

รายงานฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปี 2550



เครื่องแยกสารอินทรีย์ไอระเหยออกจากตัวทำละลาย

RCH
TP
159
.P3
๑25๙๓

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี...13 ต.ค. 2551

หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิศรณ
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

119 30440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลของของเหลว อัตราการไหลของก๊าซ ความดันลด เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจากตัวแปรเหล่านั้นใน กระบวนการดูดซึม โดยใช้หอดูดซึมแบบบรรจุ (Packed column) ซึ่งมีวัสดุบรรจุเป็นขดลวดเหล็ก (Scrubber steel) บรรจุอยู่ในคอลัมน์ภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ในการทดลองหา ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลดนั้น จะทำการปรับอัตราการไหลของของเหลวและอัตราการ ไหลของก๊าซเพื่อวัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จะทำให้ได้เส้นกราฟ ความดันลดที่คงที่ในแต่ละค่าตั้งแต่ 1 ถึง 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุซึ่งมีอัตราการไหลของ ของเหลวและก๊าซที่แตกต่างกันไป จากความสัมพันธ์ที่ได้สามารถไปใช้หาสมรรถนะ (capacity) ของคอลัมน์ในการรองรับปริมาณการไหลสูงสุดของของเหลวและก๊าซรวมถึงขนาด ของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์

1. บทนำ

1.1. ความเป็นมาของโครงการ

กระบวนการแยกสารเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญและมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมเคมี กระบวนการที่ใช้ในการแยกสารผสมที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซให้ไปละลายในวัฏภาคของเหลวโดยใช้หลักการถ่ายเทมวลสาร เมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างวัฏภาคก๊าซและวัฏภาคของเหลวเรียกว่า การดูดซึม (Absorption) ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการแยกองค์ประกอบที่ละลายอยู่ในวัฏภาคของเหลวให้ไปอยู่ในวัฏภาคก๊าซ โดยใช้หลักการเดียวกันเรียกว่าการสทริปปิง (Stripping) ซึ่งวิธีนี้โดยส่วนมากจะนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (VOCs) ออกจากน้ำเสียหรือน้ำบาดาล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ หอบรรจุ (Packed column) ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลสูง โดยพื้นที่ในการถ่ายเทมวลในหอยจะเกิดจากวัสดุบรรจุที่บรรจุอยู่ในหอย จึงต้องมีการเลือกใช้วัสดุบรรจุที่ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคก๊าซและวัฏภาคของเหลวมาก และต้องทำจากวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งาน วัสดุบรรจุที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นชนิดลวดเหล็ก (Scrubber steel) มีลักษณะเป็นเส้นลวดเหล็กขนาดเล็กและยาวขดไปมาซ้อนกันหลายชั้นจนเกิดเป็นกลุ่มของขดลวดซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคสูง ทั้งยังมีราคาถูก จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุบรรจุ ส่วนสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง จะใช้สารละลายกรดอะซิติก (Acetic acid) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีและระเหยเข้าสู่อากาศได้ แทนการใช้ สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายนั้น เป็นสารที่ค่อนข้างอันตราย กำจัดยาก และราคาแพง

สำหรับโครงการนี้ ในการหาสมรรถนะของหอบรรจุ จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารที่ทำการสทริปปิง และศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการหาประสิทธิภาพสูงสุดในการแยกสารของหอบรรจุที่ใช้ในการทดลองนี้

1.2. วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อสร้างหอสทริปปิงแบบบรรจุ
- 1.2.2. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดสภาวะจุดท่วมในหอบรรจุ
- 1.2.3. เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสาร
- 1.2.4. เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จริงกับผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Hysys

1.3 ขอบเขตของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการวิจัยนี้จะทำการทดลองโดยการใช้น้ำและอากาศไหลสวนทางกันในหอบรรจุให้เกิดสภาวะจุดท่วมในหอบรรจุที่มีขนาดหลักเป็นวัสดุบรรจุ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหอสตริปปีงโดยใช้โปรแกรม Hysys ในการทดลองจะหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวกับความเข้มข้นที่ลดลงของสารที่นำมาสตริปปีง เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวที่มีต่อประสิทธิภาพในการสตริปปีง การเพิ่มอัตราการไหลจนถึงจุดที่เกิดสภาวะการท่วมจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการสตริปปีงของหอบรรจุที่ใช้ในการทดลองนี้ และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหอบรรจุที่เหมาะสม

2. ทฤษฎีเบื้องต้น [3]

กระบวนการดูดซึม (Absorption) เป็นกระบวนการที่ทำให้ก๊าซผสมสัมผัสกับของเหลว ซึ่งจะเรียกของเหลวนี้ว่า ตัวทำละลาย (Absorbent) โดยองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในก๊าซผสมจะเกิดการถ่ายเทมวลสารจากวัฏภาคก๊าซไปยังวัฏภาคของเหลว ซึ่งจะเรียกองค์ประกอบที่ถูกแยกออกไปนั้นว่าตัวถูกละลาย (Absorbate) กระบวนการดูดซึมจะใช้ในการแยกก๊าซผสม ยกตัวอย่างเช่น กำจัดสิ่งปนเปื้อน มลภาวะทางอากาศและสารพิษจากก๊าซ หรือเป็นการนำก๊าซกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการที่กลับกันกับกระบวนการดูดซึม คือ กระบวนการสตริปปีง (stripping) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สารละลายของเหลวถูกทำให้สัมผัสกับก๊าซ โดยมีจุดประสงค์เพื่อแยกสารองค์ประกอบออกจากสารละลายให้เข้าไปอยู่ในก๊าซ เกิดเป็นก๊าซของสารองค์ประกอบขึ้นมา โดยการถ่ายเทมวลสารจากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ การที่โมเลกุลสามารถถ่ายเทจากวัฏภาคของหนึ่งไปยังอีกวัฏภาคหนึ่งได้ เนื่องจากทั้ง 2 วัฏภาคนั้น มีความเข้มข้นต่างกัน (Concentration gradient) ที่ผิวของเหลวและก๊าซ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (driving force) เกิดการถ่ายเทมวล นอกจากนี้แล้วพื้นที่ผิวสัมผัสสูง การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสูง (Mass transfer coefficient) จะช่วยเร่งให้เกิดกระบวนการสตริปปีง ทำให้ของเหลวที่ได้มีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้นและสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยทั่วไปกระบวนการสตริปปีง จะใช้ในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (VOCs) จากน้ำเสีย โดยใช้อากาศ ไอน้ำและก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซเฉื่อย ผ่านเข้าไปในน้ำ กระบวนการสตริปปีงใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่ต้องการแยกสารประเภทต่างๆ ซึ่งรวมไปถึง ไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย

2.1. การเลือกตัวทำละลาย (Absorbent) [2]

ควรพิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้

2.1.1 ความสามารถในการละลายของก๊าซในตัวทำละลาย (Gas Solubility)

ก๊าซควรละลายได้ดีในตัวทำละลาย

2.1.2 ความสามารถในการระเหยของตัวทำละลาย (Volatility)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวทำละลายควรมีอัตราการระเหยต่ำ เพื่อลดการสูญเสียสารตัวทำละลาย

2.1.3. การกัดกร่อนของตัวทำละลาย (Corrosiveness)

ตัวทำละลายควรเป็นสารที่ไม่กัดกร่อน เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำเครื่องมือ

2.1.4. ต้นทุน (Cost)

ตัวทำละลายควรมีราคาไม่แพง และหาง่าย

2.1.5. ความหนืดของตัวทำละลาย (Viscosity)

ตัวทำละลายที่มีความหนืดต่ำจะมีข้อดี คือ มีอัตราการดูดซึมสูง ลดการเกิดสภาวะจุดท่วม (Flooding) ในหอดูดซึม นอกจากนี้ยังมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีอีกด้วย

2.1.6. ปัจจัยอื่นๆ

ตัวทำละลายควรเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ติดไฟไม่ได้ ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีและมีจุดเยือกแข็งต่ำ

2.2. ประเภทของการดูดซึมตามลักษณะการไหลระหว่างก๊าซและของเหลว [1]

สามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะดังนี้

2.2.1. การไหลแบบทางเดียว (Co-current)

2.2.2. การไหลแบบสวนทางกัน (Countercurrent)

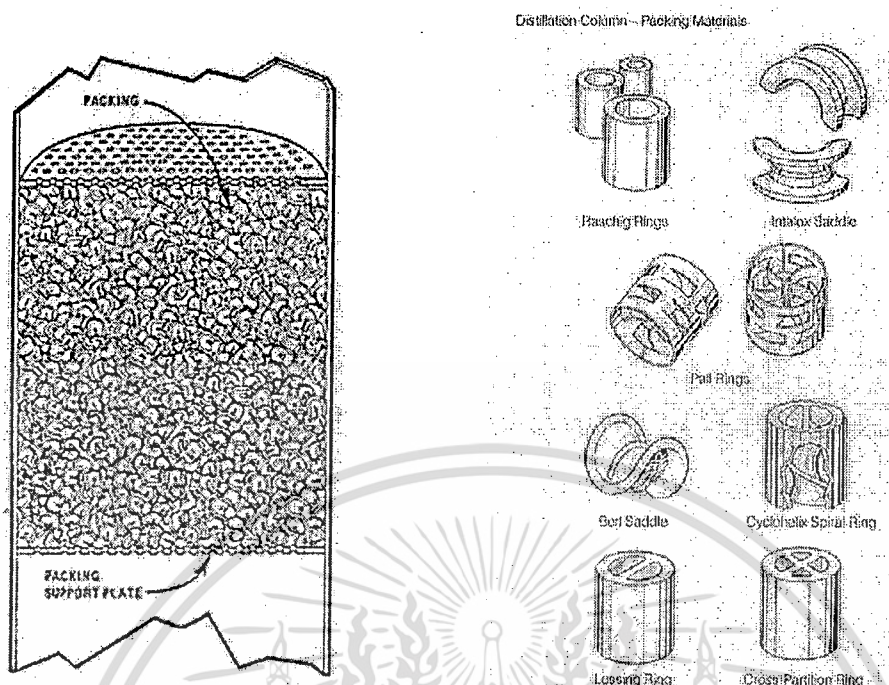
2.2.3. การไหลแบบตั้งฉาก (Cross-flow)

ซึ่งในที่นี้ จะขออธิบายเฉพาะลักษณะการไหลแบบสวนทางกัน

การไหลแบบสวนทางกัน (Countercurrent)

เป็นลักษณะการไหลที่ก๊าซและของเหลวมีทิศทางการสัมผัสแบบสวนทางกัน คือ ก๊าซจะถูกปล่อยขึ้นมาจากก้นหอ ของเหลวจะไหลลงจากยอดหอ โดยพบว่าลักษณะการไหลประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.3 หอบรรจุ (Packed column) [1, 2] สามารถใช้กับของเหลวที่มีคุณสมบัติกัดกร่อน เกิดฟอง และที่มีอัตราการไหลที่สูงได้ ลักษณะการใช้งานของหอสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยจะเปลี่ยนไปตามวัสดุบรรจุที่ใช้ เช่น พลาสติก เซรามิก เป็นต้น ซึ่งจะออกแบบให้เป็นรูปทรงต่างๆ ลักษณะของหอจะเป็นทรงกระบอกวางในแนวตั้ง ภายในจะบรรจุวัสดุบรรจุเพื่อใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการไหลแบบสวนทางกัน



รูปที่ 2.1 แสดงหอบรรจุและประเภทของวัสดุบรรจุ

ส่วนประกอบภายในหอบรรจุ

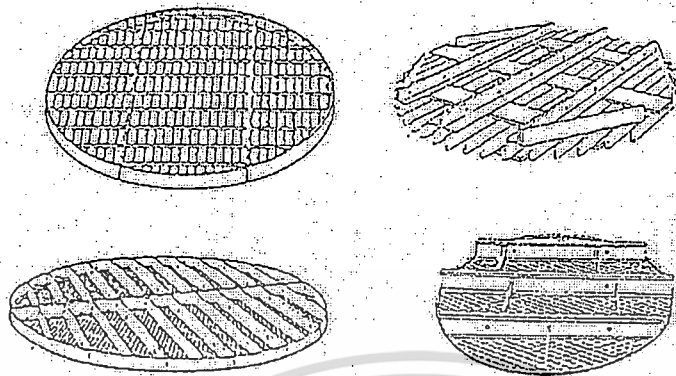
หลังจากการเลือกชนิดของหอบรรจุและทราบขนาดของหอบรรจุแล้ว (คือ ทราบความสูงและพื้นที่ตัดขวาง) สิ่งสำคัญอันดับต่อไป คือ การเลือกส่วนประกอบภายในหอบรรจุ ในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อให้ได้สมรรถนะ (Performance) ที่ดี

แผ่นรองรับวัสดุบรรจุ (Packing support)

หน้าที่ของแผ่นรองรับมีไว้เพื่อรับน้ำหนักของวัสดุบรรจุที่เปียก ในขณะที่เดียวกันก็ยอมให้ก๊าซไหลผ่านได้สะดวก แผ่นรองรับที่ออกแบบไม่ดีจะทำให้ความดันลดสูงและเกิดการท่วมของของเหลวได้ กริด (Grid) หรือแผ่นรูพรุน (Perforated plate) อย่างธรรมดา จะยอมให้ของเหลวและก๊าซไหลผ่านช่องทางเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.2 บางครั้งมีการใช้กริดที่ให้ช่องว่างกว้างเพื่อให้ของเหลวไหลผ่านได้ดี แล้ววางวัสดุบรรจุขนาดใหญ่สองถึงสามชั้น เพื่อเป็นตัวรองรับวัสดุบรรจุขนาดเล็กที่ใส่ในคอลัมน์แบบไม่เป็นระเบียบ (Random or dumped packing) แสดงดังรูปที่ 2.3

การออกแบบแผ่นรองรับวัสดุบรรจุที่เหมาะสม ควรแยกช่องทางการไหลของก๊าซออกจากของเหลว แสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 การออกแบบเช่นนี้จะช่วยให้ความดันลดต่ำและแทบที่จะไม่มีโอกาสเกิดการท่วมของของเหลวบนแผ่นรองรับ แผ่นรองรับจะมีขนาดต่างๆกัน วัสดุที่ใช้อาจจะเป็นโลหะเซรามิก และพลาสติก

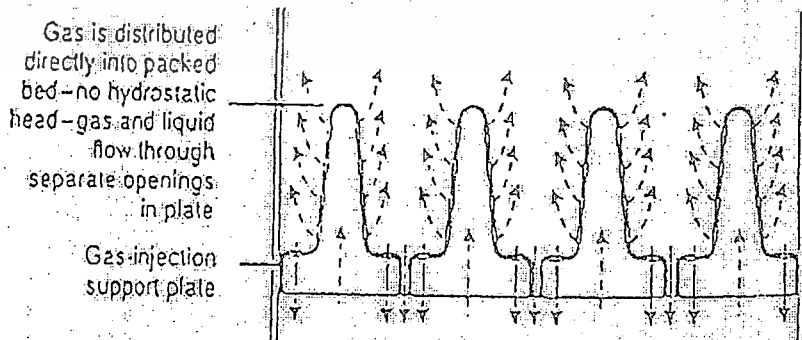
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผ่นรองรับวัสดุบรรจุ

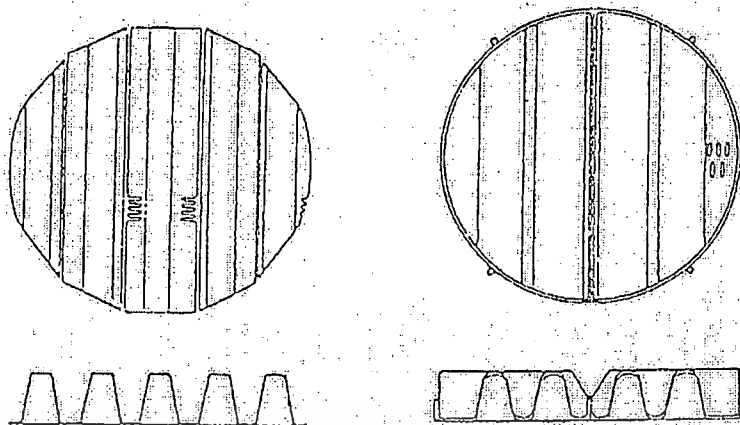


รูปที่ 2.3 วัสดุบรรจุเรียงเป็นระเบียบเพื่อเป็นตัวรองรับวัสดุบรรจุที่ไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 2.4 ลักษณะของตัวรองรับที่ยอมให้ก๊าซผ่านสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



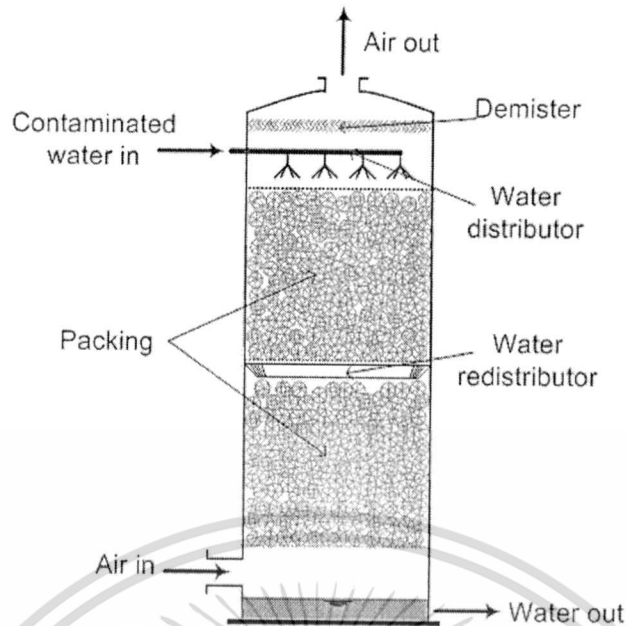
รูปที่ 2.5 แสดงการออกแบบตัวรองรับที่ยอมให้ก๊าซผ่านสะดวก

2.4 หลักการทำงานทั่วไปของการสตรippingอากาศ (Air stripping) โดยใช้หอบรรจุ [9, 10]

การสตรippingอากาศ เป็นกระบวนการที่ก๊าซซึ่งอยู่ในของเหลว ถูกทำให้สัมผัสกับอากาศ เกิดการถ่ายเทมวลของก๊าซจากวัฏภาคของเหลวไปยังวัฏภาคก๊าซ (อากาศ) ทำให้ก๊าซเข้าไปอยู่ในอากาศ โดยทั่วไปแล้วการทำงานของ การสตรippingอากาศ จะขึ้นอยู่กับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากก๊าซผสมที่ออกมาด้วย ซึ่งหากก๊าซผสมที่ออกมามีความเข้มข้นต่ำ จะสามารถปล่อยสู่บรรยากาศได้โดยตรง แต่ในทางกลับกัน อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษทางอากาศก็เป็นสิ่งที่จำเป็น

ปัจจัยที่มีผลต่อการสตรippingอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน สัดส่วนของอากาศกับน้ำและอัตราการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการ จะขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับอากาศและลักษณะการไหลของของเหลวกับอากาศ ส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสจะขึ้นกับขนาดและชนิดของวัสดุบรรจุ

หลักการทำงาน จะใช้หอคูดซึมประเภทหอบรรจุ ที่มีลักษณะการไหลแบบไหลสวนทางกัน ของเหลวจะถูกปั๊มขึ้นสู่ยอดหอ จากนั้นจะไหลลงมาจากยอดหอ ส่วนอากาศจะถูกปั๊มเข้าทางก้นหอ จากนั้นจะไหลขึ้นอยู่ยอดหอ โดยภายในหอจะมีวัสดุบรรจุอยู่ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลว ก๊าซที่ละลายอยู่ในของเหลวจะเกิดการถ่ายเทมวลเข้าไปอยู่ในอากาศ ทำให้ของเหลวที่ออกมามีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.6 แสดงการสตริบปิ้งน้ำด้วยอากาศโดยใช้หอบรรจุ

2.5 สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (Volatile organic compound, VOCs) [8]

สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (Volatile Organic Chemicals, VOCs) คือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหย เป็นไอได้ง่าย ที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นสำคัญ ซึ่งอาจมีอะตอมของออกซิเจนหรือ คลอรีนร่วมด้วย สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์หลายอย่างในชีวิตประจำวัน เช่น สีทาบ้าน ควันบุหรี่ สารฟอกสี สารตัวทำละลายในหมึกพิมพ์ สีย้อมย้อม สสารโรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง ผลิตภัณฑ์สำหรับเส้นผม สารฆ่าแมลง เป็นต้น สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายที่รู้จักกันดีได้แก่สารประกอบพวก มีเทน (methane: CH_4), เบนซีน (benzene: C_6H_6) และ ฟอรั่มอลดีไฮด์ (formaldehyde: CH_2O) โดยที่มีเทนจะเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายที่มีอยู่มากที่สุดในธรรมชาติ สำหรับแหล่งกำเนิดหลักของสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายนี้ เกิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันหรือเชื้อเพลิงอื่นที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล หรือ เชื้อเพลิงเหลวประเภทอื่น ๆ ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะเกิดมาจากการเผาไหม้ตามธรรมชาติ เช่น ภูเขา ควันไฟ หรือ เกิดมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในพื้นดินโดยพวกแบคทีเรีย ในภาวะที่ไร้ก๊าซออกซิเจน ทำให้น้ำบาดาลถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย การนำน้ำบาดาลมาใช้โดยไม่กำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายออกก่อนจึงอาจเป็นอันตรายได้

สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย แบ่งตามลักษณะของโมเลกุลได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.5.1 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated hydrocarbons) เช่น สารในกลุ่มอัลลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง, ก๊าซโซลีน, เฮกเซน, ตัวทำละลายในอุตสาหกรรม, แอลกอฮอล์, อีทิลไฮด์, คีโตน) และกลุ่มอะโรแมติกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาติก (เช่น โทลูอิน, เบนซีน, ไซลีน, สไตรีน, ฟีนอล) สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายกลุ่มนี้มาจากการเผาไหม้ของขยะ พลาสติก วัสดุและอุปกรณ์เครื่องใช้ สีทาวัสดุเป็นต้น ซึ่งมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

2.5.2 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (chlorinated VOCs หรือ halogenated hydrocarbons) ได้แก่ สารเคมีสังเคราะห์ในอุตสาหกรรม สารไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบนี้ จะมีความเสถียรและสะสมได้นานในสิ่งแวดล้อม มากกว่ากลุ่มแรก เพราะมีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนซึ่งทนทานและ ยากต่อการ สลายตัวในธรรมชาติ อันตรายของสารกลุ่มนี้คือจะรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง

2.6 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ [9]

ชื่อสารเคมี

แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

ชื่อภาษาอังกฤษ

Ammonium hydroxide

ชื่อสามัญ

สารละลายแอมโมเนีย, แอมโมเนียเหลว

ลักษณะ

สารละลายใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุน

ส่วนประกอบ

แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 20-30 %

ความเสถียร

เสถียร

สูตรโมเลกุล

NH_4OH

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสมบัติต่างๆของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

สมบัติ	ค่า	ณ อุณหภูมิหรือความดัน
พีเอช	ไม่มีข้อมูล	
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	-57.5 °C	
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	37.7 °C	
จุดวาบไฟ	ไม่มีข้อมูล	
อุณหภูมิลุกติดไฟด้วยตนเอง	ไม่มีข้อมูล	
ขีดจำกัดการระเบิด	บน: ไม่มีข้อมูล ล่าง: ไม่มีข้อมูล	
ความดันไอ	483 hPa	20 °C
ความถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	0.91 g/cm ³	20 °C
การละลาย	สามารถละลายน้ำได้	20 °C

แอมโมเนียเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่มีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะเป็นทั้งสารพิษต่อสัตว์น้ำและปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช แอมโมเนียเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในความเข้มข้นที่ต่ำ ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียโดยเฉลี่ยจากสัตว์ทะเล 17 ชนิด อยู่ที่ 1.86 mg NH₃/l ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ แอมโมเนียส่วนใหญ่ได้มาจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารเหลือตกค้าง เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำไปนาน ๆ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงจึงสูงขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่ให้สูงเกินไป แต่การกระทำเช่นนี้อาจไปสร้างผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ที่รองรับน้ำทิ้ง โดยเฉพาะตามพื้นที่ที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่หนาแน่น เพราะน้ำทิ้งเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงได้กำหนดค่าของแอมโมเนียไว้ทั้งในมาตรฐานคุณภาพน้ำ เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและมาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง แอมโมเนียจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำของหน่วยงานสังกัดสำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งวิเคราะห์กันอยู่เป็นประจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เส้นปฏิบัติการ (Operating Line) [2]

เมื่อสาร A ซึ่งละลายอยู่ในก๊าซ แพร่ผ่านก๊าซและเข้าสู่ของเหลว ซึ่งการทำสมดุลสารของสาร A แสดงดังรูปที่ 2.7

$$L' \left(\frac{x_2}{1-x_2} \right) + V' \left(\frac{y_1}{1-y_1} \right) = L' \left(\frac{x_1}{1-x_1} \right) + V' \left(\frac{y_2}{1-y_2} \right) \quad (1)$$

เมื่อ L' , V' คือ อัตราการไหลโดยมวลหรือฟลักซ์ของของเหลวและก๊าซ (กิโลกรัม โมลต่อวินาที, กิโลกรัม โมลต่อวินาทีตารางเมตร)

y_1 และ x_1 คือ เศษส่วนโมลของสาร A ในก๊าซและของเหลว

ซึ่ง L' และ V' จะมีค่าคงที่ แต่ L และ V จะไม่คงที่

การทำสมดุลสารรอบเส้นประ ตามรูปที่ 2.7 จะสามารถหาเส้นปฏิบัติการได้

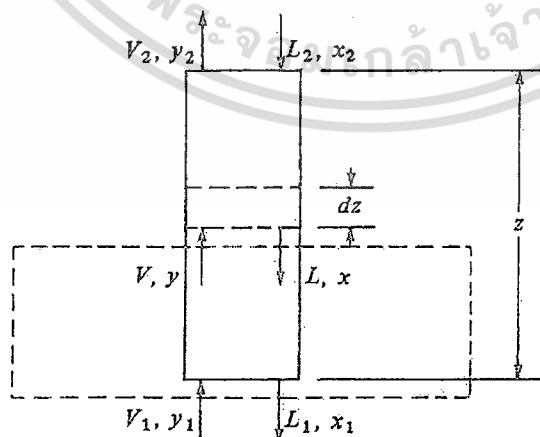
$$L' \left(\frac{x}{1-x} \right) + V' \left(\frac{y_1}{1-y_1} \right) = L' \left(\frac{x_1}{1-x_1} \right) + V' \left(\frac{y}{1-y} \right) \quad (2)$$

สมการ (2) เมื่อกำหนดจุดเส้นแกน xy จะได้เส้นโค้ง ดังรูปที่ 2.8a สมการ (2) สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของความดันย่อย p_1 ของสาร A เช่น เมื่อ $y_1/(1-y_1) = p_1/(P-p_1)$ ถ้า x และ y มีความเจือจางมาก $(1-x)$ และ $(1-y)$ สามารถแทนค่าเท่ากับ 1 และสมการ (2) จะเขียนแทนได้ดังสมการ (3)

$$L'x + V'y_1 \cong L'x_1 + V'y \quad (3)$$

จะมีความชันเท่ากับ L'/V' และจะได้เส้นปฏิบัติการเป็นเส้นตรง

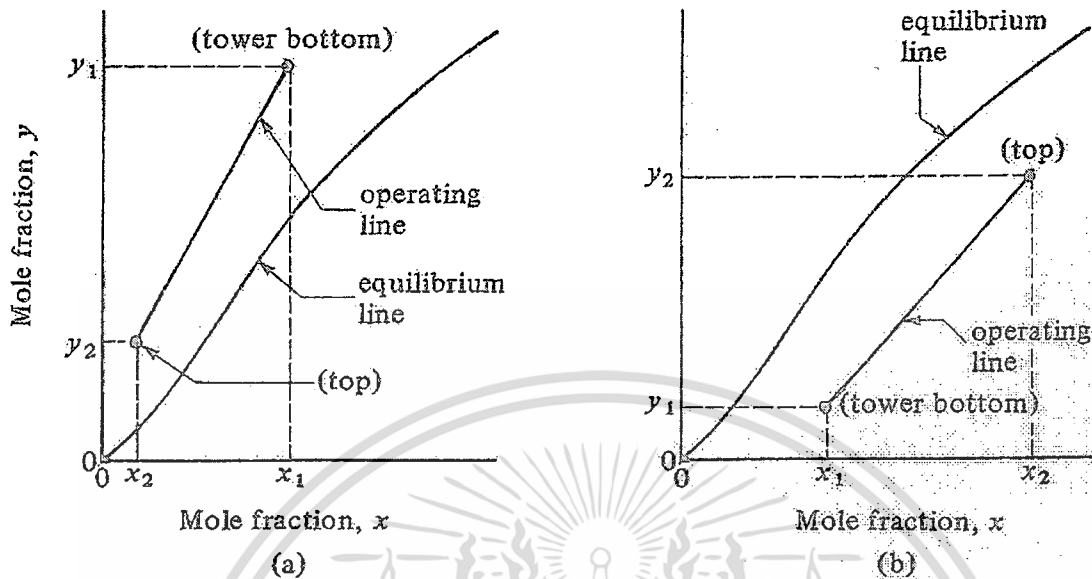
เมื่อตัวถูกละลายถ่ายเทมวลจากของเหลวไปก๊าซ จะเรียกว่า สตรีปปีง เส้นปฏิบัติการจะอยู่ต่ำกว่าเส้นสมดุล ดังรูปที่ 2.8b



Material balance for a countercurrent packed absorption tower.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 การทำสมดุลสารสำหรับหอดูดซึมแบบบรรจุ ที่มีกรไหลแบบไหลสวนทาง



Location of operating lines: (a) for absorption of A from V to L stream, (b) for stripping of A from L to V stream.

รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งของเส้นปฏิบัติการ

(a) สำหรับการดูดซึม (b) สำหรับการสตริบปีง

2.8 การหาความสูงของหอ [2]

หาได้จากสมการ

$$z = H_G N_G = H_L N_L = H_{OG} N_{OG} = H_{OL} N_{OL} \quad (4)$$

เมื่อ z คือ ความสูงของหอ H_G, H_L, H_{OG}, H_{OL} คือ ความสูงของ Transfer unit (HTU) N_G, N_L, N_{OG}, N_{OL} คือ จำนวนของ Transfer unit (NTU)

ซึ่งในที่นี้จะขออธิบายการหาค่า NTU เมื่อสารละลายที่ใช้เป็นสารละลายเจือจางที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 10% เส้นปฏิบัติการและเส้นสมดุลจะเป็นเส้นตรง ค่า NTU จะหาได้จากสมการ

$$N_G = \frac{y_1 - y_2}{(y - y_i)_M} \quad (5)$$

$$N_L = \frac{x_1 - x_2}{(x_i - x)_M} \quad (6)$$

$$N_{OG} = \frac{(y_1 - y_2)}{(y - y^*)_M} \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_{OL} = \frac{x_1 - x_2}{(x^* - x)_M} \quad (8)$$

โดยที่ $(y - y_i)_M$ และ $(y - y^*)_M$ หาได้จากสมการ

$$(y - y_i)_M = \frac{(y_1 - y_{i1}) - (y_2 - y_{i2})}{\ln[(y_1 - y_{i1}) / (y_2 - y_{i2})]} \quad (9)$$

$$(y - y^*)_M = \frac{(y_1 - y_1^*) - (y_2 - y_2^*)}{\ln[(y_1 - y_1^*) / (y_2 - y_2^*)]} \quad (10)$$

2.9 ความดันลดและสภาวะจุดท่วมของหอบรรจุ [4]

เมื่อทราบประเภท ขนาดของวัสดุบรรจุ และอัตราการไหลของของเหลวในหอบรรจุ ชัดจำกัดของอัตราการไหลของก๊าซ ที่หอยังสามารถดำเนินการได้ เรียกว่า ความเร็วของก๊าซที่สภาวะจุดท่วม (Flooding velocity) โดยหากก๊าซมีความเร็วที่สูงกว่าค่านี้ หอจะไม่สามารถดำเนินการได้ ที่ความเร็วของก๊าซต่ำ ของเหลวจะสามารถไหลผ่านวัสดุบรรจุลงสู่ก้นหอได้ โดยที่การไหลขึ้นของก๊าซไม่มีผลต่อของเหลว เมื่ออัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วของก๊าซต่ำ จะเรียกอัตราการไหลของก๊าซนี้ว่า loading point ก๊าซจะเริ่มกีดขวางการไหลลงของของเหลวของเหลวจะเริ่มไหลช้าลงและจะสะสมตามวัสดุบรรจุ ความดันลดของก๊าซจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น ของเหลวจะเกิดการสะสมมากขึ้น ที่สภาวะจุดท่วม ของเหลวจะไม่สามารถไหลผ่านวัสดุบรรจุได้ และจะไหลขึ้นตามก๊าซ

ความสัมพันธ์ที่ใช้ในการประมาณค่าความดันลดในวัสดุบรรจุที่ใช้อย่างแพร่หลาย แสดงดังรูปที่ 2.15 เมื่อ G_x, G_y คือ ความเร็วเชิงมวลในของเหลวและก๊าซ (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

μ_x คือ ความหนืดของของเหลว (เซนติพอยท์)

ρ_x, ρ_y คือ ความหนาแน่นเชิงโมลของของเหลวและก๊าซ (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

g_c เท่ากับ 32.174 ปอนด์ฟุตต่อปอนด์(แรง)วินาทีกำลังสอง

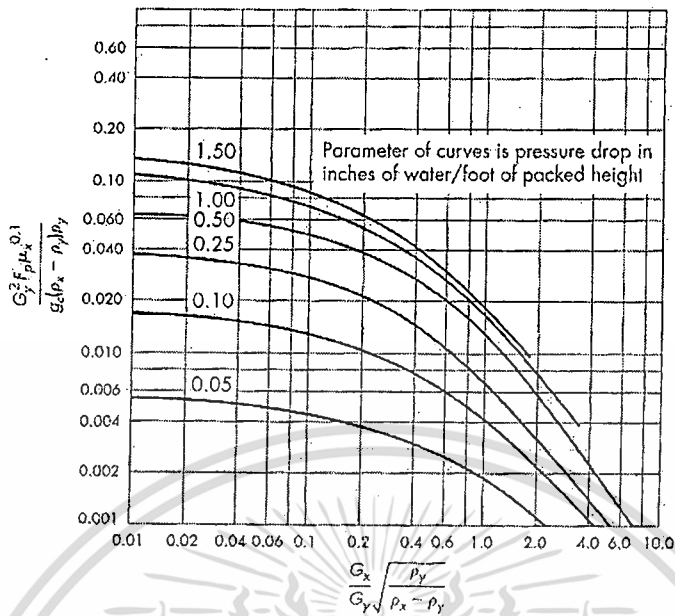
โดยความสัมพันธ์นี้ สามารถหาค่าสภาวะจุดท่วมได้ คือ เส้นที่เหนือเส้น $\Delta P = 1.5$ นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ แต่จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่า สภาวะจุดท่วมจะเกิดในช่วงความดันลด 0.7 – 1.5

นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ สำหรับ 2 – 3 นิ้ว ในการบรรจุ สมการอย่างง่ายสำหรับการหาความดันที่สภาวะจุดท่วม หาได้จาก $\Delta P_{flood} = 0.115 F_p^{0.7}$ (11)

เมื่อ ΔP_{flood} คือ ความดันลดที่สภาวะจุดท่วม (นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ)

F_p คือ แฟคทิง แฟคเตอร์

สมการ (11) สามารถใช้ได้กับแฟคทิง แฟคเตอร์ ตั้งแต่ 10 – 60 สำหรับค่า F_p ที่สูงกว่านี้ ความดันลดที่สภาวะจุดท่วมจะเท่ากับ 2.0 นิ้วน้ำต่อฟุต



Generalized correlation for pressure drop in packed columns. (1 in. H₂O/ft = 817 Pa/m) (After Eckert.³)

รูปที่ 2.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความดันตกในหอบรรจุ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [5,6]

มีผู้วิจัยในเรื่องของการออกแบบหอสตริปปีง เช่น S.H. Cypes, J.R. Engstrom [5] ได้ศึกษาในเรื่องของการสร้างคอลัมน์ที่ใช้ในการสตริปปีงแบบใหม่เพื่อเทียบประสิทธิภาพกับหอสตริปปีงแบบบรรจุที่ใช้ทั่วไป และ Mitesh R. Shah, Richard D. Noble, David E. Clough [6] ได้ศึกษาเรื่องกระบวนการผสมระหว่างกระบวนการเพอร์เวพอร์ชันกับกระบวนการสตริปปีงด้วยอากาศในการแยกสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายออกจากร้าน้ำบาดาล ซึ่งในบทความนี้มีการอธิบายทฤษฎีและสมการที่ใช้ในการออกแบบหอดูดซึมแบบบรรจุ

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ส่วนของการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การทดลองหาอัตราการไหลสูงสุดของของเหลวและก๊าซที่เกิดสภาวะจุดท่วมของหอบรรจุ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหอบรรจุ

1. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์: หอดูดซึมโดยใช้ขวดพลาสติกเป็นวัสดุบรรจุ ปริมาณ 150 – 50 ลิตรต่อหน้าที่มีการบายพาส (by pass) ขวดบรรจุน้ำปริมาตร 6 ลิตร และ ถังบรรจุน้ำขนาดใหญ่ ท่อยาง วาล์วที่ต่อจากท่ออัดอากาศโดยมีเกจวัดความดันอยู่ด้วย

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ต่อชุดทดลองโดยต่อท่อจากปั๊มเข้าสู่ด้านบนของหอดูดซึมและต่อท่อจากท่ออัดอากาศที่มีวาล์วเข้าทางด้านล่างของหอดูดซึม

2.2 ปิดวาล์วที่ปั๊มเข้าหอดูดซึม เปิดวาล์วบายพาสจนสุดแล้วเปิดปั๊ม

2.3 เปิดวาล์วที่ปั๊มเข้าหอดูดซึมอย่างช้าๆ จนได้อัตราการไหลในระดับหนึ่ง สังเกตการณ์ไหลที่ด้านบนของหอดูดซึม

2.4 เปิดวาล์วอัดอากาศเข้าสู่ด้านล่างของหอดูดซึมอย่างช้าๆ ให้มีความดันในหอดูดซึมไม่เกิน 0.1 เมกะปาสกาล สังเกตการณ์ไหลภายในหอดูดซึม

2.5 ทำซ้ำข้อ 2.3 – 2.4 จนสังเกตเห็นที่ด้านบนของหอดูดซึมเกิดสภาวะจุดท่วม

ส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของของเหลวและก๊าซ กับความเข้มข้นที่ลดลงของแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการสตรีปไปแล้ว

1. สารเคมี: น้ำ อากาศ แอมโมเนียไฮดรอกไซด์เข้มข้น 28 – 30% กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 36% เมททิลเรด

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 จัดชุดทดลองหอดูดซึม

2.2 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 % โดยปริมาตร

2.3 เตรียมสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ในถังขนาด 20 แกลลอนให้มีความเข้มข้นประมาณ 0.5 % โดยปริมาตร โดยการเก็บตัวอย่างของสารละลายปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

2.4 ทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอนเพื่อหาความเข้มข้นเฉลี่ย ถ้ายังไม่มีความเข้มข้นที่ต้องการต้องทำการเติมสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์หรือน้ำเพิ่มเข้าไป แล้วเก็บตัวอย่างสารละลายที่ผสมใหม่มาไทเทรตเพื่อหาความเข้มข้นใหม่ จนกว่าจะได้ความเข้มข้นประมาณ 0.5%

2.5 ทำการต่อท่อจากวาล์วที่ท่ออัดอากาศ เปิดวาล์วอัดอากาศแล้วทำการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธีการแทนที่น้ำให้ได้อัตราการไหลของอากาศค่าหนึ่ง

2.6 ต่อท่อจากกลับเข้าไปที่หอดูดซึม

2.7 เปิดปั๊มให้ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.8 เปิดวาล์วให้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ไหลเข้าสู่ด้านบนของหอที่อัตราการไหล 65 ลิตรต่อชั่วโมงโดยอ่านค่าจากโรตاميเตอร์
- 2.9 รอประมาณ 30 วินาที แล้วจึงเก็บตัวอย่างสารละลายที่ออกทางก้นหอปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด
- 2.10 ทำซ้ำข้อ (2.8) – (2.9) โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จาก 65 ลิตรต่อชั่วโมง เป็น 100, 150 และ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
- 2.11 นำสารละลายตัวอย่างที่เก็บได้ทั้งหมดไปหาความเข้มข้นด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 % โดยปริมาตร โดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์
- 2.12 ทำซ้ำข้อ (2.5) – (2.11) โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศเป็น 30 40 50 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง
- 2.13 จากอัตราการไหลของของเหลว 200 ลิตรต่อชั่วโมงและอากาศ 60 ลิตรต่อชั่วโมง ทำการเพิ่มอัตราการไหลของของเหลวจนเกิดสภาวะจุดท่วม แล้วทำการเก็บตัวอย่างสารละลายปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด ไปหาความเข้มข้นด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 % โดยปริมาตร โดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์

ส่วนที่ 3 การจำลองกระบวนการสตรีปปีง โดยการใช้โปรแกรม HYSYS

ในส่วนนี้เป็นการนำค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองมาจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม HYSYS

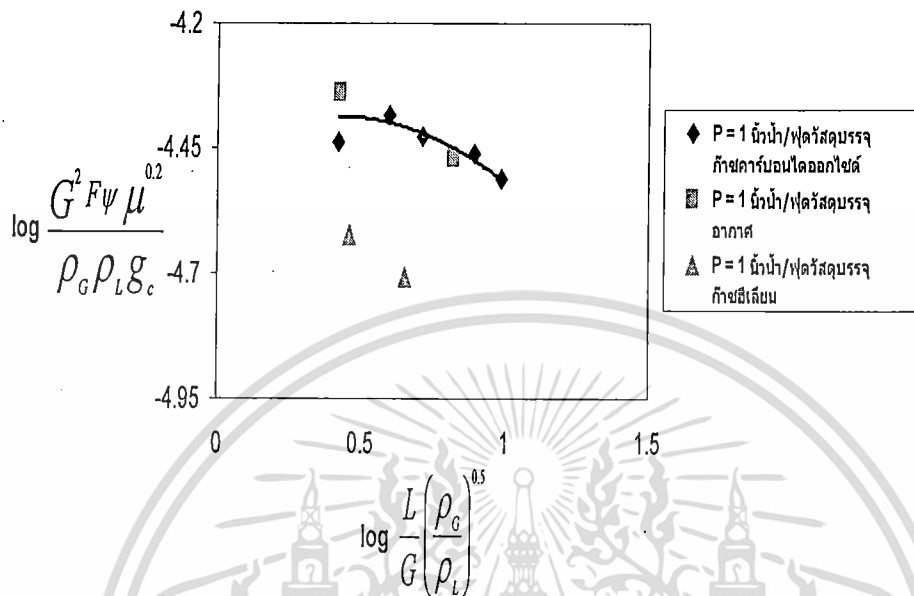
4. ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทั่วไปของระบบน้ำกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซฮีเลียม และอากาศที่ค่าความดันลดต่างๆ

สำหรับระบบของน้ำกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซฮีเลียม และอากาศ พบว่า ที่ค่าความดันลดตั้งแต่ 1 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ จนถึง 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ จะมีความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะเดียวกัน นั่นคือ ที่ค่าความดันลดคงที่ในแต่ละค่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของเหลว (ค่าตัวแปรไร้นิ้วนบนแกน x มีค่าเพิ่มขึ้น) จะมีผลทำให้อัตราการไหลของก๊าซมีค่าลดน้อยลง (ค่าตัวแปรไร้นิ้วนบนแกน y มีค่าลดลง) ทั้งนี้เนื่องมาจากว่า เมื่อของเหลวมีปริมาณมากขึ้นทำให้มีพลังงานจลน์ของของเหลวรวมถึงแรงโน้มถ่วงของของเหลวมีค่าสูงกว่าพลังงานจลน์ของก๊าซและโมเมนตัมของก๊าซซึ่งจะทำให้การไหลของก๊าซในการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของคอลัมน์ได้ช้าลง แต่สำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนักผู้ได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

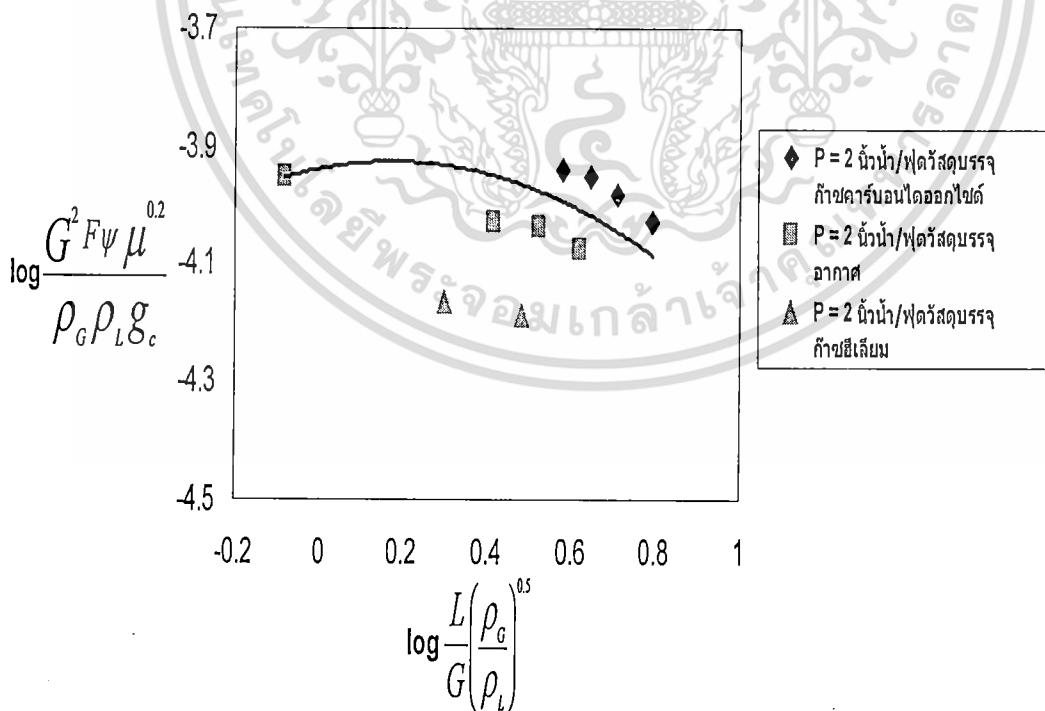
ระบบของก๊าซซีเลียมกับน้ำนั้น ค่าของตัวแปรไร้มิติบนแกนตั้งและแกนอนไม่ได้อยู่บนเส้นโค้งเดียวกันกับระบบของน้ำกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ ดังรูปที่ 4.1-4.6

4.1.1 ความดันลด 1 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลด 1 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

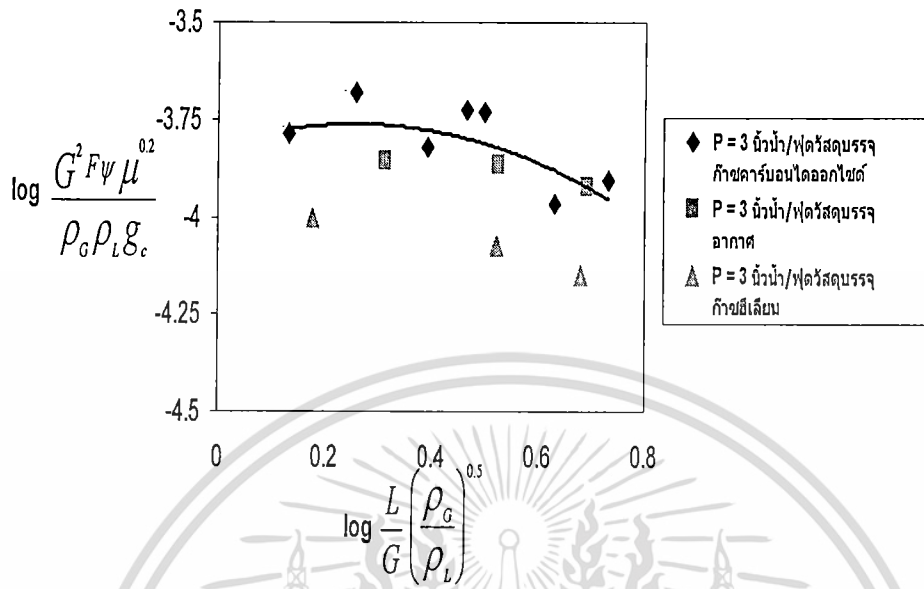
4.1.2 ความดันลด 2 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลด 2 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

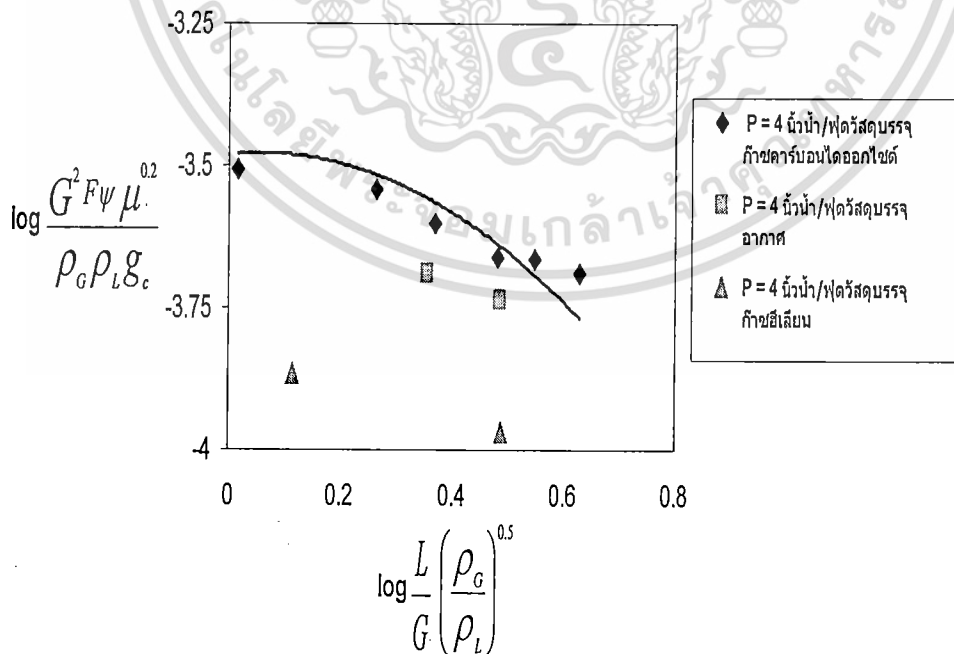
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ความดันลด 3 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลด 3 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

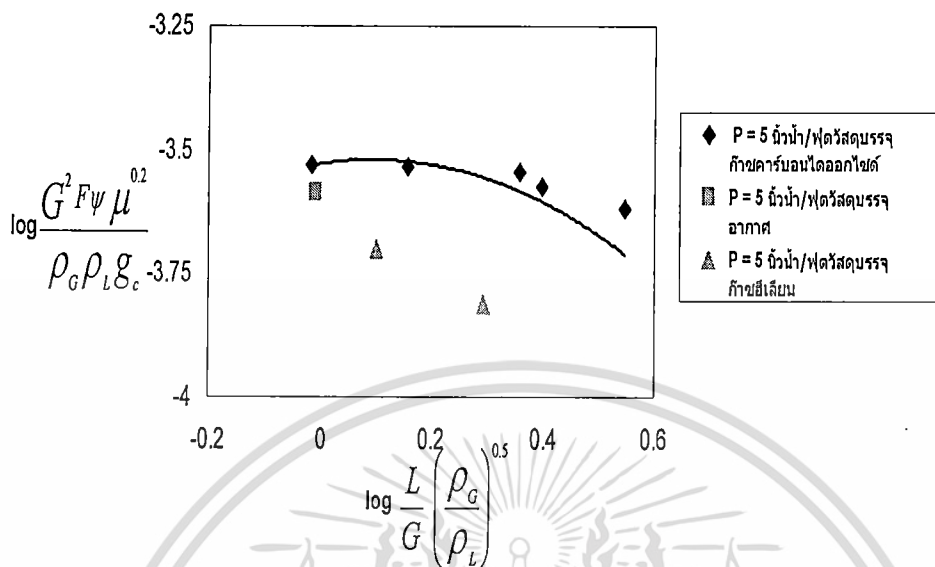
4.1.4 ความดันลด 4 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลด 4 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

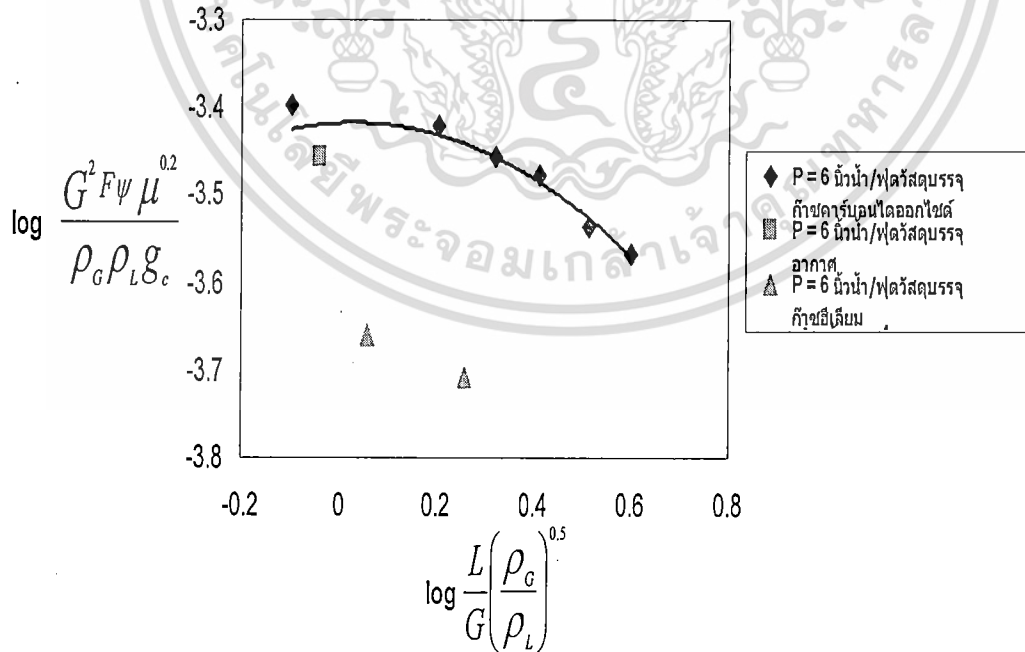
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ความดันลด 5 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลด 5 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

4.1.6 ความดันลด 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

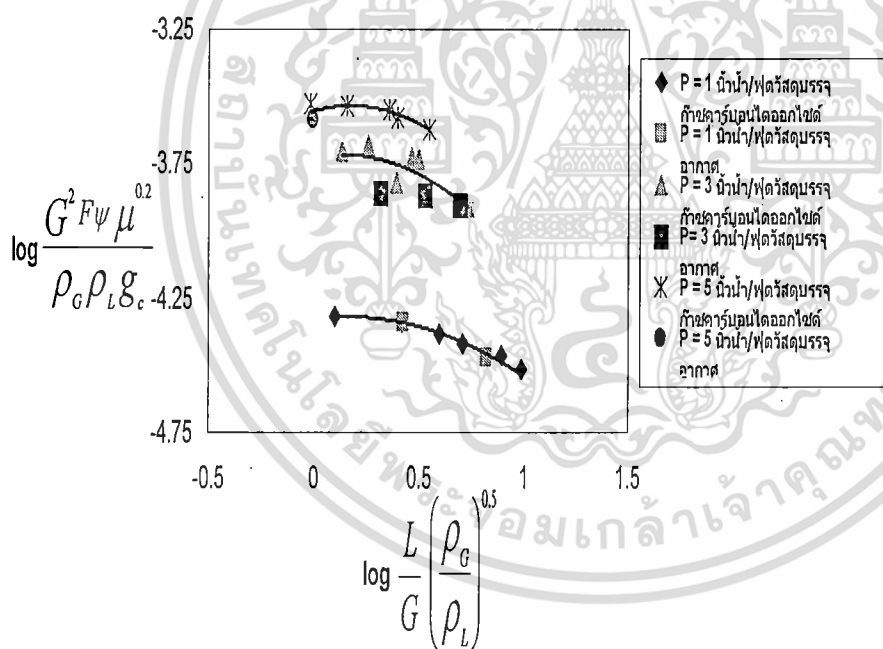


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลด 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

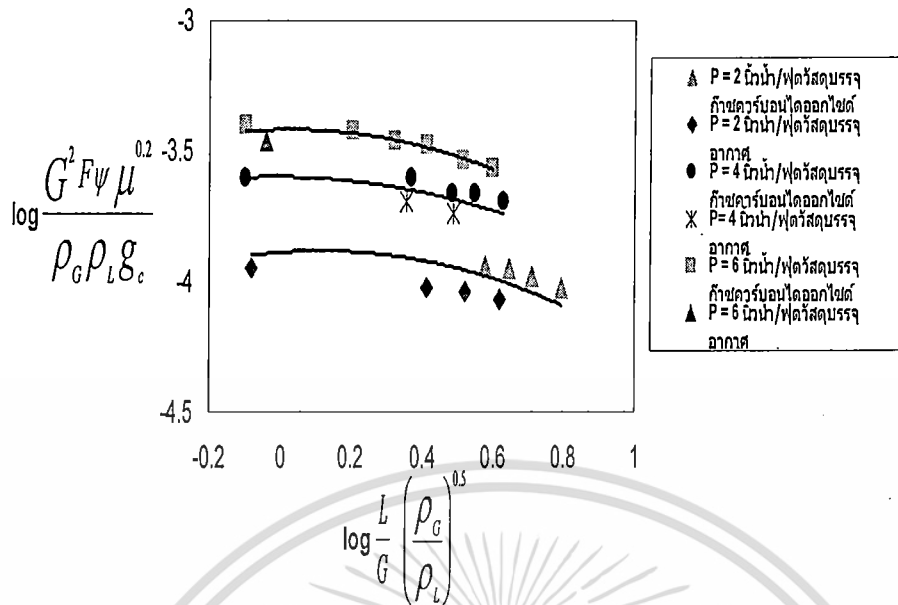
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทั่วไปของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศ โดยมี น้ำเป็นตัวทำละลายที่ค่าความดันลดต่างๆ

จากรูปที่ 7-8 พบว่าระบบของอากาศและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีน้ำเป็นของเหลวสำหรับการดูดซึมทุกระบบจะมีความสัมพันธ์เป็นไปในทางเดียวกันและอยู่บนเส้นแนวโน้มเดียวกัน นั่นคือเมื่อ ที่ค่าความดันลดคงที่ในแต่ละค่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของเหลว (ค่าตัวแปรไร้หน่วยบนแกน x มีค่าเพิ่มขึ้น) จะมีผลทำให้อัตราการไหลของก๊าซมีค่าลดน้อยลง (ค่าตัวแปรไร้หน่วยบนแกน y มีค่าลดลง) ทั้งนี้เนื่องจากว่า เมื่ออัตราการไหลของของเหลวมีค่าสูงจะทำให้พลังงานจลน์ของของเหลวและแรงโน้มถ่วงของของเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ก๊าซเคลื่อนที่ขึ้นไปส่วนบนของคอลัมน์ได้ช้าลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออัตราการไหลของของเหลวและก๊าซมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความดันลดมีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นจะทำให้มีการเสียดสีของของเหลวอยู่ภายในวัสดุบรรจุมากขึ้นจึงทำให้มีการต้านทานการไหลสูงขึ้น



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ทั่วไปของค่าความดันลด 1 3 และ 5 นิ้วน้ำต่อฟลูอิดบรรจุ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ทั่วไปของค่าความดันลด 2.4 และ 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ

5. สรุปผลการทดลอง

จากความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลดที่ตั้งแต่ 1 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ จนถึง 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ ที่ได้จากการทดลองของระบบอากาศก๊าซซีลียมและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีน้ำเป็นของเหลวที่ใช้ในการดูดซึมจะเห็นว่ามีความสัมพันธ์เป็นไปในทางเดียวกัน นั่นคือเมื่อ ที่ค่าความดันลดคงที่ในแต่ละค่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของเหลว (ค่าตัวแปรไร้หน่วยบนแกน x มีค่าเพิ่มขึ้น) จะมีผลทำให้อัตราการไหลของก๊าซมีค่าลดน้อยลง (ค่าตัวแปรไร้หน่วยบนแกน y มีค่าลดลง)

ดังนั้นเมื่อของเหลวมีปริมาณมากขึ้นจะไปขัดขวางการไหลของก๊าซให้เคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของคอลัมน์ได้ช้าลง ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของของเหลวมีค่าสูงกว่าโมเมนตัมของก๊าซ จึงช่วยป้องกันไม่ให้เกิดของเหลวล้นยอดหอได้ ซึ่งนับว่าเป็นการเพิ่มความสามารถในการปฏิบัติการของคอลัมน์ให้อยู่ในสภาวะปกติได้โดยไม่เกิดการท่วม ดังนั้นค่าของตัวแปรไร้หน่วยในแนวแกนตั้งซึ่งอธิบายถึงความสมดุลระหว่างโมเมนตัมของก๊าซกับแรงโน้มถ่วงของของเหลวจึงมีค่าลดลง ในขณะเดียวกันค่าของตัวแปรไร้หน่วยในแนวแกนนอนจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากว่าพลังงานจลน์ของก๊าซที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นมีค่าต่ำกว่าพลังงานจลน์ของของเหลวซึ่งเคลื่อนที่ลงมา ดังนั้น ความชันของเส้นกราฟแต่ละเส้นที่ความดันลดคงที่ค่าหนึ่งจึงมีแนวโน้มลดลง [3] ดังแสดงให้เห็นจากรูปที่ 4.1-4.8

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ทั่วไปของความดันลดที่ตั้งแต่ 1 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ จนถึง 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ ที่ได้จากการทดลองของระบบอากาศและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีน้ำเป็นของเหลวที่ใช้ในการดูดซึมนั้น จะเห็นได้ว่า ก๊าซที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีความหนาแน่นต่างกันนั้นจะได้กราฟเส้นโค้งที่ค่าความดันลดคงที่ค่าหนึ่งโดยมีแนวโน้มลดลงเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ดังแสดงให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้หาสมรรถนะ (Capacity) ของหอดูดซึมที่ดำเนินการอยู่ภายใต้ช่วงความดันคงที่ตั้งแต่ 1 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุ จนถึง 6 นิ้วน้ำต่อฟุตวัสดุบรรจุได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Christie John Geankoplis, "Transport Processes and Separation Process Principles", 4th ed, Prentice-Hall, Inc.
- [2] J.D.Seader, Ernest J. Henley, "Separation Process Principles", John Wiley & Sons, Inc., 1998
- [3] Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott, "Unit Operations of Chemical Engineering", 7th ed, McGraw-Hill, Inc.
- [4] Stephen H. Cypes, J.R. Engstrom, Analysis of a toluene stripping process: a comparison between a microfabricated stripping column and a conventional packed tower, J. Chem. Eng. 101 (2004) 49–56
- [5] Mitesh R. Shah, Richard D. Noble, David E. Clough, Pervaporation–air stripping hybrid process for removal of VOCs from groundwater, J. Membr. Sci. 241 (2004) 257–263
- [6] <http://www.en.wikipedia.org>
- [7] http://www.il.mahidol.ac.th/course/ecology/chapter2/chapter2_airpolution5.html
- [8] <http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Trf/msdst/msdst64-19-7.html>
- [9] <http://www.fitr.gov>