



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาระบบดักจับแบบเปียกเพื่อการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบยางแท่ง

Development of Wet Scrubber for Deodorizing of Block Rubber Drying Process

นางผู้วิจัย นางสาวราภรณ์ คงสุภาพศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบดักจับแบบเปียกเพื่อการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบยางแท่ง

Development of Wet Scrubber for Deodorizing of Block Rubber Drying Process

โดย

นางสาวราภรณ์ คงสุภาพศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วารสาร คงสุภาพศิริ 2553: การพัฒนาระบบดักจับแบบเปียกเพื่อการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบ
ยางแท่ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชา
เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D. 85 หน้า

มลพิษอากาศจากโรงงานผลิตยางพาราแท่งเกิดขึ้นในกระบวนการอบยางแท่ง ซึ่งประกอบด้วยกรด
ไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids; VFAs) ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ งานวิจัยนี้เป็น
การศึกษาปัจจัยบางชนิดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบดักจับแบบเปียก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ
และพัฒนาระบบดักจับแบบเปียกที่ใช้บำบัดอากาศจากอุตสาหกรรมการผลิตยางพาราแท่ง กรดแอซิดิกเป็น
พารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับกรดโพไฟโอนิก และกรดบิวทริกในการประเมินประสิทธิภาพ
การออกแบบและคัดเลือกระบบเปียกเป็นการลดอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบยางเข้าทาง
ด้านล่างของถังบำบัดผ่านชั้นน้ำก่อนออกสู่ภายนอกทางด้านบน การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการบำบัดแบบมี
และไม่มีการพ่นสปร์น้ำจากด้านบนภายในถังบำบัดอากาศ พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดกรดแอซิดิกมีค่า
เท่ากับร้อยละ 80.19 และ 79.67 สักยภาพในการดักจับ VFAs ด้วยชั้นน้ำเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพเพียงพอ
ในการบำบัดอากาศเสียได้ ส่วนการปรับปรุงระบบบำบัดอากาศโดยการเพิ่มระยะเวลาเก็บอากาศเสียให้
สัมผัสกับสารดักจับด้วยการเพิ่มตัวกลางเป็นลูกพลาสติกทรงกลมลอยน้ำได้ซึ่งมีช่องให้อากาศและน้ำผ่าน
พบว่า การเพิ่มตัวกลางช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดกรดแอซิดิกได้อีกร้อยละ 9.51 และเมื่อเติมสารลดแรง
ดึงผิวความเข้มข้น 0.001% ลงในน้ำและใช้งานร่วมกับตัวกลาง พบว่ามีประสิทธิภาพสูงขึ้นร้อยละ 13.41 เมื่อ
เปรียบเทียบกับการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิมีการแปรผกผันกับ
ประสิทธิภาพในการบำบัด โดยเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียสเป็น 60 องศาเซลเซียสจะทำให้
ประสิทธิภาพในการดักจับมีค่าลดลงจากร้อยละ 96.67 เป็นร้อยละ 83.67 การหาจุดอิ่มตัวของน้ำในถังบำบัด
อากาศโดยใช้ค่า pH เป็นพารามิเตอร์ พบว่าค่า pH มีค่าลดลงเมื่อน้ำดูดซับกรดไขมันระเหยง่ายและอิมัลชันที่ค่า
pH เท่ากับ 4.6

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Varaporn Kongsupapsiri 2010: Development of Wet Scrubber for Deodorizing of Block Rubber Drying Process. Master of Science (Environmental Technology and Management), Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Jukkrit Mahujchariyawong, Ph.D. 85 pages.

Air pollution generated in drying process of block rubber factory contents volatile fatty acid (VFAs) that affects the environment and health. This study focused on some factors which may affect the efficiency of wet scrubber system for using in design and development of wet scrubber in the block rubber manufacturing industry. Acetic acid was used as a main parameter with propionic acid and butyric acid to compare efficiency of wet scrubber. Modified reactor tank of wet scrubber was designed to deodorize by compressing exhaust from drying process and feed the exhaust through inlet at the bottom of reactor tank. After exhaust contacted to the water layer, it was released through outlet at the top of reactor tank. The result of treatment with and without nozzle at the top, inside of reactor tank indicated almost the same deodorizing efficiency 80.19 and 79.67 percent. VFAs absorption of water layer had sufficient potential for treatment. Furthermore, plastic spherical floating balls which water and air freely passed were used as media to increase retention contact time. The result showed deodorizing efficiency was increased 9.51 percent more than non-media reactor tank. In the case of 0.001 percent surfactant solution with media, deodorizing efficiency was increased 13.41 percent more than treatment with only water. For the study of optimal condition control, the temperature was inversely proportional to deodorizing efficiency. When the temperature increased from 20 to 60°C, the deodorizing efficiency decreased from 96.67 to 83.67 percent. Saturation point of the water layer in reactor tank was investigated by using pH of water layer as a parameter. The pH value decreased when the water absorbed VFAs and the pH was 4.6 at the saturation point.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงาน แนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหา ให้ข้อคิดเห็น อบรมสั่งสอน ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา รวมทั้งผศ.ดร.ยงศักดิ์ ขจรผดุงกิตติ และผศ.ดร.ศุภวิทย์ สถาปนจารุ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกและประธานกรรมการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย

ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ต่างๆ ให้ความช่วยเหลือ อบรมสั่งสอน เพิ่มพูนประสบการณ์ต่างๆ ในชีวิต

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่ไม่อาจกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ที่คอยช่วยเหลือ ถามไถ่ และให้กำลังใจในการทำวิจัยในครั้งนี้เสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณย่าและครอบครัววงศ์สุภาพศิริที่เป็นกำลังใจที่สำคัญในการดำเนินชีวิต รวมทั้งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วราภรณ์ คงสุภาพศิริ

ตุลาคม 2553

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (4) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 5 |
| การตรวจเอกสาร | 6 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 26 |
| อุปกรณ์ | 26 |
| วิธีการ | 27 |
| ผลและวิจารณ์ | 40 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 59 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 66 |
| ภาคผนวก | 69 |
| ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณและการเตรียมสารละลาย | 70 |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี | 74 |
| ภาคผนวก ค โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี | 78 |
| ประวัติการศึกษา และการทำงาน | 85 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 1 | องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ | 7 |
| 2 | สารเคมีที่พบในองค์ประกอบของอากาศที่ออกจากกระบวนการอบยาง | 11 |
| 3 | วิธีการของระบบบำบัดชนิดต่าง ๆ | 16 |
| 4 | ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของการดูดซับตัวอย่าง | 21 |
| 5 | ค่า retention time ของสารละลายมาตรฐานกรดไขมันระเหยง่ายกรดแอสติค กรดโพไฟฟอนิกและกรดบิวทริก | 41 |
| 6 | ความเข้มข้นของกรดทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียก ระหว่างระบบที่ไม่มีสเปรย์และมีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัด | 42 |
| 7 | ประสิทธิภาพการบำบัดของกรดทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียก ระหว่างระบบที่ไม่มีสเปรย์และมีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัด | 43 |
| 8 | ความเข้มข้นของกรดแอสติคหลังจากผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่มีระดับน้ำแตกต่างกัน | 45 |
| 9 | ประสิทธิภาพการบำบัดกรดแอสติคหลังจากผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่มีระดับน้ำแตกต่างกัน | 45 |
| 10 | ความเข้มข้นของสารประกอบในตัวอย่างอากาศจากการทดสอบระบบดักจับแบบเปียกที่ไม่มีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัดและมีระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร ตัวกลางและ สารละลายสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% v/v | 47 |
| 11 | ประสิทธิภาพการบำบัดกรดด้วยระบบบำบัดอากาศต้นแบบที่ใช้ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตรร่วมกับการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% v/v | 48 |
| 12 | ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำที่ใช้ดักจับ | 50 |
| 13 | ความเข้มข้นของกรดแอสติค เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป | 52 |
| 14 | ประสิทธิภาพของการดักจับกรดแอสติคด้วยน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป | 52 |
| 15 | ความเข้มข้นของกรดโพไฟฟอนิก เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป | 54 |
| 16 | ประสิทธิภาพของการดักจับกรดโพไฟฟอนิก เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป | 54 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า | |
|---------------------|--|----|
| 17 | ประสิทธิภาพในการบำบัดสารระเหยกับอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลง | 57 |
| ตารางผนวกที่ | | |
| ก1 | พื้นที่ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแอซิดิก กรดโพไฟ โอนิกและกรดบิวทริก | 71 |
| ข1 | พื้นที่ได้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดแอซิดิก กรดโพไฟ โอนิก และกรดบิวทริก จากการทำบัตของระบบดักจับแบบเปียกที่มีสเปรย์และไม่มีสเปรย์ด้านบน | 75 |
| ข2 | พื้นที่ได้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดแอซิดิก ทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำในถังบำบัดที่แตกต่างกัน | 75 |
| ข3 | พื้นที่ได้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดแอซิดิก ทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% | 76 |
| ข4 | พื้นที่ได้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดโพไฟ โอนิกทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% | 76 |
| ข5 | พื้นที่ได้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดบิวทริก ทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% | 77 |
| ข6 | ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่ใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% | 77 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|--------|------|
| 1 | 6 |
| 2 | 8 |
| 3 | 9 |
| 4 | 13 |
| 5 | 14 |
| 6 | 14 |
| 7 | 15 |
| 8 | 15 |
| 9 | 19 |
| 10 | 25 |
| 11 | 28 |
| 12 | 31 |
| 13 | 32 |
| 14 | 33 |
| 15 | 34 |
| 16 | 36 |
| 17 | 36 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | | หน้า |
|-------------------|---|------|
| 18 | ระบบจำลองการทดลองการหาค่า pH ที่เหมาะสม โดยใช้ระบบดักจับแบบเปียกจำลอง | 37 |
| 19 | ระบบดักจับแบบเปียกจำลองการบำบัดฟอร์มาดีไฮน์ที่อุณหภูมิต่างกัน | 38 |
| 20 | โครมาโตแกรมของตัวอย่างอากาศที่เก็บมาจากโรงงาน ณ จุดเก็บตัวอย่าง | 40 |
| 21 | ประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นด้วยระบบดักจับแบบเปียกต้นแบบที่ใช้ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตรร่วมกับตัวกลางและ สารละลายสารเร่งดีเอ็นเอเข้มข้น 0.001 %v/v | 49 |
| 22 | การเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อมีการปล่อยอากาศเสียลงในน้ำที่เวลาต่างกัน | 51 |
| 23 | ประสิทธิภาพของการดักจับกรดแอมโมเนียด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป | 53 |
| 24 | ประสิทธิภาพของการดักจับกรดโฟสไฟฟอนิกด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป | 55 |
| 25 | ความเข้มข้นของฟอร์มาดีไฮน์ในการบำบัดแบบเปียกที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันที่ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส | 57 |
| 26 | ระบบ catalytic wet air oxidation | 63 |
| 27 | ระบบ Photocatalytic oxidation และ wet absorption | 64 |
| 28 | การเตรียมระบบท่ส่งอากาศเสียไปยังท่อระบายอากาศใต้บ่อบำบัดน้ำเสีย | 65 |
| | | |
| ภาพผนวกที่ | | |
| ค1 | โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด | 79 |
| ค2 | โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดแบบที่ 1 (ไม่มีสเปรย์ด้านบน) | 79 |
| ค3 | โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดแบบที่ 2 (มีสเปรย์ด้านบน) | 80 |
| ค4 | โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด หลอดที่ 1/3 | 80 |
| ค5 | โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด หลอดที่ 2/3 | 75 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่ | หน้า |
|--|------|
| ค6 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด หลอดที่ 3/3 | 75 |
| ค7 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร หลอดที่ 1/2 | 82 |
| ค8 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร หลอดที่ 2/2 | 82 |
| ค9 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร หลอดที่ 1/2 | 83 |
| ค10 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร หลอดที่ 2/2 | 83 |
| ค11 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 120 เซนติเมตร หลอดที่ 1/2 | 84 |
| ค12 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 120 เซนติเมตร หลอดที่ 2/2 | 84 |

การพัฒนากระบวนการบำบัดแบบเปียกเพื่อการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบยางแท่ง

Development of Wet Scrubber for Deodorizing of Block Rubber Drying Process

คำนำ

ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย อุตสาหกรรมยางพาราส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย จากการสำรวจเมื่อปี 2551 ประเทศไทยสามารถส่งออกยางพาราได้เป็นอันดับหนึ่งของโลก คิดเป็นประมาณร้อยละ 34.5 ของผลผลิตโลก อุตสาหกรรมนี้สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศอย่างมาก ทั้งนี้ก่อให้เกิดการจ้างงานและการกระจายรายได้ รวมถึงส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องมากมาย เช่น อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ วัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในโรงงานเหล่านี้ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งและน้ำยางข้น

กระบวนการผลิตยางพาราแท่ง ขั้นตอนแรกจะมีการตัดย่อยยางและทำความสะอาดยางลำดับต่อไปจะทำการอบยางที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส จากนั้นจะเป็นการบรรจุหีบห่อซึ่งในกระบวนการผลิตยางพาราแท่งนั้นมีหลายขั้นตอนที่ทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ทั้งในส่วนของการน้ำเสียและอากาศเสีย เช่น ปัญหาน้ำเสียจากกระบวนการล้างทำความสะอาดยางและน้ำที่ใช้พรมกองยางที่จัดเก็บรอการผลิตให้ยางมีความชื้นเพื่อให้ได้ยางที่มีคุณภาพดี ส่วนปัญหาอากาศเสียมาจากกระบวนการสิ่งขารการผลิตและในส่วนของการอบยางจะออกจากเตาอบยางแต่ที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก คือ ปัญหาเรื่องกลิ่นในกระบวนการผลิตยางพาราแท่ง ซึ่งจะเกิดได้ในหลายขั้นตอน ทั้งการบดยาง การล้างทำความสะอาด และกระบวนการอบแห้งยางแท่งโดยขั้นตอนการอบแห้งยางแท่งจะก่อให้เกิดกลิ่นมากที่สุด โดยจะออกจากปล่องระบายอากาศเสียจากเตาอบยาง

อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบยางส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งอากาศเสียนี้อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานภายในโรงงานและชุมชนใกล้เคียงได้ และอากาศเสียโดยรวมเป็นกลุ่มทั้งสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบอนินทรีย์หลายชนิดรวมกันซึ่งสารแต่ละชนิดมีลักษณะสมบัติเฉพาะ ทำให้มีความยากง่ายในการ

กำจัดที่แตกต่างกันไป

สารประกอบโดยรวมที่อยู่ในอากาศเสียจากกระบวนการอบยางแท่ง เป็นสารประกอบหลายชนิดรวมกันอีกทั้งมีความเข้มข้นของสารประกอบในอากาศเสียสูง จึงทำให้ยากแก่การบำบัด องค์ประกอบส่วนใหญ่มักเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยและกรดไขมันระเหยง่าย สารประกอบเหล่านี้ส่วนใหญ่มีลักษณะเฉพาะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น รุน ก่อความรำคาญและอาจส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การเลือกวิธีบำบัดอากาศเสียจึงจำเป็นต้องมีการเลือกวิธีเหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียจากกระบวนการผลิต

ระบบบำบัดอากาศที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่โดยทั่วไปมีหลายแบบ โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกัน เช่นระบบการเผาไหม้โดยตรงจะมีค่าใช้จ่ายเรื่องเชื้อเพลิงสูง และอาจมีไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_x) เกิดขึ้นจากการกระบวนการเผา แต่ระบบนี้สามารถบำบัดกลิ่นได้กว้างขวาง และใช้ได้กับกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูง ระบบกำจัดกลิ่นด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ไม่เป็นอันตรายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ในช่วงแรกก่อนที่จะกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพนานกว่าระบบอื่น เนื่องจากต้องรอจนมีปริมาณของจุลินทรีย์เพียงพอ และต้องระมัดระวังเรื่องสารปนเปื้อนที่จะกระทบต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ระบบสครับบิ่งสามารถกำจัดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูงได้ มีการต้นทุนต่ำ แต่ระบบนี้ไม่สามารถกำจัดสารประกอบที่เป็นกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีน้ำเสียเกิดจากการใช้ระบบนี้ ระบบออกซิเดชันต้องหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมและอาจต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อกำจัดไอโซนที่เหลือ

ระบบบำบัดอากาศที่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เลือกใช้ระบบดักจับแบบเปียกเพราะสามารถบำบัดอากาศที่มีความเข้มข้นสูง และมีองค์ประกอบหลากหลายปะปนกันอยู่ได้ อีกทั้งยังดูแลรักษาระบบง่าย ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ นอกจากนี้ระบบดักจับแบบเปียกยังระบบที่ใช้ในการบำบัดอากาศเบื้องต้น ทำให้อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการบำบัดอากาศมีอุณหภูมิที่ต่ำลงอีกด้วย

การบำบัดอากาศให้ได้ผลนั้น อาจจะต้องมีการเพิ่มปัจจัยต่างๆ ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดอากาศ เช่น การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารประกอบในอากาศเสียกับน้ำที่ใช้ดักจับโดยการเพิ่มตัวกลาง ส่วนการเพิ่มสารลดแรงตึงผิวจะช่วยทำให้เพิ่มความสามารถในการละลายได้ขององค์ประกอบของอากาศเสียที่มีขี้ผึ้งและไม่มีขี้ผึ้งให้สามารถละลายองค์ประกอบของอากาศเสียให้อยู่ในสารละลายที่ใช้ดักจับได้มากขึ้น อีกทั้งต้องมีการควบคุมระบบ

บำบัดอากาศให้เหมาะสมกับองค์ประกอบที่มีอยู่อากาศเสีย ทั้งค่า pH อุณหภูมิ ความชื้น อัตราการไหลของอากาศเสีย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบบำบัดอากาศเสียที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิตยางพาราแห่ง โดยใช้ระบบดักจับแบบเปียกในการบำบัดอากาศเสียหรือกลิ่นเหม็น เนื่องจากระบบดักจับแบบเปียกเหมาะสำหรับการบำบัดอากาศเสียที่มีหลายองค์ประกอบรวมกันและสามารถกำจัดอากาศเสียที่มีความเข้มข้นสูงได้ มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดอากาศระบบอื่น และเป็นการช่วยลดอุณหภูมิของอากาศเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ขั้นแรกเป็นเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางพาราแห่ง รวมทั้งศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบที่อยู่ในอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบยางแห้ง เพื่อหาพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นหลักในการตรวจวัด โดยจะเป็นพวกกรดไขมันระเหยง่าย ได้แก่ กรดแอซิดิก กรดโพลีโพนิกและกรดบิวทริก ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กรดแอซิดิกเป็นพารามิเตอร์หลัก เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของอากาศเสีย การเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบและหลังออกจากระบบบำบัดอากาศ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

การออกแบบถังบำบัดอากาศที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดอากาศจากกระบวนการผลิตยางแห้ง การออกแบบถังบำบัดจะมีการปรับปรุงจากระบบดักจับแบบเปียกแบบเดิมที่มีการติดตั้งสเปรย์ด้านบนของถังบำบัดและพ่นละอองน้ำเพื่อให้สัมผัสกับอากาศเสีย ถังบำบัดแบบใหม่จะปรับปรุงโดยเพิ่มระดับชั้นน้ำให้มีอยู่ในถังบำบัดโดยให้อากาศเสียเข้าทางด้านล่างผ่านชั้นน้ำและออกจากถังบำบัดทางด้านบนให้ผ่านชั้นน้ำ เพื่อป้องกันการเล็ดลอดของอากาศเสีย

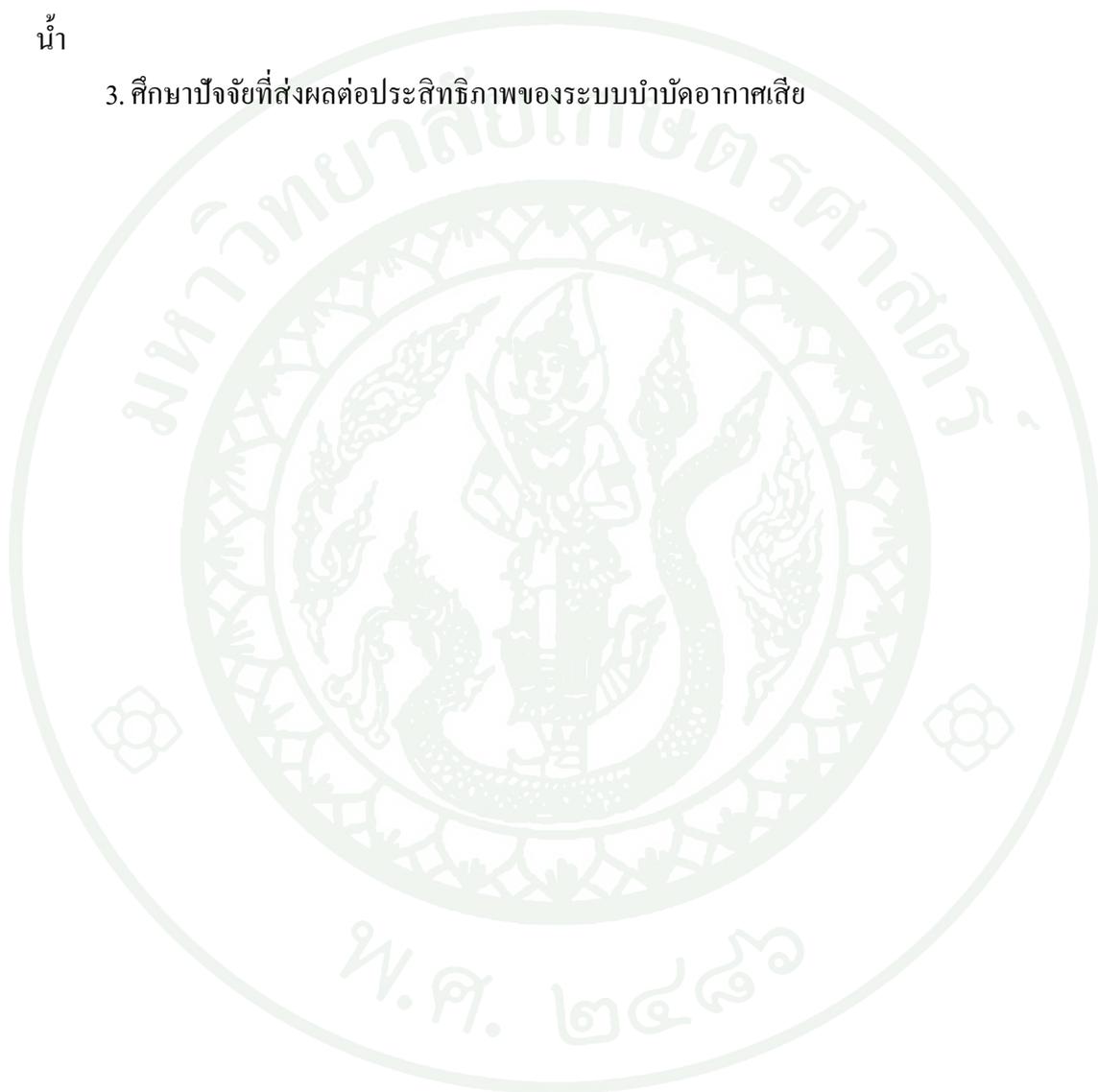
การทดลองจะมีระบบบำบัดอากาศที่มีและไม่มีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัด เพื่อเปรียบเทียบการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอากาศเสียและน้ำที่ใช้ดักจับ เพราะการมีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัดจะสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ในส่วนของการทดลองการเปลี่ยนระดับน้ำที่ใช้ในถังบำบัดอากาศ เพื่อหาระดับน้ำที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด เพราะการเพิ่มระดับของชั้นน้ำในถังบำบัดนอกจากจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและยังเพิ่มระยะเวลาให้อากาศเสียอยู่ในระบบได้นานขึ้นอีกด้วย

การทดลองลำดับต่อไปเป็นการเพิ่มตัวกลางและสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากการใส่สารลดแรงตึงผิวจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายได้ของสารประกอบที่มีขี้และไม่ขี้ ส่วนการเพิ่มตัวกลางพลาสติกจะเพิ่มระยะทางและระยะเวลาทำให้อากาศอยู่ในถังบำบัดอากาศได้นานขึ้น เพราะตัวกลางพลาสติกมีช่องให้อากาศไหลผ่านได้หลายทาง รวมถึงศึกษาการควบคุมประสิทธิภาพในการเดินระบบของระบบบำบัดอากาศ พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจวัดได้แก่ ค่า pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำในถังบำบัด เนื่องจากองค์ประกอบของอากาศเสียเป็นกรดไขมันระเหยง่าย หากมีการเดินระบบเป็นเวลานานจะทำให้ น้ำที่ใช้ตกจับถึงจุดอิมตัว กรดไขมันระเหยง่ายไม่สามารถละลายลงไปในน้ำได้อีก จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดลดลง

การศึกษาพัฒนาระบบดักจับแบบเปียกเพื่อการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบยางแท่ง จะเป็นต้นแบบระบบบำบัดอากาศจำลอง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกระบบบำบัดและปรับปรุงระบบบำบัดอากาศและใช้ใน โรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์องค์ประกอบของกลิ่นที่เกิดจากกระบวนการอบย่างแห้ง
2. ออกแบบถังบำบัดอากาศระบบดักจับแบบเปียกที่มีการนำอากาศเสียเข้าสัมผัสกับชั้นของน้ำ
3. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดอากาศเสีย

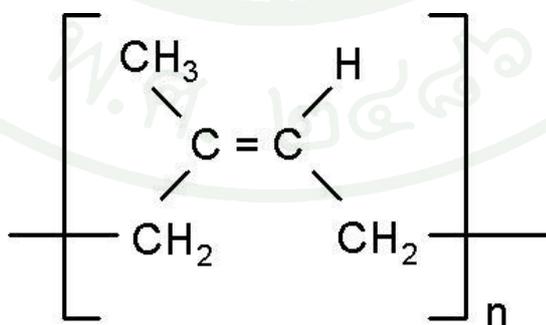


การตรวจเอกสาร

1. ยางพารา

ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 14.32 ล้านไร่ จากการสำรวจเมื่อปี 2551 ประเทศไทยสามารถส่งออกยางพาราได้เป็นอันดับหนึ่งของโลก คิดเป็นประมาณร้อยละ 34.5 ของผลผลิตโลก มีการส่งออกยางธรรมชาติ 3.1 ล้านเมตริกตัน (สถาบันวิจัยยาง, 2552) โดยส่วนใหญ่อุตสาหกรรมยางพาราของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปยางพาราขั้นต้น เป็นการนำน้ำยางสดมาแปรรูปให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและสะดวกในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางประเภทอื่น อุตสาหกรรมการแปรรูปยางพาราที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น และอุตสาหกรรมการผลิตยางแท่งมาตรฐาน เอสทีอาร์ 20 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8)_n โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น ยางมีสมบัติเชิงกลดี คือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติ คือ มีความยืดหยุ่น (elasticity)



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

ที่มา: พงษ์ธร (2552)

น้ำยางสดเป็นส่วนของไซโทพลาสซึมที่อยู่ภายในท่อน้ำยางของต้นยาง เมื่อท่อน้ำยางถูกตัดจากการกรีดยางน้ำยางจึงจะไหลออกมาสู่ภายนอก น้ำยางสดที่ได้มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีขาวคล้ายนํ้านม มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนคือ อนุภาคยาง (cis-1, 4-polyisoprene) เป็นองค์ประกอบหลักคิดเป็นร้อยละ 30-45 ของปริมาณน้ำยาง

นอกเหนือจากส่วนที่เป็นอนุภาคยางและน้ำ (55-60% ของปริมาณน้ำยาง) แล้วน้ำยางสดยังประกอบด้วยสารในกลุ่มอื่นที่ไม่ใช่ยาง (non-isoprene component) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณ 3-5 % ของยางธรรมชาติ โดยมีรายงานจำนวนมากพบว่าสารในกลุ่มดังกล่าวมีผลกระทบต่อสมบัติบางประการของยางธรรมชาติทั้งในสถานะที่เป็นยางดิบและเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

| Latex typical composition | % W/V latex |
|---------------------------|-------------|
| Water | 55-60% |
| Poly (cis-1,4-isoprene) | 30-45% |
| Non isoprene component | 5-6% |
| Protein | 2.0% |
| Lipids | 1.6% |
| Carbohydrate | 1.3% |
| Others | 0.5% |
| Poly (cis-1,4-isoprene) | 55-60% |

ที่มา: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร [สคพอ.] (2552)

งานวิจัยศึกษาถึงบทบาทของไขมันกลุ่มต่าง ๆ ต่อสมบัติและโครงสร้างของยางธรรมชาติ โดยการสกัดไขมันออก และ/หรือ เติมนลงในยางธรรมชาติ จากงานวิจัยต่าง ๆ เห็นได้ว่าไขมันส่งผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติทั้งในด้านบวกและลบ เช่น tocotrienol ในยางธรรมชาติมีสมบัติในการเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ในขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวบางชนิดส่งผลในการเร่งการเกิดปฏิกิริยา oxidation ซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของยาง (สคพอ., 2552)

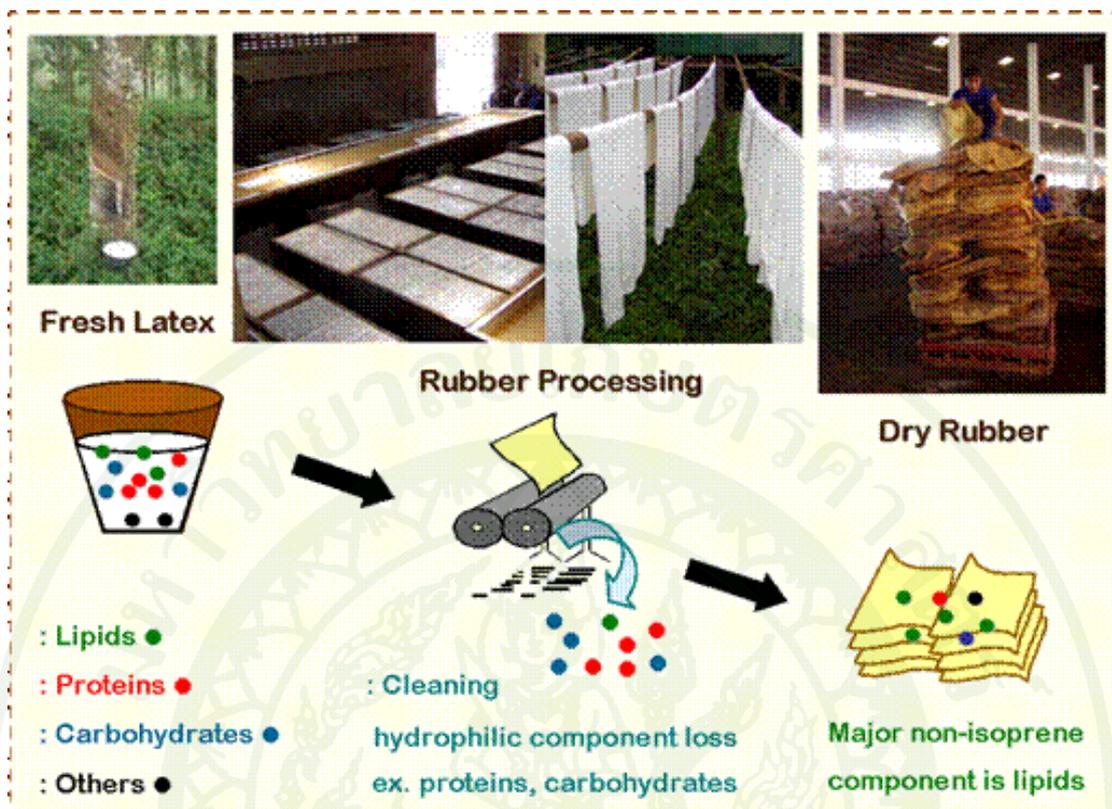
ส่วนประกอบของยางแท่งนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการนำเศษยาง จี๊ยางมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ยางจะเป็นสีคล้ำมักใช้กับงานที่ผสมกับสารเติมแต่ง เช่น พวงเขม่าดำ จึงมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพต่ำ เช่น ใช้ทำพวกยางรถยนต์ ยางล้อดอก ยางอะไหล่ ยางที่ใช้ในงานวิศวกรรม และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตยางแท่ง

ที่มา: องค์การสวนยาง (2546)

ในกระบวนการแปรรูปยางพาราจากน้ำยางสดเป็นยางแห้ง (dry rubber) สารประกอบในกลุ่ม non-isoprene component ที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic compound) เช่น โปรีดีนและคาร์โบไฮเดรต จะถูกชะล้างออกไปจำนวนมากกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการทำความสะอาด เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นสารกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic compound) ไขมันจึงจัดเป็นสารกลุ่ม non-isoprene component หลัก ที่ยังคงอยู่ในยางแห้ง



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของสารกลุ่ม non-isoprene component ระหว่างกระบวนการแปรรูปจากน้ำยางสด (fresh latex) เป็นยางแห้ง (dry rubber)

ที่มา: สคพอ. (2552)

ในกระบวนการผลิตยางแห้ง เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการนำมาผลิตนั้นเป็นเศษยาง ขี้ยาง การปนเปื้อนสิ่งสกปรกมาก จึงทำให้ในขั้นตอนการผลิตจะก่อให้เกิดมลพิษมากเช่น ทางน้ำ และทางอากาศ โดยเฉพาะอากาศเสียจะเกิดมากที่กระบวนการอบยาง โดยอาจเกิดจากการย่อยสลายองค์ประกอบต่างๆในยางสดของจุลินทรีย์ แล้วทำให้เกิดผลผลิตที่มีกลิ่น ซึ่งสารอินทรีย์กลุ่มที่ทำให้เกิดกลิ่นที่สำคัญ จะเป็นพวกกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids; VFAs) พบว่ายางสดประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด ได้แก่ องค์ประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรต อิเล็กโทรไลต์ โปรตีน และกรดอะมิโน เมื่อยางสดอยู่ในสภาวะที่การรักษาสภาพยังไม่ดีเพียงพอ คาร์โบไฮเดรตจะถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์และเปลี่ยนสภาพเป็น VFAs ซึ่งประกอบด้วยกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพไฟโอนิก เป็นองค์ประกอบหลัก โดยสารอินทรีย์กลุ่มนี้เป็นสารที่ระเหยง่ายและมีกลิ่นฉุน

งานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับไขมันในยางธรรมชาติ รายงานถึงปริมาณไขมันที่แตกต่างกันในยางพาราสายพันธุ์ต่างๆ ความแตกต่างของปริมาณไขมันที่พบอาจเกิดได้จากหลายปัจจัยทั้งสายพันธุ์ยางพาราที่แตกต่างกันไปจนถึงวิธีการสกัด และแม้จะใช้วิธีการสกัดแบบเดียวกันก็ยังคงพบความแตกต่างของปริมาณไขมันระหว่างน้ำยางสดและยางแห้ง (สคพอ., 2552) จึงพบว่าองค์ประกอบของยางในแต่ละช่วงของการผลิตมีความแตกต่างกัน

2. สารระเหยอินทรีย์ (Volatile organic compound, VOCs)

สารระเหยอินทรีย์ คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยมีความดันไอ (Vapors pressure) น้อยกว่า 760 ทอร์ (101.3 kPa) แต่มากกว่า 1 ทอร์ (0.13 kPa) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดสูงไม่เกิน 500 องศาฟาเรนไฮด์ หรือ 260 องศาเซลเซียส หรือเท่ากับ 533 เคลวิน สารระเหยอินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม Hydrocarbon และ Compounds (สรรสฤษฎ์, 2551)

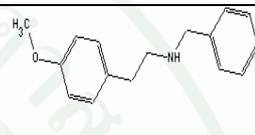
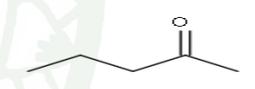
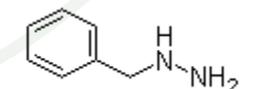
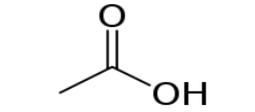
สารระเหยอินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการฟุ้งเป็นไอได้ในสภาพอุณหภูมิและความดันปกติ สารกลุ่มนี้ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมทั้งมลพิษทางอากาศและการกระจายลงสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

สารอินทรีย์ระเหยสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยตรงหรือโดยทางอ้อม ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์แต่ละชนิด ถ้าหากมีการใช้ที่ไม่เหมาะสม และการควบคุมหรือการจัดการที่ไม่ดีพอ อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ สารอินทรีย์ระเหยหลายชนิดมีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาทส่วนกลางตับ และไต บางชนิดเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง ส่วนผลกระทบต่อทางอ้อมก่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิแดนซ์ในบรรยากาศ ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศ อันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ระเหยโดยเฉพาะในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม กำลังเป็นปัญหาที่ขยายวงกว้างไปทุกแห่ง (ปรีชญา, 2551)

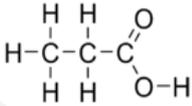
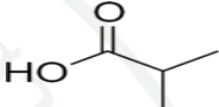
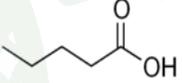
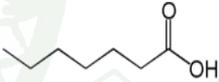
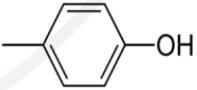
Hoven *et al.* (2003) ได้ทำการอบยาง และเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของยางแท่ง STR 20 จากนั้นวิเคราะห์หาองค์ประกอบของอากาศโดยวิธี Gas chromatography-mass spectrometry และ Gas Chromatography พบว่ามีองค์ประกอบ ซึ่งเป็นสารระเหยอินทรีย์ ได้แก่

ethylamine, pentanal, 2-pentanone, hexanone, benzylhydrazine, heptanone, acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid, valeric acid, heptanoic acid และ p-cresol ตามลำดับ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของสารเคมีที่พบในอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบยางแท่ง

| สารเคมี | สูตรโมเลกุล | ชื่อเรียกอื่น | ลักษณะ | สูตรโครงสร้าง |
|----------------------|----------------|--|--|---|
| ethanamine | $C_2H_5NH_2$ | ethanamine, 1-Aminoethane, monoethylamine | เป็นของเหลวหรือ แก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่น ฉุนของแอมโมเนีย |  |
| pentanal | $C_5H_{10}O$ | valeral, valeric, aldehyde, valerianic, valeraldehyde | เป็นของเหลว ไม่มี สี มีกลิ่นฉุน |  |
| 2-pentanone | $C_5H_{10}O$ | methyl propyl ketone | ไม่มีสี มีกลิ่นของคิ โตนและอะซิโตน |  |
| hexanone | $C_6H_{12}O$ | methyl n-butyl ketone, butyl methyl ketone, 2- hexanone, propylacetone | ไม่มีสี หรืออาจ เป็นสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน ละลาย น้ำได้ดีและง่ายต่อ การกลายเป็นไอ |  |
| benzylhydra- zine | $C_7H_{10}N_2$ | - | - |  |
| heptanone | $C_7H_{14}O$ | methyl (n-amyl) ketone | ของเหลวไม่มีสี กลิ่นคล้ายกล้วย |  |
| acetic acid | $C_2H_4O_2$ | acetyl hydroxide, hydrogen acetate, methanecarboxylic acid | ไม่มีสี ละลายได้ดีในน้ำ |  |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

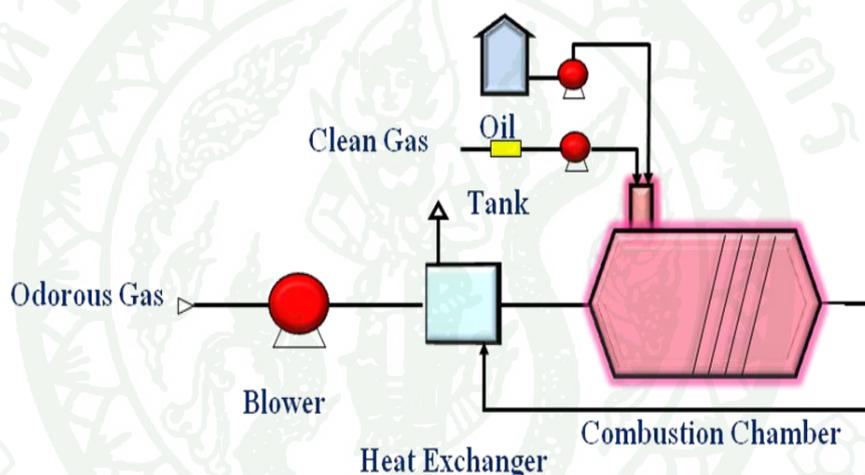
| สารเคมี | สูตรโมเลกุล | ชื่อเรียกอื่น | ลักษณะ | สูตรโครงสร้าง |
|-----------------|----------------|--|---|---|
| propionic acid | $C_3H_6O_2$ | ethanecarboxylic acid | ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่น ละลายน้ำได้ |  |
| isobutyric acid | $C_4H_8O_2$ | butyric acid, 1-propanecarboxylic acid, propanecarboxylic acid | - |  |
| valeric acid | $C_5H_{10}O_2$ | butane-1-carboxylic acid | ไม่มีสี มีกลิ่นเหม็นสาบมาก |  |
| heptanoic acid | $C_7H_{14}O_2$ | enanthic acid | ลักษณะคล้ายน้ำมันสีเหลือง มีกลิ่นเหม็นเน่า ละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในเอทานอล |  |
| p-cresol | C_7H_8O | 4-Hydroxytoluene, p-Hydroxytoluene, p-Methylphenol | มีกลิ่นฉุนแบบสกปรก ละลายได้ดีในเอทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ |  |

ที่มา: ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ (2552)

3. วิธีบำบัดกลิ่น

วิธีบำบัดกลิ่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่โดยทั่วไปมีหลายแบบ โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกัน เช่น

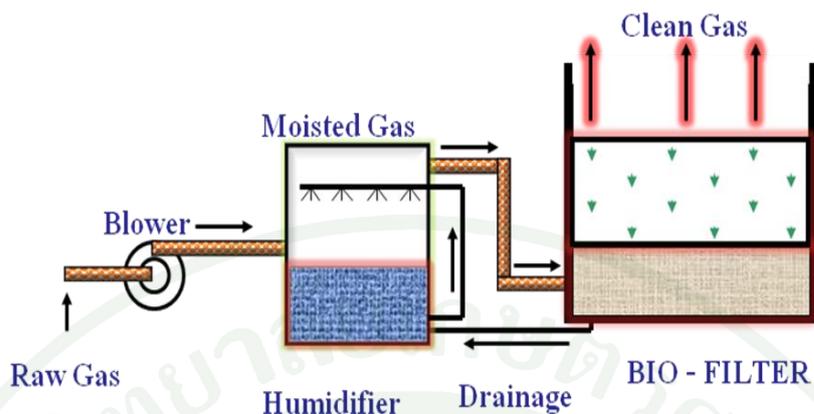
ระบบการเผาไหม้โดยตรงจะมีค่าใช้จ่ายเรื่องเชื้อเพลิงสูง และอาจมีไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_x) เกิดขึ้นจากการกระบวนการเผา แต่ระบบนี้สามารถบำบัดกลิ่นได้กว้างขวาง และใช้ได้ดีกับกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูง



ภาพที่ 4 การกำจัดกลิ่นโดยการเผาไหม้โดยตรง

ที่มา: กรมโรงงาน (2548)

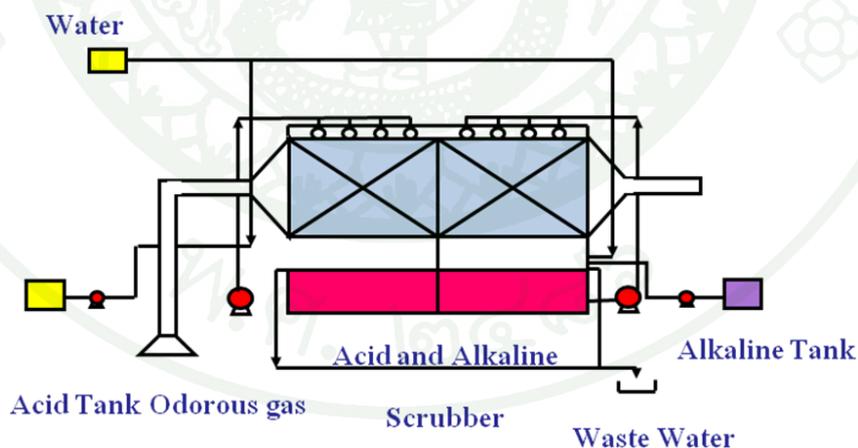
ระบบกำจัดกลิ่นด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ไม่เป็นอันตรายและมีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ในช่วงแรกก่อนที่จะกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพใช้เวลานานกว่าระบบอื่น เนื่องจากต้องรอจนมีปริมาณของจุลินทรีย์เพียงพอ และต้องระมัดระวังเรื่องสารปนเปื้อนที่จะกระทบต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์



ภาพที่ 5 การกำจัดกลิ่นด้วยวิธีทางชีวภาพ

ที่มา: กรมโรงงาน (2548)

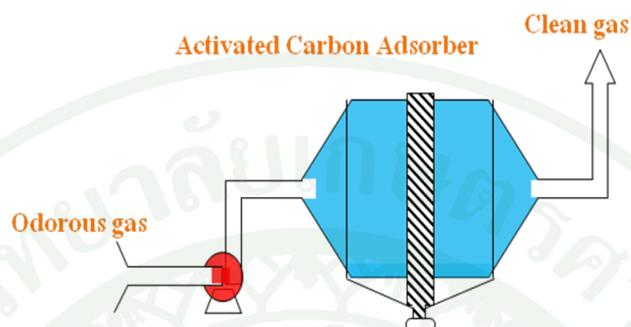
ระบบสครับบิ่งสามารถกำจัดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูงได้ มีต้นทุนต่ำ แต่ระบบนี้ไม่สามารถกำจัดสารประกอบที่เป็นกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีน้ำเสียเกิดขึ้นจากการใช้ระบบนี้



ภาพที่ 6 การกำจัดกลิ่นโดยระบบสครับบิ่ง

ที่มา: กรมโรงงาน (2548)

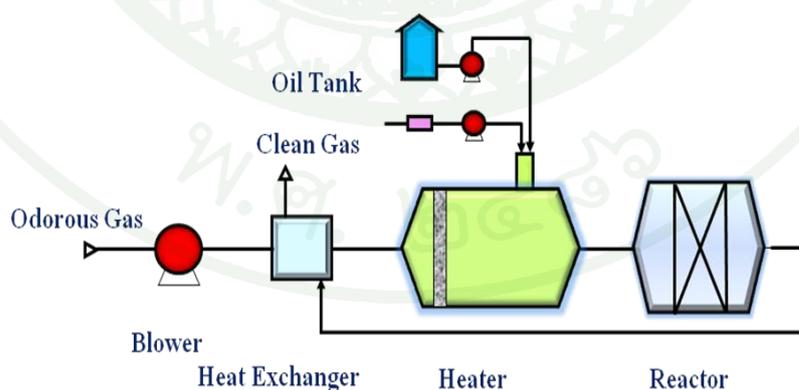
ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ สามารถนำมาใช้ร่วมกับระบบสกรับบิ่งเพื่อกำจัดสารที่เป็นกลาง เช่น เมทิลซัลไฟด์ได้



ภาพที่ 7 ระบบการกำจัดกลิ่นด้วยการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์

ที่มา: กรมโรงงาน (2548)

ระบบออกซิเดชันต้องหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมและอาจต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อกำจัดไอโซนที่เหลือ ซึ่งแต่ละระบบต้องออกแบบให้เหมาะสมกับประเภทและองค์ประกอบทางเคมีของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นด้วย (กรมโรงงาน, 2548)



ภาพที่ 8 การกำจัดกลิ่นโดยระบบออกซิเดชัน

ที่มา: กรมโรงงาน (2548)

ระบบที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนมากจะใช้เป็นระบบการดักจับแบบเปียก เพราะสามารถบำบัดกลิ่นได้กว้างขวางและบำบัดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูงได้ มีต้นทุนในการสร้างระบบต่ำ ไม่ต้องเสียเวลาในการเริ่มระบบนานและระบบไม่อ่อนไหวต่อสิ่งรบกวนได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดกลิ่นทางชีวภาพ

ตารางที่ 3 วิธีการของระบบบำบัดชนิดต่าง ๆ

| กระบวนการ | วิธีการ |
|--------------------------------|---|
| การดูดซับ | แตกต่างกันที่วัสดุดูดซับ (ถ่านกัมมันต์ อะลูมิเนียมซิลิกา ซีโอไลต์) |
| การดูดซึม | ทางกายภาพและทางเคมี |
| การบำบัดทางชีวภาพ | Bioscrubber, biotrickling filter, biofilters |
| การเผาโดยเตาเผา | Thermal afterburner, catalytic incinerators, regenerative thermal oxidation (RTO) |
| การออกซิเดชันโดยไม่ใช้ความร้อน | โอโซน แสงยูวี พาสมา |

ที่มา: Schlegelmilch *et al.* (2005)

4. ระบบบำบัดกลิ่นแบบเปียก

หลักการ

ระบบสครับบิ่ง (Chemical Scrubbing Process) เป็นกระบวนการกำจัดกลิ่นโดยใช้สารละลายช่วยในการดูดซึมในกรณีกลิ่นที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เช่น แอมโมเนีย (Ammonia) ไตรเมทิลามีน (Trimethylamine) โดยนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด (Acid Solution) เพื่อให้ได้สารประกอบที่ไม่มีกลิ่น ส่วนในกรณีที่สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นมีคุณสมบัติเป็นกรด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) เมทิล เมอร์แคปแทน (Methyl Mercaptan) จะทำปฏิกิริยากับสารละลายด่าง (Alkaline Solution) ได้เป็นสารประกอบที่ไม่มีกลิ่นหรือมีกลิ่นน้อยลง

ข้อดี

1. สามารถกำจัดกลิ่นที่เข้มข้นได้
2. ลงทุนก่อสร้างระบบต่ำ
3. สามารถกำจัด ละออง ฟุ้ง ฝุ่นได้พร้อมกัน

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถกำจัดสารประกอบที่เป็นกลางได้ อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ
2. จะมีน้ำเสียเกิดจากการใช้ระบบนี้
3. ผู้ควบคุมต้องมีความชำนาญในการควบคุมและบำรุงรักษา

(กรมโรงงาน, 2548)

อากาศเสียหรือกลิ่น ที่ออกจากกระบวนการผลิตบางแห่งนั้นจะมีความเข้มข้นของกลิ่นสูง มีองค์ประกอบของสารหลายชนิดรวมกันซึ่งยากแก่การบำบัด เพราะกลิ่นแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบและ โครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน และเนื่องจากอากาศที่ออกจากกระบวนการอบ ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงจึงเหมาะสมที่จะใช้ระบบการดักจับแบบเปียก เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถกำจัดกลิ่นที่มีองค์ประกอบของสารเคมีหลายชนิดรวมกัน และไม่ต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านอุณหภูมิเหมือนระบบบำบัดกลิ่นทางชีวภาพ

Lee *et al.* (1998) พบว่าหากจะบำบัดสารประกอบ โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่เป็นอนุภาคจากเตาเผาขยะติดเชื้อ จะไม่สามารถใช้ระบบ Electrostatic precipitator (ESP) ในการบำบัดได้ จะต้องใช้ระบบดักจับแบบเปียกจึงจะสามารถบำบัดสารประกอบ โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ได้

Chien and Chu (2000) ทำการศึกษาการบำบัด SO_x และ NO_x ที่ออกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยการใช้ระบบดักจับแบบเปียก และใช้สารละลาย $NaClO_2$ เป็นสารที่ใช้ในการดักจับ การทดลองจะมีการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของ SO_x และ NO_x ค่าอัตราส่วนของของเหลวและก๊าซ (L/G ratio) อัตราส่วนของโมเลกุล (molar ratio) และค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้น ผลการทดลองพบว่า ระบบดักจับแบบเปียกสามารถบำบัด NO_x ได้ประสิทธิภาพอยู่

ระหว่างร้อยละ 3.1-12.6 และปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่าอัตราส่วนของของเหลวและก๊าซ (L/G ratio)

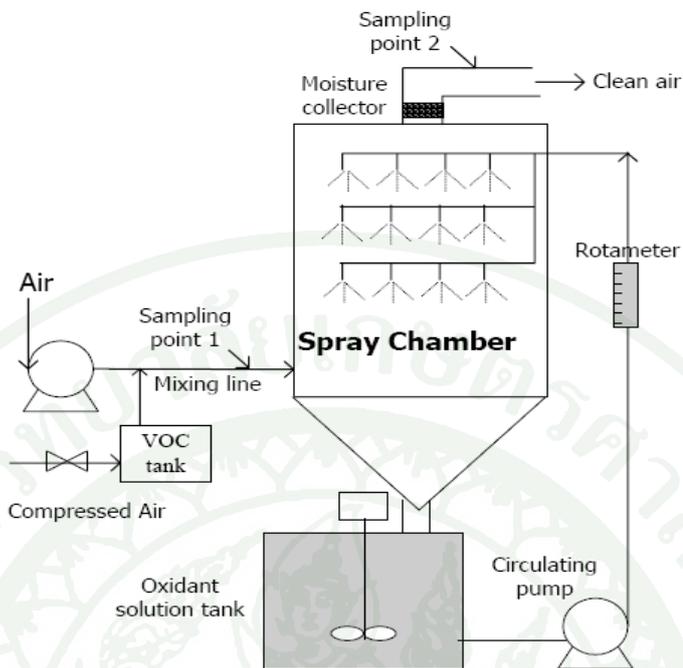
ระบบบำบัดอากาศที่ต้องการจะศึกษานี้ จะเลือกใช้ระบบดักจับแบบเปียกในการบำบัดอากาศเสียจากกระบวนการอบยางแท่ง มีการปรับปรุงระบบบำบัดอากาศจากระบบดักจับแบบเปียกเดิม เป็นแบบที่มีการให้อากาศเสียผ่านชั้นน้ำในถังบำบัด โดยจะเปรียบเทียบกับระบบที่มีสเปรย์และไม่มีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัด มีการทดลองเกี่ยวกับระดับชั้นน้ำที่แตกต่างกันในถังบำบัด และการทดลองในส่วนของการเพิ่มการเพิ่มตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยประสิทธิภาพของระบบบำบัดอากาศ

การควบคุมประสิทธิภาพของระบบบำบัดในเรื่องของค่า pH ของน้ำที่ใช้ในการดักจับ การหาจุดเปลี่ยนหรือเจือจางน้ำภายในถังบำบัดและปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด

5. การออกแบบระบบดักจับแบบเปียกเบื้องต้น

หลักการ คือ สารเคมีที่มีกลิ่นซึ่งอยู่ในอากาศต้องละลายน้ำได้ หรือทำปฏิกิริยากับสารที่เราเติมลงไปน้ำ เพื่อใช้ในการดักจับ

Juntima *et al.* (2007) ได้ทำการทดลองการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ โทลูอีน เมทิลเอทิลคีโตน และคีโตน ซึ่งมาจากกระบวนการฟนีสี เคลือบสีของโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะทำการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด โดยวิธีการดักจับแบบเปียก มีการเก็บตัวอย่างอากาศก่อนและหลังเข้าระบบบำบัดด้วย sorbent tube ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ค่าอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ ค่าขนาดของหยดสารดักจับ และความเข้มข้นของสารที่ใช้ดักจับ ผลการทดลองการบำบัดพบว่าการใช้ค่าขนาดหยดของสารดักจับที่มีขนาดเล็กสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสได้



ภาพที่ 9 ระบบการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

ที่มา: Juntima *et al.* (2007)

6. การเก็บตัวอย่างก๊าซ

การเก็บตัวอย่างอากาศ จะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

6.1 การเก็บตัวอย่างโดยตรง

จะแบ่งเป็นการใช้ถุงเก็บอากาศ (Inert Flexible Bags) เช่น ถุงเทดลาร์ (Tedlar bag) และการใช้ถังเก็บตัวอย่างอากาศ (Steel Canisters)

6.2 การเก็บตัวอย่างโดยวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่าง (Concentration Techniques)

เป็นการให้อากาศผ่านตัวกลางที่ทำหน้าที่จับสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นในตัวอย่างอากาศ ตัวกลางที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ เช่น สารโพลิเมอร์ที่มีรูพรุน (Porous Polymers) ถ่าน (Charcoal)

การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศมี 2 วิธี คือ Passive sampling หมายถึงการเก็บตัวอย่างโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซจากความเข้มข้นสูง ไปสู่ความเข้มข้นต่ำในสถานะคงตัว โดยการดูดซึมทางเคมีหรือการดูดซับทางด้านกายภาพบนตัวกลาง วิธีนี้ไม่ต้องใช้ปั๊มในการเก็บตัวอย่าง ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ Active sampling หมายถึงการเก็บตัวอย่างอากาศที่ต้องอาศัยปั๊มในการดูดตัวอย่างอากาศเพื่อเป็นการเก็บสารที่ต้องการตรวจสอบผ่านตัวกลางโดยอาศัยหลักการเข้าไปแทนที่อากาศ การควบแน่น การดูดซึม การดูดซับ อย่างใดอย่างหนึ่ง

การเก็บตัวอย่างโดยหลอดดูดซับ (sorbent tube) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds, VOCs) เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย ภายในหลอดดูดซับบรรจุด้วยสารดูดซับ (adsorbent) ชนิดต่างๆ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซิลิกาเจล (silica gel) สารโพลิเมอร์ที่มีรูพรุน เป็นต้น

ในการศึกษาความเหมาะสมของการเลือกใช้ชนิดและคุณสมบัติของสารดูดซับในหลอดดูดซับ รวมถึงคุณภาพของหลอดดูดซับสำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของร้อยละความเข้มข้นที่ดูดซับของสารดูดซับในส่วนท้ายต่อส่วนหัวของหลอดดูดซับ (%Tail/Head) โดยจะต้องมีค่าไม่เกิน 5% จึงจะสามารถนำหลอดดูดซับชนิดนั้นมาใช้ในงานวิเคราะห์ได้ (จรรยา, 2551)

การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในการทดลองนี้จะมีการเก็บตัวอย่างโดยใช้ทั้งถุงเก็บตัวอย่างอากาศและการใช้การดูดซับผ่านหลอดเก็บตัวอย่างที่ภายในมีการบรรจุด้วย Coconut Charcoal

การเก็บตัวอย่างสารระเหยอินทรีย์ระเหยโดยใช้หลอดดูดซับ (Adsorbent tube) สิ่งสำคัญที่ต้องการคำนึงถึงมาก ๆ ในการใช้หลอดดูดซับคือมี Breakthrough ซึ่งมักจะเกิดเมื่อหลอดดูดซับอิ่มตัวแล้วผ่านไป โดยปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของการดูดซับตัวอย่างสรุปดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของการดูดซับตัวอย่าง

| ปัจจัย | ผลกระทบ |
|-----------------|--|
| อุณหภูมิ | <ul style="list-style-type: none"> - การดูดซับลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น - อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ breakthrough เพิ่มขึ้น - อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น |
| ความชื้น | <ul style="list-style-type: none"> - ไอน้ำถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มีคุณสมบัติเป็นโพลาร์ - ความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้ Breakthrough เพิ่มขึ้น |
| อัตราการไหล | <ul style="list-style-type: none"> - อัตราการไหลของการเก็บตัวอย่างถ้าสูงขึ้นเกินกว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่ตัวดูดซับจะรับได้ จะมีผลทำให้ความสามารถในการเก็บตัวอย่างของตัวดูดซับมีค่าลดลง |
| ความเข้มข้น | <ul style="list-style-type: none"> - อัตรา Breakthrough เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวอย่างสูงขึ้น |
| ลักษณะตัวดูดซับ | <ul style="list-style-type: none"> - ขนาดของอนุภาคของตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กมาก ๆ จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับตัวอย่างมาก แต่แรงต้านทานการไหลของอากาศจะแปรผกผันต่อขนาดของอนุภาค และปัญหาของการเปลี่ยนแปลงแรงต้านทานการไหลของอากาศอาจเนื่องมาจากการพองตัว หดตัว |

ที่มา: สรรสฤษฎ์ (2551)

เทคนิคในการเตรียมตัวอย่างหรือสกัดตัวอย่างก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีหลายวิธี ได้แก่

ก. Headspace

วิธีนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ก๊าซและสารอินทรีย์ระเหย ที่ระเหยง่ายหรือมีจุดเดือดต่ำ แต่ไม่สามารถตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยที่มีจุดเดือดสูง ๆ และ สารอินทรีย์กึ่งระเหยได้ รวมทั้งความไวของเทคนิคนี้อยู่ในระดับ ppm

ข. Purge and trap thermal desorption

วิธีนี้สามารถวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหยได้โดยการ Purge ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถตรวจวัดสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูงได้ เทคนิคนี้มีความไวมากกว่า Headspace 1000 เท่าสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหย โดยอยู่ในช่วง ppb อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยที่มีจุดเดือดต่ำหรือระเหยง่าย เนื่องจากสารดังกล่าวไม่ติดบนตัวดูดซับ

ค. การสกัดด้วยสารละลาย

โดยสารละลายที่ใช้สกัดมักใช้คาร์บอนไดซัลไฟด์ เพื่อสกัดสารอินทรีย์ระเหยออกจากตัวดูดซับ เช่น Activated carbon เนื่องจากคาร์บอนไดซัลไฟด์มีประสิทธิภาพในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีข้อเสียคือ สารละลายที่ใช้ในการสกัดและวิเคราะห์เป็นสารอันตราย และอาจมีปัญหาในการแยกเนื่องจากมีสิ่งเจือปนในสารละลายจะลดความจำเพาะเจาะจง เนื่องจากการเจือจางตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากกว่ารวมทั้งหลอดดูดซับตัวอย่างไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ง. เทอร์มอลดีซอร์ปชัน (Thermal desorption)

เป็นเทคนิคที่ใช้สกัดตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหยโดยไม่ใช้สารละลายและมีความจำเพาะเจาะจงสูง ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปยังเครื่องมือที่วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ความร้อนและก๊าซซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซฮีเลียม ตัวอย่างจะถูกสกัดออกมาและเคลื่อนย้ายเข้าสู่เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ เช่น เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพาเพื่อคัดแยกและวิเคราะห์สาร ข้อดีของเทคนิคนี้คือ มีความจำเพาะเจาะจงสูงขึ้นประมาณ 1000 เท่า เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยสารละลาย การเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยาก ไม่มีสิ่งรบกวนการ

วิเคราะห์ ประสิทธิภาพในการสกัดร้อยละ 99 และสามารถนำตัวดูดซับซึ่งใช้ในการเก็บตัวอย่างกลับมาใช้ใหม่ได้

7. กลิ่นและการตรวจวัด

กลิ่นเป็นปัจจัยชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมตัวหนึ่งซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นเหตุเดือดร้อนรำคาญและแหล่งกำเนิดกลิ่นมันเป็นสารอินทรีย์ระเหย แต่มาตรฐานด้านการวัดกลิ่นนั้นยังเป็นสิ่งที่กำหนดเป็นมาตรฐานได้ยาก เนื่องจากขึ้นกับประสาทรับรู้กลิ่นของแต่ละบุคคล

7.1 ความหมายและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกลิ่น

odour measurement หมายถึง วิธีการที่ใช้ในการตรวจวัดกลิ่น กระทำโดยการให้ผู้ทำการตรวจวัดกลิ่นตรวจวัดกลิ่นที่อัตราส่วนการเจือจางของตัวอย่างอากาศที่ต้องการวัดกลิ่นกับอากาศสะอาดในอัตราส่วนต่าง ๆ กันเพื่อทำการหา odour concentration

olfactometer หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดระดับกลิ่น โดยใช้ในการเจือจางตัวอย่างอากาศที่มีกลิ่นด้วยอากาศที่สะอาดปราศจากกลิ่นในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วทำการตัดสินใจหาอัตราส่วนการเจือจางที่กลิ่นเจือจางจนหายไปโดยผู้ทำการทดสอบดมกลิ่น

Detection threshold ได้แก่ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่เป็นตัวกำเนิดกลิ่นที่ทำให้เริ่มได้กลิ่น ซึ่งจะพบว่าค่านี้มีความผันแปรสูงมาก เนื่องจากความสามารถในการรับรู้กลิ่นที่แตกต่างกันอย่างมากของผู้ทำการทดสอบกลิ่น

odour concentration หมายถึง ความเข้มข้นของกลิ่นในหน่วย OU/m^3 โดยความเข้มข้น $1,000 \text{ OU}/\text{m}^3$ คือตัวอย่างอากาศที่มีกลิ่นต้องการเจือจาง 1,000 เท่า เพื่อเจือจางให้กลิ่นหายไป

odour unit เป็นหน่วยที่กำหนดว่า $1 \text{ OUE}/\text{m}^3$ คือความเข้มข้นของกลิ่น ที่ทำให้ผู้ทำการทดสอบกลิ่นครั้งหนึ่งสามารถรับรู้กลิ่นได้ สำหรับมาตรฐาน CEN กำหนดค่าไว้ว่า $1 \text{ OUE}/\text{m}^3$ มีค่าเท่ากับ n-Butanol ที่มีความเข้มข้น 40 ppb

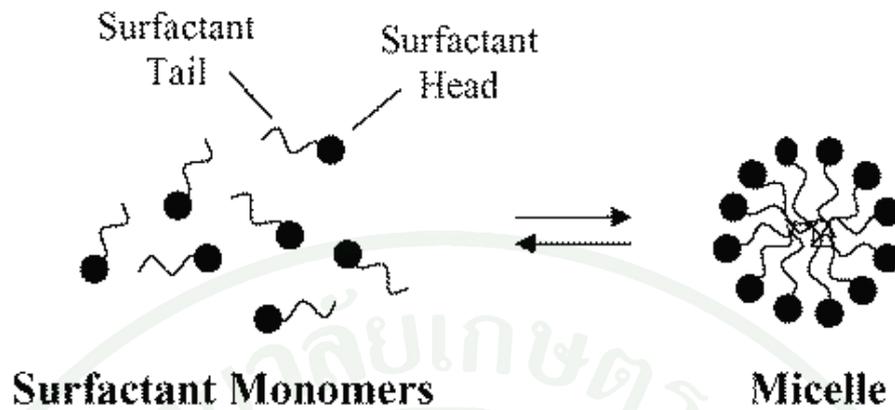
7.2 มาตรฐานเกี่ยวกับกลิ่นในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยหากมีผู้ได้รับความเดือดร้อนจากกลิ่นไม่พึงประสงค์จากสถานประกอบการ จะต้องไปดำเนินการร้องเรียนกับหน่วยงานราชการ ซึ่งทางเจ้าหน้าที่ทำได้เพียงการตรวจสอบและตัดเตือนให้แก้ไขเท่านั้น เนื่องจากไม่มีตัวบทกฎหมายที่จะดำเนินการลงโทษ ผู้ประกอบการที่สร้างกลิ่นรบกวน กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้ขอความร่วมมือทางวิชาการจากองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น

8. สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ มีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวที่เป็น Hydrophilic และส่วนหางที่เป็น Hydrophobic เนื่องจากสารประกอบที่อยู่ในอากาศเสียดที่ออกจากกระบวนการผลิตนั้นมีสารประกอบรวมกันหลายชนิดทั้งสารที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ หลักการทำงานของสารลดแรงตึงผิวคือ ส่วนที่ชอบน้ำจะทำการจับน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมันจะทำการจับสิ่งสกปรกพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปแล้วแขวนลอยอยู่ในน้ำ การใส่สารลดแรงตึงผิวจึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ควรเลือกชนิดของสารลดแรงตึงผิวให้เหมาะสมกับชนิดของสารที่ใช้ในการดักจับเพื่อป้องกันการเกิดฟองขึ้นในระบบ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นน้ำยาล้างจาน ซึ่งจัดอยู่ในพวก Anionic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุลบ (จริสา, 2548)

สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับน้ำได้จะขึ้นกับความดันและอุณหภูมิ ซึ่งจะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมีการลดความดันลง (Tanaka, 2005) สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่จะเพิ่มความสามารถในการละลายได้ของสารประกอบที่มีขี้และสารประกอบที่ไม่มีขี้ให้ละลายเข้ากันได้ ในการทดลองจะมีการใส่สารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับ เพราะองค์ประกอบที่อยู่ในอากาศเสียดนั้นมีทั้งสารประกอบที่มีขี้และสารประกอบที่ไม่มีขี้ปะปนกันอยู่ ซึ่งมีการใส่สารลดแรงตึงผิวร่วมด้วยในการดักจับอากาศเสียด อาจจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับ



ภาพที่ 10 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

ที่มา: Carlota (2004)

Mohan (2008) ได้ทำการทดลองการบำบัดอากาศโดยใช้ระบบดักจับแบบเปียกและมีการใช้ Air blast atomizer ร่วมด้วย ในการศึกษาที่มีการทดลองหลายปัจจัยที่ทำให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ได้แก่ อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดแตกต่างกันในช่วง 1-5 ไมโครเมตร อัตราการไหลของก๊าซ ความสูงของหอดักจับ จากการทดลองพบว่า ขนาดของอนุภาคที่ขนาด 4-5 ไมโครเมตร สามารถดักจับได้สูงสุดที่ร้อยละ 99.8 ความสูงของหอดักจับที่ความสูง $\frac{1}{4}$ ของความสูงถังมีประสิทธิภาพในการดักจับสูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สารเคมี

- 2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
- 2.2 สารละลายมาตรฐานกรดแอสติค
- 2.3 สารละลายมาตรฐานกรดโพไฟโอนิก
- 2.4 สารละลายมาตรฐานกรดบิวทริก
- 2.5 สารละลายฟอร์มดีไฮน์ 37 %
- 2.6 สารลดแรงตึงผิว

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1 เตาอบยางพารา
- 3.2 เครื่อง Gas chromatography, Shimadzu 2014
- 3.3 เครื่องชั่งอย่างละเอียด
- 3.4 เครื่องวัด pH
- 3.5 ปัมดูดอากาศ Gillian รุ่น 3500
- 3.6 sorbent tube รหัส SKC 226-01, Anasorb CSC
- 3.7 ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (tedlar bag) แบบ SKC sample bag (231-05)
- 3.8 ถังบำบัดอากาศทำจากวัสดุสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

ความสูง 170 เซนติเมตร

- 3.9 ถังพักน้ำ วัสดุสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตร
- 3.10 ปัมลม กำลัง ¼ แรงม้า 200 W แรงดัน 100 PSI ปริมาณลม 56 ลิตรต่อนาที
- 3.11 ปัมน้ำแรงดันสูง 70 Bar 1400 W ปริมาณน้ำ 5 ลิตรต่อนาที
- 3.12 เกจวัดความดัน Pressure gauge
- 3.13 ท่อตรง ข้อต่อ ฝาครอบ และวาล์ว PVC สำหรับระบบน้ำ
- 3.14 ฐานตั้งสแตนเลสติดล้อ ขนาด 2x2 ตารางเมตร

- 3.15 สายยางซิลิโคนขนาดต่างๆ สำหรับระบบอากาศ
- 3.16 หัวสเปร์ยขนาดหยด 6 มิลลิเมตร
- 3.17 ตัวกลางพลาสติก
- 3.18 piston hand pump

วิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างอากาศจากการอบแห้งยางพารา

1.1 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ถุงเก็บอากาศ tedlar bag

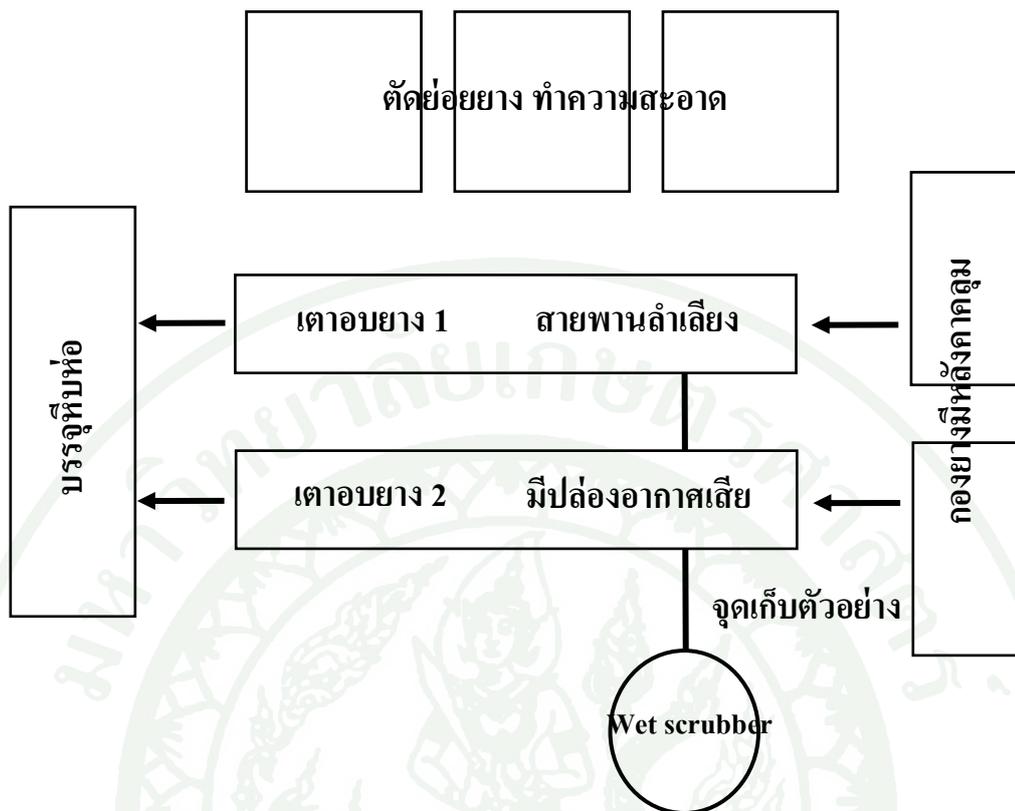
เก็บตัวอย่างอากาศจากระบวนการผลิตยางพาราแห้ง ในส่วนของกระบวนการอบยาง โดยตัวอย่างอากาศจะถูกเก็บในถุงเก็บตัวอย่างแบบ SKC sample bag (231-05) ขนาดความจุ 5 ลิตร บั้มดูดอากาศโดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที

1.2 การเก็บตัวอย่างโดยใช้หลอดดูดซับ (sorbent tube)

เก็บตัวอย่างอากาศจากระบวนการผลิตยางพาราแห้ง ในส่วนของกระบวนการอบยาง โดยใช้หลอดดูดซับ รหัส SKC 226-01, Anasorb CSC ต่อกับบั้มดูดอากาศแบบพกพา personal pump (Gillian รุ่น 3500) ที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.7 ลิตรต่อนาที

1.3 จุดเก็บตัวอย่างอากาศ

จุดเก็บตัวอย่างอากาศ คือ บริเวณปล่องระบายลมร้อนจากเตาอบยางพารา ก่อนเข้าระบบบำบัดอากาศเสียของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากประเมินว่ามีอากาศเสียหรือกลิ่นที่มีความเข้มข้นมาก และสามารถเก็บตัวอย่างอากาศได้ง่าย เนื่องจากมีปล่องในการระบายอากาศออกจากเตาอบยาง



ภาพที่ 11 แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่างภายในโรงงาน

2. การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในอากาศเสียที่เกิดจากการอบแห้งยางพารา

2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ tedlar bag

ตัวอย่างอากาศที่เก็บมาจากโรงงานยางพาราที่เก็บโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ โดยนำกลับมาวิเคราะห์ทันทีในห้องปฏิบัติการ ใช้เข็มดูดตัวอย่างอากาศออกจากถุงเก็บตัวอย่างอากาศ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร มาวิเคราะห์ตามสภาวะของการวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บโดยใช้หลอดดูดซับ (sorbent tube)

หลอดดูดซับที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศแล้ว จะถูกนำผ่านคาร์บอนออกมาใส่หลอดทดลอง จากนั้นชะด้วยกรดไฮดรอกลอลริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง 15 นาที จากนั้นนำสารละลายใส่ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร มาวิเคราะห์ตามสภาวะของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography

2.3 วิเคราะห์ห้องค์ประกอบของตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC-2014, Shimadzu 2014)

การวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography จะใช้คอลัมน์แก้วชนิด glass column FFAP+H₃PO₄ ใช้ flame ionization detector (FID) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็น carrier gas ที่อัตราการไหลเท่ากับ 40 มิลลิลิตรต่อนาที กำหนด injection temperature และ detector temperature ที่ 260°C และกำหนดอุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้นที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วปรับเพิ่มเป็น 260 องศาเซลเซียส

3. การออกแบบระบบการดักจับแบบเปียก

ระบบดักจับแบบเปียกทั่วไป เป็นการพ่นละอองน้ำเพื่อให้สัมผัสกับอากาศเสียที่ส่งผ่านเข้าไปในถังบำบัด แต่ระบบดักจับแบบเปียกที่ออกแบบในการทดลองนี้คล้ายกับระบบดักจับแบบเปียกแบบเดิม แต่มีการเพิ่มน้ำในถังบำบัดอากาศด้วย โดยให้อากาศเสียผ่านเข้ามาในระบบบำบัดทางด้านล่างของถังบำบัด ผ่านระดับของชั้นน้ำแล้วค่อยๆ สัมผัสกับน้ำก่อนพ้นผิวน้ำขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการเกิดช่องว่างระหว่างละอองน้ำ และมีการพ่นสเปรย์ละอองน้ำทางด้านบนเพื่อใช้ในการ

ดักจับอีกชั้นหนึ่ง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดทั้ง 2 แบบ

3.1 การสร้างถังบำบัดอากาศเพื่อใช้ในการทดลอง

ถังบำบัดอากาศทำจากวัสดุสแตนเลสความสูง 170 เซนติเมตรต่อเข้ากับ ถังพักน้ำความสูง 100 เซนติเมตร ในส่วนของระบบน้ำถึงทั้งสองจะต่อเข้ากับปั้มน้ำแรงดันสูง 70 บาร์ 1400 วัตต์ ปริมาตรน้ำ 5 ลิตรต่ออนาที ต่อระบบน้ำในการฟ่นละอองสเปรย์มีการต่อหัวฉีดสเปรย์ ขนาดหยดน้ำ 6 มิลลิเมตรและหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการดักจับ ส่วนการสเปรย์ละอองน้ำจะมีการสเปรย์ที่บริเวณ ด้านบนของถังบำบัด

ในส่วนของระบบการไหลเข้าของอากาศ มีการต่อปั้ลมดูดอากาศกำลัง ¼ แรงม้า 200 วัตต์ แรงดัน 100 PSI ปริมาณลม 56 ลิตรต่ออนาที ท่อระบายอากาศเสียจากระบวนการอบยางจะถูก ต่อเข้ากับปั้มดูดอากาศเพื่อดูดอากาศเสียเข้าถังบำบัด อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่บนฐานตั้งสแตนเลส เพื่อ สะดวกในการขนย้าย

เมื่อทำการเริ่มระบบอากาศเสียจะถูกปั้มดูดอากาศ ดูดอากาศที่ออกจากปล่องระบาย อากาศจากระบวนการอบยางเข้าทางด้านล่างของถังมีการผ่านชั้นของระดับน้ำ อากาศที่ถูกบำบัด แล้วจะออกจากระบบทางด้านบนของถังบำบัด



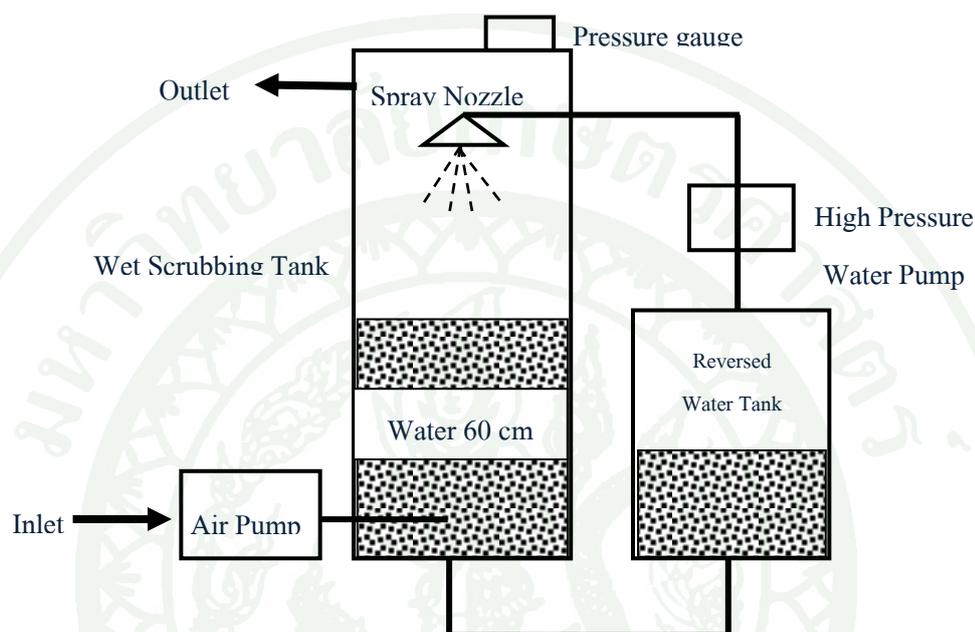
ภาพที่ 12 ถังบำบัดอากาศระบบดักจับแบบเปียก

3.2 การเปรียบเทียบระบบที่มีการผ่านชั้นน้ำเพียงอย่างเดียวกับระบบที่มีการติดตั้งสเปรย์ด้านบน

ต่อสายยางระหว่างอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบยางเข้ากับปั๊มดูดอากาศ โดยให้อากาศเสียเข้าระบบทางด้านล่างของถังบำบัดอากาศ จากนั้นใส่น้ำประปาในถังบำบัดอากาศ วัดระดับความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร จากนั้นเปิดปั๊มน้ำและปั๊มลมเพื่อเดินระบบ รอเวลาประมาณ 15 นาทีเพื่อให้ระบบปรับสมดุล หลังจากนั้นเริ่มทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนดและเก็บตัวอย่างอากาศ การทดลองเป็น 2 สภาวะ ได้แก่

แบบที่ 1 อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราเข้าสู่ถังบำบัดทางด้านล่าง จากนั้นจะผ่านชั้นน้ำระดับความสูง 60 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำประมาณ 65 ลิตร เพียงอย่างเดียว

แบบที่ 2 อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราเข้าสู่ถังบำบัดทางด้านล่าง จากนั้นจะผ่านชั้นน้ำระดับความสูง 60 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 65 ลิตร และมีสเปรย์ละอองน้ำจากทางด้านบนของถังบำบัด ขนาดหยดน้ำ 6 มิลลิเมตร



ภาพที่ 13 ระบบบำบัดแบบเปียกจำลอง ได้แก่ ระบบมีและไม่มีการดักจับด้วยละอองน้ำสเปรย์ ขนาดหยด 6 มิลลิเมตร ที่มีการให้อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราผ่านชั้นน้ำที่มีความสูง 60 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 65 ลิตร

3.3 การปรับเปลี่ยนระดับของชั้นน้ำภายในถังบำบัดอากาศ

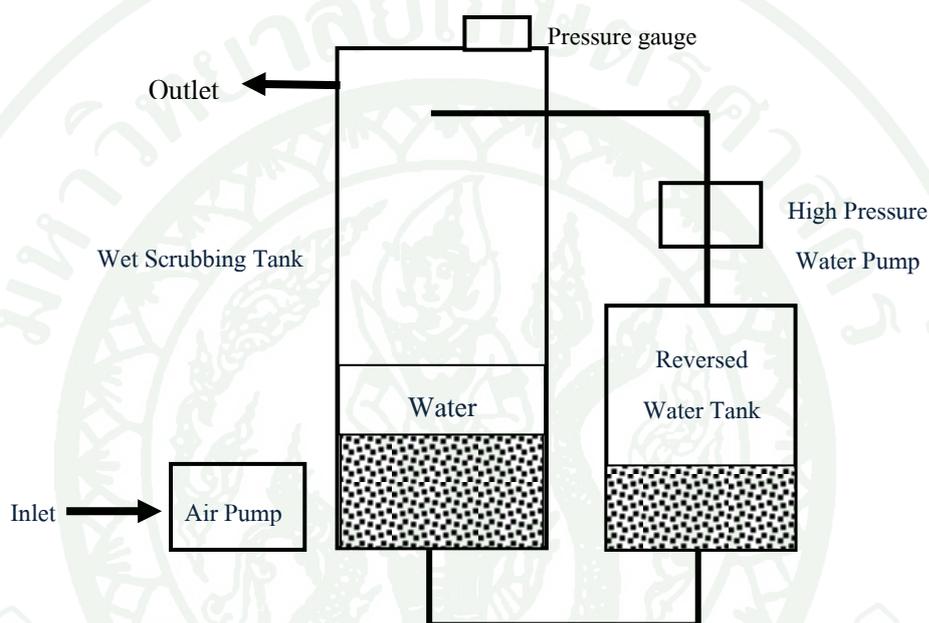
ขั้นแรกต่อสายยางระหว่างอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบยางเข้ากับปั๊มดูดอากาศ โดยให้อากาศเสียเข้าระบบทางด้านล่างของถังบำบัด ใส่น้ำประปาในถังบำบัด มีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของน้ำที่ประมาณ 30 60 และ 120 เซนติเมตร ตามลำดับ จากนั้นเปิดปั๊มน้ำและปั๊มลมเดินระบบ รอเวลาประมาณ 15 นาทีเพื่อให้ระบบปรับสมดุลของระบบ หลังจากนั้นเริ่มทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนดและเก็บตัวอย่างอากาศ

โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 ระดับน้ำในถังบำบัดมีความสูง 30 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 32.5 ลิตร

แบบที่ 2 ระดับน้ำในถังบำบัดมีความสูง 60 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 65 ลิตร

แบบที่ 3 ระดับน้ำในถังบำบัดมีความสูง 120 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 130 ลิตร



ภาพที่ 14 ระบบบำบัดแบบเปียกจำลองเป็นระบบที่ไม่มีการดักจับด้วยละอองน้ำสเปรย์ด้านบนและมีการให้อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราผ่านชั้นน้ำที่มีระดับความสูง 30 60 และ 120 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.4 ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น

การเพิ่มระยะเวลาของอากาศเสียในถังบำบัดอากาศโดยการใช้ตัวกลาง (media) ในการทดลองจะใช้ตัวกลางพลาสติก (media) จะมีลักษณะเป็นลูกพลาสติกทรงกลมลอยน้ำมีช่องให้อากาศและน้ำผ่านได้หลายทาง การใส่ตัวกลางพลาสติกจะเพิ่มระยะเวลาให้อากาศเสียอยู่ในถังบำบัดอากาศได้นานมากขึ้น เนื่องจากตัวกลางพลาสติกจะช่วยเพิ่มระยะทางในการเดินทางของอากาศภายในชั้นน้ำที่มีตัวกลางพลาสติกอยู่เพื่อให้มีเวลาในการสัมผัสกับอากาศเสียได้มากขึ้น



ภาพที่ 15 ตัวกลางพลาสติก (media)

การใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายได้ สารประกอบในอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบขางพาราแท่งนั้นมีความหลากหลายรวมกัน มีทั้งสารประกอบที่มีขี้วและไม่มีขี้ว สารประกอบที่อยู่ภายในอากาศเสียนั้นต้องสามารถละลายได้ในสารที่ใช้ในการดักจับ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้มีการใส่สารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพิ่มเข้าไปเพื่อลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับองค์ประกอบของอากาศเสีย และช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายได้ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศเสีย

การทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศเสียโดยน้ำ ตัวกลางพลาสติกและ สารละลายสารลดแรงตึงผิว

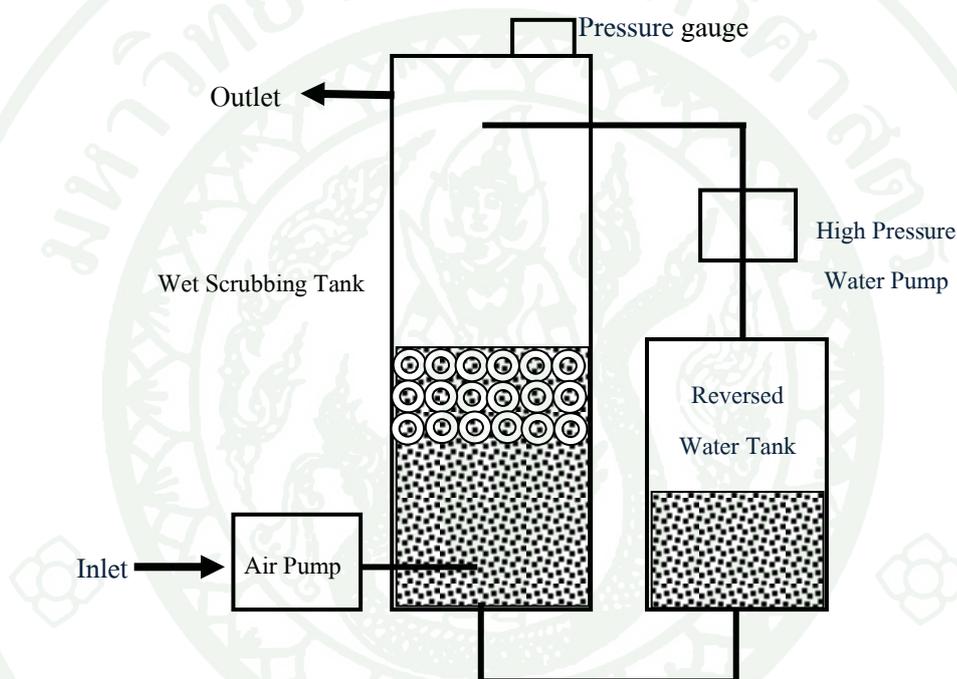
ขั้นตอนแรกต่อสายขางระหว่างอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบขางเข้ากับปั๊มดูดอากาศโดยให้อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตขางพาราจะเข้าสู่ถังบำบัดอากาศทางด้านล่าง หลังจากนั้นเริ่มทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนด จากนั้นเปิดปั๊มน้ำและปั๊มลมเดินระบบ รอเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้ระบบปรับสมดุล หลังจากนั้นเริ่มทำการทดลองและเก็บตัวอย่างและเก็บตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบและหลังออกจากระบบบำบัดอากาศ

โดยจะแบ่งการทดลองเป็น 3 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 อากาศเสียผ่านชั้นน้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร

แบบที่ 2 อากาศเสียผ่านชั้นน้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางพลาสติกประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ (255 ชั้น)

แบบที่ 3 อากาศเสียผ่านน้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางพลาสติกประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ (255 ชั้น) และใช้สารละลายสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001 v/v%



ภาพที่ 16 ระบบบำบัดแบบเปียกจำลอง เป็นระบบที่ไม่มีการดักจับด้วยละอองน้ำสเปรย์ด้านบนที่มีการให้อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราผ่านชั้นน้ำที่มีความสูงระดับ 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางพลาสติกประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ (255 ชั้น) และใช้สารละลายสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001 v/v%

3.5 การเก็บตัวอย่างก่อนและหลังจากออกจากระบบบำบัด

การเก็บตัวอย่างอากาศ จะใช้หลอดดูดซับ (sorbent tube) ต่อกับปั๊มดูดอากาศแบบพกพา (personal pump) มีอัตราการไหลที่ 0.7 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที โดยการเก็บตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด เก็บอากาศโดยใช้หลอดดูดซับบริเวณก่อนอากาศเข้าถึงบำบัดอากาศและตัวอย่าง

อากาศหลังจากออกจากระบบทางด้านบนของถังบำบัดอากาศ



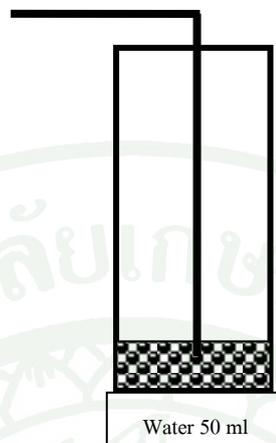
ภาพที่ 17 personal air sampling pump Gillian รุ่น 3500 และ sorbent tube รหัส SKC 226-01 (Anasorb CSC) ตามลำดับ

4. การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบบำบัดอากาศ

หลักการ คือ องค์ประกอบของอากาศเสียจากกระบวนการอบแห้งเป็นสารประกอบพวกกรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) ถ้าหากระบบดักจับแบบเปียกสามารถดักจับกรดไขมันระเหยง่ายให้ละลายอยู่ในน้ำแล้ว จะทำให้ค่า pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงไป คือ จะมีความเป็นกรดมากขึ้น จนเมื่อน้ำที่ใช้ในการดักจับอากาศเสียถึงจุดอิ่มตัว น้ำจะไม่ยอมให้กรดไขมันระเหยง่ายละลายลงไปได้อีก จะทำให้ระบบไม่สามารถดักจับกรดไขมันระเหยง่ายได้อีก เราจะต้องมีการตรวจวัดเพื่อใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพในการบำบัด โดยในการทดลองนี้เราจะใช้ค่า pH เป็นพารามิเตอร์ เพราะสามารถตรวจวัดได้ง่าย

การทดลองขั้นแรกทำการใส่น้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตรในขวดพลาสติก ต่อสายยางอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบแห้ง เป่าอากาศเสียลงกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลาประมาณ 40 นาที เพื่อวัดค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะวัดการวัดค่า pH ของน้ำ และเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้หลอดดูดซับ เป็นเวลา 5 นาที ณ จุดเริ่มต้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH และจุดอิ่มตัวของน้ำในการดักจับอากาศในระบบบำบัดแบบเปียก โดยใช้หลอดดูดซับ เป็นเวลา 5 นาที ใช้อัตรา

การดูดของอากาศที่ 0.7 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 18 ระบบจำลองการทดลองการหาค่า pH ที่เหมาะสมโดยใช้ระบบดักจับแบบเป็ยกจำลอง

5. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบบำบัดอากาศโดยใช้สารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นพารามิเตอร์ในการทดสอบ

การทดลองนี้ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) เป็นตัวแทนสารระเหยอินทรีย์และกรดไขมันระเหยง่าย เนื่องจากฟอร์มัลดีไฮด์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นสถานะก๊าซได้ในอุณหภูมิห้องและสามารถเก็บไว้คงสภาพไว้ในถุงเก็บตัวอย่างอากาศก่อนนำไปใช้ในการทดลองสัมผัสกับน้ำที่กำหนดอุณหภูมิเป็นระดับๆ คือ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส การรักษาสภาพการเป็นก๊าซได้จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับฟอร์มัลดีไฮด์จึงไม่ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ในการดักจับ ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปกรดฟอร์มิก (formic acid) ได้แต่ต้องใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง จึงมีเวลาเพียงพอในการทดลองที่จะไม่ให้เกิดปัจจัยแทรกซ้อนจากค่าความเป็นกรดต่าง รวมทั้งเมื่อถูกละลายในน้ำและมีอุณหภูมิสูงฟอร์มัลดีไฮด์สามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปกรดฟอร์มิก (Economou and Mihalopoulos, 2001) ได้เช่นกัน การทดลองนี้จึงควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้กรดฟอร์มิกเป็นหนึ่งในกรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) ที่พบในองค์ประกอบตัวอย่างอากาศที่ออกจากกระบวนการอบยาง

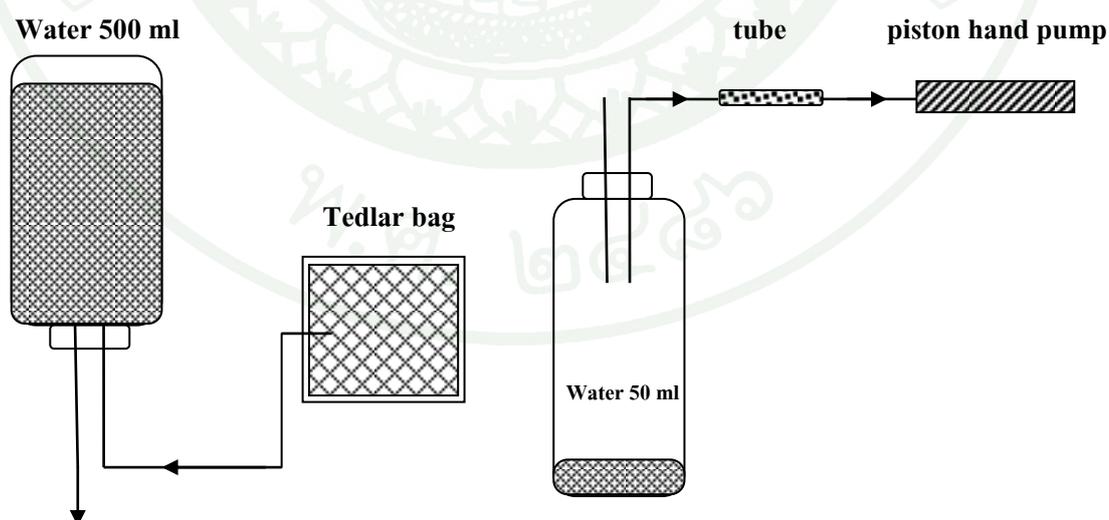
การทดลองมีการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์โดยระบบดักจับแบบเป็ยกจำลองที่มีอุณหภูมิต่างกัน เพื่อทดสอบว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศปนเปื้อนสารระเหยอินทรีย์

5.1 การเตรียมไอระเหยของฟอร์มาดีไฮน์

เตรียมฟอร์มาดีไฮน์ความเข้มข้น 200 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ จากนั้นนำขวดไปให้ความร้อนให้ฟอร์มาดีไฮน์ระเหยออก นำไอระเหยของฟอร์มาดีไฮน์มาเก็บใส่ถุงเก็บอากาศปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้ปั๊มดูดอากาศแบบพกพา ตรวจวัดค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาดีไฮน์โดยเครื่องมือ piston hand pump

5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการดักจับ

ใส่น้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตรใส่ในขวดทดลอง โดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกลั่นที่อยู่ในขวดให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นให้ไอระเหยของฟอร์มาดีไฮน์ที่เก็บใส่ถุงเก็บอากาศในขั้นตอนแรกแทนที่น้ำในขวด จนเหลือน้ำปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร และเขย่าขวดประมาณ 5 นาที และเก็บตัวอย่างอากาศที่ผ่านระบบจำลองให้มีการดักจับแบบเปียก จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาดีไฮน์ที่เหลืออยู่ในอากาศที่ออกจากระบบการดักจับแบบเปียกโดยน้ำกลั่นโดยเครื่องมือ piston hand pump จากนั้นวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบการบำบัดฟอร์มาดีไฮน์ที่มีอุณหภูมิของน้ำแตกต่างกันที่ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 19 ระบบดักจับแบบเปียกจำลองการบำบัดฟอร์มาดีไฮน์ที่อุณหภูมิต่างกัน

6. การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศ

คำนวณโดยดูจาก โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Gas Chromathography โดยดูจากค่า retention time และพื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างอากาศ คำนวณโดยใช้ค่า อัตราการดูดอากาศของ personal pump เพื่อให้ได้ปริมาตรอากาศ รวมทั้งเวลาในการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างอากาศ จากนั้นคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดจากสูตร

โดยให้ C_i แทนความเข้มข้นของก๊าซก่อนเข้าระบบบำบัดอากาศ
 C_o แทนความเข้มข้นของก๊าซหลังออกจากระบบบำบัดอากาศ

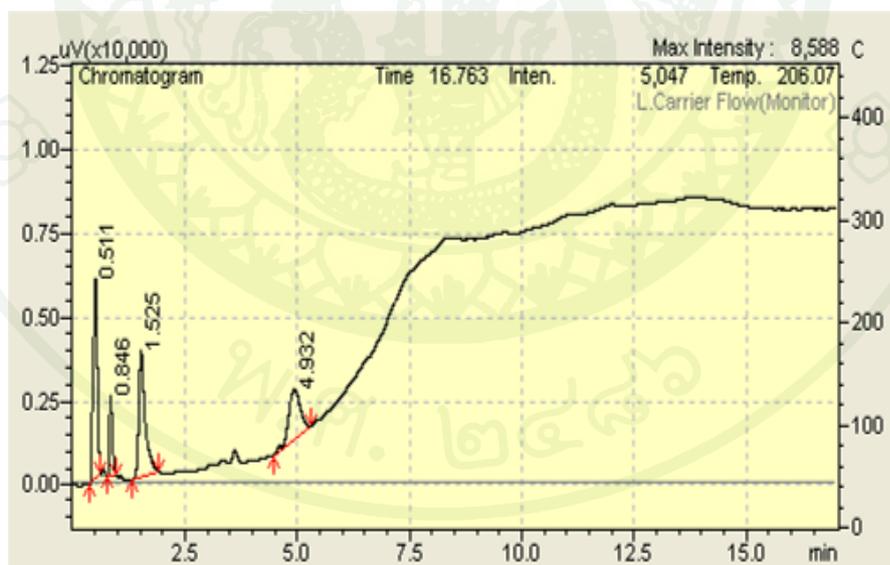
$$\text{removal efficiency (\%)} = \frac{(C_i - C_o)}{C_i} \times 100$$

ผลและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในกลิ่นที่เกิดจากการอบแห้งยางพารา

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บ โดย ถุงเก็บตัวอย่างแบบ SKC sample bag (231-05) ขนาดความจุ 5 ลิตร บั้มดูดอากาศแบบพกพาโดยมีอัตราการดูดอากาศเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที โดย ตัวอย่างอากาศที่เก็บ ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ทันทีที่กลับถึงห้องปฏิบัติการ

วิเคราะห์ตัวอย่างอากาศโดยเครื่อง Gas Chromathography ตามสภาวะข้างต้น และเมื่อเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศที่เกิดได้กับโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของกรดไขมันระเหยง่าย (ตารางที่ 5) ทำให้ทราบว่าตัวอย่างอากาศที่เก็บได้มีกราฟที่มี retention time ใกล้เคียงกับกรดแอสติก (ในช่วงนาที่ที่ 4.7 หรือใกล้เคียง) ส่วน peak อื่นๆ ที่ปรากฏยังไม่ทราบว่าเป็นสารประกอบชนิดใด ซึ่งคาดว่าอาจจะมีการปนเปื้อนของสารประกอบในตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 20 โครมาโตแกรมของตัวอย่างอากาศที่เก็บมาจากโรงงาน ณ จุดเก็บตัวอย่าง

Retention time หมายถึง ระยะเวลาที่วัฏภาคเคลื่อนที่พาหรือชะล้างสารตัวอย่างเคลื่อนผ่านวัฏภาคที่อยู่กับที่ คือ ตั้งแต่เวลาเริ่มฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์จนกระทั่งถึงเวลาที่ตำแหน่งถึง

ยอดของพีคบนโครมาโทแกรม เป็นพารามิเตอร์ที่วัดได้ง่ายจากโครมาโทแกรม สามารถใช้ในด้าน การวิเคราะห์คุณภาพ (ธีรศักดิ์, 2551)

สอดคล้องกับการทดลองของ Hoven *et al.* (2003) ที่ได้ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบ ของอากาศเสียจากกระบวนการยางแท่ง STR 20 โดยวิธี Gas chromatography-mass spectrometry และ Gas Chromatography พบว่ามีองค์ประกอบ ได้แก่ ethylamine, pentanal, 2-pentanone, hexanone, benzylhydrazine, heptanone, acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid, valeric acid, heptanoic acid และ p-cresol ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบหลักในอากาศ เสียจากกระบวนการยางจะเป็นกรดแอสติก ซึ่งเป็นพวกอนุพันธ์กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids) และคาดว่าพวกอนุพันธ์ของกรดไขมันระเหยง่ายจะเป็นองค์ประกอบหลักในอากาศเสีย ที่เกิดจากกระบวนการยางแท่ง STR 20

การวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานกรดแอสติก กรดโพลีไอนิก กรดบิวทาริกเพื่อหาค่า Retention time และเปรียบเทียบกับตัวอย่างอากาศที่เก็บได้จากโรงงานผลการทดลองดังตารางที่ 5 ตารางที่ 5 ค่า retention time ของสารละลายมาตรฐานกรดไขมันระเหยง่ายกรดแอสติก กรดโพลีไอนิกและกรดบิวทาริก

| สารละลายมาตรฐาน | Retention time (นาที) |
|-----------------|-----------------------|
| กรดแอสติก | 4.7 |
| กรดโพลีไอนิก | 6.2 |
| กรดบิวทาริก | 8.0 |

เมื่อได้ค่า Retention time ของกรดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กรดแอสติก กรดโพลีไอนิกและกรด บิวทาริก ที่มีความเข้มข้น 100 ppm จะใช้ค่า Retention time ของกรดทั้ง 3 ชนิดนี้เพื่อเป็นค่า มาตรฐานในการเปรียบเทียบในการทดลองอื่นๆ ต่อไป

2. การเปรียบเทียบระบบที่มีการผ่านชั้นน้ำเพียงอย่างเดียวกับระบบที่มีการติดตั้งสเปรย์ด้านบน ของถังบำบัด

อากาศเสียเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของถังบำบัดอากาศ เตรียมทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนดจากนั้นเปิดปั้มน้ำและปั้ลมเพื่อเดินระบบ รอเวลาประมาณ 15 นาทีเพื่อให้ระบบปรับสมดุล หลังจากนั้นและเก็บตัวอย่างอากาศโดยหลอดดูดซับ การทดลองเป็น 2 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราเข้าสู่ถังบำบัดทางด้านล่าง จากนั้นจะผ่านชั้นน้ำระดับความสูง 60 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 65 ลิตร เพียงอย่างเดียว

แบบที่ 2 อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราเข้าสู่ถังบำบัดทางด้านล่าง จากนั้นจะผ่านชั้นน้ำระดับความสูง 60 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 65 ลิตร และมีสเปรย์ละอองน้ำขนาดหยดน้ำ 6 มิลลิเมตรจากทางด้านบนของถังบำบัด

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของกรดทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียก ระหว่างระบบที่ไม่มีสเปรย์และมีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัด

| สารประกอบ | ความเข้มข้น (ppm) | | |
|--------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | ก่อนเข้าสู่ระบบ | หลังออกจากระบบ | |
| | | แบบที่ 1 ไม่มีสเปรย์ | แบบที่ 2 มีสเปรย์ |
| กรดแอสติก | 4.30 | 0.88 | 0.85 |
| กรดโพไฟโอนิก | 2.67 | 0.73 | 0.24 |
| กรดบิวทริก | 0.39 | 0.19 | 0.21 |

จากผลการทดลองพบว่าก่อนเข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของกรดแอสติก กรดโพไฟโอนิกและกรดบิวทริกมีค่าเท่ากับ 4.30 ppm 2.67 ppm และ 0.39 ppm ตามลำดับ เมื่ออากาศเสียผ่านระบบบำบัดพบว่ามีความเข้มข้นลดลงทั้งระบบแบบไม่มีสเปรย์และมีสเปรย์ แสดงว่ากรดทั้ง 3 ชนิดระบบสามารถดักจับให้ละลายอยู่ในน้ำได้

การเพิ่มปรับปรุงระบบดักจับแบบเปียกจากระบบแบบเดิมให้เป็นระบบที่มีชั้นน้ำอยู่ในถังบำบัดด้วยและการติดตั้งสเปรย์น้ำทางด้านบนของถังบำบัด ทั้ง 2 วิธีเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาหรือการดูดซับระหว่างอากาศเสียและน้ำที่ใช้ในการดักจับ ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อการดูดซับ

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการบำบัดของกรดทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียก
ระหว่างระบบที่ไม่มีสเปรย์และมีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัด

| สารประกอบ | ประสิทธิภาพการบำบัด (%) | |
|--------------|-------------------------|-------------------|
| | แบบที่ 1 ไม่มีสเปรย์ | แบบที่ 2 มีสเปรย์ |
| กรดแอซติก | 79.67 | 80.19 |
| กรดโพไฟโอนิก | 72.73 | 91.05 |
| กรดบิวทริก | 51.43 | 46.11 |

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของทั้ง 2 แบบ ได้แก่ ระบบที่ไม่มีสเปรย์และมีสเปรย์มีประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศใกล้เคียงกัน แต่แบบที่ 2 คือ ระบบมีสเปรย์จะมีประสิทธิภาพการบำบัดกรดแอซติกและกรดโพไฟโอนิกที่มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย เพราะมีการดักจับอากาศเสียของชั้นน้ำที่ระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการพ่นสเปรย์น้ำด้านบนอีกชั้นหนึ่ง เป็นการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอากาศเสียบกับน้ำที่ใช้บำบัด ทำให้ระบบที่มีสเปรย์มีประสิทธิภาพการบำบัดอากาศที่สูงกว่าที่ไม่มีสเปรย์ด้านบน ส่วนกรดบิวทริกประสิทธิภาพการบำบัดการบำบัดที่สูงกว่าระบบที่มีสเปรย์

ส่วนกรดบิวทริกพบว่าประสิทธิภาพของระบบที่ไม่มีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัดมีประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าระบบที่มีสเปรย์ด้านบน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของกรดทั้ง 3 ชนิดแล้ว พบว่ากรดบิวทริกมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่ำที่สุด อาจจะเป็นเพราะระบบนี้ไม่เหมาะสมที่จะใช้บำบัดกรดบิวทริก เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายในน้ำและการแตกตัวของกรดจะพบว่ากรดแอซติกและกรดโพไฟโอนิกสามารถละลายน้ำได้และสามารถแตกตัวได้ดีกว่ากรดบิวทริก (กฤษณา, 2551)

จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 แบบของการระบบบำบัดมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน และมีประสิทธิภาพการบำบัดกรดทั้ง 3 ชนิดอยู่ในเกณฑ์ที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนบำบัด ดังนั้น ถ้าหากเลือกใช้ระบบที่ไม่มีสเปรย์ด้านบน และให้อากาศผ่านชั้นน้ำเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอต่อการบำบัดกรดทั้ง 3 ชนิด หากมีการปรับปรุงระบบบำบัดโดยไม่มีติดตั้งสเปรย์ด้านบนจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบอีกด้วย เนื่องจากไม่ต้องติดตั้งสเปรย์ด้านบน บังน้ำในการดูดอากาศ และค่าไฟฟ้าในการเดินระบบอีกด้วย ในการทดลองขั้นต่อไปจะเลือกใช้ระบบบำบัดแบบ

เป็ยกทำให้อากาศผ่านชั้นของระดับน้ำในถังบำบัดและไม่มีสเปรย์ด้านบน เนื่องจากสะดวกในการเดินระบบและง่ายในควบคุมปัจจัยด้านความดัน

การบำบัดแบบเป็ยกมีใช้กันแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมในการบำบัดอนุภาคหรือก๊าซที่เป็นมลพิษ เพราะเป็นระบบที่ใช้ง่ายและสามารถบำบัดทั้งฝุ่นและก๊าซได้พร้อมกัน การใช้หัวฉีดสเปรย์ในระบบบำบัดอากาศแบบเป็ยกนั้น ชนิดของหัวสเปรย์ที่มีขนาดของละอองที่แตกต่างกันย่อมมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดอากาศสูงขึ้น โดยขนาดของละอองที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่า เนื่องจากจะช่วยเพิ่มผิวสัมผัสในการสัมผัสกับอากาศเสียที่เราต้องการบำบัด

โดยปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการทำให้ขนาดของละอองสเปรย์มีขนาดที่เล็กกลงโดยการติดตั้ง Air blast atomizer เป็นเครื่องที่ใช้อากาศทำให้ละอองสเปรย์ของสารดักจับในระบบบำบัดแบบเป็ยกมีขนาดที่เล็กกลงสามารถสัมผัสกับอากาศเสียได้ดียิ่งขึ้น (Mohan *et al.*, 2008)

3. การเปรียบเทียบระบบที่มีการผ่านระดับชั้นน้ำที่แตกต่างกันโดยไม่มีสเปรย์ด้านบน

ผลการทดลองข้างต้น มีการเปรียบเทียบการระบบบำบัดที่ไม่มีสเปรย์ด้านบนและมีสเปรย์ด้านบนแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการบำบัดอากาศเสียของระบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน จึงออกแบบการทดลองให้ระบบ มีการอัดอากาศเสียทางด้านล่างของถังบำบัดผ่านเข้าชั้นน้ำที่ระดับแตกต่างกันที่ชั้นน้ำระดับความสูง 30 60 และ 120 เซนติเมตร ตามลำดับ และจะพิจารณาค่าประสิทธิภาพการบำบัดของกรดแอสติกเพียงชนิดเดียว เนื่องจากกรดแอสติกมีความเข้มข้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรดทั้ง 3 ชนิด และกรดแอสติกเป็นองค์ประกอบหลักของอากาศเสียซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยในการวิเคราะห์

โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 ระดับน้ำในถังบำบัดมีความสูง 30 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 32.5 ลิตร

แบบที่ 2 ระดับน้ำในถังบำบัดมีความสูง 60 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 65 ลิตร

แบบที่ 3 ระดับน้ำในถังบำบัดมีความสูง 120 เซนติเมตร ปริมาณน้ำประมาณ 130 ลิตร

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของกรดแอสติกหลังจากผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่มีระดับน้ำแตกต่างกัน

| ระบบบำบัด | ความเข้มข้นกรดแอสติก (ppm) |
|--------------------------------------|----------------------------|
| ก่อนเข้าระบบบำบัด | 1.45 |
| ชั้นน้ำในถังที่มีระดับความสูง 30 cm | 0.52 |
| ชั้นน้ำในถังที่มีระดับความสูง 60 cm | 0.54 |
| ชั้นน้ำในถังที่มีระดับความสูง 120 cm | 0.61 |

จากผลการทดลองตารางที่ 8 พบว่าความเข้มข้นของอากาศก่อนเข้าระบบบำบัดตรวจวัดความเข้มข้นของกรดแอสติกได้เท่ากับ 1.45 ppm และเมื่ออากาศเสียดผ่านระบบดักจับแบบเปียกที่มีระดับชั้นน้ำต่างกันที่ความสูงเท่ากับ 30 60 และ 120 เซนติเมตร ความเข้มข้นของกรดแอสติกที่ตรวจวัดได้ในอากาศหลังจากออกจากระบบบำบัดแบบเปียกสามารถดักจับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.93 0.91 และ 0.84 ppm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเข้าระบบบำบัด แสดงว่าระบบสามารถดักจับกรดแอสติกในละลายในน้ำที่ได้ดักจับได้

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดแอสติกหลังจากผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่มีระดับน้ำแตกต่างกัน

| ระดับชั้นน้ำ | ประสิทธิภาพการบำบัดกรดแอสติก (%) |
|--------------|----------------------------------|
| 30 cm | 63.98 ± 3.22 |
| 60 cm | 62.52 ± 4.43 |
| 120 cm | 58.00 ± 6.85 |

การบำบัดกรดแอสติกด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ใช้ดักจับที่แตกต่างกัน พบว่าถังบำบัดที่มีระดับน้ำ 30 60 และ 120 เซนติเมตร มีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดกรดแอสติกใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบรวมกันกับค่าความคลาดเคลื่อน เพราะในการทดลองแต่ละครั้งมีการปรับสมดุลที่เวลาประมาณ 15 นาที จึงทำให้น้ำที่ระดับความสูง 30 60 และ 120

เซนติเมตร ที่แตกต่างกันตามลำดับ อาจจะไม่มียผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดมากนัก เนื่องจากน้ำที่ใช้ในการดักจับมีปริมาณมากพอในการดักจับกรดเอซิดิก ยังไม่ถึงจุดอิ่มตัวในการละลายกรดเอซิดิกจึงทำให้ระดับน้ำไม่มีผลมากนัก

Mohan, 2008 ได้ทำการทดลองการบำบัดอากาศโดยใช้ระบบดักจับแบบเปียก มีการควบคุมหลายปัจจัยที่ทำให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ได้แก่ อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดแตกต่างกันในช่วง 1-5 ไมโครเมตร อัตราการไหลของก๊าซ ความสูงของหอดักจับ พบว่าที่ความสูงของหอดักจับ $\frac{1}{4}$ ของความสูงถึงมีประสิทธิภาพในการดักจับสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังที่กล่าวมา มีการใช้หอดักจับที่มีความสูง 130 เซนติเมตร พบว่าที่ระดับชั้นน้ำ 30 เซนติเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด มีค่าประมาณ $\frac{1}{4}$ ของความสูงหอดักจับ

4. การเพิ่มระยะเวลาของอากาศเสียให้อยู่ในถังบำบัดอากาศโดยการใช้ตัวกลาง (media) และการใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายได้

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของถังบำบัดอากาศโดย การใช้ตัวกลาง (ลูกพลาสติกทรงกลม มีช่องให้อากาศและน้ำผ่าน ลอยน้ำได้) เพื่อช่วยเพิ่มระยะเวลากักเก็บ (retention time) ในการดักจับกับอากาศเสียและเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการดักจับระหว่างน้ำกับอากาศเสียในถังบำบัด ในส่วนของการใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและอากาศเสีย และช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของอากาศเสียในน้ำ

การทดลองแบ่งออกเป็น

แบบที่ 1 อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราจะเข้าสู่ถังบำบัดอากาศทางด้านล่างของถังบำบัด จากนั้นจะผ่านชั้นน้ำระดับความสูง 60 เซนติเมตร

แบบที่ 2 อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราจะเข้าสู่ถังบำบัดอากาศทางด้านล่างของถังบำบัด จากนั้นจะผ่านชั้นน้ำระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางพลาสติกประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ (255 ชิ้น)

แบบที่ 3 อากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตยางพาราจะเข้าสู่ถังบำบัดอากาศทางด้านล่างของถังบำบัด จากนั้นจะผ่านชั้นน้ำระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางพลาสติกประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำและสารละลายสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001 v/v%

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของสารประกอบในตัวอย่างอากาศจากการทดสอบระบบดักจับแบบเปียกที่ไม่มีสเปรย์ด้านบนของถังบำบัดและมีระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร ตัวกลางและสารละลายสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001%v/v

| สารประกอบ | ความเข้มข้น (ppm) | | | |
|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| | ก่อนบำบัด | หลังบำบัดด้วย | | |
| | | แบบที่ 1 | แบบที่ 2 | แบบที่ 3 |
| กรดแอซิดิก | 1.608 ± 0.339 | 1.046 ± 0.087 | 0.893 ± 0.202 | 0.830 ± 0.133 |
| กรดโฟสไฟโอนิก | 0.063 ± 0.018 | 0.031 ± 0.001 | 0.026 ± 0.004 | 0.019 ± 0.007 |
| กรดบิวทาริก | 0.013 ± 0.005 | 0.006 ± 0.003 | 0.006 ± 0.001 | 0.004 ± 0.000 |

หมายเหตุ: แบบที่ 1 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร

แบบที่ 2 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร และตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ

แบบที่ 3 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร และตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำร่วมกับสารละลายสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% v/v

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดด้วยระบบบำบัดอากาศต้นแบบที่ใช้ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตรร่วมกับการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% v/v

| สารประกอบ | ประสิทธิภาพการบำบัด (%) | | |
|-------------|-------------------------|---------------|---------------|
| | แบบที่ 1 | แบบที่ 2 | แบบที่ 3 |
| กรดแอสติค | 34.97 ± 5.41 | 44.48 ± 12.59 | 48.38 ± 8.29 |
| กรดโฟสโฟนิก | 51.38 ± 1.18 | 59.03 ± 7.36 | 69.23 ± 10.71 |
| กรดบิวทริก | 55.07 ± 22.19 | 51.20 ± 5.99 | 68.69 ± 1.16 |

หมายเหตุ: แบบที่ 1 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร

แบบที่ 2 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร และตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ

แบบที่ 3 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร และตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำร่วมกับสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% v/v

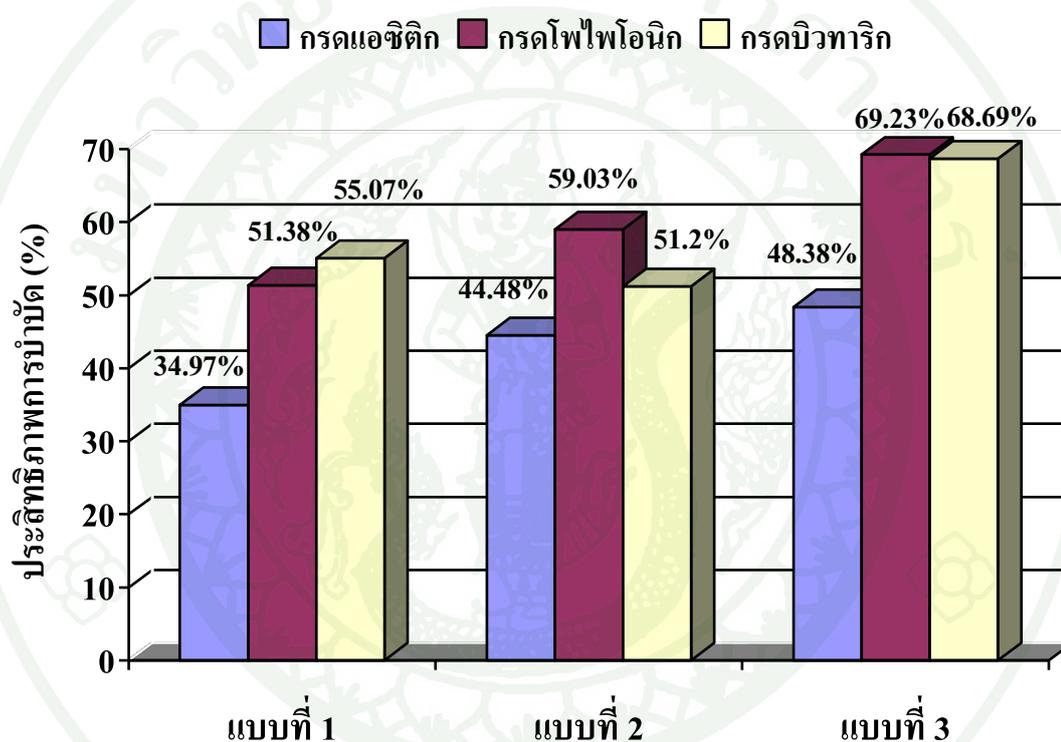
การทดลองชุดนี้ จะใช้น้ำประปาเป็นสารละลายคักจับเพื่อเปรียบเทียบระบบแบบไม่มีและมีการใส่ตัวกลางเพื่อช่วยเพิ่มระยะเวลาที่เก็บอากาศให้สัมผัสกับน้ำในถังบำบัดให้อยู่ในถังบำบัดได้นานขึ้น จากการทดลองพบว่า การคักจับด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพการบำบัด กรดแอสติค กรดโฟสโฟนิก กรดบิวทริกเท่ากับร้อยละ 34.97 51.38 และ 55.07 ตามลำดับ แต่เมื่อใส่ตัวกลาง จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของกรดแอสติคและกรดโฟสโฟนิกเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.51 และ 7.65 ส่วนกรดบิวทริกมีประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาการบำบัดกรดแอสติคระหว่างการใช้ระดับชั้นน้ำในถังบำบัด 120 เซนติเมตรเพียงอย่างเดียว และเปรียบเทียบการบำบัดโดยการใช้ระดับชั้นน้ำ 60 เซนติเมตรร่วมกับการใช้ตัวกลางพลาสติกประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของระบบโดยการเพิ่มตัวกลางจะทำให้ประหยัดค่าในส่วนของการน้ำที่ใช้เปลี่ยนในถังบำบัด

ผลการทดลองแสดงว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว ร่วมกับการใช้ตัวกลาง จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด กรดแอสติค กรดโฟสโฟนิก และกรดบิวทริกเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.41 17.85 และ 13.62 ตามลำดับ เนื่องจากสารประกอบที่อยู่ในอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตนั้นมีสารประกอบรวมกันหลายชนิดทั้งสารที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ดังนั้นการใส่สารลดแรง

ตั้งผิวจะช่วยทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ควรเลือกชนิดของสารลดแรงตึงผิวให้เหมาะสมกับชนิดของสารที่ใช้ในการดักจับเพื่อป้องกันการเกิดฟองขึ้นในระบบ

นอกจากนี้แรงตึงผิวยังเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงยึดเหนี่ยวในโมเลกุลของของไหลน้อยลง ทำให้แรงตึงผิวมีค่าน้อยลง (Tanaka, 2005) ซึ่งจะมีการทดลองในลำดับต่อไป



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นด้วยระบบดักจับแบบเป็ยกต้นแบบที่ใช้ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร ร่วมกับตัวกลางและสารละลายสารลดแรงตึงผิวเข้มข้น 0.001 %v/v

หมายเหตุ: แบบที่ 1 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร

แบบที่ 2 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร และตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ

แบบที่ 3 ระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร และตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำร่วมกับสารละลายสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001% v/v

5. การจัดการระบบเพื่อรักษาประสิทธิภาพการบำบัด

การบำบัดอากาศเสียหรือกลิ่นเป็นการดักจับสารประกอบที่ปนเปื้อนอากาศเสียให้อยู่ในน้ำหรือสารละลาย ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจึงขึ้นอยู่กับการอิมตัวของสารที่ใช้เป็นตัวดักจับ ในการควบคุมระบบให้รักษาประสิทธิภาพไว้ได้นั้น จำเป็นต้องศึกษาการอิมตัวของน้ำและสารละลาย

ดังนั้นในการควบคุมระบบ pH จึงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งที่จะเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเปลี่ยนน้ำหรือสารละลายที่ใช้ในถังบำบัดอากาศเสีย และเมื่อวัดอัตราการไหลของอากาศเสียพบว่ามีความเร็ว 6 ลิตรต่อนาที จึงสามารถคำนวณปริมาตรอากาศที่เข้าระบบได้ดังนี้

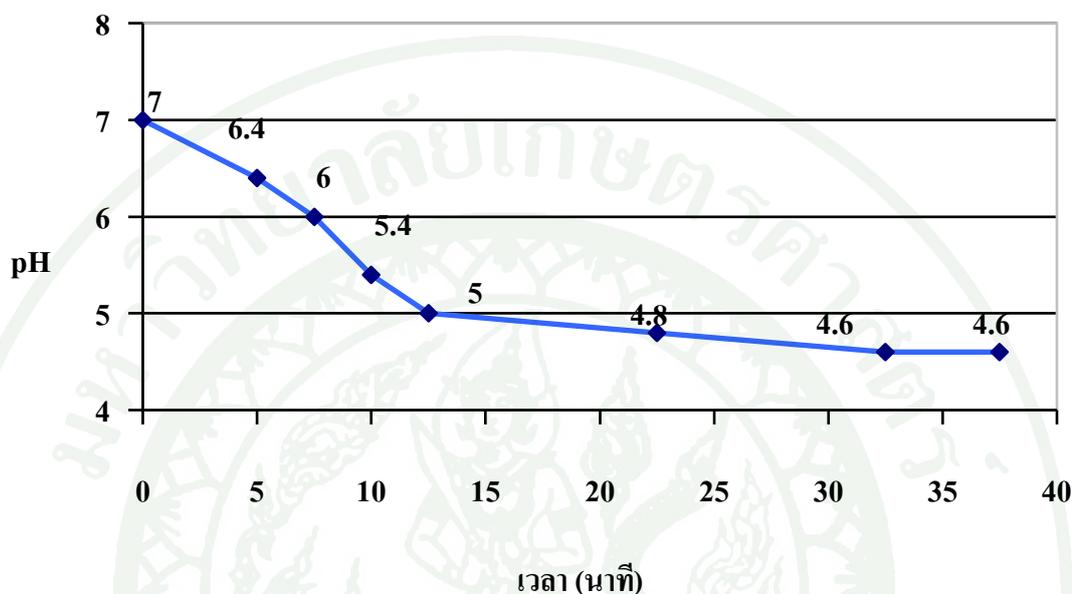
ตารางที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำที่ใช้ดักจับ

| เวลา | ค่า pH | ปริมาตรอากาศเสีย (ลิตร) |
|------|--------|-------------------------|
| 0 | 7 | 0 |
| 5 | 6.4 | 30 |
| 7.5 | 6 | 45 |
| 10 | 5.4 | 60 |
| 12.5 | 5 | 75 |
| 22.5 | 4.8 | 135 |
| 32.5 | 4.6 | 195 |
| 37.5 | 4.6 | 225 |

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการอัดอากาศผ่านน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 40 นาที พบว่าค่า pH สามารถวัดค่า pH ได้เท่ากับ 4.6 ที่เป็นเช่นนี้เพราะอากาศที่ออกจากกระบวนการผลิตมีความเป็นกรด จากองค์ประกอบในอากาศเสียที่เป็นสารประกอบกรดอินทรีย์ระเหยง่าย จึงทำให้ค่า pH ของน้ำกลั่นเปลี่ยนแปลงไปจะมีความเป็นกรดมากขึ้น

ข้อมูลจากผลการทดลอง ตารางที่ 12 จะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้น 7 และเมื่อเวลาผ่านไปค่า pH เปลี่ยนไปจนคงที่เท่ากับ 4.6 เนื่องจากอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตขางพารานั้นมีองค์ประกอบของกรดไขมันระเหยง่าย เช่น กรดแอสติกและกรด โป

ไฟโอนิก อากาศเสียจึงมีฤทธิ์เป็นกรด กรดต่างๆ เหล่านี้เป็นสารประกอบที่มีความสามารถละลายน้ำได้ เมื่ออากาศเสียถูกดักจับโดยน้ำ ส่งผลให้น้ำมีค่าความเป็นกรดต่างที่เปลี่ยนแปลงไปกล่าวคือน้ำที่ใช้ดักจับมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อมีการปล่อยอากาศเสียลงในน้ำที่เวลาต่างกัน

ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการดักจับกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำกับค่า pH มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรง คือ เมื่อค่า pH ลดลงจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงด้วย จะเห็นได้ว่าค่า pH เริ่มต้นจากค่าแสดงความเป็นกลาง เมื่อมีการผ่านอากาศเสียที่มีกรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) เป็นส่วนประกอบอยู่จะทำให้ น้ำมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำที่ใช้ดักจับมีค่า pH ลดลงจนถึงระดับหนึ่งค่า pH จะคงที่ แสดงว่าน้ำที่ใช้ดักจับไม่ยอมให้กรดไขมันระเหยง่ายที่อยู่ในอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบขางละลายลงไปได้อีกแล้ว จึงคาดว่าเป็นจุดอิ่มตัวของน้ำที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งต้องทำการเปลี่ยนน้ำในถังบำบัดหรือมีการเจือจางด้วยน้ำเพิ่มเข้าไปเพื่อปรับสภาพให้น้ำมีค่า pH เข้าหาความเป็นกลาง และให้สามารถดักจับอากาศเสียได้

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นของกรดแอสติก เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป

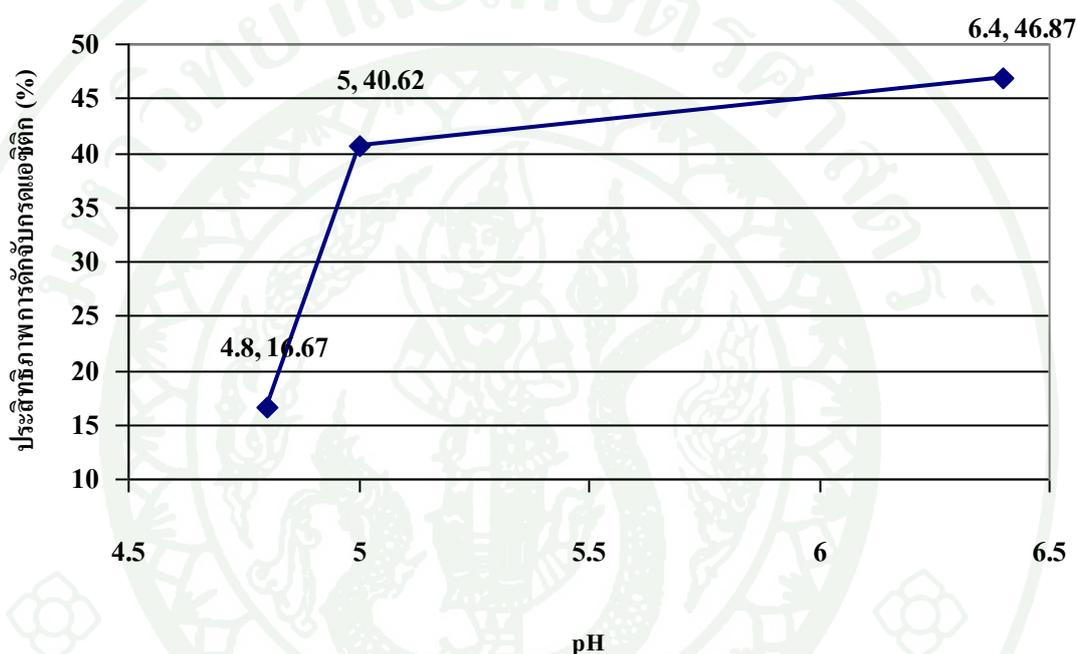
| เวลา (นาทีก) | pH | ความเข้มข้น | ความเข้มข้น | ความเข้มข้น |
|-----------------|-----|--------------------------------------|---|--------------------|
| | | กรดแอสติก (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) | กรดแอสติก (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กรดแอสติก (ppm) |
| 0 | 7 | 0.0096 | 2.74 | 1.11 |
| 5 | 6.4 | 0.0051 | 1.46 | 0.59 |
| 12.5 | 5 | 0.0057 | 1.63 | 0.66 |
| 22.5 | 4.8 | 0.0080 | 2.31 | 0.94 |
| 32.5 | 4.6 | 0.0100 | 2.87 | 1.17 |

ความเข้มข้นของกรดแอสติกเริ่มต้นก่อนผ่านระบบบำบัดมีค่าเท่ากับ 1.11 ppm แต่เมื่อเวลาผ่านไปอากาศที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียกจำลองพบว่ามีค่าความเข้มข้นลดลง เมื่อมีการผ่านอากาศเสียไปสักครู่ ความเข้มข้นของกรดแอสติกในอากาศหลังจากออกจากระบบบำบัดที่ตรวจวัดได้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำที่ใช้ดักจับมีกรดแอสติกที่ละลายอยู่ในน้ำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ความสามารถในการละลายของกรดแอสติกให้อยู่ในน้ำได้ลดลง และพบว่าเมื่อเวลา 32.5 นาที สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของกรดแอสติกได้เท่ากับ 1.17 ppm ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นของกรดแอสติกก่อนเข้าระบบบำบัด เนื่องจากถึงจุดอิ่มตัวของน้ำที่ใช้ดักจับ อีกส่วนหนึ่งยังมาจากกรดแอสติกที่อยู่ในน้ำที่ถูกดักจับในตอนแรกเกิดการระเหยออกมาสู่อากาศอีกครั้งหนึ่งทำให้ค่าของความเข้มข้นมากกว่าก่อนเข้าระบบ

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพของการดักจับกรดแอสติกด้วยน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป

| เวลา (นาทีก) | pH | ประสิทธิภาพการบำบัดกรดแอสติก (%) |
|--------------|-----|----------------------------------|
| 0 | 7 | - |
| 5 | 6.4 | 46.87 |
| 12.5 | 5 | 40.62 |
| 22.5 | 4.8 | 16.67 |
| 32.5 | 4.6 | -4.00 |

ค่าประสิทธิภาพของการดักจับกรดแอสติกด้วยน้ำกลั่นแสดงให้เห็นว่า ที่ค่า pH เท่ากับ 6.4 และค่า pH เท่ากับ 5 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดแอสติกมีค่าสูงที่ร้อยละ 46.87 และ 40.62 ตามลำดับ จากนั้นจะมีค่าประสิทธิภาพลดลงมากเท่ากับร้อยละ 16.67 เมื่อมีค่า pH ของน้ำในการดักจับมีค่าเท่ากับ 4.8 ดังนั้นหากจะใช้ค่า pH เป็นพารามิเตอร์ในการเปลี่ยนสารละลายที่ใช้ดักจับภายในถังบำบัดอากาศ ผู้ควบคุมระบบบำบัดอากาศจะต้องตรวจวัดค่า pH ของน้ำที่ใช้ดักจับไม่ให้มีค่าเป็นกรดมาก ที่ pH ไม่ต่ำกว่า 5 ในการบำบัดกรดแอสติกด้วยระบบดักจับแบบเปียก



ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพของการดักจับกรดแอสติกด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป

จากกราฟประสิทธิภาพของการบำบัดกรดแอสติกด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อค่า pH ของน้ำที่ใช้ดักจับเปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่อน้ำที่ใช้ดักจับที่เวลา 12.5 นาที มีค่า pH เท่ากับ 5 ผู้ควบคุมระบบบำบัดอากาศควรจะต้องมีการเปลี่ยนน้ำที่ใช้ดักจับ เนื่องจากประสิทธิภาพจะยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเวลา 22.5 นาที ที่ค่า pH ของน้ำดักจับมีค่าเท่ากับ 4.8 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดแอสติกเท่ากับ 16.67 ซึ่งดูได้จากกราฟมีค่าความชันที่ลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ 5 นาทีกับ 22.5 นาที

การคำนวณระยะเวลาการเปลี่ยนน้ำในถังบำบัด เปรียบเทียบโดยใช้น้ำปริมาตร 1 คิว ปริมาตรน้ำ 1 คิว เท่ากับ 1000 ลิตร ดังนั้นน้ำปริมาตร 50×10^{-3} ลิตร จะทำให้ค่า pH เปลี่ยนไปเท่ากับ

5 ที่เวลาเท่ากับ 12.5 นาที ถ้าหากน้ำปริมาตร 1000 ลิตร จะทำให้ค่า pH เปลี่ยนไปเท่ากับ 5 ที่เวลาเท่ากับ 250,000 นาที เท่ากับประมาณ 173 วัน จึงจะต้องมีการเปลี่ยนน้ำที่ใช้ดักจับในระบบใหม่ในการบำบัดกรดแอสติค

ตารางที่ 15 ความเข้มข้นของกรดโพไฟโพนิก เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป

| เวลา (นาที) | pH | ความเข้มข้น กรดโพไฟโพนิก (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) | ความเข้มข้น กรดโพไฟโพนิก (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | ความเข้มข้น กรดโพไฟโพนิก (ppm) |
|----------------|-----|--|---|--------------------------------------|
| 0 | 7 | 0.0018 | 0.524 | 0.21 |
| 5 | 6.4 | 0.0015 | 0.449 | 0.18 |
| 12.5 | 5 | 0.0015 | 0.434 | 0.18 |
| 22.5 | 4.8 | 0.0015 | 0.447 | 0.18 |
| 32.5 | 4.6 | 0.0018 | 0.504 | 0.20 |

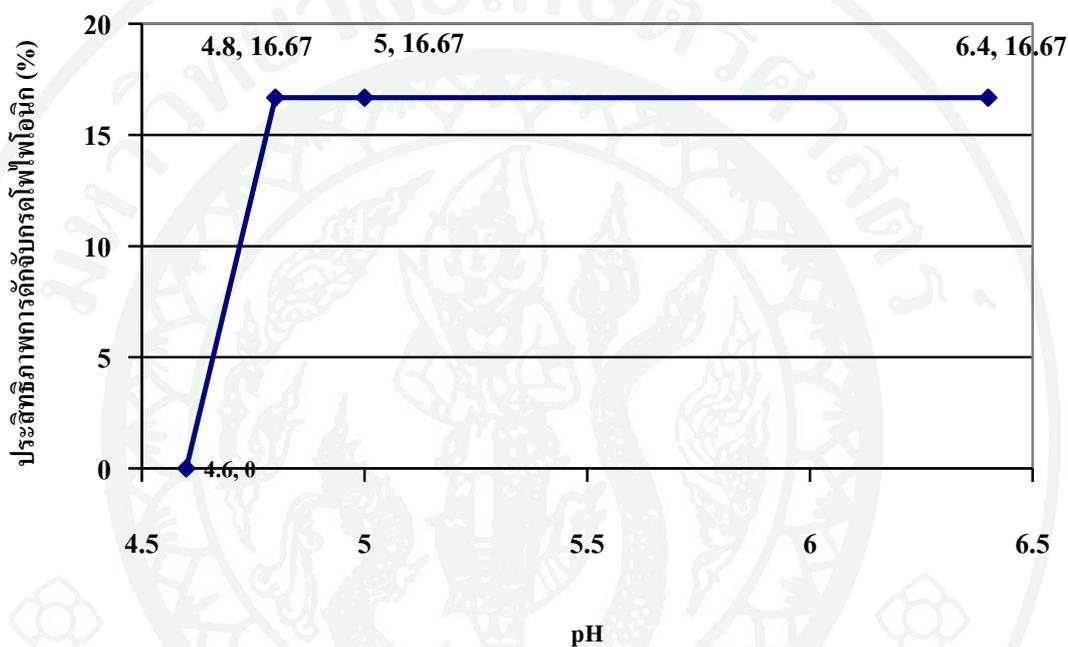
ความเข้มข้นของโพไฟโพนิกเริ่มต้นก่อนผ่านระบบบำบัดมีค่า 0.21 ppm แต่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของกรดโพไฟโพนิกในอากาศหลังจากออกจากระบบบำบัดที่ตรววัดได้จะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนบำบัดเท่ากับ 0.03 ppm จนเมื่อเวลา 32.5 นาที ความเข้มข้นของกรดโพไฟโพนิกมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.20 ppm เนื่องจากน้ำที่ใช้ดักจับมีกรดโพไฟโพนิกที่ละลายอยู่ในน้ำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ความสามารถในการละลายของกรดโพไฟโพนิกให้อยู่ในน้ำได้ลดลง

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพของการดักจับกรดโพไฟโพนิก เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป

| เวลา (นาที) | pH | ประสิทธิภาพการบำบัดกรดโพไฟโพนิก (%) |
|-------------|-----|-------------------------------------|
| 0 | 7 | - |
| 5 | 6.4 | 16.67 |
| 12.5 | 5 | 16.67 |
| 22.5 | 4.8 | 16.67 |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| เวลา (นาที) | pH | ประสิทธิภาพการบำบัดกรดโฟสไฟโอนิก (%) |
|-------------|-----|--------------------------------------|
| 32.5 | 4.6 | 0 |



ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพของการดักจับกรดโฟสไฟโอนิกด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อน้ำที่ใช้ดักจับค่า pH เปลี่ยนแปลงไป

ค่าประสิทธิภาพของการดักจับกรดโฟสไฟโอนิกด้วยน้ำกลั่นแสดงให้เห็นว่า ที่ค่า pH 6.4 5 และ 4.8 จะประสิทธิภาพในการบำบัดกรดโฟสไฟโอนิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 16.67 จากนั้นจะไม่มีประสิทธิภาพการบำบัดกรดโฟสไฟโอนิก เมื่อมีค่า pH เท่ากับ 4.6

สารละลายที่ใช้ดักจับจะหยุดการดูดซับของอากาศเสียเมื่อสารละลายถึงจุดสมดุล จะทำให้สารละลายไม่มีประสิทธิภาพที่ใช้ในการดูดซับอีก (Sclegelmilch *et al.*, 2005) จากการทดลองพบว่าระบบจะถึงจุดอิ่มตัวหรือจุดสมดุลเมื่อค่า pH มีค่าประมาณ 4.8 - 4.6 ของกรดแอซิดิกและกรดโฟสไฟโอนิกซึ่งสอดคล้องกับ ค่าคงที่การแตกตัวของกรด (K_a) ของกรดแอซิดิก กรดโฟสไฟโอนิก และกรดบิวทริกมีค่าคงที่การแตกตัวเท่ากับ 4.74 4.82 และ 4.85 ตามลำดับ (ชัยวัฒน์, 2536)

ความสามารถในการละลายของก๊าซในสารละลาย มีปัจจัยได้แก่ ความมีขี้และความไม่มีขี้จะต้องเข้ากับสารละลายได้และถ้าสารละลายที่ละลายแล้วถึงจุดสมดุจะไม่สามารถละลายในสารละลายได้อีก อีกปัจจัยหนึ่ง คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องความสามารถในการละลายได้ของก๊าซในสารละลายจะลดลง (Gardeu *et al.*, 1999)

พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดกลืนสารปนเปื้อน ขึ้นกับความสามารถในการละลายและกฎของเฮนรี่ (Solubility and Henry's Law) ความสามารถในการละลายของสารปนเปื้อน โดยขึ้นกับอุณหภูมิและความดันของระบบ (ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ, 2551)

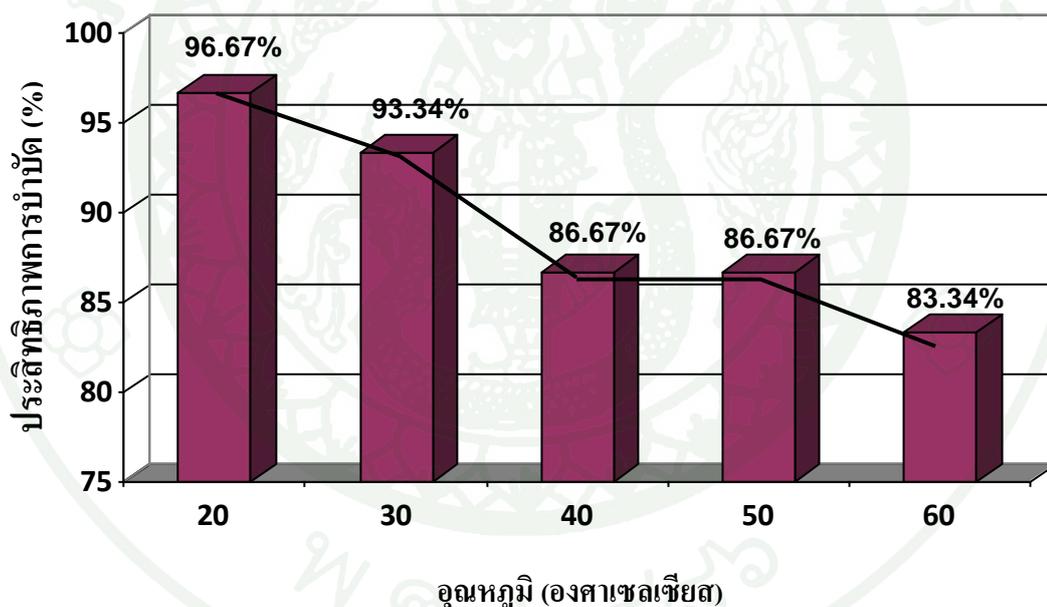
6. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบบำบัดอากาศโดยใช้สารฟอร์มาดีไฮน์ในการทดสอบ

จากการทดลองการบำบัดสารระเหยฟอร์มาดีไฮน์ด้วยระบบดักจับแบบเปียกจำลองที่มีการใช้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้บำบัดแตกต่างกันเท่ากับ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารระเหยในอากาศด้วยน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการละลายของอากาศในน้ำคือ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิปริมาณอากาศที่จะสามารถละลายอยู่ในน้ำได้จะลดน้อยลง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารระเหยที่ถูกดักจับไว้ในน้ำจะมีค่าลดลง

การทดลองนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของการดักจับแบบเปียกด้วยน้ำกลั่น ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส การทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารระเหยในอากาศด้วยน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการละลายของอากาศในน้ำคือ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิปริมาณอากาศที่จะสามารถละลายอยู่ในน้ำได้จะลดน้อยลง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารระเหยที่ถูกดักจับไว้ในน้ำมีค่าลดลงคือ จากค่าเริ่มต้น 1.35 มิลลิกรัม ถูกดักจับไว้ในน้ำ 50 มิลลิลิตร ณ อุณหภูมิ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็น 1.31 1.26 1.17 1.17 และ 1.13 มิลลิกรัม ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดของน้ำต่อ 1 มิลลิลิตร เป็น 0.026 0.025 0.023 0.023 และ 0.022 มิลลิกรัม ตามลำดับ (หรือ 26.2 25.2 23.4 23.4 และ 22.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ)

ตารางที่ 17 ประสิทธิภาพในการบำบัดสารระเหยกับอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลง

| การบำบัดด้วยระบบบำบัดจำลอง | ความเข้มข้นของฟอร์มาดีไฮน์ ในตัวอย่างอากาศ (ppm) | ประสิทธิภาพใน การบำบัด (%) |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|
| ก่อนการบำบัด | 3.0 | - |
| หลังผ่านการบำบัดอุณหภูมิของน้ำ 20 °C | 0.1 | 96.67 |
| หลังผ่านการบำบัดอุณหภูมิของน้ำ 30 °C | 0.2 | 93.34 |
| หลังผ่านการบำบัดอุณหภูมิของน้ำ 40 °C | 0.4 | 86.67 |
| หลังผ่านการบำบัดอุณหภูมิของน้ำ 50 °C | 0.4 | 86.67 |
| หลังผ่านการบำบัดอุณหภูมิของน้ำ 60 °C | 0.5 | 83.34 |



ภาพที่ 25 ความเข้มข้นของฟอร์มาดีไฮน์ในการบำบัดแบบเปียกที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันที่ 20 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส

กฎของเฮนรี กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิคงตัว สภาพการละลายได้ของก๊าซหรือน้ำหนักของก๊าซที่ละลายได้ในของเหลวจำนวนหนึ่ง เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความดันของก๊าซเหนือของเหลว กล่าวคือ ถ้าเพิ่มความดัน ระบบจะเปลี่ยนไปทางที่ปริมาตรลดลง การเพิ่มความดันทำให้ก๊าซละลายได้มากขึ้น ก๊าซที่ละลายอยู่ในของเหลวโดยการใช้ความดัน ถ้าเราลดความดันลง ก๊าซจะหนีออกจากของเหลว ก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำแล้วอาจจะกลับสู่สถานะก๊าซได้อีกการละลายได้ของก๊าซเป็น

ปฏิกิริยาคายความร้อน ตามหลักของ เลอ ชาเชอลิเอ กล่าวไว้ว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสารละลายจะทำให้ ก๊าซละลายได้น้อยลง ความดันเป็นอีกปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง ที่เกี่ยวกับสภาพการละลายได้ของก๊าซ การเปลี่ยนแปลงความดันมีผลโดยตรงต่อสภาพการละลายได้ของก๊าซในน้ำ (กฤษณา, 2551)



สรุปและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาวิธีการบำบัดอากาศระบบดักจับเปียกที่ใช้การบำบัดอากาศเสียจากอุตสาหกรรมยางพาราแห่งนี้ พบว่าสารประกอบที่อยู่ในอากาศเสียในกระบวนการอบยางแห่งนี้ เป็นสารประกอบจำพวกกรดไขมันระเหยง่าย จะใช้กรดแอซิดิก กรดโพไฟโอนิกและกรดบิวทริก เป็นพารามิเตอร์ในการตรวจวัดประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่ามีหลายปัจจัยที่ทำให้ระบบบำบัดอากาศแบบเปียกนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงขึ้น ปัจจัยหลักที่ทำการทดลองพบว่าเมื่อผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด ได้แก่

1.1 ผิวสัมผัสระหว่างสารประกอบในอากาศและน้ำหรือสารละลายที่เป็นตัวดักจับ

การสัมผัสระหว่างอากาศเสียและน้ำที่ใช้ดักจับนั้นส่งผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เนื่องจากการเพิ่มระดับชั้นน้ำและการติดตั้งสเปรย์ด้านบนของถังบำบัดอากาศเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาระหว่างอากาศและน้ำ ให้เกิดการละลายได้ จากการทดลองออกแบบระบบบำบัดที่มีสเปรย์น้ำจากทางด้านบนของถังบำบัดจะช่วยทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับอากาศเสียมากขึ้น เปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีและไม่มีการสเปรย์น้ำด้านบนในการบำบัดองค์ประกอบของอากาศเสียซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันระเหยง่าย ได้แก่ กรดแอซิดิก กรดโพไฟโอนิกและกรดบิวทริก

ผลการทดลองพบว่าทั้ง 2 ระบบบำบัดแบบเปียกจำลอง ได้แก่ ระบบดักจับแบบเปียกที่ถังบำบัดมีสเปรย์และไม่มีการสเปรย์ด้านบน พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน เพราะในแต่ละการทดลองมีการใช้เวลาไม่พอที่จะทำให้ระบบถึงจุดสมดุลของน้ำที่ใช้ดักจับ หากไม่มีการติดตั้งสเปรย์ด้านบนในระบบบำบัดอากาศจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์ ค่าไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษา ในระหว่างการเดินระบบบำบัดอากาศได้อีกด้วย

1.2 ระดับน้ำที่อยู่ในถังบำบัดอากาศ

การทดลองในส่วนของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่อยู่ในถังบำบัดอากาศแตกต่างกันที่ระดับความสูง 30 60 และ 120 เซนติเมตร ตามลำดับ การเพิ่มระดับชั้นน้ำจะทำให้อากาศมีผิวสัมผัสกับน้ำที่ใช้ดักจับมากขึ้น และส่งผลให้อากาศอยู่ในถังบำบัดนานขึ้น ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดกรดแอสติกความสูงของทั้ง 3 ระดับน้ำ มีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากใช้เวลาในการเดินระบบที่น้อย ปริมาณของน้ำในถังปฏิกรณ์ในระบบบำบัดยังไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมากนัก

1.3 การเพิ่มตัวกลาง

การเพิ่มตัวกลางให้ลอยอยู่ในน้ำในถังบำบัดอากาศ ตัวกลางจะมีลักษณะเป็นทรงกลมพลาสติก ลอยน้ำได้และมีช่องให้อากาศไหลผ่านได้หลายทาง สามารถช่วยเพิ่มระยะทางในการเดินทางของอากาศเสียให้อยู่ในถังบำบัดอากาศก่อนที่จะออกจากระบบ และสามารถเพิ่มระยะเวลาที่กักเก็บให้อากาศให้สัมผัสกับสารละลายที่ใช้ดักจับ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มมากขึ้นในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ได้แก่ กรดแอสติก กรดโฟโฟโตนิกและกรดบิวทริก จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการเพิ่มตัวกลางในระบบดักจับแบบเปียกจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดแอสติกและกรดโฟโฟโตนิกเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.51 และ 7.65 ตามลำดับ ส่วนกรดบิวทริกลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใส่ตัวกลางในถังบำบัดโดยวิธีดักจับแบบเปียก

1.4 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวสามารถเพิ่มการละลายในสารละลายที่มีขี้และไม่มีขี้ ซึ่งองค์ประกอบของอากาศเสียที่ออกจากระบวนการอบขี้เป็นสารประกอบที่มีความหลากหลายทั้งสารประกอบที่มีขี้และไม่มีขี้ปะปนกันอยู่ในระบบบำบัดอากาศเราใช้น้ำเป็นสารที่ใช้ดักจับซึ่งเป็นสารละลายที่มีขี้ ก็จะสามารถละลายได้กับก๊าซที่เป็นสารประกอบที่มีขี้ ดังนั้นการใส่สารลดแรงตึงผิวเข้าไปในระบบจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายระหว่างอากาศเสียและน้ำที่ใช้ดักจับเพื่อให้สามารถดักจับสารประกอบที่ไม่มีขี้ได้ เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดอากาศอีกด้วย

1.5 ค่า pH

การใช้ค่า pH เพื่อช่วยในการออกแบบการเปลี่ยนสารละลายที่ใช้ในการดักจับเพื่อควบคุมในการเดินระบบ จากผลการทดลองพบว่าค่า pH ที่วัดได้แปรผันตรงกับประสิทธิภาพในการดักจับ โดยเมื่อค่า pH มีค่าลดลง คือมีความเป็นกรดมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับกรดไขมันระเหยง่าย ได้แก่ กรดแอสติกและกรดโพไพโอนิกที่ลดลงเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อมีการผ่านอากาศเสียที่มีกรดไขมันระเหยง่ายผสมอยู่จะทำให้น้ำมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า pH ลดลงจนถึงระดับหนึ่งค่า pH จะคงที่ซึ่งแสดงว่าน้ำไม่ยอมให้กรดไขมันระเหยง่ายละลายลงในน้ำได้อีกแล้ว สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์ในการประเมินค่าจุลชีพคัมมูล์ของน้ำที่ใช้ในการบำบัดซึ่งต้องการเปลี่ยนหรือมีการเจือจางด้วยน้ำเพิ่มเข้าไปเพื่อปรับสภาพให้น้ำมีค่า pH เข้าหาความเป็นกลาง

1.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการควบคุมระบบบำบัด เพราะอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับไอระเหยของสารเคมีให้อยู่ในน้ำได้ลดลง จากการทดลองการเปลี่ยนของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการดักจับสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่าอุณหภูมิจะทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์มีความสามารถในการละลายได้ในน้ำลดลง อีกทั้งยังทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถระเหยจากน้ำสู่อากาศได้มากขึ้น อุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่าประสิทธิภาพในการดักจับฟอร์มัลดีไฮด์ โดยเมื่ออุณหภูมิมียุคสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำได้ลดลง สอดคล้องกับกฎของเฮนรี่ และหลักของ เลอ ชาเชอลีเอ กล่าวไว้ว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสารละลายจะทำให้สารที่อยู่ในสถานะก๊าซละลายในของเหลวได้น้อยลง

2. ข้อเสนอแนะ

การปรับใช้ระบบบำบัดอากาศไปใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องมีการควบคุมปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ค่า pH อุณหภูมิและความดัน ระบบบำบัดอากาศเสียในงานวิจัยนี้เป็นการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบดักจับแบบเปียก เพื่อบำบัดอากาศเสียที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งมีกรดแอสติกเป็นองค์ประกอบหลัก ปัจจัยด้าน pH จะเกี่ยวข้องกับเมื่ออากาศเสียถูกดักจับโดยน้ำในถังบำบัดแล้วจะทำให้ค่า pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงไป ค่า pH ของน้ำในการเดินระบบจึงเป็น

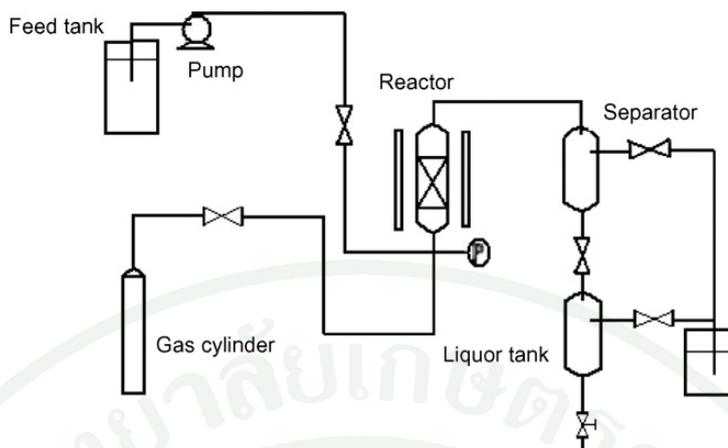
พารามิเตอร์สำคัญในการควบคุมระบบ เพราะถ้าในถังบำบัดมีการละลายของกรดในอากาศเสีย มากถึงจุดหนึ่ง จะทำให้น้ำที่ใช้ดักจับถึงจุดอิ่มตัว ทำให้อากาศเสียมีความสามารถในการละลายใน น้ำได้ลดลง

ในส่วนของปัจจัยด้านอุณหภูมิ เนื่องจากอากาศเสียที่ออกจากกระบวนการอบขยงเป็น อากาศที่ออกจากเตาอบที่มีอุณหภูมิสูงจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังบำบัดสูงขึ้นด้วย เมื่อน้ำมี อุณหภูมิสูงจะทำให้การละลายได้ลดลง ส่งผลทำให้การดักจับมีค่าลดลงและมีโอกาสที่ สารประกอบที่ละลายในน้ำระเหยออกไปในอากาศอีกครั้ง ในการเดินระบบจึงต้องมีการควบคุม อุณหภูมิของน้ำไม่ให้น้ำที่อยู่ในถังบำบัดมีอุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

การออกแบบระบบถังบำบัดอากาศระบบดักจับแบบเปียกนั้น อาจจะมีการปรับเปลี่ยน สารละลายในการที่ใช้ดักจับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบของอากาศเสียที่ต้องการบำบัด เช่นการ ใช้สารละลายกรดหรือเบสในการดักจับ จากข้อมูลการรายงานการพัฒนาและออกแบบระบบกำจัด กลิ่นที่เกิดจากระบวนการอบขยงใน โรงงานอุตสาหกรรมยางพารา (2553) มีการใช้สารละลาย พื้นฐานที่แตกต่างกันทั้งน้ำ กรด เบส และสารทางชีวภาพ ในการบำบัดกรดแอสिटิก โดยเลือกใช้ สารละลายได้แก่ น้ำประปา (pH 7.1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 5% พบว่า สารละลายที่สามารถ บำบัดกรดแอสिटิกได้สูงสุดได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มีประสิทธิภาพการ บำบัดร้อยละ 84.4 รองลงมาได้แก่ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 5% กรดไฮโดรคลอริกความ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ และ น้ำประปา มีประสิทธิภาพการบำบัดกรดแอสिटิกร้อยละ 83.0 80.4 และ 55.7 ตามลำดับ

การประยุกต์ระบบบำบัดแบบเปียกโดยการเพิ่มสารออกซิไดซ์ในสารละลายที่ใช้ในการ บำบัดอากาศเสียจะช่วยทำให้เกิดการดูดซับและทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในระบบบำบัด โดยการเพิ่มสารเคมีบางชนิด เช่น โซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ (NaOCl) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โอโซน (O_3) (Sclgelmilch *et al.*, 2005)

Yang *et al.* (2007) ได้ใช้ระบบ catalytic wet air oxidation ในการบำบัดสารประกอบฟีนอล โดยใช้ซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) และไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงจะ สามารถบำบัดสารประกอบฟีนอลได้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ



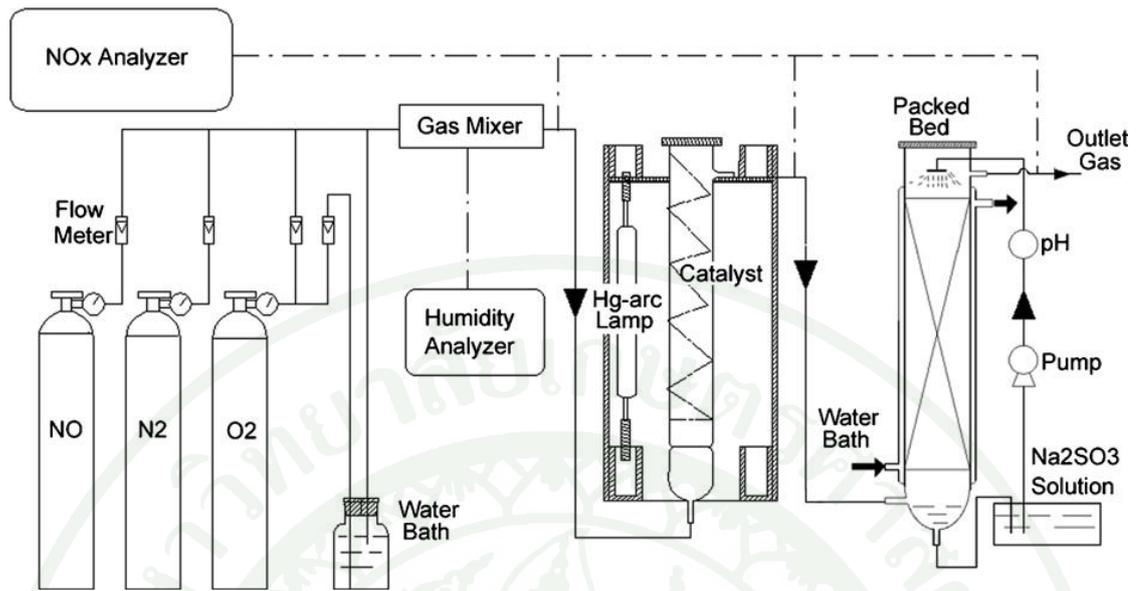
ภาพที่ 26 ระบบ catalytic wet air oxidation

ที่มา: Yang *et al.* (2007)

ในการเลือกสารละลายที่เพิ่มในระบบต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์กับระบบสารที่เราต้องการบำบัด สารเคมีที่ใช้ต้องหาได้ง่าย และมีราคาถูก มีประสิทธิภาพดี ง่ายต่อการใช้งาน และต้องคำนึงถึงวิธีการบำบัดสารละลายหลังจากออกจากระบบบำบัดอากาศแล้ว

การติดตั้งระบบบำบัดอากาศเพียงถึงบำบัดอากาศเพียงถึงเดียว หรือมีวิธีระบบบำบัดอากาศแบบเดียว อาจจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่เพียงพอต่อความเข้มข้นและความหลากหลายขององค์ประกอบของอากาศเสีย ทางเลือกหนึ่งคือ การต่อถึงบำบัดอากาศหลายถึงต่อกันแบบอนุกรม หรืออาจมีการผสมผสานการบำบัดอากาศเสียวิธีอื่นเข้าด้วยกัน เช่น การบำบัดทางชีวภาพ การใช้ถ่านกัมมันต์ หรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัด

Wu *et al.* (2007) ทำการบำบัดไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) การทดลองมีการใช้ระบบบำบัด 2 ระบบต่อกันแบบอนุกรม ในส่วนของถึงบำบัดอากาศระบบแรกจะใช้ Photocatalytic oxidation (PCO) โดยหลอด Hg-arc lamp และใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกถึงบำบัดอากาศอีกระบบจะเป็นระบบการดักจับแบบเปียก และใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S_3) เป็นสารละลายในการดักจับ จะช่วยทำให้สามารถบำบัดไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ได้



ภาพที่ 27 ระบบ Photocatalytic oxidation และ wet absorption

ที่มา: Wu *et al.* (2008)

การออกแบบระบบบำบัดอากาศทั่วไปจะเป็นระบบแบบแนวตั้ง (Vertical flow) การปรับปรุงระบบบำบัดเป็นระบบแนวนอน (Cross flow) จะทำให้ง่ายต่อการควบคุมระบบ เช่น การออกแบบระบบโดยใช้ท่อแนวนอนภายในมีน้ำบรรจุอยู่ภายในให้อากาศเสียไหลจากท่อด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งหรือการปรับปรุงจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยการใช้บ่อบำบัดน้ำเสียเป็นที่รองรับอากาศเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอบยางแท่ง โดยใช้หลักการพ่นอากาศเสียลงในน้ำที่ไหลผ่านท่ออยู่ใต้น้ำซึ่งมีความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร และมีท่อเครือข่ายใต้น้ำเพื่อลดขนาดฟองอากาศที่พ่นลงในน้ำ เป็นการช่วยให้โอกาสสัมผัสของอากาศและน้ำมีมากขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับอากาศเสียและกระจายความร้อนที่มากับอากาศให้ทั่วพื้นน้ำมากที่สุด จะช่วยลดต้นทุนในการสร้างถังบำบัดอากาศ เป็นการใช้ประโยชน์จากบ่อบำบัดน้ำเสียและจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียในบ่อบำบัดในการย่อยสารประกอบที่ถูกดักจับไว้ในน้ำ ใช้ร่วมกับการเติมอากาศให้กับบ่อบำบัดน้ำเสียที่ต้องมีการเติมอากาศในระบบดังภาพที่ 28



การรวบรวมอากาศเสียด้วยระบบท่อส่ง



การอัดอากาศลงใต้บ่อบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 28 การเตรียมระบบท่อส่งอากาศเสียไปยังท่อระบายอากาศใต้บ่อบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2553)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2552. **ayang** **STR 20**. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. **วิธีบำบัดกลิ่น**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการส่งออก. 2546. **ภาวะอุตสาหกรรมปี 2546 และแนวโน้มปี 2547 อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง**. กระทรวงพาณิชย์, กรุงเทพฯ.
- กฤษณา ชูติมา. 2551. **หลักเคมีทั่วไป เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 18. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- จรรยา อินทมณี, จริญญา บุญกาญจน์และจันทิมา ชั่งสิริพร. 2551. การเตรียมและทดสอบหลอดดูดซับจากถ่านกัมมันต์กะลามะพร้าวสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย. ใน **การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- จิสตา กรงกรด. 2552. **สารลดแรงตึงผิว**. แหล่งที่มา: http://dss.go.th/dssweb/st-articles/files/Cp_7_2548_surfactant.pdf, 23 เมษายน 2553.
- ชัยวัฒน์ เจนวานิช. 2536. **หลักเคมี 2**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ธีรศักดิ์ โรจนธารา. 2551. **พื้นฐานการคำนวณในงานวิเคราะห์เชิงปริมาณ**. เพชรเกษมการพิมพ์, นครปฐม.
- นภาพร พานิช. 2547. **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ปรัชญา ชัยสาร. 2551. **การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2552. เทคโนโลยียางพื้นฐาน. แหล่งที่มา:

<http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertechn/basicrubbertechn.htm>, 12 เมษายน 2552.

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2553. การพัฒนาและออกแบบระบบกำจัดกลิ่นที่เกิดจากระบวนการอบยางในโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. 2552. องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สรรสฤษฎ์ เรือร โปธิ์ภักษ์. 2551. การประเมินการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหยและกลิ่นจากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ข้อมูลวัดอุณหภูมิและเคมีภัณฑ์. 2552. สมบัติของสารเคมี. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

องค์การสวนยาง. 2546. กระบวนการผลิตยางแท่ง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

Carlota, R. Y. O., A.P. Junior and L.C. Tavares. 2005. Micellar solubilization of drugs. **J Pharm Pharmaceut Sci.** 8(2): 147-163.

Chungsiriporn, J., C. Bunyakan and R. Nikorn. 2007. Removal of VOCs by Oxidation Reaction in wet scrubber, ใน การประชุมการสัมมนาวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 (สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยและภาควิชาวิศวกรรมเคมีและคณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา). โรงแรมจอมเทียนปาล์มบีช รีสอร์ท, ชลบุรี.

Economou, C. and N. Mihalopoulos. 2002. Formaldehyde in the rainwater in the eastern Mediterranean: occurrence, deposition and contribution to organic carbon budget. **Atmospheric Environment.** 36: 1337-1347.

- Hoven, V.P., K. Rattanakarun and Y. Tanaka. 2004. Reduction of offensive odor from Natural Rubber by Odor-Reducing substances. **Journal of Applied of polymer Science**. 92: 2253-2260.
- Garde, S., A.E. Garcia, L.R. Pratt and G. Hummer. 1999. Temperature dependence of the solubility of non-polar gases in water. **Biophysical Chemistry**. 78: 21-32.
- Kohl, A.L. and R.B. Nielsen. 1997. **Purification Gas**. 5th. Gulf Publishing Company, Texas.
- Lee, W. J., S.J. Chen. M.C. Liow, L.C. Wang and K.L. Huang. 1998. Removal Efficiencies of PAHs by the Electrostatic Precipitation and Wet Scrubber. **J. Aerosol Sci**. 29: S1081-S1082.
- Mohan, B. R., R.K. Jain and B.C. Meikap. 2008. Comprehensive analysis for prediction of dust removal efficiency using twin-fluid atomization in a spary scrubber. **Separation and Purification Technology**. 63: 269-277
- Schleglmilch, M., J. Streese and R. Stegmann. 2005. Odor management and treatment Technologies: An overview. **Waste Management**. 25: 928-939.
- Tanaka, M. 2005. Thermodynamic of solubility of surfactant in water. **Journal of oleo science**. 54 (5): 259-271.
- Wu, Z., H. Wang, Y. Liu, B. Jiang and Z. Sheng. 2008. Study of a photocatalytic oxidation and wet absorption combined process for removal of nitrogen oxides. **Chemical Engineering Journal**. 144 (5): 221-226.
- Yang, S., W. Zhu, J. Wang and Z. Chen. 2007. Catalytic wet air oxidation of phenol over CeO₂-TiO₂ catalyst in the batch reactor and the packed-bed reactor. **Journal of Hazardous Materials**. 153: 1248-1253.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
วิธีการคำนวณและการเตรียมสารละลาย

1. วิธีการคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่างอากาศหน่วย ppm จากการวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography

วันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นจากพื้นที่ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแอซิดิก กรดโฟสไฟฟอนิกและกรดบิวทริก ที่ความเข้มข้น 12.5 20 50 และ 100 ppm

ตารางผนวกที่ ก1 พื้นที่ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแอซิดิก กรดโฟสไฟฟอนิกและกรดบิวทริก

| ความเข้มข้น สารละลายมาตรฐาน (ppm) | พื้นที่ได้กราฟ | | |
|---|----------------|---------------|------------|
| | กรดแอซิดิก | กรดโฟสไฟฟอนิก | กรดบิวทริก |
| 12.5 | 36210.0 | 73580.8 | 180736.3 |
| 25 | 57820.3 | 161797.8 | 306745.1 |
| 50 | 133190.1 | 247052.1 | 520238.2 |
| 100 | 179486.9 | 650090.2 | 1140529.1 |

พิจารณาที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (0.0001 มิลลิกรัมต่อไมโครลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณกรดแอซิดิกของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้ปั๊มดูดอากาศแบบพกพาที่มีอัตราการไหล 700 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

วิธีคำนวณ พื้นที่ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแอซิดิก 179486.9
จะมีความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
พื้นที่ได้กราฟของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัดของกรดแอซิดิก 66681.5
จะมีความเข้มข้น $\frac{0.1 \times 66681.5}{179486.9} = 0.037$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ในการสกัดตัวอย่างออกจากหลอดดูดซับจะใช้ 0.1 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 1 มิลลิลิตรจึงมีเนื้อสารของกรดแอซิดิกเท่ากับ 0.037 มิลลิกรัม

2. การคำนวณปริมาตรอากาศในการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างอากาศมีการใช้ปั๊มดูดอากาศแบบพกพาอัตราการไหล 0.7 ลิตรต่อนาที

ดังนั้น 1 นาที ได้ปริมาตรอากาศ 700 มิลลิลิตร

5 นาที ได้ปริมาตรอากาศ 3500 มิลลิลิตร เท่ากับ 3.5 ลิตร

1000 ลิตร เท่ากับ 1 ลูกบาศก์เมตร

3.5 ลิตร เท่ากับ 0.0035 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรอากาศ 0.0035 ลูกบาศก์เมตรมีกรดแอสติคเท่ากับ 0.0037 มิลลิกรัม

ปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตรมีกรดแอสติคเท่ากับ $\frac{0.037}{0.0035} = 10.57$ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ความเข้มข้นของกรดแอสติคก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าเท่ากับ 10.57 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3. การเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นจากมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็น ppm

คำนวณจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้น (ppm)} = \frac{24.45 \times \text{ความเข้มข้น (mg/m}^3\text{)} / \text{น้ำหนักโมเลกุลของสาร}}$$

น้ำหนักโมเลกุลของกรดแอสติค เท่ากับ 60

จากข้อมูลข้างต้น ของตัวอย่างอากาศที่เก็บพบที่มีความเข้มข้นของกรดแอสติคก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าเท่ากับ 2.74 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\text{กรดแอสติคจะมีความเข้มข้นเท่ากับ} = \frac{24.45 \times 10.57}{60} = 4.30 \text{ ppm}$$

4. การเตรียมสารละลายฟอร์มาดีไฮนในการทดลองการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบบำบัดอากาศ

จะเป็นการทดลองโดยใช้สารละลายอินทรีย์ จะใช้ฟอร์มาดีไฮน์เป็นตัวแทนสารละลายอินทรีย์ ที่มีการบำบัดโดยระบบดักจับแบบเปียกจำลองที่มีอุณหภูมิต่างกัน เพื่อทดสอบว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลายอินทรีย์

4.1 การเตรียมสารละลายฟอร์มาดีไฮน์ความเข้มข้น 200 ppm 500 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{คำนวณความเข้มข้นจากสูตร } \% d \ 10000 &= \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)} \\
 38 \times 1.09 \times 10000 &= 414200 \text{ ppm} \\
 M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\
 414200 \times V_1 &= 200 \times 500 \\
 V_1 &= 241 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

จะต้องใช้ฟอร์มาดีไฮน์ปริมาตร 241 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น ใส่ในขวดขวด ปริมาตร 500 มิลลิลิตร



ตารางผนวกที่ ข1 พื้นที่ใต้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดแอซิดิก กรดโฟสโฟโอนิกและกรดบิวทริก จากการบำบัดของระบบดักจับแบบเปียกที่มีสเปรย์และไม่มีสเปรย์ด้านบน

| พื้นที่ใต้กราฟ | กรดแอซิดิก | กรดโฟสโฟโอนิก | กรดบิวทริก |
|----------------------|------------|---------------|------------|
| ก่อนเข้าระบบ | 66681.5 | 50758.7 | 8891.0 |
| แบบที่ 1 ไม่มีสเปรย์ | 13555.8 | 13838.7 | 4318.0 |
| แบบที่ 2 มีสเปรย์ | 13208.9 | 4539.2 | 4791.1 |

ตารางผนวกที่ ข2 พื้นที่ใต้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดแอซิดิกทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำในถังบำบัดที่แตกต่างกัน

| พื้นที่ใต้กราฟ | หลอดที่ | | | ค่าเฉลี่ย |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| ก่อนเข้าระบบ | 22806.9 | 19030.4 | 25197.6 | 22344.97 |
| ระบบที่มีระดับชั้นน้ำ 30 เซนติเมตร | 7539.8 | 8557.9 | - | 8048.85 |
| ระบบที่มีระดับชั้นน้ำ 60 เซนติเมตร | 7673.8 | 9073.3 | - | 8373.55 |
| ระบบที่มีระดับชั้นน้ำ 120 เซนติเมตร | 10466.2 | 8302.6 | - | 9384.4 |

ตารางผนวกที่ ข3 พื้นที่ได้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดแอสซิติคทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001%

| พื้นที่ได้กราฟ | หลอดที่ | | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| ก่อนเข้าระบบ | 21605.6 | 26593.5 | 31310.3 | 19678.6 | 24797 |
| ระบบที่ใช้น้ำระดับที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร | 17072.8 | 15175.9 | - | - | 16124.35 |
| ระบบที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรร่วมกับตัวกลาง | 15973.5 | 11558.4 | - | - | 13765.95 |
| ระบบที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรและตัวกลางร่วมกับสารลดแรงตึงผิว | 10466.2 | 11345.5 | - | - | 12800.2 |

ตารางผนวกที่ ข4 พื้นที่ได้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดไพโรนิกทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001%

| พื้นที่ได้กราฟ | หลอดที่ | | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---------|--------|--------|--------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| ก่อนเข้าระบบ | 3463.2 | 5023.9 | 5782.3 | 3178.9 | 4362.075 |
| ระบบที่มีระดับน้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร | 2157.3 | 2084.3 | - | - | 2120.8 |
| ระบบที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรและตัวกลาง | 2013.8 | 1559.7 | - | - | 1786.75 |
| ระบบที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรและตัวกลางร่วมกับสารลดแรงตึงผิว | 1011.4 | 1672.5 | - | - | 1341.95 |

ตารางผนวกที่ ข5 พื้นที่ใต้กราฟของการวิเคราะห์ผลโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกรดบิวทริกทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001%

| พื้นที่ใต้กราฟ | หลอดที่ | | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---------|--------|--------|--------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| ก่อนเข้าระบบ | 1618.7 | 2870.5 | 1111.2 | 1734.8 | 1833.8 |
| ระบบที่มีระดับน้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร | 1111.5 | 536.1 | - | - | 823.8 |
| ระบบที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรและตัวกลาง | 972.5 | 817 | - | - | 894.75 |
| ระบบที่มีการใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรและตัวกลางร่วมกับสารลดแรงตึงผิว | 559.1 | 589.2 | - | - | 574.15 |

ตารางผนวกที่ ข6 ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบดักจับแบบเปียกที่ใช้น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร ร่วมด้วยการใช้ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.001%

| สารประกอบ | ประสิทธิภาพการบำบัด (%) | | |
|--------------|-------------------------|---------------|---------------|
| | แบบที่ 1 | แบบที่ 2 | แบบที่ 3 |
| กรดแอซติก | 34.97 ± 5.41 | 44.48 ± 12.59 | 48.38 ± 8.29 |
| กรดโพไพโอนิก | 51.38 ± 1.18 | 59.03 ± 7.36 | 69.23 ± 10.71 |
| กรดบิวทริก | 55.07 ± 22.19 | 51.20 ± 5.99 | 68.69 ± 1.16 |

หมายเหตุ: แบบที่ 1 น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตร

แบบที่ 2 น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรและตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ

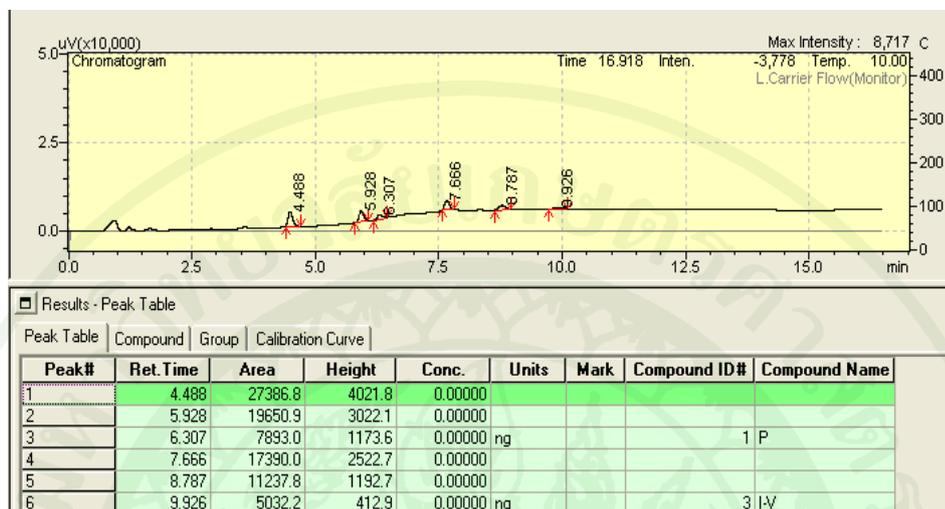
แบบที่ 3 น้ำที่มีระดับความสูง 60 เซนติเมตรร่วมกับใช้ตัวกลาง ประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำและสารละลายสารลดแรงตึงผิว 0.001% v/v



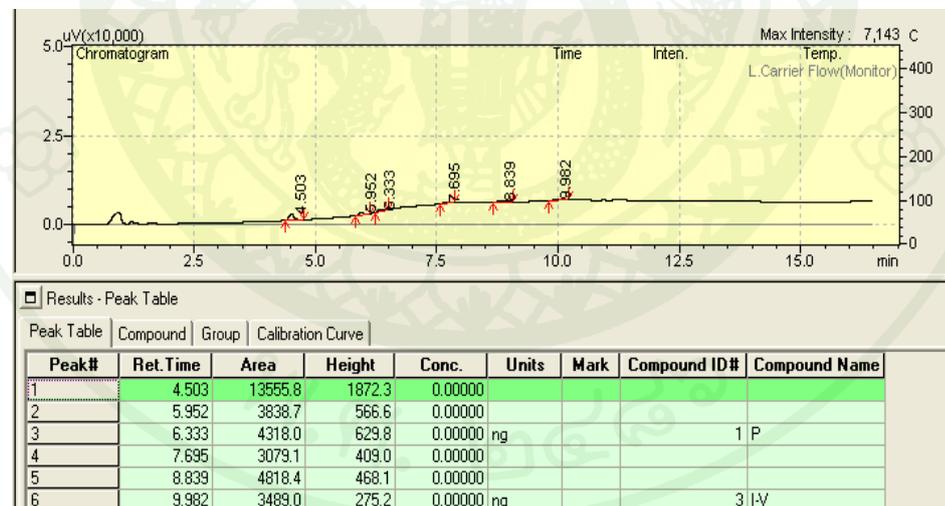
ภาคผนวก ค

โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

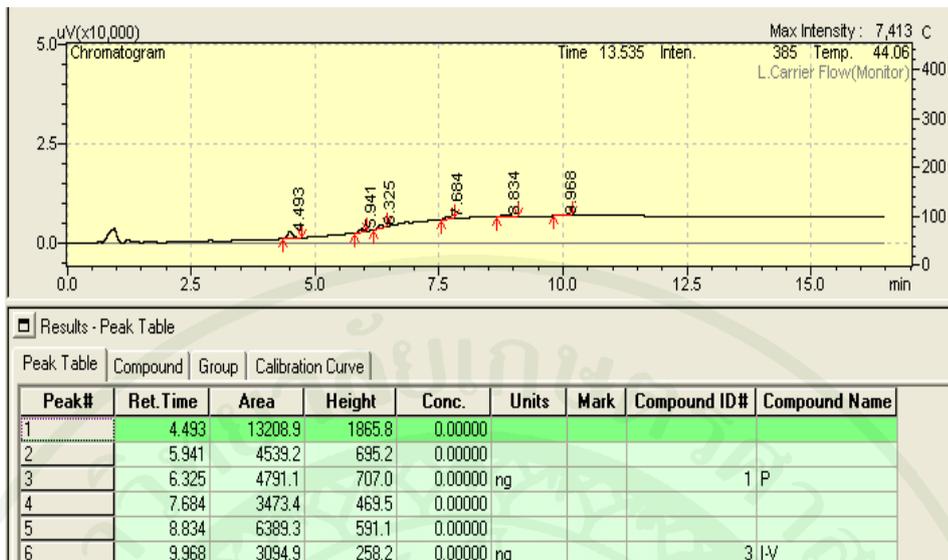
1. โครมาโทแกรมตัวอย่างอากาศก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดแบบที่ 1 ไม่มีสเปรย์ด้านบนและแบบที่ 2 มีสเปรย์ด้านบน



ภาพผนวกที่ ค1 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด

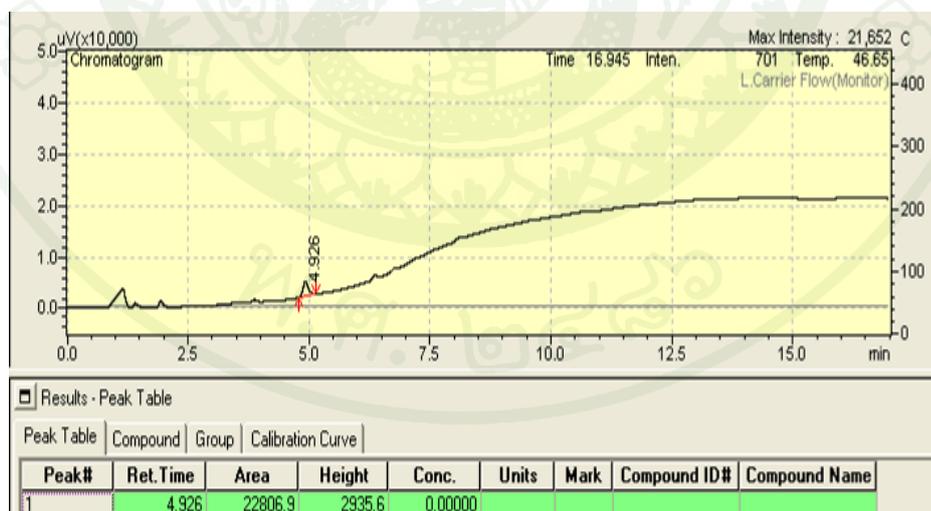


ภาพผนวกที่ ค2 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดแบบที่ 1 (ไม่มีสเปรย์ด้านบน)



ภาพผนวกที่ ค3 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดแบบที่ 2 (มีสเปรย์ด้านบน)

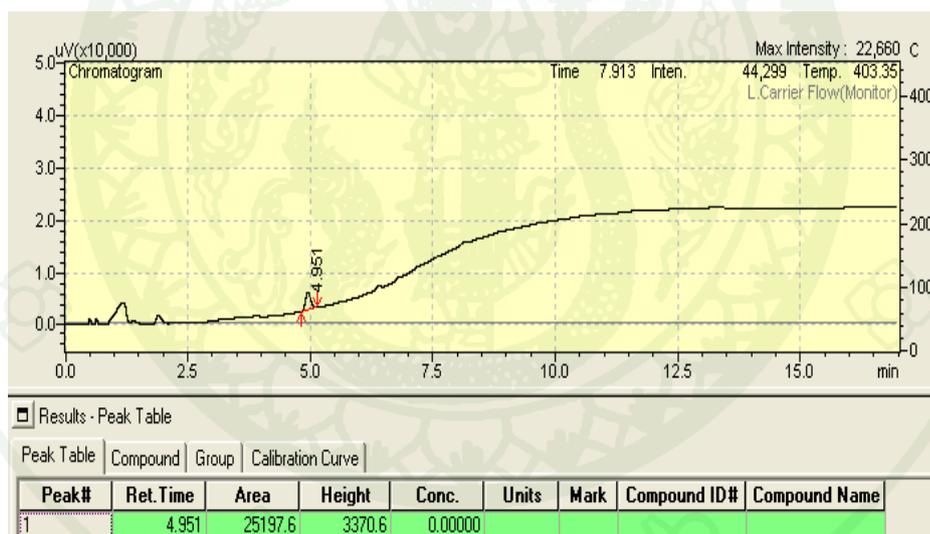
2. โครมาโทแกรมตัวอย่างอากาศของกรดแอซิดิกทั้งก่อนและหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำในถังบำบัดที่แตกต่างกัน



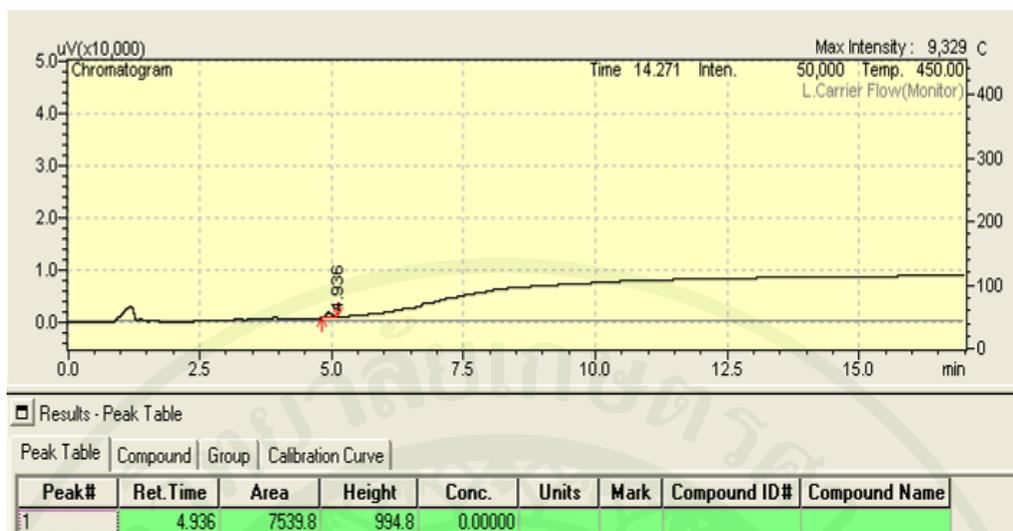
ภาพผนวกที่ ค4 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด หลอดที่ 1/3



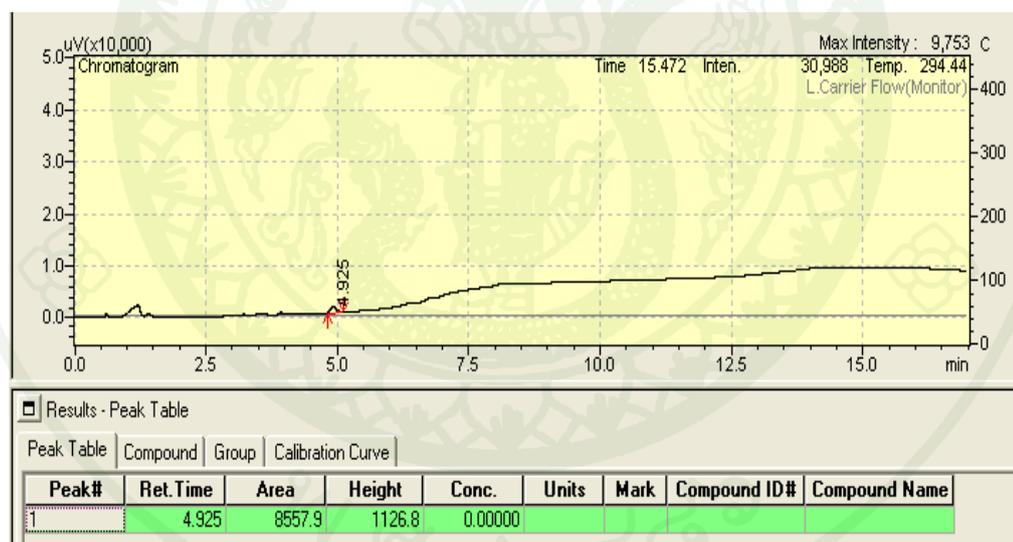
ภาพผนวกที่ ค5 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด หลอดที่ 2/3



ภาพผนวกที่ ค6 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบบำบัด หลอดที่ 3/3



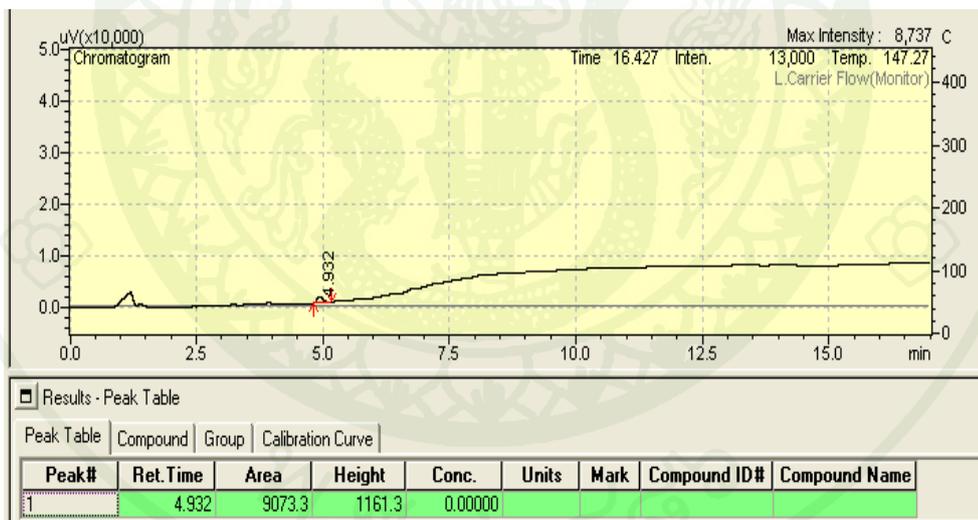
ภาพผนวกที่ ค7 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังจากจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร หลอดที่ 1/2



ภาพผนวกที่ ค8 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังจากจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร หลอดที่ 2/2



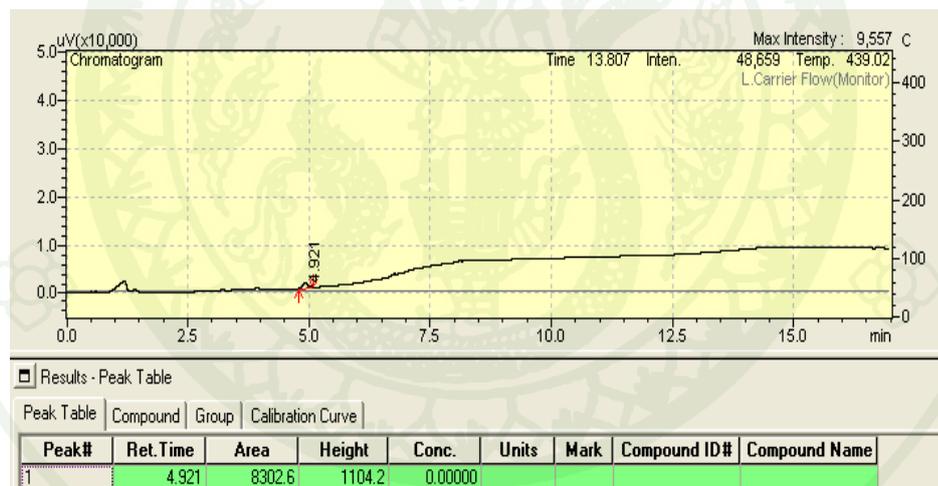
ภาพผนวกที่ ค9 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร หลอดที่ 1/2



ภาพผนวกที่ ค10 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 60 เซนติเมตร หลอดที่ 2/2



ภาพผนวกที่ ค11 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 120 เซนติเมตร หลอดที่ 1/2



ภาพผนวกที่ ค12 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอากาศหลังออกจากระบบบำบัดที่มีระดับน้ำสูง 120 เซนติเมตร หลอดที่ 2/2

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

| | |
|-------------------------------------|--|
| ชื่อ – นามสกุล | น.ส.วราภรณ์ คงสุภาพศิริ |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | 18 พฤษภาคม 2529 |
| สถานที่เกิด (จังหวัด) | กรุงเทพมหานคร |
| ประวัติการศึกษา | วท.บ.วิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ตำแหน่งปัจจุบัน | - |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | - |
| ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ | - |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2552) |