Scan

แนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย

นายธวัชชัย แซ่ด่าน

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2550

Guidelines for the Recycle of Grease and Oil in Wastewater from Chicken Slaughterhouse in Thailand

Mr. Thawatchai Sae-dan

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Public Health in Industrial Environment Management

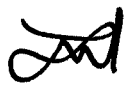
School of Health Science

Sukhothai Thammathirat Open University

2007

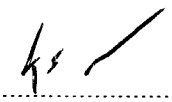
หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	แนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย
ชื่อและนามสกุล	นายธวัชชัย แซ่ด่าน
แขนงวิชา	สาธารณสุขศาสตร์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว



..... ประธานกรรมการ

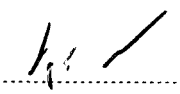
(รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ อนุมัติให้รับการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช



.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)

ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

วันที่ 2 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2551

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ แนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย

ผู้ศึกษา นายธวัชชัย แซ่ด่าน **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี **ปีการศึกษา** 2550

บทคัดย่อ

โรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทยมีการผลิตไก่ประมาณ 2,330,409 ตัวต่อวัน พบว่ามีปริมาณไขมันและน้ำมันซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตประมาณ 36.4 ตันต่อวัน และในจำนวนนี้ส่วนหนึ่งถูกพาออกมากับน้ำในระบบการล้างและน้ำทิ้งสูงถึงประมาณ 18.2 ตันต่อวัน ไขมันและน้ำมันเหล่านี้เมื่อปนเปื้อนมากับน้ำทำให้เกิดการเน่าเสียและมีกลิ่นน่ารังเกียจ รวมทั้งเป็นปัจจัยที่รบกวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทุกชนิด ด้วยคุณสมบัติของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมีความใกล้เคียงกับน้ำมันไก่ ซึ่งมีศักยภาพและมีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปริมาณและองค์ประกอบของไขมันและน้ำมันในน้ำล้างรวมทั้งข้อมูลที่เป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย จากการตรวจสอบเอกสารต่างๆ สรุปได้ว่าไขมันและน้ำมันสามารถแยกออกจากน้ำล้างได้โดยระบบบ่อดักไขมันและระบบดาฟ (Dissolved air flotation, DAF) จากนั้นรวบรวมมาทำความสะอาดด้วยวิธีเจียวเปียก และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายแนวทาง ได้แก่ ใช้ทำปุ๋ยหมัก อาหารสัตว์ เชื้อเพลิงอัดแท่ง สบู่แฟนซี เทียนแฟนซี และมีแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งสอดคล้องกับสภาวการณ์ปัจจุบันที่พลังงานขาดแคลนและราคาน้ำมันสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องคือ การทำไบโอดีเซล สำหรับการจะเลือกใช้แนวทางใดนั้นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ งบประมาณ สถานที่ วัตถุดิบ ปริมาณของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง และควรศึกษาภาคสนามหรือภาคปฏิบัติเพิ่มเติม ตลอดจนศึกษาวิเคราะห์ต้นทุน ค่าใช้จ่าย และรายรับของโครงการโดยละเอียด เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของการลงทุนและการกำหนดทิศทางการดำเนินงานในหน่วยงาน

คำสำคัญ อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด ไขมันและน้ำมัน น้ำล้าง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาค้นคว้าอิสระ ผู้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจ การแก้ไขข้อบกพร่อง จนรายงานการค้นคว้าอิสระฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ นักศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขณะเดียวกันต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพที่ได้ให้ความรู้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อนนักศึกษา และญาติพี่น้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณธงชัย ขนาบแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจและสนับสนุนส่งเสริมช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดมา

ท้ายนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้คงมีประโยชน์ต่อผู้อ่านบ้างไม่มากก็น้อย

ธวัชชัย แซ่ด่าน

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ 2

กรอบแนวคิดทางทฤษฎี 2

ประเภทของการศึกษาค้นคว้าอิสระ 2

ประเด็นปัญหาที่ศึกษา 3

ขอบเขตการศึกษา 3

รูปแบบและวิธีการศึกษา 3

คำจำกัดความ 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดและ
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

ไขมันและน้ำมัน 6

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย 29

อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดของไทย 34

บทที่ 3 แนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูป
เนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์ 50

การทำไบโอดีเซล 50

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง 73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การทำปุ๋ยหมัก 82
การทำอาหารสัตว์ 100
การทำเทียนแฟนซี 108
การทำสบู่แฟนซี 111
การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ 116
บทที่ 4 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 118
สรุปการวิจัย 118
อภิปรายผล 121
ข้อเสนอแนะ 122
บรรณานุกรม 123
ประวัติผู้ศึกษา 131

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าอุณหภูมิของจุดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ 13
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันไก่ น้ำมันเป็ด และน้ำมันหมู 18
ตารางที่ 2.3 ผลของกระบวนการที่ทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบในน้ำมัน 26
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างกับน้ำมันไก่ 41
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบกรดที่เป็นไขมันองค์ประกอบในน้ำมันไก่และน้ำมันที่ได้จากน้ำล้าง 42
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการเกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส แบบกรด และวิธี Supercritical methanol 59
ตารางที่ 3.2 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 (ไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์) 63
ตารางที่ 3.3 เทคโนโลยีกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 68
ตารางที่ 3.4 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล 73
ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบเชื้อเพลิงอัดแท่ง 77
ตารางที่ 3.6 รูปแบบการอัดแท่ง 79
ตารางที่ 3.7 ชนิดของวัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก 83
ตารางที่ 3.8 รูปแบบเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมัก 96
ตารางที่ 3.9 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตเทียนแฟนซี 111
ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างของไขมันและน้ำมันที่นำมาผลิตสบู่ได้ 112
ตารางที่ 3.11 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตสบู่แฟนซี 116

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 โครงร่างการศึกษา 4
ภาพที่ 2.1 กลีเซอริกสเตียเรต 6
ภาพที่ 2.2 ไตรเอซิลกลีเซอรอล 7
ภาพที่ 2.3 การจำแนกชนิดของลิปิด 8
ภาพที่ 2.4 สมการแสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน 14
ภาพที่ 2.5 สมการแสดงปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน 14
ภาพที่ 2.6 สมการแสดงปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอไรด์กับกรดไขมัน 15
ภาพที่ 2.7 สมการแสดงปฏิกิริยาการสลายด้วยแอลกอฮอล์ 15
ภาพที่ 2.8 สมการแสดงการเติมไฮโดรเจน 16
ภาพที่ 2.9 สมการแสดงการเติมฮาโลเจน 17
ภาพที่ 2.10 สรุปขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ 25
ภาพที่ 2.11 บ่อดักไขมัน 31
ภาพที่ 2.12 Air Flotation 32
ภาพที่ 2.13 DAF without recycle 33
ภาพที่ 2.14 DAF with recycle 34
ภาพที่ 2.15 แผนผังกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด 35
ภาพที่ 2.16 บ่อดักไขมันแบบ API Separator 45
ภาพที่ 2.17 กระบวนการบำบัดไขมัน 47
ภาพที่ 2.18 ขั้นตอนการทำความสะอาดไขมันและน้ำมัน 48
ภาพที่ 3.1 น้ำมันไบโอดีเซล 51
ภาพที่ 3.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 54
ภาพที่ 3.3 สมการแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 54
ภาพที่ 3.4 ผลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่อัตราส่วนต่างๆ ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 56
ภาพที่ 3.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 58
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง 71

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.7 เชื้อเพลิงอัดแท่ง 73
ภาพที่ 3.8 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวเดี่ยว 75
ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 80
ภาพที่ 3.10 การเปรียบเทียบรูปแบบเทคโนโลยีของการหมักปุ๋ย 86
ภาพที่ 3.11 รูปแบบการหมักปุ๋ยแบบกองพลิกกลับ 87
ภาพที่ 3.12 รูปแบบการหมักปุ๋ยแบบกองเติมอากาศ 87
ภาพที่ 3.13 รูปแบบการหมักปุ๋ยแบบระบบ In-vessel 88
ภาพที่ 3.14 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักแบบระบบ In-vessel 97
ภาพที่ 3.15 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักแบบกองเติมอากาศ 98
ภาพที่ 3.16 การขึ้นกองปุ๋ย 99
ภาพที่ 3.17 อาหารสัตว์อัดเม็ดสำเร็จรูป 104
ภาพที่ 3.18 ขั้นตอนกระบวนการผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ดสำเร็จรูป 105
ภาพที่ 3.19 เทียนแฟนซีแบบต่างๆ 108
ภาพที่ 3.20 ขั้นตอนการทำเทียนแฟนซี 109
ภาพที่ 3.21 ปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน 111
ภาพที่ 3.22 สบู่แฟนซีแบบต่างๆ 113
ภาพที่ 3.23 ขั้นตอนการทำสบู่แฟนซี 114
ภาพที่ 3.24 ขั้นตอนการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ 116

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการเจริญเติบโตของธุรกิจภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ อุตสาหกรรมการแปรรูปไก่สดถือเป็นธุรกิจอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่สำคัญของประเทศและมีบทบาทอย่างยิ่งในฐานะการเป็นครัวของโลก ทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายพันล้านบาท แต่ขณะเดียวกันก็ใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลืองและสร้างปัญหามลพิษ โดยเฉพาะปัญหาน้ำเสียและกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ด้วยความพร้อมในหลายๆ ด้านของประเทศไทย ทั้งทำเลที่ตั้ง สภาพภูมิอากาศ คุณภาพแรงงาน และวัฒนธรรมการบริโภคของคนในประเทศ จึงมีการเลี้ยงไก่ซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจปริมาณสูงถึงหลายล้านตัว เพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ถึงแม้ว่าในสภาวการณ์ปัจจุบันการส่งออกจะผันผวนและมีหลายปัจจัยเข้ามาควบคุมปริมาณการส่งออก แต่อย่างไรก็ตามโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปไก่ขนาดใหญ่ก็ยังมีปริมาณไก่เข้าสู่ระบบสูงกว่า 200,000 ตัวต่อวัน พบว่าปริมาณไขมันซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตสูงถึง 3.29 ตันต่อวัน และในจำนวนนี้ส่วนหนึ่งถูกพาออกมากับน้ำในระบบการล้างและน้ำทิ้งสูงถึง 1.63 ตันต่อวัน (ภูธร เรืองยิ่ง, 2548) ไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพ โมเลกุลค่อนข้างซับซ้อนกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่น เมื่อปนเปื้อนมากับน้ำทำให้เกิดการเน่าเสียและก่อให้เกิดมลพิษทางกลิ่นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยาก และมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ ทำให้ไปเคลือบที่ผิวของน้ำกั้นไม่ให้อากาศแพร่ลงสู่น้ำได้ รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ มากมาย เช่น ท่อน้ำอุดตันจากคราบไขมันที่เกาะผนังท่อทำให้น้ำไหลไม่สะดวก เกิดน้ำท่วม นอกจากนี้ไขมันและน้ำมันเมื่อหลุดเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ระบบทางชีวภาพล้มเหลว เนื่องจากไขมันและน้ำมันจะไปสะสมหุ้มตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) พยุงให้ตะกอนจุลินทรีย์ให้ลอยขึ้น เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัว หรือไปเคลือบผนังเซลล์จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ทำให้ไม่ได้รับอากาศและสารอาหาร จุลินทรีย์ในระบบตาย ส่งผลให้ระบบล้มเหลว จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการกำจัดไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด ก่อนจะปล่อยให้น้ำเสียปนเปื้อนไขมันเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพต่อไป

ไขมันและน้ำมันไก่จากน้ำล้างยังมีศักยภาพและมีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพียงพอต่อการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จึงเป็นทางเลือกที่ควรพิจารณาในการจัดการไขมันและน้ำมันไก่จากน้ำล้าง

ซึ่งเป็นของเสียอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดก่อนนำไปกำจัด การนำของเสียจากอุตสาหกรรมกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ก็เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวิธีการลดปริมาณของเสีย (Waste minimization) ที่เกิดขึ้น โดยนำมาหมุนเวียน (Recycle) ทำให้อยู่ในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ เพื่อการใช้ประโยชน์ใหม่

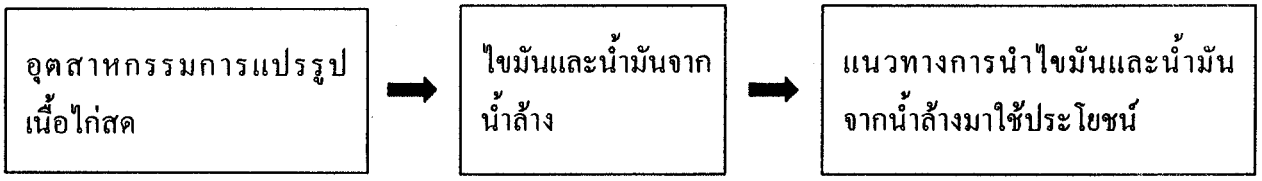
ดังนั้นการศึกษาอิสระนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างซึ่งเป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ และเพื่อแก้ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นจากไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.1 เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นขององค์ประกอบและปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

2.2 เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลแนวทางการใช้ประโยชน์จากไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

3. กรอบความคิดทางทฤษฎี



4. ประเภทของการศึกษาค้นคว้าอิสระ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นประเภทสังเคราะห์ทฤษฎีหรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสะอาด และการจัดการและการลดมลพิษทางน้ำ

5. ประเด็นปัญหาที่ศึกษา

5.1 องค์ประกอบของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด

5.2 ปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

5.3 การรวบรวมไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สด

5.4 แนวทางการใช้ประโยชน์ของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

6. ขอบเขตการศึกษา

6.1 ศึกษารวบรวมเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

6.2 ศึกษา รวบรวม วิเคราะห์และสังเคราะห์ทฤษฎีหรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณและแหล่งกำเนิดไขมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

6.3 ศึกษา รวบรวม วิเคราะห์และสังเคราะห์ทฤษฎีหรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ของไขมันจากน้ำล้างไก่ที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

7. รูปแบบและวิธีการศึกษา

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยค้นคว้าจากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยหลายแห่งทั้งของรัฐและเอกชน เอกสารทางวิชาการต่างๆ จากหน่วยงานราชการ และเว็บไซต์ ซึ่งจากข้อมูลที่ได้มาจากวิทยานิพนธ์ และเอกสารวิชาการต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ สามารถเขียนเป็นโครงร่างการศึกษาดังภาพที่ 1.1 และใช้เกณฑ์ในการศึกษา 4 ข้อ ดังนี้

7.1 ข้อมูลด้านองค์ประกอบของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด

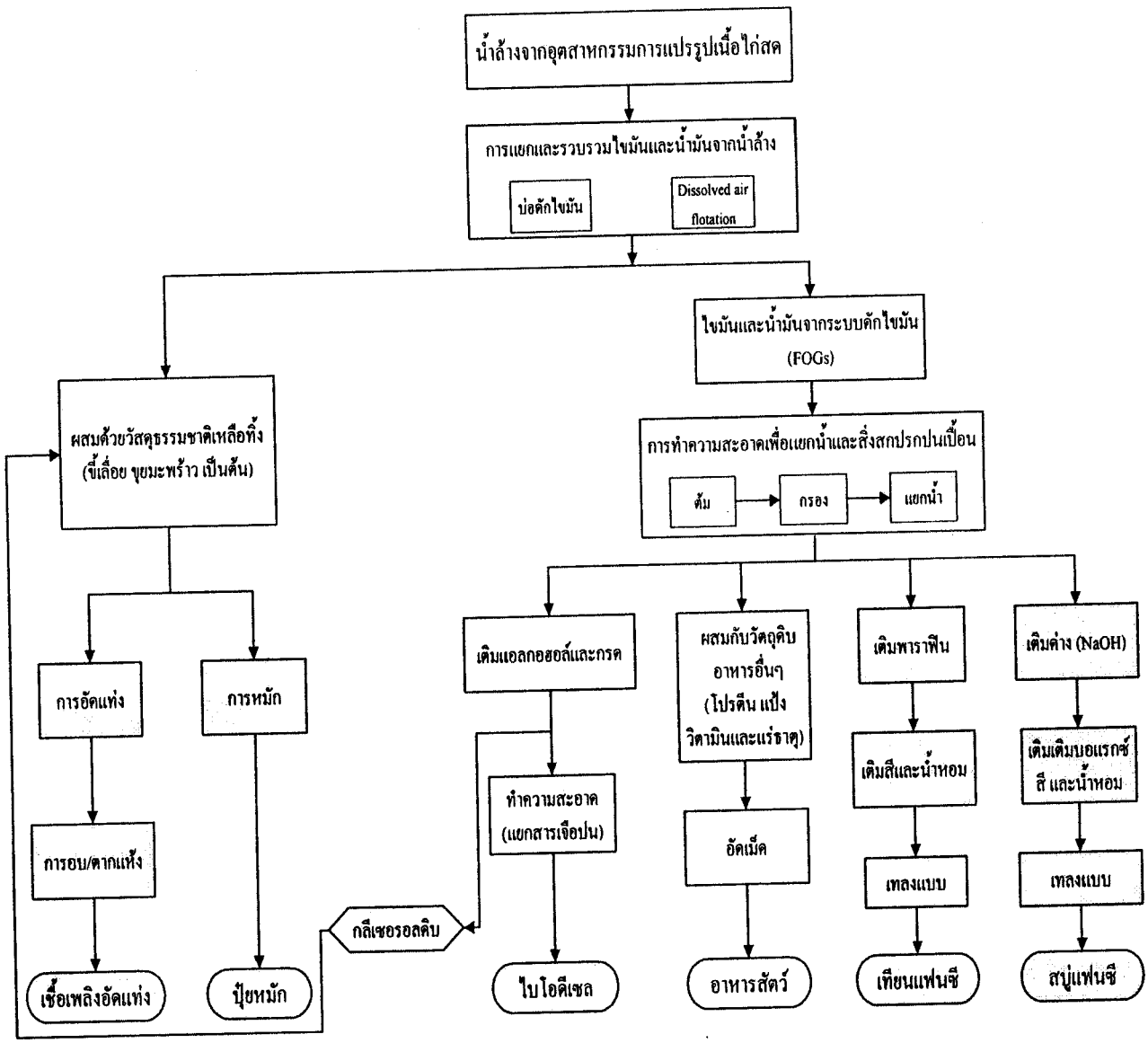
1) ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบด้านกายภาพและเคมีของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง แหล่งที่มาของข้อมูลคือ เอกสารสิ่งพิมพ์ทางวิชาการ และงานวิจัยต่างๆ

2) นำเสนอข้อมูลด้านองค์ประกอบของไขมันจากน้ำล้าง โดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตาราง

7.2 ข้อมูลด้านปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

1) ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลด้านปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

2) นำเสนอข้อมูลด้านปริมาณและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย โดยนำเสนอข้อมูลในเชิงตัวเลขและเป็นเปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1.1 โครงร่างการศึกษา

7.3 ข้อมูลด้านการแยก รวบรวม และการทำความสะอาดไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สด

1) ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลระบบการแยก รวบรวม และทำความสะอาดไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง โดยใช้เทคนิคต่างๆ แหล่งที่มาของข้อมูลคือ เอกสารและสิ่งพิมพ์ทางวิชาการและงานวิจัยต่างๆ

2) ประมวลผลและเรียบเรียงข้อมูล เพื่อนำเสนอระบบการแยก รวบรวม และทำความสะอาดไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง โดยใช้เทคนิคที่เหมาะสม

7.4 ข้อมูลด้านแนวทางการใช้ประโยชน์ของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทย

1) ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ และการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ แหล่งที่มาของข้อมูลคือ เอกสารและสิ่งพิมพ์ทางวิชาการ และงานวิจัยต่างๆ

2) ประมวลผลและเรียบเรียงข้อมูล เพื่อนำเสนอวิธีการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ และการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

3) ประเมินผลและเรียบเรียงข้อมูลการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างไปใช้ประโยชน์ในแต่ละด้าน เพื่อนำเสนอแนวทางที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างในแต่ละด้าน โดยนำเสนอในรูปแบบตาราง

8. คำจำกัดความ

น้ำล้าง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทั้งหมดในอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

9.1 ทราบถึงคุณสมบัติและองค์ประกอบของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด

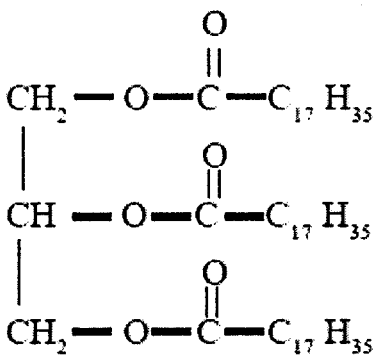
9.2 ใช้เป็นแนวทางเลือกในการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์

9.3 สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยขั้นต่อไป เพื่อเพิ่มศักยภาพของการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดหรือจากบ่อดักไขมันในแหล่งอื่นๆ มาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคตของประเทศอย่างมีประสิทธิผล

บทที่ 2
ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันจัดเป็นสารอาหารหมู่หนึ่งที่ให้พลังงานสูงคือ การเผาผลาญไขมันอย่างสมบูรณ์จะให้พลังงานประมาณ 37,800 kJ/kg และร่างกายของคนเราจำเป็นต้องได้รับทุกวัน ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและการมีสุขภาพสมบูรณ์ เนื่องจากในไขมันและน้ำมันมีกรดไขมันจำเป็น (Essential fatty acids) ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) และกรดอะราคิโดนิก (Arachidonic acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ตัวอย่างไขมันและน้ำมันแสดงดังภาพที่ 2.1 นอกจากนี้ไขมันและน้ำมันยังมีหน้าที่เป็นตัวละลายของวิตามินเอ อี และเค ซึ่งโดยทั่วไปไขมันและน้ำมันมีลักษณะดังนี้



ภาพที่ 2.1 กลีเซอริกสเตียเรต

ที่มา: อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา (2550)

1) ไขมันที่บริสุทธิ์มีสีขาว แต่น้ำมันที่บริสุทธิ์ไม่มีสี ไขมันที่มีสีเหลือง สีส้ม เนื่องจากมีแคโรทีนและสารอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกันจำนวนเล็กน้อยปนอยู่ด้วย

2) มีลักษณะลื่นและเหนียวเหนอะเมื่อจับต้อง

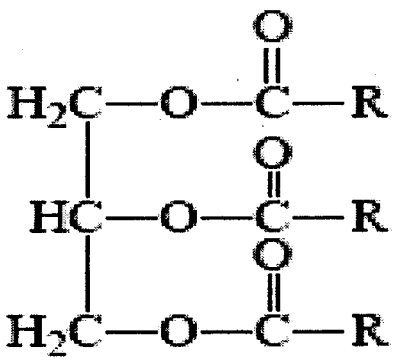
3) ไม่ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ที่เย็น แต่ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์ที่ร้อนและละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม อีเทอร์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และปิโตรเลียมอีเทอร์

4) ในอุณหภูมิปกติธรรมดาเป็นของแข็งหรือของเหลว ถ้าเป็นของแข็งเรียกว่า ไขมัน (Fats) ถ้าเป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมัน (Oil) ความแตกต่างกันของไขมันที่สำคัญคือ จุดหลอมเหลว (Melting point)

5) ไขมันจะหลอมละลายเมื่อได้รับความร้อน โดยไขมันจะค่อยๆ อ่อนตัวหลอมละลาย ทั้งนี้เพราะไขมันประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด จุดหลอมเหลวของไขมันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่มีอยู่ในไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำ ยิ่งมีพันธะคู่มากในโมเลกุลจุดหลอมเหลวยิ่งต่ำ กรดไขมันอิ่มตัวที่มีโมเลกุลยาวจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัวโมเลกุลสั้น

1.1 องค์ประกอบของไขมันและน้ำมัน

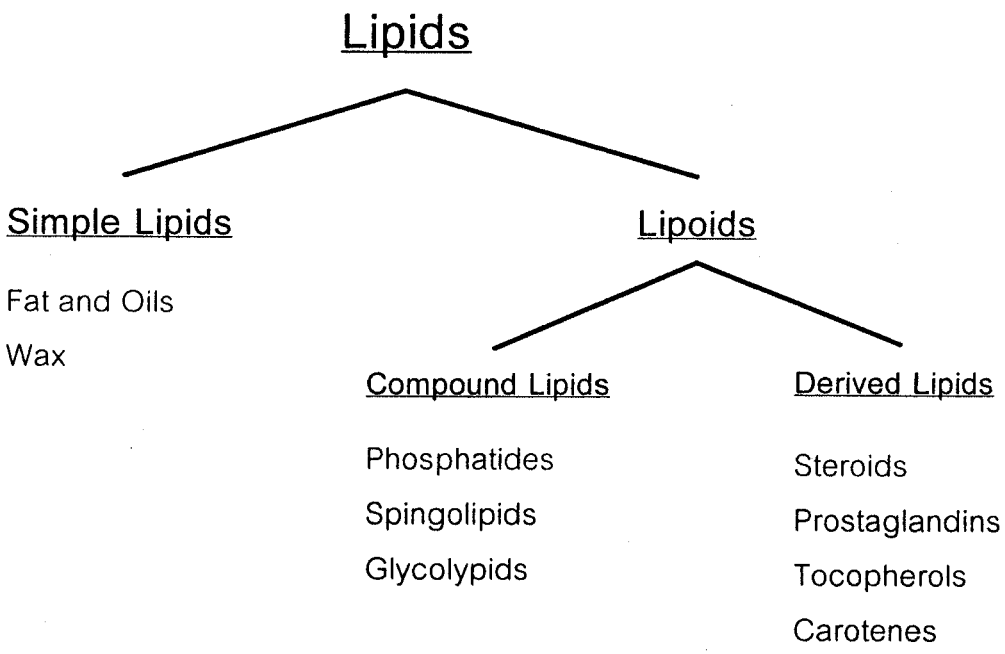
ไขมันและน้ำมันทุกชนิดประกอบด้วยส่วนหนึ่งมาจากกลีเซอรอล (กลีเซอรีน) และอีกส่วนหนึ่งมาจากกรดไขมัน ด้วยโครงสร้างที่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล จึงเรียกไขมันและน้ำมันว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol) ดังภาพที่ 2.2 ดังนั้นไขมันจึงมีสถานะเป็นของแข็งเพราะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าส่วนที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ไขมันจะมีลักษณะข้นแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ไขมันสัตว์ ได้แก่ ไขมันวัว ไขมันหมู ไขมันไก่ เป็นต้น ส่วนน้ำมันมีสถานะเป็นของเหลว เพราะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าส่วนมากกว่าที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว น้ำมันมีลักษณะของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 ไตรเอซิลกลีเซอรอล

ที่มา: อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา (2550)

โครงสร้างและส่วนประกอบของไขมัน ซึ่งบางทีเรียกไขมันว่า ลิปิด (Lipid) หรือลิปอยด์ (Lipoids) เป็นสารไม่ละลายน้ำชนิดหนึ่งที่มีแหล่งกำเนิดมาจากพืชหรือสัตว์ ได้มีการจำแนกชนิดของลิปิดออกเป็นดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การจำแนกชนิดของลิปิด

ที่มา: สถาพร คำหอม (2545)

ไขมันและน้ำมันทุกชนิดประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลมากมายหลายชนิดผสมรวมกันอยู่ และในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลแต่ละชนิดยังประกอบไปด้วยกรดไขมันที่แตกต่างกันอีกด้วย ซึ่งอาจเป็นทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติจึงเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลผสม ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซีลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันและน้ำมันต่างๆ จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดให้แตกต่างกัน

ไขมันและน้ำมันที่สกัดออกมาจากวัตถุดิบทั้งพืชและสัตว์ นอกจากจะประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นส่วนใหญ่แล้วยังมีสารประกอบอื่นๆ ปนอยู่อีกด้วย ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด สเตอรอล ไฮโดรคาร์บอน สารสีที่ละลายได้ในไขมันและน้ำมัน และวิตามินอี เป็นต้น ปริมาณของสารประกอบเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและแหล่งที่มาของวัตถุดิบนั้นๆ

นอกจากนั้นยังมีสารประกอบบางชนิดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูปหรือเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

ในการรวมตัวกันของกลีเซอรอลกับกรดไขมันนั้นเกิดขึ้นโดยหมู่ไฮดรอกซิลแต่ละหมู่ในโมเลกุลของกลีเซอรอลจะควบแน่นกับหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดไขมัน แล้วได้โมเลกุลของไขมัน กรดไขมันที่มาควบแน่นด้วยนั้นอาจมีคาร์บอนในโมเลกุลเพียงสี่อะตอมหรืออาจมีคาร์บอนมากกว่านั้นไปจนถึง 24 อะตอมก็ได้ และอาจเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวเต็มที่หรืออาจมีพันธะคู่ตั้งแต่หนึ่งถึงห้าแห่งอยู่ที่ตำแหน่งไหนก็ได้ และโดยธรรมชาติแล้วโมเลกุลที่มีการจัดชุดของกรดไขมันในแบบหนึ่งก็จะแตกต่างจากโมเลกุลที่มีการจัดชุดของกรดไขมันอีกแบบหนึ่งออกไปเล็กน้อยเสมอ ดังนั้นไขมันและน้ำมันจึงเป็นของผสมของกลีเซอไรด์ต่างชนิดที่ซับซ้อน กลีเซอรอลประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในส่วนผสมที่ซับซ้อน จึงนับว่ากลีเซอรอลเป็นจำพวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะข้นๆ เป็นน้ำเชื่อมก็ได้ ส่วนกรดไขมันก็มีส่วนประกอบเป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เหมือนกัน และสัดส่วนของการประกอบแต่งขึ้นเป็นกรดไขมันเหมือนกับสัดส่วนการประกอบแต่งของกลีเซอรอล โดยกรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (Straight chain aliphatic monocarboxylic acid) มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R- คือ หมู่แอลคิล (Alkyl) ในโมเลกุลของกรดไขมันและหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) จึงทำให้กรดไขมันแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ (Anionic carboxylate) และหมู่ R- มีคุณสมบัติเป็น Hydrophobic alkyl chain ซึ่งชอบที่จะละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีโพลาร์ จึงทำให้โมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและในน้ำมัน ดังสมการ

$$RCOOH \longrightarrow RCOO^{-} + H^{+}$$

ในธรรมชาติพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในไขมัน น้ำมัน และฟอสโฟกลีเซอไรด์ เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิทิล ซึ่งมีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น จึงทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่า กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 อัน หรือมากกว่า 1 อัน เรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) กรดไขมันสามารถแบ่งออกตามจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

1) กรดไขมันชนิดสายสั้นหรือมีจำนวนคาร์บอนน้อย (Shot-chain low molecular weight) คือ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4-10 อะตอม กรดไขมันกลุ่มนี้ละลายน้ำได้บ้าง ระเหยได้ และเป็นสารที่ให้กลิ่น

2) กรดไขมันชนิดสายกลาง (Medium-chain fatty acids) มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 12-14 อะตอม

3) กรดไขมันชนิดสายยาว (Long-chain fatty acids) มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากกว่า 16 อะตอม ขึ้นไปกรดไขมันกลุ่มนี้ไม่มีกลิ่นและรสชาติ

สำหรับไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ประกอบกันเป็นไขมันและน้ำมัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมัน มักเป็นกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งตรงกันข้ามกับน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันแบ่งตามจำนวนไฮโดรเจนโมเลกุลได้ดังนี้

1) กรดไขมันอิ่มตัว มีสูตรทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลที่เป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมหรือฮาโลเจนได้อีกแล้วจึงไม่เหม็นหืน (Rancidity) ได้แก่ ไขมันจากสัตว์ กรดไขมันชนิดนี้มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 24 อะตอม ยิ่งมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมากเท่าไรจุดหลอมเหลวของไขมันยิ่งสูงมากขึ้นเท่านั้น กรดไขมันอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดคือ กรดบิวทิวริก (คาร์บอน 4 อะตอม) นอกจากนี้ความยาวโซ่ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น จุดเดือด และค่าดัชนีหักเหแสงของไขมัน เป็นต้น

กรดไขมันอิ่มตัวที่มีในไขมันสัตว์ทั่วไป ได้แก่ กรดปาล์มิติล (Palmitic acid) กรดสเตียริก (Stearic acid) เป็นซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 16 อะตอม กรดไขมันที่มีโมเลกุลสูง ได้แก่ กรดอราชิติก (Arachidic acid) เป็นต้น ส่วนในไขมันพืชมักพบกรดไขมันอิ่มตัวพวกที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำๆ หรือมีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า 16 อะตอม กรดไขมันที่มีคาร์บอน 4-8 อะตอม เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วนพวกที่มีคาร์บอน 10 อะตอมขึ้นไปจะเป็นของแข็ง

2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว มีสูตรทั่วไปว่า $C_nH_{2n-2}O_2$ หรือ $C_nH_{2n-4}O_2$ เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่งและมีการเรียงตัวเป็น *cis*-Configuration การที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนหรือฮาโลเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้อีก กรดไขมันชนิดนี้มีคาร์บอน 16-20 อะตอม ตามปกติเมื่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบของไขมันนั้นมากๆ ทำให้จุดหลอมตัวของไขมันนั้นต่ำ

ฉะนั้นไขมันนั้นจึงมักอยู่ในสภาพหลอมเหลว และเรียกว่าน้ำมัน ที่พบในธรรมชาติ ได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) เป็นต้น สภาพการมีพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนให้กับพันธะคู่ได้เมื่อมีตัวเร่ง (Catalyst) ที่เหมาะสม จะได้ผลิตภัณฑ์กรดไขมันอิ่มตัว ทำให้ไขมันและน้ำมันมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น พันธะคู่ของกรดไขมันอิ่มตัวยังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยให้เป็นสารพวกเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) และของผสมที่ระเหยได้ของพวกอัลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) และกรดต่างๆ ปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนอาจเกิดขึ้นได้ โดยการช่วยเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซิเดส (Emzyme lipoxidase) กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนพันธะคู่ดังนี้

ก) Monounsaturated(Monoethenold) fatty acids (MUFA) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อัน

ข) Polyunsaturated (Polyethenold) fatty acids (PUFA) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 อัน พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา

1.2 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน

คุณสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน มีประโยชน์ในการใช้จำแนก และบ่งชี้ชนิดของน้ำมันและไขมัน ซึ่งสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่

1) **จุดหลอมเหลว (Melting point)** คืออุณหภูมิที่ทำให้ไขมันละลาย ซึ่งไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอนเป็นต้น จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันลดลง

2) **จุดแข็งตัว (Solidifying point)** คืออุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็ง เรียกว่า การเกิดโซลิดิฟิเคชั่น (Solidification) และเรียกจุดนี้ว่าจุดแข็งตัว โดยอุณหภูมิที่จุดนี้มักจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2-3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายๆ ชนิดต่างกันในโมเลกุลจุดแข็งตัวจะ

เป็นช่วงกว้างบางทีเรียกว่า ไตเตอร์ (Titer) ไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดจะมีไตเตอร์ (Titer) แตกต่างกัน

3) **การละลาย (Solubility)** ไขมันและน้ำมันทุกชนิดไม่สามารถละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมันได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) เฮกเซน (Hexane) ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) เบนซีน(Benzene) เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) อะซีโตน (Acetone) คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulphide) ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbontetrachloride) เป็นต้น

4) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูงอาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมัน และน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย

5) **การหักเหของแสง (Refractive index)** เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะลุน้ำมันตัวอย่างจะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศา เป็นต้น ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจสอบชนิด คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันจำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบ โดยไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น และถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

6) จุดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ (Smoke point, flash point and fire point)

ก) จุดควัน คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น

ข) จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศเกิดการติดไฟขึ้น

ค) จุดติดไฟ คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันเกิดการเผาไหม้

จุดที่เป็นควันของไขมันและน้ำมันนับว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของไขมันและน้ำมันในการใช้ทอดอาหาร ไขมันหรือน้ำมันสำหรับใช้ทอดอาหารที่ดีต้องมีสมบัติทนความร้อนไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าหากเกิดควันในขณะที่ทอดจะทำให้อาหารมีกลิ่น

ควันติดไปด้วย อย่างไรก็ตามจุดที่เป็นควันของไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน เวลาที่ทอดผิวหน้าของไขมันหรือน้ำมันที่ถูกอากาศขณะทอด และเศษผงหรือสารอื่นๆ ที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน เป็นต้น

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันนั้นมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน ถ้าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้มีจุดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น จุดควันจะลดลง รวมทั้งจุดวาบไฟและจุดติดไฟด้วย (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ค่าอุณหภูมิของจุดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	จุดควัน	จุดวาบไฟ	จุดติดไฟ
0.40	426	620	690
1.0	320	585	680

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

7) สี (Color) สีเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี ซึ่งน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

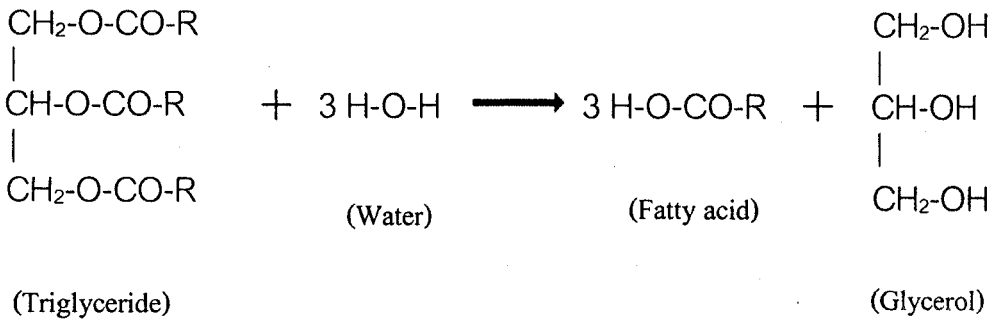
1.3 สมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันเป็นอนุพันธ์เอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน คุณสมบัติทางเคมีจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาในโมเลกุลไขมันตรงตำแหน่งพันธะเอสเทอร์และในโมเลกุลของกรดไขมัน

1.3.1 ปฏิกิริยาที่พันธะเอสเทอร์

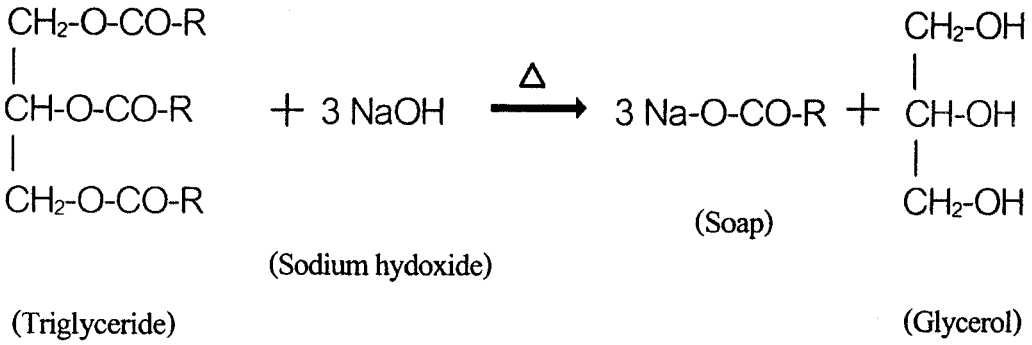
พันธะเอสเทอร์จะสลายได้ง่ายในกรดหรือด่าง ถ้าสลายในสภาวะกรดปฏิกิริยาอาจเกิดการผันกลับได้ (Reversible) แต่ถ้าปฏิกิริยาดำเนินไปในสภาวะด่างจะไม่เกิดการผันกลับ (Irreversible) เนื่องจากด่างจะทำให้กรดที่มีอยู่แตกตัวเป็นอิออนลบและมีแนวโน้มไม่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ผลจากการสลายพันธะเอสเทอร์ทำให้เกิดหมู่กรดไขมันและแอลกอฮอล์ ผลิตภัณฑ์ของการดำเนินไปของปฏิกิริยาขึ้นกับสารตั้งต้นในปฏิกิริยา ได้แก่

1) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นการสลายไตรกลีเซอไรด์ด้วยน้ำ ทำได้โดยการต้มกับน้ำที่ความดันสูงหรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดันปกติ ผลิตภัณฑ์ของการดำเนินไปของปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จะได้กลีเซอรอลกับกรดไขมัน ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 สมการแสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน

2) **ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน** (Saponification) เป็นสมการการสลายไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ด่างแก่ทำปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือของกรดไขมัน(สบู่) กับกลีเซอรอล ดังภาพที่ 2.5



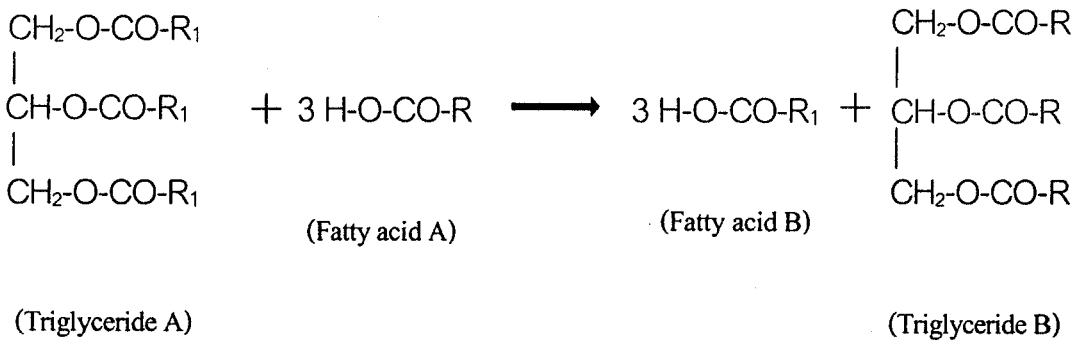
ภาพที่ 2.5 สมการแสดงปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน

ขนาดของโมเลกุลเฉลี่ยของไขมันนิยมรายงานเป็นค่าซาปอนนิฟิเคชันซึ่งมีคำจำกัดความดังนี้

ค่าซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification number: SN) คือ จำนวนมิลลิกรัมของ Potassium hydroxide (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมัน 1 กรัม

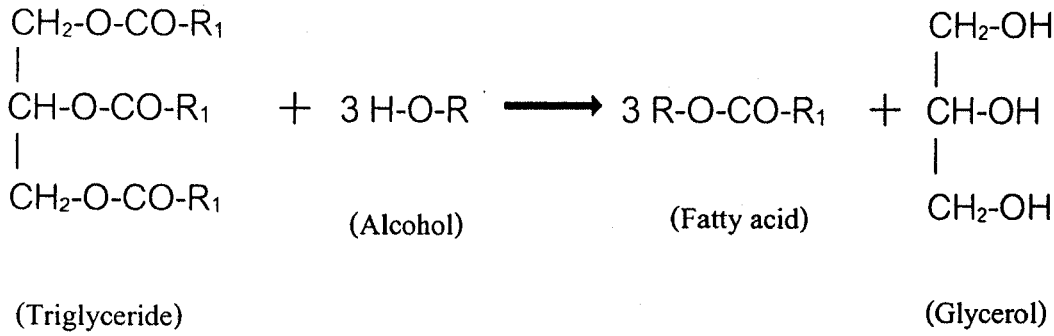
3) ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชัน (Interesterification) เป็นปฏิกิริยาที่มีการแลกเปลี่ยนหมู่เอซิล (กรดไขมัน) ของกลีเซอไรด์ โดยกลีเซอไรด์ผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วยกรดไขมันตัวใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม ซึ่งปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชัน แบ่งได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

ก) ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอไรด์กับกรด (Acidolysis) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม กลีเซอไรด์ และกรดไขมันจะมีการแลกเปลี่ยนหมู่กรดไขมันกัน ดังสมการในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สมการแสดงปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอไรด์กับกรดไขมัน

ข) ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ (Alcoholysis) มีสมการดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 สมการแสดงปฏิกิริยาการสลายด้วยแอลกอฮอล์

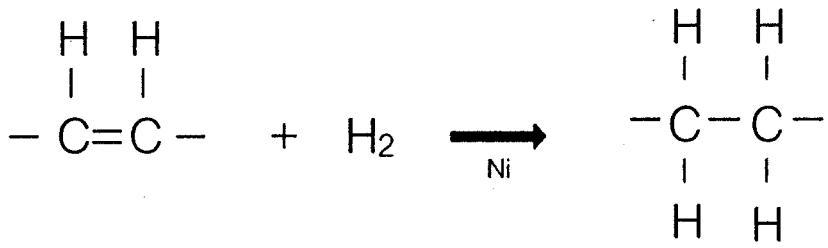
ถ้าแอลกอฮอลล์ที่ใช้เป็นเมทานอลและเอทานอล ก็จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ (Fatty acid methyl ester) และเอทิลเอสเทอร์ (Fatty acid ethyl ester) ตามลำดับ แอลกอฮอล์ที่ใช้อาจเป็นกลีเซอรอลก็ได้ ซึ่งใช้ในการเตรียมโมโนและไดกลีเซอไรด์

ค) ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอไรด์กับกลีเซอไรด์หรือเอสเทอร์อื่น (Transesterification or ester interchange or esterexchange) ในปฏิกิริยานี้จะเกิดการสับเปลี่ยนหมู่ของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์

1.3.2 ปฏิกิริยาในโมเลกุลของกรดไขมัน

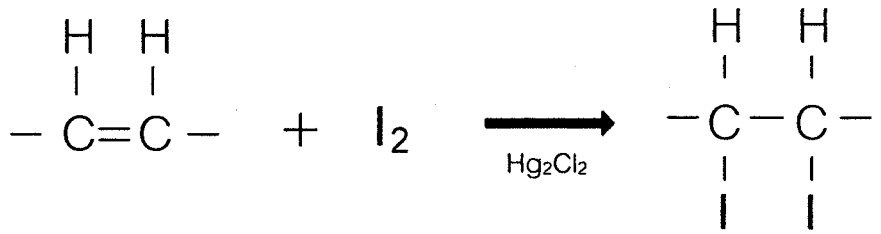
มักเป็นปฏิกิริยาที่สืบเนื่องมาจากความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน โดยเกิดตรงตำแหน่งพันธะคู่ปฏิกิริยาที่สำคัญได้แก่

1) ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) เป็นการเพิ่มความอิ่มตัวของน้ำมัน โดยให้ทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนโดยมีตัวเร่ง (นิยมใช้โลหะนิกเกิล) ไขมันที่ได้เป็นของแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น แต่มักมีปฏิกิริยาที่เกิดร่วมด้วยคือ เกิดพันธะคู่แบบสังยุค (Conjugate diene) จากพันธะคู่ที่ไม่สังยุค เกิดไอโซเมอร์แบบทรานส์จากซิสไอโซเมอร์ และมีการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ ดังสมการในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 สมการการเติมไฮโดรเจน

2) ปฏิกิริยาการเพิ่มฮาโลเจน (Halogenation) เป็นการทำปฏิกิริยาของพวกฮาโลเจน (CI_2, Br_2, I_2, ICl, IBr) กับพันธะคู่ เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ เมอคิวริกคลอไรด์ (Hg_2CI_2) ทำให้เกิดเป็นสารอิ่มตัว ดังสมการในภาพที่ 2.9 จำนวนฮาโลเจนที่ถูกเติมเข้าไปจะเป็นอัตราส่วนกับจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในกรดไขมันชนิดนั้นๆ เช่น ไตรโอเลอีน (Triolein) ใช้ฮาโลเจน 6 อะตอม ไตรลิโนเลอีน (Trilinolein) ใช้ฮาโลเจน 12 อะตอม เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 สมการการเติมฮาโลเจน

ค่าความไม่อิ่มตัวของไขมันนิยมบอกด้วยค่าไอโอดีน ซึ่งมีคำจำกัดความดังนี้

ค่าไอโอดีน (Iodine value; IV) หมายถึง กรัมของไอโดดีนที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับไขมัน 100 กรัม เป็นค่าที่ใช้บอกระดับความไม่อิ่มตัวเฉลี่ยในโมเลกุลไขมันนั้นๆ

1.4 คุณสมบัติของน้ำมันไก่ (Chicken Oil)

1.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

น้ำมันไก่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น และความใส ดีกว่าน้ำมันหมูและน้ำมันวัวคือ สีของน้ำมันไก่จะอ่อน ใส และกลิ่นจะเหม็นหืนน้อยกว่าน้ำมันหมูและน้ำมันวัว

1.4.2 คุณสมบัติทางเคมี

น้ำมันไก่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวถึงประมาณ 60% ซึ่งสูงกว่าน้ำมันหมู ดังตารางที่ 2.2

พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคนอื่น (2548) ได้ศึกษาน้ำมันไก่ โดยการนำไขมันไก่มาเจียวด้วยความร้อน ได้ส่วนที่เป็นน้ำมันไก่ประมาณ 85% และกาก 15% ซึ่งพบว่าในน้ำมันไก่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว 54% และกรดไขมันอิ่มตัว 45%

น้ำมันไก่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Mono Unsaturated Fatty Acid, MUFA) ได้แก่ กรดโอเลอิกมีปริมาณสูงถึง 41% และมีกรดไขมันลิโนเอลิกซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นสูงกว่าน้ำมันหมู มีรายงานพบว่ากรดโอเลอิกสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดภาวะเส้นเลือดหัวใจตีบตันลงได้ จากการที่ไขมันจากไก่มีความแตกต่างจากไขมันจากสัตว์ทั่วไปคือ

มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง มีคุณประโยชน์ทางโภชนาการทำให้ส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันไก่ น้ำมันเป็ด และน้ำมันหมู

กรดไขมัน			น้ำมันไก่	น้ำมันเป็ด	น้ำมันหมู
กรดไขมันอิ่มตัว					
กรดไมริสติก	Myristic acid	C14:0	1.30%	0.70%	1.4-1.7%
กรดปาล์มิติก	Palmitic acid	C16:0	23.20%	25.90%	23.1-28.3%
กรดมาจาริก	Margaric acid	C17:0	0.30%	-	0.5%
กรดสเตียริก	Stearic acid	C18:0	6.50%	8.20%	11.7-24%
กรดอาแรซิดิก	Arachinodic acid	C20:0	-	-	0.52%
กรดไขมันไม่อิ่มตัว					
กรดไมริสโตเลอิก	Myristoleic acid	C14:1	0.20%	-	0-0.1%
กรดปาล์มิโตเลอิก	Palmitoleic acid	C16:1	6.50%	4.2%	1.8-3.3%
กรดโอเลอิก	Oleic acid	C18:1	41.60%	46.3%	29.7-45.3%
กรดลิโนเอลิก	Linoleic acid	C18:2	18.90%	12.6%	8.1-12.6%
กรดลิโนเลนิก	Linolenic acid	C18:3	1.30%	1.0%	0.7-1.2%

ที่มา : ภูธร เรืองยิ่ง (2548)

1.5 การเกิดกลิ่นหืนของไขมันและน้ำมัน

การเกิดกลิ่นหืนเป็นปัญหาสำคัญในการเก็บไขมัน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอรอล ซึ่งจะเกิดการออกซิไดซ์ไตรกลีเซอรอล และจะสลายตัวให้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนสั้นลง เช่น กรดไขมันที่มีโมเลกุลต่ำ สารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl compound) ก่อให้เกิดกลิ่นหืน เนื่องจากปฏิกิริยานี้ไม่จำเป็นต้องมีสารอื่นเกี่ยวข้องด้วยเลย บางครั้งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Autoxidation กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลอยู่มากจะมีความคงตัวต่อออกซิเดชันต่ำหรือเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย เช่น กรดลิโนลิอิกและกรดลิโนลีนิก ส่วนโอเลอิกจะมีความคงตัวต่อออกซิเดชันสูงกว่าหรือเกิดกลิ่นหืนช้ากว่า 2 ตัวแรกมาก วิธีปรับปรุงเพื่อให้ไขมันและน้ำมันมีความคงตัวต่อออกซิเดชันสูงหรือเกิดกลิ่นหืนได้ช้า มีดังนี้

1) การทำไฮโดรจิเนชัน นำน้ำมันมาทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเพียงบางส่วน เพื่อลดจำนวนพันธะคู่ให้น้อยลง จะช่วยให้น้ำมันมีโอกาสเกิดกลิ่นหืนน้อยลงด้วย

2) ดูดอากาศออก เนื่องจากในอากาศมีออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการใช้ก๊าซไนโตรเจนเข้าไปทดแทนอากาศบริเวณที่ว่างในภาชนะบรรจุเหนือน้ำมัน จะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

3) การเติมสารต้านออกซิเดชัน สามารถช่วยหยุดยั้งปฏิกิริยา Free radical chain reaction ได้โดยสารต้านออกซิเดชันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ไวกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้น้ำมันหรือกรดไขมันชนิดไม่อิ่มเกิดออกซิเดชันได้ช้าลง สารต้านออกซิเดชันที่นิยมใช้ได้แก่ บิวทิเลเตดไฮดรอกซีทูลูอีน โพรพิลแกลเลต เป็นต้น

4) การเติม Chelating agents สารประกอบพวกกรดซิตริก กรดฟอสฟอริก และ Ethylene-diaminetetra-acetic acid (EDTA) ซึ่งเป็น Chelating agents จะทำปฏิกิริยากับโลหะที่ทำหน้าที่เป็นคะตะลิสต์ จะทำให้เกิดออกซิเดชันได้ช้าลง

5) ป้องกันไม่ให้ถูกแสง แสงเป็นคะตะลิสต์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกัน จะช่วยเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระในไขมันและน้ำมันได้ ดังนั้นการบรรจุน้ำมันในภาชนะทึบแสง โดยเฉพาะแสงอุลตราไวโอเลตจะชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

6) อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา การเก็บรักษาน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น ดังนั้นควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.6 การสกัดแยกไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันที่บริสุทธิ์ไม่มีในธรรมชาติ เพราะต้องสกัดแยกออกจากวัตถุดิบที่มีปริมาณ ไขมันหรือน้ำมันสูงๆ เช่น เมล็ดถั่วต่างๆ เมล็ดพืชบางชนิด เนื้อเยื่อไขมันของสัตว์ต่างๆ และน้ำนม ของสัตว์บางชนิด วิธีสกัดแยกไขมันและน้ำมันออกจากวัตถุดิบจะมีวิธีเฉพาะสำหรับวัตถุดิบแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะและสมบัติ ของวัตถุดิบนั้นๆ เช่น วิธีที่ใช้สกัดแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบที่มาจากพืชและสัตว์จะแตกต่างกัน วิธีการที่นิยมใช้สกัดแยกไขมันและน้ำมันมี 3 วิธี คือ การเจียว (Rendering) การบีบ (Pressing หรือ Expelling) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraotion)

1.6.1 การเจียว

เป็นวิธีสกัดแยกไขมันที่ใช้มานานแล้ว นิยมใช้กับเนื้อเยื่อไขมันของสัตว์ต่างๆ ซึ่งมีลักษณะเนื้ออ่อนและมีไขมันสูง วิธีนี้เป็นการให้ความร้อนกับเนื้อเยื่อของสัตว์ ความร้อนจะ

ทำให้ผนังเซลล์แตกและไขมันจะเปลี่ยนเป็นของเหลวไหลออกมา เพื่อที่จะให้เนื้อเยื่อไขมันของสัตว์มีพื้นที่สัมผัสกับความร้อนได้มากขึ้น และน้ำมันจะไหลออกมาได้เร็วขึ้น จึงนิยมหั่นเนื้อเยื่อไขมันให้เป็นชิ้นเล็กๆ และบางๆ น้ำมันที่สกัดโดยวิธีการเจียว ได้แก่ น้ำมันหมูและไขวัว เป็นต้น การเจียวมี 3 แบบ ได้แก่

1) การเจียวแห้ง (Dry rendering) ใช้เนื้อเยื่อไขมันที่ไม่เปียกน้ำและเจียวในภาชนะเปิด ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันตามบ้าน อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 220-230 องศาฟาเรนไฮต์ น้ำมันที่ได้จะมีกลิ่นหอมแต่อาจมีคุณภาพไม่ค่อยดี เพราะบางส่วนของน้ำมันอาจได้รับความร้อนจากผิวของภาชนะที่สัมผัสโดยตรง ทำให้น้ำมันบางส่วนเกิดออกซิเดชัน ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปน้ำมันที่ได้อาจมีสีคล้ำ น้ำมันที่ได้ถูกแยกจากกากโดยปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอน หรือแยกโดยใช้เครื่องเหวี่ยง หรือการกรองในระหว่างการเจียว น้ำที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อไขมันจะระเหยออกไป กากที่ได้หากยังมีน้ำมันเหลือค้างอยู่ จะให้เครื่องบีบ บีบเอาน้ำมันที่เหลือออกให้หมด

การเจียวแห้งนี้อาจทำให้อุณหภูมิต่ำก็ได้ โดยเนื้อเยื่อไขมันจะถูกทำให้ผนังเซลล์แยกด้วยวิธีทางกล แล้วให้ความร้อนต่ำๆ เพียงเพื่อให้ไขมันหลอมเหลวกลายเป็นน้ำมันเท่านั้น อุณหภูมิประมาณ 115-120 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งอุณหภูมินี้ไม่สูงพอที่จะทำลายโปรตีนของผนังเซลล์ได้ กากที่เหลือแยกออกโดยวิธีการเหวี่ยง น้ำมันที่ได้จะมีสีอ่อน ไม่ค่อยมีกลิ่น มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำและมีความคงตัวต่อออกซิเดชันได้ดี

การเจียวแห้งยังอาจทำได้ในภาชนะปิดที่แห้งและความดันปกติหรือความดันที่ต่ำกว่าปกติเพื่อช่วยไล่น้ำออกไป น้ำมันที่ได้โดยวิธีนี้จะมีกลิ่นแรง ต้องผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่นก่อนที่จะนำไปขายหรือนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่นทำเนยขาว การเจียวแห้งนอกจากจะใช้กับเนื้อเยื่อไขมันของหมูและวัวแล้ว ยังใช้ได้กับไขมันของปลาวาฬ และเนื้อเยื่อไขมันของปลาชนิดอื่นๆ อีกด้วย

2) การเจียวเปียก (Wet rendering) วิธีนี้ใช้สำหรับการผลิตไขมันที่มีคุณภาพในด้านกลิ่นรสและอายุการเก็บที่ดีกว่าการเจียวแห้ง โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธีย่อย คือ วิธีต้มและวิธีตุ๋น มีหลักการพื้นฐานคือการเติมน้ำร้อนหรือพ่นไอน้ำลงบนเนื้อเยื่อไขมันในภาชนะปิดภายใต้ความดันต่ำประมาณ 45-75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และมีการไล่เอาอากาศออกเพื่อลดการออกซิเดชันด้วยความร้อนจากไอน้ำจะทำให้สารประกอบพวกโปรตีนที่อยู่ตามผนังเซลล์ถูกทำลาย ไขมันก็จะหลอมเหลวกลายเป็นของเหลวไหลออกจากเซลล์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะให้เวลาประมาณ 3-6 ชั่วโมง น้ำมันที่ได้แยกออกจาก

กาก โดยตั้งทิ้งไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งให้กากตกตะกอนหรืออาจแยกโดยใช้เครื่องเหวี่ยง น้ำมันจะลอยอยู่ข้างบน ส่วนน้ำและกากจะจมอยู่ข้างล่าง น้ำมันหมูที่สกัดโดยวิธีนี้จะมีกลิ่นอ่อนๆ สามารถนำไปขายได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่น มักนำไปใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ขนมอบบางชนิด

ส่วนที่เป็นกากและน้ำนั้นจะมีพวกโปรตีนละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ ซึ่งอาจมีสูงถึง 2% เมื่อระเหยเอาน้ำออกจะได้โปรตีนเป็นผลพลอยได้ ข้อเสียของการเจียวเปียกคือ อาจทำให้เกิดอิมัลชันของน้ำและน้ำมัน ซึ่งอิมัลชันที่เกิดขึ้นทำลายได้ยาก เนื่องจากมีโปรตีนทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ เกิดเป็นอิมัลชันที่มีความคงตัว

3) การเจียวย่อย (Digestive rendering) วิธีนี้มีหลักการและวิธีคล้ายกับวิธีเจียวเปียกแบบต้มแต่ใช้สารเคมีหรือเอนไซม์เติมลงไปด้วย เพื่อช่วยสลายและละลายเนื้อเยื่อที่เชื่อมยึดติดกัน ทำให้ไขมันแตกตัวได้ง่ายยิ่งขึ้น สารเคมีที่ใช้ในกรรมวิธีนี้ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.75% ที่อุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45-60 นาที แยกไขมันออกจากสารละลายน้ำโดยวิธีหมุนเหวี่ยง ล้างไขมันด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 2-5% และด้วยน้ำ ไขมันที่สกัดได้โดยวิธีนี้จะมีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าที่ได้โดยวิธีการตุ๋น คุณภาพในด้านสี กลิ่น รส ดีกว่า

1.6.2 การบีบ

เป็นวิธีการแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบที่ใช้กันมานานแล้ว โดยเฉพาะนิยมใช้กับเมล็ดพืชน้ำมัน เครื่องบีบมีหลายชนิดและกระบวนการมีทั้งเป็นชุด (Batch pressing) และต่อเนื่อง (Continuous pressing) ซึ่งอาจเป็นการบีบเย็น (Cold pressing) หรือเป็นการบีบร้อน (Hot pressing) ก็ได้

1) การบีบเย็น นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือ มะกอก และมะพร้าว เป็นต้น แรงกดที่กระทำต่อเนื้อเยื่อของเมล็ดพืชจะทำให้ผนังเซลล์แตกและบีบเอาน้ำมันแยกออกมา น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพดีและคงสภาพเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในเมล็ด และไม่มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เกิดขึ้นกับไขมันและน้ำมัน ตัวอย่าง เช่น น้ำมันงา และน้ำมันถั่วลิสงที่สกัดแยกโดยวิธีนี้จะมีกลิ่นหอม (Nutty flavour) ส่วนน้ำมันมะกอกจะมีกลิ่นแรง แต่เป็นกลิ่นที่คนยอมรับ อย่างไรก็ตาม การทำ Cold pressing มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะในกากยังมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเหลืออยู่อีกมาก

2) การบีบร้อน มีประสิทธิภาพดีกว่าการบีบเย็นกากที่เหลือจากการบีบเย็นจะนำมากระทำขั้นตอนต่อไปโดยใช้การบีบร้อนซึ่งอาจเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic batch press) หรือเครื่องอัดแบบสกรู (Continuous screw press) หรือ Expeller การสกัดแยกน้ำมันโดยวิธีเหล่านี้ใช้ความดันประมาณ 1-15 ตันต่อตารางนิ้ว และจะยังคงมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากเพียง 2-4% เท่านั้น

กระบวนการบีบน้ำมันออกจากเมล็ดพืช มีขั้นตอนดังนี้

ก. การคัดเลือกและทำความสะอาด ก่อนนำเมล็ดพืชเข้าเครื่องบีบ ต้องคัดเลือกเอาเมล็ดอ่อนแตกหัก เสียหาย หรือถูกทำลายทางกล ออกไปเสียก่อน เพราะน้ำมันในเมล็ดเหล่านี้อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดนชันหรือไฮโดรไลซิสแล้ว หลังจากคัดเลือกเอาแต่เฉพาะเมล็ดที่ดี แล้วนำมาทำความสะอาดเพื่อแยกเอาสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น เศษดิน ฝุ่น ก้อนอิฐ

ข. การอบแห้งและเก็บรักษา เมล็ดพืชที่สะอาดแล้วหากต้องการเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งก่อนนำไปสกัดน้ำมัน ควรนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้น เพราะเมล็ดที่มีความชื้นสูงจะทำให้น้ำมันเกิดการหืนได้เร็วขึ้น

ค. การเอาเปลือกออกและบด เมล็ดพืชที่สะอาดและแห้งแล้วจะถูกนำไปบดหรือทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ เพราะการบดทำให้ผนังเซลล์ของเมล็ดแตกออกและเพิ่มพื้นที่ผิว จะทำให้บีบเอาน้ำมันออกมาได้ง่าย

ง. การทำให้สุก เมล็ดพืชบางชนิดหลังจากบดให้ละเอียดแล้ว จะนำไปนึ่งให้ร้อนเพื่อทำลายโปรตีนที่ผนังเซลล์ ทำลายเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสและไลเปสที่ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ที่แตกระหว่างการบด ช่วยป้องกันไม่ได้เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิส ความร้อนจะช่วยลดความหนืดของน้ำมัน ทำให้น้ำมันไหลออกมาได้ง่าย

จ. การบีบน้ำมัน เครื่องมือที่ใช้บีบน้ำมันชนิดเครื่องอัดแบบไฮโดรซิส จะให้ผลดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อใช้กับเมล็ดฝ้ายที่มีความชื้น 5-6%

1.6.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ประหยัด และนิยมใช้กันแพร่ ซึ่งให้ประสิทธิภาพการแยกทัดเทียมกับวิธีอื่นๆ โดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย อาศัยหลักการที่ว่าไขมันและน้ำมันจะละลายได้มากขึ้นในตัวทำละลายอินทรีย์ (ที่มีขั้ว) เมื่อสารนั้นมีความไม่อิ่มตัวมากขึ้นหรือมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง (มีขนาด

เล็กลง) ดังนั้นถ้านำไขมันและน้ำมันเหล่านั้นมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับไขมันหรือน้ำมันโดยสมบูรณ์จนมีสภาวะสมดุล แล้วปล่อยให้เกิดการแยกชั้นกัน ส่วนของไขมันหรือน้ำมันที่ละลายในชั้นของตัวทำละลายจะมีส่วนประกอบต่างไปจากส่วนที่ไม่ละลาย และยังคงอยู่ในชั้นไขมันหรือน้ำมัน ตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการจะต้องเป็นสารที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับไขมันหรือน้ำมันโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิและความดันปกติ จะต้องมีหมู่อะตอมที่มีขั้ว 1 หมู่ ต่อจำนวนอะตอมคาร์บอนทุกๆ อะตอมในโมเลกุลของตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ เฮกเซน (n-Hexane) เฟอฟิวราล (Furfural) และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น ตัวทำละลายในทางปฏิบัติระดับโรงงานดูจะมีเพียงตัวเดียวที่นิยมใช้กันคือ เฟอฟิวราล นอกนั้นส่วนใหญ่จะใช้จำกัดในห้องปฏิบัติการ เฟอฟิวราลมีคุณลักษณะที่เหมาะสมหลายประการและรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้กับกรดไขมันและเอสเทอร์ของกรดไขมันที่อุณหภูมิปกติ โดยเฉพาะมีความสามารถจำเพาะเจาะจงในการรวมตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว แต่รวมตัวกับกลีเซอไรด์ได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น

1.7 วิธีการขจัดสารเจือปนในไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันที่สกัดออกมา จะมีสารประกอบชนิดอื่นละลายเจือปนออกมาด้วย ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อ สี กลิ่น และรสชาติของไขมันและน้ำมัน สารเจือปนบางชนิดมีสมบัติคล้ายไขมัน ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด สารประกอบเชิงซ้อนของไขมันและโปรตีน (Fat-protein complex) คาร์โบไฮเดรต กรดไขมันอิสระ สารสีต่างๆ ไขหรือแวกซ์ กลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลว และสารที่ให้กลิ่นต่างๆ เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน และไฮโดรคาร์บอน จึงจำเป็นต้องขจัดออกเพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งมีขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ดังภาพที่ 2.10 และผลของกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์แสดงในตารางที่ 2.3

1.7.1 การแยกยาง (Degumming)

น้ำมันที่สกัดออกมาด้วยตัวทำละลายไม่ได้ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลเพียงอย่างเดียว แต่จะมีสารประกอบอื่นๆ เช่น ฟอสโฟลิพิด และโพลาร์ลิพิดอื่นๆ ซึ่งละลายได้ในน้ำปนอยู่ด้วย รวมเรียกว่า กัม (Gums) จะทำให้น้ำมันที่ได้มีลักษณะข้นหนืด (Gummy) สารนี้มีอยู่ในน้ำมันประมาณ 0.03-3.0%

วิธีการแยกยาง เป็นการล้างน้ำมันด้วยน้ำ ซึ่งมีทั้งแบบเป็นชุด (Batch process) และแบบต่อเนื่อง (Continuos process) สำหรับแบบเป็นชุดทำได้โดยการเติมน้ำหรือไอน้ำ (ใช้น้ำอ่อนห้ามใช้น้ำกระด้าง) ลงในน้ำประมาณ 1-2% ขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสฟาไตด์ที่

อุณภูมิ 70 องศาเซลเซียล ผสมให้เข้ากันนาน 30-60 นาที แล้วปล่อยตั้งทิ้งไว้ สารประกอบฟอสโฟลิพิดที่ละลายได้ในน้ำแต่ไม่ละลายในน้ำมัน จะแยกตัวออกไปละลายอยู่ในน้ำ หลังจากนั้นแยกออกจากน้ำมันได้โดยวิธีการกรอง หรือใช้เครื่องเหวี่ยง หรือปล่อยตั้งทิ้งไว้ สำหรับแบบต่อเนื่อง น้ำมันจะถูกทำให้ร้อนถึงอุณภูมิ 70-80 องศาเซลเซียล แล้วจึงเติมน้ำมันนานประมาณ 15-30 นาที แล้วจึงส่งต่อไปยังเครื่องเหวี่ยง ประสิทธิภาพของการทำการแยกยาง ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ปล่อยให้น้ำละลายเอาฟอสฟาไตด์ออกมา

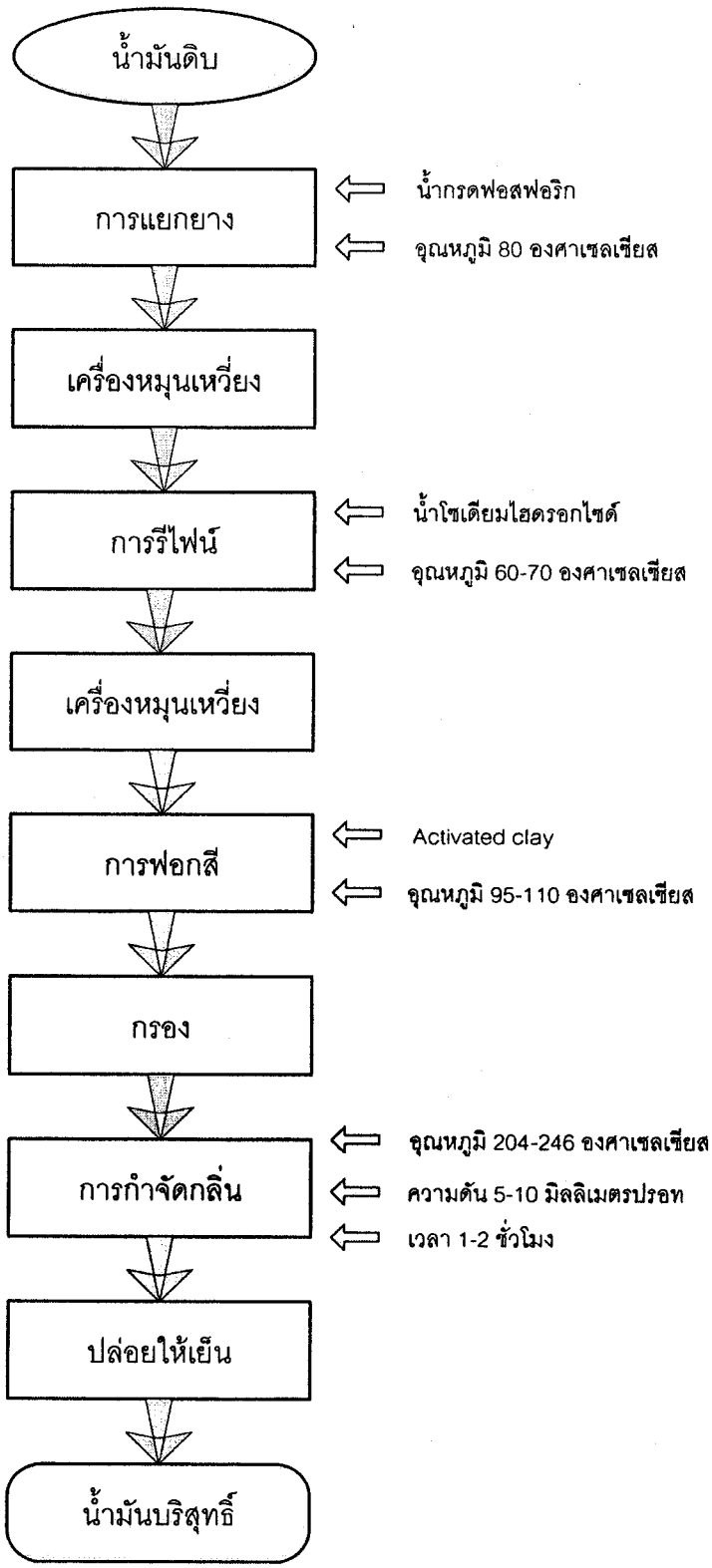
วิธีทำการแยกยางที่ดีต้องควบคุมปริมาณของน้ำ กรด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ล้าง เพื่อแยกกัมออกให้มากที่สุด มีการสูญเสียน้ำมันน้อยที่สุด และน้ำมันจะต้องสัมผัสกับอากาศน้อยที่สุดเพื่อป้องกันไม่ได้เกิดออกซิเดชัน และหากใช้น้ำมันมากเกินไประหว่างการล้างก็จะทำให้เกิดไฮโดรไลซิสได้ อุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิม (Stainless steel) เพราะหากมีเหล็กปนเปื้อนในน้ำมัน จะทำให้เกิด Iron-phosphatide complex และเหล็กยังเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ

1.7.2 การรีไฟน์ (Refining)

เป็นกระบวนการที่ใช้แยกเอาพวกกรดไขมันอิสระและสารปนเปื้อนที่ไม่ละลายในน้ำมันออกจากน้ำมัน การรีไฟน์ทำได้หลายวิธี เช่น

1) Pre-storage refining เป็นการแยกสารปนเปื้อนที่ไม่ละลายในน้ำมันออก โดยตั้งทิ้งไว้ให้อนุภาคต่างๆ ตกตะกอน แล้วกรองหรือใช้เครื่องเหวี่ยงแยกเอาสารปนเปื้อนออก น้ำมันที่ได้จะนำไปรีไฟน์ด้วยวิธีอื่นต่อไป

2) Steam refining ทำได้โดยการใช้ไอน้ำผ่านเข้าไปในน้ำมันร้อนๆ ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ที่ความดันต่ำ 1 มิลลิเมตรปรอท หรือภายใต้สูญญากาศ การทำวิธีนี้ต้องกำจัดก๊าซออกซิเจนออกให้หมดและกระทำภายในภาชนะที่ปิดสนิท ไอน้ำจะพากรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำคือ มีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่า 14 อะตอม ระเหยออกไป เป็นการกำจัดกลิ่นของน้ำมัน (Deodorization) พร้อมกันด้วย และยังช่วยกำจัดสารประกอบประเภทอัลดีไฮด์ คีโตน และสารระเหยอื่นๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดนชัน ช่วยทำลายสารเปอร์ออกไซด์และแคโรทีนนอยด์ด้วย แต่มีข้อเสียคือ วิธีนี้ทำลายวิตามินดีด้วย ซึ่งป้องกันได้โดยการเติมสารออกซิเดชัน วิธีนี้มักใช้กับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง กรดไขมันอิสระอาจถูกแยกออกจากน้ำมันโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำภายใต้สุญญากาศ น้ำมันที่ได้หลังจากผ่านการรีไฟน์ด้วยไอน้ำแล้ว ต้องนำไปรีไฟน์โดยใช้ด่างต่อไป



ภาพที่ 2.10 สรุปขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

ตารางที่ 2.3 ผลของกระบวนการที่ทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบในน้ำมัน

กระบวนการ	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น	ส่วนประกอบที่ถูกกำจัดหรือลดลง
Degumming	-	สารประกอบที่ละลายได้ในน้ำ เช่น ฟอสโฟลิพิด และคอลโรฟีลล์บางส่วนถ้าใช้กรดฟอสฟอริก
Alkail refining	-	กรดไขมันอิสระและฟอสโฟลิพิดที่ยังเหลืออยู่ถูกกำจัด สารสีหรือรงควัตถุมีปริมาณลดลง
Bleaching	- เกิด conjugated acids	- แคโรทีนอยด์และคลอโรฟีลล์ถูกกำจัดเพอร์ออกไซด์ถูกทำลาย - กอสสิพอลถูกกำจัด - Toxic agents เช่น polycyclic aromatic hydrocarbon ถูกกำจัดออก
Deodorization	- เกิด geometrical isomers - เกิด linear และ cyclic dimers / polymers	- กรดไขมันอิสระและ decomposition products ถูกกำจัด - สเตอรอล สเตอรอลเอสเทอร์ และวิตามินดีถูกกำจัด - สารพิษตกค้างและสารพิษจากเชื้อราถูกกำจัดออก
Hydrogenation	- ลดจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว - เกิด positional และ geometric isomers - เกิด linear และ cyclic dimers/ polymerx	กรดไขมันจำเป็นมีปริมาณลดลง
Winterization	ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมีปริมาณมากขึ้น	ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจุดหลอมเหลวสูงถูกกำจัดออก

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

3) Alkali refining (Caustic refining) เป็นการรีไฟน์โดยใช้ด่าง นิยมใช้กับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระปนอยู่เพียงเล็กน้อย ด่างที่ใช้ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียม

คาร์บอเนต สารละลายด่างที่ใช้ควรมีความเข้มข้นประมาณ 10-15% วิธีทำจะฉีดสารละลายด่างเข้าไปในน้ำมันที่มีอุณภูมิ 75-85 องศาฟาเรนไฮต์ ที่กวนอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสม่ำเสมอ แล้วเพิ่มความร้อนให้อุณภูมิสูงขึ้นเป็น 130-185 องศาฟาเรนไฮต์ สารละลายด่างทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน จะได้สบู่เกิดขึ้น ซึ่งสบู่ไม่ละลายในน้ำมัน ถ้าใช้ด่างมากเกินไปจะทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสที่โมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ทำให้มีกรดไขมันอิสระถูกแยกออกมาในรูปของสบู่มากขึ้น ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันบริสุทธิ์ (Refined oil) ลดน้อยลง

การรีไฟน์ด้วยด่างจะทำเพียงครั้งเดียว สบู่ที่ออกมาจะตกตะกอนอยู่ข้างล่าง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการรีไฟน์น้ำมันพืชด้วยด่าง สบู่ที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า "Foots" หรือ "Soapstock" มักนำไปขายให้กับโรงงานทำสบู่ แต่บางครั้งก็นำไปทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันเจือจางให้กลับเป็นกรดไขมันอิสระแล้วนำไปขายให้กับโรงงานทำอาหารสัตว์ได้ เรียกว่า Acidulated foots

การแยกเอาน้ำมันออกจากสบู่ อาจทำโดยปล่อยทิ้งไว้ให้สบู่ตกตะกอนรวมตัวกันดีขึ้น แล้วดูดเอาน้ำมันออก แต่วิธีที่ดีคือ แยกออกโดยใช้เครื่องเหวี่ยง น้ำมันที่ได้ภายหลังการรีไฟน์อาจมีสบู่ปนอยู่บ้าง ต้องนำมาล้างด้วยน้ำร้อนอีก 2-3 ครั้ง จนแน่ใจแล้วว่าไม่มีสบู่เหลืออยู่ แล้วจึงแยกน้ำมันออกจากน้ำโดยใช้เครื่องเหวี่ยง น้ำมันที่ล้างน้ำแล้ว ทำให้แห้งโดยใช้สุญญากาศช่วย

1.7.3 การฟอกสีให้จางลง (Bleaching)

เป็นกระบวนการที่ใช้แยกสารประกอบที่เป็นสารสีต่างๆ และสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งติดปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันออกไปหรือทำให้มีปริมาณลดน้อยลง สารสีเหล่านี้ได้แก่ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ การแยกเอาสารประกอบที่เป็นสารสีออกไปจะช่วยทำให้น้ำมันมีสีจางลง นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณของโลหะ ฟอสฟาไตด์ กัม สบู่ และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ลงไปได้อีกด้วย กระบวนการอื่นๆ ก็สามารถช่วยแยกสารสีออกไป เช่น การทำรีไฟน์ด้วยด่างสามารถแยกเอาสารสีที่ละลายได้ในน้ำ หรือสารสีที่มีสมบัติเป็นกรด (Acidic pigment) น้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่น ก็ช่วยแยกเอาพวกสารสีที่ระเหยได้ง่ายหรือที่กลั่นออกมาได้ด้วยไอน้ำ และพวกที่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนออกไป การฟอกสีทำได้ง่ายโดยใช้ Bleaching agent เติมลงไปในน้ำมันที่มีอุณภูมิประมาณ 160-180 องศาฟาเรนไฮต์ ในถังที่มีเครื่องกวน เพิ่มอุณภูมิให้ร้อนขึ้นอีกจนถึง 220-240 องศาฟาเรนไฮต์ นานประมาณ 20-30 นาที Bleaching agent จะดูดซับ (Adsorb) พวก

สารสีไว้ แล้วกรองเพื่อแยกเอา Bleaching agent ออก การใช้ Bleaching agent จะให้ผลดีในการกำจัดสีเขียวของคลอโรฟิลล์ สีแดงของแคโรทีนและแซนโทฟิลล์

Bleaching agent ที่นิยมใช้มีอยู่ 3 ชนิด คือ

1) Natural bleaching clays หรือ Neutral earth ที่มีชื่อเดิมว่า Fuller's earth ประกอบด้วย Hyrated aluminum silicate [$Al_4Si_8O_{20}(OH)_4\ nH_2O$] ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสารสีได้ผันแปรแตกต่างกัน Bleaching earth ซึ่งเป็น Natural clays (Betonites) ที่ผ่านการ treat ด้วยกรด จะช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านความสามารถในการดูดซับสารต่าง (adsorptivity) และความสามารถในการกรอง (Filterability)

2) Acid processed bleaching clay หรือ Acid-activated clay หรือ Acid-activated earth เตรียมได้โดยใช้ Bentonites มาผสมกันกรดแร่ (Mineral acid) เช่น กรดกำมะถันหรือกรดเกลือ อะลูมิเนียมจะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนทำให้เปอร์เซ็นต์ของ Hydrated silica สูงกว่า จึงมีความสามารถได้การดูดซึมสารสีต่างๆ ได้ดีกว่า Natural bleaching clay มีประสิทธิภาพทั้งกำจัดสารสีและทำให้สารเปอร์ออกไซด์ลดลงด้วย

3) Activated carbon เป็นสารที่ใช้สำหรับฟอกสีน้ำมันมาเป็นเวลาช้านานแล้ว แต่ปัจจุบัน Activated carbon มีราคาค่อนข้างแพงกว่าสารชนิดอื่น และเมื่อใช้ Activated carbon เพียงอย่างเดียวจะดูดซับน้ำมันไว้มากด้วย ดังนั้นจึงมักผสม Activated carbon ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักลงไปใน Bleaching clay ส่วน Acid-activated clay จะเป็นตัวแยกเอาพวกสารสีที่มีสมบัติเป็นด่างออกไปจากน้ำมัน การใช้ Activated carbon ในการฟอกสียังช่วยดูดซับสารประกอบอื่น เช่น สบู่ Polycyclic aromatic hydrocarbon คือ Phenanthrenes และ α -Benzopyrenes ที่อาจปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปลาออกไปได้ด้วย

1.7.4 การกำจัดกลิ่น (Deodorization)

เป็นกระบวนการกำจัดสารที่ให้กลิ่นและรสชาติออกจากไขมันและน้ำมัน สารประกอบที่ถูกกำจัดออกไปจะเป็นพวกที่ระเหยได้ เช่น กรดไขมันอิสระ อัลดีไฮด์ คีโตน เปอร์ออกไซด์ รวมทั้งพวกสเตอรอล แวกซ์ โมโนกลีเซอไรด์ สารสีบางชนิด และสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน สารที่ให้กลิ่นเหล่านี้จะมีอยู่ในน้ำมัน ประมาณ 0.2-0.5% น้ำมันที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วไม่ควรมีสารเหล่านี้เหลืออยู่เกิน 1% ของที่มีอยู่เดิม

1.7.5 การทำให้เย็น (Winterization)

เป็นกระบวนการที่ทำให้ไขมันและน้ำมันมีอุณหภูมิลดต่ำลงและเกิดการแข็งตัวตกผลึกแยกออกมา (Fractional crystallization) เนื่องจากไขมันและน้ำมันประกอบด้วยไตรเอ ซิลกลีเซอรอล หลายๆ ชนิดรวมกัน บางชนิดมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง และบางชนิดก็มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อลดอุณหภูมิลงถึง 42 องศาฟาเรนไฮต์ พวกที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะเกิดการแข็งตัวเป็นผลึกที่กรองออกได้ ซึ่งส่วนมากเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและแวกซ์ วิธีทำง่ายมาก ทำได้โดยการนำเอาน้ำมันใส่ในภาชนะขนาดใหญ่ แล้วเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิตามต้องการ ซึ่งควรจะต่ำกว่าอุณหภูมิของตู้เย็นเล็กน้อย น้ำมันที่ได้ภายหลังจากการทำให้เย็น จะเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวไม่มาก ค่าไอโอดีนสูงขึ้น จึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่มีโอกาสเกิด Oxidative rancidity ได้ง่าย หากไม่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันอย่างเพียงพอ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำให้เย็น จะนำไปใช้ทำน้ำมันสลัด เพราะจะไม่แข็งตัวตกผลึกเมื่อเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย

ไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย หมายถึง สารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่สามารถถูกสกัดจากสารละลายน้ำโดยเฮกเซน ตัวอย่างสารพวกนี้ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง ไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ และกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ สารพวกนี้ไม่ละลายน้ำจะแยกตัวออกจากน้ำเสียและลอยอยู่ที่ผิวน้ำได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้ แต่ในบางสภาวะไขมันและน้ำมันอาจจะแขวนลอยอยู่ในน้ำเสียก็ได้ โดยผลมาจากความร้อนหรือสารลดแรงตึงผิว (Surfacetant) ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้น แม้จะมีปริมาณเล็กน้อย ไขมันและน้ำมันก็มีกลิ่นน่ารังเกียจและชอบจับตัวอยู่ตามผนังของท่อหรืออุปกรณ์ของระบบบำบัดน้ำเสีย ไขมันและน้ำมันที่หลุดรั่วลงไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมีผลร้ายต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและนกที่หากินอยู่ในแหล่งน้ำนั้น การเกาะจับของน้ำมันตามเหงือกของปลาและขนนก ถ้ามีปริมาณมาก อาจทำให้ปลาและนกตายได้ ไขมันและน้ำมันที่ตกตะกอนลงก้นบ่อหรือแหล่งน้ำอาจจะไปยับยั้งการย่อยสลายตามปกติของจุลินทรีย์ก้นบ่อหรือแหล่งน้ำได้ นอกจากนี้ไขมันและน้ำมันเป็นปัจจัยที่รบกวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทุกชนิด (มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2550)

2.1 สถานะของไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย

ไขมันและน้ำมันอาจลอยหรือจมน้ำก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น วิธีใช้ วิธีผลิต และอุณหภูมิของน้ำเสีย ซึ่งสถานะของไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.1.1 น้ำมันละลายน้ำ

ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำมันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของน้ำมันนั้นๆ โดยเฉพาะน้ำมันที่มีโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัว มีโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนเป็นวงแหวนเบนซีน และน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มักจะละลายน้ำได้ดี น้ำมันละลายน้ำมักมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่อาจรู้ได้ด้วยการดมหรือชิม นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันละลายน้ำมักเป็นพิษและเป็นต้นเหตุของมะเร็ง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.1.2 น้ำมันลอยบนผิวน้ำ (เป็นฟิล์ม)

น้ำมันชนิดนี้มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ทำให้น้ำมันลอยเหนือน้ำเป็นฝ้าหรือเป็นฟิล์ม ซึ่งขวางกั้นการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่น้ำหรือบังแสง น้ำมันปริมาณเล็กน้อยก็สามารถสร้างฟิล์มปิดพื้นที่ผิวน้ำได้มากมาย เนื่องมักเป็นโมเลกุลเดี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ (มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2550)

2.1.3 น้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชัน

เป็นน้ำมันที่อยู่ในรูปอนุภาคขนาดเล็กคล้ายคอลลอยด์ ดังนั้นจึงมองคล้ายความขุ่นในน้ำ น้ำมันลอยน้ำหรือละลายน้ำอาจกลายเป็นอิมัลชันได้เมื่อถูกกระทำด้วยแรงภายนอก เช่น ถูกบดอัด (เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันถูกสูบด้วยเครื่องสูบหอยโข่ง) เป็นต้น ขนาดของเม็ดน้ำมันมีตั้งแต่เล็กกว่า 20 ไมครอนจนถึงขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลของน้ำมัน ไฮโดรคาร์บอนที่มีแรงตึงผิวสูงจะมีขนาดใหญ่ ส่วนเม็ดน้ำมันที่มีขนาดเล็กจะเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีแรงตึงผิวต่ำ (มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2550)

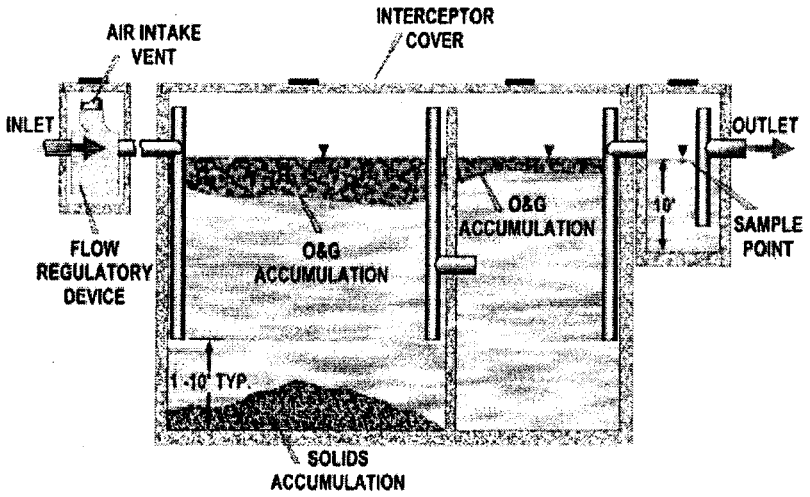
น้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสารซักฟอกหรือสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และชนิดที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว สำหรับน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันที่มีสารลดแรงตึงผิวอยู่ด้วย เม็ดน้ำมันชนิดนี้เป็นเม็ดน้ำมันที่มีความคงตัวมาก ทำให้แยกออกจากน้ำเสียได้ยาก สาเหตุมาจากสารลดแรงตึงผิวหรือสารซักฟอกมักเป็นโมเลกุลโพลาร์ขนาดใหญ่ ส่วนหนึ่งของโมเลกุลละลายได้ดีในน้ำมักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิล (COO^-Na^+) กลุ่มซัลเฟต ($SO_4^-Na^+$) กลุ่มไฮดรอกซิล(OH^-) หรือกลุ่มซัลโฟเนต ($SO_3^-Na^+$) และอีกส่วนหนึ่งละลายได้ในน้ำมันจะเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสารลดแรงตึงผิวทำให้เม็ดน้ำมันมีประจุบวกที่ผิว ลักษณะเช่นนี้ทำให้เม็ดน้ำมันมีความคงตัว เนื่องจากประจุบวกจะผลักกันทำให้เม็ดน้ำมันไม่สามารถรวมตัวเป็นเม็ดขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย

2.2 การกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย

การกำจัดไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสียที่นิยมใช้กันทั่วไปนั้น มักจะเริ่มจากการแยกหรือทำให้ไขมันหรือน้ำมันแยกชั้นกับน้ำเสียก่อน แล้วจึงแยกออกจากน้ำเสียเพื่อไปจัดการต่อไป ซึ่งมักจะอาศัยกระบวนการทางกายภาพเป็นหลัก หรืออาจจะอาศัยกระบวนการทางเคมีรวมกับกระบวนการทางกายภาพเพื่อให้ไขมันหรือน้ำมันดังกล่าวแยกตัวออกจากน้ำเสียได้ดีขึ้นหรือสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การเลือกใช้วิธีการใดจะขึ้นอยู่กับลักษณะและความเข้มข้นของไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย ตลอดจนลักษณะสมบัติของน้ำเสียด้วย ซึ่งระบบบำบัดไขมันและน้ำมันที่นิยมใช้กันมีดังนี้

2.2.1 ถังหรือบ่อดักไขมัน (Grease trap)

วิธีการนี้นิยมใช้กันมากที่สุด ในกรณีของไขมันและน้ำมัน มีลักษณะเป็นถังพลาสติกหรือบ่อคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือบ่อกลมที่มีความจุไม่น้อยกว่า 15 นาที (อนึ่งระยะการกักเก็บหรือความจุจะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของไขมัน ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย เช่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น) ในบ่อมีแผ่นคอนกรีตหรือแผ่นคอนกรีตกั้นขวางทางน้ำไหล โดยน้ำจะไหลลอดแผ่นกั้น ส่วนไขมันและน้ำมันจะถูกกักไว้ด้านบน จะต้องมีการตักน้ำหรือไขมันทิ้ง นอกจากนี้อาจจะใช้เครื่องกวาดไขมันแทนการใช้แรงงานคนตักออก ซึ่งจะเหมาะสมและสะดวกในกรณีน้ำเสียมีปริมาณมาก ดังภาพที่ 2.11

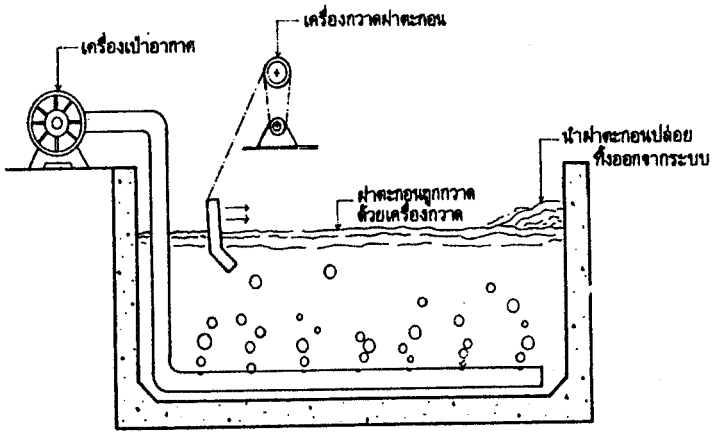


ภาพที่ 2.11 บ่อดักไขมัน

ที่มา: สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549)

2.2.2 ระบบทำให้ลอยด้วยอากาศ (Air flotation)

เป็นระบบการทำให้ตะกอนลอยที่ง่ายที่สุด คือ เป่าฟองอากาศลงไปในน้ำเสียโดยตรง เพื่อให้ฟองอากาศพาสิ่งสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ วิธีนี้เหมาะสำหรับแยกสิ่งสกปรกเบาๆ ที่มีความโน้มเอียงจะลอยสู่ผิวน้ำอยู่แล้ว อาจช่วยให้ไขมันหรือน้ำมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำเร็วขึ้น รูปแบบเป็นบ่อหรือถังคอนกรีตง่ายๆ ที่ติดตั้งอยู่ระดับผิวดินหรือระดับเหนือผิวดินก็ได้ตามความเหมาะสม และมีเครื่องเป่าอากาศขึ้นจากก้นถังเพื่อแยกให้สิ่งสกปรกเพื่อแยกให้สิ่งสกปรกปนเปื้อนแยกตัวลอยขึ้นที่ผิวหน้าของน้ำเสียดังภาพที่ 2.12 ประสิทธิภาพของระบบนี้ไม่สูงมากนัก รวมทั้งบ่อหรือถังอาจจะต้องมีขนาดใหญ่



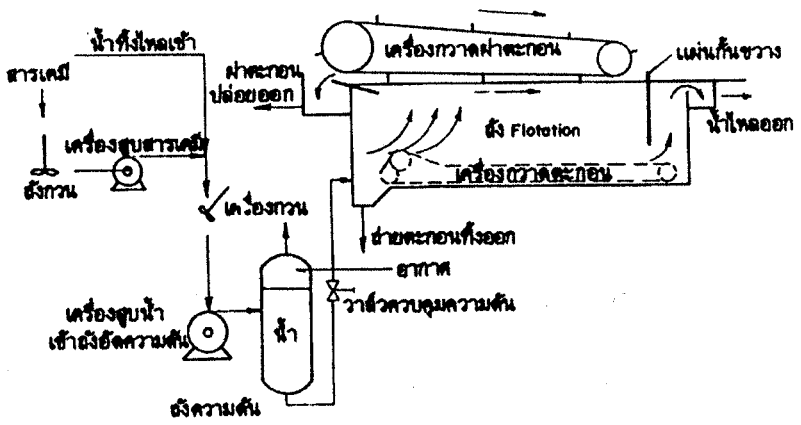
ภาพที่ 2.12 Air flotation

2.2.3 ระบบดาฟ (Dissoved air flotation, DAF)

เป็นระบบทำให้ตะกอนลอยที่ใช้กันมากที่สุด โดยกระบวนการทำให้ลอยอาศัยหลักการอัดอากาศเข้าไปในน้ำเสียภายใต้ความดันสูงกว่าบรรยากาศ เพื่อให้อากาศละลายในน้ำเสียมากขึ้น หลังจากนั้นลดความดันของอากาศลง ทำให้อากาศละลายน้ำได้น้อยลง อากาศส่วนเกินจะหนีออกจากน้ำเป็นฟองเล็กๆ พาไขมันหรือสิ่งสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและจะพาเอาไขมันและสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสียโดยลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของน้ำเสีย ระบบนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันในหลายๆ กรณี เช่นการแยกไขมันออกจากน้ำเสียซึ่งจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี Air flotation ธรรมดา รวมทั้งขนาดของระบบก็เล็กกว่า แต่จะเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูงกว่า ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของระบบ Dissoved air flotation คือมักใช้รวมกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่นด้วย เช่นการทำตะกอนจุลินทรีย์ของระบบน้ำเสียทาง

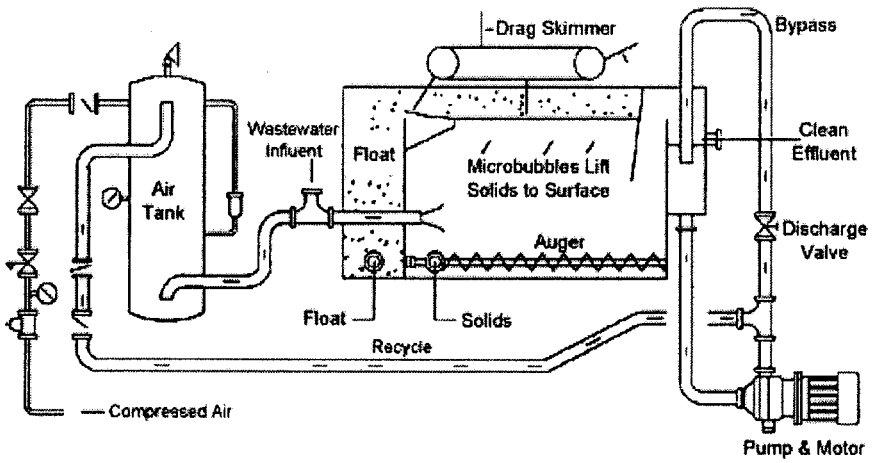
ชีวภาพ หรือใช้แยกตะกอนออกจากน้ำเสียหลังตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) หรือการสร้างรวมตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation-flocculation) ระบบทำให้ตะกอนลอยแบบ Dissoved air flotation แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) DAF Without recycle เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณไม่มากนัก น้ำทิ้งทั้งหมดหรือบางส่วนจะถูกสูบด้วยเครื่องสูบน้ำความดันสูง (High pressure pump) เข้าไปในถังเพิ่มความดัน (pressure tank) พร้อมอัดอากาศเข้าไปด้วย น้ำจะถูกกักอยู่ในถังความดันเพื่อให้อากาศละลายได้ทั่วถึง จากนั้นก็ปล่อยให้น้ำไหลผ่านลิ้นลดความดัน (Pressure reduction valve) เข้าสู่ถังลอย (Flotation tank) อากาศซึ่งละลายอยู่ในน้ำเสียจะลอยเป็นฟองอากาศเล็กขึ้นสู่ผิวน้ำพร้อมกับพาไขมันหรือสิ่งสกปรกขึ้นสู่ผิวน้ำดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 DAF Without recycle
ที่มา: สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549)

2) DAF with recycle นิยมใช้กับน้ำเสียที่มีปริมาณมากๆ และไขมันหรือสิ่งสกปรกที่ต้องการแยกจะแยกตัวออกจากน้ำเสียได้ง่ายที่ความดันสูง ซึ่งลักษณะการทำงานจะคล้ายกับระบบ DAF without recycle จะต่างกันที่ระบบ DAF without recycle จะใช้น้ำใสที่ได้จากถังลอยมาเติมอากาศในถังความดัน จากนั้นก็จะถูกส่งไปผสมกับน้ำเสียที่ถูกป้อนเข้าสู่ถังแยกตะกอนดังภาพที่ 2.14 แทนที่จะใช้น้ำเสียทั้งหมดมาอัดอากาศเหมือนระบบ DAF without recycle อนึ่ง ประสิทธิภาพของระบบทำให้ตะกอนลอยแบบ DAF นั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของอากาศกับน้ำหนักของสิ่งสกปรกที่ต้องการแยกออก



ภาพที่ 2.14 DAF with recycle

ที่มา: สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549)

3. อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดของไทย

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เนื้อไก่เพื่อการส่งออกของไทย สามารถจำแนกตามลักษณะสินค้าที่ผลิตได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ การผลิตเนื้อไก่แปรรูปในผลิตภัณฑ์อาหารของประเทศผู้นำเข้าและการผลิตเนื้อไก่แปรรูปในผลิตภัณฑ์อาหารไทย ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่แปรรูปต่างๆ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

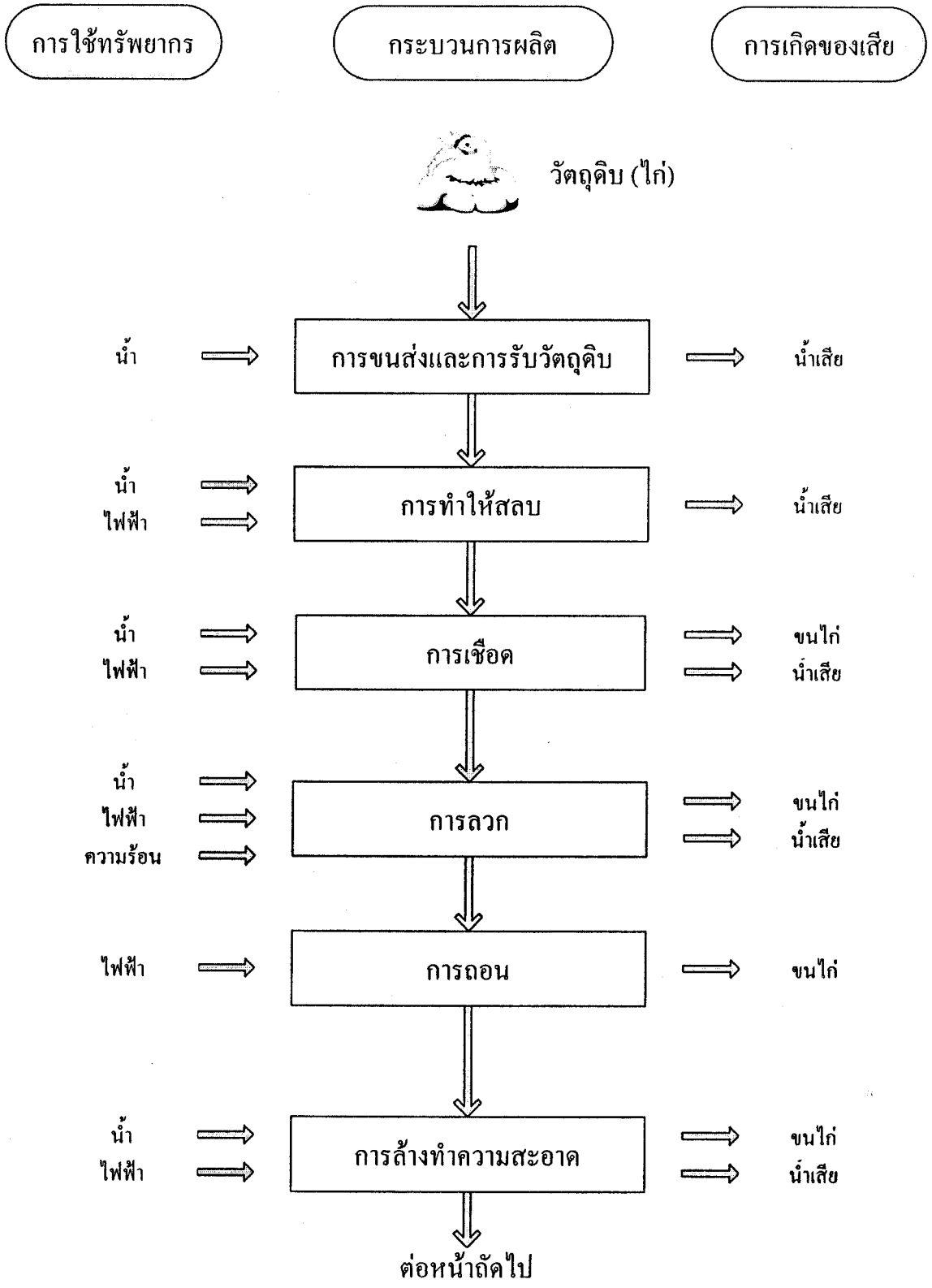
1) ไก่สดแช่เย็น โดยจะใช้ไก่ทั้งตัวมาชำแหละเป็นชิ้นส่วน ได้แก่ หัว คอ ขา น่อง สะโพก ปีก อก และ เครื่องในไก่

2) ไก่แปรรูปประกอบด้วย ไก่ชุบแป้งทอดแบบญี่ปุ่น ขาไก่ย่าง ลูกชิ้นไก่ อกไก่ทอดนักเก็ตไก่ สเต็กไก่ แกงไก่ต่างๆ เป็นต้น

โดยส่วนใหญ่ทุกโรงงานแปรรูปเนื้อไก่สดของไทยจะมีผลิตภัณฑ์เนื้อไก่แปรรูปทั้งสองชนิดนี้ (สุธาสินี คูแก้ว, 2547)

3.1 กระบวนการผลิต

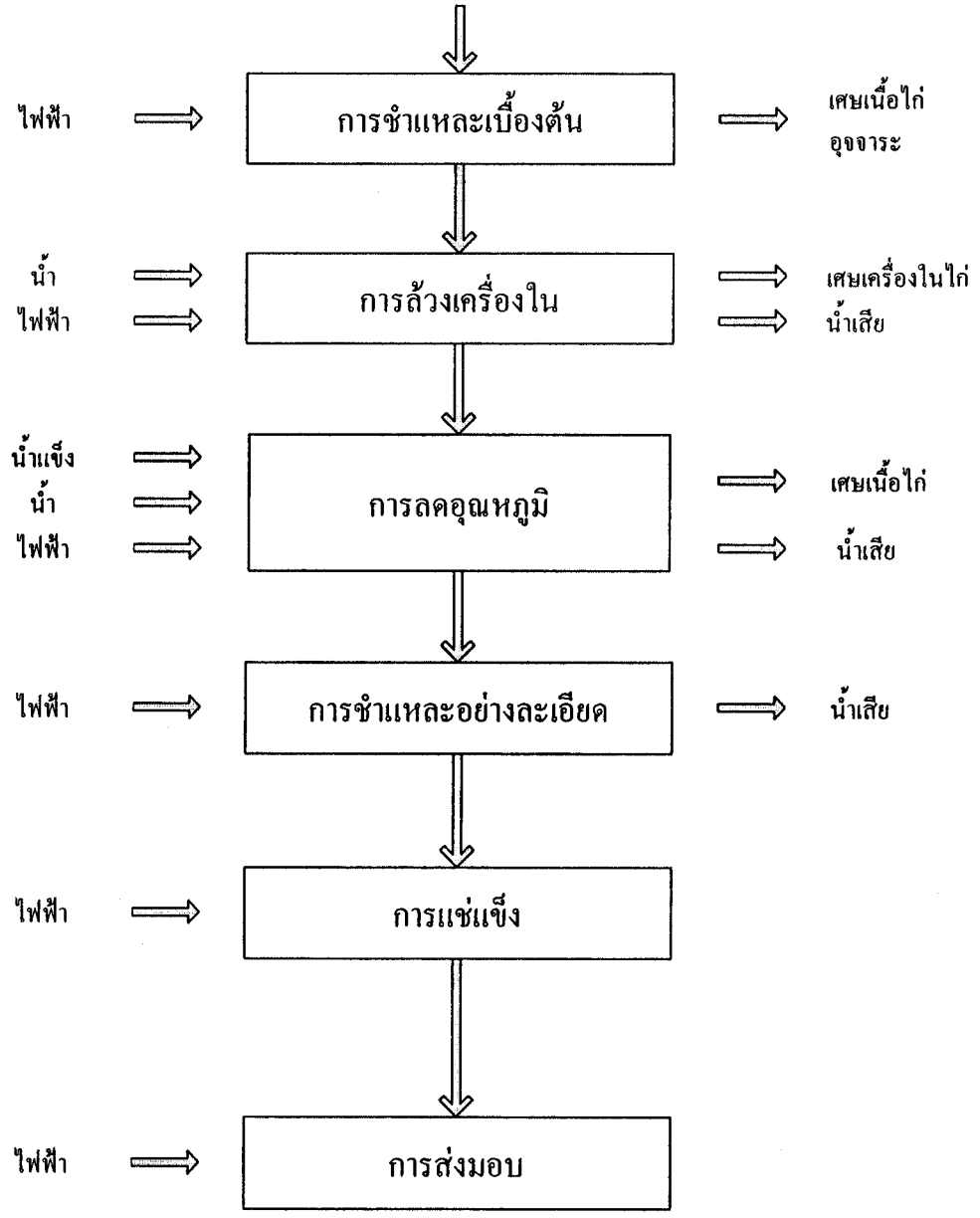
กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทผลิตภัณฑ์อาหารจากเนื้อสัตว์มีรูปแบบการผลิตที่คล้ายคลึงกัน อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดก็เช่นกัน วัตถุดิบที่นำมาใช้ ได้แก่ ไก่ ถูกเตรียมให้พร้อมเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับนำไปประกอบอาหาร ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์บางส่วนอาจมีการนำไปแปรรูป เช่น การอบ การปรุงรส เป็นต้น กระบวนการผลิตหลักๆ อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สดมีรายละเอียด ดังภาพที่ 2.15 สามารถสรุปได้ ดังนี้



ภาพที่ 2.15 แผนผังกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด

การใช้ทรัพยากร | กระบวนการผลิต | การเกิดของเสีย

ต่อจากหน้าที่แล้ว



ภาพที่ 2.15 แผนผังกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด (ต่อ)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2548)

1) **การขนส่งและรับวัตถุดิบ** วัตถุดิบจากฟาร์มของสมาชิกและฟาร์มของโรงงานถูกบรรจุในภาชนะบรรจุเช่น ตะกร้า เป็นต้น และขนส่งโดยรถกระบะหรือรถบรรทุกมายังโรงงาน จากนั้นนำวัตถุดิบพร้อมภาชนะบรรจุไปชั่งน้ำหนักและลำเลียงผ่านสายพานเข้าสู่โรงเชือด โดยพนักงานนำวัตถุดิบออกจากภาชนะบรรจุแล้วนำขึ้นไปแขวนให้ห้อยหัวลงมาสำหรับภาชนะบรรจุถูกล้างทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างอัตโนมัติหรือฉีดล้างด้วยพนักงานก่อนลำเลียงขึ้นรถ

2) **การทำให้สลบ** นำวัตถุดิบที่แขวนลำเลียงผ่านลงน้ำที่มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อช็อตให้สลบ

3) **การเชือด** นำวัตถุดิบลำเลียงขึ้นจากน้ำและปาดคอ ซึ่งระหว่างการเชือดมีการเปิดน้ำ เพื่อล้างทำความสะอาดมีดอยู่ตลอดเวลา สำหรับเลือดจะไหลไปตามรางและรองใส่ถ้วยทิ้งไว้จนเลือดเริ่มแข็งตัวเป็นลิ่มแล้วนำไปต้มเพื่อจำหน่าย ส่วนซากวัตถุดิบถูกนำไปถอนขน

4) **การลวก** นำซากวัตถุดิบลำเลียงลงหม้อลวก โดยใช้ไอน้ำในการทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ลวกสูงขึ้น

5) **การถอนขน** นำซากวัตถุดิบที่ผ่านการลวกน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องถอนขน โดยขนที่ได้ถูกเก็บรวบรวมไว้เพื่อนำ ไปเป็นส่วนประกอบในการผลิตอาหารสัตว์

6) **การล้างทำความสะอาด** นำซากวัตถุดิบที่ผ่านขั้นตอนการถอนขนไปล้างทำความสะอาดในเครื่องล้างอัตโนมัติ

7) **การชำแหละเบื้องต้น** ซากวัตถุดิบลำเลียงผ่านเข้าเครื่องตัดคอ ตัดขาและเท้า โดยส่วนเท้าที่ได้นำไปผ่านเข้าเครื่องลอกหนังสีเหลืองออกและนำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติกหรือถาดโฟมเพื่อจำหน่าย

8) **การล้วงเครื่องใน** นำซากวัตถุดิบขึ้นแขวนและกรีดตั้งแต่คอจนถึงกระเพาะเพื่อนำเครื่องในออกและทำการเจาะก้น ซากวัตถุดิบถูกลำเลียงผ่านเครื่องล้างซาก ซึ่งมีการพ่นน้ำผสมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค ส่วนเครื่องในถูกลำเลียงไปตามรางโดยใช้น้ำ เข้าสู่ห้องแยกชิ้นส่วนเครื่องใน และนำไปบรรจุเพื่อจำหน่าย

9) **การลดอุณหภูมิ** ซากวัตถุดิบถูกลำเลียงเข้าเครื่องลดอุณหภูมิ โดยซากวัตถุดิบไหลมาจากด้านหนึ่งและน้ำแข็งไหลมาจากอีกด้าน สำหรับน้ำส่วนเกินที่เกิดจากการละลายของน้ำแข็งไหลออกทางด้านล่างของเครื่องลดอุณหภูมิ

10) **การชำแหละอย่างละเอียด** นำซากวัตถุดิบลำเลียงไปตามรอกระบบลำเลียง โดยพนักงานชำแหละซากวัตถุดิบออกเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ อกสะโพก น่อง ปีก จากนั้นนำไปบรรจุเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปแช่แข็ง ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์บางส่วนถูกนำไปแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าหรือ

ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า เช่น การปรุงรสแล้วอบ การชุบแป้งแล้วทอด เป็นต้น การแปรรูปเป็นกระบวนการผลิตเฉพาะบางโรงงานที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป ซึ่งดำเนินการแปรรูปก่อนนำไปแช่แข็ง

11) **การแช่แข็ง** ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ถูกแช่เยือกแข็งไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยอาจต่ำถึงลบ 18 องศาเซลเซียส

12) **การส่งมอบ** ชิ้นส่วนต่างๆ ที่บรรจุในถาดโฟมหรือถุงพลาสติกส่งมอบให้กับผู้รับซื้อโดยใช้ระบบตู้คอนเทนเนอร์ที่มีระบบแช่แข็งหรือมีผู้มารับซื้อจากโรงงานโดยตรง

***หมายเหตุ รายละเอียดขั้นตอนการผลิตของแต่ละโรงงานอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น รายละเอียดผลิตภัณฑ์ ความต้องการของลูกค้าความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการของผู้ผลิต เป็นต้น

3.2 การใช้ทรัพยากร

3.2.1 การใช้วัตถุดิบ

วัตถุดิบสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

1) **วัตถุดิบหลัก** ได้แก่ ไก่ ซึ่งการเตรียมวัตถุดิบหลักโดยการเชือดและชำแหละชิ้นส่วนต่างๆ เป็นขั้นตอนที่ก่อให้เกิดเศษซาก หากการทำงานในขั้นตอนนี้เป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพก่อให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ ซึ่งนอกจากเป็นการสูญเสียผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบที่มีมูลค่าแล้ว ยังเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสียเหล่านั้น ดังนั้นการทำงานในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพทำให้ลดการสูญเสียลง

2) **วัตถุดิบเสริม** ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ เช่น ถาดโฟม ถุงพลาสติก แผ่นพลาสติก เป็นต้น เป็นสิ่งหนึ่งในการกำหนดต้นทุนของสินค้า ราคาขาย และกำไรของอุตสาหกรรม ถ้าสามารถควบคุมต้นทุนการผลิตจากส่วนของวัตถุดิบเสริมได้จะมีความได้เปรียบคู่แข่ง โดยสามารถกำหนดราคาขายให้ต่ำลง เพื่อดึงดูดกำลังซื้อหรือคงราคาขายไว้เท่าเดิมแต่สามารถมีกำไรที่เพิ่มสูงขึ้นได้

3.2.2 การใช้น้ำ

1) **น้ำสะอาดหรือน้ำประปา** มีการใช้ในปริมาณมาก เพื่อล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ ล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ระหว่างแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ล้างทำความสะอาด

มือและรองเท้าของพนักงานปฏิบัติงาน ล้างภาชนะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ และล้างบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน ทั้งนี้น้ำยังนำไปใช้ในการผลิตเป็นน้ำเย็นและน้ำแข็ง หากต้องการให้น้ำประปามีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคมีการเติมคลอรีนลงไปผสมที่ความเข้มข้นที่กำหนด ดังนั้นการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพหรือการใช้น้ำอย่างคุ้มค่าก่อนที่ระบายทิ้งสามารถช่วยลดการสิ้นเปลืองของน้ำลงได้มาก

2) **น้ำเย็นและน้ำแข็ง** ใช้เพื่อคงความสดและควบคุมการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการผลิต

3.2.3 การใช้พลังงาน

พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าซึ่งใช้มากในระบบทำความเย็น เช่น การแช่แข็งวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ในห้องเย็น การผลิตน้ำเย็นและน้ำแข็งเพื่อใช้ในการรักษาคุณภาพของวัตถุดิบ ดังนั้นการใช้ห้องเย็น น้ำเย็น และน้ำแข็งอย่างไม่มีประสิทธิภาพก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าโดยไม่เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ยังใช้กับอุปกรณ์ให้แสงสว่างในบริเวณต่างๆ สูบน้ำเพื่อใช้ในโรงงาน เดินเครื่องเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียและใช้ในสำนักงาน

สำหรับพลังงานความร้อนที่ได้จากไอน้ำถูกใช้ในขั้นตอนการลวกไก่เพื่อทำให้สามารถถอนขนออกได้ง่ายและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งไอน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและความร้อนโดยไม่เกิดประโยชน์ด้วยเช่นกัน

3.3 ของเสียจากกระบวนการผลิตในโรงงานแปรรูปเนื้อไก่สด

3.3.1 น้ำเสีย

น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต การล้างสายการผลิต การชำระทำความสะอาดมือและรองเท้าของพนักงานปฏิบัติการ การล้างภาชนะ เครื่องมือและอุปกรณ์ และการล้างพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งน้ำเสียส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูงเกิดจากการปนเปื้อนของเศษวัตถุดิบ น้ำเลือดไก่ ไขมัน เศษเนื้อไก่สด ขนไก่ น้ำมันและไขมัน มีผลให้น้ำเสียมีค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอยและน้ำมันและไขมันสูง (Nardi and others, 2008 และภูธร เรืองยิ่ง, 2548) โดยปริมาณน้ำเสียมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำใช้ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การควบคุมความ

สะอาดของสินค้า รูปแบบเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูป พฤติกรรมการทำงาน ประเภทวัตถุดิบ เป็นต้น

3.3.2 กากของเสีย

ส่วนใหญ่ที่เกิดจากกระบวนการเชือดและชำแหละสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ กัน เช่น ขนไก่สามารถนำไปเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ที่ไม่ใช่สัตว์ประเภทเดียวกัน ทั้งนี้เศษบรรจุภัณฑ์ประเภทถาดโฟมและพลาสติกถูกเก็บรวบรวมไว้เพื่อนำไปกำจัด

3.3.3 กลิ่น

ในบางครั้งอาจมีปัญหากลิ่นเหม็นของน้ำเสียจากสายการผลิตซึ่งไหลไปยังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ทั้งนี้หากระบบรวบรวมน้ำเสียและบ่อบำบัดเป็นระบบเปิดโอกาสแพร่กระจายของกลิ่นมีมาก ทั้งนี้กลิ่นเหม็นยังเกิดจากการจัดการที่ไม่ดีของเศษซากผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการผลิต ซึ่งอาจส่งผลรบกวนบริเวณที่อยู่รอบๆโรงงาน และเป็นที่สะสมของเชื้อโรคได้เช่นกัน

3.4 น้ำล้าง

น้ำล้างเป็นน้ำเสียที่ส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต การล้างสายการผลิต การล้างภาชนะ เครื่องมือและอุปกรณ์ และการล้างพื้นที่ปฏิบัติงาน ในน้ำล้างจึงมีการปนเปื้อนของเศษวัตถุดิบ น้ำเลือดไก่ เศษเนื้อไก่สด ขนไก่ และมีปริมาณไขมันและน้ำมันสูง ซึ่งไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมีองค์ประกอบและปริมาณดังนี้

3.4.1 องค์ประกอบของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด

องค์ประกอบของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างทั้งทางด้านกายภาพและเคมีมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำมันไก่ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) **องค์ประกอบทางกายภาพของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง**

ภูธร เรืองยิ่ง (2548) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง พบว่าลักษณะของไขมันจากน้ำล้างก่อนแยกเป็นของแข็งกึ่งของเหลว สี

น้ำตาลอ่อน มีน้ำปนและวัตถุปนเปื้อน เช่น ขนไก่ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 52.84% และมีกลิ่นเหม็นแต่ไม่มากเท่าไขมันในบ่อดักไขมัน ซึ่งมีการสลายด้วยจุลินทรีย์ มีเนื้อละเอียดเป็นฟองสีขาว ลอยแยกตัวกับส่วนของน้ำเสีย และมีองค์ประกอบทางกายภาพด้านเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่ามีค่าความร้อนค่อนข้างสูง เป็นคุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิง ดังข้อมูลที่สรุปได้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางกายภาพของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างกับน้ำมันไก่

องค์ประกอบ	ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง	น้ำมันไก่
1. ด้านกายภาพ		
1.1 ลักษณะภายนอก	ไขมันจากน้ำล้างมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลวสีขาวออกน้ำตาลเมื่อแยกแล้วมีลักษะสีเหลืองใสและ มีกลิ่นตัวไก่	มีลักษณะสีเหลืองใส
1.2 ปริมาณความชื้น	52.84%	-
1.3 เถ้า	2.57%	-
1.4 สารระเหย	42.52%	-
1.5 คาร์บอนเสถียร	2.07%	-
1.6 ค่าความร้อน	8454 kcal/kg	-
1.7 ความหนาแน่น	0.86 กรัม/ซ.ม.	0.86 กรัม/ซ.ม.

ที่มา: ภูธร เรืองยิ่ง (2548)

2) **องค์ประกอบทางเคมีของไขมันจากน้ำล้าง**

ภูธร เรืองยิ่ง (2548) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบด้านเคมีของไขมันจากน้ำล้าง พบว่ามีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงประมาณ 60% โดยเฉพาะกรดโอเลอิก มีปริมาณสูงถึงประมาณ 41% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันไก่ที่มีคุณค่าทางโภชนะ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันไก่ และน้ำมันที่ได้จากน้ำล้าง

กรดไขมัน			น้ำมันไก่	น้ำมันที่ได้จากน้ำล้าง
กรดไขมันอิ่มตัว				
กรดไมริสติก	Myristic acid	C14:0	1.30%	0.72%
กรดปาล์มิติก	Palmitic acid	C16:0	23.20%	36.75%
กรดมาจาริก	Margaric acid	C17:0	0.30%	-
กรดสเตียริก	Stearic acid	C18:0	6.50%	3.53%
กรดอาแรชิโนดิก	Arachinodic acid	C20:0	-	0.52%
กรดไขมันอิ่มตัว				
กรดไมริสโตเลอิก	Myristoleic acid	C14:1	0.20%	-
กรดปาล์มิโตเลอิก	Palmitoleic acid	C16:1	6.50%	1.28%
กรดโอเลอิก	Oleic acid	C18:1	41.60%	40.74%
กรดลิโนเลอิก	Linoleic acid	C18:2	18.90%	16.46%
กรดลิโนเลนิก	Linolenic acid	C18:3	1.30%	-

ที่มา : ภูธร เรืองยิ่ง (2548)

3.4.2 ปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สด

ภูธร เรืองยิ่ง (2548) ศึกษาปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างในกระบวนการผลิตของบริษัทเบ็ทเทอร์โพรดักส์แอนด์เทคโนโลยี จำกัด พบว่าไก่ 1 ตัว (น้ำหนักเฉลี่ย 2.2 กิโลกรัม) มีปริมาณไขมันภายในตัวไก่ทั้งหมดเฉลี่ย 0.71% ของน้ำหนักตัวไก่ ซึ่งบริษัทมีกำลังการผลิตแปรรูปเนื้อไก่สดเฉลี่ย 210,000 ตัวต่อวัน มีปริมาณไขมันซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตสูงถึง 3.29 ตันต่อวัน และในจำนวนนี้ส่วนหนึ่งถูกพาออกสู่น้ำล้างและน้ำทิ้ง ซึ่งอยู่ในระบบน้ำเสียของโรงงานสูงถึง 1.63 ตันต่อวัน คิดเป็น 49.52% ของไขมันภายในตัวไก่ทั้งหมด หรือ 0.352% น้ำหนักตัวไก่

ข้อมูลจากสำนักเศรษฐกิจเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าปริมาณการผลิตไก่แปรรูปของประเทศไทยตั้งแต่ปี 2548 ถึง ปี 2550 เฉลี่ย 850,599,448 ตัวต่อปี หรือคิดเป็นเฉลี่ย 2,330,409 ตัวต่อวัน ดังนั้นจึงสามารถพอที่จะคำนวณประมาณการณ์ของปริมาณไขมันในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทยได้ ประมาณ 18.2 ตันต่อวัน หรือคิดเป็นประมาณ 6,643 ตันต่อปี ซึ่งมีปริมาณที่สูง สามารถนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้และคุ้มค่าต่อการลงทุน

3.5 แนวทางการจัดการไขมันและน้ำมันในอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สด

3.5.1 ลดปริมาณไขมันและน้ำมันที่แหล่งกำเนิด

1) **ลดการใช้น้ำ** ประสิทธิภาพการใช้น้ำของโรงงานสามารถพิจารณาในภาพรวมโดยพิจารณาจากสถิติข้อมูลการใช้น้ำที่ผ่านมา ซึ่งถ้ามีข้อมูลสถิติย้อนหลังหลายปีจะทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ละเอียดมากขึ้นและแก้ปัญหาได้ตรงจุด

การวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อนำไปใช้ปรับปรุงลดดัชนีการใช้น้ำต้องดำเนินการวิเคราะห์ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งมีการใช้น้ำปริมาณมากในขั้นตอน (1) ล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ (2) ล้างทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน (3) ล้างทำความสะอาดพื้นและสายการผลิต (4) ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์และภาชนะบรรจุวัตถุดิบ (5) ล้างทำความสะอาดมือของพนักงานก่อนเข้าสายการผลิต และ (6) การผลิตไอน้ำ

การสูญเสียน้ำหรือใช้น้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพ อาจเกิดจากการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกวิธี การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์และเครื่องจักร สำหรับโรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก ซึ่งโรงงานสามารถนำน้ำทิ้งหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในขั้นตอนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือไม่ต้องการความสะอาดมากนัก ได้แก่ การล้างภาชนะบรรจุวัตถุดิบ การล้างเศษสิ่งสกปรกบริเวณพื้นที่ที่จัดวางวัตถุดิบ หรือนำมาเป็นน้ำแรกในการล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่ติดแน่นหรือบริเวณพื้นที่มีความสกปรกสูงก่อนล้างอีกครั้งด้วยน้ำสะอาด รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น รดน้ำต้นไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีวิธีการลดการใช้น้ำและลดการเกิดน้ำเสียดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ก) ตรวจสอบหารอยรั่วหรือการชำรุดของท่อน้ำและถังเก็บน้ำอย่างสม่ำเสมอ

ข) ติดตั้งมิเตอร์น้ำในจุดสำคัญ เพื่อช่วยเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การใช้น้ำ เมื่อพบว่าปริมาณน้ำใช้ต่อตันผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นให้ตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุ

ค) ถอดก๊อกแล้วปิดด้วยหน้าแปลนสำหรับจุดที่ไม่มีการใช้งาน

ง) ปรับเปลี่ยนการใช้น้ำฉีดล้างวัตถุดิบภาชนะและอุปกรณ์โดยตรงเป็นการล้างในภาชนะ

จ) ปรับวิธีการล้างจากแบบแช่วัตถุดิบ ภาชนะ และอุปกรณ์อยู่ในถังแล้วเปลี่ยนการล้างเป็นแบบล้างหลายถังและมีการไหลของน้ำสวนทิศทาง

ฉ) ใช้ภาชนะบรรจุน้ำในการล้างวัตถุดิบหรือภาชนะ โดยเลือกใช้ภาชนะสำหรับล้างให้เหมาะสมกับปริมาณหรือขนาดวัตถุดิบหรือภาชนะที่ต้องการล้าง

ช) ทำขีดบอกระดับน้ำที่เหมาะสมในภาชนะบรรจุน้ำสำหรับการล้างวัตถุดิบ ภาชนะและอุปกรณ์ เพื่อป้องกันการไหลล้น

ซ) รวบรวมภาชนะและอุปกรณ์เพื่อล้างทำความสะอาดในปริมาณมากแต่จำนวนน้อยครั้ง

ฌ) ตรวจสอบและปรับอัตราการไหลของน้ำให้เหมาะสมต่อการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ

ญ) ติดตั้งหัวฉีดแรงดันสูงแบบที่มีระบบเปิดปิดน้ำที่ปลายสายยางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการล้าง

ฎ) ขจัดคราบติดแน่นก่อนการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ

ฏ) นำน้ำล้างครั้งสุดท้ายกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำ

ฐ) ปิดวาล์วน้ำให้สนิททุกครั้งหลังการใช้งาน

ฑ) นำน้ำแข็งที่ใช้แล้วไปใช้ประโยชน์ในการลดอุณหภูมิ

ฒ) ใช้น้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ในการรักษาอุณหภูมิวัตถุดิบ

ณ) กวาดเศษวัตถุดิบหรือสิ่งสกปรกต่างๆ ให้สะอาดก่อนการฉีดล้างด้วยน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำที่ใช้

ด) การนำน้ำจากการกลั่นตัวของระบบระบายความร้อนกลับมาใช้ซ้ำในการล้างบรรจุภัณฑ์

ต) การติดตั้งหัวฉีดน้ำแบบฝอยและระบบเปิด-ปิดน้ำด้วยเข่าหรือเท้าเหยียบ เนื่องจากโรงงานให้พนักงานทุกคนล้างทำความสะอาดมืออย่างสม่ำเสมอในขั้นตอนการแขวนไก่และดึงมันออก ซึ่งโรงงานใช้ระบบฉีดน้ำจากท่ออย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการไหลทิ้งของน้ำจำนวนมาก

ถ) การติดตั้งโซลินอยล์วาล์ว เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดวาวล์ของท่อน้ำหล่อเย็นเครื่องบรรจุผลิตภัณฑ์ เนื่องจากโรงงานใช้เครื่องบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องมีการให้น้ำไหลผ่านเพื่อลดอุณหภูมิเครื่องบรรจุตลอดเวลาทั้งขณะที่เครื่องทำงานและไม่ทำงาน ทำให้สูญเสียน้ำเป็นจำนวนมาก

2) **แยกไขมันออกจากตัวไก่ก่อนล้างด้วยน้ำ** ในขั้นตอนการล้างไก่ให้พยายามเอาไขมันไก่ออกจากตัวไก่ให้มากที่สุดก่อนการล้างด้วยน้ำ

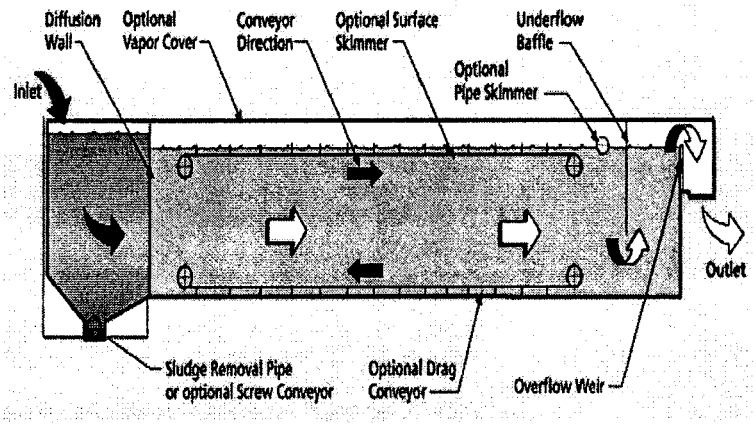
3) **แยกไขมันจากน้ำล้างในกระบวนการผลิตก่อนทิ้งลงสู่ระบบบำบัด** สามาถใช้วิธีแช่ไก่ในกระบะลดอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส (Chilling room) ก่อนขั้นตอนกระบวนการตัดแต่งชิ้นส่วนไก่ เพื่อแยกชั้นไขมันออกจากน้ำและใช้วิธีเจียวเปียกแยกไขมันออกจากน้ำ (ภูธร เรืองยิ่ง, 2548)

ณัฐฐิกา มาสังข์ และจักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ (2550) ศึกษาการแยกไขมันและน้ำมันจากน้ำเสียด้วยชุดทำความเย็นก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด พบว่าแยกน้ำมันสัตว์จากน้ำเสียได้ง่ายกว่าน้ำมันพืช ยกเว้นน้ำมันปลา คือ น้ำมันหมู ไก่ ปลา ปาล์ม มะพร้าว และดอกทานตะวัน ณ อุณหภูมิที่เหมาะสม 28, 25, 15, 13, 12 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมู สามารถลดค่า Fat & Oil ได้ ร้อยละ 69.20 และ 92.46 BOD ร้อยละ 42.66 และ 65.20 COD ร้อยละ 32.92 และ 46.11 และ SS ร้อยละ 53.17 และ 60.59 รวมทั้งสามารถลดเวลาการบำบัดด้วยตะกอนเร่งได้มากกว่าร้อยละ 50

3.5.2 เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้ง

1) **ติดตั้งบ่อดักไขมันและ Dissolved air flotation (DAF)**

ก) บ่อดักไขมัน สำหรับโรงงานขนาดเล็กมีปริมาณน้ำเสียที่มีปริมาตรต่ำ สามารถใช้บ่อดักไขมันแบบชนิดที่ใช้อยู่ทั่วไปได้ ส่วนโรงงานที่มีปริมาณน้ำเสียปริมาตรสูงควรใช้บ่อดักไขมันแบบ API separator ดังภาพที่ 2.16 ซึ่งเป็นถังพักที่มีแผ่นกั้นขวางอยู่ในบ่อ เพื่อดักไขมันไว้ให้ได้ปริมาณมาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)



ภาพที่ 2.16 บ่อดักไขมันแบบ API Separator

ข) Dissolved air flotation (DAF) เหมาะสำหรับโรงงานที่มีปริมาณน้ำเสียปริมาตรสูง และไขมันรวมตัวกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกันหรือเป็นอิมัลชัน (สันทัด ศิริอนันท์ไพบูลย์, 2549)

2) **ดูแลบำรุงรักษาบ่อดักไขมันและระบบ DAF ให้มีประสิทธิภาพ** การจัดการไขมัน แม้ว่าจะมีระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพสามารถกำจัดไขมันได้ตามมาตรฐานที่กำหนด แต่หากขาดเอาใจใส่ดูแลอย่างต่อเนื่องแล้วจะเกิดปัญหาต่ออุปกรณ์บำบัดทำงานไม่มีประสิทธิภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

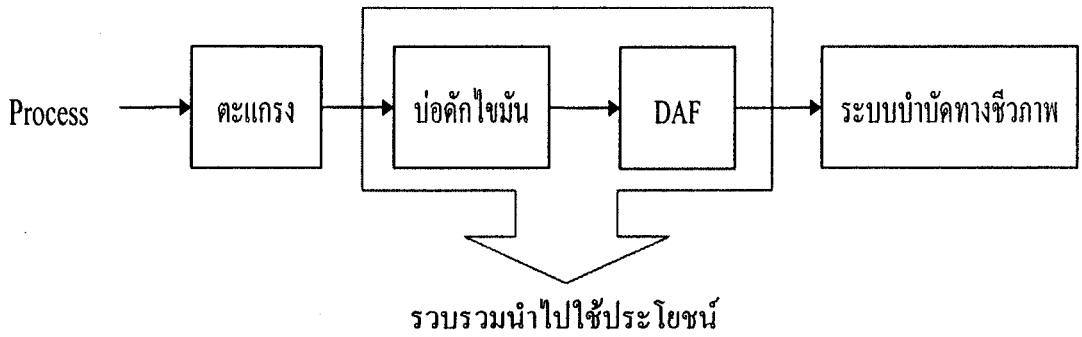
ก) บ่อดักไขมัน มีการดูแลรักษาดังนี้

- ติดตั้งตะแกรงดักขยะที่มีรูขนาดไม่ใหญ่เกินไปเพื่อแยกของเสียจากน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือบำบัด และเพื่อลดความสกปรกที่จะเข้าสู่บ่อดักไขมัน ลดปัญหาการอุดตัน ซึ่งจะทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดี ทั้งยังจะช่วยให้บ่อดักไขมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย
- หมั่นโกยเอาเศษขยะที่ดักกรองไว้หน้าตะแกรงดักขยะออกเสมอเป็นประจำทุกกะทำงาน
- ไม่ระบายน้ำจากส่วนอื่นๆ เช่น น้ำจากห้องน้ำ น้ำฝน น้ำซักเสื้อผ้า เข้าบ่อดักไขมัน เพื่อลดปริมาณน้ำเสียเข้าบ่อ มิฉะนั้นต้องใช้บ่อดักไขมันใหญ่กว่าปกติ
- หมั่นตรวจดูท่อระบายน้ำที่รับน้ำจากบ่อดักไขมันและน้ำมันและตักไขมันออกจากบ่อดักไขมันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้บ่อทำหน้าที่แยกไขมันอย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีที่มีไขมันจับตัวเป็นก้อนหรือคราบต้องตักไขมันถี่ขึ้นกว่าเดิม
- ทำความสะอาดบ่อดักไขมัน เมื่อระดับตะกอนก้นบ่อสูงเกินกว่า 10 เซนติเมตร โดยตักหรือสูบตะกอนก้นบ่อใส่ถุงหรือภาชนะที่เตรียมไว้เพื่อนำไปจัดการต่อไป

ข) Dissolved air flotation (DAF) การดูแลรักษาเน้นไปที่เครื่องจักรอุปกรณ์ เช่น เครื่องอัดอากาศ มอเตอร์ วาล์ว สวิตซ์เปิด-ปิด เป็นต้น ควรใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานดีอยู่เสมอ

3.5.3 การแยก รวบรวม และทำความสะอาดไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สด

1) **การแยกและรวบรวมไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง** การกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมีวิธีการที่นิยมคือวิธีทางกายภาพ เนื่องจากทำได้รวดเร็ว ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ และมีขั้นตอนกระบวนการไม่ซับซ้อน ระบบบำบัดไม่ใหญ่เกินไปและค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการอื่นๆ ซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 2.17

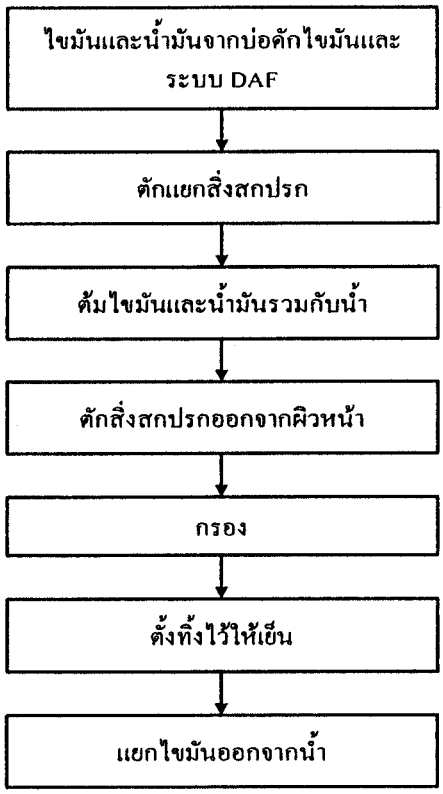


ภาพที่ 2.17 กระบวนการบำบัดไขมัน

จากภาพที่ 2.17 บ่อดักไขมัน เป็นการแยกไขมันโดยการทำให้ลอยตัวโดยธรรมชาติ อาศัยคุณสมบัติในด้านความถ่วงจำเพาะ ซึ่งไขมันและน้ำมันมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ เมื่อระยะเวลากักพักในถังเพียงพอจะทำให้ไขมันและน้ำมันลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวน้ำจึงสามารถแยกและรวบรวมไขมันและน้ำมันออกจากน้ำได้ประสิทธิภาพสูงสุดไม่เกิน 60% (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ส่วนน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักไขมันซึ่งจะมีการปนเปื้อนไขมันและน้ำมันชนิดอิมัลชันผ่านเข้าในระบบ DAF ซึ่งวิธีอัดอากาศปะปนกับน้ำในสภาพความดันสูง มีหลักการคือ ใช้ปั๊มอัดอากาศและน้ำให้เข้ากันในถังควบคุมความดัน ที่ความดัน 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้เวลา 2-3 นาที เพื่อให้อากาศละลายในน้ำได้ จากนั้นลดความดันลงให้เข้าสู่ความดันปกติ เพื่อให้อากาศละลายน้ำได้น้อยลง อากาศส่วนเกินจะแยกออจากน้ำเป็นฟองเล็กๆ และช่วยพาเอาโมเลกุลของไขมันและน้ำมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้สามารถแยกและรวบรวมไขมันและน้ำมันออกจากน้ำได้ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัด 49±8% (Nardi and others, 2008) หลังจากนั้นนำไขมันและน้ำมันที่รวบรวมได้สู่กระบวนการทำความสะอาดหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ไขมันและน้ำมันที่ได้ใหม่ในแต่ละวันนั้นจะไม่ส่งกลิ่นเหม็นจากการเน่าสลายหรือการย่อยของแบคทีเรียสลาย แต่หลังจากกากไขมันและน้ำมันถูกทิ้งไว้นานเกินกว่า 1วัน จะส่งกลิ่นเหม็นของการย่อยของแบคทีเรียที่ใช้โปรตีนเป็นอาหาร (ภูธร เรืองยิ่ง, 2548) ดังนั้นควรดำเนินการทำความสะอาดหรือนำไปใช้ประโยชน์ก่อนการย่อยโดยแบคทีเรีย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2) **การทำความสะอาดไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง** ไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สดมีการปนเปื้อนของเศษวัตถุดิบ น้ำเลือดไก่ เศษเนื้อไก่สด และขนไก่ ดังนั้นการทำความสะอาดจึงจำเป็นต้องกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกให้มากที่สุดโดยเฉพาะจำพวกโปรตีนจากเศษวัตถุดิบเหล่านี้ เนื่องจากวิธีการเจียวเปียกอาจทำให้เกิดอิมัลชันของน้ำและน้ำมันที่ทำลายได้ยาก โดยมีโปรตีนทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ เกิดเป็นอิมัลชันที่มีความคงตัว ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการนำไขมันไปใช้ประโยชน์ วิธีการทำความสะอาดไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF มีขั้นตอนดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 ขั้นตอนการทำความสะอาดไขมันและน้ำมัน
ที่มา: ปรับปรุงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2548)

ก) เทน้ำที่ขังรวมกับไขมันออกทิ้ง

ข) ตักแยกสิ่งสกปรกที่ติดกับไขมันออกให้มากที่สุด

ค) ต้มไขมันและน้ำมันรวมกับน้ำสะอาด (ไขมันและน้ำมัน 5 ส่วน ต่อน้ำสะอาด 2 ส่วน) เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ใช้อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ไขมันติดไฟได้ จึงต้องระวัง

ง) ช้อนเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ลอยหน้าออกไปทิ้ง

จ) กรองน้ำมันเหลวผ่านตะแกรงลวดหรือผ้าขาว

ฉ) ทิ้งไว้จนไขมันเย็นและแข็งตัว หรือแช่ในตู้เย็นก็ได้

ช) เทน้ำออกทิ้ง ขูดเอาสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่บนผิวหน้าของก้อนไขมันและตกตะกอนที่อยู่ก้นออกทิ้ง

ซ) สังเกตว่าถ้าก้อนไขมันและน้ำที่เททิ้งยังสกปรกอยู่ก็ให้ย้อนกลับไปที่ข้อ ค

บทที่ 3
แนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์

1. การทำไบโอดีเซล (Biodiesel)

ปัจจุบันน้ำมันเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสังคมมนุษย์เป็นอย่างมาก รวมทั้งยังมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการใช้อีกด้วย และจากปัญหาต่างๆ ในปัจจุบัน เช่น ความผันผวนของราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก ปัญหาการก่อการร้ายในประเทศผู้ผลิตน้ำมันรายใหญ่ๆ ของโลก และปัญหาที่เกี่ยวกับนิวเคลียร์ในอิหร่าน ได้ส่งผลกระทบต่อราคาน้ำมันต่อราคาน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากราคาน้ำมันดิบที่เพิ่มจากประมาณราคา 75 เหรียญดอลลาร์/บาร์เรล ในปี พ.ศ. 2549 (ไกรพัฒน์ จีนขจร, 2551) ไปเป็น140 เหรียญดอลลาร์/บาร์เรล ในกลางปี พ.ศ. 2551 พบว่าปัญหาการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันนี้มีผลกระทบต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจาก 75% ของพลังงานที่นำเข้ามาในประเทศไทยอยู่ในรูปของน้ำมันดิบ โดยมูลค่าการนำเข้าน้ำมันดิบของประเทศไทยเพิ่มจาก 288,284 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2544 เป็น 502,402 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2548 (ไกรพัฒน์ จีนขจร, 2551) ซึ่งน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันที่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจไทยมากที่สุด เนื่องจากใช้เป็นเชื้อเพลิงของระบบขนส่งหลายชนิด เช่น ระบบขนส่งมวลชน (ขสมก. และรถโดยสาร บขส.) การขนส่งโดยรถบรรทุก รถพ่วง รถกระบะ และเครื่องยนต์ในภาคการเกษตร จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการแก้ปัญหาด้วยพลังงานทดแทนประเภทอื่นๆ แทนน้ำมันที่ใช้อยู่ รัฐบาลจึงได้มีนโยบายลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานต่างประเทศ และมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนซึ่งหาได้ภายในประเทศ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ชีวมวล เอทานอล และไบโอดีเซล สำหรับไบโอดีเซลรัฐบาลได้ส่งเสริมให้นำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลโดยกำหนดเป้าหมายให้ใช้ไบโอดีเซลผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วร้อยละ 5 (B5) ทั่วประเทศ ภายในปี พ.ศ. 2554 และจากรายงานการวิจัยพบว่าไบโอดีเซล 100% (B100) สามารถใช้ในเครื่องจักรกลดีเซลทางการเกษตรที่มีสูบเดียวและความเร็วรอบต่ำได้

ไบโอดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากพืชหรือสัตว์ เพื่อนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม น้ำมันจากพืชหรือสัตว์เหล่านี้อาจผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อลดขนาดของโมเลกุลให้เล็กลง หรืออาจจะใช้น้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อเติมเข้าไปในรถยนต์โดยตรงก็ได้ ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลแสดงดังภาพที่

ภาพที่ 3.1 น้ำมันไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลโดยทั่วไปมีองค์ประกอบที่มีลักษณะโมเลกุลใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลปิโตรเลียม ซึ่งสามารถผลิตและพัฒนาจากไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งเน้นไปที่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟีเคชัน (Transesterification) โดยใช้ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์กับเมทานอลมากที่สุด (Meher and others, 2006 และ Gerpen, 2005) ซึ่งการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาใช้แทนน้ำมันดีเซลมีหลายวิธี คือ

1.1 การนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

การใช้ไขมันละน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์เป็นแหล่งทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยไม่มีการเติมสารหรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน โดยส่วนมากมักจะใช้น้ำมันพืชเท่านั้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สัมพันธ์กับการเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ดีและเหมาะสมกว่าไขมันสัตว์ มีประสิทธิภาพการใช้งานทดแทนสูงกว่า นอกจากนี้แล้วไขมันสัตว์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า และมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำมาใช้เสมือนเป็นเชื้อเพลิงดีเซลเพราะทำให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมไขมันสัตว์สำหรับการใช้งานโดยตรง (Ma and Hanna, 1999) แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์จะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จึงไม่ค่อยได้รับความนิยม แต่จากปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมันแพงในช่วงปี พ.ศ. 2547 เป็นต้นมา ทำให้เกิดกระแสการค้นคว้าวิจัยการนำน้ำมันพืชมาใช้ในประเทศไทยก็ได้มีการนำน้ำมันพืชมาใช้

ในประเทศไทยก็ได้มีน้ำมันมะพร้าวมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับขับเครื่องยนต์ดีเซล เช่น กลุ่มเกษตรจริยธรรมในอำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ (ไกรพัฒน์ จีนขจร, 2551)

ไกรพัฒน์ จีนขจร (2551) และ Ma and others (1998) พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบ Direct-injection ที่ใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงติดต่อกันเป็นเวลานาน คือ

1) ความหนืดของน้ำมันพืชมีค่าสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานมากในการไหล และอาจทำให้เกิดการสึกหรอที่หัวฉีดได้
2) เกิดเขม่า (Coke) และการอุดตันของหัวฉีด
3) เกิดตะกอนคาร์บอน (Carbon deposit) ที่กระบอกสูบ
4) เกิดการยึดจับตัวของแหวนน้ำมัน (Oil ring sticking)
5) เกิดยางเหนียวและเกิดเจลในน้ำมันเครื่อง ทำให้น้ำมันเครื่องเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันพืช

1.2 การนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ผสม

การผสมหรือเจือจางตามสัดส่วนของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากขึ้น เช่น นำน้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันดีเซล มักเรียกว่า โคโคดีเซล แต่อาจมีปัญหาเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนในอากาศกับพันธะคู่ในน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น และเกิดยางเหนียวของน้ำมันในที่สุด

Machacon and others (2001) ศึกษาการน้ำมะพร้าวบริสุทธิ์ น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50 ต่อ 50 และน้ำมันดีเซลมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยศึกษาผลของความหนืดของน้ำมันทั้งสามชนิดต่อขนาดของฝอยละออง พบว่าฝอยละอองของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันผสมมีขนาดใหญ่กว่าน้ำมันดีเซลเมื่อทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน และขนาดของฝอยละอองจะมีขนาดเล็กลงเมื่อความหนืดลดลง และจากการทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของน้ำมันมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมะพร้าวมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

1.3 วิธีไมโครอิมัลชัน

ไมโครอิมัลชัน เป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวมีสารแขวนลอยกระจายตัวอยู่ โดยไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันและอยู่ร่วมกันได้อย่างมีเสถียรภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ ของเหลว

อิมัลชัน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล อาจเตรียมได้จากการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ในสัดส่วนที่เหมาะสม จะมีโครงสร้างเป็นของผสมประเภทคอลลอยด์ โดยโมเลกุลของแอลกอฮอล์จะกระจายตัวในขนาดที่เล็กมากประมาณ 1-150 นาโนเมตร ในวัฏภาคของน้ำมัน ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันลดลงและยังเพิ่มสมบัติของการเกิดละอองขณะที่ฉีดในกระบอกสูบอีกด้วย จึงช่วยลดความรุนแรงของปัญหาการเกิดเขม่าที่บริเวณปลายของระบบหัวฉีด (Demirbas, 2003)

1.4 วิธีการแตกตัวโดยความร้อนหรือไพโรลิซิส (Thermal cracking หรือ Pyrolysis)

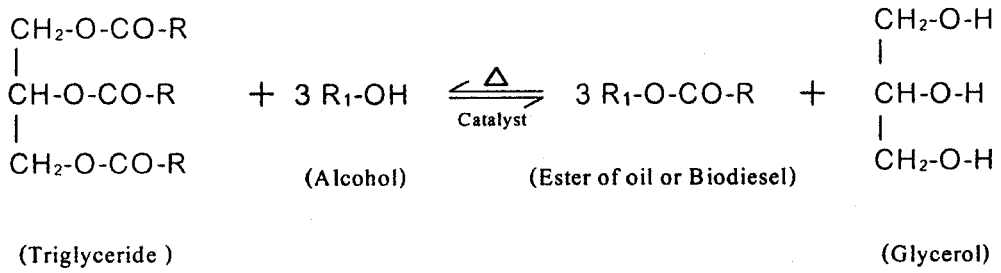
กระบวนการไพโรลิซิส คือ กระบวนการเปลี่ยนสสารจากสารหนึ่งไปเป็นสารอีกตัวหนึ่งโดยวิธีการทางความร้อน โดยบางครั้งอาจมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย การให้ความร้อนนี้จะไม่มีอากาศหรือออกซิเจนอยู่ด้วย โดยความร้อนจะทำให้พันธะเคมีของโมเลกุลน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติเหมาะสมหรือใกล้เคียงน้ำมันดีเซลสำหรับการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างเนื่องจากความร้อนของไตรกลีเซอไรด์จะให้สารประกอบทางเคมีอินทรีย์หลายประเภท เช่น อัลเคน อัลคีน อะโรมาติก และกรดคาร์บอกซิลิก เป็นต้น (Ma and Hanna, 1999) ในอดีตได้มีการทำกระบวนการไพโรลิซิสของน้ำมันพืชเพื่อสังเคราะห์น้ำมันปิโตรเลียม เช่นในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 มีการนำน้ำมันทัง (Tung oil) มาทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชันกับหินปูน และเกิดการแตกตัวได้น้ำมันดิบ ซึ่งถ้านำไปกลั่นจะได้น้ำมันดีเซล เบนซิน และเคโรซีน ในกระบวนการนี้แม้ว่าคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดจะมีโครงสร้างทางโมเลกุลใกล้เคียงกับน้ำมันปิโตรเลียมทั้งเบนซินและดีเซล แต่หากมองความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์แล้วจะเห็นว่า เครื่องมือ เครื่องวัด และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งระบบปฏิบัติการทั้งหมด ต้องมีความทันสมัย ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะการใช้งานที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้ราคาสูงมาก อีกทั้งยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงมากด้วย ส่วนบุคลากรที่ควบคุมและดำเนินการทั้งหมดต้องมีความรู้ ความสามารถ และมีความรับผิดชอบสูงจากสาเหตุดังกล่าว

Billaud and others (1995) ได้ทำการศึกษากระบวนการไพโรลิซิสของน้ำมันเรพซีด (Rapeseed oil) ที่ใช้เมทิลเอสเทอร์ในเตาปฏิกรณ์แบบท่อที่มีอุณหภูมิระหว่าง 500-850 องศาเซลเซียส โดยไนโตรเจน พบว่าอนุพันธ์ของเมทิลเอสทอร์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

1.5 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันให้อยู่ในรูปเอสเทอร์ ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ดังนั้นกระบวนการนี้จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อการปรับปรุงคุณภาพทางเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิงลง และในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะเมทานอล ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีข้อได้เปรียบในเชิงพาณิชย์สูง เนื่องจาก ราคาถูก โมเลกุลสั้น และเป็นของเหลวที่มีโครงสร้างมีขั้วสูง ช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอรอลได้มากที่สุด

ในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันสัตว์หรือน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์โมเลกุลต่ำ (เมทานอลหรือเอทานอล) โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์คือ เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ (ขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา) และกลีเซอรอล เรียกว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีกลไกและจลศาสตร์การเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วยปฏิกิริยาแบบลำดับ 3 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 3.3

1. Triglyceride (TG) + R'OH ⟶ Diglyceride (DG) + $R'COOR_1$
2. Diglyceride (DG) + R'OH ⟶ Monoglyceride (MG) + $R'COOR_2$
3. Monoglyceride (MG) + R'OH ⟶ Glycerol (GL) + $R'COOR_3$

ภาพที่ 3.3 สมการแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ที่มา: Meher and others (2006)

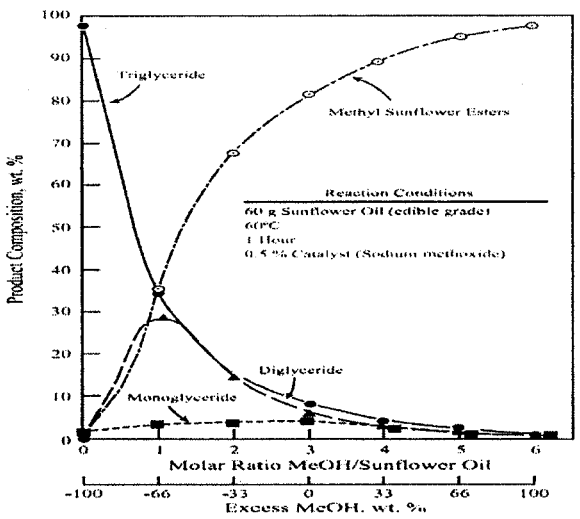
ขั้นตอนแรกคือ การเกิดปฏิกิริยาของอะตอมคาร์บอนที่มีหมู่คาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับอิออนลบ (Anion) ของแอลกอฮอล์ ซึ่งจะได้สารระหว่างกลางเตตระฮีดรอล (tetrahedral intermediate) ขั้นตอนที่สองคือ สารระหว่างกลางเตตระฮีดรอลนี้จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ก็จะได้อิออนลบของแอลกอฮอล์ (Methoxide ion) ขั้นตอนสุดท้ายคือ การเรียงตัวใหม่ของสารระหว่างกลางเตตระฮีดรอล ซึ่งจะได้เอสเทอร์ของกรดไขมันและไดกลีเซอไรด์

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ไกรพัฒน์ จีนขจร, 2550; Bhatti and others, 2008 และ Meher and others, 2006) มีดังนี้

1) **ผลของน้ำและกรดไขมันอิสระ** สารเริ่มต้นสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มีอัลคาไลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องมีค่ากรด (Acid value) น้อยกว่า 1 และปราศจากน้ำ ถ้าสารตั้งต้นมีค่าของกรดมากกว่า 1 จะต้องทำการสะเทินด้วยด่าง (NaOH) ก่อน น้ำที่มีอยู่ในสารตั้งต้นนั้นจะทำให้เกิดสบู่ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง และความหนืดของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้น รวมไปถึงการแยกกลีเซอรอลออกจะทำได้ยากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของน้ำและกรดไขมันอิสระต่อปฏิกิริยา พบว่าปริมาณน้ำจะส่งผลกระทบมากกว่ากรดไขมันเพราะเกิดสบู่นั่นเอง

2) **ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา** โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสจะทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรด สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสพบว่าโซเดียมเมทอกไซด์ ($NaOCH_3$) มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพราะปริมาณน้ำที่เกิดจากการผสมระหว่างโซเดียมเมทอกไซด์กับเมทานอลมีน้อยกว่า แต่โซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีราคาถูกกว่าโซเดียมเมทอกไซด์

3) **ผลของอัตราส่วนของสารตั้งต้น** เนื่องจากสารตั้งต้นของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ ดังนั้นอัตราส่วนของสารตั้งต้นทั้งสองจึงมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยทางทฤษฎีแล้วสมดุลมวลสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สมบูรณ์ต้องประกอบด้วยอัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นระหว่างแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์ เท่ากับ 3 ต่อ 1 ได้ผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ 3 โมล และกลีเซอรอล 1 โมล แต่ในทางปฏิบัติพบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถผันกลับได้และขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น หากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส อาจจะต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 6:1 ดังนั้นถ้าต้องการผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือน้ำมันไบโอดีเซลมากขึ้น ต้องเพิ่มจำนวนโมลแอลกอฮอล์มากขึ้นตามอัตราส่วนที่เหมาะสมข้างต้น เพื่อขับดันให้สภาวะสมดุลเลื่อนเข้าใกล้ผลิตภัณฑ์มากที่สุด (Gerpen, 2005) ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ผลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่อัตราส่วนต่างๆ ในปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน
ที่มา: Gerpen (2005)

4) **ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา** ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้น เช่น ถ้าใช้น้ำมันจากของเหลือทิ้งในโรงงานชำแหละไก่ ปฏิกิริยาจะเกิด 40-50 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองจะเกิดปฏิกิริยาที่ช่วงอุณหภูมิ 45-60 องศาเซลเซียส และน้ำมันที่ใช้แล้วจะเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมยังขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของน้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนของสารตั้งต้นอีกด้วย

การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาด้วยการใช้สภาพและเงื่อนไขเหนือจุดวิกฤตโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและด้วยตัวเร่งหลายชนิด เช่น เบส กรด สารวิวิธพันธ์ และเอนไซม์ เป็นต้น (Meher and others, 2006)

1.5.1 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส

มีงานวิจัยและบทความสนับสนุนว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Alkalis ตัวอย่างเช่น NaOH KOH และสารเคมีที่อยู่ในรูปของ Sodium และ Potassium alkoxide เช่น Sodium methoxide Sodium ethoxide Sodium propoxide และ Sodium butoxide เป็นต้น ทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาและผลผลิตสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดมาก (Meher and others, 2006 และ Gerpen, 2005) จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการผลิต

ไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์มากที่สุดกว่าชนิดอื่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งเบส สิ่งที่ต้องเอาใจใส่และต้องระวังเป็นพิเศษ คือไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการนี้ ต้องปราศจากน้ำหรือมีปริมาณน้ำผสมอยู่น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในสารตั้งต้นดังกล่าวสามารถกระตุ้นปฏิกิริยาบางส่วน เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification) แทนที่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของสบู่ทดแทนผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นการลดปริมาณผลผลิตของไบโอดีเซลให้น้อยลง และนอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ของสบู่ดังกล่าวยังทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการแยกอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอลออกจากกันได้ยากขึ้น เนื่องจากสบู่จะช่วยลดแรงตึงผิวทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดเกิดเป็นอิมัลชันได้ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์สบู่ดังกล่าวยังทำให้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำทำได้ยากยิ่งขึ้นด้วย นอกจากนี้แล้วปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งเบสของสารตั้งต้นไขมันและน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ (Yields) สูง แต่ถ้าหากว่าสารตั้งต้นเป็นไขมันและน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง การใช้ตัวเร่งเบสในปฏิกิริยานั้นจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับตัวเร่งเบส มีผลให้ประสิทธิภาพลดลง (Ma and Hanna, 1999; Meher and others, 2006 และ Gerpen, 2005)

ภูธร เรืองยิ่ง (2548) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแปรรูปเนื้อไก่สด ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อไขมัน เท่ากับ 6 ต่อ 1 และ 9 ต่อ 1 ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อไขมันที่สามารถผลิตได้คือ 9 ต่อ 1 ส่วนอัตราส่วน 6 ต่อ 1 ไม่สามารถผลิตได้หรือไม่เกิดผลิตภัณฑ์

Alamu (2007) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 1% เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเอทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มในปริมาณต่างๆ ดังนี้ 0.1, 0.125, 0.150, 0.175, 0.20, 0.225 และ 0.25 ที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 120 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนของเอทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มเท่ากับ 0.2 โดยน้ำหนัก เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 96% yield

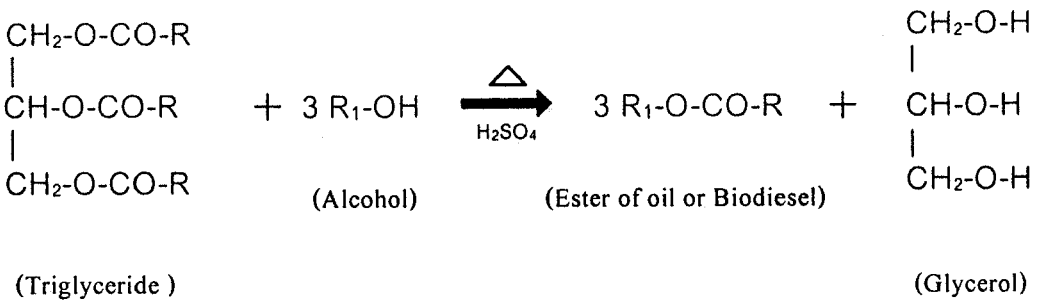
Wyatt and others (2005) ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและระดับการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันสัตว์ ได้แก่ น้ำมันหมู ไขมันวัว และ

ไขมันไก่ โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล (B100) มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของ ASTM ผลการเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองมีคุณสมบัติด้าน Cold-flow operability ดีกว่าไบโอดีเซลที่ได้จากไขมันสัตว์ และการเปรียบเทียบการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ซึ่งใช้ไบโอดีเซลร้อยละ 20 โดยปริมาตร ผสมกับน้ำมันดีเซล (B20) ผลการเปรียบเทียบพบว่า B20 ที่ได้จากไขมันสัตว์ปลดปล่อย NO_X น้อยกว่า B20 ที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลือง ประมาณ 3.0-6.2%

Bhatti and others (2008) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากของเหลือทิ้งจากโรงงานชำแหละไก่และแกะในปากีสถาน โดยใช้ ไขมัน 50 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% โดยน้ำหนัก เมทานอล 22.5% โดยน้ำหนัก และเวลาที่ใช้ในการผลิต 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการแยกแยกกลีเซอรอลและทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ใช้เวลา 1 สัปดาห์

1.5.2 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรด

ตัวเร่งกรดที่สำคัญ ได้แก่ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น มีปฏิกิริยาคล้ายกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งเบส ดังภาพที่ 3.5 ในกรณีที่น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระในปริมาณมาก การใช้ตัวเร่งเบสในปฏิกิริยานั้นจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับตัวเร่งเบส และ พบว่าเกิดน้ำขึ้นในปฏิกิริยาตัวเร่งเบส และมีการล้างเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยน้ำทำให้เกิดสบู่ขึ้น (Vicente and others, 2007) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเกิดไบโอดีเซลลดลง และทำให้แยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลได้ยากและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งกรดเพื่อแก้ปัญหานี้



ภาพที่ 3.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคนอื่นๆ (2548) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากของเหลือทิ้งในโรงงานไก่แช่แข็งในห้องปฏิบัติการ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันไก่ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ต่อกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.H_2SO_4) เท่ากับ 5:1:0.05 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 89.67% โดยปริมาตร และได้นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบทางเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลคือ ค่าความหนืด 18.41 mm^2/s ค่าความร้อน 42.45 MJ/Kg ค่าความหนาแน่น 0.906 g/ml และ มีสีใกล้เคียงน้ำมันดีเซล ส่วนการศึกษาที่กำลังการผลิต 200 ลิตรต่อวัน สภาวะที่เหมาะสมเดียวกันกับห้องปฏิบัติการได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลและมีคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ใกล้เคียงห้องปฏิบัติการ

ปิยะ ดำรงพิวัฒน์ (2544) ศึกษาการผลิตและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันไก่ โดยการนำมันไก่ (ที่สกัดด้วยวิธีการเจียว) มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเอทิลแอลกอฮอล์ มีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งตัวปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ในอัตราส่วนต่างๆ กัน(โดยปริมาตร) ของน้ำมันไก่ต่อเอทานอลต่อกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ดังนี้ 1:1:0.05, 2:1:0.05, 3:1:0.05, 3.5:1:0.05, 4:1:0.05 และ 5:1:0.05 และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบทางเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันไก่ต่อเอทานอลต่อกรดซัลฟิวริกเข้มข้นคือ 3.5:1:0.05 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ค่าความร้อน ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเท่ากับ 37789.61 kJ/kg, 0.8987 g/ml, 17.05 mm^2/s และ 71.73% โดยปริมาตร ซึ่งไบโอดีเซลที่ได้จะมีสี ความใส และคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล

Bhatti and others (2008) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากของเหลือทิ้งจากโรงงานชำแหละไก่และแกะในปากีสถาน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างไขมันไก่และแกะต่อเมทานอลเท่ากับ 1:30 และ 1:30 อุณหภูมิที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.25 และ 2.5 กรัม และได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 99.01 ± 0.71% และ 93.21 ± 5.07% ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการผลิต 24 ชั่วโมง

1.5.3 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์

ในกระบวนการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) จะอยู่ต่างเฟสกับสารตั้งต้น จึงสามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการล้าง ลดปัญหาการเกิดสบู่ อีกทั้งยังลดขั้นตอนในการผลิต (Kawashima, Matsubara and Honda,

2008) จึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหากระบวนทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบส (เช่น NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในกลไกปฏิกิริยานี้ NaOH จะรวมตัวเข้ากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เพื่อเปลี่ยนเป็นโซเดียมเมทอกไซด์ (CH_3ONa) ก่อนเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ ดังสมการ

$$NaOH + CH_3OH \longrightarrow CH_3ONa + H_2O$$

จากปฏิกิริยาชนิดดังกล่าวจะพบว่ามีน้ำเกิดขึ้นในปฏิกิริยา อีกทั้งจำเป็นต้องมีกระบวนการล้างเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำ ซึ่งน้ำจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน มีผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนไปรวมตัวกับกรดไขมันอิสระที่เหลือเกิดเป็นสบู่ (Soap) ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหลือน้อยลงสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Kusdiana and Saka, 2004 และ Fukuda, Kondo and Noda, 2001) ผลคือเกิดไบโอดีเซลน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

ณัฐมณฑน์ ลี้จินดา และกานดิส สุดสาคร (2548) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ ได้แก่ CaO และ $CaCO_3$ ภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 55-60 องศาเซลเซียส และมีสารเตตระไฮโดรฟูแรน(THF) เข้ามาเป็นตัวทำละลายร่วม ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 10 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก มี CaO ความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เตตระไฮโดรฟูแรน 10% โดยน้ำหนัก เป็นตัวทำละลายร่วม ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 99.57% โดยน้ำหนัก

Kawashima, Matsubara and Honda (2008) ได้ศึกษาทดลองการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Rapeseed โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ 13 ชนิดแตกต่างกันซึ่งเป็นส่วนประกอบของออกไซด์ของโลหะ ได้แก่ แคลเซียม แบเรียม แมกนีเซียม และแลนทานัม มีการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว ในการผลิตไบโอดีเซลที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน Rapeseed เท่ากับ 6:1 เป็นเวลา10 ชั่วโมง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบ ($CaTiO_3$, $CaMnO_3$, $Ca_2Fe_2O_5$, $CaZrO_3$ และ $CaO\text{-}CeO_2$) มีอัตราเร่งสูง ให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลประมาณ 90% yield นอกจากนี้มีการทดสอบระยะเวลาการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีองค์ประกอบของแคลเซียม พบว่า $CaZrO_3$ และ $CaO\text{-}CeO_2$ มีระยะเวลาการใช้งานนานและมีศักยภาพสูง สามารถใช้งานได้ 5 ครั้ง และ 7 ครั้งตามลำดับ โดยให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมากกว่า 80% yield

1.5.4 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอนไซม์ไลเปส

การผลิตไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีโดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีข้อจำกัด คือ มีการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง รุนแรง และมีความยุ่งยากในการเก็บเกี่ยวกลีเซอรอล (Noureddini, Gao and Philkana, 2005) ปัจจุบันมีการศึกษาโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีนี้มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น ปฏิกิริยาไม่รุนแรงสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยามีความจำเพาะสูง ง่ายในการเก็บเกี่ยวกลีเซอรอล แต่ในการผลิตโดยใช้เอนไซม์ไลเปสต้องใช้ต้นทุนสูง

ญาใจ วิทยะพงศ์ (2544) ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไขมันจากระบบบำบัดกับเมทานอลเท่ากับ 1:3 ใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูป 40 ยูนิต ปริมาณ2.5 กรัม และน้ำ 20% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ 72.33% โดยโมล

วิภาวดี ปริพัฒนไพโรจน์ (2545) ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขปาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูป พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูปคือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไขปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:3 ใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูป 60 ยูนิต ปริมาณ 5 กรัม และมีน้ำในปฏิกิริยา 20% ของน้ำหนักสารตั้งต้น บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เกิดผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ได้ 92.2%

Noureddini, Gao and Philkana (2005) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูปเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเมทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง คือ 7.5:1 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ใช้น้ำ 0.5 กรัม และเอนไซม์ไลเปส 475 กรัม จากเชื้อ Pseudomonas cepaccia เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 67% โดยโมล

1.5.5 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยการใช้สภาพและเงื่อนไขเหนือจุดวิกฤตโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการผลิตเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในสภาพและเงื่อนไขเหนือจุดวิกฤตของสารตั้งต้นบางตัว เช่น Supercritical methanol ซึ่งไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใดเลย เพื่อแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส ที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

น้อยลง (Saka and Kusdiana, 2001) ดังตารางที่ 3.1 นับว่าเป็นกระบวนการซึ่งแตกต่างไปจากวิธีการผลิตแบบเก่าที่นิยมใช้กันมานานโดยสิ้นเชิง กระบวนการนี้ค่อนข้างง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลาดำเนินงานสั้น และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการเกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส แบบกรด และวิธี Supercritical methanol

Vetgettable oil	FFA content (wt%)	Water content (wt%)	Yield of methyl ester. Wt%		
			Alkaline-catalyzed	Acid-catalyzed	Supercritical methanol
Rapeseed oil	2.0	0.02	97.0	98.4	98.5
Palm oil	5.3	2.1	94.4	97.8	98.9
Use flying oil	5.6	0.2	94.1	97.8	96.9
Waste palm oil	>20.0	>61.0	No reaction	No reaction	95.8

ที่มา : Kusdiana and Saka (2004)

ชินนทัต สินประเสริฐโชค และคนอื่นๆ (2005) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทานตะวันโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตเป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา พบว่าปริมาณไบโอดีเซลจะสูงขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและจะมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 12.40% เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันทานตะวันต่อเมทานอลที่ 1:42 เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความดัน 150 บาร์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสลงไปในการทดลอง พบว่าไม่ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลแตกต่างจากการทดลองที่ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

Saka and Kusdiana (2001) ได้ทำการวิจัยการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเรพซีด โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลเหลวต่อน้ำมันเรพซีด 42:1 ซึ่งจะมำปฏิกิริยาโดยให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส และปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่ความดันประมาณ 45-65 MPa โดยใช้เวลาประมาณ 10-240 วินาที

Science daily (2007) Brent Schulte นักวิจัยภาควิชาวิศวกรรมเคมี จาก University of Arkansas ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันไก่และ Tall oil fatty acid โดยใช้เมทานอลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าสภาวะที่ให้ผลิตภัณฑ์สูงสุดสำหรับไขมันไก่คือ อัตราส่วนไขมันไก่ต่อเมทานอล 1:40 ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส ได้

ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลออกมา 89% ส่วน tall oil fatty acid อัตราส่วนต่อเมทานอลโดยโมล เท่ากับ 1:10 ที่อุณหภูมิเดียวกัน ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลออกมา 94%

ความแตกต่างของคุณสมบัติไบโอดีเซลแต่ละชนิดขึ้นกับองค์ประกอบของน้ำมันที่นำมาทำปฏิกิริยา ซึ่งน้ำมันแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบที่เป็นกรดไขมันแตกต่างกันและมีปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีสมบัติในการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาตามมาภายหลัง หลายๆ หน่วยงานทั้งในประเทศและต่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานไบโอดีเซลขึ้น สำหรับประเทศไทยทางกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานได้กำหนดมาตรฐานของสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 (ไบโอดีเซลเชิงพานิชย์)

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1.	เมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2.	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่าและไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3.	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่าและไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4.	จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5.	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6.	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7.	จำนวนซีเทน		ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8.	เถ้าซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9.	น้ำ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10.	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11.	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12.	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส	ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13.	ค่าของกรด	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14.	ค่าไอโอดีน	กรัมไอโอดีน/100 กรัม	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111

ตารางที่ 3.2 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 (ไบโอดีเซลเชิงพานิชย์) (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
15.	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16.	เมทานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17.	โมโนกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18.	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19.	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20.	กลีเซอรีนอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.30	EN 14105
21.	กลีเซอรีนทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22.	โลหะกลุ่มที่ 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
	โลหะกลุ่มที่ 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่สูงกว่า	5.0	prEN 14538
23.	ฟอสฟอรัส	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.001	ASTM D 4951
24.	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน			

ที่มา: พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และคนอื่นๆ (2551)

สมบัติสำคัญบางประการของน้ำมันไบโอดีเซลสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้

1) **เลขซีเทน (Cetane number)** คือ การวัดความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition delay) ถ้าเลขซีเทนมีค่าสูง แสดงว่ามีความล่าช้าในการจุดระเบิดต่ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการของน้ำมันไบโอดีเซล เลขซีเทนของไบโอดีเซลมีความสัมพันธ์กับชนิดของกรดไขมันที่ปรากฏอยู่ในไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันที่มีความอิ่มตัวสูง เช่น กรดไขมันจากสัตว์จะมีเลขซีเทนมาก และเลขซีเทนยังแปรผันกับจำนวนพันธะที่อยู่ในกรดไขมันอีกด้วย

2) **จุดวาบไฟ (Flash point)** คือ อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงถูกทำให้ร้อนขึ้นจนสามารถเกิดประกายไฟได้เองเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลเบอร์ 2 ซึ่งมีจุดวาบไฟ 54-71 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟของไบโอดีเซลจะมีค่าสูงกว่ามากคือ ประมาณ 250 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟเป็นคุณสมบัติที่ต้องพิจารณาเรื่องความปลอดภัยในการขนส่ง เพราะถ้าจุดวาบไฟต่ำ อาจเกิดประกายไฟและระเบิดได้

3) **อุณหภูมิการกลั่น (Distillation temperature)** ช่วงอุณหภูมิการกลั่นเป็นตัววัดความยากง่ายของการระเหย การกลายเป็นไอ และคุณสมบัติการเผาไหม้ โดยจุดเดือดเริ่มต้น

(Initial boiling point) จะเป็นตัวบอกความยาก-ง่าย ของการระเหยกลายเป็นไอ และอุณหภูมิการกลั่นที่ 10% จะเป็นตัววัดการขัดของไอน้ำมัน (Vapor lock) หากอุณหภูมินี้มีค่าต่ำเกินไป

4) **ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion)** คือ ตัวเลขที่ใช้วัดอัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมัน ถ้ามีค่าความร้อนการเผาไหม้สูง อัตราการสิ้นเปลืองจะต่ำ ซึ่งไบโอดีเซลจะมีค่าความร้อนการเผาไหม้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไปประมาณ 80-90% ดังนั้นจึงมีอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่า แต่จากการผสมไบโอดีเซล 10% ในน้ำมันดีเซล 90% พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นในเชิงพาณิชย์แล้วจึงมีการรณรงค์ให้ใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10% หรือ B10 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความร้อนการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันที่นำมาทำปฏิกิริยา โดยน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูงจะมีค่าความร้อนสูงกว่ามีน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง

5) ความหนืด (Viscosity) คือ สมบัติในการไหล น้ำมันที่มีความหนืดสูงจะไหลได้ช้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานในการทำให้น้ำมันไหลได้มากขึ้น เช่น ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่น แต่สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว ความหนืดจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดละอองเมื่อออกจากหัวฉีด ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มากเกินไปจะทำให้การเกิดละอองที่หัวฉีดต่ำ ละอองมีขนาดใหญ่น้ำมันจะพุ่งไปไกลและเป็นสายทำให้น้ำมันรวมตัวกับอากาศได้ไม่ดี ส่งผลให้เครื่องยนต์กำลังตก และถ้าค่าความหนืดต่ำไปจะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยละเอียดจึงพุ่งไม่ไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้จะไม่ดีก็จะส่งผลให้เครื่องยนต์กำลังตกเช่นกัน นอกจากนี้ยังทำให้การฉีดพ่นของหัวฉีดทำงานผิดพลาดได้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป ดังนั้นความหนืดของของผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไบโอดีเซลที่เติมลงไป และการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมในน้ำมันดีเซลยังช่วยลดการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นที่หัวฉีดได้อีกด้วย (Margaroni, 1998)

6) เสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชัน คือ การวัดการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศ เสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชันมีความสำคัญต่ออายุการเก็บและการเกิดตะกรัน (Deposit) ซึ่งอาจก่อให้เกิดการอุดตันของหัวฉีดน้ำมัน เนื่องจากไบโอดีเซลทำมาจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันชนิดต่างๆ ถ้ากรดไขมันมีพันธะคู่มาก จะทำให้เสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชันต่ำ เสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชันสามารถวัดเป็นเลขยาง (Gum number) หรือเลขกรด

