



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชุดกำจัดแอมโมเนียในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยคอลัมน์สเปรย์และ
ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบด

คณะผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร (หัวหน้าโครงการ)
รองศาสตราจารย์ ดร. จรัญ บุญกาญจน์
นางสาวพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2557

บทคัดย่อ

แอมโมเนีย (Ammonia: NH_3) เป็นสารเคมีหลักที่ใช้เดิมในน้ำยางสดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้จับตัวกันเป็นตะกอนและมีกลิ่นเหม็น ทำให้งานน้ำยางที่ผ่านกระบวนการปั่นแยกจากการผลิตน้ำยางข้นมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงจึงต้องใช้กรดซัลฟูริกปริมาณมากในการจับตัวเนื้อยางในทางน้ำยางเพื่อผลิตยางสกิน (Skim rubber) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น และได้น้ำซีรัมซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีการตกค้างของซัลเฟตสูง ทำให้เกิดแก๊สไข่เน่าในระบบบำบัดน้ำเสียและแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ นอกจากนี้ในทุกขั้นตอนการผลิตเกิดการฟุ้งกระจายไอระเหยของแอมโมเนียออกมา ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานในโรงงาน ชุมชนรอบข้าง และปัญหาสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสียสำหรับการแก้ปัญหาของโรงงานผลิตน้ำยางข้นซึ่งการดำเนินการประกอบด้วย 2 ระบบคือ ระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ (Spray column) และระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกมาจากทางน้ำยางด้วยปฏิกรณ์แก๊สบับเบิล (Bubble column reactor) โดยคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางสร้างขึ้นจากคอลัมน์ทรงกระบอก สูง 1 เมตร และ 2 เมตรติดตั้งหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดือยหมุน (Spiral spray nozzle) เพื่อป้องกันการอุดตันของเนื้อยางทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของคอลัมน์สเปรย์ด้วยการหาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของทางน้ำยางจำลองที่เตรียมขึ้นจากแอมโมเนียเหลว (Liquid ammonia) ผสมกับน้ำที่ความเข้มข้น 0.30% โดยน้ำหนักพบว่าได้สภาวะที่เหมาะสมคือ มุมกระจายหัวสเปรย์ 120° อัตราการไหลอากาศ 300 ลิตร/นาที่และอัตราการไหลของทางน้ำยาง 4.0 ลิตร/นาที่ การเพิ่มระดับความสูงของคอลัมน์สเปรย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองได้ 8% แต่การเพิ่มจำนวนหัวสเปรย์ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้ และเมื่อทดลองกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจริง พบว่าสามารถกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางได้ 24% ภายในเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลต่อการลดการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยางสกินลงประมาณ 60% และอากาศเสียที่ออกจากระบบคอลัมน์สเปรย์มีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุด 540 ppmv สำหรับปฏิกรณ์แก๊สบับเบิลที่ใช้กำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย 2 ชนิด คืออากาศเสียจำลองและอากาศเสียจากระบบคอลัมน์สเปรย์ด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำและน้ำซีรัม (pH=2.45) ถูกติดตั้งตัวทำลายฟอง (Bubble trap) ด้วยวัสดุฟองน้ำไว้ส่วนบนภายในปฏิกรณ์เพื่อป้องกันปัญหาการเกิดฟองล้นออกนอกปฏิกรณ์ การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองด้วยปฏิกรณ์แก๊สบับเบิลขนาดห้องปฏิบัติการประกอบด้วยตัวแปรดำเนินการ คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย (300-1,500 ppmv) อัตราการไหลของอากาศเสีย (0.5-1.5 ลิตร/นาที่) และความสามารถในการดูดซึมของ

(2)

สารดูดซึม ซึ่งนำไปสู่การหาสภาวะในการดำเนินการที่เหมาะสม พบว่าน้ำซีรัมมีความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 1,100 ppmv ได้ดีกว่าน้ำถึง 2 เท่า โดยเฉพาะที่อัตราการไหลของอากาศเสียจำลอง 1.0 ลิตร/นาที และสำหรับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบบีบขนาดต้นแบบด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำ พบว่าในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรกของการทดลองระบบจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้ 100% และลดลงเหลือ 30% ในเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งผลสำเร็จของงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปสู่การออกแบบระบบและใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางขึ้นสำหรับแก้ไขปัญหาการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางและอากาศเสียต่อไป

ABSTRACT

Ammonia is main chemicals that adding in fresh latex for preserving attack of bacteria, protecting coagulation of latex and odor. The fresh latex is fed to centrifugal unit to produce the main produce of concentrated latex and by product of skim latex has to contaminate high ammonia concentration which must be used a lot of sulfuric acid for coagulation process effective to high cost and getting skim serum that contained high concentration of sulfate, and that brought odor problem from hydrogen sulfide gas (H_2S) in wastewater treatment system and biogas. The releasing of ammonia gas from all production areas of concentrated rubber latex industry generates adverse effects on workers' health, community and the environment. Therefore objective of this research was to study for the removal of ammonia in skim latex and waste air to solve a problem of concentrated rubber latex industry. In experiment including two parts are ammonia removal from skim latex and waste air. The spray column was designed using empty cylindrical column with 0.48 m diameter, 1 m and 2 m height which installed spiral spray nozzle at top of column to prevent from plugging of the skim rubber. Ammonia removal efficiency of the system was monitored as finding for optimum condition of the system. Simulated skim rubber latex was prepared at 0.3%wt. by mixing between liquid ammonia and water. The effect of spray angle 60° - 120° , air flow rate 200-400 l/min and liquid flow rate 3.0-6.0 l/min was studied for the removal of ammonia from the simulated latex. The optimize condition of the system was found at spray angle 120° , air flow rate 300 l/min and liquid flow rate 4.0 l/min. The increasing in tower height can be increase the ammonia removal efficiency with 8% higher. However, increasing the number of spray nozzle unable to increase the ammonia removal efficiency. The testing of real skim latex at the optimum condition was found the system can reduce the NH_3 at 20% within 2 hr and effect to reduce the acid consumption 60%. The air released from spray column was contaminated ammonia concentration 540 ppmv higher. The bubble column reactor was to ammonia removal from waste air two type which including ammonia form simulated air and ammonia released from spray column. At upper part of the reactor was inserted by sponge for bubble trapping. The laboratory scale of bubble column reactor was studied the two parameters of air flow rate (0.5-1.5 l/min) ammonia concentration in air (300-1500 ppmv) and comparing absorption capacity between skim serum and pure water absorbent for finding optimization

(4)

condition. The results were found that skim serum has absorption capacity of ammonia from simulated air 1,100 ppmv better than water absorbent nearly 2 times as air flow rate 1.0 l/min. The removal of waste air from the spray column was absorbed with the water in the pilot scale bubble column reactor. The result shows that efficiency ammonia removal 100% for 2hr and reducing to 30%for 5hr. The result of this study can be used as guidance to the design and actual use in the concentrated rubber latex industrial for solving the problem of ammonia removal in skim latex and waste air.

(5)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “งบประมาณแผ่นดินปี 2557” สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ บริษัททดลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด อ.จะนะ จ.สงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องน้ำยาง สถานที่การทำวิจัย และข้อมูลต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น	5
2.2 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น	13
2.3 แอมโมเนีย (Ammonia: NH ₃)	15
2.4 กระบวนการดูดซึมแก๊ส (Gas Absorption)	20
2.5 คอลัมน์สเปรย์ (Spray column)	25
2.6 ปฏิกรณ์แก๊สบับเบิล(Bubble column reactor)	29
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	
3.1 วัตถุประสงค์	40
3.2 สารเคมี	41
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	42
3.4 คอลัมน์สเปรย์ (Spray column)	44
3.5 ปฏิกรณ์แก๊สบับเบิล(Bubble column reactor)	47
3.6 วิธีการทดลองกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 วิธีการทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย	52
3.8 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์แอมโมเนีย	58
3.9 การวิเคราะห์ปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยง	62
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์	63
4.2 ผลการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบับเบิล	76
4.3 ผลการออกแบบคอลัมน์สเปรย์และปฏิกรณ์แก๊สบับเบิลสำหรับโรงงานน้ำ ยางชั้น	84
4.4 ผลประเมินทางเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis)	89
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการวิจัย	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ความเข้มของแอมโมเนียในทางน้ำยาง	101
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความเข้มของแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลอง	102
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์แอมโมเนียในอากาศเสีย	104
ภาคผนวก ง ข้อมูลการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปรย์	107
ภาคผนวก จ ข้อมูลการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์	126
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยง	132
ภาคผนวก ช ข้อมูลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบับเบิล	135
ภาคผนวก ซ การออกแบบระบบกำจัดแอมโมเนีย	145

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงองค์ประกอบเนื้อมันในน้ำยางสด	5
2-2	แสดงองค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางในน้ำยางสด	6
2-3	แสดงคุณสมบัติของหางน้ำยางจากระบวนการผลิตน้ำยางชั้น	10
2-4	แสดงคุณสมบัติของน้ำซีรัมจากระบวนการผลิตน้ำยางชั้น	12
2-5	แสดงแหล่งที่มาและแนวทางการแก้ปัญหากลิ่นจากไอระเหยแอมโมเนียของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น	14
2-6	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแอมโมเนีย	16
2-7	แสดงคุณสมบัติทางเคมีของแอมโมเนีย	16
2-8	แสดงระดับอันตรายของแอมโมเนีย	18
2-9	แสดงระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในพื้นที่ของโรงงานน้ำยางชั้น	19
2-10	แสดงการติดตั้งคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดมลพิษ	27
2-11	แสดงชนิดของหัวสเปรย์	28
2-12	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ชนิดแก๊สแบบเบิลสำหรับกำจัดมลพิษ	30
4-1	แสดงผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาที่ใช้ในการกำจัด	64
4-2	แสดงความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองเข้มข้น 1,100 ppmv ระหว่างน้ำซีรัมกับน้ำ 150 มิลลิลิตร ภายในเวลา 180 นาที ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.5 และ 1.0 ลิตร/นาที	83
4-3	แสดงผลต่างความเข้มข้นของแอมโมเนียในการกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์	85
4-4	แสดงผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง	89
4-5	แสดงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วย/เดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว(การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554	89

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2-1 แสดงกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและหางน้ำยางด้วยกระบวนการปั่นแยก	9
2-2 แสดงรูปโมเลกุลของแอมโมเนีย	17
2-3 แสดงทฤษฎีเชื้อ 2 ชั้น	23
2-4 แสดงคอลัมน์สเปรย์	26
2-5 แสดงปฏิกรณ์ชนิดแก๊สแบบเบด	30
3-1 แสดงหางน้ำยาง	40
3-2 แสดงน้ำซีรัม	41
3-3 แสดงไดอะแกรมระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง	44
3-4 แสดงระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง	45
3-5 แสดงท่อรูปตัวยูทางออกของของเหลวของคอลัมน์สเปรย์	45
3-6 แสดงไดอะแกรมของหัวสเปรย์ชนิดกรวยเคียวเคียวหมู (ก) และลักษณะการติดตั้งหัวสเปรย์ (ข)	46
3-7 แสดงระบบการวัดอัตราการไหลของกระแสอากาศป้อนของคอลัมน์สเปรย์	46
3-8 แสดงปฏิกรณ์แก๊สแบบเบดขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง (ก) และไดอะแกรมปฏิกรณ์แก๊สแบบเบดขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง (ข)	47
3-9 แสดงปฏิกรณ์แก๊สแบบเบดขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบคอลัมน์สเปรย์ (ก) และไดอะแกรมปฏิกรณ์แก๊สแบบเบดขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบคอลัมน์สเปรย์ (ข)	48
3-10 แสดงหัวสเปรย์ชนิดกรวยเคียวเคียวหมูที่มุมกระจายตัว 60°(ก) 90°(ข) และ 120°(ค)	50
3-11 แสดงระบบการดำเนินงานของคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร	51
3-12 แสดงขวดบรรจุแอมโมเนียไฮดรอกไซด์เพื่อผลิตอากาศเสียจำลองที่มีแก๊สแอมโมเนียปนเปื้อน	53
3-13 แสดงไดอะแกรมระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเบดขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3-14 แสดงระบบปฏิบัติการแก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง	56
3-15 แสดงไดอะแกรมระบบปฏิบัติการแก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างด้วยคอลัมน์สเปรย์ (ก) ระบบปฏิบัติการแก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างด้วยคอลัมน์สเปรย์ (ข)	57
3-16 แสดงขวดเก็บตัวอย่างทางน้ำ	58
3-17 แสดงการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างด้วยวิธีการไทเทรต	59
3-18 แสดงสีของสารละลายก่อน (ก) และหลัง (ข) ไทเทรตของทางน้ำอย่างจำลอง	59
3-19 แสดงบีมเก็บตัวอย่างอากาศเสียเพื่อวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ	60
3-20 แสดงการเก็บตัวอย่างแอมโมเนียอากาศเสียด้วยอิมพิงเจอร์	61
3-21 แสดงการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียด้วยวิธีการไทเทรต	61
3-22 แสดงการจับตัวอย่างในทางน้ำอย่างด้วยกรดซัลฟูริก	62
3-23 แสดงการแยกตัวของยางสกิมกับน้ำซีรัมหลังกระบวนการจับตัว	62
4-1 แสดงผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาที่ใช้ในการกำจัด	64
4-2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆ ในเวลา 1 ชั่วโมง	65
4-3 แสดงผลของอัตราการไหลของทางน้ำอย่างจำลองต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ในเวลา 1 ชั่วโมง	66
4-4 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์สเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาในการดำเนินการทดลอง	67
4-5 แสดงการต่อหัวสเปรย์ 2 หัว แบบขนานระนาบเดียวกัน	68
4-6 แสดงผลจำนวนหัวหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาในการทดลอง	69

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-7 แสดงลักษณะพ่นละอองหางน้ำยางของหัวสเปรย์ที่ต่อแบบขนานระนาบเดียวกัน	69
4-8 แสดงการต่อหัวสเปรย์ 2 หัว แบบขนานบน-ล่าง	70
4-9 แสดงผลจำนวนหัวหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร กับเวลาในการทดลอง	71
4-10 แสดงผลของหางน้ำยางจริงที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียต่างๆ ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลา	72
4-11 แสดงสัดส่วนปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกต่อปริมาณหางน้ำยางที่ใช้จับตัวเนื้อยางสกิมที่เวลาต่างๆ ในการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์	73
4-12 แสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจากคอลัมน์สเปรย์ที่ความสูงต่างๆ กับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง	74
4-13 แสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร กับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจริง	74
4-14 แสดงการควบคุมของแอมโมเนียในระบบคอลัมน์สเปรย์	75
4-15 แสดงผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียกับเวลาด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัดขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำซีรัม	77
4-16 แสดงผลของความเข้มข้นแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองต่อความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียของน้ำซีรัมด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัดขนาดห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 7 ชั่วโมง	78
4-17 แสดงผลของอัตราการไหลของอากาศเสียจำลองต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัดขนาดห้องปฏิบัติการกับเวลาโดยการใช้น้ำซีรัมเป็นสารดูดซึมที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง 1,100 ppmv	79

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-18	80
แสดงผลของอัตราการไหลของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองต่อความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียของน้ำซีรัมด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบวิลขนาดห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1,100ppmv ในเวลา 4 ชั่วโมง	
4-19	81
แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียจำลองกับเวลาโดยการใช้ น้ำซีรัมและน้ำเป็นสารดูดซึม ที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง 1,100 ppmv	
4-20	82
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในระหว่างการดูดซึมแก๊สแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียจำลองกับเวลา ที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1,100 ppmv ในเวลา 4 ชั่วโมง	
4-21	84
แสดงผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบวิลกับเวลา ที่อัตราการไหลของอากาศ 4 ลิตร/นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	
4-22	87
แสดงไดอะแกรมระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับใช้งานในโรงงานผลิตน้ำขึ้น	
4-23	88
แสดงไดอะแกรมระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบวิลสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากคอลัมน์สเปรย์	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย นับตั้งแต่ปี 2534 เป็นต้นมา ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับ 1 ของโลก ซึ่งมีมูลค่าการส่งออกสูงสุดถึงปีละ 500,000-600,000 ล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตและส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheets) ยางแท่ง (Rubber block) และน้ำยางข้น (Concentrated latex) จากความต้องการผลผลิตยางพาราของตลาดโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกษตรกรชาวสวนยางขยายพื้นที่การปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น เพื่อให้ผลผลิตยางพาราเพียงพอต่อความต้องการของตลาดโลก อุตสาหกรรมยางจึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อรายได้ของประเทศไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีการแปรรูปน้ำยางสด (Fresh latex) ให้เป็นน้ำยางข้นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางรถยนต์ กุ้งมือยาง กุ้งยางอนามัย ท่อยาง ยางรัดของ เป็นต้น

ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นต้องเริ่มจากการปรับสภาพน้ำยางสดด้วยการเติมสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia solution) ในน้ำยางให้มีความเข้มข้นมากกว่า 0.40% โดยน้ำหนัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (วิภาวี, 2554) และรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้จับตัวเป็นก้อนและมีกลิ่นเหม็น หลังจากนั้นนำน้ำยางสดมาผ่านกระบวนการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นแยก (Centrifuge) จะได้ผลผลิต 2 ส่วน คือ น้ำยางข้นและหางน้ำยาง (Skim latex) ซึ่งมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60% และ 5% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (Abraham et al.,2009) โดยหางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการปั่นแยกจะมีแอมโมเนีย (Ammonia: NH_3) ปนเปื้อนสูงถึง 0.30-0.40% โดยน้ำหนัก ซึ่งต้องลดปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางก่อนการจับตัวเนื้อยางด้วยกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid: H_2SO_4) เข้มข้นเพื่อผลิตเป็นยางสกิน (Skim rubber) ทำให้ได้น้ำซีรัม (Skim serum) ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ต้องผ่านการบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสีย (Thongmak et al.,2009) หากปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางมีความเข้มข้นสูงจะต้องใช้กรดซัลฟิวริกปริมาณมากในการจับตัวเนื้อยาง ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นและเกิดการตกค้างของซัลเฟตในน้ำซีรัมทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide: H_2S) ในระบบบำบัดน้ำเสียและแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ (วิระชาติ, 2551) นอกจากนั้นแล้วในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะเกิดการฟุ้งกระจายของไอระเหยแอมโมเนียออกมา โดยเฉพาะ

กระบวนการไล่แอมโมเนียออกจากทางน้ำยางซึ่งส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานในโรงงานชุมชนรอบข้างและเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

ระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้น คือ การใช้เครื่องกวาดและการไหลผ่านรางเปิดที่มีความยาวประมาณ 500-1,000 เมตรพบว่าส่วนใหญ่ไม่สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางให้ต่ำกว่า 0.20% โดยน้ำหนัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) การเลือกเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้กำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของทางน้ำยางที่มีเนื้อยางผสมอยู่ ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันจากการจับตัวของเนื้อยางในระหว่างกระบวนการ คอลัมน์สเปรย์ (Spray column) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีการออกแบบระบบให้ง่ายต่อการสร้างและซ่อมบำรุง ความดันลดต่ำ (Turpin et al., 2008) ไม่ใส่วัสดุตัวกลาง (Packing) อาศัยเพียงการฟ่นละอองของเหลวผ่านหัวสเปรย์ การเลือกหัวสเปรย์ควรคำนึงข้อจำกัดของการใช้งาน หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวยุ (Spiral spray nozzle) จึงเหมาะสำหรับการใช้กับทางน้ำยางเพราะสามารถป้องกันการอุดตันของเนื้อยางในทางน้ำยางจากการฟ่นละอองฝอยของเหลว เพื่อเพิ่มพื้นผิวการถ่ายโอนมวลแอมโมเนียระหว่างเฟสของเหลวและอากาศที่ไหลสวนทางกันทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงขึ้น และอากาศที่ออกจากระบบคอลัมน์สเปรย์จะมีแอมโมเนียปนเปื้อนซึ่งจำเป็นต้องทำการกำจัดก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

การกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศมีหลายวิธี เช่น การดูดซับ (Adsorption) การดูดซึม (Absorption) การกรองด้วยชีวภาพ (Biofiltration) และกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน (Photocatalytic oxidation) (Boulinguez et al., 2008) ซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป การใช้น้ำและกรดเป็นสารดูดซึม (Absorbent) ในการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศให้ประสิทธิภาพสูงแต่มีความสิ้นเปลืองมาก สำหรับโรงงานน้ำยางชั้นมีน้ำชีรัมเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสกิน (Skim rubber) มีสภาพเป็นกรดสูง การใช้น้ำชีรัมเป็นสารดูดซึมในระบบจะช่วยลดการใช้น้ำ การใช้กรด การเกิดน้ำเสีย และเป็นการนำของเสียของโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์ แต่ด้วยลักษณะทางกายภาพของน้ำชีรัมที่มีความหนืดสูงมีการตกค้างของเศษยาง (จันทิมา, 2549) และเกิดฟองได้ง่ายจึงจำเป็นต้องเลือกระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งปฏิกรณ์แก๊สบับเบิล (Bubble column reactor) เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้กำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศโดยการปล่อยอากาศผ่านหัวฟ่นทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กๆ ลอยขึ้นสัมผัสของเหลวเพื่อเพิ่มพื้นผิวการถ่ายโอนมวล (Mass transfer) ระหว่างแอมโมเนียกับของเหลว เนื่องจากปฏิกรณ์คูแลร์กษาง่าย มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการใช้พลังงานต่ำเพราะไม่ต้องเสียดำไฟฟ้าในการกวาด (Javedet al., 2006)

งานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษากำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสียซึ่งประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์และระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกมาจากทางน้ำยางด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัด โดยคอลัมน์สเปรย์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาด 180 ลิตรสูง 1 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เมตร ใช้การป้อนทางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculation) ด้วยความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนีย 0.30% โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาผลของตัวแปร 3 ชนิด คือ มุมกระจายตัวของหัวสเปรย์ (60°-120°) อัตราการไหลของอากาศ (200-400 ลิตร/นาท) อัตราการไหลของทางน้ำยาง (3.0-6.0 ลิตร/นาท) รวมถึงศึกษาผลของความสูงของคอลัมน์และจำนวนหัวสเปรย์ วิเคราะห์ปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนือยาสกิมในทางน้ำยางที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนีย ส่วนระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัดขนาดห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) และขนาดต้นแบบ (Pilot scale) โดยทำการศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศเสียแบบต่อเนื่อง (0.5-1.5 ลิตร/นาท) ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ (300-1,500 ppmv) และศึกษาความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียของน้ำและน้ำซีรัม (pH=2.45) ที่ใช้เป็นสารดูดซึม ซึ่งระบบที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาไปสู่การกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสียในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและออกแบบระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์และระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัด
- 2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของระบบคอลัมน์สเปรย์และศึกษาผลของระบบต่อปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนือยาสกิม
- 3) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของระบบปฏิกรณ์แก๊สบำบัดในการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สร้างระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและปฏิกรณ์แก๊สบำบัดสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย
- 2) หาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางโดยใช้คอลัมน์สเปรย์

3) หาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำซีรัมในปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ

4) ทดสอบการกำจัดแก๊สแอมโมเนียที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์โดยใช้ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบ

5) ศึกษาการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนือยในหางน้ำยางเพื่อผลิตยางสกิม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1) ได้สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางและอากาศเสีย

2) ลดค่าใช้จ่ายและปัญหาสิ่งแวดล้อมของโรงงานผลิตน้ำยางข้น

3) ได้แนวทางการออกแบบระบบในการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางและการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ถูกกำจัดออกจากหางน้ำยางสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น

4) ได้รับความรู้และประสบการณ์จากการทำวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์และเผยแพร่แก่ผู้อื่น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางสด (Fresh latex) เป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม (Milky) ที่ได้จากการกรีดยางพารามีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็กๆ เรียกว่า อนุภาคยาง (Rubber particles) ขนาด 0.05-0.5 ไมครอนรูปร่างกลมแขวนลอย (Suspended) อยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว (Serum) มีสภาพเป็นคอลลอยด์ (colloid) pH ประมาณ 6.5-7.0 ความหนืด 12-15 เซนติพอยส์โดยอนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวจะมีประจุเป็นลบ (Negative charge) ผลักกันอยู่ตลอดเวลา และมีความถ่วงจำเพาะ 0.92 ซึ่งเบากว่าส่วนที่เป็นตัวกลางที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.02 แต่การที่อนุภาคยางไม่ลอยอยู่บนผิวหน้าของตัวกลางเพราะแรงผลักรังกันและกันของประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันทำให้อนุภาคยางเคลื่อนที่ไร้อทิศทาง (Browning) อยู่เสมอ เมื่อเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ที่มีประจุบวก (Positive charge) จะทำให้อนุภาคยางจะหยุดการเคลื่อนที่เนื่องจากประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์ (Isoelectric point) และเกิดการจับตัวเป็นก้อนลอยบนผิวของน้ำซึ่งมีส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน

1) ส่วนที่เป็นน้ำยาง (Rubber hydrocarbon) ประมาณ 35% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ฤดูกาล และกรรมวิธีการกรีดยาง โดยองค์ประกอบเนื่อภายในน้ำยางสดแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบเนื่อภายในน้ำยางสด

องค์ประกอบเนื่อภายในน้ำยางสด	%โดยน้ำหนัก
ยาง	86
น้ำ	10
สารประเภทไขมัน	3
สารประเภทโปรตีน	1

ที่มา: <http://www.aopdr01.doae.go.th/aopdr01/latex.htm> (22/7/2557)

2) ส่วนที่เป็นของแข็งที่ไม่ใช่ยาง (Nonrubber solid) ในน้ำยางสดมีประมาณ 65% องค์ประกอบแสดงได้ดังตารางที่ 2-2 โดยสารในส่วนนี้มีทั้งที่อยู่ในรูปของสารละลายและสารแขวนลอย องค์ประกอบเหล่านี้ทำให้ส่วนที่เป็นน้ำในน้ำยางสดกลายเป็นน้ำที่ไม่บริสุทธิ์เรียกว่าซีรัม (Serum) มีความถ่วงจำเพาะ 1.02

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางในน้ำยางสด

องค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางในน้ำยางสด	%โดยน้ำหนัก
น้ำหรือซีรัม (Serum)	55
ลูโตยด์และสารอื่นที่เรียกว่าอนุภาคเฟรยวีสลิง (Frey wyssling)	10

ที่มา: <http://www.aopdr01.doae.go.th/aopdr01/latex.htm> (22/7/2557)

น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางจะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางขณะกรี๊ดยางจะลงไปในน้ำยางและกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) เริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงลดลง ดังนั้นน้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ ซึ่งสังเกตได้จากน้ำยางจะค่อย ๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นจนน้ำยางสูญเสียสภาพโดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นซีรัม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงมีการใส่สารเคมีลงไปในน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ โพร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น เพื่อที่รักษาน้ำยางไม่ให้เสียสูญเสียสภาพ ซึ่งโดยทั่วไปเกษตรกรชาวสวนยางจะนำแอมโมเนียเหลวเติมลงในน้ำยางสดหลังจากที่กรี๊ดได้จากต้นยางพาราก่อนส่งขายให้กับผู้รับซื้อน้ำยางหรือโรงงานผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางข้น คือน้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content: DRC) ไม่น้อยกว่า 60% โดยน้ำหนัก ในขณะที่น้ำยางสดมีเนื้อยางแห้งประมาณ 35% โดยน้ำหนักจึงไม่สะดวกต่อการขนย้ายเพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ และถ้าใช้น้ำยางสด ไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดีดังนั้นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางจึงต้องการน้ำยางข้นมาใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตน้ำยางข้น คือน้ำยางสด เกษตรกรชาวสวนยางจะกรี๊ดน้ำยางสดจากต้นยางแล้วรักษาสภาพน้ำยางสดไม่ให้จับตัวเป็นก้อนด้วยการเติมแอมโมเนียและ TMTD/ZnO (Tetra Methyl Thiuram Disulphide/Zinc oxide) แล้วบรรจุลงถังหรือรถบรรทุกเพื่อ

ส่งไปขายให้กับโรงงานผลิตน้ำยางข้นก่อนจะเทน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางของโรงงาน โดยทางโรงงานจะเก็บตัวอย่างน้ำยางสดเพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้งและหาปริมาณแอมโมเนีย สำหรับคำนวณเงินที่จะจ่ายให้กับเกษตรกรชาวสวนยาง ในการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต ทางโรงงานต้องเติมแอมโมเนียให้น้ำยางสดใหม่ในบ่อรับน้ำยางให้มีปริมาณมากกว่า 0.40% โดยน้ำหนักและถ้าน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านกลศาสตร์ของน้ำยาง (Mechanical stability time: MST) จะต้องเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Diammonium hydrogen phosphate: DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นจีแป็ง (Sludge) เมื่อปรับสภาพน้ำยางสดได้ตามต้องการแล้วจึงนำน้ำยางสดเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งสามารถทำได้ด้วยวิธีปั่นแยก (Centrifuging) ด้วยเครื่องปั่นแยก (Centrifuge) ความเร็วสูงเพราะทำได้เร็วและน้ำยางข้นที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นด้วย

2.1.2 การผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีการปั่นแยก

การผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีการปั่นแยกจะแยกเอาส่วนที่ไม่ใช่ยาง ซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่เป็นของแข็ง (Non rubber solid) ออกจากส่วนที่เป็นยางโดยใช้เครื่องปั่นแยก ที่มีความเร็วรอบประมาณ 7,000–8,000 รอบ/นาที หลังการหมุนเหวี่ยงแล้วน้ำยางจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือน้ำยางข้น (Concentrated latex) และหางน้ำยาง (Skim latex) โดยกระบวนการผลิตน้ำยางข้นด้วยกระบวนการปั่นแยกแสดงผังรูปที่ 2-1 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การรับน้ำยางสด น้ำยางสดจะถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัวด้วยแอมโมเนียและ TMTD/ZnO และถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสด จากนั้นน้ำยางสดจะไหลจากรางรับน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางสด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดกลิ่นเหม็นของไอระเหยแอมโมเนียเนื่องจากการฟุ้งกระจายของแอมโมเนียระหว่างการถ่ายน้ำยางสด

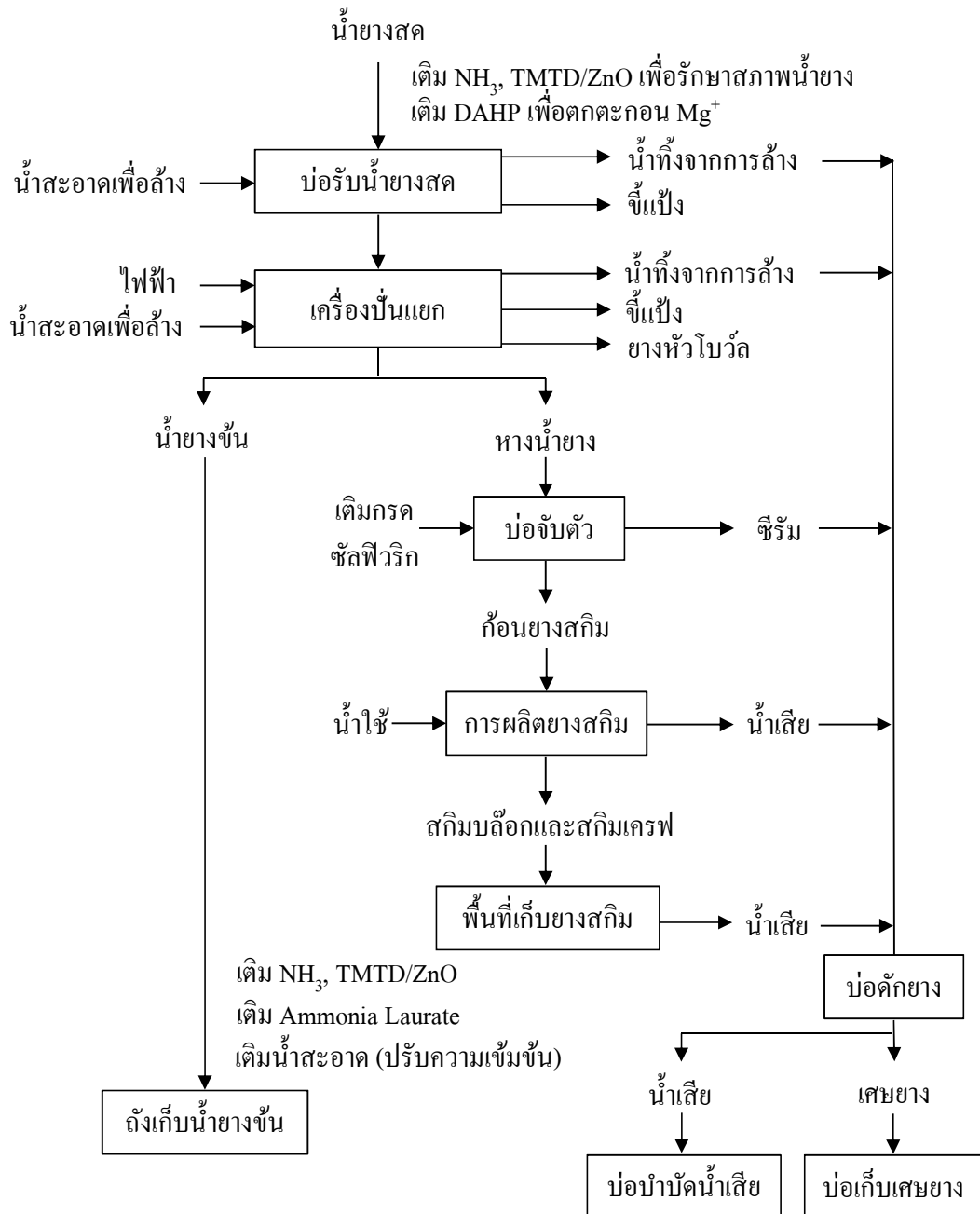
2) การเตรียมน้ำยางสด ต้องมีการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อกระบวนการปั่นแยกโดยปริมาณแอมโมเนียต้องมากกว่า 0.40% โดยน้ำหนัก มีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm และเมื่อปั่นแล้วไม่ควรเกิน 20 ppm ปริมาณกรดไขมันระเหยไม่ควรเกิน 0.05% โดยน้ำหนัก หากเกินให้นำไปผสมใหม่กับน้ำยางสด

3) การปั่นแยกอาศัยหลักการ คือ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยส่วนอนุภาคของยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในซีรัม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าซีรัมจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian movement) ซึ่งอัตราการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นการปั่นแยกจะช่วยเพิ่มแรง

ดึงดูดและเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนซีรัม ในการปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ น้ำยางข้นและหางน้ำยาง โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60% โดยน้ำหนักซึ่งน้ำยางข้นที่ผลิตได้จะถูกเติมสารรักษาสภาพตามความต้องการของลูกค้า เช่น น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia: HA) จะเติมให้น้ำยางข้นมีปริมาณแอมโมเนีย 0.70% โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia: LA) จะเติมให้น้ำยางมีปริมาณแอมโมเนีย 0.20% โดยน้ำหนัก และเติม TMTD/ZnO เป็นสารช่วยรักษาสภาพควบคู่ไปด้วย แต่บางแห่งน้ำยางข้นที่ปั่นแยกได้มีความเข้มข้นมากเกินไปเวลาเก็บก็จะผสมน้ำลงไปเพื่อให้เจือจางลง

2.1.3 กระบวนการผลิตยางskim (Skim rubber)

หลังกระบวนการปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยางเป็นผลผลิตพลอยได้ ซึ่งมีแอมโมเนียปนเปื้อนประมาณ 0.30-0.40% โดยน้ำหนัก หางน้ำยางจึงถูกนำไปไล่แอมโมเนียออกเพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกจับตัวเนื้อยางที่เหลืออยู่ในหางน้ำยางสำหรับผลิตสกินบล็อก (Skim block) และยางสกินเครพ (Skim crepe) ซึ่งขั้นตอนการผลิตยางสกินแสดงได้รูปที่ 2-1 ถ้าหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูง จะต้องใช้กรดในการจับตัวเนื้อยางเป็นปริมาณมาก ดังนั้นโรงงานผลิตน้ำยางข้นจึงมีการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยการปล่อยให้หางน้ำยางไหลผ่านรางเปิดหรือใช้เครื่องกวาดให้แอมโมเนียเหลือประมาณ 0.20% โดยน้ำหนัก ในกระบวนการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยางทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของไอระเหยแอมโมเนียและปนเปื้อนในอากาศ ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานในโรงงาน ชุมชนรอบข้าง และสิ่งแวดล้อมโดยคุณสมบัติของหางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นแสดงได้ดังตารางที่ 2-3



รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและหางน้ำยางด้วยกระบวนการปั่นแยก

(กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติของหางน้ำจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

Reference	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TKN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	SS (mg/L)
วีระชาติ (2551)	9.02	-	-	-	338	-	6,381
Tekasakulและคณะ(2006)	6.30	11,830	-	750	-	-	8,000
Sompitและคณะ(2008)	9.39-10.00	12,568-29,313	83,283-288,288	2,206-5,900	1,736-3,461	12.76-41.99	1,000-4,200
Thongmakและคณะ(2009)	9.55±0.21	-	179,682±31,891	1,372±930	-	61±34.75	-

2.1.4 น้ำซีรัม (Skim serum)

น้ำซีรัมเป็นน้ำทิ้งที่ได้จากการจับตัวเนื้อมายางสกิม (Skim rubber) ในทางน้ำยาง ซึ่งถ้าปริมาณแอมโมเนียในทางน้ำยางมากจำเป็นต้องใช้กรดซัลฟูริกมากขึ้น เพราะส่วนหนึ่งของกรดต้องทำปฏิกิริยาสะเทินกับแอมโมเนียในทางน้ำยาง น้ำทิ้งจากการจับตัวเนื้อมายางจึงมีกรดซัลฟูริกปนเปื้อนอยู่มากทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีปัญหาเรื่องปริมาณของซัลเฟตสูงดังนั้นเมื่อน้ำซีรัมถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เป็นบ่อปิดของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นก็จะเกิดกลิ่นเหม็นจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือแก๊สไข่เน่าที่รบกวนโรงงานและชุมชนรอบข้างโดยคุณสมบัติของน้ำซีรัมแสดงได้ดังตารางที่ 2-4 ด้วยความเป็นกรดของน้ำซีรัมที่ส่งต่อระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ทางโรงงานต้องเติมสารเคมีบางชนิดลงไปใต้น้ำซีรัม เพื่อปรับสภาพน้ำซีรัมให้มีฤทธิ์เป็นกลาง แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเติมสารเคมีลงไปใต้น้ำซีรัมทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูงดังนั้นถ้าทางโรงงานสามารถนำน้ำซีรัมที่เป็นน้ำเสียมีฤทธิ์เป็นกรดกลับมาใช้ประโยชน์ก็จะช่วยลดภาระการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้ เช่น การนำน้ำซีรัมมาใช้เป็นสารดูดซับอากาศเสียที่มีแอมโมเนียปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตต่างๆ ภายในโรงงานและจากงานวิจัยของนฤมล (2551) และ ณัฐพันธ์และคณะ (2555) พบว่าใต้น้ำซีรัมมีส่วนประกอบของธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืชหลายชนิดเช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โซเดียม (Na) เป็นต้น ซึ่งหากมีวิธีการที่เหมาะสมในการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมายางสกิมมาใช้ประโยชน์กับพืชได้ เช่น การใช้เป็นปุ๋ยส่งผลต่อการสร้างมูลค่าจากผลผลิตพลอยได้ (By product) รวมทั้งช่วยแก้ปัญหามลพิษทางน้ำที่จะเกิดขึ้นจากโรงงานผลิตน้ำยางชั้นด้วย

ตารางที่ 2-4 คุณสมบัติของน้ำซีรัมจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

Reference	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TKN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	Sulfate (mg/L)	SS (mg/L)
กัลยา (2540)	4.77	13,670	32,690	4,620	-	-	2,850
จันทิมา และคณะ(2549)	3.00-5.00	22,000	-	3,000-4,000	-	-	-
วีระชาติ (2551)	3.86	-	-	-	353.03	8,247.45	1,077.78
คุณัญญา (2554)	2.00-4.10	5,000-12,510	25,000-35,000	350-500	406-2,834	25,00-5,000	787-2,000
ณัฐพันธ์ และคณะ (2555)	4.32-4.44	8,910-17,980	13,401-32,609	563-801	287-557	4,947-9,731	615-785
Tekasakul และคณะ (2006)	4.8	13,760	32,690	13,760	-	-	42,550
Danteravanich และคณะ (2007)	2.82-5.15	9,116-16,410	11,022-26,052	456-3,458	406-2,834	-	300-1,320
Sompit และคณะ (2008)	2.82-5.15	9,116-16,410	11,022-26,052	456-3,458	406-2,834	-	300-1,320
Abraham และคณะ (2009)	3.6	27,650	38,800	7,000	5,000	-	-
Kongjan และคณะ (2014)	4.97±0.21	-	35,830±1,700	5,180±180	-	3,580±130	-

2.1.5 สรุป

การรักษาสภาพน้ำยางสดสำหรับการผลิตน้ำยางข้นทำได้โดยการเติมสารละลายแอมโมเนียส่งผลให้หางน้ำยางซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากการผลิตน้ำยางข้นด้วยกระบวนการปั่นแยกมีแอมโมเนียปนเปื้อน 0.30-0.40% โดยน้ำหนักการผลิตยางสกิมจากหางน้ำยางต้องมีการกำจัดแอมโมเนียก่อนใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นและได้น้ำซีรัมเป็นน้ำเสีย หากปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางมีความเข้มข้นสูง จะต้องใช้กรดซัลฟูริกปริมาณมากในการจับตัวยางสกิม ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นและยังทำให้น้ำซีรัมมีกรดซัลฟูริกปนเปื้อนอยู่มากทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีปัญหาเรื่องปริมาณของซัลเฟตสูงและเกิดกลิ่นเหม็นจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางเพื่อลดต้นทุนการผลิตและปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อ

2.2 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ปัญหาสิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น คือ กลิ่นเหม็นจากไอระเหยแอมโมเนียและน้ำเสียจากการใช้กรดซัลฟูริกจับตัวเนื้อยางทำให้คุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่า pH ต่ำ และมีปริมาณซัลเฟต (Sulfate: SO_4^{2-}) สูง สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้คือ บ่อหมักไร้อากาศ แต่ยังคงก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นที่เกิดจากองค์ประกอบของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 มลพิษทางอากาศและกลิ่น

มลพิษทางอากาศและกลิ่นในโรงงานผลิตน้ำยางข้นส่วนใหญ่เป็นกลิ่นจากไอระเหยแอมโมเนียและระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ซึ่งสามารถแสดงแหล่งที่มาและแนวทางการควบคุมมลพิษทางอากาศและกลิ่นได้ดังต่อไปนี้

1) แหล่งที่มาหลักๆ ของกลิ่นแอมโมเนียจะมาจากการเตรียมสารละลายแอมโมเนีย การหกลั่นระหว่างการถ้ายสารละลายแอมโมเนียจากถังบรรจุของโรงงานลงสู่ถังของเกษตรกรการถายน้ำยางสดจากรถบรรทุกสู่อัฒบัน้ำยางสด การปั่นแยก และระบบไล่แอมโมเนียเพื่อผลิตยางสกิม (Skim rubber) ซึ่งแหล่งที่มาและแนวทางการแก้ปัญหาจากไอระเหยแอมโมเนียแสดงได้ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 แหล่งที่มาและแนวทางการแก้ปัญหากลิ่นจากไอระเหยแอมโมเนียของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น

แหล่งที่มาของไอระเหยแอมโมเนีย	แนวทางการควบคุมไอระเหยแอมโมเนีย
<p>การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย</p> <p>โรงงานซื้อแอมโมเนียมาในรูปของแก๊สแล้วนำมาผสมกับน้ำเพื่อให้ได้เป็นสารละลาย ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้แอมโมเนียระเหยออกจากสารละลายได้ง่ายเกิดการสูญเสียแอมโมเนียและการฟุ้งกระจายของไอระเหยแอมโมเนีย</p>	<p>เติมแก๊สแอมโมเนียผสมน้ำอย่างช้าๆ และสร้างปลอกน้ำหล่อเย็นหุ้มถังสารละลายแอมโมเนียเพื่อลดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการละลายของแอมโมเนีย</p>
<p>การรับน้ำยางสด</p> <p>ในการถ่ายเทน้ำยางสดจากรถบรรทุกลงสู่รางรับน้ำยางสด จะมีการฟุ้งกระจายของไอระเหยแอมโมเนีย</p>	<p>ติดตั้งตะแกรงกรองแบบลาดชัน การติดตั้งรางรับน้ำยางสดแบบรางปิด การเพิ่มความยาวท่อถ่ายน้ำยางสดจากรถบรรทุกเกษตรกรให้ยาวจนถึงตะแกรงสามารที่จะควบคุมกลิ่นแอมโมเนียได้</p>
<p>การปั่นแยก</p> <p>การปั่นแยกน้ำยางเพื่อผลิตน้ำยางชั้นและได้หางน้ำยางเป็นผลผลิตพลอยได้ซึ่งในขณะปั่นแยกจะเกิดการฟุ้งกระจายของไอระเหยแอมโมเนีย</p>	<p>จัดบริเวณห้องปั่นยางให้มีการถ่ายเท สามารถหมุนเวียนอากาศได้ดี และบำบัดอากาศเสียที่เกิดจากเครื่องปั่นแยก โดยการรวบรวมอากาศที่ออกจากเครื่องปั่นยางด้วยระบบท่อดูดและบำบัดด้วยเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet scrubber)</p>
<p>ระบบกำจัดแอมโมเนีย</p> <p>ในการผลิตยางสกิมต้องมีการลดปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางโดยให้หางน้ำยางไหลผ่านรางเปิดหรือเครื่องกวน ซึ่งจะมีการฟุ้งกระจายของไอระเหยแอมโมเนีย</p>	<p>สร้างหอกำจัดแอมโมเนีย เช่น คอลัมน์สเปรย์เพื่อลดปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยาง และบำบัดอากาศที่ออกจากหอกำจัดแอมโมเนียด้วยเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก</p>

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548

2) กลิ่นเหม็นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียเป็นกลิ่นจากแก๊สที่มีองค์ประกอบของสารประกอบซัลเฟอร์ (S) และไนโตรเจน (N) ซึ่งมาจากน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และน้ำชีวมที่มีระยะเวลาที่เก็บนานทำให้เกิดปฏิกิริยาจากการหมักของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นจึงควรควบคุมเวลาในการกักเก็บน้ำชีวมให้อยู่ในช่วงระยะที่สั้นและคำนึงถึงสถานที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานให้ห่างจากชุมชน เพื่อที่จะได้ไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนและความรำคาญต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงโรงงาน

2.2.2 น้ำเสีย (Wastewater)

น้ำเสียส่วนใหญ่ใน โรงงานผลิตน้ำยางข้นมาจากกระบวนการผลิตยางสกิม (Skim rubber) เพราะในกระบวนการผลิตยางสกิมจะเกิดน้ำชีวม ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ได้จากการจับเนื้อมาย ในทางน้ำยางที่มีสภาพเป็นกรดและมีปริมาณซัลเฟตสูง น้ำชีวมจะถูกปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ซึ่งส่งกลิ่นเหม็นภายในโรงงานและชุมชนรอบข้างและส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน (Methane producing bacteria: MPB) ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ดังนั้นถ้าสามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียลงได้ก็จะลดการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในแก๊สชีวภาพ ซึ่งแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการอบยางและผลิตกระแสไฟฟ้าไว้ใช้ภายในโรงงานอีกด้วย

2.2.3 สรูป

ปัญหาสิ่งแวดล้อมหลักๆ ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นคือ มลพิษทางอากาศจากกลิ่นของไอระเหยแอมโมเนียและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสกิม ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางโดยใช้น้ำและน้ำชีวมซึ่งเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสกิมเป็นสารดูดซึม ซึ่งการใช้น้ำชีวมเป็นสารดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียสามารถลดความกรดของน้ำเสียลงได้จากการเกิดปฏิกิริยาสะเทินกรดเบสในระหว่างการกำจัดทำให้น้ำชีวมมีความเป็นกลางจึงช่วยลดภาระการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียได้

2.3 แอมโมเนีย (Ammonia: NH_3)

แอมโมเนียเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ประกอบด้วยไนโตรเจน (N) และไฮโดรเจน (H) เมื่อแอมโมเนียอยู่ในสถานะแก๊สจะเป็นแก๊สพิษที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงสามารถถ่ายโอน (Transfer) สู่บรรยากาศ น้ำดิน และเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ง่าย เมื่อเกิดการรั่วไหลแก๊ส

แอมโมเนียจะรวมตัวกับความชื้นในอากาศทำให้เกิดเป็นหมอกควันสีขาวของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) และเมื่อแอมโมเนียอยู่ในสถานะของเหลวจะเรียกว่าสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia solution) หรือแอมโมเนียเหลว (Liquid ammonia) การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียในน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) โดยคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแอมโมเนียแสดงได้ดังตารางที่ 2-6 และ 2-7ตามลำดับ

ตารางที่ 2-6 คุณสมบัติทางกายภาพของแอมโมเนีย

คุณสมบัติทางกายภาพ	รายละเอียด
มวลโมเลกุล	17.03
สี	ไม่มีสี
กลิ่น	กลิ่นฉุน
สถานะทางกายภาพ	แก๊ส (ที่อุณหภูมิห้อง)
จุดหลอมเหลว	-77.7°C
จุดเดือด	-33.35°C
ความหนาแน่น (แก๊ส)	569 kg/m^3
ความหนาแน่น (ของเหลว)	682 kg/m^3
ความดันไอ	888 kPa

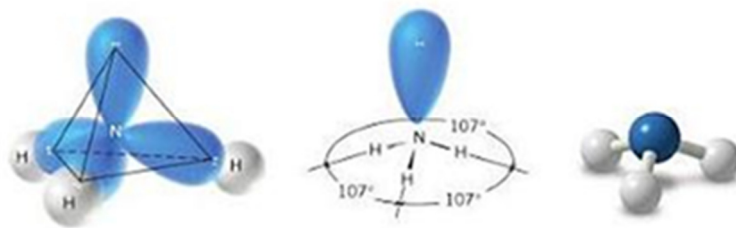
ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติทางเคมีของแอมโมเนีย

คุณสมบัติทางเคมี	รายละเอียด
สูตรเคมี	NH_3
ความเป็นเบส	เบสอ่อน
การละลาย	ละลายน้ำได้ดี
การกัดกร่อน	กัดกร่อนโลหะบางชนิด
การเกิดปฏิกิริยา	เกิดปฏิกิริยาก่อนข้างเร็ว
การระเหย	เพิ่มขึ้นตามค่า pH

ที่มา: <http://www.slideshare.net/brandonhardwicke/properties-of-ammonia> (23/4/2014)

2.3.1 รูปร่างโมเลกุลของแอมโมเนีย

โมเลกุลของแอมโมเนียมีลักษณะเป็นทรงสี่หน้า (Tetrahedron) หรือเรียกว่าพีระมิดฐานสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2-2 โดยมีไนโตรเจน (N) เป็นอะตอมกลางใช้อิเล็กตรอนสร้างพันธะกับไฮโดรเจน (H) 3 พันธะแล้วยังเหลือเวเลนต้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone electron pair) 1 คู่ ดังนั้นโมเลกุลของแอมโมเนียจะมีรูปร่างไม่สมมาตร ซึ่งจากข้อสมมติฐานของทฤษฎี VSEPR รูปร่างโมเลกุลจะมีลักษณะเป็นไดโพล (Dipole) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ดังนั้นแอมโมเนียจึงละลายในน้ำได้ดีมาก อะตอมไนโตรเจนในโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวทำให้แอมโมเนียมีฤทธิ์เป็นเบสในสารละลายน้ำ (Aqueous solution) ที่เป็นกรดหรือกลางแอมโมเนียสามารถจะมีพันธะกับไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำ (H_2O) แล้วเกิดเป็นประจุบวกของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งรูปร่างปกติทรงสี่หน้าของแอมโมเนียมไอออนจะขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย



รูปที่ 2-2 รูปร่างโมเลกุลของแอมโมเนีย

ที่มา: <http://chemistry.tutorvista.com/inorganic-chemistry/nh3-molecular-geometry.html>

(24/04/2014)

2.3.2 อันตรายจากแอมโมเนีย

เมื่อร่างกายสัมผัสกับแก๊สแอมโมเนียจะเกิดการระคายต่อผิวหนังสัมผัส มีอาการแสบร้อนของผิวหนัง แสบตา และเมื่อสูดดมเข้าไปจะทำให้เยื่อจมูกถูกทำลาย มีอาการไอ เจ็บคอ แน่นหน้าอก หายใจไม่สะดวก ส่วนกรณีที่รับประทานสารละลายแอมโมเนียเข้าไปจะทำให้เกิดการอักเสบของเซลล์เยื่อหลอดอาหาร กระเพาะอาหารลำไส้ การสัมผัสแอมโมเนียในระดับความเข้มข้นสูงๆ มีผลต่อระบบประสาทส่วนล่าง ถ้าได้รับในปริมาณมากทำให้เสียชีวิตได้ทันที ระดับอันตรายของแอมโมเนียแสดงดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 ระดับอันตรายของแอมโมเนีย

ความเข้มข้น ของ NH ₃ ppmv	ผลกระทบต่อร่างกาย	ระยะเวลาที่สัมผัส
25	คนส่วนใหญ่เริ่มได้กลิ่น	ทนได้มากที่สุด 8 ชั่วโมง
100	ไม่ส่งผลร้ายต่อร่างกาย ระคายเคืองเล็กน้อย	สัมผัสเป็นเวลาไม่นาน
400	ระคายเคืองจมูกและลำคอ	30 นาที-1 ชั่วโมง
700	ระคายเคืองดวงตา	30 นาที-1 ชั่วโมง
1,700	เกิดอาการชัก ระคายเคืองตาและจมูกรุนแรง	อาจจะเสียชีวิตถ้าได้รับเกิน 30 นาที
2,000-5,000	ระคายเคืองคอ ปวดแสบที่ลำคออย่างรุนแรง	อาจจะเสียชีวิต ถ้าได้รับเกิน 15 นาที
5,000-10,000	เกิดอาการเกร็งของระบบทางเดินหายใจ	อาจจะเสียชีวิต ภายใน 2-3 นาที

ที่มา: <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/82-แอมโมเนีย-แก๊สพิษที่ควรหาแนวทางรับมือ> (19/06/57)

2.3.3 การใช้แอมโมเนียในโรงงานผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางสด (Fresh latex) หลังกรีตออกจากต้นจะคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมงเพราะแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้น้ำยางเกิดการเสียสภาพอนุภาคยางรวมตัวกันเป็นก้อนและเกิดการบูดเน่ามีกลิ่นเหม็น โรงงานผลิตน้ำยางข้นจึงใช้แอมโมเนียในการรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิต ทั้งในส่วน
ของน้ำยางสดก่อนการแปรรูปและน้ำยางข้นหลังการแปรรูปจากการใช้แอมโมเนียในปริมาณมากและความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดการตกค้างของแอมโมเนียในหางน้ำยางซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้ และเกิดการระเหยของไอแอมโมเนียออกจากกระบวนการต่างๆของขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้น โดยบริเวณต่างๆ ของโรงงานผลิตน้ำยางข้นจะมีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่เท่ากันซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในพื้นที่ของโรงงานน้ำยางชั้น

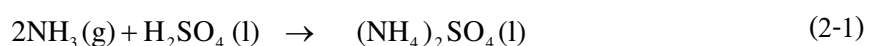
จุดเก็บตัวอย่าง	ระดับความเข้มข้นแอมโมเนียในอากาศ (ppmv)
หน้าโรงงาน	0
ใกล้กับถังสารละลายแอมโมเนีย	15.4
ใกล้กับถังรับน้ำยางสด	79.4
ห้องปั่นยาง	94.8
ใกล้ถังพักน้ำยาง	229.5
ใกล้หอไล่แอมโมเนีย	56.0
บริเวณข้างเคียงโรงงาน	5.3

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548

2.3.4 ปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนีย (NH₃) กับกรดซัลฟูริก (H₂SO₄)

กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid: H₂SO₄) จะถูกใช้ในปริมาณมากสำหรับโรงงานผลิตน้ำยางชั้น โดยเฉพาะการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวของเนื้อยางในขั้นตอนการผลิตยางสกิมจากหางน้ำยาง เนื่องจากในหางน้ำยางมีแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงผสมอยู่เพื่อรักษาสภาพของน้ำยางสด ซึ่งปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางคือ ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางมากจะต้องเติมปริมาณกรดซัลฟูริกมากด้วยดังนั้นปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกจึงต้องมีมากพอที่จะใช้ในการสะเทิน (Neutralization) ความเป็นด่างของแอมโมเนีย ซึ่งส่วนใหญ่โรงงานจะมีการเติมกรดซัลฟูริกในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อให้ยางจับตัวได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้น้ำซีรัมซึ่งเป็นของเหลวที่เหลือจากการแยกเนื้อยางออกมีความเป็นกรดสูง

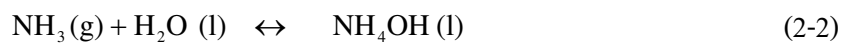
แอมโมเนียทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate: (NH₄)₂SO₄) ดังแสดงในสมการ (2-1) ซึ่งนิยมใช้เป็นสารประกอบเคมีในการทำปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตมีคุณสมบัติเป็นกรดและช่วยเพิ่มความสมดุลของ pH ให้กับดิน



2.3.5 ปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนีย (NH₃) กับน้ำ (H₂O)

แอมโมเนียเป็นเบสอ่อนที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ ซึ่งแอมโมเนียสามารถอยู่ใน 2 รูปแบบคือ แอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺) และแอมโมเนีย (NH₃) แสดง

ได้ตั้งสมการที่ (2-2) โดยสัดส่วนระหว่างแอมโมเนียมไอออนและแอมโมเนียจะเปลี่ยนแปลงเร็วมากขึ้นอยู่กับ pH และอุณหภูมิ เมื่อน้ำอยู่ในสถานะที่เป็นกรด แอมโมเนียส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน ในทางตรงกันข้ามเมื่อน้ำอยู่ในสถานะที่เป็นเบส แอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียที่ pH=11.5 หรือสูงกว่า แก๊สแอมโมเนียจะละลายน้ำโดยไม่มีการแตกตัว โดยจะอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระ (Free ammonia) และที่อุณหภูมิสูงจะทำให้แอมโมเนียอยู่ในรูปของแอมโมเนียและที่อุณหภูมิต่ำอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน



2.3.6 สรุป

แอมโมเนียเป็นสารเคมีที่มีอันตรายเมื่อร่างกายสัมผัสกับสารละลายแอมโมเนียจะเกิดอาการแสบร้อนระคายเคือง และเมื่อสูดดมเข้าไปทำให้แน่นหน้าอกหายใจไม่สะดวก การสัมผัสแอมโมเนียในระดับความเข้มข้นสูงๆ ปริมาณมากทำให้เสียชีวิตได้ทันทีจากการใช้แอมโมเนียเติมลงในน้ำยางสดปริมาณมากและความเข้มข้นสูงเพื่อรักษาสภาพน้ำยางสด ทำให้เกิดการตกค้างของแอมโมเนียในทางน้ำยางและเกิดการระเหยของไอแอมโมเนียออกจากกระบวนการต่างๆ ของขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้นโดยแอมโมเนียที่ปนเปื้อนอากาศเสียสามารถกำจัดได้ด้วยการดูดซึมผ่านน้ำและน้ำชีรั่ม ทำให้แก๊สแอมโมเนียที่ถูกดูดซึมด้วยน้ำเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่สามารถนำกลับมาใช้งานในโรงงานผลิตน้ำยางชั้นได้และแก๊สแอมโมเนียที่ถูกดูดซึมด้วยน้ำชีรั่มซึ่งมีการปนเปื้อนของกรดซัลฟูริกเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ที่นิยมใช้เป็นสารประกอบในการทำปุ๋ย

2.4 กระบวนการดูดซึมแก๊ส (Gas absorption)

การดูดซึมอาศัยหลักการการถ่ายโอนมวลสาร (Mass transfer) ของแก๊สที่มีความสามารถในการละลาย (Soluble gas) ออกจากกระแสอากาศไปยังตัวทำละลายที่เป็นของเหลว (Solvent liquid) การถ่ายโอนมวลสารจะเกิดขึ้นเนื่องจาก 2 เฟสนั้นมีความเข้มข้น (Concentration gradient) ที่ผิวของเหลวและแก๊สต่างกันเป็นแรงผลักดัน (Driving force) ให้เกิดการถ่ายโอนมวลสาร แรงผลักดันที่ใช้ในการผลักแก๊สที่ต้องการกำจัดออกมาจากกระแสอากาศไปสู่ตัวทำละลาย ได้แก่ ความแตกต่างของความดันย่อย (Partial pressure) ของแก๊สชนิดนั้นๆ ในกระแสอากาศที่ถูกปล่อยออกมา ความดันไอ (Vaporpressure) ของแก๊สที่ผิวหน้าของสารละลายที่สัมผัสกับแก๊ส การดูดซึมจะเกิดขึ้นเมื่อแรงผลักดันเป็นบวกคือ แก๊สจะออกจากกระแสอากาศไปสู่ตัวทำละลาย แต่ถ้าแรงผลักดันเป็นลบจะไม่

มีการดูดซึมเกิดขึ้น แต่สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการที่ตรงกันข้ามกับการดูดซึม คือดีซอร์ปชัน (Desorption) หรือสตรipping (Stripping) ได้แก่ กระบวนการที่แก๊สออกจากตัวทำละลายไปสู่กระแสอากาศซึ่งใช้ในการกำจัดสารมลพิษที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย (Wastewater) การดูดซึมจึงเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการกำจัดแก๊สชนิดสารอินทรีย์ โดยอัตราการดูดซึมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของแก๊ส เช่น การแพร่กระจาย อัตราการไหล ความเข้มข้น ความหนาแน่น และสถานะของตัวทำละลาย เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของของเหลว เป็นต้น

2.4.1 ประเภทของการดูดซึม

การดูดซึมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) การดูดซึมทางกายภาพ (Physical absorption) เกิดขึ้นเมื่อแก๊สที่ถูกดูดซึมละลายอยู่ในตัวทำละลายโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถูกดูดซึมทางกายภาพในตัวทำละลายโดยใช้กฎของเฮนรี (Henry's law) ทำให้การดูดซึมทางกายภาพนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิและความดันโดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดูดซึมได้ดีที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง (ชงไทย, 2554)

2) การดูดซึมทางเคมี (Chemical absorption) เกิดขึ้นเมื่อแก๊สที่ถูกดูดซึมละลายอยู่ในตัวทำละลายโดยมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นถูกใช้บ่อยเพื่อแยกหรือกำจัดตัวละลายจากแก๊สผสมได้อย่างสมบูรณ์ เช่น การใช้สารละลายกรดเจือจางในการกำจัดแอมโมเนียจากแก๊สหรือการใช้สารละลายเบสในการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระแสแก๊ส การเกิดปฏิกิริยาในเฟสของเหลวจะลดความดันส่วนสมดุลหรือโมลแฟรกชันของตัวทำละลายที่เกิดจากสารละลาย ซึ่งจะเพิ่มแรงขับเคลื่อนของการถ่ายโอนมวลอย่างมาก ข้อดีของการดูดซึมร่วมกับปฏิกิริยาเคมี คือ การเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลหรือการเพิ่มพื้นที่ระหว่างหน้าสัมผัส (Effective interfacial area) ที่มากขึ้น เนื่องจากการดูดซึมสามารถเกิดขึ้นได้ในส่วนที่เกือบจะอยู่นิ่ง (Static holdup) เช่นเดียวกับในส่วนของเหลวคั่งค้างพลวัต (Dynamic liquid holdup)

2.4.2 การเลือกชนิดของสารดูดซึม

การเลือกของเหลวเป็นสารดูดซึม (Absorbent) ให้เหมาะสมต้องพิจารณาผลของประสิทธิภาพการกำจัดและราคาของเหลว โดยทั่วไปมักใช้น้ำเป็นสารดูดซึม เนื่องจากแก๊สส่วนใหญ่สามารถละลายในน้ำได้ อีกทั้งน้ำยังสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก โดยสารดูดซึมที่ดีต้องสามารถละลายแก๊สที่ต้องการกำจัดออกจากกระแสอากาศได้ดีมีอัตราการระเหยต่ำเป็นสารที่ไม่กัด

กร่อนเครื่องมือราคาไม่แพงหาง่ายมีความหนืดต่ำและควรเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟมีจุดเยือกแข็งต่ำ

2.4.3 ระบบการดูดซึม

ระบบการดูดซึมแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

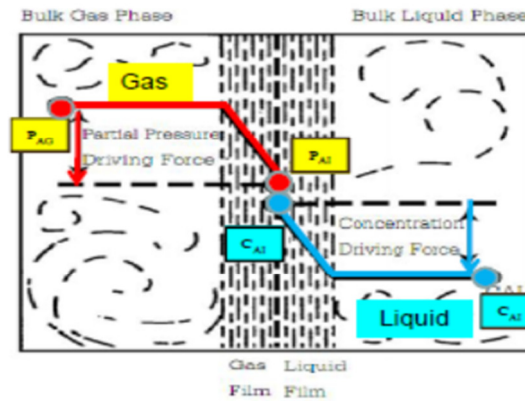
1) ระบบที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึม (Aqueous systems) แก๊สที่ต้องการกำจัดออกไปจะต้องมีความสามารถในการละลาย (Solubility) ในน้ำที่อุณหภูมิของกระแสะอากาศเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต สำหรับแก๊สที่มีความสามารถในการละลายในน้ำต่ำ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จะต้องใช้น้ำในการกำจัดเป็นปริมาณมากจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้น้ำในการกำจัด แก๊สที่เหมาะสมสำหรับใช้น้ำในการกำจัด ได้แก่ แก๊ส ไฮโดรคลอริก (HCl) และแก๊สไฮโดรฟลูออริก (HF) เป็นต้น และถ้ายังใช้น้ำที่มีค่า pH สูงหรือมีความเป็นด่างก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สที่มีคุณสมบัติเป็นกรดดังกล่าวให้สูงขึ้น ในบางครั้งจึงมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่มีค่า pH สูง หรือเติมสารเคมีที่มีความเป็นด่างลงในน้ำ เพื่อเพิ่มค่า pH ของน้ำให้สูงขึ้น เช่น การเติมโซดาไฟหรือปูนขาว เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีเท่านั้น

2) ระบบที่ไม่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึม (Nonaqueoussystem) จะใช้ของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ไดเมทิลอานาลีน (Dimethylaniline:DMA) และเอมีน (Amines) เป็นตัวทำละลายแทนน้ำ ข้อจำกัดของของเหลวหรือสารละลายเหล่านี้ คือ ต้องใช้กับกระแสะอากาศเสียที่มีสารมลพิษปนเปื้อนเป็นแก๊สล้วนๆ ไม่มีอนุภาคเจือปน เพราะถ้าหากว่ามีอนุภาคเจือปนอยู่ในกระแสะอากาศแล้วจะทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างตัวทำละลายกับอนุภาคกลายเป็นกากตะกอน (Sludges) ซึ่งยากที่จะกำจัดออกภายหลังสารละลายอินทรีย์นี้เหมาะสำหรับใช้ในการกำจัดไอของสารอินทรีย์ เพราะไอของสารอินทรีย์จะละลายและผสมกันได้ดีกับสารละลายเหล่านี้ และเมื่อต้องการนำไอของสารอินทรีย์เหล่านั้นมาใช้ใหม่ก็สามารถสกัดออกมาได้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานพวกไฮโดรคาร์บอน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากชนิดต่างๆ เช่น เฮกซะดีเคน (Hexadecane) ก็สามารถใช้ในการดูดซึมไอระเหยของสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ได้ดี

2.4.4 กลไกของการดูดซึม

การดูดซึมเป็นการถ่ายโอนมวลของแก๊สหรือไอที่เป็นสารมลพิษออกจากกระแสะอากาศไปสู่ตัวทำละลายแบบจำลองที่ใช้สำหรับอธิบายกลไกของกระบวนการดูดซึมคือทฤษฎีเยื่อ 2

ชั้น (Two films theory) โดยอธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายมวลที่มีอยู่ในสถานะแก๊สและของเหลว บริเวณระหว่างผิว 2 ส่วนคือส่วนของแก๊สและของเหลว ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น

ที่มา: www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-6.pdf

ทฤษฎีนี้สมมติว่าส่วนของแก๊สและของเหลวมีการผสมอย่างสมบูรณ์ ทำให้ผิวของส่วนที่เป็นแก๊สและของเหลวสัมผัสกัน และมีการถ่ายโอนมวลสารของสิ่งที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลว โดยการแพร่กระจายของโมเลกุลทะลุผ่านเยื่อที่กั้นระหว่างแก๊สกับของเหลวจนกระทั่งเข้าสู่จุดสมดุล จากรูปที่ 2-3 เมื่อการแพร่กระจายของโมเลกุลของสารเข้าสู่จุดสมดุลแล้วความเข้มข้นของมวลของสาร A ในสถานะแก๊สจะเปลี่ยนจาก P_{AG} เป็น P_{AI} ที่ผิวระหว่างเนื้อเยื่อทั้ง 2 ในทำนองเดียวกันความเข้มข้นของมวลของสารในสถานะของเหลวจะเปลี่ยนจาก C_{AI} เป็น C_{AL} อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายอธิบายได้โดยสมการที่ 2-3 และ 2-4

$$N_A = k_g (P_{AG} - P_{AI}) \quad (2-3)$$

$$N_A = k_l (C_{AI} - C_{AL}) \quad (2-4)$$

เมื่อ N_A = อัตราส่วนของการเคลื่อนย้ายของค้ประกอบของสาร A (กรัมโมล/ตารางเมตร-ชั่วโมง)

k_g = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสถานะแก๊ส (กรัมโมล/ตารางเมตร-ชั่วโมง)

k_l = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสถานะของเหลว (กรัม โมล/ตารางเมตร-ชั่วโมง)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล k_g และ k_i แสดงถึงค่าความต้านทานการไหลของสารดูดซึมที่พบว่ามีการกระจายทะลุผ่านผิวเนื้อเยื่อสมการทั้ง 2 จะมีความแตกต่างกันในการใช้งาน เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นที่ระหว่างเนื้อเยื่อทั้ง 2 ได้จึงมีการอธิบายการถ่ายโอนมวลที่สถานะสมดุลและมีการรวมค่าความต้านทานของแต่ละเนื้อเยื่อที่มีอยู่ทั้งหมดเข้าไปด้วย ซึ่งถ้าเส้นสมดุลเป็นเส้นตรงอัตราการดูดซึมถูกแสดงดังสมการที่ 2-5 และ 2-6

$$N_A = K_{OG} (P_{AG} - P_{A^*}) \quad (2-5)$$

$$N_A = K_{OL} (C_{A^*} - C_{AI}) \quad (2-6)$$

- เมื่อ P_{A^*} = ความดันที่จุดสมดุลของสารดูดซึม A
 C_{A^*} = ความเข้มข้นที่จุดสมดุลของสารดูดซึม A
 K_{OG} = ค่าสัมประสิทธิ์พื้นฐานของการถ่ายโอนมวลทั้งหมดในสถานะแก๊ส (กรัม/โมล/ตารางเมตร-ชั่วโมง)
 K_{OL} = ค่าสัมประสิทธิ์พื้นฐานของการถ่ายโอนมวลทั้งหมดในสถานะของเหลว (กรัม/โมล/ตารางเมตร-ชั่วโมง)

ที่จุดสมดุลค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลทั้งหมดจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลแต่ละตัวแสดงดังสมการที่ 2-7 และ 2-8

$$\frac{1}{K_{OG}} = \frac{1}{k_g} + \frac{H}{k_i} \quad (2-7)$$

$$\frac{1}{K_{OL}} = \frac{1}{k_i} + \frac{1}{H k_g} \quad (2-8)$$

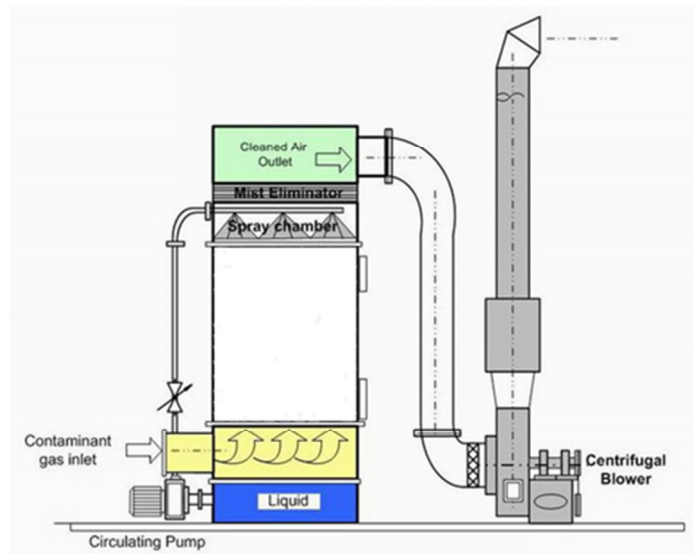
โดยที่ H เป็นค่าคงที่ของ Henry's law จากสมการถ้า H มีค่าน้อยมาก หมายถึงแก๊สสามารถละลายได้ดีในของเหลว ดังนั้น K_{OG} มีค่าใกล้เคียงกับ k_g และการดูดซึมหิ่งห้อยนั้นจะถูกควบคุมด้วยเยื่อแก๊สในทางตรงกันข้ามถ้า H มีค่ามากจะมีผลทำให้ K_{OL} มีค่าใกล้เคียงกับ k_i นั่นคือแก๊สละลายยากในของเหลวจะถูกควบคุมด้วยเยื่อของของเหลว ดังนั้นส่วนใหญ่ระบบการควบคุมมลพิษทางอากาศจะใช้ระบบควบคุมด้วยแก๊ส

2.4.5 สรุป

การดูดซึมแบ่งได้ 2 ประเภท คือ การดูดซึมทางกายภาพและการดูดซึมทางเคมี สารดูดซึมที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำเนื่องจากแก๊สปนเปื้อนส่วนใหญ่สามารถละลายในน้ำได้ สามารถหาได้ง่ายและราคาถูก ซึ่งการเลือกสารดูดซึมจะต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพ การกำจัดที่ต้องการในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านสารดูดซึมที่เป็นน้ำและน้ำซีรัม โดยอาศัยหลักการการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียออกจากกระแสอากาศไปยังสารดูดซึม ทำให้เกิดการดูดซึมทางเคมีระหว่างแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกับสารดูดซึม

2.5 คอลัมน์สเปรย์ (Spray column)

คอลัมน์สเปรย์เป็นอุปกรณ์ที่มีรูปแบบง่ายที่สุดสำหรับดูดซึมแก๊ส (Absorption) และกำจัดแก๊สด้วยอากาศ (Air stripping) โดยทั่วไปโครงสร้างจะมีรูปทรงกระบอกแนวตั้งหรือเป็นหอ (Tower) และถูกออกแบบให้อากาศไหลขึ้นจากด้านล่างสวนทางกับการฉีดพ่นละอองของเหลวด้วยหัวฉีด (Nozzle) ที่ไหลจากบนลงล่าง (Counter current flow) แสดงดังรูปที่ 2-4 ในการฉีดพ่นละอองของเหลวโดยทั่วไปจะใช้ชะล้างสารมลพิษที่ต้องการกำจัดออกจากกระแสอากาศไปสู่ของเหลวหรือไล่สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds) ออกจากตัวทำละลายไปสู่กระแสอากาศ ซึ่งการไล่จะอาศัยแรงผลักดันที่ใช้ในการผลักแก๊สที่ต้องการกำจัดออกมาจากกระแสอากาศไปสู่ตัวทำละลาย ได้แก่ ความแตกต่างของความดันย่อย (Partial pressure) ของแก๊สนั้นๆ ในกระแสอากาศที่ถูกปล่อยออกมากับความดันไอ (Vapor pressure) ของแก๊สที่ผิวหน้าของสารละลายที่สัมผัสกับแก๊ส โดยส่วนประกอบที่สำคัญของระบบคอลัมน์สเปรย์ประกอบด้วยพัดลมดูดอากาศ (Exhaust fan) ทำหน้าที่ดูดอากาศเสียเข้าและออกจากระบบปั๊ม (Circulation pump) ทำหน้าที่ดูดน้ำจากถังหมุนเวียนน้ำไปสู่หัวฉีดและพ่นเป็นละอองหัวฉีดสเปรย์ (Spray nozzle) ทำหน้าที่ฉีดน้ำให้ทั่วถึงอย่างสม่ำเสมอภายในคอลัมน์และถังหมุนเวียนน้ำ (Circulation tank) ทำหน้าที่เก็บกับน้ำไว้สำหรับหมุนเวียนใช้ในระบบ



รูปที่ 2-4 คอลัมน์สเปรย์

ที่มา: <http://www.greenandcleansolution.com> (26/08/2014)

2.5.1 กระบวนการกำจัดแก๊สในของเหลวด้วยคอลัมน์สเปรย์

การกำจัดแก๊สด้วยอากาศที่เป็นกระบวนการที่เพิ่มอัตราการระเหยของสารปนเปื้อนหรือของเสียอันตรายออกจากน้ำสู่บรรยากาศโดยการส่งอากาศผ่านของเหลวเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลสาร โดยของเหลวและอากาศจะวิ่งสวนทางกันทำให้สารอินทรีย์ระเหยเกิดการเคลื่อนย้ายจากสถานะของเหลวสู่อากาศ การเลือกระบบไล่อากาศต้องคำนึงจุดประสงค์ของสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดและข้อจำกัดของของเหลว เช่น การกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างไม่เหมาะสมสำหรับใช้คอลัมน์แบบแพ็ค (Packed column) และคอลัมน์แบบถาด (Tray column) เพราะอาจเกิดการอุดตันภายในระบบจากการจับตัวของเนื้อเยื่อเป็นต้นซึ่งหลักการทำงานของกระบวนการไล่ด้วยอากาศด้วยคอลัมน์สเปรย์มีดังต่อไปนี้

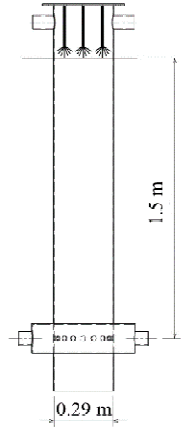
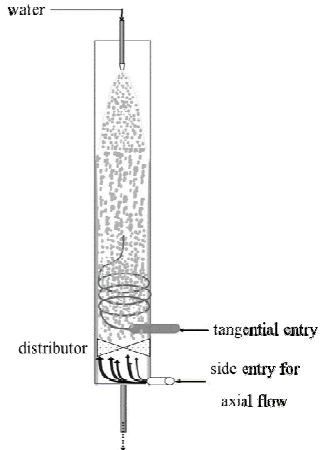
- 1) ของเหลวที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายละลายอยู่จะถูกทำให้เป็นฝอยและส่งเข้าทางด้านบนของระบบการไล่อากาศและไหลสวนทางกับกระแสอากาศ
- 2) อากาศจะถูกป้อนจากด้านล่างเพื่อให้ไหลสวนทางกับกระแสของเหลวที่ไหลผ่านระบบลงมา ทำให้อากาศและของเหลวสัมผัสกันมากยิ่งขึ้น จึงเกิดการระเหยของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในของเหลวได้ดีและถึงสมดุลเร็วขึ้นเพราะมีการกระจายตัวของของเหลวและอากาศ
- 3) ปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในของเหลวจะระเหยเข้าไปในอากาศได้ดีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (Temperature) ของของเหลวที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายละลายอยู่ ความเข้มข้นของ

สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในของเหลว และค่าคงที่สมดุลของสารอินทรีย์ที่สามารถละลายในอากาศ (Henry constant)

2.5.2 การติดตั้งคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดมลพิษ

การติดตั้งคอลัมน์สเปรย์สำหรับการกำจัดมลพิษต้องคำนึงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของคอลัมน์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน หากเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างและระดับความสูงของคอลัมน์สูงมากจะไม่เหมาะสมกับมุมกระจายละอองของเหลวของหัวสเปรย์ทำให้ฝอยละอองของเหลวกับอากาศสัมผัสกันได้น้อย ส่งผลให้คอลัมน์สเปรย์มีประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษต่ำการติดตั้งคอลัมน์สเปรย์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 การติดตั้งคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดมลพิษ

References	ลักษณะปฏิกรณ์	รูปประกอบ
Codolo และคณะ (2008)	คอลัมน์สเปรย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.29 เมตร และสูง 1.5 เมตร ด้านบนคอลัมน์ติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดน้ำทรงกรวยเต็มพื้นที่ (Fullcone spray nozzle) มุม 15 องศา 3 หัวเพื่อรองรับปริมาณของเหลวที่เพิ่มขึ้น อากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ผ่านตัวกระจายแก๊ส	
Javed และคณะ (2006)	คอลัมน์สเปรย์ลักษณะทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร และสูง 1.25 เมตร ด้านบนของคอลัมน์ติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดน้ำชนิด Swirl มุม 30 องศา สำหรับพ่นละอองของเหลว อากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ให้มีการไหลแบบหมุนวนหรือไหลตามแนวแกนผ่านตัวกระจายแก๊ส (Distributor)	

สำหรับการติดตั้งคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างให้มีประสิทธิภาพสูง จะต้องพิจารณาจากการเลือกใช้หัวสเปรย์ จำนวนหัวสเปรย์ เส้นผ่านศูนย์กลางของ

คอลัมน์ และระดับความสูงของคอลัมน์ โดยการเลือกหัวสเปรย์ควรคำนึงความเหมาะสมสำหรับการทำงานกับทางน้ำยางและสามารถป้องกันการอุดตันของเนื้อยางในทางน้ำยางในระหว่างการพ่นละอองของเหลว การติดตั้งหัวสเปรย์หลายหัวจะช่วยเพิ่มปริมาณละอองของเหลวที่ภายในคอลัมน์สเปรย์ทำให้โอกาสในการสัมผัสกันระหว่างละอองของเหลวกับอากาศเพิ่มมากขึ้น ส่วนระดับความสูงของคอลัมน์จะช่วยเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสกันระหว่างของเหลวกับกระแสอากาศช่วยให้เกิดการถ่ายโอนมวลได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการติดตั้งคอลัมน์สเปรย์ตามที่กล่าวข้างต้นนี้ทำให้สามารถกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.3 หัวสเปรย์ (Nozzle)

หัวสเปรย์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษ เพราะหัวสเปรย์แต่ละชนิดจะมีลักษณะการพ่นของเหลวแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะทางกายภาพของหัวสเปรย์ซึ่งหัวสเปรย์แต่ละชนิดจะมีข้อจำกัดเรื่องการใช้งาน เช่น ชนิดของของเหลว ความเหมาะสมด้านการใช้งาน เป็นต้นโดยชนิดของหัวสเปรย์แสดงได้ดังตารางที่ 2-11

ตารางที่ 2-11 ชนิดของหัวสเปรย์

ชนิดหัวสเปรย์	ลักษณะทางกายภาพ	การกระจายตัวของของเหลว
หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวยมุม(Spiral spray nozzle)เป็นหัวฉีดน้ำที่มีรูใหญ่ทำให้ไม่อุดตันจึงไม่ต้องถอดล้างทำความสะอาดบ่อย		
หัวฉีดสเปรย์ทรงกลมเต็มวง (Fullcone spray nozzle) ลักษณะของหัวฉีดสเปรย์จะเป็นทรงโคน ทำให้ฉีดน้ำได้เป็นวงกลมเต็มพื้นที่ มักใช้เพื่อซักฟอก ลดความร้อน		
หัวฉีดสเปรย์ทรงกรวยกลวง (Hollow cone spray nozzle)หัวฉีดสเปรย์น้ำแบบนี้จะพ่นเป็นเส้น เป็นรูปโดนัท มักใช้เพื่อซักฟอก ลดความร้อนบริเวณที่ไม่ต้องการให้เปียกมาก		

ตารางที่ 2-11 (ต่อ) ชนิดของหัวสเปรย์

ชนิดหัวสเปรย์	ลักษณะทางกายภาพ	การกระจายตัวของของเหลว
หัวสเปรย์ฉีดพ่นหมอก (Fog mist fine spray nozzle) จะพ่นละอองน้ำที่มีความละเอียดมากเหมาะกับการควบคุมความชื้น ลดความร้อน ลดฝุ่นในอากาศ		

ที่มา: <http://www.thaispraynozzle.com>(29/10/2013)

การเลือกใช้หัวสเปรย์สำหรับติดตั้งภายในคอลัมน์สเปรย์ โดยการเลือกหัวสเปรย์ควรคำนึงความเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับหางน้ำยางและสามารถป้องกันการอุดตันของเนื้อยางในหางน้ำยางในระหว่างการพ่นละอองของเหลว ดังนั้นหัวสเปรย์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับหางน้ำยาง คือ หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดือยหมู

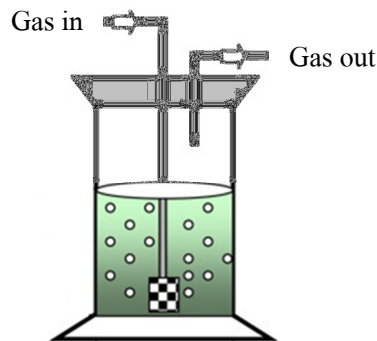
2.5.4 สรุป

คอลัมน์สเปรย์เป็นอุปกรณ์สำหรับดูดซึมแก๊สและกำจัดแก๊สในของเหลวออกสู่บรรยากาศโดยการส่งอากาศผ่านของเหลวเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลสาร ซึ่งของเหลวและอากาศจะวิ่งสวนทางกันทำให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายเกิดการเคลื่อนย้ายจากสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่ง การเลือกระบบกำจัดแก๊สด้วยอากาศต้องคำนึงจุดประสงค์ของสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดและข้อจำกัดของของเหลว ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ โดยติดตั้งหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดือยหมูเพื่อป้องกันการอุดตันในระหว่างการพ่นละอองของเหลว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ต้องมีความเหมาะสมกับมุมกระจายละอองของเหลวของหัวสเปรย์นอกจากนั้นการติดตั้งหัวสเปรย์หลายหัวและการเพิ่มระดับความสูงของคอลัมน์จะช่วยเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกันระหว่างละอองของเหลวกับอากาศได้มากขึ้น

2.6 ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิล (Bubble column reactor)

ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลอาศัยกระบวนการถ่ายโอนมวลซึ่งใช้กำจัดมลพิษที่เป็นแก๊สออกจากกระแสอากาศโดยให้สัมผัสกับสารดูดซึมที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ สารละลายกรดและด่าง การดูดซึมเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลสามารถถ่ายเทจากแก๊สไปยังของเหลวได้เพราะทั้ง 2 เฟสมีความเข้มข้นที่ผิวต่างกัน แรงขับเคลื่อน (Driving force) ที่ต่างกันของแก๊สและของเหลวเป็นตัวทำให้เกิดฟองที่มีลักษณะปั่นป่วน (Turbulent) ช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเร่งการเกิดปฏิกิริยาแสดงได้ดังรูปที่

2-5 การดูดซึมด้วยปฏิกิริยาแก๊สแบบเปิดถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศที่เป็นแก๊สประเภทสารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) คลอรีน (Cl) แอมโมเนีย (NH_3) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และสารไฮโดรคาร์บอนเบา



รูปที่ 2-5 ปฏิกิริยาแก๊สแบบเปิด (Zhao, 2013)

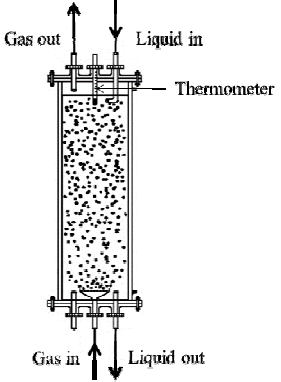
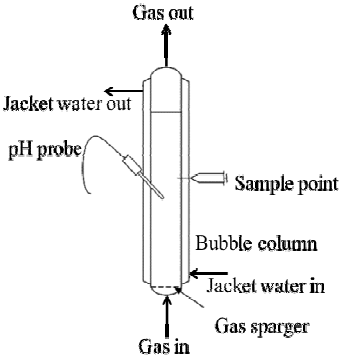
2.6.1 การติดตั้งปฏิกิริยาแก๊สแบบเปิดสำหรับกำจัดมลพิษ

การติดตั้งปฏิกิริยาแก๊สแบบเปิดสำหรับกำจัดมลพิษด้วยกระบวนการดูดซึมต้องคำนึงถึงสารดูดซึม หัวพ่นฟองอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของปฏิกิริยาให้เหมาะสมกับการใช้งาน หากเส้นผ่านศูนย์กลางของปฏิกิริยากว้างมากจะไม่เหมาะสมกับการพ่นฟองอากาศด้วยหัวพ่นฟอง 1 หัวเพราะทำให้ฟองอากาศกับสารดูดซึมสัมผัสกันไม่ทั่วถึง ส่งผลให้ปฏิกิริยาแก๊สแบบเปิดมีประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษต่ำ และระดับความสูงของสารดูดซึมจะต้องสัมพันธ์กับระดับหัวพ่นฟองอากาศเพื่อให้เวลาในการสัมผัสกันระหว่างฟองอากาศและสารดูดซึมเพียงพอต่อการถ่ายโอนมวลสาร ซึ่งสามารถแสดงการติดตั้งปฏิกิริยาแก๊สแบบเปิดได้ดังตารางที่ 2-12

ตารางที่ 2-12 การติดตั้งปฏิกิริยาแก๊สแบบเปิดสำหรับกำจัดมลพิษ

References	ลักษณะปฏิกิริยา	รูปประกอบ
Dumont และคณะ (2006)	ปฏิกิริยามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.21 เมตร และสูง 0.33 เมตร ถูกหุ้มด้วยแจ็กเก็ตเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศถูกพ่นผ่านหัวพ่นที่มีลักษณะเป็นวงรีที่มีช่องผ่านแก๊ส 50 ช่อง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร)	

ตารางที่ 2-12 (ต่อ) การติดตั้งปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดสำหรับกำจัดมลพิษ

References	ลักษณะปฏิกรณ์	รูปประกอบ
Alvarez และคณะ (2008)	ปฏิกรณ์เป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตรและสูง 1.07 เมตรอากาศถูกพ่นเข้าทางด้านล่างผ่านหัวพ่นแบบเพลทเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04 เมตร ที่สามารถปรับขนาดช่องผ่านแก๊สได้ ส่วนบนของปฏิกรณ์ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของสารดูดซับ	
Nymul และคณะ (2010)	ปฏิกรณ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.051 เมตรและสูง 0.61 เมตร ถูกหุ้มด้วยแจ็กเก็ตเพื่อควบคุมอุณหภูมิ บริเวณด้านข้างของปฏิกรณ์ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและอุปกรณ์วัด pH ของสารดูดซับ โดยแก๊สถูกพ่นเข้าทางด้านล่างผ่านหัวพ่นแบบเพลทที่มีช่องผ่านแก๊ส 25-50 ไมโครเมตร	

สำหรับการติดตั้งปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียโดยใช้น้ำและน้ำซีรัมเป็นสารดูดซับ จึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของน้ำซีรัมเพราะน้ำซีรัมมีฤทธิ์เป็นกรด เส้นผ่านศูนย์กลางของปฏิกรณ์ ระดับความสูงของสารดูดซับและระดับหัวพ่นพองอากาศต้องมีความเหมาะสมสำหรับการดำเนินการเพื่อให้เวลาในการสัมผัสกันระหว่างพองอากาศและสารดูดซับเพียงพอต่อการถ่ายโอนมวลสาร และหัวพ่นพองอากาศที่มีช่องผ่านแก๊สไม่เล็กเกินไป เนื่องจากในน้ำซีรัมมีเศษเนื้อเยื่อขนาดเล็กหลงเหลืออยู่อาจทำให้เกิดการอุดตันของหัวพ่นพองได้และต้องกระจายพองอากาศได้อย่างทั่วถึงที่สำคัญลักษณะทางกายภาพของน้ำซีรัมสามารถเกิดพองได้ง่าย ในการสร้างปฏิกรณ์จะต้องติดตั้งส่วนดักพองหรือส่วนทำลายพองไว้ทางด้านบนของปฏิกรณ์เพื่อไม่ให้พองอากาศล้นออกไปกับแก๊สที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนีย ดังนั้นการติดตั้งปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดตามที่กล่าวข้างต้นนี้ทำให้สามารถกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.2 สรุป

ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดเป็นอุปกรณ์สำหรับถ่ายโอนมวลซึ่งใช้กำจัดมลพิษที่เป็นแก๊สออกจากกระแสอากาศโดยให้สัมผัสกับสารดูดซับที่เป็นของเหลวในงานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียดด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดโดยการติดตั้งปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารดูดซับ ระดับความสูงของสารดูดซับและระดับหัวฟุ้งพองอากาศจะต้องมีความเหมาะสมกับเวลาการถ่ายโอนมวลสาร หัวฟุ้งพองอากาศต้องกระจายพองอากาศได้อย่างทั่วถึงและไม่ควรมีช่องผ่านแก๊สที่เล็กเกินไปเนื่องด้วยลักษณะทางกายภาพของน้ำซีรัมสามารถเกิดฟองได้ง่าย ดังนั้นส่วนบนของปฏิกรณ์จะต้องติดตั้งส่วนทำลายฟองเพื่อไม่ให้พองอากาศล้นออกไปกับแก๊สที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนีย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การลดปริมาณแอมโมเนียทางน้ำยาง

จันทิมา และคณะ (2549) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากทางน้ำยางโดยการไหลสวนทางของทางน้ำยางกับกระแสลมในระบบรางเอียงที่ปิดด้วยอุโมงค์ลม โดยใช้รางเอียงกว้าง 0.4 เมตร ยาว 2 เมตรดำเนินการเป็นแบบหมุนเวียน (Circulation) ทางน้ำยางในระบบ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วลม 3.78 เมตร/วินาที สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางให้เหลือเพียง 0.10% โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 120 นาที คิดเป็นประสิทธิภาพได้ 72% ส่วนมุมที่เอียงของราง อัตราการไหลของทางน้ำยางและความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วลม ดังนั้นการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางโดยใช้รางเอียงร่วมกับอุโมงค์ลมจึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้จริงในโรงงานผลิตน้ำยางข้น

จรรยา และคณะ (2549) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางโดยใช้กระแสลมเป่าในรางปิดแบบไหลสวนทาง โดยใช้รางปิดยาว 20 เมตร กว้าง 0.2 เมตร และสูง 0.1 เมตร ผลการทดลองพบว่าการใช้ลมเป่าที่ผิวหน้าของทางน้ำยางที่ไหลผ่านรางทำให้มีอัตราการระเหยของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของการไหลผ่านรางโดยไม่มีลมเป่า และการเพิ่มความเร็วลมมีผลต่อการเพิ่มอัตราการระเหยของแอมโมเนีย ส่วนการอัตราการไหลของทางน้ำยางและความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียมีผลต่อการระเหยของแอมโมเนียน้อยมาก แต่การใช้กระแสลมร้อนเป่าจะทำให้อัตราการระเหยของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของกระแสลมที่อุณหภูมิห้อง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 40-50 องศาเซลเซียส

Chungsiriporn และคณะ (2007) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางโดยการไ้ระบบรางปิดด้วยอุโมงค์ลมสำหรับใช้ในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น โดยไ้รางปิดยาว 80 เมตร สูง 0.9 เมตร และสูง 0.2 เมตร ดำเนินการเป็นแบบหมุนเวียนทางน้ำยางในระบบ ไ้การไหลของกระแสลมแบบทางเดียวกัน (Co-current) และการไหลสวนทางกัน (Counter-current) ผลการทดลองพบว่า การไหลของกระแสลมแบบสวนทางกันให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงกว่าการไหลแบบทางเดียวกัน ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย แต่อุณหภูมิของกระแสลมลดลงมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลง

2.7.2 การจับตัวเนือยในทางน้ำยาง

ปรีดีเปรม และคณะ (2541) ศึกษาสารเสริมการจับตัวเนือย โดยทดลองจับตัวทางน้ำยางด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25% ในอัตราส่วนต่างๆ ต่อทางน้ำยาง 100 กรัม พบว่าการเติมกรดในอัตราส่วน 2 มิลลิลิตรขึ้นไปได้ % ปริมาณยางจับตัวเป็นก้อนค่อนข้างสูง จึงทดลองไ้จับตัวร่วมกับ diocetyl sodium sulphosuccinate ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า % ปริมาณยางจับตัวเป็นก้อนน้อยกว่าการไ้กรดอย่างเดียว และการไ้กรดจับตัวร่วมกับ CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ และ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ พบว่าการไ้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 25% 4 มิลลิลิตร ร่วมกับสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้น 0.2% w/w drc โดยการบ่มอายุน้ำยางไม่เกิน 1 วัน ได้ % ปริมาณยางจับตัวเป็นก้อนสูงและมีสมบัติทางกายภาพ คือ ดัชนีความอ่อนตัว (PRI) อยู่ที่ 65-96% ค่าความหนืดหลังจากที่บ่มทางน้ำยางไว้ 1 วันเพิ่มขึ้น และทำให้น้ำทิ้งในบ่อบำบัดน้ำเสียง่ายต่อการบำบัด ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

ฉวีวรรณ และคณะ (2552) ศึกษาสารจับตัวยางสกิมเพื่อแก้ปัญหาหมลพิษที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น จึงได้มีการพัฒนาสารจับตัวเนือยเพื่อสิ่งแวดล้อม (A704-C) ทดแทนการไ้กรดซัลฟูริก พบว่าไ้เนือยสกิมที่สะอาดขึ้น นุ่มขึ้น และทนต่อการเสื่อมสภาพได้ดีขึ้น น้ำทิ้งหรือน้ำชีร์มี pH เป็นกลางและปราศจากการปนเปื้อนของซัลเฟต ซึ่งช่วยลดการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกสู่บรรยากาศ ประสิทธิภาพการจับตัวน้ำยางสกิมของสาร A704-C ขึ้นอยู่กับปริมาณแอมโมเนียในทางน้ำยาง ค่า pH และอายุของน้ำยางสกิม

2.7.3 ประโยชน์ของน้ำชีร์มี

1) ด้านสิ่งแวดล้อม

จันทิมา และคณะ (2549) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียดจากโรงงานน้ำยางชั้น โดยการใช้ น้ำชีร์มีจากกระบวนการผลิตยางสกิมเป็นสารดูดซึม (Absorbent) ในระบบถังกวนปริมาตร 80 ลิตร ที่มีการดำเนินการแบบกึ่งแบตช์ (Semi-batch) ผลการทดลองพบว่า น้ำชีร์มีสามารถ

ใช้เป็นสารดูดซับในการกำจัดแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียสูงสุดในการดำเนินการคือ 89% และตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพมากที่สุด คือ ความเร็วรอบของการกวนในถังกวน สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการ คือ การป้อนอากาศเข้าระบบด้วยอัตราการไหลต่ำๆ นั่นคือ มีค่า Retention time ที่สูงกว่า 1.25 นาที pH ของน้ำซีรัม 4-5 และอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 132 rpm วิธีการกำจัดแอมโมเนียโดยใช้น้ำซีรัมมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

วีระชาติ (2551) ศึกษาแนวทางการลดซัลเฟตทั้งในด้านการลดการใช้กรดซัลฟูริกและการนำน้ำเสียจากการผลิตยางสกิม (น้ำซีรัม) มาใช้ใหม่ ผลการทดลองพบว่าเมื่อนำน้ำซีรัมกลับมาใช้ใหม่สามารถลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการผลิตยางสกิมได้ โดยน้ำซีรัมมาผสมกับน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตน้ำยางข้น (น้ำล้าง) โดยควบคุม pH หลังการผสมกันเท่ากับ 4.5 สามารถทำให้เกิดการจับตัวของเนื้อยาง โดยเทียบเป็นน้ำหนักยางแห้งได้ 0.4% ของปริมาณน้ำล้าง และพบว่าปริมาณซัลเฟตลดลง 67.87% ของปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น

เจนจิรา และคณะ (2556) ศึกษาการรักษาสภาพน้ำซีรัมด้วยสารกันบูดเพื่อลดการเกิดแก๊สมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ผลการทดลองพบว่าสารกันบูดที่รักษาสภาพน้ำซีรัมได้ดีที่สุดคือ โปแทสเซียมซอร์เบต (Potassium Sorbate) ที่ระดับความเข้มข้น 0.02% โดยที่ยังคงรักษาปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ของพืชยางน้ำซีรัมไว้ได้ ทั้งนี้หากมีการแยกน้ำซีรัมออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานจะสามารถช่วยลดค่า BOD หรือลดความสกปรกของน้ำทิ้งได้ โดยที่ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศให้น้ำทิ้ง และการนำน้ำซีรัมไปใช้ประโยชน์ในแง่ของแหล่งธาตุอาหารหลักของพืชจะช่วยลดการเกิดแก๊สมีเทนในกระบวนการผลิตยางสกิม

Kongjan และคณะ (2014) ศึกษาการการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของน้ำซีรัมในปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) ที่เชื่อมกัน 2 ถัง ขนาด 1,350 (R1) และ 2,800 มิลลิลิตร (R2) โดยถัง R1 สำหรับผลิตแก๊สไฮโดรเจนและถัง R2 สำหรับผลิตแก๊สมีเทน ทั้งสองถังถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่ากระบวนการนี้ผลิตแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สมีเทนได้ 59.2 ± 2.4 mL-H₂/g-VS และ 168.6 ± 13.8 mL-CH₄/g-VS ตามลำดับ และสามารถลดค่า COD ของน้ำซีรัมได้ 62%

2) ด้านการเกษตร

นฤมล (2551) ผลของน้ำซีรัมต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาล โดยทดลองด้วยการเติมน้ำซีรัม การเติมน้ำซีรัมร่วมกับปุ๋ยเคมี การเติมปุ๋ยเคมี และดินเดิมไม่เติมสิ่งทดลอง ผลการทดลองพบว่า การเติมน้ำซีรัมส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโต (จำนวนใบ

ขนาดลำต้น ความสูงลำต้น ความกว้างและความยาวใบ) เป็นปกติไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี เมื่อเติบโตครบระยะอนุบาลแรก (3 เดือน) มีเพียงแต่จำนวนใบที่มากกว่าการเติมปุ๋ยเคมี คุณสมบัติของน้ำซีรัมมีฤทธิ์เป็นกรด (pH=4.57) มีธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) หลังจากเติมน้ำซีรัมลงไปในดินเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าในดินมีปริมาณธาตุอาหาร P, K และ Mg มากกว่าการเติมปุ๋ยเคมี

ณัฐพันธ์ และคณะ (2555) ศึกษาการทำแห้งของน้ำเสี้ยวสกิน(น้ำซีรัม) จากโรงงานน้ำยางข้นเพื่อใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยแห้ง โดยทำการทดลองน้ำซีรัมให้แห้งด้วย 4 วิธี คือ อบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส การอังด้วยไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส และการตากแดด ผลการทดลองพบว่าการทำแห้งด้วยวิธีการอบในตู้อบที่ 70 องศาเซลเซียสจะให้อัตราการระเหยต่ำสุด แต่จะให้ค่าลักษณะทางกายภาพและเคมีดีที่สุด โดยมีค่า N, P และ K เท่ากับ 7.19%, 3.80% และ 4.20% ตามลำดับ และเมื่อศึกษาความสามารถของการละลายออกธาตุอาหารพืช พบว่าวัสดุแห้งจากน้ำซีรัมมีการชะออกของธาตุ N ได้มากที่สุด รองลงมาคือ K และ P ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำซีรัมสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยแห้งได้

เจนจิรา และคณะ (2556) ศึกษาการผลของการแยกน้ำซีรัมทั้งหมดของกระบวนการผลิตน้ำยางข้นเพื่อลดการเกิดแก๊สมีเทน ผลการทดลองพบว่าขณะมีกระบวนการผลิตสกินขึ้นอัตราการเกิดแก๊สมีเทนของน้ำซีรัมบริเวณบ่อพักน้ำซีรัมจะสูงกว่าช่วงเวลาที่ไม่มีกระบวนการผลิตสกินหรือไม่มีน้ำซีรัมเข้าสู่บ่อพักน้ำซีรัม ดังนั้นการแยกน้ำซีรัมออกจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ธาตุอาหารพืชจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปริมาณแก๊สเรือนกระจก โดยแก๊สมีเทนเหล่านั้นจะถูกกักเก็บไว้ในดินแทนการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2.7.4 การกำจัดมลพิษด้วยคอลัมน์สเปรย์

Javed และคณะ (2006) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายโอนมวลระหว่างแก๊สและละอองของเหลวในคอลัมน์สเปรย์สำหรับอากาศ-แอมโมเนีย/น้ำ โดยทดสอบการไหลวนของแก๊สตามแนวรัศมีและไหลตามแนวแกนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียขาเข้า 10% โดยปริมาตร ประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลถูกแสดงในเทอมของ overall mass transfer coefficient ($K_{g,a}$) พบว่าการหมุนวนของแก๊สสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวล อัตราการไหลของแก๊สและของเหลวมีผลต่อค่า $K_{g,a}$ ของแก๊ส ซึ่งค่า $K_{g,a}$ จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของแก๊สและของเหลวเพิ่มขึ้น สำหรับการไหลวนของแก๊สค่า $K_{g,a}$ เพิ่มขึ้น 20% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของแก๊สตามแนวแกน

Bandyopadhyay และ Biswas (2007) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทั้งแบบเกิดและไม่เกิดปฏิกิริยาในคอลัมน์สเปรย์ โดยใช้ น้ำ และ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึม (Absorbent) ผลการทดลองพบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัด SO_2 ได้ดีกว่าน้ำ ประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้น ความเร็ว superficial velocity ของแก๊ส และขนาดละอองสเปรย์ลดลง คอลัมน์สเปรย์ที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด เพราะช่วยเพิ่มเวลาในการสัมผัสกันระหว่างของเหลวกับแก๊ส

Turpin และคณะ (2008) ศึกษาพารามิเตอร์การถ่ายโอนมวลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ด้วยคอลัมน์สเปรย์ จากผลการทดลองพบว่า ความเร็ว superficial velocity ของของเหลว (U_L) มีอิทธิพลเล็กน้อยต่อการถ่ายโอนมวลเมื่อเทียบกับความเร็ว superficial velocity ของแก๊ส (U_G) ดังนั้น volumic interfacial area (a) กับ volumic mass transfer coefficient ($k_L a$) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็ว superficial velocity ของแก๊สเพิ่มขึ้น แต่ค่าประสิทธิภาพในการกำจัด H_2S จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็ว superficial velocity ของแก๊สลดลง เพราะเป็นการเพิ่มเวลาในการถ่ายโอนมวลของ H_2S และ ประสิทธิภาพการกำจัด H_2S จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl)

Kuntz และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลของคอลัมน์สเปรย์ที่ใช้สำหรับกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยใช้สารละลายโมโนเอทาโนลามีน (MEA) เป็นสารดูดซึม โดยทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวล โดยประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลถูกแสดงในเทอมของ overall mass transfer coefficient ($K_G a_c$) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างคอลัมน์สเปรย์และคอลัมน์แบบแพ็ค พบว่าคอลัมน์สเปรย์มีความสามารถในการกำจัด CO_2 ออกจากกระแสแก๊สได้สูงกว่าคอลัมน์แบบแพ็คค่า $K_G a_c$ ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของแก๊ส อัตราการไหลของของเหลว และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง CO_2 และ MEA โดยค่า $K_G a_c$ จะลดลงเมื่อความดันลดของ CO_2 และปริมาณ CO_2 ในสารดูดซึมเพิ่มขึ้น การเพิ่มขนาดของหัวสเปรย์ทำให้อัตราการไหลของสารดูดซึมเพิ่มขึ้น ละอองของเหลวมีขนาดเล็กส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัด CO_2 สูงขึ้น

Javed และคณะ (2010) ศึกษาการดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอากาศด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในคอลัมน์สเปรย์โดยใช้การไหลวนของแก๊สตามแนวรัศมีและตามแนวแกน ประสิทธิภาพการดูดซึมถูกแสดงในเทอมของ overall gas phase mass transfer coefficient ($K_G a$) ผลการทดลอง พบว่าค่า $K_G a$ จะเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของการทดลองและจะคงที่ทั้งการไหลของแก๊สแบบหมุนวนและตามแนวแกน แต่การให้การไหลของแก๊สแบบหมุนวนจะเพิ่มค่า $K_G a$ ได้ประมาณ 49% เมื่อเทียบกับการไหลของแก๊สตามแนวแกน อัตราการไหลของของเหลวที่เพิ่มขึ้น

ส่งผลให้ค่า K_{Ga} เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การไหลแบบสวนทาง (Counter-current) ของกระแสแก๊สกับละอองของเหลวในคอลัมน์จะให้ประสิทธิภาพการกำจัด CO_2 สูงกว่าการไหลในทิศทางเดียว (Co-current) และเมื่อเพิ่มความสูงของคอลัมน์สเปรย์ทำให้ค่า K_{Ga} ลดลง หัวสเปรย์ที่สามารถผลิตละอองของเหลวได้ขนาดเล็กหรือละเอียดจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวล

Qing และคณะ (2011) ศึกษาความสามารถในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยสารละลายแอมโมเนียโดยใช้คอลัมน์สเปรย์และคอลัมน์แบบแพ็คพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด CO_2 สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นและอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียสูงขึ้น และจะลดลงเมื่ออัตราการไหลของแก๊สสูงขึ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินการทดลองคือ $40^{\circ}C$ สำหรับคอลัมน์สเปรย์ และ $35^{\circ}C$ สำหรับคอลัมน์แบบแพ็คสัดส่วนโดยโมลของแอมโมเนียต่อคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญมากต่อประสิทธิภาพการกำจัด และคอลัมน์สเปรย์มีประสิทธิภาพการกำจัด CO_2 สูงกว่าคอลัมน์แบบแพ็ค

Codolo และ Bizzo (2013) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้คอลัมน์สเปรย์ พบว่าอัตราการไหลของแก๊สที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงแต่การเพิ่มอัตราการไหลของของเหลวและละอองของเหลวจากการสเปรย์ที่มีขนาดเล็กจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด และจำนวนของหัวฉีดที่ใช้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารดูดซึมในการกำจัดแก๊ส

Ma และคณะ (2013) ศึกษาการดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยสารละลายแอมโมเนียโดยใช้คอลัมน์สเปรย์ ประสิทธิภาพการกำจัดถูกแสดงในเทอมของ volumetric overall mass transfer coefficient (K_{Ga_v}) พบว่าค่า (K_{Ga_v}) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียเพิ่มขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มโมเลกุลของแอมโมเนียในสารดูดซึมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างกระบวนการดูดซึม ความดันส่วนของ CO_2 และอุณหภูมิของแก๊สที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า K_{Ga_v} และการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สจะลดเวลาการอยู่ของแก๊สภายในคอลัมน์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง ดังนั้นค่า K_{Ga_v} จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของสัดส่วน L/G

2.7.5 การกำจัดมลพิษด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิด

Alvarez และคณะ (2000) ศึกษาอิทธิพลของสมบัติทางกายภาพของสารละลายซูโครสและสารลดแรงตึงผิวโซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium Lauryl Sulfate: SLS) ในสัดส่วนต่างๆ และการถ่ายโอนมวลของ CO_2 ในปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดโดยทดลองหาค่า volumetric mass transfer coefficients ($k_L a$) ที่ superficial gas velocity (U_G) ความเข้มข้น ความหนืด และแรงตึงผิวของสารละลายที่ใช้เป็นสารดูดซึม พบว่าค่า $k_L a$ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็ว superficial velocity ของแก๊ส

เพิ่มขึ้นทุกความเข้มข้นของสารดูดซึมและทุกค่าแรงตึงผิวที่ศึกษา ค่าความหนืดและความเร็ว superficial velocity ของแก๊สที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซึมลดลง และระบบที่มีสารละลายซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าระบบที่ไม่มี

Peeva และคณะ (2001) ศึกษาการดูดซึมของแก๊สเดเคนด้วยน้ำ-ซิลิโคนออยใช้ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดโดยป้อนแก๊สเดเคนที่อัตราการไหลต่างๆ ผ่านสัดส่วนน้ำและซิลิโคนออยที่แตกต่างกัน พบว่าค่า volumetric mass transfer coefficient ของอิมัลชันและแก๊สเดเคนไม่ขึ้นกับสัดส่วนของน้ำกับซิลิโคนออยเพราะแก๊สเดเคนสามารถละลายในซิลิโคนออยได้ดีมาก โดยมีอัตราการดูดซึมสูงถึง 70% แม้จะใช้ซิลิโคนออยปริมาณน้อย แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของน้ำและซิลิโคนออยเหมาะที่จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

Kang และคณะ (2002) ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อกระบวนการดูดซึมและสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของแก๊สแอมโมเนียด้วยน้ำ โดยพ่นแก๊สแอมโมเนียบริสุทธิ์ ที่อัตราการไหลต่างๆ ผ่านออร์ฟิชที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3, 3.8 และ 5.5 มิลลิเมตร ในของน้ำ พบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียในน้ำและขนาดของฟองแก๊สที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ศักยภาพในการดูดซึมและสัมประสิทธิ์ในการถ่ายโอนมวลลดลง

Terasaka และคณะ (2002) ศึกษากลไกการดูดซึมแก๊สจากฟองอากาศที่มีองค์ประกอบของแอมโมเนียกับไนโตรเจนโดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารดูดซึม ทำการป้อนแก๊สผสมที่มีเฟรคชันเชิงโมลของแอมโมเนีย 0-0.35 ผ่านทางออร์ฟิชที่มีเส้นศูนย์กลาง 1.55 มิลลิเมตร โดยกลไกการดูดซึมแก๊สจะพิจารณาจากขนาด พื้นที่ผิว และรูปร่างของฟองอากาศ พบว่าขนาดของฟองอากาศจะลดลง เมื่อองค์ประกอบของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นและอัตราการไหลของแก๊สลดลง โดยแก๊สแอมโมเนียทางเข้าจะถูกดูดซึมในระหว่างการก่อตัวเป็นฟอง 80-90% ของแอมโมเนียที่ป้อน

Dumont และคณะ (2006) ศึกษาการดูดซึมแก๊สออกซิเจนและแก๊สไตรีนด้วยสารละลายอิมัลชันน้ำ-ซิลิโคนออย (0-10% ปริมาตร) โดยใช้วิธีการทางพลศาสตร์ (Dynamic method) ประสิทธิภาพของการดูดซึมถูกแสดงในเทอมของ volumetric mass transfer coefficients (k_{La}) พบว่าซิลิโคนออยจะลดแรงตึงผิวระหว่างแก๊สและของเหลวทำให้ฟองแก๊สมิขนาดเล็กลง การเพิ่มสัดส่วนซิลิโคนให้มากกว่า 5% โดยปริมาตร จะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายโอนแก๊สออกซิเจนและค่า k_{La} ให้สูงขึ้น สำหรับแก๊สไตรีนค่า k_{La} จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของซิลิโคนออยในน้ำ เนื่องจากแก๊สออกซิเจนและแก๊สไตรีนมีความสามารถในการละลายในสารละลายอิมัลชันสูง ดังนั้นสารละลายอิมัลชันจึงเหมาะสมสำหรับการดูดซึมแก๊สออกซิเจนและแก๊สไตรีน

Kim และคณะ (2006) ศึกษาพฤติกรรมของการเกิดฟอง ชนิดสารลดแรงตึงผิว อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อผลการดูดซึมแอมโมเนียด้วยน้ำ ซึ่งในการทดลองใช้สารลดแรงตึงผิว 3

ชนิด คือ 2-ethyl-1-hexanol (2E1H), *n*-octanol และ 2-octanol พบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด 2E1H ให้ประสิทธิภาพการดูดซึมดีที่สุด โดยความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียสูงขึ้นจะทำให้อัตราการดูดซึมนลดลง แต่เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวในสารดูดซึมจะเพิ่มอัตราการดูดซึมให้สูงขึ้นเนื่องจากฟองอากาศมีขนาดใหญ่

Zhao และคณะ (2013) ศึกษาอิทธิพลของรูปทรงปฏิกิริณีก๊าซบับเบิลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายแอมโมเนีย 200 มิลลิลิตร รูปทรงปฏิกิริณีก๊าซจะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางปฏิกิริณีก๊าซ (H/D) เท่ากับ 0.93, 2.04 และ 3.93 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียสูงขึ้น และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาค่ากว่า 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่เดียวกันประสิทธิภาพการกำจัดต่ำลง เมื่ออัตราการไหลและความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น การเพิ่มสัดส่วน H/D ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มเวลาในการสัมผัสกันระหว่างฟองแก๊สกับสารละลาย

2.7.6 สรุป

จากการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างด้วยการใช้ระบบรางที่ปิดอุโมงค์ลมและระบบรางเอียงที่ปิดด้วยอุโมงค์ลม โดยให้อากาศที่มีอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียสกับทางน้ำอย่างไหลสวนทางกัน พบว่าให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูง และจากการศึกษาสารจับตัวเนื้อเยื่อเพื่อทดแทนการใช้กรดซัลฟูริก พบว่าการใช้กรดซัลฟูริกพร้อมกับ CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ และ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ทำให้น้ำทิ้งในบ่อบำบัดน้ำเสียง่ายต่อการบำบัด ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกันกับการใช้สาร A704-C พบว่าน้ำซีรัมมี pH เป็นกลางและปราศจากการปนเปื้อนของซัลเฟต ซึ่งช่วยลดการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกสู่บรรยากาศ จากการศึกษการใช้ประโยชน์ของน้ำซีรัม พบว่าน้ำซีรัมสามารถนำมาใช้เป็นสารดูดซึมแก๊สแอมโมเนีย ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจน แก๊สมีเทน และผลิตภัณฑ์เคมีเพื่อใช้ในการเกษตรได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างด้วยคอลัมน์สเปรย์และกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียดด้วยปฏิกิริณีก๊าซบับเบิล โดยใช้น้ำและน้ำซีรัมเป็นสารดูดซึม จากการศึกษาร่างการกำจัดมลพิษด้วยคอลัมน์สเปรย์ พบว่าอัตราการไหลของแก๊ส อัตราการไหลของของเหลว ขนาดฝอยละออง จำนวนหัวสเปรย์ และระดับความสูงของคอลัมน์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษ และการศึกษาการกำจัดมลพิษด้วยปฏิกิริณีก๊าซบับเบิล พบว่าผลประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของแก๊ส ความเข้มข้นของแก๊ส และขนาดของฟองอากาศ

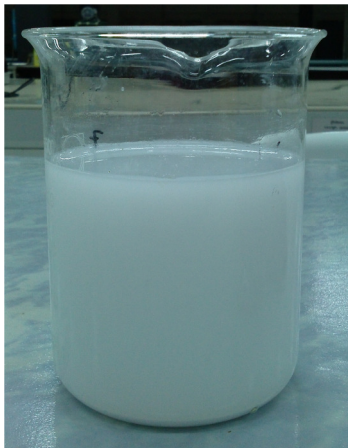
บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 หางน้ำยาง

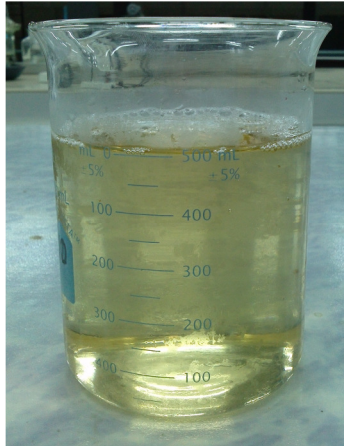
หางน้ำยางเป็นผลผลิตพลอยได้จากระบวนการผลิตน้ำยางข้น มีลักษณะคล้ายน้ำยางสด แต่มีเนื้อยางแห้งประมาณ 5% โดยน้ำหนัก ความหนาแน่น 1,020-1,030 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และมีแอมโมเนียปนเปื้อน 0.25-0.30% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างหางน้ำยางเก็บจากบ่อรับหางน้ำยางของบริษัททดลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัดอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา หลังจากผ่านกระบวนการแยกประมาณ 10-12 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 หางน้ำยาง

3.1.2 น้ำซีรัม

น้ำซีรัมเป็นน้ำเสียจากระบวนการจับตัวเนื้อยางในหางน้ำยางด้วยกรดซัลฟูริกเพื่อผลิตเป็นยางสกิม เป็นของเหลวสีเหลืองใสมีสภาพเป็นกรด (pH=2.40-2.65) และมีเศษเนื้อยางขนาดเล็กเหลือหลังการแยกยางสกิมออกเล็กน้อย ตัวอย่างน้ำซีรัมเก็บจากบ่อจับตัวยางสกิมของบริษัททดลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัดอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา หลังจากทิ้งให้หางน้ำยางจับตัวเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 น้ำซีรัม

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารเคมีสำหรับเตรียมและวิเคราะห์แอมโมเนียในหาน้ำยางจำลอง

- 1) แอมโมเนีย (30%w/w, GR grade, LobaChemiePvt Ltd., India)
- 2) กรดซัลฟูริก (98%, commercial grade, Merck)
- 3) มิกซ์อินดิเคเตอร์ (Mix indicator)

3.2.2 สารเคมีสำหรับเตรียมและวิเคราะห์แอมโมเนียในหาน้ำยาง

- 1) แอมโมเนีย (30%w/w, GR grade, LobaChemiePvt Ltd., India)
- 2) กรดไฮโดรคลอริก (37%w/w, commercial grade, Merck)
- 3) เมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Methyl red indicator)

3.2.3 สารเคมีสำหรับใช้จับตัวเนื้องานในหาน้ำยาง

- 1) กรดซัลฟูริก (98%, commercial grade, Merck)

3.2.4 สารเคมีสำหรับเตรียมอากาศเสียจำลองและวิเคราะห์อากาศเสีย

- 1) แอมโมเนีย (30%w/w, GR grade, LobaChemiePvt Ltd., India)
- 2) กรดบอริก (AjexFinechem Pty Ltd., Australia)
- 3) กรดไฮโดรคลอริก (37%w/w, commercial grade, Merck)

- 4) มิกส์อินดิเคเตอร์ (Mix indicator)

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยาง

- 1) คอลัมน์ทรงกระบอกชนิดพลาสติก PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เมตร สูง 1 และ 2 เมตร ใช้สำหรับการถ่ายโอนมวลสารระหว่างแอมโมเนียในทางน้ำยางกับ กระแสอากาศ
- 2) หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยหมุม (Spiral spray nozzle) ขนาด 0.25 นิ้ว มุมกระจายของหัวสเปรย์ 60°, 90° และ 120° ใช้สำหรับพ่นละอองฝอยของเหลวภายในคอลัมน์สเปรย์
- 3) เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) เป็นแหล่งกำเนิดกระแสอากาศสำหรับป้อนเข้าสู่คอลัมน์สเปรย์
- 4) Pitot static tube ใช้ร่วมกับมานอมิเตอร์แบบเอียง (Incline manometer) สำหรับวัดอัตราการไหลของกระแสอากาศป้อน
- 5) บอลวาล์ว (Ball valve) ใช้สำหรับปรับอัตราการไหลของของเหลวก่อนป้อนเข้าสู่คอลัมน์สเปรย์
- 6) ท่อพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.6 เซนติเมตร เป็นท่อที่ใช้ต่อกับปั๊มของเหลวสำหรับป้อนของเหลวเข้าสู่คอลัมน์สเปรย์
- 7) ท่อสายยางซิลิโคน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 เซนติเมตร ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างทางน้ำยาง
- 8) ปั๊มของเหลว (Liquid pump) ยี่ห้อ Shurflo รุ่น serie de oro 2088 ใช้สำหรับปั๊มทางน้ำยางจากถังเก็บ (Skim latex tank) เข้าสู่คอลัมน์สเปรย์
- 9) ถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด 80 ลิตร ใช้สำหรับเก็บทางน้ำยาง

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

- 1) ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดขนาดห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) ใช้กำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง ถูกสร้างด้วยอิมพิงเจอร์ขนาด 0.5 ลิตรสำหรับบรรจุสารดูดซึ่ม 150 มิลลิลิตร

- 2) ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดขนาดต้นแบบ (Pilot scale) ใช้กำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ ถูกสร้างจากท่ออะคริลิก พลาสติกสำหรับบรรจุสารดูดซึ่ม 2 ลิตร
- 3) โรตاميเตอร์ (Rotameter) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศเสีย
- 4) ท่อสายยางซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 เซนติเมตร ใช้เป็นทางไหลของตัวอย่างอากาศเสียที่ต่อระหว่างท่อทางเข้าและออกของปฏิกรณ์
- 5) ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (Air sampling pump) ยี่ห้อ Hailea รุ่น ACO-208 ใช้สำหรับดูดเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากท่อทางเข้าและออกของปฏิกรณ์ เพื่อนำตัวอย่างอากาศเสียมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียผ่านกระบวนการดูดซึ่มด้วยกรดบอริกในอิมพิงเจอร์
- 6) วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Manual valve) ใช้สำหรับปรับอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีการดูดซึ่ม
- 7) เครื่องวัด pH (pH meter) ผลิตโดยบริษัท Lutron รุ่น pH-220 ใช้สำหรับวัด pH ของสารดูดซึ่ม
- 8) เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ใช้ผลิตอากาศก่อนป้อนเข้าสู่คอลัมน์สเปรย์ เพื่อเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียออกจากทางน้ำยางและใช้ผลิตอากาศเสียจำลองโดยป้อนอากาศจากเครื่องอัดอากาศเข้าสู่ขวดที่บรรจุสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เพื่อเร่งให้แอมโมเนียให้เกิดการระเหยและเกิดการพาของแอมโมเนียติดไปกับกระแสอากาศ ก่อนจะป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิด

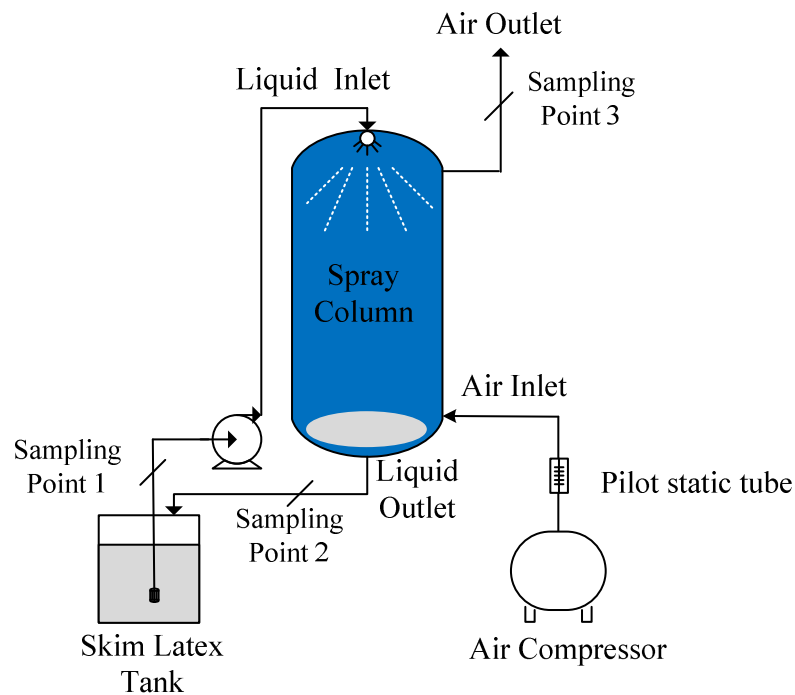
3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและวิเคราะห์แอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสีย

- 1) บิวเรต (Burette) ขนาด 10 และ 25 มิลลิลิตร
- 2) ปิปेट (Pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 3) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 4) บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100 และ 500 มิลลิลิตร
- 5) แท่งแก้วคน (Stirring rod)
- 6) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 7) อิมพิงเจอร์ (Impinger)
- 8) ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (Air sampling pump) ยี่ห้อ Hailea รุ่น ACO-208

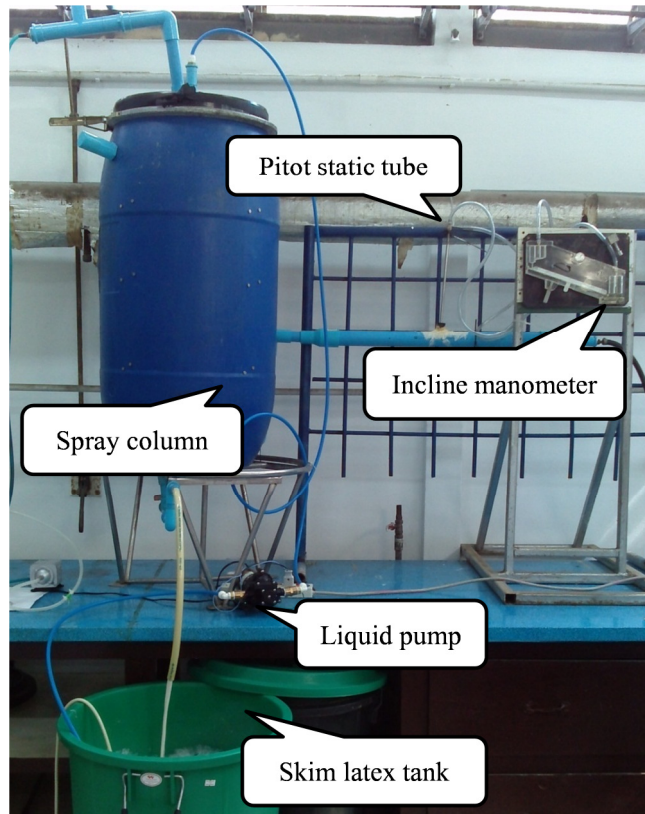
9) ขวดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร

3.4 คอลัมน์สเปรย์ (Spray column)

คอลัมน์สเปรย์เป็นคอลัมน์ทรงกระบอกที่ติดตั้งหัวสเปรย์ไว้ส่วนบนภายในคอลัมน์ โดยต่อกับท่อป้อนหางน้ำยางที่ปั๊มมาจากถังเก็บ (Skim latex tank) เพื่อพ่นเป็นฝอยของเหลว ป้อนอากาศเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ไหลสวนทางกับหยดฝอยของหางน้ำยาง อากาศที่มีแอมโมเนียปนเปื้อนจะไหลออกทางด้านบน หางน้ำยางที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียแล้วจะไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ ระบบคอลัมน์สเปรย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังไดอะแกรมและรูปที่ 3-3 และ 3-4 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3-3 ไดอะแกรมระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง



รูปที่ 3-4 ระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยาง

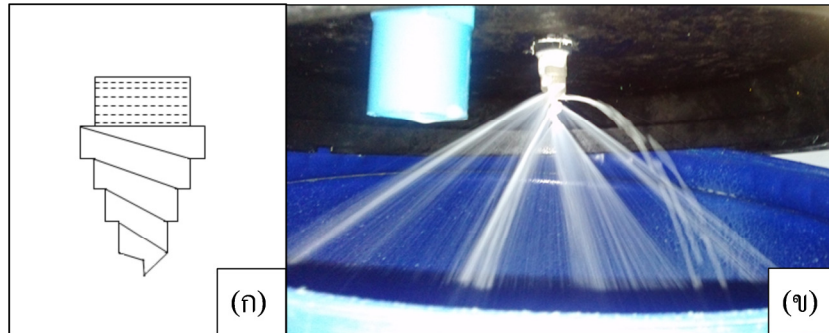
รายละเอียดของระบบคอลัมน์สเปรย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1) คอลัมน์สเปรย์สร้างด้วยคอลัมน์ทรงกระบอกชนิดพลาสติก PVC ขนาด 180 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เมตร สูง 1 เมตร ด้านบนของคอลัมน์จะติดตั้งหัวสเปรย์และท่อทางออกของอากาศ ส่วนด้านล่างของคอลัมน์จะติดตั้งท่อทางเข้าอากาศและท่อรูปตัวยูเพื่อเป็นทางออกของเหลว ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ท่อรูปตัวยูทางออกของเหลวของคอลัมน์สเปรย์

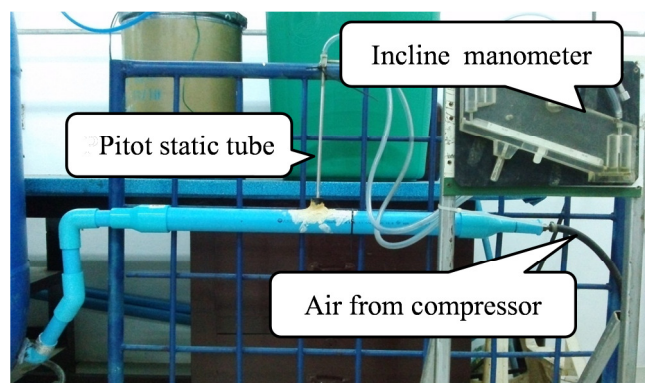
2) หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุน (Spiral spray nozzle) ขนาด 0.25 นิ้ว ถูกติดตั้งไว้ส่วนบนภายในคอลัมน์สเปรย์ เพราะสามารถป้องกันการอุดตันของเนื้อยางในทางน้ำยางจากการพันละอองของเหลว เพื่อเพิ่มพื้นผิวการถ่ายโอนมวลแอมโมเนียในเฟสของเหลวและอากาศที่ไหลสวนทางกันซึ่งแสดงไดอะแกรมของหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุนและลักษณะการติดตั้งหัวสเปรย์แสดงดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 ไดอะแกรมของหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุน (ก)
และลักษณะการติดตั้งหัวสเปรย์ (ข)

3) ปั๊มของเหลว (Liquid pump) ใช้สำหรับป้อนทางน้ำยางจากถังเก็บ (Skim latex tank) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุนให้เกิดเป็นละอองภายในคอลัมน์สเปรย์

4) ระบบการวัดอัตราการไหลของกระแสอากาศ โดยอากาศที่ป้อนเข้าคอลัมน์สเปรย์มาจากเครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ผ่านท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว ที่ต่อด้วย Pitot static tube ร่วมกับมานอมิเตอร์แบบเอียง (Incline manometer) สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่คอลัมน์สเปรย์ทางด้านล่างแสดงได้ดังรูปที่ 3-7



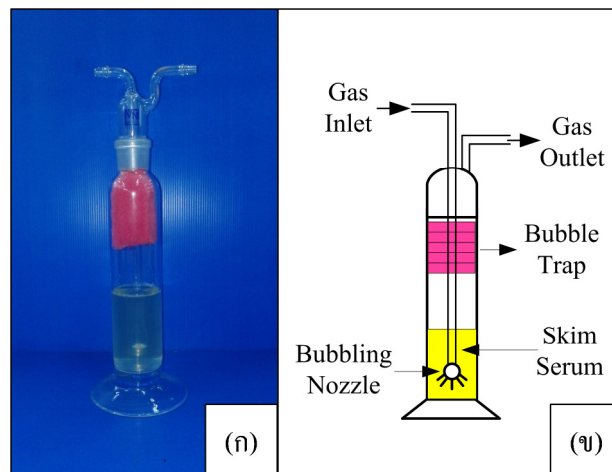
รูปที่ 3-7 ระบบการวัดอัตราการไหลของกระแสอากาศป้อนของคอลัมน์สเปรย์

3.5 ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิล (Bubble column reactor)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจาก 2 แหล่ง คือ แอมโมเนียในอากาศเสียจำลองและแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในหาน้ำยางด้วยปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) และปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดต้นแบบ (Pilot scale) โดยใช้น้ำและน้ำซีรัมเป็นสารดูดซึม

3.5.1 ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ

แก๊สแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองจะถูกป้อนเข้าทางด้านบนของปฏิกรณ์ผ่านหัวพ่นฟองอากาศสัมผัสกับสารดูดซึมและอากาศที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียจะถูกปล่อยออกทางด้านบนของปฏิกรณ์ ซึ่งลักษณะของปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดห้องปฏิบัติการสามารถแสดงดังรูปที่ 3-8 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3-8 ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง (ก) และไดอะแกรมปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง (ข)

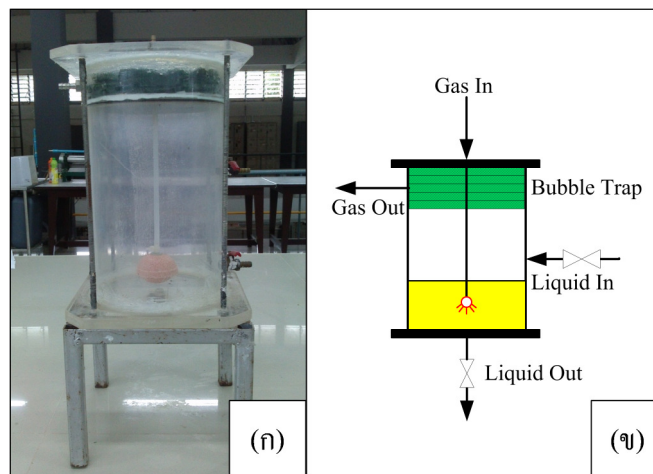
1) ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดห้องปฏิบัติการมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่สร้างจากอิมพิงเจอร์ (Impinger) ขนาด 0.5 ลิตรเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร บรรจุสารดูดซึม 150 มิลลิลิตร (ระดับความสูงของสารดูดซึมในคอลัมน์ 7.8 เซนติเมตร) สำหรับการดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง

2) หัวฟันทองอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร สำหรับฟันทองอากาศเสียจำลอง ให้สัมผัสกับสารดูดซึ่มภายในปฏิกรณ์เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวล

3) ตัวทำลายฟอง (Bubble trap) ถูกติดตั้งด้วยวัสดุฟองน้ำ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำซีรัมสามารถเกิดฟองได้ง่าย จึงต้องติดตั้งตัวทำลายฟองไว้ด้านบนของปฏิกรณ์ เพื่อให้ฟองล้นออกมาในส่วนของทางออกอากาศของปฏิกรณ์ในขณะที่ฟันทองอากาศสัมผัสกับน้ำซีรัม

3.5.2 ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบ

ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาด 9 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร และสูง 32 เซนติเมตรด้านบนของปฏิกรณ์จะบรรจุตัวกลางที่ใช้ในการทำลายฟองหนา 4 เซนติเมตรและใช้หัวฟันทองอากาศชนิดหัวทราเยเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างหัวฟันทองอากาศกับด้านบนของปฏิกรณ์ 27 เซนติเมตร ด้านข้างและด้านล่างของปฏิกรณ์ตีควาลไว้สำหรับป้อนของเหลวเข้าและออกจากปฏิกรณ์ แก๊สแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์จะถูกป้อนเข้าทางด้านบนของปฏิกรณ์ส่วนอากาศที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียจะถูกป้อนออกทางด้านบนของปฏิกรณ์เช่นกัน ซึ่งปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบคอลัมน์สเปรย์แสดงได้ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบคอลัมน์สเปรย์ (ก) และไดอะแกรมปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบคอลัมน์สเปรย์ (ข)

3.6 วิธีการทดลองกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง

การทดลองกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในหางน้ำยางด้วยคลอรีนสเปรย์ มีการใช้หางน้ำยางจำลองที่เตรียมขึ้นจากการนำแอมโมเนียเหลวผสมกับน้ำเพื่อทดสอบความสามารถของคลอรีนสเปรย์และหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนีย และใช้หางน้ำยางจากโรงงานผลิตน้ำยางขึ้นเพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบด้วยสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดของการเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และการทดลองดังต่อไปนี้

3.6.1 การเตรียมหางน้ำยางจำลอง

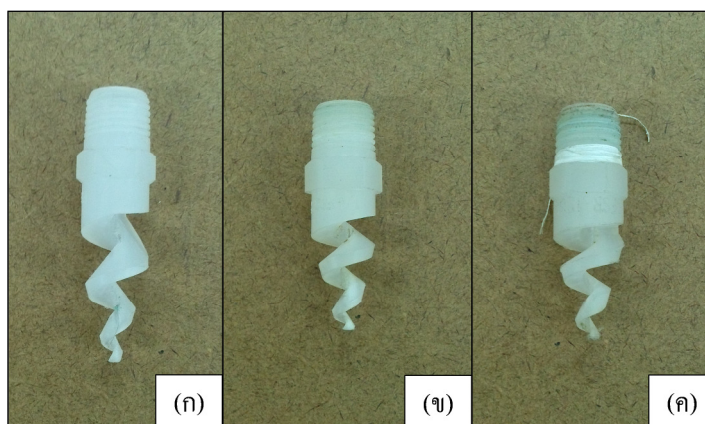
การเตรียมหางน้ำยางจำลองสามารถทำได้โดยการเติมแอมโมเนียเหลว (Liquid ammonia) ลงไปในน้ำโดยจำลองให้มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 0.30% โดยน้ำหนักซึ่งรายละเอียดการเตรียมหางน้ำยางจำลองสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- 1) เตรียมน้ำปริมาตร 60 ลิตร ในถังพลาสติกขนาด 80 ลิตร
- 2) ค่อยๆ เติมแอมโมเนียเหลวลงไปในน้ำที่ละน้อย เพื่อปรับความเข้มข้นให้ได้ตามต้องการ โดยทำการกวนผสมสารละลายในขณะที่เติมแอมโมเนียเหลว
- 3) นำสารละลายแอมโมเนียหรือหางน้ำยางจำลองที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียด้วยวิธีไทเทรต

3.6.2 ตัวแปรการทดลองกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในหางน้ำยางจำลอง

การศึกษากำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในหางน้ำยางจำลองด้วยคลอรีนสเปรย์ ดำเนินการศึกษาตัวแปรที่ประกอบด้วยมุมกระจายของหัวสเปรย์ (Spray angle) อัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง ความสูงของคลอรีนและจำนวนหัวสเปรย์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของคลอรีนสเปรย์ในการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในหางน้ำยางจำลอง โดยมีรายละเอียดของตัวแปรการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) มุมกระจายของหัวสเปรย์ โดยใช้หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวมุมกระจาย 60° , 90° และ 120° ดังแสดงในรูปที่ 3-10 เพื่อเปรียบเทียบผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง



รูปที่ 3-10 หัวสเปร์ยชนิดเกลียวเดียวมุมกระจายตัว 60°(ก) 90°(ข) และ 120°(ค)

2) อัตราการไหลของอากาศ ทำการศึกษาอัตราการไหลของอากาศในช่วง 200-400 ลิตร/นาที่ โดยป้อนอากาศจากเครื่องอัดอากาศผ่าน Pitot static tube ร่วมกับमानมิเตอร์แบบเอียง (Incline manometer)

3) อัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง ทำการศึกษาอัตราการไหลของหางน้ำยางที่ 3.0-6.0 ลิตร/นาที่ โดยป้อนหางน้ำยางจำลองผ่านบอลวาล์ว (Ball valve) เพื่อปรับอัตราการไหลให้ได้ตามต้องการด้วยปั๊มก่อนเข้าสู่คอลัมน์สเปร์ย จากนั้นทำการวัดอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองที่ทางออกด้านล่างของคอลัมน์ โดยการรับน้ำด้วยบีกเกอร์แล้วจับเวลา ในขณะที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state)

4) จำนวนหัวสเปร์ยสำหรับชนิดพ่นของเหลว การเพิ่มจำนวนหัวสเปร์ยเป็นการเพิ่มปริมาณของเหลวภายในคอลัมน์สเปร์ยจากการไหลผ่านหัวสเปร์ยซึ่งช่วยเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกันระหว่างฝอยของเหลวกับอากาศได้มากขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงติดตั้งหัวสเปร์ยชนิดเกลียวเดียว 1 และ 2 หัวไว้ด้านบนของคอลัมน์สเปร์ยโดยการเพิ่มจำนวนหัวสเปร์ยจะต้องเพิ่มอัตราการไหลของเหลวเพื่อให้เกิดการอัตราการไหลผลักดันสูงขึ้นและเกิดแรงเหวี่ยงของการสเปร์ยได้มาก จึงนำเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียระหว่างหัวสเปร์ย 1 หัวที่ใช้อัตราการไหลของเหลวจากสภาวะที่เหมาะสมกับหัวสเปร์ย 2 หัวที่เพิ่มอัตราการไหลของเหลวเป็น 6.5 ลิตร/นาที่ ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุดที่ปั๊มสามารถทำงานได้

5) ความสูงคอลัมน์สเปร์ย ระดับความสูงของคอลัมน์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียด้วยสเปร์ยคอลัมน์ ในงานวิจัยนี้จึงทำการทดลองที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 1 และ 2 เมตร โดยคอลัมน์สูง 2 เมตร สร้างจากคอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48

เมตร สูง 1 เมตร 2 ถังมาประกบเชื่อมต่อด้วยน๊อต แล้วอัตรอยเชื่อมด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศในระหว่างการดำเนินการทดลอง ซึ่งระบบการดำเนินงานของคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 ระบบการดำเนินงานของคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร

3.6.3 ขั้นตอนการทดลองกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยาง

เริ่มจากการศึกษาการทำงานของคอลัมน์สเปรย์โดยทดลองกับทางน้ำยางจำลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียก่อนที่จะทดลองกับทางน้ำยางในการทดลองจะมีขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอนย่อยดังนี้

- 1) ปรับอัตราการไหลของทางน้ำยางจำลองด้วยบอลวาล์ว ทำการป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculation) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุนเข้าทางด้านบนของคอลัมน์
- 2) ป้อนอากาศจากเครื่องอัดอากาศ (Air compressor) เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์
- 3) เก็บตัวอย่างทางน้ำยางจำลองทั้งก่อนและหลังเข้าคอลัมน์สเปรย์ทุก 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อประเมินผลประสิทธิภาพของระบบ
- 4) หาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ นำตัวอย่างทางน้ำยางจำลองทั้งก่อนและหลังเข้าระบบคอลัมน์สเปรย์มาวิเคราะห์หาความ

เข้มข้นของแอมโมเนียด้วยวิธีการไทเทรตและคำนวณหาประสิทธิภาพ (% Efficiency) ของระบบ โดยใช้สมการที่(3-1)

$$\% \text{ eff.} = \frac{\text{NH}_3 \text{ inlet conc.} - \text{NH}_3 \text{ outlet conc.}}{\text{NH}_3 \text{ Inlet conc.}} \times 100 \quad (3-1)$$

เมื่อ % eff. คือร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบ กำหนดให้ NH_3 inlet conc. และ NH_3 outlet conc. คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางที่ทางเข้าและทางออกของระบบตามลำดับ เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองแล้วจึงนำสภาวะนั้นมาประยุกต์ใช้กับทางน้ำยาง โดยดำเนินการทดลองเหมือนกับทางน้ำยางจำลอง แต่เก็บตัวอย่างทุกๆ 20 นาที ใน 1 ชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จนกว่าจะเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ (Steady state)

5) เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณทางออกของคอลัมน์สเปรย์ เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดออกจากทางน้ำยาง โดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่าง (Sampling pump) เก็บอากาศที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนีย โดยดูดซึมด้วยสารละลายกรดบอริกโดยใช้อิมพิงเจอร์และทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นแอมโมเนียในอากาศด้วยวิธีการไทเทรตเพื่อใช้ในการออกแบบระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

6) วิเคราะห์การใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ในการจับตัวเนือยในทางน้ำยางทั้งก่อนและหลังการกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์

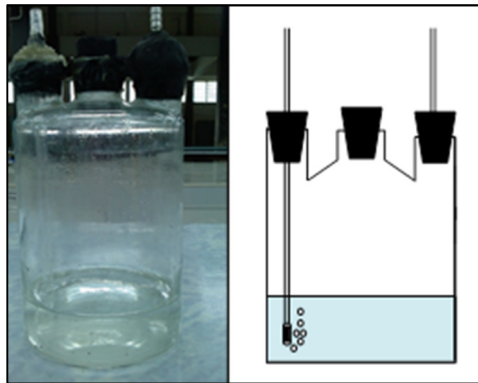
3.7 วิธีการทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสีย 2 ชนิด คือ อากาศเสียจำลองและอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.7.1 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมอากาศเสียจำลอง

ทำการติดตั้งระบบการเตรียมอากาศเสียจำลองให้ได้ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ 300-1,500 ppmv สำหรับการทดลองศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบับเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีส่วนประกอบและรายละเอียดสำคัญดังต่อไปนี้

- 1) เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ใช้สำหรับผลิตอากาศอัด (Compressed air) ที่
จะป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์ด้วยอัตราการไหลที่ต้องการ
- 2) โรตاميเตอร์ (Rotameter) เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศซึ่งเป็นแบบ
ลูกลอยมีสเกลบอกถึงอัตราการไหลในหน่วยลิตร/นาที
- 3) วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Manual valve) ใช้ในการปรับอัตราไหลของอากาศ
เสียก่อนป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์ให้ได้ตามค่าควบคุมที่ต้องการ ในการปรับวาล์วจะปรับตามค่าที่อ่านได้
จากโรตاميเตอร์
- 4) ข้อต่อและท่อซิลิโคน ใช้สำหรับเชื่อมต่อท่ออากาศที่ป้อนเข้าระบบซึ่งมีการแยก
และรวมเส้นท่อในหลายจุด รวมถึงการใช้สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศที่ทางเข้าและทางออกของ
ปฏิกรณ์ เส้นท่อที่ใช้ในการเตรียมอากาศป้อนเข้าสู่ระบบจะใช้ท่อซิลิโคนเพื่อให้สามารถติดตั้งระบบ
ท่ออากาศได้ง่ายและลดการรั่วซึมของอากาศจากระบบท่อ
- 6) ขวดบรรจุแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เป็นขวดแก้วปลายปิด 3 ด้าน โดย
มีการต่อท่ออากาศที่ทำจากแก้วลงไปในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งอากาศจะไหลไป
ตามท่อผ่านสารละลายที่บรรจุภายในขวดแก้ว อากาศเหล่านั้นจะพาแก๊สแอมโมเนียที่เกิดจากการ
ระเหยของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ออกจากขวดไปกับกระแสอากาศที่ต่อท่อทางออกดังแสดงใน
รูปที่ 3-12



รูปที่ 3-12 ขวดบรรจุแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เพื่อผลิตอากาศเสียจำลองที่มีแก๊สแอมโมเนีย
ปนเปื้อน

- 5) ถังผสม (Mixing tank) ใช้สำหรับผสมแก๊สแอมโมเนียที่ระเหยมาจากขวดบรรจุ
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์กับอากาศจากเครื่องอัดอากาศ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของแก๊ส
แอมโมเนียก่อนป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊สแบบไหลขนาดห้องปฏิบัติการ

3.7.2 ขั้นตอนการเตรียมอากาศเสียจำลองที่ปนเปื้อนแอมโมเนีย

วิธีการและขั้นตอนการเตรียมอากาศเสียจำลองที่ปนเปื้อนแอมโมเนียสำหรับการทดลองการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียมียมีรายละเอียดดังนี้

1) นำแอมโมเนียเหลวเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก ผสมกับน้ำได้เป็นสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์บรรจุในขวดแก้วปลายเปิด 3 ด้าน เพื่อเป็นแหล่งปลดปล่อยแอมโมเนียสำหรับผลิตเป็นอากาศเสียจำลองในการทดลอง

2) ทำการป้อนอากาศอัดเพื่อเป็นกระแสอากาศหลักจากเครื่องอัดอากาศซึ่งถูกแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกป้อนเข้าสู่ถังผสมและส่วนที่สองป้อนเข้าสู่ขวดที่บรรจุสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เพื่อเร่งให้แอมโมเนียเกิดการระเหยและเกิดการพาของแอมโมเนียปนเปื้อนไปกับกระแสอากาศ

3) ส่งกระแสอากาศจากทางออกของขวดบรรจุสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียเข้าสู่ถังผสมกับอากาศที่ถึงผสมตามสัดส่วนของอัตราการไหลและความเข้มข้นของอากาศเสียที่ต้องการ

4) ทำการป้อนอากาศเสียที่ผลิตได้เข้าสู่ทางเข้าของปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ วัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสอากาศป้อนโดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศเสียด้วยปั๊มเก็บอากาศ (Air sampling pump) และดูดซึมแอมโมเนียด้วยสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก ในขวดอิมพิงเจอร์เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียในแก๊สโดยวิธีการไทเทรต (พฤกระชา, 2555)

5) ควบคุมอัตราการไหลและความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศด้วยโรตاميเตอร์จนได้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสอากาศตามต้องการ โดยในช่วงแรกของการเตรียมอากาศเสียจะได้ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่ไม่สม่ำเสมอ จึงปล่อยอากาศเสียทิ้งจนกว่าระบบเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) ประมาณ 15-30 นาที จึงสามารถปล่อยอากาศเสียจำลองเข้าทำการกำจัดในปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ

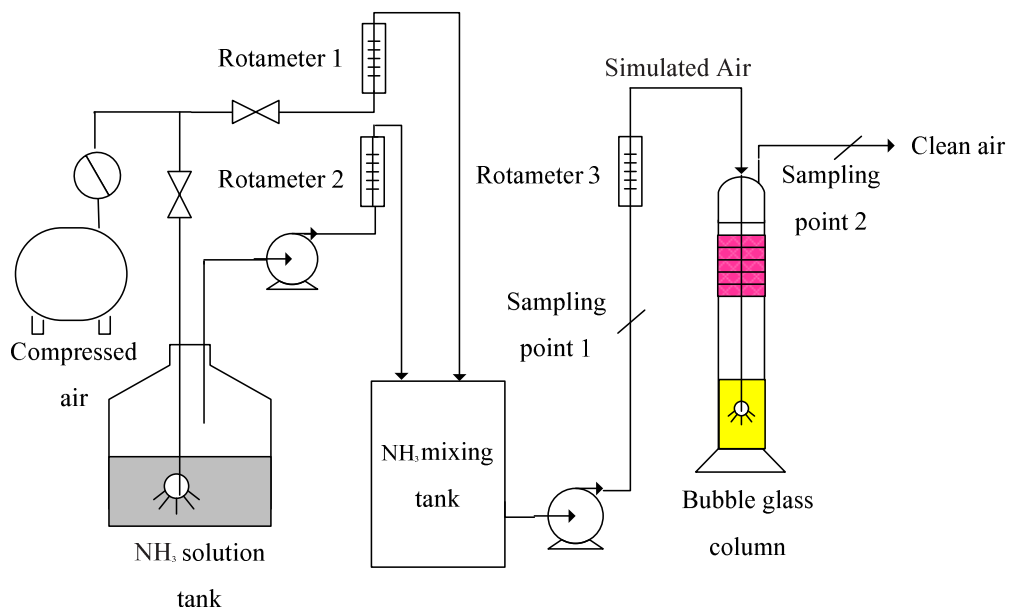
3.7.3 การทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิล ขนาดห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale)

การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจะใช้กระบวนการดูดซึมอากาศเสียกับสารดูดซึมชนิดน้ำและน้ำซีรัม ในการทดลองจะมีขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอน มีรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

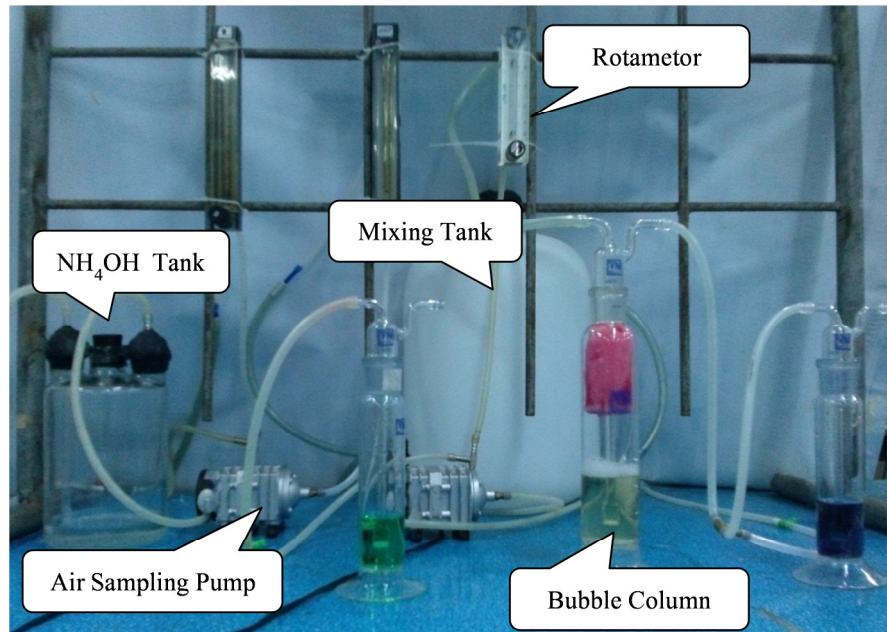
1) เตรียมอากาศเสียจำลองที่ปนเปื้อนแอมโมเนียให้มีความเข้มข้นคงที่ตลอดการทดลองก่อนป้อนแก๊สเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ

2) เตรียมน้ำซีรัม โดยนำน้ำซีรัมมากรองเพื่อแยกเอาตะกอนและเศษยางออกเพื่อลดการอุดตันในอุปกรณ์แล้ววัดค่า pH ด้วย pH meter

3) การทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำและน้ำซีรัม โดยเริ่มจากป้อนสารดูดซึม 150 มิลลิลิตรในปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ จากนั้นป้อนอากาศเสียจำลองจากถังผสมเข้าสู่ปฏิกรณ์ เก็บแก๊สตัวอย่างทั้งทางเข้าและออกเพื่อวัดความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย โดยแก๊สทางเข้าจะเก็บตัวอย่างทุก 10 นาที เพื่อควบคุมความเข้มข้นทางเข้าให้คงที่และทางออกเก็บตัวอย่างทุก 20 นาที โดยระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองแสดงได้ดังไดอะแกรมและรูปที่ 3-13 และ 3-14



รูปที่ 3-13 ไดอะแกรมระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง



รูปที่ 3-14 ระบบปฏิบัติการแก๊สบำบัดขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัด
แอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง

4) หาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียด้วยน้ำซีรัม ด้วยการเก็บตัวอย่างอากาศที่ทางเข้าและทางออกของอิมพิงเจอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียและคำนวณหาประสิทธิภาพ (% Efficiency) ของการกำจัดโดยใช้สมการที่ 3-1

5) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในการใช้น้ำและน้ำซีรัมเป็นสารดูดซึม โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองด้วยน้ำซีรัมมาใช้กับน้ำ เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของสารดูดซึมและประสิทธิภาพของระบบ

6) ศึกษาปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซึมด้วยน้ำและน้ำซีรัม โดยสามารถคำนวณได้จากการใช้สมการที่ (3-2)

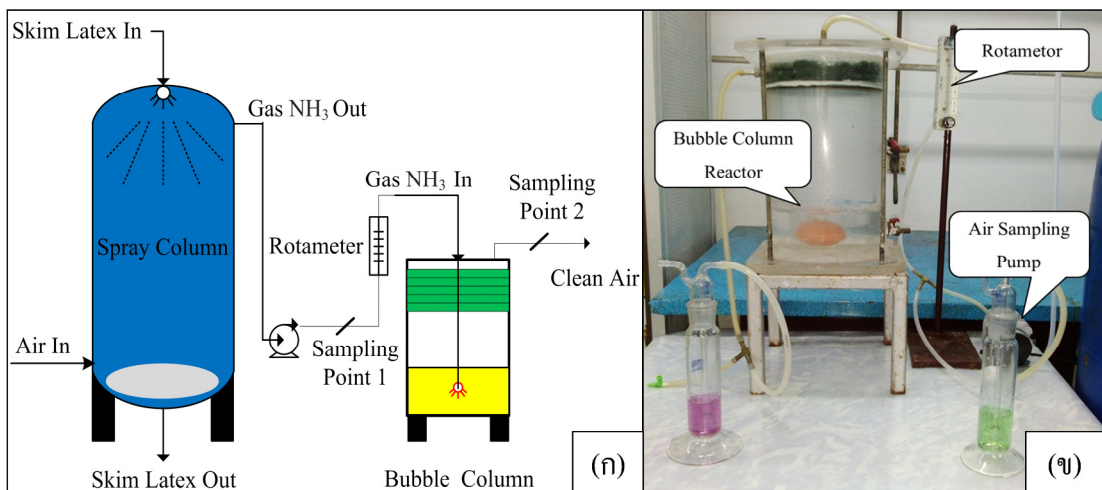
$$m = \sum_{k=1}^n (F_{in, k} - F_{out, k}) \Delta T_k \quad (3-2)$$

โดย m คือปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซึมไว้ในของเหลว (mg/L) กำหนดให้ F_{in} และ F_{out} คือ อัตราการป้อนแอมโมเนียเชิงมวลเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ (mg/min) ΔT คือ ผลต่างของเวลาที่เก็บตัวอย่างแก๊ส (min) ซึ่งผลรวมของผลคูณระหว่างผลต่างของอัตราการป้อนแอมโมเนียเชิงมวลกับเวลา คือ ปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซึมด้วยสารดูดซึม

3.7.4 การทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลขนาดต้นแบบ (Pilot scale)

ใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศเสียที่ปนเปื้อนแอมโมเนียจากคอลัมน์สเปรย์มาบางส่วนผ่านโรตاميเตอร์ก่อนเข้าปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลขนาดต้นแบบเพื่อกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียผ่านกระบวนการดูดซึม ซึ่งระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำข้างแสดงได้ดังไดอะแกรมและรูปที่ 3-15 และมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) เติมสารดูดซึมปริมาณ 2 ลิตร เข้าด้วยวาล์วที่ติดตั้งทางด้านข้างของปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลขนาดต้นแบบ
- 2) ทดลองกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึม โดยป้อนอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำข้างด้วยปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (Sampling pump) ผ่านโรตاميเตอร์เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศเสียก่อนปล่อยเข้าสู่ปฏิกรณ์
- 3) เก็บตัวอย่างอากาศทั้งทางเข้าและออกของปฏิกรณ์ด้วยการดูดซึมผ่านสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก เพื่อวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศด้วยวิธีการไทเทรต โดยจะเก็บตัวอย่างอากาศทุก 15 นาที



รูปที่ 3-15 ไดอะแกรมระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำข้างด้วยคอลัมน์สเปรย์(ก) ระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลขนาดต้นแบบสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำข้างด้วยคอลัมน์สเปรย์ (ข)

3.8 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์แอมโมเนีย

3.8.1 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์แอมโมเนียในทางน้ำยาง

1) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างทางน้ำยาง

อุปกรณ์ชุดเก็บตัวอย่างทางน้ำยางเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางที่ทางเข้าและออกของระบบคอลัมน์สเปรย์มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1.1) ขวดเก็บตัวอย่าง เป็นขวดพลาสติกปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างทางน้ำยางที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียจากท่อทางน้ำยางทางเข้าและทางออกของระบบคอลัมน์สเปรย์ แสดงได้ดังรูปที่ 3-16



รูปที่ 3-16 ขวดเก็บตัวอย่างทางน้ำยาง

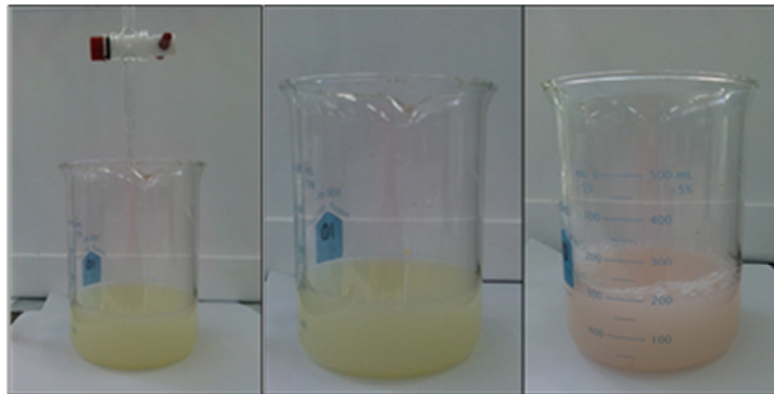
1.2) ท่อยางซิลิโคน ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างทางน้ำยางก่อนเข้าระบบสเปรย์คอลัมน์ ด้วยการติดตั้งท่อยางซิลิโคนไว้กับท่อป้อนทางน้ำยางที่ต่อกับปั๊มของเหลว (Liquid pump) ซึ่งทางน้ำยางจะถูกป้อนผ่านท่อยางซิลิโคนออกมาจากถังเก็บทางน้ำยาง (Skim latex tank) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ปนเปื้อน

2) การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในงานวิจัยการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางทำการศึกษาจากของเหลว 2 ชนิด คือ ทางน้ำยางและทางน้ำยางจำลอง ของเหลวแต่ละชนิดจะมีวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.1) หางน้ำยาง

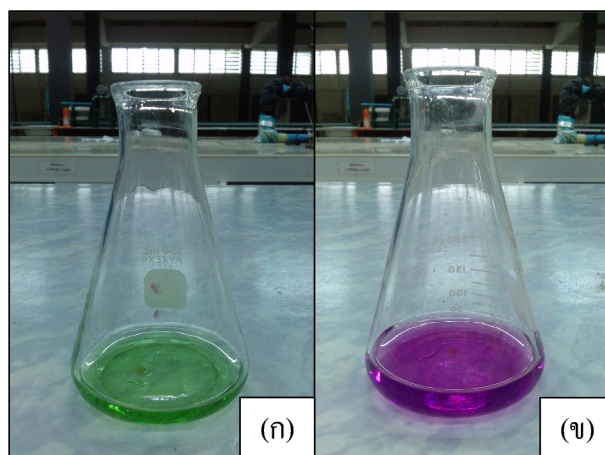
การวิเคราะห์แอมโมเนียในหางน้ำยางสามารถทำได้โดยดูหางน้ำยางจากขวดเก็บตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร จากนั้นทำการไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.12 โมลาร์ ซึ่งใช้เมทิลเรดอินดิเคเตอร์เป็นตัวบอจุดยุติ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสารละลายสีเหลืองเป็นสีส้มโอไรศ ดังแสดงดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-17 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยวิธีการไทเทรต

2.2) หางน้ำยางจำลอง

การวิเคราะห์แอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองสามารถทำได้โดยตวงหางน้ำยางจำลองด้วยกระบอกตวง 25 มิลลิลิตร เติมนลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นทำการไทเทรตด้วยกรดซัลฟูริก 0.13 โมลาร์ ซึ่งใช้เมทิลเรดอินดิเคเตอร์เป็นตัวบอจุดยุติ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสารละลายสีเขียวเป็นสีม่วง ดังแสดงดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 สีของสารละลายก่อน (ก) และหลัง (ข) การไทเทรตหางน้ำยางจำลอง

3.8.2 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์แอมโมเนียในอากาศเสีย

1) อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่ทางเข้าและออกของปฏิกรณ์แก๊สบำบัด มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

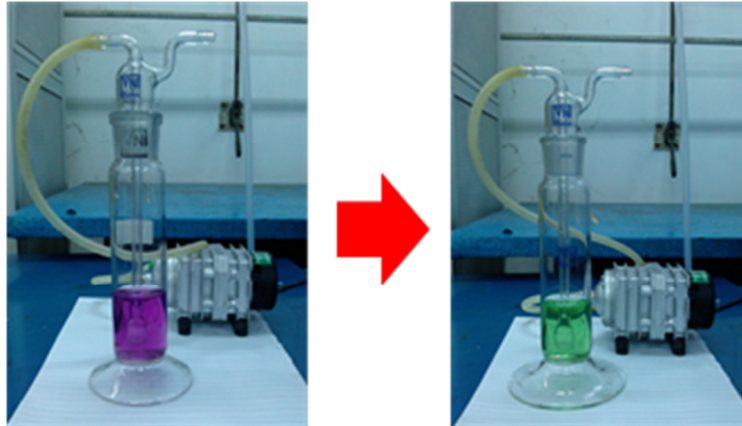
1.1) ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (Air sampling pump) แสดงดังรูปที่ 3-19 ใช้สำหรับดูดเก็บตัวอย่างอากาศที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียจากท่ออากาศเสียที่ทางเข้าและทางออกจากปฏิกรณ์แก๊สบำบัด เพื่อส่งตัวอย่างอากาศเข้าทำการดูดซึมแอมโมเนียด้วยกรดบอริกในอิมฟิงเจอร์ โดยต่ออิมฟิงเจอร์เข้ากับท่ออย่างซิลิโคนที่ทางออกของปั๊ม



รูปที่ 3-19 ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศเสียเพื่อวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ

1.2) ท่ออย่างซิลิโคน ใช้สำหรับเป็นทางไหลของตัวอย่างอากาศเสียที่ต่อระหว่างท่อทางเข้าและทางออกของปฏิกรณ์แก๊สบำบัดกับชุดเก็บตัวอย่างอากาศเสีย โดยจุดเก็บตัวอย่างจะต่อด้วยท่อ 3 ทาง เพื่อให้การเก็บตัวอย่างอากาศเสียไม่รบกวนกับระบบในขณะที่ทำการทดลอง

1.3) อิมฟิงเจอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างเพื่อวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักซึ่งจะหยุดเก็บตัวอย่างเมื่อสารละลายเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเขียว แสดงได้ดังรูปที่ 3-20



รูปที่ 3-20 การเก็บตัวอย่างแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยอิมพิงเจอร์

2) การวิเคราะห์ตัวอย่าง

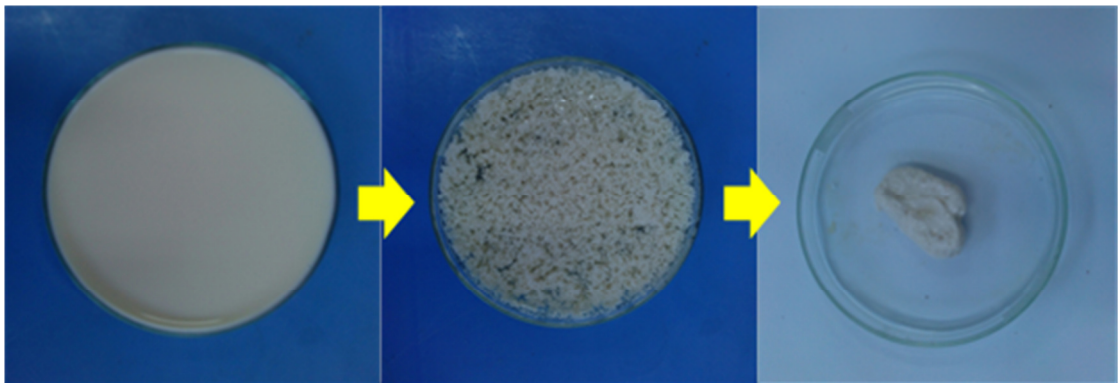
เมื่อทำการเก็บตัวอย่างอากาศเสียที่ปนเปื้อนแอมโมเนียลงไปในสารดูดซึมกรดบอริกเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก ด้วยการใช้อิมพิงเจอร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งทางเข้าและทางออกด้วยวิธีการไทเทรตกับกรดซัลฟูริก 0.005 โมลาร์ โดยใช้มิกส์อินดิเคเตอร์เป็นตัวบ่งชี้จุดยุติ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสารละลายสีเขียวเป็นสีม่วงดังแสดงในรูปที่ 3-21



รูปที่ 3-21 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยวิธีการไทเทรต

3.9 การวิเคราะห์ปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกจับตัวเนื้อยง

การวิเคราะห์ปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกจับตัวเนื้อยางในทางน้ำยาง เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางต่อปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกซึ่งสามารถทำได้โดยการตวงทางน้ำยางทั้งก่อนและหลังการกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์ใส่ในบีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ก่อนเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ในขณะที่เติมกรดซัลฟูริกให้ใช้แท่งแก้วคนสารกวนผสมให้ทางน้ำยางกับกรดซัลฟูริกเข้ากันและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของทางน้ำยาง เมื่อทางน้ำยางเริ่มจับตัวเป็นก้อนขนาดเล็กให้หยุดการไทเทรต และบันทึกปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้จับตัว โดยการจับตัวเนื้อยางและการแยกตัวของยางสกิมกับน้ำซีรัมแสดงได้รูปที่ 3-22 และ 3-23



รูปที่ 3-22 การจับตัวเนื้อยางในทางน้ำยางด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98%



รูปที่ 3-23 การแยกตัวของยางสกิมกับน้ำซีรัมหลังกระบวนการจับตัวเนื้อยาง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

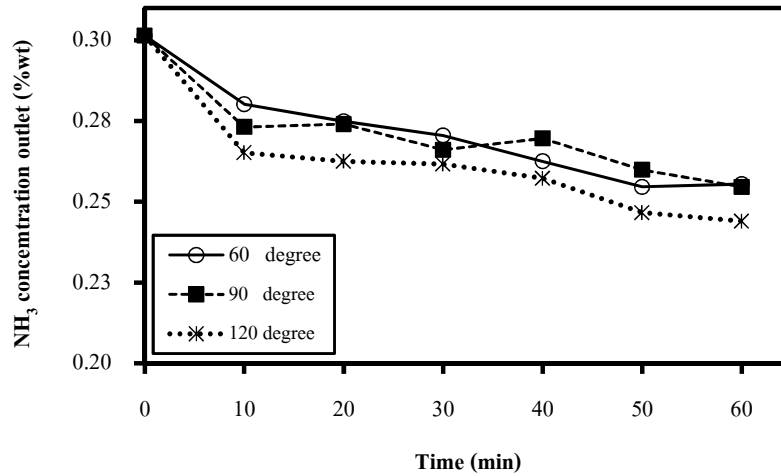
การศึกษาวิจัยเรื่องการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสีย ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ (Spray column) และระบบกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบับเบิล (Bubble column reactor) โดยสามารถแสดงผลของการติดตั้งระบบ ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลโดยนำข้อมูลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดแอมโมเนีย (NH_3 treatment efficiency) และหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียของทั้ง 2 ระบบ พร้อมทั้งแสดงการออกแบบระบบสำหรับใช้งานในโรงงานผลิตน้ำยางข้นและการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์

สำหรับการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ ในการทดลองเบื้องต้นจะใช้ทางน้ำยางจำลองแทนทางน้ำยางจริง เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียก่อนทดลองกับทางน้ำยางจริงซึ่งสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองสามารถพิจารณาได้จากผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ อัตราการไหลอากาศ อัตราการไหลทางน้ำยาง ความสูงของคอลัมน์ และจำนวนหัวสเปรย์ โดยทางน้ำยางที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียจะถูกนำมาวิเคราะห์การใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อเยื่อสกิน (Skim rubber) ซึ่งผลของการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้

4.1.1 ผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลอง

การศึกษาผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ที่ความสูงคอลัมน์ 1 เมตร ใช้ทางน้ำยางจำลองที่ปนเปื้อนแอมโมเนีย 0.30% โดยน้ำหนัก 60 ลิตร ป้อนผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยหมุม 1 หัว มุมกระจาย 60°, 90° และ 120° ด้วยอัตราการไหลของทางน้ำยางจำลอง 4.0 ลิตร/นาที แบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) และอัตราการไหลอากาศ 300 ลิตร/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถแสดงผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองที่ทางออกได้ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาที่ใช้ในการกำจัด

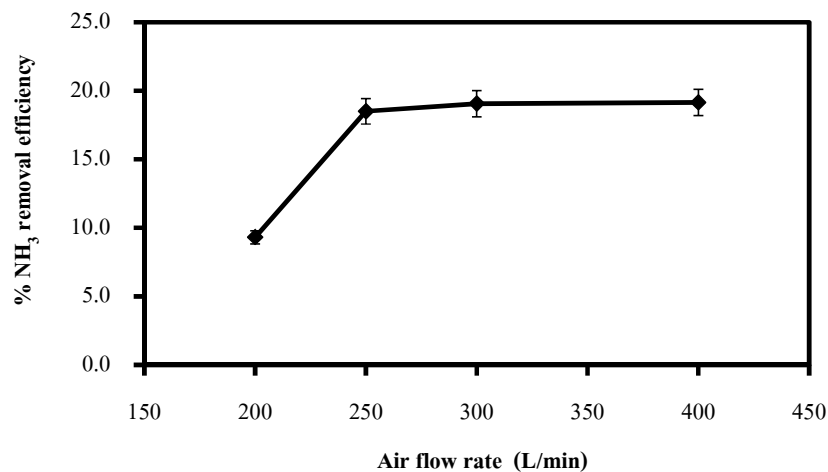
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์ลดลงกับเวลา โดยเฉพาะในช่วง 10 นาทีแรกของการทดลองความเข้มข้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นอิทธิพลของแรงขับเคลื่อน (Driving force) ที่ต่างกันของอากาศและแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองมีค่าสูง การป้อนทางน้ำยางจำลองผ่านหัวสเปรย์ที่มีมุมกระจาย 60°, 90° และ 120° จะส่งผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางทางออกของคอลัมน์สเปรย์ต่างกัน โดยเฉพาะมุมกระจายของหัวสเปรย์ 120° จะให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์ต่ำที่สุดเพราะเกิดการกระจายตัวของละอองของเหลวได้กว้างเต็มพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ ทำให้โอกาสการสัมผัสกันระหว่างของเหลวกับอากาศเกิดขึ้นได้มากกว่าการใช้หัวสเปรย์มุมกระจาย 60° และ 90° แอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองจึงถ่ายโอนมวลไปยังกระแสอากาศได้ดี จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำยางจำลองสูงที่สุดซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองที่เวลาการป้อนหมุนวนซ้ำ 1 ชั่วโมงคำนวณได้จากสมการที่ (3-1) และผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจากทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปรย์ที่เวลาการป้อนหมุนวนซ้ำ 1 ชั่วโมง

Spray Angle	% NH ₃ removal efficiency
60°	15.3
90°	15.5
120°	19.1

4.1.2 ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลอง

การศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปรย์ที่ความสูงคอลัมน์ 1 เมตร ใช้ทางน้ำยางจำลองที่ปนเปื้อนแอมโมเนีย 0.30% โดยน้ำหนัก 60 ลิตรป้อนผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวมุม 1 หัว มุมกระจาย 120° แบบหมุนวนช้า เป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วยอัตราการไหลของทางน้ำยางจำลองคงที่ 4.0 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของอากาศ 200-400 ลิตร/นาที ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 4-2

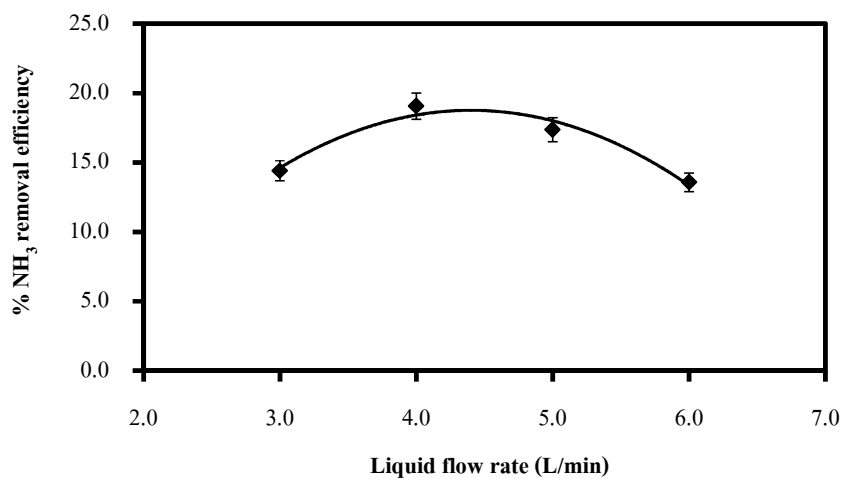


รูปที่ 4-2 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆในเวลา 1 ชั่วโมง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเป็นการเพิ่มความสามารถในการขับไล่แอมโมเนียในทางน้ำยางและทำให้เกิดการลดลงของความต้านทานการถ่ายโอนมวลในเฟสของเหลวส่งผลให้เกิดผลดีต่อการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลอง ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 250-400 ลิตร/นาที จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางสูงใกล้เคียงกันในช่วง 18.5-19.2% ภายในเวลา 1 ชั่วโมงของการทดลอง ขณะที่อัตราการไหลของอากาศ 200 ลิตร/นาที จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองต่ำกว่าประมาณ 50% ดังนั้นจึงเลือกอัตราการไหลของอากาศ 300 ลิตร/นาที เป็นอัตราการไหลที่เหมาะสมเนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องพลังงานไฟฟ้าในการป้อนอากาศป้อนได้อีกด้วย

4.1.3 ผลของอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองต่อการกำจัดแอมโมเนีย

การศึกษาผลของอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ที่ความสูงคอลัมน์ 1 เมตร โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่ 0.30% โดยน้ำหนักป้อนผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมู 1 หัว มุมกระจาย 120° ด้วยการป้อนหางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนช้า เป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วยอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง 3.0-6.0 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของอากาศที่ 300 ลิตร/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่อัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4-3



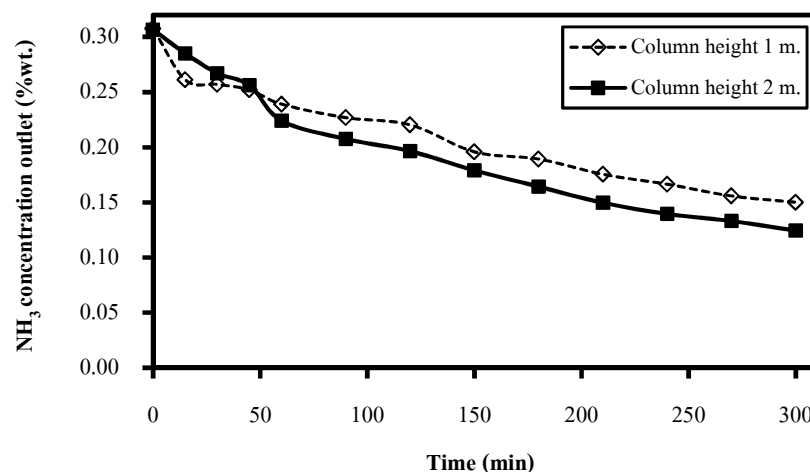
รูปที่ 4-3 ผลของอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ในเวลา 1 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง 3.0 ลิตร/นาที เป็นอัตราการไหลที่ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงของการสเปรย์ละอองฝอยหางน้ำยางน้อย จึงได้หยดละอองฝอยที่มีขนาดใหญ่ส่งผลให้ฟิล์มของเหลวมีความหนาและมีความต้านทานสูง ทำให้มีการถ่ายโอนมวลต่ำ ส่วนที่อัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง 4.0 ลิตร/นาที จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองสูงใกล้เคียงกับอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองที่ 5.0 ลิตร/นาที โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมีค่าอยู่ในช่วง 17.4-19.1% ภายในเวลา 1 ชั่วโมงของการทดลอง แต่ที่อัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองที่สูงกว่า 5.0 ลิตร/นาที ทำให้ความสามารถในการถ่ายโอนมวลลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองสูงกว่า 5 ลิตร/นาที นอกจากเป็นการเพิ่มปริมาณละอองฝอยของหางน้ำยางจำลองแล้วยังเป็นการเพิ่มความเร็วในการไหลของละอองฝอยหางน้ำยางจำลองผ่านคอลัมน์สเปรย์ทำให้ระยะเวลาในการสัมผัสกัน (Contact time) ของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองกับอากาศไม่เพียงพอ

ดังนั้นอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองที่เหมาะสมสำหรับการป้อนผ่านคอลัมน์สเปรย์เพื่อกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง คือ 4.0 ลิตร/นาทิต เพราะเป็นอัตราการไหลที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองสูงสุดและเมื่อพิจารณาสัดส่วน L/G ของระบบคอลัมน์สเปรย์ด้วยสภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง 4 ลิตร/นาทิต ไหลสวนทางกับกระแสอากาศอัตราการไหล 300 ลิตร/นาทิต พบว่าระบบมีสัดส่วน L/G เท่ากับ 10 ลิตร/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในงานวิจัยของ Chien และคณะ (2000) และ Manyele (2012)

4.1.4 ผลของความสูงของคอลัมน์ต่อการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง

ความสูงของคอลัมน์สเปรย์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญสำหรับการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้หางน้ำยางจำลองที่มีแอมโมเนียปนเปื้อน 0.30% โดยน้ำหนัก ป้อนผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวมุม 1 หัว มุมกระจาย 120° ด้วยอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง 4.0 ลิตร/นาทิต แบบหมุนวนซ้ำผ่านคอลัมน์สเปรย์ที่สูง 1 เมตร และ 2 เมตร ไหลสวนทางกับกระแสอากาศด้วยอัตราการไหล 300 ลิตร/นาทิต เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาที่ความสูงต่างๆ ของคอลัมน์แสดงได้ดังรูปที่ 4-4



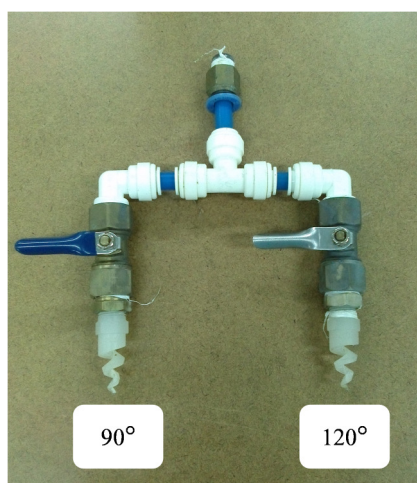
รูปที่ 4-4 ผลของความสูงของคอลัมน์สเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาในการดำเนินการทดลอง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์ลดลงตามเวลาที่ใช้ในการดำเนินการทดลองทุกความสูงของคอลัมน์ โดยคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองได้ต่ำกว่า

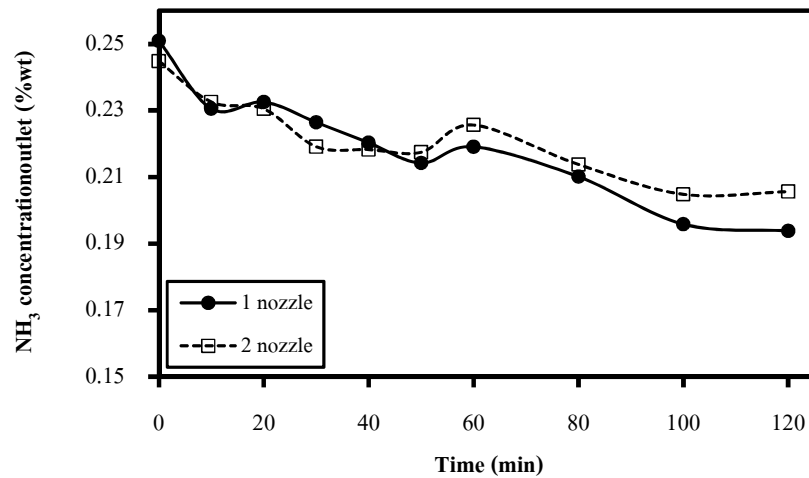
คอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร ดังนั้นการเพิ่มความสูงของคอลัมน์สเปรย์จาก 1 เมตร เป็น 2 เมตร จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองได้จาก 51.2% เป็น 59.4% ตามลำดับ เพราะการเพิ่มความสูงของคอลัมน์สเปรย์จะช่วยเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสกันระหว่างละอองฝอยทางน้ำอย่างจำลองกับกระแสอากาศภายในคอลัมน์สเปรย์ทำให้ทางน้ำอย่างจำลองสามารถถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียไปยังอากาศได้มากขึ้น

4.1.5 ผลของจำนวนหัวสเปรย์ต่อการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลอง

ในงานวิจัยได้ศึกษาผลของจำนวนหัวสเปรย์ 1 หัว และ 2 หัว โดยติดตั้งหัวสเปรย์ไว้ด้านบนของคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรป้อนทางน้ำอย่างที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนีย 0.25% โดยน้ำหนักแบบหมุนวนเข้าผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวยุม 1 หัว มุมกระจาย 120° ด้วยอัตราการไหลของทางน้ำอย่าง 4.0 ลิตร/นาที่ และกรณีของการใช้หัวสเปรย์จำนวน 2 หัวมุมกระจาย 90° และ 120° ต่อแบบขนานระนาบเดียวกันเพื่อเพิ่มปริมาณละอองฝอยของทางน้ำอย่างให้สัมผัสกับกระแสอากาศได้มากขึ้น ด้วยการป้อนทางน้ำอย่างอัตราการไหล 6.5 ลิตร/นาที่ ซึ่งสูงกว่าอัตราการไหลของทางน้ำอย่างที่ป้อนผ่านหัวสเปรย์ 1 หัว เพราะการติดตั้งหัวสเปรย์ 2 หัว ต้องใช้อัตราการไหลผลักดันเกิดแรงเหวี่ยงของการสเปรย์สูง เพื่อให้ได้หยดละอองฝอยขนาดเล็กไหลสวนทางกับอากาศด้วยอัตราการไหล 300 ลิตร/นาที่ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงซึ่งการต่อหัวสเปรย์แบบขนานระนาบเดียวกันแสดงไว้ดังรูปที่ 4-5 และผลของจำนวนหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์ แสดงได้ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-5 การต่อหัวสเปรย์ 2 หัว แบบขนานระนาบเดียวกัน



รูปที่ 4-6 ผลจำนวนหัวหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลาในการทดลอง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการป้อนทางน้ำยางผ่านหัวสเปรย์ 2 หัว ที่ต่อแบบขนานระนาบเดียวกันไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางได้เมื่อสังเกตจากระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์ทั้งนี้เนื่องจากการป้อนทางน้ำยางผ่านหัวสเปรย์ 2 หัว ที่ต่อแบบขนานระนาบเดียวกันด้วยอัตราการไหลของทางน้ำยาง 6.5 ลิตร/นาที่จะให้ละอองฝอยทางน้ำยางจากการสเปรย์ขนาดใหญ่ และละอองฝอยของทางน้ำยางที่พ่นออกจากหัวสเปรย์ส่วนใหญ่กระจายชนกับผนังของคอลัมน์เกิดการรวมตัวของทางน้ำยางเป็นหยดขนาดใหญ่ไหลตามผนังด้านในของคอลัมน์เกิดเป็นฟิล์มของเหลว (Liquid film) ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลต่ำ เพราะคอลัมน์สเปรย์มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ทำให้กระแสอากาศที่เข้าระบบไม่สามารถสัมผัสกับฟิล์มของเหลวที่ผนังคอลัมน์ได้อย่างทั่วถึงดังนั้นการติดตั้งหัวสเปรย์แบบขนานระนาบเดียวกันควรคำนึงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์สเปรย์เพื่อให้ละอองฝอยของเหลวสัมผัสกับผนังคอลัมน์น้อยที่สุดลักษณะการพ่นละอองฝอยทางน้ำยางของหัวสเปรย์ที่ต่อแบบขนานระนาบเดียวกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4-7

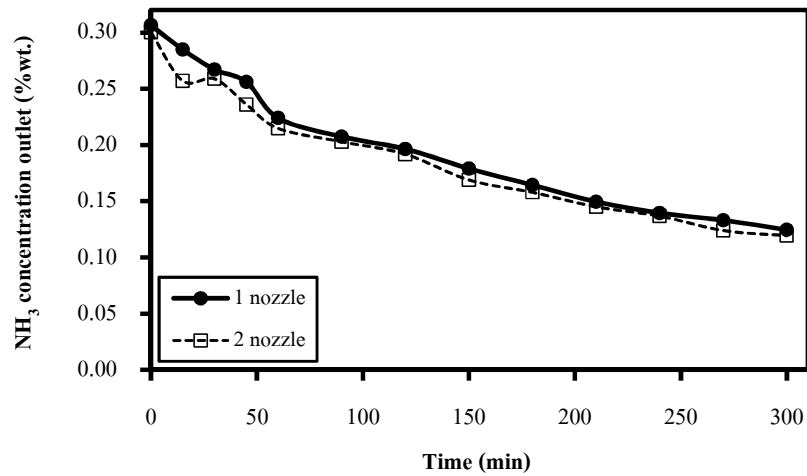


รูปที่ 4-7 ลักษณะพ่นละอองทางน้ำยางของหัวสเปรย์ที่ต่อแบบขนานระนาบเดียวกัน

จากนั้นได้ทดลองและติดตั้งหัวสเปรย์ 1 หัว และ 2 หัวไว้ด้านบนของคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร โดยป้อนหางน้ำยางจำลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนีย 0.30% โดยน้ำหนักแบบหมุนวนซ้ำผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวยุม 1 หัว มุมกระจาย 120° ด้วยอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง 4.0 ลิตร/นาทิต และกรณีของการใช้หัวสเปรย์จำนวน 2 หัว มีมุมกระจายเป็น 120° และ 90° ต่อแบบขนานบน-ล่าง ด้วยอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลอง 6.5 ลิตร/นาทิต สวนทางกับกระแสอากาศอัตราการไหล 300 ลิตร/นาทิต เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งลักษณะการต่อหัวสเปรย์ 2 หัว แบบขนานบน-ล่าง แสดงไว้ดังรูปที่ 4-8 และผลของจำนวนหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์ แสดงได้ดังรูปที่ 4-9 ซึ่งพบว่าการป้อนหางน้ำยางจำลองผ่านหัวสเปรย์ 2 หัวที่มีลักษณะการต่อแบบขนานบน-ล่างสามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองได้ใกล้เคียงกับใช้งานของหัวสเปรย์ 1 หัว ดังนั้นการติดตั้งหัวสเปรย์ 2 หัว ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง เนื่องจากหดยคละองฝอยของหางน้ำยางจำลองที่เกิดขึ้นจากหัวสเปรย์ 2 หัวที่อัตราการไหลที่กำหนด อาจมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการถ่ายโอนมวล



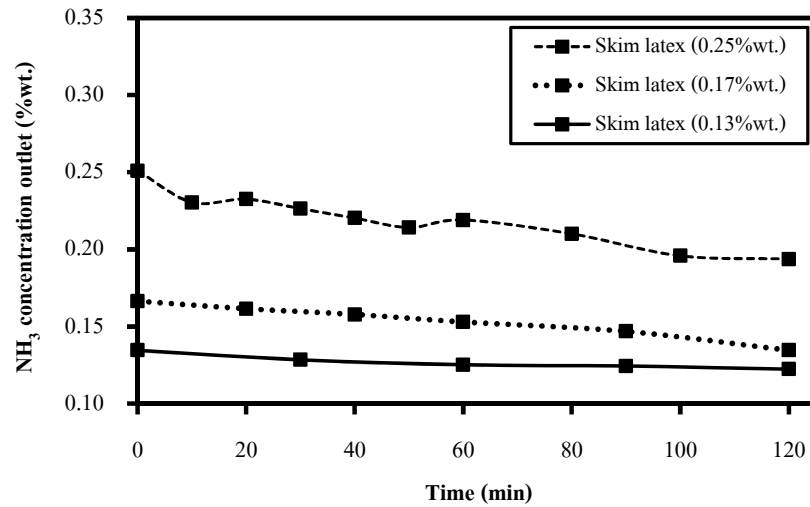
รูปที่ 4-8 การต่อหัวสเปรย์ 2 หัว แบบขนานบน-ล่าง



รูปที่ 4-9 ผลจำนวนหัวหัวสเปรย์ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร กับเวลาในการทดลอง

4.1.6 ผลการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในหางน้ำยางจริงด้วยสภาวะที่เหมาะสม

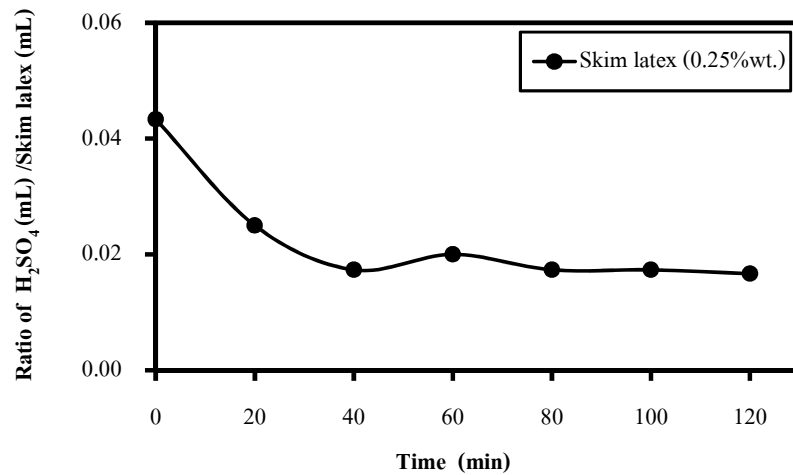
จากสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ คือการป้อนหางน้ำยางจำลองอัตราการไหล 4.0 ลิตร/นาทีผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวมุม 1 หัว มุมกระจาย 120° ไหลสวนทางกับกระแสอากาศอัตราการไหล 300 ลิตร/นาทีให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองสูงสุด จากสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จึงนำมาศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจริงที่ความสูงของคอลัมน์สเปรย์ 1 เมตร แสดงผลได้ดังรูปที่ 4-10 ซึ่งพบว่าในช่วง 10-15 นาทีแรกของการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจริงที่ 0.25% โดยจะเห็นการลดลงของความเข้มข้นของแอมโมเนียเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากมีแรงขับเคลื่อน (Driving force) ของความเข้มข้นแอมโมเนียในหางน้ำยางสูง ทำให้แอมโมเนียถูกกำจัดออกมาได้ง่าย แต่เมื่อระยะเวลาในการกำจัดแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งความเข้มข้นแอมโมเนียหางน้ำยางจำลอง 0.17 และ 0.25% โดยน้ำหนัก เหลือ 0.19 และ 0.22% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางได้ 24% ภายในเวลา 2 ชั่วโมง และที่ระดับความเข้มข้นแอมโมเนีย 0.13% โดยน้ำหนัก ในหางน้ำยางที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์ พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีการเปลี่ยนแปลงลดลงจากเดิมเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางต่ำ ส่งผลให้แรงขับเคลื่อนของความเข้มข้นแอมโมเนียในหางน้ำยางต่ำไปด้วยทำให้แอมโมเนียถูกกำจัดออกจากหางน้ำยางได้ยากกว่าที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงๆ



รูปที่ 4-10 ผลของหางน้ำยางจริงที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียต่างๆ ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางทางออกของคอลัมน์สเปรย์กับเวลา

4.1.7 ผลการใช้กรดซัลฟูริกจับตัวเนื้อยางskim (Skim rubber) ในหางน้ำยาง

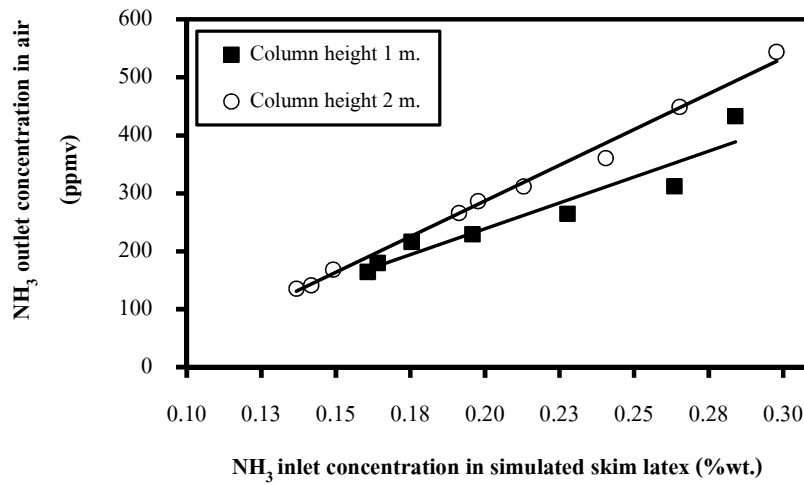
หางน้ำยางที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์จะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยางskim หากปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางมีความเข้มข้นสูงจำเป็นต้องใช้กรดซัลฟูริกปริมาณมากในการสะเทิน (Neutralization) แอมโมเนียในหางน้ำยาง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) นอกจากเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมีแล้วยังเป็นการเพิ่มความเป็นกรดให้กับน้ำซีรัมซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการจับตัวเนื้อยางskim ซึ่งผลของสัดส่วนปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกต่อปริมาณหางน้ำยางที่ใช้จับตัวเนื้อยางskim แสดงได้ดังรูปที่ 4-11 พบว่าสัดส่วนปริมาณกรดซัลฟูริกต่อปริมาณหางน้ำยางจะลดลงเมื่อเวลาในการกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์เพิ่มขึ้น เพราะหางน้ำยางที่ผ่านระบบคอลัมน์สเปรย์จะมีปริมาณแอมโมเนียน้อยลง โดยการลดลงของแอมโมเนีย 24% ในหางน้ำยางที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มต้น 0.25% โดยน้ำหนักภายในเวลา 2 ชั่วโมงสามารถลดการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยางskim ได้ 62%



รูปที่ 4-11 สัดส่วนปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกต่อปริมาณหางน้ำยางที่ใช้จับตัวเนื้อยางสกินที่เวลาต่างๆ ในการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์

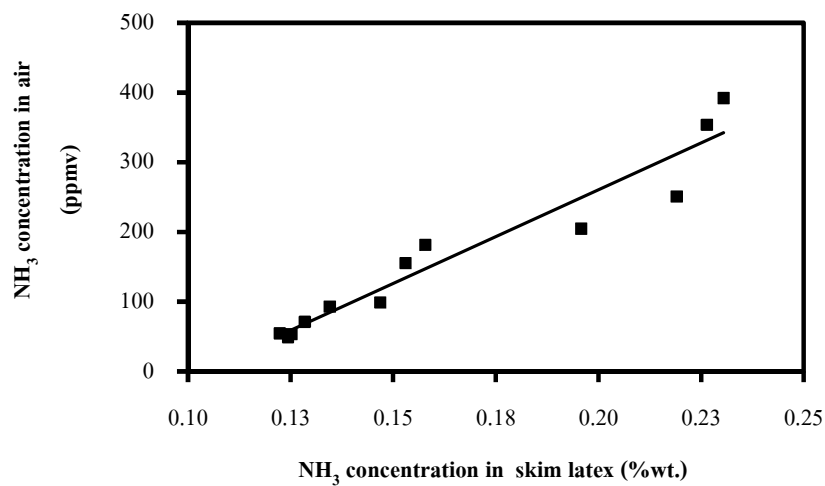
4.1.8 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศที่ออกจากระบบสเปรย์คอลัมน์

การกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์จะเกิดการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียจากเฟสของเหลวของหางน้ำยางไปสู่เฟสแก๊สของอากาศที่ป้อนไหลสวนทางทำให้อากาศที่ออกจากส่วนบนของคอลัมน์สเปรย์มีแอมโมเนียปนเปื้อน ซึ่งจากการป้อนหางน้ำยางจำลองที่ปนเปื้อนแอมโมเนีย 0.30% โดยน้ำหนักแบบหมุนวนเข้าผ่านคอลัมน์สเปรย์ 1 เมตร และ 2 เมตร ที่ติดตั้งหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดือยหมุนกระจาย 120° ด้วยอัตราการไหลของหาง 4.0 ลิตร/นาที่ ไหลสวนทางกับกระแสอากาศอัตราการไหล 300 ลิตร/นาที่ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงผลของความเข้มข้นแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียจากคอลัมน์สเปรย์แสดงได้ดังรูปที่ 4-12 พบว่าจากการป้อนหางน้ำยางจำลองผ่านคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร จะมีความเข้มข้นแอมโมเนียปนเปื้อนในอากาศสูงสุด 540 ppmv ที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง 0.29% โดยน้ำหนัก จากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียค่อยๆ ลดลงตามความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง และการป้อนหางน้ำยางจำลองผ่านคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร จะให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียน้อยกว่าการป้อนหางน้ำยางจำลองผ่านคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร ในทุกระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง แสดงให้เห็นว่าเมื่อป้อนหางน้ำยางจำลองผ่านคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรมีการถ่ายโอนมวลเกิดขึ้นได้น้อยกว่าการป้อนหางน้ำยางจำลองผ่านคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-12 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจากคอลัมน์สเปรย์ที่มีความสูงต่างๆ กับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง

เมื่อกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจริงด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร โดยป้อนหางน้ำยางจริงด้วยอัตราการไหล 4.0 ลิตร/นาที่ ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวมุม 1 หัว มุมกระจาย 120° ไหลสวนทางทางกับกระแสอากาศอัตราการไหล 300 ลิตร/นาที่ ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์แสดงได้ดังรูป 4-13

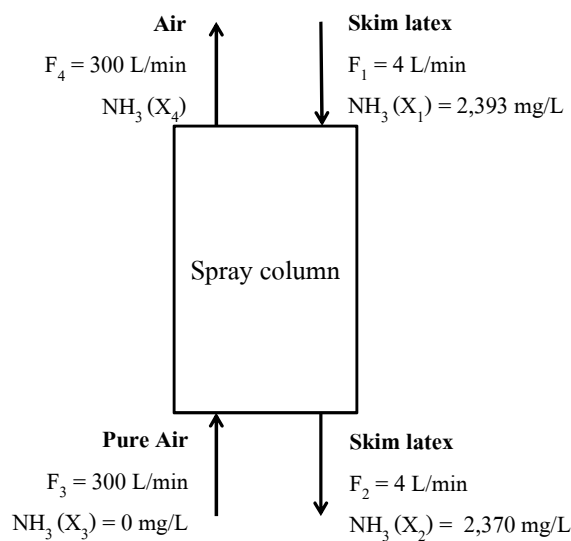


รูปที่ 4-13 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร กับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางจริง

จากรูปที่ 4-13 แสดงให้เห็นว่าอากาศเสียที่ไหลออกจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์มีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุดสูง 400 ppmv จากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศค่อยๆ ลดลงตามความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางต่ำสุดประมาณ 50-70 ppmv ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับแรงขับเคลื่อน (Driving force) ของระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยาง ซึ่งอย่างไรก็ตามแต่อากาศเสียที่ออกจากระบบคอลัมน์สเปรย์ต้องได้รับการกำจัดแอมโมเนียก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ เนื่องจากมีแอมโมเนียปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐานการควบคุม 50 ppmv (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

4.19 ผลการดุลมวลสาร (Mass balance) ของระบบคอลัมน์สเปรย์

จากการทดลองกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์สามารถนำไปสู่การดุลมวลสารของระบบ โดยในการทดลองซึ่งดำเนินการแบบต่อเนื่องด้วยสภาวะคงที่ (Steady state) แต่ในที่นี่แสดงการดุลมวลของแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในกระแสอากาศจากการป้อนทางน้ำยางที่มีแอมโมเนียปนเปื้อน 2,393 มิลลิกรัม/ลิตร (0.2346% โดยน้ำหนัก) ด้วยอัตราการไหล 4 ลิตร/นาที่ ไหลสวนทางกับกระแสอากาศที่อัตราการไหล 400 ลิตร/นาที่ พบว่าทางน้ำยางที่ถูกป้อนผ่านคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร จะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงเหลือ 2,372 มิลลิกรัม/ลิตร (0.2326% โดยน้ำหนัก) ซึ่งรายละเอียดการคำนวณการดุลมวลของแอมโมเนียในระบบคอลัมน์สเปรย์แสดงดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 การดุลมวลของแอมโมเนียในระบบคอลัมน์สเปรย์

- Assumptions**
1. อัตราการไหลของอากาศและหางน้ำย่างคงที่
 2. ไม่มีหางน้ำย่างระเหยไปกับกระแสอากาศ
 3. ไม่มีอากาศออกมาจากหางน้ำย่าง
 4. ไม่เกิดการสะสมภายในระบบคอลัมน์สเปรย์

ดุลแอมโมเนีย (Ammonia balance)

$$\begin{aligned} \text{In} &= \text{Out} \\ (F_1 \times X_1) + (F_2 \times X_2) &= (F_3 \times X_3) + (F_4 \times X_4) \\ \left(4 \frac{\text{L}}{\text{min}}\right) \left(2,393 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) + \left(300 \frac{\text{L}}{\text{min}}\right) \left(0 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) &= \left(4 \frac{\text{L}}{\text{min}}\right) \left(2,372 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) + \left(300 \frac{\text{L}}{\text{min}}\right) \left(X_4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \\ X_4 &= 0.28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 398 \text{ ppmv} \end{aligned}$$

จากผลการคำนวณของแอมโมเนียของระบบสเปรย์คอลัมน์ พบว่ากระแสอากาศทางออกของระบบมีแอมโมเนียปนเปื้อน 398 ppmv ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลของความเข้มข้นแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ดังแสดงในรูปที่ 4-13

4.2 ผลการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัด

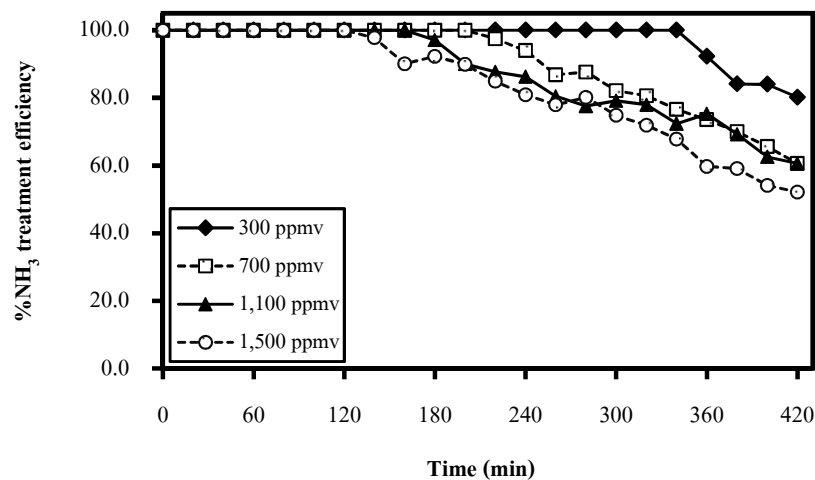
ในงานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำและน้ำซีรัมในปฏิกรณ์แก๊สบำบัด โดยใช้อากาศเสีย 2 ชนิด คือ อากาศเสียจำลองและอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำย่างผ่านกระบวนการดูดซึมด้วยน้ำและน้ำซีรัมในปฏิกรณ์แก๊สบำบัด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง

การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองด้วยปฏิกรณ์แก๊สบำบัดขนาดห้องปฏิบัติการตามที่แสดงในรูปที่ 3-8 ดำเนินการโดยใช้สารดูดซึม 2 ชนิด คือ น้ำและน้ำซีรัมเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมของการกำจัดแอมโมเนีย โดยพิจารณาจากผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย อัตราการไหลของอากาศเสีย และความสามารถในการดูดของสารดูดซึม (Absorption capacity) ซึ่งรายละเอียดผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1) ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียด้วยระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ โดยป้อนอากาศเสียจำลองที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยอัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 300-1,500 ppmv ผูดซึมผ่านน้ำซีรัม 150 มิลลิลิตร pH=2.45 ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างทุก 20 นาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมงสามารถแสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองกับเวลาได้ดังรูปที่4-15

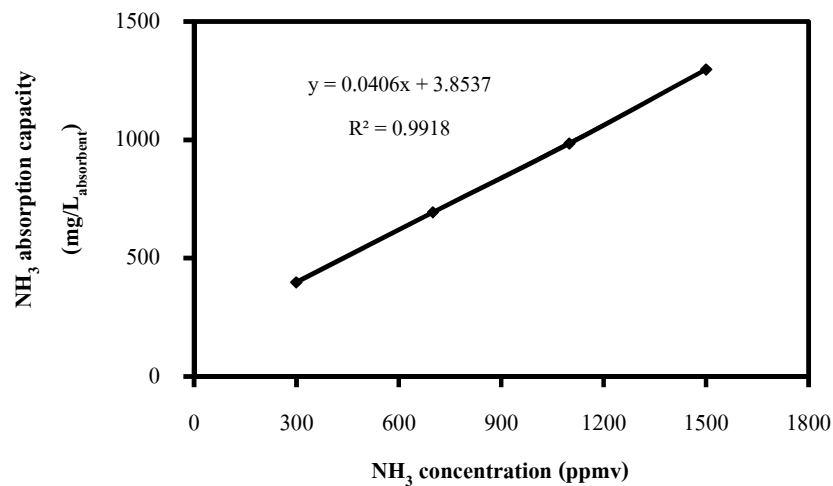


รูปที่ 4-15 ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียกับเวลาด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำซีรัม

จากรูปที่ 4-15 พบว่าการใช้น้ำซีรัมมีความสามารถกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงถึง 100% ทุกระดับความเข้มข้น เพราะว่าน้ำซีรัมยังคงสภาพความเป็นกรดสูงจึงทำให้การสะเทินกรดเบสเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 300 ppmv พบว่าน้ำซีรัมสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 100% อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง 6 ชั่วโมง ก่อนที่ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบจะลดลงมาเหลือ 83% ในเวลา 7 ชั่วโมงส่วนที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 700, 1,100, และ 1,500 ppmv ให้ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงต่ำกว่า 100% ภายในเวลา 2-3 ชั่วโมง จนเหลือประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบ 67%, 70%, และ 56% ตามลำดับ ในเวลา 7 ชั่วโมงของการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย เพราะความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่เพิ่มขึ้นจาก 300 ถึง 1,500 ppmv จะเพิ่มจำนวนโมเลกุลของแอมโมเนียในน้ำซีรัมที่ดักจับไว้ทำ

ให้น้ำซีรั่มมีความเป็นกรดลดลงจนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาสะเทินกรดเบสได้อย่างสมบูรณ์ ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นสูงจึงลดลงอย่างรวดเร็วกว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะสมกับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่มีความเข้มข้นต่ำในช่วง 300-1100 ppmv ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงกว่า 70%

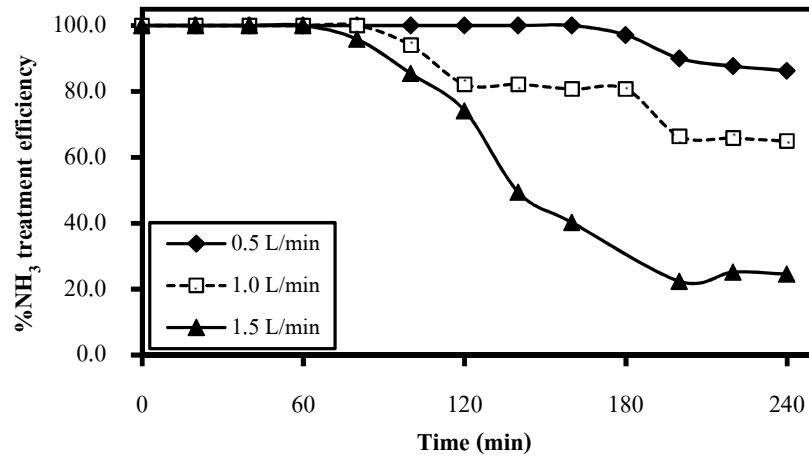
จากการศึกษาความสามารถในการดูดซึม (Absorption capacity) แอมโมเนียในอากาศเสียจำลองของน้ำซีรั่มคำนวณได้จากสมการที่ (3-2) พบว่าความสามารถในการดูดซึมของน้ำซีรั่มจะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจะช่วยเพิ่มแรงขับเคลื่อน (Driving force) และช่วยเพิ่มโมเลกุลของแอมโมเนียในเฟสแก๊สให้สูงขึ้นทำให้ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียเพิ่มขึ้นจาก 300 ppmv เป็น 1,500 ppmv ที่สัมพันธ์กับน้ำซีรั่มมีความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจาก 400 มิลลิกรัม/ลิตร_{สารดูดซึม} เป็น 1,298 มิลลิกรัม/ลิตร_{สารดูดซึม} ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4-16



รูปที่ 4-16 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองต่อความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียของน้ำซีรั่มด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 7 ชั่วโมง

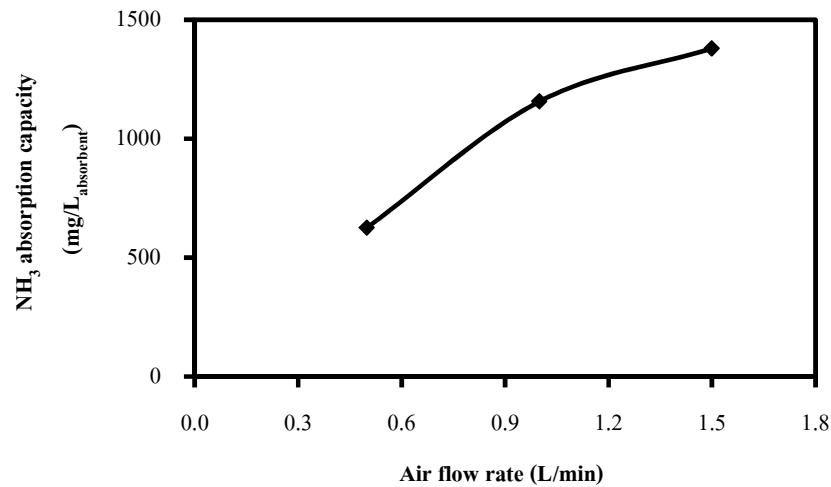
2) ผลของอัตราการไหลของอากาศเสียจำลอง

จากการศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศเสียที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียด้วยระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติ โดยการป้อนอากาศเสียจำลองด้วยอัตราการไหล 0.5-1.5 ลิตร/นาที ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1,100 ppmv ดูดซึมผ่านน้ำซีรั่ม pH=2.45 เก็บตัวอย่างทุก 20 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตลอดจนการทดลอง สามารถแสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองกับเวลาได้ดังรูปที่ 4-17



รูปที่ 4-17 ผลของอัตราการไหลของอากาศเสียจำลองต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียด้วย
 ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดขนาดห้องปฏิบัติการกับเวลาโดยการใช้ น้ำชีวมเป็น
 สารดูดซับที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง 1,100 ppmv

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเสียจำลองจาก 0.5 ถึง 1.5 ลิตร/นาที่ โดยที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5 ลิตร/นาที่ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงสุด และที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 1.5 ลิตร/นาที่ จะเห็นได้ชัดเจนว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเหลือ 20% ภายในระยะเวลาที่ทดลอง 240 นาที เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศเสียที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มความปั่นป่วนในเฟสแก๊สและเฟสของเหลวทำให้ปริมาณของแอมโมเนียในอากาศเสียถูกดูดซับเข้าไปอยู่ในน้ำชีวมได้มากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศเสียเป็นผลทำให้ระยะเวลา (Retention time) ที่แอมโมเนียในอากาศเสียสัมผัสกับน้ำชีวมน้อยลงจึงทำให้อากาศเสียที่ผ่านการกำจัดยังคงมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงอยู่ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียต่ำและเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองจะเห็นว่าอัตราการไหลของอากาศเสียเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียในอากาศเสียของน้ำชีวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณโมเลกุลของแอมโมเนียเข้าสู่ น้ำชีวมได้มากกว่าเมื่อเทียบกับอัตราการไหลต่ำๆ ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4-18

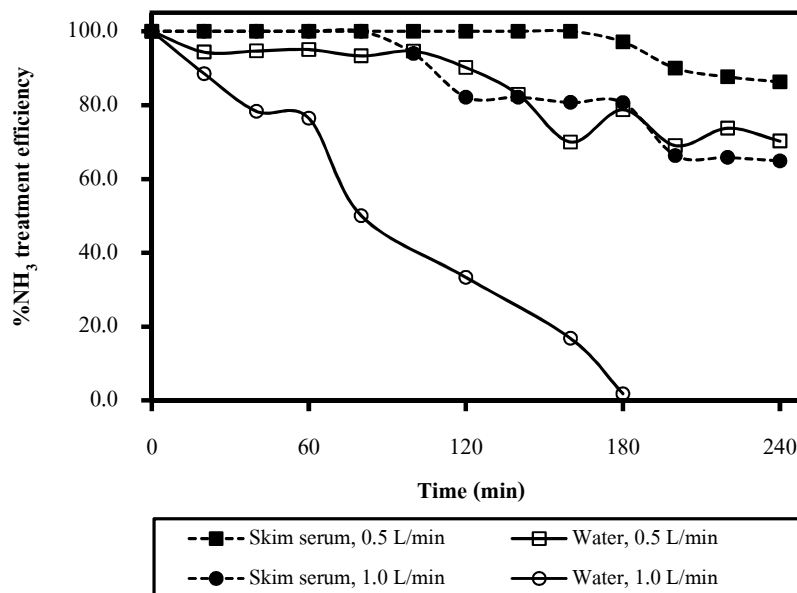


รูปที่ 4-18 ผลของอัตราการไหลของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองต่อความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียของน้ำซีรัมด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1,100 ppmv ในเวลา 4 ชั่วโมง

3) ผลการเปรียบเทียบชนิดของสารดูดซึม

จากการศึกษาผลการเปรียบเทียบชนิดสารดูดซึมระหว่างน้ำและน้ำซีรัม pH=2.45 เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของสารดูดซึม โดยป้อนอากาศเสียจำลองด้วยอัตราการไหล 0.5-1.0 ลิตร/นาที ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1,100 ppmv โดยเก็บตัวอย่างทุก 20 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตลอดจนการทดลอง สามารถแสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองกับเวลาได้ดังรูปที่ 4-19 พบว่าการใช้อากาศเสียอัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที ดูดซึมผ่านน้ำซีรัม จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงถึง 100% ตลอดระยะเวลาการทดลอง 160 นาที หลังจากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียค่อยๆ ลดลงเหลือ 86% เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง ส่วนการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศเสีย 1 ลิตร/นาที ดูดซึมผ่านน้ำซีรัม ได้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงถึง 100% ตลอดเวลาการทดลอง 80 นาที จากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาในการดูดซึมเพิ่มขึ้นเป็น 65% ในเวลา 4 ชั่วโมง และจากการทดลองโดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึมด้วยอัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5 ลิตร/นาที ได้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงถึง 95% ตลอดเวลา 100 นาที จนกระทั่งประสิทธิภาพการกำจัดจะลดค่อยๆ ลดลงเหลือ 70% ภายในเวลา 4 ชั่วโมง และที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 1 ลิตร/นาที เห็นได้อย่างชัดเจนว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลงอย่างรวดเร็วและไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียได้ภายในเวลา 3 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบในทุกอัตราการไหลของแอมโมเนียในอากาศเสียที่ผ่านการดูดซึมด้วย

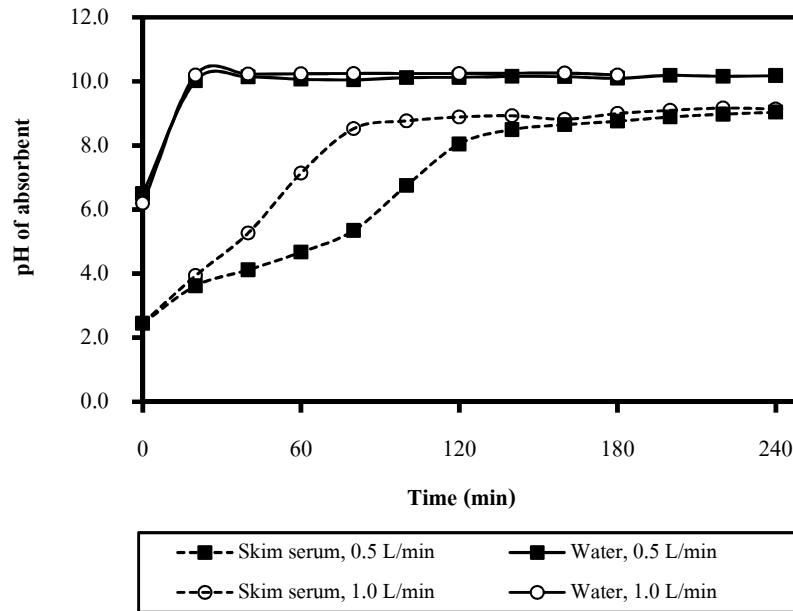
น้ำและน้ำชีรั่มแสดงให้เห็นว่าปฏิกรณ์แก๊สบำบัดขนาดห้องปฏิบัติการที่บรรจุน้ำชีรั่ม 150 มิลลิลิตร เป็นสารดูดซับสามารถกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองได้ดีกว่าการใช้น้ำทั้ง 2 ช่วง อัตราการไหลของอากาศเสีย เนื่องจากการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำชีรั่มเป็นการดูดซับทางเคมีที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เป็นผลิตภัณฑ์ตามสมการที่ (2-1) และแก๊สแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในกระแสอากาศนั้นสามารถละลายได้ดีในน้ำชีรั่มจึงส่งผลให้น้ำชีรั่มมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงกว่าน้ำ เพราะน้ำเป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวได้บางส่วนเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จึงยังคงเหลือโมเลกุลส่วนที่ไม่แตกตัวอยู่มากโดยให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) แตกตัวไม่สมบูรณ์ ทำให้ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียและน้ำลดลงส่งผลให้แรงขับเคลื่อน (Driving force) ลดลง ดังนั้นเพื่อให้การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียมีประสิทธิภาพจึงต้องใช้น้ำใหม่ตลอดเวลา



รูปที่ 4-19 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียจำลองกับเวลา โดยการใช้น้ำชีรั่มและน้ำเป็นสารดูดซับ ที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในอากาศเสียจำลอง 1,100 ppmv

เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง pH ของสารดูดซับจากรูปที่ 4-20 พบว่าน้ำมีการเปลี่ยนแปลง pH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งในช่วงก่อน 20 นาทีแรกของการทดลองน้ำมี $\text{pH} < 7.0$ ทำให้แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หลังจากนั้นเมื่อน้ำมี $\text{pH} > 7.0$ แอมโมเนียจึงอยู่ในรูปแอมโมเนีย (NH_3) และยิ่งน้ำมีค่า pH สูงกว่า 7 มากขึ้นแอมโมเนียมไอออนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียได้มากจึงทำให้น้ำไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียในอากาศได้อีก เพราะน้ำที่ใช้เป็นสารดูด

ซึ่งเกิดการอิมตัวด้วยแอมโมเนีย แต่ pH ของน้ำซีรัมค่อยๆ เพิ่มขึ้นช้าๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดสมดุลกรดเบส (Acid-base balance) ในระหว่างกระบวนการดูดซึมทางเคมีของน้ำซีรัมที่มีกรดซัลฟูริกเป็นองค์ประกอบหลักกับแอมโมเนียในอากาศเสีย



รูปที่ 4-20 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในระหว่างการดูดซึมแก๊สแอมโมเนียที่ปนเปื้อนในอากาศเสียจำลองกับเวลา ที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1,100 ppmv ในเวลา 4 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซึมของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองด้วยน้ำซีรัมและน้ำ 150 มิลลิลิตร ในเวลา 180 นาที แสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4-2 พบว่าน้ำซีรัมมีความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองได้มากกว่าน้ำบริสุทธิ์ทั้ง 2 ช่วงอัตราการไหลของอากาศเสีย จะเห็นได้ชัดเจนจากที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 1.0 ลิตร/นาที ว่ามีความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง 953 มิลลิกรัม/ลิตร_{สารดูดซึม} ซึ่งสูงกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมถึง 2 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบสารดูดซึมชนิดเดียวกัน พบว่าอัตราการไหลของอากาศเสีย 1.0 ลิตร/นาที ของน้ำซีรัมสามารถดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียได้มากกว่าที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5 ลิตร/นาที แต่ที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 1.0 ลิตร/นาที ของน้ำสามารถดูดซึมแอมโมเนียได้มากกว่าที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5 ลิตร/นาที เพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาจเป็นเพราะน้ำเป็นกรดอ่อน (pH=6.20) เมื่อป้อนแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองผ่านน้ำทำให้ pH ของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อป้อนอากาศเสียด้วยอัตราการไหล 1.0 ลิตร/นาที ทำให้เกิดความปั่นป่วนในเฟสแก๊สและเฟสของเหลวได้ดีกว่าที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5 ลิตร/นาที

ปริมาณของแอมโมเนียในอากาศเสียจึงถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในน้ำได้มาก แต่การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศเสียเป็นผลทำให้ระยะเวลาที่แอมโมเนียในอากาศเสียสัมผัสกับน้ำน้อยลง แต่อากาศเสียที่ผ่านการกำจัดยังคงมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียที่ถูกดูดซึมในน้ำทั้ง 2 อัตราการไหลของอากาศเสียแตกต่างกันไม่มาก แต่ในทางกลับกันเมื่อป้อนอากาศเสียผ่านน้ำซีรัมซึ่งมีสภาพเป็นกรดแก่ (pH=2.45) พบว่า pH ของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ จากการเกิดสมดุลกรดเบสระหว่างแอมโมเนียกับกรดซัลฟูริกในน้ำซีรัมจึงทำให้น้ำซีรัมมีความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียได้ดีกว่าน้ำ

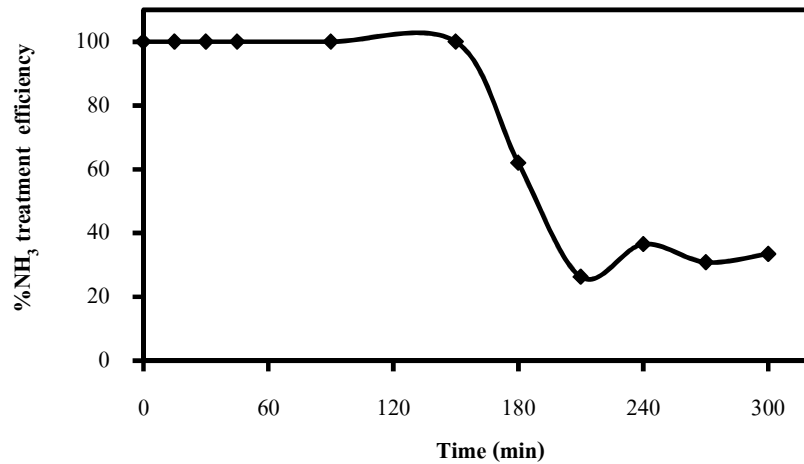
ตารางที่ 4-2 ความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองเข้มข้น 1,100 ppmv ระหว่างน้ำซีรัมกับน้ำ 150 มิลลิลิตร ภายในเวลา 180 นาที ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.5 และ 1.0 ลิตร/นาที

Absorbent	NH ₃ absorption capacity (mg/L _{absorbent})	
	0.5 L/min	1.0 L/min
Skim serum	512	953
Water	475	526

4.2.2 การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยาง

ระบบการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ต้องใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียออกจากทางน้ำยาง ทำให้อากาศที่ปล่อยออกมาจากคอลัมน์สเปรย์มีแอมโมเนียปนเปื้อนสูงกว่า 50 ppmv ซึ่งเป็นค่าที่เกินจากมาตรฐานการควบคุม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ดังนั้นอากาศที่ถูกปล่อยออกจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ต้องได้รับการกำจัดแอมโมเนียก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ในงานวิจัยนี้จึงใช้ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดขนาดต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 3-9 สำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปรย์ผ่านกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำ 2 ลิตร โดยใช้อัตราการไหลของอากาศเสีย 4 ลิตร/นาที ซึ่งผลการประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองแสดงดังรูปที่ 4-21 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจะลดลงเมื่อเวลาในการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรกของการทดลองระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย 100% ก่อนที่ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจะลดเหลือ 30% ภายในเวลา 5 ชั่วโมงของการทดลอง ซึ่งในช่วงที่ประสิทธิภาพเริ่มลดลงเป็นผลมาจากน้ำที่ใช้เป็น

สารดูดซึ่มอิมตัวไปด้วยแอมโมเนียทำให้ปฏิกิริยาเคมีในระหว่างกระบวนการดูดซึ่มเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4-21 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลขนาดคั่นแบบกับเวลา ที่อัตราการไหลของอากาศ 4 ลิตร/นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

4.3 ผลการออกแบบคอลัมน์สเปรย์และปฏิกรณ์แก๊สแบบเปลสำหรับโรงงานผลิตน้ำยางข้น

จากสถานะที่เหมาะสมในการดำเนินการของระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างต่อเนื่องด้วยคอลัมน์สเปรย์ คือ การป้อนทางน้ำอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 4 ลิตร/นาที ผ่านคอลัมน์สเปรย์ที่ระดับความสูง 1 เมตร ไหลสวนทางกับกระแสอากาศอัตราการไหล 300 ลิตร/นาที สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียจาก 0.30% โดยน้ำหนัก เหลือ 0.19% โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 150 นาที คิดผลต่างความเข้มข้นแอมโมเนียทุกๆ 15 และ 30 นาที เหลือได้เท่ากับ 0.020% โดยน้ำหนัก แสดงได้ดังตารางที่ 4-3 และจากกำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบว่าใน 1 วัน โรงงานจะได้ทางน้ำยางซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากการผลิตน้ำยางข้น 50 ตัน (49,000 ลิตร) ดังนั้นการออกแบบระบบคอลัมน์สเปรย์เพื่อลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยาง 0.30% โดยน้ำหนัก ให้เหลือต่ำกว่า 0.20% โดยน้ำหนักตามมาตรฐานกรมโรงงาน (หลักปฏิบัติเพื่อควบคุมมลพิษ, 2544) และรองรับกำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำยางข้นจะต้องใช้คอลัมน์สูง 4 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เมตร จำนวน 5 คอลัมน์ โดยทุกๆ 1 เมตร ของคอลัมน์สเปรย์จะถูกจำลองให้เหมือนการทดลอง แต่จะป้อนทางน้ำอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 32 ลิตร/นาที ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมุนกระจาย 120° จำนวน 8 หัว ที่ต่อแบบขนานราบเดียวกัน ไหลสวนทางกับกระแสอากาศ

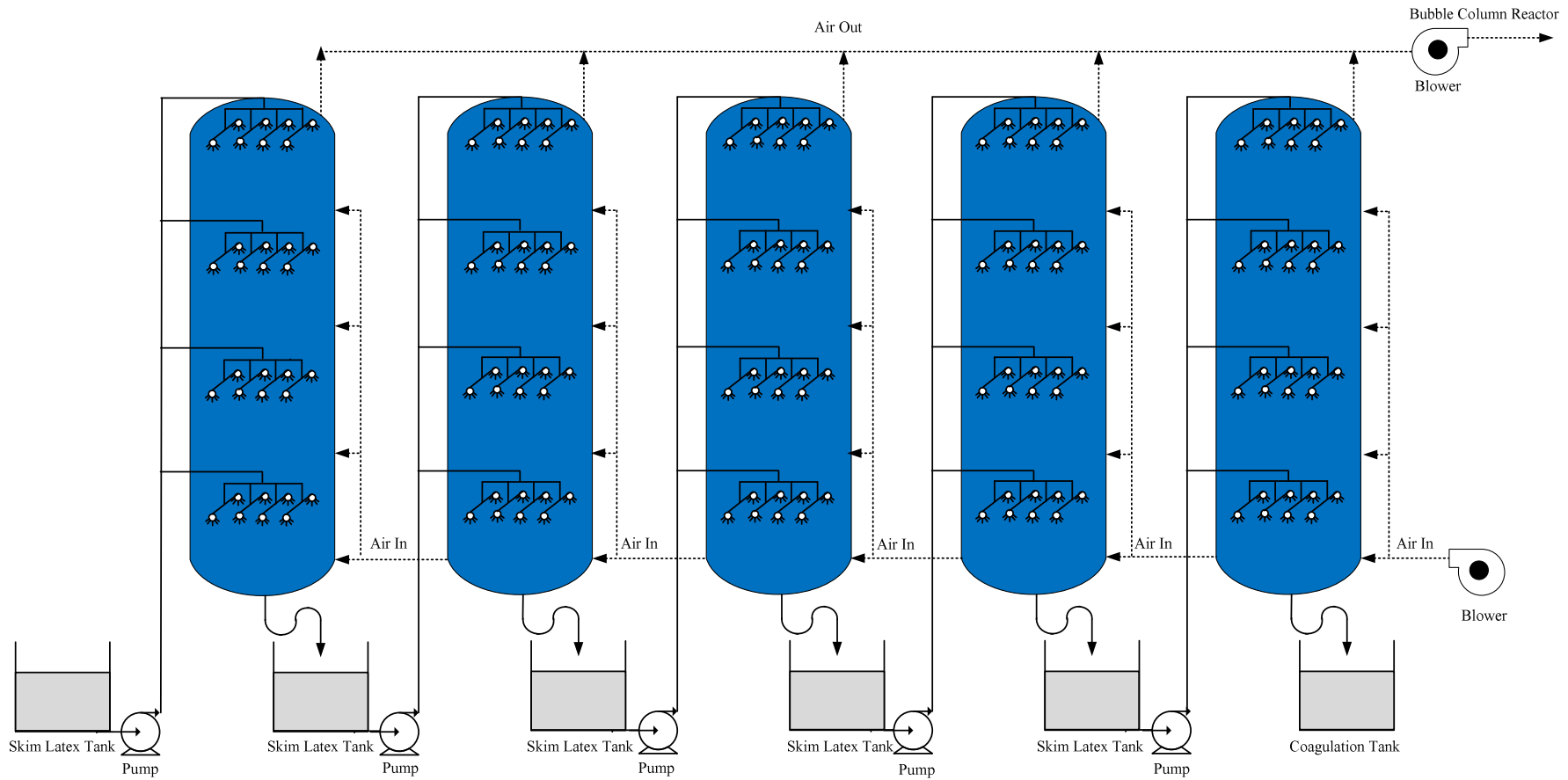
9,600 ลิตร/นาที่ พบว่าจะใช้เวลาในการกำจัดแอมโมเนียทั้งหมด 6.4 ชั่วโมงระบบคอลัมน์สเปรย์ สำหรับใช้งานในโรงงานผลิตน้ำขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 4-22

ตารางที่ 4-3 ผลต่างความเข้มข้นของแอมโมเนียในการกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์

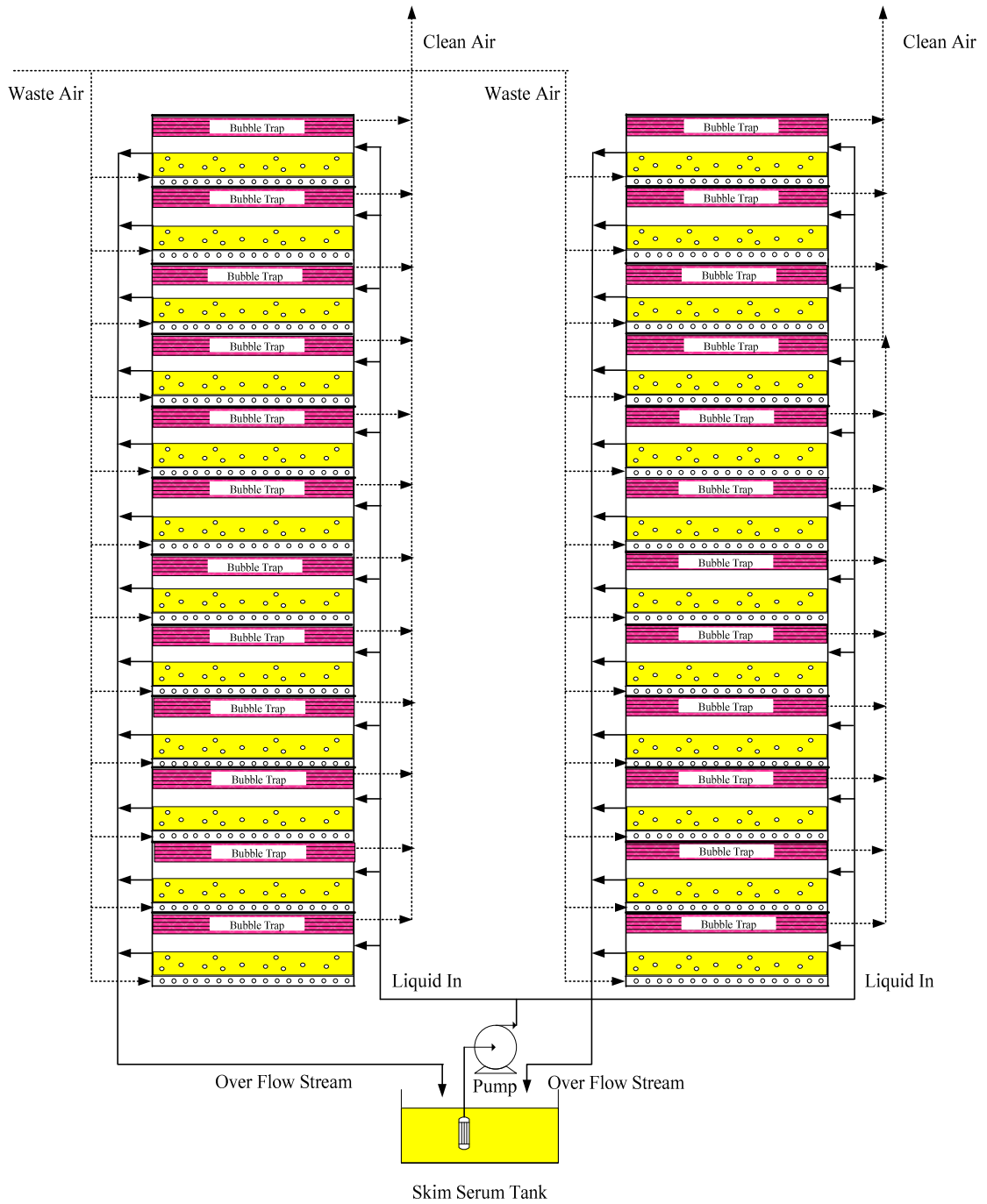
Time (min)	ความเข้มข้นแอมโมเนียในน้ำ (%wt.)	ผลต่างความเข้มข้น (%wt.)
0	0.3076	
15	0.2611	0.047
30	0.2570	0.004
45	0.2521	0.005
60	0.2391	0.013
90	0.2268	0.012
120	0.2203	0.007
150	0.1958	0.025
Average		0.020

จากสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึม ผ่านน้ำซีรัม 0.124 ลิตร (ระดับความสูงของน้ำซีรัม 7.8 เซนติเมตร) ในปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดขนาดห้องปฏิบัติการ คือ การป้อนอากาศเสียด้วยอัตราการไหล 1.0 ลิตร/นาที่ สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 100% เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งถ้าต้องการให้ระบบปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดขนาดห้องปฏิบัติการสามารถกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียได้ 100% เพียง 1 ชั่วโมง จะต้องใช้อัตราการไหลของอากาศเสีย 3 ลิตร/นาที่ พบว่าเวลาที่อากาศเสียสามารถสัมผัสกับน้ำซีรัมเท่ากับ 0.04 นาที ซึ่งระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดสำหรับโรงงานผลิตน้ำยางขึ้นถูกออกแบบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร บรรจุน้ำซีรัม 80 ลิตร (ระดับความสูงของน้ำซีรัม 10 เซนติเมตร) เมื่อพิจารณาเวลาที่อากาศเสียสามารถสัมผัสกับน้ำซีรัมเดียวกัน คือ 0.04 นาที จะต้องป้อนอากาศเสียที่ป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดด้วยอัตราการไหล 2,000 ลิตร/นาที่ และจากอัตราไหลของอากาศเสียทั้งหมด 48,000 ลิตร/นาที่ ที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ 5 คอลัมน์ ทำให้ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดถูกออกแบบให้ภายในมีชั้นของสารดูดซึมชนิดน้ำซีรัม 12 ชั้น สูงชั้นละ 0.30 เมตร จำนวน 2 ปฏิกรณ์ โดยแต่ละชั้นของปฏิกรณ์ บรรจุสารดูดซึม 80 ลิตรและรองรับอัตราการไหลของอากาศเสียได้ 2,000 ลิตร/นาที่ มีการล้นออกของน้ำซีรัมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไหลของน้ำซีรัม 1.33 ลิตร/นาที่ และ

ส่วนบนของปฏิกรณ์ถูกติดตั้งตัวทำลายฟอง (Bubble trap) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4-23 โดยรายละเอียดการออกแบบทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ซ



รูปที่ 4-22 ไดอะแกรมระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับใช้งานในโรงงานผลิตน้ำยางข้น



รูปที่ 4-23 ไคอะแกรมระบบปฏิบัติการแก๊สบำบัดสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากคอกหมู
สเปรย์

4.4 ผลประเมินทางเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis)

จากการออกแบบระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น จึงนำไปสู่การประเมินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่พิจารณาจากกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแอมโมเนีย ซึ่งประกอบด้วย บีมของเหลว จำนวน 6 เครื่อง ใช้สำหรับป้อนทางน้ำยางเข้าสู่คอลัมน์สเปรย์จำนวน 5 เครื่อง และสำหรับการป้อนน้ำซีรัมเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดจำนวน 1 เครื่อง โบลว์เวอร์ (Blower) จำนวน 2 เครื่อง สำหรับป้อนอากาศเข้าสู่คอลัมน์สเปรย์และปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิด ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแอมโมเนียสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4-1) ซึ่งรายละเอียดต่างๆ แสดงตามตารางที่ 4-4 และ 4-5

$$\text{Cost} = W \times C \quad (4-1)$$

เมื่อ W = หน่วยการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

C = ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)

ตารางที่ 4-4 ผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยาง

อุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	ระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)	หน่วยการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน)
บีมของเหลว	6	0.38	6.4	14.40
โบลว์เวอร์	2	18.50	6.4	236.80
อัตราการใช้ไฟฟ้า	251.2 (หน่วย/วัน)			

หมายเหตุ: กำลังไฟฟ้าของบีมของเหลวและโบลว์เวอร์พิจารณาจากอัตราการไหลที่ต้องการและการประมาณค่า head

ตารางที่ 4-5 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วย/เดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554)

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/หน่วย)
แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	1.67
แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์	1.70
แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	1.73

จากตารางที่ 4-4 ค่าการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าในการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำ
 ยางและอากาศเสีย โดยใช้ปั๊มของเหลวจำนวน 6 เครื่อง และ โบลว์เวอร์ 2 เครื่อง พบว่าการกำจัด
 แอมโมเนียเป็นเวลา 6.4 ชั่วโมง คิดเป็นอัตราการใช้ไฟฟ้าได้ 251.2 หน่วย/วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตรา
 ค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางแสดงดังตารางที่ 4-5 พบว่าในการกำจัดแอมโมเนียใช้ไฟแรงดัน
 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป มีค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.67 บาท/หน่วย และเมื่อทำการคำนวณค่าไฟฟ้าตาม
 สมการที่ (4-1) จะได้ $251.2 \times 1.67 = 420$ บาท/วัน ซึ่งใน 1 วัน โรงงานจะได้หางน้ำยางซึ่งเป็น
 ผลผลิตพลอยได้จากการผลิตน้ำยางข้น 50 ตัน (49,000 ลิตร) คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าในการกำจัด
 แอมโมเนียเท่ากับ 8.4 บาท/ตัน หางน้ำยาง โดยรายละเอียดการคำนวณสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Electical Cost} = 420 \frac{\text{bath}}{\text{day}} \times \frac{1 \text{ day}}{50 \text{ ton}} = 8.4 \frac{\text{bath}}{\text{ton}}$$

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสีย สำหรับการแก้ปัญหาของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นซึ่งการดำเนินการประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์และระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกมาจากทางน้ำยางด้วยปฏิกรณ์แก๊สบีบอัดโดยทำการศึกษาการออกแบบติดตั้งและทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1) ระบบคอลัมน์สเปรย์ (Spray column) ใช้สำหรับการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางสร้างขึ้นจากคอลัมน์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เมตร สูง 1 เมตร และ 2 เมตร ซึ่งการเลือกใช้ระบบคอลัมน์สเปรย์ในการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางเนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายในการออกแบบและติดตั้ง ไม่มีวัสดุตัวกลาง (Packing) ทำให้ไม่เกิดการอุดตันจากการจับตัวของเนือยางภายในระบบลดการใช้แรงงานในการถอดล้างทำความสะอาด ระบบคอลัมน์สเปรย์อาศัยหลักการพ่นละอองฝอยของเหลวด้วยหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุน (Spiral nozzle spray) ทางด้านบนของคอลัมน์เพื่อป้องกันการอุดตันของเนือยางในหัวสเปรย์การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของคอลัมน์สเปรย์ทำได้โดยการใช้ทางน้ำยางจำลองที่เตรียมขึ้นจากน้ำผสมกับแอมโมเนียเหลว (Liquid ammonia) พบว่าการป้อนทางน้ำยางจำลองด้วยอัตราการไหล 4 ลิตร/นาที่ แบบหมุนวนซ้ำ (Recirculation) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุนกระจาย 120° ที่ติดตั้งไว้ส่วนบนของคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร ด้วยการไหลสวนทางกับกระแสอากาศที่อัตราการไหล 300 ลิตร/นาที่ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองสูงสุด 19.1% ภายในเวลา 1 ชั่วโมงการเพิ่มความสูงของคอลัมน์สเปรย์จาก 1 เมตร เป็น 2 เมตร สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองได้ 8% แต่การเพิ่มจำนวนหัวสเปรย์ 2 หัวไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้ และเมื่อทดลองกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจริง พบว่าคอลัมน์สเปรย์สามารถกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางได้ 24% ภายในเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลต่อการลดการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนือยางสกิม (Skim rubber) ลงประมาณ 60% และอากาศเสียที่ออกจากระบบคอลัมน์สเปรย์มีความเข้มข้นสูงสุด 540 ppmv ซึ่งเกินจากค่ามาตรฐานการควบคุมจึงต้องได้รับการกำจัดแอมโมเนียก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

2) ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิล (Bubble column reactor) มีการออกแบบและใช้สำหรับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น เนื่องจากเป็นระบบที่ดำเนินการได้ง่าย มีประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลสูง ใช้พลังงานต่ำโดยใช้อากาศเสีย 2 ชนิด คืออากาศเสียจำลองและอากาศเสียจากระบบคอลัมน์สเปรย์ด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำและน้ำซีรัม (pH=2.45) เนื่องจากน้ำซีรัมสามารถเกิดฟองได้ง่ายจึงต้องติดตั้งตัวทำลายฟอง (Bubble trap) ไว้ส่วนบนภายในปฏิกรณ์ เพื่อป้องกันปัญหาการเกิดฟองล้นออกจากปฏิกรณ์ การเลือกใช้หัวพ่นฟองอากาศต้องมีช่องผ่านของแก๊สไม่เล็กจนเกินไปเพราะในน้ำซีรัมมีเศษเนื้อยางขนาดเล็กเหลืออยู่อาจก่อให้เกิดการอุดตันได้ และต้องกระจายฟองอากาศให้สัมผัสกับสารดูดซึมได้อย่างทั่วถึง โดยการใช้ปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดห้องปฏิบัติการที่สร้างขึ้นจากอิมพิงเจอร์ (Impinger) ขนาด 0.5 ลิตร บรรจุสารดูดซึม 150 มิลลิลิตร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง ซึ่งพิจารณาจากความเข้มข้นของแอมโมเนีย อัตราการไหลของอากาศเสีย และความสามารถในการดูดซึม พบว่าน้ำซีรัมมีความสามารถในการดูดซึมแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 1,100 ppmv ได้ดีกว่าน้ำโดยเฉพาะที่อัตราการไหลของอากาศเสียจำลอง 1.0 ลิตร/นาที ให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้สูงกว่าการใช้น้ำถึง 2 เท่าและสำหรับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ด้วยปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลขนาดต้นแบบขนาด 9 ลิตร ด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำ 2 ลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจะลดลงเมื่อเวลาในการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรกของการทดลองระบบจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้ 100% แต่หลังจากนั้นประสิทธิภาพของระบบจะลดลงจนกระทั่งเหลือ 30% ในเวลา 5 ชั่วโมง

จากการผลการทดลองของทั้ง 2 ระบบ พบว่าสามารถนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นได้ เนื่องจากระบบสเปรย์คอลัมน์สามารถลดการใช้พื้นที่ของโรงงานและลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยางให้ต่ำกว่า 0.20% โดยน้ำหนัก ได้เร็วกว่าการไหลผ่านรางเปิดที่มีการปล่อยไอระเหยของแอมโมเนียออกสู่บรรยากาศโดยตรงซึ่งต่างจากระบบสเปรย์คอลัมน์ที่สามารถติดตั้งระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศได้สำหรับระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกรณ์แก๊สبابเบิลที่ใช้ในงานวิจัยอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ เพราะไม่สามารถรองรับอากาศเสียทั้งหมดจากคอลัมน์สเปรย์ได้ แต่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในพื้นที่อื่นๆ ของโรงงาน เช่น บริเวณที่เตรียมสารละลายแอมโมเนีย บริเวณที่เติมแอมโมเนียในน้ำยาง และบริเวณห้องปั่นแยกน้ำยาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำด้วยคอลัมน์สเปรย์ควรเลือกใช้ปั๊มที่เหมาะสมสำหรับทางน้ำ โดยไม่ก่อให้เกิดการอุดตันของเนื้อเยื่อที่จับตัวกันภายในลูกสูบของปั๊ม และควรใช้ปั๊มที่สามารถทำงานด้วยแรงดันสูง (High pressure) เพื่อผลักดันให้เกิดการเหวี่ยงของการสเปรย์ทางน้ำให้ได้ละอองฝอยขนาดเล็กเหมาะสำหรับการถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสของเหลวและอากาศ
- 2) แนวทางการออกแบบสำหรับการต่อยอดจากผลงานวิจัยนี้เพื่อการประยุกต์ใช้งานจริงในการกำจัดแอมโมเนียจากโรงงานน้ำยางข้นทำได้โดยการออกแบบคอลัมน์สเปรย์สูง 2-4 เมตร ที่ต่อกันแบบอนุกรมเพื่อรองรับกำลังการผลิตของโรงงาน
- 3) แนวทางการออกแบบสำหรับระบบการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ด้วยอัตราการไหลสูงๆ โดยทำการป้อนอากาศเสียผ่านหัวพ่นฟองอากาศเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊ส-ของเหลวที่ออกแบบให้ภายในปฏิกรณ์มีชั้นของสารดูดซับชนิดน้ำซีรัมหลายๆ ชั้น เพื่อรองรับปริมาณอากาศเสียที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ได้มากขึ้น
- 4) สามารถนำปฏิกรณ์แก๊ส-ของเหลวไปใช้ในการกำจัดแอมโมเนียที่ระเหยจากบริเวณอื่นๆ ในโรงงานน้ำยางข้นได้ เช่น บริเวณที่เตรียมสารละลายแอมโมเนีย บริเวณที่เติมแอมโมเนียในน้ำยาง และบริเวณห้องปั่นแยกน้ำยาง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม[ออนไลน์].แหล่งที่มา:<http://www.pcd.go.th/waterdl.cfm?Filename=/rubbertree.pdf>.สืบค้นเมื่อ 7 กรกฎาคม 2557.
- กัลยา ศรีสุวรรณ. 2540. การปรับปรุงระบบน้ำเสียแบบไร้อากาศของโรงงานน้ำยางข้น. รายงานการวิจัยประจำปี 2540. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คุณัญญา นพถาวร. 2554. ผลของซัลเฟตจากน้ำเสียของการผลิตยางสกิมต่อระบบไร้อากาศชนิดฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการบำบัดเบื้องต้นทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- จรรยา อินทมณี จันทิมา ชั่งสิริพร และจรัญ บุญกาญจน์. 2549. การกำจัด NH₃ ในทางน้ำยางโดยใช้กระแสลมเป่าในรางปิดแบบสวนทาง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16. 26-27 ตุลาคม 2549. กรุงเทพมหานคร.
- จักรกฤษณ์ สีวะเดชาเทพ. อุปกรณ์ควบคุมมลพิษชนิดแก๊สและไอ[ออนไลน์].แหล่งที่มา: <http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-6.pdf>.สืบค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2557.
- จันทิมา ชั่งสิริพรจรัญ บุญกาญจน์ และจรรยา อินทมณี. 2549. การใช้น้ำซีรัมกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบถังกวน.การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16. 26-27 ตุลาคม 2549. กรุงเทพมหานคร.
- จันทิมา ชั่งสิริพร ชัยรัตน์แก้วพิบูลย์ นที บุญทวีโรจน์ จรรยา อินทมณี และจรัญ บุญกาญจน์. 2549. การกำจัดแอมโมเนียจากทางน้ำยางโดยการไหลสวนทางของทางน้ำยางกับกระแสลมในระบบรางเอียง. รายงานการวิจัยเรื่องระบบกำจัดแอมโมเนียจากทางน้ำยางเพื่อผลิตยางสกิมบไลค์ ประจำปีการศึกษา 2549,หน้า 32-36.
- เจนจิรา ภูริรักษ์พิดิกร และ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2556. การจัดการซีรัมน้ำทิ้งโดยเทคโนโลยีการรักษาสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดการเกิดแก๊สมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน), หน้า 66-84.

- ฉวีวรรณ คงแก้ว ปิยะธิดา สุวรรณดิษฐ์กุล พร้อมศักดิ์ สงวนรัมย์รงค์ และสุรพิชญ บอยกุลนันท์. 2552. สารจับตัวยางสกิมเพื่อสิ่งแวดล้อม. รายงานผลงานวิจัยยางพารา สาขาอุตสาหกรรมยางดิบ, หน้า 25-30.
- ณัฐพันธ์ สงวนศักดิ์บารมี สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์ และสุวิชัย สุวรรณโณ. 2555. การทำแห้งของน้ำเสี้ยวจากโรงงานน้ำยางข้นเพื่อประโยชน์เป็นปุ๋ยแห้ง. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 2.4-5 กันยายน 2555. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช.
- ธงไทย วิฑูรย์. 2554. เทคโนโลยีการกักเก็บและการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 38 ฉบับที่ 4 (ตุลาคม-ธันวาคม), หน้า 453-467.
- นฤมล ทิมทอง. 2551. ผลของน้ำซีรัมยางพาราต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราโมช เชี่ยวชาญ. อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาค[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-5.PDF>. สืบค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2557.
- ปรีดีเปรม ทศนกุล วิชัย ไชยศักดิ์ จักริ เลื่อนราม หารรษา เอนกชัย สุรศักดิ์ สุทธิสงค์. 2541. สารเสริมจับตัวเนื้อยาง. รายงานผลการวิจัยยางพารา. สถาบันวิจัยยาง. ศูนย์วิจัยยางสงขลา.
- พฤกระยา พงษ์ยี่หื้อ. 2555. การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นด้วยปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิภาวิพัฒน์กุล. 2554. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์. กลุ่มอุตสาหกรรมยางสถาบันวิจัยยาง. แหล่งที่มา: <http://www.rubberthai.com/book/file/98.pdf>. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557.
- วีระชาติ อินทร์ทอง. 2551. การกำจัดซัลเฟตในน้ำเสี้ยวจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นโดยใช้ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะจังหวัดภูเก็ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สุรพิชญ ลอยกุลนันท์. 2555. สารรักษาสภาพน้ำยางยุคใหม่ (TAPS). ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.nstda.or.th/nstda-r-and-d/10021-treatment-nitrate>. สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2557.

หลักปฏิบัติเพื่อป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นอุตสาหกรรมขงแห่งมาตรฐาน เอสทีอาร์20. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กันยายน 2544

Abraham, V.T., Nair, N.R. and Madhu, G. 2009. Electrochemical treatment of skim serum effluent from natural rubber latex centrifuging units. *Journal of Hazardous Materials*. 167, 494-499.

Alvarez, E., Gomez-Diaz, D., Navaza, J.M. and Sanjurjo, B. 2008. Continuous removal of carbon dioxide by absorption employing a bubble column. *Chemical Engineering Journal*. 137, 251-256.

Alvarez, E., Sanjurjo, B. Canaelaand, A. and Navaza, J. M. 2000. Mass transfer and influence of physical properties of solutions in a bubble column. *Institution of Chemical Engineers Trans IChemE*. 78, Part A, September.

Babdyopadhyay, A. and Biswas, M. N. 2007. Modeling of SO₂ scrubbing in spray tower. *Science of the Total Environment*. 383, 25-40.

Boulinguez, B., Bouzaza, A., Merabet, S. and Wolbert, D. 2008. Photocatalytic degradation of ammonia and butyric acid in plug-flow reactor: Degradation kinetic modeling with contribution of mass transfer. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry*. 200, 254-261.

Chien, T.W. and Chu, H. 2000. Removal of SO₂ and NO from flue gas by wet scrubbing using an aqueous NaClO₂ solution. *Journal of Hazardous Materials*. B80, 43-57

Chungsiriporn, J., Bunyakan, C. and Intamane, J. 2007. Wind tunnel and open channel for NH₃ removal from skim latex: Part 1 experimental and NH₃ removal determination. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment-ICEE-2007. 10th-11th May 2007. Phuket.

- Codolo, M.C. and Bizzo, W.A. 2013. Experimental study of the SO₂ removal efficiency and volumetric mass transfer coefficients in a pilot-scale multi-nozzle spray tower. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 66, 80-89.
- Danteravanich, S., Chalermpong, I., Sridang, P. and Wisunthorn, S. 2007. Preliminary concentrations of skim latex and its wastewater use plate sheet microfiltration. *Journal Applied Membrane Science & Technology*. 6, 27-34.
- Dumont, E., Andres, Y. and Le Cloirec, P. 2006. Mass transfer coefficients of styrene and oxygen into silicone oil emulsions in a bubble reactor. *Journal of Chemical Engineering Science*. 61, 5612-5619.
- Javed, K. H., Mahmud, T. and Purba, E. 2006. Enhancement of mass transfer in a spray tower using swirling gas flow. *Journal Chemical Engineering Research and Design*. 84(A6), 465-477.
- Javed, K. H., Mahmud, T. and Purba, E. 2010. The CO₂ capture performance of a high-intensity vortex spray scrubber. *Chemical Engineering Journal*. 162, 448-456.
- Kang, Y. T., Naganob, T. and Kashiwagib, T. 2002. Mass transfer correlation of NH₃-H₂O bubble absorption. *International Journal of Refrigeration*. 25, 878-886.
- Kim, J.K., Jung, J.Y., Kim, J.H., Kim, M.G., Kashiwagi, T. and Kang, Y.T. 2006. The effect of chemical surfactants on the absorption performance during NH₃/H₂O bubble absorption process. *International Journal of Refrigeration*. 29, 170-177.
- Kongjan, P., Jariyaboon, R. and O-Thong, S. 2014. Anaerobic digestion of skim latex serum (SLS) for hydrogen and methane production using a two-stage process in a series of up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*. Available online at www.sciencedirect.com [10 July 2014].
- Kuntz, J. and Aroonwilas, A. 2009. Mass transfer efficiency of a spray column for CO₂ capture by MEA. *Journal Energy Procedia*. 1, 205–209.

- Ma, S., Zang, B., Song, H., Chen, G. and Yang, J. 2013. Research on mass transfer of CO₂ absorption using ammonia solution in spray column. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 67, 696-703
- Manyele, S. V. 2012. Hydrodynamics of the Pilot Scale Wet Scrubber with Restricted Outlet Absorbent Flow Rate. *Journal of Engineering*. 4, 339-348. Published Online July 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/eng>)
- Nymul, E.K. and Yusuf, G.A. 2010. Absorption and oxidation of nitric oxide (NO) by aqueous solution of sodium persulfate in bubble column reactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 49, 8749-8760.
- Peeva, L., Ben-zviYonab, S. and Merchukb, J.C. 2001. Mass transfer coefficients of decane to emulsions in a bubble column reactor. *Journal of Chemical Engineering Science*. 56, 5201-5206.
- Qing, Z., Yincheng, G and Zhenqi, N. 2011. Experimental studies on removal of carbon dioxide by a packed reactor and a spray column using aqueous ammonia. *Journal Energy Procedia*. 4, 519-524.
- Sompit, D., Chalermpong, I., Porntip, S. and Suwaluk, W. 2008. Preliminary concentration of skim latex and its wastewater using plate sheet microfiltration. 6th Regional Symposium on Membrane Science & Technology: Food Energy and Environment. 13th-15th August. Patong, Phuket, Thailand.
- Tekasakul, P. and Tekasakul, S. 2006. Environmental problems related to natural rubber production in Thailand. *Journal of Aerosol Research*. 21, 122-129.
- Terasaka, K., Oka, J. and Tsuge, H. 2002. Ammonia absorption from a bubble expanding at a submerged orifice in to water. *Journal of Chemical Engineering Science*. 57, 3757-3765.
- Thongmak, N., Sridang, P., Dantheravanich, S., Thaveepreeda, W., Wanichpichart, P. and Annop, S. 2009. Filterability of skim serum and skim latex using lab scale plane organic

membrane filtration: application to recovery value compound and to concentrate latex particle. International Conference on Membrane Science and Technology (MST2009).

Turpin, A., Couvert, A., Laplanche, A. and Paillier, A. 2008. Experimental study of mass transfer and H₂S removal efficiency in a spray tower. *Journal Chemical Engineering Research and Design*. 47, 886-892.

Zhao, B., Su, Y. and Peng, Y. 2013. Effect of reactor geometry on aqueous ammonia-based carbon dioxide capture in bubble column reactors. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 17, 481-487

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยาง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยการไทเทรต ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เติมหางน้ำยางที่ได้จากคอลัมน์สเปรย์ 5-10 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร หยดเมทิลเรด อินดิเคเตอร์ (Methyl red indicator) จากนั้นนำมาไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.12 โมลาร์และกวนไปพร้อมๆกัน จนกว่าสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มโอรสซึ่งถือว่าเป็นจุดยุติ บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้ไทเทรตเพื่อนำคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำ

การคำนวณปริมาณแอมโมเนียในน้ำ

$$\%C_{\text{NH}_3} = \frac{(1.7 \times N \times V)}{W} \quad (\text{ก-1})$$

เมื่อ $\%C_{\text{NH}_3}$ = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยาง (% โดยน้ำหนัก)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (mol/L)

V = ปริมาตรของไฮโดรคลอริก (ml)

W = น้ำหนักน้ำยางสด (g)

หมายเหตุ ในงานวิจัยนี้ใช้การปิเปตหางน้ำยาง 5 มิลลิลิตร เทียบเท่าการชั่งน้ำหนักหางน้ำยางได้ 5.02 กรัม เนื่องจากความหนาแน่นของหางน้ำยางที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ $1,020 \text{ kg/m}^3$

ตัวอย่างการคำนวณ

เติมหางน้ำยาง 5 กรัม ลงไปในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร หยดเมทิลเรด อินดิเคเตอร์ จากนั้นนำมาไทเทรตด้วยไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1031 โมล/ลิตร พบว่าใช้กรดไป 10 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \%C_{\text{NH}_3} &= \frac{(1.7 \times 0.1031 \times 10)}{5} \\ &= 0.35\% \end{aligned}$$

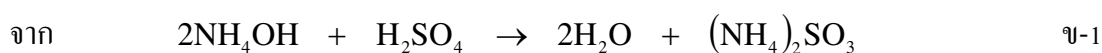
แสดงว่า หางน้ำยาง 100 กรัม มีปริมาณแอมโมเนีย 0.35 กรัม

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลอง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำด้วยการไทเทรต ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) โดยนำน้ำตัวอย่างที่เก็บได้จากคอลัมน์สเปรย์มาใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ปริมาณ 25 มิลลิลิตรหยดมีกส์อินดิเคเตอร์ (Mixed indicator) ทำให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียว จากนั้นนำมาไทเทรตด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.13 โมลาร์ จนกว่าจะได้สีชมพูอ่อนซึ่งถือว่าเป็นจุดยุติ บันทึกปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตเพื่อนำคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำ

การคำนวณปริมาณแอมโมเนียในน้ำ



อัตราส่วน NH_4OH 2 mole : H_2SO_4 1 mole

สารละลายกรดซัลฟูริก	1,000 ml	มีกรดซัลฟูริก	0.13	mole
สารละลายกรดซัลฟูริก	V	มีกรดซัลฟูริก	$\frac{(0.13 \times V)}{1,000}$	mole
		ปริมาณแอมโมเนียในน้ำตัวอย่างจึงเท่ากับ	$2 \times \frac{(0.13 \times V)}{1,000}$	mole
สารละลายแอมโมเนีย	25 ml	มีกรดซัลฟูริก	$2 \times \frac{(0.13 \times V)}{1,000}$	mole
สารละลายแอมโมเนีย	1,000 ml	มีกรดซัลฟูริก	$2 \times \frac{(0.13 \times V)}{25}$	mole
แอมโมเนีย	1 mole	มีมวล	17,000	mg
แอมโมเนีย	$2 \times \frac{(0.13 \times V)}{25}$	มีกรดซัลฟูริก	$2 \times 17,000 \times \frac{(0.13 \times V)}{25}$	mole
ปริมาณแอมโมเนียละลายอยู่ในสารละลายแอมโมเนียจึงเท่ากับ			$2 \times 17,000 \times \frac{(0.13 \times V)}{25}$	mole

หมายเหตุ V คือ ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

ตัวอย่างการคำนวณ

ตวงน้ำตัวอย่างปริมาณ 25 ml ใส่ขวดรูปชมพู่ หยอดมิกส์อินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตด้วยกรดซัลฟูริกไป 15.3 ml พบว่าสารละลายสีเปลี่ยนเป็นสีเขียว เพราะฉะนั้น ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายอยู่ในสารละลายจึงเท่ากับ $2 \times 17,000 \times \left(\frac{0.13 \times 15.3}{25} \right) = 2,705.04 \text{ mg/L}$

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์แอมโมเนียในอากาศเสีย

วิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยการไทเทรต โดยดูดซึมก๊าซแอมโมเนียด้วยสารละลายกรดบอริกในอิมพิงเจอร์ที่มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วยอัตราการไหล 0.54 ลิตร/นาที บันทึกเวลาที่สารละลายจะเปลี่ยนสีจากม่วงเป็นสีเขียว การทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับกรดบอริกแสดงได้ดังสมการ (ก-1) เมื่อนำสารละลาย $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3(\text{l})$ ไปไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปฏิกิริยาแสดงได้ดังสมการที่ (ก-2) และความเข้มข้นของ สารละลาย $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3(\text{l})$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ก-3)



$$V_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3} \times M_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3} = V_{\text{HCl}} \times M_{\text{HCl}} \quad (\text{ก-3})$$

เมื่อ	$V_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3}$	=	ปริมาตรของแอมโมเนียมบอเรต (ml)
	$M_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3}$	=	ความเข้มข้นของแอมโมเนียมบอเรต (mol/L)
	V_{HCl}	=	ปริมาตรของไฮโดรคลอริก (ml)
	M_{HCl}	=	ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (mol/L)

หลังจากคำนวณค่าความเข้มข้นของ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3(\text{l})$ แล้ว สามารถนำมาคำนวณหามวลของแอมโมเนียในสารละลายที่ถูกดูดซึมไว้ โดยใช้สมการที่ (ก-4)

$$m_{\text{NH}_3} = M_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3} \times V_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3} \times PM_{\text{NH}_3} \quad (\text{ก-4})$$

เมื่อ	m_{NH_3}	=	มวลของแอมโมเนีย (mg)
	PM_{NH_3}	=	มวลโมเลกุลของแอมโมเนีย (g/mol)

หลังจากคำนวณมวลของแอมโมเนียแล้วสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสแก๊สผสม ซึ่งเป็นการหามวลโดยปริมาตรของการดูดซึมในสารละลายกรดบอริก ตามสมการที่ (ค-5)

$$C_{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{NH}_3}}{Q_T \times t_b} \quad (\text{ค-5})$$

เมื่อ C_{NH_3} = ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg/L, ppm)
 Q_T = อัตราการไหลของแก๊สผสม (L/min)
 t_b = เวลาในการดูดซึม (min)

ในมลพิษทางอากาศจะรายงานในหน่วยความเข้มข้นเป็น Part per million (ppm) ซึ่งหมายถึงหน่วยของ Part per millionvolume (ppmv) หรือ by mole แสดงดังสมการที่ (ค-6)

$$1 \text{ ppm} = \frac{V_n \text{ } 1\mu\text{g}(\text{gas})}{M \text{ } 1\text{L}(\text{air})} \quad (\text{ค-6})$$

ในการคำนวณความเข้มข้นในเงื่อนไขที่มีสภาพอุณหภูมิและความดันอื่นๆ จะใช้กฎแก๊สสมบูรณ์แบบ (Ideal gas law) ดังสมการที่ (ค-7)

$$V_n = \frac{v}{n} = R \frac{T}{P} \quad (\text{ค-7})$$

เมื่อ V_n = ปริมาตรโดยโมลของแก๊สในอุดมคติ (dm^3/mol)
 M = มวลโมเลกุลของแก๊ส (g/mol)
 n = จำนวนโมล(mole)
 R = ค่าคงที่ของแก๊ส ($0.08206 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
 T = อุณหภูมิ (K)
 P = ความดัน (atm)

ตัวอย่างการคำนวณ

1. หาค่า $M_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3}$ จากสมการที่ (ค-3)

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } V_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3} &= \text{ปริมาตรของแอมโมเนียมบอเรต} = 50 \text{ ml} \\ V_{\text{HCl}} &= \text{ปริมาตรของไฮโดรคลอริก} = 0.98 \text{ ml} \\ M_{\text{HCl}} &= \text{ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก} = 0.0002 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการที่ (ค-3) จะได้ } 50 \text{ ml} \times M_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3} &= 0.98 \text{ ml} \times 0.0002 \text{ mol/L} \\ M_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3} &= 0.000392 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

2. หาค่า m_{NH_3} จากสมการที่ (ค-4)

$$\text{เมื่อ } PM_{\text{NH}_3} = \text{มวลโมเลกุลของแอมโมเนีย} = 17.03 \text{ (g/mol)}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการที่ (ค-4) จะได้ } m_{\text{NH}_3} &= 0.000392 \text{ mol/L} \times 50 \text{ ml} \times 17.03 \text{ g/mol} \\ m_{\text{NH}_3} &= 0.333788 \text{ mg} \end{aligned}$$

3. หาค่า C_{NH_3} จากสมการที่ (ค-5)

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } Q_T &= \text{อัตราการไหลของแก๊สผสม} = 0.52 \text{ L/min (ที่ } 1 \text{ atm } 25^\circ) \\ t_b &= \text{เวลาในการดูดซึม} = 3 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการที่ (ค-5) จะได้ } C_{\text{NH}_3} &= \frac{0.333788 \text{ mg}}{\left(0.54 \frac{\text{L}}{\text{min}}\right)(3 \text{ min})} \\ &= 0.206 \text{ mg/L หรือ } 0.206 \times 10^3 \mu\text{g/L} \end{aligned}$$

4. คำนวณเป็นหน่วยความเข้มข้นต่อปริมาตรได้จากสมการที่ (ค-6) และ (ค-7)

$$\text{จากสมการที่ (ค-7) } V_n = \text{ปริมาตรโดยโมลของแก๊สในอุดมคติ} = 24.87 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

จากสมการที่ (ค-6) สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระแสแก๊สได้ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของแอมโมเนีย} = \frac{24.87 \text{ dm}^3/\text{mol}}{17.03 \text{ g/mol}} \left(0.206 \times 10^3 \mu\text{g/L}\right) = 300 \text{ ppmv}$$

ดังนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียที่คำนวณได้คือ 300ppmv

ภาคผนวก

ข้อมูลการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองด้วยคอลัมน์สเปรย์

ง-1 การกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองที่ระดับความเข้มข้น 0.30% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนทางน้ำอย่างจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหุ้ม 1 หัว มุมกระจายตัว 60°-120° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำอย่างจำลอง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

ตารางที่ ง-1.1 ผลของมุมกระจายตัวของหัวสเปรย์ 120° ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	17.05	-	0.3014	-	19.1
10	16.10	15.00	0.2846	0.2652	
20	15.80	14.85	0.2793	0.2625	
30	15.45	14.80	0.2732	0.2617	
40	14.90	14.55	0.2634	0.2572	
50	14.35	13.95	0.2537	0.2466	
60	13.85	13.70	0.2449	0.2422	
				* 0.2440	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-1.2 ผลของมุมกระจายตัวของหัวสเปรย์ 90° ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	17.05	-	0.3014	-	15.5
10	15.90	15.45	0.2811	0.2732	
20	16.60	15.50	0.2935	0.2740	
30	15.20	15.05	0.2687	0.2661	
40	15.40	15.25	0.2723	0.2696	
50	14.75	14.70	0.2608	0.2599	
60	14.75	14.05	0.2608	0.2484	
				*0.2546	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำข้างจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-1.3 ผลของมุมกระจายตัวของหัวสเปรย์ 60° ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	17.05	-	0.3014	-	15.3
10	16.35	15.85	0.2891	0.2802	
20	15.90	15.55	0.2811	0.2749	
30	15.80	15.30	0.2793	0.2705	
40	15.60	14.85	0.2758	0.2625	
50	14.75	14.40	0.2608	0.2546	
60	14.65	14.25	0.2590	0.2519	
				*0.2555	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำข้างจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ง-2 การกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองที่ระดับความเข้มข้น 0.30% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร โดยป้อนทางน้ำอย่างจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลทางน้ำอย่างจำลอง 4.0 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของอากาศ 200-400 ลิตร/นาที

ตารางที่ ง-2.1 ผลของอัตราการไหลของอากาศ 200 ลิตร/นาที ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	17.20	-	0.3041	-	9.3
10	16.90	16.30	0.2988	0.2882	
20	16.25	16.05	0.2873	0.2838	
30	16.10	16.00	0.2846	0.2829	
40	15.80	15.40	0.2793	0.2723	
50	15.90	15.80	0.2811	0.2793	
60	15.40	15.25	0.2723	0.2696	
				*0.2758	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-2.1 ผลของอัตราการไหลของอากาศ 250 ลิตร/นาที ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	18.59	-	0.3034	-	18.5
10	17.25	16.70	0.2815	0.2725	
20	16.15	15.85	0.2636	0.2587	
30	15.60	15.55	0.2546	0.2538	
40	16.05	15.50	0.2619	0.2530	
50	15.60	14.85	0.2546	0.2424	
60	15.00	14.45	0.2448	0.2358	
				*0.2472	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-2.1 ผลของอัตราการไหลของอากาศ 400 ลิตร/นาที ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	17.10	17.10	0.3023	-	19.2
10	16.15	15.60	0.2855	0.2758	
20	15.65	15.05	0.2767	0.2661	
30	16.20	15.60	0.2864	0.2758	
40	14.75	13.45	0.2608	0.2378	
50	14.00	13.55	0.2475	0.2396	
60	13.65	13.50	0.2413	0.2387	
				*0.2444	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำข้างจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปร์ย์

ง-3 การกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองที่ระดับความเข้มข้น 0.30% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร โดยป้อนทางน้ำอย่างจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศ 300 ลิตร/นาที่ และอัตราการไหลทางน้ำอย่างจำลอง 3.0-6.0 ลิตร/นาที่

ตารางที่ ง-3.1 ผลของอัตราการไหลของทางน้ำอย่างจำลอง 3.0 ลิตร/นาที่ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที่)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	18.75	-	0.3060	-	14.4
10	17.60	16.80	0.2872	0.2742	
20	17.65	17.60	0.2880	0.2872	
30	17.40	16.90	0.2840	0.2758	
40	16.75	16.55	0.2734	0.2701	
50	16.60	16.30	0.2709	0.2660	
60	16.15	15.70	0.2636	0.2562	
				*0.2619	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำอย่างจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-3.1 ผลของอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองที่ 5.0 ลิตร/นาที่ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที่)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	16.65	-	0.3057	-	17.4
10	16.10	15.40	0.2956	0.2827	
20	15.45	15.07	0.2837	0.2767	
30	14.98	14.64	0.2750	0.2688	
40	14.72	14.22	0.2703	0.2611	
50	14.45	13.77	0.2653	0.2528	
60	13.82	13.70	0.2537	0.2515	
				* 0.2526	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-3.1 ผลของอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองที่ 6.0 ลิตร/นาที่ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที่)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	16.43	-	0.3017	-	13.6
10	16.04	15.70	0.2945	0.2883	
20	15.52	15.45	0.2849	0.2837	
30	15.67	15.21	0.2877	0.2793	
40	15.46	15.17	0.2838	0.2785	
50	14.80	14.49	0.2717	0.2660	
60	14.30	14.10	0.2625	0.2589	
				* 0.2607	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-4 ผลการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองที่ระดับความเข้มข้น 0.30% โดยน้ำหนัก ด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหุ้ม 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยางจำลอง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	18.85	-	0.3076	-	51.2
15	17.40	16.00	0.2840	0.2611	
30	16.15	15.75	0.2636	0.2570	
45	15.75	15.45	0.2570	0.2521	
60	15.10	14.65	0.2464	0.2391	
90	14.55	13.90	0.2375	0.2268	
120	13.95	13.50	0.2277	0.2203	
150	12.40	12.00	0.2024	0.1958	
180	12.00	11.60	0.1958	0.1893	
210	11.20	10.75	0.1828	0.1754	
240	10.75	10.20	0.1754	0.1665	
270	10.05	9.55	0.1640	0.1559	
300	9.85	9.20	0.1608	0.1501	
				* 0.1534	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-5 ผลการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองที่ระดับความเข้มข้น 0.30% โดยน้ำหนัก ด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร โดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยางจำลอง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	16.70	-	0.3066	-	59.4
15	16.22	15.52	0.2978	0.2849	
30	15.75	14.55	0.2892	0.2671	
45	14.45	13.95	0.2653	0.2561	
60	13.10	12.20	0.2405	0.2240	
90	11.60	11.30	0.2130	0.2075	
120	10.77	10.70	0.1977	0.1965	
150	10.42	9.75	0.1913	0.1790	
180	9.80	8.95	0.1799	0.1643	
210	8.95	8.15	0.1643	0.1496	
240	8.12	7.60	0.1491	0.1395	
270	7.72	7.25	0.1417	0.1331	
300	7.45	6.78	0.1368	0.1245	
				* 0.1306	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-6 ผลการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองที่ระดับความเข้มข้น 0.30% โดยน้ำหนัก ด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตร โดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมู 2 หัว (ต่อขนานบน-ล่าง) มุมกระจายตัว 120° และ 90° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยางจำลอง 300 และ 6.5 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.135 M H ₂ SO ₄ (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg/l)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	16.35	-	0.3002	-	61.2
15	14.35	14.00	0.2635	0.2570	
30	14.50	14.10	0.2662	0.2589	
45	12.88	12.86	0.2365	0.2361	
60	12.65	11.70	0.2323	0.2148	
90	12.15	11.05	0.2231	0.2029	
120	10.20	10.45	0.1873	0.1919	
150	9.15	9.20	0.1680	0.1689	
180	8.80	8.60	0.1616	0.1579	
210	8.60	7.90	0.1579	0.1450	
240	7.70	7.45	0.1414	0.1368	
270	6.85	6.75	0.1258	0.1239	
300	6.80	6.50	0.1248	0.1193	
				* 0.1166	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำยางจำลองหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ ง-7 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปร์ยสูง 1 เมตร โดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ยชนิดเกลียวเดียว หมู 1 หัว มุมกระจายตัว 60°-120° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยางจำลอง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

มุมกระจายตัว (องศา)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการ ไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของ แก๊สแอมโมเนีย (ppmv)	เฉลี่ย (ppmv)
60	10	3.35	447.66	464
	20	3.83	534.06	
	30	3.60	501.99	
	40	2.60	416.93	
	50	3.60	493.41	
	60	2.78	387.65	
90	10	3.90	463.26	436
	20	2.75	449.98	
	30	2.21	393.77	
	40	2.67	436.89	
	50	3.47	505.86	
	60	2.64	368.13	
120	10	3.90	320.72	419
	20	2.70	441.80	
	30	2.30	409.80	
	40	2.70	441.80	
	50	3.50	488.04	
	60	2.69	410.82	

ตารางที่ ง-8 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปร์ย์สูง 1 เมตรโดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ย์ชนิดเกลียวเดี่ยว หมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลทางน้ำยางจำลอง 4.0 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของอากาศ 200-400 ลิตร/นาที

อัตราการไหลอากาศ (L/min)	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)	เฉลี่ย (ppmv)
200	10	2.90	332.17	492
	20	2.37	493.57	
	30	2.70	541.21	
	40	2.90	547.10	
	50	2.98	562.19	
	60	2.52	475.41	
250	10	2.50	421.99	401
	20	2.70	455.75	
	30	2.90	465.04	
	40	2.28	393.13	
	50	2.18	346.12	
	60	2.23	325.09	
300	10	3.90	320.72	419
	20	2.70	441.80	
	30	2.30	409.80	
	40	2.70	441.80	
	50	3.50	488.04	
	60	2.69	410.82	

ตารางที่ ง-8 (ต่อ) ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากทางน้ำอย่างจำลองด้วยคอลัมน์สเปร์ย์สูง 1 เมตร โดยป้อนทางน้ำอย่างจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ย์ชนิดเกลียวเดี่ยหมี 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลทางน้ำอย่างจำลอง 4.0 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของอากาศ 200-400 ลิตร/นาที

อัตราการไหลอากาศ (L/min)	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)	เฉลี่ย (ppmv)
400	10	2.50	445.44	395
	20	3.10	432.27	
	30	2.40	413.83	
	40	2.10	333.42	
	50	2.45	388.99	
	60	2.45	357.16	

ตารางที่ ง-9 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียว หมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศ 300 ลิตร/นาที่ และอัตราการไหลทางน้ำยางจำลอง 3.0-6.0 ลิตร/นาที่

อัตราการไหล ทางน้ำยาง (L/min)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที่)	ปริมาตรที่ได้จากการ ไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของ แก๊สแอมโมเนีย (ppmv)	เฉลี่ย (ppmv)
3	10	3.30	481.07	384
	20	2.45	374.17	
	30	2.38	381.65	
	40	2.55	340.76	
	50	2.40	349.87	
	60	2.72	379.28	
4	10	3.90	320.72	419
	20	2.70	441.80	
	30	2.30	409.80	
	40	2.70	441.80	
	50	3.50	488.04	
	60	2.69	410.82	
5	10	3.50	488.04	451
	20	3.53	514.60	
	30	2.68	429.76	
	40	2.67	419.76	
	50	2.93	451.78	
	60	2.77	403.81	

ตารางที่ ง-9 (ต่อ) ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากหางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปร์ย์สูง 1 เมตร โดยป้อนหางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศ 300 ลิตร/นาที และอัตราการไหลหางน้ำยางจำลอง 3.0-6.0 ลิตร/นาที

อัตราการไหล หางน้ำยาง (l/min)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการ ไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของ แก๊สแอมโมเนีย (ppmv)	เฉลี่ย (ppmv)
6	10	3.20	446.21	420
	20	3.41	497.11	
	30	2.76	429.70	
	40	2.27	364.01	
	50	2.36	378.44	
	60	2.69	406.95	

ตารางที่ ง-10 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปร์ยสูง 1 เมตร โดยป้อนทางน้ำยางจำลองหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ยชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยางจำลอง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง(นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)
15	2.70	433
30	2.20	312
45	2.70	412
60	2.60	417
90	2.95	419
120	1.65	265
150	2.41	286
180	2.00	229
210	2.35	251
240	2.29	216
270	2.35	179
300	2.20	164

ตารางที่ ง-11 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 2 เมตรโดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยว หมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยางจำลอง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง(นาที่)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)
15	5.17	544
30	2.11	323
45	3.20	449
60	2.57	3609
90	2.50	312
120	2.89	286
150	3.00	266
180	2.00	160
210	2.25	158
240	2.80	168
270	2.60	141
300	2.73	135

ตารางที่ ง-12 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดจากทางน้ำยางจำลองด้วยคอลัมน์สเปร์ย์สูง 2 เมตรโดยป้อนทางน้ำยางจำลองแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ย์ชนิดเกลียวเดี่ยว หมู 2 หัวต่อขนานบน-ล่างมุมกระจายตัว 120° และ 90° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยางจำลอง 300 และ 6.5 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง(นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)
15	2.39	175
30	3.35	268
45	2.22	174
60	1.81	145
75	2.24	157
90	2.25	168
105	2.12	149
120	2.12	108
135	2.55	159
150	2.55	143
165	2.27	159
180	2.20	130
195	1.53	86
210	1.70	67
225	1.89	75
240	1.45	49
255	2.08	53
270	1.98	56
285	1.72	48
300	1.85	46

ภาคผนวก

ข้อมูลการกำจัดแอมโมเนียในหาน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ จ-1 ผลการกำจัดแอมโมเนียในหาน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนหาน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยหุม 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและหาน้ำยาง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.12 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	6.15	-	0.2499	-	19.9
10	5.79	5.65	0.2353	0.2296	
20	5.75	5.70	0.2337	0.2316	
30	5.65	5.55	0.2296	0.2255	
40	5.45	5.40	0.2215	0.2194	
50	5.30	5.25	0.2154	0.2133	
60	5.42	5.37	0.2203	0.2182	
80	5.25	5.15	0.2133	0.2093	
100	5.13	4.80	0.2085	0.1951	
120	5.06	4.75	0.2056	0.1930	
				* 0.2001	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในหาน้ำยางหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ จ-2 ผลการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 0.17% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนหางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและหางน้ำยาง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.12 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	4.08	-	0.1658	-	19.1
20	4.02	3.96	0.1634	0.1609	
40	3.91	3.87	0.1589	0.1573	
60	3.87	3.75	0.1573	0.1524	
90	3.81	3.60	0.1548	0.1463	
120	3.40	3.30	0.1382	0.1341	
150	3.25	3.15	0.1321	0.1280	
180	3.23	3.07	0.1313	0.1248	
210	3.15	3.05	0.1280	0.1239	
240	3.06	3.00	0.1244	0.1219	
				*0.1231	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในหางน้ำยางหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ จ-3 ผลการกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนทางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 2 หัวต่อขนานระนาบเดียวกัน มุมกระจายตัว 120° และ 90° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยาง 300 และ 6 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.12 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (%โดยน้ำหนัก)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	6.00	-	0.2438	-	13.5
10	5.90	5.70	0.2398	0.2316	
20	5.65	5.65	0.2296	0.2296	
30	5.60	5.37	0.2276	0.2182	
40	5.58	5.35	0.2268	0.2174	
50	5.42	5.33	0.2203	0.2166	
60	5.59	5.53	0.2271	0.2247	
80	5.30	5.24	0.2154	0.2129	
100	5.19	5.02	0.2109	0.2040	
120	5.30	5.04	0.2154	0.2048	
				* 0.2109	

หมายเหตุ *ความเข้มข้นสุดท้ายของแอมโมเนียในทางน้ำยางหลังการกำจัดด้วยคอลัมน์สเปรย์

ตารางที่ จ-4 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดออกจากหางน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร โดยป้อนหางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวนุม 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและหางน้ำยาง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง(นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)
10	2.25	392
20	2.15	383
30	2.03	354
40	2.02	324
50	1.50	241
60	1.72	251
80	1.56	167
100	2.81	205
120	2.35	179

ตารางที่ จ-5 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดออกจากหางน้ำยางระดับความเข้มข้น 0.17% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปร์ยสูง 1 เมตร โดยป้อนหางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ยชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและหางน้ำยาง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการเก็บตัวอย่าง(นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)
20	2.19	102
40	3.00	182
60	2.81	155
90	1.85	99
120	2.20	93
150	1.73	71
180	1.55	53
210	1.49	49
240	1.89	55

ตารางที่ จ-6 ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกำจัดออกจากทางน้ำยางระดับความเข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนักด้วยคอลัมน์สเปร์ยสูง 1 เมตรโดยป้อนทางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปร์ยชนิดเกลียวเดี่ยวหมู 2 หัวต่อขนานระนาบเดียวกัน มุมกระจายตัว 120° และ 90° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยาง 300 และ 6 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ

เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง(นาที่)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)	ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppmv)
10	1.80	131
20	2.00	169
30	3.52	269
40	1.80	166
50	2.90	233
60	1.67	150
80	1.86	148
100	2.00	169
120	1.62	137

ภาคผนวกจ

ข้อมูลการการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้องานในทางน้ำยาง

ตารางที่ จ-1 ผลการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้องานในทางน้ำยาง (ความเข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนัก) ทั้งก่อนและหลังกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร โดยป้อนทางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหุ้ม 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและทางน้ำยาง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในทางน้ำยาง (%โดยน้ำหนัก)		ปริมาตร H ₂ SO ₄ 97% ที่ใช้จับตัวเนื้องาน (ml)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	0.2499	-	1.30	-	61.5
10	0.2353	0.2296	1.10	0.73	
20	0.2337	0.2316	1.00	0.75	
30	0.2296	0.2255	0.60	0.79	
40	0.2215	0.2194	0.86	0.52	
50	0.2154	0.2133	0.51	0.85	
60	0.2203	0.2182	0.40	0.60	
80	0.2133	0.2093	0.38	0.52	
100	0.2085	0.1951	0.60	0.52	
120	0.2056	0.1930	0.70	0.50	

ตารางที่ ๓-2 ผลการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนือยในหางน้ำยาง (ความเข้มข้น 0.17% โดยน้ำหนัก) ทั้งก่อนและหลังกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนหางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวมุม 1 หัว มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและหางน้ำยาง 300 และ 4.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในหางน้ำยาง (%โดยน้ำหนัก)		ปริมาตร H ₂ SO ₄ 97% ที่ใช้จับตัวเนือย (ml)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	0.1658	-	0.51	-	60.8
20	0.1634	0.1609	0.50	0.47	
40	0.1589	0.1573	0.30	0.20	
60	0.1573	0.1524	0.29	0.37	
90	0.1548	0.1463	0.15	0.22	
120	0.1382	0.1341	0.17	0.20	
150	0.1321	0.1280	0.18	0.28	
180	0.1313	0.1248	0.45	0.22	
210	0.1280	0.1239	0.23	0.23	
240	0.1244	0.1219	0.45	0.25	

ตารางที่ ๓-3 ผลการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้องานในหางน้ำยาง (ความเข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนัก) ทั้งก่อนและหลังกำจัดแอมโมเนียด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตรโดยป้อนหางน้ำยางแบบหมุนวนซ้ำ (Recirculate) ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมู 2 หัวต่อขนานระนาบเดียวกัน มุมกระจายตัว 120° อัตราการไหลของอากาศและหางน้ำยาง 300 และ 6.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ

เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในหางน้ำยาง (%โดยน้ำหนัก)		ปริมาตร H ₂ SO ₄ 97% ที่ใช้จับตัวเนื้องาน (ml)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	0.2438	-	1.15	-	45.2
10	0.2398	0.2316	1.11	0.89	
20	0.2296	0.2296	0.90	0.91	
30	0.2276	0.2182	0.89	0.85	
40	0.2268	0.2174	0.88	0.85	
50	0.2203	0.2166	0.89	0.63	
60	0.2271	0.2247	0.80	1.00	
80	0.2154	0.2129	0.82	0.78	
100	0.2109	0.2040	0.99	0.81	
120	0.2154	0.2048	0.70	0.63	

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิด

ข-1 การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 300-1500 ppmv ด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำซีรัม (pH=2.45) ในปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิดขนาดห้องปฏิบัติการ ที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5 ลิตร/นาที

ตารางที่ ข-1.1 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 300 ppmv

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	1.89	-	408.51	-	-
20	2.31	0	490.97	0	100
40	1.50	0	388.14	0	100
60	1.78	0	311.45	0	100
80	2.39	0	418.18	0	100
100	2.71	0	508.04	0	100
120	2.41	0	429.87	0	100
140	1.52	0	416.80	0	100
160	1.89	0	385.81	0	100
180	1.73	0	397.29	0	100
200	1.88	0	322.80	0	100
220	2.00	0	408.27	0	100
240	2.05	0	319.17	0	100
260	1.55	0	365.08	0	100
280	2.15	0	420.21	0	100
300	2.02	0	322.71	0	100

ตารางที่ ข-1.1 (ต่อ) ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 300 ppmv

เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรต ด้วย 0.005 M HCl (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
320	1.92	0	306.73	0	100
340	1.88	0	548.24	0	100
360	2.72	1.50	454.29	35.15	92
380	1.68	1.62	314.95	50.02	84
400	1.85	1.75	424.85	67.97	84
420	2.70	1.82	459.30	90.13	80
440	2.05	1.69	459.30	92.68	80
460	1.60	1.20	326.61	90.35	72
480	2.45	1.61	333.42	126.95	62

ตารางที่ ข-1.2 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 700 ppmv

เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรต ด้วย 0.005 M HCl (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	2.75	-	1010.46	-	-
20	2.30	0	899.05	0	100
40	2.07	0	864.32	0	100
60	2.30	0	880.32	0	100
80	2.15	0	877.77	0	100
100	2.08	0	516.40	0	100
120	2.14	0	756.08	0	100
140	2.31	0	785.91	0	100
160	1.89	0	738.79	0	100
180	2.09	0	673.64	0	100
200	2.25	0	794.94	0	100
220	2.27	1.29	786.87	19.75	97
240	2.02	1.42	729.39	43.85	94
260	2.08	1.90	723.74	95.19	87
280	2.05	1.36	726.51	89.75	88
300	1.88	1.40	765.50	136.70	82
320	1.90	1.45	727.22	140.86	81
340	1.70	1.48	692.21	161.85	77
360	1.61	1.50	700.26	185.20	74
380	1.60	1.60	765.50	218.71	70
400	2.00	1.70	695.91	239.22	66
420	1.70	1.82	707.25	278.64	61

ตารางที่ ข-1.3 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 1100 ppmv

เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรต ด้วย 0.005 M HCl (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	2.40	-	1093.57	-	-
20	2.43	0	1107.24	0	100
40	2.40	0	1120.24	0	100
60	2.62	0	1139.55	0	100
80	2.59	0	1339.62	0	100
100	2.17	0	922.85	0	100
120	2.62	0	1222.93	0	100
140	2.30	0	1100.40	0	100
160	2.40	0	1068.14	0	100
180	2.71	4.10	1048.21	30.33	97
200	2.30	2.07	1100.40	110.04	90
220	2.41	1.72	1024.92	126.60	88
240	2.40	2.10	1020.66	140.03	86
260	2.38	1.73	1138.68	222.20	80
280	2.17	1.91	1038.21	232.82	78
300	2.60	2.14	1243.93	259.20	79
320	2.42	2.00	1157.81	255.17	78
340	2.30	2.70	1100.40	303.95	72
360	2.30	2.30	1048.00	258.92	75
380	2.15	1.61	1055.01	324.33	69
400	2.15	1.30	1055.01	394.90	63
420	2.40	1.50	1177.69	463.00	61

ตารางที่ ข-1.4 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 1500 ppmv

เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรต ด้วย 0.005 M HCl (ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
0	2.37	-	1511.86	-	-
20	2.5	0	1442.14	0	100
40	2.5	0	1543.34	0	100
60	2.5	0	1594.79	0	100
80	2.04	0	1346.22	0	100
100	2.75	0	1594.79	0	100
120	2.28	0	1504.60	0	100
140	2.32	1.19	1530.99	34.30	98
160	2.31	2.59	1426.05	141.62	90
180	2.50	1.41	1543.34	118.87	92
200	2.42	1.45	1543.75	155.89	90
220	2.50	1.12	1594.79	240.83	85
240	2.44	1.35	1556.51	296.96	81
260	2.35	1.61	1550.79	342.35	78
280	2.41	1.80	1537.37	304.84	80
300	2.70	1.50	1519.74	382.75	75
320	2.15	1.90	1523.91	427.78	72
340	2.28	2.15	1504.60	484.06	68
360	2.40	2.00	1583.79	637.91	60
380	2.35	2.05	1499.10	613.00	59
400	2.59	2.30	1598.90	733.60	54
420	2.45	2.15	1562.89	748.10	52

ซ-2 การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 1100 ppmv ด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำซีรัม (pH=2.45) ในปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ ที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5-1.5 ลิตร/นาที

ตารางที่ ซ-2.1 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้นที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 1.0 ลิตร/นาที

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	pH
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		
0	2.19	-	1047.77	-	-	2.45
20	2.32	0	1109.97	0	100	3.94
40	1.95	0	1066.23	0	100	5.27
60	2.55	0	1190.26	0	100	7.14
80	2.20	0	1052.56	0	100	8.53
100	2.55	1.40	1220.01	73.40	94	8.77
120	2.25	1.75	1076.48	164.17	82	8.89
140	2.40	1.80	1148.25	205.04	82	8.93
160	2.41	1.57	1153.03	222.56	81	8.82
180	2.30	1.50	1100.40	212.64	81	9.00
200	2.30	1.80	1100.40	370.40	66	9.10
220	2.27	2.05	1113.90	380.89	66	9.17
240	2.29	1.95	1095.62	384.72	65	9.14

ตารางที่ ข-2.2 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้นที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 1.5 ลิตร/นาที

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	pH
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		
0	2.27	-	1059.56	-	-	2.42
20	3.10	0	1119.36	0	100	2.84
40	2.32	0	1109.97	0	100	3.47
60	2.81	0	1280.39	0	100	4.19
80	2.30	1.60	1222.67	51.03	96	4.63
100	2.20	2.20	1052.56	153.81	85	5.05
120	2.57	2.09	1171.03	303.01	74	5.77
140	2.25	2.50	1050.23	531.60	49	7.31
160	2.60	3.30	1213.59	725.90	40	7.86
180	2.50	2.20	1196.09	601.46	50	8.15
200	2.40	2.60	1068.14	829.29	22	8.44
220	2.30	2.10	1073.56	803.77	25	8.61
240	2.47	2.33	1181.74	891.80	25	8.66

ช-3 การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้น 1100 ppmv ด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำในปฏิกรณ์ชนิดแก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการ ที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5-1.0 ลิตร/นาที

ตารางที่ ช-3.1 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้นที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 0.5 ลิตร/นาที

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	pH
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		
0	4.32	-	1102.32	-	-	7.86
20	3.85	2.57	1016.26	57.44	94	10.02
40	4.03	2.30	1186.52	63.45	95	10.14
60	3.40	1.19	946.43	46.96	95	10.07
80	3.10	1.89	1186.52	79.28	93	10.05
100	3.30	1.10	1074.95	58.07	95	10.12
120	3.70	1.90	1258.82	123.78	90	10.13
140	3.25	2.10	1105.72	189.12	83	10.16
160	3.28	3.28	1115.93	334.78	70	10.15
180	3.06	2.05	1171.21	249.09	79	10.10
200	3.60	2.80	1281.76	396.92	69	10.19
220	3.29	2.16	1259.24	330.69	74	10.16
240	3.70	1.96	1132.94	337.16	70	10.18
260	3.18	2.10	1106.49	417.54	62	10.21
280	3.30	2.70	1010.46	475.14	53	10.14

ตารางที่ ข-3.2 ผลการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองความเข้มข้นที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 1.0 ลิตร/นาที

เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตด้วย 0.005 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	pH
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		
0	2.22	-	966.44	-	-	6.20
20	2.32	1.60	1109.97	127.58	89	10.20
40	2.10	1.60	1086.18	235.54	78	10.23
60	2.43	1.29	1162.60	274.30	76	10.24
80	2.23	1.95	1066.91	533.11	50	10.25
100	2.20	2.15	1026.89	685.76	33	10.25
120	2.35	2.35	1124.32	749.55	33	10.26
140	2.35	2.02	1124.32	631.66	44	10.20
160	2.75	2.60	1196.09	995.15	17	10.17
180	2.15	2.85	1028.64	1010.03	2	10.17

ซ-4 การกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ไหลออกจากระบบคอลัมน์สเปรย์ด้วยกระบวนการดูดซึม
ผ่านน้ำ 2 ลิตร ในปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดดันแบบที่อัตราการไหลของอากาศเสีย 4.0 ลิตร/นาที

เวลาในการ เก็บ ตัวอย่าง (นาที)	ปริมาณที่ได้จากการไทเทรต ด้วย 0.005 M HCl(ml)		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในอากาศเสีย (ppmv)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
15	2.39	0	174.88	0	100.00
30	3.35	0	268.47	0	100.00
45	2.22	0	173.78	0	100.00
90	2.25	0	168.30	0	100.00
150	2.55	0	143.05	0	100.00
180	2.20	2.64	129.91	49.	62.00
210	1.70	2.36	66.54	49	26.30
240	2.08	1.62	53.04	34	36.54
270	1.98	1.57	55.54	38	30.86
300	1.85	1.48	45.60	30	33.44

ภาคผนวก ข

การออกแบบระบบกำจัดแอมโมเนีย

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์และระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียดด้วยปฏิกรณ์แก๊สแบบเปิด จึงนำไปสู่การออกแบบระบบเพื่อใช้งานจริงในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ข.1 ระบบกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์

จากการทดลองกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์สูง 1 เมตร สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียจาก 0.30% โดยน้ำหนัก เหลือ 0.19% โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 150 นาที ซึ่งคิดผลต่างความเข้มข้นแอมโมเนียเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.020% โดยน้ำหนัก สามารถแสดงผลการคำนวณได้ดังตารางที่ 4-3 และการออกแบบระบบคอลัมน์สเปรย์สำหรับใช้งานในโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเพื่อลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในทางน้ำยาง 0.30% โดยน้ำหนัก ให้เหลือต่ำกว่า 0.20% โดยน้ำหนัก แสดงดังต่อไปนี้

คอลัมน์ 1 คอลัมน์	สามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ 0.020% โดยน้ำหนัก
คอลัมน์ 5 คอลัมน์	สามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ 0.10% โดยน้ำหนัก

ดังนั้น ปริมาณแอมโมเนียที่เหลือ = $0.30 - 0.10 = 0.20\%$ โดยน้ำหนัก

จากกำลังการผลิตของโรงงานผลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น พบว่าใน 1 วัน โรงงานจะได้ทางน้ำยางซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากการผลิตน้ำยางชั้น 50 ตัน ซึ่งคิดเป็น 49,000 ลิตร แสดงการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Skim latex (L)} = \frac{m \text{ (kg)}}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} = \frac{50,000 \text{ kg}}{1,020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4.9 \text{ m}^3 = 49,000 \text{ L}$$

หมายเหตุ: ความหนาแน่นของทางน้ำยาง (ρ) ถูกคำนวณมาจากความถ่วงจำเพาะที่วัดด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

การออกแบบคอลัมน์ให้สามารถรองรับกำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น ต้องใช้คอลัมน์สูง 4 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เมตร จำนวน 5 คอลัมน์จึงสามารถรองรับกำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น 49,000 ลิตร/วัน โดยทุกๆ 1 เมตร ของแต่ละคอลัมน์จะป้อน

หางน้ำยางด้วยอัตราการไหล 32 ลิตร/นาที่ ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดี่ยวหมุนกระจาย 120° จำนวน 8 หัว ที่ต่อแบบขนานราบเดียวกันไหลสวนทางกับกระแสอากาศ 9,600 ลิตร/นาที่ พบว่าจะใช้เวลาในการกำจัดแอมโมเนียทั้งหมด 6.4 ชั่วโมงและสามารถแสดงการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

คอลัมน์สูง 1 เมตร	ใช้อัตราการไหลของหางน้ำยาง 32 ลิตร/นาที่
คอลัมน์สูง 4 เมตร	ใช้อัตราการไหลของหางน้ำยาง 128 ลิตร/นาที่

จากสถานะเหมาะสม

อัตราการไหลของหางน้ำยาง 4 ลิตร/นาที่ ใช้อัตราการไหลของอากาศ 300 ลิตร/นาที่

อัตราการไหลของหางน้ำยาง 128 ลิตร/นาที่ ใช้อัตราการไหลของอากาศ 96,00 ลิตร/นาที่

$$\text{Retention time (hr.)} = \frac{V \text{ (L)}}{Q \left(\frac{\text{L}}{\text{min}} \right)} = \frac{49,000 \text{ L}}{128 \frac{\text{L}}{\text{min}}} = 375 \text{ min} = 6.4 \text{ hr.}$$

เมื่อ V = ปริมาณหางน้ำยาง (ลิตร)

Q = อัตราการไหลของหางน้ำยาง (ลิตร/นาที่)

ข.2 ระบบกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยปฏิกิริยแก๊สแบบเปิด

สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียด้วยกระบวนการดูดซึมผ่านน้ำซีรัม 0.124 ลิตร (ระดับความสูงของน้ำซีรัม 7.8 เซนติเมตร) ในปฏิกิริยแก๊สแบบเปิดขนาดห้องปฏิบัติการ คือ การป้อนอากาศเสียด้วยอัตราการไหล 1.0 ลิตร/นาที่ สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 100% เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งถ้าต้องการให้ระบบปฏิกิริยแก๊สแบบเปิดขนาดห้องปฏิบัติการสามารถกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียได้ 100% เพียง 1 ชั่วโมง จะต้องใช้อัตราการไหลของอากาศเสีย 3 ลิตร/นาที่ ซึ่งพบว่าอากาศเสียสามารถอยู่สัมผัสกับน้ำซีรัมได้ 0.04 นาทีซึ่งสามารถแสดงการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Retention Time (min)} = \frac{V \text{ (L)}}{Q \left(\frac{\text{L}}{\text{min}} \right)} = \frac{0.124 \text{ L}}{3 \frac{\text{L}}{\text{min}}} = 0.04 \text{ min}$$

เมื่อ V = ปริมาณน้ำซีรัม (ลิตร)

Q = อัตราการไหลของอากาศเสีย (ลิตร/นาที่)

เนื่องจากอากาศเสียที่ไหลออกจากคอลัมน์สเปรย์ 5 คอลัมน์ มีอัตราการไหล 48,000 ลิตร/นาที่ จะใช้ปฏิกิริยแก๊สที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร บรรจุน้ำซีรัม 80 ลิตร (ระดับความสูงของน้ำ

ซีรัม 10 เซนติเมตร) ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ Retention Time เดียวกันกับปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลขนาดห้องปฏิบัติการที่ใช้อัตราการไหลของอากาศเสีย 3 ลิตร/นาที พบว่าต้องป้อนอากาศเสียที่ป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลด้วยอัตราการไหล 2,000 ลิตร/นาที สามารถแสดงการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Retention Time (min)} = 0.04 \text{ min} = \frac{80 \text{ L}}{Q \frac{\text{L}}{\text{min}}}$$

$$\text{อัตราการไหลของอากาศเสีย (Q)} = 2,000 \text{ ลิตร/นาที}$$

เมื่อต้องป้อนอากาศเสียที่ป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลด้วยอัตราการไหล 2,000 ลิตร/นาที จากอัตราไหลของอากาศเสียทั้งหมดที่ออกจากคอลัมน์สเปรย์ 48,000 ลิตร/นาที ปฏิกรณ์แก๊สแบบเบิลจึงถูกออกแบบให้ภายในมีชั้นของสารดูดซึมชนิดน้ำซีรัม 12 ชั้น สูงชั้นละ 0.30 เมตร จำนวน 2 ปฏิกรณ์ โดยปฏิกรณ์แต่ละชั้นจะบรรจุสารดูดซึมชนิดน้ำซีรัม 80 ลิตรติดตั้งตัวทำลายฟองและมีการล้นออก (Over flow) ของน้ำซีรัมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไหล 1.33 ลิตร/นาที ซึ่งสามารถแสดงการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Stage of skim serum absorbent} = \frac{48,000 \frac{\text{L}}{\text{min}}}{2,000 \frac{\text{L}}{\text{min}}} = 24 \text{ stage}$$

$$\text{อัตราการล้นออก(Over flow rate)} = \frac{80 \text{ L}}{60 \text{ min}} = 1.33 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

ภาคผนวก ญ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

The 1st Asia Pacific Rubber Conference

APRC 2013



September 5-6, 2013 at Diamond Plaza Hotel
Surat Thani, Thailand

Removal of NH₃ in Air Released from Rubber Latex Process Using Skim Serum Absorbent

Siranat Pansang^{1,a}, Preecha Kasikamphai boon^{2,b},
and Juntima Chungsiriporn^{1,c*}

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand, 90112

²Department of Science, Faculty of Science and Technology,
Prince of Songkla University, Pattani, Thailand, 94000

^asiranat.ps@hotmail.com, ^btun39@hotmail.com, ^cjuntima.c@psu.ac.th

Keywords: Ammonia, Skim serum, Bubble absorption, Rubber latex

Abstract. The treatment of NH₃ releasing concentrated rubber latex to air was studied using skim serum in laboratory scale of bubble absorption reactor. The skim serum (pH 2.5 to 3) is a liquid waste from concentrated rubber latex. The concentration of NH₃ in air (300 to 1500 ppmv) and air flow rate (0.5 to 1.5 l/min) feeding into the reactor were measured for the effect of the treatment efficiency. At lower NH₃ concentration and air flow rate have resulted to higher NH₃ removal efficiency. Bubble absorption reactor can be effectively used and applied to remove NH₃ releasing from the concentrated rubber latex process to the air without any plugging of the skim rubber in the system. Skim serum waste liquid has the result in higher efficiency in NH₃ removal comparing to pure water usage. This study would be practically used as a guidance for the further design and operate to minimize waste and emission control in rubber industrial-scale system.

Introduction

Ammonia (NH₃) is a common volatile chemical product releasing from several sources including wastewater treatment, chemical and manufacturing industries, and livestock farm. This gas has adverse effects on workers' health, can cause eye irritation, chronic skin diseases, especially the respiratory system [4]. In concentrated rubber latex industry, NH₃ was added into raw latex to preserve and protect from bacterial attack during the latex production steps. The raw latex is fed to centrifugal unit to produce the main product of concentrated rubber latex and by product of skim latex. NH₃ gas with high concentration is released from the centrifugal unit and skim latex NH₃ repelling process. Releasing of NH₃ to atmosphere without any treatment affected to environment such as acid rain, climate change, and global warming.

Coagulation of skim rubber from the skim latex can be done by adding sulfuric acid and getting for skim serum waste. Skim serum portion contaminated with the acid became wastewater with very low pH [2]. This skim serum waste has high potential to be used for solving the NH₃ releasing problem to atmosphere. Bubble absorption reactor, widely used as gas-liquid contactors and absorber in chemical industry, is possible be used for contacting between gas and skim serum working fluid. This reactor has advantage in preventing in plugging problem and minimizing cost for energy and construction [1]. Therefore, bubble absorption reactor of NH₃ to ammonium sulfate has a potential available method in order to reduce the ammonia pollution proceeds at room temperature and atmospheric pressure.

The aim of this research was to study the treatment of NH₃ contaminated in air releasing from concentrated rubber latex industry using skim serum waste liquid. The Bubble absorption reactor containing the skim serum was used to study for the effect of operating parameters on the NH₃ treatment efficiency. The controlled parameters consisting of air flow rate (0.5 to 1.5 l/min) and NH₃ concentration in air (300 to 1500 ppmv) were considered. NH₃ absorption capacity of the skim serum comparing with pure water was investigated as guidance for economical use of the system.

Material and methods

Reagents and chemical to material. Skim serum was obtained from concentrated rubber latex industry (Chalong Latex Industry Co., Ltd.). The sample of skim serum containing sulfuric acid with low pH value (pH 2.5 to 3) was used as absorbent in bubble absorption reactor. Ammonia solution (30%w/w, GR grade, Loba Chemie Pvt Ltd., India) was used for NH_3 simulated air preparation. Air stream from air compressor was applied to the simulated air generating system.

Bubble absorption reactor. The glass cylindrical column at 500 ml volume was designed and installed with immersing nozzle for bubble the gas into the skim latex containing in the absorption reactor. The column is constituted by glass at 20 cm height, internal diameter of 4.5 cm, and 7.8 cm liquid section height as show in Fig. 1(a) and (b). At upper part of the reactor was inserted by sponge for bubble trapping. Skim serum 150 ml was filled in the glass column to absorb NH_3 from simulated air. Treated air after bubbling in the absorbing liquid was discharged at top part of the bubble absorption reactor.

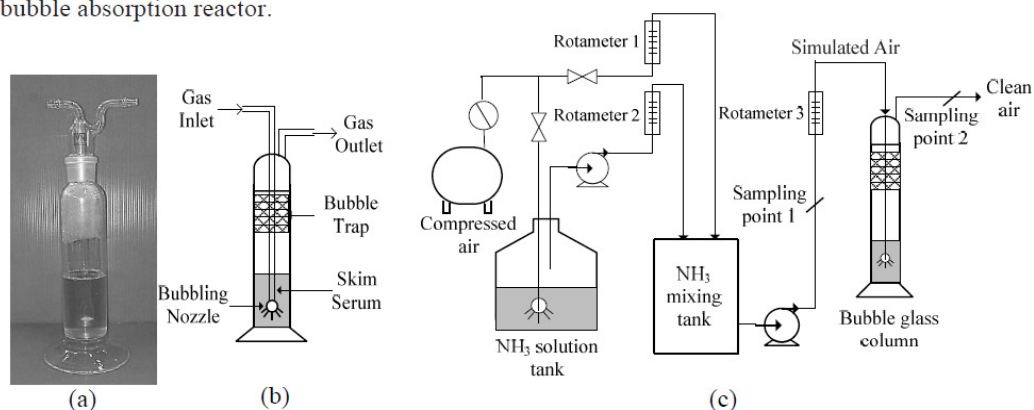


Figure 1. Bubble glass absorption reactor picture (a), diagram of the bubble reactor (b), and schematic diagram of NH_3 contaminated air treatment system by bubble reactor (c).

Experimental set up. The bubble absorption reactor was set by using skim serum absorbent to test for NH_3 removal from simulated air. The diagram of simulated air generation and the absorption reactor is demonstrated in Fig. 1(c). The simulated air stream was produced in laboratory to use for air treatment instead of actual NH_3 contaminated air releasing from concentrated rubber latex industry. Air flow from air compressor was passed through a NH_3 solution reservoir (30% w/w) to pick up vaporized NH_3 gas at room temperature (28-29°C). The mixed stream was continuously flowed through the NH_3 mixing tank and steady flow to the reactor. The air flow rate and concentration was measured and adjusted by rotameter before bubbling to absorbent.

Operating parameters. The NH_3 treatment in bubble absorption reactor was studied for the 2 parameters of air flow rate (0.5 to 1.5 l/min) and NH_3 concentration in air (300 to 1500 ppmv). Comparing between skim serum and water as absorbent was performed to observe for absorption capacity and advantage of latex liquid waste in emission reducing. The simulated feed air and treated air were taken by sampling pump every 20 min until 7 h to measure for NH_3 concentration.

Evaluation of the result. The air sample at 0.5 l/min from inlet and outlet streams of bubble reactor were taken to glass bottle impinger. 50 ml of boric acid containing in the impinger was used to absorb the NH_3 in the air. The NH_3 concentration in the boric acid was measured by titration method and calculated to ppmv unit in air flow [3]. The NH_3 treatment efficiency (% *Eff.*) by the absorption unit was then recorded and calculated by Equation (1) [3]. The NH_3 absorption capacity was calculated by mass balance and showed Equation (2) through mass flow rate of NH_3 in inlet and outlet stream at versus time.

$$\% \text{ Eff.} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (1)$$

$$m = \int_0^t (F_{in} - F_{out}) dt \quad (2)$$

Where % Eff. is a percentage of the NH₃ treatment efficiency, C_{in} and C_{out} are the NH₃ concentration in air at inlet and outlet point of the reactor, respectively. Unit of the NH₃ concentration is part per million by volume (ppmv). m is NH₃ absorption capacity (mg), F_{in} and F_{out} are the mass flow rate (mg/min) of NH₃ in air at inlet and outlet point of the reactor, respectively.

Result and discussion.

From the laboratory scale of absorption reactor, the effect of operating parameters on NH₃ removal from contaminated gas using the skim latex was tested. The NH₃ removal efficiency by the absorption column of each test had collected along operation time until the % Eff. less than 80%. Result of the test can be graphically presented and explained in Fig. 2-5.

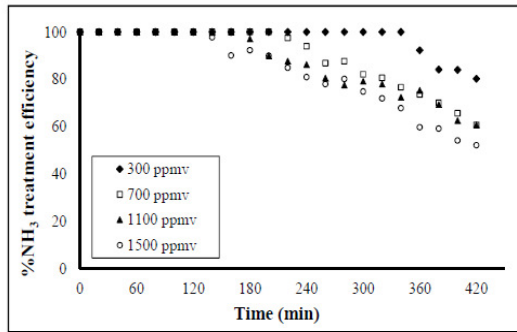


Figure 2. Effect of NH₃ concentration (in air) on % NH₃ treatment efficiency by skim serum bubble reactor at air flow rate of 0.5 l/min.

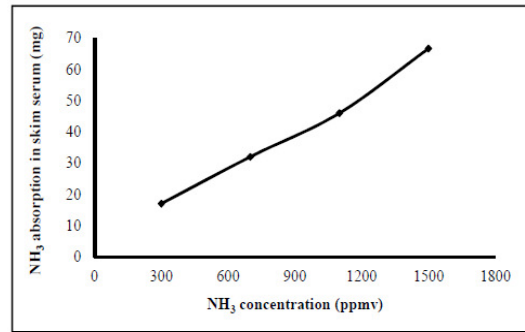


Figure 3. NH₃ absorption capacity in skim serum by bubble reactor for each concentration of NH₃ in air at 0.5 l/min gas flow rate.

Effect of concentration. Constant condition of 0.5 l/min air flow rate was controlled and 300 to 1500 ppmv NH₃ concentration in gas was studied. Efficiency of the system with absorption time can be plotted in the Fig. 2. It was found that 100% Eff. was found in first running period for all conditions. At higher NH₃ concentration in air, the treatment efficiency was faster dropped down. The NH₃ absorption capacity of skim serum for each NH₃ concentration in the air for absorption time of 420 minute was calculated by Equation (2) and presented in Fig. 3. It was found that the absorption capacity can be increased by increasing NH₃ concentration.

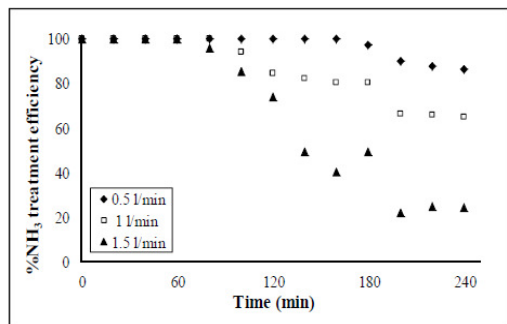


Figure 4. Effect of air flow rate on NH₃ treatment efficiency by skim serum bubble reactor at 1,100 ppmv NH₃ in air.

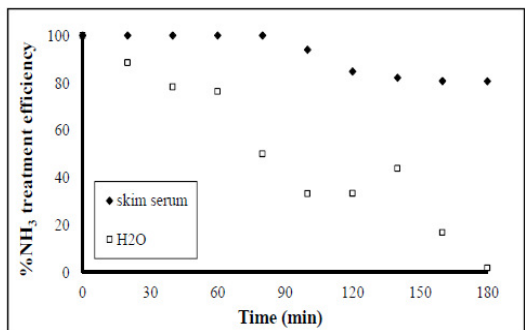


Figure 5. Comparing of NH₃ in air treatment using skim serum and water absorbent at 1 l/min air flow rate and NH₃ 1100 ppmv.

Effect of air flow rate. The effect of air flow rate on the NH_3 treatment efficiency at NH_3 1,100 ppmv in air was manifested in Fig. 4. The result demonstrated that the higher air flow rate got faster dropping of the treatment efficiency from 100%. At the air flow rate of 1.5 l/min, NH_3 treatment efficiency was sharply decreased to 20% *Eff.* within 1 hr. It is because at higher air flow rate, the absorption time between NH_3 in air and skim serum liquid absorbent was decreased then the system provided decreasing in treatment efficiency.

Comparison of absorbent. The NH_3 treatment comparison plot by using skim serum and water as absorbent can be shown in Fig. 5. In this experimental part, 1 l/min the airflow rate and 1100 ppmv NH_3 concentration was constantly controlled. The result indicated that the skim serum can treat NH_3 in the air with higher efficiency than pure water absorbent. It is according to the skim serum containing sulfuric acid to work as acid-basic balancing and neutralization reaction occur during the absorption. For the water, the just only absorption occurs in the treatment process. Table 1 is shown for the NH_3 absorption capacity by skim serum and water at absorption time of 180 min. The skim serum has absorption capacity at 30% over than the pure water using at the air flow rate of 0.5 l/min. Then the using of skim serum can effectively support the NH_3 treatment releasing from the rubber latex process and minimize waste from water usage.

Table 1. NH_3 absorption capacity between skim serum and water at absorption time of 180 min.

Absorbent	NH_3 absorption capacity(mg)	
	0.5 l/min	1 l/min
Skim serum	69.89	129.23
Water	54.97	70.27

Conclusions.

The removal of NH_3 in contaminated air using skim serum in laboratory scale of bubble absorption reactor was investigated. The concentration of NH_3 in air and air flow rate feeding into the reactor has significantly influenced to the treatment efficiency. At lower NH_3 concentration and air flow rate have resulted to higher NH_3 removal efficiency. Bubble absorption reactor can be effectively used and applied to remove NH_3 releasing from the concentrated rubber latex process to the air without any plugging of the skim rubber in the system. Skim serum waste liquid has the result in higher efficiency in NH_3 removal comparing to pure water usage. Then this study would be practically used as a guidance for the further design and operate for rubber industrial-scale system to minimize waste and emission control.

References

- [1] K. Terasaka, J. Oka, H. Tsuge, Ammonia absorption from a bubble expanding at a submerged orifice in to water, *Journal of Chemical Engineering Science*. 57 (2002) 3757-3765.
- [2] N. Thongmak, P. Sridang, S. Dantheravanich, W. Thaveepreeda, P. Wanichapichart, S. Annop, Filterability of latex serum and skim latex using lab scale plane organic membrane filtration: Application to recovery valued compound and to concentrate latex particle, 7th International Conference on Membrane Science and Technology (MST2009), May 12-15, 2009, Kuala Lumpur Malaysia.
- [3] P. Pongyeela, L. Sikong, J. Chungsiriporn, Removal of NH_3 in air using coated TiO_2 Photocatalytic in continuous photo-reactor, The 10th International PSU Engineering Conference, May 14-15, 2012.
- [4] P. Tekasakul, S. Tekasakul, Environmental problem relate to natural rubber production in Thailand, *Journal of Aerosol Research*. 21(2006) 122-129.



การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 13

26-28 มีนาคม 2557

โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ



บรรณาธิการ

ประเสริฐ คปนิยางกูร วันเพ็ญ วิโรจน์ภู มิษา พิทยโสภณกิจ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ ซาดิ เจียมไชยศรี



กระทรวงพลังงาน
MINISTRY OF ENERGY



การกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์

Ammonia Removal from Skim Latex by Spray Column

ศิรินทร์ฐ ปานสังข์¹ จันทิมา ชั่งสิริพร^{2*} พฤกระยา พงศ์ยี่หล้า³

Siranat Pansang¹ Juntima Changsiriporn^{2*} Prukraya Pongyeela³

¹นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ สงขลา 90110

^{2*}ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ สงขลา 90110

³นักวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ สงขลา 90110

*โทรศัพท์ : 089-4638832, โทรสาร : 074-558833, e-mail : juntima.c@psu.ac.th

บทคัดย่อ

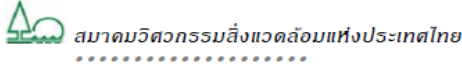
งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนีย (NH_3) ในหางน้ำยางด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ (spray column) เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยางในหางน้ำยาง ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายและลดปัญหาการระบายน้ำปนเปื้อนของโรงงานผลิตน้ำยางข้น คอลัมน์สเปรย์สร้างจากถังทรงกระบอกกลวงและติดตั้งหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวหมุนเพื่อป้องกันการอุดตันของเนื้อยาง ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบด้วยการหาประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ของหางน้ำยางจำลองที่เตรียมขึ้นจากแอมโมเนียเหลวผสมกับน้ำที่ความเข้มข้น 0.3%wt. ทำการศึกษามุมกระจายของหัวสเปรย์ 60° - 120° อัตราการไหลของอากาศ 200-400 l/min และอัตราการไหลของเหลว 3.0-6.0 l/min พบว่า ได้สภาวะที่เหมาะสม คือ มุมกระจายหัวสเปรย์ 120° อัตราการไหลของอากาศ 300 l/min และอัตราการไหลของหางน้ำยาง 4.0 l/min จากกระบวนการนี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนของ NH_3 ในอากาศที่ปล่อยออกจากคอลัมน์สเปรย์ที่ 400-500 ppmv เมื่อทดสอบการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางจริง พบว่า สามารถลดปริมาณ NH_3 ลงได้ 20% ในเวลา 2 ชั่วโมง สามารถลดการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยางในหางน้ำยางได้ 60% จากผลการศึกษานี้มีศักยภาพสูงในการนำไปใช้แนวทางในการออกแบบและดำเนินการของโรงงานผลิตน้ำยางข้นเพื่อลดปริมาณ NH_3 ในหางน้ำยางต่อไป

คำสำคัญ : แอมโมเนีย; คอลัมน์สเปรย์; หางน้ำยาง; น้ำยางข้น

Abstract

This research study was to remove ammonia (NH_3) from skim latex by spray column for the purpose of reducing sulfuric acid usage in skim rubber coagulation from skim latex and wastewater treatment problem of concentrated rubber industry. The spray column was designed using empty cylindrical column and installed spiral spray nozzle at top of column to prevent from plugging of the skim rubber. NH_3 removal efficiency of the system was monitored as finding for optimum condition of the system. Simulated skim rubber latex was prepared at 0.3% NH_3 concentration by mixing between liquid NH_3 and water. The effect of spray angle 60° - 120° , air flow rate 200-400 l/min and liquid flow rate 3.0-6.0 l/min was studied for the removal of ammonia from the simulated latex. The optimize condition of the system was found at spray angle 120° , air flow rate 300 l/min and liquid flow rate 4.0 l/min. The air released from spray column was contaminated with NH_3 at 400-500 ppmv. The testing of real skim latex at the optimum condition was found the the system can reduce the NH_3 at 20% within 2 hr and effect to reduce the acid consumption 60%. This result has high potential to be applied and designed for concentrated latex industry.

Keywords: ammonia; spray column; skim latex, concentrated rubber latex



บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะน้ำยางชั้นซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีการแข่งขันสูง ทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ การรักษาสภาพน้ำยางสดที่รับมาจากสวนยางพาราก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตทำได้โดยการเติมแอมโมเนียเหลว (liquid ammonia) ให้ได้ความเข้มข้น 0.4% หลังจากนั้นทำการปั่นน้ำยางสดเข้าสู่เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) เพื่อให้ได้น้ำยางชั้น (concentrated latex) และหางน้ำยาง (skim latex) ซึ่งจะมีเนื้อยางแห้ง 60% และ 5% wt ตามลำดับ [2] จากกระบวนการนี้จะได้น้ำยางที่มีแอมโมเนีย (ammonia, NH_3) ปนเปื้อน 0.3-0.4% wt ซึ่งต้องทำการกำจัดออกก่อนการใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นในการจับตัวเนื้อยางเพื่อผลิตเป็นยางสกิน (skim rubber) และได้น้ำซีรัม (skim serum) เป็นน้ำเสียของกระบวนการ [4] หากมี NH_3 คงค้างอยู่ในหางน้ำยางที่ความเข้มข้นสูง จะต้องใช้กรดซัลฟูริกปริมาณมากในการจับตัวยางสกิน ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง ทำให้น้ำยางสกินเปียกและเสื่อมง่ายไม่ได้คุณภาพเหมือนยางแท่งมาตรฐาน (standard thai rubber) และยางแผ่นรมควัน (rib smoked sheet) นอกจากนั้นน้ำซีรัมที่ได้จะมีซัลเฟต (sulfate) สูง ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียเกิดปัญหาและเกิดแก๊สไข่เน่า (H_2S) ที่ความเข้มข้นสูงในแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้

แนวทางในการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ การใช้ไบกเวนและการปล่อยให้หางน้ำยางไหลผ่านรางเปิดยาวประมาณ 1000 เมตร [3] พบว่า ได้ประสิทธิภาพในการกำจัด NH_3 ที่ไม่สูงมากนัก และเป็นการปล่อยไอระเหยของ NH_3 ออกสู่บรรยากาศโดยตรงก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากมีเนื้อยางผสมอยู่ในหางน้ำยาง การใช้ระบบที่มีส่วนประกอบซับซ้อนและใช้อุณหภูมิสูง เช่น การใช้คอลัมน์บรรจุ (packed column) [1] และการใช้กระแสร้อนเป่าจะทำให้เกิดการอุดตันของเนื้อยางภายในระบบและต้องใช้แรงงานทำความสะอาดบ่อยครั้ง แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การใช้คอลัมน์สเปรย์ (spray column) ที่มีการพ่นฝอยของหางน้ำยางผ่านหัวสเปรย์ชนิดที่ไม่ทำให้เกิดการอุดตันของเนื้อยางและมีการไหลสวนทางกับกระแสอากาศ ที่จะทำให้เกิดการถ่ายโอนของ NH_3 จากหยดของเหลวสู่กระแอากาศ และทำให้หางน้ำยางมี NH_3 ลดลงได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ โดยใช้หางน้ำยางจำลองเป็นของเหลวทดลองที่เตรียมได้จากการผสมของน้ำและ NH_3 เหลวตามความเข้มข้นที่กำหนด ใช้คอลัมน์ทรงกระบอกคดโค้งหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดือยหมุน (spiral nozzle) ทำการศึกษาผลของมุมกระจาย (angle spray) ของหัวสเปรย์ที่ 60° - 120° อัตราการไหลของหางน้ำยาง และอัตราการไหลอากาศที่ป้อนสวนทางกับของเหลว เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบ และใช้หางน้ำยางจริงจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นสำหรับทดสอบการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

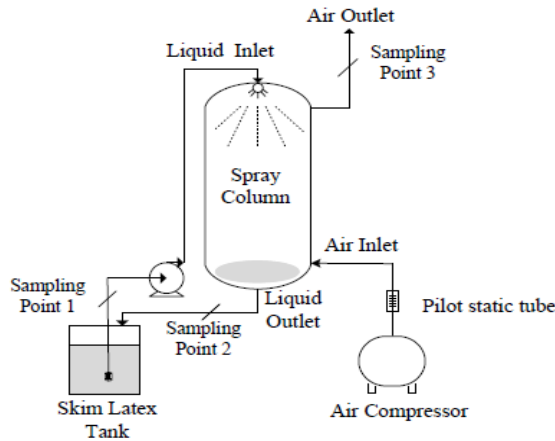
การเตรียมหางน้ำยาง

การทดลองนี้ใช้ของเหลวทดลอง 2 ชนิด คือ หางน้ำยางจำลองและหางน้ำยางจริงจากบริษัททดลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจำกัด อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา วิธีการเตรียมหางน้ำยางจำลองทำได้โดยการใส่แอมโมเนียเหลว (liquid ammonia) ความเข้มข้น 30% โดยปริมาตร (GR grade, Loba Chemie Pvt Ltd., India) ผสมในน้ำ 60 ลิตร เพื่อใช้สำหรับการทดลองแต่ละครั้ง เตรียมให้ได้ความเข้มข้น NH_3 0.3% wt. ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นจริงของหางน้ำยางจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น

ชุดคอลัมน์สเปรย์กำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยาง

ชุดคอลัมน์สเปรย์ประกอบด้วยคอลัมน์ทรงกระบอกชนิดพลาสติก PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดือยหมุน (spiral nozzle) ขนาด 0.25 นิ้ว ติดตั้งส่วนบนภายในคอลัมน์โดยต่อกับท่อป้อนหางน้ำยางที่ป้อนมาจากถังเก็บ (skim latex tank) เพื่อพ่นเป็นฝอยของเหลวเข้าสู่ภายในคอลัมน์ ทำการป้อนอากาศจากเครื่องอัดอากาศ (air compressor) เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ให้ไหลสวนทางกับหยดฝอยของหางน้ำยาง ใช้ Pitot static tube ร่วมกับบานอมิเตอร์

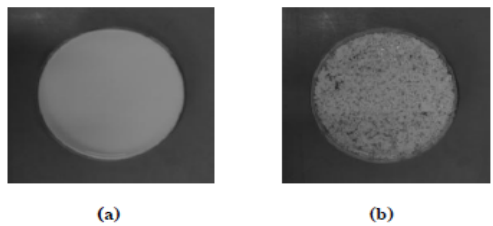
(manometer) ในการวัดอัตราการไหลของกระแสอากาศป้อน และอากาศที่ปนเปื้อน NH_3 จะไหลออกที่ทางด้านบนของคอลัมน์ ทางน้ำยางที่ผ่านการกำจัด NH_3 แล้วจะไหลออกทางด้านล่างคอลัมน์ ดังแสดงโคอะแกรมในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โคอะแกรมของชุดคอลัมน์สเปรย์สำหรับกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยาง

วิธีการทดลองชุดคอลัมน์สเปรย์

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด NH_3 ในทางน้ำยางด้วยชุดคอลัมน์สเปรย์ ทำได้โดยการใช้ทางน้ำยางจำลอง ปริมาตร 60 ลิตร ที่มีกรป้อนแบบหมุนวน (circulation) เข้าสู่คอลัมน์ผ่านหัวสเปรย์ที่มีมุมกระจาย 60° , 90° และ 120° ด้วยอัตราการไหล 3.0 - 6.0 l/min ไหลสวนทางกับกระแสอากาศที่อัตราการไหล 200 - 400 l/min เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หาประสิทธิภาพของระบบโดยการเก็บตัวอย่างทางน้ำยางจำลองที่ทางเข้าและทางออกของระบบที่ Sampling point 1 และ 2 เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ NH_3 ด้วยการไทเทรตกับกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1) [5] ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองสำหรับทดสอบการกำจัด NH_3 ออกจากทางน้ำยางจริงด้วยคอลัมน์สเปรย์ นำทางน้ำยางจริงที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียมาวิเคราะห์ปริมาณการใช้กรดในการจับตัวเนื้อยางในทางน้ำยางจริงด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 (a) ทางน้ำยางจริง (b) เนื้อยางหลังการจับตัวด้วยกรดซัลฟูริก 98%

$$\% \text{NH}_3 \text{ removal eff.} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ % NH_3 removal eff. คือ ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในทางน้ำยางของระบบ C_{in} และ C_{out} คือ ความเข้มข้น (%wt.) ของ NH_3 ในของเหลวทดลองที่ทางเข้าและทางออกของระบบตามลำดับ



การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์แอมโมเนียในอากาศ

กระแสดอากาศที่ทางออกของคอลัมน์สเปรย์มีการปนเปื้อน NH_3 เนื่องจากอากาศไหลผ่านหยดฝอยของหางน้ำยาง ทำให้เกิดการถ่ายโอนของ NH_3 สู่กระแสดอากาศ การหาความเข้มข้นของ NH_3 ที่ปนเปื้อนในอากาศสามารถทำได้ด้วยการเก็บตัวอย่างอากาศที่ Sampling point 3 โดยใช้ Sampling pump และการดูดซึมในสารดูดซึมชนิดกรดบอริก (boric acid) ที่บรรจุอยู่ในขวดดูดซึม Impinger และทำการไทเทรตสารดูดซึมที่ได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของมุมกระจายของหัวสเปรย์ต่อการกำจัดแอมโมเนีย

การทดลองศึกษาผลของมุมกระจาย (spray angle) ของหัวสเปรย์ต่อการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางด้วยชุดทดลองคอลัมน์สเปรย์ โดยใช้หางน้ำยางจำลองที่ปนเปื้อน NH_3 0.3%wt. ป้อนผ่านหัวสเปรย์มุมกระจาย 60° - 120° ด้วยอัตราการไหลของหางน้ำยางจำลองและอากาศคงที่ที่ 4.0 และ 300 l/min ตามลำดับ สามารถแสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางจำลองด้วยเวลาการป้อนหมุนวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 1

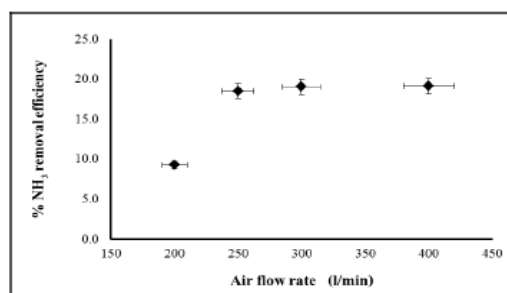
ตารางที่ 1 ผลของมุมกระจายหัวสเปรย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจากหางน้ำยางจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์

Spray Angle	% NH_3 removal efficiency
60°	15.25
90°	15.54
120°	19.06

จากผลการทดลอง พบว่า การป้อนของเหลวผ่านหัวสเปรย์ที่มีมุมกระจาย 120° ให้ประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 สูงสุด เนื่องจากทำให้เกิดการกระจายตัวของละอองของเหลวได้กว้างเต็มพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ ทำให้โอกาสการสัมผัสกันระหว่างของเหลวกับอากาศเกิดขึ้นได้มากกว่าการใช้หัวสเปรย์มุมกระจาย 60° และ 90°

ผลของอัตราการไหลอากาศต่อการกำจัดแอมโมเนีย

การทดลองศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศป้อนต่อการกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ใช้ความเข้มข้นตั้งต้นของ NH_3 ในหางน้ำยางจำลองที่ 0.3% wt. ป้อนผ่านหัวสเปรย์มุมกระจาย 120° แบบหมุนวน ด้วยอัตราการไหลของของเหลว 4.0 l/min และอัตราการไหลอากาศ 200 – 400 l/min ดังแสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในรูปที่ 3

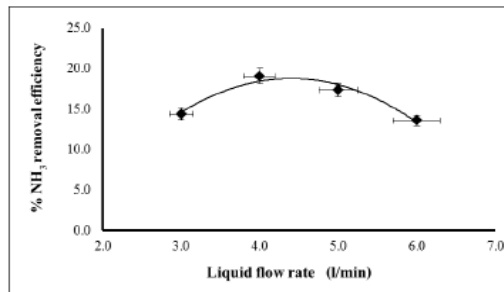


รูปที่ 3 แสดงผลของอัตราการไหลอากาศต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลอง ในเวลา 1 ชั่วโมง

จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการไหลของอากาศ 250, 300 และ 400 l/min ให้ประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ที่เปลี่ยนแปลงในน้ำที่สูงใกล้เคียงกัน สำหรับในการศึกษานี้ได้เลือกอัตราการไหลที่เหมาะสมที่ 300 l/min สำหรับใช้กำจัด NH_3 ในหาน้ำอย่างจำลองด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์

ผลของอัตราการไหลของหาน้ำอย่างต่อเนื่องต่อการกำจัดแอมโมเนีย

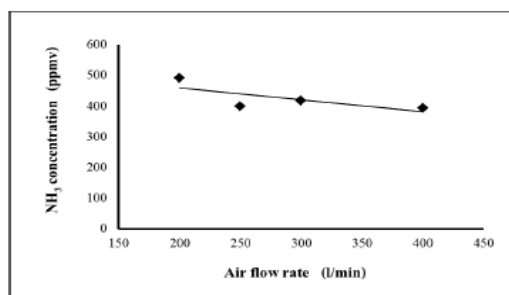
การศึกษาค้นคว้าผลของอัตราการไหลของหาน้ำอย่างต่อเนื่องต่อการกำจัด NH_3 ด้วยระบบคอลัมน์สเปรย์ ใช้หาน้ำอย่างจำลองที่อัตราการไหล 3.0 – 6.0 l/min ความเข้มข้นของ NH_3 0.3%wt. ผ่านหัวสเปรย์มุมกระจาย 120° และอัตราการไหลของอากาศ 300 l/min สามารถแสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ได้ดังรูปที่ 4



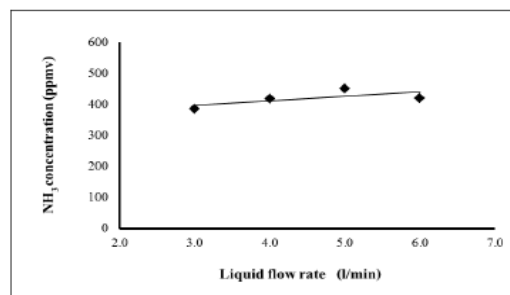
รูปที่ 4 แสดงผลของอัตราการไหลของเหลวต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในหาน้ำอย่างจำลองที่เวลา 1 ชั่วโมง

ระบบคอลัมน์สเปรย์ให้ประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ที่เปลี่ยนแปลงในหาน้ำอย่างจำลองสูงสุดที่อัตราการไหลของของเหลวที่ 4.0 l/min โดยที่อัตราการไหลของเหลว 3.0 l/min จะให้หยดของเหลวสเปรย์มีขนาดใหญ่ เนื่องจากอัตราการไหลพลัดกันให้เกิดแรงเหวี่ยงการสเปรย์น้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนมวลต่ำ ส่วนที่อัตราการไหลของเหลวสูงกว่า 4.0 l/min พบว่า ระบบให้ประสิทธิภาพต่ำลงเนื่องจากการมีอัตราการไหลของของเหลวผ่านเข้าระบบที่สูง ของเหลวจะไหลผ่านระบบอย่างรวดเร็ว ทำให้โอกาสการสัมผัสกันระหว่างหยดของเหลวกับอากาศลดลง

ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศที่ไหลออกจากระบบคอลัมน์สเปรย์



รูปที่ 5 แสดงผลของอัตราการไหลอากาศต่อความเข้มข้นแอมโมเนียในอากาศเสียที่อัตราการไหลของเหลว 4.0 l/min ในเวลา 1 ชั่วโมง

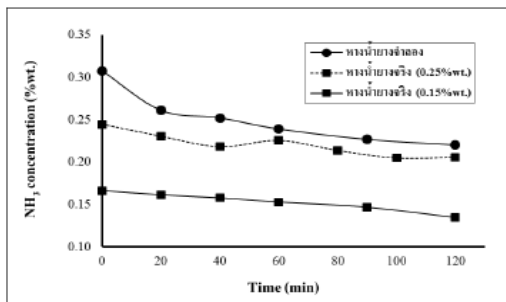


รูปที่ 6 แสดงผลของอัตราการไหลของเหลวต่อความเข้มข้นแอมโมเนียในอากาศเสียที่อัตราการไหลอากาศ 300 l/min ในเวลา 1 ชั่วโมง

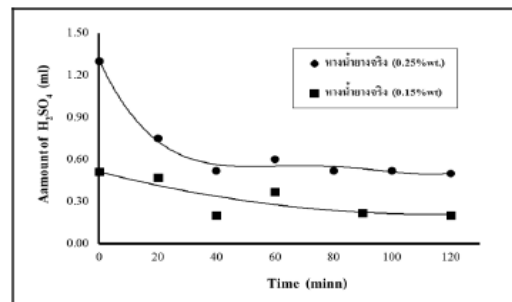
การกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางด้วยคอลัมน์สเปรย์ทำให้เกิดการถ่ายโอน NH_3 จากเฟสของเหลวไปสู่เฟสแก๊ส ดังนั้นอากาศที่ทางออกจากคอลัมน์จึงมี NH_3 ปนเปื้อน ซึ่งจากการป้อนของเหลวผ่านหัวสเปรย์มุมกระจาย 120° ไหลสวนทางกับกระแสอากาศในระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า กระแสอากาศที่ไหลออกจากระบบคอลัมน์สเปรย์จะมี NH_3 ปนเปื้อน 400-500 ppmv ดังแสดงผลของอัตราการไหลของอากาศและของเหลวต่อความเข้มข้นของ NH_3 ตามรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยที่อัตราการไหลของอากาศต่ำที่ 200 l/min จะให้ความเข้มข้นของ NH_3 ในกระแสอากาศที่สูงกว่าที่สภาวะอื่น จากการปนเปื้อนของ NH_3 ในอากาศที่ทางออกของระบบนี้ จะต้องมีการบำบัดอากาศเสียด้วยกระบวนการที่เหมาะสมก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

การกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจริง

สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองคือการป้อนหางน้ำยางจำลองอัตราการไหล 4.0 l/min ผ่านหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวมุมกระจาย 120° ไหลสวนทางกับกระแสอากาศอัตราการไหล 300 l/min ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในหางน้ำยางจำลองสูงสุด จากสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ จึงนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด NH_3 เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้หางน้ำยางจำลองและหางน้ำยางจริง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 พบว่า ความเข้มข้นของ NH_3 ในหางน้ำยางจริงมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการกำจัดเพิ่มขึ้นด้วยแนวโน้มเดียวกันกับการใช้หางน้ำยางจำลอง โดยเมื่อทดลองกำจัด NH_3 ในหางน้ำยางจริงด้วยความเข้มข้นของ NH_3 เริ่มต้น 0.25% wt. และ 0.15% wt. พบว่าสามารถลดความเข้มข้นของ NH_3 ลงได้ 20% ด้วยเวลา 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกันการใช้หางน้ำยางจำลอง ซึ่งการลดลงของ NH_3 ในหางน้ำยาง 20% ส่งผลต่อการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยางในหางน้ำยางจริงลดได้ประมาณ 60% แสดงผลในรูปที่ 8 และพบว่าหัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวมุมกระจายสามารถลดการอุดตันของเนื้อยางที่หัวสเปรย์ได้



รูปที่ 7 แสดงผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียของเหลวทางออกในเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 8 แสดงผลปริมาณการใช้กรดซัลฟูริก 98% ในการจับตัวเนื้อยางที่เวลาต่างๆ

สรุป

ระบบคอลัมน์สเปรย์สามารถลดความเข้มข้นของ NH_3 ในหางน้ำยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการออกแบบให้ใช้หัวสเปรย์ชนิดเกลียวเดียวมุมกระจายที่สามารถลดการอุดตันของเนื้อยางที่หัวสเปรย์ โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดด้วยระบบสเปรย์คอลัมน์ คือ มุมกระจายของหัวสเปรย์ 120° อัตราการไหลของอากาศ 300 l/min และอัตราการไหลของของเหลว 4.0 l/min ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวเนื้อยางในหางน้ำยางลงได้ ส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายและการปนเปื้อนของซัลเฟตในน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำยางขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2557, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (Graduate School, Prince of Songkha University) และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสถานที่ทดลองทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Keshavarz, P., Bozorgi, Y., Fathikalajahi, J. and Teheri, M. 2008. Prediction of the spray scrubbers' performance in the gaseous and particulate scrubbing process, Chemical Engineering Journal. 140:22-31.
- [2] Somtip, D., Chalermpong, I., Pornip, S. and Suwaluk, W. 2008. Preliminary Concentration of Skim Latex and Its Wastewater Using Plate Sheet Microfiltration, 6th Regional Symposium on Membrane Science and Technology, Patong, Phuket, Thailand, 13th – 15th August.
- [3] Rubber Industry, Department of Industrial Works, September 2001, Industrial Sector Codes of Practice for pollution Prevention (Cleaner Technology). P 3-4
- [4] Tekasakul, P., Tekasakul, S. 2006. Environmental Problem Relate to Natural Rubber Production in Thailand, Journal of Aerosol Research. 21:122-129.
- [5] Turpin, A., Couvert, A., Laplanche, A. and Paillier, A. 2008. Experimental Study of Mass Transfer and H₂S Remove Efficiency in Spray Tower, Chemical Engineering and Processing. 47:886-892.