

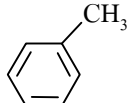
ภาคผนวก ก  
ข้อมูลเบื้องต้นของโทลูอีน

**1. การจำแนกสารและคุณสมบัติของโทลูอีน (identification and properties) (WHO, 1985)**

1.1 การจำแนกสาร (identification) โทลูอีนจัดเป็นสารในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน มีกลิ่นคล้ายกลิ่นของ เบนซีน แต่มีความเป็นพิษเฉียบพลันกว่าเบนซีน ระเหยง่ายและไวไฟ มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี โดยมี

สูตรโมเลกุล (molecular formula):  $C_6H_5CH_3$

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 92.13

สูตรโครงสร้าง (structure formula) : 

ชื่อทางเคมี (CAS chemical name) : Phenylmethane

ชื่อการค้า (common trade name) : Methacide หรือ Toluol

1.2 สมบัติทางกายภาพและเคมี (physical and chemical properties) โทลูอีนเป็นของเหลวระเหยง่าย ไวไฟ และระเบิดได้ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี มีดังนี้

จุดหลอมเหลว (melting point) :  $-95\text{ }^{\circ}\text{C}$

จุดวาบไฟ (flash point) :  $6 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

ความหนาแน่น (density) g/ml,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  : 0.8669

จุดเดือด (boiling point) :  $110.4\text{ }^{\circ}\text{C}$

ความหนาแน่นไอ (vapor density) : 3.20

ความดันไอ (vapor pressure)  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  : 28.7 mmHg

การละลาย (solubility) : ละลายน้ำได้น้อยมาก ละลายได้ดีใน  
แอลกอฮอล์ อะซิโตน คลอโรฟอร์ม  
คาร์บอนไดซัลไฟด์

การละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): 535 mg/l

ความอิ่มตัวในอากาศ ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) :  $112\text{ g/m}^3$

อัตราการระเหย : 2.24 (Butyl acetate = 1)

## 2. การใช้ประโยชน์

โทลูอินเป็นสารตัวกลางและตัวทำละลายที่สำคัญ ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

2.1 ใช้เป็นสารทำละลายในอุตสาหกรรมยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ ยา เคมี และพลาสติก

2.2 ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นและเป็นตัวกลางในอุตสาหกรรมเคมีอินทรีย์ และอุตสาหกรรมสังเคราะห์เคมี เช่น ฟีนอล การผลิตกรดเบนโซอิก โทลูอินไดไอโซไซยานาต (Toluene -2,4-diisocyanate) ผลิตหัวน้ำหอม และสารประกอบทางเคมีอื่นๆ

2.3 ใช้ในอุตสาหกรรมหนังเทียม เส้นใย การเคลือบกระดาษ และหมึกพิมพ์

2.4 ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ เช่น สำหรับเครื่องบิน หรือเครื่องยนต์บางชนิด ใช้ผลิตเบนซีน

2.5 ใช้เป็นตัวทำละลายในสี แลคเกอร์ และน้ำมันชักเงา ในอุตสาหกรรมการเคลือบผิว

2.6 ใช้เป็นสารขจัด หรือล้างสี

## 3. การเข้าสู่สิ่งแวดล้อม (WHO, 1985)

โทลูอินจากอุตสาหกรรมแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ 3 วิธี ดังนี้

3.1 จากกระบวนการผลิตโทลูอิน หรือระเหยระหว่างการเก็บ ซึ่งจะสูญเสียเข้าสู่บรรยากาศประมาณร้อยละ 2

3.2 จากขั้นตอนการผลิตต่างๆ เมื่อใช้โทลูอินเป็นตัวทำละลาย ซึ่งโทลูอิน จะระเหยเข้าสู่บรรยากาศประมาณร้อยละ 34

3.3 จากการเปลี่ยนแปลงของสาร เช่น การระเหยออกจากสถานีบริการเติมน้ำมัน ควัน หรือละอองจากยานพาหนะ การกรด รั่วซึม ประมาณร้อยละ 64

## 4. ความเป็นพิษของโทลูอิน

4.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน

โทลูอินเป็นสารที่ทำให้ผู้สูดหายใจเข้าไปเกิดอาการมึนงง และมีความเป็นพิษเฉียบพลันรุนแรงกว่าเบนซีน ซึ่งปริมาณความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดผลต่อผู้สูดหายใจคือ

15 ppm (จะได้ออกซิเจน) ถ้าความเข้มข้นขนาด 100 ppm จะมีผลกระทบต่อทางด้านจิตใจ และถ้าระดับความเข้มข้น 200 ppm จะมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง

#### 4.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

เมื่อได้รับโทลูอีนเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย ไม่มีแรง ทำเดินผิดปกติ บุคลิกภาพเปลี่ยนแปลง และความจำเสื่อม นอกจากนี้ยังพบว่าการทำงานของประสาทสัมผัสและความรู้สึกลดประสิทธิภาพลง เช่น ประสิทธิภาพของสายตา ประสาทรับความรู้สึก การทรงตัว ความจำ ความคล่องแคล่วของ การใช้มือ การพูด รวมถึงระยะเวลาในการตัดสินใจลดลง

#### 5. มาตรฐานของโทลูอีนในสิ่งแวดล้อมของการทำงาน

มาตรฐานความปลอดภัยในระหว่างการทำงานในประเทศไทย ได้กำหนด ค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของโทลูอีนในสถานประกอบการ โดยกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม ดังนี้

- ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดเวลาทำงาน ไม่ควรเกิน 200 ppm
- ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาที่จำกัด (10 นาที) ไม่ควรมีความเข้มข้นเกิน 500 ppm
- ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ 300 ppm

ภาคผนวก ข

ความเป็นพิษของตัวทำละลายอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ที่มีต่อร่างกาย

ตารางที่ 12 แสดงความเป็นพิษของตัวทำละลายอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ที่มีต่อร่างกาย

VOCs	inhalation concentration (ppm)	exposure time	health effects	exposure source*
benzene	250 - 500	continuous	vertigo, drowsiness, headache, nausea	3
	3,000	continuous	euphoria, nausea, staggering gait, coma	2
	20,000	brief, intermittent	eye, respiratory irritation	2
toluene	10 - 40	continuous	no symptoms	2
	80 - 300	years	no abnormal liver tests	3
	100	6 h	eye/nose irritation, headache, dizziness, high feeling, normal neurobehavioral tests	2
	200	8 h	mild fatigue, weakness, confusion, skin tingling	2
	600	8 h	euphoria, headache, dizziness, nausea, pupil dilation	2
	800	8 h	above symptom but more pronounced and persisting for days, muscle fatigue, nervousness, insomnia reversible lung, kidney, liver function	2
glue sniffer		3 yr	taste	3

exposure source\* (1) accidents, (2) experimental chambers, (3) estimated from occupational settings.

ที่มา: Harold, 1998

ตารางที่ 12 แสดงความเป็นพิษของตัวทำละลายอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆที่มีต่อร่างกาย (ต่อ)

VOCs	inhalation concentration (ppm)	exposure time	health effects	exposure source*
n-hexane	54 – 200	1 yr	polyneuropathy	3
	<500		no symptoms	2
	400 – 600	Year	polyneuropathy	3
	420 – 1280	>5 yr	changes in color vision, retinal pigmentation	3
	>1,000	continuous	symptoms of narcosis	2
	1,500	continuous	throat, eye irritation, nausea	2
	5,000	10 min	dizziness, confusion	2
MEK	<200 (combined with alcohol, toluene, acetone)	months or years	polyneuropathy	3
MBK	1,000	minutes	nose, eye irritation	2
	147 – 164	6 – 12 yr	polyneuropathy	3

Exposure source\* (1) Accidents, (2) Experimental chambers, (3) Estimated from occupational settings.

ที่มา: Harold, 1998

**ภาคผนวก ค**  
**การหาประสิทธิภาพของ sorbent tube**

**วิธีการ**

1. หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแท้จริง

- ผสมสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ต้องการศึกษา 2  $\mu\text{l}$  ในตัวทำละลาย 1 ml (ศึกษาความเข้มข้นของโทลูอีน และ MEK ใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ศึกษาความเข้มข้นของอะซิโตน ใช้ MEK เป็นตัวทำละลาย)

- หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแท้จริงโดยใช้ GC ที่สภาวะเดียวกับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของตัวอย่าง

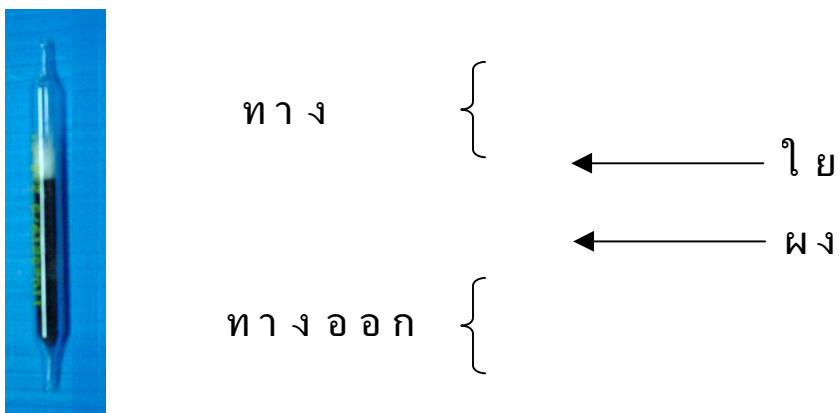
2. หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจาก sorbent tube

- ตัดปลาย หัว – ท้าย ของ sorbent tube โดยลักษณะของ sorbent tube แสดงดังภาพประกอบที่ 38

- ฉีดสารอินทรีย์ระเหยง่าย 2  $\mu\text{l}$  ลงใน sorbent tube ที่ส่วนทางเข้าของอากาศ โดยฉีดทะลุชั้นของใยแก้ว และปิดปลายทั้งสองของ sorbent tube ให้สนิท

- แช่ตู้เย็นทิ้งไว้ 1 วัน (ระยะเวลาที่ใช้เท่ากับเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อรอการสกัด ที่ใช้ในการทดลอง)

- สกัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกจาก sorbent tube และหาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ GC ด้วยวิธีการและสภาวะเดียวกับที่ใช้ในการทดลอง



ภาพประกอบที่ 38 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของ sorbent tube

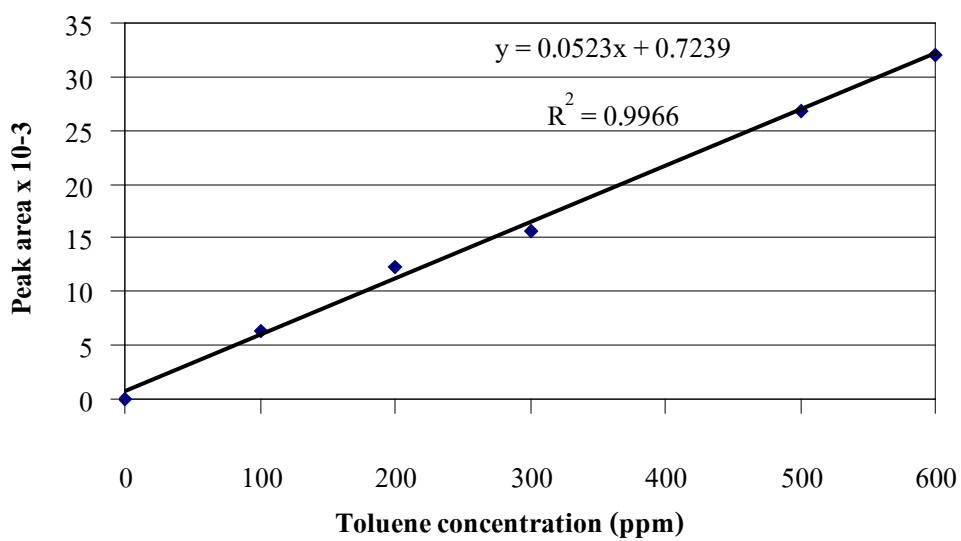
3. คำนวณประสิทธิภาพของ sorbent tube โดยใช้สมการที่ 21

$$\text{sorbent tube efficiency}(\%) = \frac{C_{VOCs,r} - C_{VOCs,s}}{C_{VOCs,r}} \times 100 \quad (21)$$

เมื่อ  $C_{VOCs,r}$  = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแท้จริง (ppm)

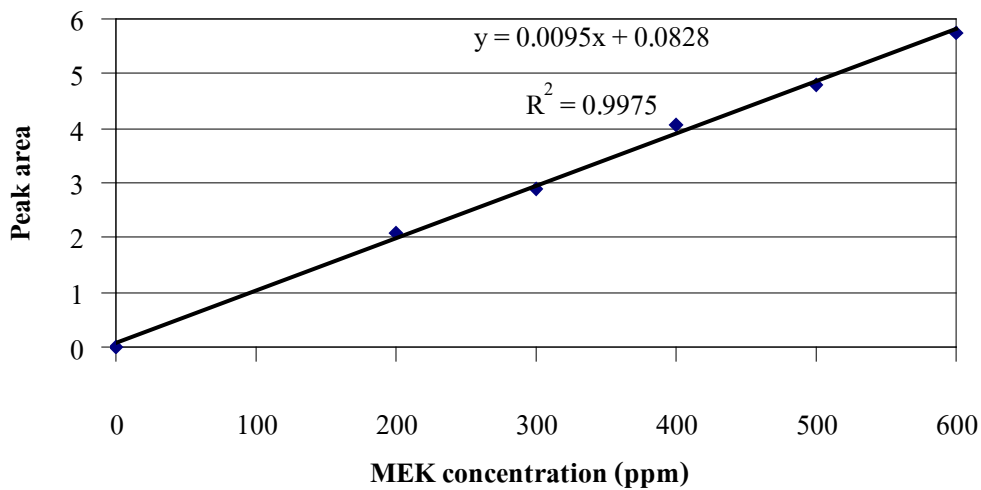
$C_{VOCs,s}$  = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจาก sorbent tube (ppm)

ภาคผนวก ง  
กราฟมาตรฐาน

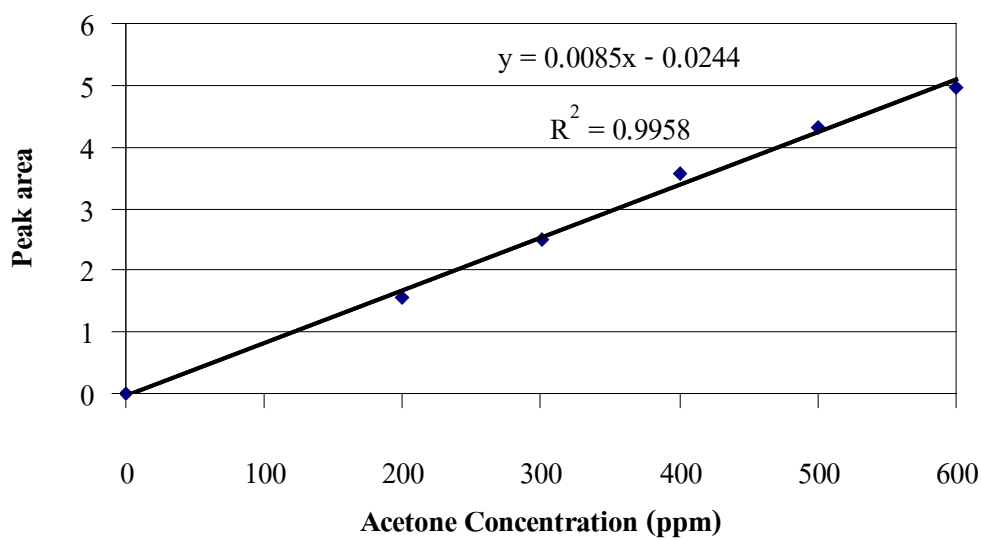


ภาพประกอบที่ 39 แสดงกราฟมาตรฐานของโทลูอิน

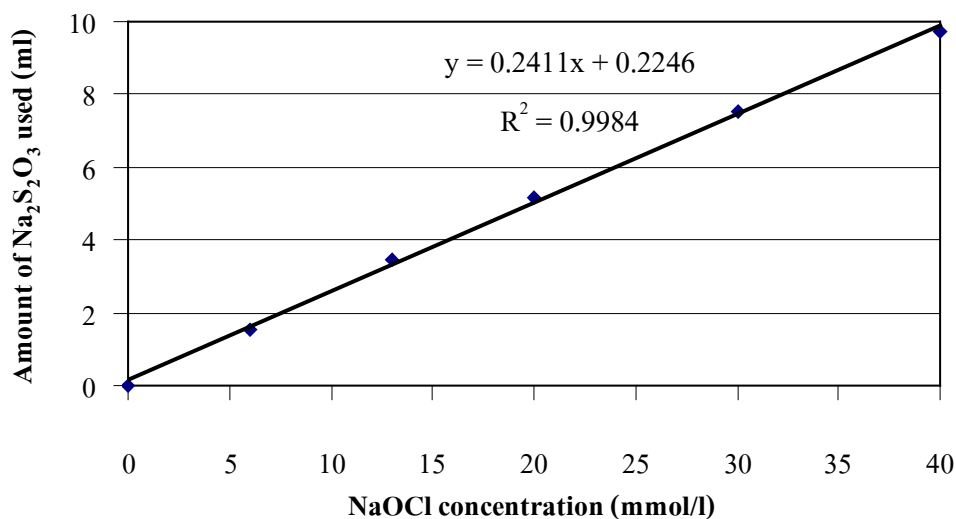




ภาพประกอบที่ 40 แสดงกราฟมาตรฐานของ MEK



ภาพประกอบที่ 41 แสดงกราฟมาตรฐานของอะซิโตน



ภาพประกอบที่ 42 แสดงกราฟมาตรฐานโซเดียมไฮโปคลอไรต์

#### ภาคผนวก จ

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในสารดูดซึม ( $C_{\text{NaOCl}}$ )  
ระหว่างการบำบัดโทลูอิน

ตารางที่ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลง  $C_{\text{NaOCl}}$  ในระหว่างการบำบัดโทลูอิน

Run no.	$C_{\text{NaOCl}}$ (mmol/l)						
	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
1	13.0	13.0	13.0	12.8	12.5	11.9	11.6
2	13.0	13.0	13.0	12.8	12.8	12.7	12.6
3	13.0	13.0	13.0	12.7	12.7	12.0	11.8
4	13.0	13.0	13.0	12.7	12.6	12.1	11.7
5	20.0	20.0	20.0	20.0	19.7	19.7	19.6
6	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.8	19.8

7	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.7	19.7
8	20.0	20.0	20.0	20.0	19.8	19.8	19.6
9	6.0	6.0	5.8	5.5	5.5	5.0	4.8
10	6.0	6.0	6.0	5.6	5.5	5.1	4.9
11	6.0	6.0	5.8	5.6	5.2	4.9	4.8
12	6.0	6.0	5.9	5.7	5.6	5.3	5.0
13	13.0	13.0	13.0	5.7	5.6	5.4	4.7
14	20.0	20.0	20.0	20.0	19.7	19.5	19.5
15	13.0	13.0	13.0	12.6	12.4	12.2	11.2
16	13.0	13.0	13.0	12.8	12.3	12.1	11.5
17	13.0	13.0	13.0	12.7	12.7	12.4	12.1
18	13.0	13.0	13.0	13.0	12.8	12.7	12.4
19	13.0	13.0	13.0	12.6	12.5	12.0	11.4
20	13.0	13.0	13.0	12.7	12.6	12.4	12.0
21	13.0	13.0	13.0	12.6	12.4	12.0	11.1

ภาคผนวก ฉ

ความเข้มข้นของโทลูอินทางเข้า ( $C_{T,in}$ ) ความเข้มข้นของโทลูอินทางออก ( $C_{T,out}$ )  
ของ wet scrubber และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เวลาต่างๆ

1. การศึกษาผลของสภาวะดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโทลูอิน

ตารางที่ 14 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	380	134	64.69
2	367	137	62.75
3	356	139	60.89
4	362	140	61.2

5	383	144	62.47
6	381	152	60.1
<b>avg.</b>			<b>62.02</b>

ตารางที่ 15 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 250 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	368	182	50.43
2	357	166	53.56
3	334	158	52.65
4	341	154	54.95
5	337	167	50.59
6	340	166	51.16
<b>avg.</b>			<b>52.22</b>

ตารางที่ 16 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 150 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	147	65	55.76
2	152	65	57.35
3	154	64	58.42
4	167	70	58.31
5	171	74	56.94
6	157	71	55
<b>avg.</b>			<b>56.96</b>

ตารางที่ 17 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 550 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	587	254	56.72
2	564	238	57.82
3	579	238	58.85
4	561	228	59.3
5	560	240	57.21
6	554	245	55.83
<b>avg.</b>			<b>57.62</b>

ตารางที่ 18 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 550 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{NaOCl} = 20 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	584	268	54.12*
2	571	237	58.52
3	563	181	67.84
4	537	206	61.71
5	555	204	63.3
6	561	221	60.57
<b>avg.</b>			<b>62.38</b>

หมายเหตุ\_\* คือ ค่าที่ไม่ใช้ในการคำนวณ average removal efficiency

ตารางที่ 19 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 250 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 550 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{NaOCl} = 20 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	555	292	47.33
2	585	334	42.85*

3	564	300	46.8
4	570	279	51.02
5	565	283	50
6	557	265	52.46
<b>avg.</b>			<b>49.52</b>

หมายเหตุ \* คือ ค่าที่ไม่ใช้ในการคำนวณ average removal efficiency

ตารางที่ 20 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 20 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	348	145	58.41
2	333	130	60.99
3	356	130	63.45
4	344	115	66.49
5	365	131	64.11
6	371	139	62.64
<b>avg.</b>			<b>62.68</b>

ตารางที่ 21 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 100 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 150 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 20 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	141	57	59.41
2	147	71	51.83
3	154	68	55.88
4	169	57	66.42 *
5	149	63	57.75
6	151	60	60.01
<b>avg.</b>			<b>56.98</b>

หมายเหตุ\_\* คือ ค่าที่ไม่ใช้ในการคำนวณ average removal efficiency

ตารางที่ 22 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 150 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{NaOCl} = 6 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	121	63	47.71
2	132	67	49.58
3	139	65	53.29
4	128	60	53.33
5	137	70	48.76
6	140	71	49.37
<b>avg.</b>			<b>50.34</b>

ตารางที่ 23 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 250 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{NaOCl} = 6 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	370	202	45.45
2	365	213	41.67
3	366	206	43.83
4	381	205	46.12
5	376	195	48.02
6	379	216	42.89
<b>avg.</b>			<b>44.66</b>

ตารางที่ 24 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 550 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 6 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	543	262	51.66
2	535	255	52.36
3	558	260	53.38
4	522	235	55.01
5	541	255	52.91
6	519	245	52.87
<b>avg.</b>			<b>53.03</b>

ตารางที่ 25 แสดง  $C_{T,\text{in}}$ ,  $C_{T,\text{out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 250 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 550 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 6 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	524	302	42.29
2	511	265	48.13
3	536	293	45.29
4	528	287	45.55
5	543	292	46.2
6	551	296	46.37
<b>avg.</b>			<b>45.47</b>

ตารางที่ 26 แสดง  $C_{T,\text{in}}$ ,  $C_{T,\text{out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 6 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	370	190	48.64
2	365	183	49.88



3	374	184	50.74
4	368	184	50.12
5	380	194	48.9
6	351	184	47.63
<b>avg.</b>			<b>49.32</b>

ตารางที่ 27 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 250 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 150 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 20 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	132	70	46.72
2	144	75	47.96
3	140	61	56.11
4	135	63	53.51
5	141	76	46.34
6	137	75	45.18
<b>avg.</b>			<b>49.31</b>

ตารางที่ 28 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	331	144	56.53
2	325	139	57.14
3	328	135	58.96
4	327	134	59.1
5	320	137	57.1
6	319	142	55.43

<b>avg.</b>		<b>57.38</b>	
ตารางที่ 29 แสดง $C_{T,in}$ $C_{T,out}$ และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ ( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ , $C_T = 350 \text{ ppm}$ , $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ , $C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}$ , $r_d = 1 \text{ mm}$ )			
<b>time (h)</b>	<b><math>C_{T,in}</math> (ppm)</b>	<b><math>C_{T,out}</math> (ppm)</b>	<b>removal efficiency (%)</b>
1	331	144	56.53
2	325	139	57.14
3	328	135	58.96
4	327	134	59.1
5	320	137	57.1
6	319	142	55.43
<b>avg.</b>		<b>57.38</b>	

ตารางที่ 30 แสดง $C_{T,in}$ $C_{T,out}$ และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ ( $Q_G = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ , $C_T = 150 \text{ ppm}$ , $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ , $C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}$ , $r_d = 1 \text{ mm}$ )			
<b>time (h)</b>	<b><math>C_{T,in}</math> (ppm)</b>	<b><math>C_{T,out}</math> (ppm)</b>	<b>removal efficiency (%)</b>
1	122	49	59.45
2	129	53	58.96
3	131	51	61.24
4	148	66	55.62*
5	137	54	60.47
6	132	53	60.04
<b>avg.</b>		<b>60.04</b>	

หมายเหตุ\_\* คือ ค่าที่ไม่ใช้ในการคำนวณ average removal efficiency

ตารางที่ 31 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 13 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	361	209	42.2
2	343	195	43.16
3	362	185	48.99
4	347	165	52.39
5	366	179	51
6	360	200	44.57
<b>avg.</b>			<b>47.05</b>

ตารางที่ 32 แสดง  $C_{T,\text{in}}$   $C_{T,\text{out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 13 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	324	92	71.51
2	322	84	73.84
3	343	84	75.43
4	353	90	74.44
5	329	88	73.32
6	337	98	70.97
<b>avg.</b>			<b>73.25</b>

ตารางที่ 33 แสดง  $C_{T,\text{in}}$   $C_{T,\text{out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 750 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 13 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 1 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	740	319	56.86
2	728	310	57.42
3	747	314	57.98

4	755	317	58.01
5	739	314	57.55
6	747	328	56.15
<b>avg.</b>			<b>57.33</b>

ตารางที่ 34 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 1,500 \text{ ppm}, Q_L = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 13 \text{ mmol/l}, r_d = 1 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	1670	730	56.31*
2	1495	593	60.31
3	1560	600	61.53
4	1512	581	61.57
5	1477	579	60.79
6	1526	604	60.42
<b>avg.</b>			<b>60.92</b>

หมายเหตุ \* คือ ค่าที่ไม่ใช้ในการคำนวณ average removal efficiency

## 2. การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซึม ( $r_d$ ) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโทลูอิน

ตารางที่ 35 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.5 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 6 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	360	165	54.03
2	345	150	56.41
3	343	161	53.12
4	330	156	52.66

5	341	169	50.48
6	347	174	49.76
<b>avg.</b>			<b>52.74</b>

ตารางที่ 36 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.5 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 13 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	325	146	55.04
2	317	141	55.57
3	322	142	55.98
4	308	139	54.71
5	316	144	54.28
6	324	152	53.17
<b>avg.</b>			<b>54.80</b>

ตารางที่ 37 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.5 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 20 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	313	153	51.13
2	306	139	54.54
3	321	142	55.76
4	329	146	55.76
5	314	137	56.33
6	325	144	55.81
<b>avg.</b>			<b>54.89</b>

ตารางที่ 38 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 6 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 0.5 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	364	73	79.83
2	347	65	81.13
3	360	67	81.45
4	351	61	82.62
5	345	64	81.52
6	367	73	80.1
<b>avg.</b>			<b>81.11</b>

ตารางที่ 39 แสดง  $C_{T,\text{in}}$   $C_{T,\text{out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 13 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 0.5 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	374	62	83.42
2	355	54	84.91
3	363	53	85.32
4	364	48	86.85
5	375	49	86.9
6	363	51	86.01
<b>avg.</b>			<b>85.55</b>

ตารางที่ 40 แสดง  $C_{T,\text{in}}$   $C_{T,\text{out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_T = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 20 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 0.5 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{T,\text{in}}$ (ppm)	$C_{T,\text{out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	355	56	83.31*
2	320	44	86.14

3	337	42	87.62
4	339	39	88.37
5	345	42	87.83
6	343	46	86.46
<b>avg.</b>			<b>87.1</b>

หมายเหตุ\_\* คือ ค่าที่ไม่ใช้ในการคำนวณ average removal efficiency

ตารางที่ 41 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 30 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	327	46	86.04
2	339	41	87.8
3	321	39	87.84
4	340	40	88.13
5	345	38	88.92
6	356	44	87.56
<b>avg.</b>			<b>87.72</b>

### 3. การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดด้วย wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับอะซิโตน และ MEK

ตารางที่ 42 แสดง  $C_{MEK,in}$   $C_{MEK,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัด MEK ที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_{MEK} = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{NaOCl} = 20 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{MEK,in}$ (ppm)	$C_{MEK,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	325	54	83.45
2	334	57	83.08
3	322	51	84.01

4	347	51	85.16
5	324	51	84.21
6	306	47	84.6
<b>avg.</b>			<b>84.09</b>

ตารางที่ 43 แสดง  $C_{\text{MEK,in}}$   $C_{\text{MEK,out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัด MEK ที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{MEK}} = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 30 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{\text{MEK,in}}$ (ppm)	$C_{\text{MEK,out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	347	36	89.5336
2	365	39	89.303
3	361	43	88.01
4	357	42	88.2
<b>avg.</b>			<b>88.76</b>

ตารางที่ 44 แสดง  $C_{\text{MEK,in}}$   $C_{\text{MEK,out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัด MEK ที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{MEK}} = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 40 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{\text{MEK,in}}$ (ppm)	$C_{\text{MEK,out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	356	35	90.24
2	374	38	89.71
3	366	29	92.03
4	370	28	92.47
<b>avg.</b>			<b>91.11</b>

ตารางที่ 45 แสดง  $C_{\text{MEK,in}}$   $C_{\text{MEK,out}}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัด MEK ที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{MEK}} = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 50 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{\text{MEK,in}}$ (ppm)	$C_{\text{MEK,out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
----------	---------------------------	----------------------------	------------------------



1	344	33	90.39
2	353	35	90.19
3	362	28	92.16
4	373	29	92.22
<b>avg.</b>			<b>91.24</b>

ตารางที่ 46 แสดง  $C_{A,in}$   $C_{A,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดอะซิโตนที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_A = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 20 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{A,in}$ (ppm)	$C_{A,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	357	44	87.79
2	331	43	86.89
3	347	43	87.71
4	363	40	88.98
5	353	43	87.82
6	364	45	87.54
<b>avg.</b>			<b>87.79</b>

ตารางที่ 47 แสดง  $C_{A,in}$   $C_{A,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดอะซิโตนที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_A = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 30 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{A,in}$ (ppm)	$C_{A,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	314	38	87.98
2	305	30	90.13
3	323	32	90.028
4	317	39	87.76
<b>avg.</b>			<b>88.97</b>

ตารางที่ 48 แสดง  $C_{A,in}$   $C_{A,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดอะซิโตนที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_A = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 40 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{A,in}$ (ppm)	$C_{A,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
----------	------------------	-------------------	------------------------

1	367	33	91.13
2	374	31	91.6
3	355	26	92.56
4	361	26	92.84
<b>avg.</b>			<b>92.03</b>

ตารางที่ 49 แสดง  $C_{A,in}$   $C_{A,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดอะซิโตนที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_A = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 50 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{A,in}$ (ppm)	$C_{A,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	373	29	92.16
2	381	31	91.96
3	389	30	92.16
4	370	29	92.22
<b>avg.</b>			<b>92.13</b>

#### 4. การศึกษาผลจากการดูดซึมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอิน MEK และอะซิโตน

ตารางที่ 50 แสดง  $C_{T,in}$   $C_{T,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอินที่เวลาต่างๆ

$$(Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}, C_T = 350 \text{ ppm}, Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}, C_{\text{NaOCl}} = 0 \text{ mmol/l}, r_d = 0.5 \text{ mm})$$

time (h)	$C_{T,in}$ (ppm)	$C_{T,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	333	226	32.27
2	340	231	32.14
3	350	237	32.26
4	359	251	29.95
5	321	230	28.24
6	327	244	25.33
<b>avg.</b>			<b>30.03</b>

ตารางที่ 51 แสดง  $C_{\text{MEK},in}$   $C_{\text{MEK},out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัด MEK ที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{MEK}} = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 0 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 0.5 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{\text{MEK,in}}$ (ppm)	$C_{\text{MEK,out}}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	321	178	44.53
2	333	184	44.73
3	337	189	43.92
4	329	188	42.96
5	346	202	41.73
6	353	214	39.4
<b>avg.</b>			<b>42.88</b>

ตารางที่ 52 แสดง  $C_{A,in}$ ,  $C_{A,out}$  และ ประสิทธิภาพการบำบัดอะซิโตนที่เวลาต่างๆ

( $Q_G = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_A = 350 \text{ ppm}$ ,  $Q_L = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $C_{\text{NaOCl}} = 0 \text{ mmol/l}$ ,  $r_d = 0.5 \text{ mm}$ )

time (h)	$C_{A,in}$ (ppm)	$C_{A,out}$ (ppm)	removal efficiency (%)
1	345	168	51.4
2	354	174	50.98
3	366	178	51.46
4	347	171	50.82
5	349	180	48.3
6	366	196	46.4
<b>avg.</b>			<b>49.89</b>

### ภาคผนวก ข

#### การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Regression

##### 1. ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลอง

แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดโทลูอินกับตัวแปรดำเนินการต่างๆ ที่ได้ในสมการที่ 14 สามารถสร้างได้จากสมการที่ 19 ซึ่งได้จากโปรแกรม Regression โดยมีข้อมูลทางสถิติแสดงดังตารางที่ 53

$$y = b_0 + b_1x_3^2 + b_2x_1x_5 + b_3x_1x_4 + b_4x_3 + b_5x_2 \quad (19)$$

ตารางที่ 53 แสดงข้อมูลทางสถิติของแบบจำลอง

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	123.22	0.000248	28.46	64.34	182.09	4.330	
b1	292.46	0.000294	68.64	150.46	434.46	4.261	174.43

b2	-0.08792	3.53E-07	0.01248	-0.114	-0.06210	-7.045	2.035
b3	0.002272	0.00175	0.642	0.944	3.601	3.539	1.480
b4	-282.51	0.00455	89.86	-468.40	-96.62	-3.144	172.49
b5	0.00479	0.00950	0.00169	0.00129	0.00829	2.830	1.035

โดยแบบจำลองที่ได้มีค่า  $R^2 = 0.94$  และ  $R^2_{\text{adjusted}} = 0.92$

## 2. ตาราง ANOVA

ตารางที่ 54 แสดงตาราง ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะดำเนินการ โดยใช้โปรแกรม

Regression						
source	SS	SS%	MS	F	F Signif.	df
Regression	4065.7	95	813.14	83.88	5.44E-14	5
Residual	222.96	5	9.694			23
Total	4288.6	100				28