บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

กระบวนการผลิตโคโพลิเมอไรเซชั่น ระหว่างไวนิลอะซิเตทกับไวนิลคลอไรด์ เพื่อการที่จะได้มา ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณสมบัติตามต้องการ สำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น การทำแผ่นเสียง อุตสาหกรรมสี กระเบื้องปูพื้น เส้นใยต่าง ๆ สารเคลือบผิวต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นการนำหมู่ไวนิลอะซิเตทเข้าไปยังโพลิเมอร์หลัก คือ กลุ่มไวนิลคลอไรด์ โดยการใช้ไวนิลอะซิเตทคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 10% ของปริมาณไวนิลคลอไรด์โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้โคโพลิเมอร์ที่มีกลุ่มของไวนิลอะซิเตทอยู่ในโคโพลิเมอร์เพียง 80% ของปริมาณไวนิลอะซิเตทที่เติมลงไป นั้นคือ จะมีไวนิลอะซิเตทหลงเหลือประมาณ 2% ของปริมาณไวนิลคลอไรด์ โดยทั่วไปสัดส่วนไวนิลคลอไรด์ต่อน้ำจะประมาณ 60 : 40 ถึง 50 : 50 โดยที่ไวนิลคลอไรด์จะทำปฏิกิริยาโคโพลิเมอไรเซชั่นได้ประมาณ 85% ที่เหลือจะถูกกู้คืน (Recovery) ออกจากถังปฏิกิริยาหมด โดยที่ไวนิลอะซิเตทจะถูกนำออกจากกระบวนการกู้คืนนี้คิดเป็นประมาณ 85% ที่เหลือจะละลายอยู่ในน้ำ นั่นคือจะมีไวนิลอะซิเตทในน้ำประมาณ 0.3% หรือคิดเป็น 3,000 PPM[1] นอกจากนี้ ยังมีอุตสาหกรรมอีกหลายประเภทที่ใช้ไวนิลอะซิเตทเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ทางเคมี ซึ่งได้ก่อให้เกิดสารดังกล่าวติดลงไปในน้ำที่ออกมาจากโรงงาน หรือกระบวนการผลิตนั้นๆ

ไวนิลอะซิเตทมีสูตรทางเคมีคือ CH_2=CH-$OOCH_3$ ($C_4H_6O_2$) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 86.1 กรัม ไวนิลอะซิเตทเป็นสารติดไฟง่ายมาก มีระดับความสามารถติดไฟได้ และจุดระเบิดได้ด้วยตัวเองที่ระดับความเข้มข้นในอากาศ 2.6 - 13.4 % โดยปริมาตร จากการศึกษาพบว่าไวนิลอะซิเตทมีความเป็นพิษขนาดปานกลางต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ต่อน้ำ ต่ออากาศ และเป็นพิษต่อสัตว์ในน้ำ และบนดิน ดังมีข้อมูลดังนี้คือ ความเป็นพิษต่อการสูดดมหายใจในร่างกายเท่ากับ 4 PPM ต่อ 15 นาที[2] การสัมผัสโดยตรงจะทำให้เกิดอาการผื่นคันทันที ถ้ามีปริมาณไอของไวนิลอะซิเตทเข้มข้นพอ ก็จะทำให้มึนเมา และหมดสติได้ สามารถได้กลิ่นหอมของสารได้เมื่อมีความเข้มข้นในอากาศเพียง 0.12 - 0.4 PPM ค่าความเป็นพิษ ความอันตรายของสารเคมีดังกล่าวมีดังต่อไปนี้คือ

LD_{50} for Rat	=	2920 mg/kg โดยน้ำหนัก (Slightly Toxic)
LD_{50} for Rabbit	=	2500 mg/kg [3]
Aquatic Toxicity	=	100 - 1000 PPM
Threshold Limits		
Aesthetic Effect	=	Mild Odored, Colourless, Water Insoluble Oil, Boiling Point 72 - 73°C [4]
Threshold for Effect on Light Sensitivity of Eyes	=	0.8 mg/in^3
Threshold for Reflex Change in Electrical Activity of the Brain	=	0.2 mg/in^3
Aquatic Toxicity Limit	=	18 PPM/96 hr/bluegill/TLM/Fresh Water 100 PPM/48 hr/Flounder/LC_{50}/Salt Water [4]

ในรายละเอียดอื่น ๆ เกี่ยวกับอันตรายของไวนิลอะซิเตท จะได้กล่าวต่อไปในตอนคุณสมบัติในแง่ของความเป็นพิษของสารดังกล่าว

จากอันตรายของสารไวนิลอะซิเตทดังกล่าวโดยคร่าว ๆ ในตอนต้นประกอบกับปริมาณไวนิลอะซิเตทที่ปะปนออกมาในน้ำเสีย ในปริมาณที่มากจนถึงขีดอันตรายต่อมวลมนุษย์ สิ่งมีชีวิตในน้ำ และสภาพแวดล้อม จึงได้เห็นถึงความจำเป็นในการกำจัด หรือบำบัดน้ำเสียดังกล่าว ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือในการใช้ประโยชน์อื่น ๆ ต่อไป ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย และไม่เป็นอันตรายให้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

การวิจัยมีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

1. ศึกษาหาสภาวะเช่น อุณหภูมิการทำงาน อัตราการป้อนของเหลว และอากาศ และอื่น ๆ และวิธีที่เหมาะสมในกระบวนการแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำ

2. ออกแบบอุปกรณ์สำหรับแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำเสีย หลังกระบวนการผลิตโพลิเมอร์สหพันธ์ ระหว่างไวนิลอะซิเตทกับไวนิลคลอไรด์ในระดับห้องปฏิบัติการ ให้ได้น้ำออกจากระบบได้มีคุณภาพที่ปลอดภัย

3. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

4. เสนอแนะหลักการออกแบบอุปกรณ์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้มีขึ้นเพื่อการศึกษาหาสภาวะ และวิธีที่เหมาะสมในกระบวนการแยกสารไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำ และออกแบบอุปกรณ์แยกดังกล่าวในระดับห้องปฏิบัติการ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

1.4 แนวความคิด ขั้นตอนในการทำวิจัย และการทดลองศึกษาวิจัย

แนวความคิดในการวิจัย

1. ศึกษาหลักการ และวิธีการแยกตัวของไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำทิ้ง

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยก

3. ออกแบบอุปกรณ์แยกให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต ตามการใช้งานในระดับห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนในการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลของสารที่จะทำการแยก

2. ศึกษาวิธีการแยกสารต่าง ๆ และเลือกแนวทางการแยกสาร

3. นำข้อมูลของสาร และอุปกรณ์การแยกมาออกแบบในระดับห้องปฏิบัติการ

4. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารตามแบบการทดลอง

5. ปรับตัวแปรต่าง ๆ เป็นอุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำเสีย อัตราการไหลของอากาศ ชนิดของอุปกรณ์บางตัว ศึกษากลไกการแยกที่เกิดขึ้น

6. นำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์

7. สรุปผลการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองการศึกษาวิจัย

1. ทดลองหากราฟสมดุลของเหลวไอ (สมดุลเฟส) น้ำ-ไวนิลอะซิเตท

2. จัดแบบจำลองการทดลองศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกด้วยลมร้อน

2.1 ปรับหาตัวแปรทางกายภาพที่เหมาะสม อุณหภูมิ อัตราป้อนอากาศ และสารละลายระหว่างไวนิลอะซิเตทกับน้ำ และความดันลดลงในหอแพค

2.2 ศึกษาหาประสิทธิภาพของแพคกิ้ง และหากมีโอกาสที่จะศึกษาหาประสิทธิภาพของแพคกิ้งชนิดต่าง ๆ

3. ศึกษาประสิทธิภาพของหอ และระบบ

1.5 เป้าหมาย หรือผลที่คาดว่าจะได้รับ

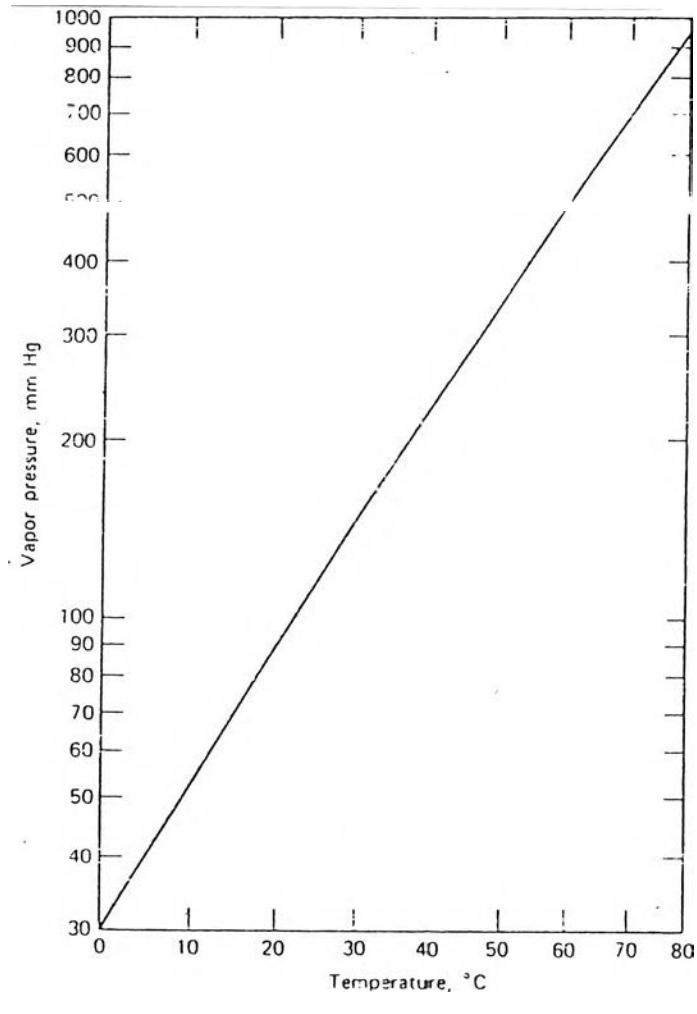
1. ได้กระบวนการที่เหมาะสมในการแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำเสีย

2. ได้สภาวะ และวิธีการที่เหมาะสมในการแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำเสีย

3. สามารถเป็นอุปกรณ์ต้นแบบในการแยกไวนิลอะซิเตทออกจากน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมต่อไป

1.6 สมบัติทางกายภาพ[5]

สมบัติทางกายภาพหลายประการของไวนิลอะซิเตท ถูกวัดค่าซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง ค่าที่วัดได้บางครั้งก็มีความขัดแย้งกันเอง สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของไวนิลอะซิเตท ดังแสดงในตารางที่ 1.1



<u>ภาพที่ 1-1</u> ความดันไอของไวนิลอะซิเตทที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ภาพที่ 1-1 แสดงค่าความดันไอของไวนิลอะซิเตทที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$\log_{10} P_{mm} = \frac{(0.05223)\ (34433)}{T} - 8.091 \qquad (1)$$

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

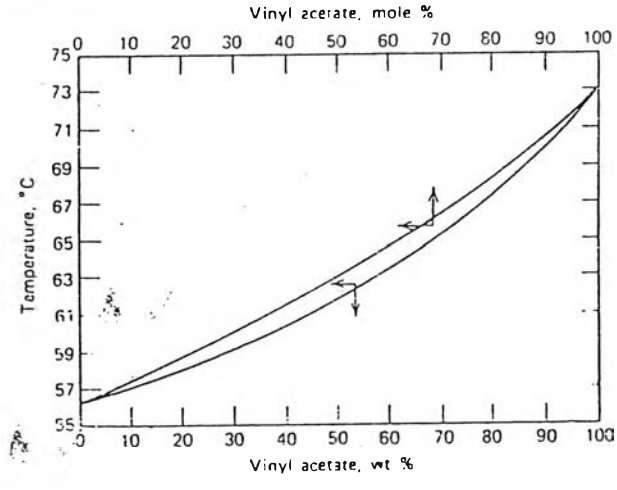
ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไวนิลอะซิเตท [5]

Property	Value	Reference
molecular weight	86.091	
boiling point, °C		
760 mmHg	72.7	69
300 mmHg	47.0	45
50 mmHg	9.0	45
10 mmHg	−18	45
vapor pressure at 20°C, mmHg	92	45
Δ bp, (°C)/Δp (mmHg) at		
750–770 mmHg	0.040	45
vapor density (air = 1.0)	2.97	58
liquid density, g/ml		
d_4^9	0.9459	70
d_4^{25}	0.9312	70
d_4^{30}	0.9181	70
d_4^{50}	0.892	71
specific gravity		
20/20°C	0.9342	72
10/20°C	0.9455	72
Δ sp gr/Δt (per °C)	0.000126	45
viscosity of liquid, cP		47,73
0°C	0.55	
20°C	0.43	
40°C	0.35	
80°C	0.25	
120°C	0.18	
surface tension, dyn/cm		47
20°C	25.5	
40°C	22.8	
80°C	18.3	
interfacial tension to water, at 20°C, dyn/cm	16.5	386
melting point, °C	−92.8	74
freezing point, °C	−100.2	75
refractive index, n_D		
20°C	1.3953	74
25°C	1.3949	69
Δn_D/Δ°C at 20–40°C (per °C)	0.00053	74
solubility in water, wt %		
20°C	2.3	74
50°C	2.1	76
70°C	3.5	76
solubility of water, wt %		59
20°C	0.9	
66°C	1.9	
solubility in organic solvents, acetone, benzene, ethyl ether, heptane, methanol, and carbon tetrachloride, at 25°C	complete	
flash point, Tag open cup, ASTM Method D 1310, °F	23	58
autoignition temperature, °C	427	77
coefficient of cubical expansion per °C (20–40°C)	1.52×10^{-3}	58
explosive limit		58
lower, vol % in air	2.6	
upper, vol % in air	13.4	
weight, at 20°C, lb/gal	7.77	58

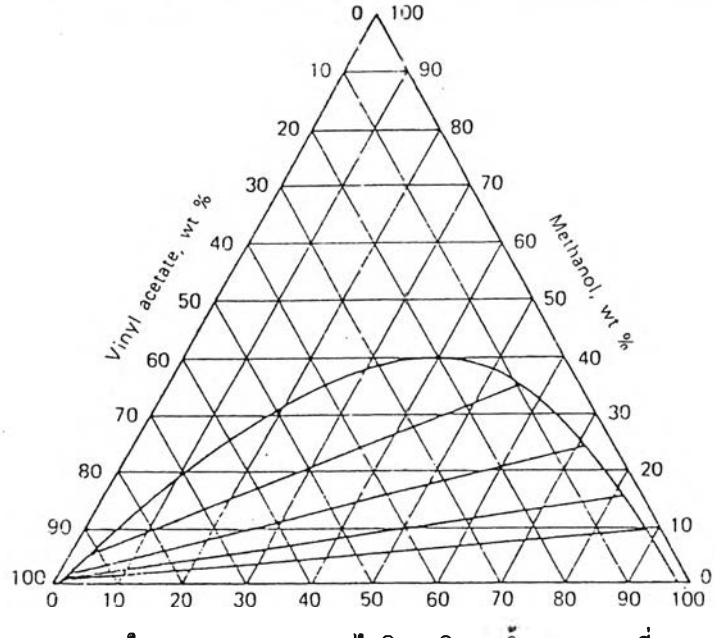
ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

Property	Value	Reference
specific heat of liquid, cal/(g)(°C)		45
20°C	0.46	
60°C	0.48	
100°C	0.505	
dielectric constant (25°C)	5.8	59
dipole moment, 25°C, Debye units		
benzene	1.75	78
carbon tetrachloride	1.79	79
Trouton's constant	23.8	46
parachor	204.7	70
specific heat of vapor at 1 atm, cal/(mole)(°C)		
20°C	22.5	80
100°C	27.3	80
134°C	29.5	81
heat of formation, kg-cal/mole		82
from acetylene and acetic acid, at 200°C	−29.6	
from ethylene and acetic acid, at 120°C	−41.1	
heat of hydrogenation, at 43°C, kg-cal/mole	−30.95	75
heat of combustion, kg-cal/mole	495	67
heat of vaporization, kg-cal/mole	7.8	67
heat of polymerization, kg-cal/mole	21 ± 0.5	384, 385
cohesive energy density, cal/cm³	83.8	56
oxidation–reduction potential, 0.1*N* H_2SO_4	0.3	83
magnetic susceptibility	-46.2×10^{-6}	84
thermal conductivity, cal/(sec)(cm)(°C)	319	85
supersonic velocity, at 134°C and 95.98 kHz, m/sec	202.7	81
critical data:		
temperature, °C	240.8	81
	228.9	46
	252 (estd)	47
pressure, atm	41.9 (estd)	47
	45.67	81
volume, liters/mole	0.265	74
density, g/ml	0.324	47
specific heat (vapor), at 134°C, cal/mole	29.52	81
heat of melting, kcal/mole	2.87	86
thermal conductivity, (cal)(mole)(°C)		85
23.1°C	3.70×10^{-4}	
48.2°C	3.37×10^{-4}	
67°C	3.26×10^{-4}	
flash point, °F		77
closed cup	18	
open cup	50	
molar Kerr constant, carbon tetrachloride, 25°C	3.61×10^{-12}	79
adiabatic compressibility, egs	90×10^{12}	87
heat capacity, vapor at 1 atm, cal/(sec)(cm)(°C)		88
20°C	22.5	
100°C	27.3	
solubility parameter	9.05	382

สมบัติทางกายภาพหลายประการของไวนิลอะซิเตท ได้จากการคำนวณ และการเขียนกราฟในรูปของอุณหภูมิ คุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่ ความดันไอ (vapor pressure) ความร้อนของการเกิดไอ (heat of vaporization) ความจุความร้อนของไอ (vapor heat capacity) ความจุความร้อนของของเหลว (liquid heat capacity) ความหนาแน่นของของเหลว (liquid density) ความหนืดของไอ (vapor viscosity) ความหนืดของของเหลว (liquid viscosity) ความตึงผิว (surface tension) การนำความร้อนของไอ (vapor thermal conductivity) และการนำความร้อนของของเหลว (liquid thermal conductivity) ดังแสดงในตารางที่ 1.1



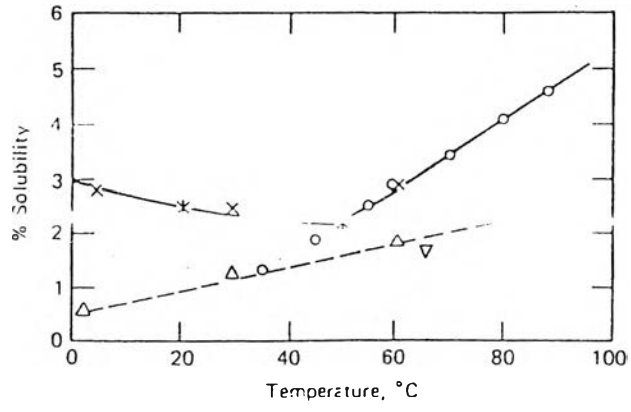
ภาพที่ 1-2 แสดงสมดุลย์ระหว่างของเหลว และไอ (liquid-vapor equilibria) ของไวนิลอะซิเตท กับอะซิโตน



ภาพที่ 1-3 ความสามารถในการละลายของระบบไวนิลอะซิเตท-น้ำ-เมธานอล ที่อุณหภูมิ 20 °C

ภาพที่ 1-3 แสดงแผนภูมิของการละลายของสาร 3 ชนิด ได้แก่ ไวนิลอะซิเตท น้ำ และเมทานอล

ค่าการละลายของไวนิลอะซิเตทในน้ำ และการละลายของน้ำในไวนิลอะซิเตท ดังแสดงในภาพที่ 1-3 ซึ่งจะมีความสำคัญต่อการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก



ภาพที่ 1-4 ความสามารถในการละลายในกันและกันของไวนิลอะซิเตทและน้ำ
"—— "หมายถึงการละลายในน้ำ "----" หมายถึงการละลายในไวนิลอะซิเตท
"O" ข้อมูลของนายโอกามูระ "X" และ "Δ" เป็นข้อมูลที่ยังมิได้ตีพิมพ์

ตารางที่ 1.2 แสดงค่าจุดเดือด และองค์ประกอบของอะซีโอโทรปที่มีไวนิลอะซิเตทอยู่ พบว่าไม่มีจุดอะซีโอโทรปในระบบน้ำ - ไวนิลอะซิเตท

Compound	Boiling point, 760 mmHg, °C	Boiling point of azeotrope, 760 mmHg, °C	Vinyl acetate, wt %	Other compound, wt %
vinyl acetate	72.7		100	
		Binary azeotrope		
acetone	56.5			
ethanol		67.3	74	
methanol	64.5	58.8	63.4	36.6
2-propanol	82.3	70.8	77.6	22.4
water	100.0	66.0	92.7	7.3
benzene	80.1	72.4	96.1	3.9
toluene	110.8	72.6	96	4.0
cyclohexane	80.7	67.4	61.3	38.7
heptane	98.4	72.0	83.5	16.5
		Ternary azeotrope		
benzene	80.1	65.8	86.5	11.8
water	100.0			1.7

การกระจายของไวนิลอะซิเตทระหว่างชั้นน้ำ และชั้นโพลีไวนิลอะซิเตท พบว่ามีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$Mp = 13.7\ M^{2}_{H2O} \quad (2)$$

