

Scan

แนวทางการนำภาคเอกชนนำเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์

นายมานิชย์ พงศ์ภักฑูติมา

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาวิทยาศาสตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2551

Guidelines for Recycle Utilization of Industrial Wastewater Sludge

Mr. Manote Pongpakchutima

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Public Health in Industrial Environment Management

School of Health Science

Sukhothai Thammathirat Open University

2008

หัวข้อการศึกษาคั่นคว่ำอิสระ แนวทางการนำภาคตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมกลับมา
ใช้ประโยชน์
ชื่อและนามสกุล นายมานิชย์ พงศ์ภักชุตินา
แขนงวิชา สาธารณสุขศาสตร์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ปิ ตุนไชยศรี

คณะกรรมการสอบการศึกษาคั่นคว่ำอิสระได้ให้ความเห็นชอบการศึกษาคั่นคว่ำอิสระ
ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ปิ ตุนไชยศรี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ อนุมัติให้รับการศึกษา
คั่นคว่ำอิสระฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)

ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

วันที่ 30 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2552

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ปิติ พูนไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาค้นคว้าอิสระ และรองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่อง จนรายงานการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์ นักศึกษารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช ที่ได้ให้ความรู้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อนและพี่ๆ นักศึกษา ที่ช่วยเหลือ แนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำค้นคว้าอิสระครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

มานิชย์ พงศ์ภักชุตินา

พฤษภาคม 2552

ชื่อการศึกษา **ค้นคว้าอิสระ** แนวทางการนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์
ผู้ศึกษา นายมานิชย์ พงศ์ภักชุตินา **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการ
 สิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี **ปีการศึกษา** 2551

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ (1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเรื่องกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน
 อุตสาหกรรม (2) ศึกษาและรวบรวมแนวทางการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม
 วิธีการจัดทำคู่มือดังกล่าว โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยและ
 วิทยานิพนธ์ เอกสารทางวิชาการต่างๆ และเว็บไซต์ ซึ่งจากข้อมูลที่ได้มาจากวิทยานิพนธ์ และ
 เอกสารวิชาการต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยใช้เกณฑ์ในการศึกษาดังนี้ (1) ข้อมูลด้าน
 น้ำเสียอุตสาหกรรม (2) ข้อมูลด้านกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม (3) ข้อมูลด้านแนวทางการ
 ใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสีย

ผลการศึกษา (1) อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วย
 สารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ และการบำบัดน้ำเสียจะใช้การบำบัดแบบชีววิทยาโดยใช้จุลินทรีย์ในการ
 เปลี่ยนสารอินทรีย์ สุดท้ายจะได้กากตะกอนออกมาเป็นจำนวนมาก สำหรับอุตสาหกรรมที่มีการ
 ใช้สารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในการผลิต เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมฟอกหนัง
 ก่อนที่จะนำน้ำเสียไปทำการบำบัดแบบชีววิทยาในขั้นสุดท้ายต้องมีการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ
 ออกไปก่อน เช่น กรด ค่าง สารเคมี และโลหะหนัก ซึ่งกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดแบบชีววิทยา
 สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ กากตะกอนประกอบด้วยสารต่างๆ ทั้งสารแขวนลอยและสารที่
 ละลายน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเศษเหลืออื่น ๆ ซึ่ง
 จะถูกบำบัดและได้เป็นกากตะกอน นอกจากนี้กากตะกอนยังเป็นแหล่งที่มีแร่ธาตุอื่นๆ ในปริมาณ
 สูง โดยเฉพาะธาตุเหล็ก แมงกานีสทองแดง สังกะสีและวิตามินเกือบทุกชนิด ปริมาณของ
 สารอาหาร ธาตุอาหารและค่าพลังงานความร้อน คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของ
 กากตะกอน ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียและวิธีการบำบัด (2) จากองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ
 ของกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ คือ ทำอาหารสัตว์
 ทำปุ๋ยหมัก ทำแท่งเพาะชำ ผลิตไฟฟ้า ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง และทำคอนกรีตมวลเบา

คำสำคัญ กากตะกอนน้ำเสีย การบำบัดกากตะกอน แท่งเพาะชำ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	2
กรอบแนวคิดทางทฤษฎี	2
ประเภทของการศึกษาค้นคว้าอิสระ	2
ประเด็นปัญหาที่ศึกษา	2
ขอบเขตการศึกษา	2
รูปแบบและวิธีการศึกษา	3
คำจำกัดความ	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
น้ำเสียอุตสาหกรรม	5
กากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม	15
การบำบัดกากตะกอน	23
การกำจัดกากตะกอน	41
บทที่ 3 การนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์	44
การทำอาหารสัตว์	44
การทำปุ๋ยหมัก	62
การทำแท่งเพาะชำ	88
การผลิตไฟฟ้า	95
การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง	117

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การทำคอนกรีตมวลเบา	130
บทที่ 4 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	141
สรุปการวิจัย	141
อภิปรายผล	145
ข้อเสนอแนะ	145
บรรณานุกรม	147
ภาคผนวก	154
ก คุณสมบัติบางประการของกากตะกอน	155
ประวัติผู้ศึกษา	168

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ 7
ตารางที่ 2.2	แสดงข้อมูลปริมาณน้ำใช้ของโรงงานประเภทต่าง ๆ..... 11
ตารางที่ 2.3	ลักษณะทั่วไปของกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ..... 18
ตารางที่ 2.4	ชนิดและแหล่งที่มาของกากตะกอน..... 20
ตารางที่ 3.1	ปริมาณกรดอะมิโนในกากตะกอนจากการผลิตเบียร์เปรียบเทียบกับโปรตีนจากพืชและสัตว์ (%)..... 46
ตารางที่ 3.2	แสดงระดับของวัตถุคิบัต่าง ๆ ประเภทแหล่งโปรตีนที่สามารถใช้ได้ในสูตรอาหารสุกรและสัตว์ปีก..... 47
ตารางที่ 3.3	องค์ประกอบทางเคมีที่พบในกากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์ (%)..... 49
ตารางที่ 3.4	แร่ธาตุที่พบในกากตะกอนจากการผลิตเบียร์ (ppm)..... 50
ตารางที่ 3.5	ปริมาณวิตามิน (ppm) ในกากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์..... 50
ตารางที่ 3.6	คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน..... 64
ตารางที่ 3.7	ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์บางชนิด..... 65
ตารางที่ 3.8	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร..... 82
ตารางที่ 3.9	ระดับของจุลธาตุและธาตุพิษที่เป็นค่าปกติที่พบได้ในดินและพืชทั่วไปและค่าวิกฤตในดินที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช คน สัตว์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)..... 83
ตารางที่ 3.10	ปริมาณโลหะหนัก ที่จะใช้ในแต่ละดินได้ไม่เกินปริมาณ CEC..... 84
ตารางที่ 3.11	ปริมาณธาตุอาหารหลักและรองของกากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษเปรียบเทียบกับในดิน..... 89
ตารางที่ 3.12	ค่าความร้อนของกากตะกอนน้ำเสีย..... 118
ตารางที่ 3.13	คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุคิบัเชื้อเพลิงอัดแท่ง..... 123
ตารางที่ 3.14	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 133
ตารางที่ 3.15	คุณสมบัติของสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์..... 134

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	โครงสร้างการศึกษา 3
ภาพที่ 2.1	กระบวนการบำบัดน้ำเสียและหน้าที่หลักของแต่ละระบบ 14
ภาพที่ 2.2	การจัดการกากตะกอน 16
ภาพที่ 2.3	แสดงการเกิดกากตะกอนจากน้ำเสียโดยผ่านแหล่งกำเนิดต่างๆ 17
ภาพที่ 2.4	เครื่องบดกากตะกอน (Sludge Grinder) 23
ภาพที่ 2.5	ถังทำชั้นด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Thickener) 25
ภาพที่ 2.6	ถังทำชั้นด้วยการลอยตัว (Flotation Thickener) 26
ภาพที่ 2.7	ถังทำชั้นด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Thickener) 26
ภาพที่ 2.8	ถังชั้นด้วยสายพานรีดน้ำ (Gravity Belt Thickener) 27
ภาพที่ 2.9	ถังทำชั้นด้วยถังทรงกระบอกหมุน (Rotary Drum Thickener) 27
ภาพที่ 2.10	แบบถังย่อยกากตะกอนแบบมาตรฐาน (Standard-rate digester) 28
ภาพที่ 2.11	ถังย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Digesters) แบบต่อเนื่อง 29
ภาพที่ 2.12	เครื่องกรองแบบสุญญากาศ (Vacuum Filters) 37
ภาพที่ 2.13	เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuges) 37
ภาพที่ 2.14	สายพานรีดน้ำ (Belt Filter Press) 38
ภาพที่ 2.15	เครื่องอัดกรอง (Filter Presses) 39
ภาพที่ 2.16	ลานตากกากตะกอนพื้นเท (Paved Drying Beds) 39
ภาพที่ 2.17	ลานตากกากตะกอนแบบพื้นตาข่าย (Artificial Media Drying Beds) 40
ภาพที่ 3.1	ขั้นตอนกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำอัดเม็ด 56
ภาพที่ 3.2	เครื่องบดอาหารแบบแฮมเมอร์มิลล์ (Hammer mill) 57
ภาพที่ 3.3	โครงสร้างของเครื่องอัดเม็ดอาหารแบบ Extruder 59
ภาพที่ 3.4	ลักษณะการทำงานของหน้าแวนและใบมีด 60
ภาพที่ 3.5	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมัก และการแบ่งช่วงของอุณหภูมิ 67
ภาพที่ 3.6	วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Windrow 72
ภาพที่ 3.7	เครื่องจักรกลกลับกองปุ๋ย (ชั้ย) รางหมักปุ๋ย(ขวา) 72
ภาพที่ 3.8	วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Static Pile Composting 73

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.9 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Round Trip Padding Fermentator.....	73
ภาพที่ 3.10 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Invessel Composting.....	74
ภาพที่ 3.11 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Tunnel Reactor Composting.....	75
ภาพที่ 3.12 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Brikollare Composting.....	75
ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักแบบ Tunnel Reactor Composting System.....	86
ภาพที่ 3.14 แท่งเพาะชำ.....	89
ภาพที่ 3.15 เครื่องอัดแท่งชำแบบเท้าเหยียบ.....	91
ภาพที่ 3.16 กระบวนการทำแท่งเพาะชำ.....	94
ภาพที่ 3.17 แสดงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกากตะกอน.....	96
ภาพที่ 3.18 หม้อน้ำแบบหม้อไฟ.....	97
ภาพที่ 3.19 หม้อน้ำแบบท่อในในปัจจุบันที่ใช้ตะกรับแบบเอียงที่มีตัวควบคุม.....	99
ภาพที่ 3.20 ตะกรับแบบป้อนกากตะกอนจากด้านล่างด้วยสกรู.....	101
ภาพที่ 3.21 ตะกรับแบบเอียงติดตั้งภายในหม้อน้ำ.....	101
ภาพที่ 3.22 ตะกรับแบบเอียงที่มีตัวควบคุม.....	102
ภาพที่ 3.23 ตะกรับแบบชั้นบันไดที่รอกการประกอบ.....	102
ภาพที่ 3.24 ตะกรับแบบสั้น.....	103
ภาพที่ 3.25 ตะกรับชนิดเคลื่อนที่ตามแนวราบ.....	104
ภาพที่ 3.26 ระบบเผาไหม้ฟลูอิด ไคซ์เบดแบบฟอง(ซ้าย) ระบบเผาไหม้ฟลูอิด ไคซ์เบดแบบหมุนวน(ขวา).....	106
ภาพที่ 3.27 ชุดกักหน้ไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	107
ภาพที่ 3.28 Downdraft Gasification.....	111
ภาพที่ 3.29 กระบวนการตามแนวคิดสำหรับการผลิตแก๊สจากกากตะกอนด้วยอากาศ.....	115
ภาพที่ 3.30 วิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น.....	115
ภาพที่ 3.31 รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยซินแก๊สจากเตาแก๊สซิไฟเออร์.....	116
ภาพที่ 3.32 เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	118

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.33 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	129
ภาพที่ 3.34 คอนกรีตมวลเบา.....	130
ภาพที่ 3.35 ขั้นตอนการผลิตอิฐมวลเบาแบบผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง.....	139

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทยขยายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยมลภาวะต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิต หรือแม้แต่การใช้พลังงานในการแปรรูปผลผลิต ล้วนก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษแก่สิ่งแวดล้อมทั้งสิ้นมลภาวะอย่างหนึ่งที่เกิดปัญหาแก่สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน คือ ปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากการผลิตของโรงงาน โดยน้ำที่ผ่านการใช้จากกระบวนการผลิตแล้วจะเป็นส่วนที่เรียกว่า น้ำทิ้ง หากไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งที่ดีก็จะเกิดการเน่าเสียหรือหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มลสารจากน้ำเสียเหล่านี้จะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเกิดการเน่าเสียได้ด้วย

ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรม จึงต้องมีการทำระบบบำบัดน้ำทิ้งเหล่านี้ก่อนที่จะระบายลงแหล่งน้ำตามธรรมชาติหรือใช้ประโยชน์อย่างอื่น และจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ก่อให้เกิดส่วนของกากตะกอน(Sludge)ออกมาเป็นจำนวนมากซึ่งจะต้องทำการบำบัดเสียก่อนที่จะนำไปกำจัดต่อไป กากตะกอนน้ำเสียเหล่านี้จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบ ขั้นตอนและวิธีการบำบัดของแต่ละโรงงาน ซึ่งหากโรงงานไม่สามารถนำกากตะกอนเหล่านี้ไปกำจัดให้ถูกวิธี หรือไม่นำไปใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมก็จะก่อให้เกิดปัญหาในการทำให้สภาพแวดล้อมเป็นพิษเช่นเดียวกับน้ำเสีย

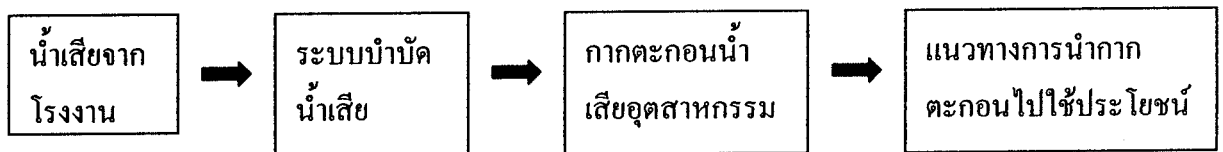
ปัจจุบันนี้กากตะกอนได้เพิ่มปริมาณมากขึ้นตามจำนวนโรงงานอุตสาหกรรม จึงเป็นทรัพยากรที่มีค่ามากและ เป็นทางเลือกใหม่ในการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ จึงควรได้มีการศึกษาถึงวิธีการนำกากตะกอนเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ให้เหมาะสมกับแต่ละโรงงานและวัตถุดิบที่ใช้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการนำไปกำจัดซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสีย เช่น ทำอาหารสัตว์ ทำปุ๋ยหมัก ทำแท่งเพาะชำ ผลิตไฟฟ้า ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง และทำวัสดุก่อสร้าง

ดังนั้นการศึกษาอิสระนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ เพื่อนำเสนอวิธีการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียเพื่อให้มีคุณค่ามากที่สุด

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลเรื่องกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาและรวบรวมแนวทางการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม

3. กรอบความคิดทางทฤษฎี



4. ประเภทของการศึกษาค้นคว้าอิสระ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นประเภทสังเคราะห์ทฤษฎีหรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสะอาดและการจัดการและการลดมลพิษทางน้ำ

5. ประเด็นปัญหาที่ศึกษา

- 5.1 ลักษณะของน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม
- 5.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
- 5.3 การบำบัดและการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม
- 5.4 แนวทางการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม

6. ขอบเขตการศึกษา

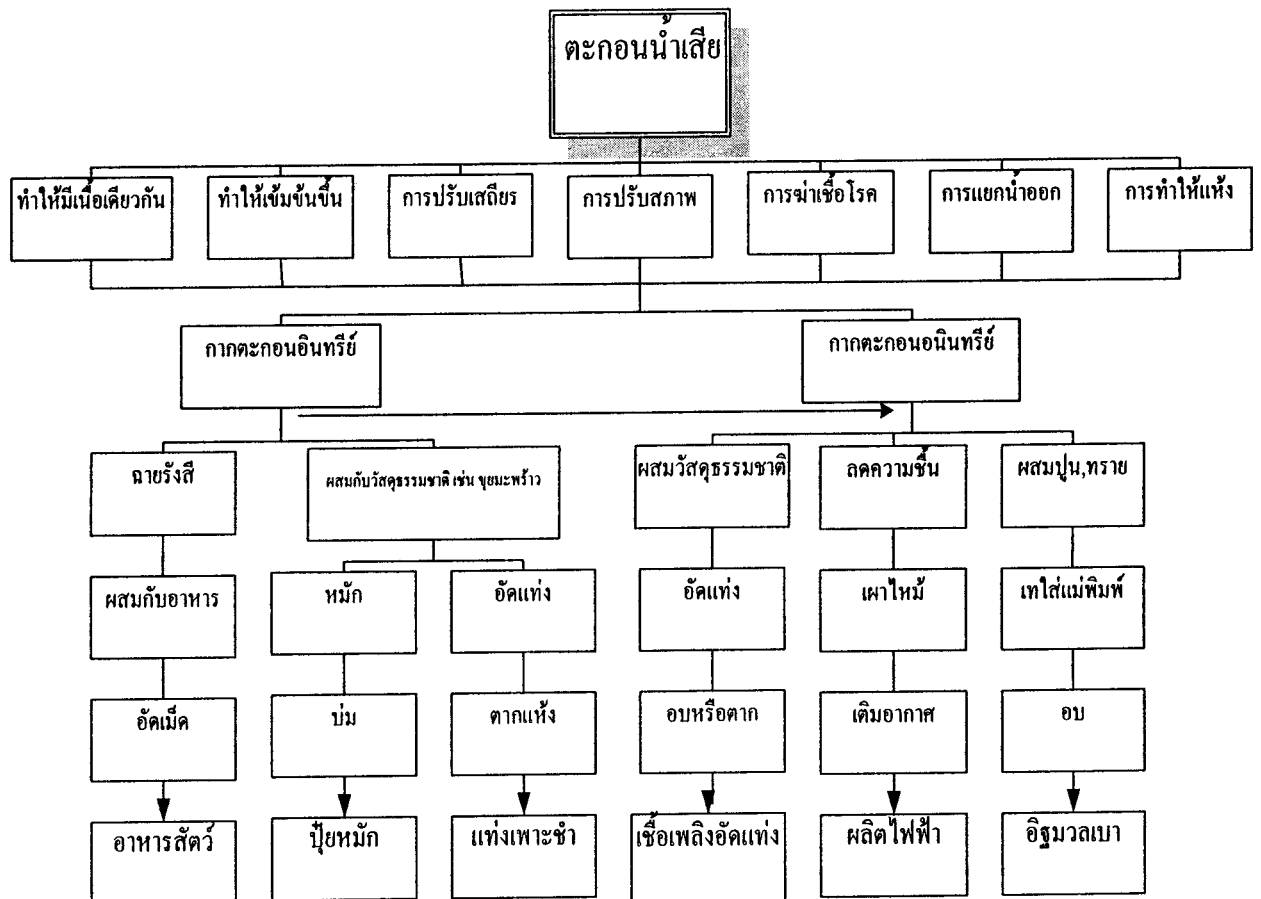
- 6.1 ศึกษา รวบรวมเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะของน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม
- 6.2 ศึกษา รวบรวม วิเคราะห์และสังเคราะห์ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดและกำจัดกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม
- 6.3 ศึกษา รวบรวม วิเคราะห์และสังเคราะห์ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม

7. รูปแบบและวิธีการศึกษา

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ โดยค้นคว้าจากห้องสมุดของมหาวิทยาลัย เอกสารทางวิชาการต่างๆ และเว็บไซต์ ซึ่งจากข้อมูลที่ได้มาจากวิทยานิพนธ์ และเอกสารวิชาการต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยใช้เกณฑ์ในการศึกษา 3 ข้อ ดังนี้

7.1 ข้อมูลด้านน้ำเสียอุตสาหกรรม

7.1.1 ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบของน้ำเสีย น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ปริมาณน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการบำบัดน้ำเสีย แหล่งที่มาของข้อมูลคือเอกสารสิ่งพิมพ์และงานวิจัยต่างๆสามารถเขียนเป็นโครงร่างการศึกษา ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 โครงร่างการศึกษา

7.1.2 นำเสนอข้อมูลลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ข้อมูลปริมาณน้ำใช้ของโรงงานประเภทต่างๆ โดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตาราง

7.2 ข้อมูลด้านกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

ค้นคว้ารวบรวมข้อมูล ความสำคัญของกากตะกอน หลักการการจัดการกากตะกอน ประเภทของตะกอนกากตะกอน แหล่งกำเนิดของตะกอนกากตะกอน ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้น กระบวนการบำบัดและกำจัดกากตะกอน

7.3 ข้อมูลด้านแนวทางการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม ค้นคว้าและรวบรวมการนำกลับไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ แหล่งที่มาของข้อมูล คือเอกสารและสิ่งพิมพ์ และงานวิจัยต่างๆ

7.3.1 ประมวลผล และเรียบเรียงข้อมูล เพื่อนำเสนอกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม กลับมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

7.3.2 ประเมินผลและเรียบเรียงข้อมูลการนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม กลับมาใช้ประโยชน์ในแต่ละด้าน เพื่อนำเสนอแนวทางที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมในแต่ละด้าน โดยนำเสนอในรูปแบบตาราง

8. คำจำกัดความ

กากตะกอนน้ำเสีย (Sludge) หมายถึง ของแข็งที่อยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย และของแข็งที่ละลายน้ำได้ ที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

9.1 ทราบถึงองค์ประกอบของน้ำเสียและกากตะกอนน้ำเสียต่างๆ

9.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางเลือกในการนำกากตะกอนน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์

บทที่ 2

ภาคตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. น้ำเสียอุตสาหกรรม

น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนและปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น (พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2535)

น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมทุกขั้นตอนตั้งแต่การล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การล้างวัสดุอุปกรณ์และเครื่องจักรกล ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบกระบวนการผลิต รวมทั้งระบบควบคุมและบำรุงรักษา องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Organic Matters) สารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) อาทิ สารเคมี โลหะหนัก เป็นต้น (กองจัดการสารอันตราย, 2536)

1.1 ลักษณะของน้ำเสียมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1.1.1 สารอินทรีย์ หมายถึง สารซึ่งมาจากสิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และพืช มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และอาจมีธาตุไฮโดรเจน และสารอนุพันธ์ของไฮโดรเจน-คาร์บอน เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย ตัวอย่างของสารอินทรีย์ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand-BOD)

1.1.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่อาจจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สารอนินทรีย์ที่จำเป็นต้องได้รับการบำบัดในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ซัลไฟด์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น

1.1.3 โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร จนเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอทโคเรียม ทองแดงปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.1.4 ไขมัน น้ำมันและกรีส (Fat Oil and Grease) สารประกอบนี้เกิดจากการใช้น้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้งจนกระทั่งถึงน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งยังไม่มีการวิธีการเก็บรวบรวมน้ำมันหล่อลื่นเหล่านี้

สำหรับการขนส่งและการกำจัดอย่างถูกวิธี ส่วนน้ำมันและไขมันที่เกิดจากบ้านเรือน ร้านอาหาร และภัตตาคารต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการสร้างบ่อดักไขมันเพื่อกำจัดไขมันในเบื้องต้นก่อน

1.1.5 ความร้อนทำให้เกิดการแบ่งชั้น (Stratification) ของน้ำจะเร่งปฏิบัติการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นขึ้นได้ อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสม สำหรับในกระบวนการบำบัดน้ำเสียควรอยู่ประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส ความร้อนของน้ำเสียทำให้จุลินทรีย์บางชนิดในถังย่อยสลายตายหรือเจริญเติบโตช้าลง และมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้ความร้อนของน้ำเสียเกิดจาก Condenser Boiler และขบวนการทำความร้อนอื่น ๆ ดังนั้นจึงควรปรับอุณหภูมิของน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนปล่อยสู่ระบบบำบัด

1.1.6 ของแข็ง (Solids) หมายถึง สารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ตะกอนที่เกิดขึ้นมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์การตรวจวัดค่าของแข็งนี้ทำทั้งในน้ำดิบที่นำมาทำน้ำประปา น้ำทิ้งจากบ้านเรือน และจากแหล่งอื่นๆ ดังนั้นการตรวจวัดค่าของแข็งจึงมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้

1.1.7 สีและความขุ่น เกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในน้ำ

1.1.8 กรดและด่าง (pH) การอ่านค่าความเป็นกรด-ด่างมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 14 โดยสารละลายที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 เรียกว่า สารละลายเป็นกรด เท่ากับ 7 เรียกว่าสารละลายเป็นกลาง (Neutral Solution) สูงกว่า 7 เรียกว่า สารละลายเป็นด่าง น้ำที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีค่า pH ใกล้เคียงหรือเท่ากับ 7 แต่ในทางปฏิบัติได้กำหนดมาตรฐานค่า pH ของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 5-9

1.1.9 จุลินทรีย์ (Microorganism) โดยทั่วไปสามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ Eucaryotes, Eubacteria และ Archaeobacteria โดยสองกลุ่มหลังนี้มักจะเรียกรวมกันว่ากลุ่ม Procaryotic ซึ่งมีแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบและมีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนจุลินทรีย์ในกลุ่ม Eucaryotes ที่มีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียได้แก่ รา (Fungi) โปรโตซัว (Protozoa) โรติเฟอร์ (Rotifers) และสาหร่าย (Algae)

1.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะเป็นสารประเภทใดขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และกระบวนการผลิต ถ้าเป็นอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ และการบำบัดน้ำเสียจะใช้การบำบัดแบบชีววิทยา โดยใช้จุลินทรีย์ในการ

เปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นเซลล์ใหม่ สุดท้ายจะได้กากตะกอนออกมาเป็นจำนวนมาก กากตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปกำจัดโดยการถมที่ หรือ สามารถนำไปหมักทำเป็นปุ๋ยได้ (จารุณี, 2530) สำหรับอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในการผลิต เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมฟอกย้อม-สิ่งทอ และอุตสาหกรรมชุบโลหะ เหล่านี้ก่อนที่จะนำน้ำเสียไปทำการบำบัดแบบชีววิทยาในขั้นสุดท้ายต้องมีการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นพิษออกไปก่อน เช่น กรด ค่าง สารเคมี โลหะหนัก เพื่อว่ากากตะกอนที่ได้จากการบำบัดแบบชีววิทยาสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้

โรงงานอุตสาหกรรมมีหลายประเภท ลักษณะของน้ำเสียจึงมีความแตกต่างกัน แม้แต่โรงงานประเภทเดียวกัน ลักษณะของน้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานนั้นยังแตกต่างกัน โดยเฉพาะโรงงานที่มีผลิตภัณฑ์หลายอย่าง ลักษณะน้ำเสียแต่ละเวลา ก็แตกต่างกันมาก ทั้งอัตราการไหลและส่วนประกอบในน้ำเสียนั้น (ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์, 2545) สามารถสรุปลักษณะน้ำเสียตามประเภทอุตสาหกรรมได้ดังนี้ (ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ) ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ

ประเภทโรงงาน	บีโอดี (มก./ล.)		ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
กระดาษ	100-1,000	530	100-1,300	830
สบู่	200-3,000	1,180	100-3,000	560
ผงชูรส	200-2,000	890	-	-
สุรา-แอลกอฮอล์	5,000-60,000	29,000	1,000-10,000	7,800
น้ำอัดลม	150-2400	740	50-400	190
นม	200-3,600	1,125	100-1,100	450
น้ำตาล	200-3,900	1,320	100-600	320
สิ่งทอ	60-900	230	0-5,000	160
ห้องเย็น	250-4,000	1,560	100-700	410
เครื่องกระป๋อง	500-12,700	3,560	100-3,000	760
วุ้นเส้น	600-4,500	1,840	-	-
เส้นหมี่	1,000-14,000	3,620	1,000-30,000	8,400
ไม้แปรง เบาะแซ	1,000-11,000	5,235	500-5,000	1,700

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2542)

1.2.1 อุตสาหกรรมอาหาร

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้จะมีความแตกต่างกันตามประเภทโรงงาน วัตถุประสงค์ กระบวนการผลิตและปริมาณผลผลิต ลักษณะโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 1) อินทรีย์วัตถุ 2) ตะกอนแขวนลอย 3) ปริมาณและลักษณะน้ำเสียมีความเปลี่ยนแปลงสูงตามฤดูกาลโดยเฉพาะประเภทผลไม้ 4) น้ำที่ใช้ล้าง (บางครั้งเป็นน้ำร้อน) มักถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก โดยปกติแล้วจะไม่มีสารอันตราย อย่างเช่นโลหะหนัก 5) มักจะประกอบด้วยน้ำมัน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยเฉพาะพวกแป้งและเบียร์จะทำให้มีค่าบีโอดีสูง

1.2.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

มีความแตกต่างกันอย่างมากภายในส่วนประกอบของน้ำเสียระหว่างอุตสาหกรรมสิ่งทอธรรมชาติกับสิ่งทอทางด้านเคมี น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยค่าบีโอดีที่มีความเข้มข้นสูง ไขมันและด่าง น้ำเสียจากการย้อมจะประกอบด้วยมลสาร เช่น สีย้อม และสารเคมีอื่นๆ คุณภาพและปริมาณจะแตกต่างกันไปตามวันต่อวัน ตามฤดูกาลและตามการเปลี่ยนแปลงตามแฟชั่น

1.2.3 อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ

อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษเป็นลักษณะโดยเฉพาะของอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำ สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษใช้ต้นไม้จากธรรมชาติเป็นวัตถุดิบ นำมาเติมด้วยสารเคมีและนำไปต้มเอาเพียงเซลลูโลสมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ นอกนั้นปล่อยส่วนประกอบอื่นๆ ให้เป็นวัตถุเจือปนลงในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียเกิดมีมลพิษสูง น้ำเสียจะมีลักษณะที่มีทั้งค่าบีโอดีและมีสีเจือปนที่ค่อนข้างสูง ส่วนในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษมีกระบวนการเพิ่มเติมจากอุตสาหกรรม คือ นำเยื่อกระดาษมาเติมด้วยตัวฟیلเลอร์ เพื่อทำให้เป็นแผ่นกระดาษ ลักษณะของน้ำเสียจึงประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดหรือกระดาษ และสารที่เป็นฟیلเลอร์ต่างๆ และยังคงเต็มไปด้วยวัสดุจำนวนมากที่ลอยในอุ้งบนผิวหน้า

1.2.4 อุตสาหกรรมเครื่องหนัง

น้ำเสียมีค่าบีโอดีค่อนข้างสูงซึ่งมาจากสารแทนนินที่ใช้ในการฟอกหนังและจากหนังดิบ และยังประกอบด้วยโครเมียมที่ใช้ในการฟอกหนังและปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดขี้ดิน ของแข็งแขวนลอยและสีจากการย้อม

1.2.5 อุตสาหกรรมผลิตเคมีภัณฑ์

น้ำเสียมักจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นตามประเภทของกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมผลิตสารเคมีจะปล่อยน้ำเสียที่มีสารเคมีหลายประเภท สารอันตราย สารประกอบที่มีกลิ่นเหม็น ซึ่งมีสภาพของการเป็นกรดหรือเป็นด่างสูง และจะมีสารประกอบที่มีค่าซีโอดีสูง

1.2.6 อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน

ส่วนประกอบที่สำคัญของมลสาร คือน้ำมันที่ล้นออกมา ที่มีอยู่ในสภาพอีมีลชัน และน้ำเสียก็ยิ่งเต็มไปด้วยสารที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ไฮโดรซัลไฟด์ ซัลไฟด์ตัวอื่น ๆ แอมโมเนีย เมอร์แคปแทน และฟีนอล ฯลฯ

1.2.7 อุตสาหกรรมปิโตรเคมี

เป็นน้ำเสียที่ประกอบด้วย สารไฮโดรคาร์บอน สารประกอบอินทรีย์ ตัวเค็ทตาลิตส์ ต่างๆ และส่วนประกอบอื่นๆ ขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์

1.2.8 อุตสาหกรรมผลิตเหล็กและเหล็กกล้า

เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำในปริมาณสูง น้ำเสียเกิดจากกระบวนการทำความเย็นและทำความสะอาดสำหรับเตาหลอมถ่านโค้ก ประกอบด้วย แอมโมเนีย ไซยาไนต์ ฟีนอล ฯลฯ นอกจากนี้ น้ำเสียที่มาจากกระบวนการกำจัดฝุ่นจากเตาหลอมจะประกอบด้วยของแข็งแขวนลอย (ฝุ่นของถ่านโค้กและแร่เหล็ก) และจากกระบวนการล้างด้วยกรดประกอบด้วย กรด เหล็ก และน้ำมัน

1.2.9 อุตสาหกรรมผลิตโลหะที่นอกเหนือไปจากเหล็ก

สินแร่ดิบทองแดง ทองคำ และเงิน โดยปกติมักจะประกอบด้วยสารเจือปนพวก แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู ฯลฯ สารเหล่านี้อาจจะถูกละลายออกมาในระหว่างกระบวนการผลิต หรืออยู่ในน้ำเสีย ซึ่งอาจตกค้างในดินหรือเกิดการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินหากมีการระบายน้ำเสียที่ไม่ได้มาตรฐานลงสู่ผิวดิน

1.2.10 อุตสาหกรรมเคลือบโลหะ

มีการใช้วัตถุพิษและสารเคมีหลายตัวในอุตสาหกรรมประเภทนี้ ดังนั้นในน้ำเสียจึงประกอบด้วยโลหะหนักหลาย ชนิด เช่น แคดเมียม สังกะสี ทองแดง ไซยาไนต์ โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ กรด และด่าง

1.2.11 อุตสาหกรรมเซรามิกส์และซีเมนต์

มีน้ำเสียที่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์แขวนลอยที่มีสภาพเป็นด่าง ในส่วนของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ยังมีสารจำพวกให้สี และสารพวกวัตถุอันตรายเจือปนอยู่ด้วย

1.3 ปริมาณน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก็คือน้ำเสียของโรงงานนั้น ๆ ซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้ น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1.3.1 น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น (Cooling Water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ โดยปกติน้ำประเภทนี้ไม่ค่อยจะมีสิ่งปนเปื้อนมากนัก นอกจากโรงงานบางประเภทที่มีน้ำสกปรกมากน้ำหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิประมาณ 40-60 เซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิขนาดนี้ถือว่าเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทิ้งทางตรงและทางอ้อม

1.3.2 น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง (Wash Water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่างๆ น้ำล้างเครื่องจักร น้ำล้างทำความสะอาดพื้นโรงงาน น้ำทิ้งจากกระบวนการเหล่านี้มีสิ่งเจือปนมาก เช่น พลาสติกอินทรีย์ สารเคมี สารตะกอนสกปรกและสารที่ละลายน้ำได้

1.3.3 น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (Process Wastewater) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น จากโรงงานกระดาษ จากโรงงานน้ำตาล เป็นต้น น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยมากจะมีความสกปรกมากกว่าน้ำทิ้งประเภทอื่นๆ ของโรงงานนั้น ๆ

1.3.4 น้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่นๆ จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการอาบน้ำของคนงาน น้ำทิ้งจากห้องน้ำ น้ำทิ้งจากหม้อน้ำ น้ำทิ้งจากเครื่องคอนเดนเซอร์และอื่นๆ

ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการใช้น้ำที่แตกต่างกันสำหรับประเภท หรือชนิดของโรงงาน แบ่งประเภทของการใช้น้ำในกระบวนการต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 ได้แสดงข้อมูลปริมาณน้ำใช้ของโรงงานประเภทต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมมีดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539)

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำใช้ของโรงงานประเภทต่างๆ

ประเภทของ โรงงาน	หน่วย	ปริมาณน้ำ ใช้	ประเภทของ โรงงาน	หน่วย	ปริมาณ น้ำใช้
นม	ลบ.ม/ตัน	2-7	นมเปรี้ยว	ลบ.ม/ตัน	20
เนยแข็ง	ลบ.ม/ตัน	10	เนยเหลว	ลบ.ม/ตัน	20
ขนมปัง	ลบ.ม/ตัน	2-4	ขนมซ็อกโกเลต	ลบ.ม/ตัน	15-17
ไอศกรีม	ลบ.ม/ตัน	10	มันฝรั่งสำเร็จรูป	ลบ.ม/ตัน	8
ผักกระป๋อง	ลบ.ม/ตัน	2-14	ปลากระป๋อง	ลบ.ม/ตัน	16-20
ผลไม้กระป๋อง	ลบ.ม/ตัน	1-3	เหล้า	ลบ.ม/ตัน	60-80
ไวท์	ลบ.ม/ตัน	3	เบียร์	ลบ.ม/ตัน	10-20
สบู่	ลบ.ม/ตัน	15	กระดาษ	ลบ.ม/ตัน	200-800
พลาสติก	ลบ.ม/ตัน	500	ยาง	ลบ.ม/ตัน	100
ไม้อัด	ลบ.ม/ตัน	12	กระเบื้องถ้วยชาม	ลบ.ม/ตัน	3-40
ซักผ้า	ลบ.ม/ตัน	20-30	ย้อมผ้า	ลบ.ม/ตัน	200-300
เหล็กกล้า	ลบ.ม/ตัน	65-200	เหล็กหล่อ	ลบ.ม/ตัน	3-8
ปูนซีเมนต์	ลบ.ม/ตัน	2-3	โรงรีดนม	ลิตร/(ตัว.วัน)	70-80
โรงฆ่าสัตว์	ลิตร/(ตัว.วัน)	40-50	โรงฆ่าไก่	ลิตร/(ตัว.วัน)	0.3-0.4
กลั่นน้ำมัน	ลบ.ม/ลบ.ม	3-70	สารคลอไรด์	ลบ.ม/ตัน	50

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์ (2539)

1.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นการกำจัดสารต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย น้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมก็จะเป็นน้ำทิ้งทุกชนิดที่ไหลออกจากโรงงาน ซึ่งมาจากการล้างพื้น กระบวนการผลิต และห้องน้ำ ทำให้การบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องใช้หลายวิธีและหลายกระบวนการ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยทางกายภาพ ทางชีวเคมี ทางเคมี ทางชีวภาพ และทางกายภาพ-เคมี มาประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสมเพื่อบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง

กระบวนการบำบัดน้ำเสียมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ เป็น 4 กระบวนการใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539)

1.4.1 กระบวนการทางกายภาพ (Physical Unit Operations) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากรน้ำเสีย โดยมากจะเป็น

ขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสียได้แก่ การคัดด้วยตะแกรง(Screening)การตัดย่อย(Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน(Mixing) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอน(Sedimentation) การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Remonvol) เป็นต้น

1.4.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกเอามลสารต่างๆ ออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอนผลึก (Precipitation) การทำให้เป็นกลางหรือการสะเทิน (Neutralization) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น

1.4.3 กระบวนการทางชีวภาพ (Biological Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศและจะได้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้น ได้แก่ Activated Sludge , Tricking Filter , Aerated Lagoon , Anaerobic Filter , Anaerobic Pond , Stabilization Pond

1.4.4 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physicochemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและทางเคมีมารวมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ Ion Exchange , Carbon Adsorption , Reverse Osmosis , Electrodialysis เป็นต้น

1.5 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

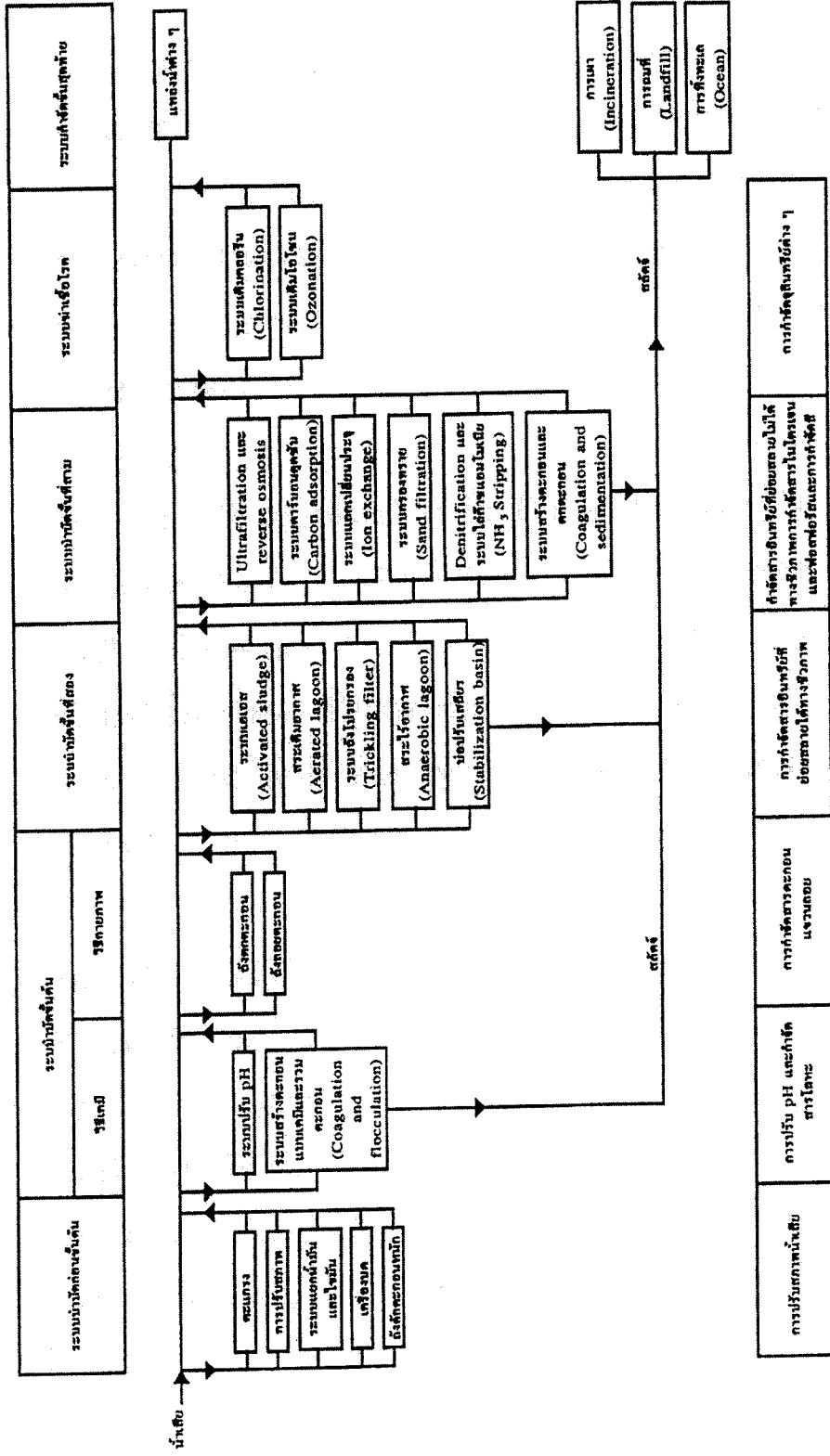
แบ่งออกในลักษณะเป็นขั้นตอนของการบำบัดน้ำเสีย ก็จะสามารถแยกออกเป็นขั้นตอนดังภาพที่ 2.1 ได้ดังนี้

1.5.1 ระบบบำบัดก่อนขั้นต้น (Preliminary Treatment) เป็นระบบที่อยู่ในขั้นแรกๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การคัดด้วยตะแกรง การกำจัดตะกอนหนัก การทำให้ลอยการบดตัด เป็นต้น

1.5.2 ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) เป็นระบบที่อยู่ในขั้นที่ต้องการแยกสารตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย และกำจัดสารอินทรีย์บางส่วนออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การคัดด้วยตะแกรง และ การตกตะกอน เป็นต้น

1.5.3 ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นระบบที่กำจัดสารอินทรีย์และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพสำหรับระบบฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้ง

1.5.4 ระบบบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) เป็นระบบที่แยกและกำจัดสารตะกอนแขวนลอยที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง การกำจัดสารไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ออกจากน้ำเสีย และการกำจัดสารปนเปื้อนอื่น ๆ ที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะทำการบำบัดน้ำเสีย ให้ได้คุณภาพของน้ำทิ้งดีขนาดไหน โดยทั่วไประบบบำบัดขั้นที่สามมักจะใช้กับการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ต้องการนำกลับมาใช้อีก เช่น นำมาใช้รดน้ำต้นไม้ ใช้กับการชักโครกของโถส้วม ใช้กับระบบ หอหล่อเย็น แม้กระทั่งนำไปใช้ผลิตน้ำประปา



ภาพที่ 2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียและหน้าที่หลักของแต่ละระบบ
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2539)

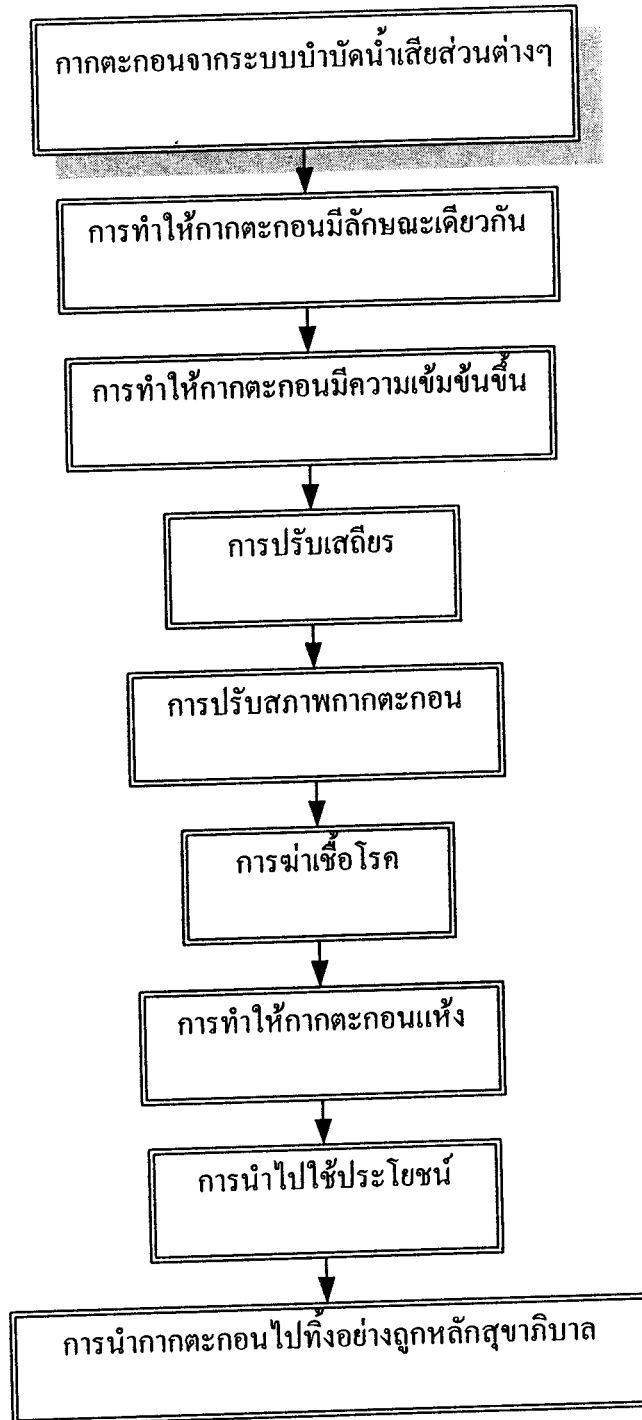
2. กากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

2.1 ความสำคัญของกากตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge)

กระบวนการสำคัญที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียก็คือการกำจัดของแข็งออกมาน้ำเสีย ทั้งของแข็งที่อยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย และของแข็งที่ละลายน้ำได้ ของแข็งเหล่านี้มีน้ำปนอยู่ด้วยเมื่อแยกออกมา ซึ่งเรียกว่ากากตะกอนน้ำเสีย ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือ หลังจากที่แยกกากตะกอนเหล่านี้ออกมาแล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำจัดหรือบำบัดด้วยวิธีที่เหมาะสมต่อไป หากไม่ได้กำจัดหรือบำบัดโดยวิธีที่เหมาะสมแล้ว กากตะกอนเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาที่น่ารังเกียจตามมา เช่นมีกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงและสัตว์นำโรคต่างๆ รวมทั้งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมข้างเคียงด้วย (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544)

2.2 หลักการการจัดการกากตะกอน

กากตะกอนที่ได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งจากกระบวนการทางกายภาพ ทางชีวภาพทางเคมี และทางกายภาพ-เคมี จำเป็นต้องทำการบำบัดเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปกำจัดหรือใช้ประโยชน์ ดังภาพที่ 2.2 การจัดการกากตะกอน



ภาพที่ 2.2 การจัดการกากตะกอน
ที่มา : ดัดแปลงจาก (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2539)

2.3 แหล่งกำเนิดของภาคตะกอนน้ำเสีย

ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำเสียเป็นแหล่งกำเนิดของภาคตะกอนได้ทั้งสิ้น ทั้งสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดของภาคตะกอนได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ตะกอนแขวนลอย และสารละลาย ตะกอนแขวนลอยที่ถูกตกตะกอนหรือลอยตะกอนจะกลายเป็นภาคตะกอนโดยตรง ส่วนสารละลายนั้น เป็นแหล่งกำเนิดภาคตะกอนที่ซับซ้อนกว่าตะกอนแขวนลอยสารละลาย อนินทรีย์จะกลายเป็นภาคตะกอนโดยผ่านทางปฏิกิริยาคอกผลึก(Chemical Precipitation)ตามด้วยการตกตะกอนส่วนสารละลายอินทรีย์บางส่วนจะกลายเป็นจุลินทรีย์ซึ่งกลายเป็นภาคตะกอนที่ต้องการบำบัด ดังภาพที่ 2.3 แสดงการเกิดตะกอนสลัดจ์จากน้ำเสียโดยผ่านแหล่งกำเนิดต่างๆ



ภาพที่ 2.3 แสดงการเกิดภาคตะกอนจากน้ำเสียโดยผ่านแหล่งกำเนิดต่างๆ

การเกิดภาคตะกอนแบบต่างๆ ภาคตะกอนส่วนใหญ่จะพบได้ที่ก้นถังตกตะกอนด้วยความเข้มข้นต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของภาคตะกอนซึ่งมีความสามารถในการอัดตัวให้แน่นแตกต่างกัน ดังนี้ ซึ่งมีความสำคัญมากในการคำนวณปริมาตรของภาคตะกอนชนิดต่างๆที่เกิดขึ้น เพื่อนำตัวเลขไปใช้ในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดและกำจัดภาคตะกอน

ภาคตะกอนที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียมียหลายจุด และแต่ละจุดมีปริมาณและลักษณะที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของภาคตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ

ตารางที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ

ระบบบำบัดน้ำเสียหรือประเภทของกากตะกอน	ลักษณะและปริมาณของกากตะกอนที่เกิดขึ้น
1. ตะแกรงดักขยะ	- เศษขยะขนาดใหญ่ มักมีกลิ่นเหม็นมี ประมาณขยะประมาณ 20 ลิตร ต่อ1000 ลบ. ม.น้ำเสีย
2. ถังกำจัดตะกอนหนัก	- มักจะเป็นพวกตะกอนหนักพวกกรวดทราย อาจมีเศษกระดูก เศษสิ่งของหนักต่างๆ จะมี กลิ่นเหม็นบ้าง มีประมาณตะกอนหนัก ประมาณ 30 ลิตรต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย
3. กากตะกอนจากถังตกตะกอนแรก	- กากตะกอนเป็นลักษณะตะกอนสีค่อนข้าง ดำ มีกลิ่นเหม็น มีประมาณของแข็งประมาณ 3-4.5 %TS มีปริมาณตะกอนประมาณ 150- 250 กก.ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย
4. ฝาดตะกอนจากถังตกตะกอนแรก	- เป็นตะกอนค่อนข้างเบา มักจะเป็นพวก น้ำมัน ไขมัน มีกลิ่นบ้าง มีปริมาณตะกอน ประมาณ 8 กก.ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย
5. ระบบเอเอส(Activated Sludge)	- เป็นกากตะกอนที่เมื่ออยู่ในถังเติมอากาศ มักจะมีสีน้ำตาลเข้มและเมื่ออยู่บริเวณก้นถัง ตกตะกอน กากตะกอนมักจะมีสีค่อนข้างดำ โดยปกติจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับกลิ่น มีปริมาณ ของแข็งประมาณ 0.3-1.0%TS มีปริมาณ ตะกอนประมาณ 50-90 กก.ต่อ1000 ลบ.ม. น้ำเสีย
6. ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter sludge)	- เป็นกากตะกอนที่มักจะมีลักษณะเป็นเมือก สีเทาเข้ม ไม่มีปัญหากลิ่นมากนัก มีปริมาณ ของแข็งประมาณ 3%TS มีประมาณตะกอน ประมาณ40-60 กก. ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย

ตารางที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ (ต่อ)

ระบบบำบัดน้ำเสียหรือประเภทของกากตะกอน	ลักษณะและปริมาณของกากตะกอนที่เกิดขึ้น
7. กากตะกอนเคมีของพวกโลหะไฮดรอกไซด์	- เป็นกากตะกอนที่มักจะมีลักษณะตะกอนที่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน จะมีสีเข้มของพวกสารโลหะที่เติมลงไป จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นเหม็น มีปริมาณของแข็งประมาณ 3-4%TS มีปริมาณตะกอนประมาณ 80-300 กก.ต่อ 1000 ลบ.ม.น้ำเสีย
8. กากตะกอนเคมี-ชีวภาพของระบบเอเอส	- เป็นกากตะกอนที่มักมีลักษณะเป็นตะกอนสีค่อนข้างเข้มไปทางสีของพวกสารเคมีที่เติมผสมลงไป มีปริมาณของแข็งประมาณ 0.8%TS มีปริมาณตะกอนประมาณ 100-150 กก.ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย
9. กากตะกอนเคมี-ชีวภาพของระบบโปรยกรอง	- เป็นกากตะกอนที่มีลักษณะเป็นตะกอนเมือกสีค่อนข้างเข้มไปทางสีของพวกสารเคมีที่เติมผสมลงไป มีปริมาณของแข็งประมาณ 2.0%TS มีปริมาณตะกอนประมาณ 50-80 กก.ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย
10. กากตะกอนปูนขาว	- เป็นกากตะกอนที่มีลักษณะเป็นตะกอนเคมีที่มีสีค่อนข้างขาว มีปริมาณของแข็งประมาณ 2-5 %TS มีปริมาณตะกอนประมาณ 500-600 กก.ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย
11. กากตะกอนปูนขาว-ชีวภาพ	- สำหรับกากตะกอนที่มาจากระบบเอเอส จะมีปริมาณของแข็งประมาณ 1%TS มีปริมาณตะกอนประมาณ200-300 กก.ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย สำหรับกากตะกอนที่มาจากระบบโปรยกรองจะมีปริมาณของแข็งประมาณ 3 %TS มีปริมาณตะกอนประมาณ 150-200 กก.ต่อ1000 ลบ.ม.น้ำเสีย

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2539)

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)

กากตะกอนที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียมีลักษณะอย่างไรเป็นข้อมูลที่สำคัญมาก เพื่อที่จะสามารถนำไปบำบัดและกำจัดต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น กากตะกอนมีสารอินทรีย์มากน้อยเพียงใดเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาากกลิ่นเหม็น หรือกากตะกอนมีปริมาณของแข็งมากน้อยเพียงใด หรือมีปริมาณสารอาหารมากน้อยเพียงใด

แหล่งที่มาของกากตะกอนที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียมีหลายจุด และแต่ละจุดมีปริมาณและลักษณะที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ชนิดและแหล่งที่มาของกากตะกอน

ชนิด	แหล่งที่มา
1. ขยะจากตะแกรงคัดขยะ	- มาจากตะแกรงคัดขยะที่ปะปนมากับน้ำเสีย มีกลิ่นเหม็นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในขยะ มีขนาดไม่แน่นอน
2. กรวดทราย	- มาจากถังคัดกรวดทรายที่ปะปนมากับน้ำเสีย มีกลิ่นเหม็น มักจะมีพวกไขมันเกาะติดรอบ ๆ กรวดทราย
3. ฝ้าไข	- มาจากถังตกตะกอนทั้งแบบขั้นต้นและขั้นที่สอง โดยจะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำในถังตกตะกอน แล้วทำการกวาดรวบรวมออกจากถังตกตะกอน ค่าความถ่วงจำเพาะของฝ้าไขประมาณ 0.95 จะมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากฝ้าไขมีพวกเศษอาหาร ไขมัน เศษผัก ฯลฯ
4. กากตะกอนจากถังตกตะกอนแรก	- กากตะกอนจากถังตกตะกอนแรกที่มีสีเทาคล้ายโคลน มีกลิ่นเหม็นมากเป็นกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการรวบรวมตะกอนในน้ำเสีย
5. กากตะกอนจากระบบตกตะกอนผลึกทางเคมี	- กากตะกอนจากระบบการบำบัดน้ำเสียทางเคมีเกิดขึ้นเนื่องจากมีสารเคมีผสมกับตะกอนในน้ำเสียมีกลิ่นเหม็น มีลักษณะคล้ายโคลน
6. กากตะกอนจากระบบเอเอส (Activated Sludge)	- กากตะกอนจากระบบเอเอสมีสีน้ำตาลเข้ม ถ้ากากตะกอนอยู่ในสภาพมีอากาศจะไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ถ้าขาดอากาศในระยะเวลาไม่นานนัก จะเกิดสภาพ Anaerobic ทำให้มีกลิ่นเหม็นมาก กากตะกอน ที่ออกจากระบบนี้อาจถูกถ่ายออกจากถังเติมอากาศหรือออกจากก้นถังตกตะกอนที่สอง
7. กากตะกอนจากระบบโปรยกรอง	- กากตะกอนจากระบบนี้มีสีน้ำตาลเข้ม ค่อนข้างหนืดกว่าของระบบเอเอส สำหรับกากตะกอนใหม่จะไม่มีกลิ่นเหม็น กากตะกอนประเภทนี้จะถูกย่อยสลายได้ช้ากว่ากากตะกอนชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะกากตะกอนจาก

ตารางที่ 2.4 ชนิดและแหล่งที่มาของกากตะกอน (ต่อ)

ชนิด	แหล่งที่มา
8. กากตะกอนย่อยแล้วแบบใช้อากาศ	- กากตะกอนชนิดนี้มีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม มักจะไม่มีกลิ่นเหม็น กากตะกอนชนิดนี้สามารถถูกนำน้ำออกจากกากตะกอนได้ง่าย
9. กากตะกอนย่อยแล้วแบบไม่ใช้อากาศ	- กากตะกอนชนิดนี้มีสีน้ำตาลเข้มมากถึงสีดำ จะไม่มีกลิ่นเหม็นถ้าระบบการย่อยกากตะกอนสามารถกระทำได้ถึง แต่จะมีก๊าซอยู่ในกากตะกอนค่อนข้างมาก โดยทั่วไปมักจะมีกลิ่นเหม็นบ้าง แต่ไม่รุนแรงถ้าระบบการย่อยอยู่ในระดับพอใช้ ดังนั้นเมื่อนำกากตะกอนชนิดนี้ผ่านระบบนำน้ำออก บริเวณนั้นจะมีกลิ่นเหม็นบ้างแต่ไม่รุนแรง
10. กากตะกอนถูกหมักเป็นปุ๋ย	- กากตะกอนชนิดนี้มีสีค่อนข้างน้ำตาลเข้มไปถึงสีดำ ถ้ากระบวนการหมัก เป็นปุ๋ยเป็นไปอย่างถูกต้อง จะไม่มีกลิ่นเหม็น จะนิยมนำปุ๋ยนี้ไปใช้เป็นปุ๋ยหรือเป็นตัวปรับสภาพดิน
11. กากตะกอนบ่อเกรอะ	- กากตะกอนจากบ่อเกรอะมีสีดำ จะมีกลิ่นเหม็นค่อนข้างมาก ถ้านำไปตากแดดโดยตรงในช่วงแรกจะมีกลิ่นเหม็น

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)

2.4 ประเภทของกากตะกอน

กากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียมีหลายประเภทดังนี้ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.4.1 กากตะกอนขั้นแรก (Primary Sludge) หมายถึง กากตะกอนที่ระบายออกมาจากก้นถังตกตะกอนขั้นแรกกากตะกอนส่วนนี้จะเป็นตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสีย ที่มีน้ำหนักมากจนสามารถตกตะกอนได้เองในก้นถังตกตะกอนขั้นแรก ถ้าใช้สารเคมีช่วยให้เกิดการตกตะกอน กากตะกอนที่เกิดขึ้นก็จะเรียกว่า กากตะกอนเคมี กากตะกอนขั้นแรกจึงมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์รวมกันซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย

2.4.2 กากตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Sludge) หมายถึง ตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบต่างๆ กากตะกอนนี้จึงมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก

2.4.3 กากตะกอนเคมี (Chemical Sludge) กากตะกอนเคมี หมายถึง กากตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยวิธีเคมี ซึ่งอาจเป็นกากตะกอนดังต่อไปนี้

1). กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน ของสารแขวนลอยต่าง ๆ รวมทั้งน้ำมันและไขมัน

2) กากตะกอนที่เกิดจากระบวนการตกผลึก (Precipitation) ของโลหะหนักกากตะกอนเคมีอาจเป็นกากตะกอนอินทรีย์หรือกากตะกอนอนินทรีย์ก็ได้

2.4.4 กากตะกอนดิบ (Raw Sludge) หมายถึง กากตะกอนขั้นแรกและกากตะกอนขั้นสองที่ยังไม่คงตัว (สามารถเนาเหม็นได้ง่าย) ไม่ควรนำกากตะกอนดิบไปตากแห้งหรือบีบน้ำ เนื่องจากมักมีกลิ่นเหม็นในระหว่างดำเนินการ ควรย่อยกากตะกอนดิบให้กลายเป็นกากตะกอนคงตัวที่ย่อยแล้ว ก่อนนำไปตากหรือบีบน้ำ กากตะกอนดิบจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ กากตะกอนชีวภาพ และกากตะกอนเคมี

2.4.5 กากตะกอนชีวภาพ หมายถึง กากตะกอนดิบที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบต่าง ๆ ส่วน ประกอบหลักของกากตะกอนชีวภาพจึงเป็นแบคทีเรียที่ถูกกำจัดทิ้ง รวมทั้งกากตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนเบื้องต้นของน้ำเสีย

2.5 ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้น

2.5.1 ปริมาณกากตะกอนขั้นแรก จะเป็นกากตะกอนที่เกิดจากตะกอนแขวนลอยที่ตกตะกอนได้ของน้ำเสีย ปริมาณกากตะกอนขั้นแรกจึงคำนวณได้จากปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำเสีย และประสิทธิภาพของถังตกตะกอนขั้นแรก

2.5.2 ปริมาณกากตะกอนจุลินทรีย์ การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์(ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรีย) การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนจะมีแบคทีเรียเกิดขึ้นประมาณ 40-50% ปริมาณกากตะกอนจุลินทรีย์ควรคำนวณจากค่าบีโอดีหรือค่าซีโอดีที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้เท่านั้น

2.5.3 ปริมาณตะกอนกากตะกอนเคมี กากตะกอนเคมีหมายถึงกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียทางเคมี เช่น กระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการตกผลึกหรือสร้างตะกอนแข็ง (Precipitation) สารมลพิษที่ทำให้เกิดตะกอนกากตะกอนเคมี ได้แก่ คอลลอยด์ สี น้ำมันและไขมัน (FOG) ความกระด้าง ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$) และโลหะหนักต่างๆ เป็นต้น คอลลอยด์มักจะเป็นอนุภาคดินเหนียวแต่ก็รวมจุลินทรีย์ต่างๆ ด้วย ดังสมการ

คอลลอยด์ สี $\xrightarrow{\text{โคแอกกูเลชัน}}$ กากตะกอน + ตะกอนสารส้มหรือเหล็ก หรือน้ำมัน

ความกระด้าง $\xrightarrow{\text{ตกผลึก}}$ กาก ตะกอน $\text{CaCO}_3, \text{Mg(OH)}_2$

โลหะหนัก $\xrightarrow{\text{ตกผลึก}}$ กากตะกอน เช่น โลหะซัลไฟด์ โลหะไฮดรอกไซด์หรือโลหะคาร์บอเนต

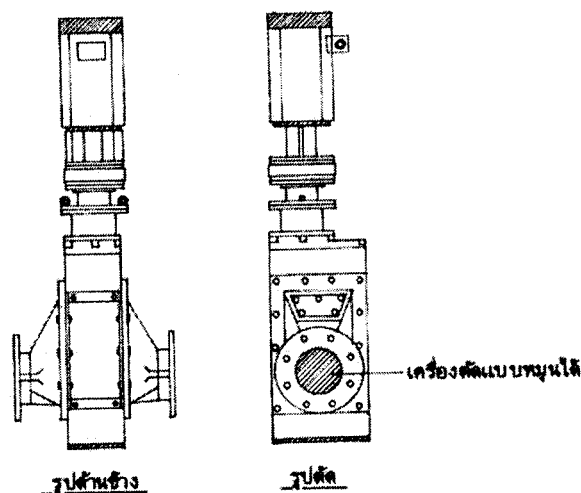
ปริมาณกากตะกอนเคมีที่เกิดจากระบวนการโคแอกกูเลชันคำนวณได้จากปริมาณสารมลพิษและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ สารมลพิษได้แก่ คอลลอยด์ (วัดในรูปของ SS, มก./ล.) ในกรณีของระบบตกผลึกโลหะหนัก กากตะกอนจะเกิดในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์ หรือโลหะซัลไฟด์หรือโลหะคาร์บอเนตขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้กำจัดโลหะ ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการเคมีโดยตรง โดยคำนวณจากความเข้มข้นของโลหะต่างๆ ในน้ำเสีย

3 การบำบัดกากตะกอน

3.1 การทำกากตะกอนให้มีลักษณะเดียวกัน (Preliminary Operations)

ในการบำบัดและกำจัดกากตะกอนจำเป็นต้องเตรียมกากตะกอนที่มาจกหลายๆ จุดในโรงบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องมีระบบทำกากตะกอนให้มีลักษณะเดียวกันโดยมีระบบต่างๆ ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539)

3.1.1 การบดกากตะกอน (Sludge Grinding) กระบวนการตัดหรือฉีกเนื้อวัสดุใหญ่ๆ ที่มากับกากตะกอนเพื่อให้ได้ของแข็งที่มีขนาดเล็ก เพื่อป้องกันการเกิดอุดตันขึ้นในระบบสูบกากตะกอนและท่อส่งจ่ายกากตะกอน เครื่องบดตัดที่แข็งแรงทนทาน ต้องมีรอบหมุนต่ำและต้องมีระบบหยุดเองอัตโนมัติเมื่อเกิดการติดขัดภายในเครื่องเนื่องจากเศษขยะไปติดอยู่ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 เครื่องบดกากตะกอน (Sludge Grinder)

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2539)

3.1.2 การนำกรวดทรายออกจากกากตะกอน (Sludge degritting) ทำการแยกพวงทรายกรวดออกจากกากตะกอนด้วยเครื่อง Cyclone Degritter โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางของระบบ ซึ่งเป็นเครื่องที่นิยมใช้กันมากที่สุดในวิธีการนำกรวดทรายออกจากกากตะกอน

3.1.3 การกวนกากตะกอน (sludge blending) เป็นการกวนกากตะกอนจากระบบต่างๆ เช่น จากถังตกตะกอนแรก จากถังตกตะกอนที่สอง ฯลฯ เพื่อให้ได้กากตะกอนที่มีลักษณะเดียว ทำให้ง่ายต่อการบำบัดและกำจัด

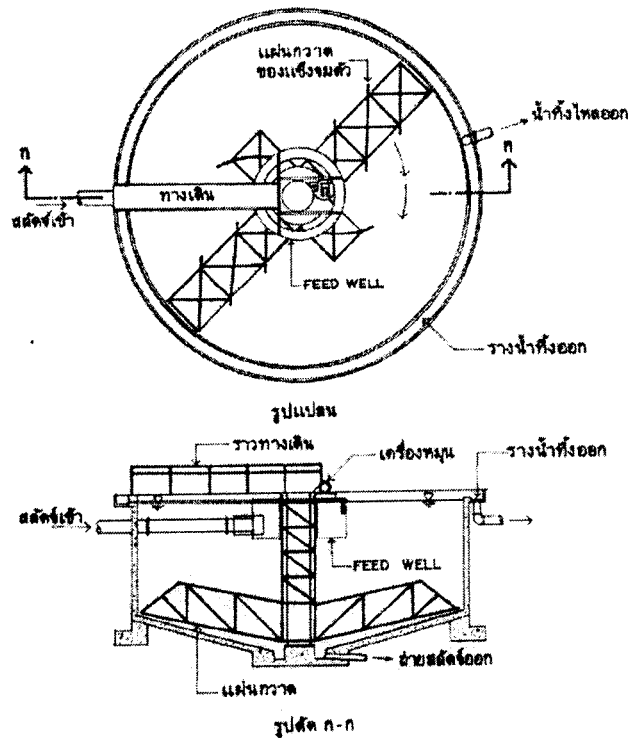
3.1.4 การเก็บกากตะกอน (Sludge storage) เป็นการเก็บกากตะกอนไว้ในถังสักระยะหนึ่ง ประมาณ 2-3 ชม. ถึง 2-3 วัน เพื่อเตรียมตัวนำไปบำบัดต่อไป ถ้ามีปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นที่เกิดจากกากตะกอนก็อาจเติมอากาศลงไปหรือเติมคลอรีน หรือ H_2O_2 ลงไปหรืออาจใช้ NaOH หรือปูนขาว (Lime) เติมลงไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นเหม็นเพราะไปเพิ่ม pH ทำให้ควบคุม H_2S ได้

3.2 การทำให้กากตะกอนมีความเข้มข้นขึ้น (Thickening)

การทำให้กากตะกอนมีความเข้มข้นขึ้นเป็นระบบที่ทำการแยกน้ำออกจากกากตะกอนให้ได้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อให้ปริมาณของกากตะกอนที่จะทำการบำบัดมีน้อยลง พบว่าถ้ากากตะกอนจากถังตกตะกอนมีความเข้มข้น 0.8%TS สามารถทำให้เข้มข้นได้ 4%TS นั่นคือสามารถลดปริมาตรของกากตะกอนได้ 5 เท่า วิธีการทำให้กากตะกอนมีความเข้มข้นขึ้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี

3.2.1 การทำชั้นด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Thickening) เป็นการแยกของแข็งออกจากกากตะกอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนชั้นต้นจะเหมาะสมมาก แต่จะไม่นิยมใช้กับกากตะกอนเอเอสเพราะจะกากตะกอนได้เข้มข้นต่ำเพียง 2-3 %TS เท่านั้น โดยปกติจะได้กากตะกอนเข้มข้น 2-10 %TS จะมีค่าอัตราการระปริมาณน้ำ (Hydraulic Loading rate,HLR) เท่ากับ 2-33 ลบ.ม/(ตร.ม.วัน) และมีค่าอัตราการของแข็ง (Solids Loading Rate,SLR) เท่ากับ 10-144 กก. TS /(ตร.ม.วัน) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกากตะกอน คุณภาพของน้ำที่ไหลล้นออกจากถังจะมี TSS เท่ากับ 200-1000 มก.ลิตร ในการออกแบบจะให้เวลาเก็บกักเท่ากับ 1 วัน และมีน้ำลึกในถังเท่ากับ 3 เมตร

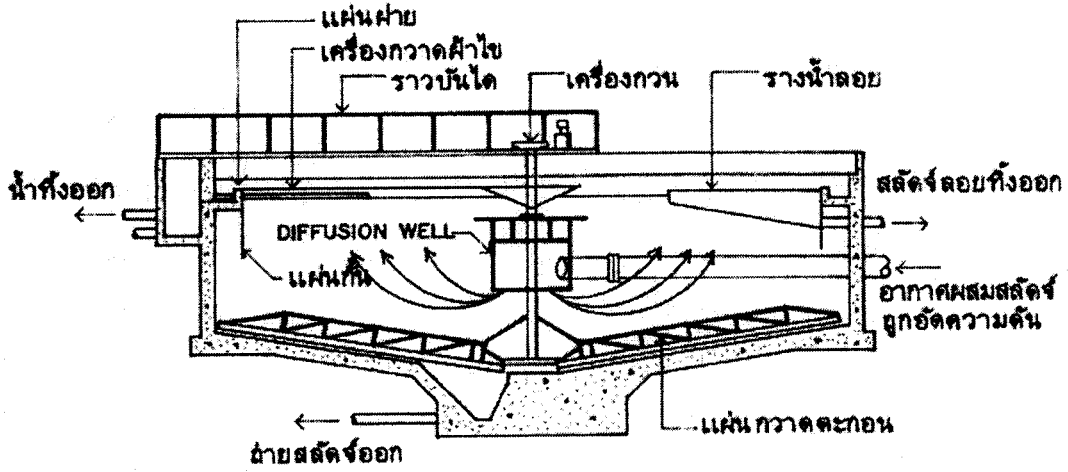
ดั่งภาพ 2.5



ภาพที่ 2.5 ถังทำชั้นด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Thickener)

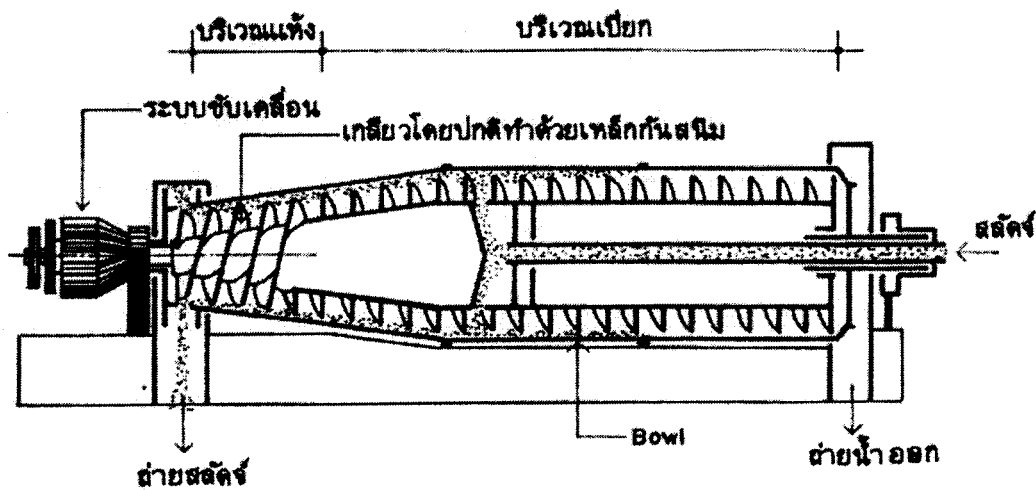
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2539)

3.2.2 การทำชั้นด้วยการลอยตัว (Flotation Thickening) วิธีการนี้เหมาะสมกับกากตะกอนเอเอส ซึ่งจะได้กากตะกอนเข้มข้นสูงถึง 3-5 % แต่ไม่เหมาะสมกับกากตะกอนชั้นต้นผสมกับกากตะกอนเอเอสเพราะจะได้กากตะกอนเข้มข้นต่ำ พบว่าถ้ากากตะกอนมีค่า SVI มากกว่า 200 จะต้องการเติมสาร Polymer มากขึ้น ดังนั้นระบบนี้เหมาะสมกับกากตะกอนที่มีค่า SVI ต่ำกว่า 200 มักจะใช้ระบบ Dissolved Air Flotation มีค่า HLR เท่ากับ 60-25 ลบ.ม./(ตร.ม.วัน) และมีค่า SLR เท่ากับ 50-200 กก./(ตร.ม.วัน) จำเป็นต้องเติมสาร Polymer ลงไป 1000-4000 มก./กก. TS และมีค่า อัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศกับของแข็ง (Air-to-Solids Ratio ,A/S เท่ากับ 0.02-0.07) คุณภาพของน้ำที่ไหลออกจากถังจะมี TSS เท่ากับ 100 – 600 มก./ลิตร



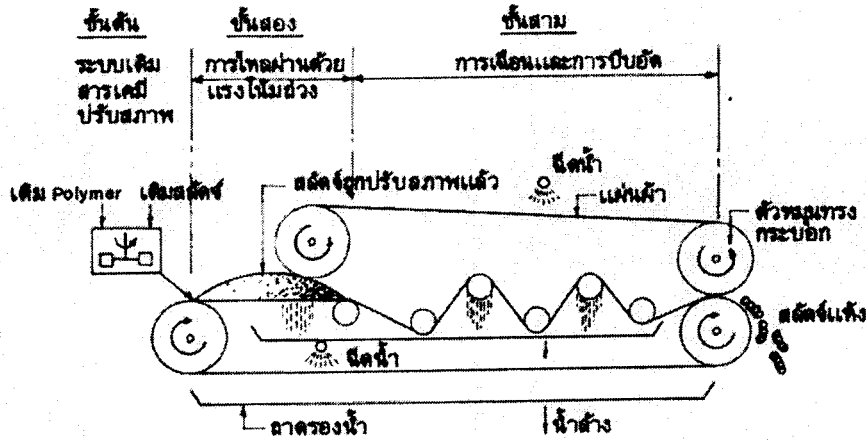
ภาพที่ 2.6 ถังทำชั้นด้วยการลอยตัว (Flotation Thickener)
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)

3.2.3 การทำชั้นด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Thickening) เป็นระบบที่ใช้ได้ทั้งแยกของแข็งหรือทำให้กากตะกอนเข้มข้นและยังสามารถใช้กับระบบนำน้ำออกจากกากตะกอนด้วย เมื่อมีกากตะกอน 0.3-2.0 %TS จะได้กากตะกอนเข้มข้นขึ้นจนได้ 5-8 %TS ใช้สาร Polymer 0.3 กรัม/กก. จะเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับกากตะกอนเอเอส ไม่นิยมใช้กับกากตะกอนประเภทอื่นๆ



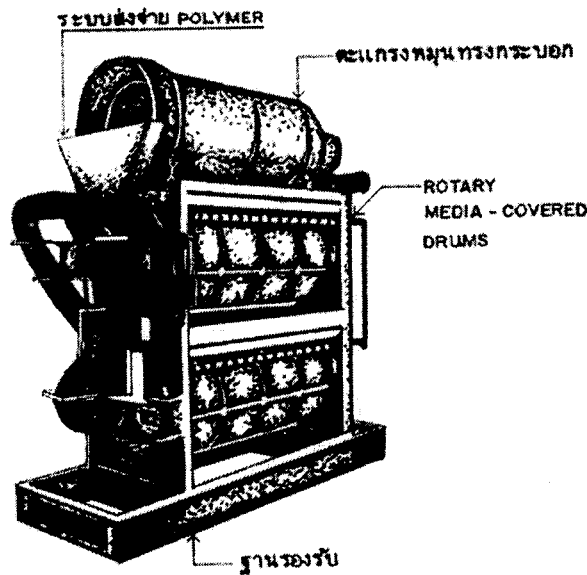
ภาพที่ 2.7 ถังทำชั้นด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Thickener)
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)

3.2.4 การทำชั้นด้วยสายพานรีดน้ำ (Gravity Belt Thickening) ดัดแปลงมาจากระบบสายพานรีดน้ำ (Bait press) มีลักษณะเป็นแผ่นสายพานเคลื่อนที่ด้วยลูกกลิ้ง มีการเติมสาร Polymer เข้าช่วยจึงจะได้ประสิทธิภาพสูง เหมาะสมกับกากตะกอนเอเอส กากตะกอนเข้มข้นเท่ากับ 3-6%TS



ภาพที่ 2.8 ถึงชั้นด้วยสายพานรีดน้ำ (Gravity Belt Thickener)
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539)

3.2.5 การทำชั้นด้วยถังทรงกระบอกหมุน (Rotary Drum Thocking) มีรูปลักษณะเป็นถังสองสามถังหมุน ที่มีตัวถังเป็นลักษณะตะแกรง โดยนำกากตะกอนมาผสมกับสาร Polymer พวกน้ำจะถูกแยกออกจากกากตะกอนสามารถได้กากตะกอนเข้มข้นประมาณ 3-4 % มีข้อดีที่บำรุงรักษาได้ง่ายและสิ้นเปลืองพลังงานน้อย



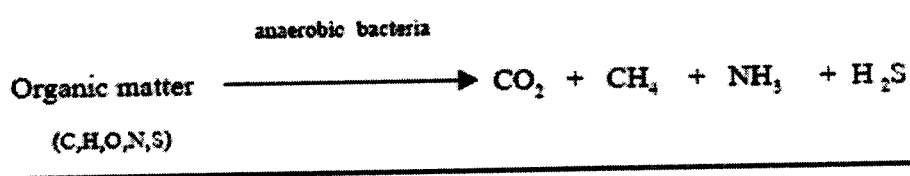
ภาพที่ 2.9 ถึงทำชั้นด้วยถังทรงกระบอกหมุน (Rotary Drum Thickener)
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539)

3.3 การปรับเสถียรกากตะกอน (Sludge Stabilization)

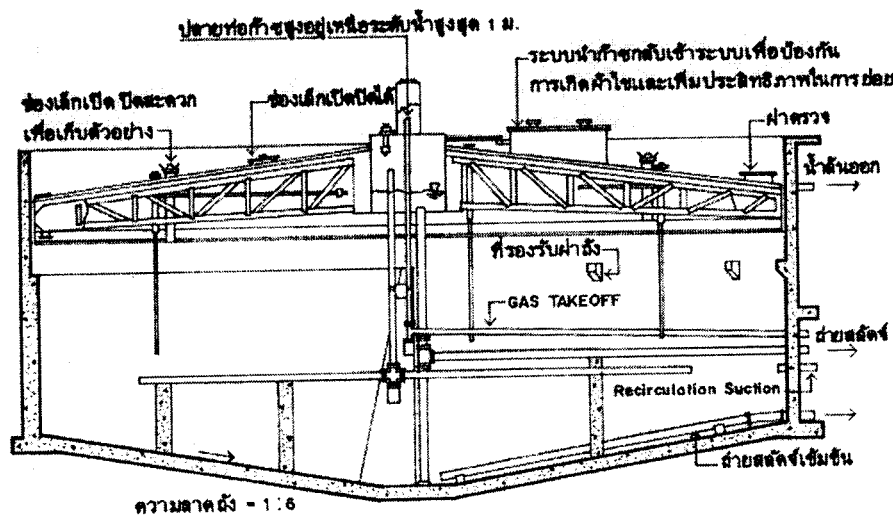
กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมักจะเป็นกากตะกอนชีวภาพ ดังนั้นจะมีกลิ่นเหม็นถ้าอยู่ในสภาพอากาศ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจึงจำเป็นต้องทำการปรับเสถียร ทั้งนี้เพื่อ วัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้ คือ 1. เพื่อลดกลิ่นเหม็น 2. เพื่อลดจำนวนเชื้อโรค 3. เพื่อลดแนวโน้มที่ทำให้กากตะกอนเน่า ในหลักการแล้วการป้องกันการเกิดปัญหาต่างๆ ข้างต้นสามารถกระทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 การหมักแบบไร้อากาศ

เป็นกระบวนการหมักกากตะกอนน้ำเสียเพื่อให้สลายตัวในสภาพที่ไร้ออกซิเจนทำให้ได้ผลพลอยได้คือก๊าซมีเทน (CH₄) เกิดขึ้นนำมาใช้ประโยชน์ได้ (ชินจิต กิ่งนรา, 2544) ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดเป็นดังต่อไปนี้



ภายในถังย่อยแบบไร้อากาศจะต้องมีระบบกวนกากตะกอนภายในถัง ซึ่งวิธีกวนกากตะกอนมีด้วยกันหลายวิธีดังนี้ วิธีพ่นก๊าซเข้าไปกวนกากตะกอน ,วิธีใช้ใบพัดกวน และวิธีใช้เครื่องสูบลมกากตะกอนไหลวนกลับ ดังภาพที่ 2.10 ถังย่อยกากตะกอนแบบมาตรฐาน

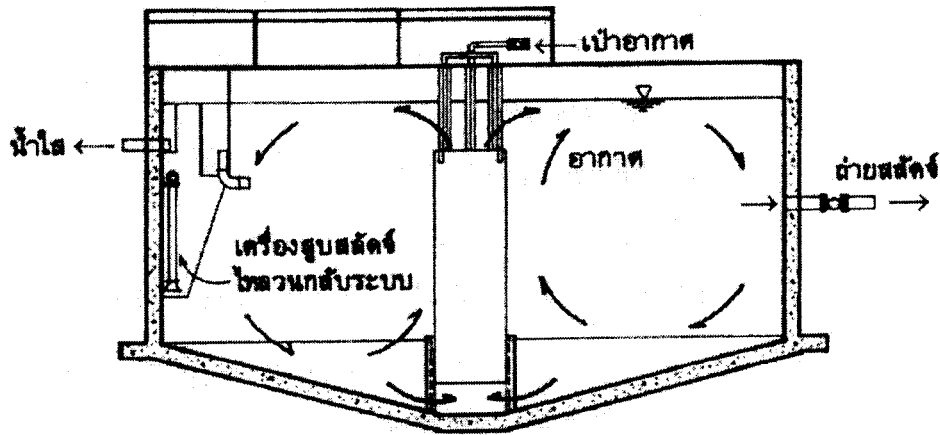
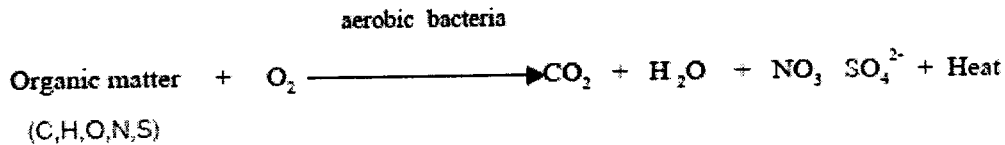


ภาพที่ 2.10 ถังย่อยกากตะกอนแบบมาตรฐาน (Standard-rate digester)

ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2539)

3.3.2 การหมักแบบมีอากาศ

เป็นการหมักกากตะกอนน้ำเสียในสภาวะมีออกซิเจนเมื่อผ่านระบบนี้แล้วกากตะกอนจะไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่น ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), น้ำ (H_2O) ไนเตรต (NO_3) และพลังงานความร้อน (ชื่นจิต กิ่งนรา, 2544) ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดในกระบวนการหมักแบบมีอากาศเป็นดังนี้



ภาพที่ 2.11 ถังย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Digesters) แบบต่อเนื่อง

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์ (2539)

3.3.3 การใช้สารเคมี (Chemical Stabilization)

1) การออกซิเดชันโดยใช้คลอรีน ทำโดยการพ่นก๊าซคลอรีนเข้าสู่กากตะกอนโดยตรงภายในถังปฏิกิริยาที่ปิดมิดชิด โดยให้มีความเข้มข้นของคลอรีนในกากตะกอนสูงประมาณ 2000 มล/ล เพื่อให้กากตะกอนอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการรีดน้ำออกต่อไป รวมทั้งเป็นฆ่าเชื้อโรคในกากตะกอนด้วย

2) การบำบัดโดยใช้ปูนขาว ใช้วิธีเติมปูนขาวลงในกากตะกอนเพื่อปรับ pH ให้เท่ากับ 11 หรือ สูงกว่าโดยต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ ซึ่งจะทำให้กากตะกอนมีความเสถียรและเป็นการฆ่าเชื้อโรคไปด้วย กากตะกอนที่บำบัดด้วยวิธีนี้อาจนำไปใช้ถมที่ได้โดยปลอดภัย (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544)

3.3.4 การหมักทำปุ๋ย (Composting)

การหมักทำปุ๋ยเป็นการทำให้กากตะกอนมีความเสถียร ซึ่งนอกจากจะสามารถลดสารอินทรีย์ในกากตะกอนลงแล้วยังทำให้ได้สารอาหารของพืชและฆ่าเชื้อโรคในกากตะกอนได้อีกด้วย ในการหมักจะเตรียมกากตะกอนโดยผสมกับวัสดุบางประเภท เช่น ขยะ เศษไม้ ชี้เลื่อย หรือดิน หลังจากนั้นจึงนำไปหมัก โดยทั่วไปใช้ระบบการหมักแบบทำให้กระจาย แบบกองทัวร์ หรือแบบกองแถว หรือแบบที่ใช้กลไกช่วย เช่น โรเตตติ้ง ดรัม ถ้าใช้แบบทำให้กระจายจะใช้เวลาในการหมักหลายสัปดาห์ ถ้าเป็นแบบที่ใช้กลไกจะลดเวลาลง แต่จะใช้เวลาหลายวัน เช่นกัน ในระหว่างการหมักจะทำการกวนและเติมอากาศอย่างสม่ำเสมอ เมื่อหมักเสร็จแล้วก็จะป้อนขของกระบ่ม อีกประมาณ 2 สัปดาห์ กระบวนการหมักจะเสร็จเมื่อส่วนที่เป็นของแข็งถูกขจัดออกไปจากกากตะกอนแล้ว (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544)

3.3.5 การบำบัดด้วยความร้อน (Heat Treatment)

วิธีนี้เป็นวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยกระบวนการพาสเจอไรซ์ หรือออกซิเดชันที่ความดันต่ำ กากตะกอนร้อนที่อุณหภูมิ 50-75 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 30-60 นาที และในกระบวนการออกซิเดชันที่ความดันต่ำจะทำให้กากตะกอนร้อนที่อุณหภูมิ 175-205 องศาเซลเซียส ความดัน 180-120 lb/in² และใช้เวลา 20-30 นาที

3.3.6 การฉายรังสี (Irradiation)

ในปัจจุบันวิธีนี้เป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี แต่ยังมีปัญหาด้านค่าใช้จ่าย ยังไม่เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมคุ้มทุน และยังมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัย ในอนาคตหากมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนขึ้นมาได้ การฉายรังสีบนกากตะกอนก็น่าจะเป็นวิธีที่ควรนำมาใช้สำหรับการทำลายเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี

3.3.7 การใช้สระบำบัด (Lagooning)

การใช้สระขังกากตะกอนคืบเป็นวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่ทำให้กากตะกอนมีความเสถียร ข้อจำกัดของวิธีนี้ก็คือต้องใช้ที่ดินมาก จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะหากราคาที่ดินแพง นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน และเป็นวิธีที่ขาดความยืดหยุ่นในการเดินระบบ อีกทั้งยังต้องการเวลาหลาย ๆ ปีกว่าที่กระบวนการย่อยสลายจะสมบูรณ์ วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับท้องที่ในชนบทห่างไกลหรือใช้เป็นสระสำรองไว้ในกรณีฉุกเฉินเผื่อว่าระบบการบำบัดกากตะกอนที่มีอยู่อาจจะเกิดการล้มเหลวเท่านั้น (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544)

3.4 การปรับสภาพกากตะกอน

ในการบำบัดน้ำเสียทั่วไปมักจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นด้วยเสมอ กากตะกอนที่เกิดขึ้นมีทั้งกากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ หรือทั้งสองอย่างปนกันขึ้นอยู่กับขั้นตอนการเกิดน้ำเสียและระบบบำบัดของแต่ละสถานประกอบการ กากตะกอนเหล่านี้มีสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาเจือปนอยู่มาก จึงต้องมีการบำบัดและกำจัดด้วยวิธีต่างๆ ระบบการจัดการกากตะกอนจึงเป็นส่วนสำคัญของระบบบำบัดน้ำเสีย

กากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปมีความเข้มข้นวัดเป็นค่าของแข็งแขวนลอย ประมาณร้อยละ 1-4 (10,000-40,000 มก/ล.) ขึ้นอยู่กับชนิดของกากตะกอน จึงควรที่จะต้องนำกากตะกอนมากำจัดน้ำส่วนเกินเพื่อให้ได้กากตะกอนที่อยู่ในสภาพที่มีน้ำน้อยลงจนสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

โดยทั่วไปการปรับสภาพกากตะกอนมักจะใช้ 2 ฤทธิ์หลัก คือ การปรับสภาพทางเคมี และการปรับสภาพทางกายภาพ

3.4.1 การปรับสภาพกากตะกอนทางเคมี

เป็นกระบวนการที่ดีในด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการกำจัดน้ำส่วนเกิน เพราะสามารถลดปริมาณความชื้นจากร้อยละ 90-99 เหลือร้อยละ 65-85 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของกากตะกอน การปรับสภาพทางเคมีนี้มีผลสืบเนื่องมาจากการแเอ็กกูเลชัน และการปลดปล่อยโมเลกุลน้ำที่กากตะกอนดูดซับไว้ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการนำเอากากตะกอนที่ปรับสภาพทางเคมีมาเข้ากระบวนการเชิงกล เช่น การกรองสูญญากาศ การปั่นแยก เครื่องกรองอัดแบบสายพาน เป็นต้น

การเติมสารเคมีลงในกากตะกอนเพื่อปรับสภาพ จะเป็นการเพิ่มปริมาณกากตะกอนด้วย (ยกเว้นการใช้สารโพลีเมอร์) โดยที่สารประเภทเกลือของเหล็กและปูนขาวจะเพิ่มปริมาณของแข็งในกากตะกอนร้อยละ 20-30

ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การปรับสภาพกากตะกอน

- 1) ชนิดของกากตะกอน ได้แก่ ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ทำให้เกิดกากตะกอนในขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย
- 2) อุปกรณ์การกวน และเครื่องมือเชิงกลที่ใช้ในการกำจัดน้ำส่วนเกิน
- 3) สมบัติของกากตะกอน
- 4) แหล่งที่มาของกากตะกอน
- 5) ปริมาณของแข็งแขวนลอย และความหนาแน่นของของแข็งแขวนลอย
- 6) ขนาดของอนุภาคของของแข็งในกากตะกอน
- 7) อายุของกากตะกอน

8) pH และค่าอัลคาไลน์ตี (Alkalinity)

แหล่งที่มาของกากตะกอนส่งผลกับการเลือกใช้สารเคมี เพราะระบบการปรับสภาพกากตะกอนแต่ละระบบนั้นจะถูกออกแบบเพื่อใช้กับสารเคมีที่ผู้ขายระบบเป็นผู้กำหนดการเลือกสารเคมีชนิดที่เหมาะสมกับระบบจะต้องกระทำการทดลองตั้งแต่ในห้องปฏิบัติการและโรงงานต้นแบบ ประเภทของกากตะกอนจะมีผลกระทบต่อปริมาณสารเคมีที่ต้องการ กากตะกอนที่ดึงน้ำออกยากจะต้องการสารเคมีที่จะใช้ปรับสภาพมาก เราสามารถจัดประเภทกากตะกอนดังนี้ กากตะกอนปฐมภูมิ (Primary Sludge) กากตะกอนที่มาจากกระบวนการแอ็คติเวเต็ดเต็ดจ์ (Waste activated Sludge) และกากตะกอนที่มีการย่อยสลายแล้ว (Digested Sludge) หรือ อาจแบ่งประเภทของกากตะกอนตามลำดับของกากตะกอนที่มีสมบัติการดึงน้ำออกง่ายไปยากดังนี้

- 1) กากตะกอนคิบปฐมภูมิ
- 2) กากตะกอนคิบปฐมภูมิผสมกับกากตะกอนที่ผ่านระบบกรองมาบ้าง
- 3) กากตะกอนคิบปฐมภูมิผสมกับกากตะกอนแอ็คติเวเต็ดเต็ดจ์
- 4) กากตะกอนคิบปฐมภูมิที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- 5) กากตะกอนคิบปฐมภูมิที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนผสมกับ

การตะกอนแอ็คติเวเต็ดเต็ดจ์

- 6) ผสมกับกากตะกอนแอ็คติเวเต็ดเต็ดจ์คิบ
- 7) กากตะกอนที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปริมาณของแข็งแขวนลอย เป็นพารามิเตอร์ตัวสำคัญในการบอกถึงปริมาณการเติมสารปรับสภาพกากตะกอน โดยปกติจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 0.5-2.0 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 4-6 โดยน้ำหนัก ในกากตะกอนปฐมภูมิและกากตะกอนที่มีการย่อยสลายหรืออาจมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่านี้ ถ้าเป็นกากตะกอนที่ปริมาณปูนขาวมาก ในการที่จะเลือกกระบวนการกรองด้วยสุญญากาศนั้น ต้องการกากตะกอนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยอย่างน้อยร้อยละ 4

ความหนาแน่นของของแข็งแขวนลอย เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ต้องให้ความสนใจ เพราะสามารถใช้เป็นตัวตัดสินใจในการเลือกกระบวนการสำหรับการกำจัดน้ำส่วนเกินได้เลย เพราะเหตุที่การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของของแข็งแขวนลอยย่อม หมายถึง การเพิ่มของอัตราการผลิตกากตะกอนนั่นเอง

3.4.2 การปรับสภาพภาคตะกอนทางกายภาพ

การปรับสภาพภาคตะกอนทางกายภาพมีทฤษฎีหลักอยู่ 3 ทฤษฎีด้วยกัน คือ

1) การใช้ความร้อน คือ การให้ความร้อนในอุณหภูมิกำหนดในช่วงเวลาสั้น ๆ ภายใต้อาภาวะความดันปกติหรือเมื่อมีการเพิ่มความดัน การใช้ความร้อนในการปรับสภาพภาคตะกอนเป็นการคงสภาพ และการปรับสภาพของภาคตะกอนเป็นการคงสภาพ และการปรับสภาพของภาคตะกอนในเวลาเดียวกัน

จุดประสงค์ของกระบวนการปรับสภาพโดยใช้ความร้อน

- (1) เพื่อให้เกิดการ โคแเอกูเลชันของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในภาคตะกอน
- (2) เพื่อทำลายโครงสร้างแบบเจลของภาคตะกอน
- (3) เพื่อลดค่าแรงดึงดูด โมเลกุลของน้ำกับของแข็งแขวนลอย
- (4) เพื่อทำลายสภาพธรรมชาติของโปรตีน

ข้อดีของกระบวนการปรับสภาพโดยใช้ความร้อน

(1) การให้ความร้อนสามารถใช้เพื่อการปรับสภาพภาคตะกอนได้ เพราะทำให้บรรลุจุดประสงค์ทั้ง 4 ข้อ ดังกล่าว

(2) เป็นการคงสภาพภาคตะกอนไปในตัว เพราะความร้อนจะทำลายสิ่งมีชีวิตที่จะก่อพิษ

(3) ใช้กับการปรับสภาพภาคตะกอนที่เป็นชีวโมเลกุลที่ไม่สามารถปรับสภาพโดยวิธีอื่นได้

(4) สามารถใช้กับการกตะกอนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วง ร้อยละ 30-50

(5) อาจไม่ต้องการการปรับสภาพด้วยสารเคมี

(6) ภาคตะกอนที่ผ่านกระบวนการแล้วมีค่าการให้ความร้อน 12,000-13,000 Btu/lb จึงง่ายต่อการนำไปเผา

(7) ใช้ได้กับภาคตะกอนที่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบ่อย ๆ เช่น โปรตีน

ข้อเสียของกระบวนการปรับสภาพโดยใช้ความร้อน

- (1) เครื่องมือของกระบวนการนี้มีราคาสูง
- (2) ต้องติดตามดูแลอย่างใกล้ชิดโดยผู้ดำเนินงานที่มีทักษะ
- (3) ต้องการการซ่อมบำรุงบ่อยครั้ง

(4) น้ำที่ถูกดึงออกจากกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการนี้มีค่า BOD รวมถึงแอมโมเนียในโตรเจนสูง จะต้องมีการบำบัดเสริมก่อนที่จะปล่อยออกสู่สาธารณะ

(5) กระบวนการนี้ผลิตก๊าซที่มีกลิ่นที่ไม่เป็นที่พึงปรารถนาต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการจัดการกับกลิ่นเหล่านี้

(6) เครื่องมือต่างๆ ต้องมีการทำความสะอาดอย่างดีเช่นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระบบท่อ เป็นต้น

อย่างไรก็ดีปัจจุบันในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนากระบวนการปรับสภาพโดยใช้ความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อลดข้อเสีย

2) การแช่แข็ง

การแช่แข็งตัวอย่างช้า ๆ ด้วยความเย็นของกากตะกอนตามด้วยการทำละลายกลับหรือที่เรียกว่ากระบวนการฟิชทอร์ (Freeze-Thaw Cycle) จะใช้กับกากตะกอนที่มีการใช้กระบวนการนี้กับกากตะกอนแเอ็คคิเว์เต็ดที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 0.6-1.6 และสามารถที่จะทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 5.2-25.0 เมื่อผ่านออกจากกระบวนการและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ จึงทำให้วิธีการแช่แข็งนี้ไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าที่ควร

3) การใช้สารเคมี

สารอนินทรีย์ที่นำมาใช้ คือ พวกซีเถ้าหรือพวกสารไดอะตอมเมเชียสเอิร์ท (Diatomaceous Earth) เฟอริคคลอไรด์ สารส้ม และปูนขาว จุดประสงค์ของการเติมสารอนินทรีย์ส่วนพวกที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ หรือโพลิเมอร์ เพื่อให้กากตะกอนเปลี่ยนสภาพเป็นรูปผลึกที่มีรูพรุน ซึ่งหมายถึงการที่กากตะกอนน่าจะมีสมบัติการกรองที่ดีขึ้นและเป็นการลดค่าความสามารถในการยุบตัวของกากตะกอนด้วยอัตราส่วนการเติมสารอนินทรีย์ต่อปริมาตรของกากตะกอนจะอยู่ในช่วง 0.5:1 ถึง 2:1 ข้อดีของกระบวนการคือ เมื่อเติมสารอนินทรีย์เข้าไปมากจะเป็นการเพิ่มปริมาตรของกากตะกอนทำให้ค่าขนส่งสูงขึ้นและยังเป็นการลดค่าความร้อนของกากตะกอนด้วย

4) การล้างคัด (Elutriation)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการใช้ของเหลวล้างกากตะกอน เพื่อที่จะขจัดเอาสารอนินทรีย์ ซึ่งจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพกากตะกอนออกไปเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อที่จะลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพกากตะกอนลง ในกระบวนการล้างคัดอาจมีขั้นตอนเดียวหรือหลายขั้นตอน ทั้งนี้อาจใช้ถังเพียงถังเดียวหรือหลาย ๆ ถัง ขึ้นกับวิธีที่เลือกใช้ ใน

การล้างคัดอาจใช้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วหรือน้ำประปาผสมกับกากตะกอน ประมาณ 10-15 นาที การผสมอาจใช้วิธีกวนโดยเครื่องกวนหรือเป่าด้วยฟองอากาศก็ได้ สัดส่วนระหว่างปริมาณกากตะกอนและน้ำโดยทั่วไปเท่ากับ 1 : 2 หลังจากผสมแล้วจะปล่อยให้ตกตะกอนแล้วนำตะกอนซึ่งขจัดสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ออกไปแล้วไปทำการปรับสภาพโดยสารเคมีต่อไป (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชา เทพ, 2544)

3.5 การฆ่าเชื้อโรคในกากตะกอน (Sludge Disinfectin)

การฆ่าเชื้อโรคในกากตะกอนเป็นวิธีที่ต้องการให้แน่ใจว่ากากตะกอนที่จะนำออกไปทิ้งหรือนำกลับมาใช้อีกจะไม่มีเชื้อโรคอันตรายต่อคนและสัตว์ที่สัมผัส (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ ,2539)

3.5.1 Pasteurization ใช้การพ่นไอน้ำร้อนโดยตรง หรือใช้การถ่ายเทความร้อนเพื่อการฆ่าเชื้อโรคที่มีอยู่ในกากตะกอนก่อนที่จะต้องนำไปทิ้งตามพื้นที่ต่าง ๆ ระบบนี้มีใช้กันทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและในทวีปยุโรป แต่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายเนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการลงทุนสูง

3.5.2 วิธีใช้ความร้อนแบบอื่น ๆ เช่น การอบแห้งด้วยความร้อน การเผา การเผาไหม้ โดยปราศจากอากาศ การทำ Pyrolysis เป็นต้น

3.5.3 การปรับ pH ให้ได้สูงกว่า 12 ด้วยปูนขาวและรักษาระดับ pH นี้ไว้อย่างน้อย 3 ชม.

3.5.4 การเก็บกักกากตะกอน ที่ถูกย่อยสลายแล้วในระยะเวลาสั้น

3.5.5 การหมัก ณ อุณหภูมิสูงกว่า 55 °C และทำการบ่มอีกอย่างน้อย 30 วัน

3.5.6 การใช้คลอรีน

3.5.7 การใช้สารฆ่าเชื้อโรคอื่น ๆ

3.5.8 การอบรังสี

3.6 การแยกน้ำออกจากกากตะกอน (Sludge Dewatering)

ในการแยกน้ำออกจากกากตะกอนเป็นระบบหลักของการกำจัดกากตะกอน เพราะก่อนที่จะนำกากตะกอนไปทิ้งต้องมีปริมาณน้อยและมีความชื้นน้อยที่สุด คือต้องนำกากตะกอนแห้งไปทิ้งสำหรับสาเหตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องทำการแยกน้ำออกจากกากตะกอนมีดังนี้

1) เมื่อกากตะกอนมีน้ำน้อยลง ทำให้มีปริมาตรของกากตะกอนน้อยลงด้วย ทำให้การขนส่งเพื่อนำไปทิ้งจะน้อยลงด้วย ดังนั้นสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

2) ในงานตัด กวาดหรือเคลื่อนย้ายกากตะกอนที่มีน้ำน้อยจะดำเนินการได้ง่ายกว่า กากตะกอนที่มีน้ำมาก

3) กากตะกอนที่จะนำเข้าเตาเผาควรที่จะมีน้ำน้อยที่สุดในกากตะกอน ทั้งนี้เพื่อลด การใช้พลังงานในการเผา

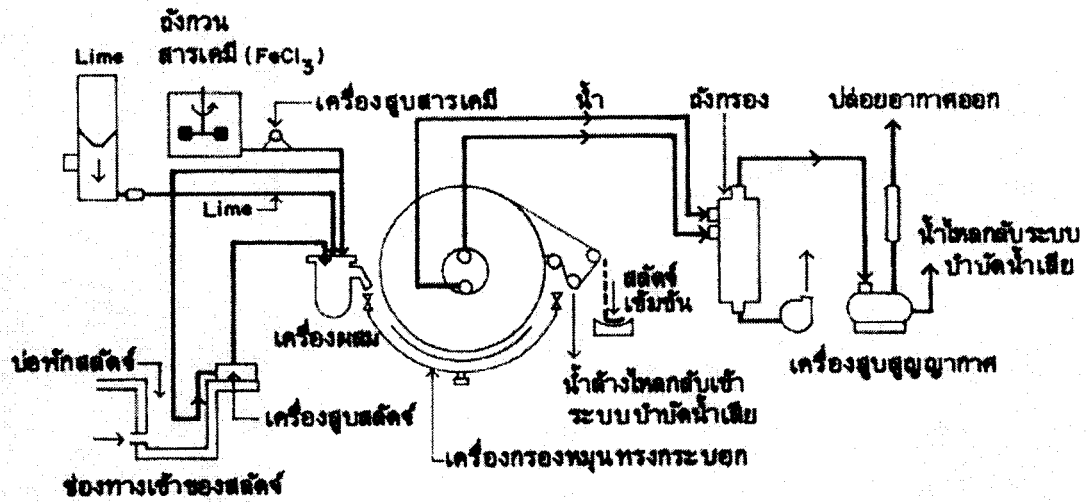
4) ก่อนที่จะนำกากตะกอนเข้าสู่ระบบหมักทำปุ๋ยควรที่จะเตรียมให้มีลักษณะ ค่อนข้างแห้ง ซึ่งจะเหมาะสมกับการนำไปกองเพื่อทำการหมักทำปุ๋ยต่อไป

5) กากตะกอนที่มีน้ำน้อยจะมีกลิ่นเหม็นน้อยกว่ากากตะกอนเปียก

6) กากตะกอนที่จะนำไปฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ถ้าเป็นกากตะกอนที่ ค่อนข้างแห้งอยู่แล้วจะเกิดปัญหาน้ำในซึมลงได้ดินน้อยลง

ข้อมูลเกี่ยวกับการแยกน้ำออกจากกากตะกอน

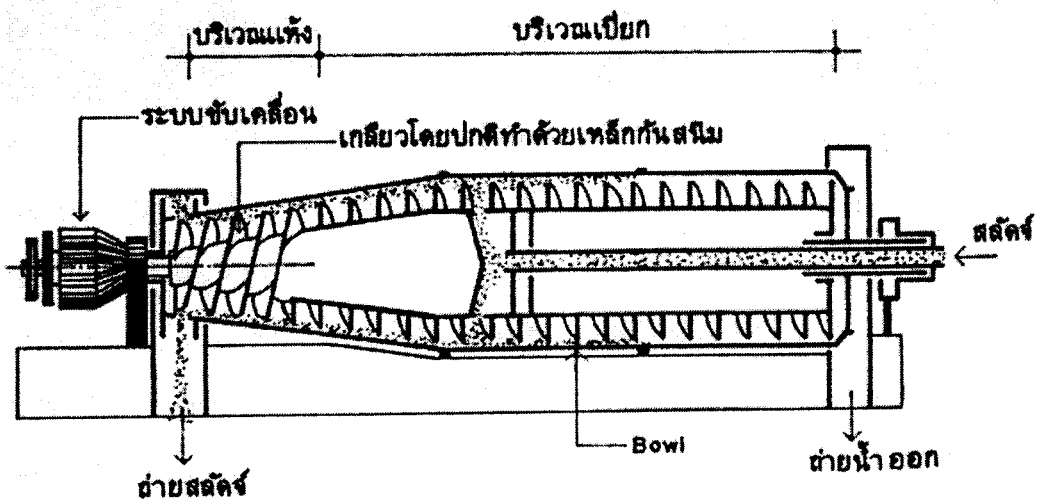
3.6.1 การกรองแบบสุญญากาศ (Vacuum Filtration) เป็นระบบแยกน้ำออกจากกาก ตะกอนโดยอาศัยแผ่นผ้าและการดูดน้ำออกด้วยสุญญากาศ จะมีความสามารถกรองได้เท่ากับ 10-40 กก/(ตร.ม.ชม) มีการเติมสารเคมีพวก $FeCl_3$ และ CaO ทำให้ได้กากตะกอนผ่านระบบนี้แล้วมี เข้มข้น 15-45 % TS ระบบนี้มีเสียงดัง เนื่องจากเครื่องดูดน้ำทำงาน และใช้พลังงานในการทำงาน มาก ระบบกรองแบบสุญญากาศมีหลักการทำงาน คือ ทำการดูดน้ำออกจากกากตะกอนผ่านแผ่น กรองอาจเป็นผ้ากรอง หรือวัสดุอื่น ๆ ห่อหุ้มอยู่รอบ ๆ ตัวโครงถังทรงกระบอก พวกกากตะกอนที่ ถูกแยกน้ำออกหุ้มอยู่รอบ ๆ ตัวโครงถังทรงกระบอก พวกกากตะกอนที่ถูกแยกน้ำออกแล้วจะถูกสิ่ง ออกจากแผ่นกรอง สำหรับพวกน้ำที่ถูกดูดออกมาจะถูกสูบออกจากระบบกลับไปสู่ระบบบำบัดน้ำ เสียขั้นต้นเพื่อนำไปบำบัดต่อไป กากตะกอนที่จะนำเข้าสู่ระบบกรองแบบสุญญากาศควรที่จะเติม สารเคมีเข้าช่วยให้กากตะกอนมีปริมาณของแข็ง (TS) เพียงพอสำหรับการทำงานอย่างมี ประสิทธิภาพของระบบ สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ ปูนขาว $FeCl_3$ และ โพลิเมอร์ต่างๆ เพื่อให้การ ดำเนินการระบบเป็นไปได้อย่างถูกต้องสำหรับกากตะกอนชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 2.12 เครื่องกรองแบบสูญอากาศ (Vacuum Filters)

ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)

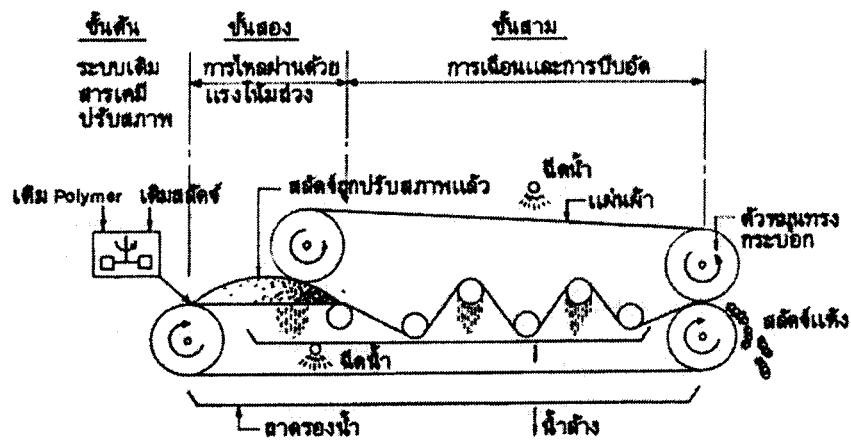
3.6.2 การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) เป็นระบบที่ใช้การเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกจากกากตะกอน โดยทั่วไปตั้งอยู่ในแนวนอนมีความเร็วหมุนเท่ากับ 1600-2000 รอบต่อนาทีจะได้ กากตะกอนที่ผ่านระบบนี้แล้วมีกากตะกอนเข้มข้น 20-35%TS มีการเติมสารโพลีเมอร์ เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้แยกน้ำออกจากกากตะกอนจะต้องการพื้นที่ในการติดตั้งระบบน้อยกว่าระบบอื่น ๆ ขณะทำงานของระบบนี้ กากตะกอนจะอยู่ในระบบปิดมิดชิด ทำให้ภายในห้องที่เครื่องหมุนเหวี่ยงกำลังทำงานจะไม่มีกลิ่นออกมา หรือแม้แต่ว่าจะไม่เห็นกากตะกอนอีกด้วย



ภาพที่ 2.13 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuges)

ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)

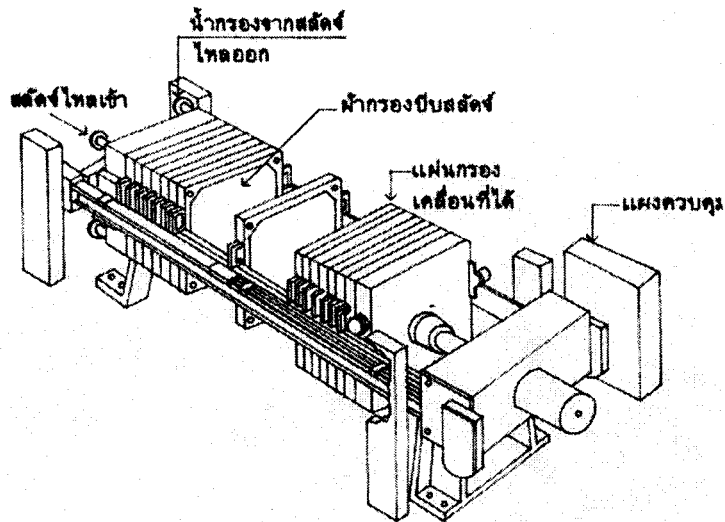
3.6.3 สายพานรีดน้ำ (Belt Filter Press) เป็นระบบที่ใช้แผ่นผ้าถูกเคลื่อนที่ด้วยลูกกลิ้ง โดยทำหน้าที่บีบกากตะกอนเพื่อให้น้ำไหลลงมาข้างล่าง มีการเติมสารโพลีเมอร์ ต้องติดตั้งไว้ที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี เพราะอาจมีกลิ่นเหม็นจากก๊าซไข่เน่าได้ ระบบนี้จะมีกากตะกอนถูกส่งโดยแผ่นผ้าเพื่อนำเข้ากระบวนการบีบ จะเห็นกากตะกอนเคลื่อนที่ในขณะที่ทำงาน ดังนั้นต้องเป็นกากตะกอนที่ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายเรียบร้อยแล้ว มิฉะนั้นจะมีปัญหากลิ่นเหม็นในบริเวณอาคารที่เครื่องสายพานรีดน้ำกำลังทำงานอยู่ จึงควรคำนึงถึงระบบระบายอากาศภายในอาคารด้วย ระบบนี้จะมีเสียงดังน้อยกว่าระบบเครื่องหมุนเหวี่ยง โดยทั่วไประบบนั้นจะใช้สารเคมีเติมผสมลงไปกับกากตะกอนด้วย เพื่อให้การทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.14 สายพานรีดน้ำ (Belt Filter Press)

ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2539)

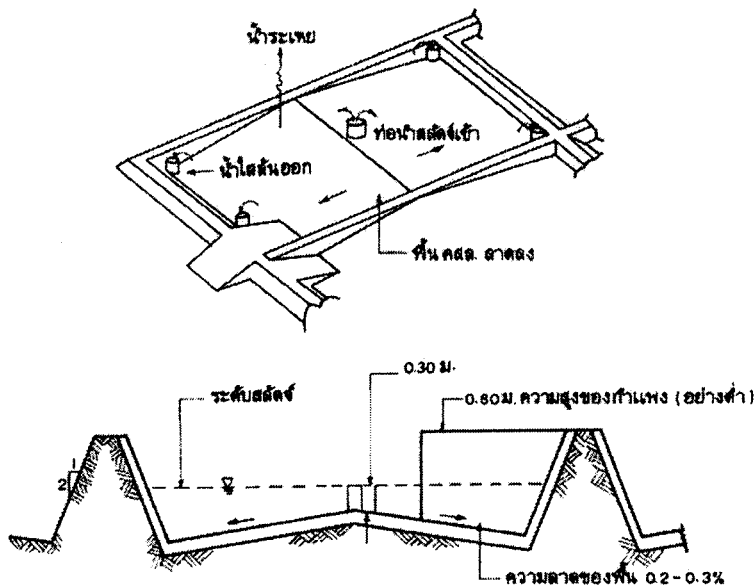
3.6.4 การอัดกรอง (Filter Presses) เป็นระบบที่ใช้แผ่นผ้าทำการบีบกากตะกอนที่ได้ไหลเข้าไประหว่างแผ่นผ้าซึ่งติดตั้งไว้หลายๆ แผ่น มีการสูบกากตะกอนด้วยเครื่องสูบกากตะกอนที่มีความดัน 690-1550 กิโลนิวตันต่อ ตร.ม. มีความสามารถในการกรองเท่ากับ 5-12 กก./(ตร.ม.ชม.) มีการเติมสาร $FeCl_3$ และ CaO การควบคุมระบบทำงานมีความยุ่งยากซับซ้อน และต้องการผู้ควบคุมระบบที่มีประสบการณ์พอสมควร อายุของผ้ากรองมีอายุการใช้งานค่อนข้างต่ำและต้องเลือกผ้ากรองชนิดที่มีความทนทานจึงจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.15 เครื่องอัดกรอง (Filter Presses)

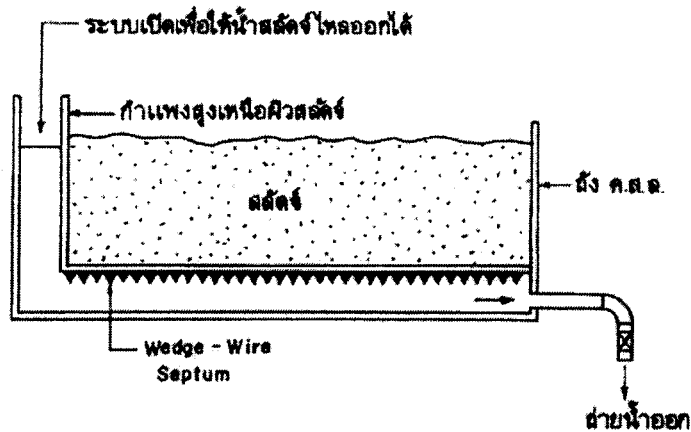
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)

3.6.5 ลานตากกากตะกอน (Sludge Drying Beds) เป็นระบบที่นิยมใช้กันมาก เพราะไม่ต้องใช้เครื่องจักรกล มีลักษณะเป็นพื้นที่รับกากตะกอน เพื่อนำมาตากกากตะกอนด้วยแสงแดด อาจมีหลังคาหรือไม่มี แล้วแต่การออกแบบ แบ่งออกได้เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้ ลานตากแบบทราย (Sand Drying Beds), ลานตากกากตะกอนพื้นเท (Paved Drying Beds) ดังภาพที่ 2.16 , ลานตากแบบพื้นตาข่าย (Artificial Media Drying Beds) ดังภาพที่ 2.17 , ลานตากแบบอาศัยสูญญากาศ (Vacuum-Assisted Drying Beds)



ภาพที่ 2.16 ลานตากกากตะกอนพื้นเท (Paved Drying Beds)

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ (2539)



ภาพที่ 2.17 ลานตากกากตะกอนแบบพื้นตาข่าย (Artificial Media Drying Beds)

ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุดมสิน โรจน์ (2539)

3.6.6 บ่อดัก (Lagoons) บ่อดักกากตะกอนอาจใช้ทดแทนระบบลานตาก นิยมใช้กับกากตะกอนที่ถูกย่อยสลายแล้ว แต่ไม่นิยมใช้กับกากตะกอนที่ไม่ถูกย่อยสลาย โดยปกติกากตะกอนจะถูกปล่อยลงสู่บ่อดักประมาณ 18 เดือน และให้บ่อดักพัก 6 เดือน ต้องมีบ่อดักอย่างน้อย 2 บ่อขึ้นไป เพื่อเตรียมสำรองไว้ขณะทำการบำรุงรักษาบ่อดัก

3.7 การทำให้กากตะกอนแห้ง (Drying) ทำให้กากตะกอนที่ยังมีความชื้นอยู่ให้มีความชื้นเหลือน้อยที่สุด โดยอาจมีเหลือเพียง 5 % (เกียรติศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539)

3.7.1 การใช้ความร้อน เป็นระบบที่นำน้ำออกด้วยการระเหยออกสู่อากาศ โดยใช้ความร้อนให้แก่ กากตะกอนเพื่อให้มีความชื้นในกากตะกอนให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อสามารถนำส่งเข้าเตาเผาได้โดยตรง หรือสามารถเข้าสู่กระบวนการทำปุ๋ยได้ทันที ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก โดยปกติจะได้ค่าความชื้นในกากตะกอนมีเหลือน้อยกว่า 10 %

3.7.2 เครื่องทำแห้งแบบฉับพลัน (Flash Dryers) เป็นระบบที่นิยมใช้กันมากในโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ก๊าซร้อนที่ไหลอย่างปั่นป่วนไปสัมผัสกับกากตะกอนในระยะเวลาที่พอเพียงสำหรับการนำความชื้นออกจากกากตะกอนไปสู่ก๊าซร้อน จะได้กากตะกอนที่มีความชื้นเหลือเพียง 8% ซึ่งสามารถนำกากตะกอนแห้งเหล่านี้ไปใช้เป็นปุ๋ยเพื่อเป็นตัวปรับสภาพดิน

3.7.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่น (Spray Dryers) เป็นระบบที่ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง จนทำให้กากตะกอนลดขนาดเล็กลง และนำส่งกระจายไปเข้าห้องอบแห้งที่ใช้ก๊าซร้อน

3.7.4 เครื่องทำแห้งแบบหมุน (Rotary Dryers) เป็นระบบที่มีลักษณะเป็นถังขนาดใหญ่ สำหรับการอบแห้งกากตะกอนด้วยก๊าซร้อน หรืออีกแบบอาจใช้ไอน้ำร้อนอบแห้งรอบ ๆ โดยถังดังกล่าวจะหมุนรอบอย่างช้า ๆ เพื่อการกวนกากตะกอนให้ได้สัมผัสกับก๊าซร้อนอย่างทั่วถึง

สำหรับเชื้อเพลิงที่อาจนำมาใช้ในการอบแห้ง ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซ ถ่านหิน ขยะมูลฝอย หรือแม้กระทั่งกากกากตะกอนที่แห้งแล้ว

3.7.5 เครื่องทำแห้งแบบเผา (Multiple-Hearth Dryers) เป็นระบบที่ใช้การเผากากตะกอน ซึ่งกากตะกอนต้องได้ผ่านระบบแยกน้ำออกแล้ว

3.7.6 เครื่องทำแห้งแบบระเหยด้วยการใช้น้ำมัน (Multiple- Effect Evaporators) ระบบนี้ใช้น้ำมันผสมกับกากตะกอน เพื่อนำเข้าสู่ระบบที่มีแผ่นสำหรับช่วยการระเหย ซึ่งอาศัยหลักการที่ว่าจุดเดือดของน้ำมีค่าต่ำกว่าของน้ำมัน ทำให้เมื่อน้ำได้ระเหยออกแล้วจะมีเพียงน้ำมันผสมกับกากตะกอนแห้งเหลืออยู่เท่านั้น ดังนั้นจำเป็นต้องทำการแยกน้ำมันออกจากกากตะกอนแห้งด้วยวิธีแรงเหวี่ยง ระบบนี้จะใช้น้ำร้อนทำการระเหยน้ำออกจากกากตะกอน กากตะกอนแห้ง ที่ออกจากระบบนี้อาจนำไปทิ้ง หรือเข้ากระบวนการเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงให้เผาเผาได้

4. การกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียจะสมบูรณ์ไม่ได้หากกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียยังไม่ได้ถูกกำจัดจนถึงขั้นสุดท้าย วิธีที่นิยมในการกำจัดกากตะกอน ได้แก่ การฝังกลบแบบสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) วิธีอื่น ๆ ที่ใช้ในการกำจัดกากตะกอนที่ยังไม่ได้ผ่านการรีดน้ำออกไปหรือการเผาจนกลายเป็นกากตะกอน ได้แก่

4.1 การฝังกลบแบบสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) การฝังกลบแบบสุขาภิบาลเป็นวิธีการกำจัดกากตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุด (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544) ทำได้หลายวิธีดังนี้

4.1.1 การฝังกลบพร้อมขยะ (Conventional Sanitary Landfill) เป็นการนำกากตะกอนไปผสมกับขยะแล้วฝังกลบไปพร้อมๆ กัน ในบางครั้งจะใช้กากตะกอนผสมกับดินเพื่อกลบเป็นชั้นบนสุด ข้อดีของการทำแบบนี้คือ จะทำให้พื้นที่ฝังกลบโดยเฉพาะผิวด้านบนอุดมสมบูรณ์ด้วยธาตุอาหารสำหรับพืช ทำให้การปลูกพืชคลุมดินทำได้ง่ายขึ้น

4.1.2 การฝังกลบแบบคู (Trench Fill) ในระบบนี้จะใช้กากตะกอนซึ่งอาจปรับเสถียรแล้วหรือที่ยังไม่เสถียรก็ได้ใส่ลงในคูหรือท้องร่องซึ่งมีระบายน้ำเสียจากกากตะกอน (Leachate) อยู่ด้านล่าง แล้วใช้ดินฝังกลบหลังจากกากตะกอนเต็มคูแล้ว ระบบนี้แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดคูแคบและคูกว้าง ถ้าเป็นคูแคบความกว้างของคูจะน้อยกว่า 3 เมตร ถ้าเป็นคูกว้างจะกว้างกว่า 3 เมตร

4.1.3 การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Fill) การฝังกลบแบบนี้เป็นการนำกากตะกอนมาเกลี่ยบนพื้นแล้วใช้ดินกลบลงไป ใต้พื้นจะคาดด้วยวัสดุกันซึมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน บริเวณ

โดยรอบจัดให้มีระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากพื้นที่ ระบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดถมเป็นกอง (Fill mound) และชนิดถมเป็นชั้น ๆ (Fill layer)

4.1.4 การถมในคันดิน (Diked Containment) เป็นการทำคันดินขึ้นเป็นส่วน ๆ คล้ายนาข้าว แต่ขุดให้ลึกกว่า นำกากตะกอนใส่ลงไปแล้วกลบด้วยดิน ขนาดของแต่ละส่วนกว้าง 15-30 เมตร ยาว 30-60 เมตร และลึก 3-10 เมตร

4.2 การประยุกต์บนดิน

การกำจัดกากตะกอนแบบนี้เป็นวิธีที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ ถ้าหากนำไปใช้กับที่ดินสำหรับการเกษตร จะได้ใช้ธาตุอาหารในกากตะกอน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สำหรับการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย สิ่งที่ต้องระวังในการใช้วิธีนี้ ได้แก่ ปัญหาเหตุการณ์ การเพาะพันธุ์ของแมลงนำโรค และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ โดยเฉพาะผลกระทบต่อน้ำใต้ดินเนื่องจากการปนเปื้อนของไนเตรตและโลหะหนักชนิดต่างๆ ที่ปนมากับกากตะกอน หากเป็น กากตะกอน ที่ได้จากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบสำคัญ จะมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชปะปนอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม จึงเหมาะที่จะใช้ปรับปรุงดิน เพื่อการเพาะปลูก ปริมาณสารโลหะหนักในสัดโดยทั่วไปจะไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อผู้บริโภคผลผลิตจากพืชเหล่านั้น ยกเว้นกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทที่อาจมีสารมลพิษปะปนอยู่มาก เมื่อบริโภคผลผลิต ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพได้ โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช้กากตะกอนในบริเวณที่ปลูกผัก ทั้งนี้เพราะในกากตะกอนอาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่การบริโภคผักอาจทำให้เกิดโรคแก่ผู้บริโภคได้ (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544)

4.3 การฉีดลงใต้ดิน

หลักการของการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีนี้ คือ จะต้องหาบริเวณใต้ดินที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดเสียก่อนบริเวณดังกล่าวจะต้องเป็นบริเวณใต้ดินที่อยู่ชั้นน้ำบาดาล และมีชั้นหินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ชั้นน้ำบาดาลเอาไว้ รวมทั้งจะต้องไม่เป็นบริเวณที่จะเกิดการแยกหรือเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก วิธีการ คือ จะทำการเจาะบ่อให้ลึกลงไปถึงบริเวณดังกล่าวแล้วฉีดกากตะกอนลงไป กากตะกอนที่ฉีดลงไปจะต้องมีสมบัติที่ไม่ทำปฏิกิริยากับชั้นหินใต้ดิน (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ , 2539)

4.4 การทำเป็นก้อนด้วยเคมี (Chemical Fixation)

การเติมกากตะกอนผสมกับซีเมนต์, Sodium Silicate ,และปูนขาว เพื่อจะได้จับเป็นก้อน ๆ ป้องกันไม่ให้กากตะกอนไหลซึมออกมาได้ หรือหลุดออกมาได้ ระบบนี้นิยมใช้กับของเสียที่มาจากร่างงานอุตสาหกรรมประเภทที่มีสารพิษอันตรายผสมอยู่ ระบบนี้นิยมเรียกว่า Solidification Process เมื่อได้ทำการผสมกันเรียบร้อยแล้ว อาจบรรจุไว้ภายในถังที่ทนต่อการกัดกร่อน จากนั้นจึง

นำไปเก็บไว้ในดิน หรือถ้าไม่ใช่สารพิษอันตรายมาก อาจเพียงผสมกันแล้วจึงนำไปถมที่ได้เลย หรือนำไปใช้สำหรับวัตถุประสงค์อื่นๆที่เหมาะสม (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ , 2539)

4.5 บ่อดัก (Lagoons)

การนำกากตะกอนไปทิ้งในบ่อดักกากตะกอน

4.6 การเผา (Thermal Reduction)

การเผากากตะกอนที่ค่อนข้างแห้งมากๆ อาจนำมาเผาได้ โดยที่ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อกำจัดกากตะกอนก่อนนำไปทิ้ง

บทที่ 3

การนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์

1. การทำอาหารสัตว์

อาหารสัตว์นับเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งในการเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะในสุกรและสัตว์ปีก เนื่องจากต้นทุนส่วนใหญ่ประมาณ 65-70% เป็นค่าอาหารสัตว์ (กองอาหารสัตว์, 2547)

อาหารสัตว์ หมายถึง วัตถุดิบหรือสารใดๆ โดยปกติจะมาจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งมีโภชนาการประกอบอยู่ เมื่อภายหลังจากที่สัตว์กินเข้าไปแล้วสามารถถูกย่อย (Digested) ถูกดูดซึม (Absorbed) และนำไปใช้ประโยชน์ (Utilized) ต่อร่างกาย (กองอาหารสัตว์, 2547)

กากตะกอนน้ำเสียประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ ทั้งสารแขวนลอยและสารที่ละลายน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และเศษเหลืออื่น ๆ ซึ่งจะถูkbำบัดและได้เป็นกากตะกอน ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูง จึงมีคุณสมบัติที่ดีและมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นส่วนผสมหรือทดแทนวัตถุดิบบางชนิดที่หายากและราคาสูงในอาหารสัตว์

1.1 วัตถุดิบสำหรับผลิตอาหารสัตว์

วัตถุดิบที่ใช้เป็นโภชนาการในอาหารสัตว์สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ

1.1.1 วัตถุดิบประเภทแป้ง

วัตถุดิบประเภทนี้จะเป็นแป้งหรือน้ำตาลเสียส่วนใหญ่ (ประมาณ 70-80%) ซึ่งจะมีโปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ ประมาณ 8-12% และ 1-5% ตามลำดับ เป็นแหล่งสำคัญในการให้พลังงานร่างกาย ได้แก่ ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด ข้าวฟ่าง และมันสำปะหลัง เป็นต้น

ในกากตะกอนโรงงานเบียร์ คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปโพลีแซคคาไรด์ มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นน้ำตาลอิสระ (Tacon, 1979) นอกจากนี้ยังประกอบด้วย เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (Vriens *et al.*, 1989) ปริมาณเถ้าในกากตะกอนครึ่งหนึ่งเป็นปริมาณเถ้าที่ ละลายในกรด ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายในกรดและสารพวกซิลิเกต (Tacon, 1979)

1.1.2 วัตถุดิบประเภทโปรตีน

วัตถุดิบพวกนี้ต้องมีโปรตีนมากกว่า 20% และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพค่อนข้างดีกว่าประเภทแป้ง แบ่งตามแหล่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) แหล่งโปรตีนจากสัตว์ เป็นวัตถุดิบที่ได้จากสัตว์หรือผลพลอยได้จากการฆ่าสัตว์ โดยทั่วไปจะมีคุณภาพของโปรตีนดีกว่าโปรตีนจากพืช ได้แก่ ปลาป่น เนื้อป่น แกลบกึ่ง เป็นต้น

2) แหล่งโปรตีนจากพืช ส่วนใหญ่จะเป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันพืช วัตถุดิบนี้มีปริมาณโปรตีนและคุณภาพโปรตีนค่อนข้างดีน้อยกว่าโปรตีนจากสัตว์ แต่เนื่องจากมีปริมาณมากและราคาถูกกว่าโปรตีนจากสัตว์ จึงนิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการให้โปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากเมล็ดถั่วเหลือง กากมะพร้าว เป็นต้น

กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และโรงพยาบาลมีคุณค่าทางอาหารสูงสำหรับใช้ทำอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณโปรตีนสูงสุดถึง 37.25 % (การใช้นิวเคลียร์เทคนิคพัฒนาจากตะกอนไปเป็นทรัพยากรใหม่, 2533-2539) ในกากตะกอนมีปริมาณกรดอะมิโนมากเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากพืชและสัตว์ ดังตารางที่ 3.1 และยังสามารถนำมาผสมเป็นอาหารสัตว์ในปริมาณ 10% ในอาหารสุกร และปริมาณ 20 % เมื่อผสมในอาหารสัตว์ปีก และปริมาณ 60 % เมื่อผสมในอาหารปลา ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ปริมาณกรดอะมิโนในกากตะกอนจากการผลิตเบียร์เปรียบเทียบกับโปรตีนจากพืช และสัตว์ (%)

กรดอะมิโน	กากตะกอน ¹	ถั่วเหลือง ²	ปลาป่น ²	ข้าวสาลี ³	ไข่แดง ³
อลานีน	7.9	-	-	-	-
ไกลซีน	7.1	-	-	-	-
วาเลีน	5.8	5.2	4.7	4.4	7.3
ทรีโอนีน	5.4	4.4	3.8	2.9	5.1
เซอรีน	5.1	-	-	-	-
ลิวซีน	6.6	7.6	6.5	6.7	8.9
ไอโซลิวซีน	3.7	5.8	3.9	3.3	6.7
โปรตีน	4.3	-	-	-	-
เมทไทโอนีน	1.5	1.3	2.9	1.5	3.2
กรดแอสพาร์ติก	9.9	-	-	-	-
ฟีนิลอะลานีน	4.4	5.3	3.5	4.5	5.8
กรดกลูตามิก	12.2	-	-	-	-
ไลซีน	3.9	6.6	7.6	2.8	6.5
ไทโรซีน	3.4	4.1	3.0	-	-
อาร์จินีน	4.8	7.3	6.8	-	-
ฮิสติดีน	1.7	2.7	2.0	-	-
ซีสตีน	2.7	1.2	0.7	2.5	2.4
ทริปโตเฟน	0.7	1.3	0.9	1.1	1.6

ที่มา : 1Goto and Masuda (1974a) 2Cowey *et al.* (1971) and 3FAO (1970) อ้างโดย Vriens *et al.* (1989)

ตารางที่ 3.2 แสดงระดับของวัตถุดิบต่าง ๆ ประเภทแหล่งโปรตีนที่สามารถใช้ได้ ในสูตรอาหาร
สุกร และสัตว์ปีก

วัตถุดิบ	ระดับที่สามารถใช้ได้ ใน สูตรอาหาร (%)		คำแนะนำ
	สุกร	สัตว์ปีก	
ใบกระถินแห้ง	5	5	ไม่ควรใช้ในสัตว์ระยะเล็กหรือลูกสัตว์
ใบมันสำปะหลังแห้ง	20	15 - 20	ไม่ควรใช้ในสัตว์ระยะเล็กหรือลูกสัตว์
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	20 - 25	20 - 25	ใช้ทดแทนรำละเอียดได้
กากเมล็ดทานตะวัน	15 - 20	10	ใช้ทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองไม่เกิน 50 %
กากเมล็ดยางพารา	20 - 30	10 - 20	ควรใช้ทดแทนรำละเอียดในสูตรอาหาร
กากมะพร้าว(ชนิดสกัดน้ำมัน)	10	10 - 30	สามารถทดแทนกากถั่วเหลืองได้บางส่วนหรือควรใช้ร่วมกับปลาป่นและกากถั่วเหลือง
กากเมล็ดนุ่น	10	10	ไม่ควรใช้ในสัตว์เล็กและควรใช้ร่วมกับปลาป่นหรือกากถั่วเหลือง
กากเมล็ดฝ้าย	5	5	ไม่ควรใช้ในสัตว์เล็กและไก่ไข่
กากเมล็ดงา	10	6	สามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ครั้งหนึ่งในสูตร
กากถั่วลิสง	10	6	สามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ครั้งหนึ่งในสูตร
กากถั่วเขียวหรือกาก วุ้นเส้น	20	10	ไม่ควรใช้ในสูตรอาหารสัตว์เล็กหรือลูกสัตว์
ลำเห็ดแห้ง	10 - 20	10 - 20	
กากตะกอน	10	20	ใช้มันสำปะหลังผสมกากตะกอนแทนรำข้าวได้100%

ที่มา : คัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์(2547) , สมโภชน์และคณะ(2536) ,
และพรณี (2524)

เซลล์ของแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ สารประกอบไนโตรเจนที่ได้จากตะกอนของเสีย จึงอาจอยู่ในรูปของไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (nonprotein nitrogen) โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นผนังเซลล์ แม้ว่าระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมกากตะกอนจะสูงมาก แต่ก็ยังมีข้อจำกัด นอกจากนี้ยังพบว่ากากตะกอนมีกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะเมทไธโอนีนในปริมาณน้อย (Tacon, 1979)

นอกจากนี้กากตะกอนยังขาดแคลนกรดอะมิโนที่จำเป็น ซึ่งมักมีน้อยเหมือนในโปรตีนจากพืชอันได้แก่ไลซีน เมทไธโอนีน จากการศึกษาในไก่ของ Goto และ Masuda (1974) พบว่าในกากตะกอนจากโรงงานเบียร์มีกรดอะมิโนในโปรตีน 91.1 มีค่าการย่อยได้ของโปรตีน 70-72.2 % Beaudouin และ คณะ (1980) กล่าวว่า การใช้กากตะกอนของเสียเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์นั้นสามารถใช้ได้ดีในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนสัตว์กระเพาะเคี้ยว พวกสุกร และไก่ การใช้กากตะกอนเป็นแหล่งโปรตีนนั้นอาจถูกจำกัดการใช้เนื่องจากความสามารถในการย่อยได้ของไนโตรเจนสอดคล้องกับค่ากล่าวของสุชาดา (2535) ซึ่งอ้างถึง รายงานมหาวิทยาลัย new Mexico State สหรัฐอเมริกา ที่พบว่าวัวที่เลี้ยงในทุ่งหญ้าในช่วงระยะเวลา 4 ปี ด้วยอาหาร ซึ่งเป็นส่วนผสมของกากตะกอนและกากเมล็ดฝ้าย มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับวัวที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมดา

ในกรณีของปลานิล การย่อยได้ของโปรตีนในกากตะกอนน่าจะมากกว่าในสัตว์บก เนื่องจากปลานิลเป็นสัตว์กินพืชในธรรมชาติจะกินแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ตะไคร่น้ำ สาหร่ายเส้น ซากเน่าเปื่อย ตัวอ่อนของกุ้ง ปู (มนู, 2511 : สมปอง, 2524) น้ำย่อยในกระเพาะมี pH ต่ำมากถึง 1.25 มีผลทำให้คลอโรฟิลล์เปื่อย และผนังเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแตกตัว และจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยที่อยู่ในลำไส้เล็กได้ง่ายขึ้น (Moriarty, 1973) โดยเหตุนี้ปลานิลจึงใช้ประโยชน์อาหารที่มีกากตะกอนผสมได้สูงถึง 60 % ขณะที่สัตว์บกใช้ประโยชน์อาหารที่มีกากตะกอนผสมได้เพียง 5-10% (Goto และ Masuda, 1974 ; พรรณี, 2524)

1.1.3 วัตถุดิบประเภทไขมัน

เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใส่ลงในสูตรอาหาร ซึ่งเป็นสารที่ให้พลังงานสูง มีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย และวิตามินที่ละลายในไขมัน ไขมันที่ใช้ผสมอาหารสัตว์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ไขมันจากสัตว์และไขมันจากพืช ซึ่งไขมันจากพืชมีข้อดีคือ ราคาแพง และใช้ในอาหารมาก จะทำให้อาหารหืนง่าย

ไขมันในกากตะกอนเบียร์มีปริมาณต่ำ (Tacon, 1979) ซึ่งจะมาจากของเสียที่ยังไม่ถูกย่อย และเซลล์ของจุลินทรีย์ ประกอบด้วยสเตอรอล (โคเลสเตอรอล) อนุพันธ์ของกรดน้ำดี แคลโรทีนอยด์ คิวโนน วิตามินที่ละลายในน้ำมัน เป็นต้น (Viswannathan *et al.*, 1961 and Furr *et al.*, 1976 อ้างโดย Vriens *et al.*, 1989)

1.1.4 วัตถุประสงค์ประเภทวิตามินและแร่ธาตุ

ในสูตรอาหารสัตว์จำเป็นต้องเสริมวิตามินและแร่ธาตุเพิ่มด้วย เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ สำหรับวิตามินและแร่ธาตุที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารมักอยู่ในรูปสารประกอบเคมี และเนื่องจากเป็นวัตถุประสงค์ที่ใช้ปริมาณน้อยมากในสูตรอาหารจึงทำให้เกิดปัญหาในการผสมให้ทั่วถึงในทุกๆ ส่วน ดังนั้นจึงไม่นิยมผสมวิตามินและแร่ธาตุแต่ละตัวลงในอาหารโดยตรง วิตามินและแร่ธาตุจึงมักถูกผสมไว้ก่อนล่วงหน้ากับสื่อบางชนิด เช่น กากถั่วเหลือง รำ และหินปูน เป็นต้น ซึ่งเรียกสารผสมเหล่านี้ว่า “สารผสมล่วงหน้า (พรีมิกซ์)” บางครั้งอาจเรียกว่า “อาหารเสริม” แล้วจึงนำสารผสมล่วงหน้านี้ไปผสมกับวัตถุดิบอาหารประเภทอื่นต่อไปแทนได้

Hoover *et al.* (1951) อ้างโดย พรรณี (2524) รายงานว่ากากตะกอนเบียร์ยังเป็นแหล่งที่มีวิตามินเกือบทุกชนิด เช่นเดียวกับ Vriens *et al.*, 1989 ปริมาณของวิตามินจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียและวิธีการบำบัด กากตะกอนยังเป็นแหล่งที่มีแร่ธาตุอื่นๆ ในปริมาณสูง โดยเฉพาะธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี (Erist *et al.*, 1980) ดังตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีที่พบในกากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์(%) และตาราง 3.4 องค์ประกอบทางเคมีที่พบในกากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์(%) ตารางที่ 3.5 ปริมาณวิตามิน (ppm) ในกากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์ ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีที่พบในกากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์ (%)

องค์ประกอบทางเคมี	Pillaiและคณะ (1967)	Goto และ Masuda (1974)	ดวงรัตน์ (2540)
ความชื้น	-	12.00	8.90
โปรตีนหยาบ	37.50	38.00	33.29
ไขมันหยาบ	6.00	0.80	2.17
เยื่อใย	9.80	3.50	-
คาร์โบไฮเดรต	-	28.10	34.99
เถ้า	32.20	18.00	20.65
แคลเซียม	1.54	-	-
ฟอสฟอรัส	1.29	-	-

ที่มา : ดวงรัตน์ (2540)

ตารางที่ 3.4 แร่ธาตุที่พบในกากตะกอนจากการผลิตเบียร์ (ppm)

แร่ธาตุ	ปริมาณแร่ธาตุที่ระดับปกติในพืชอาหารสัตว์	กากตะกอน ¹	กากตะกอน ²
โครเมียม	-	9	-
สังกะสี	15.0-100.0 ppm	200	142
ดีบุก	-	5	-
ทองแดง	5.0 – 10.0 ppm	110	1790
ตะกั่ว	-	7	-
นิกเกิล	-	5	23
ปรอท	-	0.1	-
แมกนีเซียม	0.06 - 0.73 %	-	7350
เหล็ก	150 - 250 ppm	-	1370
แมงกานีส	140 - 936.0 ppm.	-	882

ที่มา : 1Bays (1977) และ 2Ahn (1979) อ้างโดย Vriens *et al.* (1989) , คัดแปลงจาก พิไลวรรณ และคณะ (2532)

ตารางที่ 3.5 ปริมาณวิตามิน (ppm) ในกากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์

วิตามิน	Brewery activated sludge
วิตามิน บี 1	8-10
วิตามิน บี 2	10-13
วิตามิน บี 6	8-12
วิตามิน บี 12	2-3
ไบโอติน	0.3-0.5
กรดโฟลิก	3-4.5
กรดไนอะซิน	80-85
กรดแพนโททีนิก	30-35
วิตามิน เอ	-
โคลีน	100-1300

ที่มา : Bays (1977) อ้างโดย Vriens *et al.*, (1989)

1.1.5 วัตถุประสงค์จำพวกเสริมคุณภาพของอาหาร วัตถุประสงค์จำพวกนี้ใช้ผสมในอาหารเพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ถึงแม้ว่าบางครั้งใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเสริมคุณภาพ แต่ตัวมันเองจะมีคุณค่าอาหารอยู่ด้วย วัตถุประสงค์จำพวกนี้แบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) สารเหนียวหรือขายเคอร์หรือสารประสานอาหาร เป็นสารที่ช่วยทำให้อาหารมีความคงทนในน้ำได้นาน การใช้สารเหนียวมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำอาหารสำหรับสัตว์น้ำที่กินอาหารซ้ำๆ เช่น กุ้ง สารเหนียวสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ เป็นสารพวกโปรตีน สารพวกคาร์โบไฮเดรต และสารสังเคราะห์หรือสารธรรมชาติที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร

2) สารแต่งกลิ่นอาหาร เป็นสารที่ช่วยเพิ่มกลิ่นและรสของอาหารให้มีความน่ากินมากขึ้น กลิ่นในอาหารที่สัตว์ชอบมักเป็นกลิ่นที่มีในอาหารตามธรรมชาติของมัน เช่น ปลาที่กินเนื้อเป็นอาหาร จะชอบกลิ่นของเนื้อกุ้ง หอย ปู ปลา ปลาหมึก ฯลฯ ซึ่งกลิ่นเหล่านี้สามารถหาได้จากเศษชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปแล้วของสัตว์ต่างๆ ดังกล่าว เช่น น้ำมันปลา น้ำมันปลาหมึก หัวและเปลือกกุ้งป่น เศษปลาหมึกป่น ตับวัวป่น ฯลฯ

3) สารกันหืนและรา ความหืนของอาหารเกิดขึ้นจากไขมันในอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการที่อาหารขึ้นราก็เพราะอาหารนั้นมีความชื้นสูงเกิน 12% ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้คุณค่าของอาหารเสียไป ในการทำอาหารจึงมักเติมสารเคมีเพื่อกันหืนในอาหารนั้นด้วย บี เอช ที และ บี เอช เอ ซึ่งใช้ในปริมาณ 0.2% ส่วนสารกันราที่ใช้กันมาก ได้แก่ กรดโพพิโอนิก ซึ่งใช้ในปริมาณ 0.3%

1.2 การฉายรังสี

กรรมวิธีการถนอมอาหารที่มีประสิทธิภาพ และปลอดภัยต่อผู้บริโภควิธีหนึ่ง คือ การถนอมอาหารด้วยวิธีการฉายรังสี (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 103, 2529) เรื่องกำหนดวิธีการผลิตอาหาร ซึ่งมีการใช้กรรมวิธีการฉายรังสี ในอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์ของการฉายรังสี เพื่อลดปริมาณ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น โคลิฟอร์ม แบคทีเรีย ฟิคอล สเตรปโตคอกคัสเชื้อ Salmonellae และ Shigellae ที่มีอยู่ในกากตะกอน และยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น

1.2.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฉายรังสีอาหาร

โกวิทช์ (2532) ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฉายรังสีอาหารดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เมื่อรังสีทะลุผ่านอาหาร รังสีจะถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้โมเลกุลต่างๆ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่มีประจุไฟฟ้า (ปฏิกิริยาไอออนไนเซชัน) สำหรับในอาหาร ซึ่งมีน้ำประกอบด้วยนั้นก็จะเกิดปฏิกิริยาเรดิโอไลซิส (radiolysis) ได้ฟรีเรดิคัล (Free radicle) ฟรีเรดิคัลที่เกิดขึ้นมีอายุสั้นเพียง 1/1,000 วินาทีเท่านั้น เมื่อเกิดแล้วก็สลายตัวไป

อย่างรวดเร็ว โดยการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหารได้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงรวมกัน เรียกว่า เรดิโอไลติกโปรดักต์ (radiolytic product) การใช้ความร้อนก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเช่นกัน ได้แก่ ฟรีเรดิคัล และสารต่างๆ แต่รวมกันเรียกว่า เทอร์โมไลติกโปรดักต์ (thermolytic product) จากการเปรียบเทียบเรดิโอไลติกกับเทอร์โมไลติกโปรดักต์ พบว่าสารส่วนใหญ่เป็นสารชนิดเดียวกันและเป็นสารที่ตรวจพบได้ในอาหารที่ไม่ได้ฉายรังสี ซึ่งชนิดและความเข้มข้นของเรดิโอไลติกโปรดักต์ มีปริมาณน้อยมาก ไม่ก่อให้เกิดอันตราย

2) การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา รังสีจะไปทำลายยีนส์ และรบกวนการแบ่งเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เป็นผลให้จุลชีพ เช่น จุลินทรีย์ เชื้อรา ยีสต์ พยาธิ และแมลงตาย หรือเป็นหมันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ใช้ ส่วนในพืช รังสีจะทำให้อัตราการหายใจ และกระบวนการทางชีวเคมีเปลี่ยนไป ทำให้ผลไม้บางชนิดสุกช้าลง มันฝรั่ง และหอมหัวใหญ่ไม่งอก เห็ดไม่บาน เป็นต้น

3) การฉายรังสี องค์ประกอบหลักของอาหารได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อฉายรังสีในปริมาณไม่เกิน 10 กิโลเกรย์ แต่จะทำให้วิตามินบางชนิด เช่น วิตามิน B1, A, E และ K สูญเสียไปบ้างถ้าไม่มีการกำจัดอากาศออกในระหว่างการฉายรังสีและการเก็บรักษา

1.2.2 การฆ่าเชื้อในกากตะกอนด้วยรังสี

สุชาติ (2535) ได้กล่าวถึง การใช้รังสีฆ่าเชื้อในกากตะกอน ก่อนที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ ว่ามีการใช้รังสีแกมมาจากต้นกำเนิดโคบอลต์-60 และซีเซียม 137 และรังสีอิเล็กตรอน แต่การใช้รังสีแกมมาจะเป็นที่ยอมรับมากกว่าการใช้รังสีชนิดอื่น ๆ ปริมาณของรังสีที่ต้องการใช้สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในตะกอนน้ำทิ้งนั้นจะถูกกำหนดขึ้นโดยใช้ Degree of Hygienisation ที่ต้องการและ Recommended Radiation Dose ที่จะให้ได้มาเพื่อระดับความพอใจของการฆ่าเชื้อมีดังนี้

1) รังสีประมาณ 0.5 กิโลเกรย์ สำหรับการฆ่าเชื้อของ Sewage Effluents และน้ำทิ้ง

2) รังสีประมาณ 3-4 กิโลเกรย์ สำหรับการฆ่าเชื้อใน Liquid Digested Sludge

3) รังสีประมาณ 10 กิโลเกรย์ สำหรับการฆ่าเชื้อในตะกอนแห้ง (Dried Sludge)

รังสีประมาณ 3-4 กิโลเกรย์ จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ผ่านการย่อยแล้ว ดังนี้

(1) ลดปริมาณของโคลิฟอร์ม แบคทีเรียได้ประมาณ 80-100%

(2) ลดปริมาณฟิคอล สเตรปโตคอกคัสได้ประมาณ 20-30 %

(3) ลดปริมาณเชื้อ Salmonellae และ Shigellae ประมาณ 80%

(4) ลดปริมาณสสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ได้ประมาณ 10% ช่วยปรับปรุง

ความสามารถในการตกตะกอนและช่วยเร่งความสามารถในการกรองได้ประมาณ 3 เท่าตัว

จากการศึกษาการตกตะกอนน้ำเสียประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ ทั้งสารแขวนลอยและสารที่ละลายน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามินหลายชนิดและเศษเหลืออื่น ๆ ซึ่งจะถูkbำบัดและได้เป็นกากตะกอน ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูง จึงมีคุณสมบัติที่ดีและมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นส่วนผสมหรือทดแทนวัตถุดิบบางชนิดที่หายากและราคาสูงในอาหารสัตว์ รวมทั้งมีผลงานวิจัยสนับสนุนดังที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้อาจลดต้นทุนค่าอาหารโดยการปรับลดปริมาณอาหารที่ให้สัตว์กิน โดยเฉพาะในการเลี้ยงสุกรสามารถลดค่าอาหารลงได้ 10 % โดยสุกรยังคงมีอัตราการเจริญเติบโตเป็นปกติ โดยใช้กากตะกอนผสมร่วมกับสูตรอาหารในปริมาณ 10 % โดยน้ำหนัก และใช้กากตะกอนจากโรงงานผลิตเบียร์ที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว 60 % ผสมกับอาหารพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากตะกอนให้ผลผลิตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าอาหารสูตรทดสอบ แต่มีข้อจำกัดทางด้านการขาดความรู้ถึงคุณค่าของอาหาร ความน่ากิน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของกากตะกอน ปัญหาการปนเปื้อนจากโลหะหนัก แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในกากตะกอน สุขภาพอนามัยของสัตว์ที่รับกากตะกอน รวมทั้งมีผลงานวิจัยสนับสนุนดังที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้

เอกฉรินทร์ (2550) การใช้กากมันสำปะหลังผสมกากตะกอนเบียร์ในสูตรรุ่นและขุน โดยใช้สูตรลูกผสม ทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารสามารถใช้ได้สูงถึงระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพซาก ของสุกรรุ่น และสุกรขุน

ดวงรัตน์ (2540) การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลาดุกลูกผสมที่ใช้กากตะกอนจากโรงงานผลิตเบียร์ในอัตราที่แตกต่างกันผสมในอาหารที่ผสมเอง ในห้องปฏิบัติการ โดยมีระดับโปรตีนและพลังงานใกล้เคียงกัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ การทดลองมี 6 ชุด อาหารชุดทดสอบประกอบด้วยปลาป่น กากถั่วเหลืองและรำละเอียดเป็นหลัก ส่วนที่เหลืออีก 5 สูตร ผสมกากตะกอนใน อัตราร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ผลการทดลอง พบว่า ปลาในชุดทดสอบมีการเจริญเติบโตดีที่สุดที่สูตรองมาได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากตะกอนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีกากตะกอนและ มีกากตะกอนร้อยละ 10 มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับประสิทธิภาพ ของอาหารทำมีต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ส่วนอัตราการรอด องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา แต่ละชุดการทดลองและคุณภาพน้ำ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ประสิทธิภาพโปรตีนในอาหารพบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในแต่ละชุดการ

ทดลอง จากผลการศึกษาค้างนี้แสดงให้เห็นว่า กากตะกอนที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาคุณผสมได้ ควรมีอัตราไม่เกินร้อยละ 10 โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอด เมื่อเทียบกับ ชุดทดสอบ

วิทยา (2539) ทดลองเลี้ยงปลานิลโดยใช้กากตะกอนของเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว 60 เปอร์เซ็นต์ผสมกับอาหารสูตรทดสอบ เปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารสูตรทดสอบคืออาหารปลานิลที่ใช้เป็นการค้า พบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากตะกอนให้ผลผลิตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าอาหารสูตรทดสอบ แต่ไม่แตกต่างกันในเรื่องคุณภาพของเนื้อปลาและคุณภาพน้ำ ต่ออย่างไรก็ตาม ปริมาณโปรตีนในอาหารที่ผสมกากตะกอนสูงกว่าอาหารสูตรทดสอบ คือมีโปรตีน 34.66 และ 26.27 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

พรรณี (2524) รายงานว่าการใช้กากตะกอนของเสียจากการผลิตนมเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารไก่กระต๊อบระดับ 5, 10, 15 และ 20 % พบว่าการใช้กากตะกอนในระดับ 15 และ 20 % ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อตัวและประสิทธิภาพของการเปลี่ยนอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การใช้กากตะกอนของเสียเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารไก่กระต๊อบ มีแนวโน้มในการทำให้น้ำหนักต่อตัวของไก่เพิ่มขึ้น และสรุปว่าสามารถใช้กากตะกอนเป็นแหล่งโปรตีนของอาหารสัตว์ได้โดยไม่เป็นพิษต่อสัตว์ เพราะไม่ปรากฏอัตราการตายของไก่กระต๊อบ เนื่องจากกากตะกอนเป็นพิษเลย

Baxter et al. (1982) รายงานว่า การใช้กากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์ผสมในอาหารเลี้ยงปลากดหลวง (Channel catfish) พบว่าระดับของกากตะกอนที่เหมาะสมคือ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มระดับของกากตะกอนสูงขึ้นจนถึง 30 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลง

Goto and Masuda (1974) ทดลองใช้กากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตเบียร์เป็นอาหารในไก่เทศผู้ โดยใช้กากตะกอน 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการผสมกากตะกอนในอาหารระดับ 5% ทำให้อัตราการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มควบคุม

Pillai et al. (1967) ทดลองใช้กากตะกอนน้ำเสียจากชุมชนเป็นส่วนผสมแทนปลาป่นในอาหารไก่ไข่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งประกอบด้วย ข้าวโพด ปลาป่น และปลาป่น ผลการทดสอบพบว่า การใช้กากตะกอนแทนปลาป่นในอาหารในไก่ไข่ช่วงอายุก่อน 30 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไก่ แต่ในช่วงหลัง 30 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการไข่ของไก่ที่ได้รับอาหารที่มีกากตะกอนจะสูงกว่าที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม

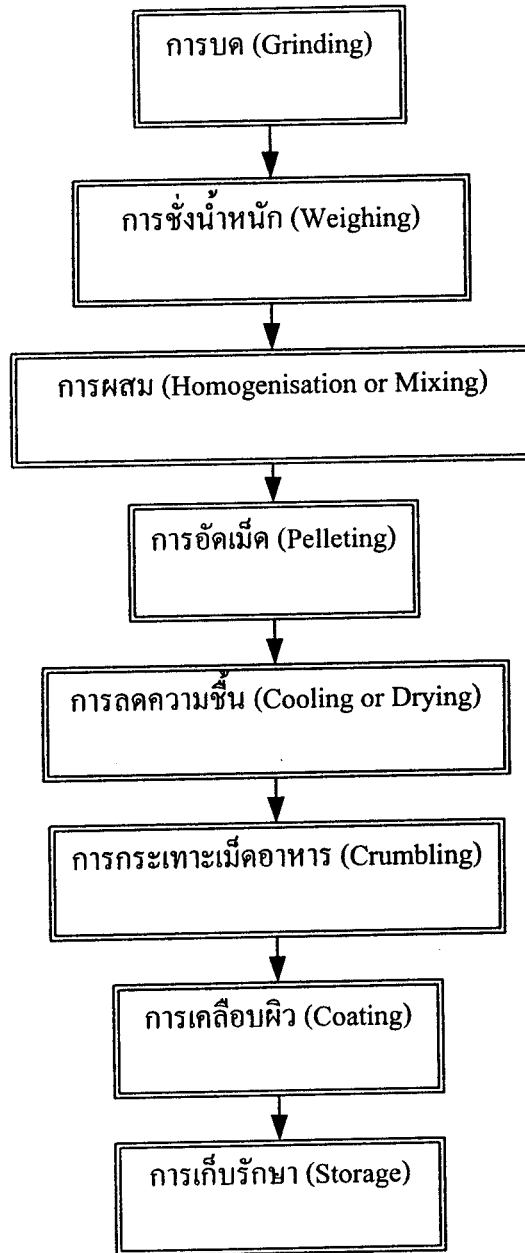
สมโภชน์และคณะ (2536) การใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์มาเป็นส่วนประกอบอาหารสุกรควรใช้ในระดับ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องยกเว้นการบริโภคดิบสุกร เพราะการสะสมของตะกั่วเกินกว่าปริมาณที่กำหนด

Beaudouin และคณะ (1980) พบว่าวัวที่เลี้ยงด้วยกากตะกอนผสมในอาหาร 20 % ไม่มีการเพิ่มขึ้นของธาตุหลายๆ ชนิดในน้ำนมหรือในเลือด แต่ลูกของวัวที่เลี้ยงด้วยกากตะกอนมีการเพิ่มขึ้นของธาตุหลายชนิดในเนื้อเยื่อหลังหย่านม จากการศึกษาการสะสมที่ตับและไตของวัวที่เลี้ยงด้วยกากตะกอนในอาหาร 15% เป็นระยะเวลา 94 วัน พบว่ามีตะกั่วและปรอทเพิ่มขึ้น 10 เท่า และมีแคดเมียมและทองแดงเพิ่มขึ้น 2 เท่า

Kienhol และคณะ (1976) พบการสะสมของธาตุต่างๆ ตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย ในช่วงที่ให้กากตะกอน ภายหลังจากหยุดกินอาหารที่มีกากตะกอนปริมาณการสะสมลดลง และกากตะกอนไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์ทดลองตลอดการทดลอง

1.3 กระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

อาหารสัตว์น้ำที่ผลิตในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้เครื่องจักรที่ทันสมัย สามารถผลิตได้ทั้งอาหารจมและอาหารลอยน้ำ โดยวัตถุดิบจำพวกธัญพืชต่าง ๆ ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะต้องถูกบดโดยเครื่องบด Hammer mill ก่อนจะนำไปใช้งาน วัตถุดิบอาหารจะถูกแบ่งประเภท ชั่งน้ำหนักผสม หลังจากนั้นอาหารจะถูกนำไปอัดเม็ดอาหารด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ Extruder หรือ Steamer อาหารจะผ่านห้องปรับสภาพให้ได้อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดเม็ดแบบต่าง ๆ อาหารที่ได้นำมาทำให้เย็นและแห้ง ร้อน กระเทาะเม็ดอาหารเพื่อลดขนาด แยกขนาด อาหารบางชนิดนำมาเคลือบเม็ดอาหารด้วยไขมัน บรรจุหีบห่อเพื่อรอจำหน่ายต่อไป (วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536; Guillaume et al., 1999) ดังภาพ 3.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำอัดเม็ด

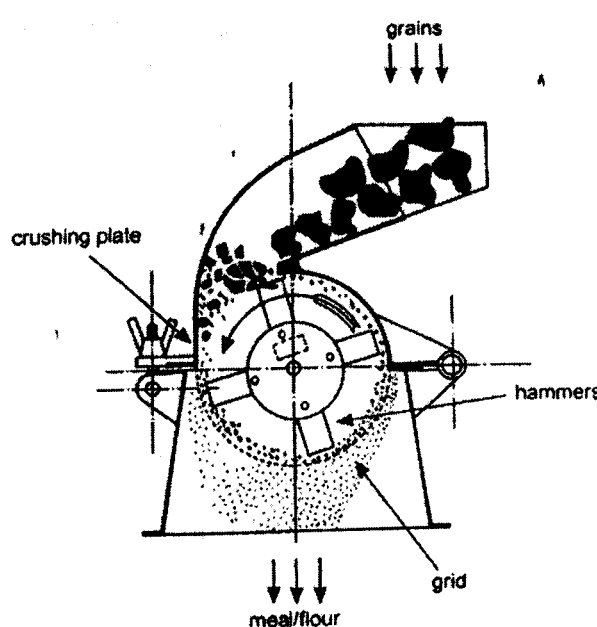


ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำอัดเม็ด

1.3.1 การบด (Grinding)

ในกรณีที่วัตถุดิบมีขนาดไม่ได้ขนาดตามต้องการ การบดช่วยให้อาหารผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้น ลดการเลือกกินอาหารของสัตว์ เพิ่มอัตราการย่อยของอาหารให้ดีขึ้น ช่วยทำให้อาหารอัดเม็ดได้แน่นขึ้น วัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ต้องมีการบดเพิ่มได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำ แป้งสาลี ไบโกระถินป่น ส่วนพรีมิกซ์วิตามินและพรีมิกซ์แร่ธาตุปกติไม่ต้องบด ลักษณะภายนอกเป็นผงละเอียดแล้ว (วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

เครื่องบดอาหารส่วนใหญ่ใช้แบบแฮมเมอร์มิลล์ (Hammer mill) แสดงดังภาพที่ 3.2 โดยเครื่องบดแบบนี้จะใช้บดวัตถุดิบที่มีลักษณะแข็ง และไขมันน้อย เครื่องจะทำงานโดยเมื่อวัตถุดิบผ่านมาจากด้านบน เข้าสู่ห้องบดซึ่งมีชุดค้อนอาหาร เป็นมอเตอร์หมุนแท่งเหล็กด้วยความเร็วสูง วัตถุดิบจะถูกตีจนแตกละเอียด และผ่านตะแกรงด้านล่างออกมา เครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ (Mincer) เป็นเครื่องบดอาหารขนาดเล็กใช้สำหรับบดอาหารและอัดเม็ดอาหารได้ในคราวเดียวกัน เครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ใช้กับวัตถุดิบที่มีลักษณะเปียก เช่น ปลาเบ็ด ไส้ไก่ เครื่องจะทำงานโดยเมื่อวัตถุดิบผ่านเข้ามาจะถูกแกนเกลียวลำเลียงวัตถุดิบไปสู่บริเวณตะแกรงอัดหรือหน้าแวน (Die) วัตถุดิบจะถูกอัดออกมาเป็นเส้นยาว (วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)



ภาพที่ 3.2 เครื่องบดอาหารแบบแฮมเมอร์มิลล์ (Hammer mill)

ที่มา: Guillaume et al. (1999)

1.3.2 การชั่งน้ำหนัก (Weighing)

วัตถุดิบแต่ละชนิดให้ได้น้ำหนักหรือสัดส่วนตามต้องการ โดยใช้เครื่องชั่งที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ถ้าปริมาณวัตถุดิบที่ชั่งมีปริมาณน้อยมากอาจต้องใช้เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

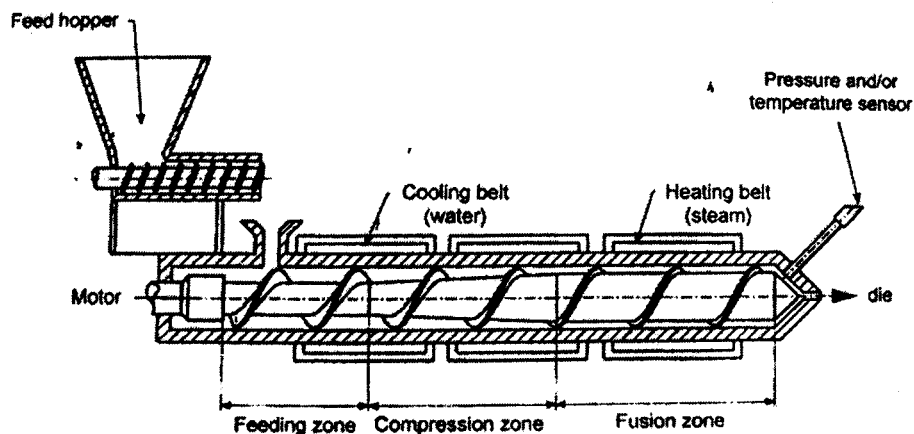
1.3.3 การผสม (Homogenisation or Mixing)

การผสมวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบแต่ละชนิดผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้อาหารอัดเม็ดที่ผลิตได้มีคุณภาพทางโภชนาการคงที่ คุณภาพสม่ำเสมอ การผสมอาหารปกติจะใช้เวลาประมาณ 10-30 นาที ขึ้นกับขนาดและประสิทธิภาพของเครื่องผสม ปริมาณของอาหารที่ทำการผสม และวัตถุดิบที่ใช้ประกอบสูตรอาหาร (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) การผสมอาหารจะเริ่มจากใส่วัตถุดิบปริมาณมากก่อน เช่น ปลาป่น ตามด้วยวัตถุดิบปริมาณน้อย แล้วตามด้วยวัตถุดิบปริมาณน้อยมาก เช่น วิตามิน แร่ธาตุ จากนั้นจึงเริ่มผสมวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นน้ำ เช่น น้ำมันตับปลา วัตถุดิบปริมาณน้อยมาก เช่น วิตามิน แร่ธาตุ ปกติก่อนจะผสมในเครื่องผสมอาหารจะทำการเพิ่มปริมาณโดยผสมกับวัตถุดิบอาหารอื่นก่อน เช่น แป้ง ก่อนจะนำไปใส่ในเครื่องผสมอาหาร (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) เครื่องผสมอาหารที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบ คือ เครื่องผสมอาหารแนวตั้ง (Vertical mixer) และเครื่องผสมอาหารแนวนอน (Horizontal mixer) โดยเครื่องผสมอาหารแนวตั้งมีช่องใส่วัตถุดิบที่ต้องการผสมด้านล่าง ตรงกลางมีเกลียวสำหรับผสมและลำเลียงวัตถุดิบ เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีความชื้นน้อยไม่สามารถผสมวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้ สำหรับเครื่องผสมอาหารแนวนอนจัดว่าเป็นเครื่องผสมอาหารที่มีคุณภาพดี เพราะสามารถใช้ผสมอาหารที่มีลักษณะเปียก และวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้ มีประสิทธิภาพการผสมอาหารดีกว่าแนวตั้ง ใบพัดภายในถังผสมมีลักษณะเป็นเกลียว 2 เกลียว หรือเรียกว่า ริปบิ้นคู่ มีช่องใส่วัตถุดิบด้านบน และช่องนำวัตถุดิบออกด้านล่าง (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

1.3.4 การอัดเม็ด (Pelleting)

การอัดเม็ดอาหารเพื่อต้องการให้วัตถุดิบอาหารสัตว์สะดวกต่อการนำไปใช้ และเหมาะสมสำหรับการกินของสัตว์นำวัตถุดิบในอาหารอัดเม็ดจะถูกอัดแน่น ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น ลดการเลือกกินอาหารบางชนิดของสัตว์ การอัดเม็ดอาหารยังช่วยทำให้วัตถุดิบอาหารสุก เนื่องจากความร้อนในระหว่างกระบวนการอัดเม็ด ทำให้ปลาใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันวิตามินต่าง ๆ ที่ทนต่อความร้อนได้น้อยก็จะสลายตัว (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

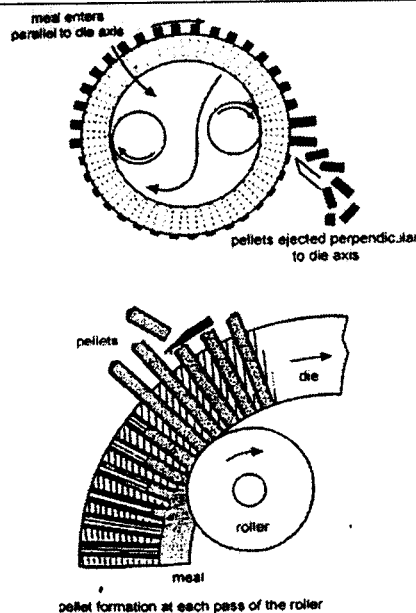
การอัดเม็ดอาหารแบบลอย ใช้กับปลากินพืช ใช้เครื่องอัดเม็ดอาหารแบบ Extruder เครื่องอัดเม็ดแบบนี้จะทำให้อาหารสุกด้วยความร้อน ความดัน และการเสียดสีของอาหารกับพื้นที่ของเครื่องอัดเม็ดอาหาร วัตถุดิบอาหารส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแป้งและวัตถุดิบอาหารกลุ่มโปรตีน วัตถุดิบอาหารจะถูกลำเลียงผ่านห้องผสมไอน้ำ (Mixing cylinder หรือ Conditioning cylinder) ให้ความชื้น คลุกให้เข้ากัน ความชื้นในระยะนี้จะมีประมาณ 25% ในช่วงนี้อาหารจะสุกเนื่องจากไอน้ำความร้อนสูงที่ฉีดให้กับอาหาร อาหารจะมีกลิ่นหอม และถูกย่อยได้ง่ายขึ้น จากนั้นอาหารจะถูกส่งเข้าส่วนที่ใช้สำหรับอัดอาหาร ในบริเวณนี้ความดันจะมีค่าประมาณ 30-120 บาร์ ส่วนความร้อนจะมีค่าประมาณ 90-180 °C อาหารจะอยู่บริเวณนี้ไม่เกิน 30 วินาที (Guillaume et al., 1999) ทำให้อาหารสุกประมาณ 90% เมื่ออาหารถูกส่งมายังจานแวน อาหารจะถูกอัดบริเวณหน้าแวนด้วยความดันจนถูกอัดออกมาจากกระบอกรัด เมื่ออาหารออกมานอกกระบอกรัดความดันจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำในเม็ดอาหารระเหยออกและอาหารมีขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ จึงลอยน้ำได้ โดยปกติการทำอาหาร Extruder จะมีความชื้นสูงกว่าการอัดอาหารแบบ Steam Pelleted ซึ่งมีความชื้นประมาณ 18-21% ดังนั้นอาหารแบบนี้ควรอบอาหารให้แห้งด้วยความร้อนเพื่อให้เก็บรักษาอาหารได้นาน อาหารที่อบเรียบร้อยแล้วควรมีความชื้นประมาณ 10-12% (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536; Guillaume et al., 1999) โครงสร้างของเครื่องอัดเม็ดอาหารแบบ Extruder แสดงดังภาพที่ 3.3 ข้อดีของอาหารลอยน้ำ ทำให้สังเกตการกินอาหารของปลาได้ และการทำอาหารทำให้แป้งเกือบทั้งหมดถูกช่วยเพิ่มอัตราการย่อยได้ของปลา ข้อเสีย ในการผลิตอาหารต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูง ทำให้วิตามินบางชนิดสลายตัวได้ เช่น วิตามินซี ดังนั้นในการทำอาหารต้องมีการคำนวณอัตราการสูญเสียวิตามินในระหว่างการผลิตอาหารด้วย (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของเครื่องอัดเม็ดอาหารแบบ Extruder

ที่มา: Guillaume et al. (1999)

การอัดเม็ดอาหารแบบจม ใช้กับปลาที่กินสัตว์ หรือกินอาหารตามพื้น และสัตว์กลุ่มครัสตาเซีย ใช้เครื่องอัดเม็ดแบบ Steam Pelleting โดยการใช้ความร้อน ความดันและความชื้น วัตถุดิบอาหาร จะถูกไล่ไต่ผ่านห้องผสมน้ำหรือไอน้ำ (Steam condition chamber) ซึ่งความชื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 15-18% และมีอุณหภูมิประมาณ 85-90 °C ความร้อนจากไอน้ำทำให้แป้งกลายเป็นเจล ช่วยให้อาหารจับตัวกันดีขึ้น จากนั้นอาหารจะเคลื่อนที่มายังห้องอัดเม็ด (Pelleter) โดยอาหารผสมจะเคลื่อนที่มายังระหว่างลูกกลิ้งและหน้าแวน ซึ่งหมุนในทิศทางเดียวกัน อาหารจะถูกลูกกลิ้งอัดผ่านรูหน้าแวนออกมาเป็นแท่งตามขนาดของรูที่หน้าแวน อาหารจะถูกตัดให้มีขนาดสั้นหรือยาวขึ้นกับระยะห่างระหว่างใบมีดและหน้าแวน ลักษณะการทำงานของหน้าแวนและใบมีด แสดงดังภาพที่ 3.4 ขนาดของเม็ดอาหารส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 2.5-6 มิลลิเมตร ขึ้นกับขนาดและชนิดของสัตว์นำ ความยาวของเม็ดอาหารจะมีความยาวประมาณ 1.5-2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดอาหาร เมื่ออัดอาหารออกมาภายนอกจะมีความชื้นประมาณ 10% ทำให้แห้งโดยวิธีใช้ความเย็น การอัดเม็ดอาหารด้วยวิธีนี้ทำลายโครงสร้างอาหารน้อยกว่าวิธี Extrusion การผลิตอาหารอัดเม็ดแบบจม ควรมีไขมันให้เหมาะสมถ้ามีน้อยเกินไปประมาณ 2-3% จะทำให้อัดอาหารยาก ถ้ามีมากเกินไปมากกว่า 10% จะทำให้อาหารไม่คงรูป ในสูตรอาหารที่มีปริมาณไขมันมากนิยมสเปรย์ไขมันเคลือบผิวอาหารหลังจากอัดเม็ดอาหารแล้ว (วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536; Guillaume et al., 1999)



ภาพที่ 3.4 ลักษณะการทำงานของหน้าแวนและใบมีด

ที่มา: Guillaume et al. (1999)

1.3.5 การลดความชื้น (Cooling or Drying)

อาหารที่ผ่านการอัดเม็ดจะมีความชื้นสูง ต้องนำมาอบเพื่อลดความชื้น ทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ถ้าอาหารมีความชื้นสูง ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากราได้ง่าย อาหารไม่แข็งตัว และทำให้การคงตัวในน้ำของอาหารลดลง การลดความชื้นอาจใช้ แสงแดด เตาอบ พัดลม หรือเครื่องอบแห้ง เครื่องอบแห้งมี 2 แบบ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบตั้ง (Vertical cooler and dryer) เป็นเครื่องจะมีช่องด้านบนเพื่อให้อาหารที่ผ่านการอัดเม็ดผ่านมายังตัวเครื่องด้านล่าง โดยภายในตัวเครื่องจะมีพัดลมดูดอากาศ ทำให้อาหารอัดเม็ดเย็นลงได้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ลดลง อาหารจะถูกปล่อยออกด้านล่างเครื่อง เครื่องอบแห้งชนิดนี้นิยมใช้ใน โรงงานผลิตอาหารที่มีพื้นที่จำกัด อีกชนิดเป็นเครื่องอบแห้งแบบถนัดนอน (Horizontal cooler and dryer) ภายในตัวเครื่องจะมีสายพานลำเลียงอาหารที่อัดเม็ดแล้วเข้าตัวเครื่อง นำออกอีกด้านหนึ่งของตัวเครื่อง ในระหว่างลำเลียงจะมีพัดลมดูดอากาศ ทำให้อาหารมีอุณหภูมิเย็นลง อาหารที่ผ่านการอบแห้งแล้วควรมีความชื้นลดลงจาก 15-16% เหลือ 9-10% ภายในเวลา 9-14 นาที (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536; Guillaume et al., 1999)

1.3.6 การกระเทาะเม็ดอาหาร (Crumbling)

อาหารอัดเม็ดทั้งแบบลอยน้ำและจมน้ำที่ต้องการให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการกินของสัตว์น้ำขนาดเล็ก จำเป็นต้องนำอาหารมากระเทาะเพื่อลดขนาดภายหลังจากการอบแห้ง แล้วอาหารที่ผ่านการกระเทาะลดขนาดแล้ว จะนำไปร่อนเพื่อให้ได้อนุภาคของอาหารที่ต้องการ (Guillaume et al., 1999)

1.3.7 การเคลือบผิว (Coating)

อาหารอัดเม็ดทั้งแบบลอยน้ำและจมน้ำสามารถเคลือบผิวได้ด้วยไขมันเพื่อเสริมกรดไขมันที่จำเป็น วิตามินที่ละลายในไขมัน และวิตามินที่ละลายในน้ำที่อยู่ในรูป Emulsion เช่นวิตามินซี ลงไปในอาหาร การเคลือบผิวเม็ดอาหารด้วยชั้นของสารที่ไม่ละลายน้ำจะช่วยทำให้สารอาหารในเม็ดอาหารสูญเสียโดยการละลายน้ำได้ช้าลง การเคลือบผิวเม็ดอาหารด้วยไขมันจะใช้วิธีฉีดพ่น (Spray) ไขมันที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องลงบนเม็ดอาหารที่เย็นแล้ว ในระหว่างการฉีดพ่นไขมันควรพลิกเม็ดอาหารให้ได้รับการพ่นด้วยไขมันอย่างทั่วถึง การเคลือบผิวเม็ดอาหารกึ่งมีจุดประสงค์ในการเคลือบ 2 ประการคือ เพื่อเพิ่มสารบางชนิดที่ละลายน้ำในปริมาณเล็กน้อย เช่นวิตามิน และสารที่มีกลิ่นดึงดูดให้กุ้งมากินอาหาร (Attractant) และเพื่อเพิ่มไขมันและสารบางชนิดที่ละลายในไขมัน ตามปกติความสามารถในการซึมซับไขมันในอาหารอัดเม็ดจะมีประมาณ 3-4% แต่ถ้าต้องการเพิ่มไขมันให้มากขึ้นมากกว่า 10% ต้องค่อย ๆ ทำการฉีดเพิ่ม (Guillaume et al., 1999)

1.3.8 การเก็บรักษา (Storage)

หลังจากลดความชื้นแล้ว นำอาหารมาปรับลดอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิห้อง ร้อนเศษอาหารที่เป็นฝุ่น และ เม็ดอาหารที่จับตัวกันเป็นก้อนออก นำอาหารมาบรรจุในภาชนะสะอาด หรือในถุงพลาสติกซิปล เพื่อสะดวกในการใช้งาน เก็บรักษาไว้ในที่มีความชื้นต่ำ เย็น และไม่ถูกแสง ซึ่งโดยทั่วไปจะเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นขนาดใหญ่ -20°C เพื่อรอการใช้งานต่อไป

2. การทำปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์สารต่างๆ ในเศษพืชหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ เมื่อถูกย่อยสลายจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกมา และกลับมาเป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปของธาตุอาหารพืชอีกครั้งหนึ่ง เมื่อพิจารณาการทำปุ๋ยหมักซึ่งสามารถจะผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นการส่งเสริมหรือแนะนำให้เกษตรกรรู้จักทำปุ๋ยหมักขึ้นใช้เอง จึงนับว่าเป็นผลดีต่อการปรับปรุงบำรุงดิน และเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย การทำปุ๋ยหมักในสมัยโบราณจะปล่อยให้ขบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันความรู้ทางด้านจุลินทรีย์ก้าวหน้ามากขึ้น มีการศึกษาถึงชนิดและกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกรรมวิธีและปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมเพื่อลดเวลาในการทำปุ๋ยหมัก และได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี (พิทยากร, 2523)

การหมักทำปุ๋ยเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่อาศัยจุลินชีพ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย ความชื้น อุณหภูมิ รวมทั้งสัดส่วนของคาร์บอน และไนโตรเจน ผลผลิตที่ได้จากการหมักจะเป็นวัสดุสีน้ำตาลดำที่มีเนื้อร่วนซุย เรียกว่า ปุ๋ยหมัก ซึ่งมีสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น พวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สามารถนำไปปรับปรุงสภาพดินและเป็นอาหารของพืชได้ (อุษณีย์ , 2545)

2.1 คุณสมบัติของกากตะกอน

ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจะอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Simi-Solid) มีลักษณะคล้ายดินเหนียว มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เมื่ออยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีแก๊ส และความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์ ส่วนประกอบของกากตะกอนสามารถแยกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (วรรณวิมล เสถาณานนท์, 2542:21)

2.1.1 ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม) จุลธาตุอาหารพืช (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) และธาตุอาหารอื่นๆ

2.1.2 สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์ และฮอร์โมนพืชต่างๆ

โดยทั่วไป องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากตะกอนจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่น่าสนใจในการนำไปใช้ประโยชน์ทางเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์สาร และมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน ดังตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของปุ๋ยมูลสัตว์ (Animanure) ดังตารางที่ 3.7 กากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณธาตุอาหารหลักในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยมูลสัตว์ แต่ทั้งนี้ ควรมีการพิจารณาถึงปริมาณโลหะหนักและสารพิษในกากตะกอน ก่อนที่จะมีการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เพื่อให้เกิดความมั่นใจและเกิดความปลอดภัยจากการสะสมของโลหะหนักและสารพิษ ทั้งในดินและพืช

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน

คุณสมบัติทางเคมี	กากตะกอน น้ำเสียชุมชน ห้วยขวาง ¹ (ADS)	กากตะกอนโรง ฆ่าสัตว์บางแค ¹ (ATS)	กากตะกอน น้ำเสียชุมชน ² (ADS)	กากตะกอน น้ำเสียชุมชน ² (ATS)
ความเป็นกรด - ด่าง (pH)	7.00	7.00	-	-
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	52.79	50.74	46.10	50.74
ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละ)	30.40	29.50	26.80	29.50
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	2.87	2.76	4.20	4.80
ปริมาณไนเตรท (NO ₃ - N(ppm))	636.00	144.00	79.00	180.00
ปริมาณแอมโมเนียม (NO ₄ -N(ppm))	600.00	360.00	1,600.00	400.00
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ (P ₂ O ₃ (ppm))	167.75	161.70	30,000.00	27,000.00
ปริมาณโปตัสเซียมที่ แลกเปลี่ยนได้ (K ₂ O(ppm))	690.00	1,505.00	3,000.00	4,000.00
ปริมาณแคลเซียม (ppm)	0.24	0.47	16.00	16.00
ปริมาณทองแดง (ppm)	55.00	282.00	1,000.00	970.00
ปริมาณแมงกานีส (ppm)	126.00	210.00	400.00	420.00
ปริมาณนิกเกิล (ppm)	4.40	3.00	85.00	31.00
ปริมาณตะกั่ว (ppm)	3.54	3.12	540.00	300.00
ปริมาณสังกะสี (ppm)	500.00	600.00	1,890.00	1,800.00

ที่มา : ¹อรรรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2529 อ้างถึงใน ธวีโรจน์ ต้นนุกิน. 2542:8

²Sommer. 1977:227-229

หมายเหตุ : ADS คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anerobic Sludge)

ATS คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Sludge).

ppm คือ หนึ่งในล้านส่วน (Part per Million).

ตารางที่ 3.7 ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์บางชนิด

ชนิดของมูลสัตว์	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)	ปริมาณโปตัสเซียม (ppm)
เป็ด	0.8-3.7	27,000 – 69,000	5,000 -19,000
ไก่	1.2-4.9	12,000-94,000	5,000 -42,000
ห่าน	0.7	21,000	21,000
สุกร	2.2	52,000	16,000
โค	0.8-1.2	5,000-9,000	5,000-37,000
ม้า	0.1	8,000	8,000
ค้างคาว	0.1-2.9	6,000-368,000	40,000 -220,000
นกนางแอ่น	10.5	34,000	9,000
นกกกระทา	4.1	37,000	23,000

ที่มา : Vacharotayan and Pintukanok (1985) อ้างถึงในภาควิชาปฐพีวิทยา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2544)

2.2 คุณประโยชน์ ของกระบวนการเป็นปุ๋ยหมัก

2.2.1 เป็นการทำให้วัสดุเหลือทิ้งมีความคงตัว

กิจกรรมทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเป็นปุ๋ยหมักจะเปลี่ยนรูปแบบที่เน่าเสียได้ของวัสดุเหลือทิ้งอินทรีย์ให้เป็นรูปแบบที่คงตัวขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งให้อยู่รูปอินทรีย์ซึ่งจะก่อให้เกิดผลที่เป็นมลภาวะเพียงเล็กน้อยถ้าปล่อยลงดินหรือลงน้ำ

2.2.2 ยับยั้งเชื้อโรค

ความร้อนที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักอาจจะสูงถึงประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พอเพียงที่จะยับยั้งเชื้อโรคส่วนใหญ่ เช่น เชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และไข่พยาธิ โดยมีข้อแม้ว่าอุณหภูมิที่ว่าต้องคงที่เป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้สามารถนำไปเป็นปุ๋ยและวัสดุปรับปรุงโครงสร้างของดินได้อย่างปลอดภัย

2.2.3 การนำธาตุอาหารพืชกลับมาเป็นประโยชน์ใหม่และการนำมาใช้ปรับปรุงดิน

ธาตุอาหารพืช N P K ที่มีอยู่ในของเหลือทิ้งมักจะอยู่ในรูปอินทรีย์ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ได้ยาก ภายหลังกระบวนการเป็นปุ๋ยหมัก ธาตุอาหารพืชเหล่านี้จะอยู่ในรูปแบบอนินทรีย์ เช่น NO_3 และ PO_4^{3-}

ซึ่งเหมาะสมสำหรับการดูดซึมของพืช การใช้ผลิตผลที่ผ่านกระบวนการเป็นปุ๋ยหมักกับดินจะช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืช โดยการชะล้างเพราะธาตุอาหารพืชรูป

อนินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ถูกชะล้างได้น้อยกว่ารูปแบบที่ละลายน้ำของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการย่อยสลาย นอกจากนี้ความยากง่ายในการไถพรวนของดินค้ำขึ้น ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดีจึงดูดธาตุอาหารได้เพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยหมักลงดินแล้วจึงช่วยทำให้คุณภาพดินนั้นค้ำขึ้นซึ่งเป็นการปรับปรุงพื้นที่ที่ไม่มีประโยชน์ให้ใช้ประโยชน์ได้

2.2.4 เป็นการทำให้กากตะกอนแห้ง

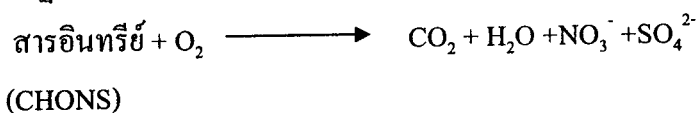
ตั้งจับถ่ายจากมนุษย์ มูลจากสัตว์ และกากตะกอนประกอบด้วยน้ำประมาณ 80-90% ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมขนส่งและกำจัดสูงขึ้น การทำให้กากตะกอนแห้งโดยวิธีทำปุ๋ยหมักจึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไประเหยน้ำที่มีอยู่ในกากตะกอน

2.3 ปฏิบัติการหมักทำปุ๋ย

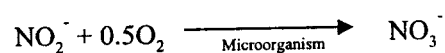
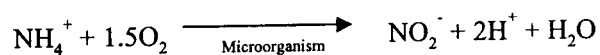
การทำปุ๋ยหมักอาศัยกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกระบวนการหมักสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

2.3.1 การหมักแบบใช้ออกซิเจน

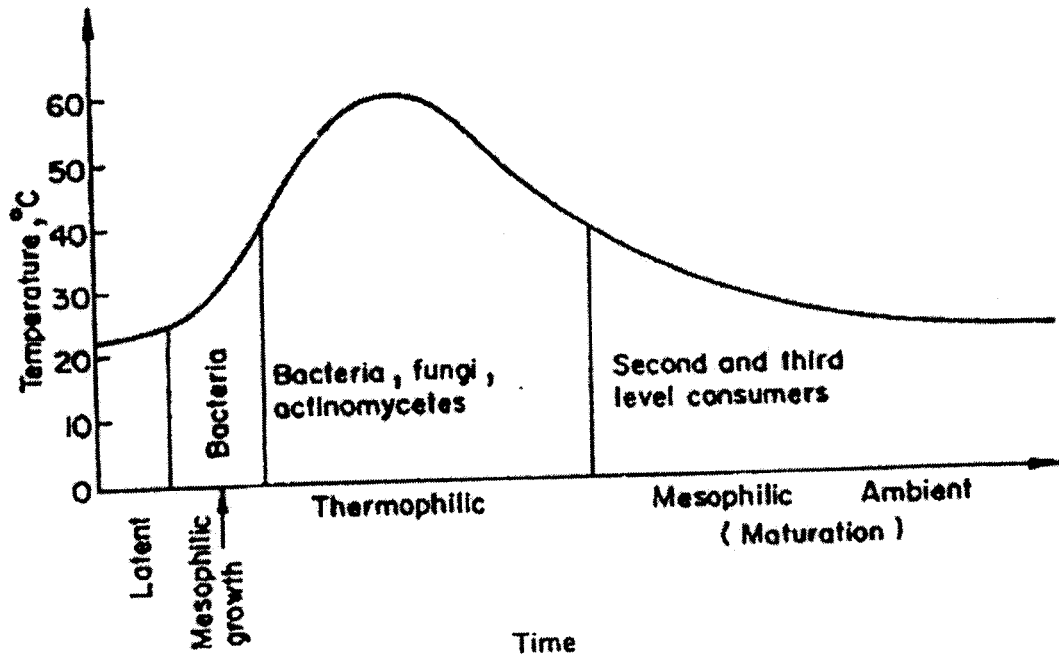
การย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นวัสดุที่ย่อยสลายทางชีวภาพ ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ จะให้ผลผลิตของปฏิกิริยาต่างจากการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยให้ผลผลิตครั้งสุดท้ายที่เสถียร ดังปฏิกิริยา (Metcalf and Eddy , 1991)



ในหลายๆ กรณีแอมโมเนีย(NH₃) ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรต (NO₃⁻) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา nitrification ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรตสามารถประมาณได้จากปฏิกิริยา (Metcalf and Eddy , 1991)



กระบวนการย่อยสลายก่อให้เกิดพลังงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่แสดงออกมาในรูปของความร้อน สามารถสังเกตได้จากกระบวนการหมัก ซึ่งแบ่งช่วงอุณหภูมิได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมัก และการแบ่งช่วงของอุณหภูมิ (Haug, 1980)

- 1) Latent phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้เวลาในการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมใหม่ในการหมัก
- 2) Growth phase เป็นช่วงที่มีลักษณะการเพิ่มขึ้นทางชีววิทยาส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ในช่วง mesophilic
- 3) Thermophilic phase เป็นช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุด และช่วงนี้เกิดการย่อยสลาย และทำลายเชื้อโรคอย่างมีประสิทธิภาพ
- 4) Maturation phase เป็นช่วงที่อุณหภูมิลดลงจนอยู่ในระดับ mesophilic แล้วลดลงเรื่อยๆ จนอยู่ในระดับอุณหภูมิบรรยากาศเป็นการหมักขั้นที่สอง ซึ่งช้าและเกิดฮิวมัส นั่นคือ การเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ซับซ้อน บางประเภทของสารอินทรีย์ให้เป็นสารคอลลอยด์ ฮิวมิก ซึ่งเป็น แร่เหล็ก แคลเซียม ไนโตรเจน และในตอนสุดท้ายก็กลายเป็นฮิวมัส

Haug (1980) ได้ให้หลักการในการอธิบายถึงปรากฏการณ์ ที่สามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ซึ่งเป็นตัวควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการหมักแบบใช้ออกซิเจนดังนี้

- (1) เซลล์สิ่งมีชีวิตจะปล่อยเอนไซม์ไปยังผิวของสารอินทรีย์
- (2) เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis แยกสลายสารอินทรีย์ด้วยน้ำเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักเล็กลง และส่วนที่เป็นสารละลาย
- (3) เกิดการแพร่ผ่านของโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลายไปที่เซลล์
- (4) เกิดการแพร่ผ่านของสารอินทรีย์เข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ ฟล็อกไมซีเลีย
- (5) เกิดการเคลื่อนที่ของออกซิเจน ซึ่งอยู่ในรูปของการไหลเวียนของอากาศผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาค
- (6) ออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านสัมผัสชั้นที่อยู่ระหว่างการไหลของอากาศและของเหลว

(7) เกิดการแพร่ผ่านของออกซิเจนผ่านเข้าไปถึงชั้นที่เป็นของเหลว

(8) เกิดการแพร่ผ่านของออกซิเจนเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ฟล็อก และไมซีเลีย แล้วเกิดปฏิกิริยา Aerobic Oxidation ของสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ในกรณีที่เกิดการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้นั้น จะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น มีออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิพอเหมาะ การย่อยสลาย หรือการหมักโดยวิธีนี้จะเป็นไปได้เร็ว และใช้มากในอุตสาหกรรมปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทั่วไป ซึ่งจะใช้เวลาในขั้นนี้ไม่นานนัก (ประมาณ 5 – 30 วัน) และไม่ส่งกลิ่นเหม็นรุนแรงในกรณีที่สารอินทรีย์มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ จะให้ฟอสเฟตออกมาจากปฏิกิริยาดังนั้นเมื่อสารอินทรีย์สารถูกย่อยสลายแล้ว จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำออกมาพร้อมกับแร่ธาตุ ซึ่งเป็นอาหารหลักสำหรับพืช

การทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนทำได้ 2 วิธี คือ

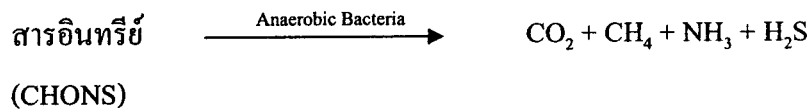
ก) การหมักโดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Windrow Composting โดยนำมูลฝอยที่มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ไปกองรวมกัน โดยให้แต่ละกองมีขนาดเล็ก เพื่อให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศให้มากที่สุด แต่ถ้ากองรวมกันให้มีขนาดใหญ่เกินไปมูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดสภาพการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นได้ วิธีการนี้จึงต้องใช้พื้นที่มากและใช้เวลาประมาณ 30 วัน

ข) การหมักโดยการเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลเข้าช่วยวิธีนี้เรียกกันโดยทั่วไปว่า High Rate Composting มีการใช้เครื่องมือช่วยให้ออกซิเจนให้อากาศ

สัมผัสกับมูลฝอยได้มากที่สุด อาจใช้พัดลม หรือใบพัดให้อากาศหมุนเวียน หรืออาจทำเป็นกระเพาะเจาะรูมีการพลิกกลับ เป็นต้น นอกจากนี้ใช้เครื่องจักรกลเติมอากาศให้มูลฝอยแล้ว ในการหมักจำเป็นต้องทำให้มูลฝอยเป็นชั้นเล็ก และแยกเอาส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกไป จะช่วยให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้น การย่อยสลายก็จะเร็วขึ้นด้วยโดยใช้เวลาประมาณ 5 – 7 วัน

2.2.2 การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายตามปฏิกริยา ดังนี้ (Metcalf and Eddy , 1991)



ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นก๊าซจะหายไป และอาจส่งกลิ่นเหม็นฟุ้งกระจายหากไม่มีการจัดการที่ดี หรือนำไปใช้ประโยชน์ กระบวนการนี้เกิดขึ้นช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก โดยอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2 เดือน ถึง 1 ปี (มัลลิกา , 2544) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวในการหมักทั้งสองแบบนี้ให้ปุ๋ยที่มีคุณภาพต่างกัน ถ้านำมูลฝอยสดมาหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเลย อาจเกิดก๊าซผลผลิตที่เป็นอันตรายหากไม่มีการจัดการที่ดี อีกทั้งการเปลี่ยนเป็นสารอาหารของพืช จะมีน้อยกว่ากระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักทำปุ๋ย

ในกระบวนการหมักถ้าต้องการให้เกิดผลดี คือ ใช้เวลาในการหมักน้อยแต่มีการสลายตัวของสารอินทรีย์สารมาก จะต้องหมักที่สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีปัจจัยต่างๆที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

2.4.1 ชนิดของมูลฝอย

ควรมีองค์ประกอบของมูลฝอยชนิดที่ย่อยสลายได้ง่ายปนอยู่มาก โดยองค์ประกอบของวัสดุที่ไม่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ยไม่ควรมีเกินร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งของมูลฝอยทั้งหมด (Jica , 1982)

2.4.2 ความชื้น

ความชื้นที่เหมาะสมต่อการหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 55-65 (Golucke , 1982) ถ้าความชื้นมากเกินไป จะทำให้สัดส่วนของช่องว่างอากาศต่อเนื้อมูลฝอยน้อยลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า และอาจเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีผลต่ออัตราการย่อยสลายมูลฝอย และยังส่งกลิ่นเหม็นกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก แต่หากมีความชื้นน้อยเกินไป จะมีน้ำไม่เพียงพอต่อ

การใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ดังนั้นถ้าความชื้นในวัสดุหมักมีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 30 กระบวนการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดขึ้นช้ามาก

2.4.3 ขนาดของวัสดุที่ใช้หมัก

ขนาดของวัสดุที่ใช้หมักที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ในการสัมผัสออกซิเจนมากกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามขนาดของวัสดุที่ใช้หมักที่เล็กเกินไปจะทำให้ช่องว่างภายในกองหมักเล็กลงไปด้วย ซึ่งจะขัดขวางการแพร่ของอากาศภายในกองหมัก เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้การย่อยสลายต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น (Rabbani, 1983) และหากใช้วัสดุหมักที่มีขนาดใหญ่เกินไป ภายในกองหมักจะมีช่องว่างมาก ทำให้กองหมักแห้งได้ง่ายและความร้อนที่เกิดขึ้นในกองหมักจะกระจายหายไปอย่างรวดเร็ว ทำให้กองหมักไม่ร้อนเท่าที่ควร (ธงชัย, 2535) ดังนั้นควรบด หรือสับวัสดุหมักให้มีขนาดที่เหมาะสม คือ 2.3 – 5.0 เซนติเมตร ถึง 0.5-1.5 นิ้ว (Gray, 1971) จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตในวัสดุหมักได้ทั่วถึงและแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นภายในกองหมักควรมีวัสดุที่ใช้หมักขนาดขึ้นใหญ่บ้างเล็กบ้าง เพราะจะช่วยทำให้เกิดที่ว่างของอากาศในกองหมักได้ (Gataas, 1976)

2.4.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมี สภาพของภูมิอากาศก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็ว และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยได้ลึกจากผิวที่สัมผัสกับอากาศถึง 20 เซนติเมตร (Jica, 1982) อุณหภูมิในการหมักแบ่งเป็น 2 ระยะ โดยระยะแรกอยู่ในช่วง 10-40 °C หรือ 45°C เป็นช่วงการย่อยสลายของแบคทีเรียชนิด Mesophilic และระยะที่ 2 เป็นการย่อยของ Thermophilic Bacteria อุณหภูมิระหว่าง 40 °C หรือ 45 – 70 °C (Golueke, 1987) ซึ่งกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ จะเกิดในระยะการย่อยสลายแบบ Thermophilic นอกจากนี้ยังมีการทำลายเชื้อโรคในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวด้วย (Polprasert, 1996)

2.4.5 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของมูลฝอย (C/N Ratio)

คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะให้พลังงานออกมา ซึ่งจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตโดยเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนนี้จะมี การสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนไนโตรเจนเป็นสิ่งจำเป็นโดยใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ถ้ามูลฝอยมีธาตุไนโตรเจนน้อยเกินไปจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนได้น้อย โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการควบคุมการทำงานของกองหมักมูลฝอย

ถ้าไนโตรเจนมีมากเกินไปจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียกระจายสู่บรรยากาศ เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้หากมีปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไป ยังอาจเป็นพิษต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์อีกด้วย ฉะนั้นอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 20-30 (Haug, 1993)

2.4.6 ปริมาณอากาศ

การระบายอากาศ หรือการให้อากาศแก่กองหมัก เป็นสิ่งจำเป็นในการหมักทำปุ๋ยแบบใช้อากาศ ซึ่งเป็นการให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ และเป็นการถ่ายเทของเสียออกจากกองหมักนั้น ก็คือคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การถ่ายเทอากาศที่ไม่ดี หรือมีการถ่ายเทน้อย จะก่อให้เกิดสภาพไร้อากาศ แต่ในทางตรงกันข้ามการให้อากาศถ่ายเทมากเกินไป จะทำให้กองหมักแห้งเกินไป ปริมาณอากาศที่กองหมักต้องการเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่นำมาหมัก

2.4.7 เชื้อจุลินทรีย์

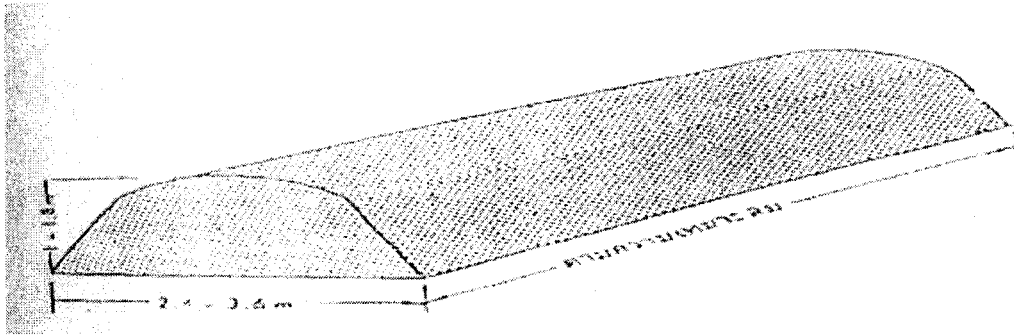
กระบวนการเป็นปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศเป็นกระบวนการซึ่งสิ่งมีชีวิตหลายชนิดมีบทบาทเกี่ยวข้องร่วมกัน แต่ละชนิดของสิ่งมีชีวิตจะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของแต่ละช่วงเวลา และแต่ละเชื้อจะมีกิจกรรมการย่อยสลายในรูปแบบเฉพาะของตัวเอง สิ่งมีชีวิตเหล่านี้คือ เชื้อจุลินทรีย์ เช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา เชื้อแอคติโนมัยซีต และโปรโตซัว และอาจจะเกี่ยวข้องกับสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่นพวกไส้เดือนฝอย ไส้เดือนดิน ปลวก และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

2.5 ชนิดของการหมักทำปุ๋ย

ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาการหมัก โดยนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรเข้าช่วย เพื่อเร่งการทำงานของจุลินทรีย์ เป็นผลให้วัฏจักรในการหมักทำปุ๋ยเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว โดยสามารถแบ่งชนิดของการหมักทำปุ๋ย ได้ดังนี้

2.5.1 Windrow System

วิธีการนี้ เป็นการนำเอาวัสดุหมักมากองให้ได้ความสูงพอสมควร ที่จะทำให้การระบายอากาศได้ดี เพื่อให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดี จะต้องมีการกลับกองเพื่อให้อากาศเข้าได้ทั่วถึง เป็นการเร่งปฏิกิริยาและป้องกันสภาวะการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วย ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Windrow System

ที่มา: Gotaas (1976)

ในบางแห่งมีการใช้เครื่องจักรสำหรับกลับกองวัสดุหมัก เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น เครื่อง SILODA Paddle Wheel ซึ่งมีลักษณะเป็นวงล้อที่มีใบพัดสำหรับกลับมูลฝอย ขณะล้อหมุนไปตามรางหมัก เครื่องมือดังกล่าวยังออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายไปกลับกองปุ๋ยในรางอื่นๆ ได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.7

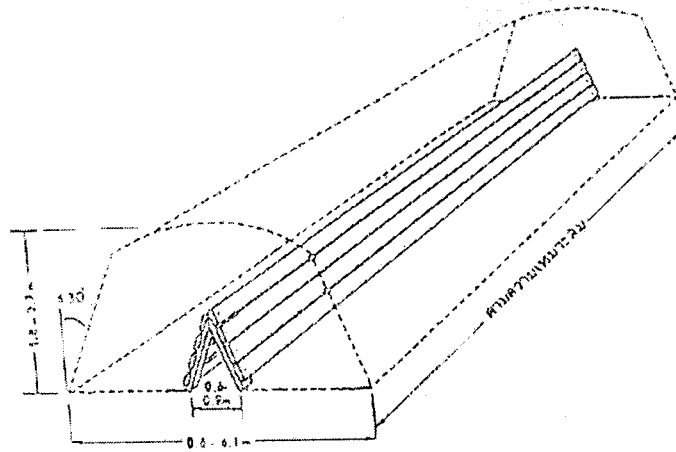


ภาพที่ 3.7 เครื่องจักรกลับกองปุ๋ย (ซ้าย) รางหมักปุ๋ย(ขวา)

ที่มา: อุษณีย์ (2545)

2.5.2 Static Pile Composting System

วิธีการหมักทำปุ๋ยแบบนี้คล้ายกับแบบแรก แต่ฐานการหมักจะทำในลักษณะให้มีการระบายอากาศในกองได้ทั่วถึง เช่น การใช้ไม้ไผ่เจาะช่องระบายอากาศเรียงเป็นฐานหรือการวางท่อเป่าอากาศใต้กองหมัก เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3.8

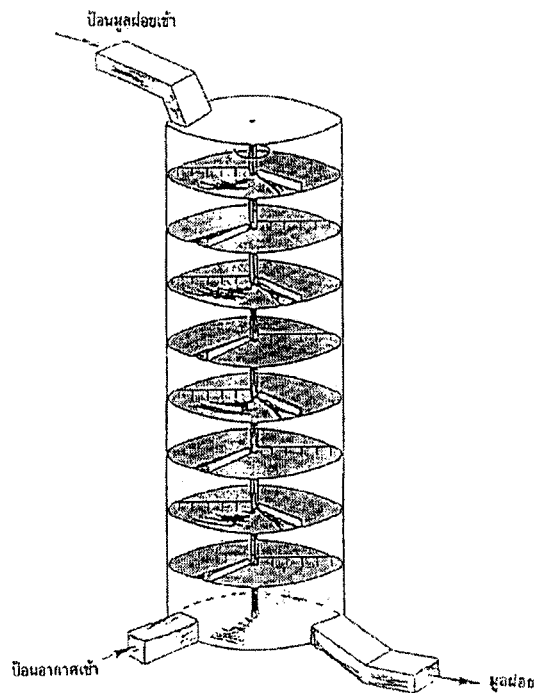


ภาพที่ 3.8 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Static Pile Composting

ที่มา: Gotaas (1976)

2.5.3 Round Trip Padding Fermentator

วัสดุหมักจะถูกปล่อยจากเครื่อง โปรยสู่ชั้นหมัก แบบลักษณะเคลื่อนกลับไปกลับมา ไหลจากข้างบนลงล่าง มูลฝอยเหล่านี้จะย่อยสลายในขั้นตอนการหมัก โดยรับอากาศตลอดเวลาประมาณ 8 วัน ก็จะนำออกพักที่ลานตาก เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ต่อไปดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Round Trip Padding Fermentator

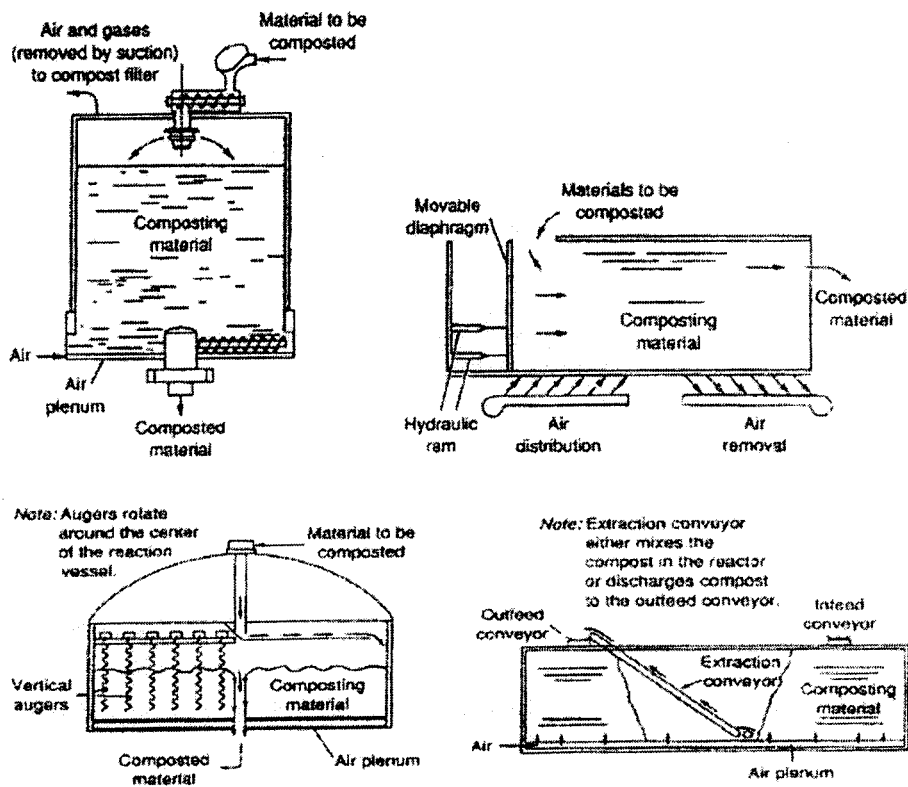
ที่มา: อุษณีย์ (2545)

2.5.4 Dynamic Composting System

วัสดุหมักที่สามารถย่อยสลายได้จะเคลื่อนตัวช้าๆ ในถังหมักที่หมุนตลอดเวลา และมีการเติมอากาศให้แก่วัสดุหมัก ซึ่งจะใช้เวลาในการหมักขั้นแรก ประมาณ 1-2 วัน ปฏิบัติการย่อยสลายจะถูกเร่ง เนื่องจากการผสมกันอย่างทั่วถึง และการเคลื่อนที่ของวัสดุหมักตลอดเวลา นอกจากนี้พวกเชื้อโรคจะถูกฆ่าตายภายใต้อุณหภูมิการหมักที่สูง โดยวัสดุหมักที่ย่อยสลายแล้วจะถูกนำออกลานาดาก เพื่อให้ย่อยสลายสมบูรณ์ต่อไป

2.5.5 In vessel Composting System

การหมักวิธีนี้คล้าย Windrow และ Static Composting แต่เป็นการหมักในภาชนะปิดที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ตลอดเวลาด้วยเครื่องจักร จนกระทั่งสิ้นสุดการย่อยสลาย วิธีการนี้ดีกว่า Windrow และ Static Composting เพราะสามารถควบคุมกลิ่น ใช้สถานที่น้อยไม่อุจาดตา ควบคุมการหมักได้ง่าย และใช้แรงงานน้อย ดังแสดงใน ภาพที่ 3.10

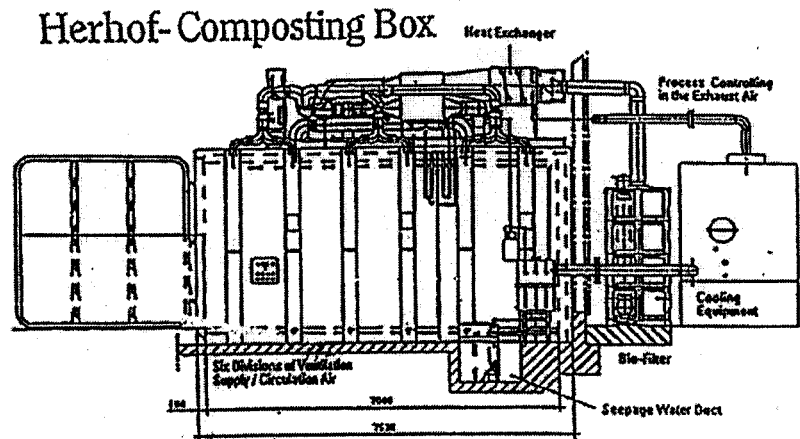


ภาพที่ 3.10 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ In-vessel Composting

ที่มา: Tchobanoglous และคณะ (1993)

2.5.6 Tunnel Reactor Composting System

เป็นการหมักในท่อหมัก โดยเครื่องจักรต่างๆ อยู่ภายนอกถังหมัก ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซม การระบายอากาศทั้งเข้า และออกใช้ควบคุมได้ ทำให้การหมักได้ผลดี ดังแสดงในภาพที่ 3.11

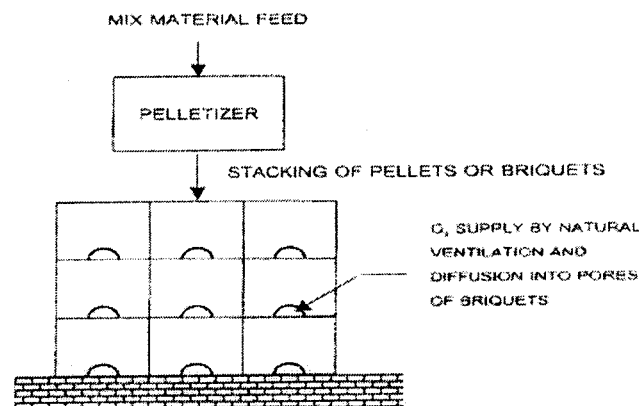


ภาพที่ 3.11 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Tunnel Reactor Composting

ที่มา: Gotaas (1976)

2.5.7 Brikollare Composting Process

เป็นการผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธี Static Composting แบบพิเศษ คือ เป็นการหมักที่ผสมจากตะกอนจากการกำจัดน้ำเสีย อัดเป็นก้อนประมาณ 1.6 x 1.6 เมตร แล้วนำไปเรียงเป็นชั้นในห้องหมัก ภายในห้องหมักจะควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการหมัก เช่น อุณหภูมิภายในก้อนทำให้เกิดช่องระบายอากาศได้ อากาศผ่านเข้าออกได้ช่วยในการย่อย ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Brikollare Composting

ที่มา: Haug (1980)

การทำปุ๋ยหมักแบบ co-composting ในถังหมักจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะในการหมักให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีในเวลาอันรวดเร็ว องค์ประกอบที่ต้องควบคุม ได้แก่ ขนาดของวัสดุหมัก ความพรุน ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งในการทำปุ๋ยหมักแบบ co-composting ที่มีการเติมสารอาหารทุกวันในถังหมัก โดย Bulking agent ที่นำมาใช้นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในระบบแล้วยังทำหน้าที่เป็น Matrix ในการให้อากาศ และการเพิ่มช่องว่างของวัสดุหมัก ดังนั้น Bulking agent ที่ใช้ต้องมีความคงทนไม่เสื่อมสภาพได้ง่ายในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย (เซ็นจิต, 2543) ซึ่งการเลือกชนิดของ Bulking agent เพื่อนำมาใช้ในการหมักทำปุ๋ย จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ เช่น ปริมาณ C/N ratio , ปริมาณเถ้า, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ความสามารถในการดูดซับ, ปริมาณความชื้น โดยค่า C/N ratio ของ Bulking agent ต้องมีค่าสูงกว่า ค่า C/N ratio ของของเสียที่นำมาหมักรวมกันจะทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพส่วนปริมาณเถ้า เริ่มต้นใน Bulking agent และในของเสียที่นำมาหมักรวมกันไม่ควรสูงเกินไปเพราะจะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณเถ้าสูงตามไปด้วย (Matin ,1993) โดยชนิดของ Bulking agent ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในการทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุในถังหมักขนาด 125 ลิตร ควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 50 – 60 % (Ekland , 2000) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่นำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมักที่แตกต่างกันมีผลต่อกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณของคาร์บอนที่ย่อยสลายง่าย คาร์บอนลิกนิน และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในวัสดุเริ่มหมักสามารถทำนายอัตราการย่อยสลายคาร์บอนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักได้ โดยในวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณลิกนินเริ่มต้นสูง บ่งบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่ย่อยสลายยาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ และทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่มาก นอกจากนี้ยังพบว่า มีการย่อยสลายของคาร์บอนในระหว่างกระบวนการหมัก เป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก และการผสมฟางข้าว ใบไม้ เศษกระดาษ และถ่านเลนวน ลงไปเป็น Bulking agent ในการทำปุ๋ยหมัก จะช่วยให้สภาวะในการหมักดำเนินไปในสภาพที่มีอากาศได้ดี การใช้ใบไม้ และเศษกระดาษ ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายง่ายเป็นองค์ประกอบอยู่สูงเป็น Bulking agent มีการย่อยสลายคาร์บอนเกิดขึ้นสูงกว่าการใช้วัสดุอื่นๆ และพบว่าการใช้ถ่านเลนวนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหลงเหลืออยู่มากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณลิกนินเป็นองค์ประกอบอยู่สูง

นอกจากประโยชน์ในด้านการเพิ่มผลผลิตแล้ว การนำกากตะกอนของเสียมาใช้ประโยชน์ในด้านการเพาะปลูกพืช ยังช่วยลดปัญหามลภาวะที่อาจเกิดจากการกำจัดกากตะกอนของเสียไม่ถูกต้อง และเป็นการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า แต่ในการนำกากตะกอนของเสียมาใช้เป็นปุ๋ยหมัก และปรับปรุงสภาพดินนั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่พืชสูงสุด จึงควร

ตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในกากตะกอนน้ำเสียซึ่งได้แก่ Zn, Cu, Pb, Ni, และ Cd เนื่องจากถ้ามีปริมาณมากเกินไป อาจสะสมในพืชอาหารได้ในระยะยาว จึงควรใช้ในการปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ รวมทั้งมีผลงานการวิจัยสนับสนุนที่กล่าวถึงดังต่อไปนี้

Yoneyama และ Yoshida (1978) พบว่า กากตะกอนน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์ในโตรเจนเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์จุลินทรีย์ และง่ายต่อการ mineralize ให้แอมโมเนีย และไนเตรท และจากการศึกษากากตะกอนน้ำเสีย 5 ชนิด โดยใส่ในอัตรา 2 และ 5% บ่มเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า กากตะกอนน้ำเสียที่มี C/N ratio ต่ำคือ 5.21 และ 5.66 จะเกิดกระบวนการ mineralization ให้สารอินทรีย์ในโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว ส่วนกากตะกอนน้ำเสียที่มี C/N ratio 9.01 จะไม่เกิดปฏิกิริยา mineralization เลย

Epstein และคณะ (1978) ได้ศึกษาพบว่ารูปแบบการของการปลดปล่อยในโตรเจนของกากตะกอนน้ำเสียจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่เดิมในดิน แต่จะมีการปลดปล่อยในโตรเจนสูงกว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียที่มีปริมาณคาร์บอนสูงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น และทำให้เกิดการสูญเสีย NO_3^- หายไปโดยกระบวนการ denitrification และกระบวนการ immobilization ด้วย

นิภา (2524) ได้นำ activated sludge cake และ humus จากโรงงานผลิตผงชูรสฮาโยโนะโมะโตะ, activated sludge cake จากโรงงานเป็ปซี่เสริมสุข และกากละหุ่ง เพื่อปลูกผักกาดขาว ในชุดดินราชบุรีพบว่าสามารถใช้เป็นปุ๋ยได้ซึ่งความสามารถในการทดแทนปุ๋ยเคมีนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณในโตรเจนทั้งหมด อัตราส่วนของคาร์บอนต่อในโตรเจน และความยากง่ายในการสลายตัวและพบว่ามีแนวโน้มทำให้การจับตัวเป็นเม็ดของดิน (soil aggregation) เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่และเวลาที่ใส่วัสดุเหลือใช้

สุริยา (2531) ได้ทดลองนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานสุรา กากตะกอนอ้อย กากละหุ่ง และปุ๋ยหมักฟางข้าว มาใช้เป็นปุ๋ยในโตรเจนสำหรับข้าว ในอัตรา 200 ppm N ในชุดดินรังสิต และชุดดินร้อยเอ็ด จากการทดลองพบว่าการเจริญเติบโตของข้าวในระยะแรกมีการตอบสนองต่อกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ กากตะกอนอ้อย และกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานสุราได้ดีเท่ากับปุ๋ยเคมี ส่วนกากละหุ่งข้าวจะงักการเจริญเติบโตในระยะแรก ส่วนในระยะปลายของการเจริญเติบโตข้าวได้ฟื้นตัวและมีการตอบสนองต่อกากละหุ่งมากกว่า

Epstein (1975) ได้ทดลองผสม raw sludge และ digested sludge กับดินในอัตรา 4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและหมักไว้เป็นเวลา 175 วัน ที่ความชื้น 1/3 บรรยากาศ และที่ 15

บรรยากาศ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่เสถียร (stable aggregate) เมื่อสิ้นสุดการทดลองเพิ่มจาก 17 เปอร์เซ็นต์ เป็น 35 เปอร์เซ็นต์

May และคณะ (1973) รายงานว่าการใส่กากตะกอนน้ำเสีย ยังเพิ่ม water holding capacity ของดินอีกด้วย

Wei และคณะ (1985) ทดลองใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.8 , 3.6 , 7.2 และ 17.9 ตัน/ไร่ ในดิน Kawaunee silty clay loam (Typic Hapludalf) เพื่อปลูกหญ้าชูดาน และข้าวโพดเป็นเวลา 5 ปี ผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดินลดลง 0.7 , 3.5 , 8.5 และ 6.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเพิ่มขึ้น 40.2 , 45.4 , 70.2 และ 70.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และพบด้วยว่าการใส่ sludge ในอัตราสูง 7.2 , 17.9 และ 21.4 ตัน/ไร่ ทำให้ความเสถียรของเม็ดดิน (aggregate stability) เพิ่มขึ้น 3.3 , 9.4 และ 11.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผู้ทดลองสรุปว่าการใส่ sludge อัตราต่ำ (1.8 และ 3.6 ตัน/ไร่) ไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน และการแบ่งใส่ครั้งละน้อย ๆ ติดต่อกันสามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินได้ดี เช่นเดียวกันกับที่ใส่ปริมาณมากเพียงครั้งเดียว

Khaleel และคณะ (1981) ได้ตรวจเอกสารและรายงานว่าจากแหล่งเอกสาร 12 แห่งซึ่งครอบคลุมงานทดลองในดินจำนวน 21 ชุดดิน อินทรีย์วัสดุเหลือใช้ ชนิดและกับพืช 8 ชนิด พบว่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างดินทั้งหมด มีการเปลี่ยนแปลงระดับความจุความชื้นสนาม (field capacity) และจุดเหี่ยวถาวรของพืช (permanent wilting point) โดยทำให้เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดิน

วิชาวุธ พงศ์ธีรารัง (2545) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารกระป๋อง ผสมกับดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจากจังหวัดระยองมาผสมในอัตราส่วนต่างๆ โดยปริมาตร มาทดลองปลูกต้นบานชื่นและดาวเรือง พบว่ากากตะกอนบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหารกระป๋อง สามารถนำมา ใช้เป็นวัสดุปลูกพืชดอกจำพวกบานชื่น และดาวเรืองได้ดี ตามอัตราส่วนผสมของกากตะกอนบำบัดน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่พืชเจริญเติบโตดีที่สุดคือ ปลูกด้วยกากตะกอนบำบัดน้ำเสียอย่างเดียวการปลูกบานชื่นและดาวเรือง ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ มีแนวโน้มการเจริญเติบโตเหมือนกัน คือ การเจริญเติบโตของบานชื่นและดาวเรืองแปรผันตรงกับอัตราส่วนผสมของกากตะกอนบำบัดน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น เมื่อวัดความเจริญเติบโตโดยใช้ความสูงของต้น ขนาดลำต้นจำนวนดอก จำนวนใบ การเจริญเติบโตของต้นบานชื่นและดาวเรือง มีความสัมพันธ์กับร้อยละของกากตะกอนบำบัดน้ำเสียแบบแปรผันตรง

ชัยสิทธิ์ ทองจู (2541) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษเป็นวัสดุปลูกสำหรับป๊อปปี้เซียน ได้นำกากตะกอนจากบำบัดน้ำเสียของ

โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษผสมขุยมะพร้าวในสัดส่วนที่แตกต่างกันโดยปริมาตร ทำการปลูกทดลองกับไผ่เขียนพันธุ์หนึ่งในจักรวาล โดยวางแผนการทดลองแบบการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์(Completely Randomized Design ; CRD) จำนวน 10 ซ้ำ 5 ดำรับทดลอง พบว่าวัสดุทั้งหมดให้ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงจำนวนใบและขนาดของทรงพุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 โดยวัสดุปลูกสูตรกากตะกอนผสมอย่างเดียว ให้ผลการเจริญเติบโตในทุกด้านดีที่สุดตลอดจนจำนวนช่อดอกต่อต้นและจำนวนดอกต่อช่อสูงสุด ขณะที่วัสดุปลูกสูตรขุมนินก้าแ่งแ่งอย่างเดียวให้ผลการเจริญเติบโตในทุกด้านต่ำที่สุด ส่วนการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นพบว่า วัสดุปลูกทุกสูตรให้ผลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านปริมาณและคุณภาพของดอกไผ่เขียนพบว่าวัสดุปลูกทุกชนิดให้ผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01นอกจากนี้คุณภาพดอกในด้านความกว้างและความยาวของดอกพบว่า วัสดุปลูกทุกชนิดให้ผลไม่แตกต่างกัน ในประเด็นการคายน้ำของไผ่เขียนพบว่าวัสดุปลูกสูตรกากตะกอนผสมอย่างเดียว มีอัตราการคายระเหยน้ำสูงสุดคิดเป็น ร้อยละ 5.39 และมีอัตราการระเหยน้ำลดลงตาม สัดส่วนของกากตะกอนผสมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้วัสดุปลูกทุกชนิดภายหลังจากปลูกไผ่เขียน มีผลให้คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนคุณภาพทางกายภาพเช่น ความหนาแน่นรวม (Db) ความหนาแน่นอนุภาค (Ds) มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้มีความพรุนรวม (E) และสัดส่วนช่อง (e) ของวัสดุเพิ่มขึ้น

ชรัตน์ รุ่งเรืองศิลป์ (2542) ศึกษาการใช้ประโยชน์กากตะกอนบ่อบำบัดน้ำทิ้งเพื่อปลูกเห็ดฟางในเชิงอุตสาหกรรม โดยศึกษาทดลองการประยุกต์ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตเครื่องดื่มของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด และกิจกรรมบริการโรงแรมรอยัลออกคิด เซอรادتัน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ปลูกเห็ดฟางในเชิงอุตสาหกรรมได้ แต่จะต้องทำการปรับปรุงสภาพทางกายภาพและเคมีบางส่วนของกากตะกอนเหล่านั้นเสียก่อนให้มีสภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดฟาง

อรรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ศึกษาการจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อนำศักยภาพความเป็นปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร กากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนสามารถเพิ่มผลผลิตพืชผัก (ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง ผักบุ้งจีน ผักกาดหอม) ในพื้นที่เกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่าปุ๋ยเคมี และมีความปลอดภัยจากโลหะหนัก (Fe, Mn, Ni, Pb, และ Zn.) ณ อัตราเดิม 20 – 80 ตันต่อเฮกเตอร์ (3,200 – 12,800 กิโลกรัมต่อไร่)

แสวง รวยสูงเนิน (2535) ศึกษาการใช้ตะกอนก้นบึงและกากเยื่อเพื่อการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง ซึ่งการกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งของโรงงานเยื่อกระดาษฟินิกซ์ ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าของเสียที่ขุดลอกประกอบด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ เป็นปริมาณมาก โดยเฉพาะ

แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ในบางกรณีก็ยังมีค่า pH ที่เป็นกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุถึงหนึ่งในสามของน้ำหนักแห้ง เมื่อนำกากเยื่อมาใส่ให้กับดินชุดโคราชในอัตราตั้งแต่ 1 ถึง 16 ตันต่อไร่ พบว่าทำให้ช่วยแก้ปัญหาความเป็นกรดของดินเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช ซึ่งเป็นผลให้พืชให้ผลผลิตสูงโดยไม่ปรากฏอาการเป็นพิษใดๆ ผลของการใส่กากเยื่อยังช่วยให้ดินมีโครงสร้างดี อุ้มน้ำได้มากขึ้น ซึ่งช่วยลดปัญหาในการดูแลพืชที่ปลูกได้อีกทางหนึ่ง การทดลองปลูกในแปลงที่ไร้อาหารของโรงงาน พบว่าการคลุกกากเยื่อสดๆ ลงไปในดินช่วยให้ข้าวโพด และถั่วเหลืองงอกได้ดีเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากแปลงทดลองมีความแปรปรวนมากจึงทำให้ไม่มีความแตกต่างกันในด้านผลผลิตที่เกี่ยวข้อง การใช้กากตะกอนที่ขุดลอกจากห้วยโจดเพื่อการปลูกพืชสวนพบว่าพืชที่ปลูกเจริญเติบโตได้ดีมาก โดยการใส่ปุ๋ยเพียงเล็กน้อยในระยะกล้า และไม่มีการรดน้ำเลยตลอดช่วงการปลูก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกอนที่ลอกจาก ห้วยโจดมีธาตุอาหารในระดับสูงมาก และอุ้มน้ำได้ดีเหมาะแก่การนำไปใช้ปลูกพืชผักหรือบำรุงดินโดยทั่วไป ข้อจำกัดของการใช้ของเสียเพื่อการเกษตรเท่าที่พบได้แก่ คุณสมบัติในการอุ้มน้ำสูง ทำให้การหมักเกิดได้ช้า มีกลิ่นรบกวน และขนส่งได้ยาก การนำของเสียดังกล่าวไปกองหมักไว้บนที่คอน ระบายน้ำได้ง่ายอาจเป็นลู่วางที่ทำให้หน้าของเสียเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และวิไล พันธุ์งาหาญ (2549) ศึกษาผลการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปลูกข้าว ด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design ทำ 3 ซ้ำ ประกอบด้วย ดินเดิม (ชุดควบคุม) การเติมปุ๋ยเคมี การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยการปลูกข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ในพื้นที่มูลนิธิชัยพัฒนา แปลงที่ 3 ตำบลบ้านพริก อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (2 ตัน/ไร่) ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน (0.5 ตัน/ไร่) ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการเติมปุ๋ยเคมี (16-20-0 20 กก./ไร่ และ 46-0-0 6 กก./ไร่) หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (2 ตัน/ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมี (16-20-0 20 กก./ไร่ และ 46-0-0 6 กก./ไร่) โดยที่ธาตุพิษ (สารหนูและแคดเมียม) ในข้าวกล้องพบว่ามีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมให้บริโภคได้ กล่าวคือมีสารหนูเท่ากับ 1.0 mg/kg DW. ส่วนปริมาณแคดเมียมนั้นตรวจไม่พบ อีกทั้งเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตัน/ไร่ สามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม) ในการปลูกข้าวได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัยจากสารหนูและแคดเมียม

Imoko และคณะ (1982) แนะนำไว้ว่าการใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพได้นั้นต้องมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ คือ สารอินทรีย์นั้นต้องมี C/N ratio ต่ำกว่า 20 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 2% และต้องมีสัดส่วนของ reducing sugar ต่อคาร์บอนทั้งหมดต่ำกว่า 35 %

ข้อควรคำนึงถึงในการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ทางการเกษตร

Webber et al., (1984) การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร อาจมีความเสี่ยงสองลักษณะคือ ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นชั่วคราวและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวร ความเสี่ยงชั่วคราวอาจเกิดขึ้นในระยะเวลาไม่มากนัก เช่น กลิ่นเหม็นจากกากตะกอน ซึ่งทำให้เกิดความรำคาญ การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่าง ๆ ส่วนความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวรจะเกิดเป็นระยะยาวนานนับ 10 ปี เช่น การสะสมโลหะหนักที่เป็นพิษในดินและพืช รวมทั้งการสะสมในห่วงโซ่อาหาร

Frick et al., (1985) พบว่า ในกากตะกอนมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ฉะนั้น การนำกากตะกอนน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมาใช้อย่างไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความเสี่ยงได้ กลุ่มประเทศแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกา ได้ประกาศข้อกำหนดของ แต่ละประเทศและข้อกำหนดร่วมของหลาย ๆ ประเทศ เช่น ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ ในกากตะกอนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและในดินปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ยอมรับให้มีได้ในดินในกากตะกอนและในพืช เป็นต้น ดังตาราง 3.8

ตาราง 3.8 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อ

การเกษตร

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
เบลเยียม	-	500	2,000	500	100	300	10
แคนาดา	-	-	1850	-	180	500	20
เดนมาร์ก	-	-	-	-	30	400	8
ฟิลแลนด์	-	3,000	5,000	3,000	500	1,200	30
ฝรั่งเศส	-	-	3,000	1,000	200	800	20
เยอรมัน	-	-	3,000	1,200	200	1,200	20
เนเธอร์แลนด์	-	-	2,000	600	100	500	10
นอร์เวย์	-	500	3,000	1,500	100	300	10
สวีเดน	-	-	10,000	3,000	500	300	15
สวิตเซอร์แลนด์	-	-	3,000	1,500	400	1,000	40
ขอบเขต (Range)	-	500-3,000	1,000- 10,000	500- 3,000	30-500	300- 1,200	8-30
ค่าเฉลี่ย (Median)	-	500	3,000	1,100	200	500	7

ที่มา : Webber , Kloke and Tjell (1984)

ตาราง 3.9 ระดับของจุลธาตุและธาตุพืชที่เป็นค่าปกติที่พบได้ในดินและพืชทั่วไป และค่าวิกฤตในดินที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช คน สัตว์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ธาตุ	ระดับปกติของจุลธาตุและธาตุพืช		ปริมาณในดิน		ความเป็นพิษ
	ดิน	พืช	ค่าวิกฤตในดิน	ค่าเริ่มอาการเป็นพิษต่อพืช	ความเป็นพิษ
สารหนู	0.1-50	0.1-5.0	20-40	15-50	คน , พืช
โบรอน	2.0-100	30.0-75	-	-	-
แคดเมียม	0.1-2.0	0.2-0.8	3.0-12	3.00-5.00	คน
ทองแดง	2.0-100	4.0-10	-	60-100	-
ฟลูออไรด์	30-300	2.0-20	-	-	-
ตะกั่ว	0.1-3.0	0.1-10	70-300	100-400	คน , สัตว์
ปรอท	0.1-1.0	-	2.0	2.00-5.00	คน
แมงกานีส	100-400	15-100	-	-	-
นิกเกิล	2.0-50	1.0	50-100	100	พืช , คน
สังกะสี	3.0-50	15-200	300-500	250-400	พืช

ที่มา : ศุภมาส พณิชศักดิ์พัฒนา (2539)

Yoshida (1981) การใช้กากตะกอนน้ำเสียบางครั้งก่อให้เกิดปัญหาทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากมีสารพิษเกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียลงในข้าว เพราะการสลายตัวของกากตะกอนน้ำเสียในดินสภาพที่น้ำขังจะเกิดสาร intermediate products ที่เป็นกรดอินทรีย์ เช่น formic acid , acetic acid , propionic acid และ butyric acid โดยทั่วไป acetic acid เป็นกรดที่พบมากที่สุดกรดอินทรีย์เหล่านี้ทำให้รากข้าวชะงักการเจริญเติบโต

Page (1974) กล่าวว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียลงในดินเป็นเวลาติดต่อกันนาน ๆ พบว่าปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่ในดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีโลหะหนักปะปนอยู่

บุปผา (2527) ศึกษาผลกระทบของแคดเมียมในกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในผัก 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกาดกวางตุ้ง พบว่า ผักที่ปลูกในดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียสะสมแคดเมียมได้มากขึ้นกล่าวคือเมื่อไม่ใส่กากตะกอนน้ำเสียเลยมีค่าเฉลี่ยของแคดเมียมในคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้งเท่ากับ 0.6 , 0.12 และ 0.16 ppm ตามลำดับ ส่วนดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียในปริมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์ จะมีแคดเมียม 0.14 , 0.16 และ

2.0 ppm และเมื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอนน้ำเสียเป็น 2.4 เปอร์เซ็นต์ ในผักคะน้า ผักกาดขาว และ ผักกวางตุ้ง จะมีแคดเมียมสะสมอยู่ 0.19 ,0.20 และ 0.38 ppm ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อใส่เพิ่มขึ้น จะทำให้มีการสะสมแคดเมียมในผักทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้นด้วย Kirkham (1975) พบว่าข้าวโพดที่ปลูก ในดินที่ได้รับกากตะกอนน้ำเสียนานถึง 35 ปี มีปริมาณทองแดงและแคดเมียมในใบสูงกว่าเกณฑ์ ปกติและมีธาตุหลายธาตุที่สะสมอยู่ในปริมาณสูงมากในรากข้าวโพด ดังนั้นการใช้กากตะกอนน้ำ เสียจึงควรได้รับการระมัดระวังเป็นอย่างมาก

Grooms (1975) รายงานถึงจุดวิกฤติของการใช้กากตะกอนน้ำเสียของเกษตรกรภายใต้ คำแนะนำของ U.S Department of Agriculture ดังนี้

1) กากตะกอนน้ำเสียจะต้องมีปริมาณโลหะหนัก (กิโลกรัม/เฮกตาร์) ที่จะใช้ในแต่ ละดินได้ไม่เกินปริมาณซึ่งขึ้นอยู่กับค่า CEC ของดิน ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ปริมาณโลหะหนัก ที่จะใช้ในแต่ละดินได้ไม่เกินปริมาณ CEC

โลหะหนัก	Soil CEC (me/100 g soil)		
	0-5	5-15	>15
Zn	250	500	1,000
Cu	125	250	500
Ni	50	100	200
Cd	5	10	20
Pb	500	1,000	2,000

ที่มา : Grooms (1975)

2) กากตะกอนน้ำเสียที่มีปริมาณ Cd :Zn ratio ต่ำกว่า 0.015 กากตะกอนนั้นห้าม นำมาใช้ในการเกษตร

3) อัตราการใช้กากตะกอนน้ำเสียในช่วงระหว่าง 1 ปีควรมีปริมาณต่ำกว่าที่ กำหนด ดังนี้คือ

(1) ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่พืชต้องการ (สารอินทรีย์ในโตรเจน + สารอินทรีย์ในโตรเจน)

ก) เมื่อคลุกกลงไปในดิน มีปริมาณไนโตรเจนไม่มากกว่า 100% ของ ปริมาณไนโตรเจนที่พืชต้องการ

ข) เมื่อใส่ลงบนผิวดินจะต้องไม่มากเกินไปกว่า 150 % ของความต้องการ ไนโตรเจนของพืช

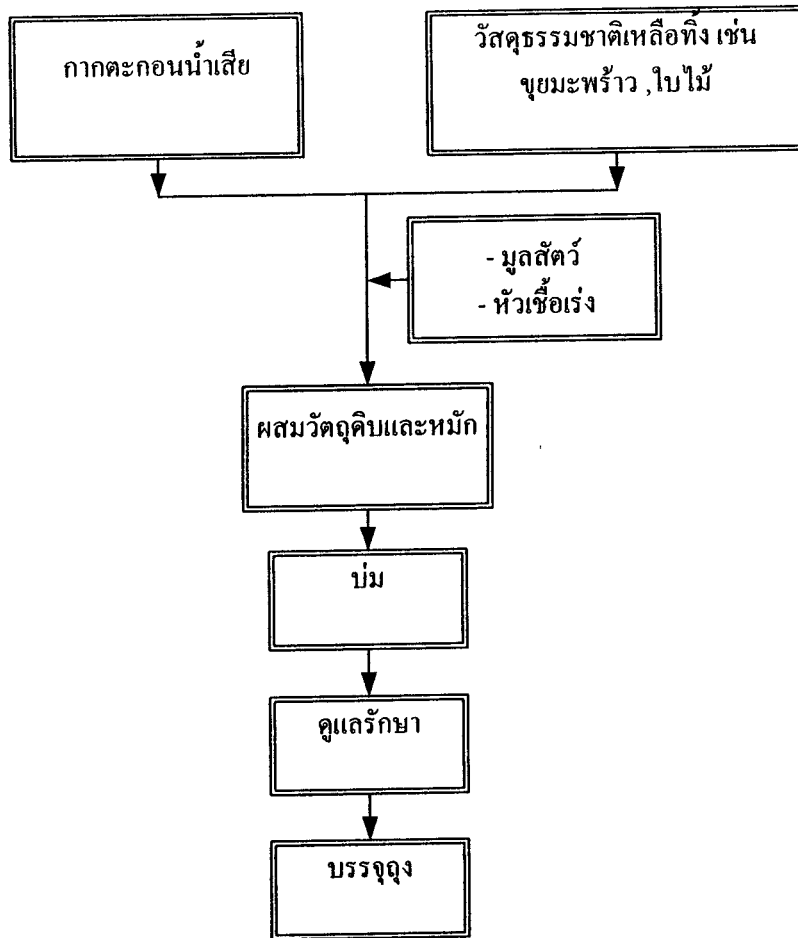
(2) ปริมาณ Cd ที่ใส่ลงไปดินจะต้องต่ำกว่า 1 กิโลกรัม/เฮกตาร์/ปี ในสภาพของเหลว และไม่เกินกว่า 2 กิโลกรัม/เฮกตาร์-ปี ในสภาพของแข็ง

4) ในกรณีที่กากตะกอนน้ำเสีย มีปริมาณ Cd มากกว่า 1.5% ห้ามนำกากตะกอนน้ำเสียนั้นมาใช้จนกว่าจะได้มีการลดปริมาณ Cd ในการตะกอนน้ำเสียให้มีปริมาณน้อยเสียก่อน

5) การใช้กากตะกอนน้ำเสียจะใส่ในดินที่มี pH 6.5 หรือสูงกว่า 6.5 เท่านั้น

2.6 วิธีการทำปุ๋ยหมัก

วิธีการทำปุ๋ยหมักที่เหมาะสมที่สุด คือ Tunnel Reactor Composting System เป็นการหมักในท่อหมัก โดยเครื่องจักรต่างๆ อยู่ภายนอกถังหมัก ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซม การระบายอากาศทั้งเข้า และออกใช้ควบคุมได้ ทำให้การหมักได้ผลดี ดังภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก แบบ Tunnel Reactor Composting System



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก แบบ Tunnel Reactor Composting System

2.6.1 เตรียมวัตถุดิบ โดยนำเศษพืชไปย่อยในเครื่องย่อยเศษพืชหรืออาจจะแยกเฉพาะเศษใบไม้แห้งนำมาผสมคลุกเคล้ากับกากตะกอน และเติมส่วนผสม ตามอัตราส่วน เช่น เดิมมูลโค ปุ๋ยยูเรีย หินฟอสเฟต และหัวเชื้อตัวเร่ง ผสมให้เข้ากัน

2.6.2 นำวัตถุดิบที่ผสมแล้วมาใส่ลงในท่อ

2.6.3 การดูแลรักษา มีการควบคุมการทำงานจากห้องควบคุมที่ออกแบบไว้สำหรับตรวจสอบกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิความชื้นและอัตราการไหลเวียนของอากาศภายในระบบให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ หมุนเวียนเป็นวงจรตลอดระยะเวลาการผลิต

2.6.4 การบ่มและการบรรจุถุง ปุ๋ยหมักที่ถูกถ่ายจากถังหมัก นำไปบ่มเป็นเวลาประมาณ 20 วัน เพื่อให้ปุ๋ยเสถียรแล้วบรรจุถุง

2.7 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว

ข้อสังเกตว่าปุ๋ยหมักสามารถใช้ได้แล้วมีดังนี้

2.7.1 สีของปุ๋ยหมักจะเริ่มเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มกอง อาจจะเป็นสีน้ำตาลดำ

2.7.2 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก เมื่อเริ่มกองใหม่ๆ จะร้อนมาก เมื่อกองไประยะหนึ่ง ความร้อนจะลดลง และเมื่ออุณหภูมิภายนอกและภายในไม่แตกต่างกัน (กองปุ๋ยต้องไม่แห้งหรือจะเกินไป) หรือแตกต่างกันน้อยมากแสดงว่ากองปุ๋ยหมักเริ่มใช้ได้แล้ว

2.7.3 ลักษณะความอ่อนนุ่มของเศษพืช เมื่อใช้นิ้วมือบีดู เศษพืชจะอ่อนนุ่มยุบขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้าง และไม่เป็นก้อนเหมือนกับเริ่มกอง

2.7.4 กลิ่นของปุ๋ยหมัก ถ้าเป็นปุ๋ยหมักที่ใช้ได้ ปุ๋ยหมักจะมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดินธรรมชาติ (ถ้ามีกลิ่นฉุนหรือกลิ่นฟางแสดงว่าปุ๋ยหมักยังใช้การไม่ได้ เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายดำเนินการอยู่)

2.7.5 ต้นพืชที่มีระบบรากลึกลึกสามารถเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้ แสดงว่าปุ๋ยหมักสลายตัวอย่างเต็มที่แล้ว

2.7.6 ค่าวิเคราะห์ไนโตรเจนของธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน ถ้ามีอัตราส่วนต่ำกว่า 20:1 ก็พิจารณาว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว

2.8 มาตรฐานของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่คุณภาพดีได้มาตรฐานให้พิจารณาดังนี้

2.8.1 จะต้องมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 : 1

2.8.2 มีกรดปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 1-1-0.5 (% ของ N-P₂O₅-K₂O)

2.8.3 ความชื้นและสิ่งที่จะเหยได้ไม่มากกว่าร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

2.8.4 จะต้องมีปริมาณอินทรีย์วัตถุระหว่าง 30-60%

2.8.5 ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.0-7.5

2.8.6 ปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้วจะต้องไม่มีความร้อนหลงเหลืออยู่

2.9 การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่หมักยังไม่เสร็จสมบูรณ์จะมีการสะสมของสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช (phytotoxic compound) เช่น โลหะหนัก สารประกอบฟีนอล เอทิลีน และแอมโมเนีย เกลือและกรดอินทรีย์ (Tiquia et al., 1996) สารเหล่านี้จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตของพืชลดลง การงอกของเมล็ดพันธุ์เป็นหนึ่งในวิธีที่ง่าย สะดวก และรวดเร็วที่ใช้ในการตรวจสอบความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักโดยการนำเมล็ดมาเพาะและนับจำนวนเมล็ดพันธุ์พืชที่

เจริญเติบโต และการวัดความยาวของรากที่งอกค่าที่ได้นำมาคำนวณหาค่า ดัชนีการงอก(germination index , GI) (Wong et al. , 2001)

$$\text{Germination Index (\%)} = \frac{\text{Seed germination(\%)} \times \text{Root length of treatment} \times 100 \%}{\text{Seed germination(\%)} \times \text{Root length of control}}$$

จากการคำนวณค่าได้ค่า GI มากกว่าหรือเท่ากับ 50 % แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นปลอดภัย ประกอบที่เป็นพืชต่อพืช (Tiquia et al. , 1996) ตรวจสอบความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยขี้หมูผสมขี้เลื่อย โดยใช้ Seed germination พบว่า ผักกาดขาว (*Brassica parachinensis*) และผักโขมจีน (*Amaranthus spinosus*) เป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความไวต่อการทดสอบครั้งนี้ และค่า GI ของพืชมีค่ามากกว่า 80 % ที่ 60 วันของการบ่มปุ๋ยหมักนั้นแสดงว่า ปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์ในวันที่ 60 วันของการหมัก

การนำกากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้ เนื่องจากกากตะกอนของเสียเหล่านี้มีธาตุอาหารหลักในปริมาณที่เพียงพอับความต้องการของพืช ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม) จุลธาตุอาหารพืช (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) และธาตุอาหารอื่นๆ (วรรณวิมล เสาผานนท์, 2542:21) แล้วยังมีผลต่อการปรับปรุงทั้งสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของดินด้วย

3. การทำแท่งเพาะชำ

แท่งเพาะชำ (nursery block) เป็นวัสดุสำหรับเพาะกล้าไม้ หรือใช้ปลูกต้นไม้โดยไม่ต้องใช้ถุงพลาสติกหรือกระถาง ได้รับการพัฒนาจากการนำวัสดุเหลือทิ้ง จากอุตสาหกรรมเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์ โดยมีวัสดุหลักคือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น ขุยมะพร้าว, แกลบสด, แกลบเผา, ฟางข้าว, ดินข้าวโพดหรือวัสดุเหลือทิ้งเกษตรอื่นๆ ผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมนำมาขึ้นรูป โดยใช้เครื่องอัดเป็นแท่งตามขนาดที่ต้องการ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2543) ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 แท่งเพาะชำ

ที่มา : <http://www.ku.ac.th/e-magazine/jun51/ku/ku4.htm>

3.1 คุณสมบัติของกากตะกอน

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนเปรียบเทียบกับดิน ทำให้ทราบว่า กากตะกอนมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมากกว่าพืชในดิน เกือบทุกธาตุอาหารยกเว้นโพแทสเซียมและแมกนีเซียมซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน คุณสมบัติดังที่แสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณธาตุอาหารหลักและรองของกากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษเปรียบเทียบกับในดิน

ธาตุอาหาร	กากตะกอน	พืชในดิน ¹
ไนโตรเจน (%)	2.01 - 3.22	0.02 - 0.5
ฟอสฟอรัส (%)	0.31 - 1.15	0.01 - 0.2
โพแทสเซียม (%)	0.10 - 0.18	0.17 - 3.3
แคลเซียม (%)	0.25 - 0.34	0.07 - 3.6
แมกนีเซียม (%)	0.08 - 0.14	0.12 - 1.5
กำมะถัน (%)	0.29 - 0.36	0.01 - 0.2

ที่มา : ¹พินิจศักดิ์พัฒนา (2540) และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

จากศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่า มีส่วนสำคัญในการนำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตแท่งเพาะชำ คือ ขุยมะพร้าวมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์คือมีเส้นใยยาวทำให้กากตะกอนยึดติดกันเป็นก้อน มีโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมสูง จึงเหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมของแท่งเพาะชำควรใช้เป็นขุยมะพร้าวเก่าที่ผ่านการหมักหรือแช่น้ำทิ้งไว้เพื่อลดระดับของแทนนินอัตราส่วน

คาร์บอนต่อนินโตรเจน ส่วนแกลบเผามีคุณสมบัติให้กากตะกอนแยกตัวออกจากกัน ลดกลิ่นของกากตะกอน และเพิ่มแคลเซียม

3.2 ประโยชน์จากการใช้แ่งเพาะชำ

ประโยชน์จากการใช้แ่งเพาะชำแทนการใช้ถุงดำ พบว่า ระบบรากจะไม่ขม่วนเหมือนปลูกในถุงดำ และระบบรากไม่เสียหายเมื่อขณะย้ายกล้าลงในดินเมื่อเทียบกับการย้ายกล้าจากถุงพลาสติกลงไปในดิน ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ มีดังนี้ ได้แก่ น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายเมื่อนำแ่งเพาะชำลงปลูกในดินจากผลของความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีของแ่งเพาะชำ จะทำให้ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้นานกว่ากล้าจากถุงดำ ประโยชน์ในด้านเศรษฐกิจนั้นพบว่าเป็นการลดขั้นตอนและแรงงานในการกรอกวัสดุลงในถุงดำในด้านของสิ่งแวดล้อมเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้ถุงดำซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า มักเกิดปัญหาในการกำจัด และการหวังผลในระยะยาวในด้านสังคม หากการผลิตแ่งเพาะชำดังกล่าวได้รับการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิตอาจนำมาสู่การผลิตเพื่อการค้า ก่อให้เกิดงานและรายได้

3.3 เครื่องมือและรายละเอียดในการผลิตแ่งเพาะชำ

จากการผลิตแ่งเพาะชำของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543) มีรายละเอียด ดังนี้

3.3.1 เครื่องผสม

ตัดแปลงเครื่องผสมปูนฉาบที่มีมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ นำมาใช้ในการคลุกเคล้าวัสดุก่อนนำไปอัดแ่งเพาะชำ

3.3.2 เครื่องอัดแ่งชำแบบเท้าเหยียบ

เครื่องอัดแ่งแบบเท้าเหยียบได้รับการพัฒนามาจากเครื่องอัดซีเมนต์ สำหรับเพาะเห็ดแบบเท้าเหยียบ ดังภาพที่ 3.15 ซึ่งมีโครงสร้างและกลไก ดังนี้



ภาพที่ 3.15 เครื่องอัดแท่งชำแบบเท้าเหยียบ

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

- 1) ที่เหยียบเป็นเหล็กก้านตันเพื่อความแข็งแรง
- 2) กระจบอกรัดเป็นท่อเหล็กที่มีความหนาและสามารถเปลี่ยนได้ 3 ขนาด คือ 2.5 , 3 และ 4 นิ้ว
- 3) ฐานอัดมีความหนาเพื่อให้สามารถอัดได้แน่น และทำให้ฐานแท่งเพาะชำตั้งได้ในแนวระนาบ

4) ส่วนของฝาปิดมีความหนาเพื่อการรองรับน้ำหนักขณะอัดเครื่องอัดดังกล่าวสามารถใช้เป็นเครื่องอัดในอุตสาหกรรมในครัวเรือหรือใช้ในการผลิตแท่งเพาะชำในการเพาะชำกล้าไม้จำหน่าย ความสม่ำเสมอของแท่งเพาะขึ้นอยู่กับปริมาณวัสดุและน้ำหนักการเหยียบในแต่ละครั้ง และมีกำลังผลิตได้วันละ 1,500 -2,000 ก้อนต่อวัน อัดครั้งละ 1-2 ก้อน

การทำงานของเครื่องมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

- (1) บรรจุวัสดุที่คลุกเคล้าดีแล้วลงในกระจบอกรัดตามน้ำหนักที่กำหนด
- (2) ปิดฝาเข้าที่ล็อกฝา แล้วเหยียบบนคานแล้วอัดวัสดุให้แน่น
- (3) เปิดฝ้อออกแล้วเหยียบคานเพื่อดันแท่งออกจากท่อ
- (4) ฝิ่งในร่มบนชั้นวาง 2-3 วันแรก หลังจากนั้นนำออกไปฝิ่งแดด

แท่งเพาะชำสามารถนำมาปลูกพืชต่างๆ ได้ เช่น ผักบุ้งจีน มะเขือเทศ และหอมแดง แต่ควรนำมาชำต้นไม้สำหรับต้นกล้า ที่จะนำไปปลูกป่า เช่น ต้นสัก คือ ระบายรากจะไม่ขดม้วนเหมือนปลูกในถุงดำ และระบบรากไม่เสียหายเมื่อขณะย้ายกล้าลงในดินเมื่อเทียบกับการย้ายกล้าจากถุงพลาสติกกลงไปในดินหรือปลูกในแปลง และเนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในแท่งไม่เพียงพอที่จะ

ให้พืชเจริญเติบโตจนสามารถให้ผลผลิตได้ และจากภาคตะกอนน้ำเสียบางแหล่งก็อาจมีหรือไม่มีสารโลหะตกค้างมาก ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะรับประทาน ซึ่งต้องมีการตรวจหาโลหะหนักและสารตกค้างให้แน่ใจก่อนนำออกจำหน่ายหรือให้ผู้บริโภครับประทาน

ปิยนันท์ ขุนทองจันทร์ (2549) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน 3 แห่งมาใช้ปลูกพืช มาทำเป็นแท่งเพาะชำ โดยนำตะกอนสดแต่ละแห่งของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน มาผสมกับวัสดุทางการเกษตร (ขุยมะพร้าว : แกลบเผา : แกลบสด เท่ากับ 24:2:1 โดยน้ำหนักแห้ง) แปรผันตามปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่มีอยู่ในแท่ง 1.5, 3 และ 6 mg/kg บ่ม 6 สัปดาห์ก่อนปลูกพืชนำชุดทดสอบไปทดลองปลูกพืช 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้งจีน มะเขือเทศ และหอมแดง ผลการศึกษาพบว่า พืชทั้งสามชนิด มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงและน้ำหนักแปรผันโดยตรงตามปริมาณตะกอนที่เป็นส่วนผสมในชุดทดสอบอัตราส่วนต่างๆ สำหรับการสะสมโลหะหนักในพืช (Cd, Cr, Pb, Cu, Zn และ Ni) พบว่าพืชที่ปลูกในชุดทดสอบแท่งเพาะชำส่วนใหญ่มีการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543) ในการผลิตแท่งเพาะชำที่มีส่วนผสมของวัสดุคืบ ได้แก่ กากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ขุยมะพร้าว แกลบเผาและแกลบสดในอัตราส่วน 45:18:1.2:0.75 โดยน้ำหนักสามารถคำนวณปริมาณธาตุอาหารพืชในแท่งเพาะชำได้ดังนี้ ในโตรเจน 2.04 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.55 เปอร์เซ็นต์ , แคลเซียม 0.32 เปอร์เซ็นต์ , โพแทสเซียม 0.42 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.14 เปอร์เซ็นต์ และกำมะถัน 0.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สาขันธ์และปริยานันท์ (2543) ศึกษาการผสมวัสดุคืบในอัตราอื่นๆ กากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษขุยมะพร้าว แกลบเผา และแกลบสดในอัตรา 60:24:2:1 โดยน้ำหนัก หรือในกรณีที่ขุยมะพร้าวน้อยแต่มีเศษวัสดุทางการเกษตรอื่นๆ เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ใบหญ้าแฝก เป็นต้น สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมได้เช่นกัน

สุนทรและคณะ (2541) ซึ่งได้ทดลองผสมวัสดุคืบกล่าวกับขุยมะพร้าว แกลบเผาและแกลบสด ในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 45 : 18 : 1.5 : 0.75 ส่วนโดยน้ำหนัก แล้วนำมาอัดโดยใช้เครื่องอัดที่ดัดแปลงมาจากเครื่องอัดซีเมนต์สำหรับเพาะเห็ด และสามารถคำนวณปริมาณธาตุอาหารในแท่งเพาะชำได้ดังนี้ ในโตรเจน 2.04 เปอร์เซ็นต์ , ฟอสฟอรัส 0.55 เปอร์เซ็นต์ , โพแทสเซียม 0.42 เปอร์เซ็นต์ , แคลเซียม 0.32 เปอร์เซ็นต์ , แมกนีเซียม 0.14 เปอร์เซ็นต์ , และกำมะถัน 0.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำมาเพาะชำกล้าไม้พบว่า กล้าไม้มีการเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ยังพบสูตรที่แตกต่างออกไปของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(2543) ดังนี้ ส่วนผสมในการผลิตแท่งเพาะชำ ได้แก่ กากตะกอน ผสมกับขุยมะพร้าว แกลบเผาและแกลบสด

ในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 60:24:2:1 ส่วนโดยน้ำหนัก และกากตะกอน ผสมกับฟาง ขุยมะพร้าว และแกลบเผา ในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 45 :6:3:1.5 ส่วนโดยน้ำหนัก แต่ไม่พบการรายงาน ปริมาณธาตุอาหารในแ่งเพาะชำ

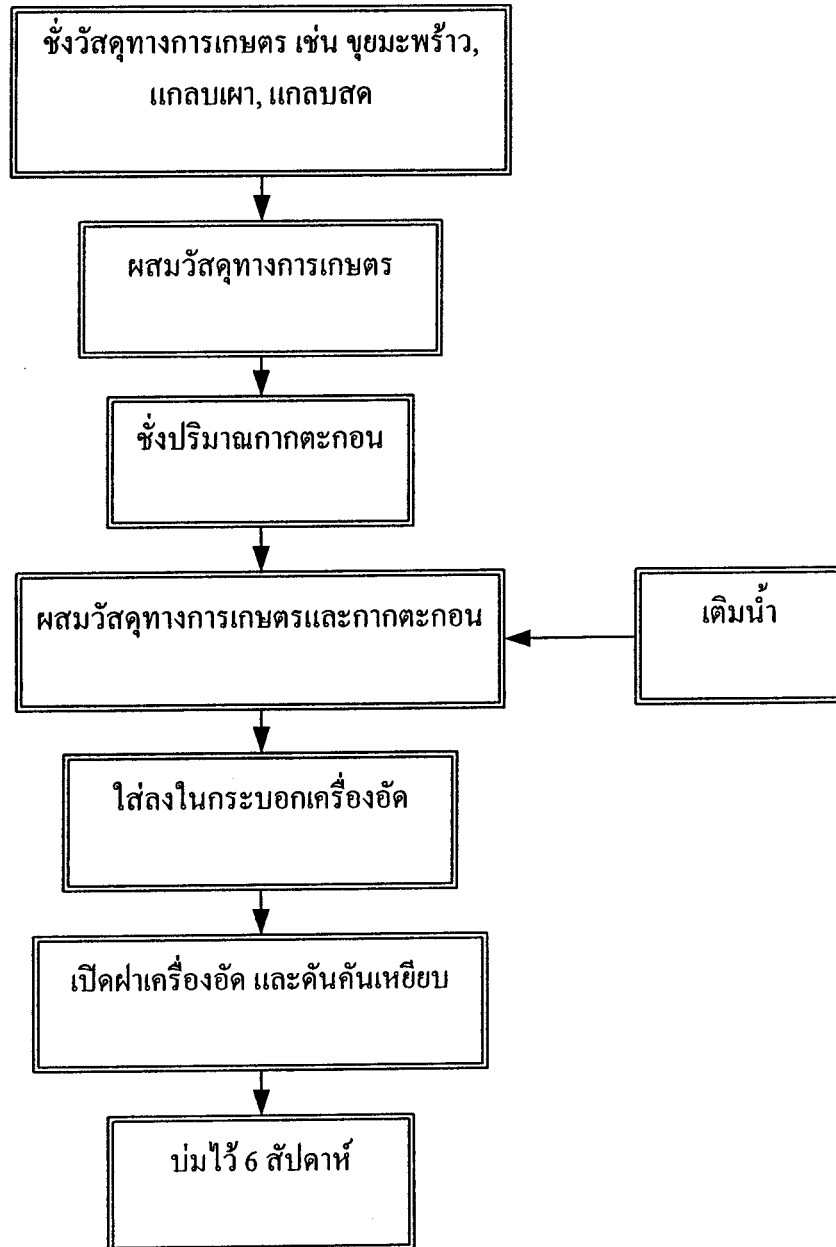
สุนทรและคณะ (2451) กล่าวถึง ข้อจำกัดในการผสมวัสดุ คือ การผสมเศษวัสดุเหลือทิ้ง จากการเกษตรในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้แ่งเพาะชำไม่คงรูปหลังการอัดหรือแตกหักง่ายเมื่อ ปริมาณความชื้นในแ่งเพาะชำลดลง หรือการผสมในปริมาณที่น้อยเกินไปจะได้แ่งชำที่มีลักษณะ แข็งเมื่อแห้ง มีการดูดซับน้ำไม่ดี การนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาใช้ในการผลิตแ่งชำโดยใช้เพียงชนิดเดียว หรือหลายชนิดร่วมกัน ต้องใช้ในปริมาณอัตราส่วนที่พอเหมาะเท่านั้น

Angiolo (1992) รายงานการใช้สารอินทรีย์ของตะกอนน้ำเสียจากในเขตเมือง หรือน้ำทิ้ง จากแหล่งต่าง ๆ รวมกัน พบว่าไม่สามารถใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรได้ เนื่องมาจากการ ตกค้างของสารพิษ โลหะหนักหรือกลิ่นเหม็น และยังก่อให้เกิดเชื้อโรคจึงต้องมีการเติมวัสดุอื่นๆ เช่น ขี้เลื่อย ฟาง ช้างขี้โศก เพื่อปรับปรุงโครงสร้างของวัสดุปลูก ให้ดีขึ้นและยังช่วยรักษา สภาพแวดล้อมให้ไม่มีการตกค้างของสารพิษ หรือกรณี วัสดุปลูกที่มีดินเหนียวเป็นส่วนผสมตาม รายงานของ Martinez (1992) พบว่า การเติมดินเหนียวลงไป ในวัสดุปลูกผสม peat และ ขุยมะพร้าวทำให้ค่าความหนาแน่นรวม ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ น้ำที่เป็นประโยชน์ และ pH สูงขึ้น แต่มีค่าอินทรีย์วัตถุ(organic matter) , ช่องว่างทั้งหมด (total porosity , ช่องว่างอากาศ (air capacity) และค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) หรือ EC) ลดลง การใช้ดินเหนียวเป็นส่วนผสมในวัสดุปลูกพีชกระถางทำให้มีคุณสมบัติเป็น buffer และตามรายงานของผู้ผลิตใช้ผงดินเหนียวสามารถลดความเค็มของวัสดุปลูกลงได้

ขอบเขตของการเลือกหาวัตถุดิบเพื่อมาเป็นส่วนประกอบในวัสดุปลูกนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละท้องถิ่น และยังคงคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ต้นทุนการผลิต รวมทั้ง ปริมาณสารโลหะหนัก และเชื้อโรคต่าง ๆ ด้วย

3.4 วิธีการผลิตแท่งเพาะชำ

แท่งเพาะชำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 5 นิ้ว โดยเครื่องอัดแท่งเพาะชำ ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตแท่งเพาะชำดังนี้ คือ



ภาพที่ 3.16 กระบวนการทำแท่งเพาะชำ

3.4.1 ชั่งวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ขุยมะพร้าว แกลบเผา และแกลบสด ในอัตราส่วน 24: 2: 1 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

3.4.2 ผสมวัสดุทางการเกษตร โดยคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

3.4.3 ชั่งปริมาณกากตะกอน จากแต่ละแห่ง ตามน้ำหนักที่คำนวณไว้

3.4.4 ผสมกากตะกอนกับวัสดุทางการเกษตร ตามน้ำหนักที่คำนวณ โดยผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างทั่วถึง แล้วค่อยๆ เติมน้ำให้วัสดุผสมมีความชื้นและสังเกตว่าจับตัวเป็นก้อนได้ (ทดสอบโดยการทำงานแน่น จะมีน้ำซึมออกมาตามร่องนิ้วมือ)

3.4.5 นำส่วนผสมระหว่างตะกอน และวัสดุทางการเกษตรที่เตรียมไว้จนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วใส่ลงในกระบอกเครื่องอัดแท่งเพาะชำให้เกิดเม็ดกระบอก ปิดฝากระบอกอัด จากนั้นใช้เท้าเหยียบคั้นอัด ค่อยๆ เหยียบจนสุครอปประมาณ 10 วินาที เพื่อให้ตะกอนและวัสดุทางการเกษตรจับตัวกันได้ดี

3.4.6 เปิดฝากระบอกอัด คั่นคั้นเหยียบกระบอกอัดลง แท่งเพาะชำที่ได้จะถูกคั่นขึ้นมา ส่วนบนของกระบอกอัด ค่อยๆ ถอดแท่งเพาะชำจากกระบอก

3.4.7 นำไปวางเก็บไว้บริเวณที่ร่ม บ่มทิ้งไว้ให้แท่งเพาะชำอยู่ตัวประมาณ 6 สัปดาห์ก่อนนำไปปลูกพืช

4. ผลิตไฟฟ้า

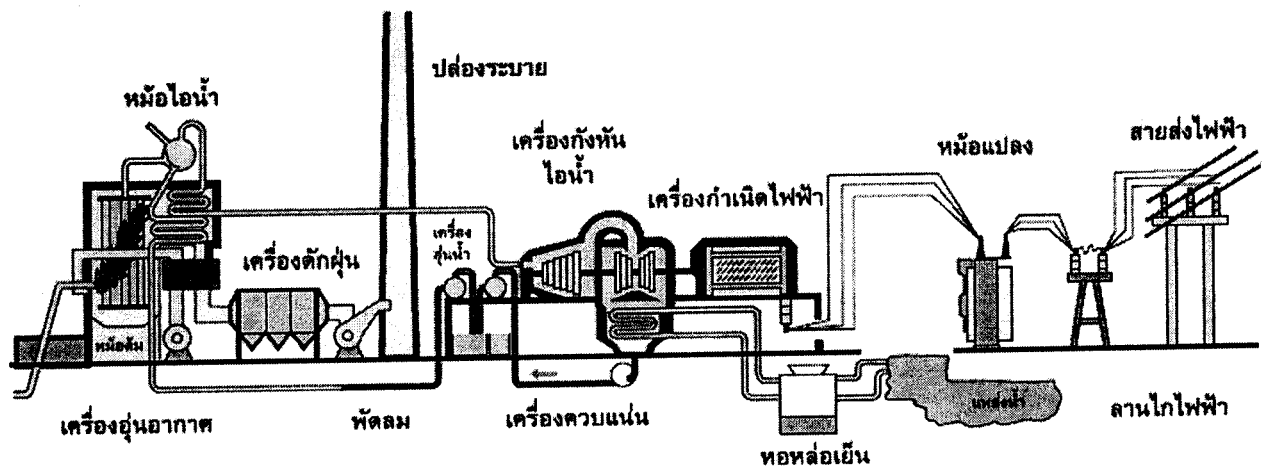
ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมอยู่มากมาย ซึ่งมีกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง ทั้งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์หรือแปรรูปให้เป็นพลังงาน หรือเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติได้ ซึ่งส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและจะหมดไปจากโลกในอนาคต ในขณะที่พลังงานจากกากตะกอนถือได้ว่าเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ และมีหลายบริษัทที่นำกากตะกอนน้ำเสียกลับมาใช้เป็นพลังงานโดยเป็นการลดต้นทุน

การใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานกระดาษเป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการและใช้ประโยชน์ ทั้งนี้อาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง Kerr (1977) ทำการศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์กากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษเป็นเชื้อเพลิงหม้อต้มไอน้ำพบว่า ในกรณีที่โรงงานมีการติดตั้งเครื่องมืออบแห้งสามารถใช้ กากตะกอนเป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันได้ 100%

การแปลงพลังงานที่ถูกเก็บสะสมไว้ในกากตะกอนออกมาใช้งาน สามารถทำได้หลายวิธี และให้ผลลัพธ์เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานความร้อน เชื้อเพลิง ในสถานะต่างๆ ทั้งก๊าซของเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง วิธีการดังกล่าวนี้สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ขบวนการเคมีความร้อน (Thermochemical) และขบวนการชีวเคมี (Biochemical Conversion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า เหมาะที่จะใช้ในประเทศไทย เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่เป็นของเหลือทิ้งและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด สามารถที่จะผลิตไฟฟ้าขึ้นใช้ได้เลย ในโรงงานและชุมชน สามารถแก้ไขปัญหากากตะกอนด้วยตัวเองได้

4.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion)

ในขบวนการเผาไหม้โดยตรง พลังงานความร้อนภายในหม้อน้ำ พลังงานความร้อนอาจถูกนำไปทำให้น้ำร้อน (น้ำมันร้อน) หรือต้มน้ำให้เป็นไอน้ำ เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล โรงแรม เป็นต้น ไอน้ำที่ได้สามารถนำไปใช้หมุนกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีอุปกรณ์อย่างอื่นประกอบเพื่อให้การผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เครื่องดักจับฝุ่น ปล่องระบาย เป็นต้น (นเรศ สัตยารักษ์และคณะ ,2549) รายละเอียดดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 แสดงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกากตะกอน

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

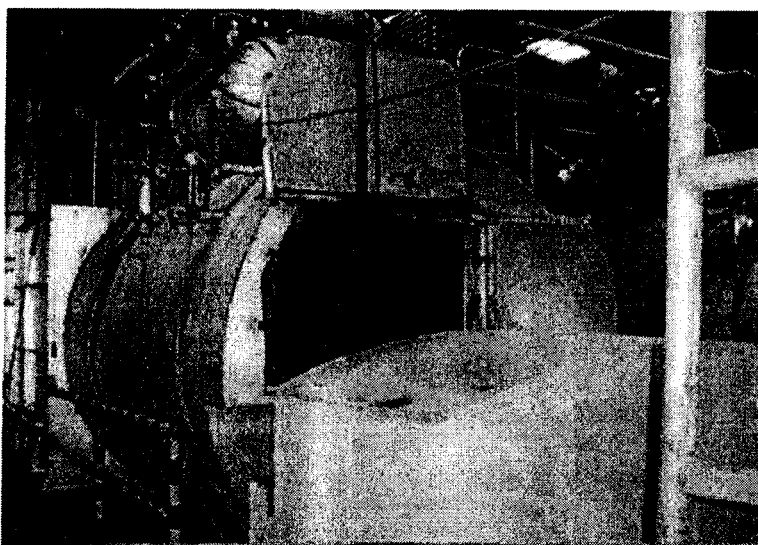
4.1.1 หม้อน้ำ

หม้อน้ำซึ่งมีห้องเผาไหม้เป็นองค์ประกอบหลักเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในกระบวนการเผาไหม้ตรง โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งประเภทของหม้อน้ำได้เป็น 2 ชนิด คือ หม้อน้ำแบบท่อไป (Fire-tube boiler) และหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water-tube boiler)

1) หม้อน้ำแบบท่อไฟ หม้อน้ำแบบท่อไฟมีการใช้มากกว่า 200 ปี แล้วเพื่อการผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หักรถจักร และการผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 3.18 แต่ในปัจจุบันจะใช้หม้อน้ำชนิดนี้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่มีใช้ไอน้ำไม่มาก สำหรับการผลิตไอน้ำแห้ง (Saturated Steam) ที่ความดันไม่เกิน 18 บาร์ และปริมาณไอน้ำไม่เกิน 22 ตันต่อชั่วโมง

หม้อน้ำแบบท่อไฟมีทั้งแบบห้องเผาไหม้อยู่ภายในตัวหม้อน้ำและแบบห้องเผาไหม้อยู่นอกตัวหม้อน้ำ โดยก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกส่งผ่านเข้าไปในท่อจำนวนมากที่ทำด้วยเหล็กกล้า ซึ่งเป็นสื่อความร้อนที่ดี เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำที่อยู่ล้อมรอบท่อไฟเหล่านี้ โดยชั้นส่วนทั้งหมดนี้จะมีเปลือกของหม้อน้ำหุ้มอยู่อีกชั้นหนึ่งเพื่อทำหน้าที่รักษาความดันภายในหม้อน้ำด้วย

ข้อดีของหม้อน้ำแบบท่อไฟ คือ มีราคาถูก การควบคุมและบำรุงรักษาง่ายไม่ต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์มาก ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ไอน้ำได้เร็ว อย่างไรก็ตามหม้อน้ำแบบท่อไฟไม่สามารถใช้กับงานที่ต้องการใช้ไอน้ำมากๆ ที่ความดันและอุณหภูมิสูงๆ เนื่องจากจะทำให้ต้องออกแบบเปลือกหุ้มหม้อน้ำที่หนามากๆ จึงไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์



ภาพที่ 3.18 หม้อน้ำแบบท่อไฟ

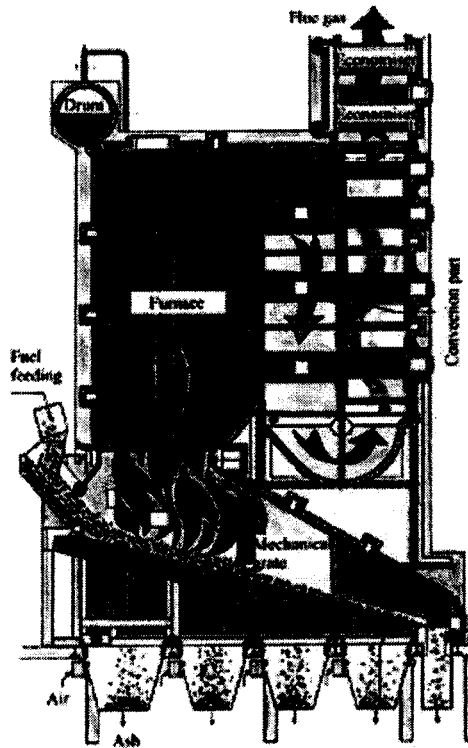
ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

2) หม้อน้ำแบบท่อน้ำ

หม้อน้ำชนิดนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นสำหรับงานที่ต้องใช้ไอน้ำปริมาณมากๆ หรือไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูง ๆ ที่เรียกว่าไอคงหรือไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated Steam) ภายในหม้อน้ำชนิดนี้จะมีน้ำไหลวนภายในท่อที่ทำด้วยเหล็กกล้า จำนวนมาก ส่วนก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะอยู่นอกท่อเพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่ท่อและน้ำภายในท่อในที่สุด อุปกรณ์หรือส่วนประกอบที่สำคัญชิ้นหนึ่งของหม้อน้ำนี้ คือ ครอบหรือหรือถังเก็บน้ำรูปทรงกระบอก หม้อน้ำส่วนใหญ่จะมี 1 ถึง 4 ครอบ แต่หม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่าความดันวิกฤต 221.2 bar (Critical Pressure) อาจจะไม่มียุคก็ได้ โดยที่หม้อน้ำภาคตะกอนส่วนใหญ่จะมี 1 หรือ 2 ครอบ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

หม้อน้ำแบบท่อน้ำในปัจจุบันจะรวมเอาส่วนประกอบแบบอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ห้องเผาไหม้ (Furnace) ตะกรับ (Grate) ชุดอุ่นน้ำเลี้ยง (Economizer) ท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheater) ชุดท่ออุ่นไอ (Reheater) ชุดอุ่นอากาศ (Air Preheater) เข้าอยู่ด้วยกัน และล้อมรอบด้วยผนังน้ำ (Water-cooled furnace walls หรือ water walls) รวมเรียกว่าชุดผลิตไอน้ำ (steam Generator) ดังรูปภาพที่ 2.19

การทำงานของหม้อน้ำเริ่มจากการป้อนน้ำเข้าสู่ Economizer เพื่ออุ่นน้ำให้ร้อนและเพิ่มอุณหภูมิจนกลายเป็นน้ำร้อนอิ่มตัว (Saturated Water) ก่อนเข้าสู่ครัม ภายในครัมจะมีทั้งน้ำและไอน้ำผสมกันอยู่ น้ำที่อยู่ด้านล่างของครัมจะไหลออกจากครัมลงตามท่อในผนังน้ำจนถึงส่วนล่างของหม้อน้ำและถูกก๊าซร้อนจากห้องเผาไหม้ทำให้ร้อนขึ้น จนน้ำบางส่วนเริ่มเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำขณะลอยขึ้นตามท่อในผนังด้านในของหม้อน้ำก่อนเข้าสู่ครัมอีกครั้งหนึ่ง วงจรการไหลของน้ำนี้จะไปเรื่อยๆจนน้ำกลายเป็นไอน้ำแห้ง (Saturated Steam) ไหลออกจากส่วนบนของครัมเข้าสู่ชุดท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวด ซึ่งติดตั้งอยู่บนส่วนบนของหม้อน้ำเพื่อรับความร้อนเพิ่มเติมจากก๊าซร้อนที่ลอยสูงขึ้น จนถึง อุณหภูมิที่ไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวดก่อนที่จะถูกส่งไปหมุนกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เพื่อไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ต่อไป



ภาพที่ 3.19 หม้อน้ำแบบท่อน้ำในปัจจุบันที่ใช้ตะกรับแบบเอียงที่มีตัวควบคุม
ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

4.1.2 ระบบการเผาไหม้

เชื้อเพลิงกากตะกอนจะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบครบทั้ง 4 ประการ ดังนี้ คือ มีปริมาณอากาศเพียงพอ มีการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศอย่างทั่วถึง มีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงเพื่อให้สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงใหม่ๆ ที่ถูกป้อนเข้าในห้องเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง และมีห้องเผาไหม้ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอให้กากตะกอนถูกเผาไหม้เป็นเวลานานพอสมควรจนหมดเนื่องจากกากตะกอนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอยู่บ้าง ดังนั้นหากเป็นไปได้ควรเลือกระบบการเผาไหม้ที่เหมาะสมสำหรับกากตะกอนแต่ละชนิด หรือหากจะมีการใช้กากตะกอนหลายชนิดก็ควรเลือกระบบเผาไหม้ที่มีความยืดหยุ่น ทั้งนี้เป็นที่จะต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนที่ใช้ด้วย

ระบบการเผาไหม้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบ คือระบบพ่น ระบบเผาไม้บนตะกรับ และระบบฟลูอิดไคซ์เบด

1) ระบบพ่น (Pulverized Firing System)

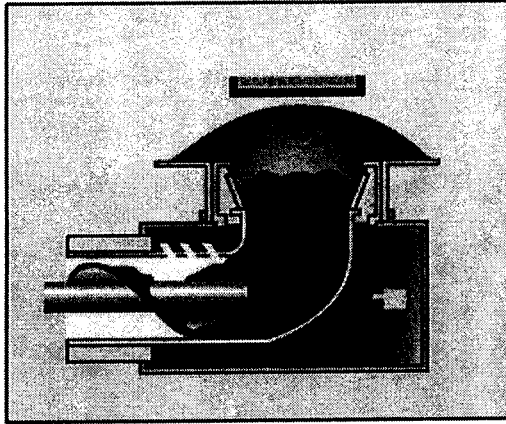
ระบบพ่นได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้กับถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้าใน โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีการนำมาใช้กับกากตะกอนบ้าง ในขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงกากตะกอนจะต้องถูกทำให้แห้ง และบดให้ละเอียดจนเป็นผงหรือมีลักษณะเป็นผงอยู่แล้ว เช่นผงซีลี้อย ต่อจากนั้นผงกากตะกอนจะถูกพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้โดยกระแสลมผ่านหัวเผา (Burners) ภายในห้องเผาไหม้ผงกากตะกอนจะถูกเปลวไฟอุณหภูมิสูงเผาไหม้จนเป็นก๊าซร้อน ซีลี้อที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้บางส่วนจะตกลงสู่ด้านล่างของห้องเผาไหม้ (Bottom Ash) บางส่วนจะเป็นซีลี้อเบา (Fly Ash) ลอยไปกับก๊าซร้อน ซีลี้อที่เหลือจะติดอยู่ตามผนังของห้องเผาไหม้และหม้อน้ำ

ระบบนี้มีข้อดี คือ ไม่ต้องใช้อากาศส่วนเกินมาก มีประสิทธิภาพสูง ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดได้รวดเร็ว แต่มีข้อด้อย คือ ใช้เงินลงทุนสูงและใช้พลังงานในการเตรียมกากตะกอนมาก นอกจากนั้นแล้วยังต้องใช้ห้องเผาไหม้ที่มีปริมาตรมาก

2) ระบบเผาไหม้บนตะกรับ (Grate-fired System)

กากตะกอนจะถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยที่กากตะกอนส่วนใหญ่จะตกลงสู่ตะกรับและถูกเผาไหม้จนเป็นซีลี้อบนตะกรับ กากตะกอน บางส่วนจะถูกเผาไหม้เหนือตะกรับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการป้อนกากตะกอนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ตั้งแต่การป้อนด้วยมือสำหรับหม้อน้ำขนาดเล็ก การป้อนโดยให้กากตะกอนตกลงสู่ตะกรับโดยแรงโน้มถ่วง โดยแรงดันของสกรูซึ่งอาจจะดันกากตะกอนจากด้านล่างโดยใช้ลมช่วยหรือโดยใช้หัวกระจาย

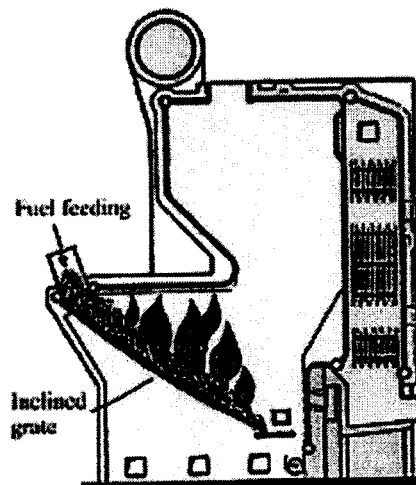
(1) ระบบตะกรับคงที่ (Fixed Grate) ระบบนี้เหมาะสมกับหม้อน้ำขนาดเล็ก โดยตะกรับจะถูกตรึงอยู่กับที่กากตะกอนอาจถูกป้อนจากด้านบน เมื่อกากตะกอนถูกเผาไหม้จนหมดซีลี้อจะถูกเขี่ยออกจากห้องเผาไหม้ด้วยมือเป็นส่วนใหญ่ในบางระบบกากตะกอนจะถูกป้อนจากด้านล่างของตะกรับด้วยแรงสกรู ดังภาพ 3.20



ภาพที่ 3.20 ตะกรับแบบป้อนกากตะกอนจากด้านล่างด้วยสกรู

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

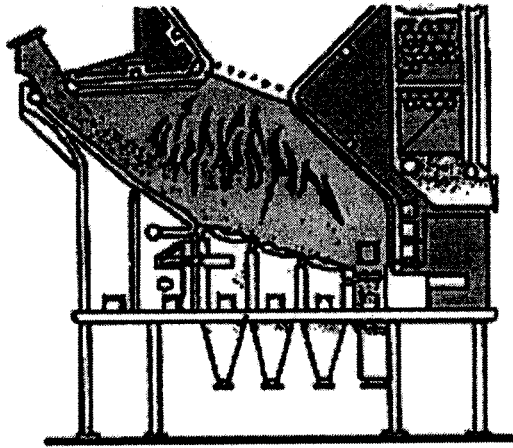
(2) ระบบตะกรับแบบเอียง (Inclined Grate) ระบบนี้เป็นระบบที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายระบบหนึ่งกากตะกอนจะถูกป้อนจากด้านบนของตะกรับ และจะถูกป้อนจากด้านบนของตะกรับและจะถูกเผาไหม้ในขณะที่เคลื่อนลงตามความลาดเอียงของตะกรับ ซึ่งสามารถปรับให้เหมาะสมกับกากตะกอนแต่ละชนิดเพื่อให้กากตะกอนถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ จนเป็นขี้เถ้าเมื่อเคลื่อนลงสู่จุดต่ำสุดของตะกรับ ขี้เถ้าจะตกลงด้านล่างและถูกลำเลียงออกจากตะกรับ บางระบบอาจติดตั้งพัดลมที่ปลายด้านล่าง เพื่อควบคุมการเผาไหม้และอุณหภูมิเพื่อไม่ให้ขี้เถ้าหลอมจนติดกับตะกรับ ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ตะกรับแบบเอียงติดตั้งภายในหม้อน้ำ

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

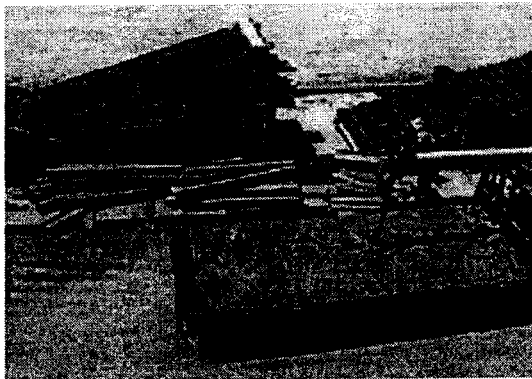
เพื่อให้สามารถควบคุมการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้นบางระบบจะแบ่งตะกรับออกเป็น ส่วนๆ โดยปลายของแต่ละส่วนจะมีระบบควบคุม (Mechanical Stokers) เพื่อควบคุมการเลื่อนไหล ของกากตะกอนและทำให้เศษกากตะกอนและขี้เถ้าที่กำลังจะหลอมแตกตัวและยังทำให้อากาศแทรก ตัวเข้าไปในกองหรือกลุ่มก้อนกากตะกอนได้สะดวกขึ้น ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ดังภาพ 3.22



ภาพที่ 3.22 ตะกรับแบบเอียงที่มีตัวควบคุม

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

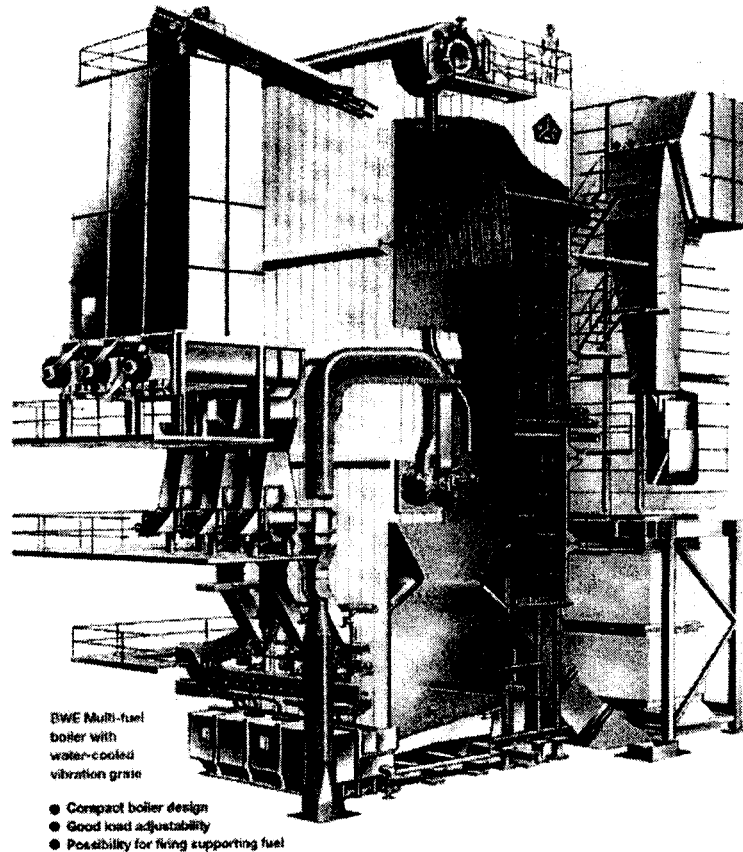
(3) ระบบตะกรับแบบขั้นบันได (Step Grate) ตะกรับชนิดนี้มีหลักการทำงาน คล้ายกับตะกรับแบบเอียง แต่สามารถควบคุมการเคลื่อนตัวและการเผาไหม้กากตะกอนได้มากกว่า โดยการเคลื่อนตัวของชีวมวลนั้นจะถูกควบคุมโดยขั้นบันไดที่สามารถเลื่อนเข้าออกเพื่อดันและพลิก กากตะกอนกลับไปกลับมา ในขณะที่มันเคลื่อนตัวลงตามความลาดเอียงสู่ส่วนล่างของตะกรับ และเพื่อควบคุมอุณหภูมิของขี้เถ้าไม่ให้สูงจนเกินไป สามารถระบายความร้อนออกจากพื้นของ ตะกรับด้วยน้ำหรืออากาศ เพื่อป้องกันการการปลอมตัวของขี้เถ้า ดังภาพ 3.23



ภาพที่ 3.23 ตะกรับแบบขั้นบันไดที่รอการประกอบ

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

(4) ระบบตะกรับแบบสั่น (Vibrating Grate) การทำงานของตะกรับชนิดนี้จะคล้ายกับตะกรับแบบเอียงเช่นกัน แต่จะมีความลาดเอียงของตะกรับน้อยกว่ากากตะกอนจะถูกเคลื่อนตัวลงตามตะกรับ โดยแรงสั่นสะเทือนของตะกรับ ดังภาพ 3.24

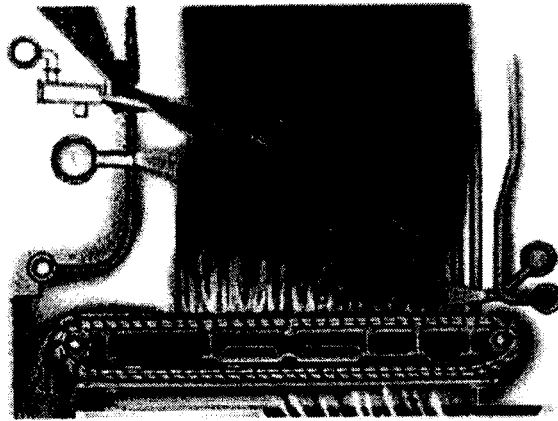


ภาพที่ 3.24 ตะกรับแบบสั่น

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

(5) ระบบตะกรับเคลื่อนที่ (Traveling Grate) ในระบบนี้ตะกรับที่วางตัวในแนวราบจะถูกขับให้เคลื่อนที่โดยเฟืองสองตัวที่ตอนต้นและตอนปลายของตะกรับ และป้อนกากตะกอนเข้าสู่ห้องเผาไหม้สามารถทำได้สองแบบ คือ ป้อนโดยธรรมชาติให้กากตะกอนตกลงบนตะกรับที่ปลายด้านหนึ่ง กากตะกอน บนตะกรับจะเคลื่อนตัวไปทางข้างหน้าและถูกเผาไหม้ไปด้วย จนกระทั่งถูกเผาไหม้สมบูรณ์กลายเป็นขี้เถ้า เมื่อตะกรับเคลื่อนตัวถึงปลายอีกด้านหนึ่ง ขี้เถ้าจะตกลงสู่ด้านล่างและถูกขนย้ายออกจากหม้อน้ำต่อไป

การป้อนกากตะกอนแบบที่สองลงบนตะกรับชนิดนี้จะทำโดยตัวกระจาย (Spreader Stoken) โดยที่ตัวกระจายจะ “คิด” กากตะกอนให้ตกลงบนปลายด้านที่ไกลจากตัวกระจาย กากตะกอนที่มีขนาดหนักที่สุดจะ ถูกคิดแรงและตกไกลที่สุด ส่วนกากตะกอนที่มีขนาดเบาจะตกลงบนตะกรับใกล้ลคหลันกันลงมาส่วนกากตะกอนที่เบาหลายๆ จะถูกเผาไหม้เหนือตะกรับและกลายเป็นขี้เถ้าบาลอยไปกับก๊าซร้อน ตะกรับจะเคลื่อนตัวสวนทางกับทิศทางการกระจายตัวของกากตะกอน ทำให้กากตะกอนที่มีขนาดหนักซึ่งตกไกลจากตัวกระจาย จะมีเวลาอยู่บนตะกรับนาน เพื่อให้ถูกเผาไหม้นานกว่ากากตะกอนที่มีขนาดเบาที่ตกลงบนตะกรับใกล้กว่า ดังภาพ 3.25



ภาพ 3.25 ตะกรับชนิดเคลื่อนที่ตามแนวราบ

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

สุจินันท์ ยิ้มคมจำ (2546) สามารถนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงปัจจุบันที่โรงงานปูนซีเมนต์ใช้อยู่ คือ ลิกไนต์ เนื่องจากกากตะกอนมีค่าความร้อนประมาณ 1,200 – 1,600 แคลอรีต่อกรัม และกากตะกอนมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบปริมาณร้อยละ 21.97 จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์คือ หินปูน ซึ่งมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบได้บางส่วน เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์กับค่าใช้จ่ายจากวิธีการฝังกลบ โดยเปรียบเทียบที่ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งโรงงานเท่ากับ 250 ตันต่อเดือน พบว่าในหนึ่งเดือนค่าใช้จ่ายจากการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการนำกากตะกอนไปฝังกลบประมาณ 140,000 บาท จึงสรุปได้ว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษกราฟที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและการเงินในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

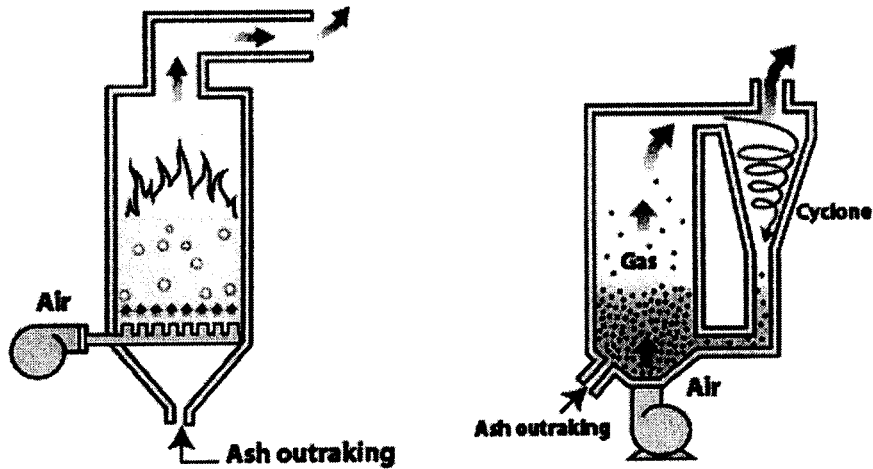
บริษัท กระจายสหไทย จำกัด (ไม่ระบุปีที่พิมพ์) ได้นำกากตะกอนจากถังเก็บถูลดความชื้นลงเหลือ 50% โดยใช้เครื่องบีบน้ำชนิด Twin Screw Press ที่มีกำลังการผลิต 1.1 ตัน/ชั่วโมง หลังจากนั้นกากตะกอนแห้งจะถูกเป่าด้วยพัดลมความดันสูงในท่อลมแสดงเลขขนาด 4 นิ้ว เข้าสู่ห้องเผาไหม้แบบตะแกรงเคลื่อนที่ (Travelling Grate Stoker) เพื่อผลิตไอน้ำปริมาณ 34.5 ตัน/ชม. 470 องศาซี 65 บาร์ ป้อนให้แก่กังหันไอน้ำแบบ Back Pressure ที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3.56 MWe เพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนให้โรงงาน ความร้อนที่เหลือจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ โดยได้ผลประโยชน์ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ นำกากตะกอนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินในปริมาณวันละ 20 ตัน/วัน สามารถลดการใช้ถ่านหินลงได้ประมาณ 6.67 ตัน/วัน คิดเป็นมูลค่า 2,160,000 บาท/ปี และลดค่าใช้จ่ายในการขนกากตะกอนไปกำจัดลงได้ประมาณ 864,000 บาท/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 3,024,000 บาท/ปี ทำให้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 11.5 เดือน ข้อควรระวัง คือ เนื่องจากกากตะกอนมีความชื้นสูง ดังนั้นการออกแบบระบบลำเลียงที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างละเอียด เพื่อป้องกันการอุดตันระหว่างการขนส่ง โดยเฉพาะระบบการลำเลียงกากตะกอนเข้าสู่เครื่องบีบน้ำ

4.1.3 ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

ในระบบนี้ส่วนใหญ่กากตะกอนจะถูกป้อนจากด้านข้างของห้องเผาไหม้ โดยมีลมเป่าขึ้นมาจากด้านล่างของห้องเผาไหม้ ทำให้กากตะกอนลอยอยู่ท่ามกลางตัวหน่วง (Inert Particles) เช่น ทราย และมีสภาพคล้ายของไหล (Fluid) โดยมีสัดส่วนของกากตะกอนเพียง 1-2 % ที่เหลือจะเป็นตัวหน่วงหากควบคุมให้เหมาะสม การผสมระหว่างอากาศ ทราย และกากตะกอน จะมีความสมดุลกัน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี เมื่อกากตะกอนถูกเผาไหม้ท่ามกลางตัวหน่วงจำนวนมาก ตัวหน่วงจะนำพาเอาความร้อนออกจาก กากตะกอน ทำให้อุณหภูมิของกากตะกอนที่กำลังเผาไหม้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของขี้เถ้ากากตะกอน

ข้อดีของระบบการเผาไหม้แบบนี้ คือ ในห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ ส่วนใหญ่จะควบคุมอยู่ที่ประมาณ 850 องศาเซลเซียส ทำให้เกิด NO_x น้อย มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง และสามารถเผาเชื้อเพลิงได้หลายชนิด ข้อด้อยของระบบนี้ คือ ใช้เงินลงทุนและมีค่าบำรุงรักษาสูงใช้พลังงานมากในการเดินพัดลม และยังมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารตัวหน่วง

ระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้ประกอบด้วยระบบหลักๆ 2 ระบบ คือระบบฟอง (Buddling Fluidized Bed, BFB) และระบบหมุนวน (Circulating Bed Boiler, CBF) ดังแสดงในรูปร่างข้างนี้ตามลำดับ 3.26



ภาพที่ 3.26 ระบบเผาไหม้ฟลูอิดไคซ์แบบพอง(ซ้าย) ระบบเผาไหม้แบบหมุนวน(ขวา)

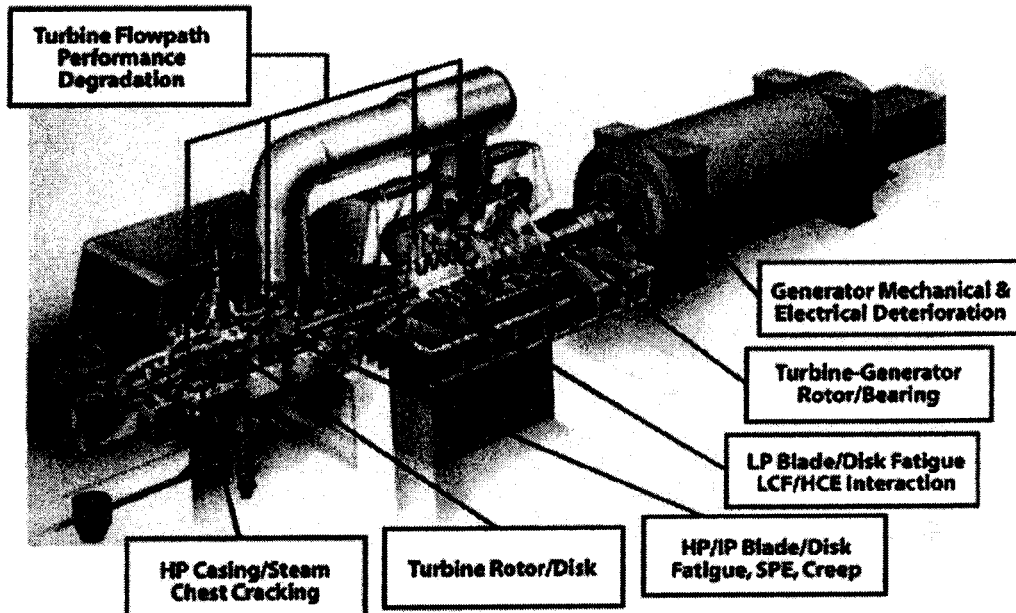
ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

1) ระบบทำความสะอาดก๊าซร้อน ในระบบเผาไหม้ภาคก่อนนั้น มวลสารทางอากาศที่ต้องควบคุมมากที่สุด คือ ฝุ่นหรือซีเถ้า ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยระบบกำจัดฝุ่นแบบลมหมุนวน ระบบดุกรอง และระบบไฟฟ้าสถิตในระบบหมุนวนก๊าซที่ถูกปล่อยออกจากหม้อน้ำจะถูกส่งเข้าไปยังถังไซโคลนทางด้านข้างส่วนบนของถัง เนื่องจากรูปทรงของถัง ก๊าซจะถูกบังคับให้ไหลวนไปตามผิวด้านในของถังและหมุนวนออกสู่ภายนอกผ่านทางรูกลางที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของถัง ส่วนซีเถ้าซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าก๊าซจะถูกแรงเหวี่ยงให้วิ่งชนกับผนังด้านในของถังและตกลงสู่ด้านล่างของถังในที่สุด ระบบนี้ใช้ได้กับซีเถ้าขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมาก ส่วนฝุ่นหรือซีเถ้าเบาอาจหลุดลอยออกไปกับก๊าซทางด้านบนของถังและถูกกำจัดด้วยระบบอื่นต่อไป

ระบบดุกรองและระบบไฟฟ้าสถิตเหมาะที่จะใช้กำจัดฝุ่นหรือซีเถ้าเบา ระบบไฟฟ้าสถิตย์ประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 ชุด ชุดแรกมีหน้าที่ทำให้ฝุ่นมีประจุเป็นลบด้วยความต่างศักย์ตั้งแต่ 30 kv ขึ้นไป ชุดที่สองซึ่งมีวงจรไฟฟ้าต่อลงดินทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรวบรวมฝุ่น เมื่อฝุ่นเคลื่อนผ่านจะถูกดูดให้ติดกับอิเล็กโทรดชุดที่สองนี้ ฝุ่นจะถูกทำให้หลุดจากอิเล็กโทรดชุดที่สองด้วยการเคาะกระแทกด้วย “ค้อน” (Hammer)

2) ชุดกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานที่อยู่ในไอน้ำที่ผลิตโดยหม้อน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลโดยเครื่อง กังหันไอน้ำ เพื่อหมุนกังหันไอน้ำที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนและผลิตกระแสไฟฟ้าส่งออกจากโรงไฟฟ้า กังหันไอน้ำสามารถแบ่งได้ เป็น 2 ชนิด คือ แบบอิมเพลตส์ (Impulse Turbine) และแบบรีแอ็คชั่น (Reaction Turbine)

กังหันน้ำที่ใช้ในโรงไฟฟ้าภาคตะกอนส่วนมากหมุนด้วยความเร็วรอบสูงประมาณ 7,000 – 8,000 รอบต่อนาที ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงต้องมีเกียร์ทดรอบที่ต่อระหว่างเพลลาของกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังภาพ 3.27



ภาพที่ 3.27 ชุดกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ที่มา : นเรศ สัตยารักษ์และคณะ (2549)

ชาญเวช มุรินทร์นิมิตต์ และชัชวาล ขันธทัตบำรุง (2546) ได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการเผาไหม้ภาคตะกอน (sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge ในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด โดยใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง และใช้ทรายเป็นเบด พบว่า สถานะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ภาคตะกอนในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด คือ ที่อัตราการป้อนก๊าซหุงต้ม 23.25 กรัมต่อนาที (2.0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) อัตราการป้อนภาคตะกอน 112.1 กรัมต่อนาที (1,400 รอบต่อนาที) อัตราการไหลของอากาศ 80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (วัดโดยโรตารีมิเตอร์) หรือ 105 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (วัดโดยเครื่องวัดความเร็วลม) ความชื้นของภาคตะกอน 80.3 เปอร์เซ็นต์

เรวดี ช่วยกุล (2541) ศึกษาการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงผสมกับภาคตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย และเผากำจัดในเตาฟลูอิดไคซ์เบด พบว่า สมรรถนะการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด เชื้อเพลิงผสมที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและภาคตะกอนต่างกัน จะมีผลต่อปริมาณอากาศที่ใช้เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ต่อเนื่อง รวมถึงปริมาณแก๊สพิษในไอเสียที่จะเกิดขึ้น ซึ่ง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอน

มอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบของก๊าซไนโตรเจน อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสม มีค่าอยู่ในช่วง 6.3 -7.4 ,8.0-9.4 และ 9.0-10.9 ที่อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและกากตะกอน 1:5 , 2:5 และ 3:5 ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมต่างกันนี้จะให้อุณหภูมิเบดสูงสุดที่ 740,800 และ 780 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณมลพิษในไอเสียมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดของทุกอัตราส่วนสูงกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความร้อนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มีค่าประมาณ 1,402 1,765 และ 1,890 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงผสม 1:5, 2:5 และ 3:5 ตามลำดับ และพบว่าเมื่ออัตราส่วนผาระหว่าง น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและกากตะกอนเพิ่มขึ้น จะใช้เชื้อเพลิงผสมน้อยลง และประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้น

ปฐม ชัยพุกขทล (2542) ศึกษา เตาเผากากตะกอนแบบฟลูอิดไดเซเบด ที่ได้รับการพัฒนาโดยสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งท่อนำรับความร้อนภายในบริเวณเหนือเบด เพื่อนำความร้อนสูญเสียมาใช้ประโยชน์ พบว่า อัตราการป้อนกากตะกอนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10-20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ลดอัตราการป้อนก๊าซ LPG จาก 4.35 เป็น 2.40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเพิ่มปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จาก 39.5 เป็น 185.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ท่อนำรับความร้อนที่ทำการติดตั้งในบริเวณเฟรียร์ด ทำจากท่อสแตนเลส มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 0.97 ตารางเมตร และมีอัตราการป้อนน้ำเข้าระบบสูงสุดที่ 2200 ลิตรต่อชั่วโมงในการศึกษาได้ใช้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง จากผลการทดสอบการเผาไหม้พบว่า อัตราการป้อนกากตะกอนที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 10-15 และ 5-7.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สำหรับเบดอยู่ในช่วง 93.9-99.8 % ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใช้ประโยชน์อยู่ในช่วง 22-37% ของความร้อนทั้งหมดที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการดำเนินการค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของท่อนำกับความร้อน อยู่ในช่วง 145-218 วัตต์ต่อตารางเมตร.เควิน นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการเผากากตะกอนแบบเปียกมีค่าต่ำกว่าแบบแห้ง แต่มีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใช้ประโยชน์สูงกว่าโดยคาดว่าเป็นผลจากความชื้นในองค์ประกอบของกากตะกอนที่กลายเป็นไอ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นตัวเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสู่ร่างกายในท่อนำรับความร้อน ในการวัดปริมาณก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ มีเพียงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 11314-1373 ppm ในการเผาไหม้กากตะกอนแบบเปียก ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตรวจพบ สูงกว่าค่ามาตรฐานการปลดปล่อย 30-58%

การเผาไหม้ที่ใช้ระบบโคเจนเนเรชันโดยใช้กากตะกอนจากโรงงานกระดาษ

Sachsen Papier (ไม่ระบุปีที่พิมพ์) ประเทศเยอรมัน เพื่อใช้กากที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่ขจัดหมึกออกแล้ว (ปริมาณของเถ้า 51%) และกระดาษทิ้งบางประเภท โรงงานโคเจนเนเรชันนี้มีกระบวนการแบบวัฏจักรร่วมที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงทั่วไป ที่รวมถึงหม้อน้ำชนิด Bubbling Fluidized Bed (BFB) เพื่อเพิ่มผลผลิตประเภทไอน้ำ และเพื่อใช้กากชนิดชีวมวลที่มีความชื้นของโรงงานกระดาษ ข้อมูลทางเทคนิคคือหม้อน้ำชนิด เชื้อเพลิง คือกากตะกอนที่ขจัดหมึกออกแล้วและกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (น้ำหนักแห้ง) 196 ตัน/วัน ข้อมูลทางด้านสมรรถภาพกากตะกอนที่จะนำไปทำการเผาไหม้มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง และมีค่าความร้อนต่ำประมาณ 3-6 เมกะจูล/กิโลกรัม มีการเลือกใช้เทคโนโลยี BFB เพื่อรับรองการเผาไหม้ของกากตะกอนนี้จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถผลิตไอน้ำได้ 31 เมกะวัตต์ (40 ตัน/ชั่วโมง) ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม การปลดปล่อย HRSG สู่บรรยากาศอยู่ภายในปริมาณที่จำกัดตามข้อบังคับของ German 13. BIm SchV ซึ่งก็คือ มีปริมาณของ NO_x น้อยกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มก.ม³) ปริมาณของ CO น้อยกว่า 100 มก/ม³ หม้อน้ำแบบ ยังเป็นไปตามข้อกำหนดของข้อบังคับ 17. BIm SchV เครื่องกรองฝุ่นจะควบแน่นธาตุต่างๆ ที่ทำให้เคมิลภาวะ เช่น คลอรีน ฟลูออรีน แคลเซียม และ พรอท และยังรับรองว่า การปลดปล่อยฝุ่นมีปริมาณต่ำกว่า 10 มก/ม³ หากการปลดปล่อยของ SO_2 มากเกินระดับที่อนุญาตแล้ว จะมีการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงในแก๊สทิ้ง

Luetzke and Klee, (1990) การเผาตะกอนด้วยเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์-เบด (Fluidized bed) จะมีโลหะหนักและสารพิษต่างๆ เจือปนในแก๊สที่ได้จากการเผาในปริมาณที่สูง

4.2 ขบวนการเคมีความร้อน (Thermochemical Conversion)

ขบวนการเคมีความร้อนมี 2 วิธี คือขบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งเป็นขบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพื่อผลิตก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน และขบวนการลิกวิดแฟคชัน (Liquefaction) ที่นำเอาก๊าซจากขบวนการแก๊สซิฟิเคชันมาแปรรูปเป็นเมทานอลและเอทานอล

ขบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นขบวนการที่กากตะกอนถูกเผาไหม้ในสถานะหรือเตาแก๊สซิฟิเคชัน โดยมีอากาศหรือออกซิเจนไม่เพียงพอให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นแทนที่จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ก๊าซที่ได้จากเตาแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเรียกว่า ซินแก๊ส (Syngas) หรือ โพรคิวเซอร์แก๊ส (Producer Gas) จะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ ก๊าซทั้งสองชนิดสามารถ เผาไหม้และให้ความร้อนออกมา แต่ในอากาศมี

ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่มากในโตรเจนจึงปนออกมากับ Syngas จึงทำให้ Syngas เป็นก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำ แต่ถ้าเราใช้ออกซิเจนและไอน้ำป้อนเข้าในเตาแก๊สซิไฟเออร์แทนอากาศ ใช้เตาความดันและอุณหภูมิสูง เราจะได้ Syngas ที่มีค่าความร้อนสูงขึ้น (นเรศ สัตยารักษ์และคณะ ,2549)

กระบวนการแก๊สซิไฟเคชันจะมีความแตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) อย่างสิ้นเชิง โดยการเผาไหม้เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ในหนึ่งกระบวนการ แต่สำหรับกระบวนการแก๊สซิไฟเคชันเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในของคาร์บอนในกากตะกอนไปเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Gas) โดยอาศัยปฏิกิริยา 2 กระบวนการ โดยก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าและง่ายต่อการใช้งานกว่ากากตะกอน ยกตัวอย่างเช่น สามารถนำไปเผาแทนก๊าซหุงต้มหรือน้ำมันเตาในหม้อน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำสำหรับในโรงงานอุตสาหกรรม หรือนำไปเผาให้เกิดก๊าซร้อนหรืออากาศร้อน เพื่อใช้ในการอบหรือบ่มสินค้าเกษตรกรรม หรือการอบในอุตสาหกรรมอื่นๆ สามารถใช้เดินเครื่องยนต์แก๊ส (Gas Engine) และกังหันแก๊ส (Gas Turbine) ใช้เพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวต่อไป (Liquid Fuels) และยังสามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 1 เมกะวัตต์

4.2.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการป้อนเป็นเชื้อเพลิงในเตาแก๊สซิไฟเออร์ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2548) ควรมีคุณสมบัติดังนี้

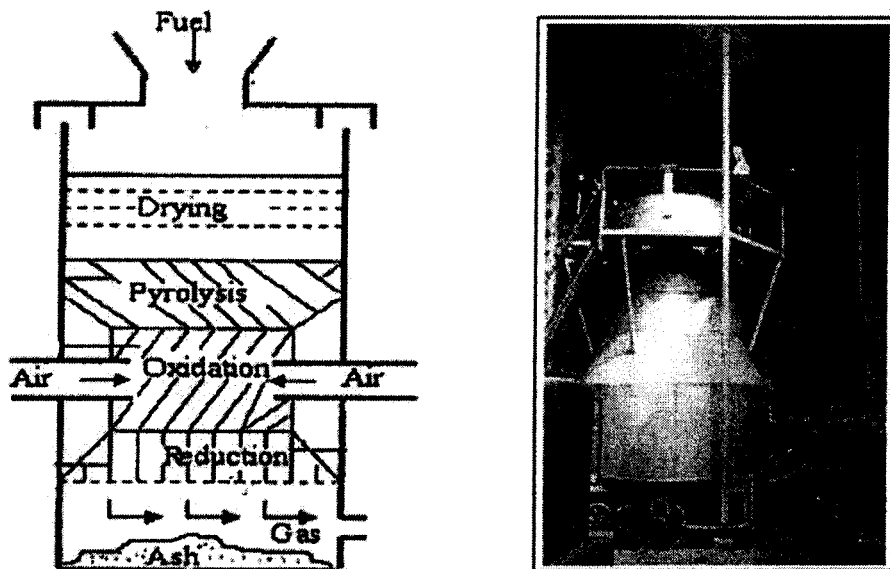
- 1) มีขนาดที่เหมาะสม และสม่ำเสมอ
- 2) มีความชื้นน้อย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี (ไม่ควรเกิน 20-30 เปอร์เซ็นต์)
- 3) มีความหนาแน่นเชื้อเพลิง (Bulk density) เหมาะสมและสม่ำเสมอ

4.2.2 ข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีแก๊สซิไฟเคชัน (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2548)

- 1) ข้อดีของระบบแก๊สซิไฟเคชัน คือ เหมาะกับระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 1 เมกะวัตต์) จึงเหมาะสมกับบริเวณที่มีปริมาณเชื้อเพลิงจำกัด เหมาะสมกับหมู่บ้านชนบทที่กระแสไฟฟ้าเข้าไม่ถึงและโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตกระแสไฟฟ้าไว้ใช้เอง
- 2) ข้อเสียของระบบแก๊สซิไฟเคชัน คือ มีน้ำมันดิน หรือ ทาร์ (Tar) ผสมในก๊าซเชื้อเพลิง ทำให้ต้องหากำจัดหรือทำให้น้อยลงเพื่อไม่ให้มีปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ถ้าออกแบบระบบการเผาไหม้ไม่ดี และมีคุณภาพเชื้อเพลิงที่ไม่สม่ำเสมอ (ขนาด ความชื้น ปริมาณซีเถ้า ค่าความร้อน) จะส่งผลให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณภาพไม่แน่นอน และการผลิตไฟฟ้าจะไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ในกรณีที่นำก๊าซเชื้อเพลิงไปผลิตไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ จำเป็นต้องมีช่างเครื่องยนต์ประจำเพื่อให้มีการบำรุงดูแลรักษาที่ดี

4.2.3 กระบวนการผลิตแก๊ส

การผลิตแก๊สทำโดย การควบคุมอากาศที่ไหลเข้าไปในเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ใน ปริมาณจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) เป็นหลัก และเกิด มีเทน (CH₄) เล็กน้อย แก๊สที่เกิดขึ้นสามารถนำไปให้ความร้อนโดยตรง หรือ นำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อผลิตไฟฟ้าได้ โดยประสิทธิภาพขึ้นกับ เทคโนโลยีการออกแบบ และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ วิธีแก๊สซิไฟเคชันนี้ เหมาะกับการ ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 1 เมกกะวัตต์ โดยนำเทคโนโลยี แก๊สซิไฟเคชัน แบบลมล่าง (Downdraft Gasification) มาผลิตแก๊สเป็นเชื้อเพลิง ดังภาพที่ 3.28 Downdraft Gasification



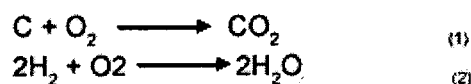
ภาพที่ 2.28 Downdraft Gasification

ที่มา : <http://www.promptmark.com/knowledge2.asp>

ภายในเตาเผา สามารถแบ่งโซนการเกิดแก๊ส ตามปฏิกิริยาทางเคมี และความแตกต่าง ของอุณหภูมิ ได้เป็น 4 โซน (วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม , 2549) ดังนี้

1) Combustion หรือ Oxidation Zone

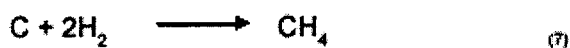
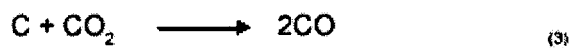
เป็นบริเวณที่ป้อนอากาศ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน เชื้อเพลิงจากตะกอนจะลุกไหม้ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนซึ่งอยู่ในเชื้อเพลิง ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการที่ (1) ถึง (2)



ปฏิกิริยาในสมการที่ (1) และ (2) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาดูดความร้อนในโซน Reduction และ โซน Pyrolysis อุณหภูมิในโซน Combustion จะมีค่าระหว่าง 1,100 – 1,500 °C

2) Reduction Zone

แก๊สร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ใน Zone นี้จะมีอุณหภูมิระหว่าง 500 – 900 °C ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการที่ (3) ถึง (7)



ปฏิกิริยาในสมการที่ (3) เรียกว่า Boudouard Reduction และปฏิกิริยาในสมการที่ (4) เรียกว่า Water Gas Reduction เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 900 °C แก๊สที่ได้จากทั้งสมการทั้งสองเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นแก๊สหลักที่ต้องการปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สภาคตะกอนนี้จะขึ้นอยู่กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ว่า จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ร้อนได้มากน้อยเพียงใด

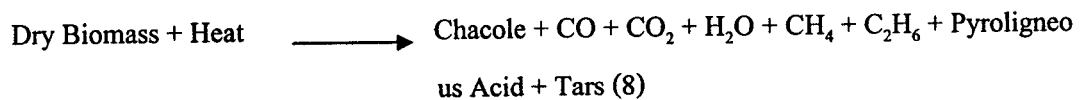
ในโซนของ Reduction นี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดีเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วของแก๊สที่สัมผัสกับเชื้อเพลิง และพื้นที่ผิวสัมผัสของเชื้อเพลิง ดังนั้นขนาดและปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ จะมีผลต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งเชื้อเพลิง ขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ ทำให้ยากต่อการจุดเผาภายในเตาและจะทำให้เกิดปริมาณของช่องว่างระหว่าง เชื้อเพลิงด้วยกันมาก เป็นผลทำให้มีออกซิเจนไหลผ่านเข้าไปในระบบมาก ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นก็จะน้อยตามไปด้วยทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สมีค่าต่ำ

แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในเตามาก จึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากยิ่งขึ้นและแก๊สที่ผลิตได้ก็จะมีฝุ่นมากยิ่งขึ้น ขนาดเชื้อเพลิงแข็งที่เหมาะสมควรมีขนาด 20-200 มิลลิเมตร จากปฏิกิริยาถ้าอุณหภูมิในโซน Reduction สูงกว่า 900 °C แล้วแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 90% จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 1,100 °C จะทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ นั่นคือประสิทธิภาพของเตาเผาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

ของโซน Reduction ในขณะที่แก๊สร้อนจากโซน Combustion ไหลเคลื่อนเข้าสู่โซน Reduction จะทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลง เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นไอน้ำกับคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากันเพื่อก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการที่ (5) ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิค่าประมาณ 500-600°C ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะจะทำให้ส่วนผสมของแก๊สไฮโดรเจน ในแก๊สภาคตะกอนมีค่ามากขึ้น (แก๊สไฮโดรเจนมีผลต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์สันดาปภายใน) แต่ถ้าในกระบวนการที่มีไอน้ำมากเกินไป จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนดังสมการที่ (6) (ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water Shift Reduction) ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สภาคตะกอนที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นเชื้อเพลิงจากภาคตะกอนที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่มากเกินไป นอกจากนี้ในกระบวนการ Reduction แก๊สไฮโดรเจนบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้นได้ ดังสมการที่ (7) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Methane Production

3) Pyrolysis หรือ Distillation Zone

รับความร้อนจากโซน Reduction ทำให้ Volatile Matter ที่อยู่ในเชื้อเพลิงเกิดการสลายตัวเกิดเป็นเมทานอล กรดน้ำส้ม และทาร์ อุณหภูมิในโซนนี้อาจมีค่าประมาณ 200-500 °C ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการผ่านกระบวนการนี้ก็คือ คาร์บอนในรูปถ่าน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซน Reduction และ Combustion ปฏิกิริยาที่ได้ในโซนนี้อาจแสดงไว้ในสมการที่ (8)



4) Drying Zone

ในโซนนี้อุณหภูมิจะลดลงมากทำให้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของ Volatile Matter แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะระเหยออกมาได้ โซนนี้อาจมีอุณหภูมิประมาณ 100-200 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่า ชนิด และสมบัติของเชื้อเพลิงนั้นมีความสำคัญ ในการที่จะส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าขึ้นเองในชุมชน โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน จำเป็นต้องทำการศึกษาด้าน Compatibility หรือ ความเหมาะสมในการนำภาคตะกอนจากแหล่งต่างๆ มาใช้เป็นเชื้อเพลิง

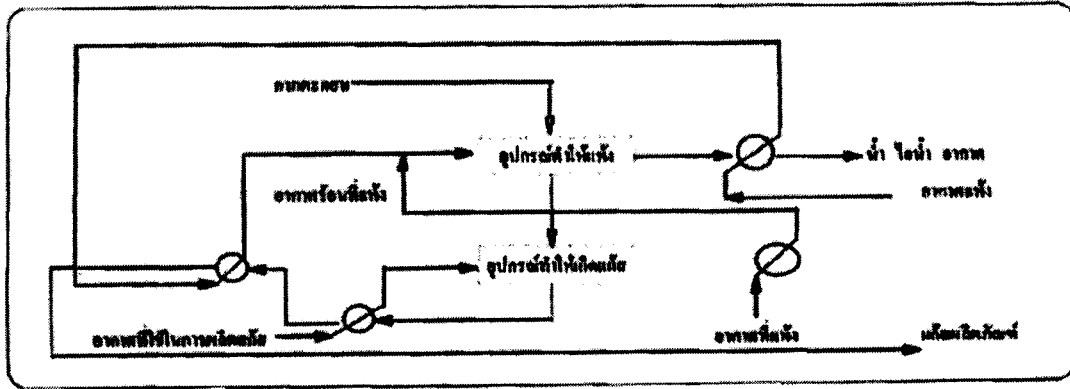
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2549) อ้างโดย หนังสือพิมพ์ แนวหน้า การส่งเสริมให้ชุมชนหรือท้องถิ่นผลิตไฟฟ้าขึ้นใช้เอง จะต้องใช้เทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีเสถียรภาพ อันเนื่องมาจากพื้นฐานความรู้ และความชำนาญของเกษตรกรน้อยมาก ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับชุมชน และได้รับการยอมรับกันทั่วโลกว่าเป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน มีความปลอดภัย คือ เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Biomass Gasification) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่อาศัยกระบวนการ Thermo-Chemical สามารถเปลี่ยนองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในภาคตะกอน ไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่า heating value สูง ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO)

ไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) สามารถใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในผลิตกระแสไฟฟ้า (Engine-generator set) ได้ ซึ่งในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนี้เป็นระบบที่มีความดันต่ำ (Low pressure) ไม่มีอันตราย อีกทั้งเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ เป็นเครื่องยนต์ดีเซลหรือ เบนซินที่เกษตรกรมีความคุ้นเคยสามารถดูแลรักษาได้เอง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2549) การศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนขนาด 100 kw โดยทดสอบกับเชื้อเพลิงชีวมวล 10 ชนิด คือ แกลบ ชังข้าวโพค เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกมันสำปะหลัง กะละมะพร้าว ทางปาล์ม ไม้กระถินยักษ์ ไม้ยูคาลิปตัส เปลือกไม้ยูคาลิปตัส และปีกไม้ยางพารา พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลทุกชนิดสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้ โดยเฉลี่ยแก๊ส ชีวมวลที่ผลิตได้มีองค์ประกอบ คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ มีเทน ในสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 13-25 , 12-18 และ 1-3 ตามลำดับ มีการปนเปื้อนของฝุ่นและน้ำมันดินต่ำ คือ 0-20 ppm มีค่าความร้อนสูงอยู่ในช่วง 4.5-6 MJ/Nm³ สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าฯ พบว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 12-16 % เมื่อระบบทำงานที่ 70 % ของกำลังการผลิต ในกรณีดังกล่าวปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ใน 1.3 - 1.7 kg/kw ทั้งนี้มลพิษที่เกิดขึ้น คือ ฝุ่นที่มีคุณสมบัติเป็นถ่าน มีค่าความร้อน และสัดส่วนคาร์บอนคงตัวสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นถ่านหุงต้มที่มีคุณภาพได้ และปริมาณที่ผลิตได้มีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล ในส่วนของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะผ่านระบบบำบัดแบบปิด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้น จะนำมาตากแห้งและนำไปบำบัดด้วยการเผาโดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งจะได้พลังงานหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ส่วน ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ปลดปล่อยออกมามีคุณภาพตามมาตรฐาน และทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิของไอเสียค่อนข้างสูง มีค่าประมาณ 550 - 690 °C ซึ่งสามารถนำความร้อนไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ได้ ผลการศึกษาดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่า โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก เหมาะสมกับพื้นที่และทุกชุมชนของประเทศไทย

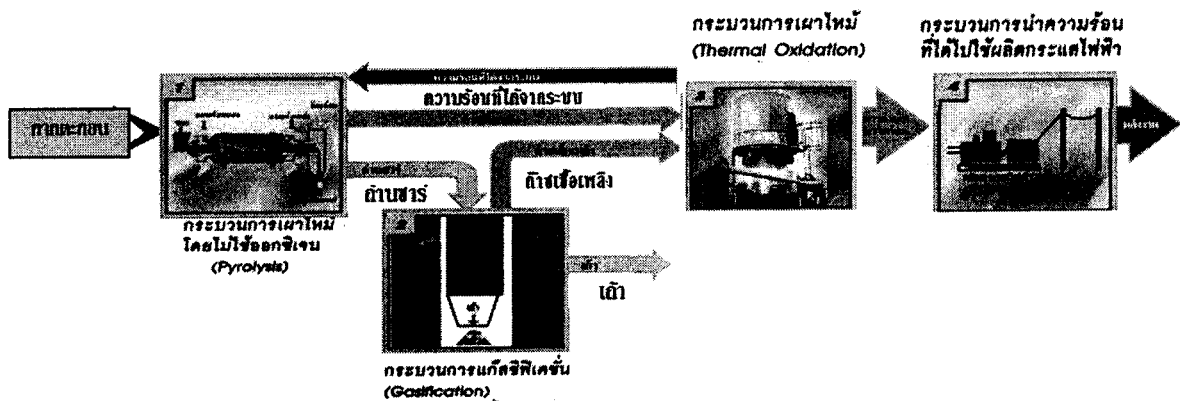
Frederick, WM.J. และคณะ (1996) ได้ศึกษาและเสนอแนวคิดถึงการนำพลังงานและวัสดุคืนกลับมาจากกากตะกอนของกระดาศที่ใช้เส้นใยชนิดที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการทำให้เกิดเป็นแก๊ส กากตะกอนที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าความร้อน 8.38 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในสภาพของแข็งแห้ง ค่าความร้อนที่ต่ำและความลำบากในการขจัดน้ำจากวัสดุเส้นใยให้มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 42 (เกณฑ์แบบเปียก) ทำให้กากตะกอนนี้กลายเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำ อุณหภูมิเปลวไฟอะดีอาเบติก คือ 1,550 องศาเซลเซียส ซึ่งเห็นว่ากากตะกอนนี้จะช่วยในการเผาไหม้ หรือการทำให้เกิดแก๊ส โดยการออกซิเดชันบางส่วน คณะผู้ศึกษาได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนกากตะกอนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อใช้สำหรับเผาไหม้ในส่วนอื่น ๆ ภายในโรงงานกระดาศ พบว่าพลังงานที่ต้องการเพื่อปฏิบัติการในเครื่องทำให้กากตะกอนแห้ง คือ 2,047 เมกะจูลต่อตันของกากตะกอน

ของแข็ง มีภาคตะกอนแห้งสุทธิ 137.2 เมกะจูลต่อตันเพื่อผลิตไอน้ำ โดยกระบวนการตามแนวคิดนี้ เป็นไปดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 กระบวนการตามแนวคิดสำหรับการผลิตแก๊สจากภาคตะกอนด้วยอากาศ
ที่มา : Frederick, WM.J. และคณะ (1996)

4.2.4 วิธีการผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

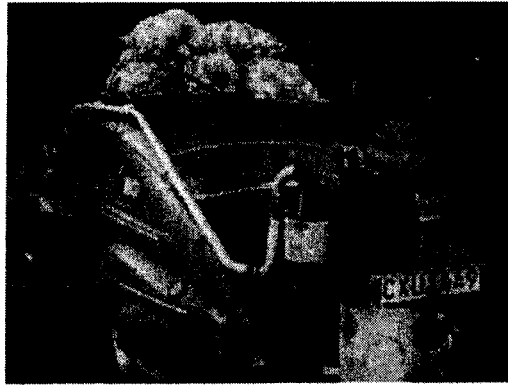


ภาพที่ 3.30 วิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

นอกจากนั้นแล้วเรายังสามารถนำซินแก๊สไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์แก๊ส หรือใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล ดังภาพที่ 3.30 โดยสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงถึง 70-80 % เครื่องยนต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถนำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป

ในการใช้ซินแก๊สเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์นั้น สิ่งที่ต้องระวัง คือ น้ำมันดิน (Tar) ซึ่งปนเปื้อนออกมากับซินแก๊สด้วย ถ้าหากขบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ ปริมาณน้ำมันดินจะออกมาน้อย อย่างไรก็ตามเราต้องกำจัดน้ำมันดินนี้ก่อนผ่านซินแก๊สเข้าสู่

เครื่องชนิด ซึ่งการกำจัดน้ำมันดิน สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้น้ำเย็น เครื่องกรอง หรือถูกรอง (ดังภาพที่ 3.31)



ภาพที่ 3.31 รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยซินแก๊ซจากเตาแก๊ซซีไฟเออร์
ที่มา : (นเรศ สัตยารักษ์และคณะ ,2549)

4.3 ขบวนการชีวเคมี (Biochemical Conversion)

ในการแปลงกากตะกอนให้เป็นเชื้อเพลิงด้วยวิธีชีวเคมีมี 2 วิธี คือ ขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศหรือออกซิเจน (Anaerobic Digestion) และขบวนการหมัก (Fermentation) ที่ทำให้โมเลกุลที่สลับซับซ้อนของสารอินทรีย์ เช่น ในแป้งและน้ำตาล แตกตัวโดยเชื้อแบคทีเรีย เช่น ยีสต์ ส่ำเหล้า กลายเป็นแอลกอฮอล์

วิธีที่เหมาะสมสำหรับการใช้กากตะกอนเป็นเชื้อเพลิง คือ เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด เนื่องจาก

- 1) สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายประเภทรวมถึงเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง และมีปริมาณเถ้าสูง
- 2) มีสารเฉื่อย (Inert Material) เป็นเบด เช่น ทราย ทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนได้ดี เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์รวดเร็ว นอกจากนี้เบดยังช่วยเก็บความร้อน ทำให้เตามีความเสถียร ไม่ดับง่าย และเกิดการเผาไหม้ในตัวเองได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้อุณหภูมิภายในเตามีค่าสม่ำเสมอ
- 3) สามารถใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงในช่วงอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่ต่ำได้ (ประมาณ 850 องศาเซลเซียส) จึงช่วยแก้ปัญหามลพิษทางอากาศ เนื่องจากเกิดสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์น้อย สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำ มีปริมาณซัลเฟอร์สูง จะใช้หินปูนเป็นเบด เพื่อลดปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4) เป็นระบบเตาเผาที่เกี่ยวกับลมเกือบทั้งหมด (Pneumatic System) ไม่ค่อยมีระบบเครื่องกล ทำให้การควบคุมระบบทำได้ง่าย

5) เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ในเตาเผา ระบบฟลูอิดไดซ์เบด ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สั้น

5. การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นการนำกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่งคือ นำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปริมาณกากของเสียที่จะต้องนำไปกำจัดแล้วยังเป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียได้มากขึ้น โดยนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานได้อีก ดังนั้นจึงเป็นการช่วยลดต้นทุนอีกทางหนึ่งด้วย

ปัจจุบันนี้การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทั้งที่ปริมาณค่าความร้อนของกากตะกอนมีมากพอที่จะใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยได้มีการศึกษาวิจัยค่าความร้อนของกากตะกอนน้ำเสียไว้ ดังตาราง 3.12

ตารางที่ 3.12 ค่าความร้อนของกากตะกอนน้ำเสีย

ชนิดของกากตะกอน น้ำเสีย	อ้างอิง	ค่าความร้อน (kJ/kg Dissolved Solids)	
		a	b
Cake (Vacuum filter)	Dicken, R., Wallis, B. and Hrundel, J. (1990)	-	11,350-19,400
Cake (Filter press)	Smith., Griffin, B.G. and Graheme, A.W. (1978)	15,792	15,228
Cake (filter press)	Tench, H.B. Phillips, L.F. and Swanwick, K.H. (1972)	24,000	-

ที่มา : Slupek, S., และคณะ (2000)

หมายเหตุ a= ค่าที่ได้จากการทดลอง

b= ค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า กากตะกอนยังมีค่าความร้อนซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานได้ แต่ทั้งนี้ อาจจะต้องเพิ่มวัสดุอื่นๆ ที่ช่วยเพิ่มความร้อนเพื่อนำไปอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในปัจจุบันได้ โดยวัสดุที่จะต้องใช้ในการผสมดังกล่าว ควรเป็นวัสดุที่หาง่าย อาจเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งอาจต้องกำจัดทิ้งหรือใช้วัชพืชต่างๆ อาทิเช่น แกลบ ผักตบชวา ชังข้าวโพด ใบอ้อย เพื่อที่จะนำวัสดุนั้นมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และปราศจากมลภาวะ เนื่องจากไม่มีปริมาณกำมะถัน ฟอสฟอรัส และซีลีเนียมปล่อยออกมา ดังภาพที่ 3.32



ภาพที่ 3.32 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

ที่มา : <http://www.ku.ac.th/e-magazine/jun51/know/know4.htm>

5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุเหลือทิ้งประเภทลิกโน-เซลลูโลส สามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ แกลบ ชี้เลื้อย กากอ้อย เปลือกถั่ว ขุยมะพร้าว ผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ โดยส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากโรงสีข้าว โรงเลื่อย และโรงน้ำตาล วัสดุประเภทลิกโน-เซลลูโลสส่วนใหญ่ได้จากพืช ซึ่งวัสดุพืชแต่ละชนิดประกอบด้วย สารประกอบทางเคมีอินทรีย์หลายอย่าง โดยมีสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูง ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรต และลิกนิน ซึ่งประมาณ 50% ของคาร์โบไฮเดรตในพืชจัดเป็นเซลลูโลส ส่วนลิกนินเป็นสารประกอบฟีนอล (Phenolic Substances) มีอยู่ 20-30% (Husain, Zainac and Addullah, 2002) สำหรับเนื้อไม้ที่ประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ มากมาย ที่สำคัญได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) ลิกนิน (Lignin) สารพิเศษ (Extractive) และสารส่วนน้อย (Minor constituent) โดยที่เซลลูโลสจัดเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุด เนื้อไม้ประมาณ 50% โดยมวล ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีมากรองจากเซลลูโลส ประมาณ 23-33% โดยมวล เนื้อไม้เนื้ออ่อน และ 16-25% โดยมวล เนื้อไม้เนื้อแข็ง ในขณะที่สารพิเศษเป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดมีประมาณ 5-30% โดยมวล ซึ่งได้แก่ พวกน้ำมันหอม ยาง ไขมัน แป้ง เป็นต้น ส่วนสารส่วนน้อยจะมีประมาณ 0.1-3% โดยมวล ซึ่งเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า อันได้แก่ สารประกอบพวกแคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสเฟต และซิลิกา เป็นต้น

5.2 การอัดแท่งเชื้อเพลิง

5.2.1 วิธีการอัดแท่ง การอัดก้อนวัสดุต่างๆ นั้นออกจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

- 1) การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย เหมาะสำหรับวัสดุที่มีสารลิกโน - เซลลูโลส เช่น เศษไม้ แกลบ ชี้เลื้อย
- 2) การอัดโดยไม่ใช้ความร้อนหรือแบบอัดเย็น แยกได้ 2 แบบ คือ แบบใช้ตัวประสาน และไม่ใช้ตัวประสาน
 - (1) การอัดเย็นแบบใช้ตัวประสาน มีตัวประสานที่ช่วยให้วัสดุยึดเกาะกันด้วยแรงอัดปานกลาง และรวมกันเป็นแท่งซึ่งตัวประสานมีคุณสมบัติดังนี้
 - ก) มีความสามารถในการประสานดี มีราคาถูก
 - ข) สามารถเผาไหม้ได้หรือลุกติดไฟได้ดี และไม่เกิดควัน
 - ค) เมื่อถูกอากาศภายนอก จะต้องไม่ทำให้แท่งเชื้อเพลิงอัดแตกกร่อน หรืออ่อนตัวเกินไป

ตัวประสานที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้แก่ มันสำปะหลัง แป้งมัน กากน้ำตาล ผักตบชวาหมัก วัสดุเหล่านี้สามารถนำมาเป็นตัวประสานได้เนื่องจากมีลักษณะเหนียวเกาะตัวกันได้ดี เมื่อนำไปผสมกับวัสดุที่ไม่เกาะตัวกันจะสามารถทำให้วัสดุเหล่านั้นเกาะตัวกันได้ดี

(2) การอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบไม่ใช่ตัวประสาน

วิธีการอัดนี้จะใช้อุณหภูมิและแรงอัดต่ำ สามารถทำได้กับกากตะกอนที่เน่าเปื่อย หรือผ่านการหมักแล้วเท่านั้น เนื่องจากการหมักกากตะกอนทำให้เส้นใยหรือเนื้อเยื่ออ่อนตัว และสร้างสารที่เป็นยางเหนียวทำให้พลังงานที่ใช้ในการอัดลดลง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าการอัดด้วยวิธีอื่นๆ การอัดวิธีนี้ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นพืชที่ไม่ผ่านการหมักหรือไม่มีสารที่เป็น ยางเหนียวจะไม่สามารถทำการอัดแท่งนั้น ได้ผลและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการหมักคือ 50-60 % อย่างไรก็ตาม การหมักกากตะกอนจะทำให้ลดความสามารถในการติดไฟของวัสดุลง เชื้อเพลิงที่ได้จึงมีค่าความร้อนต่ำ

5.2.2 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง (สุริยา ชัยทยากุล, 2544)

1) เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) สามารถอัดได้ 40-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่มีปัญหาเรื่องการขัดสีของกระบอกสูบและการแตกของลูกสูบ

2) เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) แบ่งออกเป็น 3 แบบ

(1) แบบเกลียวกรวย (Conical Screw Press) สามารถอัดได้ 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้น 8-10%

(2) แบบเกลียวคู่ (Twin Screw Press) สามารถอัดได้ 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้น 25%

(3) แบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อน (Screw Press with heated die) อุณหภูมิขดลวด 200-350 องศาเซลเซียส สามารถอัดได้ 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้นวัสดุ 8-12 %

(4) เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) การอัดแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าใช้เครื่องอัดอื่น และได้ความหนาแน่นน้อย จึงเหมาะกับการอัดที่ใช้ตัวประสานเครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing Press) ประกอบด้วยพิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ซึ่งแรงเสียดสีของพิมพ์และลูกกลิ้งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นและอัดวัสดุผ่านพิมพ์ ปกติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอัดขนาด 5-15 เซนติเมตร ยาวกว่า 30 มิลลิเมตร

5.2.3 เครื่องบดละเอียด

เครื่องบดละเอียดจะใช้บดวัสดุที่จะใช้อัดแท่งให้มีเนื้อวัสดุที่ละเอียดก่อนที่จะนำไปอัดแท่งในเครื่องอัดแท่ง

5.3 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ส่วนคั่นคว่ำและพัฒนาพลังงาน, 2544)

5.3.1 ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

- 1) มีขนาดและรูปร่างแบบเดียวกัน สามารถใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50-60 มิลลิเมตร และยาว 50-150 มิลลิเมตร
- 2) มีคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนได้
- 3) ปราศจากมลภาวะ เนื่องจากไม่มีปริมาณกำมะถัน ฟอสฟอรัส และซีลีเนียม ปล่อยออกมา จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมมลภาวะที่มีราคาสูง
- 4) มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
- 5) สะดวกต่อการเก็บและนำมาใช้งาน

5.3.2 ข้อเสียของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

- 1) คุณสมบัติการเผาไหม้ยังไม่เป็นที่น่าต้องการ เช่นการลุกไหม้ไม่ดี จุดติดยาก และมีควันมาก
- 2) เชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อถูกน้ำหรืออากาศที่มีความชื้นสูงมักจะแตก่วน
- 3) การอัดแท่งใช้แรงอัดสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในขบวนการผลิต เป็นต้นเหตุให้กระบอกลูกสูบและสลักเกลียวสึกหรอได้ง่ายจากการขัดสี ดังนั้นการลงทุนจึงสูง

5.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้องค์ประกอบสำคัญเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมิน (ประทีป ปิ่นน่วม, 2538) คือ

5.4.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิง อัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงและทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตก่วนได้ง่าย

5.4.2 ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือ ส่วนของสารอินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายในเตาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

5.4.3 สารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ปริมาณสารระเหย คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารองค์ประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

5.4.4 คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) คือ มวลคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากที่เอาสารระเหยออกหมดแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

5.4.5 กำมะถันรวม (Total Sulfur)

5.4.6 ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value)

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูง มีปริมาณสารระเหยได้และปริมาณเถ้าอยู่ต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี เช่น ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนนั้น ถ่านที่ถือว่ามีคุณภาพดีที่สุดไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่าความร้อนสูงสุด แต่จะต้องมีคุณสมบัติที่ดีของถ่านทางด้านอื่นๆ ด้วย Owen McDougal, และคณะ(2001) คือ

1) การแตกปะทุขณะติดไฟถ่านที่แตกปะทุขณะติดไฟจะเป็นที่รังเกียจของผู้ใช้เป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้น ถ่านที่มีคุณภาพดีจะต้องไม่มีการแตกปะทุเลย หรือมีการแตกปะทุบ้างเล็กน้อยในช่วงแรกที่ติดไฟ

2) น้ำหนักถ่าน ถ่านที่มีน้ำหนักจะลุกไหม้ให้ความร้อนแรงได้นาน

3) ควัน ถ่านที่มีคุณภาพไม่ควรมีควันและกลิ้งนูนในขณะที่ลุกไหม้

4) ความแข็งและการป่นของถ่าน ถ่านที่มีความแข็งสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือป่นเป็นผง ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน การขนส่ง และการเก็บรักษา

ตารางที่ 3.13 คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ชนิดของวัสดุ	ความชื้น %	สารระเหย %	คาร์บอนเสถียร %	เถ้า %	ค่าความร้อน kcal/kg
ไขมันและน้ำมันจากน้ำล้าง	52.84	42.52	2.07	2.57	8,454
กากไขมันจากบ่อดักไขมัน ของภัตตาคารการบินไทย	66.20	32.9	0.52	0.38	2,769
กะลามะพร้าว	8.01	70.16	20.02	1.82	7,028
ถ่านไม้	-	-	-	-	7740
ฟืน ไม้ยูคาลิปตัส	-	-	-	-	4,563.5
ถ่านชาร์กาคตะกอน	2.18	17.37	19.06	61.39	2012
กากตะกอนโรงงานผงชูรส	-	-	-	-	4,427
กากตะกอนน้ำเสียโรงงานนม	-	-	-	-	4,843
ตะกอนน้ำเสียโรงงานเบียร์	-	-	-	-	2,836
ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหาร	-	-	-	-	4,961
อัตราส่วนผสมระหว่างกาก ตะกอนกับขานอ้อย1:3	-	-	-	-	1,971
กากตะกอนและเปลือก มะพร้าวอ่อนในอัตราส่วน1:3	-	-	-	-	4,736

ที่มา : ดัดแปลงจาก ภูธร เรืองยิ่ง (2548); ประสิทธิ์ สถิตย์เรืองศักดิ์ และคนอื่นๆ (2547); สุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2549) ;จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ และคนอื่นๆ (2549) อ้างถึงใน ธวัชชัย แซ่ด่าน (2550) และรวบรวมจาก ;ประริญา ราไพ (2546) ; อาภาวี ;เบ็ญจมาภรณ์ (2546) และ นิตติพงศ์ อนุรักษพงษ์พร (2546)

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้ว เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น มีค่าใกล้เคียงกับฟืน แกลบ ซึ่งนับว่าสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้อย่างดี และมีงานวิจัยสนับสนุนดังนี้

ประริญา ราไพ (2546) ศึกษาการนำทางชีววิทยามาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กากตะกอนที่ใช้ในการศึกษามาจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและโรงงานฟอกย้อม โดยทำการศึกษการใช้ร่วมกันของกากตะกอนและเปลือกมะพร้าวอ่อนในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปอัดแท่ง ผลการศึกษาการอัดแท่งพบว่าอัตราส่วนที่สามารถอัดได้ และเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ 1:1, 1:2 และ 1:3 ผลการหมักของตะกอนโรงงานผลิตเยื่อกระดาษพบว่าการหมักทั้ง 2 แบบทำให้กลิ่นลดลงและผลการใช้งานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่หมักแบบไม่มีอากาศดีกว่าหมักแบบมีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 3,398 แคลอรี/กรัม ผลการทดลองหมักกากตะกอนโรงงานฟอกย้อม พบว่าการหมักแบบมีอากาศให้การใช้งานความร้อน ดีกว่าการหมักแบบไม่มีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 2,851 แคลอรี/กรัม ผลการปรับปรุงโดยการเผาถ่านของแท่งเชื้อเพลิงทั้งสองโรงงานมีประสิทธิภาพดีกว่าการหมักทั้งสองแบบ ทั้งทางด้านกำจกกลิ่นและเชื้อโรคและการใช้งานความร้อน อัตราส่วนที่ดีที่สุดของถ่านแท่งเชื้อเพลิงโรงงานผลิตเยื่อกระดาษคือ 1:3 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,736 แคลอรี/กรัม และอัตราส่วนที่ดีที่สุดของถ่านแท่งเชื้อเพลิงโรงงานฟอกย้อมคือ 1:3 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 3,729 แคลอรี/กรัม เมื่อนำไปทดสอบการใช้งานความร้อนเปรียบเทียบกับถ่านไม้ พบว่าถ่านแท่งเชื้อเพลิงสามารถใช้งานความร้อนได้เทียบเท่ากับถ่านไม้และใช้เวลาในการติดไฟน้อยกว่า

Stannislav et al (2000) ได้ศึกษาการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่จากน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นกากตะกอนที่รีดน้ำออกแล้ว (sludge Dewatering) แล้วทำการหมัก (Composting) เหมือนกรรมวิธีการทำปุ๋ยหมัก หลังจากนั้นนำมาอัดแท่ง (Briquetting) ได้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และนำไปเผา (Combustion) ในเตาเผาขนาดทดลอง ซึ่งคล้ายกับ Fixed-grate Boiler ในห้องทดลอง จะมีเครื่องมือวัดความร้อนของกระบวนการเผาไหม้ และก๊าซต่างๆ เช่น NO_x , CO_x , SO_2 และโลหะหนักในขี้เถ้า (Ash) และขี้เถ้าลอย (Fly Ash) จากการทดลองพบว่ากากตะกอนหมักอัดแท่งเมื่อมีความชื้น 15 % จะให้ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ประมาณ 10 MJ/kg และมีค่าความร้อนสูง (HHV) ประมาณ 12.5 MJ/kg ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ เนื่องจากสภาวะการเผาไหม้ของกากตะกอนหมักอัดความร้อน 4,295.60 kcal/kg โดยความชื้นในการอัดแท่งและปริมาณเถ้าสูงสุดเป็น 70% และ 33.71% ตามลำดับ

สุริยา ชัยเชชากุล (2544) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมของกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับ จากการสับไม้ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจำนวน 11 อัตราส่วนผสม ดังนี้ 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 30:70 20:80 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก จากนั้นอัดเป็นแท่งแล้วเผาให้ถ่านเชื้อเพลิงและทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและลงทุน เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียกับเศษชิ้นไม้สับตั้งแต่ 100:0 ถึง 40:60 โดยน้ำหนัก สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ เมื่อนำไปเผาเป็นถ่านแล้วนำทดสอบคุณสมบัติหลักทางด้านเชื้อเพลิง 6 ด้านคือ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถันรวม และค่าความร้อน แล้วหาส่วนผสมที่ดีที่สุด พบว่าอัตราส่วนผสม 70:30 มีคุณสมบัติดีที่สุด เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น มีค่าใกล้เคียงกับฟืน แกลบ นอกจากนี้ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 8 อัตราส่วนซึ่งมีค่าประมาณ 4,090 kcal/kg ยกเว้นอัตราส่วน 100:0 และ 90:10

อาภาวดี เบ็ญจมาธารถกุล (2546) การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งได้มีการปรับปรุงคุณภาพการกากตะกอนน้ำเสียโดยการหมัก หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยผสมกับแกลบ และนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมาเผาเป็นถ่าน ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิงด้วยมาตรฐาน ASTM ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดแท่งโรงงานผงชูรสและโรงงานนมอยู่ที่ 1:1, 2:1 และ 3:1 โดยปริมาตร ซึ่งสามารถอัดขึ้นรูปได้ดีและใช้เวลาน้อย จากการนำตะกอนทั้ง 2 โรงงานมาทำการหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพ พบว่ากากตะกอนทั้ง 2 โรงงานหลังจากหมักแล้ว ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของโรงงานผงชูรส และโรงงานนมต่ำลง จากการวิเคราะห์ปัจจัยในการอัดแท่งความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจะแปรตามเวลาซึ่งขึ้นกับความชื้นของอัตราส่วนผสม จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเนื่องจากการแตก่วนน้อย ส่วนคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับฟืนไม้ และมีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าถ่านหิน สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพเผาให้เป็นถ่าน พบว่าประสิทธิภาพการใช้งานและการให้พลังงานแก่น้ำดีกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่เผาเป็นถ่าน

Stanislaw et al (2000) ได้ศึกษานำพลังงานกลับมาใช้ใหม่จากน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียโดยนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นกากตะกอนที่รีดน้ำออกแล้ว (Sludge Dewatering) แล้วทำการหมัก (Composting) เหมือนกรรมวิธีการทำปุ๋ยหมักหลังจากนั้น

นำมาอัดแท่ง (Briquetting) ได้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และนำไปเผา (Combustion) ในเตาเผาขนาดทดลอง ซึ่งคล้ายกับ Fixed-grate Boiler ในห้องทดลอง จะมีเครื่องมือวัดความร้อนของกระบวนการเผาไหม้และก๊าซต่างๆ เช่น NO_x , SO_2 , CO_x และโลหะหนักในเถ้า(Ash) และขี้เถ้าลอย(Fly Ash) จากการทดลองพบว่า กากตะกอนหมักอัดแท่งเมื่อมีความชื้น 15% จะให้ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ประมาณ 10 MJ/kg และมีค่าความร้อนสูง (HHV) ประมาณ 12.5 MJ/kg ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ เนื่องจากสภาวะการเผาไหม้ของกากตะกอนหมักอัดแท่ง และค่าความร้อนที่ได้ใกล้เคียงกับ Brown Coal แต่มีข้อได้เปรียบ คือ เกิดมลพิษทางอากาศที่น้อยกว่า นั่นคือไม่ก่อให้เกิด SO_2 จากการเผาไหม้ออกสู่อากาศ

Chang (2001) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยมีส่วนผสมต่างๆ (โดยน้ำหนัก) ได้แก่กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวเคมี 20-30 % ถ่านหิน 40-50 % coal slime 15-20 % carbide slay 1-4 % ดินเหนียว 1-5 % สารช่วยในการเผาไหม้ 1-4 % และสารดับกลิ่น 0.5-1 % โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ สามารถลดการใช้ถ่านหินได้ 10-25 % ลดการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ 60-75 % และลดฝุ่นจากการเผาไหม้และความเข้มข้นของก๊าซในโตรเจนออกไซด์ได้มาก และยังเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาได้ 100-150 OC และยังไม่ก่อให้เกิดมลสารทุติยภูมิอีกด้วย

Swany et al. (2000) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้กากตะกอนจากถังตกตะกอนผสมกับขยะที่เป็นของแข็งต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตกระดาษ และผงถ่านหิน ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งในครัวเรือนและในโรงงานอุตสาหกรรม

Dummerdorf et al. (1998) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนมาผสมกับ brown coal หรือ brown coal coke ในอัตราส่วนกากตะกอนต่อ brown coal ตั้งแต่ 1:3 จนถึง 3:1 โดยน้ำหนัก และนำมาอัดที่ความดันมากกว่า 50 บาร์ เพื่อให้คงรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางความร้อนโดยใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม (auxiliary fuel) ใน boiler ใน โรงผลิตไฟฟ้า หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางเคมีในกระบวนการไพโรไลซิส หรือกระบวนการ gasification เพื่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง หรือ synthesis gas

Sell et al. (1988) ได้ศึกษาการกำจัดกากตะกอนโดยการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อลดการใช้ที่ดินในการฝังกลบเพื่อกำจัดกากตะกอน จากการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนมีค่าความร้อนมากกว่า 6,000 Btu/(dry) lb และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณของแข็งมากกว่า 80 % จะทนแรงอัดได้สูง และทนทานต่อการกัดเซาะ (abrasion)

สุริยา ชัยเดชทยากุล (2544) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผสมเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเยื่อกระดาษ จำนวน 11 อัตราส่วนผสม

ดังนี้ 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 90:10 100:0 โดยน้ำหนัก แล้วทำการอัดแท่งเชื้อเพลิง เเผาไหม้เป็นถ่านเชื้อเพลิงและทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ของโรงงานที่มีอยู่ปัจจุบัน ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับเศษชิ้นไม้สับตั้งแต่ 100:0 ถึง 40:60 โดยน้ำหนัก สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ เมื่อนำไปเผาเป็นถ่านแล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงรวม 6 ด้าน คือ ปริมาณความร้อน ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยคาร์บอนคงตัว กำมะถันรวม และค่าความร้อน แล้วส่วนผสมที่ดีที่สุด พบว่า อัตราส่วน 70:30 มีคุณสมบัติดีที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นมีค่าใกล้เคียงกับฟืนแกลบนอกจากนี้ ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 8 อัตราส่วน ซึ่งมีค่าประมาณ 4,090 kcal/kg ยกเว้นอัตราส่วน 100:0 และ 90:10

Muller (1986) ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับเศษใบไม้แห้งหรือส่วนของเศษใบไม้ที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้กากตะกอน 0.3-0.6 ส่วน ต่อเศษใบไม้ 1 ส่วน และกากตะกอน 0.6-1.0 ส่วนต่อส่วนของเศษใบไม้ที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย 1 ส่วน พบว่าเศษใบไม้และส่วนของเศษใบไม้ที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย จะช่วยลดความชื้นในกากตะกอนได้ดี เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 4,300 kcal/kg โดยมีการเผาไหม้คล้ายกับถ่านหินลิกไนต์ เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มีปริมาณมากแต่ประกอบด้วยเกลือของสาร อนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และสารประกอบที่มีโพแทสเซียม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้และเศษวัสดุที่ใช้คือแกลบจะเป็นตัวช่วยลดความชื้นของตัวตะกอนและลดความหนาแน่นของตัวตะกอนเพื่อให้เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน เพราะถ้าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงแท่งมีมากจะทำให้จุดติดไฟยาก

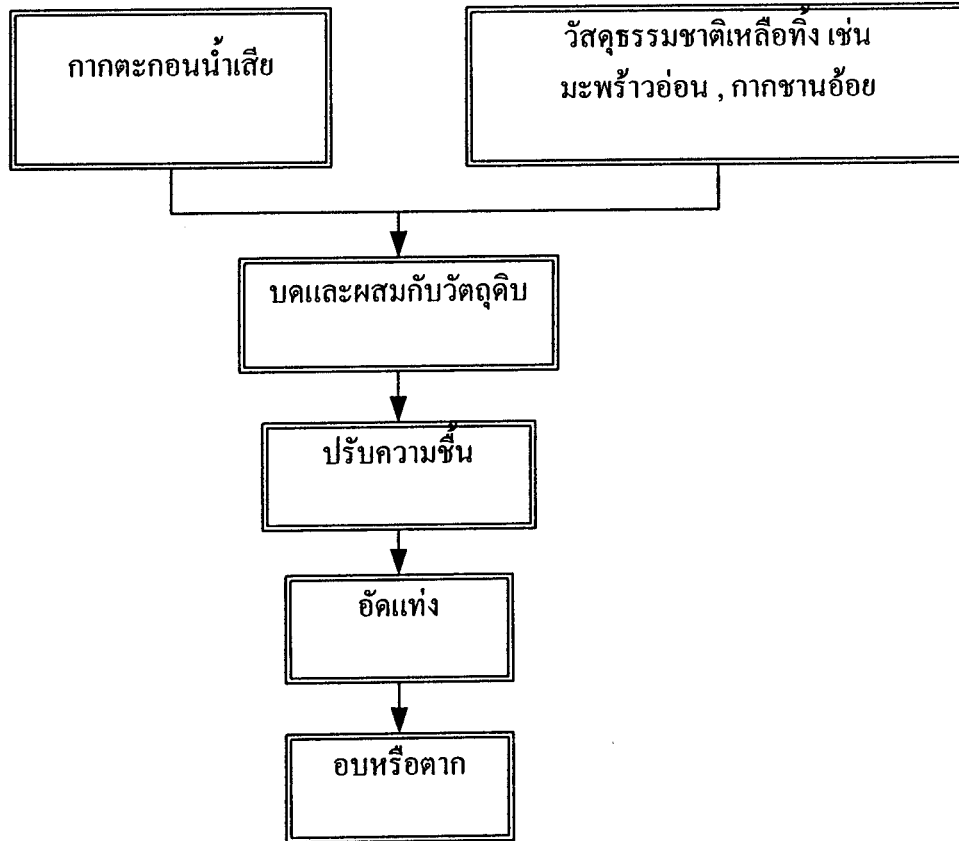
สุพจน์ เชนผล (2546) ศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับขานอ้อย โดยผสมกากตะกอน (ฟิลเตอร์เค้ก) กับขานอ้อยที่อัตราส่วน(กากตะกอน:ขานอ้อย) ต่าง ๆ และทำการอัดแท่ง จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และนำอัตราส่วนที่เหมาะสมไปทำการเผาเป็นถ่าน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างถ่านอัดแท่งกับเชื้อเพลิงอัดแท่งผลการวิจัยพบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อขานอ้อยที่ 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ในขณะที่อัตราส่วน 3:7, 2:8, 1:9 และ 0:10 ไม่สามารถอัดออกมาเป็นแท่งได้เนื่องจากมีปริมาณขานอ้อยมากเกินไป นำอัตราส่วนที่มีปริมาณขานอ้อยมากที่สุด 3 อัตราส่วน ได้แก่ 6:4, 5:5 และ 4:6 มาวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่า อัตราส่วน 4:6 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงที่สุดและเมื่อทำการเผาถ่านแล้ว พบว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งดีกว่าถ่านอัดแท่ง การนำไปใช้ในสภาพเชื้อเพลิงอัด

แท่งจึงเหมาะสมกว่าการนำไปทำเป็นถ่าน สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 4:6 มาทำการวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่าโรงงานน้ำตาลที่ศึกษาภายใต้เงื่อนไขของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งระดับอุตสาหกรรมขั้นต่ำ สามารถมีกำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 347,700 แท่ง/ปี และมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 1.58 บาท/แท่ง

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอน ควรใช้การอัดแท่งแบบเย็นเนื่องจากกากตะกอนจะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (binder) ในตัวเองมีความเหนียวและความชื้นในปริมาณที่เหมาะสมอยู่แล้ว นอกจากนี้ลักษณะสีตะกอนและเนื้อตะกอนคล้ายกับเนื้อดิน เมื่อนำมาบีบจะจับตัวกันเป็นก้อนจึงมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานได้ (สุรียา ชัยเดชทยากุล, 2544) ดังนั้นจะช่วยลดขั้นตอนที่ยุ่งยากในการอัดแท่งเป็นอย่างมากจึงเป็นการอัดเย็นหรือการอัดเปียก ความชื้นของส่วนผสมระหว่างตะกอนและวัสดุเหลือใช้อื่นๆจะต้องไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้อัดออกมาได้ยากจะต้องเติมน้ำให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมหรือถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้เกลียวของเครื่องอัดคายส่วนผสมไม่สามารถอัดออกมาเป็นแท่งได้ ควรมีค่าประมาณ 60 % จึงจะเหมาะสมในการอัดแท่ง (วิระสิกร แดงประเสริฐ, 2524) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตะกอนและเศษวัสดุที่ใช้ผสมลงไป ถ้ามีความชื้นและความเหนียวอยู่ในตัวแล้ว จึงไม่ต้องเติมน้ำลงไปในส่วนผสมมากก็สามารถอัดออกมาได้ดี เครื่องอัดแท่งควรรู้ใช้ แบบเกลียวคู่ (Twin Screw Press) เพราะสามารถอัดได้ 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

การปรับปรุงกากตะกอนน้ำเสีย การหมักแบบไม่มีอากาศ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนดีขึ้น คือกลิ่นเหม็นลดลง เนื้อตะกอนยุ่ยและสีเข้มขึ้น เนื่องจากกากตะกอนมีความคงตัวมากขึ้นไม่เกิดการย่อยสลายอีก(เสริมพล รัตสุข และ ไชยบุทธิ์ กลิ่นสุคนธ์ ,2524) แต่การหมักจะทำให้ค่าความร้อนของกากตะกอนลดลงจากเดิม แต่ในกรณีของการหมักแบบมีอากาศ กากตะกอนที่ผ่านการหมักแบบมีอากาศทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนดีขึ้น คือกลิ่นของกากตะกอนหายไปเนื่องจากกากตะกอนมีความคงตัวมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความร้อนกากตะกอนด้วย การหมักแบบมีอากาศ และจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ บางงานวิจัย กล่าวว่า การหมักแบบมีอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อย

5.6 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 3.33 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.6.1 การผสม นำกากตะกอนน้ำเสียและวัสดุธรรมชาติเหลือทิ้ง เช่น กะลามะพร้าว กากชานอ้อย ขุยมะพร้าว และขี้เถ้า เป็นต้น มาผสมให้เข้ากัน โดยบดด้วยเครื่องบดผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม

5.6.2 การปรับความชื้น โดยปรับความชื้นของวัตถุดิบด้วยน้ำเพื่อให้เกิดการเกาะตัวกัน สามารถอัดเป็นแท่งออกมาได้ โดยปรับความชื้นของส่วนผสมสำหรับการอัดแท่งให้อยู่ในช่วง 50-60% เพราะถ้าความชื้นที่สูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถอัดแท่งได้เนื่องจากส่วนผสมจะไหลย้อนกลับออกมาและส่วนผสมที่มีความชื้นต่ำเกินไปเมื่ออัดแท่งออกมาแล้ว ส่วนผสมจะร่วน ไม่เกาะตัวกัน ทำให้แท่งเชื้อเพลิงไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ (Ostejski, 1998 และฉัฐพร คำรงโรจน์วัฒนา, 2546)

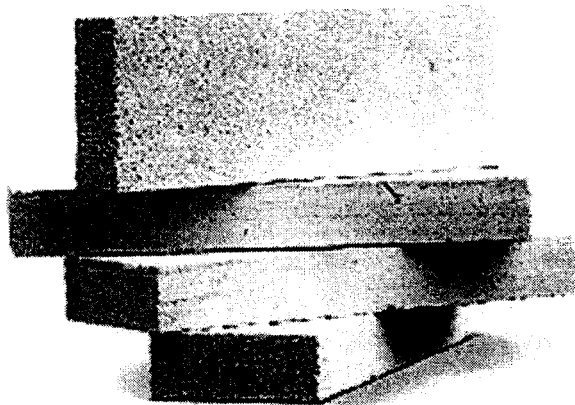
5.6.3 การอัดแท่ง นำวัตถุดิบที่บดผสมแล้วใส่ในฮอปเปอร์ (Hopper) ของเครื่องอัดแท่งแบบเกลียว แล้วเดินเครื่องอัดแท่ง โดยแท่งเชื้อเพลิงจะออกมาทางกระบอกล้ออย่างต่อเนื่อง

5.6.4 การตัดแท่งเชื้อเพลิง แท่งเชื้อเพลิงที่ออกมาจากเครื่องอัดแท่งจะผ่านเข้าสู่เครื่องตัดแท่งเชื้อเพลิงมีความยาวแท่งละ 10 เซนติเมตร

5.6.5 การตากแห้ง นำไปตากเป็นเวลา 1 เดือน เนื่องจากทำให้แท่งเชื้อเพลิงแห้งได้ดีและเร็ว

6. การทำคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังและพื้น ด้วยคุณสมบัติพิเศษที่เป็นผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบาและสามารถป้องกันความร้อนได้ดีทำให้ประหยัดการใช้พลังงาน ทนต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูง สามารถกันไฟได้นานกว่าผนังอิฐมวลเบา และคอนกรีตบล็อกทั่วไป 2-4 เท่า ดังภาพที่ 3.34 คอนกรีตมวลเบา



ภาพที่ 3.34 คอนกรีตมวลเบา

ที่มา : www.thaisecondland.com/wp-content/uploads/2008/11

คอนกรีตมวลเบา เป็นนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างรูปแบบใหม่สำหรับวงการก่อสร้างของไทย ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูง และเป็นทางเลือกใหม่ในวงการก่อสร้าง เนื่องจากคอนกรีตมวลเบา มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากคอนกรีตชนิดอื่นๆ คือ สามารถนำไปใช้สร้างบ้านได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี มีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่า 50 ปี คอนกรีตมวลเบา ซึ่งจัดว่าเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีอัตราการเติบโต เป็นที่รู้จักในตลาดเพิ่มมากขึ้นขณะที่คอนกรีตมวลเบา มีการใช้มานานในต่างประเทศแต่ยังเป็นวัสดุก่อสร้างแบบใหม่ในประเทศไทย ปัจจุบันคอนกรีตมวล

เขาเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในวงการก่อสร้างและเป็นที่รู้จักและยอมรับในด้านคุณสมบัติที่โดดเด่น จึงมีการเปลี่ยนมาใช้คอนกรีตมวลเบาทดแทนอิฐมวลเบาและคอนกรีตบล็อกมากขึ้น

การทำคอนกรีตหรืออิฐมวลเบาให้มีน้ำหนักเบาขึ้นมีหลายวิธี เช่น การผสมวัสดุแทรกที่มีน้ำหนักเบาจำพวกถ่านหินที่จับตัวกันเป็นก้อน (Agglomerated) การทำให้เกิดโพรงในเนื้อคอนกรีตหรืออิฐ ด้วยการใส่สารผสมเพิ่มจำพวกสารกระจายแก๊งฟองอากาศ สารผสมเพิ่มการเกิดก๊าซ (Gas Forming Admixture) จำพวกฟองลูมิเนียมผงสังกะสี (A.M.Neville,1990)

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการผสมระหว่างทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซัม และฟองลูมิเนียม โดยมีฟองอากาศประมาณ 75% ทำให้มีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ ฟองอากาศภายในคอนกรีตมวลเบาจะเป็นแบบเซลล์ปิด ไม่ดูดซึมน้ำ หรือดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมวลเบา 4 เท่า ความเบาของคอนกรีตจะทำให้ประหยัดโครงสร้าง เป็นฉนวนความร้อน ไม่ติดไฟ ทนไฟที่ 1,100 องศาเซลเซียส ได้นาน 4 ชั่วโมง กันเสียงได้ดี

คอนกรีตมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ที่ได้จากการทำให้ฟองอากาศในคอนกรีตด้วยฟองลูมิเนียมหรือด้วยสารกระจายฟองอากาศในอัตราส่วนที่เป็นสูตรเฉพาะตัว ซึ่งผู้ผลิตหลายรายได้ใช้ระบบบอไอน้ำภายใต้ความดันทำให้เกิดฟองอากาศในคอนกรีต ซึ่งผู้ผลิตส่วนใหญ่ในประเทศไทยได้นำเข้าเทคโนโลยีและเครื่องจักรจากต่างประเทศ เช่น ประเทศเยอรมนี และออสเตรเลีย เป็นต้น ทำให้ราคาคอนกรีตมวลเบายังคงมีราคาสูงอยู่

จึงควรใช้ส่วนผสมที่เป็นของเหลือใช้ คือ กากตะกอนน้ำเสีย จะทำให้ต้นทุนลดลงได้ ซึ่งมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำกากตะกอนชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ซึ่ง ศิวกร สุขลังการ (2546) ได้ศึกษาโดยผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของกากตะกอน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้าแกลบ สามารถใช้ในงานก่อสร้างได้ และเพิ่มพล กาญจนามัย (2546) ศึกษาตะกอนดินที่เกิดจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน พบว่าดินตะกอนเป็นตะกอนทรายที่มีความเหนียวสูงที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี มีซิลิกา และอะลูมินา เป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีในปริมาณร้อยละ 63.38 และ 23.66 โดยน้ำหนักตามลำดับ และสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐมวลเบา โดยใส่ทรายช่วยลดการหดตัว และใช้ทดแทนดินลูกรังในรูปบล็อกประสานดินซีเมนต์ ในการผลิตอิฐมวลเบาและมีสมบัติทั่วไปตรงตามมาตรฐาน มอก. และใกล้เคียงกับอิฐมวลเบาทั่วไป

6.1 ประเภทคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา มีมากมายหลายประเภท หากมองเพียงภายนอกอาจแทบไม่แตกต่างกัน แต่ในความเป็นจริงแล้ว คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่ต่างกันจะทำให้

คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแตกต่างกันด้วย คอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปอาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ระบบดังนี้

6.1.1 ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง ซึ่งระบบนี้จะแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบาเป็นส่วนผสม เช่น ขี้เถ้า ขี้เถ้าอ้อย หรือเม็ดโฟม ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่จะมีอายุการใช้งานสั้นเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้สารเหล่านี้อาจจะติดไฟและเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัยได้

2) ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมีเป็นส่วนผสม เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมาก ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรง คอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่ เนื้อผลิตภัณฑ์มักมีสีเป็นสีปูนซีเมนต์ ต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง ซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลิตภัณฑ์สีขาว

6.1.2 ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง ซึ่งระบบนี้ สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิต คือ

1) ประเภทที่ 1 ใช้ปูนขาว มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งประเภทนี้จะควบคุมคุณภาพได้ยาก ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

2) ประเภทที่ 2 ระบบที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้ว ยังช่วยให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารให้กำลังในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน กว่าที่การผลิตในระบบอื่นมาก

6.2 นิยามศัพท์ทั่วไปของปูนฉาบ (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2544)

6.2.1 ปูนซีเมนต์ (cement) หมายถึง สารที่ประสานหรือยึดเกาะของแข็ง หรือมวล เช่น หิน กรวด ทราย ให้แข็งติดกัน

6.2.2 ซีเมนต์เพสต์ (cement paste) หมายถึง ส่วนผสมของปูนซีเมนต์กับน้ำ หรืออาจมีสารผสมเพิ่ม

6.2.3 มอร์ตาร์ (mortar) หมายถึง ส่วนผสมของซีเมนต์กับทราย

6.2.4 คอนกรีต (concrete) หมายถึง ส่วนผสมของมอร์ตาร์กับหินหรือกรวด หรืออาจมีสารผสมเพิ่ม

6.2.5 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (hydraulic cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัว

6.2.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ได้จากการบดปูนเม็ด (clunker) ที่มีไฮดรอลิกคัลเซียมซิลิเกต (hydraulic calcium silicate) กับสารหนึ่งหรือมากกว่าเป็นตัวเป็นองค์ประกอบทางเคมี

6.2.7 สารปอซโซลาน (pozzolan) หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบเป็นซิลิกา (silica) หรือมีทั้งซิลิกา และอลูมินา (alumina) เมื่อมีการบดเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) ที่อุณหภูมิปกติ พบมากในธรรมชาติในวัสดุพวกขี้เถ้าภูเขาไฟ เถ้าลอย (fly ash) ซึ่งสารปอซโซลานช่วยให้คอนกรีตเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้น

6.3 องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สารประกอบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้มาจากกาการเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ ซึ่งได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ดในรูปของผลึกละเอียดมาก สารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หลังจากการเผาแล้วได้แก่ ไทรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) ไทรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium aluminate) และเตทราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tricalcium aluminoferrite) ดังแสดงในตารางที่ 3.14 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นๆ อีกที่ได้หลังจากการเผา เช่น MgO TiO_2 Mn_2O_3 K_2O และ Na_2O ซึ่งปะปนอยู่เป็นจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ตารางที่ 3.14 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
เตทราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์	$ACaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF

ที่มา : วินิต ช่อวิเชียร (2539)

6.4 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบในปูนซีเมนต์

สารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ มีผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์เมื่อนำไปผสมกับน้ำเพื่อทำเป็นมอร์ตาร์หรือคอนกรีต เช่น อัตราการทำปฏิกิริยากับน้ำการให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน กำลังอัดในระยะแรก และระยะหลัง ความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต เป็นต้น ตารางที่ 3.15 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆ ของสารประกอบที่สำคัญ

ตารางที่ 3.15 คุณสมบัติของสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์

คุณสมบัติด้านต่างๆ	พฤติกรรมของสารประกอบแต่ละตัว			
อัตราการทำปฏิกิริยา	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
ความร้อนของปฏิกิริยา	ปานกลาง	ช้า	รวดเร็ว	ช้า
การพัฒนากำลังรับแรง :	ปานกลาง	น้อย	มาก	น้อย
ระยะแรก	เร็ว	ช้า	เร็ว	ช้า
ระยะหลัง	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความทนทานต่อการกัดกร่อน	ปานกลาง	สูง	น้อย	-

ที่มา : วินิต ช่อวิเชียร (2539)

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C₃S) เป็นสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดกำลังอัดได้เร็วในระยะแรก (ประมาณ 14 วันหลังการผสม) มีอัตราการทำปฏิกิริยากับน้ำปานกลาง ก่อตัวภายในไม่กี่ชั่วโมง ให้ความร้อนปานกลาง (ประมาณ 120 แคลอรีต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

ไดแคลเซียมซิลิเกต ทำให้เกิดกำลังอัดเพิ่มขึ้นในระยะหลัง (ตั้งแต่ 14-28 วันและเรื่อยไปเมื่อได้รับการบ่มชื้น) ทำปฏิกิริยากับน้ำค่อนข้างช้า ให้ความร้อนน้อย เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน มีความทนทานสูงต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต และมีการหดตัวแบบแห้งน้อย (Drying shrinkage) ปฏิกิริยาของ ไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตกับน้ำมีส่วนคล้ายกัน

สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (C-S-H) ทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดเป็นวุ้น มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียว ก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มีคุณสมบัติเป็นด่าง มีค่า pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้เป็นอย่างดี

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ทำให้เกิดกำลังอัดได้เร็วมากในระยะแรก (ประมาณ 1 วันหลังผสม) เพราะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อตัวและแข็งตัวเร็ว ให้ความร้อนมาก เมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งอาจทำให้เกิดการก่อตัวผิดปกติ แต่ไม่ช่วยให้มีกำลังอัดในระยะหลัง ทำให้เกิดความไม่คงตัวและไม่ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต จึงต้องใส่ยิปซัมลงเพื่อหน่วงปฏิกิริยา ดังนั้นในปูนซีเมนต์ที่สามารถต้านทานซัลเฟตได้ดีต้องมีค่า C₃A ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก)

เตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ ไม่ค่อยมีส่วนในการพัฒนากำลังอัดทั้งในระยะแรกและระยะหลัง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ ให้ความร้อนน้อย เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน สารประกอบนี้ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทาดำ

แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) หากมีอยู่ในปูนซีเมนต์เกินกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำให้เกิดความไม่คงตัว โดยมีการขยายตัวในมอร์ตาร์และคอนกรีต เกิดการแตกร้าวเสียหาย

ปูนขาวอิสระหรือ (CaO) จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากทำปูนซีเมนต์แข็งตัวแล้วหากมีอยู่เกินกว่า ร้อยละ 3 จะทำให้เกิดความไม่คงตัว และก่อตัวช้า

ซิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หรือ CSH_2) ทำให้ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติก่อตัวและแข็งตัวช้าลง หากมีอยู่มาก จะทำให้เกิดความไม่คงตัว และทำให้กำลังรับแรงน้อยลง

โปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) และ โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ซึ่งเป็นด่าง ทำให้เพิ่มกำลังอัดในระยะแรก แต่กำลังอัดในระยะหลังลดลง ถ้าผสมใช้กับวัสดุผสมที่ทำปฏิกิริยากับด่าง อาจทำให้เกิดการขยายตัว ในมอร์ตาร์หรือคอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหาย นอกจากนี้ยังทำให้ปูนซีเมนต์ที่บรรจุอยู่ในถุง จับตัวเป็นก้อนเร็ว

6.5 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่างคอนกรีตมวลเบากับคอนกรีตปกติ

6.5.1 คอนกรีตมวลเบามีความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตปกติ เนื่องจากมีโพรงอากาศภายในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาจึงเหมาะสำหรับงานตกแต่งภายใน หรืองานฉนวนกันความร้อน

6.5.2 ในเรื่องความคงทนพบว่า คอนกรีตมวลเบาไม่สามารถทนการกัดกร่อนจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพและการกระทบกระแทกเนื่องจากแรงภายนอกได้ เนื่องจากคอนกรีตเบา มีโพรงอากาศอยู่ภายใน ดังนั้น คอนกรีตมวลเบาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพที่มีสารจำพวกซัลเฟตเจือปนอยู่หรือในสภาพดินชื้น ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรมีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการสึกกร่อน

6.5.3 การนำความร้อน คอนกรีตมวลเบาเป็นตัวนำความร้อนที่เลว เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีโพรงอากาศมาก ทำให้คอนกรีตเบาดูดซับความร้อนได้ไม่ดี

6.5.4 มีความสามารถทนไฟได้ดี กำลังรับแรงดึงมากกว่าคอนกรีตปกติ

6.5.5 คอนกรีตมวลเบาสามารถรับกำลังและมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับเนื้อคอนกรีตได้ดี

กากตะกอน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทำเป็นวัสดุก่อสร้างได้หลากหลาย เช่น คอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของกากตะกอน , บล็อกคอนกรีตปูพื้น , ผลิตแผ่นโพลีเอสเตอร์เทน , ผลิตแผ่นเส้นใยอะซิเมนต์ , ทำเป็นวัสดุ پوشโซลาน

ในการผลิตบล็อกลมวลาถึงแม้จะมีหลายเกณฑ์ที่ผ่านมาตรฐาน แต่ขนาดของคอนกรีตบล็อกลักษณะความหนา, ขนาดของก้อนคอนกรีตบล็อกลักษณะความยาว, มีค่าความต้านทานแรงอัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งต้องมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

ศิวกร สุขลังการ (2546) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกลมวลา ชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้าแกลบ อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก ผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกลักษณะ 70x190x390 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกระบบสันสะเทือน พบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกลมวลา ชนิดไม่รับน้ำหนัก คือ สูตรที่มีอัตราส่วนผสมของวัสดุคือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 40 ทรายร้อยละ 40 เถ้าแกลบ ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 20 มีคุณสมบัติทางกายภาพด้านคุณลักษณะทั่วไป (มอก. 58-2533) คือความหนาของแกนผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยมีความหนาของแกน 14 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้มากกว่าหรือเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ด้านความแข็งแรงผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะก้อนคอนกรีตบล็อกลักษณะไม่เกิดรอยแตกร้าวและรอยบิ่นใดๆ ลักษณะก้อนบล็อกลักษณะความแข็งแรง เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ก้อนคอนกรีตบล็อกลักษณะต้องแข็งแรงทุกก้อนปราศจากรอยแตกร้าว หรือรอยเสียดอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการกร่อน ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจด้านความเหมาะสมในการฉาบปูนหรือแต่งปูน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะมีผิวหน้าของก้อนคอนกรีตหยาบพอแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่ง ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจขนาดของคอนกรีตบล็อกลักษณะความหนาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยมีความหนาเฉลี่ย 65 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ 70 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตบล็อกลักษณะความสูง โดยมีความสูงเฉลี่ย 194 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ 190 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร และขนาดของก้อนคอนกรีตบล็อกลักษณะความยาวไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยมีความยาวเฉลี่ย 396 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ 390 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ด้านความต้านทานแรงอัด การทดสอบตามมาตรฐาน (มอก. 109-2517) เมื่อก้อนคอนกรีตบล็อกลักษณะมีอายุ 28 วัน เกณฑ์มาตรฐานกำหนดต่ำสุดแต่ละก้อน 2.0 เมกะพาสคัล และเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อกลักษณะ 5 ก้อน 2.5 เมกะพาสคัล สูตร 13 ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยมีค่า 1.6 เมกะพาสคัล มีค่าความต้านทานแรงอัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (มอก. 58-2533, มอก. 109-2517) แต่เมื่อนำค่าความต้านทานแรงอัดไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานอังกฤษ Bs 2028 ค่าทั่วไปของกำลังอัดสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีกำลังอัดเมื่ออายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัด 16 กิโลกรัม/ซม.² หรืออยู่ในช่วง

14-56 กิโลกรัม/ชม.² ของมาตรฐานอังกฤษ ด้านการหดแห้ง (มอก. 110 -2517) พบว่ากากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษมีความชื้นสูง และมีความพรุนมาก ค่าการหดแห้งของก้อนคอนกรีตบล็อกมีการหดตัวมาก เมื่อแห้ง และจะเริ่มคงที่เมื่อบ่มหรือตากไว้ให้แห้งสนิท เช่นเดียวกันกับน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อก เมื่อแห้งสนิท น้ำหนักจะเริ่มคงที่

เพิ่มพล กาญจนามัย (2546) ศึกษาตะกอนดินที่เกิดจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน พบว่าดินตะกอนเป็นตะกอนทรายที่มีความเหนียวสูงที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี มีซิลิกา และอะลูมินา เป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีในปริมาณร้อยละ 63.38 และ 23.66 โดยน้ำหนักตามลำดับ ในการศึกษาจึงนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐมอญโดยใช้ทรายช่วยลดการหดตัว และใช้ทดแทนดินลูกรังในรูปบล็อกประสานดินซีเมนต์ ในการผลิตอิฐมอญ พบว่า การผสมทราย 20% โดยน้ำหนักจะช่วยลดการหดตัว การเผาที่ 700C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยอิฐมอญให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่า 35 กก./ตร.ซม. และมีสมบัติทั่วไปตรงตามมาตรฐาน มอก. และใกล้เคียงกับอิฐมอญทั่วไป ส่วนการใช้ดินตะกอนทดแทนดินลูกรังในรูปบล็อกประสานดินซีเมนต์ พบว่า สัดส่วน ปูนซีเมนต์ : ดินลูกรัง : ดินตะกอน ที่ 2:5:2 โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมที่สุด สามารถรับแรงอัดได้สูงกว่า 70 กก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน แต่จะมีข้อจำกัดด้านความชื้นขณะใช้งาน และมีค่าการดูดซึมน้ำเกินกว่ามาตรฐาน มอก.

กรณชัย โสภณพละกุล และคณะ (2548) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนประปาเพื่อนำมาใช้เป็นสารปอซโซลาน การหาค่ากำลังอัดประลัยของก้อนบล็อกคอนกรีตปูพื้นที่มีตะกอนประปาเป็นส่วนผสม และเปรียบเทียบกำลังอัดประลัยกับก้อนตัวอย่างมาตรฐาน ซึ่งมีการทดสอบโดยการนำตะกอนประปามาใช้ผสมบล็อกคอนกรีตปูพื้น ในปริมาณตะกอนประปา ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับหินแกรนิต บ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน จากนั้น ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตปูพื้นธรรมดา ผลการทดลองพบว่าบล็อกคอนกรีตปูพื้นผสมตะกอนประปา ร้อยละ 10 ที่ค่าน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.6 เป็นอัตราส่วน ที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ ซึ่งผลทดสอบที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีดังนี้คือ กำลังอัดประลัยมีค่า 407.52 กก./ชม² ความหนาแน่นมีค่า 2540 กก./ม³ ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าร้อยละ 4.03 ซึ่งมีกำลังอัดประลัยน้อยกว่าก้อนบล็อกคอนกรีตปูพื้นธรรมดาเท่ากับ 22.4 กก./ชม² จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ตะกอนประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน ในการทำบล็อกคอนกรีตปูพื้นได้

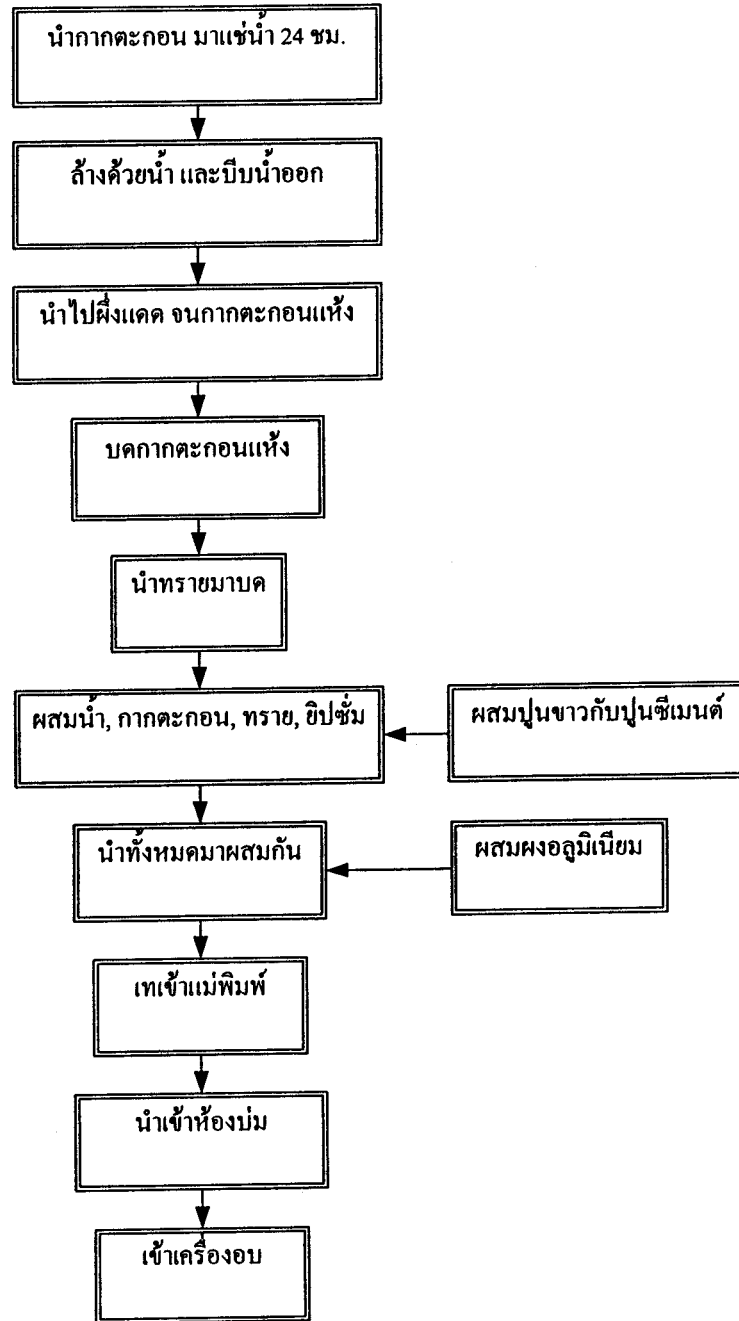
Fujimasu (1996) รายงานการนำเถ้ากากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษมาใช้ประโยชน์ในการผลิตแผ่นโพลีเอสเตอร์เทน

Asada และ Akamatsu (1992) ทดลองนำเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้กากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษมาอัดเป็นก้อนโดยใช้แรงอัด 0.3-2.0 ตัน/ตร.ซม. นำไปเผา แ่งที่ได้มีความหนาแน่น 1.4-3.5 กิโลกรัมและทนต่อแรงอัดได้ดีเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

ฉัตรชัย แกรมเงิน (2545) งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษมาผลิตแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ โดยนำกากตะกอนมาจากโรงงานเยื่อกระดาษที่ใช้ชานอ้อยและยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ ทำการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ ที่อายุทดสอบ 28 วัน เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, น้ำ และกากตะกอนน้ำเสีย พบว่ากากตะกอนชานอ้อย ร้อยละ 2 และอัตราส่วนน้ำต่อมวลของแข็งเท่ากับ 0.3 ให้แรงดัดสูงสุด ส่วนกากตะกอนยูคาลิปตัส ให้แรงดัดสูงสุดที่ปริมาณกากตะกอนร้อยละ 5 และอัตราส่วนน้ำต่อมวลของแข็งเท่ากับ 0.45 จากนั้นทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทนกล และทางความร้อน พบว่าความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนชานอ้อยร้อยละ 2 มีค่าสูงกว่าแผ่นซีเมนต์เพสต์ส่วนแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนยูคาลิปตัสร้อยละ 5 มีค่าต่ำกว่าแผ่นซีเมนต์เพสต์ ความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ทั้งสองชนิด มีระยะเวลาการบ่มมากขึ้น โดยแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนชานอ้อยร้อยละ 2 มีค่าต่ำกว่าแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนยูคาลิปตัสร้อยละ 5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมงของแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ทั้งสองชนิด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และการนำความร้อน ของแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนชานอ้อยร้อยละ 2 มีค่าสูงกว่าแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนยูคาลิปตัสร้อยละ 5 ส่วนการศึกษาเบื้องต้นของโครงสร้างจุลภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนพบว่า ที่อายุการทดสอบ 28 วัน แผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนชานอ้อยร้อยละ 2 มีพื้นที่ระหว่างกากตะกอนกับโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่แข็งแรงกว่าแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์ที่ใช้กากตะกอนยูคาลิปตัสร้อยละ 5

Frederick, WM.J และคณะ (1996) ประเมินเถ้าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแก๊สฟิเคชันจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อนำมาใช้เป็นแร่เติมผสมสำหรับคอนกรีตซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ แต่ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าเถ้านี้ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ที่จะนำมาใช้เป็นแร่เติมผสมสำหรับคอนกรีตซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากเถ้ามีคาร์บอนประกอบอยู่มากเกินไป มีเศษส่วนที่ละเอียดสูงเกินไป และมี Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3 น้อย แต่ก็มีการนำกากตะกอนที่ไม่มี Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3 เหมือนกันนี้มาใช้ในเชิงพาณิชย์ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาซีเมนต์แล้ว

6.6 ขั้นตอนการ ผลิตอิฐมวลเบาแบบผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง



ภาพที่ 3.35 ขั้นตอนการผลิตอิฐมวลเบาแบบผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

6.6.1 นำกากตะกอนน้ำเสีย ส่วนที่ผ่านเครื่องบีบอัดตะกอน จากระบบกำจัดตะกอน มาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6.6.2 ล้างด้วยน้ำ และบีบน้ำออก

- 6.6.3 นำไปฝั่งแคด จะได้กากตะกอนน้ำเสียในสภาวะฝั่งแห้ง
- 6.6.4 ทำการบดกากตะกอนแห้ง
- 6.6.5 นำทรายมาบดด้วยเครื่องบด
- 6.6.6 จากนั้นผสมกับน้ำ โดยนำกากตะกอนน้ำเสีย ทรายและยิบซัมผสมให้เข้ากันก่อนด้วยเครื่องผสม ในขณะที่เดียวกันก็ผสมปูนขาวกับปูนซีเมนต์
- 6.6.7 นำทั้งหมดมาผสมกัน ในขั้นตอนสุดท้ายจึงเทผงอลูมิเนียมลงในเครื่องผสม
- 6.6.8 เทส่วนผสมทั้งหมดเข้าแม่พิมพ์
- 6.6.9 นำเข้าห้องบ่มที่ให้ความร้อนและควบคุมความดัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาของอลูมิเนียมกลายเป็นฟองอากาศและฟองตัว ก้อนคอนกรีตที่ได้จะนำเข้าเครื่องตัดเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ
- 6.6.10 เข้าเครื่องอบโดยสายพานลำเลียง จะได้คอนกรีตมวลเบาที่แข็งตัว พร้อมทั้งจะจำหน่ายต่อไป

บทที่ 4

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

รายงานนี้ได้ศึกษาแนวทางการนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์จากเอกสารทางวิชาการและงานวิจัยต่างๆ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า

1.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมทุกขั้นตอนตั้งแต่การล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การล้างวัสดุอุปกรณ์และเครื่องจักรกล ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน ลักษณะของน้ำเสียจะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบกระบวนการผลิต รวมทั้งระบบควบคุมและบำรุงรักษาองค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Organic Matters) สารอนินทรีย์ (Inorganic Matters)

1.2 อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ และการบำบัดน้ำเสียจะใช้การบำบัดแบบชีววิทยาโดยใช้จุลินทรีย์ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นเซลล์ใหม่ สุดท้ายจะได้กากตะกอนออกมาเป็นจำนวนมาก สำหรับอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารอนินทรีย์เป็นส่วนประกอบในการผลิต เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมฟอกย้อม-สิ่งทอ และอุตสาหกรรมชุบโลหะ เหล่านี้ ก่อนที่จะนำน้ำเสียไปทำการบำบัดแบบชีววิทยาในขั้นสุดท้ายต้องมีการกำจัดสารอนินทรีย์ที่เป็นพิษออกไปก่อน เช่น กรด ด่าง สารเคมี โลหะหนัก เพื่อว่ากากตะกอนที่ได้จากการบำบัดแบบชีววิทยาสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้

1.3 กากตะกอนประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ ทั้งสารแขวนลอยและสารที่ละลายน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเศษเหลืออื่น ๆ ซึ่งจะถูกบำบัดและได้เป็นกากตะกอนไขมันในกากตะกอนมีปริมาณต่ำ (Tacon, 1979) ซึ่งจะมาจากของเสียที่ยังไม่ถูกย่อยและเซลล์ของจุลินทรีย์ ประกอบด้วยสเตอรอล (โคเลสเตอรอล) อนุพันธ์ของกรดน้ำดี แคลโรทีนอยด์ คิวโนน วิตามินที่ละลายในน้ำมัน เป็นต้น (Viswannathan *et al.*, 1961 and Furr *et al.*, 1976) อย่างเป็นทางการโดย Vriens *et al.*, 1989) คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ในกากตะกอนจะอยู่ในรูปโพลีแซคคาไรด์ มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นน้ำตาลอิสระ (Tacon, 1979) นอกจากนี้ยังประกอบด้วย เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (Vriens *et al.*, 1989) ปริมาณเถ้าในกากตะกอน ครั้งหนึ่งเป็นปริมาณเถ้าที่ละลายในกรด ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายในกรดและสารพวกซิลิเกต (Tacon, 1979) นอกจากนี้กากตะกอนยังเป็นแหล่งที่มีแร่ธาตุอื่นๆ ในปริมาณสูง โดยเฉพาะธาตุเหล็ก แมงกานีสทองแดง และสังกะสี (Erist *et al.*,

1980) Hoover *et al.* (1951) อ้างโดย พรธณี (2524) รายงานว่ากากตะกอนยังเป็นแหล่งที่มีวิตามินเกือบทุกชนิด เช่นเดียวกับ Vriens *et al.* ,1989 ปริมาณของวิตามินจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียและวิธีการบำบัดคุณสมบัติทางกายภาพของของกากตะกอน ค่าความร้อน 4,843 kcal/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับถ่านไม้

1.4 จากองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ ของกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม จึงทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ดังแนวทางต่อไปนี้

1.4.1 การทำอาหารสัตว์ อาหารที่มีคุณภาพดีควรมีสารอาหารครบตรงตามความต้องการของสัตว์แต่ละชนิดและแต่ละช่วงวัย เช่น ความต้องการ โปรตีนของไก่เนื้อตอนอายุ 0-3 สัปดาห์จะมีความต้องการมากที่สุด 23% และจะลดลงเรื่อยๆ ตามอายุที่มากขึ้น และปลอดภัยจากสารโลหะหนักแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค ราคาถูก สามารถหาได้ง่าย สัตว์ต้องได้รับอาหารที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและกรดอะมิโน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ โดยปริมาณวัตถุดิบที่จะใช้ขึ้นอยู่กับสูตรอาหารสัตว์ที่เหมาะสมกับสัตว์แต่ละชนิด จากผลการศึกษาพบว่ากากตะกอนมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี คือ ประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ ทั้งสารแขวนลอยและสารที่ละลายน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และเศษเหลืออื่น ๆ ซึ่งเป็นกากตะกอน ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูง ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีและสามารถนำมาเป็นส่วนผสมร่วมกับอาหารสัตว์ได้ คือในอาหารสุกร ใช้กากตะกอนผสมได้ 10% อาหารไก่ใช้กากตะกอนผสมได้ 20% และในปลานิล ใช้ผสมในอาหารได้ 60 % โดยที่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตเลยเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสัตว์ที่ใช้ทั่วไป แต่ต้องใช้การฉายรังสีเพื่อฆ่าเชื้อโรคในกากตะกอน ปริมาณ 3-4 กิโลกรัม ก่อนนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยการนำมาผสมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการบดและผสมตามสูตร อัดเม็ด ลดความชื้น กะเทาะเม็ดอาหาร เคลือบผิว และเก็บรักษา

1.4.2 การทำปุ๋ยหมัก ส่วนประกอบของกากตะกอนสามารถแยกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม) จุลธาตุอาหารพืช (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) และธาตุอาหารอื่นๆ และสารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์ และหนอนพยาธิต่างๆ โดยทั่วไป องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากตะกอนจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่น่าสนใจในการนำไปใช้ประโยชน์ทางเกษตร ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์สาร และมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีปริมาณธาตุอาหารหลักในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยมูลสัตว์ ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักได้ วิธีการทำปุ๋ยหมักที่เหมาะสมที่สุด คือ Tunnel Reactor Composting System เป็นการหมักในท่อหมัก โดยเครื่องจักรต่างๆ อยู่ภายนอกถังหมัก ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซม การระบายอากาศทั้งเข้า และออกใช้ควบคุมได้ ทำให้การหมักได้ผลดี แต่ในการนำกากตะกอนของเสียมาใช้

เป็นปุ๋ยหมักและปรับปรุงสภาพดินนั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่พืชสูงสุด จึงควรตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของสารพิษอันตรายและโลหะหนักที่พบในกากตะกอนน้ำเสีย ซึ่งเช่น Zn, Cu, Pb, Ni, และ Cd เนื่องจากถ้ามีปริมาณมากเกินไป อาจสะสมในพืชอาหารได้ในระยะยาว จึงควรใช้ปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ มากกว่าพืชผักและผลไม้

1.4.3 การทำแท่งเพาะชำ เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนเปรียบเทียบกับดิน ทำให้ทราบว่า กากตะกอนมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมากกว่าพืชในดิน เกือบทุกธาตุอาหาร ยกเว้น โพแทสเซียมและแมกนีเซียมซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน จึงควรผสมกับขุยมะพร้าวที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์คือมีเส้นใยยาวทำให้กากตะกอนยึดติดกันเป็นก้อน มีโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมสูง จึงเหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมของแท่งเพาะชำ ควรใช้เป็นขุยมะพร้าวเก่าที่ผ่านการหมัก หรือแช่น้ำทิ้งไว้เพื่อลดระดับของแทนนิน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ส่วนแกลบเผาที่มีคุณสมบัติให้กากตะกอนแยกตัวออกจากกัน ลดกลิ่นของกากตะกอน และเพิ่มแคลเซียม วิธีทำแท่งเพาะชำผสมกากตะกอนกับวัสดุทางการเกษตร เติมน้ำให้วัสดุผสมมีความชื้น ใส่ลงในกระบอกลูกครึ่งอัดแท่งเพาะชำ ดันคันเหยียบกระบอกลูกครึ่ง และนำไปวางเก็บไว้บริเวณที่ร่ม บ่มทิ้งไว้ให้แท่งเพาะชำอยู่ตัวประมาณ 6 สัปดาห์ก่อนนำไปปลูกพืช

1.4.4 ผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1. การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) 2. โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) กากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อต้มไอน้ำพบว่าในกรณีที่โรงงานมีการติดตั้งเครื่องมืออบแห้งสามารถใช้กากตะกอนเป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันได้ 100% ระบบการเผาไหม้ เชื้อเพลิงกากตะกอนจะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบครบทั้ง 4 ประการ ดังนี้ คือ มีปริมาณอากาศเพียงพอ มีการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศอย่างทั่วถึง มีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูง ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิด ไคซ์เบด (Fluidized Bed) ในห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ ส่วนใหญ่จะควบคุมอยู่ที่ประมาณ 850 องศาเซลเซียส ทำให้เกิด NO_x น้อย มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง และสามารถเผาเชื้อเพลิงได้หลายชนิด กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะมีความแตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) อย่างสิ้นเชิง โดยการเผาไหม้เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ในหนึ่งกระบวนการ แต่สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในของคาร์บอนในกากตะกอนไปเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Gas) โดยอาศัยปฏิกิริยา 2 กระบวนการ โดยก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าและง่ายต่อการใช้งานกว่ากากตะกอน เช่น สามารถนำไปเผาแทนก๊าซหุงต้มหรือน้ำมันเตาในหม้อน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำสำหรับในโรงงานอุตสาหกรรม หรือนำไปเผาให้เกิดก๊าซร้อนหรืออากาศร้อน เพื่อใช้ในการอบหรือบ่มสินค้าเกษตรกรรม หรือการอบในอุตสาหกรรมอื่นๆ สามารถใช้เดินเครื่องยนต์แก๊ส (Gas Engine) และ

กังหันแก๊ส (Gas Turbine) ใช้เพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวต่อไป (Liquid Fuels) และยังสามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 1 เมกะวัตต์

1.4.5 การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียทางด้านเชื้อเพลิงพบว่า กากตะกอนยังมีค่าความร้อนซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานได้ ค่าพลังงานความร้อนของกากตะกอนโรงงานผงขุรส คือ 4,427 kcal/kg ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับถ่านหินอาจมีค่าพลังงานแค่ 2,836 kcal/kg แต่ทั้งนี้ อาจจะต้องเพิ่มวัสดุอื่นๆ ที่ช่วยเพิ่มความร้อนเพื่อนำไปอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในปัจจุบันได้ โดยวัสดุที่จะต้องใช้ในการผสมดังกล่าว ควรเป็นวัสดุที่หาง่าย อาจเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งอาจต้องกำจัดทิ้ง หรือใช้วัชพืชต่างๆ อาทิ เช่น แกลบ ผักตบชวา ช้างข้าวโพด ใบอ้อย เพื่อที่จะนำวัสดุนั้นมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ต้องประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า สารที่ระเหยได้ คาร์บอนเสถียร กำมะถันรวม ค่าความร้อน การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอน ซึ่งกากตะกอนมีความเหมาะสมที่จะทำเป็นแท่งเชื้อเพลิง แต่มีปัญหาที่ปริมาณเถ้า คือมีเถ้าถึง 61.39 % วิธีการผลิตแท่งเชื้อเพลิงควรใช้การอัดแท่งแบบเย็นเนื่องจากกากตะกอนจะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (binder) ในตัวเองมีความเหนียวและความชื้นในปริมาณที่เหมาะสมอยู่แล้ว นอกจากนี้ลักษณะสีตะกอนและเนื้อตะกอนคล้ายกับเนื้อดิน เมื่อนำมาบีบจะจับตัวกันเป็นก้อนจึงมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานได้ (สุริยาชัยเดชทยากุล, 2544) ดังนั้นจะช่วยลดขั้นตอนที่ยุ่งยากในการอัดแท่งเป็นอย่างมากจึงเป็นการอัดเย็นหรือการอัดเปียก ความชื้นของส่วนผสมระหว่างตะกอนและวัสดุเหลือใช้อื่นๆ จะต้องไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้อัดออกมาได้ยากจะต้องเติมน้ำให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมหรือถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้เกลียวของเครื่องอัดคายส่วนผสมไม่สามารถอัดออกมาเป็นแท่งได้ ควรมีค่าประมาณ 60 % จึงจะเหมาะสมในการอัดแท่ง ดี เครื่องอัดแท่งควรใช้ แบบเกลียวคู่ (Twin Screw Press) เพราะสามารถอัดได้ 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีดังนี้ การผสมกากตะกอนกับวัสดุธรรมชาติ ปรับความชื้น อัดแท่ง และตากให้แห้ง

1.4.6 คอนกรีตมวลเบา เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการผสมระหว่างทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ใยซั่ม และผงอลูมิเนียม โดยมีฟองอากาศมากประมาณ 75% ทำให้มีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ ฟองอากาศภายในคอนกรีตมวลเบาจะเป็นแบบเซลล์ปิด ไม่ดูดซึมน้ำ หรือดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมวล 4 เท่า ความเบาของคอนกรีตจะทำให้ประหยัดโครงสร้าง เป็นฉนวนความร้อน ค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าคอนกรีตบล็อก 4 เท่า ดีกว่าอิฐมวล 6 ถึง 8 เท่า ไม่สะสมความร้อน ไม่ติดไฟ ทนไฟที่ 1,100 องศาเซลเซียสได้นาน 4 ชั่วโมง กันเสียงได้ดี กากตะกอนใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตได้จากทดสอบในทางด้านกำลัง พบว่าสามารถเป็นวัสดุก่อสร้างได้ ในการผลิตบล็อกมวลเบาถึงแม้จะมีหลายเกณฑ์ที่ผ่านมาตรฐาน แต่ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความหนา, ขนาดของก้อนคอนกรีต

บล็อกด้านความยาว ,มีค่าความต้านทานแรงอัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งต้องมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป และสามารถใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น บล็อกคอนกรีตปูพื้น, อิฐมอญ, ผลิตแผ่นโพลีเอทิลีนเรเทน , ผลิตแผ่นเส้นใยออสซีเมนต์ , ทำเป็นวัสดุปูอชโซลาน

2. อภิปรายผล

จากข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการศึกษากันคว้าและรวบรวมจากเอกสารวิชาการต่างๆ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศถึงการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนในประเทศไทยมา พบว่ามีความเป็นมีการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยมีข้อมูลสนับสนุน เช่น การทำเป็นอาหารสัตว์ การทำเป็นปุ๋ยหมัก การทำแท่งเพาะชำ การเผาไหม้โดยตรง การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง การทำเป็นวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น สำหรับการที่จะเลือกใช้แนวทางควรพิจารณาถึงความเหมาะสมตามปัจจัยต่างๆ ดังเช่น คุณสมบัติของกากตะกอนเนื่องจากกากตะกอนแต่ละประเภทอุตสาหกรรมมีลักษณะแตกต่างกัน มีทั้งเป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ และมีปริมาณสารอาหารที่พืชและสัตว์ต้องการไม่เท่ากัน รวมถึงค่าพลังงานความร้อน และปริมาณเชื้อโรค และปริมาณของโลหะหนักด้วย งบประมาณการลงทุน ความเหมาะสมด้านสถานที่ และปริมาณของกากตะกอน เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้อง วิเคราะห์ความเหมาะสมของการลงทุน แต่เมื่อคำนึงถึงด้านต้นทุนการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนโดยใช้วัสดุที่เป็นของเหลือทิ้งที่ปกติต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดและบำบัดมาก เช่น บริษัท กระจายสหไทย จำกัด นำกากตะกอนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินในปริมาณวันละ 20 ตัน/วัน สามารถลดการใช้ถ่านหินลงได้ประมาณ 6.67 ตัน/วัน คิดเป็นมูลค่า 2,160,000 บาท/ปี และลดค่าใช้จ่ายในการขนกากตะกอนไปกำจัดลงได้ประมาณ 864,000 บาท/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 3,024,000 บาท/ปี ทำให้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 11.5 เดือน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนของสินค้าได้ทางหนึ่ง ซึ่งจะสามารถแข่งขันกับตลาดโลกได้ และยังสามารถใช้อาหารสัตว์ลดต้นทุนในด้านอาหารได้ถึง 60%

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ควรศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจากโรงงานที่จะนำมาใช้ประโยชน์ก่อน เนื่องจากบางครั้งถึงแม้จะเป็นอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน แต่อาจมีคุณสมบัติทั้งกายภาพและเคมีแตกต่างกัน รวมถึงสารพิษอันตราย , โลหะหนัก และเชื้อโรคต่างๆ ซึ่งหลงเหลืออยู่จากกระบวนการบำบัดและกำจัดกากตะกอน แล้วจึงเลือกแนวทางในการใช้ประโยชน์

3.2 ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในการนำกากตะกอนมาใช้ในด้านการเกษตร คือ การใช้ปลูกพืชและการเลี้ยงสัตว์สำหรับใช้เป็นอาหาร เพราะเมื่อใช้ไประยะยาวอาจเกิดการสะสมในดิน ถึงแม้ว่าการศึกษาวิจัยแต่ส่วนใหญ่ยังคงเป็นระยะสั้นซึ่งโลหะหนักและสารพิษอันตรายอาจยังมีการสะสมในดิน ในพืช หรือในสัตว์ไม่มากนัก แต่เมื่อได้รับเป็นอย่างต่อเนื่องหลายปีอาจจะมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารได้

3.3 ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน คือ การใช้เป็นเชื้อเพลิงอาจจะมีโลหะหนักและสารพิษต่างๆ เจือปนในแก๊สที่ได้จากการเผาในปริมาณที่สูงซึ่งมีความแตกต่างกันตามกากตะกอนประเภทอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะพบมากในกากตะกอนประเภทอนินทรีย์ ซึ่งควรมีการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้น และติดตั้งระบบบำบัดมลพิษที่เตาเผาด้วย และ การทำเป็นวัสดุก่อสร้าง อาจจะมีสารอันตรายแพร่ออกมา ซึ่งอาจเป็นอันตรายกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้

3.4 ควรมีการศึกษาวเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการ แต่ละโครงการ โดยละเอียด วิเคราะห์ความเหมาะสมการลงทุนและพัฒนาโครงการ

3.5 ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปขยายผลใช้เป็นแนวทางในการจัดการ และการใช้ประโยชน์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีกากตะกอนเกิดขึ้น จากกระบวนการผลิตได้ทุกโรงงาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ (2547) คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2542) “การผลิตแ่งเพาะชำและปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ” การนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ วันที่ 4 มีนาคม 2542 ศูนย์เกษตรอ้อยภาคกลาง อำเภอท่าม่วง กาญจนบุรี
- กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ (2547) วัตถุประสงค์อาหารสำหรับสุกรและสัตว์ปีก กรุงเทพมหานคร กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กองจัดการสารอันตราย (2536) กากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กรุงเทพมหานคร
- ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์ (2545) “มลพิษน้ำและผลกระทบบ” ใน ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ บทที่ 2 มิตรนราการพิมพ์ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย กรมโรงงานอุตสาหกรรม
- จักรกฤษณ์ ศิวเดชาเทพ (2544) “การบำบัดและกำจัดสลัดจ์” ใน การจัดการคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม หน่วยที่ 8 นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
- จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ (2549) “สมบัติทางกายภาพและสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากชีวมวลผสม 2 คู่” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา หน้า 1-4
- ชัชชัย พูนสวัสดิ์ (2549) “ การใช้สลัดจ์จากโรงผลิตน้ำประปาเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องดินเผาungหลังคา” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ชัยสิทธิ์ ทองจู และคณะ (2541) “การผลิตแ่งเพาะชำจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ” สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร
- ชื่นจิต กิ่งนรา (2544) การทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสีย คณะทรัพยากรชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- ณัฐพร คำรงโรจน์วัฒนา (2546) “การศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนร่วมกับเศษวัสดุเหลือใช้ การเกษตรเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ดวงรัตน์ มุกต์มณี (2540) “การเจริญเติบโตและจำนวนรอดของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงด้วยอาหาร ผสมกากตะกอนของโรงงานผลิตเบียร์ในอัตราที่แตกต่างกัน” วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศุริยะประพันธ์ สุนทรและคณะ (2541) “การผลิตแท่งเพาะชำจากกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสีย โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ” สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร
- นายธวัชชัย แซ่ด่าน (2550) “แนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย” การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญา สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
- นเรศ สัตยรักษ์ และคนอื่นๆ (2549) *ทิศทางการพลังงานไทย* สำนักประชาสัมพันธ์ กระทรวง พลังงาน กรุงเทพมหานคร
- นันทนา วิจิตรทัศนาศนา (2550) “การบำบัดกากตะกอนเร่งจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดย กระบวนการหมักทำปุ๋ยร่วม” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นิตา พักตร์วิไล (2546) “การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอินทรีย์สาร เพื่อการผลิตเชื้อเพลิงแท่ง” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะ พลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- นโยบาย ทองเย็น (2550) “การใช้กากตะกอนนมแห้งผสมในอาหารนำกระทาเนื้อ” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหาร ศาสตร์
- บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดักส์ จำกัด (2549) “เรื่องของคอนกรีตมวลเบา” ค้นคืนวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2552 จาก <http://www.engineer-thai.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=446047&Ntype=25>

- บริษัทพร้อมมาก พี.จี. (2550) “Pyrolysis-Gasification Electricity Power Production” ค้นคืนวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2552 จาก <http://www.promptmark.com/knowledge2.asp>
- ปฐม ชัยพฤกษ์ทล (2542) “ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใช้ประโยชน์ในเตาเผากากตะกอนแบบฟลูอิดไคซ์เบด” ปรินญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ประริญา ราไฟ (2546) “การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอนินทรีย์สารเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง” ปรินญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ประทีป ปิ่นน่วม (2538) “การศึกษาการทำจี้อยู่ที่เหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง” บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร
- พรรณี สุกนิมิตกุล (2524) “ผลจากการใช้กากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตนมที่ผ่านการเตรียมต่างกรรมวิธีต่อคุณลักษณะของไก่อะทอง” วิทยานิพนธ์ปรินญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2548) “แก๊สซิฟิเคชัน” ค้นคืนวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2552 จาก http://www.efe.or.th/old/index.php?option=com_content&task=view&id=180&Itemid=44&limit=1&limitstart=1
- มัน ศรีเรือนทอง (2537) “คอนกรีตเบา Light weight concrete” วิศวกรรมสาร ฉบับ ว.ส.ท. เทคโนโลยี 47(5): 42-45
- มันสิน ตันจตุลเวศม์ (2542) เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1 กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มันสิน ตันจตุลเวศม์ (2542) เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 2 กรุงเทพมหานคร แชน.อี. 68 คอนซัลตัง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด
- ขุนฉลาด สิริินดา, เฟลเกลทิม ดับบลิว และมีวุฒิสม วิทยา (2527) “การผลิตอาหารโปรตีนโดยใช้ น้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษ” ใน เอกสารการประชุมวิชาการเรื่อง utilization of rural and urban wastes 26-28 มกราคม 2527 สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 163-177
- วรรณ หมู่ศิลป์ (2547) “การผลิตปุ๋ยกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง” สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- วิชาวุธ พงศ์ธีรารัง (2545) “การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียของโรงงานอาหาร
กระป๋องเป็นวัสดุปลูกต้นบานชื่นและดาวเรือง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
- วิทยา ดินนังวัฒนะ (2539) “การเลี้ยงปลานิลด้วยกากตะกอนจากโรงงานผลิตเบียร์ที่ผ่านการฉาย
รังสี” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม (2549) “แนะนำ COE in Biomas” ค้นคืนวันที่ 8 กุมภาพันธ์
2552 จาก http://vishnu.sut.ac.th/eng/biomass/coe_info02.html
- วีรพงศ์ วุฒิปันธุ์ชัย (2536) การเพาะพันธุ์ปลา โอเคียนสโตร์
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง , อุวิทย์ สุวคันทรกุล และสุดใจ เหง้าสีไพร (2550) “การศึกษาอัตราส่วนที่
เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว” วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา
ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2550 (77-87)
- ศิวกร สุขลังการ (2546) “การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อก
มวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ
โรงงาน อุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย
และเส้นใย” วิทยานิพนธ์ศึกษามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครี
นทรวิโรฒ
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2549) “โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก วช.หนุนวิจัยสร้าง
ต้นแบบเพื่อชุมชน” ค้นคืนวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2552 จาก
<http://www.thaienergynews.com/ArticleShowDetail.asp?ObjectID=190>
- สุจินันท์ ยิมคมขำ (2546) “การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย
อุตสาหกรรมกระดาษมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์” วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี
- สุชาดา บัวพันธ์ (2548) “การศึกษาสูตรและสัดส่วนธาตุอาหารที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์
จากกากตะกอนน้ำของโรงงานผลิตน้ำอัดลมสำหรับการปลูกพืชผัก” วิทยานิพนธ์ สาขา
การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
- สุพจน์ เดชผล (2546) “การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำ
เสียโรงงานน้ำตาลผสมกับขานอ้อย” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- สุริยา ชัยทยากุล (2544) “การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย และเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ” บัณฑิตวิทยาลัย คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม หน้า 1-6
- ส่วนคั้นคว่ำและพัฒนาพลังงาน (2544) “การนำเศษถ่านแกลบอัดแท่งมาปรับปรุงคุณภาพและการผลิต” สำนักศึกษาค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน หน้า 2-38
- อาภาวดี เบ็ญจมาภรณ์ (2546) “การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นพลังงานทดแทน” วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2549) *การบำบัดน้ำเสีย* กรุงเทพมหานคร มิตรนราการพิมพ์
- เพิ่มพล กาญจนามัย (2546) “การใช้ตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนในอุตสาหกรรมก่อสร้าง” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- เรวดี ช่วยกุล (2541) “เตาเผากากตะกอนฟลูอิด ไคซ์เบด โดยใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงผสม” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้า
- โกวิท หนูประมูล (2532) อาหารกับการฉายรังสี ข้าว พปส. 4(1) : 13-16
- Ahn, B.H. (1979.) Studies on activated sludge of food industries for animal feed II : Nutritive value of brewery, s activated sludge. P. 1 Cited by L. Vriens, R. Nihoul and H. Verachert. Activated sludges as animal feed : A review. Biological Wastes 27: 161- 207.
- Baxter, J.C., B. Barry, D.E. Johnson and E.W. Kienholz. (1982). “Heavy metal retention in cattle tissues from ingestion of sewage sludge.” J. Environ Qual 11: 616-620.
- Bays, J.D. (1977.) “Belebtschlam ein neues Brauereiebene product.” p17 Cited by L. Vriens,
- Beaudouin, J., R. I. Shirley and D. L. Hammel (1980.) “Effect of sewage sludge diets fed swine on nutrient digestibility, reproduction, growth and minerals in tissues.” J. Anim. Sci.
- R.Nihoul and H Verachert. Activated sludge as animal feed: A review. Biological Wastes 27: 161-267.
- Frederick, WM.J.et al. (1996.) “Energy and materials recovery from recycled paper sludge.” TAPPI Journal, Vol.79, No.6, 123-131

- Fujimatsu, J. (1996) "Manufacture of flame-retardant cellular polyurethane using paper sludge ashes." Chemical Abstract vol. 124, no. 262841z . (abstract only).
- Goto, I. and Y. Masuda. (1974.) "Utilization of brewery's activated sludge for animal feed. I. Digestibility as poultry feed and effect on growth of chickens." Sci. Bull. Fac. Agr. Kyushu Univ. 28:115-118.
- Grooms.G.C. (1975.) "Ohio guidelines for land application of sewage sludges." Pp.255-260. Cited by K.Kuihara. Urban and industrial wastes as fertilizer matererials, pp. 193-215. In Organic Matter and Rice. Res. Lnst., Los Banos, Laguna, Philippines
- Haug R.T. (1980). "Compost Engineering:Principles and Practice." Ann Arbor Science Publishers.Inc., Michigan. U.S.A.
- Kerr, T. (1997.) "landfill gas-to-energy technology offers fuel option for paper mills." Pulp& paper 71(7):117 (abstract only).
- Khaleel, R., K.R. Reddy and M.R. Overcash. (1981.) "Changes in soil physical properties due to organic waste application" : A review. J. environ. Qual. 10: 133-141.
- Owen McDougal, Richard Stanley and Seth C. Holstein, (2001.) "A unique approach to Conservation." Chemical Innovation, Vol. 31, No. 2, pp. 22-28.
- Pillai, S.C., E.G. Srinath, M.L. Mathur , P.M.N. Naidu and P.G. Muthama. (1967.) Activeted sludge as a feed supplement for poultry. Waste Water Trt. J.
- Slupek, S., Buczek, A., Kurez, L., and Sekula, R., (2000.) "Energy Recovery from LiquidWaste of a sewage-Treatment Plant." Energy Source, Vol. 22, No 7,pp.641-648.
- Tacon, A. G. J. (1979.) "Activated sewage sludge a potential animal feed stuff. II." Nutritional characteristics. Agri Env. 4: 271-279.
- US.EPA (1979.) EPA 625/1-79-011 : Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, Municipal Environmental Resarch Laboratory Office of Research and Development, September, pp (1 1.1)-(11.149)
- Vriens, L., R. Nihoul and H. Verachert. (1989.) "Activated sludges as animal feed" : A Review. Biological Wastes. 27: 161-207.
- Wang, K – W., T. Takeuchi and T. Watanabe. (1985.) "Effects of dietary protein levels on growth of Tilapia nilotica." Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 51 : 133-140.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตอาหารสัตว์

คุณสมบัติของกาก ตะกอน	ชุมชน Pillai และ คณะ ¹	โรงงานเบียร์				โรงงานนม นโยบาย ⁶
		Goto และ Masuda ²	ควงรัตน์ ³	Bays ⁴	Ahn ⁵	
องค์ประกอบ ทางเคมี (%)						
ความชื้น	-	12.00	8.90	-	-	15.78
โปรตีนหยาบ	37.50	38.00	33.29	-	-	43.84
ไขมันหยาบ	6.00	0.80	2.17	-	-	2.17
เยื่อใย	9.80	3.50	-	-	-	3.98
คาร์โบไฮเดรต	-	28.10	34.99	-	-	30.84
เถ้า	32.20	18.00	20.65	-	-	19.15
แคลเซียม	1.54	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส	1.29	-	-	-	-	-
แร่ธาตุ (ppm)						
โครเมียม	-	-	-	9	-	-
สังกะสี	-	-	-	200	142	-
คิงก	-	-	-	5	-	-
ทองแดง	-	-	-	110	1790	-
ตะกั่ว	-	-	-	7	-	-
นิกเกิล	-	-	-	5	23	-
ปรอท	-	-	-	0.1	-	-
แมกนีเซียม	-	-	-	-	7350	-
เหล็ก	-	-	-	-	1370	-
แมงกานีส	-	-	-	-	882	-

ตารางที่ 1 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตอาหารสัตว์ (ต่อ)

คุณสมบัติของกาก ตะกอน	ชุมชน	โรงงานเบียร์				โรงงานนม
		Pillai และ คณะ ¹	Goto และ Masuda ²	ดวงรัตน์ ³	Bays ⁴	
วิตามิน (ppm)						
วิตามิน บี 1	-	-	-	8-10	-	-
วิตามิน บี 2	-	-	-	10-13	-	-
วิตามิน บี 6	-	-	-	8-12	-	-
วิตามิน บี 12	-	-	-	2-3	-	-
ไบโอติน	-	-	-	0.3-0.5	-	-
กรดโฟลิก	-	-	-	3-4.5	-	-
กรดไนอะซิน	-	-	-	80-85	-	-
กรดแพนโททีนิก	-	-	-	30-35	-	-
วิตามิน เอ	-	-	-	-	-	-
วิตามิน อี	-	-	-	-	-	-
โคลีน	-	-	-	100-1300	-	-
กรดอะมิโน (mg/100mg)						
อลานีน	-	7.9	-	-	-	2.95
ไกลซีน	-	7.1	-	-	-	2.01
วาเลีน	-	5.8	-	-	-	2.05
ทรีโอนีน	-	5.4	-	-	-	1.86
เซอรีน	-	5.1	-	-	-	1.63
ลิวซีน	-	6.6	-	-	-	2.51
ไอโซลิวซีน	-	3.7	-	-	-	1.51
โปรลีน	-	4.3	-	-	-	1.63
เมทไธโอนีน	-	1.5	-	-	-	-

ตารางที่ 1 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตอาหารสัตว์ (ต่อ)

คุณสมบัติของกาก ตะกอน	ชุมชน Pillai และ คณะ ¹	โรงงานเบียร์				โรงงานนม นโยบาย ⁶
		Goto และ Masuda ²	ดวงรัตน์ ³	Bays ⁴	Ahn ⁵	
กรดอะมิโน (mg/100mg)						
กรดแอสพาร์ติก	-	9.9	-	-	-	3.29
ฟีนอลอะลานีน	-	4.4	-	-	-	1.46
กรดกลูตามิก	-	12.2	-	-	-	4.08
ไลซีน	-	3.9	-	-	-	1.50
ไทโรซีน	-	3.4	-	-	-	1.00
อาร์จินีน	-	4.8	-	-	-	1.83
ฮิสติดีน	-	1.7	-	-	-	0.60
ซีสตีน	-	2.7	-	-	-	-
ทริปโตเฟน	-	0.7	-	-	-	-

ที่มา : 1 Pillai, S.C. และ คณะ (1967)

2 Goto และ Masuda (1974)

3 ดวงรัตน์ มุกคัมณี (2540)

4 Bays, J.D. (1977)

5 Ahn, B.H. (1979)

6 นโยบาย ทองเย็น (2549)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยหมักและแห้งเพาะฆ่า

คุณสมบัติของ กากตะกอน	โรงงาน น้ำอัดลม	โรงงานเบียร์		โรงงาน สุรา	โรงงานผลิต เส้น ก๋วยเตี๋ยว	โรงงานผลิต บะหมี่ สำเร็จรูป	โรงงาน อาหาร กระป๋อง	ชุมชน ห้วยขวาง	โรงงานฆ่า สัตว์บางแค	อุตสาหกรรม ปิโตรเคมี
	นิภา ¹	สุดใจ ²	สุกมาศ ³	สุกมาศ ³	วรากรณ์ ⁴	วรากรณ์ ⁴	วิชาวุธ ⁵	อรรณพ ⁶	อรรณพ ⁶	ทัศน ⁷
pH	7.40	6.90	7.00	6.60	7.68	6.75	4.0	7.00	7.00	-
N (%)	3.64	2.24	4.70	5.94	10.21	7.43	0.31	2.87	2.76	-
P (%)	1.89	0.34	1.25	0.56	8.09	4.48	7 ppm	167.75 ppm	161.70 ppm	30,300 ppm
K (%)	0.40	0.19	0.50	0.50	-	-	240 ppm	690 ppm	1,005 ppm	5,300 ppm
Ca (%)	3.00	0.19	0.58	0.18	-	-	-	-	-	-
Mg (%)	0.41	0.07	-	-	-	-	-	126 ppm	210 ppm	-
S (ppm)	0.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn (ppm)	10.80	210.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu (ppm)	112.20	75.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Al (ppm)	7,782	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn (ppm)	490.00	95.00	-	-	-	-	5.09	500	600	-

ตารางที่ 2 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยหมักและแม่ทิ้งเพาะชำ (ต่อ)

คุณสมบัติของ กากตะกอน	โรงงาน น้ำอัดลม	โรงงานเบียร์		โรงงาน สุรา	โรงงานผลิต เส้น ก๋วยเตี๋ยว	โรงงานผลิต บะหมี่ สำเร็จรูป	โรงงาน อาหาร กระป๋อง	ชุมชน ห้วยขวาง	โรงงานฆ่า สัตว์บางแค	อุตสาหกรรม
	นิภา ¹	สุดใจ ²	ศุภมาศ ³	ศุภมาศ ³	วราภรณ์ ⁴	วราภรณ์ ⁴	วิชาวุธ ⁵	อรรณพ ⁶	อรรณพ ⁶	ทัศน ⁷
Pb (ppm)	400.00	-	-	-	NA	NA	-	3.54	3.12	-
Ba (ppm)	11.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe (ppm)	-	2,000.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	0.24	0.47	-
As (mg/kg DW)	-	-	-	-	<216	0.08	-	-	-	-
O.C (%)	-	9.90	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Solid (%)	-	-	-	-	91.2	97.64	-	-	-	67.78
Faecal Coliform (MPN/g DW)	-	-	-	-	640	1,280	-	-	-	-
C/N ratio	-	4.40	7.00	6.00	-	-	-	-	-	9.09
C (%)	-	-	33.40	33.70	29.27	40.57	-	30.40	29.50	457,000 ppm

ตารางที่ 2 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยหมักและแ่งเพาะชำ (ต่อ)

คุณสมบัติของ กากตะกอน	โรงงาน น้ำอัดลม		โรงงานเบียร์		โรงงาน สุรา	โรงงานผลิต เส้น ก๋วยเตี๋ยว	โรงงานผลิต บะหมี่ สำเร็จรูป	โรงงาน อาหาร กระป๋อง	ชุมชน ห้วยขวาง	โรงงานฆ่า สัตว์บางแค	อุตสาหกรรม ปีโตรเคมี
	นิภา ¹	สุดใจ ²	สุกมาศ ³	สุกมาศ ³	สุกมาศ ³	วราภรณ์ ⁴	วราภรณ์ ⁴	วิชาวุธ ⁵	อรวรรณ ⁶	อรวรรณ ⁶	ทัศน ⁷
ความชื้น(%)	-	-	-	-	-	8.8	2.36	-	-	-	37.22
OM (organic matter) (%)	-	-	-	-	-	-	-	0.61	52.79	50.74	-

ที่มา: 1 นิภา พนาพิทักษ์กุล (2524), 2 สุดใจ สุขช่วย (2533), 3 สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2528), 4 วราภรณ์ หมูศิลป์ (2547)

5 วิชาวุธ พงศ์ธีรัง (2545), 6 อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ (2529) อ้างถึงใน ธวีโรจน์ ต้นนุกิจ (2542), 7 นันทนา วิจิตรทัศน (2550)

NA = Not Available

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าและเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติของกาก ตะกอน	อุตสาหกรรมกระดาษ			โรงงาน ฟอกย้อม	โรงงานนม	โรงงาน ผงชูรส	โรงงาน เบียร์	โรงงานบำบัดน้ำเสียสี่พระยา	
	สุจินต์ ¹ (โรงงานที่ 1)	สุจินต์ ¹ (โรงงานที่ 2)	ประริญา ²					ประริญา ² (ภาคตะกอนเปียก)	ปฐม ³ (ภาคตะกอนแห้ง)
ค่าความชื้น	52.640	69.610	7.11	29.5	7.39	6.58	8.38	82.4	3.8
ค่าความร้อน(kj/kg)	1,323	1,599	2,817	1,774	4,843	4,427	2,836	3,500	11,352
ของแข็ง (% โดย น้ำหนัก)	-	-	-	-	-	-	-	17.6	96.2
สารคงตัวในของแข็ง (% โดยน้ำหนัก)	-	-	-	-	12.79	19.05	-	8.8	48.1
ความหนาแน่น(g/cm ³)	-	-	-	-	750	650	600	0.98	0.53
เถ้า	-	-	27.64	43.24	10.12	7.63	39.79	-	-
สารระเหย (%)	-	-	-	-	60.70	66.74	-	-	-
C	-	-	6.73	4.02	-	-	8.00	2.8	27.8
H	-	-	-	-	-	-	-	4.6	3.8
O	-	-	-	-	-	-	-	81.8	14.2
N	-	-	-	-	-	-	-	0.5	4.7

ตารางที่ 3 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าและเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ต่อ)

คุณสมบัติของกาก ตะกอน	อุตสาหกรรมกระดาษ		โรงงาน ฟอกย้อม	โรงงานนม อากาศ ³	โรงงาน ผงชูรส	โรงงาน เบียร์	โรงงานบำบัดน้ำเสียสี่พระยา	
	ดัชนีที่ ¹ (โรงงานที่ 1)	ดัชนีที่ ¹ (โรงงานที่ 2)					ดัชนีที่ ²	ดัชนีที่ ³ (ภาคตะวันออก)
Na	-	0.123	-	-	-	-	-	-
Mg	0.140	1.170	-	-	-	-	-	-
Al	1.740	-	-	-	-	-	-	-
Si	2,420	-	-	-	-	-	-	-
P	0.460	-	-	-	-	-	-	-
S	0.260	9.960	0.36	0.61	-	-	0.3	1.5
Cl	0.072	0.088	-	-	-	-	-	-
K	0.290	0.035	-	-	-	-	-	-
Ca	28.00	21.97	-	-	-	-	-	-
Ti	0.460	-	-	-	-	-	-	-
Cr	0.044	-	-	-	-	-	-	-
Fe	/ 1,270	0.320	-	-	-	-	-	-
Mn	0.095	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าและเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ต่อ)

คุณสมบัติของกากตะกอน	อุตสาหกรรมกระดาษ		โรงงานฟอกย้อม	โรงงานนม	โรงงานผงชูรส	โรงงานเบียร์	โรงงานบำบัดน้ำเสียสี่พระยา	
	สุจินต์ ¹ (โรงงานที่ 1)	สุจินต์ ¹ (โรงงานที่ 2)					ประริญา ²	ประริญา ² (ภาคตะกอนเบียด)
Ni	0.038	-	-	-	-	-	-	-
Cu	0.058	-	-	-	-	-	-	-
Zn	0.131	-	-	-	-	-	-	-
Br	0.013	-	-	-	-	-	-	-
Ba	0.029	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.020	-	23.4	-	-	-	-	-
Cd	-	-	2.60	-	-	-	-	-
Hg	-	-	0.0026	-	-	-	-	-
As	-	-	0.0029	-	-	-	-	-

ที่มา : 1 สุจินต์ อิมคมจำ (2546) , 2 ประริญา รำไพ (2546) , 3 อภาวดี เบญจมาภรณ์ (2546) , 4 วนิสา พัทศรีวิไล (2546) , 5 ประริญา พงษ์ฤทธิ (2542)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน ที่เกี่ยวกับการผลิตวัสดุ
ก่อสร้าง

คุณสมบัติของกากตะกอน	โรงงานเชื้อกระดาษ		โรงผลิตน้ำประปาบางเขน		
	ชานอ้อย เป็นวัตถุคิบ	ยูคาลิปตัส เป็นวัตถุคิบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
	ฉัตรชัย ¹		เพิ่มพล ²		
คุณสมบัติทางเคมี					
การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซิน , %	1.3	1.5	-	-	-
การละลายในแอลกอฮอล์ , %	1.7	1.8	-	-	-
การละลายในน้ำร้อน , %	0.5	0.4	-	-	-
การละลายในน้ำเย็น , %	0.1	0.1	-	-	-
เซลลูโลส , %	72.6	80.2	-	-	-
เฮมิเซลลูโลส , %	13.8	7.9	-	-	-
ลิกนิน , %	10.1	8.2	-	-	-
คุณสมบัติกายภาพก่อนเผา ชนิดของการทดสอบ					
ปริมาณความชื้น , %	-	-	4.06	7.04	7.11
ความถ่วงจำเพาะ , %	-	-	2.67	2.67	2.68
Sand , %	-	-	ND	ND	42
Silt , %	-	-	ND	ND	17
Clay , %	-	-	ND	ND	41
Organic matter , %	-	-	11.76	11.63	11.54
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงโดย น้ำหนัก # 60	-	-	99.94	99.91	99.85
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงโดย น้ำหนัก #100	-	-	99.86	99.81	99.79

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน ที่เกี่ยวกับการผลิตวัสดุ
ก่อสร้าง (ต่อ)

คุณสมบัติของกากตะกอน	โรงงานเยื่อกระดาษ		โรงผลิตน้ำประปาบางเขน		
	ชานอ้อย เป็นวัตถุดิบ	ยูคาลิปตัส เป็นวัตถุดิบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
	ฉัตรชัย (2545)		เพิ่มพล (2546)		
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงโดย น้ำหนัก#200	-	-	99.74	99.74	99.68
Liquid Limit , L.L.	-	-	70.69	67.67	70.12
Plastic Limit , P.L.	-	-	41.56	41.72	41.50
ประเภทดิน ตามระบบ Unified	-	-	MH	MH	MH
Maximum dry density , g/cm ³	-	-	1.32	1.31	1.31
Optimum water content , %	-	-	28.67	29.50	27.50

ที่มา : ฉัตรชัย แกรมเงิน (2545)เพิ่มพล กาญจนามัย (2546)

หมายเหตุ MH = ดินประเภทตะกอนทรายอนินทรีย์ ทรายละเอียด หรือตะกอนทรายปนไมก้า
หรือดินเบา ตะกอนทรายที่ชิดหุ่่น

ND = Not Determined

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติบางประการของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน ที่เกี่ยวกับการผลิตวัสดุ
ก่อสร้าง (ความความของเส้นใยและปริมาณของกากตะกอน)

ลักษณะของกากตะกอน	โรงงานเยื่อกระดาษ			
	ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ		ยูคาติปตัสเป็นวัตถุดิบ	
	ปริมาณ (%)	ความยาว (ม.ม.)	ปริมาณ (%)	ความยาว (ม.ม.)
ลักษณะที่ 1 เป็นเศษชิ้นไม้	20.8	2.12	-	-
ลักษณะที่ 2 เป็นเส้นใย	-	-	-	-
ค้ำงตะแกรงเบอร์ 30	15	2.54	8.0	3.79
ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 – ค้ำง ตะแกรงเบอร์ 50	22.2	1.31	21.7	1.37
ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 – ค้ำง ตะแกรงเบอร์ 100	29.3	0.81	28.6	0.74
ผ่านตะแกรงเบอร์ 100- ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 200	16.7	0.42	16.4	0.49
ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	9.5	>0.075	25.3	>0.075

ที่มา : ภัทรชัย แถมเงิน (2545)

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ นายมานิชย์ พงศ์ภักขุติมา
วัน เดือน ปี 8 สิงหาคม 2524
สถานที่เกิด อำเภอทับปุดบุรี จังหวัดปราจีนบุรี
ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี (ค.บ. ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม พ.ศ. 2547