

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ตะกอน

ตะกอน (Sludge) ตามคำจำกัดความในศัพท์บัญญัติและนิยามน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) “ตะกอน เป็นของแข็ง (ที่ยังมีน้ำปน) ที่แยกออกจากน้ำหรือน้ำเสีย และจะจมสะสมตัวอยู่เบื้องล่าง หรือของแข็ง (ที่ยังมีน้ำปน) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการทางเคมีและเกิดการตกตะกอน หรือกลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา”

##### 2.1.1 แหล่งกำเนิดของตะกอน

ส่วนประกอบต่างๆของน้ำเสียเป็นแหล่งกำเนิดของตะกอนได้ทั้งสิ้น ทั้งนี้สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดของตะกอนได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ตะกอนแขวนลอย และสารละลาย ตะกอนแขวนลอยที่ถูกตกตะกอนหรือลอยตะกอนจะกลายเป็นตะกอนโดยตรง ส่วนสารละลายนั้นเป็นแหล่งกำเนิดตะกอนที่ซับซ้อนกว่าตะกอนแขวนลอยสารอนินทรีย์ เช่น อีออนของโลหะหนัก เป็นต้น จะกลายเป็นตะกอนโดยผ่านทางปฏิกิริยาตกผลึก (Chemical Precipitation) ตามด้วยการตกตะกอนส่วนสารละลายอินทรีย์ เช่น บีโอดี เป็นต้น บางส่วนจะกลายเป็นจุลินทรีย์ซึ่งกลายเป็นตะกอนที่ต้องการบำบัด

ตะกอนแขวนลอย  $\xrightarrow{\text{ตกตะกอนชั้นแรก}}$  ตะกอน (ตะกอนดิบ)  
หรือลอยตะกอน

สารละลายอนินทรีย์  $\xrightarrow{\text{การตกผลึก}}$  ตะกอน  
และตกตะกอน

สารละลายอินทรีย์  $\xrightarrow{\text{บำบัดแบบใช้อากาศ}}$  ตะกอน (จุลินทรีย์)  
 $\xrightarrow{\text{บำบัดแบบไม่ใช้อากาศ}}$

### ย่อยสลายทางชีวภาพ

ตะกอนแขวนลอยอินทรีย์  $\longrightarrow$  ตะกอน (ตะกอนเจือย)

ตะกอนส่วนใหญ่จะพบได้ที่ก้นถังตกตะกอนด้วยความเข้มข้นต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนซึ่งมีความสามารถในการอัดตัวให้แน่นแตกต่างกันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์ของแข็งในตะกอน (มันลิน, 2542)

ชนิดตะกอน	เปอร์เซ็นต์ของแข็ง (% SS)
ตะกอนสลัดจ์จุลินทรีย์จากถังตกตะกอนสุดท้าย	0.8 - 1.2
ตะกอนชั้นแรก	1 - 2
ตะกอนสลัดจ์เคมี	2 - 4

ข้อมูลข้างต้นมีความสำคัญมากในการคำนวณปริมาตรของตะกอนชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นเพื่อนำตัวเลขไปใช้ในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดและกำจัดตะกอน

ตะกอนจากแหล่งต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทราบข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับตะกอนน้ำเสียของระบบบำบัด เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดและกำจัดตะกอนได้อย่างเหมาะสมโดยทั่วไปสามารถแยกได้เป็นลักษณะทางกายภาพและทางเคมี (เกรียงศักดิ์, 2542) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอน (Metcalf และ Eddy. Inc., 1991)

ลักษณะของตะกอน	ตะกอนชั้นที่สอง	ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว
ความถ่วงจำเพาะตะกอน	1.00-1.005	1.03-1.04
ความถ่วงจำเพาะของแข็ง	1.2-1.5	1.3-1.6
ของแข็งแห้งทั้งหมด ; %TS	0.4-1.2	5-12
ของแข็งระเหยง่าย ; %TS	60-85	30-60
เซลลูโลส ; %TS	5-10	8-15
ไขมัน(น้ำมัน) ; %TS	5-12	5-20
โปรตีน ; %TS	32-41	15-20
ไนโตรเจน ; %TS	2.4-7.0	1.6-6.0
ฟอสฟอรัส ; %TS	1.5-7.0	1.4-4.0

ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดและลักษณะของตะกอน (Metcalf และ Eddy. Inc.,1991)

ชนิดของของแข็งหรือตะกอน	กระบวนการและแหล่งกำเนิด	ลักษณะและข้อสังเกต
ขยะและของแข็งหยาบ (ขนาดใหญ่) (coarse solids)	ตะแกรงดักขยะ(screening)	ของแข็งขนาดใหญ่ ถูกกำจัดโดยขนาดของรูตะแกรงที่ทำความสะอาดด้วยมือหรือเครื่องกลในโรงบำบัดขนาดเล็กบ่อยครั้ง ขยะจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ สำหรับการบำบัดในหน่วยถัดไป หรือสามารถทิ้งไปในรูปของขยะชุมชนได้
ทรายและฝ้าไซ (grit and scum)	การกำจัดทราย (grit removal)	ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ที่มีถ.พ.สูง เช่น ทราย เศษกระดูก ฯลฯ แต่ในบางแห่งที่ออกแบบบาราดักทรายไม่ถูกต้อง(มีความเร็วของน้ำต่ำ)จะมีของแข็งแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์ปะปนอยู่ด้วย
ตะกอนและฝ้าไซในชั้นแรก(grease and scum)	ถังตกตะกอนชั้นต้น(primary sedimentation tank) หรือฝิวบนของบ่อเกรอะ(septic tank)	ส่วนมากจะพบ คราบไขมัน น้ำมันพืช เศษอาหาร ฯลฯ ที่ลอยอยู่ร่วมกันบริเวณผิวน้ำ โดยจะมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.95 ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์
ตะกอนชั้นต้น (primary sludge)	ถังตกตะกอนชั้นต้น	ตะกอนสีเทาที่มีกลิ่นเหม็น ประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์
ตะกอนเคมี (chemical sludge)	ถังตกตะกอนของกระบวนการตกผลึก	ถ้าเป็นการตกตะกอนของโลหะหนัก จะมีสารประกอบโลหะหนักถือว่าเป็นของเสียอันตราย(hazardous waste) สีของตะกอนจะขึ้นกับสารประกอบในตะกอน ส่วนใหญ่จะเป็นสีเทาหรือน้ำตาล อาจมีกลิ่นเหม็น



ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดและลักษณะของตะกอน (Metcalf และ Eddy. Inc., 1991)(ต่อ)

ชนิดของของแข็งหรือตะกอน	กระบวนการและแหล่งกำเนิด	ลักษณะและข้อสังเกต
ตะกอนชั้นที่สอง (secondary sludge) จากระบบตะกอนเร่ง	ถังตกตะกอนชั้นที่สอง (secondary sedimentation tank)	ตะกอนสีน้ำตาล ถ้าสีอ่อนแสดงว่าการเติมออกซิเจนอาจไม่พอเพียง จะมีกลิ่นดิน (earthy odor) ประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่(75-80เปอร์เซ็นต์)และจะเน่าหรือย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนได้ง่าย
ตะกอนชั้นที่สองจากระบบโปรยกรองหรือระบบจานหมุนชีวภาพ	ถังตกตะกอนชั้นที่สอง	ตะกอนสีน้ำตาล ประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ปกติไม่มีกลิ่นเหม็น
ตะกอนที่หมักแบบใช้ออกซิเจน(aerobic digested sludge)	ถังหมักตะกอนแบบใช้ออกซิเจน(aerobic digestion tank)	ตะกอนสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม ไม่มีกลิ่นเหม็น ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ยากและพวก inert materials ต่างๆ ถือว่าเป็นตะกอนที่อยู่ตัว(stable)
ตะกอนที่หมักแบบไร้ออกซิเจน(anaerobic digested sludge)	ถังหมักตะกอนแบบไร้ออกซิเจน(anaerobic digestion tank)	ตะกอนสีน้ำตาลเข้มถึงดำ และมีก๊าซชีวภาพปะปนในชั้นตะกอน ปกติจะมีกลิ่นเล็กน้อยประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ยากและพวก inert materials ต่างๆ ถือว่าเป็นตะกอนที่อยู่ตัว(stable)
ตะกอนปุ๋ยหมัก (composted sludge)	กระบวนการทำปุ๋ยหมักจากตะกอนระบบบำบัด	ตะกอนสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ไม่มีกลิ่นรบกวน เป็นตะกอนที่อยู่ตัว
สิ่งปฏิกูล(septage)	บ่อเกราะ	ตะกอนสีดำ มีกลิ่นเหม็น ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายบางส่วน และสารอินทรีย์

## 2.1.2 ประเภทของตะกอน

ตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียมีการจัดกลุ่มตะกอนได้หลายประเภทดังนี้

- แยกตามที่มาจากการบำบัด

ตะกอนชั้นแรก (Primary Sludge)

ตะกอนชั้นสอง (Secondary Sludge)

ตะกอนเคมี (Chemical Sludge)

- แยกตามประเภทองค์ประกอบของตะกอน

ตะกอนที่ย่อยแล้ว (Digested Sludge)

ตะกอนดิบ (Raw Sludge)

ตะกอนชั้นแรก หมายถึง ตะกอนที่ระบายออกมาจากก้นถังตกตะกอนชั้นแรก ตะกอนส่วนนี้จะเป็นตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียที่มีน้ำหนักรวมมากจนสามารถตกตะกอนได้เองในก้นถังตกตะกอนชั้นแรก ถ้าใช้สารเคมีช่วยให้เกิดการตกตะกอนที่เกิดขึ้นก็จะเรียกว่าตะกอนเคมี ตะกอนชั้นแรกจึงมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์รวมกันซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย

ตะกอนชั้นสอง หมายถึง ตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบต่างๆ ตะกอนส่วนนี้จึงมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก แสดงลักษณะทางเคมีและกายภาพของตะกอนชั้นแรกและชั้นสองจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบเอเอส

ตะกอนดิบ หมายถึง ตะกอนชั้นแรกและตะกอนชั้นสองที่ยังคงไม่คงตัว (สามารถเน่าเหม็นได้ง่าย) ไม่ควรนำตะกอนดิบไปตากแห้งหรือบีบน้ำ เนื่องจากมักมีกลิ่นเหม็นในระหว่างดำเนินการ ควรย่อยตะกอนดิบให้กลายเป็นตะกอนคงตัวที่ย่อยแล้ว (Digested Sludge) ก่อนนำไปตากหรือบีบน้ำ ตะกอนดิบจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- ตะกอนชีวภาพ

- ตะกอนเคมี

ตะกอนชีวภาพ หมายถึง ตะกอนดิบที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบต่างๆ ส่วนประกอบหลักของตะกอนชีวภาพจึงเป็นแบคทีเรียที่ถูกกำจัดทิ้ง รวมทั้งตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนเบื้องต้นของน้ำเสีย

ตะกอนเคมี หมายถึง ตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยวิธีเคมี ซึ่งอาจเป็นตะกอนดังต่อไปนี้

- ตะกอนที่เกิดจากระบวนการโคแอกกูเลชันของสารแขวนลอยต่างๆรวมทั้งน้ำมันและไขมัน

- ตะกอนที่เกิดจากระบวนการตกผลึก (Precipitation) ของโลหะหนัก

ตะกอนเคมีอาจเป็นตะกอนอินทรีย์หรือตะกอนอนินทรีย์ก็ได้

การจำแนกความแตกต่างของน้ำเสียและตะกอนอาจทำได้โดยดูจากปริมาณตะกอนของแข็งหากมีความเข้มข้นมาก ๆ น้ำในถังเติมอากาศของระบบเอเอสอาจเรียกได้ว่าเป็นน้ำตะกอน (Mixed Liquor) แต่ยังไม่เป็นตะกอน น้ำตะกอนที่ออกจากถังถังตกตะกอนใบลสุดท้ายของระบบเอเอสอาจเรียกว่าตะกอนได้ ดังนั้นจึงอาจบอกได้คร่าว ๆ ว่าถ้ามีเปอร์เซ็นต์ TS สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ก็อาจเรียกว่าเป็นตะกอนได้ ตะกอนที่มีเปอร์เซ็นต์ TS ไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ สามารถไหลได้ดี และจะยังเห็นเป็นของเหลวที่ขุ่นๆมีลักษณะคล้ายเลน ตะกอนที่เริ่มเป็นก้อนและโยนเป็นก้อนได้จะมีเปอร์เซ็นต์ TS ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ เป็นอย่างน้อย ซึ่งแสดงว่าตะกอนยังมีเปอร์เซ็นต์น้ำหรือความชื้นอยู่เป็นจำนวนมาก แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ลักษณะของตะกอนที่มีความเข้มข้นต่างๆ (มันลิน, 2542)

เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมด (%TS*)	ลักษณะของตะกอน
0 – 4	สามารถไหลได้ดี
5 – 20	เป็นโคลนที่ไหลหนืดๆ
20 – 25	เป็ยกแต่บ้นเป็นก้อนและโยนได้เป็นก้อนได้

\* เนื่องจาก TDS มักมีค่าไม่สูง จึงอาจใช้ค่า TS แทนค่า TSS ในการบอกความเข้มข้นของตะกอนของแข็งได้

### 2.1.3 ปริมาณตะกอน

ปริมาณตะกอนจากแต่ละกระบวนการในระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 เพื่อประโยชน์ในการคาดคะเนปริมาณตะกอนที่ต้องกำจัด แต่ควรระลึกไว้ว่าอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้มากปริมาณตะกอนจะเปลี่ยนแปลงตามมวลสารและเปอร์เซ็นต์ของแข็งในตะกอน

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างปริมาณตะกอนน้ำเสียและเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2534)

กระบวนการ	ตะกอนของแข็ง กก./1000 ลบ.ม. น้ำเสีย	เปอร์เซ็นต์ของแข็งในตะกอน
ถังตกตะกอนชั้นแรก	110-170	5
ตะกอนจากถังเติมอากาศ	70-100	0.75
ตะกอนจากถังกรองชีวภาพ	55-90	1.5
ถังย่อยสลายแบบไร้อากาศ	-	4



### 2.1.4 คุณสมบัติของตะกอน

ลักษณะของตะกอนจะมีผลต่อความยากง่ายในการปรับสภาพตะกอน ตะกอนจากถังตกตะกอนชั้นแรกจัดเป็นตะกอนที่ปรับสภาพง่ายกว่าตะกอนจากถังตกตะกอนชั้นที่สอง ตะกอนจากระบบบำบัดแบบอัตราการบำบัดสูง จัดเป็นตะกอนที่ปรับสภาพยากที่สุด สิ่งที่ใช้พิจารณาความยากง่ายในการปรับสภาพตะกอนมีดังนี้

- ขนาดอนุภาคของตะกอนและการกระจายตัว
- ประจุที่ผิวของอนุภาค
- ปฏิกิริยาหรือพันธะระหว่างอนุภาค
- อัตราส่วนของตะกอนชั้นแรกและชั้นที่สอง
- ความเข้มข้นของตะกอน
- ปริมาณสารที่มีลักษณะเป็นสารอินทรีย์โพลีเมอร์ในตะกอน
- สภาพความเป็นต่างของตะกอน

### 2.1.5 การจัดการตะกอน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าด้วยกระบวนการใดก็ตามจะมีตะกอนเกิดขึ้นเสมอ และมักก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการ ตะกอนเหล่านี้ประกอบด้วย สารอินทรีย์เข้มข้นที่เน่าเปื่อยได้พร้อมกับสารอินทรีย์ที่ไม่เน่าเปื่อยและสารอนินทรีย์ต่างๆที่ถูกเปลี่ยนรูปเป็นตะกอนแข็ง สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในตะกอนก่อให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นทำให้ต้องมีการจัดการขั้นต่อไป ตะกอนที่เกิดขึ้นจึงเป็นของเสียที่ต้องจัดการบำบัดให้กลายเป็นตะกอนที่ไม่สร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม หลังการปล่อยออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดตะกอนโดยทั่วไปจะประกอบด้วยหน่วยกำจัด คือ การทำข้น (thickening), การปรับเสถียร (stabilization), การรีดน้ำ (dewatering), การปรับสภาพ (conditioning), การฆ่าเชื้อโรค (disinfection), การทำแห้งด้วยความร้อน (heat drying), การหมัก (composting), การย่อยแบบใช้ออกซิเจน (aerobic sludge digestion), การย่อยไร้ออกซิเจน (anaerobic sludge digestion) และการบำบัดทิ้ง

## 2.2 วิธีการบำบัดขั้นต้น

โดยส่วนใหญ่การบำบัดน้ำเสียชุมชนนั้นใช้วิธีตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ส่งผลให้มีตะกอนส่วนเกินเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่ตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจะประกอบด้วยสารชีวมวล เช่น โปรตีน (ประมาณร้อยละ 30), คาร์โบไฮเดรต (ประมาณร้อยละ 40), ไขมัน (ประมาณร้อยละ 30) (Lin และคณะ, 1999) จากผลของกระบวนการตะกอนเร่ง (waste activated sludge) ตะกอนที่มีจำนวนมากได้สร้างปัญหาในการจัดการตะกอน ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นมากับกระบวนการตกตะกอนเร่งอย่างต่อเนื่อง จึงมีความพยายามในการศึกษาเพื่อที่ลดปริมาณของตะกอน และเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในตะกอน โดยกระบวนการต่างๆ เช่น การย่อยตะกอน (digestion) และ การคั่งน้ำ (dewatering)

กระบวนการบำบัดขั้นต้นเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตะกอนสามารถทำให้ตะกอนที่ได้แห้งขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้าไปสลายหรือทำลายผนังเซลล์ของตะกอน ส่งผลให้โครงสร้างตะกอนถูกเปลี่ยนรูป เซลล์แบคทีเรียเปิดและจำนวนเซลล์ลดลง เซลล์น้ำอิสระภายใต้กระบวนการไฮโดรไลซิสที่สมบูรณ์ จะเหลือเพียงสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (dissolve organic compounds) สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำสามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (biological degradation)(Choi และคณะ, 1997)

Neyen และ Baeyens (2003) ศึกษาวิธีการบำบัดขั้นต้นต่างๆดังนี้

1. การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน การให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิระหว่างจาก 40 – 180 องศาเซลเซียส คาร์โบไฮเดรต และ ไขมันของตะกอน ถูกย่อยสลายได้ในช่วงแรก ส่วนโปรตีนที่ถูกป้องกันการ ไฮโดรไลซิสจากเอนไซม์ โดยผนังเซลล์ การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิต่ำ ช่วงจาก 60 – 180 องศาเซลเซียส จะทำลายผนังเซลล์เพื่อการย่อยสลายทางชีวภาพ (biological degradation) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ โปรตีนเกิดได้ง่ายขึ้น พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไปได้มาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือ โดยใช้ไอน้ำเข้าสู่ในตะกอน

2. การบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมี โดยการใช้ ไอโซน สารละลายที่เป็นกรด หรือ สารละลายประเภทอัลคาไลน์ รวมถึงการใช้ สารละลายกรดร่วมกับสารละลายอัลคาไลน์หรือไอโซน

3. การทำให้สลายตัว (Disintegration) ในทางกลโดยการใช้ขบวนการ อัดตราไซนิค , บด (mill), การทำให้ละเอียด (homogenizers) ฯลฯ พลังงานที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ ความดัน, translation, rotation energy ความเค้นของของแข็งเป็นผลมาจาก ค่าแรงดึง และค่าสลายตัวของ เซลล์จุลชีพ สามารถทนต่อ ความเค้น ความแข็งแรงของแรงดึง น้อยกว่าความแข็งแรงของผนัง เซลล์ตะกอน



4. Freezing และ Thawing โดยโครงสร้างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนแรงจะ เป็นการเปลี่ยนรูปย้อนกลับไปสู่รูปแบบที่สมบูรณ์ ฟันธะนั้นจะลดลงและตลอดจนการดึงน้ำออก จากตะกอนทำได้ดีขึ้น

5. การไฮโดรไลซิสทางชีวภาพ โดยการใช้หรือไม่ใช้ เอนไซม์ สำหรับขบวนการแตกตัวด้วย เอนไซม์ เพื่อแตกสารประกอบของผนังเซลล์ตะกอน โดยอาศัยปฏิกิริยากระตุ้นเอนไซม์ ขบวนการ autolysis สามารถเกิดปฏิกิริยาในที่อุณหภูมิห้อง หรือ การเติมเอนไซม์ภายนอก

วิธีการบำบัดขั้นต้นที่นำมาทำการวิจัยในครั้งนี้คือใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์และให้ ความร้อนกับตะกอนน้ำเสีย

2.2.1 สารเคมี การบำบัดตะกอนโดยการใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นวิธีการปรับ สภาพที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ใช้ปริมาณสารเคมีเพียงเล็กน้อย และสามารถทำได้ที่สภาวะอุณหภูมิ ห้อง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวบำบัดขั้นต้นในการย่อยสลายตะกอนจะไม่ก่อให้เกิดตะกอน ส่วนเกินหรือเป็นการเพิ่มปริมาณตะกอนในระบบเหมือนกับการบำบัดขั้นต้นด้วยปูนขาว ผลการ ศึกษาของ Alleman พบว่าการบำบัดเบื้องต้นด้วยสารอัลคาไลน์มีผลต่อการละลายสลายตัวของ คาร์บอนในสารอินทรีย์ (อ้างถึงใน Lin และคณะ, 1999) Woodard และ Wukasch ได้ทำการ ศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยี hydrolysis/thickening/filtration เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อย สลายของแข็งในกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาแล้ว โดยทำการย่อยสลายตะกอนที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง และให้เกิดการไฮโดรไลซิสเป็นช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อลดระยะเวลาในการย่อยสลาย ตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย (อ้างถึงใน Lin และคณะ, 1999) Rajan ศึกษาพบว่า การบำบัด เบื้องต้นด้วยสารอัลคาไลน์ ซึ่งได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ปริมาณสารเคมีเพียงเล็กน้อยทำ ให้ความสามารถในการละลายของตะกอนเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 46 (อ้างถึงใน Lin และคณะ, 1999) ตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสารประเภทอัลคาไลน์ แล้วนำไปหมัก โดยทำการศึกษา หาประสิทธิภาพการหมักแบบไม่ใช้อากาศด้วยวิธี BMP test (Biochemical Methane Potential) พบว่าตะกอนที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่าตะกอนที่ ไม่ได้ผ่านการบำบัด (Owen และคณะ, 1979) นอกจากนี้ Ray ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการ ย่อยแบบ single – stage โดยใช้อัตราการย่อยแบบไม่ใช้อากาศที่ค่อนข้างสูง และทำการศึกษาที่ สภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 20, 13, 10, 7.5 และ 5 วัน ตามลำดับ พบว่าการบำบัดเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ค่า VS มีปริมาณลดลงถึง 25-35 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณก๊าซที่ผลิตได้สูงถึง 29-112 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าตะกอนที่ไม่ ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยสารอัลคาไลน์ (อ้างถึงใน Lin และคณะ, 1999) การบำบัดตะกอนใน ขั้นต้นด้วยสารประเภทอัลคาไลน์มีความสำคัญต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายได้ของตะกอน โดย

ค่า COD, ค่า VS และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นของตะกอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารอัลคาไลน์ค่อนข้างที่จะดีกว่าตะกอนที่มีได้ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยสารอัลคาไลน์ (Sawayama และคณะ, 1996)

2.2.2 ความร้อน มีการศึกษามาเป็นเวลานานเกี่ยวกับการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน เพื่อพัฒนาความสามารถในการดองน้ำออกของตะกอน โดยทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการละลายของสารอินทรีย์ จากการศึกษาตัวอย่างตะกอนของระบบตะกอนเร่งและส่วนผสมระหว่างตะกอนขั้นแรกกับตะกอนเร่งในสัดส่วน 40-60 และ 20-35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส จากการทำทดลองนำมาใช้กับตะกอนน้ำเสียที่ได้จากเขตชุมชนพบว่าเปอร์เซ็นต์ยิลด์สูงสุดของกระบวนการ ไฮโดรไลซิสสามารถทำได้ตั้งแต่อุณหภูมิที่ 165 - 180 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนเป็นเวลานาน 10-30 นาทีมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยกับผลการทดลองนี้ สารประกอบที่ไม่ละลายจะถูกย่อยทางชีวภาพในกระบวนการย่อยสลาย (Hung และคณะ, 1983) และการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เช่นทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดก๊าซเพิ่มขึ้นถึง 30 เปอร์เซ็นต์ แต่การบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิต่ำนี้จำเป็นต้องใช้เวลาสัมผัสหรือเวลาให้ความร้อนนานกว่าการบำบัดขั้นต้นที่ค่าอุณหภูมิสูง (Hiraoka อ้างถึงใน Neyen และคณะ, 2003) และที่การบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าการย่อยสลายตะกอนทางชีวภาพลดน้อยลงและมีแนวโน้มในการก่อตัวของอนุภาคที่เป็นพิษในระบบ (Stuckey และคณะ, 1982)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## 2.3 เทคนิคกระบวนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment Technique)

การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิควิเคราะห์ที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ในเชิงปริมาณของค่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามซึ่งจะเปลี่ยนค่าตามกันไป โดยความสัมพันธ์นี้จะเขียนออกมาในรูปของสมการแปรผกผันแบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ขั้นตอนของเทคนิคการออกแบบนี้เริ่มจากการกำหนดเมตริกซ์การทดลอง จากนั้นก็จะทำการทดลองจริงแล้ววัดผลที่ได้อย่างสอดคล้องกับเมตริกซ์การทดลอง ในขั้นการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม จากนั้นก็จะเป็นการแปรผลกระทบนั้นๆ ให้อยู่ในรูปของสมการความสัมพันธ์

### 2.3.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

กำหนดค่า  $k$  เป็นจำนวนตัวแปรต้นของการทดลอง ซึ่งตัวแปรอิสระมีผลต่อตัวแปรตาม การทดลองกำหนดค่าตัวแปรอิสระเป็น 2 ระดับ เรียกว่า two level factorial design ซึ่งในการทดลองจะแบ่งออกเป็นระดับสูงและระดับต่ำ โดยจะเขียนในรูป  $+1$  และ  $-1$  สำหรับการทดลองแบบ Full Factorial Design จะมีจำนวนชุดการทดลองทั้งสิ้น  $2^k$  ขึ้นอยู่กับแต่ละสภาพการทดลองที่แตกต่างกัน สำหรับการทดลองที่ใช้ชุดการทดลองน้อยกว่า  $2^k$  จะเรียกว่า fractional factorial design

### 2.3.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในรูปของเมตริกซ์ ให้กำหนดตัวแปรเข้าไปในเมตริกซ์นั้นให้อยู่ในรูปมาตรฐาน ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งได้ยกตัวอย่างของการใช้ค่าตัวแปรต้นที่ค่า  $k$  เท่ากับ 3 และค่า  $k$  เท่ากับ 4 และออกแบบเป็นเมตริกซ์ 2 ระดับแบบ full factorial design สำหรับการทดลองที่  $k=3$  จะได้จำนวนชุดการทดลอง  $2^3 = 8$  ชุดและที่ค่า  $k=4$  จะได้จำนวนชุดการทดลอง  $2^4 = 16$  ชุด ในการออกแบบเมตริกซ์การทดลองจะนำข้อมูลที่ได้ไปกำหนดสภาพการทดลอง การดำเนินการทดลองให้ทำในรูปแบบสุ่มตัวอย่าง (Random) เพื่อหลีกเลี่ยงค่าที่อาจจะเบี่ยงเบนหรือผิดพลาด ไปจากสภาพความเป็นจริง

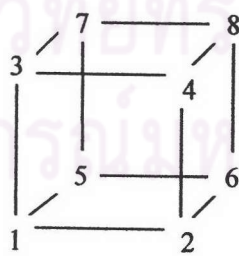
### 2.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อการทดลองเสร็จสิ้นและได้ผลการทดลองนั้นมาแล้ว ให้นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ถึงผลกระทบของแต่ละค่าของตัวแปรต้นที่เลือกใช้ว่ามีความสำคัญอย่างไร เช่นการทดลองที่  $2^3$  เราสามารถใช้ cubic plot แสดงในรูปกราฟ (รูปที่ 2.1) เพื่อประเมินผลกระทบหลักของ 3 ตัวแปรต้นนั้น ในขั้นต่อมาอาจจะทำการแสดงในรูปของพีชคณิตเส้นตรง (linear algebra) ซึ่งจะมองได้ง่ายกว่า



ตารางที่ 2.6 ออกแบบเมตริกซ์ สำหรับ  $2^3$  และ  $2^4$  โดย Full Factorial Design

Run Number	Factor			Run Number	Factor			
	1	2	3		1	2	3	4
1	-	-	-	1	-	-	-	-
2	+	-	-	2	+	-	-	-
3	-	+	-	3	-	+	-	-
4	+	+	-	4	+	+	-	-
5	-	-	+	5	-	-	+	-
6	+	-	+	6	+	-	+	-
7	-	+	+	7	-	+	+	-
8	+	+	+	8	+	+	+	-
				9	-	-	-	+
				10	+	-	-	+
				11	-	+	-	+
				12	+	+	-	+
				13	-	-	+	+
				14	+	-	+	+
				15	-	+	+	+
				16	+	+	+	+



รูปที่ 2.1 แสดงชุดข้อมูลตาม Run number

### 2.3.4 การวิเคราะห์ผลกระทบ

ผลกระทบหลัก (Main effect) ของตัวแปร ให้ทำการวัดจากค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของผลที่ได้ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นจากต่ำไปสูง ในการออกแบบการทดลองนี้จะประเมินผลออกเป็น 4 ด้านของแต่ละตัวแปรต้นซึ่งจากตารางที่ 2.7 พบว่าที่ตัวแปรต้น 1 จะมีการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของ 2 ชุดการทดลองคือ 1 กับ 2, 3 กับ 4, 5 กับ 6 และ 7 กับ 8 ซึ่งการวิเคราะห์ทั้ง 4 คู่ชุดการทดลองจะได้ค่าเฉลี่ยของผลกระทบหลักของค่าตัวแปร 1

ผลกระทบร่วม (Interaction effect) ของแต่ละตัวแปร มีนัยสำคัญคือเป็นผลที่เกิดจากการแปรเปลี่ยนค่าของ 2 ตัวแปรต้น ผลกระทบที่ได้จะขึ้นกับผลรวมของตัวแปรซึ่งไม่สามารถเกิดจากผลของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งได้

แบบจำลองเมตริกซ์จะประกอบด้วย model column vector (สดมภ์ที่ 2 ถึง 9 ค่า  $X_0$  ถึง  $X_{123}$ ) และ column vector ของผลลัพธ์ที่ต้องการ (สดมภ์ที่ 10 ที่แสดงค่า  $y$ ) โดยค่าพื้นฐานของ column vector  $X_i$  จะแสดงในรูปของค่า ที่สูงกว่า หรือ ที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 2.7 แบบจำลองเมตริกซ์  $2^3$  แบบ Full Factorial Design

Run	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{23}$	$X_{123}$	$y$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$y_1$
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$y_2$
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$y_3$
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$y_4$
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$y_5$
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	$y_6$
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	$y_7$
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_8$

### 2.3.5 สมการที่ใช้ในการคำนวณของ $2^3$

ค่าเฉลี่ย

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8}{8}$$

ผลกระทบหลักของปัจจัย 1

$$a_1 = \left( \frac{y_2 + y_4 + y_6 + y_8}{4} - \frac{y_1 + y_3 + y_5 + y_7}{4} \right) / 2$$

ผลกระทบทหลักของปัจจัย 2

$$a_2 = \left( \frac{y_3 + y_4 + y_7 + y_8}{4} - \frac{y_1 + y_2 + y_5 + y_6}{4} \right) \frac{1}{2}$$

ผลกระทบทหลักของปัจจัย 3

$$a_3 = \left( \frac{y_5 + y_6 + y_7 + y_8}{4} - \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} \right) \frac{1}{2}$$

ผลกระทบทร่วมของปัจจัย 1 และ 2

$$a_{12} = \left( \frac{y_1 + y_4 + y_5 + y_8}{4} - \frac{y_2 + y_3 + y_6 + y_7}{4} \right) \frac{1}{2}$$

ผลกระทบทร่วมของปัจจัย 1 และ 3

$$a_{13} = \left( \frac{y_1 + y_3 + y_6 + y_8}{4} - \frac{y_2 + y_4 + y_5 + y_7}{4} \right) \frac{1}{2}$$

ผลกระทบทร่วมของปัจจัย 2 และ 3

$$a_{23} = \left( \frac{y_1 + y_2 + y_7 + y_8}{4} - \frac{y_3 + y_4 + y_5 + y_6}{4} \right) \frac{1}{2}$$

ผลกระทบทร่วมของปัจจัย 1, 2 และ 3

$$a_{123} = \left( \frac{y_2 + y_3 + y_5 + y_8}{4} - \frac{y_1 + y_4 + y_6 + y_7}{4} \right) \frac{1}{2}$$

ค่าสมการ จะได้

$$\hat{Y} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3 + b_0$$

สำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้ จะใช้ค่าตัวแปรต้น 2 ค่า ซึ่งจะได้จำนวนชุดการทดลอง  $2^2 = 4$  ดังตารางที่ 2.8



ตารางที่ 2.8 แบบจำลองเมตริกซ์  $2^2$  แบบ Full Factorial Design

Run	$X_1$	$X_2$	$X_{12}$	$y$
1	-	-	+	$y_1$
2	+	-	-	$y_2$
3	-	+	-	$y_3$
4	+	+	+	$y_4$

สมการคำนวณของ  $2^2$ 

ผลกระทบลึกของปัจจัย 1

$$a_1 = \left( \frac{y_2 + y_4}{2} - \frac{y_1 + y_3}{2} \right) \frac{1}{2}$$

ผลกระทบลึกของปัจจัย 2

$$a_2 = \left( \frac{y_3 + y_4}{2} - \frac{y_1 + y_2}{2} \right) \frac{1}{2}$$

ผลกระทบร่วมของปัจจัย 1 และ 2

$$a_{12} = \left( \frac{y_1 + y_4}{2} - \frac{y_2 + y_3}{2} \right) \frac{1}{2}$$

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}$$

นำมาเข้าสมการ  $\hat{Y} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2 + b_0$

### 2.3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ )

$$r^2 = SSR / SST$$

$$SST = SSR + SSE$$

$$SSR = \sum (R - M)^2$$

$$SSE = \sum (M - \tilde{Y})^2$$

- เมื่อ R คือ ค่าจริง  
 M คือ ค่าจากสมการ  
 $\tilde{Y}$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าจริง

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เป็นค่าที่ช่วยในการตรวจเช็คความถูกต้องของสมการ และความมั่นใจในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยคำนวณจากค่าจริงที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่คำนวณได้จากการแทนค่าในสมการ  $\tilde{Y}$  ตามสมการที่กล่าวไว้ข้างต้นการนำค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมาใช้พิจารณาจากค่าที่คำนวณได้ หากมีค่าน้อยกว่า 0.5 จะให้ค่าความถูกต้องหรือค่าคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ที่มากกว่า 0.5 ซึ่งค่าที่ดีที่สุดคือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ให้ค่าเข้าใกล้ 1 เหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Vlyssides และ Karlis (2004) ศึกษาปฏิกิริยาการสังเคราะห์ระหว่างน้ำกับสารประกอบที่ละลายในน้ำ (Hydrolysis) ของตะกอนเร่ง (WAS) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 50 – 90 องศาเซลเซียส และช่วง pH 8 – 11 เป็นการบำบัดขั้นต้นสำหรับการย่อยแบบไร้อากาศ อัตราปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในการละลายของ VSS จะเกิดตามอัตราปฏิกิริยาระดับที่ 1 ผลการทดลองได้ในรูปสมการเส้นตรงตามความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ค่า pH และอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และ pH 11 ได้ความเข้มข้นของ VSS 6.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ค่า VSS ลดลงถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 10 ชั่วโมง และที่เวลาเดียวกันค่า COD ได้เป็น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และได้ค่าประสิทธิภาพรวมของการผลิตมีเทน 0.281 ต่อกรัมของปริมาณ VSS

Kim และคณะ (2003) ศึกษาหาประสิทธิภาพการย่อยแบบไร้อากาศของระบบตะกอนเร่ง โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (batch) ศึกษาผลการบำบัดขั้นต้นตะกอนน้ำเสียด้วยความร้อน สารเคมี อัลตราโซนิก และอุณหภูมิ การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนทำการทดลองที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ให้ค่า SCOD เพิ่มขึ้นจาก 2250 เป็น 4900 มิลลิกรัมต่อลิตร การบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมี NaOH, KOH,  $Mg(OH)_2$  และ  $Ca(OH)_2$  ที่ pH 12 ความเข้มข้นจาก 0-21 กรัมต่อลิตร ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง พบว่า NaOH ที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตรให้ค่าเปอร์เซ็นต์ COD solubilization ดีที่สุด การบำบัดขั้นต้นด้วยอัลตราโซนิก ทำการทดลองที่คลื่นความถี่ 42 KHz เป็นเวลา 10 – 120 นาที พบว่าค่าที่เหมาะสมคือที่เวลา 120 นาที และสำหรับการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนร่วมกับสารเคมีพบว่าการทดลองที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตรให้ค่าประสิทธิภาพการย่อยที่ดีที่สุดและเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายตะกอนได้ดีกว่าการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว

Chang และคณะ (2002) ศึกษาการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อเพิ่มปฏิกิริยาการสังเคราะห์ระหว่างน้ำกับสารประกอบที่ละลายน้ำ (ไฮโดรไลซิส) ในน้ำเสียตะกอนเร่งจากระบบรวบรวมน้ำเสียชุมชนของ Taipei Min-Sheng ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศไต้หวัน งานวิจัยนี้ศึกษาการทำลายโครงสร้างที่ทนต่อการละลายน้ำของตะกอนเร่งน้ำเสียและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของตะกอนน้ำเสีย การทดลองได้แบ่งเป็น 4 ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งในตะกอน (0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์) และใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 ความเข้มข้น (20-



80 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่ค่า ปริมาณของแข็งตะกอน 1 เปอร์เซ็นต์ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้ค่า SCOD ลดลง 45 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการทดลอง 10 ชั่วโมง

Lin และคณะ (1999) ศึกษาการบำบัดขั้นต้นตะกอนจากระบบตะกอนเร่งน้ำเสียชุมชน ด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อให้สารอินทรีย์ที่ไม่ละลาย สามารถละลายได้มากขึ้นเมื่อเข้าสู่การปรับเสถียรในกระบวนการย่อยไร้อากาศ ทำการทดลองโดยเติมสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตะกอนที่มีปริมาณของแข็ง ทั้งหมดร้อยละ 1 ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วนระหว่าง SCOD ต่อ TCOD มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.5 เป็น 3.9 และ 55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการศึกษาด้วย วิธี BMP test (Biochemical Methane Potential) ซึ่งให้เห็นว่าสามารถนำกลับคาร์บอนและ ไนโตรเจนได้สูงถึง 94 – 105 เปอร์เซ็นต์ และเกิดเป็นก๊าซมีเทน 349 มิลลิลิตร ที่การหมักโดยใช้ COD 1 กรัม และพบว่า การกำจัดของแข็งระเหยง่าย (VS) ของตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ค่าของแข็งระเหยได้ลดลง 41 เปอร์เซ็นต์ที่เวลาการย่อยสลาย 24 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับตะกอนที่ไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้น นอกจากนี้การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ค่า COD ลดลง 30 เปอร์เซ็นต์และทำให้เกิดมีเทนเพิ่มขึ้น 34 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับตะกอนที่ไม่มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลของการสะสม COD เป็นไปตามสมมติฐานของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของค่าตัวแปรต่างๆของปฏิกิริยาเช่น ค่าการย่อยซีโอดีสูงสุด, ค่าสัมประสิทธิ์อัตราปฏิกิริยา และค่าความสามารถในการย่อยสูงสุด ซึ่งคำนวณด้วยวิธีการของ Tomas และวิธีทดลอง BMP test นี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาจลนศาสตร์และประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยโดยใช้อากาศได้

Lin และคณะ (1997) ศึกษาการทำงาน of กระบวนการย่อยไร้อากาศของตะกอนจากระบบตะกอนเร่ง (WAS) โดยใช้การบำบัดขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตะกอนที่เข้ามาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุด ใช้ถึงปฏิกิริยาขนาด 1 ลิตร โดยแยกการทดลองเป็นชุด A ไม่มีการบำบัดขั้นต้น ชุด B และชุด C ทำการบำบัดขั้นต้นโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ตะกอนที่มีปริมาณของแข็ง 1 เปอร์เซ็นต์สำหรับชุดการทดลอง D ทำการบำบัดขั้นต้นโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ตะกอนที่มีปริมาณของแข็ง 2 เปอร์เซ็นต์ ดำเนินการทดลองภายใต้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทดลองที่ 20, 13, 10 และ 7.5 วัน ผลที่ได้จากชุดการทดลอง B, C, D ให้ค่าการกำจัด COD, ค่าการกำจัด VS และผลผลิตก๊าซ มากกว่าชุดการทดลอง A ที่เวลา 10 วัน และค่า

การกำจัด COD ของ A, B, C, D ได้ 38, 46, 51 และ 52 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ การผลิตก๊าซของ B, C, D เพิ่มขึ้นเป็น 33, 30 และ 163 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าชุดการทดลอง A

Tanaka และคณะ (1997) ศึกษาผลการบำบัดขั้นต้นที่มีต่อการย่อยแบบไร้อากาศของตะกอนจากระบบตะกอนเร่ง (WAS) ซึ่งจะวัดในเทอมของ VSS ความสามารถในการละลายน้ำ และการผลิตมีเทน โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Batch experiment) วิธีการบำบัดขั้นต้นที่ทำการศึกษาคือเติมสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ความร้อน และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับความร้อน ลงในตะกอนน้ำเสียบ้านเรือน ชุมชน ร้านค้า และน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยผลการศึกษาพบว่า การบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีร่วมกับความร้อนให้ผลการทดลองได้ดีที่สุด ตัวอย่างค่าที่วัดได้ เช่น VSS ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น 40-50 เปอร์เซ็นต์ และการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นมากกว่า 200 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความร้อนที่ 130 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาทีร่วมกับเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3 กรัม NaOH ต่อกรัม VSS ซึ่งใช้น้ำเสียชุมชน ในการทดลองกับน้ำเสียบ้านเรือน ให้ค่าการละลาย VSS ได้เพิ่มขึ้น 70-80 เปอร์เซ็นต์ และการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้น

Chu และ Lee (2004) ศึกษาการ pre-hydrolysis ด้วย Ultrasonic กับ Alkaline ซึ่งผลการทดลองการบำบัดขั้นต้นด้วย Alkaline จะให้ฟล็อกที่โครงสร้างหนาแน่นมากกว่า แสดงให้เห็นโดยชั้นน้ำใสหรือ free-setting สูงกว่า, พื้นที่ผิวร่วนน้อยกว่าและร่วนชั้นในมีขนาดเล็กกว่า ไม่มีการบำบัดขั้นต้นในส่วนของ การบำบัดด้วย Alkaline จะให้ผลที่ดีกว่าการบำบัดด้วย Ultrasonic โดยการบำบัดขั้นต้นด้วย จะเป็นการเพิ่ม SCOD ร้อยละ 450 – 1400 ส่วนการบำบัดขั้นต้นด้วย Ultrasonic เพิ่ม SCOD ร้อยละ 50 – 1200 ซึ่งรายละเอียดของโครงสร้างฟล็อกจะไม่สามารถแสดงให้เห็นได้จากการเปลี่ยนขนาดของฟล็อก ผลจากการถ่ายเทมวลของฟล็อกที่ละลายน้ำได้จะไม่ไปลดประสิทธิภาพของการย่อยสลาย

Li และ Nokie (1992) ศึกษาผลการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนต่อองค์ประกอบในการย่อยสลายตะกอนของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งทำการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 62-175 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที สารอินทรีย์จะเกิดปฏิกิริยาการละลาย เป็นคาร์โบไฮเดรตละลายได้ ไชมัน และโปรตีน หรือโมเลกุลที่เล็กลง เช่นกรดโวลลาไทล์ ซึ่งภายหลังการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนส่งผลให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพดีขึ้น เกิดก๊าซมากขึ้น และลดเวลาในการย่อยสลายแบบไร้อากาศลงได้ 5 วัน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ที่ระยะเวลาย่อย 5 – 10 วัน



ให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD มากกว่าร้อยละ 60 และเกิดก๊าซ 223 – 235 มิลลิลิตรต่อกรัม COD

Heo และคณะ (2003) ศึกษาผลที่ได้หลังจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของ ตะกอนเร่งและตะกอนที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ทำการทดลองด้วยวิธี BMP test (Biochemical Methane Potential) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ เลือกใช้คือ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าการละลายของ SCOD มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 27.7, 31.4 และ 38.3 ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ วัดที่หลังการย่อยเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และผลสุดท้ายของค่ามีเทนจากขยะที่สังเคราะห์ขึ้นมาวัดได้ 430 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัม VS ที่เพิ่มลงไป และการบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 55 องศาเซลเซียส ให้ค่าเท่ากับ 274, 286 และ 310 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัม VS ที่เพิ่มลงไป ตามลำดับ ที่หลังการย่อยเป็นเวลา 20 วัน และให้ค่า VS คิดเป็นร้อยละ 66, 73 และ 88 ของตะกอนที่ไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย