บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 ผลการประเมินศักยภาพมวลชีวภาพสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในประเทศไทย

วัตถุดิบมวลชีวภาพที่งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพมี 5 ชนิด ได้แก่ กากน้ำตาล มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน และวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ ชานอ้อย และลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพด เลี้ยงสัตว์ โดยมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และปาล์มน้ำมัน นำมาวิเคราะห์กับปริมาณการใช้ประโยชน์ในประเทศและการส่งออก และชานอ้อยนำมาวิเคราะห์กับปริมาณการใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อผลิตไอน้ำในโรงงานผลิตน้ำตาลทราย จากการวิเคราะห์ดังกล่าวจะทำให้ทราบปริมาณมวลชีวภาพสุทธิที่เหลือสำหรับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวได้

4.1.1 ศักยภาพกากน้ำตาลสำหรับการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

จากการศึกษาปริมาณผลผลิตอ้อยสดปี พ.ศ. 2551 – 2553 พบว่า มีปริมาณผลผลิตอ้อยสดเฉลี่ย 69.71 ล้านตันต่อปี ซึ่งเมื่อนำมาผลิตน้ำตาลจะได้กากน้ำตาล 0.05 ตันต่อตันต้นอ้อย ดังนั้นคิดเป็นปริมาณกากน้ำตาลเฉลี่ย 3.49 ล้านตันกากน้ำตาลต่อปี นำมาใช้ในโรงงานสุราและโรงงานอาหารสัตว์และผงชูรสเฉลี่ย 1 และ 0.42 ล้านตันกากน้ำตาลต่อปี ตามลำดับ รวมใช้ในประเทศทั้งหมด 1.42 ล้านตันกากน้ำตาลต่อปี และส่งออกเฉลี่ย 0.51 ล้านตันกากน้ำตาลต่อปี ดังนั้นเหลือกากน้ำตาลสำหรับการผลิตเอทานอลเฉลี่ย 1.56 ล้านตันกากน้ำตาลต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1.2 ศักยภาพมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

จากการศึกษาปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสดปี พ.ศ. 2550 – 2552 พบว่ามีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสดเฉลี่ย 27.39 ล้านตันต่อปี นำมาใช้ในประเทศเพื่อผลิตเป็นมันเส้นและมันอัดเม็ดเฉลี่ย 1.67 ล้านตันต่อปี และผลิตเป็นแป้งมันเฉลี่ย 4.51 ล้านตันต่อปี รวมใช้ในประเทศทั้งหมด 6.18 ล้านตันต่อปี และนำมาใช้ผลิตเป็นมันอัดเม็ด มันเส้น และแป้งมัน เพื่อการส่งออกเฉลี่ย 2.48, 5.52 และ 9.39 ล้านตันต่อปี ตามลำดับ รวมส่งออกทั้งหมด 17.39 ล้านตันต่อปี ดังนั้นเหลือมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลเฉลี่ย 3.82 ล้านตันต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ศักยภาพกากน้ำตาลสำหรับการผลิตเอทานอลในประเทศไทย [47], [48] และ [49]

รายการ	2551	2552	2553	เฉลี่ยต่อปี
ผลผลิตอ้อยสด (ล้านตัน)	73.5	66.82	68.81	**69.71**
อัตราส่วนการผลิตกากน้ำตาล (ตันต่อ 1 ตันต้นอ้อย)	0.05	0.05	0.05	**0.05**
ปริมาณกากน้ำตาลที่ผลิตได้ (ล้านตัน)	3.68	3.34	3.44	**3.49**
- ใช้ในโรงงานสุรา (เทียบเท่าล้านตันกากน้ำตาล)	1	1	1	**1**
- ใช้ในโรงงานอาหารสัตว์และผงชูรส (เทียบเท่าล้านตันกากน้ำตาล)	0.36	0.4	0.5	**0.42**
- ส่งออก (เทียบเท่าล้านตันกากน้ำตาล)	0.787	0.500	0.231	**0.51**
เหลือกากน้ำตาลสำหรับการผลิตเอทานอล (ล้านตัน)	1.53	1.44	1.71	**1.56**

ตารางที่ 4.2 ศักยภาพมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในประเทศไทย [47], [48] และ [49]

รายการ	2550	2551	2552	เฉลี่ยต่อปี
ผลผลิตมันสำปะหลัง (ล้านตันหัวมันสด)	26.92	25.16	30.09	**27.39**
ใช้ในประเทศ (เทียบเท่าล้านตันหัวมันสด)				
- มันเส้น/มันอัดเม็ด	1.35	1.26	2.41	**1.67**
- แป้งมัน	4.04	3.77	5.72	**4.51**
ส่งออก (เทียบเท่าล้านตันหัวมันสด)				
- มันอัดเม็ด	3.46	3.27	0.69	**2.48**
- มันเส้น	5.62	2.52	8.43	**5.52**
- แป้งมัน	9.31	8.38	10.49	**9.39**
เหลือมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอล (ล้านตันหัวมันสด)	3.15	5.96	2.35	**3.82**

4.1.3 ศักยภาพชานอ้อยสำหรับการผลิตเอทานอลหรือแกโซลีนสังเคราะห์ในประเทศไทย

จากการศึกษาปริมาณชานอ้อยปี พ.ศ. 2550 – 2552 พบว่า มีปริมาณชานอ้อยเฉลี่ย 20.67 ล้านตันต่อปี โดยประมาณร้อยละ 85 ใช้เผาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อผลิตไอน้ำในโรงงานผลิตน้ำตาลทราย โดยคิดเป็นปริมาณชานอ้อยที่ใช้เผาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อผลิตไอน้ำเฉลี่ย 17,572,082 ล้านตันต่อปี ดังนั้นมีชานอ้อยเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลและแกโซลีนสังเคราะห์ ประมาณ 3.10 ล้านตันต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ศักยภาพชานอ้อยสำหรับการผลิตเอทานอลหรือแกโซลีนสังเคราะห์ในประเทศไทย [7], [13] และ [14]

รายการ	ชานอ้อย (ตัน/ปี)		
	ชานอ้อยจากการหีบน้ำตาล	ถูกเผาเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตน้ำตาล 85%	เหลือสำหรับการผลิตเอทานอล
ปี พ.ศ. 2550	19,502,741	16,577,330 [50]	2,925,411
ปี พ.ศ. 2551	22,270,989	18,930,341 [50]	3,340,648
ปี พ.ศ. 2552	20,245,383	17,208,576 [50]	3,036,807
เฉลี่ยต่อปี	20,673,038	17,572,082 [50]	**3,100,956**

4.1.4 ศักยภาพลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สำหรับการผลิตเอทานอลหรือแกโซลีนสังเคราะห์ในประเทศไทย

จากการศึกษาปริมาณลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปี พ.ศ. 2550 – 2552 พบว่า มีปริมาณลำต้น ยอด และใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 3,724,634 ตันต่อปี ถูกนำไปใช้งานประมาณร้อยละ 10 โดยคิดเป็นปริมาณลำต้น ยอด และใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 372,463 ตันต่อปี ดังนั้นเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้สำหรับการผลิตเอทานอลหรือแกโซลีนสังเคราะห์ เท่ากับ 3,352,170 ตันต่อปี และมีปริมาณซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 789,188 ตันต่อปี ถูกนำไปใช้งานประมาณร้อยละ 70 โดยคิดเป็นปริมาณซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 552,432 ตันต่อปี ดังนั้นเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้สำหรับการผลิตเอทานอลหรือแกโซลีนสังเคราะห์ เท่ากับ 236,756 ตันต่อปี รวมปริมาณลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมดที่สามารถนำมาใช้สำหรับการผลิตเอทานอลหรือแกโซลีนสังเคราะห์ เท่ากับ 3,588,927 ตันต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ศักยภาพลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับการผลิตเอทานอลหรือแกโซลีนสังเคราะห์ในประเทศไทย [7], [13] และ [14]

รายการ	**ลำต้น ยอด และใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์**	**ถูกนำไปใช้งาน 10%**	**เหลือลำต้น ยอด และใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว**
ปี 2550	3,265,900	326,590 [4]	2,939,310
ปี 2551	3,790,423	379,042 [4]	3,411,381
ปี 2552	4,117,578	411,758 [4]	3,705,820
เฉลี่ยต่อปี	3,724,634	372,463	**3,352,170**
รายการ	**ซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์**	**ถูกนำไปใช้งาน 70%**	**เหลือซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว**
ปี 2550	691,990	484,393.0 [4]	207,597.0
ปี 2551	803,128	562,189.6 [4]	240,938.4
ปี 2552	872,446	610,712.2 [4]	261,733.8
เฉลี่ยต่อปี	789,188	552,432	**236,756**
เหลือปริมาณลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์			**3,588,927**

4.1.5 ศักยภาพน้ำมันปาล์มดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย

จากการศึกษาปริมาณผลผลิตปาล์มสดปี พ.ศ. 2551 – 2553 พบว่ามีปริมาณผลผลิตปาล์มสดเฉลี่ย 8.55 ล้านตันต่อปี ซึ่งผลปาล์มสด 1 ตัน สามารถผลิตเป็นน้ำมันปาล์มดิบได้ 0.17 ตัน ดังนั้นคิดเป็นปริมาณน้ำมันปาล์มดิบเฉลี่ย 1.45 ล้านตันต่อปี นำมาใช้ในประเทศและส่งออกเฉลี่ย 0.94 และ0.14 ล้านตันต่อปี ตามลำดับ ดังนั้นเหลือน้ำมันปาล์มดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลเฉลี่ย 0.38 ล้านตันต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ศักยภาพปาล์มน้ำมันสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย [47], [48] และ [49]

รายการ	2551	2552	2553	เฉลี่ยต่อปี
ผลผลิตปาล์มสด (ล้านตัน)	9.27	8.16	8.22	**8.55**
อัตราส่วนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (ตันน้ำมันปาล์มดิบต่อ 1 ตันผลปาล์มสด)	0.17	0.17	0.17	**0.17**
ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ (ล้านตัน)	1.58	1.39	1.40	**1.45**
ใช้ในประเทศ (เทียบเท่าล้านตันน้ำมันปาล์มดิบ)	0.99	0.91	0.92	**0.94**
ส่งออก (เทียบเท่าล้านตันน้ำมันปาล์มดิบ)	0.29	0.07	0.06	**0.14**
เหลือน้ำมันปาล์มดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล (ล้านตัน)	0.30	0.41	0.42	**0.38**

4.2 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากมวลชีวภาพในประเทศไทย

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่งานวิจัยนี้ทำการศึกษาได้แก่ เทคโนโลยีการผลิตเอทานอล เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล และเทคโนโลยีการผลิตแก๊สซิฟิเคชันสังเคราะห์ โดยเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลประกอบด้วย 2 เทคโนโลยีได้แก่ 1. เทคโนโลยีการหมัก และ 2. เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลประกอบด้วย 4 เทคโนโลยีได้แก่ 1. เทคโนโลยีการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2. เทคโนโลยีการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 3. เทคโนโลยีการใช้ของแข็งที่เป็นเรซินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ 4. เทคโนโลยีการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเทคโนโลยีการผลิตแก๊สซิฟิเคชันสังเคราะห์ประกอบด้วย 2 เทคโนโลยีได้แก่ 1. เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน/ฟิชเชอร์โทรปช์ และ 2. เทคโนโลยีไพโรไลซิส

4.2.1 เทคโนโลยีการผลิตเอทานอล

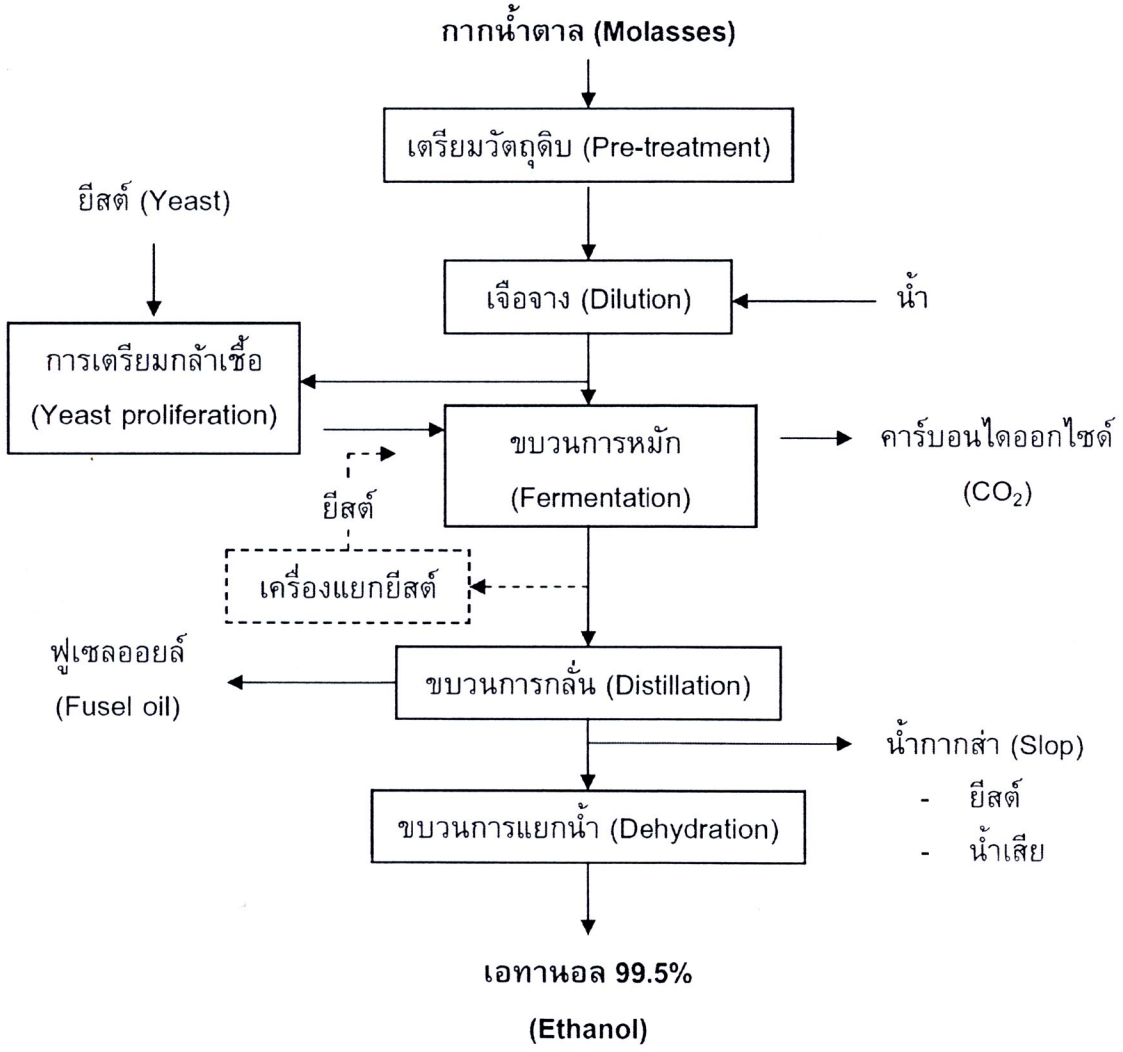
เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลที่ศึกษาได้แก่ เทคโนโลยีการหมักและเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

4.2.1.1 เทคโนโลยีการหมัก (Fermentation)

โรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมใช้เทคโนโลยีการหมัก โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานี้มี 4 ชนิด ได้แก่ 1. กากน้ำตาล (วัตถุดิบประเภทน้ำตาล) 2. มันสำปะหลัง (วัตถุดิบประเภทแป้ง) 3. ชานอ้อย และ 4 ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส)

4.2.1.1.1 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก

การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีขั้นตอนการผลิตคือ 1. นำกากน้ำตาลมาทำความสะอาดและกำจัดสิ่งเจือปน 2. ปรับสภาพความเข้มข้นของกากน้ำตาลให้มีความเหมาะสมก่อนเข้ากระบวนการหมัก 3. การเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum) เพื่อใช้ในกระบวนการหมัก ทำให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับใช้ในการหมัก เมื่อเตรียมหัวเชื้อพร้อมแล้วก็เข้าสู่ขั้นตอนการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ Saccaromyces Cerevisiae จากนั้นทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมัก เช่น อัตราการป้อนอากาศ อัตราการกวน ค่า pH ในระบบ อุณหภูมิ และใช้เครื่องควบคุมการหมัก (Biostat B) โดยยีสต์สายพันธุ์นี้สามารถผลิตเอทานอลได้สูงและสามารถทนสภาพแวดล้อมที่มีเอทานอลได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น 4. การกลั่นเพื่อทำให้เอทานอลที่ได้มีความบริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร ออกจากน้ำหมักและน้ำกากส่า ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร และ 5. การแยกน้ำเพื่อทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคโนโลยีการดูดซับ (Molecular Sieve) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากการศึกษาต้นทุนของเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุน ประมาณ 1,147 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน [20] และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ประมาณ 6.327 บาทต่อลิตร (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ) โดยสัดส่วนของเอทานอลที่ผลิตได้ต่อกากน้ำตาลที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 250 ลิตรต่อตันกากน้ำตาล [51]

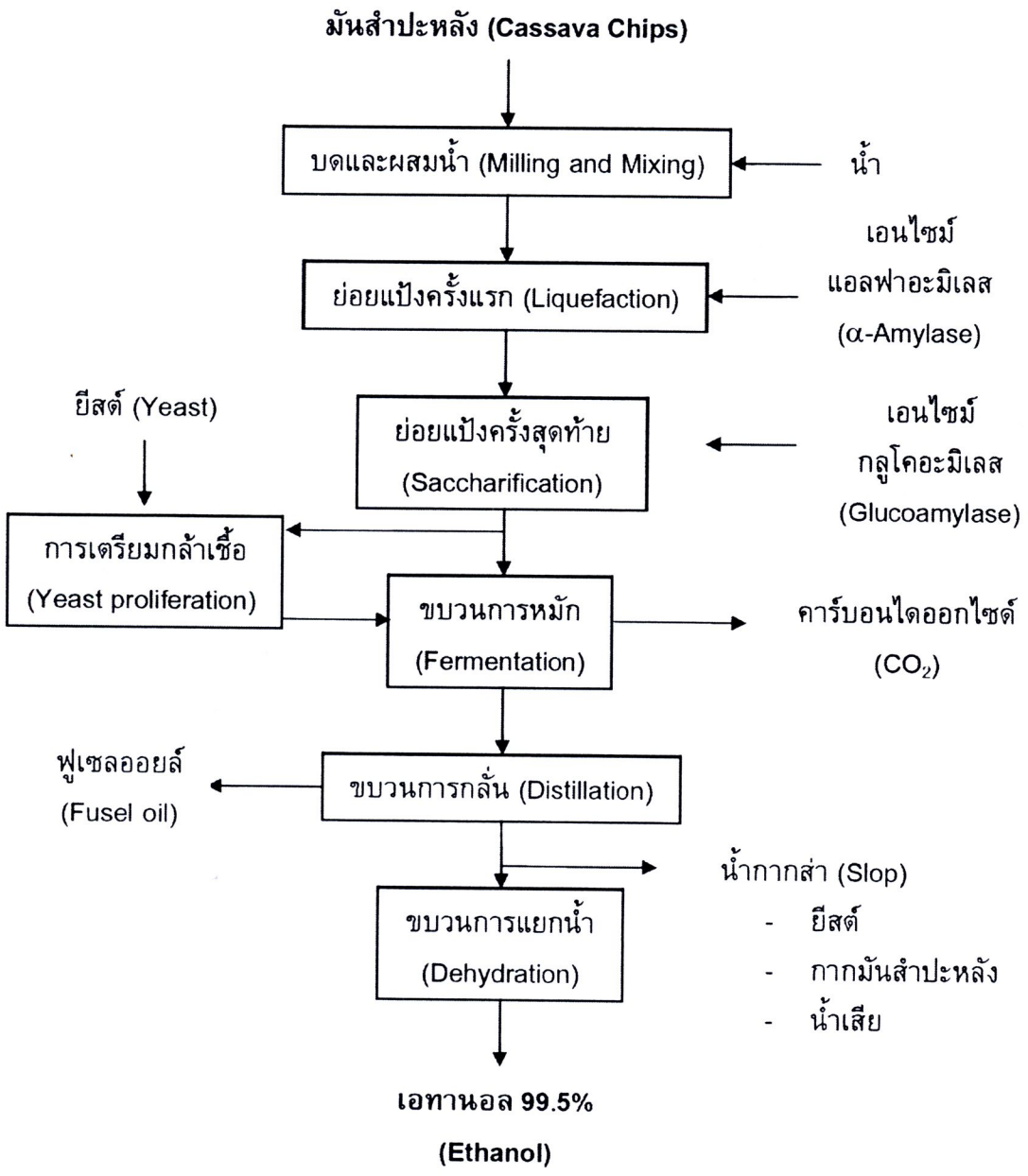


รูปที่ 4.1 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยใช้เทคโนโลยีการหมักในประเทศไทย [20]

4.2.1.1.2 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก

การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีขั้นตอนการผลิตคือ 1. มันสำปะหลังที่ผ่านการแยกเหง้าจะถูกล้างน้ำให้สะอาดแล้วบดให้ละเอียดจนได้แป้งมันสำปะหลัง 2. นำแป้งมันสำปะหลังมาทำการย่อย 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ย่อยแป้งเพื่อทำให้แป้งมีโมเลกุลเล็กหรือทำให้เหลว (Liquefaction) เป็นการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้วิธีการต้มเดี่ยวน้ำแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซน์แอลฟา-อะไมเลส (Alfa-Amylase) รักษาอุณหภูมิที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 2 ย่อยแป้งทำให้ได้กลูโคสหรือย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล (Saccharification) โดยทำให้น้ำแป้งสุกก่อนและผสมกับเอนไซม์กลูโค-อะไมเลส (Gluco-Amylase) หรือ เบต้า-อะไมเลส (Beta-Amylase) เพื่อย่อยแป้งสุกให้เป็นน้ำตาลก่อนเข้าสู่กระบวนการการหมัก 3. การเตรียมหัวเชื้อเพื่อใช้ในกระบวนการหมัก ทำให้ได้

เชื้อจุลินทรีย์ที่แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับใช้ในการหมัก เมื่อเตรียมหัวเชื้อพร้อมแล้วก็เข้าสู่ขั้นตอนการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ Saccaromyces Cerevisiae จากนั้นทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมักเช่น อัตราการให้อากาศ อัตราการกวน ค่า pH และอุณหภูมิ โดยจะใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 48 ชั่วโมง ที่ pH 4-5 และใช้เครื่องควบคุมการหมัก โดยยีสต์สายพันธุ์นี้สามารถผลิตเอทานอลได้สูงและสามารถทนสภาพแวดล้อมที่มีเอทานอลได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น 4. การกลั่นเพื่อทำให้เอทานอลที่ได้มีความบริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร ออกจากน้ำหมักและน้ำกากส่า ทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร และ 5. การแยกน้ำเพื่อทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคโนโลยีการดูดซับ (Molecular Sieve) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากการศึกษาต้นทุนของเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก แสดงดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุน ประมาณ 1,236 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ประมาณ 8.219 บาทต่อลิตร (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ) โดยสัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อมันสำปะหลังที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 160 ลิตรต่อตันมันสำปะหลัง



รูปที่ 4.2 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยีการหมักในประเทศไทย [20]

ตารางที่ 4.6 เงินลงทุนของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยีการหมักในประเทศไทย ที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน [52]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
Costs of Equipments	422.70
Piping	190.21
Engineering Consultation	181.81
Equipment Installation	169.07
Environmental Management	114.02
Instrumentation	76.08
Building	63.78
Contingency	13.56
Land	5.12
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**1,236.36**

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยีการหมักในประเทศไทย ที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน [52]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Materials and Chemicals	1.016
Energy	3.459
Wage and Addition	0.444
Maintenance	0.063
Miscellaneous	0.222
Fiscal Charges	0.920
Selling Expense	0.444
Waste Treatment	0.444

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยีการหมักในประเทศไทย ที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [52]

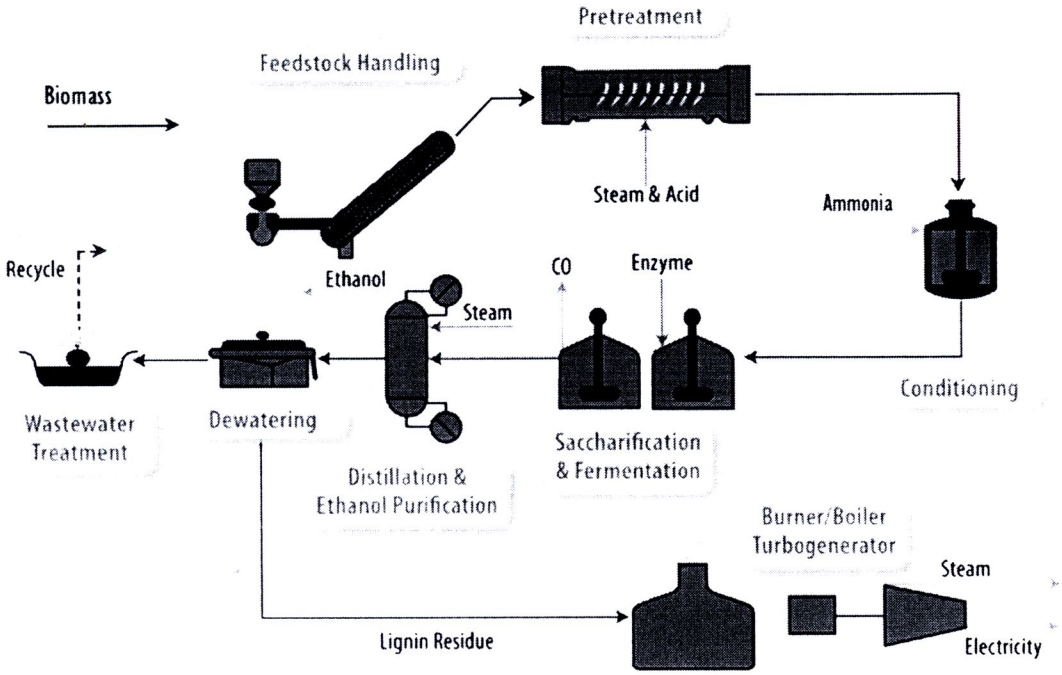
รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Depreciation	1.142
Insurance and Tax	0.063
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**8.219**

ปัจจุบันการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่ในประเทศไทยใช้วัตถุดิบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ 1. กากน้ำตาล และ 2. มันสำปะหลัง แต่เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้เป็นพืชอาหารของมนุษย์ จึงทำให้ราคาปรับตัวสูงขึ้นและอาจทำให้อาหารขาดแคลนในอนาคต ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลในหลายประเทศจึงมุ่งเน้นไปที่วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส เพราะวัตถุดิบประเภทนี้ไม่ใช่พืชอาหารและหาได้ทั่วไปจากภาคการเกษตรกรรม

4.2.1.1.3 การผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก

ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส มีขั้นตอนการผลิตเอทานอลคล้ายคลึงกับวัตถุดิบประเภทแป้ง กล่าวคือ ชานอ้อยจะผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบและนำไปผสมน้ำ จากนั้นใช้เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ในการย่อยสายโมเลกุลของเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่อยู่ในชานอ้อย เพื่อให้กลายเป็นน้ำตาลในกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยใช้กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำตาลที่ได้จากขั้นตอนนี้นำมาทำการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ Saccaromyces Cerevisiae ทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมัก เช่น อัตราการให้อากาศ อัตราการกวน ค่า pH และอุณหภูมิ ได้เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำเอทานอลมากลั่นเพื่อแยกเอทานอลออกจากน้ำหมักและน้ำกากส่า โดยใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วนซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร และนำมาแยกน้ำเพื่อทำให้มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคโนโลยีการกลั่นอะซีโอโทรป (Azeotropic Distillation) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากการศึกษาต้นทุนของเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ดังแสดงในตารางที่ 4.8

และ 4.9 ตามลำดับ พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 4,855 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 366,858 ลิตรต่อวัน และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 9.267 บาทต่อลิตร โดยสัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อชานอ้อยที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 254 ลิตรต่อตันชานอ้อย (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นเอทานอล เท่ากับ 127 ลิตรต่อตันชานอ้อย (ความชื้น 50% w.b.)



รูปที่ 4.3 การผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก [53]

ตารางที่ 4.8 เงินลงทุนของการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ที่กำลังการผลิต 366,858 ลิตรต่อวัน [53]

รายการ	มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)
Pretreatment	508
Nuetralization/Conditioning	95
Saccharification & Fermantation	254
Distillation & Solid Recovery	603

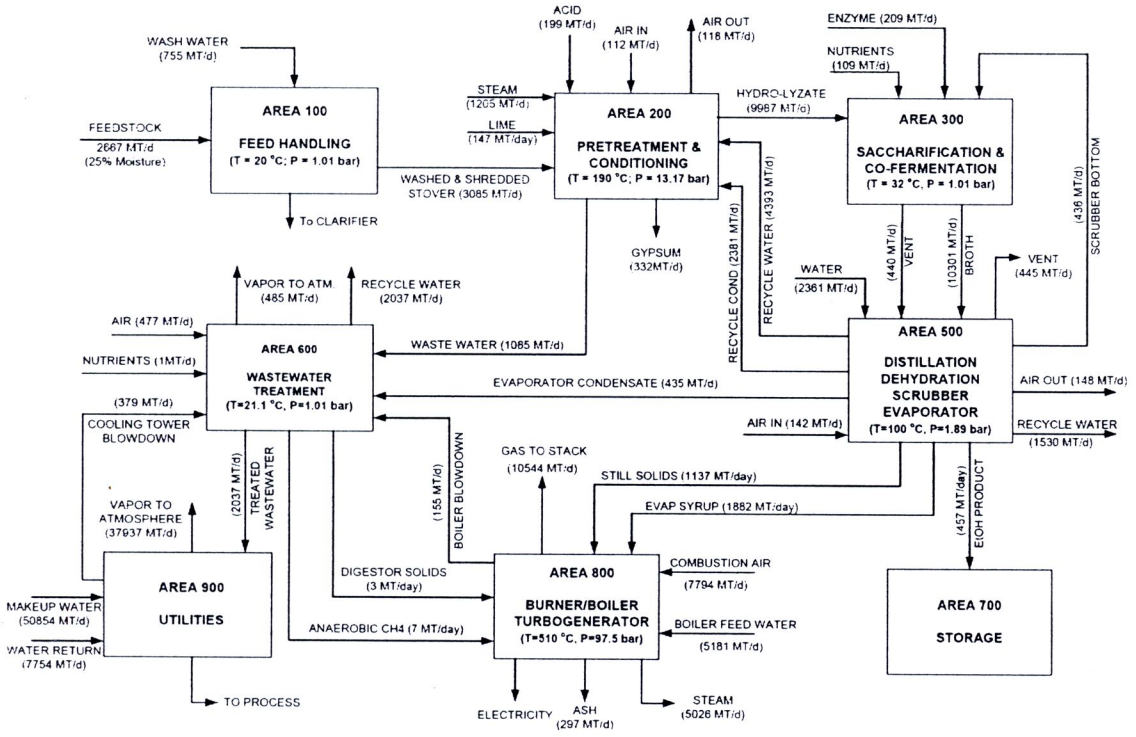
ตารางที่ 4.8 เงินลงทุนของการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ที่กำลังการผลิต 366,858 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [53]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
Westewater Treatment	95
Storage	63
Boiler/Turbo Generator	1,047
Utilities	159
Other Expenses	2,031
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**4,855**

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ที่กำลังการผลิต 366,858 ลิตรต่อวัน [53]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Variable Cost	1.968
Fixed Cost	1.555
Average Return on Investment	3.999
Co-Product Credits	- 1.269
Capital Depreciation	1.460
Average Income Tax	1.555
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**9.267**

4.2.1.1.4 การผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส มีขั้นตอนการผลิตเอทานอลคล้ายคลึงกับวัตถุดิบประเภทแป้ง กล่าวคือ ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จะผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบและนำไปผสมน้ำ จากนั้นใช้เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ในการย่อยสายโมเลกุลของเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่อยู่ในลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อให้กลายเป็นน้ำตาลในกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยใช้กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำตาลที่ได้จากขั้นตอนนี้นำมาทำการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ Saccaromyces Cerevisiae ทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมัก เช่น อัตราการให้อากาศ อัตราการกวน ค่า pH และอุณหภูมิ ได้เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำเอทานอลมากลั่นเพื่อแยกเอทานอลออกจากน้ำหมักและน้ำกากส่า โดยใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วนซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร และนำมาแยกน้ำเพื่อทำให้มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคโนโลยีการดูดซับ (Molecular Sieve) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากการศึกษาต้นทุนของเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 9,127 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 580,712 ลิตรต่อวัน และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 15.15 บาทต่อลิตร โดยสัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 275 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นเอทานอล 69 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ความชื้น 75% w.b.)



รูปที่ 4.4 การผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีการหมัก [54]

ตารางที่ 4.10 เงินลงทุนของการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ที่กำลังการผลิต 580,712 ลิตรต่อวัน [55]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
Pretreatment	847
Neutralization/Conditioning	382
Saccharification & Fermentation	743
Distillation and Solids Recovery	907
Wastewater Treatment	191
Storage	141
Boiler/Turbo Generator	1,841
Utilities	218
Indirect Costs	3,857
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**9,127**

ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีการหมัก ที่กำลังการผลิต 580,712 ลิตรต่อวัน [55]

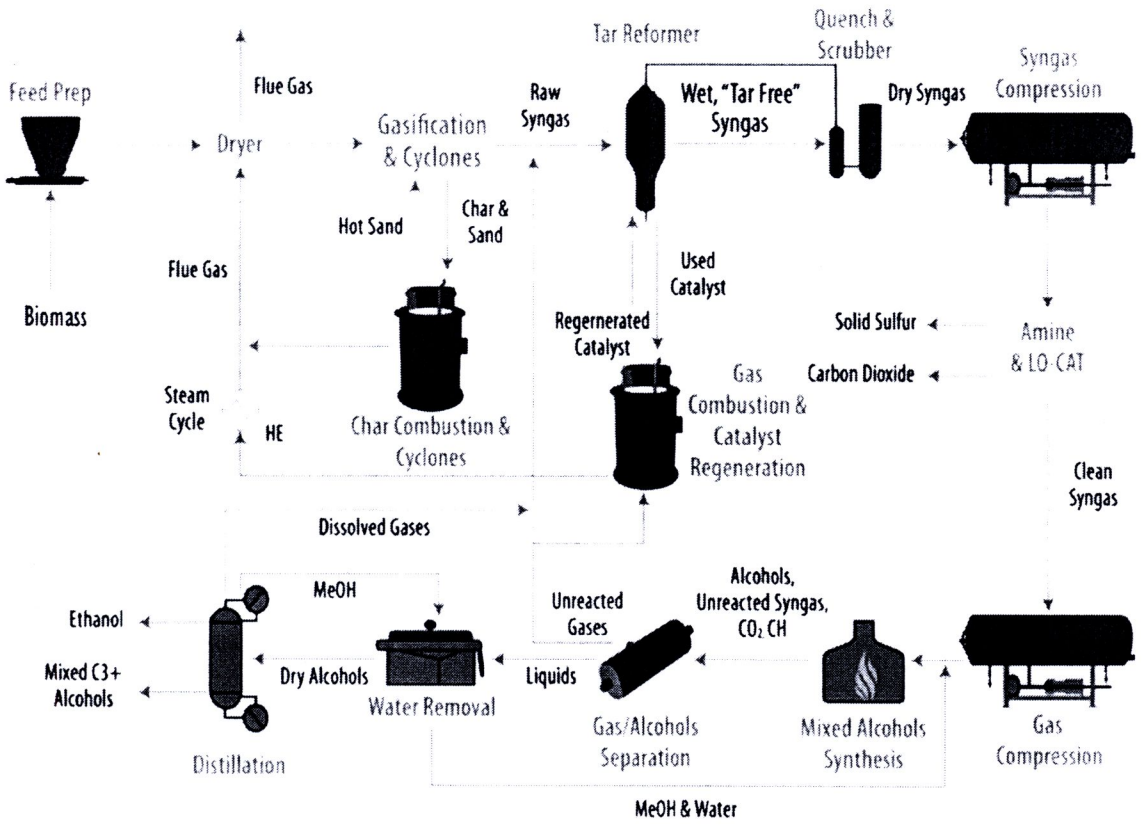
รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Biomass to Boiler	0.00
Corn Steep Liquor	1.38
Cellulase	3.10
Sulfuric Acid	0.36
Ammonia	1.83
Other Raw Materials	0.25
Waste Disposal	0.19
Electricity	- 1.17
Fixed Costs	1.52
Average Return on Investment	3.93
Capital Depreciation	2.15
Average Income Tax	1.62
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**15.15**

4.2.1.2 แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

แก๊สซิฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาใช้ในการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้มี 2 ประเภท ได้แก่ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และการใช้จุลินทรีย์ในการหมัก (Yeast Fermentation) โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการผลิตน้อยกว่าและมีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่า วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสที่งานวิจัยนี้ศึกษามี 2 ชนิดหลัก ได้แก่ ชานอ้อยและลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การผลิตเอทานอลโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันทำได้โดย การนำวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสมาผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันซึ่งจะทำการเปลี่ยนโครงสร้างทั้งหมดของลิกโนเซลลูโลสให้อยู่ในรูปแก๊สสังเคราะห์ ($CO+H_2$) โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณลิกนิน (Lignin) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของ

ลิกโนเซลลูโลส จึงทำให้เทคโนโลยีนี้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่าเทคโนโลยีการหมักแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ได้ผลผลิตเป็นเอทานอล ข้อดีของกระบวนการนี้คือแก๊สสังเคราะห์จะถูกแปรสภาพเป็นเอทานอลได้อย่างรวดเร็ว

4.2.1.2.1 การผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เทคโนโลยีนี้มีขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดย 1. นำชานอ้อย (ความชื้น 50% w.b.) มาลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น 2. ชานอ้อยที่มีความชื้นต่ำจะถูกนำเข้ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันอุณหภูมิประมาณ 843 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สสังเคราะห์ ($CO+H_2$) โดยเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) ที่ใช้ในเทคโนโลยีนี้เป็นชนิด Indirect Gasification 3. นำแก๊สสังเคราะห์ที่ได้มากำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ และทำให้แห้ง 4. เพิ่มความดันแก๊สสังเคราะห์และผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ เอมีน (Amine) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์สังเคราะห์ซึ่งเป็นของผสมระหว่างเมทานอลและเอทานอล และแก๊สที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ และ 5. นำแอลกอฮอล์สังเคราะห์มากลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกเอทานอลออกจากแอลกอฮอล์สังเคราะห์ และทำให้มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคโนโลยีการดูดซับ (Molecular Sieve) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากการศึกษาต้นทุนของเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 4,094 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 275,639 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 9.33 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.13 โดยสัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อชานอ้อยที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 192 ลิตรต่อตันชานอ้อย (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นเอทานอลเท่ากับ 96 ลิตรต่อตันชานอ้อย (ความชื้น 50% w.b.)



รูปที่ 4.5 การผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [53]

ตารางที่ 4.12 เงินลงทุนของการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กำลังการผลิต 275,639 ลิตรต่อวัน [53]

รายการ	มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)
Feed Handing & Drying	508
Gasification	286
Tar Reforming & Quench	793
Acid Gas & Sul Removal	286
Alcohol Synthesis-Compression	349
Alcohol Synthesis-Other	127
Alcohol Separasion	159
Steam System & Power Generation	349

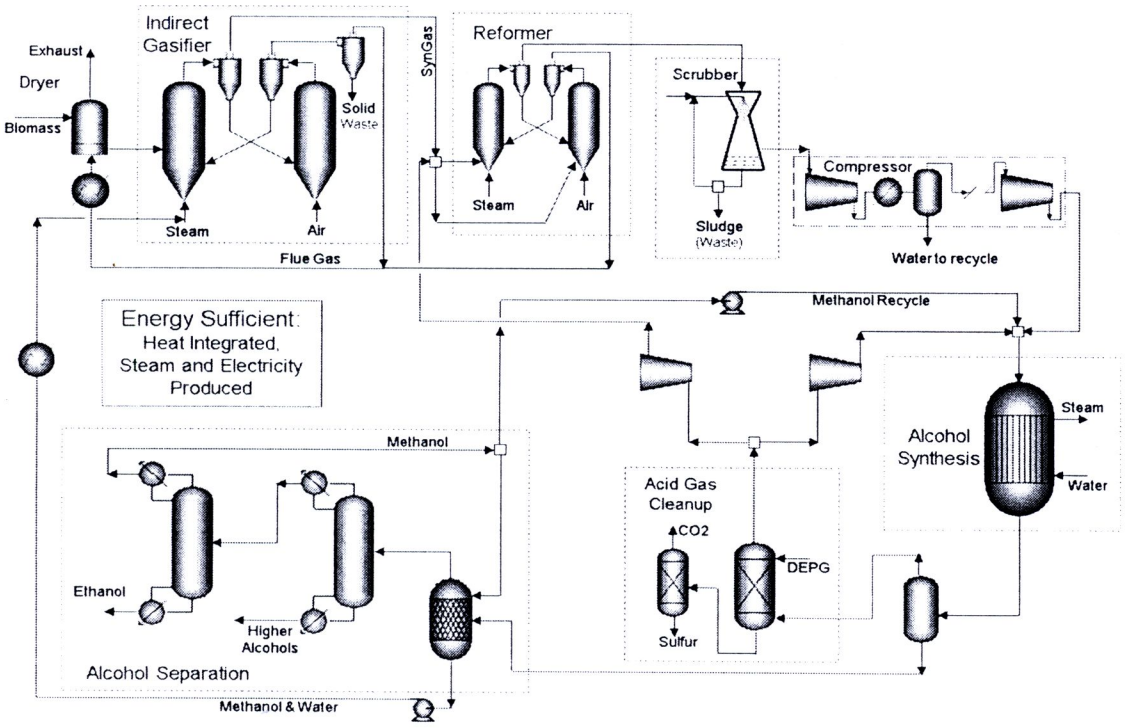
ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กำลังการผลิต 275,639 ลิตรต่อวัน [53]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Cooling Water & Other Utilities	95
Other Expenses	1,142
Variable Cost	0.254
Fixed Cost	2.856
Average Return on Investment	4.665
Co-Product Credits	- 1.777
Capital Depreciation	1.618
Average Income Tax	1.714
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**9.330**

4.2.1.2.2 การผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

เทคโนโลยีนี้มีขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดย 1. นำลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นสูงมาลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น 2. ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นต่ำจะถูกนำเข้ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน อุณหภูมิประมาณ 982 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สสังเคราะห์ ($CO+H_2$) โดยเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) ที่ใช้ในเทคโนโลยีนี้เป็นชนิด Indirect Gasification 3. นำแก๊สสังเคราะห์ที่ได้มากำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ และทำให้แห้ง 4. เพิ่มความดันแก๊สสังเคราะห์และผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ เอมีน (Amine) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์สังเคราะห์ซึ่งเป็นของผสมระหว่างเมทานอลและเอทานอล และแก๊สที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ และ 5.นำแอลกอฮอล์สังเคราะห์มากลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกเอทานอลออกจากแอลกอฮอล์สังเคราะห์ และทำให้มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคโนโลยีการดูดซับ (Molecular Sieve) จากการศึกษาการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 16,519 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 670,930 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 11.10 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.15 โดยสัดส่วน

เอทานอลที่ผลิตได้ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 317 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นเอทานอล เท่ากับ 79 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ความชื้น 75% w.b.)



รูปที่ 4.6 การผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [56]

ตารางที่ 4.14 เงินลงทุนของการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กำลังการผลิต 670,930 ลิตรต่อวัน [56]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
Gasification	1,385
Tar Reforming & Quench	863
Acid Gas & Sulfur Removal	912
Syngas Compression & Expansion	2,582
Alcohol Synthesis Reaction	1,326

ตารางที่ 4.14 เงินลงทุนของการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กำลังการผลิต 670,930 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [56]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
Alcohol Separation	650
Steam System & Power Generation	1,468
Cooling Water & Other Utilities	306
Fixed Capital Investment (FCI)	6,242
Working Capital	784
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**16,519**

ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กำลังการผลิต 670,930 ลิตรต่อวัน [56]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Catalysts	0.84
Olivine & Magnesium Oxide	0.06
Other Raw Materials	0.08
Waste Disposal	0.07
Electricity	0.00
Natural Gas	0.00
Fixed Costs	3.04
Average Return on Investment	4.86
Co-Product Credits	- 2.01

ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่กำลังการผลิต 670,930 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [56]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Capital Depreciation	3.20
Average Income Tax	0.97
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**11.10**

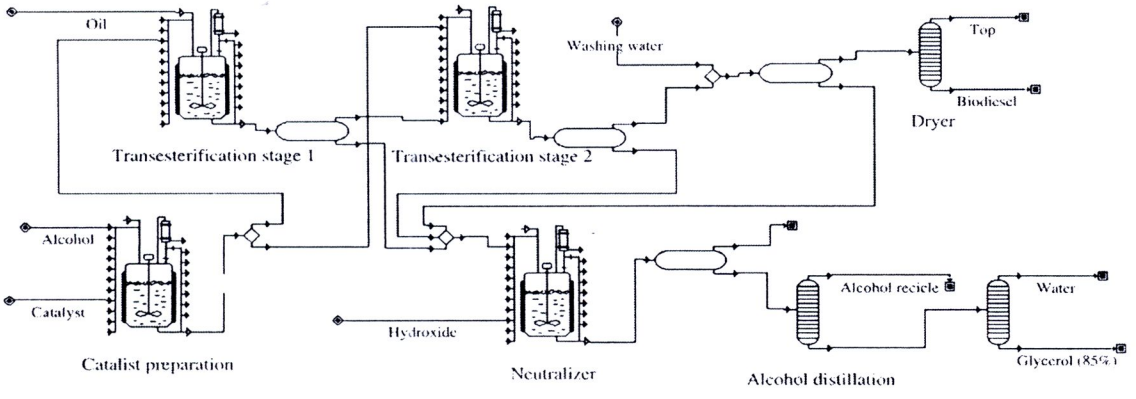
4.2.2 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ 1. นำผลปาล์มน้ำมันมาผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันออกจากพืช (Extraction) โดยปกติน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid), Phospholipids, Sterols, น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ 2. นำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ กรด เบส เรซิน และเอนไซม์ ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือไบโอดีเซลและกลีเซอรีน 3. นำไบโอดีเซลที่ได้ไปแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล 4. นำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรีนมาล้างน้ำ และ 5 การกำจัดน้ำและทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน

เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลที่งานวิจัยนี้ทำการศึกษาได้แก่ 1. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst) 2. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst) 3. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็ง (Solid Catalyst) และ 4. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ (Enzyme Catalyst)

4.2.2.1 เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

เทคโนโลยีนี้ผลิตไบโอดีเซลโดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 2 ครั้ง กล่าวคือ ถังที่หนึ่งนำน้ำมันปาล์มดิบมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้กรดซัลฟิวลิก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออก และถังที่สองนำน้ำมันปาล์มดิบและไบโอดีเซลที่ได้จากถังที่หนึ่งมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้กรดซัลฟิวลิก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล และนำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรีนมาล้างน้ำ จากนั้นกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลและทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 248.86 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 6.93 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.17 โดยสัดส่วนไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 0.988 ลิตรต่อลิตรน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.7 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด [57]

ตารางที่ 4.16 เงินลงทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน [57]

รายการอุปกรณ์	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาท)**
Pre-mixer of the catalyst	5,137,538
1st transesterification reactor	16,440,121
2nd transesterification rector	16,440,121
Neutralizer reactor	1,198,759
Sum of all decanters used in the process	3,339,400
Distillation column to purifier biodiesel	2,123,516
Distillation column to separate the methanol	1,626,887
Distillation column to separate the glycerol	2,808,521
Direct fixed capital	133,199,228
Working capital	57,437,672
Start up and validation cost	9,110,567
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**248,862,326**

ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน [57]

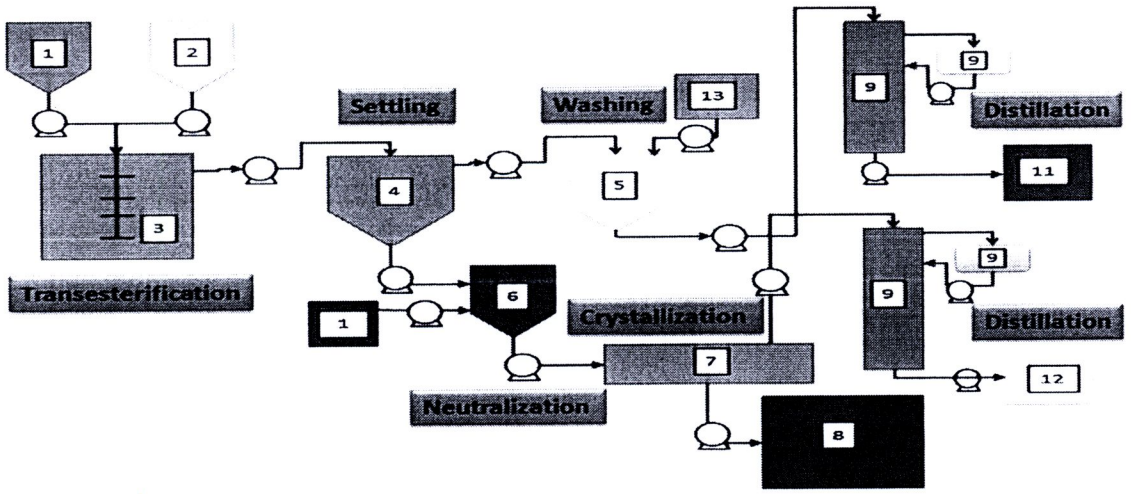
รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Methanol	5.543
Sulfuric Acid	0.065
Washing Water	0.001
Equipment Dependant	0.765
Labor Dependant	0.278
Utilities	0.272
Administration	0.090

ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [57]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Laboratory	0.052
Insurance	0.041
Factory Expenses	0.203
Fringe Benefits	0.060
Supervision	0.030
Operating Supplies	0.015
Credits for Glycerol	- 1.940
Depreciation	0.605
Interest and Tax	0.854
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**6.93**

4.2.2.2 เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

เทคโนโลยีนี้ผลิตไบโอดีเซลโดย นำน้ำมันปาล์มดิบมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้เบสคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล และนำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรีนมาล้างน้ำ จากนั้นกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลและทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 67.11 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 7.30 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.19 โดยสัดส่วนไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 1.004 ลิตรต่อลิตรน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.8 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส [58]

ตารางที่ 4.18 เงินลงทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน [58]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาท)**
Raw Material & Product Yard	4,094,677
Main Process Yard	7,213,287
Utility Yard	8,934,741
Installation	2,011,576
Piping	6,034,729
Insulation and Painting	1,005,788
Civil and Structure	14,081,035
Electric and Instrumentation	7,040,519
Computer System	5,028,943
Engineering and Supervising	7,241,677
Other	4,425,468
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**67,112,440**

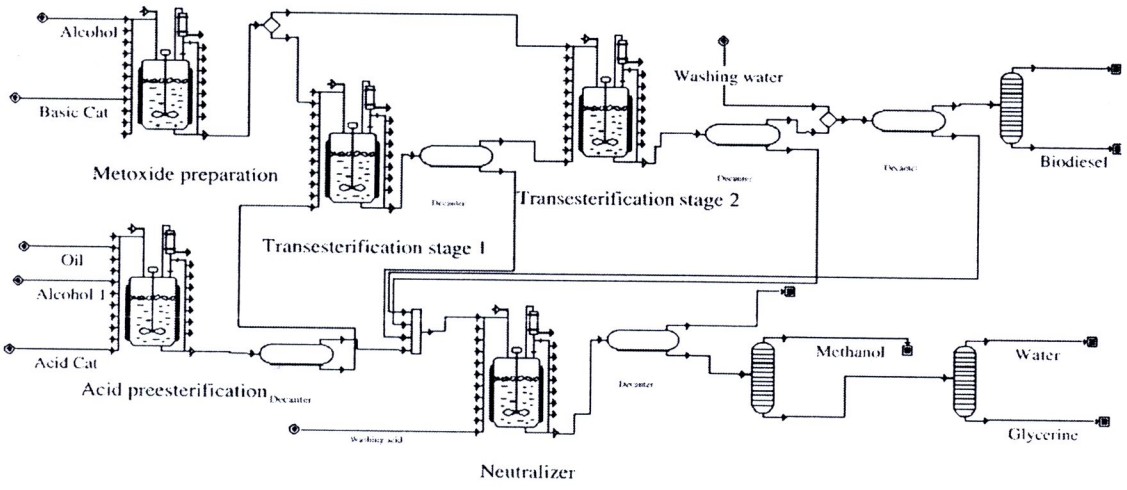
ตารางที่ 4.19 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน [58]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Methanol	4.422
Tap Water	0.002
Sodium Hydroxide	0.168
HCl	2.085
Utilities	
Steam	0.002
Electricity (kWh)	0.023
Repair	0.001
Glycerol	- 2.744
Depreciation	2.505
Interest and Tax	0.835
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**7.30**

4.2.2.3 เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสร่วมกับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

เทคโนโลยีนี้จะนำน้ำมันปาล์มดิบมาทำปฏิริยาเอสเทอริฟิเคชันด้วยกรดก่อน (Pre-esterification) โดยใช้กรดซัลฟิวลิก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) จากนั้นทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 2 ครั้ง กล่าวคือ ถังที่หนึ่งนำน้ำมันปาล์มดิบมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้เบสหรือ Sodium Methoxide ซึ่งมาจากกระบวนการ Methoxide Preparation เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออก และถังที่สองนำน้ำมันปาล์มดิบและไบโอดีเซลที่ได้จากถังที่หนึ่งมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้เบสหรือ Sodium Methoxide ซึ่งมาจากกระบวนการ Methoxide Preparation เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยก กลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล และนำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรีนมาล้างน้ำ

จากนั้นกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลและทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จากการศึกษาการผลิต ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดร่วมกับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิ เคชัน (Base Catalyst Process with Preesterification) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 250.51 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.20 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 4.51 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.21 โดยสัดส่วนไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 0.988 ลิตรต่อลิตรน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.9 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสร่วมกับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน [57]

ตารางที่ 4.20 เงินลงทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสร่วมกับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน [57]

รายการอุปกรณ์	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาท)**
Pre-mixer of the catalyst	1,712,513
Preesterification reactor	11,953,338
1st transesterification reactor	11,987,588
2nd transesterification rector	11,987,588
Neutralizer reactor	462,378
Sum of all decanters used in the process	3,973,029
Distillation column to purifier biodiesel	2,055,015
Distillation column to separate the methanol	1,370,010
Distillation column to separate the glycerol	2,654,394
Direct fixed capital	140,152,029
Working capital	52,608,386
Start up and validation cost	9,590,070
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**250,506,338**

ตารางที่ 4.21 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสร่วมกับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน [57]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Methanol	2.772
Sulfuric Acid	0.131
Washing Water	0.001
Equipment Dependant	0.860

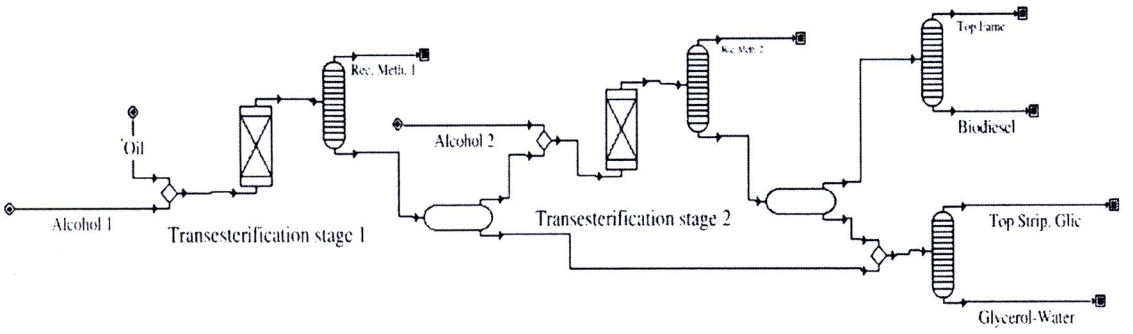
ตารางที่ 4.21 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสร่วมกับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [57]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Labor Dependant	0.416
Utilities	0.232
Administration	0.109
Insurance	0.043
Factory Expenses	0.213
Fringe Benefits	0.072
Supervision	0.036
Operating Supplies	0.018
Credits for Glycerol	- 2.025
Depreciation	0.782
Interest and Tax	0.854
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**4.51**

4.2.2.4 เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็ง

เทคโนโลยีนี้ผลิตไบโอดดีเซลโดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 2 ครั้ง กล่าวคือ ถังที่หนึ่งนำน้ำมันปาล์มดิบมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้ของแข็งคือ เรซิน (Resin) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออก และถังที่สองนำน้ำมันปาล์มดิบและไบโอดีเซลที่ได้จากถังที่หนึ่งมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้ของแข็งคือ เรซิน (Resin) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล และนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรีนมาล้างน้ำ จากนั้นกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลและทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดของแข็ง (Solid Catalyst) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 176.42 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.22 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 26.00 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.23 โดยสัดส่วนไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 0.995 ลิตรต่อลิตรน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.10 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็ง [57]

ตารางที่ 4.22 เงินลงทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็ง ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน [57]

รายการอุปกรณ์	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาท)**
1st transesterification reactor	14,042,603
2nd transesterification rector	13,357,598
Sum of all decanters used in the process	1,712,513
Distillation column to purifier biodiesel	1,918,014
Distillation column to separate the methanol	2,688,645
Distillation column to separate the glycerol	1,027,508
Direct fixed capital	79,409,208
Working capital	56,684,166
Start up and validateion cost	5,582,791
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**176,423,045**

ตารางที่ 4.23 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็ง ที่กำลังการผลิต 111,558 ลิตรต่อวัน [57]

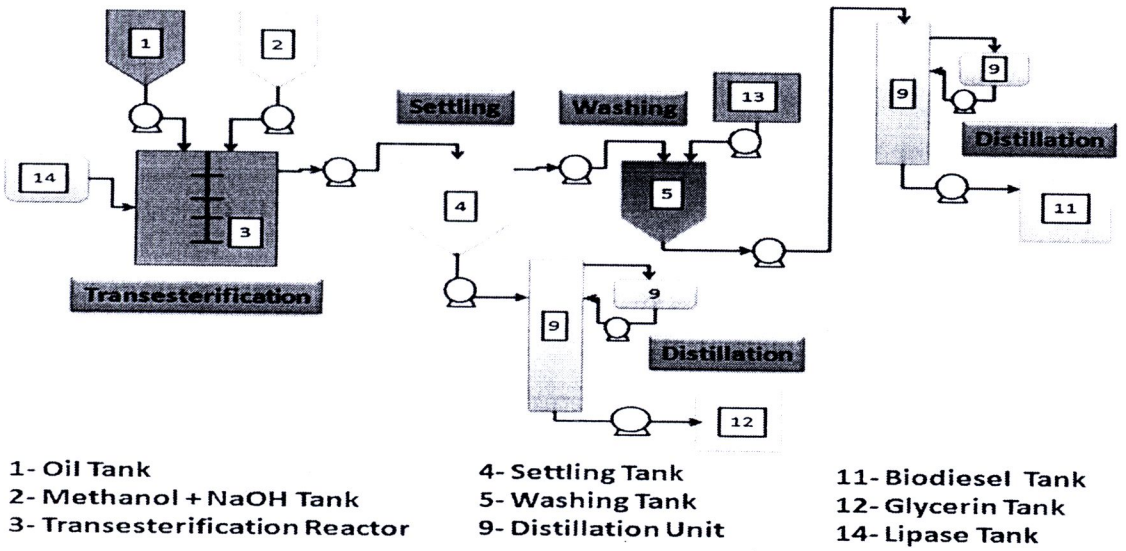
รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Methanol	2.809
Solid Resins	21.234
Washing Water	0.000
Equipment Dependant	0.521
Labor Dependant	0.278
Utilities	1.427
Administration	0.072
Insurance	0.025
Factory Expenses	0.127
Fringe Benefits	0.048
Supervision	0.024
Operating Supplies	0.012
Credits for Glycerol	- 2.720
Depreciation	1.273
Interest and Tax	0.868
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**26.00**

4.2.2.5 เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปส

จากการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เบส และ เรซิน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ปัจจุบันได้มีการนำเอนไซม์ไลเปส (Lipase Enzyme) มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยเอนไซม์ไลเปสจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล แต่เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสมีราคาที่ค่อนข้างแพง ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำเอนไซม์ไลเปสกลับมาใช้ใหม่ในรูปของเอนไซม์

ไลเปสที่ถูกตรึง (Immobilized Lipase Enzyme) ทำให้เอนไซม์ไลเปสมีความเสถียรมากขึ้นและสามารถแยกเอนไซม์ไลเปสออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น ส่งผลทำให้มีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่ำลงกว่าเดิม

เทคโนโลยีนี้ผลิตไบโอดดีเซลโดย นำน้ำมันปาล์มดิบมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้เบสคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipase Enzyme) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล และนำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรีนมาล้างน้ำ จากนั้นกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลและทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 จากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปส (Lipase Enzyme Catalyst) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 104.87 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.24 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 185.96 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.25 โดยสัดส่วนไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้เท่ากับ 0.995 ลิตรต่อลิตรน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.11 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปส [58]

ตารางที่ 4.24 เงินลงทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปส ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน [58]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาท)**
Raw Material & Product Yard	3,967,738
Main Process Yard	19,763,001
Utility Yard	7,760,553
Installation	3,149,129
Piping	9,447,388
Insulation and Painting	1,574,565
Civil and Structure	22,043,904
Electric and Instrumentation	11,021,954
Computer System	7,872,825
Engineering and Supervising	11,336,864
Other	6,928,083
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	104,866,003

ตารางที่ 4.25 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปส ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน [58]

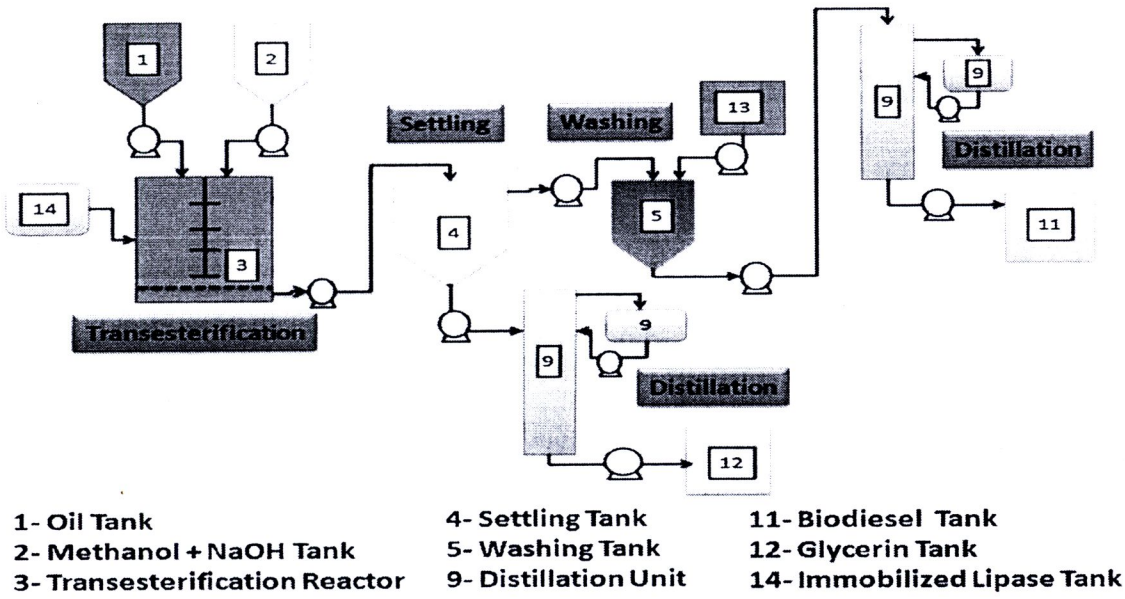
รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Methanol	4.422
Tap Water	0.001
Lipase	164.611
Utilities	
Steam	0.001
Electricity (kWh)	0.013

ตารางที่ 4.25 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปส ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [58]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Repair	0.006
Glycerol	- 5.487
Depreciation	16.793
Interest and Tax	5.598
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**185.96**

4.2.2.6 เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปสในรูปที่ถูกตรึง

เทคโนโลยีนี้ผลิตไบโอดีเซลโดยนำน้ำมันปาล์มดิบมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้เบสคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้เอนไซม์ไลเปสในรูปที่ถูกตรึง (Immobilized Lipase Enzyme) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน จากนั้นแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล และนำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกกลีเซอรีนมาล้างน้ำ จากนั้นกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลและทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปสในรูปที่ถูกตรึง (Immobilized Lipase Enzyme Catalyst) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 105.29 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.26 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 41.68 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.27 โดยสัดส่วนไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 1.05 ลิตรต่อลิตรน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.12 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปสในรูปที่ถูกตรึง [58]

ตารางที่ 4.26 เงินลงทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปสในรูปที่ถูกตรึง ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน [58]

รายการ	มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาท)
Raw Material & Product Yard	4,094,677
Main Process Yard	19,763,001
Utility Yard	7,760,553
Installation	3,161,823
Piping	9,485,469
Insulation and Painting	1,580,912
Civil and Structure	22,132,762
Electric and Instrumentation	11,066,382
Computer System	7,904,559
Engineering and Supervising	11,382,563
Other	6,956,010
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**105,288,711**

ตารางที่ 4.27 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปสในรูปที่ถูกตรึง ที่กำลังการผลิต 3,096 ลิตรต่อวัน [58]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Methanol	4.422
Tap Water	0.001
Lipase	32.922
K-carrageenan	2.744
KCl	0.148
Utilities	
Steam	0.001
Electricity (kWh)	0.013
Repair	0.002
Glycerol	- 5.487
Depreciation	5.183
Interest and Tax	1.728
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**41.68**

4.2.3 เทคโนโลยีการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์

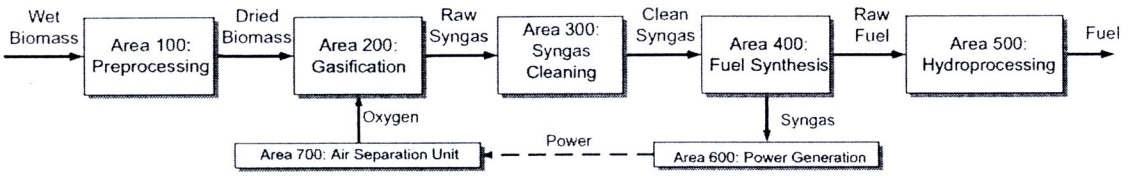
เทคโนโลยีการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์ที่งานวิจัยนี้ศึกษาได้แก่ เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน/ฟิชเชอร์โทรปช์ และเทคโนโลยีไพโรไลซิส โดยวัตถุดิบที่ใช้ในเทคโนโลยีการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์ที่งานวิจัยนี้ศึกษาได้แก่ ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ประเทศไทยมีศักยภาพ

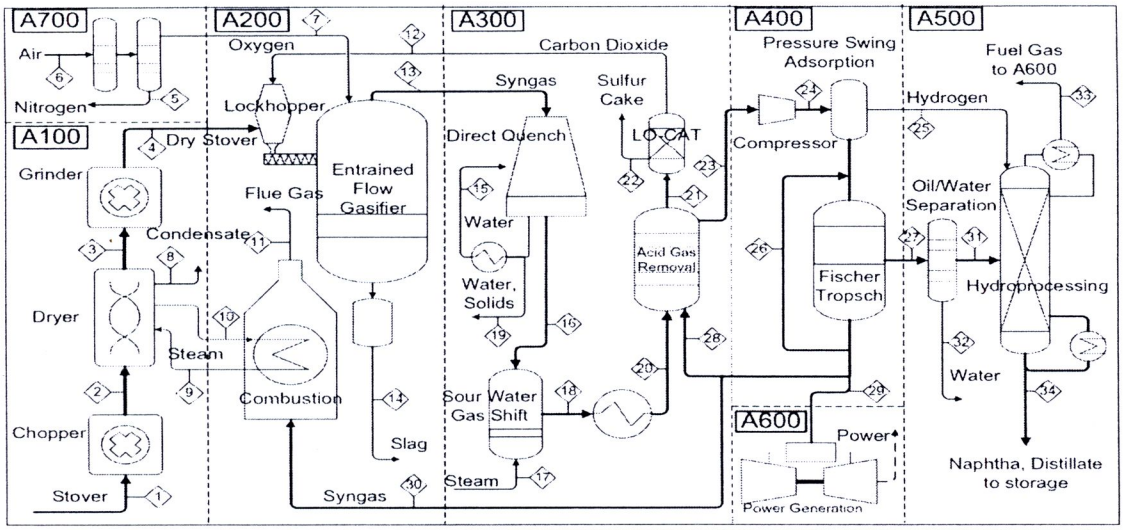
4.2.3.1 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

มวลชีวภาพถูกเผาไหม้แบบจำกัดปริมาณออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงในช่วงประมาณ 800-1,800 องศาเซลเซียส ได้แก๊สสังเคราะห์ ($CO+H_2$) นำแก๊สสังเคราะห์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการฟิชเชอร์โทรปช์ (Fischer-Tropsch) ได้น้ำมันเชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์ (Synthetic Liquid Fuel) สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ทดแทนน้ำมันแกโซลีนและน้ำมันดีเซลได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน 2 ประเภทได้แก่ เทคโนโลยีที่ใช้อุณหภูมิสูง (High Temperature) และเทคโนโลยีที่ใช้อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature)

4.2.3.1.1 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิสูง

การผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ของเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิสูงมี 7 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1. นำลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพด ที่มีความชื้นสูงมาลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น 2. ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นต่ำจะถูกนำเข้ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิประมาณ 1300 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สสังเคราะห์ ($CO+H_2$) 3. แก๊สสังเคราะห์ที่ได้จะถูกนำมากำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป 4. เพิ่มความดันแก๊สสังเคราะห์ให้มีความดัน ประมาณ 28 บาร์ จากนั้นแก๊สสังเคราะห์ความดันสูงจะถูกนำมาเข้ากระบวนการฟิชเชอร์โทรปช์ (Fischer-Tropsch) โดยใช้ Cobalt-Base เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ดิบ และ 5. น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ดิบ ที่ได้จะถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการ Hydroprocessing ได้น้ำมันแกโซลีนสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จากการศึกษาการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิสูง (High Temperature Gasification) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 19,228 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 114,247 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.28 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 95.89 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.29 โดยสัดส่วนแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 231 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นแกโซลีนสังเคราะห์เท่ากับ 58 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ความชื้น 75% w.b.)





Stream	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
T (°C)	25	25	90	90	16	32	149	120	200	120	220	249	1300	50	203	203	190
P (bar)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.10	1.01	28.00	1.98	1.98	1.98	1.03	28.00	26.62	26.62	26.62	25.93	10.00
m (Mg/day)	2667	2667	2222	2222	2189	2903	744	444	4000	4000	271	180	3823	114	4000	3867	550
Stream	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
T (°C)	240	40	40	50	50	62	76	30	200	42	45	45	45	35	35	35	37
P (bar)	24.80	24.82	24.82	3.45	1.93	22.75	26.00	25.00	24.96	23.60	23.58	23.58	23.58	22.20	22.20	22.20	1.03
m (Mg/day)	4417	1502	2965	1755	3.1	3570	3570	4.38	1404	1068	2308	156	33	427	641	52	378

รูปที่ 4.13 การผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิสูง [59]

ตารางที่ 4.28 เงินลงทุนของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ที่ใช้อุณหภูมิสูง ที่กำลังการผลิต 114,247 ลิตรต่อวัน [59]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
A100: Preprocessing	720
A200: Gasification	2,152
A300: Syngas Cleaning	1,063
A400: Fuel Synthesis	1,568
A500: Hydroprocessing	1,047

ตารางที่ 4.28 เงินลงทุนของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิสูง ที่กำลังการผลิต 114,247 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [59]

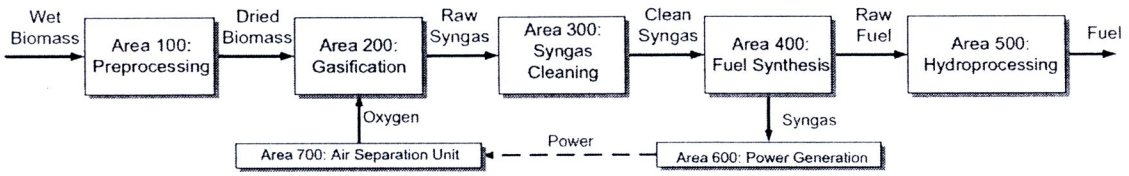
รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
A600: Power Generation	1,447
A700: Air Separation Unit	771
Balance of Plant	1,050
Indirect Cost	4,116
Contingency	2,786
Working Capital	2,507
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**19,228**

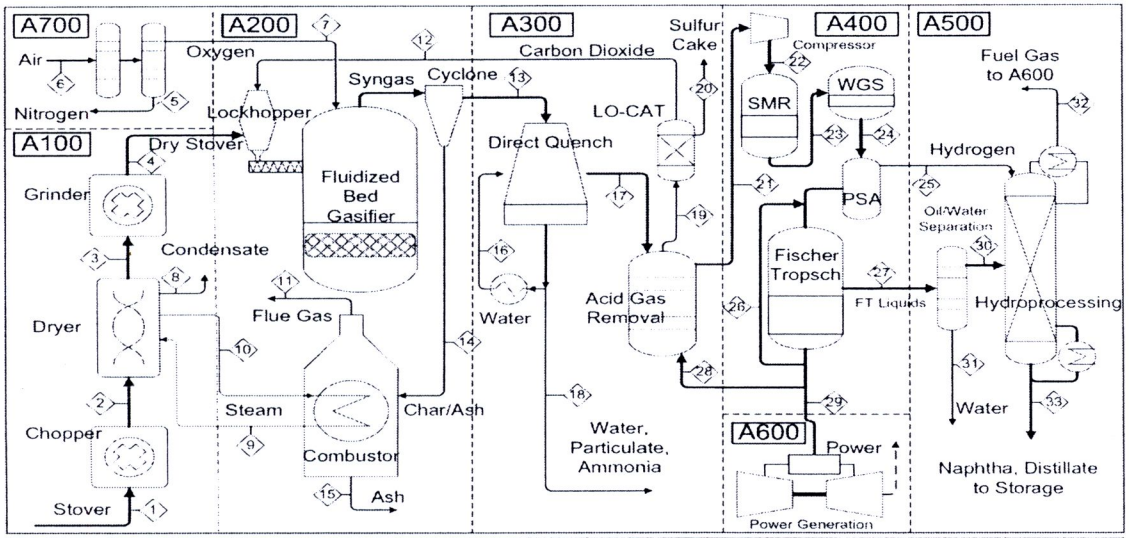
ตารางที่ 4.29 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิสูง ที่กำลังการผลิต 114,247 ลิตรต่อวัน [59]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Fixed Costs	10.65
Variable Costs	9.13
Utilities	44.14
Co-product Credits	- 4.57
Capital Depreciation	19.79
Average Income Tax	16.74
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**95.89**

4.2.3.1.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำ

การผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ของเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำมี 7 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1. นำลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นสูงมาลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น 2. ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นต่ำจะถูกนำเข้ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิประมาณ 870 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สสังเคราะห์ ($CO+H_2$) 3. แก๊สสังเคราะห์ที่ได้จะถูกนำมากำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ โดยเทคโนโลยีนี้มีเครื่องดักจับฝุ่นผงหรือไซโคลน (Cyclone) เพิ่มเข้ามาในระบบด้วย 4. เพิ่มความดันแก๊สสังเคราะห์ให้มีความดัน ประมาณ 28 บาร์ นำแก๊สสังเคราะห์ความดันสูงที่ได้เข้าเครื่อง Steam Methane Reforming (SMR) และเครื่อง Water Gas Shift (WGS) จากนั้นนำมาเข้ากระบวนการฟิชเชอร์โทรปช์ (Fischer-Tropsch) โดยใช้ Cobalt-Base เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ดิบ และ 5. น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ดิบที่ได้จะถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการ Hydroprocessing ได้น้ำมันแกโซลีนสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากการศึกษาการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Gasification) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 15,817 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 88,493 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.30 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 104.15 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.31 โดยสัดส่วนแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 178 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นแกโซลีนสังเคราะห์ เท่ากับ 44 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ความชื้น 75% w.b.)





Stream	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
T (°C)	25	25	90	90	16	32	149	120	200	120	200	243	870	870	1500	40	40
P (bar)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.10	1.01	28.00	1.98	1.98	1.98	1.00	28.00	27.55	27.55	1.00	26.17	26.17
m (Mg/day)	2667	2667	2222	2222	1744	2313	569	444	4000	4000	1471	180	2930	215	119	6000	2198
Stream	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
T (°C)	40	50	50	62	78	870	304	60	200	32	32	32	35	35	50	50	
P (bar)	26.17	3.45	2.10	22.89	26.50	25.81	25.12	25.00	25.00	22.89	22.89	22.89	22.89	22.89	22.89	22.89	
m (Mg/day)	1380	1593	2.3	2709	2709	3707	3708	3.4	560	1463	2073	168	331	1132	41	293	

รูปที่ 4.14 การผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำ [59]

ตารางที่ 4.30 เงินลงทุนของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ที่กำลังการผลิต 88,493 ลิตรต่อวัน [59]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
A100: Preprocessing	720
A200: Gasification	895
A300: Syngas Cleaning	930
A400: Fuel Synthesis	1,863
A500: Hydroprocessing	936
A600: Power Generation	1,234

ตารางที่ 4.30 เงินลงทุนของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ที่กำลังการผลิต 88,493 ลิตรต่อวัน (ต่อ) [59]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
A700: Air Separation Unit	619
Balance of Plant	863
Indirect Cost	3,402
Contingency	2,291
Working Capital	2,063
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**15,817**

ตารางที่ 4.31 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ที่กำลังการผลิต 88,493 ลิตรต่อวัน [59]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Fixed Costs	11.79
Variable Costs	12.77
Utilities	47.16
Co-product Credits	- 6.88
Capital Depreciation	21.62
Average Income Tax	17.69
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**104.15**

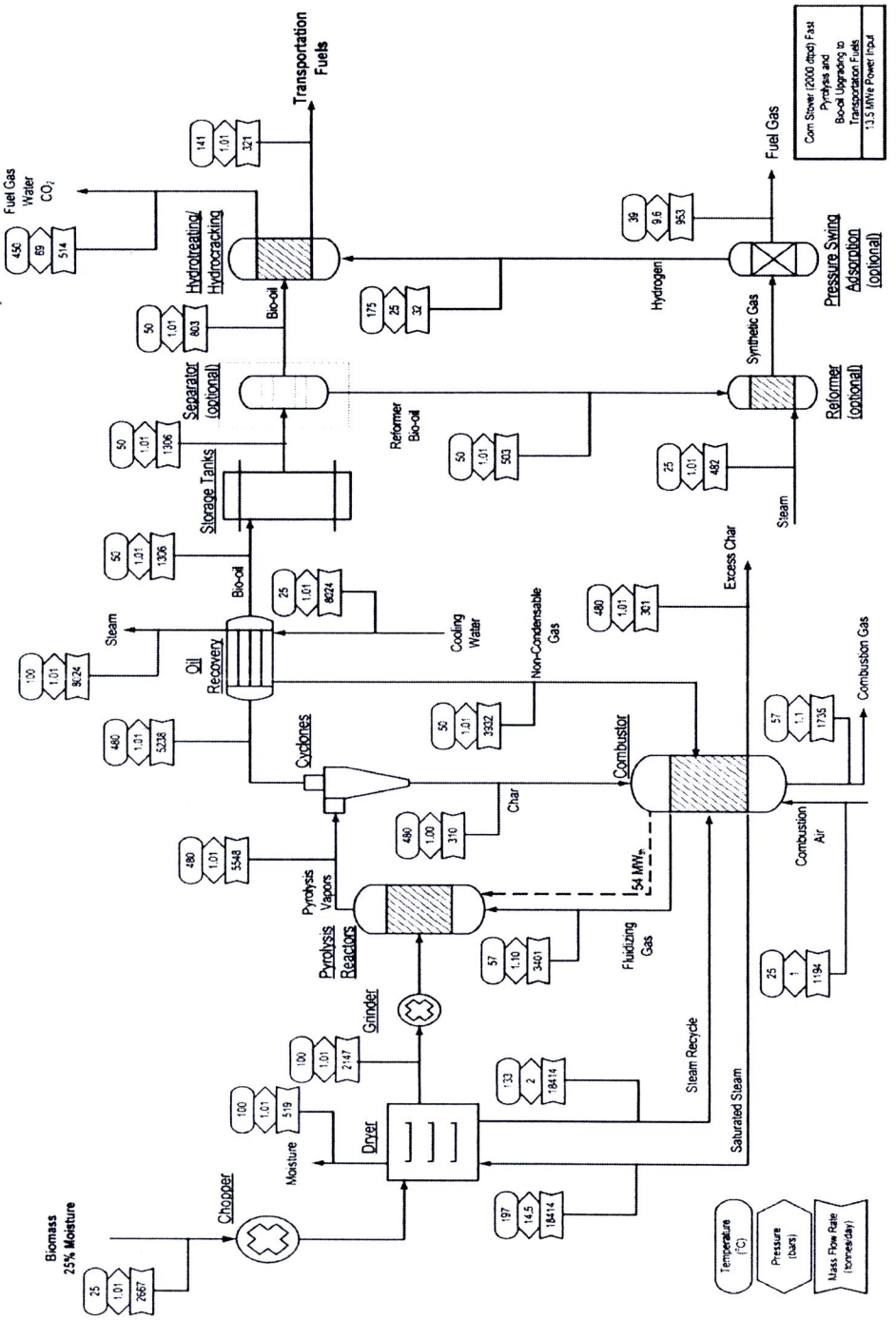
4.2.3.2 เทคโนโลยีไพโรไลซิส

มวลชีวภาพได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 500-800 องศาเซลเซียส ในสภาพไร้ออกซิเจน ได้น้ำมันดิบชีวภาพ (Bio Oil) แก๊สเชื้อเพลิง (Producer Gas) และถ่านชาร์ (Char) นำน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ไปกลั่นและปรับปรุงคุณภาพเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ทดแทนน้ำมันแก๊โซลีนและน้ำมันดีเซลได้ เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่งานวิจัยนี้ศึกษามี 2 ประเภท ได้แก่ เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต (Pyrolysis with Hydrogen Production in Process) และไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต (Pyrolysis without Hydrogen Production in Process)

4.2.3.2.1 เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต

การผลิตแก๊โซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ของเทคโนโลยีไพโรไลซิสที่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิตมี 5 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1. นำลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นสูงมาสับให้มีชิ้นเล็กขนาดประมาณ 10 มิลลิเมตร และนำมาลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น จากนั้นนำมาเข้าเครื่องบดเพื่อทำให้มีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร 2. ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นต่ำและผ่านการบดแล้วจะถูกนำเข้ากระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส ได้ไอน้ำมันดิบชีวภาพ 3. กำจัดสิ่งเจือปนที่อยู่ในไอน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้เครื่องไซโคลน (Cyclone) และนำมาลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 100 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันดิบชีวภาพ 4. แบ่งน้ำมันดิบชีวภาพส่วนหนึ่ง (ก่อนที่จะนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการ Hydrotreating) เพื่อนำมาใช้ในเครื่องผลิตไฮโดรเจน โดยไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพหรือ Hydrotreating โดยเทคโนโลยีนี้จะมีเครื่องผลิตไฮโดรเจนเพิ่มเข้ามาในระบบการผลิต และ 5. นำน้ำมันดิบชีวภาพมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการ Hydrotreating ได้น้ำมันแก๊โซลีนสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จากการศึกษาการผลิตแก๊โซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต (Pyrolysis with Hydrogen Production in Process) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 5,049 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 367,123 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.32 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 12.64 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.33 โดยสัดส่วนแก๊โซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 184

ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นแกโซลีนสังเคราะห์ เท่ากับ 46 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ความชื้น 75% w.b.)



รูปที่ 4.15 การผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่มีระบบผลิตไฮโดรเจนใน กระบวนการผลิต (Pyrolysis with Hydrogen Production in Process) และไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต (Pyrolysis without Hydrogen Production in Process)

ตารางที่ 4.32 เงินลงทุนของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต ที่กำลังการผลิต 367,123 ลิตรต่อวัน [60]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
Hydroprocessing	1,545
Combustion	1,501
Pyrolysis and Oil Recovery	889
Pretreatment	641
Storage	184
Utilities	289
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**5,049**

ตารางที่ 4.33 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต ที่กำลังการผลิต 367,123 ลิตรต่อวัน [60]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Fixed Costs	2.72
Catalyst	0.43
Electricity	1.38
Solids Disposal	0.43
Hydrogen	0.00
Utilities	5.32
Co-product Credits	- 2.67
Capital Depreciation	2.82
Average Income Tax	2.21
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**12.64**

4.2.3.2.2 เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่ไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต

การผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ของเทคโนโลยีไพโรไลซิสที่ไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิตมี 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1. นำลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นสูงมาสับให้มีชิ้นเล็กขนาดประมาณ 10 มิลลิเมตร และนำมาลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น จากนั้นนำมาเข้าเครื่องบดเพื่อทำให้มีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร 2. ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีความชื้นต่ำและผ่านการบดแล้วจะถูกนำเข้ากระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส ได้ไอน้ำมันดิบชีวภาพ 3. กำจัดสิ่งเจือปนที่อยู่ในไอน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้เครื่องไซโคลน (Cyclone) และนำมาลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 100 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันดิบชีวภาพ และ 4. นำน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการ Hydrotreating ได้น้ำมันแกโซลีนสังเคราะห์ โดยไฮโดรเจนที่นำมาใช้ในกระบวนการ Hydrotreating ของเทคโนโลยีนี้ต้องซื้อจากภายนอกเท่านั้น เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จากการศึกษาการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่ไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต (Pyrolysis without Hydrogen Production in Process) พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้เงินลงทุนประมาณ 3,510 ล้านบาท ที่กำลังการผลิต 602,740 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.34 และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตประมาณ 9.92 บาทต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.35 โดยสัดส่วนแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ใช้ของเทคโนโลยีนี้ เท่ากับ 301 ลิตรต่อตัน ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (มวลแห้ง) หรือคิดเป็นแกโซลีน เท่ากับ 75 ลิตรต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ความชื้น 75% w.b.)

ตารางที่ 4.34 เงินลงทุนของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่ไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต ที่กำลังการผลิต 602,740 ลิตรต่อวัน [60]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (ล้านบาท)**
Hydroprocessing	470
Combustion	1,457
Pyrolysis and Oil Recovery	889
Pretreatment	641
Storage	54
Utilities	-
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	**3,510**

ตารางที่ 4.35 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิสที่ไม่มีระบบผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต ที่กำลังการผลิต 602,740 ลิตรต่อวัน [60]

รายการ	**มูลค่าเงิน ณ ปี พ.ศ. 2554 (บาทต่อลิตร)**
Fixed Costs	1.30
Catalyst	0.26
Electricity	0.70
Solids Disposal	0.26
Hydrogen	3.41
Utilities	2.61
Co-product Credits	- 0.85
Capital Depreciation	1.24
Average Income Tax	0.98
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ไม่รวมค่าวัตถุดิบ)	**9.92**

4.3 ผลการประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในประเทศไทย

จากผลการวิเคราะห์ศักยภาพของวัตถุดิบและเทคโนโลยีประเภทต่างๆ ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว สามารถประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในประเทศไทยได้ดังนี้

4.3.1. ศักยภาพการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

ผลการประเมินศักยภาพการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่เหลือใช้ทั้งหมดในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 4.36 พบว่า การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยี Fermentation มีศักยภาพการผลิตเอทานอลสูงที่สุด 1.67 ล้านลิตรต่อวัน อันดับที่สองคือ การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยใช้เทคโนโลยี Fermentation มีศักยภาพการผลิตเอทานอล 1.07 ล้านลิตรต่อวัน และอันดับที่สามคือ การผลิตเอทานอลจากชานอ้อย (ความชื้น 50% w.b.) โดยใช้เทคโนโลยี Fermentation มีศักยภาพการผลิตเอทานอล 1.08 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งเป็นศักยภาพที่สูงกว่าการใช้เทคโนโลยี Gasification ร่วมกับเทคโนโลยี Fermentation โดยมีศักยภาพการผลิตเอทานอล 0.82 ล้านลิตรต่อวัน แต่ถ้าใช้ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ความชื้น 75% w.b.) เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอล การใช้เทคโนโลยี Gasification ร่วมกับเทคโนโลยี Fermentation จะมีศักยภาพการผลิตเอทานอล 0.78 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งเป็นศักยภาพที่สูงกว่าเทคโนโลยี Fermentation ที่มีศักยภาพการผลิตเอทานอล 0.68 ล้านลิตรต่อวัน ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะเทคโนโลยี Fermentation พบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง กากน้ำตาล ชานอ้อย และลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ประมาณ 4.5 ล้านลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.36 ศักยภาพการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

เทคโนโลยี	วัตถุดิบที่ใช้	ศักยภาพวัตถุดิบ (ล้านตัน/ปี)	สัดส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากวัตถุดิบ (ลิตร/ตัน)	เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้ (ล้านลิตร/วัน)
Fermentation* (Sugar)	กากน้ำตาล	1.56	250	**1.07**
Fermentation* (Starch)	มันสำปะหลัง	3.82	160	**1.67**
Fermentation** (Lignocelluloses)	ชานอ้อย	3.10	127	**1.08**
	ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพด เลี้ยงสัตว์	3.59	69	**0.68**
Gasification** (Lignocelluloses)	ชานอ้อย	3.10	96	**0.82**
	ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพด เลี้ยงสัตว์	3.59	79	**0.78**

หมายเหตุ: *มีการใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว และ **ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

4.3.2 ศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย

เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลที่งานวิจัยนี้ศึกษามี 4 เทคโนโลยีได้แก่ เทคโนโลยี Acid Catalyst เทคโนโลยี Base Catalyst เทคโนโลยี Solid Catalyst และเทคโนโลยี Lipase Enzyme Catalyst จากการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของเทคโนโลยีประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.37 พบว่า การผลิตไบโอดีเซลของเทคโนโลยีแต่ละประเภทมีศักยภาพการผลิตใกล้เคียงกัน โดยเทคโนโลยีที่มีศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดคือเทคโนโลยี Immobilized Lipase Enzyme Catalyst โดยผลิตได้ประมาณ 1.24 ล้านลิตรต่อวัน อันดับที่สองคือ เทคโนโลยี Solid Catalyst โดยผลิตได้ประมาณ 1.18 ล้านลิตรต่อวัน อันดับที่สามคือ เทคโนโลยี Base Catalyst และเทคโนโลยี Lipase Enzyme Catalyst โดยทั้ง 2 เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลเท่ากันประมาณ 1.17 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยี Base Catalyst ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ และเทคโนโลยีที่มีศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลน้อยที่สุดคือ เทคโนโลยี Acid Catalyst และเทคโนโลยี Base Catalyst

with Preesterification โดยทั้ง 2 เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลเท่ากันประมาณ 1.16 ล้านลิตรต่อวัน ดังนั้นประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสูงสุดประมาณ 1.24 ล้านลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.37 ศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

เทคโนโลยี (กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน)	ศักยภาพวัตถุดิบ (ล้านตัน/ปี)	สัดส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากวัตถุดิบ (ลิตร/ตัน)	เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้ (ล้านลิตร/วัน)
Acid Catalyst Process*	0.38	0.988	**1.16**
Base Catalyst Process**	0.38	0.995	**1.17**
Base Catalyst Process with Preesterification*	0.38	0.988	**1.16**
Solid Catalyst Process*	0.38	1.004	**1.18**
Lipase Enzyme Catalyst*	0.38	0.995	**1.17**
Immobilized Lipase Enzyme Catalyst*	0.38	1.050	**1.24**

หมายเหตุ: *ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ และ **มีการใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว

4.3.3 ศักยภาพการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์ในประเทศไทย

เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เทคโนโลยี Gasification และเทคโนโลยี Pyrolysis จากการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แสดงดังตารางที่ 4.38 พบว่า เทคโนโลยี Pyrolysis (without Hydrogen Production in Process) มีศักยภาพการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์มากที่สุด เท่ากับ 0.74 ล้านลิตรต่อวัน อันดับที่สองคือ เทคโนโลยี Gasification (High Temperature) มีศักยภาพการผลิต เท่ากับ 0.57 ล้านลิตรต่อวัน และเทคโนโลยีที่มีศักยภาพการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์น้อยที่สุดคือ เทคโนโลยี Gasification (Low Temperature) ซึ่งผลิตได้ เท่ากับ 0.44 ล้านลิตรต่อวัน ดังนั้นประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มากที่สุด เท่ากับ 0.74 ล้านลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.38 ศักยภาพการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย

เทคโนโลยี	ศักยภาพวัตถุดิบ (ล้านตัน/ปี)	สัดส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากวัตถุดิบ (ลิตร/ตัน)	เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้ (ล้านลิตร/วัน)
Gasification* (High Temperature)	3.59	58	**0.57**
Gasification* (Low Temperature)	3.59	44	**0.44**
Pyrolysis* (Hydrogen Production)	3.59	46	**0.45**
Pyrolysis* (Without Hydrogen Production)	3.59	75	**0.74**

หมายเหตุ: 1. *ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

4.4 ราคามวลชีวภาพสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

จากการศึกษาราคามันสำปะหลัง กากน้ำตาล น้ำมันปาล์มดิบ ชานอ้อย และลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อใช้เป็นวัตถุสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว แสดงดังตารางที่ 4.39, 4.40, 4.41 และ 4.42 ตามลำดับ พบว่า มันสำปะหลังมีราคาระหว่าง พ.ค. 53 – เม.ย. 54 เฉลี่ย 2,644 บาทต่อตัน กากน้ำตาลมีราคาระหว่าง มี.ค. 53 – ก.พ. 54 เฉลี่ย 4,504 บาทต่อตัน ชานอ้อย ณ ปี 2552 มีราคา 500 บาทต่อตัน ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีราคาระหว่างปี พ.ศ. 2550 - 2552 เฉลี่ย 900 บาทต่อตัน และน้ำมันปาล์มดิบมีราคาระหว่างปี 2550 – 2554 เฉลี่ย 24.07 บาทต่อลิตร

ตารางที่ 4.39 ราคามันสำปะหลังสดเฉลี่ยระหว่าง พ.ค. 53 – เม.ย. 54 [61]

เดือน - ปี	ราคามันสำปะหลัง (บาท/ตัน)
พ.ค.-53	2,160
มิ.ย.-53	2,280
ก.ค.-53	2,610
ส.ค.-53	2,950
ก.ย.-53	2,550
ต.ค.-53	2,400
พ.ย.-53	2,570
ธ.ค.-53	2,730
ม.ค.-54	2,820
ก.พ.-54	2,960
มี.ค.-54	2,930
เม.ย.-54	2,770
เฉลี่ย	2,644

ตารางที่ 4.40 ราคากากน้ำตาลเฉลี่ยระหว่าง มี.ค. 53 – ก.พ. 54 [51]

เดือน - ปี	ราคากากน้ำตาล (บาท/ตัน)
มี.ค.-53	3,509
เม.ย.-53	3,861
พ.ค.-53	4,214
มิ.ย.-53	4,279
ก.ค.-53	3,909
ส.ค.-53	4,106
ก.ย.-53	4,184
ต.ค.-53	5,114
พ.ย.-53	5,096

ตารางที่ 4.40 ราคากากน้ำตาลเฉลี่ยระหว่าง มี.ค. 53 – ก.พ. 54 (ต่อ) [51]

เดือน - ปี	ราคากากน้ำตาล (บาท/ตัน)
ธ.ค.-53	5,251
ม.ค.-54	5,369
ก.พ.-54	5,151
เฉลี่ย	**4,504**

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 4.41 ราคาชานอ้อยและลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปี พ.ศ. 2550 – 2552 [7], [13] และ [14]

ปี	ชานอ้อย (บาทต่อตัน)	ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (บาทต่อตัน)
2550	400	900
2551	400	900
2552	500	900

ตารางที่ 4.42 ราคาน้ำมันปาล์มดิบปี พ.ศ. 2550 – 2554 [8]

ปี	น้ำมันปาล์มดิบ (บาท/กก.)	น้ำมันปาล์มดิบ (บาท/ลิตร)
2550	24.45	21.64
2551	28.96	25.63
2552	24.33	21.53
2553	26.66	23.59
2554	31.61	27.97
เฉลี่ย	**27.20**	**24.07**

หมายเหตุ: คาดการณ์เมื่อ เมษายน 2554

4.5 ผลการประเมินต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในประเทศไทย

4.5.1 ต้นทุนการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

ผลการศึกษาจำนวนเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของเทคโนโลยีการผลิตเอทานอล แสดงดังตารางที่ 4.43 พบว่า การผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยี Fermentation มีต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด 13.21 บาทต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยใช้เทคโนโลยี Gasification ที่มีต้นทุนการผลิตรวม 14.53 บาทต่อลิตร การผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยี Gasification มีต้นทุนการผลิตรวม 22.45 บาทต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยี Fermentation ที่มีต้นทุนการผลิตรวม 28.25 บาทต่อลิตร ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เทคโนโลยี Gasification มีต้นทุนการผลิตรวมต่ำการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยี Fermentation ที่มีต้นทุนการผลิตรวม 24.35 และ 24.75 บาทต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลสโดยใช้เทคโนโลยี Gasification มีแนวโน้มต้นทุนการผลิตรวมต่ำกว่าการผลิตเอทานอลโดยใช้เทคโนโลยี Fermentation

4.5.2 ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย

ผลการศึกษาจำนวนเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ แสดงดังตารางที่ 4.44 พบว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เทคโนโลยี Base Catalyst with Preesterification มีต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด 28.87 บาทต่อลิตร อันดับที่สองคือ เทคโนโลยี Acid Catalyst มีต้นทุนการผลิตรวม 31.30 บาทต่อลิตร อันดับที่สามคือ เทคโนโลยี Base Catalyst Process ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหลักที่ประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีต้นทุนการผลิตรวม 31.49 บาทต่อลิตร และเทคโนโลยีที่มีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลสูงที่สุดคือ เทคโนโลยี Lipase Enzyme Catalyst มีต้นทุนการผลิตรวม 210.15 บาทต่อลิตร ดังนั้นเทคโนโลยี Base Catalyst with Preesterification มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมากที่สุด เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลรวมต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.43 ต้นทุนการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

เทคโนโลยี	วัตถุดิบที่ใช้	กำลังการผลิต (ลิตร/วัน)	สัดส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากวัตถุดิบ (ลิตร/ตัน)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ลิตร)	ต้นทุนกระบวนการผลิต (บาท/ลิตร)	รวมต้นทุน (บาท/ลิตร)
Fermentation (Sugar)*	กากน้ำตาล	150,000	250	18.02	6.33	**24.35**
Fermentation (Starch)*	มันสำปะหลัง	150,000	160	16.53	8.22	**24.75**
Fermentation (Ligno celluloses)**	ชานอ้อย	366,858	127	3.94	9.27	**13.21**
	ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	580,712	69	13.10	15.15	**28.25**
Gasification (Ligno celluloses)**	ชานอ้อย	275,639	96	5.20	9.33	**14.53**
	ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	670,930	79	11.35	11.10	**22.45**

หมายเหตุ: 1. ราคามันสำปะหลัง 2,644 บาทต่อตัน ราคากากน้ำตาล 4,504 บาทต่อตัน ราคาชานอ้อย 500 บาทต่อตัน (ความชื้น 50% w.b.) และราคาลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 900 บาทต่อตัน (ความชื้น 75% w.b.)

2. *มีการใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว และ **ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.44 ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	กำลังการผลิต (ลิตร/วัน)	สัดส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากวัตถุดิบ (ลิตร/ตัน)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ลิตร)	ต้นทุนกระบวนการผลิต (บาท/ลิตร)	รวมต้นทุน (บาท/ลิตร)
Acid Catalyst Process*	111,558	0.988	24.36	6.93	**31.30**
Base Catalyst Process**	3,096	0.995	24.19	7.30	**31.49**
Base Catalyst Process with Preesterification*	111,558	0.988	24.36	4.51	**28.87**
Solid Catalyst Process*	111,558	1.004	23.98	26.00	**49.98**
Lipase Enzyme Catalyst*	3,096	0.995	24.19	185.96	**210.15**
Immobilized Lipase Enzyme Catalyst*	3,096	1.050	22.93	41.68	**64.61**

หมายเหตุ: 1. ราคาน้ำมันปาล์มดิบ 24.07 บาทต่อลิตร

2. *ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ และ **มีการใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว

4.5.3 ต้นทุนการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์ในประเทศไทย

ผลการศึกษาจำนวนเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของเทคโนโลยีการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.45 พบว่า การผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยี Pyrolysis แบบไม่มีระบบการผลิตไฮโดรเจน (without Hydrogen Production) มีต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด 21.86 บาทต่อลิตร อันดับที่สองคือ เทคโนโลยี Pyrolysis แบบมีระบบการผลิตไฮโดรเจน (Hydrogen Production) มีต้นทุนการผลิตรวม 32.25 บาทต่อลิตร และเทคโนโลยีที่มีต้นทุนการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์สูงที่สุดคือ เทคโนโลยี Gasification อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature) มีต้นทุนการผลิตรวม 124.38 บาทต่อลิตร ดังนั้นเทคโนโลยี Pyrolysis มีความเหมาะสมในการผลิตแก๊สซีลสังเคราะห์มาก

ที่สุด เนื่องจากมีแนวโน้มต้นทุนการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์รวมต่ำกว่าเทคโนโลยี Gasification ทั้ง 2 เทคโนโลยี

ตารางที่ 4.45 ต้นทุนการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย

เทคโนโลยี	กำลังการผลิต (ลิตร/วัน)	สัดส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากวัตถุดิบ (ลิตร/ตัน)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ลิตร)	ต้นทุนกระบวนการผลิต (บาท/ลิตร)	รวมต้นทุน (บาท/ลิตร)
Gasification (High Temperature)*	114,247	58	15.59	95.89	**111.48**
Gasification (Low Temperature)*	88,493	44	20.24	104.15	**124.38**
Pyrolysis (Hydrogen Production)*	367,123	46	19.61	12.64	**32.25**
Pyrolysis (Without Hydrogen Production)*	602,740	75	11.95	9.92	**21.86**

หมายเหตุ: 1. ราคาลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 900 บาทต่อตัน (ความชื้น 75% w.b.)

2. *ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

4.6 การใช้น้ำในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

งานวิจัยนี้มีวิธีการศึกษาวิเคราะห์การใช้น้ำในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวคล้ายคลึงกับปริมาณน้ำที่ใช้ (Water Consumption) ในทฤษฎี Water Footprint ซึ่งประกอบด้วย Blue Water Footprint, Green Water Footprint และน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยหัวข้อหลักที่งานวิจัยนี้ศึกษาได้แก่

1. การใช้น้ำในการเพาะปลูกพืชมวลชีวภาพ ได้แก่ น้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติหรือการชลประทาน และน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน
2. การใช้น้ำในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวตั้งแต่ขั้นตอนการป้อนวัตถุดิบจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงเหลว

4.6.1 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต่อผลผลิตที่ได้

เมื่อนำปริมาณผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 – 2554 มาวิเคราะห์หาปริมาณต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากข้อมูลปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน พบว่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ยระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 – 2554 เท่ากับ 0.628 ตันข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อไร่ คิดเป็นปริมาณต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ยระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 – 2554 เท่ากับ 2.70 ตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อไร่ ดังแสดงในตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 ปริมาณต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ยระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 – 2554

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	เฉลี่ย
ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ตันข้าวโพด/ไร่)	0.612	0.611	0.635	0.650	0.631	**0.628**
คิดเป็นปริมาณต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ตันต้นข้าวโพด/ไร่)	2.40	3.22	2.56	2.48	2.83	**2.70**

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และปาล์มน้ำมัน เปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยปี พ.ศ. 2550-2554 แสดงดังตารางที่ 4.47 พบว่า มันสำปะหลังใช้น้ำในการเพาะปลูก 516,277 ลิตรต่อตัน ต้นอ้อยใช้น้ำในการเพาะปลูก 145,978 ลิตรต่อตัน ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใช้น้ำในการเพาะปลูก 208,744 ลิตรต่อตัน และปาล์มน้ำมันใช้น้ำในการเพาะปลูก 1,307,949 ลิตรต่อตัน

ตารางที่ 4.47 สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต่อปริมาณผลผลิตที่ได้

วัตถุดิบ	การใช้น้ำในการเพาะปลูก (ลิตร/ไร่)	ปริมาณผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย ปี พ.ศ. 2550-2554 (ตัน/ไร่)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต่อผลผลิต (ลิตร/ตัน)
อ้อย (รวมทั้งต้น)	1,570,406	10.76	**145,978**
หัวมันสำปะหลัง	1,730,560	3.35	**516,277**
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (รวมทั้งต้น)	563,610	2.70	**208,744**
ผลปาล์มสด	3,528,294	2.70	**1,307,949**

4.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

4.6.2.1 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการเพาะปลูกต้นอ้อยเพื่อการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากน้ำตาล

จากการนำปริมาณผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน มาวิเคราะห์กับปริมาณน้ำที่ต้นอ้อย 1 ตัน ใช้ในการเพาะปลูก 145,978.10 ลิตร พบว่า ในกระบวนการผลิตน้ำตาลจากต้นอ้อย 1 ตัน จะมีผลพลอยได้ชานอ้อยและกากน้ำตาล เท่ากับ 0.3 และ 0.05 ตัน ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.48 แต่ต้นอ้อย 1 ตัน มีน้ำเป็นส่วนประกอบ 0.51 ตัน ซึ่งน้ำในส่วนนี้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นจึงหักสัดส่วนของน้ำออกจากผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน ทำให้การคิดสัดส่วนการใช้น้ำสำหรับชานอ้อยและกากน้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็น 0.61 และ 0.10 ตัน ตามลำดับ หรือคิดเป็นปริมาณน้ำ เท่ากับ 89,046.64 และ 14,597.81 ลิตรน้ำต่อตันต้นอ้อย ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.48 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน

ผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย	ผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน (ลิตรน้ำ/ตันต้นอ้อย)
น้ำตาล	0.10	14,597.81
ชานอ้อย	0.30	43,793.43
กากตะกอนหม้อกรอง	0.04	5,839.12
กากน้ำตาล	0.05	7,298.90
น้ำ	0.51	74,448.83
รวมทั้งต้นอ้อย	**1.00**	**145,978.10**

ตารางที่ 4.49 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน เมื่อไม่คิดน้ำที่อยู่ในต้นอ้อยเป็นผลผลิต

ผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย	ผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของผลผลิตที่ได้จากต้นอ้อย 1 ตัน เมื่อไม่คิดน้ำที่อยู่ในต้นอ้อย (ลิตรน้ำ/ตันต้นอ้อย)
น้ำตาล	0.21	30,655.40
ชานอ้อย	0.61	89,046.64
กากตะกอนหม้อกรอง	0.08	11,678.25
กากน้ำตาล	0.10	14,597.81
รวมทั้งต้นอ้อย	**1.00**	**145,978.10**

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของกากน้ำตาลที่ได้จากต้นอ้อย (ไม่คิดน้ำที่อยู่ในต้นอ้อย) เท่ากับ 14,598 ลิตรน้ำต่อตันต้นอ้อย โดยต้นอ้อย 1 ตัน มีผลพลอยได้เป็นกากน้ำตาล เท่ากับ 0.05 ตัน ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยต่อกากน้ำตาล เท่ากับ 291,956 ลิตร สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อกากน้ำตาล เท่ากับ 250 ลิตรเอทานอลต่อตันกากน้ำตาล ดังนั้นการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จากกากน้ำตาลใช้น้ำในการเพาะปลูก 1,168 ลิตร หรือการผลิตเอทานอล 1 เมกะจูล กากน้ำตาลใช้น้ำในการเพาะปลูก 49.28 ลิตรต่อเมกะจูล ดังแสดงในตารางที่ 4.50

ตารางที่ 4.50 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

รายการ	**ปริมาณ**
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของกากน้ำตาลที่ได้จากต้นอ้อยและไม่คิดน้ำที่อยู่ในต้นอ้อย (ลิตรน้ำ/ตันต้นอ้อย)	14,598
ปริมาณกากน้ำตาลที่ได้จากต้นอ้อย (ตันกากน้ำตาล/ตันต้นอ้อย)	0.05
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยต่อกากน้ำตาลที่ได้ (ลิตรน้ำ/ตันกากน้ำตาล)	291,956
สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อกากน้ำตาล (ลิตรเอทานอล/ตันกากน้ำตาล)	250
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยสำหรับกากน้ำตาลต่อเอทานอลที่ผลิตได้จากกากน้ำตาล (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)	1,168
ค่าความร้อนของเอทานอล (MJ/ลิตรเอทานอล)	23.70
สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเพื่อผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล (ลิตรน้ำ/MJ)	**49.28**

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของชานอ้อยที่ได้จากต้นอ้อย (ไม่คิดน้ำที่อยู่ในต้นอ้อย) เท่ากับ 89,047 ลิตรน้ำต่อตันต้นอ้อย โดยต้นอ้อย 1 ตัน มีผลพลอยได้เป็นชานอ้อย เท่ากับ 0.30 ตัน ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยต่อชานอ้อย เท่ากับ 296,822 ลิตร สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อชานอ้อย เท่ากับ 127 ลิตรเอทานอลต่อตันชานอ้อย ดังนั้นการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ชานอ้อยใช้น้ำในการเพาะปลูก 2,337 ลิตร หรือการผลิตเอทานอล 1 เมกะจูล ชานอ้อยใช้น้ำในการเพาะปลูก 98.62 ลิตรต่อเมกะจูล ดังแสดงในตารางที่ 4.51

ตารางที่ 4.51 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการผลิตเอทานอลจากชานอ้อย

รายการ	**ปริมาณ**
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเมื่อคิดตามร้อยละของชานอ้อยที่ได้จากต้นอ้อยและไม่คิดน้ำที่อยู่ในต้นอ้อย (ลิตรน้ำ/ตันต้นอ้อย)	89,047
ปริมาณชานอ้อยที่ได้จากต้นอ้อย (ตันชานอ้อย/ตันต้นอ้อย)	0.30
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยต่อชานอ้อยที่ได้ (ลิตรน้ำ/ตันชานอ้อย)	296,822
สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้จากชานอ้อยที่ความชื้น 50% w.b. (ลิตรเอทานอล/ตันชานอ้อย)	127
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยสำหรับชานอ้อยต่อเอทานอลที่ผลิตได้จากชานอ้อย (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)	**2,337**
ค่าความร้อนของเอทานอล (MJ/ลิตรเอทานอล)	23.70
สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นอ้อยเพื่อผลิตเอทานอลจากชานอ้อย (ลิตรน้ำ/MJ)	**98.62**

4.6.2.2 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อการผลิตเอทานอล

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังต่อผลผลิตที่ได้ เท่ากับ 516,277 ลิตรน้ำต่อตันหัวมันสำปะหลังสด สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้ต่อมันสำปะหลัง เท่ากับ 160 ลิตรเอทานอลต่อตันหัวมันสำปะหลังสด ดังนั้นการผลิตเอทานอล 1 ลิตร มันสำปะหลังใช้น้ำในการเพาะปลูก 3,227 ลิตร หรือการผลิตเอทานอล 1 เมกะจูล มันสำปะหลังใช้น้ำในการเพาะปลูก 136.15 ลิตรต่อเมกะจูล ดังแสดงในตารางที่ 4.52

ตารางที่ 4.52 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

รายการ	ปริมาณ
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังต่อผลผลิตที่ได้ (ลิตรน้ำ/ตันหัวมันสำปะหลังสด)	516,277
สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้จากมันสำปะหลัง (ลิตรเอทานอล/ตันหัวมันสำปะหลังสด)	160
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังต่อเอทานอลที่ผลิตได้ (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)	**3,227**
ค่าความร้อนของเอทานอล (MJ/ลิตรเอทานอล)	23.70
สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล (ลิตรน้ำ/MJ)	**136.15**

4.6.2.3 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการนำปริมาณผลผลิตที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน มาวิเคราะห์กับปริมาณน้ำที่ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน ใช้ในการเพาะปลูก 208,744.30 ลิตร พบว่า ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน มีผลพลอยได้เป็นลำต้น ยอด ใบ และ ซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 0.62 ตัน คิดเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก เท่ากับ 129,421.46 ลิตรน้ำต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 4.53

ตารางที่ 4.53 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เมื่อคิดตามร้อยละของผลผลิตที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน

ผลผลิตที่ได้จากต้นข้าวโพด	ผลผลิตที่ได้จากต้นข้าวโพด 1 ตัน (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเมื่อคิดตามร้อยละของผลผลิตที่ได้จากต้นข้าวโพด 1 ตัน (ลิตรน้ำ/ตันต้นข้าวโพด)
ลำต้น	0.31	64,710.73
ใบ	0.14	29,224.20
เมล็ด	0.38	79,322.83
ซัง	0.09	18,786.99
ยอดและเปลือก	0.08	16,699.54
รวมทั้งต้นข้าวโพด	**1.00**	**208,744.30**

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อคิดตามร้อยละของลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 129,421 ลิตรน้ำต่อตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน มีลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 0.62 ตัน ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 208,744 ลิตร สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้น 75% w.b. ด้วยวิธีการหมัก เท่ากับ 69 ลิตรเอทานอลต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้น้ำในการเพาะปลูก 3,025 ลิตร หรือการผลิตเอทานอล 1 เมกะจูล ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้น้ำในการเพาะปลูก 128 ลิตรต่อเมกะจูล ดังแสดงในตารางที่ 4.54

ตารางที่ 4.54 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

รายการ	ปริมาณ
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เมื่อคิดตามร้อยละของลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	129,421
ปริมาณลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ /ตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	0.62
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	208,744
สัดส่วนเอทานอลที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้น 75% w.b. ด้วยวิธีการหมัก (ลิตรเอทานอล/ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	69
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อเอทานอลที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)	**3,025**
ค่าความร้อนของเอทานอล (MJ/ลิตรเอทานอล)	23.70
สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตเอทานอลจากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/MJ)	**128**

4.6.2.4 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตไบโอดีเซล

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันต่อผลผลิตที่ได้ เท่ากับ 1,307,949 ลิตรน้ำต่อตันผลปาล์ม สัดส่วนน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ต่อผลปาล์ม เท่ากับ 192 ลิตร ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร ปาล์มน้ำมันใช้น้ำในการเพาะปลูก 6,809 ลิตร หรือการผลิตไบโอดีเซล 1 เมกะจูล ปาล์มน้ำมันใช้น้ำในการเพาะปลูก 192 ลิตรต่อเมกะจูล ดังแสดงในตารางที่ 4.55

ตารางที่ 4.55 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

รายการ	**ปริมาณ**
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันต่อผลผลิตที่ได้ (ลิตรน้ำ/ตันผลปาล์ม)	1,307,949
สัดส่วนน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้จากผลปาล์ม (ตัน/ตันผลปาล์ม)	0.17
คิดเป็นปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากผลปาล์ม (ลิตรไบโอดีเซล/ตันผลปาล์ม)	192
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันต่อไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (ลิตรน้ำ/ลิตรไบโอดีเซล)	**6,809**
ค่าความร้อนของไบโอดีเซล (MJ/ลิตรไบโอดีเซล)	35.50
สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซล (ลิตรน้ำ/MJ)	**192**

4.6.2.5 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อคิดตามร้อยละของลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 129,421 ลิตรน้ำต่อตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน มีลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 0.62 ตัน ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 208,744 ลิตร สัดส่วนแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้น 75% w.b. ด้วยวิธี Gasification เท่ากับ 58 ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์ต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์ 1 ลิตร ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้น้ำในการเพาะปลูก 3,599 ลิตร หรือการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์ 1 เมกะจูล ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้น้ำในการเพาะปลูก 102 ลิตรต่อเมกะจูล ดังแสดงในตารางที่ 4.56

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อคิดตามร้อยละของลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 129,421 ลิตรน้ำต่อตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน มีลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 0.62 ตัน ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 208,744 ลิตร สัดส่วนแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้น 75% w.b. ด้วยวิธี Pyrolysis เท่ากับ 75 ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์ต่อตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์ 1 ลิตร ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้น้ำในการเพาะปลูก 2,783 ลิตร หรือการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์ 1 เมกะจูล ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้น้ำในการเพาะปลูก 79 ลิตรต่อเมกะจูล ดังแสดงในตารางที่ 4.57

ตารางที่ 4.56 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยวิธี Gasification

รายการ	ปริมาณ
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เมื่อคิดตามร้อยละของลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	129,421
ปริมาณลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ /ตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	0.62
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	208,744
สัดส่วนแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้น 75% w.b. ด้วยวิธี Gasification (ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์/ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	58
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ /ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์)	**3,599**
ค่าความร้อนของแกโซลีนสังเคราะห์ (MJ/ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์)	35.25
สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/MJ)	**102**

ตารางที่ 4.57 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยวิธี Pyrolysis

รายการ	ปริมาณ
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เมื่อคิดตามร้อยละของลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	129,421
ปริมาณลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ได้จากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ /ตันต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	0.62
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	208,744
สัดส่วนแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้น 75% w.b. ด้วยวิธี Pyrolysis (ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์/ตันลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์)	75
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อแกโซลีนสังเคราะห์ที่ผลิตได้จาก ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์)	**2,783**
ค่าความร้อนของแกโซลีนสังเคราะห์ (MJ/ลิตรแกโซลีนสังเคราะห์)	35.25
สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลิตรน้ำ/MJ)	**79**

4.6.3 การใช้น้ำในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

4.6.3.1 การใช้น้ำในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย

จากการศึกษาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังขนาด 150,000 ลิตรต่อวัน ในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 4.58 พบว่า มีการใช้น้ำจากการบดและผสมน้ำ และจากไอน้ำ เท่ากับ 1,425,000 และ 490,000 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ รวมจากกระบวนการทั้งหมด เท่ากับ 1,915,000 ลิตรต่อวัน ดังนั้นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง 1 ลิตร ใช้น้ำ ประมาณ 12.77 ลิตร

ตารางที่ 4.58 ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทยที่กำลังผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน [62]

กระบวนการ	น้ำป้อน (ลิตรต่อวัน)
การบดและผสมน้ำ	1,425,000
ไอน้ำ	490,000
การหมัก	-
การกลั่น	-
การแยกน้ำ	-
รวม	**1,915,000**

4.6.3.2 การใช้น้ำในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย

จากการศึกษาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลขนาด 150,000 ลิตรต่อวัน ในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 4.59 พบว่า มีการใช้น้ำจากการบดและผสมน้ำ และจากไอน้ำ เท่ากับ 1,900,000 และ 373,500 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ รวมจากกระบวนการทั้งหมด เท่ากับ 2,273,500 ลิตรต่อวัน ดังนั้นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 1 ลิตร ใช้น้ำ ประมาณ 15.16 ลิตร

ตารางที่ 4.59 การใช้น้ำในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย ที่กำลังผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน [20]

กระบวนการ	น้ำป้อน (ลิตรต่อวัน)
การผสมน้ำ	1,900,000
ไอน้ำ	373,500
การหมัก	-
การกลั่น	-
การแยกน้ำ	-
รวม	**2,273,500**

4.6.3.3 การใช้น้ำในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย

จากการศึกษาการใช้น้ำในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันขนาด 10,000 ลิตรต่อวัน ในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 4.60 พบว่า มีการใช้น้ำจากการกำจัดยางเหนียวและกรดไขมันอิสระ และกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เท่ากับ 4,000 และ 10,000 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ รวมจากกระบวนการทั้งหมด เท่ากับ 14,000 ลิตรต่อวัน ดังนั้นในกระบวนการผลิตผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน 1 ลิตร ใช้น้ำ ประมาณ 1.4 ลิตร

ตารางที่ 4.60 ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ที่กำลังผลิต 10,000 ลิตรต่อวัน [24]

กระบวนการ	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตรต่อวัน)
กำจัดยางเหนียวและกรดไขมันอิสระ	4,000
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	10,000
กำจัดน้ำออกและกรอง	-
รวม	**14,000**

4.6.4 สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

ผลสรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ไบโอดีเซล และแกโซลีนสังเคราะห์ จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.61 พบว่า การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลด้วยวิธีการหมักใช้น้ำในการผลิตต่ำที่สุด เท่ากับ 49.92 ลิตรต่อเมกะจูล อันดับที่สองคือ การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมัก เท่ากับ 136.69 ลิตรต่อเมกะจูล และการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันใช้น้ำในการผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 287.36 ลิตรต่อเมกะจูล โดยการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการผลิตแกโซลีนสังเคราะห์จากลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยังไม่มีการศึกษาการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4.61 สรุปปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

เชื้อเพลิงเหลว	วัตถุดิบ	ลิตรน้ำ/ลิตรเชื้อเพลิงเหลว			ลิตรน้ำ/MJ
		การใช้น้ำในการเพาะปลูก	การใช้น้ำในกระบวนการผลิต	รวมทั้งหมด	รวมทั้งหมด
เอทานอล (การหมัก)	กากน้ำตาล	1,168	15.16	1,183.16	**49.92**
	มันสำปะหลัง	3,227	12.77	3,239.77	**136.69**
	ชานอ้อย	2,337	ไม่มีการศึกษา	-	-
	ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	3,025	ไม่มีการศึกษา	-	-
	ปาล์มน้ำมัน	6,809	1.4	6,810.40	**287.36**
ไบโอดีเซล	ลำต้น ยอด ใบ และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	2,783	ไม่มีการศึกษา	-	-
แกโซลีนสังเคราะห์	กากน้ำตาล	1,168	15.16	1,183.16	**49.92**