Mp คือ ร้อยละของไวนิลอะซิเตทที่มีในโพลีไวนิลอะซิเตท

$M^{2}_{H O}$ คือ ร้อยละของไวนิลอะซิเตทที่อยู่ในสมดุลย์กับน้ำที่อุณหภูมิ 25°C

ความดันไอของไวนิลอะซิเตทที่อยู่เหนือสารละลาย

1.7 สมบัติทางเคมี[5]

ไวนิลอะซิเตทสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ โดยจะทำหน้าที่เป็นทั้งออร์แกนนิคเอสเทอร์ และสารประกอบโอลีฟีนิก

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ไวนิลอะซิเตทสามารถไฮโดรไลส์ได้รวดเร็วเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด หรือด่าง จะเกิดเป็นกรดอะซิติค และอะซิตอลดีไฮไดย์ อัตราเร็วในการไฮโดรไลส์จะมีค่าต่ำสุดที่ pH 4.4

ในสภาวะที่เป็นด่างไวนิลอะซิเตทจะเกิดการไฮโดรไลส์ได้ถึง 1000 เท่า ซึ่งเร็วพอ ๆ กับ เอทธิลอะซิเตท ในขณะที่เมื่ออยู่ในสารละลายเอทธิล อัตราเร็วของการไฮโดรไลส์จะคล้ายกัน[4]

ตารางที่ 1.3 แสดงอัตราคงที่ของการไฮโดรไลส์ของเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ ในสภาวะที่เป็นด่าง[5]

Ester	Hydrolysis rate constant, liters mole sec
vinyl acetate	2.6
ethyl acetate	0.145
isopropenyl acetate	0.512
allyl acetate	0.23
methyl acrylate	0.198
n-butyl acrylate	0.074
methyl methacrylate	0.083

อัตราเร็วในการไฮโดรไลส์ของไวนิลอะซิเตทภายใต้สภาวะที่เป็นกรดจะช้ากว่าเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง และพบว่า กลไกของการไฮโดรไลส์จะมีลักษณะคล้ายกับเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวที่มีความเข้มข้นต่ำ ภายใต้สภาวะกรดที่เรียกว่า กลไกแบบอะซิล-ออกซิเจน-ฟิชชั่น ดูเหมือนว่ากลไกของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของกรดสูงขึ้น

ไวนิลอะซิเตทสามารถไฮโดรไลส์ได้รวดเร็ว เมื่อมีพัลลาเดียมคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในตัวกลางที่เป็นกรด

การเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบไฮดรอกซี่

ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เป็นที่รู้จักกันได้แก่ อะเซททิลเลชั่น อะคิลเลชั่น และทรานส์เอสเทอร์ฟีเลชั่นของไวนิลอะซิเตทกับสารประกอบไฮดรอกซี่ สรุปได้ดังนี้

1. กรณีที่มีด่างเป็นคะตะลิสต์ สารไวนิลอะซิเตทจะทำหน้าที่เป็นอะเซททิลเลติงเอเจน

2. กรณีที่มีกรดแก่เป็นคะตะลิสต์ จะเกิดเป็นสารผสมของสารประกอบอะซิตอล และทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น และมีการกลับไปมาของปฏิกิริยาเล็กน้อย

3. กรณีที่มีกรดแก่อยู่รวมกับเกลือของปรอทเป็นคะตะลิสต์พบว่า จะได้อะซิตอลที่เกิดจากไพรเมอรี่อะลิฟาติกแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

4. ที่อุณหภูมิ -15°C ถึง 0°C ไวนิลอะซิเตททำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยที่มีเกลือของปรอทที่อยู่ในกรดแก่ จะได้ไวนิลเอสเทอร์ และในการทำปฏิกิริยากับฟีนอลได้สารผสมของฟีนิลไวนิลเอสเทอร์ และอะซิตอลของฟีนอล

ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชั่น

ได้มีการศึกษากลไกของการเกิดไฮโดรจิเนชั่นของไวนิลอะซิเตทในสารละลายที่เป็นกรด โดยมีการใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ และโคบอลต์สคลอไรด์เป็นคะตะลิสต์ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชั่นที่อุณหภูมิ 43°C โดยที่มีแพลตตินัมเข้มข้น 5% ผลที่ได้คือ เอททิลอะซิเตท (H_{316} = -30.95 กิโลแคลอรี่ต่อโมล) และการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชั่นที่อุณหภูมิ 82°C โดยมีแพลตตินัมเข้มข้น 10% ผลที่ได้คือ กรดอะซิติก และเอทธิลลิดีนอะซิเตท

ปฏิกิริยากับ Halogens

เมื่อไวนิลอะซิเตทถูกโบรมิเนทโดยที่มีโซเดียมอะซิเตท และอะซิติกแอนไฮไดร์อยู่ จะได้ผลเป็นไกรคอลอัลดีไฮด์ไตรอะซิเตท การโบรมิเนทที่ตำแหน่งพันธะคู่ (double bond)

จะมีประสิทธิภาพเมื่อใช้สารไดออกเซนไดโบรไมด์ โดยผลที่ได้จากการโบรมิเนทจะสูงถึง 78% แต่เมื่อใช้โบรมีน (Br_2) ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 5°C จะได้ผลเพียง 40% ปฏิกิริยาการเติมโบรมีน (bromination) สามารถใช้ในการหาปริมาณไวนิลอะซิเตทที่มีอยู่ในอีมัลชั่นหรือสารละลายของโพลีไวนิลอะซิเตท อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจสอบนี้จะต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ซึ่งจะรบกวนการวิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธีนี้

ปฏิกิริยาการเติมชนิดอื่น ๆ

อะซิติกแอนไฮไดรด์ทำปฏิกิริยากับไวนิลอะซิเตทได้ 1,1 ไดอะเซตออกซี่ 3 บิวทานอล เอทธิลไลดินีมาโลนิก เอสเทอร์ เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของไวนิลอะซิเตทกับไดเอทธิลโซดิโอมาโลเนต อาเดลมัน (Adelman) ได้อธิบายถึงเอทธิลลีดีน เอสเทอร์ชนิดอื่น ๆ ด้วย อะซิตอล และคีตอลสามารถทำปฏิกิริยากับไวนิลอะซิเตทที่มีกรดซัลฟุริกอยู่ด้วย เกิดเป็นเอทธิลลิดีนเอสเทอร์ ตัวอย่างของกรดคาร์โบโซลิก ได้แก่ กรดสเตียริก กรดเบนโซอิก และกรดอะโซลิก

สารประกอบไวนิลอะซิเตท อิออน เตตระคาร์บอนซึ่งเป็นสารประกอบสีแดงเข้ม สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไวนิลอะซิเตทกับ $Fe(Co)_5$ ไวนิลอะซิเตททำปฏิกิริยากับคาร์บอนโมโนไซด์ และไฮโดรเจนภายใต้อิทธิพลของเมทธิลคาร์บอนิล จะเกิดปฏิกิริยาชนิดออกโซขึ้นผลที่ได้คือ อะโดเลน และอะซิดิวแอลดีไฮด์

ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไวนิลอะซิเตท ในอินเนิร์ตโซลเวนที่มีแหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระนั้นเกิดได้ช้ามาก ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้ สไตรีนจะถูกออกซิไดซ์ได้เร็วกว่าไวนิลอะซิเตทถึง 10 เท่า ไกลคอลอัลดีไฮด์จะเกิดขึ้นเมื่อไวนิลอะซิเตทถูกออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยมีออสเมียมทีโทรไซด์อยู่ด้วย หรืออาจใช้พีริโอเดทเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวออกซิไดซ์

$$CH_2=CH\text{-}OOCCH_3 \xrightarrow[H_2O_2]{O_5O_4} HOCH_2CHO + CH_3COOH$$

เมื่อทำการทดสอบขยะจากพืชที่เปลี่ยนสีได้ พบว่า จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 50% ภายใน 21 วัน ได้มีการเตรียมโอโซไนด์ของไวนิลอะซิเตท ซึ่งสารชนิดนี้เมื่อทิ้งไว้ให้แห้งจะเกิดระเบิด เปอร์ออกไซด์ของไวนิลอะซิเตทเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไวนิลอะซิเตทกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในปฏิกิริยาไวนิลโพลีเมอไรเซชั่นสามารถใช้เปอร์ออกไซด์เป็นตัวกระตุ้นได้

การย่อยสลาย

การสลายตัวของไวนิลอะซิเตทเริ่มที่อุณหภูมิ 360°C โดยไม่มีการโพลีเมอร์ไรเซชั่นเกิดขึ้นเลย ส่วนที่อุณหภูมิ 500°C จะมีการสลายตัวด้วยความร้อน (pyrolysis) ของไวนิลอะซิเตทได้เบตา-คีโตอัลดีไฮด์ กรดอะซิติก อะเซตทีลีน โปรโพลีน คีโตน อะซีตอลดีไฮด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไดเมทิลคีทีน

การทำให้บริสุทธิ์ การคงตัว และการวิเคราะห์

ไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ที่ใช้ในทางการค้าส่วนใหญ่จะมีความบริสุทธิ์สูง จึงไม่จำเป็นต้องกำจัดสิ่งเจือปน

ปกติแล้วจะมีการเติมตัวยับยั้งคือ ไฮโดรควิโนน 4-7 ppm ลงในไวนิลอะซิเตท ซึ่งในการทำโพลีเมอร์ไรเซชั่นไม่จำเป็นต้องกำจัดออกไปก็ได้ แต่ถ้าต้องการเก็บไว้นาน ๆ (กว่า 1 ปี) ก็ต้องเติมไดฟีนิลลามีน 200 ppm ลงในโมโนเมอร์ นอกจากการเติมไฮโดรควิโนน สำหรับโมโนเมอร์ที่มีไดฟีนิลลามีนปนอยู่จะต้องนำมากลั่นก่อนนำไปใช้

ข้อกำหนด (specification) ทางอุตสาหกรรมของไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ อยู่ในตารางที่ 1.4

ASTM ก็ได้พิมพ์ข้อกำหนดของไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามข้อกำหนดนี้กว้างเกินไปสำหรับโมโนเมอร์

ตารางที่ 1.4 ข้อกำหนดมาตรฐานในเชิงอุตสาหกรรมของไวนิลอะซิเตท[5]

Test	Method	Specification
vinyl acetate	gas chromatography	99.9% min
specific gravity, 20/20°C		0.9335–0.9345
distillation, at 760 mmHg	ASTM method	72.3–73.0°C
acidity (as acetic acid)	titration	0.005 wt %
nonvolatile matter	evaporation in platinum dish	0.015 wt %
stabilizer		
hydroquinone	titration with Ce^{+4}	4–5 ppm
diphenylamine	UV	175–275 ppm
acetaldehyde	titration with $NaHSO_3$	0.01 wt %
water	Karl Fischer	0.04 wt %
color,	ASTM method	
stabilized		25 platinum-cobalt
distilled		5 platinum-cobalt
suspended matter		substantially free

ได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์มากมายหลายวิธีเพื่อใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ และพฤติกรรมการเกิดโพลีเมอไรเซชั่นของไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ ผู้ผลิตไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์มักจะรวบรวมวิธีการตรวจสอบไว้ด้วยกัน UV, IR สเปคโตรสโคปี้ ก็เป็นวิธีที่นำมาใช้กันมาก แต่วิธีเหล่านี้นับว่ายุ่งยากสำหรับงานประจำ การตรวจสอบไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ซึ่งผสมกับโมโนเมอร์อื่น ๆ สามารถทำโดยใช้ทินเลเยอร์โครมาโตกราฟฟี่[10]

การหาความเข้มข้นของไวนิลอะซิเตทโดยดูจากโอเลฟินที่ไม่อิ่มตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาโบรมีเนชั่น การเติมไอโอดีนโมโนคลอไรด์ (การหาเลขไอโอดีน) ปฏิกิริยาคะตะไลติก ไฮโดรจิเนชั่น และการเติมเกลือเมอร์คิวริก ซึ่งสามารถตรวจสอบสารประกอบที่เกิดขึ้นด้วยวิธีโพลากราฟฟี่

ไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ที่เหลือในสารละลาย หรือในอีมัลชั่นของไวนิลอะซิเตทสามารถตรวจสอบได้โดยวิธีโบรมีนไตเตรชั่น และโพลาโรกราฟฟี่ สิ่งเจือปนในไวนิลอะซิเตท เช่น โครนอนอัลดีไฮด์ก็สามารถหาได้โดยแกสครอมาโตรกราฟฟี่ และโพลากราฟฟี่

การวิเคราะห์ไวนิลอะซิเตทในทางอุตสาหกรรมก็ใช้วิธีเดียวกับของโมโนเมอร์ ข้อกำหนดมาตรฐาน การทดสอบความเป็นกรด ปริมาณอะซิตอลดีไฮด์ และปริมาณไฮโดรควิโนนของไวนิลอะซิเตทนั้นเป็นไปตาม ASTM

การเก็บรักษา (Handling)

ไวนิลอะซิเตทจัดเป็นของเหลวที่ระเหยง่าย และติดไฟได้ จึงมีข้อควรระวังเหมือนของเหลวที่ติดไฟได้ ขีดจำกัดต่ำสุดที่จะระเบิดได้ในอากาศคือ 2.6% โดยปริมาตร ส่วนขีดจำกัดสูงสุดคือ 13.4% ความเข้มข้นของไอของไวนิลอะซิเตท ช่องว่างของไอ (vapor space) ในถังเก็บที่อุณหภูมิ 70°F มีค่าประมาณ 12.5% โดยปริมาตร นั่นคือ ยังอยู่ในช่วงที่ระเบิดได้ จึงต้องใช้เครื่องมือที่สามารถกำจัดเปลวไฟที่อาจเกิดขึ้นได้ เครื่องมือที่มาสัมผัสกับไวนิลอะซิเตทต้องต่อสายดิน และมีตัวป้องกันการระเบิด สามารถเก็บไวนิลอะซิเตทไว้ในถังคาร์บอนสตีล หรืออะลูมิเนียม แต่ส่วนมากจะเก็บไว้ใต้ดินเพื่อหลีกเลี่ยงอุณหภูมิของฤดูร้อน

ไม่ควรใช้ข้อต่อกับปั๊มที่ทำจากทองแดง หรือทองเหลือง เนื่องจากทองแดงเป็นตัวขัดขวางการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชั่น ควรศึกษาการออกแบบถังเก็บ ปั๊ม และท่อจากขบวนการของไวนิลอะซิเตท

1.8 ความเป็นพิษอื่น ๆ ของไวนิลอะซิเตท

ไวนิลอะซิเตทมีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำ ไม่มีสี มีกลิ่นหอมคล้ายละมุด ลอยอยู่เหนือน้ำ ติดไฟได้ง่าย และไอของมันทำให้เราแสบตา และเกิดผื่นคันได้ ถ้าถูกต้องกับผิวหนังทำให้เกิดเป็นตุ่มคัน และเกิดระคายเคืองได้ในจมูก และคอ หายใจติดขัด จนถึงหมดสติได้ ถ้าของเหลวไวนิลอะซิเตทสัมผัสเข้ากับผิวหนัง หรือตา ก็จะทำให้เกิดการระคายเคืองเช่นกัน และถ้ากลืนเข้าไปก็จะเป็นอันตรายได้ถึงชีวิตในเวลาอันสั้น หากไม่ได้รับการรักษาพยาบาลอย่างทันการณ์

ในแง่ของความเป็นพิษต่อน้ำ ไวนิลอะซิเตทจะทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ แม้จะมีไวนิลอะซิเตทปนอยู่ในน้ำเพียงเล็กน้อย หรือแม้ที่ความเข้มข้นต่ำมาก ๆ ซึ่งก็จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทันทีถ้าดื่มน้ำเข้าไป

ในกรณีที่มีเพลิงไหม้อันเกิดจากไวนิลอะซิเตท ให้ใช้ถังดับเพลิงที่สารดับเพลิงคือคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสารเคมีแห้งสำหรับเพลิงไหม้เล็ก ๆ อัตราการเผาไหม้ การรุกลาม = 3.8 mm/นาที รายละเอียดอื่น ๆ จะพิจารณาได้จากตารางที่ 1.5 - 1.11

ตารางที่ 1.5 ความเป็นพิษต่อน้ำ[4]

Concentration	*Exposure*	*Species*	*Effect*	*Comment*
18 ppm	96 H	Bluegill	TLm	Fresh water
>100 ppm	48 H	Flounder	LC_{50}	Salt water

ตารางที่ 1.6 อัตราค่าความเป็นพิษของ NAS สำหรับการขนส่งโดยทางน้ำ[4]

Category	*Rating*	*Comments*
FIRE	3	Flash point < 100 F (CC); boiling point > 100 F
HEALTH		
Vapor Irritant	1	Slight effect
Liquid or Solid Irritant	1	Causes skin smarting
Poisons	2	Intermediate toxicity
Water Pollution		
Human Toxicity	2	Slightly toxic; LD_{50} 0.5–5 g/kg
Aquatic Toxicity	1	Threshold limits 1,000–10,000 ppm
Aesthetic Effect	2	Mild-odored, colorless, water-insoluble oils; boiling point 150–450 F
Reactivity		
Other Chemicals	2	React with material rated 3 or 4
Water	0	No reaction
Self-Reaction	3	Vigorous self-reaction; require stabilizer

ตารางที่ 1.7 ระดับความเป็นพิษแบบ NFPA[4]

Category	*Rating*	*Comments*
Health Hazard (Blue)	2	
Flammability (Red)	3	Liquids or solids that can be ignited under almost all ambient temperature conditions
Reactivity (Yellow)	2	Materials that in themselves are normally unstable and readily undergo violent chemical change but do not detonate, also, materials that may react violently with water or that may form potentially explosive mixtures with water

การกำจัดสามารถกำจัดได้โดยการเผาไหม้ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องเผาไหม้ (incinerator) ในบางกระบวนการมีการเติมตัวทำละลายตัวอื่น ๆ ลงไป เพื่อช่วยในการเผาไหม้ให้เป็นไปโดยง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น

17

ตารางที่ 1.8 ความต้องการออกซิเจนที่สารจุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลาย[4]

(Lb/Lb)	%Theo	Days	Seed	Method	Ref
< 1	42%	10	Sewage seed	Co_2 analysis	JWPFAS 0005
< 1	27%	19		CO_2 analysis	JWPFAS 0012
< 1	45%	38		CO_2 analysis	JWPFAS 0012
> 1	58%	22	Acclimated seed	CO_2 analysis	JWPFAS 0012
< 1	34%	5	Sewage seed	BOD	JWPFAS 0024
< 1	34%	10	Sewage seed	BOD	JWPFAS 0024
< 1	31%	15	Sewage seed	BOD	JWPFAS 0024
< 1	32%	20	Sewage seed	BOD	JWPFAS 0024
> 1	62%	5	Acclimated sewage seed	BOD	JWPFAS 0024
> 1	70%	10	Acclimated sewage seed	BOD	JWPFAS 0024
> 1	66%	15	Acclimated sewage seed	BOD	JWPFAS 0024
> 1	72%	20	Acclimated sewage seed	BOD	JSPFAS 0024
> 1	51%	5	Sewage seed	Saltwater BOD	JWPFAS 0024
> 1	61%	10	Sewage seed	Saltwater BOD	JWPFAS 0024
> 1	69%	15	Sewage seed	Saltwater BOD	JWPFAS 0024
> 1	56%	20	Sewage seed	Saltwater BOD	JWPFAS 0024

ตารางที่ 1.9 ความเป็นพิษต่อน้ำสะอาด[4]

Conc (ppm)	Exposure (H)	Species	Effect	Test Environment	Ref
22	96	Fathead minnow	TLm	Temp controlled	JWPFAS 0001
18.53	24	Bluegill	TLm	25 C soft	R202** 0001
18	96	Bluegill	TLm	Temp controlled	JWPFAS 0001
18	48–96	Bluegill	TLm	25 C, soft	R202** 0001
42	[illegible]	[illegible]	TLm	Temp controlled	JWPFAS 0001
24	24–96	Fathead minnow	TLm	25 C, soft	[illegible]
26	96	Guppy	TLm	Temp controlled	JWPFAS 0001
22.17	24	Fathead minnow	TLm	25 C, soft	R202** 0001
20.13	48	Fathead minnow	TLm	25 C, soft	R202** 0001
19.13	96	Fathead minnow	TLm	25 C, soft	R202** 0001
39.19	24–96	Fathead minnow	TLm	25 C, hard	R202** 0001
36.81	24–48	Fathead minnow	TLm	25 C, hard	R202** 0001
35.75	96	Fathead minnow	TLm	25 C, hard	R202** 0001
42.33	24–96	Goldfish	TLm	25 C, soft	R202** 0001
31.08	24–96	Guppy	TLm	25 C, soft	R202** 0001

ตารางที่ 1.10 ความเป็นพิษต่อน้ำทะเล[4]

Conc (ppm)	Exposure (H)	Species	Effect	Test Environment	Ref
10–100	48	Shrimp	LC_{50}	Aerated	E38*** 0021
45	24	Brine Shrimp	TLm	Static	JWPAFS 0024
> 100	48	Flounder	LC_{50}	Aerated	E86*** 0001
330–1000	48	Starfish	LC_{50}	Aerated	E38*** 0001

ตารางที่ 1.11 ความเป็นพิษต่อสัตว์[4]

Value (mg/kg)	Time	Species	Param	Route	Ref
2120		Rat	LD_{50}	Orl	A1**** 0001
1613		Mus	LD_{50}	Orl	A1**** 0001
230	14 D	Rbt	LD_{50}	Skn	R118** 0001
4000 ppm	4 H	Rat	LC_{50}	Inh	R110** 0001

1.9 การแยกสารด้วยอากาศ (Air stripping)

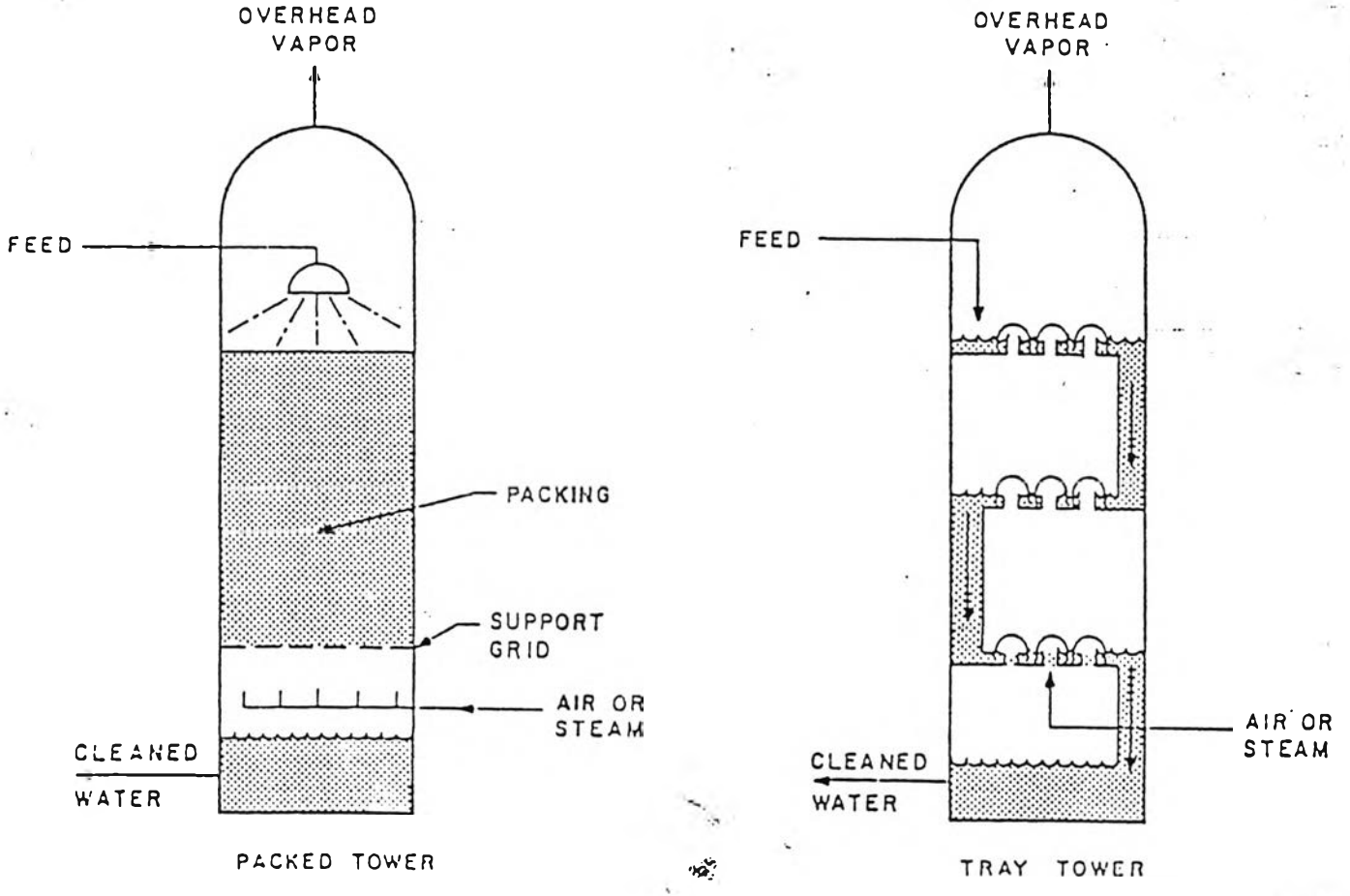
นิยามของกระบวนการ

การแยกด้วยอากาศเป็นหนึ่งในกระบวนการแยกหลาย ๆ กระบวนการ การที่สามารถใช้ในการแยกสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จากตัวกลางที่เป็นของเหลว (aqueous) การทำงานของกระบวนการแยกด้วยอากาศ จะใช้ระบบการสัมผัสระหว่างของเหลวและแก๊สเฟสเพื่อให้เกิดการถ่ายเทมวลของสารจากเฟสของเหลวไปยังเฟสของแก๊ส อุปกรณ์หลากหลายชนิดเพื่อใช้ในการเติมอากาศถูกออกแบบเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเราสามารถแบ่งออกโดยทั่วไปเป็น 2 พวกคือ 1. ระบบการฉีดน้ำเข้าในอากาศ และ 2. ระบบที่มีการฉีดอากาศเข้าไปในน้ำ ซึ่งในทั้งสองแบบนี้ได้มีการใช้พลังงานกลไปทำให้มีการสัมผัสกันระหว่างน้ำ และอากาศ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทมวลของสารเจือปนเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างระบบให้น้ำเข้าสู่อากาศ เช่น การสเปรย์น้ำเข้าสู่อากาศในระบบเปิด หอสเปรย์แบบเทรย์ และแบบหอแพค สำหรับระบบอากาศเข้าสู่น้ำก็มีเช่น ระบบดิฟฟิวส์ และการเติมอากาศด้วยทางกล

อุปกรณ์แต่ละชนิดที่กล่าวมานี้ ล้วนมีข้อดีในทางเศรษฐกิจ และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่การแยกด้วยอากาศแบบหอแพค และในขณะเดียวกันก็จะเปรียบเทียบกับแบบเทรย์ เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของหอ 2 แบบนี้ (ดูจากภาพที่ 1-5) เนื่องจากการออกแบบของหอทั้งสองชนิดนี้ใช้หลักการพื้นฐานเดียวกัน แต่สามารถได้มาซึ่งประสิทธิภาพในการแยกสารระเหยเจือปน (VOCs) นี้ออกได้ตามต้องการ

หลักการออกแบบสำหรับการแยกด้วยอากาศนั้น ได้มีการศึกษา และรวบรวมมาแล้วอย่างมากมายในหนังสือวิศวกรรมเคมีมากกว่า 30 ถึง 40 ปีมาแล้ว[7] การนำไปประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปจะเป็นการออกแบบที่ไปใช้งานกับสารละลายที่ความเข้มข้น อย่างไรก็ตามในการออกแบบทั่วไปก็ได้ถูกพัฒนาใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งได้ครอบคลุมตลอดทุกช่วงของความเข้มข้นซึ่งรวมถึงกรณีที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ในสารละลายซึ่งเป็นการประยุกต์เฉพาะใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ระบบการแยกด้วยอากาศแบบหอแพค หรือแบบหอเทรย์จะคล้าย ๆ กับที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1-5 ซึ่งจะมีประสิทธิผลมากกว่าสำหรับการแยกเอาสารอินทรีย์ออกจากน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับระบบอื่น ตัวกลางเพื่อการแยกสารนี้คือ อากาศ จะถูกนำเข้าสู่ทางตอนฐานของหอ ขณะที่ของเหลวจะถูกนำเข้าสู่ทางตอนบน ขณะที่ให้อากาศไหลขึ้นและเข้าไปสัมผัสกับน้ำที่ตกลงมา สารระเหยที่อยู่ในน้ำจะถ่ายเทออกสู่อากาศ และอากาศที่มี



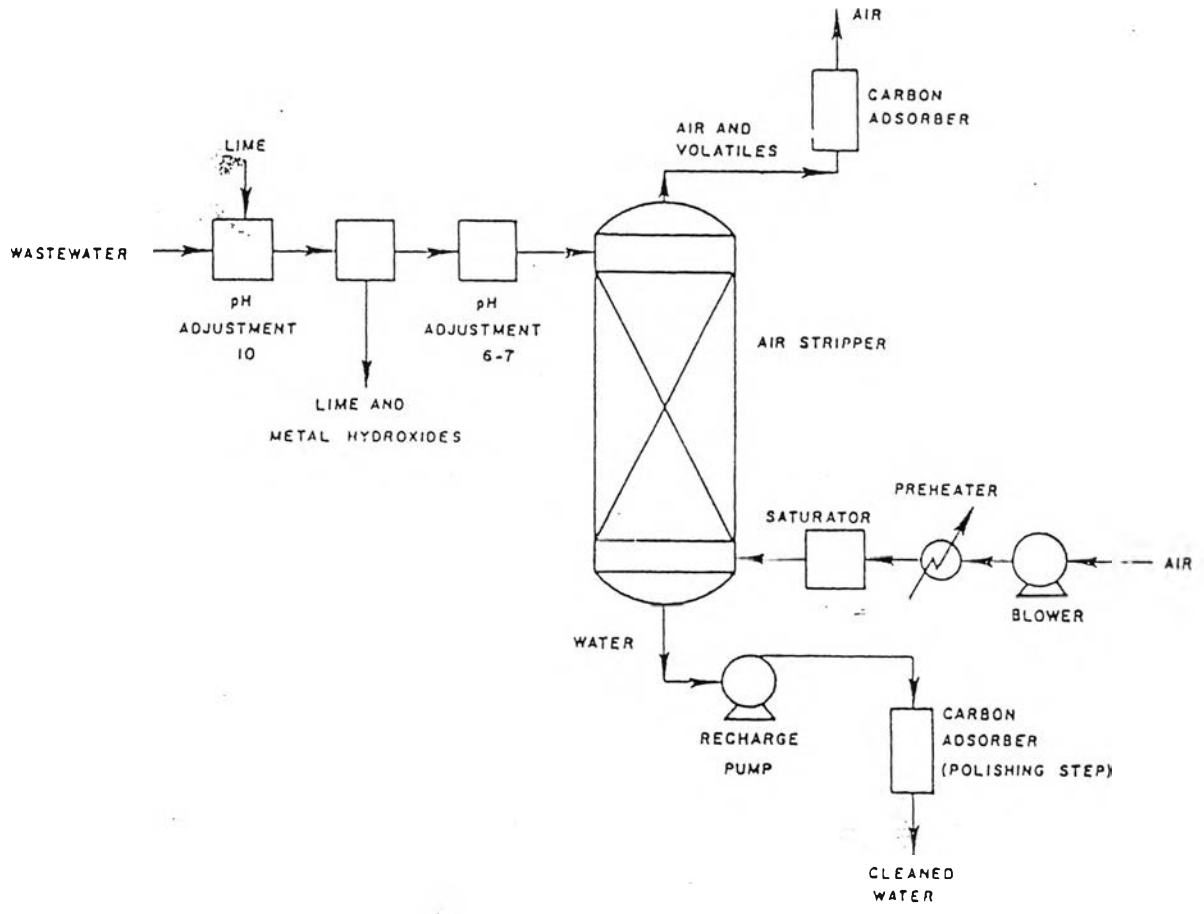
ภาพที่ 1-5 ผังฉภาพแสดงระบบแอร์สตริปปิง

สารระเหยอินทรีย์อยู่จะถูกนำออกทางตอนบนของหอ และน้ำที่ผ่านการแยกแล้วจะออกไปทางตอนล่างของหอ

สำหรับการแยกด้วยอากาศแบบเทรย์นั้น หอจะประกอบไปด้วยการจัดวางเรียงชั้นเทรย์ หรือถาดโดยให้มีการสัมผัสระหว่างเฟส ที่แต่ละชั้นเทรย์นี้ ไอระเหย หรืออากาศจะทะลุผ่านรูเปิดในแต่ละเทรย์ และสัมผัสกับเหลวที่กำลังไหลตามหน้าตัดขวางของหอ ปริมาณของของเหลวจะค่อย ๆ ไหลลงอย่างช้า ๆ โดยมีทำนบกั้นหน่วงเวลาการไหลลงทางตอนล่างของเหลวจะไหลล้นลงชั้นถัดลงมา โดยทั้งหมดก็จะให้เกิดปริมาตรการไหลที่เหมาะสมและให้มีเวลาเพียงพอในหอสำหรับของเหลวที่ป่อนเข้ามากับไอที่ไหลสวนทางกันผลโดยรวมคือผลการสัมผัสกันระหว่างเฟสของเหลวกับไอในแต่ละชั้น ทุกชั้นรวมกัน ถึงแม้แต่ละเทรย์จะมีการไหลผ่านหน้าตัดของสารเฟส (ของเหลว-ก๊าซ) แต่จะถือเป็นชั้น (stage) เพียงเท่านั้น หอแยกด้วยอากาศ (Air Stripping) แบบแพคจะทำได้ง่ายกว่าแบบเทรย์อย่างมาก หอดังกล่าวจะประกอบด้วยตัวถังทรงกระบอก ภายในจะมีเทรย์รองรับวัสดุแพคกิ้ง และหัวจ่ายของเหลวจะถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการกระจายน้ำตลอดทั่วแพคกิ้ง น้ำจะถูกกระจายไปทั่วและไหลลงมาผ่านแพคกิ้งที่จัดวางไว้ ที่ให้พื้นที่ผิวจำนวนมากมหาศาลเพื่อเพิ่มผิวสัมผัสให้สัมผัสกับอากาศที่เข้ามาทางตอนล่างได้มากยิ่งขึ้น ในเชิงพาณิชย์เราสามารถหาวัสดุแพคกิ้งได้หลากหลายชนิดและขนาด แพคกิ้งส่วนใหญ่มักจะทำด้วยเซรามิค โลหะไม่ก็พลาสติก ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของแพคกิ้ง ซึ่งจะถูกจัดวางลงในหออย่างคละเคล้า หรือวางเป็นชั้นในหออย่างเป็นระเบียบ

1.9.1 ความต้องการในการบำบัดหรือ.ตรียมการก่อนส่งเข้าหอแยก (Pretreatment)

ก่อนส่งเข้าหอแยกสำหรับการแยกด้วยอากาศ (Air Stripping) มักจะควบคุมปริมาณของแข็งและสารแขวนลอยให้มีน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันหัวฉีดสเปรย์การเกิดตะกรันสิ่งสกปรกเกาะแพคกิ้งหรือเทรย์ ซึ่งอาจจะใช้การกรอง การตกตะกอน หรืออาจจะเป็นวิธีอื่น ๆ การเอาน้ำมันและไขและโลหะที่ละลายซึ่งอาจจะออกซิไดซ์และตกตะกอน ซึ่งจำเป็นต้องระวังการอุดตันหอแยกนี้ ภาพแสดงระบบการแยกด้วยอากาศ ที่มีกระบวนการการเตรียมน้ำเสีย และหลังการแยกไว้ด้วย ดังภาพที่ 1-6



ภาพที่ 1-6 ระบบการแยกด้วยแอร์สตริปปิง

1.9.2 ตัวแปรการดำเนินการ (operating parameter)

สารเจือปนอินทรีย์ที่พบในน้ำ และในน้ำเสียได้มีอยู่ในช่วงความสามารถการละลายและความเป็นขั้ว สารประกอบมีความสามารถหรือแนวโน้มในการถ่ายเทจากเฟสสารละลายไปสู่อากาศที่ต่างกัน สำหรับในสารละลายหรือของผสมที่มีปริมาณความเข้มข้นสารระเหยอินทรีย์ การกระจายตัวของสารระเหยอินทรีย์ระหว่างอากาศและน้ำ ภายใต้สภาวะสมดุลย์สามารถแสดงได้ด้วยกฎของเฮนรี่ (Henry's Law) ซึ่งกล่าวว่า ที่สภาวะสมดุล ความดันย่อยของสารเจือปน (y) ในอากาศเป็นส่วนโดยตรง ความเข้มข้นของมันในน้ำดังแสดงต่อไปนี้

$$Py = HcXy \qquad (3)$$

โดยที่ Py = ความดันย่อยของสารประกอบ y (atm)

Hc = ค่าคงที่ของเฮนรี่ (atm-m^3/mole)

กฎของเฮนรี่จะจำกัด และไม่สามารถใช้งานได้ในกรณีที่สัดส่วนโมลของสารต่ำกว่า 10^{-3} ถึงแม้ว่าข้อจำกัดที่แท้จริงของกฎนี้จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างกันเชิงโมเลกุล โดยทั่วไปแล้ว เมื่อค่าคงที่ของเฮนรี่ยิ่งใหญ่ขึ้นก็จะเป็นผลให้สารประกอบสามารถถูกแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีการเติมอากาศ (Aeration Method) เท่านั้น กฎโดยทั่วไปของการแยกด้วยอากาศ (Air Stripping) สำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่ายจะมีค่าคงที่เฮนรี่เท่ากับ 10^{-3} atm-m^3/mole หรือมากกว่า ตัวทำละลายจำนวนมาก และสารประกอบอินทรีย์ที่ขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ จะมีค่าคงที่เฮนรี่อยู่ในช่วงนี้ค่าคงที่เฮนรี่นั้นได้มีการประเมินและรวบรวมโดย EPA สำหรับสารประกอบอินทรีย์น่าสนใจทั้งหมด ปรากฏในตารางที่ 1.12 เป็นรายชื่อของสารประกอบตัวอื่น ๆ ที่มีค่าคงที่เฮนรี่มากกว่า 10^{-3}

ตารางที่ 1.12 ค่าคงที่เฮนรี่ของสารประกอบที่น่าสนใจที่มีค่ามากกว่า 1×10^{-3} atm-m^3/mole[8-12]

COMPOUNDS	HENRY'S LAW CONSTANT
Priority Solvents	
Carbon Disulfide	1.6×10^{-2}
Carbon Tetrachloride	2.1×10^{-2}
Chlorobenzene	3.9×10^{-3}
1, 2 Dichlorobenzene	1.9×10^{-3}
Ethylbenzene	8.7×10^{-3}
Methylene Chloride	3.2×10^{-3}
Tetrachloroethylene	2.9×10^{-2}
Toluene	6.7×10^{-3}
1, 1, 1 Trichloroethane	3.0×10^{-2}
Trichloroethylene	1.0×10^{-2}
Trichloromonofluoromethane	5.8×10^{-2}
1, 1, 2 trichloro -2, 2, 2-Trifluoroethane	4.8×10^{-1}
Xylene	3.0×10^{-3}

ตารางที่ 1.12 (ต่อ)

COMPOUNDS	HENRY'S LAW CONSTANT
1, 2 Dichloropropane	5.3×10^{-3}
1, 2 Dichloropropane	2.3×10^{-3}
1, 3 Dichloroethylene	1.3×10^{-3}
Ethylene Dichloride	4.3×10^{-3}
Furan	5.7×10^{-3}
Hexachloroethane	2.5×10^{-3}
2-Nitropropane	1.2×10^{-1}
Chloroacetaldehyde	1.0×10^{-3}
Cumene	1.5×10^{-3}
Methacrylonitrile	3.9×10^{-1}
1-Methylbutadiene	4.2×10^{-2}
Methy 1 Bromide	5.3×10^{-3}
Methy 1 Chloride	4.0×10^{-2}

ตารางที่ 1.12 (ต่อ)

สารอินทรีย์อื่น ๆ	
Benzene	5.5×10^{-3}
Chloroform	3.4×10^{-3}
Cyclohexane	1.8×10^{-1}
Dichloro Difluoro Methane	4.0×10^{-1}
1, 1 Dichloroethylene	1.9×10^{-1}
1, 2 Dichloroethylene	5.3×10^{-3}
1, 2 Dichloropropane	2.3×10^{-3}
1, 3 Dichloropropane	1.3×10^{-3}
Ethylene Dichloride	4.3×10^{-3}
Furan	5.7×10^{-3}
Hexachloroethane	2.5×10^{-3}
2-Nitropropane	1.2×10^{-1}
Chloroacetaldehyde	1.0×10^{-3}
Cumene	1.5×10^{-3}
Methacrylonitrile	3.9×10^{-1}
1-Methylbutadiene	4.2×10^{-2}
Methy 1 Bromide	5.3×10^{-3}
Methy 1 Chloride	4.0×10^{-2}

อัตราการแยกด้วยอากาศ (อัตราการถ่ายเทมวล) สามารถเพิ่มได้โดยการไม่เพิ่มขนาดของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมก็เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเหลวกับก๊าซ ตัวแปรทั้งสองจะสามารถกำหนดรายได้ด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมและชนิดของระบบการเติมอากาศ อย่างไรก็ตามพึงจำไว้ว่า ถ้าการถ่ายเทมวล ถูกควบคุมโดยความด้านทานของของเหลวในระบบ ขนาดของ ๆ มันจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในอัตราการไหลของก๊าซหรืออากาศ การถ่ายเทมวลสารของสารประกอบเป็นไปตามกฎกณฑ์ต่อการแยกด้วยอากาศปกติแล้วอัตราการแยกสารจะถูกควบคุมโดยการถ่ายเทมวลในเฟสของของเหลว ซึ่งสามารถพัฒนาขึ้นโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส โดยการใช้การแยกด้วยอากาศที่เป็นหอแบบแพคหรือแบบเทรย์ ดังภาพที่ 1-5

การออกแบบที่มีประสิทธิผลจะเป็นการออกแบบที่สามารถทำให้ได้ของไหลด้านออกที่มีขนาดความเข้มข้นตามเป้าหมายพร้อมทั้งมูลค่าการลงทุนต่ำสุด สำหรับในโรงบำบัดน้ำเสียที่มีสารเจือปนหลายชนิดและสำหรับสารละลายที่มีสารเจือปนหลายชนิด หลักเกณฑ์ในการออกแบบสุดท้ายจะต้องควบคุมให้ของไหลที่ออกมาได้มาตรฐานซึ่งเป็นเรื่องยากที่สุด

ในการออกแบบขั้นต้น เราต้องทราบข้อมูลต่อไปนี้

1. อัตราการไหลของเหลวหรือน้ำเสีย
2. สารประกอบที่จะแยกออก
3. ประสิทธิภาพการแยกสารที่ต้องการ

ข้อมูลที่ใช้จะเป็นข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิคเป็นต้น สำหรับในหอแบบแพคประสิทธิภาพจะถูกนิยมด้วยความสามารถของระบบเพื่อก่อให้การถ่ายเทมวลระหว่างเฟสก๊าซและเฟสของเหลวสำเร็จอย่างมีประสิทธิผล มันจะแปรผันตามกับความสูงของแพคกิ้งที่เทียบเท่าต่อหนึ่งหน่วยการถ่ายเท (HTU) ซึ่งจะต่างจากการพิจารณาเชิงเรขาคณิตซึ่งสัมพันธ์ต่อรูปร่าง และการจัดวางตำแหน่งของแพคกิ้ง ประสิทธิภาพจะแปรผันตามค่าความหนืด อัตราการไหลของของเหลว ค่าคงที่เฮนรี่ ซึ่งอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่า ในลักษณะเดียวกันของแบบเทรย์ก็ได้

การออกแบบหอแพค ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเลือกชนิดและขนาดของแพคกิ้ง
2. การคำนวณขนาดความสูงรวมของหอที่ต้องการ
3. ประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอเพื่อหลีกเลี่ยงการท่วม (flooding)
4. การประมาณค่าความดันลด (pressure drop)

สำหรับการวิจัยนี้สาเหตุหลัก ๆ ที่เลือกศึกษาแบบหอแพคก็เพราะ

1. การดำเนินงานกับไวนิลอะซิเตท ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความสกปรก เพราะมีการสลัดแยกของแข็งอนุภาพเล็ก ๆ ออกไปก่อน ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้แบบเทรย์ที่ทำความสะอาดได้ง่าย

2. หอแบบแพค จะมีราคาถูกกว่า ก่อสร้างง่ายกว่าหอแบบเทรย์ การเปลี่ยน แก้ไข การซ่อมก็ทำได้ง่ายกว่าแบบเทรย์

3. ในกรณีนี้พบว่า ในกระบวนการผลิตจะเกิดโฟมเป็นอันมากซึ่งในลักษณะนี้ หอแพคจะเหมาะสมกว่า

4. ของเหลวค้างอยู่ (Liquid Holdup) ในหอแบบแพคจะมีน้อยกว่า

5. ที่ความสามารถในการแยกหรืออัตราผลิตที่เท่ากันหอแบบแพคจะมีความดันลด (pressure drop) น้อยกว่า

1.9.3 การออกแบบขั้นพื้นฐาน

การออกแบบหอแยกสารประกอบในน้ำด้วยอากาศแบบแพค โดยทั่วไปจะพิจารณากำหนดขนาดของพื้นที่หน้าตัดของหอความสูงของแพคกิ้ง พื้นที่หน้าตัดขวางของหอสามารถกำหนดได้จากคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศที่ผ่านเข้าหอคุณลักษณะของแพคกิ้ง และอัตราส่วนอากาศต่อของเหลวป้อนเข้า

ปัจจัยหลักคือ การหาขนาดปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม การออกแบบต้องให้มีค่าความเร็วการไหลของอากาศเป็น 60% ของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดการท่วม การท่วมคือสภาวะที่ความเร็วของอากาศที่สูงมากจนสามารถอุ้มของเหลวให้อยู่ในหอจนถึงจุดที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นเฟสที่ต่อเนื่องในหอ ถ้าอัตราของอากาศต่อน้ำถูกควบคุมให้คงที่ ความเร็วของอากาศจะเป็นตัวกำหนดสภาวะการท่วม สำหรับกรณีอัตราส่วนอากาศต่อน้ำที่เลือกไว้แล้ว พื้นที่หน้าตัดหอจะหาได้โดยการหาอัตราการไหลของอากาศด้วยความเร็วของอากาศ ซึ่งการออกแบบอัตราส่วนอากาศต่อน้ำ ต้องมีฐานประสบการณ์จากการศึกษาโดยการทดลองในโรงงานทดลอง เพื่อได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

ความสูงของหอสามารถกำหนดได้โดยสมการดังต่อไปนี้ [11], [12]

$$Z = (HTU)(NTU)$$

$$NTU = \frac{5}{S-1} \ln \frac{C_{L-2}/C_{L-1}(S-1)+1}{S} \quad (4)$$

$$(5)$$

$$HTU = \frac{L_M}{(K_L a)\,\rho_L} \quad (6) \qquad S = Q_G H_C / Q_L \quad (7)$$

Z = ความสูงของแพคกิ้ง (m)

NTU = หน่วยของการถ่ายเท (ตัวแปรไร้มิติ)

S = สตริปปิงแฟคเตอร์

H_C = ค่าคงที่ของเฮนรี่สำหรับสารประกอบที่ต้องการแยกออก (ตัวแปรไร้มิติ)

HTU = หน่วยความสูงของการถ่ายเท (m)

Q_L = อัตราป้อนน้ำเชิงปริมาตร ($M^3 S^{-1}$)

L_M = อัตราการป้อนของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ($kgm^{-2} S^{-1}$)

Q_G = อัตราการป้อนอากาศเชิงปริมาตร ($M^3 S^{-1}$)

$K_L a$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม K_L($M S^{-1}$), พื้นที่ผิวสัมผัสเฉพาะต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของหอ ($M^2 M^{-3}$, M^{-1})

ρ_L = ความหนาแน่นของน้ำ (1,000 kg/m^3 ที่ 20°C)

C_{in} = ความเข้มข้นขาเข้าของของเหลวที่จะถูกดึงออก (kg/m^3)

Cout = ความเข้มข้นของของเหลวขาออก (kg/m^3)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล $K_L a$ สามารถหาได้จากการทดลอง และเป็นฟังก์ชั่นของชนิดของสารประกอบอินทรีย์ที่จะแยกอัตราส่วนการป้อนอากาศต่อน้ำเสีย อุณหภูมิการดำเนินการชนิดของแพคกิ้งและรูปทรงเรขาคณิตของหอ[13]

1.9.4 การบำบัดภายหลังที่ต้องการ

การบำบัดอากาศที่ออกมาจากหอแยกด้วยอากาศ (Air Stripper) จำเป็นต้องควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่กฎหมายกำหนด ซึ่งบางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้ระบบ

หรือกระบวนการที่จะบำบัดอากาศที่เจือปนด้วยสารระเหยอินทรีย์ที่แยกออกมาอยู่ ซึ่งอาจจะใช้วิธีการดูดซับด้วยคาร์บอน การควบแน่น หรือการเผาด้วยไฟ ซึ่งบางทีก็อาจจะนำสารอินทรีย์นั้นกลับมาใช้ใหม่อีก หรือเผาทิ้งก็ได้ ในภาพที่ 1-6 จะได้แสดงถึงกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการแยกสารระเหยด้วยอากาศอันมีอุปกรณ์ และกระบวนการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่หอแยกและการบำบัดอากาศหลังแยกสาร

การมีสารตกตะกอน การเกิดตะกรัน การเกิดออกไซด์ในกรณีของกระบวนการแยกสารอื่น หรือน้ำเสียชนิดอื่น ซึ่งอาจมีโลหะหนักเช่น เหล็กหรือแมงกานีสมาเกาะที่วัสดุแพคกิ้งที่จะลดประสิทธิภาพการทำงานของหอดังภาพที่ 1-6 ซึ่งเป็นการเตรียมน้ำเสียเพื่อเพิ่ม pH ของน้ำที่ป้อนเข้าให้เป็นประมาณ 10 ซึ่งทำให้พวกเกลือโลหะ และหินปูนต่าง ๆ เหล่านี้เปลี่ยนไปเป็นโลหะที่สามารถละลายน้ำได้ แล้วแยกมาทำการตกตะกอนภายนอก โดยแรงโน้มถ่วงแล้วตกตะกอนลงมา หรือแม้กระทั่งการกรอง หลังจากแยกพวกโลหะหนักออกไปแล้ว ก็ควรจะปรับสภาพ pH น้ำให้เป็นประมาณ 6-7 ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นมาก เพื่อที่จะลดคุณสมบัติใน
การกัดกร่อนของสารละลายลง แล้วตะกอน โคลนฯมของโลหะที่ตกตะกอนลงมาก็จำเป็นต้องมีกระบวนการมาจัดการทำให้คุณภาพน้ำที่ปล่อยออกไปมีคุณภาพที่ดี

น้ำที่ออกทางด้านล่างก็อาจจะมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายปะปนอยู่ ซึ่งอาจต้องมีหน่วยในการแยกออก และบำบัดให้สะอาด โดยผ่านให้คาร์บอนดูดซับก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำหรือนำกลับมาใช้อีก

และในส่วนของก๊าซที่ออกทางตอนบน.ของหอโดยส่วนใหญ่มักจะมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยไม่มากนัก จึงสามารถปล่อยออกสู่อากาศแล้วเจือจางไปได้

1.9.5 ตัวอย่างอธิบายการศึกษาสมรรถนะของระบบการแยกด้วยอากาศ

มีข้อมูลไม่มากนักที่พอจะหาได้สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากแหล่งอุตสาหกรรมโดยการแยกด้วยอากาศตามข้อมูลที่พอจะหาได้จากสำนักงาน EPA (Environmental Protection Association) พบว่ายังมีโรงงานอุตสาหกรรมไม่มากนักที่ใช้ระบบการแยกดังกล่าวในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน ในปี 1980 ได้มีการส่งแบบสอบถามออกไป 981 ชุด (โรงงานละ 1 ชุด) พบว่ามีการใช้ระบบการแยกสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพียง 5 แห่ง และข้อมูลเหล่านี้ก็ยังไม่ได้ถูกนำเสนอต่อสาธารณะชน เราพบว่าการแยกด้วยอากาศนี้มี

การนำไปใช้แยกเอาไตรคลอโรอีเธน (Trichloroethane, TCE) และไตรฮาโลมีเธน (Trihalomethane, THM_3) จากน้ำ โดยปกติแล้วสารเหล่านี้จะมีค่าต่ำกว่า 1 PPM ซึ่งพบในภายหลัง ข้อมูลที่แท้จริงแล้วสูงกว่านี้มาก แต่แสดงให้เห็นว่ายังต่ำอยู่

1.9.5.1 การศึกษาทดลองการใช้งานในศูนย์วิจัยของ IBM

ในระดับโรงงานทดลองได้มีการศึกษาการแยกด้วยอากาศที่บริษัท IBM[14] ขนาด 100,000 แกลลอนต่อวัน เพื่อหาประสิทธิผลของหอแยกด้วยอากาศแบบแพคในโรงงานทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ช่วงปริมาณสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย 1 ถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว แพคกิ้งชนิดพอลริง (Pall Ring) ขนาด 1.5 นิ้ว ลึก 6 ฟุต หอแยกทำการแยกสารที่ศูนย์วิจัยเป็นเวลาหลายวันเพื่อหาผลของอัตราการไหลของของเหลวที่มีต่อการแยกตัวออกจากตัวทำลายต่าง ๆ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 1.13

1.9.5.2 การศึกษาวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการทดลองสำหรับหอแยกด้วยอากาศ (Mumford, 1982)

การวิจัยนี้ได้ดำเนินโดยภาควิชาวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่มหาวิทยาลัยไอโอวา สหรัฐอเมริกา[(14)] อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย หอแก้วเพล็กซิขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.75 นิ้ว ยาว 4 ฟุต แพคด้วยแพคกิ้งแบบเบร์ล-แซดเดิ้ง (อานม้า) ขนาด 1/4 นิ้ว สูง 1.5 ฟุต สัดส่วนของอากาศต่อของเหลวที่ใช้ในการวิจัยเท่ากับ 25 ถึง 300 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของเหลวเข้าหอกับเปอร์เซ็นต์การดึงสารระเหยออก โดยทั่วไปจะพบว่าการศึกษานี้จะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการดึงสารประกอบอินทรีย์ออกจากน้ำ ที่ระดับอัตราส่วนแก๊สต่อของเหลวคงที่จะสูงสุดสำหรับสารประกอบที่มีค่าคงที่เฮนรี่สูง ๆ ข้อมูลในตารางที่ 1.14 ได้แสดงให้เห็นด้วยว่าขณะที่อัตราส่วนแก๊สต่อของเหลวเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดึงสารประกอบอินทรีย์ออกจากน้ำก็สูงขึ้นด้วย การท่วมจะเกิดขึ้นเมื่อสัดส่วนอากาศต่อของเหลวเกินจากที่ได้ออกแบบไว้

ตารางที่ 1.13 ผลการศึกษาแอร์สตริปปิงในไพล็อตสเกล[15]

q RPM/FT^2	4.1		5.8		8.2		43.3		15.3		23	
	184		130		83		45		39		24	
	Inlet ppm	% Removal	Inlet ppm	% Removal	Inlet ppm	% Removal	Inlet ppm	% Remova	Inlet ppm	% Removal	Inlet ppm	% Remov
	14	20	41	27	18	8	6	16	6	18	20	-29
Acetone	-		44	23	24	26	8	6	5	15	32	4
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	83
Tetrachloroethylene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	79
Toluene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	81
	0.9	98	4	89	3	88	1	86	2	67	2	79
Trichloroethylene	-	-	7	90	2	87	2	92	1	99	2	88

อัตราส่วนอากาศต่อน้ำโดยปริมาตร

ตารางที่ 1.14 ผลการศึกษาแอร์สตริปปิงในเบนซ์สเกล[14]

G/L Ratio* L(M^3 m^2 -hr)	25		50		100		200	
Solvent	Inlet ppm	% Removal	Inlet ppm	% Removal	Inlet ppm	% Removal	Inlet ppm	% Removal
Carbon Tetrachloride	5.4	69	84.2	82	67.4	89	15.3	87
Toluene	3.4	74	5.3	77	37.1	93	2.7	96
Chlorobenzene	13.3	65	9.2	72	7.8	77	3.6	97
1, 2-Dichloro-benzene	14.2	60	27.8	70	24.0	74	11.0	94
Nitrobenzene	4.2	5	111	11	115	16	3.9	28

อัตราส่วนอากาศต่อน้ำโดยปริมาตร

ตารางที่ 1.15 ผลการศึกษาแอร์สตริปปิงในไพล็อตสเกล[16]

Gas to liquid Ratio		53	26	54	107	396	9
L, Liters/m		0.75	0.75	0.37	0.37	0.1	0.75
	Raw Water	% Removal					
Compound	ppm	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6
1,1,1-Trichloroethane	150	65	56	60	74	95	56
Trichloroethylene (TCE)	338	0	9	9	-	44	9
Methyl Isobutyl Ketone	76	41	21	68	43	75	21
Toluene	92	67	75	79	81	92	51
Ethylbenzene	24	99	99	98	98	99	96
Benzene	69	48	-	-	-	-	0
Tetrahydrofuran	22	ND	-	-	-	-	ND

ND = ตรวจไม่พบ

1.9.5.3 การทดลองระดับโรงงานย่อ (Pilot Scale)

การศึกษาความเป็นไปได้ระดับโรงงานย่อของระบบการแยกสารระเหยที่เจือปนในน้ำเสียด้วยอากาศ (Air Stripping)[16] ระบบประกอบไปด้วยหอแยก (Stripping Column) ที่ทำด้วยแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 1/8 นิ้ว ยาว 4 ฟุต แพคด้วยราชิกริงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มม. สูง 26 นิ้ว ผลการศึกษาได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1.15 เป็นที่น่าแปลกใจว่าทีซีอี (Trichloroethane) ไม่สามารถแยกตัวออกมาได้ดีเท่าที่ควรเมื่อเทียบกับสารอื่น ๆ ผู้ทำการวิจัยบันทึก ว่าเกิดการก่อตัวของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์บนวัสดุแพคกิ้ง ซึ่งทำให้มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ

1.9.6 การประยุกต์ใช้งาน

การแยกด้วยอากาศ (Air Stripping) ตามหนังสืออ้างอิงที่ 10 นั้น พบว่าเหมาะกับการแยกสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความเข้มข้นในน้ำไม่น้อย หรือเจือจาง แม้ว่าจะทำให้อัตราส่วนอากาศต่อน้ำให้สูงเพียงใดก็ตาม กรณีที่มีความเข้มข้นของสารที่สูงกว่านี้นั้นควรใช้หอแยกด้วยไอน้ำ (Steam Stripping)

ข้อดีโดยหลัก ๆ สำหรับระบบการแยกด้วยอากาศคือ ความง่ายและค่าใช้จ่ายทั้งค่าก่อสร้างจัดทำและค่าดำเนินการ (Operation Cost) มีราคาถูก แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถแยกได้ที่ช่วงต่ำ ๆ เท่านั้น

1.9.7 ข้อดีของการใช้ระบบการแยกสารด้วยอากาศ (air Stripping)

การแยกสารระเหยง่ายที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ และไม่ได้นำกลับมาใช้ หรือไม่คุ้มที่จะนำมาใช้นั้น จำเป็นต้องเลือกวิธีการแยกที่เหมาะสมทั้งในเชิงเทคนิค กล่าวคือแยกสารระเหยเจือปนเหล่านั้นออกได้ตามปริมาณที่ต้องการ และได้กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพง่ายต่อการสร้าง และประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายในการเริ่มต้นสร้าง และค่าดำเนินการ (Operating Cost) การแยกสารระเหยได้ง่ายด้วยอากาศ (Air Stripping) แบบแพคได้ตอบสนองต่อความจำเป็นและความต้องการภายใต้ข้อกำหนดเงื่อนไขดังข้างต้นได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ

1. ความดันลดต่อขั้นสมดุลย์

หอแบบแพคมักจะมีความดันตกคร่อม (pressure drop) ต่ำกว่าเมื่อเทียบที่หน่วยต่อขั้นตอนสมดุลย์แบบเทรย์ จึงทำให้ประหยัดค้นทุนการส่งน้ำหรืออากาศ

2. การอุ้มของของเหลว (Liquid Hold - Up)

ที่ภาวะการดำเนินการปกติ (Nomal Operation) แบบเทรย์จะอุ้มของเหลวประมาณ 8-12% ของปริมาตรหอขณะที่หอแพคจะอุ้มของเหลวเพียง 1-6% เท่านั้น ทำให้ลดปัญหาการเกิดโพลิเมอไรเซชั่นด้วยตัวเองได้ของโมโนเมอร์ไวนิลอะซิเตท ที่อุณหภูมิการดำเนินการ (Self-Autopolymerization) เพราะมีเวลาอยู่ในหอน้อยกว่า (Less resident time)

3. อัตราส่วนการป้อนของเหลวต่อไอ (Liquid/Vapor ratio)

หอแบบเทรย์ถูกออกแบบให้ทำงานที่ช่วงสัดส่วนต่ำ ๆ เท่านั้น ในทางตรงข้ามหอแบบแพคสามารถทำงานได้ตลอดช่วงอัตราส่วนการป้อนจากต่ำไปสูง จึงมีความยืดหยุ่นสูงกว่า

4. การเกิดโฟม (Foaming)

หอแบบแพคไม่มีหรือมีปัญหาเกี่ยวกับโฟมน้อยมาก เพราะการสเปรย์น้ำและอากาศเป็นการแก้ปัญหานี้โดยตัวมันเอง และหอแบบแพคจะสร้างฟิล์มขณะที่หอแบบเทรย์จะสร้างหยดของของเหลว

5. การสึกกร่อน (Corrosion)

หอแบบแพคสามารถเปลี่ยนวัสดุแพคกิ้งได้ทันทีที่มีการเปลี่ยนสารหรือของเหลวที่เป็นสารที่ก่อให้เกิดการสึกกร่อนสูง ขณะที่หอแบบเทรย์ไม่สามารถกระทำได้โดยง่าย

6. ราคาค่าก่อสร้างและดำเนินการ

เนื่องจากหอแบบแพคสามารถสร้างได้โดยง่าย ไม่มีอุปกรณ์ภายในซับซ้อน ไม่ต้องมีหน่วยต่าง ๆ มากมาย ซับซ้อน วัสดุก็หาได้ง่าย ราคาถูก ซึ่งจะตรงกันข้ามกับหอแบบเทรย์ ขณะเดียวกันการดำเนินการด้วยอากาศ (Air Stripping) ซึ่งต้นทุนราคาถูก ไม่ต้องสั่งซื้อวัตถุดิบในส่วนก๊าซเฟส โดยที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเข้มข้น/เจือจางตามต้องการ[17]

จากการศึกษาผลงานวิจัยการค้นคว้าพบว่า การแยกสารด้วยอากาศ (Air Stripping) ใช้งานได้ดีมาก โดยเฉพาะในช่วงความเข้มข้นต่ำ ๆ และมีการทำวิจัยมากมายดังนำเสนอในบทต่อไป ถึงการประยุกต์แอร์สตริปปิงกับการแยกสารระเหยอินทรีย์อื่น ๆ มากมาย ได้อย่างมีประสิทธิผล พบมีการใช้กันมากในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเหตุผลทั้งสิ้นที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้ตัดสินใจเลือกกระบวนการแยกสารด้วยแอร์สตริปปิงแบบหอแพค

I16654249