การบำบัดกลิ่นน้ำเสียในฟาร์มสุกรโดยระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

นางสาวอภิสรา รักไชสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

TREATMENT OF WASTEWATER ODOR IN PIG FARM USING TRAY BIOFILTER SYSTEM

Apissara Rakthaisong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2015

การบำบัดกลิ่นน้ำเสียในฟาร์มสุกรโดยระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____

(อ. ดร.อภิชน วัชเรนทร์วงศ์)
ประธานกรรมการ

____

(ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____

(ผศ. ดร.สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์)
กรรมการ

____

(ผศ. ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร)
กรรมการ

____

(ผศ. สนั่น ตั้งสถิตย์)
กรรมการ

____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อภิสรา รักไธสง : การบำบัดกลิ่นน้ำเสียในฟาร์มสุกรโดยระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด (TREATMENT OF WASTEWATER ODOR IN PIG FARM USING TRAY BIOFILTER SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดจิต ครุจิต, 185 หน้า

ฟาร์มสุกรในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีปัญหากลิ่นรบกวนจากก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบชุมชนใกล้เคียงได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดซึ่งสามารถรองรับอัตราการไหลสูงในการบำบัดกลิ่นดังกล่าว และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ผลการพัฒนาได้ระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดซึ่งประกอบด้วย ท่อลำเลียงและท่อกระจายอากาศขนาด 4 นิ้ว พัดลมดูดอากาศขนาด 1.5 แรงม้า ระบบควบคุมความเร็วรอบ และระบบให้ความชื้นอัตโนมัติ ถาดบรรจุตัวกรองมีหน้าตัด 0.4 x 0.5 ตร.ม. ใช้ตัวกรองที่มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักเศษไม้ ปุ๋ยคอก และตะกอนจุลินทรีย์ แปรผันความหนาของชั้นกรอง ที่ 150 และ 300 มม. และระยะเวลาเก็บกัก (EBRT) ที่ 1.8 1.2 และ 0.6 วินาที โดยมีค่าพีเอช อุณหภูมิ และความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดการทดลอง ผลการศึกษาประสิทธิภาพพบว่าบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ร้อยละ 70-95 และก๊าซแอมโมเนียได้ร้อยละ 27-88 โดยตัวกรองมีการยุบตัว 0.16-0.43 ซม./วัน ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถขยายขนาดเพื่อใช้งานจริงในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา____________________

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา________________

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม____________

APISSARA RAKTHAISONG : TREATMENT OF WASTEWATER ODOR IN PIG FARM USING TRAY BIOFILTER SYSTEM : THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUDJIT KARUCHIT, Ph.D., 185 PP.

BIOFILTER/TRAY/ODOR/AMMONIA GAS/HYDROGEN SULFIDE GAS/ PIG FARM /WASTE WATER

Many pig farms in Thailand has odor problem caused by hydrogen sulfide (H_2S) and ammonia (NH_3), which effects nearby communities. The objectives of this study were to develop a tray biofilter system capable of treating high air flow rates to reduce the pig farm odor problem, and to study factors which affect its efficiency.

The result of the tray biofilter system development included a 4 inch air distribution piping system, a 1.5 hp fan with an inverter, and an automatic water spraying system. The filter tray had a 0.4 x 0.5 m^2 surface area. The filter media was made of a mixture of compost, chopped coconut shell, cow manure, and wastewater treatment system sludge. The depth of filter media was varied at 0.15 and 0.30 m. and the empty bed residence time (EBRT) was varied at 0.6, 1.2, and 1.8 seconds. The pH, temperature and moisture content were in optimum ranges throughout the experiment. The efficiency study yielded the results of 70-95% for NH_3 and 27-88% for H_2S, with media settling rates of 0.16-0.43 cm./day. This developed system can be scaled-up for real operation in small pig farms.

School of Environmental Engineering Student's Signature__________________

Academic Year 2015 Advisor's Signature__________________

Co-Advisor's Signature_______________

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดจิต ครุจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความบริบูรณ์พร้อมทางด้านวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร อาจารย์ ดร.อภิชน วัชเรนทร์วงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สนั่น ตั้งสถิตย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน และอาจารย์ ดร.ธีระชาติ พรพิบูลย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ คงฤทธิ์ อาจารย์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์วัดก๊าซแอมโมเนีย และขอขอบคุณบุคลากรฟาร์มมหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้พื้นที่ติดตั้งชุดการทดลองแก่ผู้วิจัย จนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประจำปีงบประมาณ 2557

ขอขอบคุณ คุณนารี กลิ่นกลาง และคุณอลิษา ศรีคราม ที่ให้คำแนะนำในด้านเอกสารต่างๆ

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่ให้การอบรม เลี้ยงดู และคอยเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

อภิสรา รักไธสง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตการศึกษา 3
1.4 สมมติฐานงานวิจัย 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยและของเสียจากฟาร์มสุกร 5
2.2 ปัญหากลิ่นที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร 6
2.2.1 แหล่งที่มาของกลิ่นจากการเลี้ยงสุกร 9
2.2.2 การจัดการปัญหากลิ่นจากการเลี้ยงสุกรในปัจจุบัน 10
2.3 ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 12
2.3.1 การเก็บตัวอย่างสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่น 16
2.3.2 การตรวจในห้องปฏิบัติการ 17
2.3.3 การตรวจวัดกลิ่นในภาคสนาม 17
2.4 เทคโนโลยีในการบำบัดกลิ่น 18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 ระบบกำจัดกลิ่นแบบม่านกระจายน้ำและแผ่นกรอง 18
2.4.2 ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพชนิดไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter) 19
2.4.3 ระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biotrickling filter) 20
2.4.4 ระบบไบโอสครับเบอร์ (Bioscrubber) 22
2.4.5 ระบบเผาไหม้ 23
2.4.5.1 ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Process) 23
2.4.5.2 ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 23
2.4.6 ระบบดูดซับด้วยสารตัวกลาง 24
2.4.6.1 ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ 24
2.4.6.2 ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี 24
2.4.7 สารกลบกลิ่น 25
2.4.8 ระบบสครับบิง 25
2.4.9 ระบบกำจัดกลิ่นโดยการออกซิเดชั่น 25
2.4.9.1 ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาที่อุณหภูมิต่ำ 25
2.4.9.2 ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน 26
2.4.9.3 ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา (Ozone – Catalytic Oxidation Process) 26
2.5 เทคโนโลยีระบบกรองชีวภาพ 28
2.5.1 หลักการทำงานของตัวกรองชีวภาพ 29
2.5.2 ส่วนประกอบของตัวกรองชีวภาพ 31
2.5.3 ตัวกรองในระบบกรองชีวภาพ 32
2.5.4 อัตราการเป่าก๊าซมลพิษ 33
2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น 34
2.5.5.1 ความหนาของชั้นตัวกรอง 34
2.5.5.2 ค่าความชื้นในระบบ 35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.5.3 อุณหภูมิ 35
2.5.5.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบ 35
2.5.5.5 ระยะเวลากักพัก 36
2.5.5.6 อัตราการให้อากาศ 36
2.5.5.7 สารอาหาร 37
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37
3 วิธีดำเนินการวิจัย 43
3.1 การศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43
3.2 การสำรวจพื้นที่และศึกษาปฏิบัติงานของฟาร์มสุกร 44
3.3 การออกแบบระบบกรองชีวภาพแบบถาด 44
3.4 การเดินระบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น 46
3.4.1 การเตรียมตัวกรองสำหรับเดินระบบ 46
3.4.2 รูปแบบการเดินระบบ 49
3.4.3 การตรวจวัดพารามิเตอร์ในการเดินระบบ 50
3.4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ 55
3.4.5 การทดสอบสถิติ 55
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 58
4.1 การสำรวจพื้นที่และการศึกษาการปฏิบัติงานของฟาร์มสุกร 58
4.2 การศึกษาและการออกแบบระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 62
4.2.1 การทบทวนการออกแบบ 62
4.2.2 ผลการออกแบบ 64
4.3 การสร้าง ติดตั้ง และเดินระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 71
4.3.1 การสร้างและติดตั้งระบบ 71
4.3.2 การเดินระบบ 72
4.4 คุณสมบัติตัวกรองก่อนเดินระบบ 75
4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด 77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.1 ค่า pH 77
4.5.2 ค่าความชื้น 80
4.5.3 อุณหภูมิ 84
4.5.4 การอัดตัวของตัวกรอง 87
4.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง EBRT และอัตราการไหลของอากาศกับประสิทธิภาพการบำบัด 89
4.5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซกับประสิทธิภาพการบำบัด 91
4.5.7 ค่าความสามารถในการบำบัด (Elimination capacity) 93
4.5.8 ปริมาณจุลินทรีย์ในตัวกรอง 95
4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 97
4.6.1 การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 97
4.6.2 การบำบัดก๊าซแอมโมเนีย 101
4.6.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซเรือนกระจก 105
4.6.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ 105
4.6.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทน 108
4.6.3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 111
4.6.4 การตรวจวัดที่เกิดจากตัวกลาง 114
4.7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยกับประสิทธิภาพการบำบัด 115
4.8 สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม 124
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 128
5.1 สรุปผลการศึกษา 128
5.1.1 การพัฒนาระบบกรองชีวภาพแบบถาด 128
5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพกรบำบัด 129
5.1.2.1 ค่า pH ของตัวกรอง 129
5.1.2.2 ค่าความชื้น 129
5.1.2.3 อุณหภูมิ 129

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2.4 การยุบตัวของตัวกรอง 130
5.1.2.5 อัตราการไหลของอากาศ และค่า EBRT 130
5.1.2.6 จำนวนจุลินทรีย์ในระบบ 130
5.2 การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ 131
5.3 ปัญหาและอุปสรรค 131
5.4 ข้อเสนอแนะ 132
รายการอ้างอิง 134
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 139
ภาคผนวก ข กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
กับระยะเวลาการเดินระบบ 153
ภาคผนวก ค รายการคำนวณการออกแบบระบบท่อและพัดลมดูดอากาศ 164
ภาคผนวก ง ผลการวัดความเร็วลมในท่อที่ความหนาชั้นกรอง 150 และ300 มม 170
ภาคผนวก จ รายละเอียดการทดสอบสถิติโดยวิธี Turkey’s paired comparison 172
ภาคผนวก ช บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 175
ประวัติผู้เขียน 185

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 จำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรในประเทศไทย ปีงบประมาณ 2555 5
2.2 แหล่งกำเนิดกลิ่นและวิธีในการจัดการกลิ่นในแต่ละแหล่ง 11
2.3 การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนจากการกินอาหารของสุกร 13
2.4 ระดับของก๊าซแอมโมเนียที่มีผลต่อสุขภาพ 15
2.5 ผลกระทบอันตรายจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อสุขภาพ 15
2.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดชีวภาพแบบไบโอฟิลเตอร์ 20
2.7 ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองชีวภาพแบบหยด 22
2.8 ข้อดีและข้อเสียของระบบไบโอสครับเบอร์ 23
2.9 ข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดกลิ่นแต่ละระบบ 26
2.10 สรุปค่าปัจจัยที่มีความเหมาะสมในการบำบัดก๊าซต่างๆ โดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพ 42
3.1 น้ำหนักของวัสดุที่ใช้ในตัวกรองชีวภาพ 47
3.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ตัวกรองชีวภาพ 47
3.3 แผนการศึกษาในแต่ละสภาวะการทดลอง 50
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการวิจัย 50
3.5 การเก็บตัวอย่างและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 51
4.1 ตัวอย่างผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบตัวกรองชีวภาพในการบำบัดมลพิษต่างๆ 63
4.2 ค่าแนะนำสำหรับการออกแบบและเดินระบบตัวกรองชีวภาพ 63
4.3 ผลการวัดความเร็วลมในท่อที่ระดับความหนาของชั้นกรอง 0.15 ม.
และ 0.3 ม. ที่การให้กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ 72
4.4 คุณสมบัติตัวกรองชีวภาพก่อนเดินระบบ 75
4.5 ค่า pH ของชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 79
4.6 ผลต่างค่า pH เฉลี่ย $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 80
4.7 ค่าความชื้นของชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 83
4.8 ผลต่างค่าความชื้นเฉลี่ย $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.9 อุณหภูมิของชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 86

4.10 ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 86

4.11 อัตราการอัดตัวของชั้นตัวกรอง (ซม./วัน) ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 88

4.12 ค่า EBRT และอัตราการไหลอากาศของสภาวะต่างๆกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 89

4.13 ค่าภาระบรรทุกและความสามารถในการบำบัดของแต่ละสภาวะ 93

4.14 ค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัดของงานวิจัยอื่นๆ 94

4.15 จำนวนจุลินทรีย์ในชั้นตัวกรอง 95

4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 100

4.17 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 100

4.18 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 104

4.19 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียเฉลี่ย $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 104

4.20 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 107

4.21 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ย $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 108

4.22 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 110

4.23 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทน $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 111

4.24 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 113

4.25 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ $(\overline{y_i}-\overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ 114

4.26 ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เกิดจากบ่อน้ำเสียกับก๊าซที่เกิดจากชั้นตัวกรองชีวภาพ 115

4.27 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียในแต่ละสภาวะ 122

4.28 สรุปผลการศึกษาปัจจัยและประสิทธิภาพของระบบทั้ง 6 สภาวะ 125

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบการกำจัดกลิ่นแบบม่านกระจายน้ำและแผ่นกรอง 19
2.2 ระบบบำบัดชีวภาพแบบไบโอฟิลเตอร์ในฟาร์มสุกร 20
2.3 ระบบกรองชีวภาพแบบหยด 21
2.4 ระบบไบโอสครับเบอร์ (Bioscrubber) 22
2.5 กลไกการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ 29
2.6 กลไกที่เกิดขึ้นในกระบวนการกรองทางชีวภาพ 30
2.7 ส่วนประกอบของระบบกรองชีวภาพแบบทั่วไป 32
2.8 รูปแสดงทิศทางการไหลของก๊าซ 34
3.1 ขั้นตอนในการศึกษาการบำบัดกลิ่นจากฟาร์มสุกร 43
3.2 แผนภูมิของระบบกรองชีวภาพแบบถาด 45
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 49
4.1 แผนผังของฟาร์มสุกร 59
4.2 ลักษณะหลังคาของโรงเรือน 60
4.3 พื้นโรงเรือน 60
4.4 ผนังโรงเรือน 61
4.5 บ่อน้ำเสียของฟาร์มสุกร 62
4.6 ส่วนประกอบของหน่วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 64
4.7 ผลการออกแบบถาดบรรจุตัวกรอง 65
4.8 กล่องบรรจุตัวกรอง (ไม่ประกอบหลังคา) 66
4.9 กล่องบรรจุตัวกรอง (ประกอบหลังคา) 66
4.10 ผลการออกแบบท่อกระจายอากาศ 67
4.11 ท่อกระจายอากาศของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด 67
4.12 ผลการออกแบบสายยางหยดน้ำให้ความชื้น 68
4.13 สายยางหยดน้ำให้ความชื้นแก่ชั้นกรอง 68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.14 ผลการออกแบบท่อลำเลียงอากาศ 69
4.15 ผลการออกแบบกล่องแบ่งการไหล 69
4.16 ผลการออกแบบพัดลมดูดอากาศ 70
4.17 ระบบตัวกรองชีวภาพและหน่วยของระบบตัวกรองชีวภาพ 71
4.18 สายยางหยดน้ำให้ความชื้นแก่ชั้นกรอง 73
4.19 เครื่องให้น้ำอัตโนมัติแบบหน่วงเวลา 73
4.20 คลุมบ่อน้ำเสียและวัดก๊าซเข้าระบบ 74
4.21 กากตะกอนลอยที่ผิวหน้าของบ่อน้ำเสีย 75
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของชั้นตัวกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 78
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของชั้นตัวกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 81
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของชั้นกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 85
4.25 การเพิ่มขึ้นของการยุบตัวของชั้นกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 87
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบกับประสิทธิภาพการบำบัด 91
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบกับประสิทธิภาพการบำบัด 92
4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 97
4.29 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 98
4.30 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_7) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 98
4.31 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 101
4.32 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ 101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.33	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	102
4.34	ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่าง	105
4.35	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	106
4.36	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	106
4.37	ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	108
4.38	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	109
4.39	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	109
4.40	ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	111
4.41	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	112
4.42	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	112
4.43	ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	116
4.44	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	117
4.45	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	118
4.46	ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย	119
4.47	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย	120
4.48	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย	121

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

UASB	=	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
HDPE	=	High Density Polyethylene
EBRT	=	Empty bed residence times
CFU/g	=	colony-forming units per gram
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
STDEV	=	Standard deviation
$CaCO_3$	=	แคลเซียมคาร์บอร์เนต
ppm	=	หนึ่งในล้านส่วน
ml	=	มิลลิลิตร
H_2S	=	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
NH_3	=	ก๊าซแอมโมเนีย
N_2O	=	ก๊าซไนตรัสออกไซด์
CH_4	=	ก๊าซมีเทน
CO_2	=	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
HCl	=	กรดไฮโดรคลอริก
M.	=	โมลาร์ (Molar)
KCL	=	โพแทสเซียมคลอร์
$CaCl_2$	=	แคลเซียมคลอไรด์
EC	=	ค่าความสามารถในการบำบัด (Elimination Capacity)
m^2	=	ตารางเมตร
m^3	=	ลูกบาศก์เมตร
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเลียส
Q_{air}	=	อัตราการไหลก๊าซ
C_{in}	=	ความเข้มข้นก๊าซเข้าระบบ
C_{out}	=	ความเข้มข้นก๊าซออก
V_f	=	ปริมาตรตัวกรอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$\bar{y}_i - \bar{y}$	=	ผลต่างค่าเฉลี่ยของสภาวะที่ i กับสภาวะที่ j
r	=	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient)
MAX	=	ค่าสูงสุด
MIN	=	ค่าต่ำสุด
AVG	=	ค่าเฉลี่ย
MA	=	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่
SD	=	ค่าความแปรปรวน
ซม.	=	เซนติเมตร
มม.	=	มิลลิเมตร
กก.	=	กิโลกรัม
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ฟุต	=	ลูกบาศก์ฟุต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สุกรเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่การเลี้ยงไว้สำหรับบริโภคภายในครัวเรือน ไปจนถึงการเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรมทั้งในระดับรายย่อย และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและสถานประกอบการได้ดี ปัจจุบันประชากรมีแนวโน้มที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ความต้องการบริโภคก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีการเลี้ยงสุกรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดของเสียจากการเลี้ยงสุกรมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสีย ขยะมูลฝอย ขวดยา สารเคมีต่างๆ ซากสุกรที่ตาย หรือ กลิ่น ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา

ปัญหาใหญ่ปัญหาหนึ่งที่เกิดจากฟาร์มสุกร คือ กลิ่นที่เกิดจากตัวสุกรและทั้งจากสิ่งปฏิกูลต่างๆ ซึ่งสิ่งปฏิกูลหรือมูลสุกรเหล่านี้เป็นแหล่งที่อยู่ของแมลงวัน และแมลงที่อาจเป็นพาหะนำโรคต่างๆ ซึ่งความรุนแรงของกลิ่นจะแปรปรวนไปตามปัจจัยต่างๆ เช่น สถานที่ตั้ง จำนวนสุกร ฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้น ช่วงเวลาของวัน และทิศทางลม เป็นต้น โดยกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์จากฟาร์มสุกรเกิดจากน้ำจากการล้างโรงเรือน และสิ่งปฏิกูลจากการขับถ่ายของสุกร ซึ่งมีก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น คือ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (Dumont et al., 2014) เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการหมักแบบไร้อากาศ ก๊าซทั้งสองมีคุณสมบัติที่ใส ไม่มีสี แต่มีกลิ่นเหม็น ถ้าได้รับเข้าสู่ร่างกายในความเข้มข้นที่มากๆ และเป็นระยะเวลานาน อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ และอาจก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญกับประชาชนในบริเวณใกล้เคียง ตัวอย่างเช่น มีการศึกษาผลกระทบจากของเสียฟาร์มสุกรต่อประชาชนในอำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรีพบว่า ประชาชนที่อยู่ในเขตรัศมีในช่วงตั้งแต่ 150 เมตร ถึงรัศมีมากกว่า 300 เมตร รวมทั้งหมด 327 หลังคาเรือน ได้รับเหตุรำคาญจากฟาร์มสุกรร้อยละ 78.6 ซึ่งเป็นเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวน และได้รับกลิ่นเหม็นรบกวนในระดับมากคิดเป็นร้อยละ 68.8 (สมศักดิ์ ยุติธรรม, 2543) เช่นเดียวกันกับจังหวัดพังงาซึ่งมีการเลี้ยงสุกรมาเป็นอันดับ 9 ของภาคใต้ ก็พบว่ามีปัญหาร้องเรียนจากชุมชนรอบข้างในเรื่องของมลภาวะจากฟาร์มสุกรอย่างต่อเนื่อง (ตรองรัก บุญเติม และ จุลชาติ จุลเพชร, 2557) และมีการศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อมภายในฟาร์มสุกรของจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งพบว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่

เกิดขึ้นได้แก่ ปัญหากลิ่นรบกวน และปัญหาเรื่องน้ำเสีย (สุนีย์ สุทีปธรรม และ พิทักษ์ ศิริวงศ์, 2556) และปัญหาผลกระทบต่อชุมชนตำบลเวียงกาหลงจากฟาร์มสุกรของบริษัทเชียงรายชัยพัฒนา คือ ปัญหามลภาวะทางอากาศ ซึ่งชาวบ้านได้รับกลิ่นเหม็นรบกวนจากน้ำเสียและมูลสุกร รองลงมาเป็นปัญหาน้ำเสียและปัญหาอื่นๆ โดยชาวบ้านรวมตัวกันต่อต้าน ร้องเรียนไม่ให้บริษัทดำเนินกิจการต่อไป (ศิรชัช ตะต้องใจ และ สุจินต์ สิมารักษ์, 2554)

สำหรับระบบบำบัดกลิ่นที่ใช้ในฟาร์มสุกร หากเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ มีลักษณะโรงเรือนแบบปิด มีการนำเทคโนโลยีฟอกอากาศ เข้ามาช่วยในการบำบัดกลิ่น ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น และฟาร์มมีการสร้างระบบบำบัดระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) จะมีการใช้วัสดุ HDPE ในการคลุมบ่อ และของเสียที่เกิดขึ้น เช่น มูลสุกร น้ำจากล้างโรงเรือนจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดนี้โดยตรงซึ่งจะช่วยในการลดกลิ่นได้ และยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดได้ แต่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบ ประกอบกับระบบนี้ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควรในประเทศไทย เนื่องจากผู้ประกอบการยังขาดความมั่นใจในการใช้เทคโนโลยีซึ่งต้องลงทุนค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าจะมีผลตอบแทนการลงทุนที่คุ้มค่าในระยะเวลาอันสั้น สำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก เทคโนโลยีดังกล่าวยังถูกมองข้าม เพราะต้องใช้เงินทุนจำนวนมากทำให้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ได้มีการใช้น้ำยาจุลินทรีย์ในการช่วยลดกลิ่นที่เกิดในโรงเรือน ส่วนของบ่อรวบรวมน้ำเสียนั้นส่วนมากจะปล่อยให้น้ำจากการล้างโรงเรือนและมูลสุกร ไหลมารวมที่บ่อรวมรวมนี้โดยตรง และไม่มีการปิดคลุมหรือบำบัดกลิ่นที่เกิดขึ้น จึงก่อให้เกิดปัญหากลิ่นตามมา

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการบำบัดกลิ่นมีหลากหลายวิธีแตกต่างกัน แต่ก็ยังมีข้อมูลไม่มากสำหรับการเลือกระบบบำบัดกลิ่นให้เหมาะสมกับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก มีเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้สูงในการติดตั้งสำหรับบำบัดกลิ่นจากฟาร์มสุกร คือ ระบบกรองชีวภาพ เนื่องจากใช้พื้นที่น้อย การดูแลรักษาไม่ยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งเกษตรกรหรือผู้ประกอบการฟาร์มรายย่อยสามารถนำไปใช้ในการลดกลิ่นจากฟาร์มสุกรของตนเองได้ ระบบกรองแบบชีวภาพเป็นระบบที่มีราคาถูก ให้ประสิทธิภาพในระดับที่น่าพึงพอใจและวัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองในการดูดซับเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายภายในท้องถิ่น ซึ่งเมื่อตัวกรองหมดอายุการใช้งานแล้ว สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักหรือวัสดุปรับปรุงดินต่อไปได้

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและออกแบบการใช้งานระบบกรองชีวภาพแบบถาดที่สามารถรองรับอัตราการไหลสูงในการบำบัดกลิ่นสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก ในขั้นตอนการศึกษา ได้ทำการติดตั้งระบบกรองชีวภาพและทำการทดลองเดินระบบ ณ ฟาร์มสุกรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการปิดคลุมบ่อรวบรวมน้ำเสีย แล้วทำการดูดก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศในบ่อรวบรวมน้ำเสียนี้เข้าสู่ระบบกรองชีวภาพแบบถาดเพื่อจำลองก๊าซจาก

โรงเรือนสุกร ทำการตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด และจุดที่ผ่านการบำบัด เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ และทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ได้แก่ ความหนาของชั้นตัวกรอง ระยะเวลาเก็บกัก (EBRT) และอัตราเร็วในการกรอง เพื่อให้ทราบค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานระบบกรองชีวภาพแบบถาดเพื่อลดกลิ่นจากฟาร์มสุกร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบกรองชีวภาพแบบถาดในการบำบัดก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นจากฟาร์มสุกร

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นจากฟาร์มสุกรโดยใช้ระบบกรองชีวภาพแบบถาด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ทำการศึกษาที่โรงเรือนเลี้ยงสุกรในฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่น โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นก๊าซหลักที่ก่อให้เกิดปัญหากลิ่นรบกวน

1.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นที่ศึกษา ได้แก่

1.3.3.1 ความหนาของตัวกรองชีวภาพ โดยเลือกใช้ที่ 150 และ 300 มิลลิเมตร

1.3.3.2 ระยะเวลาเก็บกัก (empty bed residence times :EBRT) โดยเลือกใช้ที่ 0.6, 1.2 และ 1.8 วินาที

1.3.3.3 ส่วนผสมของตัวกรองชีวภาพ (ปุ๋ยหมัก : กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจุลินทรีย์) ที่อัตราส่วนร้อยละ 60:20:10:10 โดยปริมาตร โดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (เสาวลักษณ์, 2551)

1.3.3.4 ความเร็วในการกรองอยู่ในช่วง 0.017– 0.100 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (ลบ.ม./วินาที)

1.3.4 วิธีการวัดก๊าซแอมโมเนียใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ Gasmet รุ่น DX 4040

1.3.5 วิธีการวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ COMBIMASS® รุ่น GA-m

1.4 สมมติฐานงานวิจัย

1.4.1 เมื่อทำการดูดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด ตัวกรองจะเป็นตัวดูดซับก๊าซ และจุลินทรีย์ที่ผิวตัวของกรองจะดูดซึมก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่เซลล์และเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้สามารถลดกลิ่นจากก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

1.4.2 ระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดสามารถใช้ในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้อัตราการไหลสูงและมีการออกแบบที่ใช้งานง่าย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยและของเสียจากฟาร์ม์สุกร

ในปัจจุบันประเทศไทย มีอาชีพการเกษตรที่ได้รับความนิยมและสามารถพบเห็นได้ในทั่วทุกเขต ทุกภาค คือ การเลี้ยงสุกร เพราะสุกรเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของประเทศไทย ได้มีการเลี้ยงทั้งในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อการส่งออก เลี้ยงเพื่อการค้าขายภายในประเทศ หรือแม้แต่เลี้ยงเพื่อบริโภคในครัวเรือน จากตัวเลขในตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนเกษตรกรที่เลี้ยงสุกรในประเทศไทย โดยเขตพื้นที่ที่มีการเลี้ยงสุกรในประเทศไทยมากที่สุด คือ ภาคกลางคิดเป็นร้อยละ54.1 รองลงมาคือ ภาคเหนือคิดเป็นร้อยละร้อยละ 19.13 ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือร้อยละ 18.23 และภาคใต้ร้อยละ 8.47 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 จำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรในประเทศไทย ปีงบประมาณ 2555 (กรมปศุสัตว์, 2555)

ประเภทสุกร	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวนสุกร (ตัว)
สุกรพื้นเมือง	111,019	730,224
สุกรพันธ์		
- พ่อพันธุ์		164,727
- แม่พันธุ์	113,170	1,084,305
- ลูกสุกร		2,309,439
สุกรขุน	85,324	6,690,119
รวม	258,462	10,978,834

ผลกระทบต่อบริเวณใกล้เคียงที่ตามมาจากการเลี้ยงสุกรที่ คือ กลิ่นที่เกิดจากฟาร์ม์สุกร โดยเกิดจากของเสีย อาทิ เช่น มูลและปัสสาวะของสุกร เศษอาหาร และน้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาด หากเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรไม่มีจัดการที่ดี หรือขาดการควบคุมกลิ่นที่เกิดขึ้น ย่อมจะมีผลกระทบต่อชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงหรือแม้แต่เกษตรกรและตัวสุกรที่อยู่ในโรงเรือนนั้นเอง

ของเสียที่เกิดจากจากฟาร์มสุกร มี 2 ประเภทหลัก คือ ส่วนที่เป็นมูลสุกรและเศษอาหารที่ตกค้างในภายในโรงเรือน อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการล้างคอกด้วยน้ำ และปัสสาวะสุกรซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสีย ซึ่งการเลี้ยงสุกรทำให้เกิดมูลสุกรเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากไม่มีการจัดการที่ดี โดยเฉพาะด้านความสะอาด จะเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน โดยเฉพาะบนพื้นคอกที่มีการหมักหมมของมูลสุกรและใต้พื้นคอกที่มีการตกค้างของมูลสุกรและปัสสาวะ สำหรับมูลสุกรที่เก็บกวาดออกจากพื้นคอก เมื่อนำมาตากแห้งโดยวิธีกองทิ้งมูลไว้ในที่โล่ง ความชื้นในอากาศและอุณหภูมิจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดก๊าซที่มีกลิ่นได้ ด้านน้ำเสียน้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือน ซึ่งมูลสุกรจากพื้นคอกจะเป็นส่วนที่สำคัญของปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย นอกจากนี้ยังมีของเสียอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น ขวดยา เข็มฉีดยา รก และซากสุกร เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

2.2 ปัญหากลิ่นที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร

ปัญหาหลักๆที่เกิดขึ้นในฟาร์มสุกร นอกจากเรื่องน้ำเสียแล้ว คือ ปัญหากลิ่น ซึ่งเกิดจากก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า เกิดจากการที่ปัสสาวะ มูลสุกร หรือเศษอาหารเกิดการหมักหมม และเกิดการย่อยสลายในสภาวะแบบไร้อากาศ ซึ่งก๊าซทั้งสองมีความเป็นพิษ มีลักษณะมีกลิ่นฉุน ใสไม่มีสี ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ ส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม (คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร, 2553) หรือสามารถอธิบายให้ชัดเจนขึ้นว่า กลิ่นส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซที่เกิดจากการหมักหมมของของเสีย อาทิ เช่น มูลสัตว์และปัสสาวะ หรือน้ำโสโครก และอนุภาคของแข็ง เช่น ฝุ่นละอองที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของมูลสัตว์และเศษอาหารสัตว์ (ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ , 2547) ซึ่งปัญหากลิ่นจากฟาร์มปศุสัตว์ในประเทศไทยยังไม่ได้มีกฎหมายที่กำหนดค่ามาตรฐานเอาไว้ เพราะยังไม่ได้ถูกมองว่าเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมสำหรับประเทศไทย เพราะถูกมองว่าเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดความรำคาญเท่านั้น (ดวงหทัย ชบาพฤกษ์ และ ราตรี พงษ์เผือก , 2541)

ปัญหาจากฟาร์มสุกรมีทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลกระทบทางตรง คือ ผลกระทบต่อระบบหายใจของมนุษย์ มีการระคายเคืองหากร่างกายกายสัมผัส ระดับความรุนแรงของอาการจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ได้รับ และความเข้มข้นของก๊าซที่ได้รับ หรืออาจก่อให้เกิดปัญหาทางสุขภาพจิตได้ หรือแม้แต่ทำให้สุกรเจ็บป่วย ทางเดินหายใจผิดปกติ อัตราการรอดชีวิตและการเติบโตของลูกสุกรนั้นลดลง

ส่วนผลกระทบทางอ้อม ชุมชนที่อยู่รอบข้างที่ได้รับกลิ่นนั้น อาจต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น ปิดหน้าต่างที่บ้าน เพื่อป้องกันการได้รับกลิ่น บางทีอาจก่อให้เกิดกรณีพิพาท

หรือ ฟ้องร้องระหว่างเกษตรกรกับผู้ที่ได้รับผลกระทบได้ ตัวอย่างกรณีพิพาทระหว่างผู้เลี้ยงสุกร และผู้ที่ได้รับความเดือดร้อน รำคาญจากกลิ่นรบกวน ดังกรณีตัวอย่างต่อไปนี้

- ชาวบ้านหมู่ 4 ตำบลท่าโสม อำเถอเขาสมิง จังหวัดตราด ร้องเรียนเรื่องกลิ่นเหม็นจากฟาร์มสุกร ซึ่งส่งกลิ่นรบกวนนานเป็นปี และในตอนกลางคืนมีกลิ่นเหม็น ทำให้เกิดความรำคาญ ชาวบ้านแทบจะนอนไม่ได้ เคยส่งเรื่องให้ฟาร์มแก้ไข แต่ไม่ได้รับการตอบรับแต่อย่างใด (ข่าวสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

- ชาวบ้านหมู่ 5 ตำบลหนองบัว อำเถอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ร้องเรียนเรื่องกลิ่นเหม็นจากฟาร์มสุกรในหมู่บ้าน ซึ่งส่งกลิ่นเหม็นรบกวนตลอดทั้งกลางวัน และกลางคืน(ข่าวสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

- ชาวบ้านอำเภอปากช่อง ร้องเรียนฟาร์มสุกรปล่อยน้ำเสียไหลล้น ส่งกลิ่นลอยไกลหลายกิโลเมตร ซึ่งทางฟาร์มสุกรยอมรับว่าสูบน้ำทิ้งจริง โดยที่ในฟาร์มมีบ่อบำบัดน้ำเสีย 3 บ่อ แต่ต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมากจึงต้องสูบทิ้งในป่าหลังฟาร์ม ซึ่งที่ผ่านมาชาวบ้านมีการร้องเรียนเป็นประจำ และได้มีการเรียกผู้บริหารมาร่วมประชุมกับคณะกรรมการที่เชิญเข้าร่วมแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นจากการเลี้ยงสุกรจากหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งประสานไปยังกรมควบคุมมลพิษมาร่วมตรวจสอบด้วย (หนังสือพิมพ์ไทยรัฐออนไลน์, 2558)

- ชาวบ้านหมู่ที่ 9 ตำบลฉลอง อ.เมือง จ.ภูเก็ต กว่า 100 หลังคาเรือน ได้ร้องเรียนมายังผู้ใหญ่บ้านหมู่ 9 และได้ทำหนังสือถึงศูนย์ดำรงธรรมฯ กรณีได้รับความเดือนร้อนจากการเลี้ยงสุกรที่ไม่ถูกสุขอนามัย ไม่ได้มีการติดตั้งบ่อบำบัดหรือบ่อเก็บมูลสัตว์ และนำมูลสัตว์ทิ้งลงในลำคลองสาธารณะ จนทำให้น้ำในลำคลองดำสนิท และกลิ่นมูลสัตว์ได้ส่งกลิ่นเหม็นเป็นอาณาเขตที่กว้าง จนชาวบ้านทนกลิ่นเหม็นไม่ไหว (หนังสือพิมพ์ภูเก็ตโพสต์, 2558)

- ชาวบ้านตะพง จังหวัดระยอง ร้องเรียนเรื่องกลิ่นจากฟาร์มสุกร นางอารีรัตน์ สุขสม ได้เข้าร้องเรียนต่อสื่อมวลชน กรณีฟาร์มเลี้ยงสุกรที่อยู่ใกล้บ้านซึ่งเป็นของนักการเมืองท้องถิ่นได้สร้างความเดือดร้อนเรื่องกลิ่นเหม็นมานาน มีกลิ่นรุนแรงในช่วงเช้ามืดจากการปล่อยน้ำล้างฟาร์มสุกรที่ถูกทิ้งลงในสวนยางพารา และในช่วงหน้าฝนกลิ่นเหม็นก็ยิ่งรุนแรงขึ้น จนทำให้ชาวบ้านที่อยู่ใต้ทิศทางของลมที่ได้รับกลิ่นเหม็นเช่นเดียวกัน (หนังสือพิมพ์ผู้จัดการออนไลน์, 2558)

- ศูนย์ประสานงานร่วมด้วยช่วยกันสำนึกรักบ้านเกิดจังหวัดนครราชสีมา ได้รับการร้องเรียนจากคุณสมปอง ป้องทะเล ชาวบ้าน ม.10 ต.มะเกลือเก่า กรณีฟาร์มสุกรส่งกลิ่นเหม็นรบกวน จากการลงพื้นที่พบว่ามีปัญหาเรื่องกลิ่นจริง มีชาวบ้านได้รับผลกระทบกว่า 40 ครัวเรือน ต้นเหตุดังกล่าวมาจากฟาร์มเลี้ยงสุกรของคนในหมู่บ้านซึ่งทำการขยายฟาร์มจากขนาดเล็กเป็น

ฟาร์มขนาดใหญ่ทำให้เกิดปัญหากลิ่น รวมทั้งเสียงและแมลงรบกวน (หนังสือพิมพ์โพสต์ทูเดย์, 2558)

- ผู้ว่าราชการจังหวัดสิงห์บุรี พร้อมด้วยเจ้าหน้าที่ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด เจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด เจ้าหน้าที่ทหาร เจ้าหน้าที่ตำรวจ กว่า 30 นาย ลงพื้นที่ตรวจสอบฟาร์มเลี้ยงสุกรในพื้นที่หมู่ 12 ต.เชิงกลัด อ.บางระจัน จ.สิงห์บุรี เลี้ยงสุกรกว่า 3,500 ตัว หลังจากมีชาวบ้านจำนวน 35 ราย ได้มาร้องเรียนในเรื่องศูนย์ดำรงธรรมจังหวัดสิงห์บุรี ได้รับความเดือดร้อนจากฟาร์มสุกรที่ตั้งในชุมชนโดยไม่ได้ผ่านการประชาคมจากชาวบ้าน ส่งกลิ่นเหม็นเดือดร้อนชาวบ้าน และไม่มีการแก้ไข ซึ่งชาวบ้านได้ดำเนินการฟ้องร้องมากว่า 5 ปี ก็ยังไม่มีการแก้ไขแต่อย่างใด (สำนักข่าวกรมประชาสัมพันธ์จังหวัดพิษณุโลก, 2557)

- กลุ่มชาวบ้านหมู่ 3 บ้านสะลวงนอก กว่า 200 คน นัดรวมตัวและพากันถือป้ายประท้วงฟาร์มสุกรที่ใกล้กับหมู่บ้าน และโดยรอบสถาบันราชภัฏเชียงใหม่ ซึ่งส่งกลิ่นเหม็นรบกวนชาวบ้านมานาน ที่ผ่านชาวบ้านได้รับความเดือดร้อนอย่างหนักเป็นเวลานับ 10 ปี โดยที่ฟาร์มมีการเลี้ยงสุกรหลายพันตัว ส่งผลให้แหล่งน้ำธรรมชาติเริ่มเน่าเสีย มีแมลงวันเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทางด้าน ร.ต.อ.โกมินทร์ หลังจากรับหนังสือร้องเรียนจากกลุ่มชาวบ้านผู้ประท้วงแล้ว ได้รับปากในการแก้ไขปัญหาให้กับชาวบ้าน และจะรายงานให้ทางอำเภอได้รับทราบถึงความเดือดร้อนที่ชาวบ้านได้รับผลกระทบ (หนังสือพิมพ์เดลินิวส์ออนไลน์, 2557)

- ผู้อำนวยการโรงเรียนโรงเรียนบ้านอีเซ(คุรุราษฎร์วิทยา) พร้อมชาวบ้าน และนักเรียน และโรงเรียนเบญจคามวิทยาประชาสรรค์ รวมทั้งสิ้นประมาณ 200 คน ได้เดินชูป้ายประท้วงกิจการฟาร์มสุกร ที่ส่งกลิ่นเหม็นเข้ามาในโรงเรียนและหมู่บ้าน ทำให้นักเรียนไม่มีสมาธิในการเรียนหนังสือ ส่วนชาวบ้านก็นอนไม่หลับและทนรับกลิ่นเหม็นมานาน ส่งผลกระทบต่อชาวบ้านมาอย่างต่อเนื่อง ตนและชาวบ้านร้องเรียนไปหลายหน่วยงานทั้งในอำเภอและจังหวัดก็ไม่ได้รับการตอบกลับมาแต่อย่างใด โดยเฉพาะช่วงฤดูหนาว กลิ่นมีความรุนแรงมาก บางคนแพ้อาเจียน เวียนหัวนักเรียนบางคนไม่สามารถเรียนได้ (หนังสือพิมพ์แนวหน้า, 2557)

- เรื่องร้องเรียนกลิ่นจากฟาร์มสุกรรบกวนชาวบ้านตำบลท่าชุมพล จ.ราชบุรี ซึ่งมีฟาร์มเลี้ยงสุกรของกำนันท่าชุมพล เลี้ยงสุกรส่งกลิ่นเหม็นไปทั่ว และน้ำในคลองที่อยู่ตรงข้ามฟาร์มมีสีดำคล้ำกว่าที่อื่น (หนังสือพิมพ์คมชัดลึก, 2556)

- เมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2555 สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดชัยภูมิ ได้จัดประชุมแก้ไขปัญหากรณีร้องเรียนฟาร์มสุกรที่ตำบลบ้านโสก อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ ส่งกลิ่นเหม็น ตามคำสั่งจังหวัดชัยภูมิ (กลุ่มพัฒนาคุณภาพสินค้าปศุสัตว์, 2555)

- ชาวบ้าน 3 หมู่บ้านในตำบลเขาแก้ว อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี รวมตัวร้องสื่อว่าฟาร์มสุกรมักง่ายปล่อยน้ำเสียลงคลองธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อโรงเรียน และชุมชน (หนังสือพิมพ์ผู้จัดการออนไลน์, 2555)
- รองผู้ว่าจังหวัดภูเก็ต ได้นำคณะทำงานเข้าตรวจสอบปัญหาร้องเรียน ลงพื้นที่ตรวจสอบฟาร์มเลี้ยงสุกร-เลี้ยงไก่ ในพื้นที่อำเภอศรีสุนทร จ.ภูเก็ต หลังมีการร้องเรียนไปยังศูนย์ดำรงธรรมเรื่องกลิ่นเหม็น ผู้ร้องเรียนกล่าวว่า ตนพักอาศัยอยู่ใกล้ฟาร์มเลี้ยงสุกร และฟาร์มไก่ ได้รับความเดือดร้อนจากปัญหากลิ่นมูลสุกร และมูลไก่จากฟาร์มดังกล่าว จึงอยากให้มีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพราะส่งกลิ่นรบกวนทุกวัน (หนังสือพิมพ์ผู้จัดการออนไลน์, 2554)
- ตัวแทนชาวบ้านจากหมู่ที่ 3, 5, 8 และ 9 ตำบลลำภูรา อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง ร้องเรียนกรณีฟาร์มสุกรปล่อยสิ่งปฏิกูล และซากสุกร ลงในพื้นที่สาธารณะ และลำคลองสาธารณะ จนส่งกลิ่นเหม็นและสร้างความรำคาญให้กับชาวบ้าน (หนังสือพิมพ์ผู้จัดการออนไลน์, 2554)
- วันที่ 19 ตุลาคม 2549 กลุ่มชาวบ้าน หมู่ที่ 16 บ้านแม่ข้าวต้ม ต.แม่ข้าวต้ม อ.เมือง จ.เชียงราย ได้ทำหนังสือร้องเรียนไปยังนายสนิท ผู้แสงทอง นายอำเภอเมืองเชียงราย และอีกส่วนหนึ่งได้เข้าร้องเรียนต่อนายกิตติชัย อิ่นสุวรรณ นายก อบต.แม่ข้าวต้ม ให้เข้าดำเนินการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาอย่างเร่งด่วน กรณีมีผู้ประกอบการเอกชนจากนอกพื้นที่ เข้ามาจัดตั้งฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่บนเนื้อที่บ้านแม่ข้าวต้ม ทำให้ปัจจุบันชาวบ้านได้รับความเดือดร้อนต้องสูดดมกับกลิ่นมูลสุกรที่เหม็นรบกวน (กรมส่งเสริมคุณภาพ.สิ่งแวดล้อม, 2549)

จากข่าวตัวอย่างเรื่องร้องเรียนปัญหากลิ่นจากฟาร์มสุกรนี้เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ซึ่งปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนจากฟาร์มสุกรยังเป็นปัญหาทั้งในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งถ้าเจ้าของหรือเกษตรกรได้มีการดูแลและมีระบบการจัดการกลิ่นที่ดี ก็จะไม่ก่อให้เกิดข้อร้องเรียนกับชุมชนได้

2.2.1 แหล่งที่มาของกลิ่นจากการเลี้ยงสุกร

ในการบำบัดกลิ่นให้ได้ประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบแหล่งกำเนิดของกลิ่นเพื่อที่จะบำบัดหรือลดกลิ่นให้ถูกที่ ซึ่งจากข้อมูลหนังสือคู่มือเกณฑ์ปฏิบัติในการจัดการและควบคุมกลิ่นจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ได้ระบุว่าแหล่งกำเนิดของกลิ่นจากการเลี้ยงสุกรมีอยู่ 4 ที่ ได้แก่

1. โรงเรือนหรือคอก
2. ลานตากและโรงเก็บมูล
3. ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย
4. บริเวณที่นำมูลไปใช้ประโยชน์

ในแต่ละแหล่งกำเนิดมีวิธีในการจัดการกับกลิ่นที่เกิดขึ้นแตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างแหล่งกำเนิดและความเหมาะสมของการนำวิธีการจัดการกลิ่นมาใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เป็นการเสนอวิธีการจัดการกลิ่นที่เกิดขึ้นในแต่ละแหล่ง ได้แก่ โรงเรือนหรือคอกสุกร สาเหตุของกลิ่นมาจากมูลและปัสสาวะสุกร สามารถจัดการกลิ่นโดยการกวาด ล้างคอก ไม่ให้มีการหมักหมมสิ่งปฏิกูลและเศษอาหารภายในโรงเรือน อาจใช้เอนไซม์หรือสารกลบกลิ่นโรยพื้นคอก ในส่วนของลานตากและโรงเก็บมูล ควรป้องกันไม่ให้มูลสุกรมีความชื้นหรือโดนน้ำฝน น้ำค้าง ควรเก็บในโครงสร้างที่มีหลังคาเพื่อป้องกันจากการได้รับความชื้นดังกล่าวและไม่ควรเก็บกองมูลสุกรให้หนาเกินไปเพราะจะทำให้มูลสุกรแห้งช้า เกิดการหมักหมมและทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนได้ ส่วนระบบรวบรวมน้ำเสียนั้นควรมีการดูแลรางระบายน้ำไม่ให้เกิดการอุดตัน และไหลล้น และควรให้ปลายท่อระบายน้ำอยู่ใต้ผิวน้ำเพื่อป้องกันการกระจายของกลิ่น เนื่องจากกลิ่นที่ฟุ้งกระจายมาจากการไหลแบบปั่นป่วนของน้ำเสีย บริเวณพื้นที่การน้ำมูลไปใช้ประโยชน์ ไม่ควรเป็นพื้นที่ใกล้ชุมชนและไม่ควรพลิกกลับกองปุ๋ยในช่วงเย็นหรือเช้ามืดเพราะจะทำให้กลิ่นฟุ้งกระจายรบกวนชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงได้ จากแหล่งที่ของกลิ่นในฟาร์มสุกรทั้งหมดจะเห็นได้ว่าจุดที่สามารถรวบรวมก๊าซที่มีกลิ่นไปบำบัด คือ ส่วนที่เป็นตัวโรงเรือนและระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย แหล่งที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรุนแรงและมีการปล่อยออกเป็นจุดเดียวสามารถติดตั้งระบบรวบรวมก๊าซได้ง่าย คือ บ่อพักน้ำเสียหรือบ่อจ่ายน้ำเสียเข้าสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถสร้างฝาครอบเพื่อที่ส่งกลิ่นไปยังระบบบำบัดได้ (คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร, 2553)

2.2.2 การจัดการปัญหากลิ่นจากการเลี้ยงสุกรในปัจจุบัน

ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีต่างๆที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีทั้งเทคโนโลยีทางเคมีและทางชีวภาพซึ่งทั้ง 2 วิธีก็จะมีข้อดี ข้อเสีย ประสิทธิภาพในการใช้งาน และความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานแตกต่างกัน ส่วนที่เป็นระบบชีวภาพก็มีหลายระบบ ได้แก่ ระบบกรองแบบหอบรรจุตัวกลาง (packed tower) แบบถาด (tray tower) ระบบฟอกชีวภาพแบบเปียก (bio wet scrubber) ในการเลือกใช้งานจะขึ้นอยู่กับการพิจารณาของผู้ใช้ ส่วนมากจะพิจารณาที่ค่าใช้จ่ายจากการติดตั้ง ความยากง่ายในการบำรุงรักษาและจากประสิทธิภาพของเทคโนโลยีที่ใช้ว่าสามารถกำจัดกลิ่นได้

ตารางที่ 2.2 แหล่งกำเนิดกลิ่นและวิธีในการจัดการกลิ่นในแต่ละแหล่ง

แหล่งกำเนิดกลิ่น	สาเหตุของการเกิดกลิ่น	วิธีการจัดการกลิ่น
โรงเรือนหรือคอกสุกร	-กลิ่นเหม็นจากตัวสุกร มูลและปัสสาวะสุกรที่หมักหมมตามพื้นคอก และรางระบายน้ำ -กลิ่นจากกรดไขมันระเหยที่จับตัวกับฝุ่นและอาหารที่ติดกับตัวสุกรและผนังคอก	-เก็บกวาด รวบรวมมูลสุกร ก่อนการล้างเพื่อทำความสะอาดโรงเรือน -ใช้น้ำหมักชีวภาพหรือเอนไซม์ -ดูดอากาศภายในโรงเรือนหรือคอกผ่านระบบกรองกลิ่นแบบชีวภาพหรือระบบฟอกอากาศ
ลานตากและโรงเก็บมูล	การขาดการดูแล ปล่อยให้ลานตากและโรงเก็บมูลมีความชื้น และไม่ทำให้แห้งก็จะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นได้	-ใช้วัสดุรองพื้นที่ระบายน้ำได้ดี และใช้วัสดุปกคลุมลานตากเวลาฝนตกหรือมีน้ำค้าง และเก็บมูลสุกรแห้งในโรงเรือนหรือส่วนที่มีหลังคา -เกลี่ยมูลให้มีความหนาสม่ำเสมอ ไม่ควรหนาเกิน 5 เซนติเมตร เพื่อให้แห้งเร็ว
ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย	-ปล่อยให้มีการสะสมของน้ำเสียจนล้นบ่อ และรางระบายน้ำเสียระบายน้ำได้ไม่ดีทำให้น้ำล้นรางจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งโดยเฉพาะเวลาที่น้ำในรางหรือบ่อพักมีการไหลแบบปั่นป่วน หรือเวลาที่ฝนตกจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นฟุ้งกระจาย - ระบบบำบัดน้ำเสีย ขาดการดูแลรักษาที่ดี เช่น มีการอุดตัน หรือรับน้ำเสียเกินค่าการออกแบบ และจุดปล่อยน้ำเสียเข้าและออกจากระบบบำบัด ที่มีการปั่นป่วนจากการไหลของน้ำเสียที่ปลายท่อ	-เก็บมูลสุกร เศษอาหารและตะกอนที่ตกค้างในรางระบายน้ำเพื่อไม่ให้รางระบายน้ำอุดตัน -ล้างรางระบายน้ำทุกครั้งที่มีการล้างคอก และขุดลอกตะกอนภายในบ่อบำบัดเมื่อตะกอนสูงกว่า 2 เมตร -ติดตั้งตะแกรงที่จุดปล่อยน้ำเพื่อป้องกันการไหลแบบปั่นป่วน ให้ปลายท่อทิ้งน้ำอยู่ใต้น้ำเพื่อป้องกันการกระจายของกลิ่น แต่ต้องระวังการอุดตันในท่อ -ถ้าเป็นบ่อปรับเสถียรควรปรับค่า pH ในบ่อให้อยู่ระหว่าง 7-8 -ถ้าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบโดมคงที่ระวังอย่าให้ในน้ำคอบ่อหมักแห้ง เพราะจะทำให้ดินเหนียวหดตัวและเกิดการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ -ที่ท่อระบายก๊าซออกจากบ่อหมักชีวภาพควรติดตั้งระบบกรองกลิ่นหรือออกแบบให้มีฝาปิดคลุม หรือหาวัสดุคลุมบ่อรวบรวมน้ำเสีย
บริเวณที่นำมูลไปใช้ประโยชน์	บริเวณที่มีการนำมูลสุกรไปกองเพื่อรอการนำไปใช้ หรือการนำน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดไปใช้โดยขาดการจัดการที่ดีจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้	-นำมูลสุกรสดไปใช้ประโยชน์ควรทำทันที ส่วนมูลที่ตากแห้งแล้วไปใช้เป็นปุ๋ยคอกและ ไม่ควรนำไปใช้ใกล้ชุมชน - ไม่ควรพลิกกลับกองปุ๋ยในช่วงเช้ามืดและหัวค่ำเพราะเป็นช่วงที่ทำให้กลิ่นฟุ้งกระจาย

ที่มา : คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร กรมควบคุมมลพิษ (2553)

อย่างไรก็ตามการใช้เทคโนโลยีในการกำจัดกลิ่นในฟาร์มสุกรของประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่ยังเป็นที่นิยม โรงเรือนสุกรส่วนมากจะสร้างในที่ห่างไกลชุมชนและตัวโรงเรือนมีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศเพื่อดูดอากาศที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์นั้นมาเจือจางกับอากาศภายนอกช่วยลดกลิ่นได้ รวมทั้งมีการใช้สารในการกลบกลิ่นโปรยลงที่กองมูลสัตว์หรือสิ่งปฏิกูลเพื่อช่วยลดกลิ่น ส่วนสถานประกอบการขนาดใหญ่ที่มีงบประมาณสูงพบว่ามีการใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดของเสีย หรือน้ำเสียในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ด้วยการใช้น้ำล้างคอกหรือโรงเรือนให้สามารถไหลระบายออกจากทุกส่วนของโรงเรือนได้ค่อนข้างหมดจดเพื่อลดกลิ่นมูลสด และกลิ่นที่เกิดจากการหมักหมม และให้สารอินทรีย์ หรือน้ำเสียไหลลงสู่การหมักย่อยสลายตัวในบ่อหมักที่มิดชิด โดยที่โรงเรือนนั้นมีบ่อหรือระบบก๊าซชีวภาพรองรับของเสียจากจำนวนสัตว์ที่ผลิตสิ่งขับถ่ายให้เพียงพอ และจำเป็นต้องมีระบบบำบัดขั้นหลังให้น้ำเสียได้มาตรฐาน หรือนำกากมูลหมัก นำมูลหมักไปใช้หรือขาย ซึ่งบ่อหมักก๊าซชีวภาพนั้นต้องมีค่าใช้จ่ายในการเริ่มต้นติดตั้งระบบสูง อาจไม่เหมาะสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กหรือเกษตรกรรายย่อยที่มีจำนวนสุกรไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดของเสียในการสร้างก๊าซชีวภาพมากพอที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

2.3 ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

กลิ่นของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในฟาร์มสุกรเกิดจากมูลสัตว์มากที่สุด เนื่องจากมูลสัตว์มีองค์ประกอบของไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง ได้จากสารอาหารที่กินเข้าไป (พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539) และเมื่อเกิดการสะสมในบ่อรวบรวมน้ำเสีย ที่มีสภาวะแบบไร้อากาศและมีอุณหภูมิเพียงพอต่อการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ จึงก่อให้เกิดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น

ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia) มีสูตรเคมี คือ NH_3 มีลักษณะใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนและน้ำหนักเบากว่าอากาศจึงเกิดการระเหยได้ง่าย และสามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้นการเกิดก๊าซแอมโมเนียจึงเกิดได้ง่ายในสภาพที่มูลสุกรมีความชื้นมากกว่ามูลสุกรแห้ง โดยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพในสภาวะที่ไร้อากาศเช่นเดียวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนียจากฟาร์มสุกรโดยทั่วไปเกิดจาก ยูเรีย และสารประกอบไนโตรเจน เนื่องจากสุกรได้รับสารอาหารจำพวก โปรตีน และธาตุไนโตรเจน (N) ซึ่งเมื่อสุกรกินอาหารที่มีไนโตรเจนเข้าไปแล้วจะมีการกักเก็บในร่างกายน้อยมากดังข้อมูลในตารางที่ 2.3 เพราะส่วนใหญ่จะขับถ่ายออกมากับมูลและปัสสาวะ

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนจากการกินอาหารของสุกร

ประเภทสุกร	โปรตีนในอาหาร (กรัม/กก.วัตถุแห้ง)	กักเก็บในร่างกาย (%)	นม (%)	มูล (%)	ปัสสาวะ (%)
แม่สุกรเลี้ยงลูก	160	5	20	20	55
ลูกสุกร	184	40	-	10	50
สุกรขุน	170	32	-	15	53

ที่มา : สถานเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549)

ยูเรียจะถูกไฮโดรไลซิสเป็นแอมโมเนียโดยมีเอนไซม์ยูรีเอสจากจุลินทรีย์ที่ย่อยยูเรีย (ureolytic bacteria) ซึ่งเป็นตัวผลิตเอนไซม์ยูรีเอส ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย (Rappert and Muller, 2005) นอกจากนั้น การย่อยสลายโปรตีนและกรดอะมิโน นอกจากจะทำให้เกิดกรดคาร์บอกซิลิคแล้ว ยังทำให้เกิดกรดไขมัน สารประกอบซัลเฟอร์ เอมีน แอมโมเนีย ฟีนอล และอินโดล ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{array}{l} NH \\ | \\ C{=}O + 2H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} 2NH_4^{+} + HCO_3^{-} \\ | \\ NH_2 \end{array} \qquad (2.1)$$

$$\begin{array}{l} \;\;\;\;\;\;\;\;NH_2 \\ \;\;\;\;\;\;\;\;| \\ R\text{-}CH\text{-}COOH + 2H_2O \longrightarrow R\text{-}CH\text{-}COOH + NH_3 + 2H_2 + CO_2 \end{array} \qquad (2.2)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การสลายตัวของไนโตรเจนในมูลและปัสสาวะสุกรจะถูกเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ให้อยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^{+}) ซึ่ง NH_3 และ NH_4^{+} เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายของ N ดังแสดงต่อไปนี้

$$2NH_4^{+} + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2NO_2^{-} + 4H^{+} + 2H_2O \qquad (2.3)$$

$$2NO_2^{-} + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} 2NO_3^{-} + \text{พลังงาน} \qquad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.3) และ (2.4) แบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) ทำหน้าที่ ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ จากนั้นแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรท ขณะที่แบคทีเรียออโตทรอฟ ทั้ง 2 ชนิด ออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) โดยระบบจะอยู่ในสภาวะแอโรบิก และได้พลังงานออกมา แบคทีเรียจะใช้พลังงานนี้ไปดึงคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไฮโดรเจนคาร์บอเนตมาเป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) ต่อไป

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ก๊าซไข่เน่าเป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นเหม็นรุนแรงเหมือนไข่เน่า มีคุณสมบัติหนักกว่าอากาศ ไม่สารถพัดพาไปได้ง่ายโดยลม สูตรเคมี คือ H_2S มีคุณสมบัติในการกัดกร่อน เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ทางชีวภาพในสภาวะที่ไร้อากาศ พบได้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ในท่อระบายน้ำเสีย จากสิ่งปฏิกูลหรือจากมูลสัตว์ เพราะกำมะถัน หรือ ซัลเฟอร์ (S) เป็นสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารสุกร เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนไปเป็นโปรตีน และมีบางส่วนที่ขับถ่ายออกมา เนื่องจากเศษอาหารและมูลสุกรมีโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิดที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เกิดการหมักหมมในที่ที่อากาศไม่เพียงพอ จึงเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศและเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ระบบกรองชีวภาพจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในไบโอฟิล์มอาจทำให้ได้สารเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรด (Kennes et al, 2009) ดังสมการต่อไปนี้

$$SO_4^{2} + \text{Org-matter} \xrightarrow{\text{Anaerobic bacteria}} S^{2-} + H_2O + CO_2 \quad (2.5)$$

$$S^{2-} + 2H \longrightarrow H_2S \quad (2.6)$$

$$H_2S + 0.5O_2 \longrightarrow S^0 + H_2O \quad (2.7)$$

$$S + H_2O + 1.5\,O_2 \longrightarrow H_2SO_4 \quad (2.8)$$

ก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นจากการเลี้ยงสัตว์นั้นมีค่ามาตรฐานกำหนด เช่น ในจังหวัดเชียงใหม่ได้มีการประกาศมาตรฐานของ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 5 ppm และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความเข้มข้นไม่เกิน 0.2 ppm (สถานเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552) ซึ่งอันตรายจากก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อสุขภาพได้แสดงในตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ระดับของก๊าซแอมโมเนียที่มีผลต่อสุขภาพ

อาการ	ระดับความเข้มข้น (ppm)
ระดับต่ำสุดที่รับกลิ่นได้	5.00
ระดับสูงสุดที่ยอมรับให้สัมผัสได้	7.00 - 10.00
รู้สึกระคายเคืองตา ทำให้ทางเดินระบบหายใจมีปัญหา	6.00 - มากกว่า 20.00
ระคายเคืองตา ลำคอ จมูก เมื่อได้รับเกิน 20 นาที ปวดศีรษะ อาเจียน คลื่นเหียน ท้องร่วง	40.00
ระคายเคืองบริเวณเยื่อเมือก (ภายใน 1 ชั่วโมง)	100.00
ระคายเคืองจมูก คอ (ภายใน 1 ชั่วโมง), คลื่นเหียน ตกใจง่าย สลบภายใน 30 นาที และถึงแก่เสียชีวิตในระยะเวลาไม่นาน	400.00

ที่มา: ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ (2551)

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบอันตรายจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อสุขภาพ

อาการ	ระดับความเข้มข้น (ppm)
ระดับต่ำสุดที่รับกลิ่นได้	-
ระดับสูงสุดที่ยอมรับให้สัมผัสได้	5.00
รู้สึกระคายเคืองตา ทำให้ทางเดินระบบหายใจมีปัญหา	10.00
ระคายเคืองตา ลำคอ จมูก เมื่อได้รับเกิน 20 นาที ปวดศีรษะ อาเจียน คลื่นเหียน ท้องร่วง ระคายเคืองบริเวณเยื่อเมือก (ภายใน 1 ชั่วโมง)	50.00 – 100.00
ระคายเคืองจมูก คอ (ภายใน 1 ชั่วโมง) เวียนศีรษะ มีอาการทางประสาท รู้สึกหดหู่	200.00
คลื่นเหียน ตกใจง่าย สลบ	500.00
เสียชีวิตได้ในระยะเวลาไม่นาน	มากกว่า 600.00

ที่มา: ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ (2551)

วิธีการการตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำได้โดยทำการตรวจวัดที่ภาคสนามโดยตรงหรือทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการเก็บตัวอย่างการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม มีดังต่อไปนี้ (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

2.3.1 การเก็บตัวอย่างสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่น

(1) การเก็บตัวอย่างโดยตรง เป็นการเก็บในภาคสนาม โดยเก็บในถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Inert flexible Bags) หรืออัดเข้าไปในถังเก็บอากาศ (Steel Canister) ที่ทำด้วยเหล็กปลอดสนิม

(ก) การเก็บโดยใช้ถุงเก็บอากาศที่ทำจากวัสดุที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี (Tedlar bag) โดยทั่วไปมีขนาด 1.00-100.00 ลิตร มีลักษณะเป็นถุงสี่เหลี่ยม มีวาล์วเปิดปิดให้อากาศเข้าไปในถุงได้ วิธีการนี้จะเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บตัวอย่างไม่แพงมาก และถุงเก็บอากาศใช้ได้ดีสำหรับการเก็บตัวอย่างที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง และความเข้มข้นของสารมากกว่า 1 ppm

(ข) ใช้ถังเก็บตัวอย่างอากาศ มีลักษณะเป็นถังค่อนข้างกลม (ทำด้วยเหล็กที่มีความหนาและทนทานต่อแรงกดดัน) การใช้งานง่ายกว่าถุงเก็บอากาศ การทำความสะอาดถังสามารถทำได้โดยให้ความร้อนทำความสะอาดและระเหยสารเคมีที่ระเหยได้ยากออกจากถังได้ ซึ่งการเก็บตัวอย่างนี้สามารถทนแรงกดดันได้ในระดับปานกลาง และมีอีกประเภทที่สามารถทนแรงดันได้สูงมาก เนื่องจากทำจากวัสดุที่มีความหนาเป็นพิเศษ และมีถังอีกประเภทที่เรียกว่า ซัมมาแคนนิสเตอร์ (Summa Canister) ผนังภายในจะเคลือบด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อป้องกันไม่ให้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผนังภายในถัง จึงสามารถควบคุมเวลาในการเก็บตัวอย่างได้ ความยุ่งยากในการใช้ถังเก็บตัวอย่างประเภทนี้ อยู่ที่การนำตัวอย่างอากาศออกมาจากถัง ซึ่งต้องใช้แรงดันอย่างน้อย 2 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างอากาศเจือจางลงครึ่งหนึ่ง ทำให้ปริมาณสารที่จะวิเคราะห์ลดลงเช่นกัน

(2) การเก็บตัวอย่างโดยวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่าง (Concentration Techniques) เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างกลิ่นในอากาศ โดยให้อากาศผ่านตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นตัวจับสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่น เพื่อหาชนิดของสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่น เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณสารที่ทำให้เกิดกลิ่นน้อยมากหรือเจือจางมาก ชนิดตัวกลางในการเก็บตัวอย่างมีดังนี้ คือ

(ก) สารพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน (Porous Polymer) เป็นตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมากพอที่จะใช้จับสารเคมีที่ก่อให้เกิดกลิ่นในตัวอย่างอากาศที่ผ่านเข้ามา แล้วปล่อยออกมาได้เมื่อ

นำไปวิเคราะห์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างสารพอลิเมอร์ ได้แก่ Tenax, XAD และสารที่ใช้เป็นวัสดุห่อหุ้ม (Packing Material) ที่ใช้ใน GC Column

(ข) ถ่าน (Charcoal) ใช้เป็นสารดูดซับสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นในตัวอย่างอากาศคล้ายๆกับสารพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน แต่ในขั้นตอนการขับสารเคมีไม่เหมาะที่จะให้ความร้อน เพราะจะทำให้โมเลกุลของสารเคมีเกิดการเปลี่ยนสภาพโดยทั่วไปจะใช้ตัวทำละลายในการดึงเอาสารที่ทำให้เกิดกลิ่นออกมา ตัวทำละลายที่นิยมใช้ คือ คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon Disulfide) ข้อดีของการใช้ถ่านเป็นตัวกลางในการดูดซับ คือ ถ่านจะบรรจุในหลอดแก้วขนาดเล็ก (Small Glass Cartridges) ซึ่งสะดวกในการนำมาใช้งานและสามารถนำกลับไปวิเคราะห์ได้ง่าย

(ค) วิธีไครโอเจนิค (Cryogenics technique) เป็นการเก็บตัวอย่างสารเคมีที่นำเอาหลอดที่มีรูปร่างตัวยู (U) แช่ในสารที่ให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เช่น น้ำแข็ง น้ำแข็งแห้ง ไนโตรเจนเหลว หรือฮีเลียมเหลว

(ง) การใช้อิมพิงค์เจอร์ (Impingers) เป็นวิธีการดูดตัวอย่างอากาศผ่านเข้ามาในสารละลายที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้ว สารเคมีในอากาศจะละลายในสารละลายที่เป็นตัวกลางนี้ จากนั้นจึงนำสารละลายนี้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอีกครั้ง ซึ่งข้อควรระวังของวิธีนี้ คือ ต้องมีการเตรียมสารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่จะจับกับสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในตัวอย่างอากาศอย่างพอเพียง และควรแช่อิมพิงค์เจอร์ในน้ำแข็งหรือน้ำเย็นเพื่อช่วยให้ก๊าซละลายในของเหลวได้ดีขึ้น

2.3.2 การตรวจในห้องปฏิบัติการ

หลังจากเก็บตัวอย่างก๊าซมาแล้ว สามารถนำมาวิเคราะห์ก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นได้โดยอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี ดังต่อไปนี้

(ก) Gas Chromotography (GC)

(ข) Gas Chromotography- mass spectrometry (GC-MS)

(ค) High Performance Chromotography (HPLC)

(ง) Titration

2.3.3 การตรวจวัดกลิ่นในภาคสนาม

การตรวจวัดกลิ่นในภาคสนามเป็นการนำเอาเครื่องมือไปทำการตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่องกลิ่น มีเครื่องมือดังต่อไปนี้

1) เครื่องวัดไอสารอินทรีย์ (Organic Vapor Analysis) เป็นประเภท Gas Chromotography ไม่มีคอลัมน์ สำหรับแยกสารแต่ละชนิดออกจากกัน จึงเป็นการวัดปริมาณรวมของสารอินทรีย์ ก่อนจะใช้งานควรทำการปรับความถูกต้อง (Calibrate) ด้วยสารอินทรีย์ที่ทราบค่าความเข้มข้นแน่นอน เครื่องมือชนิดนี้ เหมาะสำหรับสำรวจพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่องกลิ่นจากสารอินทรีย์

ว่ามีอยู่ในบริเวณใดบ้าง แต่ไม่สามารถบอกชนิดของสารอินทรีย์นั้นได้ และมีขีดความสามารถตรวจวัด (detection limit) ได้ที่ 500 ppb

2) หลอดดูดซับสาร (Absorption Tubes) เป็นหลอดเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่บรรจุในหลอดเก็บตัวอย่างจนเกิดสี ทำให้อ่านความเข้มข้นโดยประมาณของสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ ซึ่งจำเป็นต้องเลือกหลอดดูดซับสารให้เหมาะกับค่าความเข้มข้นที่ต้องการวัด การเก็บตัวอย่างวิธีนี้จะใช้ปั๊มเก็บอากาศเข้าหลอดเก็บตัวอย่างด้วยมือ (hand pump) ข้อดีของการเก็บตัวอย่างวิธีนี้ คือ สามารถอ่านค่าความเข้มข้นโดยประมาณของสารที่ทำการตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว

3) การใช้ Portable GC และ GC – MS เป็นเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบให้มีขนาดเล็ก กะทัดรัด สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้ ไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างเข้ามาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโดยมีหลักการ และวิธีการใช้งานเช่นเดียวกับเครื่องที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ

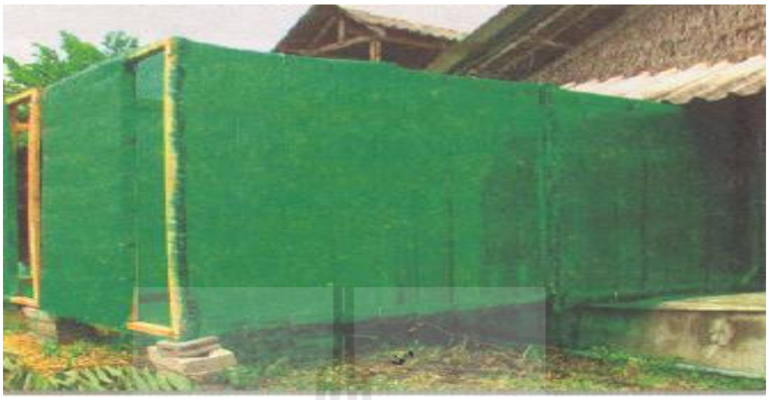
2.4 เทคโนโลยีในการบำบัดกลิ่น

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นหลายวิธี ขึ้นอยู่กับประเภทตามแหล่งกำเนิดหรือประเภทของก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่น เช่น ระบบการกำจัดกลิ่นแบบม่านกระจายน้ำและแผ่นกรอง ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพชนิดไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter) ระบบเผาไหม้ ระบบดูดซับด้วยสารตัวกลาง การใช้สารกลบกลิ่น ระบบสครับบิงและวิธีการออกซิเดชั่น แต่ละเทคโนโลยีก็มีความเหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นที่แตกต่างกัน ซึ่งในการเลือกใช้เทคโนโลยีในการบำบัดกลิ่นนั้น นอกจากเรื่องประสิทธิภาพในการบำบัดแล้วต้องศึกษาความซับซ้อนของระบบ ความยากง่ายในการดูแลรักษา ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาให้เหมาะสมไม่เกินกำลังและเวลาของผู้ใช้งาน ในหัวข้อนี้จะทบทวนเทคโนโลยีแบบต่างๆ โดยอ้างอิงจากคู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกรของกรมควบคุมมลพิษเป็นหลัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.4.1 ระบบกำจัดกลิ่นแบบม่านกระจายน้ำและแผ่นกรอง

ระบบการกำจัดกลิ่นแบบม่านกระจายน้ำและแผ่นกรอง ติดตั้งที่ด้านหลังของพัดลมดูดอากาศที่โรงเรือน ซึ่งอาศัยการดูดอากาศที่มีก๊าซมลพิษและฝุ่นละออง โดยผ่านระบบกรองนี้ระบบจะสามารถดักจับกลิ่นโดยใช้ละอองน้ำที่พ่นจากหัวสเปรย์เป็นตัวดักกลิ่น และฝุ่นละออง โดยละอองน้ำจะจับกับก๊าซ ตัวระบบจะมีการคลุมด้วยสแลน ดังรูปที่ 2.1 สแลนที่คลุมจะดักฝุ่นละอองจากโรงเรือนและเกิดชั้นเมือกจุลินทรีย์ (biofilm) ซึ่งสามารถช่วยกำจัดกลิ่นได้ ระบบนี้สามารถกำจัดกลิ่นได้ประมาณร้อยละ 60 - 80 และควรมีการล้างสแลนเมื่อเมือกจุลินทรีย์จับอยู่ที่สแลนมาก

เกินไป ระบบนี้เหมาะกับการติดตั้งในโรงเรือนที่เป็นลักษณะของโรงเรือนสุกรแบบปิด (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)



รูปที่ 2.1 ระบบการกำจัดกลิ่นแบบม่านกระจายน้ำและแผ่นกรอง
ที่มา : คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร, กรมควบคุมมลพิษ (2553)

2.4.2 ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ ชนิดไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter)

ระบบบำบัดชีวภาพแบบไบโอฟิลเตอร์จะเป็นลักษณะของการดูดอากาศที่มีก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนเปื้อนอยู่ มาเข้าตัวระบบกรองที่ประกอบไปด้วยถังหรือคอลัมน์ที่บรรจุตัวกลาง และควบคุมสภาวะให้เหมาะสมกับการทำงาน เช่น อุณหภูมิ ฝุ่นละออง ความชื้นของตัวกลาง ค่า pH ของระบบ เป็นต้น ซึ่งประสิทธิภาพของระบบจะสามารถหาได้จากการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าสู่ระบบและความเข้มข้นของก๊าซที่ออกจากระบบ ซึ่งระบบที่มีการบำรุงรักษาสม่ำเสมอจะมีประสิทธิภาพในการ บำบัดกลิ่นสูงถึงร้อยละ 99 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ซึ่งการบำรุงรักษาระบบนั้นนอกจากจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นแล้วยังช่วยในการยืดอายุการใช้งานของระบบได้ด้วย ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพที่ใช้ในฟาร์มสุกรนั้นสามารถดัดแปลงวัสดุที่มีอยู่ในครัวเรือน แล้วนำมาประกอบกันเป็นระบบบำบัดกลิ่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งหลักการทำงานของระบบนี้คือ อากาศที่มีการเจือปนของก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นถูกดูดเข้าสู่ระบบกรอง และตัวกรองจะที่มีความชื้นจะดูดซับกลิ่นที่เกิดขึ้นและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เกิดที่ตัวกรอง ทำให้ความเข้มข้นของกลิ่นลดลงได้

รูปที่ 2.2 ระบบบำบัดชีวภาพแบบไบโอฟิลเตอร์ในฟาร์มสุกร
ที่มา : คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร, กรมควบคุมมลพิษ (2553)

ระบบบำบัดชีวภาพแบบไบโอฟิลเตอร์เป็นระบบที่มีราคาถูก ดูแลรักษาง่ายเหมาะสำหรับที่จะนำไปติดตั้งเพื่อบำบัดเฉพาะจุดที่มีกลิ่นรุนแรงและมีการปล่อยออกมาจุดเดียว เช่น บ่อพักน้ำเสีย บ่อจ่ายน้ำเสีย บ่อรวบรวมน้ำเสีย หรือบ่อจ่ายน้ำเสียเข้าและออกจากระบบก๊าซชีวภาพ ซึ่งข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดชีวภาพแบบไบโอฟิลเตอร์มีดังแสดงในตารางที่ 2.6

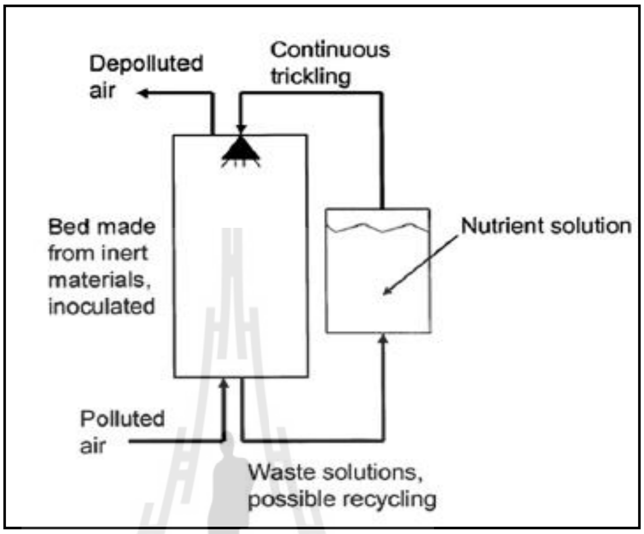
ตารางที่ 2.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดชีวภาพแบบไบโอฟิลเตอร์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ค่าใช้จ่ายต่ำ (ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและมีต้นทุนต่ำ) 2. ค่าความดันลดต่ำ 3. บำบัดอากาศได้ในปริมาณมากถ้ากลิ่นหรือมลพิษมีความเข้มข้นต่ำ 4. ไม่มีของเสียเกิดขึ้นหลังจากการบำบัด	1. เกิดการอุดตันของชั้นกรอง 2. การเสื่อมสลายของชั้นกรอง 3. ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำถ้าสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นมีความเข้มข้นสูง 4. ควบคุม pH และความชื้นได้ยาก

2.4.3 ระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biotrickling filter)

ระบบกรองชีวภาพแบบหยดมีหลักการในการทำงานเช่นเดียวกับระบบกรองแบบไบโอฟิลเตอร์ โดยก๊าซจะผ่านชั้นกรองโดยการเป่าเข้า หรือดูดออกก็ได้ ซึ่งไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด (Cox และ Deshusses, 1999) และก๊าซผ่านตัวกลางที่มีให้ความชื้นหรืออาจ

มีการให้ธาตุสารอาหารที่เป็นสารละลายโดยการพ่นลงมาบนตัวกลาง ดังรูปที่ 2.2 และจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตในตัวกลางจากถังกรองชีวภาพมีลักษณะเป็นไบโอฟิล์ม ในขั้นแรกก๊าซจะถูกดูดซับโดยตัวกลางและถูกดูดซึมซึมแล้วย่อยสลายในไบโอฟิล์ม



รูปที่ 2.3 ระบบกรองชีวภาพแบบหยด

ที่มา : Sandeep et al., 2010

วัสดุที่ใช้ในการกรองของระบบกรองชีวภาพแบบหยด จะใช้วัสดุที่ทำให้ก๊าซหรือของเหลวไหลผ่านชั้นกรองได้ง่าย จุลินทรีย์สามารถอาศัยอยู่ได้ และมีคุณบัติต้านทานการบดและอัดตัว ซึ่งวัสดุเหล่านี้ทำจากวัสดุที่มีความเฉื่อย เช่น เรซิน เซรามิก ซีไลท์ โพลียูรีเทนและ โฟม (Centinkaya et al., 2000) ซึ่งส่วนใหญ่วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลาง ควรมีพื้นที่ผิวจำเพาะระหว่าง 100 และ 300 m^{-1} (Sandeep et al., 2010) ตัวกลางของระบบกรองชีวภาพแบบหยดจุลินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ เริ่มต้นใช้ตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่ง (Activated sludge) มาเป็นหัวเชื้อ

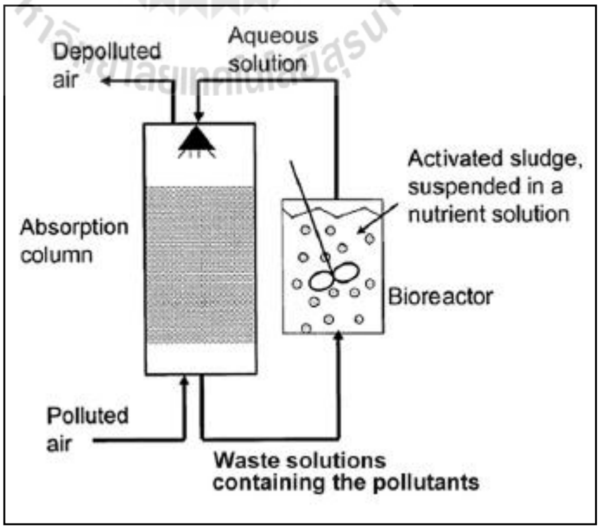
เนื่องจากกลไกการของกระบวนการกรองทางชีวภาพมีความเหมาะสมสำหรับการกำจัดสารที่ละลายน้ำ และการสัมผัสของจุลินทรีย์และก๊าซเกิดขึ้นพร้อมกันที่ชั้นไบโอฟิล์ม (Cox และ Deshusses, 1999) อัตราการไหลและอัตราการรีไซเคิลของของเหลว ได้รับการยอมรับให้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญเนื่องจากเป็นการการรักษาระดับของปริมาณธาตุอาหาร และนอกจากนี้การให้สารอาหารยังต้องเสียใช้จ่ายในด้านพลังงานเพิ่ม ซึ่งข้อดีข้อเสียของระบบกรองชีวภาพแบบหยดได้แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองชีวภาพแบบหยด

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ค่าใช้จ่ายต่ำ (ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและต้นทุนต่ำ) 2. ค่าความดันลดต่ำ 3. บำบัดสาร VOC ที่มีความเป็นกรด	1. มีจุลินทรีย์ส่วนเกินเกิดที่ชั้นกรอง 2. มีความซับซ้อนในการเดินระบบ 3. เกิดของเสียขึ้นหลังจากการบำบัด

2.4.4 ระบบไบโอสครับเบอร์ (Bioscrubber)

ระบบไบโอสครับเบอร์อาศัยหลักการในการทำงานเช่นเดียวกับระบบกรองแบบไบโอฟิลเตอร์ ซึ่งระบบนี้จะให้ก๊าซและของเหลวจะไหลสวนทางกันในหอดูดซึม ซึ่งในหอดูดซึมจะบรรจุชั้นกรอง และอาจมีการเพิ่มวัสดุตัวกรองที่เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวเยอะและมีความเฉื่อยเพื่อช่วยให้ชั้นตัวกรองมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับก๊าซและของเหลวได้มากขึ้นรวมทั้งชะลอการย่อยสลายของชั้นกรอง ซึ่งก๊าซที่ผ่านการบำบัดจะถูกปล่อยออกด้านบนของระบบ (Sandeep et al., 2010) โดยมีการพ่นน้ำจากบ่อเติมอากาศที่รองรับน้ำจากการฉีดพ่นในชั้นกรอง และบ่อเติมอากาศนี้มีการเลี้ยงจุลินทรีย์สำหรับย่อยสลายก๊าซที่เข้าสู่ระบบ นอกจากนั้นยังมีการเติมสารอาหารแก่จุลินทรีย์ด้วย ซึ่งส่วนประกอบของระบบไบโอสครับเบอร์ได้แสดงในรูปที่ 2.3 โดยประกอบไปด้วยสองหน่วยย่อยคือ หน่วยการดูดซึมหรือหอดูดซึมและหน่วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพหรือบ่อเติมอากาศ



รูปที่ 2.4 ระบบไบโอสครับเบอร์(Bioscrubber)

ที่มา : Sandeep et al., 2010

ในหน่วยการดูดซึมสารปนเปื้อนที่อยู่ในสถานะก๊าซซึ่งถูกลำเลียงเข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนสถานะไปยังเฟสของเหลว จากของเหลวที่พ่นมาจากถังปฏิกรณ์ชีวภาพ และถูกดูดซึมในหน่วยนี้และในถังปฏิกรณ์ชีวภาพนี้จะมีจุลินทรีย์แขวนลอยและมีธาตุสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จะใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง มาเพาะเลี้ยง (Sandeep et al., 2010) และข้อดีข้อเสียของระบบไบโอสครับเบอร์ได้แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ข้อดีและข้อเสียของระบบไบโอสครับเบอร์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ระบบมีความเสถียรและควบคุมพารามิเตอร์ pH และสารอาหารได้ดี	1. ให้พื้นที่ผิวจำเพาะสำหรับการถ่ายเทก๊าซและของเหลวต่ำ
2. ค่าความดันลดต่ำ	2. เกิดตะกอนส่วนเกิน
3. ต้องการพื้นที่น้อย	3. เกิดน้ำเสียหลังจากการบำบัด

2.4.5 ระบบเผาไหม้

2.4.5.1 ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Process)

ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Process) ใช้หลักการบำบัดกลิ่นโดยอากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่นถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 550 – 800 °C เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) และย่อยสลาย (Decompose) สารที่มีกลิ่นและเผาไหม้ได้ ซึ่งจะทำให้มีกลิ่นเจือจางลงหรือไม่มีกลิ่นเลย

การเผาโดยตรงจะทำให้เกิดสารเคมีพวกคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และสารประกอบอื่นๆ ที่อาจมีกลิ่นของตัวมันเองได้ จึงต้องศึกษาให้ละเอียดก่อนที่จะใช้วิธีนี้ เช่น การเผาไหม้ก๊าซไข่เน่า (H_2S) จะทำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมีกลิ่นฉุนแสบจมูก

2.4.5.2 ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง แต่ตัวเร่งปฏิกิริยามักจะทำงานได้ในกรณีที่อุณหภูมิเหมาะสมในช่วงแคบๆ และจะต้องไม่มีสารที่ทำลายคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เสื่อมสภาพ หรือมีสารไปปกคลุมพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ทั่วไปประมาณ 500 °C หรือต่ำกว่านั้น แต่ตัวเร่งปฏิกิริยามีราคาแพง และบางชนิดเป็นสารที่เป็นโลหะหนัก และเมื่อต้องทิ้งจัดเป็นกากของเสียอันตรายที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง

2.4.6 ระบบดูดซับด้วยสารตัวกลาง

2.4.6.1 ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon - Adsorption Process) เป็นกระบวนการบำบัดกลิ่นโดยสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นจะถูกดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ระบบนี้ใช้เสริมการบำบัดกลิ่นร่วมกับระบบอื่น ๆ วิธีนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้สำหรับดูดซับสารอินทรีย์ เช่น สารประกอบที่เกิดจากมูลสัตว์โดยมีลักษณะของโรงเรือนแบบปิด โดยการดูดอากาศจากโรงเรือนและปล่อยอากาศผ่านถ่านกัมมันต์ ซึ่งก๊าซที่มีกลิ่นที่จะถูกจับติดอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีรูพรุนเล็กๆและมีพื้นที่ผิวจำนวนมาก เมื่อสารถูกดูดจับจนถ่านกัมมันต์อิ่มตัวก็จะต้องไล่กลิ่นที่ติดที่ผื้นผิวสารดูดซับตัวกลางหรือถ่านกัมมันต์เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ (Regeneration)

ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์เหมาะสมที่จะใช้กำจัดกลิ่นจากบริเวณที่เก็บวัตถุดิบ ระบบบำบัดน้ำเสีย จุดที่ทำงานที่มีกลิ่นจากการใช้ตัวทำละลาย เหมาะสำหรับบำบัดกลิ่นมีความเข้มข้นไม่สูงมากจึงไม่ต้องเปลี่ยนถ่านบ่อยๆ

2.4.6.2 ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี

ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี (Impregnated Activated Carbon (A/C) - Adsorption Process) เป็นกระบวนการบำบัดกลิ่นโดยใช้ Impregnated A/C ที่ถูกเคลือบด้วยสารเคมีบางชนิด เช่น กรดหรือด่างอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพสูงกว่าการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) แบบธรรมดา Impregnated A/C สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการบำบัดสารที่ดูดซับไว้และทำการปรับสภาพใหม่ (Regeneration) เช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ธรรมดา

ในปัจจุบัน ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง ทำจากถ่านกะลามะพร้าว และอาจมีพื้นที่ผิวสูงถึง 1,200 ตารางเมตรต่อน้ำหนักเพียง 1 กรัม นอกจากถ่านกะลามะพร้าวแล้วยังมีการใช้ Zeolites ซึ่งเป็น Aluminosilicates ที่อยู่ในรูปผลึกและสามารถดูดซับโมเลกุลบางชนิดที่ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในกรดูดซับน้อย พื้นที่ผิวของ Zeolites อาจอยู่ระหว่าง 700-900 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม การเลือกถ่านกัมมันต์ต้องพิจารณาจากค่า Isotherm ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสามารถในการดูดซับกับความดันและอุณหภูมิ โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์จะดูดซับสารเคมีได้ไม่มากกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักถ่าน

2.4.7 สารกลบกลิ่น

สารเคมีบางชนิดสามารถระงับกลิ่นได้โดยกระบวนการทางเคมีหรือชีวภาพ โดยทั่วไปมักจะใช้ระงับกลิ่นในกรณีที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่เป็นพื้นที่ เช่น กองหรือลานตากมูลสัตว์ เช่น การใช้แบคทีเรีย Bacillus บางชนิดที่ผลิตเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) ไลเปส (Lipase) และอะไมเลส (Amylase) ไปย่อยสลายโมเลกุลที่มีกลิ่น เช่น กรดไขมันโพรพิโอนิก (Propionic) อะซิติก (Acetic) บิวทิริก (Butyric) ไอโซบิวทิริก (Isobutyric) และกรดแลคติก (Lactic Acid) อีกวิธีหนึ่งคือ ใช้สารเคมีที่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่มีกลิ่น ทำให้กลายเป็นสารที่ไม่มีกลิ่น เช่น การใช้เอมีนในการทำลายกลิ่นก๊าซไข่เน่า (H_2S)

2.4.8 ระบบสครับบิง

ระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing Process) เป็นกระบวนการบำบัดกลิ่นโดยในกรณีที่ส่วนหนึ่งของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่มีสภาพเป็นด่าง เช่น แอมโมเนีย (Ammonia) และไตรเมทิลลามีน (Trimethylamine) เป็นต้น จะนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดจะได้สารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่มีกลิ่น ส่วนในกรณีที่สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นมีสภาพเป็นกรด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) เมทิลเมอร์แคปแทน (Methyl Mercaptan) เป็นต้น จะทำปฏิกิริยากับสารละลายด่าง (Alkaline Solution) ได้เป็นสารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่มีกลิ่นหรือมีกลิ่นน้อยลง

ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon – Adsorption) อาจถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing) เพื่อกำจัดสารที่เป็นกลาง เช่น เมทิลซัลไฟด์ (Methyl Sulfide) ได้

2.4.9 ระบบกำจัดกลิ่นโดยการออกซิเดชั่น

2.4.9.1 ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาที่อุณหภูมิต่ำ

ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Oxidation Process) มีหลักการบำบัดกลิ่นโดยอากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่นถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 250 – 350°C และผ่านคะตะลิสต์เบด (Catalyst Bed) ซึ่งเป็นการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นจะอยู่ภายใต้สภาวะที่ถูกออกซิเดชัน (Catalytic Oxidation) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะถูกเผาไหม้ให้มีกลิ่นเจือจางหรือไม่มีกลิ่นเลย

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงแต่ตัวเร่งปฏิกิริยามักจะทำงานได้ในกรณีที่อุณหภูมิเหมาะสมในช่วงแคบ ๆ และจะต้องไม่มีสารที่ทำลายคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เสื่อมสภาพ หรือมีสารไปปกคลุมพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.9.2 ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน

ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน (Ozone – Oxidation Process) มีกระบวนการบำบัดกลิ่นโดย โอโซนจะถูกฉีดสู่อากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่น เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) สารที่มีกลิ่น โดยที่โอโซนเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong Oxidizing) จึงทำให้อากาศเสียมีกลิ่นเจือจางลง

2.4.9.3 ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา (Ozone – Catalytic Oxidation Process

ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา (Ozone – Catalytic Oxidation Process) มีกระบวนการบำบัด กลิ่นโดยโอโซนจะถูกฉีดสู่อากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่น เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) สารนั้น โดยที่โอโซนเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong Oxidizing) รวมกับการเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ทำให้อากาศเสียมีกลิ่นเจือจางลง

จากระบบที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นวิธีการต่างๆข้างต้น ต่างก็มีลักษณะความเหมาะสมกับการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากมลพิษประเภทต่างๆและจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ทำการสรุปข้อมูลของวิธีการบำบัดกลิ่นที่กล่าวมาไว้ในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดกลิ่นแต่ละระบบ

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบแบบชีวภาพ	- ไม่มีการใช้สารเคมี อาจต้องเติมสารอาหารเพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ได้ - ค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นต่ำ วัสดุตัวกลางหาได้ง่าย - ไม่เป็นอันตรายและไม่ก่อให้เกิดมลพิษข้างเคียง	- มีความอ่อนไหวต่อความเปลี่ยนแปลงของสารปนเปื้อนและสภาพแวดล้อม ทำให้ ระบบอาจล้มเหลวได้ง่าย - ใช้เวลาในช่วงเริ่มระบบนานกว่าระบบอื่น เพราะต้องให้จุลินทรีย์ปรับตัว - บำบัดกลิ่นทีมีความเข้มข้นไม่สูง
ระบบเผาไหม้โดยตรง	- บำบัดกลิ่นได้มากที่สุด - ใช้ได้ดีกับสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นความเข้มข้นสูง - การใช้งานง่ายและขณะเดียวกันมีผลในการบำบัดกลิ่นสูง	- ค่าเชื้อเพลิงสูงและไม่สามารถกำจัดสารอนินทรีย์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ - NO_x และ SO_x เกิดจากการใช้น้ำมันก๊าด และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.9 ข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดกลิ่นแต่ละระบบ (ต่อ)

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบดูดซับด้วยถ่านกัม-มันต์	- ง่ายต่อการควบคุมและบำรุงรักษา - มีประสิทธิผลสูงสำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ และสามารถ ดูดซับสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นได้มาก - เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียที่มีความเข้มข้นของกลิ่นต่ำในปริมาตรจำนวนมาก	- ประสิทธิผลต่ำในการบำบัดสารจำพวกแอมโมเนีย เอมีน และ อัลดีไฮด์ - ก๊าซที่มีกลิ่นความเข้มข้นสูง ต้องทำการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์บ่อย หรือต้องฟื้นฟูสภาพบ่อยครั้ง - ระยะเวลาสัมผัสจะเปลี่ยนตามอัตราการดูดซับกลิ่น - ประสิทธิภาพลดลงหากอากาศที่เข้ามามีความร้อนสูงกว่า 50°C
ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัม-มันต์ที่เคลือบสารเคมี	- ประสิทธิผลสูงและบำบัดสารได้หลายชนิด และง่ายต่อการควบคุมบำรุงรักษา - สามารถนำ Impregnated A/C กลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อผ่านการฟื้นฟูสภาพ	- การเปลี่ยนหรือการปรับสภาพของ Impregnated A/C ต้องเป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด
ระบบสครับบิง	- สามารถบำบัดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูงๆ ได้ - การลงทุนก่อสร้างระบบต่ำ - สามารถกำจัดละออง (Mist) ฟูม (Fume) และ ฝุ่น (Dust) ได้พร้อมกัน	- บำบัดสารที่เป็นกลางได้แต่มีประสิทธิภาพไม่ดี เพราะปฏิกิริยาจะต้องเกิดเร็ว สารที่เป็นกลางมักใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยากับสารอื่น - มีน้ำเสียเกิดขึ้นจากการใช้ระบบนี้ - ผู้ควบคุมต้องมีความชำนาญ
ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาที่อุณหภูมิต่ำ	- ตัวเร่ง (Catalyst) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้การเผาไหม้ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ และเสียค่าเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาไหม้โดยตรง - บำบัดสารที่เป็นอันตรายในความเข้มข้นต่ำได้ดี - ระบบมีขนาดกะทัดรัดและใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย และบำรุงรักษาระบบง่าย	- ไม่สามารถบำบัดสารก่อให้เกิดกลิ่นจำพวกอนินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ - ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จะมีอายุการใช้งานต่ำ ถ้าอากาศเสียมีสารโลหะหนัก สารจำพวกฟลูออรีน ซัลเฟอร์ปนอยู่ - ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) จากชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้
ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน	- ระบบไม่ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ระบบ ทำให้ง่ายในการเดินระบบ	- ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับ - อาจต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อกำจัดโอโซนที่เหลือ

ตารางที่ 2.9 ข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดกลิ่นแต่ละระบบ (ต่อ)

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน (ต่อ)	และการซ่อมบำรุงรักษาสามารถใช้ร่วมกับวิธีการบำบัดกลิ่นแบบอื่นได้	- การป้อนโอโซนต้องมีการปรับปริมาณให้เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกลิ่น
ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา	- การเพิ่มคะตะลิสต์เบด (Catalyst Bed) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้ - โอโซนที่เหลือจะถูกกำจัดไปพร้อมกันในคาตาลิสต์เบด พร้อมกับการกำจัดกลิ่น - สามารถใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน	- การป้อนโอโซนต้องปรับตามความเข้มข้นของกลิ่น ระบบตรวจวัดจึงมีความจำเป็นและมีราคาสูง - ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องปรับเปลี่ยนเสริมตลอดเวลาและมีราคาแพง

ที่มา : คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร กรมควบคุมมลพิษ (2553)

จากตารางจะเห็นได้ว่าระบบบำบัดก๊าซโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพเป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารเคมีอันตราย แต่จำเป็นต้องมีการเพิ่มสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากเป็นวิธีการที่ไม่เป็นอันตราย ไม่ก่อให้เกิดมลพิษข้างเคียงอื่นแล้ว ระบบยังไม่มีความซับซ้อน วัสดุที่ใช้เป็นสารตัวกลางสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น และที่สำคัญให้ประสิทธิภาพดีและมีค่าใช้จ่ายต่ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5 เทคโนโลยีระบบกรองชีวภาพ

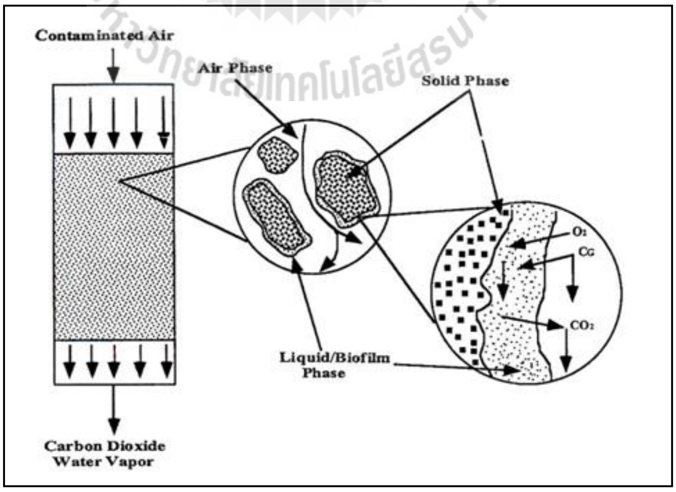
เทคโนโลยีระบบกรองชีวภาพในการบำบัดกลิ่นเป็นระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่เกาะติดกับบริเวณพื้นผิวตัวกลางมีลักษณะเป็นเป็นชั้นเมือกจุลินทรีย์ หรือ ไบโอฟิล์ม (Biofilm) ในการย่อยสลายก๊าซ ซึ่งตัวกลางที่ใช้ในการทดลองจะเน้นที่ความเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นได้ ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ตัวกลางดิน ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกและตะกอนจุลินทรีย์ การย่อยสลายในระบบกรองชีวภาพนี้จะเกิดกลไกการดูดซึม การดูดซับและการย่อยสลายทางชีวภาพ (เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551) ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดจะดีหรือไม่นั้น ย่อมขึ้นกับสภาวะที่เหมาะสมในการเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งต้องทำการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย อาทิ เช่น อุณหภูมิ pH ความชื้นของตัวกลาง ระยะเวลาเก็บกัก อัตราการไหลของอากาศ ธาตุสารอาหารที่

เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งระบบกรองชีวภาพที่ได้รับความนิยม คือ ระบบกรองแบบชีวภาพ (Biofilter) ระบบกรองชีวภาพแบบหยด (Biotrickling filter) และระบบฟอกชีวภาพ (Bio scrubber) (อลิสา วังใน, 2553) สำหรับการบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพนั้น ถือว่ามีประสิทธิภาพดี ไม่ด้อยไปกว่ากระบวนการอื่นๆ ทั้งยังมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีศักยภาพที่สามารถจะนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง

2.5.1 หลักการทำงานของตัวกรองชีวภาพ

ระบบตัวกรองชีวภาพเป็นระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ ซึ่งหลักการของระบบนี้ได้อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่น ทำให้กลายเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นมลพิษ ในการบำบัดกลิ่นของระบบกรองแบบชีวภาพนั้น ก่อนที่จะก๊าซหรือไอจะเข้าสู่ระบบกรองชีวภาพจะต้องมีการปรับสภาพเพื่อควบคุมฝุ่นละออง ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดก่อน

การทำงานของระบบกรองนี้แสดงดังรูปที่ 2.5 คือ มีการดูดก๊าซหรือมลพิษเข้าโดยอาศัยแรงดันในการดูดสารมลพิษจากพัดลมดูดอากาศเข้าสู่ระบบกรองที่ภายในบรรจุตัวกลางที่เป็นอยู่ในสถานะของแข็งที่จะทำหน้าที่ในการดูดซับก๊าซหรือสารมลพิษโดยอาศัยกลไกการดูดซับ และที่พื้นผิวด้านหน้าของตัวกลางจะมีชั้นเมือกจุลินทรีย์ (biofilm) ในส่วนนี้อาศัยกลไกการดูดซึมและการย่อยสลาย ซึ่งเมือกจุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการย่อยสลายก๊าซหรือมลพิษ แล้วได้สารผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายออกมา คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ



รูปที่ 2.5 กลไกการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

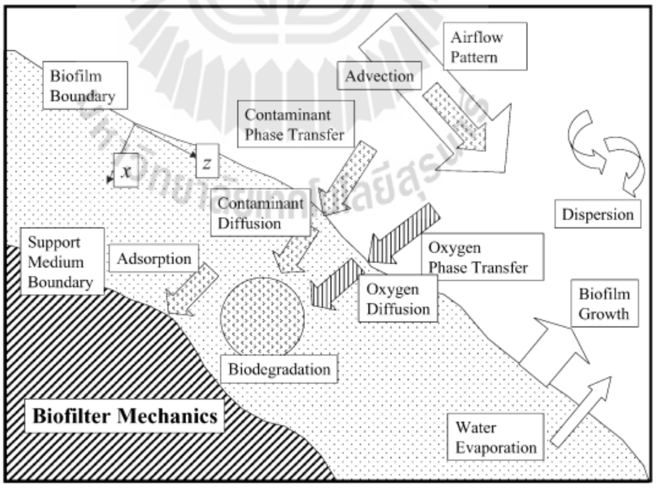
ที่มา : Devinny, Deshusses and Webster, 1999

หลักการทำงานที่สำคัญของระบบกรองชีวภาพ คือ การเคลื่อนที่สารมลพิษจากสภาวะที่เป็นก๊าซไปยังสภาวะที่เป็นของเหลวซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (Gas-Liquid transfer)ไปยังชั้นของเลวในไบโอฟิล์ม เพื่อให้จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่บริเวณตัวตัวกรองดูดซึม (uptake) เข้าไปในเซลล์ (Liquid-phase transfer to the microorganisms) และเกิดการเปลี่ยนรูปทางชีวภาพหรือการย่อยสลายสารมลพิษโดยจุลินทรีย์ (Microbial transformation or degradation of the contaminant) และสารหรือก๊าซมลพิษอาจถูกดูดซับในตัวกรองดังรูปที่ 2.6 แต่เมื่อสภาวะของระบบกรองชีวภาพคงที่ กลไกหลักในการบำบัด คือ กลไกการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Devinny and Ramesh, 2005) สามารถกล่าวได้ว่า มีกลไก 3 ประการที่ทำหน้าที่ถ่ายเทก๊าซที่ปนเปื้อนจากสถานะก๊าซไปยังวัสดุตัวกลางแล้วจึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพในตัวกลางอินทรีย์ของระบบกรองชีวภาพ (Adler, 2001) คือ

1. การไหลของก๊าซ -> การดูดซับบนตัวกลางอินทรีย์ -> ปล่อยออก/แตกตัวในสถานะของเหลว -> ย่อยสลายทางชีวภาพ

2. การไหลของก๊าซ -> การดูดซับบน biofilm โดยตรง -> ย่อยสลายทางชีวภาพ

3. การไหลของก๊าซ -> แตกตัวในสถานะของเหลว -> ย่อยสลายทางชีวภาพ



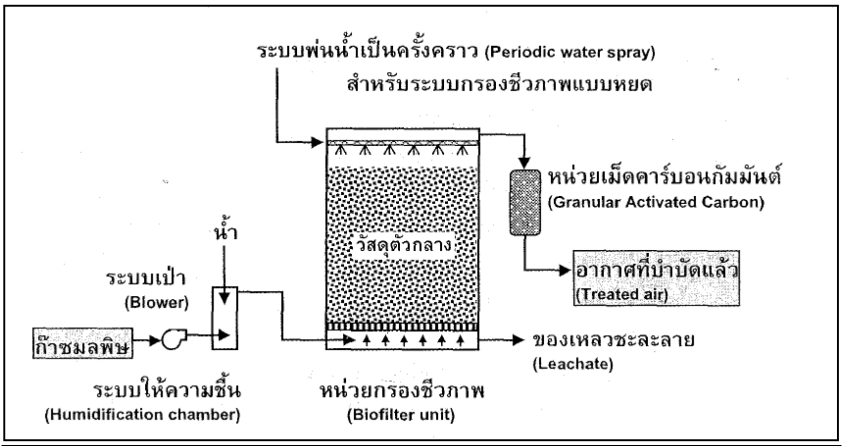
รูปที่ 2.6 กลไกที่เกิดขึ้นในกระบวนการกรองทางชีวภาพ
ที่มา : (Devinny และ Ramesh, 2005)

ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ สามารถใช้ในการบำบัดสารได้หลายประเภท (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547) ได้แก่

- สารประเภท อะลิฟาติด ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbon) เช่น เฮกเซน
- สารประเภท อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอททิลเบนซีน ไซลีน และ สไตรีน
- สารประกอบที่มีออกซิเจน ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol)
  - กลุ่ม แอลกอฮอล์ เช่น เมทธานอล เอทธานอล และโพรพานอล
  - กลุ่ม อัลดีไฮด์ เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ อะซิตาดีไฮด์
  - กลุ่ม คีโตน เช่น อะซิโตน เมทธิลเอทิลคีโตน เมทธิลไอโซบิวทิลคีโตน
  - กลุ่ม กรดคาร์โบลีน และกรดบิวไทริค
  - กลุ่ม ฟีนอล
- สารประกอบซัลเฟอร์ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โทรไซยาเนท และเมทธิลเมอร์แคปเทน
- สารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย เอมายด์ ไตรเอทธิลีนเอมีน เป็นต้น

2.5.2 ส่วนประกอบของตัวกรองชีวภาพ

ระบบกรองแบบชีวภาพโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ 1) ระบบรวบรวมก๊าซ 2) ระบบให้ความชื้น และ 3) ระบบกรองชีวภาพ (อลิสา วังใน, 2553) แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยมีรายละเอียดคือ ระบบดูดอากาศหรือสารมลพิษ หรือระบบแบบเป่าอากาศเข้าสู่ระบบกรอง (blower) ซึ่งทำหน้าที่ในการดูดหรือเป่าก๊าซมลพิษเข้าสู่ระบบให้ความชื้น (Humiddifier) ซึ่งการให้ความชื้นแก่ระบบกรองสามารถทำได้โดยให้ก๊าซผ่านหน่วยให้ความชื้นแล้วเข้าสู่ระบบกรอง หรือพ่นละอองน้ำ (spray) ให้ตัวกลางโดยตรง และหน่วยระบบกรองที่บรรจุตัวกลางชีวภาพในการกรองและดูดซับสารมลพิษ (biofilter) แล้วจึงปล่อยอากาศที่ผ่านการบำบัดไปสู่บรรยากาศภายนอก บางกรณีอาจมีการเพิ่มถ่านกัมมันต์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของระบบกรอง ไว้หลังจากหน่วยกรอง



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของระบบกรองชีวภาพแบบทั่วไป
(อลิสา วังใน, 2553)

กล่องครอบถาดกรองเพื่อป้องกันการเจือจางจากอากาศภายนอก ป้องกันลม ควบคุมความชื้นของระบบและยังป้องกันแมลงและสัตว์ต่างๆที่จะรบกวนการทำงานของระบบด้วย ซึ่งในกล่องจะมีระบบให้ความชื้นโดยการสเปรย์น้ำลงมายังตัวกรอง เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้และความชื้นนี้ก็มีความสำคัญในการบำบัดก๊าซเป็นอย่างดี เพราะจะก่อให้เกิดชั้นไบโอฟิล์มบนพื้นผิวตัวกรอง ซึ่งไบโอฟิล์มนี้จะมีจุลินทรีย์จำนวนมากซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวย่อยสลายก๊าซที่เข้าระบบและปล่อยสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายก๊าซมลพิษออกมาแทน

นอกจากระบบให้ความชื้นแล้วในการบำบัดจะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าไม่มีพัดลมหรือปั๊มดูดอากาศเข้าสู่ระบบ ซึ่งอัตราการดูดอากาศควรจะมีความเหมาะสมกับความดันของระบบ และควรตรวจวัดความดันลดของระบบเพื่อให้อัตราการไหลของอากาศมีความเหมาะสมเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบได้

กล่องจะมีการเจาะช่องเพื่อไว้สำหรับเก็บตัวอย่างของพารามิเตอร์ต่างๆมาทำการวิเคราะห์ และยังสามารถตรวจจบสภาวะของระบบ ในกรณีต้องการทราบสภาวะของระบบ ณ ช่วงเวลานั้นๆ เพื่อป้องกันระบบล้มเหลว และช่องนี้ยังเป็นที่ปล่อยอากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่บรรยากาศภายนอก

2.5.3 ตัวกรองในระบบกรองชีวภาพ

วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีความชื้น มีความพรุนเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ และให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก ไม่อัดแน่นได้ง่าย และที่สำคัญเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาไม่แพง ซึ่งตัวกรองที่ถูกใช้ในระบบ

กรองชีวภาพ ได้แก่ ตัวกรองที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ดิน เปลือกไม้ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก กาบมะพร้าว กากตะกอนน้ำเสีย และขยะอินทรีย์ เป็นต้น ตัวกรองที่เป็นสารอินทรีย์นี้ซึ่งอาจสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ได้ และตัวกลางที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น

เมื่อลำเลียงอากาศที่มีสารปนเปื้อนที่ต้องการบำบัดผ่านเข้าสู่ตัวกรองซึ่งมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่นั้น จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนให้กลายเป็นสารประกอบขนาดเล็ก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยทั่วไปความหนาของตัวกรองควรจะน้อยกว่า 1 เมตร มีการติดตั้งระบบให้ความชื้นที่ส่วนบนของหน่วยกรอง และมีวัสดุรองรับตัวกรอง เช่น กรวด เพื่อช่วยให้มีการกระจายอากาศผ่านชั้นกรองได้ดีขึ้น

1) คุณสมบัติของตัวกลางวัสดุธรรมชาติ

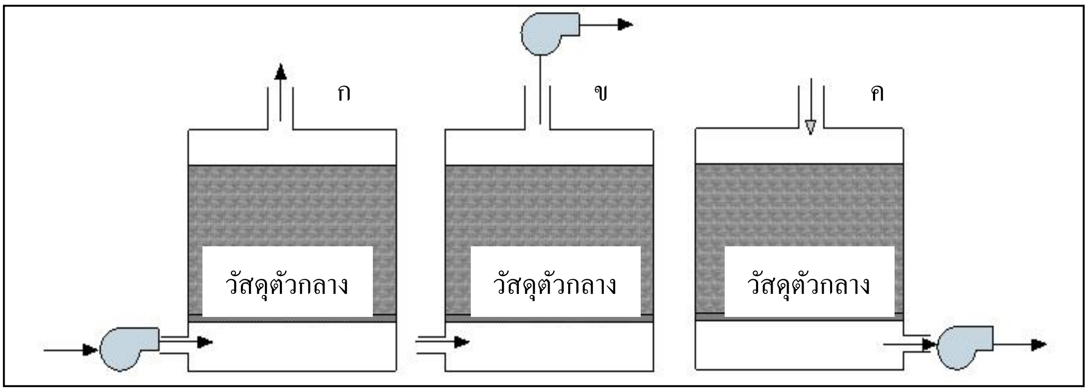
ตัวกลางที่เป็นวัสดุธรรมชาติ เช่น เศษไม้ ดิน ปุ๋ยคอก ซึ่งสามารถหาได้ง่ายและราคาไม่แพง วัสดุเหล่านี้มีสารอินทรีย์ที่สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้ และมีจุลินทรีย์ในธรรมชาติอยู่ในตัวกลางเหล่านี้อยู่แล้ว แต่ถ้าหากมีจุลินทรีย์ในปริมาณที่ไม่เพียงพอ ก็จำเป็นที่จะต้องมีการเติมจุลินทรีย์เพื่อให้การย่อยสลายเป็นไปได้เร็วขึ้น แต่ตัวกลางชนิดนี้ก็ยังมีข้อเสีย คือ ความไม่สม่ำเสมอของขนาดตัวกลาง ทำให้ควบคุมการกระจายอากาศ ความดันลดของระบบกรองชีวภาพ และควบคุมประสิทธิภาพในการบำบัดได้ยาก ดังนั้นเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการผสมตัวกลางอื่นๆลงไป เช่น เม็ดเซรามิค เม็ดสไตโรโฟม เพอไรต์ เพื่อเพิ่มความพรุนแก่ตัวกลาง และในกรณีที่สารอาหารในตัวกลางนั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มสารอาหารให้กับระบบด้วย

2) คุณสมบัติของตัวกลางสังเคราะห์

วัสดุตัวกลางสังเคราะห์ เช่น เม็ดพลาสติก เม็ดพอลิเอทิลีน Pall ring หรือ rashing ring ถ่านกัมมันต์ เม็ดดินไดอะตอม ฯลฯ วัสดุเหล่านี้ถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางในระบบกรองแบบชีวภาพเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความพรุนมาก มีพื้นที่ผิวมากทำให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้ดี นอกจากนั้นแล้วตัวกลางประเภทนี้ยังมีคุณสมบัติในการดูดซับก๊าซได้ด้วย และยังป้องกันการเกิดความดันลดที่เกิดในระบบ แต่อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญสำหรับตัวกลางชนิดนี้ คือ ต้องมีการรักษาความชื้น การให้สารอาหารต่อจุลินทรีย์อย่างเพียงพอ

2.5.4 อัตราการเป่าก๊าซมลพิษ

การให้นำก๊าซมลพิษเข้าสู่ระบบกรองสามารถทำได้ทั้งในรูปแบบของการเป่าอากาศหรือการดูดอากาศ โดยรูปแบบของทิศทางการไหลของก๊าซมลพิษนั้น โดยทั่วไปจะเป็นได้ทั้งในรูปแบบทิศทางการไหลผ่านขึ้น (up flow) หรือการไหลผ่านในทิศทางลง (Down flow) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแสดงทิศทางการไหลของก๊าซ

ก) , ข) การเป่าก๊าซมลพิษเข้าสู่ระบบแบบผ่านขึ้น

ค) การเป่าก๊าซมลพิษเข้าสู่ระบบแบบผ่านลง

(อลิสา วังใน, 2553)

สำหรับอัตราการไหลแบบผ่านขึ้นนั้น อัตราการไหลของก๊าซจะถูกควบคุมที่อัตราการไหล 1 - 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดของระบบกรองชีวภาพ โดยปัจจัยสำคัญในการนำก๊าซเข้าสู่ระบบคือ การกระจายตัวของก๊าซให้มีการกระจายตัวได้ทั้งระบบ

2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น

สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบของระบบกรองชีวภาพนั้นมีผลต่อมีประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นอย่างมาก ดังนั้นจึงควรที่จะมีการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพระบบกรอง โดยหัวข้อนี้จะสรุปข้อมูลที่อ้างอิงจากงานวิจัยการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ (ณัฐพล รัตนมุขย์, 2549) และงานวิจัยประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ (เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551) เป็นหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.5.1 ความหนาของชั้นตัวกรอง

โดยทั่วไปความหนาของชั้นตัวกรองอยู่ในช่วง 0.5 – 2.5 เมตร แต่ไม่ควรมีความหนามากกว่า 1 เมตร เพราะถ้าหากความหนาของตัวกลางมากเกินไปต้องใช้แรงดันในการเป่าอากาศมาก ส่งผลให้ตัวกลางเกิดการอัดตัวได้เร็ว และถ้าชั้นตัวกรองมีความหนามากอาจจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศในระบบกรองซึ่งนอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบลดลงแล้วชั้นกรองเองอาจจะก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

ตัวกรองที่ใช้ในการทดลองจะต้องได้รับการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้ตัวกรองมีความสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นก็จะบรรจุใส่ถาดบรรจะตัวกรอง วัสดุสำหรับรองรับตัวกรองให้มีความหนาและมีอัตราส่วนของตัวกลางที่เหมาะสมบำบัด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

2.5.5.2 ค่าความชื้นในระบบ

ค่าความชื้นมีความสำคัญต่อระบบกรองชีวภาพเพราะจุลินทรีย์จะดูดซึมและย่อยสลายก๊าซมลพิษในสภาวะของเหลว ถ้าความชื้นในระบบต่ำเกินไปจะทำให้การย่อยสลายก๊าซเกิดได้ไม่ดี คือ จุลินทรีย์ไม่สามารถดูดซับก๊าซและย่อยสลายได้หรือบางทีจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้และยังอาจทำให้ตัวกลางมีการแห้งและแตกได้ (cracking) อีกกรณีถ้าหากในระบบมีความชื้นมากเกินไป ปริมาณน้ำที่มากจะไปยังยั้งการถ่ายเทก๊าซ (gas transfer inhibition)

ความชื้นในระบบกรองส่วนมากจะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงปริมาณร้อยละ 50 - 65 โดยน้ำหนัก การให้ความชื้นของระบบนั้นทำได้โดยการให้ก๊าซที่จะเข้าสู่ระบบผ่านแหล่งกำเนิดละอองน้ำ (Mist generation) ซึ่งก๊าซนั้นจะอิ่มตัวไปด้วยน้ำ แล้วจึงเข้าสู่ระบบกรอง หรืออีกวิธี คือ การโปรยละอองน้ำให้กับชั้นตัวกรองในระบบกรองชีวภาพโดยตรง โดยปริมาณความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$\text{ความชื้น(ร้อยละ)} = \frac{\text{(น้ำหนักตัวกรองที่มีความชื้น-น้ำหนักตัวกรองแห้ง)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวกรองที่มีความชื้น}} \quad (2.9)$$

2.5.5.3 อุณหภูมิ

การย่อยสลายทางชีวภาพจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้า ย่อมขึ้นกับอุณหภูมิที่เหมาะสมของระบบนั้นๆ ถ้าอุณหภูมิของระบบมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ (Optimun tempreature) ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีด้วย แต่ถ้าหากอุณหภูมิของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไม่อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ดี โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบกรองแบบชีวภาพจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิในช่วงปานกลางคือ 25-35 องศาเซลเซียส

2.5.5.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบ

ในการย่อยสลายก๊าซโดยระบบชีวภาพ พบว่า การย่อยสลายก๊าซแอมโมเนีย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรด ซึ่งอาจจะทำ

ให้ pH ของระบบลดต่ำลงจนมีค่า pH ประมาณ 1 โดยที่สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบกรองแบบชีวภาพจะมี pH อยู่ในช่วงประมาณ 6.5-8.5 และในขณะที่pH ประมาณ 1 ซึ่งเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ทั้งยังอาจก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนของวัสดุตัวกลางได้ ท้ายที่สุดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้น การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระบบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างของระบบให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม จึงควรเติมสารที่มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH หรือสารที่มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ หรือเติมสารที่สภาพเป็นด่าง สารที่มีองค์ประกอบของไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และซิลิเกตของแคลเซียม แมกนีเซียม เช่น เติมพวกขี้เถ้า หินปูน (Lime stone; $CaCO_3$) เปลือกหอยบด (มีองค์ประกอบของ $CaCO_3$) เป็นต้น

2.5.5.5 ระยะเวลากัก

ระยะเวลากักพัก หรือระยะเวลาเก็บกัก (Empty bed residence time, EBRT) คือ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของก๊าซเข้าสู่ระบบกรองให้มีการดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (absorption) โดยทั่วไปแล้ว ค่า EBRTจะขึ้นกับชนิดของก๊าซมลพิษและวัสดุตัวกรอง ซึ่ง EBRT มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอย่างยิ่ง ถ้า EBRT อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซมลพิษไม่ดี ค่า EBRT นี้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของตัวกรองชีวภาพกับอัตราการไหลของก๊าซที่เข้าสู่ระบบกรองชีวภาพ ดังสมการที่ 2.10

$$EBRT = V_f / Q \tag{2.10}$$

เมื่อ : V_f = ปริมาตรของตัวกรองในระบบ (filter bed) (ลบ.ม., ลบ.ฟุต, ฯลฯ)

Q = อัตราการไหลของก๊าซ (Air flow rate) (ลบ.ม./ชม., ลบ.ฟุต/นาที, ฯลฯ)

แต่ในความเป็นจริง ค่า EBRT จากการคำนวณด้วยสมการนี้เป็นค่าระยะเวลากักเก็บก๊าซในระบบที่เกินจากความเป็นจริงเล็กน้อยเนื่องจากระยะเวลากักเก็บก๊าซอยู่ในระบบจริงสามารถคำนวณจากค่าปริมาตรของตัวกรองในระบบคูณกับค่าความพรุน (porosity) ของตัวกลางกรองชีวภาพและหารด้วยอัตราการไหลของก๊าซ (เกริก วงศ์สอนธรรม , 2549) เนื่องจากค่าความพรุนของตัวกลางนั้นเป็นค่าที่แตกต่างกันตามชนิดของตัวกลาง จึงนิยมใช้ค่า EBRT มากกว่า

2.5.5.6 อัตราการให้อากาศ

ออกซิเจนมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและการย่อยสลายก๊าซมลพิษของจุลินทรีย์ในระบบกรองแบบชีวภาพ ในระบบกรองชีวภาพทั่วไปจะมีการให้อัตราไหล

อากาศอยู่ที่อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อก๊าซมลพิษ 100 ส่วน : 1 ส่วน เพื่อให้แน่ใจว่าระบบมีออกซิเจนเพียงพอที่จะไม่เกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น

2.5.5.7 สารอาหาร

สารอาหารมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เป็นต้น ซึ่งการเติมธาตุสารอาหารให้กับระบบ สามารถทำได้โดยการโปรยมากับละอองน้ำ สำหรับตัวกรองปุ๋ยหมักจะมีธาตุสารอาหารในช่วงเริ่มต้นที่อัตราส่วน ได้แก่ ไนโตรเจน: ฟอสฟอรัส: โพแทสเซียม อยู่ในช่วงร้อยละ 0.40 : 0.15 : 0.15 โดยน้ำหนัก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สราวุธ หาญทนงค์ (2543) ชี้ว่าปัญหาเรื่องกลิ่นและพิษของสารอินทรีย์ระเหยในประเทศไทยเป็นเรื่องใหญ่ที่ยังขาดมาตรการการควบคุมและมาตรฐานในการบำบัด ได้ทำการศึกษาเทคนิคการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยได้ ด้วยเทคนิคชีวภาพในเครื่องกรองอากาศซึ่งบรรจุของผสมของสารอินทรีย์ระหว่างดินกับปุ๋ยคอก และสารเคมีเพื่อเป็นแหล่งอาหารและปรับ pH โดยทำการทดลองกับระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ 2 แบบ คือ แบบดรัมและแบบ 3 คอลัมน์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนของแบบดรัม และแบบคอลัมน์ มีค่า 86.1% และ 73.8 % ตามลำดับ ที่อัตราไหลอากาศ 12.2 และ 22.2 วินาที ตามลำดับ และช่วงที่ 2 การทดลองที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนของแบบดรัมและแบบ 3 คอลัมน์ มีค่า 95% และ 92% ตามลำดับที่อัตราไหลอากาศ 6.7 วินาทีและ 7.4 วินาทีตามลำดับ

ชาตรี อิณชิต (2546) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดสไตรีนโมโนเมอร์ที่ปนเปื้อนในอากาศด้วยระบบกรองชีวภาพ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลาง 3 ชนิด คือ ฟางข้าว ปุ๋ยคอก และตะกอนสูบกลับของระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของสไตรีนโมโนเมอร์เข้าระบบมีค่าคงที่เท่ากับ 349 ppm ที่ระยะความสูงของชั้นกรอง 105 ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด โดยเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ ปุ๋ยคอก ตะกอนสูบกลับ ฟางข้าว โดยมีค่าเฉลี่ยการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 54 40 และร้อยละ 25 ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของสไตรีนโมโนเมอร์เข้าระบบมีค่าคงที่เท่ากับ 109 ppm ที่ระยะความสูงของชั้นกรอง 52 ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของ ปุ๋ยคอก ตะกอนสูบกลับ มีประสิทธิภาพเท่าๆกัน คือร้อยละ 100 ส่วนฟางข้าวมีประสิทธิภาพร้อยละ 96 ซึ่งการบำบัดด้วยระบบกรองนี้มีข้อดีในด้านเป็นระบบชีวภาพซึ่งมีต้นทุนของระบบต่ำ และก่อให้เกิดปัญหาต่อเนื่องทางด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

อรอุมา ศักดิ์เศรษฐ์ (2547) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซบิวไทริคแอซิด ซึ่งเป็นกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยได้ทำการสังเคราะห์ก๊าซบิวไทริคแอซิด โดยให้อากาศไหลผ่านก๊าซแล้วไหลไปเข้าระบบกรอง ทดลองโดยใช้ตัวกลาง 2 ชนิดคือ ปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักผสมกาบมะพร้าว กำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ 2 ระดับ คือ 4 ลิตรต่อนาที และ 8 ลิตรต่อ ได้ทำการทดลองเป็นเวลาต่อเนื่องนานที่สุด 13 วัน ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซบิวไทริคแอซิด อยู่ในช่วงร้อยละ 78.54 – 99.72 จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า วิธีการกรองแบบชีวภาพถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ในการบำบัดกลิ่นของก๊าซบิวไทริคแอซิดได้

ชวลิต ชีวเกตุ (2549) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังกรองชีวภาพเพื่อลดปัญหาเรื่องกลิ่นจากสารอินทรีย์ระเหยในรูป Total VOCs จากถังเก็บ Light Cracker Bottom ในโรงงานของบริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัด (มหาชน) (PTT chem) สาขา 3 ถนน I-4 นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยการตรวจวัดความเข้มข้นของ Total VOCs ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบถังกรองชีวภาพเป็นระยะเวลา 15 วัน 4 ตัวอย่าง รวม 60 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Multi RAE (USA) Model :PGM-54 ซึ่งใช้หลักการ Photo Ionizing Detection (PID) จากผลการทดสอบพบว่าค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบมีค่าร้อยละ 88.88 โดยมีประสิทธิภาพต่ำสุด เท่ากับร้อยละ 24.02 และมีประสิทธิภาพสูงสุดถึงร้อยละ 100

อัจฉรา ศรีคงรักษ์ (2553)ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบการบำบัดกลิ่นของตัวกรองชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นำมาบำบัดกลิ่นจากน้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปยางพารา โดยใช้วิธีดมกลิ่นตามมาตรฐาน ASTM STP 440 ตัวกรองที่ใช้ 3 ชนิด คือ เปลือกยางพารา กาบมะพร้าวและแกลบ ตัวกรองแต่ละชนิดแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่มีการผสมตะกอนจุลินทรีย์ และชุดไม่มีการผสมกากตะกอนจุลินทรีย์ โดยในการศึกษาได้นำน้ำเสีย 5 มิลลิลิมตร ใส่ในขวดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร แล้วปล่อยให้น้ำเสียระเหยผ่านชั้นกรองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 48 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมง โดยศึกษาที่ความรุนแรงของกลิ่น 6 ระดับ จากน้อยไปมาก พบว่าตัวกรองที่ผสมกากตะกอนจุลินทรีย์ลดความรุนแรงของกลิ่นได้มากกว่าตัวกรองที่ไม่ผสมตะกอน โดยที่กาบมะพร้าวผสมตะกอนลดกลิ่นในระดับที่ 1 ไม่ได้กลิ่นร้อยละ 70 ระดับที่ 2 เริ่มได้กลิ่นร้อยละ 30 ส่วนแกลบผสมตะกอนและเปลือกยางพาราผสมตะกอนสามรถลดความรุนแรงได้ และพบว่าไม่มีการบำบัดกลิ่นในระดับที่ 1 ส่วนของระยะเวลาในการบำบัด 24 ชั่วโมง 48 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน และพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของตะกอนการบำบัดบัดก็มีประสิทธิภาพดีขึ้น คือ ที่สัดส่วน ของกาบมะพร้าวต่อตะกอนน้ำเสียที่ 15:6 15:20 และ 15:40 ลดกลิ่นในระดับที่1 ได้ร้อยละ 70 85และ 90 ตามลำดับ

เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร (2551) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม โดยเปรียบเทียบตัวกลางผสมระหว่าง ปุ๋ยหมัก: เศษไม้: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์ จำนวน 4 ชุดการทดลอง ที่อัตราส่วนดังต่อไปนี้ 70:10:10:10 60:20:10:10 50:30:10:10 และ 40:40:10:10 โดยแปรผันความเข้มข้นของแอมโมเนียในช่วง 5-200 ppm แปรผัน EBRT 30, 45, 60 วินาที เครื่องกรองที่ใช้ในการทดลองเป็นขนาดห้องปฏิบัติการทำจากท่ออะครีลิคเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.054 เมตร สูง 2 เมตร ชั้นตัวกลางสูง 1.5 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับความสูง 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25และ 1.50 เมตร โดยทำการเดินระบบ 8 ชั่วโมงต่อวัน กำหนดอัตราไหลอากาศ 2.95-5.90 ลิตรต่อนาที ผลการทดลองพบว่าที่ตัวกลางผสมปุ๋ยหมัก 60% และ 50% เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าความดันลดต่ำและมีการทรุดตัวของตัวกลางต่ำ

Yasuda et al. (2009) ศึกษาการบำบัดกลิ่นแอมโมเนียจากการเลี้ยงสัตว์โดยศึกษาศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นในชั้นกรอง โดยใช้แผ่นใยหิน (rock wool) เป็นตัวกรองในระบบกรองชีวภาพ โดยหมักมูลสุกรและมูลโคใช้เป็นแหล่งกำเนิดกลิ่น ใช้พัดลมดูดอากาศเข้าสู่ระบบบำบัดที่อัตราการไหล 20 m^3/min ที่ EBRT 100-200 วินาทีให้ความชื้นโดยการสเปรย์ลงสู่ชั้นกรองโดยตรง ผลการศึกษาพบว่าในการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย ศักยภาพในการเกิดเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นมีค่าประมาณ 8.2-12.9 mgN และ 1.42- 4.69 mgN/100g dry sample/day ตามลำดับ ซึ่งปฏิกิริยาริฟิเคชั่น ดีไนตริฟิเคชั่นที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนีย หรือไนเตรทที่เกิดการสะสมที่ชั้นกรอง แต่นอกจากในชั้นกรองแล้วน้ำชะตัวกรองก็มีสารประกอบไนโตรเจนสูง จึงควรศึกษาวิธีหรือเทคนิคในการลดสารประกอบไนโตรเจนจากน้ำชะตัวกรองต่อไป และนอกจากจะศึกษาการบำบัดแอมโมเนียยังลด N_2O และ CH_4 ซึ่งเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกด้วย

Neslihan Akdeniz et al. (2011) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองแบบชีวภาพโดยใช้เปลือกถั่ว เศษไม้ และหินภูเขาไฟเป็นวัสดุตัวกรอง ซึ่งเปลือกไม้และเศษไม้สามารถหาได้ในพื้นที่ทั่วไป และราคาถูก แต่วัสดุเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ สามารถย่อยสลายได้จึงต้องทำการเปลี่ยนออกทุกๆ 2-5 ปี ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาอัตราการไหลของอากาศและประสิทธิภาพในการลดก๊าซของวัสดุตัวกรองทั้งสองประเภท โดยให้อากาศไหลผ่านตัวกลาง 3 ค่า (1, 3 และ 5 วินาที) และระดับความชื้น 2 ระดับ (82% และ 90%) พบว่าหินภูเขาไฟมีความดันลดต่ำกว่าทั้งที่ตัวกรองนี้มีความหนามากกว่า และประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดที่ระยะเวลาที่อากาศไหลผ่านชั้นตัวกรองเป็นเวลา 5 วินาทีและความชื้นร้อยละ 90 สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ร้อยละ 56 บำบัด

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 88 บำบัดซัลเฟอร์ร้อยละ 25 บำบัดมีเทนและไนตรัสออกไซด์ร้อยละ 0.7 และสามารถบำบัดกลิ่นได้ถึงร้อยละ 48

Teng-Teeh Lim et al. (2012) ทดลองติดตั้งเครื่องกรองแบบชีวภาพ ที่โรงชำแหละสุกรในรัฐอินเดียนนา ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการลดการปล่อยมลพิษอากาศ โดยใช้เปลือกสนเป็นตัวกรอง โดยศึกษาที่มีความหนา 2 ระดับ ที่ความหนาของตัวกรองที่ 127 มิลลิเมตรและ 254 มิลลิเมตร มีการติดตั้งห้องแชมเบอร์เพื่อคลุมเครื่องกรอง 3 ห้อง ซึ่งมีการบำบัดอากาศที่ถูกดูดออกมาโดยพัดลมดูดอากาศ 2 ห้องและอีก 1 ห้องไม่มีการบำบัด พบว่าเครื่องกรองที่ความหนาตัวกลาง 127 มิลลิเมตร 2 เครื่อง สามารถลดความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ร้อยละ 31.1 และ 18.1 สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 26.6 และ 23.6 ตามลำดับ ส่วนตัวกลางหนา 254 มิลลิเมตร ลดความเข้มข้นแก็สแอมโมเนียได้ร้อยละ 45.8 และ 18.0 และลดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ร้อยละ 42.2 และ 27.9 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของความดันลดของเครื่องกรองอยู่ในช่วง 29.6 – 57.2 Pa ระยะเวลาเก็บกัก (empty bed residence times :EBRT) 0.3 วินาที และ 0.6 วินาที สำหรับตัวกลางหนา 127 มิลลิเมตรและ 254 มิลลิเมตร ตามลำดับ และได้แนะนำให้มีการตรวจสอบเพื่อดูการอัดตัว และปริมาณความชื้นที่ต้องการเพื่อให้เกิดค่าความดันลดต่ำสุดและให้เครื่องกรองมีประสิทธิภาพสูงสุด และยังพบว่าเครื่องกรองชีวภาพนี้มีราคาถูกและติดตั้งง่าย แต่ถ้ามีระยะเวลากักเก็บสั้นทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง การที่ประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพนี้จะสูงหรือบำบัดมลพิษได้ดีนั้น ปริมาณของตัวกลางจะต้องสอดคล้องกับระยะเวลาเก็บกักด้วย

Omri et al. (2013) ศึกษาการใช้ระบบกรองชีวภาพในการบำบัดกลิ่นจากระบบบำบัดน้ำเสีย ใช้พีทเป็นตัวกรองในระบบ ในการศึกษาพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดและจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบที่ความเข้มข้นต่างๆ มีค่าความเข้มข้นระหว่าง 200 และ 1,300 mg H_2S/m^3 โดยได้ทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 99 ที่ EBRT 60 วินาที และพบจุลินทรีย์จำพวก heterotropic bacteria เป็นจุลินทรีย์กลุ่มเด่นที่อยู่ในระบบกรองชีวภาพ เมื่อแยกประเภทจุลินทรีย์พบว่าเป็น *Psudomonas* และ *xanthomonadacea bacterium*

Dumont et al. (2014) ได้ทำการบำบัดกลิ่นแอมโมเนียจากฟาร์มสุกรในประเทศฝรั่งเศส โดยใช้เศษไม้เป็นตัวกรอง ได้ทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการ (pilot scale)ในช่วงฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง เพื่อศึกษาสภาวะภูมิอากาศต่อประสิทธิภาพการบำบัด มีค่า EBRT ในช่วง 6-15 วินาที พบว่าในฤดูร้อนแอมโมเนียมีความเข้มข้น 15 mg/m^3 พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าร้อยละ 90 และประสิทธิภาพร้อยละ 100 ที่อัตราโหลด (loading rate) 4 g/hr.m^3 ที่ EBRT 12 วินาที ส่วนที่

EBRT 6 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงอย่างรวดเร็วร้อยละ 30-50 (เพิ่มอัตราโหลด 12g/hr.m^3) ส่วนในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ประสิทธิภาพที่ EBRT 12 วินาที มีค่าร้อยละ 80 อัตราโหลด 3 g/hr.m^3 จากการศึกษาพบว่าระบบกรองชีวภาพมีความเหมาะสมในการบำบัดแอมโมเนีย และสภาพภูมิอากาศ เช่น ค่าความชื้นและอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นควรมีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

Klafle et al. (2015) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในฟาร์มสุกร และประเมินผลของความหนาชั้นกรองต่อประสิทธิภาพการบำบัด มีการให้น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นความชื้นแก่ตัวกรองที่อัตรา 3.8-556.0 l/m^3/d (อัตราการให้น้ำขึ้นกับสภาวะแวดล้อมภายนอก) โดยประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่น ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดในช่วง 1.6-3.1วินาที ที่ประสิทธิภาพร้อยละ 73.5-76.9 95.2-97.9 และ 95.8-100 ตามลำดับ ที่ความหนาชั้นกรอง 381 มิลลิเมตร มี EBRT 0.6-3.1วินาที ความชื้นร้อนละ 64-66 ความดันลดของระบบอยู่ที่ 28.8-68.8 ปาสคาล สำหรับระบบกรองชีวภาพที่ใช้เศษไม้เป็นตัวกรองพบว่าความสูงของชั้นกรองตั้งแต่ 254 มิลลิเมตร ค่าความชื้นร้อยละ 35-50 และ EBRT 2-3 วินาที ก็เพียงพอต่อการบำบัดกลิ่นจากฟาร์มสุกร

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น สามารถสรุปค่าปัจจัยต่างๆที่มีความเหมาะสมในการบำบัดก๊าซมลพิษได้ดังตารางที่ 2.10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

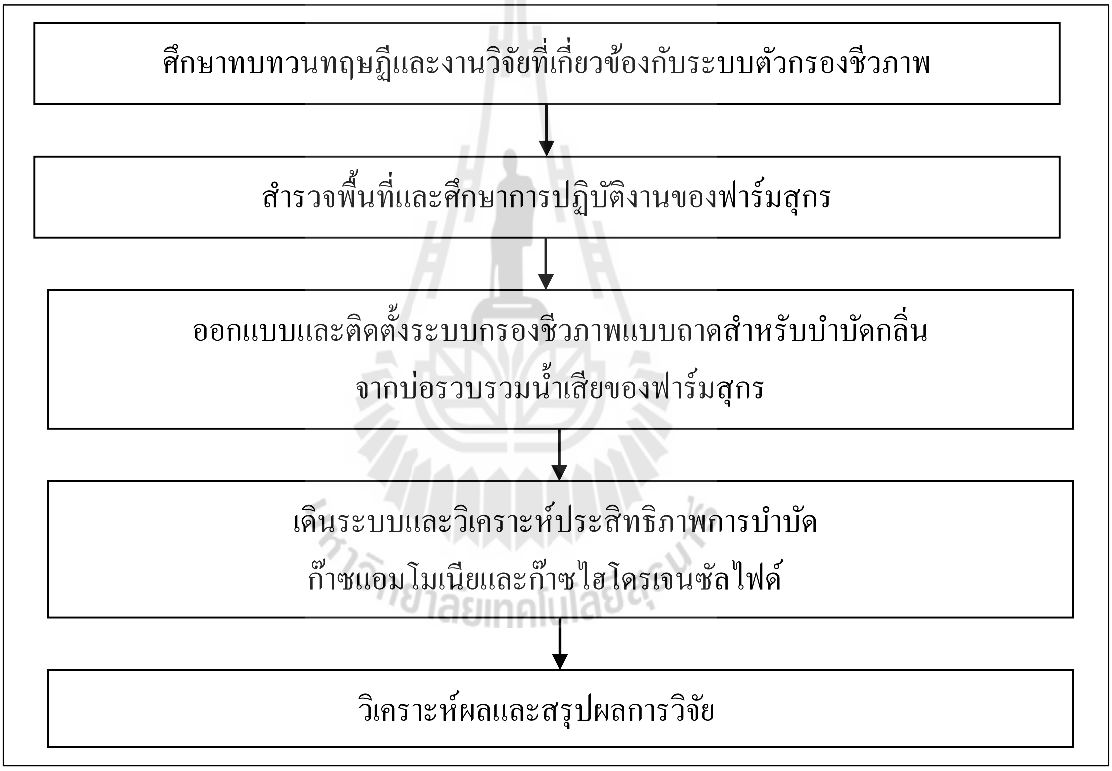
ตารางที่ 2.10 สรุปค่าปัจจัยที่มีความเหมาะสมในการบำบัดก๊าซต่างๆ โดยใช้ระบบตัวกรองชีวภาพ

ก๊าซมลพิษ	ตัวกลางในระบบ	ความหนาของตัวกลาง	ระยะเวลาเก็บกัก (วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการบำบัด	แหล่งที่มาข้อมูล
เบนซีน	ดินกับปุ๋ยคอก และสารเคมี	-	22.2	30 40-50	แบบดรัม86.1% แบบคอลัมน์73.8 % แบบดรัม95% แบบคอลัมน์ 93%	สราวุธ หาญทนงค์ (2543)
บำบัดสไตรีนโมโนเมอร์	ปุ๋ยคอก ตะกอนสูบกลับ และฟางข้าว	105 ซม.	-	-	-ปุ๋ยคอก 54% -ตะกอนสูบกลับ 40% -ฟางข้าว25%	ชาตรี อิณชิต (2546)
ก๊าซบิวไทริคแอซิด	ปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักผสมกาบมะพร้าว	-	-	-	78.54 – 99.72%	อรอุมา ศักดิ์เศรษฐ์ (2547)
สารอินทรีย์ระเหยในรูป Total VOCs	-	-	-	-	88.88%	ชวลิต ชีวเกตุ (2549)
ก๊าซแอมโมเนีย	ปุ๋ยหมัก: เศษไม้: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์	1.5 เมตร	30, 45, 60	-	95 %	เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร (2551)
แอมโมเนีย,ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ,ซัลเฟอร์เฟอตร์ มีเทนและไนตรัสออกไซด์	พีทและหินภูเขาไฟและเศษไม้	-	5	-	- NH_3 56% , H_2S 88% -ซัลเฟอร์ทั้งหมด 25% -มีเทนและไนตรัสออกไซด์ 0.7% , กลิ่น 48%	Neslihan Akdeniz et al. (2011)
แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์	เปลือกสน	127 มิลลิเมตรและ 254 มิลลิเมตร	0.3 0.6	-	ตัวกลางหนา127 มิลลิเมตร NH_3 18-30 %, H_2S 23-26% ตัวกลางหนา 254 มิลลิเมตร NH_3 18-45 %, H_2S 27-42%	Lim et al. (2012)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยการบำบัดกลิ่นจากบ่อรวบรวมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ภายในฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยใช้ระบบกรองชีวภาพแบบถาด มีขั้นตอนในการศึกษา แสดงดังรูปที่ 3.1 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการศึกษาการบำบัดกลิ่นจากฟาร์มสุกร

3.1 การศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตัวกรองชีวภาพโดยมีแหล่งข้อมูลหลัก ได้แก่

- คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

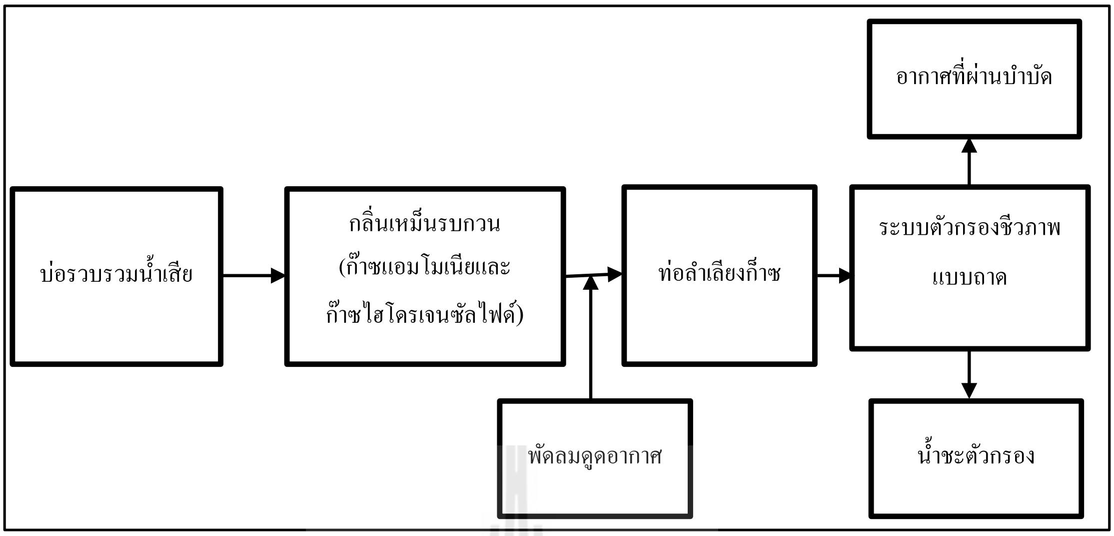
- คู่มือเกณฑ์ปฏิบัติในการจัดการและควบคุมกลิ่นจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)
- หนังสือการจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมในภาคปศุสัตว์ (ธวัชชัย ศุภดิษฐ์, 2551)
- หนังสือการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ (อลิสา วังใน, 2553)
- หนังสือ Air Pollution Control Equipment Selection Guide (Kenneth c. schifftner, 2002)
- วิทยานิพนธ์ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ (เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551)
- บทความวิจัย Field evaluation of biofilters in reducing aerial pollutant emissions from a commercial pig finishing building (Teng-Teeh Lim และคณะ, 2012)
- เอกสารของหน่วยงานต่างๆ

3.2 การสำรวจพื้นที่และศึกษาปฏิบัติงานของฟาร์มสุกร

เข้าสำรวจพื้นที่บริเวณโรงเรือนสุกรในฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และศึกษาการปฏิบัติงานของฟาร์ม โดยทำการสอบถามเจ้าหน้าที่บุคลากรฟาร์มมหาวิทยาลัย บุคลากรและพนักงานที่ปฏิบัติงานในฟาร์มสุกร จากนั้นทำการสำรวจพื้นที่สำหรับติดตั้งระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด โดยการวัดพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบ วัดระยะทางจากบ่อน้ำเสียมายังจุดติดตั้งระบบกรองชีวภาพแบบถาด

3.3 การออกแบบระบบกรองชีวภาพแบบถาด

ทำการออกแบบระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดโดยมีแนวคิดเบื้องต้นสำหรับการออกแบบในการวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นถังปฏิกิริยาในการหมักมูลสุกรซึ่งในการศึกษานี้ใช้บ่อรวบรวมน้ำเสียจริงจากฟาร์มสุกร ระบบลำเลียงก๊าซเข้าสู่ระบบโดยใช้พัดลมดูดอากาศดูดอากาศที่ต้องการบำบัดมายังระบบกรองชีวภาพ และหน่วยกรองที่ใช้ในการบำบัดก๊าซ ซึ่งแผนภูมิของระบบและองค์ประกอบของระบบแสดงดังรูปที่ 3.2 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 แผนภูมิของระบบกรองชีวภาพแบบถาด

(1) บ่อรวบรวมน้ำเสียและมูลสุกร

มูลสุกรสดและน้ำจากการล้างโรงเรือนจะไหลตามรางระบายลงสู่บ่อรวบรวมน้ำเสียซึ่งเป็นบ่อซีเมนต์ ซึ่งในการทดลองจะนำวัสดุมาปิดคลุมปากบ่อรวบรวมนี้ แล้วต่อท่อเพื่อดูดอากาศบริเวณส่วนบนของบ่อรวบรวมเข้าสู่ระบบกรองชีวภาพแบบถาด

(2) ถาดบรรจุตัวกรอง

ถาดบรรจุตัวกรอง จำทำการบรรจุตัวกรองลงในถาด โดยให้ได้ความสูงตาที่กำหนด คือ ที่ 300 มม. และ 150 มม. ถาดนี้มีหลังคาจะป้องกันแดด ลม และฝน ทั้งยังป้องกันแมลงและสัตว์ต่างๆที่จะรบกวนการทำงานของระบบด้วย ซึ่งด้านบนจะมีระบบให้ความชื้นโดยการสเปรย์น้ำลงมายังตัวกรอง เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้และความชื้นนี้ก็มีความสำคัญในการบำบัดก๊าซเป็นอย่างมาก เพราะมีผลต่อการย่อยสลายก๊าซและการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งจะก่อให้เกิดชั้นไบโอฟิล์มบนพื้นที่ผิวตัวกรอง ซึ่งไบโอฟิล์มนี้จะมีจุลินทรีย์จำนวนมากซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวย่อยสลายก๊าซมลพิษที่เข้าสู่ระบบ และปล่อยสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายก๊าซมลพิษออกมาแทน

ด้านล่างของถาดบรรจุตัวกรองจะมีการต่อท่อแขนงและเจาะรูเพื่อกระจายก๊าซเที่ข้าสู่ระบบให้ผ่านชั้นกรองได้อย่างทั่วถึง และใช้กล่องคลุมพื้นที่ผิวชั้นกรองด้านบนเพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังผ่านการบำบัด มีการต่อท่อน้ำเพื่อให้ความชื้นแก่ตัวกรองในระบบ และระบายอากาศที่ผ่านการบำบัดจะไหลจากด้านล่างชั้นกรองมายัง

ด้านบนและระบายออกสู่บรรยากาศภายนอก นอกจากนั้นถาดบรรจุตัวกรองออกแบบให้สามารถเปิด และปิดหลังคาได้สะดวก เพื่อให้ง่ายต่อการเก็บตัวอย่างตัวกรองและการบรรจุตัวกรอง

(3) ตะแกรงที่รองรับตัวกรอง

ตะแกรงที่รองรับตัวกรองมีลักษณะเป็นตะแกรงสี่เหลี่ยมไว้สำหรับรองรับตัวกลาง ซึ่งตะแกรงนี้จะวางอยู่ภายในถาดบรรจุตัวกรอง

(4) ท่อลำเลียงอากาศ

ท่อลำเลียงอากาศ จะใช้ท่ออ่อนขนาด 4 นิ้ว และท่อพีวีซี โดยที่ท่ออ่อนจะใช้ต่อออกมาจากบ่อน้ำเสียและที่จุดเชื่อมต่อต่างๆ เพื่อลดการสั่นสะเทือนจากการดูดอากาศ

(5) พัดลมดูดอากาศ

พัดลมหรือปั๊มดูดอากาศเข้าสู่ระบบ ซึ่งอัตราการดูดอากาศควรจะมีความเหมาะสมกับความดันของระบบ และควรตรวจวัดความดันลดของระบบเพื่อให้อัตราการไหลของอากาศมีความเหมาะสม สามารถไหลผ่านชั้นกรองได้ และเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบได้ โดยติดตั้งที่ทางเข้าระบบกรองเพื่อดูดอากาศเข้าระบบกรอง

(6) ระบบให้ความชื้นตัวกลาง

จุลินทรีย์จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้และสามารถเจริญเติบโตเพื่อที่จะบำบัดก๊าซได้ ตัวกรองจะต้องมีความชื้นที่เหมาะสม โดยให้อยู่ในช่วงร้อยละ 40-80 จะทำให้ชั้นกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นได้ดี ทดสอบโดยใช้มือบีบชั้นกรองจะจับตัวเป็นก้อนหลวมๆ แต่ต้องไม่ชื้นมากจนมีน้ำหยดออกมา ซึ่งจะให้ความชื้นโดยอาศัยการให้หยดน้ำแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ความชื้นแก่ตัวกรอง โดยจะทำการติดตั้งที่ด้านบนของกล่องบรรจุตัวกรอง

3.4 การเดินระบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น

3.4.1 การเตรียมตัวกรองสำหรับเดินระบบ

การเลือกใช้วัสดุตัวกรอง มีผลสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัด วัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวกรองชีวภาพได้มีหลายประเภท โดยวัสดุใช้ส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีคุณสมบัติในการเก็บรักษาความชื้นได้ดี มีความพรุน และสามารถเป็นแหล่งของจุลินทรีย์และมีธาตุสารอาหารเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองนอกจากจะเป็นวัสดุสังเคราะห์แล้ว เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรก็สามารถนำมาใช้ได้ด้วย เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมาะที่นำมาใช้เป็นตัวกรอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เศษวัดสุเหลือใช้จากการเกษตร คือ ปุ๋ยหมัก กาบมะพร้าวสับ ปุ๋ยคอก และตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยเลือกใช้ตามผลการศึกษาของการนำระบบกรองชีวภาพมาใช้สำหรับบำบัดก๊าซ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งณัฐพล (2549) พบว่าตัวกลางปุ๋ยหมัก : กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจุลินทรีย์ ที่อัตราส่วน 60:20:10:10 ร้อยละโดยปริมาตร มีค่าความสามารถในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงที่สุด และ เสาวลักษณ์ (2551) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียโดยใช้ระบบกรองชีวภาพ พบว่าที่อัตราส่วน ตัวกลางปุ๋ยหมัก : เศษไม้ : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราส่วน 60:20:10:10 ร้อยละโดยปริมาตรเป็นอัตราส่วนตัวกรองที่เหมาะสม เพราะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีขณะที่ความดันลดของระบบต่ำ และเกิดการทรุดตัวของชั้นกรองน้อย

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วนตัวกรอง ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวกลางปุ๋ยหมัก :กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจุลินทรีย์ ที่อัตราส่วน 60:20:10:10 ร้อยละโดยปริมาตร โดยการผสมตัวกรองแล้วรดน้ำ และหมักไว้ 2 สัปดาห์ โดยกลับกองและรดน้ำทุกวัน อัตราส่วนผสมตัวกรองโดยคำนวนจากความหนาแน่น และปริมาตรที่ใช้ จะได้มวลของตัววัสดุกรองแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักของวัสดุที่ใช้ในตัวกรองชีวภาพ

การเตรียมตัวกรอง	ปุ๋ยหมัก (กก.)	กาบมะพร้าวสับ (กก.)	ปุ๋ยคอกมูลโค (กก.)	ตะกอนจุลินทรีย์ (กก.)
ชั้นกรอง 300 mm	33.50	0.90	2.70	6.00
ชั้นกรอง 150 mm	16.75	0.45	1.35	3.00

หมายเหตุ : มวลของตัวกรองที่เตรียมสำหรับแต่ละสภาวะเตรียมเผื่อ 1.5 เท่าจากที่ใช้จริง

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ตัวกรองชีวภาพ

ประเภทวัสดุ	ค่าความพรุน	ความสามารถในการรักษาความชื้น	ปริมาณธาตุสารอาหาร	อายุการใช้งาน	อื่นๆ
พีท	ปานกลาง	ดี	ดี	ดี	แหล่งของจุลินทรีย์
ดินร่วนปนเหนียว	ต่ำ	ดี	ดี	ดี	
ปุ๋ยหมัก	ปานกลาง	ดี	ดี	ดี	
เศษไม้	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	เพิ่มความพรุนให้ระบบ
ฟางข้าว	ดี	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	

ในการวิจัยนี้เลือกใช้ตัวกลางที่มีความหนาที่ชั้นความหนา 150 มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตร โดยมีปริมาตรของตัวกลาง 0.015 m^3 และ 0.03 m^3 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนของผสมของตัวกรอง คือ ปุ๋ยหมัก: เศษไม้: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์ ที่อัตราส่วน 60:20:10:10 ร้อยละโดยปริมาตร ดังตารางที่ 3.2 และระยะเวลาในการเดินระบบจะทำการเดินระบบวันละ 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาการทำงาน

ในการเตรียมตัวกรอง จะทำการการผสมตัวกรองที่อัตราส่วน 60:20:10:10 ร้อยละโดยปริมาตร นำตัวกรองตามสัดส่วนที่กำหนดมาผสมกันแล้วบรรจุลงในถาดบรรจุตัวกรองให้ได้ความสูงตามที่กำหนด โดยมีวัสดุตัวกลางดังต่อไปนี้

กาบมะพร้าวสับที่ผสมในตัวกลาง เป็นตัวเพิ่มความพรุน และป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลาง มีขนาดประมาณ 2 – 5 ซม.

ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่ผ่านการรีดน้ำ ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์

ปุ๋ยหมัก ใช้เป็นตัวกลางหลักในการทดลอง ซึ่งเป็นวัสดุตัวกรองที่มีจุลินทรีย์หนาแน่น และหลากหลายตลอดจนมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำที่ดี ค่าพีเอชที่เป็นกลาง มีปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ขนาดเฉลี่ย 1.19 มม. (เสาวลักษณ์, 2551) และ 0.35 มม. (นัฐพล, 2549) ในการศึกษานี้จะใช้ปุ๋ยหมักที่หมักจนคงตัวไม่เกิดการเปลี่ยนรูป การจะทราบว่าปุ๋ยหมักอยู่ในสภาวะคงตัวสามารถนำไปใช้ได้แล้วนั้นสามารถสังเกตได้ โดยดูลักษณะสี (สีของปุ๋ยหมักจะเข้มขึ้นกว่าตอนเริ่มหมัก อาจมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ) วัดอุณหภูมิ (อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักและอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกัน) กลิ่น (กลิ่นของปุ๋ยหมักมีกลิ่นคล้ายกลิ่นของดินธรรมชาติ แต่ถ้ามีกลิ่นฉุนหรือกลิ่นฟางแสดงว่าปุ๋ยหมักยังใช้ไม่ได้เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ) ในการศึกษานี้ใช้ปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์จากศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในขยะมูลฝอย โดยการใช้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ (Aerobic Bacteria) ภายใต้สภาวะในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งสัดส่วนระหว่างคาร์บอน และไนโตรเจนที่เหมาะสม

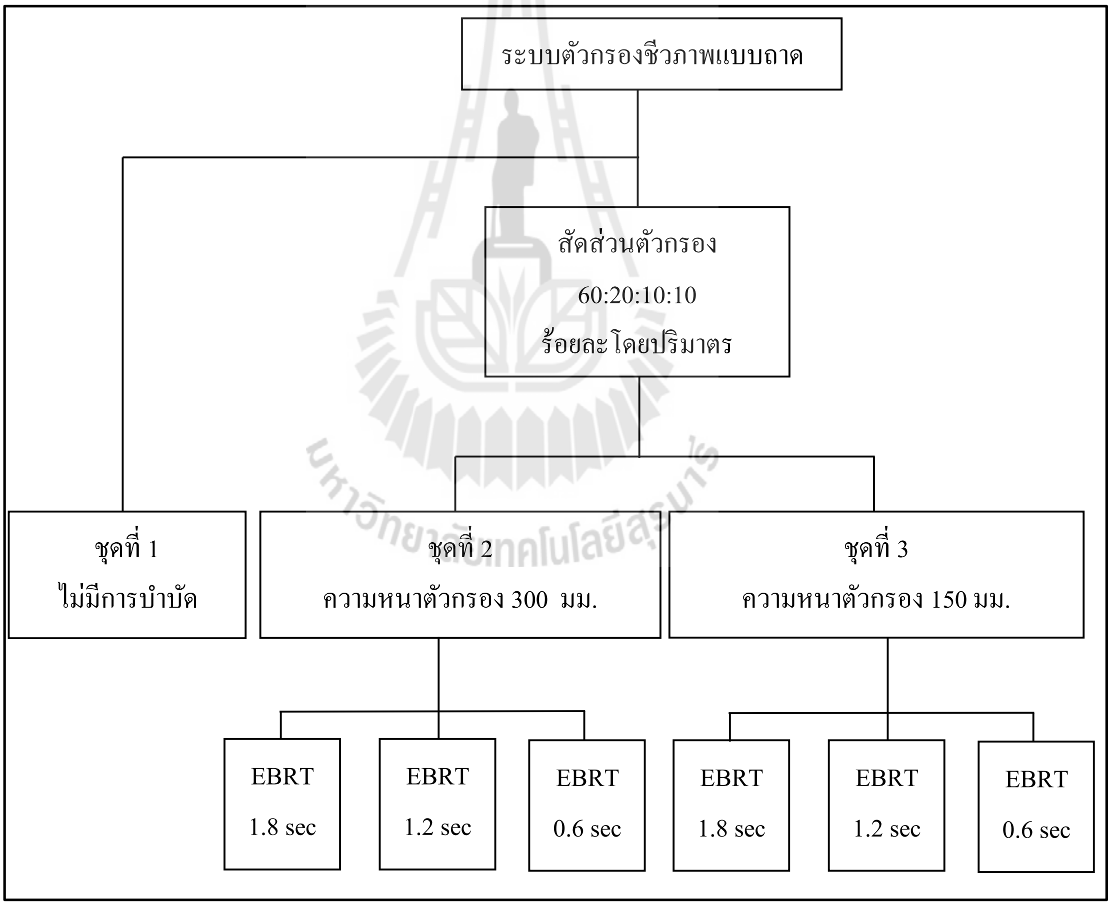
ปุ๋ยคอกในการทดลองจะใช้จากมูลโค ซึ่งใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ หากมีการหยุดเดินระบบเนื่องจากวันหยุดสุดสัปดาห์หรือซ่อมแซมระบบ ในส่วนของปุ๋ยคอกอาจมีกลิ่น แต่จำเป็นต้องใช้ เพราะเป็นแหล่งของธาตุสารอาหาร แต่กลิ่นของปุ๋ยคอกเองก็จะถูกบำบัดในระบบด้วย และการเลือกปุ๋ยคอกที่ตากแห้งมาแล้วจะทำให้กลิ่นลดน้อยลง

ขนาดอนุภาคของตัวกลางที่เหมาะสมควรใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียความดันต่ำ จากขนาดของตัวกรองที่นำมาใช้บางชนิดมีขนาดที่เล็กกว่า แสดงว่าจำเป็นที่

จะต้องใส่วัสดุเสริมซึ่งได้แก่กาบมะพร้าวสับที่มีขนาดโดยเฉลี่ย ในช่วง 2-5 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกรอง เพราะอนุภาคตัวกลางที่มีขนาดเล็กแม้จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง แต่ก็จะสามารถขัดขวางการไหลของก๊าซทำให้เกิดการสูญเสียความดันได้ แต่วัสดุเสริมความพรุนมีขนาดใหญ่เกินไปก็อาจทำให้เกิดการทรุดตัวของตัวกลางได้ง่ายขึ้นเช่นกัน

3.4.2 รูปแบบการเดินระบบ

ทำการเดินระบบโดยดูดก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากบ่อรวบรวมน้ำเสียของฟาร์มสุกรเข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้วที่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับบ่อรวบรวมน้ำเสียของฟาร์มสุกร โดยมีรูปแบบการเดินระบบในสภาวะต่างๆ และแผนตารางการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ตารางที่ 3.3 แผนการศึกษาในแต่ละสภาวะการทดลอง

สภาวะการทดลองที่	ความหนาชั้นกรอง (มม.)	อัตราส่วนตัวกรอง ปุ๋ยหมัก: กาบมะพร้าวสับ: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์ (ร้อยละโดยปริมาตร)	EBRT (วินาที)	อัตรา การไหล อากาศ (ลบ.ม./วินาที)	ระยะเวลา การทดลอง (วัน)
ชุดควบคุม (ดูดอากาศเปล่าผ่านชั้นกรอง)					1-14
สภาวะที่ 1	300	60:20:10:10	1.8	0.017	1-14
สภาวะที่ 2			1.2	0.025	1-14
สภาวะที่ 3			0.6	0.05	1-14
สภาวะที่ 4	150		1.8	0.033	1-14
สภาวะที่ 5			1.2	0.050	1-14
สภาวะที่ 6			0.6	0.100	1-14

3.4.3 การตรวจวัดพารามิเตอร์ในการเดินระบบ

ทำการเก็บตัวอย่างนี้จะเก็บที่จุดเก็บตัวอย่างก่อนที่จะทำการบำบัดก๊าซ และจุดที่เก็บตัวอย่างก๊าซที่ผ่านการบำบัดเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่น โดยใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซแบบพกพา (Portable) ในการตรวจวัดก๊าซแอมโมเนีย และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการทดลองนี้มีการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเดินระบบกรองชีวภาพนี้ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการวิจัย

พารามิเตอร์	**เครื่องมือและอุปกรณ์**
อัตราการดูดอากาศ	Air pump
อัตราการไหลของอากาศ	Air Flow meter
อุณหภูมิ	Thermometer
pH	pH meter

ในการทดลองจะมีการเก็บข้อมูลของพารามิเตอร์แต่ละค่า ความถี่ในการตรวจวัดพารามิเตอร์แต่ละตัวก็จะไม่เท่ากัน เนื่องจากบางพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดบ่อยๆ หรือบางพารามิเตอร์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่นานจึงไม่จำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดบ่อยเพราะนอกจากจะทำให้เสียเวลาแล้ว ยังก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายตามมาด้วย ซึ่งการเก็บตัวอย่างและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การเก็บตัวอย่างและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่ในการตรวจวัด	วิธี / อุปกรณ์
อัตราการไหลอากาศ	กล่องแบ่งการไหลของอากาศ	ทุกวัน	Flow meter
ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย	ก่อนเข้าและออกจากระบบ	ทุกวัน	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ Gasmet รุ่น DX 4040
ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์	ก่อนเข้าและออกจากระบบ	ทุกวัน	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ COMBIMASS® รุ่น GA-m
ความชื้น	ชั้นตัวกรอง	ทุกวัน	เครื่องวัดความชื้นในดิน OEM รุ่น ZD – 06
อุณหภูมิ	ชั้นตัวกรอง	ทุกวัน	Thermometer
การยุบตัวของชั้นกรอง	ชั้นตัวกรอง	ทุกวัน	ตลับเมตร
ความเป็นกรด-ด่าง	ชั้นตัวกรองง	ทุกวัน	เครื่องวัด pH ในดิน OEM รุ่น ZD – 06
จำนวนจุลินทรีย์ในชั้นกรอง	ชั้นตัวกรอง	ก่อน-หลังเดินระบบ	Aerobic plate count

ในการวิเคราะห์พามิเตอร์เหล่านี้จะทำการตรวจวัดและเก็บตัวอย่างของตัวกรองหลังจากทำการเดินระบบแล้วเพื่อให้กระทบต่อการทำงานของระบบน้อยที่สุดโดยมีวิธีการและขั้นตอนในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ค่าความชื้น

การตรวจวัดความชื้นของตัวกรองในช่วงที่ทำการเดินระบบจะใช้เครื่องวัด pH และความชื้นในดิน OEM รุ่น ZD – 06 ซึ่งสามารถอ่านค่าความชื้นได้ในช่วงร้อยละ 10 ถึงร้อยละ80 ส่วนวิธีการหาค่าความชื้นของตัวกรองก่อนการเดินระบบ และก่อนการผสมตัวกรอง ใช้วิธี Hot air oven method ทำการอบตัวกรองที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทั่วไปแสดงในรูปของปริมาณความชื้นในตัวกรองต่อมวลตัวกรอง

$$\text{ความชื้นของตัวกรอง (ร้อยละ)} = \left(\frac{W_w - W_s}{W_w}\right) \times 100 \qquad (3.1)$$

โดยที่ Ww = น้ำหนักตัวกรองเปียก (g)

Ws = น้ำหนักตัวกรองแห้ง (g)

(2) ค่าความพรุน (Porosity)

ความพรุนของตัวกลางมีผลต่อการถ่ายเทอากาศ ความแข็งแรงของชั้นตัวกลาง และค่าความดันลดของระบบ เมื่อทราบค่าความพรุนของตัวกลางแต่ละชนิดก็สามารถหาปริมาตรของตัวกลางแต่ละชนิดได้ เนื่องจากความพรุนเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของรูวัสดุกับปริมาตรของวัสดุทั้งหมด วิธีการหาค่าความพรุนของตัวกรองใช้วี วิธี ATSM C373-88 มีขั้นตอนต่อไปนี้

1) ใส่ตัวอย่างลงในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกก้นกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับในกระบอกตวงคงที่ ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับปริมาตรที่ต้องการให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะได้ระดับที่คงที่ตรงกับปริมาตรที่ต้องการ

2) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1

3) เติมน้ำลงในกระบอกตวงเพื่อให้น้ำเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในตัวกลางโดยการกระแทกก้นกระบอกตวง

4) เมื่อน้ำลงไปแทนที่ช่องว่างจนถึงปริมาตรที่ต้องการ นำไปชั่งน้ำหนักเป็น X_2

5) คำนวณหาค่าความพรุนดังสมการ

$$\text{ความพรุน (ร้อยละ)} = \left(\frac{(x_2 - x_1)}{\rho_{water}/\text{volume}}\right) \times 100 \qquad (3.2)$$

โดยที่ X_2 = น้ำหนักเปียก (g)

X_1 = น้ำหนักแห้ง (g)

ρ_{water} = ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)

Volume = ปริมาตรของตัวกรอง (cm^3)

(3) ค่า pH

ค่า pH มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยที่สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบตัวกรองชีวภาพจะมี pH อยู่ในช่วงประมาณ 6.5-8.5 ถ้า pH ลดลงต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม อาจทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ทั้งยังอาจก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนของวัสดุตัวกลางได้ การตรวจวัด pH ในการศึกษานี้ใช้เครื่องวัด pH และความชื้นในดิน OEM รุ่น ZD – 06 มีความยาว 29.5 ซม. (Long probe Soil pH / Moisture meter) สามารถวัดได้ทั้ง pH และความชื้น พิสัยการวัดอยู่ในช่วงค่า pH 3-8 ความแม่นยำในการวัด ± 0.2

(4) การยุบตัวของชั้นกรอง

การวัดการยุบตัวของชั้นกรอง ทำการตีกริดเป็นช่องตาราง 5x5 ตร.ซม. ทั่วพื้นที่หน้าตัดของชั้นกรอง โดยวัดระยะห่างจากขอบด้านบนของกล่องบรรจุตัวกรองมายังพื้นที่หน้าตัดชั้นบนสุดของชั้นกรอง วัดตามมุมทั้ง 4 ของช่องกริดทุกช่อง แล้วนำค่าที่ได้จากแต่ละจุดวัดมาหาเป็นค่าเฉลี่ยของการยุบตัวของชั้นกรอง

(5) การวัดอุณหภูมิ

ในการวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดที่ความลึก 3 ระดับ คือ ด้านบนสุด ตรงกลางของชั้นกรอง และด้านล่างของชั้นกรอง

(6) การวัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย

ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์วัดโดยใช้เครื่องวัดก๊าซแบบพกพา COMBIMASS® รุ่น GA-m ส่วนความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียวัดโดยใช้วิเคราะห์ก๊าซ Gasmet รุ่น DX 4040

การวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบ จะทำการวัดในบ่อน้ำเสียที่คลุมโดยผ้าใบเพื่อเป็นการกักเก็บก๊าซและป้องกันการเจือจางจากอากาศภายนอก ในการวัดก๊าซจะทำการดูดก๊าซผ่านเครื่องวัดก๊าซจะผูกสายเก็บตัวอย่างอากาศติดไว้ที่ท่อ PVC และสอดท่อเข้าไปในบ่อ 30 ซม. แล้วเปิดเครื่องดูดอากาศจากบ่อเข้าสู่เครื่องวัดก๊าซ ส่วนความเข้มข้นก๊าซที่ออกจากระบบจะรวบรวมอากาศที่ผ่านชั้นกรองในกล่องพลาสติก โดยการนำกล่องพลาสติกพื้นที่ผิวชั้นกรองด้านบน แล้วจึงทำการการดูดก๊าซในกล่องพลาสติกผ่านเครื่องวัดก๊าซ ซึ่งในการวัดก๊าซในแต่ละครั้ง สำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะวัดก๊าซเป็นเวลา 5 นาที (ตามคู่มือการใช้งานควรวัดอย่างน้อย 3 นาที) โดยเปิดเครื่องและวัด และวัดก๊าซ 3 นาที และวัดต่อไปอีก 2 นาที จึงอ่านค่า ส่วนก๊าซแอมโมเนียระยะเวลาในการวัดแต่ละครั้งใช้เวลา 10 นาที (ค่าแนะนำจากคู่มือการใช้งาน) และอ่านค่าในนาทีที่ 11

(7) การเก็บตัวอย่างตัวกรองเพื่อหาปริมาณจุลินทรีย์

ในการเก็บตัวอย่างชั้นกรองเพื่อนำไปวิเคราะห์หาจุลินทรีย์จะเก็บที่ความลึกทั้ง 3 ระดับ ในปริมาณที่เท่าๆกัน คือ ระดับละ 300 กรัม แล้วนำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันในถัง จากนั้นนำมาเทกองบนแผ่นพลาสติกแล้วผสมกันอีกรอบ เพื่อให้เป็นตัวแทนจากชั้นกรองของระบบแล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยวิธี aerobic plate count หรือ standard plate count ซึ่งเป็นวิธีตรวจนับจุลินทรีย์วิธีมาตรฐาน จำนวนจุลินทรีย์ที่นับได้มีหน่วย CFU/gram (colony forming unit / มวลของตัวกรอง) โดยมวลของตัวกรองที่ใช้นำไปวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์นั้น ใช้ตัวกรอง 250 กรัม ซึ่งหลักการของวิธี aerobic plate count คือ จุลินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างจะเจริญเติบโตบนอาหารเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ทำให้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและแยกออกจากกันเป็นโคโลนี และการตรวจนับจุลินทรีย์ aerobic plate count มีขั้นตอนโดยทั่วไปดังต่อไปนี้

- การเจือจางตัวอย่างหรือเชื้อจุลินทรีย์ที่จะตรวจนับลงใน water blank จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน ซึ่งการเจือจางควรทำให้ให้ครอบคลุมช่วงจุลินทรีย์ที่จะตรวจนับ สำหรับจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพส่วนใหญ่มีจุลินทรีย์ในช่วง 10^{6}-10^{10} CFU/g

- การเทอาหารและผสมเชื้อในจานเพาะเชื้อ ดูดเชื้อที่ทำการเจือจางใส่ในอาการเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar ที่เตรียมไว้ (รอให้อาหารมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซียลเซียส) จากนั้นหมุนจานในทิศทางตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ และทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ เคลื่อนจานขึ้นลง 5 ครั้ง เคลื่อนจานซ้ายขวา 5 ครั้ง เพื่อกระจายเชื้อให้ทั่วอาหาร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซียลเซียส เป็นเวลา 7 วันโดยกลับด้านจานเพาะเชื้อไว้ด้านบน

- การตรวจผล นับจำนวนจุลินทรีย์ โดยเลือกจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีประมาณ 30-300 โคโลนี

(8) การคิดอัตราส่วนก๊าซที่เกิดจากตัวกรองและจากแหล่งกำเนิด

ในการศึกษานี้ได้ทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดจากชั้นตัวกรอง เพื่อศึกษาว่าตัวกรองจะก่อให้เกิดกลิ่นรบกวนได้หรือไม่ โดยดูดอากาศเปล่าผ่านชั้นกรอง และวัดความเข้มข้นของก๊าซที่ไหลผ่านชั้นกรองเทียบกับความเข้มข้นจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย ซึ่งคำนวณอัตราส่วนก๊าซที่เกิดจากตัวกรองและจากบ่อน้ำเสียได้ ดังต่อไปนี้

$$\text{สัดส่วนก๊าซจากตัวกลาง} = \frac{\text{ความเข้มข้นของก๊าซจากชั้นกรอง(ชุดควบคุม)}}{\text{ความเข้มข้นของก๊าซจากบ่อน้ำเสีย(แหล่งกำเนิด)}} \times 100 \qquad (3.3)$$

3.4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

ค่าประสิทธิภาพในการบำบัด (Removal Efficiency) เป็นค่าที่บอกประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการบำบัดสารมลพิษ

$$\text{ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)} = 100 \times (C_{in} - C_{out}) / C_{in} \quad (3.4)$$

ค่าความสามารถในการบำบัด (Elimination Capacity) แสดงมวลของสารมลพิษที่ถูกกำจัดไปต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางต่อหน่วยเวลา

$$\text{ค่าความสามารถในการบำบัด } (g/m^3.hr) = Q_{air} \times (C_{in} - C_{out}) / V_f \quad (3.5)$$

ค่าภาระบรรทุก (Mass loading rate) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของสารมลพิษต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางในระบบการกรอง

$$\text{ค่าภาระบรรทุก } (g/m^3.hr) = (Q_{air} \times C_{in})/V_f \quad (3.6)$$

ระยะเวลากักพักของระบบ (EBRT) คือ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านชั้นกรอง

$$EBRT = V_f / Q \quad (3.7)$$

โดยที่ Q_{air} = อัตราการไหลก๊าซ (m^3/hr)

C_{in} = ความเข้มข้นก๊าซเข้า (g/m^3)

C_{out} = ความเข้มข้นก๊าซออก (g/m^3)

V_f = ปริมาตรตัวกรอง (m^3)

3.4.5 การทดสอบสถิติ

การจัดการข้อมูลจากการศึกษาได้ใช้การทดสอบทางสถิติมาช่วยในการจัดการข้อมูล ประกอบไปด้วย การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ของประสิทธิภาพการบำบัด การทดสอบสถิติโดยวิธี Tukey’s paired comparison เพื่อหาความแตกต่างของปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุม คือ pH อุณหภูมิ และค่าความชื้น และได้วิเคราะห์สหสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งใช้วิธี Spearman’s rank correlation

coefficient (r) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์สถิติ SPSS รุ่น 21 มาอธิบายสหสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดกับค่าคือ pH อุณหภูมิ และค่าความชื้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average : MA) เป็นการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการจัดการข้อมูลให้มีความราบเรียบ ลดความผันผวนของข้อมูล ทำให้สามารถดูแนวโน้มและทิศทางของข้อมูลได้ง่ายขึ้น

$$\bar{y}_i(k) = \frac{1}{k} \sum_{j=i-k+1}^{i} y_j \quad i=k, k+1,...,n \tag{3.6}$$

โดยที่ $\bar{y}_i$ = ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ลำดับที่ i

y_j = ค่าของข้อมูลที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

k = จำนวนข้อมูลที่ต้องการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

(2) การทดสอบสถิติโดยวิธี Tukey's paired comparison

การทดสอบสถิติโดยวิธี Tukey's paired comparison เป็นการหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูล ($\bar{y}_i - \bar{y}_j$) หลายชุดข้อมูลเปรียบเทียบกัน ถ้าข้อมูลไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันที่ค่าความเชื่อมั่น (1-α) 100 % ซึ่งค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ของแต่ละสภาวะหาได้จาก

$$\bar{y}_i - \bar{y}_j \pm \frac{q_{k,\upsilon,\alpha/2}}{\sqrt{2}} s_{pool} \sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}} \tag{3.7}$$

และ S^2pool หาได้จาก

$$s^2_{pool} = \frac{(n_1-1)s_1^2 + ... + (n_k-1)s_k^2}{n_1 + ... n_k - k} \tag{3.8}$$

โดยที่ $\bar{y}_i$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ i

$\bar{y}_j$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ j

$q_{k,\upsilon,\alpha/2}$ = ค่าสถิติ q ที่องศาอิสระ υ และระดับนัยสำคัญ $\alpha/2$

s^2_{pool} = ผลรวมของค่าความแปรปรวน

n_i = จำนวนข้อมูลชุดที่ i

n_j = จำนวนชุดข้อมูลที่ j

(3) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน

การทดสอบสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Sprearman rank correlationcoefficient หรือ Spearman's rho) ใช้สัญลักษณ์ r เป็นวิธีวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หรือชุดข้อมูล 2 ชุด โดยที่ตัวแปรหรือชุดข้อมูล 2 ชุดนั้น จะต้องอยู่ในรูปมาตราจัดอันดับ (Ordinal scale) โดยค่า r คำนวณจากสูตร

$$r = 1 - \frac{6\sum D^2}{N\left(N^2 - 1\right)} \tag{3.9}$$

โดยที่ r = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน

$\sum D^2$ = ผลรวมกำลังสองของผลต่างของอันดับคะแนนแต่ละคู่

N = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบนัยสำคัญ

<u>สมมติฐานการทดสอบ</u>

H_0 : $\rho = 0$ (ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน)

H_1 : $\rho \neq 0$ (ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน)

<u>สถิติทดสอบ</u> เป็นการทดสอบแบบสองทาง

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} , \quad df = n-2 \tag{3.10}$$

การสรุปผลจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $t_{n-2,\frac{\alpha}{2}}$ หรือ t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ $t_{n-2,\frac{\alpha}{2}}$

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

บทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาซึ่งประกอบด้วยผลการศึกษาและออกแบบระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด การสร้างและติดตั้งระบบ คุณสมบัติของตัวกรองก่อนเดินระบบ และพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบตัวกรองชีวถาพแบบถาด โดยได้ทำการวัดพารามิเตอร์ของตัวกรองก่อนและหลังการเดินระบบในแต่ละวัน ได้แก่ ค่า pH ค่าความชื้น การยุบตัวของชั้นตัวกรอง อุณหภูมิของตัวกรอง และในการเดินระบบได้ทำการแปรผันสภาวะการเดินระบบในส่วนของอัตราไหลของอากาศและความสูงของชั้นตัวกรอง รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

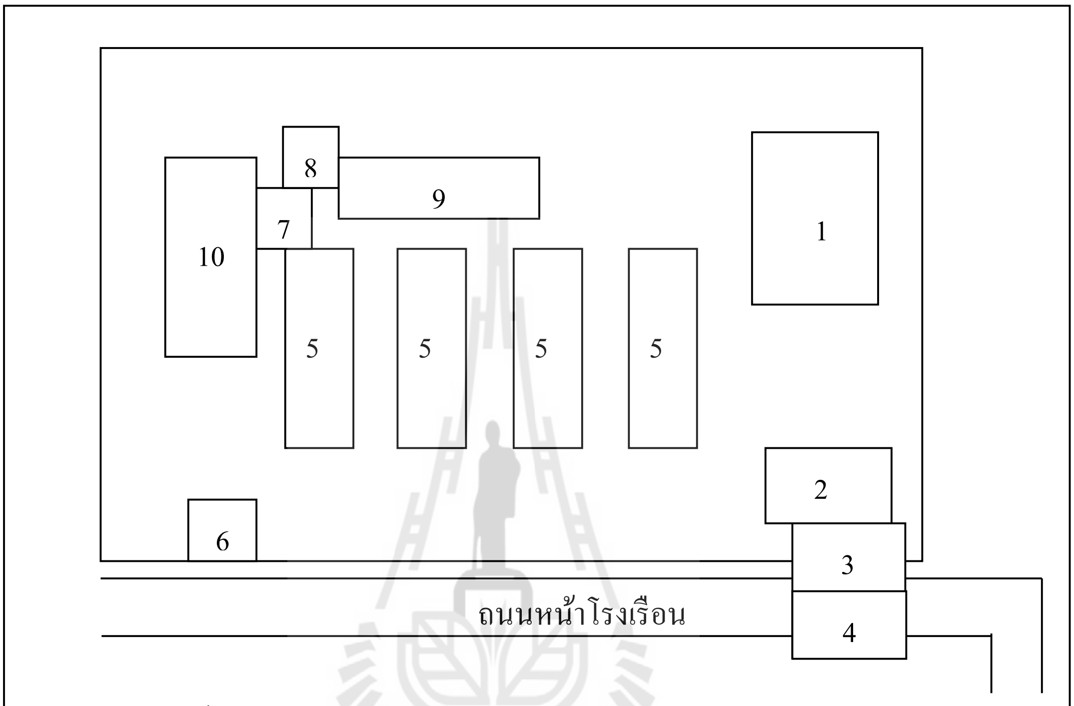
4.1 การสำรวจพื้นที่และการศึกษาการปฏิบัติงานของฟาร์มสุกร

จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ฟาร์มสุกรของมหาวิทยาลัยมีรั้วกั้นระหว่างถนนและตัวโรงเรือนชัดเจน มีถนนผ่านด้านหน้าฟาร์ม และก่อนที่จะเข้าไปในบริเวณโรงเรือนนั้นต้องผ่านห้องที่ฉีดพ่นน้ำยาฆ่าเชื้อก่อน แผนผังของฟาร์มสุกรประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- **ส่วนที่ 1** หรือบริเวณด้านหน้าของฟาร์มที่ติดกับถนนส่วนนี้จะเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคได้ง่าย เพราะมีบุคคลภายนอก เข้า-ออก อยู่เสมอ ประกอบไปด้วย
    - สำนักงาน
    - บ่อน้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับรถยนต์และห้องสเปรย์สำหรับพนักงานเจ้าหน้าที่ และบุคคลภายนอกที่จะเข้าไปในฟาร์ม
    - ห้องอาบน้ำและเปลี่ยนเสื้อผ้าก่อนจะเข้าฟาร์ม
- **ส่วนที่ 2** เป็นบริเวณที่ใช้เลี้ยงสุกรระยะต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย
    - โรงเรือนสุกรขุน
    - โรงเรือนสุกรอนุบาล
    - โรงเรือนแม่สุกรท้องว่างหรืออุ้มท้อง หรือพ่อพันธุ์
- **ส่วนที่ 3** เป็นบริเวณที่อยู่ด้านในสุดของฟาร์ม ซึ่งประกอบด้วย
    - บ่อน้ำเสีย

- บ่อบำบัดน้ำเสีย
- บ่อหมักก๊าซชีวภาพ

โครงสร้างผังโรงเรือนสุกรได้แสดงดังรูปที่ 4.1



หมายเหตุ *

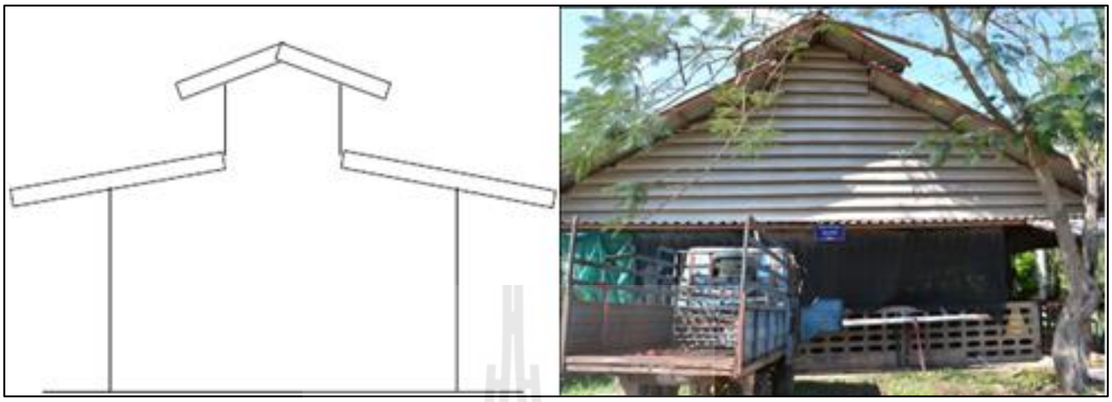
1. สำนักงาน 2. ป้อม รปภ. 3. จุดผ่านน้ำยาฆ่าเชื้อรถยนต์
4. ห้องน้ำยาฆ่าเชื้อและเปลี่ยนเสื้อผ้า 5. โรงเรือนสุกร
6. ห้องน้ำยาฆ่าเชื้อก่อนเข้าโรงเรือน 7. เครื่องปั่นไฟ
8. บ่อน้ำเสีย 9. บ่อหมักก๊าซชีวภาพ 10. ลานตากตะกอน

รูปที่ 4.1 แผนผังของฟาร์มสุกร

ลักษณะโรงเรือนเป็นโรงเรือนแบบเปิดซึ่งมีโครงสร้างตามเกณฑ์มาตรฐานฟาร์มสุกร (สมาคมสัตวแพทย์ควบคุมฟาร์มสุกรไทย, 2556 : ออนไลน์) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- หลังคาโรงเรือนเป็นแบบหน้าจั่วสองชั้น เป็นแบบที่มีการก่อสร้างยากและต้นทุนในการก่อสร้างสูงกว่าแบบหน้าจั่วธรรมดา แต่มีประสิทธิภาพในการกันแดดกันฝนได้ดี และมีการระบายอากาศที่ดีขึ้น ซึ่งอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้น และจะถูกระบายออกไปโดยผ่านบริเวณช่องว่าง

ระหว่างจั่วชั้นล่างกับจั่วชั้นบน ในปัจจุบันนิยมสร้างหลังคาโรงเรือนแบบนี้ และด้านหน้าโรงเรือนมีสแลนคลุมเรียบร้อย ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ลักษณะหลังคาของโรงเรือน

- พื้นโรงเรือนเป็นพื้นโปร่งหรือพื้นสแลท พื้นแบบนี้มีต้นทุนการก่อสร้างสูง มีข้อดีคือ พื้นโรงเรือนจะแห้งอยู่เสมอเนื่องจากพื้นโปร่งของเหลวจะไหลลงข้างล่างหมด ทำความสะอาดได้ง่าย ดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 พื้นโรงเรือน

- ผนังโรงเรือนเป็นผนังปูน ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งใช้เป็นอิฐบล็อกที่มีรู ผนังคอก ทำจากอิฐบล็อก อย่างแข็งแรง ความสูงผนังคอกประมาณ 1 - 1.2 เมตรและบริเวณผนังนี้ได้มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพื่อให้ระบายอากาศดีขึ้น

รูปที่ 4.4 ผนังโรงเรือน

สำหรับข้อมูลด้านการปฏิบัติงานของฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัย พบว่ามีการเลี้ยงสุกรดังต่อไปนี้

- สุกรพ่อพันธุ์ 4 ตัว
- สุกรแม่พันธุ์ 40 ตัว
- ลูกสุกร 60 ตัว
- สุกรขุน 200 – 210 ตัว

ปริมาณน้ำใช้ในฟาร์มสุกรประมาณวันละ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ลบ.ม/วัน) โดยใช้เป็นน้ำฉีดพ่นลดอุณหภูมิในโรงเรือน น้ำกินของสุกร และน้ำล้างโรงเรือน และมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 21 ลบ.ม/วัน น้ำเสียจะไหลตามรางระบายและมารวมกันที่บ่อรวบรวมน้ำเสียดังรูปที่ 4.5 และจะมีการสูบน้ำเสียเข้าสู่บ่อก๊าซชีวภาพ และน้ำที่ออกจากบ่อก๊าซชีวภาพจะถูกระบายมายังบ่อผึ่ง ส่วนการจัดการของเสียในส่วนของรกและซากลูกสุกรจะนำไปทิ้งที่บ่อทิ้งซากลูกสุกร ซากสุกรขุนจะนำไปฝังที่หลุมฝังซากสุกร และขยะมูลฝอย ขวดยา เข็มฉีดยาที่ใช้แล้วจะนำมาทิ้งที่จุดทิ้งขยะที่ทางเข้าโรงเรือน เพื่อรอส่งกำจัดต่อไป

รูปที่ 4.5 บ่อน้ำเสียของฟาร์มสุกร

4.2 การศึกษาและการออกแบบระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

4.2.1 การทบทวนเกณฑ์การออกแบบ

ในการศึกษานี้ได้ทำการทบทวนงานวิจัยต่างๆ เกี่ยวข้องกับระบบตัวกรองชีวภาพหลายๆ รูปแบบ เช่น แบบคอลัมน์ ระบบตัวกรองชีวภาพแบบเปิด ระบบตัวกรองชีวภาพแบบปิด และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบตัวกรองชีวภาพนั้นมีค่าในช่วงร้อยละ 40 - 90 ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับการออกแบบ และการลักษณะการใช้งานและการเลือกใช้ตัวกรองให้เหมาะกับชนิดของสารที่ต้องการบำบัด แสดงดังตารางที่ 4.1 และสิ่งสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดคือ การควบคุมปัจจัยและสภาวะในการเดินระบบตัวกรองชีวภาพให้เหมาะสม เช่น ความหนาของชั้นกรอง อุณหภูมิ ค่าความชื้น ค่า pH และ EBRT เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งจากการทบทวนเกณฑ์การออกแบบดังกล่าวนำไปสู่การเลือกค่าที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ค่าความหนาชั้นกรองที่ 150 และ 300 มม. มีพื้นที่หน้าตัดในการกรอง 0.2 ตร.ม. ควบคุมค่าความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 80 มีค่า pH ในช่วง 5.6 - 6.8 และเลือกแปรผันค่า EBRT 3 ค่า คือ 0.6 1.2 และ1.8 วินาที

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบตัวกรองชีวภาพในการบำบัดมลพิษต่างๆ

สารมลพิษ	ประเภทของตัวกรอง	ชั้นกรอง (มม.)	EBRT (วินาที)	ประสิทธิภาพ (%)	ที่มา
NH_3, H_2S	เศษไม้	127 254	0.3 0.6	18 - 45 23 - 42	Lim et al. (2012)
NH_3	ปุ๋ยหมัก, ขี้เลื่อย, ปุ๋ยคอก, ตะกอนจุลินทรีย์	150	30 - 60	>90	เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร (2551)
H_2S	ปุ๋ยหมัก, กาบมะพร้าวปุ๋ยคอก, ตะกอนจุลินทรีย์	150	45-75	>90	ณัฐพล รัตนมุขย์ (2549)
Benzene	ดิน,ปุ๋ยหมัก, สารเคมี	-	22.2	86	สราวุธ หาญทนงค์ (2543)
Styrene	ปุ๋ยหมัก, ตะกอนจุลินทรีย์, ฟางข้าว	100	-	54	ชาตรี อิณชิต (2546)
NH_3 H_2S CH_4 และ NO_X	ไม้สนและหินภูเขาไฟ	-	5	NH_3 = 58 H_2S = 88	Akdeniz et al. (2011)
NH_3 และ H_2S	เศษไม้	127 254	1.6-3.1	95.20 - 97.90 95.80 - 100	Klafle et al. (2015)

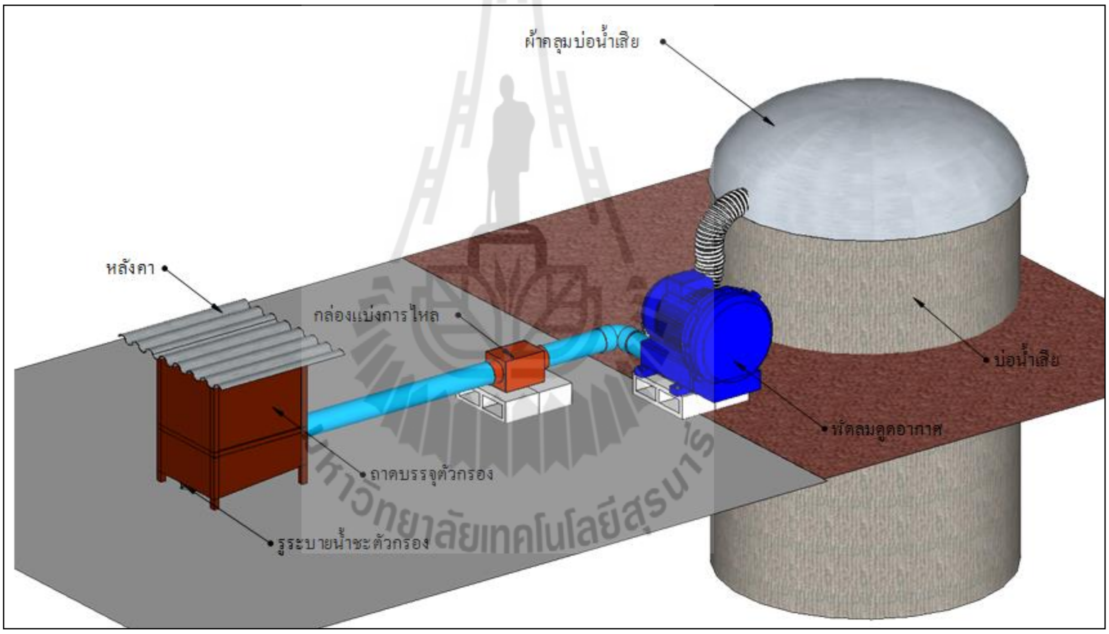
ตารางที่ 4.2 ค่าแนะนำสำหรับการออกแบบและเดินระบบตัวกรองชีวภาพ (Schmidt et al. (2004), Janni et al. (2011))

พารามิเตอร์	**ค่าแนะนำ**
ความหนาของชั้นกรอง	0.5-2.5 ม.
ค่าความชื้นของตัวกรอง	50% - 65%
อุณหภูมิ	25˚C – 40˚C (37˚C)
pH	6.5-8.5
อัตราการให้อากาศต่อมลพิษ	อากาศ: ก๊าซมลพิษ ในอัตราส่วน 100 : 1
ธาตุสารอาหาร	N: P: K อัตราส่วน 0.4: 0.15: 0.15 ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความดันลด	ไม่เกิน 100 มม.น้ำ
EBRT	3-5 วินาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.2 ผลการออกแบบ

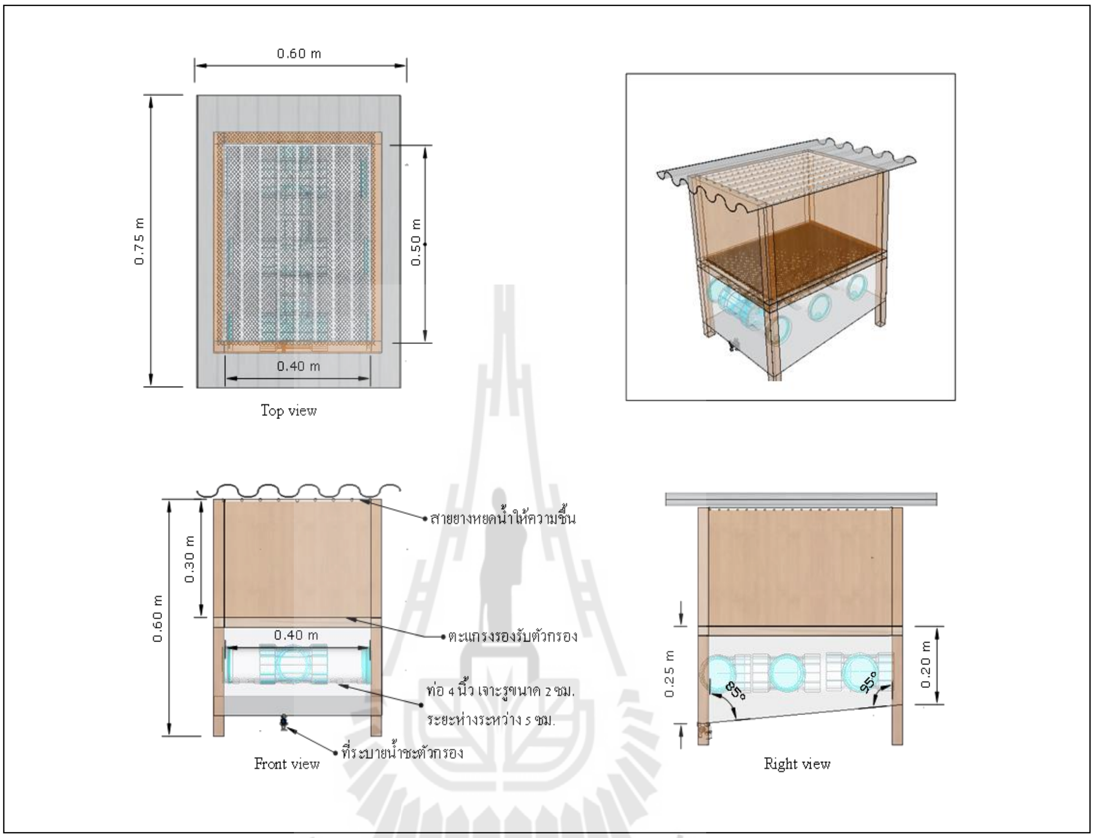
ระบบกรองแบบชีวภาพที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นและสารอินทรีย์ระเหยโดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ คือ แบบเปิด และแบบปิด ซึ่งแบบเปิดก๊าซมลพิษจะไหลจากด้านล่างสู่ด้านบน ระบบกรองชีวภาพแบบเปิดจะติดตั้งแยกจากหน่วยรวบรวมก๊าซมลพิษ ต้องการพื้นที่มากกว่าระบบกรองชีวภาพแบบปิดและปล่อยสารที่ผ่านการบำบัดสู่บรรยากาศภายนอก ส่วนระบบกรองชีวภาพแบบปิด ตัวกรองจะบรรจุอยู่ในกล่องหรือโครงสร้างที่ปิดมิดชิด และทิศทางการไหลของก๊าซเข้าจะให้ก๊าซไหลเข้าจากด้านล่างหรือด้านบนของระบบก็ได้ (Sandeep et al ., 2010) โดยในการศึกษานี้ได้ทำการออกแบบระบบตัวกรองชีวภาพแบบเปิด โดยให้ก๊าซไหลเข้าระบบด้านล่าง ส่วนก๊าซมลพิษที่ผ่านการบำบัดจะไหลขึ้นด้านบนสู่ชั้นกรองและถูกปล่อยสู่บรรยากาศ



รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของหน่วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

การออกแบบในแต่ละหน่วยของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด ประกอบไปด้วยถาดบรรจุตัวกรอง กล่องแบ่งการไหลอากาศไว้วัดความเร็วลมในท่อ ท่อลำเลียงก๊าซ และพัดลมดูดอากาศ แสดงดังรูปที่ 4.6 ในส่วนของถาดบรรจุตัวกรองมีขนาด 0.4 × 0.5 ตร.ม. มีความสูง 0.3 ม. โดยในการศึกษาทำการแปรผันความหนาของชั้นกรอง 2 ระดับ คือ 150 และ 300 มม. และปริมาตรตัวกรองที่ใช้ 0.03 และ 0.06 ม^3 มีตะแกรงที่ด้านล่างของถาดสำหรับรองรับตัวกรองและด้านบนมีหลังคาเพื่อป้องกัน แดด ฝน และแมลงรบกวนต่างๆ ซึ่งหลังคาสามารถยกประกอบและถอดออกได้

เพื่อให้สะดวกสำหรับการวัดพารามิเตอร์ต่างๆและสะดวกในการเก็บตัวอย่างของตัวกรองชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



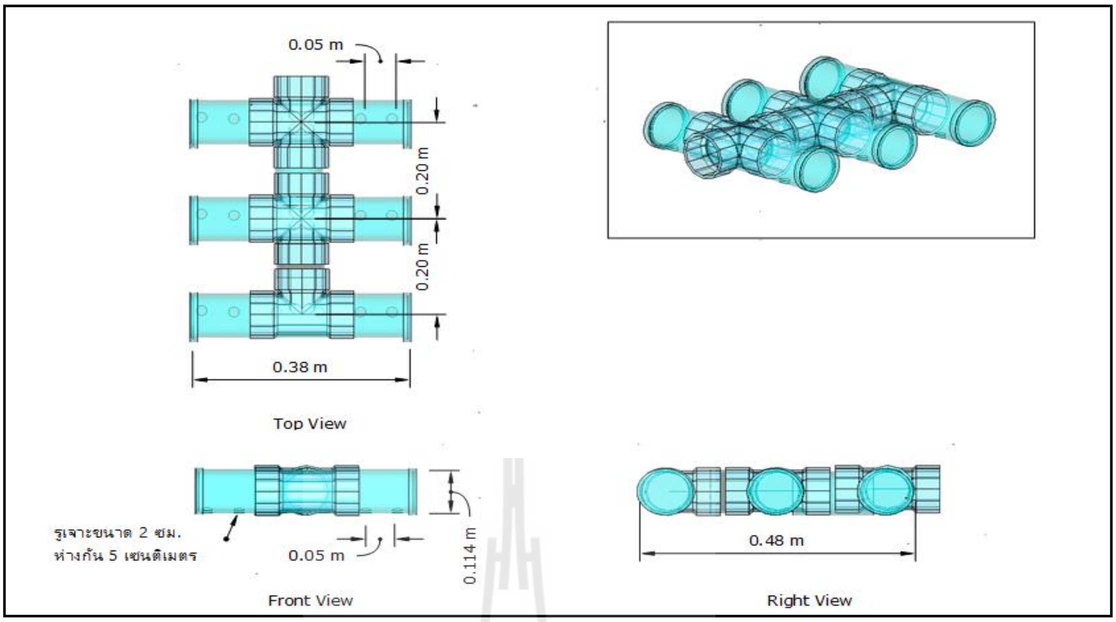
รูปที่ 4.7 ผลการออกแบบถาดบรรจุตัวกรอง

ผลการออกแบบถาดบรรจุตัวกรองแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งถาดสำหรับบรรจุตัวกรองชีวภาพประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ด้านบนเป็นหลังคาสามารถยกถอดประกอบได้ เพื่อให้สะดวกในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์และเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 รองลงมาจากหลังคามีการติดสายยางหยดน้ำเพื่อให้ความชื้นแก่ตัวกรอง ส่วนตรงกลางเป็นส่วนของกล่องสำหรับใส่ตัวกรอง ทำการออกแบบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีพื้นที่ 0.2 ตร.ม. (กว้าง 0.4 ม. ยาว 0.5 ม.) และมีความสูง 0.3 ม. ด้านล่างของกล่องจะมีตะแกรงวางสำหรับรองรับตัวกรองตะแกรงนี้มีความละเอียดเพื่อป้องกันตัวกรองหลุดร่วงลงไปยังด้านล่างของถาด และด้านล่างยังเป็นที่วางท่อกระจายอากาศ ซึ่งสำหรับที่วางท่อกระจายอากาศนี้ ด้านล่างของถาดจะออกแบบให้มีความลาดเอียงเพื่อป้องกันการตกค้างของน้ำชะตัวกรอง โดยพื้นล่างสุดของถาดบรรจุตัวกรองเอียง 5 องศา เพื่อให้น้ำ

ชะตัวกรองไหลลงมายังรูระบายน้ำชะตัวกรอง ซึ่งในขณะที่ทำการเดินระบบจะปิดรูระบายน้ำชะตัวกรองด้วยเทปกาวและดินน้ำมันเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซที่เข้าสู่ระบบ และจะเปิดรูระบายนี้หลังจากที่มีการให้น้ำแก่ชั้นกรอง และทำการปิดรูระบายก่อนการเดินระบบทุกครั้ง และตรงจุดเชื่อมต่อทุกจุดของกล่องบรรจุตัวกรองจะใช้ซิลิโคนทาโดยรอบเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซที่เข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

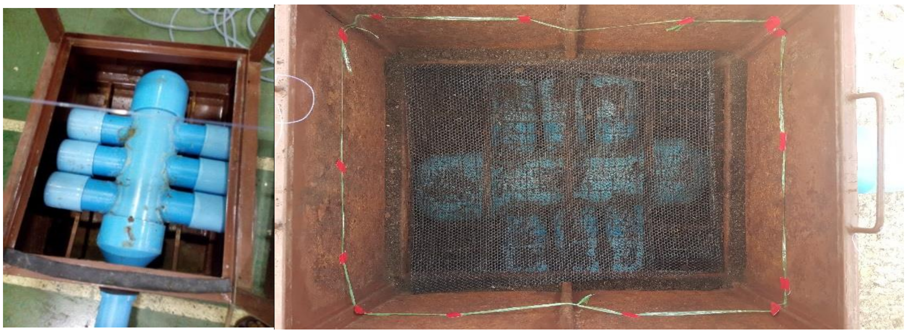
รูปที่ 4.8 กล่องบรรจุตัวกรอง (ไม่ประกอบหลังคา)

รูปที่ 4.9 กล่องบรรจุตัวกรอง (ประกอบหลังคา)

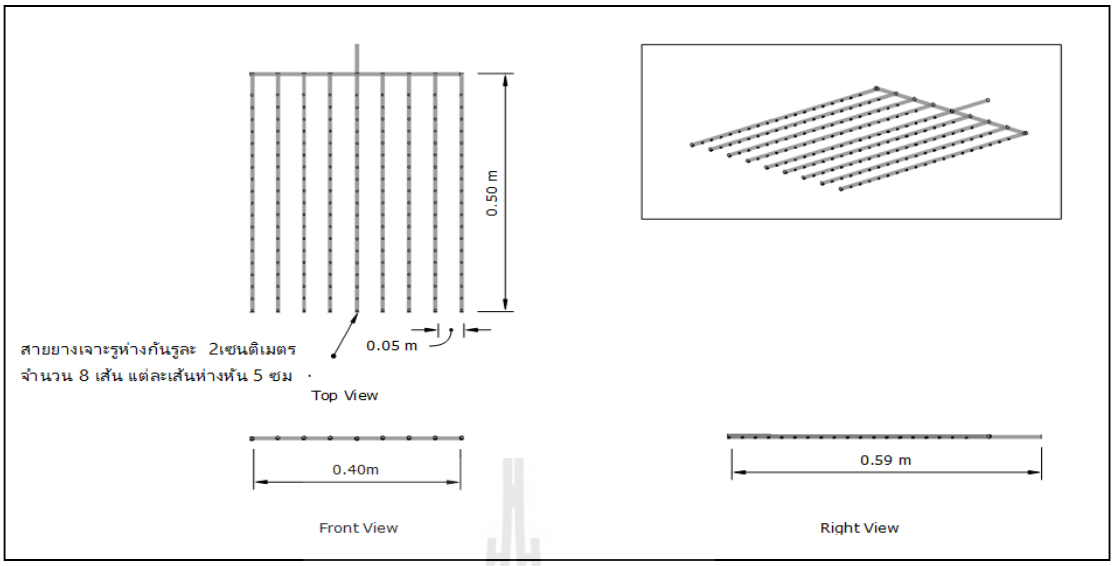


รูปที่ 4.10 ผลการออกแบบท่อกระจายอากาศ

ท่อกระจายอากาศใช้ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ต่อขนานกัน 3 ท่อ แต่ละท่อวางห่างกัน 20 ซม. และเจาะรูขนาด 2 ซม. มีระยะห่างระหว่างรู 5 ซม.เพื่อให้สามารถกระจายก๊าซมลพิษสู่การบำบัดได้ดี ที่ปลายแต่ละด้านของท่อขนานจะถูกปิดด้วยฝาครอบท่อ ดังรูปที่ 4.10 แต่ละจุดเชื่อมของท่อ นอกจากจะใช้กาวสำหรับท่อน้ำแล้วยังใช้ซิลิโคนทาทุกๆรอยเชื่อม เพื่อป้องกันการรั่วของรอยต่อ และในการวางท่อกระจายอากาศจะคว่ำด้านที่เจาะรูลงเพื่อป้องกันการอุดตันจากตัวกรองที่หลุดร่วงลงไปยังท่อกระจายอากาศ ผลการออกแบบแสดงดังรูปที่ 4.11



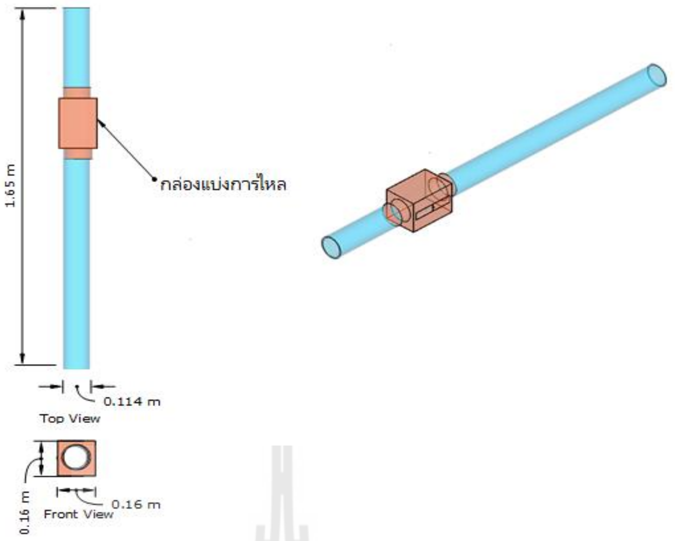
รูปที่ 4.11 ท่อกระจายอากาศของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด



รูปที่ 4.12 ผลการออกแบบสายยางหยดน้ำให้ความชื้น

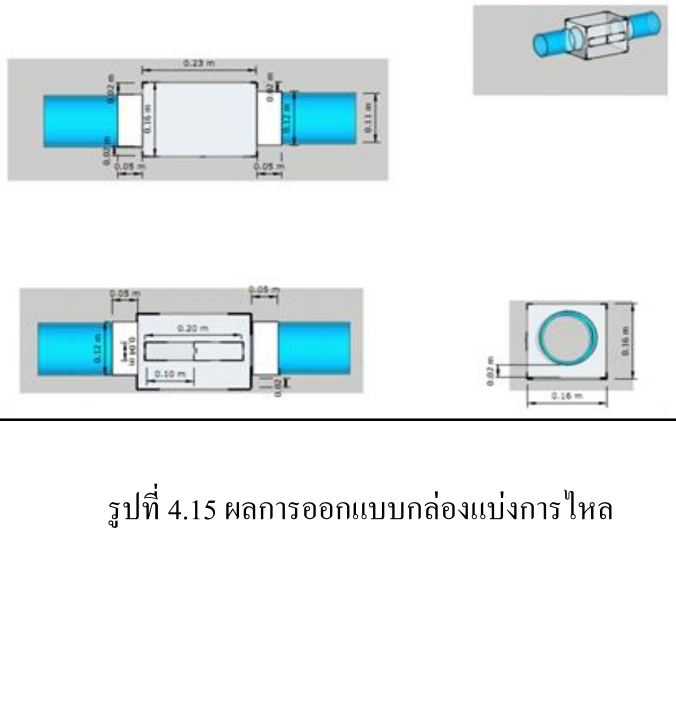
สายยางหยดน้ำให้ความชื้นใช้สายยาง PE สีดำ เพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สายยางเกิดการอุดตัน โดยใช้สายยางขนาด 4 มิลลิเมตร มีทั้งหมด 8 เส้น เพื่อให้สามารถกระจายหยดน้ำให้ความชื้นได้อย่างทั่วถึง และแต่ละเส้นยาว 50 เซนติเมตร วางห่างกันเส้นละ 5 เซนติเมตร และเจาะรูเพื่อหยดน้ำห่างกันรูละ 2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.12 ในการควบคุมการให้หยดน้ำนั้นจะใช้เครื่องให้น้ำแบบอัตโนมัติ เป็นระบบตั้งเวลาแบบหน่วงเวลา ดังรูปที่ 4.13 จะให้หลังทำการเดินระบบเสร็จแล้ว จากการตรวจวัดความชื้นพบว่าหลังจากเดินระบบความชื้นมีการลดลงบ้าง แต่ก็อยู่ในอยู่ในช่วงร้อยละ 60 - 80 และระยะเวลาในการหยดน้ำอยู่ในช่วง 1- 3 นาที

รูปที่ 4.13 สายยางหยดน้ำให้ความชื้นแก่ชั้นกรอง

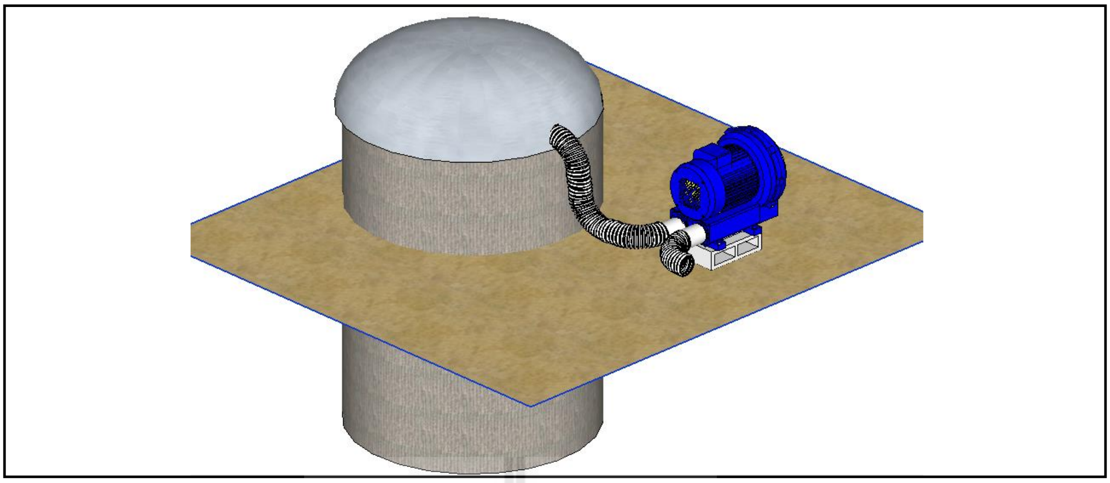


รูปที่ 4.14 ผลการออกแบบท่อลำเลียงอากาศ

ท่อลำเลียงอากาศเพื่อนำมาบำบัดใช้ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว มีความยาว 1.65 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.14 และที่ท่อลำเลียงนี้มีการติดตั้งกล่องแบ่งการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบบำบัด โดยมีบานเลื่อนขนาด 4 × 10 เซนติเมตร สามารถเลื่อนเปิด-ปิดได้ มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 16 × 16 ตร.ซม. มีรายละเอียดดังรูปที่ 4.15 และได้ทำการตรวจวัดความเร็วลมในท่อที่จุดนี้ด้วย แต่ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมความเร็วลมในท่อโดยใช้เครื่องแปลงกระแสหรืออินเวอร์เตอร์และ ในขณะที่ทำการเดินระบบได้มีการปิดบานเลื่อน โดยใช้ซิลิโคนทาบริเวณรอยปิดป้องกันการรั่ว



รูปที่ 4.15 ผลการออกแบบกล่องแบ่งการไหล



รูปที่ 4.16 ผลการออกแบบพัดลมดูดอากาศ

ระบบดูดอากาศในงานวิจัยนี้ใช้พัดลมดูดอากาศ ซึ่งดูดอากาศจากบ่อรวบรวมน้ำเสียผ่านท่อลำเลียงเละระบบตัวกรองชีวภาพ ในแต่ละจุดเชื่อมต่อจะใช้ท่ออ่อน เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน และป้องกันการก่อให้เกิดเสียงดังตามมา ดังแสดงในรูปที่ 4.16 จากการคำนวณความดันสูญเสียของระบบดูดอากาศออกแบบพัดลมดูดอากาศพบว่าอัตราการไหลอากาศสูงสุดที่ใช้ คือ 212 ลบ.ฟุต/นาที (6 ลบ.ม./นาที) และค่าแรงดันเกิดขึ้นทั้งระบบจากการคำนวณมีค่า 56.4 มม.น้ำ จึงเลือกใช้พัดลม ขนาด 1.5 แรงม้า มีค่าความถี่ 50 เฮิร์ต (Hz) ใช้กระแสไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ความเร็วรอบใบพัด 2,950 รอบต่อนาที มีอัตราการดูดอากาศสูงสุด 48 ลบ.ม./นาที และมีความต้านทานแรงดันสูงสุด 100 มม.น้ำ (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) เนื่องจากเป็นพัดลมที่ใช้ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จึงสามารถแปลงกระแสไฟฟ้าได้ ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของใบพัดเพื่อปรับอัตราการดูดของอากาศให้มีความเร็วลมในการกรองตามที่ออกแบบ คือ 0.6 -3.9 ม./วินาที ได้ โดยติดตั้งเครื่องแปลงกระแสไฟ (inverter) ปรับความเร็วรอบของใบพัด นอกจากนั้นได้ติดตั้งเครื่องตั้งเวลา (timer) เปิด-ปิด การทำงานของพัดลม ทำให้มีความสะดวกในการเดินระบบ โดยในการศึกษานี้ได้ทำการตั้งเวลาการทำงานของพัดลมดูดอากาศที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน ตามเวลาชั่วโมงการทำงานของเจ้าหน้าที่ในฟาร์มสุกรตั้งแต่ เวลา 08.30 น. ถึงเวลา 16.30 น. ของทุกๆ วัน

4.3 การสร้าง ติดตั้ง และเดินระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

4.3.1 การสร้างและติดตั้งระบบ

ฟาร์มสุกรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีถือว่าเป็นฟาร์มขนาดเล็ก มีสุกร 300 ตัว มีบ่อรวบรวมน้ำเสียซึ่งเป็นบ่อซีเมนต์ ทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ 1.5 ม. ต่ออนุกรมกัน 6 บ่อ และมีบ่อผึ่งสำหรับรองรับน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียทั้ง 6 บ่อนี้ ซึ่งบ่อที่ 1 และ 2 มีความลึก 3 ม. บ่อที่ 3-6 ความลึก 40 ซม. อัตราการไหลของน้ำเสียโดยเฉลี่ยมีค่า 21 ม^3/วัน ในการศึกษานี้เลือกบ่อน้ำเสียที่ 1 ในการรวบรวมและบำบัดก๊าซ เนื่องจากเป็นบ่อแรกที่รับน้ำเสีย เป็นน้ำเสียจากการล้างมูลสุกร เศษอาหารและสิ่งปฏิกูลต่างๆ โดยได้ปิดคลุมปากบ่อด้วยผ้าใบเพื่อรวบรวมก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซจะถูกดูดเข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพโดยพัดลมดูดอากาศ ซึ่งเป็นระบบกระจายอากาศที่ให้อากาศไหลจากด้านล่างสู่ด้านบน โดยมีท่อกระจายอากาศอยู่ด้านล่างของชั้นตัวกรอง โดยวางขนานกัน 3 ท่อ ดังรูปที่ 4.10 แต่ละท่อเจาะรูขนาด 2 ซม. ห่างกันรูละ 5 ซม. เพื่อให้กระจายอากาศได้ทั่วพื้นที่หน้าตัดตัวกรอง ในการวางท่อกระจายอากาศจะหันด้านที่เจาะรูลงเพื่อป้องกันการอุดตันจากตัวกรองที่อาจหลุดร่วงจากชั้นกรองได้ นอกจากนี้ยังมีระบบให้ความชื้นแก่ตัวกรอง เป็นระบบหยดน้ำแบบตั้งเวลา เพื่อหยดน้ำให้ความชื้นแก่ชั้นกรองแบบอัตโนมัติ ซึ่งภาพรวมของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดนั้นแสดงดังรูปที่ 4.17

รูปที่ 4.17 ระบบตัวกรองชีวภาพและหน่วยของระบบตัวกรองชีวภาพ

4.3.2 การเดินระบบ

การเดินระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดมีการแปรผันอัตราการดูดของอากาศในช่วง 0.017- 0.10 ลบ.ม./วินาที ซึ่งควบคุมโดยการปรับความเร็วลมในท่อโดยการติดตั้งอินเวอเตอร์หรือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับควบคุมความเร็วรอบใบพัดของพัดลมดูดอากาศ ซึ่งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้านี้สามารถปรับความถี่ของการให้กระแสไฟฟ้าแก่พัดลมที่ช่วง 0-50 Hz จากการทดสอบการวัดความเร็วลมในท่อพบว่าความเร็วสูงสุดของอากาศที่ไหลในท่อที่ 50 Hz มีค่าในช่วง 5.4 ม./วินาที ซึ่งในการเดินระบบใช้ความเร็วลมในท่อมากที่สุดที่ 3.9 ม./วินาที ที่ความถี่ 36.87 Hz แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดความเร็วลมในท่อที่ระดับความหนาของชั้นกรอง 0.15 ม. และ 0.3 ม. ที่การให้กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่กระแสไฟฟ้า (Hz)	ความเร็วลมในท่อที่ชั้นตัวกรอง หนา 150 มม.	ความเร็วลมในท่อที่ชั้นตัวกรอง หนา 300 มม.
5	0	0
10	0.836	0.906
15	1.249	1.434
20	1.893	2.075
15	2.329	2.568
30	3.047	3.127
35	3.556	3.641
40	4.297	4.313
45	4.853	4.815
50	5.450	5.309

การให้ความชื้นของระบบนั้นจะใช้น้ำประปาในฟาร์ม โดยให้เป็นระบบหยดน้ำสู่ชั้นกรองโดยตรงจากด้านบน ซึ่งระบบให้น้ำจะใช้สายยางขนาด 4 มม. ยาว 40 ซม. ต่อขนานกันจำนวน 8 เส้น เจาะรูตามแนวยาวของแต่ละเส้นห่างกันรูละ 2 ซม. ดังรูปที่ 4.18 ควบคุมการให้น้ำโดยใช้ระบบให้น้ำอัตโนมัติ ติดตั้งเครื่องตั้งเวลาการให้น้ำที่ท่อน้ำซึ่งเป็นเครื่องแบบหน่วงเวลา เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องตั้งเวลาจะเปิดวาล์วลูกบอลให้น้ำอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.19 โดยจะให้น้ำทุกวันหลังเดินระบบเป็นเวลา 1-3 นาที

รูปที่ 4.18 สายยางหยดน้ำให้ความชื้นแก่ชั้นกรอง

รูปที่ 4.19 เครื่องให้น้ำอัตโนมัติแบบหน่วงเวลา

การรวบรวมก๊าซในบ่อน้ำเสียเพื่อทำการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบ จะทำการวัดในบ่อน้ำเสีย ที่คลุมโดยผ้าใบเพื่อเป็นการกักเก็บรวบรวมก๊าซในบ่อน้ำเสีย ไม่ให้เจือจางกับบรรยากาศรอบๆ เพื่อที่จะดูดก๊าซเข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพได้ และในการวัดความเข้มข้นก่อนเข้าระบบจะทำการวัดก๊าซในบ่อน้ำเสียนี้ ดังรูปที่ 4.20 ในการเก็บตัวอย่างจะผูกสายเก็บตัวอย่างอากาศติดไว้ที่ท่อ PVC และสอดท่อเข้าไปในบ่อ 30 ซม. เพื่อที่จะไม่ต้องเปิดผ้าคลุมบ่อ แล้วเปิดเครื่องดูดอากาศจากบ่อเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และในบางช่วงเวลาที่มีตะกอนลอยที่ผิวหน้าบ่อน้ำเสีย ดังรูปที่ 4.21 หรือช่วงที่ต้องวัดความเข้มข้นของก๊าซในบ่อน้ำเสีย ซึ่งก๊าซที่วัดได้มีความเข้มข้นน้อยมาก ทำให้จำเป็นต้องทำการเปิดผ้าคลุมบ่อ และกวนน้ำในบ่อน้ำเสียเพื่อให้ตะกอนแตก และเกิดก๊าซขึ้น ในการกวนน้ำเสียนั้นได้ทำการกวนพร้อมกับเปิดเครื่องวัดก๊าซ เพื่อดูความเข้มข้นก๊าซที่เกิดขึ้น จากนั้นก็ทำการปิดคลุมบ่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงทำการดูดก๊าซเข้าสู่ระบบ และวัดความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าสู่ระบบ ในการตรวจวัดก๊าซจะตรวจเป็นเวลา 3 นาที และวัดก๊าซต่อไปอีก 2 นาที จึงอ่านค่าสำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (อ่านค่าในนาทีที่ 5) ส่วนก๊าซแอมโมเนียระยะเวลาในการวัดแต่ละครั้งใช้เวลา 10 นาที (อ่านค่านาทีที่ 11)

รูปที่ 4.20 คลุมบ่อน้ำเสียและวัดก๊าซเข้าระบบ

รูปที่ 4.21 กากตะกอนลอยที่ผิวหน้าของบ่อน้ำเสีย

4.4 คุณสมบัติของตัวกรองก่อนเดินระบบ

ตัวกรองผสมปุ๋ยหมัก กาบมะพร้าวสับ ปุ๋ยคอก และตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อหมักผสมกันครบระยะเวลาที่กำหนดแล้ว ได้นำไปหาค่าความหนาแน่น ความพรุนและความชื้นก่อนที่จะนำไปบรรจุในถาดบรรจุตัวกลางเพื่อบำบัดกลิ่นจากน้ำเสียฟาร์มสุกร ผลการศึกษาคุณสมบัติตัวกรองแสดงผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติตัวกรองชีวภาพก่อนเดินระบบ

พารามิเตอร์	วัสดุตัวกรองก่อนผสม				ตัวกรองผสม
	ปุ๋ยหมัก	กาบมะพร้าวสับ	ปุ๋ยคอก	ตะกอนจุลินทรีย์	ปุ๋ยหมัก: กาบมะพร้าวสับ: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.62	0.05	0.34	0.66	0.56
ความพรุน (%)	54.70	78.67	75.20	40.08	55.54
ความชื้น (%)	17.46	6.58	2.38	79.78	71

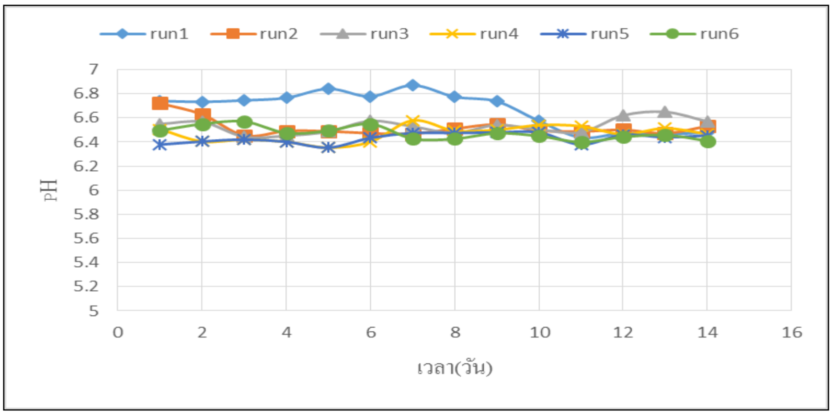
วัสดุที่นำมาเป็นตัวกรองชีวภาพต้องมีค่าความพรุน ความชื้นและมีปริมาณธาตุสารอาหารที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในระบบ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ซึ่งปุ๋ยหมักใส่ให้กับระบบเพื่อให้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ มีค่าตามกำหนดของเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมวิชาการเกษตรปี 2548 โดยมีค่าสารอินทรีย์ (organic matter) ร้อยละ 17.74 สารอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ร้อยละ 10.31 และไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ร้อยละ 1.07 ของไนโตรเจน (ศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555 : ออนไลน์) ส่วนของกาบมะพร้าวสับนั้นจะเป็นตัวเพิ่มความพรุนให้กับตัวกรองผสม ตะกอนจุลินทรีย์และปุ๋ยคอกใช้เป็นแหล่งของจุลินทรีย์ แต่สำหรับปุ๋ยคอกนอกจากจะเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ด้วยแล้ว ยังแป็นแหล่งของอาหารจุลินทรีย์ได้ด้วย และหลังจากการผสมตัวกรองและหมักเป็นเวลา 14 วันก่อนที่จะนำไปบรรจุเพื่อเดินระบบ พบว่าตัวกรองผสมมีค่าความชื้นร้อยละ 71 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ได้ และมีค่าความพรุนร้อยละ 46.34 ซึ่งค่าความพรุนนี้มีผลต่อการกระจายของอากาศและก๊าซมลพิษที่ต้องการบำบัดไหลผ่านชั้นตัวกรอง เพื่อให้มลพิษสัมผัสกับตัวกรองและจุลินทรีย์ในระบบทำให้เกิดการบำบัดก๊าซมลพิษได้ และถ้าอากาศเคลื่อนที่ผ่านได้ดี ความดันลดของระบบที่เกิดก็จะน้อยลง นอกจากนั้นแล้วยังมีผลต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ เพราะจากงานวิจัยอื่นๆพบว่า ตัวกรองชีวภาพควรจะมีผิวขรุขระ มีความพรุนและมีความสามารถในการเก็บกักน้ำเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตในตัวกรองได้ ความขรุขระของชั้นกรองยังสามารถป้องกันจุลินทรีย์จากแรงเฉือนทางชลศาสตร์ (Hydraulic shear) ได้ (ณัฐพล รัตนมุขย์, 2549) สำหรับความหนาแน่นของตัวกรองผสมมีผลต่อลักษณะของโครงสร้างและการยุบตัวของชั้นตัวกรอง ถ้าความหนาแน่นและความพรุนของตัวกรองมีมากไปจะทำให้เกิดการกดและอัดตัวของตัวกรองได้เร็วมากขึ้น ทำให้ชั้นตัวกรองอาจยุบตัวและเกิดการอัดตัวได้ง่าย ทำให้เกิดความดันลดในระบบได้

หลังจากเดินระบบพบว่าตัวกรองในแต่ละสภาวะมีลักษณะแตกต่างก่อนทำการเดินระบบ คือ ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักและกาบมะพร้าวสับจะเปื่อยและแตกออกจากกันง่ายกว่าตอนที่ทำการผสม และสีของกาบมะพร้าวสับจากเดิมที่เป็นสีน้ำตาลอ่อนก็มีสีเข้มขึ้น และเมื่อบีบตัวกรองก็จะแฉะและมีเศษตัวกรองบางส่วนติดที่นิ้วมือออกมาด้วย และยังพบว่าที่ระยะเวลาการเดินระบบ 14 วัน ตัวกรองชีวภาพยังไม่มีการเสื่อมสภาพ และการทรุดตัวของชั้นกรองก็มีเพิ่มเรื่อยๆ อัตราการอัดตัวของชั้นกรองยังไม่คงที่ และจำนวนจุลินทรีย์ในชั้นตัวกรองก็ยังมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

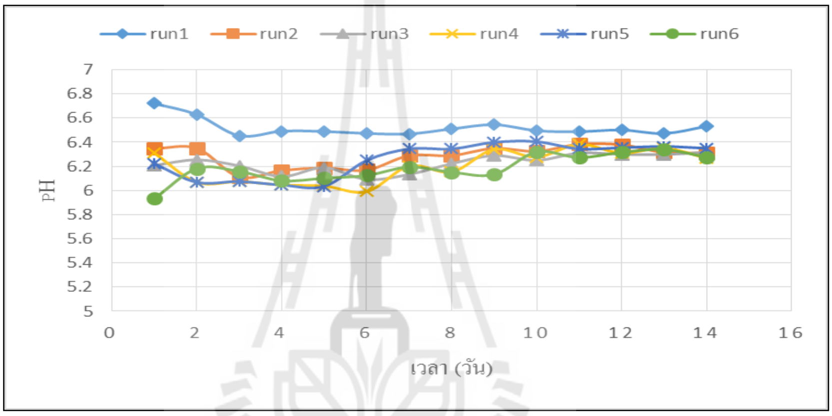
4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

4.5.1 ค่า pH

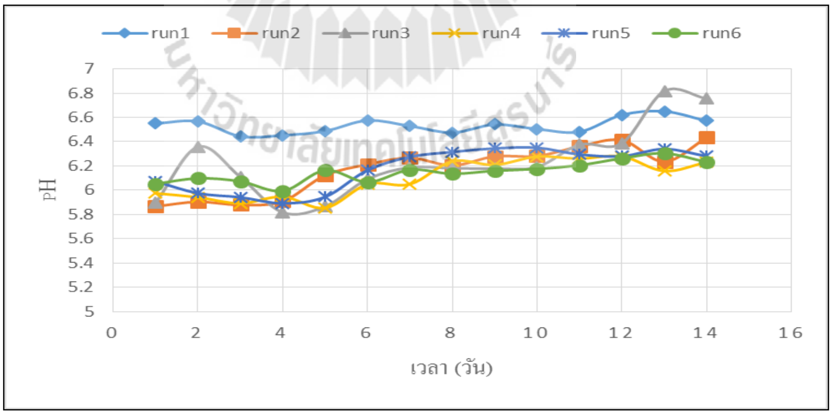
ในการศึกษาได้ทำการเดินระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดเป็นเวลา 14 วัน โดยทำการเดินระบบวันละ 8 ชั่วโมง และวัดค่า pH ของชั้นตัวกรอง 3 ระดับ ได้แก่ ด้านบน ตรงกลางและด้านล่าง ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.22 ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของชั้นกรองที่ระยะเวลาในการเดินระบบต่างๆของทั้ง 6 สภาวะ พบว่าด้านบนของชั้นกรองมีค่า pH สูงสุด อยู่ในช่วง pH 6.3 - 6.9 และในสภาวะของการเดินระบบสภาวะที่ 1 ช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบในวันที่ 4 - 6 และอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นในวันที่ 7 ช่วงที่อุณหภูมิมีการลดลงอย่างรวดเร็วทำให้ pH ด้านบนของชั้นกรองซึ่งสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรงมีค่าสูง อาจเกิดจากไม่มีกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เพราะถ้าหาก pH ของชั้นตัวกรองมีค่า 6.4 - 9.0 แสดงว่ากลไกการบำบัดมลพิษเกิดจากการดูดซับของตัวกรอง (Fai, 2009) ส่วนสภาวะต่างๆมีค่า pH มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เช่น ค่า pH ชั้นกลางของตัวกรองในสภาวะที่ 2- 6 ในช่วงวันที่ 9 -14 ของการเดินระบบ pH มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 6.1- 6.3 ส่วน pH ของชั้นตัวกรองด้านล่างมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีค่า pH ในช่วง 5.8 – 6.8 เนื่องจากเป็นระดับความลึกของชั้นกรองที่สัมผัสกับก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนระดับชั้นตรงกลาง และด้านบน และระบบกรองชีวภาพแบบถาดนี้เป็นระบบที่ให้อากาศไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ส่วนค่า pH ของชั้นกรองที่มีแนวโน้มลดลงนั้น เกิดจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบทำให้ pH ของชั้นกรองลดลง และจากการทดลองพบว่าหลังจากเดินระบบ pH มีความผันผวนมากกว่าช่วงก่อนเดินระบบ อย่างไรก็ตามผลการทดลองการเดินระบบตัวกรองชีวภาพในระยะเวลา 14 วัน จากการวัดค่า pH ของทุกสภาวะ สามารถกล่าวได้ว่าจุลินทรีย์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ โดยที่ไม่มีการเติมสารเคมีเพื่อปรับค่า pH ของชั้นตัวกรอง เพราะค่า pH ของชั้นกรองที่อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้นั้นอยู่ในช่วง 6.0 – 7.0 (เสาวลักษณ์, 2551) และถึงแม้ pH จะลดต่ำลงจนถึงค่า pH ที่ 3.3 ก็ไม่มีผลกับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย (Omri et al., 2013) และการศึกษาของ Wu et al. (2006) พบว่า pH ของชั้นกรองอยู่ในช่วง 6.5 - 7.9 และค่า pH ต่ำสุดของชั้นกรองจะอยู่บริเวณที่ชั้นกรองสัมผัสกับก๊าซแอมโมเนียคือ มีค่า pH 6.3 - 7.4 แสดงว่ามีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น เกิดการเปลี่ยนแอมโมเนีย ให้อยู่ในรูปไนไตรท์และไนเตรท และจากการเดินระบบตลอดระยะเวลา 4 เดือนยังพบว่าไม่มีปฏิกิริยา acidification ในกระบวนการกรองทางชีวภาพ และการศึกษานี้พบว่าค่า pH ของชั้นตัวกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.5 – 7.0 ซึ่งอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของชั้นตัวกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

(ก) ด้านบน (ข)ตรงกลาง (ค) ด้านล่าง

หมายเหตุ *run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3

run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6

เมื่อพิจารณาค่า pH เฉลี่ยของทั้งชั้นตัวกรอง ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ สามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าสภาวะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของ pH มากที่สุด และสภาวะที่ 4 และ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ pH 6.29 ส่วนค่าเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า pH 6.27 คือ สภาวะที่ 6 และได้มีการทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะ โดยวิธี Tukey's paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) ดังตารางที่ 4.6 โดยหากค่าเฉลี่ยของ pH ที่ $\overline{y_i}$ และ $\overline{y_j}$ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่าง $\overline{y_i} - \overline{y_j}$ อยู่ในช่วง $-1.80 \leq \overline{y_i} - \overline{y_j} \leq 1.80$ เพื่อเป็นการยืนยันว่าที่สภาวะการเดินระบบโดยที่ไม่มีการควบคุมค่า pH นั้น ค่า pH ของแต่ละสภาวะจะไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบสถิติพบว่า มีเพียงสภาวะที่ 1 แตกต่างกับทุกๆสภาวะยกเว้นสภาวะที่ 2 โดยค่า pH เฉลี่ยของสภาวะที่ 1 นี้ จะมากกว่ากว่าสภาวะอื่นๆ และสำหรับสภาวะที่ 2 3 4 5 และ 6 ค่าเฉลี่ยของ pH ไม่แตกต่างกัน

จากการที่ผลต่างค่าเฉลี่ย pH ของสภาวะที่ 1 กับสภาวะที่ 3 4 5 และ 6 มีค่าเกินช่วงดังกล่าว และยังพบว่าสภาวะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าสภาวะที่ 3 4 5 และ 6 สันนิษฐานว่า เกิดจากในการเดินระบบของสภาวะที่ 1 เป็นช่วงที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอุณหภูมิลดลง จาก 28 °C ลดลงเหลือ 14 - 16 °C อาจส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้ช่วงเวลานั้นมีค่า pH สูงกว่าสภาวะต่างๆที่มีสภาพอากาศไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพราะช่วงเวลาการเดินระบบของสภาวะที่ 1 หลังจากวันที่อุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นค่า pH ของสภาวะที่ 1 เริ่มมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะอื่นๆ ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.5 ค่า pH ของชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบ

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	6.51	0.19	6.92	6.13
2	300	1.2	6.34	0.16	6.74	5.95
3	300	0.6	6.31	0.29	7.11	5.68
4	150	1.8	6.29	0.17	6.53	5.86
2	150	1.2	6.29	0.17	6.53	5.86
6	150	0.6	6.27	0.19	6.68	5.86

ตารางที่ 4.6 ผลต่างค่า pH เฉลี่ย $(\overline{y_i} - \overline{y_j})$ ของแต่ละสภาวะ

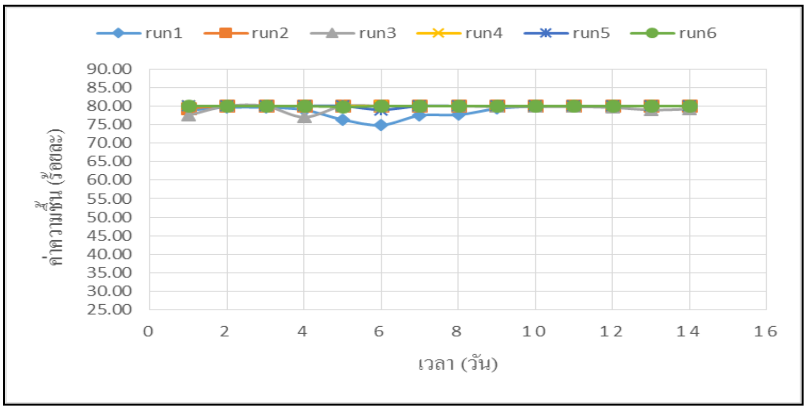
การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_j}$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_i}$)					
	1	2	3	4	5	6
	6.507	6.344	6.310	6.289	6.289	6.266
1	-	-	-	-	-	-
2	0.163	-	-	-	-	-
3	*0.197	0.034	-	-	-	-
4	*0.218	0.056	0.022	-	-	--
5	*0.218	0.056	0.022	0	-	-
6	*0.241	0.078	0.044	0.023	0.023	-

หมายเหตุ * ค่า เฉลี่ย $\overline{y_i} - \overline{y_j}$ ที่มีความแตกต่างกัน

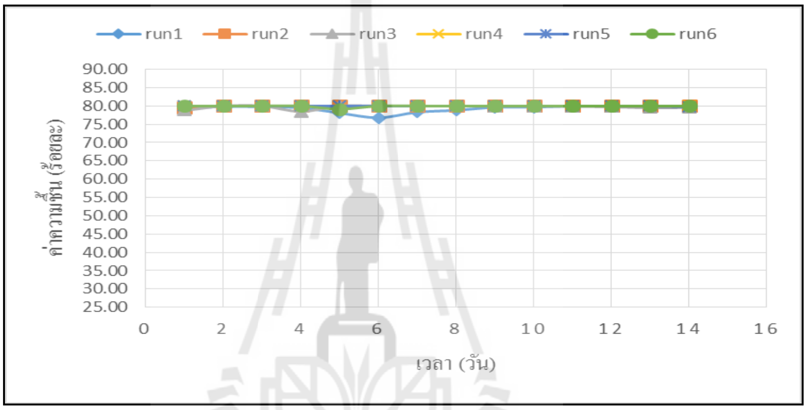
4.5.2 ค่าความชื้น

ในการศึกษานี้ได้ให้ความชื้นโดยการให้น้ำหยดจากด้านบนลงมาสู่ชั้นตัวกรอง ซึ่งค่าความชื้นของแต่ละสภาวะการเดินระบบ แสดงดังรูปที่ 4.23 ในการทดลองได้วัดค่าความชื้นของชั้นตัวกรอง 3 ระดับ ได้แก่ ด้านบน ตรงกลางและด้านล่าง เช่นเดียวกับการวัดค่า pH และได้มีการให้ความชื้นกับระบบทุกวันหลังจากทำการเดินระบบ เพื่อให้ชั้นตัวกรองมีความชื้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

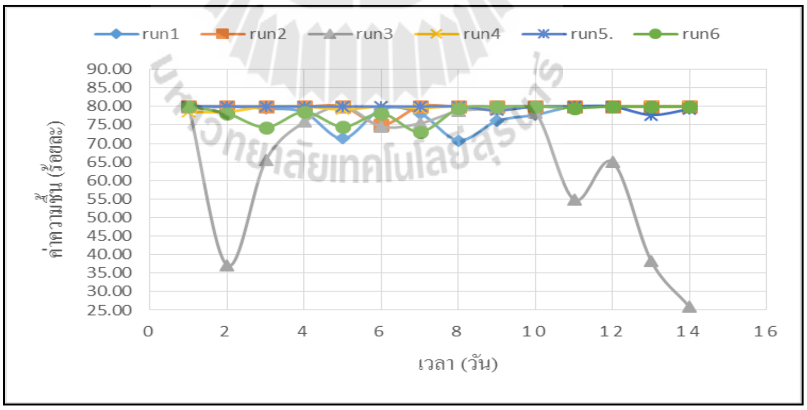
จากการศึกษาพบว่าค่าความชื้นของชั้นกรองทั้ง 3 ระดับความลึก ก่อนทำการเดินระบบมีค่าความชื้นที่ร้อยละ 80 แต่หลังจากเดินระบบเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ได้ทำการวัดความชื้นหลังเดินระบบ พบว่าที่ระดับความลึกด้านล่างของชั้นกรองในบางสภาวะมีค่าความชื้นลดลง เพราะก๊าซถูกพัดจากด้านล่างสู่ด้านบน ความชื้นของชั้นตัวกรองด้านล่างจึงถูกพัดขึ้นมาสู่ด้านบนด้วย แต่ก็ยังอยู่ในช่วงร้อยละ 60 – 80 ผลการตรวจวัดค่าความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.23 ซึ่งพบว่าสภาวะที่ 3 ชั้นกรองด้านล่างมีความชื้นน้อยที่สุด และในบางวันความชื้นของตัวกรองชั้นล่างสุดลดลงอยู่ที่ร้อยละ 24 สันนิษฐานว่าในสภาวะที่ 3 ก๊าซที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบมีความเร็วมากขึ้น อัตราเร็วในการกรองมีมากขึ้น (ความหนาชั้นกรองเท่ากับสภาวะที่ 1 และ 2 แต่มี EBRT ที่สั้นกว่า) แต่หลังจากมีการหยดน้ำให้ความชื้นแก่ชั้นกรองหลังจากเดินระบบแล้ว พบว่าค่าความชื้นของชั้นกรองเพิ่มขึ้นอยู่ที่ร้อยละ 80 ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของชั้นตัวกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

(ก) ด้านบน (ข) ตรงกลาง (ค) ด้านล่าง

หมายเหตุ *run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3

run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6

เมื่อพิจารณาค่า ความชื้นเฉลี่ยของทั้งชั้นตัวกรอง ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ สามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าเฉลี่ยของความชื้นแต่ละสภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 79 ยกเว้นสภาวะที่ 3 มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 76.99 แต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด คือ 9.42 แสดงว่าค่าความชื้นในการเดินระบบของสภาวะนี้มีความแตกต่างจากค่าความชื้นเฉลี่ยมาก เนื่องจากค่าความชื้นหลังเดินระบบของสภาวะที่ 3 บางช่วงมีค่าต่ำ คือมีค่าความชื้นเพียงร้อยละ 25 และเพื่อเป็นการยืนยันว่าที่สภาวะการเดินระบบโดยที่ไม่มีการควบคุมค่าความชื้นนั้น ซึ่งต้องการให้ความชื้นของแต่ละสภาวะจะไม่แตกต่างกัน โดยใช้การทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะโดยวิธี Tukey's paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) เช่นเดียวกับค่า pH แสดงผลดังตารางที่ 4.8 โดยหากค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ $\overline{y}_i$ และ $\overline{y}_j$ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่าง $\overline{y}_i - \overline{y}_j$ อยู่ในช่วง $-4.76 \le \overline{y}_i - \overline{y}_j \le 4.76$ ซึ่งพบว่าผลต่างของสภาวะที่ 1 กับ สภาวะที่ 2 4 และ 5 แตกต่างกัน ส่วนสภาวะอื่นๆ มีค่าความชื้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันเนื่องจากค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว แสดงว่าค่าความชื้นที่ไม่ได้ควบคุมในสภาวะต่างๆ มีแตกต่างกันเพียงในบางสภาวะเท่านั้น ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

จากตารางที่ 4.7 ค่าความชื้นตลอดระยะเวลาเดินระบบจะเห็นว่าที่สภาวะที่ 3 ด้านล่างของชั้นกรองมีค่าความชื้นลดลงต่ำ ซึ่งค่าต่ำสุดมีค่าความชื้นเพียงร้อยละ 24 แต่ที่ระดับกลางและด้านบนมีค่าความชื้นในช่วงร้อยละ 80 สันนิษฐานว่าที่สภาวะที่ 3 นั้น มีค่าระยะเวลาเก็บกักน้อย คือ ชั้นกรองหนา 300 มม. และมีค่า EBRT 0.6 วินาที ซึ่งต้องเพิ่มอัตราการไหลอากาศ ทำให้ต้องเพิ่มความเร็วลมในท่อมากขึ้น และระบบตัวกรองชีวภาพนี้เป็นแบบก๊าซเข้าด้านล่างและออกด้านบน ทำให้มีการพัดพาความชื้นของชั้นกรองจากด้านล่างมายังด้านบน และอีกกรณีที่อาจเกิดขึ้นได้ คือ การให้ความชื้นเป็นการให้หยดน้ำสู่ชั้นกรองโดยตรง ซึ่งน้ำจะไหลผ่านชั้นด้านบนลงมายังชั้นกรองด้านล่าง แต่ระยะเวลาการให้ความชื้นเท่าเดิม และเมื่อชั้นกรองด้านล่างแต่เดิมซึ่งมีความชื้นน้อยอยู่แล้ว จึงทำให้ระยะเวลาการให้ความชื้นอาจไม่เพียงพอต่อชั้นกรองที่อยู่ด้านล่าง

ตารางที่ 4.7 ค่าความชื้นของชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบ

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบียงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	79.03	2.04	80	70.83
2	300	1.2	79.93	0.565	80	75.00
3	300	0.6	76.99	9.42	80	24.17
4	150	1.8	79.88	0.52	80	77.08
5	150	1.2	79.88	0.45	80	77.08
6	150	0.6	79.40	2.22	80	67.92

ตารางที่ 4.8 ผลต่างค่าความชื้นเฉลี่ย $(\overline{y}_i - \overline{y}_j)$ ของแต่ละสภาวะ

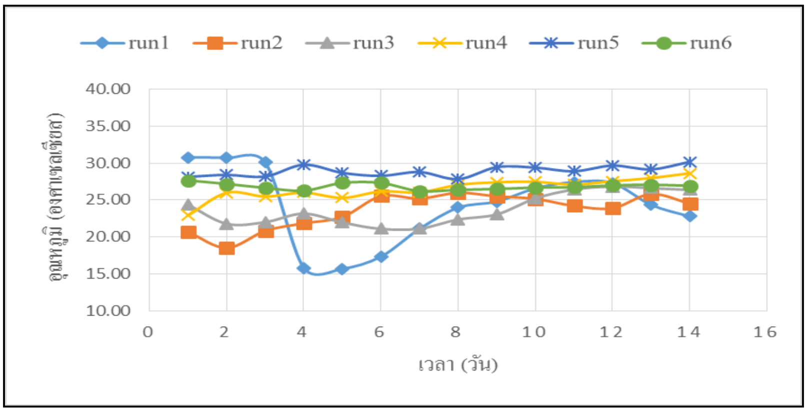
การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y}_j$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y}_i$)					
	1	2	3	4	5	6
	79.029	79.926	76.993	79.876	79.876	79.398
1	-	-	-	-	-	-
2	*-0.897	-	-	-	-	-
3	2.036	2.932	-	-	-	-
4	*-0.847	0.050	-2.88	-	-	-
5	*-0.846	0.050	-2.882	0.0008	-	-
6	-0.369	0.528	-2.405	0.478	0.477	-

หมายเหตุ * ค่า เฉลี่ย $\overline{y}_i - \overline{y}_j$ ที่มีความแตกต่างกัน

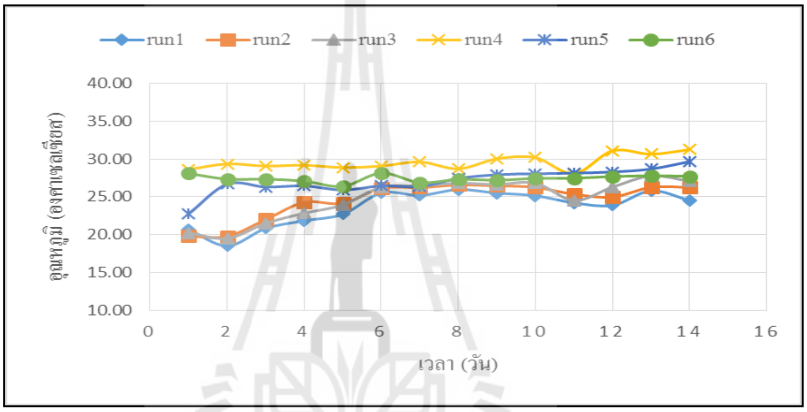
4.5.3 อุณหภูมิ

จากการเดินระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด ได้มีการตรวจวัดอุณหภูมิของตัวกรอง โดยทำการตรวจวัดที่ระดับความลึก 3 ระดับ คือ ด้านล่างของชั้นกรอง ตรงกลาง และด้านบนของชั้นกรองเช่นเดียวกับการวัดค่า pH และค่าความชื้น ในการวัดอุณหภูมิได้ทำการวัดก่อนและหลังการเดินระบบ ซึ่งผลการวัดค่าความชื้นของแต่ละสภาวะ แสดงดังรูปที่ 4.24 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของชั้นกรองมีค่าในช่วง 14 -33 องศาเซลเซียส (°C) และยังพบว่าชั้นกรองด้านบนมีอุณหภูมิต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.24 ก) และด้านล่างชั้นกรองมีอุณหภูมิสูงสุด ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.24 ค) ซึ่งในการศึกษาได้ทำการเดินระบบในสถานที่จริงภายนอกห้องปฏิบัติการ อุณหภูมิของตัวกรองจึงแปรผันตามอุณหภูมิของสภาวะบรรยากาศรอบๆ ไปบ้าง แต่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เพราะในการเดินระบบมีบางวันที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น สภาวะที่ 1 ที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วอุณหภูมิของชั้นตัวกรองจึงลดลงตามไปด้วย และในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน (สภาวะที่ 3-6)ในช่วงเช้า ส่วนใหญ่อุณหภูมิที่สภาวะบรรยากาศไม่สูงมากนัก โดยมีอุณหภูมิในช่วง 20-28 °C แต่ในช่วงบ่ายหลังเดินระบบอุณหภูมิบางวันอุณหภูมิอยู่ที่ 40 °C ทำให้อุณหภูมิของตัวกรองหลังเดินระบบโดยเฉลี่ยสูงกว่าตอนก่อนเดินระบบ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้อุณหภูมิภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแต่อุณหภูมิของชั้นตัวกรองก็ยังมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด คือ 10-40 °C (Schnell, and Brown, 2002)

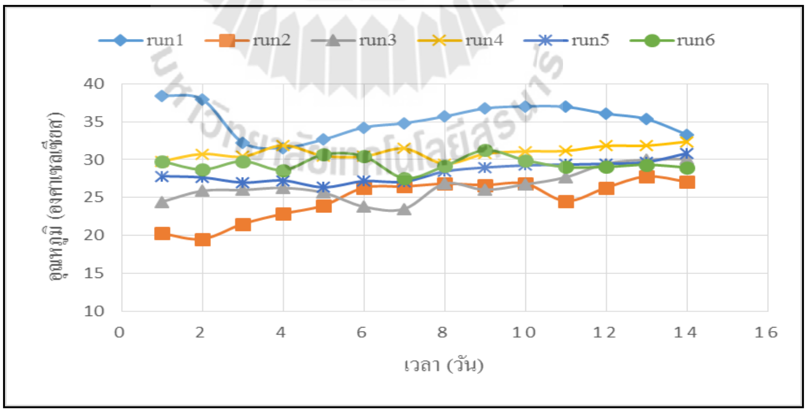
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งชั้นตัวกรอง ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ สามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.9 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือสภาวะที่ 4 และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดมีค่าในช่วง 24°C ได้แก่ สภาวะที่ 1 2 และ 3 เนื่องจากสภาวะที่ 1 2 และสภาวะที่ 3 อยู่ในช่วงที่อุณหภูมิมีการลดลงอย่างรวดเร็ว และสภาวะที่ 4 เป็นช่วงเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อน และได้มีการทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะเช่นเดียวกับค่า pH และความชื้น เพื่อเป็นการยืนยันว่าที่สภาวะการเดินระบบโดยที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมินั้น อุณหภูมิแต่ละสภาวะจะไม่แตกต่างกัน โดยใช้วิธี Tukey’s paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งหากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ $\overline{y_i}$ และ $\overline{y_j}$ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่าง $\overline{y_i}-\overline{y_j}$ อยู่ในช่วง $-8.15 \leq \overline{y_i}-\overline{y_j} \leq 8.15$ จากผลการทดสอบสถิติพบว่าผลต่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของสภาวะที่ 1 กับ สภาวะที่ 2 3 4 5 และสภาวะที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว แสดงว่าผลต่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ไม่มีการควบคุมในแต่ละสภาวะไม่แตกต่างกัน อุณหภูมิภายนอกไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชั้นกรองมากนัก เพราะว่าถึงแม้ในบางสภาวะอุณหภูมิภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิในชั้นกรองที่ระดับกลางและระดับล่างไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วด้วย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของชั้นกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ
(ก) ด้านบน (ข) ตรงกลาง (ค) ด้านล่าง

หมายเหตุ *run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3
run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6

ค่าทดสอบทางสถิติจากตารางที่ 4.10 พบว่าทุกๆสภาวะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังพบ สภาวะที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าสภาวะที่ 5 และ 6 ซึ่งสันนิษฐานว่า เกิดจากช่วงที่เดินระบบเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูร้อนและอุณหภูมิภายนอกสูง ทำให้ชั้นกรองด้านบนที่สัมผัสกับอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย และถึงแม้สภาวะที่ 5 และ 6 จะอยู่ในช่วงฤดูร้อนเหมือนกันแต่ก็มีบางวันที่ฝนตกทำให้อากาศเย็นลงได้บ้าง แต่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 สภาวะนี้ก็ไม่ได้มากกว่ากันมากนัก โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาวะที่ 4 5 และ 6 มีค่า 29.83 °C 27.54 °C และ 27.91 °C ตามลำดับ ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิของชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบ

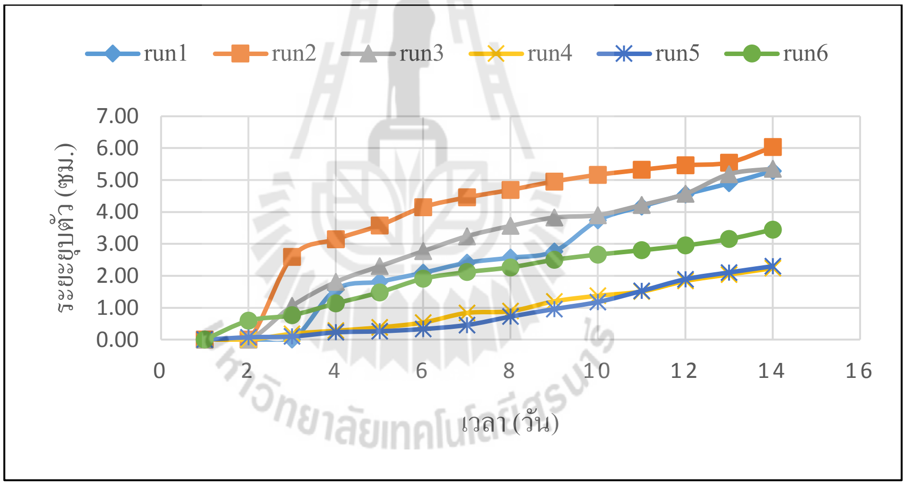
สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย (°C)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (°C)	ค่าสูงสุด (°C)	ค่าต่ำสุด (°C)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	24.85	5.16	33.29	14.33
2	300	1.2	24.34	3.38	29.71	14.29
3	300	0.6	24.97	3.15	32.96	18.90
4	150	1.8	29.83	1.69	34.36	26.79
5	150	1.2	27.54	1.86	33.33	25.37
6	150	0.6	27.91	2.09	34.36	23.16

ตารางที่ 4.10 ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย ($\overline{y}_i - \overline{y}_j$) ของแต่ละสภาวะ

การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y}_j$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y}_i$)					
	1	2	3	4	5	6
	24.848	24.336	24.966	27.913	27.305	29.826
1	-	-	-	-	-	-
2	0.512	-	-	-	-	-
3	-0.118	-0.630	-	-	-	-
4	-3.066	-3.578	-2.947	-	-	-
5	-2.457	-2.969	-2.339	0.608	-	-
6	-4.978	-5.490	-4.860	-1.913	-2.521	-

4.5.4 การอัดตัวของตัวกรอง

ชั้นตัวกรองเมื่อมีการเดินระบบที่ระยะเวลานานขึ้น ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ และเกิดการยุบตัวขึ้นมากขึ้น ซึ่งการยุบตัวของชั้นกรองทำให้เกิดความดันลดในระบบส่งผลต่อระบบกระจายอากาศ ที่ต้องใช้กำลังในการดูดอากาศให้ผ่านชั้นตัวกรองมากขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ในการเลือกตัวกรองจึงเลือกวัสดุที่ช่วยเพิ่มความพรุนแก่ระบบ คือ กาบมะพร้าว นอกจากนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการอัดตัวของตัวกรองได้แก่ การอุดตันของจุลินทรีย์ ขนาดอนุภาคตัวกรอง และความหนาของชั้นกรอง ในการทดลองทำการวัดค่าการยุบตัวในวันที่ 3 เนื่องจากสองวันแรกไม่เห็นความแตกต่างของระยะยุบตัวของชั้นกรอง ดังแสดงในรูปที่ 4.25 จากการเดินระบบ 14 วัน พบว่าการยุบตัวของชั้นกรองอยู่ที่ 6 ซม. พบว่าสภาวะที่ 1 2 และ 3 (ชั้นกรองหนา 300 มม.) มีการมีการยุบตัวมากที่สุดในช่วง 5-6 ซม. โดยสภาวะที่ชั้นกรองยุบมากที่สุดคือ สภาวะที่ 2 คือ 6 ซม. ส่วนสภาวะที่ 4 5 และ 6 (ชั้นกรองหนา 150 มม.) สภาวะที่มีชั้นกรองยุบตัวมากที่สุด คือสภาวะที่ 6 คือ 3.45 ซม.



รูปที่ 4.25 การเพิ่มขึ้นของการยุบตัวของชั้นกรองที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

หมายเหตุ *run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3
run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6

เมื่อพิจารณาอัตราการอัดตัวของชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบโดยคำนวณจากการยุบตัวที่วัดได้ในวันสุดท้ายหารด้วยระยะเวลาการเดินระบบ (14 วัน) แสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.11 โดยพบว่าสภาวะที่มีอัตราการอัดตัวสูงสุด ได้แก่ สภาวะที่ 2 สันนิษฐานว่า เป็นสภาวะที่มีความหนาขั้นกรอง 300 มม. มีอัตราการไหลอากาศ ที่ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (น้อยกว่าสภาวะที่ 1 แต่มากกว่าสภาวะที่ 3) แต่สภาวะที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสูงสุด เมื่อเป่าอากาศ

ผ่านชั้นกรองไปต่อไปเรื่อยๆ ก็ยิ่งทำให้ชั้นกรองอัดตัวได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งในกรณีที่ชั้นกรองมีความชื้นสูงจะทำให้ปริมาตรของช่องว่างในชั้นกรองลดลง (Sandeep et al., 2010) ทำให้อากาศไหลผ่านได้ยากขึ้นทำและจะซึ่งทำให้ตัวกรองเกิดการยุบตัวได้เร็วกว่ากว่าสภาวะที่มีความชื้นต่ำ

ตารางที่ 4.11 อัตราการอัดตัวของชั้นตัวกรอง (ซม./วัน) ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		อัตราการอัดตัวของชั้นกรอง (ซม./วัน)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)	
1	300	1.8	0.38
2	300	1.2	0.43
3	300	0.6	0.38
4	150	1.8	0.16
5	150	1.2	0.16
6	150	0.6	0.25

จากตารางที่ 4.11 พบว่าสภาวะที่มีอัตราการอัดตัวของชั้นกรองน้อยที่สุด คือ สภาวะที่ 4 5 และ6 อยู่ในช่วง 0.16-0.25 ซม./วัน ทั้ง 3 สภาวะนี้มีความหนาของชั้นกรอง 150 มม. และ สภาวะที่ 1 2 และสภาวะที่ 3 ซึ่งมีความหนาชั้นกรอง 300 มม. มีอัตราการอัดตัวของชั้นกรองในช่วง 0.38-0.43 ซม./วัน เมื่อพิจารณาการอัดตัวของชั้นกรองงานวิจัยนี้เปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ เช่น ณัฐพล (2549) ได้ทำการเดินระบบกรองชีวภาพแบบคอลัมน์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.054 ม. โดยใช้วัสดุกรอง ปุ๋ยหมัก กาบมะพร้าว ตะกอนจุลินทรีย์และปุ๋ยคอก ที่อัตราส่วนร้อยละ 60:20:10:10 โดยปริมาตร และชั้นกรองหนา 1.5 ม. EBRT 45 วินาที มีอัตราการไหลของอากาศ 4.58 ลิตร/นาที หลังจากเดินระบบเป็นเวลา 80 วัน พบว่าการยุบตัวของชั้นกรองมีค่า 6.2 ซม. คิดเป็นอัตราการยุบตัวเป็น 0.078 ซม./วัน และการศึกษาของเสาวลักษณ์ (2551) ได้ทำการเดินระบบกรองชีวภาพแบบคอลัมน์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.054 ม. ชั้นกรองหนา 0.75 ม. ใช้วัสดุกรอง ปุ๋ยหมัก เศษไม้ ตะกอนจุลินทรีย์และปุ๋ยคอก ที่อัตราส่วนร้อยละ 60:20:10:10 โดยปริมาตร ระยะ EBRT 45 วินาที อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 2.95-5.90 ลิตร/นาที และเดินระบบ 86 วัน หลังจากเดินระบบ พบว่าตัวกรองยุบตัว 7.5ซม. คิดเป็นอัตราการยุบตัวเป็น 0.087 ซม./วัน ซึ่งค่าการอัดตัวจากงานอื่นๆ มีค่าน้อยกว่าการอัดตัวของระบบกรองชีวภาพในการศึกษานี้ สันนิษฐานว่าเกิดจากรูปแบบของการบรรจุตัวกรอง และอัตราการไหลของอากาศแตกต่างกันมาก เพราะอากาศจะไหลผ่านชั้นกรองได้

ต้องอาศัยแรงดันจากพัดลมเป่าอากาศ เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้อย อัตราการดูดอากาศเข้าสู่ระบบยิ่งมากทำจึงทำให้การอัดตัวของชั้นกรองเกิดได้เร็วกว่าการให้อากาศผ่านชั้นกรองในอัตราการไหลที่ช้ากว่า

4.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง EBRT และอัตราการไหลของอากาศกับประสิทธิภาพการบำบัด

ในการศึกษานี้แปรผันระยะเวลาเก็บกักระบบหรือ EBRT ที่ 1.8 1.2 และ 0.6 วินาที ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของชั้นกรองคงที่ ดังนั้น EBRT ที่เปลี่ยนไปจะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านชั้นกรอง ที่ค่า EBRT ระยะเวลานานอัตราการไหลอากาศผ่านจะช้ากว่าที่ระยะ EBRT สั้นๆ และที่ชั้นกรองหนากว่าแต่ EBRT เท่ากัน อัตราการไหลผ่านชั้นกรองที่ 300 มม.จะช้ากว่าที่ 150 มม. จากผลการศึกษาที่สภาวะต่างๆ มีค่า EBRT และอัตราการไหลอากาศ แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่า EBRT และอัตราการไหลอากาศของสภาวะต่างๆกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

สภาวะการทดลอง	ความหนาชั้นกรอง (มิลลิเมตร)	ระยะเวลาเก็บกัก (วินาที)	อัตราการไหลอากาศ (ลบ.ม./วินาที)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย (ร้อยละ)
สภาวะที่ 1	300	1.8	0.017	88.51	79.70
สภาวะที่ 2	300	1.2	0.025	85.06	60.60
สภาวะที่ 3	300	0.6	0.050	81.43	73.57
สภาวะที่ 4	150	1.8	0.033	78.34	65.89
สภาวะที่ 5	150	1.2	0.050	79.41	77.03
สภาวะที่ 6	150	0.6	0.100	80.19	56.53

จากตารางที่ 4.12 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับอัตราการไหล พบว่าสภาวะที่ 1 2 และสภาวะที่ 3 (ชั้นกรองหน้า 300 มม.) ที่ระยะเวลาเก็บกัก EBRT นานขึ้น อัตราการไหลน้อย ประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยที่สภาวะที่มีระยะเก็บกักนานที่สุด คือ สภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดคือร้อยละ 88.51 รองลงมาเป็นสภาวะที่ 2 และ 3 ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้อยลง ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 85.06 และร้อยละ 81.43 ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่ 4 5 และสภาวะที่ 6 (ชั้นกรองหนา 150 มม.) ประสิทธิภาพของทุกสภาวะมี

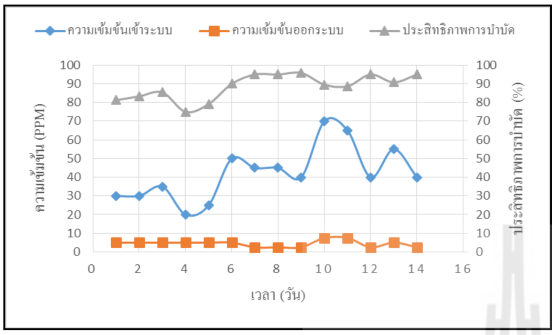
ค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 78 – 80 โดย พบว่า ที่ EBRT 0.6 วินาที มีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่า EBRT ที่ 1.2 และ 1.8 วินาที

จากผลการทดลองแสดงว่าในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ชั้นกรอง 300 มม. ที่ EBRT ยิ่งนาน อัตราการไหลอากาศผ่านชั้นกรองก็จะน้อย จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่าที่ระยะเวลา EBRT สั้นและอัตราการไหลของอากาศมาก เพราะว่ามีระยะเวลาสัมผัสระหว่างก๊าซที่เข้าสู่ระบบกับชั้นกรอง และชั้นไบโอฟิล์มยาวนานกว่า และเป็นระยะเวลาที่เพียงพอต่อการย่อยสลายก๊าซมลพิษโดยจุลินทรีย์ในระบบ แต่ที่ชั้นกรองหนา 150 มม. ประสิทธิภาพการบำบัดไม่ได้เป็นไปตามรูปแบบของชั้นกรองหนา 300 มม. สันนิษฐานว่า ที่ชั้นกรองหนา 150 มม. มีอัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นกรองเร็วมาก (ที่ EBRT เท่ากันกับชั้นกรอง 300 มม. อัตราการไหลของชั้นกรอง 150 มม. จะมากกว่า 2 เท่า) ทำให้ระยะเวลาสัมผัสของจุลินทรีย์ในชั้นตัวกรองกับก๊าซที่เข้าสู่ระบบเร็วกว่า และอาจไม่เพียงพอต่อกลไกการย่อยสลายก๊าซในระบบกรองชีวภาพ จึงทำให้สามารถบำบัดได้เพียงในช่วงร้อยละ 78 - 80

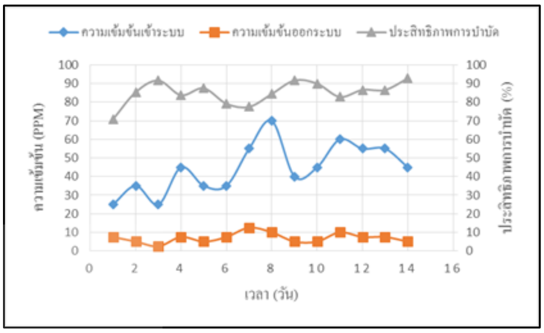
ในด้านประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียซึ่งมีช่วงระยะเวลาในการวัดความเข้มข้นก๊าซในแต่ละสภาวะไม่เหมือนกัน เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเครื่องมือ คือ สภาวะที่ 1 วัดความเข้มข้นวันที่ 8 - 14 ของการเดินระบบ สภาวะที่ 2 วัดความเข้มข้นวันที่ 1 - 7 ของการเดินระบบ สภาวะที่ 3 วัดความเข้มข้นวันที่ 8 - 14 ของการเดินระบบ สภาวะที่ 4 วัดความเข้มข้นวันที่ 1 - 7 ของการเดินระบบ สภาวะที่ 5 วัดความเข้มข้นวันที่ 6 - 12 ของการเดินระบบ และสภาวะที่ 6 ทำการวัดความเข้มข้นวันที่ 2- 8 ของการเดินระบบ พบว่าสภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด แต่สภาวะที่ 2 ถึงสภาวะที่ 6 ประสิทธิภาพไม่ได้มีแนวโน้มเป็นไปตามที่ระยะเวลา EBRT ยิ่งนานประสิทธิภาพการบำบัดจะสูง เพราะบางสภาวะระบบอาจยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ในบางสภาวะการทดลอง ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นและหาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบกรองชีวภาพในช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ แต่ก็ยังพบว่าระบบกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย แสดงว่านอกจากกลไกการบำบัดโดยการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์แล้ว การบำบัดก๊าซยังเกิดจากการดูดซึม และดูดซับโดยตัวกรองชีวภาพ เนื่องจาก ช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบจุลินทรีย์มีปริมาณไม่เยอะ และอาจยังไม่สามารถปรับตัวให้สามารถย่อยสลายก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบกรองชีวภาพได้

4.5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซกับประสิทธิภาพการบำบัด

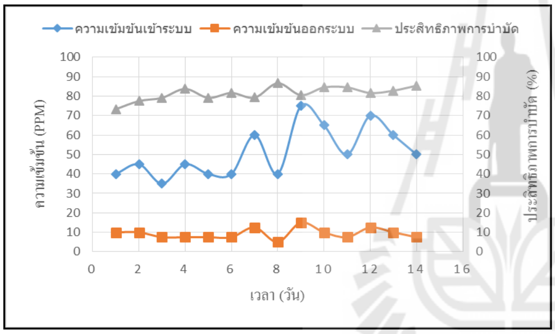
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซที่เข้าสู่ระบบและออกจากระบบ กับประสิทธิภาพการบำบัด แสดงดังรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27



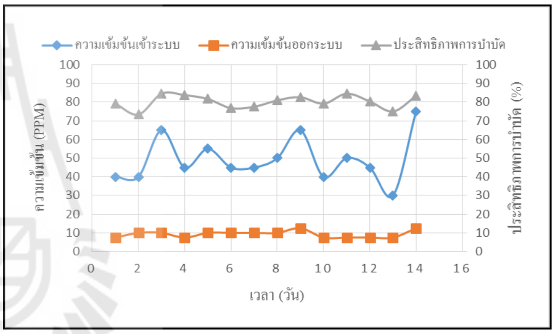
ก)



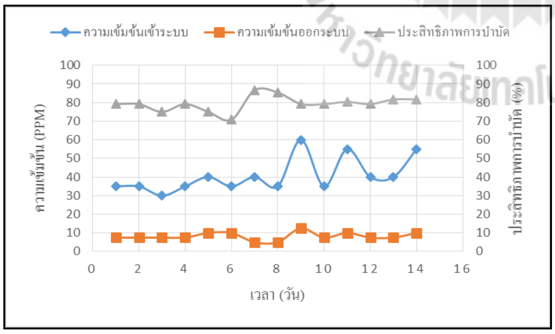
ข)



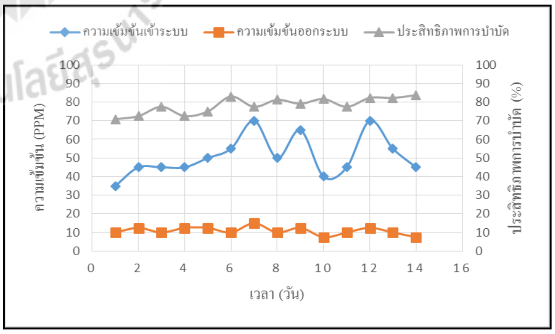
ค)



ง)



จ)

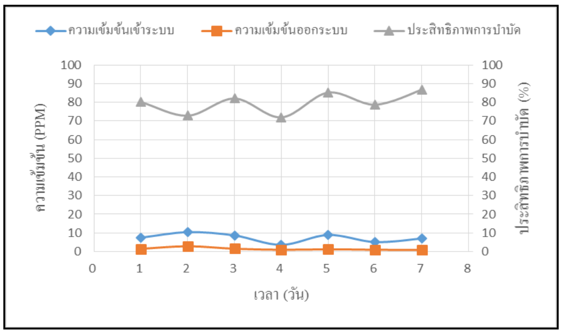


ฉ)

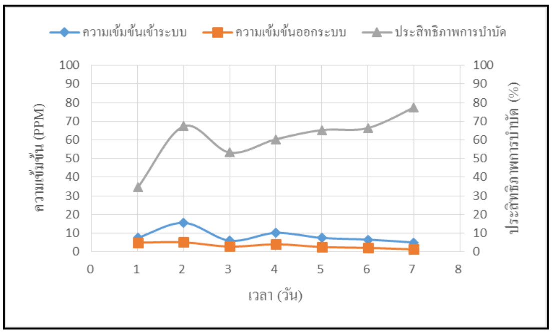
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบกับประสิทธิภาพการบำบัด

ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3

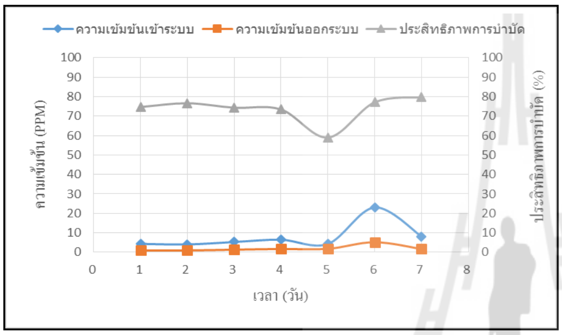
ง) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6



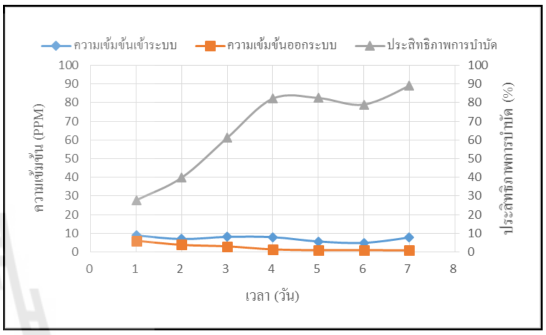
ก)



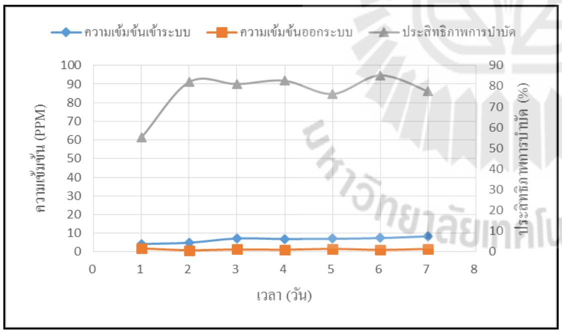
ข)



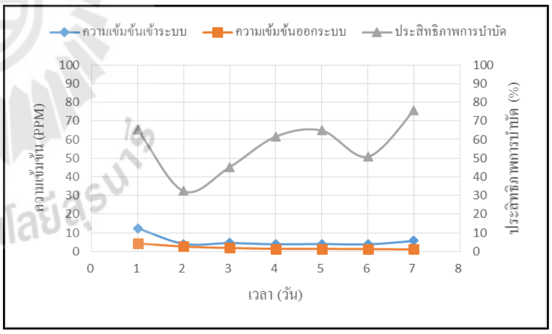
ค)



ง)



จ)



ฉ)

ที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบ
กับประสิทธิภาพการบำบัด

ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3

ง) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6

จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซที่เข้าและออกจากระบบ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียตามลำดับ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบในช่วง 20 - 70 ppm ไม่มีผลกับประสิทธิภาพการบำบัด เพราะประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบกรองชีวภาพของทุกสภาวะอยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 80

สำหรับความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียพบว่าความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบน้อยมาก สันนิษฐานว่าเนื่องจากคุณสมบัติของก๊าซแอมโมเนีย สามารถพัดพาไปตามอากาศได้ง่ายกว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และประสิทธิภาพการบำบัดมีความแปรปรวนมากกว่าการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพราะมีข้อจำกัดในการใช้เครื่องมือ ทำให้ระยะเวลาในการวัดความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าและออกจากระบบไม่ใช่เวลาช่วงเดียวกัน คือ ในสภาวะที่ 1 และ 3 วัดความเข้มข้นในวันที่ 8 - 14 ของการเดินระบบ สภาวะที่ 2 และ 4 วันที่ 1 - 7 ของการเดินระบบ สภาวะที่ 5 วัดวันที่ 6 - 12 ของการเดินระบบ และสภาวะที่ 6 วัดวันที่ 2-8 ของการเดินระบบ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดของสภาวะที่ 1 3 และ 5 วัดความเข้มข้นในช่วงกลางถึงช่วงสุดท้ายของการเดินระบบเส้นประสิทธิภาพเริ่มมีความคงที่มากกว่าสภาวะที่ 2 4 และ 6

4.5.7 ค่าความสามารถในการบำบัด (Elimination capacity)

ในการเดินระบบแต่ละสภาวะมีการแปรผัน ความหนาของชั้นกรอง EBRT ซึ่งมีความสัมพันธ์อัตราการไหล และสามารถหาค่าความสามารถในการบำบัด (EC) คือ มวลของก๊าซที่ถูกบำบัดต่อหน่วยปริมาตรชั้นกรองต่อหน่วยระยะเวลา และค่าภาระบรรทุก (loading rate) ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าภาระบรรทุกและความสามารถในการบำบัดของแต่ละสภาวะ

สภาวะ	อัตราการไหล (m^3/s)	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์					ก๊าซแอมโมเนีย				
		เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ภาระบรรทุก ($mg/m^3.hr$)	EC ($mg/m^3.hr$)	ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ภาระบรรทุก ($mg/m^3.hr$)	EC ($mg/m^3.hr$)	ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
1	0.017	42.14	4.46	16.64	14.88	88.51	7.32	1.42	1.44	1.16	79.70
2	0.025	44.64	6.96	25.92	21.88	85.06	8.31	3.26	2.41	1.46	60.60
3	0.05	51.42	9.29	59.71	48.92	81.43	7.90	1.98	4.58	3.43	73.57
4	0.033	49.28	9.25	75.54	61.36	78.34	7.19	2.47	5.50	3.61	65.89
5	0.050	40.71	8.21	94.55	75.48	79.41	6.60	1.4	7.65	6.03	77.03
6	0.100	51.70	10.89	240.14	189.56	80.19	5.50	2.00	12.75	8.12	56.53

จากตารางที่ 4.13 พบว่าสำหรับการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ชั้นกรองหนา 300 มม. (สภาวะที่ 1-3) สภาวะที่มีอัตราการไหลสูงจะมีค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัดสูง แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าที่ภาระบรรทุกน้อยกว่า ส่วนที่ชั้นกรองหนา 150 มม. (สภาวะที่ 4-6) พบว่าภาระบรรทุกสูงกว่าที่ 300 มม. มากเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นกรองมากกว่า และถึงแม้ค่าภาระบรรทุกจะสูงกว่ามาก แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดก็ยังอยู่ในช่วงร้อยละ 78 - 80 และสำหรับก๊าซแอมโมเนียจะมีค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัดต่ำเนื่องจากก๊าซที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นน้อย และพบว่าที่ค่าภาระบรรทุกต่ำสุด และถึงแม้จะมีค่าความสามารถในการบำบัดต่ำที่สุด แต่พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบ กับค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัด พบว่าที่อัตราการไหลสูง ค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัดก็จะสูงไปด้วย แต่ที่อัตราการไหลสูง ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลง เนื่องจากที่อัตราการไหลสูง ทำให้ระยะเวลาสัมผัสระหว่างชั้นกรองกับก๊าซที่เข้าสู่ระบบอาจไม่เพียงพอต่อกลไกย่อยสลายในระบบกรองชีวภาพ และจากการศึกษางานวิจัยอื่นๆ พบว่ามีค่าภาระบรรทุกและความสามารถในการบำบัด มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัดของงานวิจัยอื่นๆ

มลพิษ	ความเข้มข้นเข้าระบบ (g/m^3)	EBRT (s)	ภาระบรรทุก ($g/m^3.hr$)	ความสามารถในการบำบัด ($g/m^3.hr$)	ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	อ้างอิง
H_2S	0.032-3.48	7-23	130	250	93-100	Adler, 2001
H_2S	0.393	45	3-34	122	100	ณัฐพล รัตนมุขย์, 2549
NH_3	0.043-0.15	30-60	54	52	96	Wu et al., 2006
NH_3	0.348-0.139	22.5	0.48 - 19.06	-	99	เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551
H_2S	0.131-1.65	32-51	0.1-13	8	45-100	Kim et al., 2008
NH_3	0.007-0.009	0.6	-	14.4	45.8	Lim et al., 2012
H_2S	0.0012-0.0013		-	2.56	42.2	
H_2S	0.200-1.3	60	11.7-60	58	99	Omri et al., 2013
H_2S	0.058-0.072	0.6-1.8	0.016-0.240	0.014-0.189	78-88	งานวิจัยนี้
NH_3	0.004-0.006		0.0014-0.013	0.001-0.008	56-79	

4.5.8 ปริมาณจุลินทรีย์ในตัวกรอง

จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายก๊าซมลพิษที่เข้าสู่ระบบกรองชีวภาพ จุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดเนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายก๊าซมลพิษ โดยทั่วไปในระบบกรองชีวภาพจะมีจุลินทรีย์ระหว่าง 10^6 - 10^{10} CFU/g (Sandeep et al., 2010) ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับระบบกรองชีวภาพควรอยู่ในช่วง 10^7- 10^9 CFU/g (Devinny et al., 1999) ผลการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์โดยวิธี aerobic plate count โดยเลือกการศึกษาเฉพาะในสภาวะที่ 2 เป็นตัวแทนจำนวนจุลินทรีย์ของทุกสภาวะ เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ในชั้นกรอง แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 จำนวนจุลินทรีย์ในชั้นตัวกรอง

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่ 1 (CFU/g)	ครั้งที่ 2 (CFU/g)	เฉลี่ย (CFU/g)
0	3.10×10^8	4.00×10^8	3.60×10^8
2	5.70×10^8	6.70×10^8	6.20×10^8
4	5.80×10^8	6.50×10^8	6.20×10^8
6	5.40×10^8	6.00×10^8	5.70×10^8
8	5.50×10^8	6.90×10^8	6.20×10^8
10	5.00×10^8	6.40×10^8	5.70×10^8
12	5.50×10^8	7.00×10^8	6.30×10^8
14	5.40×10^8	7.00×10^8	6.20×10^8

*หมายเหตุ: ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการตรวจนับจุลินทรีย์พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในระบบ มีจำนวนเพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงก่อนเดินระบบ โดยช่วงก่อนเดินระบบ (เก็บตัวอย่างตัวกรองในวันที่ 14 ของการหมักไปวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์) พบว่าชั้นกรองมีจำนวนจุลินทรีย์ 3.60×10^8 CFU/g และจำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นและในวันที่ 2 โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ 6.20×10^8 CFU/g และมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาของการเดินระบบ และจากประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซในสภาวะที่ 2 ดังรูปที่ 4.26 ข) และ 4.27 ข) พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะเริ่มเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และเส้นประสิทธิภาพจะเริ่มคงที่ มีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเดินระบบ แสดงว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการย่อยสลายก๊าซที่เข้าสู่ระบบได้ดีขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซของระบบเพิ่มขึ้นด้วย เพราะ

จุลินทรีย์เป็นหัวใจสำคัญของกลไกการย่อยสลายก๊าซทางชีวภาพทำให้ระบบกรองชีวภาพสามารถบำบัดกลิ่นจากก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ และจากสภาวะการทดลองต่างๆพบว่าที่ความหนาชั้นกรอง 300 มม. มีปริมาตรตัวกรองหนากว่าที่ 150 มม. เป็น 2 เท่า เมื่อคิดจำนวนจุลินทรีย์ในหน่วย CFU/g แสดงว่า ที่ชั้นกรองหนา 300 มม. จะมีจุลินทรีย์มากกว่าที่ 150 มม. สอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดกาซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่าที่ชั้นกรอง 300 มม.มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าที่ชั้นกรองหนา 150 มม.

จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบกรองชีวภาพแบบถาด เช่น เสาวลักษณ์ (2551) ได้ทำการนับจำนวนจุลินทรีย์ในชั้นกรองของระบบกรองชีวภาพโดยวิธี total plate count พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ก่อนเดินระบบมี 4.4×10^7 CFU/g และทำการเดินระบบเป็นเวลา 86 วัน หลังจากเดินระบบได้ตรวจนับจุลินทรีย์ พบว่ามีจำนวนลดลง เป็น 1.9×10^7 CFU/g และงานวิจัยของณัฐพล (2549) ได้ตรวจนับจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพ ซึ่งก่อนเดินระบบชั้นกรองมีจำนวนจุลินทรีย์ 1.1×10^8 CFU/g ซึ่งทำการเดินระบบเป็นเวลา 80 วัน หลังจากเดินระบบได้ตรวจนับจุลินทรีย์ พบว่าจุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเป็น 8.2×10^8 CFU/g ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงเริ่มต้นเดินระบบมาก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wu et al. (2006) ทำการเดินระบบกรองชีวภาพ เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าในชั้นกรองมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น โดยก่อนเดินระบบมีจำนวนจุลินทรีย์ 5.81×10^8 CFU/g และมีจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.84×10^9 CFU/g

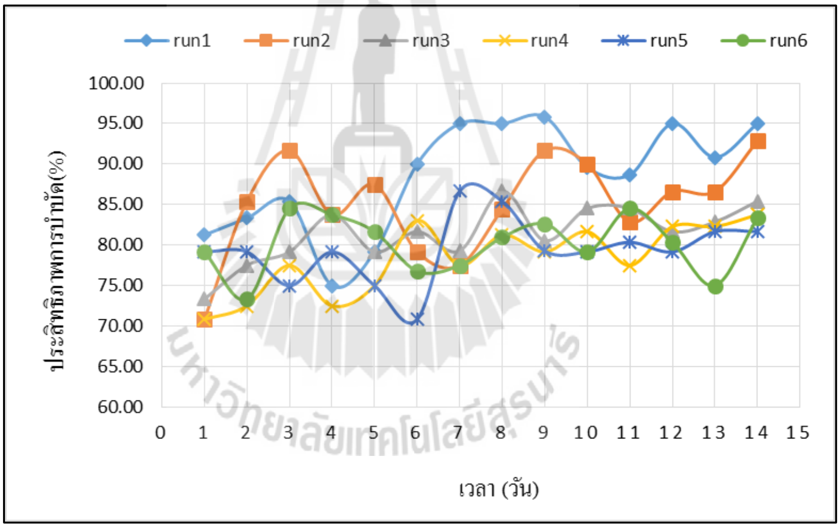
เมื่อพิจารณาจำนวนจุลินทรีย์ในชั้นกรองของการศึกษานี้ พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในงานวิจัยนี้จะมีการเพิ่มของจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่าของงานวิจัยของณัฐพล (2549) และ Wu et al. (2006) เนื่องจากจากระยะเวลาในการเดินระบบของการศึกษานี้น้อยว่าของงานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบ และจากข้อมูลข้างต้นอาจกล่าวได้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพเมื่อทำการเดินระบบนานขึ้นจะมีการเพิ่มจำนวน และเมื่อทำการเดินระบบต่อไปเรื่อยๆจุลินทรีย์จะมีจำนวนลดลง ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาในด้านของระยะเวลาการเดินระบบกับปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ที่ลดลง เพราะจุลินทรีย์มีความสำคัญต่อกลไกการย่อยสลายของระบบกรองชีวภาพ เนื่องจากเป็นตัวย่อยสลายก๊าซมลพิษที่เข้าสู่ระบบ ถ้าระบบมีจุลินทรีย์น้อยก็อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดได้

4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

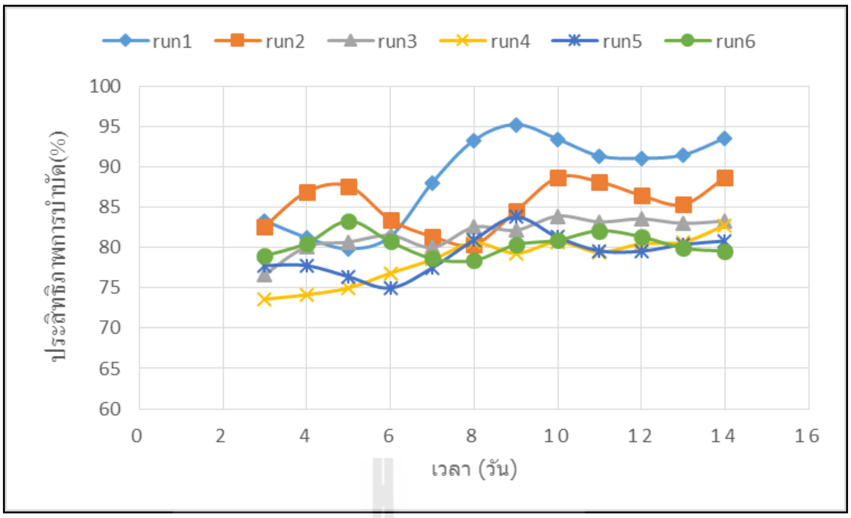
ประสิทธิภาพของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดนี้ หาได้จากความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซมลพิษก่อนเข้าระบบและหลังออกจากระบบ ในการเดินระบบแปรผันความหนาของชั้นตัวกรองที่ 150 มม. และ 300 มม. ค่า EBRT 0.6 1.2 และ1.8 วินาที จากการเดินระบบได้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ก๊าซเรือนกระจก 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.6.1 การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

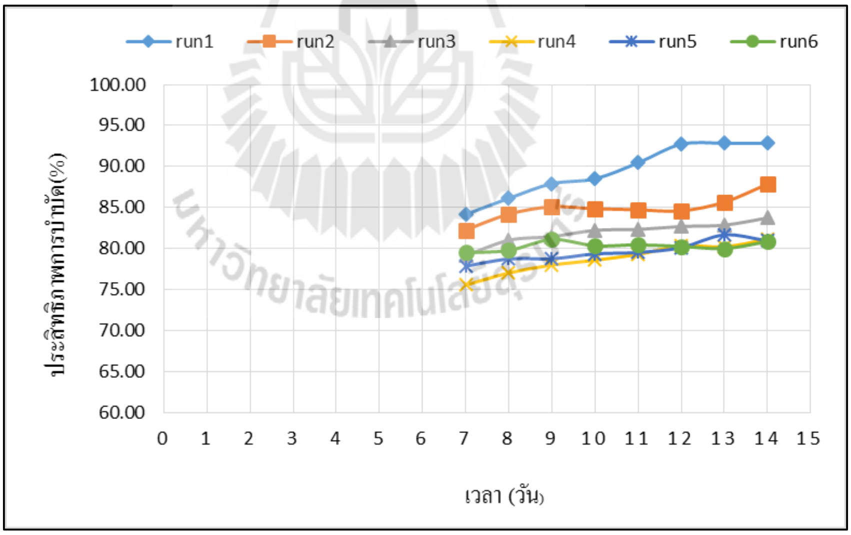
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบกรองชีวภาพแบบถาดตลอดระยะเวลา 14 วัน แสดงดังรูปที่ 4.28 และนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average แบบ 3 วันและ 7 วัน) ดังรูปที่ 4.29 และ 4.30



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_7) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีความเข้มข้นก่อนเข้าระบบในช่วง 20 - 75 ppm จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 90 ผลของทั้ง 6 สภาวะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ วันแรกประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละสภาวะอยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 80 แต่จะเห็นว่า สภาวะที่ 3 - 6 มีประสิทธิภาพต่ำว่า สภาวะที่ 1 และ 2 เพราะว่า สภาวะที่ 3 ถึงแม้จะมีความหนาของชั้นกรองเท่ากับสภวะที่ 1 และ2 คือ 300 มม. แต่มีค่า EBRT ที่สั้นกว่า คือ 0.6 วินาที ส่วนสภาวะที่ 4-6 มีความหนาของชั้นกรอง เพียง 150 มิลลิเมตร ซึ่งใช้อัตราการดูดอากาศเร็วกว่าทำให้มีระยะเวลาสัมผัสระหว่างก๊าซกับชั้นตัวกรองเร็วเกินไปที่จะทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวกรองและเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของสภาวะที่ 3 - 6 ก็ยังอยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 90 % นอกจากนั้นยังได้ใช้วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาใช้ในการจัดการข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วัน และ 5 วัน ดังรูปที่ 4.27 และ รูปที่ 4.28 ซึ่งจะทำให้สามารถดูแนวโน้ม หรือทิศทางของเส้นประสิทธิภาพการบำบัดได้ง่ายและชัดเจนขึ้น จากรูปค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ของประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าสภาวะที่ 1 มีค่าสูงกว่าสภาวะอื่นๆ รองลงมาได้แก่ สภาวะที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบสามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.16 คือค่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด คือ สภาวะที่ 1 คือ มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 95.83 รองลงมาเป็นสภาวที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และมีการทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะโดยวิธี Tukey’s paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) ดังตารางที่ 4.17 โดยหากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดที่ ที่ $\overline{y}_i$ และ $\overline{y}_j$ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่าง $\overline{y}_i - \overline{y}_j$ อยู่ในช่วง $-6.04 \le \overline{y}_i - \overline{y}_j \le 6.04$ จากค่าการทดสอบพบว่าผลต่างของสภาวะที่ 1 กับ สภาวะที่ 3 4 5 และ 6 และผลทดสอบของสภาวะที่ 2 และ4 มีค่าเกินช่วงดังกล่าว แสดงว่าสภาวะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากสภาวะอื่นๆ และสภาวะที่ 2 กับสภาวะที่ 4 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกัน และยังพบว่าสภาวะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าสภาวะที่ 2 3 4 5 และสภาวะที่ 6 ซึ่งสันนิษฐานว่า นอกจากระยะเวลาสัมผัสของก๊าซมลพิษกับชั้นกรองมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแล้ว ความหนาของชั้นกรองก็มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดเช่นกัน เพราะที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 มีชั้นกรองหนา 300 มม. ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าสภาวะที่ 4 5 และสภาวะที่ 6 ซึ่งมีชั้นกรองหนาเพียง 150 มม. ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	88.51	6.74	95.83	75.00
2	300	1.2	85.06	6.11	92.86	70.83
3	300	0.6	81.43	3.58	86.67	73.33
4	150	1.8	78.34	4.30	83.75	70.83
5	150	1.2	79.41	4.04	86.67	70.83
6	150	0.6	80.19	3.55	84.52	73.33

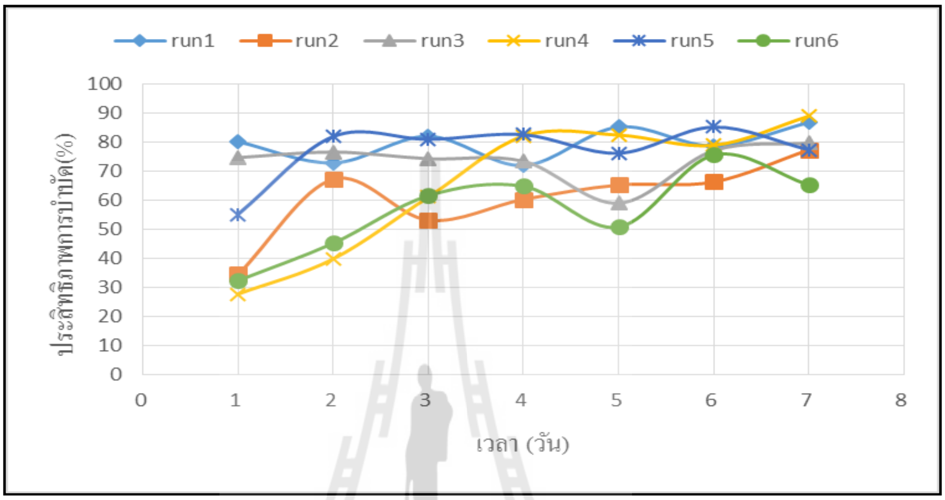
ตารางที่ 4.17 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย ($\overline{y_i}-\overline{y_j}$) ของแต่ละสภาวะ

การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_j}$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_i}$)					
	1	2	3	4	5	6
	88.508	85.062	81.434	78.342	79.409	80.193
1	-	-	-	-	-	-
2	3.445	-	-	-	-	-
3	*7.073	3.628	-	-	-	-
4	*10.166	*6.720522	3.092	-	-	-
5	*9.099	5.653	2.025	-1.067	-	-
6	*8.315	4.870	1.241	-1.851	-0.784	-

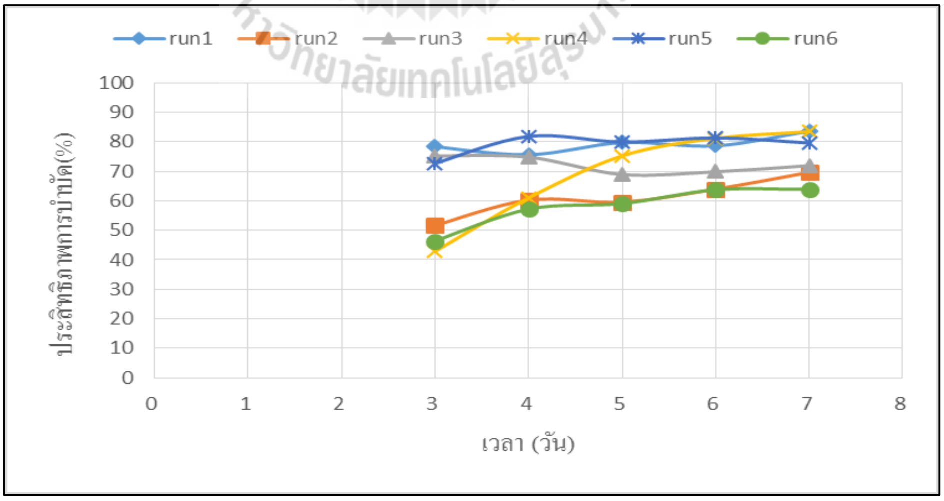
หมายเหตุ * ค่า เฉลี่ย $\overline{y_i}-\overline{y_j}$ ที่มีความแตกต่างกัน

4.6.2 การบำบัดก๊าซแอมโมเนีย

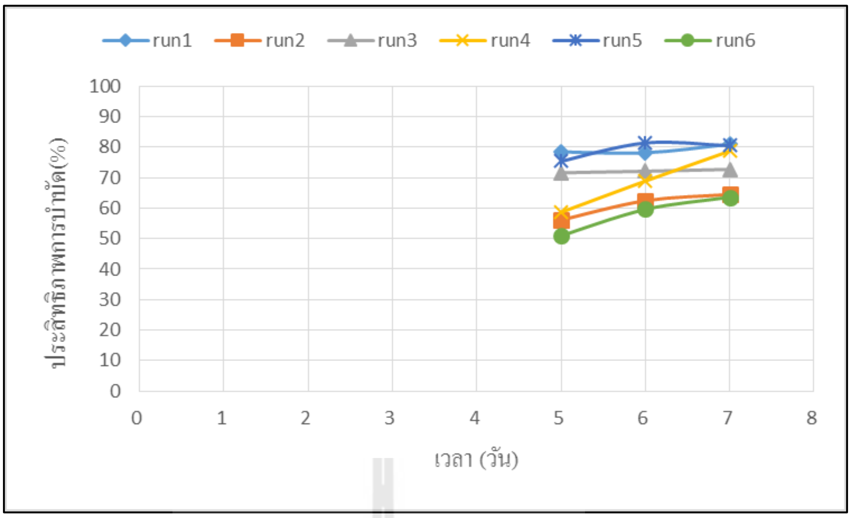
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตลอดระยะเวลา 14 วัน แสดงดังรูปที่ 4.31 และนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) แบบ 3 วันและ 5 วัน) ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33



รูปที่ 4.31 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

หมายเหตุ * run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 วัดความเข้มข้นวันที่ 6- 12 ของการเดินระบบ
run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6 วัดความเข้มข้นวันที่ 2- 8 ของการเดินระบบ

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียมีการตรวจวัดความเข้มข้นต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของการเดินระบบ จากรูปที่ 4.31 จะเห็นว่า สภาวะที่ 1 3 และ5 ลักษณะของเส้นกราฟจะมีความราบเรียบมากกว่าสภาวะอื่นๆเนื่องจากทำการตรวจวัดช่วงกลางถึงวันสุดท้ายของการเดินระบบ คาดว่าระบบอาจเข้าสู่สภาวะคงที่ ส่วนสภาวะที่ 2 4 และ 6 ประสิทธิภาพเริ่มต้นอาจจะต่ำแล้วค่อยๆสูงขึ้นในช่วงวันที่ 4 และเริ่มคงที่ในช่วงวันที่ 4 -7 ซึ่งจากรูปที่ 4.32 อาจกล่าวได้ว่าสภาวะคงที่ของระบบตัวกรองชีวภาพนี้จะเริ่มคงที่ในวันที่ 4 เป็นต้นไป ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำ คือ 2-20 ppm แต่ก็มีค่าสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ คือ 10 ppm ซึ่งเมื่อตรวจวัดอากาศหลังผ่านการบำบัดพบว่าแอมโมเนียมีความเข้มข้น 0.5 – 4.5 ppm ซึ่งเป็นค่าระดับต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ นอกจากนั้นยังได้ใช้วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาใช้ในการจัดการข้อมูล โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วัน และ 5 วัน ดังรูปที่ 4.32 และ รูปที่ 4.33 ทำให้สามารถดูแนวโน้ม หรือทิศทาง

ของเส้นประสิทธิภาพการบำบัดได้ง่ายขึ้น โดยพบว่าสภาวะที่ 1 และ 5 มีค่าสูงใกล้เคียงกัน รองลงมา ได้แก่ สภาวะที่ 3

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบสามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.18 คือค่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับ คือ สภาวะที่ 1 3 และ 5 คือ มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย ร้อยละ 79.70 ร้อยละ 73.57 และ ร้อยละ 77..03 ตามลำดับ และสภาวะที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด คือ สภาวะที่ 2 และ 6 อาจเนื่องมาจากทำการตรวจวัดในช่วงที่ระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ประสิทภาพการบำบัดยังไม่คงที่ มีความแปรปรวนจึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงตามไปด้วย และมีการทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะโดยวิธี Tukey’s paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) ดังตารางที่ 4.19 โดยหากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย ที่ $\overline{y_i}$ และ $\overline{y_j}$ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่าง $\overline{y_i} - \overline{y_j}$ อยู่ในช่วง $-18.27 \le \overline{y_i} - \overline{y_j} \le 18.27$ ซึ่งพบว่าผลต่างของสภาวะที่ 1 กับ สภาวะที่ 2 และ 6 และผลต่างของสภาวะที่ 5 และ 6ไม่มีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว และยังพบว่าที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า สภาวะที่ 2 3 4 5 และ 6 ซึ่งสันนิษฐานได้เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือ นอกจากระยะเวลาสัมผัสของก๊าซมลพิษกับชั้นกรองมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแล้วความหนาของชั้นกรองก็มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดเช่นกัน และนอกจากนั้นแล้วระยะเวลาในการวัดความเข้มข้นอาจส่งผลต่อข้อมูลประสิทธิภาพได้ เนื่องจากในการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ เช่น การวัดความเข้มข้นของสภาวะที่ 6 วัดในช่วงเริ่มต้นถึงช่วงกลางของการเดินระบบ ถึงแม้ดูจากเส้นประสิทธิภาพจะเห็นว่าประสิทธิภาพเริ่มคงที่ในวันที่ 4 ของการเดินระบบก็ตาม แต่ค่าเฉลี่ยของการบำบัดของสภาวะที่ 6 มีค่าเพียงร้อยละ 30-75 ในขณะที่สภาวะที่ 1 วัดในวันที่ 8-14 ของการเดินระบบ ซึ่งระบบอาจอยู่ในสภาวะคงที่ประสิทธิภาพการบำบัดจึงสูงกว่าโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 70-86 ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	79.70	5.69	86.81	71.98
2	300	1.2	60.60	13.67	77.40	34.43
3	300	0.6	73.57	6.76	79.72	59.00
4	150	1.8	65.89	23.81	88.99	27.73
5	150	1.2	77.03	11.10	85.22	55.18
6	150	0.6	56.53	14.61	75.61	32.35

ตารางที่ 4.19 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียเฉลี่ย ($\overline{y_i}-\overline{y_j}$) ของแต่ละสภาวะ

การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_j}$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_i}$)					
	1	2	3	4	5	6
	79.701	60.604	73.569	65.893	77.087	56.527
1	-	-	-	-	-	-
2	*19.097	-	-	-	-	-
3	6.1314	-12.966	-	-	-	-
4	13.807	-5.290	7.676	-	-	-
5	2.6142	-16.483	-3.517	-11.193	-	-
6	*23.174	4.077	17.043	9.367	*20.560	-

หมายเหตุ * ค่า เฉลี่ย $\overline{y_i}-\overline{y_j}$ ที่มีความแตกต่างกัน

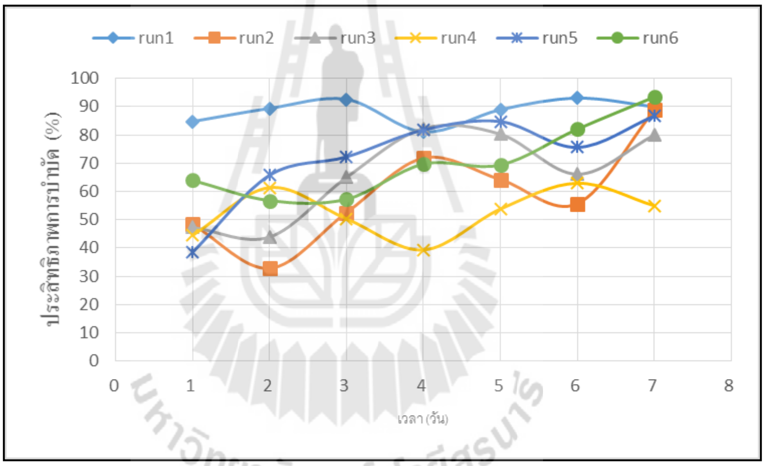
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซเรือนกระจก

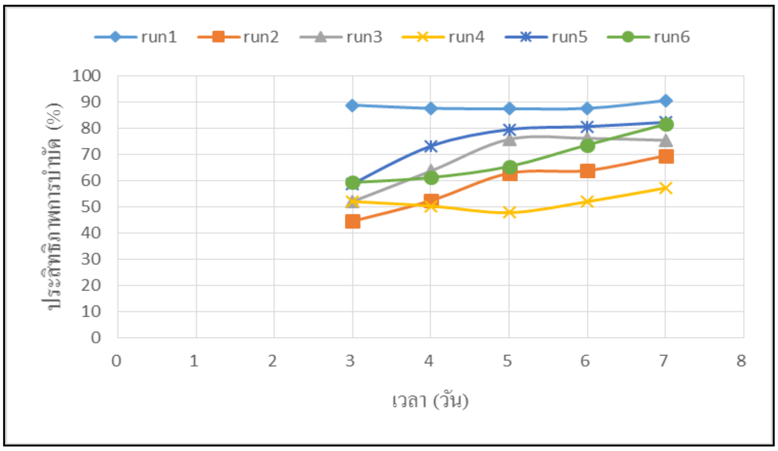
น้ำเสียจากฟาร์มสุกรนอกจากจะมีก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนแล้ว ยังก่อให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพแล้วยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย (Dai and Blanes, 2013) เพราะเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ในการศึกษานี้นอกจากจะทำการบำบัดกลิ่นแล้วยังได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.6.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์

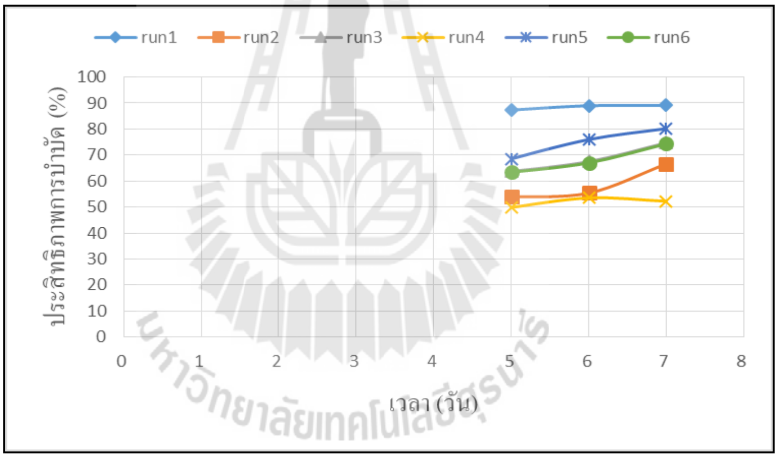
จากการตรวจวัดก๊าซจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย พบว่ามีก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเป็นก๊าซในกลุ่มก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้น มีค่าในช่วง 0-8 ppm และ ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.35 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

หมายเหตุ *run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 วัดความเข้มข้นวันที่ 6- 12 ของการเดินระบบ
run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6 วัดความเข้มข้นวันที่ 2- 8 ของการเดินระบบ

จากรูปที่ 4.34 พบว่าสภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไนตรัส-ออกไซด์มากที่สุด แต่ข้อมูลมีความแปรปรวน ดูแนวโน้มทิศทางของข้อมูลได้ยาก จึงได้ใช้การค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาใช้ในการจัดการข้อมูล โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วันและ 5 วัน ดังรูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 พบว่าสภาวะที่ 1 และ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าสูงใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบสามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.20 พบว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยมาก 3 ลำดับ คือ สภาวะที่ 1 5 และ 6 คือ มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 88.52 ร้อยละ 71.18 และ ร้อยละ 70.36 ตามลำดับ และสภาวะที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด คือ สภาวะที่ 2 และ 6 อาจเนื่องมาจากทำการตรวจวัดในช่วงที่ระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ประสิทธิภาพตลอดการทดลองทั้ง 2 สภาวะมีค่าแตกต่างกับค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยมาก จึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงตามไปด้วย และมีการทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะโดยวิธี Tukey’s paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) ดังตารางที่ 4.21 โดยหากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซไนตรัสออกไซด์ ที่ $\overline{y}_i$ และ $\overline{y}_j$ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่าง $\overline{y}_i - \overline{y}_j$ อยู่ในช่วง $-18.00 \leq \overline{y}_i - \overline{y}_j \leq 18.00$ ซึ่งพบว่าสภาวะที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพบำบัดเฉลี่ยสูงที่สุด และมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากสภาวะที่ 5 เนื่องจากมีประสิทธิภาพเฉลี่ยใกล้กันมากที่สุด และสภาวะที่ 4 มีประสิทธิภาพเฉลี่ยแตกต่างจากสภาวะที่ 5 และ 6 โดยที่สภาวะที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าสภาวะที่ 5 และ 6 ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.20 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	88.52	4.27	92.99	81.07
2	300	1.2	59.18	17.92	88.76	32.85
3	300	0.6	66.41	15.81	82.28	43.93
4	150	1.8	52.47	8.53	62.92	39.37
5	150	1.2	72.18	16.57	86.70	38.51
6	150	0.6	70.36	13.320	93.385	56.79

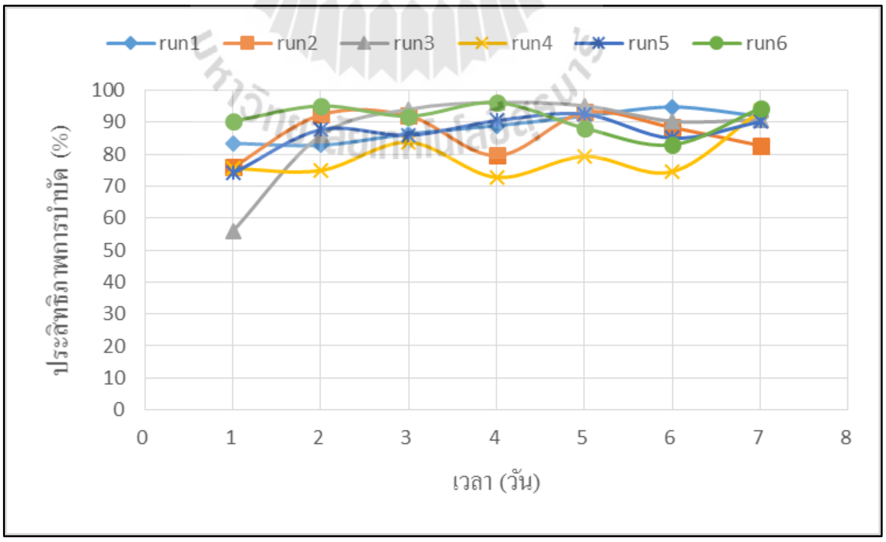
ตารางที่ 4.21 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ย ($\overline{y_i}-\overline{y_j}$) ของแต่ละสภาวะ

การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_j}$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_i}$)					
	1	2	3	4	5	6
	88.522	59.176	66.406	52.471	72.183	70.356
1	-	-	-	-	-	-
2	*29.346	-	-	-	-	-
3	*22.115	-7.230	-	-	-	-
4	*36.051	6.705	13.935	-	-	-
5	16.338	-13.007	-5.777	*-19.712	-	-
6	*18.166	-11.180	-3.950	*-17.885	1.827	-

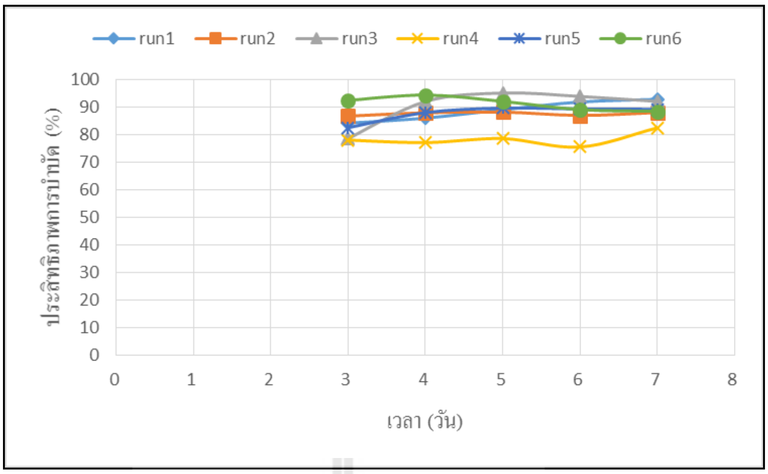
หมายเหตุ * ค่า เฉลี่ย $\overline{y_i}-\overline{y_j}$ ที่มีความแตกต่างกัน

4.6.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทน

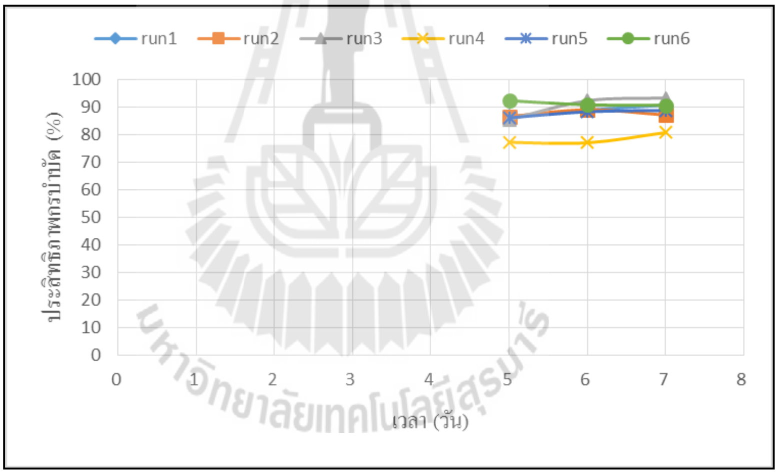
เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นแบบไร้อากาศ จากการตรวจวัดพบว่ามีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น จึงได้ทำการหาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทน ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด ที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.38 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.39 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

หมายเหตุ * run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 วัดความเข้มข้นวันที่ 6- 12 ของการเดินระบบ
run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6 วัดความเข้มข้นวันที่ 2- 8 ของการเดินระบบ

จากการแสดงผลข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนแบบปกติแล้ว ยังได้ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาใช้ในการจัดการข้อมูล โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วัน และ 5 วัน ดังรูปที่ 4.38 และรูปที่ 4.39 ทำให้สามารถดูแนวโน้มของเส้นประสิทธิภาพการบำบัดได้ง่ายขึ้น โดยพบว่าทุกสภาวะ มีค่าสูงใกล้เคียงกัน ยกเว้นสภาวะที่ 4 มีค่าน้อยกว่าทุกสภาวะ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบสามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.22 คือค่าประสิทธิภาพการบำบัด มากที่สุด คือ สภาวะที่ 6 ร้อยละ 91.33 รองลงมาเป็นสภาวะที่ 1 ร้อยละ 88.62 และ สภาวะที่ 2 3 และ 5 มีประสิทธิภาพการบำบัดในช่วงร้อยละ 86 และสภาวะที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด คือ สภาวะที่ 3 อาจเนื่องมาจากทำการตรวจวัดในช่วงที่ระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ประสิทธิภาพการบำบัดยังไม่คงที่ จึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงตามไปด้วย และมีการทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะโดยวิธี Tukey's paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) ดังตารางที่ 4.23 โดยหากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซมีเทน ที่ $\overline{y_i}$ และ $\overline{y_j}$ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่าง $\overline{y_i} - \overline{y_j}$ อยู่ในช่วง $-10.15 \leq \overline{y_i} - \overline{y_j} \leq 10.15$ ซึ่งพบว่าสภาวะที่ 4 มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าและแตกต่างกับสภาวะที่ 6 แต่ถึงแม้ว่าสภาวะที่ 4 จะมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำว่าสภาวะที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดของสภาวะที่ 4 กับสภาวะอื่นๆนั้น ไม่ได้มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทนของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	88.62	4.57	94.82	82.86
2	300	1.2	86.32	6.88	93.12	75.98
3	300	0.6	86.93	14.12	96.24	55.90
4	150	1.8	79.23	7.31	93.57	72.80
5	150	1.2	86.58	6.12	92.56	74.08
6	150	0.6	91.33	4.63	96.22	83.00

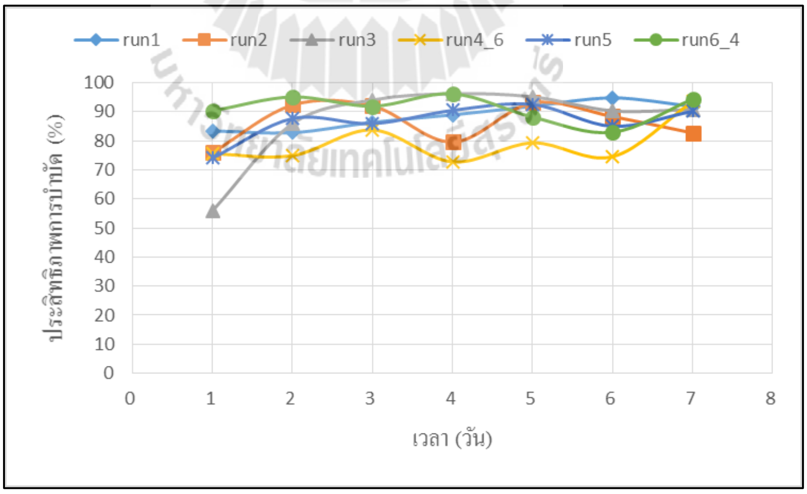
ตารางที่ 4.23 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมีเทน ($\overline{y_i}-\overline{y_j}$) ของแต่ละสภาวะ

การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_j}$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_i}$)					
	1	2	3	4	5	6
	88.619	86.316	86.932	79.227	86.582	91.327
1	-	-	-	-	-	-
2	2.303	-	-	-	-	-
3	1.687	-0.616	-	-	-	-
4	9.392	7.089	7.705	-	-	-
5	2.038	-0.265	0.351	-7.355	-	-
6	-2.708	-5.010	-4.395	*-12.100	-4.745	-

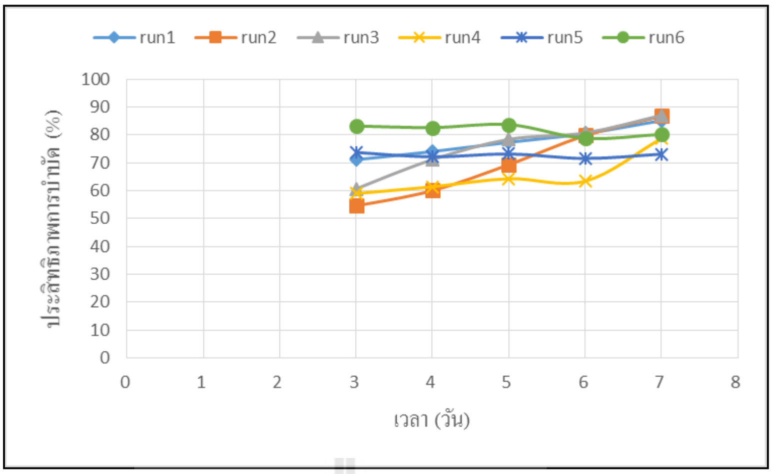
หมายเหตุ * ค่า เฉลี่ย $\overline{y_i}-\overline{y_j}$ ที่มีความแตกต่างกัน

4.6.3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

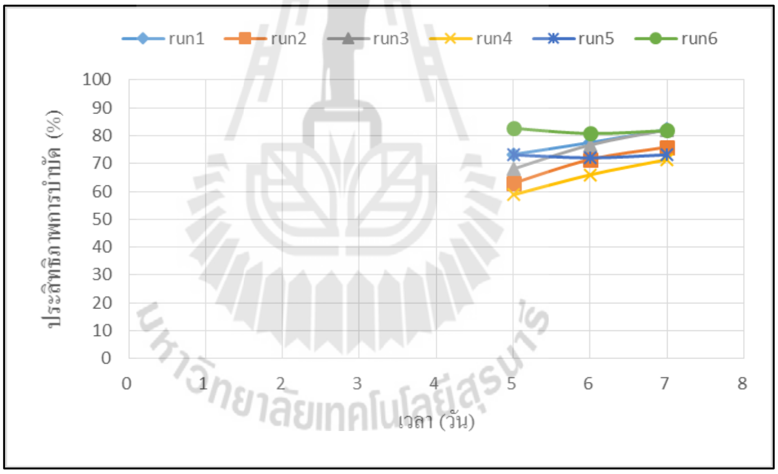
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้มาก และในการศึกษานี้ได้ทำการหาประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.41 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_3) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ



รูปที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_5) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

หมายเหตุ * run ที่ 1 คือ สภาวะที่ 1 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 2 คือ สภาวะที่ 2 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 3 คือ สภาวะที่ 3 วัดความเข้มข้นวันที่ 8- 14 ของการเดินระบบ
run ที่ 4 คือ สภาวะที่ 4 วัดความเข้มข้นวันที่ 1- 7 ของการเดินระบบ
run ที่ 5 คือ สภาวะที่ 5 วัดความเข้มข้นวันที่ 6- 12 ของการเดินระบบ
run ที่ 6 คือ สภาวะที่ 6 วัดความเข้มข้นวันที่ 2- 8 ของการเดินระบบ

จากการแสดงผลข้อมูลของเส้นแนวโน้มประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบปกติ ดังรูปที่ 4.40 จะดูแนวโน้มของเส้นข้อมูลเป็นไปได้ยาก จึงได้ใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาใช้ในการจัดการข้อมูล โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วันและ5 วัน เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.41 และ รูปที่ 4.42 พบว่าสภาวะที่ 1 3 5 และ6 มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบสามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาได้ดังตารางที่ 4.24 คือค่าประสิทธิภาพการบำบัด มากที่สุด คือ สภาวะที่ 6 ร้อยละ 81.61 รองลงมาเป็นสภาวะที่ 1 ร้อยละ 71.89 และ สภาวะที่ 3 และ 5 มีประสิทธิภาพการบำบัดในช่วงร้อยละ 73 และสภาวะที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด คือ สภาวะที่ 4 อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยแตกต่างกันมากที่สุด จึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงตามไป และได้มีการทดสอบสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะ โดยวิธี Tukey’s paired comparison (Berthouex and Brown, 2002) ดังตารางที่ 4.25 โดยหากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่แตกต่างกัน จะมีค่าประมาณแบบช่วงของผลต่างค่าเฉลี่ย $\overline{y}_i - \overline{y}_j$ อยู่ในช่วง $-17.41 \le \overline{y}_i - \overline{y}_j \le 17.41$ ซึ่งพบว่าแต่ละสภาวะมีผลต่าง $\overline{y}_i - \overline{y}_j$ อยู่ในช่วงทั้งหมด แสดงว่าทุกสภาวะมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้รายละเอียดการทดสอบทางสถิติ แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.24 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

สภาวะที่	รายละเอียดของสภาวะ		ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)
	ความหนา (มม.)	EBRT (วินาที)				
1	300	1.8	77.89	9.139	90.16	67.04
2	300	1.2	69.47	17.11	88.74	45.84
3	300	0.6	73.69	17.05	91.46	41.02
4	150	1.8	65.46	18.61	90.89	37.48
5	150	1.2	73.12	2.55	75.80	70.20
6	150	0.6	81.62	4.69	87.72	72.88

ตารางที่ 4.25 ผลต่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\overline{y_i}-\overline{y_j}$) ของแต่ละสภาวะ

การทดลองสภาวะ j (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_j}$)	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\overline{y_i}$)					
	1	2	3	4	5	6
	77.886	69.465	73.692	65.460	73.119	81.615
1	-	-	-	-	-	-
2	8.421	-	-	-	-	-
3	4.194	-4.227	-	-	-	-
4	12.426	4.005	8.232	-	-	-
5	4.767	-3.654	0.573	-7.659	-	-
6	-3.730	-12.151	-7.924	-16.156	-8.497	-

4.6.4 การตรวจวัดก๊าซที่เกิดจากตัวกลาง

ในการศึกษานี้ได้มีการทดลองชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ไม่มีการบำบัดก๊าซ) โดยได้ปิดคลุมบ่อน้ำเสีย และดึงปลายสายยางด้านดูดห่างออกจากบ่อน้ำเสียไปยังฝั่งตรงข้าม ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีแหล่งกำเนิดอื่นอยู่ใกล้เคียง แล้วทำการดูดอากาศเปล่าที่บรรยากาศปกติผ่านชั้นกรองและวัดความเข้มข้นของก๊าซที่ผ่านชั้นกรองเพื่อศึกษาว่าก๊าซที่เกิดขึ้นจากตัวกลางภายในชั้นกรองมีมากน้อยเพียงใด มีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.26 โดยพบว่าก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากชั้นตัวกรองมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยที่ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียสูงสุดที่ยอมรับกลิ่นได้ คือ 5 ppm แต่ค่าความเข้มข้นของก๊าซในชั้นกรองมีค่า 0.62-0.95 ppm ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากชั้นกรอง คือ 5 ppm ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับให้สัมผัสได้

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นของก๊าซจากชุดความคุมและจากบ่อน้ำเสียเทียบเป็นร้อยละ พบว่าก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากชุดควบคุมมีความเข้มข้นเฉลี่ยเพียงร้อยละ 12.527 และ 10.504 ของก๊าซที่เกิดจากบ่อน้ำเสีย ตามลำดับ แสดงว่าก๊าซที่เกิดจากชั้นกรองมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับก๊าซที่เกิดจากบ่อน้ำเสีย แสดงว่าวัสดุตัวกรองนี้เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการเป็นวัสดุกรองชีวภาพในการบำบัดกลิ่น

ตารางที่ 4.26 ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เกิดจากบ่อน้ำเสียกับก๊าซที่เกิดจากชั้นตัวกรองชีวภาพ

ระยะเวลา (วัน)	ก๊าซแอมโมเนีย (ppm)			ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)		
	ชุดควบคุม	ก๊าซจากบ่อน้ำเสีย	สัดส่วนก๊าซจากตัวกลาง (ร้อยละ)	ชุดควบคุม	ก๊าซจากบ่อน้ำเสีย	สัดส่วนก๊าซจากตัวกลาง (ร้อยละ)
1	0.720	7.464	9.646	5.000	45.000	11.111
2	0.750	10.426	7.193	5.000	45.000	11.111
3	0.620	8.661	7.158	5.000	50.000	10.000
4	0.870	3.623	24.014	5.000	65.000	7.692
5	0.760	8.909	8.530	5.000	40.000	12.500
6	0.900	5.102	17.640	5.000	50.000	10.000
7	0.950	7.034	13.505	5.000	45.000	11.111
เฉลี่ย	0.796	7.317	12.527	5.000	48.571	10.504

4.7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยกับประสิทธิภาพการบำบัด

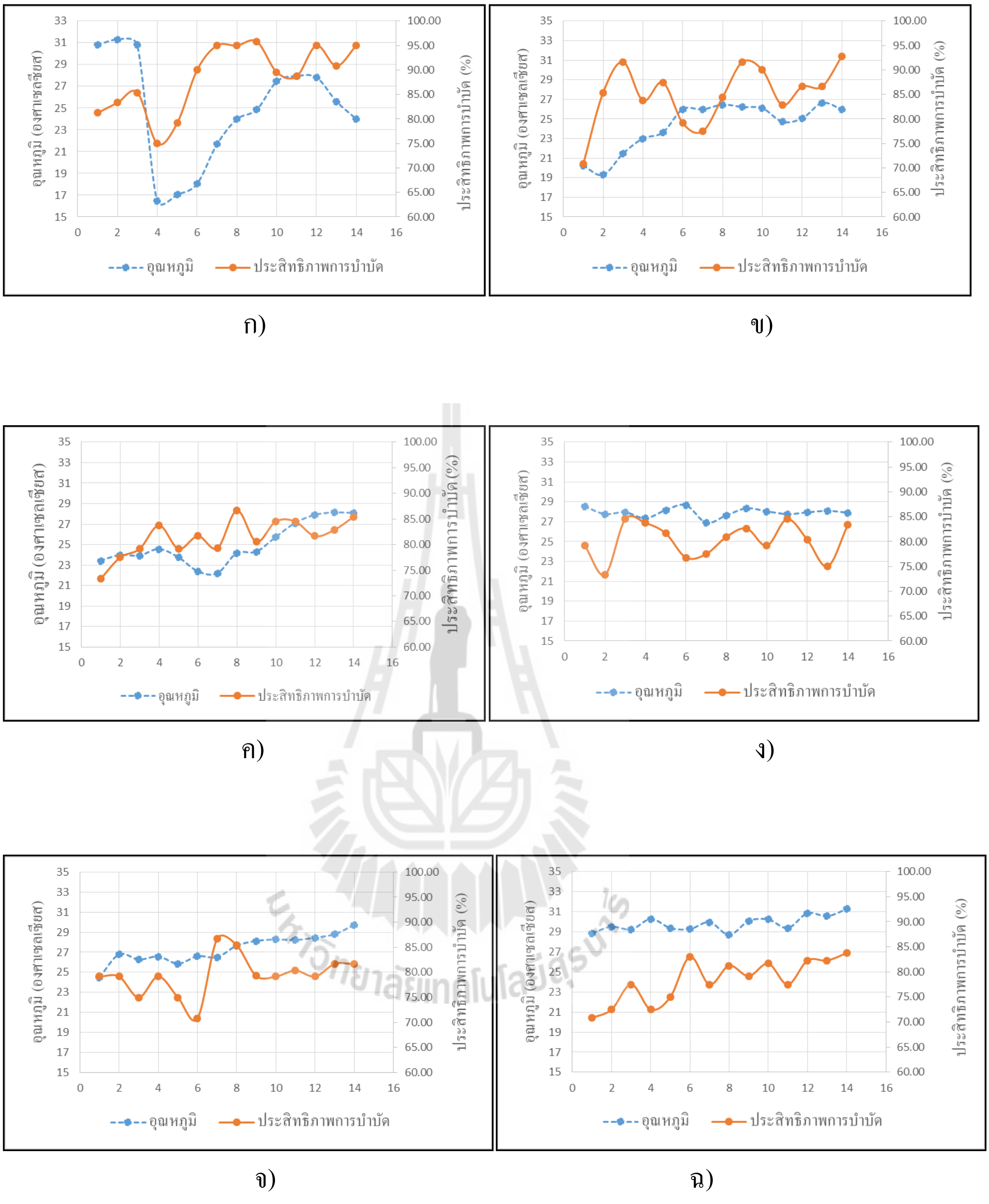
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการเดินระบบกับประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งในการศึกษานี้ได้ศึกษา pH อุณหภูมิ และความชื้น โดยไม่ได้มีการควบคุมให้อยู่ในสภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกัน เพราะได้ทำการติดตั้งและเดินระบบที่สถานที่จริง ที่สภาพแวดล้อมบรรยากาศทั่วไป เพื่อให้แน่ใจว่าที่สภาพแวดล้อมทั่วไปไม่ได้ทำให้ค่า pH อุณหภูมิ และความชื้นของระบบเปลี่ยนแปลงไปมากนัก และไม่ได้ทำให้ ค่า pH อุณหภูมิ และความชื้นของแต่ละสภาวะที่ทำการเดินระบบมีความแตกต่างกัน และไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ทำให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ตลอดการเดินระบบโดยไม่ต้องมีหน่วยควบคุม โดยได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH อุณหภูมิและความชื้นกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.43 - 4.45 และกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย ดังแสดงในรูปที่ 4.46-4.48 และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ทางสถิติโดยใช้ Spearman's rank correlation coefficient (r) มาช่วยในการอธิบายสหสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับค่า pH อุณหภูมิ และความชื้น ซึ่งในการบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย และได้สรุปผลการ

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียในแต่ละสภาวะ ดังตารางที่ 4.27

รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3

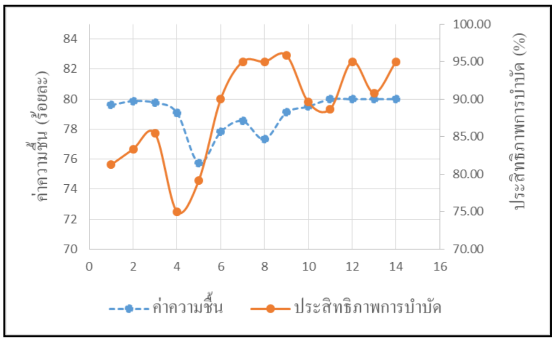
ง) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6



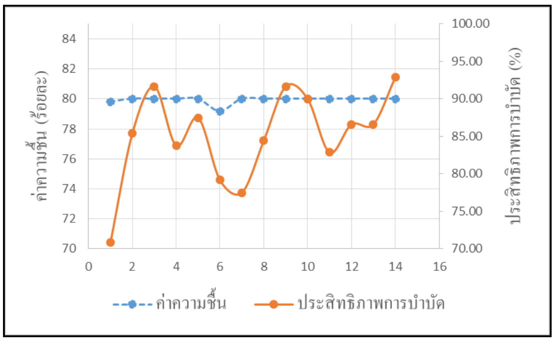
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3

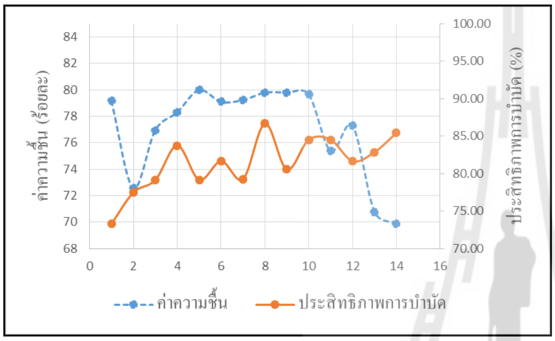
ง) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6



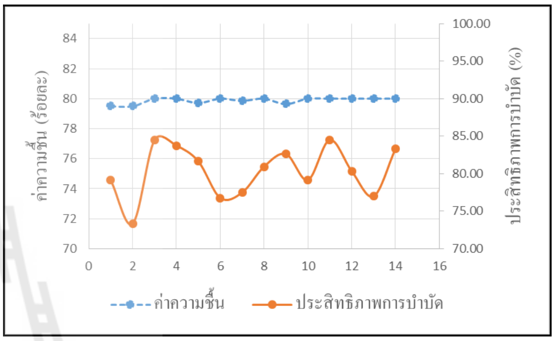
ก)



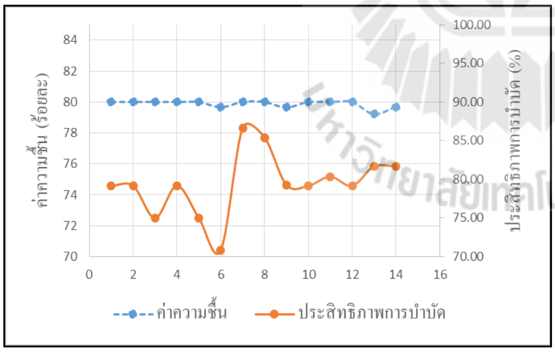
ข)



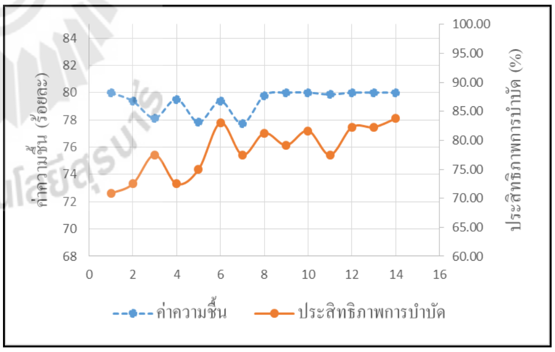
ค)



ง)



จ)



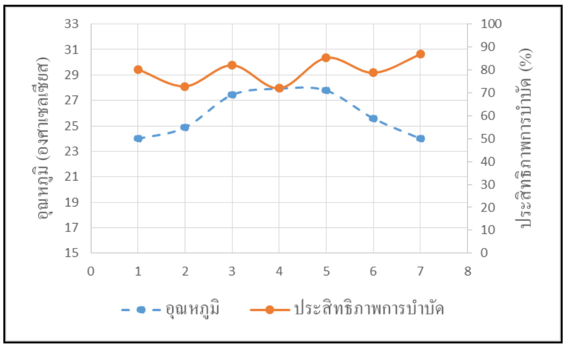
ฉ

รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3
ง) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6

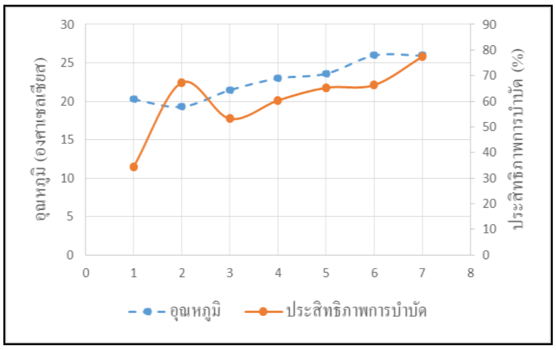
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย

ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3

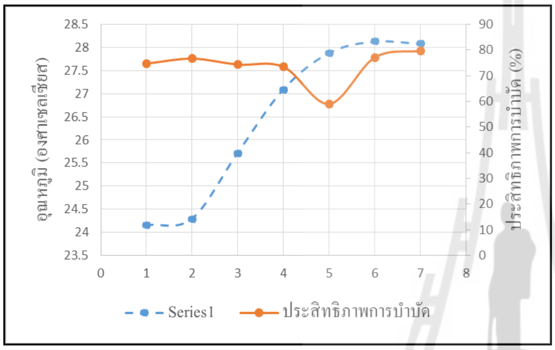
ง) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6



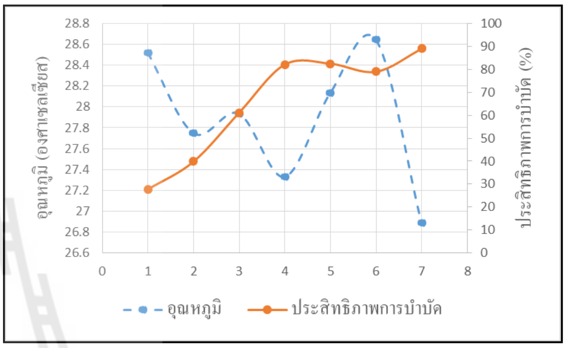
ก)



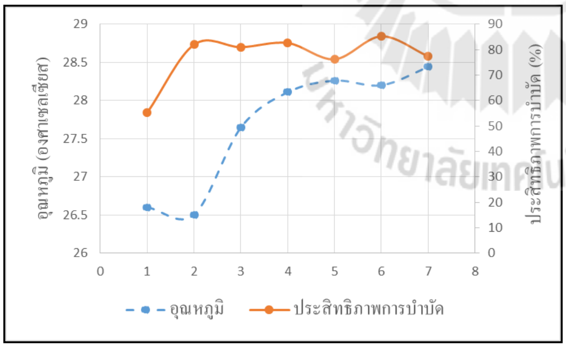
ข)



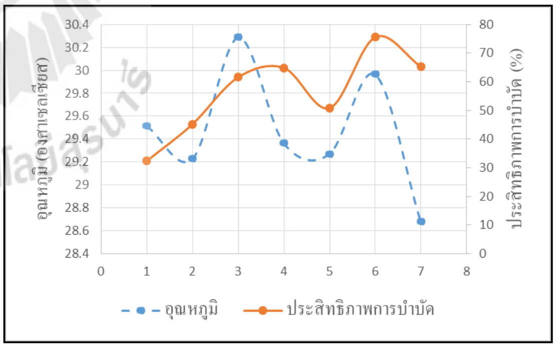
ค)



ง)



จ)

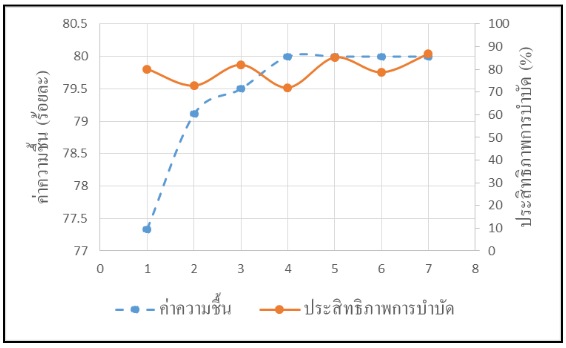


ฉ)

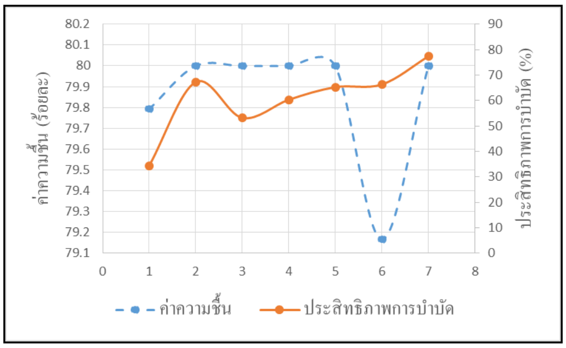
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย

ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3

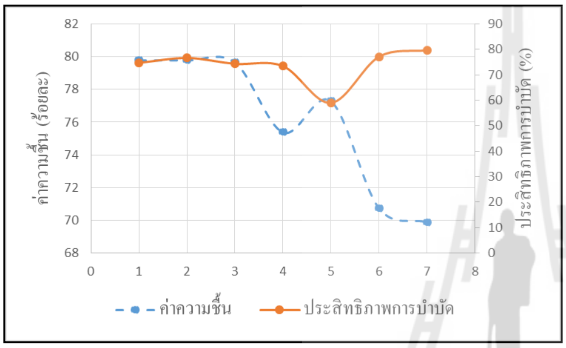
ง) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6



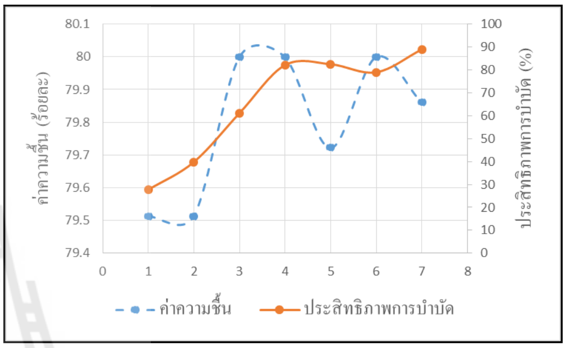
ก)



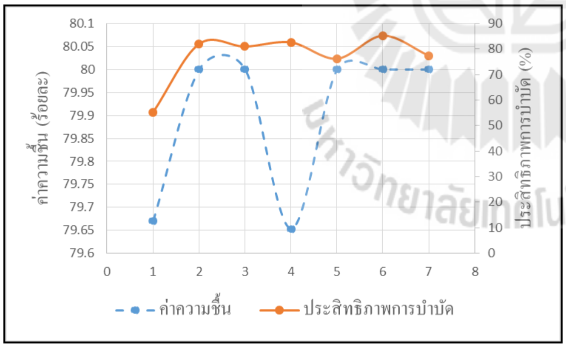
ข)



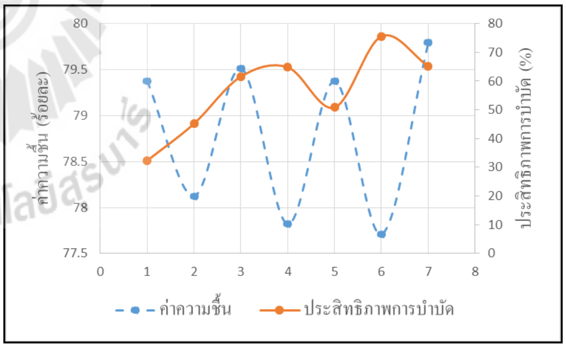
ค)



ง)



จ)



ฉ)

รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย

ก) สภาวะที่ 1 ข) สภาวะที่ 2 ค) สภาวะที่ 3

ข) สภาวะที่ 4 จ) สภาวะที่ 5 ฉ) สภาวะที่ 6

ตารางที่ 4.27 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับประสิทธิภาพการบำบัด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียในแต่ละสภาวะ

ก๊าซ	ปัจจัย	สภาวะการทดลอง	r	P value (two tailed)	สรุป
H_2S	pH	1	-0.427	0.128	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		2	-0.06	0.985	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		3	0.476	0.085	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		4	0.040	0.893	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		5	0.580	0.030	มีนัยสำคัญทางสถิติ
		6	0.766	0.01	มีนัยสำคัญทางสถิติ
	อุณหภูมิ	1	-0.670	0.821	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		2	0.178	0.542	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		3	0.624	0.017	มีนัยสำคัญทางสถิติ
		4	-0.277	0.435	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		5	0.444	0.122	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		6	0.424	0.121	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
	ความชื้น	1	0.133	0.651	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		2	0.549	0.042	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		3	-0.121	0.679	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		4	0.325	0.257	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		5	-0.141	0.650	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		6	0.388	0.170	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
NH_3	pH	1	0.143	0.760	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		2	0.000	1.000	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		3	0.393	0.383	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		4	-0.357	0.432	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		5	0.036	0.939	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		6	-0.571	0.178	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.27 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียในแต่ละสภาวะ (ต่อ)

ก๊าซ	ปัจจัย	สภาวะการทดลอง	r	P value (two tailed)	สรุป
NH_3	อุณหภูมิ	1	-0.286	0.535	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		2	0.393	0.383	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		3	0.286	0.535	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		4	-0.464	0.294	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		5	-0.360	0.939	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		6	0.710	0.839	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
	ความชื้น	1	0.177	0.704	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		2	0.223	0.631	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		3	-0.342	0.452	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		4	0.393	0.383	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		5	0.045	0.924	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
		6	-0.180	0.688	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ในการวัดความสัมพันธ์ของค่าปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุมกับค่าประสิทธิภาพการบำบัดต้องทำการทดสอบนัยสำคัญด้วย จึงสามารถจะสรุปได้ว่าปัจจัยมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดจริงหรือไม่ และมากน้อยเพียงใด ซึ่งในการแปลผลจะมองในแง่ของความเกี่ยวพัน ความสอดคล้อง การแปรผันไปในทิศทางเดียวกันหรือแปรผกผันกัน แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าปัจจัยไหนเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรตาม) บอกได้เพียงว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีขนาดของความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด

<u>กรณีก๊าซ H_2S</u> จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของ pH กับ ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ Spearman's rank correlation coefficient (r) โดยพิจารณาค่า p value (two tailed) ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีนัยสำคัญ พบว่า สภาวะที่ 5 และ 6 มีค่า p value 0.03 และ0.01 ตามลำดับ สรุปได้ว่า pH กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สภาวะที่ 5 และ 6 มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดในสภาวะที่ 3 เพียงสภาวะเดียวโดย

มีค่า p value เท่ากับ 0.017 และในกรณีของความชื้นกับประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าข้อมูลไม่มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กรณีก๊าซ NH_3 จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของ pH อุณหภูมิ และความชื้น กับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียโดยใช้ Spearman's rank correlation coefficient (r) โดยพิจารณาค่า p value (two tailed) ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีนัยสำคัญ พบว่าทุกสภาวะมีค่า p value มากกว่า 0.05 สรุปได้ว่า ทั้ง pH อุณหภูมิ และความชื้น ไม่มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย

จากตารางที่ 4.24 พบว่าปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุมไม่มีสหสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดของสภาวะที่ 1 2 และ 4 ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของสภาวะที่ 5 และ 6 มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า pH และอุณหภูมิมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดในสภาวะที่ 3 เพียงสภาวะเดียว จากการทดสอบดังกล่าวทำให้สามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมไปใช้งานต่อไปได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งานในกับก๊าซที่ต้องการบำบัด คือถ้าหากจะนำระบบกรองชีวภาพไปใช้ในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียเพียงชนิดเดียวสามารถเลือกค่าจากทุกๆสภาวะที่เหมาะสมไปงานต่อใช้ได้ เพราะถ้าหากจะบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยต้องดูว่าปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุมนั้นมีไม่มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดในสภาวะใดบ้าง เพราะหากปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุมนั้นมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมภายนอกและจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบได้ในที่สุด

4.8 สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง 6 สภาวะ แสดงดังตารางที่ 4.28 และสามารถสรุปได้ดังนี้

สภาวะที่ 1 ความหนาของชั้นกรอง 300 มม. ค่า EBRT 1.8 วินาที จากการเดินระบบที่ระยะเวลา 14 วัน มีค่า pH เฉลี่ย 6.51 ความชื้นในชั้นกรองมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.03 และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.85 °C มีอัตราการอัดตัวของชั้นกรองอยู่ที่ 0.38 ซม./วัน ประสิทธิภาพการบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 88.51 และก๊าซแอมโมเนีย ร้อยละ 79.70

สภาวะที่ 2 ความหนาของชั้นกรอง 300 มม. ค่า EBRT 1.2 วินาที จากการเดินระบบที่ระยะเวลา 14 วัน มีค่า pH เฉลี่ย 6.34 ความชื้นในชั้นกรองมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.93 และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.34 °C อัตราการอัดตัวของชั้นกรอง 0.43 ซม./วัน ประสิทธิภาพการบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 85.06 และก๊าซแอมโมเนีย ร้อยละ 60.60

<u>สภาวะที่ 3</u> ความหนาของชั้นกรอง 300 มม. ค่า EBRT 0.6 วินาที จากการเดินระบบที่ระยะเวลา 14 วัน มีค่า pH เฉลี่ย 6.31 ความชื้นในชั้นกรองมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 76.99 และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.97 °C อัตราการอัดตัวของชั้นกรอง 0.38 ซม./วัน ประสิทธิภาพการบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 81.43 และก๊าซแอมโมเนียร้อยละ 73.57

<u>สภาวะที่ 4</u> ความหนาของชั้นกรอง 150 มม. ค่า EBRT 1.8 วินาที จากการเดินระบบที่ระยะเวลา 14 วัน มีค่า pH เฉลี่ย 6.29 ความชื้นในชั้นกรองมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.88 และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.83 °C อัตราการอัดตัวของชั้นกรอง 0.16 ซม./วัน ประสิทธิภาพการบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 78.34 และก๊าซแอมโมเนียร้อยละ 65.89

<u>สภาวะที่ 5</u> ความหนาของชั้นกรอง 150 มม. ค่า EBRT 1.2 วินาที จากการเดินระบบที่ระยะเวลา 14 วัน มีค่า pH เฉลี่ย 6.29 ความชื้นในชั้นกรองมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.88 และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.54 °C อัตราการอัดตัวของชั้นกรอง 0.16 ซม./วัน ประสิทธิภาพการบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 79.41 และก๊าซแอมโมเนียร้อยละ 77.03

<u>สภาวะที่ 6</u> ความหนาของชั้นกรอง 150 มม. ค่า EBRT 0.6 วินาที จากการเดินระบบที่ระยะเวลา 14 วัน มีค่า pH เฉลี่ย 6.27 ความชื้นในชั้นกรองมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.40 และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.81 °C อัตราการอัดตัวของชั้นกรอง 0.25 ซม./วัน ประสิทธิภาพการบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าร้อยละ 80. 19 และก๊าซแอมโมเนียร้อยละ 56.53

ตารางที่ 4.28 สรุปผลการศึกษาปัจจัยและประสิทธิภาพของระบบทั้ง 6 สภาวะ

สภาวะที่	รายละเอียด			ค่าเฉลี่ยปัจจัยในการเดินระบบ			อัตราการอัดตัว (ซม./วัน)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)		ค่าความสามารถในการบำบัด ($mg/m^3.hr$)	
	อัตราการไหล (m^3/s)	ความหนา (mm.)	EBRT (s.)	pH	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)		H_2S	NH_3	H_2S	NH_3
1	0.017	300	1.8	6.51	79.03	24.85	0.38	88.51	79.70	14.88	1.16
2	0.025	300	1.2	6.34	79.93	24.34	0.43	85.06	60.60	21.88	1.46
3	0.05	300	0.6	6.31	76.99	24.97	0.38	81.43	73.57	48.92	3.43
4	0.033	150	1.8	6.29	79.88	29.83	0.16	78.34	65.89	61.36	3.61
5	0.050	150	1.2	6.29	79.88	27.54	0.16	79.41	77.03	75.48	6.03
6	0.100	150	0.6	6.27	79.40	27.91	0.25	80.19	56.53	189.56	8.12

จากตารางที่ 4.25 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นน้ำเสียในฟาร์มสุกรทั้ง 6 สภาวะ พบว่าค่า pH ของทุกสภาวะอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับค่า pH ส่วนอุณหภูมิของชั้นกรองระบบตัวกรองชีวภาพนี้ไม่จำเป็นต้องมีชุดควบคุมอุณหภูมิ เพื่อปรับอุณหภูมิก่อนเข้าสู่ระบบ ถึงแม้ชั้นกรองจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปตามสภาพอากาศแวดล้อมภายนอก แต่อุณหภูมิของทุกๆสภาวะโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าในช่วง 24 - 27°C ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ในส่วนการให้ความชื้นให้หลังจากเดินระบบเพียง 1 - 3 นาทีก็เพียงพอต่อการคงความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 60-80 ของชั้นกรองในทุกๆสภาวะ จากตารางที่ 4.14 จะเห็นว่าค่าความชื้น อุณหภูมิ และ pH ของแต่ละสภาวะไม่ค่อยแตกต่างกันมาก ในส่วนการยุบตัวหรือการอัดตัวของชั้นกรอง พบว่าที่สภาวะที่ 2 มีการอัดตัวมากที่สุด คือ 6.08 ซม. รองลงมาเป็นสภาวะที่ 1 และ 3 คือ 5.36 และ 5.28 ซม. ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่ 4 - 6 มีค่าการยุบตัว 2 - 3.5 ซม.

ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่า สภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด คือ ร้อยละ 88 และ รองลงมาคือสภาวะที่ 2 มีประสิทธิภาพร้อยละ 85 และสภาวะอื่นๆมีประสิทธิภาพในช่วง ร้อยละ 78-81 ในด้านการบำบัดก๊าซแอมโมเนียพบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดเป็นสภาวะที่ 1 คือ ร้อยละ 79 รองลงมาเป็นสภาวะที่ 5 คือ ร้อยละ 77 และสภาวะอื่นๆมีค่าในช่วงร้อยละ 56-73 และจากการศึกษางานอื่นๆพบว่ามีการนำระบบกรองชีวภาพไปใช้ในการบำบัดสารมลพิษต่าง ๆ เช่น ชาตรี อิณชิต (2546) ได้ศึกษาการบำบัดสไตรีนมอนอเมอร์โดยใช้ ปุ๋ยคอกปืนตัวกรอง หนา 105 ซม. พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 54 และการศึกษาการบำบัดก๊าซบิวไทริคแอซิดของอรอุมา ศักดิ์เศรษฐ์ (2547) โดยใช้ตัวกรองปุ๋ยหมักผสมกับกาบมะพร้าว พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 78.54 - 99.72 และชวลิต ชีวเกตุ (2549) ศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 88.88 มีการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ ณัฐพล (2549) ใช้ระบบกรองชีวภาพแบบคอลัมน์ชั้นกรองหนา 1.5 ม. EBRT 45 วินาทีพบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 100 เช่นเดียวกับ เสาวลักษณ์ (2551) ได้ศึกษาการบำบัดก๊าซแอมโมเนียโดยใช้ระบบกรองชีวภาพแบบคอลัมน์ ชั้นกรองหนา 1.5 ม. EBRT 45 วินาที พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 95 และมีงานวิจัยที่บำบัดกลิ่นในฟาร์มสุกร เช่น งานวิจัยของ Lim et al. (2012) ได้ใช้เปลือกสนเป็นตัวกรองมีความหนา 127 มม. และ 254 มม. ในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในฟาร์มสุกร พบว่าตัวกรองซึ่งมีความหนา 127 มม. ที่ EBRT 0.3 วินาที สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้ร้อยละ 31.1 และลดความเข้มข้นก๊าซของไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 26.6 ส่วนที่ตัวกรองหนา 254 มม. EBRT 0.6 วินาที สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียร้อยละ 45.8 และ

ลดความเข้มข้นก๊าซของไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 42 และ Dumont et al. (2014) ได้ทำการบำบัดกลิ่นแอมโมเนียจากฟาร์มสุกร ได้ทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการ (pilot scale)ในช่วงฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง เพื่อศึกษาสภาวะภูมิอากาศต่อประสิทธิภาพการบำบัด มีค่า EBRT ในช่วง 6 - 15 วินาที พบว่าในฤดูร้อนระบบประสิทธิภาพการบำบัดมีแอมโมเนียมีค่าร้อยละ 90 ที่ EBRT 12 วินาที ส่วนในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ประสิทธิภาพที่ EBRT 12 วินาที มีค่าร้อยละ 80 และงานวิจัยของ Klafle et al. (2015) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในฟาร์มสุกรพบว่า โดยประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดในช่วง 1.6 - 3.1วินาที โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียร้อยละ 95.2 - 97.9 และประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าในช่วงร้อยละ 95.8 - 100 นอกจากนั้นยังมีการใช้ระบบกรองชีวภาพบัดกลิ่นจากระบบบำบัดน้ำเสีย ดังงานวิจัยของ Omri et al. (2013) ใช้พีทและจุลินทรีย์เป็นตัวกรองในระบบ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงร้อยละ 99 ที่ EBRT 60 วินาที

จากการศึกษางานวิจัยนี้พบว่าที่ชั้นกรอง 300 มม. อัตราการไหลอากาศเข้าสู่ระบบต่ำประสิทธิภาพการบำบัดจะดีกว่าที่อัตราการการไหลสูงๆ และอัตราการไหลนี้มีความสัมพันธ์กับภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัด ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดจะสูงที่ค่าภาระบรรทุกต่ำ ส่วนที่ชั้นกรอง 150 มม. ประสิทธิภาพไม่ได้มีแนวโน้มเป็นไปตามประสิทธิภาพการบำบัดที่ชั้นกรอง 300 มม. เนื่องจากมีอัตราการไหลที่มากกว่าที่ชั้นกรอง 300 มม. เป็น 2 เท่า ที่ระยะเวลา EBRT เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามที่ชั้นตัวกรองหนา 150 มม. ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงร้อยละ 78 - 80 สำหรับการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และร้อยละ 56 - 77 สำหรับก๊าซแอมโมเนีย แสดงว่าอัตราการไหลที่ชั้นกรองหนา 150 มม. มีอัตราการไหลที่สูง EBRT สั้นๆ ทำให้ระยะเวลาสัมผัสระหว่างก๊าซที่เข้าสู่ระบบเร็วเกินไปและอาจไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายก๊าซโดยจุลินทรีย์ในชั้นตัวกรอง แต่ระบบก็ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดและมีความสามารถในการบำบัดก๊าซได้ จึง สามารถกล่าวได้ว่าระบบกรองชีวภาพจากงานวิจัยนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก ซึ่งสภาวะที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือในการศึกษานี้คือสภาวะที่ 1 ที่ชั้นกรองหนา 300 มิลลิเมตร EBRT 1.8 วินาที แต่จากตารางที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด แต่มีค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการบำบัดต่ำ แต่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าระดับสูงสุดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (5 ppm) และสำหรับการใช้งานในด้านการประหยัดต้นทุนควรเลือกใช้สภาวะที่ 5 เนื่องจากมีค่าความสามารถในการบำบัดสูง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกับสภาวะอื่นๆและใช้ชั้นกรองหนาเพียง 150 มม. เท่านั้น

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาดในการบำบัดก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียฟาร์มสุกร และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นจากสุกรที่มีผลต่อระบบกรองชีวภาพแบบถาด โดยทำการติดตั้งระบบกรองชีวภาพ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทำการปิดหรือคลุมปากบ่อรวบรวมน้ำเสีย แล้วทำการดูดก๊าซบริเวณปากบ่อน้ำเสียที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเข้าสู่ระบบกรองชีวภาพแบบถาดและทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าสู่ระบบและก๊าซผ่านการบำบัด นอกจากนั้นยังได้ทำการตรวจวัดก๊าซที่พื้นที่หน้าตัดของตัวกรองเพื่อตรวจสอบว่าตัวกรองนั้นเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดกลิ่นด้วยหรือไม่ แล้วทำการคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ เพื่อให้ทราบค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาระบบกรองชีวภาพแบบถาดเพื่อลดกลิ่นจากบ่อน้ำเสียของฟาร์มสุกร

5.1.1 การพัฒนาระบบกรองชีวภาพแบบถาด

งานวิจัยนี้ใช้ระบบตัวกรองชีวภาพแบบเปิด โดยประกอบไปด้วยแหล่งที่มาของกลิ่นที่ใช้เป็นตัวแทนกลิ่นจากฟาร์มสุกร คือ บ่อรวบรวมน้ำเสียของฟาร์มสุกร ส่วนระบบกรองชีวภาพประกอบไปด้วย ระบบลำเลียงอากาศ ท่อกระจายอากาศและถาดบรรจุตัวกรองชีวภาพซึ่งมีขนาด 0.4×0.5 ม^2 มีความสูง 0.3 ม. โดยถาดบรรจุตัวกรองจะมีหลังคาด้านบนเพื่อกันแดด ฝนและสิ่งรบกวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งหลังคานี้สามารถยกออกถอดประกอบกันได้ เพื่อให้ง่ายในกรณีที่มีการแปลี่ยนตัวกรองหรือเก็บตัวอย่างของชั้นกรอง และที่ด้านบนชั้นกรองมีการติดตั้งสายยางให้ความชื้น โดยใช้สายยาง PE ขนาด 4 มม. สีดำเพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำ โดยใช้สายยาง 5 เส้น แต่ละเส้นยาว 40 ซม. และแต่ละเส้นเจาะรูห่างกัน 2 ซม. เพื่อให้หยดน้ำเพิ่มความชื้นแก่ชั้นกรอง โดยการให้ความชื้นจะให้หลังจากเดินระบบแล้ว ซึ่งการให้ความชื้นจะใช้เครื่องเปิด-ปิดการให้น้ำแบบอัตโนมัติ ระยะเวลาให้น้ำเพิ่มความชื้นใช้เวลา 1-3 นาที และด้านล่างของถาดบรรจุตัวกรองจะเป็นช่องสำหรับวางท่อกระจายอากาศ โดยใช้ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว วางขนานกัน 3 ท่อ และเจาะรูขนาด 2 ซม. ห่างกันรูละ 5 ซม. เพื่อกระจายอากาศผ่านชั้นกรอง และท่อกระจายอากาศนี้จะต่อกับท่อลำเลียงอากาศเป็นท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ยาว 1.65 ม. และดูดอากาศโดยใช้พัดลมดูดอากาศ

และควบคุมการไหลของอากาศโดยใช้เครื่องแปลงกระแส หรืออินเวอร์เตอร์ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าทำให้สามารถควบคุมความเร็วใบพัดของพัดลมดูดอากาศให้สามารถดูดอากาศได้ตามอัตราการของแต่ละสภาวะที่ต้องการในการเดินระบบ

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ระบบกรองชีวภาพแบบถาด ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่า pH ค่าความชื้น อัตราการไหลของอากาศและค่า EBRT และการยุบตัวของตัวกรอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.2.1 ค่า pH ของตัวกรอง

เมื่อทำการเดินระบบ ค่า pH ของชั้นตัวกรองในทุกๆสภาวะ มีค่าในช่วง 6.2 - 6.5 ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุม พบว่าแต่ละสภาวะมีค่า pH ไม่แตกต่างกันมาก และในการเดินระบบแต่ละสภาวะค่า pH ในระบบก็ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก โดยค่า pH ต่ำสุด และสูงสุดอยู่ในช่วง 5.8-6.6 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ และไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับค่า pH ของชั้นกรองให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบที่ 14 วัน

5.1.2.2 ค่าความชื้น

ค่าความชื้นของระบบกรองชีวภาพแบบถาดนี้เป็นปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุมเช่นเดียวกับpH พบว่าสภาวะที่ 3 ชั้นกรองด้านล่างมีค่าความชื้นเพียงร้อยละ 25 ถึงแม้ความชื้นต่ำสุดจะลดลงและแตกต่างจากสภาวะอื่นๆ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดยังมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะอื่นๆ เนื่องจากชั้นกรองทุกระดับโดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 76 - 79 ซึ่งใกล้เคียงกับสภาวะอื่นๆ และในการเดินระบบแต่ละวัน ถึงแม้ความชื้นของชั้นกรองหลังเดินระบบจะลดลง แต่เมื่อให้หยดน้ำ เพื่อเพิ่มความชื้นแก่ชั้นกรองก็พบว่าความชื้นมีเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 80 เหมือนเดิม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ให้หยดน้ำเป็นเวลา 1 - 3 นาที ซึ่งก็เพียงพอต่อการให้ความชื้นแก่ชั้นกรองในแต่ละครั้ง

5.1.2.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของชั้นกรองมีค่าในช่วง 14 - 33 °C ซึ่งพบว่าชั้นกรองด้านบนมีอุณหภูมิต่ำสุด และด้านล่างมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุม แต่พบว่าอุณหภูมิในแต่ละสภาวะมีค่าเฉลี่ยผลต่างไม่แตกต่างกัน ประกอบกับเดินระบบในสถานที่จริง อุณหภูมิของตัวกรองจึงแปรผันตามอุณหภูมิของสภาวะบรรยากาศรอบๆ และถึงแม้อุณหภูมิภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแต่ก็ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใน

ชั้นกรองมากนัก เพราะอุณหภูมิของชั้นตัวกรองก็ยังมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในระบบตัวกรองชีวภาพ

5.1.2.4 การยุบตัวของตัวกรอง

การยุบตัวของชั้นกรองพบว่าที่ชั้นกรองหนา 300 มม. มีการยุบตัวมากกว่าที่ 150 มม. โดยชั้นกรองที่ 300 มม. มีการยุบตัว 5.2 - 6 เซนติเมตร ส่วนที่ 150 มม. มีการยุบตัว 2.2-3.4 เซนติเมตร อาจกล่าวได้ว่า การยุบตัวที่ชั้นกรองหนา 2 เท่า จะมีการยุบตัวมากกว่า 2 เท่าเช่นกัน แต่การยุบตัวของชั้นกรองในการศึกษานี้ไม่ได้มีผลกับประสิทธิภาพการบำบัด เนื่องจากที่ระยะเวลานานขึ้นการยุบตัวมากขึ้นแต่ประสิทธิภาพการบำบัดก็ไม่ได้ลดลง อาจเนื่องจากยังไม่เกิดการเสื่อมสภาพของตัวกรองเพราะระยะเวลาในการศึกษาแต่ละสภาวะนี้ไม่ได้ยาวนานจนถึงการเกิดการเสื่อมสภาพของชั้นกรอง

5.1.2.5 อัตราการไหลของอากาศ และค่า EBRT

อัตราการไหลของอากาศและ BERT มีความสัมพันธ์กับความหนาของชั้นกรอง เพราะพื้นที่หน้าตัดชั้นกรองในการศึกษานี้มีถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ คือ มีขนาด 0.2 $ม^2$ ถ้าจะแปรผัน EBRT ก็ต้องแปรผันอัตราการไหลของอากาศ และในการศึกษานี้พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่สภาวะที่ EBRT สูง จะดีกว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ EBRT ต่ำ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าเนื่องจากมีค่า EBRT สูงและมีอัตราการไหลอากาศต่ำกว่าสภาวะต่างๆ แต่เมื่อลดความหนาของชั้นกรองครึ่งหนึ่ง ค่า EBRT เท่าเดิม คือ สภาวะที่ 4 5 และ 6 พบว่าแต่ประสิทธิภาพจะต่ำว่าแต่ก็ไม่ได้ลดลงเป็นสัดส่วนครึ่งหนึ่งเหมือนการลดชั้นความหนาของตัวกรอง ซึ่งอาจเกิดจากการที่ระยะเวลาสัมผัสไม่เพียงพอต่อการกลไกการดูดซับในชั้นกรองและการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบ

5.1.2.6 จำนวนจุลินทรีย์ในระบบ

จากการตรวจวัดจำนวนจุลินทรีย์ในระบบ พบว่าหลังเดินระบบที่เวลา 14 วัน ชั้นกรองมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นและเริ่มมีจำนวนคงที่จากวันที่ 2 ของการเดินระบบ ซึ่งในช่วงนี้ประสิทธิภาพการบำบัดจะเริ่มสูงขึ้น และแสดงว่าจุลินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย และในวันแรกของการเดินระบบที่จำนวนจุลินทรีย์ยังไม่เพิ่มขึ้นแต่ระบบก็สามาถบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ แสดงว่ากลไกการบำบัดนอกจากการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์แล้ว การดูดซับโดยชั้นกรองก็เป็นส่วนสำคัญในการบำบัดในช่วงแรกของการเดินระบบ

5.2 การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากบ่อน้ำเสียฟาร์มสุกรมีค่าไม่สูงมากอยู่ในช่วง 0 -10 ppm และ 20-90 ppm ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นก็อยู่ในช่วงที่ก่อให้เกิดความรำคาญและส่งผลต่อสุขภาพหากได้รับในช่วงเวลาที่ยาวนาน ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ไปใช้ มีดังต่อไปนี้

1) การนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ คือ กาบมะพร้าวสับ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกรองในการบำบัดกลิ่นได้ นอกจากนั้นอาจจำเป็นต้องเพิ่มจุลินทรีย์ โดยนำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียมาเป็นส่วนผสมในตัวกรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ

2) ลดก๊าซมลพิษที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ โดยในการศึกษาได้ตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนซึ่งเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นสาเหตุหลักๆที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งพบว่าระบบตัวกรองชีวภาพสามารถบำบัดก๊าซเหล่านี้ได้

3) เกิดการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นภายในฟาร์ม เมื่อลดปัญหากลิ่นจากน้ำเสียลงได้ ข้อพิพาทหรือข้อฟ้องร้องในด้านกลิ่นรบกวนจากชุมชนรอบข้างก็อาจจะไม่เกิดขึ้น และลดความเสี่ยงในด้านปัญหาสุขภาพจากการได้รับกลิ่นของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของพนักงานในฟาร์มสุกร

4) สามารถเลือกสภาวะการเดินระบบจากการศึกษาไปใช้ในการบำบัดกลิ่นจากฟาร์มสุกรได้ ในกรณีที่เป็นฟาร์มขนาดเล็กและมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นใกล้เคียงกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1) เนื่องจากทำการติดตั้งและเดินระบบในพื้นที่จริง ซึ่งเป็นลานโล่ง ไม่มีหลังคา เมื่อสภาวะอากาศภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิของตัวกรองก็มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยและยังส่งผลต่อการเกิดก๊าซในบ่อน้ำเสีย เช่น ในช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์อุณหภูมิภายนอกลดลงอย่างรวดเร็วทำให้วัดก๊าซได้ในค่าความเข้มข้นที่ต่ำ และในวันที่ฝนตก น้ำฝนไหลชะตะกอนในบ่อน้ำเสียและค้างอยู่บนผ้าใบ ทำให้ผ้าใบยุบลงมาติดกับผิวน้ำเสีย ต้องเปิดผ้าใบเพื่อนำน้ำออก ทำให้ช่วงเวลานั้นต้องหยุดทำการหยุดเดินระบบ เมื่อจัดเตรียมอุปกรณ์ให้พร้อมเดินระบบได้จึงทำการเปิดพัดลมดูดอากาศเดินระบบใหม่

2) สำหรับการคลุมบ่อน้ำเสียใช้ผ้าใบในการปิดคลุมเมื่อมีกระแสลมแรงพัดมาทำให้มีผลต่อความเร็วรอบของใบพัด สังเกตได้จากค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ให้กับพัดลมดูดอากาศไม่นิ่ง ซึ่งอาจทำให้อัตราการดูดอากาศไม่คงที่ตามที่ออกแบบไว้

3) กิจกรรมประจำวันของพนักงานในฟาร์มสุกร เช่น การล้างโรงเรือนสุกรในช่วงเช้าและตอนเย็นบางช่วงทำให้ท่อระบายน้ำเสียที่บ่อน้ำเสียอุดตัน เนื่องจากเป็นบ่อน้ำเสียบ่อแรกที่รองรับน้ำจากโรงเรือน จึงมีมูลสด เศษอาหาร และระหว่างทางระบายน้ำมีใบไม้ กิ่งไม้ เศษหญ้าปนอยู่ด้วยทำให้ท่อระบายน้ำเสียเกิดการอุดตัน และเกิดการไหลล้นบ่อ จึงต้องเฝ้าระวังไม่ให้ปลายท่อดูดอากาศจุ่มลงไปในน้ำเสีย ต้องทำการเปิดผ้าคลุมบ่อและนำสิ่งปฏิกูลที่อุดตันออก และในการล้างโรงเรือนบางครั้งได้ผสมน้ำยาฆ่าเชื้อโรคในการฉีดล้างโรงเรือน ทำให้ไม่เกิดการหมักและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำให้ในช่วงเวลานั้นวัดความเข้มข้นของก๊าซได้น้อย หรือแทบจะไม่เกิดก๊าซเลย

5.4 ข้อเสนอแนะ

1) วัสดุรองรับตัวกรองเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยไม่ให้ตัวกรองร่วงจากชั้นกรอง ช่วยให้กระจายอากาศได้ดีขึ้น ซึ่งในงานวิจัยไม่มีวัสดุรองรับตัวกรอง มีเพียงตะแกรงและตาข่ายซึ่งทำให้มีตัวกรองหลุดร่วงจากชั้นกรองได้บางส่วน ถ้าหากว่ามีการใช้วัสดุรองรับตัวกรองด้วย อาจทำให้มีการกระจายอากาศได้ดีขึ้น และตัวกรองร่วงหล่นน้อยลง

2) ในการให้ความชื้นระบบอาจใช้หัวสเปรย์พ่นละอองน้ำ หรือสปริงเกอร์ เพื่อให้น้ำกระจายได้ทั่วพื้นที่หน้าตัดของตัวกรองได้ดีขึ้น เนื่องจากได้ใช้แบบหยดน้ำจากรูเจาะสายยางพบว่าบริเวณขอบๆและมุมของพื้นที่หน้าตัดชั้นกรองได้รับน้ำไม่ทั่วถึง แต่อย่างไรก็ตามค่าความชื้นก็ยังอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตได้

3) ควรติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วลมในท่อหรืออุปกรณ์วัดแรงดัน เพื่อที่จะสามารถคำนวณแรงดันลดในระบบได้

4) ศึกษาสภาวะต่างๆรวมทั้งกลไกการบำบัดและการเสื่อมสภาพของระบบกรองชีวภาพในระยะเวลานาน เนื่องจากการศึกษานี้ทำการทดลองในระยะเวลาสั้นๆ ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการบำบัดกับระยะเวลาที่เดินระบบที่ 14 วัน ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นได้ จึงไม่สามารถระบุระยะเวลาการเดินระบบที่เข้าสู่สภาวะสมดุลได้ และยังไม่สามารถระบุอายุการใช้งานของกรองตัวกรองชีวภาพได้

5) ศึกษาการนำระบบกรองชีวภาพไปใช้บำบัดก๊าซมลพิษชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ ได้แก่ สารประเภทอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เบนซีน โทลูอีน เอททิลเบนซีน เบนซีน สไตรีนและ

สารประกอบซัลเฟอร์ เป็นต้น ซึ่งอาจมีการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ หรือคัดพันธุ์จุลินทรีย์ให้ปรับสภาพและมีความจำเพาะเจาะลงกับสารมลพิษที่จะบำบัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้ดีขึ้น

6) เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของสุกร และอาจส่งผลต่อสุขภาพของคนงานที่ปฏิบัติงานในโรงเรือนได้ ดังนั้นควรมีศึกษาการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากโรงเรือนสุกร เพื่อหาค่าที่สามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบการบำบัดกลิ่นโดยระบบกรองชีวภาพสำหรับฟาร์มสุกรที่มีโรงเรือนขนาดใหญ่ขึ้นได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กรมปศุสัตว์ .**สารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ** (online). Available URL: http://www.dld.go.th/ict/th/images/stories/planning/2556/meeting/present_1.pdf

กรมควบคุมมลพิษ. (2553). **คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : บริษัทจิรังรัชต์

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). **คู่มือเกณฑ์ปฏิบัติในการจัดการและควบคุมกลิ่นจากฟาร์มสุกร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ.

กรมควบคุมมลพิษ. **ฐานความรู้การจัดการกลิ่น** (online). Available URL: http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/demo.htm

เกริก วงศ์สอนธรรม. (2549). **การบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนเบนซีนโดยการกรองชีวภาพด้วยตัวกลางกรองเศษวัสดุเกษตรกรรม วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะสัตวแพทยศาสตร์ สมาคมสัตวแพทย์ควบคุมฟาร์มสุกรไทย.(2013) “มาตรฐานฟาร์มสุกร” (online). Available URL: http://tsva.or.th/?page_id=115

ชวลิตร ชีวเกตุ (2549). **ประสิทธิภาพของระบบถังกรองชีวภาพในการลดระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยจากถังเก็บ LIGHT CRACKER BOTTOM วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต** มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพ

ชาตรี อิณชิต (2546). **ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนด้วยสไต-รีนโมโนเมอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐพล รัตนมุขย์. (2549). **การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนโดยเครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ

ตรองรัก บุญเติม และ จุลชาติ จุลเพชร. (2557). **คุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในจังหวัดพังงาระหว่างปี 2548-2552** .สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ .(online). Available URL: http://certify.dld.go.th /th/index.php/en/component/content/category/101-2013-10-06-13-50-49

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. (2551). **การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมในภาคปศุสัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ : ทิพเนตรร์การพิมพ์

นพภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงพันธ์ ลิมปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และ วราวุธ เสือดี. (2550). **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. **ปัญหามลภาวะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และการบำบัด** (online). AvailableURL:http://teenet.cmu.ac.th/btc/farmpollution04.php

สราวุธ หาญทะนง. (2543). **ประสิทธิภาพการบำบัดไปของเบนซีนและโทลูอีนด้วยเครื่องกรองอากาศชีวภาพ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพ

สุนีย์ สุทีปธรรม และ พิทักษ์ ศิริวงศ์. (2556). “เส้นทางสีเขียว : รูปแบบ กระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมและความรับผิดชอบต่อสังคมภายในฟาร์มสุกรกาญจนบุรีในเครือบริษัทเจริญโภคภัณฑ์ จำกะ (มหาชน)” . **Veridian E-Journal**,6, 3 (กันยายน – ธันวาคม) 2556. 794:804

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (2553). **คู่มือวิชาการ เรื่องการควบคุมและการจัดการปัญหาเหตุรำคาญ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : สำนักงานกิจการ โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก

เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร. (2551). **ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ

อลิสา วังใน. (2553). **การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรอุมา ศักดิ์เศรษฐ์. (2547). **ระบบการกำจัดกลิ่นจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการกรองแบบชีวภาพ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม** มหาวิทยาลัย มหิดล กรุงเทพ

สถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม. (2552). **ข่าวสารสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.** ฉบับที่ 50/2552 (online). Available URL: http://www.gsei.or.th/new38.php

สำนักนโยบายและแผนทรัพยากระรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2558).ข่าวสิ่งแวดล้อม. **“ภูเก็ตเร่งแก้ปัญหาชาวบ้านร้องเรียนเหม็นขี้หมู”** (online). Available URL**:** http://www.onep.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=11478:24--2558-&catid=72:2010-10-08-06-35-05&Itemid=266

สำนักข่าวกรมประชาสัมพันธ์. (2557).”**ผู้ว่าฯสิงบุรีนำทีมตรวจสอบฟาร์มเลี้ยงหมูหลังชาวบ้านสุดทนร้องเรียนศูนย์ดำรงธรรม ไม่ได้รับการแก้ไขปัญหามากว่า 5 ปี”** (online). Available URL: http://thainews.prd.go.th/CenterWeb/News/NewsDetail?NT01_NewsID=TNSOC5711240010020

Akdeniz, N., Janni, K.A., Salnikov, I.A. (2011). **Biofiter performance of pine nuggets and lava rock as media.** Bioresource Technoogyl. 102, 4974-4980.

Adler S.P**,2001. Biofiltration a primer.** Center for Waste Reduction Technologies. (On-line) . Available. http://www.d.umn.edu/~rdavis/courses/che4601/notes/biofiltration.pdf

Cetinkaya, B., Sahlin, R.K., Abma, W.R., Dijkman, H., Mayer, S.F., Kampter, S.M. (2000). **Control FCC Flu-gas emission**. Hyrocarb Process 79, 55–62

Chen, X., Stewart, P.S. (2000). **Biofilm removal caused by chemical treatments**. Water Research 34, 4229–4233.

Cox, H.H.J., Deshusses, M.A. (1998). **Biological waste air treatment in biotrickling filters**. Current Opinion in Biotechnology 9, 256–262.

Dumont. E, Hamon.L, Lagade.s, Landrain.P, Landrain.B, Andrès.Y. (2014) . **NH_3 biofiltration of piggery air.** Journal of Environmental Management 140 (2014) 26-32

Devinny, S., Deshusses, A., and Wester, S. **Biofiltration for air pollution control.** New York : Lewis Punlisher, 1999.

Hartung, E., Jungbluth, T., Büscher, W. (2001). **Reduction of ammonia and odor emissions from a piggery with biofilters.** Trans. ASABE 44, 113-118

J.S. Devinny, M.A. Deshusses, T.S. Webster, **Biofiltration for AirPollution Control**, Lewis Publishers, New York, 1999.

Karl B . Schnelle and Charles A . Brown. (2001). **Air Pollution Control Technology handbook.** ISBN 0-8493-9588-7, CRC PRESS, USA.

Kenneth c. schifftner. (2002). **Air Pollution Control Equipment Selection Guide.** ISBN 1-58716-069-2, Lewis publishers, USA.

Kafle, G. K., Chen, L., Neibling, H., and He, B. B. (2015), **Field evaluation of wood bark-based down-flow biofilters for mitigation of odor, ammunia, and hydrogen sulfide emissions from confined swine nursery barns**, J. of Environmental Management, 147 :64 – 174.

Kim, J.H., Rene, E,R., and Park, H,S. (2008). **Biological oxidation of hydrogen sulfide under steady and transient state conditions in an immobilized cell biofilter**, Bioresource Technology.99 : 583-588

Lu, C., Lin, M.-R., Chu, C. (2002). **Effects of pH, moisture, and flow pattern on tricklebed air biofilter performance for BTEX removal**. Advance Environmental Research 6, 99–106.

Lim, T., Jin, Y., Ni, J. and Herber, A.J. (2012). **Field evaluation of biofilters in reducing aerial pollutant emissions from a commercial pig finishing building** . Biosystem Engineering .112 : 102-201

Neslihan Akdeniz., Kevin A. Janni .,and Ilya A. Salnikov. (2011). **Biofilter performance of pine nuggets and lava rock as media.** Bioresource Technology. 102 : 4974–4980**.**

Nicolai, R. E., Hoff, S. J., & Stenglein, R. M. (2011). **Air Quality Education in Animal Agriculturea: Biofilters for Odor and Air Pollution Mitigation in Animal Agriculture**, Agricultural and Biosystems Engineering Extension and Outreach Publications.Book 3 [On- line] . Available:hytp: //lib.dr.iastate.edu/ cgi/viewcontent . cgi?article =1002&context=abe_eng_extensionpubs.

Omri, I., Bouallagui, H., Aouidi, F., Godon, J.-J., Hamdi, M. (2013) .**Performance study of bifilter developed to treat H_2S from wastewater odour**. Saudi Journal of Biological Sciences 20 : 169-176.

Oh, Y.S., Bartha, R., 1997. **Removal of nitrobenzene vapors by a trickling air biofilter**. Journal of Industrial Microbiology Biotechnology 18, 293–296.

Paul Mac Bertheoux and Linfied C. Brown . (2002). **Statistics for Environmental Engineers**, 2nd ed., Lewis Publishers, New York, 2002.

Sandeep M., Balendu G., Kiran P., Dewanand S., Rashmi D., Praveena B., Ram P., Asha J, and Atul Vaidya. (2010). **Bioreactors for treatment of VOCs and odours – A review** . Journal of Environmental Management 91 : 1039–1054

Schmidt, D., Jacobson, L., & Nicolai, R. (2004). **Biofilter design information. University of Minnesota** [On-line]. Available: http://www.extension.umn.edu/agriculture/manure-management-and-air - quality/air-quality/biofilter-design-information/.

Sheridan, B., Curran, T., Dodd, V., Colligan, J. (2002). **Biofiltration of odor and ammonia from a pig unit-a pilot -scale study**. Biosys. Eng. 82, 441-453.

Tsang Fui Fyi**. (**2008). **A novel biofiltration technology for odour treatment**. Doctor thesis. The Hong Kong Polytechnic University.

V. Blanes-Vidal, M. Guardia, X.R. Dai, E.S. Nadimi. (2012). **Emissions of NH_3,CO_2 and H_2S from swine wastewater during and after acidification treatment : Effect of pH, mixing and aeration** .Atmospheric. Environment, 115: 147-154

Yasuda, T., Kuroda, K., Fukumoto, Y., Hanajima, D., Suzuki, K. (2009). **Evaluation of full-scale biofilter with rockwool mixture treating ammonia gas from livestock manure composting**. Bioresour. Technol, ,100: 1568-1572.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในระบบตัวกรองชีวภาพแบบถาด

ตารางที่ ก.1 ค่า pH ในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ

	วัน	pH								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 1	1	6.75	6.73	6.74	6.59	6.60	6.60	6.53	6.45	6.49
	2	6.77	6.70	6.73	6.59	6.53	6.56	6.50	6.44	6.47
	3	6.81	6.68	6.75	6.63	6.53	6.58	6.47	6.43	6.45
	4	6.81	6.73	6.77	6.66	6.58	6.62	6.52	6.37	6.44
	5	6.88	6.81	6.84	6.76	6.59	6.68	6.59	6.38	6.48
	6	6.81	6.75	6.78	6.58	6.50	6.54	6.49	6.48	6.48
	7	6.92	6.83	6.87	6.69	6.56	6.63	6.56	6.45	6.50
	8	6.79	6.76	6.78	6.49	6.52	6.50	6.43	6.40	6.41
	9	6.77	6.71	6.74	6.47	6.37	6.42	6.50	6.58	6.54
	10	6.55	6.60	6.58	6.35	6.32	6.33	6.30	6.33	6.32
	11	6.44	6.43	6.44	6.18	6.23	6.21	6.16	6.23	6.20
	12	6.42	6.53	6.48	6.26	6.33	6.29	6.23	6.22	6.23
	13	6.49	6.44	6.47	6.22	6.24	6.23	6.13	6.20	6.16
	14	6.50	6.46	6.48	6.27	6.35	6.31	6.19	6.23	6.21
สภาวะที่ 2	1	6.74	6.70	6.72	6.34	6.36	6.35	6.19	6.23	6.21
	2	6.66	6.60	6.63	6.39	6.31	6.35	6.23	6.28	6.25
	3	6.48	6.43	6.45	6.27	5.95	6.11	6.20	6.21	6.20
	4	6.44	6.55	6.49	6.15	6.18	6.17	6.13	6.10	6.12
	5	6.41	6.57	6.49	6.12	6.26	6.19	6.18	6.20	6.19
	6	6.43	6.51	6.47	6.16	6.18	6.17	6.05	6.13	6.09
	7	6.38	6.56	6.47	6.19	6.39	6.29	6.01	6.26	6.13
	8	6.50	6.52	6.51	6.27	6.31	6.29	6.18	6.26	6.22
	9	6.53	6.57	6.55	6.32	6.38	6.35	6.25	6.33	6.29
	10	6.49	6.50	6.50	6.32	6.33	6.33	6.28	6.23	6.25
	11	6.47	6.51	6.49	6.36	6.41	6.38	6.29	6.33	6.31
	12	6.46	6.54	6.50	6.31	6.45	6.38	6.19	6.41	6.30
	13	6.50	6.45	6.47	6.32	6.32	6.32	6.33	6.26	6.30
	14	6.55	6.51	6.53	6.26	6.36	6.31	6.30	6.34	6.32

ตารางที่ ก.1 ค่า pH ในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ (ต่อ)

	วัน	pH								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 3	1	6.62	6.48	6.55	5.98	5.76	5.87	5.82	5.98	5.90
	2	6.63	6.51	6.57	5.88	5.93	5.90	5.83	6.88	6.36
	3	6.48	6.40	6.44	5.89	5.87	5.88	5.93	6.29	6.11
	4	6.43	6.48	6.45	5.88	5.93	5.91	5.73	5.90	5.82
	5	6.43	6.54	6.49	6.07	6.18	6.12	5.68	6.05	5.87
	6	6.56	6.59	6.58	6.13	6.29	6.21	5.88	6.30	6.09
	7	6.53	6.53	6.53	6.19	6.34	6.27	6.08	6.30	6.19
	8	6.41	6.54	6.48	6.09	6.32	6.20	6.11	6.25	6.18
	9	6.55	6.53	6.54	6.22	6.34	6.28	6.12	6.24	6.18
	10	6.54	6.47	6.50	6.26	6.30	6.28	6.12	6.27	6.19
	11	6.45	6.52	6.48	6.29	6.43	6.36	6.20	6.55	6.38
	12	6.56	6.68	6.62	6.36	6.47	6.41	6.24	6.53	6.39
	13	6.58	6.73	6.65	6.41	6.06	6.24	6.87	6.77	6.82
	14	6.51	6.63	6.57	6.26	6.61	6.43	6.40	7.11	6.75
สภาวะที่ 4	1	6.38	6.61	6.50	5.90	5.97	5.93	5.97	6.14	6.05
	2	6.42	6.68	6.55	6.12	6.25	6.18	5.93	6.27	6.10
	3	6.61	6.53	6.57	6.17	6.15	6.16	5.86	6.28	6.07
	4	6.48	6.48	6.48	5.95	6.21	6.08	5.87	6.12	5.99
	5	6.50	6.49	6.49	5.98	6.23	6.10	5.88	6.45	6.16
	6	6.45	11.35	8.90	6.01	6.24	6.13	5.89	6.25	6.07
	7	6.38	6.48	6.43	6.16	6.23	6.19	6.04	6.30	6.17
	8	6.38	6.48	6.43	6.08	6.23	6.15	5.97	6.30	6.14
	9	6.48	6.46	6.47	6.24	6.03	6.13	6.03	6.30	6.16
	10	6.42	6.48	6.45	6.45	6.19	6.32	6.13	6.23	6.18
	11	6.37	6.43	6.40	6.25	6.30	6.27	6.14	6.27	6.21
	12	6.41	6.47	6.44	6.29	6.34	6.32	6.21	6.31	6.26
	13	6.46	6.45	6.46	6.30	6.38	6.34	6.22	6.39	6.30
	14	6.38	6.44	6.41	6.25	6.30	6.28	6.18	6.28	6.23

ตารางที่ ก.1 ค่า pH ในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ (ต่อ)

	วัน	pH								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 5	1	6.30	6.46	6.38	6.25	6.19	6.22	6.09	6.05	6.07
	2	6.37	6.44	6.41	6.06	6.08	6.07	5.95	6.00	5.98
	3	6.44	6.40	6.42	6.10	6.05	6.08	5.89	5.99	5.94
	4	6.37	6.44	6.40	6.07	6.03	6.05	5.87	5.92	5.89
	5	6.29	6.42	6.35	6.00	6.07	6.04	5.86	6.03	5.95
	6	6.44	6.43	6.44	6.22	6.28	6.25	3.13	3.20	3.17
	7	6.42	6.53	6.48	6.34	6.35	6.35	6.25	6.30	6.28
	8	6.50	6.45	6.48	6.33	6.36	6.35	6.28	6.35	6.32
	9	6.46	6.50	6.48	6.33	6.47	6.40	6.29	6.40	6.35
	10	6.44	6.52	6.48	6.33	6.48	6.41	6.32	6.38	6.35
	11	6.33	6.43	6.38	6.31	6.38	6.35	6.25	6.34	6.30
	12	6.44	6.48	6.46	6.30	6.41	6.36	6.22	6.34	6.28
	13	6.40	6.48	6.44	6.40	6.33	6.37	6.39	6.29	6.34
	14	6.43	6.48	6.46	6.32	6.38	6.35	6.27	6.29	6.28
สภาวะที่ 6	1	6.56	6.45	6.51	6.31	6.31	6.31	6.25	6.10	6.17
	2	6.37	6.44	6.41	6.06	6.08	6.07	5.95	6.00	5.98
	3	6.44	6.40	6.42	6.10	6.05	6.08	5.89	5.99	5.94
	4	6.37	6.44	6.40	6.07	6.03	6.05	5.87	5.92	5.89
	5	6.29	6.42	6.35	6.00	6.07	6.04	5.86	6.03	5.95
	6	6.38	6.43	6.40	5.97	6.02	5.99	5.75	5.96	5.85
	7	6.59	6.57	6.58	6.14	6.27	6.20	5.94	6.16	6.05
	8	6.50	6.49	6.49	6.10	6.21	6.15	6.00	6.10	6.05
	9	6.53	6.47	6.50	6.33	6.35	6.34	6.24	6.23	6.24
	10	6.55	6.53	6.54	6.23	6.33	6.28	6.14	6.28	6.21
	11	6.54	6.53	6.53	6.42	6.35	6.38	6.33	6.23	6.28
	12	6.47	6.46	6.46	6.30	6.32	6.31	6.27	6.25	6.26
	13	6.50	6.53	6.51	6.30	6.40	6.35	6.20	6.36	6.28
	14	6.45	6.48	6.47	6.24	6.30	6.27	6.13	6.19	6.16

ตารางที่ ก. 2 ค่าความชื้นในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ

	วัน	ความชื้น (ร้อยละ)								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 1	1	79.33	78.33	78.83	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	2	80.00	79.25	79.63	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	3	79.67	79.50	79.58	80.00	80.00	80.00	80.00	79.42	79.71
	4	79.08	78.83	78.96	80.00	80.00	80.00	78.25	78.42	78.33
	5	78.58	74.08	76.33	79.83	79.42	79.63	71.25	71.33	71.29
	6	71.25	78.42	74.83	78.75	79.83	79.29	79.42	79.25	79.33
	7	76.33	78.58	77.46	79.17	79.83	79.50	79.17	78.17	78.67
	8	77.92	77.33	77.63	80.00	79.17	79.58	78.75	70.83	74.79
	9	78.58	80.00	79.29	80.00	80.00	80.00	80.00	76.08	78.04
	10	79.83	80.00	79.92	79.42	80.00	79.71	80.00	77.75	78.88
	11	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	12	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	13	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	14	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
สภาวะที่ 2	1	78.92	80.00	79.46	79.83	80.00	79.92	80.00	80.00	80.00
	2	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	3	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	4	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	5	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	6	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	75.00	77.50
	7	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	8	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	9	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	10	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	11	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	12	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	13	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	14	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก. 2 ค่าความชื้นในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ (ต่อ)

	วัน	ความชื้น (ร้อยละ)								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 3	1	80.00	75.00	77.50	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	2	80.00	80.00	80.00	80.00	78.33	79.17	80.00	37.08	58.54
	3	80.00	80.00	80.00	80.00	78.75	79.38	77.50	65.42	71.46
	4	74.00	80.00	77.00	80.00	80.00	80.00	80.00	75.83	77.92
	5	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	6	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	74.58	77.29
	7	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	75.42	77.71
	8	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	78.75	79.38
	9	80.00	79.58	79.79	80.00	80.00	80.00	80.00	79.17	79.58
	10	80.00	79.58	79.79	80.00	80.00	80.00	80.00	78.33	79.17
	11	80.00	79.58	79.79	80.00	77.92	78.96	80.00	54.83	67.42
	12	79.58	79.58	79.58	80.00	79.58	79.79	80.00	65.00	72.50
	13	80.00	77.92	78.96	80.00	69.17	74.58	80.00	37.50	58.75
	14	80.00	78.33	79.17	80.00	76.92	78.46	80.00	24.17	52.08
สภาวะที่ 4	1	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	2	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	76.25	78.13
	3	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	68.75	74.38
	4	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	77.08	78.54
	5	80.00	79.58	79.79	80.00	78.33	79.17	80.00	69.00	74.50
	6	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	76.25	78.13
	7	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	78.33	67.92	73.13
	8	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	78.75	79.38
	9	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	10	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	11	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	79.17	79.58
	12	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	13	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	14	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก. 2 ค่าความชื้นในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ (ต่อ)

	วัน	ความชื้น (ร้อยละ)								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 5	1	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	2	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	3	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	4	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	5	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	6	79.17	78.85	79.01	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	7	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	8	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	9	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	79.58	78.33	78.96
	10	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	11	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	12	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	13	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	78.33	77.08	77.71
	14	80.00	80.00	80.00	80.00	79.58	79.79	80.00	78.58	79.29
สภาวะที่ 6	1	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	77.08	78.54
	2	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	77.08	78.54
	3	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	4	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	5	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	78.33	79.17
	6	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	7	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	79.17	79.58
	8	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	9	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	79.58	78.33	78.96
	10	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	11	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	12	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	13	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	14	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00

ตารางที่ ก. 3 อุณหภูมิในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ

	วัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 1	1	29.21	32.33	30.77	30.31	31.64	30.98	30.31	30.94	39.58
	2	28.77	32.61	30.69	32.11	33.29	32.70	29.10	31.90	39.20
	3	28.44	31.74	30.09	30.57	32.83	31.70	29.50	31.71	34.70
	4	15.51	16.16	15.84	16.80	17.60	17.20	16.19	16.50	33.80
	5	15.06	16.36	15.71	17.33	18.11	17.72	17.79	17.80	34.86
	6	14.33	20.39	17.36	16.93	22.00	19.46	15.71	18.97	36.18
	7	18.90	23.33	21.11	19.60	24.83	22.21	20.39	23.10	36.46
	8	21.81	26.14	23.98	22.69	25.76	24.22	22.44	25.07	37.34
	9	21.86	27.76	24.81	22.47	27.43	24.95	21.59	28.14	38.20
	10	25.09	28.07	26.58	27.41	29.43	28.42	26.74	28.01	38.45
	11	25.86	29.01	27.44	26.67	29.70	28.19	27.46	29.00	38.41
	12	25.64	28.97	27.31	28.19	28.36	28.27	26.90	28.83	37.72
	13	23.80	24.91	24.36	27.84	25.39	26.61	26.86	24.86	37.18
	14	20.09	25.47	22.78	23.21	26.04	24.63	23.29	25.93	35.49
สภาวะที่ 2	1	19.61	21.77	20.69	20.31	19.31	19.81	20.01	20.49	20.25
	2	14.29	22.79	18.54	16.79	22.79	19.79	16.57	22.47	19.52
	3	17.43	24.26	20.84	19.71	24.31	22.01	18.83	24.20	21.51
	4	18.77	24.94	21.86	23.63	24.96	24.29	20.79	24.93	22.86
	5	18.61	26.81	22.71	21.54	26.79	24.16	20.04	27.86	23.95
	6	23.39	27.67	25.53	24.79	27.54	26.16	23.74	28.86	26.30
	7	23.71	26.70	25.21	26.00	26.47	26.24	26.07	26.86	26.46
	8	24.93	27.03	25.98	26.21	26.94	26.58	25.93	27.71	26.82
	9	24.46	26.57	25.51	26.37	26.57	26.47	25.10	28.21	26.66
	10	22.74	27.59	25.16	24.89	27.64	26.26	24.53	29.14	26.84
	11	21.69	26.76	24.22	23.67	27.06	25.36	20.16	28.93	24.54
	12	21.13	26.66	23.89	23.11	26.86	24.99	23.23	29.39	26.31
	13	23.87	27.76	25.81	25.46	27.11	26.29	26.03	29.54	27.79
	14	21.79	27.29	24.54	24.86	27.69	26.27	24.47	29.71	27.09

ตารางที่ ก. 3 อุณหภูมิในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ (ต่อ)

	วัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 3	1	21.69	27.07	24.38	23.50	19.40	21.45	22.14	26.73	24.44
	2	19.53	24.06	21.79	24.79	23.74	24.26	22.67	29.09	25.88
	3	20.29	23.76	22.02	23.66	23.80	23.73	21.93	30.07	26.00
	4	20.49	25.86	23.17	23.23	25.24	24.24	23.29	29.26	26.27
	5	20.83	23.11	21.97	24.33	22.97	23.65	23.80	27.47	25.64
	6	18.90	23.31	21.11	22.00	22.57	22.29	21.43	26.14	23.79
	7	18.96	23.31	21.14	21.14	22.64	21.89	20.96	26.04	23.50
	8	19.64	25.13	22.39	21.46	25.01	23.24	22.01	31.64	26.83
	9	20.77	25.36	23.06	22.79	24.76	23.77	23.07	28.99	26.03
	10	24.30	26.14	25.22	25.14	25.21	25.18	25.64	27.83	26.74
	11	26.11	26.74	26.43	27.54	26.79	27.16	27.26	28.10	27.68
	12	25.74	27.93	26.84	26.77	27.90	27.34	27.07	31.86	29.46
	13	25.90	27.31	26.61	27.64	27.93	27.79	27.26	32.71	29.99
	14	25.50	27.26	26.38	27.61	27.94	27.78	27.20	32.96	30.08
สภาวะที่ 4	1	27.41	27.91	27.66	27.99	28.24	28.11	29.29	30.29	29.79
	2	26.57	27.80	27.19	26.90	27.83	27.36	27.40	30.00	28.70
	3	25.24	28.06	26.65	26.07	28.64	27.36	26.96	32.66	29.81
	4	24.13	28.43	26.28	25.14	29.04	27.09	25.89	31.36	28.62
	5	25.61	29.03	27.32	23.16	29.66	26.41	27.00	34.36	30.68
	6	26.10	28.54	27.32	27.32	29.00	28.16	29.09	31.81	30.45
	7	25.16	27.26	26.21	26.26	27.53	26.89	27.07	28.04	27.56
	8	25.24	27.54	26.39	26.41	28.23	27.32	27.47	30.83	29.15
	9	25.36	27.64	26.50	26.29	28.16	27.22	31.71	30.79	31.25
	10	25.46	27.93	26.69	26.29	28.61	27.45	27.87	31.97	29.92
	11	25.24	28.23	26.74	26.29	28.67	27.48	27.16	30.90	29.03
	12	25.43	28.56	26.99	26.31	29.11	27.71	27.07	31.01	29.04
	13	25.77	28.37	27.07	26.57	29.06	27.81	27.69	30.97	29.33
	14	24.84	29.03	26.94	25.71	29.74	27.73	26.71	31.21	28.96

ตารางที่ ก. 3 อุณหภูมิในแต่ละระดับความลึกของชั้นกรองในแต่ละสภาวะก่อน-หลังการเดินระบบ (ต่อ)

	วัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
		บน			กลาง			ล่าง		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย
สภาวะที่ 5	1	28.43	17.43	22.93	28.17	17.36	22.77	27.33	28.33	27.83
	2	24.21	27.77	25.99	25.33	28.07	26.70	25.73	29.59	27.66
	3	23.57	27.40	25.49	24.71	27.93	26.32	24.99	28.97	26.98
	4	24.57	27.44	26.01	25.61	27.31	26.46	26.39	28.11	27.25
	5	23.79	26.81	25.30	24.99	26.86	25.92	25.24	27.47	26.36
	6	27.16	25.17	26.16	27.80	25.13	26.46	29.04	25.29	27.16
	7	25.93	26.17	26.05	26.37	26.37	26.37	27.53	26.66	27.09
	8	26.04	28.07	27.06	26.76	28.14	27.45	27.91	28.97	28.44
	9	26.80	28.03	27.41	27.79	28.11	27.95	28.34	29.60	28.97
	10	26.14	28.80	27.47	27.19	28.96	28.07	28.11	30.39	29.25
	11	25.84	28.36	27.10	27.09	29.21	28.15	28.00	30.71	29.36
	12	25.47	29.64	27.56	26.51	30.10	28.31	27.43	31.50	29.46
	13	26.60	29.36	27.98	27.36	30.04	28.70	28.11	31.26	29.69
	14	26.67	30.59	28.63	31.87	27.49	29.68	28.36	33.33	30.84
สภาวะที่ 6	1	27.29	29.00	28.14	27.86	29.41	28.64	29.04	30.54	29.79
	2	27.27	29.54	28.41	28.53	30.21	29.37	30.00	31.51	30.76
	3	27.41	28.97	28.19	28.62	29.56	29.09	30.09	30.74	30.41
	4	27.47	32.09	29.78	28.61	29.79	29.20	29.79	33.99	31.89
	5	28.03	29.34	28.69	28.79	29.00	28.89	30.74	30.29	30.51
	6	27.56	29.01	28.29	29.14	29.03	29.09	30.39	30.50	30.44
	7	27.06	30.53	28.79	28.52	30.76	29.64	30.10	32.83	31.46
	8	27.84	27.83	27.84	29.30	28.16	28.73	30.07	28.87	29.47
	9	27.64	31.27	29.46	28.76	31.33	30.04	29.81	31.73	30.77
	10	28.19	30.60	29.39	29.57	30.83	30.20	30.90	31.30	31.10
	11	26.79	31.01	28.90	28.39	27.75	28.07	30.01	32.30	31.16
	12	28.63	30.71	29.67	30.01	32.21	31.11	31.17	32.47	31.82
	13	27.81	30.51	29.16	29.40	31.93	30.66	30.60	33.10	31.85
	14	27.83	32.50	30.16	28.91	33.61	31.26	30.41	34.36	32.39

ตารางที่ ก. 4 การอัดตัวของชั้นกรองก่อนและหลังเดินระบบในแต่ละสภาวะ

วัน	สภาวะ	ค่าการอัดตัว (เซนติเมตร)			สภาวะ	ค่าการอัดตัว (เซนติเมตร)			สภาวะ	ค่าการอัดตัว (เซนติเมตร)		
		ก่อน	หลัง	เฉลี่ย		หลัง	เฉลี่ย	เฉลี่ย		หลัง	เฉลี่ย	เฉลี่ย
1		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
2		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.07	0.08	0.08
3		0.00	0.00	0.00		0.84	1.27	1.05		0.09	0.11	0.10
4		1.47	1.67	1.57		1.68	1.93	1.80		0.18	0.28	0.23
5		1.73	1.90	1.82		2.10	2.49	2.30		0.24	0.28	0.26
6		2.01	2.18	2.10		2.63	2.92	2.77		0.30	0.37	0.33
7	1	2.35	2.47	2.41	3	3.05	3.43	3.24	5	0.41	0.51	0.46
8		2.50	2.63	2.57		3.41	3.72	3.56		0.68	0.77	0.72
9		2.68	2.85	2.77		3.70	3.95	3.83		0.83	1.08	0.96
10		3.50	3.98	3.74		3.78	4.02	3.90		1.12	1.24	1.18
11		4.08	4.26	4.17		4.10	4.33	4.22		1.43	1.62	1.53
12		4.49	4.61	4.55		4.43	4.71	4.57		1.81	1.98	1.89
13		4.80	4.99	4.90		5.03	5.34	5.18		2.05	2.16	2.10
14		5.15	5.42	5.28		5.18	5.53	5.36		2.18	2.43	2.30
1		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
2		0.00	0.00	0.00		0.56	0.63	0.59		0.00	0.00	0.00
3		2.58	2.60	2.59		0.66	0.87	0.77		0.16	0.21	0.18
4		3.05	3.24	3.15		1.03	1.24	1.14		0.25	0.31	0.28
5		3.43	3.73	3.58		1.37	1.59	1.48		0.37	0.40	0.38
6		4.00	4.30	4.15		1.78	2.04	1.91		0.48	0.59	0.54
7	2	4.34	4.57	4.45	4	2.05	2.18	2.12	6	0.80	0.88	0.84
8		4.61	4.78	4.69		2.20	2.33	2.27		0.82	0.97	0.89
9		4.96	4.95	4.95		2.43	2.57	2.50		1.18	1.23	1.20
10		5.08	5.25	5.16		2.61	2.72	2.67		1.31	1.44	1.38
11		5.27	5.38	5.32		2.75	2.85	2.80		1.48	1.54	1.51
12		5.39	5.53	5.46		2.88	3.02	2.95		1.76	1.92	1.84
13		5.50	5.59	5.55		3.08	3.22	3.15		1.97	2.12	2.04
14		6.01	6.05	6.03		3.32	3.57	3.45		2.21	2.27	2.24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก. 5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย

วัน	สภาวะ	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์			ก๊าซแอมโมเนีย		
		เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
1	1	30.00	5.00	81.25	-	-	-
2		30.00	5.00	83.33	-	-	-
3		35.00	5.00	85.42	-	-	-
4		20.00	5.00	75.00	-	-	-
5		25.00	5.00	79.17	-	-	-
6		50.00	5.00	90.00	-	-	-
7		45.00	2.50	95.00	-	-	-
8		45.00	2.50	95.00	7.46	1.48	80.17
9		40.00	2.50	95.83	10.43	2.85	72.87
10		70.00	7.50	89.58	8.66	1.52	82.05
11		65.00	7.50	88.69	3.62	0.97	71.98
12		40.00	2.50	95.00	8.91	1.22	85.25
13		55.00	5.00	90.83	5.10	0.97	78.75
14		40.00	2.50	95.00	7.03	0.90	86.81
1	2	25.00	7.50	70.83	7.50	4.92	34.43
2		35.00	5.00	85.42	15.52	5.08	67.30
3		25.00	2.50	91.67	5.97	2.79	53.18
4		45.00	7.50	83.75	10.13	4.03	60.32
5		35.00	5.00	87.50	7.47	2.59	65.27
6		35.00	7.50	79.17	6.54	2.10	66.33
7		55.00	12.50	77.50	5.02	1.31	77.40
8		70.00	10.00	84.44	-	-	-
9		40.00	5.00	91.67	-	-	-
10		45.00	5.00	90.00	-	-	-
11		60.00	10.00	82.86	-	-	-
12		55.00	7.50	86.61	-	-	-
13		55.00	7.50	86.61	-	-	-
14		45.00	5.00	92.86	-	-	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก. 5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย (ต่อ)

วัน	สภาวะ	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์			ก๊าซแอมโมเนีย		
		เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
1	3	40.00	10.00	73.33	-	-	-
2		45.00	10.00	77.50	-	-	-
3		35.00	7.50	79.17	-	-	-
4		45.00	7.50	83.75	-	-	-
5		40.00	7.50	79.17	-	-	-
6		40.00	7.50	81.67	-	-	-
7		60.00	12.50	79.29	-	-	-
8		40.00	5.00	86.67	4.33	0.94	74.72
9		75.00	15.00	80.56	4.04	0.94	76.64
10		65.00	10.00	84.52	5.29	1.33	74.34
11		50.00	7.50	84.52	6.45	1.71	73.45
12		70.00	12.50	81.67	4.29	1.76	59.00
13		60.00	10.00	82.86	23.03	5.18	77.13
14		50.00	7.50	85.42	8.14	1.65	79.72
1	4	40.00	7.50	79.17	8.89	6.07	27.73
2		40.00	10.00	73.33	6.95	3.85	39.83
3		65.00	10.00	84.52	8.14	3.05	61.13
4		45.00	7.50	83.75	7.96	1.42	82.13
5		55.00	10.00	81.67	5.68	1.01	82.48
6		45.00	10.00	76.79	4.92	1.03	78.96
7		45.00	10.00	77.50	7.78	0.88	88.99
8		50.00	10.00	80.95	-	-	-
9		65.00	12.50	82.64	-	-	-
10		40.00	7.50	79.17	-	-	-
11		50.00	7.50	84.52	-	-	-
12		45.00	7.50	80.36	-	-	-
13		30.00	7.50	75.00	-	-	-
14		75.00	12.50	83.33	-	-	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

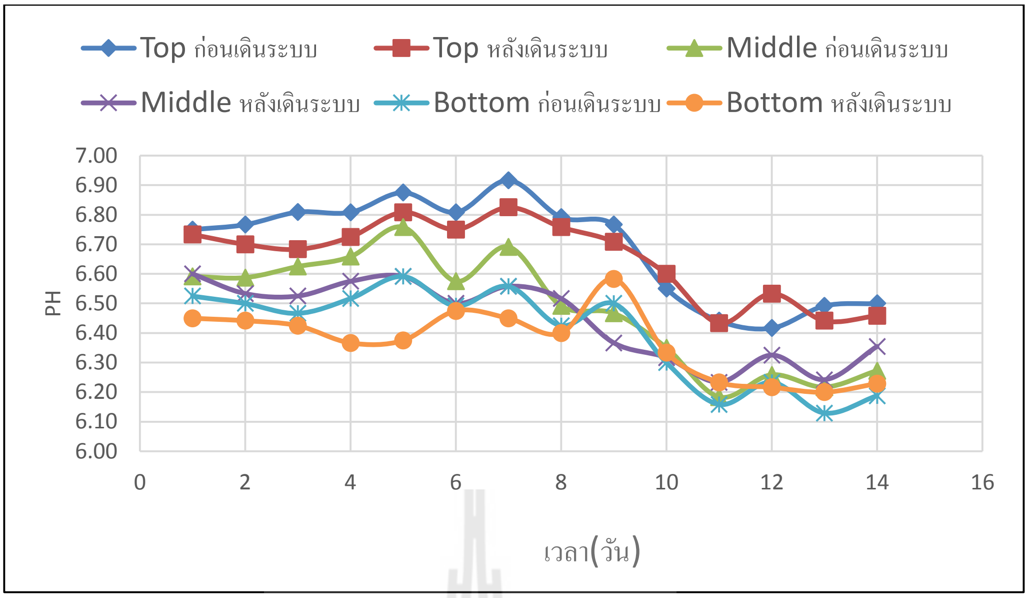
ตารางที่ ก. 5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย (ต่อ)

วัน	สภาวะ	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์			ก๊าซแอมโมเนีย		
		เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	เข้า (ppm)	ออก (ppm)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
1	5	35.00	7.50	79.17	-	-	-
2		35.00	7.50	79.17	-	-	-
3		30.00	7.50	75.00	-	-	-
4		35.00	7.50	79.17	-	-	-
5		40.00	10.00	75.00	-	-	-
6		35.00	10.00	70.83	4.27	1.91	55.18
7		40.00	5.00	86.67	4.95	0.92	81.98
8		35.00	5.00	85.42	7.24	1.33	80.99
9		60.00	12.50	79.29	6.90	1.18	82.61
10		35.00	7.50	79.17	7.04	1.67	76.22
11		55.00	10.00	80.36	7.43	1.11	85.22
12		40.00	7.50	79.17	8.36	1.68	77.41
13		40.00	7.50	81.67	-	-	-
14		55.00	10.00	81.67	-	-	-
1	6	35.00	10.00	70.83	-	-	-
2		45.00	12.50	72.50	12.48	4.34	65.26
3		45.00	10.00	77.50	4.11	2.64	32.35
4		45.00	12.50	72.50	4.51	1.86	45.22
5		50.00	12.50	75.00	3.86	1.41	61.59
6		55.00	10.00	83.04	4.02	1.42	64.84
7		70.00	15.00	77.50	3.85	1.26	50.81
8		50.00	10.00	81.25	5.68	1.09	75.61
9		65.00	12.50	79.17	-	-	-
10		40.00	7.50	81.67	-	-	-
11		45.00	10.00	77.50	-	-	-
12		70.00	12.50	82.29	-	-	-
13		55.00	10.00	82.29	-	-	-
14		45.00	7.50	83.75	-	-	-

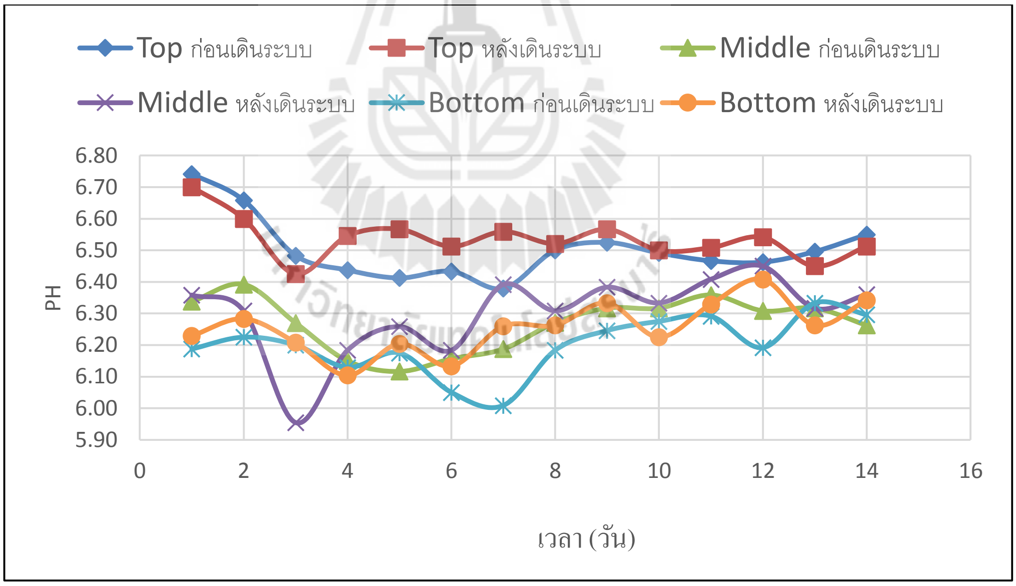
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

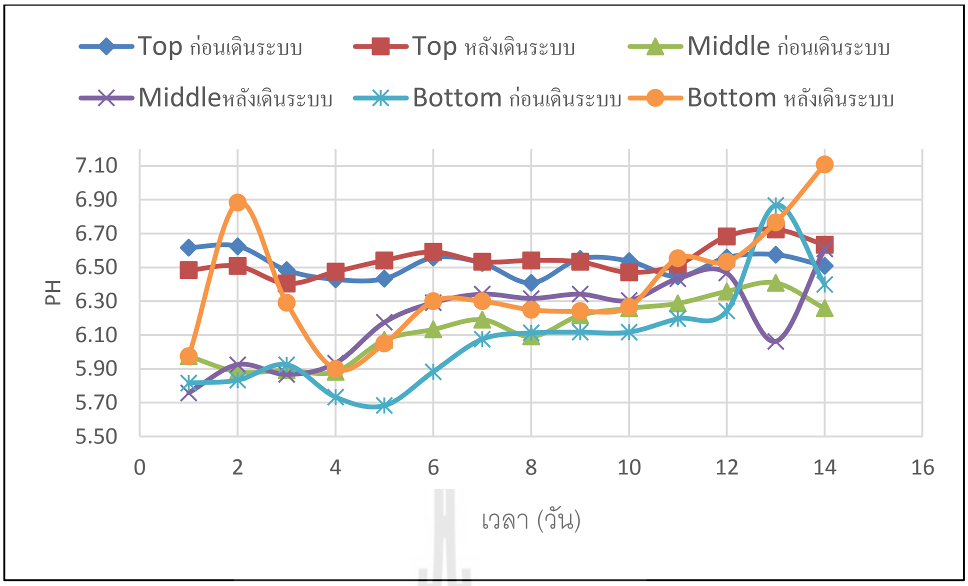
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับระยะเวลาการเดินระบบ



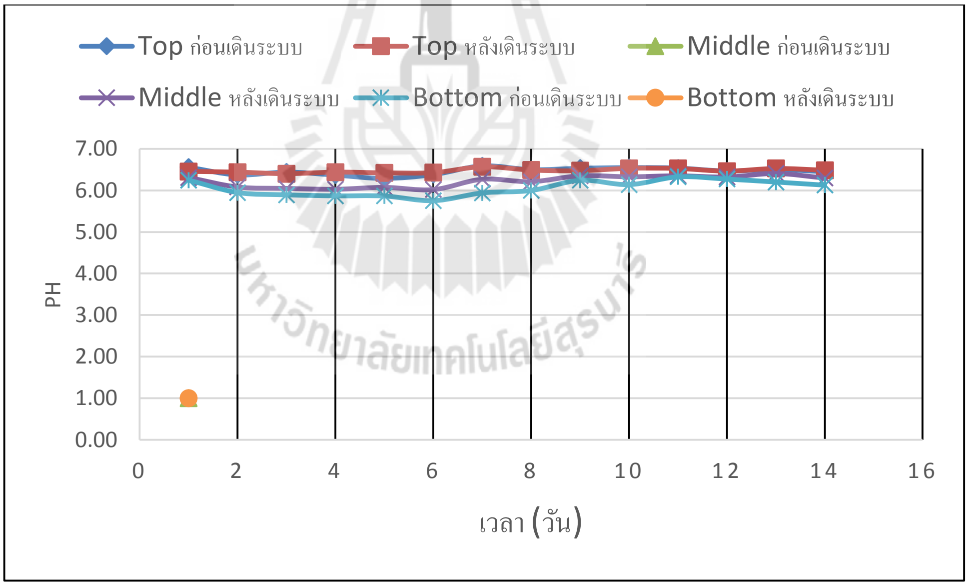
รูปที่ ข 1. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่1



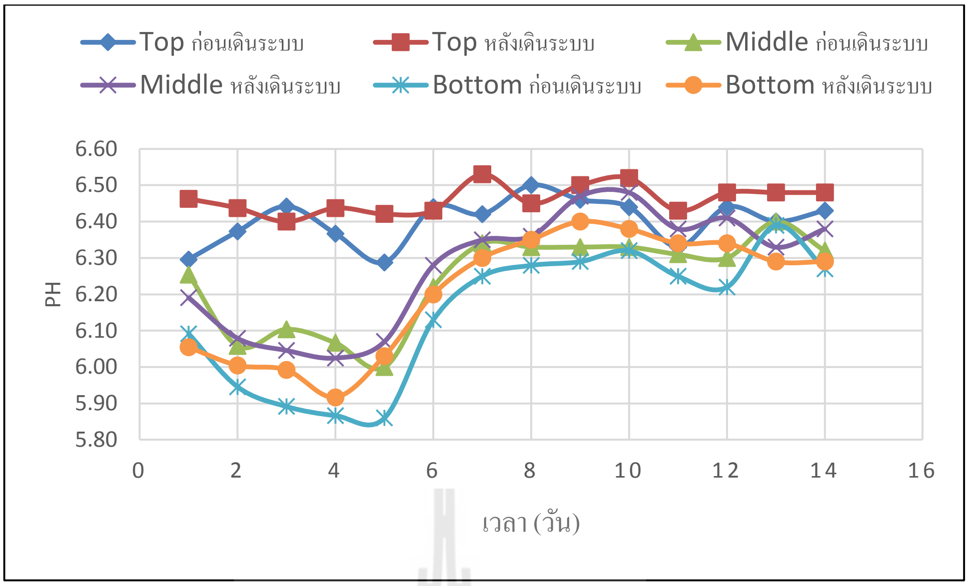
รูปที่ ข 2. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 2



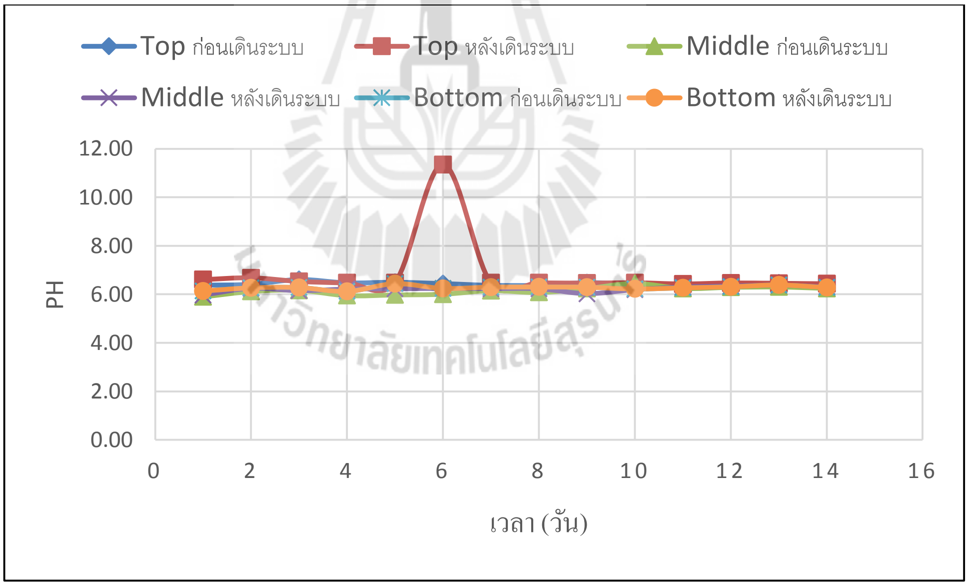
รูปที่ ข 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 3



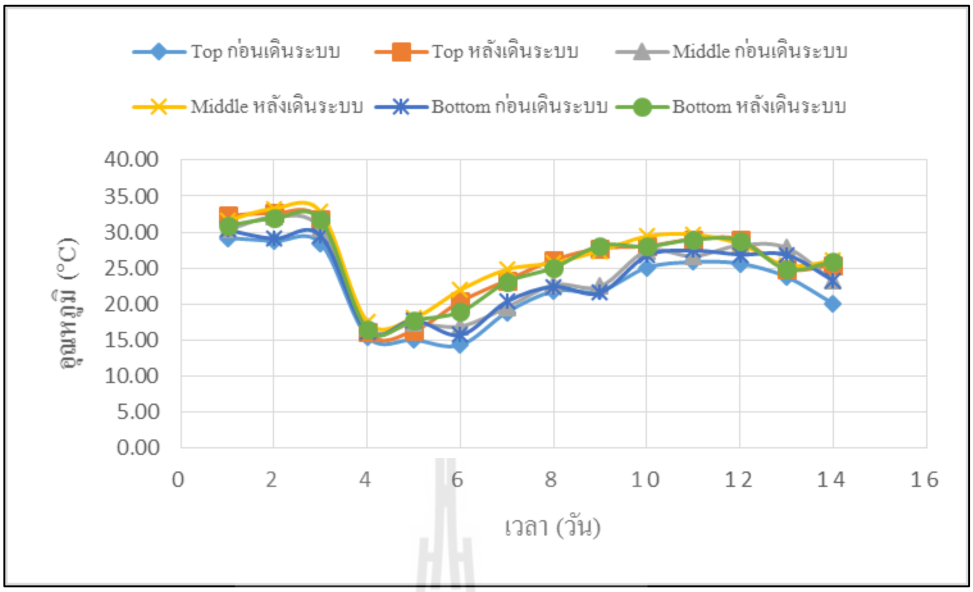
รูปที่ ข 4. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 4



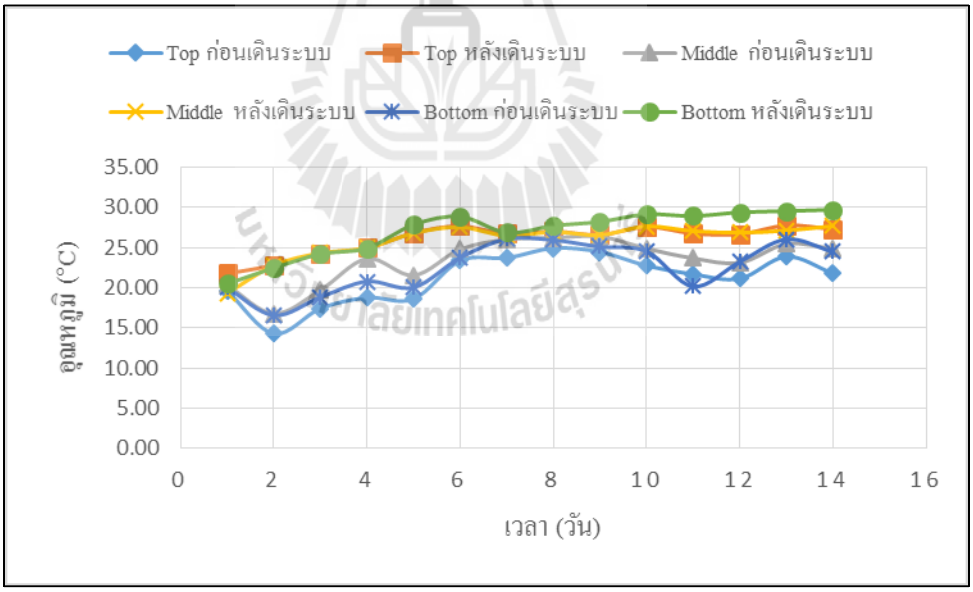
รูปที่ ข 5. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 5



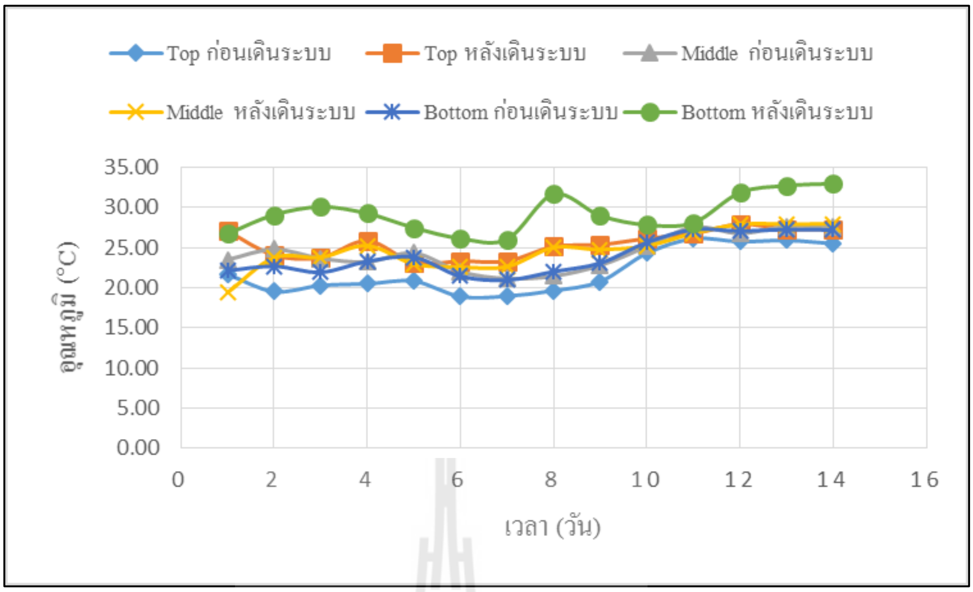
รูปที่ ข 6. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 6



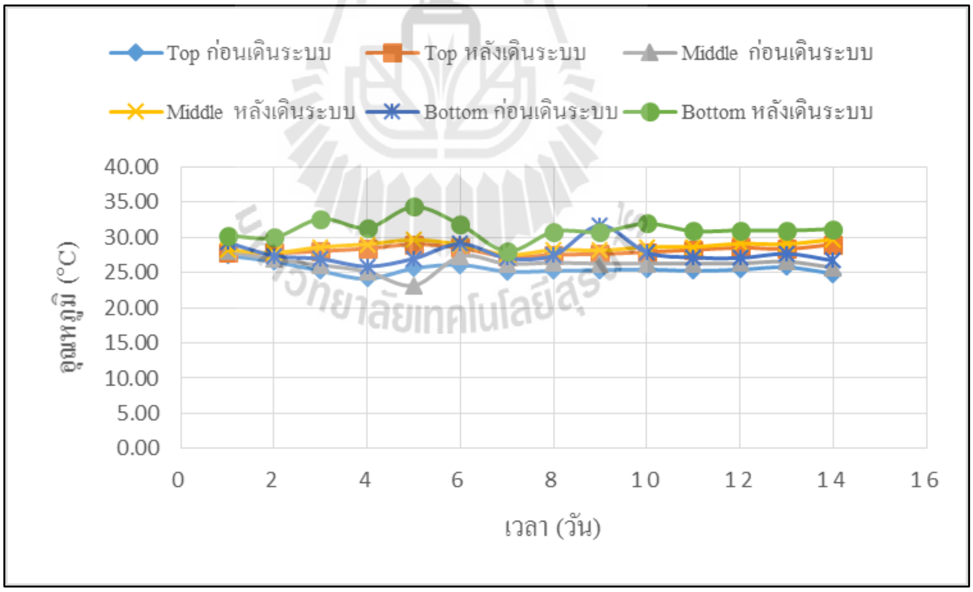
รูปที่ ข 7. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 1



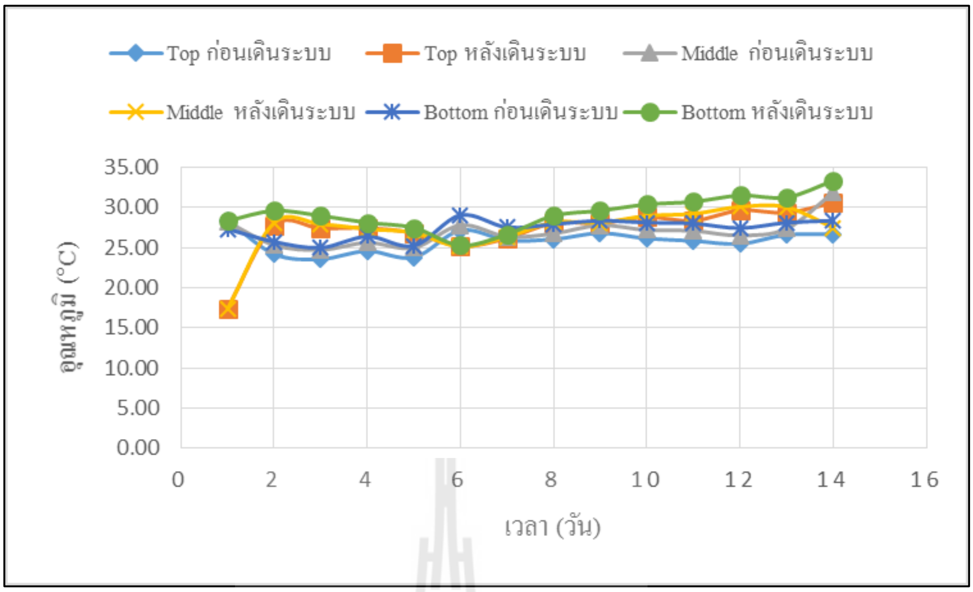
รูปที่ ข 8. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 2



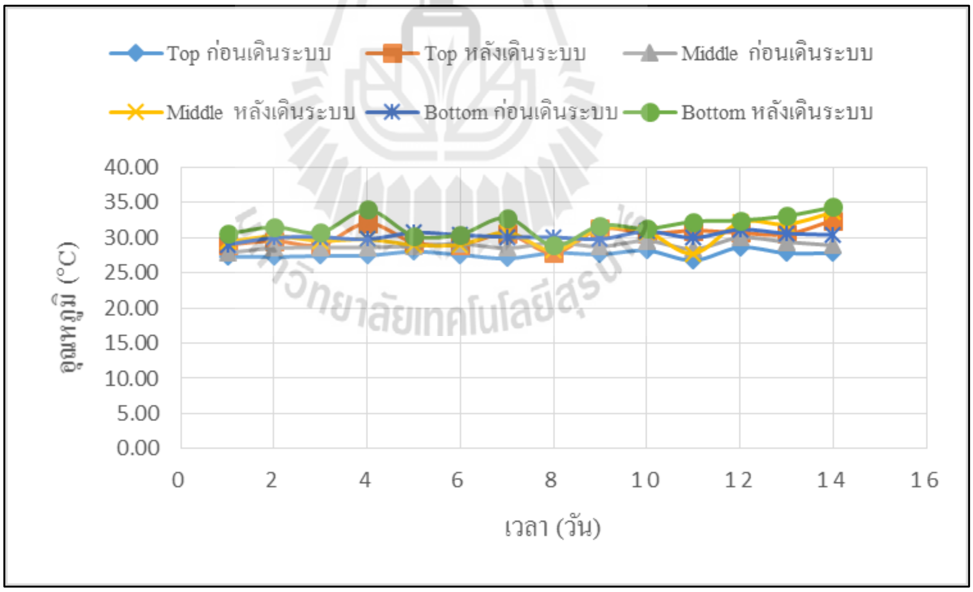
รูปที่ ข 9. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 3



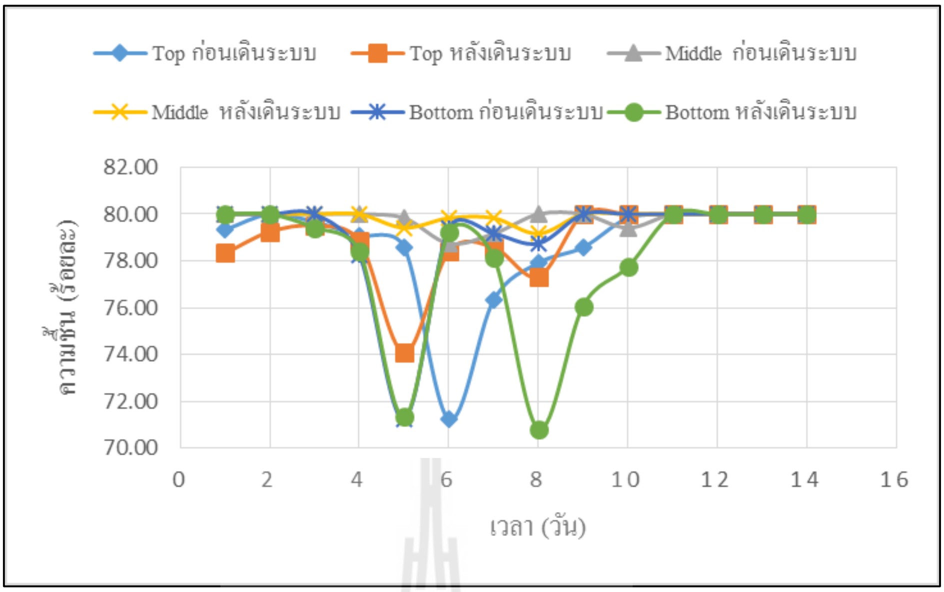
รูปที่ ข 10. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 4



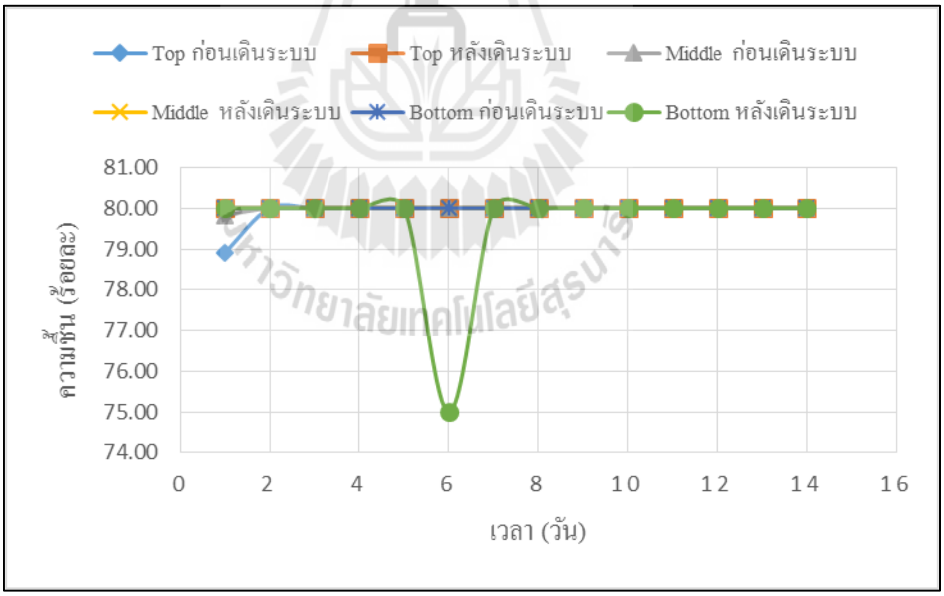
รูปที่ ข 11. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 5



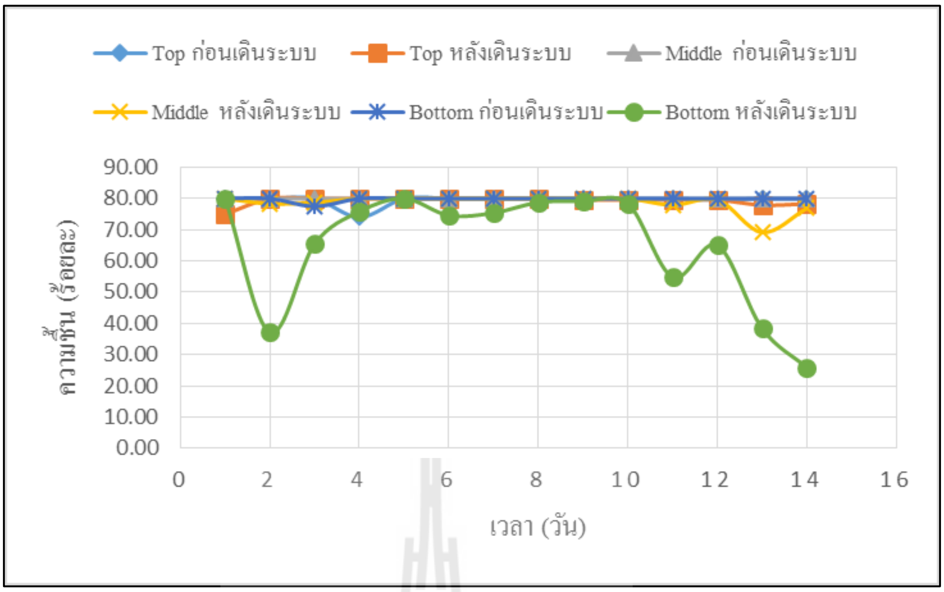
รูปที่ ข 12. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 6



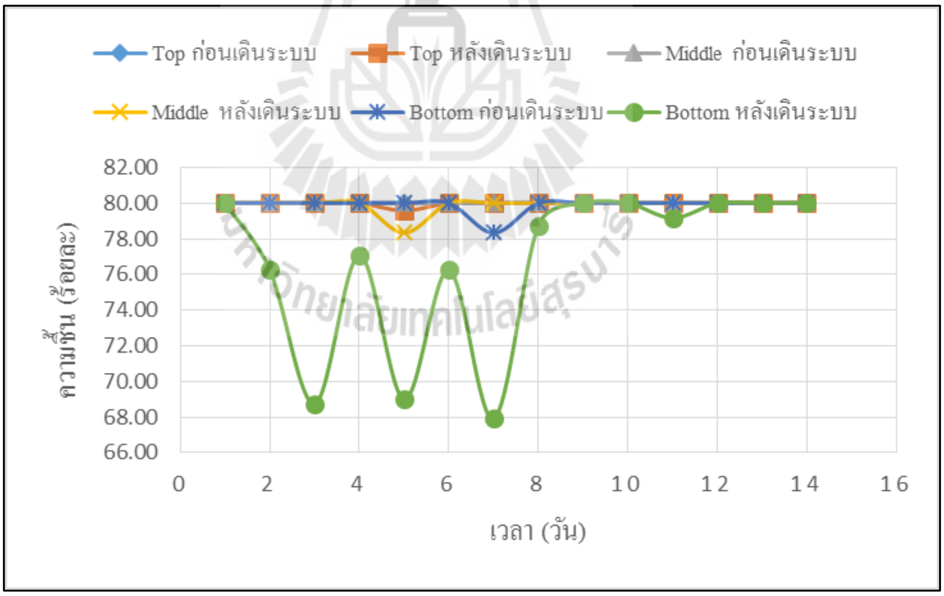
รูปที่ ข 13. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 1



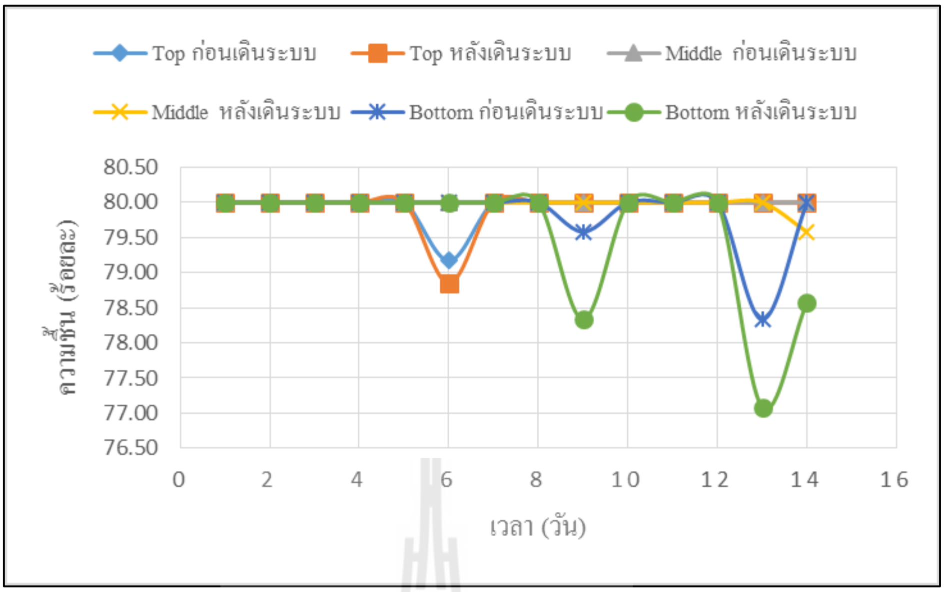
รูปที่ ข 14. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 2



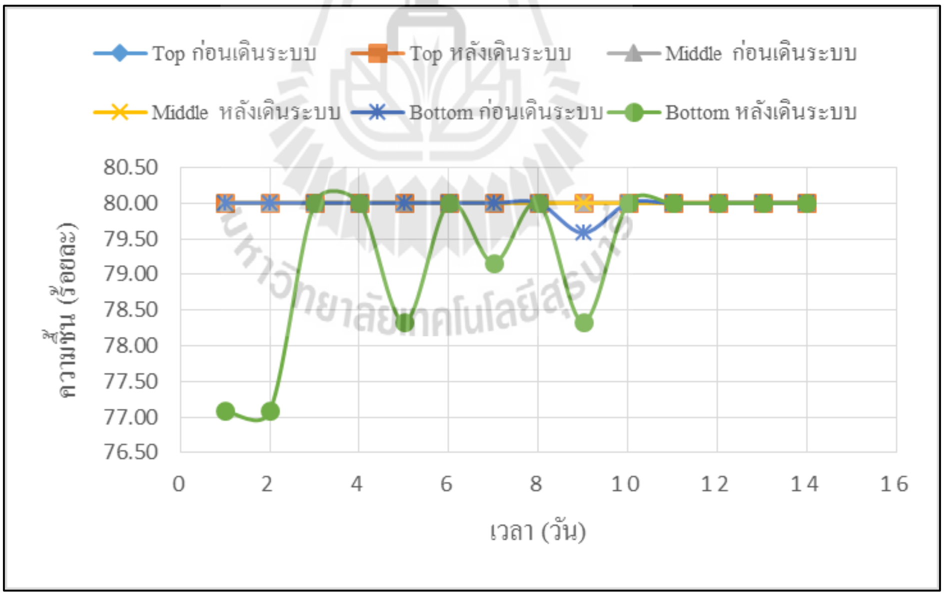
รูปที่ ข 15. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 3



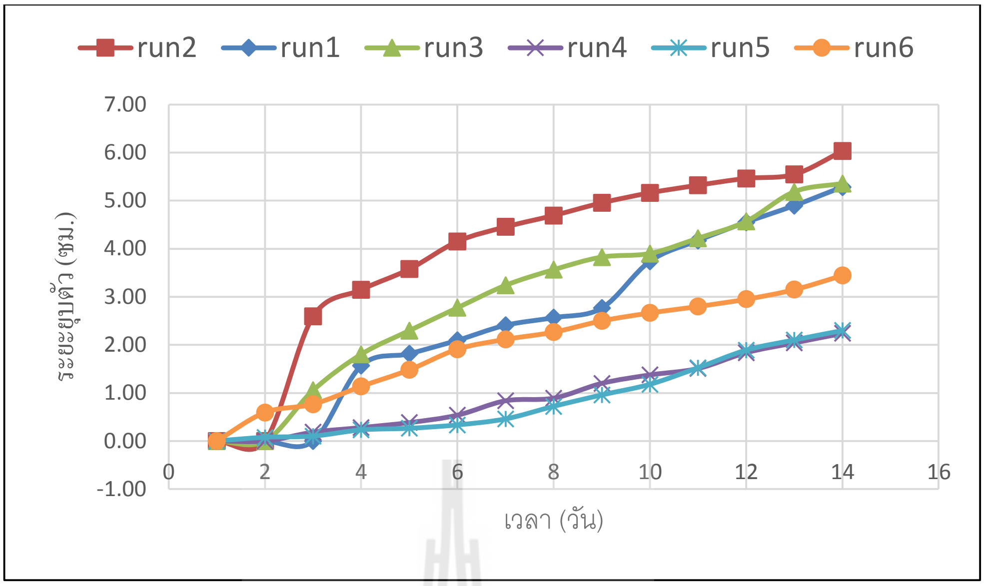
รูปที่ ข 16. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 4



รูปที่ ข 17. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 5



รูปที่ ข 18. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 6



รูปที่ ข 19. ความสัมพันธ์ระยะยุบตัวของชั้นกรองกับระยะเวลาการเดินของสภาวะที่ 6

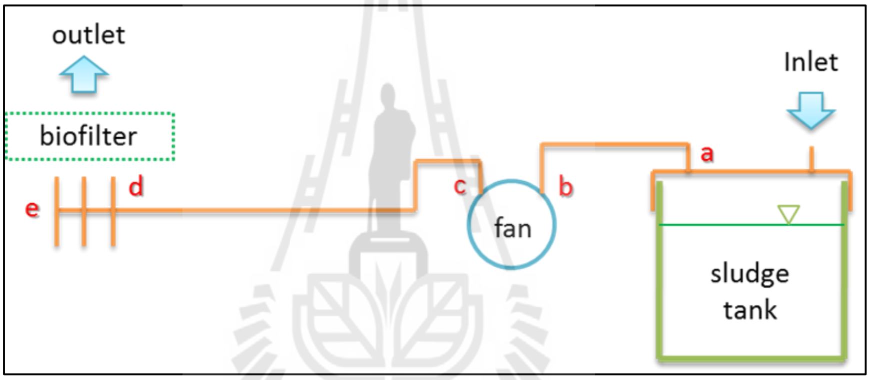
ภาคผนวก ค

รายการคำนวณการออกแบบระบบท่อและพัดลมดูดอากาศ

การคำนวณความดันสถิตของพัดลม โดยวิธี Equal Friction Method

การคำนวณหาแรงเสียดทานของทั้งระบบ ใช้วิธีความเสียดทานเท่ากัน (Equal Friction Method) หลักการของวิธีนี้คือ ให้ความสูญเสียความเสียดทานต่อฟุต ความยาวเท่ากันหมดตลอดทั้งระบบ (กำหนดให้ทุกๆจุดของท่อลมมีค่า Friction loss เท่ากันหมดทุกตัว) เป็นวิธีที่นิยมใช้มาก เพราะง่ายและวิธีการไม่ซับซ้อนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทราบอัตราการไหลของก๊าซและความเร็วของก๊าซที่ต้องการ
2. หาขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ
3. หา Friction loss โดยการลากเส้นตัดกันในกราฟ Friction loss โดยอัตราการไหลอากาศ 212 CFM และท่อขนาด 4 inch ดังนั้น Friction loss = 2.5 in.WG/100 ft.



รูปที่ ค 1. เส้นทางท่อลำเลียงอากาศ

1. คำนวณความสูญเสียที่ ท่อช่วง a-b (ด้านดูด)

ความยาว 3.5 ft, $\emptyset = 4''$, Friction loss = 2.5 in.WG/100 ft.

$$\text{Friction} = \left(\frac{2.5 \text{ in.WG} \times 3.5 \text{ ft}}{100 \text{ ft}}\right)$$

$$= 0.0875 \text{ in.WG.}$$

$$\approx 0.10 \text{ in.WG.}$$

2. คำนวณความสูญเสียที่ ท่อช่วง C-D (ด้านจ่าย)

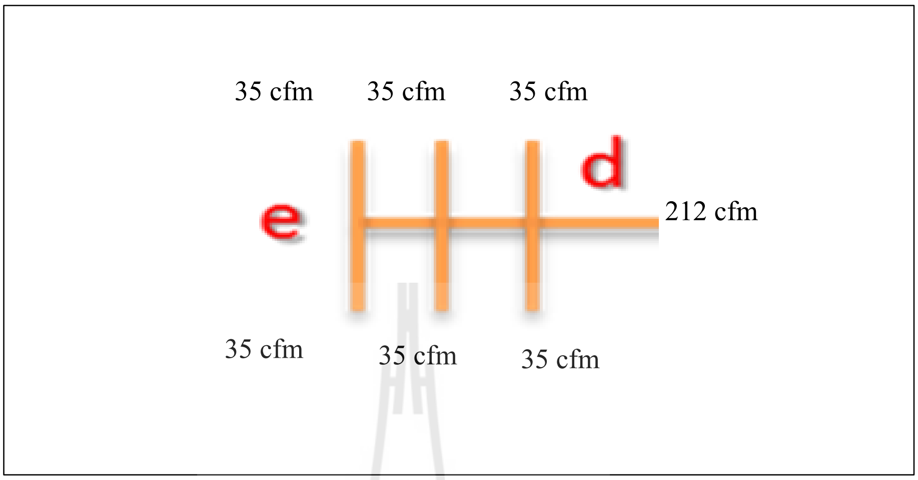
ความยาว 17 ft, $\emptyset = 4''$, Friction loss = 2.5 in.WG/100 ft.

$$\text{Friction} = \left(\frac{2.5 \text{ in.WG} \times 17 \text{ ft}}{100 \text{ ft}}\right)$$

$$= 0.425 \text{ in.WG.}$$

$$\approx 0.45 \text{ in.WG.}$$

3. **คำนวณความสูญเสียที่ท่อแยกปลายช่วง D-E (ด้านจ่าย)** เนื่องจากหาความสูญเสียโดยวิธีความเสียดทานเท่ากัน ดังนั้นตรงท่อแยกทั้งหมด จะมีความเร็วในท่อแยก = 212 cfm/6 ดังรูป



รูปที่ ค 2. ความเร็วในท่อกระจายอากาศและท่อลำเลียงอากาศ

จากกราฟ Friction loss เมื่อลากเส้นที่ ความเร็ว 35 cfm ไปยังจุดFriction loss = 2.5 in.WG/100 ft. จะได้ขนาดท่อลดลงจาก 4 inch เป็น 2.5 inch

$$\text{Friction} = \left(\frac{2.5\ \text{in.WG} \times 0.7\ \text{ft}}{100\ \text{ft}}\right) \times 6$$

$$= 0.105\ \text{in.WG.}$$

$$\approx 0.11\ \text{in.WG}$$

4. **คำนวณความสูญเสียที่ชั้นกรอง** จากข้อมูลของ Lim et al. (2012) ความหนาของชั้นกรอง 0.254 m มีความดันสูญเสีย 57.2 Pa

$$\therefore \quad \text{คสส.ชั้นกรอง (ต่อเมตร)} = \frac{57.2\ \text{Pa}}{0.254\ \text{m}} = \frac{225.2\ \text{Pa}}{\text{m}}$$

$$= \frac{225.2\text{Pa}}{\text{m}} \times \frac{1\text{in.WG}}{249\ \text{Pa}}$$

$$= \frac{0.904\ \text{in.WG}}{\text{m}}$$

$$\therefore \quad \text{คสส.ชั้นกรอง 0.30 m} = 0.3\ \text{m} \times \frac{0.904\ \text{in.WG}}{\text{m}}$$

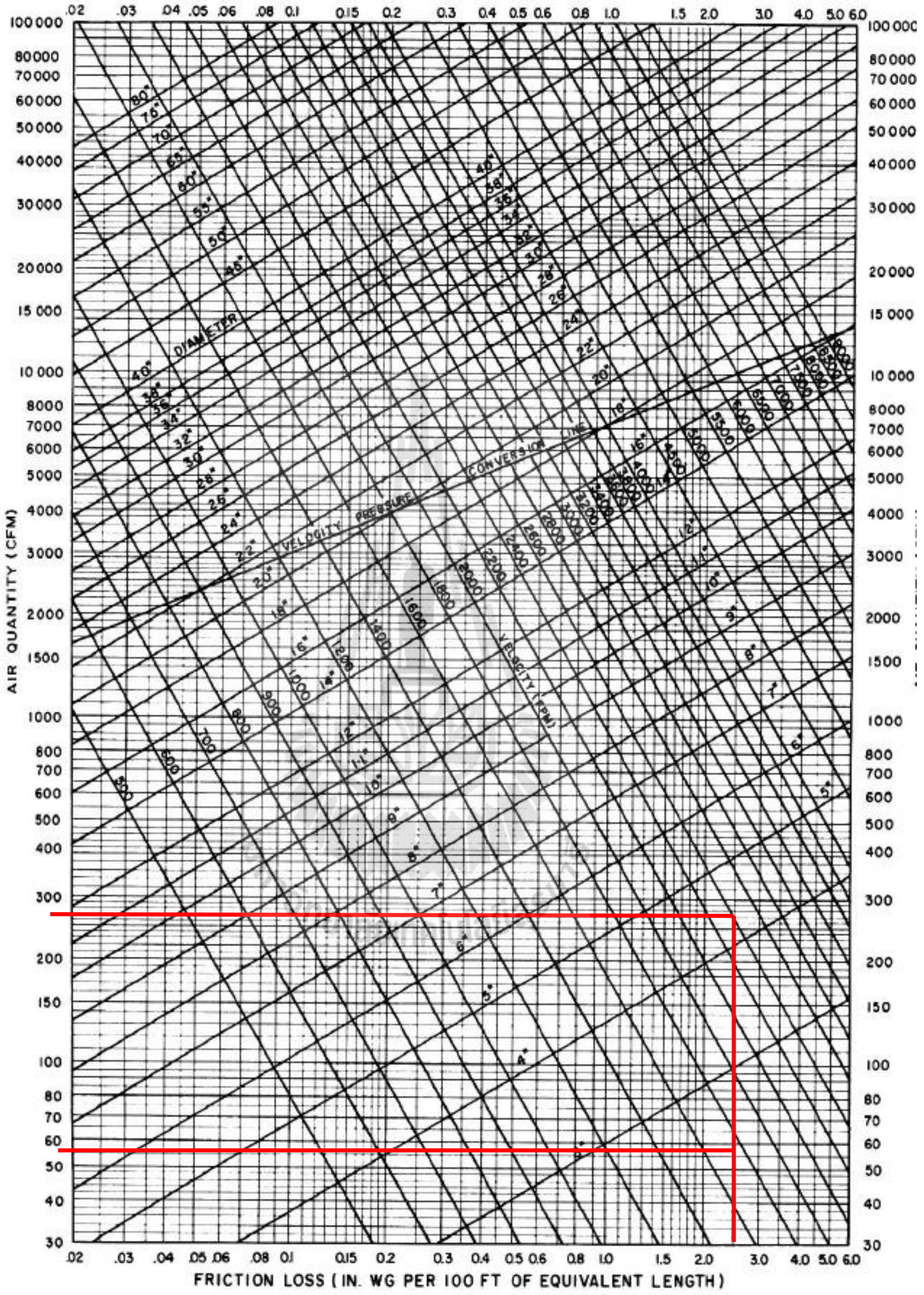
= 0.2713 in.wg.

ความดันรวมทั้งหมด = 0.10 in.WG. + 0.45 in.WG.+ 0.11 in.WG + 0.2713 in.wg.

= 0.93 in.WG

ดังนั้น ที่อัตราการไหลอากาศ 212 cfm (6cmm)จะมีความสูญเสียทั้งระบบ 0.93 in.WG (23.62 mm.WG) จาก performance curve สามารถเลือกพัดลมดูดอากาศได้ รุ่น SC 382

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค3. Friction loss ในเส้นท่อ

VENZ INDUSTRIAL VENTILATION

series **SC**

VENTILATOR TYPE
Sirocco Blowers

GENERAL DESCRIPTION

SC SERIES IS SUITABLE TO EXHAUST AIR AND SLIGHTLY DUSTY FUMES WITH HIGH EFFICIENCY AND LOW NOISE LEVEL, EASILY ADJUST DIRECTION OF OUTLET. IT CAN BE USED FOR INDUSTRIAL VENTILATION, OVEN COOLING, DRYING PURPOSE, AIR-CONDITIONING, EXHAUSTING, KITCHEN VENTILATION, CHEMICAL LAB.

ลักษณะการใช้งาน

โบลเออร์รุ่น *SC* ถูกออกแบบสำหรับงานระบายอากาศ หรือดูดฝุ่นละเอียดด้วยสมรรถภาพที่สูง, เสียงไม่ดังและสามารถปรับทิศทางลมออกได้ด้วยตนเองโดยง่าย มันสามารถใช้กับงานระบบลมอุตสาหกรรม, งานให้ความเย็น, งานกำจัดควันหรือไอน้ำ, งานแอร์, งานดูดควันในครัวโรงแรม ภัตตาคาร บ้าน, งานระบายอากาศ หรือถ่ายเทอากาศภายในตู้อบ ห้องแลป ห้องปฏิบัติงานทุกชนิด

CONSTRUCTION

- BLOWER CASING IS IN STRONG STEEL SHEET
- IMPELLER IN GALVANIZED STEEL WITH FORWARD CURVED BLADES (SIROCCO).
- CASING CUTTING BY CNC MACHINE AND THE IMPELLER WITH PERFECTLY BALANCED
- MOTOR DIRECTLY COUPLED TO IMPELLER.

ลักษณะโครงสร้าง

- โครงสร้างโบลเออร์ทำจากเหล็กคาร์บอน
- ใบพัดแบบซีร็อคโคทำจากเหล็กสังกะสีโดยผ่านการถ่วงจากเครื่องจักรที่ทันสมัย
- โครงสร้างโบลเออร์และใบพัดผ่านการตัดและพับด้วยเครื่องจักร CNC ที่ให้ความเที่ยงตรงสูง
- ตัวมอเตอร์ต่อโดยตรงกับใบพัด

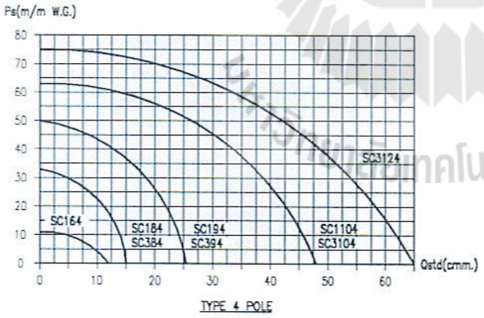
OPTION

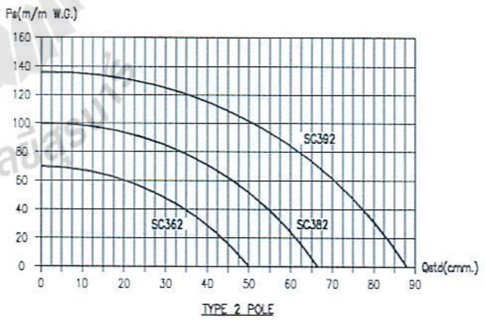
- THE DIRECTION OF ROTATION CAN BE CLOCKWISE(RD) AND ANTICLOCKWISE(LG)
- COUNTERFLANGES IN CIRCLE OR SQUARE
- DISCHARGE POSITION CAN ADJUST ANGLE AS INDICATED IN THE DISCHARGE TABLE
- STAINLESS STEEL VERSION
- PLEASE SEE BELT DRIVEN CATALOGUE FOR THE BIGGER SIZE

ออพชั่น

- ทิศทางการหมุนของใบพัดสามารถหมุนได้ทั้งแบบตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกา
- ปากทางออกของโบลเออร์สามารถที่จะเลือกเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมได้อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนองศาได้ตามที่ต้องการ
- โบลเออร์สามารถทำเป็นแบบสแตนเลสได้
- โบลเออร์ขนาดใหญ่ โปรดดูรายละเอียดได้ในแคตตาล็อกโบลเออร์รุ่นขับสายพาน

PERFORMANCES





REFFRENCE CODE

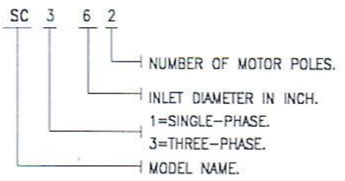
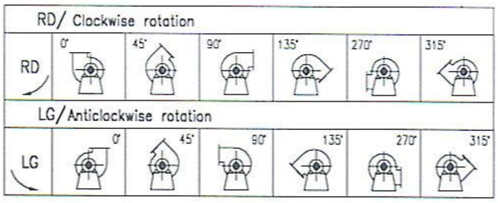


TABLE ANGLE



We reserve the right to modify the technical data without notice.

รูปที่ ค4. Fan performance curve

ภาคผนวก ง

ผลการวัดความเร็วลมในท่อที่ความหนาชั้นกรอง 150 และ300 มม.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เลือกกำหนดค่าต่อไปนี้

พื้นที่หน้าตัดตัวกลาง (A_{bed}) = 0.4 m × 0.5 m = 0.2 m^2

ความหนาตัวกลาง (D_{bed}) = 0.15, 0.30 m.

เวลาเก็บกัก (EBRT) = 0.6, 1.2, 1.8 s

ตารางที่ ง1. ผลการวัดความเร็วลมในท่อที่ความหนาของชั้นตัวกรองขนาด 15 และ 30 cm ที่ความถี่ต่างๆของพัดลม

Hz	**V(m/s)$_{depth\ @\ 15\ cm}$**	**V(m/s)$_{depth@\ 30\ cm}$**
5	0	0
10	0.836	0.906
15	1.249	1.434
20	1.893	2.075
15	2.329	2.568
30	3.047	3.127
35	3.556	3.641
40	4.297	4.313
45	4.853	4.815
50	5.450	5.309

*หมายเหตุ พัดลมมีความเร็วรอบ 2,950 RPM

ตารางที่ ง2. ผลการคำนวณความเร็วและอัตราการไหลที่ออกแบบและที่พัดลมทำได้จริง

EBRT (s)	A_{media} (m^2)	$Depth_{media}$ (m)	V_{bed} (m^3)	Q_{design} (m^3/s)	Q_{design} (m^3/m)	A_{duct} (m^2)	V_{design} (m/s)	$V_{operate}$ (m/s)	$Q_{operate}$ (m/s)	$EBRT_{operate}$ (s)
0.6	0.2	0.15	0.03	0.050	3	0.00785	1.953	5.450	0.043	0.7
1.2	0.2	0.15	0.03	0.025	1.5	0.00785	0.97	(V_{max})	(Q_{max})	($EBRT_{min}$)
1.8	0.2	0.15	0.03	0.017	1.02	0.00785	0.66			
0.6	0.2	0.30	0.06	0.100	6	0.00785	3.906	5.309	0.040	1.5
1.2	0.2	0.30	0.06	0.050	3	0.00785	1.953	(V_{max})	(Q_{max})	($EBRT_{min}$)
1.8	0.2	0.30	0.06	0.033	1.98	0.00785	1.28			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก จ

รายละเอียดการทดสอบสถิติโดยวิธี Turkey’s paired comparision

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ1. ค่า pH เฉลี่ยชั้นตัวกรองตลอดระยะเวลาการเดินระบบ

day	run1	run2	run3	run4	run5	run6
1	6.608	6.426	6.104	6.329	6.225	6.161
2	6.588	6.411	6.276	6.150	6.150	6.277
3	6.589	6.257	6.144	6.146	6.146	6.267
4	6.608	6.258	6.059	6.113	6.113	6.183
5	6.667	6.289	6.159	6.113	6.111	6.254
6	6.600	6.245	6.293	6.083	6.283	7.031
7	6.667	6.298	6.328	6.278	6.365	6.264
8	6.564	6.341	6.287	6.233	6.378	6.238
9	6.565	6.395	6.333	6.361	6.408	6.256
10	6.408	6.357	6.326	6.342	6.412	6.315
11	6.281	6.394	6.406	6.397	6.340	6.293
12	6.331	6.394	6.474	6.345	6.365	6.340
13	6.287	6.363	6.567	6.382	6.382	6.367
14	6.334	6.387	6.586	6.298	6.362	6.306
AVG	6.507	6.344	6.310	6.255	6.289	6.325
MAX	6.667	6.426	6.586	6.397	6.412	7.031
MIN	6.281	6.245	6.059	6.083	6.111	6.161
STDEV	0.144	0.063	0.161	0.113	0.115	0.210
Variance, s^2	0.020832	0.003929	0.02594	0.0126625	0.013217	0.044249

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ2 ผลต่างค่า pH เฉลี่ย ($\bar{y}_i - \bar{y}_j$) ของแต่ ละสภาวะ

	การทดลองสภาวะ i (ค่าเฉลี่ย = $\bar{y}_i$)					
	1	2	3	4	5	6
การทดลองสภาวะ j	6.506914	6.343819	6.310119	6.288562	6.288562	6.265626
1	-	-	-	-	-	-
2	0.163094	-	-	-	-	-
3	*0.196795	0.0337	-	-	-	-
4	*0.218352	0.055258	0.021558	-	-	--
5	*0.218352	0.055258	0.021558	0	-	-
6	*0.241288	0.078193	0.044493	0.022935	0.022935	-

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ย $\bar{y}_i - \bar{y}_j$ ที่มีความแตกต่างกัน

ที่ค่า ความเชื่อมั่น (1- α)100% ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย ($\bar{y}_i - \bar{y}_j$) ของแต่ ละสภาวะ คือ

$$\bar{y}_i - \bar{y}_j \pm \frac{q_{k,\nu,\alpha/2}}{\sqrt{2}} s_{pool} \sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}}$$

จากการทดลอง k = 6 , ν =70

จากจากตารางที่ 20.3 (Berthouex and brown, 2002) ได้ค่า $t_{,\nu,\alpha/2} s_{pool}$ = 4.5066

$$s^2_{pool} = \frac{(n_1-1)s_1^2+(n_2-1)s_2^2+(n_3-1)s_3^2+(n_4-1)s_4^2}{n_1+n_2+n_3+n_4+n_5+n_6-k}$$

$$= \frac{(13-1)(0.020)+(13-1)(0.0039)+(13-1)(0.026)+(13-1)(0.0126)+(13-1)(0.013)+(13-1)(0.044)}{14+14+14+14+14+14-14}$$

$$= \frac{1.57}{70}$$

$$s^2_{pool} = 0.02244$$

$$s_{pool} = 0.149799$$

จากสมการ

$$\bar{y}_i - \bar{y}_j \pm \frac{q_{k\nu,\alpha/2}}{\sqrt{2}} s_pool \sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}}$$

ค่าความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง $\bar{y}_i - \bar{y}_j \pm \frac{4.5066}{\sqrt{2}}\ 0.149 \sqrt{\frac{1}{14} + \frac{1}{14}}$

$$-1.80 \le \bar{y}_i - \bar{y}_c \le 0.180$$

**หมายเหตุการคำนวณค่าผลต่างค่าเฉลี่ย ($\bar{y}_i - \bar{y}_j$) ทุกๆ สภาวะใช้วิธีการเดียวกันทั้งหมด

ภาคผนวก ฉ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

Rakthaisong, A., Karuchit, S., and Potivichayanon, S., Development of Tray Biofilter for Treating Wastewater Odor from Pig Farm, Proceeding of the The 4th International Symposium on Engineering, Energy and Environment (ISEEE 2015), Thammasat University, Pattaya Campus, Thailand, 8-10 November 2015, pp 247-253.

The 4th International Symposium on Engineering, Energy and Environment
8-10 November 2015, Thammasat University, Pattaya Campus, Thailand

Development of Tray Biofilter for Treating Wastewater Odor from Pig Farm

Rakthaisong, A.[a], Karuchit, S.[a*], and Potivichayanon, S.[b]

[a]School of Environmental Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand
[b]School of Environmental Health, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

Abstract

Pig farms in Thailand often cause disturbing odor which effect the communities around them. This paper present a pilot-scale design of a tray biofilter which could be an optimum solution to the problem, and its preliminary results. The filter media used were a mixture of (1) compost, (2) wood chips (chopped coconut shell), (3) cow manure, and (4) wastewater treatment system sludge, in the ratio of 60:20:10:10. The filter media bed area was 0.4 x 0.5 m^2, with 0.30 m. bed height and 0.6 sec. empty bed residence time (EBRT). The inlet H_2S gas was collected from a wastewater pit of a 300-pig educational farm in Suranaree University of Technology, Thailand. A 2-HP fan with inverter for varying speed were installed and used to push the gas through the screen upward the media bed. Media humidity were controlled using an automatic water spraying system. Inlet and outlet gases were measured using a portable gas analyser, along with pH, humidity values, and media settling rate. Early results showed promising H_2S treatment efficiency of 72.43% with the media settling rate of 0.40 cm./day.

Keywords: Biofilter; Tray; Odor; Pig Farm; Wastewater

1. Introduction

Pig farms in Thailand are notorious for its disturbing odor which effect the communities around them. The main source of odor is the animal waste – manure and urine – which is collected in the form of wastewater and most commonly treated by a stabilization pond system. Two odorous gases responsible for the strong smell are hydrogen sulfide (H_2S) and ammonia (NH_3). They are products of anaerobic biological reactions by microorganism in the waste at various stages. Significant emission sources of odor in a pig farm are the farmhouse where pigs are raised, and the wastewater treatment system. Recently, the closed-system wastewater treatment such as covered lagoons has gained popularity because it can minimize the odor and also yield the benefit of biogas. Nevertheless, there is still no common practice for controlling farmhouses emission. There is neither monetary benefit for the farm owner nor governmental standards which regulate H_2S or NH_3 emissions.

Although various odor treatment options for pig farms were available, one should carefully consider the pros and cons in such aspects as efficiency, technical complexity, operation and

* Corresponding author. Tel.: +6681-725-3040 ; Fax: +6644-224-606
E-mail address: sudjit@sut.ac.th

maintenance requirement, cost, and appropriateness for users. Treatment with a biofilter system is one of the suitable choices. Its benefits include low cost, easy operation and maintenance, and minimal requirement for technical knowledge [1]. Moreover, most filter media can be obtained and prepared within the farm and the spent media can subsequently be used as fertilizer. The downside of this system is that its efficiency could vary widely depending on the design, typically 50-90% were reported in the literature [2]. Teng-Teeh Lim et al. (2012) used wood chips as media in a tray-type biofilter for treating vented air from a pig farmhouse and achieved 45.8% and 42.2% of NH_4 and H_2S reduction, respectively [3]. On the other hand, Punapaamporn (2008) and Rattanamuk (2006) reported near 100% reduction of these two gases using column-type biofilters [4, 5].

This research focused on developing a simple tray-type biofilter for treatment of high volume, low concentration gases emitted from pig farmhouses in Thailand. The design and construction of the pilot-scale biofilter and the preliminary results of H_2S treatment are presented in this paper.

2. Methodology

The steps taken in this study were as follows: (1) review and selection of design parameters, (2) system design, (3) system construction and set-up, and (4) system operation and evaluation. The first step included the review of literatures regarding various types of biofilter system and the selection of design and operation parameters used in this study. Table 1 summarizes some relevant biofilter designs and efficiencies. Table 2 presents the recommended values for parameters in biofilter design and operation.

Characteristics of materials used in biofilter media were reviewed, as shown in Table 3. For this study, the important factors considered in material selection process include low cost, ease of operation, and adequate nutrient and porosity. Consequently, the materials selected were compost:wood chips:manure:sludge at 60:20:10:10 ratio [4].

Table 1. Review of relevant biofilter designs and efficiencies.

Pollutant Treated	Media Composition	Bed Depth (cm.)	EBRT (s)	Efficiency (%)	Reference
NH_3, H_2S	wood chips	127 254	0.3 0.6	18-45 23-42	[3]
NH_3	compost, wood, manure, and sludge	150	30-60	>90	[4]
H_2S	compost , coconut husk, manure, and sludge	150	45-75	>90	[5]
Benzene	soil, manure, and chemical agents	-	22.2	86	[6]
Styrene	manure, sludge, and straw	100	-	54	[7]
NH_3, H_2S, CH_4 and NO_X	pine nuggets and lava rock	-	5	NH_3 = 58 H_2S = 88	[8]
NH_3, H_2S	wood bark	127 254	1.6-3.1	95.2-97.9 95.8-100	[9]

Table 2. Recommended criteria for biofilter design and operating parameters [4]

Parameter	Recommended Values
Media depth	0.5-2.5 m
Moisture content	50%-65%
Temperature	$25^{\circ}C$ – $40^{\circ}C$ ($37^{\circ}C$)
pH	6.5-8.5
Aeration rate	air: pollution gas is 100 : 1
Nutrient	N: P: K of 0.4: 0.15: 0.15 % W/W
Pressure drop	Not exceed 100 mmH_2O
EBRT	3-5 sec for live stock

Table 3. Characteristics of materials used in biofilter media [10, 11]

Material	Porosity	Moisture Capacity	Nutrient Capacity	Useful Life	Comments
Peat	Average	Good	Good	Good	Good microorganism sources
Soil (heavy loam)	Poor	Good	Good	Good	
Compost (yard waste)	Average	Good	Good	Good	
Wood Chips	Good	Average	Average	Average	Good additions for porosity
Straw	Good	Average	Poor	Poor	

The design of tray biofilter unit include a filter media box with a screen plate as the bottom of the box. The bed area was 0.4 x 0.5 m^2, and the box height was 0.3 m. Two values of bed height were experimented: 0.15 and 0.30 m., which resulted in the bed volume of 0.03 and 0.06 m^3, respectively. These bed height values were lower than most of those in the literature because they were intended to fit the tray-type configuration.

The empty bed residence time (EBRT) values and bed volume subsequently defined the required gas flow rate of the system. Their relationship is as follows:

$$Q = \frac{V_{bed}}{EBRT} \qquad (1)$$

where: $EBRT$ = empty bed residence time (s)
V_{bed} = bed volume (m^3)
Q = gas flow rate (m^3/s)

In this study, the EBRT values were selected as 0.3 and 0.6 seconds, therefore, the flow rates needed were in the range of 0.017 – 0.100 m^3/s. Again, the selection was based on the intention that the system should be able to handle large flow. The gas velocity through the filter bed – the filtration velocity – was then calculated from the flow rate over the bed area. It was in the range of 0.083 – 0.500 m/s. Table 4 summarizes the designed operating conditions planned for this research.

The input gases were collected from a covered pit which received wastewater from a 300-pig housing in the farm in Suranaree University of Technology, Thailand. The gas was considered a representative of the gas from typical pig farmhouses. The average wastewater flow was 21 m^3/d. A system of collection pipes were designed to carry the gas from the pit to the bottom part of the biofilter. The main pipe under the media bed had 3 lateral pipes designed

Table 2. Recommended criteria for biofilter design and operating parameters [4]

Parameter	Recommended Values
Media depth	0.5-2.5 m
Moisture content	50%-65%
Temperature	25∘C –40∘C (37∘C)
pH	6.5-8.5
Aeration rate	air: pollution gas is 100 : 1
Nutrient	N: P: K of 0.4: 0.15: 0.15 % W/W
Pressure drop	Not exceed 100 mmH_2O
EBRT	3-5 sec for live stock

Table 3. Characteristics of materials used in biofilter media [10, 11]

Material	Porosity	Moisture Capacity	Nutrient Capacity	Useful Life	Comments
Peat	Average	Good	Good	Good	Good microorganism sources
Soil (heavy loam)	Poor	Good	Good	Good	
Compost (yard waste)	Average	Good	Good	Good	
Wood Chips	Good	Average	Average	Average	Good additions for porosity
Straw	Good	Average	Poor	Poor	

The design of tray biofilter unit include a filter media box with a screen plate as the bottom of the box. The bed area was 0.4 x 0.5 m^2, and the box height was 0.3 m. Two values of bed height were experimented: 0.15 and 0.30 m., which resulted in the bed volume of 0.03 and 0.06 m^3, respectively. These bed height values were lower than most of those in the literature because they were intended to fit the tray-type configuration.

The empty bed residence time (EBRT) values and bed volume subsequently defined the required gas flow rate of the system. Their relationship is as follows:

$$Q = \frac{V_{bed}}{EBRT} \tag{1}$$

where: $EBRT$ = empty bed residence time (s)
V_{bed} = bed volume (m^3)
Q = gas flow rate (m^3/s)

In this study, the EBRT values were selected as 0.3 and 0.6 seconds, therefore, the flow rates needed were in the range of 0.017 – 0.100 m^3/s. Again, the selection was based on the intention that the system should be able to handle large flow. The gas velocity through the filter bed – the filtration velocity – was then calculated from the flow rate over the bed area. It was in the range of 0.083 – 0.500 m/s. Table 4 summarizes the designed operating conditions planned for this research.

The input gases were collected from a covered pit which received wastewater from a 300-pig housing in the farm in Suranaree University of Technology, Thailand. The gas was considered a representative of the gas from typical pig farmhouses. The average wastewater flow was 21 m^3/d. A system of collection pipes were designed to carry the gas from the pit to the bottom part of the biofilter. The main pipe under the media bed had 3 lateral pipes designed

to evenly distribute the gas flow upward to the media area. In addition, an automatic water feeding system was attached under the filter's roof to control media bed moisture.

Calculation of the fan size needed move the gas through system started after the system composition and layout were done. The total pressure loss of the system was 56.4 mm.H_2O, and a 2-HP, 1.5 kW fan with inverter for varying speed were selected. During the experimental run, key parameters were monitored at the inlet, media, and outlet location. Measurement methods and sampling locations are presented in Table 5.

Table 4. The designed operating condition planned for this research

Run No.	Bed Area (m^2)	Bed Depth (m.)	Bed Volume (m^3)	EBRT (s)	Flow Rate (m^3/s)	Filtration Velocity (m/s)
1	0.2	0.15	0.03	0.6	0.050	0.250
2	0.2	0.15	0.03	1.2	0.025	0.125
3	0.2	0.15	0.03	1.8	0.017	0.083
4	0.2	0.3	0.06	0.6	0.100	0.500
5	0.2	0.3	0.06	1.2	0.050	0.250
6	0.2	0.3	0.06	1.8	0.033	0.167

Table 5. Parameter sampling locations and measurement methods

Parameter	Sampling Location	Measurement Method
Air flow rate	Measurement box	Flow meter
NH_4 concentration	Inlet: measurement box Outlet: top of filter media	Gas absorption and titration
H_2S concentration		Gas analyser (COMBIMASS® version 2013-05
Humidity	Filter media layer	Humidity probe
Temperature	Filter media layer	Thermometer
Compression of filter media	Filter media layer	Measurement tape
pH	Filter media layer	pH probe

3. Results and Discussion

3.1. System construction and set-up

The tray biofilter and its system was constructed and set-up near the wastewater pit area in the pig farm (Figure 1). The filter media were prepared and mixed according to the designed ratio. Chopped coconut shell was used as wood chips since it has similar characteristics and was readily available. Water was added to the mixture to make 50%-65% moisture content and the media was kept for 2 weeks before use. Figure 2 shows the 4 types of medium, and Figure 3 shows the mixture of media on the first day and after 2 weeks' time.

Fig. 1. The system which include a covered pit, a fan, a piping system, and a biofilter unit (a), and the close-up of the inlet side of tray biofilter, with the automatic water spraying system on the left (b).

Fig. 2. Composition of the filter media (from left to right): (a) compost, (b) chopped coconut shell, (c) dried cow manure, and (d) dried sludge from a wastewater treatment plant.

Fig. 3. Filter media right after mixing (a), and after 2 weeks (b)

3.2. System operation and evaluation

The results presented in this paper were from the experimental run number 6, which had the highest bed depth and longest residence time. The system was operated at 17 rpm of fan speed, which produced 0.033 m³/s flow rate and 1.8 s EBRT.

Figure 4 show the sampling location of inlet and outlet concentration. The H_2S concentration, as well as other parameters, were measured hourly during day time period 9:00 am – 4:00 pm. The media temperature was in the range of 27-33 °C. The average pH was 6.67 and in the range of 6.2 – 7.0. The media moisture was in the range of 65% – 80%. The settling rate of the media was 0.40 cm. per day on average.

Fig. 4. The gas analyzer at the inlet sampling box (a), sampling at the top of the bed of tray biofilter (b).

The efficiency results of the first 30 sample values were presented in Figure 5. The 6-hr moving average were used to reduce the noise and show the trend of the data. It can be seen that the efficiency fluctuate with the inlet concentration. The variation of H_2S concentration in the inlet gas was due to dilution effect from the farm activities and rain. Nevertheless, the mean efficiency of 72.43% was achieved, with standard deviation of 16.57%. It was expected that other runs with longer EBRT would yield a better efficiency level.

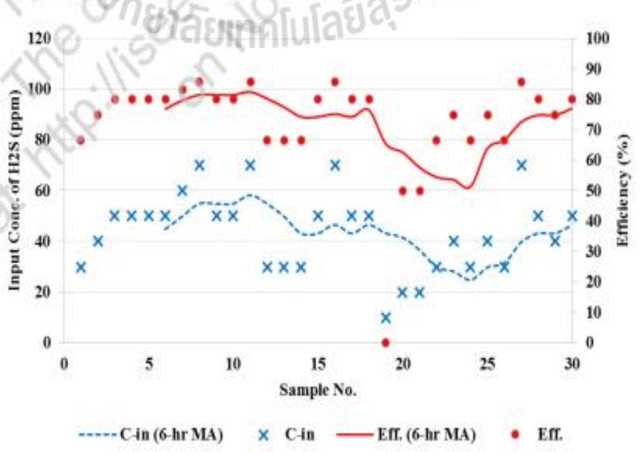


Fig. 5. Inlet concentration and efficiency of the tray biofilter

4. Conclusion

A pilot-scale tray-type biofilter was design, constructed, and evaluated in this study with the inlet H_2S gas from a wastewater pit of a pig farm. The emphasis was on simple design and use of commonly available materials as its media. It was also designed to handle relatively large flow rates. Using bed volume 0.06 m^3 and EBRT 1.8 sec., the system was able to achieve H_2S treatment efficiency of 72.43% on average.

Acknowledgements

This work was funded by Suranaree University of Technology.

References

[1] Devinny, S., Deshusses, A., & Webster, S. (1999), *Biofiltration for air pollution control*, New York: Lewis Publishers.

[2] Mudliar, S., Giri, B., Padoley, K., Satpute, D., Dixit, R., Bhatt, P., Pandey, R., Juwarkar, A., & Vaidya, A. (2010), Bioreactors for treatment of VOCs and odours – A review, *J. of Environmental Management*, 91 (2010), 1039 – 1054.

[3] Lim, T., Jin, Y., Ni, J., & Heber, A.J. (2012), Field evaluation of biofilters in reducing aerial pollutant emissions from a commercial pig finishing building, *Biosystems Engineering*, 112 (2012) 192 – 201.

[4] Punapa-amporn, S. (2008), Efficiency of ammonia removal by biofilter, *Master thesis*, Chulalongkorn University, Bangkok.

[5] Rattanamuk, N. (2006), Removal of hydrogen sulfide by biofilter. *Master thesis*, Chulalongkorn University, Bangkok.

[6] Hantanong, S. (2000), Efficiency of biofilter treating benzene and toluene vapour. *Master thesis*, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok.

[7] Inchit, C. (2003), Efficiency of biofiltration system in treating styrene monomer contaminated air. *Master thesis*, Kasetsart University, Bangkok.

[8] Akdeniz, N., Janni, K. A., & Salnikov, I. A. (2011), Biofilter performance of pine nuggets and lava rock as media, *Bioresource Technology*, 102, 4974 – 4980.

[9] Kafle, G. K., Chen, L., Neibling, H., and He, B. B. (2015), Field evaluation of wood bark-based down-flow biofilters for mitigation of odor, ammonia, and hydrogen sulfide emissions from confined swine nursery barns, *J. of Environmental Management*, 147 (2015) 164 – 174.

[10] Schmidt, D., Jacobson, L., & Nicolai, R. (2004), *Biofilter design information*. University of Minnesota [On-line]. Available: http://www.extension.umn.edu/agriculture/manure-management-and-air-quality/air-quality/biofilter-design-information/.

[11] Janni, K. A., Nicolai, R. E., Hoff, S. J., & Stenglein, R. M. (2011). Air Quality Education in Animal Agriculturea: Biofilters for Odor and Air Pollution Mitigation in Animal Agriculture, *Agricultural and Biosystems Engineering Extension and Outreach Publications*. Book 3 [On-line]. Available: http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=abe_eng_extensionpubs.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอภิสรา รักไธสง เกิดเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2553 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ สถาบันการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยในขณะศึกษาได้รับทุนในการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เผยแพร่บทความทางวิชาการเรื่อง **"Development of Tray Biofilter for Treating Wastewater Odor from Pig Farm"** ในงานสัมมนาวิชาการระดับนานาชาติ The 4th International Symposium on Engineering, Energy and Environment (ISEEE 2015) ระหว่างวันที่ 8-10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วิทยาเขตพัทยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี