

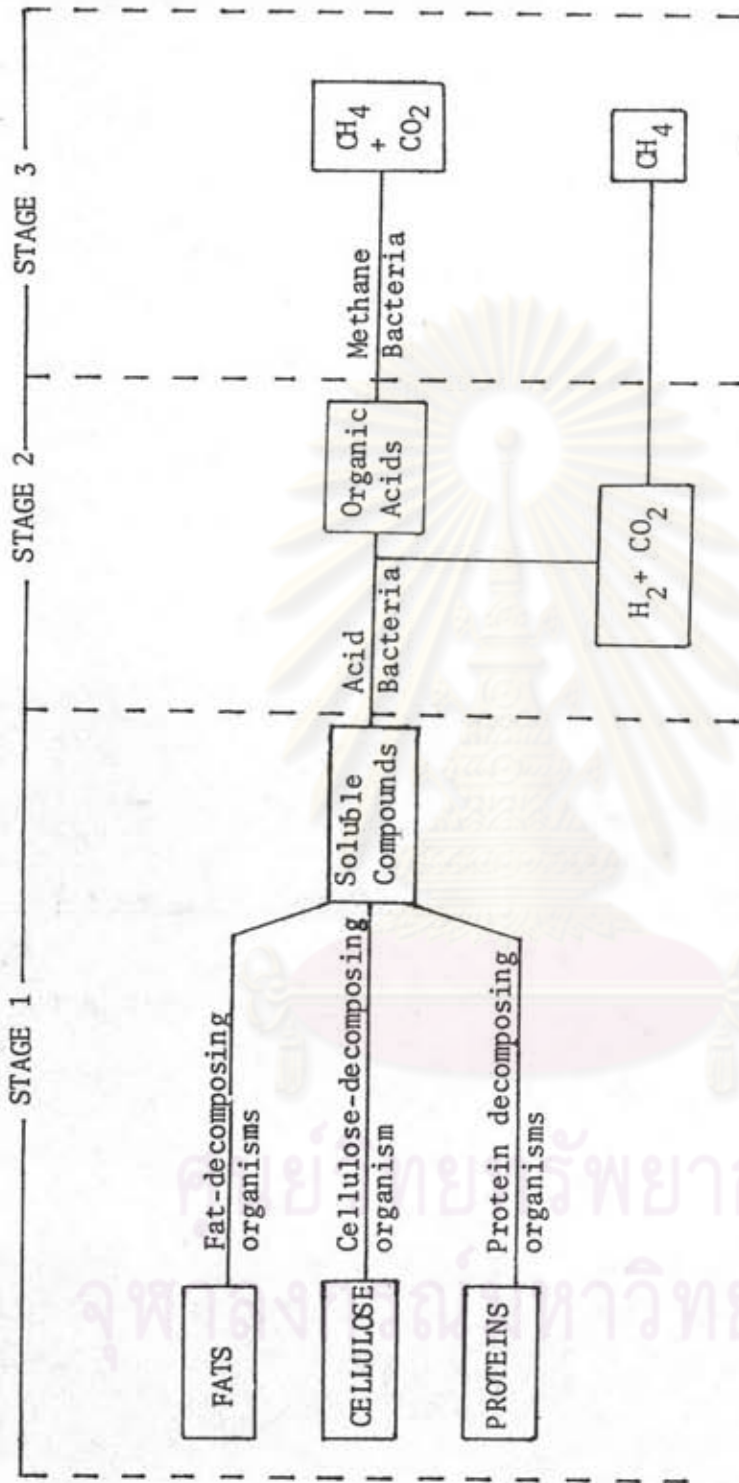


3.1 กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion of Organic Matters)

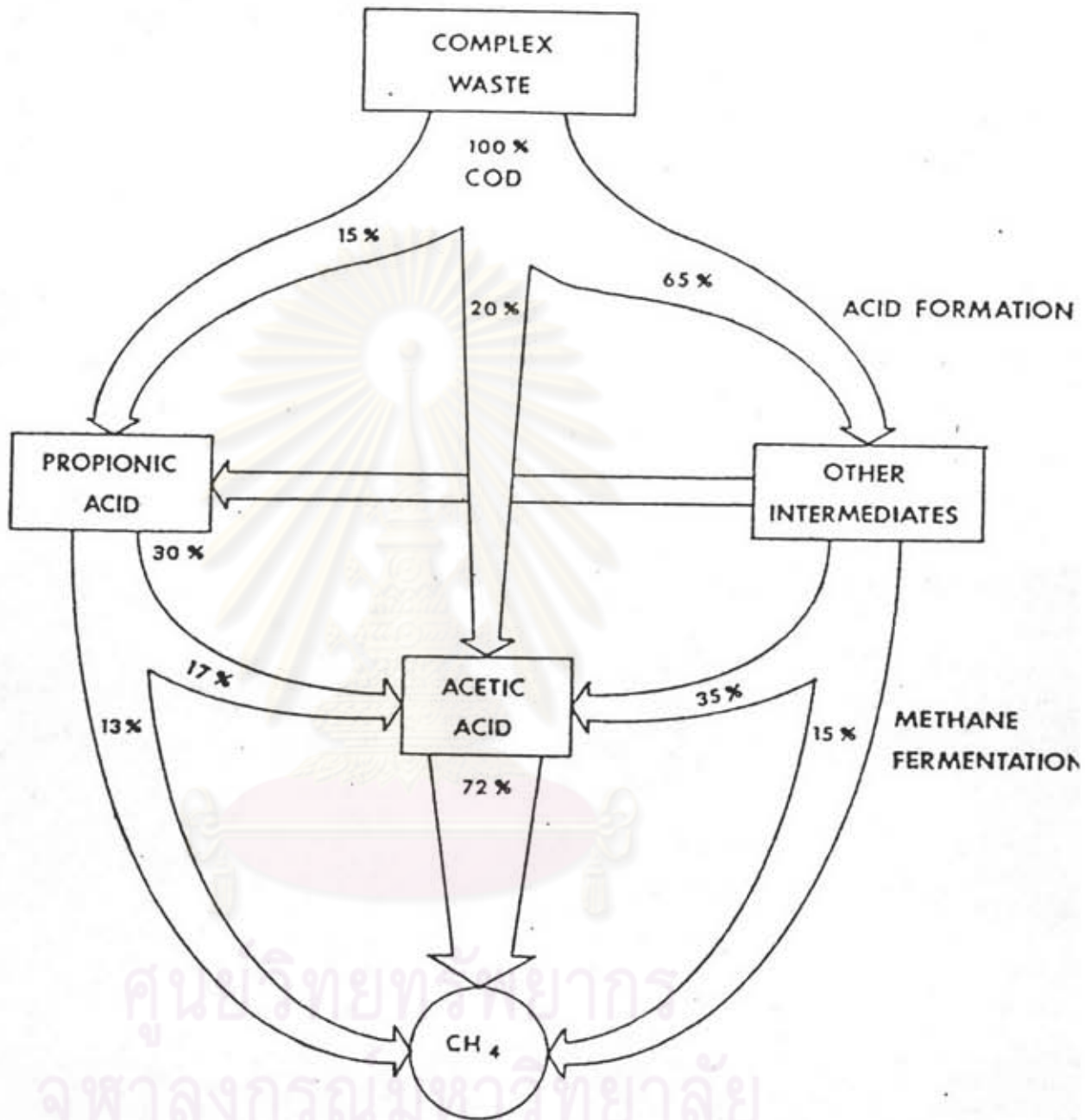
ในปฏิกิริยาย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เป็นวิธีการทางชีวภาพ โดยที่สารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกาซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยที่ไม่มีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้องเลย สามารถแบ่งขั้นตอนการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis), การสร้างกรด (acid formation) และการสร้างกาซ (gas formation) (14) แต่โดยทั่วไปนิยมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การสร้างกรด (acid formation หรือ liquifaction) และการสร้างมีเทน (methane formation หรือ gasification)

ในขั้นแรกจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์พวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันให้เป็นกรดอินทรีย์ (Organic Acids) ในขั้นที่สอง กรดอินทรีย์และสารอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นจากขั้นแรกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกาซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่ไม่ต้องการออกซิเจนเลย (Obligate Anaerobics) เรียกว่าจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกาซมีเทน (Methanogenic Bacteria) เนื่องจากในขั้นที่หนึ่งนั้นการย่อยสลายสารอินทรีย์มิใช่ได้แต่กรดอินทรีย์อย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นจึงเรียกขั้นแรกว่า Non-methanogenic phase และขั้นที่สองว่า Methanogenic phase (14) ดังรูปที่ 1, 2 และ 3

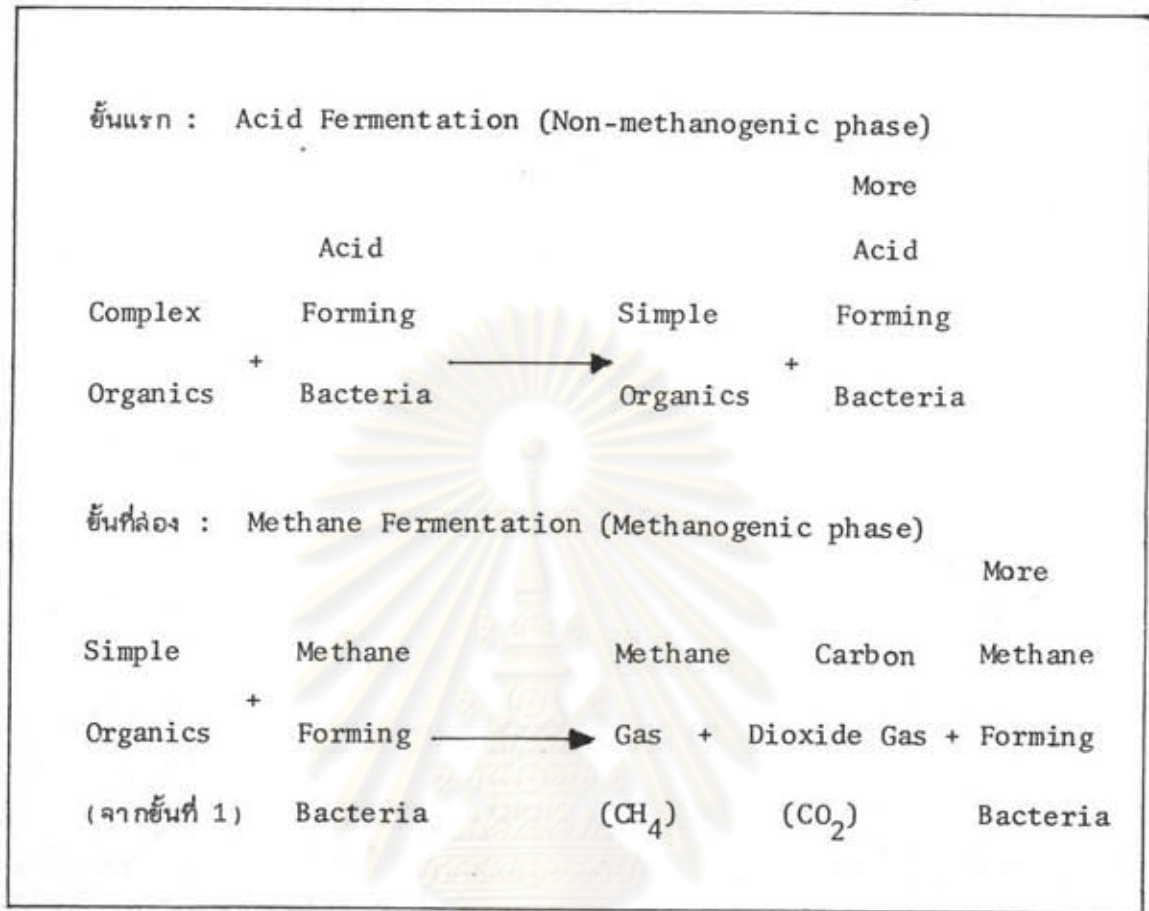
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (2)
(ANAEROBIC FERMENTATION OF ORGANIC SOLID)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (32)



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (16)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของระบบ (Factor Affecting System Stability)

เนื่องจากในระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่มที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรด (Acid Former) และทำหน้าที่ในการสร้างมีเทน (Methane Former) ดังนั้นเพื่อที่จะควบคุมให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องทำให้แบคทีเรียเหล่านี้ อยู่ในสภาวะที่สมดุลกัน ซึ่งจะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Factor) และ ปัจจัยทางด้านกระบวนการปฏิบัติงาน (Operational Factor) (14, 16, 29)

ตารางที่ 1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และ ปัจจัยทางด้านกระบวนการปฏิบัติงาน (14)

ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม	ปัจจัยทางด้านกระบวนการปฏิบัติงาน
พีเอช (pH)	ระยะเวลาในการหมัก (Retention Time)
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	ความเข้มข้นของสารอาหาร (Concentration of Substrate)
ความเข้มข้นของกรดโวลาทิล (Volatile Acid Concentration)	อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate)
อุณหภูมิ (Temperature)	องค์ประกอบของสารอาหาร (Composition of Organic Substrate)
อาหารเสริม (Nutrients)	ความล่ามวระถในการผสม (Degree of Mixing)
สารพิษ (Toxic Materials)	ปริมาณความร้อนและสมดุลย์ทางความร้อน (Heating and Heat Balance)

ตารางที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับขบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (16)
(Optimum Conditions for Anaerobic Treatment)

<u>Optimum Temperatures</u>	
Mesophilic Range	85 To 100 ^o F
Thermophilic Range	120 To 135 ^o F
<u>Anaerobic Conditions Sufficient Biological Nutrients</u>	
Nitrogen	
Phosphorus	
Others	
<u>Optimum pH</u>	
6.6 To 7.6	
<u>Absence of Toxic materials</u>	

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Factor)

พีเอช (pH)

ค่า พีเอช สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ ถึงสภาวะภายในถังหมักไร้ออกซิเจนได้ แต่ก็มีปัญหาคือ มันเปลี่ยนแปลงช้าในขณะที่กรดโวลาทิลเพิ่มขึ้น แต่ค่า พีเอชกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของการบัฟเฟอร์ (Buffering effect) ของความเป็นต่างในถังหมักนั่นเอง ดังนั้นค่า พีเอชจึงเป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงผลออกมาได้ช้าสำหรับการแก้ไขสภาวะในถังหมัก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของกรดโวลาทิล และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พีเอชก็ยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจน (14)

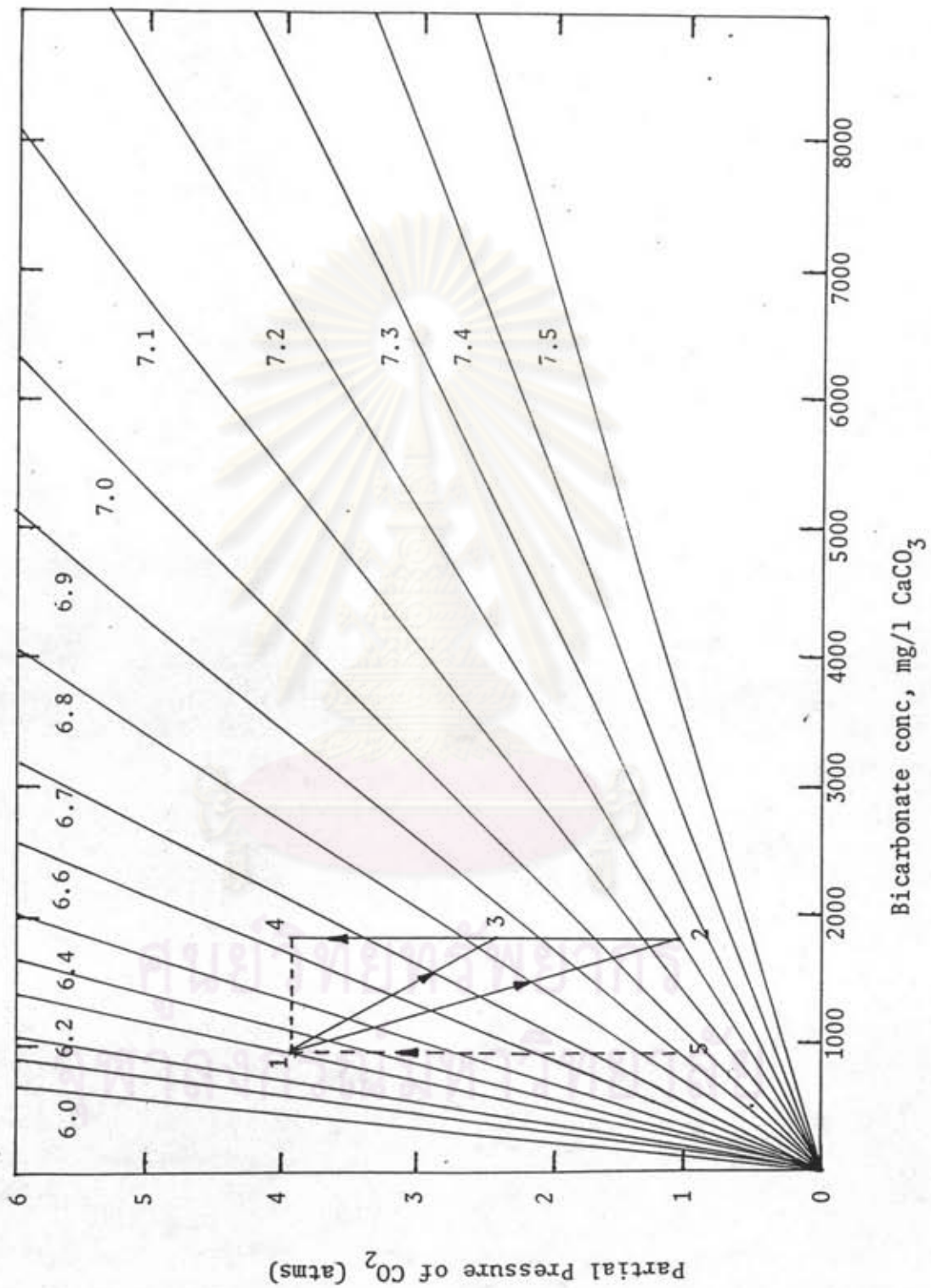
ค่า พีเอช จะส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียทั้งสองประเภท ค่า พีเอชที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-7.6 ถ้าค่า พีเอชสูงหรือต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเพราะสภาวะที่เป็นกรดนั้นจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนในทางปฏิบัติการรักษาพีเอชให้อยู่ในระหว่าง 7 จะทำให้แบคทีเรียทั้งสองประเภททำงานได้ดี (24) และถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว

วิธีการปรับ พีเอชในถังหมักไร้ออกซิเจน

สารเคมีที่ใช้เพิ่ม พีเอชให้กับถังหมักมีหลายอย่าง เช่น ปูนขาว, NaHCO_3 , NaOH หรือ Na_2CO_3 เป็นต้น ถ้าใช้ NaOH หรือปูนขาว หรือ Na_2CO_3 สัมฤทธิ์ทางไอออนิกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ CO_2 ถูกดึงออกจากบรรยากาศของก๊าซที่อยู่ในถังหมัก เข้าไปทดแทนส่วนของ CO_2 ในน้ำ ซึ่งถูกทำลายไปโดยสารละลายต่างที่เติมลงไปเพื่อสร้างความเป็นต่างคาร์บอเนต ของตัวอย่างเช่น ถ้าสภาวะเริ่มต้นของถังหมักอยู่ที่ตำแหน่ง 1 ในรูปที่ 4 การเติม NaOH หรือ Ca(OH)_2 ทำให้ partial pressure ของ CO_2 ลดลง และไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นจุดสมดุลก็จะเปลี่ยนไปอยู่จุดที่ 2 แต่อย่างไรก็ดีแบคทีเรียจะสร้าง CO_2 ขึ้นมาใหม่ ทำให้ partial pressure ของ CO_2 เพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ระดับเดิม จุดสมดุลจึงเลื่อนจากจุด 2 ไปอยู่ที่จุด 4 เป็นผลให้พีเอชลดลงทั้งที่ความเป็นต่างยังคงเดิมอยู่ ถ้า Na_2CO_3 มีจำนวนเท่ากันถูกเติมลงไปแทน จุดสมดุลจะเปลี่ยนจากจุด 1 ไปยังจุดที่ 3 ก่อนที่จะไปหยุดที่จุด 4

ด้วยเหตุผลเดียวกัน ถ้า NaHCO_3 จำนวนเท่ากันถูกใช้แทน ส้มตูลย์จะเลื่อนจากจุด 1 ไปยังจุด 4 โดยตรง ทั้งนี้เพราะว่า CO_2 ในถังหมักไม่ถูกดึงไปใช้สร้างคาร์บอเนต (เพราะเราเติมคาร์บอเนตลงไปนั่นเอง) อนึ่งการกำจัด CO_2 ออกจากก๊าซในถังหมักโดยตรงก็อาจช่วยให้พีเอชสูงขึ้นได้ ในกรณีนี้จุดส้มตูลย์จะเลื่อนจากจุด 1 ไปยังจุด 5 แต่เมื่อแบคทีเรียสร้าง CO_2 ขึ้นมาใหม่ จุดส้มตูลย์จะเลื่อนกลับไปจุด 1 อีก การปรับพีเอชแบบนี้จึงไม่ใช่วิธีการถาวร และไม่อาจใช้ได้

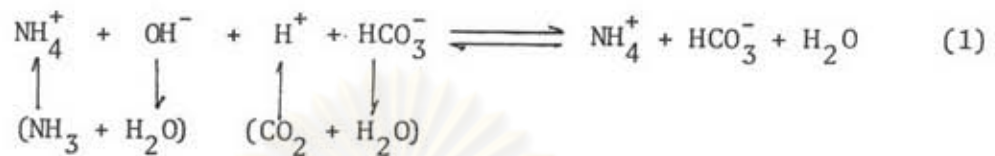
ตัวอย่างข้างบนนี้ แสดงว่าสารเคมีที่ใช้ควบคุมพีเอชอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ชนิดแรกสามารถให้คาร์บอเนตกับน้ำได้โดยตรง ชนิดที่สองใช้วิธีสับ CO_2 หรือ H_2CO_3 และเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอเนต การเลือกสารเคมีชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต้องพิจารณา 2 อย่าง ปัจจัยข้อแรกเกี่ยวข้องกับการเติมสารเคมี สารเคมีที่สับ CO_2 ทำให้พีเอชสูงขึ้น ความต้องการก่อนเสมอ จากนั้น CO_2 ที่สร้างใหม่จะทำให้ pH ด้วยลดลงไปจนถึงจุดที่ต้องการ ถ้าปริมาณของสารเคมีที่ต้องการใช้อยู่ในระดับสูง การเติมลงไปทีเดียว อาจทำให้พีเอชเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับอาจเป็นพิษได้ ด้วยเหตุนี้การเติมสารเคมีที่สับ CO_2 จึงค่อย ๆ เติมทีละน้อยอย่างช้า ๆ เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของพีเอชเป็นไปอย่างช้า ๆ ส่วนการเติมสารประกอบไบคาร์บอเนตโดยตรงนั้นไม่มีผลแบบที่เกิดขึ้นกับสารสับ CO_2 ทำให้มีความสะดวกกว่า ทำให้สามารถเติมสารเคมีและปรับพีเอชได้ละเอียดและแม่นยำ ปัจจัยข้อที่สองคือ ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่เป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา (การเติมปูนขาวให้กับถังหมัก จะทำให้ความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากปูนขาวจะรวมกับ CO_2 หรือ H_2CO_3 ทำให้ได้สารไบคาร์บอเนต แต่เนื่องจากแคลเซียมไบคาร์บอเนตมีขีดจำกัดในการละลายน้ำอยู่ประมาณ 500-1000 มก./ล. การเติมปูนขาวเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดตะกอนหินปูน (CaCO_3) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เป็นเหตุให้เกิดการกำจัด CO_2 โดยที่ความเป็นด่างไบคาร์บอเนตไม่เพิ่มขึ้น การลดลงของ CO_2 ทำให้ Partial Pressure ของ CO_2 ลดลงด้วย พีเอชจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากความเป็นด่างไม่ได้เพิ่มตามขึ้นด้วย จึงทำให้พีเอชไม่เสถียรภาพทันทีที่แบคทีเรียผลิต CO_2 ขึ้นมาใหม่ พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็วทันที



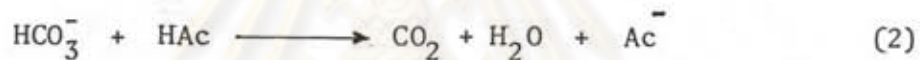
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีระหว่าง CO₂, pH และความเข้มข้นของฟังกโทอิก (35)

ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างในถังหมักไร้ออกซิเจน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ซึ่งความเป็นด่างไบคาร์บอเนตนี้ เกิดมาจากปฏิกิริยาระหว่าง แอมโมเนีย กับ คาร์บอน-ไดออกไซด์ และน้ำ ให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ดังสมการที่ 1



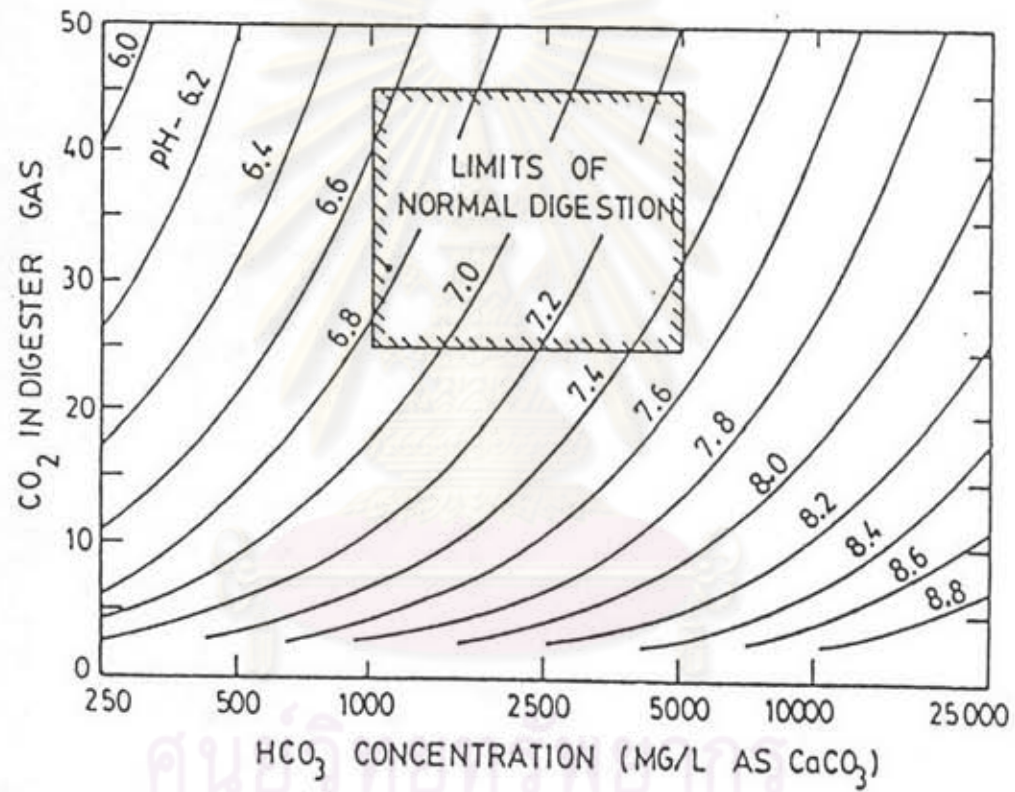
การสร้างความเป็นด่างตามธรรมชาตินี้ มีความสำคัญคือจะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุมพีเอชให้อยู่ระหว่าง 6.8 ถึง 7.2 อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของกรดโวลาทิลล์ภายในระบบเพิ่มขึ้น ความเป็นด่างไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติก็จะถูกทำลายไปและถูกแทนที่โดย Volatile-Acid Alkalinity (VAA) ดังสมการที่ 2



การทำลายความสามารถในการบัฟเฟอร์นี้ เป็นสาเหตุทำให้พีเอชลดลง

ถึงแม้ว่าความเป็นด่างจะมีความจำเป็นในการควบคุมค่า pH ของการหมักก็ตาม แต่ความเป็นด่างอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่จะชดเชยถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการหมักได้นอกจากจะใช้เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของกรดโวลาทิลล์ ค่าความเป็นด่างที่แสดงในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ควรจะสูงกว่าค่าความเข้มข้นของกรดโวลาทิลล์ที่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตเช่นเดียวกัน เมื่อความเข้มข้นของทั้งสองเท่ากัน ความสามารถในการบัฟเฟอร์ก็จะลดลงเหลือเพียงเล็กน้อย ปัญหา ก็จะเกิดขึ้นทันที

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าความเป็นด่างคาร์บอเนตควรรักษาให้อยู่ในระดับอย่างน้อย 1000 มก/ล สัมมูลย์กับ CaCO_3 เพื่อให้แน่ใจว่าเพียงพอในการควบคุมพีเอชอยู่ได้ การหาค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity) จำเป็นจะต้องหาค่าความเข้มข้นของกรดโวลาทิลล์ และค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) มาก่อน เมื่อทราบค่าเหล่านี้แล้วจึงนำมาคำนวณหาความเป็นด่างไบคาร์บอเนตได้จากสมการที่ 3 ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกโดย Pohland และ Bloodgood (7) และต่อมาได้รับการปรับปรุงโดย Mc Carty (24)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต (23)
 (RELATIONSHIP BETWEEN PH AND BICARBONATE CONCENTRATION)

โดยที่

$$BA = TA - (0.85)(0.833) TVA \quad (3)$$

เมื่อ

BA = ความเป็นต่างไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity);
มก/ล สัมมูลย์กับ $CaCO_3$

TA = ความเป็นต่างทั้งหมด (Total Alkalinity);
มก/ล สัมมูลย์กับ $CaCO_3$

TVA = ความเข้มข้นทั้งหมดของกรดโวลลาไทล์ (Total Volatile Acid
concentration); มก/ล สัมมูลย์กับกรดอะซิติก

ค่ามิลลิกรัมต่อลิตรสัมมูลย์กับกรดอะซิติก เมื่อเปลี่ยนให้เท่ากับความเป็นต่างสัมมูลย์กับ $CaCO_3$ (Alkalinity as $CaCO_3$) ทำได้โดยการคูณด้วย 0.833 ส่วนค่า 0.85 นั้น หมายถึงความต่างเพียง 85 เปอร์เซ็นต์ของ Volatile Acid Alkalinity ที่วัดได้จากการ ตีเตรตของความเป็นต่างรวมทั้งที่เอช 4 สัมการนี้สัมมติว่าไม่มีความเข้มข้นของสารอื่น ๆ เช่น ฟอสเฟต ซิลิเกต หรือกรดเกลืออื่น ๆ ซึ่งสามารถให้ความเป็นต่างได้เช่นกัน

สำหรับค่าความเป็นต่างไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้มีความสามารถในการ บัฟเฟอร์ (Buffering Capacity) อย่างเพียงพออยู่ในช่วงระหว่าง 2500-5000 มิลลิกรัม ต่อลิตร ซึ่ง Greaf และ Andrew (9) พบว่า การเพิ่มความเป็นต่างไบคาร์บอเนตจะทำให้ ระบบมีความสามารถที่จะทนทานต่อการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของสารอาหาร ตัวอย่างเช่น ที่ SRT 15 วัน การเพิ่มความเป็นต่างไบคาร์บอเนตจาก 3000 เป็น 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ เสถียรภาพ (Stability) ของระบบเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

กรดโวลลาไทล์ (Volatile Fatty Acid)

แต่เดิมเชื่อกันว่ากรดโวลลาไทล์มากกว่า 2,000 มก/ล จะทำให้เกิดการหมักต่อ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดกาซมีเทน (Methane-Producing Organisms) ทำให้เกิดกาซมีเทนลง Mc Carty และ Mc Kinney (11) ได้ทำการทดลอง พบว่าแม้กรดโวลลาไทล์สูงถึง 10,000 มก./ล. CH_3COOH ก็จะไม่เป็นพิษโดยตรงต่อแบคทีเรียถ้ามีปริมาณของสารที่จะปรับสภาพ (Buffering Capacity) เพียงพอ ถ้าไม่พอก็จะมีผลทำให้พีเอชต่ำลงจนแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกาซมีเทนไม่สามารถทนอยู่ได้ การแก๊ซของกรดโวลลาไทล์จะทำได้โดยลดปริมาณ

อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ (Organic Loading) การเติมสารปรับสภาพเช่น NaHCO_3 และการใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำทิ้ง (Hydraulic Retention Time) ในระบบให้มากขึ้น

อุณหภูมิ (Temperature)

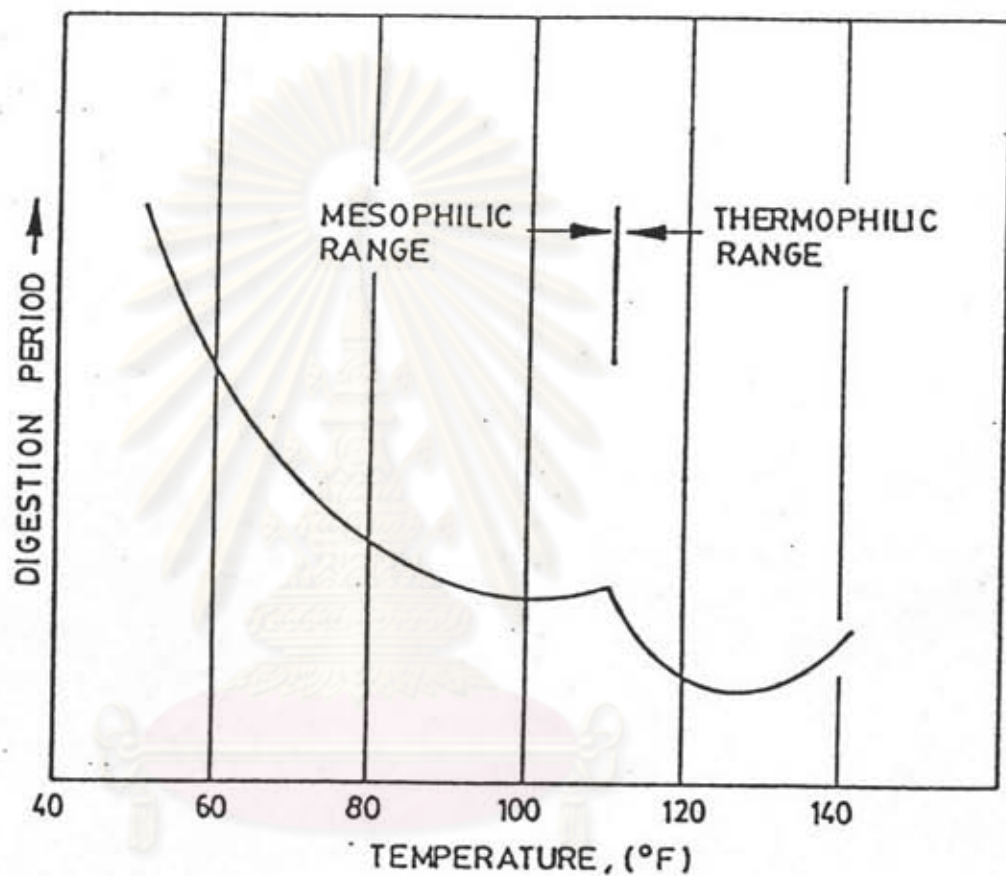
อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจน คือในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการทำปฏิกิริยา (Reaction Rate) ก็จะเร็วขึ้นด้วย (22) ซึ่งเป็นผลทำให้ระยะเวลาในการหมัก (Retention time) ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6

ปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 2 ช่วงคือ ช่วง Mesophilic ระหว่าง $30-38^{\circ}\text{C}$. และช่วง Thermophilic ระหว่าง $48-57^{\circ}\text{C}$. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาอาจทำให้เสียสมดุลระหว่างจุลินทรีย์ทั้งสองประเภท เป็นผลให้เกิดความล้มเหลวได้ ด้วยเหตุนี้การรักษาระดับของอุณหภูมิให้คงที่ในปฏิกิริยาไร้ออกซิเจนจึงถือเป็นเรื่องสำคัญมาก และสำคัญยิ่งกว่าการพยายามรักษาระดับอุณหภูมิที่จะทำได้ อัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงที่สุดเสียอีก โดยทั่วไปมักนิยมให้ถังหมักทำงานที่อุณหภูมิประมาณ $30-35^{\circ}\text{C}$. ซึ่งเป็นช่วงของ Mesophilic และแม้ว่าการทำงานในช่วงของ Thermophilic จะเป็นไปได้ก็ตาม ในทางปฏิบัติมักไม่นิยมกัน ทั้งนี้เพราะประสบการณ์ที่มีอยู่ด้วยแล้วแต่ชี้ให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิสูงไม่คุ้มค่าและผลของการทำงานก็มักไม่ได้ดีเท่าที่ควร

อาหารเสริม (Nutrients)

แบคทีเรียจำพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ก็มีความต้องการสารอาหารจำพวกไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และสารอาหารอื่น ๆ ที่ช่วยในการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) เพราะฉะนั้นการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมคือการใส่อาหารเสริมลงไปให้เพียงพอแก่ความต้องการ เพราะว่าของเสีย (Waste) ที่จะเข้าสู่ระบบนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป

Mc Carty (22) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับสารอาหารที่จำเป็นโดยการทดลองกับแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน พบว่าแบคทีเรียเหล่านี้ต้องการธาตุไนโตรเจนประมาณ 0.106 เท่าของน้ำหนักเซลล์ ($\text{cell weight/N}=9.4$) และต้องการธาตุฟอสฟอรัสประมาณหนึ่งในเจ็ดของธาตุไนโตรเจนเท่านั้น และปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่แบคทีเรียต้องการนั้นอย่างน้อยต้องเป็นไปตามอัตราส่วนนี้คือ $\text{COD} : \text{N}:\text{P} = 100 : 1.1 : 0.2$



รูปที่ 6 ผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาการย่อยสลาย (41)

(INFLUENCE OF TEMPERATURE ON DIGESTION TIME)

Sanders และ Bloodgood (7) ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างธาตุไนโตรเจนกับคาร์บอนต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย ซึ่งก็พบว่า อัตราส่วนของไนโตรเจนกับคาร์บอนในสารอาหาร ประมาณ 0.0620 จะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างดี ถ้าอัตราส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอนมากกว่านี้ก็จะไม่ช่วยให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

นอกจากไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสแล้วยังมีสารชนิดอื่นที่หน้าที่ในการกระตุ้น (Stimulate) เมื่อมีความเข้มข้นต่ำ ๆ และจะยับยั้ง (Inhibit) ที่ความเข้มข้นสูง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

สารพิษ (Toxic Materials)

ในระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจน จะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียตามปกติพิษของสารที่เป็นพิษจะเกิดก็ต่อเมื่อมีปริมาณมากพอ และพิษที่เกิดขึ้นนั้นบางชนิดจะเป็นพิษโดยตรง บางชนิดจะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย โดยความรุนแรงของพิษ และการยับยั้งจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร แต่อย่างไรก็ตามสารที่เป็นพิษหรือยับยั้งต่อการทำงานของแบคทีเรียยังสามารถช่วยกระตุ้นให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น หากสารเหล่านั้นมีปริมาณพอเหมาะ ดังตารางที่ 4, 5 และ 6 สารเหล่านี้ได้แก่ กรดโวลลาไทล์, แอมโมเนีย, สารโลหะเบา, ซีลไฟต์, โลหะหนัก, เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นในการกระตุ้นและยับยั้งของอัลคาไลและอัลคาไลเอิร์ทที่เป็นประจุลบ
(Stimulatory and Inhibitory Concentrations of Alkali and
Alkali-Earth Cations. (25)

ไอออนลบ (Cation)	ความเข้มข้น, มก./ล. (Concentration; mg/l.)		
	มีฤทธิ์กระตุ้น (Stimulation)	มีฤทธิ์ยับยั้งปานกลาง (Moderately Inhibitory)	มีฤทธิ์ยับยั้งรุนแรง (Strong Inhibitory)
โซเดียม	100-200	3,500-5,500	8,000
โพแทสเซียม	200-400	2,500-4,500	12,000
แคลเซียม	100-200	2,500-4,500	8,000
แมกนีเซียม	75-150	1,000-1,500	3,000

ตารางที่ 4 ผลของ Ammonia-Nitrogen ต่อระบบการกำจัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (25)

NH ₃ -N mg/l	Effect on Anaerobic Treatment
50-200	Benificial
200-1,000	No adverse effect
1,500-3,000	Inhibition at higher pH value
Above 3,000	Toxic

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ให้การยับยั้ง 50% ต่อการทำงานของงูหมึก (33)

สารประกอบ	ความเข้มข้นอย่างประมาณ (มก./ล)
Fe ⁺⁺	1 - 10
Zn ⁺⁺	10 ⁻⁴
Cd ⁺⁺	10 ⁻⁷
Cu ⁺	10 ⁻¹²
Cu ⁺⁺	10 ⁻¹⁶

ตารางที่ 6 Possible Methods to Control Toxic Materials (40)

1. Remove toxic materials from waste
2. Dilute below toxic threshold
3. from insoluble complex or precipitate
4. Antagonize toxicity with another material

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 ปัจจัยทางด้านปฏิบัติงาน (Operating Factor)

ระยะเวลาในการหมัก-อัตราการให้สารอินทรีย์-ความเข้มข้นของของแข็ง

อัตราที่ของเสียถูกใส่เข้าไปในถังหมัก เรียกว่า "Volumetric Organic Loading Rate" [VOLR] มีหน่วยเป็น ปอนด์ของของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไปต่อลูกบาศก์ฟุตของปริมาตรถังหมักต่อวัน ($1b\ TVS/ft^3 - day$) หรือ กิโลกรัมของของแข็งระเหยต่อลูกบาศก์เมตรของถังหมักต่อวัน ($kg\ TVS/m^3 - day$) อัตราการไหลคั่ง (loading rate) ที่แตกต่างกันสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่ไหลผ่านถังหมัก หรือโดยการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ใส่เข้าไปในทางปฏิบัติ วิธีที่ไ้กันทั่ว ๆ ไปในการเปลี่ยนอัตราการไหลคั่งก็คือ การเปลี่ยนอัตราการไหล ซึ่งจะมีผลต่อระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในระบบ (Hydraulic Retention Time; HRT) ของถังหมัก

คำนิยามของ HRT ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบกำจัดของเสียตามทฤษฎี HRT จะแทนเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมักและสามารถหาได้โดยการหารปริมาตรของถังหมักด้วยปริมาณของเสียที่ไหลผ่านถังหมักต่อหน่วยเวลา ค่า HRT จะมีความหมายเหมือนกับ "Solid Retention Time" (SRT) สำหรับในกรณีที่ไม่มีการหมุนเวียนสลัดจ์ ซึ่งค่า SRT นี้เป็นตัวสำคัญที่สุดในการปฏิบัติการควบคุมและออกแบบระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยมันจะแทนค่าเฉลี่ยของเวลาจุลชีพอยู่ในระบบและสามารถที่จะหาได้โดยการหารจำนวนปอนด์ หรือกิโลกรัมของของแข็งระเหยในระบบด้วยจำนวนปอนด์หรือกิโลกรัมของของแข็งระเหยที่ออกจากกระบวน

นอกจากนี้ค่า SRT ยังเป็นตัวสำคัญที่จะบอกความมีเสถียรของของเสีย (Degree of Waste Stabilization) ที่ผ่านการบำบัดแล้ว การเพิ่ม SRT เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและจะมีปริมาณกากเกิดมากขึ้น ตามรูปที่ 7 ของ Rankin (31) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง SRT กับความมีเสถียรของของเสียที่ผ่านขบวนการบำบัด อย่างไรก็ตาม เมื่อของเสียถูกทำให้เสถียรก็จะต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานและขนาดของถังหมักจะมีขนาดใหญ่ตามด้วย พร้อมทั้งปริมาณความร้อนที่ใช้ก็จะสูงตามไปด้วย

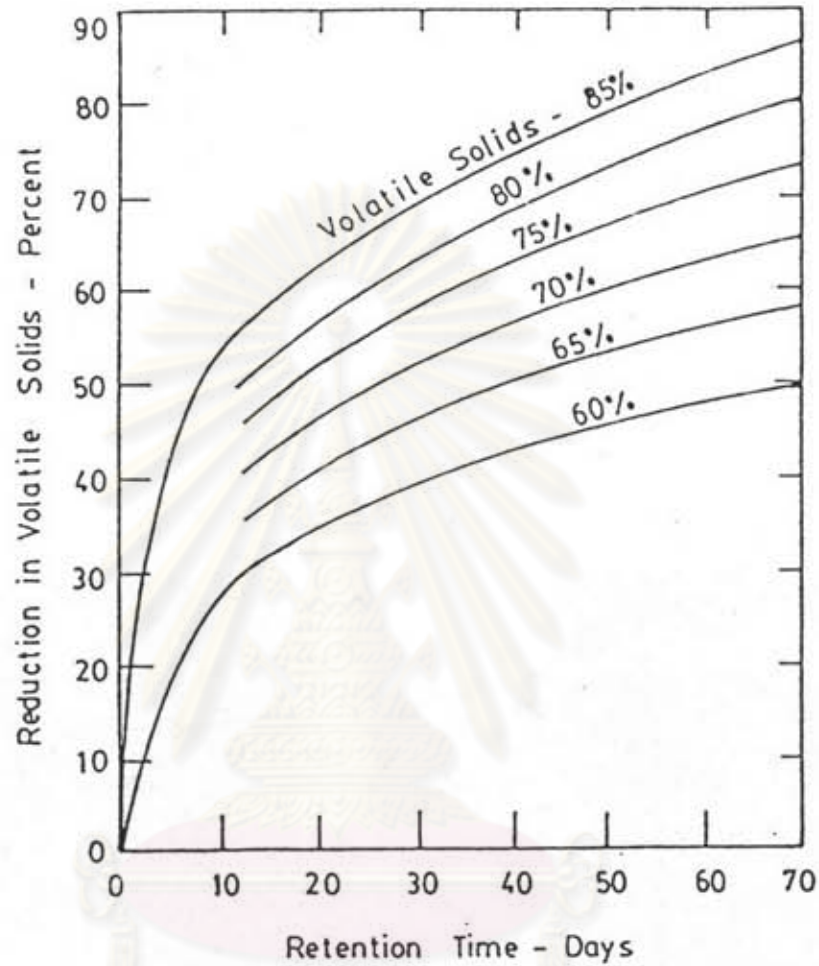
เมื่อ SRT ลดลงจำนวนเซลล์ที่เข้มแข็ง (Active) จะถูกล้างออกจากระบบ (Wash out) มากขึ้น แต่ถ้า SRT ต่ำกว่าขีดจำกัดที่แน่นอน จุลชีพจะถูกล้างออกจากระบบในอัตราที่เร็วกว่าที่มันจะเกิดขึ้นใหม่ ซึ่งจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระบบล้มเหลว ระยะเวลา

ต่ำสุดที่จุลชีพจะอยู่ในระบบ (Minimum Solid Retention Time; θ_m) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และชนิดของจุลชีพในระบบดัง ตารางที่ 7 ซึ่งชนิดของจุลชีพนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของสารอาหารที่ถูกใส่เข้าไป Mc Carty (26) แนะนำถึงการควบคุมระบบว่า แม้เราจะสามารถควบคุมระบบให้ทำงานได้ใกล้เคียงกับ SRT ต่ำสุด (θ_m) ประสิทธิภาพก็จะต่ำไปด้วยและการทำงานของระบบจะเลวลง ในทางปฏิบัติ SRT ควรจะมีค่าอย่างน้อยประมาณ 2.5 เท่าของ SRT ต่ำสุด

ตารางที่ 7 Growth rate of methane organisms (32)

Substrate	Temperature °C	Resident time day
Methanol	35	2
Formate	35	3
Acetate	35	5
Propionate	35	7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของของแข็งระเหยที่ถูกทำลายกับระยะเวลาในการหมัก (31)

(VARIATION OF VOLATILE SOLID DESTRUCTION WITH DETENTION TIME)

การกวน (Mixing)

การกวนเป็นสิ่งสำคัญในระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน หลักการสำคัญก็คือ การทำให้สารอินทรีย์ในถังหมักอยู่ในสภาพแขวนลอย (Suspension) ดังนี้เพื่อที่จะให้เกิด การสัมผัส (Contact) กันระหว่างสารอาหาร (Substrate) กับจุลชีพและเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพของระบบด้วย การกวนนั้นจะต้องให้เพียงพอที่จะป้องกันการเกิดการสะสมของ สารอินทรีย์ตามจุดต่าง ๆ ของถังหมัก ทั้งยังทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อ- เดียวกัน (Homogenous)

กรรมวิธีในการกวนของ เหลวในถังหมักสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

- หมุนเวียนลึกลับด้วยปั๊ม (Recycling of sludge by pump)
- สูบอัดกาซไปทางด้านบนของถังหมัก (Pumping of compressed gas to the bottom of the digester)
- ใช้เครื่องกวน (Mechanical mixing)
- ใช้การสูบผ่านท่อผ่า (Pumping draft tube)

ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป การที่จะหาวิธีการที่เหมาะสมและ ประหยัดที่สุดในการเลือก เครื่องกวนนั้น จำเป็นจะต้องศึกษาในรายละเอียดต่าง ๆ อย่าง ละเอียดและลึกซึ้ง

จากการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายในอัตราสูง (High rate digester) พบว่า ความเร็วตามเส้นรอบวง (Circulating Velocity) ที่บริเวณพื้นถังหมักประมาณ 1.5 ถึง 3 ฟุตต่อวินาที จะไม่ทำให้เกิดการสะสมของสารต่าง ๆ สำหรับความเร็วต่ำสุดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอนุภาค โดยที่ความเร็วที่เหมาะสมควรอยู่ประมาณ 2.5 ฟุตต่อวินาที จาก รายงานของ WPCF (27) เกี่ยวกับของเหลวที่มีความเข้มข้นสูง การกวนอย่างต่อเนื่องจะมีความสำคัญมาก เพราะว่าในบางครั้งมันเป็นการยากที่จะทำให้สารที่สะสมกันอยู่ลอยตัวขึ้นมา ส่วนการใช้กาซหมุนเวียนผ่านเข้าไปในท่อผ่า สามารถทำได้โดยสูบอัดกาซเข้าไปในท่อที่เจาะรู ตลอดแนวขนาดเท่า ๆ กันในอัตราที่เพียงพอที่จะกวน (Agitate) ให้ Sewage Sludge ลอยตัวขึ้นมาได้ ค่าที่ใช้ในการออกแบบคือ ปริมาณกาซชีวภาพ 35 ถึง 40 ลิตร ต่อมาที่ ต่อ ปริมาตรของถังหมัก 1,000 ลิตร

สาเหตุในการล้มเหลวของระบบ (Causes of Ultimate Failure)

จากการศึกษาถึงปัจจัยของสิ่งแวดล้อม (Environmental Factor) และปัจจัยในการทำงาน (Operational Factor) เพื่อที่จะให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้น Graef และ Andrew (9) ได้สรุปสาเหตุของการล้มเหลวในการควบคุมระบบกักน้ำของเสีย โดยวิธีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนไว้ดังนี้คือ

ก) การให้ของเหลวเข้าสู่ระบบมากเกินไป (Hydraulic Overloading) จะทำให้ระยะเวลาเก็บกักจุลชีพให้อยู่ในระบบ (Residence time) ลดลงจนถึงจุดซึ่งจุลชีพไม่สามารถที่จะขยายพันธุ์ (Reproduced) ได้ทัน ก่อนที่จะถูกล้างออกจากระบบ

ข) การให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมากเกินไป (Organic Overloading) จะทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันอิสระ ซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทน

ค) การให้ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ระบบมากเกินไป (Toxic Overloading) เมื่อสารพิษเช่น โลหะหนัก, สารเคมี, แอมโมเนีย และอินฮิบิเตอร์ เข้าสู่ระบบมากเกินไป จะไปฆ่า "Methanogenic Organism" ซึ่งสาเหตุของการตายเกิดจากการสะสมของสารพิษ ที่ความเข้มข้นสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 Indicators of Unbalance Treatment (40)

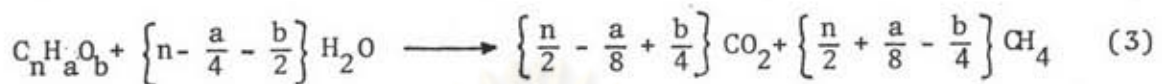
<p><u>Parameters Increasing</u></p> <p> Volatile Acids Concentration</p> <p> CO₂ Percentage in GAS</p> <p><u>Parameters Decreasing</u></p> <p> pH</p> <p> Total GAS Production</p> <p> Waste stabilization</p>
--

ตารางที่ 9 Steps to Follow in Concentration Unbalance (40)

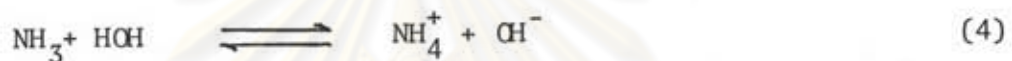
1. Maintain pH near neutrality
2. Determine cause of unbalance
3. Correct cause of unbalance
4. Provide pH control until treatment return to normal

3.3 องค์ประกอบและปริมาณกาซที่ได้ (Gas Composition and Gas Yield)

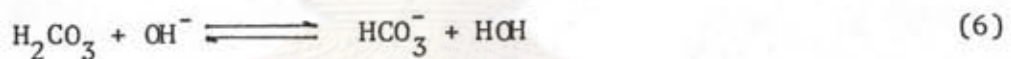
ในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนนั้น สามารถที่จะทำนายปริมาณกาซมีเทนที่เกิดขึ้นจากความรูทาง เคมีขององค์ประกอบของเสีย จากสมการที่ (3) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Buswell และ Mueller (28)



อย่างไรก็ตาม คาร์บอนไดออกไซด์ จะไม่ออกในรูปของกาซหมดแต่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำ และ ไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide Ions) ส่วนโปรตีน (Protein) จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย (Ammonia) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำดังสมการที่ (4)



ไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) ที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นไบคาร์บอเนตไอออนดังสมการที่ (5) และ (6)



ดังนั้นสารอาหารที่มีองค์ประกอบของ โปรตีนจะมีผลต่อปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์จริง ๆ ที่ถูกระบายออกมาจากสารละลายรวมทั้ง "Bicarbonate Buffer Capacity" ของระบบด้วย

Burford และ Varani (23) ได้แสดงปริมาณกาซที่ได้ตามทฤษฎี จากองค์ประกอบหลักของพืชและมูลสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณกาชชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายวัสดุจำพวกพืชผัก (1)

ชนิดของพืช	ลูกบาศก์เซนติเมตรของกาชชีวภาพ		หมายเหตุ
	ต่อกรัมของแข็ง	ต่อกรัมของแข็ง	
	ระเหยที่ไล่เข้าไป (gm VS added)	ทั้งหมดที่ไล่เข้าไป (gm TS added)	
สาหร่าย (Algae)	-	240	
เปลือกกล้วย (Banana Skins)	-	360	
ฟางข้าวบาร์เลย์ (Barley Straw)	-	150	
กะหล่ำปลี (Cabbage)	792	-	ต่อกรัมของแข็ง ระเหยที่ถูก ทำลายไป
แครอท (Carrots)	693	-	ต่อกรัมของแข็ง ระเหยที่ถูก ทำลายไป
ฟางปอ (Flax Straw)	333	300	
ขยะเปียก (Garbage)	500	-	ค่าเฉลี่ย
เศษหญ้า (Grass Clippings)	390	-	ค่าเฉลี่ย
มันฝรั่ง (Potatoes)	480	-	
กระดาษ (Paper)	475	-	ค่าเฉลี่ยของ กระดาษ หนังสือพิมพ์
ต้นกก (Papyrus)	470	-	
ฟางข้าว (Rice Straw)	455	-	
สาหร่ายทะเล (Seaweed)	-	300	
ผักตบชวา (Water Hyacinth)	-	163	
ฟางข้าวสาลี (Wheat Straw)	310	-	ค่าเฉลี่ย
ไม้ (Wood)	-	50	

ตารางที่ 11 ปริมาณก๊าซที่ได้ตามทฤษฎี (23)

องค์ประกอบ (Component)	% ฝึเทม	กาซที่ได้ (Gas Yield)
		สบ.ม./กก.ของแฉิ่งระเหย
คาร์โบไฮเดรต ($C_6H_{10}O_5$) _n	50	0.886
ไขมัน ($C_{50}H_{90}O_6$)	70	1.535
โปรตีน ($6C.2NH_3 \cdot 3H_2O$)	84	0.587

3.4 พลังงานจากกาซชีวภาพ (Energy from Biogas)

กาซฝึเทมบริสุทธิ์ไม่มีสี และไม่ก่กลิ่น ตามปกติแล้วจะมีองค์ประกอบของกาซฝึเทมอยู่ระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกาซจากระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน โดยที่กาซชีวภาพที่มีองค์ประกอบของกาซฝึเทมอยู่ระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์ จะให้พลังงานออกมา 500-700 Btu /ft³ (22,000-26,000 kJ/m³) ซึ่งสามารถที่จะใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ สำหรับการหุงต้ม, ความร้อน, แล่งสว่างและการทำความเย็น หรือใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งมีอัตราส่วนกำลังอัด 8:1 หรือมากกว่า (2) ตารางที่ 12 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่สำคัญทางฟิสิกส์และเคมีของกาซฝึเทม



ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของก๊าซมีเทน (Physical and Chemical Characteristic of Methane) (2)

- สูตรทางเคมี (Chemical Formular) :	CH_4
- น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) :	16.042
- จุดเดือด (Boiling Point) ที่ 14.696 psia (700 มม.) :	- 258.68 ^o F (-161.49 ^o C)
- จุดเยือกแข็ง (Freezing Point) ที่ 14.696 psia (760 มม.) :	- 296.46 ^o F (-182.48 ^o C)
- ความดันวิกฤต (Critical Pressure) :	673.1 psia (47.363 kg/cm ²)
- อุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature) :	- 116.5 ^o F (-82.5 ^o C)
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) :	
ของเหลวที่ - 263.2 ^o F (-164 ^o C) :	0.415
ก๊าซที่ 77 ^o F (25 ^o C) และ 14.696 psia (760 มม.) :	0.000658
- ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) ที่ 60 ^o F (15.5 ^o C) และ 14.696 psia (760 มม.) :	33.61 ลบ.ฟ. /ปอนด์ (1.47 ลิตร /กรัม)
- ค่า Calorific 60 ^o F (15.5 ^o C) และ 14.696 psia (760 มม.) :	1,012 บีทียู/ลบ.ฟ. (38,130.71 กิโลจูล/ม ³)
- อากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ ลบ.ฟ. /ลบ.ฟ. (Air required for combustion) :	9.53
- Flammability Limits :	5 ถึง 15% โดยปริมาตร
- ค่า Octane Rating :	130

ตารางที่ 12 (ต่อ)

- อุณหภูมิในการจุดระเบิด (Ignition Temperature) :	1,202 ^o F (650 ^o C)
- สมการการเผาไหม้ (Combustion Equation) :	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- O_2/CH_4 สำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์ (For Complete Combustion) :	3.98 โดยน้ำหนัก
- O_2/CH_4 สำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์ (For Complete Combustion) :	2.0 โดยปริมาตร
- CO_2/CH_4 จากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (From Complete Combustion) :	2.74 โดยน้ำหนัก
- CO_2/CH_4 จากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (From Complete Combustion) :	1.00 โดยปริมาตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizers)

ปุ๋ยเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตของพืช ดินที่ไ้เพาะปลูกของประเทศไทย โดยทั่วไป มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนในดินมีอยู่ในระดับต่ำธาตุฟอสฟอรัสมีจะขาดแคลนในดินเพาะปลูกทั่วไป สำหรับธาตุโปแตสเซียมจะมีอยู่ในระดับสูงถึงปานกลางในดินเหนียว ส่วนในดินทรายจะมีอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ สรุปโดยทั่วไปดินเพาะปลูกของประเทศไทยจะขาดแคลนธาตุอาหารหลักในดินจากมากไปหาน้อยคือ ไนโตรเจน > ฟอสฟอรัส > โปแตสเซียม การปรับปรุงหรือการรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สูงอยู่เสมอั้นวิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งคือการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์เป็นปุ๋ยที่ได้จากสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งแตกต่างจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่นซากพืช ซากสัตว์ มูลสัตว์ ปุ๋ยหมักต่าง ๆ

ในปัจจุบันนอกจากปุ๋ยเคมีจะมีราคาแพงมากขึ้นแล้ว ในบางครั้งก็ยังไม่เพียงพอแก่ความต้องการของเกษตรกรอีกด้วย ความจำเป็นดังกล่าวจึงทำให้เกษตรกรต้องหันมาสนใจผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขึ้นใช้เองมากขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์ที่เกษตรกรผลิตขึ้นให้เองนั้น ส่วนใหญ่จะใส่มูลสัตว์เลี้ยงพวกโค กระบือและสุกร โดยการนำมากหมักและตากให้แห้งแล้วนำไปใช้เป็นปุ๋ย เรียกว่า "ปุ๋ยคอก" การผลิตปุ๋ยที่นิยมทำกับอีกวิธีหนึ่งก็คือการนำเอามูลสัตว์มาหมักร่วมกับอินทรีย์วัตถุจำพวกใบไม้ เศษหญ้า และฟางข้าว โดยกองรวมกันไว้บนพื้นดินหรือทำเป็นหลุมดิน ปล่อยให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติเป็นเวลานาน 3-6 เดือน อินทรีย์วัตถุที่ได้หลังจากการหมักนั้นเรียกว่า ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วปฏิกิริยาของการย่อยสลายดังกล่าวในถังหมักแบบไร้ออกซิเจนก็เป็นลักษณะเดียวกันกับกรรมวิธีในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยทั่วไป ฉะนั้นภาคตะกอนที่ผ่านการหมักให้เกิดการย่อยสลายแล้ว จะมี N-P-K ซึ่งสามารถให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

สูตรปุ๋ยหรือเกรดของปุ๋ย (Fertilizer Grade) คือปริมาณของธาตุอาหารระบุเป็นน้ำหนักร้อยละของธาตุ หรือออกไซด์ของธาตุในปุ๋ยนั้นซึ่งใช้เป็นหลักสากลดังนี้

ไนโตรเจน ระบุเป็นร้อยละของธาตุไนโตรเจนทั้งหมดใช้ตัวย่อว่า N

ฟอสฟอรัส ระบุเป็นร้อยละของฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ใช้ตัวย่อว่า P_2O_5

โปแตสเซียม ระบุเป็นร้อยละของโปแตสเซิละลายน้ำ ใช้ตัวย่อว่า K_2O

ตัวอย่างเช่นปุ๋ยผสมสูตร 13-12-13 หมายความว่า จากการวิเคราะห์ปุ๋ยนี้หนัก

100 กิโลกรัม มี N, P_2O_5 และ K_2O เป็น 13, 12 และ 13 กิโลกรัมตามลำดับ