รวม (Total acid number) ซึ่งแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชัน และถ้าเลขกรดรวมสูงจะก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน

ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไขมันไก่ และด้วยข้อมูลสนับสนุนจากทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อนำมาทำความสะอาดแล้วสามารถที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการทำไบโอดีเซลได้เช่นเดียวกับน้ำมันใช้แล้วที่เหลือทิ้ง น้ำมันสัตว์ และน้ำมันพืช

การทำไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ มีความจำเป็นต้องให้ได้ต้นทุนในการผลิตต่ำและมีค่าสมดุลพลังงานเป็นบวก รวมทั้งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้สูงขึ้น เพื่อผลิตให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูงขึ้นและมีต้นทุนในการผลิตต่ำลง โดยมีการใช้สารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ชนิดต่างๆ และใช้เทคโนโลยีกระบวนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ด้วยเหตุนี้การนำไขมันหรือน้ำมันมาทำเป็นไบโอดีเซลโดยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จึงมีความเหมาะสมมากกว่า วิธีการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาใช้โดยตรงและการผสม วิธีไมโครอิมัลชัน และวิธีแตกตัวด้วยความร้อน โดยสามารถแก้ปัญหาข้อด้อยต่างๆ ของวิธีอื่นๆ ดังกล่าวข้างต้นได้เป็นอย่างดี ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเทอร์โมไดนามิกส์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลในต้นทุนการดำเนินการผลิตไม่สูงมากนัก อาทิเช่น มีค่าซีเทนนัมเบอร์สูงขึ้น ค่าความหนืดต่ำลง และมีลักษณะภายนอกคล้ายน้ำมันดีเซล เป็นต้น สำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันยังมีวิธีการผลิตอยู่หลายวิธีมีข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งพบว่ากระบวนการเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งแบบเบสจะมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรด จึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่มีข้อด้อยสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบนี้คือสารตั้งต้นควรปราศจากน้ำ เพราะน้ำจะเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชันซึ่งจะทำให้เกิดสบู่ (Saponified product) ส่งผลให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้น้อยลง และการแยกผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะทำได้ยาก นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันควรมีค่าต่ำเพราะถ้ามีปริมาณสูงกรดไขมันอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนซึ่งส่งผลกระทบเช่นเดียวกับน้ำ ดังผลการศึกษาของ ภูธร เรืองยิ่ง (2548) พบว่าการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแปรรูปเนื้อไก่สด ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อไขมัน เท่ากับ 6 ต่อ 1 ไม่เกิดผลิตภัณฑ์ และ Bhatti and others (2008) พบว่าต้องใช้เวลา 1 สัปดาห์ ในการแยกแยกกลีเซอรอลและทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ทำที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซลจากของเหลือทิ้งจากโรงงานชำแหละไก่และแกะในปากีสถาน ด้วยกระบวนการ

ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นถ้ามีทั้งน้ำและกรดไขมันอิสระสูงอยู่ในสารตั้งต้นควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรด (Gerpen, 2005 และ Meher and others, 2006) แม้จะมีการคิดค้นวิธีการผลิตแบบสภาพหรือเงื่อนไขเหนือจุดวิกฤตโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากการเปรียบเทียบวิธีการนี้กับกระบวนการที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าค่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่ามากกว่า และสามารถลดกระบวนการในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากสารตั้งต้นและกลีเซอรอล (Saka and Kusdiana, 2001 และ ไกรพัฒน์ จีนขจร, 2550) แต่ก็ยังมีข้อด้อยตรงที่สภาวะของการทำปฏิกิริยาที่รุนแรงโดยต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 300-400 องศาเซลเซียส และต้องใช้พลังงานมากมายในการอัดเมทานอลให้เป็นสภาวะเหนือจุดวิกฤต ซึ่งทำให้มีต้นทุนสูง และยังไม่มีการศึกษาพัฒนาเพื่อนำมาผลิตในเชิงการค้า ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตโดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูปเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยวกลีเซอรอล และการเปลี่ยนสถานะของเอนไซม์ไลเปสจากสารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ ซึ่งง่ายต่อการใช้งานและสามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง แต่ยังมีปัญหาเรื่องความยุ่งยากในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา มีต้นทุนสูง และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน รวมทั้งโดยทั่วไปวิธีการนี้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณค่อนข้างต่ำ (Noureddini, Gao and Philkana, 2005) ส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าร้อยละ 5 ได้ เนื่องจากมีสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับกรดไขมันอิสระและน้ำมัน หรือที่ เรียกว่า FFA Catalyst และ Oil Catalyst อยู่ในตัวเดียวกันและการเกิดปฏิกิริยาไม่รุนแรง กล่าวคือใช้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส รวมทั้งสารเร่งปฏิกิริยาสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง (Gerpen, 2005 และ พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และลลิตา อัตนโถ, 2549) แต่ความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงในเรื่องเวลาที่ใช้ในการผลิต ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ต้นทุนการผลิต และประสิทธิภาพการทำงานในระดับกำลังการผลิตที่สูงขึ้น ด้วยเหตุผลจากข้อเปรียบเทียบดังกล่าวข้างต้นในการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์จากสารตั้งต้นที่เป็นไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด ซึ่งเป็นไขมันสัตว์โดยทั่วไปมีกรดไขมันอิสระสูงประมาณร้อยละ 5 -30 โดยน้ำหนัก (Gerpen, 2005 และ Ma and others, 1998) และมีความชื้นค่อนข้างสูง (ภูธร เรืองยิ่ง, 2548) โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนั้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดจึงมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่สุดในการผลิตเชิงพาณิชย์ กล่าวคือสามารถแก้ปัญหาเรื่องการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตได้ ใช้ต้นทุนค่าก่อสร้างและการผลิตต่ำ ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก และระยะเวลาในการผลิตน้อย รวมทั้งใช้ความดันในระบบการผลิตที่บรรยากาศและอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 3.3 เทคโนโลยีกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ข้อเปรียบเทียบ	เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน				
	ตัวเร่งเบส	ตัวเร่งกรด	ตัวเร่งวิวิธพันธ์	ตัวเร่งเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป	การใช้สภาพและเงื่อนไขเหนือจุดวิกฤต
วิธีการผลิต	มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก แต่อาจเกิดปัญหาในกรณีที่วัตถุดิบมีน้ำหรือกรดไขมันอิสระสูง ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระเกิดสบู่ปนเปื้อนผลิตภัณฑ์	มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากและไม่เกิดปัญหาสบู่ปนเปื้อน แม้วัตถุดิบมีกรดไขมันอิสระสูง	มีขั้นตอนค่อนข้างยุ่งยาก แต่สามารถลดปัญหาการเกิดสบู่ ลดขั้นตอนการผลิต ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการล้าง ไม่มีปัญหากับสารตั้งต้นที่มีกรดไขมันอิสระสูง	มีขั้นตอนยุ่งยากและใช้เทคนิคค่อนข้างสูง แต่ปฏิกิริยาไม่รุนแรงสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิห้อง และไม่มีปัญหากับสารตั้งต้นที่มีน้ำและกรดไขมันอิสระอยู่สูง	มีขั้นตอนค่อนข้างง่าย ขั้นตอนการผลิตน้อย แต่ใช้เทคนิคสูง โดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง 45-65 MPa เพื่อจะทำให้แอลกอฮอล์เปลี่ยนไปอยู่เหนือจุดวิกฤต ซึ่งพัฒนาไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ยาก แต่ไม่มีปัญหากับสารตั้งต้นที่มีน้ำและกรดไขมันอิสระอยู่สูง
การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	สามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาต่ำ	สามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่สูง	มีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยุ่งยาก และมีต้นทุนค่อนข้างสูง แต่สามารถใช้ได้หลายครั้ง	มีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยุ่งยาก และมีต้นทุนสูง แต่สามารถใช้ได้หลายครั้ง	ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 3.3 เทคโนโลยีกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ต่อ)

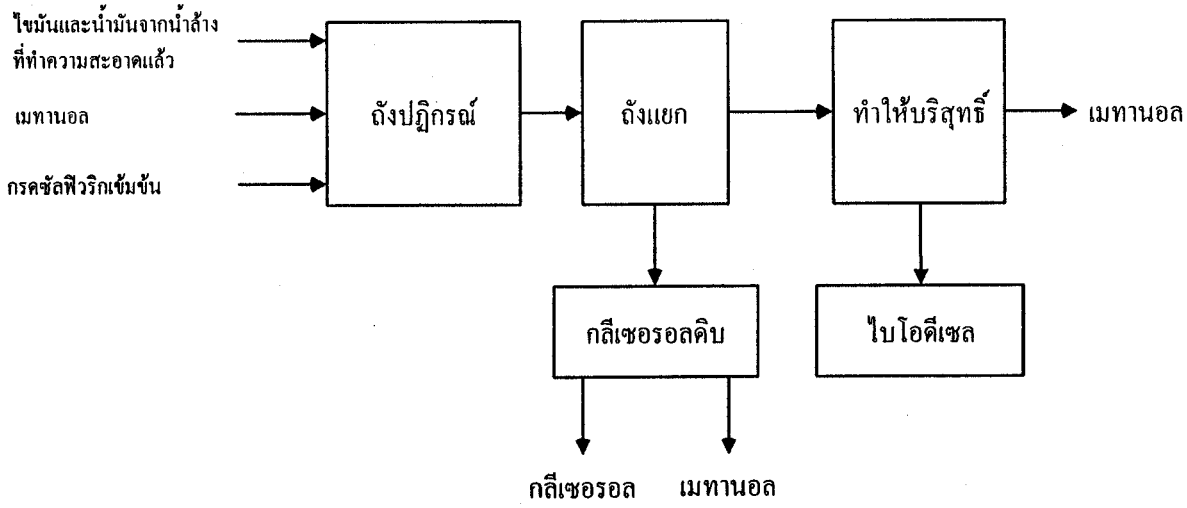
ข้อเปรียบเทียบ	เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน				
	ตัวเร่งเบส	ตัวเร่งกรด	ตัวเร่งวิวิธพันธ์	ตัวเร่งเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป	การใช้สภาพและเงื่อนไขเหนือจุดวิกฤต
อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	ใช้อุณหภูมิไม่สูง ประมาณ 60 องศาเซลเซียส	ใช้อุณหภูมิไม่สูงประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส	ใช้อุณหภูมิไม่สูง ประมาณ 55-60 องศาเซลเซียส	ใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ 35-50 องศาเซลเซียส	ใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 300 องศาเซลเซียส
อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์	มีอัตราส่วนปานกลาง ประมาณ 6-9 ต่อ 1	มีอัตราส่วนค่อนข้างสูง ประมาณ 10-30 ต่อ 1	มีอัตราส่วนปานกลาง ประมาณ 6-10 ต่อ 1	มีอัตราส่วนค่อนข้างต่ำ ประมาณ 3-7 ต่อ 1	มีอัตราส่วนสูงประมาณ 40 ต่อ 1
ระยะเวลาในการผลิต	ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น ประมาณ 1-3 ชั่วโมง	ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นประมาณ 1-5 ชั่วโมง	ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาค่อนข้างช้า ประมาณ 10 ชั่วโมง	ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาช้าประมาณ 12-24 ชั่วโมง	ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นประมาณ 1ชั่วโมง
การแยกผลิตภัณฑ์	ทำได้ค่อนข้างยาก และเมื่อทำการล้างอาจเกิดสบู่ขึ้นได้ในกรณีที่วัตถุดิบมีน้ำหรือกรดไขมันอิสระสูง และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ลดลง	ทำได้ง่ายกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส ไม่มีปัญหาเรื่องสบู่ปนเปื้อน แต่อาจต้องใช้เบสสะเทินกรดในการล้าง	ทำได้ง่ายไม่ต้องผ่านขั้นตอนการล้าง เพราะอยู่ต่างเฟสกับสารตั้งต้น	ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากในการเก็บเกี่ยวกลีเซอรอล	ทำได้ง่าย โดยไม่ต้องล้างและแยกตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 3.3 เทคโนโลยีกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ต่อ)

ข้อเปรียบเทียบ	เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน				
	ตัวเร่งเบส	ตัวเร่งกรด	ตัวเร่งวิวิธพันธ์	ตัวเร่งเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป	การใช้สภาพและเงื่อนไขเหนือจุดวิกฤต
ปริมาณผลิตภัณฑ์	ปริมาณสูง ประมาณ 80-95% yield	ปริมาณสูง ประมาณ 80-90% yield	ปริมาณสูง ประมาณ 80-99% yield	ปริมาณค่อนข้างต่ำ ประมาณ 60-80% yield	ปริมาณสูง ประมาณ 89-90% yield
ต้นทุนในการผลิต	ใช้เทคโนโลยีที่มีการลงทุนต่ำ	ใช้เทคโนโลยีที่มีการลงทุนต่ำ	ใช้เทคโนโลยีและต้นทุนของตัวเร่งปฏิกิริยากับสารตั้งต้นค่อนข้างสูง	ใช้เทคโนโลยีที่มีต้นทุนค่อนข้างสูง และมีต้นทุนของตัวเร่งปฏิกิริยาสูง	ใช้เทคโนโลยีที่มีต้นทุนสูง

1.6 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

การผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์จากไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งพบว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีขั้นตอนการผลิตคล้ายกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง
ที่มา: ปรับปรุงจาก Gerpen (2005)

1) การเตรียมน้ำมันจากน้ำล้าง โดยนำไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF มาผ่านกระบวนการทำความสะอาดโดยการเจียวเปียก และอุ่นด้วยอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส ให้เป็นน้ำมัน

2) ใส่น้ำมันจากน้ำล้าง เมทานอล และ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ตามอัตราส่วนที่เหมาะสม ในถังปฏิกรณ์

3) เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง จึงเข้าสู่ถังแยกเพื่อแยกกลีเซอรอล ซึ่งใช้การปล่อยให้แยกชั้นโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ในระบบถังแยกอาจมีหลายถังต่อเนื่องกัน

4) กลีเซอรอลดิบที่ถูกแยกออกมาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ทำปุ๋ยหมักและเชื้อเพลิงอัดแท่ง หรือนำเข้าไปสู่ระบบแยกระเหยกลับเพื่อนำเมทานอลจากส่วนกลีเซอรอลที่แยกออกไปแล้วกลับมาใช้ใหม่ ส่วนกลีเซอรอลสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงได้

5) ไบโอดีเซลจะถูกส่งระบบการทำให้บริสุทธิ์ เพื่อให้มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งระบบการทำให้บริสุทธิ์ที่นิยมมี 2 แบบ (พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และคนอื่นๆ, 2551)

ก) **ระบบล้างด้วยน้ำ** ใช้น้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส แล้วแยกน้ำที่ใช้ล้างออก ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไป โดยมากมักทำการล้างแบบไม่ต่อเนื่อง อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำที่ใช้ล้างต่อไบโอดีเซลอยู่ระหว่าง 1:1 จนถึง 3:1 จนสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลหมดหรือจนกว่าจะเป็นมีสภาพเป็นกลาง หลังจากนั้นจึงนำไบโอดีเซลที่ล้างแล้วไปกำจัดน้ำที่ยังเจือปนอยู่ โดยการให้ความร้อนเพื่อต้มให้น้ำระเหยออก หรือใช้ระบบระเหยแบบสุญญากาศ จนกว่าไบโอดีเซลจะมีสภาพใสและปราศจากสิ่งเจือปน จึงผ่านเข้าระบบกรองหรือตกตะกอนก่อนเก็บเข้าถังเก็บผลิตภัณฑ์และเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์

ข) **ระบบไม่ใช้น้ำ** มี 2 วิธี คือ วิธีแรก หลังจากแยกกลีเซอรอลออกแล้วไบโอดีเซลชั้นบนจะถูกป้อนเข้าหอกลั่นระเหยเพื่อดึงเมทานอลส่วนเกินที่เจือบนอยู่กลับมาใช้ใหม่ หลังจากนั้นจึงกำจัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ โดยผ่านเข้าหอบรรจุสารดูดซับจำพวกแมกนีเซียมซิลิเกต แล้วจึงได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลตามต้องการ วิธีที่สองใช้เทคโนโลยีการกลั่นลำดับส่วนของโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมาใช้ โดยหลังจากกระบวนการแยกกลีเซอรอลแล้ว ไบโอดีเซลจะถูกเก็บเข้าถังเก็บเพื่อทำการระเหยเมทานอลออกหมดก่อน แล้วจึงส่งไบโอดีเซลเข้าหอกลั่นสุญญากาศ เพื่อกลั่นไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์และควบแน่นทางยอดหอ ซึ่งไบโอดีเซลที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูงมาก โดยทั้งสองกระบวนการนี้ ปราศจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

1.7 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล

ในการประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล โดยนำค่าดำเนินการผลิต (ค่าสารเคมีและสาธารณูปโภค) จากโรงงานผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ของประเทศไทย ได้แก่ โรงงานต้นแบบผลิตไบโอดีเซลของ อบจ.สุราษฎร์ธานี โรงงานต้นแบบผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ของชุมชนสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด และ บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด (พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และคณะ, 2551) มาเฉลี่ย ได้ประมาณ 5 บาท/ลิตร จึงสามารถคำนวณประมาณการณ์เบื้องต้นค่าต้นทุนรวมในการผลิตไบโอดีเซลของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างได้ดังตารางที่ 3.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนรวมในการผลิตไบโอดีเซลของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น น้ำมันปาล์ม

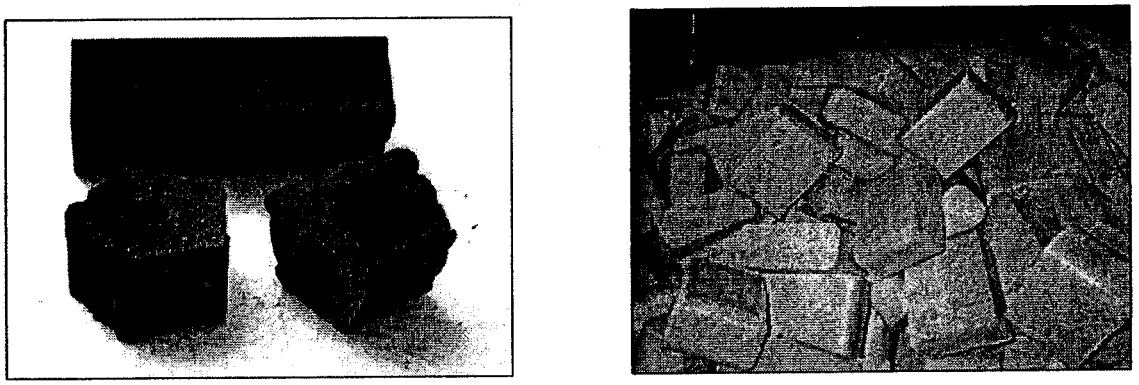
ดิบ และน้ำมันพืชใช้แล้ว นอกจากนี้ยังมีต้นทุนที่ต่ำกว่าราคาของน้ำมันไบโอดีเซลมาก ซึ่งในปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามราคาน้ำมันดีเซล จึงมีความคุ้มทุนและมีความเป็นไปได้สูงทั้งทางด้านปริมาณและต้นทุนการผลิตที่จะนำของเสียคือไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ 3.4 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล

ชนิดวัตถุดิบ	ต้นทุนจากการรับซื้อ (บาท/ลิตร)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/ลิตร)	รวม (บาท/ลิตร)
น้ำมันไบโอดีเซล	-	-	29
น้ำมันปาล์มดิบ	26	5	31
น้ำมันพืชใช้แล้ว	10-14	5	15-19
ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง	-	8	8

2. การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นแนวทางหนึ่งที่นำเอาวัสดุเหลือใช้หรือเหลือทิ้งกลับมามีประโยชน์โดยนำมาใช้ทดแทนไม้ฟืนและถ่าน วัสดุเหลือใช้พวกชีวมวลจากพืช ไม้ ของเหลือทิ้งหรือของเสียจากการเกษตรและอุตสาหกรรม สามารถเปลี่ยนรูปให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าด้วยกระบวนการอัดแท่ง (Densification) มีความหนาแน่นสูง ตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

ที่มา: ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ และคนอื่นๆ (2547)

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุเหลือทิ้งประเภทลิกโน-เซลลูโลส สามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เปลือกถั่ว ขุยมะพร้าว ผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ โดยส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากโรงสีข้าว โรงเลื่อย และโรงน้ำตาล วัสดุประเภทลิกโน-เซลลูโลสส่วนใหญ่ได้จากพืช ซึ่งวัสดุพืชแต่ละชนิดประกอบด้วย สารประกอบทางเคมีอินทรีย์หลายอย่าง โดยมีสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูง ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรต และลิกนิน ซึ่งประมาณ 50% ของคาร์โบไฮเดรตในพืชจัดเป็นเซลลูโลส ส่วนลิกนินเป็นสารประกอบฟีนอล (Phenolic Substances) มีอยู่ 20-30% (Husain, Zainac and Addullah, 2002) สำหรับเนื้อไม้นั้นประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ มากมาย ที่สำคัญได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) ลิกนิน (Lignin) สารพิเศษ (Extractive) และสารส่วนน้อย (Minor constituent) โดยที่เซลลูโลสจัดเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในเนื้อไม้ประมาณ 50% โดยมวล ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีมากรองจากเซลลูโลส ประมาณ 23-33% โดยมวลในไม้เนื้ออ่อน และ 16-25% โดยมวลในไม้เนื้อแข็ง ในขณะที่สารพิเศษเป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดมีประมาณ 5-30% โดยมวล ซึ่งได้แก่ พวกน้ำมันหอม ยาง ไขมัน แป้ง เป็นต้น ส่วนสารส่วนน้อยจะมีปริมาณ 0.1-3% โดยมวล ซึ่งเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า อันได้แก่ สารประกอบพวกแคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสเฟต และซิลิกา เป็นต้น

2.2 วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดก้อนวัสดุต่างๆ นั้น อาจแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1) การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย เป็นการอัดร้อนและใช้แรงอัดสูง (Hot and high pressure densification) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อย่างกว้างขวางเหมาะสำหรับวัสดุที่มีลิกโน-เซลลูโลส เช่น เศษไม้ แกลบ ขี้เลื่อย โดยการให้ความร้อนเพื่อจะทำให้ลิกนินที่มีอยู่ในวัตถุดิบละลายออกมายึดเกาะวัตถุดิบให้คงรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งวิธีนี้ ได้แก่

ก) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6-12%

ข) ขนาดของวัตถุดิบ (Particle size) ขนาดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 48-100 Mesh ขนาดยิ่งละเอียดพื้นที่ผิวในการยึดตัวมากให้การอัดแท่งสะดวก

ค) แรงดัน (Pressure) ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ใช้

ง) อุณหภูมิ (Temperature) วัสดุที่ใช้ในการอัดแท่งก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องอัด หากทำให้ร้อนที่ 200-225 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลง 2 เท่า

2) การอัดโดยไม่ใช้ความร้อน เป็นการอัดเย็นและใช้แรงอัดต่ำ (Cold and low pressure densification) แยกได้ 2 แบบ คือ

ก) แบบใช้ตัวประสาน เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะให้คงรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งตัวประสานนั้นมีด้วยกันหลายชนิด เช่น โมลาส แป้งมัน แอสฟัลส์ เป็นต้น

ข) แบบไม่ใช้ตัวประสาน ใช้กับวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อยหรือผ่านการหมักแล้วเท่านั้น และมีความชื้น 50-60%

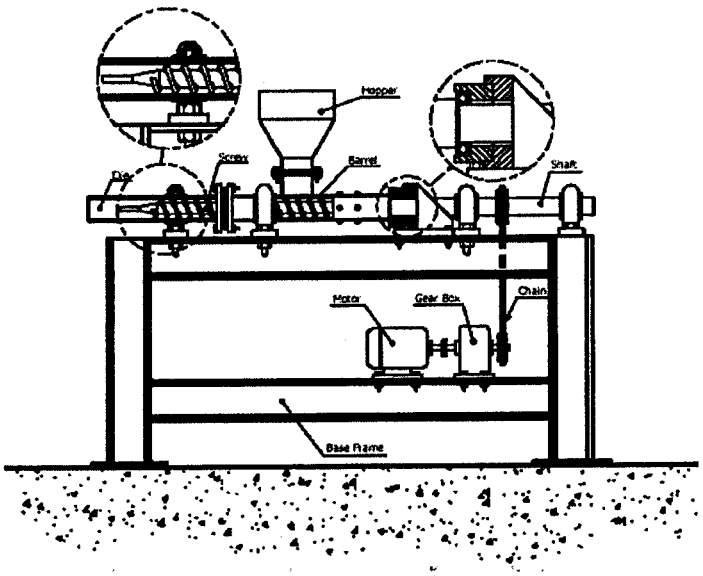
2.3 เครื่องอัดแท่ง

เครื่องอัดแท่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston press) สามารถอัดได้ 40-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่มีปัญหาเรื่องการขัดสีของกระบอกสูบและการแตกของลูกสูบ

2) เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw press) แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

ก) แบบเกลียวเดี่ยว (Single screw press) ดังภาพที่ 3.8 สามารถอัดได้ 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้น 8-10%



ภาพที่ 3.8 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวเดี่ยว

ที่มา: ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ และคนอื่นๆ (2547)

ข) แบบเกลียวคู่ (Twin screw press) สามารถอัดได้ 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้น 25%

ค) แบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อน (Screw press with heated die) อุณหภูมิขดลวด 200-350 องศาเซลเซียส สามารถอัดได้ 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้นวัสดุ 8-12%

3) เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll press) การอัดแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าใช้เครื่องอัดแบบอื่น และได้ความหนาแน่นน้อย จึงเหมาะกับการอัดที่ใช้ตัวประสานเครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing press) ประกอบด้วยพิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ซึ่งแรงเสียดสีของพิมพ์และลูกกลิ้งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นและอัดวัสดุผ่านพิมพ์ ปกติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดขนาด 5-15 เซนติเมตร ยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร

2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุด มีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้องค์ประกอบสำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพคือ

1) ปริมาณความชื้น (Moisture content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลง และทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย

2) ปริมาณเถ้า (Ash content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากสภาวะสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

3) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile matters) คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

4) คาร์บอนเสถียร (Fixed carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

5) กำมะถันรวม (Total sulfur)

6) ค่าความร้อน (Calorific value or heating value) ค่าความร้อนของการสันดาปจะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF ของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดและกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถนำมาผสมกับวัสดุธรรมชาติเหลือทิ้งอื่นๆ ได้แก่ ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว แกลบ ฟาง กากชานอ้อย เป็นต้น เพื่อผลิตเป็น

เชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำมาใช้ประโยชน์ในการให้พลังงานความร้อนและใช้เป็นพลังงานทดแทนนั้น เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงโดยพิจารณาแนวโน้มจากคุณสมบัติทางกายภาพด้านเชื้อเพลิงของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สด ดังตารางที่ 3.5 และงานวิจัยที่จะกล่าวถึงดังนี้

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ชนิดของวัสดุ	ความชื้น %	สารระเหย %	คาร์บอนเสถียร %	เถ้า %	ค่าความร้อน kcal/kg
ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง	52.84	42.52	2.07	2.57	8,454
กากไขมันจากบ่อดักไขมันของภัตตาคารการบินไทย	66.20	32.9	0.52	0.38	2,769
กะลามะพร้าว	8.01	70.16	20.02	1.82	7,028
ถ่านไม้	-	-	-	-	7740
ถ่านชาร์กากตะกอน	2.18	17.37	19.06	61.39	2012

ที่มา : รวบรวมจาก ภูธร เรืองยิ่ง (2548); ประสิทธิ์ สถิตย์เรืองศักดิ์ และคนอื่นๆ (2547); สุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2549) และ จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ และคนอื่นๆ (2549)

ภูธร เรืองยิ่ง (2548) ศึกษาองค์ประกอบด้านเชื้อเพลิงของกากไขมันจากน้ำล้างไก่พบว่ามีปริมาณความชื้น 52.84% เถ้า 2.57% สารระเหย 42.52% คาร์บอนเสถียร 2.07% ค่าความร้อน 8,454 แคลอรี่ต่อกิโลกรัม และโปรตีน 1.55% โดยน้ำหนัก (ภูธร เรืองยิ่ง, 2548)

นิศากร ดอนกระสินธุ์ (2545) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ไขมันจากถังดักไขมันของฝ่ายโภชนาการ การบินไทย ผสมกับขี้เลื่อยโดยใช้อัตราส่วนระหว่างกากไขมันต่อขี้เลื่อย (โดยปริมาตร) ที่ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 แล้วนำไปวิเคราะห์หาความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถัน และค่าความร้อน รวมถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่าสามารถอัดได้ทุกอัตราส่วน แต่ยิ่งมีปริมาณขี้เลื่อยมากจะยิ่งอัดยาก โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 7,065, 6,915, 6,466 และ 6,117 kcal/kg ตามลำดับ แต่มีสารระเหยมาก ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนเท่ากับ 20.92, 21.84, 29.22 และ 31.51% ตามลำดับ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 302, 203, 275 และ 217 ppm ตามลำดับ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

เท่ากับ 11, 0.4, 7 และ 7 ppm ตามลำดับ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ 3, 2, 3 และ 4 ppm ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสม 1:3 มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับเศษไม้หรือถ่านไม้ แต่ไม่เหมาะสมที่จะใช้กับเตาถ่านเพราะมีปริมาณสารระเหยมากทำให้เกิดควันมาก

Clark (2545) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ขี้เลื่อยผสมกับกลีเซอรอลดิบ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและได้ทำการผสมขี้เลื่อยกับกลีเซอรอลดิบ ในกล่องนมขนาด 1 ลิตร แล้วทิ้งไว้ให้เป็นก้อน จากการศึกษาพบว่าการใช้เชื้อเพลิงแท่งที่ผลิตจากขี้เลื่อยผสมกับกลีเซอรอลดิบ โดยใช้ขี้เลื่อย 450 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 750 กรัม จำนวน 3 แท่ง เมื่อนำไปต้มน้ำจำนวน 80 ลิตร จะใช้เวลา 45 นาที เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องจนถึง 60 องศาเซลเซียส ขณะที่ในฤดูหนาวจะต้องใช้จำนวน 5 แท่ง เพื่อต้มน้ำปริมาณเดียวกันนี้โดยใช้เวลา 45 นาที เพื่อทำให้น้ำเพิ่มอุณหภูมิจาก 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฟืนแล้วความร้อนที่ได้จากส่วนผสมของกลีเซอรอบดิบกับขี้เลื่อยจะมีค่ามากกว่าฟืน 2-3 เท่า

ปิยะนันท์ กังแฮ และวรินท์ เหล็กเพชร (2549) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากส่วนผสมระหว่างขี้เลื่อยและกลีเซอรอลดิบ และทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากส่วนผสมของขี้เลื่อยกับกลีเซอรอลดิบ โดยพิจารณาจากค่าความร้อนและระยะเวลาในการติดไฟโดยมีอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองคือ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90% โดยมวลของกลีเซอรอลดิบ ตามลำดับ โดยการอัดให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งและนำไปหาค่าความร้อน พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์กลีเซอรอลดิบเพิ่มขึ้นค่าความร้อนที่ได้จากการต้มน้ำก็จะสูงขึ้นด้วย โดยมีค่าความร้อนสูงสุดที่อัตราส่วนผสม 80% โดยมวลของกลีเซอรอลดิบ และให้อุณหภูมิของน้ำสูงสุดที่ 94.5 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างโดยรวมยกเว้นค่าความร้อนมีความใกล้เคียงกับกากไขมันจากบ่อดักไขมันของภัตตาคารการบินไทย โดยมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสม และมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับกะลามะพร้าวและถ่านไม้ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีหลายชนิด แต่ชนิดที่เหมาะสมและมีข้อได้เปรียบกว่าชนิดอื่นคือ เครื่องอัดแท่งแบบเอ็กซ์ทรูชัน ที่มีอุปกรณ์ไม่ค่อยซับซ้อน สามารถผลิตแท่งเชื้อเพลิงได้ต่อเนื่องและมีอัตราการผลิตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบที่ยังอาจจะเกิดปัญหาเรื่องการขัดสีของกระบอกสูบและการแตกของลูกสูบ สำหรับเครื่องอัดแท่งแบบลูกกลิ้งนั้นมีอัตราการผลิตต่ำ ได้แท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นน้อย และอัดได้เฉพาะเป็นแท่งเล็กๆ ส่วนกระบวนการอัดแท่งนั้นมี 2 วิธีที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการอัดเย็นจะมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าวิธีการอัดร้อน ทั้งทางด้านต้นทุน อัตราการผลิต และการใช้พลังงาน ตลอดจนใช้ได้กับ

วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง ดังนั้นกระบวนการอัดเย็นโดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในเชิงพาณิชย์จากส่วนผสมของวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติกับไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF หรือกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

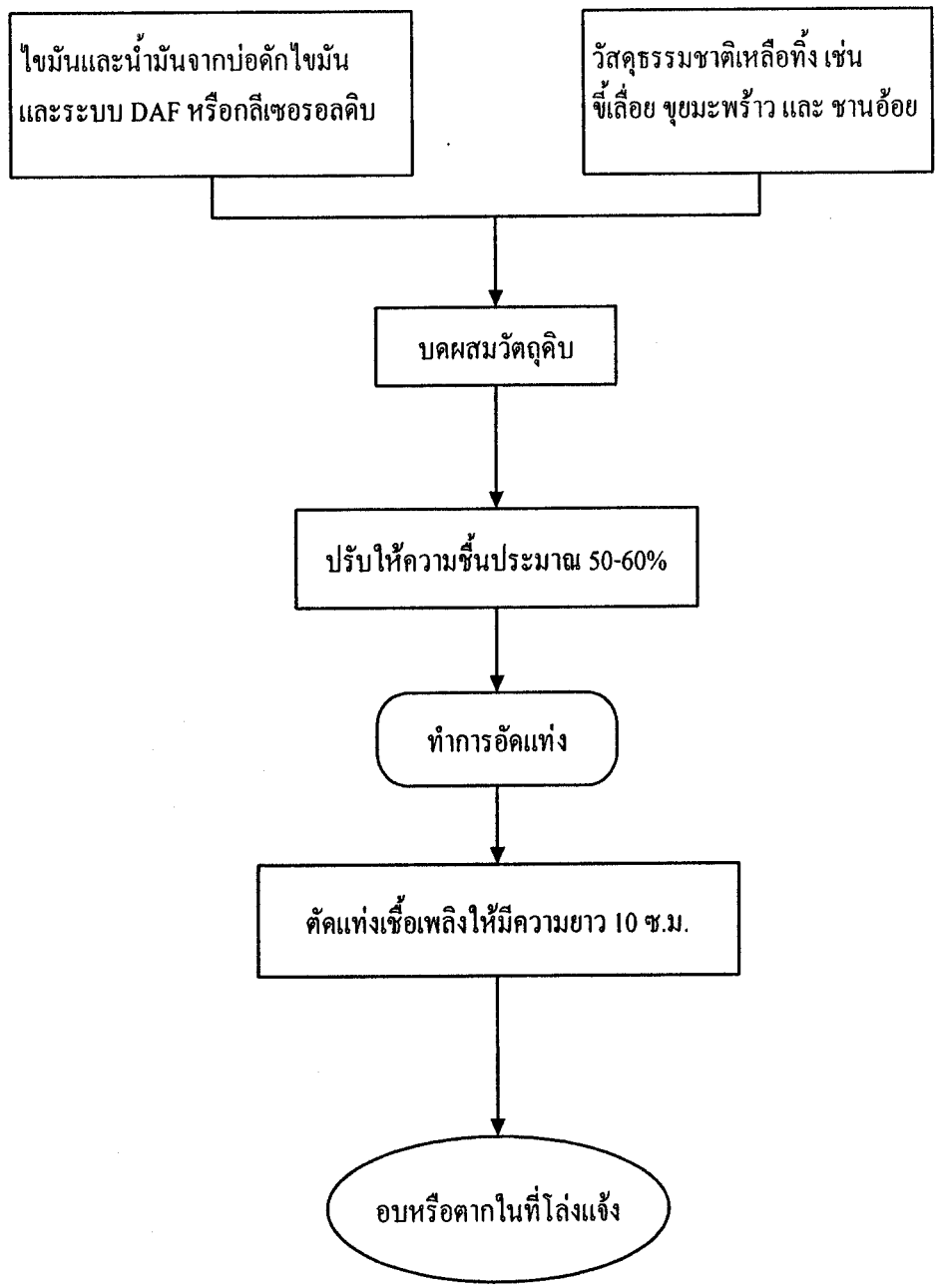
ตารางที่ 3.6 รูปแบบการอัดแท่ง

ข้อเปรียบเทียบ	รูปแบบการอัดแท่ง	
	แบบร้อน	แบบเย็น
วิธีการอัด	เป็นการอัดโดยใช้ความร้อนและแรงอัดสูงเพื่อให้ลิกนินที่มีอยู่ในวัตถุดิบละลายออกมายึดเกาะวัตถุดิบให้คงรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก	เป็นการอัดเย็นและใช้แรงอัดต่ำ อาจต้องใช้ตัวประสานมีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก
อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิง	มีอัตราการผลิตต่ำ ประมาณ 50-500 kg/hr สำหรับเครื่องอัดแบบสกรูพร้อมขดลวดความร้อน	มีอัตราการผลิตค่อนข้างสูงประมาณ 500-1000 kg/hr และ 2800-3600 kg/hr สำหรับ เครื่องอัดแบบเกลียวเดี่ยวและแบบเกลียวคู่ตามลำดับ
ความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสม	ต้องมีความชื้นต่ำประมาณ 6-12%	มีความชื้นค่อนข้างสูงระหว่าง 50- 60%
คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิง	มีความหนาแน่น การให้พลังงาน และค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนใกล้เคียงถ่าน	มีความหนาแน่น การให้พลังงาน และค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนต่ำกว่าการอัดแท่งแบบร้อน
ต้นทุน	มีการใช้พลังงานจำเพาะสูงและค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และการดูแลรักษาสูง	มีต้นทุนการผลิตต่ำประมาณ 0.2-4 บาทต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ

2.5 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเชิงพาณิชย์

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในเชิงพาณิชย์ด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF หรือ

กลีเซอรอลดิบที่มีความชื้นสูง และสามารถผลิตได้ต่อเนื่องโดยการนำมาผสมกับวัสดุธรรมชาติเหลือทิ้ง มีขั้นตอนดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1) **การผสม** โดยนำกลีเซอรอลดิบ หรือไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF และวัสดุธรรมชาติเหลือทิ้ง เช่น กากชานอ้อย ขุยมะพร้าว และขี้เลื่อย เป็นต้น มาผสมให้เข้า

กันโดยบดด้วยเครื่องบดผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น กากไขมันจากบ่อดักไขมันต่อขี้เลื่อย เป็น 1:3 โดยปริมาตร (นิศากร ดอนกระสินธุ์, 2545) หรือกลีเซอรอลดิบต่อขี้เลื่อย เป็น 4:1 โดยน้ำหนัก (ปียะนันท์ กังแฮ และวรินท์ เหล็กเพชร, 2549) เป็นต้น ซึ่งไขมันและน้ำมันหรือกลีเซอรอลดิบที่ผสมอยู่ในสภาพเปียก เพื่อให้เป็นตัวช่วยประสานในการอัดเป็นแท่ง

2) **การปรับความชื้น** โดยปรับความชื้นของวัตถุดิบด้วยน้ำเพื่อให้เกิดการเกาะตัวกันสามารถอัดเป็นแท่งออกมาได้ โดยปรับความชื้นของส่วนผสมสำหรับการอัดแท่งให้อยู่ในช่วง 50-60% เพราะถ้าความชื้นที่สูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถอัดแท่งได้เนื่องจากส่วนผสมจะไหลย้อนกลับออกมา และส่วนผสมที่มีความชื้นต่ำเกินไปเมื่ออัดแท่งออกมาแล้ว ส่วนผสมจะร่วน ไม่เกาะตัวกัน ทำให้แท่งเชื้อเพลิงไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ (Ostejski, 1998 และณัฐพร ดำรงโรจน์วัฒนา, 2546)

3) **การอัดแท่ง** นำวัตถุดิบที่บดผสมแล้วใส่ในฮอปเปอร์ (Hopper) ของเครื่องอัดแท่งแบบเกลียว แล้วเดินเครื่องอัดแท่ง โดยแท่งเชื้อเพลิงจะออกมาทางกระบอกอัดอย่างต่อเนื่อง

4) **การตัดแท่งเชื้อเพลิง** แท่งเชื้อเพลิงที่ออกมาจากเครื่องอัดแท่งจะผ่านเข้าสู่เครื่องตัดแท่งเชื้อเพลิงมีความยาวแท่งละ 10 เซนติเมตร

5) **การตากแห้ง** นำไปตากบนแผ่นกระเบื้องลอนเล็กในที่โล่งกลางแจ้งเป็นเวลา 1 เดือน เนื่องจากทำให้แท่งเชื้อเพลิงแห้งได้ดีและเร็ว (สุพจน์ เดชผล, 2546) หรืออบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน (นิศากร ดอนกระสินธุ์, 2545) เพื่อลดความชื้นและทำให้แข็งตัวเกาะกันแน่น

โดยทั่วไปแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงนั้นพิจารณาได้จากปริมาณคาร์บอนที่เสถียรเป็นองค์ประกอบมีอยู่สูง มีสารที่ระเหยในปริมาณต่ำ และค่าความร้อนสูง รวมทั้งมีค่าความชื้นต่ำ แต่ในความเป็นจริงของการใช้งานต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงในด้านอื่นๆ ด้วยคือ

1) ไม่มีการแตกปะทุเลย หรือมีการแตกปะทุบ้างเล็กน้อยในช่วงแรกที่ติดไฟ เพราะการแตกปะทุขณะติดไฟ จะเป็นที่รังเกียจของผู้ใช้เป็นอันดับหนึ่ง

2) ลุกไหม้ไฟให้ความร้อนแรงได้นาน

3) ไม่ควรจะมีควันหรือกลิ่นฉุนในขณะลุกไหม้

4) มีความแข็งสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือป่นเป็นผง ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน การขนส่ง และการเก็บรักษา

3. การทำปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำขึ้นเลียนแบบธรรมชาติในป่า ได้จากเศษพืช มูลสัตว์มากองรวมกันแล้วเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย มีสีน้ำตาล มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินโปร่งเพิ่มความพรุนให้แก่ดิน เพื่อให้การระบายอากาศได้ดีขึ้น (Sharma and others, 1997) ช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช ช่วยทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ได้ดีขึ้น

การหมักปุ๋ย (Composting) หมายถึง ขบวนการย่อยสลาย (Decomposition) สารอินทรีย์ (Organic matter) โดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ ในสภาพที่เหมาะสมด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนรวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน จุลินทรีย์ที่สำคัญในขบวนการหมักปุ๋ย ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคทีโนมัยซิส สารอินทรีย์ที่มักได้จะมีปริมาณลดลงประมาณ 30-65% และปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะได้สารประกอบที่เป็นสารคงตัว (Stabilized) จำพวกฮิวมัส (Humus) โดยมีลักษณะเป็นผงหรือก้อนเล็กๆ สีน้ำตาล นอกจากจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil conditioner) โดยปุ๋ยหมักจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญของพืช เช่น ช่วยเพื่อการระบายอากาศในดินและช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น

3.1 วัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักสามารถทำจากวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ หลายชนิด ซึ่งจะมาจากแหล่งของอุตสาหกรรมการเกษตร (Agro-industrial) และจากชุมชนเมือง วัสดุเหลือทิ้งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ คือของเสียจากสัตว์ วัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะปลูก วัชพืชน้ำ และปุ๋ยชีวภาพ วัสดุเหลือทิ้งจากผักและผลไม้ ของเสียจากปลาและของทะเล ของเสียจากอุตสาหกรรม และของเสียจากบ้านพักอาศัย ดังแสดงในตารางที่ 3.7 ของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้งจากการทำฟาร์ม ซึ่งเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุทั่วไปและสามารถหาได้ง่าย เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด ของเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ส่วนของเสียจากชุมชนเมืองโดยทั่วไปๆ จะมาจากโรงแรม โรงอาหารสวนสาธารณะ กากตะกอนจากการกำจัดน้ำเสีย และอื่นๆ อินทรีย์วัตถุเหล่านี้เป็นแหล่งของไนโตรเจนและสารอาหารอื่นๆ ของพืช ตัวอย่างเช่น กากตะกอนจากการกำจัดน้ำเสียจะมีองค์ประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักในการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 3.7 ชนิดของเศษวัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก

Sort. No.	Kinds of organic wastes
1.	Agricultural wastes including crop residues and animal manures :
	- cattle dung and urine
	- buffalo dung and urine
	- goat and sheep droppings
	- pig slurry
	- poultry excreta
	- other animal waste
	- rice straw
	- other cereal residues
	- pulse residues
	- bagasse
	- press mud
	- rice husk
2.	Urban wastes :
	- organic fraction of urban solid refuse
	- sewage sludge from sewage treatment plants
	- city refuse of green areas
3.	Wood processing waste :
	- woodchips
	- wood shavings
	- saw dust
	- edible oilcakes
4.	Food processing residues :
	- canning industry
	- breweries
	- malt houses
	- fish and shell-fish wastes

ตารางที่ 3.7 ชนิดของเศษวัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Sort. No.	Kinds of organic wastes
	- slaughter-house effluents and residues
	- dairy industries
	- sugar industry wastes and effluents
	- wine industry wastes
	- oil industry waste, etc.
5.	Other light industry waster :
	- fermentation wastes
	- paper and cellulosic residues
	- vegetal tannery sludge, etc.
6.	Local organic waste products :
	- vine canes
	- olive march
	- rice hulls
	- cocofibre dust
	- tea wastes, etc.
7.	Human habitation wastes :
	- city refuse
	- night soil
	- human urine.
8.	Aquatic biomass other wastes :
	- water hyacinth
9.	Biofertilizers :
	- rhizobium
	- non-legumes
	- blue green algae

ที่มา : Sharma and others (1997)

3.2 การแบ่งแยกประเภทของการทำปุ๋ยหมัก

กระบวนการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งสามารถแบ่งตามแง่ต่างๆ เช่น การใช้ออกซิเจน วิธีการทางเทคโนโลยี เป็นต้น ถ้าแบ่งตามการใช้ออกซิเจน มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

1) **การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic composting)**

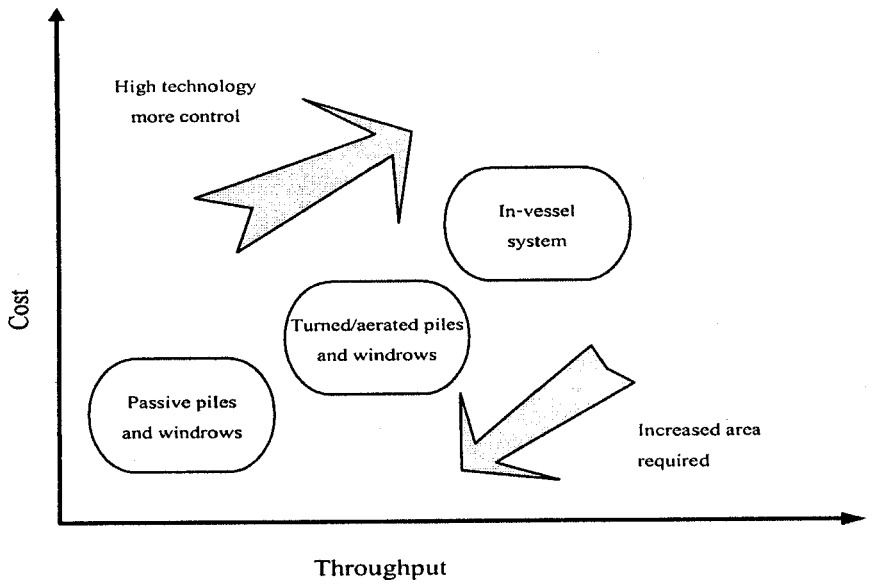
การทำปุ๋ยหมักแบบนี้จะใช้ออกซิเจนอิสระในระหว่างการหมักปุ๋ย การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศจะใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วมาก และปล่อยพลังงานในรูปของความร้อนจำนวนมากจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรีย์วัตถุไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการหมักโดยใช้วิธีนี้จะมีข้อดีคือ ไม่มีกลิ่น และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นจะค่อนข้างสูงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคนได้ การหมักโดยใช้อากาศนี้จะใช้เวลาในการหมักน้อยกว่าแบบไม่ใช้อากาศ ทำให้ใช้เวลาและพื้นที่น้อยกว่าแบบไม่ใช้อากาศ

2) **การทำปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic composting)**

การทำปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศวิธีนี้ จะไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ซึ่งของเสียที่ใช้ทำปุ๋ยจะอยู่ในลักษณะ Slurry การย่อยสลายแบบไร้อากาศนั้นอุณหภูมิจะต่ำและมีกลิ่นเกิดขึ้น โดยจะมีอัตราการสลายตัวอย่างช้าๆ ใช้เวลานาน (Gea and others, 2007) แต่มีข้อดีคือ ไม่ต้องดูแลมากเหมือนกระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ

3.3 รูปแบบเทคโนโลยีของการหมักปุ๋ย

สามารถแบ่งรูปแบบเทคโนโลยีการหมักทำปุ๋ยได้ 3 ระบบใหญ่ๆ คือระบบกองเติมอากาศ (Turned/aerated static piles and windrows) ระบบกองพลิกกลับ (Passive piles and windrows) และ In-vessel system การเปรียบเทียบถึงคุณภาพของวิธีหมักทำปุ๋ยเหล่านี้ แสดงไว้ในภาพที่ 3.10 โดยทั่วไประบบที่มีเทคโนโลยีสูง ค่าก่อสร้างจะสูงตามไปด้วย แต่ผลในการควบคุมกระบวนการจะดีและอัตราการย่อยสลายของเสียก็จะรวดเร็ว จึงส่งผลให้ใช้พื้นที่น้อย ในการเลือกวิธีที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของของเสีย สถานที่ของโรงงานทำปุ๋ย ค่าก่อสร้างและค่าดำเนินการ



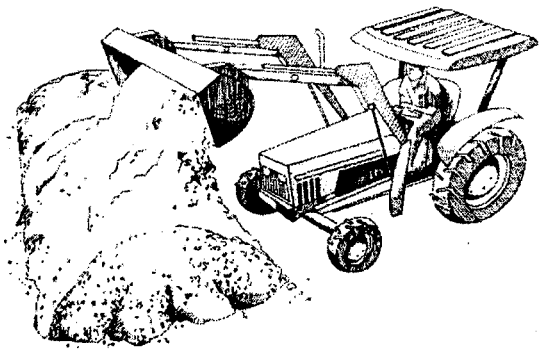
ภาพที่ 3.10 การเปรียบเทียบรูปแบบเทคโนโลยีของการหมักปุ๋ย

ที่มา : Schaub and Leonard (1996)

1) **ระบบกองพลิกกลับ**

การหมักปุ๋ยวิธีนี้เหมาะกับพื้นที่ที่มีบริเวณกว้างและไม่มีข้อจำกัดด้านการลงทุนเครื่องจักรขนาดใหญ่ การพลิกกลับกองปุ๋ยเป็นการเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ย ในขณะเดียวกันก็ควรรักษาอุณหภูมิในกองปุ๋ยให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส ในวิธีนี้วัตถุดิบจะถูกกองให้สูง 6-7 ฟุต กว้าง 10-13 ฟุต มีความยาวได้ไม่จำกัดขึ้นอยู่กับเครื่องจักรที่ใช้ ดังภาพที่ 3.11 ความถี่ในการพลิกกลับขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ความชื้น และอุณหภูมิกองปุ๋ยที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ในการหมักเศษใบไม้แห้ง ฟาง ขี้เลื่อย ผสมกับ Bulking agent จะมีความชื้นร้อยละ 60 จะพลิกกลับกองครั้งแรกในวันที่ 3 หลังจากนั้นพลิกกลับวันเว้นวันอยู่ 4 วัน ต่อจากนั้นพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทุก 4-5 วัน จนปุ๋ยหมักเสร็จ ซึ่งจะใช้เวลาในการหมักปุ๋ยประมาณ 30-45 วัน หลังจากนั้นนำไปบ่มโดยกองทิ้งไว้เฉยๆ เป็นเวลา 30 วัน การพลิกกองกลับเป็นการเติมอากาศร้อยละ 5 และกวนผสมร้อยละ 95 จุลินทรีย์มีโอกาสใช้ออกซิเจนได้เพียงไม่เกิน 30 นาทีต่อการพลิกกลับ 1 ครั้ง (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2546)

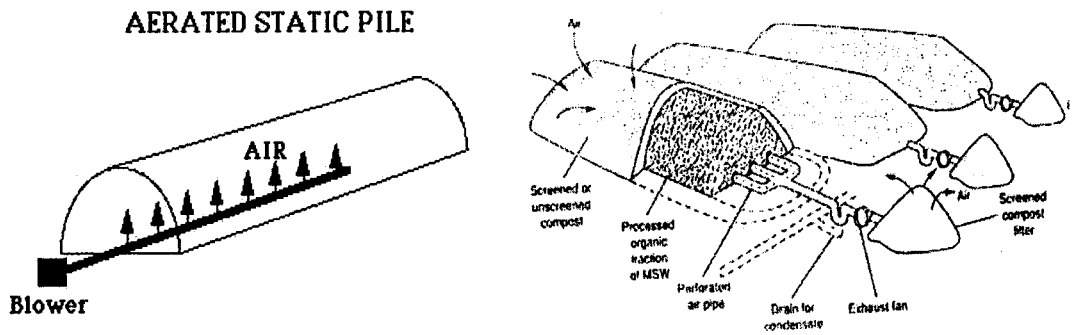
การพลิกกลับของปุ๋ยต้องไม่ทำให้วัสดุถูกอัดให้แน่นเข้า การพลิกกลับบ่อยครั้งเกินไปนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองแล้ว ความชื้นและอุณหภูมิ อาจสูญหายไปด้วย ถ้าการพลิกกลับห่างเกินไปก็มักจะส่งกลิ่นขึ้นได้ (บัญจรัตน์ โจลานันท์, 2549 และ Schaub and Leonard, 1996)



ภาพที่ 3.11 รูปแบบการหมักปุ๋ยแบบกองพลิกกลับ

2) **ระบบกองเติมอากาศ**

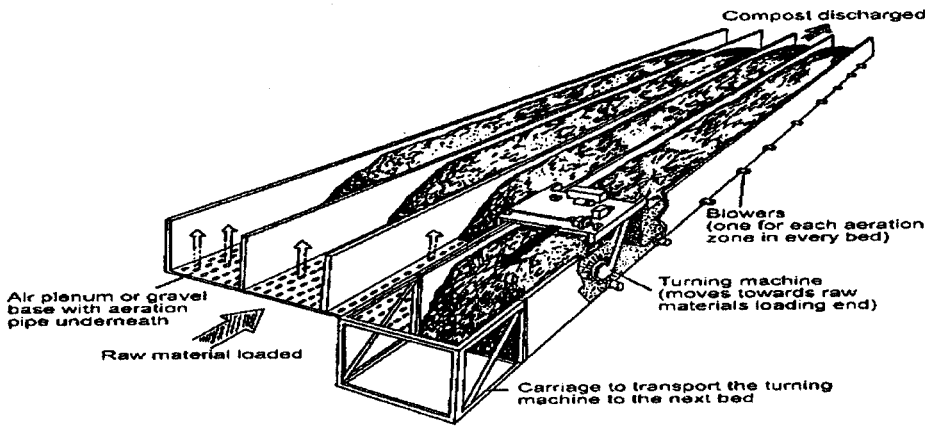
ในการหมักแบบนี้อากาศจะถ่ายเทผ่านกองปุ๋ย โดยการอัดหรือเติมอากาศแก่กองปุ๋ยด้วยพัดลมผ่านทางท่อลมดังภาพที่ 3.12 ควบคุมการปิด-เปิดพัดลมเป็นช่วงๆ ให้ปริมาณออกซิเจนพอเพียงอยู่ภายในกองปุ๋ย โดยในขณะเดียวกันก็ยังสะสมความร้อนไว้ภายในกองปุ๋ยได้ด้วย ความร้อนในกองปุ๋ยเมื่อลอยตัวสูงขึ้นจะเกิดปรากฏการณ์ปล่องควัน (Chimney convection) ชักนำเอาอากาศภายนอกที่เย็นกว่าเคลื่อนตัวเข้ากองปุ๋ยที่ด้านข้าง ทำให้กองปุ๋ยได้รับออกซิเจนเพิ่มขึ้นตามธรรมชาติ โดยไม่ยุ่งกับการกลับพลิกกองปุ๋ย การหมักจะเสร็จภายใน 21-30 วัน และเมื่อหมักเสร็จควรนำไปบ่มเช่นเดียวกัน ระบบนี้เป็นระบบที่ง่ายในการใช้และการออกแบบเครื่องมือมีราคาถูกและไม่ต้องการการเอาใจใส่ดูแลมาก เพียงแค่มีตัวตรวจจับ (Sensors) อุณหภูมิ และออกซิเจน เพื่อที่จะสามารถรักษาระดับของอุณหภูมิที่สูงในการกำจัดเชื้อโรคให้ได้มากที่สุด (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2547)



ภาพที่ 3.12 รูปแบบการหมักปุ๋ยระบบกองเติมอากาศ
ที่มา: บัญจรัตน์ โจลานันท์ (2549)

3) **In-vessel system**

การหมักปุ๋ยวิธีนี้ใช้อุปกรณ์แบบปิด เช่น ถังหมักแบบปิด วัตถุดิบจะถูกนำมาใส่ลงในถังปิดที่มีการเติมอากาศ ทำการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณออกซิเจน และธาตุอาหารอย่างเข้มงวด อาจจะเป็นการหมักปุ๋ยแบบทีละครั้ง (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) ซึ่งจะเติมวัตถุดิบทุกวันที่ด้านบนและถ่ายออกทุกวันที่ด้านล่างก็ได้ ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบภายในถังอาจจะถูกการออกแบบให้เคลื่อนที่ในแนวนอนหรือแนวดิ่งก็ได้ (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2546 และ บัญจรัตน์ โจลานันท์, 2549) การหมักจะใช้เวลาประมาณ 14 วัน และการบ่มใช้เวลาประมาณ 20 วัน (Cekmecelioglu and others, 2005) ระบบนี้ใช้พื้นที่สำหรับการหมักน้อยกว่าระบบเปิด นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการควบคุมการเกิดกลิ่นและฝุ่นได้ดี แต่เป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายสูงมากในการบำรุงรักษา (Schaub and Leonard, 1996) ตัวอย่างระบบ In- vessel ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 รูปแบบการหมักปุ๋ยแบบระบบ In-vessel
ที่มา: บัญจรัตน์ โจลานันท์ (2549)

3.4 ปฏิกิริยาทางชีวเคมีของการหมักปุ๋ย

อินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปเช่น ขยะชุมชนจะมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนกากตะกอนจากระบบกำจัดน้ำเสียจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน อินทรีย์วัตถุที่ได้จากขบวนการทำอาหารวิถีทางทางชีวเคมี ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเหล่านี้เป็นสิ่งที่ซับซ้อนมาก จะมีวิธีทางหลายขั้นตอน เช่น การย่อยสลายของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ซึ่งจะมีวิถีทางดังต่อไปนี้

โปรตีน :-

proteins ⟶ peptides ⟶ amino acids ⟶ ammonium compounds, bacterial protoplasm

คาร์โบไฮเดรต :-

Carbohydrates ⟶ simple sugars ⟶ organic acid ⟶ CO_2 and bacterial protoplasm

ไขมัน :-

fats and oils ⟶ glycerol and long chain fatty acids ⟶ volatile fatty acid CO_2 and bacterial protoplasm

ไขมันและน้ำมันจะไม่ละลายน้ำและจะทนทานต่อการย่อยสลายจนกระทั่งเมื่อไขมันถูกไฮโดรไลส์ ไขมันเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล และกรดไขมัน 3 ตัว ซึ่งสูตรโดยทั่วไปคือ $[CH_3(CH_2)_nCOO]_3C_3H_3$ โดยไฮโดรไลส์ได้กรดไขมันกับกลีเซอรอล ชนิดของกรดไขมันจะเป็นกรดปาล์มิติก (n=14) กรดสเตียริก (n=16) และกรดโอเลอิก (n=18) ซึ่งมีพันธะคู่ไปแทนที่สองไฮโดรเจนอิออน กลีเซอรอลที่ละลายในน้ำสามารถย่อยสลายได้โดยง่าย ส่วนกรดไขมันที่มีโซ่ยาวของ $-CH_2-$ นั้นไม่ละลายน้ำจนกว่าโซ่จะถูกสลายไปทีละน้อยๆ สำหรับกลีเซอรอลและกรดไขมันละลายน้ำจะย่อยสลายกลายไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ มีการใช้ออกซิเจน 1.4 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

รายละเอียดที่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการที่ซับซ้อนของการหมักนั้นยังคงมีไม่เพียงพอ ซึ่งสามารถทราบขั้นตอนที่แตกต่างกันในกระบวนการหมัก ในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดังต่อไปนี้

1) Iatent phase คือช่วงเวลาสำหรับที่จุลินทรีย์ ปรับตัวสร้างความเคยชินให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่

2) Growth phase เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิถึงระดับ Mesophilic ซึ่งมาจากการผลิตทางชีวภาพ

3) Thermophilic phase ในขั้นตอนนี้อุณหภูมิจะถึงระดับสูงสุดในช่วงนี้อินทรีย์วัตถุจะมีความคงตัวและมีการทำลายเชื้อโรคต่างๆ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังสมการที่ (1) และ (2) คือ ปฏิกิริยาทางชีวเคมีสำหรับในกรณีของการหมักแบบมีอากาศและไร้อากาศตามลำดับ

(Organic matter)

(1) (COHNS) + O_2 + aerobic bacteria ⟶ CO_2 + NH_3 + other end – products + energy

(organic matter)

(2) (OCHNS) + anaerobic bacteria ⟶ CO_2 + H_2S + NH_3 + CH_4 + other end-products + energy

4) Maturation phase คือระยะเวลาที่อุณหภูมิลดลงอยู่ในระดับ Mesophilic และถึงระดับอุณหภูมิบรรยากาศทั่วไป การหมักขั้นที่ 2 ก็จะเกิดขึ้น แต่จะช้าและมีการเกิดฮิวมัสโดยการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนบางอย่างไปเป็น Humic colloids ซึ่งคล้ายกับแร่ธาตุ (Fe, Ca, N, อื่นๆ) และในที่สุดกลายเป็นฮิวมัส ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันซึ่งแอมโมเนียจะเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตในที่สุด

จลนศาสตร์ของระบบการหมักเป็นหัวข้อที่สำคัญสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบผู้ซึ่งต้องกำหนดชนิดและขนาดของโรงงานทำปุ๋ยและเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารอินทรีย์ที่มีความเสถียรและทำลายเชื้อโรค ซึ่ง Haug (1993) ได้อธิบายถึงการควบคุมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปุ๋ยแบบใช้อากาศดังนี้

1) การปล่อยเอนไซม์ Hydrolytic ออกจากเซลล์ และส่งผ่านเอนไซม์ไปที่ผิวของสารอาหาร (Substrate)
2) การไฮโดรไลซิสโมเลกุลของสารอาหารให้มีโมเลกุลเล็กลงซึ่งเป็นส่วนที่ละลายได้
3) การแพร่ส่งผ่านโมเลกุลของสารอาหารที่ละลายไปยังเซลล์
4) การแพร่ส่งผ่านของสารอาหารไปยัง Microbial cell, Floc, or Mycelia
5) การขนส่งออกซิเจนผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาค
6) การขนส่งออกซิเจนข้ามมาระหว่างผิวก๊าซไปสู่ของเหลว (Gas-liquid interface)
7) การแพร่ส่งออกซิเจนผ่านบริเวณของเหลว
8) การแพร่ส่งผ่านออกซิเจนไปยัง Microbial cell, Floc, or Mycelia
9) ออกซิเดชันแบบใช้อากาศของสารอาหารโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในสิ่งมีชีวิต

ในทางปฏิบัติการออกแบบในโรงงานทำปุ๋ยจะต้องคำนึงถึงชนิดและปริมาณของวัสดุที่จะมาทำปุ๋ย ระยะเวลาที่ต้องการสำหรับความเสถียรของวัสดุและการทำลายเชื้อโรค ระดับของความสมบูรณ์ของปุ๋ย ชนิดของกระบวนการทำปุ๋ยที่จะใช้ พื้นที่และสถานที่ของโรงงานทำปุ๋ย

และข้อมูลจากห้องปฏิบัติการและการทดลองจริง รวมถึงประสบการณ์ที่ผ่านๆ มาที่จะช่วยในการออกแบบโรงงานทำปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพได้

3.5 กระบวนการหมักปุ๋ย

เป็นกระบวนการที่อาศัยจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถจำแนกขั้นตอนการหมักได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ Active stage และ Curing stage โดยที่แต่ละขั้นตอนการหมักมีความหมายดังนี้

1) **Active stage** หมายถึง ระยะแรกของการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ กิจกรรมเหล่านี้จะถูกดำเนินการอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 สัปดาห์แรกของการหมัก ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) **Curing stage** ซึ่งในขั้นตอนของ Curing stage ยังสามารถจำแนกย่อยได้ดังนี้

ก) Humification หมายถึง กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น Polymer ของ Polysaccharides phenols และลิกนิน ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายช้า พลังงานที่ได้จากกระบวนการนี้ส่วนหนึ่งจะเก็บไว้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ Humification ที่เตรียมเข้าสู่ระดับ Stabilization มีคุณสมบัติดังนี้ Humified organic matter ต้องมีสารอินทรีย์คาร์บอนอย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ โดย C/N เป็นคุณสมบัติทางไดนามิค ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าวัตถุดิบที่เริ่มต้น ดังนั้นต้องแสดงค่า C/N เริ่มต้นและสุดท้าย โดยค่า C/N เริ่มต้นควรมากกว่า 35-40 และค่า C/N สุดท้ายควรต่ำกว่า 22

ข) Stabilization หมายถึง ระยะที่ 2 ของการทำปุ๋ยหมักหลังจากผ่านขั้นตอนนี้จะมีอัตรา Metabolic ต่ำลง และปุ๋ยจะมีอุณหภูมิต่ำ โดยจะอยู่ในรูปฮิวมัส (กลิ่นคล้ายดิน)

3.6 ปัจจัยของสภาพแวดล้อมต่อกระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในการหมักปุ๋ยเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน ดังนั้นปัจจัยของสภาพแวดล้อมจึงมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุม และการเปลี่ยนแปลงชนิด กิจกรรม รวมถึงปริมาณของจุลินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีผลต่อการย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ภายในกองปุ๋ยหมัก สำหรับปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) **สารอาหาร (Nutrient)** เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสังเคราะห์เซลล์ใหม่และเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ สารอาหารที่สำคัญได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส อัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าวมีค่าประมาณ 25-30 (Shama and others, 1997)

2) **ขนาดของวัสดุเหลือทิ้ง** วัสดุเหลือทิ้งที่จะนำมาย่อยสลาย รวมทั้งขนาดและโครงสร้างของสารที่ช่วยพยุงกองปุ๋ยหมักโดยเฉพาะพวก Organic amendment เช่น ฟางข้าว ขี้เลื่อย หรือพวก Bulking material ที่จำเป็นต้องเติมลงไป ควรมีโครงสร้างที่เหมาะสมในการที่จะสร้างให้เกิดช่องว่างในกองปุ๋ยหมัก ถ้าขนาดของมูลฝอยและสารช่วยพยุงที่มีขนาดเล็กในตอนเริ่มต้นจะเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับจุลินทรีย์ในการเกาะและลดความลึกสำหรับการแพร่กระจายความร้อน ซึ่งขนาดที่เหมาะสมควรมีขนาด 0.5-2 นิ้ว (1.25-5 เซนติเมตร) (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2546)

3) **ความชื้น** เป็นค่าบ่งบอกปริมาณน้ำ ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ รวมถึงการดำเนินปฏิกริยาต่างๆ ในการย่อยสลาย ดังนั้นจะต้องมีปริมาณที่เพียงพอต่อการดำเนินปฏิกิริยาดังกล่าว ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเทียบกับน้ำหนักเปียก ถ้าระดับความชื้นสูงหรือต่ำมากกระบวนการย่อยสลายก็เกิดขึ้นได้ช้า

4) **การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก** กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมัก โดยจุลินทรีย์ในสภาพที่ต้องการใช้อากาศ (Aerobic composting) จัดเป็นปฏิกิริยาประเภท Biological oxidation ซึ่งปัจจัยที่สำคัญคือก๊าซออกซิเจนในการรับอิเลคตรอนที่ส่งถ่ายมาจากระบบ Repiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมักจึงจำเป็นต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจน เพื่อไม่ให้ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่จำกัดต่อกระบวนการย่อยสลาย

5) **อุณหภูมิ** มีการเปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอนของกระบวนการหมัก จากการศึกษาของ Rao and Pandey (1996) พบว่าหลังจากกองปุ๋ยหมัก 3-4 วัน อุณหภูมิที่ได้จากการหมักอาจสูงถึง 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยจากกระบวนการย่อยสลายและสมบัติการกักเก็บความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายจากกองปุ๋ยหมัก ซึ่งในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักจะย่อยสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายอย่างรวดเร็ว ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์พวกนี้มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ การที่อุณหภูมิสูงมากจนเกินไปจะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดภายในกองปุ๋ยหมักทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดช้าลง

6) **ความเป็นกรด-ด่าง (pH)** จะเปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอนของการหมักเช่นเดียวกับอุณหภูมิซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่ดีตัวหนึ่ง ในการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน pH จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยทั่วไปวัสดุที่มี pH อยู่ในช่วง 3.0-11.0 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 5.5 ถึง 8.0 การใช้วัสดุที่มี pH สูงอาจจะทำให้สูญเสีย

ไนโตรเจนในรูปของก๊าซในช่วงแรกของการกองปุ๋ยหมักเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการ Ammonia volatilization

7) **กลิ่น** ไม่เพียงแต่เป็นการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการหมักเท่านั้นแต่ยังมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคนด้วย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีประชากรอยู่หนาแน่นการควบคุมกลิ่นที่เกิดจากสภาพไร้อากาศ เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

3.7 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว

ข้อสังเกตว่าปุ๋ยหมักสามารถใช้ได้แล้วมีดังนี้

1) สีของปุ๋ยหมักจะเริ่มเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มกอง อาจจะเป็นสีน้ำตาลดำ

2) อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มกองใหม่ๆ จะร้อนมาก เมื่อกองไประยะหนึ่งความร้อนจะลดลง และเมื่ออุณหภูมิภายนอกและภายในไม่แตกต่างกัน (กองปุ๋ยต้องไม่แห้งหรือแฉะเกินไป) หรือแตกต่างกันน้อยมากแสดงว่ากองปุ๋ยหมักเริ่มใช้ได้แล้ว

3) ลักษณะความอ่อนนุ่มของเศษพืช เมื่อใช้นิ้วมือบี้ดู เศษพืชจะอ่อนนุ่มยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้าง และไม่เป็นก้อนเหมือนกับเริ่มกอง

4) สังเกตกลิ่นของปุ๋ยหมัก ถ้าเป็นปุ๋ยหมักที่ใช้ได้ ปุ๋ยหมักจะมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดินธรรมชาติ (ถ้ามีกลิ่นฉุนหรือกลิ่นฟางแสดงว่าปุ๋ยหมักยังใช้การไม่ได้ เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายดำเนินการอยู่)

5) ต้นพืชที่มีระบบรากลึกสามารถเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้ แสดงว่าปุ๋ยหมักสลายตัวอย่างเต็มที่แล้ว

6) ค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน ถ้ามีอัตราส่วนต่ำกว่า 20:1 ก็พิจารณาว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว

3.8 มาตรฐานของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่คุณภาพดีได้มาตรฐานให้พิจารณาดังนี้

1) จะต้องมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 : 1

2) มีเกรดปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 1-1-0.5 (% ของ N-P_2O_5-K_2O)

3) ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ไม่มากกว่าร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

4) จะต้องมีปริมาณอินทรีย์วัตถุระหว่าง 30-60%

5) ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.0-7.5

6) ปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้วจะต้องไม่มีความร้อนหลงเหลืออยู่

7) ปุ๋ยหมักที่ดีจะต้องไม่มีกลิ่น

8) ปุ๋ยหมักที่ดีต้องปราศจากเชื้อโรคทุกชนิด

ไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF ของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด และกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ มีปริมาณสารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีคุณสมบัติเป็นอาหารของจุลินทรีย์ รวมทั้งมีผลงานการวิจัยสนับสนุนที่กล่าวถึงดังต่อไปนี้ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาผสมกับวัสดุธรรมชาติที่ดูดซับความชื้น ได้แก่ ขุยมะพร้าว ขี้เลื่อย แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น และวัสดุที่ช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมัก

สุภารัตน์ ปัญญาเวชมนตรี (2538) ศึกษาหาปริมาณสารต่างๆ ที่มีอยู่ในกากไขมัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในปุ๋ย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่าในการนำกากไขมันไปทำปุ๋ยอินทรีย์นั้น มีความเป็นไปได้ เนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 4.19% ซึ่งเห็นได้ว่า ไนโตรเจนและโพแทสเซียมนั้นมีค่าที่เหมาะสมเพียงพอ แต่ส่วนฟอสฟอรัสนั้นมีไม่เพียงพอจึงต้องมีการเพิ่ม และควรนำกากไขมันไปตากแห้งและบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้ทำปุ๋ยหมัก

สมเดช ใจเพชร์ (2543) ศึกษาการย่อยสลายกากไขมันโดยวิธีการทำปุ๋ยหมักมีวัตถุประสงค์เพื่อย่อยสลายกากไขมันจากถังดักไขมันโดยวิธีการหมัก ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ขี้เลื่อยและขุยมะพร้าวเป็นส่วนผสม ได้แยกการทดลองเป็น 2 หน่วยการทดลอง ได้แก่ หน่วยที่ 1 ประกอบด้วย 30% ของกากไขมัน ซึ่งมีปริมาณไขมัน 16.97% อัตราส่วนที่เหลือคือส่วนผสมของขี้เลื่อย และหน่วยที่ 2 ประกอบด้วย 30% ของกากไขมันซึ่งมีปริมาณไขมัน 16.79% อัตราส่วนที่เหลือคือส่วนผสมของขุยมะพร้าว จากผลการทดลองพบว่าหน่วยที่ 1 ใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าหน่วยที่ 2 คือ 48 และ13 วัน ตามลำดับ โดยมีอัตราย่อยสลายน้ำมันในวัสดุหมัก 2.7 และ 9.9 กรัม/กิโลกรัมวัสดุหมัก/วัน และนอกจากนี้ยังพบว่าการเติมอากาศให้วัสดุส่วนผสมในการหมักมีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายน้ำมันในกากไขมันให้เร็วขึ้น เมื่อนำปุ๋ยที่ได้จากการหมักมาวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 1.88, 0.66 และ 0.56 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักที่ทำการทดลองต่ำกว่ามาตรฐาน ส่วนปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีปริมาณเพียงพอเพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ต้องเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสโดยตรงหรืออาจใช้วัสดุที่มีธาตุฟอสฟอรัสสูงๆ เช่น กระดูกป่น ขี้เถ้ากระดูก เป็นต้น ผสมกับปุ๋ยหมักที่ได้

การทำปุ๋ยหมักอัตราเร่งแบบใช้อากาศมีความนิยมสูงและมีความเหมาะสมมากกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศ โดยมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ไม่ค่อยมีกลิ่นเหม็น ใช้เวลา และพื้นที่น้อย

รวมทั้งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักค่อนข้างสูงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อคนได้ ซึ่งจากทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถอธิบายเปรียบเทียบรูปแบบเทคโนโลยีของการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศแต่ละแบบที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันดังตารางที่ 3.8 ซึ่งจะเห็นว่าระบบที่มีเทคโนโลยีสูง ค่าก่อสร้างก็สูงตามไปด้วย แต่จะใช้พื้นที่น้อย และผลในการควบคุมกระบวนการจะดี รวมทั้งอัตราการย่อยสลายวัสดุที่ใช้หมักจะรวดเร็ว ซึ่งสามารถเรียงลำดับตามเทคโนโลยีจากสูงไปต่ำดังนี้ In-vessel system > ระบบกองเติมอากาศ > ระบบกองพลิกกลับ

In-vessel system เป็นระบบถังหมักแบบปิดมีประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยหมักในอัตราสูง ระบบมีความยืดหยุ่นต่อการหมักมูลฝอยหรืออินทรียวัตถุหลายชนิด (รวมถึงมูลฝอยความชื้นสูง) เหมาะสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัด มีงบประมาณไม่จำกัด และเป็นวิธีที่ควบคุมการเกิดกลิ่นและฝุ่นได้ดี จึงช่วยลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนรอบโรงงาน นอกจากนี้ยังมีระยะเวลาในการหมักปุ๋ยสั้นกว่าระบบอื่น แต่มีข้อด้อยคือ มีงบประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุน การดำเนินการและการบำรุงรักษาค่อนข้างสูงถึงสูงมาก ตลอดจนต้องใช้ช่างเทคนิคเชี่ยวชาญในการดูแลระบบ สำหรับระบบกองเติมอากาศ เป็นระบบเปิดที่มีประสิทธิภาพการหมักและอัตราการผลิตปุ๋ยที่สูง ระยะเวลาในการหมักค่อนข้างสั้น ไม่ต้องใช้แรงงานในการพลิกกองปุ๋ยโดยคอยควบคุมเฉพาะอุณหภูมิและออกซิเจนเท่านั้น ระบบมีความยืดหยุ่นต่อการหมักมูลฝอยหรืออินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะมูลฝอยที่มีความชื้นสูง และมีความต้องการพื้นที่น้อย นอกจากนี้สามารถลดปัญหาเรื่องกลิ่น ระบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่ไม่ค่อยมากและมีงบประมาณค่อนข้างจำกัด แต่มีข้อด้อยคือ ใช้เวลาในการหมักมากกว่า In-vessel system และต้องใช้ช่างเทคนิคเชี่ยวชาญในการดูแลระบบ ส่วนระบบกองพลิกกลับ มีข้อดีคือเป็นระบบที่สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ซึ่งจะเหมาะสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่ไม่จำกัดแต่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ส่วนข้อด้อยคือ หมักได้ทีละน้อย มีความต้องการพื้นที่สูงเพราะการหมักแต่ละกองไม่สามารถตั้งกองให้มีขนาดใหญ่ได้ อัตราการหมักค่อนข้างต่ำ และต้องคอยพลิกกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งทำให้มีการสูญเสียความชื้นและอุณหภูมิภายในกอง และอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของวัสดุหมัก รวมทั้งก๊าซและกลิ่นต่างๆ อาจต้องมีการจัดการรองรับปัญหาเหล่านี้เพิ่มเติม ด้วยเหตุนี้ถึงแม้ระบบกองพลิกกลับจะเป็นระบบที่ง่าย มีค่าวัสดุก่อสร้างต่ำ แต่ถ้าต้องการผลิตในปริมาณมากหรือผลิตเชิงพาณิชย์ จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการในส่วนเครื่องจักรกลขนาดใหญ่เพื่อพลิกกองกองปุ๋ยหมัก และใช้พื้นที่มากขึ้น ตลอดจนต้องคอยดูแลและติดตามการหมักอย่างใกล้ชิด (บัญจรัตน์ โจลานันท์, 2549) รวมทั้งด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้ไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีนี้ในการทำปุ๋ยหมักแบบอัตราเร่งเชิงพาณิชย์ ส่วน In-vessel system และระบบกองเติมอากาศ จึงมีความเหมาะสมมากกว่า แต่จะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยและสถานะของโรงงานในด้านต่างๆ อาทิเช่น พื้นที่ วัตถุดิบ สถานที่ และงบประมาณ

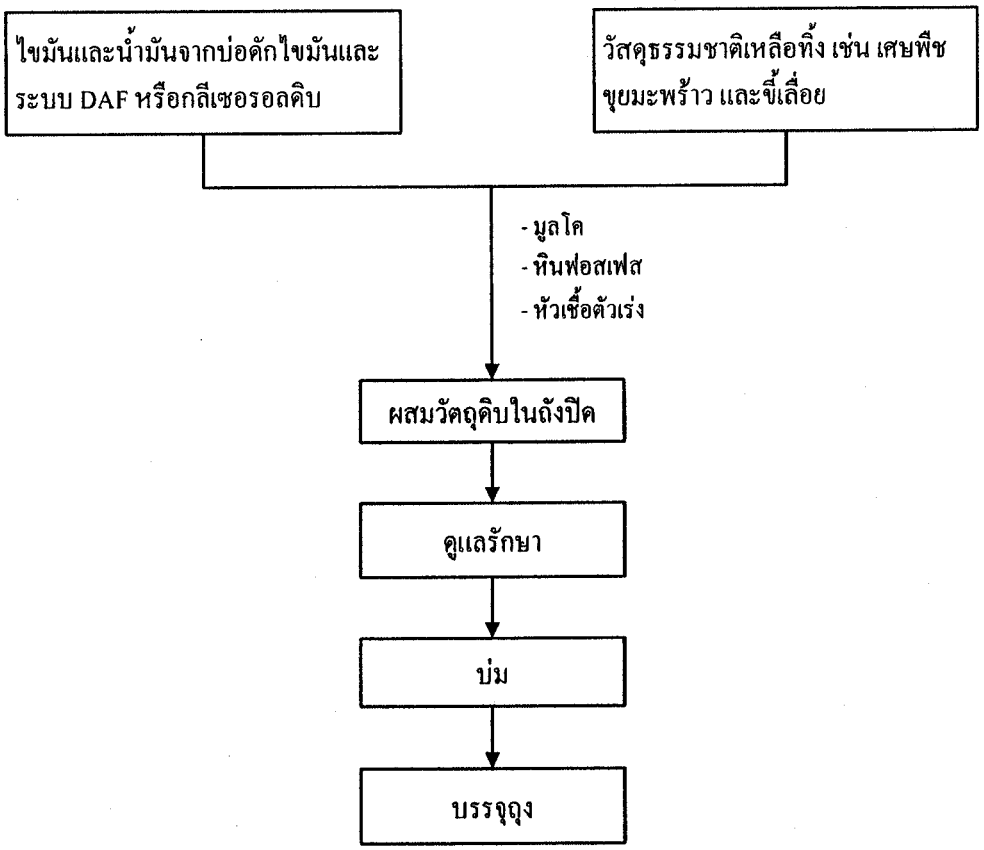
ตารางที่ 3.8 รูปแบบเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมัก

ข้อเปรียบเทียบ	รูปแบบเทคโนโลยีของการหมักปุ๋ย		
	ระบบกองพลิกกลับ	ระบบกองเติมอากาศ	In-vessel system
วิธีการหมัก	เป็นการนำวัตถุที่จะหมักกองบนพื้นราบให้ได้ความสูงพอสมควรที่จะให้การระบายอากาศได้ดีเพื่อการย่อยเกิดขึ้นได้ดีและช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ มีการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะเพื่อให้อากาศเข้าได้ทั่วถึง เป็นการเร่งปฏิกิริยาและป้องกันการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	วิธีย่อยสลายมีรูปแบบคล้ายระบบกองพลิกกลับ แต่ฐานกองปุ๋ยหมักจะมีท่อ ทำให้ระบายอากาศในกองได้ทั่วถึง	การหมักวิธีนี้คล้ายๆกับระบบกองพลิกกลับและระบบกองเติมอากาศ แต่เป็นการเป็นการหมักในภาชนะปิดที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ตลอดเวลา
การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก	ค่อนข้างยุ่งยากต้องคอยพลิกกองปุ๋ยหมักเป็นระยะ ทำให้เกิดกลิ่นและฝุ่นขึ้นได้ การพลิกกองปุ๋ยหมักบ่อยครั้งเกินไป จะทำให้ความชื้นและอุณหภูมิสูญเสียไปด้วย และถ้าหากระยะเวลาในการพลิกกลับห่างเกินไปก็มักจะส่งกลิ่นขึ้นได้	ทำได้ง่าย ไม่ต้องเอาใจใส่ดูแลมาก เพียงแค่มีตัว Sensors อุณหภูมิและออกซิเจน เพื่อที่จะสามารถรักษาระดับของอุณหภูมิที่สูงในการกำจัดเชื้อโรคให้ได้มากที่สุด	เป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีสูง การควบคุมกระบวนหมักจะมีประสิทธิภาพสะดวกในการดูแลรักษาและสามารถควบคุมกลิ่นและฝุ่นได้ดี
ระยะเวลาการทำหมักปุ๋ยหมัก	ระยะเวลาหมัก 30-45 วัน และบ่ม 30 วัน	ระยะเวลาหมัก 21-30 วัน และบ่ม 30 วัน	ระยะเวลาหมัก 14 วัน และบ่ม 20 วัน
การใช้พื้นที่	ใช้พื้นที่มาก	ใช้พื้นที่ค่อนข้างน้อย	ใช้พื้นที่น้อย
ต้นทุน	มีค่าการลงทุนต่ำ แต่ต้องเสียแรงงานในการพลิกกองปุ๋ยหมัก	มีค่าการลงทุนและค่าดำเนินการต่ำ รวมทั้งใช้พลังงานต่ำ	มีค่าการลงทุนสูงเนื่องจากมีค่าดำเนินการก่อสร้างสูงและค่าใช้จ่ายสูงมากในการบำรุงรักษา

3.9 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักแบบอัตราเร่งเชิงพาณิชย์

จากข้อสรุปข้างต้น ระบบกองเติมอากาศและ In-vessel system เป็นวิธีที่เหมาะสมในการนำมาผลิตปุ๋ยหมักอัตราเร่งเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นระบบการหมักแบบใช้อากาศมีรูปแบบดังนี้

1) **In-vessel system** เป็นการหมักในระบบถังปิดเติมอากาศ มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักแบบ In-vessel system

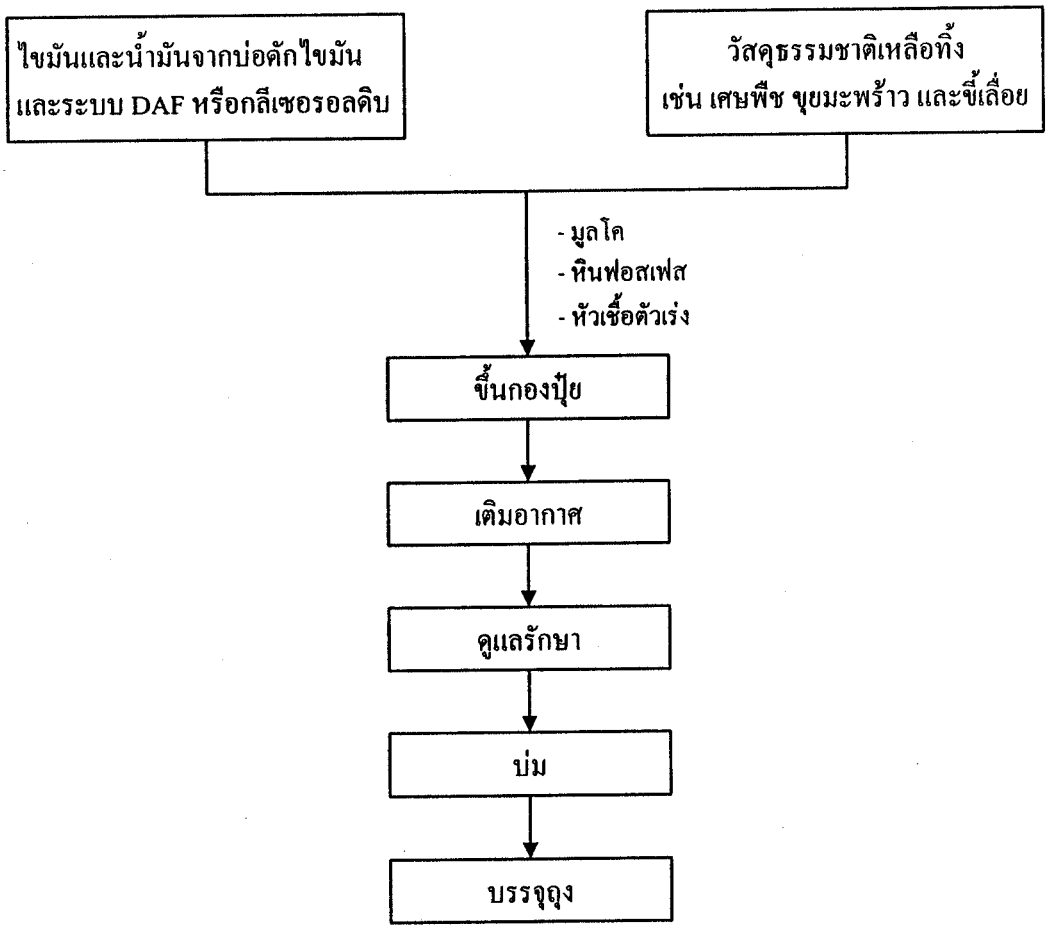
ก) เตรียมวัตถุดิบ นำเศษพืชไปย่อยในเครื่องย่อยเศษพืชหรืออาจจะแยกเฉพาะเศษใบไม้แห้งนำมาผสมคลุกเคล้ากับกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลหรือไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF ตามอัตราส่วนที่ต้องการ เช่น เติมมูลโค ปุ๋ยยูเรีย หินฟอสเฟต และหัวเชื้อตัวเร่ง ผสมให้เข้ากัน

ข) นำวัตถุดิบที่ผสมแล้วมาใส่ลงในถังปิดที่มีการเติมอากาศ สามารถทำการหมักทีละ batch หรือแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะเติมวัตถุดิบทุกวันที่ด้านบนและถ่ายปุ๋ยออกทุกวันที่ด้านล่างก็ได้

ค) การดูแลรักษา มีการควบคุมการทำงานจากห้องควบคุมที่ออกแบบไว้สำหรับตรวจสอบกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิความชื้นและอัตราการไหลเวียนของอากาศภายในระบบให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ หมุนเวียนเป็นวงจรตลอดระยะเวลาการผลิต

ง) การบ่มและการบรรจุถุง ปุ๋ยหมักที่ถูกถ่ายจากถังหมัก นำไปบ่มเป็นเวลาประมาณ 20 วัน เพื่อให้ปุ๋ยเสถียรแล้วบรรจุถุง

2) **ระบบกองเติมอากาศ** เป็นการหมักแบบกองแถวสถิตย์เติมอากาศ มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.15

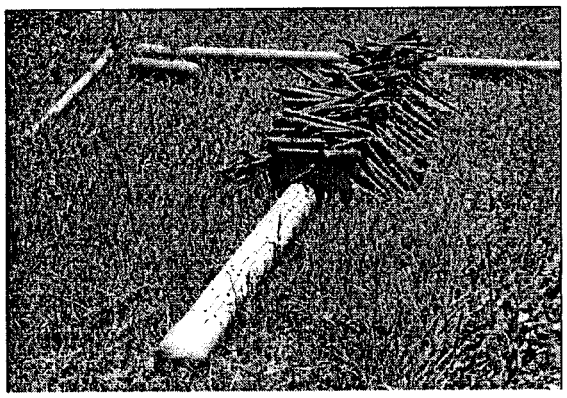


ภาพที่ 3.15 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักแบบระบบกองเติมอากาศ

ก) เตรียมวัตถุดิบเหมือนกับ In-vessel system

ข) ขึ้นกองปุ๋ย โดยนำเศษกิ่งไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-2 นิ้ว ยาว 40 เซนติเมตร วางก่ายกันไปมาบนท่อพีวีซีเจาะรูขนาด 4 นิ้ว ที่ต่อมาจากพัดลมเติมอากาศ ดังภาพที่ 3.16

กิ่งไม้จะช่วยให้มีการระบายอากาศที่ดีภายในกองปุ๋ย นำวัตถุดิบที่หมักวางทับบนกิ่งไม้ ให้มีความกว้างฐาน 2.5 เมตร สูง 1 เมตร ยาว 3.5 เมตร รดน้ำพอหมาดๆ ทั่วทั้งกอง ให้มีความชื้นร้อยละ 45-55



ภาพที่ 3.16 การขึ้นกองปุ๋ย
ที่มา: ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร (2546)

ค) เติมอากาศ โดยเปิดพัดลมเติมอากาศในวันที่สองหลังจากเริ่มกอง เติมอากาศวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น ครั้งละ 15 นาทีทุกวัน เป็นเวลา 25 วัน หรือมากกว่า (จนกว่าการหมักจะเสร็จ) ปุ๋ยที่หมักเสร็จจะไม่เห็นลักษณะเดิมของวัตถุดิบก่อนหมัก จะเบา ร่วนนุ่ม มีสีดำคล้ำ และมีกลิ่นคล้ายดิน

ง) การดูแลกองปุ๋ย เมื่อเริ่มหมักมีการตรวจสอบความชื้นภายในกองปุ๋ยทุกๆ 4-5 วัน โดยล้วงมือเข้าไปจับปุ๋ยภายในกองแล้วทดลองบีบ ถ้าความชื้นที่เหมาะสม วัสดุจะไม่แห้งเกินไปและไม่มีน้ำไหลแห้งติดมือ วิธีเพิ่มความชื้นให้แก่กองปุ๋ยโดยใช้ไม้แทงในแนวดิ่งแล้วเติมน้ำภายใน 2-5 วันแรก อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะสูงขึ้น มีค่าประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส ควรพยายามรักษาอุณหภูมิไม่ให้มีค่าเกิน 70 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้จุลินทรีย์ตาย เมื่อการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีและอินทรีย์สารในวัตถุดิบเริ่มหมดลงไป อุณหภูมิภายในกองจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ จนมีค่าคงที่หรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกซึ่งแสดงว่าการหมักเสร็จสิ้นลง

จ) การบ่มและบรรจุถุง เมื่อสิ้นสุดการหมักให้ย้ายปุ๋ยเข้าที่ร่มแล้วทิ้งไว้เฉยๆ เป็นเวลา 30 วัน เพื่อบ่มให้ปุ๋ยมีความเสถียร เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายขึ้นอีกในภายหลังซึ่งจะเป็นอันตรายต่อต้นพืชได้ หลังจากนั้นนำไปบรรจุถุง

3.10 การประมาณการณ์เบื้องต้นค่าดำเนินการทำปุ๋ยหมัก

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร (2546) ได้ประเมินค่าดำเนินการผลิตปุ๋ยหมักระบบกองเติมอากาศในเชิงพาณิชย์ พบว่ามีต้นทุนการผลิตต่ำและสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาสั้น ซึ่งต้นทุนค่าดำเนินการผลิตประมาณ 0.8 บาทต่อกิโลกรัม แต่ทางกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2549) ได้คำนวณค่าดำเนินการผลิตปุ๋ยหมักแบบกองเติมอากาศในอัตราการผลิต 1 ตันต่อวัน มีค่าดำเนินการประมาณ 0.5 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนข้อมูลต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักวิธี In-vessel system จากบริษัทกรีนเทคอิมพลิเคชั่น จำกัด พบว่าค่าน้อยกว่า 0.8 บาทต่อกิโลกรัม และราคาปุ๋ยหมักขายปลีกในกรุงเทพมหานคร ประมาณ 4 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการใช้ไขมันและน้ำมันจากบ่อดักไขมันและระบบ DAF หรือกลีเซอรอลดิบ ซึ่งเป็นของเสียแทนวัตถุดิบที่ใช้หมัก 40-60% ก็จะช่วยลดต้นทุนลงได้

4. การทำอาหารสัตว์

อาหารสัตว์นับเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งในการเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะในสุกรและสัตว์ปีก เนื่องจากต้นทุนส่วนใหญ่ประมาณ 65-70% เป็นค่าอาหารสัตว์ (กองอาหารสัตว์, 2547) ดังนั้นวัตถุดิบที่นำมาทำอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดี มีระดับโภชนะหรือสารอาหารครบถ้วนตามที่สัตว์ต้องการ ราคาถูก และมีความน่ากินสูง จะมีส่วนช่วยให้การเลี้ยงสัตว์ประสบความสำเร็จ

อาหารสัตว์ หมายถึง วัตถุหรือสารใดๆ โดยปกติจะมาจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งมีโภชนะประกอบอยู่ เมื่อภายหลังจากที่สัตว์กินเข้าไปแล้วสามารถถูกย่อย (Digested) ถูกดูดซึม (Absorbed) และนำไปใช้ประโยชน์ (Utilized) ต่อร่างกาย (กองอาหารสัตว์, 2547)

โภชนะ (Nutrients) หมายถึง สารเคมีหรือกลุ่มของสารเคมีที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันและเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ เมื่อสัตว์กินเข้าไปแล้ว ทำให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

4.1 วัตถุดิบสำหรับผลิตอาหารสัตว์

วัตถุดิบที่ใช้เป็นโภชนะในอาหารสัตว์สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ

1) **วัตถุดิบประเภทแป้ง** วัตถุดิบประเภทนี้จะเป็นแป้งหรือน้ำตาลเสียส่วนใหญ่ (ประมาณ 70-80%) ซึ่งจะมีโปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ ประมาณ 8-12% และ 1-5% ตามลำดับ เป็นแหล่งสำคัญในการให้พลังงานร่างกาย ได้แก่ ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด ข้าวฟ่าง และมันสัมปะหลัง เป็นต้น

2) **วัตถุดิบประเภทโปรตีน** วัตถุดิบพวกนี้ต้องมีโปรตีนมากกว่า 20% และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพค่อนข้างดีกว่าประเภทแป้ง แบ่งตามแหล่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

ก) แหล่งโปรตีนจากสัตว์ เป็นวัตถุดิบที่ได้จากสัตว์หรือผลพลอยได้จากการฆ่าสัตว์ โดยทั่วไปจะมีคุณภาพของโปรตีนดีกว่าโปรตีนจากพืช ได้แก่ ปลาป่น เนื้อป่น แกลบกุ้ง หางนมผง เป็นต้น

ข) แหล่งโปรตีนจากพืช ส่วนใหญ่จะเป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันพืช วัตถุดิบนี้มีปริมาณโปรตีนและคุณภาพโปรตีนค่อนข้างด้อยกว่าโปรตีนจากสัตว์ แต่เนื่องจากมีปริมาณมากและราคาถูกกว่าโปรตีนจากสัตว์ จึงนิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการให้โปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากเมล็ดยางพารา กากมะพร้าว เป็นต้น

3) **วัตถุดิบประเภทไขมัน** เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใส่ลงในสูตรอาหาร ซึ่งเป็นสารที่ให้พลังงานสูง มีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย และวิตามินที่ละลายในไขมัน ไขมันที่ใช้ผสมอาหารสัตว์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ไขมันจากสัตว์และไขมันจากพืช ซึ่งไขมันจากพืชมีข้อด้อยคือ ราคาแพง และใช้ในอาหารมากจะทำให้อาหารหืนง่าย

ไขมันเป็นอาหารที่มีความเข้มของพลังงานสูง จุดประสงค์หลักของการเติมไขมันในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มระดับพลังงานในอาหาร ลดฝุ่น และปรับปรุงรสชาติอาหารให้ดีขึ้น เพื่อกระตุ้นให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น (สาโรช, 2542) และไขมันยังมีคุณสมบัติลดความร้อนที่เกิดจากกระบวนการย่อยอาหาร (Heat increment) น้อยกว่าคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ด้วยเหตุนี้ในการสร้างสูตรอาหารที่ให้ได้พลังงานสูงๆ จึงจำเป็นต้องใช้ไขมันเสริม ซึ่งอยู่ในรูปของแข็ง (Tallow) หรือของเหลว (Oil) ในอาหาร

ไขมันที่ผสมในอาหารเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด มีทั้งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งของไขมัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่ มักจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากว่ามีกรดไขมันบางชนิดที่ร่างกายสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ในร่างกายสัตว์ไขมันเป็นแหล่งของพลังงานที่มีประสิทธิภาพสามารถเก็บไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) ซึ่งมีคุณสมบัติในการให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย เป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมนบางชนิด เช่น พรอสตาแกรนดิน (Prostagrandin) เป็นโครงสร้างของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเนื้อเยื่อไมโตคอนเดรีย (Mitochondria membrane) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสมองอีกด้วย

ระดับของไขมันในอาหารสัตว์มีความสำคัญต่อการเลี้ยงสัตว์ ดังเช่น การผสมไขมันลงในอาหารโคนมจะเพิ่มระดับของพลังงานและกรดไขมันให้กับโคนมสูงขึ้นรวมทั้งแก้ปัญหาไขมันนมต่ำจากการที่โคนมได้รับอาหารที่มีเยื่อใยไม่เพียงพอและได้รับอาหารข้นมาก

เกินไป (โอสถ นาคสกุล และยวงยศ จินดาทะจักร์, 2544) แต่ถ้าระดับของไขมันในอาหารสัตว์มากเกินความเหมาะสมแล้วจะก่อให้เกิดการสะสมไขมันในร่างกายสัตว์และส่งผลเสียต่อสัตว์ได้ นอกจากระดับไขมันในอาหารจะมีผลต่อการสะสมไขมันในสัตว์แล้ว ชนิดของไขมันและกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของอาหารยังมีความสำคัญต่อสัตว์ เนื่องจากกรดไขมันที่สะสมอยู่ในสัตว์ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับชนิดและสัดส่วนของกรดไขมันในอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อผู้บริโภค และพบว่าเมื่อให้อาหารลูกสุกรที่มีไขมันหรือน้ำมันผสมในสูตรอาหารมากเกินไป อาจทำให้ลูกสุกรท้องเสียได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการใช้ไขมันในระดับสูงในอาหารโคนม มีแนวโน้มว่าปริมาณการกินอาหารของโคนมได้จะลดลงและยังทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของโคนมย่อยเยื่อใยได้ลดลง มีผลให้น้ำหนักตัวลดและให้นมน้อยลง (ศศิพันธ์ วงค์สุทธิวาส และคนอื่น, 2547)

4) **วัตถุดิบประเภทวิตามินและแร่ธาตุ** ในสูตรอาหารสัตว์จำเป็นต้องเสริมวิตามินและแร่ธาตุเพิ่มด้วย เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ สำหรับวิตามินและแร่ธาตุที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารมักอยู่ในรูปสารประกอบเคมี และเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ใช้ปริมาณน้อยมากในสูตรอาหารจึงทำให้เกิดปัญหาในการผสมให้ทั่วถึงในทุกๆ ส่วน ดังนั้นจึงไม่นิยมผสมวิตามินและแร่ธาตุแต่ละตัวลงในอาหารโดยตรง วิตามินและแร่ธาตุจึงมักถูกผสมไว้ก่อนล่วงหน้ากับสื่อบางชนิด เช่น กากถั่วเหลือง รำ และหินปูน เป็นต้น ซึ่งเรียกสารผสมเหล่านี้ว่า "สารผสมล่วงหน้า (พรีมิกซ์)" บางครั้งอาจเรียกว่า "อาหารเสริม" แล้วจึงนำสารผสมล่วงหน้านี้ไปผสมกับวัตถุดิบอาหารประเภทอื่นต่อไปแทนได้

5) **วัตถุดิบจำพวกเสริมคุณภาพของอาหาร** วัตถุดิบจำพวกนี้ใช้ผสมในอาหารเพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ถึงแม้ว่าบางครั้งใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเสริมคุณภาพ แต่ตัวมันเองจะมีคุณค่าอาหารอยู่ด้วย วัตถุดิบจำพวกนี้แบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

ก) สารเหนียวหรือบายเดอร์หรือสารประสานอาหาร เป็นสารที่ช่วยทำให้อาหารมีความคงทนในน้ำได้นาน การใช้สารเหนียวมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำอาหารสำหรับสัตว์น้ำที่กินอาหารช้าๆ เช่น กุ้ง สารเหนียวสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ เป็นสารพวกโปรตีน สารพวกคาร์โบไฮเดรต และสารสังเคราะห์หรือสารธรรมชาติที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร

ข) สารแต่งกลิ่นอาหาร เป็นสารที่ช่วยเพิ่มกลิ่นและรสของอาหารให้มีความน่ากินมากขึ้น กลิ่นในอาหารที่สัตว์ชอบมักเป็นกลิ่นที่มีในอาหารตามธรรมชาติของมัน เช่น ปลาที่กินเนื้อเป็นอาหาร จะชอบกลิ่นของเนื้อกุ้ง หอย ปู ปลา ปลาหมึก ฯลฯ ซึ่งกลิ่นเหล่านี้

สามารถหาได้จากเศษชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปแล้วของสัตว์ต่างๆ ดังกล่าว เช่น น้ำมันปลา น้ำมันปลาหมึก หัวและเปลือกกุ้งป่น เศษปลาหมึกป่น ตับวัวป่น ฯลฯ

ค) สารกันหืนและรา ความหืนของอาหารเกิดขึ้นจากไขมันในอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการที่อาหารขึ้นราก็เพราะอาหารนั้นมีความชื้นสูงเกิน 12% ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้คุณค่าของอาหารเสียไป ในการทำอาหารจึงมักเติมสารเคมีเพื่อกันหืนในอาหารนั้นด้วย บี เอช ที และ บี เอช เอ ซึ่งใช้ในปริมาณ 0.2% ส่วนสารกันราที่ใช้กันมาก ได้แก่ กรดโพพิโอนิก ซึ่งใช้ในปริมาณ 0.3%

จากการศึกษาพบว่าไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ใกล้เคียงกับไขมันไก่ โดยมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงประมาณ 60% ใกล้เคียงกับน้ำมันปาล์มที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 53% (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของสัตว์ เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ และเมื่อสัตว์ได้รับกรดไขมันไม่อิ่มตัวก็จะสะสมอยู่ในตัวสัตว์แปรผันตามปริมาณที่ได้รับ ซึ่งจะส่งผลต่อสุขภาพผู้บริโภค โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวช่วยลดคอเลสเตอรอล ลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ดังนั้นไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจึงมีคุณสมบัติที่ดีและมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้แทนน้ำมันปาล์มดิบที่ส่วนใหญ่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ รวมทั้งมีผลงานวิจัยสนับสนุนดังที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้

ซารีนา วาแม (2549) ศึกษาการนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันโรงงานปลากระป๋องมาทดแทนน้ำมันปาล์มในสูตรอาหารไก่เนื้อ ในช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ โดยใช้ไก่เนื้อคละเพศอายุ 1 วัน จำนวน 400 ตัว แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มได้รับสูตรอาหารทดลองทดแทนน้ำมันปาล์มด้วยกากไขมันจากบ่อดักไขมันโรงงานปลากระป๋อง ในระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100% พบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารโดยพิจารณาจากน้ำหนักเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และคุณภาพของซากของไก่ทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารควบคุม ส่วนอัตราการตายของไก่ทุกกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

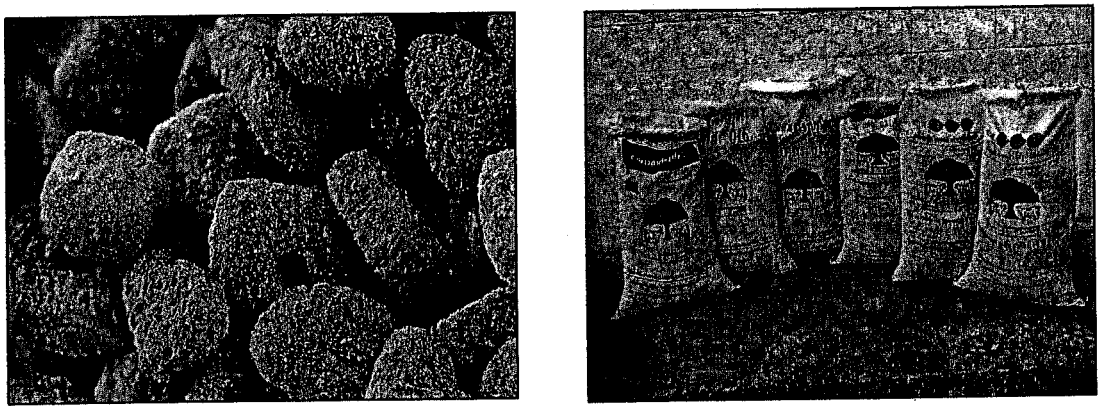
ศศิพันธ์ วงศ์สุทธาวาส และคนอื่นๆ (2547) ศึกษาปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในอาหารต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์และการสะสมไขมันในซากไก่เนื้อ ได้ให้อาหารมีปริมาณไขมัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 3.0, 6.0 และ 9.0 โดยปรับให้มีกรดไขมันอิ่มตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว 5 ระดับ คือ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่าเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณไขมันในช่องท้องในช่องท้องไก่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และพบว่า

เมื่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้มีการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวในซากไก่มากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามปริมาณไขมันในช่องท้องของไก่ลดลง

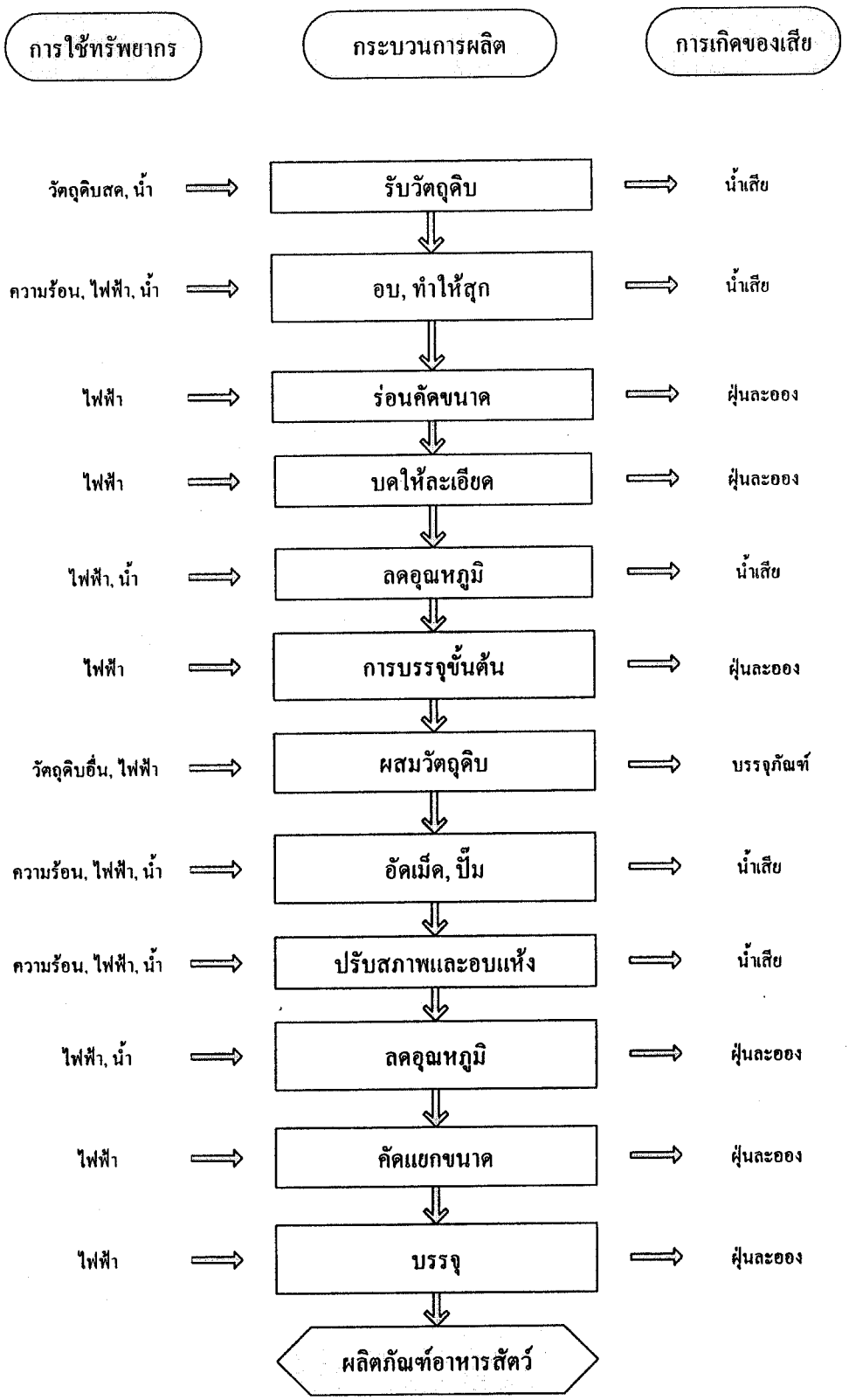
โอสถ นาคสกุล และยวงยศ จินดาทะจักร (2544) ศึกษาการนำไขมันมาผสมในสูตรอาหารทดลอง 2 สูตร คือ สูตรแรก อาหารผสมเสร็จอัดก้อนที่มีน้ำมันปาล์ม 4% สูตรที่สอง อาหารผสมเสร็จที่มีไขมัน Hydrolyzed animal fat 4% โดยใช้แม่โคนมพันธุ์ TMZ หลังคลอดตั้งแต่ 0-3 สัปดาห์ จำนวน 16 ตัว พบว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนมของโคนมที่ได้รับสูตรอาหารที่มีไขมัน Hydrolyzed animal fat สูงกว่าสูตรอาหารที่มีน้ำมันปาล์ม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีไขมัน Hydrolyzed animal fat ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนสิ้นสุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นตรง

4.2 กระบวนการผลิตอาหารสัตว์เชิงพาณิชย์

การนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สดที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วมาใช้แทนน้ำมันปาล์มดิบ สำหรับเป็นส่วนผสมกับสารอาหารจำพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และวัตถุดิบสารอาหารอื่นๆ ในอัตราส่วนประมาณ 5-15% (กองอาหารสัตว์, 2547) (สามารถลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ได้ ประมาณ 2 บาท/กิโลกรัม โดยคำนวณที่ราคาน้ำมันปาล์มดิบ 26 บาท/กิโลกรัม) เพื่อผลิตอาหารสัตว์เชิงพาณิชย์นั้นมีความเป็นไปได้และเหมาะสมที่จะผลิตเป็นอาหารสัตว์อัดเม็ดสำเร็จรูป (ตัวอย่างอาหารสัตว์อัดเม็ดแสดงดังภาพที่ 3.17) เนื่องจากเก็บรักษาได้นาน ราคาดี จำหน่ายได้ง่าย และสะดวกในการขนส่ง ซึ่งกระบวนการผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ดสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์มีขั้นตอนดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.17 อาหารสัตว์อัดเม็ดสำเร็จรูป



ภาพที่ 3.18 ขั้นตอนกระบวนการผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ดสำเร็จรูป

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

1) **โปรแกรมการผลิต** ในการดำเนินการและประมาณการณ์ผลิตจะพิจารณาจากความต้องการของลูกค้ามาวางแผนในการผลิต ซึ่งการออกสูตรและตรวจสอบสูตรการผลิตโดยคำนวณค่าโภชนาการที่เหมาะสมสำหรับสัตว์แต่ละประเภทและแต่ละระยะไว้อย่างเหมาะสมตามมาตรฐานการผลิต

2) **การรับวัตถุดิบ** ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์จะมีการใช้วัตถุดิบ ทั้งวัตถุดิบที่แปรรูปแล้วและยังไม่ได้แปรรูป สิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้คือ การจัดเก็บวัตถุดิบ เพื่อรอการผลิตไม่ให้เกิดวัตถุดิบค้าง สำหรับโรงงานผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ วัตถุดิบที่ใช้เกือบทั้งหมดเป็นวัตถุดิบสดที่ไม่ผ่านการแปรรูป เช่น ปลาป่น เปลือกกุ้ง สามารถเก็บได้เพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น หากเก็บวัตถุดิบไว้นานจะเกิดการย่อยสลาย เกิดเชื้อรา และแบคทีเรีย ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อันจะนำไปสู่ผลกระทบต่อสัตว์ที่บริโภคอาหารสัตว์ได้ และเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นวัตถุดิบทุกชนิดก่อนที่จะนำมาผลิตจะต้องถูกตรวจสอบอย่างเข้มงวดและได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดเท่านั้น

3) **ทำให้สุกโดยความร้อน** ในขั้นตอนนี้จะใช้ความร้อนจากหม้อไอน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อน เพื่อให้วัตถุดิบสุกและง่ายต่อการบดให้ละเอียด โดยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ หากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือระยะเวลานานเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นเหม็นไหม้ ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

4) **ร่อนผ่านตะแกรง** วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการอบแล้วจะถูกนำมาร่อน เพื่อแยกวัตถุดิบและสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่ รวมถึงส่วนที่ไม่สามารถบดได้ออก เช่น กระดูกปลาชิ้นใหญ่ เป็นต้น ซึ่งทำให้กระบวนการบดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้จะเกิดปัญหาฝุ่นละอองจากการฟุ้งกระจายของวัตถุดิบระหว่างการร่อนและกากของเสียที่ค้างอยู่บนตะแกรง

5) **การบดให้ละเอียด** บดวัตถุดิบที่ผ่านตะแกรงให้ละเอียด เพื่อง่ายต่อการผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น โดยการลำเลียงวัตถุดิบด้วยสายพานลำเลียงหรือสกรูลำเลียงควรเป็นระบบปิด เพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบและลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในสถานที่ทำงานอีกด้วย สำหรับอาหารสัตว์น้ำจะต้องทำให้วัตถุดิบมีความละเอียดมากที่สุด เพื่อให้อาหารมีความคงตัวในน้ำได้นานและลดความสูญเสีย

6) **การลดอุณหภูมิ** ทำการลดอุณหภูมิของวัตถุดิบที่ผ่านการบดจนละเอียด ให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องและไม่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำสะอาดในการหล่อเย็น ซึ่งต้องเปลี่ยนน้ำที่ใช้เพื่อป้องกันความสกปรกอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

7) **การบรรจุขั้นต้น** ทำการบรรจุวัตถุดิบเพื่อส่งมอบให้แก่ลูกค้าหรือส่งไปยังกระบวนการผสมกับวัตถุดิบอื่นต่อไป โดยจะใช้ไซโลในการบรรจุ ซึ่งก่อให้เกิดการฟุ้งกระจาย เป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบและปัญหาฝุ่นละอองในสถานที่ทำงาน

8) **การผสม** ในขั้นตอนนี้ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่ผ่านทำความสะอาดแล้วจะถูกนำมาผสมกับวัตถุดิบต่างๆ เข้าด้วยกันตามสูตรเฉพาะของแต่ละโรงงาน ซึ่งอาศัยการทำงานของเครื่องจักร โดยการเทวัตถุดิบลงในเครื่องผสมนั้น ก่อให้เกิดฝุ่นละอองของวัตถุดิบที่ฟุ้งกระจาย และเกิดการสูญเสียวัตถุดิบจากการใช้อุปกรณ์ในการขนถ่ายวัตถุดิบ

9) **การอัดเม็ด** วัตถุดิบที่ผ่านการผสมจะถูกนำมาอัดเม็ดเพื่อให้มีคุณภาพคงที่ โดยอาศัยความชื้นจากไอน้ำร้อนทำให้วัตถุดิบจับตัวและอัดผ่านช่องเล็กๆ โดยเม็ดอาหารสัตว์ที่อัดออกมาจะมีลักษณะที่นิ่มและมีอุณหภูมิสูงทั้งนี้อาจมีอาหารสัตว์ที่ไม่ได้มาตรฐานเกิดขึ้น ซึ่งของเสียเหล่านี้จะสามารถนำไปผสมเป็นวัตถุดิบรองในการผลิตครั้งต่อไปได้ นอกจากนี้ในกระบวนการอัดเม็ดยังก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งจำเป็นต้องทำการบำบัดอีกด้วย

10) **ปรับสภาพและอบแห้ง** อาหารสัตว์ที่ผ่านการอัดเม็ด ต้องทำการปรับสภาพเพื่อให้ส่วนผสมในอาหารสัตว์นั้นสุก และให้เหมาะกับความต้องการของสัตว์นั้นๆ จากนั้นจึงลดความชื้นในอาหารสัตว์ให้มีค่าประมาณร้อยละ 8-15 ซึ่งขั้นตอนนี้จะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นเช่นกัน

11) **การทำให้เย็น** วัตถุดิบที่ผ่านการอบแห้งยังมีอุณหภูมิที่สูง จึงต้องผ่านการทำให้เย็นเพื่อสะดวกในการบรรจุ โดยอาศัยน้ำเป็นตัวระเหยความร้อนให้อยู่ในอุณหภูมิบรรยากาศ ซึ่งต้องใช้น้ำสะอาดปริมาณมากในการระบายความร้อนและหมุนเวียนในระบบ แต่ทั้งนี้ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายเพื่อป้องกันความสกปรกอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

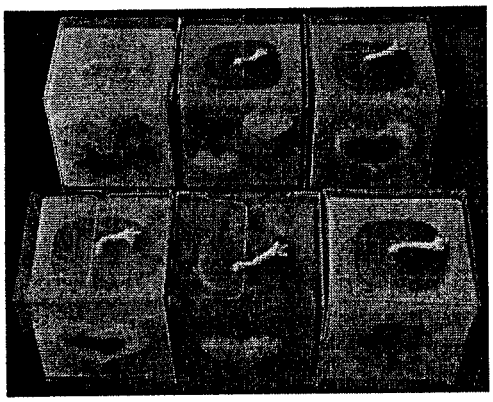
12) **การคัดแยกขนาด** นำอาหารสัตว์ที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มาคัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ การร่อนคัดขนาดก่อให้เกิดฝุ่นละอองของอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นการสูญเสียวัตถุดิบ ส่วนอาหารสัตว์ที่ไม่ผ่านตะแกรงก็สามารถนำไปบดอีกรอบ และนำไปผสมเป็นวัตถุดิบในการผลิตครั้งต่อไป

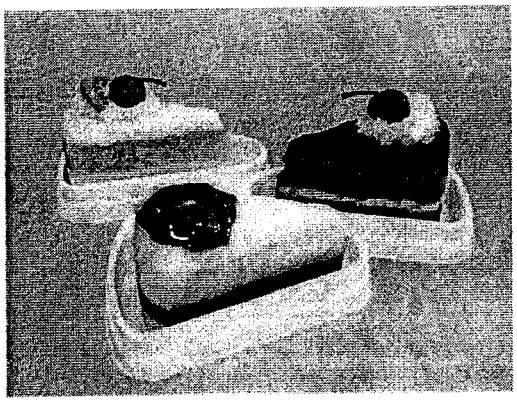
13) **การบรรจุและการส่งมอบ** การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์โดยไซโลนั้น ก่อให้เกิดการสูญเสียจากการฟุ้งกระจายของอาหารสัตว์ นอกจากนี้ยังต้องนำอาหารสัตว์นั้นไปตรวจสอบคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องสี กลิ่น ธาตุอาหารต่างๆ และจัดเก็บผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ โดยต้องควบคุมความชื้นเพื่อป้องกันการเหม็นหืนของอาหารสัตว์ที่มีส่วนประกอบของไขมันมาก และเพื่อป้องกันเชื้อโรคต่างๆ ในอาหารสัตว์ ก่อนส่งมอบให้กับลูกค้า

ในการผลิตอาหารสัตว์นั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษคือ คุณภาพโภชนะของอาหารต่างๆ ได้แก่ พลังงาน (แป้งและไขมัน) โปรตีน วิตามินและแร่ธาตุ ดังนั้นอาหารที่มีคุณภาพดีควรมีโภชนาการครบถ้วนเพียงพอต่อความต้องการเจริญเติบโตของสัตว์ สามารถย่อยได้ง่าย ปลอดภัยจากสารพิษ และราคาไม่แพง

5. การทำเทียนแฟนซี

เทียนแฟนซี หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำพาราฟินและไข มาผ่านความร้อนให้หลอมละลายรวมกันอาจเติมสี น้ำมันหอมระเหย นำมาปั้น ม้วน ตัดด้วยมือ กดจากพิมพ์ หล่อแบบขึ้นรูป หรือใช้เทคนิคต่างๆ ให้มีรูปแบบ สีสัน และลวดลายตามต้องการ อาจตกแต่งเพื่อให้เกิดความสวยงาม ใช้เป็นของประดับตกแต่งและของที่ระลึก ตัวอย่างเทียนแฟนซีดังภาพที่ 3.19





ภาพที่ 3.19 เทียนแฟนซีแบบต่างๆ

5.1 วัสดุ/อุปกรณ์ในการทำเทียนแฟนซี

1) ไขมัน ช่วยทำให้เนื้อเทียนสวย และเพิ่มระยะเวลาเผาไหม้ของเทียนให้นานขึ้น

2) เศษเทียนไข/หรือพาราฟิน ช่วยเพิ่มความแข็งของเทียน และขึ้นรูปได้ง่าย

3) สี ช่วยทำให้เทียนมีสีสวยน่าใช้ การใช้แผ่นสีเทียนช่วยให้สะดวกในการ ผสมสีเข้ากับเทียน หากใส่สีมาก สีจะเข้มมาก

4) หัวน้ำหอม ช่วยทำให้เทียนมีกลิ่นหอมน่าใช้ มีหลายกลิ่นให้เลือกใช้ เช่น กลิ่นกุหลาบ ส้ม สตรอเบอรี มะลิ ลาเวนเดอร์ กำยาน ฯลฯ เลือกใช้ได้ตามสีของเทียนหรือตามโอกาส

5) ด้ายเส้นใหญ่ที่ทำจากฝ้ายเพื่อทำไส้เทียน

6) สเตียริน (Stearin) คือ แว๊กซ์แข็งสีขาวใช้เป็นส่วนผสมของพาราฟินประมาณ 10% เพื่อเพิ่มการหดตัวในการทำเทียนหล่อทำให้เทียนหลุดจากพิมพ์ง่าย เทียนจะเป็นเงาและมีสีสดใส

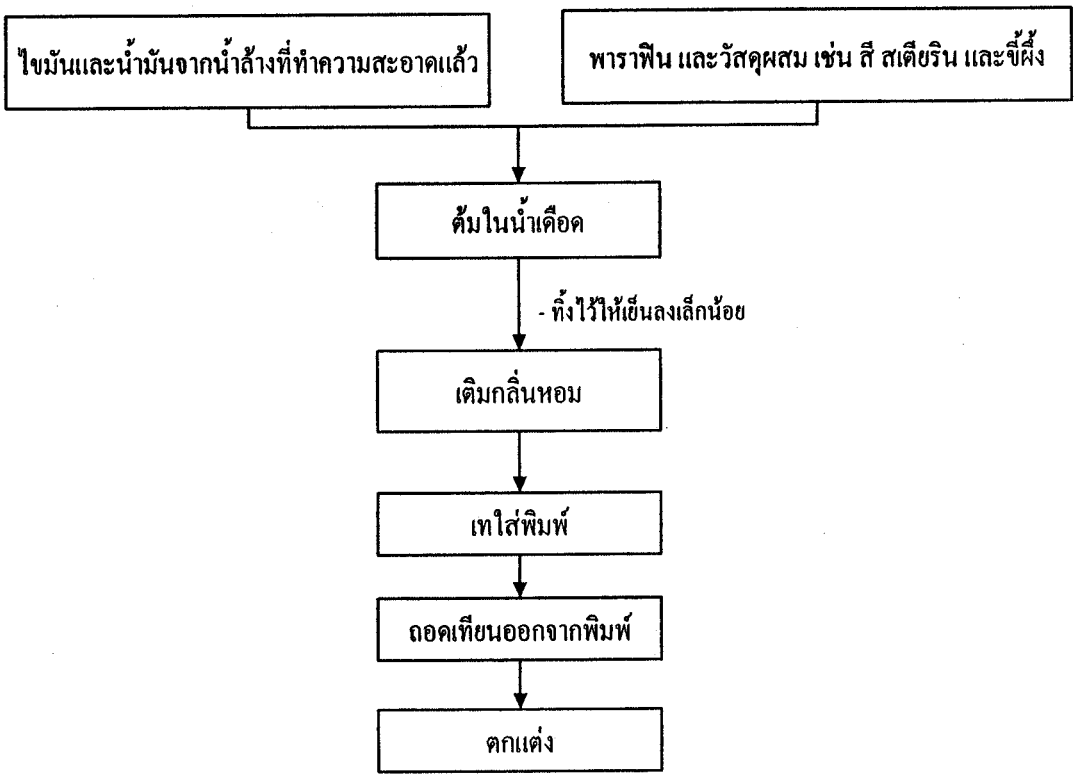
7) พี.อี. (Polyester Easterein) ใช้ประมาณ 5 -10% ของน้ำหนักพาราฟิน จะช่วยทำให้เทียนแข็งตัวสามารถจุดติดไฟนานขึ้นและที่สำคัญเมื่อจุดเทียนจะมีควันน้อย

8) ขี้ผึ้ง (Beeswax) คือ แว๊กซ์ทำจากธรรมชาติมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ใช้ผสมกับพาราฟินประมาณ 1% เพื่อเพิ่มระยะเวลาเผาไหม้ของเทียนและช่วยทำให้สีของเทียนสดขึ้น

ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างในอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันไก่ (ภูธร เรืองยิ่ง, 2548 และ พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคนอื่นๆ, 2548) ซึ่งสามารถนำเทียนแฟนซีได้ โดยนำมาต้มและแยกเอาเฉพาะส่วนที่สะอาดมาผสมกับวัสดุส่วนผสมต่างๆ ได้ตามสูตรของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

5.2 ขั้นตอนในการทำเทียนแฟนซี

การทำเทียนแฟนซีมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 ขั้นตอนการทำเทียนแฟนซี

1) นำภาชนะใส่น้ำสะอาดต้มให้เดือด นำภาชนะที่มีขนาดเล็กกว่ามาวางไว้ตรงกลางเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการปะทุของไขมัน

2) เมื่อน้ำเดือดแล้วก็ใส่พาราฟินและไขมันหรือน้ำมันด้วยอัตราส่วนประมาณ 3:10 โดยน้ำหนัก ในภาชนะใบเล็ก

3) เมื่อเริ่มละลายให้นำด้ายผ้าลงจุ่ม แล้วนำขึ้นพักเพื่อทำไส้เทียน ใส่สีลงไปละลาย

4) หลังจากนั้นก็นำภาชนะใบเล็กออกวางทิ้งให้เย็นลงเล็กน้อย หยดน้ำมันหอมลงไป 5% ของส่วนผสม กรณีจะทำให้เป็นเทียนหอมไล่ยุงให้หยดน้ำมันตะไคร้หอมแทนน้ำมันหอม

5) เทน้ำเทียนลงใส่พิมพ์ที่ติดตั้งไส้เทียนที่ขนาดเหมาะสมกับชิ้นงานเอาไว้ โดยการเจาะรูพิมพ์ สอดไส้เทียนตามแนวดิ่ง แล้วใช้น้ำเทียนยายึดเอาไว้ ต้องให้ไส้เทียนยาวเลยแบบด้านละ 1 นิ้ว

6) การเทน้ำเทียนลงพิมพ์ ต้องเตรียมถาดใส่น้ำไว้หล่อพิมพ์ โดยให้น้ำท่วมพิมพ์ประมาณสองในสามของส่วนสูงเบ้าพิมพ์ ใช้ไม้ลูกชิ้นยึดไส้เทียนให้ตั้งตรงกลาง ใส่เศษเทียนเป็นชิ้นๆ ไว้ในพิมพ์ เพื่อลดการหดตัวของน้ำเทียนและหล่อน้ำเทียนลงพิมพ์ พักให้เย็นประมาณ 6 ชั่วโมง

7) ถอดเทียนออกจากพิมพ์ เมื่อเทน้ำเทียนและทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว ให้ใช้คัดเตอร์ขูดเศษเทียนที่ยาไส้เทียนไว้ตรงรูพิมพ์ออกให้หมด จากนั้นก็สอดคัดเตอร์ลงในขอบพิมพ์ด้านในโดยรอบหากถอดไม่ออก อาจใช้ความร้อนช่วยหรือนำไปแช่เย็น จะทำให้เทียนหดตัว

8) การตกแต่งเทียนตามรูปแบบที่ต้องการ

การตกแต่งเทียนเพิ่มเติมสามารถทำได้ดังนี้

1) หั่นแผ่นสีเทียนเป็นชิ้นสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมเล็กๆ แล้วโรยในพิมพ์ จากนั้นจึงเทเทียนที่ผสมแล้วลงพิมพ์ ควรใช้ชิ้นสีหลายๆ สี และเลือกสีที่เข้มกว่าสีเทียนที่จะเท เพื่อให้สีต่างๆ สามารถมองทะลุเทียนออกมาได้

2) ตกแต่งพื้นผิวด้านนอกของเทียนด้วยเทียนแฟนซีที่เป็นรูปดอกไม้หรือรูปทรงอื่น ให้ตกแต่งทีละด้าน จุ่มเทียนแฟนซีในน้ำเทียนบางๆ แล้วนำไปติดข้างในพิมพ์ด้านที่ต้องการตกแต่ง จากนั้นจึงเทเทียนที่ผสมแล้วลงไปหรือวางชิ้นเทียนแฟนซีลงบนพิมพ์ด้านในจากนั้นนาบด้วยมีดหรือโลหะที่ร้อนที่ด้านนอกของพิมพ์เพียง 1 นาที ชิ้นเทียนแฟนซีก็จะติดที่พิมพ์ จากนั้นจึงเทเทียนที่ผสมแล้วลงไป

3) การทำเทียนสองสี ให้เทเทียนสีที่หนึ่งลงไปในพิมพ์ ปล่อยให้เทียนเกือบแข็งตัว (สังเกตุดูเนื้อเทียนจะเป็นสีขุ่นมาก) แล้วเทเทียนสีที่สองลงไป อาจทำสลับกันเป็นชั้นๆ

5.3 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตเทียนแฟนซี

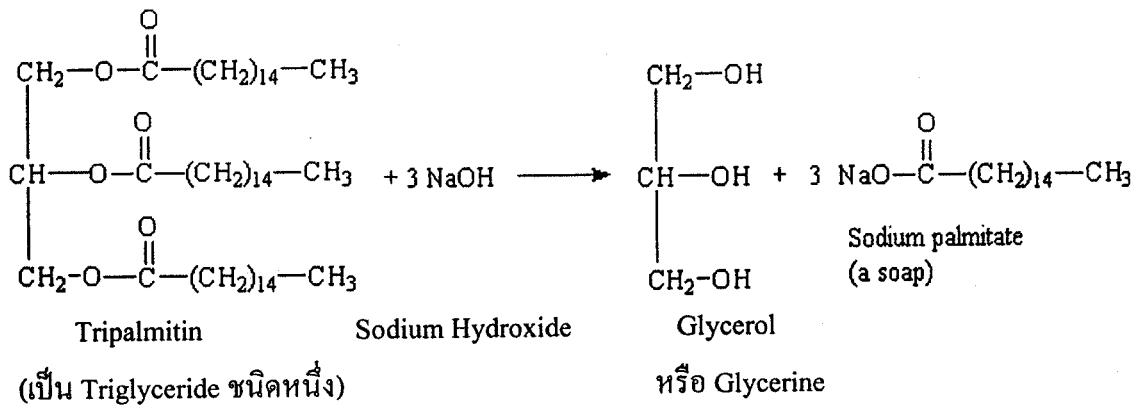
การประมาณต้นทุนการผลิตเทียนแฟนซี โดยพิจารณาจากราคาวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตเทียนแฟนซี

ชนิดวัตถุดิบ	ต้นทุนจากการรับซื้อ (บาท/ลิตร)	ค่าสารเคมี (บาท/ลิตร)	รวม (บาท/250 กรัม)
เทียนแฟนซี	-	-	10-80
น้ำมันปาล์มดิบ	26-30	10-20	9-13
น้ำมันไก่	25-30	10-20	9-13
ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง	-	10-20	3-5

6. การทำสบู่แฟนซี

สบู่เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับน้ำมัน ซึ่งอาจจะเป็นน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ก็ได้ กระบวนการนี้เรียกว่า ซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ที่ทำให้ผลผลิตที่ได้กลายเป็นของแข็งลื่น มีฟอง ซึ่งเป็นส่วนผสมของสบู่ 3 ส่วน และกลีเซอรีน 1 ส่วน (ประเทืองศรี สินชัยศรี, 2550) ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน

ที่มา: ประเทืองศรี สินชัยศรี (2550)

6.1 ส่วนผสมของสบู่

1) ไขมัน อาจได้จากพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือสัตว์ เช่น ไขมันวัว ไขมันไก่ ตัวอย่างไขมันที่ใช้ผลิตสบู่แสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างของไขมันและน้ำมันที่นำมาผลิตสบู่ได้

ไขมันจากสัตว์	ไขมันจากพืช	น้ำมันพืช
ขี้ผึ้ง	ไขมันจากโกโก้	น้ำมันงา
ไขมันไก่		น้ำมันจมูกข้าวสาลี
ไขมันและน้ำมันแพะ		น้ำมันถั่วลิสง
ไขมันวัว		น้ำมันถั่วเหลือง
ไขมันหมู		น้ำมันปอ
ไขมันห่าน		น้ำมันปาล์ม
น้ำมันปลา		น้ำมันเปลือกปาล์ม
น้ำมันซาร์ดีน		น้ำมันมะกอก
น้ำมันเท้าวัว		น้ำมันมะพร้าว
		น้ำมันเมล็ดทานตะวัน
		น้ำมันเมล็ดนุ่น

ที่มา : ฐาปนา กุมาร์ (2549)

2) ด่าง เป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดเป็นสบู่ พบว่าถ้าใช้ด่างโซเดียม จะได้สบู่แข็ง ถ้าใช้ด่างโพแทสเซียมจะได้สบู่อ่อนนิ่ม ถ้าใช้ด่างพวกเอมีน ซึ่งเป็นด่างที่อ่อนกว่า จะได้สบู่ที่มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่าสบู่ที่ได้จากด่างจำพวกโซเดียมและโพแทสเซียม

3) น้ำหอม ใช้แต่งกลิ่นสบู่ อาจเป็นน้ำหอมจากธรรมชาติจำพวกน้ำมันหอมระเหยหรือน้ำหอมที่ได้จากการสังเคราะห์ เนื่องจากมีรายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหอมสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบที่อาจทำให้เกิดภาวะการแพ้ได้มากที่สุด จึงควรระวังในการใช้

4) บอแร็กซ์ สารบอแร็กซ์นี้ไม่จำเป็นต้องใช้ก็ได้ แต่สารนี้ช่วยให้สบู่มีสีสันสวยงามและทำให้เกิดฟองมาก มีจำหน่ายตามร้านขายยาหรือร้านขายของชำ มีชื่อเรียกว่า ผงกรอบหรือผงนิ่ม ส่วนใหญ่บรรจุในถุงพลาสติก

5) สารแต่งสี อาจเป็นสีธรรมชาติหรือสีที่ได้จากการสังเคราะห์ และสีที่เลือกใช้ควรทนต่อด่าง

6) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สบู่เหม็นหืน

7) น้ำ น้ำที่ใช้ในการผลิตสบู่ควรเป็นน้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุโลหะ เนื่องจากแร่ธาตุเหล่านี้จะไปแย่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สบู่ที่ได้เหลวและไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำที่อุณหภูมิปกติ เพราะการนำด่างมาละลายในน้ำ จะเกิดการคายความร้อน จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงเกือบ 100 องศาเซลเซียส

6.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำสบู่

1) ภาชนะ ทำด้วยสแตนเลสหรือหม้อดินก็ได้ แต่อย่าใช้หม้ออลูมิเนียม เพราะด่างจะกัดกร่อน

2) ถ้วยตวง ทำด้วยแก้วหรือกระเบื้องเคลือบ

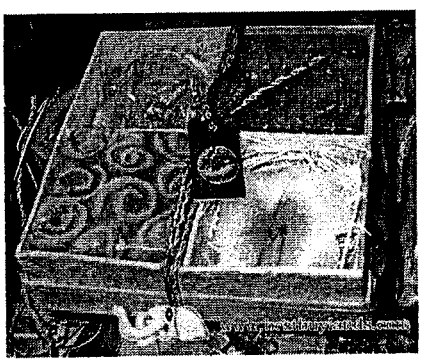
3) ช้อนกระเบื้องเคลือบหรือช้อนไม้และใบพายไม้สำหรับคน

4) แบบพิมพ์สบู่ อาจทำด้วยแผ่นไม้หรือกระดาษแข็งก็ได้ ขนาดของแบบพิมพ์จะเป็นรูปอย่างไรก็ได้ แต่ส่วนลึกควรจะเป็น 2-3 นิ้ว ดีที่สุด

5) ผ้าฝ้ายหรือกระดาษมันสำหรับรองรับสบู่ในแบบพิมพ์ โดยตัดผ้าหรือกระดาษออกเป็น 2 ชิ้น ชิ้นหนึ่งกว้างกว่าอีกชิ้นหนึ่งเล็กน้อย ใช้สำหรับช่วยยกสบู่ออกจากแบบพิมพ์ง่าย

ตัวอย่าง อัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการทำสบู่ได้ประมาณ 4 กิโลกรัม ประกอบด้วย ไขแข็งหรือน้ำมัน 3 ลิตร หรือ 2.75 กิโลกรัม บอแร็กซ์ 57 มิลลิลิตร (1/4 ถ้วย) ผลึกโซดาหรือด่าง 370 กรัม น้ำ 1.2 ลิตร และน้ำหอม 1-4 ช้อนชา

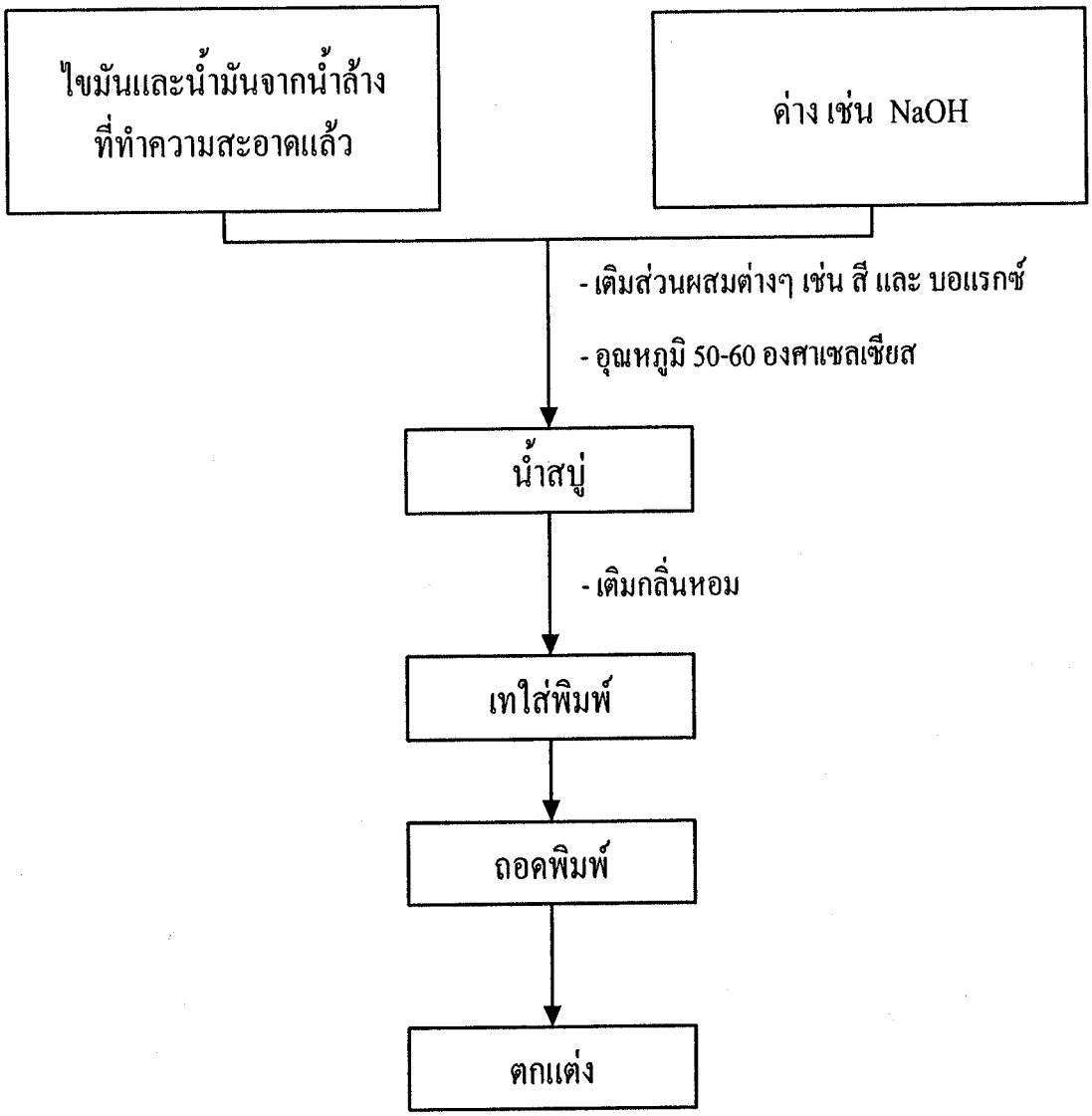
ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างในอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันไก่ (ภูธร เรืองยิ่ง, 2548 และ พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคนอื่นๆ, 2548) ซึ่งสามารถนำสบู่แฟนซี (ตัวอย่างดังภาพที่ 3.22) ได้เช่นเดียวกับเทียนแฟนซี



ภาพที่ 3.22 สบู่แฟนซีแบบต่างๆ

6.3 ขั้นตอนการทำสบู่แฟนซี

สบู่แฟนซีมีขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 ขั้นตอนการทำสบู่แฟนซี

1) เตรียมไขมัน นำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ในกรณีที่ยังไม่สะอาดควรทำความสะอาดก่อน โดยเอาไปต้มกับน้ำในปริมาณที่เท่ากัน เมื่อเดือดแล้วเทส่วนผสมผ่านผ้าบางๆ หรือตะแกรงสำหรับกรองลงในภาชนะที่เตรียมไว้ แล้วเติมน้ำเย็นลงไป 1 ส่วนต่อส่วนผสม 4 ส่วน แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น โดยไม่ต้องคน ถ้าจะให้สะอาดยิ่งขึ้นควรใส่มันเทศที่หั่นเป็นแว่น หรือถ่านไม้ยางพาราห่อด้วยผ้าขาวลงไปก่อนที่จะต้มส่วนผสม

2) เตรียมน้ำด่างผสม ทำได้โดยตวงน้ำตามปริมาณที่ต้องการ แล้วค่อยๆ เติมด่างลงไปในน้ำ ไม่ควรเติมน้ำลงไปในด่าง เพราะจะเกิดความร้อนและกระเด็นทำให้เปรอะเปื้อนได้ แล้วปล่อยให้น้ำด่างผสมนี้เย็นตัวลงจนปกติ

3) ค่อยๆ เติมน้ำด่างผสมนี้ลงไปในไขมัน ขณะที่เติมนี้ต้องคนส่วนผสมทั้งหมดนี้อย่างช้าๆ และสม่ำเสมอในทิศทางเดียวกันจนกว่าส่วนผสมจะข้นตามปกติ ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ช่วงนี้เติมน้ำหอมที่เตรียมไว้ลงไปได้ หลังจากนั้นปล่อยไว้ 15-20 นาที จึงค่อยคนหนึ่งครั้ง ทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมงเมื่อส่วนผสมเหนียวดีแล้ว จึงเทลงในแบบพิมพ์ซึ่งมีผ้าหรือกระดาษมันรองอยู่

4) หาฝาครอบแบบพิมพ์ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน ไม่ควรมีการเคลื่อนย้ายหรือถูกกระทบกระเทือน สบู่จะยึดกันแน่นสามารถเอาออกจากแบบพิมพ์ได้

5) เมื่อสบู่แข็งตัวดีแล้ว เอาออกจากแบบพิมพ์แล้วนำไปตกแต่งที่ตามต้องการ

6.4 ข้อควรระวังในการผลิตสบู่แฟนซี

1) ห้ามเทน้ำลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นด่าง ให้เทด่างลงในน้ำ เพราะถ้าหากเทน้ำลงในด่างจะทำให้เกิดจุดร้อนแรง (Hot spot) ซึ่งอาจทำให้ภาชนะหลอมหรือเกิดการพุ่งระเบิดได้

2) ห้ามเทโซเดียมไฮดรอกไซด์ใส่ภาชนะโลหะจำพวก สังกะสี อะลูมิเนียม

3) ให้สวมถุงมือยาง ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดปาก รองเท้า ใส่เสื้อผ้าปกปิดผิวหนัง และถ้าเป็นไปได้ให้ใส่แว่นตาป้องกันสารด้วย

4) ควรระมัดระวังในการทำงานกับด่าง อย่าให้มีเด็กหรือสัตว์เลี้ยงอยู่ใกล้บริเวณ

5) ควรเตรียมน้ำส้มสายชูไว้ เมื่อยามด่างหกรดผิวหนังให้ใช้น้ำส้มสายชูเช็ดแล้วล้างน้ำมากๆ จะเป็นการช่วยสะเทินและลดพิษได้ หากอาการไม่ทุเลาควรนำส่งโรงพยาบาล

6) กรณีกลืนกินโซเดียมไฮดรอกไซด์ ห้ามทำให้อาเจียน ให้รีบดื่มนมและนำผู้ป่วยส่งโรงพยาบาล

6.5 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตสบู่แฟนซี

การประมาณการณ์ต้นทุนการผลิตสบู่แฟนซีจะพิจารณาที่ราคาของวัตถุดิบและสารเคมีที่ซื้อจากร้านค้าในกรุงเทพมหานคร เช่นเดียวกับเทียนแฟนซี ซึ่งสรุปดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 การประมาณการณ์เบื้องต้นด้านต้นทุนการผลิตสบู่แฟนซี

ชนิดวัตถุดิบ	ต้นทุนจากการรับซื้อ (บาท/ลิตร)	ค่าสารเคมี (บาท/ลิตร)	รวม (บาท/250 กรัม)
สบู่แฟนซี	-	-	10-60
น้ำมันปาล์มดิบ	26-30	10-20	9-13
น้ำมันไก่	25-30	10-20	9-13
ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง	-	10-20	3-5

7. การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

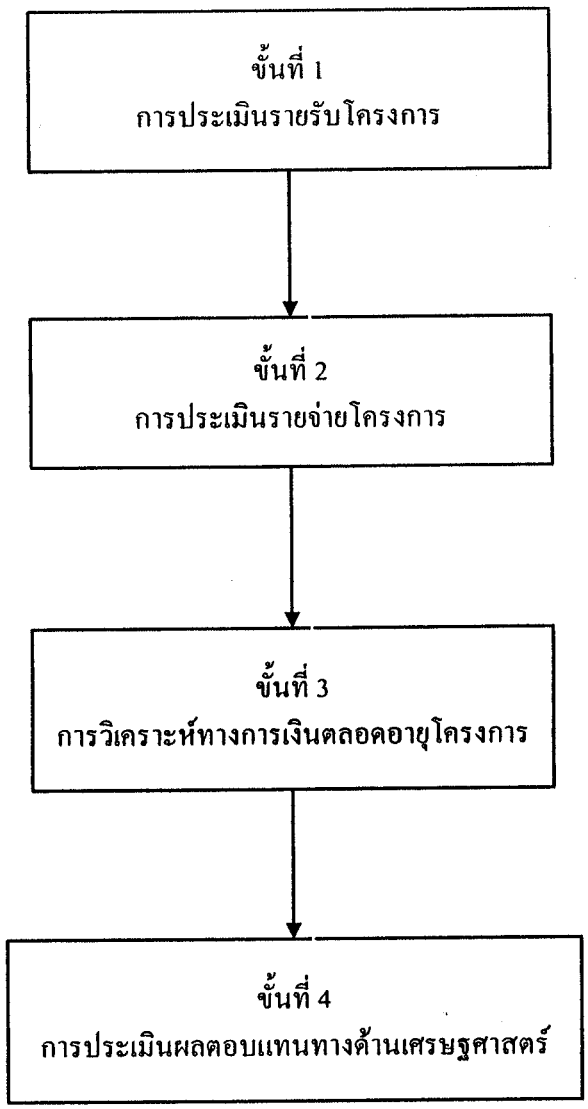
กระบวนการประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อดังต่อไปนี้ ตามภาพที่ 3.24

ขั้นที่ 1 การประเมินรายรับของโครงการ รายรับของโครงการจะได้มาจากการขายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดให้กับตลาดที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งการประเมินผลรายรับของโครงการสามารถประเมินได้จากปริมาณไขมันและน้ำมันที่เกิดขึ้นและราคาของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ

ขั้นที่ 2 การประเมินเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายของโครงการ ประกอบด้วยเงินลงทุนซึ่งอาจได้มาจากการกู้ยืมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาต่างๆ ทั้งนี้รวมถึงค่าก่อสร้าง ค่าติดตั้งระบบ และดอกเบี้ย ซึ่งจะช่วยให้สามารถประเมินหาต้นทุนของผลิตภัณฑ์

ขั้นที่ 3 การวิเคราะห์ทางการเงินตลอดอายุโครงการ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำรายรับและค่าใช้จ่ายจากการประเมินในสองขั้นตอนแรกมาทำการประเมินผลทางด้านการเงินปีต่อปีตลอดอายุโครงการในรูปของงบกำไรขาดทุนหรือกระแสเงินสด

ขั้นที่ 4 การประเมินผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ ทำให้สามารถประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการจากเกณฑ์การตัดสินใจ เพื่อการลงทุนในรูปของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value หรือ NPV) โครงการผลตอบแทนของโครงการ (Internal rate of return หรือ IRR) และระยะคืนทุน (Payback period หรือ PP)



ภาพที่ 3.24 ขั้นตอนการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ
ที่มา : จรัลรัตน์ เล็กรุ่งเรือง (2547)

ในการศึกษาผลทางด้านเศรษฐศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลทางด้านการจัดการและแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมาใช้อย่างถูกหลักวิชาการ หากระบบการรวบรวมและแยกไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างไม่ถูกต้องอาจส่งผลให้ได้ปริมาณไขมันและน้ำมันน้อยลง หรืออาจทำให้ไขมันและน้ำมันที่ได้มีคุณภาพต่ำ และควรส่งเสริมในการให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องให้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรวางแผนการดำเนินงานในจัดการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมาใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมกับสภาพการของหน่วยงาน เพื่อให้โครงการดังกล่าวสำเร็จไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 4
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

รายงานนี้ได้ศึกษาแนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทยมาใช้ประโยชน์ จากเอกสารทางวิชาการและงานวิจัยต่างๆ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า

1) น้ำล้างจากอุตสาหกรรมการรูปเนื้อไก่สด มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูงเกิดจากการปนเปื้อนของเศษวัตถุดิบ น้ำเลือดไก่ เศษเนื้อไก่สด ขนไก่ ไขมันและน้ำมัน มีผลให้น้ำเสียมีค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไขมันและน้ำมันสูง

2) ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการรูปเนื้อไก่สด ก่อนแยกมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลว สีน้ำตาลอ่อน มีน้ำปนและวัตถุปนเปื้อน เช่น ขนไก่ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 52.84% และมีกลิ่นเหม็น ซึ่งเมื่อนำมาแยกและทำความสะอาดโดยวิธีเจียวเปียก พบว่ามีลักษณะภายนอกมีสีเหลืองเช่นเดียวกับน้ำมันไก่ที่ได้จากการเจียว แต่มีกลิ่นตัวไก่มากกว่าน้ำมันไก่ และเมื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพพบว่าใกล้เคียงกับน้ำมันไก่ มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงประมาณ 60% โดยเฉพาะกรดโอเลอิกมีปริมาณสูงถึงประมาณ 41% ซึ่งเป็นไขมันที่มีคุณค่าทางโภชนะสูงและมีประโยชน์ต่อสัตว์

3) ปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำล้างคือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังเช่น การควบคุมความสะอาดของสินค้า รูปแบบเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูป พฤติกรรมการทำงาน และประเภทของวัตถุดิบ จากผลการศึกษาพบว่าไขมันและน้ำมันที่อยู่ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมีปริมาณเฉลี่ย 0.352% ของน้ำหนักตัวไก่ (น้ำหนักตัวไก่เฉลี่ย 2.2 กิโลกรัมต่อตัว) และพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทยมีการผลิตไก่ทั้งหมดประมาณ 2,330,409 ตัวต่อวัน จึงมีปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำล้างประมาณ 18.2 ตันต่อวัน หรือคิดเป็น 6,643 ตันต่อปี

4) การแยกไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมการรูปเนื้อไก่สด ด้วยบ่อดักไขมันแบบชนิด API separator ซึ่งสามารถแยกไขมันและน้ำมัน ได้สูงประมาณ 60% แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถแยกไขมันและน้ำมันชนิดอิมัลชันที่แขวนลอยอยู่ในชั้นน้ำและไม่ลอยแยกชั้นขึ้นมา จึงใช้ระบบ DAF มาแยกไขมันและน้ำมันเหล่านี้โดยใช้วิธีอัดอากาศทำให้อากาศส่วนเกินแยกออกจากน้ำเป็นฟองเล็กๆ และช่วยพาเอาโมเลกุลของไขมันและน้ำมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำจึงสามารถแยกและรวบรวมไขมันและน้ำมันออกจากน้ำได้ สำหรับไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างหรือน้ำเสีย

จากกระบวนการผลิตที่ถูกแยกด้วยระบบดักไขมัน(บ่อดักไขมันและระบบ DAF) ในแต่ละวันควรนำมาทำความสะอาดทันที หรือไม่เกิน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการย่อยสลายโปรตีนของแบคทีเรียในระบบ ลดการเกิดกลิ่นเหม็น และทำให้ระบบการแยกไขมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไขมันและน้ำมันที่ได้ยังมีความสมบูรณ์อยู่มากและมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำ

5) การทำความสะอาดไขมันและน้ำมันที่รวบรวมมาจากระบบดักไขมันของอุตสาหกรรมการรูปเนื้อไก่สดนั้น ต้องทำการตักแยกสิ่งสกปรกที่ติดกับไขมันออกให้มากที่สุดแล้วต้มไขมันและน้ำมันรวมกับน้ำสะอาด (ไขมันและน้ำมัน 5 ส่วน ต่อน้ำสะอาด 2 ส่วน) เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ใช้อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส จากนั้นก็นำไปกรองและทิ้งไว้ให้เย็น แยกน้ำและขูดเอาสิ่งสกปรกและตะกอนด้านล่างออก ถ้ายังไม่สะอาดให้ทำการต้มใหม่

6) ด้วยองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการรูปเนื้อไก่สดที่มีความใกล้เคียงกับไขมันไก่ จึงทำให้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ดังแนวทางต่อไปนี้

ก) **การทำไบโอดีเซล** การทำไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ มีความจำเป็นต้องให้ได้ต้นทุนในการผลิตต่ำและมีค่าสมดุลพลังงานเป็นบวก รวมทั้งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้สูงขึ้น เพื่อผลิตให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูงขึ้น และมีต้นทุนในการผลิตต่ำลง โดยมีการใช้สารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ชนิดต่างๆ และใช้เทคโนโลยีกระบวนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต จากผลการศึกษาพบว่าไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมีคุณสมบัติที่เหมาะสมและเป็นไปได้ในการทำไบโอดีเซล ซึ่งกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดมีเหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้ระยะเวลาการผลิตสั้น อุณหภูมิไม่สูง ได้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณสูง และที่สำคัญสามารถแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในระหว่างการทำปฏิกิริยาและการล้างผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีวิธีการผลิตไม่ซับซ้อนและต้นทุนต่ำ โดยนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่ผ่านการแยกและทำความสะอาดแล้วไปทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ ก็จะถูกส่งเข้าสู่ระบบชุดถังแยกหลายถังต่อเนื่องกัน เพื่อแยกกลีเซอรอลด้วยการปล่อยให้แยกชั้นโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ในบางโรงงานอาจมีระบบการแยกระเหยกลับเพื่อนำเมทานอลจากส่วนกลีเซอรอลที่แยกออกไปแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ หลังจากนั้นส่งไบโอดีเซลกลับไปทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีระบบล้างด้วยน้ำและแบบไม่ใช้น้ำ

ข) **การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง** การนำกากไขมันหรือไขมันและน้ำมันจากระบบดักไขมันของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สด และกลีเซอรอลดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลมาผสมกับวัสดุธรรมชาติ เช่น ขี้เลื่อย กากชานอ้อย และขุยมะพร้าว เป็นต้น มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนนั้นมีความเป็นไปได้สูง และยังมีสิ่งที่ต้องพิจารณาในการประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประกันคุณภาพ คือ คาร์บอนเสถียรสารระเหย ปริมาณเถ้า ความชื้น และค่าความร้อน โดยถือว่าเชื้อเพลิงที่มีค่าคาร์บอนเสถียรและค่าความร้อนสูงแสดงว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ดี แต่ยังต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นเพื่อประกอบการตัดสินใจว่าเชื้อเพลิงนั้นเป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพดีหรือไม่ เช่น การประทุของถ่าน น้ำหนักของถ่าน ปริมาณควันระหว่างเผาไหม้ และเวลาที่ใช้ต้มน้ำให้เดือด ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่ากากไขมันหรือไขมันและน้ำมันจากระบบดักไขมันและกลีเซอรอลดิบ มีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานในการอัดเป็นแท่ง และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เป็นเชื้อเพลิง ส่วนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมี 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ การผสม การอัดแท่ง และการตากแห้ง ซึ่งวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการอัดแท่งวัตถุดิบชนิดนี้คือ กระบวนการอัดเย็นด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวที่มีข้อได้เปรียบด้านต้นทุน อัตราการผลิต และสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง

ค) **การทำปุ๋ยหมัก** การทำปุ๋ยหมักแบบอัตราเร่งในเชิงพาณิชย์ มีรูปแบบเทคโนโลยีที่เหมาะสมอยู่ 2 แบบ คือ ระบบกองเติมอากาศ และ In-vessel system ซึ่งทั้งสองระบบนี้ใช้ระบบเติมอากาศเหมือนกัน แต่ In-vessel system มีการใช้เทคโนโลยีสูงกว่า ใช้พื้นที่น้อย และสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ และกลิ่นได้ดี แต่มีต้นทุนสูงกว่า ดังนั้นจะเลือกใช้เทคโนโลยีแบบใดขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านงบประมาณ วัตถุดิบ สถานที่ และพื้นที่ เป็นต้น จากผลการศึกษาพบว่ากลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลหรือไขมันและน้ำมันจากระบบดักไขมันของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมีความเป็นได้และเหมาะสมที่จะนำมาเป็นส่วนผสมกับวัสดุธรรมชาติเหลือทิ้งได้ในอัตราส่วนถึงประมาณ 40-60% โดยน้ำหนัก โดยเติมจุลินทรีย์หรือปุ๋ยคอกเร่งการย่อยสลาย และควบคุมปัจจัยองค์ประกอบต่างๆ เช่น ความชื้น อุณหภูมิภายในกอง จำนวนจุลินทรีย์ ขนาดวัตถุดิบ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบให้เหมาะสมพอดี เมื่อการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีและอินทรีย์สารในวัตถุดิบเริ่มหมดลงไป อุณหภูมิภายในกองจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ จนมีค่าคงที่หรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกซึ่งแสดงว่าการหมักเสร็จสิ้นลง หลังจากนั้นนำไปบ่มประมาณ 30 วัน เพื่อให้ปุ๋ยหมักเสถียรแล้วจึงบรรจุถุง

ง) **การทำอาหารสัตว์** อาหารที่มีคุณภาพดีควรมีโภชนะครบถ้วน ซึ่งทำให้สัตว์ย่อยได้ดีและปลอดภัยจากสารพิษ นอกจานี้ราคาไม่แพง สัตว์ต้องได้รับอาหารที่ประกอบด้วยโปรตีนและกรดอะมิโน กรดไขมันที่จำเป็นจากไขมัน พลังงาน (โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต) วิตามินและแร่ธาตุ โดยปริมาณวัตถุดิบที่จะใช้ขึ้นอยู่กับสูตรอาหารสัตว์ที่เหมาะสมกับสัตว์แต่ละชนิด สูตรอาหารที่ดีจะต้องทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตเร็ว แข็งแรงและมีภูมิคุ้มกันโรคดี รวมถึงอัตราการรอดสูง จากผลการศึกษาพบว่าไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่ผ่านการแยกและทำความสะอาดแล้วมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ใกล้เคียงกับไขมันไก่ โดยมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ประมาณ 60% ซึ่งมีคุณคุณสมบัติที่ดีและมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้แทนน้ำมันที่ใช้ผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ดสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ได้ โดยการนำมาผสมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการบดและผสมตามสูตรผลิต จากนั้นเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ด นึ่ง อบแห้ง (เพื่อฆ่าเชื้อ) ร่อนแยก คัดขนาด และบรรจุถุง

จ) **การทำเทียนแฟนซี** มีความเป็นไปได้ที่จะนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่ผ่านการแยกและทำความสะอาดแล้ว ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันไก่มาทำเทียนแฟนซี โดยนำไขมันและน้ำมันที่สะอาดมาต้มผสมกับพาราฟิน สี หัวน้ำหอม แล้วนำมาเทใส่พิมพ์รูปแบบต่างๆ และหลังจากนั้นก็ตกแต่งลวดลายตามต้องการ

ฉ) **การทำสบู่แฟนซี** มีความเป็นไปได้จะนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่ผ่านการแยกและทำความสะอาดแล้ว ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันไก่มาทำสบู่แฟนซีได้ทำนองเดียวกับเทียนแฟนซี โดยการนำไขมันและน้ำมันที่สะอาดมาทำปฏิกิริยากับด่าง เช่นโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น และเติมสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพ เช่น น้ำหอม บอแรกซ์ และสี เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ หลังจากนั้นเทใส่พิมพ์รูปแบบต่างๆ รอแห้งและตกแต่งให้มีความสวยงาม

2. อภิปรายผล

จากข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมจากเอกสารวิชาการต่างๆ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศถึงแนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทยมาใช้ประโยชน์ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างมาใช้ประโยชน์ โดยมีข้อมูลสนับสนุน เช่น ปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดในประเทศไทยสูงถึงประมาณ 18.2 ตันต่อวันหรือ 6,643 ตันต่อปี การทำความสะอาดไขมัน และแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ อาทิเช่น การทำไบโอดีเซล การทำปุ๋ยหมัก การทำอาหารสัตว์ การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง การทำเทียนแฟนซี และการทำสบู่แฟนซี

เป็นต้น สำหรับการที่จะเลือกใช้แนวทางใดควรพิจารณาถึงความเหมาะสมตามปัจจัยต่างๆ ดังเช่น งบประมาณ สถานที่ พื้นที่ วัตถุดิบ ปริมาณของไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องทำการศึกษาด้านภาคปฏิบัติหรือภาคสนามเพิ่มเติม รวมทั้งควรศึกษาวิเคราะห์ต้นทุน ค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการ (Project cost analysis) โดยละเอียด เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของการลงทุน แต่มีแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในสภาวการณ์ปัจจุบันที่พลังงานเป็นสิ่งขาดแคลน และปัญหาการก่อการร้ายในตะวันออกกลางซึ่งเป็นแหล่งผลิตน้ำมันหลักของโลก ตลอดจนน้ำมันมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ซึ่งในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยมีมูลค่าการนำเข้าพลังงานสูงขึ้นถึง 873,565 ล้านบาท เนื่องจากประเทศไทยมีการใช้พลังงานในภาคการขนส่งสูงถึงร้อยละ 36 โดยมีการใช้น้ำมันดีเซลในภาคการขนส่งประมาณ 50 ล้านลิตรต่อวัน ไม่รวมภาคอุตสาหกรรมและการเกษตร ถ้าหากมีการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างซึ่งเป็นของเสียมาผลิตเป็นไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล จะเป็นการลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ เพิ่มความมั่นคงและเสถียรภาพของประเทศด้านเศรษฐกิจและสังคมในภาพรวมได้

3. ข้อเสนอแนะ

1) ข้อมูลปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างเป็นเพียงส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ประมาณการณ์เท่านั้น ยังมิใช่ปริมาณที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด ดังนั้นค่าที่ได้จากการประเมินปริมาณไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง ซึ่งอาจจะไม่ใช่ค่าที่แท้จริง เนื่องจากปริมาณการเกิดไขมันและน้ำมันนั้นอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณกำลังการผลิตของโรงงาน การบริหารจัดการ เทคโนโลยีการผลิต และพฤติกรรมของบุคลากรภายในโรงงาน เป็นต้น

2) ควรมีการศึกษาปัจจัยด้านต่างๆ เพิ่มเติมในสถานที่จริงที่มีผลต่อการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างไปใช้ประโยชน์

3) ควรศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการ (Project cost analysis) แต่ละแห่งโดยละเอียด เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการศึกษาวิเคราะห์ความเหมาะสมการลงทุนและพัฒนาโครงการทุกขนาด

4) ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปขยายผลใช้เป็นแนวทางในการจัดการและการใช้ประโยชน์กับน้ำเสียที่มีไขมันสูงประเภทอื่นๆ เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมห้องเย็นอาหารทะเล อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ภัตตาคาร หรือแม้แต่น้ำเสียชุมชน เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ (2548) *คู่มือการใช้ถังดักไขมัน การติดตั้ง การใช้ประโยชน์ และการดูแลรักษา* กรุงเทพมหานคร สำนักจัดการคุณภาพน้ำ

กรมควบคุมมลพิษ (2547) *คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย* กรุงเทพมหานคร กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมมลพิษ (2548) *คู่มือควบคุมมลพิษน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง* กรุงเทพมหานคร สำนักจัดการคุณภาพน้ำ

กรมควบคุมมลพิษ (2548) *แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารจากเนื้อสัตว์* กรุงเทพมหานคร กรมควบคุมมลพิษ

กรมควบคุมมลพิษ (2548) *แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมอาหารสัตว์* กรุงเทพมหานคร กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ (2547) *วัตถุดิบอาหารสำหรับสุกร และสัตว์ปีก* กรุงเทพมหานคร กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545) *ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ* กรุงเทพมหานคร สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

กุลวุฒิ วัฒนาเมธี (2545) "การเปรียบเทียบน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลและน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันก๊าดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไกรพัฒน์ จีนขจร (2551) *พลังงานหมุนเวียน* กรุงเทพมหานคร สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

จรัลรัตน์ เล็กรุ่งเรืองกิจ (2547) "แนวทางการนำแก๊สมีเทนที่เกิดจากหลุมฝังกลบมาใช้ประโยชน์" การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ (2549) "สมบัติทางกายภาพและสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากชีวมวลผสม 2 คู่" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา หน้า 1-4

ชินนทัต สินประเสริฐโชค และคนอื่นๆ (2548) "การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทานตะวันโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤติ"

ซารีนา วาแม (2550) ผลการทดแทนกากไขมันจากบ่อดักไขมันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและลักษณะซากไก่เนื้อ" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ญาใจ วิทยะพงศ์ (2548) "การใช้ประโยชน์ไขมันปาล์มจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันในการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยเอนไซม์ไลเปส" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และคนอื่นๆ (2549) "การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา หน้า 1-6

ฐาปนา กุมาร์ (2550) *สบู่ธรรมชาติและสบู่สมุนไพรเพื่อใช้ในครัวเรือน* เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ณัฐริกา มาสังข์ และจักกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ (2250) "ผลการแยกไขมันและน้ำมันจากน้ำเสียด้วยชุดทำความเย็น" การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1 วันที่ 31 สิงหาคม 2550 โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร หน้า 1-7

ณัฐมณฑน์ ลี้จินดา และกานดิส สุดสาคร (2548) "การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 วันที่ 27-28 ตุลาคม 2548 โรงแรมจอมเทียนปาล์มบีชรีสอร์ท ชลบุรี สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย หน้า 1-4

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร (2546) "การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชนด้วยระบบกองเติมอากาศ" การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 3 วันที่ 28-30 มกราคม 2547 โรงแรมบีพีแกรนด์ทาวเวอร์ สงขลา

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร (2547) "การหมักปุ๋ยแบบอัตราเร่งในเชิงอุตสาหกรรม" วารสารแม่โจ้ปริทัศน์ 5, 1 (มกราคม-มีนาคม): 46-50

นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548) *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน* กรุงเทพมหานคร โอเดียนสโตร์

นิศากร ดอนกระสินธุ์ (2545) "การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันของสถานที่จำหน่ายอาหารมาผสมกับขี้เลื่อยเพื่อเป็นเชื้อเพลิงแท่ง" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บัญจรัตน์ โจลานันท์ (2549) *ระดับเทคโนโลยีการหมักปุ๋ยกับ...การเลือกใช้* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ประเทืองศรี สินชัยศรี (2550) "กำเนิดสบู่" ค้นคืนวันที่ 30 มกราคม 2551 จาก http://www.nagasoap.com/doc1.htm

ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ และคนอื่นๆ (2547) "การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสาน" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 วันที่ 18-20 ตุลาคม 2547 ขอนแก่น หน้า 1-7

ปิยะนันท์ กังแฮ และวรินท์ เหล็กเพชร (2549) "ความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากส่วนผสมระหว่างขี้เลื่อยและกลีเซอรอลดิบ" ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคนอื่นๆ (2548) "การผลิตพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลจากของเหลือทิ้งในโรงงานไก่แช่แข็ง" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 วันที่ 27-28 ตุลาคม 2548 โรงแรมจอมเทียนปาล์มบีชรีสอร์ท ชลบุรี สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย หน้า 1-6

พิศมัย เจนวนิชปัญจญากุล และคนอื่นๆ (2551) *การศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลของสหรัสอเมริกาและไทย* สมุทรปราการ พินิจการพิมพ์

พิศมัย เจนวนิชปัญจญากุล และลลิตา อัตนโถ (2549) *รอบรู้เรื่องราว.....ไบโอดีเซล* กรุงเทพมหานคร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ภูธร เรืองยิ่ง (2548) "คุณสมบัติของไขมันจากน้ำล้างในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแปรรูปเนื้อไก่สด และการพัฒนาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์" สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์ (2550) *เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม* กรุงเทพมหานคร แซน.อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2542) *เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1* กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิภาวดี ปริพัฒนไพโรจน์ (2546) "การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูป" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศศิพันธ์ วงศ์สุทธาวาส และคนอื่นๆ (2547) "อิทธิพลของปริมาณและสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวกับไม่อิ่มตัวในอาหารต่อค่าไอโอดีนและการสะสมไขมันในซากไก่เนื้อ" การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิทยานิพนธ์ ครั้งที่ 6 คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้า 70-75

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สถาพร คำหอม (2545) "การใช้ไบโอดีเซลจากไขมันไก่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล" ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต

สมเดช ใจเพ็ชร์ (2543) "การย่อยสลายกากไขมันโดยวิธีการทำปุ๋ยหมัก" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549) *ระบบบำบัดน้ำเสีย* กรุงเทพมหานคร ท้อป

สาโรช ค้าเจริญ (2542) *อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง* ขอนแก่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2549) *รายงานผลการสำรวจไก่เนื้อ-ไก่ไข่ ปี 2548* กรุงเทพมหานคร ศูนย์สารสนเทศการเกษตร

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2550) *รายงานผลการสำรวจไก่เนื้อ-ไก่ไข่ ปี 2549* กรุงเทพมหานคร ศูนย์สารสนเทศการเกษตร

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2551) *รายงานผลการสำรวจไก่เนื้อ-ไก่ไข่ ปี 2550* กรุงเทพมหานคร ศูนย์สารสนเทศการเกษตร

สุธาสินี คูแก้ว (2547) "การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจการส่งออกของเนื้อไก่แปรรูปแช่แข็งของไทยไปยังกลุ่มในประเทศในสหภาพยุโรป" การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาธุรกิจการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุพจน์ เดชผล (2546) "การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุภารัตน์ ปัญญาเวชมนตรี (2538) "การศึกษาสมรรถนะการทำงานของบ่อดักไขมันจากโรงอาหารและการนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุภาวดี สวัสดิพรพัลลภ และคนอื่นๆ (2549) " การใช้ประโยชน์ชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลเพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา หน้า 9-13

สุวิทย์ เพชรห้วยลึก และคนอื่นๆ (2549) "สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมัน" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา หน้า 1-7

อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา (2550) "สารชีวโมเลกุล" ค้นคืนวันที่ 30 มกราคม 2551 จาก http://www.vcharkarn.com/uploads/45/45985.pdf

โอสถ นาคสกุล และยวงยศ จินดาทะจักร์ (2544) "ผลของไขมันเคลือบต่อผลผลิตน้ำนมโครระยะ 3 สัปดาห์แรกของการให้นม" รายงานผลการวิจัยประจำปี 2544 กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หน้า 233-245

Alamu (2007) "Development and Evaluation of Palm Kernel oil Biodiesel fuel" Jounal of Science and Technology. 8, 2: 212-220

Bhatti and others (2008) "Biodiesel production from waste tallow" Fuel. (May): 1-6

Billaud and other (1995) "Production of hydrocarbons by pyrolysis of methyl esters from rape seed oil" JAOCS. 72: 1,149-1154

Clark (2002) "Burning Glycerine." Retrieved September 5, 2007, from http://journeytoforeever.org/biodiesel_glycerine.htm.

Cekmecelioglu and others (2005) "Applicability of Optimised In-vessel Food Waste Composting For Windrow Systems" Biosystems Engineering. 91, 4: 479-486

Dermirbas (2003) "Biodiesel fuel from vetgetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey" Energy Conservation Management. 44: 2093-2109

Fukuda, Kondo and Noda (2001) "Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils" Bioscience and Bioengineering. 92: 405-416

Gea and others (2007) "Co-composting of sewage sludge:fats mixtures and characteristics of the lipases involved" Biochemical Engineering Journal. 33: 275-283

Gerpen (2005) "Biodiesel processing and production" Fuel Process and Technology. 86: 1097-1107

Huag (1993) *The Practical Handbook of Compost Engineering.* 2 nd ed. Lewis Publishers.

Husain, Zainac and Addullah (2002) "Briquetting of palm fiber and shell from the processing of palm nuts to palm oil" Biomass and Bioenergy. 22, 10: 505-509

Kawashima, Matsubara and Honda (2008) "Development heterogeneous base catalysts for biodiesel production" Bioresource Technology. 99: 3439-3447

Kusdiana and Saka (2004) "Effect of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment" Bioresource Technology. 91: 289-295

Ma and Hanna (1999) "Biodiesel production : review" Bioresource Technology. 70: 1-15

Ma and others (1998) "Biodiesel Fuel from Animal Fat Ancillary Studies on Transesterification of Beef Tallow" Industry &Engineering Chemistry Research. 37, 9: 3768-3771

Machacon and others (2001) "Performance and emission characteristic of diesel engine fueled with coconut oil-diesel fuel blend" Biomass and Bioenergy. 20: 63-69

Margaroni (1998) "Fuel Lubricity" Industrial Lubrication and Tribology. 50: 108-118

Meher and others (2006) "Technical aspects of biodiesel production by transesterification: review" Renewable and Sustainable Energy Reviews. 10: 248-268

Nardi and others (2008) "Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater" Resources Conservation and Recycling 52: 533–544

Noureddini, Gao and Philkana (2005) "Immobilized Pseudomonas cepacie lipase for biodiesel fuel production from soybean oil" Bioresource Technology. 96: 769-777

Ostejski (1998) "Use of Sludge Energy in Swarzewo" Fuel and Energy. 39, 3: 202-205

Roa and Pendey (1996) "Aerobic Thermophilic Composting of Piggery Solid Waste" Waste Science and Technology. 33, 8: 89-94

Saka and Kusdiana (2001) "Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol" Fuel. 80: 225-231

Schaub and Leonard (1996) "Composting : An Alternative Waste Management Option for Food Processing Industries" Trend in Food Science and Technology. 7, 8: 263-268

Science Daily (2007). "Chicken Fat Converted Into Biodiesel Using Supercritical Methanol." Retrieved January 19, 2008, from http://www.sciencedaily.com/releases/2007/12/071220230827.htm

Sharma and others (1997) "Processing of Urban and Agro-Industry Residues by Aerobic Composting : review" Energy Conservation Management. 38, 5: 453-478

Vicente and others (2007) "Optimisation of integrated biodiesel production. Part II: A study of the material balance" Bioresource Technology. 98: 1754-1761

Wyatt (2005) "Fuel properties and nitrogen oxide emission levels of biodiesel produced from animal fats" The America of Chemical Society. 82, 8: 585-591

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นายธวัชชัย แซ่ด่าน
วัน เดือน ปี	17 ธันวาคม 2515
สถานที่เกิด	อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี (วท.บ. เคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2538
สถานที่ทำงาน	บริษัท ไทยเอบีเอส จำกัด
	299 หมู่ 5 ต. เชิงเนิน อ. เมือง จ. ระยอง 21000
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต