

# จากกากตะกอนน้ำเสีย สู่ความเป็นไปได้ใน “การหมักปุ๋ย”

โดย...อาจารย์ ดร.นุตา ศุภกต  
และ นส.พลอย วงษ์จันทร์  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทนำ

ความเจริญของเมือง และจำนวนของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดน้ำเสียต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียจากชุมชน ที่ถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้รับการบำบัด ทำให้แม่น้ำต่างๆ ไม่สามารถฟื้นตัวเองได้ การแก้ไขปัญหาน้ำเสียดังกล่าวจะต้องลดความสกปรกของน้ำร่วมกับการไม่ปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง น้ำเสียชุมชน<sup>๑</sup> โดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนักและสารพิษ น้ำมัน และสารละลายต่างๆ ของแข็ง สารก่อให้เกิดฟอง หรือสารซักฟอก จุลินทรีย์ ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และกลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวต้องอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียวิธีการต่างๆ ตามความเหมาะสมของลักษณะพื้นที่และประเภทของน้ำเสีย อย่างไรก็ตามกระบวนการบำบัดน้ำเสียจะก่อให้เกิดกากตะกอนน้ำเสีย ในปริมาณที่แตกต่างกันตามปริมาณน้ำเสียและรูปแบบของระบบ โดยมีปริมาณการเกิดกากตะกอนน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำในกรุงเทพมหานครเฉลี่ย 726.35 ลบ.ม./เดือน และปริมาณกากตะกอนทิ้งเฉลี่ย 516.76 ลบ.ม./เดือน (สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ, 2553) ซึ่งกากตะกอนน้ำเสียเหล่านี้จะต้องมีการกำจัดโดยรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่อไป

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์ต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรก (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

บทความนี้จะกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาทำเป็นปุ๋ย การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก การย่อยสลายอินทรีย์สารในกองปุ๋ยหมัก และปัจจัยที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก

### กากตะกอนน้ำเสีย คืออะไร

กากตะกอนน้ำเสีย คือ ของแข็งที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการทางเคมีและการตกตะกอน อยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลวมีลักษณะคล้ายดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำเมื่ออยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีแก๊สและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนโดยจุลินทรีย์

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสีย (จิณรัฐตา วัดคำ และปวีณา ด่านกุล, 2540) กากตะกอนน้ำเสียประกอบด้วยสารหลายชนิดทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ส่วนประกอบของกากตะกอนน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และจุลธาตุอาหารของพืช (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี) และธาตุอื่นๆ

2. สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์และหนอนพยาธิต่างๆ

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพ จะมีกากตะกอนจุลินทรีย์เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องบำบัดกากตะกอนเหล่านั้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของกากตะกอน การเพิ่มภาวะมลพิษ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย นอกจากนี้การลดปริมาตรของกากตะกอนโดยการกำจัดน้ำออกจากกากตะกอนนั้นจะช่วยให้เกิดความสะดวกในการนำไปกำจัดทิ้ง หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้ในการบำบัดกากตะกอนประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ ได้แก่

1. การทำให้ข้น (thickening) โดยใช้ถังทำให้ข้น ซึ่งมีกลไกการตกตะกอน (sedimentation) และใช้กลไกการลอยตัว (oatation) ทำหน้าที่ในการลดปริมาณกากตะกอน ก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นถัดไป

2. การทำให้กากตะกอนคงตัว (stabilization) โดยการย่อยกากตะกอนด้วยกระบวนการใช้อากาศ หรือกระบวนการไร้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ในการลดสารอินทรีย์ในกากตะกอนทำให้กากตะกอนคงตัวสามารถนำไปกำจัดทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น

3. การปรับสภาพกากตะกอน (conditioning) เพื่อให้กาก

ตะกอนมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การทำปุ๋ย การนำไปเพื่อใช้ปรับสภาพดิน ในทางการเกษตร เป็นต้น

4. การรีดน้ำ (dewatering) เพื่อลดปริมาตรของกากตะกอนที่จะนำไปทิ้ง โดยการฝังกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสูญญากาศ เครื่องอัดกรอง เครื่องกรองหมุนเหวี่ยง ตลอดจนลานตากตะกอน

หลังจากกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้อยู่ในรูปที่มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น และมีปริมาตรลดลงเพื่อความสะดวกในการขนส่งแล้ว ในขั้นต่อมาคือ การนำกากตะกอนเหล่านั้นไปกำจัดทิ้ง ด้วยวิธีการที่เหมาะสมโดยทั่วไปแล้ว การกำจัดกากตะกอนน้ำเสียจะมีแนวทางการกำจัดขั้นพื้นฐาน (จิณรัฐตา วัดคำ และปวีณา ด่านกุล, 2540) ดังนี้

1. การขนไปทิ้งทะเล (marine disposal)
2. การนำไปทิ้งบนพื้นดิน (land application)
3. กำจัดโดยนำไปถมพื้นที่โดยตะกอนอยู่ในรูปตะกอนแห้งหรือการฝังกลบ (landfill)
4. การเผา (incineration)

แต่วิธีการกำจัดทิ้งกากตะกอนน้ำเสียที่มีการใช้ในปัจจุบัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) คือ

1. การฝังกลบ (landfill) เป็นการนำกากตะกอนมาฝังในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้ให้ และกลบด้วยชั้นดินทับอีกชั้นหนึ่ง
2. การเผา (incineration) เป็นการนำกากตะกอนน้ำเสียในสภาวะที่ค่อนข้างแห้งมาเผา

การเลือกวิธีกำจัดกากตะกอนน้ำเสียนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของกากตะกอน ความสมดุลของระบบนิเวศ ผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม รวมถึงค่าใช้จ่ายในการกำจัด และความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ บางวิธีแม้จะมีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็ไม่ได้หมายความว่าวิธีดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น วิธีกำจัดกากตะกอนน้ำเสียโดยการเผาทิ้ง เป็นวิธีการกำจัดที่มีความสะดวกในการจัดการ แต่มีต้นทุนที่สูงกว่าวิธีการกำจัดวิธีอื่นๆ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากโดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศ

### “การหมักปุ๋ย” ทางเลือกที่น่าสนใจในการจัดการกับกากตะกอน

อีกหนึ่งวิธีในการนำกากตะกอนน้ำเสียที่มีการใช้ในปัจจุบันก็คือ การหมักปุ๋ย ซึ่งมีความเป็นไปได้เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของกากตะกอนน้ำเสีย ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารจำเป็นต่อพืช ซึ่งมีอยู่มากในกากตะกอนน้ำเสีย ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) และปริมาณโลหะหนัก ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 1



ตารางที่ 1 แสดงโครงสร้างตะกอน

โครงสร้าง ตะกอน	โรงบำบัดน้ำ ดินแดง*	โรงบำบัดน้ำเสีย สีพระยา*	โรงบำบัดน้ำเสีย หนองแขม*	โรงงานตะกอน เมโทรโปเลียน**	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปี พ.ศ. 2551
Total N (%)	1.54	1.39	3.85	3.0	≥ 1.0
Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.43	0.32	0.73	0.3	≥ 0.5
Total K <sub>2</sub> O (%)	0.008	0.006	0.19	0.02	≥ 0.5
EC (dS/m)	2.01	2.83	3.36	3.10	≥ 10
CEC (dS/m)	-	5.09	3.36	-	-
OM (%)	30.86	27.72	32.09	20.0	≥ 20
C/N ratio	11.6	11.6	4.53	7.0	≤ 20
As (ppm)	13.9	13.2	16.6	ไม่พบ	≤ 50
Cd (ppm)	0.0005	0.012	ไม่พบ	2.55	≤ 5
Cr (ppm)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	210	≤ 300
Cu (ppm)	1.67	1.38	2.92	230	≤ 500
Pb (ppm)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	50	≤ 500
Hg (ppm)	2.1	3.57	1.73	ไม่พบ	≤ 2

\* พชรภรณ์ นารี, 2554

\*\* L. Roca-Prez, C. Martnez, P. Marcilla, R. Boluda, 2552

เนื่องจากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมานี้ ทำให้มีผู้สนใจทำการวิจัยเกี่ยวกับการหมักปุ๋ยด้วยกากตะกอน ในบทความนี้ผู้เขียนขอยกตัวอย่างงานวิจัยที่นำเอากากตะกอนมาทำปุ๋ยหมักดังนี้ คือ

นัยนา คุณลักษณะ (2542) ได้ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปรับปรุงคุณภาพดินเปรี้ยวจัดในชุดดินจากพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งมีการกำหนดอัตราส่วน 2 ชุดการทดลอง คือ กากตะกอนต่อดินเปรี้ยวจัด และของดินปลูกสำเร็จรูปต่อดินเปรี้ยวจัดเป็น 1:100, 2:100, 3:100, 4:100 และ 5:100 โดยน้ำหนัก โดยการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี และการเจริญเติบโตของพืช โดยวัดเป็นน้ำหนักแห้งของคะน้า พบว่า การเติมกากตะกอนลงในดินเปรี้ยวจัดมีผลทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน ซึ่งสัดส่วนที่ต่ำสุดระหว่างกากตะกอนต่อดินเปรี้ยว จัดเป็น 1:100 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นใกล้เคียงระดับ 6.5 มากที่สุด ส่วนการเจริญเติบโตของต้นคะน้า จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่สัดส่วนระหว่างกากตะกอนต่อดินเปรี้ยวจัดเป็น 4:100 โดยน้ำหนัก และพบว่าการเจริญเติบโตของคะน้าที่ปลูกในชุดดินเปรี้ยวจัดที่มีการเติมกากตะกอนนั้นมากกว่าชุดที่เติมดินปลูกสำเร็จ จึงสรุปได้ว่า สามารถนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดินที่มีสภาวะเปรี้ยวจัดได้



จริยา ประศาสน์ศรีสุภาพ (2547) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา โดยเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีแอมโมเนียมซัลเฟตในดินชุดปากช่อง ณ.สถานีทดลองพืชไร่พระพุทธบาท จังหวัดลพบุรี แบ่งกากตะกอนน้ำเสียออกเป็นสองชุด นำไปฉายรังสีแกมมา (เพื่อศึกษาผลต่อจุลินทรีย์ดิน) และไม่ฉายรังสี หลังจากนั้นนำมาปลูกข้าวโพดลูกผสม DK 888 ทั้งหมด 9 ฤดูปลูก ทำการคลุกเคล้ากากตะกอนกับดินทิ้งไว้ก่อนปลูกข้าวโพด 1 เดือนก่อนที่จะทำการปลูก เก็บตัวอย่างดิน ระหว่างปลูก และหลังปลูก เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในดินและพืช คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ จุลินทรีย์ที่นำโรคลูกสน ปริมาณจุลินทรีย์ดิน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างข้าวโพด โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น เมล็ด ชั่ง ต้นข้าวโพด เพื่อชั่งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง นำมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน พบว่า กากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 30-40 กิโลกรัม/ไร่ จะให้ผลดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีแอมโมเนียมซัลเฟต 10 กิโลกรัม/ไร่ และการศึกษาปริมาณโลหะหนัก Zn Pb Cd Ni Mn Cr และ Cu ในดิน และเมล็ดข้าวโพด ไม่มีความแตกต่างกันในส่วนของกากตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยเคมีแอมโมเนียมซัลเฟต แต่ในดินหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า มีการสะสมของ Cu และ Zn เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่กากตะกอนน้ำเสีย ซ้ำกันในทุกๆ ปี ของการทดลอง แต่สะสมในปริมาณที่ไม่สูงมากนัก และไม่เป็นอันตรายต่อพืช สำหรับคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของดินหลังใส่กากตะกอนน้ำเสียซ้ำๆ ปีละครั้งในเวลากการทดลอง 7 ปี จำนวน 9 ฤดูปลูก พบว่า pH, Ec, %OM, CEC, Bulk Density, Permeability, Field Capacity และ Available Water ในดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียนั้นให้ผลดีกว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และการใส่กากตะกอนน้ำเสียที่ฉายรังสีแกมมายังสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ จากการทดลองครั้งนี้ทำให้ทราบว่ากากตะกอนน้ำเสียชุมชน สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรแทนปุ๋ยเคมีแอมโมเนียมซัลเฟตได้

อุษณีย์ อุยะเสถียร และคณะ (2552) ได้ร่วมกันศึกษาลักษณะสมบัติและความเป็นพิษต่อพืช ของกากตะกอนน้ำเสียชุมชน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแวม 3 ชนิด ดังนี้ กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ส่วนที่สองทดสอบการงอกของเมล็ด โดยนำเมล็ดวางตั้งต้น และพักกาดขาวปลิไปเพาะในน้ำสกัดจากกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะสมบัติทางเคมีบางประการไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณทองแดงและนิกเกิลสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณความชื้นมากเกินไป แต่ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ปริมาณโลหะหนัก As, Cd, Cr, Pb และ Zn มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับการทดสอบการงอกของเมล็ดพบว่า การงอกของเมล็ดและความยาวเฉลี่ยของกวางตั้งต้นและพักกาดขาวปลิมากที่สุดในการเพาะในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน จึงสามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนน่าจะป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ ถ้าสามารถควบคุมปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ หรือการแก้ปัญหาความเข้มข้นโลหะหนักที่สูง โดยอาจตรึงด้วยสารเคมีเพื่อลดการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม

จากงานวิจัยที่ได้หยิบยกขึ้นมาี้ แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำเสีย สามารถนำมาหมักปุ๋ยได้จริง ซึ่งการทำปุ๋ยหมักเป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นน้ำ (H<sub>2</sub>O) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และเนื้อปุ๋ยที่ไม่สลายต่อไปอีก มีสีดำหรือน้ำตาล ปฏิกริยาที่เกิดในการหมักปุ๋ยมีปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดความร้อน และปฏิกริยาที่เกิดต่อคือการบ่มเนื้อปุ๋ยให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์และเนื้อปุ๋ยหมักที่ได้จะยุ่ยและร่วนพร้อมที่จะนำไปใช้กับพืช โดยปฏิกริยาการเกิดปุ๋ยหมัก สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



### จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการทำปุ๋ยหมัก

1. เชื้อรา (fungi) ชนิดของเชื้อราขึ้นกับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้นและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม จะพบเชื้อราเจริญอยู่บนผิวนอกของกองปุ๋ยหมัก ซึ่งอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าในกองปุ๋ยหมัก ในระยะต่างๆ ของการทำปุ๋ยหมักจะพบเชื้อราต่างๆ ดังนี้

*Geotrichum comidum* และ *Aspergillus fumigatus* ซึ่งจะพบในช่วงแรกเมื่อกองปุ๋ยหมักเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น

*Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. จะพบเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงถึงระดับ 40-50 องศาเซลเซียส

*Penicillium fupenti* จะพบเมื่อกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส

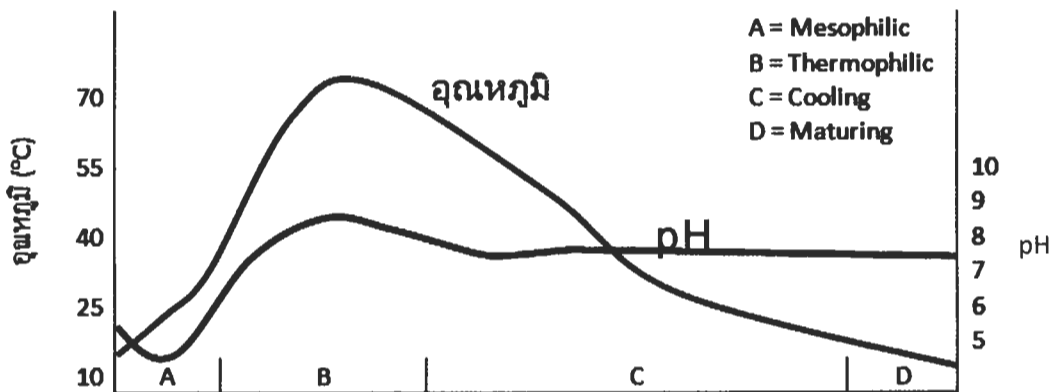
2. แอคติโนมัยซีทส์ (actinomycetes) ซึ่งจะมีอัตราการเจริญช้ากว่าแบคทีเรียและฟังไจ จะเจริญได้ในสภาวะที่มีการถ่ายเทอากาศที่ดีพอ เมื่อเจริญจะสังเกตเห็นเป็นจุดสีขาวๆ บนกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจะเห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากอุณหภูมิสูงสุดแล้ว ชนิดที่มักพบเสมอ คือ

