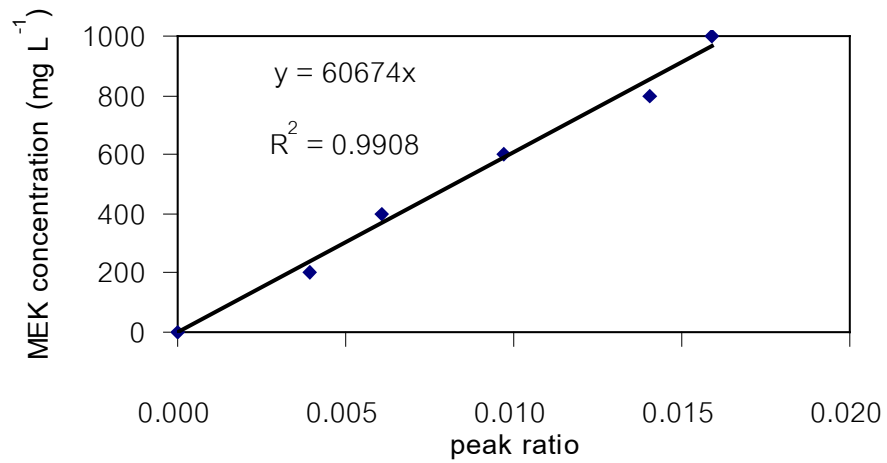
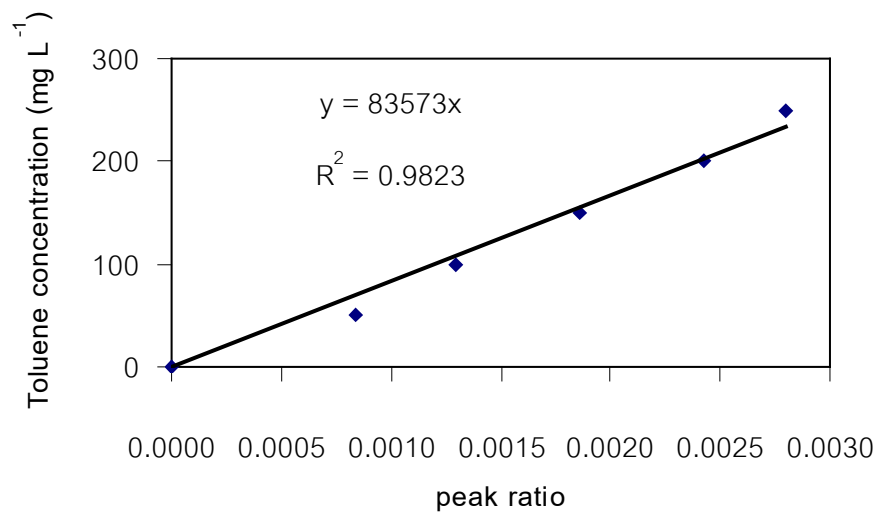


## ภาคผนวก ก

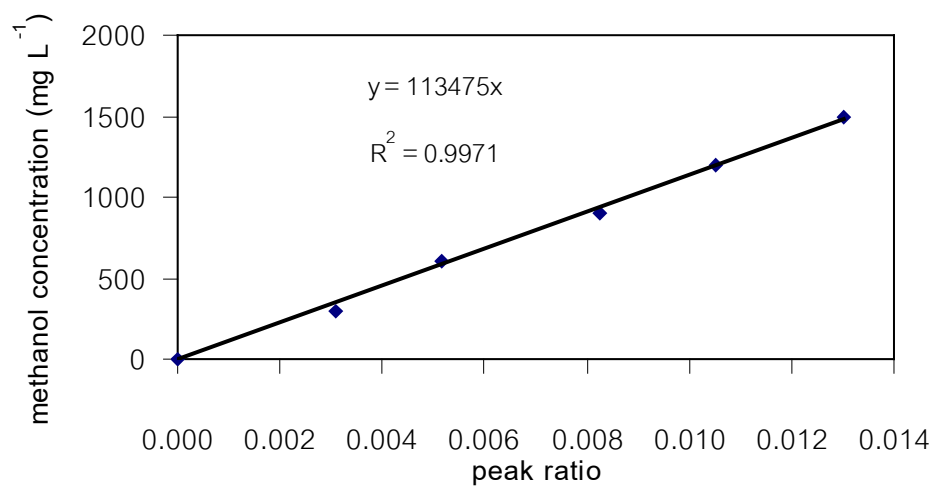
Calibration Curve ของ VOCs



ภาพประกอบ 41 กราฟมาตรฐานของ MEK



ภาพประกอบ 42 กราฟมาตรฐานของ โทลูอิน



ภาพประกอบ 43 กราฟมาตรฐานของเมทานอล

ภาคผนวก ข

ความเข้มข้นของ MEK จากกระบวนการระเหยจากแหล่งน้ำที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของ  
ถึงระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเปลี่ยน และความเร็วลมเหนือผิวน้ำ  
คงที่เท่ากับ  $2.8 \text{ m s}^{-1}$

ตาราง 3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถึงระเหยต่อ  
ความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 5.60

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1136.90
600	1108.96
1800	1005.46
3600	963.11
7200	851.08
10800	706.73
14400	604.78
18000	486.18

ตาราง 4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถึงระเหยต่อ  
ความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 3.73

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	720.87
600	695.76
1800	676.77
3600	645.62
7200	588.25
10800	555.88
14400	541.36
18000	510.69

ตาราง 5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 2.80

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
----------	---

0	873.22
600	866.27
1800	819.38
3600	803.45
7200	784.15
10800	746.45
14400	694.56
18000	677.61

ตาราง 6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 2.24

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	722.79
600	712.41
1800	701.17
3600	682.13
7200	

	667.68
10800	
	653.10
14400	
	641.39
18000	
	609.17

ตาราง 7 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 1.87

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	773.50
600	
	769.57
1800	
	751.78
3600	
	738.69
7200	
	733.12
10800	
	-
14400	
	690.92

---

 18000

681.13

---

ตาราง 8 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถึงระเหยต่อ  
ความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 1.60

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1333.44
600	1331.70
1800	1327.23
3600	1306.94
7200	1259.17
10800	1245.17
14400	1223.91
18000	1185.66

---

ตาราง 9 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 5.60

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	659.81
600	620.51
1800	583.29
3600	512.42
7200	387.99
10800	299.11
14400	250.32
18000	216.97

ตาราง 10 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 3.73

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
----------	---



0	971.49
600	
	917.87
1800	
	896.64
3600	
	811.74
7200	
	736.76
10800	
	645.50
14400	
	599.12
18000	
	543.49

ตาราง 11 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถึงระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 2.80

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
----------	---

0	971.49
600	958.60
1800	900.34
3600	858.77
7200	825.98
10800	790.71
14400	766.22
18000	670.42

ตาราง 12 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถึงระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 2.24

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	876.94
600	831.75
1800	811.51
3600	763.80
7200	

	724.54
10800	
	687.57
14400	
	652.99
18000	
	618.35

ตาราง 13 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถึงระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำเท่ากับ 1.60

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	936.07
600	
	865.38
1800	
	855.43
3600	
	832.26
7200	
	819.78
10800	
	805.59
14400	
	786.70

---

 18000

779.82

**ภาคผนวก ค**

ความเข้มข้นของ VOCs จากกระบวนการระเหยจากแหล่งน้ำที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำเปลี่ยน และ  
อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำ 5.60

ตาราง 14 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $0 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	759.62
600	749.83
1800	720.98
3600	709.05
7200	

---

	688.48
10800	
	654.55

ตาราง 15 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $0.43 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	718.90
600	703.70
3600	689.10
7200	661.70
10800	647.67
14400	615.76
18000	599.34

ตาราง 16 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $1.86 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	698.21
600	683.09
1800	660.32
3600	650.60
7200	634.57
10800	605.33
14400	557.86
18000	536.53

ตาราง 17 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $2.40 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
----------	---

0	1091.55
1800	1066.51
3600	1044.31
7200	968.14
10800	895.50
14400	849.89
18000	811.32

ตาราง 18 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 2.81 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
----------	--

0	621.41
600	
	604.22
1800	
	586.21
3600	
	548.81
7200	
	510.71
10800	
	465.92
14400	
	428.26
18000	
	396.41

ตาราง 19 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 3.43 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
0	599.64
600	
	563.83
1800	
	513.97
3600	
	482.92
7200	



	443.90
10800	
	378.25
14400	
	332.95
18000	
	283.21

ตาราง 20 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 4.42 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
0	365.59
600	
	344.49
1800	
	296.94
3600	
	255.25
7200	
	193.93
10800	
	141.37
14400	
	108.52

---

 18000

83.28

---

ตาราง 21 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 0 m  
s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
0	814.40
600	803.54
1800	795.62
3600	771.94
7200	747.84
10800	725.87
14400	695.94
18000	663.02

---

ตาราง 22 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 0.43 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
0	730.55
600	714.24
1800	701.12
3600	688.46
7200	662.31
10800	639.22
14400	614.90
18000	603.85

ตาราง 23 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 1.86 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
----------	--

0	707.91
600	
	672.91
1800	
	663.27
3600	
	646.63
7200	
	616.41
10800	
	554.36
14400	
	535.80
18000	
	496.44

ตาราง 24 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 2.40 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
----------	--

0	1038.10
600	
	1004.09
1800	
	983.27
3600	
	921.95
7200	
	871.66
10800	
	805.07
14400	
	716.62
18000	
	695.39

ตาราง 25 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 2.81 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
0	659.81
600	
	620.51
1800	
	583.29
3600	
	512.42
7200	

	387.99
10800	
	299.11
14400	
	250.32
18000	
	216.97

ตาราง 26 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $3.43 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	634.40
600	580.04
1800	496.52
3600	395.12
7200	241.95
10800	158.97
14400	

	109.00
18000	75.47

ตาราง 27 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำกรองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 4.42 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK (mg L <sup>-1</sup> )
0	756.36
600	627.72
1800	498.72
3600	384.00
7200	198.74
10800	126.40
14400	72.03
18000	48.73

---

---

ตาราง 28 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $0 \text{ m s}^{-1}$

1

เวลา (s)	ความเข้มข้นของเมทานอล ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1331.20
600	1321.87
1800	1309.34
3600	1298.62
7200	1289.03
14400	1255.63
18000	1245.64

---



---

---

ตาราง 29 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $0.43 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของเมทานอล ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1259.33
600	1247.83
3600	1238.70
7200	1225.30
10800	1204.72

---

ตาราง 30 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 1.86 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของเมทานอล (mg L <sup>-1</sup> )
0	1183.22
600	1169.59
1800	1158.36
3600	1136.20
7200	1116.54
14400	1095.79

ตาราง 31 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 2.40 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของเมทานอล (mg L <sup>-1</sup> )
----------	---

0	1376.75
600	1369.16
1800	1341.65
3600	1304.82
7200	1314.01
14400	1208.58
18000	1164.48

ตาราง 32 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 2.81 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของเมทานอล (mg L <sup>-1</sup> )
----------	---

0	1053.45
1800	1038.18
3600	1022.52
7200	994.15
10800	962.29
14400	945.56
18000	875.70

ตาราง 33 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 3.43 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของเมทานอล (mg L <sup>-1</sup> )
0	1212.73
1800	1193.11
7200	1137.05
10800	1038.94
14400	983.30

---

---

ตาราง 34 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 4.42 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของเมทานอล (mg L <sup>-1</sup> )
0	1068.46
1200	1064.47
3000	997.77
6600	965.32
13800	838.65
17400	821.82

---

---

---

ตาราง 35 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $0 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของโทลูอีน ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	250.04
3600	212.75
7200	209.26
10800	167.54
14400	149.56

---

ตาราง 36 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 0.43 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของโทลูอีน (mg L <sup>-1</sup> )
0	280.00
1800	248.58
3600	230.42
7200	259.57
10800	215.21
14400	175.56
18000	151.07

ตาราง 37 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 1.86 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของโทลูอีน (mg L <sup>-1</sup> )
----------	---

0	259.49
1800	231.17
3600	217.82
7200	205.14
10800	180.44
14400	160.32

ตาราง 38 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ โทลูอิน ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 2.40 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของโทลูอิน (mg L <sup>-1</sup> )
----------	---



0	268.82
600	256.70
1800	236.93
3600	224.19
7200	189.98
14400	175.75

ตาราง 39 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $2.81 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของโทลูอีน ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	228.07
3000	192.85
6600	163.21
13800	132.76
17400	108.94

ตาราง 40 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ โทลูอิน ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ 3.43 m s<sup>-1</sup>

เวลา (s)	ความเข้มข้นของโทลูอิน (mg L <sup>-1</sup> )
0	249.21
600	225.48
1800	196.35
3600	183.90
7200	150.08
10800	93.21
14400	62.12
18000	57.75

ตาราง 41 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ โทลูอินในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm เท่ากับ  $4.42 \text{ m s}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของโทลูอิน ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	268.068
600	238.7248
1800	187.1436
3600	129.4593
7200	56.2751
10800	31.19672
14400	25.63253

**ภาคผนวก ง**

ความเข้มข้นของ VOCs จากกระบวนการระเหยจากแหล่งน้ำที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำคงที่เท่ากับ  $2.8 \text{ m s}^{-1}$  อัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำคงที่เท่ากับ 5.60 และค่าของแรงแขวนลอยเปลี่ยน

ตาราง 42 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ค่าของแรงแขวนลอยเท่ากับ  $0 \text{ mg L}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	659.81
600	620.51
1800	583.29
3600	512.42
7200	387.99
10800	299.11
14400	250.32
18000	216.97

ตาราง 43 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ค่าของแรงแจนลอยเท่ากับ  $10 \text{ mg L}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	972.66
600	935.74
1800	848.56
3600	790.31
7200	665.17
10800	564.43

ตาราง 44 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ค่าของแรงแจนลอยเท่ากับ  $20 \text{ mg L}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
----------	---

---

0	1136.90
600	
	1108.96
1800	
	1005.46
3600	
	963.11
7200	
	851.08
10800	
	706.73
14400	
	604.78
18000	
	486.18

---

ตาราง 45 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ค่าของแรงแวนลอยเท่ากับ  $30 \text{ mg L}^{-1}$

---

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1068.95
600	
	996.44
1800	
	948.28
3600	
	898.88
7200	
	812.38

---

10800	723.82
14400	668.63
18000	607.35

ตาราง 46 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ค่าของแรงแวนลอยเท่ากับ  $35 \text{ mg L}^{-1}$

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1185.78
600	1163.79
1800	1128.57
3600	1071.01
7200	965.30
10800	900.98
14400	

---

	854.38
18000	
	773.34

---

ตาราง 47 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEK ในน้ำเสียที่ค่าของแรงแวนลอยเท่ากับ  $40 \text{ mg L}^{-1}$

---

เวลา (s)	ความเข้มข้นของ MEK ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1096.30
600	
	1074.67
1800	
	1061.83
3600	
	1016.15
7200	
	940.23
10800	
	889.98
14400	
	825.50
18000	
	779.25

---

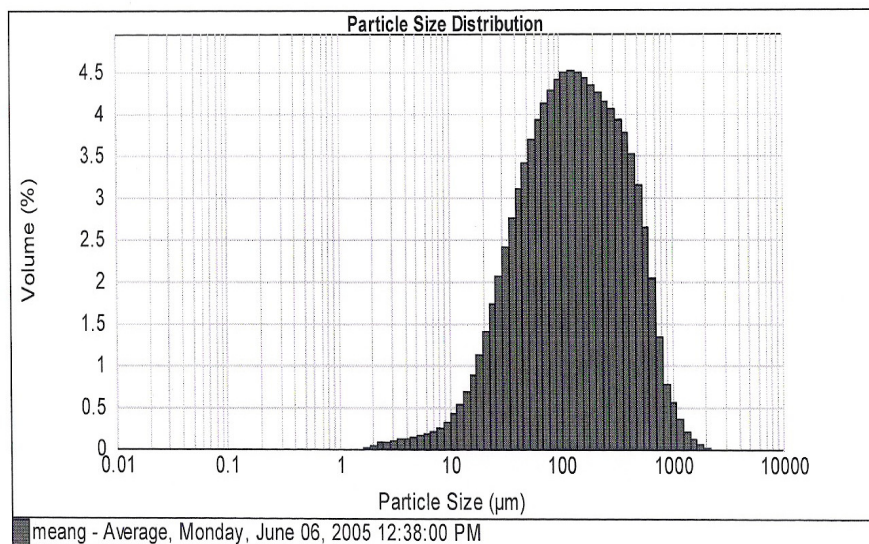


**ภาคผนวก จ**

ขนาดอนุภาคของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย

<b>Particle Name:</b> Default	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000MU (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Normal
<b>Particle RI:</b> 1.520	<b>Absorption:</b> 0.1	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 10.10 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.835 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0897 %Vol	<b>Span :</b> 3.637	<b>Uniformity:</b> 1.14	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.0977 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 61.427 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 210.368 um	<b>Density:</b> 1.000 g/cm <sup>3</sup>
<b>d(0.1):</b> 28.996 um		<b>d(0.5):</b> 130.727 um	
		<b>d(0.9):</b> 504.472 um	

Mesh No	Aperture $\mu\text{m}$	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture $\mu\text{m}$	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture $\mu\text{m}$	Volume In %	Vol Below %
10	2000	0.06	100.00	35	500	4.37	89.79	120	125	5.67	48.54
12	1680	0.15	99.94	40	420	4.69	85.42	140	105	5.62	42.86
14	1410	0.31	99.79	45	354	5.06	80.74	170	88	5.31	37.24
16	1190	0.59	99.49	50	297	5.13	75.68	200	74	4.67	31.93
18	1000	0.91	98.90	60	250	5.34	70.55	230	63	4.67	27.26
20	841	1.72	97.99	70	210	5.39	65.21	270	53	4.55	22.58
25	707	2.77	96.27	80	177	5.55	59.82	325	44	3.72	18.03
30	595	3.70	93.50	100	149	5.73	54.27	400	37		14.31
35	500		89.79	120	125		48.54				



Operator notes: 1500 rpm,

### ภาคผนวก จ

การเปรียบเทียบระหว่าง  $K_{OL,a}$  ที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดลอง

ตาราง 48 การเปรียบเทียบระหว่าง  $K_{OLa}$  ของ MEK ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

run no.	$K_{OLa} (m^3 s^{-1}) \times 10^{-6}$	$K_{OLa} (m^3 s^{-1}) \times 10^{-6}$
	Data	Model
1	4.25	3.16
2	3.25	2.89
3	3.00	2.76
4	2.92	2.69
5	2.50	2.63
6	2.33	2.60
7	0.83	1.13
8	1.00	0.84
9	1.50	1.44
10	1.67	2.29
11	2.67	3.16
12	4.17	4.85
13	8.50	8.47
14	6.67	6.53
15	5.17	5.41
16	4.50	4.28
17	3.33	3.16
18	2.33	2.60
19	2.00	2.03

ตาราง 49 การเปรียบเทียบระหว่าง  $K_{OLa}$  ของ MEK ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองจากทฤษฎีสองฟิล์มในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำเปลี่ยน

ความเร็วลม $U_{10\text{cm}}$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$K_{\text{OLa}}$ ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) $\times 10^{-6}$	
	ทำนายด้วยสมการเอ็มพีริคัล	ผลการทดลอง
0.00	0.21	0.83
0.43	1.11	1.00
1.86	2.23	1.50
2.40	2.42	1.67
2.81	3.22	2.67
3.43	5.35	4.17
4.42	7.98	8.50

### ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้น

## 1. บีโอดี (Biochemical oxygen demand, BOD)

การวิเคราะห์บีโอดี เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย บีโอดี เป็นค่าที่บอกคุณลักษณะของน้ำนั้นๆ ว่ามีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มากน้อยเพียงใด ถ้าบีโอดีมีค่าน้อยน้ำนั้นมีการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์น้อย แต่ถ้ามีค่าบีโอดีสูง แสดงว่ามีการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์สูง หลักการของบีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่เริ่มต้นลบด้วย ปริมาณออกซิเจนที่เหลือในวันที่ 5 หรือ ( $DO_1 - DO_5$ )

### 1.1 อุปกรณ์

- 1) ขวดบีโอดี ขนาดความจุ 300 มล. มีจุกปิดสนิทปากกว้างบานออกสำหรับหล่อน้ำกลั่นในขณะที่ควบคุมอุณหภูมิ
- 2) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 20°C
- 3) อุปกรณ์เติมอากาศ

### 1.2 สารเคมี

- 1) สารละลายแมงกานีสซัลเฟต เตรียมโดยละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ( $MnSO_4 \cdot 4 H_2O$ ) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ( $MnSO_4 \cdot 2 H_2O$ ) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ( $MnSO_4 \cdot H_2O$ ) 364 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
- 2) สารละลายอัลคาไลด์-ไอโอดีน-ไอโซไซค์ เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) 500 กรัม และโซเดียมไอโอดีน ( $NaI$ ) 135 กรัม แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร หลังจากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมไอโซไซค์ ( $NaN_3$ ) โดยละลายโซเดียมไอโซไซค์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มล. คนให้สารละลายจนหมด นำไปเติมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ คนสารละลายที่เตรียมไว้ให้เข้าด้วยกัน วางให้เย็นก่อนนำมาใช้
- 3) กรดซัลฟูริกเข้มข้น
- 4) น้ำแป้ง (starch solution) เตรียมโดยละลายแป้ง (soluble starch) 5 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มล. เทใส่ลงในน้ำกลั่นซึ่งต้มในน้ำเดือด 800 มล. แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร ต้มให้เดือดต่อไปอีกประมาณ 3 นาที เติมกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 1.25 กรัม เพื่อเก็บไว้ใช้นานๆ วางทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำมาใช้งาน
- 5) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมล/ลิตร เตรียมโดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5 H_2O$ ) 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆ รอให้เย็นเจือจางเป็น 1 ลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อลิตร เพื่อยับยั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก

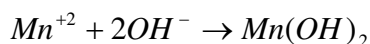
อากาศ เป็นการรักษาสารให้คงสภาพได้นาน สารละลายนี้ 1 มล. สมมูลย์ กับออกซิเจน 0.200 มก.

- 6) น้ำกลั่นบริสุทธิ์คุณภาพสูง ปราศจากคลอรีน, คลอรามิน, อัลคาไลไนต์, กรดและสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01 มก./ลิตร
- 7) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ละลายโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 8.5 กรัม ไดโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) 33.4 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น ประมาณ 500 มล. แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 8) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ) 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 9) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไร้น้ำ (anhydrous  $\text{CaCl}_2$ ) ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
- 10) สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร
- 11) สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.0125 โมล/ลิตร ละลายโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
- 12) สารละลายกรดและด่าง 1 โมล/ลิตร สำหรับใช้ปรับพีเอชให้เป็นกลาง

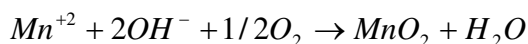
### 1.3 วิธีวิเคราะห์ค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen, DO) ด้วยวิธีไอ โอ โดเมตริก

- 1) จากตัวอย่างน้ำในขวดบีโอดีปริมาตร 300 ซีซี เปิดจุกขวด ปิดตสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 2 มล. ใส่ลงไปโดยให้ปลายจุ่มในน้ำเล็กน้อย และปิดตสารละลายอัลคาไลด์-ไอ โอ โคค-อาไซค์ ตามลงไปทันที 2 มล. โดยให้ปลายบีโอดีจุ่มอยู่ใต้ตัวอย่างน้ำเล็กน้อย
- 2) ปิดจุกกระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ข้างขวด หากมีฟองอากาศให้ใช้จุกขวดเคาะเบาๆ ข้างขวด ฟองอากาศจะหลุดออกมา
- 3) จับขวดโดยให้นิ้วชี้กดอยู่บนฝาจุก แล้วเขย่าเบาแบบพลิกมือขึ้นลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง เพื่อให้สารเคมีทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างทั่วถึง ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ถ้ามีออกซิเจนจะได้ตะกอนสีน้ำตาล รอจนตกตะกอน
- 4) ค่อยๆ เปิดจุก แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 2 มล. ระวังอย่าให้ปลายบีโอดีสัมผัสตัวอย่างน้ำ เนื่องจากกรดรวมตัวกับน้ำจะเกิดความร้อน และกรดจะกระเด็นมาถูกตัวผู้ทดลอง

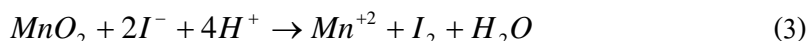
- 5) ปิดฝาจุกเขย่าแบบพลิกมือหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งตะกอนละลายจะได้สารละลายสีเหลืองซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาดังนี้



ตะกอนสีขาวแสดงว่าไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำ (1)



ได้ตะกอนสีน้ำตาลแสดงว่ามีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำ (2)



จากสมการ  $2I^-$  เกิดเป็น  $I_2$  ในสภาวะที่เป็นกรด เราสามารถคำนวณหาปริมาณ  $O_2$  ละลายได้โดยนำสารละลาย  $I_2$  ที่ได้จากสมการ (3) มาทำการไตเตรตด้วยสารละลาย  $Na_2S_2O_3$  0.0125 โมล/ลิตร โดย  $I_2$  1 โมลเกิดจาก  $MnO_2$  1 โมล และ  $MnO_2$  1 โมลเกิดจาก  $O_2$  1/2 โมล หรือคำนวณได้จาก การเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้น 0.0125 โมล/ลิตร เมื่อนำไปไตเตรต 1 มล.ของ  $Na_2S_2O_3$  0.0125 โมล/ลิตร จะทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 0.200 มก.

การไตเตรตจากสารละลาย  $I_2$  ที่เกิดขึ้นหลังจากการเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นแล้วดวงสารละลายมา 203 มล. ปริมาตรนี้แทนตัวอย่างน้ำจริงๆ 200 มล. เนื่องจากตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มล. ( $MnSO_4 = 2$  มล. Alkali = 2 มล.) ดังนั้นปริมาตรที่นำมาไตเตรตจริงๆ จึงควรเป็น  $200 \times 300 / (300 - 4) = 203$  มล. ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0125 โมล/ลิตร จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อนๆ แล้วเติมน้ำแฉ่ง 1-2 มล. ไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

#### 1.4 วิธีวิเคราะห์บีโอดีแบบเจือจาง

การวิเคราะห์บีโอดีแบบเจือจางนั้นเหมาะกับตัวอย่างน้ำที่มีสีคล้ำ กลิ่นเหม็น มีความขุ่นเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ในการทดลองจะต้องทำการเจือจางตัวอย่างเพื่อให้มีปริมาณสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียจะย่อยได้เหมาะสมกับปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ทำการทดลอง ตามตารางที่ 3 ซึ่งเป็นตารางที่ใช้เป็นแนวทางในการเจือจางตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวิเคราะห์

ตารางที่ 50 แสดงการเจือจางตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์ค่า BOD

การเจือจางแบบปิเปตโดยตรงในขวด 300 มล.			
ปริมาตรตัวอย่างน้ำ	ช่วงค่า BOD	ปริมาตรตัวอย่างน้ำ	ช่วงค่า BOD

(ml)		(ml)	
0.02	30,000-105,000	5.0	100-420
0.05	12,000-42,000	10.0	60-210
0.10	6,000-21,000	20.0	30-105
0.20	3,000-10,500	50.0	12-42
0.50	1,200-4,200	100	6-21
1.0	600-2,100	300	0-7
2.0	300-1,050		

#### การเตรียมน้ำเจือจาง

นำน้ำกลั่นมาทำการเป่าอากาศ โดยใช้เครื่องเป่าอากาศของผู้เลี้ยงปลา ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอิ่มตัว เติมน้ำสารอาหารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรีย โดยในน้ำเจือจาง 1 ลิตร เติมน้ำสารดังนี้

ฟอสเฟตบัพเฟอร์	1 มล. เพื่อปรับพีเอชของน้ำ
แมกนีเซียมซัลเฟต	1 มล.
แคลเซียมคลอไรด์	1 มล.
เพอริกคลอไรด์	1 มล.

#### ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) ใช้ขวดบีโอดี 300 มล. จำนวน 2 ใบ
- 2) เลือกปริมาตรในการเจือจางน้ำตัวอย่างตามช่วง บีโอดี ที่เลือกไว้ เช่นประมาณค่า บีโอดี อยู่ในช่วง 2,000 มก.ต่อลิตร การเลือกช่วงเจือจางอาจเลือกได้ 2 ช่วงได้แก่ ช่วง 600-2,100 บีโอดีตัวอย่างใส่ขวด บีโอดี 1 มล. ช่วง 1,200-4,200 บีโอดีตัวอย่างใส่ขวดบีโอดี 0.50 มล.
- 3) เตรียมขวดบีโอดี 2 ชุด ชุดละ 2 ใบ
- 4) ชุดที่ 1 ใส่ตัวอย่าง 1 มล.
- 5) ชุดที่ 2 ใส่ตัวอย่าง 0.50 มล. (เขียนฉลากข้างขวดให้ชัดเจนเพื่อป้องกันการสับสน)
- 6) นำขวดบีโอดีมาทำการเติมการเติมน้ำเจือจางที่เตรียมไว้ โดยอย่าให้เกิดฟองอากาศบนน้ำเต็มแก้วคอส่วนใด อย่าให้ล้น ปิดฝาขวด เขย่าแบบพลิกมือเพื่อให้ตัวอย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน นำขวดที่ 1 ไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (DO<sub>t</sub>) ตามหัวข้อ



1.3 ส่วนขวดที่ 2 นำไปแช่ไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบกำหนดนำออกมาวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO<sub>5</sub>)

การคำนวณ

$$BOD(mg/l) = \frac{(DO_1 - DO_5) \times 300}{ml \text{ of sample}}$$

เมื่อ DO<sub>1</sub> = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่เริ่มทำการทดลอง  
DO<sub>5</sub> = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่ 5

## 2. วิธีวิเคราะห์ซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD)

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย การย่อยวิธีนี้จะแตกต่างจากการย่อยแบบบีโอดี คือในการวิเคราะห์บีโอดี ตัวที่จะเป็นตัวย่อยของเสียหรือสารอินทรีย์ในน้ำคือแบคทีเรีย แต่ในการวิเคราะห์ซีโอดี ตัวที่จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์คือสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาที่นี้คือ โปตัสเซียมไดโครเมต (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) เป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์ (oxidizing agent) มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง การเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น เพื่อให้สารละลายมีสภาพเป็นกรดและช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ นำไปย่อยด้วยความร้อนซึ่งเรียกว่ารีฟลักซ์ (reflux) ไอของสารที่ระเหยออกมาจะถูกทำให้ควบแน่นตกกลับลงไปในภาชนะที่บรรจุ ไม่ระเหยออกไปภายนอก

### 2.1 อุปกรณ์

- 1) ชุดเครื่องมือการกลั่นแบบไหลกลับคืน
- 2) เตาให้ความร้อน (heater)

### 2.2 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) ความเข้มข้น 0.0417 โมล/ลิตร เตรียมโดยการอบแห้งโปตัสเซียมไดโครเมตที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาวางให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งสาร 12.259 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร
- 2) กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) เดิมซิลเวอร์ซัลเฟต (AgSO<sub>4</sub>) ลงไป 22 กรัม/2.65 ลิตร

- 3) สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) เตรียมโดยชั่งผลึกแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต 39 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 100 มล. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มล. คนให้สารละลาย รอให้เย็น เจือจางเป็น 1 ลิตร
- 4) สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (ferroin indicator solution) ละลาย 1,10 ฟีนันโทโรลีน โมโนไฮเดรต [1,10-phenanthroline monohydrate ( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )] 1.485 กรัม และไฮดรอกซีไอออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มล.

### 2.3 วิธีวิเคราะห์

- 1) ใช้ขวดกลั่นขนาด 250 มล.
- 2) ชั่งเมอร์คิวรีซัลเฟต ( $\text{HgSO}_4$ ) ประมาณ 0.4 กรัม ใส่ลงในขวดกลั่น
- 3) ปิเปตตัวอย่างน้ำลงไป 20 มล. (หรือส่วนของตัวอย่างที่เจือจางเป็น 20 มล.)
- 4) ปิเปตสารละลายโพตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 ปริมาตร 10 มล. ใส่ลูกแก้ว 4-5 เม็ด เพื่อช่วยให้การเคียดสมบูรณ์
- 5) นำขวดกลั่นที่เตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว ไปต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ของอุปกรณ์รีฟลักซ์ เปิดน้ำหล่อเย็น ป้องกันไม่ให้สารที่ต้มระเหยออกไปได้
- 6) ค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ซึ่งมีซิลเวอร์ซัลเฟตอยู่แล้วลงไป 30 มล. โดยเติมผ่านคอนเดนเซอร์ โดยเติมลงไปทีละน้อยๆ เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนจัดขณะเทกรด
- 7) เปิดเตาให้ความร้อน ต้มสารจนเคียดติดต่อกันเป็นเวลา 2 ชม. วางไว้ให้เย็นใช้น้ำกลั่นฉีดล้างคอนเดนเซอร์เพื่อให้สารที่ค้างอยู่ในคอนเดนเซอร์ลงไปขวดกลั่น
- 8) หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำไปติเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต จนกระทั่งจุดยุติเปลี่ยนจากสีเขียวแกมฟ้าเป็นสีน้ำตาลแดง
- 9) การทำแบลนค์ (blank) ทำไปพร้อมๆ กับน้ำตัวอย่างโดยใช้สารเคมีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แตกต่างกันตรงส่วนน้ำตัวอย่างที่ใช้ใช้น้ำกลั่นแทน

### 2.4 การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (mg/l)} = \frac{(a - b) \times C \times 8000}{\text{volume of sample}}$$

เมื่อ a = มล. ของสารละลายแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับ blank

b = มล. ของสารละลายแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง

C = ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต 0.1 โมล/ลิตร

### 3. ของแข็งแขวนลอย (suspended solids)

ของแข็งแขวนลอยคือ สารแขวนลอยที่มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์แขวนลอยอยู่

#### 3.1 อุปกรณ์

- 1) กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel)
- 2) กระดาษกรองใยแก้วขนาด 7 ซม. (glass microfiber filter, Whatman GF/G)
- 3) กระจกนาฬิกา (watch glass) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.0 ซม.
- 4) เครื่องกรองสุญญากาศ
- 5) ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103-105 °C
- 6) เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 7) โถดูดความชื้น

#### 3.2 วิธีวิเคราะห์

- 1) นำกระดาษกรอง ซึ่งอบแห้งและปล่อยให้เย็นวางไว้ใน โถดูดความชื้น
- 2) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง (A, กรัม) แล้วนำไปวางบนกรวยกรอง ฉีดน้ำกลั่นให้กระดาษเปียก เปิดเครื่องกรองสุญญากาศ
- 3) ตวงตัวอย่างน้ำด้วยกระบอกตวงปริมาตร 100 มล. เทผ่านกระดาษกรองจนกระทั่งสารที่กรองแห้ง
- 4) ปิดเครื่องกรองใช้คีบคีบกระดาษออกจากกรวยกรอง วางบนกระจกนาฬิกานำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5) นำออกมาวางให้เย็นใน โถดูดความชื้น
- 6) ชั่งกระดาษกรองที่กรองได้ (B, กรัม)

#### 3.3 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณสารแขวนลอย (mg/l)} = \frac{(B - A) \times 1000000}{\text{volume of sample}}$$

เมื่อ A = น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรอง + น้ำหนักสารแขวนลอย (กรัม)

**ภาคผนวก ข**  
สมบัติทางกายภาพของ VOCs

ตาราง 51 ค่าคงที่ของเฮนรีของ VOCs ที่สนใจที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	ค่าคงที่เฮนรี, H (atm m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> )		
	โทลูอิน	MEK	เมทานอล
300.15	$7.193 \times 10^{-3}$	$5.591 \times 10^{-5}$	$5.106 \times 10^{-6}$
315.15	$1.233 \times 10^{-2}$	$1.236 \times 10^{-4}$	$1.165 \times 10^{-5}$
321.15	$1.509 \times 10^{-2}$	$1.662 \times 10^{-4}$	$1.585 \times 10^{-5}$
327.15	$1.832 \times 10^{-2}$	$2.211 \times 10^{-4}$	$2.133 \times 10^{-5}$
331.15	$2.077 \times 10^{-2}$	$2.659 \times 10^{-4}$	$2.585 \times 10^{-5}$

ตาราง 52 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในฟิล์มแก๊สของ VOCs ที่สนใจที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ VOCs ในฟิล์มแก๊ส, D <sub>VOC</sub> (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )		
	โทลูอิน	MEK	เมทานอล
300.15	$8.274 \times 10^{-6}$	$9.708 \times 10^{-6}$	$1.505 \times 10^{-5}$
315.15	$9.577 \times 10^{-6}$	$1.065 \times 10^{-5}$	$1.651 \times 10^{-5}$
321.15	$9.927 \times 10^{-6}$	$1.104 \times 10^{-5}$	$1.711 \times 10^{-5}$
327.15	$1.028 \times 10^{-5}$	$1.143 \times 10^{-5}$	$1.772 \times 10^{-5}$
331.15	$1.052 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	$1.813 \times 10^{-5}$

ตาราง 53 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในฟิล์มของเหลวของ VOCs ที่สนใจที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ VOCs ในฟิล์มของเหลว, $D_{\text{VOC-liquid}}$ ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ )		
	โทลูอิน	MEK	เมทานอล
300.15	$9.351 \times 10^{-6}$	$1.039 \times 10^{-5}$	$1.737 \times 10^{-5}$
315.15	$9.818 \times 10^{-6}$	$1.091 \times 10^{-5}$	$1.824 \times 10^{-5}$
321.15	$1.000 \times 10^{-5}$	$1.112 \times 10^{-5}$	$1.859 \times 10^{-5}$
327.15	$1.019 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-5}$	$1.893 \times 10^{-5}$
331.15	$1.032 \times 10^{-5}$	$1.147 \times 10^{-5}$	$1.917 \times 10^{-5}$

ตาราง 54 น้ำหนักโมเลกุลของ VOCs ที่สนใจ

สารประกอบอินทรีย์	น้ำหนักโมเลกุล ( $\text{g g mol}^{-1}$ )
เมทานอล	32.042
MEK	72.107
โทลูอิน	92.141

ตาราง 55 จุดเดือดของ VOCs ที่สนใจ

สารประกอบอินทรีย์	จุดเดือด, $T_b$ (K)
เมทานอล	337.85
MEK	352.75
โทลูอิน	383.95

### ภาคผนวก ก

#### ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตร ( $K_{OL}a$ ) ที่ได้จากการระเหยของ MEK ในน้ำเสียจากถังระเหยปริมาตร 100 ลิตร สำหรับการทดลองที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm ( $U_{10\text{cm}}$ ) เท่ากับ  $2.81 \text{ m s}^{-1}$  อุณหภูมิอากาศเท่ากับอุณหภูมิห้อง ( $\sim 30^\circ\text{C}$ ) อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ  $28^\circ\text{C}$  จากการทำดุลมวลรอบถังระเหยจะได้ว่า

$$\ln \frac{C_{L,t}}{C_{L,0}} = \frac{-K_{OL}at}{V}$$

- เมื่อ  $K_{OL}a$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตร,  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$   
 $C_{L,t}$  = ความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคของเหลวที่เวลา  $t$ ,  $\text{mol m}^{-3}$   
 $C_{L,0}$  = ความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคของเหลวที่เวลาเริ่มต้น,  $\text{mol m}^{-3}$   
 $V$  = ปริมาตรของสารละลาย,  $\text{m}^3$   
 $t$  = เวลาที่ใช้,  $\text{s}$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง  $\ln(C_{L,t}/C_{L,0})$  กับ  $t$  โดยใช้ Linear regression จะได้

$$\frac{-K_{OL}a}{V} = 2.67 \times 10^{-5}$$

และ  $V = 0.1 \text{ m}^3$

ดังนั้นจะได้ค่า  $K_{OL}a = 2.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

2. การทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตร โดยใช้ทฤษฎีสองฟิล์ม

$$\frac{1}{K_{OL}a} = \frac{1}{k_La} + \frac{RT}{Hk_Ga}$$

- เมื่อ  $k_La$  = สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว,  $m^3 s^{-1}$   
 $k_Ga$  = สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส,  $m s^{-1}$   
 $H$  = ค่าคงที่เฮนรี่,  $atm m^3 mol^{-1}$   
 $R$  = ค่าคงที่สากลแก๊ส (Universal gas constant),  $atm m^3 mol^{-1} K^{-1}$   
 $T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature) ของน้ำ, K

จากทฤษฎีจะเห็นได้ว่าค่า  $K_{OL}a$  เป็นฟังก์ชันกับ  $k_La$ ,  $k_Ga$  และจำเป็นที่จะต้องคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

การคำนวณ  $K_{OL}a$  ของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm ( $U_{10 cm}$ ) เท่ากับ  $2.81 m s^{-1}$  อุณหภูมิอากาศเท่ากับอุณหภูมิห้อง ( $\sim 30^\circ C$ ) อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ  $28^\circ C$

## 2.1 การคำนวณค่าคงที่ของเฮนรี่ (H)

$$k_H = k_H^\ominus \exp\left(\frac{-\Delta H_{solution}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^\ominus}\right)\right)$$

- เมื่อ  $k_H^\ominus = 160 mol L^{-1} atm^{-1}$  (Staudinger and Roberts, 1996)

$$\frac{d \ln k_H^\ominus}{d(1/T)} = \frac{-\Delta H_{solution}}{R} = 4100$$

$$k_H = 160 \exp\left(4100 \left(\frac{1}{300.15} - \frac{1}{298.15}\right)\right)$$

$$H = 1/k_H = 6.850 \times 10^{-3} atm m^3 mol^{-1}$$

## 2.2 การคำนวณค่า $D_{toluene-liquid}$ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

$$D_{AB} = \frac{(7.4 \times 10^{-8})(\phi M_B)^{0.5} T}{\mu v_A^{0.6}}$$

- เมื่อ  $D_{AB}$  = การแพร่ของสาร A ในตัวทำละลาย B,  $m^2 s^{-1}$

$$M_B = \text{น้ำหนักโมเลกุลของตัวทำละลาย, g mol}^{-1}$$

$$T = \text{อุณหภูมิ, K}$$

$$\mu = \text{ความหนืดของสารละลาย, cp}$$

$$v_A = \text{solute molal volume at normal boiling point, cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$\Phi = 2.26 \text{ สำหรับตัวทำละลายเป็นน้ำ}$$

$$\text{แทนค่า } M_B = 18.02 \text{ g mol}^{-1}$$

$$T = 303.15 \text{ K}$$

$$\mu = 0.725 \text{ cp}$$

$$v_A = 118.718 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{จะได้ } D_{\text{toluene-liquid}} = \frac{(7.4 \times 10^{-8})((2.26)(18.02))^{0.5}(303.15)}{(0.725)(118.718)^{0.6}}$$

$$D_{\text{toluene-liquid}} = 9.444 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

2.3 การคำนวณค่า  $D_{\text{MEK-liquid}}$  ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

คำนวณเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.2 แต่เปลี่ยน  $v_A = 89.574 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$

$$D_{\text{MEK-liquid}} = \frac{(7.4 \times 10^{-8})((2.26)(18.02))^{0.5}(303.15)}{(0.725)(89.574)^{0.6}}$$

$$D_{\text{MEK-liquid}} = 1.118 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

2.4 การคำนวณค่า  $D_{\text{Methanol-air}}$  ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

$$D_{AB} = \frac{10^{-3} \times (3.03 - (0.98 / \sqrt{M_{AB}})) \times T^{3/2}}{p_i \sqrt{M_{AB}} (r_{AB})^2 f(kT / \varepsilon_{AB})}$$

$$r_A = 1.18 v_A^{1/3}$$

$$r_{AB} = \sqrt{(r_A)(r_B)}$$

$$\frac{\varepsilon}{k} = 1.15 T_b$$



$$\frac{\mathcal{E}_{AB}}{k} = \sqrt{(\mathcal{E}/k)_A (\mathcal{E}/k)_B}$$

เมื่อ	$D_{AB}$	= การแพร่ของสาร A ในตัวทำละลาย B, $m^2 s^{-1}$
	T	= 303.15 K
	$M_A, M_B$	= น้ำหนักโมเลกุลของสาร A และสาร B ตามลำดับ, $g mol^{-1}$
	$p_t$	= ความดันสัมบูรณ์, bar
	$r_{AB}$	= molecular separation of collision, $\text{\AA}$
	$\mathcal{E}_{AB}$	= energy of molecular attraction
	k	= Boltzmann's constant
	$f(kT/\mathcal{E}_{AB})$	= collision function
แทนค่า	$v_A$	= 42.284 $cm^3 mol^{-1}$
	T	= 303.15 K
	$M_A$	= 32.04 $g mol^{-1}$
	$M_B$	= 28.97 $g mol^{-1}$
	$T_b$	= 337.85 K
	$r_A$	= 4.111 $\text{\AA}$
	$r_B$	= 3.620 $\text{\AA}$
	$f(kT/\mathcal{E}_{AB})$	= 1.1845

จะได้

$$D_{methanol-air} = \frac{10^{-3} \times \left( (3.03 - (0.98 / \sqrt{30.445})) \times 303.15^{3/2} \right)}{\sqrt{30.445} \times (1.01325) \times (3.857)^2 \times (1.1845)}$$

$$D_{methanol-air} = 1.528 \times 10^{-5} m^2 s^{-1}$$

2.5 การคำนวณค่า  $D_{MEK1-air}$  ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

คำนวณเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.4 แต่เปลี่ยน

$v_A$	= 89.574 $cm^3 mol^{-1}$
T	= 303.15 K
$M_A$	= 72.11 $g mol^{-1}$
$M_B$	= 28.97 $g mol^{-1}$
$T_b$	= 352.75 K
$r_A$	= 5.280 $\text{\AA}$

$$r_B = 3.620 \text{ } ^\circ\text{A}$$

$$f(kT/\varepsilon_{AB}) = 1.1925$$

จะได้

$$D_{MEK-air} = \frac{10^{-3} \times \left( (3.03 - (0.98 / \sqrt{45.706})) \times 303.15^{3/2} \right)}{\sqrt{45.706} \times (1.01325) \times (4.372)^2 \times (1.1925)}$$

$$D_{MEK-air} = 9.752 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

2.6 การคำนวณค่า  $k_L a$

$$\text{เมื่อ } U_{10 \text{ cm}} \leq 2.44 \text{ m s}^{-1}$$

$$k_L a \text{ (Toluene) ในน้ำเสียมีค่า} = 3.333 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{เมื่อ } 2.44 \text{ m s}^{-1} \leq U_{10 \text{ cm}} \leq 4.42 \text{ m s}^{-1}$$

$$k_L a \text{ (Toluene) ในน้ำเสียมีค่า} = (7.6097U_{10 \text{ cm}} - 16.247) \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

ดังนั้นจากสมการ (1.24)

$$\text{เมื่อ } U_{10 \text{ cm}} \leq 2.44 \text{ m s}^{-1}$$

$$k_L a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = 3.333 \times 10^{-6} \left( \frac{1.118 \times 10^{-5}}{9.444 \times 10^{-6}} \right) \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$k_L a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = 3.9456 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{เมื่อ } 2.44 \text{ m s}^{-1} \leq U_{10 \text{ cm}} \leq 4.42 \text{ m s}^{-1}$$

$$k_L a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = (7.6097U_{10 \text{ cm}} - 16.247) \times 10^{-6} \left( \frac{1.118 \times 10^{-5}}{9.444 \times 10^{-6}} \right) \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$k_L a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = (9.0085U_{10 \text{ cm}} - 19.2335) \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

2.7 การคำนวณค่า  $k_G a$

$$\text{เมื่อ } 0 \leq U_{10 \text{ cm}} \leq 4.42 \text{ m s}^{-1}$$

$$k_G a \text{ (Methanol) ในน้ำเสียมีค่า} = (1.7253U_{10 \text{ cm}} - 0.1592) \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

ดังนั้นจากสมการ (1.25)

$$k_G a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = (1.7253U_{10cm} - 0.1592) \times 10^{-3} \left( \frac{0.9752 \times 10^{-5}}{1.5280 \times 10^{-5}} \right) m^3 s^{-1}$$

$$k_G a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = (1.10U_{10cm} - 0.1016) \times 10^{-3} m^3 s^{-1}$$

## 2.8 การคำนวณค่า $K_{OL}a$ จากทฤษฎีสองฟิล์ม

เมื่อพิจารณาการระเหยของ MEK ในน้ำเสียที่ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ 10 cm ( $U_{10cm}$ ) เท่ากับ  $2.81 \text{ m s}^{-1}$  อุณหภูมิอากาศเท่ากับอุณหภูมิห้อง ( $\sim 30^\circ\text{C}$ ) อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ  $28^\circ\text{C}$

$$k_L a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = ((7.61 \times 2.81) - 16.20) \left( \frac{1.04}{0.94} \right) \times 10^{-6} m^3 s^{-1}$$

$$k_L a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = 5.7356 \times 10^{-6} m^3 s^{-1}$$

และค่า

$$k_G a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = ((1.73 \times 2.81) + 0.16) \left( \frac{0.97}{1.51} \right) \times 10^{-3} m^3 s^{-1}$$

$$k_G a \text{ (MEK) ในน้ำเสียมีค่า} = 3.2363 \times 10^{-3} m^3 s^{-1}$$

ดังนั้นค่า  $K_{OL}a$  ของ MEK

$$\frac{1}{K_{OL}a} = \frac{1}{5.7356 \times 10^{-6}} + \frac{(8.206 \times 10^{-5})(301.15)}{(5.591 \times 10^{-5})(3.2363 \times 10^{-3})}$$

$$K_{OL}a = 3.2171 \times 10^{-6} m^3 s^{-1}$$

### ภาคผนวก ญ

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Regression

#### 1. ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลอง

จากแบบจำลองดังสมการที่ 3.8 มีข้อมูลทางสถิติแสดงดังตารางที่

$$K_{OLa, MEK} = b_0 + b_1 U_{10\text{ cm}}^2 + b_2 U_{10\text{ cm}} SS + b_3 (F/D) U_{10\text{ cm}} \quad (3.8)$$

ตารางที่ 56 แสดงข้อมูลทางสถิติของแบบจำลอง

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	1.131	0.000793	0.270	0.556	1.707	4.187	
b1	0.584	1.45E-08	0.05320	0.470	0.697	10.97	3.749
b2	-0.040	1.42E-07	0.00434	-0.049	-0.031	-9.227	2.070
b3	0.050	0.08633	0.02724	-0.008	0.108	1.836	2.406

โดยแบบจำลองที่ได้มีค่า  $R^2 = 0.95$  และ  $R^2 \text{ adjusted} = 0.94$

#### 2. ตาราง ANOVA

ตารางที่ 57 แสดงตาราง ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะดำเนินการโดยใช้โปรแกรม

Regression						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif.	df
Regression	64.07	95	21.36	96.18	5.07E-10	3
Residual	3.331	5	0.222			15
Total	67.40	100				18