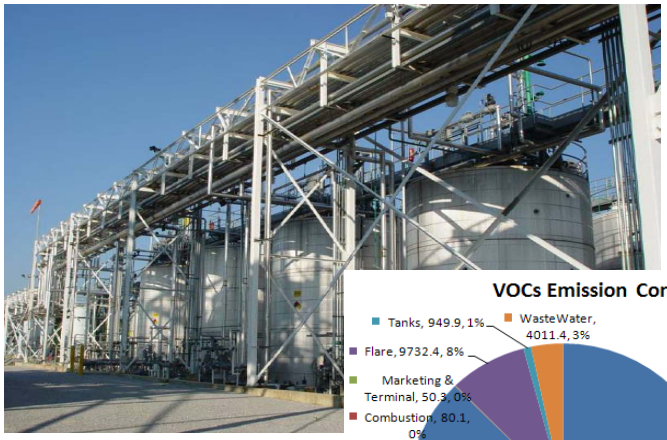
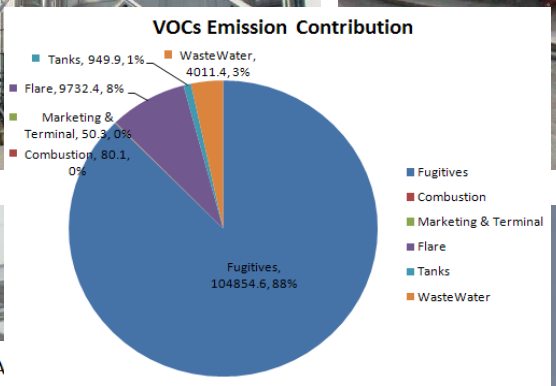
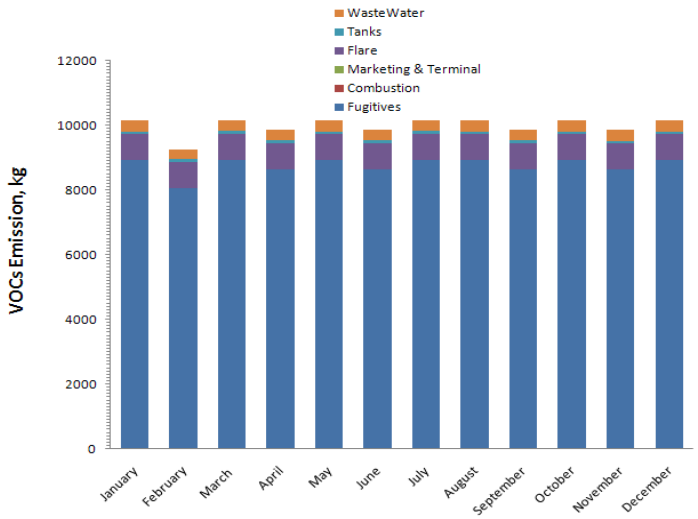
แบบช่วยคำนวณ
การทำบัญชีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย





VOCs from A



รศ.ดร.วราวุธ เสือดี

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คู่มือการใช้งาน แบบช่วยคำนวณ การทำบัญชีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย

1. หลักการ

คู่มือการใช้งาน แบบช่วยคำนวณ การทำบัญชีการปล่อยสารอินทีย์ระเหย ใช้ EXCEL Version 2007 เป็นเครื่องมือหลัก ดำเนินการตาม เอกสารอ้างอิง 2 ฉบับ คือ

1) **AP 42, Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources**

Office Of Air Quality Planning And Standards (OAQPS)

U. S. Environmental Protection Agency's (EPA)

http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html

2) **Protocol for Equipment Leak Emission Estimates**, 1995, EPA-453/R-95-017, Emission Standards Division U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina 27711, November 1995

http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume02/index.html

นอกจากเอกสารหลัก ทั้ง 2 ฉบับ ยังมี โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ U. S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA) พัฒนาขึ้น อีก 2 ชุด คือ

1) TANKS Emissions Estimation Software, Version 4.09D

TANKS เป็นคอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์ที่ใช้ประมาณปริมาณสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOC) และ สารพิษในอากาศ (Hazardous Air Pollutants, HAPs) ที่ปล่อยออกจาก ถังเก็บสารเคมี ทั้งแบบ fixed-roof และแบบ floating-roof
TANKS เป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้งานบนระบบปฏิบัติการ วินโดวส์ ใช้ทั้งแนวความคิดและวิธีการที่ระบุในบทที่ 7 ในเอกสาร EPA's Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42) โดยเนื้อหาในบทดังกล่าวได้ระบุถึงรายละเอียด ความหมาย และสูตรคำนวณที่ใช้ ตามลักษณะเฉพาะต่างๆของถังเก็บและสารเคมีแต่ละชนิด ซึ่งสามารถ download โดยไม่มีค่าใช้จ่าย จาก

http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/index.html

2) WATER9, Version 2.0

WATER9 แบบจำลองประเมินการปล่อยสารมลพิษทางอากาศและสารอินทรีย์ระเหย จากระบบบำบัดน้ำเสีย WATER9 Iเป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้งานบนระบบปฏิบัติการ วินโดวส์ ประกอบไปด้วย ชุดของสมการหลายสมการที่ใช้ในการ ประมาณหรือคำนวณ อัตราการปล่อยมลพิษทางอากาศแต่ละชนิด (รวมถึงสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิด) ที่ปรากฏอยู่ในระบบรวบรวมน้ำเสีย, ระบบกักเก็บ, ระบบบำบัด และ ระบบจัดการสารเหลือทิ้ง ในซอฟท์แวร์มีระบบฐานข้อมูลสำหรับสารเคมีแต่ละชนิด มากกว่า 200 ชนิด ที่จำเป็นในการนำไปใช้ในการคำนวณ

เพื่อประเมินอัตราการปล่อยสารมลพิษทางอากาศและสารอินทีย์ระเหยดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีรูปแบบการรายงานผลข้อมูลหลายรูปแบบให้เลือกนำไปใช้อย่าง เหมาะสม ซึ่งสามารถ download โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจาก

http://www.epa.gov/ttn/chief/software/water/index.html

2. ขอบเขตของแบบ ช่วยคำนวณ

แบบช่วยคำนวณเตรียมขึ้นสำหรับ แหล่งกำเนิดการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยโดยทั่วไป 6 แหล่งกำเนิด คือ

1) การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitives)
2) การเผาไหม้ (Combustion)
3) ระบบเผาทิ้ง (Flares)
4) การขนถ่ายเพื่อการค้า (Transportation and Marketing)
5) ถังเก็บสารเคมี (Storage Tank)
6) ระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste Water Treatment Plant)

ในกรณีที่โรงงาน หรือกิจการ มีแหล่งกำเนิดอื่นๆ ที่มีนัยสำคัญ อาจต้องการเพิ่มเติม หรือ ปรับปรุงแบบช่วยคำนวณนี้ให้เหมาะสม ในแต่ละกรณี

3. ส่วนประกอบ ในแบบ ช่วยคำนวณ

ส่วนประกอบในแบบช่วยคำนวณแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1) แบบเติมข้อมูลทั่วไปของ โรงงาน หรือกิจการที่ต้องการทำบัญชีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย
2) แบบคำนวณอัตราการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย สำหรับ
   2.1 การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitives)
   2.2 การเผาไหม้ (Combustion)
   2.3 ระบบเผาทิ้ง (Flares)
   2.4 การขนถ่ายเพื่อการค้า (Transportation and Marketing)
3) แบบรับข้อมูลจากการคำนวณโดยใช้ คอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์ คือ
   3.1 ถังเก็บสารเคมี (Storage Tank)
   3.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste Water Treatment Plant)
4) แบบสรุปข้อมูล
5) แบบรายงานผล

4. รายละเอียด ในแบบ ช่วยคำนวณ

แบบช่วยคำนวณมีอยู่ 2 แบบคือ

1) VOCsInventorySOCMI.xlsx ใช้สำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ขั้นกลาง และ ขั้นปลาย

2) VOCsInventoryOil&Gas.xlsx ใช้สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซ คลังน้ำมัน คลังก๊าซ ปั๊มน้ำมันและปั๊มก๊าซ สถานีเพิ่มความดันก๊าซ เป็นต้น

ในแบบช่วยคำนวณทั้ง 2 มีความแตกต่างเฉพาะการคำนวณ การปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจาก การรั่วระเหยจากอุปกรณ์เท่านั้น ในแหล่งกำเนิดอื่นๆมีหลักการคำนวณเหมือนกัน โดยมีรายละเอียดในแต่ละ แผ่นคำนวณ (sheet) ดังนี้

4.1 แผ่นคำนวณที่ 1 ในแบบช่วยคำนวณ **“ข้อมูลทั่วไปโรงงาน”**

เพื่อเติมข้อมูลทั่วไปโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลผลิต ในปีที่จะทำบัญชีการปล่อยมลพิษนั้นๆ มีรูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับ กิจการหรือ โรงงานทั่วไป

ตารางที่ 1 “ข้อมูลทั่วไปโรงงาน”

ชื่อโรงงาน :			
เลขทะเบียนโรงงาน :			
ชื่อผู้ติดต่อ :	**โทร :**		
E-mail Address :			
ปีการผลิต :			
เดือน	**ผลผลิต (ตัน):.....**	**ผลผลิต (ตัน):.....**	**ผลผลิต (ตัน):.....**
(Month)	**Product (ton):.....**	**Product (ton):.....**	**Product (ton):.....**
มกราคม			
กุมภาพันธ์			
มีนาคม			
เมษายน			
พฤษภาคม			
มิถุนายน			
กรกฎาคม			
สิงหาคม			
กันยายน			
ตุลาคม			
พฤศจิกายน			
ธันวาคม			
รวม	0	0	0

ผลผลิตหลัก หรือในกรณี การผลิตหรือกำลังการผลิต คิดจาก วัตถุดิบ หรือ กิจกรรมเฉพาะ ดังนี้

ก. โรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซธรรมชาติ ให้ระบุ วัตถุดิบขาเข้า

ข. โรงงนปิโตรเคมีทั่วไป ให้ระบุผลผลิตหลัก

ค. คลังปิโตรเลียม คลังก๊าซ ระบุปริมาณที่ส่งออก หรือขายออก

ง. ปั๊มน้ำมันและปั๊มก๊าซ ระบุปริมาณที่ขายออกแยกตามผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

จ. ระบบขนส่งทางท่อ ระบุปริมาณสารที่ขนถ่ายทางท่อทั้งหมด ในกรณีที่เป็นสถานีเพิ่มแรงดัน ให้รวมทั้งปริมาณที่ผ่านระบบ (by-pass) และ ปริมาณที่เข้าระบบเพิ่มความดัน

ทั้งนี้ให้พิจารณาเปลี่ยนแปลงหน่วยที่ใช้ให้เหมาะสม หรือสอดคล้องกับ ระบบการเก็บข้อมูลที่ใช้อยู่แล้ว ใน โรงงาน หรือกิจการนั้นๆ

4.2 แผ่นคำนวณที่ 2 "แบบรายงานจำนวนอุปกรณ์"

เป็นแบบเติมข้อมูล แลและเป็นแบบรายงานข้อมูล เมื่อจะต้องมีการรายงาน จำนวนอุปกรณ์ที่อาจมีการรั่วระเหยของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ดังกล่าว

ตารางที่ 2 "แบบรายงานจำนวนอุปกรณ์"

ชื่อโรงงาน :			
เลขทะเบียนโรงงาน :			
ชื่อผู้ติดต่อ :		โทร :	
E-mail Address :			
อุปกรณ์ (Equipment)	สถานะ สารอินทรีย์	จำนวนทั้งหมดของโรงงาน (Total Equipment)	หมายเหตุ
Valves	Gas	10	
	Light liquid	100	
	Heavy liquid	200	
Pumps	Light liquid	300	
	Heavy liquid	50	
Compressors	(Gas/Vapour)	10	
Pressure Relief Valves	All	20	
Connectors/Flanges	All	200	
Open-ended lines	All	20	
Sampling connections	All	20	

การนับจำนวนอุปกรณ์ที่อาจมีการรั่วระเหยของสารอินทรีย์ระเหยนั้นมีหลักการดังต่อไปนี้

1) ใช้งานกับ ท่อหรือการไหลผ่านที่มีสัดส่วนสารอินทรีย์ระเหย ไม่ต่ำกว่า ร้อยละสิบ โดยมวล
2) สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds : VOCs) หมายถึง สารประกอบที่มีคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ยกเว้น มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ โลหะคาร์ไบด์หรือคาร์บอเนต แอมโมเนียมคาร์บอเนต สารในกลุ่มป้องกันหรือปราบศัตรูพืชหรือสัตว์ และกรดอินทรีย์
3) "ก๊าซ/ไอ" (Gas/vapor) หมายความว่า "ก๊าซ/ไอ" (Gas/Vapor) หมายความว่า สถานะของสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นก๊าซหรือไอขณะที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์

4) “ของเหลวเบา” (Light liquid) หมายความว่า ของเหลวที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปโดยสารชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบมีความดันไอ (Vapor Pressure) มากกว่า 0.3 กิโลปาสกาล ที่ 20 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดที่ มีความดันไอมากกว่า 0.3 กิโลปาสกาลดังกล่าวต้องมีค่าความเข้มข้นรวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีสถานะเป็นของเหลวขณะที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์
5) “ของเหลวหนัก” (Heavy liquid) หมายความว่า ของเหลวที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปและมีคุณสมบัติไม่ใช่ของเหลวเบา
6) อุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่อยู่ในรายการอุปกรณ์ ในแบบช่วยคำนวณ ให้เทียบเคียง ลักษณะของอุปกรณ์นั้นๆ กับรายการอุปกรณ์ที่มีอยู่เช่น เครื่องกวนให้นับรวมกับปั๊มที่ใช้งานกับของเหลวเบา หัวเติมสารเคมีลงในภาชนะ(เช่นหัวจ่ายน้ำมัน) ให้นับรวมใน Open End หรือ man hold ให้นับ เป็น 1 Flange และ อุปกรณ์ตรวจวัดที่มีลักาณะจุ่มหัววัดลงในกระแสการไหลของสารอินทรีย์ระเหยในท่อ ให้นับรวมกับ วาล์ว เป็นต้น
7) อุปกรณ์ที่โดยปกติไม่ถือเป็นอุปกรณ์ที่อาจมีการรั่วระเหยของสารอินทรีย์ระเหย (ไม่ต้องนับรวมในแบบช่วยคำนวณ) มีดังต่อไปนี้
    1. อุปกรณ์นั้นใช้กับสภาวะที่เป็นสูญญากาศ โดย”“สภาวะสุญญากาศ” (Vacuum) หมายความว่า สภาวะที่ความดันภายในอุปกรณ์ (Internal Pressure) มีค่าต่ำกว่าความดันของบรรยากาศภายนอก (Ambient pressure) อย่างน้อย 5 กิโลปาสกาล (Kilopascals)
    2. การรั่วระเหยจากอุปกรณ์นั้นไม่ได้ปล่อยสู่บรรยากาศ เช่น การต่อทางออกจาก pressure release valve กับระบบปิด โดย“ระบบปิด” (Closed System) หมายความว่า ระบบที่ควบคุมอุปกรณ์มิให้มีการระบายไอสารอินทรีย์ง่ายออกสู่สิ่งแวดล้อมเช่น ระบบท่อปิด (Closed – vent system) ที่มีการบำบัดโดยการต่อ เข้าปล่องเผา (Flare) หรือผ่านสารดูดซับ (Absorber) หรือระบบหมุนเวียนเข้าสู่กระบวนการผลิต (Closed – loop system)
    3. ในการใช้งานปกติ อุปกรณ์นั้นไม่ได้สัมผัสกับกระแสการไหลของสารอินทรีย์ระเหยในท่อ
    4. อุปกรณ์นั้น ถูกหุ้มคลุมตำแหน่งที่อาจมีการรั่วระเหย เช่นที่ก้านวาล์ว
    5. อุปกรณ์นั้นมีระบบควบคุม 2 ชั้น เช่น double mechanical sealed หรือ dual mechanical seal สำหรับ วาล์ว หรือ ปั๊ม

4.3 แผ่นคำนวณที่ 3“แบบรายการสำรวจ_P1”

ในการคำนวณการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ สามารถทำได้ 4 แบบ แต่ในแบบช่วยคำนวณได้เตรียมแบบช่วยคำนวณไว้สำหรับ 2 วิธี สำหรับ **แผ่นคำนวณที่ 3** ดำเนินการตาม **วิธีที่ 3 EPA Correlation** ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดจริง แล้วนำมาคำนวณโดย

ใช้ สมการที่แนะนำโดย U.S.EPA โดย จะต้องระบุ และให้ สัญญลักาณ์ประจำอุปกรณ์แต่ละตัวโดยระบบ ดังนี้

1) ในคอลัมน์ D ให้ใส่สัญญลักษณ์แสดงชนิดของอุปกรณ์ ดังนี้
   สัญญลักษณ์อุปกรณ์
   V = Valve, P = Pump, C = Compressor, F = Flange, PRV =Pressure Relief Valves, A = Agitator, OE = Open End
2) ในคอลัมน์ E ให้ใส่สถานะของสารที่อุปกรณ์นั้นสัมผัส คือ สถานะสาร: GV =ก๊าซหรือไอ, LL = ของเหลวเบา, HL = ของเหลวหนัก
3) ในคอลัมน์ K ให้ใส่ ผลการตรวจวัดการรั่วระเหยตาม method 21 (http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate.html) ในหน่วย ppm เทียบเท่า มีเทน
4) ในคอลัมน์ K จะคำนวณอัตราการรั่วระเหยของสารอินทรีย์ระเหย โดย VOCsInventorySOCMI.xlsx สำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไปใช้สมการในตารางที่ 3 ส่วน VOCsInventoryOil&Gas.xlsx ใช้สมการในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 SOCMI EPA correlation equation approach

Equipment Type	Default Zero Emission Rate (kg/hr per source)	Pegged Emission Rates (kg/hr per source)		Correlation Equation (kg/hr per source)[b]
		10,000 ppmv	100,000 ppmv	
Gas valves	6.6E-07	0.024	0.11	Leak Rate = 1.87E-06 × $(SV)^{0.873}$
Light liquid valves	4.9E-07	0.036	0.15	Leak Rate = 6.41E-06 × $(SV)^{0.797}$
Light liquid pumps[c]	7.5E-06	0.14	0.62	Leak Rate = 1.90E-05 × $(SV)^{0.824}$
Connectors	6.1E-07	0.044	0.22	Leak Rate = 3.05E-06 × $(SV)^{0.885}$

[a] Source: EPA, November 1995, Tables 2-9, 2-11, and 2-13. To estimate emissions: Use the default zero emission rates only when the screening value (adjusted for background) equals 0.0 ppmv; otherwise use the correlation equations. If the monitoring device registers a pegged value, use the appropriate pegged emission rate.
[b] SV is the screening value (ppmv) measured by the monitoring device.
[c] The emission estimates for light liquid pump seals can be applied to compressor seals, pressure relief valves, agitator seals, and heavy liquid pumps.

5) สมการที่เขียนใน ในคอลัมน์ K ใน VOCsInventorySOCMI.xlsx

```
=IF(AND(D7 = "V", L7 = 0), LOOKUP(E7,{"GV","LL"},{0.00000066,0.0000000049}), IF(AND(OR(D7 ="C", D7 = "P", D7="A", D7="PRV"), OR(E7="GV", E7 = "LL", E7 = "HL"), L7 = 0), 0.0000075, IF(AND(OR(D7 = "F", D7 = "OE"), L7 = 0), 0.00000061, IF(AND(D7="V",E7="GV"),0.00000187*L7^0.873,IF(AND(D7="V",OR(E7="LL",E7="HL")), 0.00000641*L7^0.797,IF(AND(OR(D7="C",D7="P",D7="A",D7="PRV"), OR(E7="GV",E7="LL",E7="HL")),0.000019*L7^0.824,IF(OR(D7="F",D7="OE"),0.00000305*L7^ 0.885, 0)))))))
```

6) สมการที่เขียนใน ในคอลัมน์ K ใน VOCsInventoryOil&Gas.xlsx

```
=IF( L7 = 0, LOOKUP(D7,{"A","C","F","OE","P","PRV","SC","V"},{0.000004,0.000004,0.00000031,0.0000002,0.000024,0.000004,0.0000075,0.0000078}), IF(D7 ="SC", 0.00000151*L7^0.735, IF(D7 = "F", 0.00000444*L7^0.703, IF(D7="OE",0.00000216*L7^0.704,IF(D7="P",0.0000482*L7^0.61,IF(D7="V", 0.00000228*L7^0.746,IF(OR(D7= "C",D7="PRV", D7 = "A"),0.0000132*L7^0.589, "ERROR")))))))
```

ตารางที่ 4 Refinery EPA correlation equation approach

Equipment Type/Service	Default Zero Emission Rate (kg/hr per source)[b]	Pegged Emission Rates (kg/hr per source)[c]		Correlation Equation (kg/hr per source)[d]
		10,000 ppmv	100,000 ppmv	
Connector/All	7.5E-06	0.028	0.030	Leak Rate = 1.51E-06 × $(SV)^{0.735}$
Flange/All	3.1E-07	0.085	0.084	Leak Rate = 4.44E-06 × $(SV)^{0.703}$
Open-Ended Line/All	2.0E-06	0.030	0.079	Leak Rate = 2.16E-06 × $(SV)^{0.704}$
Pump/All	2.4E-05	0.074	0.160[e]	Leak Rate = 4.82E-05 × $(SV)^{0.610}$
Valve/All	7.8E-06	0.064	0.140	Leak Rate = 2.28E-06 × $(SV)^{0.746}$
Other[f]/All	4.0E-06	0.073	0.110	Leak Rate = 1.32E-05 × $(SV)^{0.589}$

[a] Source: EPA, November 1995, Tables 2-10, 2-12, and 2-14. Developed from the combined 1993 refinery, marketing terminal, and oil and gas production operations data. To estimate emissions: use the default zero emission rates only when the screening value (adjusted for background) equals 0.0 ppmv; otherwise use the correlation equations. If the monitoring device registers a pegged value, use the appropriate pegged emission rate.

[b] Default zero emission rates were based on the combined 1993 refinery and marketing terminal data only (default zero data were not collected from oil and gas production facilities).

[c] The 10,000 ppmv pegged emission rate was based on components screened at greater than 10,000 ppmv; however, in some cases, most of the data could have come from components screened at greater than 100,000 ppmv, thereby resulting in similar pegged emission rates for both the 10,000 and 100,000 ppmv pegged levels (e.g., connector and flanges).

[d] SV is the screening value (ppmv) measured by the monitoring device.

[e] Only two data points were available for the pump 100,000 ppmv pegged emission rate; therefore, the ratio of the pump 10,000 ppmv pegged emission rate to the overall 10,000 ppmv pegged emission rate was multiplied by the overall 100,000 ppmv pegged emission rate to approximate the pump 100,000 ppmv pegged emission rate.

[f] The other equipment type includes instruments, loading arms, pressure relief valves, stuffing boxes, vents, compressors, and dump lever arms.

7) เนื่องจากแบบช่วยคำนวณใช้ วิธีที่1 เป็นวิธีหลัก ดังนั้น ถ้าต้องการ ใช้วิธีนี้ จะต้องดำเนินการ เพิ่มเติม หรือ copy แผ่นคำนวณ **“แบบรายการสำรวจ_P1”** ให้เพียงพอกับจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น 1 แผ่น ต่อ 1 แผ่น ของ P&I Diagram บันทัดสุดท้ายเป็นผลรวมของอัตราการรั่วระเหยในแต่ละแผ่นคำนวณในหน่วย กิโลกรัม/ชั่วโมง จะต้องรวมข้อมูลนี้ แล้ว ส่งไป คูณกับ 24 และจำนวน วันในแต่ละเดือนของ แผ่นคำนวณที่ 4 “Total Fugitives” ใน cell ที่ B18-B29

4.4 แผ่นคำนวณที่ 4 “Total Fugitives”

แผ่นคำนวณที่ 4 **วิธีที่ 1 Average Emission Factor** (เป็นวิธีที่แบบช่วยคำนวณ ใช้เป็นวิธีหลัก (default) ในการคำนวณ) ใช้ข้อมูลจากแผ่นคำนวณที่ 2 มาคำนวณ ซึ่งในคอลัมน์ E จะคำนวณอัตราการรั่วระเหยของสารอินทรีย์ระเหย โดย VOCsInventorySOCMI.xlsx สำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไปใช้ค่าคงที่ในตารางที่ 5 ส่วน VOCsInventoryOil&Gas.xlsx ใช้ค่าคงที่ในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 SOCMI Average Emission Factors

Equipment Type	Service	Emission Factor (kg/hr per source)[b]
Valves	Gas	0.00597
	Light liquid	0.00403
	Heavy liquid	0.00023
Pump seals[c]	Light liquid	0.0199
	Heavy liquid	0.00862
Compressor seals	Gas	0.228
Pressure relief valves	Gas	0.104
Connectors	All	0.00183
Open-ended lines	All	0.0017
Sampling connections	All	0.0150

[a] Source: EPA, November 1995, Table 2-1.
[b] These factors are for TOC emission rates.
[c] The light liquid pump seal factor can be used to estimate the leak rate from agitator seals.

ตารางที่ 6 Refinery Average Emission Factors

Equipment Type	Service	Emission Factor (kg/hr per source)[b]
Valves	Gas	0.0268
	Light liquid	0.0109
	Heavy liquid[d]	0.00023
Pump seals[c]	Light liquid	0.114
	Heavy liquid[d]	0.021
Compressor seals	Gas	0.636
Pressure relief valves	Gas	0.16
Connectors	All	0.00025
Open-ended lines	All	0.0023
Sampling connections	All	0.0150

[a] Source: EPA, November 1995, Table 2-2. Based on data gathered in the 1970's.
[b] These factors are for non-methane organic compound emission rates.
[c] The light liquid pump seal factor can be used to estimate the leak rate from agitator seals.
[d] The American Petroleum Institute is conducting a program to develop revised emission factors for components in heavy liquid service. Contact state or local agencies to determine the appropriate application of heavy liquid emission factors.

4.5 แผ่นคำนวณที่ 5 “Combustion_Data”

ใช้สำหรับป้อนข้อมูลอัตราการใช้เชื้อเพลิง 4 ชนิด รายเดือน สำหรับ 3 อุปกรณ์ (ซึ่งถ้ามีอุปกรณ์มากกว่านี้จะต้อง Copy ตารางคำนวณเพิ่มเติม 1 ตารางต่อ 1 อุปกรณ์ ในกรณี ที่มีอุปกรณ์ 1 หรือ 2 อุปกรณ์ ให้ใส่ค่า 0 สำหรับอุปกรณ์หรือช่องใช่ข้อมูลที่ใช้

4.6 แผ่นคำนวณที่ 6 “Combustion_Calculation”

แผ่นคำนวณที่ 6 จะนำเอาข้อมูลจากแผ่นคำนวณแผ่นที่ 5 มาคำนวณอัตราการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากการเผาไหม้ โดยใช้ชข้อมูลจากตารางที่ 7

ตารางที่ 7 Combustion: Emission Factors

Equipment Type	Fuel Type	Emission Factor		AP-42 Reference		
		TOC	VOC	Rating	Table	Last Update
Boilers and Heaters Utility, > 100 mmBtu/hr	No.6 Oil	1.04 lbs/1000 gal	0.76 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	No. 5 Oil	1.04 lbs/1000 gal	0.76 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	No. 4 Oil	1.04 lbs/1000 gal	0.76 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Natural Gas	11 lbs/mmscf	5.5 lbs/mmscf	B, C	1.4-2	7/98
	Refinery Gas	Use natural gas factors adjusted for the difference in the heat contents of the fuels.				
Boilers and Heaters Industrial, 10-100 mmBtu/hr	No.6 Oil	1.28 lbs/1000 gal	0.28 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	No. 5 Oil	1.28 lbs/1000 gal	0.28 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	No.4 Oil	0.252 lbs/1000 gal	0.2 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Distillate	0.252 lbs/1000 gal	0.2 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Natural Gas	11 lbs/mmscf	5.5 lbs/mmscf	B, C	1.4-2	7/98
	Butane	0.6 lbs/1000 gal	0.4 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	Propane	0.5 lbs/1000 gal	0.3 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	Refinery Gas	Use natural gas factors adjusted for the difference in the heat contents of the fuels.				
Boilers and Heaters Commercial, 0.3-10 mmBtu/hr	No.6 Oil	1.605 lbs/1000 gal	1.13 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	No. 5 Oil	1.605 lbs/1000 gal	1.13 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	No.4 Oil	0.556 lbs/1000 gal	0.34 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Distillate	0.556 lbs/1000 gal	0.34 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Natural Gas	11 lbs/mmscf	5.5 lbs/mmscf	B, C	1.4-2	7/98
	Butane	0.6 lbs/1000 gal	0.4 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	Propane	0.5 lbs/1000 gal	0.3 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	Refinery Gas	Use natural gas factors adjusted for the difference in the heat contents of the fuels.				
Gas Turbines	Natural Gas	0.011 lbs/mmBtu	0.0021 lbs/mmBtu	B, D	3.1-2a	4/00
	Distillate	0.004 lbs/mmBtu	0.00041 lbs/mmBtu	C, E	3.1-2a	4/00
RICE, 2 stroke, lean burn	Natural Gas	1.64 lbs/mmBtu	0.12 lbs/mmBtu	A, C	3.2-1	7/00
RICE, 4 stroke, lean burn	Natural Gas	1.47 lbs/mmBtu	0.118 lbs/mmBtu	A, C	3.2-2	7/00
RICE, 4 stroke, rich burn	Natural Gas	0.358 lbs/mmBtu	0.0296 lbs/mmBtu	C	3.2-3	7/00
IC Engines, < 250 hp	Gasoline	3.03 lbs/mmBtu	---	D	3.3-1	10/96
IC Engines, < 600 hp	Diesel	0.36 lbs/mmBtu	---	D	3.3-1	10/96
IC Engines, > 600 hp	Diesel	0.09 lbs/mmBtu	0.082 lbs/mmBtu	C, E	3.4-1	10/96

สมการการคำนวณที่ใช้คือ

1) เชื้อเพลิงประเภท น้ำมันเตา: Fuel Oil L/month

$$\frac{L(FuelOil)}{month}\times(0.28\times 0.12)\frac{kg(NMTOC)}{1000L}(EmissionFactor)$$

2) เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันดีเซล: Distillate Oil L/month

$$\frac{L(DistillateOil)}{month}\times(0.2\times 0.12)\frac{kg(NMTOC)}{1000L}(EmissionFactor)$$

3) เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซธรรมชาติ: NG or Refinery Gas m^3/month

$$\frac{m^3(\text{NG or Refinery Gas})}{month}\times(16\times5.5)\frac{kg(VOC)}{1000000m^3}(EmissionFactor)$$

4) เชื้อเพลิงประเภทก๊าซหุงต้ม (อัตราส่วน โปรเปน:บิวเทน = 70:30) : LPG L/month (Propane : Butane = 70 : 30)

$$\frac{L(\text{LPG})}{month}\times[(0.5-0.2)\times0.7+(0.6-0.2)\times0.3]\times0.12\frac{kg(VOC)}{1000L}(EmissionFactor)$$

4.7 แผ่นคำนวณที่ 7 "Total_Combustion"

แผ่นคำนวณที่ 7 เป็นการสรุปข้อมูลอัตราการการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยรายเดือนโดยใช้ข้อมูลจาก แผ่นการคำนวณที่ 6

4.8 แผ่นคำนวณที่ 8 "Flare"

แผ่นคำนวณที่ 8 ใช้ นำเข้าข้อมูลอัตราการส่งสารไฮโดรคาร์บอนหรือสารอินทรีย์ระเหยไปยังระบบเผาทิ้ง หรือ แฟลร์ ใช้ ข้อมูลจากตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อัตราการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากระบบเผาทิ้ง

Component	Emission Factor ($lb/10^6$ Btu)
Total hydrocarbons[b]	0.14
Carbon monoxide	0.37
Nitrogen oxides	0.068
Soot[c]	0 - 274

HYDROCARBON COMPOSITION OF FLARE EMISSION[a]

Composition	Volume %	
	Average	Range
Methane	55	14 - 83
Ethane/Ethylene	8	1 - 14
Acetylene	5	0.3 - 23
Propane	7	0 - 16
Propylene	25	1 - 65

สมการที่ใช้คำนวณ คือ

$$\frac{m^3(FlareGas)}{month}\times\left[HeatOfCombustion\frac{2600kCal}{1m^3}\right]\times\frac{BTU}{0.252kCal}\times\left[\frac{0.14lb}{10^6BTU}EmissionFactor\right]\times\left[\frac{0.45VOCs}{1TOC}\right]\times\frac{1kg}{2.204lb}$$

ซึ่งสมการที่ใช้ เมื่อข้อมูลอัตราการส่งสารอินทรีย์ระเหยไปยังระบบเผาทิ้งอยู่ในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน และ ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เฉลี่ยของก๊าซที่ส่งไปเผาคือ 2600 kCal/m^3 ซึ่งถ้าค่าความร้อนดังกล่าวมีค่าต่างจากนี้มากจะต้อง เปลี่ยน ค่า 2600 ในสูตรการคำนวณ ใน cell ที่ C4:C15 และ H4:H15 ให้เป็นค่าความร้อนจริงของ ของก๊าซที่ส่งไปเผา ในหน่วย kCal/m^3

4.9 แผ่นคำนวณที่ 9 “VFRT_T1”

แผ่นรับข้อมูล จาก TANK4 สำหรับ ถังเก็บประเภท Vertical Fixed-Roof Tank โดยการเลือกให้ บันทึกข้อมูลผลการคำนวณ (Output) เป็นแบบ detail และ Monthly ในรูป excel file แล้ว copy ทุก cell ลงมาแทนที่ ข้อมูลที่มีอยู่เดิม (เริ่มจาก cell ที่ 1A) แล้วจึงเปลี่ยนชื่อแผ่นคำนวณตามชื่อ หรือ ID ของถังใบนั้น ในกรณี ที่มีถังเก็บแบบ Vertical Fixed-Roof Tank มากกว่า 1 ถัง ให้ copy แผ่นคำนวณที่ 9 เพิ่มเติมจนครบ ตามจำนวน

ตารางที่ 9 ตัวอย่าง ข้อมูลผลการคำนวณ (Output) จาก Tank4 12 คอลัมน์แรก (จาก 98 คอลัมน์)

ID	MIX ID	PRIMARY	NAME	CAS	MONTH	TANK_TY	USER ID	CITY	STATE	COMPANY
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		January	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		February	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		March	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		April	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		May	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		June	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		July	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		August	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		Septembe	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		October	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		Novembe	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK
34	1	TRUE	Distillate fuel oil no. 2		Decembe	Vertical Fi	VERT_P-904A	LUMLUKK	PATUMTANI	PTT_LLK

4.10 แผ่นคำนวณที่ 10 “HFRT_T1”

แผ่นรับข้อมูล จาก TANK4 สำหรับ ถังเก็บประเภท Horizontal Fixed-Roof Tank โดยการเลือกให้ บันทึกข้อมูลผลการคำนวณ (Output) เป็นแบบ detail และ Monthly ในรูป excel file แล้ว copy ทุก cell ลงมาแทนที่ ข้อมูลที่มีอยู่เดิม (เริ่มจาก cell ที่ 1A) แล้วจึงเปลี่ยนชื่อแผ่นคำนวณตามชื่อ หรือ ID ของถังใบนั้น ในกรณี ที่มีถังเก็บแบบ Horizontal Fixed-Roof Tank มากกว่า 1 ถัง ให้ copy แผ่นคำนวณที่ 10 เพิ่มเติมจนครบ ตามจำนวน

4.11 แผ่นคำนวณที่ 11 “IFRT_T1”

แผ่นรับข้อมูล จาก TANK4 สำหรับ ถังเก็บประเภท Internal Floating Roof Tank โดยการเลือกให้ บันทึกข้อมูลผลการคำนวณ (Output) เป็นแบบ detail และ Monthly ในรูป excel file แล้ว copy ทุก cell ลงมาแทนที่ ข้อมูลที่มีอยู่เดิม (เริ่มจาก cell ที่ 1A) แล้วจึงเปลี่ยนชื่อแผ่นคำนวณตามชื่อ หรือ ID ของถังใบนั้น ในกรณี ที่มีถังเก็บแบบ Internal Floating Roof Tank มากกว่า 1 ถัง ให้ copy แผ่นคำนวณที่ 11 เพิ่มเติมจนครบ ตามจำนวน

4.12 แผ่นคำนวณที่ 12 “EFRT_T1”

แผ่นรับข้อมูล จาก TANK4 สำหรับ ถังเก็บประเภท External Floating Roof Tank โดยการเลือกให้ บันทึกข้อมูลผลการคำนวณ (Output) เป็นแบบ detail และ Monthly ในรูป excel file แล้ว copy ทุก cell ลงมาแทนที่ ข้อมูลที่มีอยู่เดิม (เริ่มจาก cell ที่ 1A) แล้วจึงเปลี่ยนชื่อแผ่นคำนวณตามชื่อ หรือ ID ของถังใบนั้น ในกรณี ที่มีถังเก็บแบบ External Floating Roof Tank มากกว่า 1 ถัง ให้ copy แผ่นคำนวณที่ 12 เพิ่มเติมจนครบ ตามจำนวน

4.13 แผ่นคำนวณที่ 13 “Tank_VFRT”

แผ่นรับข้อมูล จาก แผ่นคำนวณที่ 9 “VFRT_T1” และจากถังเก็บประเภท Vertical Fixed-Roof Tank ที่อาจจะมีมากกว่า 1 ถัง โดยจะบวกสะสมข้อมูลใน cell เดียวกัน เป็นข้อมูลรวมของถังประเภทนี้ทุกใบ

4.14 แผ่นคำนวณที่ 14 “Tank_HFRT”

แผ่นรับข้อมูล จาก แผ่นคำนวณที่ 10 “HFRT_T1” และจากถังเก็บประเภท Horizontal Fixed-Roof Tank ที่อาจจะมีมากกว่า 1 ถัง โดยจะบวกสะสมข้อมูลใน cell เดียวกัน เป็นข้อมูลรวมของถังประเภทนี้ทุกใบ

4.15 แผ่นคำนวณที่ 15 “Tank_IFRT”

แผ่นรับข้อมูล จาก แผ่นคำนวณที่ 11 “IFRT_T1” และจากถังเก็บประเภท Internal Floating Roof Tank ที่อาจจะมีมากกว่า 1 ถัง โดยจะบวกสะสมข้อมูลใน cell เดียวกัน เป็นข้อมูลรวมของถังประเภทนี้ทุกใบ

4.16 แผ่นคำนวณที่ 16 “Tank_IFRT”

แผ่นรับข้อมูล จาก แผ่นคำนวณที่ 12 “EFRT_T1” และจากถังเก็บประเภท External Floating Roof Tank ที่อาจจะมีมากกว่า 1 ถัง โดยจะบวกสะสมข้อมูลใน cell เดียวกัน เป็นข้อมูลรวมของถังประเภทนี้ทุกใบ

4.17 แผ่นคำนวณที่ 17 “Total_Tank”

แผ่นรับข้อมูล และรวมข้อมูล จาก แผ่นคำนวณที่ 13 + แผ่นคำนวณที่ 14 + แผ่นคำนวณที่ 15 + แผ่นคำนวณที่ 16 เป็นแผ่นคำนวณที่ทำหน้ารวบรวมข้อมูลถังทุกประเภทและทุกใบและเปลี่ยนหน่วยจากข้อเดิมที่มีหน่วยเป็นปอนด์ให้เป็นหน่วยกิโลกรัม

4.18 แผ่นคำนวณที่ 18 “Marketing _Terminal”

แผ่นคำนวณข้อมูลแผ่นที่ 18 ทำหน้าที่คำนวณ ปริมาณสารอินทรีย์ระเหย ที่มาจากการรั่วระเหยจากการเติมสารอินทรีย์ระเหย ลงใน รถขนส่ง หรือเรือขนส่ง ปริมาณการรั่วระเหยขึ้นกับ ปริมาณการ ขนถ่าย และ วิธีการขนถ่าย ดังแสดงในตารางที่ 10
การประเมินการรั่วระเหยทำได้โดยใช้สมการ

$$L_L = 12.46 \frac{SPM}{T}\left(1 - \frac{eff}{100}\right)$$

เมื่อ: LL = loading loss, pounds per 1000 gallons ($lb/10^3 gal$) of liquid loaded

S = a saturation factor

P = true vapor pressure of liquid loaded, pounds per square inch absolute (psia)

M = molecular weight of vapors, pounds per pound-mole (lb/lb-mole)

T = temperature of bulk liquid loaded, °R (°F+460)

eff = ประสิทธิภาพของระบบควบคุม, %

ตารางที่ 10 Saturation Factor เพื่อใช้ในการคำนวณ loading loss

Cargo Carrier	Mode Of Operation	S Factor
Tank trucks and rail tank cars	Submerged loading of a clean cargo tank	0.50
	Submerged loading: dedicated normal service	0.60
	Submerged loading: dedicated vapor balance service	1.00
	Splash loading of a clean cargo tank	1.45
	Splash loading: dedicated normal service	1.45
	Splash loading: dedicated vapor balance service	1.00
Marine vessels[a]	Submerged loading: ships	0.2
	Submerged loading: barges	0.5

ข้อมูลที่จะต้องนำเข้า คือ S Factor ที่ดูจากวิธีการขนถ่ายและจากตารางที่ 10 นอกจากนี้ ยังต้องมีปริมาณการขนถ่ายรายเดือน อุณหภูมิ ของสารขณะขนถ่าย ซึ่ง มักใช้ค่าที่ 20 องศาเซลเซียส และ ความดันไอของสารนั้นที่ อุณหภูมิขณะขนถ่าย น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารที่ขนถ่าย และประสิทธิภาพของระบบบำบัด (ถ้าไม่มีให้ใส่ค่า = 0)

สำหรับในแผ่นคำนวณที่ 18 ได้เตรียมข้อมูลไว้สำหรับ น้ำมันเชื้อเพลิงทุกชนิด ถ้าต้องการใช้คำนวณสารชนิดอื่นให้แก้ข้อมูลโดยเริ่มจากชื่อสาร วิธีขนถ่าย น้ำหนักโมเลกุล และความดันไอ (ในหน่วยที่ระบุไว้)

4.19 แผ่นคำนวณที่ 19 “Total_Marketing”

แผ่นคำนวณข้อมูลแผ่นที่ 19 รวมรวมข้อมูลอัตราการรั่วระเหย จากการขนถ่าย

4.20 แผ่นคำนวณที่ 20 “”Wastewater”

แผ่นคำนวณข้อมูลแผ่นที่ 20 ทำหน้าที่รับข้อมูลจากการ ใช้ ซอฟท์แวร์ WATER9 โดยให้แสดงผลแบบ Summary I ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 11 จากนั้นนำค่าและชื่อสารอินทรีย์ระเหยที่คำนวณได้ ไปแทนที่ ช่องที่มีตัวอักษรสีแดง ในแผ่นคำนวณที่ 20 ดังตัวอย่างในตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ผลจาก WATER9 โดยให้แสดงผลแบบ Summary I

WASTEWATER TREATMENT SUMMARY I 07-24-2006 20:54:02

COMPOUND	RATE (g/s)	Fraction Air	Removal	Exit	Adsorb	error	emissions
TOLUENE	5.19E-01	0.77	0.2237	0.0019	0.0000	0.0000	(1.64E+01 Mg/yr)

TOTAL ALL COMPOUNDS emissions 5.19E-01 g/s air

TOTAL ALL COMPOUNDS 1.64E+01 Mg/yr air emissions

ตารางที่ 12 ตำแหน่งเติมข้อมูลในแผ่นคำนวณที่ 20

Result from Water9	g/s	kg/yr
Benzene	5.00E-02	1576.8
Carbon Tetrachloride	1.06E-02	334.2816
Toluene	2.99E-02	942.9264
Trichloroethylene	2.18E-02	687.4848
Xylene	1.49E-02	469.8864
TOTAL ALL COMPOUNDS	**1.27E-01**	**4011.3792**

4.21 แผ่นคำนวณที่ 21 “Total”

แผ่นคำนวณที่สรุปข้อมูลทั้งหมด

4.22 แผ่นคำนวณที่ 22 “Report 1”

แบบพิมพ์รายงานแผ่นที่ 1

4.23 แผ่นคำนวณที่ 23 “Report 2”

แบบพิมพ์รายงานแผ่นที่ 2

4.24 แผ่นคำนวณที่ 24 “Report 3”

แบบพิมพ์รายงานแผ่นที่ 3

4.25 แผ่นคำนวณที่ 25 “Report 4”

แบบพิมพ์รายงานแผ่นที่ 4

4.26 แผ่นคำนวณที่ 26 “Report 5”

แบบพิมพ์รายงานแผ่นที่ 5

รศ.ดร.วราวุธ เสือดี
suadwar@iit.edu
suadwar@gmail.com