การศึกษาประสิทธิผลของหอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรม

นาย อดิชาต วงศ์กอบลาภ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-561-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I14175926

PERFORMANCE STUDY OF INDUSTRIAL-SCALE NO_x ABSORBER

Mr. Atichat Wongkoblap

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-561-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิผลของหอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรม
โดย	นาย อดิชาต วงศ์กอบลาภ
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นาย เอี่ยม เอี่ยมวนานนทชัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... กรรมการ

(นาย เอี่ยม เอี่ยมวนานนทชัย)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธราธร มงคลศรี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อดิชาต วงศ์กอบลาภ : การศึกษาประสิทธิผลของหอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรม (PERFORMANCE STUDY OF INDUSTRIAL-SCALE NO_x ABSORBER) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายเอี่ยม เอี่ยมวนานนทชัย, 78 หน้า. ISBN 974-584-561-2

ในอุตสาหกรรมผลิตไนโตรเซลลูโลส จะมีก๊าซ NO_x เกิดขึ้นจากกระบวนการไนเตรชั่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีหอดูดซึม NO_x เพื่อใช้ในการกำจัด NO_x ทำให้สามารถนำกรดไนตริกกลับมาใช้ใหม่ได้ และช่วยรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ได้มีการนำหอดูดซึมแบบแพคมาใช้ในการกำจัด NO_x ในอุตสาหกรรมจริง โดยใช้กรดไนตริกเจือจางเป็นของเหลวดูดซึม ในการทดลองได้ศึกษาถึงรูปแบบการไหลของของเหลวในหอดูดซึม ศึกษาถึงผลของอัตราการไหลของของเหลวและก๊าซ รวมถึงความเข้มข้นของกรดไนตริกที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซึม และศึกษาถึงการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซึมแบบแพคในระดับอุตสาหกรรมด้วย

จากการทดลองพบว่า การไหลของของเหลวในหอดูดซึมแบบแพคที่ใช้นั้น ปรากฏเสมือนเป็นการไหลผ่านถังกวนต่ออนุกรมกัน 4 ใบ โดยที่ขนาดของเครื่องปฏิกรณ์มีขนาดเท่ากัน และพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซึมจะแปรผันตามอัตราการไหลของของเหลว แต่จะแปรผกผันกับอัตราการไหลของก๊าซ และความเข้มข้นของกรดไนตริก สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับประสิทธิภาพของหอดูดซึม พบว่าประสิทธิภาพของหอดูดซึมค่อนข้างจะคงที่ไม่ขึ้นกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลมากนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C416645 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: INDUSTRIAL SCALE NO_x ABSORBER/ MASS TRANSFER COEFFICIENT
ATICHAT WONGKOBLAP : PERFORMANCE STUDY OF INDUSTRIAL-SCALE NO_x ABSORBER, THESIS ADVISOR : PROF. PIYASAN PRASERTHDAM, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : MR. IEUM IEUMWANANONTACHAI, 78 pp. ISBN 974-584-561-2.

In the manufacturing process of Nitro Cellulose, NO_x occurs from nitration process. Absorber is used to remove NO_x from the effluent gas, recover nitric acid and prevent environment from pollutants.

One of industrial absorbers for aqueous nitric acid absorption of NO_x is the Packed column. A hydrodynamic model of the column; the effects of liquid flowrate, gas flowrate and nitric acid concentration on column efficiency; correlation between mass transfer coefficient and efficiency were studied in this experiment.

The hydrodynamic model of the column was found similar to liquid flowing through 4 equal stirred-tanks reactors. The efficiency was found to be higher when liquid flowrates were higher but to be lower when gas flowrates and acid concentrations were higher. Its efficiency did not depend much on the mass transfer coefficient.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และคุณ เอี่ยม เอี่ยมวนานนทชัย ที่กรุณาสนับสนุนการวิจัยโดยให้ใช้เครื่องมือในโรงงานทำการทดลอง และให้คำปรึกษาด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณพนักงาน บริษัท ไนโตรเคมีอุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้ช่วยทำการทดลอง และทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงการช่วยติดตั้งเครื่องมือเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณ มณฑา และเจ้าหน้าที่ธุรการทุกท่านของภาควิชา วิศวกรรมเคมีที่ได้ช่วยติดต่อประสานงาน ระหว่างนิสิตกับอาจารย์ที่ปรึกษา และทางมหาวิทยาลัยให้จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
สัญลักษณ์ ..... ฏ
บทที่
1. บทนำ 1
2. วารสารปริทัศน์ 5
- บทนำ 5
- กลไกการเกิดปฏิกิริยา 6
- จลนพลศาสตร์เชิงเคมี 8
- การถ่ายเทมวลสาร 17
1.สมการของออนด้า 17
2.สมการของแชมเบอร์และเชอร์วูด 18
3.สมการของเคนบิจช์และบรินช์ 18
4.สมการของมิลเลอร์ 19
5.สมการของศ.ดร.ปิยะสาร 21
- หอดูดซึมแบบแพค 22
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง 25
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 25
- สารเคมีที่ใช้ 35
- วิธีการทดลอง 36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

1.ศึกษารูปแบบการไหลของของ เหลวในหอ
ดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรม..... 36
2.ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ
หอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรม..... 37
4. ผลการทดลอง..... 39
- การศึกษารูปแบบการไหลของของ เหลวในหอดูดซึม
แบบแผนระดับอุตสาหกรรม..... 39
- การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหอดูดซึม
ระดับอุตสาหกรรม..... 42
- การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแลก เปลี่ยนมวลสาร
กับประสิทธิภาพของหอดูดซึมระดับอุตสาหกรรม..... 48
5. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 52
- การศึกษารูปแบบการไหลของของ เหลวในหอดูดซึม
แบบแผนระดับอุตสาหกรรม..... 52
- การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหอดูดซึม
ระดับอุตสาหกรรม..... 53
1.ผลของอัตราการไหลของก๊าซต่อประสิทธิภาพ..... 53
2.ผลของอัตราการไหลของของ เหลวต่อประสิทธิภาพ..... 54
3.ผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกต่อประสิทธิภาพ..... 55
- การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแลก เปลี่ยนมวลสาร
กับประสิทธิภาพของหอดูดซึมระดับอุตสาหกรรม..... 55
- สัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารของหอดูดซึมแบบต่างๆ
ในระดับอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการ..... 57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 60
เอกสารอ้างอิง 62
ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง 64
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ 67
ภาคผนวก ค. แผนภาพการทำงานของหอดูดซึม 77
ประวัติผู้เขียน 78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าคงที่สมดุลที่ความดันบรรยากาศ..... 12

4.1 แสดงค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในกรดไนตริกที่ระยะเวลาต่างๆกัน. 40

4.2 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในหอดูดซึม..... 43

ก.1 ข้อมูลการทดลองหาความเข้มข้นของคลอไรด์ในกรดไนตริก..... 62

ก.2 ข้อมูลการทดลองหาประสิทธิผลของหอดูดซึมระดับอุตสาหกรรม ที่สภาวะต่าง ๆ..... 63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ k_g กับความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิ	12
2.2	แผนภาพการไหลของของเหลวผ่านเครื่องปฏิกรณ์แบบต่างๆ	14
2.3	แผนภาพทางไดนามิคส์ของการไหลของของเหลวแบบต่างๆ	15
2.4	แสดงรูปเพคกิ้งแบบอินทาล็อคแซดเดิล	23
2.5	แสดงรูปของหอดูดซึมแบบเพค	24
3.1	แพคกิ้งที่ใช้ในหอแบบเพค	25
3.2	หอแบบเพคที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3	แสดงรูปของพัดลมดูดอากาศ	28
3.4	แสดงรูปของปั๊มไหลเวียน	29
3.5	แสดงรูปของปั๊มฉีดสารเคมี	29
3.6	แสดงรูปของอินเวอร์เตอร์	30
3.7	แสดงรูปของแค้กเกอร์ปั๊มพ์	31
3.8	แสดงรูปของท่อแค้กเกอร์	32
3.9	แสดงรูปเครื่องตีเตรตอัตโนมัติ	34
3.10	แสดงรูปเครื่องมือวัดความเร็วลม	34
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง θ กับ E_θ	41
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซกับประสิทธิภาพ	45
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของของเหลวกับประสิทธิภาพ	46
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไนตริกกับประสิทธิภาพ	47
4.5	ประสิทธิผลของหอดูดซึมตามสมการรูปแบบการไหล	49
4.6	ประสิทธิผลของหอดูดซึมตามสมการออนดา	50
4.7	ประสิทธิผลของหอดูดซึมตามสมการมิลเลอร์	51
5.1	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารกับความเข้มข้นของกรดไนตริก	58

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ตั้งฉากกับการถ่ายเทมวล , L^2
a_v	=	พื้นที่ผิววัสดุที่เป็นแพคกิ้งต่อปริมาตรของแพคกิ้ง , L^{-1}
a_w	=	พื้นที่ผิวที่เปียกของเหลวของแพคกิ้งต่อปริมาตรของเบด, L^{-1}
C_1	=	ตัวคงที่ไม่มีหน่วยของแพคกิ้ง
C_e , C_s , $\bar{C}^*$	=	ความเข้มข้นของสารละลายที่เข้า,ออก และสมดุล , ML^{-3}
D_p	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของแพคกิ้ง , L
D_L , D_V	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในเฟสของเหลว, เฟสก๊าซ ,L^2/T
D_{N2O4} , D_{NO2}	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ของ N_2O_4 , NO_2 , L^2/T
E_e	=	ตัวแปรไร้มิติของความเข้มข้น
$G(p)$	=	Transfer Function
G_L , G_v	=	อัตราการไหลต่อพื้นที่ของเฟสของเหลวและก๊าซ,มวล/เวลา-ระยะทาง^2
g	=	แรงโน้มถ่วงของโลก ,L/T^2
H	=	ความสูงของแพคกิ้ง , L
H_{N2O4}	=	ค่าคงที่ของเฮนรี่สำหรับ N_2O_4 , M/L^3 kPa
j	=	จำนวนของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก
K	=	จำนวนของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่
k , k_1 , k_2 , k_3	=	ค่าคงที่สมดุล
k_g , k_l	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเฉลี่ยในเฟสก๊าซ, เฟสของเหลว , M/TL^2
$k_{g,loc}$, $k_{l,loc}$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเฉพาะที่ในเฟสก๊าซ, เฟสของเหลว ,M/TL^2
k_a , k_a' , k_g'	=	ค่าคงที่ของปฏิกิริยา
L	=	อัตราการไหลของของเหลว , L^3T^{-1}
M_L	=	น้ำหนักโมเลกุลของของเหลว
m	=	แฟคเตอร์ของจุดอับ (dead zone)
N_A	=	อัตราการถ่ายเทมวล , M/T
n	=	แฟคเตอร์ของการไหลลัดเส้นทาง (short circuit)
P	=	ความดัน

$P_{N2O4}, P_{NO}, P_{NO2},$

P_{HNO3}, P_{H2O} = ความดันย่อยของก๊าซ

ΔP = ความดันลดคร่อมหอแพค

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = อุณหภูมิ , K

t = เวลา , T

U_G , U_L = ความเร็วของก๊าซ , ของเหลว , L/T

V_1 , V_2 = ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ , ขนาดเล็ก , L^3

x = ความหนาของชั้นฟิล์ม , L

$(H_2O), (NO_2), (NO),$

(N_2O_4) = ความเข้มข้นของสารละลาย , mole/lit

<u>สัญลักษณ์กรีก</u>

β = แฟคเตอร์การกลับมาใช้ใหม่ (recycle)

T_1 , T_2 = เวลาที่ฝานเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่, เล็กตามลำดับ , T

T_L = เวลาเฉลี่ยที่ของเหลวไหลผ่านเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ , T

ρ_G , ρ_V = ความหนาแน่นของก๊าซ , มวล/ระยะทาง^2

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลว , มวล/ระยะทาง^2

μ_L , μ_v = ความหนืดของของเหลว , ของก๊าซ , มวล/ระยะทาง-เวลา

σ , σ_c = แรงตึงผิวของของเหลว , แรงตึงผิววิกฤต , แรง/ระยะทาง

θ = ตัวแปรไร้มิติของเวลา

$= t/T_L$