บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่องการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น มีการดำเนินการด้วยกระบวนการดูดซึม (absorption) แก๊สแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียด้วยสารดูดซึม (absorbent) ชนิดน้ำและน้ำซีรัมที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น น้ำซีรัมเป็นของเหลวที่เป็นส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ โดยมีส่วนผสมของกรดซัลฟูริกทำให้มีค่า pH 3-5 น้ำซีรัมมีลักษณะทางกายภาพที่เป็นของเหลวที่มีส่วนผสมของแข็งขนาดเล็กที่เป็นเนื้อยางตกค้างอยู่และมีความหนืดสูง การนำน้ำซีรัมไปใช้ประโยชน์จึงต้องมีการออกแบบระบบให้มีความเหมาะสม ในงานวิจัยนี้จะเป็นการนำน้ำซีรัมมาใช้ประโยชน์ในระบบการกำจัดอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนีย โดยจะต้องมีการออกแบบระบบหอดูดซึมแบบต่างๆ สำหรับการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของแก๊สและชนิดของสารดูดซึม โดยได้ทำการออกแบบและสร้างระบบกำจัดแอมโมเนียที่ใช้น้ำซีรัมเป็นสารดูดซึมในปฏิกรณ์หอดูดซึม 3 ชนิด คือ ปฏิกรณ์แบบ Semi-batch Reactor ซึ่งเป็นถังกวนที่บรรจุด้วยน้ำซีรัมและให้อากาศเสียไหลผ่าน ปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Perforate Plate Column ซึ่งมีแผ่นเจาะรูวางเรียงในแนวตั้งของหอดูดซึมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและแก๊ส และปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Packed Column ที่มีวัสดุบรรจุบรรจุอยู่ภายใน โดยปฏิกรณ์ 2 ชนิดแรก จะเป็นปฏิกรณ์ขนาดชุดทดลองต้นแบบ (pilot scale) ที่มีการออกแบบ ติดตั้ง และดำเนินการในห้องปฏิบัติการทดลองและใช้อากาศเสียจำลองที่ผลิตขึ้นจากการผสมแก๊สแอมโมเนียกับอากาศอัดให้ได้ความเข้าข้นที่ต้องการ ส่วนปฏิกรณ์แบบ Packed column มีชุดทดลองติดตั้งอยู่ภายในโรงงานผลิตน้ำยางข้น ซึ่งได้ทำการทดลองศึกษาวิจัยการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยตรง

ในงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับการทดสอบการใช้งานปฏิกรณ์หอดูดซึมทั้ง 3 ชนิดในการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียโดยใช้น้ำซีรัมเป็นสารดูดซึม เพื่อให้ได้ชนิดของปฏิกรณ์ที่เหมาะสมกับสารดูดซึมชนิดน้ำซีรัมและเป็นปฏิกรณ์ที่ให้ประสิทธิภาพในการใช้งานการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียได้สูงสุด โดยจะทำให้ช่วยแก้ปัญหาการปล่อยอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียของโรงงานน้ำยางข้นสู่สิ่งแวดล้อม ช่วยลดปัญหากลิ่นของแอมโมเนียที่รบกวนพนักงานในบริเวนพื้นที่ทำงานภายในโรงงาน และช่วยลดความเป็นกรดของน้ำซีรัมซึ่งส่งผลดีต่อระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้นด้วย เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงมีการใช้สารเคมี วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัยตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอากาศเสียจำลอง

- แก๊สแอมโมเนีย (บริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด) บรรจุในถังแอมโมเนีย พร้อมวาล์วควบคุม
- อากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ (compressor)

2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

- กรดบอริก (AR grade)
- น้ำกลั่น

2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย

- 7% โซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ (AR grade)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR grade)
- กรดไฮโดรคลอริก (AR grade)
- แมงกานีสซัลเฟต (AR grade)
- ฟีนอล (AR grade)
- น้ำกลั่น

2.1.4 สารเคมีในกระบวนการดูดซึม

- น้ำซีรัมจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น
- น้ำประปา
- ซิลิโคนออยล์ (silicone oil)

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการทดลอง

ในการทดลองการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียโดยกระบวนการดูดซึมด้วยสารดูดซึมชนิดน้ำและน้ำซีรัมในชุดปฏิกรณ์หอดูดซึมชนิดต่างๆ มีอุปกรณ์ประกอบการทดลอง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 ชุดเก็บตัวอย่างอากาศเสีย

ชุดเก็บตัวอย่างอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนีย ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. Impinger เป็นขวดแก้วเก็บตัวอย่างที่ประกอบด้วยท่อทางเข้า ท่อทางออก และหัวกระจายแก๊สดังแสดงในรูปที่ 2-1(a) ภายในขวดแก้วบรรจุสารละลายกรดบอริกปริมาตร 50 ml วิธีการ

ดำเนินการ คือ ให้อากาศเสียตัวอย่างไหลเข้าท่อทางเข้าผ่านหัวกระจายแก๊ส เพื่อให้อากาศเสียกระจายตัวผ่านสารดูดซึมและเกิดการดูดซึมของแก๊สแอมโมเนียที่อยู่ในกระแสอากาศเสียเข้าไปในสารละลายกรดบอริก แก๊สที่ผ่านออกมาจากการดูดซึมแล้วจะไหลออกที่ท่อทางออกสู่ภายนอก สารละลายใน Impinger ที่ผ่านการดูดซึมแก๊สตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนีย ด้วยวิธีการ Phenate method

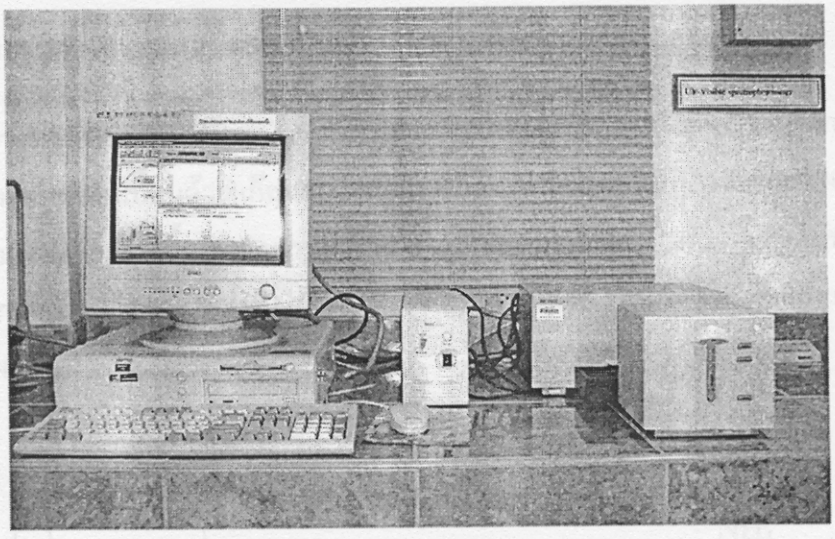
2. ปั๊มเก็บตัวอย่างแก๊ส (gas sampling pump) ใช้ดูดตัวอย่างอากาศเสียจากท่อแก๊สที่ทางเข้าและทางออกของระบบปฏิกรณ์ เพื่อส่งอากาศเสียตัวอย่างเข้า Impinger ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศจะสามารถปรับอัตราการไหลและเวลาในการเก็บตัวอย่างได้ตามต้องการ โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย สำหรับในการทดลองนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเสียที่อัตราการไหล 1 ลิตร/นาที เป็นเวลา 1 นาที ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศเสียแสดงได้ดังรูปที่ 2-1(b)

(a) (b)

รูปที่ 2-1 แสดงชุดเก็บตัวอย่างอากาศ (a) Impinger และ (b) Sampling pump (GilAir 5 , Gilian)

2.2.2 UV-Spectrophotometer

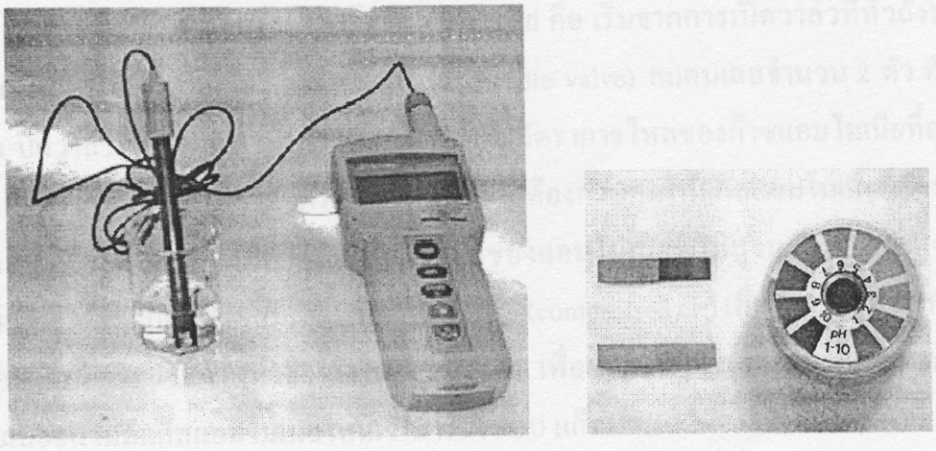
เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณสารที่สามารถดูดกลืนแสงช่วงยูวี-วิสิเบิล (190-1100 nm) จัดเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี โดยมีทั้งเครื่องแบบลำแสงเดี่ยว (Single Beam) ซึ่งมีความถูกต้องสูงและใช้งานง่าย ตลอดจนถึงเครื่องแบบลำแสงคู่ (Double Beam) ที่มีประสิทธิภาพสูง ควบคุมการทำงานด้วย คอมพิวเตอร์ สำหรับเครื่อง UV-Spectrophotometer ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นชนิดเครื่องแบบลำแสงเดียวดังแสดงในรูป 2-2



รูปที่ 2-2 แสดง UV-Spectrophotometer (HEWLETT PACKARD 8453)

2.2.3 อุปกรณ์วัด pH

pH meter เป็นเครื่องมือวัดค่า pH ที่มีความสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และใช้สำหรับการวัดและควบคุมกระบวนการผลิต อุปกรณ์ pH meter ที่ใช้ในการวัดค่า pH งานวิจัยนี้แสดงดังภาพ 2-3(a) ในกรณีที่ต้องการวัดค่า pH ของน้ำซีรัม จะไม่สามารถใช้ pH meter ได้เนื่องจากอนุภาคยางในน้ำซีรัมจะเข้าไปอุดตันที่หัววัด (probe) ทำให้การอ่านค่าของเครื่อง pH meter มีปัญหาได้ จึงได้มีการใช้กระดาษลิตมัสดังแสดงในรูปที่ 2-3(b) ในการวัด pH แทนการใช้ pH meter



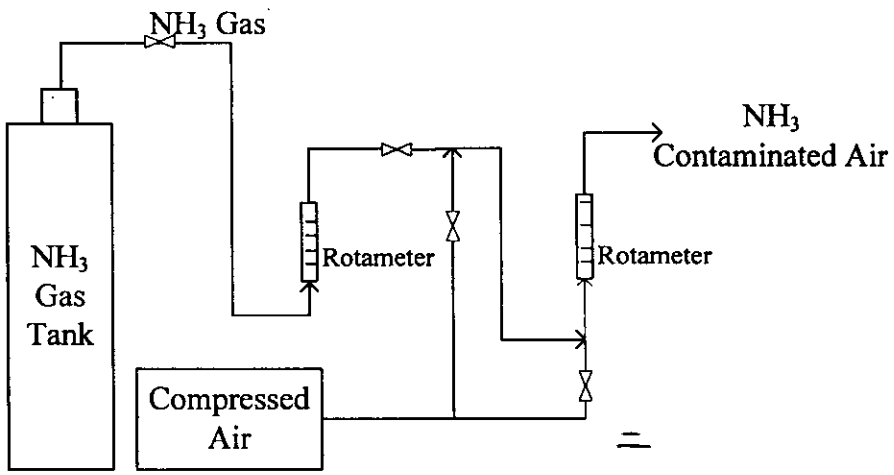
(a) (b)

รูปที่ 2-3 อุปกรณ์วัด pH ของน้ำและน้ำซีรัม

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

2.2.4 อุปกรณ์ผลิตอากาศเสียที่ปนเปื้อนแอมโมเนีย

ในการทดลองการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ดำเนินการในห้องปฏิบัติการ จะต้องทำการผลิตอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแก๊สแอมโมเนียเพื่อป้อนเข้าระบบหอปฏิกรณ์ ระบบผลิตอากาศเสียที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นจะสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียและอัตราการป้อนอากาศเสียที่ไหลเข้าระบบได้ตามค่าตัวแปรดำเนินการที่ต้องการ ไดอะแกรมแสดงชุดอุปกรณ์การผลิตอากาศเสียแสดงดังรูปที่ 2-4



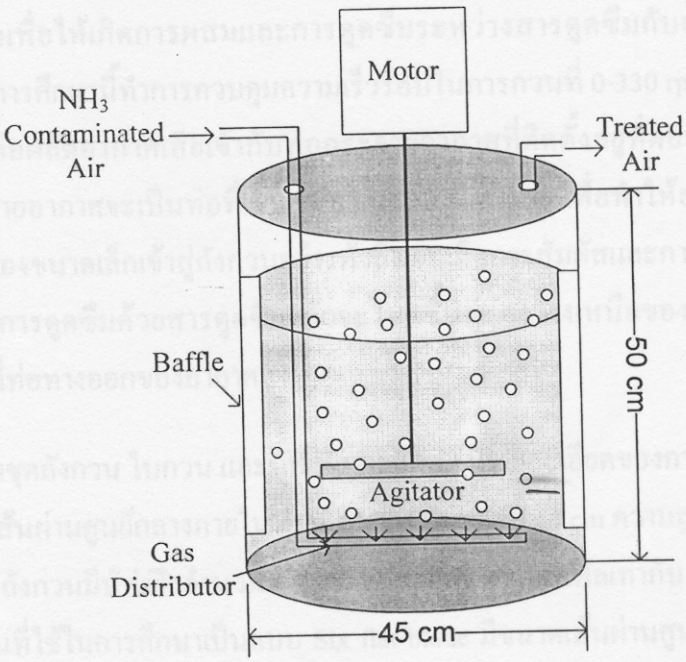
รูปที่ 2-4 ไดอะแกรมของอุปกรณ์ผลิตอากาศเสียที่ปนเปื้อนแอมโมเนีย

วิธีการดำเนินการของอุปกรณ์ผลิตอากาศเสีย คือ เริ่มจากการเปิดวาล์วที่หัวถังบรรจุแก๊สแอมโมเนีย เพื่อให้แอมโมเนียไหลผ่านวาล์วเข็ม (needle valve) สแตนเลสจำนวน 2 ตัว ทำการปรับการเปิด-ปิดวาล์วหัวถังและวาล์วเข็มเพื่อการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซแอมโมเนียที่ออกจากถังและไหลผ่านโรตามิเตอร์เพื่อวัดอัตราการไหล โดยจะต้องควบคุมให้แก๊สแอมโมเนียมีอัตราการไหลที่ต่ำมากๆ เพื่อให้อากาศเสียที่ได้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ไม่สูงมากนัก กระแสของแก๊สแอมโมเนียที่ได้จะถูกส่งเข้าผสมกับกระแสอากาศอัด (compressed air) เพื่อทำการเจือจางกระแสของแก๊สแอมโมเนีย โดยจะทำการเจือจางใน 2 ขั้นตอน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอั้นของกระแสแก๊สแอมโมเนียจนไม่มีแก๊สแอมโมเนียไหลเข้ามาในระบบ แก๊สผสมที่ได้จะไหลผ่านโรตามิเตอร์เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศเสียที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ ในการปรับอัตราการไหลและความเข้มข้นของแอมโมเนียในระบบทำได้โดยการปรับวาล์วที่ระบบท่อของกระบวนการ ทำการวัดความเข้มข้นของอากาศเสียที่ผลิตได้โดยชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศเสียตามที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อได้ความเข้มข้นของอากาศเสียตามต้องการแล้วจึงส่งกระแสอากาศเสียเข้าสู่ปฏิกรณ์หอดูดซึมสำหรับทำการทดลองการดูดซึมต่อไป

2.3 ปฏิกรณ์หอดูดซึมสำหรับการกำจัดแอมโมเนีย

2.3.1 ปฏิกรณ์ดูดซึมแบบกึ่งแบทช์ (Semi-batch Reactor)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของปฏิกรณ์แบบ Semi-batch Reactor สำหรับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย แสดงได้ตามรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ชุดทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียในระบบปฏิกรณ์ Semi-batch Reactor

ชุดการทดลองปฏิกรณ์แบบ Semi-batch มีการออกแบบและติดตั้งในห้องปฏิบัติการทดลองที่มีขนาดเป็นชุดทดลองต้นแบบ (pilot scale) โดยใช้น้ำและน้ำซีรัมจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นเป็นสารดูดซึม ใช้อากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแก๊สแอมโมเนียที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ผลิตอากาศเสียสำหรับการทดลองของระบบ การดำเนินการของปฏิกรณ์แบบ Semi-batch มีการดำเนินการแบบผสมระหว่างปฏิกรณ์แบบแบทช์และแบบต่อเนื่อง กล่าวคือ เมื่อพิจารณาการป้อนของสารดูดซึมเข้าสู่ระบบจะมีลักษณะเป็นแบบแบทช์เพราะมีการป้อนสารดูดซึมเข้าไปในปฏิกรณ์เพียงครั้งเดียวและไม่มีการป้อนเข้าและออกของสารดูดซึมอีกในระหว่างการดำเนินการ แต่เมื่อพิจารณาจากการป้อนของอากาศเสียจะเป็นการป้อนแบบต่อเนื่อง คือ มีการไหลเข้าและออกจากปฏิกรณ์ตลอดเวลา ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะอากาศเสียสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง (continuous stirred tank

reactor, CSTR) แต่เมื่อพิจารณาการดำเนินการรวมของทั้งอากาศเสียและของสารดูดซึมแล้ว เรียกได้ว่า เป็นปฏิกรณ์แบบกึ่งแบทช์ (semi-batch reactor) ซึ่งมีส่วนประกอบและหลักการทำงานดังนี้

2.3.1.1 ถังกวน (agitated reactor)

ถังกวนที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 80 ลิตร ภายในถังกวนประกอบด้วยใบกวน (agitator) บัฟเฟิล (baffles) 4 ชิ้น ท่อป้อนอากาศเสีย และระบบท่อกระจายอากาศ (gas distributor) ใบกวนจะทำหน้าที่กวนสารดูดซึมเพื่อให้เกิดการผสมและการดูดซึมระหว่างสารดูดซึมกับอากาศเสียอย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการศึกษานี้ทำการควบคุมความเร็วรอบในการกวนที่ 0-330 rpm ท่อป้อนอากาศเสียจะต่อจากระบบท่อผลิตอากาศเสียเข้ากับท่อกระจายอากาศที่ติดตั้งอยู่ที่ตอนล่างของถังกวน ลักษณะของท่อกระจายอากาศจะเป็นท่อที่เจาะรูขนาดเล็กจำนวนมาก เพื่อทำให้อากาศที่มาจากท่อป้อนกระจายตัวเป็นฟองขนาดเล็กเข้าสู่ถังกวนอย่างทั่วถึง จนเกิดการสัมผัสและการดูดซึมขึ้นภายในถังกวน อากาศที่ผ่านการดูดซึมด้วยสารดูดซึมแล้วจะไหลขึ้นสู่ช่องว่างเหนือของเหลวด้านบนและไหลออกจากถังกวนที่ท่อทางออกของอากาศ

การออกแบบชุดถังกวน ใบกวน และบัฟเฟิล (Baffles) มีรายละเอียดของการออกแบบ ดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังกวน (T) เท่ากับ 45 cm ความสูง 50 cm
- ภายในถังกวนมีบัฟเฟิลจำนวน 4 อัน มีความกว้างของบัฟเฟิลเท่ากับ T/12
- ใบกวนที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบ Six flat blade มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (D) เท่ากับ T/3 ใบกวนถูกขับด้วยมอเตอร์ขนาด 1 hp ซึ่งควบคุมความเร็วรอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบให้มีค่าความเร็วรอบตามกำหนด

2.3.1.2 อากาศเสีย (waste air)

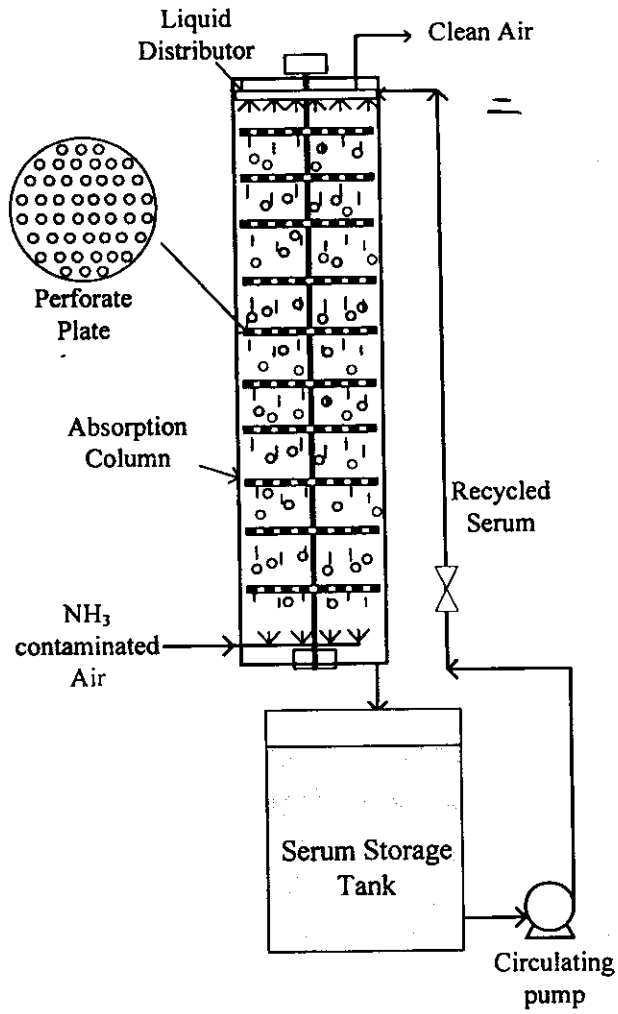
อากาศเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ผลิตขึ้นจากการผสมแก๊สแอมโมเนียจากถังบรรจุแก๊สกับอากาศอัดในหน่วยผลิตอากาศเสีย โดยควบคุมอัตราการป้อนอากาศเสียและความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสอากาศเสียให้ได้ค่าตามที่กำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียและได้ค่าที่ต้องการแล้วจึงทำการป้อนอากาศเสียเข้าสู่ปฏิกรณ์ดูดซึมแบบ Semi-batch อย่างต่อเนื่อง

2.3.1.3 สารดูดซึม (absorbent)

สารดูดซึมที่ใช้ในการกำจัดแก๊สแอมโมเนียในการทดลองนี้ คือ น้ำและน้ำซีรัม สำหรับการนำน้ำซีรัมมาใช้ในการทดลองจะต้องทำการกรองด้วยผ้ากรองเพื่อแยกเศษยางและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ติดมาออกก่อน ทำการป้อนสารดูดซึมปริมาตร 50 ลิตรเข้าสู่ถังกวนในตอนเริ่มต้นและจะไม่มีการไหลเข้าออกของสารดูดซึมในระหว่างการทดลอง จึงทำให้เป็นการดำเนินกระบวนการเป็นแบบที่ไม่ต่อเนื่องและระบบจะเป็นแบบไม่คงตัว (unsteady state) เรียกว่า การดำเนินการในลักษณะที่เป็นปฏิกรณ์แบบ Semi-batch Reactor

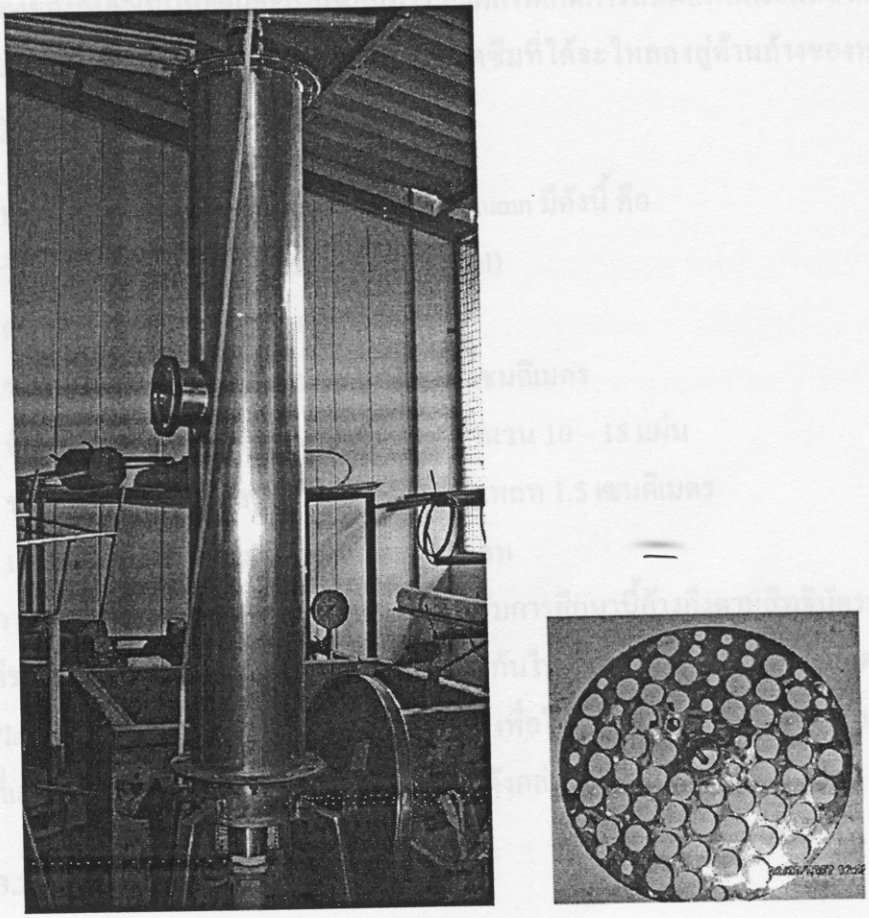
2.3.2 ปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Perforate Plate Column

อุปกรณ์แบบ Perforate Plate Column ที่ใช้ในการศึกษาเพื่อการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย แสดงได้ตามรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ชุดทดลองแบบ Perforate Plate Column

ชุดการทดลองของปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Perforate Plate Column มีการออกแบบและติดตั้งในห้องปฏิบัติการทดลองมีขนาดเป็นชุดทดลองต้นแบบ (pilot scale) โดยใช้น้ำและน้ำซีรัมที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้นเป็นสารดูดซึม และใช้อากาศเสียปนเปื้อนแก๊สแอมโมเนียที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ผลิตอากาศเสีย ซึ่งชุดทดลองที่ทำการสร้างและติดตั้งแสดงดังภาพในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 ภาพของปฏิกรณ์หอดูดซึมแอมโมเนียแบบ Perforate Plate Column

ส่วนประกอบและหลักการทำงานของปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Perforate Plate Column มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.2.1 หอดูดซึมแบบ Perforate Plate (Perforate Plate Absorber)

หอดูดซึมแบบ Perforate Plate ประกอบด้วยแผ่นเพลท (plate) หรือเทรย์ (tray) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมเจาะรู โดยมีการติดตั้งแผ่นเพลทตามแนวความสูงของหอดูดซึม แผ่นเพลทจะถูกยึดกับแกนกลางของหอดูดซึมและให้มีช่องว่างระหว่างแผ่นเพลทกับหอดูดซึมน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้มีการไหลของอากาศเสียและสารดูดซึมผ่านช่องว่างนี้ โดยไม่ผ่านรูของแผ่นเพลท ที่หอดูดซึมจะมีท่อ

ทางเข้าของอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียที่ด้านล้างของหอโดยอากาศเสียจะไหลผ่านท่อกระจายอากาศและไหลผ่านรูเปิดของแผ่นเพลทไปสู่ด้านบนของหอดูดซึม อากาศที่ผ่านการบำบัดจะไหลออกที่ท่อทางออกของอากาศที่ส่วนบนของหอดูดซึม ภายในหอดูดซึมจะเกิดการไหลสวนทางระหว่างกระแสอากาศเสียกับสารดูดซึม ซึ่งสารดูดซึมจะถูกป้อนเข้าสู่ท่อกระจายของเหลวที่ส่วนบนของหอดูดซึม และไหลลงสู่ด้านล่างของหอดูดซึมผ่านรูเปิดของแผ่นเพลทลงมา ทำให้เกิดการกระจายตัวของของเหลวเป็นหยดและเป็นฟิล์มบาง ส่งผลให้เกิดการสัมผัสกับกระแสอากาศเสียและเกิดการดูดซึมแก๊สแอมโมเนียจากอากาศเสียขึ้น สารดูดซึมที่ได้จะไหลลงสู่ด้านล้างของหอและไหลออกจากหอดูดซึมเข้าสู่ถังเก็บสารดูดซึม

รายละเอียดการออกแบบ Perforate Plate Column มีดังนี้ คือ

- วัสดุที่ใช้สร้าง คือ สแตนเลส (stainless steel)
- ความสูงของหอดูดซึม 1 เมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูดซึม 20 เซนติเมตร
- จำนวนแผ่น Perforate Plate แบบวงกลมจำนวน 10 – 15 แผ่น
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิดของแผ่นเพลท 1.5 เซนติเมตร
- แกนกลางเป็นสแตนเลนสำหรับยึดแผ่นเพลท

การออกแบบ Perforate Plate Column สำหรับการศึกษานี้อ้างอิงตามสิทธิบัตรเลขที่ JP 06-182146 แต่รายละเอียดในการออกแบบมีความแตกต่างกันในเรื่องของความสูงของหอดูดซึม จำนวน Perforate Plate ขนาดรูเปิด และความดันลดของระบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานกับน้ำซีรัมซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากสารดูดซึมที่ใช้ในสิทธิบัตรดังกล่าว

2.3.2.2 อากาศเสีย (waste air)

อากาศเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ผลิตขึ้นจากการผสมแก๊สแอมโมเนียจากถังบรรจุแก๊สกับอากาศอัดในหน่วยผลิตอากาศเสีย โดยการควบคุมอัตราการป้อนอากาศเสียและความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสอากาศเสียให้ได้ตามค่าที่กำหนดในตัวแปรการทดลอง เมื่อได้ความเข้มข้นของอากาศเสียป้อนตามต้องการจะทำการป้อนอากาศเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง

2.3.2.2 สารดูดซึม

สารดูดซึมที่ใช้ในการกำจัดแก๊สแอมโมเนียในการทดลองนี้ คือ น้ำและน้ำซีรัม ซึ่งน้ำซีรัมนำมาจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น ก่อนนำน้ำซีรัมมาใช้ในการศึกษาจะต้องทำการกรองแยกเศษยางและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ติดมาด้วยผ้ากรองเพื่อป้องกันการอุดตันของระบบหอดูดซึมและระบบปั๊ม ทำการ

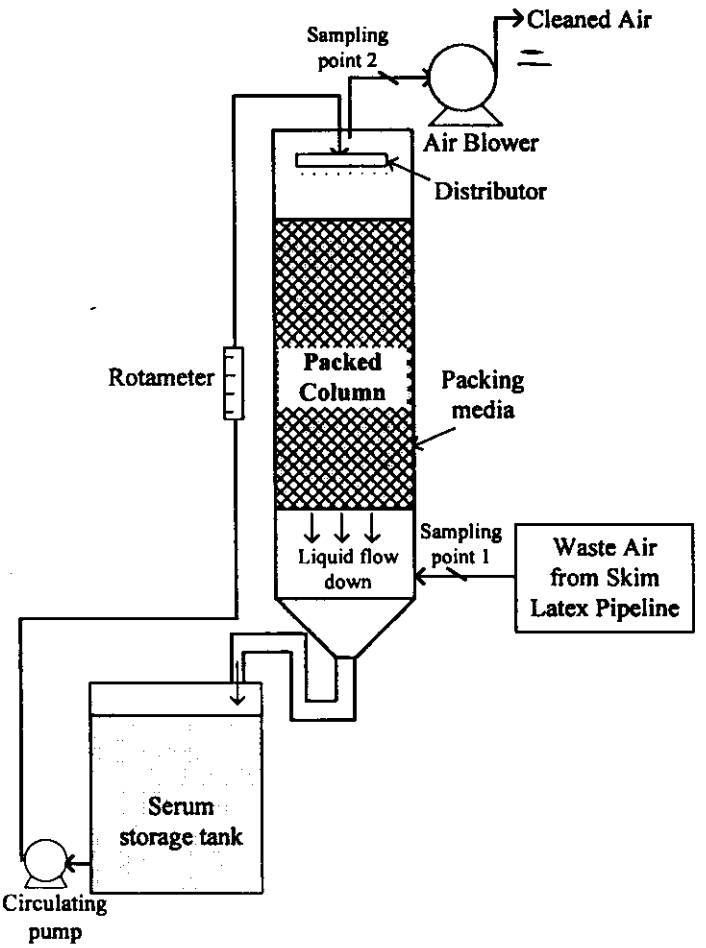
ป้อนน้ำซีรัมปริมาตร 150 ลิตรเข้าสู่ถังเก็บสารดูดซึมในตอนเริ่มต้นการทดลองและใช้น้ำซีรัมนี้ในการป้อนวนกลับ (circulation) เข้าสู่ระบบหอดูดซึมอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง

2.3.2.4 ถังเก็บสารดูดซึม (storage tank)

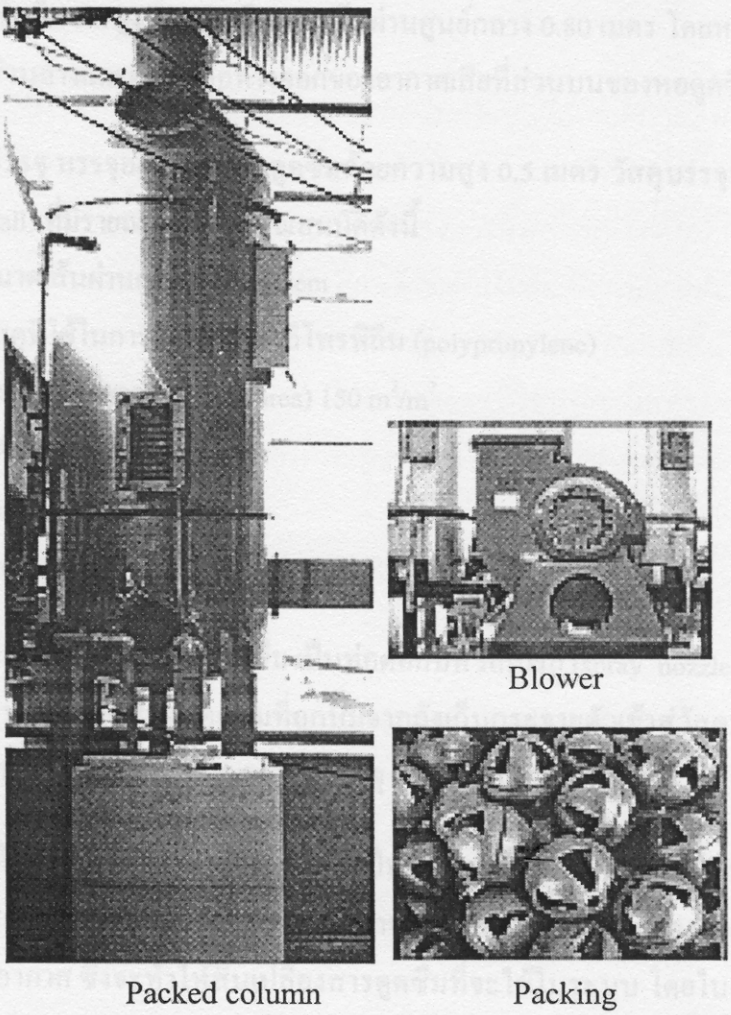
ถังเก็บสารดูดซึมเป็นถังพลาสติกสีขาวขนาด 200 ลิตร ใช้สำหรับเก็บน้ำซีรัมที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น เพื่อทำการป้อนน้ำซีรัมเข้าระบบหอดูดซึมอย่างต่อเนื่องและเป็นถังรองรับน้ำซีรัมที่ผ่านการดูดซึมแอมโมเนียในหอดูดซึม

2.3.3 ปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Packed Column

อุปกรณ์ชุดทดลองชนิดปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Packed Column สำหรับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียของโรงงานน้ำยางข้น สามารถแสดงไดอะแกรมของระบบได้ตามรูปที่ 2-8 และมีภาพแสดงปฏิกรณ์หอดูดซึม วัสดุบรรจุ และโบลว์เวอร์เพื่อการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยหอดูดซึมแบบ Packed Column ที่ติดตั้งในโรงงานผลิตน้ำยางข้นตามรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-8 Schematic diagram ของหอดูดซึมแอมโมเนียแบบ Packed Column



รูปที่ 2-9 ภาพของปฏิกรณ์หอดูดซึมแอมโมเนียแบบ Packed Column

ชุดทดลองของปฏิกรณ์หอดูดซึมแบบ Packed Column มีการออกแบบและติดตั้งที่โรงงานผลิตน้ำยางข้นซึ่งมีขนาดเป็นชุดทดลองต้นแบบ (pilot scale) โดยใช้น้ำซีรัมที่อยู่ในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำยางข้นเป็นสารดูดซึม และใช้อากาศเสียปนเปื้อนแก๊สแอมโมเนียที่ได้รับโดยตรงจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น การทดลองการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกมาจากกระบวนการนี้ด้วยน้ำซีรัมในปฏิกรณ์แบบ Packed Column มีส่วนประกอบและหลักการทำงานดังต่อไปนี้

2.3.3.1 หอดูดซึมแบบ Packed Column (Packed column absorber)

หอดูดซึมประกอบด้วย หอดูดซึม (column) วัสดุบรรจุ (packing media) บรรจุอยู่ในหอดูดซึม ระบบท่อกระจายของเหลวดูดซึม และหน่วยดักละอองของเหลว ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละส่วนประกอบดังนี้

1. หอดูดซึมมีความสูง 1 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 เมตร โดยหอดูดซึมต่อกับท่อป้อนอากาศเสียที่ส่วนล่างและต่อกับท่อทางออกของอากาศเสียที่ส่วนบนของหอดูดซึม

2. วัสดุบรรจุ บรรจุอยู่ภายในหอดูดซึมด้วยความสูง 0.5 เมตร วัสดุบรรจุที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิดบอล (I-Ball) ที่มีรายละเอียดและคุณสมบัติดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm
- วัสดุที่ใช้ในการผลิต คือ โพลีโพรพิลีน (polypropylene)
- พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific area) 150 m^2/m^3
- สีดำ
- Percent void eff. > 85%
- Amount / 1 m^3 = 10,000 units

3. ระบบท่อกระจายของเหลวดูดซึม เป็นท่อต่อกับหัวสเปรย์ (spray nozzle) ที่อยู่ภายในหอดูดซึมส่วนบน มีหน้าที่ให้ของเหลวดูดซึมที่ถูกปั๊มจากถังเก็บกระจายตัวเข้าสู่วัสดุบรรจุอย่างทั่วถึงและเกิดเป็นฟิล์มบางของของเหลวที่ผิวของวัสดุบรรจุ

4. หน่วยดักละอองของเหลว (demister) เป็นหน่วยที่ติดตั้งที่ส่วนบนของหอดูดซึมบริเวณเหนือตำแหน่งหัวสเปรย์กระจายของเหลว หน่วยนี้ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ละอองของสารดูดซึมหลุดออกไปกับกระแสอากาศ ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองสารดูดซึมที่จะใช้ในระบบ โดยในหน่วยดักละอองของเหลวนี้จะใช้วัสดุบรรจุชนิดเดียวกับที่วัสดุบรรจุที่ใช้ในหอดูดซึม โดยมีการเติมวัสดุบรรจุในหน่วยนี้ให้ได้ความสูง 0.3 m เพื่อทำให้เกิดการชนของละอองของเหลวกับวัสดุบรรจุและเกิดการรวมตัวของละอองกลายเป็นหยดของเหลวตกกลับลงมายังหอดูดซึม

อากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียจะถูกดูดจากระบบท่อของกระบวนการผลิตน้ำยางข้นด้วยโบลว์เวอร์ (air blower) ของทางโรงงานและส่งเข้าสู่หอดูดซึมผ่านท่อทางเข้าของแก๊สด้านล่างของหอดูดซึม เมื่ออากาศไหลเข้าหอดูดซึมก็จะไหลขึ้นสู่ด้านบนสวนทางกับฟิล์มของเหลวดูดซึมภายในหอดูดซึม ท่ออากาศที่ทางออกส่วนบนของหอดูดซึมจะต่อเข้ากับ blower ขนาด 0.5 แรงม้าเพื่อดูดอากาศออกจากระบบ ซึ่งกำลังในการดูดอากาศของ blower นี้จะต้องเอาชนะความดันลดที่เกิดขึ้นจากวัสดุบรรจุภายในหอดูดซึมและความดันลดที่เกิดขึ้นในระบบท่อทางเข้าของอากาศเสีย โดยการไหลของอากาศนี้มีกำลังส่งส่วนหนึ่งจาก blower ของทางโรงงาน

2.3.3.2 อากาศเสีย (waste air)

อากาศเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นอากาศเสียปนเปื้อนแก๊สแอมโมเนียที่ได้รับโดยตรงจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยดูดอากาศจากระบบท่อส่งหางน้ำยางที่ส่งหางน้ำยางจากเครื่องเหวี่ยงแยกไปยังระบบไล่แอมโมเนียจากหางน้ำยาง โดยท่อส่งหางน้ำยางเป็นรางปิดที่มีท่อดูดอากาศและ blower ดูดอากาศทำให้สามารถดูดอากาศที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียที่ระเหยออกมาจากหางน้ำยางได้อย่างต่อเนื่อง โดยปกติอากาศส่วนนี้จะถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศภายนอกเพื่อไม่ให้มีกลิ่นเหม็นรบกวนผู้ที่ทำงานในบริเวณเครื่องเหวี่ยงแยก ในการทดลองนี้ได้ทำการปิดท่อส่งอากาศเสียที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก และต่อท่อส่งอากาศเสียเข้าชุดทดลองระบบหอดูดซึม Packed column แทน

2.3.3.3 สารดูดซึม

สารดูดซึมที่ใช้ในการกำจัดแก๊สแอมโมเนียในการทดลองนี้ คือ น้ำและน้ำซีรัมที่ได้จากกระบวนการผลิตยางสกิม (skim rubber) ของโรงงานผลิตน้ำยางข้น โดยน้ำซีรัมจะถูกขนมาจากถังจับตัวยางสกิมมาบรรจุในถังเก็บสารดูดซึมของระบบที่ปริมาตร 300 ลิตร ก่อนการบรรจุน้ำซีรัมลงในถังเก็บสารดูดซึมจะต้องทำการกรองแยกเศษยางและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ติดมาออกด้วยผ้ากรองเพื่อป้องกันการอุดตันของระบบหอดูดซึมและระบบปั๊ม สารดูดซึมจะถูกป้อนเข้าระบบหอดูดซึม Packed column ด้วยปั๊มของเหลวและมีการป้อนไหลวนกลับ (circulation) เข้าสู่ระบบหอดูดซึมอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง

2.3.3.4 ท่อทางออกของเหลวดูดซึม

เมื่อของเหลวดูดซึมไหลผ่านวัสดุบรรจุและไหลออกจากหอดูดซึมลงไปยังถังเก็บ หากท่อที่ต่อจากหอดูดซึมไปยังถังเก็บเป็นท่อตรง ของเหลวจะไหลไม่เต็มท่อทำให้อากาศเสียที่ไหลเข้าหอดูดซึมไหลออกมากับของเหลวได้ การออกแบบระบบท่อทางออกของของเหลวดูดซึมจึงต้องออกแบบให้เป็นท่อโค้งขึ้นถึงระดับที่ต้องการให้ของเหลวซีล (seal) อยู่ในหอดูดซึมเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเสียไหลออกมากับของเหลว

2.3.3.5 ถังเก็บสารดูดซึม (storage tank)

เป็นถังพลาสติกสีขาวปริมาตร 300 ลิตรใช้สำหรับเก็บสารดูดซึมซึ่งเป็นน้ำและน้ำซีรัม สารดูดซึมจะถูกป้อนเข้าระบบหอดูดซึมทางท่อกระจายของเหลวด้วยปั๊มของเหลว สารดูดซึมที่ผ่านการ

ดูดซึมในหอดูดซึมแล้วจะไหลลงด้านล่างของหอดูดซึมและไหลกลับลงสู่ถังเก็บสารดูดซึมอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

เมื่อติดตั้งชุดทดลองทั้ง 3 ชนิดแล้ว ทำการตรียมสารดูดซึม เตรียมอุปกรณ์ และเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ แล้วเริ่มทำการทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย โดยขั้นตอนการทดลองของชุดปฏิกรณ์หอดูดซึมทั้ง 3 แบบ มีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

1. เก็บตัวอย่างอากาศเสียที่จะป้อนเข้าระบบปฏิกรณ์ด้วย Impinger และทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย หากความเข้มข้นของอากาศสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด ให้ทำการเปิดเพิ่มหรือลดวาล์วของแก๊สแอมโมเนีย และทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของอากาศเสียใหม่จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ ในระหว่างช่วงเวลาของการปรับความเข้มข้นของอากาศเสียนี้จะต้องปล่อยอากาศเสียทิ้งโดยการจุมปลายท่ออากาศลงในน้ำ เมื่อได้ความเข้นข้นตามที่ต้องการแล้วจึงปล่อยอากาศเสียเข้าสู่ระบบหอดูดซึม สำหรับการทดลองในระบบหอดูดซึม Packed column ซึ่งใช้กระแสอากาศเสียจากโรงงานจริงนั้นจะไม่มีการปรับความเข้มข้นของอากาศเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ แต่จะส่งอากาศเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นเข้าสู่ระบบได้เลย

2. เริ่มดำเนินการทดลองโดยการป้อนอากาศเสียเข้าสู่ปฏิกรณ์หอดูดซึมผ่านระบบท่อทางเข้าของอากาศเสีย ซึ่งจะทำให้อากาศเสียเข้าไปสัมผัสกับสารดูดซึมในระบบ เกิดการถ่ายโอนมวลของแก๊สแอมโมเนียจากอากาศเสียไปยังสารดูดซึมทำให้อากาศเสียมีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ลดลงตามประสิทธิภาพของระบบ เมื่ออากาศผ่านการดูดซึมแล้วจะไหลออกทางด้านบนของปฏิกรณ์หอดูดซึม ในส่วนของสารดูดซึมที่ใช้ในระบบปฏิกรณ์แบบ Semi-batch Reactor สารดูดซึมจะถูกบรรจุอยู่ในถังกวนโดยไม่มีการไหลเข้าออกจากระบบ ส่วนในระบบปฏิกรณ์ Perforate plate และ Pack column สารดูดซึมจะมีการไหลเข้าด้านบนและออกทางด้านล่างของหอดูดซึม และมีการป้อนไหลวนกลับของสารดูดซึมเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง

3. เมื่อการดำเนินการของระบบชุดทดลองการบำบัดอากาศเสียด้วยหอดูดซึมเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ (steady state) จะเริ่มทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่ท่อทางเข้าและทางออกของหอดูดซึมโดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศซึ่งต่อเข้ากับ Impinger ที่บรรจุด้วยสารดูดซึมชนิดสารละลายกรดบอริก (boric acid) และทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของแอมโมเนียด้วยวิธีฟีเนต (Phenate method) โดยใช้เครื่อง UV-Spectrophotometer และวิธีไตรเตรท การเก็บตัวอย่างอากาศจะทำการเก็บทุก 10 นาที ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนเสร็จสิ้น นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

2.4 การหาประสิทธิภาพของการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

การหาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึมของระบบ ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างอากาศเสียด้วยชุดเก็บตัวอย่างแก๊สจากจุดเก็บตัวอย่างอากาศเสีย 2 จุดที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกของระบบ ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนีย และนำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบตามสมการที่ (2-1)

$$\text{Ammonia Removal eff. (\%)} = \frac{C_{NH_3,in} - C_{NH_3,out}}{C_{NH_3,in}} \times 100 \qquad \text{--- (2-1)}$$

เมื่อ Ammonia Removal eff. (%) = ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย (%)

$C_{NH_3,in}$ = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศที่ทางเข้าปฏิกรณ์ (ppm)

$C_{NH_3,out}$ = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศที่ทางออกปฏิกรณ์ (ppm)

2.5 สภาวะการดำเนินการและตัวแปรการทดลอง

การศึกษาทดลองการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากชุดผลิตอากาศเสียและจากอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น โดยใช้ปฏิกรณ์หอดูดซึมทั้ง 3 แบบ คือ ปฏิกรณ์ดูดซึมแบบ Semi-batch Reactor แบบ Perforate Plate และแบบ Packed Column มีการเปรียบเทียบชนิดของสารดูดซึมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียจากอากาศเสีย 2 ชนิด คือ น้ำและน้ำซีรัม ซึ่งน้ำที่ใช้เป็นน้ำประปาของภาควิชาวิศวกรรมเคมีและน้ำประปาของโรงงาน ส่วนน้ำซีรัมที่นำมาใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี ได้มีการนำเอาตัวอย่างน้ำซีรัมมาจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง ส่วนในการทดลองที่ดำเนินการในโรงงานได้มีการเอาน้ำซีรัมจากบ่อเก็บน้ำซีรัมโดยตรง

ตัวแปรดำเนินการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1. อัตราการป้อนอากาศเสีย
2. อัตราการป้อนสารดูดซึม
3. ชนิดของสารดูดซึม
4. ความเร็วรอบของการกวนในกรณีที่ใช้ระบบถังกวนในการกำจัดอากาศเสีย
5. ปริมาณสารดูดซึมในถังเก็บสารดูดซึม ของระบบ Packed column

ช่วงการดำเนินการทดลองของระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียแสดงได้ดังตารางที่ 2-1 โดยผลของการทดลองจะแสดงในเทอมของประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียของ

ระบบ ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดนี้จะทำให้ได้ระบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในงานการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียในระดับอุตสาหกรรม นอกจากนั้นจะทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการนำน้ำซีรัมไปใช้ในการดำเนินการของระบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียสูงๆ

ตารางที่ 2-1 ช่วงดำเนินการทดลองการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

สภาวะ	ช่วงดำเนินการ
pH ของน้ำซีรัมเริ่มต้นที่ป้อนเข้าระบบ	pH 4-6
ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในอากาศเสีย	100-1,400 ppm
ปริมาณสารดูดซึมในถังเก็บของ Packed column	0.15-0.20 m^3
อัตราการป้อนอากาศเสียเข้าถังกวน	30-70 l/min
อัตราการป้อนอากาศเสียเข้า Perforated plate	30-80 l/min
อัตราการป้อนสารดูดซึมเข้า Perforated plate	0.8-1.5 m^3/h
อัตราการป้อนอากาศเสียเข้า Packed column	6 m^3/min
อัตราการป้อนสารดูดซึมเข้า Packed column	2.4 m^3/h