ที่มา: กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (2544)

3.1 ไฟประเภท A คือไฟที่เกิดจากการลุกไหม้วัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงทั่วๆ ไปเช่น กระดาษ ไม้ ผ้าขยะแห้ง พลาสติกบางชนิดปอฟาง ด้าย นุ่นเป็นต้น วิธีการดับไฟประเภท A คือการลดความร้อนโดยการใช้น้ำ

3.2 ไฟประเภท B คือไฟที่เกิดจากการลุกไหม้ของเหลวและก๊าซ เช่น น้ำทุกชนิด แอลกอฮอล์ ทินเนอร์ ยางมะตอย จารบีเป็นต้นวิธีการดับไฟประเภท B ที่ดีที่สุดคือ กำจัดออกซิเจนโดยใช้โฟมผงเคมีแห้ง

3.3 ไฟประเภท C คือไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด การอาร์ค การสปาร์ค วิธีดับไฟประเภท C ที่ดีที่สุด คือ ตัดกระแสไฟฟ้าแล้วจึงใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือน้ำยาเหลวระเหยที่ไม่มี CFC ไล่ออกซิเจนออกไป

3.4 ไฟประเภท D คือไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นโลหะและสารเคมีติดไฟ เช่น วัตถุระเบิดปุ๋ยยูเรียวิธีดับไฟประเภท D ที่ดีที่สุด คือ การทำให้อับอากาศหรือใช้สารเคมีเฉพาะห้ามใช้น้ำ

3.5 ไฟประเภท K คือ ไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงน้ำมันทำอาหาร น้ำมันพืชน้ำมันจากสัตว์และไขมันวิธีดับไฟประเภท K ที่ดีที่สุดคือเครื่องดับเพลิงชนิดน้ำผสมสารโปตัสเซียมอะซิเตท

4. กลไกของการดับเพลิง

ปฏิกิริยาการลุกไหม้ของไฟที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ พบว่าเพลิงไหม้จะดับลงหากตัดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งของการลุกไหม้ออกไป ฉะนั้นสามารถแบ่งกลไกของการดับไฟออกเป็น 4 กลไก ดังนี้

4.1 การกำจัดเชื้อเพลิง ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงออกไปจากบริเวณที่เกิดอัคคีภัย และสำหรับการขนถ่ายเอาเชื้อเพลิงออกไปไม่ได้ ควรใช้วิธีนำสารอื่นมาเคลือบผิวของเชื้อเพลิงเอาไว้ เช่น การใช้ผงเคมี โฟม น้ำละลายด้วยผงซักฟอก ซึ่งเมื่อฉีดลงบนผิววัสดุแล้วจะปกคลุมอยู่นานตราบเท่าที่น้ำหรือสารเคมีอื่นที่ผสมในน้ำยังไม่สลายตัวไป

4.2 การกำจัดออกซิเจน โดยการปิดกั้นออกซิเจนไม่ให้ไปรวมตัวกับไอของเชื้อเพลิง เนื่องจากออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหนึ่งของไฟ วิธีการกำจัดออกซิเจนมีหลายวิธี เช่น ฉีดน้ำ หรือสารอื่นๆ ไปปกคลุมผิวเชื้อเพลิงหรือฉีดแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน (nitrogen) หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) ไปปกคลุมบริเวณเพลิงไหม้ทำให้จำนวนออกซิเจนในอากาศมีปริมาณต่ำลงจนไม่มีการสันดาปอีกต่อไป โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงจะถูกล้อมด้วยออกซิเจนประมาณร้อยละ 21 ซึ่งเพียงพอสำหรับการเผาไหม้เพราะไฟต้องการเพียงร้อยละ16 แต่ถ้าหากสามารถทำให้ออกซิเจนลดจำนวนลงไปได้ก็ไม่ได้หมายความว่าสามารถดับไฟได้เลยทีเดียวหากออกซิเจนน้อยลง ไฟก็อาจยังคงไหม้แบบประทุได้ (ไม่มีเปลว) เช่น ไฟไหม้ในตู้เก็บของในลักษณะประทุเมื่อเปิดฝาตู้ออกไฟก็จะลุกทันที ทั้งนี้เพราะออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปช่วยในการเผาไหม้อย่างเพียงพอ

4.3 การลดอุณหภูมิ (ลดความร้อน) เมื่อทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงต่ำลงไปกว่าจุดวาบไฟ แม้จะมีเชื้อเพลิงและออกซิเจนผสมกันอยู่ก็ไม่เกิดการสันดาป เพลิงก็จะสงบลง วิธีการลดอุณหภูมิหรือการลดความร้อน เป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายซึ่งจะใช้น้ำทำการดับไฟ การดับโดยวิธีนี้จะทำให้เชื้อเพลิงเย็นตัวลง เพื่อลดอัตราการกลายเป็นไอเพื่อป้องกันการระเบิด เนื่องจาก Over pressure หรือทำให้ความร้อนต่ำลง

4.4 การขัดขวางปฏิกิริยาลูกโซ่ เป็นวิธีการดับเพลิงแบบใหม่ที่ได้ผลมากโดยการใช้สารบางชนิดที่มีความไวต่อออกซิเจนมาก ฉีดลงสารดังกล่าวได้แก่พวก ไฮโดรคาร์บอน ประกอบกับฮาโลเจน (halogen) ซึ่งสารฮาโลเจนได้แก่ไอโอดีนโบรมีน คลอรีนและฟลูออลีน (เรียงตามลำดับความสามารถในการใช้งาน) สารดับเพลิงประเภทนี้เรียกว่า "ฮาลอน (Halon)" (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2544)

5. ประเภทของสารดับเพลิง

สารดับเพลิงแบ่งออกเป็น 6 ประเภท คือ สารดับเพลิงชนิดโฟม สารดับเพลิงชนิดน้ำสะสมแรงดัน สารดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือ ซีโอทู สารดับเพลิงชนิดน้ำยาเหลวระเหย ฮาโลตรอน สารดับเพลิงผงเคมีแห้งและสารดับเพลิงเคมีเปียกภาพที่ 2.3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สารดับเพลิงประเภทโฟม (Foam) ฟองขนาดเล็กที่มารวมตัวอย่างมั่นคงมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำและน้ำมันสามารถปกคลุมในแนวราบได้อย่างเหนียวแน่นโดยการ เคลื่อนที่อย่าง

อิสระเหนือผิวหน้าของเหลวที่กำลังลุกไหม้แล้วก่อตัวเป็นแผ่นกว้างไล่อากาศออก พร้อมผนึกไอสารไวไฟไม่ให้สัมผัสกับอากาศที่อยู่รอบๆ แม้ว่าจะมีลมแรง มีเปลวไฟหรือเกิดความร้อนสูงเพียงใด โฟมก็จะไม่ถูกทำลายลงไปโดยง่าย อีกทั้งสามารถจะฉีดซ้ำลงไปเมื่อเห็นว่าฟองโฟมบางส่วนเกิดความเสียหาย (A Foam Concentrate Manufacture, USA, 2008)

5.2 สารดับเพลิงประเภทสะสมแรงดันน้ำ (Water Pressure) มีความสามารถในการดับเพลิงไหม้ได้ดี โดยเฉพาะเพลิงไหม้ที่เกิดจากเชื้อเพลิงประเภท A เช่น เพลิงที่เกิดจากการลุกไหม้ของไม้ กระดาษ ผ้า ยาง พลาสติกหรือของใช้ที่พบเห็นในชีวิตประจำวันได้เป็นอย่างดี เครื่องดับเพลิงประเภทนี้ใช้น้ำอัดใส่ถังดับเพลิงสะสมแรงดัน เพื่อให้ฉีดออกมาได้แรงดันที่เพิ่มขึ้น ในกรณีนำมาใช้ซึ่งจะทำให้สามารถดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อควรระวัง คือ ไม่ควรนำเครื่องดับเพลิงประเภทน้ำสะสมแรงดันนี้ไปดับเพลิงประเภท B (เพลิงอันเกิดจากเชื้อเพลิงน้ำมัน) เพราะจะทำให้เกิดการแพร่กระจายเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ได้ตลอดจนห้ามนำไปดับไฟ ประเภท C ด้วยเนื่องจากน้ำเป็นสื่อในการนำไฟฟ้า

5.3 สารดับเพลิงประเภทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือซีโอทู (Carbon dioxide) เป็นเครื่องดับเพลิงที่ใช้ได้ผลรวดเร็วในการดับไฟเกือบทุกชนิด ในถังจะประกอบด้วยผงเคมีแห้งโซเดียมไบคาร์บอเนตและมีสารกันชื้นผงเคมีนี้ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า จึงใช้ได้ดีกับเชื้อเพลิงที่เป็นเพลิงไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าอยู่ในถังจะประกอบด้วยผงเคมี ซึ่งมีหลายชนิดหลายคุณภาพไว้ในถัง แล้วอัดแรงดันด้วยก๊าซไนโตรเจนเข้าไป เวลาใช้ ผงเคมีจะถูกดันออกไปคลุมไฟทำให้อับอากาศ ควรใช้ภายนอกอาคาร เพราะผงเคมีเป็นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายทำให้เกิดความสกปรกและเป็นอุปสรรคในการเข้าผจญเพลิง อาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าราคาแพง เสียหาย การตรวจสภาพควรตรวจทุกๆ 6 เดือน ใช้ดับไฟประเภท A B และ C

5.4 สารดับเพลิงประเภทน้ำยาเหลวระเหยฮาโลตรอน (Halotron) เป็นสารเหลวระเหย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ ไม่นำสื่อไฟฟ้า ใช้ทดแทนเครื่องดับเพลิงชนิดฮาลอน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปลอดภัยสะอาด ไม่ทิ้งคราบสกปรกและอายุการใช้งานยาวนาน เหมาะที่จะใช้กับอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ คอมพิวเตอร์ ตู้คอนโทรลต่างๆ สามารถใช้ดับไฟได้ทุกชนิดอย่างมีประสิทธิภาพไม่ว่าจะเป็นเพลิงประเภท A B และ C

5.5 สารดับเพลิงผงเคมีแห้ง (Dry chemical powder) ไม่เป็นพิษ แต่อาจทำให้หายใจไม่สะดวก ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า มีผงบรรจุอยู่ 2 ชนิด

1) ผงโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate base) ใช้ดับไฟประเภท B และ C เป็นผงเคมีแห้งชนิดแรกที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการดับไฟ ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาเคมีในการเผาไหม้ก่อนหน้านี้ใช้ดับไฟในครัว (ประเภท K) ก่อนที่จะมีเครื่องดับเพลิงประเภทเคมีเปียก (wet chemical) ปัจจุบันผงเคมีชนิดนี้ได้รับความนิยมน้อยลงเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดับไฟน้อยกว่าสารดับเพลิงประเภทอื่นๆ เช่น มีประสิทธิภาพในการดับไฟ ประเภท K น้อยกว่าสารดับเพลิงประเภทเคมีเปียกมีประสิทธิภาพในการดับไฟ ประเภท B น้อยกว่าเพอร์เพิ่ลเค (purple K) รวมทั้งไม่สามารถดับไฟประเภท A ได้

2) แอมโมเนียมฟอสเฟต (Ammonium phosphate) หรือ “ผงเคมีแห้งดับไฟสามประเภท” (Tri-class) หรือ “ผงเคมีแห้งเอนกประสงค์” (Multipurpose) หรือ “ผงเคมี

แห้งเอบีซี” (ABC) สามารถหลอมละลาย และไหลผ่านความร้อนที่ 177 องศาเซลเซียส (350 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่อทำการดับไฟ มีลักษณะเป็นผงมีสีเหลืองซีด มีความกัดกร่อนสูงกว่าผงเคมีแห้งชนิดอื่นๆ

5.6 สารดับเพลิงชนิดเคมีเปียกจะต้องมีคุณสมบัติด้านกลไกในการดับเพลิงเมื่อถูกฉีดออกมาในรูปของสารละลายเคมี จะเกิดการแตกตัวกระจายออกในลักษณะเป็นไอละอองอย่างรวดเร็ว เพื่อปกคลุมผิวหน้าของเชื้อเพลิงอย่างทั่วถึง ทำหน้าที่แยกผิวเชื้อเพลิงออกจากออกซิเจน ทำให้เกิดผลในการป้องกันไม่ให้เกิดไอเชื้อเพลิงที่จะลุกไหม้เป็นไฟและลดความร้อนของผิวเชื้อเพลิง เป็นการตัดหรือหยุดกลไกของวัฏจักรการเกิดเพลิงไหม้ระบบดับเพลิงด้วยสารเคมีเปียกต้องมีคุณสมบัติในการใช้ดับเพลิงสำหรับเชื้อเพลิงในสถานะของเหลว เช่น ไอหรือละอองน้ำมัน ไอหรือละอองไขมัน เป็นต้น (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2551)

ภาพที่ 2.3 สารดับเพลิงประเภทต่างๆ ได้แก่ (1) สารดับเพลิงประเภทโฟม (2) สารดับเพลิงประเภทสะสมแรงดันน้ำ (3) สารดับเพลิงประเภทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือซีโอทู (4) สารดับเพลิงประเภทน้ำยาเหลวระเหยฮาโลตรอน (5) สารดับเพลิงผงเคมีแห้ง และ (6) สารดับเพลิงชนิดเคมีเปียก ที่มา: นิปปอนเคมีคอล (2557)

6. ประเภทของโฟมดับเพลิง (Fire Fighting Foam)

โฟมดับเพลิงจะมีคุณสมบัติในการสร้างฟองโฟม (Finished Foam) โดยโฟมมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำมันหรือน้ำและใช้เพื่อครอบคลุมพื้นผิว โดยฟองโฟมจะเกิดจากสารละลายโฟม (โฟมเข้มข้นผสมกับน้ำ) ผสมกับอากาศ ตามสัดส่วนการผสมที่ได้กำหนดอัตราการขยายตัวเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) อัตราโฟมขยายตัวต่ำ (Low expansion foam) ขยายตัวที่อัตราต่ำกว่า 20 ต่อ 1

2) อัตราโฟมขยายตัวปานกลาง (Medium expansion foam) ขยายตัวที่อัตราระหว่าง 20 ต่อ 1 ถึง 200 ต่อ 1

3) อัตราโฟมขยายตัวสูง (High expansion foam) ขยายตัวที่อัตราระหว่าง 200 ต่อ 1 ถึง 1,000 ต่อ 1

น้ำยาโฟมเข้มข้น (Foam concentrate) ที่ยังไม่ได้มีการผสมกับน้ำและอากาศเพื่อการใช้งานโดยน้ำยาโฟมเข้มข้นสามารถแบ่งได้เป็นประเภทดังต่อไปนี้

6.1 โฟมชนิดโปรตีน (Protein foam)

เป็นโฟมเข้มข้นที่ผลิตมาจากการหมักซากพืชและซากสัตว์ โดยปกติจะมีความสามารถในการดับเพลิงที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนและไม่มีสารกัดกร่อนจึงไม่มีปัญหาในการเลือกวัสดุบรรจุโฟมเข้มข้น เมื่อทำการผสมกับน้ำและอากาศจะสามารถใช้ดับเพลิงได้

6.2 โฟมชนิดฟลูโอโรโปรตีน (Fluoroprotein foam)

มีลักษณะคล้ายกับโฟมชนิดโปรตีน แต่มีการผสมสังเคราะห์ฟลูโอรีน เพื่อทำให้อากาศแยกออกจากสารละลายโฟมและไอเชื้อเพลิงที่ปกคลุมผิวน้ำมันเพลิง เมื่อผสมกับน้ำและอากาศจะสามารถใช้ดับเพลิงได้

6.3 โฟมชนิดสังเคราะห์ (Synthetic foam) โดยโฟมชนิดนี้สามารถแบ่งได้เป็นประเภทย่อยๆ ดังต่อไปนี้คือ

1) โฟมแบบฟิล์มน้ำ (Aqueous Film-Forming Foam : AFFF) เป็นโฟมที่มีการผสมสารสังเคราะห์ฟลูโอรีนและสารสังเคราะห์อื่นๆ เพื่อให้ฟองโฟมมีความคงทน โฟมประเภทนี้สามารถใช้ในการดับเพลิงร่วมกับผงเคมีแห้งดับเพลิงได้

2) โฟมแบบการขยายตัวปานกลางและการขยายตัวสูง (Medium and High Expansion Foam) โฟมประเภทนี้จะต้องใช้กับเครื่องกำเนิดโฟมเพื่อผลิตฟองโฟมออกมาปกคลุมพื้นที่ต้องการป้องกันหรือดับเพลิงเท่านั้น

6.4 โฟมชนิดฟิล์มชนิดฟลูโอโรโปรตีน (Fluoroprotein Film-Forming Foam : FFFP) โฟมประเภทนี้มีส่วนผสมของสารฟลูโอรีนเพื่อสร้างเป็นแผ่นฟิล์มดับเพลิงกับเชื้อเพลิงที่เป็นไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น โฟมประเภทนี้สามารถใช้ฉีดดับเพลิงร่วมกับผงเคมีแห้งดับเพลิงได้อีกด้วย

6.5 โฟมที่ทนแอลกอฮอล์ (Alcohol-Resistant Foams) ประกอบด้วยโพลีเมอร์ที่สร้างชั้นป้องกันระหว่างบริเวณที่มีการเผาไหม้และโฟม มีการป้องกันการสลายโฟมด้วยแอลกอฮอล์ในเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้ โฟมที่ทนแอลกอฮอล์มักใช้ในการดับเพลิงของเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยสารให้ออกซิเจน เช่น เมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ (Methyl tertiary butyl ether : MTBE) เป็นต้น หรือไฟจากของเหลวที่ประกอบด้วยสารตัวทำละลายที่ละลายน้ำ (polar solvents) (ศริศักดิ์ สุนทรไชย, 2556)

7. สารพิษที่อยู่ในควันไฟ

สารพิษต่างๆ ที่อยู่ในควันไฟที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ที่สำคัญ ประกอบไปด้วยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (**Carbon monoxide**) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (**Carbon dioxide**) แก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์ (**Hydrogen cyanide**) แก๊สฟอสจีน (**Phosgene**) แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์(**Hydrogen chloride**) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (**Hydrogen sulfide**) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (**Sulfur** dioxide) แก๊สแอมโมเนีย

(Ammonia) ออกไซด์ของแก๊สไนโตรเจน (Oxide of nitrogen) แก๊สอะโครลีน (Acrolein) ไอโลหะ (Metal fumes) เขม่าและควันไฟ (Soot and smoke) มีรายละเอียดดังนี้

7.1 แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ เป็นก๊าซพิษที่มีอันตรายอย่างสูงต่อคนและเกิดขึ้นได้มากเสมอในการเผาไหม้ในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด เป็นอันตรายต่อคน คือถ้าผสมอยู่ในอากาศคิดเป็นร้อยละ โดยปริมาตร ถ้าเกินร้อยละ 0.05 มีอันตราย ถ้ามีอยู่ร้อยละ 0.16 ทำให้หมดสติภายใน 2 ชั่วโมง ถ้ามีอยู่ร้อยละ 1.2 จะหมดสติภายใน 1 ถึง 3 นาที ของการหายใจและอาจถึงชีวิตได้นอกจากความเป็นพิษแล้ว แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ยังเป็นแก๊สเชื้อเพลิงอีกด้วย เมื่อมีความเข้มข้นในอากาศสูงๆ สามารถลุกไหม้และเกิดการระเบิดได้อย่างรุนแรงเพลิงไหม้ในบริเวณที่โล่งแจ้งจะมีอันตรายจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยลงไป

7.2 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แบบไม่เป็นเชื้อเพลิงและไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายโดยตรง แต่จะไม่ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจนถ้าแก๊สนี้มีความเข้มข้นในอากาศเกินกว่าร้อยละ 5.0 โดยปริมาตรจะมีอันตรายและทำให้ผู้สูดดมหมดสติได้

7.3 แก๊สไฮโดรเจนไซยาไนต์ เป็นแก๊สพิษเกิดจากการเผาไหม้มีความรุนแรงมากกว่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มาก ส่วนผสมในอากาศ 100 พีพีเอ็ม มีผลให้ผู้สูดดมหมดสติและเสียชีวิตได้ในเวลา 30 - 60 นาที แก๊สนี้เกิดจากการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีองค์ประกอบของคลอรีน เช่น พวกพลาสติก ยาง เส้นใย ขนสัตว์ หนังสัตว์ ไม้ หรือผ้าไหม เป็นแก๊สที่เบากว่าอากาศ จึงมีอันตรายมากในการเผาไหม้ในอาคารหรือบริเวณจำกัดต่างๆ

7.4 แก๊สฟอสจีน เกิดจากการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีส่วนประกอบของคลอรีน เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ฟรีออน (น้ำยาทำความเย็น) หรือเอธิลีนไดคลอไรด์ เป็นแก๊สที่มีความเป็นพิษสูงมาก หากได้รับสารเพียง 25 พีพีเอ็มในอากาศในเวลา 30 - 60 นาที ก็อาจเสียชีวิตได้

7.5 แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นแก๊สพิษที่เกิดจากการเผาไหม้สารที่มีองค์ประกอบของคลอรีน มีสภาพเป็นกรดและทำอันตรายได้เช่นกัน ถึงแม้ก๊าซนี้จะไม่มีความรุนแรงเท่ากับแก๊สฟอสจีนหรือแก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์

7.6 แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของวัสดุพวก ยาง พรม ไม้ ขนสัตว์ หรือวัสดุอย่างอื่นที่มีกำมะถันผสมอยู่ ซึ่งเป็นแก๊สที่มีอันตรายมากถึง 400 – 700 พีพีเอ็ม ในอากาศ หากได้รับสารนี้นาน 30 – 60 นาที ทำให้เสียชีวิต นอกจากนั้นยังเป็นแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งลุกติดไฟได้อีกด้วยแต่ไม่ถึงขั้นเกิดระเบิด มีกลิ่นคล้ายไข่เน่า มักจะเรียกว่า “แก๊สไข่เน่า” มีฤทธิ์ทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ

7.7 แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์ของกำมะถันในอากาศเป็นแก๊สพิษความเข้มข้นเพียง 150 พีพีเอ็มในอากาศ สามารถฆ่าคนได้ในเวลา 30 - 60 นาที เมื่อผสมกับ

น้ำหรือความชื้นที่ผิวหนังจะเกิดกรดกำมะถัน ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงผู้ได้รับแก๊สนี้จึงมีอาการสำลักและหายใจไม่ออกอย่างฉับพลัน

7.8 แก๊สแอมโมเนีย เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไม้ ขนสัตว์ ผ้าไหม น้ำยาทำความเย็น หรือสารอื่นที่มีสารประกอบของไนโตรเจนและไฮโดรเจน มีกลิ่นฉุนรุนแรง ทำให้เกิดความรำคาญและทำลายเนื้อเยื่อ

7.9 ออกไซด์ของแก๊สไนโตรเจน ได้แก่ แก๊สไนตริกออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และไนโตรเจนเตตระออกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงพวกไม้ ขี้เลื่อย พลาสติก ยางที่มีไนโตรเจนผสมสีและแลคเกอร์บางชนิด ปริมาณ 100 พีพีเอ็มในอากาศทำให้เสียชีวิตได้ใน 30 นาที

7.10 แก๊สอะโครลีน เป็นแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้สารที่เป็นไขมันที่อุณหภูมิ 568 องศาเซลเซียส อาจเกิดจากการเผาไหม้สีและไม้บางชนิด เป็นแก๊สที่มีอันตรายสูงประมาณ 150 - 240 พีพีเอ็มในอากาศ ทำให้ผู้สูดหายใจเสียชีวิตได้ภายใน 30 นาที เมื่อได้รับจะทำให้คนเจ็บสูญเสียอวัยวะสัมผัส เช่น ตาและหายใจไม่ออก ซึ่งทำให้ไม่สามารถจะหลบหนีออกจากบริเวณอันตรายได้ทัน

7.11 ไอโลหะ ไอของโลหะหนักต่างๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะนั้นได้รับความร้อนสูง เช่น ไอปรอท ไอตะกั่ว ไอสังกะสี ไอดีบุก ส่วนใหญ่เพลิงไหม้โรงผลิตหรือโรงเก็บอุปกรณ์ทางอิเล็คทรอนิกส์จะเกิดไอโลหะได้มากและไอเหล่านี้มีอันตราย

7.12 เขม่าและควันไฟเขม่า คือ ก้อนหรือเศษของวัสดุที่ยังเผาไหม้ไม่หมด จะมีลักษณะเป็นผงหรือละออง ส่วนควันไฟเป็นสารผสมระหว่างเขม่า ขี้เถ้าและวัสดุต่างๆ ที่เกิดมาจากกองเพลิง รวมทั้งพวกแก๊สและไอต่างๆ ด้วยผลของเขม่าและควันไฟ คือทำให้ผู้ป่วยสำลักและอาจถูกเผาที่ผิวหน้าหรือตามตัว รวมทั้งปิดบังทางออกต่างๆ ทำให้หนีออกจากบริเวณอันตรายไม่ได้ (ชาติชาย ไทยกล้า, 2556)

ยางพารา (Para rubber)

ยางพารา (Para rubber) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* เป็นไม้ยืนต้นที่มีประวัติความเป็นมายาวนาน เริ่มจากการเดินทางไปพบทวีปอเมริกาของโคลัมบัส ในราวปี พ.ศ. 2036 หรือเป็นเวลาประมาณ 509 ปีมาแล้ว ต่อมาในภายหลังได้มีการพบเห็นชาวอินเดียแดงเป็นคนพื้นเมืองในอเมริกาใต้ นำลูกบอลยางเล็กๆ มาเล่นเป็นเกมส์กัน ลูกบอลที่ใช้ในการเล่นนั้นเป็นของแปลก เพราะเป็นวัตถุที่สามารถกระเด็นกระดอนขึ้นลงได้ โดยชาวอินเดียแดงเรียกต้นยางว่า คาอุทชุค (Caoutchouc) แปลว่า ต้นไม้ร้องไห้ เพราะว่าเมื่อต้นยางถูกของมีคมกรีดจะมีน้ำยางหยดไหลคล้ายการหลั่งน้ำตา (วริษฐา สุขย้อย, 2554) เนื้อในเมล็ดยางพารามาใช้ในสูตรอาหารเป็นโปรตีน และพลังงาน เนื่องจากเนื้อในเมล็ดยางพารามีสารอาหารสูงคือมีโปรตีนรวมร้อยละ 17.16 ไขมันรวมร้อยละ 42.60 (กำชัย ตันติพงศ์ และยุทธนา ศิริวัธนนุกูล, 2545) น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดยางพารามีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 13.9 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 80.5 และอุดมไปด้วยกรดไขมัน linoleic และ linolenic acid อยู่ในปริมาณที่สูงกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ผ่านการสกัดน้ำมันสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี โดยกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่มีโปรตีนร้อยละ 26 –

27 และมีเยื่อใยต่ำร้อยละ 10-14 (ศิริศักดิ์ โกศลคุณากรณ์ และคณะ, 2531) ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญรองจากฝ้ายในการอุตสาหกรรมในปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางพาราได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ยางพาราเป็นพืชยืนต้นที่มีการปลูกในแถบทวีปเอเชีย ละตินอเมริกา และแอฟริกา จำนวน 28 ประเทศทั่วโลก โดยในปี พ.ศ. 2552 มีเนื้อที่กรีดได้ 55.131 ล้านไร่ ซึ่งประเทศที่มีเนื้อที่ยางพารากรีดได้มากเป็นอันดับ 1 คือประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมีเนื้อที่ 18.384 ล้านไร่ รองลงมาได้แก่ ประเทศไทย มีเนื้อที่ 11.6 ล้านไร่ และอันดับ 3 ได้แก่ ประเทศมาเลเซีย มีเนื้อที่ 7.731 ล้านไร่ รวมเนื้อที่ยางพารากรีดได้ ทั้ง 3 ประเทศ จำนวน 37.715 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 68.4 ของเนื้อที่ยางพารากรีดได้ทั้งโลก ส่วนผลผลิตรวมยางพาราของโลก มีผลผลิตรวม 10.221 ล้านตัน ประเทศที่ผลิตยางพารามากเป็นอันดับ 1 คือประเทศไทย มีผลผลิตรวม 3.090 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2552 พบว่าประเทศอินเดียมีผลผลิตเฉลี่ยยางพารามากที่สุดในโลก คือ 292 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และประเทศไทยอยู่ในอันดับ 3 ของโลก คือ 266 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

1. สายพันธุ์ยางพารา

สายพันธุ์ยางพาราแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามวัตถุประสงค์ของการปลูก ดังนี้

1) กลุ่ม 1 สายพันธุ์ยางพาราผลผลิตน้ำยางสูง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงเป็นหลัก การเลือกปลูกพันธุ์ยางในกลุ่มนี้ ควรมุ่งเน้นผลผลิตน้ำยาง เช่น สายพันธุ์สถาบันวิจัยยาง 251 สายพันธุ์สถาบันวิจัยยาง 226BPM สายพันธุ์สถาบันวิจัยยาง RRIM 600

2) กลุ่ม 2 สายพันธุ์ยางพาราผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง เป็นพันธุ์ที่ให้ทั้งผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ โดยให้ผลผลิตน้ำยางสูงและมีการเจริญเติบโตดี ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาตรเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงเช่นสายพันธุ์ PB235 สายพันธุ์ PB255

3) สายพันธุ์ยางพาราผลผลิตเนื้อไม้สูง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูงเป็นหลัก มีการเจริญเติบโตดีมาก ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาตรเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงมาก ผลผลิตน้ำยางจะอยู่ในระดับต่ำกว่าพันธุ์ยางในกลุ่มที่ 1 และ 2 เหมาะสำหรับเป็นพันธุ์ที่จะปลูกเป็นสวนป่าเพื่อการผลิตเนื้อไม้เช่น สายพันธุ์ฉะเชิงเทรา 50AVROS สายพันธุ์ฉะเชิงเทรา 2037BPM 1

2. ลักษณะเมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600

2.1 ยางพาราลักษณะประจำพันธุ์ RRIM 600 ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบสีเขียวอมเหลือง ฉัตรใบเป็นรูปกรวยขนาดเล็ก ในระยะ 2 ปีแรกลำต้นตั้งตรง การแตกกิ่งช้า การแตกกิ่งเป็นมุมแหลมค่อนข้างยาว ทรงพุ่มมีขนาดปานกลางเป็นรูปพัด เริ่มผลัดใบเร็ว

2.2 ลักษณะทางการเกษตรระยะก่อนเปิดกรีดและระหว่างกรีด มีการเจริญเติบโตปานกลางเปลือกเดิมบางเปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตระยะแรกปานกลางแต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปีต่อมา ให้ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปี กรีดเฉลี่ย 289 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีมีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย อ่อนแอมากต่อโรคใบร่วงและโรคเส้นดำ ต้านทานโรคราแป้งและใบจุดนูนในระดับปานกลาง อ่อนแอต่อโรคราสีชมพู ต้านทานลมระดับปานกลาง

2.3 ลักษณะเด่นข้อจำกัดลักษณะเด่นในสายพันธุ์นี้คือ ให้ผลผลิตได้ดีในเกือบทุกพื้นที่ ทนทานต่อการกรีดถี่ได้มากกว่าพันธุ์อื่นๆ และมีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ข้อจำกัดคืออ่อนแอมากต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา โรคเส้นดำและโรคราสีชมพู แต่สามารถปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้นและพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง ยกเว้นพื้นที่ที่มีโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา โรคเส้นดำและโรคราสีชมพูระบาดรุนแรง (สำนักงานวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2548)

3. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของยางพารา

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีอายุยืนยาวหลายสิบปีเป็นพืชใบเลี้ยงคู่อยู่ใน Family Euphorbiaceae สามารถแบ่งส่วนประกอบของยางพาราได้ดังนี้

3.1 ราก (Root) ยางพารามีราก 2 ชนิด คือ รากแก้ว (Primary Root) มีความยาวประมาณ 1.50 - 2.0 เมตร รากแขนง (Secondary Root หรือ Lateral Root) ซึ่งจะแผ่ไปได้ไกลถึง 20 เมตรทำหน้าที่หาอาหารและยึดลำต้น

3.2 ลำต้น (Stem) ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นประเภทเนื้ออ่อน เมื่อโตเต็มที่จะมีความสูงประมาณ 25 - 30 เมตร กิ่งแผ่จากลำต้นเป็นเส้นทแยงมุม เปลือกนอกมีสีค่อนข้างคล้ำ ใต้เปลือกมีสีชมพูไปจนถึงสีแดงหรือสีม่วงอ่อน เปลือกหนาประมาณ 6.50 - 15.0 มิลลิเมตร ต้นอ่อนมีเปลือกบางกว่าต้นแก่

3.3 ผล (Fruit) เกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียยางเป็นพืชที่มีการผสมเกสรแบบเปิด ดอกที่ผสมติดแล้วรังไข่จะขยายตัวออกช้าๆ และจะโตเร็วขึ้นภายในระยะ 2 เดือน เมื่อผลมีอายุ 2.5 - 3 เดือนจะโตเต็มที่ผลยางจะมีลักษณะเป็นพูโดยปกติจะมี 3 พู แต่อาจมี 4 - 5 พูก็ได้ แต่ละพูจะมีเมล็ดอยู่ภายใน ผลอ่อนจะมีสีเขียวแก่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแข็ง แตกและร่วงหล่นมาเองเมื่อแก่จัดเมื่อโตเต็มที่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.5 - 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 4.5 เซนติเมตร

3.4 เมล็ด (Seed) มีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีเมล็ดละหุ่ง ยาวประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.5 - 2.5 เซนติเมตร และหนัก 3.6 กรัม เมล็ดยางเมื่อหล่นใหม่ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงมากแต่ร้อยละความงอกนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในสภาพปกติเมล็ดยางจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2548)

3.5 กากเมล็ดยางพารา (Para rubber seed meal) เมล็ดยางพาราที่กะเทาะเปลือกหลังจากแยกเอาส่วนที่เป็นยางออกไปเพื่อทำยางพาราแล้วกากสามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้ โดยใช้เป็นแหล่งโปรตีนเพราะมีกากเหลือมากถึงร้อยละ 53 (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของเมล็ดยางพาราสด (กะเทาะเปลือกแล้ว)

ส่วนประกอบในเมล็ดยางพาราสด	ร้อยละ
เปลือก	34.1
เนื้อใน	41.2
กากที่แยกน้ำมันแล้ว	100

ที่มา: ไทย ไชยภักดีและคณะ (2543)

ตารางที่ 2.2 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของกากเนื้อในเมล็ดยางพารา (กะเทาะเปลือกแล้ว)

ส่วนประกอบเนื้อในเมล็ดยางพารา	ร้อยละ
น้ำมัน	42.0
ความชื้น	100
กากที่แยกน้ำมันแล้ว	100

ที่มา: ไทย ไชยภักดีและคณะ (2543)

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของโภชนาการต่างๆ ในกากเมล็ดยางพาราชนิดมีเปลือกและไม่มีเปลือก (คิดจากน้ำหนักแห้งร้อยละ)

ส่วนประกอบกากยางพารามีเปลือก	**กากยางพาราไม่มีเปลือก**	
	ไม่สกัดน้ำมัน	**สกัดน้ำมัน**
โปรตีน 15.6	20.12	27.8
ไขมัน 6.33	12.47	0.00
เยื่อใย 41.92	9.39	3.9
เถ้า 0.002	5.29	5.3
ไซยาไนด์ 4390	0.00172	0.00
แคลเซียม 0.26	0.28	0.00
ฟอสฟอรัส 0.00	0.57	0.00

ที่มา : ไทย ไชยภักดีและคณะ (2543)

4. สารพิษในเมล็ดยางพารา

เนื้อในเมล็ดยางพาราสดมีกรดไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic acid หรือ HCN) อยู่ประมาณ 305.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กำชัย ตันติพงศ์, 2540) กากเนื้อในเมล็ดยางพาราและเมล็ดยางพาราทั้งเปลือกมีกรดไฮโดรไซยานิกร้อยละ 0.00177 และ 0.002 ตามลำดับ (สุรัตน์ ชวนรำลึก, 2528)

กรดไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic acid) เป็นสารพิษที่มีผลกระทบต่อระบบหายใจระดับ

เซลล์ โดยกรดไฮโดรไซยานิกในรูปไซยาไนด์ ไอออนจะรวมตัวกับธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปของเฟอริค หรือโครวาเร้นท์ โดยการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxides) ได้สารประกอบไซยาไนด์เอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส (cyanide-cytochrome oxides complex) ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นจะไปรบกวนกระบวนการขนส่งของอิเล็กตรอน ของการหายใจระดับเซลล์ มีผลทำให้การหายใจของเซลล์ถูกขัดขวาง การเกิดไซยาไนด์เอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส ทำให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถส่งออกซิเจนให้กับกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport system หรือ ETS) ได้ เลือดจะกลายเป็นสีแดงสด (oxygenated blood) ซึ่งเซลล์ต่างๆจะเอาไปใช้ไม่ได้ มีผลทำให้การหายใจของเซลล์ถูกขัดขวาง ทำให้เกิดสภาวะที่เซลล์ขาดออกซิเจน ที่เรียกว่า เซลลูลาร์ไฮพ็อคเซีย (cellular hypoxia) ซึ่งทำให้เซลล์ขาดออกซิเจนและพลังงาน โดยเฉพาะเซลล์ในระบบประสาททำให้คนและสัตว์ตายในที่สุด (มาลินี ลิ้มโภคา, 2523)

โปรตีน (Protein)

โปรตีนมีโครงสร้างเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยเล็กๆ ที่เรียกว่า “กรดอะมิโน” (amino acid) เชื่อมต่อกันพบได้ในพืชและสัตว์ทั่วไปโดยจะเป็นองค์ประกอบหลักในโปรโตพลาสซึมของสิ่งมีชีวิต เมื่อมนุษย์รับประทานพืชและสัตว์ก็จะได้กรดอะมิโนจากแหล่งอาหารที่ทานแต่โปรตีนแต่ละชนิดมีกรดอะมิโนนิดต่างไม่เท่ากัน จึงทำให้โปรตีนจากแหล่งต่างๆ มีสมบัติและคุณภาพไม่เหมือนกัน

1. สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Functional properties of protein)

โปรตีนนอกจากให้คุณค่าทางสารอาหารแล้วยังมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ที่มีความสำคัญอีก โปรตีนมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่โปรตีนจะแสดงออกมาระหว่างการเตรียม การสกัด และปัจจัยอื่นๆ เช่น ขนาด รูปร่าง องค์ประกอบและลำดับการเรียงของกรดอะมิโน ประจุรวม การกระจายของประจุความชอบน้ำ ความไม่ชอบน้ำ โครงสร้าง ความยืดหยุ่นหรือความคงตัวของโมเลกุลต่อสภาพแวดล้อม หรือปฏิกิริยาร่วมกับองค์ประกอบอื่น

1.1 ชนิดของคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน

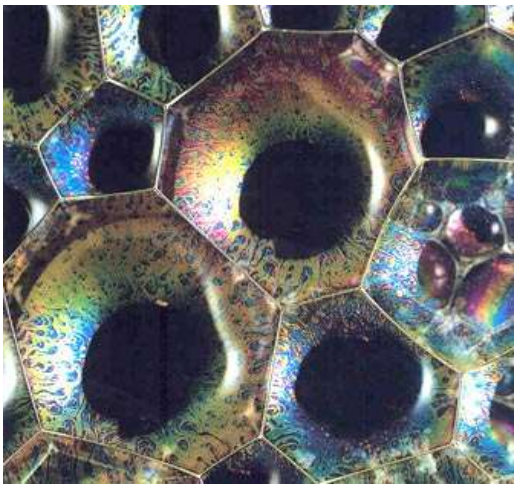
1) การละลาย (Solubility) หมายถึง ความสามารถในการละลายของโปรตีน เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญและมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่อื่นๆ เช่น ความหนืด การเกิดโฟม อิมัลชัน และการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากองค์ประกอบของอาหารโดยส่วนใหญ่คือน้ำ โปรตีนที่สามารถยึดจับน้ำหรือละลายน้ำได้จึงสามารถรวมตัวเข้ากับอาหารและแสดงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้ โปรตีนที่นำมาใช้ประโยชน์เชิงหน้าควรที่จะมีความสามารถในการละลาย

2) ความหนืด (Viscosity) หมายถึง คุณสมบัติทางด้านความหนืดของโปรตีนมีบทบาทที่สำคัญในการรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันที่มีการกระจายตัวของอนุภาคต่างๆ ทำให้เกิดเนื้อสัมผัส และช่วยในการควบคุมการเกิดผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เคลือบน้ำตาลและลูกอมต่างๆ นอกจากนี้การใช้โปรตีนเพื่อเป็นสารให้ความหนืดกับผลิตภัณฑ์จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายและการพองตัวของโปรตีนที่ใช้ โดยมากโปรตีนที่มีความสามารถในการละลายสูงจะให้

ความหนืดต่ำขณะที่โปรตีนที่มีความสามารถในการพองตัวสูงจะทำให้เกิดความหนืดสูงการพองตัวของโปรตีนจะถูกนำมาใช้เพื่อบ่งชี้ถึงความสามารถในการทำให้เกิดความหนืด

3) ความสามารถในการยึดจับ (Binding capacity) หมายถึงความสามารถของโปรตีนในการยึดจับกับส่วนประกอบอื่นๆ เช่น น้ำ ไขมัน หรือสารให้กลิ่นรส เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการยอมรับและการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากทำให้เกิดลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติของอาหาร นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำ เช่น ความหนืด การอุ้มน้ำ การเกิดเจล การเกิดฟอง และการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ความสามารถในการจับยึดของโปรตีนขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของโปรตีน เช่น องค์ประกอบของกรดอะมิโน ลำดับของกรดอะมิโน การจัดเรียงตัว ขนาดและรูปร่างของโมเลกุล การกระจายประจุ พันธะที่พบทั้งภายในระหว่างโมเลกุลและปัจจัยแวดล้อมภายนอกได้แก่ ค่าพีเอช และความเข้มข้นของอิออน ก่อให้เกิดผลต่อพื้นที่ผิว

4) การเกิดฟอง (Formation of foam) โครงสร้างของโฟมเป็นระบบคอลลอยด์ซึ่งประกอบด้วยเฟสของฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งกระจายอยู่ในเฟสของของเหลว โดยโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารจะทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวช่วยในการเกิดฟองและรักษาความคงตัวของอากาศที่กระจายอยู่ได้ โครงสร้างของการเกิดฟองแสดงภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของฟอง
ที่มา : Wlide and Clark (1996)

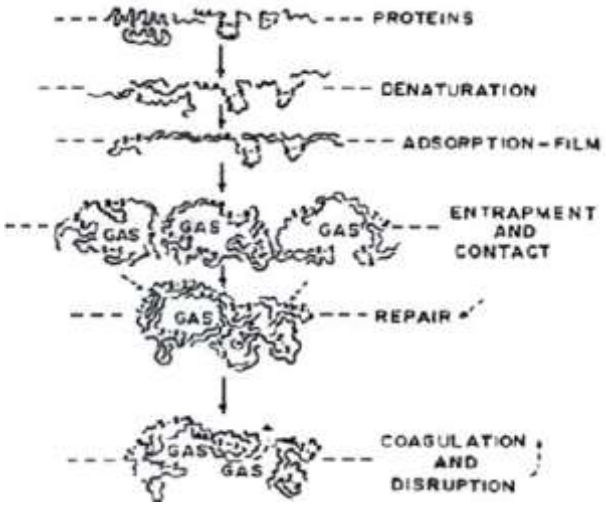
ขนาดของฟองอากาศที่กระจายอยู่จะมีผลต่อลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัส ถ้าหากฟองอากาศที่กระจายอยู่มีขนาดใหญ่จะทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสเบาและมีรูพรุน ในขณะที่ฟองอากาศมีขนาดเล็กจะทำให้เนื้อสัมผัสเนียนเรียบและแน่นกว่าการเกิดฟองเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งของโปรตีนที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายประเภทที่มีลักษณะขึ้นฟูและเบาเช่น วิปปิงครีม ไอศกรีม เค้ก เมอร์แรงและมาร์ชแมลโลว์

กลไกในการเกิดฟองของโปรตีนภาพที่ 2.5 ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1) โปรตีนในสารละลายจะเกิดการเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าระหว่างน้ำและอากาศโดยอาศัยกระบวนการแพร่ หรือการพา

2) โปรตีนที่เคลื่อนที่มาจะเกิดการแทรกตัวไปยังระหว่างชั้นของน้ำและอากาศซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น แรงตึงผิวลดลง

3) โปรตีนจะเกิดการคลายตัวและเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ทำให้เกิดเป็นฟิล์มห่อหุ้มอากาศไว้โดยโปรตีนจะหันส่วนที่ชอบน้ำไปยังเฟสของน้ำ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำไปยังเฟสของอากาศ



ภาพที่ 2.5 การเกิดฟองของโปรตีน

ที่มา : Cherry and McWaters (1981)

เนื่องจากโครงสร้างของฟองที่เกิดขึ้นไม่มีความคงตัวมากนักดังนั้นในระบบการผลิตอาหารจำเป็นต้องรักษาความคงตัวของฟองไว้โดยการทำให้โครงสร้างโปรตีนของฟองเกิดการเสียสภาพ ซึ่งอาจทำโดยการใช้ความร้อน การผสมกับส่วนประกอบอาหารอื่น การเติมสารเจือปนหรือการปรับค่าพีเอช

1.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฟอง

1) ขนาดของโมเลกุลโปรตีนขนาดของโมเลกุลจะมีผลต่อความคงตัวและความยืดหยุ่นของสายเปปไทด์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการสร้างฟองอากาศของโมเลกุลโปรตีน เนื่องจากโมเลกุลโปรตีนมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเกิดการคลายตัวของโมเลกุล ที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำเพื่อสร้างฟองได้ง่ายและรวดเร็วส่งผลให้เกิดฟองเพิ่มขึ้น

2) การละลายสมบัติการสร้างฟองของโปรตีนสัมพันธ์กับความสามารถในการลายเป็นสมบัติของโปรตีน เนื่องจากโมเลกุลโปรตีนที่สามารถละลายได้ในส่วนที่เป็นของเหลวจะสามารถแพร่กระจายไปยังผิวหน้าระหว่างน้ำและอากาศได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เพื่อเพิ่ม

สมบัติด้านการละลายของโปรตีนคือการใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลาย

3) ความหนืดโดยปกติฟองจะมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อสารละลายโปรตีนมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ทำให้การละลายของโมเลกุลโปรตีนเพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายโปรตีนลดลง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีการเกิดฟองเพิ่มขึ้นแต่ความคงตัวของการเกิดฟองลดลง

4) แรงตึงผิวในการเกิดฟองนั้นจำเป็นที่จะต้องเพิ่มพื้นที่ผิว ดังนั้นการลดแรงตึงผิวจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฟองของโปรตีน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการดูดซับได้อย่างรวดเร็วที่ผิวหน้าระหว่างน้ำกับอากาศ อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้น โดยเมื่อความเข้มข้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงตึงผิวมีค่าลดลง

5) ความเข้มข้นการเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนเป็นผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟองมีความคงตัวเพิ่มขึ้นทั้งนี้เพราะฟิล์มโปรตีนที่ห่อหุ้มอากาศไว้มีความหนาของลามิล่าร์เพิ่มขึ้นและในขณะผสมสารละลายโปรตีนที่มีความเข้มข้นสูงจะได้ปริมาตรฟองอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนสามารถดูดซับที่ผิวหน้าได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีความเข้มข้นเพียงพอในการสร้างฟิล์มห่อหุ้มอากาศไว้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

6) หมู่ไฮโดรโฟบิคที่ผิวคุณสมบัติในการเกิดฟองจะเพิ่มขึ้น เมื่อบริเวณผิวหน้าของโปรตีนมีกลุ่มไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างขั้นตอนการการเกิดฟองนั้น การคลายตัวของโปรตีนจะทำให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำที่อยู่ภายในโครงสร้างโปรตีนเผยออกมาทำให้มีบริเวณส่วนที่ไม่ชอบน้ำบนผิวโปรตีนมากขึ้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำที่เกิดขึ้นนี้จะจับกับส่วนที่เป็นฟองอากาศ และในขณะส่วนที่ชอบน้ำที่มีอยู่จะจับกับส่วนที่เป็นของเหลว ทำให้เกิดเป็นฟิล์มห่อหุ้มรอบๆ ฟองอากาศไว้ได้

7) ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยทั่วไป การสร้างฟิล์มจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและได้ฟิล์มที่แข็งแรงที่ระดับพีเอชของสารละลายเท่ากับพีเอสของโปรตีนชนิดนั้นๆ ทั้งนี้เนื่องจากค่า electrostatic attraction ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนมีค่าสูงสุดที่พีเอสทำให้เกิด electrostatic bonding สูงเป็นผลให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโปรตีน-โปรตีนเพิ่มขึ้น แรงตึงผิวลดลง ได้ฟิล์มที่มีความหนามากขึ้นและมีความยืดหยุ่นสูง ในขณะที่ระดับพีเอชที่สูงหรือต่ำกว่าพีเอสโปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นลบหรือบวกตามลำดับ ทำให้มีแรงผลักระหว่างประจุภายในโครงสร้าง

8) การเกิดอิมัลชั่น (Emulsion) คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อความคงตัวของอาหารประเภทอิมัลชัน ซึ่งมีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่ไม่มีความคงตัวจะไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เช่น น้ำสลัดที่ไม่มีความคงตัวของระบบอิมัลชันจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแยกชั้น หรือไส้กรอกอิมัลชันที่ไม่มีความคงตัวจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสหยาบ เมื่อทำการผสม น้ำ น้ำมันและโปรตีน ให้เป็นเนื้อเดียวกัน สายของโปรตีนจะเกิดการคลายตัวและแทรกไปอยู่ที่ผิวระหว่างอนุภาคของน้ำมันและน้ำ

บางส่วนของโปรตีนจะเข้าไปดูดซับอยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไขมันส่งผลให้แรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำลดลงทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำมันได้ดีขึ้น โดยโครงสร้างของโปรตีนจะป้องกันไม่ให้อนุภาคของน้ำมันเกิดการรวมตัวกันได้ (สุปราณี มนูรักษ์ชินากรและคณะ, 2553)

2. การสกัดโปรตีน

ในการผลิตโปรตีนสกัดจะมี 2 กระบวนการคือ การสกัดโปรตีนและการตกตะกอนโปรตีน ซึ่งการสกัดโปรตีนและการตกตะกอนโปรตีนนั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของโปรตีน ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของโปรตีนคือ

2.1. ค่าความเป็นกรด–ด่างโปรตีนในพืชเป็นโปรตีนประเภทกลอบูลิน (globulin) ซึ่งตามปกติโมเลกุลรอบนอกของโปรตีนจะเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophile) แต่ที่ Isoelectric pH (IEpH) โมเลกุลรอบนอกของโปรตีนจะมีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน ทำให้โปรตีนสูญเสียความมีขั้ว จึงทำให้ แรง electrostatic และแรงในการดูดซับน้ำลดลง โปรตีนจะเกิดจากการจับตัวและตกตะกอน หากมีการเพิ่มหรือลดพีเอสให้มากหรือน้อยกว่า IEpH โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายได้ดีขึ้น เนื่องจากแรง electrostatic และการเกิดประจุในการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้โปรตีนเกิดการละลาย โดยการละลายของโปรตีนที่พีเอสต่างๆ ในอาหารโปรตีนส่วนใหญ่จะเป็นรูปตัวยู (U-shaped curve)

2.2 กำลังไอออนิก (Ionic strength) การละลายของโปรตีนกลอบูลินจะมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ โดยโปรตีนและไอออนของเกลือจะแย่งกันจับน้ำทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์ salting in ซึ่งความเข้มข้นของเกลือที่ใช้จะอยู่ในช่วง 0.1 - 1.0 โมลาร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโปรตีน เกลือ พีเอสและอุณหภูมิ

2.3 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิที่พีเอสและกำลังไอออนิกคงที่ความสามารถในการละลายของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 0 - 40 องศาเซลเซียสหากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 40 องศาเซลเซียสจะเกิดพลังงานเทอร์มอลไคนิติก (themal kinetic) เป็นเหตุให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ โดยจะคลายตัวทำให้หมู่ไม่ชอบน้ำออกมาอยู่ภายนอก โปรตีนจะเกิดการจับตัวกันเองและตกตะกอนลงมา ความสามารถในการละลายของโปรตีนจึงลดลง

2.4 องค์ประกอบอื่นๆ (Other components) องค์ประกอบอื่นๆในสารละลาย เช่น ไอออน หรือสารละลายอินทรีย์มีผลต่อความสามารถในการละลายของโปรตีนไอออนของโลหะหนัก เช่น Zn^{2+} Cd^{2+} และ Ba^{2+} หรือแอนไอออนของสารอินทรีย์ เช่น แทนเนต ทังสเตนโมลิปเดต ไตรคลอโรอะซิเตดเปอร์คลอเลตและซัลโฟซาลิโซเลต จะทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนขึ้นอยู่กับ pH อุณหภูมิและกำลังไอออนหากมีการเติมสารทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น เอทานอลหรืออะซิโตน จะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ โดยโปรตีนจะมีการเพิ่มแรง electrostatic ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลของโปรตีน โดยแรง electrostatic ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งมีประจุเหมือนกัน จะเป็นตัวชักนำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนในสารทำละลาย

1) โพลีเอธิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol หรือ PEG) จะลดความสามารถในการละลายของโปรตีน มักใช้ในการตกตะกอนโปรตีน เนื่องจาก PEG จะไปแย่งจับน้ำกับโมเลกุลของโปรตีน

2) ไขมันจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนโดยนำส่วนที่ไม่มีขั้วของโซ่อะลิฟาติก (apolar aliphatic chain of the lipid) มาจับกับหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่รอบนอกโมเลกุลของโปรตีน ทำให้การเกิดพันธะของโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำลดลงส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายลดลง

3) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate หรือ SDS) เป็นสารจำพวก surface-active agents ซึ่งเป็นสารที่ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพอย่างรุนแรง ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว และโปรตีนหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำมาจับกันโปรตีนจึงเกิดการตกตะกอน (พรรณวดี วิถีสำราญธรรม, 2540)

3. โฟมโปรตีน (Protein Foams Concentrates)

โฟมโปรตีนเป็นโฟมที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ดับไฟที่เกิดจากสารไฮโดรคาร์บอนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันฟองโฟมมั่นคงให้ประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการต้านทานความร้อนการป้องกันไฟลุกติดขึ้นมาใหม่และการระบายน้ำปกติแล้วโฟมโปรตีนจะล้มเปลวได้ไฟอย่างช้าๆ แต่มีความสามารถคลุมไฟได้อย่างเหนียวแน่น ให้ความปลอดภัยหลังไฟดับในระดับวางใจได้ อีกทั้งยังมีราคาถูก ประการสำคัญ โฟมโปรตีนจะต้องฉีดด้วยหัวฉีดชนิดมีรูอากาศ (aspirating nozzles) ห้ามใช้กับหัวฉีดไม่มีรูอากาศ (non-aspirating nozzles) โฟมโปรตีนเป็นโฟมชนิดแรกที่มีจำหน่ายอย่างกว้างขวางตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สอง ผลิตขึ้นมาโดยการหมักโปรตีนจากส่วนที่แข็งของสัตว์ เช่น กีบและเขาสัตว์ ขนไก่ เป็นต้น ซึ่งเมื่อย่อยสลายจะให้เนื้อโฟมคุณภาพสูงโดยมีการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่างๆ รวมทั้ง ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการสลายตัวของแบคทีเรีย รวมไปถึงการควบคุมความหนืด โฟมโปรตีนผลิตมาเพื่อใช้ในการดับไฟที่เกิดจากสารไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ดับไฟที่เกิดจากสารโพลาร์ โซลเว้นท์ ไม่ว่าจะใช้รองพื้นหรือปกคลุมเปลวไฟและห้าม ใช้แทนผงเคมีแห้ง ในการเก็บและการจ่ายโฟม สามารถเก็บไว้ในถังบรรจุที่ทำจากวัสดุตามมาตรฐานทั่วไป ยกเว้นถังเชื่อมที่เป็นสแตนเลส หรืออะลูมิเนียม รวมทั้งไม่ควรใช้ท่อและข้อต่อชนิดเคลือบสังกะสีในระบบจ่ายโฟม (A Foam Concentrate Manufacture, USA, 2008) นอกจากนี้โฟมโปรตีนจากแหล่งที่ไม่ใช่สัตว์ (non-animal sources) ดีกว่าโฟมชนิดอื่นเพราะสามารถทำลายสารปนเปื้อนทางชีวภาพที่เป็นพรีออน (prions) ซึ่งพรีออนเป็นโปรตีนขนาดเล็ก ไม่ละลายน้ำ ทนความร้อน ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั้งร้อนและเย็นทนต่อความแห้ง ทนต่อแสงยูวีทนต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์ (ศริศักดิ์ สุนทรไชย, 2556)

ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ (Micronized Zinc Oxide)

จัดอยู่ในกลุ่มโลหะหนัก มีส่วนผสมของธาตุสังกะสีประมาณร้อยละ99 ส่วนธาตุอื่นที่พบได้แก่ ทองแดง แคลเซียม แมงกานีส เหล็ก ฟอสฟอรัส ซิลิเนียม โพแทสเซียมและโครเมียม มีปริมาณ

เล็กน้อย สังกะสีออกไซด์มีความเสถียรต่อความร้อน และใช้เป็นสารรักษาสภาพน้ำยางได้ดี (อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย, 2554) ไมโครสังกะสีออกไซด์ เป็นสารเคมีที่ประกอบด้วยอะตอมของสังกะสีและอะตอมของออกซิเจนสารเคมีนี้มักจะเป็นสีขาว อนุภาคขนาดเล็ก 20 นาโนเมตรในเส้นผ่าศูนย์กลาง อนุภาคโปร่งใส จะมีประสิทธิภาพสูงมาก ในงานที่เกี่ยวกับอุณหภูมิสูงๆ (high-temperature) และกำลังสูง (high-power) เนื่องจากมีช่องว่างแถบพลังงานที่กว้างจึงสามารถประยุกต์ใช้ในอุณหภูมิที่สูงๆ สมบัติทางเคมี สถานะทางกายภาพ เป็นของแข็ง (ของแข็งที่เป็นผง) ความสามารถในการละลาย ไม่ละลายในน้ำเย็นและน้ำร้อน ละลายได้ดีทั้งกรดและเบส กลิ่นมีลักษณะเฉพาะ มีความหนาแน่น 6.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (NIOSH Method, 1994) คุณสมบัติทนต่อความร้อน เป็นสารหน่วงไฟ เป็นสารไม่ไวไฟ และสามารถคลุมไฟได้ลดแรงตึงผิว (Hahn Y.B, 2011) นอกจากนั้นสังกะสีออกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยากับ surfhydryl group ของโปรตีนทำให้เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนทำให้โปรตีนรวมตัวกัน และเป็นสารลดแรงตึงผิวซึ่งทำให้เกิดฟอง (ชุติมา ลิ้มมัทวาภิรัติ์, 2555)

สารที่เป็นมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ พืชและวัสดุต่างๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ หรืออาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลวหรืออนุภาคของแข็งก็ได้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอน รวมถึงน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด ซึ่งก๊าซชนิดนี้เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นแก๊สพิษร้ายแรง นอกจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังส่งผลต่อร่างกายอย่างรุนแรงและรวดเร็ว ซึ่งการตายจากไฟไหม้ส่วนใหญ่จะได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกือบทั้งสิ้น(เลี้ยง หุยประเสริฐ, 2550) และออกไซด์ของไนโตรเจนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารระเหยอินทรีย์ในอากาศทำให้เกิดฝนกรด ซึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์เกิดเป็นโรคปอด หรือโรคหลอดลม เมื่อสูดดมสารออกไซด์ของไนโตรเจนเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก ออกไซด์ของไนโตรเจนสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกประมาณ 0.3 พีพีเอ็ม ซึ่งในปัจจุบันไม่มีวิธีที่ดีที่สุด ในการกำจัดออกไซด์ของไนโตรเจนได้ (นิรนาม สุดคุ้ม, 2553)

1. ออกไซด์ของไนโตรเจน

ออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen Oxides หรือ NOx) เป็นคำรวมๆ ที่เรียกก๊าซที่มีความไว (highly reactive gases) โดยก๊าซในกลุ่มนี้ประกอบด้วย ไนโตรเจนและออกซิเจนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นก๊าสที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ยกเว้น ไนโตรเจนไดออกไซด์ที่รวมกับอนุภาคต่างๆ ในอากาศ ทำให้สามารถเห็นเป็นชั้นสีน้ำตาลแดงออกไซด์ของไนโตรเจน จะเกิดเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์ของโรงไฟฟ้า หรือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอาคารบ้านเรือนต่างๆ นอกจากนี้ออกไซด์ของไนโตรเจนมีความเป็นพิษอย่างร้ายแรง ซึ่งค่าความเข้มข้นของก๊าซ ออกไซด์

ของไนโตรเจนในอากาศที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของการควบคุมมลพิษ ต้องมีค่าความเข้มข้นไม่เกิน 0.17 พีพีเอ็ม (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

1.1 ความสำคัญของออกไซด์ของไนโตรเจน

1) เป็นก๊าซตัวหนึ่งที่สามารถทำปฏิกิริยาจนเกิดก๊าซโอโซนในระดับพื้นดิน ซึ่งโอโซนเป็นสารที่ทำให้เกิดปัญหาของระบบทางเดินหายใจที่สำคัญตัวหนึ่ง

2) สามารถที่จะไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคของไนเตรท (Nitrate Particles) หรือละอองฝอยที่อยู่ในอากาศที่เป็นกรด (acid aerosols) รวมถึงก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งสารที่กล่าวมาทั้งหมด ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจและทำให้เกิดฝนกรด

3) ทำให้เกิดสารไนเตรทซึ่งเป็นสารอาหารของพืช ทำให้พืชน้ำเจริญมากเกินไปจนทำให้คุณภาพน้ำแย่ลง

4) ทำให้อนุภาคในอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง โดยเฉพาะในสวนสาธารณะ

5) สามารถไปทำปฏิกิริยาทางเคมี จนทำให้เกิดสารเคมีที่เป็นอันตราย

6) มีส่วนทำให้เกิดโลกร้อน (global warming)

1.2 ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากออกไซด์ของไนโตรเจนมีได้หลายรูปแบบ เนื่องจากออกไซด์ของไนโตรเจนมีสารประกอบหลายตัวที่อยู่ในกลุ่มของ ออกไซด์ของไนโตรเจนได้แก่ไนโตรเจนไดออกไซน์ไนตริกแอซิกไนตรัสออกไซด์ไนตริกและไนตริกออกไซด์ส่งผลต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม มีดังนี้

1) ทำให้เกิดก๊าซโอโซนในระดับพื้นดิน (Ozone) ซึ่งเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนกับสารระเหยอินทรีย์ (Volatile Organic Compound หรือ VOC) โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบได้แก่ เด็ก คนชรา ผู้ที่เป็นโรคปอดหรือหลอดลม เช่น โรคหอบหืดและผู้ที่ทำงานหรือออกกำลังกายนอกบ้าน ซึ่งเมื่อสัมผัสเป็นเวลานานๆ อยู่เป็นประจำ ก็จะทำให้มีการทำลายของเนื้อปอด ทำให้การทำงานของปอดลดลงนอกจากนั้น โอโซนสามารถถูกพัดพาไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ทำให้เกิดผลกับประชาชนหรือสิ่งแวดล้อมที่อยู่ห่างไกลออกไปได้ รวมถึงมีผลต่อการลดผลผลิตทางการเกษตรด้วย

2) ฝนกรด สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดกรด และเมื่อตกลงมายังพื้นผิวโลกไม่ว่าจะเป็นฝน หมอก หิมะ หรืออนุภาคแห้งและบางทีสามารถที่จะถูกพาไปได้ไกลหลายร้อยไมล์ ฝนกรดจะทำให้เกิดการกัดกร่อนอาคารบ้านเรือน รถยนต์ อนุสาวรีย์หรือโบราณสถานต่างๆ และทำให้แหล่งน้ำต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ทะเลสาบ มีความเป็นกรดและไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตตามปกติของพืชหรือสัตว์ที่อาศัยในแหล่งน้ำนั้น

3) ฝุ่นละอองขนาดเล็กของออกไซด์ของไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย หรือความชื้นและสารประกอบอื่นในอากาศทำให้เกิดไนตริกแอซิกหรือฝุ่นละอองขนาดเล็กอื่นๆ และฝุ่นละอองขนาดเล็กทำให้มีผลต่อระบบหายใจ ทำลายเนื้อปอดและเป็นสาเหตุของการตายก่อนเวลาอันสมควร อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจได้ลึก ทำให้ผู้ที่มีโรค

ของระบบทางเดินหายใจอยู่แล้ว มีอาการแย่ลงจากเดิม เช่น ผู้ที่มีถุงลมโป่งพอง หลอดลมอักเสบ และทำให้ผู้ที่เป็นโรคหัวใจมีอาการแย่ลงจากเดิม

4) คุณภาพของแหล่งน้ำแย่ลง การที่มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำสูงขึ้นโดยเฉพาะบริเวณชายฝั่ง จะทำให้รบกวนสมดุลของสารอาหารต่างๆ ในแหล่งน้ำ ทำให้พืชน้ำบางชนิดเจริญเติบโตมากเกินไปจนเป็นเหตุให้เกิดการลดของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ทำให้ลดจำนวนประชากรของปลาและหอย

5) การเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งอยู่ในตระกูลของออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก (greenhouse effect) ถ้ามีการสะสมในบรรยากาศในปริมาณที่มากจะทำให้อุณหภูมิของโลกค่อยๆ สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อมนุษยชาติ ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อพืชและสัตว์

6) สารเคมีที่เป็นพิษออกไซด์ของไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ หรืออาจจะเป็น โอโซนจะได้สารประกอบตัวใหม่ที่เป็นพิษ ซึ่งบางตัวเป็นสาเหตุของการผ่าเหล่า (biological mutation) โดยตัวอย่างของสารประกอบที่เกิดขึ้นที่เป็นพิษ เช่น nitrate radical nitroarenes และ nitrosamines

7) การลดทัศนวิสัยของการมองเห็น อนุภาคของไนเตรท และไนโตรเจนไดออกไซด์ จะขัดขวางการผ่านของแสงอาทิตย์ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองหรือสวนสาธารณะต่างๆ (กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, ม.ป.ป.)

2. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide หรือ CO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีน้ำหนักเบากว่าอากาศเพียงเล็กน้อย ไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา มีความเป็นพิษอย่างร้ายแรง ซึ่งค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของการควบคุมมลพิษต้องมีค่าความเข้มข้นไม่เกิน 30 พีพีเอ็ม (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) คาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน โดยเฉพาะเครื่องยนต์สันดาปภายใน และเครื่องจักรกล คาร์บอนมอนออกไซด์จะเกิดได้มากเมื่อออกซิเจนไม่เพียงพอในการสันดาป แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแก๊สที่มีพิษร้ายแรงมาก เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณเพียง 10 พีพีเอ็มจะมีผลต่อระบบประสาท ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย มึนงง ตาพร่ามัวและคลื่นไส้อาเจียนได้และถ้าได้รับเข้าไปในปริมาณมากถึงร้อยละ 0.002 เพียง 30 นาที อาจถึงขั้นเสียชีวิตได้

ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ได้ดีกว่าแก๊สออกซิเจนถึง 200 - 250 เท่า ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่างๆ ของร่างกายได้น้อยลง ร่างกายอ่อนเพลียและเสียชีวิตได้ เมื่อเกิดภาวะขาดออกซิเจนเฉียบพลัน ร่างกายก็อาจจะเกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ เพราะว่าสมองได้รับออกซิเจน เข้าไปน้อยกว่าสภาวะปกติและในสภาวะพื้นที่อับอากาศ การที่ไม่มีการถ่ายเทของอากาศที่ดี ไม่มีการไหลของอากาศที่ดี อากาศไม่ไหลเวียน ผลกระทบของคาร์บอนมอนอกไซด์ในระดับที่แตกต่างกัน การควบคุมการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากการจราจรได้มีการกำหนดการปล่อยก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสีย การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องฟอกไอเสียเชิงเร่งปฏิกิริยานี้สามารถควบคุมโดยการปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ให้ความสมบูรณ์ มีออกซิเจนที่เพียงพอในการสันดาป (มาริษา ภู่ภิญโญกุล, 2547)

ผู้ที่มีความเสี่ยงจากพิษของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ผู้คนทุกวัยเป็นผู้ที่อยู่ในความเสี่ยงจากพิษของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ บุคคลที่มีชีวิตกับปัญหาโรคหัวใจเรื้อรัง โรคโลหิตจางหรือปัญหาเกี่ยวกับการหายใจ เป็นผู้ที่มีความอ่อนแอมากขึ้นจากผลกระทบของก๊าซนี้ ผู้สูงอายุส่วนมากจะมีปัญหาด้านสุขภาพเหล่านี้ซึ่งทำให้ความต้านทานของพวกเขาลดลงและมีความเสี่ยงถึงชีวิตหากสูดดมก๊าซ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ยังเป็นก๊าซที่มีอันตรายสูงต่อทารกในครรภ์มีผลเสียที่ร้ายแรงอาจถึงตายได้และเพิ่มอัตราความผิดปกติมากขึ้น (Environmental Protection Agency, 2552)

3. ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide)

มีลักษณะกลิ่นหอมหวานอ่อนๆ ส่วนมากเมื่อได้รับสัมผัสทางการหายใจ มีผลต่อระบบประสาทโดยในระดับความเข้มข้นต่ำจะทำให้เคลิบเคลิ้ม ในระดับความเข้มข้นสูงจะทำให้มีอาการชาและหมดสติได้ ในทางการแพทย์ใช้เป็นยาสลบและระงับอาการปวด ใช้ในกิจกรรมสันทนาการ นอกจากนี้ยังเป็นสารออกซิไดซ์ที่ดี (oxidizer) จึงใช้ในการสันดาปภายในเครื่องยนต์ที่ต้องการใช้กำลังสูง เช่น จรวด รถแข่ง เป็นต้น ไนตรัสออกไซด์จัดเป็นแก๊สมลภาวะที่สำคัญตัวหนึ่ง เป็นแก๊สเรือนกระจกที่มีส่วนทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นอันดับ 4 รองจากมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ

ผลกระทบต่อสุขภาพ รับสัมผัสทางการหายใจเป็นหลัก กลไกเกิดโรคแบ่งได้ดังนี้

ระยะฉับพลัน การสัมผัสในระดับความเข้มข้นสูงๆ จะไปแทนที่ออกซิเจนทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนในเลือดแดง (asphyxia)

ระยะเรื้อรัง การรับสัมผัสในขนาดต่ำๆ เป็นเวลานาน จะมีผลต่อระบบเลือด (hematologic system) และระบบประสาท (neurologic system) โดยไนตรัสออกไซด์จะยับยั้งการทำงานของวิตามินบี 12 ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์เมไธโอนีน (methionine)และเตตะไฮโดรโฟลิค (tetrahydrofolic) ซึ่งเมไธโอนีนเป็นสารเคมีสำคัญในการสร้างเยื่อไมอิลินและเตตะไฮโดรโฟลิคเป็นสารเคมีสำคัญในการสังเคราะห์ DNA ของเม็ดเลือด ดังนั้นการสัมผัสไนตรัสออกไซด์จะทำให้มีอาการเป็นพิษมากขึ้นในผู้ป่วยที่มีภาวะขาดวิตามินบี 12 หรือขาดกรดโฟลิคอยู่แล้ว ส่วนกลไกความเป็นพิษต่อระบบประสาทอื่นๆ ยังไม่เป็นที่ทราบกันดีนัก แต่เชื่อว่าเกิดจากการไปรบกวนระบบ ion channel ในเซลล์ ซึ่งเกิดทั้งที่ระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย ทำให้พบอาการชาเห็นภาพหลอนและเพ้อฝันได้ (กานต์ คำโตนด, 2555)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาทที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยได้ใช้สารลดแรงตึงผิวแทบทุกกิจกรรม เช่น การทำความสะอาดร่างกายและของใช้ การใช้เครื่องสำอาง การย่อยอาหาร กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวก็สามารถนำมาใช้ในการ

แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การกำจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรก การกำจัดสารแขวนลอยหรือคลอรอยด์ในน้ำ การเลือกประเภทของสารลดแรงตึงผิว ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานต่างๆ เพื่อทำให้สารลดแรงตึงผิวทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในชั้นระหว่างอากาศและของเหลวได้เนื่องมาจากการลดแรงตึงผิวลง

สารลดแรงตึงผิวมาจากภาษาเยอรมันว่า Tensid ซึ่งตั้งโดยนักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1960 สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่จะมาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติและโพลีเมอร์สังเคราะห์ ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิวคือ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเพียงเล็กน้อยลงในน้ำ จะไปลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการต่างๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียกและกระบวนการทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะพยายามหนีน้ำโดยไปเกาะกับพื้นผิวที่ว่าง เช่น อากาศ ส่วนที่ชอบน้ำจะยังคงอยู่ในนอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวยังมีคุณสมบัติที่ทำให้เฟสสองเฟสที่ต่างกันมารวมตัวกันได้ เช่น การไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำและน้ำมันไม่ละลายซึ่งกันและกันเพราะมีคุณสมบัติที่ต่างกันโดยที่น้ำเป็นสารประกอบที่มีขั้ว ส่วนน้ำมันเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเข้าไปเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้สองเฟสมารวมกันเป็นเฟสเดียวกันได้ เช่น การใส่ไข่แดงซึ่งมี lecithin เป็นสารลดแรงตึงผิวประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 10 ลงไปในน้ำที่ผสมน้ำมันเพื่อทำน้ำสลัด ทำให้น้ำและน้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (วิสาขา ภู่จินดา, 2548)

ผงฟู (Sodium bicarbonate)

ผงฟู มีชื่อเรียกทางเคมีว่าโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) หรือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium Hydrogen Carbonate) เป็นสารประกอบที่มีสูตรทางเคมี $NaHCO_3$ ผงฟูเป็นสารที่ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบขึ้นฟูปฏิกิริยาของผงฟูทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผงฟูประกอบด้วยสารเคมีที่สำคัญคือ โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบคกิ้งโซดา (Baking Soda) ซึ่งมีในส่วนผสมของผงฟูประมาณร้อยละ 30 ผสมกับกรดของเกลือซึ่งเป็นสารช่วยฟูที่มีฤทธิ์เป็นกรด (leavening acid) เช่น กรดอะซิติก กรดซิตริกและกรดแลกติก เป็นต้น และมีแป้งข้าวโพดเป็นสารช่วยให้ผงฟูไม่เกาะตัวจับเป็นก้อน ปฏิกิริยาของผงฟูเกิดจากโซเดียมไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นเกลือเกิดจากกรดแก่ (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ทำปฏิกิริยากับกรดอ่อน (คาร์บอนิก) จึงมีสภาพเป็นด่าง ทำปฏิกิริยากับกรดของเกลือในส่วนผสมของผงฟูทันที เมื่อส่วนผสมถูกผสมเข้าด้วยกันเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เมื่อให้ความร้อนเบคกิ้งโซดาสามารถสลายตัวให้ก๊าซ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำให้โดยขยายขนาดเพิ่มขึ้น (พรประภา ขันธนัส, 2548)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จุดคุ้มทุน หมายถึง ณ ระดับการผลิตหรือการขายระดับใดระดับหนึ่งที่ก่อให้เกิดรายได้รวม (Total revenue) เท่ากับต้นทุนรวม (Total cost) ต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร ดังนี้

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิตหรือขาย ต้นทุนคงที่รวมจะคงที่ตลอดเวลา แต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะลดลง ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายสูงขึ้น เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเช่า เงินเดือน ภาษีทรัพย์สิน เป็นต้น

2. ต้นทุนผันแปร (Variable costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิตหรือขาย ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายมากต้นทุนผันแปรจะมาก แต่ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายน้อยต้นทุนผันแปรจะน้อย นั่นคือ ต้นทุนผันแปรรวมจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิตหรือขาย แต่ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยจะคงที่ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่านายหน้า

3. ประโยชน์ของการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการผลิตเป็นการหาปริมาณหรือระดับสินค้าที่ต้องผลิตหรือขายที่ก่อให้เกิดการคุ้มทุนพอดี สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องในการวิเคราะห์ความไวเพื่อให้ทราบระดับกำลังผลิตที่ก่อให้เกิดการคุ้มทุนพอดีหากปัจจัยตัวแปรเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบถึงกำไร-ขาดทุน ณ ระดับกำลังผลิตต่างๆได้ (นิรนาม สุดคุ้ม, 2009)

อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio หรือ B/C Ratio)

อัตราค่าความคุ้มทุนในการดำเนินการ (B/C Ratio) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าความคุ้มทุน กับผลรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการทำวิจัยสารดับเพลิงจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกลงทุนในการทำวิจัย ก็คือ B/C Ratio จะต้องมีค่ามากกว่าหรืออย่างน้อยที่สุดต้องมีค่าเท่ากับ 1 ($B/C \geq 1$) ทั้งนี้เนื่องจากถ้า $B/C > 1$ ย่อมหมายความว่า ค่าความคุ้มทุนที่ได้รับจากการทำวิจัย มีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป หรือถ้า $B/C = 1$ ก็หมายความว่าค่าความคุ้มทุนในการดำเนินการจากการทำวิจัย มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียไปพอดี

อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนนี้ในทางธุรกิจเรียกว่า ดัชนีผลกำไร (Profitability Index: PI) ซึ่งมีวิธีการคานวณโดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

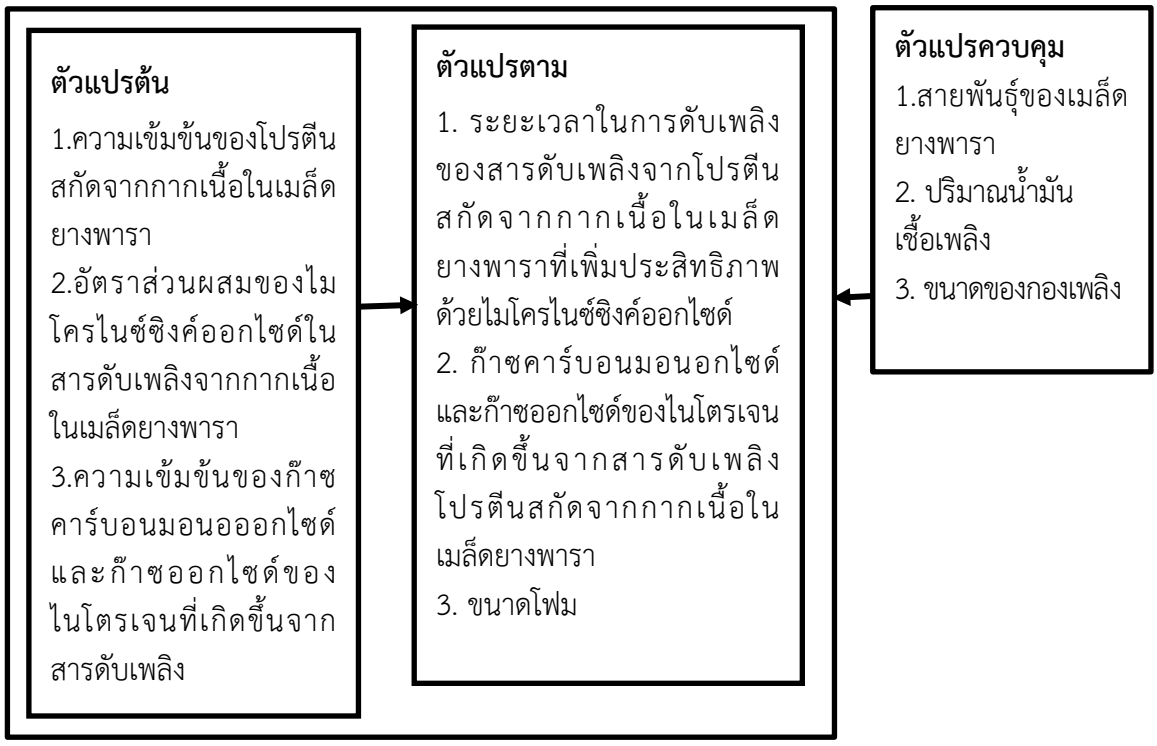
$$B/C\ (ratio) = \frac{PV_b}{PV_c}$$

โดยกำหนดให้

PVb = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดของการทำวิจัยสารดับเพลิงจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

PVc = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการทำวิจัยสารดับเพลิงจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 2.6 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประชาสันติ ไตรย์สุทธิ์ และคณะ (2550) ศึกษาวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา เพื่อให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลปริมาณมากที่สุด โดยใช้วิธีการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการลดกรดไขมันอิสระโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนแล้วตามด้วยขั้นตอนการทำปฏิกิริยาหลักโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้สูงสุดคือร้อยละ 89 ผลทดสอบด้านคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารามีค่าตามมาตรฐานไบโอดีเซล

ปิ่น จันจุฬา (2554) ศึกษาผลของระดับเนื้อในเมล็ดยางพารา 3 ระดับ (ร้อยละ 20 และ 30) และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 2 ระดับ (ร้อยละ 20 และ 30) ในสูตรอาหารข้นต่อปริมาณการกินได้และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในแพะ พบว่าเนื้อในเมล็ดยางพาราและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งโปรตีนเข้มข้น

ศุภชาติ ศรีตะเขต (2553) ศึกษาสารดับเพลิงจากน้ำยางกล้วยน้ำว้า โดยแปรรูปน้ำยางกล้วยน้ำว้านำมาผลิตเป็นสารดับเพลิง ช่วยลดต้นทุนการผลิตสารดับเพลิงให้มีราคาถูก สารดับเพลิงที่ผลิตจากน้ำยางกล้วยน้ำว้า หลังนำไปทดสอบสมบัติด้วยการทาเคลือบบนผิววัสดุ ได้แก่ ไม้อัด ทิชชู กระดาษ จากนั้นรอจนแห้งแล้วใช้ไฟลนด้านที่ถูกเคลือบด้วยยางกล้วยน้ำว้าพบว่าสามารถทนไฟ 3-5 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ไม่ได้เคลือบสารดับเพลิงดังกล่าว และวัสดุที่เคลือบด้วยกาวลาเท็กซ์พบว่าติดไฟหลังจากถูกไฟลนในเวลาไม่ถึงนาที นำน้ำยางกล้วยที่ได้จากกาบกล้วย ลำต้น เครือกล้วยมาผสมกับสูตรการผลิตสารดับเพลิง ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต หรือผงฟู และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งนำสารดังกล่าวมาอัดก๊าซไนโตรเจนลงถังจนเกิดแรงดัน 125-200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เหมาะสำหรับการใช้งานจริงหลังจากนำสารดับเพลิง ไปทดสอบประสิทธิภาพการดับเพลิงสามารถดับไฟได้จริง

ศริศักดิ์ สุนทรไชย (2556) กล่าวไว้ว่าโฟมดับเพลิงประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 1 อื่นๆของโฟมทนไฟเป็นสารทำละลายอินทรีย์ บริษัทที่ดีเอรีเซิสซ์ ได้พัฒนาสารที่ทำให้เกิดความเสถียรของโฟมเพื่อใช้กับสารเข้มข้นที่เป็นโฟมในการดับเพลิง ค้นพบว่าสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium Dodecyl Sulfate) และสารที่ทำให้เกิดความเสถียรของโฟมนี้มีอัตราความคงทนในการเกิดโฟมสูงกว่าโฟมที่ทำให้เกิดฟิลม์ชนิดน้ำในท้องตลาดถึง 60 เท่า นอกจากนี้ยังค้นคว้าวิธีการที่ลดความหนืดของสารผสมที่ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวและสารที่ทำให้เกิดความเสถียรของโฟม (Surfactant/Stabilizer Mixtures) ลงสู่ระดับที่ยอมรับและสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวต่ำที่ปราศจากฟลูออรีน (Fluorine-Free Low-Surface Tension Surfactants) พบว่า สารสารละลายที่เป็นน้ำนี้มีแรงตึงผิวต่ำกว่าและทำให้เกิดโฟมได้ดีและคงอยู่ได้นาน เพราะโฟมมีการแพร่กระจายทันทีครอบคลุมไฟ ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์ม

สุทัศน์ ศรีศิริ และวรากร สุวรรณไตรย์ (2556) ศึกษาการนำโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารามาพัฒนาเป็นสารดับเพลิง เพื่อใช้ในการดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซ (Class B) ซึ่งใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดึงโปรตีน ปั่นแยกสารละลายโปรตีนที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที โดยผ่านกระบวนการสกัดโปรตีนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง สายละลายโปรตีนที่สกัดได้มี

ความเข้มข้นร้อยละ 20.26 จากนั้นทำการผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีน โดยนำสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ผสมกับโซเดียมไบคาร์เนต โดยแบ่งออกเป็น 3 สูตร ในอัตราส่วน สูตรที่ 1 ได้แก่ สารละลายโปรตีน 80 ต่อโซเดียมไบคาร์เนต 20 สูตรที่ 2 ได้แก่ สารละลายโปรตีน 85 ต่อโซเดียมไบคาร์บอเนต 15 และสูตรที่ 3 ได้แก่ สารละลายโปรตีน 90 ต่อโซเดียมไบคาร์เนต 10 บรรจุลงในถังอัดอลูมิเนียม และอัดด้วยก๊าซไนตรัสออกไซด์ จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงและเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง เปรียบเทียบกับสารดับเพลิงประเภทเปียกที่จำหน่ายในท้องตลาด และสารดับเพลิงชุดควบคุม ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 2 มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1 และ 3 โดยสามารถดับเพลิงได้ในระยะเวลา 3.67 วินาที

สุรีย์ เกิดผล และวิไล เทวกุล ณ อยุธยา (2514) ได้ศึกษาการสกัดโปรตีนจากกากมะพร้าวด้วยกรดเกลือเจือจางระหว่างกากมะพร้าวที่สกัดโปรตีนโดยกรรมวิธีผ่านควาร้อน แล้วบีบเอาน้ำมันออกด้วยเครื่อง expellerและกากมะพร้าวที่สกัดโปรตีนด้วยวิธีการทดลองในห้องวิทยาศาสตร์โดยไม่ผ่านความร้อน และใช้เครื่อง hydraulic เป็นเครื่องบีบน้ำมันออกผลปรากฏว่ากากมะพร้าวที่สกัดโปรตีนโดยผ่านความร้อนสกัดโปรตีนออกมาได้ร้อยละ 30 ส่วนกากมะพร้าวที่สกัดโปรตีนโดยการทดลองวิทยาศาสตร์สกัดโปรตีนออกมาได้ร้อยละ 76

Klompong และคณะ (2007) ศึกษาความสามารถในการละลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาสีกุนข้างเหลือง (Selavoides leptolepsis) ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลสหรือเอนไซม์ฟลาโวไซม์ที่ระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 5 15 และ 25 พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตมีความสามารถในการละลายสูงสุดเมื่อระดับการย่อยสลายโปรตีนเท่ากับร้อยละ 25 และจากการทดสอบอิทธิพลของ pH ในช่วง 2 - 12 ต่อความสามารถในการละลาย พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตมีค่าการละลายต่ำสุดที่ pH เท่ากับ 4 และมีค่าการละลายสูงสุดที่ pH ในช่วง 8 - 11 ส่วนโปรตีนที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์มีค่าการละลายสูงสุดในช่วง pH เท่ากับ 6 - 8 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Thiansilakul และคณะ (2007) ที่พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาทูแขก (Decapterus maruadsi) มีค่าการละลายสูงขึ้นเมื่อโปรตีนผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ โดยค่าการละลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ตรวจสอบด้วยวิธี Nitrogen solubility index มีค่าสูงถึงร้อยละ 99

Lawal และคณะ (2007) ศึกษาผลของ pH ในช่วง 2-10 ต่อสมบัติการเกิดฟองของโปรตีนถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการดัดแปรและโปรตีนถั่วหรั่งที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือ Acetylated และ Succinylated พบว่าที่ pH เท่ากับ 10 โปรตีนที่ผ่านการดัดแปรด้วย Succinylated มีความสามารถในการเกิดฟองสูงที่สุด รองลงมาคือโปรตีนที่ผ่านการดัดแปรด้วยสาร Acetylated ส่วนความสามารถในการคงตัวของฟอง พบว่าโปรตีนที่ผ่านการดัดแปรทั้ง 2 แบบมีความคงตัวของฟองสูงสุดที่ pH เท่ากับ 2 รองลงมาคือโปรตีนที่ไม่ผ่านการดัดแปรที่ pH เท่ากับ 4

Chabanon และคณะ (2007) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีน Rape seed พบว่าโปรตีนที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลสที่ระดับการย่อยสลายโปรตีน (DH) ร้อยละ 5 มีความสามารถในการเกิดฟองสูงสุดและพบว่าที่ระดับการย่อยสลายร้อยละ 10 โปรตีนไฮโดรไลเสตมีความคงตัวของฟองดีที่สุด ที่เวลา 10, 30 และ 120 นาที ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาประสิทธิภาพของสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา โดยเติมของไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซ (คลาส บี) มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

ประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา คือ สารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา 3 สูตร แต่ละสูตรมีส่วนผสมของสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายของไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ตามลำดับดังต่อไปนี้ สูตรที่1 มีอัตราส่วน 80:5:10:5 (v/v) สูตรที่ 2 มีอัตราส่วน 80:5:5:10 (v/v) สูตรที่ 3 มีอัตราส่วน 80:5:0:15 (v/v) ทั้งหมดอัดด้วยก๊าซไนตรัสออกไซด์ นำทุกสูตรมาทดสอบประสิทธิภาพในการดับเพลิงเปรียบเทียบค่าการเกิดมลพิษกับสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างเท่ากับ85:15 (v/v) และสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ในท้องตลาด ทำการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละสูตรในภาคสนาม จำนวน 7 ซ้ำ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา 3 สูตร โดยแต่ละสูตรมีส่วนผสมของสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายของไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ตามลำดับดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 มีอัตราส่วน 80:5:10:5 (v/v) สูตรที่ 2 มีอัตราส่วน 80:5:5:10 (v/v) สูตรที่ 3 มีอัตราส่วน 80:5:0:15 (v/v) ตามลำดับ นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับชุดควบคุมได้แก่ สารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง เท่ากับ 85:15 (v/v) โดยทั้งหมดอัดด้วยก๊าซไนตรัสออกไซด์และสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ในท้องตลาด

2. เก็บข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในการทดสอบภาคสนาม

3. วิเคราะห์จุดคุ้มทุนของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพโดยใช้ของไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องสกัดแบบกระบอกสูบไฮโดรลิค (Hydraulic Cylinder) ยี่ห้อ Tiger King รุ่น KD-20T

1.2 เครื่องอบแห้ง (Tray Dryer) ยี่ห้อ Semco รุ่น kpo-700

1.3 เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerated centrifuge) ยี่ห้อ Hettich รุ่น EBR 12 R

1.4 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Distillation)ยี่ห้อBuchi Distillation รุ่น k-355

1.5 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 500 และ 1,000 มิลลิตร ยี่ห้อ Huarui รุ่น 60 Mex

1.6 ขวดรูปชมพู่ (Conical flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Schott รุ่น 500 มิลลิลิตร

1.7 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 500 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Schott รุ่น 500 มิลลิลิตร

1.8 แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod) ยี่ห้อ Maxel รุ่น PG 45

1.9 ปิเปตต์ (Pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Schott รุ่น10 มิลลิลิตร

1.10 เครื่องชั่ง (Scales) ยี่ห้อ CST รุ่น FFJ-1500 HD

1.11 กระบอกอัดอลูมิเนียม (Aluminum Cylinder) ยี่ห้อ MOSE รุ่น 1.5 ลิตร

1.12 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบพกพา (Personal pump) ยี่ห้อ SKC รุ่น Aircheck 2000

1.13 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx Analyzer) ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น 200A พิสัยการวัด 0 – 1,000 พีพีเอ็ม

1.14 เครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO Analyzer) ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น 300A พิสัยการวัด 0 – 1,000 พีพีเอ็ม

1.15 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Hotplates Magnetic Stirrer) ยี่ห้อ Hanna รุ่น TYPE 7200

1.16 โกร่งบดสาร (mortar and pestle) ยี่ห้อ Glassco

2. สารเคมี

2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) AR Grade บริษัทนิคอินเตอร์เคม

2.2 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) Food Grade บริษัทนิคอินเตอร์เคม

2.3 ของไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ (Micronized Zinc Oxide) ARGrade บริษัทนิคอินเตอร์เคม

2.4 คอปเปอร์ ซัลเฟต (Copper sulfate) AR Grade บริษัทนิคอินเตอร์เคม

2.5 โพแทสเซียม ซัลเฟต (Potassium sulfate) AR Grade บริษัทเทรดดิ้ง

2.6 ไฮโดรคลอลิก แอซิด (Hydrochloric acid) LR Grade บริษัทนิคอินเตอร์เคม
2.7 บอริค แอซิด (Boric acid) LR Grade บริษัทนิคอินเตอร์เคม
2.8 ซัลฟิวริก แอซิด (Sulfuric acid) LR Grade บริษัทไทยโพลิเคมีคอล
2.9 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide) LR Grade บริษัทนิคอินเตอร์เคม
2.10 น้ำมันเบนซิน (Gasoline) บริษัทเอสโซ่
2.11 โฟมโปรตีนสังเคราะห์ท้องตลาด ยี่ห้อMAPRA

วิธีการทดลอง

1. เก็บรวบรวมเมล็ดยางพารา

คัดเลือกเมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 มีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีเมล็ดละหุ่งยาวประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร ด้านในของเปลือกจะเป็นเยื่อบางๆ สีขาว เนื้อในมีลักษณะนิ่ม สีเหลืองอ่อนลักษณะเมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 ที่นำมาศึกษาแสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 ลักษณะเมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 ที่นำมาศึกษา

2. การสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

2.1 การเตรียมวัตถุดิบกากเนื้อในเมล็ดยางพาราเพื่อสกัดโปรตีน

1) นำเมล็ดยางพารามากระเทาะเปลือกออกโดยใช้ค้อน เพื่อเอาเปลือกนอกออก จะได้เนื้อในของเมล็ดยางพารา

2) นำกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ผ่านการกระเทาะเปลือกออกแล้วมาหีบอัดด้วยกระบอกสูบไฮโดรลิก ภาพที่ 3.2 เพื่อกำจัดน้ำมันออก แล้วนำกากเนื้อในมาบดให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบดสาร

ภาพที่ 3.2 เครื่องหีบอัดแบบไฮโดรลิค ใช้ในการหีบน้ำมันออกจากเมล็ดยางพารา

2.2 การสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

1) นำกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่บดละเอียดแล้วมาสกัดโปรตีน โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วนของกากเนื้อในเมล็ดยางพาราต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:20 (ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.02 โมลาร์)

2) นำสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารากวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (ภาพที่ 3.3) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3) นำสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราปั่นแยกสารโปรตีนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที เพื่อแยกตะกอนออกจากสารละลายโปรตีน ดังภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.3 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ภาพที่ 3.4 เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ

3. การวิเคราะห์ความเข้มข้นโปรตีนที่ได้จากการสกัดกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

นำสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่สกัดได้มาวัดค่าความเข้มข้นของโปรตีนด้วยวิธี Bradford Protein Assay โดยใช้ Bovine Serum Albumin หรือ BSA เป็นสารมาตรฐานวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 595 นาโนเมตร ปรับความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนให้เท่ากันทุกถัง โดยปรับให้ความเข้มข้นเท่ากับ 4.00 มิลกรัมต่อมิลลิลิตร

4. การผลิตสารดับเพลิงจากโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ผลิตสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา มีส่วนผสมได้แก่ โปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อของไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ทั้งหมด 3 สูตร ดังนี้

1) สูตรที่1 ได้แก่ สารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ อัตราส่วน 80:5:10:5 ตามลำดับ

2) สูตรที่ 2 ได้แก่ สารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ อัตราส่วน 80:5:5:10 ตามลำดับ

3) สูตรที่ 3 ได้แก่ สารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ อัตราส่วน 80:5:0:15 ตามลำดับ

ร้อยละของส่วนผสมในสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในแต่ละสูตรแสดงในตารางที่ 3.1 นำสารดับเพลิงประเภทโปรตีนแต่ละสูตรบรรจุลงในกระบอกสูบอลูมิเนียม อัดด้วยก๊าซไนตรัสออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการขับสารดับเพลิง ภาพที่ 3.5

ตารางที่ 3.1 ร้อยละของส่วนผสมในสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในแต่ละสูตร

สูตร	สารละลายโปรตีน	สารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง	น้ำ	ไมโครสังกะสีออกไซด์
1	80	5	10	5
2	80	5	5	10
3	80	5	0	15

ภาพที่ 3.5 กระบอกอัดอลูมิเนียมที่ใช้ในการบรรจุสารดับเพลิง

นำสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาประสิทธิภาพโดยใช้ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ทั้ง 3 สูตร มาทำการทดสอบภาคสนาม โดยในแต่ละสูตรจะทดสอบทั้งสิ้นจำนวน 7 ซ้ำ เปรียบเทียบกับสารดับเพลิงชุดควบคุม ได้แก่ สารดับเพลิงที่มีอัตราส่วนของ สารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา ต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างในอัตราส่วน 85:15 อัดด้วยก๊าซไนตรัสออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาดโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดับเพลิงในแง่ของระยะเวลาในการดับเพลิงและค่าการเกิดมลพิษตลอดจนจุดคุ้มทุนในการผลิตหาสูตรที่ดีที่สุดที่สามารถดับเพลิงได้ในระยะเวลาสั้นที่สุด

5. การทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสูตรต่างๆ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงโดยปฏิบัติตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2537) มีขั้นตอนการทดสอบสารดับเพลิงดังนี้

1) เตรียมถาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 475x475 มิลลิเมตร ทำด้วยเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร และลึกไม่น้อยกว่า 200 มิลลิเมตร ภาพที่ 3.6

2) ทำการทดสอบในที่โล่ง โดยปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ เมื่อเทลงไปในถาดแล้วจะต้องสูงไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร

3) เริ่มทำการดับเพลิง โดยฉีดในทิศทางของลม ขณะฉีดให้บันทึกเวลาที่เริ่มต้นฉีดใช้เครื่องดับเพลิงและเวลาที่สามารถดับเพลิงได้สนิท

ภาพที่ 3.6 ถาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 475× 475 มิลลิเมตร ใช้ในการจำลองกองเพลิง

6. การวัดขนาดฟองโฟม

หลังจากทำการทดสอบภาคสนามของสารดับเพลิงในแต่ละสูตรทำการวัดความหนาของฟองโฟมของสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาโดยใช้ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ทั้ง 3 สูตร นำมาเปรียบเทียบกับขนาดฟองของสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์และสารดับเพลิงโฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาด โดยใช้ไม้บรรทัดวัดความหนาของฟองโฟม

7. การวิเคราะห์การเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมของสารดับเพลิงประเภทโปรตีน

เก็บตัวอย่างอากาศจากการทดสอบประสิทธิภาพในการดับเพลิงโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่าง (Air bag) ดังภาพที่ 3.8 และเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ดังภาพที่ 3.7 (Personal pump)

1) ต่ออุปกรณ์โดยใช้สายยางต่อเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ต่อเข้ากับเครื่องสอบเทียบอัตราการดูดอากาศของปั๊มทางด้าน inlet และต่อสายยางเข้าถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

2) เปิดเครื่องและปรับอัตราการไหลที่ 1 ลิตรต่อนาที

3) เมื่อเก็บตัวอย่างอากาศก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน จนเต็มถุงปิดฝาจุกของถุงเก็บตัวอย่างอากาศให้แน่นและเก็บใส่ถุงดำ

4) ตรวจสอบมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการดับเพลิง โดยนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังภาพที่ 3.9 และเครื่องตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ดังภาพที่ 3.10 ตรวจสอบมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการดับเพลิง

ภาพที่ 3.7 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

ภาพที่ 3.8 ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

ภาพที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ภาพที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงได้แก่ระยะเวลาในการดับเพลิง ความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของสารดับเพลิงแต่ละสูตรมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแปรปรวน ANOVA ด้วยวิธี Duncan multiple-range test (DMRT)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

จากการนำกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 ที่ผ่านกระบวนการเตรียมโดยกำจัดเอาน้ำมันออก และบดให้ละเอียดแล้ว มาสกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าและปั่นแยกสารด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง จะได้สารละลายโปรตีนภาพที่ 4.1 นำสารละลายโปรตีนมาวิเคราะห์ความเข้มข้น ด้วยวิธี Bradford Protein Assay โดยใช้ BSA เป็นสารมาตรฐานโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 595 นาโนเมตร พบว่าความเข้มข้นของโปรตีนที่สกัดได้เท่ากับ 4.06 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับความเข้มข้นของโปรตีนจากกากเนื้อเมล็ดยางพาราให้เท่ากันทุกถัง ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 4.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการเจือจางสารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ภาพที่ 4.1 สารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

การผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีน โดยการนำสารละลายโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา ผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างและของไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 สูตรคือ สูตรที่ 1 ได้แก่ สารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายไมโครสังกะสีออกไซด์ อัตราส่วน 80:5:10:5 ตามลำดับสูตรที่ 2 ได้แก่ สารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ อัตราส่วน 80:5:5:10 ตามลำดับ สูตรที่ 3 ได้แก่ สารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อสารละลายไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

อัตราส่วน 80:5:0:15 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ในสูตรที่ 1 สารละลายโปรตีนที่ได้สกัดสามารถรวมตัวกับสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง น้ำและไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ได้ดีเมื่อนำมาฉีดทดสอบดับเพลิงในภาคสนามพบว่าสารดับเพลิงที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ เกิดฟองที่มีความเหนียวแน่น มีความหนาของโฟมเฉลี่ย 12 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4.2) โฟมคงสภาพของอยู่ได้นาน มีการขยายตัวปกคลุมผิวหน้าเชื้อเพลิงได้ดีและแสดงรูปแบบของฟองโฟมในลักษณะที่แตกต่างจากสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์อย่างเห็นได้ชัดซึ่งให้ฟองโฟมที่ไม่หนาแน่นมีความหนาของโฟมเฉลี่ย 5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4.3) โดยมีขยายตัวในการปกคลุมผิวหน้าเชื้อเพลิงได้ช้าและเมื่อโฟมโดนความร้อนโฟมจะคงสภาพอยู่ได้ไม่นานสามารถทำให้เกิดการลุกติดไฟขึ้นมาได้อีกครั้ง ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนที่สังเคราะห์จำหน่ายตามท้องตลาด พบว่าเมื่อฉีดดับเพลิงดังกล่าวจะเกิดฟองที่มีลักษณะเหนียวแน่นมีความหนาของชั้นโฟมที่สูงเฉลี่ย 54 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4.4) และมีการกระจายตัวของโฟมปกคลุมผิวหน้าเชื้อเพลิงได้ดีนอกจากนี้หลังจากดับเพลิงไปแล้วโฟมโปรตีน ก็ยังมีสภาพที่เป็นฟองเล็กละเอียดและคงรูปในลักษณะโฟมได้ดี

ภาพที่ 4.2 ลักษณะฟองโฟมหลังจากทำการทดสอบสารดับเพลิงโปรตีนจากกากเนื้อเมล็ดยางพาราที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

ภาพที่ 4.3 ลักษณะฟองโฟมหลังจากทำการทดสอบสารดับเพลิงโปรตีนจากกากเนื้อเมล็ดยางพาราที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์

ภาพที่ 4.4 ลักษณะฟองโฟมหลังจากทำการทดสอบสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

การทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงประเภทโปรตีน

การทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงประเภทโปรตีน ทั้ง 3 สูตร (สูตรที่ 1 2 และ 3) ในการดับเพลิงในภาคสนาม เปรียบเทียบกับสารดับเพลิงชุดควบคุมคือสารดับเพลิงโปรตีนสูตรที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์และสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในเชิงของระยะเวลาในการดับเพลิงและการตรวจวัดก๊าซที่เป็นมลพิษได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์พบว่า ค่าการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง

และการวิเคราะห์ผลประโยชน์ต้นทุนของการผลิตสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราเพื่อใช้ในการดับเพลิงมีรายละเอียดดังนี้

1. การเปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิง

การเปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิงภาคสนามของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ทั้ง 3 สูตร สูตรที่ 1 2 และ 3 สารดับเพลิงโปรตีนสูตรที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์และสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด โดยใช้การวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของแต่ละสารดับเพลิงประเภทโปรตีนแต่ละประเภทซ้ำ ผลการทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยระยะวลาในการดับเพลิงของสารดับเพลิงโปรตีนทั้ง 3 สูตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 4.1) โดยระยะเวลาที่ใช้ในการดับเพลิงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 13.42 ± 3.69 ถึง 53.58 ± 6.16 วินาที และสารดับเพลิงในแต่ละสูตรมีระยะเวลาในการดับเพลิงแตกต่างกัน โดยสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการดับเพลิง 16.43 วินาที ในขณะที่สารดับเพลิงในสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 สามารถดับเพลิงได้ภายในระยะเวลา 23.86 และ 33 วินาที และสารดับเพลิงโปรตีนสูตรที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ (ชุดควบคุม) สามารถดับเพลิงได้ภายในระยะเวลา 53.58 วินาทีตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) ส่วนสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์จำหน่ายตามท้องตลาดสามารถดับไฟได้ดีที่สุด โดยใช้ระยะเวลาในการดับเพลิงเพียง 13.42 วินาทีเท่านั้น

ภาพที่ 4.5 การทดสอบประสิทธิภาพสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราในภาคสนาม

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิง

สูตรและอัตราส่วนร้อยละของแต่ละสูตร(โปรตีน: สารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง: น้ำ:ไมโครสังกะสีออกไซด์	ระยะเวลาในการดับเพลิง (วินาที)							ระยะเวลาในการดับเพลิงเฉลี่ย (วินาที)
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	
1 (80:5:10:5)	20	11	10	15	23	17	19	16.43 ± 4.75^{b}
2 (80:5:5:10)	48	12	21	24	25	19	18	23.86 ± 11.48^{c}
3 (80:5:0:15)	52	32	34	21	39	27	26	33 ± 10.23^{d}
สารดับเพลิงโปรตีนสูตรเดิม (85:15)	60	57	53	48	43	59	55	53.58 ± 6.16^{e}
โฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาด	18	14	13	11	14	17	7	13.42 ± 3.69^{a}
F-Value								*
C.V.(%)								57.57

* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง

ผลการเปรียบเทียบปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบดับเพลิงในแบบจำลองภาคสนามของสารดับเพลิง พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราทั้ง 3 สูตร และสารดับเพลิงชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 4.2) โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.16 ± 0.07 ถึง 0.26 ± 0.19 พีพีเอ็ม โดยสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 2 มีค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.16 พีพีเอ็ม ส่วนสารดับ

พลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 และ 3 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 พีพีเอ็มและ 0.20 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่วนสารดับเพลิงชุดควบคุมได้แก่ สารดับเพลิงโปรตีนสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์จำหน่ายตามท้องตลาด มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.26 พีพีเอ็มและ 0.21 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง

สูตรและอัตราส่วนร้อยละของแต่ละสูตร (โปรตีน: สารเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง: น้ำ:ไมโครสังกะสีออกไซด์	**ปริมาณก๊าซ CO (พีพีเอ็ม)**							**ปริมาณก๊าซ CO เฉลี่ย (พีพีเอ็ม)**
	ซ้ำที่ 1	**ซ้ำที่ 2**	**ซ้ำที่ 3**	**ซ้ำที่ 4**	**ซ้ำที่ 5**	**ซ้ำที่ 6**	**ซ้ำที่ 7**	
1 (80:5:10:5)	0.47	0.34	0.1	0.11	0.31	0.17	0.12	0.23±0.14
2 (80:5:5:10)	0.04	0.13	0.1	0.2	0.2	0.21	0.23	0.16±0.07
3 (80:5:0:15)	0.02	0.15	0.18	0.28	0.2	0.32	0.2	.20±0.74
สารดับเพลิงโปรตีนสูตรเดิม (85:15)	0.06	0.04	0.32	0.51	0.38	0.42	0.1	0.10.26±0.19
โฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาด	0.12	0.26	0.28	0.09	0.16	0.36	0.18	0.21±0.96
F-Value								NS
C.V.(%)								14.28

NS ไม่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง

ผลการเปรียบเทียบปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการดับเพลิงในแบบจำลองโปนตีนแต่ละประเภท (สูตรที่ 1 2 และ 3) ภาคสนามของสารดับเพลิงโดยการ

วิเคราะห์หาความแปรปรวนของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน พบว่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราทั้ง3 สูตร และสารดับเพลิงชุดควบคุมนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 4.3) โดยมีค่าความเข้มข้นออกไซด์ของไนโตรเจนเฉลี่ยระหว่าง 16.67 ± 2.45 ถึง 17.41 ± 2.69 พีพีเอ็มส่วนสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 16.82 พีพีเอ็มส่วนสารดับพลิงประเภทโปรตีน สูตรที่ 2 และ 3 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 17.41 พีพีเอ็ม และ 17.21 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ขณะที่สารดับเพลิงชุดควบคุมได้แก่ สารดับเพลิงโปรตีนสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์จำหน่ายตามท้องตลาด มีค่าความเข้มข้นออกไซด์ของไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 17.41 พีพีเอ็ม และ 16.67 พีพีเอ็มตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิง

สูตรและอัตราส่วนร้อยละของแต่ละสูตร(โปรตีน: สารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง: น้ำ:ไมโครสังกะสีออกไซด์	**ปริมาณก๊าซ NOx (พีพีเอ็ม)**							**ปริมาณก๊าซ NOx เฉลี่ย (พีพีเอ็ม)**
	ซ้ำที่ 1	**ซ้ำที่ 2**	**ซ้ำที่ 3**	**ซ้ำที่ 4**	**ซ้ำที่ 5**	**ซ้ำที่ 6**	**ซ้ำที่ 7**	
1 (80:5:10:5)	18.8	13.5	16	18	18.7	12.7	20.11	6.82±2.83
2 (80:5:5:10)	19.4	15.9	17.4	16.4	22.4	16.1	14.31	7.41±2.69
3 (80:5:0:15)	22.1	14.2	23.3	10.5	18.8	16.5	15.11	7.21±4.51
สารดับเพลิงโปรตีนสูตรเดิม (85:15)	22.6	10.3	20.4	19	18.4	11.8	19.41	7.41±4.57
โฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาด	15.7	12.9	18	19.3	16.7	19.5	14.6	16.67±2.45
F-Value								NS
C.V.(%)								1.98

NS มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต้นทุนของการผลิตสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา โดยการวิเคราะห์ต้นทุนจากราคาสารเคมี ก๊าซ อุปกรณ์อื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้จากการผลิตสารละลายโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา จากการพิจารณาตามผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ การผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารามีจุดคุ้มทุนสูงกว่าการผลิตสารดับเพลิงประเภทเคมีเปียกที่จำหน่ายในท้องตลาดต่อหน่วยการผลิตถึง 1.23 เท่า ดังนั้นสารดับเพลิงประเภทโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นสารดับเพลิงในเชิงพาณิชย์ โดยการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา มีรายละเอียดดังนี้

วัตถุดิบ (สถาบันวิจัยยาง, 2557)

1. เมล็ดยางพารา 1 กิโลกรัม		3	บาท
2. แก๊สไนตรัสออกไซด์		26	บาท
3. กระบอกอัดอลูมิเนียม		1,600	บาท
รวมทั้งสิ้น		1,630	บาท
คิดยอดขาย	2,800 – 1,630	= 1,170	บาท
กำไรสุทธิต่อชิ้น		= 1,170	บาท/หน่วย

ต้นทุนวัตถุของน้ำยาโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ยอดขาย 10,000 หน่วย หน่วยละ 2,800 บาท

ต้นทุนการผลิต

วัตถุดิบ	1,630	บาท/หน่วย
ค่าแรงทางตรง	100	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายการผลิตผันแปร	70	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายการผลิตคงที่	100,000	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริการ		
ค่าใช้จ่ายผันแปร	50	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายคงที่	150,000	บาท/หน่วย

แสดงการคำนวณหากำไรส่วนเกินในลักษณะต่างๆ ดังนี้

กำไรส่วนเกินต่อหน่วย = ราคาขายต่อหน่วย – ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย

= 2,800 – 1,857

= 943 บาท/หน่วย

กำไรส่วนเกิน = ยอดขาย – ต้นทุนผันแปรรวม

= (10,000 – 2,800) – (10,000 – 1,857)

= 9,430,000 บาท

อัตรากำไรส่วนเกิน

ใช้ยอดขายและต้นทุนผันแปรรวม = $\frac{\text{ยอดขาย – ต้นทุนผันแปรรวม}}{\text{ยอดขาย}}$

= $\frac{28,000,000 – 18,570,000}{28,000,000}$

= 0.33 หรือ ร้อยละ 33

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

กำไรส่วนเกินต่อหน่วย = 2,800 – 1,857

= 943 บาท/หน่วย

ต้นทุนคงที่งาน = 330,000 บาท

จุดค้มทุน (หน่วย) = $\frac{\text{ต้นทุนคงที่งาน}}{\text{กำไรส่วนเกินต่อหน่วย}}$

= $\frac{330,000}{943}$

= 350

จุดคุ้มทุนจากยอดขาย = จำนวนหน่วยที่ขาย (ณ จุดคุ้มทุน) – ราขายต่อหน่วย

= 350 หน่วย – 2,800 บาท/หน่วย

= 980,000 บาท

การเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนของโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

	ราคาขาย	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาท)
สารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ (1,000 ชิ้น)	3,950	3,000
สารดับเพลิงโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา (1,000 ชิ้น)	2,800	1,630

หากำไรส่วนเกิน

	สารดับเพลิงประเภทโฟม	สารดับเพลิงโปรตีน
ราคาขาย	3,950	2,800
ต้นทุนผันแปร	3,000	1,630
กำไรส่วนเกิน	950	1,170

ดังนั้นกำไรส่วนเกินเฉลี่ย = 950 : 1,170

จุดคุ้มทุนต่ออัตราส่วนการขาย

จุดคุ้มทุนสารดับเพลิงประเภทโฟม = $\frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{กำไรส่วนเกิน}}$

$= \frac{330,000}{950}$

= 347.36 หน่วย

จุดคุ้มทุนสารดับเพลิงโปรตีน = $\frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{กำไรส่วนเกิน}}$

$= \frac{330,000}{1,170}$

= 282.50 หน่วย

= 347.36 หน่วย

283.50 หน่วย

จุดคุ้มทุน = 1.23

ดังนั้นสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารามีจุดคุ้มทุนกว่าสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ ถึง 1.23 เท่า

การวิเคราะห์อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio)

อัตราค่าความคุ้มทุนในการดำเนินงาน (B/C Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างผลรวม มูลค่าปัจจุบันของความคุ้มทุน กับผลรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุของงานวิจัย เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกลงทุนในงานวิจัย ก็คือ B/C Ratio จะต้องมีค่า มากกว่าหรืออย่างน้อยที่สุดต้องมีค่าเท่ากับ 1 (B/C ≥ 1) เนื่องจากถ้า B/C >1 หมายความว่าค่าความคุ้มทุนที่ได้รับจากงานวิจัยมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป หรือถ้า B/C = 1 หมายความว่าความคุ้มทุนที่ได้รับจากงานวิจัยมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียไปพอดี อัตราส่วนของความคุ้มทุนต่อต้นทุนนี้ในทางธุรกิจเรียกว่า ดัชนีผลกำไร (Profitability Index: PI) ซึ่งมีวิธีการคำนวณโดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{B/C (ratio)} = \frac{PV_b}{PV_c}$$

$$= \frac{9{,}5000.000}{251{,}850}$$

$$= 37.7 \text{ หน่วย}$$

ดังนั้นสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารามีอัตราส่วนของความคุ้มทุนต่อต้นทุนเท่ากับ 37.7 หน่วย จะเห็นว่าค่า B/C (ratio) >1 แสดงว่าความคุ้มทุนที่ได้รับจากงานวิจัยมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยนำกากเนื้อในเมล็ดยางพารามาสกัดโปรตีนเพื่อผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์เพื่อลดแรงตึงผิว โดยนำกากเนื้อเมล็ดยางพาราที่บดละเอียดมาสกัดโปรตีนและวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ไปผสมกับ สารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง น้ำและไมโครสังกะสีออกไซด์ในอัตราที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการดับเพลิงประเภทน้ำมันโดยพัฒนาสารดับเพลิงขึ้น 3 สูตร นำมาทดสอบประสิทธิภาพในการดับเพลิง ตลอดจนวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งเป็นก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของการดับเพลิง เปรียบเทียบกับสารดับเพลิงชุดควบคุมได้แก่ สารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์และสารดับเพลงประเภทโฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาด

ผลการทดสอบวัดขนาดของฟองโฟมโดยนำสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 สูตร และสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ พบว่าสารละลายโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราสามารถรวมตัวกับสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างและไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ได้ดี มีความหนาแน่นของฟองโฟมเฉลี่ย 12 มิลลิเมตร และลักษณะฟองโฟมมีความเหนียวแน่น คงสภาพได้ดี โฟมมีลักษณะละเอียด มีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนสูตรที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์มีความหนาแน่นของฟองโฟมเฉลี่ย 5 มิลลิเมตร ฟองโฟมมีลักษณะหยาบยุบตัวได้ง่ายและมีฟองอากาศขนาดใหญ่

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการดับเพลิงพบว่าระยะเวลาในการดับเพลิงมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ($p \leq 0.05$) โดยสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ (ชุดควบคุม) ตามลำดับ ซึ่งสามารถดับเพลิงได้ในระยะเวลาเพียง 16.43 วินาทีในขณะที่สารดับเพลิงในสูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสูตรที่เดิมไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์ (ชุดควบคุม) สามารถดับเพลิงได้ในระยะเวลา 23.86 วินาที 33 วินาที และ 53.58 วินาที ตามลำดับ ส่วนสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาดสามารถดับเพลิงได้เร็วกว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนทั้ง 3 สูตร โดยสามารถดับเพลิงได้เพียง 13.42 วินาที

การวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน ที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิงพบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน ในอากาศอยู่ในช่วงที่ไม่เกินมาตรฐาน ซึ่งกรมควบคุมมลพิษกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยไม่เกิน 30 พีพีเอ็มและออกไซด์ของไนโตรเจน มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยไม่เกิน 25 พีพีเอ็มเมื่อวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน ที่เกิดจากการดับเพลิงพบว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์มีปริมาณก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์สูงที่สุดเท่ากับ 0.26 พีพีเอ็มและสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราในสูตรที่ 2 มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยที่สุดเท่ากับ 0.16 พีพีเอ็มส่วนสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์มีปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน สูงสุดเท่ากับ 17.41 พีพีเอ็มและสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์มีปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน น้อยที่สุดเท่ากับ 16.67 พีพีเอ็มจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ที่เกิดจากการดับเพลิงของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าสารดับเพลิงโปรตีนที่ผลิตขึ้นทั้ง 3 สูตร มีแนวโน้มไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและส่งผลอันตรายต่อผู้ใช้งาน

ส่วนการวิเคราะห์ผลประโยชน์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการผลิตสารดับเพลิงประเภทโปรตีนมีจุดคุ้มทุนกว่าการผลิตของสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ที่จำหน่ายในท้องตลาด โดยการศึกษาพบว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 ซึ่ง(ลบ)มีอัตราส่วนสารละลายโปรตีนต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างต่อน้ำต่อไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นสารดับเพลิงในเชิงพาณิชย์ต่อไป

อภิปรายผล

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ตั้งแต่ขั้นตอนการสกัดโปรตีนจนกระทั่งการผลิตสารดับเพลิงโปรตีนพบว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้มีปริมาณเท่ากับ 4.06 มิลลิกรัมต่อมิลิลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าที่วรากรและสุทัศน์ ในปี พ.ศ.2556 ได้รายงานไว้ว่ากากเนื้อในเมล็ดยางพารามีโปรตีน 0.35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยวิธีการนำกากเนื้อในเมล็ดยางพาราไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ซึ่งเหตุผลที่โปรตีนจากการทดลองครั้งนี้มีปริมาณสูงกว่าอาจเกิดจากการอบทำให้โปรตีนโดนความร้อนทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพตามธรรมชาติ เมื่อนำไปวิเคราะห์โปรตีนจึงมีได้ปริมาณน้อย ซึ่งขณะที่การศึกษาของสุรีย์ เกิดผล และวิไล เทวกุล ณ อยุธยาในปี พ.ศ. 2514 ที่ได้ศึกษาวิธีการสกัดเอาน้ำโปรตีนออกจากผลิตภัณฑ์จากพืช โดยกรรมวิธีผ่านความร้อน แล้วสกัดเอาน้ำมันออกด้วยเครื่อง expellerc และผลิตภัณฑ์จากพืชที่สกัดโปรตีนโดยไม่ผ่านความร้อนสกัดน้ำมันออกด้วยเครื่อง hydraulic พบว่าโปรตีนที่สกัดผ่านความร้อนสกัดได้ปริมาณโปรตีนออกมาร้อยละ30 ส่วนโปรตีนที่สกัดโดยไม่ผ่านความร้อนได้ปริมาณโปรตีนออกมาร้อยละ76 สอดคล้องกับการศึกษาของ ณัชชา สุพิชญางกูร ในปี พ.ศ.2545 ที่ว่า อุณหภูมิในการสกัดโปรตีนส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน โดยโปรตีนเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสูญเสียสภาพตามธรรมชาติ (denature) ซึ่งอาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่บางประการ ดังนั้นในขั้นตอนในการสกัดโปรตีนจึงมีส่วนที่ทำให้โปรตีนจากพืชถูกทำลาย ได้แก่ สภาวะในกระบวนการสกัด วิธีการกำจัดไขมันชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและการอบแห้ง นอกจากนี้ปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อโปรตีนสูญเสียสภาพในขั้นตอนการผลิตโปรตีน ได้แก่ ความร้อน การอบแห้ง โดยการศึกษาของ Vojdani ในปี ค.ศ.1996 พบว่าโปรตีนจะมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มสูงกว่านี้ โปรตีนจะเกิดการสูญเสียสภาพตามธรรมชาติ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลต่อพันธะที่เป็นนอนโคเวเลนต์ (non-covalent) ซึ่งเป็นพันธะที่ยึดโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยใน

ครั้งนี้ เนื่องจากวิธีการสกัดโปรตีนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดออกมาได้มีปริมาณมาก

การทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาโดยเติมไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ทั้ง 3 สูตร (สูตรที่ 1 2 และ 3) กับสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์และสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ที่จำหน่ายในท้องตลาด (ชุดควบคุม) โดยทำการทดสอบการดับเพลิงแบบจำลองภาคสนามโดยการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดับเพลิง พบว่าสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนที่จำหน่ายในท้องตลาดสามารถดับเพลิงได้เร็วกว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนทั้ง 3 สูตรและสารดับเพลิงโปรตีนไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์ (ชุดควบคุม) โดยสารดับเพลิงประเภทโฟมโปรตีนสังเคราะห์ที่จำหน่ายในท้องตลาดสามารถดับเพลิงได้ระยะเวลา 13.42 วินาทีและสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 สามารถดับเพลิงได้ในระยะเวลา 16.43 วินาทีเมื่อพิจารณาเฉพาะสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 สูตร จะเห็นได้ว่าสารดับเพลิงสูตรที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสูตรเดิมที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ (ชุดควบคุม) โดยสารดับเพลิงในสูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสูตรที่เดิมไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์(ชุดควบคุม) สามารถดับเพลิงได้ในระยะเวลา 23.86 วินาที 33 วินาที และ 53.58 วินาที นอกจากนี้ยังพบว่า สารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 มีลักษณะการเกิดฟองที่มีความเหนียวแน่น โฟมคงสภาพของอยู่ได้นาน มีการขยายตัวปกคลุมผิวหน้าเชื้อเพลิงได้อย่างทั่วถึงจึงแยกชั้นเชื้อเพลิงออกจากออกซิเจนทำให้ไอเชื้อเพลิงไม่เกิดการลุกไหม้เป็นไฟได้อีกและเร็วกว่าสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากยางพาราที่ไม่ใส่ไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้ จะพบว่าสารดับเพลิงโปรตีนสูตรที่ 1 จะมีระยะเวลาในการดับเพลิงสูงสุด (ใช้เวลาสั้นที่สุด) โดยเหตุผลที่ว่าโฟมโปรตีนในสูตรที่ 1 มีความละเอียดและมีความคงตัวสูง จึงทำให้เกิดการเกาะกันเป็นแพคลุมหน้าพื้นผิวน้ำมันได้อย่างแข็งแรง ขณะที่สูตรที่ 2 และ3 จะมีลักษณะของโฟมที่มีความละเอียดน้อยกว่าสูตรที่ 1 จึงทำให้การคลุมพื้นผิวน้ำมันไม่มีประสิทิภาพเท่ากับสูตรที่ 1 อีกทั้งการที่สูตรที่ 1 มีขนาดโฟมละเอียดจะทำให้สามารถกักออกซิเจนบริเวณพื้นผิวน้ำมันได้ดีทำให้ ไฟไม่เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ลุกไหม้ต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับ Lawal OS, Adebowale KO, Adebowale YA (2007) ที่อธิบายคุณสมบัติโปรตีนโฟมที่ดีต้องมีเนื้อละเอียด จึงทำให้เกาะกันได้ดี

การวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิงของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนทั้ง 3 สูตรอยู่ในช่วงความเข้มข้นเฉลี่ย 0.16 - 0.23 พีพีเอ็มส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิงชุดควบคุมได้แก่สารดับเพลิงโปรตีนที่ไม่ใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์ และสารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 - 0.26 พีพีเอ็มซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศอยู่ในช่วงที่ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งกำหนดให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยไม่เกิน 30 พีพีเอ็ม (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ดังนั้นการดับเพลิงโดยใช้สารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ผลิตขึ้นจึงไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน

การวิเคราะห์ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนพบว่าปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิงภาคสนามของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนทั้ง 3 สูตร และสารดับเพลิงชุดควบคุม มี

ความใกล้เคียงกัน เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตมีการใช้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ เพื่อช่วยในการขับสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในปริมาณที่เท่ากันทั้ง 3 สูตร ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในการดับเพลิงของสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 1 มีค่าความเข้มข้นออกไซด์ของไนโตรเจนเท่ากับ 16.82 พีพีเอ็มสารดับเพลิงประเภทโปรตีนในสูตรที่ 2 และ 3 มีค่าความเข้มข้นออกไซด์ของไนโตรเจน17.41 และ 17.21 พีพีเอ็มในขณะที่สารดับเพลิงประเภทโฟมสังเคราะห์ตามท้องตลาดมีค่าความเข้มข้นก๊าซ ออกไซด์ของไนโตรเจนเท่ากับ 16.67 พีพีเอ็มจะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการดับเพลิงของสารดับเพลิงประเภทโปรตีน มีค่าไม่เกินมาตรฐานของควบคุมมลพิษซึ่งกำหนดให้ค่าไม่เกิน 25 พีพีเอ็ม (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ดังนั้นการนำสารดับเพลิงประเภทโปรตีนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของผู้ใช้งานอีกด้วย

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ผลประโยชน์ต้นทุน โดยการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์พบว่าสารดับเพลิงประเภทโปรตีนมีจุดคุ้มทุนกว่าสารดับเพลิงประเภทโฟมที่จำหน่ายตามท้องตลาดถึง 1.23 เท่า และผลการคำนวณอัตราส่วนของค่าความคุ้มทุนต้นทุนมีค่าเท่ากับ 37.7 หน่วย จะเห็นว่าค่า B/C (ratio) >1 แสดงว่าค่าความคุ้มทุนที่ได้รับจากการวิจัยมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไปจากการศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่า สารดับเพลิงประเภทโปรตีนสูตรที่ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนสารละลายโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา ต่อสารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง ต่อสารละลายไมโครไนซ์ซิงค์ออกไซด์ ในอัตราส่วน 80:5:10:5 ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการผลิตสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากพืช นอกจากนี้สารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่พัฒนาขึ้นโดยใส่ไมโครสังกะสีออกไซด์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซได้จริง มีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาผลิตเป็นสารดับเพลิงในเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

นำสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราไปผลิตในเชิงพาณิชย์เพื่อดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซ (คลาส บี)

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาสารลดแรงตึงผิวประเภทและสารเร่งปฏิกิริยาอื่นเพิ่มเติมที่ใช้กับสารดับเพลิงประเภทโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

2. ควรมีการศึกษาการใช้โปรตีนจากพืชชนิดอื่นที่มีปริมาณโปรตีนสูงในการผลิตสารดับเพลิงโปรตีน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

กำชัย ตันติพงศ์. (2544) *.การใช้เนื้อในเมล็ดยางพาราเสริมด้วยกรดแอมิโนแทนถั่วเหลืองไขมันสูงและกากถั่วเหลืองในอาหารสุกร (15–60 กิโลกรัม)*. รายงานปัญหาพิเศษระดับ บัณฑิตศึกษา. ภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กำชัย ตันติพงศ์ และยุทธนา ศิริวัธนนุกูล. (2545). *คุณค่าทางอาหารและการลดกรดไฮโดรไซยานิกในเนื้อในเมล็ดยางพารา.* วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 33 ฉบับที่ 6 (พิเศษ) เดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2545.

กานต์ คำโตนด. (2555). *ก๊าซไนตรัสออกไซด์* (Nitrous Oxide*).* 25 กรกฎาคม 2556. http://www.summacheeva.org/index thaitox nitrous oxide.html.

กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.) *ไนโตรเจนออกไซด์.* 27 กันยายน 2556. http://hpe4.anamai.moph.go.th/hia/nox.php

กระทรวงอุตสาหกรรม. (2537). *กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องดับเพลิงยกหิ้วชนิดผงเคมีแห้ง.*

ควบคุมมลพิษ, กรม. (2551). *มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป.* 30 กันยายน 2556. http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html.

จุฑารัตน์ พรหมพฤกษ์. (2550). *ผลของการใช้เนื้อในเมล็ดยางพาราทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากในสุกรขุน (25 – 95 กิโลกรัม).* ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชายชาติ ไทยกล้า. (2556). *สารพิษที่อยู่ในควันไฟขณะเกิดการเผาไหม้.* 30 กรกฎาคม 2556. http//www.thaifire.com(สถาบันฝึกดับเพลิงและกู้ภัยชั้นสูง)

ชุติมา ลิ้มมัทวาภิรัติ์. (2555). *ตะกั่วในไข่เหยี่ยวม้า.*ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ณัชชา สุพิชญางกูร. (2545). *การสกัดและการศึกษาคุณลักษณะของโปรตีนจากโอคารา.* วิทยานิพนธปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.

นพภาพร พานิช และแสงสันติ์พานิช. (2550). *ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ.* พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : กรมโรงงานอุตสาหกรรมศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิรนาม สุดคุ้ม. (2009). จุดคุ้มทุน. 10 กันยายน 2556. http: //www.logisticafe.com/2009/09.

นิรนาม สุดคุ้ม. (2553). มลพิษของไนโตรเจน. 13 มกราคม 2557. http://www.sunflowercosmos.org.

นิปปอนเคมิคอล. (2557). ราคาสารดับเพลิง. 19 เมษายน 2557. http: //www.nippon.co.th.

ปิ่น จันจุฬา. (2551). *การใช้ประโยชน์ของเนื้อในเมล็ดยางพาราและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน เพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารแพะ.* คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ประชาสันติ ไตรย์สุทธิ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, พิสิษ เตชะรุ่งไพศาล, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์, และอิทธิพล วงพันธ์. (2550). *การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยวิธีทราน เอสเทอร์ริฟิเคชั่นแบบ 2 ขั้นตอน.*ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 วันที่ 17-19 ตุลาคม พ.ศ. 2550. ชลบุรี.

ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, กรม. (2557). *สถิติการเกิดเพลิงไหม้ในประเทศไทยปี 2556*. ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย

ไทย ไชยภักดี, ทวี บรรพตาธิ และธนากร ศรีอ่อน. (2534). *กากเมล็ดยางพารา.* 30 กรกฎาคม 2556. http//www.agri.ubu.ac.th/kanjana/1203321/Data/para.doc

พรรณวดี วิถีสำราญธรรม. (2540). *การสกัดโปรตีนเข้มข้นจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษและการปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนที่ได้โดยการเสริมด้วยโปรตีนเข้มข้นจากเมล็ดงาและถั่วเหลือง.* ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรประภา ขันธนัส. (2546). *ผลของยีสต์และผงฟูต่อการขึ้นฟูของโซดาละเปา.* สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร. ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มาลินี ลิ้มโภคา. (2523). *พิษวิทยาและการวินิจฉัยโรคทางสัตวศาสตร์.* โรงพิมพ์จรัลสนิทวงศ์. กรุงเทพมหานคร.

มาริษา ภู่ภิญโญกุล. (2547). *ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.* สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. 10 กันยายน 2556. http://aqnis.pcd.go.th/node

โยธาธิการและผังเมือง, กรม. (2551). .มาตรฐานระบบดับเพลิงด้วยสารเคมีเปียก. กระทรวงมหาดไทย. หน้า4 - 10.

เลี้ยง หุยประเสริฐ. (2550). *การตายจากไฟและความร้อน.* สถาบันนิติเวชวิทยา โรงพยาบาลตำรวจ.

วริษฐา สุขย้อย. (2554). *สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพาราเพื่อการผลิตผลิตไบโอดีเซล.* สัมนาวิชาการ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

วิชาการเกษตร, กรม. (2555). *สถิติยางพารา.* สถาบันวิจัยยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิสาขา ภู่จินดา. (2548). *การใช้ประโยชน์สารลดแรงตึงผิวในการบ้าบัดน้ำเสีย.* วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2548 สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ศริศักดิ์ สุนทรไชย. (2556). *โฟมดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพ.*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ศิริศักดิ์ โกศลคุณาภรณ์, กษิดิศ อื้อเชียวชาญกิจ และสินชัย พารักษา. (2531). ผลของการใช้กากเนื้อในเมล็ดยางพารา เสริมกรดแอมิโนสังเคราะห์ทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารสุกรรุ่นและขุน. ในรายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 27 วิทยาลัย

เกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.วันที่ 30 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532.

ศุภชาติ ศรีตะเขต. (2553). *การพัฒนาสารดับเพลิงจากน้ำยางกล้วยน้ำว้า.* 19 สิงหาคม 2556. http:www.bangkokbiznews.com/home/detail/it สารดับเพลิงสูตรยางกล้วย น้ำว้า.html

สุทัศน์ ศรีศิริ และวรากร สุวรรณไตรย์. (2556). *การพัฒนาสารดับเพลิงเพื่อใช้ในการดับเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซ(class B)โดยใช้โปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา.* คณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

สถาบันวิจัยงาน กรมวิชาการเกษตร. (2557). *ราคาประมูลยาง*. 11 มกราคม 2557. http://www.rubberthai.com/rubberthai/.

สุรัตน์ ชวนรำลึก. (2528). *การศึกษาคุณค่าทางโภชนะของกากเมล็ดยางพาราในไก่กระทงและนกกระทาญี่ปุ่น.* วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุปราณี มนูรักษ์ชินากร, วิสาขะ อนันธวัช และทนง เอี่ยวศิริ. (2553). โปรตีนในอาหาร. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

สุรีย์ เกิดผลและวิไล เทวกุล ณ อยุธยา. (2514). *กากมะพร้าวและการสกัดโปรตีน*. รายงานการประชุมทางวิชาการเกษตรศาสตร์และชีววิทยา ครั้งที่ 10 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2514

สวัสดิการและคุมครองแรงงาน, กรม. (2544). *ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้.* กรุงเทพมหานคร: กองตรวจความปลอดภัย.

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (2548). *ยางพารา.* กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศริศักดิ์ สุนทรไชย. (2556). โฟมดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

อรสา ภัทรไพบูรณ์ชัย . (2554). *การเตรียมและใช้งานซิงค์ออกไซด์นาโนในยางธรรมชาติ.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บรรณานุกรมภาษาอังกฤษ

A Foam Concentrate Manufacture,USA. (2008). Basic knowledge of fire fighting. [Online]. Available:http//www.safetylifethailand.com [2013, July 20].

Chabanon, G., Chevalot, I., Framboisier, X., Chenu, S., & Marc, I. (2007). *Hydrolysis of rapeseed protein isolates: kinetics, characterizationand functional properties of hydrolysates*. Process Biochemistry, 42(10), 1419-1428. http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2007.07.009

Cherry, J. P. and McWaters, K. H. (1981). Whippability and aeration. ACS Symp. Ser. 147:149.

Environmental Protection Agency. (2010). *Carbon Monoxide*. [Online]. Available : http://www.epa.gov/iaq/co.html [2013, August 22].

Klompong, V., Benjakul, S., Kantachote, D., & Shahidi, F. (2007). *Antioxidativeactivity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally(Selaroides leptolepis) as influenced by the degree of hydrolysis andenzyme type*. Food Chemistry, 102, 1317e1327.

Lawal OS, Adebowale KO, Adebowale YA. (2007). *Functional propertiesof native and chemically modified protein concentrates from Bambara 90 Afr.* J. Food Sci.groundnut. Food Res. Int., 40: 1003-1011.

NIOSH Manual of Analytical Method (NMAM), *Zinc Oxide: Method 7502***.** (1994).

Vojdani, F. (1996). *Solubility. In: Method of Testing Protein Functionality* . G. M. Hall (ed.). Blackle Academic & Professional, London

Wilde, P. J. and Clark, D. C. (1996). *Method of testing protein functionality*. G. M. Hall (ed.). Blackle Academic & Professional, London

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วัตถุดิบ ขั้นตอนในการสกัดโปรตีนและการทดสอบสารดับเพลิง

ภาคผนวก ก ภาพวัตถุดิบ ขั้นตอนในการสกัดโปรตีนและการทดสอบสารดับเพลิง

ภาพที่ ก-1 กากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่กระเทาะเปลือกออก

ภาพที่ ก-2 การบดกากเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยโกร่งบดสาร

ภาพที่ ก–3 การละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ภาพที่ ก–4 การกวนสารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยเครื่องกวนสาร

ภาพที่ ก–5 สารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพาราในหลอดเซ็นติฟิว (Centrifuge Tube)

ภาพที่ ก–6 การปั่นหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ภาพที่ ก–7 โปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ภาพที่ ก–8 การเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน

ภาพที่ ก–9 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน

ภาพที่ ก–10 การวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ด้วยเครื่อง CO Analyzer

ภาพที่ ก–11 วิเคราะห์ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนด้วยเครื่อง NOx Analyzer

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีแบรดฟอร์ด (Bradford method)

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีแบรดฟอร์ด (Bradford method)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV Spectrophotometer)
2. ออโต้ปิเปตต์ (Auto Pipette)
3.หลอดคิวเวต

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน bovine serum albumin (BSA)

เตรียมโดยชั่ง BSA 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 50 มิลลิลิตร (solution)

1.Bradford stocksolution

1) เอทานอลร้อยละ 95 (ethanol;Merck, Darmstadt, Germany) 100 มิลลิลิตร

2) กรดฟอสฟอริกร้อยละ 86 (phosphoric acid; J.T. BakerU.S.A) 200 มิลลิลิตร

3) coomassie Brilliant Blue G 250 350 มิลลิกรัม ละลายในกรดฟอสฟอริก เติมเอทานอล เก็บในขวดสีชาอุณหภูมิห้อง (27±3 องศาเซลเซียส)

1.Bradfordworking buffer (BWB)

1) เอทานอลร้อยละ 95 (ethanol;Merck, Darmstadt, Germany) 15 มิลลิลิตร

2) กรดฟอสฟอริกร้อยละ 86 (phosphoric acid; J.T. Baker U.S.A) 30 มิลลิลิตร

3) Bradford stocksolution5 มิลลิลิตร

4) น้ำกลั่น (distilled water) 20 มิลลิลิตร

ผสมส่วนผสมให้เข้ากันกรองด้วยกระดาษเบอร์ 1 แล้วเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

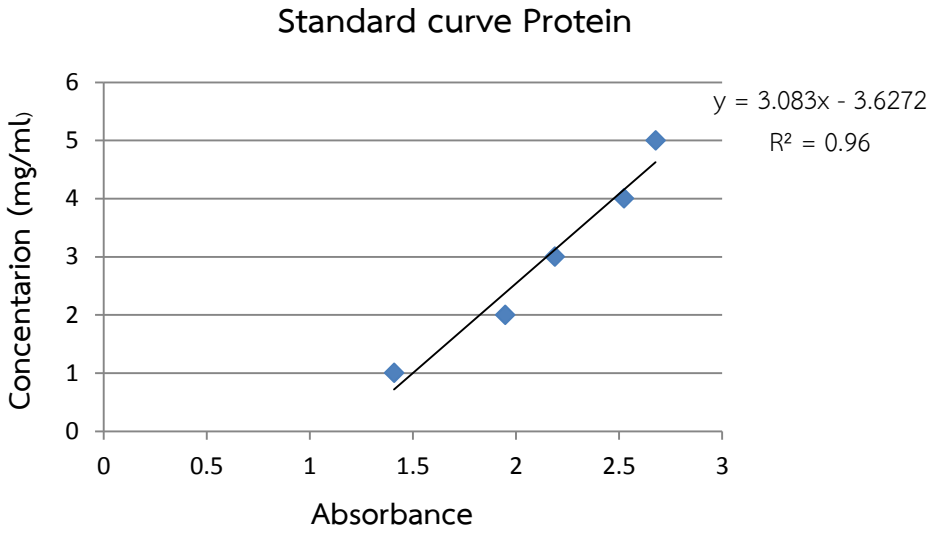
วิธีการทำกราฟมาตรฐาน

ทำกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลาย BSA

1. ดูดสารละลายBSA ใส่ในหลอดทดลองขนาดกลาง ปริมาตรดังนี้ 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับจากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ครบ 19 18 17 16 และ 15 ตามลำดับ

2. เตรียมสารละลาย BWB 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลื่นแสงที่ 595 นาโนเมตร กับความเข้มข้นของสารละลาย BSA



ภาพที่ ข-1 ตัวอย่างของกราฟมาตรฐาน BSA สำหรับการวิเคราะห์โปรตีนตามวิธีแบรดฟอร์ด

วิธีการวิเคราะห์

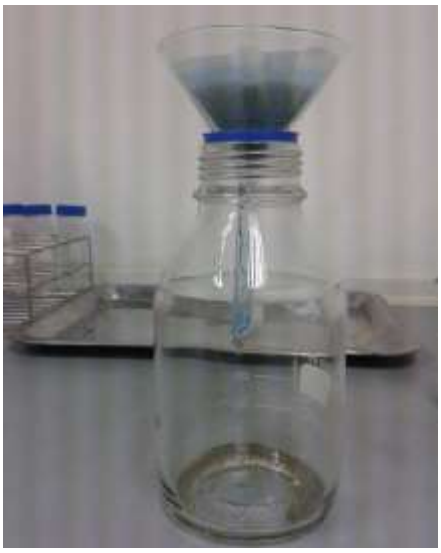
1. ดูดตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย BWB 5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ระหว่างค่าการดูดกลื่นแสงที่ 595 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนาณหาปริมาณโปรตีน

วิธีการคำนวณ

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน y = 0.3114X + 1.2154
เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้
0.3114 คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ
X คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณ
1.2154 คือ ค่าคงที่ของสมการ

การเจือจางความเข้มข้นของสารสกัดโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

กำหนดค่าความเข้มข้นเป็น 4.00 มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร และ0.35มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร
คำนวณจากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$
C_1 คือ ค่าความเข้มข้นที่วัดได้
V_1 คือ ปริมาณสารสกัดโปรตีนที่ใช้
C_1 คือ ค่าความเข้มข้นที่ต้องการ
V_2 คือ ปริมาณสารสกัดโปรตีนที่ดูดจากถังเก็บน้ำโปรตีน



ภาพที่ ข-2 การกรอง Protein assay dye reagent

ภาพที่ ข-3 การปิเปต Protein assay dye reagent

ภาพที่ ข-4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน BSA

ภาพที่ ข-5 การผสมสารละลาย

ภาคผนวก ค
การหาอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน

ภาคผนวก ค การหาอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน

อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนนี้ในทางธุรกิจเรียกว่า ดัชนีผลกำไร (Profitability Index: PI) ซึ่งมีวิธีการคานวณโดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

โดยกำหนดให้

PVb = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดของการทำวิจัย

PVc = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการทำวิจัย

ต้นทุนวัตถุของสารดับเพลิงโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ยอดขาย 10,000 หน่วย หน่วยละ 2,800 บาท

ต้นทุนการผลิต		
วัตถุดิบ	1,630	บาท/หน่วย
ค่าแรงทางตรง	100	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายการผลิตผันแปร	70	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายการผลิตคงที่	100,000	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริการ		
ค่าใช้จ่ายผันแปร	50	บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายคงที่	150,000	บาท/หน่วย
รวม	251,850	บาท

ผลตอบแทนทั้งหมด

ยอดขาย 10,000 หน่วย หน่วยละ 2,800 บาท – ต้นทุนต่อหน่วย 1,850

รวม = 9,5000.000 บาท

มีวิธีการคำนวณโดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$B/C\ (ratio) = \frac{PV_b}{PV_c}$$

$$= \frac{9,5000.000}{251,850}$$

= 37.7 หน่วย

ดังนั้นสารดับเพลิงประเภทโปรตีนสกัดจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารามีอัตราส่วนของความคุ้มทุนต่อต้นทุนเท่ากับ 37.7 หน่วย จะเห็นว่าค่า B/C (ratio) >1 แสดงว่าความคุ้มทุนที่ได้รับจากงานวิจัยมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป

ประวัติผู้ทำวิจัย

ชื่อ	ดร. ณัฐบดี วิริยาวัฒน์
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2540 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และปีการศึกษา 2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ปีการศึกษา 2544 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเภสัชศาสตร์ชีวภาพ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2544 วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สหสาขาจุลชีววิทยาทางการแพทย์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่ง	อาจารย์ประจำหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

ชื่อ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชาติ สินวรณ์
สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2543 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปีการศึกษา 2547 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2556 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน บัณฑิตวิทยาลัย
ตำแหน่ง	อาจารย์ประจำหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต