



การจัดการสลัดจ์ส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์
ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

**Management of Excess Sludge from Activated Sludge Wastewater Treatment
System of Concentrated Latex Industry**

วรรณฤดี หวันแข่ง

Wanrudee Wanseng

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Doctor of Philosophy in Environmental Management
Prince of Songkla University**

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวภิคาการ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ คำนธีรวิชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ.....

(นางสาววรรณฤดี หวันเซ่ง)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาววรรณฤดี หวันเซ่ง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การจัดการสลัดจ์ส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของ อุตสาหกรรมน้ำยางข้น
ผู้เขียน	นางสาววรรณฤติ หวันเซ่ง
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

การศึกษาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในครั้งนี้ เพื่อหาแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์รวมทั้งได้แนวทางการบริหารจัดการกากตะกอนส่วนเกินของอุตสาหกรรมยางน้ำข้นที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการศึกษา พบว่า อุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เพิ่มมากขึ้นและส่วนใหญ่มีปัญหาด้านการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ซึ่งยังต้องการพัฒนาองค์ความรู้ในการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ โรงงานน้ำยางข้นตัวอย่างที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ก่อให้เกิดกากตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำเฉลี่ย 3.1 ตัน/วัน ลักษณะตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้น พบว่า เป็นกากตะกอนที่มีปริมาณความชื้นสูง และมี TKN, P และ K เฉลี่ยเท่ากับ 8.0, 2.0 และ 1.0 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมี C/N ต่ำ นอกจากนี้ยังมีการปนเปื้อน Zn ก่อนข้างสูง สำหรับในด้านศักยภาพของการใช้ปริมาณสารเคมีในการปรับสภาพตะกอนส่วนเกิน พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ alum ผสมกับ polyacrylamide (alum 0.1 g/1 L sludge ผสมกับ polyacrylamide ที่ 0.1 g/1 L sludge) ที่ pH = 8 สามารถลดน้ำได้ดีและแยกน้ำออกจากตะกอนได้ง่ายกว่าชุดการทดลองอื่น

การศึกษาระบบบำบัดกากตะกอนส่วนเกินด้วยวิธีทางชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์โดยการทดลองหมักกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่ด้วยเทคนิค Biochemical Methane Potential (BMP) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพในระยะเวลา 30 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ชุดการทดลอง A1) มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและ methane yield ได้ดีที่สุด เท่ากับ 0.163m^3 biogas/1 kg VS_{removed} และ $0.081\text{CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$ และการนำไปใช้ประโยชน์โดยการทดลองการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นอย่างเดียวกับที่มีการผสมจี้ได้จากโรงงานยางแผ่นรมควันและขุยมะพร้าว ทำการหมักปุ๋ยภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่มีการให้อากาศ/ไม่ให้อากาศและมีการใช้ seed โดยใช้ระยะเวลาการหมัก 90 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลอง

วัสดุที่ใช้หมักมีค่า C/N ต่ำมาก (อยู่ในช่วง 3.2-5.9) ทำให้เกิดปฏิกิริยาการหมักที่ค่อนข้างช้า ซึ่งเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก 90 วัน ปุ๋ยหมักที่ได้ ในทุกชุดการทดลองมีค่า pH, P₂O₅, K₂O, As, Cd, Cr, Cu, Pb และ Hg ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของไทย แต่ยังมีค่า MC, OM, electrical conductivity and germination index ไม่ผ่านมาตรฐาน เมื่อใช้ปุ๋ยหมักที่ได้ไปทดสอบการปลูกลูกดาวเรืองเพื่อทดสอบศักยภาพการเป็นปุ๋ย พบว่า ปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่ใช้กักตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวที่ไม่มีการเติม seed มีศักยภาพในการเป็นปุ๋ย เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมีเนื่องจากสามารถทำให้ต้นดาวเรืองเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีและให้จำนวนดอกได้ผลดีเทียบเท่ากับการปลูกลูกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยเคมี

Thesis Title	Management of Excess Sludge from Activated Sludge Wastewater Treatment System of Concentrated Latex Industry
Author	Miss Wanrudee Wanseng
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2016

ABSTRACT

This study is about management of excess sludge from activated sludge wastewater treatment system of concentrated latex industry. The study aims to find the suitable usage and effective management process for the excess sludge. The results showed that activated sludge technology has been increasing for wastewater treatment in the concentrated latex factories in the South of Thailand. However, there are the problems due to excess sludge management from the activated sludge which need to be developed. With investigation, the excess sludge from activated sludge wastewater treatment system of concentrated latex industry generation rate was determined as for 3.1 ton/day (average value). The excess sludge had a low C/N ratio and contained TKN, P, and K with the average values of 8.0, 2.0, and 1.0 % dry basis, respectively. Moreover, the excess sludge had a high Zn. There is potential of chemical used for sludge conditioning. From the result of experiments, applying alum 0.1 g/l L sludge mixed with polyacrylamide with 0.1 g/l L sludge sludge at pH 8 indicated that the capillary suction time and specific resistance is that the best conditions of chemical used for sludge conditioning.

Concerning biological sludge treatment for recycling by Biochemical Methane Potential (BMP), in term of biogas production in 30 days, the results showed that the excess sludge from activated sludge process experiment without chemical used in sludge conditioning, (A1), could produce biogas yield and methane yield with maximum rate of $0.163 \text{ m}^3 \text{ biogas/1 kg VS}_{\text{removal}}$ and $0.081 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removal}}$, respectively. In addition, the investigation on the possible use of the obtained compost products as fertilizer on plant growth was conducted. These experiments were set up with high MC and low C/N ratios, with ranges of 3.2:1 to 5.9:1 of composting of excess sludge from concentrated latex factories. The composting experiments were investigated based on test conditions of different compost materials used (mixture of excess sludge, ash, and

coconut husk) , with and without aeration, as well as with and without seeding. The slow decomposition of OC occurred during 90 days composting. The results indicated that the composting of mixtures of excess bio-sludge, ash, and coconut husk with and without seeding and aeration made compost products compliant with Thai organic fertilizer standards, especially in terms of pH, P_2O_5 , K_2O , As, Cd, Cr, Cu, Pb, and Hg, but not for MC, OM, electrical conductivity and germination index. With the results tested on plant growth, the possibility of the use of compost products as fertilizer as experimented with marigolds, illustrated that compost products from a mixture of excess bio-sludge, ash, and coconut husk without seeding and aeration had potential to be used as fertilizer which was equivalent to 15:15:15 chemical fertilizer, in particular in terms of plant height increase rate and numbers of flowers achieved.

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จโดยสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีอาจเกิดขึ้นได้ หากปราศจากความกรุณาจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชิวกิดาการ ประธานกรรมการที่ปรึกษาและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ คำนธิรวิชัย กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำให้ความเอาใจใส่ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมราช วันทวิน รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิยา เกาศล และดร.ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ กรุ๊ป จำกัด และอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างกาคะกอน ตลอดจนข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณพรจรัส สุทธิพันธ์ เจ้าหน้าที่ระบบงานคอมพิวเตอร์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในเรื่องคอมพิวเตอร์ตลอดมา ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ศูนย์ปฏิบัติการด้านสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ และให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมทั้งเจ้าหน้าที่คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ทุกท่านที่กรุณาอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ด้วยดีเสมอมา ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

สำเร็จได้ด้วยแรงสนับสนุน แรงบันดาลใจและคอยให้กำลังใจในการต่อสู้กับปัญหาและอุปสรรคต่างๆ จากสมาชิกทุกๆ คนในครอบครัว “หวานเซ่ง” ที่ได้มอบให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

วรรณฤดี หวานเซ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(14)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	28
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	29
2. วิธีการวิจัย	30
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	30
2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	32
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล	54
3.1 ภาพรวมของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้ของประเทศไทยที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์	54
3.2 สภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้	57
3.3 ผลการทำ conditioning ทางเคมีของกากตะกอนต่อความสามารถการเอาน้ำออก (dewatering)	70
3.4 ผลการล้าง (elutriation) กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงาน	75
3.5 ผลการศึกษาการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนส่วนเกินและน้ำจากการรีดตะกอน: ทดสอบด้วยเทคนิค Biochemical Methane Potential (BMP)	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การบำบัดกากตะกอนส่วนเกินด้วยวิธีการหมักทำปุ๋ยและการทดสอบวัสดุหมักปุ๋ยที่ได้	95
3.7 การเปรียบเทียบเบื้องต้นของการใช้เทคโนโลยีในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสไลด์จ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น โดยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	122
3.8 ข้อเสนอแนะสำหรับโรงงาน	128
4. บทสรุป	130
4.1 บทสรุป	130
บรรณานุกรม	136
ภาคผนวก ก แบบสัมภาษณ์	148
ประวัติผู้เขียน	156

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ลักษณะน้ำเสียรวมจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิมหลังผ่านบ่อดักเศษยาง	4
1.2	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	17
1.3	หลักเกณฑ์ในการพิจารณาความสามารถของการถูกย่อยสลายของปุ๋ยหมัก	19
1.4	ระดับของการถูกย่อยสลายของปุ๋ยหมัก	20
1.5	ค่าดัชนีของตัวแปรที่ใช้ระบุถึงระดับการถูกย่อยสลายตามเกณฑ์ของ California Compost Quality Council	20
2.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอน	34
2.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอนในการศึกษาการปรับสภาพตะกอนส่วนเกิน	38
2.3	เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาถึงปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอนที่มีผลต่อความสามารถการเอาน้ำออกจากตะกอน	38
2.4	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอนและน้ำล้างตะกอน	41
2.5	เงื่อนไขของการทดลองศึกษาการเกิดก๊าซมีเทนของกากตะกอนส่วนเกิน	43
2.6	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะตะกอนและน้ำรีดตะกอนในการทดลองหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	45
2.7	เงื่อนไขการทดลองการหมักปุ๋ยจากกากตะกอน	48
2.8	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในขณะศึกษาปุ๋ยหมักจากกากตะกอน	48
2.9	เงื่อนไขการทดลองปลูกดอกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอน	51
2.10	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะดินในการศึกษาการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยทดสอบด้วยการปลูกต้นดาวเรือง	52
3.1	ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	58
3.2	ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน	59
3.3	ข้อมูลในภาพรวมของการจัดการและปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย	62
3.4	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสัจักซ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	69

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.5	ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสแตจจ์	70
3.6	ค่า specific resistance ของแต่ละชุดการทดลองที่ศึกษาการทำ conditioning กากตะกอน	72
3.7	ลักษณะกากตะกอนก่อนและหลังการหมัก 30 วัน	86
3.8	สัดส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง	91
3.9	เปรียบเทียบศักยภาพในการเกิดก๊าซมีเทน	94
3.10	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ยของการทดลองครั้งนี้	97
3.11	ลักษณะวัสดุหมักของทั้ง 4 ชุดการทดลองของการหมักปุ๋ย	98
3.12	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก	109
3.13	ปริมาณ Zn ในกองปุ๋ยหมัก	111
3.14	yield ของปุ๋ยที่ได้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักที่ 90 วัน	112
3.15	ผลการเปรียบเทียบของปุ๋ยหมักที่ได้ใน 90 วัน กับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของไทย	114
3.16	ลักษณะของดินที่ใช้ทดลองก่อนและหลังปลูกดาวเรืองในแต่ละชุดการทดลอง	117
3.17	อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงดาวเรือง	119
3.18	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยพิจารณาจากอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงและจำนวนดอกของต้นดาวเรือง	120
3.19	ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและผลตอบแทนที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	124
3.20	ผลการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย/ข้อจำกัด และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์กากตะกอนส่วนเกินฯ ด้วยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	126

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า	
1.1	กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	22
2.1	สรุปขั้นตอนการศึกษาการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและการใช้แบบสอบถาม	33
2.2	สรุปขั้นตอนการศึกษาปริมาณ ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	35
2.3	สรุปขั้นตอนการศึกษาการปรับสภาพตะกอนส่วนเกินและผลของลักษณะตะกอนที่ปรับสภาพแล้ว	39
2.4	สรุปขั้นตอนการศึกษาการล้างกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงาน	42
2.5	ลักษณะการต่อชุดอุปกรณ์เข็มฉีดยากับขวดเซรัมสำหรับการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนด้วยเทคนิค BMP	44
2.6	สรุปขั้นตอนการศึกษาการบำบัดกากตะกอนส่วนเกินและน้ำจากการรีดตะกอนโดยการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตมีเทนด้วยเทคนิค BMP	46
2.7	เศษไม้ที่ใช้เพิ่มความพรุนในกองหมัก	48
2.8	สรุปขั้นตอนการศึกษาการหมักปุ๋ยโดยใช้กากตะกอน	49
2.9	สรุปขั้นตอนการศึกษาการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยทดสอบด้วยการปลูกต้นดาวเรือง	52
3.1	จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในพื้นที่ภาคใต้	55
3.2	จำนวน โรงงานน้ำยางข้น ในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์	56
3.3	แผนผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิม ปริมาณน้ำเสีย ปริมาณกากตะกอน และการบำบัดน้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ศึกษา	66
3.4	ผลของค่า CST ในชุดการทดลองที่ใช้ polyacrylamide ในการปรับสภาพตะกอน	73
3.5	ผลของค่า CST ในชุดการทดลองที่ใช้ alum ในการปรับสภาพตะกอน	74
3.6	ผลของค่า CST ในชุดการทดลองที่ใช้ alum ผสม polyacrylamide ในการปรับสภาพตะกอน	74

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
3.7	ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ขณะที่ทำการทดลองการล้างตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีรีดน้ำแล้วของโรงงาน	76
3.8	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำที่ตกตะกอนแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน	77
3.9	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า SS ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน	78
3.10	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TDS ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน	79
3.11	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TDVS ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน	80
3.12	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า SCOD ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน	81
3.13	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า VS ของกากตะกอนที่ผ่านการล้างในแต่ละช่วงเวลา	83
3.14	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TKN ของกากตะกอนที่ผ่านการล้างในแต่ละช่วงเวลา	83
3.15	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TP ของกากตะกอนที่ผ่านการล้างในแต่ละช่วงเวลา	84
3.16	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในแต่ละชุดการทดลอง	88
3.17	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมในแต่ละชุดการทดลอง	93
3.18	ลักษณะกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ผ่านการปรับสภาพและรีดน้ำแล้ว	97
3.19	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชุดการทดลองการหมักทำปุ๋ยในระยะเวลา 90 วัน	99
3.20	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ย	100
3.21	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย	101
3.22	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ VS ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย	102
3.23	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM ในแต่ละชุดการทดลองที่หมักปุ๋ย	103

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า	
3.24	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ OC ในแต่ละชุดการทดลอง	104
3.25	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน	105
3.26	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ P ในกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน	106
3.27	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ K ในกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน	107
3.28	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน C/N ในกองปุ๋ยหมัก	108
3.29	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการงอกในตัวอย่างวัสดุหมักของกองปุ๋ยหมักที่ทำการศึกษา	113
3.30	จำนวนดอกเฉลี่ยของต้นดาวเรืองเมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 60 วัน	121

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นถือเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่ทำรายได้ให้กับประเทศอย่างมาก โดยในปี 2558 (ข้อมูล ณ วันที่ 28 ธันวาคม 2558) พบว่า มีโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นซึ่งส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ใน 10 จังหวัดในภาคใต้จำนวน 66 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558) อย่างไรก็ตามการประกอบการของอุตสาหกรรมประเภทนี้จัดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ ดังเช่นมีการรายงานว่าก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น 4.01 ลบ.ม./ตันน้ำยางข้น และน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตยางสกิม 20.82 ลบ.ม./ตันยางสกิม (Danteravanich *et al.*, 2007) ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ชัลเฟต และไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นสูง โดยลักษณะน้ำเสียรวมจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิมหลังผ่านบ่อดักเศษยางมีความเข้มข้นของชัลเฟต ซีโอดี และแอมโมเนียไนโตรเจนเท่ากับ $1,819 \pm 483$ (Saritpongteeraka and Chairapat, 2008) $10,479 \pm 3,568$ และ 733 ± 321 มก./ล. ตามลำดับ (วรรณฤดี หวันแข่ง, 2549) จากลักษณะน้ำเสียดังกล่าวที่มีความเข้มข้นสูง โรงงานจึงมักเลือกใช้ระบบบ่อบำบัดเสถียร (stabilization pond) ที่เป็นแบบบ่อไร้อากาศเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ในการบำบัดที่มาก และก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนจากการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ในปัจจุบันอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจึงนิยมนำมาใช้ระบบบำบัดแบบเติมอากาศโดยเฉพาะระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge) เนื่องจากเป็นกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง รวมทั้งเป็นระบบที่ใช้เนื้อที่น้อยช่วยลดปัญหากลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในปี 2559 มีรายงานว่ามีอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แล้วทั้งหมด 29 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) ซึ่งเพิ่มมากขึ้นกว่าในปี 2545 ที่ได้มีรายงานระบุว่าอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จำนวนเพียง 5 โรงงาน จากโรงงานน้ำยางข้นทั้งหมด 55 โรงงาน (สมทิพย์ คำนธีรวิรัช และคณะ, 2545)

อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวก่อให้เกิดกากตะกอนส่วนเกินจำนวนมาก ทำให้โรงงานต้องมีภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนส่วนเกินดังกล่าวเพิ่มขึ้น และหากมีการจัดการกากตะกอนไม่ดีพอ อาจก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษอื่นๆ ตามมา เช่น เรื่องกลิ่นเหม็น ฯลฯ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของกากตะกอนส่วนเกินหากมีการปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานจนทำให้เกิดการเน่าเหม็นของกากตะกอนส่วนเกินดังกล่าวและรวมถึงอาจเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงและเชื้อโรคอีกด้วย การกำจัดกากตะกอนโดยไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้ว หากปฏิบัติไม่ถูกต้องเหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาได้ ดังนั้นการพิจารณาทางเลือกอื่นๆ ที่สามารถกำจัดกากตะกอนโดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษและสามารถนำของเสียกลับไปใช้ประโยชน์ จึงเป็นทางเลือกที่ดีและยั่งยืนกว่าในการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสแต็คจ์สำหรับอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ซึ่งโดยทั่วไปกากตะกอนเหล่านี้ประกอบด้วยอินทรีย์สารและสารอาหารประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ ดังเช่นผลการศึกษาของพนาลี ชีวกิจการ และคณะ (2554) ระบุว่า กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสแต็คจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นซึ่งเป็นกากตะกอนอินทรีย์ ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ (OM) และของแข็งระเหยได้ (VS) เฉลี่ยร้อยละ 40.75 และ 42.14 น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และสารอาหารประเภทไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (ในรูป P_2O_5) และโพแทสเซียม (ในรูปของ K_2O) เฉลี่ยร้อยละ 2.93 6.88 และ 1.88 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำกากตะกอนดังกล่าวไปหมักและใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ต่อไปได้ แต่จากการทบทวนเอกสารที่ผ่านมา งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสแต็คจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของกากตะกอนส่วนเกินและการศึกษาเบื้องต้น โดยการทำเป็นวัสดุผสมเพื่อหมักปุ๋ย เป็นต้น ดังเช่นมีการทดลองนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากจี้แบ่งมาคลุกเคล้าผสมกับขุยมะพร้าว โดยใช้วิธีการหมักในถังพลาสติกเป็นระยะเวลาการหมัก 45 วัน และใช้วัสดุหมักที่ได้ไปทดสอบการปลูกดาวเรือง พบว่า ปุ๋ยที่หมักได้จากการใช้กากของเสียจากโรงงานน้ำยางข้นจะมีศักยภาพความเป็นปุ๋ยที่ค่อนข้างเทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี (พนาลี ชีวกิจการ และคณะ, 2554) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีคุณลักษณะที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ แต่ยังเป็นงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงเฉพาะการใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสแต็คจ์เพื่อเป็นวัสดุผสมในการหมักปุ๋ย อนึ่งลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสแต็คจ์จะเป็นของเสียที่มีค่า

C/N ต่ำ ด้วยส่วนใหญ่มีองค์ประกอบจากเซลล์จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียประกอบกับกากตะกอนที่เกิดขึ้นมักต้องผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (pretreatment) เช่น การปรับสภาพตะกอนและรีดตะกอนเพื่อเอาน้ำออกก่อน ซึ่งในการปรับสภาพตะกอนและรีดตะกอนก็ต้องมีการใช้สารเคมี และหากใช้ในปริมาณมากอาจมีผลต่อการทำปฏิกิริยาทางชีวภาพของกากตะกอนดังกล่าวหากต้องมีการบำบัดกากตะกอนด้วยทางชีววิธี เช่น การหมักปุ๋ยหรือย่อยสลายกากตะกอนที่รีดแล้วด้วยการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ฯลฯ ซึ่งพบว่าที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาวิจัยในประเด็นดังกล่าว

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีความสนใจในการศึกษาถึงสภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น รวมถึงศึกษาถึงขั้นตอนการปรับสภาพตะกอนก่อนนำไปบำบัดต่อทางชีวภาพ และผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดต่อทางชีวภาพ โดยมุ่งประเด็นของเทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพและสามารถใช้ประโยชน์โดยการหมักทำปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้มุ่งเน้นการบำบัดโดยใช้กากตะกอนเป็นวัสดุที่ใช้หลัก ซึ่งคาดหวังว่าจะได้เป็นองค์ความรู้ที่นำไปใช้ประโยชน์ทำให้เกิดการลดต้นทุนในการนำกากตะกอนไปกำจัด และผลการวิจัยที่ได้ยังสามารถแสดงถึงสถานะปัญหาตลอดจนแนวทางเลือกของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการกากตะกอนเพื่อให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งได้แนวทางการบริหารจัดการกากตะกอนส่วนเกินของอุตสาหกรรมยางน้ำชั้นที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 ลักษณะน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

1.2.1.1 ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

ในปัจจุบันจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในพื้นที่ 14 จังหวัดภาคใต้ มีทั้งสิ้น 66 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญแหล่งหนึ่ง และมักจะได้รับการร้องเรียนจากชุมชนเนื่องจากก่อให้เกิดปัญหาความเดือดร้อนรำคาญ ทั้งปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ (กลิ่นเหม็นจากการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นระบบบ่อไร้อากาศ) และมลพิษทางน้ำ หากมีการจัดการน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นมีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ ในโตรเจน ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย ในปริมาณสูง รวมถึงมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาขึ้นอยู่กับกำลังการผลิต

กรรมวิธีการผลิต ฤดูกาลและพฤติกรรมกรใช้น้ำในกระบวนการผลิต อีกทั้งนอกจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นแล้วอุตสาหกรรมน้ำยางข้นส่วนใหญ่มีกระบวนการผลิตยางสกิมเพื่อนำเนื้อยางที่ตกค้างในหางน้ำยางกลับคืน ซึ่งมักใช้กรดซัลฟูริก (sulfuric acid) เพื่อทำให้เกิดการจับตัวของเนื้อยาง ดังนั้นกระบวนการผลิตทั้ง 2 ประเภทนี้ คือ การทำน้ำยางข้นและการทำยางสกิมจึงเกิดควบคู่กันเสมอในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จากกระบวนการผลิตทั้ง 2 กระบวนการดังกล่าวจัดเป็นกระบวนการที่ก่อกำเนิดน้ำเสียที่มีลักษณะน้ำเสียแตกต่างกัน ข้อมูลที่มีการรายงานถึงลักษณะปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นพบว่า มีอัตราการเกิดน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้นประมาณ 2.3–9.14 ลบ.ม./ตันผลผลิต ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตยางสกิม มีอัตราการเกิดน้ำเสียประมาณ 4.0 – 50.0 ลบ.ม./ตันผลผลิต (นฤเทพ บุญเรืองขาว, 2550) น้ำเสียที่เกิดขึ้นดังกล่าวประกอบด้วยน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต น้ำล้างอุปกรณ์ น้ำล้างพื้น น้ำล้างบ่อพัก รวมถึงน้ำล้างถัง และภาชนะบรรจุน้ำยาง น้ำเสียเหล่านี้จะมีสิ่งเจือปนต่างๆ ซึ่งได้มาจากเศษยาง สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยค่าลักษณะของน้ำเสียรวมจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิมหลังผ่านบ่อดักเศษยาง แสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้มาก จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ตารางที่ 1.1 ลักษณะน้ำเสียรวมจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิมหลังผ่านบ่อดักเศษยาง

พารามิเตอร์	ลักษณะน้ำเสีย
pH ⁽²⁾	4.73 ± 0.82
BOD ₅ (mg/L) ⁽²⁾	3,867 ± 1,685
COD (mg/L) ⁽¹⁾	10,479 ± 3,568
TKN (mg/L) ⁽¹⁾	981 ± 422
NH ₃ ⁺ -N (mg/L) ⁽¹⁾	733 ± 321
SS (mg/L) ⁽²⁾	501 ± 330
SO ₄ ²⁻ (mg/L) ⁽²⁾	1,819 ± 483

ที่มา : ⁽¹⁾วรรณฤดี หวันแข่ง (2549); ⁽²⁾Saritpongteeraka and Chairapat (2008)

1.2.1.2 ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีการใช้งานในภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า มีหลากหลายระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและเลือกใช้ระบบบำบัดให้มี

ความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียและสภาพพื้นที่ของโรงงานแต่ละแห่ง รวมถึงการคำนึงถึงความรู้ความสามารถของบุคลากรในการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการจัดการระบบบำบัดน้ำเสีย จากการศึกษาของสมทิพย์ ด้านธีรวิรัช และคณะ (2545) ซึ่งเป็นช่วงอดีตกว่า 15 ปี พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้ของไทยจำแนกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งจะแตกต่างกันในเรื่องของเทคโนโลยีและงบประมาณในการก่อสร้างและดำเนินการ ดังรายละเอียดคือ

- 1) กลุ่มที่มีการใช้ระบบบ่อบำบัดเสถียร (stabilization pond) โดยประกอบด้วย บ่อไร้อากาศ บ่อกึ่งมีอากาศ และบ่อมีอากาศ
- 2) กลุ่มที่มีการใช้ระบบบ่อบำบัดเสถียร (stabilization pond) ร่วมกับบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon)
- 3) กลุ่มที่มีการใช้ระบบบำบัดที่เป็นเทคโนโลยีสูงเช่นหรือเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนขึ้น ได้แก่ ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ (activated sludge), UASB (upflow anaerobic sludge blanket) เป็นต้น

โดยส่วนใหญ่การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมดังกล่าวจะใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ ดังนั้นการที่จะบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดที่หลากหลายร่วมกัน เพื่อการบำบัดน้ำเสียให้มีลักษณะเป็นไปตามกฎหมายกำหนดและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัด โดยเฉพาะปัญหากลิ่นเหม็น ซึ่งที่ผ่านมาระบบบำบัดน้ำเสียที่อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นได้เลือกใช้ คือ ระบบบ่อบำบัดเสถียร (stabilization pond) ที่เป็นแบบบ่อไร้อากาศ เนื่องจากเป็นระบบที่รับภาระบรรทุกการบำบัดได้สูงแต่มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ในการบำบัดที่มาก และก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนจากการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสีย จากผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าวก็มักจะเปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ โดยเฉพาะระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ (activated sludge) เพื่อลดปัญหากลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งยังเป็นกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง รวมทั้งเป็นระบบที่ใช้เนื้อที่น้อย อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวก่อให้เกิดกากตะกอนส่วนเกินจำนวนมาก ซึ่งหลายโรงงานในอดีตยังมีข้อจำกัดในวิธีการควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศและไม่มีการบำบัดตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ (สมทิพย์ ด้านธีรวิรัช และคณะ, 2545)

1.2.2 กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และการจัดการของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ความรู้ด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง พบว่า มีการรายงานอยู่บ้าง ดังเช่นการศึกษาของดวงกมล กฤตสัมพันธ์ และคณะ (2555) รายงานว่า มีปริมาณกากตะกอนประมาณ 244 กิโลกรัม/วัน น้ำหนักเปียก มีลักษณะเป็นตะกอนอินทรีย์สีน้ำตาล สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งกากตะกอนส่วนเกินดังกล่าวประกอบไปด้วยอินทรีย์สารร้อยละ 40.75 และสารอาหารประเภทไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (ในรูป P_2O_5) และโพแทสเซียม (ในรูปของ K_2O) เฉลี่ยร้อยละ 2.93 6.88 และ 1.88 น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (พนาลี ชีวภิกขการ และคณะ, 2554) กากตะกอนเหล่านี้จะมีน้ำเป็นส่วนประกอบจำนวนมาก (มีความชื้นสูง) จำเป็นต้องมีการลดปริมาตรโดยการกำจัดน้ำออกก่อนนำไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ

อย่างไรก็ตามเนื่องจากองค์ประกอบของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นนั้นมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในเกณฑ์ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำกากตะกอนมาใช้ในการเกษตร แต่ต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบหากจะนำตะกอนน้ำเสียมาปลูกพืชเพื่อรับประทานเนื่องจากอาจเกิดการสะสมของสารพิษต่างๆ ในกากตะกอน และในตะกอนอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ หนอน พยาธิ และโลหะหนักที่เป็นพิษเจือปนอยู่ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ยังมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นทั้งหมด

นอกจากนี้ จากการตรวจสอบเอกสาร พบว่า มีการระบุถึงภาพรวมของการจัดการและปัญหาของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นค่อนข้างน้อย ดังเช่นในการศึกษาของ สมทิพย์ ด่านธีรวิชย์ และคณะ (2545) ก็ไม่ได้กล่าวถึงการจัดการกากตะกอนน้ำเสียจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ด้วยในอดีตยังมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ค่อนข้างน้อย ต่อมาการศึกษาของ เกรียงศักดิ์ อินนุพัฒน์ และคณะ (2554) ซึ่งได้ศึกษาถึงสภาพปัญหาสิ่งแวดล้อมและการจัดการของอุตสาหกรรมยางพารา กรณีศึกษาภาคใต้ของประเทศไทย ก็ได้รายงานว่ามีโรงงานยางพาราถึงร้อยละ 45 ที่มีปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อจากการจัดการกากของเสีย โดยร้อยละ 62 ของโรงงานในกลุ่มนี้มีประเด็นปัญหาด้านค่าใช้จ่ายที่สูงจากการขนส่งกากของเสีย รองลงมาโรงงานร้อยละ 48 และ 33 มีประเด็นปัญหาด้านความไม่น่าดูของการกักเก็บกากของเสีย และปัญหาด้านไม่มีความคุ้มค่าในการจัดการกากของเสีย นอกจากนี้พบว่า โรงงานยางพาราร้อยละ 66 และ 40 มี

ปัญหาด้านกากของเสียที่ต้องการปรับปรุงหรือพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่มากขึ้น โดยเฉพาะในประเด็นของกากซีเมนต์จากเครื่องปั้นยาง และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ตามลำดับ ในด้านการจัดการกากของเสียที่ทางโรงงานยางพาราในภาคใต้ได้มีการดำเนินการด้วยตนเอง พบว่าโรงงานร้อยละ 30 28 และ 26 มีการดำเนินการนำกากซีเมนต์ไปทำเป็นปุ๋ย การนำเศษยางเข้ากระบวนการผลิตใหม่ และการใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้เป็นปุ๋ย และพบว่าโรงงานร้อยละ 89 ยังไม่มีการนำกากของเสียใดๆ ผู้การเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ อย่างไรก็ตาม โรงงานยางพาราร้อยละ 68 ได้ระบุว่ายังขาดข้อมูลของลักษณะ และปริมาณของกากของเสีย โดยโรงงานร้อยละ 78 ของกลุ่มนี้ ระบุถึงการขาดข้อมูลของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียร้อยละ 72 ระบุว่าขาดข้อมูลของกากซีเมนต์ อีกทั้งจากการศึกษาถึงวิธีการจัดการกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางชันจำนวน 4 แห่งที่รายงานโดย ดวงกมล กฤตสัมพันธ์ และคณะ (2555) ระบุว่าส่วนใหญ่จะกำจัดตะกอนด้วยวิธีการฝังกลบภายในโรงงาน ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการหมักหมมของตะกอนจุลินทรีย์ การจัดการที่ไม่ถูกวิธีอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจได้ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าปัญหาการจัดการกากของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางชันเป็นปัญหามลพิษหนึ่งที่มีการเติบโตมากขึ้น แต่ยังคงมีความรู้ในการสนับสนุนการจัดการกากของเสียให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะกากของเสียที่เป็นกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

1.2.3 ความรู้พื้นฐานของกากตะกอนจากระบบน้ำเสียและการจัดการ

1.2.3.1 วิธีการจัดการกากตะกอนจากระบบน้ำเสียทั่วไป

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ส่วนเกินจากการบำบัดน้ำเสียที่ถูกระบายทิ้งออกจากระบบ ซึ่งลักษณะทางกายภาพโดยส่วนใหญ่ของกากตะกอนจะอยู่ในรูปกึ่งของเหลวสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เมื่อมีการผลิตตะกอนออกมาแล้วจำเป็นต้องมีวิธีการจัดการตะกอนเหล่านี้ออกจากระบบต่อไป ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาที่ยุ่งยากในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากต้องมีการใช้จ่ายในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปจะมีปริมาณและลักษณะทางกายภาพและเคมีแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณและแหล่งที่มาของน้ำเสีย ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

หากกากตะกอนซึ่งเป็นกากตะกอนอินทรีย์ยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัว และทิ้งไว้โดยไม่มีการจัดการจะทำให้เกิดสภาพไร้อากาศทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ก๊าซและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544) จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดหรือบำบัดด้วยวิธีการที่เหมาะสม การบำบัดกากตะกอนเพื่อจะลดปริมาตร

ก่อนที่จะทำการนำไปกำจัดในขั้นสุดท้าย สำหรับขั้นตอนในการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียนั้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

- **เพิ่มความเข้มข้นของกากตะกอน (sludge thickening)** เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากตะกอนให้ได้มากที่สุดเพื่อให้มีความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของกากตะกอนที่จะต้องนำไปบำบัดน้อยลง ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการทำให้ตะกอนแห้ง (ทัศนีย์ สุชินพวงศ์, 2540)

- **การทำให้กากตะกอนคงตัว (sludge stabilization)** เนื่องจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะเป็นกากตะกอนอินทรีย์ ทำให้มีกลิ่นเหม็นเมื่ออยู่ในสภาพไร้อากาศ จึงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพเพื่อลดกลิ่นเหม็น ลดจำนวนเชื้อโรคและลดแอมโมเนียที่พ่วงมาซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้ความร้อน การย่อยสลายแบบมีและไม่มีอากาศ การหมักทำปุ๋ย การใช้สารเคมี เป็นต้น ซึ่งการย่อยสลายแบบไม่มีใช้อากาศจะได้ผลพลอยได้คือก๊าซมีเทน (CH_4) ที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ แต่การย่อยสลายแบบใช้อากาศวิธีการนี้ ตะกอนจะถูกนำมาหมักและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้อากาศ และมีการเติมอากาศอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบค่อนข้างสูง แต่มีระบบนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น (ทัศนีย์ สุชินพวงศ์, 2540)

- **การไล่น้ำออกจากกากตะกอน (sludge dewatering)** เป็นระบบหลักของการจัดการกากตะกอนเนื่องจากก่อนนำตะกอนไปทิ้งหรือบำบัดต่อต้องทำให้กากตะกอนมีปริมาณและมีความชื้นน้อยที่สุด เพื่อให้ง่ายต่อการขนส่งไปกำจัดหรือบำบัดและประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้ลานตากตะกอน การกรองแบบสุญญากาศ การอัดกรอง สายพานรีดน้ำ เป็นต้น (ทัศนีย์ สุชินพวงศ์, 2540) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการเติมสารเคมีลงไปผสมกับกากตะกอนด้วยเพื่อให้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น สารส้ม, ferric chloride, poly aluminium chloride, poly acrylamide เป็นต้น

นอกจากการบำบัดกากตะกอนจะก่อให้เกิดความสะดวกในการขนย้ายหรือการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ต่อไปแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายในการจัดการกากตะกอน ก็คือการกำจัดกากตะกอนที่เหลืออยู่ ซึ่งวิธีการกำจัดกากตะกอนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันก็มีหลายวิธีด้วยกัน แต่ละวิธีจะมีทั้งผลดีและผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมต่างกัน ดังเช่น

1) **การฝังกลบแบบสุขาภิบาล** เป็นวิธีการกำจัดกากตะกอนที่นิยมกันมากที่สุด มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การฝังกลบพร้อมขยะ (conventional sanitary landfill) การฝังกลบแบบคู (trench fill) เป็นต้น (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544) ซึ่งลักษณะที่ตั้งของสถานที่ฝังกลบต้องมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการหกหล่นฟุ้งกระจาย ปัญหา

การจลาจลระหว่างการขนส่งที่อาจจะเกิดขึ้น และต้องมีเนื้อที่กว้างขวางพอที่จะใช้ฝังได้นานตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป เมื่อฝังตะกอนจนเต็มแล้วจะต้องปิดหลุมด้วยวัสดุกันซึม แล้วปูทับด้วยดินดีอีกชั้นหนึ่ง กันหลุมจะมีระบบท่อรวบรวมน้ำ พร้อมทั้งบ่อส่งเหตุการณ์รอบๆ บริเวณหลุมฝังเพื่อเฝ้าดูการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของน้ำบาดาลใต้หลุมฝังกลบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2531)

2) การประยุกต์บนดิน เป็นวิธีการที่ง่ายมีค่าใช้จ่ายต่ำ ถ้าหากนำไปใช้กับที่ดิน สำหรับการเกษตรจะได้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในกากตะกอนสำหรับการเจริญเติบโตของพืชด้วย แต่อาจเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำใต้ดินที่ปะปนมากับกากตะกอน ที่มาจากโรงงานบางประเภท (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544)

3) การฉีดลงใต้ดิน วิธีการนี้ต้องหาบริเวณใต้ดินที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องเป็น บริเวณใต้ดินชั้นน้ำบาดาล และมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้กั้นชั้นน้ำบาดาลไว้ และไม่เป็บบริเวณที่เกิดการแยกหรือเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก สำหรับกากตะกอนที่ฉีดลงไปในนั้นต้องมีสมบัติที่ไม่ทำปฏิกิริยากับชั้นหินใต้ดิน (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2539)

4) การทำเป็นก้อนด้วยเคมี การเติมกากตะกอนผสมกับซีเมนต์ ปูนขาว หรือสารอื่นๆ เพื่อให้กากตะกอนจับเป็นก้อน นิยมใช้กับกากตะกอนของเสียที่มาจากโรงงานประเภทที่มี สารพิษอันตรายผสมอยู่ เมื่อผสมเรียบร้อยแล้วอาจนำไปบรรจุไว้ในถังที่ทนต่อการกัดกร่อน จากนั้นจึงนำไปเก็บไว้ในดิน หรือหากไม่ใช่สารพิษอันตรายมากเพียงผสมแล้วนำไปถมที่ได้เลย (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2539)

5) บ่อตากตะกอน เป็นการนำกากตะกอนไปทิ้งในบ่อตากกากตะกอน เป็นการลดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในกากตะกอน โดยอาศัยแดด ลม และการซึมผ่านวัสดุกรองทราย น้ำที่ซึมผ่าน จะถูกรวบรวมไปยังท่อระบายน้ำและส่วนหนึ่งจะระเหยไปด้วยลมและความร้อน ตะกอนที่แห้งแล้วจะสามารถขนย้ายได้ง่าย แต่ระบบนี้จะมีปัญหาในช่วงฤดูฝน ทำให้กากตะกอนแห้งช้า วิธีนี้จะใช้พื้นที่มาก แต่ดูแลควบคุมง่าย

6) การเผา เป็นการเผากากตะกอนที่ค่อนข้างแห้งมากๆ อาจนำมาเผาได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อกำจัดกากตะกอนก่อนนำไปทิ้ง ซึ่งเป็นการเผาด้วยความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 1,000-2,000 องศาเซลเซียส เพื่อให้ของเสียถูกออกซิไดซ์ไปเป็นขี้เถ้า หรือเกลือที่คงรูป วิธีการนี้อาจเป็นวิธีที่สะดวกในการกำจัด แต่มีค่าใช้จ่ายในอัตราที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอากาศ

7) การหมักทำปุ๋ย เป็นการนำกากตะกอนกลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ย สำหรับปลูกพืช เนื่องจากในกากตะกอนประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช

ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส วิธีนี้มีวัตถุประสงค์เป็นการทำให้วัสดุเหลือทิ้งมีความคงตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งการหมักทำปุ๋ยเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการนำไปกำจัด อีกทั้งปุ๋ยหมักที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช (ประริญา ราไพ, 2546)

จากวิธีการกำจัดกากตะกอนดังกล่าวข้างต้นอาจเป็นการกำจัดกากตะกอนที่ได้ผลในระยะสั้น แต่มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งอาจเป็นปัญหาต่อเนื่องระยะยาวได้ ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการกากตะกอน โดยเฉพาะกากตะกอนอินทรีย์โดยการนำเอากากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรจึงเป็นวิธีการที่ควรพิจารณานำไปใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์มากกว่าการจัดการตะกอนด้วยวิธีอื่น เนื่องจากทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชสูง รวมทั้งยังสามารถทำให้เกิดการย่อยสลายตัวของกากตะกอนที่เป็นอินทรีย์สาร ทำให้มีศักยภาพในความเป็นปุ๋ยสูง ซึ่งแนวโน้มการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์นั้นมีเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนค่อนข้างสูง และมีความเข้มงวดของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม เพื่อช่วยป้องกันปัญหาทางมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการจัดการกากตะกอน อย่างไรก็ตาม พบว่ามักนิยมใช้กากตะกอนแห้งในการเกษตรมากกว่าตะกอนเปียกเนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวน อีกทั้งการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการเกษตรยังเป็นการช่วยฟื้นฟูสภาพดินอีกด้วย โดยทำให้ดินมีความพรุนมากขึ้น เพิ่มสัดส่วนช่องว่างดิน ลดความหนาแน่นของอนุภาคดิน ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity : CEC) ของดิน ทำให้ดินสามารถที่จะดูดซับประจุบวกต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหารของพืชไว้ได้ดี ทำให้การสูญเสียธาตุอาหารของพืชของดินจากการชะล้าง (leaching) ของน้ำลดลง (ชนิดา ไกรขุนทด, 2543)

1.2.4 การบำบัดกากตะกอนส่วนเกินทางชีวภาพเพื่อการใช้ประโยชน์

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ได้มีการศึกษาเพื่อนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ มาใช้ประโยชน์ อาทิเช่น จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ซึ่งพบว่า กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมีศักยภาพในการเป็นปุ๋ยเทียบเท่าปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี เนื่องจากกากตะกอนมีองค์ประกอบของอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร (สุจินดา ลักษณ์อดิศร, 2542) เช่นเดียวกับ อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ (2545) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมอาหารทะเลสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน พบว่า ตลอดระยะเวลาของการหมักมีโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และไนโตรเจนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่

น่าสนใจในการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้น เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและยังเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นการเพิ่มมูลค่าของของเสีย โดยเฉพาะการนำตะกอนมาหมักทำปุ๋ยเพื่อใช้ในการเกษตร

อย่างไรก็ตามกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอาจมีสารปนเปื้อนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต กระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอาจมีการสะสมของโลหะหนัก และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้น การใช้ประโยชน์กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียควรระมัดระวังเป็นพิเศษ และต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม อีกทั้งกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียบางครั้งถือได้ว่าเป็นวัตถุอันตราย จึงจำเป็นต้องดำเนินการให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายที่ใช้ในการควบคุมของเสีย ซึ่งครอบคลุมกับกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในประเทศไทยมีกฎหมายที่ใช้กำกับดูแลหลายฉบับด้วยกัน คือ

- พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 : เป็นกฎหมายหลักที่ใช้ควบคุมการนำเข้า ส่งออก การผลิต การจำหน่าย ครอบครอง การขนส่ง การใช้และการกำจัด ทำลายวัตถุอันตรายรวม 10 ประเภท ซึ่งในส่วนของของเสียที่เป็นภัยได้ถูกควบคุม โดยกำหนดไว้เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 (สมทิพย์ คำนธิ์รวนิชย์, 2541)

- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535: เป็นกฎหมายหลักที่ใช้ควบคุมการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการกำหนดมาตรฐาน และวิธีควบคุมการปล่อยมลพิษจากโรงงาน ฯลฯ

- ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการ สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ของผู้ประกอบการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2550 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

- พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549)

จากข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่า โรงงานอุตสาหกรรมจะต้องดำเนินการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียให้ถูกต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังนั้น การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์จึงยังมีข้อจำกัด และจะต้องดำเนินการให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย โดยอาจทำการขอขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงาน ตรวจสอบวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ของกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย วิเคราะห์หาโลหะหนักตามกฎหมาย แล้วนำผลที่วิเคราะห์ได้ไปเทียบกับมาตรฐานปุ๋ย เป็นต้น

1.2.4.1 การบำบัดกากตะกอนส่วนเกินด้วยการหมักทำปุ๋ย

การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้น เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและยังเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นการเพิ่มมูลค่าของของเสีย โดยเฉพาะการหมักทำปุ๋ยเพื่อใช้ในการเกษตร ซึ่งได้รับความสนใจอย่างมาก เช่นในสหรัฐอเมริกา มีการสนับสนุนให้ใช้กากตะกอนน้ำเสียเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร รวมทั้งกลุ่มประเทศยุโรปก็มีการสนับสนุนการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเช่นเดียวกัน (Manson, 1988) ซึ่งการหมักปุ๋ยนอกจากง่ายต่อการดำเนินการ ประหยัดค่าใช้จ่าย ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการกำจัดกากตะกอนส่วนเกินที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพิ่มมากขึ้นและมีการพัฒนาเพื่อกำจัดกากตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้น (Zorpas *et al.*, 2003) เนื่องจากการหมักปุ๋ยเป็นการลดทั้งปริมาณและน้ำหนักกากตะกอน (Bertran *et al.*, 2004) และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนส่วนเกินสำหรับใช้เป็นปุ๋ยนั้นส่วนใหญ่ยึดเอาปริมาณธาตุไนโตรเจนเป็นหลักเนื่องจากถือว่าเป็นธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการใช้มากที่สุด กากตะกอนจุลินทรีย์เกือบทุกชนิดประกอบด้วยสารอินทรีย์ในโตรเจนเป็นจำนวนมาก และง่ายต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรต ปุ๋ยหมักเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเพราะพืชจะให้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารต่างๆ ในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งโดยปกติพืชจะได้ธาตุอาหารต่างๆ จากดิน แต่เนื่องจากพื้นที่ดินมีการทำการเพาะปลูกติดต่อกันเป็นเวลานาน ธาตุอาหารต่างๆ ในดินจึงมีปริมาณลดลงและเสื่อมสภาพความสมดุลไปจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณธาตุอาหารลงไปดินในรูปปุ๋ย ซึ่งแบ่งออกเป็น (1) ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ซึ่งได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี เมื่อใช้ติดต่อกันเป็นระยะเวลาานจะก่อให้เกิดปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ (2) ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยธรรมชาติ ประกอบด้วยอินทรีย์สารตามธรรมชาติที่ได้จากซากพืชซากสัตว์ สิ่งขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต และพวกอินทรีย์สารที่เป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น มาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมีหรือสารเร่งจุลินทรีย์ เมื่อหมักโดยใช้ระยะเวลาหนึ่งแล้ว เศษพืชจะเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาลปนดำนำไปใส่ในไร่นาหรือพืชสวน เช่น ไม้ผล พืชผัก หรือไม้ดอกไม้ประดับได้ (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544)

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับอินทรีย์วัตถุในดิน ปุ๋ยหมักเป็นผลผลิตสุดท้ายที่คงตัว ถ้าการย่อยสลายเสร็จสิ้นสมบูรณ์จะเป็นวัสดุผสมมีสีน้ำตาล-ดำ ไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า และปราศจากเชื้อโรค เนื่องจากกิจกรรมทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเป็นปุ๋ยหมักจะเปลี่ยนรูปแบบกากตะกอนให้เป็นรูปแบบที่คงตัวขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดผลที่เป็น

มลภาวะเพียงเล็กน้อย ความร้อนที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักอาจจะสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพียงพอที่จะยับยั้งเชื้อโรค เช่น เชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และไข่พยาธิ โดยมีข้อแม้ว่า อุณหภูมิต้องคงที่เป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน ดังนั้น ปุ๋ยหมักที่ได้สามารถนำไปเป็นปุ๋ยและวัสดุปรับปรุงโครงสร้างของดินได้อย่างปลอดภัย (ประริญา ราไพ, 2546) ซึ่งการหมักปุ๋ยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- ทำให้ของเสียคงรูป ปฏิกริยาทางชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนสภาพที่น่าเสียของสารอินทรีย์ให้คงรูป
- การใช้สารอาหารที่มีประโยชน์ (N, P, K) ที่อยู่ในของเสียมักอยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนแต่เมื่อผ่านกระบวนการหมักแล้วสารอาหารเหล่านั้นจะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น ไนเตรต หรือฟอสเฟตซึ่งพืชนำไปใช้ได้ ลดการสูญเสียสารอาหารจากกระบวนการชะของน้ำ เนื่องจากสารอนินทรีย์มักจะไม่ละลายน้ำ
- เป็นการทำลายเชื้อโรค ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการชีวภาพจะทำให้ อุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอที่จะฆ่าเชื้อโรครวมทั้งไวรัส และไข่พยาธิ ถ้ามีระยษนานอย่างน้อย 1 วัน
- การทำให้กากตะกอนแห้ง เนื่องจากในกากตะกอนมีน้ำอยู่ถึง 80-95% ซึ่งทำให้ยากต่อการขนส่งและการกำจัดมีราคาแพง การทำให้สลด้งแห้งโดยการหมักเป็นทางเลือกที่จะทำให้เกิดการระเหยของน้ำ เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพ (สุภา กานตวนิชกูร, 2539)

1) หลักการของการหมักเป็นปุ๋ยหมัก

กระบวนการหมักปุ๋ยเป็นกระบวนการทางชีวเคมี ซึ่งสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายไปเป็นสารคล้ายฮิวมัส และเป็นกระบวนการที่ธาตุอาหารและสารอินทรีย์ในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรถูกนำมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง การย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นโดยกลุ่มจุลินทรีย์ต่างๆ โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้แก่ จุลินทรีย์ที่ย่อยเซลลูโลส และลิกนิน และมีทั้งจุลินทรีย์ mesophilic และ thermophilic ซึ่งการหมักปุ๋ยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการ ขึ้นอยู่กับการใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งผลผลิตสุดท้ายของการหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน (aerobic composting) จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย น้ำและความร้อน ผลผลิตที่ได้จะมีความเสถียรสูงและไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรุนแรง การหมักโดยวิธีนี้จะเป็นไปได้เร็ว ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 – 30 วัน ซึ่งแตกต่างจากการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic composting) ซึ่งผลผลิตสุดท้ายจะได้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน แอมโมเนีย และ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง ส่วนของแข็งที่ได้จากการหมักจะมีส่วนของสารอาหารที่น้อยกว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจน การหมักด้วยวิธีการนี้ใช้เวลาในการหมักนานตั้งแต่ 2 เดือน ถึง 1 ปี ซึ่งจะได้ผลผลิตที่สามารถใช้เป็นสารปรับปรุงดินได้ และยังเป็นวิธีที่ง่าย จึงมีการนำไปใช้ในชนบทของประเทศกำลังพัฒนา (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2539)

ซึ่งในกระบวนการหมักจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ (ประกาศิต อินทรสำอางค์, 2549; ยงยุทธ โอสธสภา และคณะ, 2551) ดังนี้

ระยะเริ่มต้น (latent phase) เป็นช่วงเวลาที่จุลินทรีย์ใช้ในการปรับตัวในสิ่งแวดล้อมใหม่ อุณหภูมิในกองจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ระยะอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic phase) ระยะนี้ปริมาณจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้น เกิดการย่อยสลายสารอาหารที่ย่อยง่ายอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส

ระยะอุณหภูมิสูง (thermophilic phase) อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะเพิ่มสูงสุด (50-65 องศาเซลเซียส) ช่วงนี้จะเกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายยาก ของเสียจะถูกทำให้คงรูป และเชื้อโรคถูกทำลายเกือบหมด

ระยะคงสภาพ (maturation phase) จุลินทรีย์ย่อยสลายจนอินทรีย์วัตถุเหลือปริมาณน้อย ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง อุณหภูมิภายในกองจึงลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก จุลินทรีย์ mesophilic phase จะกลับมาเจริญเติบโตอีกครั้งเพื่อย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน

2) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการหมักปุ๋ย

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในกระบวนการหมักปุ๋ยสามารถควบคุมได้ในระดับหนึ่ง เช่น ค่าพีเอชภายในกองปุ๋ย อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ส่งผลให้วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งนั้นคงตัว ปัจจัยที่มีอิทธิพลเหล่านั้น ได้แก่

- วัสดุที่ใช้หมัก

ส่วนประกอบของวัสดุอินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการหมัก บางชนิดสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว บางชนิดย่อยสลายได้ช้าซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อของวัสดุเหล่านั้นว่ามีส่วนที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้ยากหรือง่าย และมีแร่ธาตุอาหารอยู่พอเพียงกับความต้องการของจุลินทรีย์หรือไม่ เช่น ของเสียจากบ้านเรือน วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจาก

อุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งมีองค์ประกอบ เช่น น้ำตาล โปรตีน ลิกนิน ไขมัน เซลลูโลส เป็นต้น รวมถึงปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันไป

นอกจากนี้ขนาดของวัตถุดิบก็มีส่วนสำคัญอย่างมาก ยังมีขนาดเล็กทำให้กระบวนการย่อยสลายเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามขนาดของวัสดุที่ใช้หมักที่มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ช่องว่างภายในกองหมักเล็กลงไปด้วย ซึ่งจะขัดขวางการแพร่ของอากาศภายในกองหมัก ทำให้การย่อยสลายต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น (Rabbani *et al.*, 1983) โดยทั่วไปขนาดที่ต้องการสำหรับการหมักปุ๋ยคือมีขนาดน้อยกว่า 5 เซนติเมตร หากใช้วัสดุหมักที่มีขนาดใหญ่เกินไป ภายในกองหมักจะมีช่องว่างมาก ทำให้กองหมักแห้งได้ง่ายและความร้อนที่เกิดขึ้นในกองหมักจะกระจายหายไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นภายในกองหมักควรมีวัสดุที่ใช้หมักขนาดชิ้นใหญ่บ้างเล็กบ้าง เพราะจะช่วยทำให้เกิดที่ว่างของอากาศในกองหมักได้

- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นค่าที่แสดงถึงความยากง่ายในการย่อยสลายและยังใช้เป็นตัวกำหนดระดับการหมักที่สมบูรณ์ ซึ่งโดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการคาร์บอน 30 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน (C:N = 30:1 โดยน้ำหนักแห้ง) ในการย่อยสลายวัตถุดิบ หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง อัตราการย่อยสลายจะช้าเนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนต่างๆ เป็นแหล่งพลังงานและการเจริญเติบโต ขณะเดียวกันก็ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วยเช่นกัน เมื่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจนมีน้อยจึงเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จึงทำให้เกิดการย่อยสลายช้า และถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียและเกิดการระเหยสู่บรรยากาศเกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้หากมีปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไปยังอาจเป็นพิษต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์อีกด้วย ดังนั้นในกรณีที่ใช้วัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงต้องมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนเพื่อทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลงซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี และมีผลถึงกิจกรรมในการย่อยสลายด้วย ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักจะต้องพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักด้วย โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 25-30 (Huang *et al.*, 2004 and Zhu, 2007) ซึ่งหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงกว่า 30 เมื่อใส่ลงดินจะเริ่มมีการย่อยสลายต่อทำให้ปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอ เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการย่อยสลายช้าลง (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) และหากวัสดุหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 ก็จะทำให้ปุ๋ยหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดการปลดปล่อยอินทรีย์

ในโตรเจนออกมารวดเร็ว ซึ่งการศึกษาของ Guo *et al.* (2012) พบว่า การหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (C/N ratio 15) ให้ผลที่แตกต่างจากการหมักในชุดที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 18 และ 21 และยังพบว่าให้ค่าดัชนีการงอกต่ำสุด (55-66%) อีกด้วย

อย่างไรก็ตามมีการศึกษาของ Huang *et al.* (2004) และ Zhu (2007) ได้แสดงให้เห็นถึงการทำปุ๋ยหมักที่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 15 ซึ่งสามารถลดการเติมวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้แต่ต้องมีระยะเวลาในการหมักนานกว่า 60 วัน เช่นเดียวกับ Eiland *et al.* (2001) ก็ประสบความสำเร็จในการหมักปุ๋ยโดยใช้หญ้ามีสแคนทัสหมักร่วมกับขี้หมูโดยเริ่มต้นที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (11-35) ซึ่งพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นต่ำจะนำไปสู่อัตราการย่อยสลายสูง (40%-80%) ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เริ่มต้นสูงจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลง (10%-20%) ซึ่ง Kumar *et al.* (2010) ก็ได้ทำการหมักปุ๋ยโดยใช้เศษอาหารร่วมกับ green waste ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นตั้งแต่ 14-20 ผลการศึกษาพบว่า การทำปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการศึกษาที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 19.6

- ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของวัสดุที่นำมาหมักปุ๋ยเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ วัสดุที่นำมาหมักจึงต้องเปียกชื้นหรือต้องรดน้ำเพื่อรักษาปริมาณความชื้น เนื่องจากน้ำจำเป็นสำหรับการย่อยสลายสารอาหาร และการสร้างโปรโตพลาสของเซลล์ ซึ่งความชื้นที่เหมาะสมต่อการหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 (Liang *et al.*, 2003) แต่ปริมาณความชื้นที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดการชะล้างธาตุอาหาร ในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศอาจจะทำให้กองปุ๋ยหมักมีสภาพไร้อากาศได้ และหากพบว่ากองปุ๋ยหมักมีความชื้นมากให้ใส่วัสดุที่ซับความชื้นได้เพิ่มลงไป เช่น จีเลื่อย ฟางข้าว เป็นต้น

- พีเอช

ในช่วงแรกของการหมักปุ๋ยค่าพีเอชจะลดลงเนื่องจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์อินทรีย์บางชนิดออกมา ซึ่งเมื่อมีการย่อยสลายลดลงการผลิตกรดอินทรีย์ก็ลดลงตามไปด้วย และค่าพีเอชจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.0-8.5 (ระเบียบ บินอาสัน และนำฟีละ บิลห์ลี, 2544)

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิในการหมักปุ๋ยจะสูงขึ้นในช่วงแรกของการหมัก เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลยับยั้งจุลินทรีย์บางชนิดทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้น

ได้เข้าซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิลดลงเช่นกัน นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืชส่วนมากจะหยุดปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการควบคุมอุณหภูมิในกองหมัก จึงต้องควบคุมให้พอเหมาะทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์และการทำลายเชื้อ (ประมาณ 55 องศาเซลเซียส) ซึ่งอยู่ในภาวะ thermophilic phase อย่างไรก็ตามหากอุณหภูมิลดต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส อาจทำให้จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในกระบวนการหมักเจริญเติบโตได้เข้าทำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ช้า ซึ่งอุณหภูมิที่พอเหมาะในการหมักปุ๋ยควรอยู่ที่ 50-70 องศาเซลเซียส (ระเบียบ บินอาสัน และนำฟีละ บิลห์ลี, 2544)

3) มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

กรมวิชาการเกษตรได้มีการกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ โดยออกประกาศ เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2555 ซึ่งได้กำหนดควบคุมคุณภาพปุ๋ยหมัก โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะและเกณฑ์ที่กำหนดแสดงดังตารางที่ 1.2 เพื่อให้ปุ๋ยที่ผลิตได้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ของเกษตรกร

ตารางที่ 1.2 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ขนาดเนื้อปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
ความชื้น	ไม่เกิน 30 %
หิน กรวด	ขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตรขึ้นไป ไม่เกิน 2 % โดยน้ำหนัก
เศษพลาสติก เศษแก้ว วัสดุมีคมและโลหะอื่นๆ	ไม่เกิน 0.01 % โดยน้ำหนัก
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 20 % โดยน้ำหนัก
ค่าพีเอช	5.5 – 8.5
อัตราส่วนธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/เมตร
ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) คำนวณเป็น N	ไม่น้อยกว่า 1.0 % โดยน้ำหนัก
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) คำนวณเป็น P ₂ O ₅	ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก
โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) คำนวณเป็น K ₂ O	ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก
การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 %

ตารางที่ 1.2 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ต่อ)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2555)

4) การประเมินคุณภาพความสามารถการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก (composting maturity)

ปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายดีจะมีลักษณะนุ่มยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย มีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิภายนอก มีสารที่เป็นพิษต่อพืชน้อย สำหรับปุ๋ยหมักที่ยังไม่สมบูรณ์ อาจก่อให้เกิดปัญหาระหว่างการเก็บรักษา และการใช้งานได้ โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อ ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีแอมโมเนียอิสระหรือก๊าซแอมโมเนียในปริมาณมาก มีกรดอินทรีย์บางชนิดหรือสารประกอบละลายน้ำได้อื่นๆ สามารถจำกัดการงอกของเมล็ดพันธุ์และการขยายตัวของราก ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (California Compost Quality Council, 2001) สำหรับการวิเคราะห์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ทางชีวภาพที่ใช้อยู่ในประเทศไทยจะใช้ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยการทดสอบการเจริญเติบโตของพืชเพื่อวัดเปอร์เซ็นต์ของดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งควรมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายที่สมบูรณ์โดยทั่วไปผลที่ได้จากการหมักควรมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ ซึ่งจะไม่เกิดการย่อยสลายต่อไปอีกเมื่อทิ้งหรือปล่อยลงสู่ดิน และไม่มีเชื้อโรค ซึ่งมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาถึงความสามารถในการย่อยสลายของปุ๋ยหมักดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาความสามารถของการถุกย่อยสลายของปุ๋ยหมัก

ลักษณะของปุ๋ยหมัก	หลักเกณฑ์ในการพิจารณาของปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายที่สมบูรณ์
สี	มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ (รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์, 2549)
กลิ่น	มีกลิ่นคล้ายดิน ไม่มีกลิ่นเหม็น (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์ และ Takayuki, 2545)
ลักษณะของวัสดุหมัก	มีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ยและขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้างเหมือนวัสดุเริ่มแรก (รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์, 2549; ประกาศิต อินทรสำอางค์, 2549)
อุณหภูมิ	อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์ และ Takayuki, 2545) แต่ควรพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ความชื้น เป็นต้น
ความชื้น	ควรมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 35 ตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2555 (กรมวิชาการเกษตร, 2555)
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ควรมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 10-15 (Aparna <i>et al.</i> , 2008)
ค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก	ควรมีค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงกว่า 60 cmol/Kg (ยงยุทธ โอสภสกา และคณะ, 2551)
ลักษณะพืชที่เจริญบนกองปุ๋ยหมัก	พืชเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้แสดงว่าไม่เป็นอันตรายต่อพืช

วัตถุประสงค์ของการประเมินการถุกย่อยสลายของปุ๋ยหมักก็เพื่อให้ทราบว่ากระบวนการหมักสิ้นสุดแล้ว หากปรับปรุงกระบวนการหมักปุ๋ยเพื่อให้เวลาหมักสั้นลง ก็ทำให้ผลิตได้มากขึ้นและลดค่าใช้จ่ายลง ซึ่งใน รัฐ California สหรัฐอเมริกาได้กำหนดกลุ่มของระดับการถุกย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักเป็นกลุ่มดังตารางที่ 1.4 ทั้งนี้ได้กำหนดค่าดัชนีของตัวแปรที่ระบุถึงระดับของการถุกย่อยสลายดังแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.4 ระดับของการถูกย่อยสลายของปุ๋ยหมัก

very mature	mature	immature
- มีการบ่มปุ๋ยได้ดี	- มีการบ่มปุ๋ย	- ไม่มีมีการบ่มปุ๋ยหมักที่ได้
- ไม่มีกลิ่น	- ผลผลิตไม่มีกลิ่นเหม็น	- ผลผลิตมีกลิ่นเหม็น
- ไม่มีการสลายตัวต่อเนื้อ	- มีการกำจัดศักยภาพของความเป็นพิษน้อย	- มีศักยภาพความเป็นพิษสูง
- ไม่มีศักยภาพของความเป็นพิษ	- มีผลกระทบเล็กน้อยต่อไนโตรเจนในดินที่พืชนำไปใช้	- มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อไนโตรเจนในดินที่พืชนำไปใช้

หมายเหตุ : stability หรือ maturity สามารถใช้กันได้

ที่มา : California Compost Quality Council (2001)

ตารางที่ 1.5 ค่าดัชนีของตัวแปรที่ใช้ระบุถึงระดับการถูกย่อยสลายตามเกณฑ์ของ California Compost Quality Council

วิธีการวัด	หน่วย	ระดับของการถูกย่อยสลาย		
		very mature	mature	immature
กลุ่ม A				
OUR Test	O ₂ /unit TS/hr	< 0.4	0.4 - 1.3	> 1.3
SOUR Test	O ₂ /unit BVS/hr	< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5
CO ₂ Test	C/unit VS/day	< 2.0	2.0-8.0	> 8.0
SCL CO ₂	C/unit VS/day	< 2.0	2.0-8.0	> 8.0
WERL CO ₂	C/unit VS/day	< 5.0	5.0-14.0	> 14.0
Dewar	Temp. rise (°C)	< 10	10-20	> 20
Solvita®	Index value	7-8	5-6	< 5
กลุ่ม B				
NH ₄ ⁻ : NO ₃ ⁻ -N Ratio*	ไม่มีหน่วย	< 0.5	0.5-3.0	> 3.0
Total NH ₃ -N	ppm, dry basis	< 100	100 - 500	> 500
VOA	ppm, dry basis	< 200	200 - 1000	> 1000

ตารางที่ 1.5 ค่าดัชนีของตัวแปรที่ใช้ระบุถึงระดับการถูกย่อยสลายตามเกณฑ์ของ California Compost Quality Council (ต่อ)

วิธีการวัด	หน่วย	ระดับของการถูกย่อยสลาย		
		very mature	mature	immature
Seed Germination	% of control**	> 90	80 - 90	< 80
Plant Trials	% of control	> 90	80 - 90	< 80

หมายเหตุ : * ถ้าในปุ๋ยหมักมี NH_4 หรือ NO_3 อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 250 ppm) อัตราส่วนของการถูกย่อยสลายจะเป็นตัวชี้วัดที่ไม่น่าเชื่อถือ,

** การควบคุมสัมพัทธ์กับน้ำเพียงอย่างเดียว หรือ สิ่งที่ใช้ปลูกพืชกระถาง

OUR Test = Oxygen Uptake Rate (อัตราการใช้ออกซิเจน)

SOUR Test = Specific Oxygen Uptake Rate (อัตราการใช้ออกซิเจนแบบพิเศษ)

SCL = Soil Control Laboratory (ดินที่ควบคุมโดยห้องปฏิบัติการ)

WERL = Woods End Research Laboratory

Dewar = การทดสอบอุณหภูมิความร้อนในปุ๋ยหมัก

VOA = volatile organic acids (กรดอินทรีย์ระเหย)

ที่มา : California Compost Quality Council (2001)

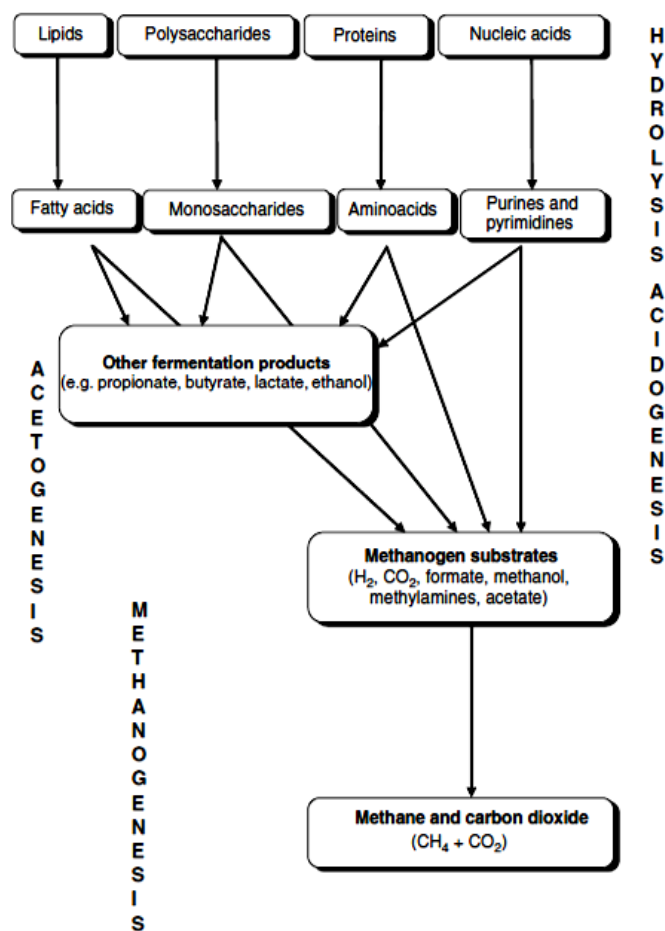
1.2.4.2 การบำบัดกากตะกอนส่วนเกินด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

การหมักไร้อากาศเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการบำบัดและผลิตพลังงานจากสารอินทรีย์ โดยอาศัยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศมาประยุกต์ใช้ ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นก๊าซผสมของก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจุดเด่นของเทคโนโลยีการหมักไร้อากาศ คือ เป็นเทคโนโลยีการบำบัดสารอินทรีย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เหมาะกับการจัดการสารอินทรีย์ ลดกลิ่นเหม็นเนื่องจากเป็นกระบวนการย่อยสลายในระบบปิด และก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าและความร้อน นอกจากนี้กากเหลือจากการย่อยสลายสามารถใช้เป็นวัสดุปรับสภาพดินและปุ๋ยอินทรีย์ได้อีกด้วย (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550 และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551)

การย่อยสลายกากตะกอนแบบไร้อากาศสามารถลดปริมาณของแข็งในตะกอนได้ โดยการเปลี่ยนรูปของตะกอนให้อยู่ในรูปสารประกอบที่เสถียรซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่

ไม่ใช่ออกซิเจน (anaerobic bacteria) 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์สร้างมีเทนและที่ไม่สร้างมีเทน เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ ให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลง โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

สำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศนี้ สามารถแบ่งขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาได้เป็น 3 ขั้นตอน (ภาพประกอบที่ 1.1) คือ กระบวนการไฮโดรไลซิส กระบวนการสร้างกรด กระบวนการสร้างมีเทน (Metcalf and Eddy, 2004) โดยมีรายละเอียดดังนี้

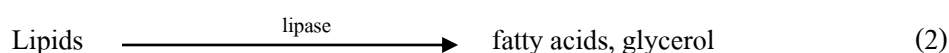
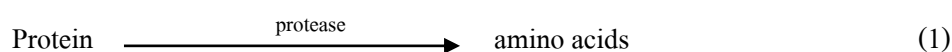


ภาพประกอบที่ 1.1 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ที่มา : Wang *et al.* (2009)

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเพื่อสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นต้น ให้

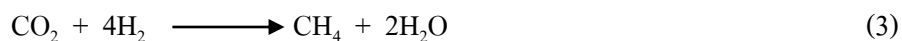
กลายเป็นโมเลกุลเดี่ยวและสามารถละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเหล่านี้ สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์ โดยจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดทำการปล่อยเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจงกับชนิดของสารตั้งต้น เช่น แป้งต้องใช้เอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ไขมันต้องใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipase) เป็นต้น ออกมานอกเซลล์เพื่อช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล ดังสมการ (1)-(2) และจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง (จันทิมา สกุลพานิชย์, 2548; สุเมธ ไชยประพัทธ์, 2553) ซึ่งจากการศึกษากระบวนการแตกสลายของโพลีเมอร์จากของเสียหลายๆ ประเภท พบว่า การย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกันจะได้ผลดีกว่าการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์เพียงชนิดเดียว



ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (acidogenesis) ผลผลิตจากกระบวนการไฮโดรไลซิส จะถูกกลุ่มจุลินทรีย์สร้างกรดนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโต โดยผ่านกระบวนการหมัก (fermentation) และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid; VFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดวาเลอริก และกรดแลคติก จากนั้นจะมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มมาย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านี้จนได้เป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ โดยเฉพาะกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว จะเป็นสารตัวกลางที่ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นมีเทน (จันทิมา สกุลพานิชย์, 2548; สุเมธ ไชยประพัทธ์, 2553)

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างมีเทน (methanogenesis) กรดอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการสร้างกรดจะถูกจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methanogenic bacteria) ซึ่งจะต้องอยู่ในสภาพที่ไร้อากาศ เปลี่ยนกรดอินทรีย์ และไฮโดรเจน (H_2) เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (จันทิมา สกุลพานิชย์, 2548) ปริมาณก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะซิติกจากปฏิกิริยาก่อนหน้านี้ การเกิดก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ คือ เกิดจากกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์ประเภท Hydrogen-Utilizing Methane bacteria ดังนี้

- การสร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (hydrogenotrophic methanogenic หรือ hydrogen-utilizing chemolithotrophs) มีหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นมีเทน ดังสมการ (3)



- การสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (acetotrophic methanogens) ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ (4)



หากจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนมีปริมาณเพียงพอและทำงานได้ดี ก๊าซที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศจะมียังประกอบของก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 55-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30-40 และมีก๊าซอื่น เช่น H_2 และ N_2 เป็นต้น แต่ถ้าจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนมีปริมาณน้อย ไม่สามารถย่อยสลายอาหารได้ทันที่จะทำให้เกิดการสะสมของกรดภายในระบบขึ้นจนทำให้ระบบบำบัดล้มเหลวได้ อีกทั้งขั้นตอนการสร้างมีเทนนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนมีความไวต่อการยับยั้งโดยสารตัวกลางที่เป็นกรด (Li *et al.*, 2011)

หลักการที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของถังหมักแบบไร้อากาศให้มีประสิทธิภาพดี จะต้องสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มให้อยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ โดยควบคุมอัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบ ค่าพีเอช ระยะเวลาเก็บกัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) การกวนผสมและอุณหภูมิภายในถังหมักให้เหมาะสมซึ่งโดยทั่วไปปริมาณตะกอนซึ่งเป็นสารอินทรีย์เมื่อผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจะสามารถลดปริมาณตะกอนลงได้ 50-60 ของปริมาณที่มีอยู่ในตะกอนสด ถือว่าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential: BMP) เป็นดัชนีชี้วัดคุณสมบัติวัสดุหมักเพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของของเสียที่นำมาบำบัดด้วยระบบแบบไร้อากาศ แสดงในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมซีโอดีหรือกรัมของของแข็งระเหยของวัสดุหมัก ซึ่ง BMP เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว ประหยัดและเชื่อถือได้ (Angelidaki *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2011) ซึ่งมีการศึกษาเป็นจำนวนมากที่ใช้วิธีการทดสอบด้วย BMP เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้ได้กับของเสียหลายประเภท (Gunaseelan, 2004) เช่น การทดสอบ BMP ด้วยการใส่วัสดุเหลือทิ้งที่เป็นของแข็ง เช่น ของเสียจากขยะมูลฝอย

ชุมชน (Neilfa *et al.*, 2015) จากโรงฆ่าสัตว์ (Flores-Juarez *et al.*, 2014) ไขมัน , น้ำมัน (Li *et al.*, 2011) กับหัวเชื้อกากตะกอนต่างๆ (Shanmugam and Horan, 2008) มูลวัว และมูลสุกร (Alvarez *et al.*, 2010) เป็นต้น ดังเช่นการศึกษาของ Lin *et al.* (1999) ที่ได้มีการศึกษาการบำบัดชั้นต้น กากตะกอนของเสียชุมชน โดยใช้วิธี BMP พบว่า สามารถประเมินผลทางด้านจุลศาสตร์และ กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน และการศึกษาของ Kafle *et al.* (2013) ซึ่งได้ ศึกษาการทำ BMP โดยใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมปลาหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการทดลอง โดยการนำเศษปลาผสมกับเศษขนมปัง พบว่า ได้ก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 763 ml/gVS และ CH₄ yield เท่ากับ 482 mL/gVS เมื่อเวลาผ่านไป 96 วัน นอกจากนี้ จิราพร ศิริวัฒน์ (2554) ได้ศึกษาการ ผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียรวมจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นร่วมกับกากตะกอนจากอุตสาหกรรมสกัด น้ำมันปาล์ม โดยศึกษาการทำ BMP ที่อัตราส่วนจุลินทรีย์ต่ออาหาร (Inoculum Substrate Ratio: ISR) แตกต่างกัน พบว่า อัตราส่วน ISR 3.0 ให้ค่า CH₄ yield และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด มีค่า เท่ากับ 191.9 ml CH₄/gVS_{added} และ 471.0 ml biogas/gVS_{added} เนื่องจากที่อัตราส่วน ISR ดังกล่าวมี ปริมาณสารอาหารน้อยทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วและหมดก่อนอัตราส่วน ISR อื่น แต่เมื่อใช้ ปริมาณจุลินทรีย์ที่เท่ากันในทุกอัตราส่วน ISR จะทำให้เกิดการย่อยสลายสารอาหารไม่หมดและ เกิดการสะสมขึ้นในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วน ISR ต่ำ และการศึกษาของ Alzate *et al.* (2012) ที่ ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (S/I) ต่อศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน โดยทำ การประเมินการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของสาหร่ายผสมสามชนิด โดยมีอัตราส่วนอาหารต่อ จุลินทรีย์แตกต่างกัน (0.5, 1 และ 3) และความเข้มข้นของ biomass (3, 10 และ 20 gTS/kg) ซึ่งผล การศึกษา พบว่า อัตราส่วน S/I เท่ากับ 0.5 และ 10 gTS / kg ส่งผลให้มีการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (188-395 ml CH₄/gVS_{added}) และยังสามารถศึกษานอกเหนือจากการศึกษาด้วย BMP เช่น การศึกษา การนำ cow dung (CD), acclimatized anaerobic granular sludge (AAGS) และ waste activated sludge (WAS) ร่วมกับเศษอาหาร (FW) ที่มีปริมาณแตกต่างกัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ และทำ การติดตามตรวจสอบการผลิตก๊าซมีเทนเป็นระยะเวลา 30 วัน จากการศึกษา พบว่า ที่อัตราส่วน CD: AAGS: WAS: FW เท่ากับ 1:1:1:1 สามารถเกิดก๊าซมีเทน ได้สูงสุด 109 ml CH₄/gVS_{removed} (Gaur and Suthar, 2017)

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น อาจสรุปได้ว่ามีข้อมูลเกี่ยวกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียและการจัดการของโรงงานน้ำยางข้นอยู่บ้าง แต่ยังไม่ครบถ้วนที่จะทำให้การจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นบรรลุผลได้อย่างเป็นระบบและครบวงจร ยังมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาข้อมูลในภาพรวมและแสวงหาคำความรู้ใน

ประเด็นต่างๆ เพื่อจะทำให้สามารถนำมาประมวลและพัฒนากระบวนการจัดการกากตะกอนส่วนเกินให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาถึงภาพรวมของสภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น รวมถึงแนวทางการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แสดงถึงสภาวะปัญหา แนวทางเลือกของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการกากตะกอนโดยพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก

1.2.5 สารที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอน : กรณีของโพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide)

สารที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอนพบว่ามีหลายชนิด เช่น สารส้ม, ferric chloride และสารจำพวก polymer ต่างๆ อย่างไรก็ตามในที่นี้จะกล่าวถึงสารที่มีการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอนซึ่งได้แก่ โพลีอะคริลาไมด์

อะคริลาไมด์ มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2$ โดยทั่วไปมีสถานะเป็นของแข็ง โมเลกุลเดี่ยว สามารถละลายได้ในน้ำหรือตัวทำละลายที่มีขั้ว คุณสมบัติในการเป็นโมเลกุลเดี่ยวของอะคริลาไมด์ทำให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) เมื่อถูกหลอมเหลว อะคริลาไมด์นิยมใช้ในหลายอุตสาหกรรม ทั้งในอุตสาหกรรมน้ำมัน เครื่องสำอาง เยื่อกระดาษ กระดาษ หมึกพิมพ์ และอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น และนอกจากนี้ยังเป็นสารที่ช่วยในการตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อเร่งการแยกตัวของแข็งและของเหลวซึ่งใช้ในรูปของโพลิเมอร์ หรือที่เรียกโพลีอะคริลาไมด์ (polyacrylamide) (EC, 2002; Charoenpanich, 2013)

โพลีอะคริลาไมด์ (polyacrylamide) เกิดจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แบบแทนที่ของมอนอเมอร์อะคริลาไมด์ มีลักษณะเป็นผงสีขาวละลายได้ในน้ำและละลายได้น้อยในเบนซีน, อีเธอร์, เอสเตอร์, อะซิโตนและตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ โครงสร้างในรูปสารละลายมีลักษณะเป็นของเหลวข้นใสเกือบหนืด ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะเปลี่ยนลักษณะของสารละลาย โดยจะเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (viscosity) สภาพการละลายน้ำเป็นกลาง สามารถทนความร้อนได้ถึง 100 องศาเซลเซียส แต่สลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า มีความต้านทานต่ำ และลดแรงเสียดทานของไหล โครงสร้างโพลิเมอร์เป็นลักษณะกิ่งตาง่ายทำให้ย่อยสลายง่าย การใช้ประโยชน์จากโพลีอะคริลาไมด์นอกจากการนำไปใช้ในกระบวนการทำกระดาษ หรือใช้ในทางเกษตรเพื่อเพิ่มความพรุนและลดการอัดตัวของดิน (Holliman *et al.*, 2005) เพิ่มความแข็งแรงรากพืชในการหยั่งรากลึกและเมื่อใช้หุ้มเมล็ดสามารถดูดซับน้ำได้ดีทำให้เพิ่มความอวกของเมล็ดในขณะที่เมล็ดมีความต้องการน้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตแล้ว ยังมีการนำโพลีอะคริลาไมด์ไปใช้กับระบบบำบัด

น้ำเสียอีกด้วย เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น ทำให้ได้ตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือ ferric chloride ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนได้เร็วกว่าการใช้สารส้มหรือ ferric chloride อย่างไรก็ตาม อะคริลาไมด์สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ ทำให้เกิดการสะสมในร่างกายอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณของอะคริลาไมด์ที่สะสมมากขึ้นสามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์เม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบินในคน ถ้าตกค้างในปริมาณสูงจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทและมีแนวโน้มที่จะเป็นสารก่อมะเร็ง (Bonnard *et al.*, 2007; USEPA, 2013)

สำหรับการป้องกันการปล่อยอะคริลาไมด์นั้น ในสหภาพยุโรปมีการระบุนิยามการใช้ โพลีอะคริลาไมด์ในเชิงพาณิชย์สำหรับการบำบัดน้ำดื่มต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1% w/w ของโมโนเมอร์ อะคริลาไมด์อิสระ (EC, 2002) ตามประกาศของ Dangerous Preparations Directive 1999/45 / EC (EC, 1999) สำหรับการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงเช่นการบำบัดน้ำดื่ม ปริมาณของอะคริลาไมด์ที่ใช้เป็น สาร coagulant ในสหรัฐอเมริกาถูกกำหนดไว้ที่ 0.05% w/w โดยมีปริมาณสาร coagulant สูงสุด 1 mg/L (USEPA, 2013) และในสหภาพยุโรปบางประเทศต้องมีค่าน้อยกว่า 0.025% w/w (EC, 2002)

อย่างไรก็ตามอะคริลาไมด์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ซึ่งจากการศึกษาของ OECD 301D (EC, 2002) พบว่า ในอดีตอะคริลาไมด์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนียไอออนในน้ำ (Croll *et al.*, 1974; Brown *et al.*, 1982; Shanker *et al.*, 1990; Charoenpanich, 2013) และดิน (Lande *et al.*, 1979; Charoenpanich, 2013) ซึ่งการศึกษา การย่อยสลายของจุลินทรีย์ พบว่า เชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Bacillus*, *Pseudomonas* และ *Rhodococcus* สามารถย่อยสลายอะคริลาไมด์ในดินและน้ำได้ภายใต้สภาวะมีอากาศโดยใช้กลไกการทำงานของ เอนไซม์ (Charoenpanich, 2013) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kay-Shoemaker *et al.* (1998a) and Ver Vers (1999) ซึ่งได้รายงานว่าการย่อยสลายโพลีอะคริลาไมด์ด้วยจุลินทรีย์ไม่ได้ก่อให้เกิด อะคริลาไมด์แต่จุลินทรีย์สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์กลุ่ม amide ด้วยเอนไซม์ amidase โดยใช้ โพลีอะคริลาไมด์เป็นแหล่งไนโตรเจน (Kay-Shoemaker *et al.*, 1998a, b) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา เพิ่มเติมของ Caulfield *et al.* (2002) และผลจากการทบทวนเอกสารต่างๆ สรุปได้ว่าไม่มีหลักฐานที่ บ่งชี้ว่าโพลีอะคริลาไมด์สามารถผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อสร้างมอนอเมอร์อะคริลาไมด์ อิสระได้ นอกจากนี้โพลีอะคริลาไมด์ยังสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ เมื่อมีกระบวนการทางกายภาพหรือทางเคมีอื่น ๆ ช่วยลดน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ก่อน ข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าความเป็นพิษของอะคริลาไมด์ ไม่น่าจะเป็นไปได้ในระหว่าง กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยที่ยังไม่มีการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือ

เคมีเพื่อเพิ่มการย่อยสลายโพลีอะคริลาไมด์ ซึ่งขัดแย้งกับ Smith *et al.* (1996, 1997) ที่ได้รายงานว่า แสงแดดสามารถส่งผลได้โพลีอะคริลาไมด์สลายตัวไปเป็นเป็นมอนอเมอร์อะคริลาไมด์

การวิเคราะห์หาอะคริลาไมด์ส่วนใหญ่จะมีการศึกษาในด้านอาหารและน้ำดื่ม เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (EC 2002) แต่อย่างไรก็ตาม ก็มีการศึกษาหาอะคริลาไมด์ตกค้างจากแหล่งอื่นด้วยเช่นกัน ดังเช่นการศึกษาของ Backe *et al.* (2014) ได้วิเคราะห์น้ำที่มาจากเหมืองทรายและเหมืองหิน พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ 0.28 $\mu\text{g/L}$ ในบ่อหลังจากมีการเติม flocculant และ 0.047 $\mu\text{g/L}$ ในกระบวนการที่นำกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ยังตรวจพบอะคริลาไมด์ในโรงบำบัดน้ำเสียซึ่งมีปริมาณในช่วง 0.025-0.046 $\mu\text{g/L}$ นอกจากนี้ Croll *et al.* (1974) และ Brown *et al.* (1980) ได้ศึกษาการตกค้างของอะคริลาไมด์ในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้โพลีอะคริลาไมด์ เป็นสาร flocculant ซึ่ง Croll *et al.* (1974) ได้มีการตรวจพบการตกค้างของสารดังกล่าว

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสภาพปัญหาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในพื้นที่ภาคใต้
2. ศึกษาอัตราการเกิดและลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น
3. ศึกษากระบวนการบำบัดขั้นต้นของกากตะกอนส่วนเกินในขั้นตอนของการปรับสภาพตะกอนทางเคมี (conditioning) และการรีดตะกอน (dewatering)
4. ศึกษาการบำบัดขั้น 2 ของประสิทธิภาพการบำบัดทางชีวภาพของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น โดยการหมักทำปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ในภาวะของสัดส่วน C/N ต่ำ และผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพกากตะกอน
5. ประมวลสรุปข้อเสนอแนะ การจัดการและเทคโนโลยีทางเลือกเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ในกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำยางขึ้น รวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการจัดการกากตะกอน โดยจะได้ข้อมูลที่แสดงถึงสถานะปัญหา แนวทางเลือกของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก ซึ่งจะเป็นแนวทางของการพัฒนาอย่างยั่งยืนภายใต้แนวคิดหลักของการนำกลับของเสียมาใช้ประโยชน์ (waste recovery and recycling)

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยศึกษาถึงสภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น การปรับสภาพทางเคมีของตะกอนก่อนนำไปบำบัดต่อทางชีวภาพ รวมถึงศึกษาเทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยมุ่งเน้นการหมักทำปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้มุ่งเน้นการบำบัดโดยใช้กากตะกอนเป็นวัสดุหลัก ทั้งนี้มีการศึกษาทดลองในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นแห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และการทดลองและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี โดยมีรายละเอียดของวิธีการศึกษาดังนี้

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

- 1) กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์กรุ๊ป จำกัด ต.ขุนทะเล อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จาก 6 โรงงานใน จ.สงขลา และ จ.สุราษฎร์ธานี
- 2) หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบ Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จ.สงขลา
- 3) เมล็ดดาวเรืองพันธุ์ลูกผสม ดาวน้อย F1 ตราสรแดง ที่มีอัตราการงอกร้อยละ 97
- 4) เมล็ดควางคู่พันธุ์ทศกัณฐ์ 37 ตราสรแดง อัตราการงอกร้อยละ 88

- 5) ขุยมะพร้าว
- 6) ฐี่เถ้า
- 7) ดินธรรมชาติ (ดินชั้นกลางที่ขุดลึกจากดินชั้นบนประมาณ 30 เซนติเมตร)
- 8) สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด. 1
- 9) ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15
- 10) สาร polyacrylamide
- 11) สารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

- 1) ถังซีป
- 2) ไซ้ตัก
- 3) ถังพลาสติก
- 4) ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกขนาด 1 ลิตร
- 5) แกลลอนพลาสติกขนาด 5-10 ลิตร

2.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ถังดำสำหรับปลูกดาวเรืองขนาด 7 x 10 นิ้ว
- 2) เครื่องชั่ง สำหรับชั่งวัสดุที่ใช้หมัก
- 3) พลาสติก
- 4) กระบะสำหรับหมักปุ๋ย
- 5) ท่อพีวีซี
- 6) timer
- 7) ปั๊มเติมอากาศ (air pump)
- 8) กระบะเพาะต้นกล้า
- 9) บัวรดน้ำ
- 10) ขวดซีรัมขนาด 120 มล.
- 11) จุกยางและออลูมิเนียมแค็ป
- 12) three way stopper

- 13) เจ็มฉีดยา
- 14) เครื่อง shaker
- 15) กระบอกฉีดยาแบบแก้ว
- 16) เครื่องปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)
- 17) เครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่จำเป็นต่างๆ สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

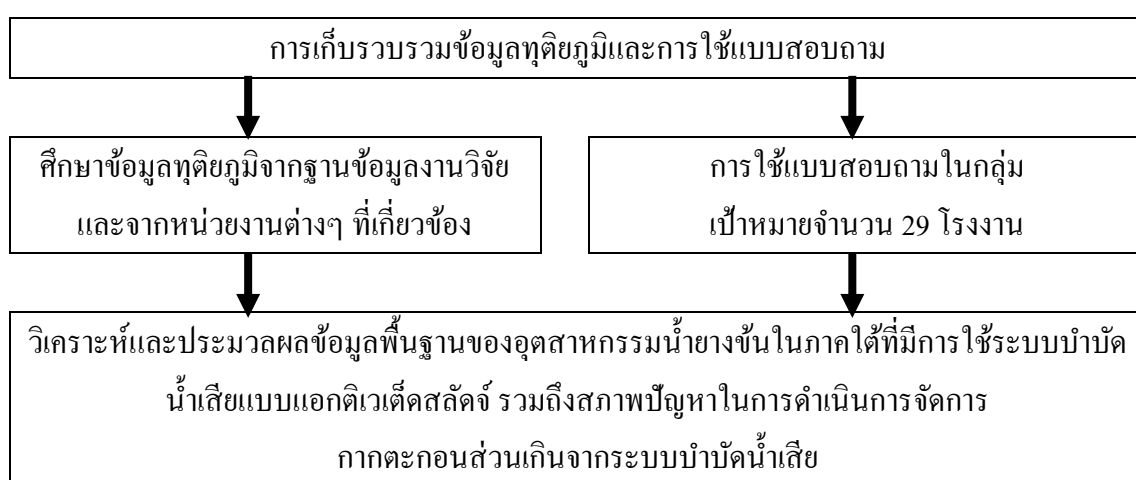
2.2.1 การศึกษาสภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

การศึกษาสภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีวัตถุประสงค์เพื่อประมวลสภาพปัญหาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่เกิดขึ้นในกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้ รวมถึงการศึกษาเพื่อทำให้สามารถมีองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับลักษณะของกากตะกอนและอัตราการเกิดของกากตะกอนดังกล่าว ซึ่งจะเป็นพื้นฐานความรู้ในการนำไปสู่การจัดการที่มีประสิทธิภาพต่อไปได้ โดยมีรายละเอียดในการศึกษา คือ

1) การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและการใช้แบบสอบถาม

ทำการศึกษาโดยการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ รวมถึงศึกษาสภาพปัญหาในการดำเนินการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีการรวบรวมข้อมูลของจำนวนโรงงานกำลังการผลิต ปริมาณการเกิดและลักษณะของกากตะกอน เทคโนโลยีและการใช้สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดกากตะกอน วิธีดำเนินการจัดการกากตะกอนของโรงงาน ค่าใช้จ่าย ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินถึงสภาพปัญหากากตะกอนส่วนเกินของโรงงาน ทั้งนี้ดำเนินการโดยศึกษาข้อมูลทุติยภูมิจากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมจังหวัด สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตรและรายงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป รวมถึงการใช้แบบสอบถามซึ่งได้มีการออกแบบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าวข้างต้น แบบสอบถามที่จัดทำขึ้นจะผ่านการแก้ไขและความเห็นชอบโดยคณาจารย์ที่ปรึกษา จากนั้นทำการจัดส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ไปยังอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ในภาคใต้ ซึ่งเป็น

กลุ่มเป้าหมายจำนวน 29 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) ทำการติดตามขอรับแบบสอบถามคืนหลังส่งออกไปประมาณ 20-30 วัน และในกรณีที่พบว่าบริษัทที่ไม่ส่งแบบสอบถามคืนโดยไม่สะดวกเขียนตอบแบบสอบถาม แต่ยืนยันดีให้ข้อมูลก็ได้ทำการขอนัดหมายเวลาเพื่อขอสอบถามข้อมูลโดยตรงกับผู้ที่รับผิดชอบการจัดการมลพิษในโรงงาน ทั้งนี้ใช้แบบสอบถามเป็นหลักในการสอบถามข้อมูล จากนั้นทำบันทึกข้อมูลในแบบสอบถาม ซึ่งแบบสอบถามที่ได้รับคืนทั้งหมดหลังจากติดตามโรงงานต่างๆ แล้วได้นำไปประมวลผลและรายงานผลต่อไป ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพประกอบที่ 2.1



ภาพประกอบที่ 2.1 สรุปขั้นตอนการศึกษาการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและการใช้แบบสอบถาม

2) การศึกษาปริมาณและลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่เกิดขึ้น

นอกจากข้อมูลที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามที่จะทำให้ได้รับข้อมูลเบื้องต้นของปริมาณกากตะกอน/ลักษณะของกากตะกอนและวิธีการจัดการ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น ได้มีการดำเนินการศึกษาโดยเลือกตัวแทนอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ และมีการบำบัดกากตะกอนส่วนเกินขั้นต้นที่ดีและต่อเนื่อง จำนวน 1 โรงงาน ซึ่งอนุญาตให้เก็บข้อมูลเพื่อการศึกษาเชิงลึกและต่อเนื่องของลักษณะกากตะกอนและอัตราการเกิดกากตะกอน เพื่อศึกษาลักษณะกากตะกอนต่อเนื่องตลอดตามช่วงฤดูการทำน้ำยางชั้นที่มีปัจจัยจากช่วงการกรีดยาง โดยทำการขอความอนุเคราะห์ทางโรงงานที่ให้เข้าศึกษา เพื่อศึกษากากตะกอนส่วนเกินแบบต่อเนื่อง การศึกษาจะดำเนินการ โดยทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอน

ส่วนเกินจากเครื่องรีดตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ทำการเก็บ 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงที่ผลิตยางก่อนเปิดกรีดใหม่ ช่วงหลังเปิดกรีดใหม่ และช่วงผลิตปกติ ตัวอย่างกากตะกอนที่ได้ทั้งหมดนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ตามพารามิเตอร์ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลต่างๆ เช่น กำล้างการผลิตน้ำยางชั้น ปริมาณน้ำเสีย สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดกากตะกอน และศึกษาอัตราการเกิดกากตะกอนโดยมุ่งประเมินกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการรีดตะกอนแล้วประมาณ 3 ครั้ง โดยศึกษาในภาคสนามจากการชั่งกากตะกอนที่เกิดขึ้นประจำวัน และใช้ข้อมูลทางสถิติจากโรงงาน จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์สมมูลมวลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกากตะกอนและลักษณะกากตะกอน

อนึ่งนอกจากการศึกษาจากโรงงานดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยได้มีการประสานขอเก็บตัวอย่างกากตะกอนส่วนเกินจากโรงงานน้ำยางชั้นต่างๆ อีก 6 โรงงานใน จ.สงขลา และ จ.สุราษฎร์ธานี ด้วย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนส่วนเกินตามพารามิเตอร์ดังตารางที่ 2.1 ยกเว้นไม่ได้ศึกษาตัวแปร Mg, Na, Ca, และโลหะหนักในรูปของ As, Cu, Cr, Cd, Hg, Pb, Mg และ Al รวมเป็นตัวอย่างกากตะกอนที่ใช้ศึกษาครั้งนี้จำนวน 19 ตัวอย่าง (13 ตัวอย่างจากตัวแทนอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่ในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ โดยเก็บตัวอย่างของแต่ละช่วงเวลาการศึกษาจาก 3 ช่วงฤดูการกรีดยางในเดือนเมษายนถึงเดือนตุลาคม 2557 และ 6 ตัวอย่างจากโรงงานน้ำยางชั้นต่างๆ อีก 6 โรงงานใน จ.สงขลา และจ.สุราษฎร์ธานี) สามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพประกอบที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอน

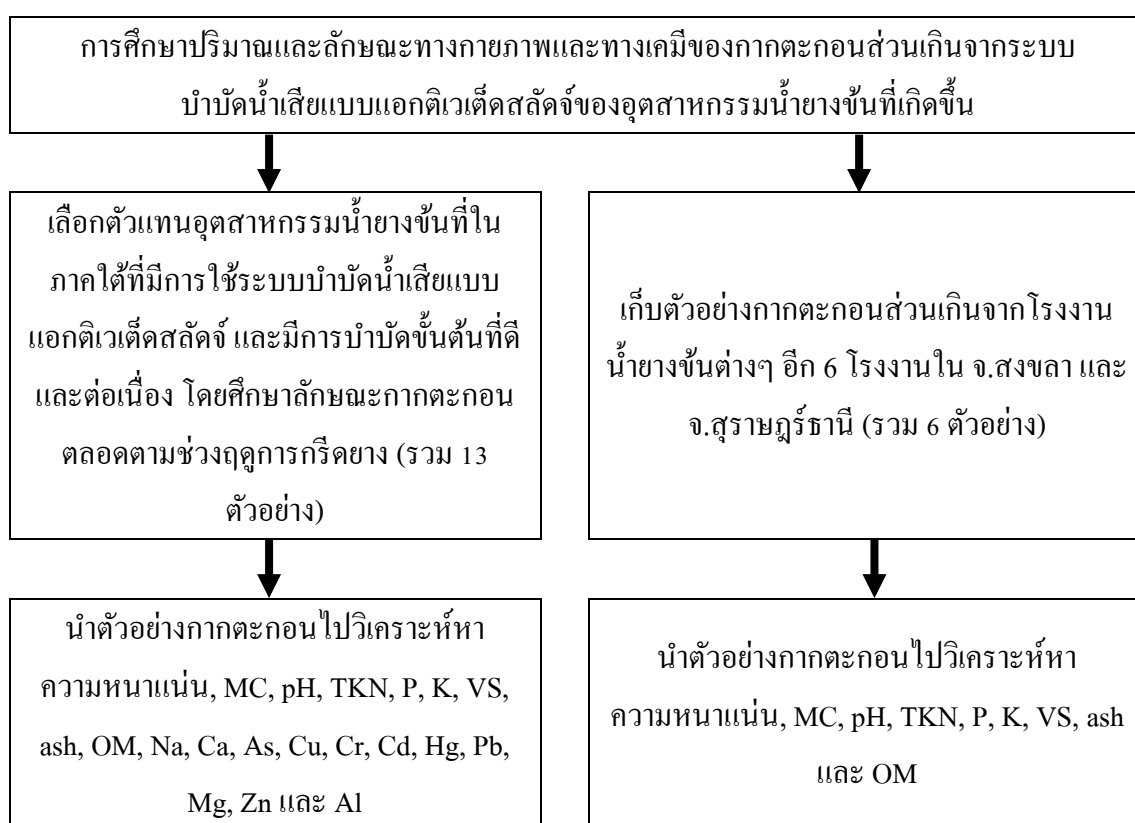
ลักษณะ	วิธีวิเคราะห์
density	ชั่งน้ำหนักตัวอย่างในภาชนะที่ทราบปริมาตรและคำนวณ
MC	gravimetric method*
VS	gravimetric method*
ash	gravimetric method*
OM	Walkley and Black**
pH	electrometric method**

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอน (ต่อ)

ลักษณะ	วิธีวิเคราะห์
TKN	macro-kjeldahl method*
TP	spectrophotometric molybdovanadophosphate method**
TK	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES)**
Na, Ca, As, Cu, Cr, Cd, Hg, Pb, Mg, Zn และ Al	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES)**

ที่มา : * AOAC (1990)

** กรมวิชาการเกษตร (2551)



ภาพประกอบที่ 2.2 สรุปขั้นตอนการศึกษาปริมาณ ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

ซึ่งข้อมูลลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนที่ศึกษาได้นำมาวิเคราะห์ และรายงานผลเป็นค่าสูงสุด-ต่ำสุด (range) ค่าเฉลี่ย (average) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD) รวมทั้งทำการเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้ค่า t-test และ F-test เพื่อพิจารณาถึงปัจจัยของฤดูกาลเปิดกรีดใหม่ และช่วงกรีดปกติว่ามีผลต่อลักษณะของกากตะกอนหรือไม่อย่างไร

2.2.2 การศึกษาการบำบัดกากตะกอนขั้นต้น: การปรับสภาพตะกอนและการล้างตะกอน

1) การปรับสภาพตะกอนส่วนเกิน (sludge conditioning) และผลของลักษณะตะกอนที่ปรับสภาพแล้ว

กากตะกอนส่วนเกินที่ได้จากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เมื่อต้องนำเข้าสู่ระบบการบำบัดทางชีวภาพหรือกำจัดกากตะกอนต่อไป ในเบื้องต้นกากตะกอนดังกล่าวจะได้รับการดำเนินการบำบัดเบื้องต้นในลักษณะของการปรับสภาพตะกอน การทำขึ้นและรีดน้ำออกก่อนเพื่อลดปริมาตรกากตะกอน และในขั้นตอนการทำขึ้นบางครั้งจะมีการปรับสภาพกากตะกอนโดยการเติมสารเคมีเพื่อทำให้เกิดการปรับสภาพกากตะกอน ทำให้เกิดการรวมตัวของกากตะกอนเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปรีดน้ำออกจากตะกอน การดำเนินการดังกล่าวจะเป็นขั้นตอนที่มีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการรวมตัวของกากตะกอน แต่ขณะเดียวกันหากมีการใช้สารเคมีที่มากเกินไปหรือไม่เหมาะสมก็จะเกิดการตกค้างในกากตะกอนที่ปรับสภาพแล้ว รวมถึงมีผลกระทบต่อลักษณะของกากตะกอนที่ได้และอาจส่งผลต่อการนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไป เช่น การบำบัดทางชีวภาพอีกด้วย และสืบเนื่องจากข้อมูลที่ได้ในภาคสนามเมื่อทำการเก็บข้อมูลของอัตราการเกิดกากตะกอนส่วนเกิน พบว่า ในการทำการปรับสภาพตะกอนส่วนเกินนั้นใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการปรับใช้สารเคมีในการปรับสภาพตะกอนให้จับตัว จึงเห็นว่าเป็นจุดอ่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้มีการใช้สารเคมีที่ปรับสภาพตะกอนคือ polyacrylamide มากเกินเหตุ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ให้ความสำคัญเพื่อศึกษาถึงปริมาณของ polyacrylamide ที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาศักยภาพของการใช้สารเคมีอื่นในการปรับสภาพตะกอน คือ alum และ alum ผสมกับ polyacrylamide ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อทำให้เห็นเงื่อนไข/ข้อจำกัดของขั้นตอนการปรับสภาพทางเคมีของตะกอนส่วนเกิน โดยมีรายละเอียดของการศึกษาที่จะกล่าวถึงต่อไป

ในการปรับสภาพของกากตะกอนส่วนเกินก่อนการรีดตะกอน พบว่าอาจจะมีการใช้สารเคมีในรูปแบบต่างๆ เช่น ปูนขาว สารส้ม $FeCl_3$ และสารในกลุ่ม polyelectrolyte ต่างๆ ซึ่งการใช้สารเคมีจะเป็นต้นทุนของการจัดการบำบัดกากตะกอนขั้นต้น และการใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะ

ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการรีดตะกอนและลดการปนเปื้อนในกากตะกอนที่รีดตะกอนแล้ว อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ใช้ polyacrylamide กับ alum ด้วย polyacrylamide เป็นสารเคมีที่ทางโรงงานได้ใช้อยู่เดิม และเลือกใช้ alum ด้วยเป็นสารเคมีพื้นฐานที่นิยมใช้ในการรวมตัวของตะกอนได้ดีและราคาไม่แพง

การศึกษาในขั้นตอนนี้เพื่อศึกษาถึงผลของการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอนต่อความสามารถในการรีดตะกอน โดยใช้ buchner funnel test (Rodriguez *et al.*, 1988) ซึ่งวิธีการทดลองดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงผลของปริมาณของสารเคมีที่ใช้ว่ามีผลต่อความสามารถในการแยกน้ำจากตะกอนอย่างไร ทั้งนี้ประเมินจากค่า specific resistance และ capillary suction time (CST) ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการใช้สารเคมีในการปรับสภาพตะกอนต่อความสามารถการแยกน้ำจากกากตะกอน หรือ dewatering ตะกอนได้โดยไม่ต้องทำการรีดตะกอนด้วยเครื่องรีดตะกอน การทดลองจะนำตะกอน excess sludge มาทำการตกตะกอนประมาณ 30 นาที จากนั้นนำตะกอนที่ตกตะกอนแล้วไปวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพและเคมีตามตารางที่ 2.2 จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาทดสอบร่วมกับสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอน 3 กลุ่ม คือ 1) polyacrylamide ที่โรงงาน ได้ใช้ 2) alum และ 3) polyacrylamide ผสมร่วมกับ alum ซึ่งทั้ง 3 กลุ่ม มีการปรับระดับค่า pH 3 ช่วง และศึกษาโดยใช้กากตะกอนที่ไม่ได้เติมสารเคมีใดๆ ดังแสดงเงื่อนไขการทดลองในตารางที่ 2.3 ซึ่งในขณะที่ทำการทดลองได้ทำการสังเกตลักษณะของกากตะกอนที่ได้และนำกากตะกอนที่ได้ไปอบแห้ง และหาค่า MC โดยสังเกตลักษณะทางกายภาพของการแข็งตัวของตะกอนเมื่ออบแห้งแล้ว ผลการทดลองที่ได้จะนำไปสู่การเสนอแนะต่อการจัดการกากตะกอนส่วนเกินต่อไป รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาการย่อยสลายกากตะกอนแบบหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพประกอบที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอนในการศึกษาการปรับสภาพตะกอนส่วนเกิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
SS	gravimetric method*
TS	gravimetric method*
MC	gravimetric method**
pH	electrometric method***

ที่มา : * APHA, AWWA and WEF (2012)

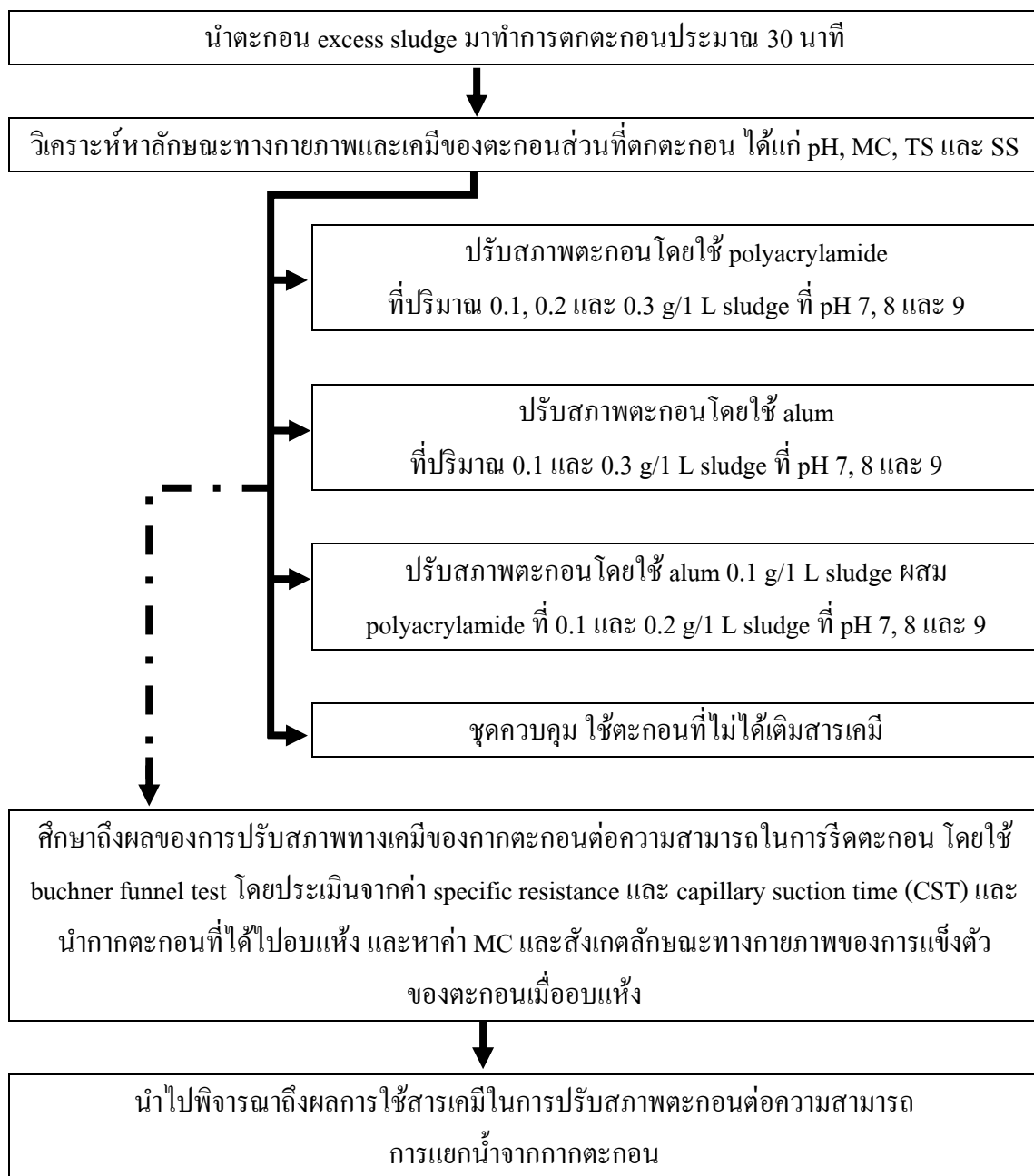
** AOAC (1990)

*** กรมวิชาการเกษตร (2551)

ตารางที่ 2.3 เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาถึงปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอนที่มีผลต่อความสามารถการเอาน้ำออกจากตะกอน

การทดลอง	เงื่อนไขการทดลอง
กลุ่ม A	ใช้ polyacrylamide ที่ปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 g/1 L sludge ที่ pH 7, 8 และ 9
กลุ่ม B	ใช้ alum ที่ปริมาณ 0.1 และ 0.3 g/1 L sludge ที่ pH 7, 8 และ 9
กลุ่ม C	ใช้ alum 0.1 g/1 L sludge ผสม polyacrylamide ที่ 0.1 และ 0.2 g/1 L sludge ที่ pH 7, 8 และ 9
กลุ่ม D	ชุดควบคุม ใช้ตะกอนจากท่อ excess sludge ที่ไม่ได้เติมสารเคมีใดๆ

หมายเหตุ: กากตะกอนที่ใช้งานมีค่า SS เท่ากับ 8,150 mg/L



ภาพประกอบที่ 2.3 สรุปขั้นตอนการศึกษาการปรับสภาพตะกอนส่วนเกินและผลของลักษณะตะกอนที่ปรับสภาพแล้ว

2) การล้าง (elutriation) กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงาน

การปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอนและการรีดน้ำออกของตะกอนทำให้ได้ปริมาณกากตะกอนลดลงเพื่อง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำในการขนย้ายกากตะกอนเพื่อนำไปสู่การใช้งานหรือบำบัดหรือกำจัดต่อไป อนึ่งอาจมีบางกรณีที่มีการใช้กากตะกอนที่ปรับสภาพทางเคมีและรีดน้ำแล้วไปเพื่อบำบัดทางชีวภาพต่อไป เช่น การใช้ย่อยสลายในระบบ digester หรือระบบ biogas ซึ่งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดน้ำออกจากตะกอนแล้วย่อมมีลักษณะเป็นของแข็ง (sludge cake) การนำเข้าสู่ระบบบำบัดดังกล่าว อาจต้องมีการทำให้กากตะกอนที่เป็นก้อนแข็งเข้าสู่ระบบการแตกตัวของอนุภาคตะกอนและอยู่ในมวลของเหลวได้ อนึ่งกากตะกอนส่วนเกินที่ปรับสภาพทางเคมีแล้วนั้น สารเคมีที่ใช้อาจไปทำการเคลือบหรือสะสมในตัวตะกอนไว้ ดังนั้นจึงได้ทำ elutriation ของกากตะกอนดังกล่าว โดยศึกษาถึงความสามารถในการชะล้างของกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงานแล้ว ทั้งนี้การทำ elutriation จะเป็นการล้างตะกอนโดยมีเป้าหมายเพื่อเปลี่ยนสภาพองค์ประกอบของกากตะกอน โดยเฉพาะสิ่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง/รวมตัวของอนุภาคในกากตะกอน การศึกษาทดลองนี้ดำเนินการ โดยนำเอาตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงานแล้วมาทำการทดลองด้วยการล้างตะกอน ซึ่งใช้ตัวล้างตะกอนที่เป็นน้ำที่ไม่ปรับพีเอชและที่ปรับพีเอชในช่วง 5, 7 และ 9 รวมทั้งสิ้น 4 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองทำการผสมกากตะกอนและสารล้างตะกอนจำนวน 6 ขวด ในสัดส่วนผสมของตะกอนต่อสารล้างตะกอน 1:2 (v/v) เมื่อผสมเสร็จแล้วกวนผสมให้เข้ากันประมาณ 10 นาที จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนไว้ที่ 1, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ในแต่ละช่วงเวลาที่ทิ้งไว้ ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวส่วนบน ตัวอย่างกากตะกอนเมื่อแยกน้ำออก (โดยการรินน้ำส่วนบนออก) นำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2.4 และทำการอบแห้งกากตะกอนที่ได้เพื่อศึกษาสภาพการแข็งตัวของกากตะกอน โดยการสังเกตทางสายตา ทั้งนี้ก่อนทดลองได้ทำการศึกษาลักษณะกากตะกอน โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ตามตารางที่ 2.4 ซึ่งผลที่ศึกษาได้นำมาวิเคราะห์โดยแสดงค่าอัตราการชะออกของตะกอน และใช้เป็นข้อมูลเพื่อพิจารณาใช้ในการทดลองหมักกากตะกอนแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป โดยสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพประกอบที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอนและน้ำล้างตะกอน

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง			วิธีวิเคราะห์
	กากตะกอน	กากตะกอน	น้ำล้าง	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ตะกอน	
SS	-	-	/	gravimetric method*
SCOD	-	-	/	close reflux, titrimetric method*
TDS	-	-	/	gravimetric method*
TDVS	-	-	/	gravimetric method*
polyacrylamide	-	-	/	reverse phase high performance liquid chromatography***
pH	/	/	-	electrometric method****
TKN	/	/	-	macro-kjeldahl method**
TP	/	/	-	spectrophotometric molybdovanadophosphate method****
VS	/	/	-	gravimetric method**
MC	/	-	-	gravimetric method**

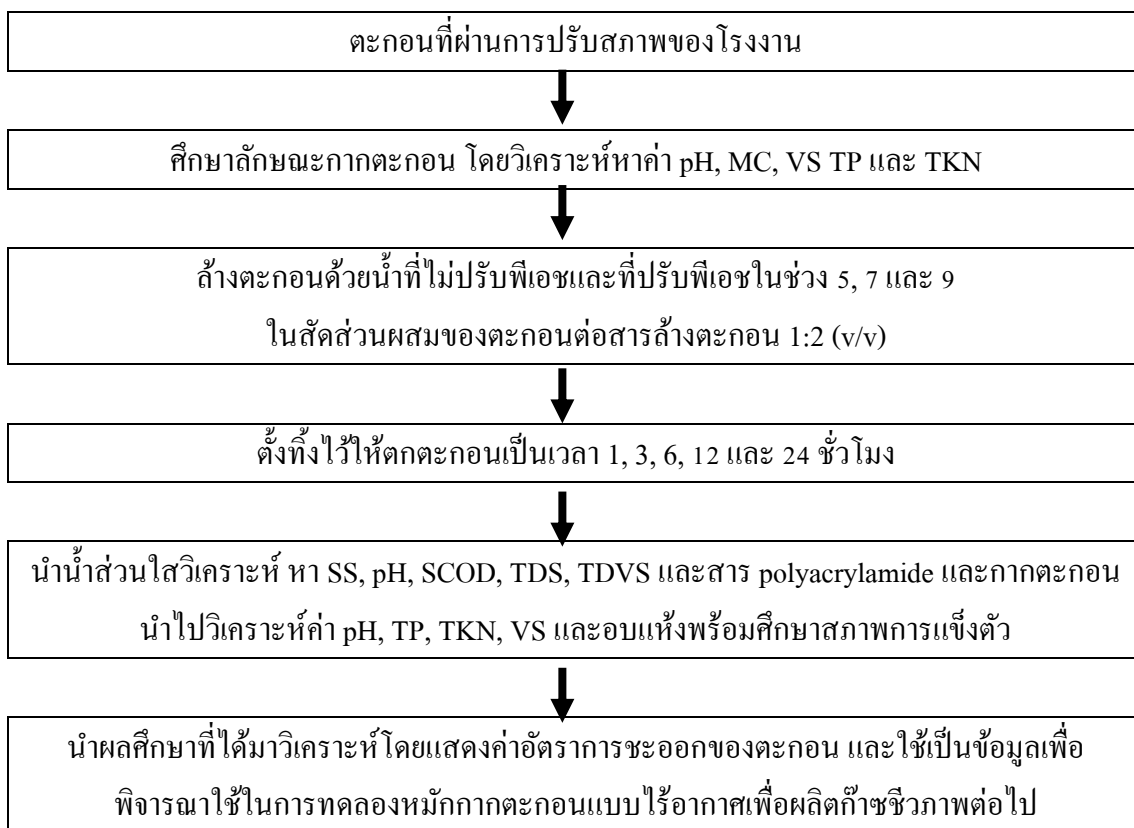
ที่มา : * APHA, AWWA and WEF (2012)

** AOAC (1990)

*** Ver Vers (1999)

**** กรมวิชาการเกษตร (2551)

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ (/) คือ ทำการวิเคราะห์ (-) คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ภาพประกอบที่ 2.4 สรุปขั้นตอนการศึกษากากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงาน

2.2.3 การศึกษาการบำบัดกากตะกอนส่วนเกินด้วยวิธีทางชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

การศึกษาในขั้นตอนนี้มีเป้าหมายเพื่อการบำบัดและใช้ประโยชน์กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดน้ำออกจากกากตะกอนแล้ว (กากตะกอนดังกล่าวเป็นกากตะกอนที่มาจากถังตกตะกอนของระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เท่านั้น ไม่รวมเศษยางจากบ่อดักเศษยาง) โดยมี 2 การทดลองคือ 1) การหมักทำปุ๋ย และ 2) การหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการทดลองแรกใช้กากตะกอนเป็นวัสดุหมักหลักในการทำการทดลองหมักทำปุ๋ย (ลดการเติมวัสดุอื่นๆ ในการปรับค่า C/N) และการทดลองหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อมุ่งศึกษาผลของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพต่อการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งได้แก่ polyacrylamide ซึ่งมีรายละเอียดคือ

1) การศึกษาการบำบัดกากตะกอนส่วนเกินและน้ำจากการรีดตะกอนโดยการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตมีเทนด้วยเทคนิค Biochemical Methane Potential (BMP)

ในการดำเนินการทดลองด้วยเทคนิค biochemical methane potential (BMP) นี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาถึงศักยภาพ และข้อจำกัดในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่อาจมีผลกระทบจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพกากตะกอนในการบำบัดขั้นต้น และน้ำจากการรีดตะกอนที่อาจมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพกากตะกอน การทดลองมีการนำตะกอนในลักษณะต่างๆ และน้ำที่ได้จากการรีดตะกอนเพื่อใช้เป็นวัสดุหมัก โดยมีการผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แล้วทำการหมักในขวดเป็นเวลา 30 วัน ในการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนของชุดทดลองต่างๆ ได้มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) ลงในขวดเซรั่มแต่ละขวดเท่ากับ 15 gVS/L ในปริมาตรทดลองเท่ากับ 60 mL และแต่ละชุดการทดลองมีการใช้ตะกอนส่วนเกินเพื่อทดลองโดยใช้กากตะกอนที่ทดลองขวดละ 5 gVS/L ทั้งนี้ใช้กากตะกอนหมักในแต่ละชุดการทดลองตามเงื่อนไขที่แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.5 แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำสำหรับน้ำจากการรีดตะกอนควบคุมค่า COD ให้มีค่าไม่เกิน 2,000 mg/L แต่ละชุดการทดลองมีการเติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) ที่ความเข้มข้น 50 g/L ในสัดส่วนร้อยละ 10 ของปริมาตรตัวอย่างกากตะกอน/ตัวอย่างน้ำที่ทดลอง และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.2 จากนั้นทำการไล่อากาศในขวดเซรั่มโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน แล้วใช้จุกยางปิดฝาขวด แล้วปิดด้วยฝาอะลูมิเนียมและนำเข็มฉีดยามาต่อกับ three way stopper แล้วเสียบลงไปขวดเซรั่ม เพื่อใช้ในการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (ภาพประกอบที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 เงื่อนไขของการทดลองศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของกากตะกอนส่วนเกิน

ชุดการทดลอง	เงื่อนไขตะกอนที่ใช้ทดลอง
A1	กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนประมาณ 30 นาที)
A2	กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน
A3	กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน และนำไปทำการล้างตะกอนด้วยน้ำล้างที่ปรับพีเอช 7 และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ใช้ผลการทดลองการล้างตะกอนซึ่งให้ผลที่ดีที่สุด)
A4	กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนประมาณ 30 นาที) และมีการเติม polyacrylamide ที่อัตรา 0.05 g/1 L sludge

ตารางที่ 2.5 เงื่อนไขของการทดลองศึกษาการเกิดก๊าซมีเทนของกากตะกอนส่วนเกิน (ต่อ)

ชุดการทดลอง	เงื่อนไขตะกอนที่ใช้ทดลอง
A5	กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนประมาณ 30 นาที) และมีการเติม polyacrylamide ที่อัตรา 0.1 g/1 L sludge
A6	กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนประมาณ 30 นาที) และมีการเติม polyacrylamide ที่อัตรา 0.2 g/1 L sludge
A7	น้ำจากการรีดตะกอน

หมายเหตุ: ทุกการทดลองที่ใช้กากตะกอนเพื่อทดลองมีการใช้ปริมาณกากตะกอนในทอมของ VS และเติม seed ที่เท่ากัน



ภาพประกอบที่ 2.5 ลักษณะการต่อชุดอุปกรณ์เข็มฉีดเข้ากับขวดเซรัมสำหรับการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนด้วยเทคนิค BMP

นำขวดเซรัมที่ศึกษาใส่ในเครื่อง shaker โดยใช้ความเร็วรอบ 150 rpm ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นด้วยกระบอกฉีดแบบแก้วและวิเคราะห์ความเข้มข้นมีเทนในก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง gas chromatography ของบริษัท Hewlette Packard รุ่น HP6890N พร้อมตัววัดสัญญาณ Thermal conductivity detector (TCD) คอลัมน์ที่ใช้ คือ Shin Carbon ST 100/120 micropacked ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 2 เมตร มีก๊าซฮีเลียมเป็น carrier gas ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน เพื่อติดตามปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในช่วง 1 เดือน (ปกติกรณีเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้อากาศจะเกิดได้ในช่วง 30 วัน และส่วนใหญ่ detention time ของการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีค่าประมาณ 1 เดือน) ค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นแต่ละ

ช่วงเวลาได้นำมาพิจารณาค่าการสะสมของการเกิดก๊าซทั้งหมดตลอดระยะเวลา 30 วัน เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 30 วัน และได้นำตัวอย่างกากตะกอนของแต่ละชุดทดลองไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2.6 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน สามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพประกอบที่ 2.6

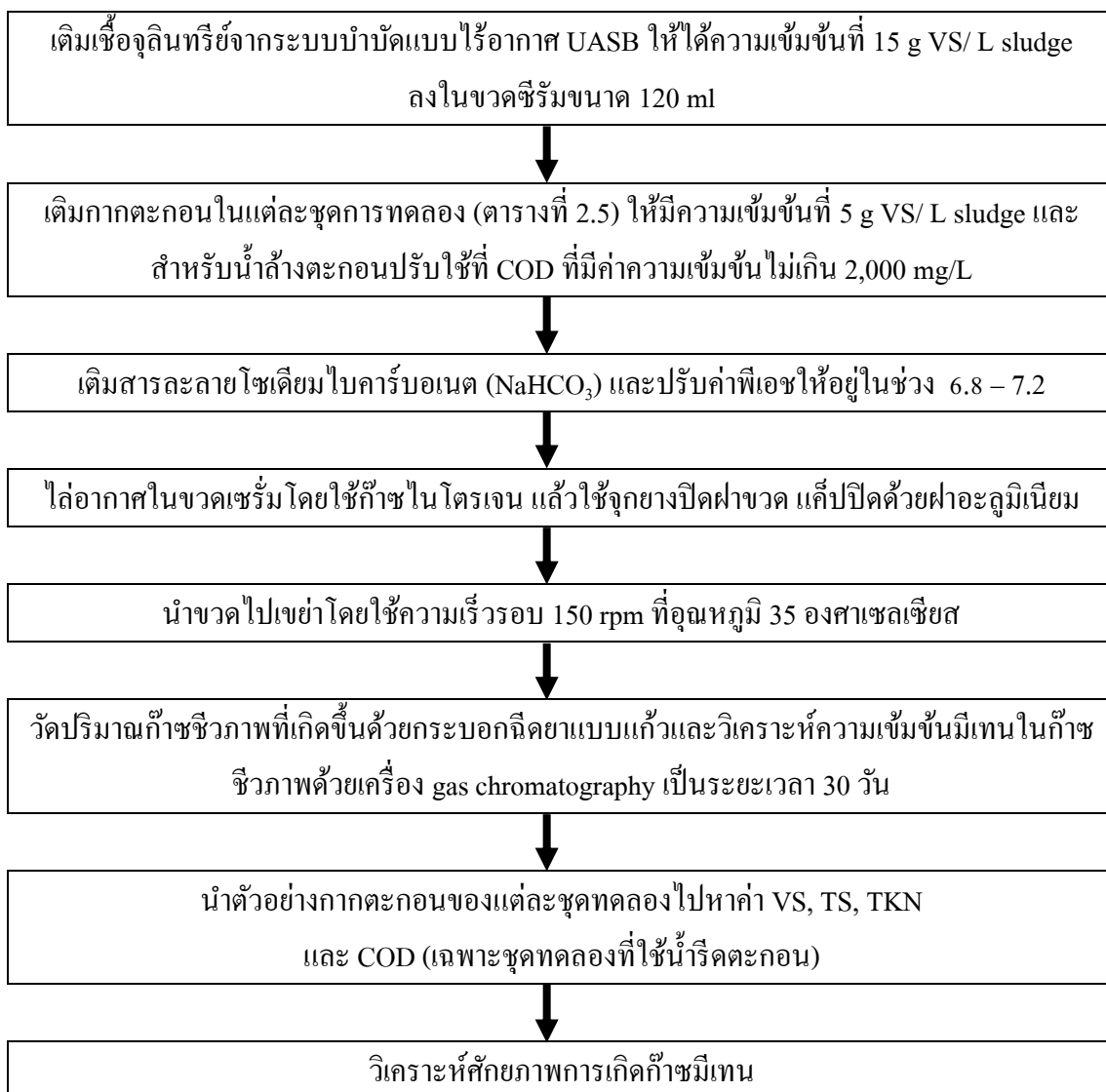
ตารางที่ 2.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะตะกอนและน้ำรีดตะกอนในการทดลองหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	กากตะกอน		น้ำรีดตะกอน		วิธีวิเคราะห์
	ก่อนหมัก	หลังหมัก	ก่อนหมัก	หลังหมัก	
COD	-	-	/	/	close reflux, titrimetric method*
VS	/	/	-	-	gravimetric method*
TS	/	/	-	-	gravimetric method*
TKN	-	/	-	/	macro-kjeldahl method**
ปริมาณ ก๊าซทั้งหมด		จุดเก็บตัวอย่างก๊าซ			วัดปริมาณ ก๊าซด้วยกระบอกนิตยาแบบแก้ว
องค์ประกอบ ก๊าซชีวภาพ		จุดเก็บตัวอย่างก๊าซ			Gas Chromatographic Method

ที่มา : * APHA, AWWA and WEF (2012)

** AOAC (1990)

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ (/) คือ ทำการวิเคราะห์ (-) คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ภาพประกอบที่ 2.6 สรุปขั้นตอนการศึกษาการบำบัดกากตะกอนส่วนเกินและน้ำจากการรีดตะกอน
โดยการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตมีเทนด้วยเทคนิค BMP

2) การศึกษาการหมักปุ๋ยโดยใช้กากตะกอนและการทดสอบศักยภาพในการเป็น ปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยทดสอบด้วยการปลูกต้นดาวเรือง

เป็นการทดลองที่มีเป้าหมายเพื่อใช้กากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพและรีด
ตะกอนแล้วจากโรงงานมาหมักปุ๋ย โดยใช้วัสดุหมักหลักคือกากตะกอนและหมักในภาวะที่มีค่า
C/N ต่ำ (กากตะกอนมีค่า C/N ต่ำ ด้วยเป็นตะกอนที่มาจากเซลล์จุลินทรีย์) แต่มีบางชุดการทดลองที่มี
การผสมขุยมะพร้าว ขี้เถ้าเพื่อปรับ texture ทางกายภาพของวัสดุหมักให้มีความพรุนมากขึ้นและมี

วัตถุประสงค์ในการเพิ่มค่า K ของวัสดุหมัก (การใช้ขี้เถ้าและขุยมะพร้าวสำหรับการทดลอง ด้วยวัสดุทั้งสองเป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมเกษตร และวัสดุมีค่า K ค่อนข้างสูง มี MC ต่ำ การนำวัสดุทั้งสองมาผสมในวัสดุหมักจะทำให้มีค่า K ที่สูงขึ้นและช่วยให้ค่า MC ลดลง ประกอบกับมีผลให้ค่า C/N สูงขึ้นเล็กน้อยจากการที่ใช้ขุยมะพร้าว อนึ่งใช้ในการผสมกับวัสดุหมัก ด้วยเหตุผลคือ ช่วยในการปรับสภาพของวัสดุหมักและให้ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายภายในกองปุ๋ย จึงไม่ได้ใช้ในการปรับในขั้นตอนนี้หลังการหมักปุ๋ยเพื่อหวังให้ได้ค่า K ที่ต้องการเท่านั้น ประกอบกับการปรับในช่วงเตรียมวัสดุหมักทำให้เกิดกระบวนการทำงานเพียงครั้งเดียว) โดยดำเนินการทดลองทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ นอกจากนี้ได้เติม seed (พด.1) เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการหมัก โดยมีเงื่อนไขในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.7 (การหมักทำปุ๋ย คือการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกากตะกอน แม้ว่ากากตะกอนจะมีค่า C/N ต่ำ ก็ยังไม่สามารถใช้เป็นปุ๋ยได้โดยตรง เพราะลักษณะของกากตะกอนจะมีค่าอินทรียสารสูงอยู่จึงต้องใช้กลไกการย่อยสลายอินทรียสารด้วยปฏิกิริยาของการหมักปุ๋ยเพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียสารในกากตะกอนให้มีความเสถียรมากขึ้น เมื่อนำไปใช้งานจะได้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตามมา และการหมักปุ๋ยจะทำให้องค์ประกอบของ C และ N ในกากตะกอนเปลี่ยนสภาพไปเป็น โครงสร้างที่เสถียรและอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น) การทดลองหมักปุ๋ยได้ทำการทดลองหมักในของหมักขนาด $0.9 \times 0.7 \times 1.0 \text{ m}^3$ (กว้าง x ยาว x สูง) ทุกชุดการทดลองมีการเติมท่อนไม้ (wood chip) ขนาด 1×3 นิ้ว (ภาพประกอบที่ 2.7) ประมาณ 60 ลิตรในวัสดุหมักเพื่อเพิ่มความพรุนในกองหมัก ชุดที่มีการเติมอากาศจะให้อากาศที่ 19 ลบ.ม./ชม. โดยทำการเติมอากาศทุก 3 ชั่วโมง และหยุด 1 ชั่วโมง โดยใช้ timer ควบคุมเวลา ทำการทดลองนาน 3 เดือน (การใช้เวลาหมักนาน 3 เดือน ก็เพื่อให้ผลการศึกษาที่ได้แสดงถึงผลการเกิดปฏิกิริยาการหมักที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน โดยเฉพาะทางกายภาพ เคมี ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของการย่อยสลายที่เกิดขึ้นได้ใกล้สิ้นสุดของปฏิกิริยาการทำเสถียรของอินทรียสารของวัสดุหมักที่มีค่า C/N ต่ำซึ่งจะใช้เวลาการย่อยสลายค่อนข้างยาวนาน) โดยทำการวัดอุณหภูมิทุกวัน ที่จุดกึ่งกลางความลึกของกองปุ๋ยหมัก ระหว่างการหมักสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกองปุ๋ยหมักด้านกายภาพ เช่น กลิ่น สี เป็นต้น และเก็บตัวอย่างกากตะกอนที่ใช้หมักปุ๋ยในแต่ละชุดการทดลองโดยวิธีการสุ่มให้ได้ตัวแทนของวัสดุที่ใช้หมักในแต่ละระดับความสูง (สูง กลาง ต่ำ) ของกองปุ๋ย ประมาณ 500-600 กรัม มาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2.8 และสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพประกอบที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 เงื่อนไขการทดลองการหมักปุ๋ยจากกากตะกอน

ชุดการทดลอง	เงื่อนไขการใช้วัสดุหมัก	การเติมอากาศ	อัตราส่วน C/N
1	กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว	ไม่มีการเติมอากาศ	3.7:1
2	กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว	มีการเติมอากาศ	3.2:1
3*	กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2 และ ไม่มีการเติม seed	มีการเติมอากาศ	5.9:1
4*	กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2 และมีการเติม seed	มีการเติมอากาศ	5.7:1

หมายเหตุ: * สัดส่วนการผสมพิจารณาจากที่ทำให้มีค่า C/N ที่สูงกว่า C/N ของกากตะกอน แต่ไม่ทำให้เป็นการใช้กากตะกอนเป็นวัสดุหมักหลัก และมีค่า K ที่คาดว่าเมื่อได้ปุ๋ยหมักสุดท้ายจะมีค่า K ที่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยหมัก และเพื่อเป็นการลดความชื้นของวัสดุหมักหลักที่มีปริมาณความชื้นสูง



ภาพประกอบที่ 2.7 เศษไม้ที่ใช้เพิ่มความพรุนในกองหมัก

ตารางที่ 2.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในขณะศึกษาปุ๋ยหมักจากกากตะกอน

ลักษณะ	ตัวอย่างวันที่	วิธีวิเคราะห์
MC	↑ วันที่ 0, 1, 5,	gravimetric method*
VS	10, 15, 30, 45,	gravimetric method*
ash	60 และ 90	gravimetric method*
OM	↓	Walkley and Black**

ตารางที่ 2.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในขณะศึกษาปุ๋ยหมักจากกากตะกอน (ต่อ)

ลักษณะ	ตัวอย่างวันที่	วิธีวิเคราะห์
OC	↑ วันที่ 0, 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60 และ 90 ↓	Walkley and Black**
pH		electrometric method**
TKN		macro-kjeldahl method*
TP		spectrophotometric molybdovanadophosphate method**
TK		inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES)**
Na, Ca, As, Cu, Cr, Cd, Hg, Pb, Mg และ Zn	วันที่ 0, 45, 60 และ 90	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES)**
การย่อยสลาย สมบูรณ์	วันที่ 0, 60 และ 90	germination index**

ที่มา : * AOAC (1990)

** กรมวิชาการเกษตร (2551)

นำกากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพและรีดตะกอนแล้วจากโรงงานมาหมักปุ๋ยตามเงื่อนไขในตารางที่ 2.7 (เพิ่มความพรุนในกองหมักด้วยการเติมท่อนไม้ขนาด 1 x 3 นิ้ว และชุดที่มีการเติมอากาศจะให้อากาศที่ 19 ลบ.ม./ชม.) ทำการหมักเป็นระยะเวลา 3 เดือน



วัดอุณหภูมิทุกวัน และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกองปุ๋ยหมักด้านกายภาพ เช่น กลิ่น สี เป็นต้น และเก็บตัวอย่างในกองปุ๋ยหมัก วิเคราะห์หา TKN, TP, TK, pH, MC, OM, OC, VS และ ash (ในวันที่ 0, 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60 และ 90) และวิเคราะห์ค่า Na, Ca, Mg, Zn, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, conductivity (ในวันที่ 0, 45, 60 และ 90) และ วิเคราะห์หาค่า germination index (ในวันที่ 0, 60 และ 90)

ภาพประกอบที่ 2.8 สรุปขั้นตอนการศึกษการหมักปุ๋ยโดยใช้กากตะกอน

เมื่อทำการทดลองการหมักปุ๋ยครบ 90 วันแล้ว ชุดการทดลองที่ดีที่สุดและที่รองลงมาซึ่งพิจารณาลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ ได้นำไปทดลองปลูกดาวเรือง มุ่งเน้นทดสอบปลูกพืชในกลุ่มไม้ดอก (ไม่มีปัญหาด้านการตกค้าง Zn) จึงไม่ได้ทดสอบกับพืชกินได้ เช่น ข้าวโพด อีกทั้งต้นดาวเรืองเป็น ไม้ดอกโตเร็วสามารถได้ผลการศึกษาที่รวดเร็ว โดยอ้างอิงการปลูกดาวเรืองจากการศึกษาของ พนาลี ชิวกิดาการ และคณะ (2554) ซึ่งมีการทดลองใช้ปลูกต้นดาวเรือง โดยศึกษาด้านการเจริญเติบโตของดาวเรืองในด้านการเพิ่มความสูงของต้น อัตราการให้ดอก ขนาดและจำนวนของดอก ซึ่งเห็นความแตกต่าง ได้อย่างชัดเจนจึงได้มีการนำต้นดาวเรืองมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ โดยใช้ดาวเรืองพันธุ์ลูกผสม ดาวน้อย F1 ตราศรแดง ทำการปลูกในถุงดำขนาด 7×10 นิ้ว แต่ละชุดการทดลองมีการเติมปุ๋ยหมักที่เลือกนำมาทดสอบการปลูกดาวเรือง โดยทดลองใช้ปริมาณปุ๋ยหมักที่เติมลงในชุดการทดลองที่มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนเท่ากับ 1 และ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมในการปลูกต้นดอกดาวเรืองตามคำแนะนำของ (2545) โดยให้ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ให้ต้นดาวเรืองในอัตรา 1 ช้อนชาต่อต้น (5 กรัมต่อต้น) เงื่อนไขในการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.9 โดยแต่ละชุดการทดลองทำ 5 ซ้ำ การปลูกมีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมือนกันและในการทดลองได้ให้น้ำทุกวันเท่าๆ กัน ทั้งนี้มีการเพาะต้นกล้าดาวเรืองก่อนนำต้นกล้าที่มีอายุประมาณ 1 เดือน มาปลูกในวัสดุที่ใช้ทดลองปลูก ทั้งนี้ก่อนและหลังการทดลองปลูก 45 วัน จะทำการเก็บตัวอย่างดินธรรมชาติและดินธรรมชาติที่มีการเติมปุ๋ยตามเงื่อนไขการทดลองในตารางที่ 2.9 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2.10 นอกจากนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการเติบโตของต้นดาวเรืองโดยการวัดความสูงของต้นดาวเรือง และจำนวนดอก ทุก 15 วัน สามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพประกอบที่ 2.9 ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงวิเคราะห์เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองด้านความสูง และจำนวนดอก โดยใช้ค่าสูงสุด-ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และกรณีที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ซึ่งผลที่ได้นำไปสรุปถึงศักยภาพของการใช้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนเพื่อเป็นปุ๋ยให้กับไม้ดอกต่อไป ข้อมูลที่ได้นำไปสรุปและประมวลผลเพื่อใช้เป็นข้อเสนอแนะ และเปรียบเทียบในเชิงเทคโนโลยีกับการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

ตารางที่ 2.9 เงื่อนไขการทดลองปลูกดอกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอน

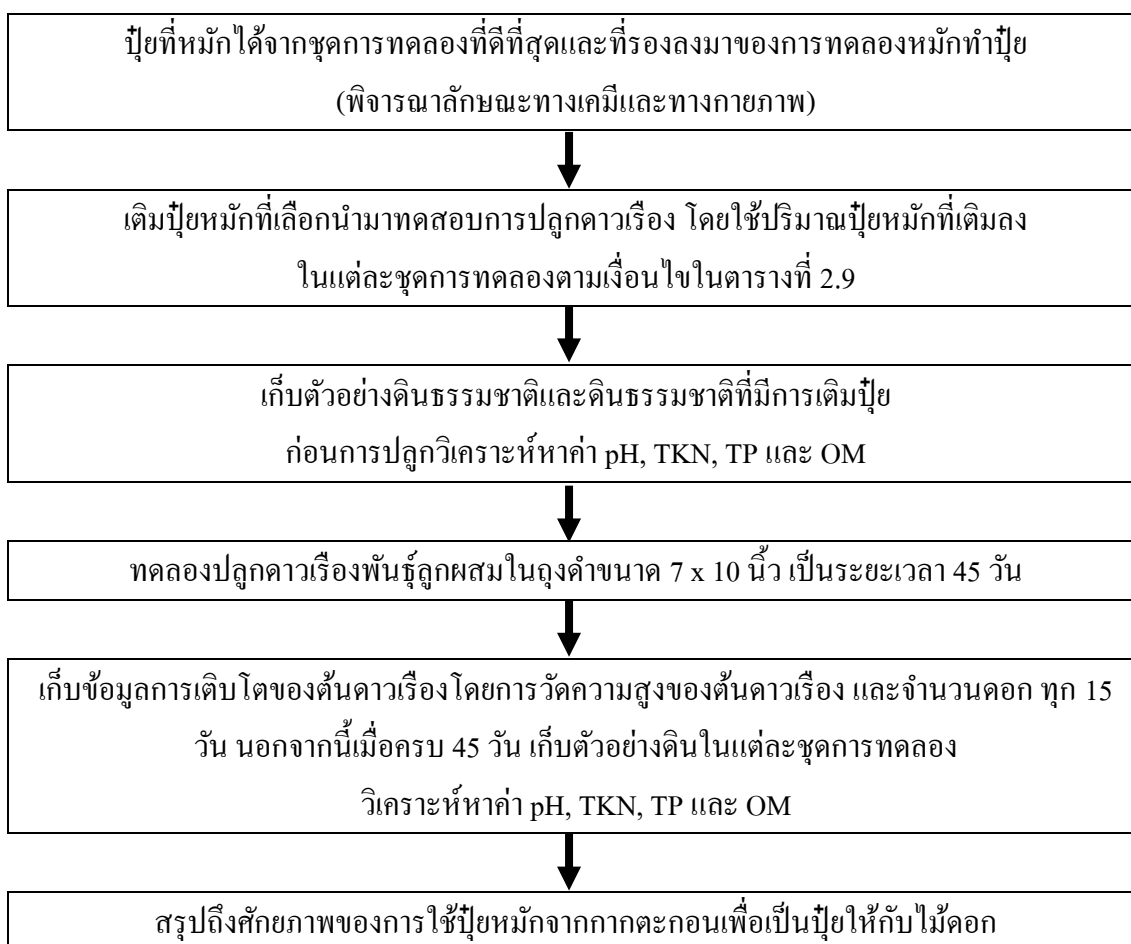
ชุดการทดลอง	วัสดุที่ใช้	ปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ต่อต้น (g, wet wt.)
T1	ดินธรรมชาติอย่างเดียว	-
T2	ดินธรรมชาติ + ปุ๋ยเคมี (15: 15: 15)	5
T3	ดินธรรมชาติ + ปุ๋ยหมักจากการหมักกากตะกอน ส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวแบบเติมอากาศ ที่มีการเติม seed (กากตะกอนที่ดีที่สุด: เติมปริมาณ ไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก)	40
T4	ดินธรรมชาติ + ปุ๋ยหมักจากการหมักกากตะกอน ส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวแบบเติมอากาศ ที่ไม่มีการเติม seed (กากตะกอนที่ตีรองลงมา: เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก)	73
T5	ดินธรรมชาติ + ปุ๋ยหมักจากการหมักกากตะกอน ส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวแบบเติมอากาศ ที่มีการเติม seed (กากตะกอนที่ดีที่สุด: เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก)	20
T6	ดินธรรมชาติ + ปุ๋ยหมักจากการหมักกากตะกอน ส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวแบบเติมอากาศ ที่ไม่มีการเติม seed (กากตะกอนที่ตีรองลงมา: เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก)	36

ตารางที่ 2.10 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะดินในการศึกษาการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยทดสอบด้วยการปลูkdต้นดาวเรือง

ลักษณะ	ตัวอย่างวันที่	วิธีวิเคราะห์
OM	↑ วันที่ 0 และ 45 ↓	Walkley and Black**
pH		electrometric method**
TKN		macro-kjeldahl method*
TP		spectrophotometric molybdovanadophosphate method**

ที่มา : * AOAC (1990)

** กรมวิชาการเกษตร (2551)



ภาพประกอบที่ 2.9 สรุปขั้นตอนการศึกษาการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยทดสอบด้วยการปลูkdต้นดาวเรือง

2.2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นและประมวลผลแนวทางในการจัดการภาคส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ในส่วนข้อมูลของการทดลองการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพนั้น จะนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยใช้ข้อมูล yield ผลผลิตและผลตอบแทนที่ได้เป็นหลัก นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ โดยคำนึงถึงความเหมาะสมและเป็นไปได้ เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงแนวทางในการจัดการภาคส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมุ่งเน้นในการนำไปใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด รวมถึงข้อดีข้อเสีย ความยากง่ายในการจัดการ นำมาจัดทำเป็นข้อเสนอแนะที่มีศักยภาพในการนำไปดำเนินการ รวมทั้งข้อควรระวังเพื่อใช้เป็นแนวทางการดำเนินการของโรงงานต่อไป

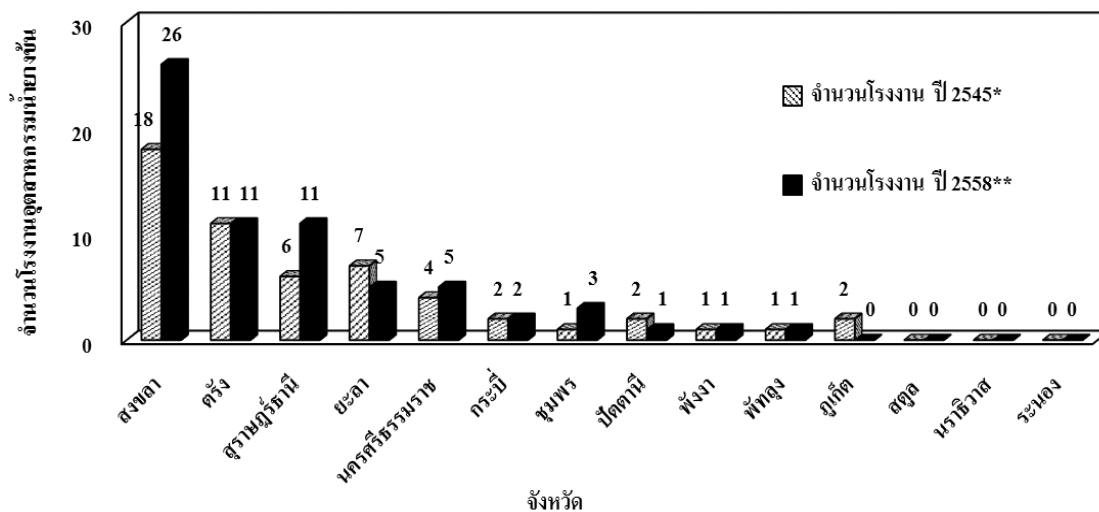
บทที่ 3

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge) จะเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบกับกากตะกอนที่เกิดขึ้นมักต้องมีการบำบัดขั้นต้น (pretreatment) เช่น ปรับสภาพตะกอน (conditioning) และรีดตะกอน (dewatering) เพื่อเอาน้ำออกก่อน ซึ่งในการปรับสภาพตะกอนและรีดตะกอนย่อมต้องมีการใช้สารเคมีซึ่งอาจมีผลต่อการทำปฏิกิริยาทางชีวภาพของกากตะกอนเมื่อต้องมีการบำบัดกากตะกอนด้วยการหมักปุ๋ยหรือย่อยสลายกากตะกอนที่รีดแล้วด้วยการหมักแบบไร้อากาศ ฯลฯ การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงสภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น รวมถึงศึกษาถึงการปรับสภาพตะกอน การบำบัดต่อทางชีวภาพและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการบำบัดต่อทางชีวภาพ โดยมุ่งประเด็นของเทคนิคการบำบัดทางชีวภาพที่สามารถใช้ประโยชน์โดยการหมักทำปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งผลการวิจัยที่ได้แสดงถึงสถานะปัญหา แนวทางเลือกของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการกากตะกอนโดยพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก รวมทั้งได้แนวทางการบริหารจัดการกากตะกอนส่วนเกินของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

3.1 ภาพรวมของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้ของประเทศไทยที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

จากการสำรวจอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในพื้นที่ 14 จังหวัดภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า ในปี 2558 มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นรวมทั้งสิ้น 66 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558) เพิ่มขึ้นจากเมื่อปี 2545 ซึ่งมีเพียง 55 โรงงาน (นฤเทพ บุญเรืองขาว, 2550) โดยจำแนกเปรียบเทียบเป็นรายจังหวัดดังภาพประกอบที่ 3.1



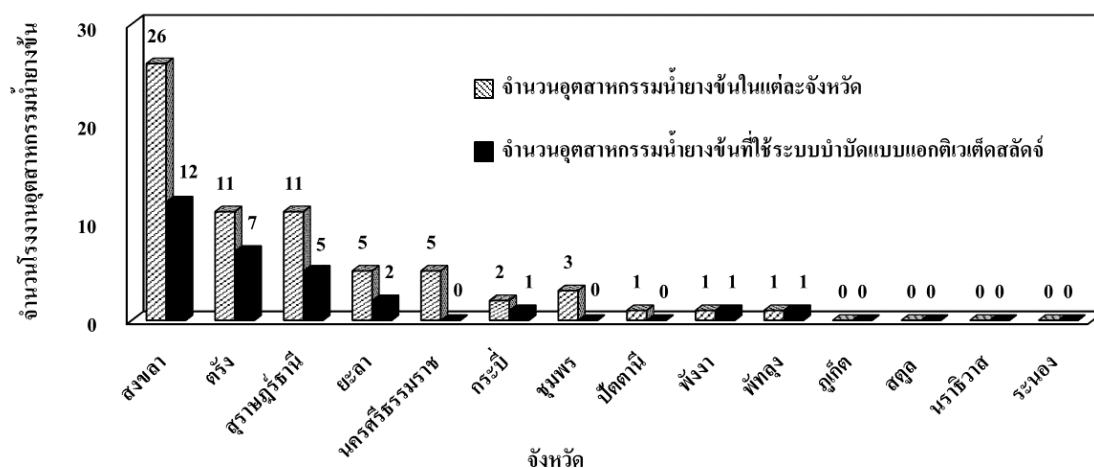
ภาพประกอบที่ 3.1 จำนวน โรงงานอุตสาหกรรมน้ำอย่างข้นในพื้นที่ภาคใต้

ที่มา: * นฤเทพ บุญเรืองขาว (2550), ** กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2558)

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า โรงงานอุตสาหกรรมน้ำอย่างข้นในภาคใต้กระจายตัวอยู่ใน 10 จังหวัด ซึ่งพบการกระจายตัวอยู่ในในภาคใต้ตอนล่างมากกว่าภาคใต้ตอนบน โดยจังหวัดสงขลามีจำนวน โรงงานน้ำอย่างข้นมากที่สุด ซึ่งในภาพรวมของ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำอย่างข้นในภาคใต้จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2558) พบว่า ส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งจำนวน ขนาด และกำลังการผลิตของโรงงานเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลถึงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของโรงงาน เช่น น้ำเสียจากของเสีย กลิ่นเหม็น เป็นต้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ย่อมก่อให้เกิดของเสียในปริมาณสูงด้วยเช่นกัน

โรงงานน้ำอย่างข้นเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ มีศักยภาพสูงในการก่อให้เกิดมลพิษทั้งทางน้ำ ทางอากาศ และกากของเสีย (อันตรายและไม่อันตราย) เนื่องจากน้ำเสียมีการปนเปื้อนของสารมลพิษต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ ไนโตรเจน ซัลเฟตและสารแขวนลอยในปริมาณสูง รวมถึงค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาการผลิต จากการศึกษาของ พงศ์นรินทร์ ปรานนคร (2543) พบว่า โรงงานน้ำอย่างข้นก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตและการล้างเครื่องจักรต่างๆ ในปริมาณมาก และน้ำเสียมีการปนเปื้อนของสารอาหาร สารแขวนลอย ซัลเฟตและสารอินทรีย์สูง เช่นเดียวกับการศึกษาของอาภรณ์ รักเกิด (2542) ที่ได้รายงานว่าน้ำเสียจากโรงงานน้ำอย่างข้นมีของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอย และมีสารไนโตรเจนสูง ซึ่งสารไนโตรเจนใน

น้ำเสียเมื่อมีการเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอิสระมากยิ่งขึ้น ก็จะสามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ จากการที่โรงงานน้ำยางชั้นมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในปริมาณมากและมีการปนเปื้อนของสารมลพิษในรูปแบบต่างๆ ในปริมาณสูง ทำให้โรงงานน้ำยางชั้นมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทระบบบ่อ ทั้งที่เป็นระบบไร้อากาศ และระบบใช้อากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นตามมา โดยเฉพาะกลิ่นที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ทั้งนี้ด้วยน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นมีปริมาณซัลเฟตและสารอินทรีย์สูง เมื่ออยู่ในสภาพไร้อากาศซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบซัลไฟด์ขึ้นในระบบ โดยเฉพาะก๊าซ H_2S ที่อยู่ในน้ำเสีย อย่างไรก็ตาม โรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้มีแนวโน้มเลือกใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เพื่อลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น เนื่องจากเป็นระบบบำบัดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางกลิ่นเหมือนระบบบ่อไร้อากาศ ซึ่งในปี 2559 ภาคใต้ของประเทศไทยมีอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจำนวน 29 โรงงาน ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) คิดเป็นร้อยละ 43.93 ของจำนวนโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ ซึ่งเพิ่มมากขึ้นกว่าในปี 2545 ที่มีรายงานว่าโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จำนวนเพียง 5 โรงงาน จากโรงงานน้ำยางชั้นทั้งหมด 55 โรงงาน (สมทิพย์ คำนชิรวณิช และคณะ, 2545) โดยจังหวัดสงขลามิจำนวนโรงงานน้ำยางชั้นที่เลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มากที่สุด รองลงมาได้แก่ จังหวัดตรัง และจังหวัดสุราษฎร์ธานี ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3.2) แต่อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวก่อให้เกิดกากตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งทางโรงงานต้องมีการะในการบริหารจัดการกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 3.2 จำนวนโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

3.2 สภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้

จากการประมวลผลสภาพปัญหาจากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ต่อการดำเนินการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้วิธีการศึกษาจากแบบสอบถามและการเก็บตัวอย่างกากตะกอนเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นพื้นฐานความรู้ในการนำไปสู่การจัดการที่มีประสิทธิภาพ แนวทางเลือกของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก ซึ่งจะเป็นแนวทางของการพัฒนาอย่างยั่งยืนภายใต้แนวคิดหลักของการนำกลับของเสียมาใช้ประโยชน์ สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

3.2.1 ผลการตอบกลับแบบสอบถามและข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการส่งแบบสอบถามไปยังโรงงานน้ำยางชั้นที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ในภาคใต้ทั้งหมด 29 โรงงาน พบว่า มีเพียง 11 โรงงาน ที่ให้ข้อมูล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38 ซึ่งถือว่ามี การตอบกลับของแบบสอบถามค่อนข้างน้อย ทั้งนี้ผลจากการติดตามการรับคืนของแบบสอบถามจากโรงงาน พบว่า โรงงานส่วนใหญ่ไม่ประสงค์ให้ข้อมูล/ตอบข้อมูลดังกล่าว ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้เพียงข้อมูลที่ได้รับคืนในการวิเคราะห์ผลต่อไป

สำหรับผลการตอบแบบสอบถามสภาพปัญหาจากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ เพื่อศึกษาถึงสภาพปัญหาในการดำเนินการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า โดยส่วนใหญ่ผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุอยู่ในช่วงมากกว่า 35-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 50 และมีประสบการณ์ทำงานในโรงงานมากกว่า 10 ปี คิดเป็นร้อยละ 50 ซึ่งร้อยละ 80 ของผู้ตอบแบบสอบถามทำงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมในตำแหน่งผู้จัดการสิ่งแวดล้อมและหัวหน้างานด้านสิ่งแวดล้อม (ผู้ตอบแบบสอบถามทำหน้าที่ในหลายตำแหน่งขึ้นอยู่กับสภาพงานของแต่ละโรงงาน) โดยส่วนใหญ่มีวุฒิการศึกษาสูงสุดอยู่ในระดับปริญญาตรี และปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 70 และ 30 ตามลำดับ นอกจากนี้ร้อยละ 70 มีรายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วงมากกว่า 25,000 บาท จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้ที่มีความรู้และเกี่ยวข้องกับการทำงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน โดยตรง จึงสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และปัญหาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินของโรงงานน้ำยางชั้นได้ ทั้งนี้รายละเอียดของผู้ตอบแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

	ข้อมูล	ร้อยละ
เพศ	ชาย	70
	หญิง	30
อายุ	25-30 ปี	30
	> 30-35 ปี	10
	> 35-40 ปี	50
	> 45 ปีขึ้นไป	10
วุฒิการศึกษาสูงสุด	ปริญญาตรี	70
	ปริญญาโท	30
อายุงานในโรงงานปัจจุบัน	> 10 ปี	50
	> 1-3 ปี	30
	> 5-7 ปี	10
	> 3-5 ปี	10
ตำแหน่งในปัจจุบัน *	ผู้ดูแลสิ่งแวดล้อมโรงงาน	50
	ผู้จัดการฝ่ายผลิต	30
	ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ	30
	ผู้จัดการสิ่งแวดล้อม	20
	อื่นๆ	20
รายได้ต่อเดือนในปัจจุบัน	> 30,000 บาท	50
	10,000-15,000 บาท	30
	> 25,000-30,000 บาท	20

หมายเหตุ: * ผู้ตอบแบบสอบถามบางท่านจะมีตำแหน่งงานมากกว่า 1 ตำแหน่ง

3.2.2 ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่ทำการศึกษา

จากการสำรวจข้อมูลทั่วไปของโรงงานจากแบบสอบถาม พบว่า ข้อมูลดังตารางที่ 3.2 โดยโรงงานน้ำยางชั้นที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 71-

>300 ตัน/วัน โดยมีโรงงานน้ำยางชั้นร้อยละ 70 ที่มีกำลังการผลิต 101-200 ตัน/วัน ซึ่งโดยปกติโรงงานน้ำยางชั้นส่วนใหญ่มีกระบวนการผลิตยางสกิมเพื่อดึงเนื้อยางที่ตกค้างในทางน้ำยางเพื่อใช้ผลิตยางสกิมบล็อก/เครปต่อไป ดังนั้นการผลิตทั้ง 2 ประเภทนี้จึงมีความคู่กันเสมอ อย่างไรก็ตามผลจากการตอบแบบสอบถาม พบว่า นอกจากการผลิตน้ำยางชั้นและยางสกิมแล้ว บางโรงงานซึ่งคิดเป็นร้อยละ 30 ยังมีการผลิตยางแท่ง STR20 STR5L และยางแผ่นรมควันควบคู่กันไปด้วย ซึ่งกลุ่มโรงงานน้ำยางชั้นดังกล่าว พบว่า ร้อยละ 50 ก่อให้เกิดน้ำเสียมากกว่า 300 ลบ.ม./วัน อย่างไรก็ตามพบว่า โรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ของประเทศไทยที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ร้อยละ 10 ยังไม่มีบุคลากรด้านสิ่งแวดล้อมประจำโรงงานที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำหนดชนิดและขนาดของโรงงาน กำหนดวิธีการควบคุมการปล่อยมลพิษ หรือสิ่งใดๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กำหนดคุณสมบัติของผู้ควบคุมดูแล ผู้ปฏิบัติงานประจำ และหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียน ผู้ควบคุมดูแลสำหรับระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2554 โดยส่วนใหญ่บุคลากรของโรงงานที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นผู้ควบคุมมลพิษน้ำ คิดเป็นร้อยละ 90 แม้ว่าโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ที่ได้ทำการสำรวจจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ แต่ก็ยังพบว่าแต่ละโรงงานยังมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ ร่วมด้วย โดยร้อยละ 90 เป็นระบบบ่อ เช่น บ่อไร้อากาศ บ่อปรับเสถียร ระบบบ่อผึ่ง และระบบบ่อบ่ม เป็นต้น อย่างไรก็ตามนอกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และระบบบ่อที่โรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้เลือกใช้แล้ว อีกร้อยละ 10 ของโรงงานยังมีการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ร่วมด้วย แสดงดังตารางที่ 3.2 ซึ่งระบบบ่อ โดยเฉพาะบ่อบ่มและระบบบึงประดิษฐ์มักนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แล้ว ในขณะที่บ่อไร้อากาศและบ่อกึ่งมีอากาศกึ่งไร้อากาศมักใช้เป็นระบบบำบัดแบบชีวภาพก่อนกระบวนการบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน		ร้อยละ
ผลิตผลิตภัณฑ์	น้ำยางชั้น	100
	ยางสกิมเครป/บล็อก	90
	ยางแท่ง STR20	10
	ยางแท่ง STR5L	10
	ยางแผ่นรมควัน	10

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน (ต่อ)

	ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน	ร้อยละ
กำลังผลิตน้ำยางข้น	101-150 ตัน/วัน	40
	151-200 ตัน/วัน	30
	71-90 ตัน/วัน	10
	91-100 ตัน/วัน	10
	>300 ตัน/วัน	10
หน่วยบำบัดน้ำเสียที่ใช้	บ่อเติมอากาศ/แอกติเวเต็ดสลัดจ์	100
	บ่อดักเศษยาง	90
	บ่อดกตะกอน	70
	บ่อไร้อากาศ	30
	ระบบบ่อผึ่ง	20
	ระบบบ่อบ่ม	20
	ระบบบ่อปรับเสถียร	10
	ระบบบึงประดิษฐ์	10
บ่อกึ่งมีอากาศกึ่งไร้อากาศ	10	
บุคลากรที่ขึ้นทะเบียนกับกรม	ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ	90
โรงงานอุตสาหกรรม	ไม่มีบุคลากร	10
ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น	>300 ลบ.ม./วัน	50
	50-100 ลบ.ม./วัน	10
	101-150 ลบ.ม./วัน	10
	151-200 ลบ.ม./วัน	10
	201-250 ลบ.ม./วัน	10
	251-300 ลบ.ม./วัน	10

3.2.3 สภาพปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และการจัดการ

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลโดยสรุปของโรงงานน้ำยางข้นที่มีกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและการจัดการกากตะกอน พบว่า ในด้านภาระกิจของการบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียนั้น พบว่า ร้อยละ 40 ของโรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มีระบบ

บำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ซึ่งการกำจัดกากตะกอนส่วนเกินที่ออกจากถังเติมอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาสมดุลของปริมาณจุลินทรีย์และอาหาร (F/M ratio) ในถังเติมอากาศ จากผลการตอบแบบสอบถาม พบว่า ในการศึกษาครั้งนี้โรงงานน้ำยางชั้นที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์นั้นจะมีการควบคุมให้ค่า MLSS ในถังเติมอากาศอยู่ในช่วง 1,000-5,000 มก./ลิตร หรือเฉลี่ยประมาณ 2,430 มก./ลิตร ทั้งนี้ร้อยละ 60 ของโรงงานระบุว่า มีปัญหาด้านการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยร้อยละ 70 ของโรงงานน้ำยางชั้นที่ใช้ระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ในการบำบัดน้ำเสียก่อให้เกิดกากตะกอนส่วนเกิน (ก่อนรีดน้ำออก) ในช่วงต่ำกว่า 10 ลบ.ม./วัน ถึง 20 ลบ.ม./วัน และร้อยละ 20 ไม่ทราบว่าปริมาณกากตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีปริมาณเท่าไร นอกจากนี้ข้อมูลจากแบบสอบถามแสดงให้เห็นว่าในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ นั้น มีเพียงร้อยละ 50 ของโรงงานทั้งหมดที่ใช้ระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่มีการปรับสภาพตะกอนส่วนเกินและรีดตะกอนก่อนนำไปกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ บางแห่งที่ไม่มีการรีดตะกอนจะมีการจัดการ โดยการเก็บไว้ในบ่อเก็บ มีการนำตะกอนส่วนเกินไปตากแห้ง สำหรับกลุ่มโรงงานน้ำยางชั้นที่มีการรีดตะกอนบางแห่งมีการระบุว่าใช้สารเคมีประเภท polyaluminium chloride และ polyacrylamide ในการปรับสภาพกากตะกอนด้วย เพื่อให้กากตะกอนเกิดการรวมตัว และแยกน้ำออกจากตะกอนมวลชีวภาพได้ง่ายเมื่อนำไปรีดตะกอน โดยการใช้พอลิเมอร์ดังกล่าวในการปรับสภาพตะกอนพบว่าการใช้อยู่ในช่วงปริมาณ 2.54-2.67 กก./ตันตะกอนที่ผ่านการรีดตะกอน จากนั้นนำตะกอนส่วนเกินไปรีดน้ำออกด้วยเครื่องรีดน้ำตะกอนแบบสายพานรีดน้ำหรืออัดกรอง หรือวิธีอื่นๆ เพื่อให้กากตะกอนอยู่ในรูปของของแข็ง ซึ่งพบว่า ร้อยละ 60 ของโรงงาน มีปริมาณของกากตะกอนที่เกิดขึ้นมากกว่า 10 ลบ.ม./วัน และก่อให้เกิดกากตะกอนที่รีดแล้วน้อยกว่า 1-3 ลบ.ม./วัน คิดเป็นร้อยละ 40 อย่างไรก็ตามโรงงานได้นำตะกอนที่รีดแล้วไปใช้ในสวนปาล์ม และสวนยางคิดเป็นร้อยละ 60 มีการนำไปถมที่ร้อยละ 10 และนำกากตะกอนไปตากแห้งและใช้เป็นปุ๋ย คิดเป็นร้อยละ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนที่ผ่านการรีดตะกอนแล้วไม่ได้รับการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพก่อนนำไปกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามแนวทางในการจัดการกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานนั้น พบว่าที่มีการดำเนินการส่วนใหญ่มีการนำไปใช้ประโยชน์ โดยมีแนวคิดเพื่อให้เกิดความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ในแง่ของค่าใช้จ่ายในการจัดการกากตะกอน พบว่า ร้อยละ 50 ของโรงงานระบุว่ามีการใช้จ่ายจากการจัดการกากตะกอนส่วนเกินดังกล่าว แต่ไม่สามารถระบุจำนวนค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน แต่มีเพียงร้อยละ 20 ของโรงงานที่มีค่าใช้จ่ายในการจัดการกากตะกอนประมาณ 5,000-10,000 บาท/เดือน และอีกร้อยละ 10 ของโรงงานมีค่าใช้จ่ายประมาณ 30,000-50,000 บาท/เดือน

สำหรับปัญหาที่เกิดจากกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้น ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ร้อยละ 40 ระบุว่าไม่มีปัญหาที่เกิดจากกากตะกอนส่วนเกิน ยกเว้นปัญหาตะกอนจากบ่อดักเศษยางและปัญหาจากกากจีแป็ง คิดเป็นร้อยละ 30 และ 10 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดจากกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น พบว่ามีโรงงานร้อยละ 40 ระบุว่ายังไม่สามารถนำกากตะกอนดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์ได้ และยังมีโรงงานที่มีปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนสูงและมีปัญหากลิ่นเหม็นจากกากตะกอนคิดเป็นร้อยละ 20 และ 20 ของโรงงานตามลำดับ รวมถึงขาดความรู้ในส่วนของการจัดการและขาดพื้นที่ในการจัดการกากตะกอนอีกด้วย อย่างไรก็ตาม โรงงานมีความคาดหวังในการพัฒนาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้น ซึ่งพบว่า ร้อยละ 60 ต้องการความรู้ในการจัดการกากตะกอน และเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ให้ประโยชน์สูง นอกจากนี้มีโรงงานที่ต้องการนำกากตะกอนส่วนเกินไปใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นและต้องการแหล่งรองรับในการกำจัด คิดเป็นร้อยละ 50 และ 30 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.3) ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามแสดงให้เห็นว่าโรงงานน้ำยางข้นดังกล่าวมีปัญหาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการของใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ซึ่งยังต้องการการพัฒนาทั้งในเรื่องความรู้และความสามารถในการดูแลรับผิดชอบการจัดการกากตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลในภาพรวมของการจัดการและปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ข้อมูลการจัดการและปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละ	
ไม่ประสบปัญหา	40	
ปัญหาหรือมีภาระด้านการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	มีจากบ่อดักเศษยาง	30
	มีจากแอกติเวเต็ดสลัดจ์	30
	มีจากบ่อเติมอากาศ	20
	มีปัญหาจากกากจีแป็งในระบบบำบัดน้ำเสีย	10
ปริมาณ MLSS ในบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (มก./ล.)	เฉลี่ย 2,430	

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลในภาพรวมของการจัดการและปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

ข้อมูลการจัดการและปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย		ร้อยละ
ปริมาณกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่เกิดขึ้น	<10 ลบ.ม./วัน	60
	10-20 ลบ.ม./วัน	10
	>50 ลบ.ม./วัน	10
	ไม่ทราบว่าเป็นเท่าใด	20
สารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอน	polyaluminium chloride	10
	polyarylamide	10
ระบบการจัดการกากตะกอน	ระบบบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์	40
	ระบบแยกขี้จากกากขี้เป้ง	20
	นำตะกอนที่รีดแล้วไปใช้ในสวนปาล์ม	50
วิธีการในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์	รีดตะกอนด้วยเครื่องรีดน้ำสลัดจ์แบบสายพานรีดน้ำ	20
	ใช้กากตะกอนหมักทำปุ๋ย	20
	รีดตะกอนด้วยเครื่องรีดน้ำสลัดจ์แบบอัดกรอง	10
	รีดตะกอนด้วยวิธีอื่นๆ	10
	นำตะกอนที่รีดแล้วไปถมที่	10
	นำตะกอนที่รีดแล้วไปใช้ในสวนยาง	10
	ใช้กากตะกอนหมักทำเป็นวัสดุปลูก	10
	นำกากตะกอนตากแห้ง/อบแห้งเพื่อใช้เป็นปุ๋ย	10
	ไม่มีการดำเนินการใดๆ	10
	ปริมาณของกากตะกอนที่รีดแล้วที่เกิดขึ้น	<1 ลบ.ม./วัน
1-3 ลบ.ม./วัน		20
>3-5 ลบ.ม./วัน		10
>10 ลบ.ม./วัน		10

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลในภาพรวมของการจัดการและปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

ข้อมูลการจัดการและปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย	ร้อยละ	
ค่าใช้จ่ายในด้านการจัดการกากตะกอน	มีค่าใช้จ่าย แต่ระบุไม่ได้	50
ส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ แอกติเวเต็ดสลัดจ์	5,000-10,000บาท/เดือน	20
	>30,000-50,000 บาท/เดือน	10
ลักษณะปัญหาที่เกิดจากกากตะกอน ส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ แอกติเวเต็ดสลัดจ์	ไม่มีปัญหา	40
	มีปัญหาโดยยังไม่สามารถนำกากตะกอนกลับมา ใช้ประโยชน์ได้	40
	มีปัญหาอื่นๆ	20
	มีปัญหาค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนสูง	20
	มีปัญหากลิ่นเหม็นจากกากตะกอน	20
	มีปัญหาความไม่คุ้มค่าในการจัดการ	10
	มีปัญหาค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง	10
	มีปัญหาขาดพื้นที่ในการจัดการกากตะกอน	10
	มีปัญหาขาดความรู้ในส่วนของกากตะกอนและ การจัดการ	10
	ประเด็นความคาดหวังในการ พัฒนาการจัดการกากตะกอนส่วนเกิน ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเว เต็ดสลัดจ์	ความรู้ในการจัดการกากตะกอน
เทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ให้ประโยชน์สูง		60
ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น		50
ต้องการแหล่งรองรับในการกำจัด		30
ไม่ได้คาดหวังอะไร		20

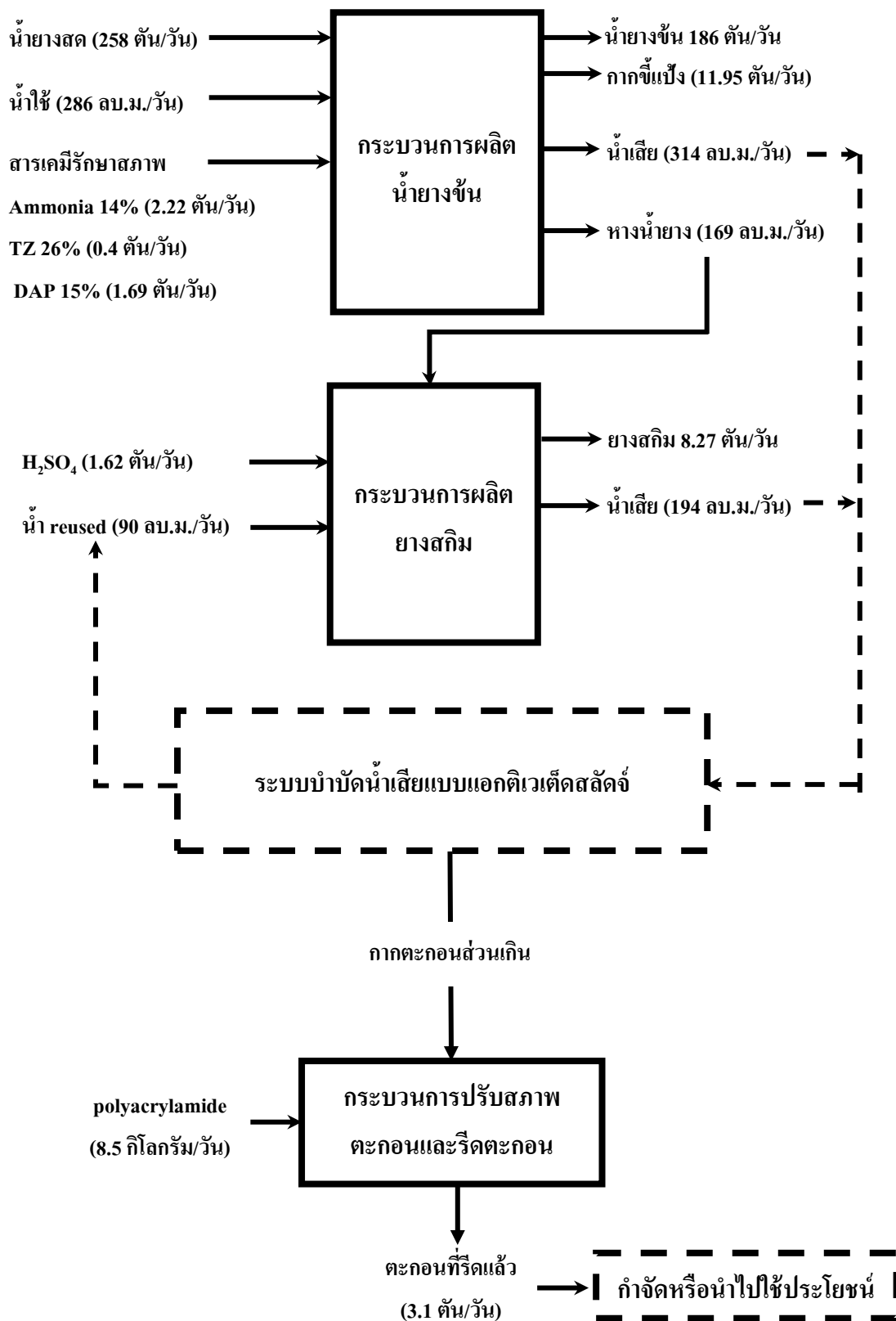
ผลการศึกษาที่ได้ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ เกรียงศักดิ์ อินุพัฒน์ (2554) ที่ได้รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการกักของเสียจากอุตสาหกรรมยางพาราซึ่ง พบว่า ร้อยละ 45 ของโรงงานยางพาราในภาคใต้มีปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อมาจากการจัดการกากของเสีย โดยส่วนใหญ่มีประเด็นปัญหาด้านค่าใช้จ่ายที่สูงจากการขนส่งกากของเสีย รองลงมาเป็นปัญหาความไม่คุ้มค่าในการจัดการกากของเสีย นอกจากนี้ยังมีความต้องการในการพัฒนาบุคลากรด้านกากของเสีย เช่นเดียวกับรายงานผลการศึกษาของ ปออยลดา สิทธิศักดิ์ และคณะ (2555) ซึ่งได้

รายงาน ว่า กลุ่มอุตสาหกรรมยางประสบปัญหาต้นทุนที่ต้องใช้ในการจัดการมลพิษกากของเสียของโรงงานสูงเช่นกัน นอกจากนี้ผลการศึกษาก็ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมของกลุ่มโรงงานยาง ส่วนใหญ่มีการนำไปทำปุ๋ยถึงร้อยละ 75

อนึ่ง ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่า โรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ คาดว่าปัญหาด้านการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จะมีเพิ่มมากขึ้น หากไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม นอกจากนี้จากการบังคับใช้กฎหมายอย่างเข้มงวดในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม โดยเฉพาะประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 และประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2551 ทำให้มีผลกระทบต่อโรงงานน้ำยางชั้นในที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ในเรื่องการจัดการกากตะกอนและต้องมีภาระค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย การจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะของตะกอน เทคนิควิธีการต่างๆ ในการจัดการ การปรับสภาพ การบำบัด การนำไปใช้ประโยชน์ และการกำจัด รวมทั้งการควบคุมผลกระทบของแต่ละขั้นตอนในการจัดการกากตะกอน อย่างไรก็ตามในเบื้องต้นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ เมื่อต้องจัดการกากตะกอนดังกล่าว จำเป็นต้องทราบข้อมูลด้านอัตราการเกิดและลักษณะของกากตะกอน ซึ่งหัวข้อต่อไปจะได้กล่าวถึงผลการศึกษาของอัตราการเกิดและลักษณะของกากตะกอนต่อไป

3.2.4 อัตราการเกิดกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

ข้อมูลจากแบบสอบถามแม้ได้ข้อมูลเบื้องต้นของการเกิดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แต่เมื่อทำการสำรวจข้อมูลเชิงลึกของโรงงานน้ำยางชั้นในที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ แล้วนำผลที่ศึกษามาวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังภาพประกอบที่ 3.3 ซึ่งสังเกตได้ว่าในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นในมีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 1.54 ลบ.ม./ตัน และก่อให้เกิดน้ำเสียรวม 508 ลบ.ม./ตัน (จากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นใน 310 ลบ.ม./ตัน และจากกระบวนการผลิตยางสีกิม 194 ลบ.ม./ตัน) โดยน้ำเสียเหล่านี้ถูกบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ซึ่งก่อให้เกิดกากตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำเฉลี่ย 3.1 ตัน/วัน ทั้งนี้อัตราการใช้น้ำสารปรับสภาพกากตะกอน คือ polyacrylamide จะอยู่ในช่วง 0.36-0.40 กก./ลบ.ม. ของกากตะกอนส่วนเกิน ที่ใช้ในการปรับสภาพ



ภาพประกอบที่ 3.3 แผนผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิม ปริมาณน้ำเสีย ปริมาณกากตะกอน และการบำบัดน้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ศึกษา

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเกิดกากตะกอนในช่วงฤดูเปิดกรีดยางใหม่และฤดูกรีดยางปกติ มีตะกอนเกิดขึ้นประมาณ 1.4-3.6 ตัน/วัน และ 0.54-5.6 ตัน/วันตามลำดับ หรือเฉลี่ยเท่ากับ 2.98 และ 3.23 ตัน/วัน ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเกิดตะกอนในช่วงฤดูเปิดกรีดยางใหม่มีปริมาณการเกิดกากตะกอนน้อยกว่าในช่วงฤดูกรีดยางปกติ เนื่องจากในช่วงกรีดยางปกตินั้น ทางโรงงานมีการผลิตน้ำยางข้นและก่อให้เกิดน้ำเสียมากกว่าในช่วงฤดูเปิดกรีดยางใหม่ โดยปกติแล้วตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะถูกระบายออกจากถังตกตะกอนเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนในถังเดิมอากาศ ซึ่งผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียมักใช้ระยะเวลาเก็บกักตะกอน (sludge retention time: SRT) เป็นตัวควบคุมปริมาณตะกอน โดยให้มีระยะเวลาเก็บกักตะกอนอยู่ที่ 25-30 วัน ดังนั้นอัตราการเกิดกากตะกอนในช่วงฤดูเปิดกรีดยางใหม่และฤดูกรีดยางปกติจึงมีปริมาณการเกิดกากตะกอนแตกต่างกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดตะกอนส่วนเกินโดยเฉลี่ยแล้วสามารถประเมินได้ว่าก่อให้เกิดกากตะกอนแห้ง 356 กก./วัน (คำนวณจากค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 88.5 ของกากตะกอน) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ ดวงกลม กฤตสัมพันธ์ (2555) ซึ่งได้รายงานว่ากากตะกอนแห้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้แห่งหนึ่งมีปริมาณ 244 กก./วัน นอกจากนี้พบว่า กากตะกอนที่เกิดขึ้นหลังผ่านกระบวนการปรับสภาพกากตะกอนและรีดน้ำแล้วนั้น พบว่ามีการใช้สารเคมีในการปรับสภาพกากตะกอน คือ polyacrylamide ในอัตราส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 8.5 kg/day หรือคิดเป็นปริมาณสารของ polyacrylamide ในเนื้อกากตะกอนที่เกิดขึ้นประมาณ 0.28% (น้ำหนักเปียกของตะกอนที่รีดแล้ว)

3.2.5 ลักษณะของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ผลการศึกษาลักษณะกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษาในครั้งนี้ แสดงดังตารางที่ 3.4 พบว่ากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้นที่ผ่านการปรับสภาพและรีดน้ำแล้วมีค่าเฉลี่ยของพีเอชและความหนาแน่น เท่ากับ 6.73 และ 1.03 ตัน/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มีความชื้นค่อนข้างสูงโดยมีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 88.51% เนื่องจากเป็นกากตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียมีลักษณะค่อนข้างเปียกแม้มีการปรับสภาพตะกอนและรีดตะกอนเพื่อเอาน้ำออกก่อนแล้วก็ตาม จึงทำให้กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้นมีปริมาณความชื้นสูง นอกจากนี้ยังพบว่า กากตะกอนส่วนเกินดังกล่าวเป็นกากตะกอนอินทรีย์โดยมีค่า VS และ OM ในปริมาณสูงโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70% และ 47% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากกากตะกอนดังกล่าวเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากถังเดิมอากาศของระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ นอกจากนี้พบว่าตะกอนมีค่าเฉลี่ยของ OC

เท่ากับ 27% น้ำหนักแห้ง ผลการวิเคราะห์ MC และ VS ของกากตะกอนในการศึกษารุ่นนี้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ดวงกมล กฤตสัมพันธ์ (2555) ซึ่งรายงานว่ากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นมีค่า MC และ VS อยู่ในช่วง 74-98% และ 12-82% ตามลำดับ นอกจากนี้กากตะกอนดังกล่าวยังมีปริมาณธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูง โดยเฉพาะปริมาณ TKN ซึ่งมีเฉลี่ยเท่ากับ 8% น้ำหนักแห้ง สำหรับธาตุอาหารในรูปของ P และ K พบว่ากากตะกอนนี้มีค่าเฉลี่ยของ P และ K เท่ากับ 2% และ 1% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่าค่า TKN กว่า 4 และ 8 เท่าตัว ซึ่งผลการศึกษาที่ได้นี้พบว่ามีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ พนาสิวี วิจิตรการ และคณะ (2554) ซึ่งได้ทำการศึกษากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้นจำนวน 5 โรงงาน พบว่า มีค่า OC และ OM ในช่วง 18.5-28.0% และ 31.89-48.2% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณธาตุอาหาร N และ P ในช่วง 1.78-3.76% และ 0.87-4.52% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รวมทั้งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ดวงกมล กฤตสัมพันธ์ (2555) ที่ได้รายงานว่ากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จากโรงงานน้ำยางชั้นมีค่า N ในช่วง 1.0-10.7% น้ำหนักแห้ง อนึ่งมีข้อสังเกตได้ว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้นที่ไม่มีการเติมสารเคมีในการปรับสภาพตะกอนจะมีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่า ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างกากตะกอนที่มีปริมาณสูงจากการศึกษาในครั้งนี้ อาจเกิดจากการปนเปื้อน polyacrylamide ที่เป็นสารเคมีที่มีการใช้เพื่อปรับสภาพกากตะกอน นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วน C/N ของตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.38 แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้นมีอัตราส่วน C/N ต่ำมาก ซึ่งหากจะนำกากตะกอนดังกล่าวไปหมักและใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ควรมีค่า C/N ที่เหมาะสมในช่วง 25-30 (Huang *et al.*, 2004 and Zhu, 2007)

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนมีปริมาณความเข้มข้นของ Zn อยู่ในช่วง 0.22-7.16% น้ำหนักแห้ง หรือค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.01% น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงและเมื่อนำกากตะกอนไปวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิดอื่นๆ พบว่า โลหะหนักในรูปของ Al, As, Cd, Cr, Cu และ Pb มีการปนเปื้อนในกากตะกอนดังกล่าวโดยมีปริมาณการปนเปื้อนในช่วง 152-628, 0.47-0.49, 0.64-0.66, 6.45-6.65, 12.54-18.93 และ 6.78-7.14 มก./กก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รวมทั้งยัง พบว่า มีปริมาณ Mg อยู่ในช่วง 0.42-1.69% น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามพบปริมาณ Hg ในกากตะกอนมีค่าน้อยกว่า 0.01 มก./กก. น้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องมือวิเคราะห์สามารถตรวจวัดได้ แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นมีการปริมาณความเข้มข้นของ Zn, Al และ Mg ในปริมาณสูง ซึ่งโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอนดังกล่าวเนื่องจากในน้ำเสียมีการ

ปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีการใช้งานในระบบการผลิต และโลหะหนักดังกล่าวสามารถถูกดูดซึมไว้ด้วยกากตะกอนชีวมวล (มวลจุลินทรีย์) (Dhokpande, *et al.*, 2014) ทั้งนี้จากการที่ Zn มีปริมาณสูงเนื่องจากการใช้ ZnO ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยผสมในเตตระเมธิลไทยเรมไดซัลไฟด์ (tetramethyl thiuram disulphide: TMTD) ซึ่งเรียกสารละลายนี้ว่า TZ สำหรับใช้ในการเก็บรักษา น้ำยางในกระบวนการผลิต (Danteravanich, *et al.*, 2007, วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) นอกจากนี้ Mg อาจปนเปื้อนมาจากน้ำเซรั่ม และ Al เกิดจากการเติมพอลิเมอร์ (Polyaluminium chloride: PAC) ในขั้นตอนการดึงเนื้อยางออกจากกากจีแป้งของโรงงาน

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้น ที่อาจมีผลจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลกรีดยาง พบว่า ฤดูกาลกรีดยางมีผลต่อลักษณะกากตะกอนทางเคมีเฉพาะค่า TKN, VS และ ash ผลวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตารางที่ 3.4 แต่พบว่า ค่า P, K, OM, OC, Na, Ca และ Zn ในกากตะกอนที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเปิดกรีดและกรีดปกติมีปริมาณไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้เมื่อนำกากตะกอนไปวิเคราะห์หาโลหะหนัก 6 ชนิด คือ AS, Cr, Cu, Cd, Pb และ Hg (ข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.5) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักของไทย ตะกอนน้ำเสียเหล่านี้มีโลหะหนักทั้ง 6 ตัวเป็นไปตามค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตามลักษณะทางเคมีของกากตะกอนที่แสดงดังตารางที่ 3.4 มีข้อสังเกตว่าแม้มีปริมาณธาตุอาหารสูง แต่ก็มี Zn สูงด้วย ดังนั้นควรคำนึงถึงผลกระทบ หากมีการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในการใช้เป็นวัสดุหมักทำปุ๋ย

ตารางที่ 3.4 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

พารามิเตอร์	ตัวอย่างช่วงเปิดกรีด		ตัวอย่างช่วงกรีดปกติ		ตัวอย่างทั้งหมด	
	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD
Density (ton/m ³ , wet basis)	1.15-1.27	1.19±0.17	0.77-1.17	0.97±0.16	0.77-1.27	1.03±0.17
pH	6.25-8.21	6.86±0.57	6.25-7.19	6.71±0.33	6.25-8.21	6.85±0.50
MC (%)	88.9-90.7	89.5±1.0	87.5-89.0	88.2±0.48	87.5-90.7	88.5±0.84
TKN (% dry basis)	1.8-11.1	6.0±4.0 ^a	8.5-11.5	10.3±1.21	1.8-11.5	8.0±3.7
P (% dry basis)	0.87-4.5	2.4±1.3 ^b	1.3-1.9	1.6±0.20	0.87-4.5	2.0±1.0
K (% dry basis)	0.56-2.5	1.2±0.64 ^b	0.70-0.95	0.81±0.09	0.56-2.5	1.0±0.49
VS (% dry basis)	22-86	59±25.5 ^a	71-87	83±6.19	22-87	70±21.9
Ash (% dry basis)	14-78	41±25.5 ^a	13-29	17±6.16	13-78	30±21.9

ตารางที่ 3.4 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น (ต่อ)

พารามิเตอร์	ตัวอย่างช่วงเปิดกรีด		ตัวอย่างช่วงกรีดปกติ		ตัวอย่างทั้งหมด	
	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD
OM (% dry basis)	32-62	47±9.68 ^b	40-63	47±7.29	32-63	47±8.40
OC (% dry basis)	19-36	27±5.62 ^b	23-37	27±4.23	19-37	27±4.87
Na (mg/kg, dry basis)	201-406	316±105 ^b	208-456	344±81	201-456	337±1.34
Ca (mg/kg, dry basis)	1101-1297	1207±99 ^b	911-5848	1890±1822	911-5848	1719±1585
Zn (% dry basis)	0.22-7.16	3.31±1.81 ^b	1.72-3.19	2.70±0.56	0.22-7.16	3.01±1.34

หมายเหตุ: ^a แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ P < 0.05 ของตัวอย่างตะกอนที่เกิดจากการกรีดยางตามฤดูกาล

^b แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P < 0.05 ของตัวอย่างตะกอนที่เกิดจากการกรีดยางตามฤดูกาล

ตารางที่ 3.5 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

พารามิเตอร์	ปริมาณโลหะหนัก
As (mg/kg dry basis)	0.305
Cr (mg/kg dry basis)	7.94
Cu (mg/kg dry basis)	15.74
Cd (mg/kg dry basis)	0.652
Pb (mg/kg dry basis)	6.96
Hg (mg/kg dry basis)	<LD

หมายเหตุ: LD = limit of detection, LD ของ Hg คือ 0.01 mg/kg (dry basis)

3.3 ผลการทำ conditioning ทางเคมีของกากตะกอนต่อความสามารถการเอาน้ำออก (dewatering)

3.3.1 ลักษณะของกากตะกอนที่ใช้ทดลอง

การศึกษาถึงปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอนที่มีผลต่อความสามารถในการแยกน้ำจากตะกอนด้วยการศึกษาโดยใช้ buchner funnel test ทั้งนี้ประเมินจากค่า specific resistance และ capillary suction time (CST) สำหรับการดูความสามารถการแยกน้ำจากกากตะกอน หรือการรีดน้ำออกจากตะกอน ซึ่งกากตะกอนส่วนเกินจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้นที่นำมาศึกษามีค่า pH, MC และ TS เท่ากับ 6.6, 90.45%

และ 9.55% ตามลำดับ และมีค่า SS เท่ากับ 8,150 mg/L โดยแต่ละชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดังกล่าวในการทดลองประกอบด้วย 4 ชุดการทดลอง คือ

- 1) ชุดทดลองที่ใช้ polyacrylamide ในการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอน โดยใช้ปริมาณที่ 0.1, 0.2 และ 0.3 g/1 L sludge ที่ pH 7, 8 และ 9
- 2) ชุดทดลองที่ใช้ alum ในการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอน โดยใช้ที่ ปริมาณ 0.1 และ 0.3 g/1 L sludge ที่ pH 7, 8 และ 9
- 3) ชุดทดลองใช้ alum ผสมกับ polyacrylamide โดยใช้ alum ที่ 0.1 g ผสม polyacrylamide 0.1 และ 0.2 g/1 L sludge ที่ pH 7, 8 และ 9
- 4) ชุดทดลองที่ไม่มีการปรับสภาพทางเคมี แต่ปรับ pH 7, 8 และ 9

ซึ่งผลการศึกษารูปการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอนต่อความสามารถในการรีดตะกอน มีรายละเอียดดังข้อมูลในหัวข้อต่อไป

3.3.2 ผลของปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอนต่อ

ค่า specific resistance

ค่าความต้านทานจำเพาะ (specific resistance) เป็นค่าที่แสดงถึงความยากง่ายในการกรองเพื่อเอาน้ำออกจากตะกอน จึงใช้บ่งชี้ถึงความสามารถในการแยกน้ำได้ของกากตะกอน ซึ่งกากตะกอนที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำสามารถแยกน้ำได้ดีกว่ากากตะกอนที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าความต้านทานจำเพาะของชุดการทดลองที่มีการเติมปริมาณสารเคมีในระดับต่างๆ เพื่อปรับสภาพตะกอนที่ระดับพีเอช 7 8 และ 9 แสดงผลดังตารางที่ 3.6 พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ polyacrylamide ความเข้มข้น 0.1g/1 L sludge ที่พีเอช 9 ในการปรับสภาพกากตะกอน มีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำสุด ซึ่งการใช้ polyacrylamide ในปริมาณที่สูงขึ้น ไม่ได้ทำให้ความสามารถในการแยกน้ำได้ของกากตะกอนสูงขึ้นตามไปด้วย และระดับของพีเอชมีผลต่อความสามารถในการแยกน้ำได้ของกากตะกอนที่ใช้ polyacrylamide ในการปรับสภาพ เช่นเดียวกับการใช้ alum ในการปรับสภาพตะกอน พบว่า การใช้ alum ที่ dose เดียวกันแต่มีการปรับค่าพีเอชของตะกอน ค่าพีเอชจะมีผลต่อความสามารถในการแยกน้ำได้ของกากตะกอน ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การใช้ alum ในการปรับสภาพกากตะกอนที่ให้ผลดีที่สุดคือที่ dose 0.1g/1 L sludge ที่พีเอช 7 อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารเคมีในการปรับสภาพทั้งสองชนิดผสมกัน คือ alum 0.1g ผสมกับ polyacrylamide 0.1 g และ 0.2 g ที่ระดับพีเอช 7 8 และ 9 พบว่า เมื่อใช้ alum 0.1g ผสมกับ polyacrylamide 0.1 g ในการปรับสภาพตะกอน ส่วนใหญ่มีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวในการปรับสภาพตะกอน (ยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้ polyacrylamide ปริมาณ 0.1 g/1 L sludge ที่พีเอช 9) และเมื่อเพิ่มปริมาณ polyacrylamide ให้สูงขึ้น

พบว่า ทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ในภาพรวมก็ยังต่ำกว่าเมื่อใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวในการปรับสภาพกากตะกอน

ตารางที่ 3.6 ค่า specific resistance ของแต่ละชุดการทดลองที่ศึกษาการทำ conditioning กากตะกอน

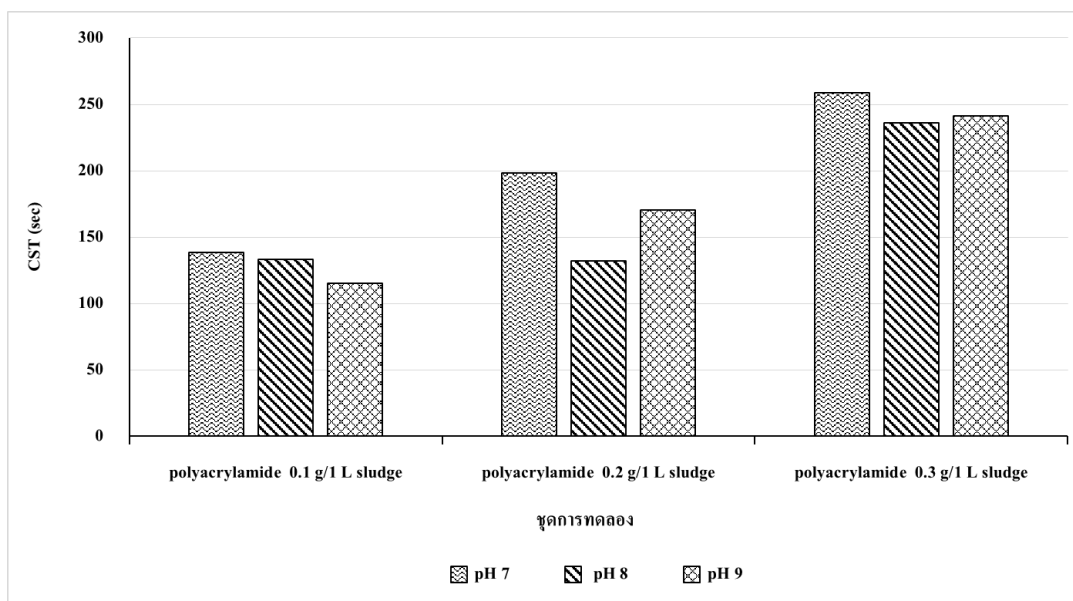
pH	Specific resistance, $r \times 10^5$ (m/kg)							
	polyacrylamide			alum		Alum 0.1 g +	Alum 0.1 g +	ไม่เติม สารเคมี
	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.1 g	0.3 g	polyacrylamide	polyacrylamide	
						0.1 g	0.2 g	
7	2.27	11.79	1.93	6.74	6.97	1.36	2.02	
8	1.90	5.55	13.10	18.57	21.85	1.13	2.05	146.75
9	0.97	5.19	1.96	24.89	28.29	1.74	1.46	106.58

หมายเหตุ: ปริมาณที่ใช้ต่อ 1 L ของกากตะกอน

3.3.3 ผลของปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอนต่อ

ค่า capillary suction time (CST)

ค่า capillary suction time (CST) เป็นค่าที่แสดงถึงความยากง่ายในการแยกน้ำออก โดยค่า CST ต่ำจะแยกน้ำได้ง่าย ซึ่งผลการศึกษาจากการทดลองทำ sludge conditioning ของการศึกษานี้ แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3.4 ถึง 3.6 เมื่อพิจารณาค่า CST ของชุดการทดลองด้วย polyacrylamide ในการปรับสภาพทางเคมีของกากตะกอน พบว่า ชุดที่มีการใช้ polyacrylamide ปริมาณ 0.1 g/1 L sludge ที่พีเอช 9 มีค่า CST ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่า specific resistance ที่ได้ และสังเกตได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ polyacrylamide ให้มากขึ้น ค่า CST ก็สูงขึ้นด้วย (ภาพประกอบที่ 3.4) แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่มีการใช้ polyacrylamide ปริมาณ 0.1 g/1 L sludge ที่พีเอช 9 สามารถแยกน้ำออกจากตะกอน ได้ง่ายกว่าชุดการทดลองอื่นที่มีการเติม polyacrylamide ในการปรับสภาพกากตะกอน อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อมีการเติม polyacrylamide ในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้กากตะกอนมีลักษณะคล้ายเจลเหนียวๆ ทำให้น้ำแยกตัวออกมาได้ยาก

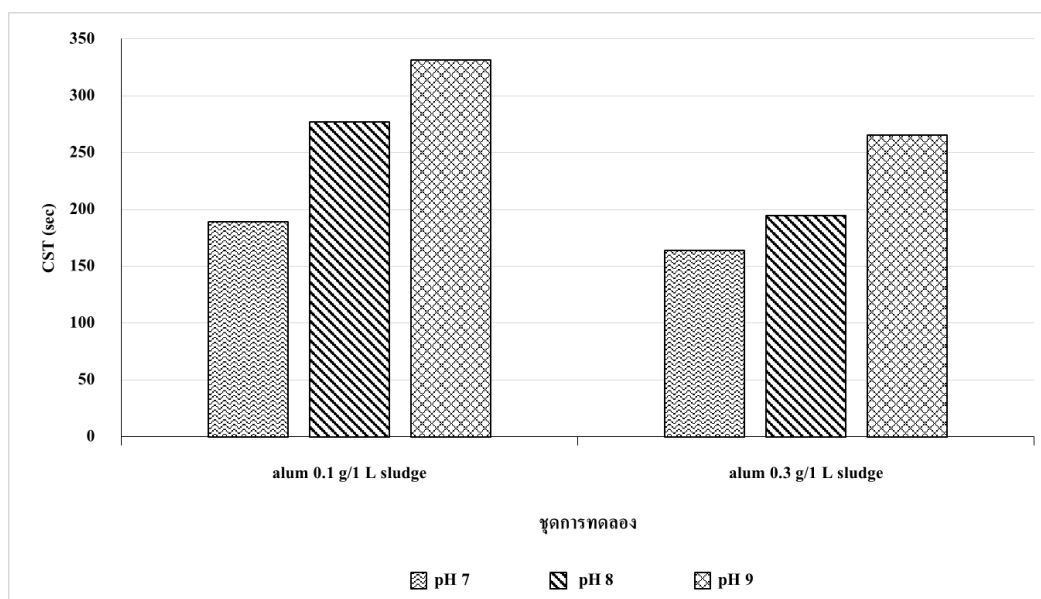


ภาพประกอบที่ 3.4 ผลของค่า CST ในชุดการทดลองที่ใช้ polyacrylamide ในการปรับสภาพตะกอน

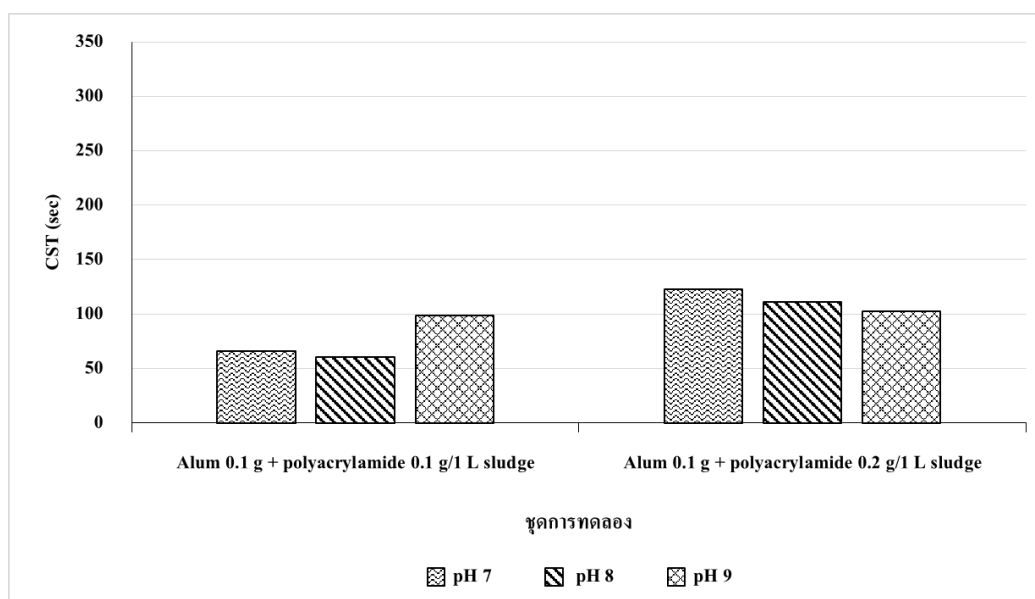
แต่เมื่อทดลองปรับสภาพตะกอนด้วย alum พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ alum ให้สูงขึ้น กลับทำให้ค่า CST ลดลง โดยชุดการทดลองที่ให้ค่า CST ต่ำที่สุดของชุดการทดลองที่มีการใช้ alum ในการปรับสภาพตะกอนคือ ชุดการทดลองที่มีการเติม alum ในปริมาณ 0.3 g/1 L sludge ที่พีเอช 7 (ภาพประกอบที่ 3.5) แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองดังกล่าวสามารถแยกน้ำออกได้ง่ายที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากค่า specific resistance ก็พบว่าไม่ได้เป็นชุดการทดลองที่ให้ผลของค่า specific resistance ต่ำที่สุดในกรณีที่ใช้เพียง alum เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาโดยการนำชุดการทดลองที่ใช้ alum ในการปรับสภาพตะกอนโดยใช้ปริมาณ alum 0.1 g ซึ่งให้ผล CST สูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเติม alum 0.3 g นำมาผสมกับ polyacrylamide ในปริมาณ 0.1 และ 0.2 g พบว่าชุดการทดลองที่ให้ผล CST ต่ำที่สุดคือชุดที่มีการใช้ alum 0.1 g ผสม polyacrylamide 0.1 g/1 L sludge ที่ระดับพีเอช 8 ในการปรับสภาพตะกอนและเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ polyacrylamide กลับทำให้มีค่า CST สูงขึ้นเช่นเดียวกับการปรับสภาพตะกอนด้วย polyacrylamide เพียงอย่างเดียวที่เมื่อมีการใช้ปริมาณ polyacrylamide เพิ่มขึ้นค่า CST ก็มีการเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า การใช้ alum ร่วมกับ polyacrylamide ให้ค่า CST ต่ำกว่าการใช้ polyacrylamide เพียงชนิดเดียว (ภาพประกอบที่ 3.4 ถึง 3.6)

อนึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า CST ร่วมกับค่า specific resistance พบว่า เงื่อนไขการใช้สารเคมีเพื่อการปรับสภาพกากตะกอน พบว่า การใช้สารเคมี alum ที่ 0.1 g/1 L sludge ผสม

polyacrylamide ที่ 0.1 g/1 L sludge โดยปรับ pH ที่ 8 จะให้ค่า CST และ specific resistance ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงว่าการใช้สารเคมีภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวจะทำให้เมื่อทำการรีดตะกอนต่อไปเกิดประสิทธิภาพได้ดีที่สุด ภายใต้การพิจารณาจากเวลาที่ใช่และความต้านทานของตะกอนในการแยกน้ำออก



ภาพประกอบที่ 3.5 ผลของค่า CST ในชุดการทดลองที่ใช้ alum ในการปรับสภาพตะกอน



ภาพประกอบที่ 3.6 ผลของค่า CST ในชุดการทดลองที่ใช้ alum ผสม polyacrylamide ในการปรับสภาพตะกอน

อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากการศึกษาในภาคสนาม ที่พบว่า โรงงานน้ำยางชั้นมีการใช้สารปรับสภาพกากตะกอน คือ polyacrylamide ในช่วง $0.36-0.40 \text{ kg/m}^3$ ของกากตะกอนส่วนเกินที่ใช้ปรับสภาพ ซึ่งค่าที่ใช้ดังกล่าว ($0.36-0.40 \text{ g/L}$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษการทำ conditioning ที่ใช้ในครั้งนี้ พบว่า เป็นค่าสูงกว่าค่าที่ให้ผลดีที่สุดของการศึกษาในช่วง $0.1-0.3 \text{ g/L}$ ที่ศึกษา

นอกจากนี้ได้มีการนำตัวอย่างกากตะกอนที่หลังทำ conditioning ไปหาค่า MC พบว่ามีค่าในช่วง 80.10-89.81% ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ซึ่งค่า MC ที่ได้ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับลักษณะกากตะกอนที่รีดแล้วของทางโรงงาน และผลจากการสังเกตด้วยสายตากับตัวอย่างกากตะกอนแห้งที่ได้จากการทดลองทำ conditioning กับตัวอย่างกากตะกอนที่ได้จากโรงงานที่มีการใช้ polyacrylamide พบว่า ตัวอย่างกากตะกอนแห้งจากโรงงาน มีความแข็งมากกว่ากากตะกอนที่ใช้ทดลอง conditioning ในครั้งนี้ ทั้งนี้ความแข็งที่กล่าวถึงคือ ผลของกากตะกอนแห้งที่อบได้

3.4 ผลการล้าง (elutriation) กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงาน

3.4.1 ลักษณะของตะกอนที่ใช้ทดลอง

จากการศึกษาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นของโรงงานที่ทำการศึกษา พบว่า ทางโรงงานมีการใช้สารเคมี polyacrylamide เป็นสารเคมีในการปรับสภาพตะกอนก่อนการรีดตะกอน ทั้งนี้อัตราการใช้ polyacrylamide มีค่าในช่วง $0.36-0.40 \text{ kg/m}^3$ ของกากตะกอนส่วนเกิน ซึ่งเมื่อใช้ polymer ดังกล่าวแล้วทำการรีดตะกอนจะทำให้ได้กากตะกอนที่รีดน้ำแล้วมีลักษณะทางกายภาพคือ ตะกอนมีลักษณะเป็นก้อนเหนียว มีความคงตัวเป็นก้อนสูงและมีค่าความชื้นสูง ด้วยลักษณะทางกายภาพของตะกอนดังกล่าวหากมีการนำตะกอนที่รีดน้ำแล้วของโรงงานไปบำบัดต่อทางชีวภาพ อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ดังเช่นในการทดลองการหมักปุ๋ยที่จะกล่าวถึงต่อไป ซึ่งการศึกษาล้างตะกอนเพื่อศึกษาถึงความสามารถในการชะออกของอนุภาคกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วย polyacrylamide และรีดน้ำแล้วของโรงงาน พบว่า ลักษณะของกากตะกอนที่นำมาศึกษานั้น มีลักษณะเป็นของแข็งละเอียด สีน้ำตาล มีค่าความชื้นสูงเท่ากับ 90% มีค่าพีเอชเท่ากับ 8.21 มีค่า VS, TKN และ P เท่ากับ 81.44%, 5.91% และ 1.10% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำมาล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่ไม่ปรับพีเอช (มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.53) และที่ปรับพีเอชเท่ากับ 5.29, 7.11 และ 9.10 ซึ่งมีผลดังจะกล่าวถึงต่อไป

3.4.2 ผลของการล้างตะกอน

3.4.2.1 ลักษณะน้ำล้างตะกอน

เมื่อนำตะกอนที่รีดน้ำแล้วจากโรงงานมาเติมน้ำกลั่นและน้ำกลั่นที่ปรับพีเอช 5, 7 และ 9 ใช้น้ำหนักของกากตะกอนในปริมาณ 50 กรัม (น้ำหนักเปียก) ในน้ำที่ใช้ชะตะกอน 100 มิลลิลิตร โดยกวนในช่วงแรกและให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง พบผลการศึกษาดังนี้

1) ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้

เมื่อนำกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพและรีดน้ำแล้วมาล้างเพื่อดูการชะออก สังเกตได้ว่ากากตะกอนเมื่อนำมาผสมกับน้ำที่ใช้ล้างตะกอนทั้งที่มีการปรับและไม่ปรับพีเอช พบว่า ตะกอนจะเกิดการแตกตัวออกมาลักษณะเป็นเม็ดตะกอนขนาดเล็ก ไม่จับตัวเป็นก้อนเหมือน ตะกอนที่ใช้ทดลองตั้งต้น (ภาพประกอบที่ 3.7) ซึ่งกากตะกอนแต่ละชุดการทดลองเมื่อถูกกวนผสม และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีการตกตะกอนอย่างรวดเร็วซึ่งส่วนใหญ่เป็น ตะกอนที่แตกตัวออกมาเป็นอนุภาคเล็ก ไม่ยึดติดเกาะกันเป็นก้อน จึงทำให้ในช่วงแรกมีการ ตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วเห็นการแยกชั้นน้ำและชั้นของตะกอนได้อย่างชัดเจน แต่น้ำส่วนบนยังมีความขุ่นสูง แสดงให้เห็นว่ายังมีอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่ยังสามารถตกตะกอนได้อีก (ภาพประกอบที่ 3.7)

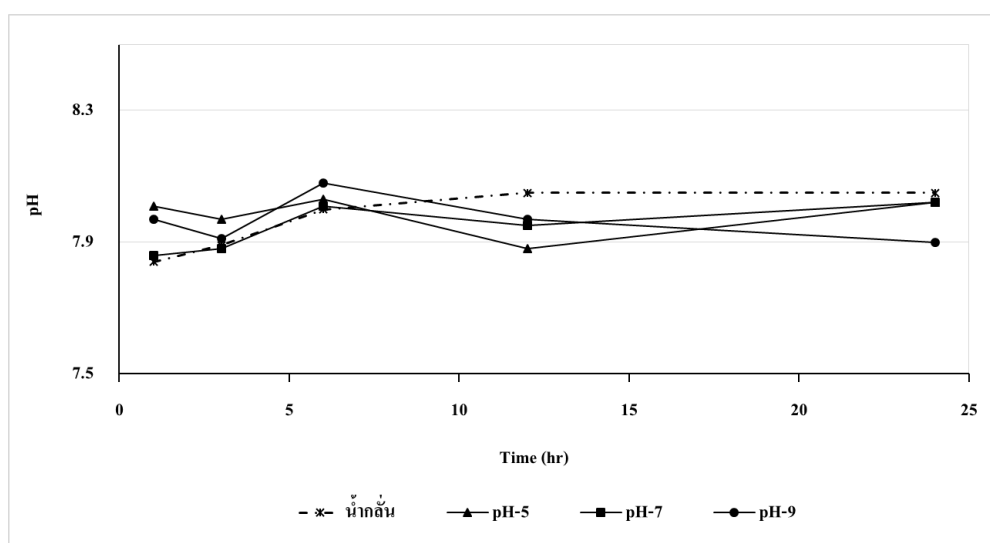


ภาพประกอบที่ 3.7 ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ขณะที่ทำการทดลองการล้างตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีรีดน้ำแล้วของโรงงาน

2) ค่าพีเอช

ด้วยลักษณะของกากตะกอนที่นำมาศึกษามีค่าพีเอช 8.21 เมื่อทำการล้างตะกอนด้วยน้ำล้างที่มีการปรับค่าและไม่ปรับค่าพีเอชดังกล่าวข้างต้น เมื่อกวนผสมน้ำที่ใช้ล้างและ

กากตะกอนจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน พบว่า หลังทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ค่าพีเอชที่วัดได้ของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 7.84-8.01 ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของการล้างด้วยน้ำที่ไม่ได้ปรับค่าพีเอชและที่ปรับค่าพีเอช 5 และ 7 ส่วนน้ำที่ปรับพีเอช 9 พบว่า ให้ค่าพีเอชค่อนข้างคงเดิม (ภาพประกอบที่ 3.8) การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากเมื่อมีการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง กากตะกอนที่ถูกชะล้างดังกล่าวอาจเกิดการเน่าของตะกอนจุลินทรีย์หรืออาจเป็นไปได้ว่าเกิดการชะล้างออกของ โครงสร้างและการย่อยสลายของ polyacrylamide ซึ่งเป็นสารเคมีที่ทางโรงงานเลือกใช้ในการปรับสภาพตะกอนก่อนนำไปรีดน้ำออก ซึ่งจากการย่อยสลาย polyacrylamide ทางชีวภาพได้มีรายงานว่า จะถูกย่อยสลายได้และทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนียไอออน ในน้ำ (Croll *et al.*, 1974; Brown *et al.*, 1982; Shanker *et al.*, 1990; Charoenpanich, 2013) จึงอาจเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชดังกล่าว รวมทั้งมีการละลายออกของมวลสารต่างๆ จากตะกอนที่มีผลทำให้สมดุลของการแตกตัวของ OH^- และ H^+ จึงทำให้พีเอชมีค่าเป็นค่าต่างมากขึ้น

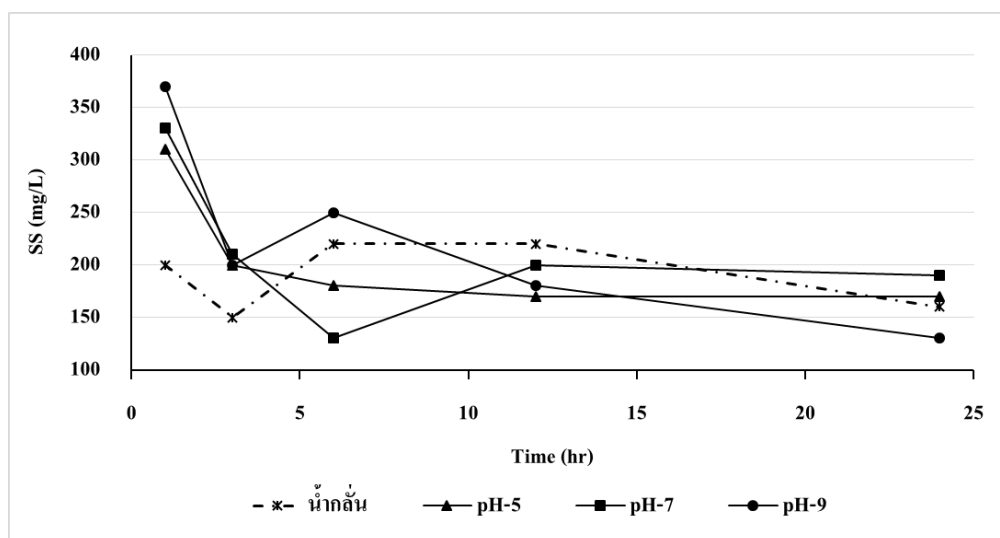


ภาพประกอบที่ 3.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำที่ตกตะกอนแต่ละช่วงเวลา ขณะทำการล้างตะกอน

3) ลักษณะของ SS ในน้ำชะล้างตะกอน

เมื่อทำการชะล้างตะกอน โดยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงหลัง กวนตะกอนแล้ว พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า SS ในน้ำส่วนบน (supernatant) อยู่ในช่วง 200-370

มก./ลิตร และเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ให้มีระยะเวลาในการตกตะกอนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ค่า SS ของทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 130-190 มก./ลิตร (ภาพประกอบที่ 3.9) ซึ่งชุดการทดลองที่ล้างตะกอนด้วยน้ำล้างที่มีการปรับพีเอชเท่ากับ 9 มีลักษณะการตกตะกอนได้ดีที่สุด ส่วนชุดที่มีการตกตะกอนแย่มากที่สุดคือชุดการทดลองที่มีการล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีการปรับพีเอช ทั้งนี้พิจารณาจากค่า SS ที่วิเคราะห์จากน้ำส่วนใส (supernatant) ในช่วงเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง อนึ่งหากพิจารณาในช่วง 1 ชั่วโมง หลังกวนผสมจะพบว่า ค่า SS ในตัวอย่างที่ใช้ น้ำที่พีเอช 9 จะให้ค่า SS สูงสุดรองลงมาคือพีเอช 7, 5 และน้ำที่ไม่ปรับพีเอช ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการปรับค่าพีเอชของน้ำเพื่อใช้ชะล้างตะกอนมีผล โดยน้ำที่ใช้ล้างหากปรับให้มีค่าพีเอชเป็นค่ามากขึ้นเสมือนกับทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคตะกอนที่จับรวมตัวกันออกจากน้ำได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลจากค่า SS ใน supernatant ได้แสดงให้เห็นผลของการกวนล้างตะกอนแล้วตั้งให้ตกตะกอน โดยตะกอนมีการตกได้ดีโดยใช้เวลาในช่วง 12 ชั่วโมงแรกของการกวนล้างกากตะกอน

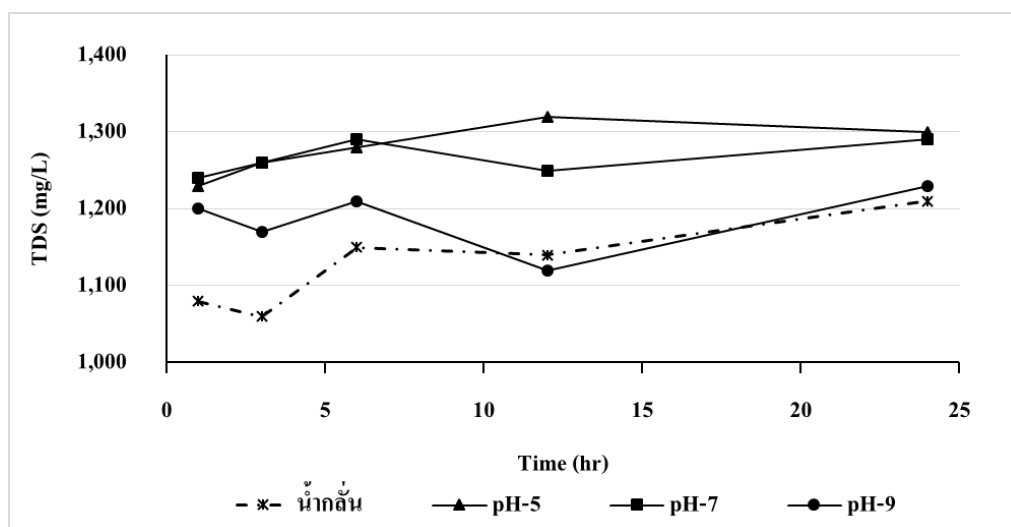


ภาพประกอบที่ 3.9 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า SS ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน

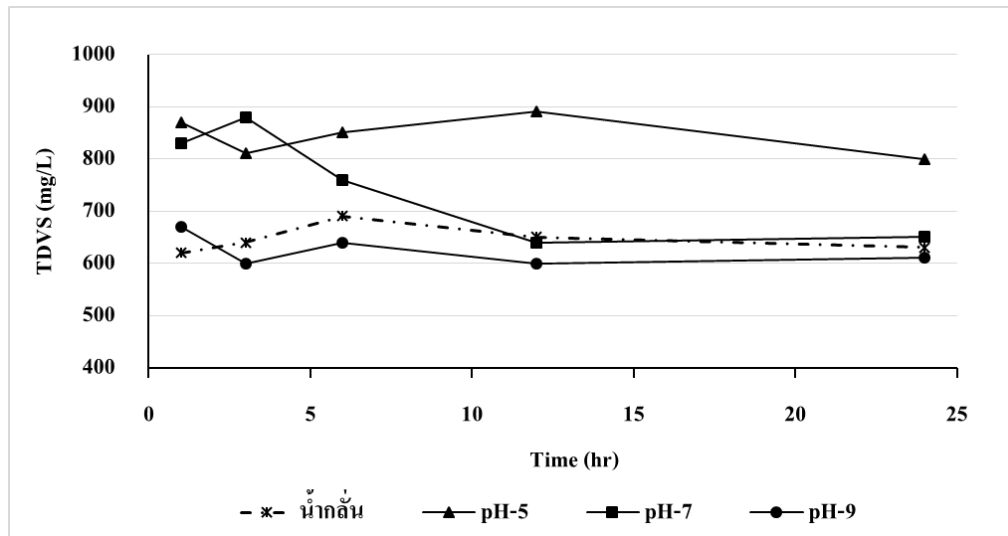
4) ลักษณะของ TDS, TDVS และ SCOD ของน้ำชะล้างตะกอน

เมื่อตะกอนถูกกวนล้างและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วทำการศึกษาค่า TDS, TDVS และ SCOD ของน้ำส่วนบน พบว่ามีค่าดังต่อไปนี้ ในช่วง 1 ชั่วโมงของการตกตะกอน เมื่อตะกอนถูกกวนล้างแล้วพบว่า น้ำที่ใช้ล้างตะกอนมีค่า TDS ในปริมาณสูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1,060-1,320 มก./ลิตร โดยที่ค่า TDS ในตัวอย่างที่ใช้น้ำไม่ปรับพีเอชมีค่าต่ำสุด และน้ำที่ปรับพีเอชมีค่า TDS สูง

กว่าน้ำที่ไม่ปรับพีเอช โดยน้ำที่ปรับพีเอชในช่วง 5-9 ให้ผลใกล้เคียงกัน และเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง พบว่า ในชุดการทดลองที่ใช้ น้ำกลั่นและน้ำที่ปรับพีเอชเป็น 5 มีค่า TDS ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ชุดที่ใช้น้ำปรับพีเอชที่ 7 และ 9 ค่า TDS ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อดูลักษณะของค่า TDVS พบว่า ช่วงการล้างตะกอนและให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมงแรก ตรวจพบค่า TDVS ของทั้ง 4 ชุดการทดลองในช่วง 620-870 มก./ลิตร โดยชุดการทดลองที่ใช้น้ำปรับพีเอช 5 และ 7 ให้ค่า TDVS สูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำที่ไม่ปรับพีเอชและน้ำปรับพีเอชเป็น 9 และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้น้ำไม่ปรับพีเอชให้ค่า TDVS เปลี่ยนแปลงไม่มาก แต่ชุดที่ใช้น้ำปรับพีเอชที่ 5, 7 และ 9 ค่า TDVS มีแนวโน้มลดลง และเมื่อคิดสัดส่วนของค่า TDVS กับ TDS พบว่า TDVS ในน้ำส่วนใส (supernatant) มีค่าประมาณ 50-70% ของค่า TDS แสดงให้เห็นว่าเมื่อตะกอนถูกล้าง ส่วนของของแข็งที่ละลายออกมาได้จะมีส่วนของของแข็งที่ละลายออกมาเป็นกลุ่มของของแข็งละลายอินทรีย์ได้ถึง 50-70% ของของแข็งละลายทั้งหมด ซึ่งผลของค่า TDVS และ TDS แสดงดังภาพประกอบที่ 3.10 ถึง 3.11

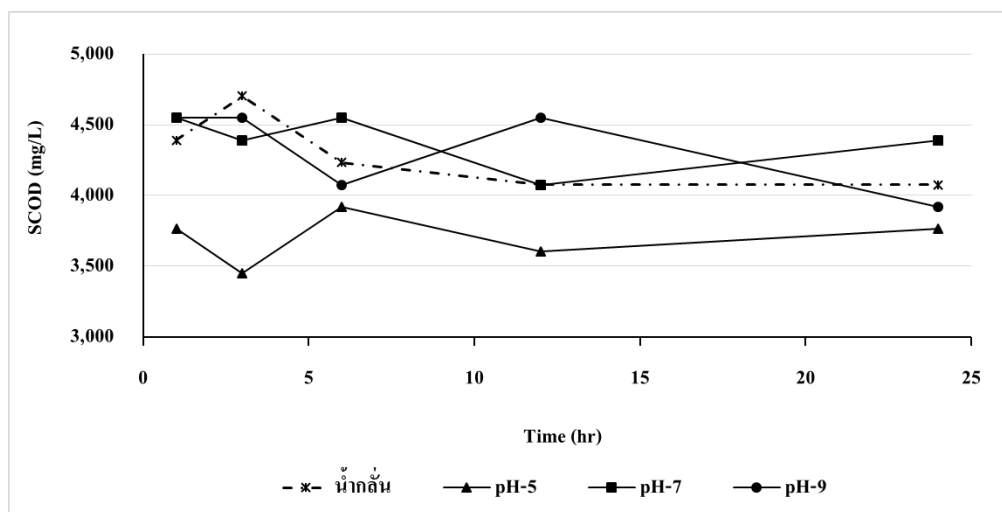


ภาพประกอบที่ 3.10 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TDS ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน



ภาพประกอบที่ 3.11 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TDVS ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน

สำหรับปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำซึ่งวัดได้ในรูปของค่าความเข้มข้น SCOD ของน้ำที่ผ่านการล้างตะกอนของแต่ละชุดการทดลอง พบว่า เมื่อล้างตะกอนและตกตะกอน 1 ชั่วโมงมีปริมาณความเข้มข้นของค่า SCOD อยู่ในช่วง 3,763-4,547 มก./ลิตร ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนค่าความเข้มข้นของ SCOD มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกับค่า TDVS โดยชุดการทดลองที่ใช้น้ำที่ปรับพีเอช 7 และ 9 ให้ค่าการลดลงของ SCOD ได้สูงกว่าในชุดน้ำที่ปรับพีเอช 5 และน้ำที่ไม่ปรับพีเอช (ภาพประกอบที่ 3.12) แสดงให้เห็นว่าในการล้างตะกอนซึ่งการกวนล้างแล้วตกตะกอนนั้น น้ำส่วนใสมีการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นได้จึงทำให้ค่า SCOD และ TDVS มีแนวโน้มลดลงแม้ไม่มากก็ตาม



ภาพประกอบที่ 3.12 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า SCOD ในน้ำส่วนใส (supernatant) ของแต่ละช่วงเวลาขณะทำการล้างตะกอน

จากข้อมูลลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ SCOD, TDVS และ TDS ที่ได้จากการล้างตะกอน สรุปได้ว่าการล้างตะกอนด้วยน้ำที่ไม่ปรับพีเอช และปรับพีเอชมีผลต่อการล้างตะกอนแต่ที่ให้ผลดีที่สุดในช่วง 24 ชั่วโมง คือชุดการทดลองที่ใช้น้ำไม่ปรับพีเอชที่ทำให้ได้ค่า TDS มากสุด และเมื่อสารของแข็งที่ละลายจากตะกอนสู่น้ำที่ใช้ล้างนั้น พบว่า ในขณะที่ล้างตะกอน ค่าอินทรีย์สารในน้ำล้างตะกอนที่ใช้มีแนวโน้มที่คงที่หรือเพิ่มมากขึ้นจากการชะล้างตะกอนออกมา แต่พบว่า น่าจะมีกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นร่วมด้วย จึงให้ค่า SCOD และ TDVS มีค่าลดลง เมื่อเวลาที่ตะกอนอยู่ในสารล้างตะกอนนานขึ้น ซึ่งชุดการทดลองที่ให้ค่า SCOD และ TDVS ลดลงได้มากที่สุดในช่วงล้างตะกอน 24 ชั่วโมง คือชุดที่ใช้ปรับพีเอชเท่ากับ 7 และ 9 ตามลำดับ

5) ค่าความเข้มข้นของ polyacrylamide

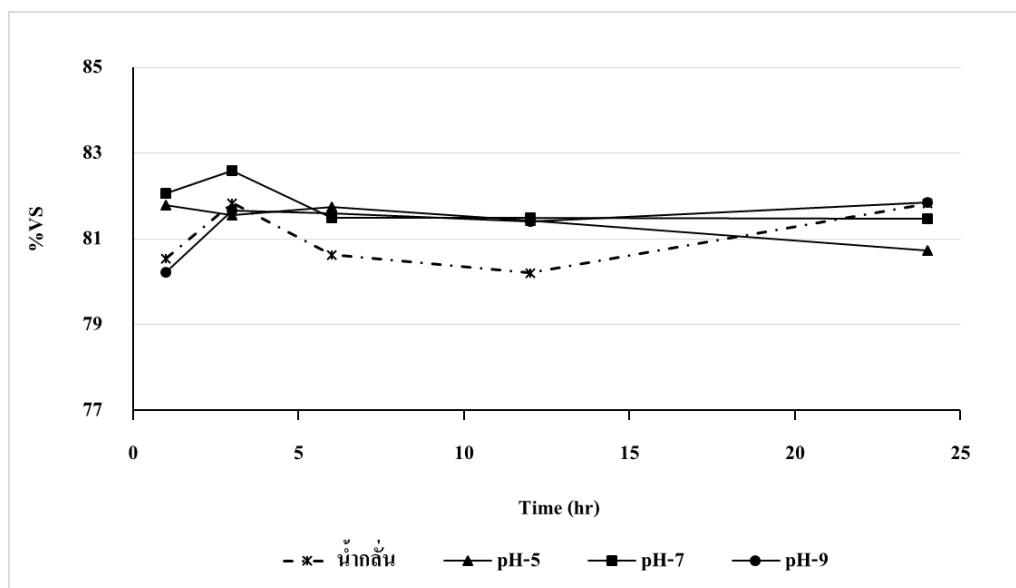
จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ใช้ล้างตะกอนที่ 24 ชั่วโมง ของทุกชุดการทดลอง พบว่ามีค่าความเข้มข้นของ polyacrylamide ที่ต่ำกว่าค่า detection limit คือต่ำกว่าค่า 0.05 mg/L แสดงให้เห็นว่าการล้างตะกอนที่ปรับสภาพด้วย polymer ดังกล่าวของโรงงานจะมีการชะออกของ polymer ดังกล่าวน้อยมาก โดยส่วนใหญ่ยังคงติดอยู่กับอนุภาคตะกอน

3.4.2.2 ลักษณะตะกอนหลังการล้างตะกอน

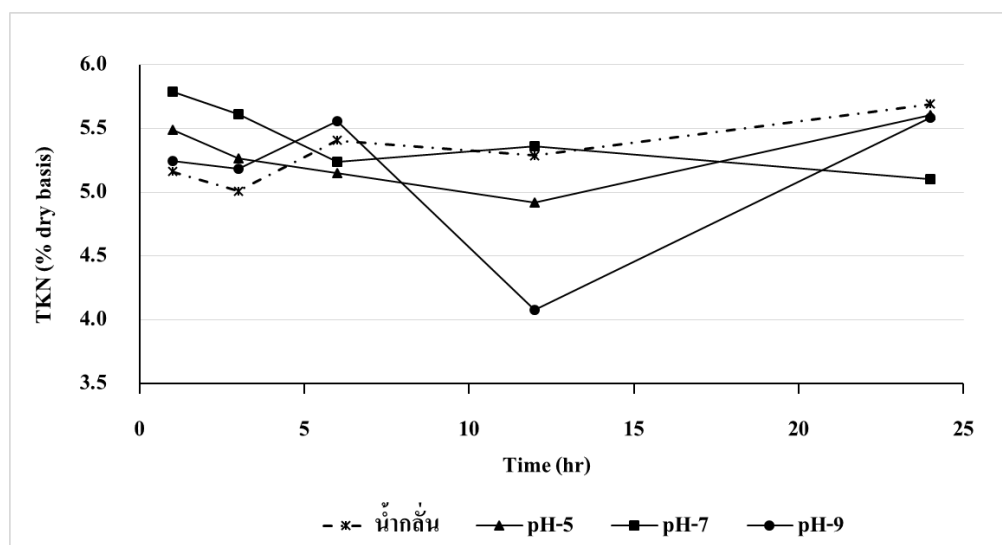
นอกจากนี้ ได้ทำการศึกษาตัวอย่างกากตะกอนหลังจากตะกอนถูกล้างและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่ระยะเวลาต่างๆ โดยศึกษาใน 3 ตัวแปรคือ TKN, P และ VS และศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนที่ได้ พบว่า สภาพการแข็งตัวของกากตะกอนเมื่อนำไปอบแห้งของทุกชุดการ

ทดลอง พบว่า ตะกอนมีสภาพแข็งมาก แต่มีความแข็งน้อยกว่ากากตะกอนที่มีการปรับสภาพและรีดน้ำและไม่ผ่านการล้างตะกอน

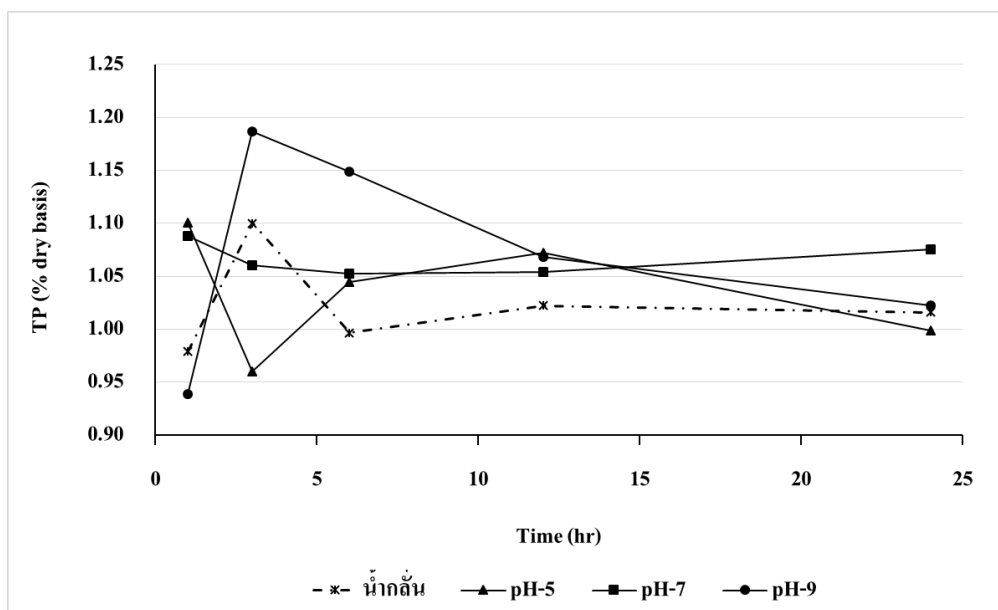
สำหรับค่า VS ของกากตะกอนที่ผ่านการล้างในทุกชุดการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 80.21-81.85% (ภาพประกอบที่ 3.13) ซึ่งตลอดระยะเวลาที่ล้างตะกอนและแช่ตะกอน 24 ชั่วโมง พบว่า ค่า VS ของกากตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักแต่มีปริมาณเฉลี่ยต่ำกว่ากากตะกอนเริ่มต้นก่อนมีการนำมาล้าง (ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 81.44%) เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของค่า TDS ในน้ำล้างตะกอนที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้าซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่ศึกษา เช่นเดียวกับปริมาณธาตุอาหารพืช TKN และ P ในกากตะกอนที่ผ่านการล้างตะกอน พบว่า มีค่า TKN และ P อยู่ในช่วง 4.08-5.79% และ 0.94-1.19% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3.14 ถึง 3.15) ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยของค่า TKN และ P ในตะกอนที่ล้างใน 24 ชั่วโมง ในช่วง 5.13-5.42% และ 1.02-1.07% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่า TKN และ P ของตะกอนที่เริ่มต้นก่อนล้าง พบว่า มีค่า TKN และ P ในตะกอนลดน้อยลงเล็กน้อย การที่มีค่า TKN และ P ในตะกอนที่ล้างแล้วน้อยกว่าค่าตะกอนเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าขณะล้างตะกอนจะทำให้ TKN และ P ในตะกอนชะล้างออกสู่น้ำที่ใช้ล้างตะกอนได้เช่นเดียวกับสารละลายของแข็ง/ของแข็งอินทรีย์ หรือ COD ดังนั้นน้ำล้างตะกอนจึงเป็นของเสียที่ต้องให้ความสำคัญในการบำบัดต่อไปด้วย อนึ่งด้วยการทดลองไม่ได้วิเคราะห์ค่า TKN และ P ในตัวอย่างน้ำชะล้างตะกอน ศึกษาเพียงค่า TKN และ P ในตัวอย่างตะกอนที่ถูกชะล้างตะกอน แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้ กับค่า TKN และ P เริ่มต้นในตะกอนที่ยังไม่ได้ล้างพบว่า มีค่า TKN จากตะกอนถูกชะล้างออกจากตะกอนคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.14, 10.54, 8.26 และ 13.19 และมีค่า P จากตะกอนถูกชะล้างออกคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 7.02, 5.88, 3.09 และ 2.45 ของชุดการทดลองที่ใช้น้ำไม่ปรับพีเอช และน้ำที่ปรับพีเอช 5, 7 และ 9 ตามลำดับ จากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้เบื้องต้นนี้ จะเห็นว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำล้างที่ปรับพีเอช 7 จะให้การละลายออกของ TKN จากตะกอนได้ดีที่สุด และ P พบว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำล้างที่ปรับพีเอช 7 และ 9 จะให้การละลายออกของ P จากตะกอนได้ดีที่สุด



ภาพประกอบที่ 3.13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า VS ของกากตะกอนที่ผ่านการล้างในแต่ละช่วงเวลา



ภาพประกอบที่ 3.14 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TKN ของกากตะกอนที่ผ่านการล้างในแต่ละช่วงเวลา



ภาพประกอบที่ 3.15 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า TP ของกากตะกอนที่ผ่านการล้างในแต่ละช่วงเวลา

3.5 ผลการศึกษาการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนส่วนเกินและน้ำจากการรีดตะกอน: ทดสอบด้วยเทคนิค Biochemical Methane Potential (BMP)

3.5.1 ชุดทดลองและกากตะกอนที่ใช้ทดลอง

การทดลองด้วยเทคนิค biochemical methane potential (BMP) เพื่อศึกษาถึงศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่มีผลจากสารปรับสภาพกากตะกอนที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้น และน้ำจากการรีดตะกอนที่มีการปนเปื้อนด้วยสารปรับสภาพกากตะกอน โดยแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย

- 1) ชุดการทดลอง A1 คือ กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี
- 2) ชุดการทดลอง A2 คือ กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน
- 3) ชุดการทดลอง A3 คือ กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน และนำไปทำการล้างตะกอนด้วยน้ำล้างที่ปรับพีเอช 7 และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) ชุดการทดลอง A4 คือ กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนประมาณ 30 นาที) และมีการเติม polyacrylamide 0.05 g/1 L sludge

5) ชุดการทดลอง A5 คือ กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนประมาณ 30 นาที) และมีการเติม polyacrylamide 0.1 g/1 L sludge

6) ชุดการทดลอง A6 คือ กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนประมาณ 30 นาที) และมีการเติม polyacrylamide 0.2 g/1 L sludge

7) ชุดการทดลอง A7 คือ น้ำจากการรีดตะกอน

ทั้งนี้ทุกชุดการทดลองมีการเติม seed ที่นำมาจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) ของโรงงานน้ำยางชั้นในปริมาณที่เท่ากัน โดยลักษณะกากตะกอนและน้ำรีดตะกอนที่ใช้ทดลองในครั้งนี้มีลักษณะคือ ส่วนที่เป็นกากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีซึ่งนำมาจากถังตกตะกอน พบว่า มีปริมาณ TS และ VS เท่ากับ 18,352 และ 13,617 mg/L ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงานมีปริมาณ TS และ VS เท่ากับ 98,212 และ 81,585 mg/kg น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และน้ำรีดตะกอนมีค่า COD เท่ากับ 1,730 mg/L (มีค่าน้อยกว่าค่าที่คาดหวังที่ปรับใช้เดิมที่ 2,000 mg/L เล็กน้อย) และเมื่อรวม seed แล้วมีค่า COD เท่ากับ 34,439 mg/L ทั้งนี้ในชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนมาหมักจะมีปริมาณ VS รวมที่เท่ากันคือ 20 gVS/L โดยรวม VS จากการเติมหัวเชื้อลงไป ทำให้มีปริมาณเริ่มต้นของค่าความเข้มข้นทั้งหมดในแต่ละชุดทดลองที่ใช้กากตะกอนทดลองมีค่า VS เท่ากัน

3.5.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะกากตะกอนก่อนและหลังจากการหมัก 30 วัน

ด้วยการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองแบบใช้ชุดทดลองต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลขนาดเล็ก ดังนั้นการทดลองจึงไม่สามารถเก็บตัวอย่างกากตะกอนเพื่อวิเคราะห์ระหว่างกลางทางที่ศึกษาได้ แต่ได้มีการเก็บตัวอย่างเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่วันที่ 30 มาวิเคราะห์ลักษณะของกากตะกอนต่างๆ เมื่อทดลองการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า มีปริมาณ VS ลดลงในทุกชุดการทดลองของชุด A1-A6 ดังแสดงในตารางที่ 3.7 โดยชุดที่มีการลดลงของ VS มากที่สุดคือชุด A2 รองลงมาคือชุด A4, A6, A5 และ A3 ตามลำดับ และชุด A7 ซึ่งวัดค่าอินทรีย์สารในรูปของ COD พบว่า มีค่าลดลงเช่นกันคิดเป็น 44% ทั้งนี้ค่า pH เมื่อหมัก 30 วัน พบว่า มีค่าสูงกว่าตอนเริ่มต้นบำบัดเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง pH เป็นกลาง (7.4-7.8) นอกจากนี้กากตะกอนที่เหลือจากการหมักเมื่อนำมาวิเคราะห์ธาตุอาหาร TKN ในกากตะกอนที่หลังเสร็จสิ้นการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า มีค่า TKN อยู่ในช่วง 3.78-7.26% น้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสูงแสดงให้เห็นว่าสามารถนำกากตะกอนหลังการหมักแล้วไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินหรือนำไปหมักทำปุ๋ยเพื่อเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนได้อีกทางหนึ่ง อนึ่งมีข้อสังเกตว่าชุดการทดลองที่มีการเติม polyacrylamide จะมีค่า N อยู่ในกากตะกอนหลังจากการหมัก 30 วันสูงกว่าชุดที่ไม่ได้เติม polyacrylamide

ตารางที่ 3.7 ลักษณะกากตะกอนก่อนและหลังการหมัก 30 วัน

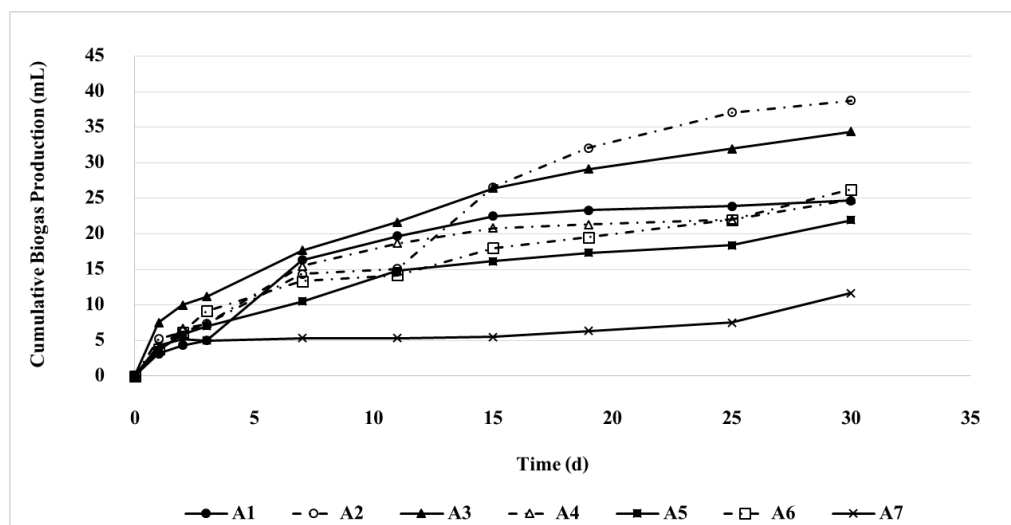
ชุดการทดลอง	COD (mg/L)	VS (g/L)	TKN (% dry basis)	pH
ก่อนการทดลอง				
A1	-	20	-	6.9
A2	-	20	-	7.2
A3	-	20	-	7.1
A4	-	20	-	6.9
A5	-	20	-	7.0
A6	-	20	-	7.2
A7	34,439	20	-	7.2
หลังการหมัก 30 วัน				
A1	30,096	12.44 (37.80%)	3.78	7.5
A2	39,600	5.73 (71.35%)	4.82	7.6
A3	26,928	10.90 (45.50%)	5.37	7.6
A4	39,600	7.44 (62.80%)	6.76	7.4
A5	37,224	9.11 (54.45%)	6.42	7.5
A6	39,600	8.37 (58.15%)	7.26	7.6
A7	19,008 (44%)	-	5.31	7.8

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่า removal

3.5.3 ผลการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งจากการทดลองได้ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (ปริมาณก๊าซชีวภาพที่รายงานในครั้งนี้ได้ทำการหักลบค่าจากชุดควบคุมที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ UASB เพียงอย่างเดียวแล้ว) โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งทุกชุดการทดลอง พบว่า มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น โดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของทุกชุดการทดลองในวันที่ 30 อยู่ในช่วง 11.67-38.72 mL อย่างไรก็ตาม ปริมาณก๊าซชีวภาพของทุกชุดการทดลองที่เกิดขึ้นหลังจากวันที่ 1 ของการทดลอง พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นต่อเนื่องแม้บางชุดการทดลองจะเกิดได้ค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ พบว่า มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นในทุกชุดการทดลองเมื่อทำการทดลองได้

7 วัน เนื่องจากจุลินทรีย์มีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ช้า รวมทั้งมีปริมาณอาหารของจุลินทรีย์ลดลงการผลิตก๊าซชีวภาพจึงเกิดขึ้นได้น้อยในระยะหลัง โดยชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน (ชุดการทดลอง A2) สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้สูงสุด (38.72 mL) รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน แต่นำไปทำการล้างตะกอนด้วยน้ำล้างที่ปรับพีเอช 7 และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ชุดการทดลอง A3) ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้ 34.37 mL สำหรับชุดที่เกิดก๊าซชีวภาพสะสมน้อยที่สุดคือชุดที่ใช้น้ำจากการรีดตะกอน (ในการทดลองของชุดการทดลอง A7) ที่เป็นชุดทดลองที่พบว่า มีลักษณะการเพิ่มขึ้นของก๊าซชีวภาพในช่วงต้น แต่จากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซชีวภาพน้อยมาก เกิดจากปริมาณสารอาหาร (สารอินทรีย์) ในระบบมีปริมาณน้อย (COD เท่ากับ 1,730 mg/L) ทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็ว จึงทำให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพสูงในช่วงแรก และลดลงตามระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อจุลินทรีย์ในระบบเริ่มมีการปรับตัวจึงมีการย่อยสลายเกิดขึ้นอีกครั้ง ทำให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 25-30 (ภาพประกอบที่ 3.16) ซึ่งอัตราส่วนจุลินทรีย์ต่ออาหาร (Inoculum Substrate Ratio: ISR) มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการศึกษาของ จิราพร ศิริวัฒน์ (2554) ที่ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียรวมจากโรงงานผลิตน้ำยางชั้นร่วมกับกากตะกอนจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาการทำ BMP ที่อัตราส่วนจุลินทรีย์ต่ออาหาร (Inoculum Substrate Ratio: ISR) แตกต่างกันพบว่า อัตราส่วน ISR 3.0 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณสารอาหารน้อยทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วและหมดก่อนอัตราส่วน ISR อื่น อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการศึกษาในครั้งนี้ระบบยังไม่เสถียรปฏิกิริยายังไม่สิ้นสุด



ภาพประกอบที่ 3.16 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในแต่ละชุดการทดลอง

ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชุดการทดลอง A2 และ A3 ที่เป็นกากตะกอนจากโรงงานที่มีการปรับสภาพทางเคมีของตะกอน แต่ชุดการทดลอง A3 มีการล้างตะกอน พบว่ากากตะกอนเมื่อผ่านการล้างตะกอนแล้วนำไปหมักจะได้ปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยกว่าชุดที่ไม่ได้ผ่านการล้างตะกอน (ชุดการทดลอง A2) ทั้งนี้การล้างตะกอนแล้วแม้จะทำให้ตะกอนแตกตัวง่าย แต่การล้างตะกอนจะทำให้มวลสารบางส่วนลดลงในเนื้อตะกอน จึงทำให้มวลสารที่เป็นอินทรียสารหรือสารอาหารบางอย่างลดน้อยลงได้ (ดังผลการศึกษาที่พบในขั้นตอนการศึกษาการล้างตะกอน) ดังนั้นแม้ใช้เนื้อมวลตะกอนที่มี VS ที่เท่ากัน แต่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ด้วยปัจจัยลักษณะทางเคมีที่ไม่เท่ากัน/เหมือนกันทั้งหมด จึงทำให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายน้อยกว่าสำหรับชุดที่ไม่ได้มีการล้างตะกอน โดยข้อมูลของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในชุด A2 และ A3 จะมีความสอดคล้องกับค่า VS ที่ลดลง โดย พบว่า ชุด A2 มี % removed ของ VS สูงกว่าชุดทดลอง A3

และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง A1 (ไม่ได้ใช้สารเคมีในการปรับสภาพตะกอน) กับชุดการทดลอง A4, A5 และ A6 ซึ่งมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพตะกอนด้วย polyacrylamide ที่ 0.05, 0.1 และ 0.2 g/1 L sludge พบว่า กากตะกอนที่ไม่ได้ใช้สารเคมีในการปรับสภาพตะกอนจะให้ผลของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในอัตราที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับชุดที่มีการเติมสารเคมีในการปรับสภาพตะกอน ทั้งนี้ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพตะกอนที่ใช้เพียงเล็กน้อย (0.05g/1 L sludge) ก็ให้ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้น้อยกว่าชุดที่ไม่ได้เติมสารเคมีดังกล่าว แต่ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ไม่ได้มีผลผกผันกับปริมาณสารเคมีปรับสภาพตะกอนที่ใช้ โดยพบว่า ชุดการทดลอง A6 ซึ่งใช้สารปรับสภาพตะกอนมากกว่า

ชุดการทดลอง A5 แต่กลับให้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสูงกว่าชุดการทดลอง A5 และชุดการทดลอง A4 ซึ่งใช้ปริมาณสารปรับสภาพตะกอนน้อยสุด แต่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นได้ดีกว่าชุดการทดลอง A5 และ A6 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบของชุดการทดลอง A2 และ A3 ซึ่งเป็นชุดทดลองที่ใช้ตัวอย่างกากตะกอนที่รีดน้ำแล้วจากโรงงานกับชุดการทดลอง A1, A4, A5 และ A6 ซึ่งไม่ได้ผ่านการรีดน้ำ พบว่า กากตะกอนที่รีดน้ำจากโรงงานจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงกว่า ทั้งนี้ เพราะว่าการระบวนการทดลองของชุดการทดลอง A1, A4, A5 และ A6 จะไม่สามารถทำให้ได้ปริมาณเนื้อตะกอนที่เหมือนกับตะกอนที่รีดน้ำจากโรงงาน แม้ว่าการทดลองจะใช้ปริมาณตะกอนที่มีค่า VS ที่เท่ากัน ด้วยขั้นตอนการเตรียมตะกอนใช้เพียงการตกตะกอนเท่านั้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า VS ที่ลดลงของชุดการทดลองที่ A1-A6 พบว่า ส่วนใหญ่ให้ผลสอดคล้องกันบ้างกับการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพคือ ชุด A2 มีค่า removal ของ VS สูงสุดและให้ก๊าซชีวภาพสะสมใน 30 วันสูงสุด

นอกจากนี้ เมื่อทำการคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อค่า VS ที่ลดลงหรือถูกกำจัดไป พบว่า ชุด A1-A6 มีอัตราส่วนดังกล่าวเท่ากับ 0.163, 0.045, 0.063, 0.033, 0.034 และ 0.038 $\text{m}^3 \text{ biogas/kg VS}_{\text{removed}}$ ซึ่งหากพิจารณาจากค่าดังกล่าว พบว่า ชุดการทดลอง A1 มีประสิทธิภาพการให้ก๊าซชีวภาพดีที่สุด และกรณีใช้กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีแล้วนำมาล้างตะกอนออก แล้วใช้หมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า จะมีประสิทธิภาพดีกว่ไม่ได้ล้างตะกอน และสาร polyacrylamide ที่ใช้ พบว่า มีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับได้ VS ที่ถูกกำจัดออก ทั้งนี้ พบว่า ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น มีปริมาณน้อยกว่าการศึกษาของ Kafle *et al.* (2013) ซึ่งได้ศึกษาการทำ BMP โดยใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมปลาหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองโดยการนำเศษปลาผสมกับเศษขนมปัง พบว่า ได้ก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 0.763 $\text{m}^3 \text{ biogas/kg VS}$ นอกจากนี้ ชุด A7 ซึ่งใช้น้ำรีดตะกอน พบว่า ให้ค่าก๊าซชีวภาพเพียง 0.013 $\text{m}^3/\text{kg COD}_{\text{removed}}$ ค่าที่คำนวณได้ พบว่า มีค่าต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เคยมีการรายงานในอดีต ดังเช่น สุเมธ ไชยประพัทธ์ และปิยะรัตน์ บุญแสวง (2556) ได้รายงานว่ เมื่อใช้น้ำเสียในกลุ่มโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า จะมี biogas yield เท่ากับ 0.43 $\text{m}^3/\text{kg COD}_{\text{removed}}$

เมื่อนำตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ คือ CH_4 , N_2 และ CO_2 ได้ผลดังตารางที่ 3.8 จากการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนก๊าซ CH_4 ในก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองหมักที่ 30 วันของชุดที่ใช้กากตะกอน แล้วพบว่า ชุดที่ให้สัดส่วนของ CH_4 สูงสุดคือ ชุด A2 รองลงมาคือชุด A3, A1, A6, A5 และ A4 ตามลำดับ โดยมีร้อยละของ CH_4 คิดเป็น 23.83-40.19%

ของก๊าซชีวภาพที่ได้ ในทำนองเดียวกันพบสัดส่วน CO_2 ของตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่หมัก 30 วัน ในช่วง 22.36-28.54% ของก๊าซชีวภาพ

จากตารางที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าปริมาณ CH_4 ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งปริมาณ CO_2 ก็มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับปริมาณ CH_4 แต่มีปริมาณลดลงในช่วงหลัง เมื่อพิจารณาสัดส่วนองค์ประกอบของปริมาณ CH_4 และ CO_2 ในระบบ พบว่า ในช่วงแรกของการหมักแบบไร้อากาศของทุกชุดการทดลอง (ยกเว้น ชุดการทดลอง A2 และ A3) มีปริมาณ CH_4 น้อยกว่า CO_2 ซึ่งปริมาณก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอินทรีย์จากปฏิกิริยาในขั้นตอนกระบวนการสร้างกรด ซึ่งเกิดขึ้นได้น้อยเนื่องจากในช่วงแรกเป็นช่วงการปรับตัวของจุลินทรีย์ในสภาวะแวดล้อมใหม่จึงทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ช้า ส่งผลให้มีผลผลิตจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปริมาณน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมได้แล้ว จะเห็นว่ามีปริมาณ CH_4 เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการทดลอง ซึ่งระยะเวลาในช่วงหลังของการทดลองจะมีปริมาณ CH_4 และ CO_2 ใกล้เคียงกัน จากการศึกษาในครั้งนี้มีกระบวนการสร้างมีเทนจากกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนเป็นหลัก และมีกระบวนการสร้างมีเทนจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนร่วมด้วย ซึ่งก๊าซมีเทนที่จุลินทรีย์ผลิตได้ประมาณ 2 ใน 3 ส่วน ได้มาจากกระบวนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน (acetotrophic Methanogens) ส่วนที่เหลือเป็นผลมาจากกระบวนการรีดักชันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยไฮโดรเจน (Mackie and Bryant, 1981) ซึ่ง CO_2 ที่เกิดขึ้นบางส่วนจึงถูกใช้ไปในกระบวนการสร้างมีเทนดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ในชุดการทดลอง A2 และ A3 มีสัดส่วนของปริมาณ CH_4 และ CO_2 ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากชุดการทดลอง A2 และ A3 ซึ่งใช้กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงานระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดลองอาจเกิดกระบวนการหมักแบบไร้อากาศขึ้น จึงทำให้เมื่อนำมาทำการศึกษามีสัดส่วนของปริมาณ CH_4 และ CO_2 ใกล้เคียงกันตั้งแต่วินาทีแรก นอกจากนี้เมื่อทำการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ปริมาณ CH_4 และ CO_2 ในระบบของทุกชุดการทดลองมีปริมาณลดลง เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลงจากกระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้น สำหรับปริมาณ N_2 ในทุกชุดการทดลองมีปริมาณสูง เนื่องจากมีการใช้ N_2 ไล่อากาศในขวดเซรัม ซึ่งตลอดระยะเวลาในการทดลอง N_2 มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อมีการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น N_2 ก็หลุดออกไปด้วยเช่นกันจึงทำให้มีปริมาณ N_2 ลดลง

ตารางที่ 3.8 สัดส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง

องค์ประกอบก๊าซ	Day1	Day2	Day7	Day11	Day15	Day19	Day30
ชุดการทดลอง A1							
Biogas (mL)	10.67	2.67	12.83	4.33	6.83	2.83	6.07
N ₂ (%)	75.1	70.79	56.87	52.26	44.59	41.12	39.83
CH ₄ (%)	5.87	7.75	17.81	20.45	24.49	25.72	28.57
CO ₂ (%)	13.6	17.92	24.26	26.73	29.87	32.17	28.54
อื่นๆ	5.43	3.54	1.06	0.56	1.05	0.99	3.06
ชุดการทดลอง A2							
Biogas (mL)	12.75	2.50	8.50	1.75	15.50	7.50	6.93
N ₂ (%)	71.81	68.99	56.93	50.62	41.49	36.92	32.93
CH ₄ (%)	13.16	12.36	20.7	28.03	35.64	36.69	40.19
CO ₂ (%)	14.28	13.26	18.38	21.21	22.15	25.16	24.57
อื่นๆ	0.75	5.39	3.99	0.14	0.72	1.23	2.31
ชุดการทดลอง A3							
Biogas (mL)	15.00	4.00	8.00	5.00	8.77	4.67	7.67
N ₂ (%)	69.36	65.66	56.52	50.13	42.61	38.24	35.28
CH ₄ (%)	12.4	14.55	19.74	28.09	34.25	36.15	35.83
CO ₂ (%)	12.37	15.21	15.79	20.63	22.14	24.19	22.36
อื่นๆ	5.87	4.58	7.95	1.15	1.00	1.42	6.53
ชุดการทดลอง A4							
Biogas (mL)	11.33	4.33	9.67	4.17	6.17	2.50	8.13
N ₂ (%)	76.71	67.77	60.51	53.09	46.56	44.13	42.61
CH ₄ (%)	6.05	7.61	12.7	18.11	23.65	23.77	23.83
CO ₂ (%)	16.58	17.41	20.33	26.52	29.59	30.16	26.27
อื่นๆ	0.66	7.21	6.46	2.28	0.20	1.94	7.29

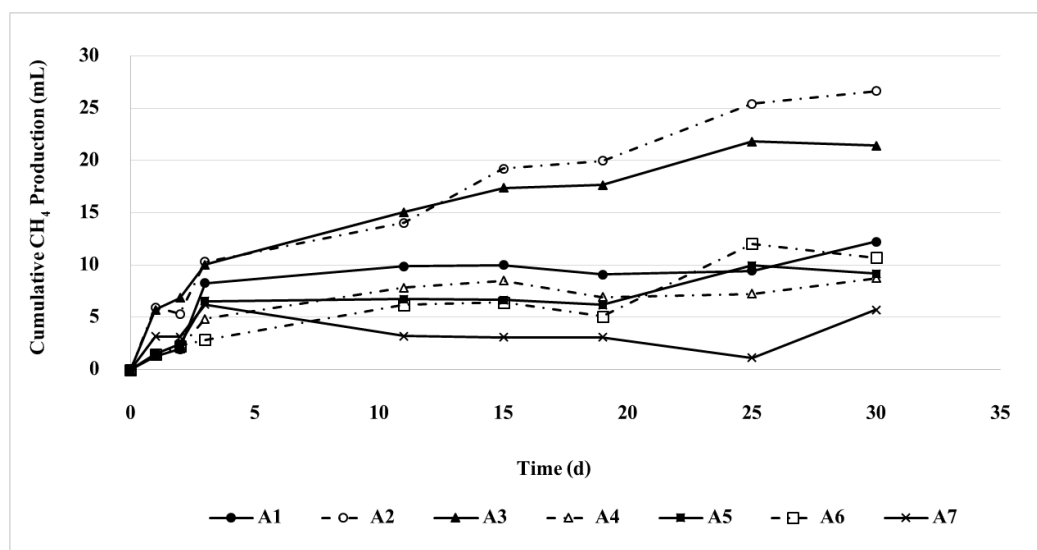
ตารางที่ 3.8 สัดส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง (ต่อ)

องค์ประกอบก๊าซ	Day1	Day2	Day7	Day11	Day15	Day19	Day30
ชุดการทดลอง A5							
Biogas (mL)	11.17	3.67	5.00	5.33	5.33	3.17	8.80
N ₂ (%)	73.85	70.98	59.8	57.29	48.16	45.98	42.33
CH ₄ (%)	6.15	8.42	16.63	16.51	21.11	23.09	24.46
CO ₂ (%)	15.62	17.37	23.31	24.64	27.83	29.77	25.15
อื่นๆ	4.38	3.23	0.26	1.56	2.90	1.16	8.06
ชุดการทดลอง A6							
Biogas (mL)	11.33	3.83	5.67	1.83	7.83	3.50	9.53
N ₂ (%)	74.9	71.07	69.53	58.5	51.14	48.37	45.46
CH ₄ (%)	6.08	8.07	9.91	16.81	21.12	21.42	26.2
CO ₂ (%)	15.43	17.16	15.29	24.07	27.04	28.57	25.91
อื่นๆ	3.59	3.70	5.27	0.62	0.70	1.64	2.43
ชุดการทดลอง A7							
Biogas (mL)	11.83	2.33	1.83	1.00	4.17	2.83	9.40
N ₂ (%)	72.57	68.86	57.11	68.49	62.52	57.97	52.68
CH ₄ (%)	8.79	9.29	16.45	11.4	16.58	19.75	21.66
CO ₂ (%)	12.31	13.83	24.56	17.25	16.83	20.51	17.88
อื่นๆ	6.33	8.02	1.88	2.86	4.07	1.77	7.78

3.5.4 การผลิตก๊าซมีเทน

แม้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนส่วนเกินจากโรงงานน้ำยางชั้นที่มีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพและรีดตะกอนทั้งที่ล้างและไม่ล้างตะกอน และกากตะกอนที่ไม่ได้ใช้สารเคมีในการปรับสภาพตะกอน จะมีผลต่อความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน และแม้ว่ารีดตะกอนก็ยังสามารถหมักให้ก๊าซชีวภาพได้ แม้จะมีปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาถึงปริมาณก๊าซมีเทนประกอบด้วย

ภาพประกอบที่ 3.17 ได้แสดงถึงปริมาณ CH_4 ที่เกิดขึ้นในขณะหมัก เมื่อพิจารณาถึงปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสะสม พบว่า ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มของปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเพิ่มขึ้น ยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้น้ำจากการรีดตะกอน (ชุดการทดลอง A7) มีแนวโน้มที่ลดลงในบางช่วงเวลา ซึ่งทุกชุดการทดลองมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมอยู่ในช่วง 5.70-26.67 mL ชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน (ชุดการทดลอง A2) พบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงที่สุดเช่นเดียวกับที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงที่สุด ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 26.67 mL (ภาพประกอบที่ 3.17)



ภาพประกอบที่ 3.17 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมในแต่ละชุดการทดลอง

นอกจากนี้เมื่อทำการคำนวณหาค่า methane yield ที่ได้ โดยคำนวณเปรียบเทียบจากค่า VS ที่ถูกกำจัด พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนในการหมัก ชุด A1-A6 มีค่า methane yield ดังต่อไปนี้ตามลำดับคือ 0.081, 0.031, 0.039, 0.017, 0.014 และ 0.015 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$ และ A7 มีค่า methane yield เท่ากับ 0.0062 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg COD}_{\text{removed}}$ (ตารางที่ 3.9) ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ สุเมธ ไชยประพัทธ์ และปิยะรัตน์ บุญแสวง (2556) ได้รายงานว่าจะมี methane yield เท่ากับ 0.27 $\text{m}^3/\text{kg COD}_{\text{removed}}$ เมื่อใช้น้ำเสียในกลุ่มโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ และการศึกษาของ ธนียา เกาศล (2556) ที่ได้ทำการเดินระบบศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนจากกากตะกอนดีแคนเตอร์ร่วมกับน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดของโรงงาน ซึ่งศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นกับระบบหมัก พบว่า กากตะกอนดีแคนเตอร์ 5 g มีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนดีที่สุดในรองลงมาจากกากตะกอนดีแคนเตอร์ 1 g โดยมีศักยภาพการเกิด

ก๊าซมีเทน คือ $0.088 \text{ m}^3/\text{kg COD}_{\text{removed}}$ และ $0.056 \text{ m}^3/\text{kg COD}_{\text{removed}}$ ตามลำดับ และการศึกษาของ Gaur and Suthar (2017) ได้รายงานว่ เมื่อนำ cow dung (CD), acclimatized anaerobic granular sludge (AAGS) และ waste activated sludge (WAS) ร่วมกับเศษอาหาร (FW) ที่อัตราส่วน CD: AAGS: WAS: FW เท่ากับ 1:1:1:1 สามารถเกิดก๊าซมีเทนได้สูงสุด $0.109 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$

ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าชุดการทดลองที่ทำการศึกษาด้วยกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน (A2) มีความสามารถทั้งในการผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด แต่สามารถผลิต methane yield และ biogas yield เมื่อเทียบกับค่า VS ที่ถูกกำจัดได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพตะกอน/รีดตะกอน (A1) โดยที่ชุด A1 ซึ่งใช้กากตะกอนส่วนเกินที่ไม่เติมสารเคมีในการปรับสภาพทางเคมีกลับให้ค่า methane yield และ biogas yield มากที่สุด เมื่อคิดจากค่า VS ที่ถูกกำจัด นอกจากนี้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้กากตะกอนที่ถูกทำการปรับสภาพทางเคมีแล้วมาล้างตะกอนเมื่อหมักให้เกิดก๊าซชีวภาพ กลับพบว่า มี methane yield และ biogas yield ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ล้าง นอกจากนี้ พบว่า สารปรับสภาพตะกอน (polyacrylamide) มีผลต่อ methane yield และ biogas yield เมื่อคิดภายใต้ VS ที่ถูกกำจัด

ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบศักยภาพในการเกิดก๊าซมีเทน

ชุดการทดลอง	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม	methane yield
A1	12.24 mL	$0.081 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$
A2	26.67 mL	$0.031 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$
A3	21.45 mL	$0.039 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$
A4	8.75 mL	$0.017 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$
A5	9.18 mL	$0.014 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$
A6	10.71 mL	$0.015 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removed}}$
A7	5.70 mL	$0.0062 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg COD}_{\text{removed}}$
จากงานวิจัยอื่น		
สุเมธ ไชยประพัทธ์ และปิยะรัตน์ บุญแสวง (2556)		$0.27 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg COD}_{\text{removed}}$
ธนียา เกาศล (2556)		$0.088 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg COD}_{\text{removed}}$

ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบศักยภาพในการเกิดก๊าซมีเทน (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ปริมาณก๊าซ มีเทนสะสม	methane yield
จิราพร ศิริวัฒน์ (2554)		0.192 m ³ /kg VS _{added}
Gaur and Suthar (2017)		0.109 m ³ CH ₄ /kg VS _{removed}
Kafle <i>et al.</i> (2013)		0.482 m ³ /kg VS

3.6 การบำบัดกากตะกอนส่วนเกินด้วยวิธีการหมักทำปุ๋ยและการทดสอบวัสดุหมักปุ๋ยที่ได้

3.6.1 ผลการหมักปุ๋ย

การนำกากตะกอนจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มาหมักทำปุ๋ยโดยมุ่งเน้นใช้กากตะกอนเป็นวัสดุหมักหลักในการทำการทดลองหมักทำปุ๋ย (ลดการเติมวัสดุอื่นๆ ในการปรับค่า C/N ตามเกณฑ์ข้อแนะนำทางทฤษฎีของการหมักปุ๋ย แต่มุ่งเน้นการคงอยู่ของสารอาหารพืชปุ๋ยหมักที่ได้ โดยการปรับค่า K ในวัสดุหมักที่ใช้ก่อนการหมัก) เพื่อศึกษาถึงศักยภาพของการหมักปุ๋ยดังกล่าว มีผลการศึกษาดังรายละเอียดคือ

3.6.1.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุหมัก

ก่อนการหมักปุ๋ยได้ทำการศึกษาลักษณะกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชันที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดน้ำแล้ว โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนดังกล่าวเพื่อนำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีรวมทั้งได้มีการนำวัสดุที่ใช้ปรับค่า K คือ ชี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควันและขุยมะพร้าวมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.10 จากการศึกษา พบว่ากากตะกอนมีลักษณะเป็นของแข็งละเอียด สีน้ำตาล และมีกลิ่นเหม็น (ภาพประกอบที่ 3.18) มีค่า pH ค่อนข้างเป็นกลาง โดยมีความหนาแน่น 0.96 กก./ลบ.ม. และมีปริมาณความชื้นสูงถึง 88.47% ประกอบไปด้วยธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูง โดยประกอบไปด้วยธาตุ N, P และ K เฉลี่ย 8.55%, 1.78% และ 0.83% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชันยังมีปริมาณ OC และ OM โดยเฉลี่ยที่ 29.39% และ 50.66% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มีค่า TS, VS และ Ash มีค่าเท่ากับ 11.53% (น้ำหนักแห้ง), 71.70% และ 28.30% ของของแข็งทั้งหมด ตามลำดับ แต่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก เท่ากับ 3.43 เนื่องจากมีการใช้ polyacrylamide เพื่อปรับสภาพกากตะกอนจึงทำให้มี N ในตัวอย่างกากตะกอนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชันมีปริมาณธาตุอาหารสูงโดยเฉพาะ N และ P แต่มีค่า K

ต่ำสุด และมีค่า C/N ต่ำรวมทั้งมีค่า Zn ปนเปื้อนในปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งลักษณะกากตะกอนดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ดวงกมล กฤตสัมพันธ์ (2555) และพนาลี ชีวีกิตาการ และคณะ (2554) ที่ศึกษาลักษณะกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นและรายงานว่ามีค่า N และ Zn ในช่วง 5.19-10.7% และ 0.33-3.94 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแม้ว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีปริมาณธาตุอาหารสูงและมี C/N ต่ำ แต่หากนำไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงนั้นยังไม่เหมาะสมเนื่องจากหากไม่มีการทำให้กากตะกอนส่วนเกินดังกล่าวเสถียรจะทำให้เกิดการเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็นรบกวนได้ รวมทั้งหากมีการนำกากตะกอนส่วนเกินไปใช้โดยตรงทำให้สารอาหาร N, P และ K ยังคงอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่ยังไม่ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นสารอนินทรีย์ เช่น ไนเตรต หรือฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งประริญา ราไพ (2546) ได้รายงานว่าสารอาหารพืชที่ยังไม่ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นสารอนินทรีย์จะทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารจากการระเหยของน้ำได้

และสำหรับตัวอย่างขี้เถ้าและขุยมะพร้าว ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามี N และ P มีค่าต่ำกว่ากากตะกอน แต่มีค่า K สูงถึง 3.67% และ 1.64% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษา ลักษณะของขี้เถ้าและขุยมะพร้าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน (2540) อ้างถึงใน สมศักดิ์ จิรัตน์ (มปป.) ที่รายงานว่าขุยมะพร้าวมีค่า K ในรูป K_2O อยู่ถึง 2.94% และขี้เถ้ามีค่า K 11.43% น้ำหนักแห้ง (เจิดจรรย ศิริวงศ์ และคณะ, 2555)

อนึ่งเมื่อได้มีการผสมวัสดุหมักปุ๋ยกับวัสดุปรุงแต่งผสม (ขี้เถ้าและขุยมะพร้าว) เพื่อปรับค่า K ให้มากกว่า 1% เพื่อใช้ทดลองเปรียบเทียบกับการหมักกากตะกอนเพียงอย่างเดียว ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่มีการให้อากาศ/ไม่ให้อากาศและมีการใช้ seed ผลข้อมูลลักษณะของวัสดุหมักปุ๋ยของชุดการทดลองทั้ง 4 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.11 ซึ่งผลการศึกษา พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลอง วัสดุที่ใช้หมักมีค่า C/N อยู่ในช่วง 3.2-5.9 ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับเกณฑ์ทฤษฎี การหมักปุ๋ยที่กำหนดค่า C/N อยู่ในช่วง 25-30 (Huang *et al.*, 2004 and Zhu, 2007) แต่ค่า N, P และ K มีค่าอยู่ในช่วง 4.36-9.25, 1.70-2.37 และ 0.71-1.87% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่าความชื้นมีค่าสูงอยู่ในช่วง 82.99-88.85% จากผลลักษณะของวัสดุหมักที่ใช้แสดงให้เห็นว่าวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ศึกษาในการทดลองนั้น เป็นการหมักปุ๋ยภายใต้การใช้วัสดุหมักที่มีค่า C/N ต่ำ และมีความชื้นสูง

ตารางที่ 3.10 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ยของการทดลองครั้งนี้

พารามิเตอร์	กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำ		
	เสียบแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	ขุยมะพร้าว	ขี้เถ้า
pH	7.11	7.4	10.3
MC (%)	88.47	60.59	4.02
OM (% dry weight)	50.66	99.42	6.19
OC (% dry weight)	29.39	57.66	3.59
VS (% dry weight)	71.70	94.55	17.15
N (% dry weight)	8.55	0.59	0.03
P (% dry weight)	1.78	0.53	0.13
K (% dry weight)	0.83	1.64	3.67
Zn (% dry weight)	1.77	-	-



ภาพประกอบที่ 3.18 ลักษณะกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียบแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ผ่านการปรับสภาพและรีดน้ำแล้ว

ตารางที่ 3.11 ลักษณะวัสดุหมักของทั้ง 4 ชุดการทดลองของการหมักปุ๋ย

ชุดการทดลอง	pH	C/N ratio	MC (%)	ปริมาณธาตุอาหาร (% dry basis)		
				N	P	K
กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่าง เดียว, ไม่เติมอากาศ	7.21	3.7:1	88.09	8.13	2.14	0.73
กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่าง เดียว, เติมอากาศ	7.06	3.2:1	88.85	9.25	2.37	0.71
กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุย มะพร้าว: 12:1:2 และไม่มีการเติม seed, เติมอากาศ	8.23	5.9:1	84.22	4.81	1.92	1.87
กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุย มะพร้าว: 12:1:2 และมีการเติม seed, เติมอากาศ	8.21	5.7:1	82.99	4.36	1.70	1.42

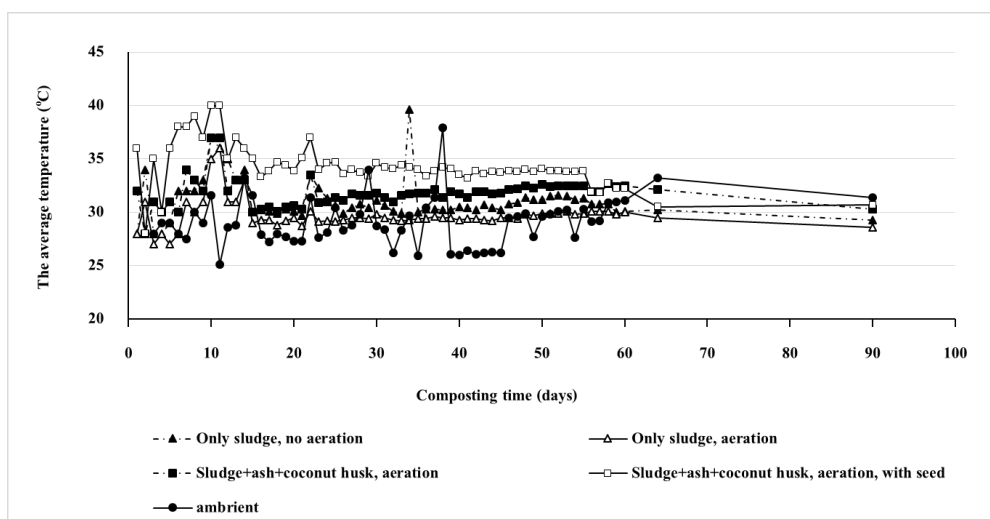
3.6.1.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในขณะหมักปุ๋ยโดยใช้กากตะกอน

ผลการศึกษากการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ด สลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยใช้เทคโนโลยีการหมักในช่องแบบเติมและไม่เติมอากาศ ซึ่งมีชุดการทดลองทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง ใช้ระยะเวลาการหมัก 90 วัน ผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงของกองปุ๋ยด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของกองปุ๋ยหมักแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

จากภาพประกอบที่ 3.19 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยได้ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกึ่งกลางความลึกของกองปุ๋ยหมัก พบว่า ค่าอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 28-36 องศาเซลเซียส ซึ่งระดับอุณหภูมิในช่วง 10 วันแรกของการหมักปุ๋ยมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกัน โดยทุกชุดการทดลองมีค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส แต่ยังไม่เข้าสู่ในช่วง thermophilic phase หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง และอุณหภูมิเริ่มคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง 90 วัน อย่างไรก็ตามทุกชุดการทดลองมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศ (ambient) ประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้ชุดการทดลองหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวและมีการเติม seed มีค่าอุณหภูมิในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอีก 3 ชุดการทดลอง และพบว่าชุด

การทดลองที่ใช้กากตะกอนเพียงอย่างเดียวและมีการเติมอากาศมีค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดการหมักปุ๋ยมักต่ำสุด (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.7 องศาเซลเซียส) แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองทั้ง 4 ชุดมีการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเป็นไปได้ช้า ทั้งนี้เกิดจากวัสดุที่ใช้หมักมีความชื้นค่อนข้างสูงและมี C/N ต่ำ

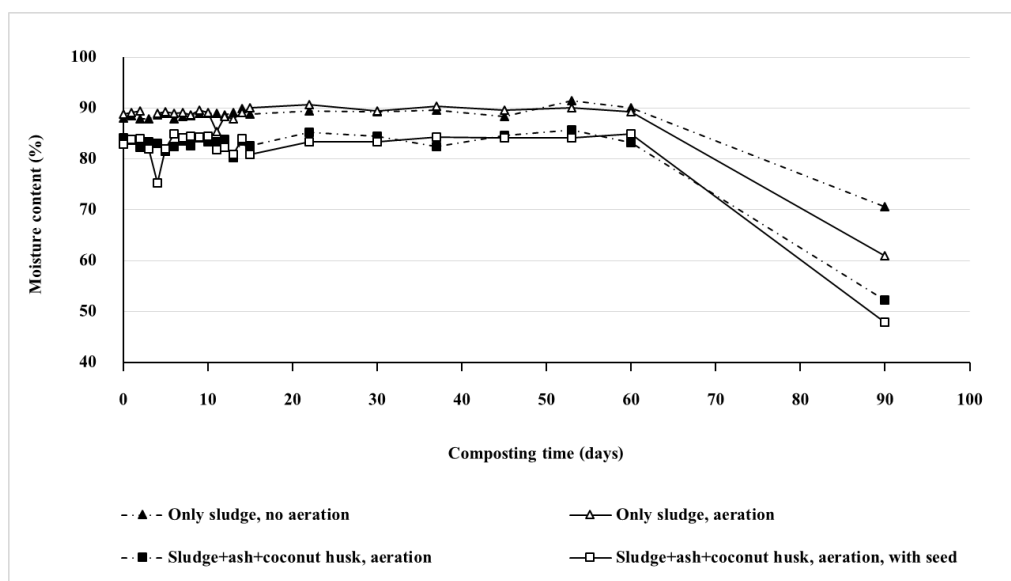


ภาพประกอบที่ 3.19 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชุดการทดลองการหมักทำปุ๋ย
ในระยะเวลา 90 วัน

2) ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมัก

ค่าความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในวัสดุหมัก ซึ่งมีความจำเป็นต่อการดูดซึมอาหาร และกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในขณะการหมักปุ๋ย ซึ่งหากมีปริมาณน้ำมาก จะส่งผลให้การระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมักได้ไม่ดีและอาจทำให้เกิดสภาพไร้อากาศขึ้นได้ (ธนิยา เกาสล, 2556) ซึ่งค่าความชื้นในการหมักปุ๋ยครั้งนี้ไม่ได้ทำการปรับให้อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ย เนื่องจากวัสดุหมักหลักคือกากตะกอนส่วนเกินมีค่าความชื้นค่อนข้างสูง โดยเฉพาะชุดการทดลองที่มีการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียวทั้งแบบเติมและไม่เติมอากาศ พบว่า มีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 88% ซึ่งสูงกว่าอีก 2 ชุดการทดลองที่มีการผสมด้วยวัสดุอื่นร่วมด้วย การเปลี่ยนแปลงความชื้นในกองปุ๋ยหมักทั้ง 4 ชุดการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 3.20 ค่าความชื้นตลอดระยะเวลาการหมักของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีความชื้นอยู่ในช่วง 47.84-91.49% โดยตลอดระยะเวลาการหมักในช่วง 60 วันแรกค่าความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยมากและทุกชุดการทดลองมีค่าความชื้นลดลงเมื่อทำการหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 90 วัน

ลักษณะความชื้นในช่วง 1-60 วัน พบว่ามีค่าความชื้นลดลงค่อนข้างน้อยแม้ในชุดทดลองหมักที่ให้อากาศและไม่ให้อากาศ อาจมีผลมาจากลักษณะกากตะกอนที่ใช้หมักหลัก ซึ่งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพตะกอนทางเคมีโดยใช้สาร polyacrylamide สาร polyacrylamide ที่ใช้เป็นสารเคมีในการปรับสภาพตะกอนนั้นมีการรายงานว่า เป็นสาร polymer ที่ทำให้เกิดสภาพการจับตัวของอนุภาคได้ดี และเป็นตัวทำให้เกิดสภาพ water stable aggregate ได้อย่างดี (De Boodt, 1979) รวมทั้งขนาดอนุภาคของกากตะกอนที่มีขนาดเล็กจึงทำให้ลดน้ำในกากตะกอนได้ค่อนข้างยาก (Cheremisinoff, 1994) ซึ่งการทดลองนี้ใช้กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดน้ำแล้วจากโรงงาน ซึ่งแม้ว่าไม่ได้วัดค่าความเข้มข้นของสาร polyacrylamide ที่ตกค้างในกากตะกอนดังกล่าว แต่จากการประเมินจากการใช้ของโรงงานอาจกล่าวได้ว่าการปนเปื้อนของสาร polyacrylamide นี้ที่ระดับความเข้มข้น ประมาณ 0.28% น้ำหนักเปียก ดังนั้นช่วงแรกของการหมักจนถึง 60 วัน การย่อยสลายอาจเกิดขึ้นแต่ค่อนข้างช้า ดังผลของค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยมีค่าไม่สูงอาจเนื่องมาจากสภาพความชื้นสูงในตะกอนที่มีผลมาจากสาร polyacrylamide ที่ทำให้มีความคงตัวของน้ำในเนื้อตะกอนได้ยาวนานและไม่สามารถมีค่าลดลงได้แม้มีการเติมอากาศ

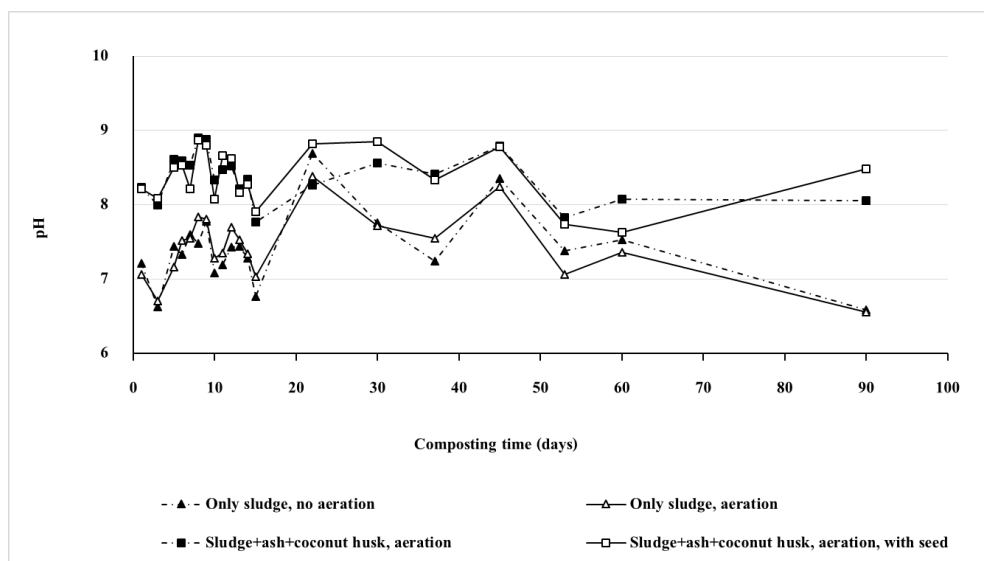


ภาพประกอบที่ 3.20 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ย

3) ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยแสดงดังภาพประกอบที่ 3.21 โดยทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชเริ่มต้นในช่วง 7.06-8.23 และทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชลดลงเมื่อดำเนินการหมักได้ 3 วัน ชุดการทดลองการหมักปุ๋ยที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมเชื้อ

ขุยมะพร้าว และเติม seed พบว่า ค่าพีเอชมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดระยะเวลาการหมักปุ๋ยที่ 90 วัน ซึ่งเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.55-8.48 อย่างไรก็ตามค่าพีเอชของทุกชุดการทดลองเมื่อหมักปุ๋ย 90 วัน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศไทย

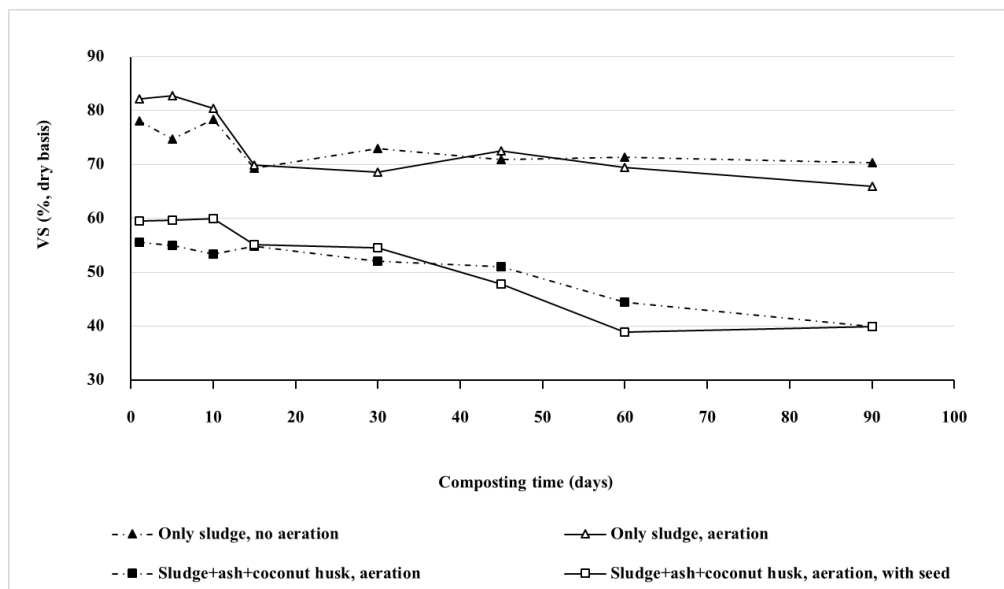


ภาพประกอบที่ 3.21 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย

4) ปริมาณของแอมโมเนีย (VS) ที่เปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ย

แหล่งคาร์บอนสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยที่หมักสามารถตรวจวัดได้ด้วยค่า VS ซึ่งจากการศึกษาการหมักปุ๋ยในทุกชุดการทดลอง พบว่า ในช่วงเริ่มต้นการหมักปุ๋ยแต่ละชุดการทดลองมีค่า VS อยู่ในช่วง 55.59-82.13% น้ำหนักแห้ง โดยชุดการทดลองการหมักปุ๋ยที่ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เพียงอย่างเดียวทั้งที่มีการเติมและไม่เติมอากาศมีปริมาณของ VS ในช่วงเริ่มต้นสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนผสมกับขุยมะพร้าวและขี้เถ้า อย่างไรก็ตามทุกชุดการทดลองมีลักษณะแนวโน้มของค่า VS ลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่หมักจนสิ้นสุดระยะเวลาของการหมักที่ 90 วัน ซึ่งจะมีปริมาณของ VS อยู่ในช่วง 39.87-70.40% น้ำหนักแห้ง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.22 ซึ่งจะเห็นว่าชุดการทดลองที่มีการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียวทั้งที่เติมและไม่เติมอากาศ มีอัตราการย่อยสลาย VS ต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมขุยมะพร้าวและขี้เถ้า เนื่องจากค่า C/N เริ่มต้นที่มีค่าต่ำกว่า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดเติมและไม่เติมอากาศ พบว่า ค่าอัตราการย่อยสลาย VS ของชุดที่มีการเติม

อากาศมีค่าสูงกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศ ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Guo, *et al.* (2012) ที่ได้รายงานว่า การหมักปุ๋ยโดยใช้วัสดุที่มีค่า C/N ต่ำ จะมีผลต่อการย่อยสลายและ maturity ของปุ๋ยที่หมักได้



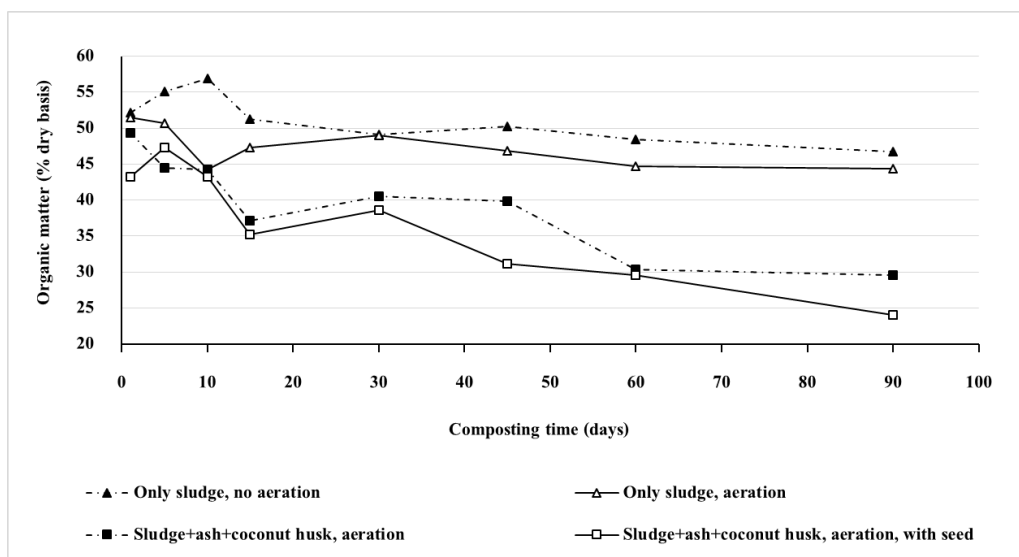
ภาพประกอบที่ 3.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ VS ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย

5) ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) และอินทรีย์คาร์บอน (OC) ที่เปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมัก

เมื่อพิจารณาปริมาณ OM ที่เปลี่ยนแปลงของทุกชุดการทดลอง พบว่า ในช่วงเริ่มต้นการหมักปุ๋ยทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าปริมาณ OM อยู่ในช่วง 43.24-52.19% น้ำหนักแห้ง โดยตลอดระยะเวลาในการหมักปุ๋ยปริมาณ OM ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ (ภาพประกอบที่ 3.23) โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุที่หายไปจะอยู่ในรูปของแหล่งอาหารและพลังงานให้กับจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก (ธันวศิษฐ์ ศรีธาวิรัตน์, 2547) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักปุ๋ย ชุดการทดลองการหมักปุ๋ยที่มีการใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เพียงอย่างเดียวและไม่มีการเติมอากาศยังคงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด โดยยังมีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 46.78% น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามยังจัดเป็นปุ๋ยหมักที่สอดคล้องกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้กำหนดไว้ว่าควรมีปริมาณ OM $\geq 20\%$ โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

อย่างไรก็ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM มีลักษณะการเปลี่ยนแปลง

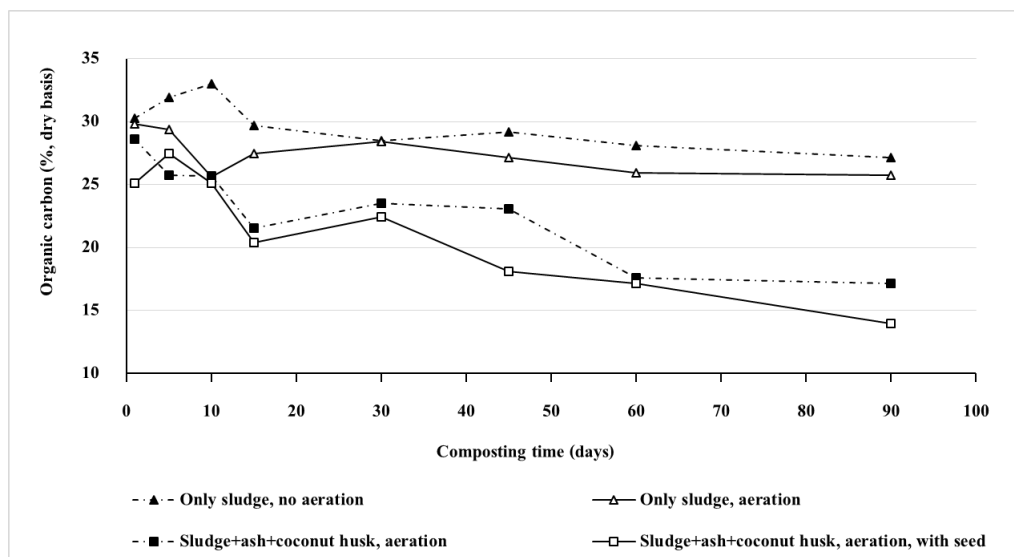
เช่นเดียวกับปริมาณ VS กล่าวคือ ชุดที่มีการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนเพียงอย่างเดียวทั้งที่มีการเติมและไม่เติมอากาศ พบว่า มีอัตราการย่อยสลาย OM ต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมขุยมะพร้าวและขี้เถ้า โดยชุดที่มีอัตราการย่อยสลาย OM สูงที่สุดคือ ชุดการทดลองหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศด้วยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวและมีการเติม seed รองลงมาคือชุดการทดลองที่มีส่วนผสมเหมือนกันแต่ไม่มีการเติม seed แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเชื้อ (seed) ในกองปุ๋ยหมักส่งผลต่อการย่อยสลายได้มากขึ้น และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า VS และค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลองดังกล่าว ซึ่งมีอุณหภูมิสูงอยู่ในช่วงใกล้ thermophilic phase ยาวนานกว่าชุดการทดลองอื่นๆ แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดีกว่าทุกชุดการทดลอง



ภาพประกอบที่ 3.23 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM ในแต่ละชุดการทดลองที่หมักปุ๋ย

สำหรับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณ OC พบว่า ให้ผลในลักษณะเดียวกันกับ VS และ OM ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ย เมื่อมีการย่อยสลายเกิดขึ้นค่า OC ดังกล่าวจะลดลงด้วย โดยในช่วงแรกปริมาณ OC จะมีความผันผวนเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักพบว่าทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ ตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน (ภาพประกอบที่ 3.24) ทั้งนี้ปริมาณ OC จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ OM ดังนั้นเมื่ออินทรีย์คาร์บอนลดลง ปริมาณของ OM ก็จะลดลงไปด้วย เป็นผลมาจากการที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในเศษวัสดุถูกย่อยสลายและนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Garcia *et al.* (2003) ที่ทำการทดลองการหมักปุ๋ยโดยการใช้

กากตะกอนที่ได้จากการบดผลมะกอกผสมกับใบมะกอก พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง

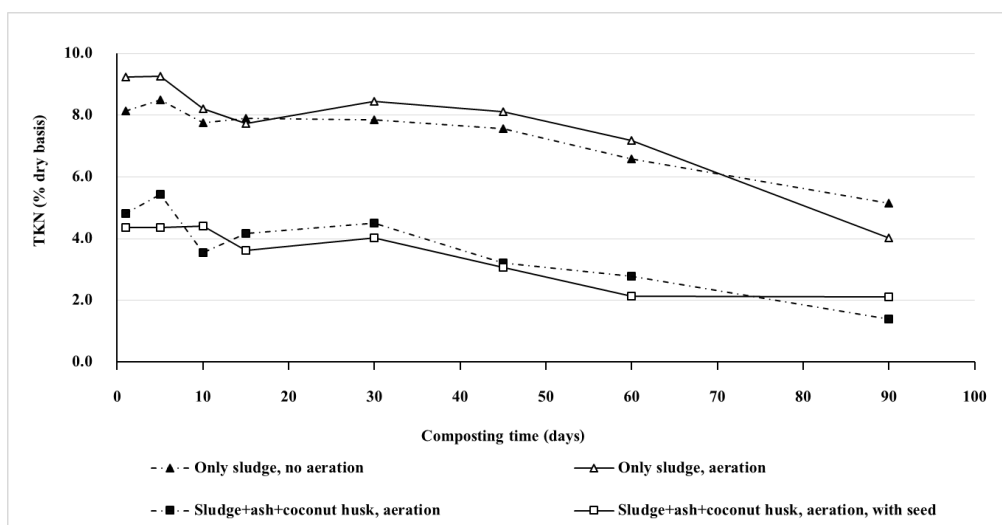


ภาพประกอบที่ 3.24 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ OC ในแต่ละชุดการทดลอง

6) ปริมาณธาตุอาหาร TKN, P และ K ที่เปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมัก

ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ TKN, P และ K ซึ่งการหมักปุ๋ย ค่า TKN, P และ K ที่อยู่ในวัสดุหมักปุ๋ยย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับการทดลองนี้ พบว่า ค่า TKN เริ่มต้นของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีค่าในช่วง 4.36-9.25% น้ำหนักแห้ง โดยชุดการทดลองที่มีการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียวทั้งแบบเติมและไม่เติมอากาศ มีค่า TKN สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้มีค่า TKN สูง ซึ่งอาจมีผลมาจากตะกอนที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยการเติม polyacrylamide (สาร polyacrylamide มี N เป็นองค์ประกอบคิดเป็น 19.7%) แต่หลังจากที่ได้มีการหมักปุ๋ย TKN จะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก 90 วัน แสดงถึงการสูญเสียของไนโตรเจนระหว่างการหมักปุ๋ย (ภาพประกอบที่ 3.25) ซึ่งส่วนหนึ่งอาจถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต และบางส่วนอาจสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) สูบรรยากาศด้วย จากรายงานของ Polprasert (2007) ได้กล่าวว่าไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในกองปุ๋ยหมักจะระเหยไปเมื่อค่าพีเอชของกองปุ๋ยหมักมากกว่า 7 ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการศึกษาที่ได้ครั้งนี้ร่วมกับค่าพีเอช พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7-8 โดยชุดการทดลองที่มีการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอน

ส่วนเกินเพียงอย่างเดียวและมีการเติมอากาศมีการสูญเสียไนโตรเจนมากที่สุด เนื่องจากมีค่า C/N เริ่มต้นในช่วงแรกของการหมักต่ำสุดที่ C/N = 3.2:1 และเนื่องจากมีการเติมอากาศร่วมด้วยก็จะเป็นปัจจัยที่ทำให้มีการสูญเสียไนโตรเจนจากกองปุ๋ยได้มากขึ้นกว่าการหมักปุ๋ยที่ไม่มีการเติมอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของศุวศา กานตวนิชกูร (2539) ซึ่งได้รายงานว่ากองปุ๋ยหมักที่มี C/N ต่ำมาก จะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสู่บรรยากาศซึ่งเป็นผลให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนจากกองปุ๋ยหมักได้

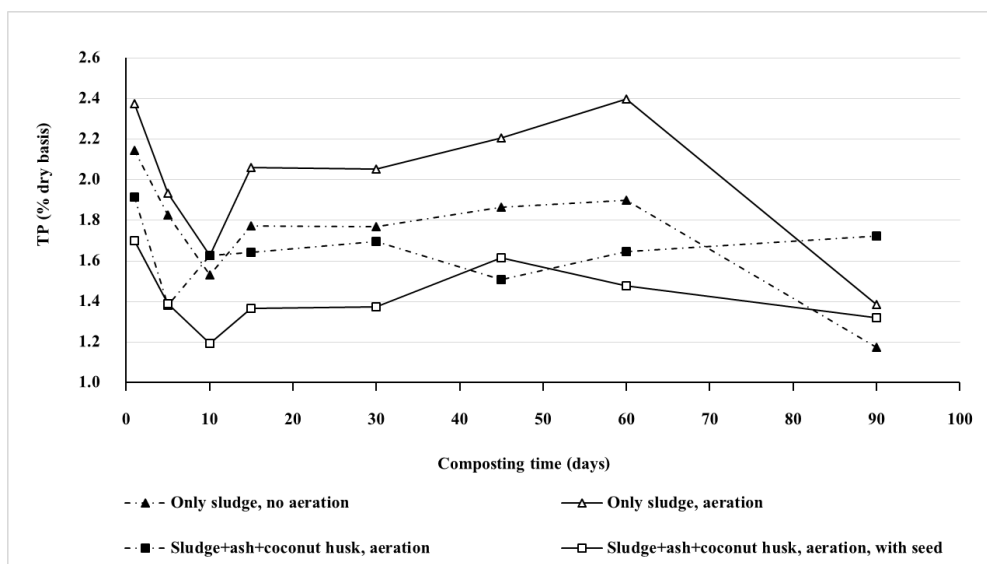


ภาพประกอบที่ 3.25 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน

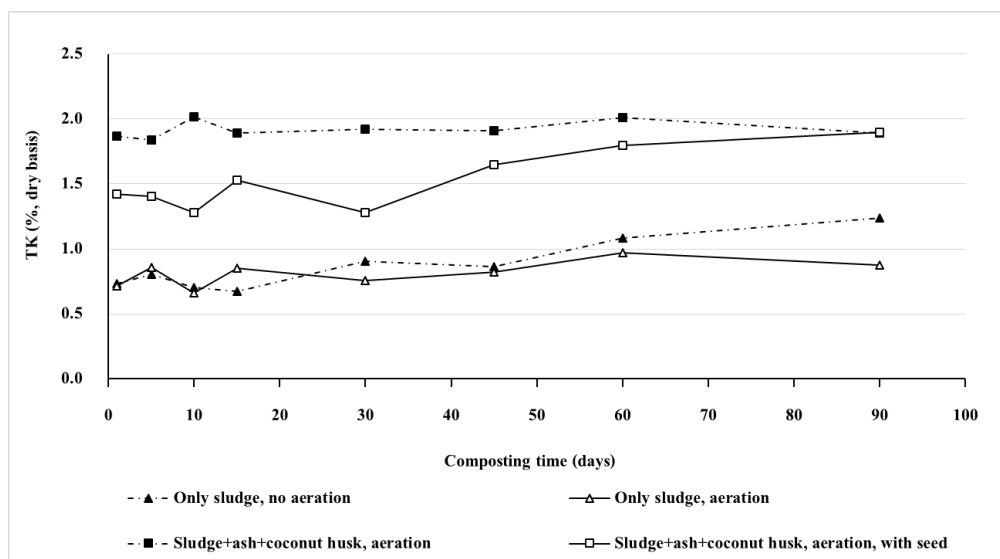
อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักปุ๋ย 90 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 1.39-5.16% น้ำหนักแห้ง หรือคิดเป็น 0.66-1.57% น้ำหนักเปียก และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนหลังสิ้นสุดการหมักปุ๋ย พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าปริมาณไนโตรเจนที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ประกาศโดยกรมวิชาการเกษตรปี 2555 ยกเว้นชุดการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียผสมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว แลไม่ได้ seed ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนคงเหลือเพียง 0.66% น้ำหนักเปียก ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

สำหรับผลการศึกษารูปการเปลี่ยนแปลงปริมาณ P และ K ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณ P มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งมีค่าที่ไม่ต่างจากค่าเริ่มต้นมากนัก (ภาพประกอบที่ 3.26) โดยมีปริมาณ P เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.70-2.37% น้ำหนักแห้ง และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 90 วัน พบว่า มีปริมาณ P ลดลงเล็กน้อยในทุกชุดการทดลองโดยมีค่าอยู่

ในช่วง 1.17-1.72% น้ำหนักแห้ง และสำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ K พบว่า ในช่วงเริ่มต้นของการหมักทุกชุดการทดลองมีปริมาณ K อยู่ในช่วง 0.71-1.87% น้ำหนักแห้ง ซึ่งชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศด้วยกากตะกอนผสมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว ทั้งที่มีการเติมและไม่มีการเติม seed มีปริมาณ K เริ่มต้นสูงกว่าชุดที่ทำการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวมีการเติมขุยมะพร้าวและขี้เถ้าซึ่งเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของ K สูงกว่ากากตะกอน จึงเป็นการเพิ่มปริมาณ K ในวัสดุหมักปุ๋ย อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย ปริมาณ K ในกองปุ๋ยหมักมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะลดลงในช่วง 10 วันแรกของการหมักแต่หลังจากนั้นปริมาณ K ค่อนข้างคงที่จนถึงสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 90 วัน (ภาพประกอบที่ 3.27) ซึ่งเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก พบว่า แต่ละกองปุ๋ยหมักมีปริมาณ K อยู่ในช่วง 0.88-1.90% น้ำหนักแห้ง



ภาพประกอบที่ 3.26 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ P ในกองปุ๋ยหมัก
ตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน



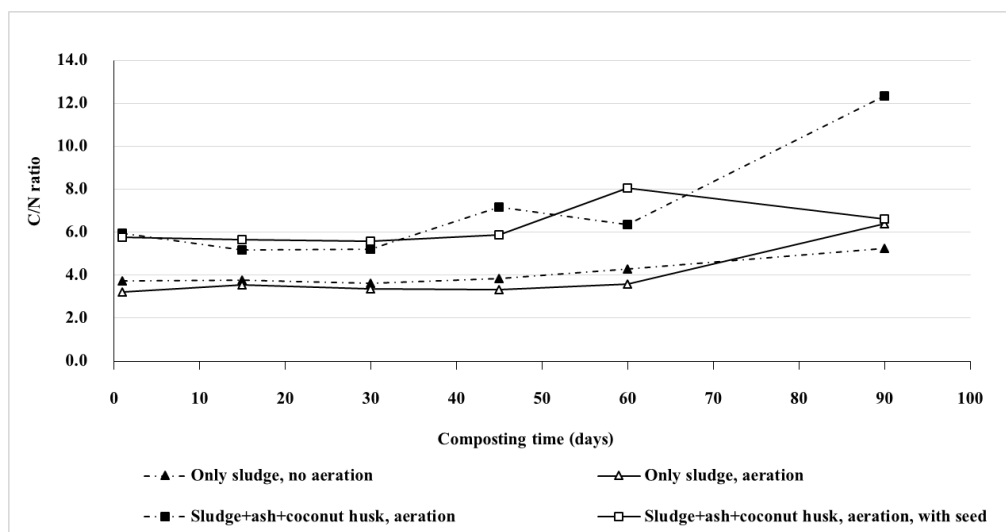
ภาพประกอบที่ 3.27 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ K ในกองปุ๋ยหมัก
ตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน

อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักปุ๋ย 90 วัน ปริมาณธาตุอาหารพืชในรูป N, P และ K ของทุกชุดการทดลองส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ยกเว้นชุดการทดลองที่ทำการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียวทั้งแบบเดิมและไม่เติมอากาศซึ่งมีปริมาณ K ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศด้วยการใช้วัสดุหมักที่เป็นกากตะกอนที่มีการเติมเถ้าและขุยมะพร้าว พบว่า มีปริมาณ N ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก

7) การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน C/N ในกองปุ๋ยหมัก

การรักษาอัตราส่วน C/N ให้สมดุลเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ปุ๋ยมีคุณภาพดี (สิรินทราวันดี, 2552) และช่วยควบคุมอัตราการย่อยสลายระหว่างการผลิตปุ๋ย ซึ่งกรมพัฒนาที่ดิน (2548) ได้รายงานไว้ว่า แบคทีเรียในกองปุ๋ยหมักจะใช้สารอินทรีย์คาร์บอน 10-15 หน่วยต่อสารประกอบไนโตรเจน 1 หน่วย เช่นเดียวกับ Haug (1980) กล่าวว่าจุลินทรีย์ต้องการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15-30:1 เพื่อให้เกิดความสมดุลของสารประกอบในเซลล์ ดังนั้นจึงควรควบคุมให้สารประกอบของวัตถุดิบที่ใช้หมักให้มีค่าใกล้เคียงต่อความต้องการของแบคทีเรีย เพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งจากการทดลองมีค่าอัตราส่วน C/N เริ่มต้นต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.2-5.9 ซึ่งชุดการทดลองการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนเพียงอย่างเดียวมีค่าอัตราส่วน C/N ต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการหมัก อัตราส่วน C/N ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาในการหมัก 90 วัน (ภาพประกอบที่ 3.28) ซึ่งจะพบว่าแตกต่างจากการหมักปุ๋ยที่มี

การใช้วัสดุหมักที่มีค่า C/N สูงๆ เมื่อหมักแล้วจะทำให้มีค่า C/N ต่ำลง (Polprasert, 2007 และ Huang *et al.*, 2004) ทั้งนี้เพราะการทดลองครั้งนี้ใช้วัสดุหมักเริ่มต้นที่มีค่า C/N ต่ำ การย่อยสลายของอินทรีย์สารเสมือนจะเกิดขึ้นได้ค่อนข้างช้า แต่ในกองปุ๋ยหมักมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ N ในลักษณะลดลงมากกว่าจึงทำให้ได้ค่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า C/N ในระหว่างการหมักปุ๋ยมีแนวโน้มของค่า C/N เพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 3.28 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน C/N ในกองปุ๋ยหมัก

8) การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและชีวภาพอื่นๆ ของกองปุ๋ยหมัก

จากการทดลองหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและชีวภาพในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถใช้เป็นเครื่องชี้วัดความเสถียรภายในกองปุ๋ยหมักอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.12 จากการทดลองหมักทำปุ๋ยตลอดระยะเวลาการหมัก 60 วันแรก ทุกชุดการทดลองจะมีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยเฉพาะลักษณะสี และกลิ่น จากการสังเกต พบว่า ปุ๋ยที่ผ่านการหมักมาเป็นระยะเวลา 60 วัน จะมีสีที่เปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลเป็นเทามากขึ้น แต่เมื่อหมักนานเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่าลักษณะของสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ยกเว้นชุดการทดลองหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนเพียงอย่างเดียวที่มีสีค่อนข้างเหมือนช่วงเริ่มต้นหมักปุ๋ย ในส่วนของเรื่องกลิ่น ช่วงแรกของการหมักปุ๋ยทุกชุดการทดลองจะมีกลิ่นเหม็น ซึ่งกลิ่นที่เกิดขึ้นจะเป็นกลิ่นจากวัสดุที่ใช้หมัก คือ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและจะมีกลิ่นลดลงจนมีกลิ่นน้อย เมื่อทำการหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 45 วัน แสดงให้เห็นว่าแม้มีการเติมอากาศให้กองปุ๋ยก็ยังมีสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดขึ้น จึงทำให้มีกลิ่นเหม็น เนื่องจากวัสดุหมักมี

ปริมาณความชื้นสูงมีลักษณะการจับตัวเป็นก้อนและไม่สามารถลดความชื้นลงได้แม้มีการเติมอากาศ จึงทำให้อากาศไม่สามารถกระจายไปทั่วของเนื้อวัสดุหมักในกองปุ๋ยได้จึงเกิดสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศ แต่เมื่อหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 90 วัน วัสดุหมักมีลักษณะแห้งมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่ากองปุ๋ยมีค่าความชื้นลดลงและแทบไม่มีกลิ่นเหม็น สำหรับการยวบตัว พบว่า หลังการหมักเป็นระยะเวลา 45 วัน ทุกชุดการทดลองมีการยวบตัวลงในช่วง 15-27 เซนติเมตร สำหรับชุดการทดลองที่มีการยวบตัวสูงสุดคือชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้วัสดุหมักเป็นพวกกากตะกอนผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว และมีการเติม seed อาจเนื่องมาจากบทบาทการทำงานของจุลินทรีย์ในสารเร่งที่มีการเติมในกองปุ๋ย ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการย่อยสลายพบว่าชุดการทดลองดังกล่าวมีอัตราการย่อยสลายวัสดุหมักในกลุ่มอินทรีย์สาร (OM, OC และ VS) สูงกว่าชุดการทดลองอื่น

นอกจากนี้ลักษณะทางชีวภาพก็จัดได้ว่ามีส่วนสำคัญในการชี้วัดการเกิดปฏิกิริยาการหมักปุ๋ย เช่นกัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการมีไข่หรือตัวอ่อนของแมลง รวมถึงแมลงตัวเล็กๆ ราบด ซึ่งจากการสังเกตด้วยสายตา พบว่า ลักษณะทางชีวภาพของกองปุ๋ยหมักที่สามารถพบเห็นได้คือมีการพบ ราบด หนอน เห็ดในกองปุ๋ย ซึ่งในช่วงแรกจะมีมด หนอน และแมลงในกองปุ๋ย และจะค่อยๆ ลดจำนวนลงตามระยะเวลาในการหมักดังแสดงผลการศึกษาที่สังเกตได้ในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพ/ชีวภาพ	ระยะเวลาการหมักปุ๋ย					
		วันที่ 0-7	วันที่ 8-15	วันที่ 16-30	วันที่ 31-45	วันที่ 45-60	วันที่ 60-90
ชุด 1	สี	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล
	กลิ่น	เริ่มมีกลิ่นเหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็นน้อยลง
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	ราบ, เห็ด	ราบ, เห็ด	ราบ, เห็ด	ราบ, เห็ด	ราบ, เห็ด	ราบ, มด
	ระยะที่ยวบตัว (cm)	4.0	6.5	8.0	12.0	18.0	18.0
ชุด 2	สี	น้ำตาลอมเทา	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล
	กลิ่น	เริ่มมีกลิ่นเหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็นเบา	เหม็นเบา	เหม็น

ตารางที่ 3.12 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพ/ชีวภาพ	ระยะเวลาการหมักปุ๋ย					
		วันที่ 0-7	วันที่ 8-15	วันที่ 16-30	วันที่ 31-45	วันที่ 45-60	วันที่ 60-90
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	รา	รา	รา	รา, มีน้ำขัง	ราสีเหลือง	รา, มด, หนอน
	ระยะที่ยูปตัว (cm)	2.0	2.5	4.0	10.0	15.0	15.0
ชุด 3	สี	น้ำตาลอมเทา	น้ำตาลปนเทา	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม
	กลิ่น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็นน้อยลง
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	แมลงหิว, หนอน	แมลงหิว, หนอน	หนอน	มด, หนอนลดลง	มด, หนอนลดลง	มด
	ระยะที่ยูปตัว (cm)	2.0	5.0	7.0	10.0	15.0	15.0
ชุด 4	สี	เทา	เทาปนน้ำตาล	เทาปนน้ำตาล	เทาปนน้ำตาล	เทา	เทา
	กลิ่น	ไม่มีกลิ่น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็นน้อยลง
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	แมลงหิว, หนอน, แมลงวัน	แมลงหิว, หนอน	แมลงหิว, ยุง	ยุง, เห็บ	ยุง, เห็บ, ตะขาบ	มีมดเล็กน้อย
	ระยะที่ยูปตัว (cm)	12.0	13.0	16.0	24.0	27.0	27.0

หมายเหตุ: ชุดที่ 1 = ชุดการทดลองหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว, ไม่เติมอากาศ

ชุดที่ 2 = ชุดการทดลองหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว, เติมอากาศ

ชุดที่ 3 = ชุดการทดลองหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2

และไม่มีการเติม seed, เติมอากาศ

ชุดที่ 4 = ชุดการทดลองหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2

และมีการเติม seed, เติมอากาศ

9) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ Zn ในกองปุ๋ยหมัก

อย่างไรก็ตามด้วยวัสดุหมักปุ๋ยที่เป็นกากตะกอนจากโรงงานน้ำยางข้นมีค่า Zn ค่อนข้างสูง ดังนั้นปริมาณ Zn อาจจะต้องพิจารณาเพื่อใช้ควบคุมการใช้ปุ๋ยที่หมักได้ เนื่องจากเป็นโลหะหนักที่มีการปนเปื้อนในปริมาณสูง (ตารางที่ 3.13) โดยเฉลี่ยพบว่าสูงกว่า 1% น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตาม He *et al.* (2009) และ Chen *et al.* (2010) ได้รายงานว่าการหมักปุ๋ยสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและลดความเข้มข้นของโลหะหนักได้ ซึ่ง US, EPA ได้กำหนดปริมาณการปนเปื้อน Zn ที่ยอมรับให้มีได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในที่ดินและเพื่อการเกษตร โดยกำหนดให้มีปริมาณ Zn น้อยกว่า 810-2,500 mg/kg (0.081-0.25%) ในการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร และน้อยกว่า 800-7,500 mg/kg (0.08-0.75%) สำหรับการใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรประยุกต์ใช้กับดิน (US, EPA., nd. อ้างใน นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544) ซึ่ง Zn จัดเป็นข้อจำกัดทางด้าน การนำกากตะกอนดังกล่าวไปใช้ประโยชน์เนื่องจากมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 3.13 ปริมาณ Zn ในกองปุ๋ยหมัก

ชุดทดลอง	ปริมาณ Zn (% น้ำหนักแห้ง)			
	วันเริ่มต้น	หมัก 45 วัน	หมัก 60 วัน	หมัก 90 วัน
กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว, ไม่เติมอากาศ	1.806	2.097	2.214	1.082
กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว, เติมอากาศ	1.718	2.186	2.055	1.028
กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2 และไม่มีการเติม seed, เติมอากาศ	1.158	1.431	0.547	1.200
กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2 และมีการเติม seed, เติมอากาศ	1.133	1.655	1.370	1.630

10) Yield ของปุ๋ยหมักที่ได้

จากการทดลองหมักทำปุ๋ยเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักที่ 90 วัน ในแต่ละชุดการทดลอง ได้ทำการศึกษาหา yield ปุ๋ยที่ได้ พบว่า ชุดการทดลองหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศด้วยกากตะกอน ผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวทั้งที่มีการเติมและไม่เติม seed ปุ๋ยที่ได้มีลักษณะของกากตะกอนจับตัวแข็งเป็นก้อนๆ และมีเส้นใยของขุยมะพร้าวปนอยู่ เมื่อบีบเบาๆ จะมีการร่วง ไม่เกาะตัวของ

อนุภาคปุ๋ยที่หนักได้ แต่ชุดการทดลองหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนเพียงอย่างเดียว พบว่า มีการเกาะกันเป็นก้อนแข็ง เมื่อนำมาทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12x12 มม. พบ yield ปุ๋ยที่ไม่เกาะกันเป็นก้อนผ่านตะแกรงขนาด 12x12 มม. ได้ ยกเว้นชุดการทดลองหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถผ่านตะแกรงได้หมด ดังนั้นจึงประเมิน yield ของปุ๋ยหมักที่ได้จาก % ของปริมาตรและน้ำหนัก ซึ่งทุกชุดการทดลองมี %yield ของปุ๋ยที่ได้อยู่ในช่วง 57-80% โดยน้ำหนัก หรือ 73-85% โดยปริมาตร (ตารางที่ 3.14) การที่มี % yield ของปุ๋ยหมักน้อยเกิดจากการที่วัสดุหมักมีค่าความชื้นลดลงจากเริ่มแรกหมักค่อนข้างมาก

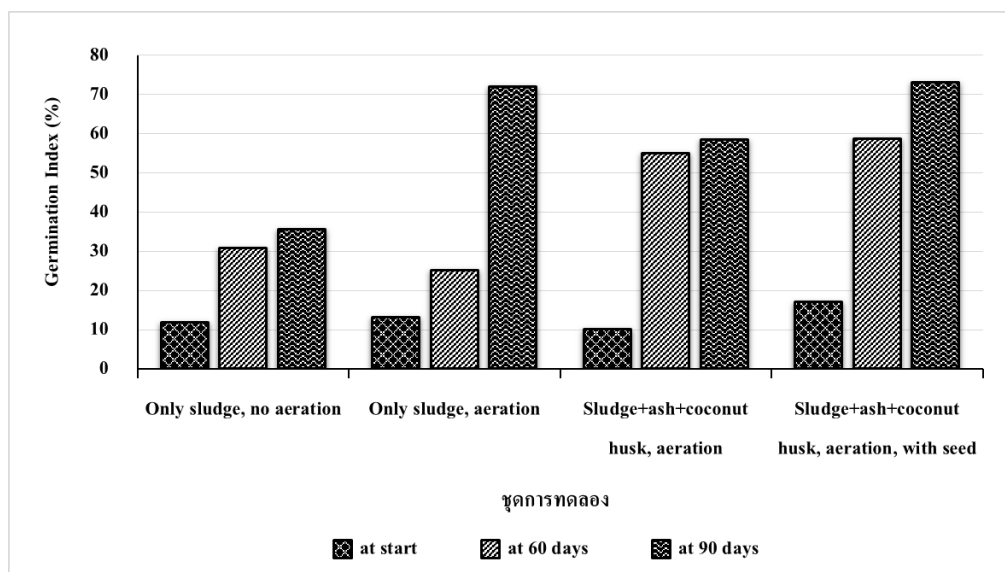
ตารางที่ 3.14 yield ของปุ๋ยที่ได้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักที่ 90 วัน

ชุดทดลอง	yield ของปุ๋ยที่ได้	
	%yield โดยน้ำหนัก	%yield โดยปริมาตร
กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว, ไม่เติมอากาศ	80	82
กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว, เติมอากาศ	68	85
กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2 และ ไม่มีการเติม seed, เติมอากาศ	62	85
กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว: 12:1:2 และมีการเติม seed, เติมอากาศ	57	73

11) ค่าการเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอก (Germination index)

ค่าดัชนีการงอกเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก เป็นค่าที่ใช้พิจารณาถึงความสามารถในการใช้เป็นปุ๋ยโดยไม่เป็นอันตรายต่อพืชจากสารที่เป็นพิษต่อพืช เช่น แอมโมเนียและกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักปุ๋ยหรือปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายไม่เสร็จสมบูรณ์ที่ตกค้างอยู่ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งจากการทดลองหมักปุ๋ยเมื่อครบกำหนดระยะเวลาในการหมักที่เริ่มต้น, 60 และ 90 วัน ได้มีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด ซึ่งใช้เมล็ดกวางตุ้งที่มีอัตราการงอกที่ 88% ในการทดสอบ โดยนำปุ๋ยหมักที่หมักได้มาสกัดด้วยน้ำกลั่น และใช้น้ำที่สกัดได้ในการทดสอบตามวิธีการทดสอบของกรมวิชาการเกษตร (2551) ผลจากการศึกษาพบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าดัชนีการงอกดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.29 โดยค่าดัชนีการงอกของตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมัก 90 วัน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 35.69-77.5% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปี พ.ศ. 2555 ที่กำหนดให้มีความ $\geq 80\%$ อย่างไรก็ตามจากภาพประกอบที่ 3.29 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีการงอกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย ซึ่งอาจเป็นไปได้

ว่าวัสดุหมักเมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลานานขึ้นก็จะมีสถานะของการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมักมากขึ้น จึงมีผลให้มีค่าดัชนีการงอกสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และจากผลการทดลองนี้ พบว่าค่าดัชนีการงอกในตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ 90 วัน ยังต่ำกว่า 80% แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายของวัสดุหมักในกองปุ๋ยหมักอาจยังไม่สมบูรณ์และมีความเสถียรมากนัก



ภาพประกอบที่ 3.29 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการงอกในตัวอย่างวัสดุหมักของกองปุ๋ยหมักที่ทำการศึกษา

3.6.1.3 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ได้

หลังจากหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 90 วัน ตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้จากทั้ง 4 ชุดการทดลองนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีตามตัวแปรที่กำหนดในมาตรฐานปุ๋ยหมักของประเทศไทย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้กับมาตรฐานปุ๋ยหมักพบว่า ทุกชุดการทดลองยังมีค่า MC, electrical conductivity และ germination index ไม่ผ่านมาตรฐาน อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่ได้ส่วนใหญ่มีธาตุอาหารในรูปของ P_2O_5 สูงกว่ามาตรฐาน เช่นเดียวกับไนโตรเจน ยกเว้นชุดการทดลองที่มีการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้าขุยมะพร้าว และไม่มีการเติม seed ที่พบว่ามีค่า TKN ต่ำกว่ามาตรฐาน สำหรับค่า K พบว่าชุดที่ทำการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียวทั้งแบบเติมและไม่เติมอากาศยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ชุดการทดลองที่มีการผสมด้วยขี้เถ้าและขุยมะพร้าว พบว่ามีค่า K สูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ทุกชุดการทดลองยังผ่านมาตรฐานในด้านโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 ผลการเปรียบเทียบของปุ๋ยหมักที่ได้ใน 90 วัน กับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของไทย

พารามิเตอร์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	กากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียว		กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าวหมักแบบเติมอากาศ	
		ไม่เติมอากาศ	เติมอากาศ	ไม่เติม seed	เติม seed
Moisture content (%)	≤ 30	70.58 (ไม่ผ่าน)	61.00 (ไม่ผ่าน)	52.26 (ไม่ผ่าน)	47.84 (ไม่ผ่าน)
Marble and gravel (%)	≤ 2%	ND (ผ่าน)	ND (ผ่าน)	ND (ผ่าน)	ND (ผ่าน)
Organic matter (%)	≥ 20%	13.76 (ไม่ผ่าน)	17.30 (ไม่ผ่าน)	14.10 (ไม่ผ่าน)	12.54 (ไม่ผ่าน)
pH	5.5-8.5	6.58 (ผ่าน)	6.55 (ผ่าน)	8.05 (ผ่าน)	8.48 (ผ่าน)
C/N	≤ 20:1	5.26 (ผ่าน)	6.39 (ผ่าน)	12.36 (ผ่าน)	6.62 (ผ่าน)
Electrical conductivity (dS/m)	≤ 10	30.70 (ไม่ผ่าน)	28.00 (ไม่ผ่าน)	31.90 (ไม่ผ่าน)	26.10 (ไม่ผ่าน)
Total N (%)	≥ 1.0	1.52 (ผ่าน)	1.57 (ผ่าน)	0.66 (ไม่ผ่าน)	1.10 (ผ่าน)
P ₂ O ₅ (%)	≥ 0.5	0.79 (ผ่าน)	1.24 (ผ่าน)	1.89 (ผ่าน)	1.58 (ผ่าน)
K ₂ O (%)	≥ 0.5	0.44 (ไม่ผ่าน)	0.41 (ไม่ผ่าน)	1.09 (ผ่าน)	1.19 (ผ่าน)
Germination index (%)	≥ 80	35.69 (ไม่ผ่าน)	72.50 (ไม่ผ่าน)	58.50 (ไม่ผ่าน)	73.13 (ไม่ผ่าน)
As (mg/kg)	≤ 50	0.131 (ผ่าน)	0.230 (ผ่าน)	2.734 (ผ่าน)	1.925 (ผ่าน)
Cd (mg/kg)	≤ 5	0.306 (ผ่าน)	0.355 (ผ่าน)	0.773 (ผ่าน)	0.965 (ผ่าน)
Cr (mg/kg)	≤ 300	1.306 (ผ่าน)	1.396 (ผ่าน)	2.041 (ผ่าน)	2.627 (ผ่าน)
Cu (mg/kg)	≤ 500	3.501 (ผ่าน)	5.420 (ผ่าน)	7.586 (ผ่าน)	14.616 (ผ่าน)
Pb (mg/kg)	≤ 500	2.482 (ผ่าน)	3.358 (ผ่าน)	7.283 (ผ่าน)	6.840 (ผ่าน)
Hg (mg/kg)	≤ 2	<LD (ผ่าน)	<LD (ผ่าน)	<LD (ผ่าน)	<LD (ผ่าน)

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2555)

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นน้ำหนักเปียก, LD: less than detection limit, ND: not detectable

3.6.2 ผลการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยทดสอบด้วยการปลูกต้นดาวเรือง

จากการพิจารณาผลการศึกษาที่ได้จากการหมักปุ๋ย 90 วัน ด้วยค่าดัชนีการงอก (germination index: GI) จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวและมีการเติม seed ให้ค่า GI สูงกว่าชุดทดลองอื่น รองลงมาคือชุดการทดลองหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาข้อมูลจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยที่หมักได้ทั้ง 4 ชุดการทดลองร่วมด้วย จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว ทั้งแบบเดิมและไม่เติม seed มีค่าธาตุอาหารหลักของพืชใกล้เคียงกันและมีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนที่พบในชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวที่ไม่มีการเติม seed มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักเล็กน้อย รวมทั้งยังมีค่า electrical conductivity สูงที่สุด ดังนั้นในการทดสอบศักยภาพความเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้ จึงเลือกตัวอย่างปุ๋ยที่หมักได้จากชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว ทั้งแบบเดิมและไม่เติม seed ไปทดลองปลูกต้นดาวเรืองเป็นระยะเวลา 60 วัน ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีการเติมปุ๋ยหมักให้มีปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่า 1 และ 0.5 เท่ากับปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยเคมีตามทฤษฎีการปลูกต้นดาวเรือง ซึ่งกรมส่งเสริมการเกษตร (2545) ที่ได้แนะนำให้ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ให้ต้นดาวเรืองในอัตรา 1 ซ่อนชาต่อต้น หรือประมาณ 5 กรัมต่อต้น รวมถึงการทดลองที่ใช้ดินธรรมชาติเพียงอย่างเดียวและดินธรรมชาติผสมปุ๋ยเคมีด้วยปริมาณดังกล่าวเพื่อใช้เป็นชุดควบคุม และแต่ละชุดทดลองมีการทดลอง 5 ซ้ำ ซึ่งมีผลการศึกษาดังรายละเอียดคือ

3.6.2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในดินที่ใช้ทดลองก่อนและหลังการปลูกดาวเรือง

ดินที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลองสำหรับการทดสอบการปลูกดาวเรืองโดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 60 วัน มีลักษณะที่แสดงได้ดังตารางที่ 3.16 พบว่าค่าพีเอชในดินก่อนและหลังปลูกของแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารพืชในรูปของปริมาณไนโตรเจน พบว่า ก่อนปลูกดาวเรือง ชุดการทดลองที่ใช้เฉพาะดินเพียงอย่างเดียว มีค่า TN ต่ำสุด ชุดการทดลองที่เป็นดินที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (T2) และชุดการทดลองที่เป็นดินและเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองโดยเติมให้มีไนโตรเจนเทียบเท่ากับ 1 เท่าของไนโตรเจนที่ใช้เติมลงในดินเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี (T3 และ T4) พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนในดินของชุดการทดลอง T3 และ T4 สูงกว่าชุด T2 แต่ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักที่มีการเติมให้มีค่าไนโตรเจนที่ใช้เท่ากับ 0.5

เท่าของปุ๋ยเคมี พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับชุดที่ใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.12-0.27% น้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อทำการปลูกดาวเรืองเป็นระยะเวลา 60 วัน ไนโตรเจนมีปริมาณลดลงในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าพืชมีการดึงไนโตรเจนในดินไปใช้ในการเจริญเติบโต ชุดการทดลองที่มีการลดลงของปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดคือชุดที่เติมปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวที่ไม่มีการเติม seed ซึ่งเติมปุ๋ยหมักในปริมาณเทียบเท่ากับ 1 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง T4) ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนที่ลดลงเท่ากับ 77.78% ซึ่งสอดคล้องกับผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองในด้านอัตราเพิ่มขึ้นของความสูงเนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโตในของลำต้น และทรงพุ่มให้แก่พืชซึ่งชุดการทดลองดังกล่าวมีศักยภาพความเป็นปุ๋ยในด้านอัตราเพิ่มขึ้นของความสูงได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งผลการศึกษานี้ให้ผลการศึกษาใกล้เคียงกับผลการศึกษาของประไพพรรณ จันทิพย์ (2559) ที่มีการนำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาหมักร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จากอุตสาหกรรมน้ำอย่างข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยางแท่ง STR20 มาทำการปลูกต้นดาวเรือง พบว่าปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในดินที่ปลูกมีปริมาณไนโตรเจนลดลง แต่แตกต่างจากการศึกษาของ อภิรัฐ จูทอง (2553) ที่ได้ทำการปลูกต้นกระถินเทพาด้วยวัสดุปรับปรุงดินจากกากอุตสาหกรรมน้ำอย่างข้นและมูลสุกร โดยพบว่า ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในดินที่ปลูกกระถินเทพาในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากต้นกระถินเทพาเป็นพืชตระกูลถั่วจึงมีปมรากที่ตรึงธาตุไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ในดินของทุกชุดการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในดินที่ใช้ปลูกต้นดาวเรือง ซึ่งทุกชุดการทดลองมีปริมาณ P_2O_5 อยู่ในช่วง 0.18-0.48% น้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อทำการปลูกดาวเรืองเป็นระยะเวลา 60 วัน ทุกชุดการทดลองมีปริมาณ P_2O_5 ลดลงเช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจน ซึ่งปริมาณ P_2O_5 ที่คงเหลืออยู่ในดินหลังการปลูกดาวเรืองในทุกชุดการทดลองมีปริมาณไม่แตกต่างกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.12-0.20% น้ำหนักแห้ง คิดเป็นปริมาณ P_2O_5 ลดลงของแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 33.33-60.42% โดยชุดการทดลองที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ลดลงมากที่สุด จะบ่งบอกได้ว่าพืชสามารถนำฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด คือชุดทดลองที่มีการเติมปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวที่ไม่มีการเติม seed และเติมปุ๋ยหมักในปริมาณเทียบเท่ากับ 1 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง T4) ซึ่งเป็นชุดการทดลองเดียวกันกับชุดการทดลองที่มีการลดลงของปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการเจริญเติบโต

ในด้านจำนวนดอกเฉลี่ยที่ศึกษาได้เช่นกัน โดยพบว่าชุดการทดลองดังกล่าวให้จำนวนดอกเฉลี่ยมากกว่าชุดการทดลองอื่น

นอกจากนี้ข้อมูลในด้าน OM ที่พบในดินของทุกชุดการทดลองจะเห็นได้ว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยหมัก (ชุดการทดลอง T3-T6) จะมีค่า OM ในดินหลังปลูกที่ต่ำกว่าดินก่อนปลูก (มีค่าลดลงในช่วง 46.46-63.49%) แสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายของอินทรียสารของปุ๋ยหมักในดินที่ใช้ปลูกยังเกิดได้ต่อเนื่อง แต่ดินในชุดการทดลอง T1 และ T2 ซึ่งใช้ดินธรรมชาติและดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 พบว่า ค่า OM ของดินหลังปลูกสูงกว่าดินก่อนปลูกเล็กน้อย

ตารางที่ 3.16 ลักษณะของดินที่ใช้ทดลองก่อนและหลังปลูกดาวเรืองในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ก่อนปลูก (% dry wt.)				หลังปลูก (% dry wt.)			
	TKN	P ₂ O ₅	OM	pH	TKN	P ₂ O ₅	OM	pH
T1	0.12	0.18	1.34	8.05	0.10	0.12	1.56	8.02
T2	0.16	0.28	0.64	6.82	0.07	0.18	1.19	7.97
T3	0.22	0.35	3.78	7.38	0.13	0.20	1.38	8.16
T4	0.27	0.48	3.45	7.79	0.06	0.19	1.34	7.89
T5	0.19	0.33	2.24	7.63	0.06	0.17	1.06	8.18
T6	0.16	0.36	2.26	7.58	0.10	0.18	1.21	8.24

หมายเหตุ: T1 = ดินอย่างเดียว

T2 = ดิน + ปุ๋ยเคมี (15: 15: 15)

T3 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T4 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T5 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T6 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

3.6.2.2 อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงและการให้ดอกของต้นดาวเรืองที่ทดลอง

1) อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรือง

จากผลการศึกษาหากพิจารณาเปรียบเทียบกับชุดการทดลองปลูกดาวเรืองด้วยดินธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (ชุดการทดลอง T1) พบว่า ทุกชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยหมักให้ค่าอัตราการเติบโตในด้านความสูงที่สูงกว่าชุดควบคุมที่ใช้ดินธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ยกเว้นชุดที่มีการเติมปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวและไม่มีการเติม seed และเติมปุ๋ยหมักในปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง T6) นอกจากนี้พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียว สังเกตได้ว่าต้นดาวเรืองมีใบน้อย ลำต้นแคระแกรนเนื่องจากในดินมีปริมาณธาตุอาหารจำกัด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนหลังปลูกดาวเรืองของชุดการทดลองดังกล่าวลดลงในปริมาณน้อย แสดงว่าพืชนำไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินไปใช้ในปริมาณน้อย ซึ่งเมื่อมีการปลูกดาวเรืองเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวที่ไม่มีการเติม seed และเติมปุ๋ยหมักในปริมาณเทียบเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง T4) ให้ค่าอัตราการเติบโตในด้านความสูงเฉลี่ยสูงกว่าทุกชุดการทดลอง ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงในช่วง 60 วัน เท่ากับ 1.03 ± 0.07 ซม./วัน (ตารางที่ 3.17) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงของต้นดาวเรืองใกล้เคียงกับการศึกษาของ ประไพพรรณ จันทิพย์ (2559) ที่ได้ใช้ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ปลูกต้นดาวเรือง พบว่า ต้นดาวเรืองมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงที่ 45 วันอยู่ในช่วง 0.68-0.78 ซม./วัน และการศึกษาของ พนาลี ชิวกิดากการ และคณะ (2554) ได้ทดสอบวัสดุปุ๋ยหมักที่ได้จากกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้เถ้าเพื่อใช้งานเป็นปุ๋ย พบว่า ต้นดาวเรืองมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงที่ 35 วัน เท่ากับ 0.82 ซม./วัน

และหากพิจารณาเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ใช้ดินเปล่าเพียงอย่างเดียว (ชุดการทดลอง T1) พบว่า มีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรืองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3.18) แต่ชุดการทดลองดังกล่าวมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (ชุดการทดลอง T2) อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรืองของทุกชุดการทดลอง พบว่า ทุกชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยหมักมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอน

ส่วนเกินที่มีการเติมเชื้อเข้าและขุยมะพร้าวทั้งที่มีการเติมและไม่มีการเติม seed โดยเมื่อมีการเติมปุ๋ยหมักดังกล่าวในปริมาณเท่ากับ 1 และ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก พบว่า มีศักยภาพการเป็นปุ๋ยเทียบเท่ากับปุ๋ยเคมีในด้านการเติบโตด้านความสูงของต้นดาวเรือง

ตารางที่ 3.17 อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงดาวเรือง

ชุดการทดลอง	ความสูงเฉลี่ยเริ่มต้น (cm)	ความสูงเฉลี่ยตามวันที่ศึกษา (cm)				อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูง (cm/day) ช่วง 1-60 วัน
		15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน	
T1	7.36±1.28	22.20±0.58	42.84±1.38	63.86±2.31	65.04±2.22	0.96±0.04
T2	9.42±0.32	20.62±2.10	45.92±3.91	69.24±0.74	70.30±0.55	1.01±0.01
T3	8.74±0.85	21.52±0.55	45.36±2.32	66.42±3.23	67.66±2.82	0.98±0.04
T4	7.94±0.70	19.88±1.31	43.02±3.21	66.78±5.24	69.46±4.69	1.03±0.07
T5	8.00±0.72	20.76±0.89	43.04±4.85	66.10±2.18	68.24±2.07	1.00±0.04
T6	8.22±0.95	21.64±1.25	41.98±1.77	59.44±1.21	60.72±1.04	0.88±0.02

หมายเหตุ : ค่าแสดงคือ mean ± SD

T1 = ดินอย่างเดียว

T2 = ดิน + ปุ๋ยเคมี (15: 15: 15)

T3 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมเชื้อเข้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T4 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมเชื้อเข้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T5 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมเชื้อเข้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T6 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมเชื้อเข้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

ตารางที่ 3.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยพิจารณาจากอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงและจำนวนดอกของต้นดาวเรือง

ชุดการทดลอง	อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูง (ซม./วัน)	จำนวนดอกเฉลี่ย (ดอก/ต้น)
T1	0.96 ^b ±0.04	3.40 ^a ±0.55
T2	1.01 ^{bc} ±0.01	6.40 ^c ±1.82
T3	0.98 ^{bc} ±0.04	4.20 ^{ab} ±0.84
T4	1.03 ^c ±0.07	6.20 ^c ±1.64
T5	1.00 ^{bc} ±0.04	3.80 ^{ab} ±0.84
T6	0.88 ^a ±0.02	5.40 ^{bc} ±1.52

หมายเหตุ: T1 = ดินอย่างเดียว

T2 = ดิน + ปุ๋ยเคมี (15: 15: 15)

T3 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่ใช้กักตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T4 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่ใช้กักตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

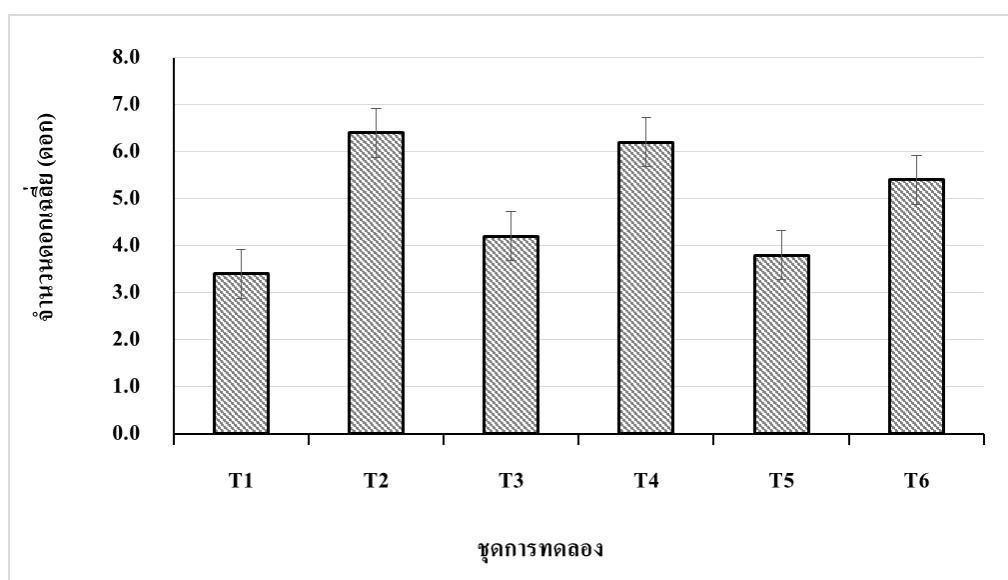
T5 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่ใช้กักตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T6 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศที่ใช้กักตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

2) จำนวนดอกเฉลี่ยของต้นดาวเรือง

ผลจากการทดสอบการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้ต่อการให้จำนวนดอกต่อต้นของดาวเรือง พบว่า ชุดการทดลองโดยส่วนใหญ่ให้ดอกเมื่อทำการปลูกได้ 30 วัน ซึ่งไม่รวมระยะเวลาการเพาะต้นกล้าก่อนปลูก 30 วัน ชุดการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดในด้านจำนวนดอก คือ ชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (ชุดการทดลอง T2) ซึ่งให้จำนวนดอกเฉลี่ย 6.40±1.82 ดอก/ต้น และชุดการทดลองที่ให้จำนวนดอกเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดคือชุดการทดลองที่ใช้ดินธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (ชุดการทดลอง T1) อาจเนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของ P₂O₅ และ N น้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งหากพืชขาดฟอสฟอรัสจะทำให้ดอกออกช้า จำนวนดอกผลลดลง (ขงยุทธ โอสภสภา, 2543) และเมื่อพิจารณาอัตราการให้ดอกหลังจากปลูกดาวเรืองเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้หมักปุ๋ยแบบเดิมอากาศ

ที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว และไม่มีการเติม seed ที่ใช้เติมปุ๋ยหมักในปริมาณเท่ากับ 1 และ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง T4 และ T6) พบว่า มีค่าอัตราการให้ดอกเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (ชุดการทดลอง T2) ซึ่งเป็นชุดที่มีอัตราการให้ดอกเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด (ตารางที่ 3.18 และภาพประกอบที่ 3.30) ซึ่งชุดที่มีการเติมปุ๋ยหมักของทั้งสองชุดการทดลองดังกล่าวให้จำนวนดอกเฉลี่ยเท่ากับ 6.20 และ 5.40 ดอก/ต้น ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ ประไพพรรณ จันทิพย์ (2559) ที่ให้จำนวนดอกเฉลี่ยในช่วง 3-8 ดอก/ต้น



ภาพประกอบที่ 3.30 จำนวนดอกเฉลี่ยของต้นดาวเรืองเมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 60 วัน

หมายเหตุ: T1 = ดินอย่างเดียว;

T2 = ดิน + ปุ๋ยเคมี (15: 15: 15)

T3 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T4 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T5 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (มีการเติม seed) โดยเติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

T6 = ดิน + ปุ๋ยหมักจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (ไม่มีการเติม seed) โดยเติมที่ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 เท่าของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงและการให้ดอกดาวเรือง จากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวที่ไม่มีการเติม seed และเติมปุ๋ยหมักในปริมาณที่มีในโตรเจนเทียบเท่ากับ 1 เท่าของปริมาณในโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง T4) พบว่า มีศักยภาพในการเป็นปุ๋ยเทียบเท่ากับปุ๋ยเคมีเนื่องจากสามารถทำให้ดินดาวเรืองเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีและให้จำนวนดอกได้ผลดีเทียบเท่ากับการปลูกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งผลจากการศึกษาที่ได้นี้ มีผลสอดคล้องกับรายงานของ นวลปรารค์ ไชตะขบ และธงไชย มาลา (2548) ที่ได้รายงานว่าผลของปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้งโรงงานผงชูรสต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองจะให้ความสูง และจำนวนดอกไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมี

3.7 การเปรียบเทียบเบื้องต้นของการใช้เทคโนโลยีในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลของการทดลองหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กากตะกอนส่วนเกินฯ ดังกล่าวได้นำมาทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบเบื้องต้นของการใช้เทคโนโลยีทั้ง 2 ในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ทั้งนี้พิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ (เบื้องต้น) โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับ ทั้งนี้คำนวณในส่วนที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้นซึ่งไม่รวมถึงค่าลงทุนการก่อสร้างระบบบำบัด รวมถึงพิจารณาจากข้อดี ข้อเสียหรือข้อจำกัดของเทคโนโลยีทั้ง 2 โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังต่อไปนี้

3.7.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

3.7.1.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการหมักทำปุ๋ย

การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ในการหมักทำเป็นปุ๋ย โดยพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายการทำปุ๋ยหมักและราคาที่จะขายปุ๋ยที่หมักได้ตามราคาท้องตลาด โดยใช้เงื่อนไขจากการทดลองการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางข้น และการทดสอบศักยภาพการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้ในการปลูกดาวเรืองที่ให้ผลดีที่สุด คือ ชุดทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าว (สัดส่วนผสม 12:1:2) และมีการใช้ seed พด. 1 ทั้งนี้ให้ผลการทดลองที่มีคุณภาพปุ๋ยเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยหมักมากที่สุด และให้ผลผลิตปุ๋ยที่ได้ (% yield) เท่ากับ 57% โดย

น้ำหนัก ในการคำนวณค่าใช้จ่ายคำนวณจากค่าแรงงานคน ค่าไฟฟ้า และไม่รวมค่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ด้วยเป็นวัตถุดิบที่เกิดขึ้นและต้องการบำบัด) ทั้งนี้มีเกณฑ์หรือค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ คือ

- 1) ใช้กากตะกอนหมักที่วันละ 3,000 กิโลกรัม
 - 2) หมักปุ๋ย 90 วัน
 - 3) การเติมอากาศที่ 19 ลบ.ม./ชั่วโมง (เติมอากาศ 3 ชั่วโมง หยุด 1 ชั่วโมง) โดยใช้ปั๊มอากาศแบบ ring blower ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง
 - 4) อัตราการใช้วัสดุหมักคือ กากตะกอน: ขี้เถ้า: ขุยมะพร้าว เท่ากับ 12:1:2
 - 5) ใช้ seed พด. 1 ที่อัตรา (1 ชอง/1 ต้นวัสดุหมัก) (ไม่มีค่าใช้จ่าย ด้วยได้ฟรี)
 - 6) ราคาที่ขายปุ๋ยหมัก คิดที่ 6 บาท/กิโลกรัม (บริษัท ไทยรุ่งเจริญดี จำกัด, 2559)
 - 7) Yield ปุ๋ยหมักที่ได้ 57% โดยน้ำหนัก
 - 8) การดำเนินงานใช้คนงาน/แรงงานหลักๆ ใน 2 วัน คือวันแรกเตรียมวัสดุหมักวันที่ 90 จัดการวัสดุหมัก โดยใช้แรงงานวันละ 2 คน มีอัตราค่าแรงวันละ 300 บาท/คน
 - 9) ไม่คิดค่าขนส่งวัสดุ
 - 10) คิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ 2.9780 บาท/หน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559)
 - 11) ค่าขี้เถ้าแกลบคิดที่ 4 บาท/กิโลกรัม (ตลาดสินค้าเกษตรออนไลน์, 2560)
 - 12) ค่าขุยมะพร้าวคิดที่คิดที่ 2.5 บาท/กิโลกรัม (ตลาดสินค้าเกษตรออนไลน์, 2560)
- ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนแสดงดังสรุปในตารางที่ 3.19 ทั้งนี้คิดจากวิธีการหมักปุ๋ยแบบกะ (batch)

3.7.1.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสตัคซ์ของโรงงานน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ในการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้การคำนวณใช้จากชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมสารปรับสภาพตะกอนและรีดน้ำแล้ว ซึ่งให้สัดส่วนก๊าซมีเทนสูงที่สุด ในการหมักแบบไร้อากาศเป็นเวลา 30 วัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ $0.045 \text{ m}^3 \text{ biogas}/1 \text{ kg VS}_{\text{removal}}$ ซึ่ง VS ที่ถูกกำจัดไปคิดเป็น 71.35%

ทั้งนี้ในการคำนวณไม่รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ต่างๆ และระบบของหน่วยบำบัด และการประเมินรายรับจากการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนพลังงานในรูปของพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้มีเกณฑ์/ข้อมูลในการคำนวณคือ

- 1) กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมสารปรับสภาพตะกอนและรีดน้ำแล้ว 3,000 กิโลกรัม
- 2) ตะกอนมี VS เท่ากับ 81,585.88 กรัม/กิโลกรัม
- 3) หมักแบบไร้อากาศ 30 วัน (คิดแบบ batch)
- 4) VS ที่ถูกกำจัด 71.35%
- 5) ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ $0.045 \text{ m}^3 \text{ biogas}/1 \text{ kg VS}_{\text{removal}}$
- 6) อัตราการให้ก๊าซมีเทน $0.031 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/1 \text{ kg VS}_{\text{removal}}$
- 7) สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ 40.19%
- 8) ค่าอัตราการเปลี่ยนก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ทดแทนพลังงานในรูปของพลังงานไฟฟ้าได้ 1.20 kWh (คิดที่ CH_4 60%) (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550)
- 9) ราคาขายพลังงานไฟฟ้าคิดที่ 1.3576 บาท/หน่วย
- 10) ค่าแรงงาน 1 คน เป็นเวลา 30 วัน มีอัตราค่าแรงวันละ 300 บาท/คน ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนแสดงดังสรุปในตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและผลตอบแทนที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ค่าใช้จ่ายจากการดำเนินงาน		ผลตอบแทน	
การหมักปุ๋ย			
- ค่าแรงงาน (บาท)	1,200	- รายได้จากการขายปุ๋ย (บาท)	10,260
- ค่าวัสดุ : จี๋เถ้า (บาท)	960		
- ค่าวัสดุ : ขุยมะพร้าว (บาท)	1,245		
- ค่าไฟฟ้า (บาท)	3,598.98		
- รวม ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด (บาท)	7,003.20	- รวมรายรับที่ได้ (บาท)	10,260
- ค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ/ปุ๋ยหมักที่ได้ (บาท/กิโลกรัม)	4.10	- ค่าเฉลี่ยของรายได้จากการขายปุ๋ย (บาท/กิโลกรัม)	6

ตารางที่ 3.19 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและผลตอบแทนที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ค่าใช้จ่ายจากการดำเนินงาน		ผลตอบแทน	
		- กำไรจากการขายปุ๋ยหมักที่ได้ (บาท/กิโลกรัม)	1.9
		- กำไรที่ได้จากการหมักต่อ รอบ (บาท)	3,249
การหมักกากตะกอนแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ			
- ค่าแรงงาน (บาท)	9,000	- รายได้จากการขายพลังงาน ไฟฟ้า (บาท)*	10,242
		- กำไรจากการขายพลังงาน ไฟฟ้า (บาท)	1,242

หมายเหตุ: * ผลตอบแทนที่ประเมินได้จากการหมักไร้อากาศประเมินการผลิตก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ 40.19% ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยก๊าซ CH₄ ประมาณ 50-60% (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550)

ข้อมูลจากตารางที่ 3.19 ที่ได้จะเห็นว่าภายใต้การจัดการกากตะกอนที่เท่ากัน (3,000 กิโลกรัม) การหมักกากตะกอนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจะให้ผลตอบแทนน้อยกว่าการหมักทำปุ๋ย อย่างไรก็ตาม หากต้องมีการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักที่ยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ เช่น การลดความชื้นโดยการตากแดด ซึ่งต้องใช้พื้นที่และระยะเวลาค่อนข้างมากและยังมีค่าใช้จ่ายในด้านแรงงานเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพิ่มสูงขึ้น หรือการปรับปรุงการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพให้มี methane yield เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงเช่นกัน เนื่องจากต้องเพิ่มระยะเวลาในการหมักให้นานขึ้น โดยค่าใช้จ่ายในส่วนที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักหรือการปรับปรุงการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ยังไม่ได้นำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ แต่หากพิจารณาจากกิจกรรมที่ต้องปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักหรือการปรับปรุงการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นกว่าที่คำนวณไว้ในเบื้องต้น ด้วยมีการใช้เทคโนโลยีและมีขั้นตอนการดำเนินงานเพิ่มมากขึ้น

3.7.2 เปรียบเทียบเทคโนโลยีในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของเทคโนโลยี

เมื่อประเมินผลตอบแทนของเทคโนโลยีการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้แนวคิดในการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยใช้กากตะกอนที่มีการปรับสภาพและรีดน้ำแล้วที่ปริมาณ 3,000 กิโลกรัม/วัน สามารถเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 ผลการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย/ข้อจำกัด และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์กากตะกอนส่วนเกินฯ ด้วยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

หัวข้อในการพิจารณา	การหมักปุ๋ย	การหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ
1) ผลตอบแทนที่ได้ หลังหักค่าใช้จ่ายใน การดำเนินการ	3,249 บาท/ภายใน 90 วัน	1,242.02 บาท/ภายใน 30 วัน
2) ในแง่ของพื้นที่	ใช้พื้นที่ประมาณ 315 ตร.ม. (3 x 1 x 1 m ³ (กว้าง x ยาว x สูง) และเว้นระยะห่างของช่องหมัก ให้ห่างกัน 0.5 m ³ ใช้เวลา 90 วัน)	ใช้พื้นที่ประมาณ 45 ตร.ม. (1 x 1 x 3 m ³ (กว้าง x ยาว x สูง) และเว้นระยะห่างของถังหมักให้ ห่างกัน 0.5 m ³ ใช้เวลา 30 วัน)
3) ต้นทุนระยะเวลาที่ใช้ ประโยชน์ได้	ใช้ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย 90 วัน	ใช้ระยะเวลาในการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ 30 วัน
4) ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม	- มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น - ความเสี่ยงต่อการปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจก	- มีปัญหาเรื่องกลิ่นน้อย - ลดปัญหาการปลดปล่อยก๊าซ เรือนกระจก

ตารางที่ 3.20 ผลการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย/ข้อจำกัด และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์กากตะกอนส่วนเกิน^๑ ด้วยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

หัวข้อในการพิจารณา	การหมักปุ๋ย	การหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ
5) การใช้ประโยชน์เพิ่มเติม	ไม่มี	- สามารถใช้ประโยชน์จากกากตะกอนหลังจากการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดินหรือนำไปทำปุ๋ยหมักได้ (แต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ)
6) จุดอ่อนของ Technology ที่ใช้	- มีการปนเปื้อนของ Zn - มีค่าความชื้นสูง	- methane yield ยังต่ำ - ต้องมีต้นทุนด้านการเปลี่ยน biogas เป็นพลังงานไฟฟ้า

จากการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย/ข้อจำกัด ในการใช้เทคโนโลยีในการจัดการกากตะกอนโดยการหมักทำปุ๋ยและหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นการหมักทำปุ๋ยให้ผลตอบแทนได้มากกว่าการนำกากตะกอนไปหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ แต่การนำกากตะกอนมาหมักปุ๋ยจะใช้พื้นที่ในการดำเนินการมากกว่า ใช้ระยะเวลานานกว่าและอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าการนำกากตะกอนมาหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตาม กากตะกอนที่เหลือจากการหมักแบบไร้อากาศยังสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุบำรุงดินหรือปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการจำหน่ายได้อีกจึงสามารถเพิ่มมูลค่าให้กากตะกอนได้อีกทางหนึ่ง และยังสามารถลดเรื่องกลิ่นและปัญหาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้น หากพิจารณาในด้านผลตอบแทนที่ได้ พบว่า การนำกากตะกอนมาหมักทำปุ๋ยมีความน่าสนใจมากกว่า อีกทั้งให้ผลผลิตเป็นปุ๋ยที่มีปริมาณ N, P, และ K สูง สามารถขายได้ราคาสูงกว่าราคาปุ๋ยหมักที่ขายตามท้องตลาดซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอน แต่มีความชื้นสูงและมีการปนเปื้อน Zn แม้การลดความชื้นจะสามารถทำได้ง่าย เช่น ฝั่แดด แต่ต้องใช้ระยะเวลาพื้นที่ และแรงงานเพิ่ม ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การลดการปนเปื้อนของ Zn สามารถทำได้โดยควบคุมการใช้ ZnO ในกระบวนการผลิต อีกทั้งการหมักปุ๋ยยังมีการใช้พื้นที่มากกว่าการ

หมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งหากพิจารณาในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการนำไปใช้ประโยชน์เพิ่มเติม พบว่า การนำกากตะกอนมาหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าและยังสามารถนำกากตะกอนหลังการหมักไปใช้ประโยชน์/เพิ่มมูลค่าได้อีก

3.8 ข้อเสนอแนะสำหรับโรงงาน

ผลจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า

1) จากการศึกษา พบว่า กากตะกอนส่วนเกินมีการปนเปื้อน Zn ในปริมาณสูงทางโรงงานจึงควรให้ความระมัดระวังการใช้กากตะกอนดังกล่าวเพื่อไม่ให้เข้าข่ายกลายเป็นกากของเสียอันตรายด้วยมี Zn ในปริมาณสูงและพยายามควบคุมการใช้ ZnO ในกระบวนการผลิตเพื่อลดการปนเปื้อนของ Zn ในกากตะกอนฯ

2) ทางโรงงานควรมีการใช้สารปรับสภาพตะกอนที่เหมาะสมเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดผลกระทบจากสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพตะกอน ซึ่งจากการศึกษานี้ พบว่า การใช้สารปรับสภาพทางเคมี โดยใช้ alum ที่ 0.1 g/1 L sludge ผสม polyacrylamide ที่ 0.1 g/1 L sludge จะให้ผลของการปรับสภาพตะกอนได้ดีและมีค่า specific resistance (ความต้านทานจำเพาะ) และ capillary suction time (CST) ที่ดีกว่าเงื่อนไขอื่นๆ จึงเสนอให้ใช้เงื่อนไขดังกล่าวในการปรับสภาพตะกอนฯ หรือให้ปรับให้มีการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหา dose ที่เหมาะสมก่อนการปรับสภาพตะกอนโดยใช้เทคนิค buchner funnel test

3) จากผลการศึกษาที่ได้ พบว่า ทางเลือกของการจัดการกากตะกอนเพื่อให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น อาจทำได้ทั้ง การหมักปุ๋ย การหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ แต่พบว่าทั้ง 2 ทางเลือกยังมีข้อดีข้อเสียและข้อจำกัด จึงควรมีการบริหารจัดการของโรงงานหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาศึกษาเพื่อนำมาปรับใช้ของทางเลือกที่เหมาะสมกับแต่ละโรงงานต่อไป รวมทั้งมีข้อเสนอแนะที่ในการศึกษาวิจัยเพิ่มหรือต่อยอดเพื่อให้ได้เงื่อนไขการใช้เทคโนโลยีทั้ง 2 ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ

- การทดลองของการหมักโดยการใช้กากตะกอนที่รีดแล้วจากโรงงานที่มีการใช้กากของเสียอินทรีย์อื่นในท้องถิ่นมาผสม เช่น กากไฮปาล์ม จีเลื้อย เป็นต้น เพื่อลดความชื้นลง และปรับค่า C/N ที่เหมาะสมตามทฤษฎี (25-30) และศึกษาถึงศักยภาพการเป็นปุ๋ยหมักและคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้

- วิธี/ทางเลือกของการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น โดยการคำนึงถึงผลกระทบของ Zn ที่ปนเปื้อนในกากตะกอน

- ทำการทดลองการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเต็ดสัดจ์จากโรงงานน้ำยางข้น โดยทำการศึกษาทดลองหมักแบบต่อเนื่องในระบบ small scale หรือระดับห้องปฏิบัติการเพื่อติดตามผลของประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวภาพในระบบหมักขณะเกิดปฏิกิริยา ภายใต้เงื่อนไขทางวิศวกรรมของการเดินระบบ เช่น HRT, organic loading เป็นต้น ตลอดจนสภาพปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระยะยาว และ yield biogas/methane ที่ได้

บทที่ 4

บทสรุป

การศึกษากาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ด สลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในครั้งนี เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์โดยศึกษาถึง สภาพปัญหาในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของ อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น รวมถึงขั้นตอนการปรับสภาพตะกอนก่อนนำไปบำบัดต่อทางชีวภาพ โดย มุ่งประเด็นของเทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพและสามารถใช้ประโยชน์โดยการหมักทำปุ๋ยและการ หมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้

4.1 บทสรุป

4.1.1 ภาพรวมของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้ของประเทศไทยที่ใช้ระบบ บำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ปัญหาการกากตะกอน การจัดการและลักษณะของกากตะกอน ส่วนเกินของโรงงานน้ำยางชั้น

โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในพื้นที่ 14 จังหวัดภาคใต้ของประเทศไทย มีจำนวน โรงงานทั้งสิ้น 66 โรงงาน (ข้อมูลปี 2558) กระจายตัวอยู่ใน 10 จังหวัด และมีอุตสาหกรรม น้ำยางชั้นจำนวน 29 โรงงาน ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์คิดเป็นร้อยละ 43.93 ของจำนวนโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ จากการประมวลผลสภาพปัญหาการกากตะกอนส่วนเกิน จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ ผลจากแบบสอบถาม พบว่าร้อยละ 60 ของโรงงานน้ำยางชั้นส่วนใหญ่มีปัญหาด้านการจัดการกากตะกอนจากระบบ บำบัดน้ำเสีย และร้อยละ 70 ของโรงงานน้ำยางชั้นที่ใช้ระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ในการ บำบัดน้ำเสียก่อให้เกิดกากตะกอนส่วนเกิน (ก่อนรีดน้ำออก) ในช่วงต่ำกว่า 10 ลบ.ม./วัน ถึง 20 ลบ.ม./วัน และโรงงานร้อยละ 40 มีการจัดการกากตะกอนเบื้องต้นด้วยการรีดตะกอน สำหรับกลุ่ม โรงงานน้ำยางชั้นที่มีการรีดตะกอนมีการใช้ polyaluminium chloride และ polyacrylamide ในการ ปรับสภาพกากตะกอน โดยมีปริมาณการใช้ในช่วงปริมาณ 2.54-2.67 กก./ตันตะกอนที่ผ่านการ รีดตะกอน ซึ่งตะกอนที่รีดแล้วมีการนำไปใช้ในสวนปาล์ม (ร้อยละ 50) นอกจากนี้ปัญหาที่ เกิดจากกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรม น้ำยางชั้น พบว่า มีโรงงานร้อยละ 40 ระบุว่ายังไม่สามารถนำกากตะกอนดังกล่าวกลับมาใช้

ประโยชน์ได้ และโรงงานมีความคาดหวังในการพัฒนาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานน้ำยางชั้น โดยต้องการความรู้ในการจัดการกากตะกอน และเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ให้ประโยชน์สูงคิดเป็นร้อยละ 60 ของโรงงาน รวมถึงต้องการนำกากตะกอนส่วนเกิน ไปใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามแสดงให้เห็นว่าโรงงานน้ำยางชั้นดังกล่าวมีปัญหาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ซึ่งยังต้องการพัฒนาทั้งในเรื่องความรู้และความสามารถในการดูแลรับผิดชอบการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ จากการศึกษาเชิงลึกจากโรงงานที่อนุญาตให้ศึกษาข้อมูล พบว่ากระบวนการผลิตน้ำยางชั้นมีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 1.54 ลบ.ม./ตัน และก่อให้เกิดน้ำเสีรวมเฉลี่ย 508 ลบ.ม./วัน โดยน้ำเสียเหล่านี้ถูกบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ซึ่งก่อให้เกิดกากตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำเฉลี่ย 3.1 ตัน/วัน โดยมีการใช้ polyacrylamide ในการปรับสภาพตะกอนคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.74 กิโลกรัม/ตันตะกอนที่รีดแล้ว และอัตราการเกิดตะกอนในช่วงเปิดกรีดยางใหม่มีปริมาณการเกิดกากตะกอนน้อยกว่าในช่วงกรีดยางปกติ ลักษณะตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้น พบว่าเป็นกากตะกอนที่มีปริมาณความชื้นสูง (88.51%) และมีธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูง โดยเฉพาะปริมาณ N มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 8.0% น้ำหนักแห้ง สำหรับ P และ K มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 2.0% และ 1.0% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่มี C/N ต่ำมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.38 และแม้ว่ากากตะกอนเหล่านี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหารของพืช แต่ก็มีโลหะหนัก โดยเฉพาะ Zn ค่อนข้างสูง (เฉลี่ย 3.01% น้ำหนักแห้ง) จึงควรคำนึงถึงผลกระทบหากมีการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์

4.1.2 การทำ conditioning ทางเคมีของกากตะกอนต่อความสามารถการเอาน้ำออก (dewatering)

จากการศึกษาถึงปริมาณของสารเคมีที่ใช้ต่อความสามารถในการแยกน้ำจากตะกอน โดยการประเมินค่า specific resistance (ความต้านทานจำเพาะ) และ capillary suction time (CST) สำหรับการดูความสามารถการแยกน้ำจากกากตะกอน หรือการรีดน้ำออกจากตะกอน โดยการทดสอบ buchner funnel test พบว่า การใช้สารเคมี alum ที่ 0.1 g/l sludge ผสมกับ polyacrylamide ที่ 0.1 g/l sludge โดยปรับ pH ที่ 8 จะให้ค่า CST และ specific resistance ต่ำที่สุดภายใต้การพิจารณาจากเวลาที่ใช่และความต้านทานของตะกอนในการแยกน้ำออก ซึ่งเมื่อทำการรีดตะกอนสามารถเกิดประสิทธิภาพได้ดีที่สุด

4.1.3 การล้าง (elutriation) กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพของโรงงาน

เมื่อนำตะกอนที่รีดน้ำแล้วจากโรงงานมาล้างน้ำกลั่นและน้ำกลั่นที่ปรับพีเอช 5, 7 และ 9 โดยกวนล้างในช่วงแรกและให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง พบว่า ตะกอนจะเกิดการแตกตัวออกมาลักษณะเป็นเม็ดตะกอนขนาดเล็กไม่จับตัวเป็นก้อนเหมือนตะกอนที่ใช้ทดลองตั้งต้น และพบว่า จากการล้างตะกอนในช่วง 24 ชั่วโมง ชุดการทดลองที่ใช้น้ำไม่ปรับพีเอชทำให้ได้ค่า TDS มากสุด และชุดการทดลองที่ให้ค่า SCOD และ TDVS ลดลงได้มากที่สุด ในขณะที่ล้างตะกอน 24 ชั่วโมง คือชุดที่ใช้น้ำปรับพีเอชเท่ากับ 7 และ 9 ตามลำดับ เนื่องจากมีกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นเมื่อเวลาที่ตะกอนอยู่ในสารล้างตะกอนนานขึ้น นอกจากนี้ กากตะกอนที่ผ่านการล้างตะกอนมีปริมาณ N และ P ลดลงเล็กน้อย ชุดการทดลองที่ใช้น้ำล้างที่ปรับพีเอช 7 จะให้การละลายออกของ N จากตะกอนได้ดีที่สุด และ P พบว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำล้างที่ปรับพีเอช 7 และ 9 จะให้การละลายออกของ P จากตะกอนได้ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าขณะล้างตะกอนจะทำให้ N และ P ในตะกอนชะล้างออกสู่น้ำที่ใช้น้ำล้างตะกอนได้เช่นเดียวกับสารละลายของแข็ง/ของแข็งอินทรีย์ หรือ COD ดังนั้นน้ำล้างตะกอนจึงเป็นของเสียที่ต้องให้ความสำคัญในการบำบัดต่อไป

4.1.4 การศึกษาการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตมีเทนของกากตะกอนส่วนเกิน และน้ำจากการรีดตะกอน: ทดสอบด้วยเทคนิค Biochemical Methane Potential (BMP)

ศึกษาสภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์จากทั้งที่มีการปรับและไม่ปรับสภาพตะกอน โดยใช้ polyacrylamide และน้ำจากการรีดตะกอนที่มีการปนเปื้อนด้วยสารปรับสภาพกากตะกอน โดยทดสอบด้วยเทคนิค biochemical methane potential (BMP) ในระยะเวลา 30 วัน พบว่า ลักษณะกากตะกอนและน้ำรีดตะกอนที่ใช้ในการศึกษา พบว่า กากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีซึ่งนำมาจากถังตกตะกอนมีปริมาณ TS และ VS เท่ากับ 18,352 และ 13,617 mg/L ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงานมีปริมาณ TS และ VS เท่ากับ 98,212 และ 81,585 mg/kg น้ำหนักเปียกตามลำดับ และน้ำรีดตะกอนมีค่า COD เท่ากับ 1,730 mg/L และมีลักษณะของกากตะกอนเมื่อทดลองการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า มีปริมาณ VS ลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยชุดการทดลอง A2 (กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน) มีการลดลงของ VS มากสุด นอกจากนี้กากตะกอนที่เหลือจากการหมัก พบว่า มีค่า N ปริมาณสูง (3.78-7.26% น้ำหนักแห้ง) แสดงให้เห็นว่าสามารถนำกากตะกอนหลังการหมักแล้วไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินหรือนำไปหมักทำปุ๋ยเพื่อเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนได้อีกทางหนึ่ง

นอกจากนี้ ชุดการทดลองที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง A2 และ A3 ที่เป็นกากตะกอนจากโรงงานที่มีการปรับสภาพทางเคมีของ

ตะกอน แต่ชุดการทดลอง A3 มีการล้างตะกอน พบว่า ชุดการทดลอง A2 ผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าชุดที่มีการล้างตะกอน (ชุดการทดลอง A3) และเมื่อทำการเปรียบเทียบชุดการทดลอง A1 (ไม่ได้ใช้สารเคมีในการปรับสภาพตะกอน) กับชุดการทดลองซึ่งมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพตะกอนด้วย polyacrylamide ที่ 0.05, 0.1 และ 0.2 g/l L sludge (A4, A5 และ A6) พบว่า กากตะกอนที่ไม่ได้ใช้สารเคมีในการปรับสภาพตะกอนจะให้ผลของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในอัตราที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับชุดที่มีการเติมสารเคมีในการปรับสภาพตะกอน แสดงให้เห็นว่าสาร polyacrylamide ที่ใช้มีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ เมื่อทำการคำนวณอัตราส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพต่อค่า VS ที่ลดลงหรือถูกกำจัดไป พบว่า ชุดการทดลอง A1 มีประสิทธิภาพการให้ก๊าซชีวภาพและ methane yield ได้ดีที่สุดในเท่ากับ 0.163m^3 biogas/1 kg VS_{removal} และ $0.081\text{CH}_4/\text{kg VS}_{\text{removal}}$

ชุดการทดลองที่ทำการศึกษาด้วยกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน (A2) มีความสามารถทั้งในการผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด แต่สามารถผลิต methane yield และ biogas yield เมื่อเทียบกับค่า VS ที่ถูกกำจัดได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพตะกอน/รีดตะกอน (ชุดการทดลอง A1) โดยที่ชุด A1 ซึ่งใช้กากตะกอนส่วนเกินที่ไม่เติมสารเคมีในการปรับสภาพทางเคมีกลับให้ค่า methane yield และ biogas yield มากที่สุด เมื่อคิดจากค่า VS ที่ถูกกำจัด นอกจากนี้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้กากตะกอนที่ถูกทำการปรับสภาพทางเคมีแล้วมาล้างตะกอนเมื่อหมักให้เกิดก๊าซชีวภาพกลับพบว่ามี methane yield และ biogas yield ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ล้าง นอกจากนี้ พบว่า สารปรับสภาพตะกอน (polyacrylamide) มีผลต่อ methane yield และ biogas yield เมื่อคิดภายใต้ VS ที่ถูกกำจัด เมื่อพิจารณาถึงปริมาณก๊าซมีเทนประกอบ พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดตะกอนจากโรงงาน (ชุดการทดลอง A2) มีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 26.67 mL แต่สามารถผลิต methane yield และ biogas yield เมื่อเทียบกับค่า VS ที่ถูกกำจัดได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพตะกอน/รีดตะกอน (ชุดการทดลอง A1) แสดงให้เห็นว่า การใช้กากตะกอนที่ถูกทำการปรับสภาพทางเคมีแล้วนำมาล้างตะกอนมี methane yield และ biogas yield ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ล้าง เมื่อคิดภายใต้ VS ที่ถูกกำจัด

4.1.5 การบำบัดกากตะกอนส่วนเกินด้วยวิธีการหมักทำปุ๋ยและการทดสอบวัสดุหมักปุ๋ยที่ได้

จากการทดลองหมักทำปุ๋ยด้วยกากตะกอนจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มาหมักภายใต้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (ลดการเติมวัสดุอื่นๆ ในการปรับค่า C/N ตามเกณฑ์

ข้อเสนอแนะทางทฤษฎีของการหมักปุ๋ย แต่มีการปรับค่า K ในวัสดุหมักที่ใช้ก่อนการหมักโดยใช้ขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควันและขุยมะพร้าว) เป็นระยะเวลา 90 วัน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่มีการให้อากาศ/ไม่ให้อากาศและมีการใช้ seed โดยลักษณะกากตะกอนทางกายภาพและเคมี พบว่ากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางขั้นที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและรีดน้ำแล้วมีลักษณะเป็นของแข็ง เด็งได้ มีปริมาณความชื้นสูงถึง 88.47% ประกอบไปด้วยธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูง โดยประกอบไปด้วยธาตุ N, P และ K เฉลี่ย 8.55%, 1.78% และ 0.83% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รวมทั้งมีค่า Zn ปนเปื้อนในปริมาณค่อนข้างสูง และเมื่อทำการหมักปุ๋ย พบว่า เกิดปฏิกิริยาการหมักได้ค่อนข้างช้า สังเกตได้จากอุณหภูมิในกองปุ๋ยที่สูงขึ้นแล้วลดลง และตลอดระยะเวลาการหมักค่าความชื้นลดลงค่อนข้างน้อยแม้ในชุดที่มีการเติมอากาศ

สำหรับลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักทำปุ๋ยเป็นระยะเวลาการหมัก 90 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมี %yield ของปุ๋ยที่ได้อยู่ในช่วง 57-80% โดยน้ำหนัก หรือ 73-85% โดยปริมาตร และมีค่า MC, Electrical conductivity และ Germination index ไม่ผ่านมาตรฐาน อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่ได้ส่วนใหญ่มีธาตุอาหารในรูปของ P_2O_5 สูงกว่ามาตรฐาน เช่นเดียวกับ N ยกเว้นชุดการทดลองที่มีการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินผสมขี้เถ้า ขุยมะพร้าว และไม่มีการเติม seed ที่พบว่ายังมีค่า N ต่ำกว่ามาตรฐาน สำหรับค่า K พบว่าชุดที่ทำการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอนส่วนเกินเพียงอย่างเดียวทั้งแบบเติมและไม่เติมอากาศยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ชุดที่มีการเติมด้วยขี้เถ้าและขุยมะพร้าวค่า K สูงกว่า นอกจากนี้ทุกชุดการทดลองยังผ่านมาตรฐานในด้านโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด อย่างไรก็ตามยังพบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ยังมีค่า Zn ที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ ค่าดัชนีการงอกของตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมัก 90 วัน ของทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวและมีการเติม seed ให้ค่าดัชนีการงอกสูงกว่าชุดทดลองอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 73.13%

เมื่อใช้วัสดุหมักที่ได้ไปทดสอบการปลูกดาวเรือง โดยเลือกปุ๋ยหมักในชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่มีการใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวทั้งแบบเติมและไม่เติม seed โดยมีการเติมปุ๋ยหมักให้มีปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่า 1 และ 0.5 เท่ากับปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยเคมี ไปทดลองปลูกต้นดาวเรืองเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้กากตะกอนส่วนเกินที่มีการเติมขี้เถ้าและขุยมะพร้าวที่ไม่มีการเติม seed และเติมปุ๋ยหมักในปริมาณที่มีไนโตรเจนเทียบเท่ากับ 1 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง T4) มีศักยภาพในการเป็นปุ๋ย

เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมีเนื่องจากสามารถทำให้ต้นดาวเรืองเจริญเติบโตด้านความสูงได้ดีและให้จำนวนดอกได้ผลดีเทียบเท่ากับการปลูกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยเคมี

4.1.6 การเปรียบเทียบเบื้องต้นของการใช้เทคโนโลยีในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

การเปรียบเทียบเทคโนโลยีในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยการหมักปุ๋ยและการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาค่าทางเศรษฐศาสตร์ ภายใต้แนวคิดในการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (กากตะกอน 3,000 กิโลกรัม) พบว่า ในด้านผลตอบแทนที่ได้รับการหมักทำปุ๋ยมีให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าแต่มีการใช้พื้นที่มากกว่าการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ และเมื่อพิจารณาในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการนำไปใช้ประโยชน์เพิ่มเติม พบว่า การนำกากตะกอนมาหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าและยังสามารถนำกากตะกอนหลังการหมักไปใช้ประโยชน์ต่อได้อีก

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **ปุ๋ยหมัก**. กองปรัรักษาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2551. **หลักสูตรการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้น. หนังสือในโครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ**. เข้าถึงได้ที่ : <http://www.engrgy-based.nrct.go.th>. (28 ธันวาคม 2558).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2531. **กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ฟัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ออนไลน์)** เข้าถึงได้ที่ : <http://www.environnet.in.th/> (20 มีนาคม 2558).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2550. **ประกาศกระทรวงฯ เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว 2548 (ออนไลน์)**. เข้าถึงได้ที่ : <http://www.industry.go.th/roiet/index.php> (11 ตุลาคม 2557).
- กรมโรงงาน อุตสาหกรรม . 2558. **ข้อมูลโรงงาน (ออนไลน์)**. เข้าถึงได้ที่ : <http://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=data1search>. (28 ธันวาคม 2558)
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม . 2559. **ข้อมูลโรงงานที่มีน้ำเสีย (ออนไลน์)**. เข้าถึงได้ที่ : <http://reg.diw.go.th/water/data.asp?amp=10&prov=90>. (4 มกราคม 2559)
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. **คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. ควิกปรินท์ออฟเซ็ท.
- กรมวิชาการเกษตร. 2555. **มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ออนไลน์)**. เข้าถึงได้ที่ : http://www.agriinfo.doae.go.th/year52/knowledge/km_13-01-52.doc. (11 มีนาคม 2558)
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545. **การปลูกดาวเรือง**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2560. อัตราค่าไฟฟ้า (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: <http://www2.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html> (6 เมษายน 2560)

เกรียงศักดิ์ อินนุพัฒน์ พนาลี ชิวกิดาการ เจิดจรรยา ศิริวงศ์ พรทิพย์ ศรีแดง อุดมผล พีชนิไพบูลย์ และสมทิพย์ ด่านธีรวณิชย์. 2554. สภาพปัญหาสิ่งแวดล้อมและการจัดการของอุตสาหกรรมยางพารา ภูมิศึกษาภาคใต้ของประเทศไทย. เอกสารการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ “แม่โจ้-แพร์ วิจัยครั้งที่ 2”. ระหว่างวันที่ 1-2 กันยายน 2554.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. 2544. การบำบัดและการกำจัดสลัดจ์: การจัดการคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช: นนทบุรี

จันทิมา สกุดพานิชย์. 2548. การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูง โดยใช้ระบบยูเอเอสบี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.

จิราพร ศิริวัฒน์. 2554. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นร่วมกับกากสลัดจ์จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เจิดจรรยา ศิริวงศ์, สุวิทย์ สุวรรณโณ, สมทิพย์ ด่านธีรวณิชย์, พนาลี ชิวกิดาการ, พรทิพย์ ศรีแดง, ปิยะนุช ฝ่ายทอง, วราศรี พรหมหอม และสมศักดิ์ สระแก้ว. 2555. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย เรื่องการประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักในภาคใต้: ภูมิศึกษาใน จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชนิดา ไกรขุนทด. 2543. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และธาตุอาหารในกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ดวงกมล กฤตสัมพันธ์, สมทิพย์ ด่านธีรวณิชย์, พนาลี ชิวกิดาการ และพรทิพย์ ศรีแดง. 2555. เติตระเมธิต ไทยแรม ไคซัล ไฟด์ และสังกะสีในระบบบำบัดน้ำเสียและกากขี้เป้งของโรงงานน้ำยางชั้น.

เอกสารประกอบการประชุมเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ครั้งที่ 3, จังหวัดเชียงใหม่วันที่ 23 พฤศจิกายน 2555, หน้า ST 133- ST142.

ตลาดสินค้าเกษตรออนไลน์. 2560. ราคาสินค้า (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: <http://www.nanagarden.com> (6 มีนาคม 2560)

ทัศนีย์ สุชินพวงศ์. 2540. การบำรุงรักษาระบบกำจัดตะกอนแบบ aerobic digestion ของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำทุ่งสองห้อง 2. (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://dds.bangkok.go.thNews_dds/magazine/magazine5/maga5_10.pdf (24 ธันวาคม 2558)

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์ และ Takayuki, S. 2545. เกษตรธรรมชาติ. สำนักพิมพ์ ส.วิรัชการพิมพ์: กรุงเทพฯ.

ธนิยา เกาศล. 2556. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนเครื่องดีแคนเตอร์ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นภารัตน์ ไวยเจริญ. 2544. การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นฤเทพ บุญเรืองขาว. 2550. การติดตามตรวจสอบประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมยางพาราในภาคใต้ตอนล่าง, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นवलปรางค์ ไชตะขบ และธงไชย มาลา. 2548. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานผงชูรสที่มีต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. 1-4 กุมภาพันธ์ 2548. ณ กรุงเทพฯ

บริษัท ไทยรุ่งเจริญดี จำกัด. 2559. ราคาปุ๋ยอินทรีย์ (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: <http://www.thaifertilizer.com/organic-fertilizer-price> (5 ธันวาคม 2559).

- ประกาศิต อินทรสำอางค์. 2549. การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย
 จี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัสและตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประไพพรรณ จันทิพย์. 2559. การทำปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัด
 น้ำเสียของโรงงานน้ำตาลขุ่นและกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR 20. วิทยานิพนธ์
 วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประริญา ไร่ไพ. 2546. การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอนินทรีย์สารเพื่อ
 ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปอยลดา สิทธิศักดิ์, วิชณา ทองมาก และสุวรรณ เลี่ยมสุวรรณ. 2555. การประเมินสภาพปัญหา
 มลพิษจากอุตสาหกรรมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. โครงการนักศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
 สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พงศ์นรินทร์ ปรายนคร. 2543. การบำบัดน้ำเสียขั้นต้นโดยวิธีการลอยตัวของในปอดักยางสำหรับการ
 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาลขุ่น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย สาขาการ
 จัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พนาลี ชิวกิดาการ, สมทิพย์ ด่านธีรวิชย์, เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ และนภารัตน์ ไวยเจริญ. 2554. โครงการวิจัย
 การใช้กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และกากขี้แป้งของ
 โรงงานน้ำตาลขุ่นมาทำเป็นปุ๋ยหมักอัดเม็ด. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2548. ปุ๋ยอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์บ้านและสวน: กรุงเทพฯ.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม กระทรวงพลังงาน. 2550. ข้อมูลพื้นฐานชีวมวล (ออนไลน์) เข้าถึง
 ได้ที่: <http://www.efe.or.th/home.php>. (28 มีนาคม 2559)
- ขงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรอย่าง
 ยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์. 2549. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์. สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดเอ็มพอร์เรียม: กรุงเทพฯ.

- ระเบียบ บินอาสัน และนำฟีละ บิลหลี. 2544. การศึกษาเปรียบเทียบการทำปุ๋ยหมักจากเศษผักและ
เศษอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสงขลา.
- วรรณฤดี หวันเซ่ง. 2549. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบ
แอกติเวเต็ดสลัดจ์สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยการควบคุมค่าไออาร์พี.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. กากนำกากขี้เียงจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำ
เป็นสตุบารุงดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ศิรินทรา วันดี. 2552. การศึกษาการนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง (STR 20) มาหมักปุ๋ย.
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศุวศา กานตวนิชกูร. 2539. เทคโนโลยีการหมุนเวียนทรัพยากรมาใช้ใหม่. ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมทิพย์ คำนธีรวิชย์ อุดมผล พีชนีย์ไพบูลย์ เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี และคณะ. 2545. รายงาน
โครงการวิจัยเรื่องการตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้น ภายใต้ชุด
โครงการวิจัยเรื่องการจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมทิพย์ คำนธีรวิชย์. 2541. มูลฝอยและของเสียที่เป็นภัย.เอกสารภายใต้โครงการ THAITREM:
CP/5220-97-06 เรื่ อ ง Strengthening Solid and Hazardous Wastes Consortium for
Sustainable Environmental Cooperation in Thailand ส นั บ ส นู น โด ย DANCED/UNEP-
ROAP.
- สมศักดิ์ จีรัตน์. มปป. การผลิตปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินและรักษาสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัย
สาริตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุจินดา ลักษณาติสร. 2542. กากตะกอน/น้ำเสีย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 14: 21-23.
- สุเมธ ไชยประพัทธ์. 2553. การจัดการมูลฝอยเชิงบูรณาการ หลักปฏิบัติและทฤษฎีพื้นฐาน.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: สงขลา.

- สุเมธ ไชยประพัทธ์ และปิยะรัตน์ บุญแสวง. 2556. การจัดทำระบบชี้วัดประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพและการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียในกลุ่มโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. รายงานวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อภิรัฐ จูทอง. 2553. วัสดุปรับปรุงดินจากกากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและมูลสุกรสำหรับการปลูกกระถินเทพา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อาภรณ์ รักเกิด. 2542. การประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยางและการกำจัดไนโตรเจนด้วยระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวะประเภทเกาะผิว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ. 2545. การใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลและสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Alvarez, J.A., Otero, L. and Lema, J.M., 2010. A methodology for optimizing feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. **Bioresource Technology**. 101 : 1153–1158.
- Alzate, M.E., Muñoz, R., Rogalla, F., Fdz-Polanco, F. and Pérez-Elvira S.I. 2012. Biochemical methane potential of microalgae: Influence of substrate to inoculum ratio, biomass concentration and pretreatment. **Bioresource Technology**. 123: 488–494.
- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., Guwy, A.J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P. and Van Lier, J.B., 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. **Water Science and Technology**. 59(5): 927–934.
- AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists**, 15th ed., USA: AOAC, Inc.

- Aparna, C., Saritha, P., Himabindu, V. and Anjaneyulu, Y. 2008. Techniques for the Evaluation of Matulity for Composts of Industrially Contaminated Lake Sediments. **Waste Management**. 28: 1773-1784.
- APHA, AWWA. and WEF. 2012. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 22th edition. Washington D.C: American Public Health Association.
- Backe, W.J., Yingling, V. and Johnson, T. 2014. The determination of acrylamide in environmental and drinking waters by large-volume injection-hydrophilic-interaction liquid chromatography and tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**. 1334: 72–78.
- Bertran, E., Sort, X., Soliva, M. and Trillas, I. 2004. Composting winery waste: sludges and grape stalks. **Bioresource Technology**. 95: 203–208.
- Bonnard, N., Jargot, D., Miraval, S., Pillière., F. and Schneider O. 2007. Fiche toxicologique FT 119 Acrylamide, INRS
- Brown, L., Bancroft, K.C.C. and Rhead, M.M. 1980. Laboratory studies on the adsorption of acrylamidemonomer by sludge, sediments, clays, peat and synthetic resins. **Water Research**. 14:779–781.
- Brown, L., Rhead, M.M., Hill, D. and Bancroft KCC. 1982. Qualitative and quantitative studies on the in situ adsorption, degradation and toxicity of acrylamide by the spiking of the wastes of two sewageworks and a river. **Water Research**. 16:579–591.
- California Compost Quality Council. 2001. Compost maturity index. 19375 Lake city road
- Caulfield, M.J., Qiao, G.G., Solomon, D.H., 2002. Some aspects of the properties and degradation of polyacrylamides. **Chemical Reviews**. 102, 3067–3083.
- Charoenpanich, J. 2013. Removal of acrylamide by microorganisms. In: Patil YB, Rao P (ed) Applied bioremediation—active and passive approaches, Intech Open Science.

- Chen, Y., Huang, X., Han, Z., Huang, X., Hu, B., Shi, D. and Wu, W. 2010. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. **Chemosphere**. 78: 1177-1181.
- Cheremisinoff, P. N. 1994. **Sludge Management and Disposal**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Croll, B.T., Arkill, G.M. and Hodge, R.P.J. 1974. Residues of acrylamide in water. **Water Research**. 8:989–993.
- Danteravanich, S., Puetpaiboon, U. and Proukaew, N. 2007. A survey of wastewater management in the concentrated latex industry in Southern Thailand, **in Southeast Asian Water Environment 2**, edited by H. Furumai, F.Kurusu, H. katayama, H. Satoh, S. Ohgaki, and NC Thanh, IWA Publishing, ISBN:1843391244
- De Boodt, M. 1997. Soil conditioning for better soil management. *Outlook on Agriculture* 10.
- Dhokpande, S., Kaware, J. and Kulkarni, S.2014 Activated sludge for heavy metal removal - A review. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology**. 254-259.
- EC (European Commission). 1999. Dangerous Preparations Directive 1999/45/EC of the European Parliament and of the Council of 31 May 1999 concerning the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to the classification, packaging and labelling of dangerous preparations. European Union, Brussels
- EC (European Commission). 2002. European Union Risk Assessment Report Acrylamide, EUR19835EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

- Eiland, F., Klamer, M., Lind, M., Leth, M. and Baath, E. 2001 Influence of Initial C/N ratio on Chemical and Microbial Composition During Long Term Composting of Straw. **Microbial Ecology**. 41: 272–280
- Flores-Juarez, C.R., Rodriguez-Garcia, A., Cardenas-Mijangos, J., Montoya-Herrera, L., Mora-Tovar, L.A.G., Bustos-Bustos, E., Rodriguez-Valadez, F. and Manriquez-Rocha, J. 2014. Chemically pretreating slaughterhouse solid waste to increase the efficiency of anaerobic digestion. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 118 (4): 415–419.
- Garcia Gomez A, Roiang A, Bernal M.P. 2003. Composting of the solid fraction olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. **Bioresource Technology**. 86: 59-64.
- Gaur, Z.R. and Suthar, S. 2017. Anaerobic digestion of activated sludge, anaerobic granular sludge and cow dung with food waste for enhanced methane production. **Journal of Cleaner Production**. 164: 557-566.
- Gunaseelan, V.N. 2004. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. **Biomass and Bioenergy**. 26(4), 389-399.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y. and Shen, Y. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. **Bioresource Technology**. 112: 171–178.
- Haug, R.T. 1980. Composting Engineering: Principle and Practice. **Technomic Publishing**. Co Inc., Lancaster, Pennsylvania. 655.
- He, M., Li, W., Liang, X., Wu, D. and Tian, G. 2009. Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure. **Waste Management**. 29: 590-597.

- Holliman, P.J., Clark, J.A., Julie, C., Williamson, J.C. and Jones, D.L. 2005. Model and field studies of the degradation of cross-linked polyacrylamide gels used during the revegetation of slate waste. **Science of the Total Environment**. 336:13–24.
- Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T. and Nagar, B.B., 2004. Effect of C/N on Composting of Pig Manure with Sawdust. **Waste Management**. 24: 805–813.
- Kafle, G.K., Kim, S.H. and Sung, K.I. 2013. Ensiling of fish industry waste for biogas production: A lab scale evaluation of biochemical methane potential (BMP) and kinetics. 127, 326-336.
- Kay-Shoemaker, J.L., Watwood, M.E., Lentz, R.D. and Sojka, R.E. 1998a. Polyacrylamide as an organic nitrogen source for soil microorganisms with potential effects on inorganic soil nitrogen in agricultural soil. **Soil Biology and Biochemistry**. 30:1045–1052
- Kay-Shoemaker, J.L., Watwood, M.E., Sojka, R.E. and Lentz, R.D. 1998b. Polyacrylamide as a substrate for microbial amidase in culture and soil. **Soil Biology and Biochemistry**. 30:1647–1654
- Kumar, M., Ou, Y.L. and Lin, J.G. 2010 Co-composting of Green Waste and Food Waste at Low C/N ratio. **Waste Management**. 30: 602–609.
- Lande, S.S., Bosch, S.J. and Howard, P.H. 1979 Degradation and leaching of acrylamide in soil. **Journal of Environmental Quality**. 8:133–137
- Li, C., Champagne, P. and Anderson, B.C., 2011. Evaluating and modeling biogas production from municipal fat oil, an dgrease and synthetic kitchen waste in anaerobic co-digestions. **Bioresource Technology**. 102: 9471–9480.
- Li, Y., Park, S.Y. and Zhu, J. 2011. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 15(1): 821-826.

- Lin, J.G., Ma, Y.S., and Huang, C.L. 1999. BMP test on chemically pretreated sludge. **Bioresource Technology**. 68(2): 187-192.
- Mackie, R.I. and Bryant, M.P. 1981. Metabolic Activity of Fatty Acid-Oxidizing Bacteria and the Contribution of Acetate, Propionate, Butyrate and CO₂ to Methanogenesis in Cattle Waste at 40 and 60 °C. **Apply Environment Microbial**. 41: 1,363-1,373.
- Manson, J. 1988. Sewage sludge to land. **Water and Wastewater Treatment**. 31: 4.
- Metcalf and Eddy. 2004. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. 4thed. New York: McGraw-Hill. Nevada city. Nevada city, CA 95959.
- Neilfa, A., Cano, R. and Fdz-Polanco, M., 2015. Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. **Biotechnology Reports**. 5: 14–21.
- Polprasert, C. 2007. **Organic Waste Recycling: Technology and Management**, the 3rd Edition, IWA Publishing, London, UK
- Rabbani, K.R., R. Jindal, H.Kubota, and L. Obeng. 1983. **Composting of Domestic Refuse**. Environmental Sanitation Review Report. 10/11:9-78.
- Rodriguez, A. and Benitez, J. 1988. Management of sludge from Puerto rico's regional industrial wastewater treatment plant: phase 2-dewatering. Final technical report to United states Department of the Interior. Washington, D.C.
- Saritpongteeraka, K. and Chaiprapat, S. 2008. Effects of pH Adjustment by Parawood Ash and Effluent Recycle Ratio on the Performance of Anaerobic Baffled Reactors Treating High Sulfate Wastewater. **Bioresource Technology**. 99: 8987–8994.
- Shanker, R., Ramakrishina, C. and Seth, P.K. 1990. Microbial degradation of acrylamide monomer. **Arch Microbiol** 154:192–198

- Shanmugam, P. and Horan, N.J., 2008. Simple and rapid methods to evaluate methane potential and biomass yield for a range of mixed solid wastes. **Bioresource Technology**. 100 (1): 471–474.
- Smith, E.A., Prues, S.L. and Oehme, F.W. 1996. Environmental degradation of polyacrylamides: I. Effects of artificial environmental conditions: temperature, light and pH. *Ecotoxicol Environ Saf* 35:121–135
- Smith, E.A., Prues, S.L. and Oehme, F.W. 1997. Environmental degradation of polyacrylamides. II. Effects of environmental (outdoor) exposure. *Ecotoxicol Environ Saf* 37:76–91
- USEPA. 2013. Toxicological review of acrylamide, EPA/635/R-07/009F. US Environmental Protection Agency, Washington, DC
- Ver Vers, L.M. 1999. Determination of acrylamide monomer in polyacrylamide degradation studies by high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatographic Science**. 37:486–494
- Wang, L.K., Shamma, N.K. and Hung, Y.T. 2009. **Advanced Biological Treatment Processes**. New York: Humana Press.
- Zhu, N. 2007. Effect of Low initial C/N ratio on Aerobic Composting of Swine Manure with Rice Straw. **Bioresource Technology**. 98: 9–13.
- Zorpas, A.A., Arapoglou, D. and Panagiotis, K., 2003. Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. **Waste Management**. 23: 27–35.

ภาคผนวก ก

แบบสัมภาษณ์ เรื่อง สภาพปัญหาการตกตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบแยกแยะเขตคัดลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้



แบบสัมภาษณ์

เรื่อง สภาพปัญหาการกักตุนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้

คำชี้แจง : แบบสัมภาษณ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อสำรวจข้อมูลพื้นฐานของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในภาคใต้ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ รวมถึงสภาพปัญหาในการดำเนินการจัดการกักตุนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินถึงสภาพปัญหา แนวทางเลือกของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการกักตุนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก ซึ่งจะเป็นแนวทางของการพัฒนาอย่างยั่งยืนภายใต้แนวคิดหลักของการนำกลับของเสียมาใช้ประโยชน์ (waste recovery and recycling)

แบบสัมภาษณ์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

ส่วนที่ 3 : ข้อมูลปัญหาด้านการกักตุนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย

โดยคณะผู้วิจัยใคร่ขอความร่วมมือจากหน่วยงานของท่านในการตอบแบบสัมภาษณ์ และโปรดส่งคืนมายัง นางสาววรรณ ฤดี หวันเซ่ง คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตู้ ป.ณ. 50 ปณฝ. คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 หรือทางโทรสาร หมายเลข 074 429758 หรือทางอีเมลล์ pook024@hotmail.com ภายในวันที่ 27 มีนาคม 2558 ทั้งนี้ขอรับรองว่าข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาในความร่วมมือของท่าน

คำแนะนำการกรอกข้อมูล : ขอความอนุเคราะห์ท่านให้ข้อมูลโดยเติมข้อความในช่องว่าง หรือเขียน
เครื่องหมาย ✓ ลงใน หน้าข้อความที่ต้องการเลือก

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. ชื่อผู้ตอบแบบสอบถาม (นาย/นาง/นางสาว)นามสกุล.....
โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้E-mail.....
ชื่อโรงงานของผู้ตอบแบบสอบถาม.....
ที่ตั้งบริษัท เลขที่ หมู่ที่ ซอย ถนน
ตำบล อำเภอ จังหวัด
รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร
2. เพศ
 ชาย หญิง
3. อายุ
 น้อยกว่า 25 ปี 25-30 ปี > 30-35 ปี
 > 35-40 ปี > 40-45 ปี > 45 ปีขึ้นไป
4. วุฒิการศึกษาสูงสุด
 ปวช. ปวส./อนุปริญญา ปริญญาตรี
ปริญญาโท ปริญญาเอก อื่นๆ(ระบุ).....
5. อายุงานในโรงงานปัจจุบัน
 น้อยกว่า 1 ปี > 1-3 ปี > 3-5 ปี
 > 5-7 ปี > 7-10 ปี > 10 ปี
6. ตำแหน่งของท่านในปัจจุบัน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 ผู้ดูแลสิ่งแวดล้อมโรงงาน
 ผู้จัดการสิ่งแวดล้อม
 ผู้จัดการฝ่ายผลิต
 ผู้จัดการฝ่ายบุคคล
 ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ
 ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษอากาศ
 ผู้ควบคุมระบบการจัดการมลพิษทางอุตสาหกรรม
 อื่นๆ (ระบุ).....

7. รายได้ต่อเดือนของท่านในปัจจุบัน

- < 10,000 บาท 10,000-15,000 บาท > 15,000-20,000 บาท
 > 20,000-25,000 บาท > 25,000-30,000 บาท > 30,000 บาท

ส่วนที่ 2: ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

1. โรงงานมีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังนี้ คือ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- น้ำยางข้น ยางแท่ง STR20 ยางแท่ง STR5L
 ยางสกิมเครฟ/บล็อก ยางแผ่นรมควัน อื่นๆ(ระบุ).....

2. ความสามารถของกำลังการผลิตน้ำยางข้นของโรงงาน มีดังนี้

- < 5 ตัน/วัน 5-10 ตัน/วัน 11-30 ตัน/วัน
 31-50 ตัน/วัน 51-70 ตัน/วัน 71-90 ตัน/วัน
 91-100 ตัน/วัน 101-150 ตัน/วัน 151-200 ตัน/วัน
 201-300 ตัน/วัน > 300 ตัน/วัน

3. หน่วยบำบัดน้ำเสียที่ใช้งานในโรงงาน คือ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- บ่อดักเศษยาง (rubber tap)
 บ่อดกตะกอน (sedimentation tank)
 บ่อบำบัดอากาศ (aerated lagoon)
 บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond)
 บ่อกึ่งมีอากาศกึ่งไร้อากาศ (facultative pond)
 แอคติเวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge)
 ระบบไร้อากาศ UASB (upflow anaerobic sludge blanket)
 ระบบบ่อบำบัดเสถียร (stabilization pond)
 ระบบบ่อบำบัด (oxidation pond)
 ระบบบ่อบ่ม (polishing pond)
 ระบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetland systems)
 ระบบบำบัดน้ำเสียบนดิน (land treatment)
 ระบบบำบัดกากตะกอนจากระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์
 ระบบแยกจากจากกากจี๊แป้ง
 อื่นๆ (ระบุ).....

4. โรงงานท่านมีบุคลากรที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการดูแลระบบบำบัดมลพิษของโรงงานหรือไม่

- ไม่มี
- มี ในด้านต่อไปนี้ คือ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ
 - ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษอากาศ
 - ผู้ควบคุมระบบการจัดการมลพิษกากอุตสาหกรรม

5. โรงงานท่านในปัจจุบันมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตน้ำยางชั้น (รวมยางสกิม) โดยเฉลี่ย คือ

- < 50 ลบ.ม./วัน 50-100 ลบ.ม./วัน 101-150 ลบ.ม./วัน
- 151-200 ลบ.ม./วัน 201-250 ลบ.ม./วัน 251-300 ลบ.ม./วัน
- > 300 ลบ.ม./วัน

ส่วนที่ 3: ข้อมูลปัญหาด้านกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย

1. ในปัจจุบันโรงงานท่านกำลังประสบปัญหาหรือมีภารกิจด้านการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียหรือไม่

- ไม่มี
- มี จากระบบ..... (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- บ่อดักเศษยาง (rubber tap)
 - บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon)
 - บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond)
 - บ่อกึ่งมีอากาศกึ่งไร้อากาศ (facultative pond)
 - แอक्टิวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge)
 - ระบบไร้อากาศ UASB (upflow anaerobic sludge blanket)
 - ระบบบ่อปรับเสถียร (stabilization pond)
 - ระบบบ่อผึ่ง (oxidation pond)
 - ระบบบ่อขัด (polishing pond)
 - ปัญหาจากกากขี้แป้งในระบบบำบัดน้ำเสีย
 - อื่นๆ (ระบุ).....

2. ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ในบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดแบบแอक्टิวเต็ดสลัดจ์มีปริมาณ (กิโลกรัม).....มก./ลิตร

3. ปริมาณกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณเท่าไร
- < 10 ลบ.ม./วัน 10-20 ลบ.ม./วัน 21-30 ลบ.ม./วัน
- 31-40 ลบ.ม./วัน 41-50 ลบ.ม./วัน > 50 ลบ.ม./วัน
4. วิธีการในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์คือ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- ไม่ได้มีการบำบัดกากตะกอนแต่อย่างใดมีเพียงสูบตะกอนส่วนเกินที่ได้ใส่บ่อพักโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์
- ทำการปรับสภาพตะกอน โดยใช้สารเคมี คือ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- ปูนขาว
- สารส้ม
- สาร poly aluminium chloride (PAC)
- สาร poly acrylamide
- สาร ferric chloride
- อื่นๆ (ระบุ).....
- ทำการรีดตะกอน ด้วยวิธี
- เครื่องรีดน้ำสลัดจ์แบบอัดกรอง (filter press)
- เครื่องรีดน้ำสลัดจ์แบบสายพานรีดน้ำ (belt press)
- อื่นๆ (ระบุ).....
- นำตะกอนที่รีดแล้วไปถมที่
- นำตะกอนที่รีดแล้วไปใช้ในสวน ระบุ...
- สวนยาง
- สวนปาล์ม
- อื่นๆ (ระบุ).....
- มีการใช้ประโยชน์กากตะกอนเพื่อเป็นปุ๋ยโดยนำไปดำเนินการในโรงงาน คือ
- หมักทำปุ๋ย
- หมักทำเป็นวัสดุปลูก
- ดากแห้ง/อบแห้งใช้เป็นปุ๋ยต่อไป
- อื่นๆ (ระบุ).....
- มีการนำตะกอนไปหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ
- มีการนำตะกอนไปเผา

ไม่ได้ดำเนินการใดๆ

5. กรณีมีการรีดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โรงงานประเมินได้ว่ามีปริมาณของกากตะกอนที่รีดแล้วเกิดขึ้นประมาณวันละ

< 1 ลบ.ม./วัน

1-3 ลบ.ม./วัน

> 3-5 ลบ.ม./วัน

> 5-7 ลบ.ม./วัน

> 7-10 ลบ.ม./วัน

> 10 ลบ.ม./วัน

6. โรงงานท่านมีค่าใช้จ่ายในด้านการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ดังนี้

มี แต่ระบุไม่ได้

มี ระบุได้ ดังนี้ (บาท/เดือน)

< 5,000

5,000-10,000

> 10,000-30,000

> 30,000-50,000

> 50,000-70,000

> 70,000-100,000

> 100,000-150,000

> 150,000-200,000

> 200,000

7. ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการจัดการกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ คือ (เรียงลำดับจากมากไปน้อยโดยระบุตัวเลข 1-7 หน้าข้อความ โดย 1 คือ มากที่สุด และ 7 คือ น้อยที่สุด)

___ สารเคมี

___ ค่าไฟฟ้า

___ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง

___ ค่าขนส่ง

___ ค่าการกำจัด

___ ค่าบุคลากรในการดูแลระบบ

___ อื่นๆ ระบุ.....

8. ลักษณะปัญหาที่เกิดจากกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่โรงงานมี

ไม่มีปัญหา

มี คือ..... (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

ไม่สามารถปฏิบัติได้ตามกฎหมาย

มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง

มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนสูง

ขาดพื้นที่ในการจัดการกากตะกอน

ขาดพื้นที่ในการกำจัดกากตะกอน

- ปัญหากลิ่นเหม็นจากกากตะกอน
- มีความไม่คุ้มค่าในการจัดการ
- ขาดความรู้ในส่วนของกากตะกอนและการจัดการ
- มีเทคโนโลยีในการรองรับในการจัดการกากตะกอนแต่ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ยังไม่สามารถนำกากตะกอนกลับมาใช้ประโยชน์ได้
- อื่นๆ (ระบุ).....

9. โรงงานมีความคาดหวังในการพัฒนาการจัดการกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
แยกแวกเท็ดสลัดจ์

- ไม่มี
- มี คือ..... (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 - ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น
 - ต้องการแหล่งรองรับในการกำจัด
 - ความรู้ในการจัดการกากตะกอน
 - เทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ให้ประโยชน์สูง
 - อื่นๆ (ระบุ).....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมืออย่างดียิ่งจากท่านมา ณ โอกาสนี้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาววรรณฤดี หวันแข่ง		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5410930003		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	
	ปีที่สำเร็จการศึกษา		
	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549
	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา	2547

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนบัณฑิตศึกษาสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2553

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

การตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

Wanseng, W., Danteravanich, S. and Chevakidagarn, P. 2017. Investigation of Excess Sludge Generated from Activated Sludge Treatment Plant of Concentrated Latex Factories: An Investigative Case Study in Southern Thailand. **Environment and Natural Resources Journal**. 15(2): 51-61.

Wanseng, W., Danteravanich, S. and Chevakidagarn, P. Low C/N Ratio Composting of Excess Sludge from Activated Sludge Wastewater Treatment System of Concentrated Latex Industry. **The Journal of Industrial Technology**. 13(3), 2017 (September-December, 2017) (Acceptance for Publication 1-018-60).