ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเตอร์ด้วยเครื่องThin Layer Chromatography (TLC)

1. เมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชั่น

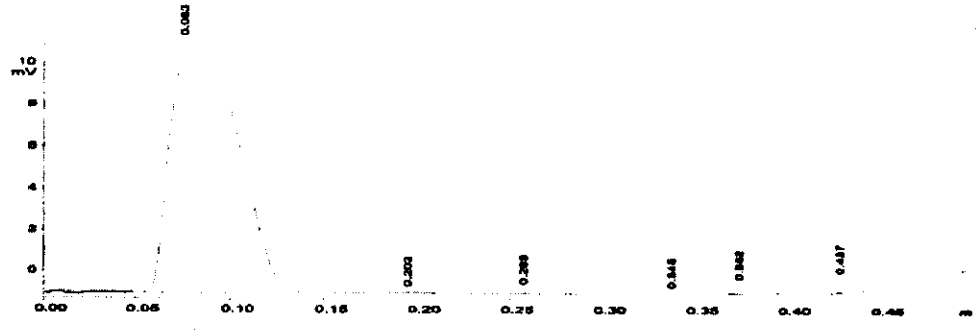
Batch I

Chromatogram: sam-4411 Date: 9.04.2004 Time: 10:22

Author: 2

Notes:

Sample Identifier:
Injected on: 9.04.2004 Injected at: 10:12
Data Processing Parameters
Slice Width (msec): 100 Noise: undefine
Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5
Parameter Files
Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No		Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME	1	0.083	0.045	0.140	15618	12.12	97.429
TG	2	0.203	0.167	0.218	56	0.08	0.352
FA	3	0.265	0.252	0.288	77	0.15	0.480
DG	4	0.345	0.330	0.363	16	0.03	0.097
DG	5	0.382	0.365	0.398	141	0.39	0.881
MG	6	0.437	0.422	0.442	122	0.57	0.761
					16031	13.35	100.000

ภาพประกอบ 26 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 1 (ชุดฉังปฏิกิริยา 40 ลิตร)

ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเตอร์ด้วยเครื่องThin Layer Chromatography (TLC)

1. เมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชั่น

Batch I

Chromatogram: sam-4411 Date: 9.04.2004 Time: 10:22

Author: 2 4/4/47

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 9.04.2004 Injected at: 10:12

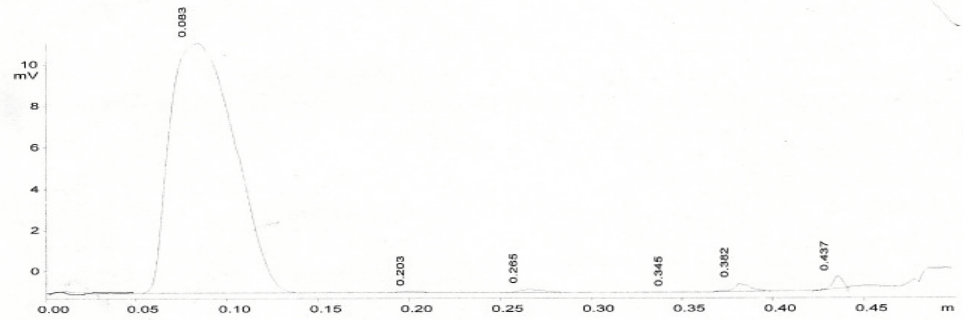
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No		Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME	1	0.083	0.045	0.140	15618	12.12	97.429
TG	2	0.203	0.167	0.218	56	0.08	0.352
FA	3	0.265	0.252	0.288	77	0.15	0.480
DG	4	0.345	0.330	0.363	16	0.03	0.097
DG	5	0.382	0.365	0.398	141	0.39	0.881
MG	6	0.437	0.422	0.442	122	0.57	0.761
					16031	13.35	100.000

ภาพประกอบ 26 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 1 (ชุดถังปฏิกิริยา 40 ลิตร)

Chromatogram: SAM-4497 Date: 11.05.2004 Time: 23:48

Author: ME Batch II

Notes: 4 wa. 47

Sample Identifier:

Injected on: 11.05.2004 Injected at: 23:33

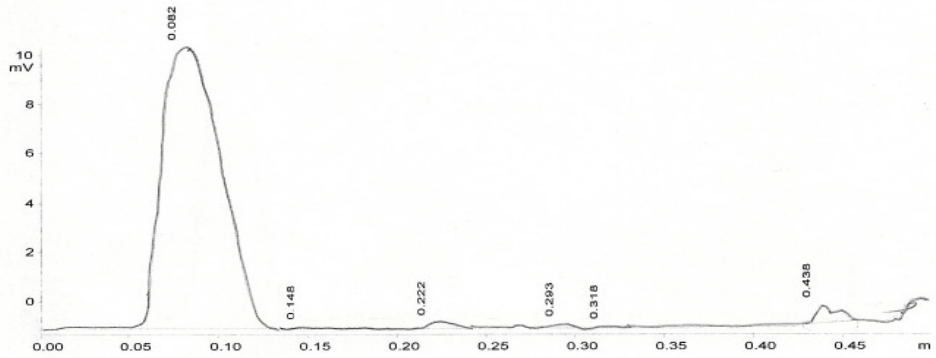
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.082	0.050	0.133	13465	11.41	95.359
2	0.148	0.133	0.197	105	0.13	0.741
3	0.222	0.210	0.247	133	0.26	0.939
4	0.293	0.275	0.308	77	0.17	0.545
5	0.318	0.308	0.355	42	0.11	0.300
6	0.438	0.428	0.458	299	0.74	2.116
				14121	12.82	100.000

ภาพประกอบ 27 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 2 (ชุดถังปฏิกิริยา 40 ลิตร)

Chromatogram: sam-4567 Date: 8.06.2004 Time: 23:5

Author:

Notes: Batch 3

Sample Identifier:

Injected on: 8.06.2004 Injected at: 23:29

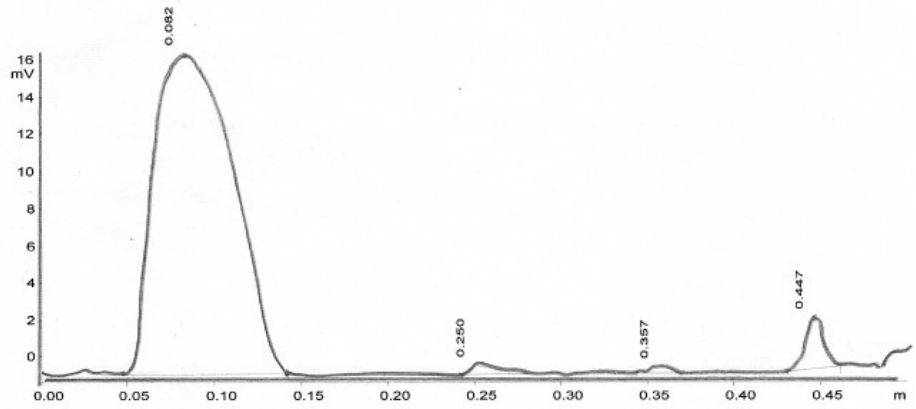
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No		Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME	1	0.082	0.050	0.145	28427	17.32	95.349
FA	2	0.250	0.242	0.285	297	0.52	0.997
DE	3	0.357	0.332	0.375	171	0.41	0.574
MG	4	0.447	0.432	0.462	918	2.78	3.079
					29813	21.04	100.000

ภาพประกอบ 28 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 3 (ชุดถังปฏิกิริยา 40 ลิตร)

Chromatogram: sam-4564 Date: 2.06.2004 Time: 12:09

Author:

Notes: Batch 4

Sample Identifier:

Injected on: 2.06.2004 Injected at: 12:03

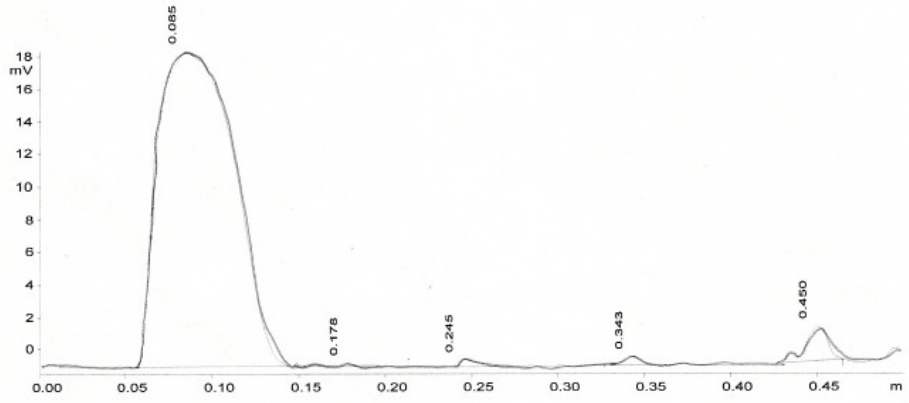
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.085	0.055	0.143	30737	19.38	95.436
2	0.178	0.148	0.198	94	0.19	0.293
3	0.245	0.238	0.280	214	0.40	0.664
4	0.343	0.327	0.365	193	0.52	0.599
5	0.450	0.427	0.465	969	2.09	3.008
				32207	22.58	100.000

ภาพประกอบ 29 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 4 (ชุดถังปฏิกิริยา 40 ลิตร)

Chromatogram: sam-4570 Date: 8.06.2004 Time: 23:59

Author:

Notes: Batch 5

Sample Identifier:

Injected on: 8.06.2004 Injected at: 23:32

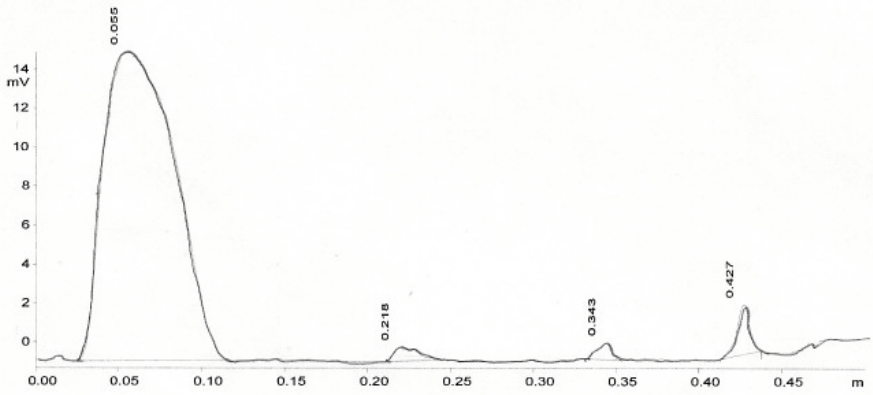
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No		Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME	1	0.055	0.023	0.117	24659	15.81	94.741
FA	2	0.218	0.210	0.248	385	0.68	1.479
DG	3	0.343	0.332	0.353	250	0.87	0.960
mg	4	0.427	0.413	0.438	734	2.53	2.819
					26027	19.88	100.000

ภาพประกอบ 30 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 5 (ชุดถังปฏิกิริยา 40 ลิตร)

Chromatogram: SAM-4675 Date: 16.07.2004 Time: 14:21

Author: 6

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 16.07.2004 Injected at: 0:02

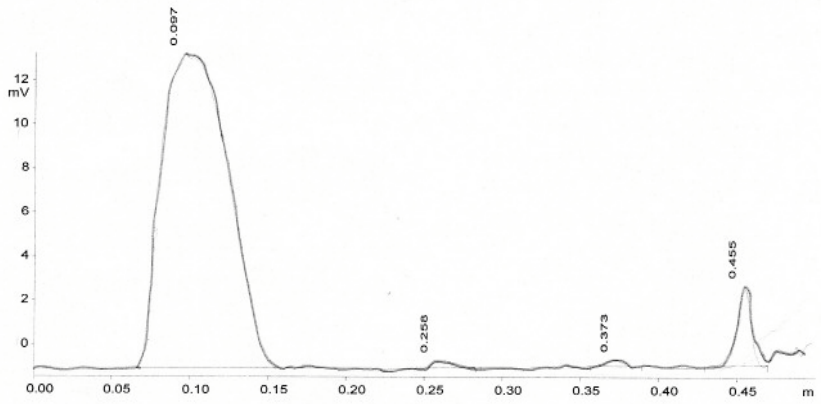
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.097	0.067	0.155	21940	14.27	93.751
2	0.258	0.240	0.287	196	0.37	0.836
3	0.373	0.357	0.390	105	0.28	0.449
4	0.455	0.430	0.470	1162	3.63	4.964
				23403	18.56	100.000

ภาพประกอบ 31 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 6 (ชุดถังปฏิกิริยา 40 ลิตร)

2. ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC จากกระบวนการกลั่นใส

Chromatogram: sam-4916 Date: 26.08.2004 Time: 14:32

Author: Distillation Batch I

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 24.08.2004 Injected at: 13:02

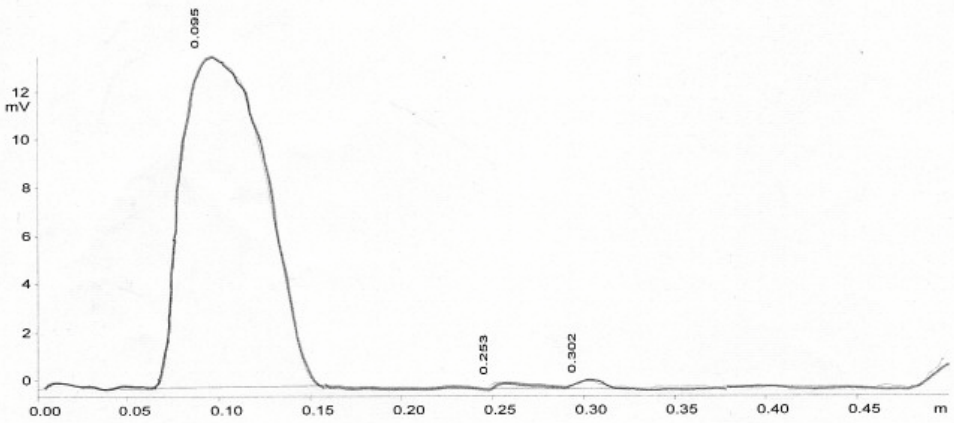
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME 1	0.095	0.065	0.157	22446	13.73	98.571
TG 2	0.253	0.233	0.283	159	0.26	0.698
FA 3	0.302	0.283	0.327	167	0.31	0.732
				22771	14.29	100.000

ภาพประกอบ 32 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 1 (ชุดกลั่นใส)

Chromatogram: SAM-4917 Date: 26.08.2004 Time: 14:38

Author: Distillation Batch II

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 24.08.2004 Injected at: 13:03

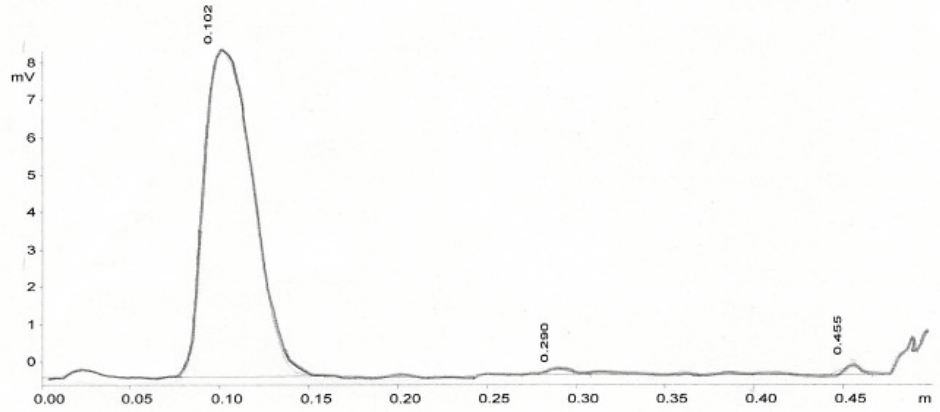
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME 1	0.102	0.072	0.158	8828	8.69	98.120
FA 2	0.290	0.270	0.308	61	0.12	0.682
MG 3	0.455	0.440	0.467	108	0.34	1.198
				8997	9.14	100.000

ภาพประกอบ 33 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 2 (ชุดกลั่นใส)

Chromatogram: SAM-4922 Date: 26.08.2004 Time: 14:37

Author: Distillation Batch 1

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 24.08.2004 Injected at: 14:45

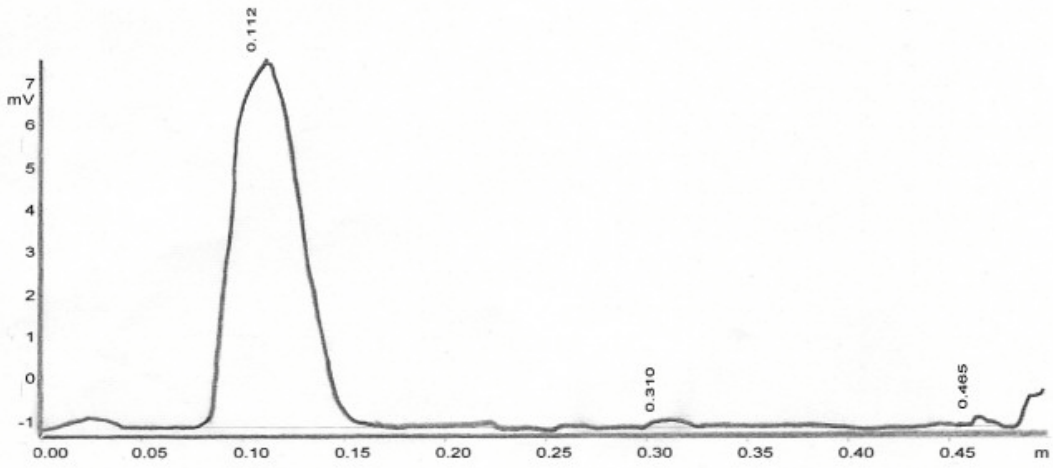
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME 1	0.112	0.065	0.175	10294	8.67	98.694
FA 2	0.310	0.287	0.340	86	0.15	0.824
MG 3	0.465	0.453	0.478	50	0.18	0.482
				10431	9.01	100.000

ภาพประกอบ 34 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 3 (ชุดกลั่นใส)

Chromatogram: sam-4925 Date: 26.08.2004 Time: 14:40

Author: Pitlation Batch 4

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 24.08.2004 Injected at: 14:47

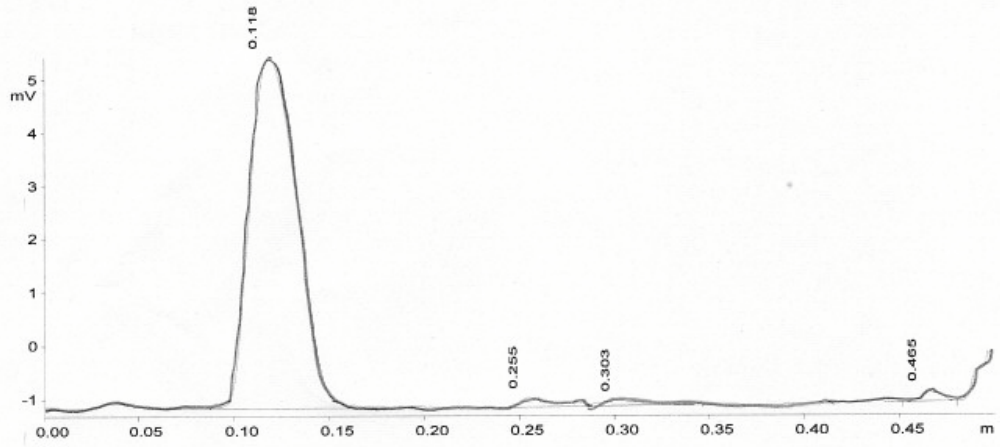
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME 1	0.118	0.075	0.187	5883	6.59	95.747
TG 2	0.255	0.240	0.287	115	0.17	1.869
FA 3	0.303	0.287	0.347	73	0.09	1.183
MG 4	0.465	0.452	0.480	74	0.21	1.201
				6144	7.06	100.000

ภาพประกอบ 35 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 4 (ชุดกลั่นใส)

Chromatogram: SAM-4927 Date: 26.08.2004 Time: 14:43

Author: Distillation Batch 5

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 24.08.2004 Injected at: 14:49

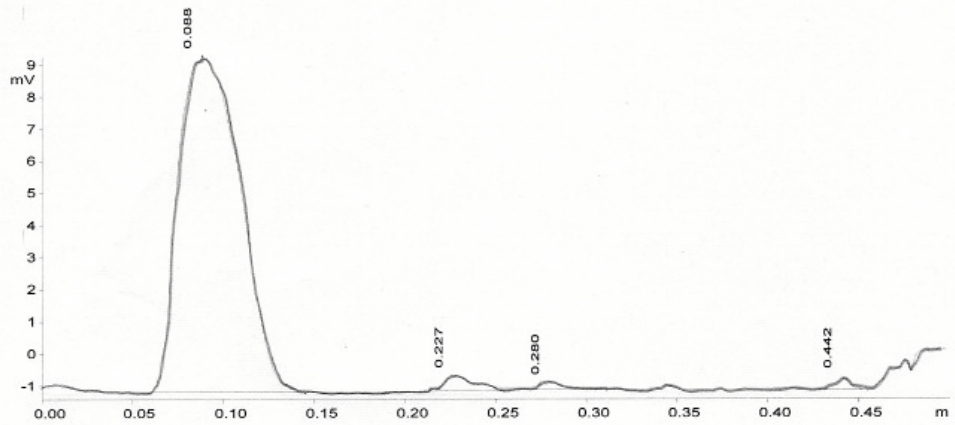
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

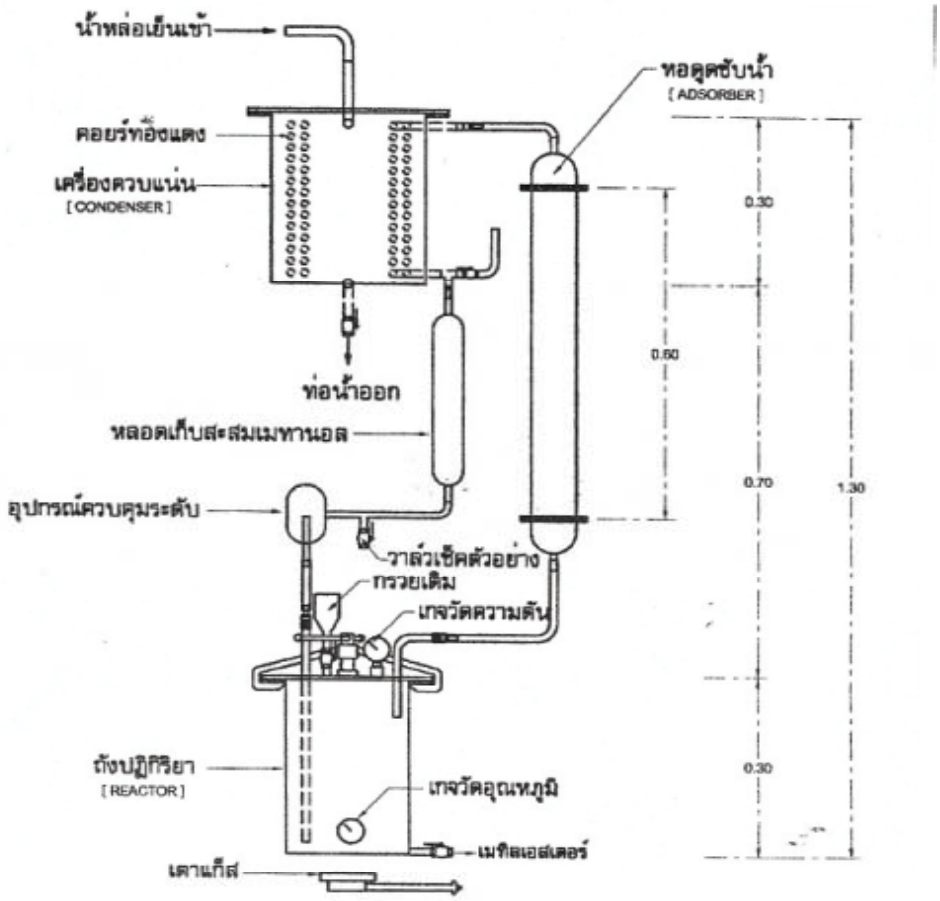
Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
ME 1	0.088	0.048	0.152	12768	10.44	95.710
T6 2	0.227	0.203	0.262	340	0.49	2.546
FA 3	0.280	0.262	0.312	125	0.21	0.934
M6 4	0.442	0.423	0.455	108	0.38	0.810
				13340	11.52	100.000

ภาพประกอบ 36 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC ตัวอย่างทดลองครั้งที่ 5 (ชุดกลั่นใส)

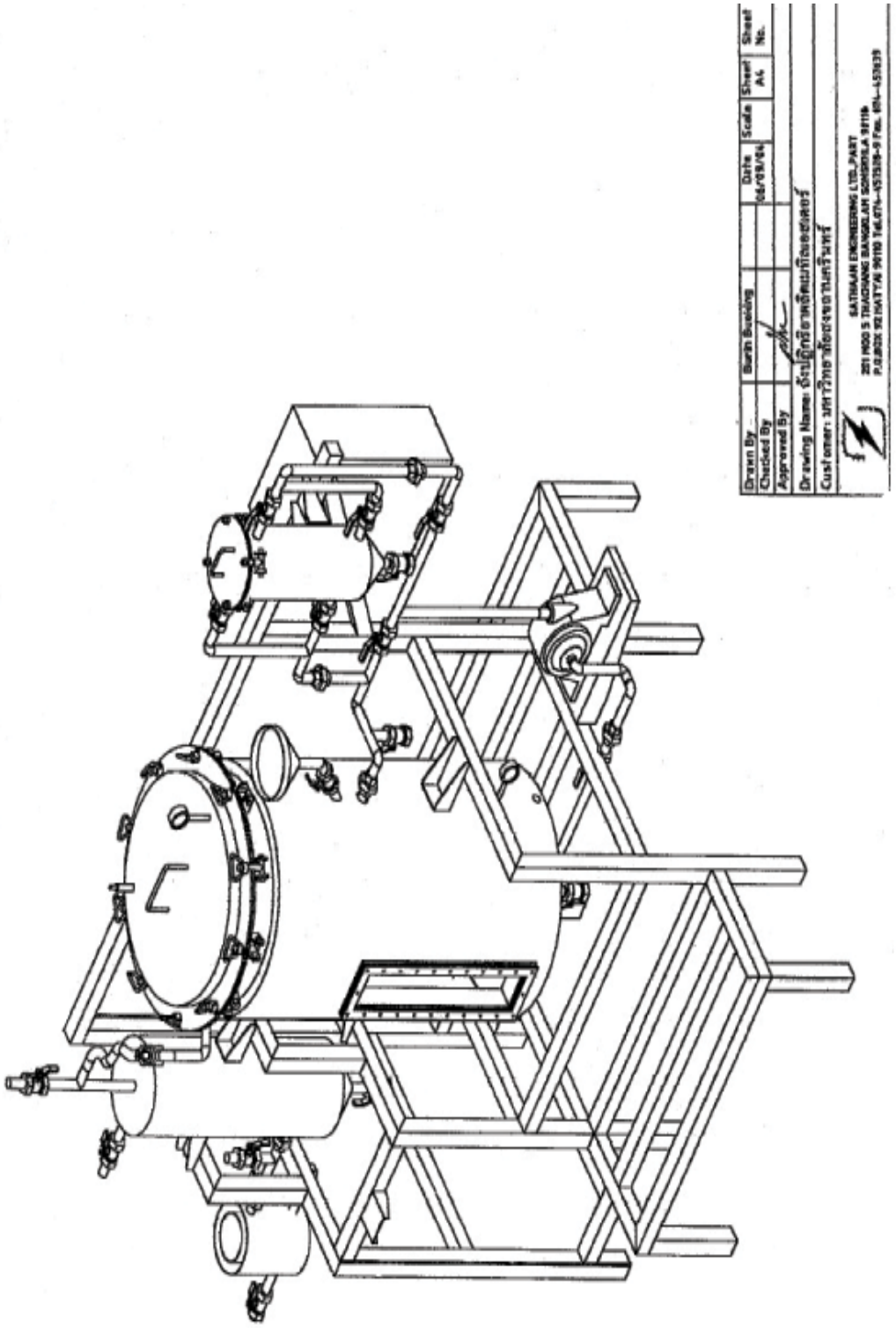
ภาคผนวก ข

การออกแบบอุปกรณ์ และโรงงานต้นแบบในการผลิตเมทิลเอสเตอร์

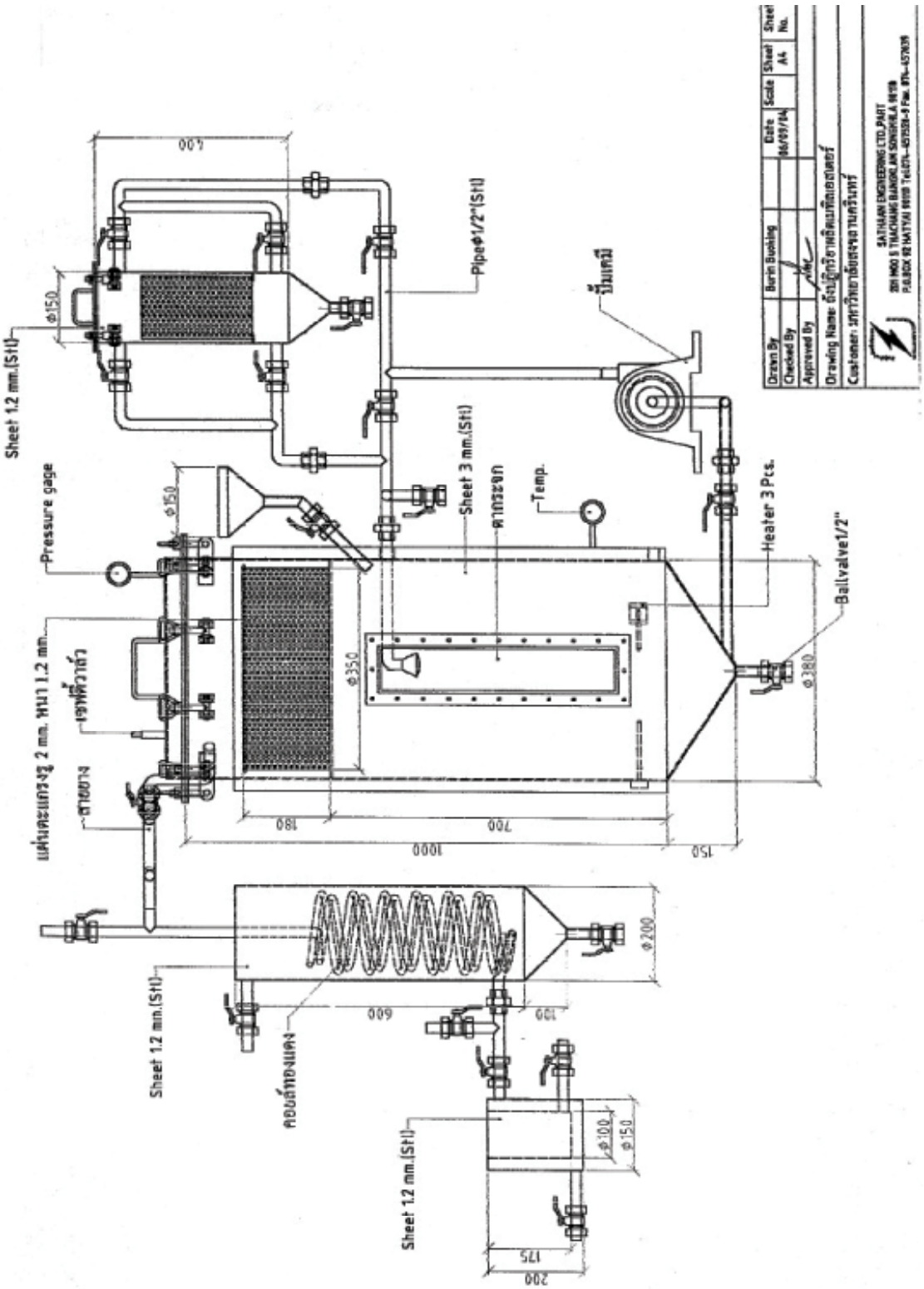
1 การออกแบบถังทำปฏิกิริยาในการทดลอง



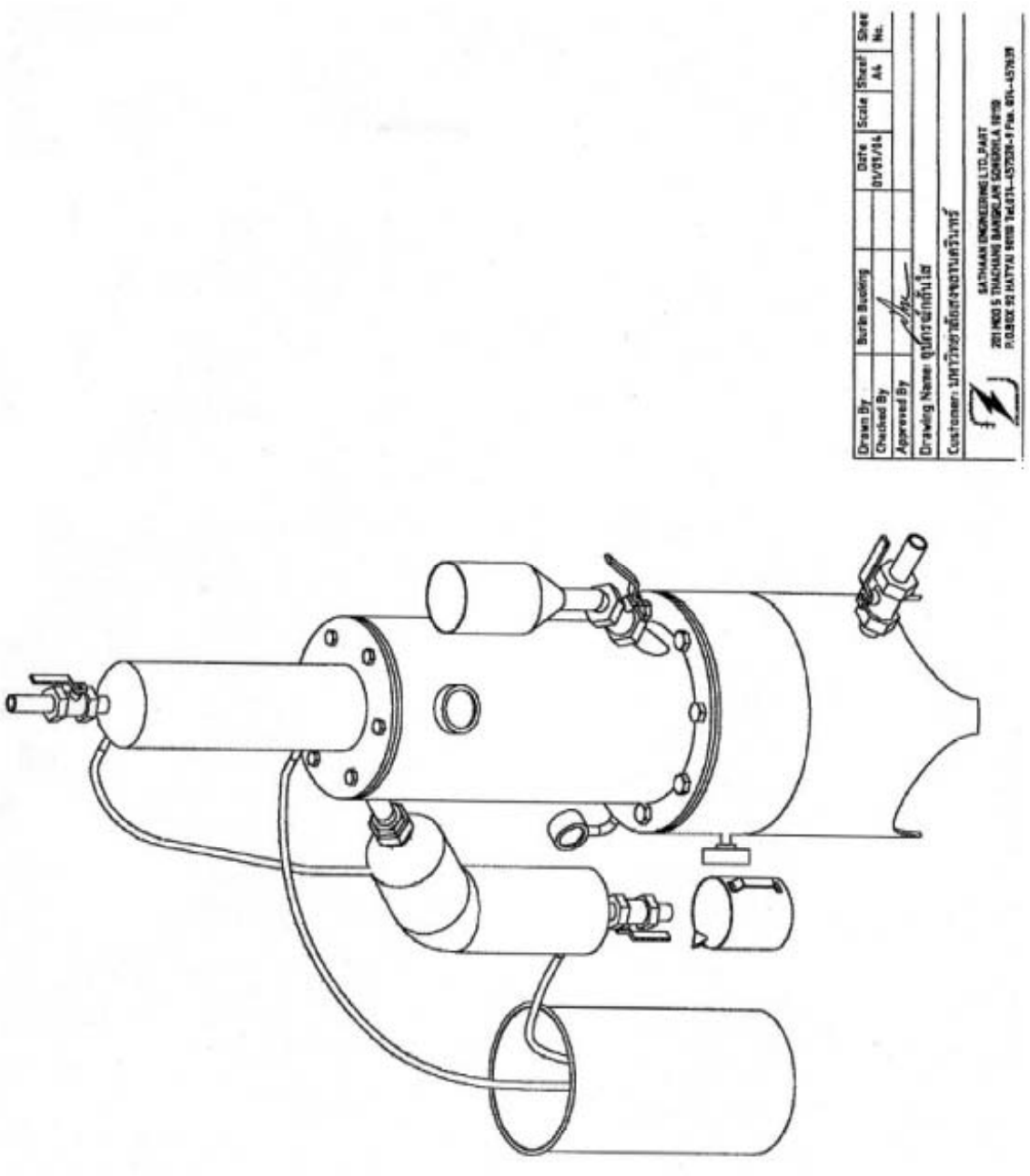
ภาพประกอบ 37 ชุดทำปฏิกิริยาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม



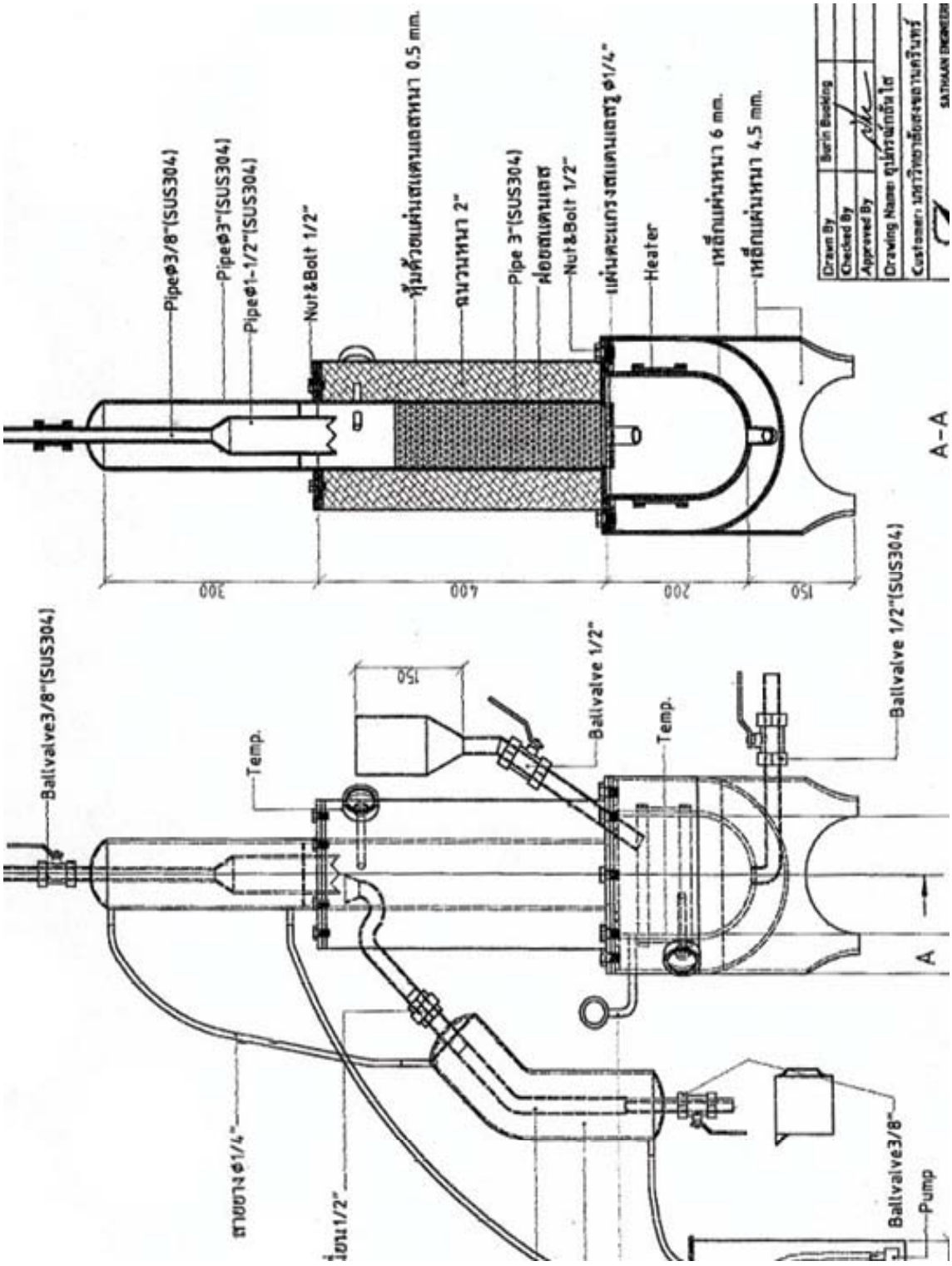
ภาพประกอบ 38 ชุดต้นแบบในการผลิตเมทิลเอสเตอร์แบบกะ



ภาพประกอบ 39 ภาพตัดขวาง ชุดต้นแบบในการผลิตเมทิลเอสเตอร์แบบกะ

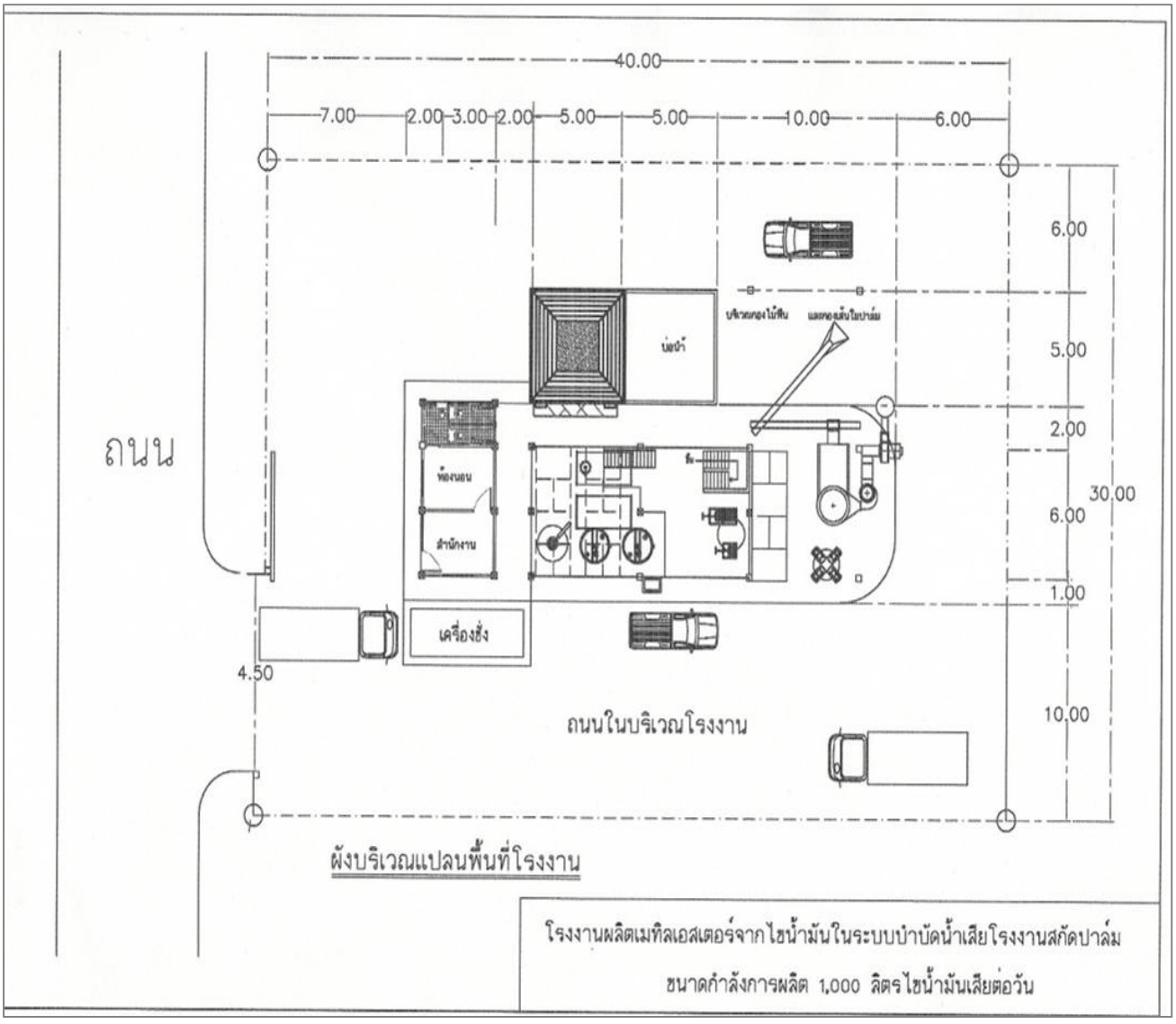


ภาพประกอบ 40 ชุดกลั่นใส

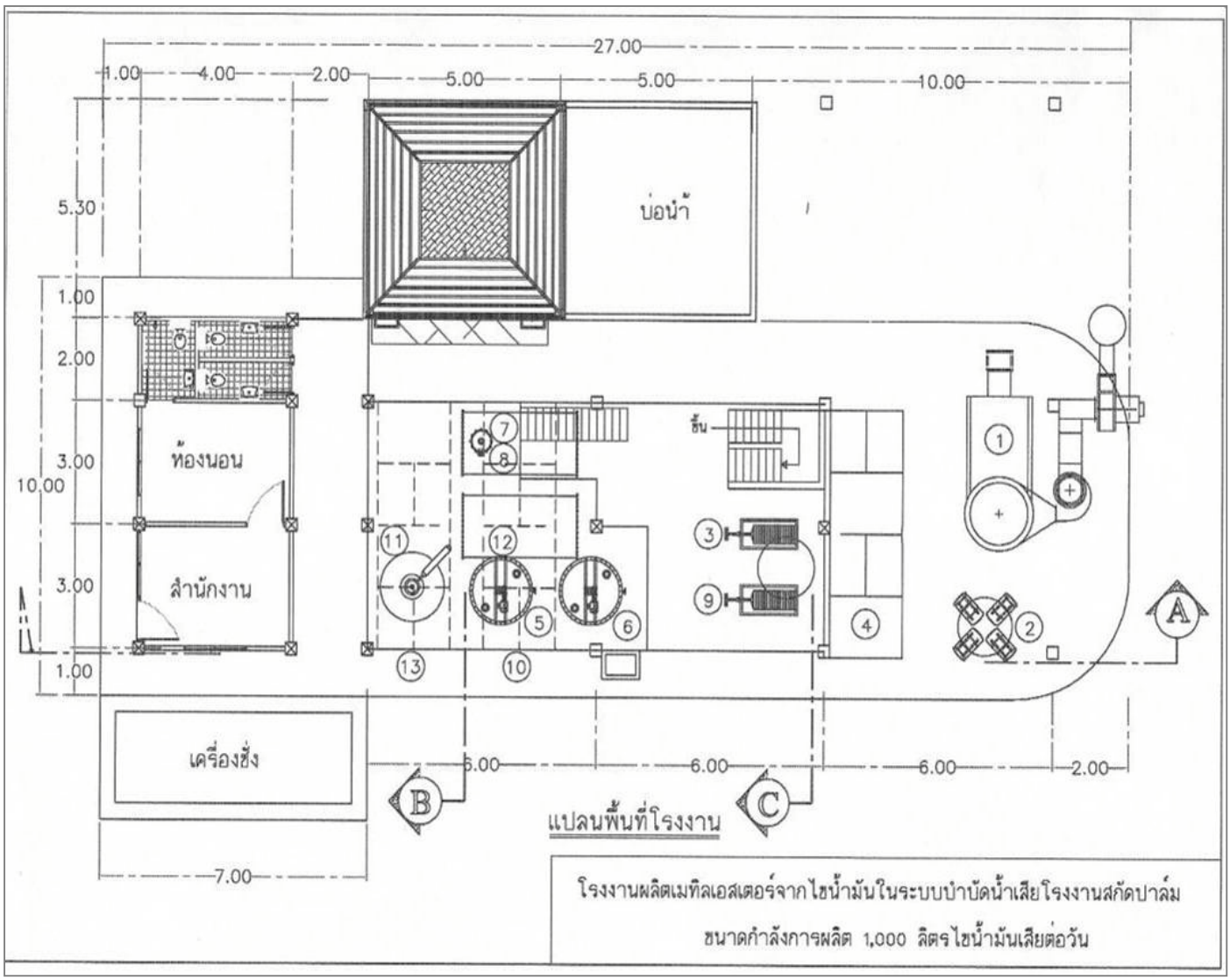


ภาพประกอบ 41 ภาพตัดขวาง ชุดกลั่นใส

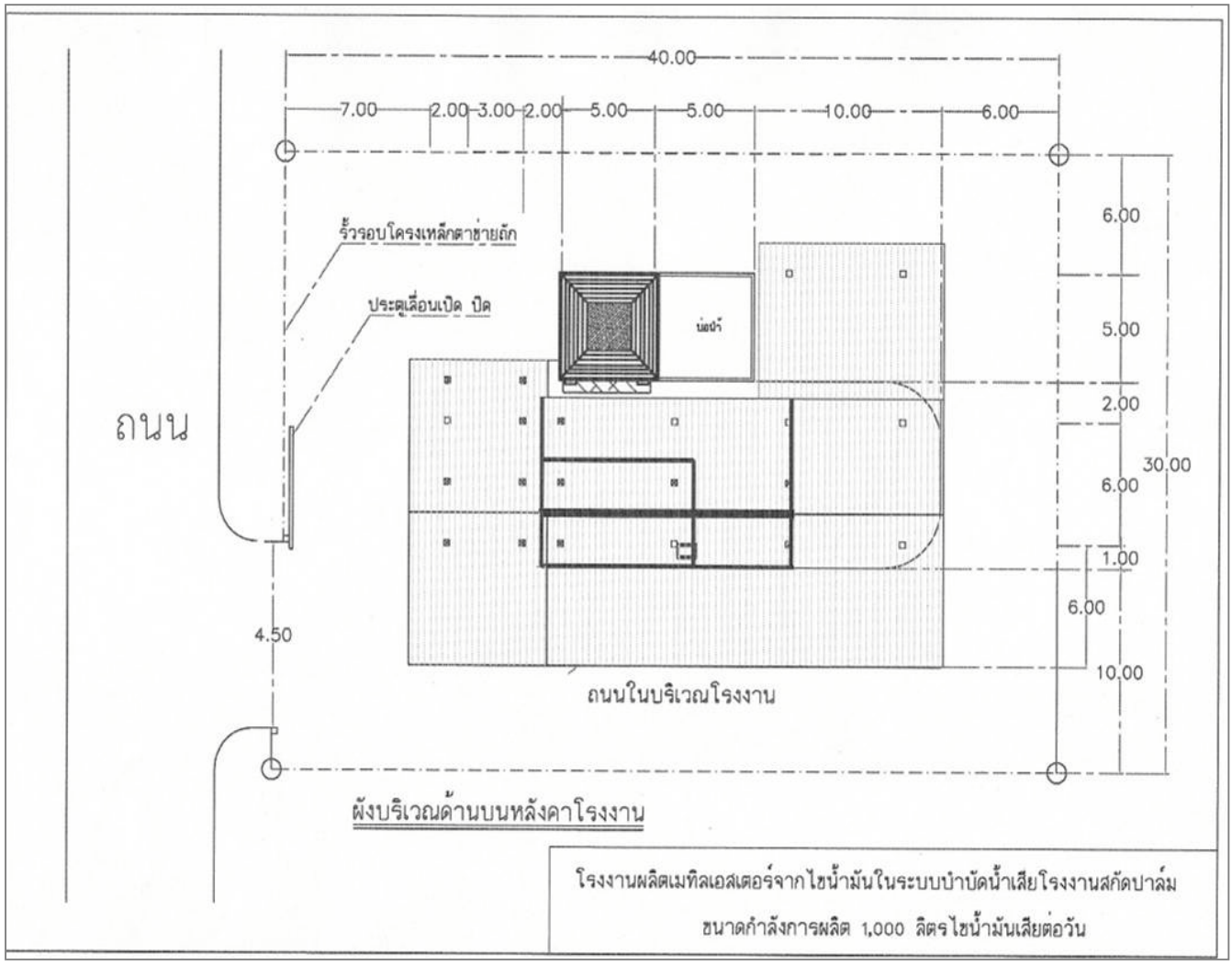
2 รายละเอียดโรงงานผลิตเมทิลเอสเตอร์จากไขน้ำมันในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดกำลังการผลิต 1,000 ลิตรไขน้ำมันเสียต่อวัน



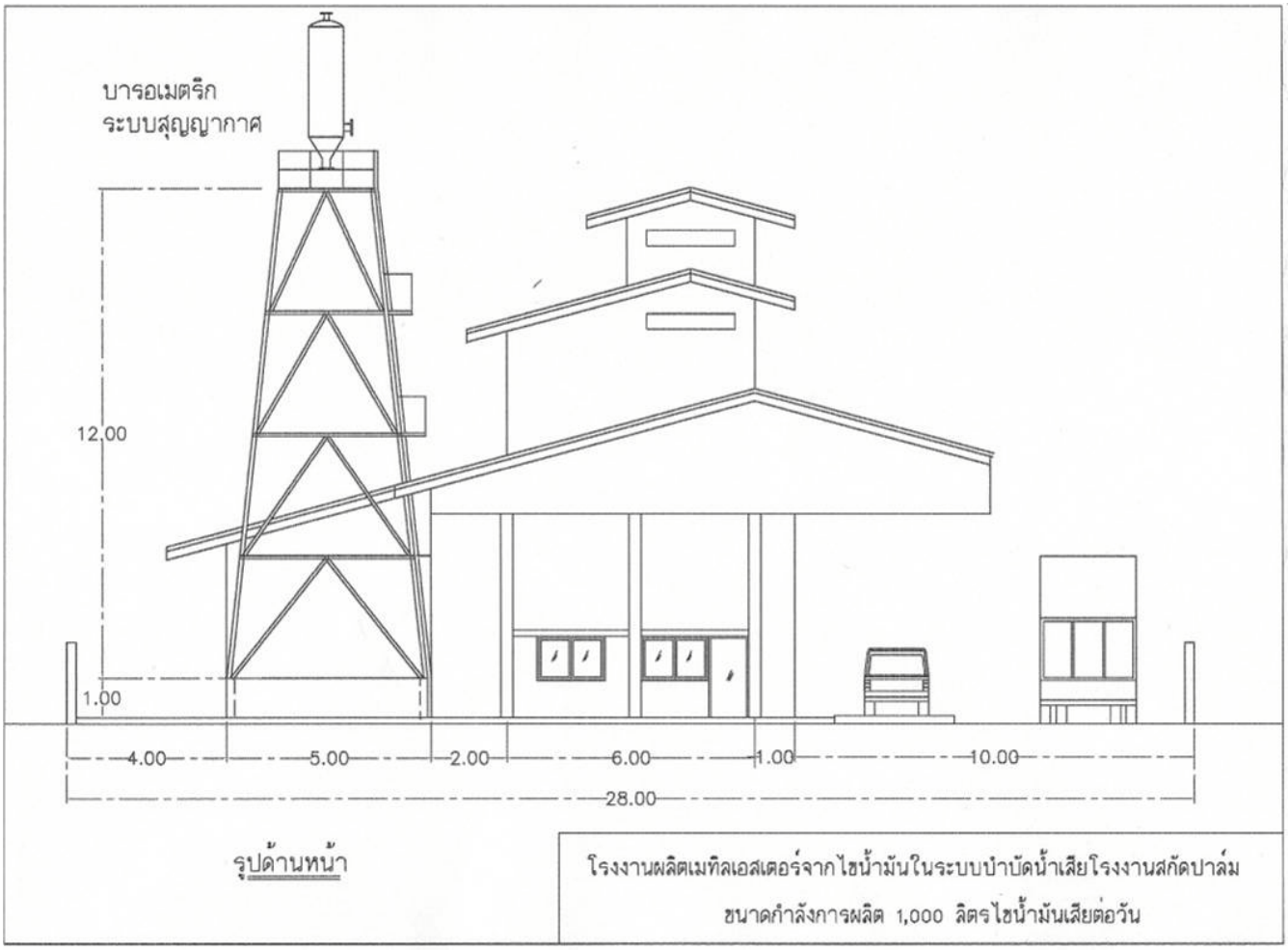
ภาพประกอบ 42 ผังบริเวณแปลนพื้นที่โรงงาน



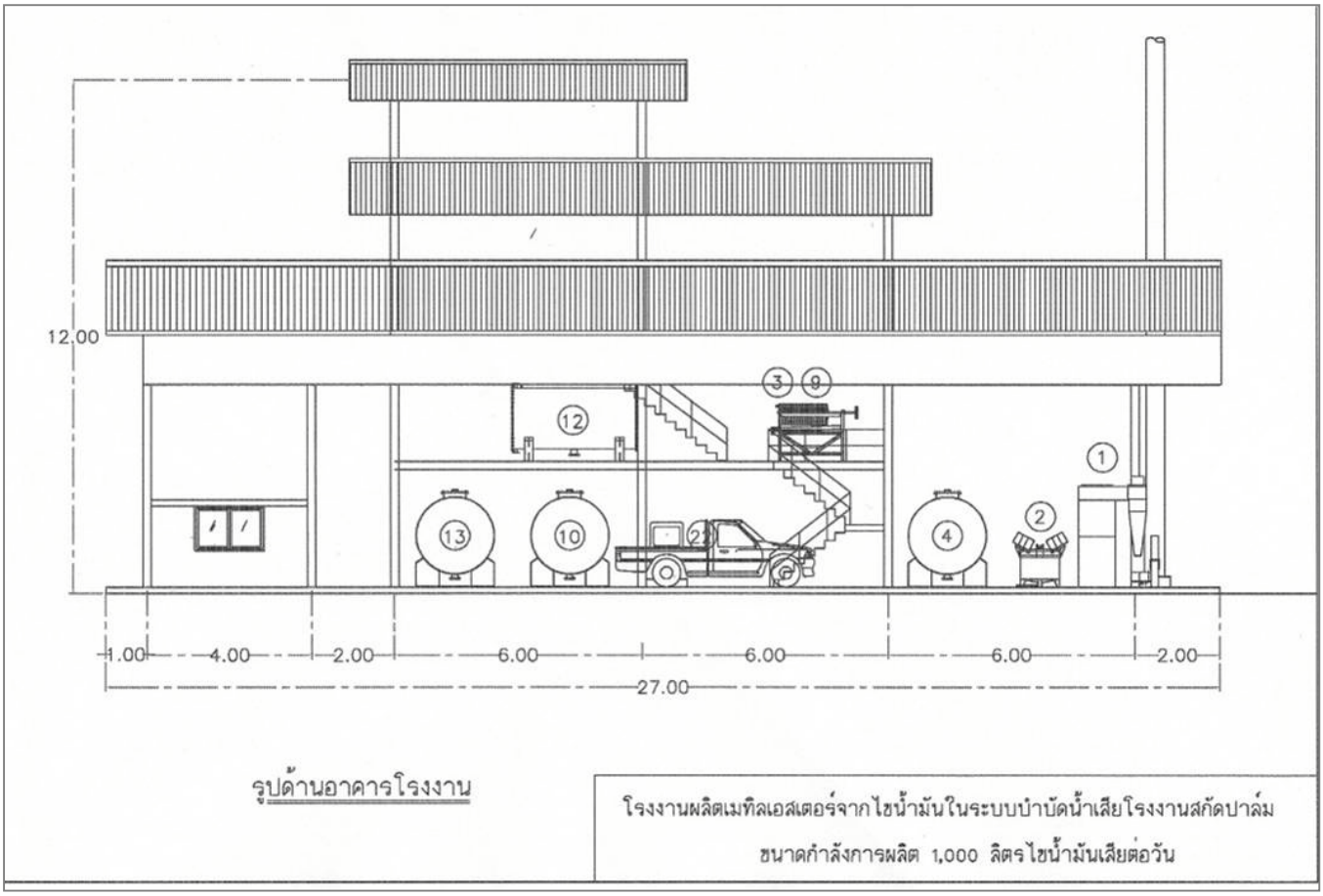
ภาพประกอบ 43 แปลนพื้นที่โรงงาน



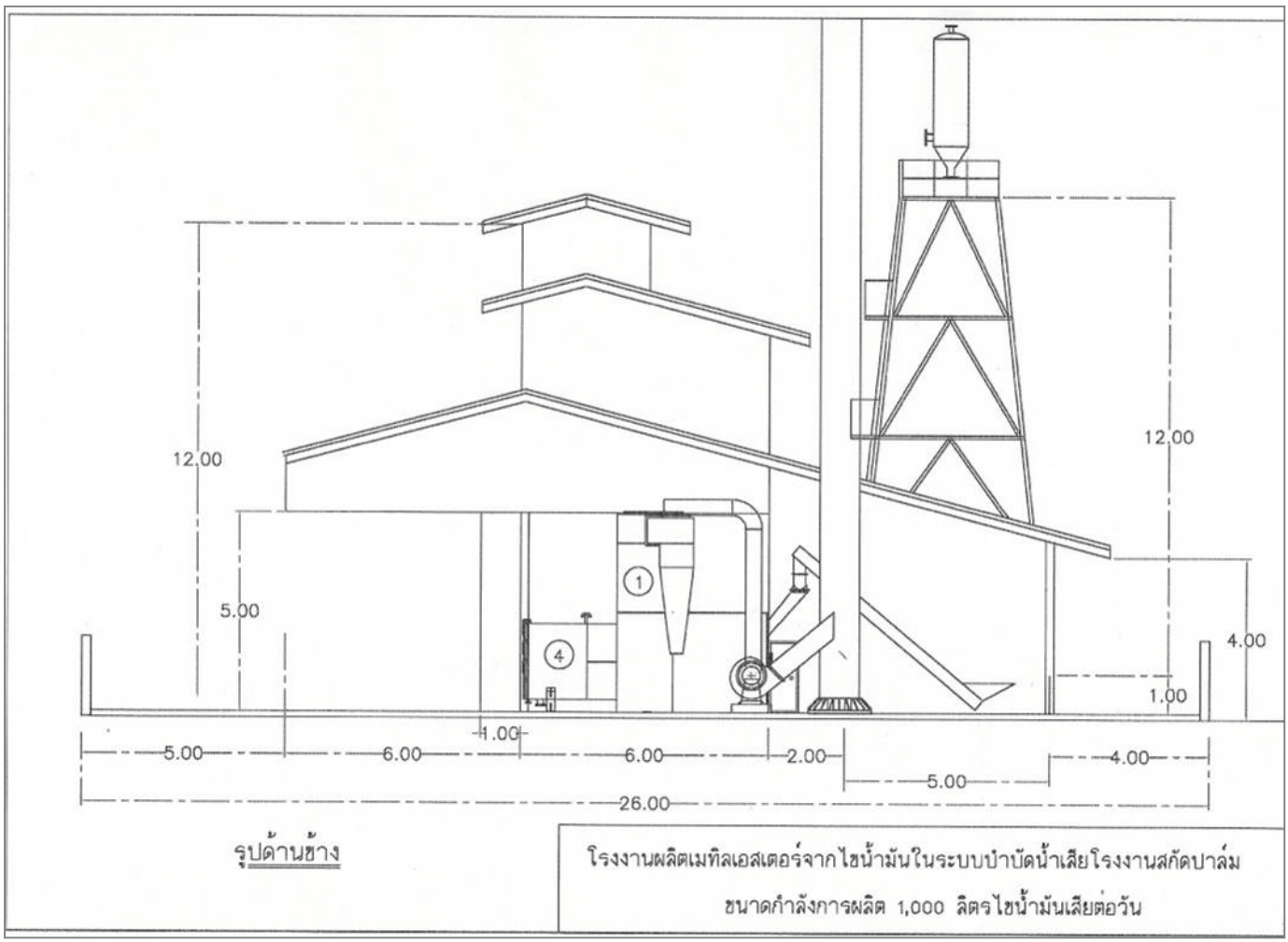
ภาพประกอบ 44 ผังบริเวณด้านบนหลังคาโรงงาน



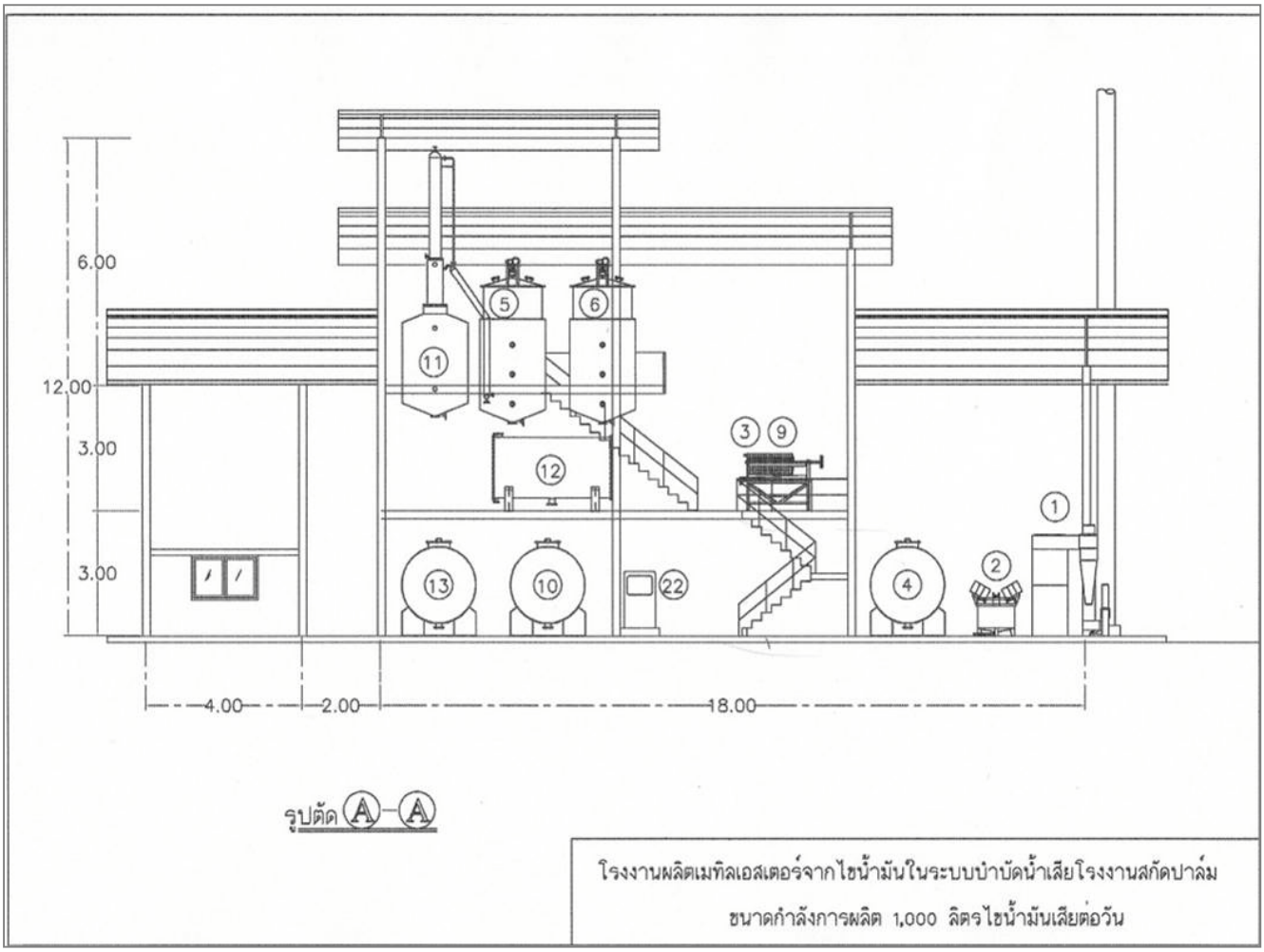
ภาพประกอบ 45 รูปด้านหน้า



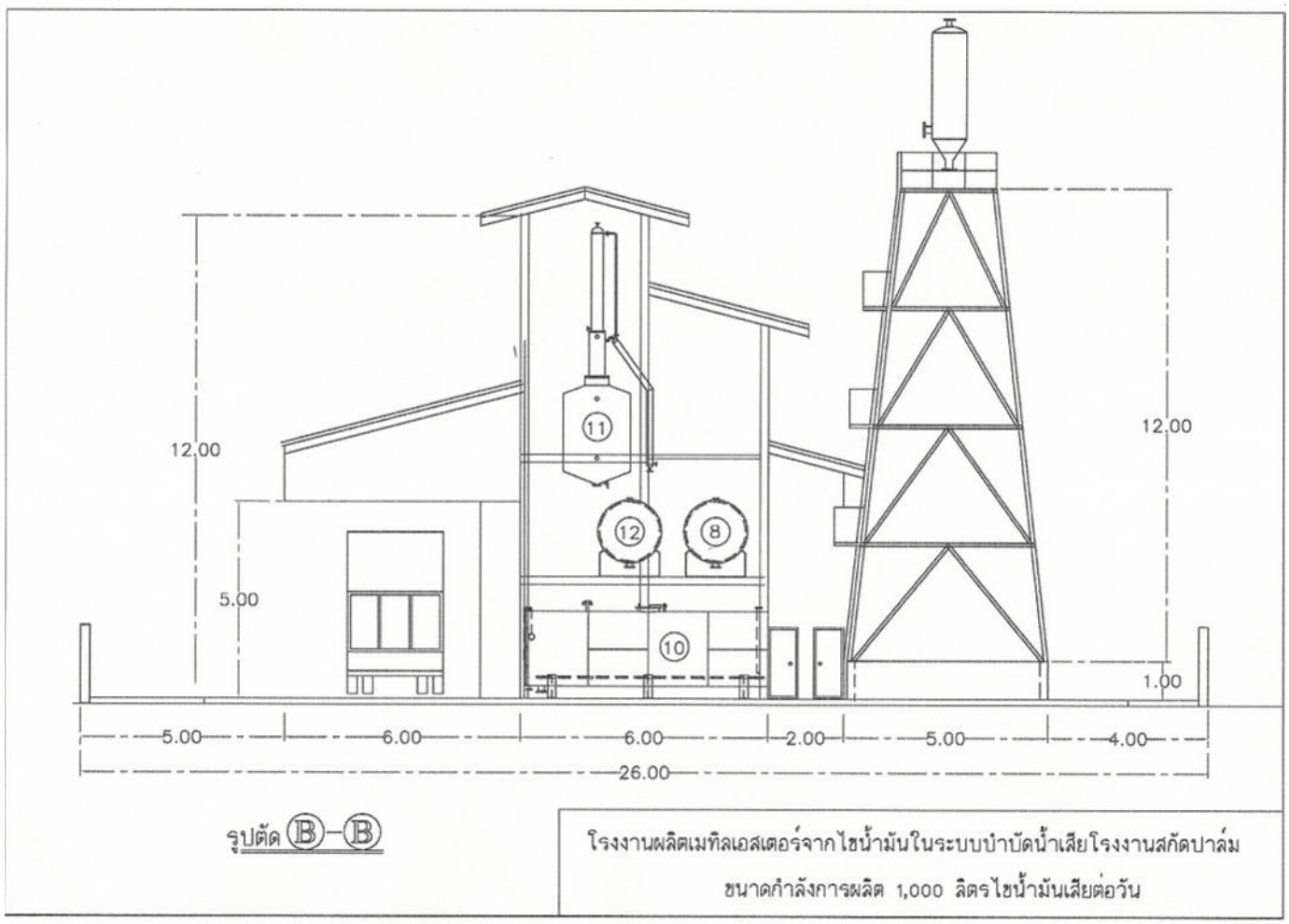
ภาพประกอบ 46 รูปด้านอาคารโรงงาน



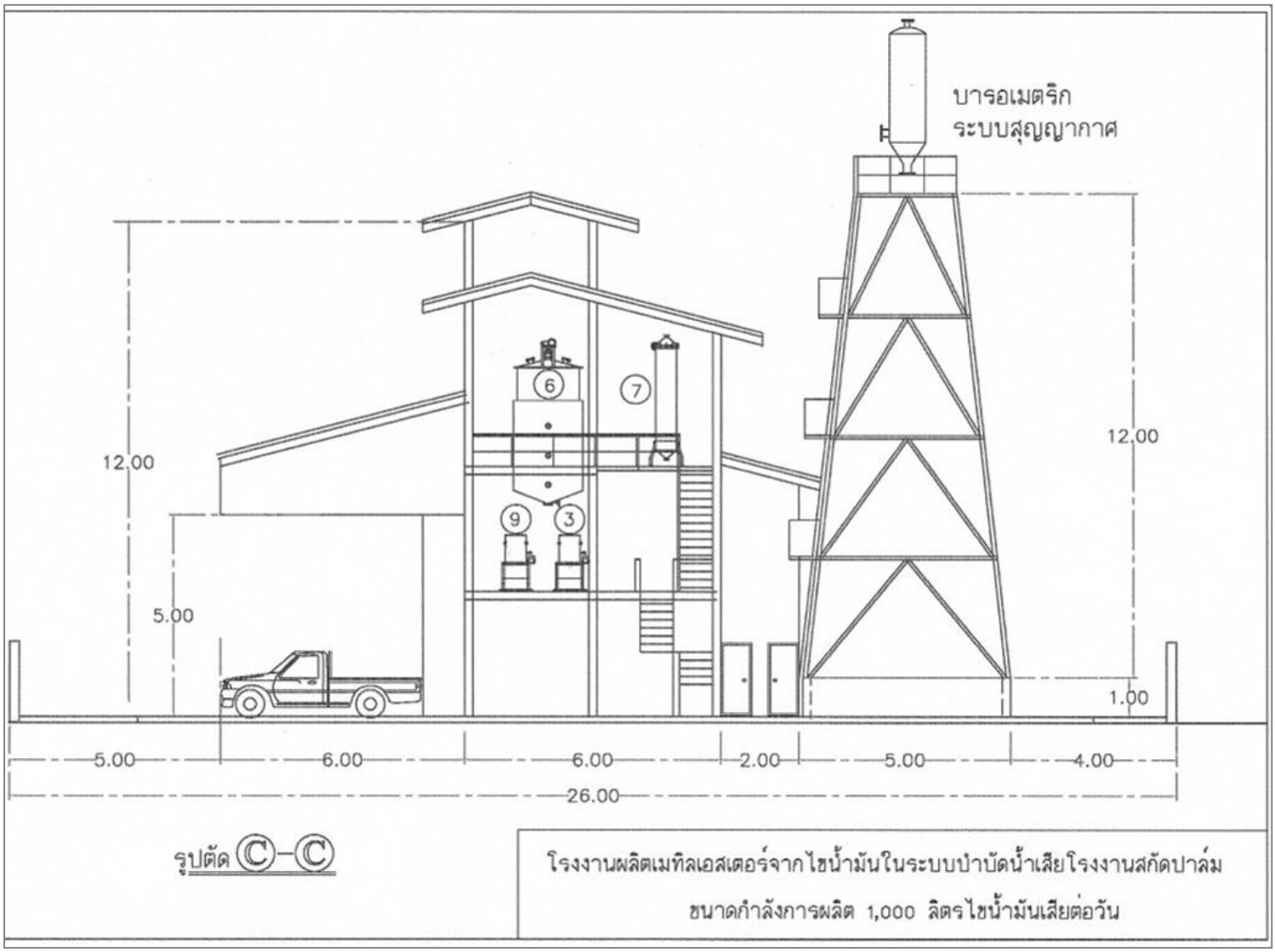
ภาพประกอบ 47 รูปด้านข้างอาคารโรงงาน



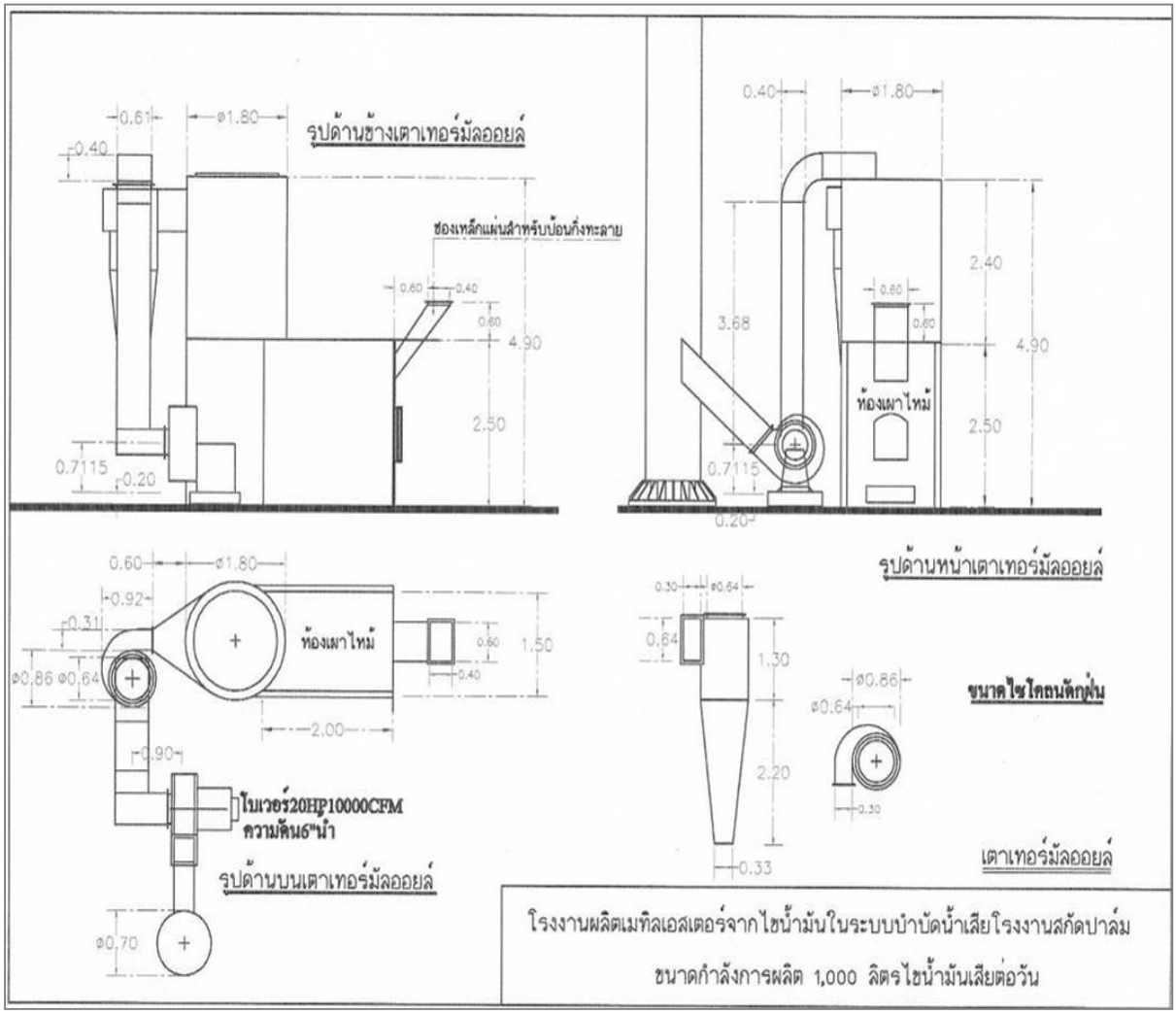
ภาพประกอบ 48 รูปตัด A-A



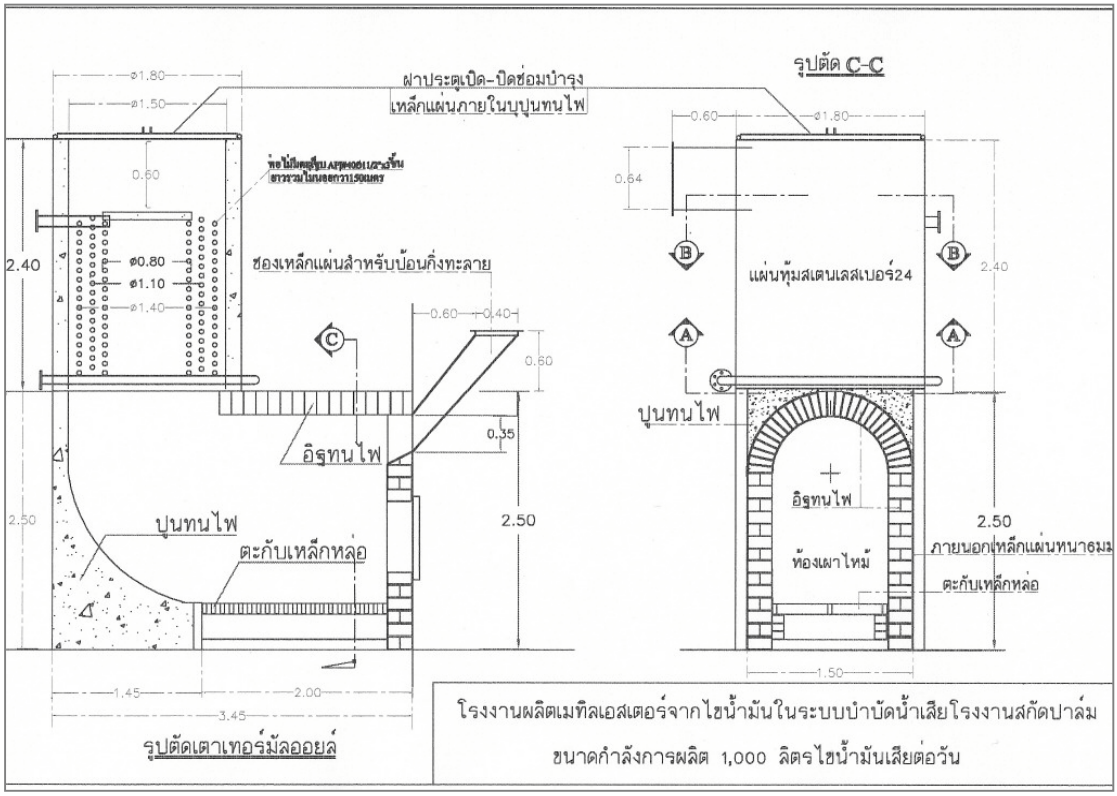
ภาพประกอบ 49 รูปตัด B-B



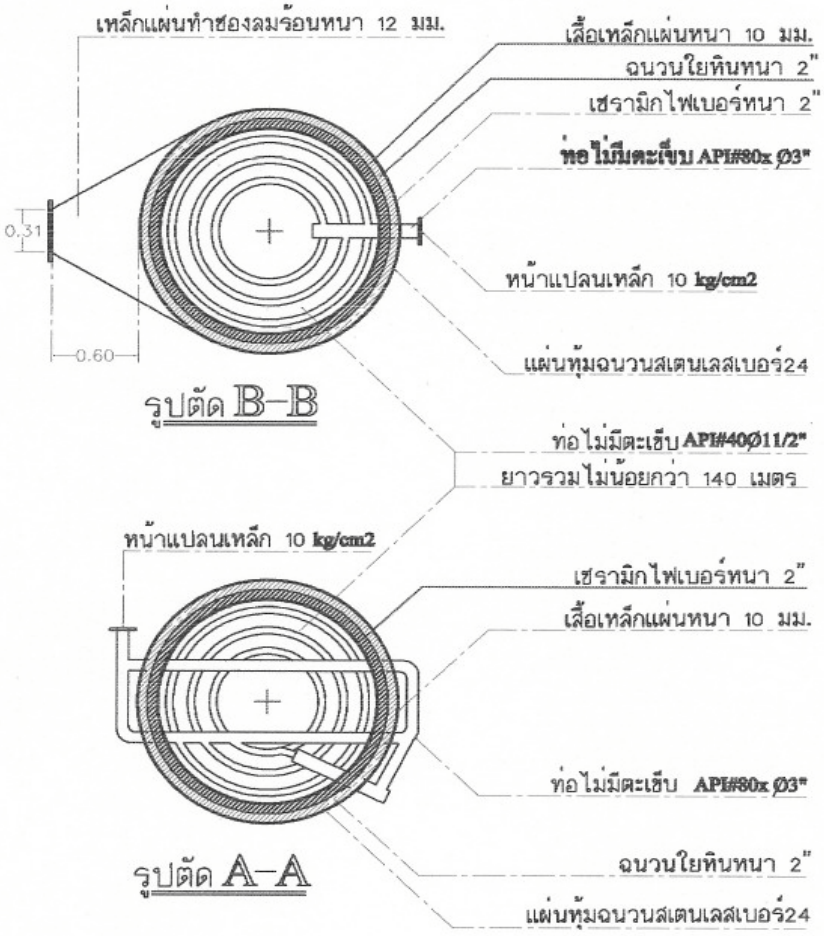
ภาพประกอบ 50 รูปตัด C-C



ภาพประกอบ 51 เตาเทอร์มัลออยล์



ภาพประกอบ 52 รูปตัดเตาเทอร์มัลออยล์

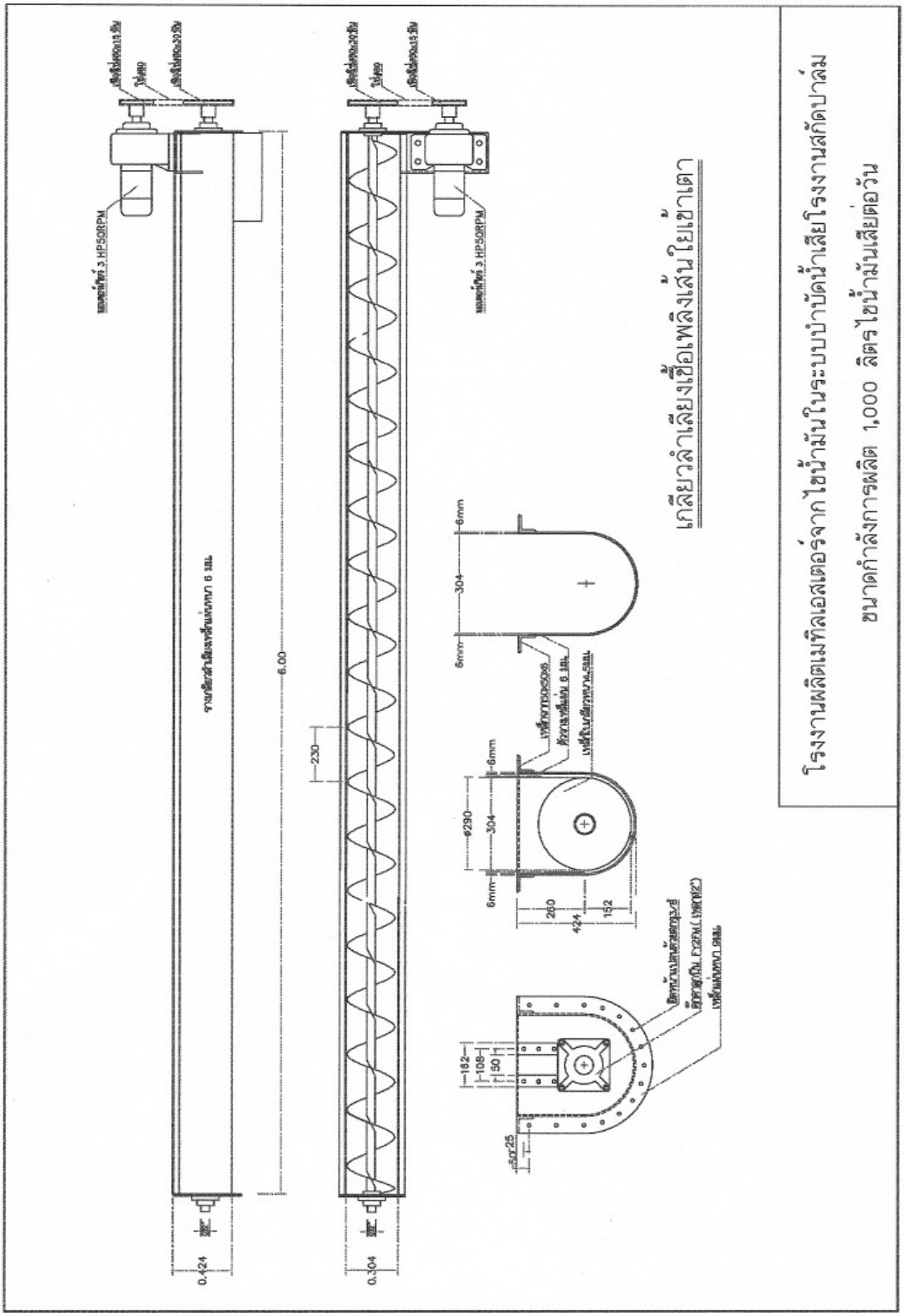


รูปตัดเตาเทอร์มัลออยล์

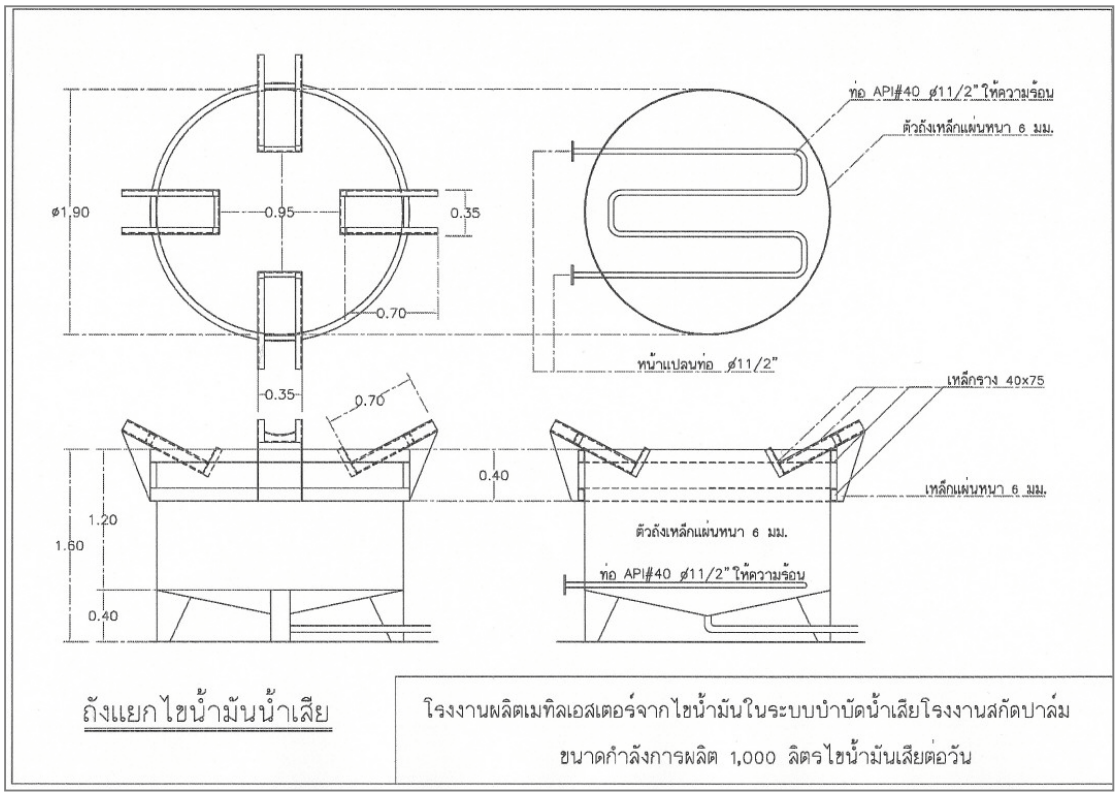
โรงงานผลิตเมทิลเอสเตอร์จากไขน้ำมันในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดปาล์ม

ขนาดกำลังการผลิต 1,000 ลิตรไขน้ำมันเสียต่อวัน

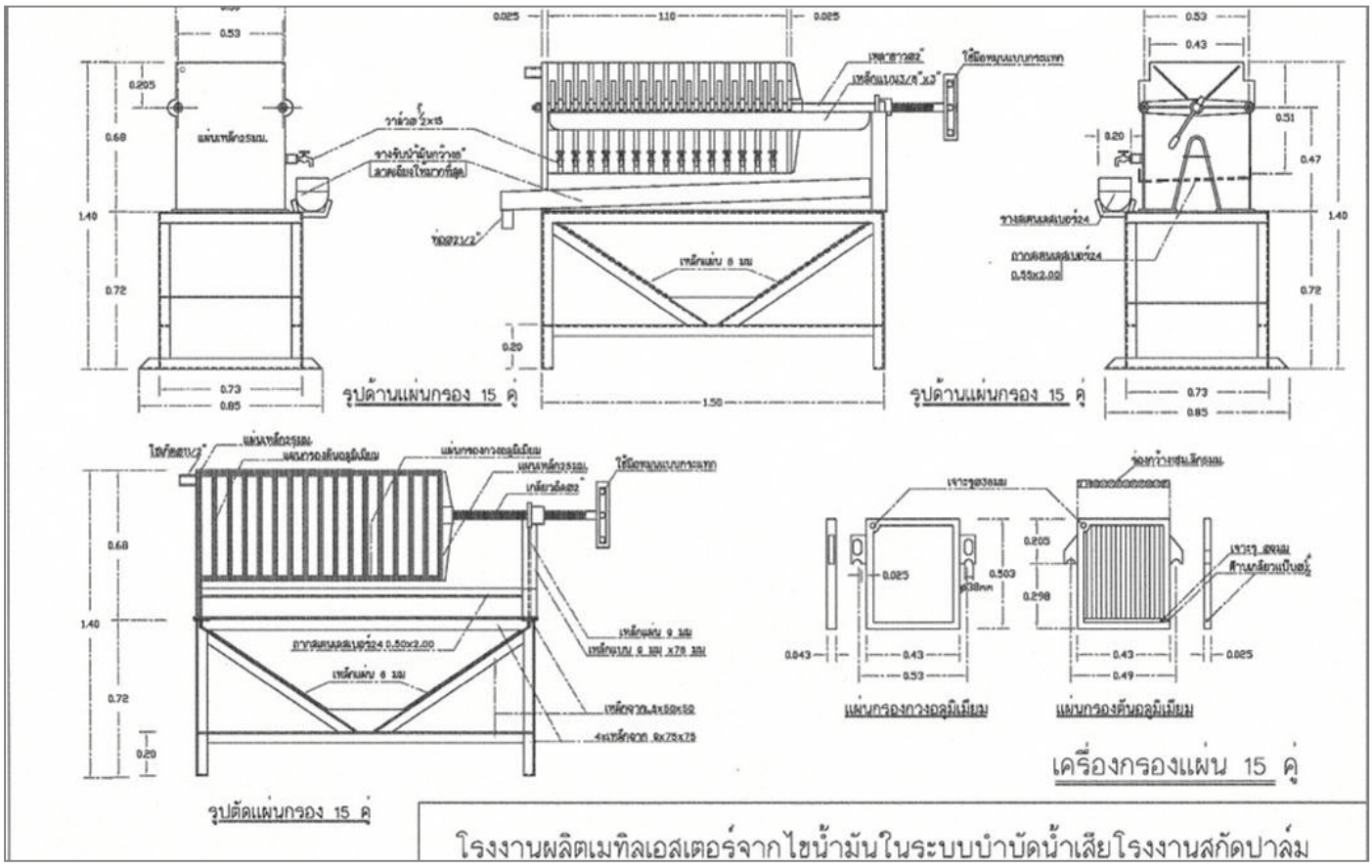
ภาพประกอบ 53 รูปตัดเตาเทอร์มัลออยล์ (ต่อ)



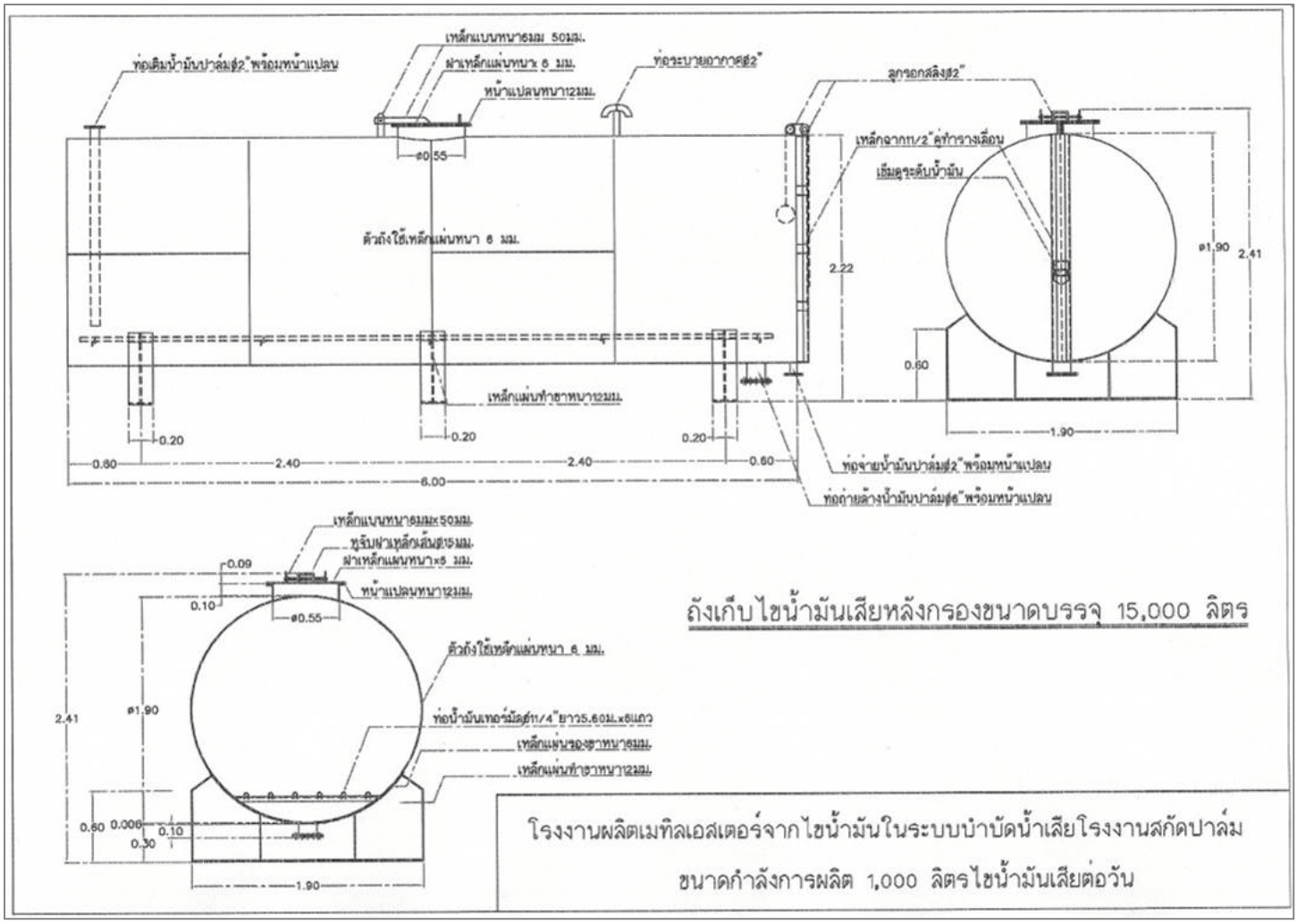
ภาพประกอบ 54 เกลียวลำเลียงเชื้อเพลิงเส้นใยเข้าตา



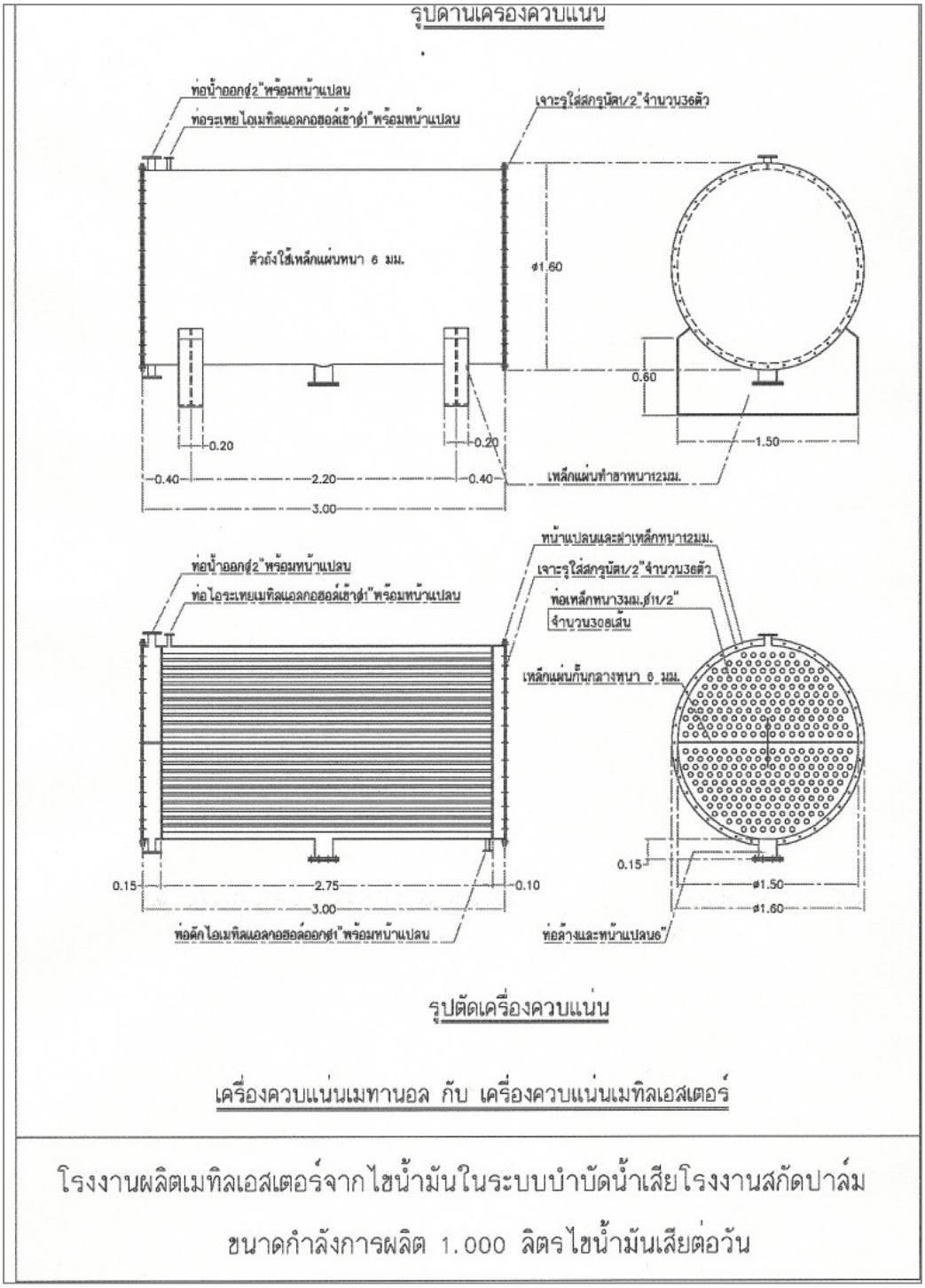
ภาพประกอบ 55 ถังแยกไขน้ำมันเสีย



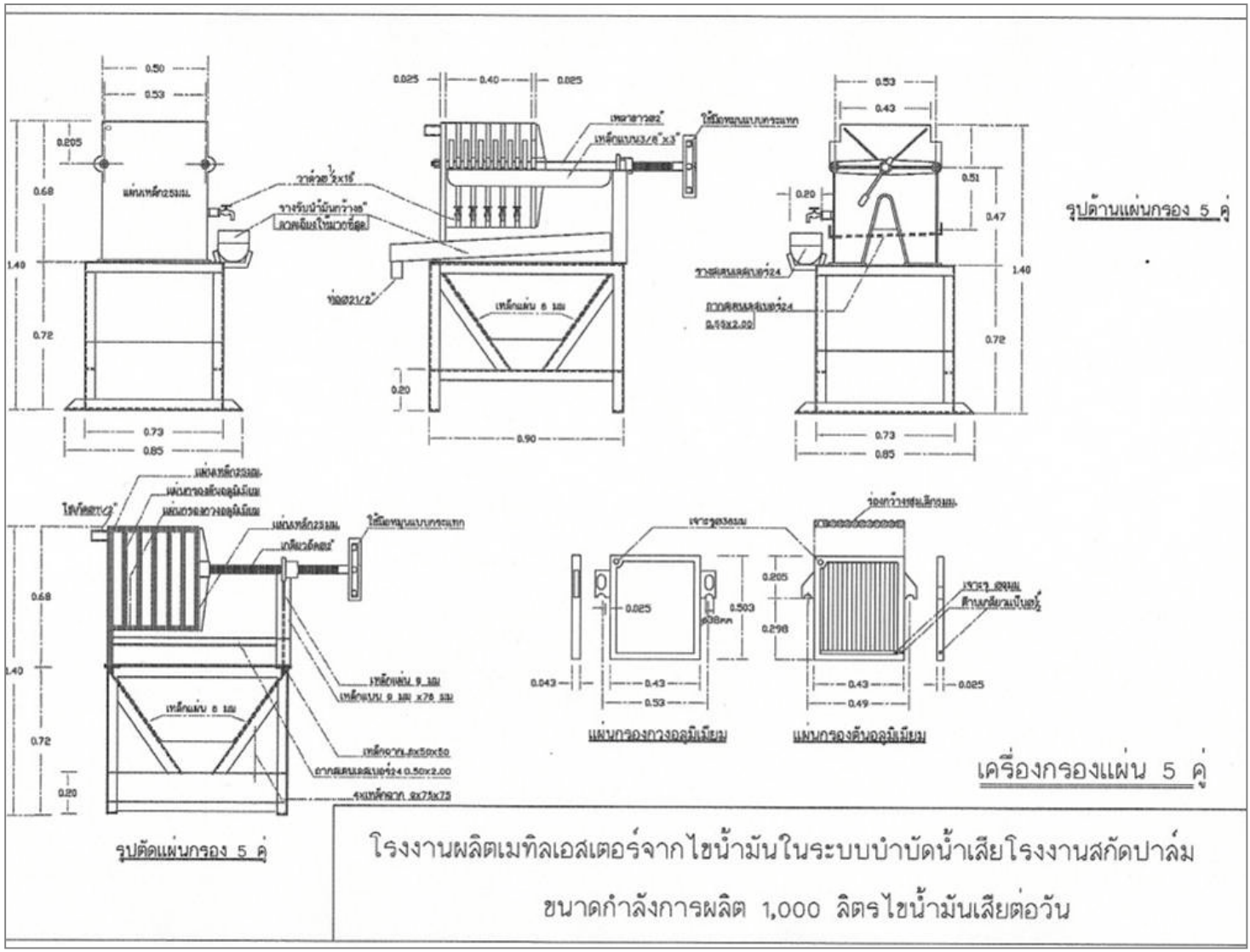
ภาพประกอบ 56 เครื่องกรองแผ่น 15 คู่



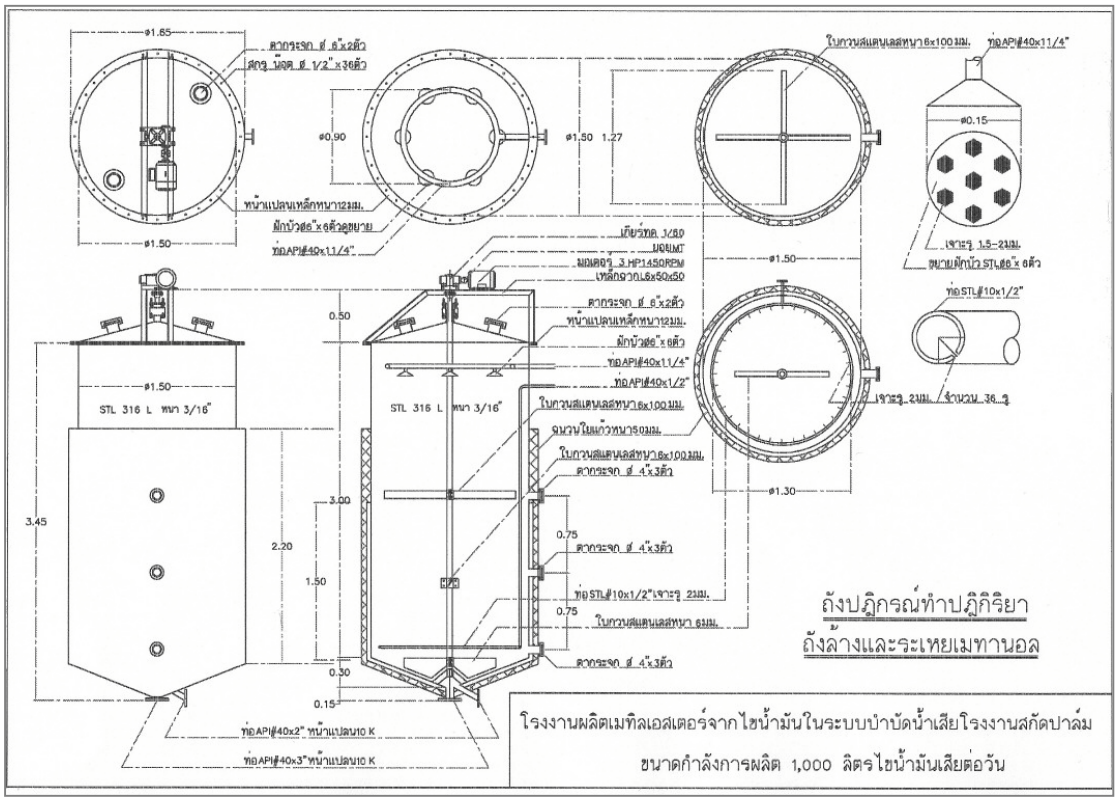
ภาพประกอบ 57 ถังเก็บไขน้ำมันเสียหลังกรองขนาดบรรจุ 15,000 ลิตร



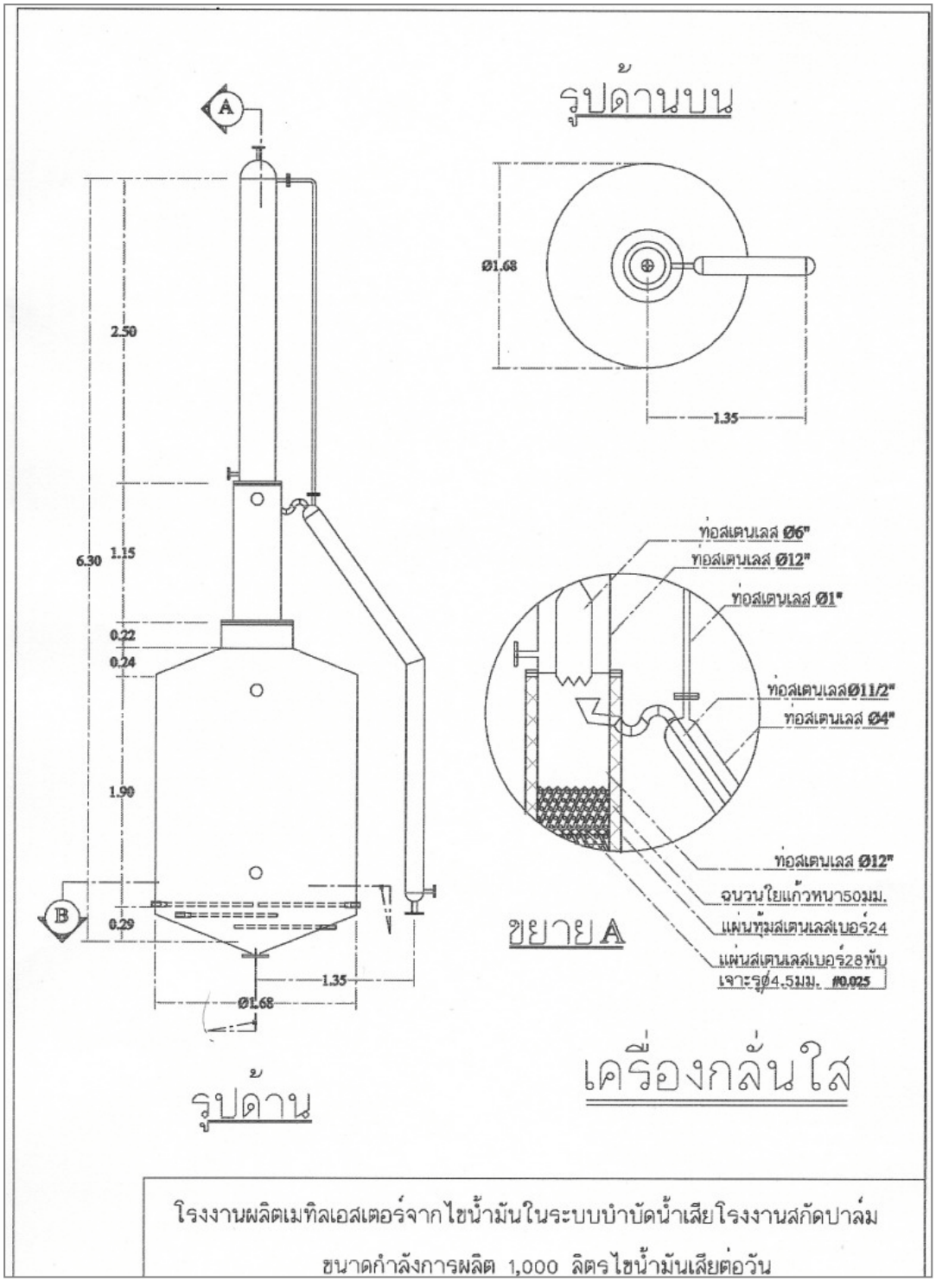
ภาพประกอบ 58 เครื่องควบแน่นเมทานอล และเมทิลเอสเตอร์



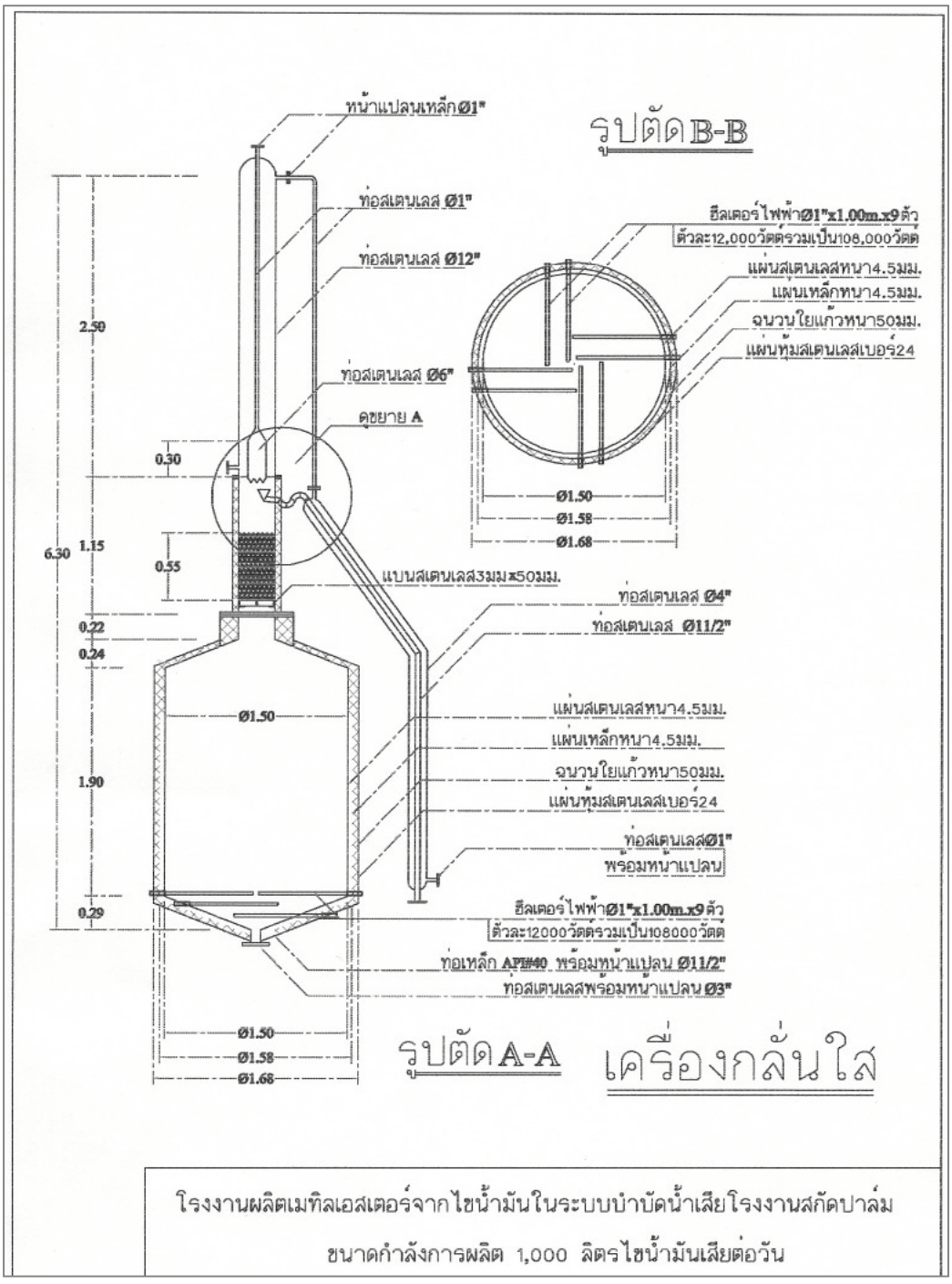
ภาพประกอบ 59 เครื่องกรองแผ่น 5 คู่



ภาพประกอบ 60 ถังปฏิกรณ์ทำปฏิกิริยา ถังล้างและถังระเหยเมทานอล



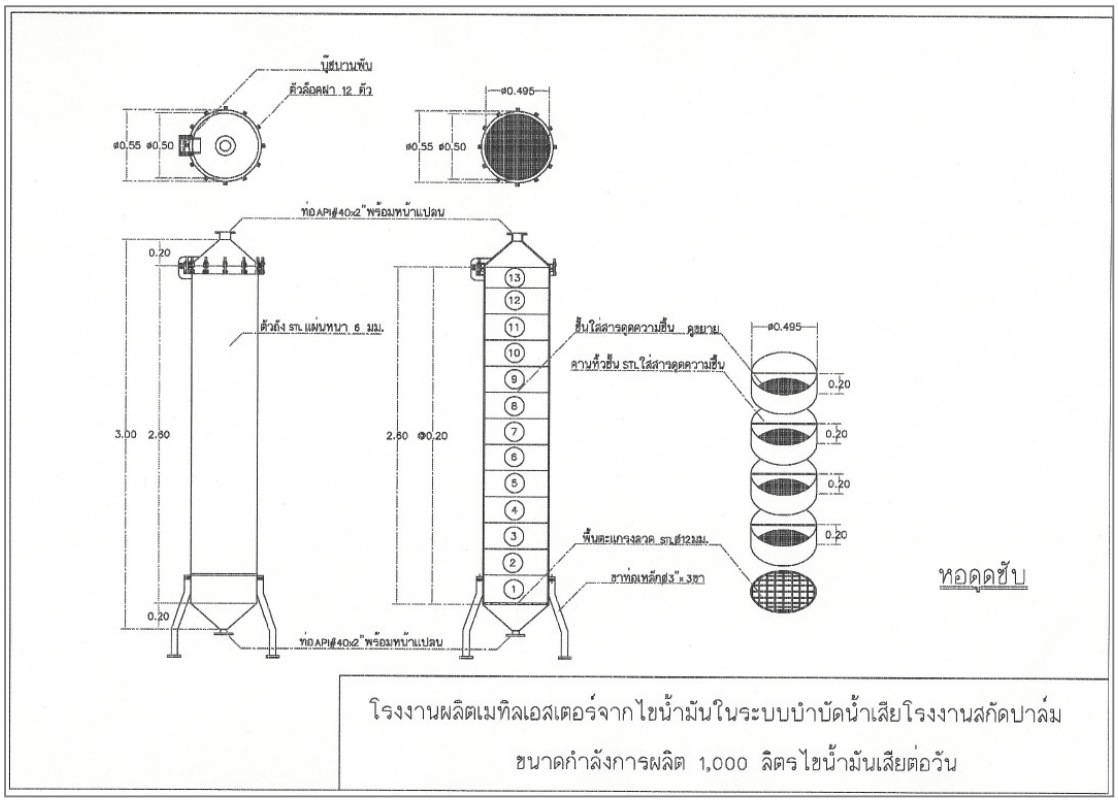
ภาพประกอบ 61 เครื่องกลั่นใส (รูปด้าน)



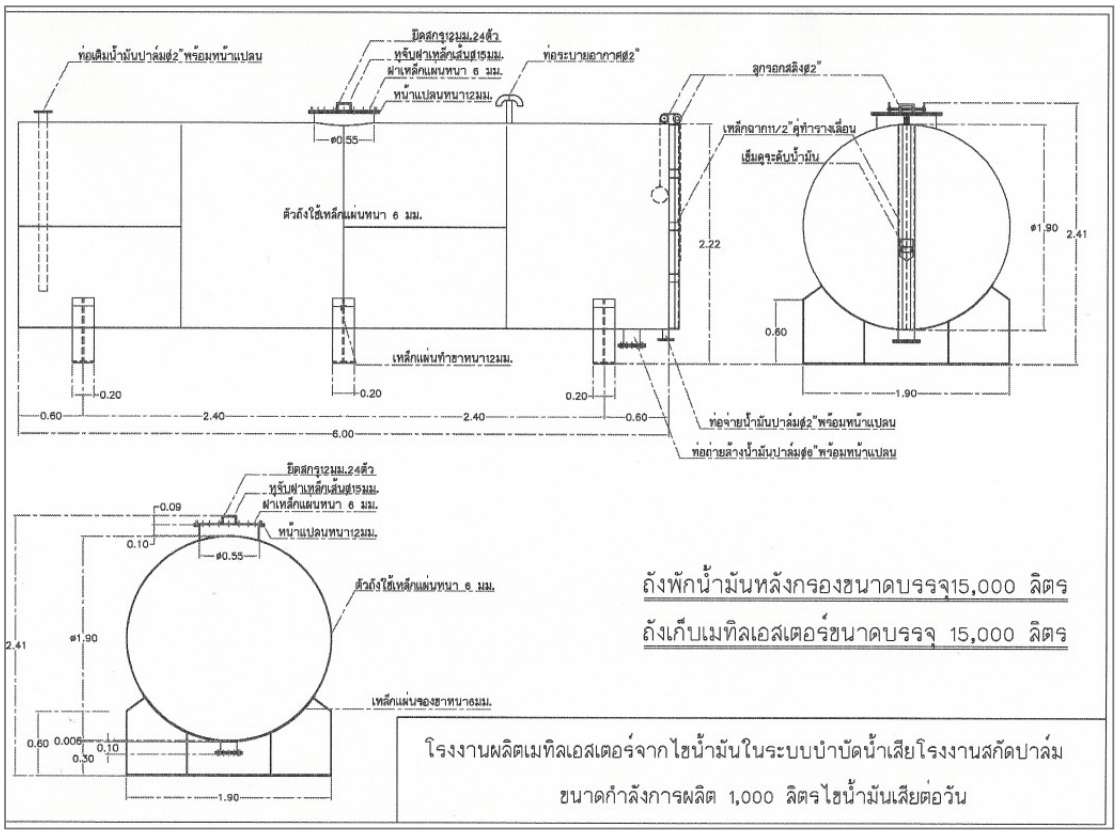
โรงงานผลิตเมทิลเอสเตอร์จากไขน้ำมันในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดปาล์ม

ขนาดกำลังการผลิต 1,000 ลิตรไขน้ำมันเสียต่อวัน

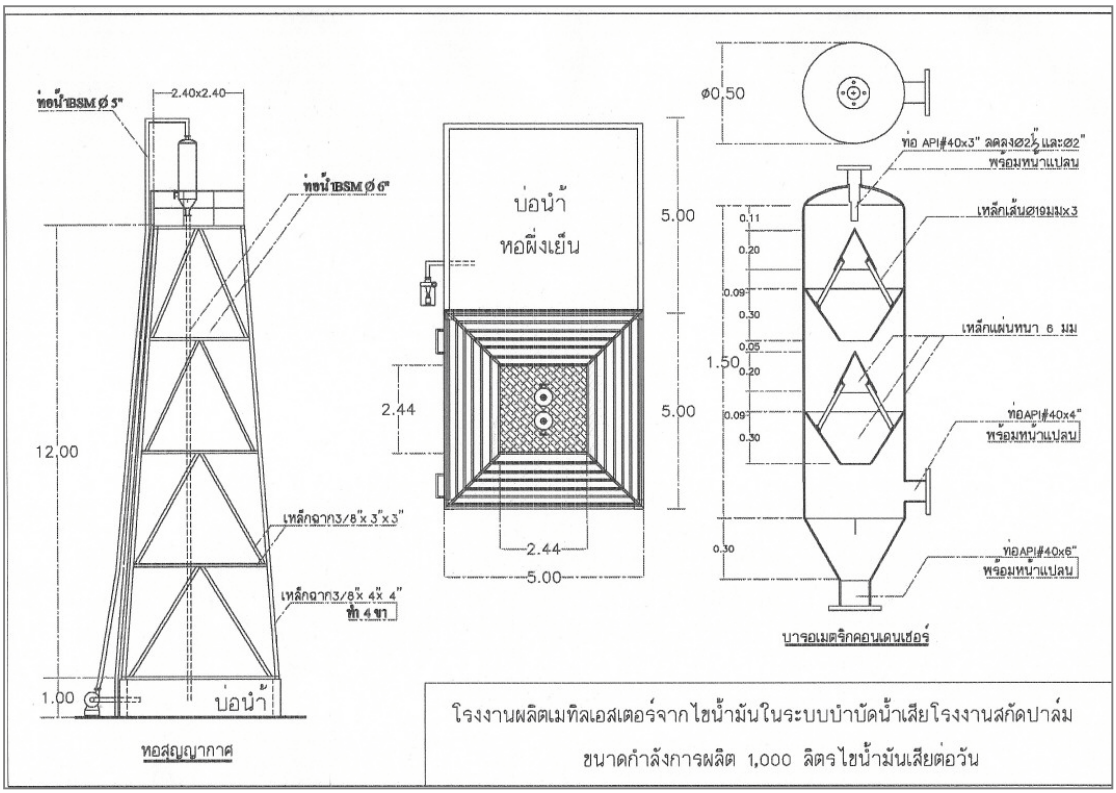
ภาพประกอบ 62 เครื่องกลั่นใส (รูปตัด A-A)



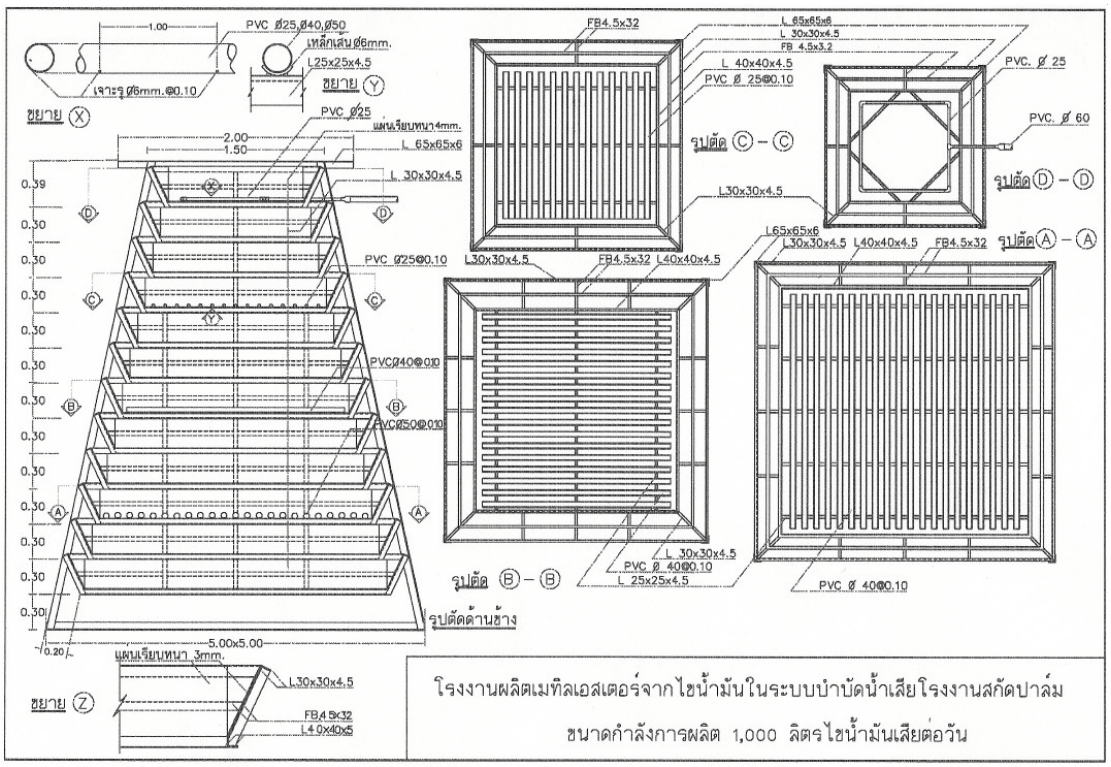
ภาพประกอบ 63 หอดูดซับ



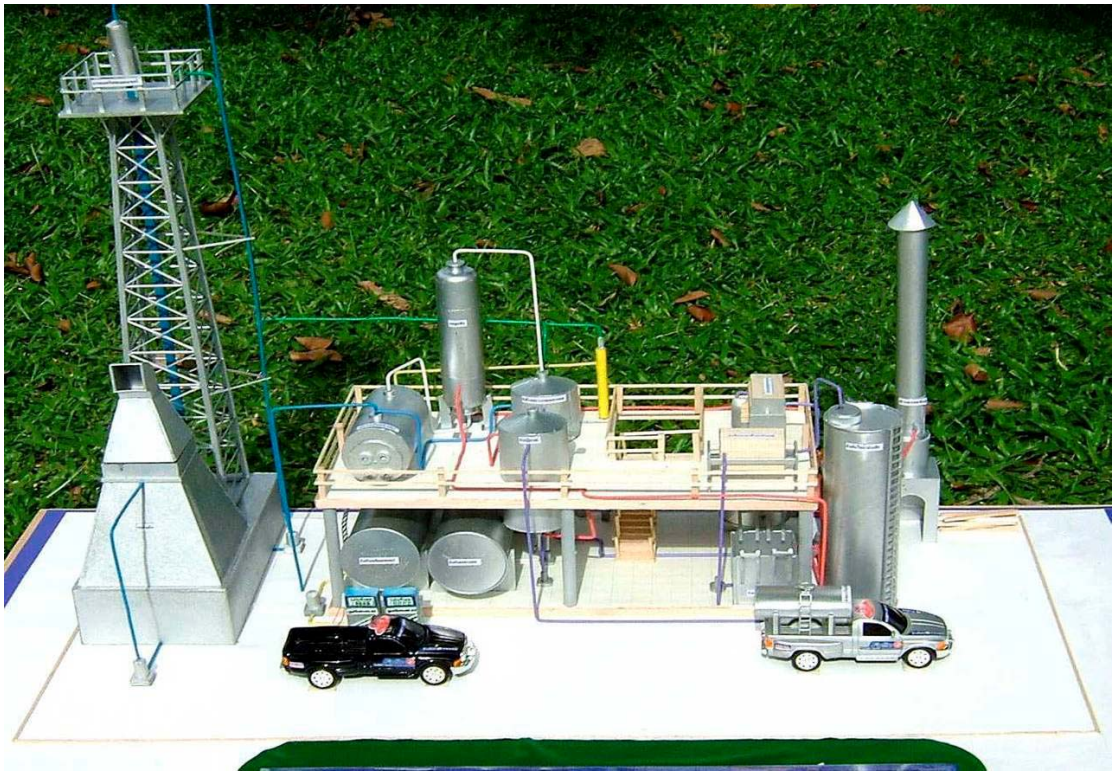
ภาพประกอบ 64 ถังพักน้ำมันหลังกรองขนาดบรรจุ 15,000 ลิตร
ถังเก็บเมทิลเอสเตอร์ขนาดบรรจุ 15,000 ลิตร



ภาพประกอบ 65 ระบบสุญญากาศ



ภาพประกอบ 66 ระบบสุญญากาศ (รูปตัดด้านข้าง)



ภาพประกอบ 67 แบบจำลองโรงงานต้นแบบผลิตเมทิลเอสเตอร์

ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์วัตถุดิบและเมทิลเอสเตอร์

1. การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์) เข้มข้น 0.1 นอร์มอล สำหรับความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บสารละลายด่างในขวดแก้ว
3. ฟีนอฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยเติมฟีนอฟทาลีน 5 หยด และปรับให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล หยดด่างทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าหรือคนจนได้สีชมพูถาวร
3. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ ถ้าละลายได้ไม่ดีให้อุ่นที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส
4. ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล ขณะไตเตรทต้องเขย่าอย่างแรง จนกระทั่งได้สีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที
5. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

$$\text{กรดไขมันอิสระร้อยละในรูปกรดโอเลอิก} = \frac{\text{ปริมาตรด่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นด่าง (นอร์มัล)} \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

2. การเตรียมสารละลายเมทิลเอสเตอร์

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเมทิลเอสเตอร์

1. ไอโซออกเทน
2. สารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 20
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล (เตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้)
4. สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว
5. ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

วิธีการเตรียมเมทิลเอสเตอร์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 25 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดฝาเกลียวขนาด 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ในเมทานอล ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ และ ปิดฝาหลอดให้แน่น ปั่นผสมแล้วแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที

2. ให้เย็นทันทีแล้วเติมสารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร เป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์และ ปิดฝาหลอดให้แน่น ปั่นผสมแล้วแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที

3. ทำให้เย็นทันทีโดยให้มีอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส แล้วเติมไอโซออกเทนปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ปั่นผสมเป็นเวลา 30 วินาที

4. เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร ทันที ปั่นผสมแล้วตั้งทิ้งไว้สารละลายแยกชั้น

5. ดูดสารละลายส่วนบน (ส่วนของไอโซออกเทน) ใส่ injection vial tube ที่สะอาดและแห้ง

6. สกัดสารละลายชั้นล่างซ้ำอีกครั้งด้วยไอโซออกเทน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ปั่นผสมแล้วตั้งทิ้ง

ไว้สารละลายแยกชั้น ดูดสารละลายส่วนบนที่ได้ใส่ใน Injection vial tube เดียวกับกับที่ได้จาก ข้อ 5 เป่าก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์และปิดฝาหลอดให้แน่น เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3. การวิเคราะห์จุดขุ่น (ASTM-D2500)

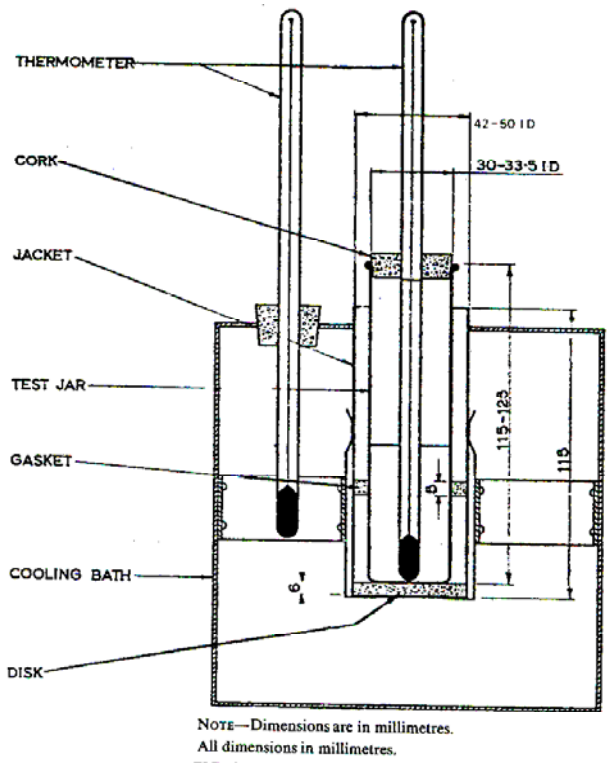
วิธีการวิเคราะห์

1. เขย่าตัวอย่างและเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่ากับขีดบอกระดับ (45 มิลลิลิตร)
2. ปิดฝาด้วยจุกคอ็อกพร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้ตำแหน่งช่วง capillary ของเทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 68)
3. อุ่นตัวอย่างให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง ให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้	ย้ายหลอดแก้วสู่อ่างแอลกอฮอล์
27	0
9	-18
-6	-33
-24	-51
-42	-69

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่าง เปิดมอเตอร์ขับใบกวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอกัน

4. ทุกๆ อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ที่ลดลง ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบในแนวดิ่ง สังเกตความขุ่น (การก่อตัวของไข) จากด้านบนของหลอดแก้ว ถ้ายังไม่เต็มพื้นที่ก้นหลอด ให้คืนหลอดแก้วลงอ่างเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)
5. ถ้าพบว่าจุดขุ่นเต็มพื้นที่ก้นหลอดแล้ว ให้บันทึกอุณหภูมินั้นไว้และรายงานผลเป็นจุดขุ่น



ภาพประกอบ 68 อุปกรณ์วิเคราะห์จุดขุ่น

4. การวิเคราะห์หาจุดไหลเท (Pour point : ASTM-D97)

วิธีการวิเคราะห์

1. เขย่าตัวอย่างและเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่ากับขีดบอกระดับ (45 มิลลิลิตร)
2. ปิดฝาด้วยจุกค็อกพร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้ตำแหน่งช่วง capillary ของเทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 69)
3. อุ่นตัวอย่างให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง
4. ให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

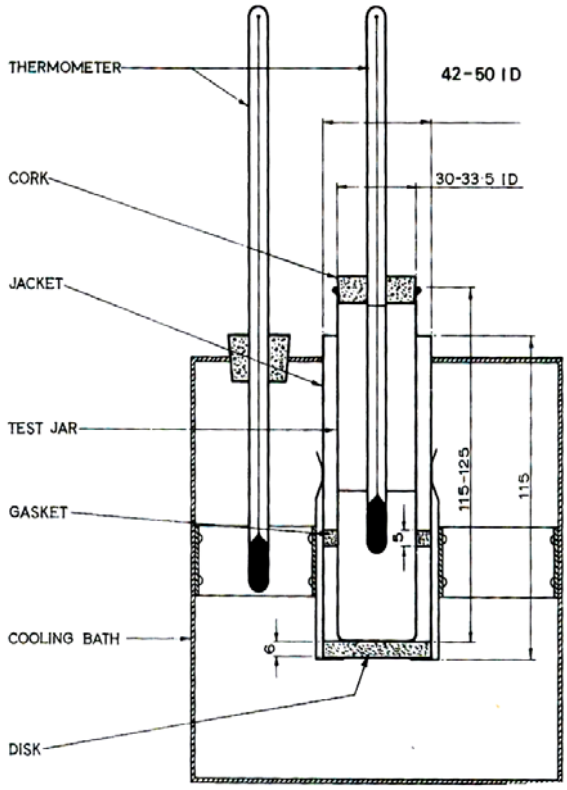
เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้(°ซ)	ย้ายหลอดแก้วสู่อ่างแอลกอฮอล์
27	0
9	-18
-6	-33
-24	-51
-42	-69

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่าง เปิดมอเตอร์ขับใบกวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอกัน

5. เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างได้ 9 องศาเซลเซียส เหนือจุดไหลเท (คาดการณ์) ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบ เอียงหลอดแก้ว ถ้าตัวอย่างยังไหลได้ให้คืนหลอดแก้วลงสู่อ่างเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)

6. กระทำซ้ำเหมือนข้อ 5 ทุกๆ อุณหภูมิที่ลดลง 3 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพบว่า ตัวอย่างเป็นไขแข็งตัว (100%) ให้เอียงหลอดแก้วในแนวระนาบต่อเนื่อง 5 วินาที ถ้าตัวอย่างไม่มีการไหลตัวให้หยุดการทดสอบ

7. การรายงานผลให้เอาอุณหภูมิสุดท้ายที่ตัวอย่างเป็นไขแข็งตัวเป็นอุณหภูมิจุดไหลเท



ภาพประกอบ 69 อุปกรณ์วิเคราะห์จุดไหลเท

5. การวิเคราะห์หาความหนืด (Viscosity: ASTM-D445)

วิธีวิเคราะห์

1. เติมตัวอย่างน้ำมันลงไปใน viscometer (ภาพประกอบที่ 70)
2. ใช้จุกยางดูดตัวอย่างน้ำมันที่ตำแหน่งหลอดเล็กๆ จนผิวของน้ำมันที่ดูดขึ้นมาอยู่เหนือขีดบน (ขีด E ดังรูป) จากนั้นปล่อยของไหลให้ไหลลงไปโดยดึงจุกยางออก
3. เริ่มจับเวลาเมื่อของไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงผ่านขีดบน E และหยุดจับเวลาจนกระทั่งของไหลผ่านล่าง F ในเครื่องวัดความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส
4. คำนวณหาค่า Kinematics viscosity ได้จากสูตร

$$v = Ct$$

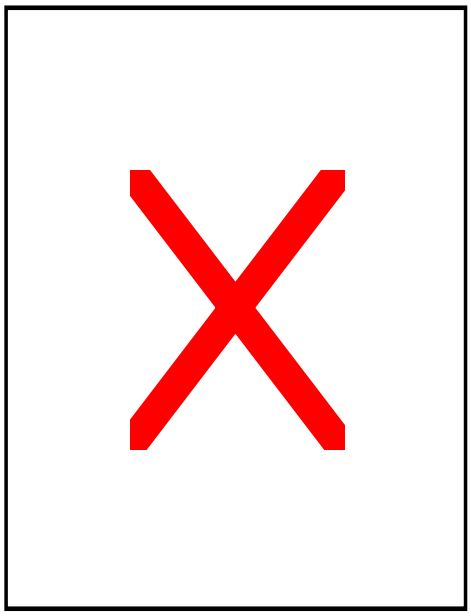
โดยที่ v = Kinematics viscosity

C= ค่าคงที่จากการทำมาตรฐานของเครื่อง (cSt/s) ดังตาราง26

t = เวลาที่ใช้ในการไหล (s)

ตาราง 29 ค่าคงที่การคำนวณความหนืด

Size No.	Approximate Constant, cSt/s	Kinematic Viscosity Range, cSt	Inside Diameter of Tube *R*, mm (±2 percent)	Inside Diameter of Tubes *N*, *E*, and *P*, mm	Bulb Volume, ml (±5 percent)	
					D	*C*
25	0.002	0.5" to 2	0.30	2.6 to 3.0	3.1	1.6
50	0.004	0.8 to 4	0.44	2.6 to 3.0	3.1	3.1
75	0.008	1.6 to 8	0.54	2.6 to 3.2	3.1	3.1
100	0.015	3 to 15	0.63	2.8 to 3.6	3.1	3.1
150	0.035	7 to 35	0.78	2.8 to 3.6	3.1	3.1
200	0.1	20 to 100	1.01	2.8 to 3.6	3.1	3.1
300	0.25	50 to 250	1.27	2.8 to 3.6	3.1	3.1
350	0.5	100 to 500	1.52	3.0 to 3.8	3.1	3.1
400	1.2	240 to 1 200	1.92	3.0 to 3.8	3.1	3.1
450	2.5	500 to 2 500	2.35	3.5 to 4.2	3.1	3.1
500	8	1 600 to 8 000	3.20	3.7 to 4.2	3.1	3.1
600	20	4 000 to 20 000	4.20	4.4 to 5.0	4.3	3.1



ภาพประกอบ 70 เครื่องวัดความหนืด

6. การวิเคราะห์เมทิลเอสเตอร์

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายผสมของ เฮกเซน : ไดเอทธิลอีเทอร์ : กรดฟอร์มิก ในอัตราส่วน 50 : 20 : 0.3 (ปริมาตรต่อปริมาตรต่อปริมาตร)
2. สารละลายผสมของ เฮกเซน : เบนซีน ในอัตราส่วน 1 : 1 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

วิธีวิเคราะห์

1. ดูดตัวอย่างละลายเมทิลเอสเตอร์ 150 มิลลิกรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม 0.3 มิลลิลิตร
2. เตรียม quartz rods (silica gel padre coated Chromarod S-III) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไป blank scan ด้วย TLC/FID analyzer ภายใต้สภาวะ 30 วินาทีต่อสแกน อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 160 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 2000 มิลลิลิตรต่อนาที
3. หยดสารละลายจากข้อ (1) ลงไปประมาณ 1 ไมโครลิตร นำ quartz rods ไปแช่ในสารละลายซึ่งประกอบด้วย เฮกเซน : ไดเอทธิลอีเทอร์ : กรดฟอร์มิก ในอัตราส่วน 50 : 20 : 0.3 (ปริมาตรต่อปริมาตรต่อปริมาตร) จนกระทั่งสารละลายเคลื่อนที่สูงประมาณ 8 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายซึ่งประกอบด้วย เฮกเซน : เบนซีน ในอัตราส่วน 1 : 1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) จนกระทั่งสารละลายเคลื่อนที่สูงประมาณ 10 เซนติเมตร
4. นำ quartz rods ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาสแกนภายใต้สภาวะเดียวกันกับ blank scan
5. อ่านผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม ChromStar light โดยผลการทดลองแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

ภาคผนวก ง

การคำนวณประเมินต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเตอร์

1. **<u>ฐานการคำนวณและข้อมูลประกอบการคำนวณ</u>**

กำหนดฐานการคำนวณของหน่วยผลิต ซึ่งใช้ไขน้ำมันปาล์ม 1, 000 กิโลกรัม เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอเตอร์ กระบวนการผลิต โดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12 : 1 และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 1 โดยปริมาตรน้ำหนักน้ำมัน ทำปฏิกิริยา esterification ที่อุณหภูมิ 85-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 การระเหยเมทานอลร้อยละ 87.69 นาน 3 ชั่วโมง การล้างน้ำ (ล้าง 2 ครั้ง) การระเหยน้ำ(น้ำร้อยละ 7) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ร้อละของเมทิลเอสเตอร์ ที่ได้จากปฏิกิริยาesterification มีค่า 96 และ มีความเป็นเมทิลเอสเตอร์ร้อยละ 95 หลังจากนั้นจึงนำเมทิลเอสเตอร์ที่ได้มากลั่นภายใต้อุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะของปฏิกิริยา กำหนดให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์ มีค่า 80.67 และผลผลิตสุดท้าย มีความเป็นเมทิลเอสเตอร์ร้อยละ 98

แนวทางและสมมติฐานที่ใช้ในการประเมินค่าใช้จ่าย

1.1 ดุลมวลสารของการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขน้ำมันเสีย 1,000 กิโลกรัม มีร้อยละผลได้เป็น 96 และสามารถเรียกคืนเมทานอลได้ร้อยละ 88

1.2 พลังงานความร้อนที่ใช้ในถังปฏิกรณ์ การระเหยเพื่อเรียกคืนมทานอล และการกลั่นคำนวณจากการทำดุลพลังงานโดยประมาณการสูญเสียพลังงานจากอุปกรณ์เหล่านี้ ร้อยละ 20 ของพลังงานที่ใช้น้ำสูญเสียจากกระบวนการผลิตเฉพาะในส่วนที่ใช้ล้างเมทิลเอสเทอร์โดยน้ำที่ใช้ในเครื่องควบแน่นจะมีการวนซ้ำกลับมาใช้ใหม่หลังจากผ่านระบบลดอุณหภูมิลงแล้ว

1.3 กำหนดผลได้ของเมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากการกลั่นเป็น 80

1.4 ค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต ใช้ค่าอ้างอิงจากค่าพลังงานไฟฟ้า อัตราหน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ละ 2.50 บาท

1.5 ใยปาล์ม 1 กิโลกรัมให้ความร้อนเท่ากับ 5.534 kWh

1.6 ค่าแรงงานการผลิต ใช้อัตราค่าแรง 200 บาท/คน/วัน

1.7 ค่าน้ำลบ.เมตรละ 8 บาท

ตาราง 30 ราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบและผลพลอยได้

รายการวัตถุดิบ/ผลผลิตพลอยได้	*หน่วยนับ*	*ค่าที่ใช้ในการประเมิน*
ไขน้ำมันเสีย	**บาท/กิโลกรัม**	5.00
เมทานอล	**บาท/กิโลกรัม**	**1**8.6
กรดซัลฟิวริก	**บาท/กิโลกรัม**	5.35
น้ำ	**บาท/ลบ.เมตร**	8.0

ตาราง 31 ข้อมูลความถ่วงจำเพาะ

สารเคมี	*ความถ่วงจำเพาะ*
Methanol	**0.79(**b**)**
Sulfuric acid	**1.834(**c**)**
Biodiesel	**0.8(**d**)**

ที่มา : (a), (b), (c) from Perry (1984)

(d) From this work

ตาราง 32 ความจุความร้อน

สารเคมี	*ช่วงอุณหภูมิ (□C)*	*ค่าความจุความร้อน (C_p) kJ/kg-K*
Water	**30-120**	4.20
Methanol	**30-100**	2.908
Waste palm oil	**30-100**	2.3
Methyl ester	**30-100**	2.104

ตาราง 33 ความร้อนแฝงในการระเหย

สารเคมี	อุณหภูมิ (ºC)	ความร้อนแฝงในการระเหย (kJ/kg)
Methanol	64.7	1100.31
Water	120	2191.4

ที่มา : Perry (1984)

2. <u>การคำนวณดุลมวลสารการผลิตเมทิลเอสเตอร์</u>

ตาราง 34 ดุลมวลสารการผลิตเมทิลเอสเตอร์

สารป้อนเข้า (วัตถุดิบ)	มวล (กิโลกรัม)	สารออก (ผลผลิต)	มวล (กิโลกรัม)
ไขน้ำมันเสีย	1,000.00	ไบโอดีเซลกลั่นใส (ME 98%)	771.28
เมทานอล	1,500.00	ไบโอดีเซล (ME 95%)	964.10
กรดซัลฟิวริก	18.34	เมทานอลที่เรียกคืนได้	1,315.35
น้ำล้างเมทิลเอสเทอร์	964.10	เมทานอลที่สูญเสียในการผลิต	184.65
		กรดซัลฟิวริก	18.34
		น้ำจากปฏิกิริยาและน้ำทิ้ง	815.35

3. <u>การคำนวณค่าวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเตอร์</u>

ตาราง 35 ค่าวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเตอร์

สารป้อนเข้า (วัตถุดิบ)	มวล (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)
ไขน้ำมันเสีย	1,000.00	5,000.00
เมทานอล	184.65	3,435.89
กรดซัลฟิวริก	18.34	98.20
น้ำล้างเมทิลเอสเตอร์	964.10	7.711
รวม		8,541.81

4. <u>การคำนวณพลังงาน</u>

ตาราง 36 พลังงานและปริมาณเทอร์มัลออยล์ที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์

กระบวนการ	ความร้อน MJ	ความร้อน KJ	ความร้อน kWh	ความร้อน kWต่อ1 ชม./1000L	ปริมาณเทอร์มัลออลล์(kg/s)
pretreat	5.37	115.00	31.94	31.94	0.48
เปลี่ยนน้ำมันเป็นเอสเทอร์	21.47	248.04	68.90	17.22	0.26
เรียกคืนเมทานอล	9.39	1,978.88	549.69	183.23	2.78
ล้างน้ำ	6.04	133.05	36.96	36.96	0.56
ไล่น้ำออกจากเมทิลเอสเทอร์	5.37	173.47	48.19	48.19	0.73
รวม	**42.27**	**2,533.43**	**735.68**	**317.54**	**4.81**
กลั่นใส	9.39	1,071.48	297.63	99.21	1.50
รวมค่าพลังงานความร้อนทั้งหมด	**51.66**	**3,604.91**	**1,033.31**	**416.75**	**6.31**

∴ รวมพลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด = 2,533.43 + 1,071.48 =3,604.91 MJ

เนื่องจากใช้ใยปาล์มในการให้ความร้อน และใยปาล์มมีค่าความร้อน คือ 5.534 kWh/kg ดังนั้น คิดเป็นปริมาณฟืนที่ใช้ต่อกะ317.54/5.534 เท่ากับ 57.38 หรือประมาณ 60 Kg

= 3,719.91/15=208.89 กิโลกรัม

5. <u>การคำนวณค่าไฟฟ้า</u>

ตาราง 37 ค่าไฟฟ้า

กระบวนการ	หน่วย(kw-h)	เวลาที่ใช้(hr)	ค่าไฟ(บาท)
pretreat	1.491	2	7.46
เปลี่ยนน้ำมันเป็นเอสเทอร์	5.964	4	59.64
กรอง	4.473	0.5	5.59
เรียกคืนเมทานอล	1.118	3	8.39
ล้างน้ำ	1.491	0.5	1.86
ไล่น้ำออกจากเมทิลเอสเทอร์	2.609	1	6.52
กลั่นใส	2.609	3	19.57
		รวม	109.03

6. <u>การคำนวณค่าแรงงานงานการผลิต</u>

คิดเฉลี่ยใช้แรงงานในการผลิต 2 คนต่อกะ = 2x200 =400 บาท/กะ/วัน

7. <u>การคำนวณค่าใช้จ่ายรวม</u>

ค่าใช้จ่ายรวมการผลิตเมทิลเอสเตอร์ทั้ง 2 กระบวนการ(ไม่รวมเงินเดือนผู้จัดการ และเสมียน)

ตาราง 38 การคำนวณค่าใช้จ่ายรวม

รายการค่าใช้จ่าย	บาท	ที่80%กลั่นใส(บาท/ลิตร)
วัตถุดิบ	9,223.62	10.38
ค่าการกลั่น	744.08	0.84
ค่าไฟฟ้า	109.03	0.12
ค่าเชื้อเพลิงใยปาล์ม	480.00	0.54
ค่าน้ำ	8.00	0.01
ค่าแรงงาน 3 คน	600.00	0.68
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	10,564.72	11.89