*Thermoactinomycetes* sp. และ *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ย่อยสลายเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

*Streptomyces* และ *Micropolyspora* sp. ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมัก

3. แบคทีเรีย (bacteria) พบในช่วงแรกของการหมักปุ๋ย และพบมากที่สุด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีจำนวนลดลง ชนิดที่พบบ่อย คือ *Pseudomonas* sp., *Achromabacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. และ *Bacillus* sp.

### การเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก



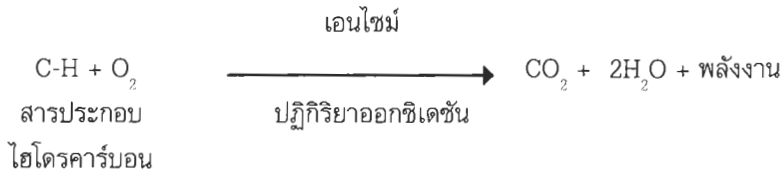
ที่มา : ธีระศ ศรีสถิตย 2553

รูปที่ 1 การเพิ่มขึ้นของ pH และอุณหภูมิ

ในช่วงแรกของการหมักปุ๋ย จะพบจุลินทรีย์จำพวก mesophilic bacteria (หรือเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลัก) และผ่านไปช่วงหนึ่ง (ประมาณ 1 สัปดาห์) อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้จุลินทรีย์จำพวก thermophilic bacteria ทำงานแทนหรือเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักในการย่อยสลาย และเมื่ออุณหภูมิในระบบสูงขึ้นมากกว่า 70 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบสปอร์ (spore-forming bacteria) สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียจำพวก thermophilic bacteria ส่งผลให้การย่อยสลายช้าลงและทำให้อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งเมื่ออุณหภูมิต่ำลงจนถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีพของจุลินทรีย์จำพวก mesophilic bacteria ก็จะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถทำงานได้อีกครั้งในช่วงสุดท้ายนี้

### การย่อยสลายอินทรีย์สารในกองปุ๋ยหมัก

การย่อยสลายอินทรีย์สารในกองปุ๋ยหมัก เกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เพื่อใช้สลายซากพืชซากสัตว์ที่มีสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนเป็นองค์ประกอบ ทำให้โครงสร้างขนาดใหญ่และซับซ้อนของสารประกอบเหล่านี้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ที่จุลินทรีย์สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงานในการดำรงชีวิตได้ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของอินทรีย์สาร (บุญแสน เตียวบุญธรรม, 2548) ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง การถ่ายเทอากาศ ปริมาณธาตุอาหาร และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จุลินทรีย์จะใช้เวลาในการย่อยสลายองค์ประกอบของพืชและสัตว์ได้ไม่เท่ากัน สารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน (มีแรงยึดเหนี่ยวมาก) ก็จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้าหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ ส่วนสารประกอบที่มีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อน ก็จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ และเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์สาร ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เกิดขึ้นประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ดังสมการ



ผลที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์สาร ธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรีย์สาร ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และธาตุอื่นๆ เมื่อถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจนย่อยสลายแล้วจะได้สารประกอบดังต่อไปนี้



สารประกอบที่เกิดขึ้นนอกจากจุลินทรีย์จะนำมาใช้ในการเจริญเติบโตแล้ว ก็จะสะสมอยู่ในปุ๋ยหมัก เมื่อนำปุ๋ยหมักไปใช้ทางการเกษตร สารประกอบเหล่านี้ก็จะกลายเป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

### ปัจจัยที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก

1. ขนาดของชิ้นส่วนมูลฝอย (particle size of solid waste) ควรมีขนาดเล็กประมาณ 1-5 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์สามารถทำการย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว หากมีขนาดใหญ่กว่านี้การย่อยสลายจะเป็นไปได้ช้า แต่ถ้าขนาดเล็กกว่า 1 เซนติเมตร จะทำให้อากาศ หรือออกซิเจนลงไปกองปุ๋ยหมักได้ยากทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชะงักลงได้
2. มีจุลินทรีย์มากพอ การย่อยสลายจะเกิดได้รวดเร็วถ้าในกองปุ๋ยมีจุลินทรีย์อยู่มาก แหล่งจุลินทรีย์ที่หาได้ง่าย ได้แก่ มูลสัตว์ ปุ๋ยหมักที่เพิ่งหมักเสร็จ หรือหัวเชื้อตัวเร่ง (พด1) เป็นต้น
3. ปริมาณออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ที่เพียงพอ ซึ่งในการหมักปุ๋ยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เรียกว่า ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (aerobic digestion) โดยการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนจะมีปฏิกิริยาที่รวดเร็วกว่าจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนหลายเท่า หากปริมาณออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักไม่เพียงพอจะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเนื่องมาจากก๊าซไข่เน่า (ไฮโดรเจนซัลไฟด์ :  $\text{H}_2\text{S}$ ) ดังนั้น



ในการหมักปุ๋ยต้องมีการเติมอากาศเข้าไป วิธีที่นิยมกันคือการพลิกกลับกองปุ๋ยในเวลาที่เหมาะสม หรือการเติมอากาศเข้ากองปุ๋ยด้วยพัดลมเติมอากาศ (blower) เป็นครั้งๆ

4. ความชื้น (moisture content) ควรอยู่ในช่วง 40-65% เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนต้องการความชื้นที่เหมาะสม การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะหยุดชะงักถ้าวัตถุดิบแห้งเกินไปหรือมีความชื้นน้อยกว่า 20% ในขณะเดียวกันถ้าความชื้นสูงเกินไป จุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มทำงาน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นและการหมักจะเสร็จช้า สามารถปรับปรุงได้โดย 1) กรณีค่าความชื้นในกองปุ๋ยหมักสูงเกินไป สามารถใช้วัสดุที่มีความชื้นต่ำ ได้แก่ เศษซีลื้อยแห้งมาผสม และพลิกกลับกองปุ๋ยจะช่วยให้ความชื้นในกองปุ๋ยหมักลดลงได้ 2) กรณีค่าความชื้นในกองปุ๋ยหมักต่ำเกินไปให้พรมน้ำลงในกองปุ๋ย

5. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะต้องควบคุมให้อยู่ใน 2 ระยะ คือ mesophilic ที่อุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียส และ thermophilic ที่อุณหภูมิ 45-70 องศาเซลเซียส และกลับคินมาที่ 25-30 องศาเซลเซียส อันเป็นอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมซึ่งหมายถึงการหมักสิ้นสุด แต่หากพบว่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักไม่สามารถทำให้สูงผ่านระยะ mesophilic ได้คือไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส จะต้องทำการเติมสารอาหารลงไปให้จุลินทรีย์อีก จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิและยับยั้งปฏิกิริยาไปที่ thermophilic จึงถือว่าเป็นการหมักที่สมบูรณ์ เงื่อนไขที่ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในกองปุ๋ยได้ดี ก็คือ กองปุ๋ยควรมีความสูง 1-2 เมตร และกองเป็นรูปสามเหลี่ยมปริซึม แต่หากกองปุ๋ยมีอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ไม่ถึง 70 องศาเซลเซียส ไม่ต้องกังวล อาจมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น มีความชื้นสูงหรือขนาดของชิ้นส่วนมูลฝอยมีขนาดใหญ่เกินที่จุลินทรีย์จะย่อยสลายในเวลาอันสั้น เป็นต้น

6. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตลอดเวลาของการหมักปุ๋ยค่า pH จะต้องไม่ต่ำกว่า 5.5 และไม่เกิน 9 เมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ยแล้ว ปุ๋ยหมักที่จะให้ผลดีกับพืชควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-6.5 เนื่องจากเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับพืชในการดูดดึงสารอาหาร

7. ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบ (C:N ratio) โดยปกติแล้วธาตุคาร์บอนจะได้จากเซลลูโลสและลิกนินที่อยู่ในพืช และไนโตรเจนจะได้จากโปรตีนในมูลสัตว์และหรือสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกเซลล์พืช ธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เพราะจุลินทรีย์ต้องการทั้งสองธาตุในกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อให้ได้พลังงานและสร้างเซลล์ใหม่ การย่อยสลายที่จะให้การหมักปุ๋ยเสร็จเร็วต้องการค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 20 : 1 ถึง 25 : 1 วัตถุดิบที่มีค่าสัดส่วนแตกต่างกันี้ มีแนวโน้มที่การย่อยสลายจะช้าลง

**สรุป**

การนำกากตะกอนน้ำเสีย ไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร โดยการนำมาหมักเป็นปุ๋ย มีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณสูง และนับว่าเป็นวิธีการที่สามารถแก้ไขปัญหาการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำทิ้ง ซึ่งยังสามารถนำกากตะกอนน้ำเสียไปหมักร่วมกับมูลฝอยชุมชน แล้วทำให้ประสิทธิภาพการหมักดีขึ้น เนื่องจากจะทำให้อุณหภูมิของกองหมักลดลง อย่างไรก็ตาม หากต้องการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ จะต้องมีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียก่อนทุกครั้ง เมื่อพบว่าปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดไว้ จึงจะสามารถนำกากตะกอนน้ำเสียนั้นไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชโดยตรงได้ เพราะหากมากกว่านี้พืชจะดูดโลหะหนักเข้าไปสะสมและจะเป็นผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ และเนื่องจากคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียส่วนใหญ่ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง ประกอบกับงานวิจัยที่มีการศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก พบว่าเมื่อใช้กากตะกอนร่วมกับวัสดุอื่นๆ มาทำเป็นปุ๋ยหมัก สามารถทำได้ แต่เพื่อผลประโยชน์ในทางเศรษฐศาสตร์ อาจไม่เหมาะแก่การนำมาปลูกพืชเพื่อใช้บริโภค หรือจัดจำหน่าย เพราะยังไม่มีการวิจัยที่รับรองผลอย่างแน่ชัด ถึงความปลอดภัยของกากตะกอน เมื่อใช้ในระยะเวลา จึงเหมาะแก่การนำมาปลูกไม้ประดับซึ่งไม่ได้อยู่ในห่วงโซ่อาหารมากกว่า

**เอกสารอ้างอิง**

กรมควบคุมมลพิษ. ปุ๋ยอินทรีย์ชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2560

จิณีรัตดา วัชรัตน์ และปริวิตา ตานกุล. การศึกษาคุณสมบัติของสารตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้ประโยชน์. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์หลักสูตรปริญญาโทศึกษาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

จริยา ธีระศาลศรีสุภาพ. การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียในการเกษตร. ผลงานวิจัยเพื่อพิจารณาเป็นผลงานวิจัยดีเด่นประจำปี. กรมวิชาการเกษตร, 2547

อรรถ ศรีวิรัตน์. วิจัยการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558

นันทนา คุณลักษณะ. การใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปรับปรุงดินบริเวณวัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตศึกษารัฐบาลสุโขทัย. สาขาวิชาเอกอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2542

บุญเด่น เดียวบุญธรรม. บทเรียน E-learning วิชาปุ๋ยพืชซาก (Soil Science). วันที่ค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2556. จากเว็บไซต์: <http://www.ksps.ac.th/e-learning/soil/lesson.php>, 2548

พวงรัตน์ นวจิ. การศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแอมโมเนียปุ๋ยในกรุงเทพมหานครเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์หลักสูตรปริญญาโทศึกษาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2564

สำนักบริหารจัดการคุณภาพน้ำ กรุงเทพมหานคร. สรุปปริมาณตะกอนปี 2553. วันที่ค้นข้อมูล 26 กุมภาพันธ์ 2555. จากเว็บไซต์: <http://dds.bangkok.go.th/wam/Thai/home.htm>, 2553

อุษณีย์ อุยะเสถียร. สิริพร เอกวราภรณ์ศิริ และ ปศิญา ศรีเทพ. การศึกษาถึงคุณสมบัติและความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่นำไปใช้ในการเกษตร. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552

Roca-Fruez, L., Martínez, G., Marcilla, P., and Botuda, R. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system. *Journal of Chemosphere* 33 (2003): 781-788.