รายงานฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนโดยถังหมักไร้อากาศและลานตากตะกอน กรณีศึกษาสิ่งปฏิกูลจากโรงบำบัดของเทศบาลนครสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา

โดย

นายชัยศรี สุขสาโรจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สนับสนุนงานวิจัยโดยทุนสนับสนุนงานวิจัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กันยายน 2545

8ม0
เลขหมู่ TD769 ร64 2545
Bib Key 224106
/ /

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลจากโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลเทศบาลนครสงขลาด้วยถังหมักไร้อากาศซึ่งกำหนดระยะเวลาการหมักนาน 20, 30 และ40 วัน โดยไม่มีการกวนผสม และ 30 ที่มีการกวนผสม เมื่อครบตามระยะเวลากำหนดจึงปล่อยสิ่งปฏิกูลลงบนลานทรายตากตะกอน โดยที่การป้อนสิ่งปฏิกูลเข้าระบบเป็นแบบเติมครั้งเดียว

ผลการศึกษาพบว่า สิ่งปฏิกูลที่นำมาทดลองมีลักษณะที่ตกตะกอนยาก มีค่า pH และ Alkalinity เฉลี่ยเท่ากับ 7 และ 2,400 mg/L as $CaCO_3$ และ สัดส่วน COD:N:P เท่ากับ 100:2.3:0.6 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเดินระบบหมักไร้อากาศ มีค่า TCOD และ TS 21,600 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 16,023 มิลลิกรัมต่อลิตร และตรวจพบเชื้อ Fecal Coliform เริ่มต้นเท่ากับ 16,000,000 MPN/100 ml ตามลำดับ เมื่อหมักสิ่งปฏิกูลครบเวลากำหนด สำหรับถังที่ไม่มีการกวนผสม ค่า TCOD ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.83, 2.22 และ 7.32 ที่เวลาหมัก 20, 30 และ 40 วันตามลำดับ ค่า TS, TVS และ TP มีแนวโน้มลดลง แต่ค่า SCOD และTKN ไม่ลดลง ค่า Fecal Coliform bacteria ลดลงคิดเป็นร้อยละ 98.56, 99.96 และ99.99 MPN/100 ml ที่เวลาหมัก 20, 30 และ40 วันตามลำดับ ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 55.31 ของปริมาณก๊าซที่เกิดทั้งหมด สำหรับถังที่มีการกวนผสม ค่า TS, TVS, TCOD, SCOD, TKN ไม่มีแนวโน้มลดลง ค่า TP ลดลงเล็กน้อย ค่า Fecal Coliform bacteria ลดลงคิดเป็นร้อยละ 99.50 และ 99.81 ที่เวลาหมัก 20 และ30 วันตามลำดับ และปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 57.79 ของปริมาณก๊าซที่เกิดทั้งหมด และทั้งถังที่ไม่มีการกวนผสมและมีการกวนผสมนั้น น้ำชะจะมีความสกปรกลดลงอย่างมาก โดยลานทรายตากตะกอนจะช่วยลดความสกปรกลงได้ส่วนหนึ่ง ตะกอนตากแห้งที่ได้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7.64 มีไนโตรเจนสูงกว่าฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมตามลำดับ มีค่า C/N อยู่ในช่วง 7.82-8.72 ค่า Fecal Coliform bacteria น้อยกว่า 27 MPN/100 ml

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ระยะเวลาหมักสิ่งปฏิกูลเหมาะสมที่ 30 วัน แต่ประสิทธิภาพการบำบัด Fecal Coliform bacteria ดีและเด่นชัดที่สุดกว่าตัวแปรอื่นๆ น้ำชะที่ผ่านชั้นทรายกรองยังคงมีความสกปรกสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง สิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งแล้วนำไปใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินได้ โดยเฉพาะกับพืชผักใบเขียว

Abstract

The objective of this research was conducted to study removal efficiency of the treatment of Septage from Songkhla Municipality with 3 conventional anaerobic digesters at 3 varying detention times, 20, 30 and 40 days and 1 high rate anaerobic digesters at 30 day. The experiments were carried out as a batch system.

The initial characteristic of the Septage was found to be difficult to settling the average values of pH and Alkalinity was 7 and 2,400 mg/L as $CaCO_3$ The ratio of COD:N:P was found to be 100:2.3:0.6. The value of TCOD and TS was 21,600 mg/L and 16,023 mg/L. It was suitable for an anaerobic system. The value of Fecal Coliform bacteria was 16,000,000 MPN/100 ml. The Experiment result showed that for a conventional reactor, the organic matter in terms of Total COD removal efficiency was found to be 0.83%, 2.22% and 7.32% at the detention time of 20, 30 and 40 days, respectively. TS, TVS and TP also decrease with the increase in detention time but SCOD and TKN did not. Fecal Coliform bacteria removal efficiently was about 98.56%, 99.96% and 99.99% at detention time of 20, 30 and 40 days, respectively. CH_4 gas was generated at average value 55.31% of total gas. For the high rate reactor, TS, TVS, TCOD, SCOD, TKN were not reduced. A small removal of TP occurred. Fecal Coliform bacteria removal was about 99.50% and 99.81% at detention time of 20 and 30 days, respectively. CH_4 gas was generated at average value 57.79% of total gas. For both reactors, organic matter and Fecal Coliform bacteria was removed in percolate by a sand drying bed. The moisture content in the dried sludge was less than 7.64% and consist of organic matter, N, P and K. The C/N ratio was in a range of 7.82-8.72 with Fecal Coliform bacteria less than 27 MPN/100 ml.

The result showed that a suitable detention time was 30 days with effectiveness of fecal coliform removal more than other parameter. The percolate was still over the accepted effluent quality standard of water. The dry sludge could be used as fertilizer especially for vegetables.

สารบาญ

เรื่อง	หน้า
บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
ขอบเขตงานวิจัย	2
บทที่ 1 การตรวจเอกสาร	3
1.1 ทฤษฎี	3
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 2 วิธีการศึกษาวิจัย	27
2.1 อุปกรณ์	27
2.2 สถานที่ทำการทดลอง	31
2.3 วิธีการทดลอง	31
บทที่ 3 ผลการศึกษา	35
3.1 อิทธิพลของระยะเวลาการหมักต่อประสิทธิภาพการทำงานของถังหมักไร้อากาศที่ไม่มีการกวนผสม	35
3.2 ประสิทธิภาพการทำงานของถังหมักไร้อากาศที่มีการกวนผสมที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน	47
3.3 ตะกอนสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์บนลานตากตะกอน	56
บทที่ 4 สรุป	59
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก ก แสดงข้อมูลผลการทดลอง	64
ภาคผนวก ข แสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำ	70
ภาคผนวก ค แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดสงขลา	73
ภาคผนวก ง แสดงระบบกำจัดสิ่งปฏิกูลของโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุช	80

สารบาญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	แสดงลักษณะของสิ่งปฏิกูลจากกรุงเทพมหานคร	3
ตารางที่ 2	กลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน	11
ตารางที่ 3	องค์ประกอบสารอาหาร	14
ตารางที่ 4	แสดงค่าศักยภาพความเป็นพิษในระบบไร้ออกซิเจน	14
ตารางที่ 5	แสดงคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูล (Septage) ก่อนเข้าระบบบำบัดจากโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลของเทศบาลนครสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา	23
ตารางที่ 6	แสดงคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูล (Septage) หลังจากผ่านระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลของเทศบาลนครสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา โดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 28 วัน	23
ตารางที่ 7	แสดงคุณสมบัติของน้ำชะจากสิ่งปฏิกูล (Percolate) ที่ผ่านระบบบำบัดแล้วนำมาตากบนลานตาก	24
ตารางที่ 8	แสดงคุณสมบัติของน้ำชะสิ่งปฏิกูล (Percolate) ที่รวบรวมไปบำบัดในบ่อหมักไร้อากาศ	24
ตารางที่ 9	แสดงคุณสมบัติของตะกอนสิ่งปฏิกูล (Dried Sludge) ที่ตากบนลานตากตะกอน	24
ตารางที่ 10	แสดงคุณสมบัติของน้ำปฏิกูลที่ผ่านระบบต่าง ๆ และประสิทธิภาพของระบบ	25
ตารางที่ 11	แสดงการตรวจพบเชื้อโรคในระบบทางเดินอาหารในน้ำที่ผ่านระบบช่วงต่าง ๆ	26
ตารางที่ 12	สรุปตัวแปรที่ทำการตรวจสอบในการทดลอง	32
ตารางที่ 13	แสดงวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	34
ตารางที่ 14	แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ กัน	35
ตารางที่ 15	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fecal Coliform Bacteria ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	42
ตารางที่ 16	แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำชะ (percolate) ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	44
ตารางที่ 17	แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	46
ตารางที่ 18	แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ กัน	47
ตารางที่ 19	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fecal Coliform Bacteria ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	52

สารบาญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 20	แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำชะ (percolate) ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่มีการกวนผสม	54
ตารางที่ 21	แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากถังหมักที่มีการกวนผสม	55
ตารางที่ 22	แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่หมักนานต่าง ๆ กันและตากแห้งแล้ว	57
ตารางที่ 23	แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งแล้วโดยเครื่อง CHNS/O Analyzer	58
ตารางผนวกที่ ก-1	แสดงข้อมูลผลการทดลองคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	65
ตารางผนวกที่ ก-2	แสดงข้อมูลผลการทดลองคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	66
ตารางผนวกที่ ก-3	แสดงคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลเมื่อตากแห้งแล้วจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสมและมีการกวนผสม	67
ตารางผนวกที่ ก-4	แสดงคุณสมบัติของน้ำชะ (Percolate) ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสมและมีการกวนผสม	67
ตารางผนวกที่ ก-5	แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของถังหมักที่ไม่มีการกวนผสมและถังที่มีการกวนผสม	68
ตารางผนวกที่ ข-1	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม	71
ตารางผนวกที่ ข-2	ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด	72
ตารางผนวกที่ ค-1	ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา ปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ. 1999)	74
ตารางผนวกที่ ค-2	ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา ปี พ.ศ. 2541 (ค.ศ. 1998)	75
ตารางผนวกที่ ค-3	ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1997)	76
ตารางผนวกที่ ค-4	ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา ปี พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1996)	77

สารบาญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางผนวกที่ ค-5	ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา ปี พ.ศ. 2528 (ค.ศ. 1995)	78
ตารางผนวกที่ ค-6	แสดงข้อมูลปริมาณการระเหยที่คำนวณโดยวิธี Modified Peman ของ จ.สงขลา	79

สารบาญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	แสดงทางเลือกในการบำบัดสิ่งปฏิกูล	5
ภาพที่ 2	เทคนิคในการบำบัดสิ่งปฏิกูลในการทิ้งลงดิน	6
ภาพที่ 3	เทคนิคในการบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบแยกต่างหาก	7
ภาพที่ 4	ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิบัติการแบบไร้อากาศ	8
ภาพที่ 5	ถังหมักแบบอัตรากำจัดต่ำ	16
ภาพที่ 6	ถังหมักแบบอัตรากำจัดสูง	17
ภาพที่ 7	ถังหมักแบบอัตรากำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน	17
ภาพที่ 8	ระบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)	18
ภาพที่ 9	ระบบถังหมักแบบสองเฟส (Two-Phase Anaerobic Digestion)	19
ภาพที่ 10	แสดงถังหมักไร้อากาศแบบไม่มีใบกวนและการต่อท่อก๊าซไปวัดปริมาณในกรวย Imhoff สำหรับระยะเวลาหมัก 20, 30 และ 40 วัน	28
ภาพที่ 11	แสดงถังหมักไร้อากาศแบบไม่มีใบกวนและการต่อท่อก๊าซไปไว้ในถังน้ำเพื่อระบายก๊าซ สำหรับระยะเวลาหมัก 25, 35 และ 40 วัน	28
ภาพที่ 12	แสดงถังหมักไร้อากาศแบบมีใบกวนและการต่อท่อก๊าซไปยังเครื่องวัดปริมาณก๊าซอัตโนมัติ มีระยะเวลาหมัก 30 วัน	29
ภาพที่ 13	แสดงลานทรายตากตะกอน	29
ภาพที่ 14	แสดงอุปกรณ์ในการเก็บก๊าซไปตรวจวิเคราะห์	30
ภาพที่ 15	แสดงขั้นตอนการทดลอง	32
ภาพที่ 16	แสดงการเก็บตัวอย่างสิ่งปฏิกูลจากรถขนถ่ายสิ่งปฏิกูล	36
ภาพที่ 17	แสดงลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่นำมาทำการทดลอง	36
ภาพที่ 18	แสดงปริมาณ TS และ TVS ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	38
ภาพที่ 19	แสดงปริมาณ TCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	39
ภาพที่ 20	แสดงปริมาณ SCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	40
ภาพที่ 21	แสดงปริมาณ TKN ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	40
ภาพที่ 22	แสดงปริมาณ TP ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	41
ภาพที่ 23	แสดงปริมาณเชื้อ Fecal Coliform Bacteria ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	42
ภาพที่ 24	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของน้ำชะสิ่งปฏิกูลที่เวลาหมักต่างกันทั้งมีการกวนผสมและไม่มีการกวนผสม	44
ภาพที่ 25	แสดงปริมาณก๊าซเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม	45
ภาพที่ 26	แสดงปริมาณ TS และ TVS ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	49

สารบาญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 27	แสดงปริมาณ TCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	50
ภาพที่ 28	แสดงปริมาณ SCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	50
ภาพที่ 29	แสดงปริมาณ TKN ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	51
ภาพที่ 30	แสดงปริมาณ TP ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	52
ภาพที่ 31	แสดงปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	53
ภาพที่ 32	แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม	55
ภาพที่ 33	แสดงลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ครบระยะเวลาการหมักเมื่อเทลงบนลานทรายตากตะกอน	56
ภาพที่ 34	แสดงลักษณะของตะกอนสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งแล้ว	56
ภาพผนวกที่ ง-1	แสดงระบบกำจัดสิ่งปฏิกูลของโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุช กรุงเทพฯ	82

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C	=	คาร์บอน
CH_4	=	ก๊าซมีเทน
COD	=	Chemical Oxygen Demand
K	=	โปแตสเซียม
MPN/100ml	=	Most Probable number/100ml
N	=	ไนโตรเจน
NTU.	=	Naphelometric Turbidity Unit
P	=	ฟอสฟอรัส
pH	=	ค่าความเป็นกรด – ด่าง
SCOD	=	Soluble Chemical Oxygen Demand
TCOD	=	Total Chemical Oxygen Demand
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosphorus
TS	=	Total Solid
TVS	=	Total Volatile Solid
Total Alk.	=	Total Alkalinity
SS	=	Suspended Solid

บทนำ

เทศบาลนครสงขลามีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 9.27 ตารางกิโลเมตร มีประชากรในปี พ.ศ.2542 จำนวน 87,245 คนในจำนวน 17,002 ครัวเรือน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี

ในปัจจุบัน ปริมาณสิ่งปฏิกูลจะถูกเก็บรวบรวมจากทั้งเทศบาลนครสงขลาประมาณวันละ 4-5 ลบ.ม. โดยใช้ปั๊มสูบจากถังเกรอะแต่ละครัวเรือนลงสู่รถลำเลียงและลำเลียงไปยังโรงบำบัดซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลเกาะแต้ว อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยระยะห่างระหว่างโรงบำบัดกับชุมชนประมาณ 10 กิโลเมตร

โรงบำบัดสิ่งปฏิกูลของเทศบาลนครสงขลาจากบ้านเรือนในปัจจุบันประกอบด้วยถังหมักไร้อากาศ ตามด้วยระบบลานตากตะกอน สิ่งปฏิกูลที่ถูกกำจัดน้ำออกแล้วจะนำไปใช้เป็นปุ๋ย ส่วนน้ำที่ซึมลงผ่านชั้นทรายกรองจะถูกนำไปบำบัดในบ่อหมักไร้อากาศ ซึ่งระบบบำบัดทั้งหมดประกอบด้วยบ่อหมักไร้อากาศสำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล จำนวน 28 บ่อ แต่ละบ่อมีขนาด 17 ลบ.ม. ดังนั้นระยะเวลาในการเก็บกักของแต่ละบ่อประมาณ 1 เดือน (PSU & EAWAG, 1999)

ที่ผ่านมายังไม่มีการทดลอง และวิจัยอย่างจริงจัง และต่อเนื่อง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบและเวลาเก็บกักที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน หรือการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำเสียและเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งปัจจุบันเกิดปัญหาการลักลอบสูบส้วมและนำไปทิ้งในแหล่งธรรมชาติสร้างปัญหากับสิ่งแวดล้อมตามมาเป็นอย่างมาก

ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัย เพื่อหาความเหมาะสมในส่วนต่าง ๆ ของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลหรือสามารถปรับปรุงระบบบำบัดเดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับการบริการนอกเขตเทศบาลได้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และยังช่วยลดปัญหามลภาวะที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย อีกทั้งยังเป็นการหาแนวทางเหมาะสมที่จะนำตะกอนสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เพราะในปัจจุบันตะกอนสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งจะถูกกองอยู่บริเวณโรงบำบัด เมื่อฝนตกก็เกิดน้ำชะไหลซึมลงสู่ใต้ดิน และมีการนำไปใช้เป็นปุ๋ยบ้างภายในบริเวณโรงบำบัดและชาวบ้านใกล้เคียงนั่นเอง

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อหาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของถังหมักไร้อากาศในการบำบัดสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนของเทศบาลนครสงขลา
2. ศึกษาคุณสมบัติของตะกอนที่ใช้เวลาหมักต่าง ๆกัน หลังการตากแห้งแล้ว เพื่อนำไปสู่แนวทางการใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย
3. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำชะที่ซึมผ่านชั้นทรายกรองของลานตากตะกอนเพื่อหาแนวทางในการบำบัดที่เหมาะสมต่อไป
4. เปรียบเทียบถังปฏิกิริยาแบบมีการกวนผสมและไม่มีการกวนผสมที่เวลาเก็บกักเท่ากันหนึ่งช่วงเวลา
5. หาข้อเสนอแนะที่เป็นทางเลือกในการบำบัดสิ่งปฏิกูล

ขอบเขตงานวิจัย

1. สิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนที่ใช้ในงานวิจัยนี้นำมาจากรถขนถ่ายสิ่งปฏิกูลที่นำมาส่งในโรงบำบัดสิ่งปฏิกูล ของเทศบาลนครสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา นำมาทดลองโดยไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและปรับสภาพของสิ่งปฏิกูลแต่อย่างใด
2. เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบบจำลองระบบถังหมักไร้อากาศแบบไม่มีใบกวน 3 ถัง และมีใบกวน 1 ถัง ลานทรายตากตะกอน 2 ชุด ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. การทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองโดยเติมสิ่งปฏิกูลเพียงครั้งเดียว (Batch feed)
4. วิเคราะห์คุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลเริ่มต้นและที่เวลาหมักต่าง ๆกัน, วิเคราะห์สิ่งปฏิกูลตากแห้ง, น้ำชะที่ซึมผ่านลานทรายตากตะกอน และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
5. ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ในการวิจัยนี้คือ pH, Alkalinity, COD, TS, TVS, TKN, TP, Potassium, Turbidity, Fecal Coliform, CH_4
6. การวิจัยจะทำการทดลองและประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบในรูปของการลดค่า COD, TS, TVS, TKN, TP, Turbidity และ Fecal Coliform Bacteria และเสถียรภาพของระบบในรูป pH และ Alkalinity ทั้งถังหมักที่มีใบกวนและไม่มีใบกวน

บทที่ 1
การตรวจเอกสาร

1.1 ทฤษฎี

1.1.1 สิ่งปฏิกูล (Septage)

พิชิต (2535) สรุปว่าในที่นี้หมายถึง สิ่งปฏิกูลหรือของเสียที่ร่างกายกำจัดออกมาโดยระบบสรีรวิทยาที่สำคัญได้แก่อุจจาระ ปัสสาวะ เหงื่อ ไขมัน เป็นต้น ของเสียที่ร่างกายขับออกมานั้นจะเป็นพวกอินทรีย์วัตถุที่เกิดการเน่าเปื่อยสลายตัวได้ นอกจากนั้นแล้วสิ่งขับถ่ายของร่างกายก็ยังอาจมีเชื้อโรค พยาธิ ไข่พยาธิ ติดปะปน มาอีกด้วย โดยเฉพาะสิ่งขับถ่ายของผู้ป่วยและผู้ที่เป็นพาหะนำโรค ลักษณะของสิ่งปฏิกูลแสดงดังตารางที่ 1 ดังนั้นนอกจากสิ่งขับถ่ายจะเป็นที่น่ารังเกียจแล้วก็ยังเป็นสาเหตุสำคัญของการปนเปื้อนและความสกปรกอีกด้วย

เมื่อนำอุจจาระคน มาหมักไว้นานจนหมดกลิ่นและมีลักษณะแห้ง มีธาตุอาหารพืชสมบูรณ์ โดยเฉพาะไนโตรเจน เราจะเรียกว่า ดินค่ำ (night soil) จาก วรพจน์ (2529)

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะของสิ่งปฏิกูลจากกรุงเทพมหานคร

องค์ประกอบ	ช่วงของความเข้มข้น
Total solids, mg/L	30,000-160,000
Total volatile solids, mg/L	10,000-20,000
Total suspended solids, mg/L	15,000-21,000
Volatile suspended solids, mg/L	12,000-18,000
pH	7.7-8.0
COD, mg/L	9,600-68,800
BOD_5, mg/L	1,260-4,800
Total phosphate, mg/L	200-280
NH_3-N, mg/L	250-340
Total coliforms, MPN/100ml	$1.7x10^5$-$4.3x10^5$
Fecal coliforms, MPN/100ml	$9.5x10^3$-$3.9x10^3$
Bacteriophage, MPN/100ml	$6.9x10^3$-$1.6x10^3$
Sp.gravity, mg/ml	1.0435

ที่มา Liu, Cheng-liang (1986) อ้างถึง Arifin (1982)

จาก ส.ผ. (2538) รายงานว่ากรุงเทพฯ มีอัตราการเกิดสิ่งปฏิกูลประมาณ 1.04 ลิตรต่อคนต่อวัน, ภูเก็ตมีอัตราการเกิดสิ่งปฏิกูล 0.32 ลิตรต่อคนต่อวัน และโดยเฉลี่ยแล้วค่าที่แนะนำสำหรับประเทศไทยคือ 1.01 ลิตรต่อคนต่อวัน และจากการรวบรวมผลการศึกษาวิจัยพบว่าสิ่งปฏิกูลมีปริมาณ BOD_5 ประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าน้ำเสียชุมชนประมาณ 25-30 เท่า แต่ถ้าเทียบกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นซึ่งมากกว่าสิ่งปฏิกูลแล้ว ปริมาณ BOD_5 ที่เกิดจะมากกว่าน้ำเสีย 5-10 เท่า และในปี 2535-2536 กรุงเทพฯ สามารถรวบรวมสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนได้เพียงร้อยละ 8.5 ของจำนวนครัวเรือนที่มีอยู่ในกรุงเทพฯ เท่านั้น วิธีการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ทางสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม รายงานไว้ดังนี้คือ 1)ทิ้งลงดิน 2) บำบัดรวมในโรงบำบัดน้ำเสีย และ 3) บำบัดแยกต่างหาก ซึ่งแสดงดังภาพที่ 1 และรายละเอียดวิธีบำบัดโดยทิ้งลงดินและการบำบัดแยกต่างหากแสดงในภาพที่ 2 และ 3 โดยพื้นที่ประชากรหนาแน่นไม่ควรใช้วิธีทิ้งลงดินเพราะต้องใช้พื้นที่มาก ส่วนวิธีบำบัดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสีย ถ้าใช้ระบบบ่อผึ่งอาจไม่เหมาะสมเพราะจะมีปริมาณสารอินทรีย์เติมลงไปมากเกินไป

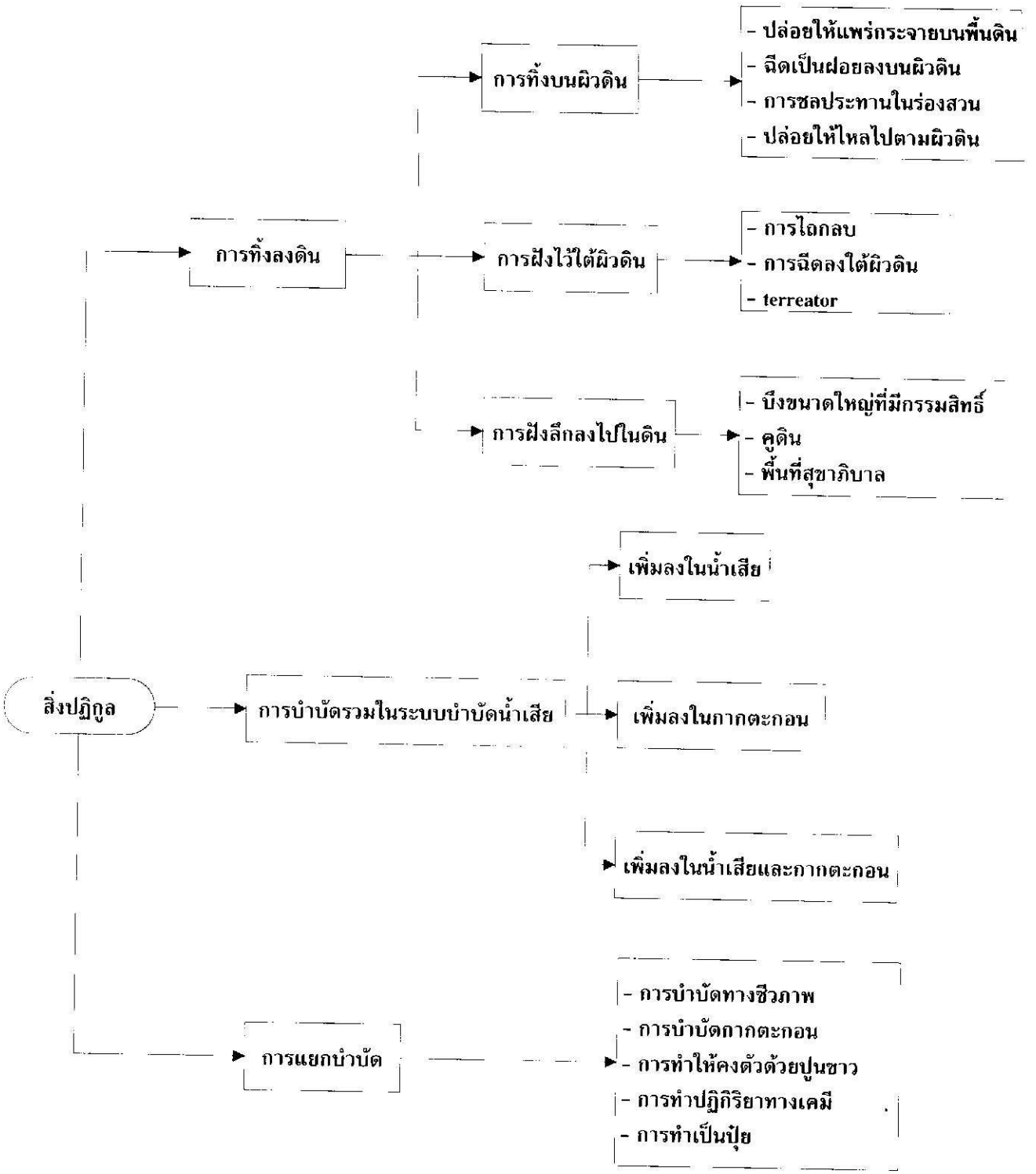
1.1.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ (Biological anaerobic process)

เป็นวิธีการใช้แบคทีเรียไปทำลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและจุลชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน 80-90 % ของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จะกลายเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่ถูกนำไปสังเคราะห์สร้างเซลจึงมีน้อยมาก จากเสริมพลและไชยยุทธ (2524) อาจกล่าวได้ว่าเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดต้องการอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ในส่วนของปริมาณอาหารเสริมสร้างที่ต้องการจะน้อยกว่าระบบใช้อากาศ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมีอัตราต่ำ ดังกล่าวแล้ว จึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการ start up ระบบ และระบบปรับตัวได้ไม่ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของเสียคือ ปริมาณสารอินทรีย์ อุณหภูมิ และสภาวะแวดล้อมอื่น นอกจากนี้ในการกำจัดจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นด้วย

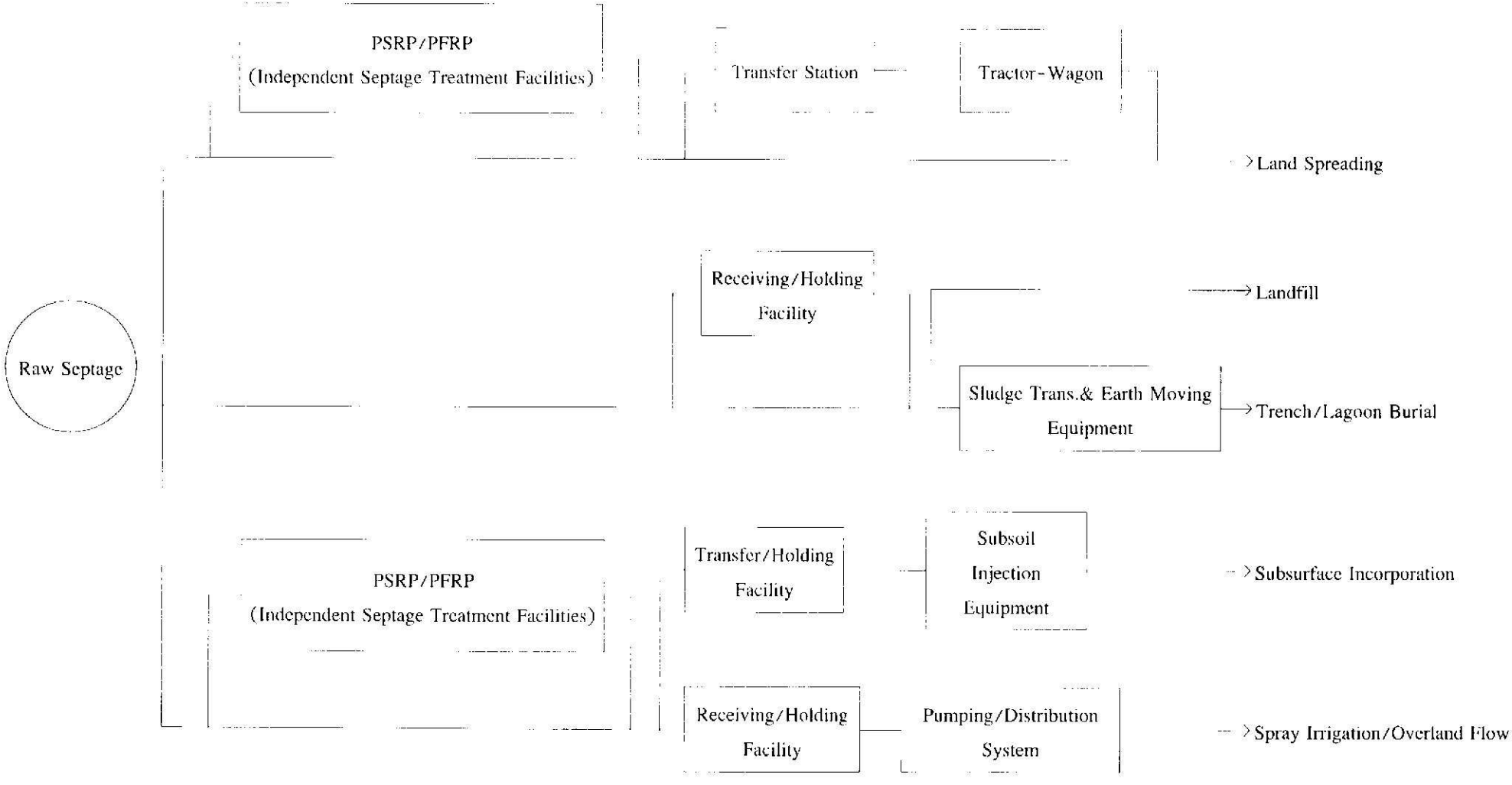
ปฏิกิริยาไร้อากาศมีลักษณะจำเพาะคือ การเกิดก๊าซมีเทนจากผลสุดท้ายของปฏิกิริยาก๊าซนี้จะแยกออกจากระบบอย่างรวดเร็ว เพราะความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ดังนั้นจึงทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีความคงตัวค่อนข้างสูง ปฏิกิริยาไร้อากาศจึงมีหน้าที่ในการสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนจุลินทรีย์และทำลายสารอินทรีย์ทั้งที่เป็นของแข็งและสารละลายในน้ำเสีย

1.1.3 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของระบบการบำบัดแบบไร้อากาศ

ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ธรรมชาติของการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 4



ภาพที่ 1 แสดงทางเลือกในการบำบัดสิ่งปฏิกูล
ที่มา: ส.ผ., 2538 อ้างถึง EPA, 1984

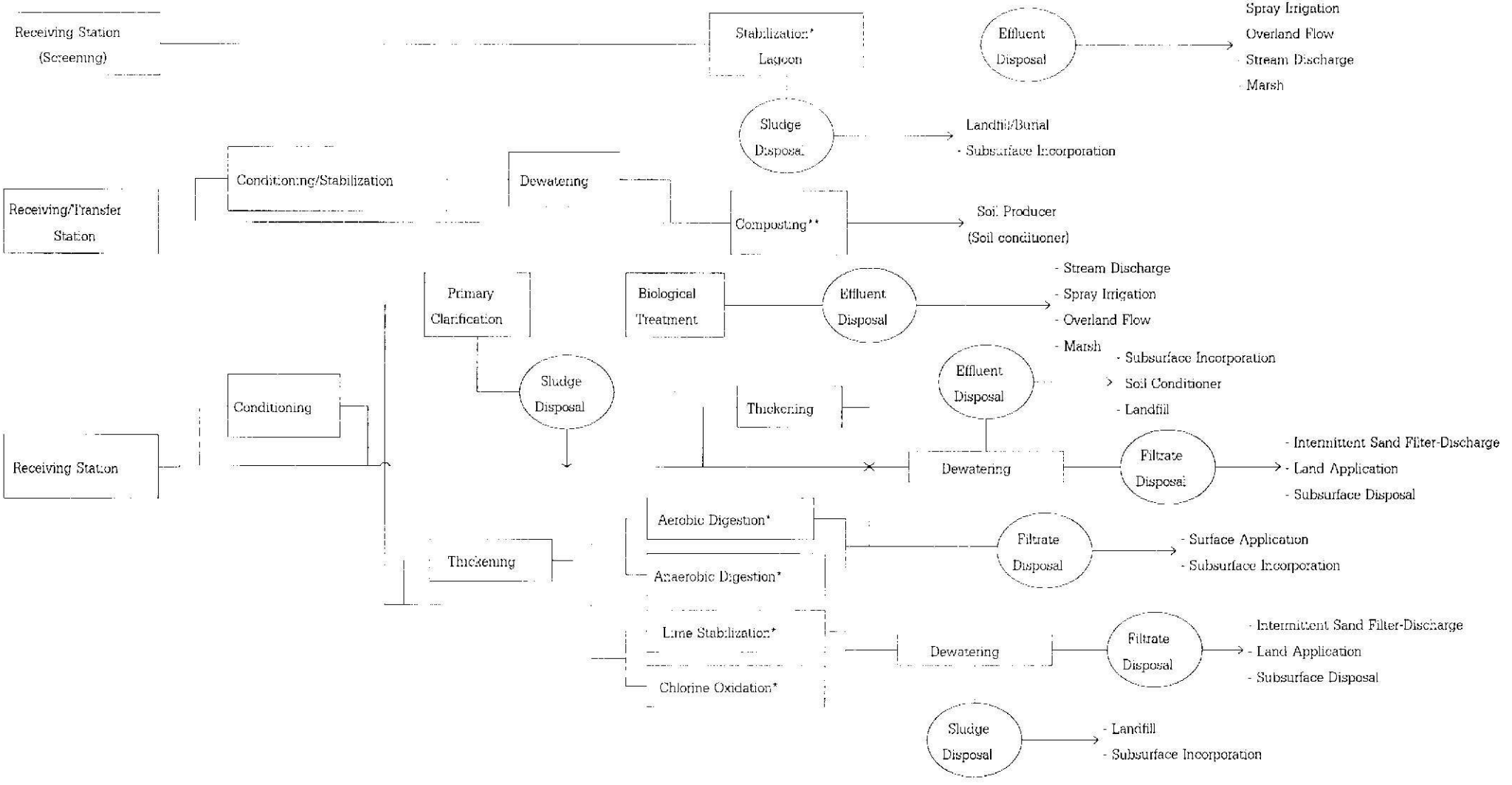


หมายเหตุ PSRP = Processes Which Significantly Reduce Pathogen

PFRP = Processes Which Further Reduce Pathogens

ภาพที่ 2 เทคนิคในการบำบัดสิ่งปฏิกูลโดยการทิ้งลงดิน

ที่มา: ส.ผ.,2538 อ้างถึง EPA,1984

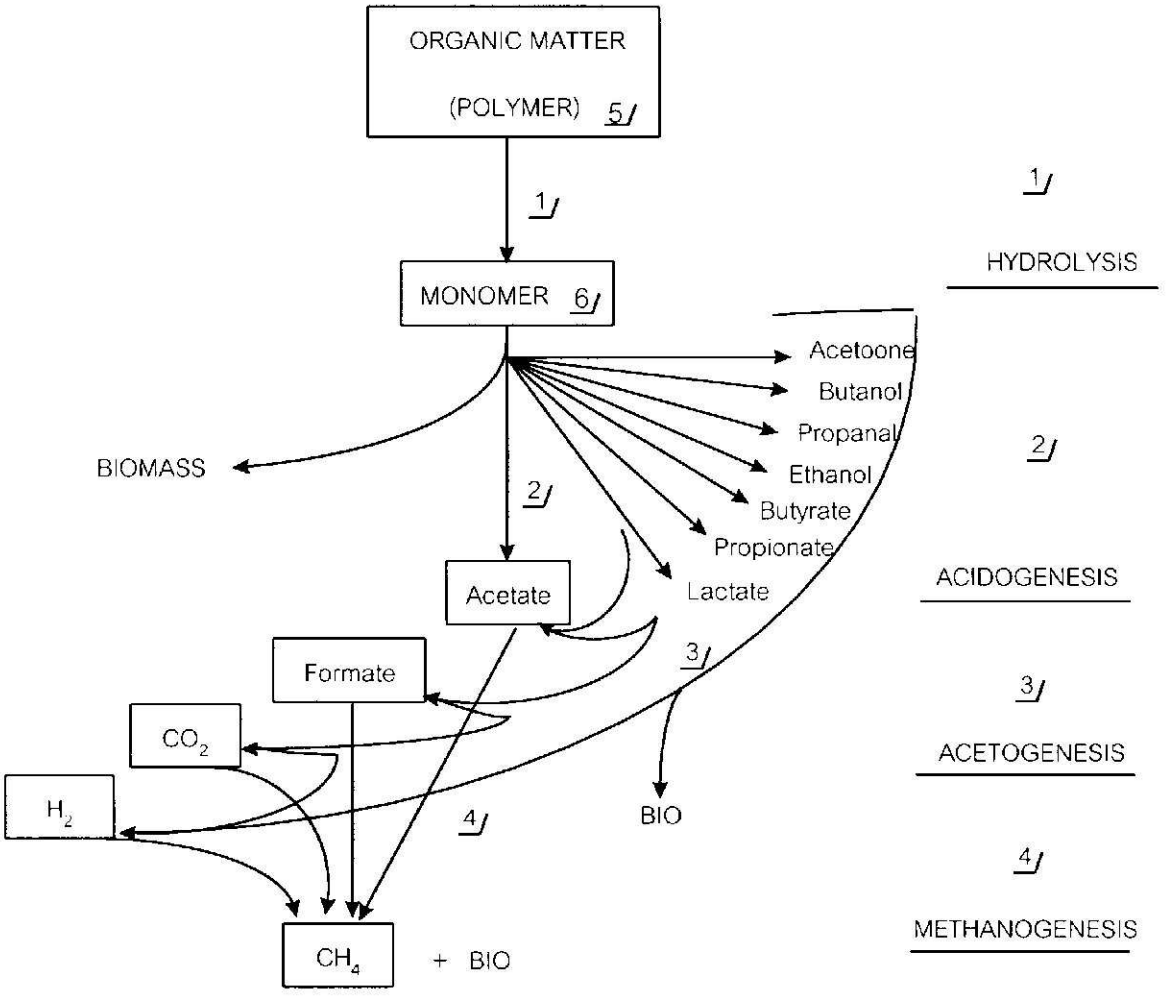


หมายเหตุ PSRP = Processes Which Significantly Reduce Pathogen

PFRP = Processes Which Further Reduce Pathogens

ภาพที่ 3 เทคนิคในการบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบแยกต่างหาก

ที่มา: ส.ผ.,2538 อ้างถึง EPA,1984



ภาพที่ 4 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไร้อากาศ
ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง Perrier (1990)

ขั้นที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการแตกสลายโพลีเมอร์ (polymer break - down) ในขั้นนี้สารประกอบอินทรีย์ประเภทซับซ้อนทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกทำให้ละลายน้ำ โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งใช้เอนไซม์ที่ขับออกมาสู่ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ในขั้นกระบวนการนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นสารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายเท่านั้น ยังไม่มีการกำจัดสารอินทรีย์ในขั้นตอนนี้

ขั้นที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำ ที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนอิสระ (facultative bacteria) ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยกระบวนการเฟอร์เมนเตชั่น (fermentation) ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดโวลาไทล์ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัวเช่น กรดอะซีติก (acetic acid) กรดโพรไพโอนิค (propionic acid) กรดบิวไทริค (butyric acid) กรดวาเลริค (valeric acid) แบคทีเรียจำพวกนี้เรียกว่าแบคทีเรียพวกสร้างกรด (acid former หรือ non - methanogenic bacteria) ซึ่งชนิดของแบคทีเรียแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารอนินทรีย์นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และสภาพแวดล้อมของปฏิกิริยาด้วย

ขั้นที่ 3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)

กรดโวลาไทล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอะซิโดเจเนซิส (acedogenesis) จะถูกเปลี่ยนโดยแบคทีเรียโฮโมอะซิโตเจนิค (homoacetogenic bacteria) ให้เป็นอะซิเตท (acetate) ฟอร์เมท (formate) ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างมีเทนปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดโวลาไทล์ และไฮโดรเจน ในปริมาณที่สูงพอจะยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้

แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเรียกว่า แบคทีเรียสร้างไฮโดรเจน (hydrogen forming bacteria) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกได้ว่า เป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non - Methanogenic Bacteria)

ธนิยา (2540) อ้างถึง Bryant และคณะ (1967) พบว่า ระยะเวลาช่วงแรกที่ ethanol ไม่ถูกใช้เป็น substrate สำหรับ methanogenic bacteria ได้ทันที แต่ถูกออกซิไดส์ในขั้นแรกเป็น acetate และ H_2 โดย acetogenic bacteria จากระยะเวลาที่กลุ่ม intermediate metabolic ซึ่งอาจส่ง substrate สำหรับ methanogens การเกิดไฮโดรเจนลดลง Hydrogen partial pressure ควรรักษาระดับให้ต่ำกว่า 2×10^{-3} และ 9×10^{-5} atm สำหรับการย่อยสลาย butyrate และ propionate ตามลำดับ

ธนิยา (2540) อ้างถึง Zeikus (1980) และ McInerney และคณะ (1980) กล่าวว่าการสังเคราะห์ acetone ถูกรบกวนโดยการยับยั้งของ hydrogen consuming methanogen สำหรับการยับยั้ง NH_4^+ - N ในการย่อยมูลสัตว์ที่สภาวะอุณหภูมิสูง (thermophilic conditions)

ขั้นที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิค และกรดอะซีติก ซึ่งเป็นผลปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรดและไฮโดรเจนจะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่ง เพื่อสร้างมีเทนแบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจัดอยู่ในกลุ่ม Archaebacteria จะเห็นได้ว่า Substrate ที่แบคทีเรียทุกตัวสามารถใช้ได้ มีเพียงไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิค มีส่วนน้อยที่สามารถใช้กรดอะซีติกและเมธานอลได้

ธนิยา (2540) อ้างถึง Albagnac และคณะ (1987) รายงานว่า แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนและแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น (strictly anaerobic bacteria) และเป็นแบคทีเรียที่มีความไวต่อออกซิเจนมาก นอกจากนี้แบคทีเรียจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ถ้า potential redox ในสารละลายตัวกลางมีค่าต่ำกว่า -500 mV

การเปลี่ยนของ acetate (รูปแบบของ acetoclastic methane) และ H_2 / CO_2 (รูปแบบของ hydrogenotrophic methane) เป็นมีเทน (CH_4) คือปฏิกิริยาสำคัญ 2 ปฏิกิริยาโดย methanogens 2-3 ชนิดแยกในรูปของ acetoclastic methane ประมาณ 70 % ของการผลิตมีเทนจากสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนได้มาจากกลุ่ม methyl ของ acetate จาก ธนิยา (2540) อ้างถึง Jeris and McCarty (1965), Smith and Mah (1966), Mackie and Bryant (1981) และ Boone (1982)

1.1.4 ชีวเคมีของกระบวนการสร้างมีเทน

การเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถเขียนเป็นสมการสตรอยซิโอเมตริกของ Buswell ได้ดังนี้

$$C_nH_aO_bN_d + (n-a-b+3d)\ H_2O \longrightarrow (n-a-b-3d)\ CH_4 + (n-a+b+3d)\ CO_2 + dNH_4$$

แบคทีเรียแอนแอโรบิคจัดเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของปฏิกิริยาการสังเคราะห์คาร์บอน ซึ่งสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์ ตามปฏิกิริยาดังนี้

$$(CH_2O) + H_2O \longrightarrow CO_2 + 4H^+ + 4\ \text{electron}$$

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือ ได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานมาจากไฮโดรเจน

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + 32.4\ \text{Kcal} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิคเป็นสารอาหาร (substrate) เพียงอย่างเดียวได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่ากรดฟอร์มิค สามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย

$$HCOOH \longrightarrow CO_2 + H_2 \quad \text{.....} \quad (2)$$

แบคทีเรียชนิดที่สอง สร้างมีเทนจากกรดอะเซติค จากการทดลองที่ใช้กัมมันตภาพรังสีเป็นตัววัดร่องรอย ได้พบว่ามีเทนส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของกรดอะเซติค ดังนี้

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 + 6.71\ Kcal \quad \text{.....} \quad (3)$$

แต่อย่างไรก็ดียังมีข้อสงสัยว่าปฏิกิริยาในสมการที่ (3) นี้จะสามารถให้พลังงานพอเพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์หรือไม่ (ทั้งนี้เพราะตามทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิคส์อาจพิสูจน์ได้ว่าสมการ (3) ได้พลังงานไม่พอเพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์) การเปลี่ยนอะเซเตดให้เป็นมีเทน อาจเกิดขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาที่มีไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานดังนี้

$$CH_3COOH + 4H_2 \longrightarrow 2CH_4 + 2H_2O + 39.01\ Kcal \quad \text{.....} \quad (4)$$

ในปฏิกิริยาอันนี้กรดอะเซติคเป็นสารตัวสุดท้าย ในการรับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจน พลังงานที่ได้สูงกว่าที่ได้จากสมการที่ (3) มาก และเชื่อว่าพอเพียงสำหรับการดำรงชีวิตเซลล์

ธนิยา (2540) อ้างถึง M. Henze และ P. Harremoes (1983) กล่าวว่าแบคทีเรียที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ แบคทีเรียที่ผลิตกรด (acid producing bacteria) และแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน (methane producing bacteria) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน

acid producing bacteria	acidforming bacteria (butyric acid propionic acid)
	acetogenic bacteria (acetic acid and hydrogen)
methane producing bacteria	acetoelastic methane bacteria (acetophilic)
	methane bacteria (hydrogenophilic)

ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง M. Henze และ P. Harremoes (1983)

1.1.5 การย่อยตะกอนแบบไร้อากาศ (Anaerobic sludge digestion)

การย่อยตะกอนน้ำเสียแบบไร้อากาศ เริ่มแรกจะผลิตกรดไขมัน low chain ได้แก่ butyric, propionic และ acetic โดย facultative bacteria กรดไขมัน low chain จะเปลี่ยนรูปโดย methanogenic bacteria ภายใต้สภาวะแบบไร้อากาศ Methanogens จะมีความถ่วงจำเพาะ อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่า acid bacteria บ่อยครั้งจะเกิดปัญหาในการดำเนินงานของถังย่อยในช่วงกรดไขมันทำให้ pH ลดต่ำลง ด้วยเหตุนี้การควบคุม pH ในช่วงวิกฤติของ digesters จึงเป็นปกติสำหรับการย่อยตะกอนแบบไร้อากาศ

แบคทีเรียที่ช่วยให้เกิดการย่อยสลายตะกอนในถังแบบไร้อากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรด (acid forming) และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน (methane forming) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น สามารถเขียนด้วยสมการดังนี้

$$\text{สารอินทรีย์} \xrightarrow{\text{Acid formers}} \text{กรดอินทรีย์} \xrightarrow{\text{Methane formers}} \begin{matrix}\text{ก๊าซมีเทน} \\ \text{ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์}\end{matrix}$$

การย่อยสลายกลูโคส (glucose) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{Acid formers}} 3CH_3COOH$$

$$3CH_3COOH + 3NH_4HCO_3 \longrightarrow 3CH_3COONH_4 + 3H_2O + 3CO_2$$

$$3CH_3COONH_4 + 3H_2O \xrightarrow{\text{Methane formers}} 3CH_4 + 3nH_4HCO_3$$

1.1.6 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมของระบบ

เสริมพล และ ไชยยุทธ (2524) กล่าวถึงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมดังนี้

(1) สภาพไร้ออกซิเจน : น้ำเสียในระบบจะต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย คือ เท่ากับศูนย์ เนื่องจากออกซิเจนเป็นอันตรายต่อพวก methane former bacteria

(2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง : ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6-8.6 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาวะเป็นกรดจะเป็นอันตรายต่อพวก methane former bacteria

ธนิยา (2540) อ้างถึง McCarty (1964) กล่าวว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.6-7.6 และถ้าลดต่ำมากเกินไป ขั้นการเกิดมีเทนจะถูกยับยั้ง

ธนิยา (2540) อ้างถึง McCarty (1964) รายงานว่า ควรออกแบบไว้ให้มีค่า Alkalinity สูง ๆ เนื่องจากเป็นค่าที่ทำให้เกิดความปลอดภัยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Volatile acid อย่างกระทันหัน โดยค่า alkalinity ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 2,500-5,000 mg/L as $CaCO_3$

(3) อุณหภูมิ (Temperature) : การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน มีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วงคือ ช่วง mesophilic ระหว่าง 30-38 °C และช่วง thermophilic ระหว่าง 48-57°C

ธนิยา (2540) อ้างถึง Jewell และ Morris (1970)ศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิสูงมากขึ้นกว่าปกติอย่างกระทันหันด้วยถังปฏิกิริยา และแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีค่าภาระบรรทุกต่ำมาก ๆ จะไม่ไวต่ออุณหภูมิสูง ๆ

ธนิยา (2540) อ้างถึง Speece และ Kan (1970) กล่าวว่า ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จะทำให้ระบบล้มเหลว และถ้าภาระบรรทุกของระบบสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทันที

ธนิยา (2540) อ้างถึง Metcalf and Eddy (1991) กล่าวว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดอยู่ในช่วง 85-100 °F (30-38 °C) และ 120-135 °F (48-57 °C)

(4) อาหารเสริมสร้าง (Nutrient) : ในน้ำเสียควรมีอาหารเสริมสร้างพอเพียงแก่การเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งทั่วไปต้องการธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในอัตราส่วน 11 % และ 2 % ของแบคทีเรียที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปค่า BOD:N:P จะเท่ากับ 100:1.1:0.2 ซึ่งต่ำกว่าค่า BOD:N:P ในระบบแบบใช้ออกซิเจนหรือค่า COD/N เท่ากับ 500:7 (องค์ประกอบของสารอาหารแสดงดังตารางที่ 3)

(5) สารพิษ (Toxic substance) : ในระบบบำบัดต้องไม่มีสารพิษต่อจุลชีพในระบบ เช่น โลหะหนักต่าง ๆ เกลืออนินทรีย์ แอมโมเนีย ซัลไฟด์ ซึ่งความรุนแรงของพิษขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้น ๆ ความเป็นพิษของสารพิษในระบบแสดงดังตารางที่ 4

ธนิยา (2540) อ้างถึง Chau และคณะ (1979) กล่าวถึง ความสำคัญของสารพิษกับความสามารถของแบคทีเรียในการเปลี่ยนแปลงสารพิษว่า ควรมีการเลือกชนิดของแบคทีเรียเพื่อเปลี่ยนแปลงสารพิษไม่ให้มีความเป็นพิษ แต่แบคทีเรียจำพวกนี้จะเติบโตช้ามาก นั่นคือ ต้องใช้เวลานานมากในการเปลี่ยนแปลงสารพิษนั้น ๆ

ตารางที่ 3 องค์ประกอบสารอาหาร

Compound	Beneficial concentration in the stydy g/m^3	Effect	Literature
Fe^{++}	0.2	Precipitation of sulphide flocculation biofilm structure	Speece and Mc Carty (1964)
	12-120(suluble)	-	Hoban and Van den Berg(1979)
Ni^{++}	(0.017	Build-up of F430 co-factor in methanogens	Thauer(1981)
	0.006)	Increase in activity	Murray and Van den Berg(1981)
Mg^{++}	0.01-0.02	Flocculation	Lettinga et al.(1980 a)
Ca^{++}	0.01-0.04	Flocculation	Lettinga et al.(1980 a)
Ba^{++}	0.01-0.1	Flocculation	Lettinga et al.(1980 a)
Co^{++}	0.01	Vitamin B_{12}	Speece and McCarty (1964)
	0.003	Increase in activity	Murray and Van den Berge(1981a)
SO_4^-	0.02	Increase in activity	Van den Berg(1980 b)

ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง M. Henze และ P. Harremoes (1983)

ตารางที่ 4 แสดงค่าศักยภาพความเป็นพิษในระบบไร้ออกซิเจน

Substances	Formula	Consideration Level (mg/L)	Reference
Ammonia	NH_4^+,NH_3	1,500-2,000	McCARTY,1964
Sulphide in solution	H_2S,HS^-,S^{2+}	100-150	MOSEY & HUGHES,1975
Sodium	Na^+	4,000-6,000	McCARTY,1964
Potassium	K^+	3,000-5,000	McCARTY,1964
Calcium	Ca^{2+}	3,000-5,000	McCARTY,1964
Heavy metals	-	Depend on Bacteria	LAWRENCE & McCARTY, 1965
Cyanide	CN^-	0.5-1.0	SPEECE & PARKIN,1983
Methane analogues	-	Very low level	THIEL,1969
Alkyl benzene sulphonate	-	500-700	WOODWORTH et al.,1975

ที่มา : ธนิยา, 2540 อ้างถึง frostell, 1985

ธนิยา (2540) อ้างถึง R.F. Mueller and A. Steiner (1992) ศึกษาโลหะหนักที่เป็นสาเหตุของการยับยั้งการย่อยสลายแบบไร้อากาศซึ่งกล่าวว่า โลหะหนักหลายชนิดที่ยับยั้งการย่อยสลายแบบไร้อากาศนั้น ขึ้นกับชนิดของโลหะหนักและความเข้มข้นที่ละลายอยู่ในถังหมัก โดยทั่วไปลำดับการยับยั้งการย่อยสลายแบบไร้อากาศของตะกอนของเสียชุมชน พบว่าเป็นดังนี้ Ni > Cu > Cd > Cr > Pb โลหะหนักที่สะสมเป็นตะกอน มาก-น้อย นั้นจะตรงข้ามกับลำดับการยับยั้ง (ความเป็นพิษ) ข้างต้น เนื่องจากการเกิดขึ้นของก๊าซซัลไฟด์ ขณะย่อยสลายมีปริมาณมากในระบบที่มีโลหะหนักสูง ๆ และตกตะกอนเป็นเกลือซัลไฟด์

นิเกิลที่สะสมมากถึง 94 % ในถังหมัก และเป็นตัวชี้ที่เร็วมากถึงผลต่อการหมักแบบไร้อากาศที่ความเข้มข้น 250-300 g Ni/m^3 จะเกิดความเป็นพิษขึ้น ค่าความเข้มข้นนิเกิลที่ต่ำมีผลตรงข้ามกับการยับยั้ง ความเข้มข้นทองแดงสูงถึง 1000 g Cu/m^3 เป็นสาเหตุตรงกันข้ามในการยับยั้งของการผลิตกรด , fermentative และ methanogenic bacteria

เวลาเป็นสิ่งจำเป็นในการฟื้นตัวกลับของระบบที่ขึ้นกับความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้นของระบบในถังหมัก จุลินทรีย์ในระบบเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวเข้ากับทองแดงเมื่อทองแดงสูงขึ้นถึง 97 % แคดเมียมยับยั้งการหมักย่อยสลายตะกอนถึง 50 % ที่ความเข้มข้น 650 g Cd/m^3 สำหรับช่วงเวลานานที่คุ้นเคยกับโลหะของระบบนั้นกลับฟื้นสภาพใหม่ได้ แคดเมียมที่สูงขึ้นในถังหมักตะกอนถึง 99 % โครเมียมและตะกั่วที่สูงถึง 99.99 % เมื่อการเพิ่มโลหะหนักมากถึง 1000 mg Cr/l และ 600 mg Pb/l แสดงให้เห็นว่ามีผลต่อถังหมักไร้อากาศเพียงเล็กน้อย

1.1.7 ลักษณะถังปฏิกิริยาแบบไร้อากาศ

ธนิยา (2540) อ้างถึง เพ็ชรพร (2527) ได้แบ่งชนิดและประเภทของถังหมักแบบไร้อากาศดังนี้

1. ถังหมักแบบธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion)

เป็นถังหมักระบบที่ใช้กันแพร่หลาย ในการย่อยสลายตะกอนจากระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ระบบกำจัดประกอบด้วย ถังปฏิกริยาซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่น ก๊าซ บนฝาถังเพื่อระบายก๊าซจากระบบ ระบบถังหมักแบบธรรมดามี 2 แบบคือ

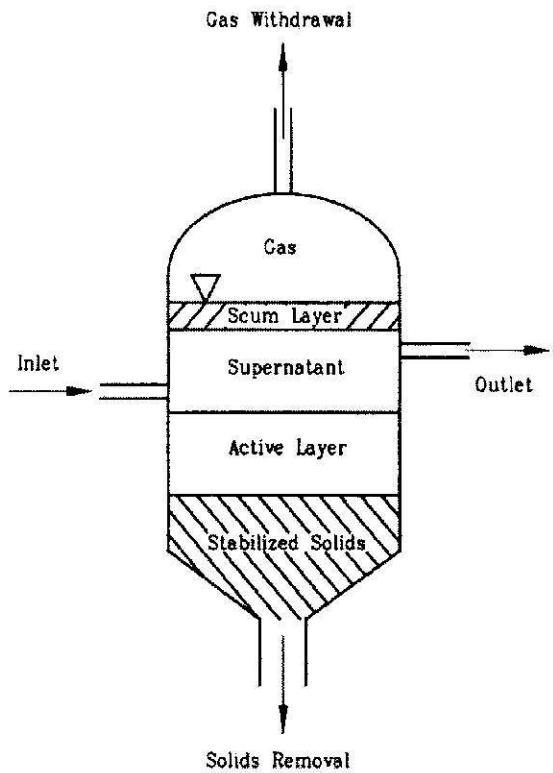
ก. ถังหมักชนิดอัตรากำจัดต่ำ (Low Rate Anaerobic Digestion)

ภายในถังไม่มีเครื่องกวน ทำให้ตะกอนหนักจมลงก้นถัง ตะกอนเบาลอยอยู่ชั้นบน ชั้นตะกอนเบาจะหนาหลายฟุตซึ่งเป็นการลดปริมาตรถังย่อย และทำให้เกิดการลัดวงจร (short circuit) ได้ง่ายอีกด้วย ของเหลว และตะกอนในถังจะแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้แก่ (1) Scum layer เป็นชั้นของ

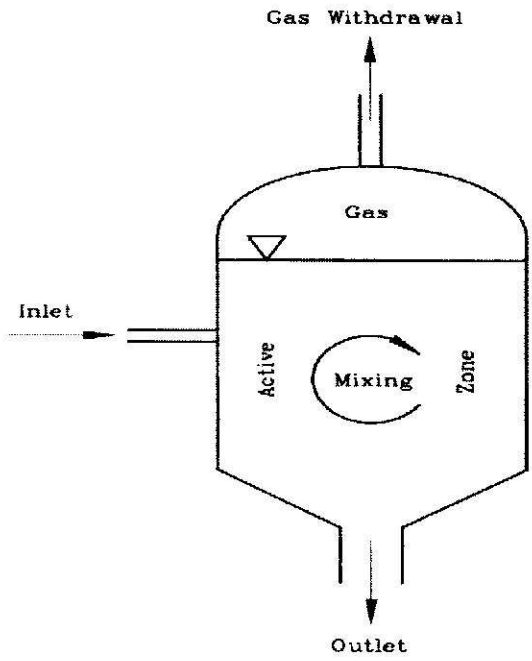
ตะกอนที่ลอยตัว เนื่องจากมีรูพรุนหรือมีฟองก๊าซเกาะอยู่ (2) Supernatant เป็นชั้นของน้ำที่ตะกอนแยกตัวออก (3) Active layer เป็นชั้นที่มีการย่อยสลายตะกอน แบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตในชั้นนี้ และ (4) Stabilized solids เป็นตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และตกลงสู่ก้นถังส่วนก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยสู่ส่วนบนของถัง ซึ่งจะช่วยขยาย active layer ทำให้การย่อยสลายตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว แสดงดังภาพที่ 5

ข. ถังหมักชนิดอัตรากำจัดสูง (High Rate Anaerobic Digestion)

ภายในถังมีเครื่องกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง (Completely Mixed) ในถังแบบนี้มีการลัดวงจร (Short Circuit) น้อยลง ทำให้ระยะเวลากักเก็บน้ำทิ้งที่จำเป็นน้อยลง และประสิทธิภาพดี เนื่องจากจุลชีพสัมผัสกับของเสียได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น แต่น้ำเสียที่ออกจากถังหมักชนิดนี้จำเป็นต้องมีการแยกตะกอนจุลชีพออกก่อน สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ประมาณ 50% ซึ่งจะเปลี่ยนไปในรูปแก๊สชีวภาพและตะกอนที่ย่อยแล้ว จะมีความเข้มข้นประมาณครึ่งหนึ่งของตะกอนที่ยังไม่ผ่านการบำบัด เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลชีพชนิดไม่ใช้ออกซิเจนนั้นช้ามาก ดังนั้นต้องการระยะเวลากักเก็บน้ำนานประมาณ 10-30 วัน แสดงดังภาพที่ 6 และ 7

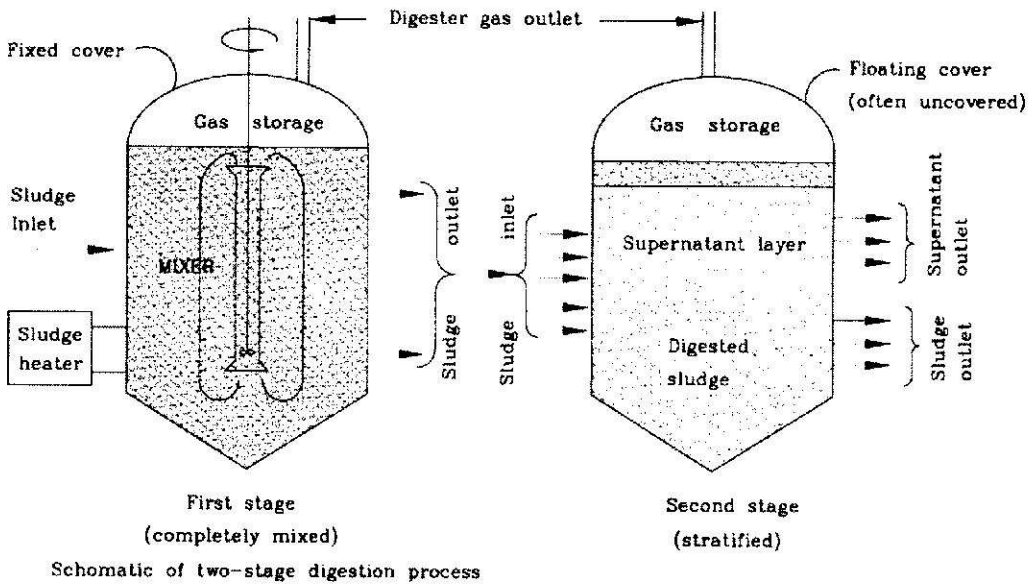


ภาพที่ 5 ถังหมักแบบอัตรากำจัดต่ำ
ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง เพ็ชรพร (2527)



ภาพที่ 6 ถังหมักแบบอัตรากำจัดสูง

ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง เพ็ชรพร (2527)

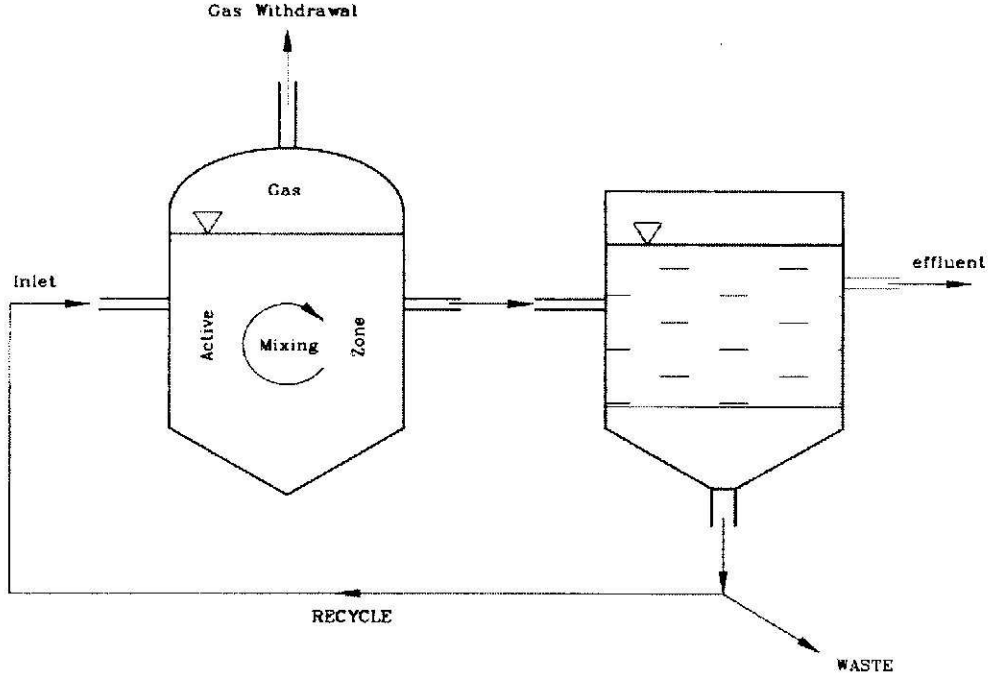


ภาพที่ 7 ถังหมักแบบอัตรากำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน

ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง เพ็ชรพร (2527)

2. ถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)

เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักชนิดอัตรากำจัดสูง ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งอาจเป็นของแข็ง หรือสารละลายก็ได้ ในบางครั้งอาจเป็นถังปฏิกริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบมีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังหมักแบบสัมผัสนี้จึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบตะกอนเร่งแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Activated Sludge) การที่ถังหมักมีการหมุนเวียนตะกอนทำให้อาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติระดับของค่า COD ที่เหมาะสม คือ 4,000 - 50,000 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงดังภาพที่ 8

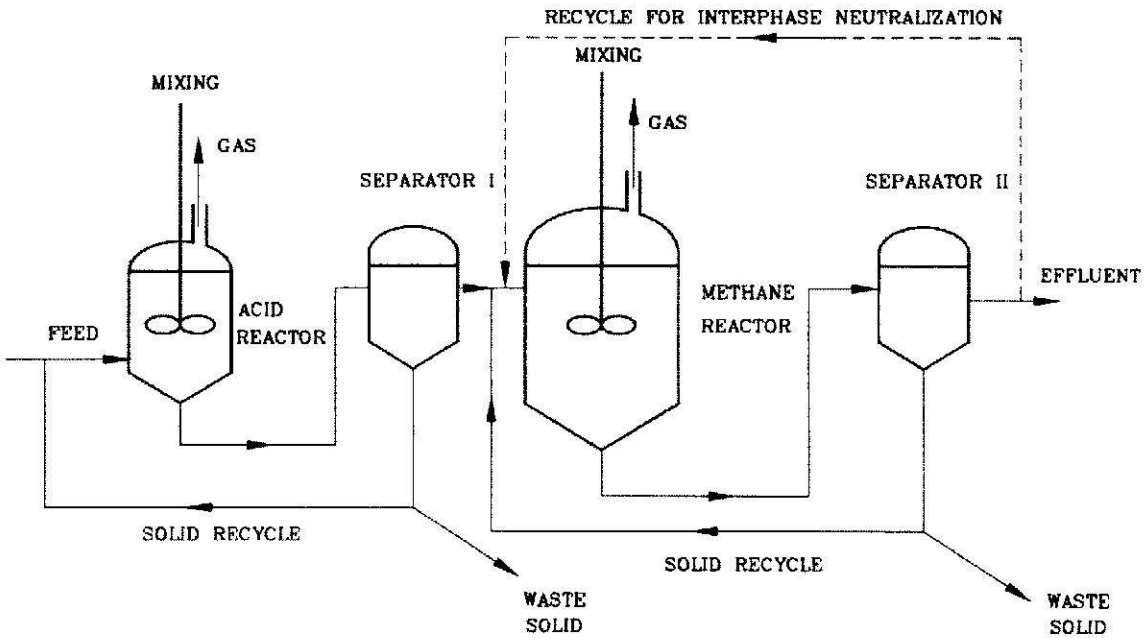


ภาพที่ 8 ระบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)
ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง เพ็ชรพร (2527)

3. ถังหมักแบบสองเฟส (Two - Phase Anaerobic Digestion)

เป็นการแยกถังหมักออกเป็นสองส่วนตามลักษณะการทำงานของจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลชีพแต่ละชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนประกอบของถังหมักแบบสองเฟส ที่ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังหมัก ถังใบแรกมีค่างความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6 จะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้าง

กรด ส่วนถังใบที่สองซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมความเป็นกรด-ด่างแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างกรด วิศวกรบางคนอาจมีวิธีอื่นในการควบคุมแบคทีเรียในถังหมักโดยมิต้องใช้ความเป็นกรด-ด่าง เช่น โดยการควบคุมระดับ SRT (Sludge Retention Time)



ภาพที่ 9 ระบบถังหมักแบบสองเฟส (Two - Phase Anaerobic Digestion)
ที่มา : ธนิยา (2540) อ้างถึง เพ็ชรพร (2527)

1.1.8 การแยกน้ำออกจากสลัดจ์ (Dewatering)

เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์ เพื่อแยกน้ำออกจากตะกอน ก่อนนำตะกอนแห้งไปจัดการในขั้นต่อไป สาเหตุที่ต้องแยกน้ำออกก็เพื่อลดปริมาณตะกอนลง การขนย้ายก็จะสะดวกและประหยัด เช่น ถ้ามีตะกอน 3% solids อยู่ 3 ตัน (ปริมาตรประมาณ 3 ลบ.ม. ประมาณรถดูดส้วมขนาดเล็ก) จะมีปริมาตรเหลือเพียง 3 x (3/20) = 0.45 ตัน เท่านั้น การขนย้ายก็ง่ายเพราะเป็นของแข็ง วิธีการที่ใช้ในการทำ Dewatering พอสรุปได้ดังนี้ จาก เสนีย์ (2533)

1. Vacuum Filtration เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักสูญญากาศ คือจะมี Filter Drum ซึ่งหุ้มด้วยผ้ากรองและจุ่มอยู่ในน้ำตะกอน ภายใน Filter Drum จะมี Vacuum Pump ดูดเอาน้ำใสออก

Central Library
Prince of Songkla University

ทิ้งไป ตะกอนจะติดอยู่ที่ผ้ากรอง เมื่อ Filter Drum หมุนไปถึงจุดที่มีใบมีดก็จะปาดเอาตะกอนแห้ง(20-30% solids) เหล่านี้ออกไป

2. Centrifugation จะอาศัยหลักการ Centrifugal Force แบบที่นิยมใช้มากเรียกว่า Solid-Bowl Centrifuge เครื่องจักรจะหมุนด้วยความเร็วสูงมาก ในช่วง 1,600-2,000 รอบต่อนาที ทำให้สลัดจ์ถูกเหวี่ยงไปอยู่รวมโดยรอบขอบของชุดหมุนหรือ Bowl ในขณะที่น้ำใสจะอยู่ตรงกลางและถูกระบายออกไป

3. Filter Presses มี 2 รูปแบบคือ
   - Plate and Frame จะประกอบด้วยแผ่นเหล็ก (Plate) จำนวนมากที่มีช่องน้ำเข้า-ออก แผ่นเหล็กนี้จะประกอบอยู่บนโครง (frame) โดยมีผ้ากรองแทรกอยู่ระหว่างแผ่น การทำงานอาศัยหลักการสูบน้ำตะกอนด้วยแรงดันสูงมากในช่วง 350-1,575 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เข้าไปตรงกลางแผ่นเหล็ก น้ำจะไหลผ่านผ้ากรองออกไป ตะกอนจะติดอยู่ เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่ง (1-3 ชั่วโมง)ก็จะถอดแผ่นเหล็กออกทีละชั้นเพื่อเอาตะกอนออกไปทิ้งแล้วเริ่มทำงานอีกครั้ง

   - Belt Press ประกอบด้วยลูกกลิ้งจำนวนมากที่ประกบกันอยู่ และมีผ้ากรอง 2 ชุด น้ำตะกอนจะผ่าน Chemical Conditioning ก่อนระบายลงบนผ้ากรองซึ่งจะหมุนผ่านลูกกลิ้งรีดเอาน้ำออก ตะกอนที่ติดอยู่บนผ้ากรองจะถูกใบมีดปาดออกเป็นตะกอนแห้ง ผ้ากรองจะหมุนไปล้างน้ำและกลับมาใช้ใหม่

4. Sludge Drying Bed เป็นลานตากตะกอน ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีการซึมของน้ำภายในลานบรรจุกรวดและทรายสูงรวม 0.4-0.8 เมตร ลานตากตะกอนจะแบ่งเป็นหลายๆ ช่องแต่ละช่องมีทางน้ำตะกอนเข้าด้านบน พื้นลานจะเป็นท่อระบายน้ำอาจใช้ท่อ PVC เจาะรูก็ได้ เพื่อนำน้ำไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอีกครั้ง ปกติจะระบายน้ำตะกอนเข้าลานตากให้มีน้ำตะกอนสูง 0.2-0.4 เมตร กลไกส่วนใหญ่เป็นการระเหยของน้ำและการซึมลงผ่านชั้นทราย ใช้เวลาตากตะกอนประมาณ 5-10 วัน จะได้ตะกอนแห้งมีประมาณ 20-40 % ของแข็ง ควรมีหลังคาคลุมแบบโปร่งๆ เพื่อป้องกันฝนแต่ยังให้ระเหยได้ดี เกณฑ์ในการออกแบบส่วนมากใช้ดังนี้คือ

   - 0.14-0.28 ตารางเมตร/คน สำหรับสลัดจ์จากชุมชน กรณีลานตากไม่มีหลังคาคลุม และใช้ 0.1-0.2 ตารางเมตร/คน ในกรณีที่ลานตากมีหลังคาคลุม
   - 100-300 กิโลกรัมของแข็ง/ตารางเมตร-ปี กรณีลานตากไม่มีหลังคาคลุม และ 150-400 กิโลกรัมของแข็ง/ตารางเมตร-ปี กรณีลานตากมีหลังคาคลุม
   - อาจคิดจากปริมาตรตะกอน โดยถือว่าไม่มีการซึมผ่านชั้นทรายได้

1.1.9 ปุ๋ย (Fertilizers)

หมายถึงวัสดุใดๆ ก็ตามที่ใส่ลงในดิน โดยมีวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ จาก วรพจน์ (2529)

1. เพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต เพื่อให้ได้รับผลผลิตตามปกติ หรือมากขึ้นกว่าเดิม
2. เพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดิน เช่นการใส่ปุ๋ยคอกให้แก่ดินเสื่อมโทรม หรือการใส่อินทรีย์วัตถุ เพื่อเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
3. เพิ่มปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต เป็นการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชที่ใช้เป็นอาหาร เช่น พืชไร่ ไม้ผล และพืชผัก เป็นต้น

พระราชบัญญัติปุ๋ยแห่งชาติ พ.ศ.2518 ให้คำกำจัดความว่า "ปุ๋ย หมายความว่า สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามสำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดิน เพื่อบำรุงความเติบโตของพืช"

ประเภทของธาตุอาหาร แบ่งตามปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการมากหรือน้อย แม้ว่าพืชจะต้องการปริมาณน้อยนิด ก็ต้องมีให้แก่พืช มี 2 ประเภทคือ

1. ธาตุที่พืชต้องการมาก (Major, Macro Essential Elements) ซึ่งจัดเป็นประเภทธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ได้แก่ คาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) ออกซิเจน(O) ไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส(P) โปแตสเซียม(K) แคลเซียม(Ca) แมกนีเซียม(Mg) และซัลเฟอร์(S)
2. ธาตุที่พืชต้องการน้อย (Minor, Micro Essential Elements) ซึ่งจัดเป็นประเภทธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก(Fe) มังกานีส(Mn) สังกะสี(Zn) โบรอน(B) ทองแดง(Cu) โมลิบดินัม(Mo) โคบอล(Co) และคลอรีน(Cl)

บทบาทที่สำคัญของธาตุอาหารหลัก

1. ไนโตรเจน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโปรตีน เมื่อรวมกับคาร์โบไฮเดรท เช่นแป้ง และน้ำตาล จะเกิดกรดอะมิโน พืชที่ขาดไนโตรเจนจะแกรนใบสีเหลืองซีด แสดงว่าไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในคลอโรฟิลล์
2. ฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบในโปรตีน มากกว่า 50% ของฟอสฟอรัสจะอยู่ในผล เมล็ด และส่วนที่กำลังเจริญเติบโต
3. โปแตสเซียม มีมากในส่วนที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ตา ใบอ่อน ปลายราก นอกจากนี้โปแตสเซียมมีส่วนช่วยทำให้พืชต้านทานโรค

อัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N) ถ้ามีค่าต่ำจะสลายตัวได้เร็ว เช่นพืชตะกูลถั่วและหญ้าอ่อนมีค่า 20-30 ส่วนฟางข้าวจะมีค่า 50-80 ฮิวมัสจะมีค่าในช่วง 5-15 (ศุภมาศ, 2540) ในขณะที่อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนจะอยู่ในช่วง 30-50 ถ้ามีค่ามากเวลานำมาใส่ดินเพื่อเป็นปุ๋ยจะเกิดการย่อยสลายต่อไปในดินโดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนส่งผลต่อพืชโดยเฉพาะเมล็ด และอาจมีการตรึงแร่ธาตุในดินไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้ดินขณะนั้นขาดสารอาหารได้โดยเฉพาะไนโตรเจน

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 คุณสมบัติของสิ่งปฏิกูล ที่วิเคราะห์ได้จากโรงบำบัดที่ ต. เกาะแต้ว อ. เมือง จ.สงขลา

จากผลการวิจัยร่วมกันของ EAWAG กับสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ในเดือนมกราคม 2542 ซึ่งเป็นการศึกษาเฉพาะคุณสมบัติของ Septage ของเทศบาลนครสงขลา ซึ่งกระบวนการบำบัดแบบบ่อหมักไร้อากาศของเทศบาลนครสงขลานำเอาสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนซึ่งผ่านการบำบัดมาแล้วจากถังเกรอะ ภายในบ้านเรือนและนำมาบำบัดต่อโดยเฉลี่ยมีเวลาเก็บกักในระบบประมาณ 30 วันก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ลานตากตะกอน และนำตะกอนแห้งไปใช้ทำปุ๋ยโดยชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงที่ตั้งระบบบำบัด ผลการวิเคราะห์พบว่า pH ก่อนและหลังการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 7.4 - 7.9 TS และ TVS หลังการบำบัดมีค่าไม่ต่างกันมากนักกับก่อนการบำบัดซึ่งอยู่ระหว่าง 2,921 - 36,174 มก./ล. และ 1,416 - 19,250 มก./ล. ตามลำดับค่า COD ก่อนการบำบัดมีค่าอยู่ระหว่าง 1,619 - 53,108 มก./ล. และลดลงเล็กน้อยภายหลังผ่านการบำบัด ตะกอนแห้งมีค่า TS ระหว่าง 40 - 76.5 เปอร์เซ็นต์ และ TVS ระหว่าง 17.7 - 36.4 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลดังกล่าวเป็นแนวทางที่นำมาวิจัยต่อเนื่อง เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาระบบบำบัดเดิมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถรองรับการขยายตัวของเมืองสงขลาในอนาคตหรือสามารถขยายเขตการให้บริการออกไปมากยิ่งขึ้น จะช่วยลดปัญหาการแพร่กระจายของพาหะนำโรคหรือมลภาวะแวดล้อมอันเนื่องจากการกำจัดสิ่งปฏิกูลที่ไม่เหมาะสมและถูกต้องได้ ข้อมูลคุณสมบัติสิ่งปฏิกูล แสดงดังตารางที่ 5 ถึง 9

ผลสรุปที่ได้จากการทดลองของ EAWAG and PSU มีดังนี้

1. สิ่งปฏิกูลส่วนใหญ่ที่นำมาที่ระบบบำบัดถูกย่อยสลายไปแล้วบางส่วนด้วยระบบบำบัดของอาคารหรือหน่วยงานนั้นๆ ซึ่งประกอบไปด้วยถังเกรอะ(Septic tank) และถังซึม แล้งจึงนำมากำจัดที่โรงบำบัด ที่โรงบำบัดนี้ เมื่อฝนตกน้ำฝนจะซึมและไหลจากผิวดินเข้าไปเจือจางสิ่งปฏิกูลในถังหมัก
2. pH ของสลัดจ์ที่ถูกย่อยมีค่าใกล้เคียงกับสิ่งปฏิกูลเริ่มเข้าระบบและผลการวิเคราะห์ TS, TVS และ COD ไม่มีการลดลงแต่อย่างใด

ตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูล (Septage) ก่อนเข้าระบบบำบัด จากโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลของเทศบาลนครสงขลา อ. เมือง จ.สงขลา

Sample No.	Date of Collection	Parameters							
		Volume (m^3)	pH	Temp (^0C)	TS (mg/L)	TVS (mg/L)	TS/TVS (%)	COD (mg/L)	COD (filtrate)
1	29/10/98	4	7.9	26.7	18,050	13,500	75	18,432	4,380
2	2/11/98	5	7.8	25.5	22,100	19,250	87	53,108	5,256
3	5/11/98	5	7.8	26.3	18,400	15,750	86	10,192	1,752
4	1/12/98	5	7.7	30.0	9,947	2,679	27	1,766	221
5	1/12/98	5	7.8	29.0	10,558	2,816	27	2,061	221
6	3/12/98	5	7.7	30.0	5,996	1,951	33	9,715	810
7	3/12/98	6	7.4	31.0	18,063	4,801	27	9,126	368
8	4/12/98	4.5	7.9	31.0	2,921	1,416	48	1,619	368
9	8/12/98	4	7.7	28.0	18,717	4,346	23	5,888	810
10	8/12/98	4	7.5	28.0	36,174	7,088	20	22,816	442

ที่มา : The joint field research between EAWAG and PSU, 1999

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูล (Septage) หลังจากผ่านระบบบำบัด จากโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลของเทศบาลนครสงขลา อ. เมือง จ.สงขลา โดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 28 วัน

Sample No.	Date of Collection	Parameters							
		Volume (m^3)	pH	Temp (^0C)	TS (mg/L)	TVS (mg/L)	TS/TVS (%)	COD (mg/L)	COD (Filtered)
1	29/10/98	4.0	7.6	28.5	2,048	932	46	2,453	350
2	2/11/98	5.0	7.5	29.5	26,449	6,338	24	21,024	221
3	5/11/98	5.0	7.5	32.0	12,000	3,460	29	5,888	74
4	1/12/98	5.0	7.9	29.0	37,754	4,218	11	12,186	170
5	1/12/98	5.0	7.5	29.5	21,925	4,658	21	3,917	152
6	3/12/98	5.0	7.2	29.0	36,486	11,238	31	15,232	152
7	3/12/98	6.0	7.6	29.0	23,746	6,190	26	19,802	305
8	4/12/98	4.5	7.6	29.0	12,270	3,443	28	12,186	143
9	8/12/98	4.0	7.2	29.0	45,148	11,433	25	19,040	86
10	8/12/98	4.0	7.6	28.0	34,497	9,851	29	3,046	29

ที่มา : The joint field research between EAWAG and PSU, 1999

ตารางที่ 7 แสดงคุณสมบัติของน้ำชะจากสิ่งปฏิกูล (Percolate) ที่ผ่านระบบบำบัดแล้วนำมาตากบนลานตาก

Sample No.	Date of Sampling	Day(s) after drying	pH	Temp. (°C)	SS (mg/L)	NH_3-N (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)		E-Coli (MPN/100 mL)
								Filtered	Unfiltered	
5	31/12/98	2	7.4	28.0	98	4.48	125	219	343	≥ 24,000
7	21/1/99	17	6.7	31.0	21	0.48	6.0	103	133	≥ 2,400
	27/1/99	24	6.6	32.0	30	N.D	5.0	64	70	23
8	21/1/99	17	6.9	32.0	717	0.28	N.A	N.A	1673	1,600
	27/1/99	24	7.3	31.0	368	N.D	78	115	992	≥2,400
9	21/1/99	14	7.0	31.0	715	0.28	N.A	N.A	1600	1600
	27/1/99	21	7.2	31.0	300	N.D	80	125	800	≥ 2,400
10	7/1/99	1	7.8	28.0	395	8.82	165	76	438	≥ 24,000
	11/1/99	3	7.9	33.0	168	2.52	39	105	286	≥ 24,000

Note N.A = Not analyzed
N.D. = Non – detectable

ที่มา : The joint field research between EAWAG and PSU, 1999

ตารางที่ 8 แสดงคุณสมบัติของน้ำชะจากสิ่งปฏิกูล (Percolate) ที่รวบรวมไปบำบัดในบ่อหมักไร้อากาศ

Date of Sampling	pH	Temp .(°C)	SS (mg/L)	NH_3-N (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)		E-Coli (MPN/100 mL)
						Filtered	Unfiltered	
11/1/99	8.1	33	260	2.8	75	152	381	≥ 24,000
12/1/99	8.1	33	255	3.64	130	164	533	≥ 24,000

ที่มา : The joint field research between EAWAG and PSU, 1999

ตารางที่ 9 แสดงคุณสมบัติของตะกอนสิ่งปฏิกูล (Dried Sludge) ที่ตากบนลานตากตะกอน

No. of Sample	Date of Sampling	Volume (m^3)	TS (%)	TVS (%)
4	27/1/99	1.15	40.0	17.7
5	15/1/99	1.23	76.5	36.4
7	27/1/99	0.67	51.6	26.7
8	27/1/99	0.14	47.6	23.5
9	27/1/99	1.04	45.2	23.1

ที่มา : The joint field research between EAWAG and PSU, 1999

3. ผลจากการสำรวจระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลที่สงขลา พบว่าในถังหมักที่ใช้อยู่ ไม่มีประสิทธิภาพในการทำให้สิ่งปฏิกูลตกตะกอน
4. การที่ไม่ได้เติมทรายเพิ่มและมีรอยแตกของทรายทำให้สิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่เทลงลานทรายผ่านไปยังระบบบำบัดโดยไม่ผ่านการกรอง
5. น้ำชะที่ผ่านทรายกรองแล้วมีค่าความสกปรกสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน
6. หลังจากตากตะกอนแห้งแล้ว TS และ TVS ของสลัดจ์แห้งมีค่าอยู่ในช่วง 40-76.5% และ 17.7-36.4% ตามลำดับ โดยที่ความหนาของชั้นตะกอนอยู่ในช่วง 1-5 เซนติเมตร
7. คนงานและชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงจะเก็บตะกอนแห้งไปใช้เป็นปุ๋ย

1.2.2 การวิจัยอื่น ๆ เกี่ยวกับการบำบัดสิ่งปฏิกูล

ทรงศักดิ์ และ ปริยะดา (2534) ทดลองพบว่าการหมักอุจจาระในสภาวะไร้ออกซิเจนนาน 30 วัน แล้วปล่อยลงบนลานทรายกรองเพื่อตากตะกอนนาน 9 วัน ความชื้นของตะกอน 4.8% สามารถทำลายไข่พยาธิไส้เดือนกลมซึ่งทำลายยากที่สุดได้ แม้ว่าหลังจากหมักนาน 30 วันยังไม่สามารถกำจัดไข่พยาธิชนิดนี้ได้ก็ตาม

จำรูญและคณะ (2534) ได้ทำการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติด้านแบคทีเรียจากน้ำส้วมบนรถทัวร์พบแบคทีเรียในกลุ่มที่ทำให้เกิดโรคดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติด้านแบคทีเรียน้ำโสโครกส้วมบนรถทัวร์

แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค	จำนวนที่ตรวจพบ (ตัวอย่าง)	ร้อยละ
Vibrio cholerae	2	3.6
Shigella app.	1	1.8
Salmonella app.	0	0
Enteropathogenic E.Coli	5	9.1
รวม	8	14.5

บัน (2534) พบว่าเชื้อ Total coliform Bacteria ในถังเกรอะจะลดลงต่ำในวันที่ 8 ของการทดลองหมักสิ่งปฏิกูลทั้งแบบปกติ และถังที่มีการเติมเชื้อ Bacillus spp. เพื่อช่วยในการย่อยสลาย โดยสรุป แบคทีเรียที่ใช้เป็นดัชนีของเชื้อโรคระบบทางเดินอาหาร คือพวก Coliform Bacteria ซึ่งอยู่ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์เลือดอุ่น 95% และอยู่ในดิน 5% สามารถอยู่ในน้ำได้นาน นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียอื่นที่พบในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์เลือดอุ่น นำใช้เป็นดัชนีของเชื้อระบบทางเดินอาหารได้ เช่น Fecal Streptococcus ซึ่งทั้งหมดสรุปได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงแบคทีเรียที่ใช้เป็นดัชนีของเชื้อโรคระบบทางเดินอาหารที่พบในคนและสัตว์เลือดอุ่น

แบคทีเรียตัวชี้วัด	แหล่งที่พบ	ลักษณะ
Coliform Bacteria มี 2 กลุ่มใหญ่คือ Escherichia coli (E.coli) และ Non Fecal Coliform	Escherichia (E.coli)มักพบในอุจจาระ Non Fecal Coliform พบได้ในอุจจาระและในธรรมชาติ	เป็น Aerobic และ Facultative Anaerobic แกรมลบ รูปร่างเป็นแท่ง ไม่สร้างสปอร์ สามารถ ferment น้ำตาล Lactose ให้กรดและก๊าซภายใน 24-48 ชั่วโมงที่ 35 ^{o}C กลุ่ม Non Fecal Coliform ไม่ควรพบในน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้ว เช่น น้ำประปา
Fecal Streptococcus	ระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์เลือดอุ่นทั่วไป โดยพวก Streptoccus bovis และ Streptococcus equinus จะพบในสัตว์เลือดอุ่น ส่วนพวก Streptoccus faecalis และ Streptococcus faecium จะพบทั้งในคนและสัตว์เลือดอุ่น	เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปร่างกลม ขนาด 1 ไมครอน ต่อกันเป็นโซ่สั้นๆ 2-3 เซล

บทที่ 2
วิธีการศึกษาวิจัย

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 ถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic digester)

2.1.2 ถังหมักธรรมดาเป็นทรงกระบอก จำนวน 3 ถัง ทำด้วยท่อ PVC ด้านบนและล่างปิดด้วยฝาครอบท่อ PVC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร มีความจุ 56.5 ลิตร ส่วนด้านบนเจาะรูเพื่อทำท่อระบายก๊าซที่เกิดจากการหมักในระบบ แสดงดังภาพที่ 10 และถังหมักธรรมดาขนาดเล็กทำจากท่อ PVC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร มีความจุ 7 ลิตร จำนวน 5 ถัง ด้านบนมีท่อต่อไปยังถังน้ำเพื่อป้องกันอากาศเข้าไปในถัง แสดงดังภาพที่ 11

2.1.3 ถังหมักมีใบกวน ใช้ถังหมักเป็นทรงกระบอก ทำจากท่อ PVC เช่นเดียวกับถังหมักที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2.1.2 แต่เพิ่มตัวกวนลักษณะเป็น Turbine 2 อัน ในแกนหมุนหนึ่งอัน ต่อเข้ากับมอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า โดยทำการทดรอบให้ได้ความเร็วรอบ 250 รอบ / นาที ทั้งหมดประกอบอยู่ในโครงเหล็ก แสดงดังภาพที่ 12

2.1.4 ลานทรายตากตะกอน (Sand filter) ทำด้วยแผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 5มิลลิเมตร ขนาด 60 × 80 × 30 เซนติเมตร (กว้าง × ยาว × สูง) ชั้นล่างบรรจุกรวดและหินหยาบหนา 10 เซนติเมตร ชั้นทรายหนา 10 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 13

2.1.5 กรวย Imhoff cone สำหรับวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำใช้ในถังหมักแบบธรรมดา และใช้เข็มสำหรับดูดก๊าซและขวดเก็บก๊าซสูญญากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์ก๊าซมีเทน เครื่องมือเก็บก๊าซแสดงดังภาพที่ 14

2.1.6 Counter สำหรับวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ในถังหมักมีใบกวน

2.1.7 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH meter)

2.1.8 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

2.1.9 ชุด Reflux สำหรับวิเคราะห์ COD

ภาพที่ 10 แสดงถังหมักไร้อากาศแบบไม่มีใบกวนและการต่อท่อก๊าซไปวัดปริมาณในกรวย Imhoff สำหรับระยะเวลาหมัก 20, 30 และ 40 วัน

ภาพที่ 11 แสดงถังหมักไร้อากาศแบบไม่มีใบกวนและการต่อท่อก๊าซไปไว้ในถังน้ำเพื่อระบายก๊าซ สำหรับระยะเวลาหมัก 5, 10, 15, 25 และ 35 วัน

ภาพที่ 12 แสดงถังหมักไร้อากาศแบบมีใบกวนและการต่อท่อก๊าซไปยังเครื่องวัดปริมาณก๊าซอัตโนมัติ มีระยะเวลาหมัก 30 วัน

ภาพที่ 13 แสดงลานทรายตากตะกอน

ภาพที่ 14 แสดงอุปกรณ์ในการเก็บก๊าซไปตรวจวิเคราะห์

2.1.10 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไนโตรเจน

2.1.11 เครื่องแก้วและชุด Titration

2.1.12 ตู้อบ (Hot dry air oven)

2.1.13 ตู้เผาความร้อนสูง (Muffle Furnace)

2.1.14 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)

2.1.15 SpectroPhoto meter

2.1.16 Gas Chromatography (GC)
SHIMADZU GC-14 B C-R6A Chromatopac

2.1.17 เครื่องวัดความชุ่น

2.1.18 ถังเก็บสิ่งปฏิกูล

2.1.19 ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ Fecal coliform

2.1.20 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับตัวแปรที่กำหนด

2.1.21 เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 กรัม

2.1.22 ชุดคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์

2.2 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

2.3 วิธีการทดลอง

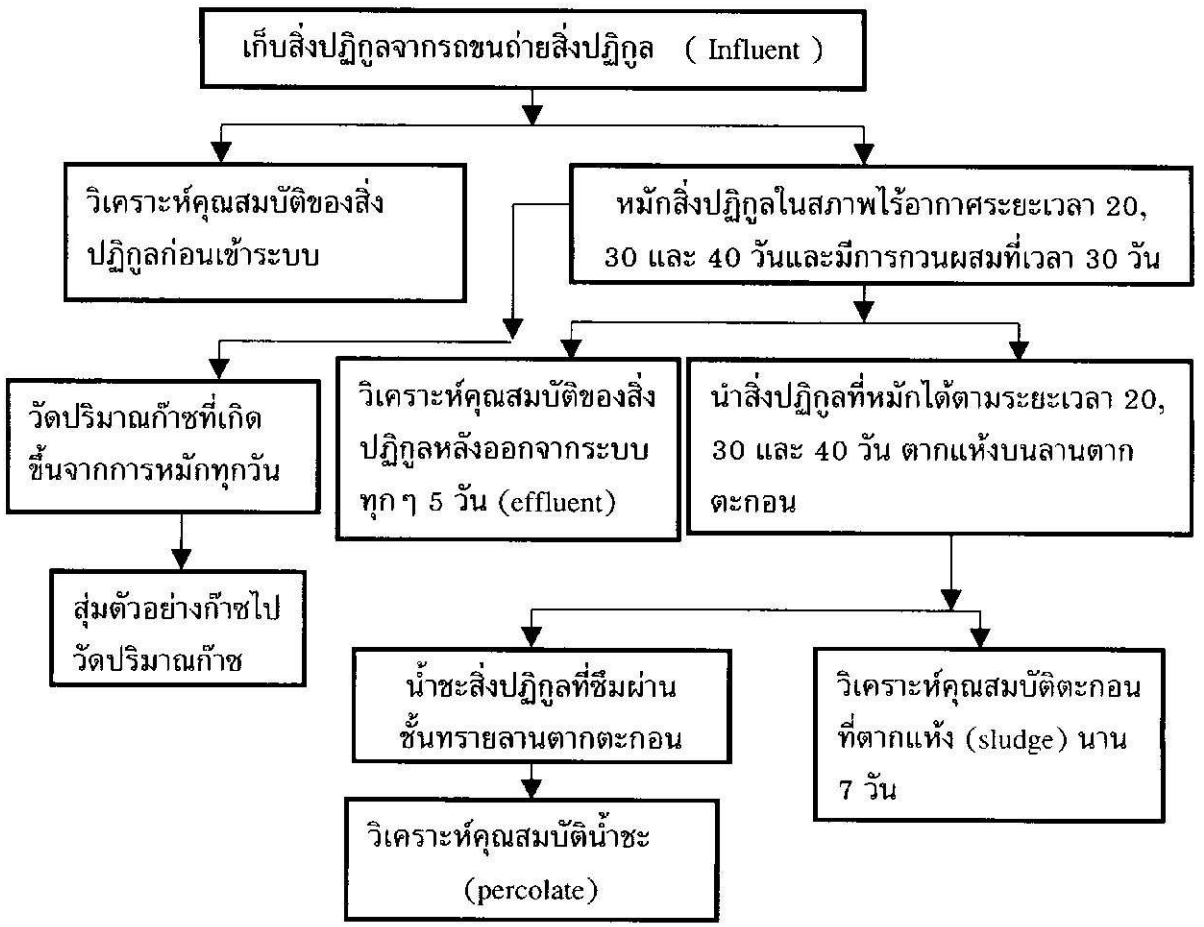
สรุปขั้นตอนการทดลองดังภาพที่ 15 และตารางที่ 12 และมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 นำสิ่งปฏิกูลก่อนใส่ในถังปฏิกิริยา (Influent) มาทำการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 12 ซึ่งทำการเก็บสิ่งปฏิกูลมาทำการทดลองครั้งนี้เมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2544

2.3.2 ชุดถังหมักสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนที่ไม่มีใบกวน

จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า เกิดปัญหาการตกตะกอน เนื่องจากเป็นถังหมักแบบไม่มีการกวนผสม จึงทำให้มีผลต่อการเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ตัวแปรบางตัว ที่เวลาเก็บกักต่าง ๆกันเพื่อจะดูแนวโน้มของตัวแปรเหล่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ ของแข็ง (TS และ TVS) และ TCOD จึงได้สร้างแบบจำลองที่ทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 0.4 ม. แสดงดังภาพที่ 11 เพื่อเป็นตัวแทนในการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่เวลาเก็บกัก 5, 10, 15, 25 และ 35 วัน

ส่วนที่เวลาเก็บกัก 20, 30 และ 40 วัน ซึ่งจะนำไปใช้ในการศึกษาตัวแปรชุดเดียวกันแต่จะเพิ่มเติมในส่วนของการศึกษาปริมาณก๊าซมีเทน และนำตะกอนที่หมักครบตามระยะเวลาดังกล่าวไปตากบนลานทรายตากตะกอนต่อไปนั้น จะใช้ถังปฏิกิริยาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 15 แสดงขั้นตอนการทดลอง

ตารางที่ 12 สรุปตัวแปรที่ทำการตรวจสอบในการทดลอง

ตัวแปร	ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์			
	Influent	Effluent	Percolated	Dry Sludge
Temperature	✓	✓	-	-
pH	✓	✓	✓	-
Alkalinity	✓	✓	-	-
Turbidity	-	-	✓	-
TS	✓	✓	✓	-
TVS	✓	✓	✓	✓
SS	-	-	✓	-
SCOD	✓	✓	-	-
TCOD	✓	✓	✓	-

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ตัวแปร	ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์			
	Influent	Effluent	Percolated	Dry Sludge
TKN	✓	✓	✓	✓
TP	✓	✓	✓	✓
K	-	-	-	✓
Moisture Content	-	-	-	✓
Fecal Coliform	✓	✓	✓	✓

2.3.3 ชุดถังหมักสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนที่มีการกวนผสม

ประกอบด้วยถังปฏิกิริยา 1 ใบ แต่มีการกวนผสมภายในถังปฏิกิริยา โดยใช้ใบกวนที่มีลักษณะเป็นใบพัดเรียบยาว (Turbine) 2 ใบต่อกันเป็นหนึ่งชุดในกวน และใช้ 2 ชุดใบกวน กวนผสมนาน 6 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลานาน 30 วัน เพื่อจะเปรียบเทียบผลการทดลองกับถังปฏิกิริยาที่ไม่มีการกวนผสม

2.3.4 การเก็บตัวอย่างสิ่งปฏิกูลไปวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

2.3.4.1 สำหรับชุดการทดลองที่ไม่มีการกวนผสม หลังจากเริ่มเดินระบบ 5 วันจึงเริ่มเก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ (effluent) แสดงดังตารางที่ 12 หลังจากนั้นให้ทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 5 วัน จนกระทั่งครบตามเวลาเก็บกัก (detention time) ของแต่ละถังปฏิกิริยา

2.3.4.2 สำหรับชุดการทดลองที่มีการกวนผสม ให้ทำการเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ไม่มีการกวนผสม โดยเปิดวาล์วด้านล่างของถังปฏิกิริยาทุก ๆ 5 วัน จนครบเวลาเก็บกัก 30 วัน

2.3.5 สำหรับสิ่งปฏิกูลที่เหลือจากการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ในถังปฏิกิริยาขนาด 12 นิ้ว หลังจากครบกำหนดเวลาเก็บกัก (detention time)ที่ 20, 30 และ 40 วัน รวมถึง 30 วันของถังที่มีการกวนผสมแล้ว ให้นำไปปล่อยลงลานทรายตากตะกอนจำลอง ด้วยอัตรา 104 ลิตรต่อตารางเมตร จะได้ความสูงของน้ำตะกอนประมาณ 10 เซนติเมตร สัดส่วนดังกล่าวผู้ทดลองได้กำหนดขึ้นเอง เพื่อความสะดวกในระดับการทดลอง โดยคิดประมาณเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าสัดส่วนที่

โรงบำบัดสิ่งปฏิกูลที่เทศบาลนครสงขลาใช้ประมาณ 4 เท่า (ซึ่งในฤดูฝนทางเทศบาลเองก็มีปัญหาตะกอนไม่แห้งปรากฏให้เห็นเช่นกัน) แต่สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ปรับเทียบหรือใช้อธิบายเมื่อสัดส่วนการปล่อยน้ำตะกอนลงบนลานทรายมีการเปลี่ยนแปลงไปจากนี้ได้ในขอบเขตของตัวแปรที่ได้ทำการทดลอง จากนั้นจึงนำตะกอนแห้งหลังจากตากนานเท่ากัน 7 วัน ไปวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆดังแสดงในตารางที่ 12

2.3.6 สำหรับน้ำชะที่ผ่านทรายกรอง (percolated) ให้นำไปวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่แสดงดังตารางที่ 12

2.3.7 บันทึกปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวันทั้ง 3 ถังหมักที่มีขนาด 12 นิ้วเพื่อหาค่าเฉลี่ย และถังหมักที่มีการกวนผสม และสุ่มตัวอย่างไปตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน โดยการสุ่มตัวอย่างจะครอบคลุมตลอดช่วงที่ทำการหมัก

2.3.8 วิธีการวิเคราะห์ตัวแปร

สำหรับวิธีการตรวจวัดตัวแปรต่าง ๆในการทดลองนี้สรุปดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรวัดคุณภาพ	วิธีการวิเคราะห์
1. pH	- pH Meter
2. Temperature	- Thermometer
3. Alkalinity	- Titration Method
4. Turbidity	- Turbidimeter (NTU)
5. Chemical Oxygen Demand (COD)	- Open Reflux, Titrimetric Method
6. Total Solids (TS)	- Dried at 103-105 °C
7. Total Volatile Solids (TVS)	- Fixed and Volatile Solids Ignited at 500 °C
8. Suspended Solids (SS)	- Dried at 103-105 °C
9. Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	- Micro-Kjeldahl Method
10. Total Phosphate (TP)	- Stannous Chloride Method
11. Potassium (K)	- Atomic Absorption Spectrometric Method
12. Fecal Coliform Bacteria	- Multiple-tube Fermentation Technique (MPN Index)

หมายเหตุ : - การตรวจวัดและการรักษาตัวอย่างจะทำตามที่กำหนดใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition (APHA, AWWA & WEF, 1995)

บทที่ 3
ผลการศึกษา

3.1 อิทธิพลของระยะเวลาการหมักต่อประสิทธิภาพการทำงานของถังหมักไร้อากาศที่ไม่มีการกวนผสม

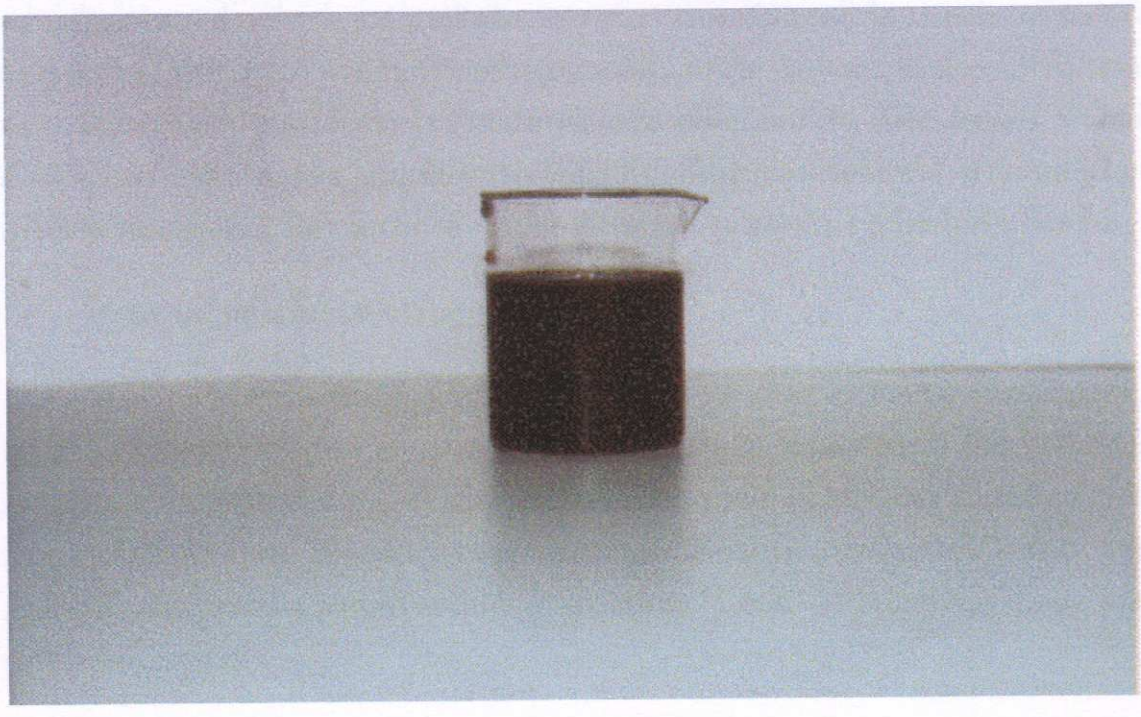
การศึกษาครั้งนี้ได้เริ่มเดินระบบถังหมักไร้อากาศ โดยนำสิ่งปฏิกูล (Septage) จากรถขนถ่ายสิ่งปฏิกูลของเทศบาลนครสงขลา ป้อนเข้าระบบถังหมักแบบครั้งเดียว (Batch Feed) แสดงการเก็บตัวอย่างสิ่งปฏิกูลในภาพที่ 16 ลักษณะโดยทั่วไปของสิ่งปฏิกูลเป็นตะกอนข้นแขวนลอยในน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้นาน 1 ชั่วโมงพบว่าเริ่มมีการแยกชั้นตะกอนกับน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 17 นำมาใส่ถังปฏิกิริยาเริ่มเดินระบบถังหมักไร้อากาศ โดยทำการหมักตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ คือ 20, 30 และ 40 วัน ในถังหมักใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อหมักได้ตามระยะเวลาที่กำหนดจึงดำเนินการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล และเพื่อเป็นการไม่รบกวนระบบของถังหมัก 3 ใบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ซึ่งเป็นถังหลัก ดังนั้นในระหว่างช่วงเวลาที่จะครบกำหนดตามระยะเวลาหลักที่กำหนดไว้คือ 20, 30 และ 40 วัน ได้ทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลเพื่อดูแนวโน้มของปฏิกิริยา จากถังหมักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว เพื่อศึกษาแนวโน้มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยทำการเก็บวิเคราะห์ผลจากถังขนาด 6 นิ้วทั้ง 5 ถัง ในวันที่ 5, 10, 15, 25 และ 35 วันตามลำดับ จนครบกำหนดตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆกัน

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Temp (^{o}C)	pH	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	TS (mg/L)	TVS (mg/L)	TVS (%)*	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)
0	30.0	7.0	2,400	16,023	11,400	71.1	21,600	1,650	614	162
5	28.0	7.0	2,600	16,800	10,104	60.1	16,800	1,680	645	109
10	28.0	6.7	3,300	16,516	12,056	73.0	19,680	1,800	588	142
15	27.0	7.0	3,300	17,670	13,105	74.2	21,912	996	712	150
20	27.0	7.2	3,000	16,575	12,105	73.0	21,420	960	673	121
25	28.5	7.0	3,100	16,325	11,750	72.0	23,712	2,570	672	151
30	27.5	7.2	2,700	14,430	10,210	70.8	21,120	1,970	714	85
35	28.0	7.2	2,800	17,370	12,575	72.4	25,688	2,964	686	116
40	28.5	7.2	2,700	14,700	10,560	71.8	19,019	1,729	644	111

หมายเหตุ * คือคิดเป็นร้อยละของ TS

ภาพที่ 16 แสดงการเก็บตัวอย่างสิ่งปฏิกูลจากรถขนถ่ายสิ่งปฏิกูล



ภาพที่ 17 แสดงลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่นำมาทำการทดลอง

3.1.1 สภาวะการทำงานโดยทั่วไปของระบบ

อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของระบบในช่วงระยะเวลาเดินระบบ วัดได้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27 – 28.5 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในตารางที่ 14) บางวันอุณหภูมิลดลงอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิตามสภาพอากาศในช่วงเวลาที่ทำการเดินระบบในห้องปฏิบัติการ ถือว่าเป็นช่วงอุณหภูมิ Mesophilic range ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่นิยมใช้ควบคุมระบบหมักไร้อากาศในประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตามปกติในบรรยากาศ จึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการเพิ่มความร้อนให้กับระบบ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่า ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในช่วงระยะเวลาการหมักต่างๆกันมีช่วงที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 6.7 – 7.2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตะกอนเข้าระบบ และค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการหมักแบบไร้อากาศจะอยู่ในช่วง 6.6 – 7.6(เสริมพล, 2524) แสดงให้เห็นว่าระบบมีค่า pH ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพราะถ้าในระบบมีค่าความเป็น กรด – ด่าง ต่ำกว่า 6.5 ประสิทธิภาพการทำงานของกลุ่มแบคทีเรีย Methane formers จะต่ำลง และค่า pHต่ำกว่า 5.0 จะมีอันตรายอย่างรุนแรงต่อแบคทีเรีย Methane formers ทำให้ระบบไม่สามารถลดความสกปรกลงได้เพราะในช่วงของการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย Acid formers นั้นผลที่ได้ยังไม่ถือว่าความสกปรกลดลง เป็นเพียงการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ ส่วนแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด Acid formers มีความสามารถคงทนต่อสภาพเป็นกรดได้ต่ำถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย

ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างของสิ่งปฏิกูลเข้าระบบมีค่า 2,400 มก./ลิตร as $CaCO_3$ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน มีค่า 3,000 มก./ลิตร as $CaCO_3$ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วันและ 40 วัน มีค่า 2,700 mg/L as $CaCO_3$ (ดังแสดงในตารางที่ 14) แสดงให้เห็นว่าในระบบหมักนี้มี Buffering Capacity ที่ค่อนข้างสูงในการรักษาค่า pH ให้คงที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาในระบบหมักแบบไร้อากาศ โดยค่า Alkalinity ที่เหมาะสมต่อระบบการหมักไร้อากาศประมาณ 1,000 – 5,000 mg/L as $CaCO_3$ (เกรียงศักดิ์, 2543)

ธาตุอาหารเสริมสร้าง (COD : N : P)

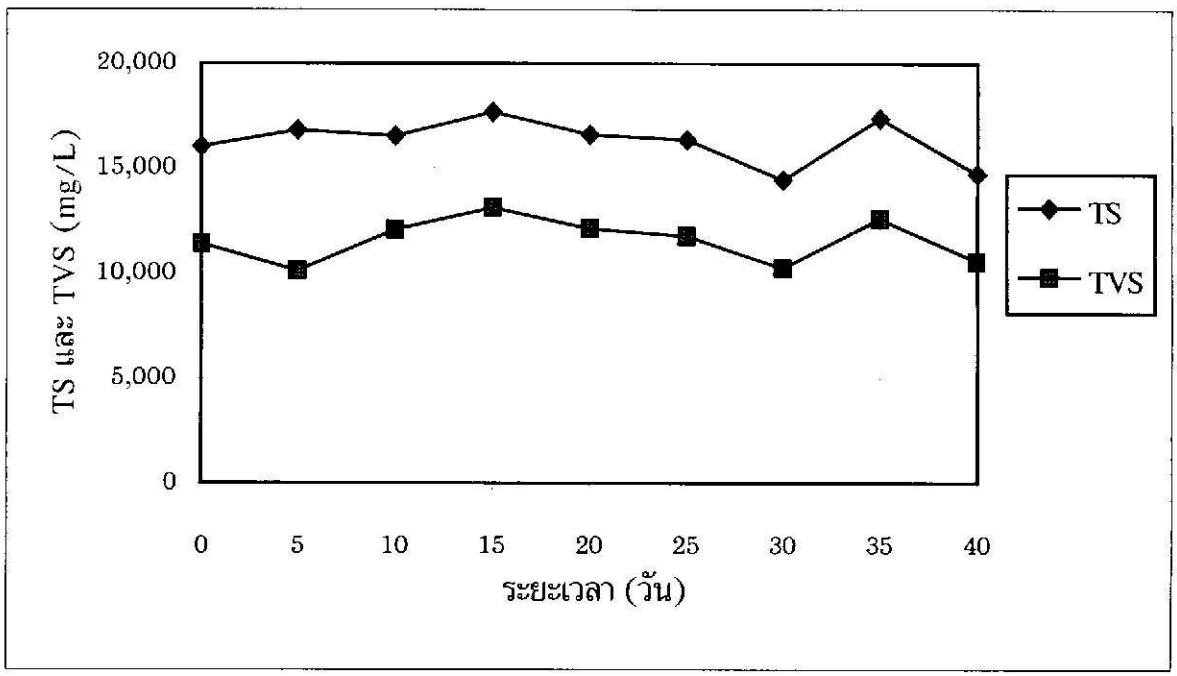
จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของสิ่งปฏิกูลที่ป้อนเข้าระบบ เพื่อหาอัตราส่วนของธาตุอาหารเสริมสร้างพบว่า ได้ค่า COD : N : P เป็น 100 : 2.8 : 0.75 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอัตราส่วนของธาตุอาหารเสริมสร้าง ของระบบหมักแบบไร้อากาศที่เหมาะสมคือ

COD : N : P เท่ากับ 800 : 5 : 1 หรือ 100 : 0.6 : 0.1 (เกรียงศักดิ์, 2543 อ้างถึง Prof. C.F. Seyfried จาก Hannover U.) ดังนั้นจึงถือว่าระบบอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

3.1.2 การกำจัดของแข็งทั้งหมด TS และของแข็งระเหยได้ TVS

จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้ามาในระบบมีค่าค่อนข้างสูง โดยมีค่า 16,023 มก./ลิตร เมื่อเริ่มทำการหมักจะพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์มีค่าขึ้น ๆลง ๆ แต่แนวโน้มที่จะลดลงเล็กน้อย โดยจะพบว่าที่ระยะเวลาการหมักผ่านไป 20, 30 และ 40 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่า 16,575, 14,430 และ 14,700 มก./ลิตร ตามลำดับ (แสดงในตารางที่ 14 และ ภาพที่ 18)

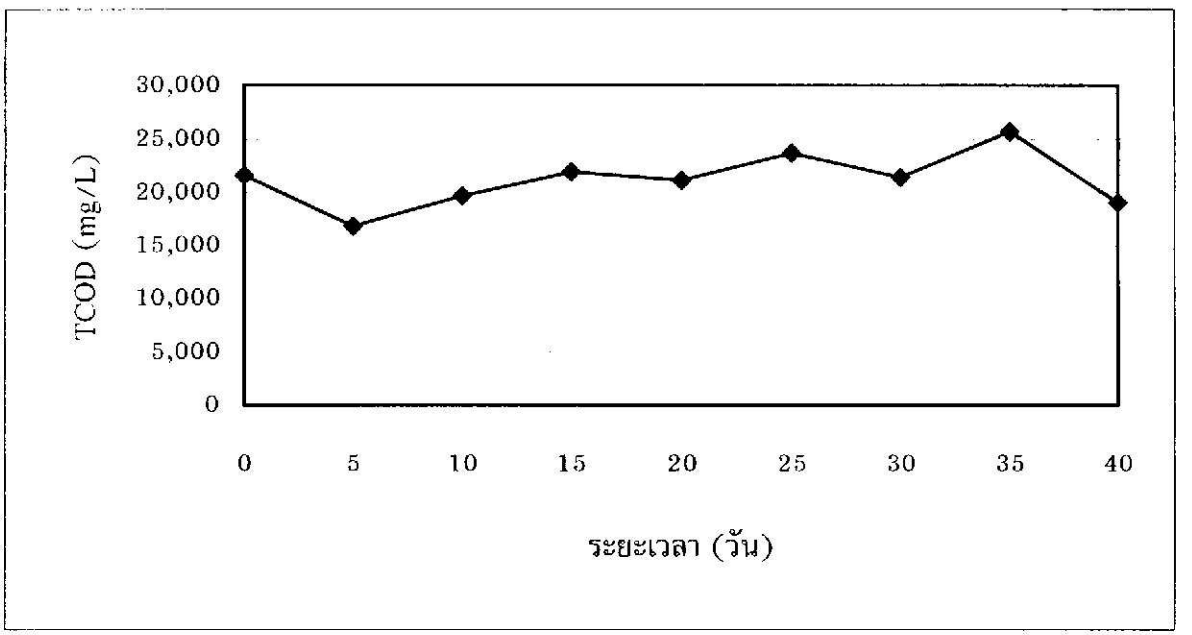
ในขณะที่ของแข็งระเหยซึ่งเป็นตัวที่บ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย จากเข้าระบบ 11,400 มก./ลิตร เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 20, 30 และ 40 วัน ปริมาณของแข็งระเหยที่วิเคราะห์ได้มีค่า 12,105, 10,210 และ 10,506 มก./ลิตร ตามลำดับ โดยเปอร์เซนต์ของแข็งระเหยได้เมื่อเทียบกับของแข็งทั้งหมดที่เวลาการหมักต่าง ๆกัน มีค่าอยู่ในช่วง 60.1-74.2% (แสดงในตารางที่ 14) แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพไม่ดีพอที่จะกำจัดปริมาณของแข็งที่ระเหย ซึ่งตามทฤษฎีแล้วลักษณะถังหมักไร้อากาศแบบอัตรากำจัดต่ำนี้ น่าจะเป็นการสร้างเสถียรภาพของตะกอนที่ก้นถังเพื่อเป็นการแยกน้ำออกส่วนหนึ่งมากกว่า เพราะในขณะเก็บตัวอย่างได้ทำการกวนเป็นเนื้อเดียวกัน ให้เหมือนกับสภาพของโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลที่สงขลา



ภาพที่ 18 แสดงปริมาณ TS และ TVS ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

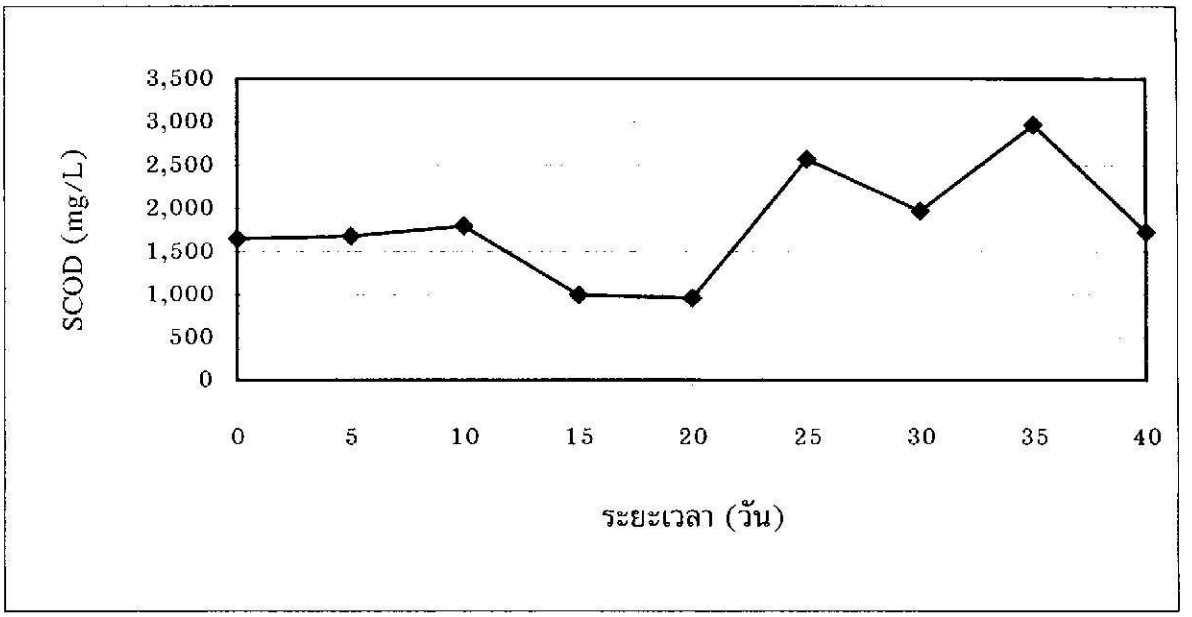
3.1.3 การกำจัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD และ SCOD

จากตารางที่ 14 ปริมาณสารอินทรีย์ในรูป ซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ที่เข้าระบบแบบจำลองถังหมักไร้อากาศมีค่า 21,600 มก./ลิตร และพบว่าปริมาณค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ที่วิเคราะห์ได้เมื่อครบระยะเวลาหมัก 20 วัน ลดลงเหลือ 21,420 มก./ลิตร และลดลงเหลือ 21,120 มก./ลิตร และ 19,019 มก./ลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.83, 2.24 และ7.32 ตามระยะเวลาหมักที่ 30 วัน และ 40 วัน ตามลำดับ (ดังแสดงแนวโน้มในภาพที่ 19) ซึ่งจะพบว่าปริมาณค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการหมักสิ่งปฏิกูลเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 19 แสดงปริมาณ TCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

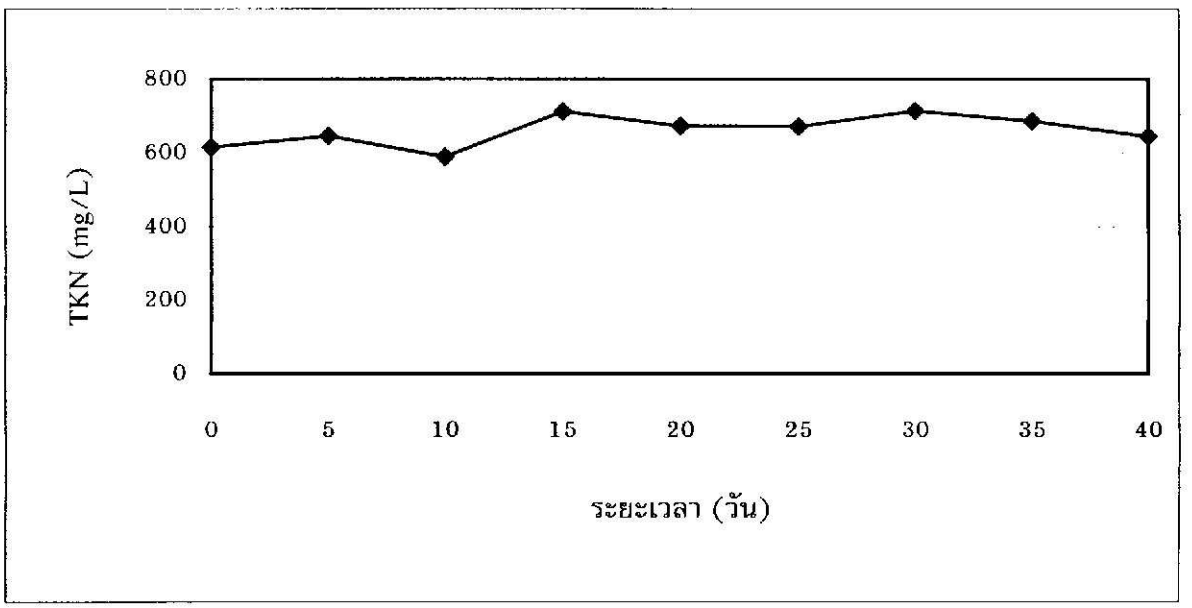
ในส่วนการวิเคราะห์ปริมาณค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำ (SCOD) ผลการทดลองพบว่าปริมาณของซีโอดีในรูปละลายน้ำ มีค่าขึ้นลงไม่มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากการกวนผสมสิ่งปฏิกูลเป็นเนื้อเดียวกันก่อนการนำมาวิเคราะห์ดังที่กล่าวไปในหัวข้อการกำจัด TS และ TVS แล้ว จากการวิเคราะห์ปริมาณค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำของตะกอนสิ่งปฏิกูลที่เข้าระบบมีค่า 1,650 มก./ลิตร และเมื่อเวลาหมักผ่านไปจะมีค่า 960 1,970 และ 1,729 มก./ลิตร ตามระยะเวลาการหมักที่ 20, 30 และ 40 วัน ตามลำดับ ดังแสดงแนวโน้มในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดงปริมาณ SCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

3.1.3 การกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)

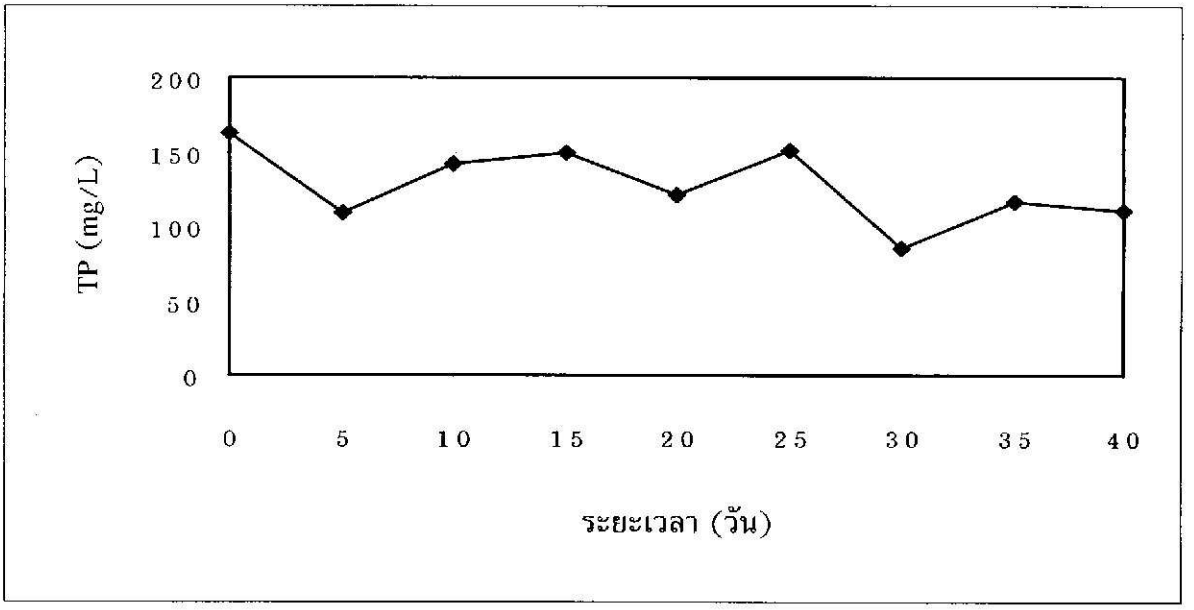
จากผลการทดลองจะพบว่า ปริมาณไนโตรเจนมีค่าขึ้นลงไม่แน่นอน จากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าระบบ 614 มก./ลิตร และเมื่อผ่านระบบมีค่า 673, 714 และ 644 มก./ลิตร เมื่อระยะเวลาการหมักที่ 20, 30 และ 40 วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าระบบไม่มีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจน ซึ่งอาจสืบเนื่องจากธรรมชาติของระบบไร้อากาศจะลดปริมาณไนโตรเจนได้น้อยเพราะจุลชีพจะใช้ไนโตรเจนในการดำรงชีวิตน้อยกว่าแบบใช้อากาศ แสดงแนวโน้มปริมาณไนโตรเจนในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แสดงค่าปริมาณ TKN ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

3.1.4 การกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตะกอนสิ่งปฏิกูลที่เข้ามาในระบบมีค่า 162 มก./ลิตร แล้วมีค่าลดลงเหลือ 121 มก./ลิตร และ 85 มก./ลิตร เมื่อครบระยะเวลาหมักที่ 20 และ30 วัน ตามลำดับ แต่เมื่อครบระยะเวลาหมักที่ 40 วัน จะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 111 มก./ลิตร จะเห็นว่าช่วงแรกยังมีการใช้ฟอสฟอรัสบ้างเพราะยังมีความสกปรกในรูป TS, TVS และ COD ต่อมาปริมาณฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นแนวโน้มลดลงชัดเจน อาจจะเป็นเพราะปริมาณสารอินทรีย์ในระบบลดลงอย่างมากจึงทำให้จุลชีพใช้ฟอสฟอรัสน้อยลงด้วย ดังแสดงแนวโน้มในภาพที่ 22 แต่ก็มีปริมาณลดลงจากเริ่มต้นที่เข้าระบบ เพราะฟอสฟอรัสก็เป็นส่วนหนึ่งในส่วนประกอบธาตุอาหารที่จำเป็นคือ COD : N : P แต่จุลชีพที่อยู่ในระบบแบบไร้อากาศใช้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ค่อนข้างน้อย



ภาพที่ 22 แสดงปริมาณค่า TP ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

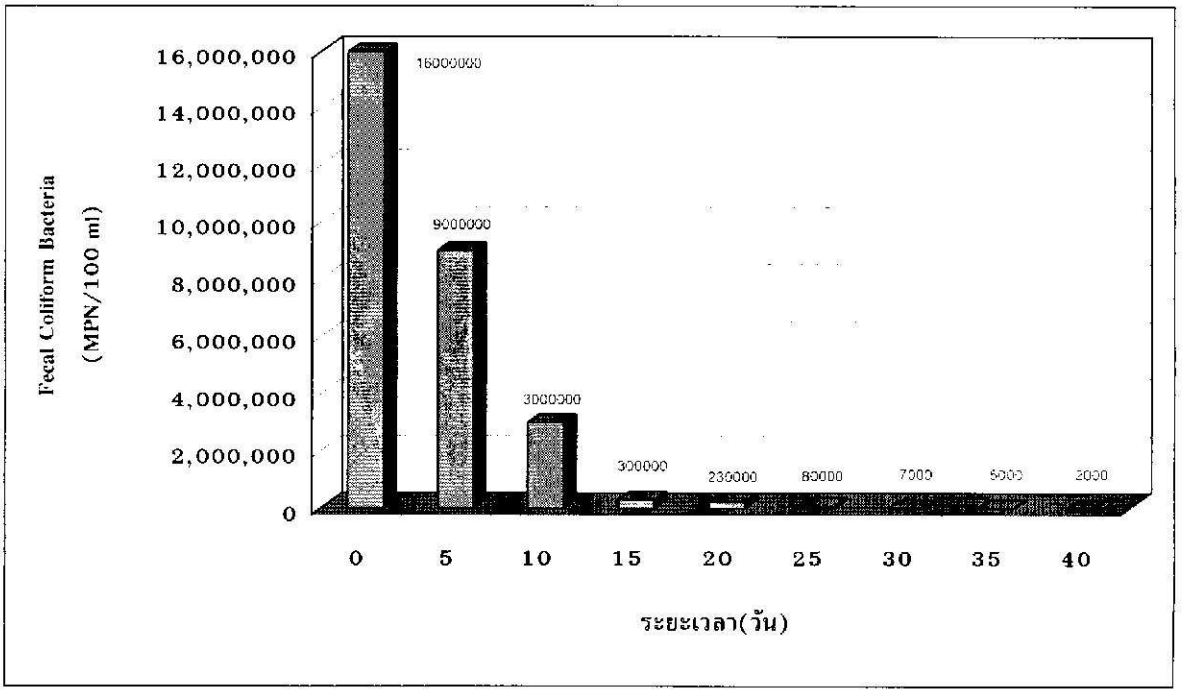
ดูจากภาพรวมดังกล่าว จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดในถังหมักไร้อากาศค่อนข้างต่ำ อีกสาเหตุที่น่าจะเป็นได้คือ สิ่งปฏิกูลที่นำมาทดลองมาจากบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งมีถังเกรอะ (Septic tank) หรือระบบถังหมักในแหล่งที่เกิดสิ่งปฏิกูลอยู่แล้ว จึงทำให้สิ่งปฏิกูลถูกย่อยสลายไปแล้วเป็นส่วนใหญ่ สิ่งที่เหลืออยู่เมื่อรถขนสิ่งปฏิกูลไปสูบมาคือสิ่งที่ย่อยสลายได้ยากหรือมีปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต้องใช้ดำรงชีวิตของจุลชีพในระบบน้อย

3.1.5 การกำจัดปริมาณ Fecal Coliform Bacteria ในระบบ

ผลการตรวจวัดปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ของสิ่งปฏิกูลเริ่มต้นและในช่วงเวลาหมักต่างกันแสดงในตารางที่ 15 และแสดงแนวโน้มการลดลงของปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ในภาพที่ 23

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fecal Coliform Bacteria ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Fecal Coliform Bacteria (MPN/100ml)
0 (Influent)	16,000,000
5	9,000,000
10	3,000,000
15	300,000
20	230,000
25	80,000
30	7,000
35	5,000
40	2,000



ภาพที่ 23 แสดงปริมาณ Fecal Coliform Bacteria ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณปนเปื้อนของเชื้อ Fecal Coliform (แสดงดังตารางที่ 15 และภาพที่ 23) จะพบว่าในตะกอนสิ่งปฏิกูลที่เข้าระบบมีค่า 16,000,000 MPN/100 ml แต่เมื่อผ่านการหมักในถังหมักที่ระยะเวลาต่างๆ แล้วพบว่า ปริมาณของเชื้อ Fecal Coliform ลดลงเหลือ 230,000 7,000 และ 2,000 MPN/100ml ตามระยะเวลาของการหมักที่ 20, 30 และ 40 วันตามลำดับ จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า เชื้อ Fecal Coliform ซึ่งเป็นจุลชีพที่เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนของเชื้อที่จะก่อให้เกิดโรค (pathogen) จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้เนื่องจากสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมเหมือนในร่างกายมนุษย์ เช่นสภาพ pH และอุณหภูมิในถังหมัก เมื่อนำผลที่ได้ไปคิดประสิทธิภาพในการกำจัด Fecal Coliform พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 98.56, 99.96 และ 99.99 เมื่อผ่านการหมักที่ระยะเวลา 20, 30 และ 40 วันตามลำดับ

3.1.6 น้ำชะที่ซึมผ่านลานทรายตากตะกอน (percolate)

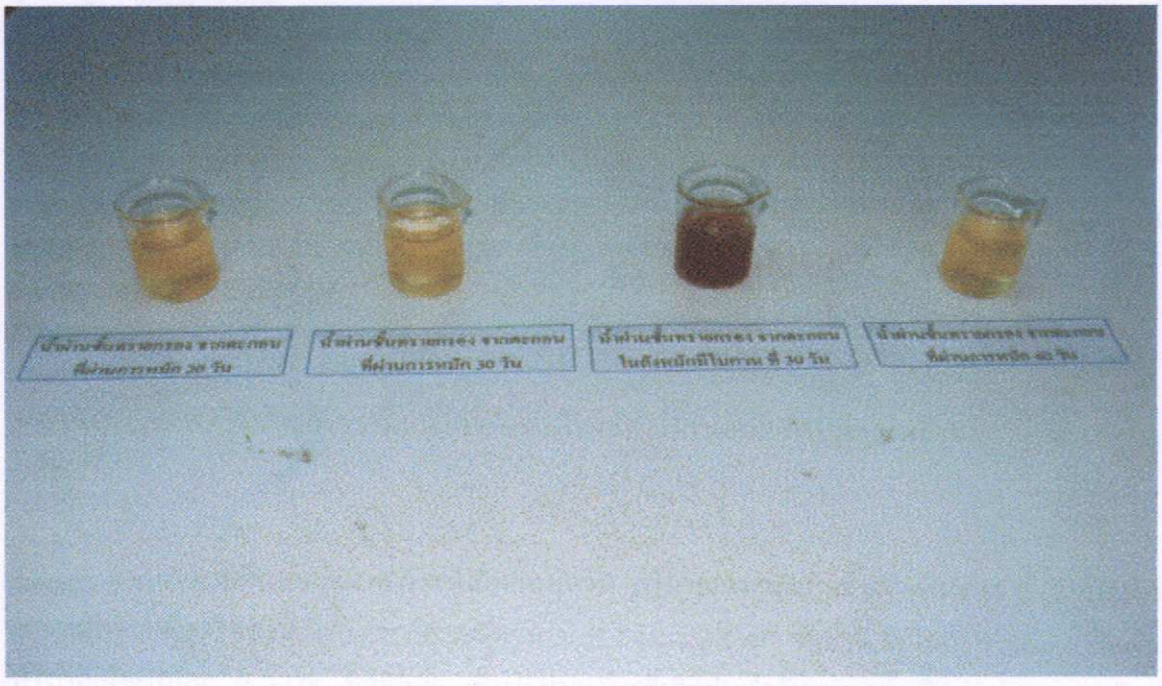
หลังจากหมักสิ่งปฏิกูลจนครบระยะเวลา 20, 30 และ 40 วันแล้ว จึงนำมาแยกน้ำออกจากตะกอน (Dewatering) โดยการผ่านลานทรายตากตะกอน น้ำชะที่ผ่านชั้นทรายและหินมีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 16 มีลักษณะใสแต่มีสีออกเหลืองอ่อนแสดงดังภาพที่ 24 ซึ่งได้เปรียบเทียบน้ำชะของสิ่งปฏิกูลจากถังที่มีการกวนผสมไว้ด้วย น้ำชะนี้ปกติแล้วจะต้องนำไปบำบัดต่อในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากว่ายังมีความสกปรกมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตะกอนสิ่งปฏิกูล จะเห็นว่ามีค่าความสกปรกโดยรวมลดลงมาก ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) อยู่ในช่วง 1,200-1,860 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าของแข็งระเหย (TVS) อยู่ในช่วง 210-253 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่ามีปริมาณสารอินทรีย์เหลืออยู่น้อยมาก ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) อยู่ในช่วง 310-394 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า COD ลดลงอยู่ในช่วง 267-561 มิลลิกรัม/ลิตร โดยรวมจะเห็นว่าค่าความสกปรกของน้ำชะดังกล่าวจะลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักสิ่งปฏิกูลนานขึ้น

ส่วนปริมาณเชื้อ Fecal Coliform จากน้ำชะที่ซึมผ่านลานทรายตากตะกอนของสิ่งปฏิกูลที่หมักนาน 20 วัน ยังถือว่ามีปริมาณสูง คือ 80,000 MPN/100ml แต่ก็น้อยกว่าตัวสิ่งปฏิกูลเองเป็นอย่างมาก (เปรียบเทียบค่าในตารางที่ 15) น้ำชะของสิ่งปฏิกูลที่หมักนาน 30 และ 40 วันมีปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ลดลงมาก คือเหลือ 4,000 และ 1,700 MPN/100ml ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าลานทรายตากตะกอนสามารถกรองเชื้อ Fecal Coliform ได้คิดเป็นร้อยละ 65.2, 42.6 และ15.0 สำหรับน้ำชะจากสิ่งปฏิกูลที่หมักนาน 20, 30 และ 40 วันตามลำดับ

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำชะ (percolate) ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

ตัวอย่าง percolate จากการหมักสิ่งปฏิกูลนาน	pH	TS (mg/L)	TVS (mg/L)	TVS (%)*	SS (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	Fecal Coliform Bacteria (MPN/ 100 ml)
20 วัน	7.8	1,860	253	13.6	73	394	119	561	80,000
30 วัน	7.7	1,858	230	12.4	78	330	146	524	4,000
40 วัน	7.3	1,200	210	17.5	39	310	115	267	1,700

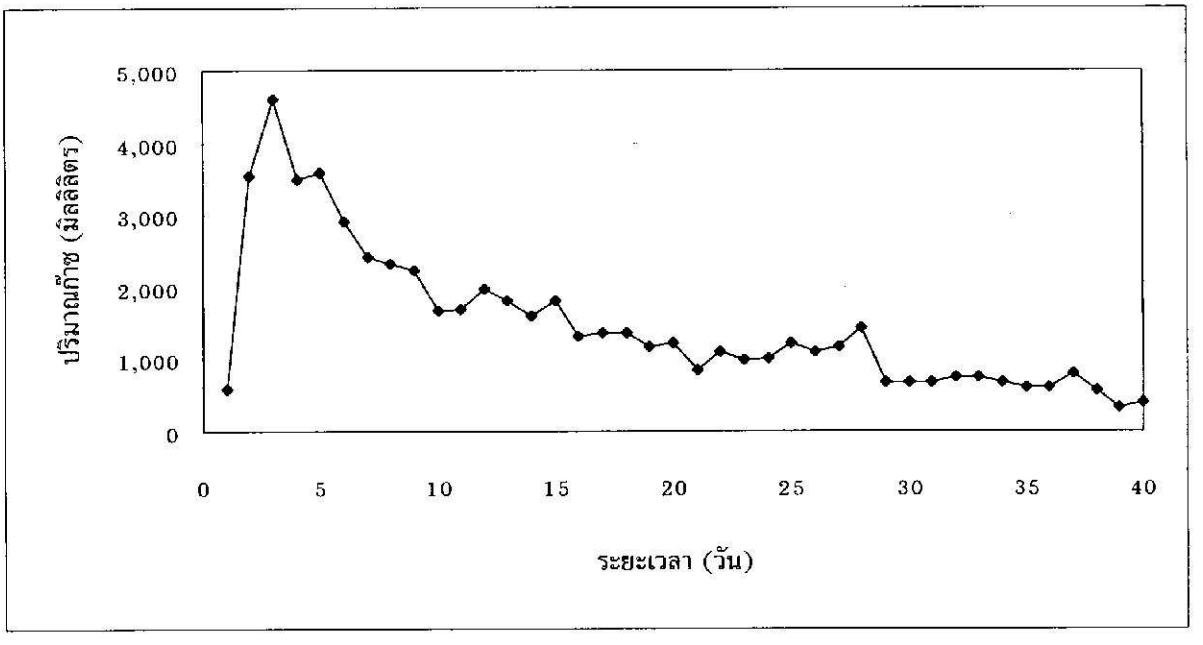
หมายเหตุ * คือคิดเป็นร้อยละของ TS



ภาพที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของน้ำชะสิ่งปฏิกูลที่เวลาหมักต่างกันทั้งมีการกวนผสมและไม่มีการกวนผสม

3.1.7 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากถังหมัก

จากข้อมูลในการวัดปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นจากถังหมัก (แสดงดังภาพที่ 25) โดยเป็นค่าเฉลี่ยของถังหมัก 3 ถัง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ซึ่งเป็นถังปฏิกิริยาหลัก พบว่าแนวโน้มของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวัน มีแนวโน้มลดลง เมื่อผ่านระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น แต่ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีค่าแปรเปลี่ยนขึ้นลงในบางวัน ทั้งนี้เนื่องมาจาก ในการทดลองนี้ไม่ได้มีการควบคุมอุณหภูมิซึ่งในช่วงการทดลองอุณหภูมิจะขึ้นลงตามสภาวะของอากาศ โดยอยู่ในช่วง 25 -30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 25 แสดงปริมาณก๊าซรวมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

จากการบันทึกผลปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวัน ปริมาณก๊าซจะเกิดขึ้นมากในช่วง 2-3 วันแรกในการหมักสิ่งปฏิกูลในถังหมักไร้อากาศ เฉลี่ยวันละ 3,148 มิลลิลิตร ในช่วง 5 วันแรก และ 5 วันต่อมาปริมาณก๊าซเฉลี่ย 2,310 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันจะลดลงเมื่อผ่านระยะเวลาในการหมักที่นานขึ้น อธิบายได้ว่า เนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์ในระบบที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายเปลี่ยนเป็นก๊าซนั้น มีปริมาณที่ลดลงเพราะการทดลองนี้เป็นการเติมสิ่งปฏิกูลเข้าระบบแบบเติมครั้งเดียว (Batch feed) ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบจะถูกย่อยสลายไปโดยจุลชีพในถังหมักทุกวัน ซึ่งจะเห็นได้จากค่า TS และ TCOD ที่ลดลง ถึงแม้จะลดลงไม่มากก็ตามแต่ก็แสดงให้เห็นว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ในสิ่งปฏิกูล

เมื่อสุ่มตัวอย่างก๊าซที่เกิดขึ้นไปตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน (ดังแสดงในตารางที่ 17) จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น อยู่ในช่วงร้อยละ 48.33 – 69.06 ของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละวัน ไม่ว่าระยะเวลาหมักจะเพิ่มขึ้นและปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจนก็ตาม ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นยังคงมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบเป็นร้อยละของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นกับก๊าซทั้งหมด โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 55.31 ของปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น

ดังนั้นการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการหมัก 40 วัน มีค่า 59,016 มิลลิลิตร หรือประมาณ 59 ลิตร จึงคิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นโดยประมาณจากค่าร้อยละเฉลี่ยของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ปริมาณก๊าซมีเทน 32,459 มิลลิลิตร หรือประมาณ 32 ลิตร (จากปริมาณสิ่งปฏิกูล 56.5 ลิตรและข้อมูลก๊าซที่เกิดแต่ละวันดูได้ในภาคผนวก ก)

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ก๊าซทั้งหมด (มิลลิลิตร)	ก๊าซมีเทน (มิลลิลิตร)	ก๊าซมีเทน (%)
6	2,910	1,527	52.48
10	1,667	726	43.56
14	1,590	920	57.86
16	1,317	646	49.06
18	1,360	846	62.20
20	1,230	785	63.85
22	1,110	606	54.55
25	1,215	667	54.90
27	1,170	817	69.86
29	675	379	56.13
31	680	360	52.94
34	680	367	53.99
37	800	387	48.33
39	320	175	54.65
เฉลี่ย			55.31

3.2 ประสิทธิภาพการทำงานของถังหมักไร้อากาศที่มีการกวนผสมที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน

การศึกษาครั้งนี้ได้เริ่มเดินระบบถังหมักไร้อากาศที่มีใบกวน โดยนำสิ่งปฏิกูล (Septage) จากรถขนถ่ายสิ่งปฏิกูลของเทศบาลนครสงขลา ป้อนเข้าระบบถังหมักแบบครั้งเดียว (Batch Feed) เริ่มทำการเดินระบบถังหมักไร้อากาศ โดยให้มีเวลาการกวนผสมนานวันละ 6 ชั่วโมงในช่วงเวลา 9.00 - 15.00 น เดินระบบหมักนาน 30 วัน เมื่อหมักได้ตามระยะเวลาที่กำหนดจึงดำเนินการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล ในระหว่างช่วงเวลาที่จะครบกำหนดตามระยะเวลาที่กำหนด 30 วัน ก็จะเก็บและวิเคราะห์ผล จากถังหมักเพื่อศึกษาแนวโน้มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยทำการเก็บวิเคราะห์ผลทุก ๆ 5 วัน จนครบกำหนดตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆกัน

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Temp (^{o}C)	pH	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	TS (mg/L)	TVS (mg/L)	TVS (%)*	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)
0	30.0	7.0	2,400	16,023	11,400	71.1	21,600	1,650	614	162
5	27.0	7.3	3,200	25,814	17,500	67.8	26,160	2,160	615	118
10	**28.5**	**7.3**	**4,400**	**24,425**	**16,156**	**66.1**	**26,280**	**2,160**	**689**	**154**
15	27.5	7.2	4,500	24,010	15,725	65.5	25,896	2,988	952	164
20	**27.5**	**7.4**	**4,600**	**23,650**	**15,590**	**65.9**	**23,040**	**1,940**	**798**	**118**
25	29.0	7.2	4,400	21,495	14,105	65.6	20,254	2,590	840	145
30	**28.5**	**7.2**	**4,600**	**23,785**	**15,945**	**67.0**	**20,910**	**2,570**	**812**	**146**

หมายเหตุ * คือคิดเป็นร้อยละของ TS

3.2.1 สภาวะการทำงานโดยทั่วไปของระบบ

อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของระบบในช่วงระยะเวลาเดินระบบ วัดได้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27 - 29 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในตารางที่ 18) ซึ่งเป็นอุณหภูมิตามสภาพอากาศในช่วงเวลาที่ทำการเดินระบบในห้องปฏิบัติการ ถือว่าเป็นช่วงอุณหภูมิ Mesophilic range ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักที่นิยมใช้ควบคุมระบบหมักไร้อากาศในประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตามปกติในบรรยากาศ จึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการเพิ่มความร้อนให้กับระบบ และพบว่าอุณหภูมิจะสูงกว่าที่ไม่มีใบกวนเล็กน้อย ประมาณ 0.5-1.0 องศาเซลเซียสในระยะเวลาหมักที่เท่ากัน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากตารางที่ 18 จะเห็นว่า ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในช่วงระยะเวลาการหมักต่างๆกัน มีช่วงที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 7.2 - 7.4 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตะกอนเข้าระบบ และค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการหมักแบบไร้อากาศจะอยู่ในช่วง 6.6 - 7.6 (เสริมพล, 2524) แสดงให้เห็นว่าระบบมีค่า pH ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรีย

ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างของสิ่งปฏิกูลเข้าระบบมีค่า 2,400 mg/L as $CaCO_3$ และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาหมักนานขึ้นโดยที่ 30 วัน มีค่า 4,600 mg/L as $CaCO_3$ (ดังแสดงในตารางที่ 18) ซึ่งสูงกว่าถังที่ไม่มีการกวนผสม เพราะการกวนผสมทำให้สิ่งปฏิกูลเข้ากันเป็นเนื้อเดียว ทำให้ในระบบหมักที่มีใบกวนนี้มี Buffering Capacity ที่ค่อนข้างสูงในการรักษาค่า pH ให้คงที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาในระบบหมักแบบไร้อากาศ โดยค่าAlkalinityที่เหมาะสมต่อระบบการหมักไร้อากาศประมาณ 1,000 - 5,000 mg/L as $CaCO_3$ (เกรียงศักดิ์, 2543)

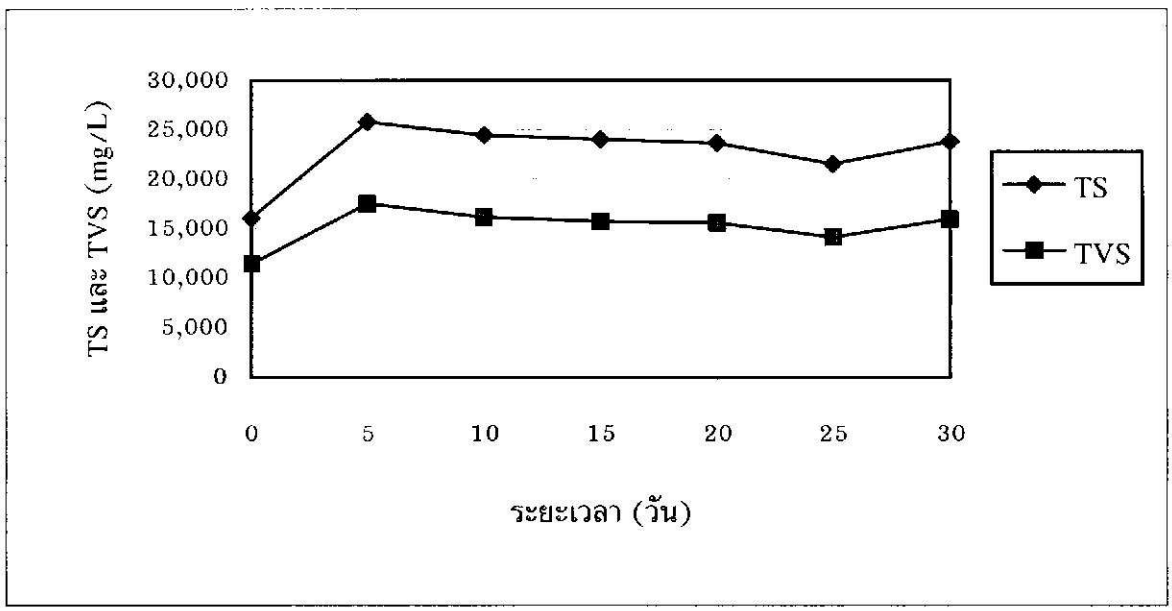
ธาตุอาหารเสริมสร้าง (COD : N : P)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของสิ่งปฏิกูลที่ป้อนเข้าระบบ เพื่อหาอัตราส่วนของธาตุอาหารเสริมสร้างพบว่า ได้ค่า COD : N : P เป็น 100 : 2.8 : 0.75 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอัตราส่วนของธาตุอาหารเสริมสร้าง ของระบบหมักแบบไร้อากาศที่เหมาะสมคือ COD : N : P เท่ากับ 800 : 5 : 1 หรือ 100 : 0.6 : 0.1 (เกรียงศักดิ์, 2543 อ้างถึง Prof. C.F. Seyfried จาก Hannover U.) ดังนั้นจึงถือว่าระบบอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

3.2.2 การกำจัดของแข็งทั้งหมด TS และของแข็งระเหยได้ TVS

จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้ามาในระบบมีค่าค่อนข้างสูง โดยมีค่า 16,023 มก./ลิตร เมื่อเริ่มทำการหมักจะพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์มีค่าขึ้นๆลงๆ แต่มีค่าสูงกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้าระบบ โดยจะพบว่าที่ระยะเวลาการหมักผ่านไป 10, 20 และ 30 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่า 24,425, 23,650 และ 23,785 มก./ลิตร ตามลำดับ แสดงแนวโน้มของ TS และ TVS ในภาพที่ 26

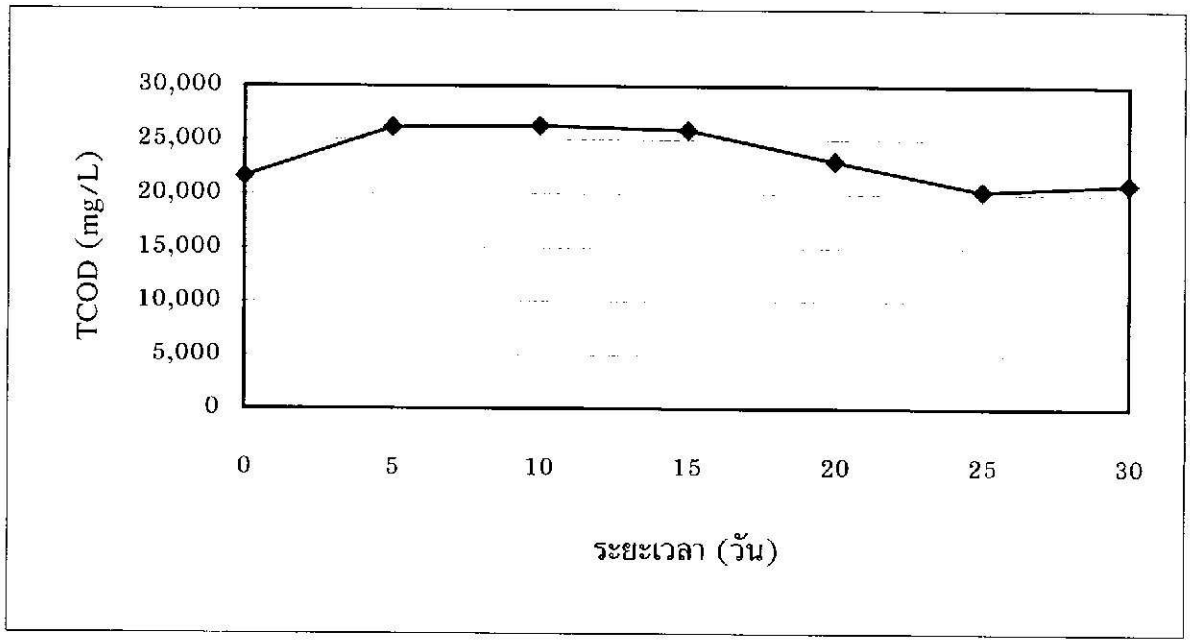
ในขณะที่ของแข็งระเหยซึ่งเป็นตัวที่บ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ไม่มีแนวโน้มที่จะลดลง จากที่เข้าระบบ 11,400 มก./ลิตร เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 10, 20 และ 30 วัน ปริมาณของแข็งระเหยที่วิเคราะห์ได้มีค่า 16,156, 15,590 และ 15,945 มก./ลิตร ตามลำดับ โดยเปอร์เซนต์ของแข็งระเหยได้เมื่อเทียบกับของแข็งทั้งหมดที่เวลาการหมักต่างๆกัน มีค่าอยู่ในช่วง 65.5-71.1% ซึ่งปริมาณเปอร์เซนต์ของแข็งระเหยดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าระบบหมักทีไม่มีใบกวน แสดงว่าสารอินทรีย์ในถังหมักที่มีใบกวนถูกใช้ไปโดยจุลชีพมากกว่าถังหมักที่ไม่มีใบกวนคือเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายดีกว่า และตามทฤษฎีแล้วลักษณะถังหมักไร้อากาศแบบอัตรากำจัดสูงนี้ จะต้องมีถังตกตะกอนเพื่อที่จะเป็นการสร้างเสถียรภาพของตะกอนที่ก้นถังเพื่อเป็นการแยกน้ำออกส่วนหนึ่งก่อน เพราะในการเก็บตัวอย่างทำขณะกวนเป็นเนื้อเดียวกัน ให้เหมือนกับสภาพของโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลที่สงขลา ไม่ได้มีถังตกตะกอนมาใช้ในระบบ



ภาพที่ 26 แสดงปริมาณ TS และ TVS ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

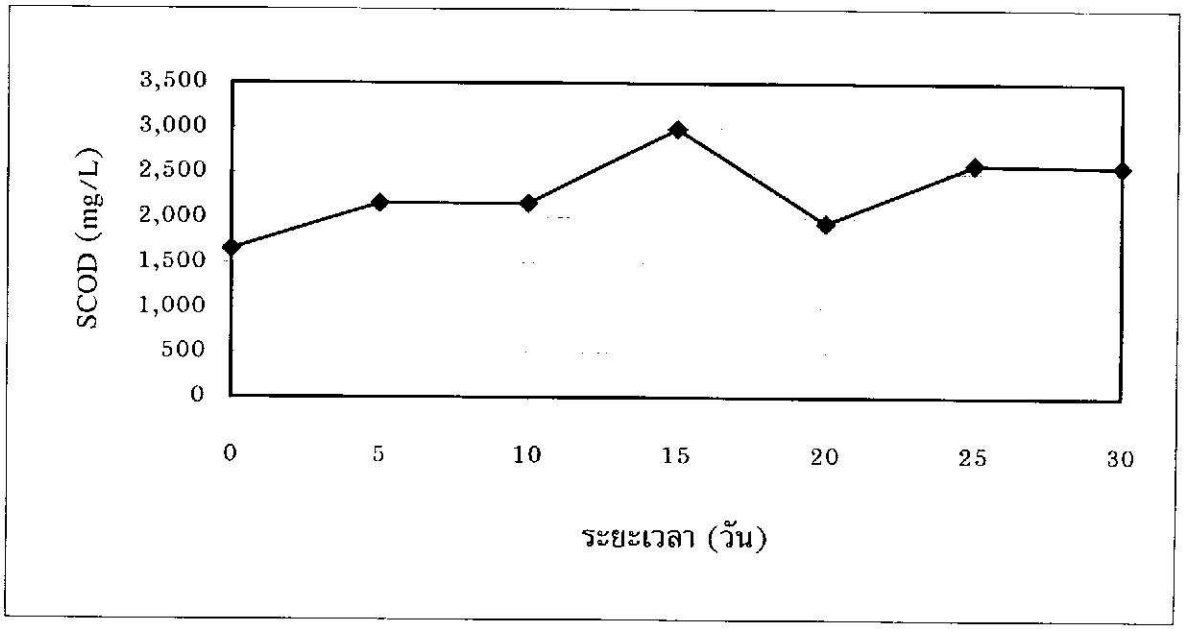
3.2.3 การกำจัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD และ SCOD

จากตารางที่ 18 ปริมาณสารอินทรีย์ในรูป ซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ที่เข้าระบบแบบจำลองถังหมักไร้อากาศมีค่า 21,600 มก./ลิตร และพบว่าปริมาณค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ที่วิเคราะห์ได้เมื่อครบระยะเวลาหมัก 10 วัน เพิ่มขึ้นเป็น 26,280 มก./ลิตร และลดลงเหลือ 23,040 มก./ลิตร และ 20,910 มก./ลิตร ตามระยะเวลาหมักที่ 20 วัน และ 30 วัน ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 27) ซึ่งจะพบว่าปริมาณค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการหมักสิ่งปฏิกูลเพิ่มขึ้นเพราะจุลชีพใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีวิต เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสารอาหารจึงลดลงเพราะเป็นการทดลองที่เติมสิ่งปฏิกูลครั้งเดียว (Batch feed)



ภาพที่ 27 แสดงปริมาณ TCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

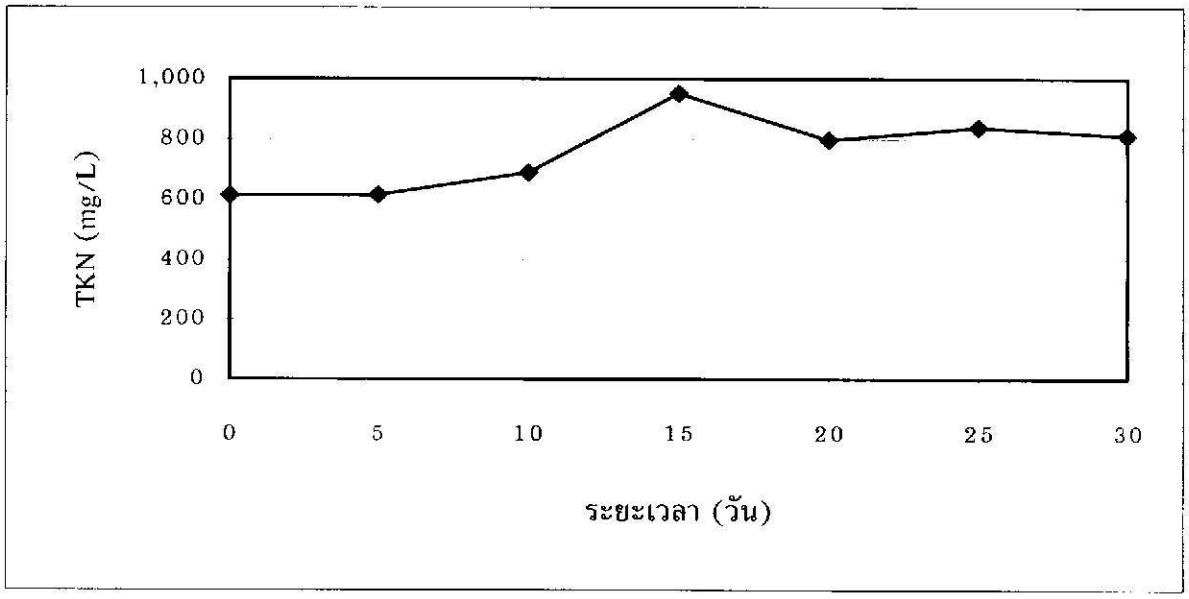
ในส่วนการวิเคราะห์ปริมาณค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำ (SCOD) ผลการทดลองพบว่าปริมาณของซีโอดีในรูปละลายน้ำ ไม่มีแนวโน้มที่ลดลง จากการวิเคราะห์ปริมาณค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำของตะกอนสิ่งปฏิกูลที่เข้าระบบมีค่า 1,650 มก./ลิตร และมีค่า 2,160, 1,940 และ 2,570 มก./ลิตร ตามระยะเวลาการหมักที่ 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ แสดงแนวโน้มดังภาพที่ 28 ซึ่งน่าจะเกิดจากการกวนผสมของใบกวนที่ทำให้ความสกปรกในรูปของแข็งซึ่งย่อยยาก ออกมาอยู่ในรูปสารละลายมากขึ้น



ภาพที่ 28 แสดงปริมาณ SCOD ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

3.2.4 การกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)

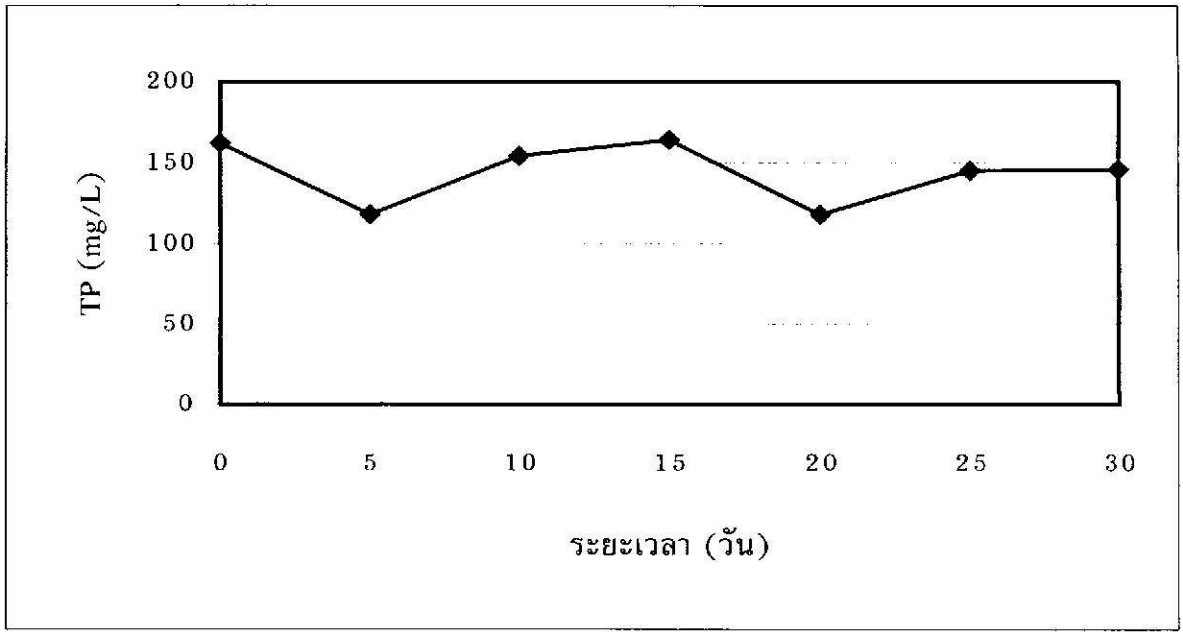
จากผลการทดลองจะพบว่าระบบไม่สามารถลดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้ กล่าวคือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าระบบ 614 มก./ลิตร และเมื่อผ่านระบบมีค่า 689, 798 และ 812 มก./ลิตร เมื่อระยะเวลาการหมักที่ 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 29 ซึ่งผลดังกล่าวแม้ว่าทำการทดลองซ้ำก็ยังออกมาในแนวทางเช่นเดิมนี้ น่าจะมีสาเหตุจากการกวนผสมขณะเก็บตัวอย่างและเหตุผล ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ TS, TVS และ SCOD



ภาพที่ 29 แสดงค่าปริมาณ TKN ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

3.2.5 การกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตะกอนสิ่งปฏิกูลที่เข้ามาในระบบมีค่า 162 มก./ลิตร แล้วมีค่าลดลงเหลือ 154 มก./ลิตร และ 118 มก./ลิตร เมื่อครบระยะเวลาหมักที่ 10 และ 20 วัน ตามลำดับ แต่เมื่อครบระยะเวลาหมักที่ 30 วัน จะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 146 มก./ลิตร จะเห็นว่าช่วงแรกยังมีการใช้ฟอสฟอรัสบ้างเพราะยังมีความสกปรกในรูป TS, TVS และ COD ต่อมาปริมาณฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นแนวโน้มลดลง อาจจะเป็นเพราะปริมาณสารอินทรีย์ในระบบที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าลดลงอย่างมาก จึงทำให้จุลชีพย่อยสลายสารอาหารลดลงจึงใช้ฟอสฟอรัสน้อยลงด้วย ดังแสดงแนวโน้มในภาพที่ 30 แต่ก็มีปริมาณลดลงจากเริ่มต้นที่เข้าระบบ และระบบหมักไร้อากาศเองก็มีการใช้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ค่อนข้างน้อย



ภาพที่ 30 แสดงค่าปริมาณ TP ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

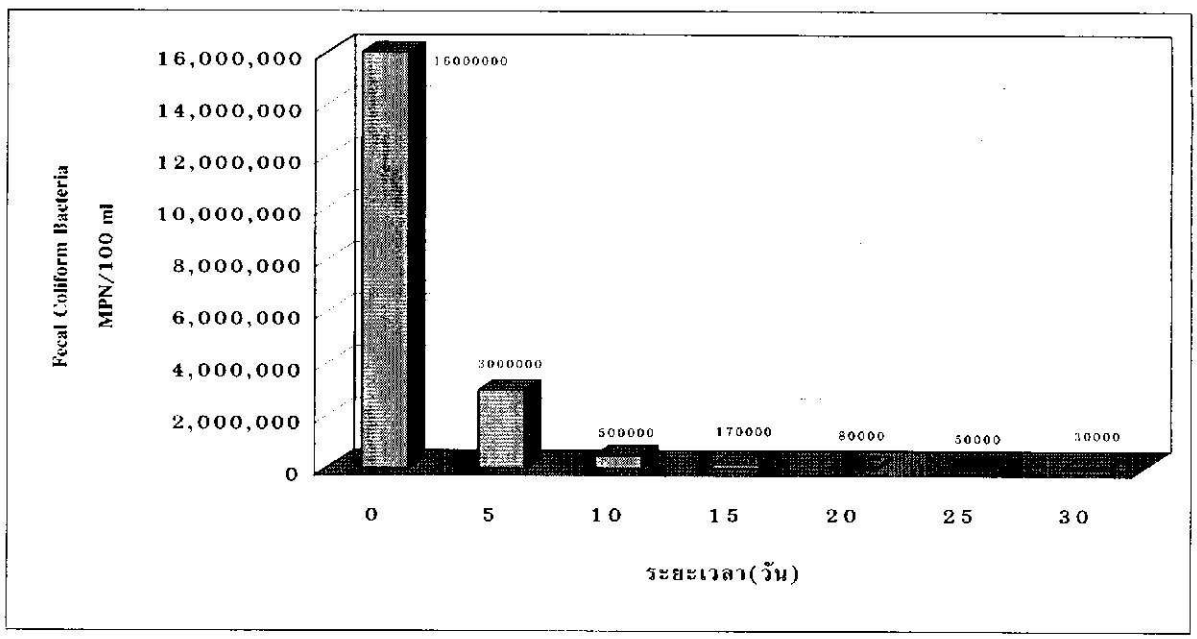
3.2.6 การกำจัดปริมาณ Fecal Coliform ในระบบ

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fecal Coliform Bacteria ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Fecal Coliform Bacteria (MPN/100ml)
0 (Influent)	16,000,000
5	3,000,000
10	500,000
15	170,000
20	80,000
25	50,000
30	30,000

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณปนเปื้อนของเชื้อ Fecal Coliform (แสดงดังตารางที่ 19 และภาพที่ 31) จะพบว่าในตะกอนสิ่งปฏิกูลที่เข้าระบบมีปริมาณเชื้อ Fecal Coliform 16,000,000 MPN/100 ml แต่เมื่อผ่านการหมักในถังหมักที่ระยะเวลาต่างๆ แล้วพบว่า ปริมาณของเชื้อ Fecal Coliform ลดลงเหลือ 500,000 80,000 และ 30,000 MPN/100ml ตามระยะเวลาของการหมักที่

10, 20 และ 30 วันตามลำดับ เชื้อ Fecal Coliform ซึ่งเป็นจุลชีพที่เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค (pathogen) จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้เนื่องจากสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมเหมือนในร่างกายมนุษย์ เช่น pH และ อุณหภูมิเป็นต้น และพบว่าระบบหมักที่มีใบกวนจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณ Fecal Coliform ได้ดีกว่าระบบหมักที่ไม่มีใบกวนอย่างมาก (เปรียบเทียบจากตารางที่ 15 และ19) ในช่วง 20 วันแรก คือร้อยละ 99.5 ในขณะที่แบบไม่มีใบกวนลดได้ร้อยละ 98.56 ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการเกิดปฏิกิริยาในถังที่มีในกวนดีกว่าถังที่ไม่มีใบกวนทำให้อุณหภูมิสูงกว่าและเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายของจุลชีพดีกว่า เมื่อนำผลที่ได้ไปคิดประสิทธิภาพในการกำจัด Fecal Coliform พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 96.88, 99.50 และ 99.81 เมื่อผ่านการหมักที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วันตามลำดับ



ภาพที่ 31 แสดงปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

3.2.7 น้ำชะที่ซึมผ่านลานทรายตากตะกอน (percolate)

หลังจากหมักสิ่งปฏิกูลจนครบระยะเวลา 30 วันแล้ว จึงนำมาแยกน้ำออกจากตะกอน (Dewatering) โดยการผ่านลานทรายตากตะกอน น้ำชะที่ผ่านชั้นทรายและหินมีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 20 ปกติแล้วจะต้องนำไปบำบัดต่อในระบบบำบัดน้ำเสียเนื่องจากว่ายังมีความสกปรกมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตะกอนสิ่งปฏิกูล จะเห็นว่ามีค่าความสกปรกโดยรวมลดลงมาก ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 1,268 มก./ลิตร ค่าของแข็งระเหย (TVS) 500 มก./ลิตร จะเห็นได้ว่ามีปริมาณสารอินทรีย์เหลืออยู่น้อยมาก ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) 75 มก./ลิตร ค่า COD ลดลงเหลือ 1,284 มก./ลิตร

ส่วนปริมาณเชื้อ Fecal Coliform จากน้ำชะที่ซึมผ่านลานทรายตากตะกอนของสิ่งปฏิกูลที่หมักนาน 30 วันที่มีการกวนผสมนี้ ถือว่ามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวสิ่งปฏิกูลเอง (เปรียบเทียบค่าในตารางที่ 19) ปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ลดลงเหลือ 5,000 MPN/100ml จะเห็นได้ว่าลานทรายตากตะกอนสามารถกรองเชื้อ Fecal Coliform ได้ คิดเป็นร้อยละ 83.33

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำชะ (percolate) ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่มีการกวนผสม

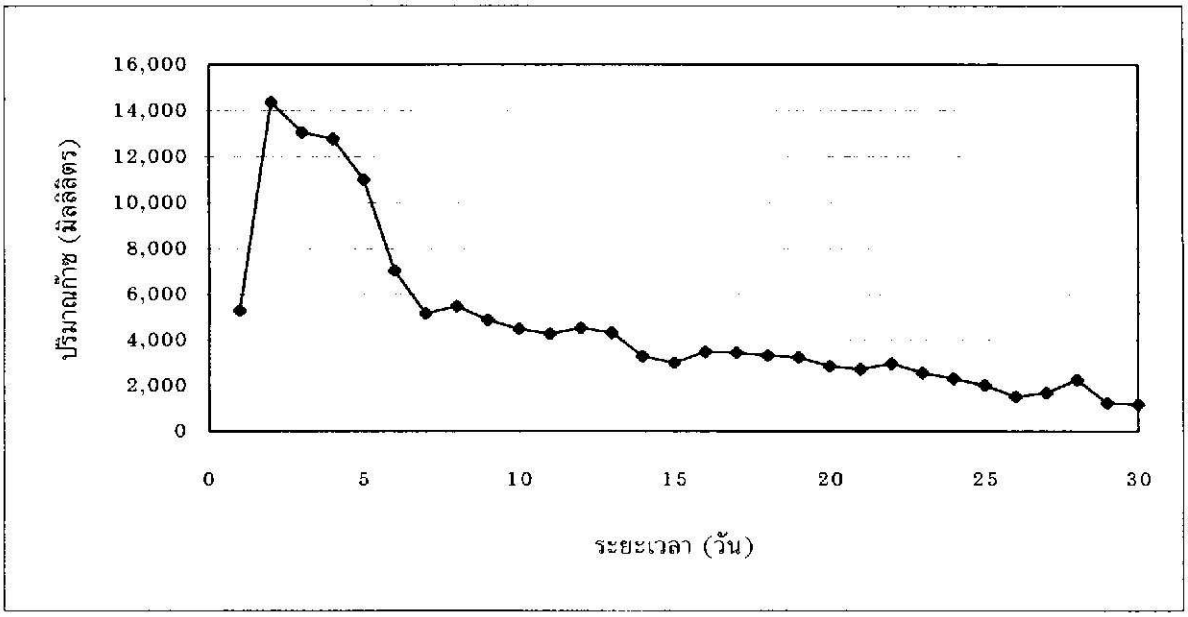
ตัวอย่าง percolate จากที่หมัก	pH	TS	TVS		SS	TKN	TP	COD	Fecal Coliform Bacteria
สิ่งปฏิกูลนาน		(mg/L)	(mg/L)	(%)*	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	MPN/ 100 ml
30 วัน	7.3	1,268	500	39.4	285	75	166	1,284	5,000

หมายเหตุ * คือคิดเป็นร้อยละของ TS

3.2.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังหมัก

จากข้อมูลในการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากถังหมัก (แสดงดังภาพที่ 32) แนวโน้มของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวัน มีแนวโน้มลดลง เมื่อผ่านระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น แต่ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีค่าแปรเปลี่ยนขึ้นลงในบางวัน ทั้งนี้เนื่องมาจาก ในการทดลองนี้ไม่ได้มีการควบคุมอุณหภูมิซึ่งในช่วงการทดลองอุณหภูมิจะขึ้นลงตามสภาวะของอากาศ โดยอยู่ในช่วง 25 -30 องศาเซลเซียส ผลการบันทึกผลการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวัน ปริมาณก๊าซจะเกิดขึ้นมากในช่วง 2-3 วันแรกในการหมักสิ่งปฏิกูลในถังหมักไร้อากาศ เฉลี่ยวันละ 11,288 ml ในช่วง 5 วันแรก และ 5 วันต่อมาปริมาณก๊าซเฉลี่ย 5,480 ml ซึ่งสูงกว่าถังหมักที่ไม่มีใบกวนเนื่องจากการกวนผสมทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายดีกว่า และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันจะลดลงเมื่อผ่านระยะเวลาในการหมักที่นานขึ้นเช่นเดียวกับถังหมักที่ไม่มีใบกวน และพบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวันตลอดเวลาการหมักมีมากกว่าระบบหมักที่ไม่มีใบกวน

เมื่อสุ่มตัวอย่างก๊าซที่เกิดขึ้นไปตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 21) จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น อยู่ในช่วงร้อยละ 51.36 - 67.45 ของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละวันไม่ว่าระยะเวลาหมักจะเพิ่มขึ้นและปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจนก็ตาม ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นยังคงมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบเป็นร้อยละของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 57.79 ของปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น ซึ่งสูงกว่าร้อยละของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากถังหมักไร้อากาศที่ไม่มีใบกวน



ภาพที่ 32 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

ดังนั้นการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการหมัก 30 วัน มีค่า 138,430 มิลลิลิตร หรือประมาณ 138 ลิตร จึงคิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นโดยประมาณจากค่าร้อยละเฉลี่ยของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ปริมาณก๊าซมีเทน 79,999 มิลลิลิตร หรือประมาณ 80 ลิตร ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าก๊าซมีเทนจากถังหมักที่ไม่มีใบกวนซึ่งหมักนานกว่า 10 วัน ได้ก๊าซมีเทนเฉลี่ยรวมเพียง 32 ลิตร(ข้อมูลก๊าซแต่ละวันดูได้ในภาคผนวก ก)

ตารางที่ 21 แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากถังหมักที่มีการกวนผสม

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ก๊าซทั้งหมด (มิลลิลิตร)	ก๊าซมีเทน (มิลลิลิตร)	ก๊าซมีเทน (%)
6	7,040	4,706	66.84
10	4,480	2,301	51.36
14	3,280	1,864	56.82
16	3,480	2,167	62.27
18	3,320	1,791	53.94
20	2,240	1,511	67.45
22	2,960	1,628	55.00
25	2,010	1,071	53.29
27	1,680	942	56.05
29	1,240	680	54.85
เฉลี่ย			57.79

3.3 ตะกอนสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์บนลานตากตะกอน

การศึกษาครั้งนี้เมื่อเดินระบบถังหมักไร้อากาศทั้งที่มีใบกวนและไม่มีใบกวนครบตามระยะเวลาเก็บกักที่กำหนดแล้ว จะนำสิ่งปฏิกูล (Septage) ไปแยกน้ำ (Dewatering) โดยตากบนลานตากตะกอนเป็นเวลานาน 1 สัปดาห์ โดยใช้สัดส่วนการเติมสิ่งปฏิกูลลงบนลานทรายตากตะกอน 105 ลิตร/ตารางเมตร ตะกอนมีร้อยละของแข็งไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยเกินไปควรจะมีร้อยละของแข็งในช่วง 8-10 (เสริมพลและไชยยุทธ, 2524) ลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่เทลงบนลานตากตะกอนและเมื่อแห้งแล้วแสดงดังภาพที่ 33 และ 34

ภาพที่ 33 แสดงลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ครบระยะเวลาการหมักเมื่อเทลงบนลานทรายตากตะกอน

ภาพที่ 34 แสดงลักษณะของตะกอนสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งแล้ว

จากนั้นรอจนครบ 7 วัน จากการตากตะกอนแล้ว นำสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งมาวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 22 และ 23 เพื่อดูความเหมาะสมที่จะนำไปทำเป็นปุ๋ยบำรุงดิน

ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่หมักนานต่าง ๆกันและตากแห้งแล้ว

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ความชื้น (%)	TVS** (%)	TKN+ (%)	Total Phosphorous+ (%)	Potassium+ (%)	N:P:K	Fecal Coliform*** (MPN/100 ml)
20	7.64	77.23	17.7	0.05	0.16	354:1:3.2	13
30	4.57	77.29	16.7	0.07	0.14	239:1:2	27
40	2.80	61.15	10.8	0.12	0.10	90:1:0.8	4
30*	3.73	71.12	11.6	0.09	0.16	128:1:1.7	9

หมายเหตุ * ถังที่มีการกวนผสม

\+ คิดจากน้ำหนักตะกอนแห้งที่อบแล้ว

** เป็นร้อยละของ TS

***วิเคราะห์จากตะกอนแห้ง 1 กรัมโดยไม่อบเพราะเชื้ออาจตายได้โดยละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 22 แสดงให้เห็นว่า ตะกอนแห้งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์เพราะร้อยละของของแข็งระเหยได้สูงกว่า 61.15 และมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7.64 ทุกช่วงเวลาการหมัก ไม่มีกลิ่น และตากตะกอนนาน 7 วันเท่ากัน (แสงแดดอาจไม่เท่ากันได้แต่ระยะเวลาดังกล่าวนานพอที่จะให้ตะกอนแห้งได้ และไม่มีฝนตกขณะทำการตากตะกอน) และสิ่งปฏิกูลที่หมักนานกว่ามีแนวโน้มตากแห้งได้ง่ายกว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชที่วิเคราะห์ได้ คือไนโตรเจนทั้งหมดและโปแตสเซียม มีแนวโน้มลดลงเมื่อหมักสิ่งปฏิกูลนานขึ้น เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายโดยจุลชีพ ส่วนฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่มีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณไนโตรเจนตรวจพบว่ามีมากที่สุด เมื่อเทียบสัดส่วนธาตุอาหารหลักของพืชโดยให้สัดส่วนของฟอสฟอรัสเท่ากับ 1 จะได้ N:P:K = 354:1:3.2, 239:1:2, 90:1:0.8 และ 128:1:1.7 สำหรับสิ่งปฏิกูลที่หมักนาน 20, 30, 40 และ30 วันที่มีการกวนผสมตามลำดับ ปริมาณ Fecal Coliform ที่ตรวจวัดจากการนำตะกอนแห้ง 1 กรัมเตรียมในน้ำ dilution 100 ml ได้ผลดังตารางนั้น จะเห็นว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาหมักนานขึ้นเช่นกัน และโดยรวมถือว่ามีปริมาณน้อยมาก ไม่เกิน 27 MPN/100 ml แสดงให้เห็นว่าการตากตะกอนสิ่งปฏิกูลที่มาจากทุกช่วงเวลาการหมักทั้งมีหรือไม่มีใบกวนจะช่วยลดปริมาณ Fecal Coliform ลงได้มากกว่า 99% เมื่อเทียบกับตะกอนที่ก่อนจะนำมาตากในลานทรายตากตะกอนนี้

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งแล้วโดยเครื่อง CHNS/O Analyzer

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Carbon/Nitrogen
20	42.38	5.42	7.82
30	40.36	4.63	8.72
40	41.61	5.01	8.31
30*	38.02	4.54	8.37

* ถังที่มีการกวนผสม

สำหรับการตรวจวิเคราะห์ C/N ในตารางที่ 23 นั้นจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของตะกอนสิ่งปฏิกูลตากแห้งเป็นคาร์บอน และเมื่อคิดสัดส่วน C/N ของทุกช่วงเวลาการหมัก พบว่าอยู่ในช่วง 7.82-8.72 ซึ่งค่า C/N ดังกล่าวมีค่าค่อนข้างต่ำ จึงเหมาะสมที่จะนำไปเป็นปุ๋ยบำรุงดินได้ เพราะจะเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายต่อในดินต่ำ ไม่ทำให้เกิดความร้อนในดินสูงซึ่งจะมีผลไปกระทบต่อการงอกของเมล็ดพืชได้ โดยค่า C/N ดังกล่าวใกล้เคียงกับค่า C/N ของฮิวมัสซึ่งมีค่าระหว่าง 5-10 (ศุภมาศ, 2540)

จากภาพรวมของข้อผลที่ได้ดังกล่าว ในการพิจารณานำตะกอนสิ่งปฏิกูลตากแห้งไปเป็นปุ๋ยบำรุงดินในขอบเขตที่ได้ศึกษานี้ พอจะกล่าวได้ว่า สามารถนำไปใช้ได้ เพราะมีความชื้นต่ำเก็บไว้ได้โดยไม่มีกลิ่น มีปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ต่ำมาก มีปริมาณไนโตรเจนค่อนข้างสูง เหมาะสำหรับพืชผักใบเขียว เพราะไนโตรเจนช่วยสร้างเสริมใบและลำต้น นอกจากนี้ยังช่วยทำให้ดินร่วนซุยเพราะส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ และค่า C/N อยู่ในช่วงที่เหมาะสมแล้วโดยไม่ต้องนำไปหมักอีก ยกเว้นว่าถ้า C/N สูงกว่า 30-40 ขึ้นไปถึงควรจะนำไปหมักก่อนนำไปเป็นปุ๋ยเพื่อให้ตะกอนถูกย่อยโดยสมบูรณ์ก่อน จะได้ไม่ไปเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายต่อในดินที่อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ และยังต้องพิจารณาถึงปริมาณไนโตรเจนด้วย เพราะมิเช่นนั้นดินเดิมอาจสูญเสียไนโตรเจนไปกับการย่อยสลายในดินโดยจุลชีพได้

บทที่ 4
สรุป

จากผลการวิจัยทั้งหมดพอจะสรุปภาพรวมโดยแยกเป็นแต่ละประเด็นได้ดังนี้

1. สิ่งปฏิกูลที่นำมาทดลองมีความสกปรกที่อยู่ในรูปของแข็งเป็นส่วนใหญ่ โดยมีความสกปรกที่อยู่ในรูปละลายน้ำเป็นส่วนน้อย สภาพโดยทั่วไปถือว่าตกตะกอนได้ยาก และมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาที่ไปเก็บตัวอย่าง

2. ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วันเท่ากันทั้งถังปฏิกิริยาที่มีใบกวนและไม่มีใบกวน ไม่ทำให้ความสกปรกของสิ่งปฏิกูลในรูป TKN, TP ลดลงอย่างชัดเจน แต่ถังที่ไม่มีการกวนผสมสามารถลดความสกปรกในรูปของ TCOD, SCOD, TS และ TVS ได้เพียงเล็กน้อย ถือว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำ ส่วนถังที่มีการกวนผสมไม่สามารถสรุปแนวโน้มการลดความสกปรกในรูป TCOD, SCOD, TS และ TVS ได้ และค่า Alkalinity ในถังที่มีใบกวนจะสูงกว่าถังที่ไม่มีใบกวน ร้อยละของของแข็งทั้งหมดในถังมีใบกวนจะสูงกว่าถังไม่มีใบกวน สีของตะกอนในถังมีใบกวนจะเข้มกว่าถังไม่มีใบกวน และเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพในถังที่มีใบกวนมากกว่าถังไม่มีใบกวน

3. ร้อยละของ TVS เมื่อเทียบกับ TS ของสิ่งปฏิกูลในถังที่มีใบกวนจะต่ำกว่าถังที่ไม่มีใบกวนและลดต่ำลงกว่าตอนเริ่มเข้าระบบในครั้งแรกเล็กน้อย แต่ที่ระบบบำบัดของเทศบาลนครสงขลามีระยะเวลาเก็บกักนาน 28 วันซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองที่ 30 วัน ถือว่ายังเหมาะสมเพราะถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดจากการทดลองยังถือว่าต่ำก็ตาม แต่สามารถลดปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ได้ดี คือที่ระยะเวลาหมักนาน 30 วัน ปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ลดลงมากกว่าร้อยละ 99 แต่ถ้าหมักต่อไปจนครบ 40 วันปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ลดลงอีกเพียง 5,000 MPN/100 ml และไม่ทำให้ตัวแปรคุณภาพน้ำตัวอื่น ๆ ลดลงอย่างชัดเจนเช่นกันซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับถังที่มีการกวนผสมเช่นกัน

4. ปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ในถังหมักที่ไม่มีใบกวนลดลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อระยะเวลาการหมักนาน 10 วัน และถังหมักที่มีใบกวนสามารถลดเชื้อ Fecal Coliform ได้มากกว่าร้อยละ 50 เมื่อระยะเวลาการหมักนาน 5 วัน แต่ที่ระยะเวลาการหมัก 30 วัน ถังหมักที่ไม่มีใบกวนมีแนวโน้มลดเชื้อ Fecal Coliform ได้ดีกว่าถังหมักที่มีใบกวน

5. น้ำชะที่ผ่านลานทรายตากตะกอนทั้งจากถังที่มีใบกวนและไม่มีใบกวน มีความสกปรกในรูป TS, TVS, TKN และ COD ลดลงมากเมื่อเทียบกับสิ่งปฏิกูล แต่ยังคงต้องนำไปบำบัดต่อในระบบบำบัดน้ำเสียเพราะยังสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนประเภท ก หรือพิจารณาศึกษาความเหมาะสมเพื่อนำไปใช้รดต้นไม้หรือสนามหญ้าเพราะมีสารอาหารของพืชอยู่ในน้ำชะ

6. เมื่อหมักสิ่งปฏิกูลนานขึ้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดมีแนวโน้มลดลง แต่สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดมีแนวโน้มคงที่ โดยคิดปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 55 และร้อยละ 58 สำหรับถังหมักที่ไม่มีใบกวนและถังหมักที่มีใบกวนตามลำดับ

7. ตะกอนสิ่งปฏิกูลที่ตากแห้งทุกช่วงเวลาการหมักมีส่วนประกอบของปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ โดยมีไนโตรเจนสูงกว่าฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม ตามลำดับ และประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินได้ โดยเฉพาะพืชผักใบเขียว ช่วยทำให้ดินร่วนซุยได้ มีค่า C/N อยู่ในช่วง 7.82-8.72 เก็บไว้ได้ไม่มีกลิ่น ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7.64 และมีปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ต่ำกว่า 27 MPN/100 ml เมื่อคิดจากตะกอนที่ตากแห้ง 1 กรัมโดยไม่อบซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดจากการหมักสิ่งปฏิกูลนาน 30 วัน

8. ตะกอนที่หมักนานกว่ามีแนวโน้มตากแห้งได้เร็วกว่าบนลานทรายตากตะกอน และควรมีการตรวจสอบลานทรายตากตะกอนก่อนปล่อยตะกอนสิ่งปฏิกูลลงไป เพราะอาจมีรอยแตกของชั้นทรายทำให้เกิดการไหลลัดวงจรไม่ถูกกักและกรองไว้โดยชั้นทรายได้

9. ลานทรายตากตะกอนสามารถลดปริมาณเชื้อ Fecal Coliform ลงได้บางส่วน และลดความสกปรกในรูปอื่น ๆลงได้เช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่เกิดจากการทดลองวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาการตกตะกอนของสิ่งปฏิกูล เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนก่อนนำไปใช้กระบวนการที่เหมาะสมในการแยกน้ำออกให้ได้มากและเพื่อเป็นปุ๋ยต่อไป โดยปรับปรุงวิธีการนำน้ำใส (Supernatant) ไปบำบัดต่อไปในระบบบำบัดน้ำเสีย หรือใช้วิธีการเพิ่มความเข้มข้นของสิ่งปฏิกูลโดยวิธีที่เหมาะสมตั้งแต่นำมาจากบ้านเรือน และดำเนินการตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไปแล้วต่อไป เพื่อหาความเหมาะสมสำหรับเทศบาลนครสงขลาในอนาคต
2. มีการศึกษาเพิ่มเติมเชิงวิชาการในการทดลองเดินระบบอย่างต่อเนื่อง (Continuous) เพื่อดูกลไกการเกิดปฏิกิริยาของระบบ และการมีถังตกตะกอนในกรณีถังหมักมีใบกวนผสม
3. มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาก๊าซมีเทนไปใช้ประโยชน์
4. การทดลองครั้งนี้เป็นเพียงการสุ่มตัวอย่างสิ่งปฏิกูลจากเทศบาลนครสงขลามาเท่านั้น การทดลองวิจัยต่อเนื่องจะทำให้ผลที่ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สำหรับโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลเทศบาลนครสงขลาที่สืบเนื่องจากการทดลองวิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีการพิจารณาเพื่อนำสิ่งปฏิกูลไปบำบัดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดการดูแลระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล เพราะการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองให้สอดคล้องกับการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่เทศบาลนครสงขลาดำเนินการอยู่ คือไม่ได้หมักเพื่อแยกชั้นตะกอนออกจากน้ำ แต่ปล่อยรวมกันลงในลานทรายตากตะกอนเมื่อครบระยะเวลาการหมัก
2. ศึกษาความเหมาะสมกรณี ถ้ามีการสร้างหลังคาโปร่งแสงบริเวณลานทรายตากตะกอนของเทศบาลนครสงขลาเพื่อป้องกันฝนซึ่งตกบ่อยในสงขลาทำให้ตะกอนที่ตากไม่แห้ง และมีน้ำชะไหลเข้าระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น หรือไหลล้นออกไปภายนอกมากขึ้น
3. ศึกษาอัตราการเติมตะกอนบนลานทรายตากตะกอนและเวลาตากตะกอนรวมถึงปริมาณแสงแดดในช่วงเดือนต่าง ๆ ที่เหมาะสม
4. น่าจะมีวิธีการศึกษาวิธีปฏิบัติที่ถูกต้องสำหรับผู้ดูแลระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล โดยอาจเขียนเป็นคู่มือดำเนินการ และมีการฝึกอบรมให้มีความรู้อย่างเชี่ยวชาญ และมีการดูแลเรื่องน้ำชะผ่านลานทรายให้มีการนำไปบำบัดอย่างถูกต้อง
5. ความสกปรกส่วนใหญ่ของสิ่งปฏิกูลอยู่ในรูปของแข็ง ดังนั้นถ้าอนาคตมีโครงการทำปุ๋ยเทศบาลหรือปุ๋ยหมัก ก็สามารถแยกน้ำออกจากตะกอนสิ่งปฏิกูลโดยใช้เครื่องรีดตะกอนหรือเครื่องมือที่เหมาะสมโดยไม่ต้องนำสิ่งปฏิกูลมาหมัก น้ำที่แยกออกก็ไปบำบัดรวมกันในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนตะกอนที่แยกได้ก็นำมาหมักทำปุ๋ยโดยผสมกับพวกพืชเพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอน และอาจใช้พวกปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนสูงผสมลงไปเพื่อเร่งให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลชีพแล้วนำไปใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินได้

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543 "*วิศวกรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4*" อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต กรุงเทพฯ หน้า 352-355.

จำรูญ ยาสมุทร, บุญต่วน แก้วปินตา และสมพงษ์ สิทธิโชคสกุลชัย, 2534. "*การศึกษาวิธีกำจัดอุจจาระของอาคารที่อยู่อาศัย รถทัวร์โดยสาร รถขนถ่ายอุจจาระ และวิธีการควบคุม ในเขตเมืองเชียงใหม่*" เชียงใหม่เวชสาร ปีที่ 30 ฉบับที่ 2, เชียงใหม่.

ทรงศักดิ์ ศรีทุมมา และปริยะดา โชควิญญู, 2534. "*ระบบกำจัดอุจจาระ: การพัฒนาประสิทธิภาพและการจัดการในประเด็นสำคัญ*" กองสุขาภิบาล กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

ธนิยา เกาศล, 2540. " *สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของถังหมักไร้อากาศในการบำบัดตะกอน*", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 194น.

บัน ยีรัมย์, 2534. "*ประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปฏิกูลจากส้วมโดยใช้จุลินทรีย์สำเร็จรูป*" วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาเอกอนามัยสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ.

พิชิต สกุลพราหมณ์, 2535 "*การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม*" คณะสาธารณะสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ. หน้า 214-215.

วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 "*ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย*", สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุ๊กส์, กรุงเทพฯ. 216 น.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กองนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2538. "*โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน*" เล่มที่ 2, รายงานฉบับสมบูรณ์ โดย บริษัท ซีเทค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, กรุงเทพฯ.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540. "*ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี*" สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ. 327 น.

เสนีย์ กาญจนวงศ์, 2533. "*วิศวกรรมน้ำเสีย*" ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เสริมพล รัตสุขและไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524. "*การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน*", สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 317 น.

American Public Work Association (APHA). 1989 "*Standard method for the examination of water and wastewater*" 17th ed., Apha. Washington, D.C.,1268 p.

The joint field research report between The Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG) and The prince of Songkla University (PSU), January 1999. "*Septage Treatment Efficiency at Songkhla Municipality*".

Liu, Cheng-liang, 1986. "*Anaerobic lagoon treatment of septage*" Thesis Master Degree, AIT. Bangkok, Thailand. 72p.

ภาคผนวก ก
แสดงข้อมูลผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก-1 แสดงข้อมูลผลการทดลองคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Temp (C)	pH	TS (mg/L)	TVS (mg/L)	TVS (%)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	Fecal Coliform (MPN/100ml)
0	30.0	7.0	16,023	11,400	71.1	2,400	614	162	21,600	1,650	16,000,000
5	28.0	7.0	16,800	10,104	60.1	2,600	645	109	16,800	1,680	9,000,000
10	28.0	6.7	16,516	12,056	73.0	3,300	588	142	19,680	1,800	3,000,000
15	27.0	7.0	17,670	13,105	74.2	3,300	712	150	21,912	996	300,000
20	27.0	7.2	16,575	12,105	73.0	3,000	673	121	21,120	960	230,000
25	28.5	7.0	16,325	11,750	72.0	3,100	672	151	23,712	2,570	80,000
30	27.5	7.2	14,430	10,210	70.8	2,700	714	85	21,420	1,970	7,000
35	28.0	7.2	17,370	12,575	72.4	2,800	686	116	25,688	2,964	5,000
40	28.5	7.2	14,700	10,560	71.8	2,700	644	111	19,019	1,729	2,000

ตารางผนวกที่ ก-2 แสดงข้อมูลผลการทดลองคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลในถังหมักที่มีการกวนผสม

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Temp (C)	pH	TS (mg/L)	TVS (mg/L)	TVS (%)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	Fecal Coliform (MPN/100ml)
0	30.0	7.0	16,023	11,400	71.1	2,400	614	162	21,600	1,650	16,000,000
5	27.0	7.3	25,814	17,500	67.8	3,200	615	118	26,160	2,160	3,000,000
10	28.5	7.3	24,425	16,156	66.1	4,400	689	154	26,280	2,160	500,000
15	27.5	7.2	24,010	15,725	65.5	4,500	952	164	25,896	2,988	170,000
20	27.5	7.4	23,650	15,590	65.9	4,600	798	118	23,040	1,940	80,000
25	29.0	7.2	21,495	14,105	65.6	4,400	840	145	20,254	2,590	50,000
30	28.5	7.2	23,785	15,945	67.0	4,600	812	146	20,910	2,570	30,000

ตารางผนวกที่ ก-3 แสดงคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลเมื่อตากแห้งแล้วจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสมและมีการกวนผสม

ตะกอนสิ่งปฏิกูลจากการหมักนาน (วัน)	moisture (%)	TVS (%)	TKN (mg/g)	TP (mg/g)	Fecal Coliform (MPN/100ml)
20	7.64	77.23	177	0.5	13
30	4.57	77.29	167	0.7	27
40	2.80	61.15	108	1.2	4
30*	3.73	71.12	116	0.9	9

หมายเหตุ- * คือตะกอนสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่มีการกวนผสม

- ใช้สิ่งปฏิกูลแห้งน้ำหนัก 1 กรัมเท่ากันทุกชุดการทดลองยกเว้นการหา Fecal Coliform จะไม่อบตะกอน

ตารางผนวกที่ ก-4 แสดงคุณสมบัติของน้ำซะ (Percolate) ของสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่ไม่มีการกวนผสมและมีการกวนผสม

น้ำซะจากสิ่งปฏิกูลที่หมักนาน (วัน)	pH	TS (mg/L)	TVS		TKN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	Fecal Coliform (MPN/100ml)	Turbdity (NTU)
			(mg/L)	(%)						
20	7.8	1,860	253	13.6	394	119	561	73	80,000	32
30	7.7	1,858	230	12.4	330	146	524	78	4,000	54
40	7.3	1,200	210	17.5	310	115	267	39	1,700	63
30*	7.3	1,268	500	39.4	75	166	1,284	285	5,000	642

หมายเหตุ- * คือตะกอนสิ่งปฏิกูลจากถังหมักที่มีการกวนผสม

ตารางผนวกที่ ก-5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของถังหมักที่ไม่มีการกวนผสม และถังที่มีการกวนผสม

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ถังที่มีการกวนผสม (ml)	ถังที่ไม่มีการกวนผสม			ปริมาณก๊าซมีเทน (%)	
			ใบที่1 (ml)	ใบที่2 (ml)	ใบที่3 (ml)	ถังมีการกวนผสม	ถังที่ไม่มีการกวนผสม
15/3/44	1	5,280	500	600	650	-	-
16/3/44	2	14,360	3,800	3,300	3,500	-	-
17/3/44	3	13,040	4,650	4,650	4,500	-	-
18/3/44	4	12,760	3,300	3,580	3,600	-	-
19/3/44	5	11,000	3,500	3,650	3,650	-	-
20/3/44	6	7,040	2,800	2,830	3,100	66.84	52.48
21/3/44	7	5,160	2,360	2,380	2,510	-	-
22/3/44	8	5,480	2,150	2,430	2,370	-	-
23/3/44	9	4,880	2,240	2,240	2,230	-	-
24/3/44	10	4,480	1,800	1,750	1,450	51.36	43.56
25/3/44	11	4,280	1,750	1,700	1,600	-	-
26/3/44	12	4,520	2,120	2,000	1,820	-	-
27/3/44	13	4,320	1,850	1,800	1,750	-	-
28/3/44	14	3,280	1,600	1,600	1,570	56.82	57.86
29/3/44	15	3,000	1,770	1,840	1,800	-	-
30/3/44	16	3,480	1,140	1,460	1,350	62.27	49.06
31/3/44	17	3,440	1,270	1,520	1,330	-	-
1/4/44	18	3,320	1,210	1,500	1,370	53.94	62.2
2/4/44	19	3,240	1,090	1,250	1,210	-	-
3/4/44	20	2,840	1,050	1,410	1,230	67.45	63.85
4/4/44	21	2,720	-	1,010	700	-	-
5/4/44	22	2,960	-	1,270	950	55	54.55
6/4/44	23	2,560	-	950	1,030	-	-
7/4/44	24	2,300	-	1,000	1,000	-	-
8/4/44	25	2,010	-	1,250	1,180	53.29	54.9
9/4/44	26	1,520	-	1,100	1,100	-	-
10/4/44	27	1,680	-	1,180	1,160	56.05	69.86
11/4/44	28	2,240	-	1,570	1,300	-	-
12/4/44	29	1,240	-	700	650	54.85	56.13
13/4/44	30	1,180	-	-	670	-	-
14/4/44	31	-	-	-	680	-	52.94
15/4/44	32	-	-	-	740	-	-

ตารางผนวกที่ ก-5 (ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ถังที่มีการกวนผสม (ml)	ถังที่ไม่มีการกวนผสม			ปริมาณก๊าซมีเทน (%)	
			ใบที่1 (ml)	ใบที่2 (ml)	ใบที่3 (ml)	ถังมีการกวนผสม	ถังที่ไม่มีการกวนผสม
16/4/44	33	-	-	-	740	-	-
17/4/44	34	-	-	-	680	-	53.99
18/4/44	35	-	-	-	600	-	-
19/4/44	36	-	-	-	600	-	-
20/4/44	37	-	-	-	800	-	48.33
21/4/44	38	-	-	-	560	-	-
22/4/44	39	-	-	-	320	-	54.65
23/4/44	40	-	-	-	400		

ภาคผนวก ข
แสดงตารางมาตรฐานคุณภาพน้ำ

ตารางผนวกที่ ข-1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

ประเภทอาคาร	ขนาดของอาคารที่กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง				
	ก*	ข	ค	ง	จ
1. อาคารชุดตามกฎหมายว่า ด้วยอาคารชุด	> 500 ห้องนอน	100 - < 500 ห้องนอน	< 100 ห้องนอน	-	-
2. โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม	> 200 ห้อง	60 - < 200 ห้อง	< 60 ห้อง	-	-
3. หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก	-	< 250 ห้อง	50 - < 250 ห้อง	10 - < 50 ห้อง	-
4. สถานบริการอาบอบนวด	-	< 5,000 ม.^{2}	1,000 - < 5,000 ม.^{2}	-	-
5. สถานพยาบาล	> 30 เตียง	10 - < 30 เตียง	-	-	-
6. อาคารโรงเรียนราษฎร์หรือสถาบันอุดมศึกษา	> 25,000 ม.^{2}	5,000 - < 25,000 ม.^{2}	-	-	-
7. อาคารที่ทำการราชการ รัฐ-วิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชน	> 55,000 ม.^{2}	10,000 - < 55,000 ม.^{2}	5,000- < 10,000 ม.^{2}	-	-
8. ศูนย์การค้า ห้างสรรพสินค้า	> 25,000 ม.^{2}	5,000 - < 25,000 ม.^{2}	-	-	-
9. ตลาด	> 2,500 ม.^{2}	1,500 - < 2,500 ม.^{2}	1.000 - < 1,500 ม.^{2}	500 - <1,000 ม.^{2}	-
10. ภัตตาคารและร้านอาหาร	> 2,500 ม.^{2}	500 - < 2,500 ม.^{2}	250 - < 500 ม.^{2}	100 - < 250 ม.^{2}	< 100 ม.^{2}

หมายเหตุ : < คือ น้อยกว่า

> คือ เกินกว่าหรือเทียบเท่า

ที่มา : * ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้อง ถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 11 ตอนพิเศษ 9ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

ตารางผนวกที่ ข-2 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง					หมายเหตุ
		ก	ข	ค	ง	จ	
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	≤20	≤30	≤40	≤50	≤200	
3. ปริมาณของแข็ง (Solids)							
3.1 ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	≤30	≤40	≤50	≤50	≤60	
3.2 ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	-	
3.2 สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids)	มก./ล.	≤ 500	≤ 500	≤ 500	≤ 500	-	*เป็นค่าที่เพิ่มจากสารละลายในน้ำ ใช้ตามปกติ
4. ซัลไฟด์ (Sulfide)	,,	≤1.0	≤1.0	≤3.0	≤4.0	-	
5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ที เค เอ็น (TKN)	,,	≤35	≤35	≤40	≤40	-	
6. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	,,	≤20	≤20	≤20	≤20	≤100	

หมายเหตุ : ≤ คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 11 ตอนพิเศษ 9 ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

ภาคผนวก ค
แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดสงขลา

ตารางผนวกที่ ค-1 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานี ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ. 1999)

ข้อมูลสถานี สถานีสงขลา 48568 ความสูงของบาโรมิเตอร์จากระดับน้ำทะเล 6.564 เมตร

ตำแหน่งสถานี แลตติจูด 7°12′14.487″ เหนือ ฐานเรือนเทอร์โมมิเตอร์สูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร

ลองติจูด 100°56′17.011″ ตะวันออก เครื่องวัดลมสูงจากพื้นดิน 18.00 เมตร

ข้อมูลภูมิอากาศ	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	รวม,เฉลี่ย,สูงสุด,ต่ำสุด
ปริมาณน้ำฝน (มม.)	290.2	467.1	69.2	82.4	139.3	78.5	88	212.6	118.8	265.9	500.1	657.2	ร 2,969.3
จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)	22	8	15	11	13	13	18	19	16	20	23	24	ร 202
ความกดอากาศ (มบ.)	1008.92	1011.47	1007.18	1008.10	1008.51	1008.78	1007.96	1009.39	1009.01	1009.18	1009.55	1010.44	ฉ 1009.04
อุณหภูมิอากาศ (ซ.)	26.86	27.11	28.04	28.22	28.37	28.31	23.34	28.04	27.78	27.14	26.72	25.65	ฉ 27.55
อุณหภูมิสูงสุด (ซ.)	29.50	29.68	31.84	32.90	32.96	33.14	33.62	33.39	32.52	31.43	30.24	28.02	ฉ 31.60
อุณหภูมิต่ำสุด (ซ.)	24.42	25.13	25.08	25.22	25.2	25.08	24.92	24.59	24.78	24.57	24.25	23.9	ฉ 24.76
อุณหภูมิสูงที่สุด (ซ.)	30.3	31.3	33.5	35.6	36.3	35.3	35.6	35.7	34.8	34.2	33.4	30.4	ส 36.3
อุณหภูมิต่ำที่สุด (ซ.)	20.8	22.6	24.1	23.9	23.5	23.5	22.3	23.1	23.4	23.2	23.1	22.4	ต 20.8
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	80.66	79.32	78.11	78.03	77.76	73.89	73.55	74.7	77.93	82.15	83.62	84.7	ฉ 78.70
ปริมาณแสงแดด (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน)	193.15	215.52	235.08	197.05	214.59	212.14	201.98	203.21	213.94	196.65	98.93	125.45	ฉ 192.31
ความยาวนานแสงแดด (ชม./วัน)	6.45	7.25	8.47	6.21	6.76	5.58	7.31	7.12	6.78	5.36	4.64	3.81	ฉ 6.31
ปริมาณน้ำระเหย (มม./วัน)	4.48	5.15	5.16	4.36	5.17	4.83	5.07	5.14	4.65	4.04	3.67	3.06	ฉ 4.57
ทิศทางและความเร็วลม (นอต)	อนอ.5.9	อ. 5.1	อนอ 2.4	วซว 2.8	วซว 0.5	วซว 3.2	วซว 4.0	วซว 2.74	วซว 2.55	วซว 5.5	นนอ 2.34	นนอ 3.85	
ทิศทางและความเร็วลมสูงที่สุด (นอต)	อ 28.0	อ. 21.0	ซว 20.0	ว 20.0	ซซว 18.0	วซว 22.0	ว 31.0	ซว 18.0	วซว 30.0	ว 28.0	อนอ 21.0	นอ 19.0	

หมายเหตุ ร คือ รวม, ส คือ สูงที่สุด ตัวย่อทิศทางลมให้ดู ที่หน้า 80

ฉ คือ เฉลี่ย, ต คือ ต่ำที่สุด

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ตารางผนวกที่ ค-2 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานี ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ปี พ.ศ. 2541 (ค.ศ. 1998)

ข้อมูลภูมิอากาศ	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	รวม,เฉลี่ย,สูงสุด, ต่ำสุด
ปริมาณน้ำฝน (มม.)	12.5	0.7	17.7	43.1	51.5	111.4	109.6	124.6	103.5	260.1	337.2	526.7	ร 1698.6
จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)	7	1	5	2	12	22	22	12	18	19	23	26	ร 125
ความกดอากาศ (มบ.)	1011.88	1012.45	1010.77	1009.83	1008.37	100.31	1008.37	1009.13	1008.93	1008.86	1008.86	1010.25	ฉ 1009.67
อุณหภูมิอากาศ (ซ.)	28.45	28.68	29.43	29.86	30.08	29.08	28.77	28.17	27.88	27.44	26.61	24.18	ฉ 28.22
อุณหภูมิสูงที่สุด (ซ.)	30.97	31.58	32.73	33.10	33.66	33.49	33.36	32.58	32.53	31.74	29.76	28.99	ฉ 32.04
อุณหภูมิต่ำที่สุด (ซ.)	26.16	25.8	25.94	26.33	26.86	25.87	25.52	25.16	25.09	24.67	24.4	24.03	ฉ 25.49
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	75.36	74.15	72.4	73.72	75.67	75.71	74.98	78.43	78.86	80.49	85.93	85.61	ฉ 77.61
ปริมาณแสงแดด (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน)	240.92	258.62	258.62	248.91	211.41	193.39	200.75	208.06	180.71	177.73	146.81	138.59	ฉ 205.58
ความยาวนานแสงแดด (ชม./วัน)	8.63	10.1	10.1	9.68	7.79	5.71	6.64	7	5.35	4.92	4.03	3.45	ฉ 6.95
ปริมาณน้ำระเหย (มม./วัน)	5.32	6.21	6.81	6.68	5.23	4.39	5.03	4.67	3.89	4.44	3.39	3.45	ฉ 4.96
ทิศทางและความเร็วลม (นอต)	อ. 5.0	อ. 4.2	อ. 4.5	อ. 5.1	นอ. 3.0	ชว. 2.4	ว. 2.2	วชว. 2.2	วชว. 2.1	วชว 2.9	วชว 2.0	นนอ. 4.0	ฉ 3.3
ทิศทางและความเร็วลมสูงที่สุด (นอต)	อ. 19	อนอ. 18	อ. 18	อนอ. 17	น. 18	ชชว. 21	วชว. 23	อชอ. 23	ว. 37	วชว 23	ว. 28	อนอ. 27	ฉ 22.7

หมายเหตุ ร คือ รวม, ส คือ สูงที่สุด

ฉ คือ เฉลี่ย, ต คือ ต่ำที่สุด

ตัวย่อทิศทางลมให้ดูหน้า 80

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ตารางผนวกที่ ค-3 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานี ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1997)

ข้อมูลภูมิอากาศ	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	รวม,เฉลี่ย,สูงสุด, ต่ำสุด
ปริมาณน้ำฝน (มม.)	7.1	45.8	7.7	70.3	113.3	57.9	89.7	325.7	48.6	322	433.1	643.8	ร 2192.0
จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)	2	7	3	11	6	16	11	15	11	23	25	22	ร 152
ความกดอากาศ (มบ.)	1012.21	1010.27	1011.51	1010.36	1008.89	1009.51	1009.21	1009.7	1011.23	1011.87	1011.52	10.11.82	ฉ 10.68
อุณหภูมิอากาศ (ซ.)	26.79	27.41	27.99	28.49	29.41	28.49	28.16	27.94	27.88	27.5	27.11	27.3	ฉ 27.87
อุณหภูมิสูงที่สุด (ซ.)	29.30	30.65	31.14	31.96	33.39	33.16	32.67	32.26	31.5	31.02	29.82	29.65	ฉ 31.38
อุณหภูมิต่ำที่สุด (ซ.)	24.45	24.45	24.83	25.2	25.7	25.15	24.76	24.39	24.82	24.41	24.5	24.8	ต 24.79
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	72.28	77.45	75.3	76.59	72.71	75.06	77.18	78.17	79.29	82.45	83.64	81.28	ฉ 77.62
ปริมาณแสงแดด (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน)	244.33	224.72	245.38	224.56	225.1	195.53	178.27	195.52	192.29	192.39	179.04	179.4	ฉ 206.38
ความยาวนานแสงแดด (ชม./วัน)	9.55	7.54	9.44	7.97	8.28	6.86	5.85	6.95	4.89	5.83	5.4	5.47	ฉ 7.00
ปริมาณน้ำระเหย (มม./วัน)	5.29	5.14	6.03	5.44	5.87	4.56	4.12	5.29	3.7	4.16	3.55	4.2	ฉ 4.78
ทิศทางและความเร็วลม (นอต)	อ. 5.4	อ. 3.4	อ. 4.2	อ. 2.7	วชว. 3.2	วชว. 2.5	ชว. 1.9	วชว. 2.7	วชว. 2.1	วชว. 1.8	อ. 3.6	อ. 2.7	ฉ 3.3
ทิศทางและความเร็วลมสูงที่สุด (นอต)	อ. 18	อนอ. 14	อนอ. 16	อ. 18	อซอ. 24	วชว. 21	วชว. 26	ว. 27	วชว. 17	นอ. 17	อซอ. 22	อซอ. 28	ฉ 20.67

หมายเหตุ ร คือ รวม, ส คือ สูงที่สุด

ฉ คือ เฉลี่ย, ต คือ ต่ำที่สุด

ตัวย่อทิศทางลมให้ดูหน้า 80

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ตารางผนวกที่ ค-4 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานี ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ปี พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1996)

ข้อมูลภูมิอากาศ	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	รวม,เฉลี่ย,สูงสุด, ต่ำสุด
ปริมาณน้ำฝน (มม.)	94.3	65.3	1.2	234.9	135.5	21.1	89.9	111	13.7	260	440.4	895.8	2363.1
จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)	6	5	1	7	13	9	10	15	10	22	22	20	140
ความกดอากาศ (มบ.)	1011.7	1011.15	1009.64	1008.52	1008.96	1008.4	1008.46	1008.92	1007.95	1009.26	1009.23	1010.98	1009.43
อุณหภูมิอากาศ (ซ.)	26.46	26.8	27.95	28.96	28.51	28.64	28.46	27.97	28.19	27.12	26.75	25.63	27.7
อุณหภูมิสูงที่สุด (ซ.)	29.06	29.28	31.04	32.88	32.7	33.36	32.7	32.53	32.93	31.04	30.32	28.04	31.24
อุณหภูมิต่ำที่สุด (ซ.)	23.8	24.43	24.88	25.46	25.37	25.52	24.98	24.67	24.85	24.21	24.07	23.54	24.65
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	75.69	75.84	75.98	76.06	78.35	77.68	76.3	77.99	74.25	81.76	83.47	85.11	78.21
ปริมาณแสงแดด (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน)	223.3	236.32	249.85	233.14	203.91	202.89	183.98	199.47	203.43	184.49	159.11	132.87	200.98
ความยาวนานแสงแดด (ชม./วัน)	8.12	8.44	9.52	8.67	7.05	6.69	5.26	6	5.79	5.18	5.01	3.19	6.58
ปริมาณน้ำระเหย (มม./วัน)	4.9	5.78	6.13	4.65	4.22	4.35	4.56	4.82	3.75	4.07	3.79	3.79	4.06
ทิศทางและความเร็วลม (นอต)	อซอ. 5.2	อซอ. 8.7	อ. 4.9	อ. 3.1	วซว. 2.5	วซว. 1.9	ซว. 2.5	วซว. 3.1	วซว. 3.1	ซว. 2.0	อ. 2.5	นนอ. 2.7	ฉ 3.5
ทิศทางและความเร็วลมสูงที่สุด (นอต)	อซอ. 17	อซอ. 21	อ. 18	อซอ. 16	วนว. 22	ซว. 26	วซว. 38	ว. 25	ว. 31	วซว. 16	วซว. 27	อ. 19	ฉ 23.0

หมายเหตุ ร คือ รวม, ส คือ สูงที่สุด

ฉ คือ เฉลี่ย, ต คือ ต่ำที่สุด

ตัวย่อทิศทางลมให้ดูหน้า 80

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ตารางผนวกที่ ค-5 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานี ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

ปี พ.ศ. 2538 (ค.ศ. 1995)

ข้อมูลภูมิอากาศ	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	รวม,เฉลี่ย,สูงสุด, ต่ำสุด
ปริมาณน้ำฝน (มม.)	72.8	10.1	114.6	7.1	127.8	73.7	175.8	122.2	174	186.2	826.5	420.6	2311.4
จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)	7	3	6	2	8	11	17	18	19	18	23	19	151
ความกดอากาศ (มบ.)	1012.31	1011.87	1010.3	1009.06	1008.47	1008.03	1007.87	1008.5	1009.49	1008.92	1009.78	1012.01	1009.718
อุณหภูมิอากาศ (ซ.)	27.46	27.29	28.04	29.16	29.02	28.89	27.87	27.59	27.62	27.28	26.13	26.37	27.73
อุณหภูมิสูงที่สุด (ซ.)	30.00	30.04	31.23	32.21	33.17	33.29	32.08	32.44	31.93	30.87	28.8	28.88	31.25
อุณหภูมิต่ำที่สุด (ซ.)	24.96	24.75	24.71	25.5	25.34	25.37	24.58	24.44	24.49	24.51	23.76	23.97	24.7
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	75.03	75.7	77.13	75.86	76.73	75.96	78.41	79.52	81.11	85.28	90.71	81.13	79.38
ปริมาณแสงแดด (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน)	219.88	223.68	236.05	248.89	217.72	205.19	186.95	191.88	191.73	179.64	132.06	153.56	198.94
ความยาวนานแสงแดด (ชม./วัน)	8.36	8.42	9.15	10.0	8.3	6.99	6.16	6.13	5.14	4.86	3.09	4.39	6.75
ปริมาณน้ำระเหย (มม./วัน)	5.21	5.3	6.07	6.41	5.7	4.78	4.18	4.29	4.49	3.88	2.78	4.02	4.76
ทิศทางและความเร็วลม (นอต)	อ. 4.9	อซอ. 5.5	อ. 4.2	อ. 3.5	ชว. 2.5	วชว. 2.2	ชว. 2.1	วชว. 2.8	ชว. 2.4	อ. 2.2	อนอ. 5.0	อนอ. 5.0	ฉ 3.3
ทิศทางและความเร็วลมสูงที่สุด (นอต)	อซอ. 19	อ., อซอ. 18	อนอ. 17	อนอ., อ.14	วชว. 26	ว. 25	ว. 22	วชว. 26	ว. 20	อซอ. 18	อ. 21	อ. 21	ฉ 20.8

หมายเหตุ ร คือ รวม, ส คือ สูงที่สุด

ฉ คือ เฉลี่ย, ต คือ ต่ำที่สุด

ตัวย่อทิศทางลมให้ดูหน้า 80

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จ.สงขลา

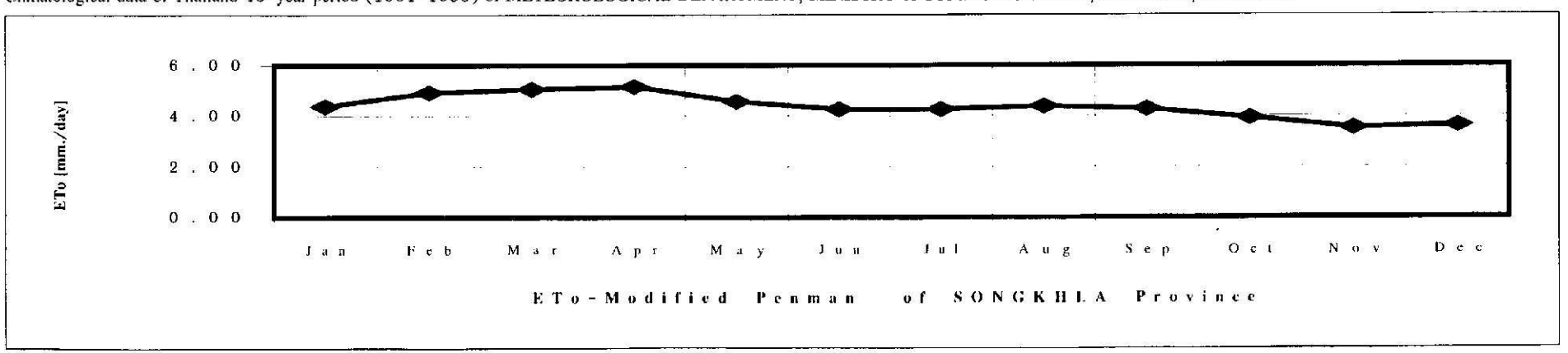
ตารางผนวกที่ ค-6 แสดงข้อมูลปริมาณการระเหย ที่คำนวณโดยวิธี Modified Penman ของ จ. สงขลา

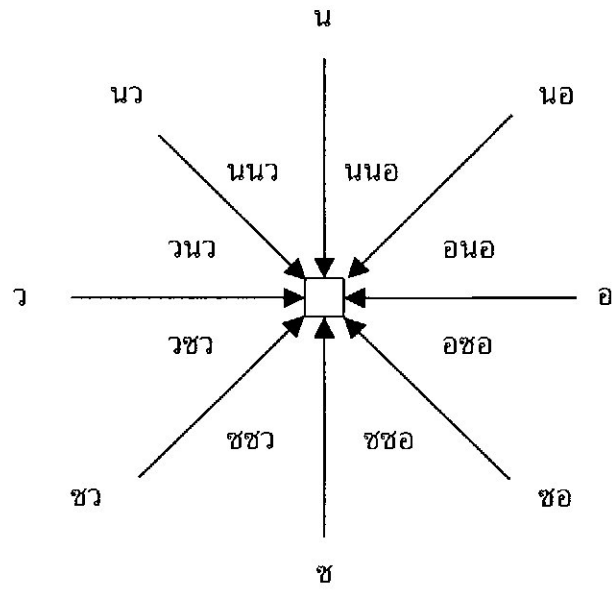
Station: SONGKHLA Latitude degree, LTD..... 7.0 Elevation of station above MSL.,(h) 4.0 m.

lipda, LTL..... 12.0 Height of wind vane above ground, (z) 18.0 m.

Items	Unit	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean Temperature, T	degree,C	27.0	27.5	28.1	28.8	28.7	28.4	28.0	28.0	27.7	27.2	26.7	26.6
Mean Relative Humidity, RH	%	76	76	76	76	78	77	77	76	78	82	84	81
Sunshine Duration, n	Hr./day	254.2	254.2	264.80	262.4	229.4	201.6	209.4	206.4	184.4	174.4	153.1	178.7
Wind Speed, U(z)	knot	10.7	9.7	8.0	5.9	4.4	4.6	4.8	5.3	5.0	4.3	6.1	8.8
(1-w)*f(U)(ea-ed)	mm./day	0.61	0.61	0.61	0.61	0.55	0.58	0.57	0.6	0.54	0.44	0.39	0.47
w*Rn=w*(Rns-Rnl)	mm./day	3.77	4.31	4.44	4.54	4.02	3.67	3.68	3.79	3.72	3.49	3.14	3.14
c		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Eto=c[w*Rn+(1-w)*f(U)*(ea-ed)]	mm./day	4.38	4.92	5.05	5.16	4.57	4.25	4.25	4.38	4.27	3.93	3.53	3.61
	mm./month	135.71	137.65	156.65	154.67	141.73	127.48	131.79	135.93	128.06	121.83	105.86	111.95

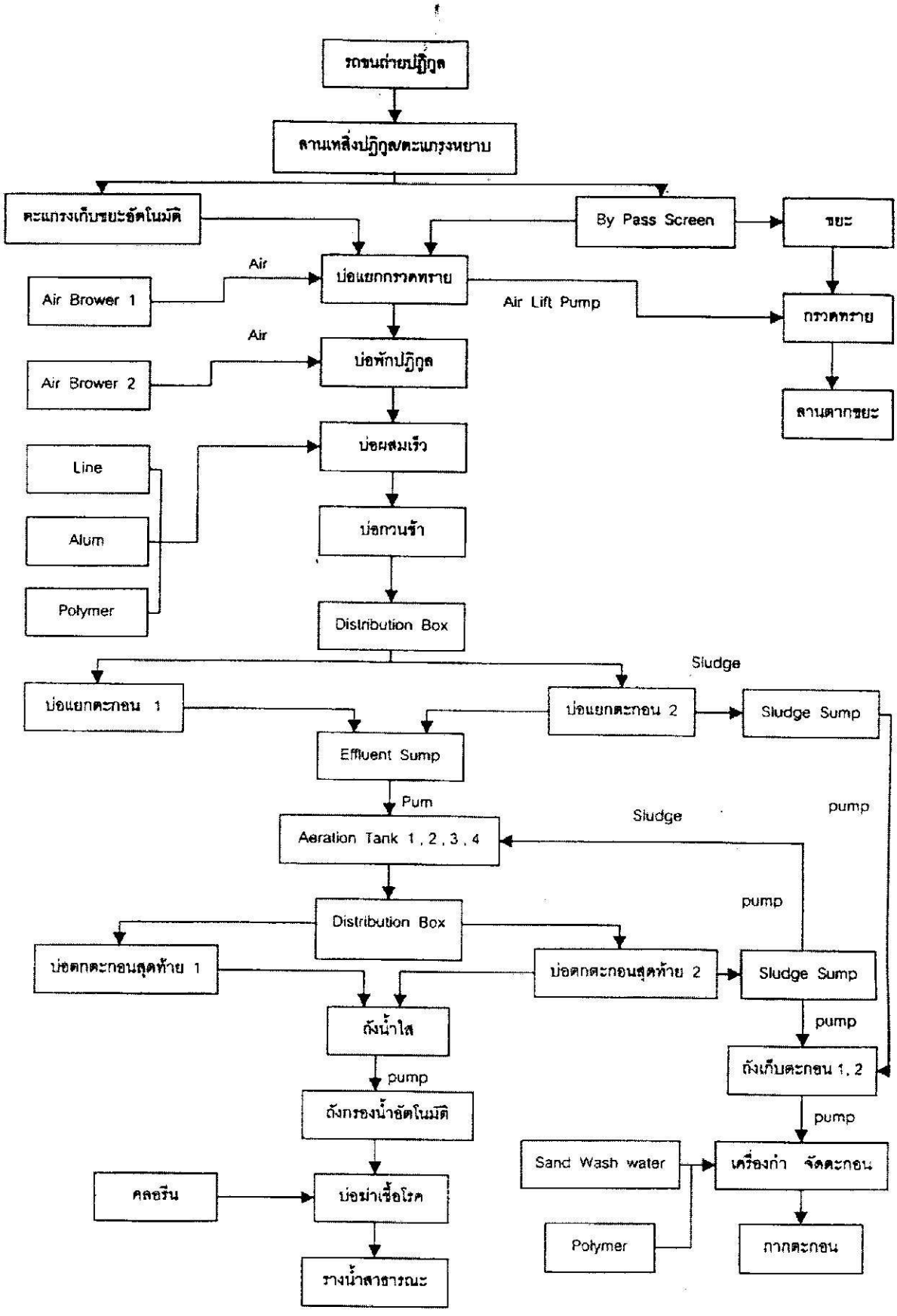
Climatological data of Thailand 45-year period (1951-1995) of METEOROLOGICAL DEPARTMENT, MINISTRY of COMMUNICATIONS, BANGKOK, THAILAND





แผนภาพแสดงทิศทางลมสำหรับอ้างอิงในตารางผนวกที่ ค-1 ถึง ค-5

ภาคผนวก ง
แสดงระบบกำจัดสิ่งปฏิกูลของโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุช



ภาพผนวกที่ ง-1 แสดงระบบกำจัดสิ่งปฏิกูลของโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุช กรุงเทพฯ

ที่มา : พูลผล ศรีม่วง (รายงานฝึกงานภาคฤดูร้อนปี 2544 ที่สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพฯ)