

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัญหามลพิษทางอากาศ (Air pollution) เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นพิษ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในประเทศที่มีความเจริญก้าวหน้าทางอุตสาหกรรม ซึ่งจัดเป็นแหล่งผลิตสารมลพิษให้กับบรรยากาศที่สำคัญ และเนื่องจากมีกระแสลมช่วยในการพัดพา ทำให้สารมลพิษแพร่กระจายออกจากจุดกำเนิดไปได้ไกล ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศในวงกว้างและทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น

สำหรับประเทศไทยอุตสาหกรรมมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรที่เพิ่มมากขึ้น การนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้อำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ และกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่เพิ่มขยายมากขึ้นทั้งประเภทและปริมาณ ทำให้เกิดของเสียที่ปล่อยออกมาสู่บรรยากาศเป็นจำนวนมาก และจากการสำรวจพบว่าแอมโมเนียจัดเป็นสารเคมีอันตรายที่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพมากติดอันดับ 1 ใน 5 อันดับแรกที่ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของประชากรไทย เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางและเกิดการรั่วไหลบ่อยครั้ง อุตสาหกรรมที่มีการใช้แอมโมเนียมาก ได้แก่ อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมห้องเย็นและแช่แข็ง อุตสาหกรรมการขนส่ง อุตสาหกรรมน้ำยางข้น อุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ย อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตเวชภัณฑ์อินทรีย์และอนินทรีย์ อุตสาหกรรมการผลิตสี และการทำพิมพ์เขียว เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำ เมื่อถูกใช้ในกระบวนการผลิต ไอระเหยของแอมโมเนียจะฟุ้งกระจายและเกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบำบัดแอมโมเนียที่เจือปนในอากาศจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เพื่อสุขภาพอนามัยของสิ่งมีชีวิตและเพื่อให้สอดคล้องกับความจำเป็นในการรักษาสภาพแวดล้อม

การพิจารณาเลือกใช้กระบวนการบำบัดแอมโมเนียในอากาศขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ ประเภทของแหล่งที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดแอมโมเนียในอากาศ เป็นต้น กระบวนการพื้นฐานสำหรับการบำบัดแอมโมเนียในอากาศที่นิยมใช้ ได้แก่ กระบวนการดูดซับแก๊ส (Gas adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดสารพิษโดยใช้สารดูดซับ (Adsorbent) ที่เป็นของแข็ง ประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ ซึ่งจะดูดซับโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และการทำให้สารดูดซับมีความพรุนมาก จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่การดูดซับให้มากขึ้นด้วย สารดูดซับที่

นิยมใช้ ได้แก่ Activated carbon , Activated Alumina , Zeolite และ Silica gel เป็นต้น กระบวนการนี้เหมาะสำหรับอากาศเจือปนด้วยสารพิษปริมาณเล็กน้อย ยากจะไหม้ไฟ และไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีอื่นได้ กระบวนการกรองทางชีวภาพ (Biofiltration) เป็นกระบวนการที่ให้กระแสน้ำที่เจือปนด้วยสารมลพิษผ่านตัวกรองชีวภาพหรือจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสารพิษและเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษที่ต้องการบำบัด และกระบวนการดูดซึมแก๊ส (Gas absorption) เป็นกระบวนการที่ใช้ของเหลวในการดูดซึมสารพิษในอากาศทำให้ปริมาณสารพิษในอากาศที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอกลดลง นิยมใช้ในการบำบัดอนุภาค หมอก คิว และแก๊สที่ละลายได้ กระบวนการดูดซึมแก๊สนับเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถใช้สารดูดซึม (Absorbent) ร่วมทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้ ชนิดของสารดูดซึมที่ใช้ในกระบวนการ ขึ้นอยู่กับราคาและชนิดของสารพิษที่ต้องการบำบัด ซึ่งสารดูดซึม (Absorbent) ทั่วไปที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำ สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายกรดซัลฟูริก สารละลายกรดไฮโดรคลอริก สารละลายกรดฟอสฟอริก และสารละลายโซเดียมไบซัลเฟต เป็นต้น

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อการบำบัดแอมโมเนียที่เจือปนในอากาศเสียจำลองอย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธี Packed Bed Gas Absorption โดยใช้น้ำและการร่วมทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) และปฏิกิริยาสะเทินโดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียและการหาสภาวะดำเนินการบำบัดที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด

1.2 แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียเป็นสารอนินทรีย์ชนิดหนึ่ง จัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535

1.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของแอมโมเนีย

สูตรโครงสร้าง	: NH_3
น้ำหนักโมเลกุล	: 17.01
ความถ่วงจำเพาะ	: 0.682 (ที่ -33.4 องศาเซลเซียส)
ลักษณะสีและกลิ่น	: เป็นแก๊สไม่มีสี กลิ่นรุนแรงมาก
จุดเดือด	: -33.4 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	: -77.7 องศาเซลเซียส

การละลาย	: ละลายน้ำได้ดี
ค่าพีเอช	: มีความเป็นด่าง (ที่ 1.0 N มีค่าพีเอช 11.6)
คุณสมบัติอื่นๆ	: เมื่อละลายในน้ำจะเกิดความร้อน เป็นสารกัดกร่อน

1.2.2 ความเป็นพิษและอันตรายต่อมนุษย์

แอมโมเนียเป็นก๊าซพิษและกัดกร่อน มีอันตรายต่อร่างกาย การได้รับแอมโมเนียทางปาก จะทำให้เนื้อเยื่อทางเดินอาหารถูกกัดกร่อน เกิดแผลไหม้ (Caustic burn) มีอาการคลื่นไส้ ปวดท้อง อาเจียน หมดสติ เมื่อสัมผัสทางจุมก ตา ผิวหนัง มีอาการทั่วไปคือ ระคายเคือง อึดอัดหายใจไม่สะดวก เจ็บคอ แน่นหน้าอก ปอดและหลอดลมอักเสบ การสัมผัสสารแอมโมเนียในระดับความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้เกิดของเหลวขึ้นในปอดทำให้ปอดบวมน้ำ มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง คลื่นไส้ อาเจียน เกร็งชัก ความดันโลหิตเพิ่ม ตาบอด ผิวหนังเป็นแผลเนื่องจากความเย็น ถ้าได้รับปริมาณสูงทำให้เสียชีวิตได้ในทันที ระดับอันตรายของแอมโมเนียแสดงดังตารางที่ 1-1 สำหรับการสัมผัสในระยะยาว จะมีผลทำให้เกิดการระคายเคือง ตา จุมก และลำคออย่างเรื้อรังและอาจมีผลต่อปอด อาการมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณ ระยะเวลา และความต้านทานของแต่ละบุคคล แต่ยังไม่มีการศึกษาเพียงพอถึงความสามารถในการก่อดีและผลต่อระบบสืบพันธุ์

ตารางที่ 1-1 แสดงระดับอันตรายของแอมโมเนีย

ความเข้มข้น NH ₃ (ppm)	ผลต่อผู้สัมผัส	ระยะเวลาที่สัมผัส
5-9	- จุมกเริ่มรับกลิ่นได้	- เมื่อสัมผัส
100	- ผู้สัมผัสบางรายมีอาการระคายเคือง อึดอัด	- ½ ชม.
400	- ระคายเคืองลำคอ หายใจติดขัด	- ไม่ควรได้รับนานเกิน 1 ชม.
500	- ความดันโลหิตเพิ่ม หายใจติดขัด	- ½ ชม.
700	- ระคายเคืองต่อตามาก การมองไม่ชัด	- ½ ชม.
1,720	- อาการไอรุนแรง ชัก	- หลังได้รับ ½ ชม. ทำให้เสียชีวิต
5,000-10,000 (0.5-1%)	- อาการเกร็งของระบบทางเดินหายใจ สภาวะการขาดออกซิเจนของเนื้อเยื่อ	- เสียชีวิตทันที

ที่มา : <http://www2.diw.go.th/haz/hazard/Library/ammo.htm>

1.2.3 ผลกระทบต่อของแอมโมเนียต่อสภาวะแวดล้อม

การระบายแอมโมเนียสู่แหล่งน้ำจะมีผลต่อปลาและสัตว์น้ำอื่นโดยตรง คือทำให้เสียชีวิต ค่า pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง วงจรโซ่อาหารในระบบนิเวศเปลี่ยนแปลง สำหรับการปนเปื้อนในอากาศจะได้สารประกอบกลุ่มไนโตรเจน NO_x ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะเรือนกระจกและละอองฟุ้งของแอมโมเนียในอากาศจะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อน

1.2.4 มาตรฐานควบคุม

การควบคุมบรรยากาศการทำงาน โดยปกติแล้วแอมโมเนียจะเบากว่าอากาศปกติ ดังนั้นสถานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับแอมโมเนียควรจัดให้มีการถ่ายเทอากาศที่ดี หากการถ่ายเทอากาศไม่สะดวก จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น พัดลม Hood และท่อดูดระบายอากาศ กำหนดให้ปริมาณแอมโมเนียในบรรยากาศการทำงานไม่เกินค่า TLV – TWA ย่อจาก Threshold Limit Value – Time Weighted Average ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารสำหรับการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง/วัน หรือ 40 ชั่วโมง/สัปดาห์ โดยที่คนงานเกือบทุกคนสัมผัสสารซ้ำ ๆ หลาย ๆ วันโดยไม่เกิดอันตรายต่อร่างกาย

ตารางที่ 1-2 แสดงระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนียที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน (TLV – TWA) สำหรับประเทศต่างๆ

ประเทศ	ความเข้มข้น
สหรัฐอเมริกา	25 ppm (18 mg/m^3)
อังกฤษ	25 ppm (18 mg/m^3)
เยอรมัน	50 ppm (35 mg/m^3)
ฝรั่งเศส	25 ppm (18 mg/m^3)
สวีเดน	25 ppm (18 mg/m^3)
ไทย	50 ppm (35 mg/m^3)

ที่มา : <http://www2.diw.go.th/haz/hazard/Library/ammo.htm>

1.3 ทฤษฎีและหลักการ

การดูดซึมแก๊ส (Gas absorption)

เป็นกระบวนการดูดซึมสารปนเปื้อนในอากาศเสียโดยใช้สารตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือสารละลาย สารที่ใช้เป็นสารดูดซึม ส่วนมากจะเป็นของเหลว เช่น น้ำ สารละลาย

จำพวกกรด เบสหรือ Hypochlorite ในการเลือกใช้สารดูดซึมจะพิจารณาจากความสามารถในการดูดซึมสารปนเปื้อนที่ต้องการสูง ระบายได้น้อย ไม่เกิดฟอง ไม่ติดไฟ ไม่กัดกร่อน ไม่เป็นพิษ มีค่าความหนืดต่ำและราคาไม่แพง ซึ่งสารดูดซึมที่ใช้ในกระบวนการอาจถูกนำมาใช้ใหม่อีกครั้ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดและในการดำเนินการ

เครื่องมือทั่วไปที่ใช้ในการดูดซึมแก๊ส คือ คอลัมน์บรรจุ (Packed column) ประกอบด้วยคอลัมน์ทรงกระบอก มีอุปกรณ์เพื่อช่วยในการกระจายแก๊สและของเหลวอยู่ด้านล่างและบนของคอลัมน์ตามลำดับ ภายในคอลัมน์บรรจุด้วยของแข็ง เรียกว่า วัสดุบรรจุ (Packing) ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยา ไม่กัดกร่อน และราคาถูก เช่น ดินเผา พอร์เซเลน พลาสติกต่าง ๆ เป็นต้น วัสดุบรรจุจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสแก๊สและเฟสของเหลว ทำให้เกิดความปั่นป่วน (Turbulent) ภายในเฟสแก๊สและของเหลว และทำให้เฟสแก๊สมีระยะเวลาภายในคอลัมน์ (Residence time) เพียงพอในการสัมผัสกับเฟสของเหลว เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟสได้ดี ให้ประสิทธิภาพสูงในการบำบัด ในกรณีที่เฟสแก๊สมีอนุภาคของแข็งเจือปน เมื่อกระแสแก๊สไหลผ่านพื้นที่เปิดของวัสดุบรรจุ อนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่ จะไม่สามารถไหลไปตามกระแสของแก๊สได้ แต่จะติดค้างที่ผิวของวัสดุบรรจุหรือสะสมในเฟสของเหลวที่ไหลผ่าน Packing bed เป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตัน (Plugging) ในช่องว่างระหว่างวัสดุบรรจุ

พารามิเตอร์ดำเนินการพื้นฐานสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด คือ ความสามารถในการละลายของสารปนเปื้อน สารปนเปื้อนที่สามารถละลายในสารดูดซึมได้สูงจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงในช่วงสภาวะดำเนินการที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์สำคัญอื่น ๆ ดังนี้

- ความเร็วแก๊ส (Gas velocity) คอลัมน์บรรจุจะถูกออกแบบโดยพิจารณาจากความเร็วแก๊สที่ไหลผ่านคอลัมน์บรรจุ ความเร็วแก๊สจะทำให้เกิดการผสมและปั่นป่วนระหว่างเฟสได้ดี อย่างไรก็ตามอัตราการไหลต้องไม่เร็วเกินไป จนเกิดภาวะท่วม (Flooding)

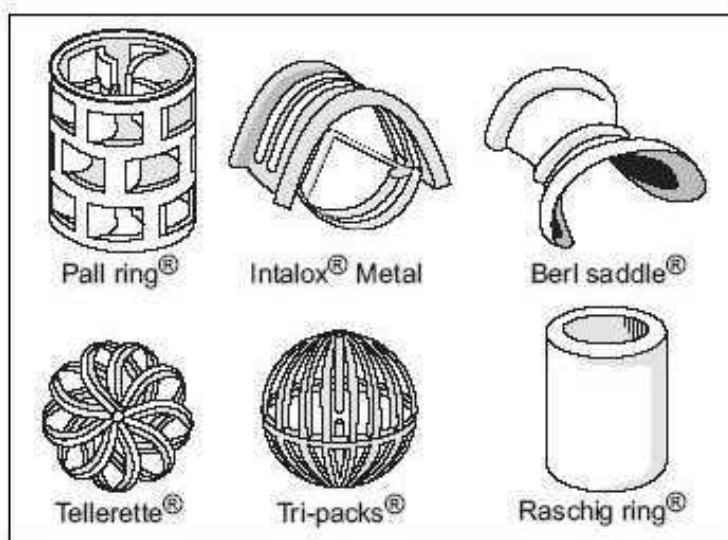
- อัตราการไหลของเหลว (Liquid rate) โดยปกติแล้วการเพิ่มอัตราการไหลของเหลว จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีขึ้น แต่ปริมาณของอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงขึ้นด้วย ดังนั้นในการดำเนินการต้องพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสม

- ขนาดของวัสดุบรรจุ (Packing size) วัสดุบรรจุขนาดเล็กจะให้พื้นที่ผิวสัมผัสสูงซึ่งทำให้ช่วยเพิ่มการดูดซึมแก๊ส แต่ช่องว่างระหว่างวัสดุบรรจุจะลดลงทำให้ความดันตกในคอลัมน์บรรจุเพิ่มขึ้น

- ความสูงของคอลัมน์บรรจุ (Packing height) คอลัมน์บรรจุที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดและระยะเวลาในการบำบัดให้มากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง แต่ความดันตกและค่าใช้จ่ายก็สูงขึ้นด้วย ดังนั้นส่วนใหญ่เมื่อต้องการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและระยะเวลาในการบำบัดจะพิจารณาจากชนิดและขนาดของวัสดุบรรจุมากกว่า

1.3.1 วัสดุบรรจุ (Packing)

วัสดุบรรจุถูกแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลัก คือ ชนิดแบบเทสุ่มไปในหอ ชนิดที่จัดเรียงด้วยมือ และชนิดที่มีโครงสร้างหรือลำดับที่แน่นอน วัสดุบรรจุแบบเทจะมีขนาดชั้นระหว่าง 6-75 มิลลิเมตร (1/4-3 นิ้ว) ในมิติหลัก (Major dimension) วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 25 มิลลิเมตร ถูกใช้ในห้องปฏิบัติการหรือคอลัมน์โรงงานทดลอง (Pilot-plant) วัสดุบรรจุแบบเรียงมีขนาด 50-200 มิลลิเมตร (2-8 นิ้ว) ซึ่งจะใช้น้อยกว่าวัสดุแบบเท ปริมาตรว่าง (Void space) ที่สูงและให้ช่องทางผ่านของเหลวที่กว้างจะได้จากวัสดุบรรจุที่รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular) หรือกลวง ซึ่งจะทำให้แฟรกชันว่าง (Void fraction) หรือความพรุน (Porosity) สูงถึง 60-90 % วัสดุบรรจุที่ใช้กันทั่วไปแสดงดังภาพประกอบที่ 1-1 วัสดุบรรจุชนิด Berl saddle และ Raschig ring เป็นวัสดุบรรจุแบบเก่าดั้งเดิมซึ่งใช้ไม่มากในปัจจุบัน Intalox Metal จะมีรูปร่างคล้ายคลึงกับ Berl saddle แต่รูปร่างจะป้องกันการเกิด Nesting และทำให้มีความพรุนมากขึ้น Pall ring ถูกทำด้วยโลหะบางที่มีบางส่วนของผนังงอเข้าด้านใน หรือทำจากพลาสติกโดยมีช่อง (Slot) ในผนังและมี Rib ที่แข็งแรงภายนอก วัสดุบรรจุแบบ Pall ring จะมีแฟรกชันว่างมากกว่า 90 % และเกิดความดันลดต่ำ (ชาคริต ทองอุไร, 2542)



ภาพประกอบที่ 1-1 วัสดุบรรจุทั่วไป
ที่มา : Joseph, G.T., and David, S., 1998

1.3.2 อุปกรณ์กระจาย (Distributor)

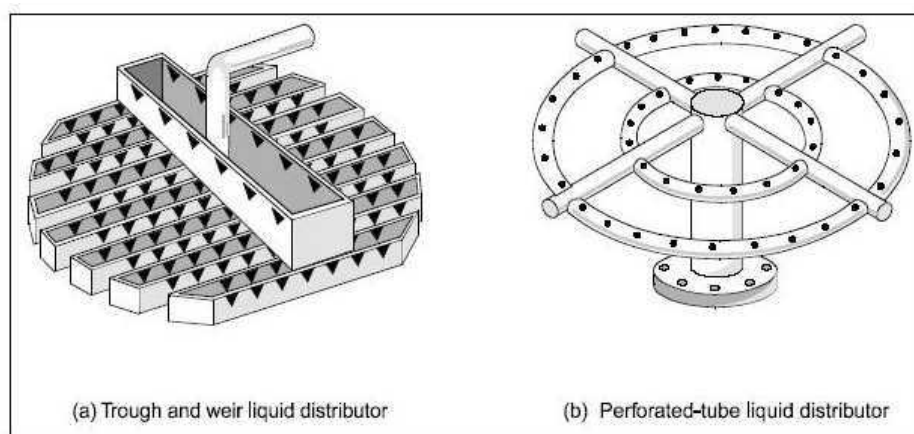
อุปกรณ์กระจายแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.3.2.1 อุปกรณ์กระจายแก๊ส (Gas distributor)

รูปแบบการกระจายตัวของแก๊สภายในคอลัมน์บรรจุมีอิทธิพลสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อน อุปกรณ์กระจายตัวของแก๊ส ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นลาดเจาะรู ทำมาจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนในกระแสแก๊สและของเหลวในระบบ ทนต่อการกัดกร่อน และราคาถูก ทำหน้าที่ช่วยกระจายแก๊สภายในคอลัมน์บรรจุ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวรองรับวัสดุบรรจุภายในคอลัมน์อีกด้วย ในกรณีที่คอลัมน์บรรจุมีความสูงมาก อุปกรณ์กระจายแก๊สจะถูกนำมาวางระหว่างเชกชั้นของวัสดุบรรจุ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์กระจายตัวซ้ำ (Redistributor) เพื่อช่วยให้กระแสแก๊สที่ไหลตามผนังของคอลัมน์กลับมาไหลกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งคอลัมน์

1.3.2.2 อุปกรณ์กระจายของเหลว (Liquid distributor)

นอกจากอุปกรณ์กระจายแก๊สแล้ว อุปกรณ์กระจายของเหลวเป็นอุปกรณ์สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่ให้ของเหลวไหลกระจายทั่วทั้งคอลัมน์และสามารถสร้างฟิล์มเคลือบผิวของวัสดุบรรจุ อุปกรณ์กระจายของเหลวทั่วไปมีลักษณะเป็นชุดท่อหรือลาดเจาะรู หัวฉีด และเวียร์ เป็นต้น ในการเลือกใช้อุปกรณ์กระจายของเหลวจะพิจารณาเลือกชนิดให้เหมาะสมในการใช้งานและราคา ตัวอย่างอุปกรณ์กระจายของเหลวแสดงดังภาพประกอบที่ 1-2 ซึ่งเป็นอุปกรณ์กระจายตัวของเหลวชนิดเวียร์ และชุดท่อเจาะรู



ภาพประกอบที่ 1-2 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์กระจายตัวของเหลวชนิดเวียร์ และชุดท่อเจาะรู

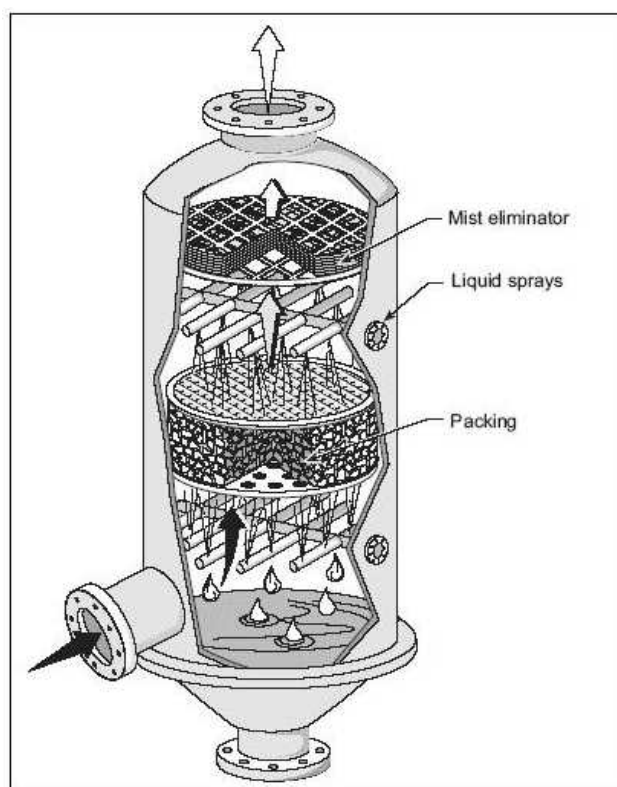
ที่มา : Joseph, G.T., and David, S., 1998

1.3.3 ประเภทของคอลัมน์บรรจุ

คอลัมน์บรรจุเมื่อแบ่งตามชนิดของการไหล แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1.3.3.1 คอลัมน์บรรจุที่มีการไหลแบบสวนทาง (Countercurrent)

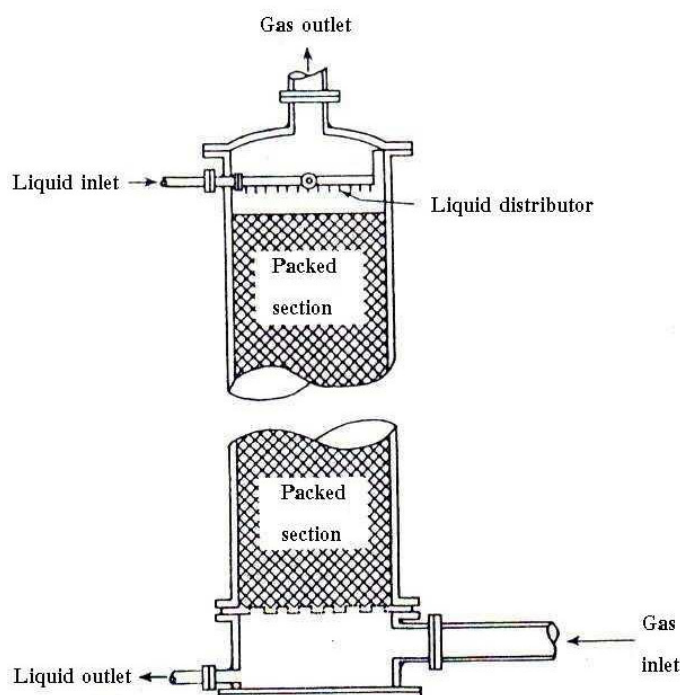
การดูดซึมแก๊สที่มีการไหลแบบสวนทาง (Countercurrent) แสดงดังภาพประกอบที่ 1-3 โดยมีหลักการทำงานคือ เฟสแก๊สที่มีสารปนเปื้อนหรือริชแก๊ส (Rich gas) จะถูกปล่อยเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ ผ่านอุปกรณ์กระจายแก๊ส (Gas distributor) ซึ่งอยู่ที่วัสดุบรรจุ และไหลผ่านช่องว่างของวัสดุบรรจุขึ้นด้านบนของคอลัมน์ วัสดุบรรจุจะทำให้ทิศทางการไหลของแก๊สเกิดการเปลี่ยนแปลงที่หลากหลาย เฟสของเหลวซึ่งเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์หรือสารละลายเจือจางของตัวทำละลาย เรียกว่า Weak liqour จะถูกปล่อยจากด้านบนของคอลัมน์ผ่านอุปกรณ์กระจาย ซึ่งอาจใช้ชุดท่อเจาะรู หัวฉีดหรือถาดกระจายเพื่อช่วยในการกระจายของเหลวของเหลวจะไหลสวนทางกับเฟสของแก๊สผ่านช่องว่างของวัสดุบรรจุ



ภาพประกอบที่ 1-3 การไหลแบบสวนทาง (Countercurrent) ภายในคอลัมน์บรรจุ

ที่มา : Joseph, G.T., and David, S., 1998

ในการดำเนินการดูดซับของเหลวจะสร้างฟิล์มบางๆ ทั่วพื้นผิวของวัสดุบรรจุ ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่สัมผัสระหว่างของเหลวและแก๊ส ความแตกต่างของความเข้มข้นทำให้สารปนเปื้อนหรือตัวละลายที่อยู่ในริชแก๊สจะถูกดูดซึมโดยของเหลวที่ป้อนเข้าคอลัมน์ ทำให้สารปนเปื้อนที่อยู่ในริชแก๊สลดลงและไหลออกด้านบนของคอลัมน์ เรียกว่า แก๊สเจือจาง (Lean gas) ส่วนของเหลวที่ดูดซึมสารปนเปื้อนเข้ามา จะมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมากขึ้นและจะไหลลงด้านล่างของคอลัมน์ เรียกว่า ของเหลวเข้มข้น (Strong liquor) แสดงดังภาพประกอบที่ 1-4

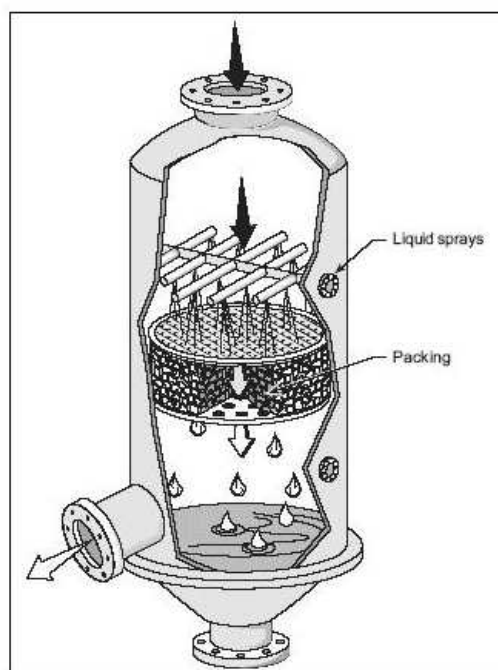


ภาพประกอบที่ 1-4 แสดงทิศทางการไหลเข้าและออกของกระแสแก๊ส-ของเหลว สำหรับการไหลแบบสวนทาง (Countercurrent) ของคอลัมน์บรรจุ
ที่มา : McCabe *et al.*, 1993

1.3.3.2 คอลัมน์บรรจุที่มีการไหลแบบทิศทางเดียวกัน (Cocurrent)

กระบวนการดูดซึมแก๊สที่มีการไหลแบบทิศทางเดียวกัน (Cocurrent) แสดงดังภาพประกอบที่ 1-5 ทั้งกระแสของแก๊สและของเหลวจะถูกปล่อยเข้าทางด้านบนและไหลลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์บรรจุ โดยขณะที่ของเหลวไหลผ่านวัสดุบรรจุจะสร้างฟิล์มเคลือบที่ผิวของวัสดุบรรจุ ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสแก๊สและของเหลวเพิ่มขึ้น ในส่วนบนของคอลัมน์บรรจุของเหลวจะสามารถดูดซึมสารปนเปื้อนในกระแสแก๊สได้มาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง

เนื่องจากมีความแตกต่างความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่อยู่ในเฟสแก๊สและของเหลวสูง และความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างเฟสจะค่อยๆ ลดลงในส่วนล่างถัดไปของคอลัมน์บรรจุ เป็นผลให้ในส่วนล่างสุดของคอลัมน์บรรจุ จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ การไหลแบบทิศทางเดียวกัน (Cocurrent) สามารถดำเนินการได้ที่อัตราการไหลของแก๊สและของเหลวสูง เพราะไม่มีขีดจำกัดของการท่วม ความปั่นป่วนในระบบและความดันลดที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าการดูดซึมแก๊สที่มีการไหลแบบอื่น เนื่องจากทิศทางการไหลของกระแสแก๊สและของเหลวมีทิศทางการไหลในแนวเดียวกัน การเพิ่มความเร็วของกระแสแก๊สและของเหลวจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น

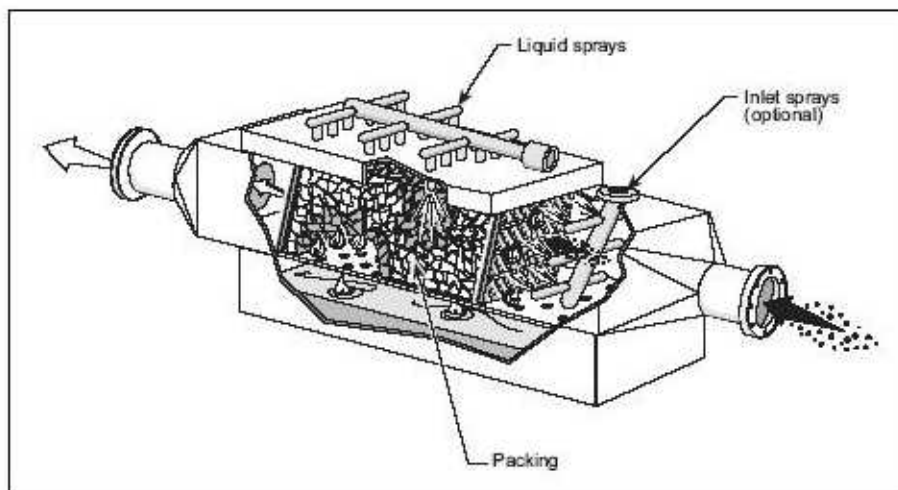


ภาพประกอบที่ 1-5 การไหลแบบทิศทางเดียวกัน (Cocurrent) ภายในคอลัมน์บรรจุ
ที่มา : Joseph, G.T., and David, S., 1998

1.3.3.3 คอลัมน์บรรจุที่มีการไหลแบบไหลขวาง (Crossflow)

การดูดซึมที่มีการไหลแบบไหลขวาง (Crossflow) แสดงดังภาพประกอบที่ 1-6 ทิศทางการไหลของกระแสของแก๊สและของเหลวจะตั้งฉากกัน โดยกระแสของของเหลวจะถูกปล่อยจากด้านบนของคอลัมน์ ไหลผ่านวัสดุบรรจุลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์บรรจุ ขณะที่กระแสของแก๊สจะถูกปล่อยเข้าสู่คอลัมน์บรรจุในแนวนอน การไหลแบบไหลขวาง (Crossflow) เหมาะสำหรับการบำบัดกระแสแก๊สที่มีความเข้มข้นของอนุภาคของแข็งสูง เนื่องจากอนุภาคที่เจือปนใน

กระแสของแก๊สจะถูกบดบังในส่วนแรกของเบด ทำให้ปริมาณการใช้สารละลายในการบำบัดน้อย และขนาดของคอลัมน์บรรจุจะมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับการดูดซึมแก๊สที่มีการไหลชนิดอื่น



ภาพประกอบที่ 1-6 การไหลแบบ Crossflow ภายในคอลัมน์บรรจุ
ที่มา : Joseph, G.T., and David, S., 1998

1.3.4 การสัมผัสระหว่างแก๊สและของเหลว

ในแนวคิดอุดมคติ เมื่อของเหลวไหลผ่านวัสดุบรรจุลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์ จะเกิดฟิล์มบางๆ เคลือบทั่วผิวของวัสดุบรรจุ แต่ในความจริงแล้วฟิล์มมีแนวโน้มที่จะหนาขึ้นหรือบางลงในบางแห่ง และของเหลวจะมีการรวมตัวกันเป็นกระแสเล็กๆ ไหลเป็นวิถีเฉพาะตำแหน่งผ่านวัสดุบรรจุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการไหลของเหลวต่ำ พื้นที่ผิวของวัสดุบรรจุจำนวนมาก อาจแห้งหรือปกคลุมด้วยฟิล์มของเหลวที่อยู่นิ่ง อิทธิพลนี้เรียกว่า Liquid channeling และในทำนองเดียวกัน ที่อัตราการไหลของแก๊สต่ำ กระแสแก๊สจะไม่สามารถไหลกระจายทั่วทั้งคอลัมน์ แต่จะเลือกเคลื่อนที่ผ่านในทิศทางที่มีความต้านทานการไหลน้อย เรียกว่า Gas channeling

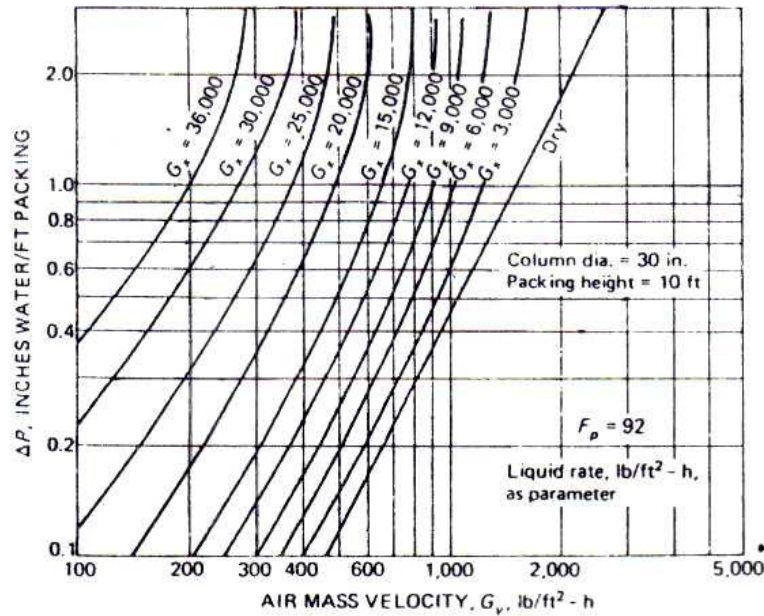
ปรากฏการณ์ Channeling ที่เกิดขึ้นเป็นเหตุผลสำคัญของการมีสมรรถนะต่ำของคอลัมน์บรรจุขนาดใหญ่และจะเกิดรุนแรงมากในคอลัมน์บรรจุแบบเรียงตัว สามารถลดปรากฏการณ์นี้ได้โดยการให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์มีขนาดใหญ่กว่า 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางวัสดุบรรจุ หากอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์ต่อขนาดวัสดุบรรจุมีขนาดน้อยกว่า 8 ของเหลวและแก๊สมีแนวโน้มที่จะไหลออกนอกวัสดุบรรจุโดยไหลตามผนังของคอลัมน์ ดังนั้นอุปกรณ์เพื่อช่วยในการกระจายตัวเริ่มต้นสำหรับกระแสแก๊สและของเหลว (Distributor) มีส่วนสำคัญต่อสมรรถนะของคอลัมน์ และถึงแม้จะมีอุปกรณ์กระจายตัวเริ่มต้นที่ดีก็ตาม ระหว่างกลางเชกชั้นของวัสดุบรรจุทุกๆ ความสูง 5-10 เมตรของคอลัมน์ จะต้องมียูปรกรณ์เพื่อช่วยกระจายตัว

ซ้ำ (Redistributor) เพื่อให้กระแสแก๊สและของเหลวกลับมาไหลกระจายทั่วคอลัมน์ ทำให้คอลัมน์บรรจุมีประสิทธิภาพ

1.3.5 ความดันลดและอัตราการไหลจำกัด

ความดันลดต่อหน่วยชั้นของวัสดุบรรจุจะเกิดจากความเสียดทานของของไหล (Fluid friction) สามารถแสดงค่าความดันลดได้จากภาพประกอบที่ 1-7 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดในแกนลอการิทึมและอัตราการไหลของแก๊ส (G_y) แสดงให้เห็นว่า เมื่อวัสดุบรรจุแห้ง กราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงที่มีความชันประมาณ 1.8 ดังนั้นความดันลดจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วยกกำลัง 1.8 หากวัสดุบรรจุมีกระแสของของเหลวไหลผ่านด้วยอัตราการไหลของเหลว (G_x) คงตัว อัตราไหลของแก๊สตอนเริ่มต้นจะเป็นเส้นขนานกับเส้นวัสดุบรรจุแห้ง และความดันลดจะสูงกว่าความดันลดเมื่อวัสดุบรรจุแห้งเนื่องมาจากของเหลวในคอลัมน์จะลดปริมาณช่องว่างในการไหลของแก๊สลง อย่างไรก็ตามแฟร็กชันว่างไม่เปลี่ยนตามอัตราการไหลของแก๊ส ที่ความเร็วของแก๊สปานกลางเส้นความดันลดของวัสดุบรรจุที่มีของเหลวไหลผ่านจะเริ่มชันขึ้น เพราะว่าแก๊สเริ่มขัดขวางการไหลของของเหลวและปริมาณของเหลวคงค้าง (Liquid holdup) สูงขึ้นตามอัตราการไหลของแก๊ส จุดที่ของเหลวคงค้างเริ่มเพิ่มขึ้นพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของความชันของเส้นความดันลด จุดนี้เรียกว่าจุดโหลดดิ่ง (Loading point)

เมื่อเพิ่มความเร็วแก๊สต่อไป ความดันลดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเส้นเกือบเป็นแนวยี่น หากพิจารณาที่อัตราการไหลของแก๊สค่าหนึ่ง การเพิ่มอัตราการไหลของของเหลวก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน เมื่อความดันลดมีค่าประมาณ 2-3 นิ้วน้ำต่อฟุตของวัสดุบรรจุ (150-250 มิลลิเมตรน้ำต่อเมตรของวัสดุบรรจุ) ในบางส่วนเฉพาะแห่งของคอลัมน์ ของเหลวเริ่มกลายเป็นเฟสต่อเนื่องและจะถึงจุดท่วม (Flooding point) ของเหลวจะสะสมอย่างรวดเร็วและจะเต็มไปด้วยของเหลวตลอดคอลัมน์



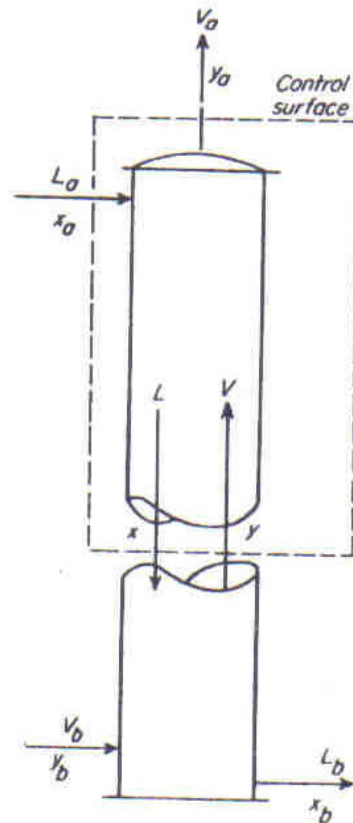
ภาพประกอบที่ 1-7 ความดันลดในคอลัมน์บรรจุระบบอากาศ-น้ำ บรรจุ Intalox saddles ขนาด 1 นิ้ว

ที่มา : McCabe *et al.*, 1993

ดังนั้นความเร็วของแก๊สและของเหลวที่ใช้ในการดำเนินการในคอลัมน์ต้องต่ำกว่าความเร็วในการท่วม อย่างไรก็ตามเมื่อใกล้ถึงจุดท่วมพื้นที่ผิวของวัสดุบรรจุจะเปียกหมด ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลว-แก๊สสูงสุด การลดความเร็วของแก๊สและของเหลวจะแปรผันโดยตรงกับการลดอัตราการถ่ายโอนมวลและเป็นผลให้ความดันลดลดลง จึงต้องเลือกความเร็วที่เหมาะสมในการดำเนินการ โดยทั่วไปความเร็วดำเนินการจะถูกเลือกที่ 60-75% ของความเร็วที่สภาวะการท่วม

1.3.6 การตุลมวลในคอลัมน์บรรจุ

คอลัมน์บรรจุเป็นอุปกรณ์สัมผัสแบบตีฟเฟอเรนเชียล จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบก้าวกระโดดขององค์ประกอบ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นขององค์ประกอบจะต่อเนื่องจากปลายข้างหนึ่งไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งของอุปกรณ์ อัตราการไหลเชิงโมลและความเข้มข้นของส่วนใด ๆ แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 1-8



ภาพประกอบที่ 1-8 แผนภาพดุลมวลของบรรจุ
ที่มา : McCabe *et al.*, 1993

การดุลมวลภายในปริมาตรควบคุม (Control volume) ตามกรอบเส้นประ
อธิบายได้ดังนี้

$$\text{การดุลมวลรวม} \quad L_a + V = L + V_a \quad (1)$$

$$\text{ดุลส่วนประกอบ A} \quad L_a X_a + Vy = Lx + V_a y_a \quad (2)$$

เมื่อ V คืออัตราการไหลเชิงโมลของเฟสแก๊ส และ L คืออัตราการไหลเชิงโมล
ของเฟสของเหลวที่จุดเดียวกันของคอลัมน์ ความเข้มข้นของเฟส L และเฟส V คือ x และ y
ตามลำดับ ที่ประยุกต์ใช้ที่ตำแหน่งเดียวกัน

การดุลมวลทั้งหมดของคอลัมน์บรรจุอธิบายได้เป็น

$$\text{ดุลมวลรวม} \quad L_a + V_b = L_b + V_a \quad (3)$$

$$\text{ดุลส่วนประกอบ A} \quad L_a X_a + V_b y_b = L_b x_b + V_a y_a \quad (4)$$

1.3.7 อัตราการดูดซึมในคอลัมน์บรรจุ

อัตราการดูดซึมแก๊สสามารถแสดงได้ 4 รูปแบบ โดยใช้สัมประสิทธิ์เฉพาะ (Individual coefficient) หรือสัมประสิทธิ์รวม (Overall coefficient) ที่มีฐานจากเฟสแก๊สหรือของเหลว ดังสมการที่ 5 ถึง 8 สัมประสิทธิ์เชิงปริมาตรจะถูกใช้ในเชิงการคำนวณโดยส่วนใหญ่ เพราะว่าเป็นการยากที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์ต่อหน่วยพื้นที่ และวัตถุประสงค์ในการออกแบบโดยทั่วไปจะคำนวณหาปริมาตรคอลัมน์ดูดซึมทั้งหมด ในการพิจารณาต่อไปนี้เป็นค่าแฟกเตอร์สำหรับการแพร่ทิศทางเดียว (One-way diffusion) ถูกตัดออกเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา และการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของแก๊สและของเหลวถูกละเลย สมการนี้ใช้ได้เฉพาะแก๊สเจือจาง แต่ก็อาจใช้ได้โดยมีความผิดพลาดเล็กน้อยสำหรับสารผสมที่มีความเข้มข้นสูงถึง 10% (ชาคริต ทองอุไร, 2542)

อัตราการดูดซึมของปริมาตรของคอลัมน์บรรจุ หาได้จากสมการใดสมการหนึ่งต่อไปนี้

อัตราการดูดซึมโดยใช้สัมประสิทธิ์เฉพาะของเฟสแก๊ส

$$r = k_y a (y - y_i) \quad (5)$$

อัตราการดูดซึมโดยใช้สัมประสิทธิ์เฉพาะของเฟสของเหลว

$$r = k_x a (x_i - x) \quad (6)$$

อัตราการดูดซึมโดยใช้สัมประสิทธิ์รวมของเฟสแก๊ส

$$r = K_y a (y - y^*) \quad (7)$$

อัตราการดูดซึมโดยใช้สัมประสิทธิ์รวมของเฟสแก๊ส

$$r = K_x a (x^* - x) \quad (8)$$

เมื่อค่า r คือ อัตราการดูดซึมต่อหน่วยปริมาตร ($\text{kmol/m}^3\text{-h}$)

y และ x คือ แฟรกชันเชิงโมลของส่วนประกอบที่ถูกดูดซึมในเฟสแก๊สและของเหลวตามลำดับ

y^* คือ ความเข้มข้นสมดุลที่สอดคล้องกับองค์ประกอบของเฟสของเหลว

x^* คือ ความเข้มข้นสมดุลที่สอดคล้องกับองค์ประกอบของเฟสของแก๊ส

y_i คือ โมลแฟรกชันของตัวละลายในแก๊สที่ระหว่างเฟสแก๊สและของเหลว

x_i คือ โมลแฟรกชันของตัวละลายในของเหลวที่ระหว่างเฟสแก๊สและของเหลว

$k_{y,a}$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนเชิงปริมาตรเฉพาะเฟสสำหรับเฟสแก๊ส
($\text{kmol/m}^3\text{-h-atm}$)

$k_{x,a}$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนเชิงปริมาตรเฉพาะเฟสสำหรับเฟสของเหลว (1/h)

$K_{y,a}$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนเชิงปริมาตรทั้งหมดสำหรับเฟสแก๊ส
($\text{kmol/m}^3\text{-h-atm}$)

$K_{x,a}$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนเชิงปริมาตรทั้งหมดสำหรับเฟสของเหลว (1/h)

1.3.8 การดูดซึมทางกายภาพ (Physical absorption)

การดูดซึมทางกายภาพ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระแสแก๊สและของเหลวดูดซึม เช่น ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) การแพร่ (Diffusivity) และความสามารถในการละลาย (Solubility) เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วที่อุณหภูมิต่ำจะให้ประสิทธิภาพการดูดซึมแก๊สดีกว่าที่อุณหภูมิสูง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมได้ ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสแก๊สและของเหลว การลดอัตราการใช้ของแก๊สต่ออัตราการใช้ของสารดูดซึม (G:L ratio) และการเพิ่มความเข้มข้นของสารมลพิษในกระแสแก๊ส

1.3.9 การดูดซึมด้วยปฏิกิริยาเคมี (Absorption with chemical reaction)

การดูดซึมแล้วตามด้วยปฏิกิริยาเคมีในเฟสของเหลวถูกใช้บ่อยครั้งเพื่อจะได้การแยกหรือการบำบัดตัวละลายอย่างบริบูรณ์จากสารผสมแก๊ส เช่น การใช้สารละลายกรดเจือจางในการจับแอมโมเนียจากกระแสแก๊ส หรือการใช้สารละลายเบสในการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระแสแก๊ส การเกิดปฏิกิริยาในเฟสของเหลวจะลดความดันส่วนสมดุลหรือโมลแฟรกชันของตัวละลายที่เกิดจากสารละลาย ซึ่งจะเพิ่มแรงขับเคลื่อนของการถ่ายโอนมวลอย่างมาก ข้อดีของการดูดซึมร่วมกับปฏิกิริยาเคมี คือ การเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล บางส่วนของการเพิ่มขึ้นเกิดจากพื้นที่ระหว่างหน้าสัมผัส (Effective interfacial area) ที่มากขึ้น เนื่องจากการดูดซึมสามารถเกิดขึ้นได้ในส่วนที่เกือบจะอยู่นิ่ง (Static holdup) เช่นเดียวกับในส่วนของเหลวคงค้างพลวัต (Dynamic liquid holdup) ตัวอย่างระบบการดูดซึมด้วยปฏิกิริยาเคมี แสดงดังตารางที่ 1-3

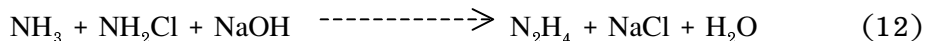
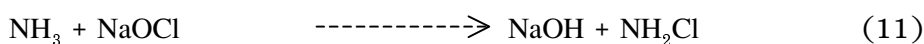
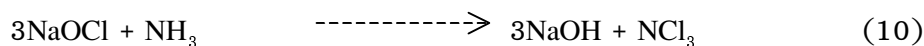
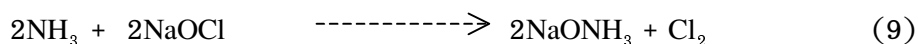
ตารางที่ 1-3 ชนิดของสารเคมีในเฟสของเหลวที่ใช้ในการดูดซึมสารพิษในอากาศด้วย
ปฏิกิริยาเคมี

สารพิษในอากาศ	สารดูดซึมในเฟสของเหลว
HCl	NaOH
NH ₃	H ₂ SO ₄ , HCl , NaOCl
Cl ₂	NaOH
SO ₃	NaOH
SO ₂	Na ₂ CO ₃
Br ₂	NaOH
N(C ₂ H ₅) ₃	H ₃ PO ₃ , NaOCl
HBr	NaOH
H ₂ S	NaOH , NaOCl
CO ₂	NaOH

1.3.10 ปฏิกิริยาเคมีสำหรับการดูดซึมแอมโมเนีย

ปฏิกิริยาระหว่าง NH₃ และ NaOCl

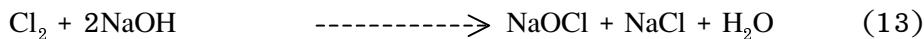
เมื่อแอมโมเนียทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโปคลอไรท์ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้หลายรูปแบบ ดังนี้



ที่มา : Fire Away, 2004

เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแอมโมเนียกับโซเดียมไฮโปคลอไรท์ดังสมการที่ (9)-(12) จากสมการที่ (9) พบว่าเกิด Cl₂ ซึ่งเป็นแก๊สอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ กัดกร่อนจมูก และปอด และจากสมการที่ (10) จะได้ผลิตภัณฑ์ Nitrogen trichloride (NCl₃) ซึ่งจัดเป็นสารเคมีอันตรายต่อมนุษย์และจัดเป็นสารระเบิด (Volatile explosive)

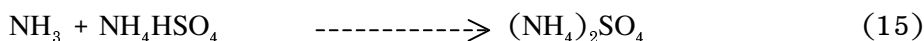
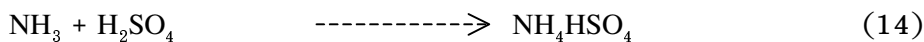
ในกรณีที่มีการใช้ NaOH ร่วมกับ NaOCl ในระบบ พบว่า NaOH สามารถทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ Cl₂ จากสมการที่ (9) เกิดเป็นสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) ขึ้นแสดงดังสมการที่ (13)



ที่มา : <http://distancelearning-tz.org/chem4topic27.htm>

ปฏิกิริยาระหว่าง NH₃ และ H₂SO₄

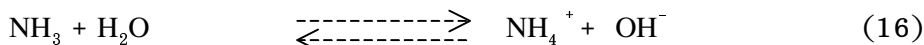
เมื่อแอมโมเนียทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกจะได้ผลิตภัณฑ์คือ แอมโมเนียมไบซัลเฟต ซึ่งแอมโมเนียมไบซัลเฟตสามารถมาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียได้แอมโมเนียมซัลเฟต ดังนี้



ที่มา : Baek *et al.*, 2003

ปฏิกิริยาระหว่าง NH₃ และ H₂O

เมื่อแอมโมเนียซึ่งเป็นเบสอ่อนทำปฏิกิริยากับน้ำ แสดงดังสมการที่ (16)



ที่มา : Renard *et al.*, 2004

แอมโมเนียทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ซึ่งแอมโมเนียสามารถอยู่ใน 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺) และนอนไอออน-แอมโมเนีย (NH₃) โดยสัดส่วนระหว่าง NH₄⁺ และ NH₃ จะเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอุณหภูมิ เมื่อน้ำอยู่ในสภาวะเป็นกรด แอมโมเนียจะอยู่ในรูปของ NH₄⁺ มาก ในทางตรงกันข้ามเมื่อน้ำอยู่ในสภาวะเป็นเบส แอมโมเนียจะอยู่ในรูปของ NH₃ มาก และที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ส่วนใหญ่แอมโมเนียจะอยู่ในรูปของ NH₃ และที่อุณหภูมิต่ำจะอยู่ในรูปของ NH₄⁺

1.3.11 ประสิทธิภาพในการบำบัด

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารที่เจือปนในอากาศ แสดงถึงความสามารถของอุปกรณ์ในการลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อน คำนวณได้จาก

$$\% \text{Eff} = \frac{(\text{ความเข้มข้นก่อนบำบัด} - \text{ความเข้มข้นหลังบำบัด})}{\text{ความเข้มข้นก่อนบำบัด}} \times 100 \quad (17)$$

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย ได้ทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่ทำมาก่อนหน้านี้ต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดลอง การเลือกชนิดอุปกรณ์ในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย การเลือกชนิดของสารดูดซึม และการกำหนดพารามิเตอร์ดำเนินการที่น่าสนใจที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Brettschneider *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษากระบวนการดูดซึมแก๊สแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้คอลัมน์บรรจุร่วมกับปฏิกิริยาเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อตรวจสอบโมเดลการถ่ายโอนมวลสารที่ถูกรวบรวม เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย และนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการ ทำการทดลองโดยปล่อยของเหลว $H_2O-NaOH-NH_3$ เข้าสู่ด้านบนของคอลัมน์บรรจุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร บรรจุด้วย Mellapak 350.Y ความสูงของวัสดุบรรจุ 2568 มิลลิเมตร กระแสแก๊ส N_2 , CO_2 , NH_3 และ H_2S ถูกปล่อยเข้าสู่ทางด้านล่างและออกทางด้านบนของคอลัมน์ กระแสแก๊สจะเข้าสู่อีกชุดคอลัมน์บรรจุซึ่งบรรจุด้วยวัสดุบรรจุชนิด Pall ring เพื่อบำบัดแก๊ส NH_3 และ H_2S โดยใช้สารละลาย $NaOH$ และ H_2SO_4 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทำนายค่า และช่วง pH 9.5–11.0 เป็นสภาวะดำเนินการที่เหมาะสม ดังนั้นคอลัมน์บรรจุสามารถใช้ในการบำบัดแอมโมเนียที่เจือปนอากาศเสียได้ และสารละลายกรดซัลฟูริกเป็นสารดูดซึมในระบบบำบัดแอมโมเนียในกระแสแก๊สได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Chu *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมของ SO_2 และ NO ในอากาศโดยใช้กระบวนการ Wet-scrubbing ด้วยสารละลาย $KMnO_4/NaOH$ ซึ่งดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ $50^\circ C$ ทำการทดลองโดยปล่อยแก๊ส N_2 , SO_2 และ NO เข้าผสมกันและเจือจางด้วยอากาศ อากาศเสียจำลองที่ได้จะถูกให้ความร้อนจากขดลวดความร้อนจนมีอุณหภูมิ $50^\circ C$ ก่อนจะผ่านเข้าสู่สารละลาย $KMnO_4$ และ $NaOH$ ที่บรรจุอยู่ใน Stirred tank reactor ในช่วงความเข้มข้น 0.01–0.05 mol/L และ 0.01–1.00 mol/L ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าสำหรับการทดลอง $SO_2-(KMnO_4+NaOH)$ พบว่าการดูดซึมของ SO_2 จะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย $NaOH$ เพิ่มขึ้น และการทดลอง $(SO_2+NO)-(KMnO_4+NaOH)$ พบว่าการดูดซึม NO จะลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ SO_2 เนื่องจากความสามารถในการละลาย (Solubility) ของ NO น้อยกว่า SO_2 20 เท่า ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการดูดซึมของ SO_2 และ NO จากอากาศ แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกชนิดของสารดูดซึม และทำให้ทราบความสามารถในการละลายมีอิทธิพลสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อน

Chu *et al.* (2001) ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซึมของ NO ที่เจือปนในอากาศด้วยสารละลาย $\text{NaClO}_2/\text{NaOH}$ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 50°C โดยปล่อยแก๊ส N_2 ผสมกับแก๊ส NO ความเข้มข้น 2075 ppm และเจือจางด้วยอากาศจนได้อากาศเสียจำลองที่มีแก๊ส NO ความเข้มข้น 300–800 ppm ที่อัตราการไหลของอากาศเสียจำลอง 2 L/min อากาศเสียจำลองจะถูกให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อนจนมีอุณหภูมิ 50°C ก่อนเข้า Absorption reactor อากาศเสียจำลองจะผ่านเข้าสู่สารละลาย NaClO_2 และ NaOH ที่บรรจุอยู่ใน Stirred tank reactor ในช่วงความเข้มข้น 0.0–1.5 mol/L และ 0.0–0.3 mol/L ตามลำดับ ทำการวัดค่าความเข้มข้นของ NO ที่ทางออกของการทดลอง จากการทดลอง $\text{NO}-(\text{NaClO}_2+\text{NaOH})$ พบว่าทุกช่วงของสารละลาย NaClO_2 ที่ประกอบด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 mol/L อัตราการดูดซึมของ NO จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย NaClO_2 และเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูงขึ้น ขณะที่ความเข้มข้นของสารละลาย NaClO_2 คงที่เท่ากับ 0.5 mol/L พบว่าอัตราการดูดซึมของ NO จะลดลงเนื่องจากสารละลาย NaOH จะยับยั้งการเกิด ClO_2 ซึ่งช่วยในการออกซิเดชันของ NO และอัตราการไหลของแก๊สไม่มีผลต่ออัตราการดูดซึม จะเห็นได้ว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้าร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรต์ (NaOCl_2) ซึ่งใช้เป็นสาร Oxidant ในระบบมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

Gamisans *et al.* (2002) ศึกษาการดูดซึมของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแก๊สแอมโมเนียจากกระแสแก๊สเข้าสู่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 kmol/m^3 และสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.4 kmol/m^3 ตามลำดับ โดยใช้ ejector-venturi scrubber 4 แบบ คือ complete venturi with one nozzle , venturi tube without diffuser , two-stage jet-venturi with two nozzle และ two stage jet-venturi and single nozzle โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของแก๊ส (ช่วงความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ 280–1300 ppm และช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนีย เท่ากับ 10–40 ppm) อัตราการไหลของแก๊ส ($500-1800 \text{ m}^3/\text{h}$) อัตราการไหลของสารละลาย ($2.5-7.3 \text{ m}^3/\text{h}$) และชนิดของ ejector-venturi scrubber เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของ ejector-venturi scrubber แบบต่างๆ พบว่าอัตราการไหลของสารละลายมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สและอัตราการไหลของแก๊สมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดแล้ว two stage jet-venturi and single nozzle เหมาะสมในการดำเนินการและในกรณีของแก๊สแอมโมเนีย พบว่าที่ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอากาศสูงจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงเนื่องจากอิทธิพลของแรงขับเคลื่อน (Driving force) และสารละลายกรดซัลฟูริกสามารถใช้ในการบำบัดแก๊สแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Huang L.M. (2001) ศึกษาและพัฒนากระบวนการ Chemical scrubbing เพื่อใช้ในการบำบัดกลิ่นเนืองมาจากกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งประกอบด้วย Aldehydes , Organic acid และ Mercaptans ความเข้มข้น 323 – 2100 ppm เทียบกับ มีเทน ที่แพร่ออกมาจาก corn-germ oil-pressing machine โดยใช้ 4 Stages ของ Packed scrubber สำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ใช้สารโอโซน โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสาร Oxidant จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายและกลิ่น คือ อัตราส่วนการไหลของของเหลวต่อแก๊ส (L/V ratio) เท่ากับ 0.0024-0.0035 m³ liquid/m³ gas ปริมาณการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เท่ากับ 0.0125-0.015 L/m³ gas ค่าพีเอชของ Circulating liquid เท่ากับ 7.5-8.0 และอัตราการไหล Supplemental ของน้ำ คือ 2.4-5.0 L/m³ gas และสำหรับการบำบัดสาร Aldehydes ใช้ Bubble column ในการบำบัด โดยใช้โซเดียมไบซัลเฟตเป็นตัวทำปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสาร Aldehydes คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบซัลเฟต เท่ากับ 2156 mg/L เทียบกับ SO₂ และค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5.0-6.0 ภายใต้สภาวะดำเนินการนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด เท่ากับ 85-100% สามารถลดปริมาณแก๊สแอมโมเนียในกระบวนการในช่วงความเข้มข้น 0.1-0.4 ppm ได้ 75-100% งานวิจัยนี้ แสดงว่าการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียสามารถใช้ คอลัมน์บรรจุร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Hung *et al.* (2003) ศึกษาการออกซิเดชันของสารละลายแอมโมเนียในเฟสของเหลวใน trickle-bed reactor (TBR) โดยใช้ Cu/La/Ce Catalyst ทำโดยการเตรียม Cu(NO₃)₂ , La(NO₃)₂ และ Ce(NO₃)₃ ในอัตราส่วนความเข้มข้นโมล 7:2:1 สารละลายแอมโมเนียจะถูกปล่อยจากด้านบนของ Reactor ซึ่งควบคุมอุณหภูมิ แก๊สออกซิเจนจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.0 ml/min ดำเนินการภายใต้สภาวะอัตราการป้อน (LHSV) เท่ากับ 1.5-9 h⁻¹ ในช่วงอุณหภูมิ 150 , 200 และ 230 °C ช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนีย 400-1000 mg/L ความดันส่วนของออกซิเจน 2.0 MPa. และค่าพีเอชของแอมโมเนียทางเข้าเท่ากับ 11±0.2 พบว่าค่าพีเอชมีอิทธิพลที่สำคัญต่อ %Conversion ของแอมโมเนีย ที่สภาวะเป็นกลางหรือกรดแอมโมเนียจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออนซึ่งไม่สามารถแพร่ไปอยู่แก๊สเฟสและเข้าไปทำปฏิกิริยากับ Catalyst เป็นผลให้ที่ค่าพีเอชต่ำ %Conversion ของแอมโมเนียต่ำ เมื่อเปรียบเทียบค่า %Conversion ของแอมโมเนียเมื่อไม่ใช้ Catalyst จะเกิดออกซิเดชันน้อยมาก และ %Conversion จะสูงขึ้นเมื่อใช้ Catalyst เท่ากับ 51-91% จากงานวิจัย พบว่าค่าพีเอชเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสำคัญต่อการบำบัดแก๊สแอมโมเนีย

Marki *et al.* (2001) ศึกษากระบวนการดูดซึมอะซีโตนจากอากาศด้วยน้ำ โดย Packed column ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 เมตร สูง 1 เมตร ซึ่งใช้ Sulzer Mellapak 250 เป็นวัสดุบรรจุ และการนำอะซีโตนกลับมาใหม่ โดยกระบวนการ Pervaporation ด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) ชนิด CMG OM-10 มีพื้นที่ผิว 180 cm² ทำการปล่อยอากาศที่เจือปนด้วยสารอะซีโตนเข้าสู่ด้านล่างของคอลัมน์บรรจุ กำหนดความเข้มข้นของอะซีโตนในอากาศทางเข้า 20000 ppm ความเร็วของอากาศ 0.2-1.0 m/s และอัตราการไหลของของเหลว 2000-3050 L/m²h. Hydrogen flame ionized detector ถูกใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของอะซีโตนในอากาศทางเข้าและทางออก พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 32-83% งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้คอลัมน์บรรจุในการบำบัดสารปนเปื้อนที่เจือปนในอากาศเสียได้ และสามารถใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในการบำบัดสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ ที่มีคุณสมบัติการละลายน้ำได้

Zijlma *et al.* (2002) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียใน small fixed bed reactor ในช่วงอุณหภูมิ 750-950°C และศึกษาอิทธิพลของออกซิเจน โดยใช้ Catalyst 3 ชนิด คือ Faxe Bryozo, Stevens Chalk และ Ignaberga เพื่อนำไปพัฒนาโมเดลการแพร่ของ NO จาก reactor ในการทดลองนี้กระแสของ O₂, NO และ N₂ จะถูกปล่อยเข้าทางด้านล่างของ reactor ซึ่งแก๊สจะถูก pre-heat ส่วนกระแสของ NH₃ และ N₂ จะถูกปล่อยเข้าทางด้านบนของ reactor แก๊สทั้ง 2 กระแสจะไหลสวนทางและผสมกันเหนือ Catalyst พบว่าแอมโมเนียทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนเมื่อมี Catalyst และที่อุณหภูมิสูง อันดับปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนีย คืออันดับที่หนึ่ง (First order reaction) และพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับ NO และอิทธิพลของออกซิเจนเป็นไปตาม Langmuir model สำหรับการดูดซับบนผิว CaO ผลจากงานวิจัยนี้แสดงว่า การเตรียมอากาศเสียจำลองในการทดลองนี้ โดยการผสมแก๊สแอมโมเนียและอากาศที่อุณหภูมิห้อง ออกซิเจนในอากาศไม่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของแก๊สแอมโมเนีย

1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียที่เจือปนในอากาศเสียจำลองโดยใช้คอลัมน์บรรจุ (Packed column) ด้วยสารดูดซับชนิดต่างๆ
2. ศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอากาศเสียโดยใช้คอลัมน์บรรจุ
3. หาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของคอลัมน์บรรจุต่อการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ทำให้รู้และเข้าใจกระบวนการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย โดยใช้คอลัมน์บรรจุร่วมกับปฏิกิริยาเคมีชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับกระบวนการดูดซับทางกายภาพโดยใช้น้ำ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ความดัน 1 บรรยากาศ และทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการบำบัดแอมโมเนียด้วยสภาวะดำเนินการที่เหมาะสม และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียในระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงและประหยัดค่าใช้จ่าย