

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต เมื่อมีการเจริญเติบโตของสังคมเศรษฐกิจ ทำให้เกิดการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากการปล่อยสิ่งปฏิกูลจากโรงงานอุตสาหกรรมจัดเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกลายเป็นปัญหามลพิษ โลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำแม้แต่ความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในแหล่งน้ำได้ และมีการสะสมในสัตว์น้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ เมื่อมนุษย์นำสัตว์น้ำนั้นไปบริโภค [1] ในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมหลากหลายประเภทที่มีการใช้โลหะหนักในกระบวนการผลิต และก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน เช่น อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น โดยชนิดของโลหะหนักที่มีบทบาทต่อการเกิดมลภาวะในสิ่งแวดล้อมมากที่สุดมีอยู่ด้วยกัน 3 ธาตุ คือ ปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียม เช่น อุตสาหกรรมเคลือบโลหะ ทำเหล็กเส้น แบตเตอรี่ พลาสติก เครื่องปั้นดินเผา ทำสี เชื่อมโลหะ และทำปุ๋ย [2] ดังนั้นอุตสาหกรรมต่างๆจึงต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้น้ำทิ้งจากโรงงานที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐานของโรงงานอุตสาหกรรม

ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing batch reactor system; SBR) เริ่มมีการใช้งานในช่วงต้นปี ค.ศ. 1960 ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge; AS) ที่มีการทำงานแบบกะ (Batch) [3] ซึ่งเหมาะกับการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรมที่มีปริมาณน้อยสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานให้เข้ากับลักษณะน้ำเสียได้ และสามารถกำหนดสัดส่วนของเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินงานในช่วงแอนอกซิก (Anoxic) และออกซิก (Oxic) มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง เนื่องจากในช่วงออกซิกมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟ แบคทีเรีย (Heterotroph bacteria) และในช่วงแอนอกซิกมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มแฟกัลทีฟแบคทีเรีย (Facultative bacteria) ซึ่งความแตกต่างระหว่างแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มอาจมีผลต่อการกำจัดโลหะหนัก

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ซึ่งทำการศึกษาการกำจัดแคดเมียม โดยระบบเอสบีอาร์ (Sequencing batch reactor system) และศึกษาสัดส่วนของเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินงาน ในช่วงแอนอกซิก (Anoxic) และออกซิก (Oxic)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบรีแควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR) ในการกำจัดแคะเมียม

1.3.2 เพื่อศึกษาช่วงระยะเวลาแอนอกซิก (anoxic) และออกซิก (oxic) ในการกำจัดแคะเมียม

## 1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1.3.1 การศึกษาในครั้งนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาในการกำจัดแคะเมียม

1.3.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินระบบซีแควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR) ในช่วงแอนอกซิก (Anoxic) และ ออกซิก (Oxic) ในการกำจัดแคะเมียมโดยกำหนดให้ 1 วัฏจักร เท่ากับ 24 ชั่วโมง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบซีแควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (Sequencing Bath Reactor System; SBR) ในการกำจัดแคะเมียม

1.4.2 ทำให้ทราบช่วงระยะเวลาในการกำจัดแคะเมียมในช่วงแอนอกซิก (Anoxic) และออกซิก (Oxic)

1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ระบบซีแควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR) ในการบำบัดน้ำเสีย

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 ระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (Sequencing Batch Reactor System; SBR)

#### 2.1.1 หลักการของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR)

ระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พัฒนามาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) มีจุลินทรีย์แขวนลอย (Suspended) อยู่ในระบบ ระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR) มีการทำงานแบบกะ (Batch) มีการเติมน้ำเสียแบบเติมเข้า-ถ่ายออก โดยระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์เริ่มมีการใช้งานในช่วงต้นปี ค.ศ.1960 [3] มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ และสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR) มีกระบวนการเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) ในถังปฏิกริยาเดียวกัน ดำเนินการไปตามลำดับในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์จึงสามารถควบคุมการเกิดกระบวนการทางชีวภาพต่างๆได้โดยการควบคุมระยะเวลา ซึ่งสามารถกำหนดช่วงเวลาให้เป็นช่วงเวลาสำหรับการเกิดปฏิกิริยาในช่วง Aerobic (Oxic), Anoxic, Anaerobic หรือ Fermentation [4] เพื่อควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน และกระบวนการบำบัดฟอสฟอรัส

#### 2.1.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR)

การเดินระบบบำบัดน้ำเสียของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ (SBR) มีการเดินระบบการทำงาน 1 รอบ (Cycle) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

##### 2.1.2.1 ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill)

ช่วงเติมน้ำเสีย เป็นการเติมน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารอาหารหรือบีโอดี เข้าสู่ระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ ที่มีจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบ ปริมาตรของน้ำเสียเริ่มต้นในถังอาจต่ำประมาณร้อยละ 25 ของปริมาตรถัง ให้เติมน้ำเสียจนถึงระดับสูงสุดที่ได้กำหนดไว้ เวลาที่ใช้ในการเติมน้ำเสียขึ้นอยู่กับ

กับปริมาตรของถังปฏิกริยา และอัตราการไหลของน้ำเสีย [5] ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย ลักษณะการตกของตะกอน และการออกแบบระบบบำบัด

ช่วงการเติมน้ำเสียอาจจะประกอบกระบวนการต่างๆ ดังนี้

- Static Fill (Anaerobic/Fermentative) การเติมน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศ และไม่มีการกวนผสม กระบวนการนี้จะต้องควบคุมการเติบโตของฟิลาเมนต์ส (Filamentous)
- Mix Fill (Anoxic) กระบวนการนี้มีมีการเติมอากาศ แต่มีการกวนผสม ซึ่งทำให้เกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน กระบวนการนี้ต้องควบคุมการเจริญเติบโตของฟิลาเมนต์ส (Filamentous)
- Aerated Fill (Oxic) เป็นการเติมน้ำเสียที่มีการเติมอากาศและมีการกวนผสม ซึ่งสามารถลดปริมาตรสารอินทรีย์ได้บางส่วนก่อนช่วงทำปฏิกริยา

ดังนั้นในช่วงการนำน้ำเสียจึงมีหรือไม่มีมีการเติมอากาศ ตามการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

### 2.1.2.2 ช่วงทำปฏิกริยา (Reaction)

ช่วงทำปฏิกริยา เริ่มต้นหลังจากการเติมน้ำเสียเสร็จสมบูรณ์ เป็นกระบวนการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD) ช่วงทำปฏิกริยาจะดำเนินการจนกระทั่งเกิดปฏิกริยาสมบูรณ์ ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องการออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปฏิกริยาไนตริฟิเคชันต้องการออกซิเจนละลายน้ำประมาณ 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระหว่างช่วงทำปฏิกริยาระบบจะมีการเติมอากาศและการกวนผสมอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสารอินทรีย์ กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) อย่างสมบูรณ์ หากในช่วงทำปฏิกริยาไม่มีการเติมอากาศ จะทำให้เกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยช่วงทำปฏิกริยาจะใช้ระยะเวลาประมาณร้อยละ 35 ของเวลา 1 วัฏจักร [5]

### 2.1.2.3 ช่วงตกตะกอน (Settle)

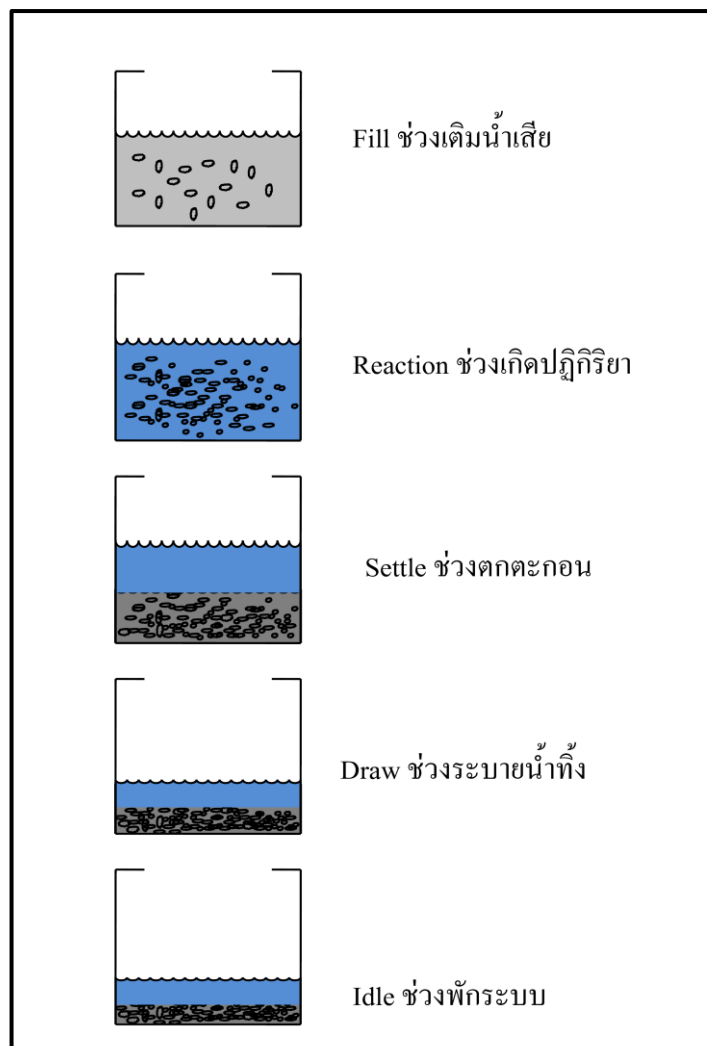
ช่วงตกตะกอน ระหว่างช่วงเวลาการตกตะกอนการเติมอากาศและการกวนผสมจะสิ้นสุดลง ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังปฏิกริยา เป็นการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว หากจุลินทรีย์ไม่ตกตะกอนจะทำให้หลุดไปในช่วงระบายน้ำทิ้ง การตกตะกอนในระบบซีแควนซ์แบบทีเอคเตอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง เพราะน้ำเสียจะอยู่ในสภาวะนิ่งทำให้เกิดการตะกอนที่สมบูรณ์ ระยะเวลาของการตกตะกอนไม่ควรยาวนานเกินไป เพราะจะทำให้ตะกอนลอยตัวโดยการจับกับก๊าซ ( $N_2$ ,  $N_2O$ ,  $CO_2$ ) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ระยะเวลาควรใช้ประมาณ 1 ชั่วโมง [5]

### 2.1.2.4 ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw)

ช่วงระบายน้ำทิ้ง เป็นช่วงระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด การระบายน้ำทิ้งไม่ควรมีระยะเวลานานเกินไป เพื่อป้องกันการหลุดของตะกอน ในช่วงระบายน้ำทิ้งควรมีเวลาประมาณร้อยละ 5 – 30 ของเวลา 1 วัฏจักร [5]

### 2.1.2.5 ช่วงพักระบบ (Idle)

ช่วงพักระบบ เป็นช่วงระยะเวลาสำหรับการเตรียมพร้อมสำหรับการเริ่มกระบวนการบำบัดน้ำเสียใหม่ หรือเริ่มการเติมน้ำเสียต่อไป และเป็นช่วงเวลาในการซ่อมแซมระบบบำบัด



รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์

### 2.1.3 การควบคุมการทำงานของระบบซีเควนซ์แบบรีแอกเตอร์

#### 2.1.3.1 การควบคุมการเติมน้ำเสีย

การควบคุมการป้อนน้ำเสีย จะต้องมีการเติมน้ำเสียและอากาศ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาป้อนน้ำทิ้งต่อช่วงเวลาเติมอากาศให้เหมาะสม เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพของการตกตะกอน หากมีระยะเวลาที่สั้นเกินไปทำให้น้ำทิ้งขุ่น และหากนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนลอยเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน [5]

#### 2.1.3.2 การควบคุมการเติมอากาศ

การเติมอากาศจะต้องมีอย่างเพียงพอ เนื่องจากต้องเติมอากาศชดเชยในช่วงระยะเวลาตกตะกอนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในช่วงการตกตะกอน ระบบซีเควนซ์แบบรีแอกเตอร์มักมีขนาดเครื่องเติมอากาศใหญ่กว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งโดยทั่วไป

#### 2.1.3.3 การควบคุมสถานะอื่นๆ

ในการบำบัดน้ำเสีย ในช่วงทำปฏิกิริยา จุลินทรีย์จะสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีการควบคุมสถานะให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่น มีสารอาหารที่เพียงพอ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม มีการเติมอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

#### 2.1.3.4 การควบคุมการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์และการระบายน้ำส่วนใสออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อให้เกิดการตกตะกอนที่ดี และระบายน้ำส่วนใสออกจากระบบบำบัดน้ำเสียควรใช้เวลาสั้นเท่าที่จำเป็น ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการตกตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ก่อนหยุดเครื่องเติมอากาศ และอัตราการระบายน้ำส่วนใส หากประสิทธิภาพการตกตะกอนและอัตราการระบายน้ำส่วนใสจะทำให้ระยะเวลาหยุดเครื่องเติมอากาศสั้นลง แต่หากประสิทธิภาพการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ไม่ดีก็จะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยานานขึ้น ต้องลดระยะเวลาการระบายน้ำส่วนใสลง เพื่อไม่ต้องหยุดเครื่องเติมอากาศนาน

เกินไป ซึ่งอาจเกิดปัญหาให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำต่ำมาก มีผลให้ตะกอนจุลินทรีย์ในกลุ่มของดีไนตริฟิเคชันแบคทีเรีย หรือดีไนตริไฟเออร์ (Denitrification or Denitrifier) ทำงานได้ดี และผลิตก๊าซไนโตรเจนทำให้เกิดตะกอนลอย ในช่วงการตกตะกอนและระบายน้ำใสจะต้องควบคุมให้น้ำมีสภาพนิ่งมากที่สุดเพื่อให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว และป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนฟุ้งกระจายหลุดออกจากถังปฏิบัติการผสมไปกับส่วนน้ำใสขณะถ่ายน้ำใสออกจากถังปฏิบัติการ [5]

## 2.1.4 ข้อดีและข้อเสียของระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์

### 2.1.4.1 ข้อดีของระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์

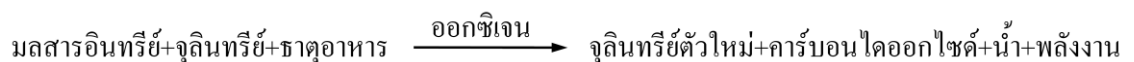
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่รวมถึงเติมอากาศ และถังตกตะกอนอยู่ในถังเดียวกัน โดยแยกการเกิดกระบวนการต่างๆตามช่วงเวลา ทำให้ลดพื้นที่ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์ไม่มีการหมุนเวียนตะกอน ซึ่งตะกอนจุลินทรีย์จะถูกรักษาให้อยู่ในถังปฏิบัติการเสมอ จึงไม่จำเป็นต้องปั๊มสูงตะกอน ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างระบบค่อนข้างต่ำ เพราะไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอน
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์มีการทำงานโดยการกำหนดช่วงเวลาในการดำเนินตามกระบวนการต่างๆ จึงสามารถสามารถควบคุมให้เกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และ การกำจัดฟอสฟอรัส (Phosphorus removal) ได้โดยไม่ต้องเติมสารเคมี
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์สามารถควบคุมไม่ให้เกิดการผสมระหว่างน้ำใสและตะกอน ทำให้ตะกอนไม่หลุดมาจากระบบ ส่งผลให้น้ำที่ออกจากระบบอยู่ในมาตรฐานที่ต้องการ และสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ตามต้องการได้
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์มีระบบการทำงานที่ซับซ้อนและไม่ยุ่งยาก จึงสามารถควบคุมดูแลระบบได้ง่าย และไม่ต้องบำรุงรักษามากนัก
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์มีระบบการกวน และการเติมอากาศแยกออกจากกัน ทำให้สามารถควบคุมการใช้พลังงานส่งผลให้ประหยัดพลังงาน
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารมลพิษต่างๆได้ดี
- ระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์เป็นระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษได้สูง

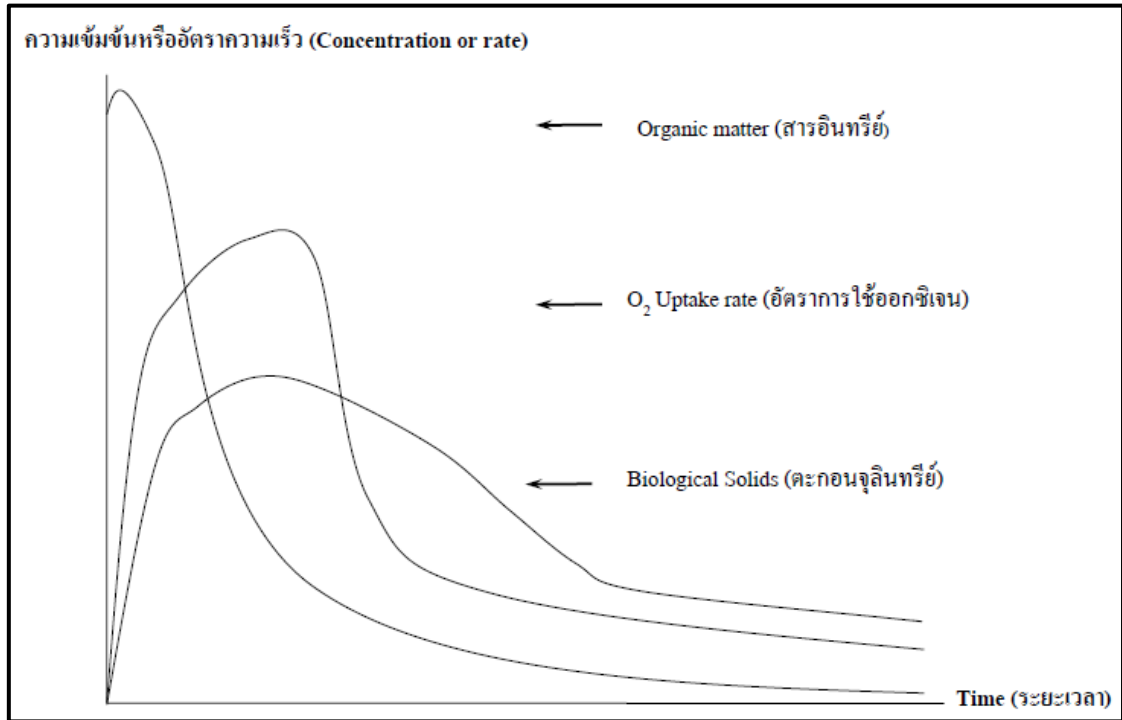
### 2.1.4.2 ข้อเสียของระบบซีเควนซ์แบทรีแอกเตอร์

- ระบบซีเควนซ์แบทรีแอกเตอร์เป็นระบบที่ต้องกำหนดระยะเวลาในการทำงานในช่วงต่างๆ จึงต้องมีการทำงานการเป็นระบบอัตโนมัติ อุปกรณ์ที่ใช้และควบคุมต่างๆ ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง และต้องควบคุมและดูแลให้อยู่ในสภาวะการทำงานที่กำหนดของระบบตลอดเวลา
- ระบบซีเควนซ์แบทรีแอกเตอร์จำเป็นต้องมีการควบคุมระดับตะกอนในถังปฏิกิริยา เพื่อรักษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรีย
- ระบบซีเควนซ์แบทรีแอกเตอร์เป็นระบบการที่ต้องอาศัยผู้ควบคุมที่มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการดำเนินระบบ
- ระบบซีเควนซ์แบทรีแอกเตอร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำเสียเข้าระบบน้อย

## 2.2 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated Sludge; AS)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง หรือระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge; AS) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้แบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนอิสระในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต โดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีสามารถเขียนได้ดังนี้

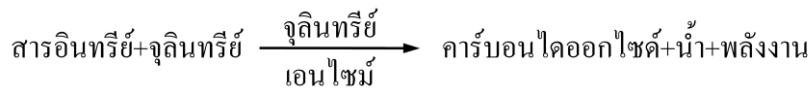




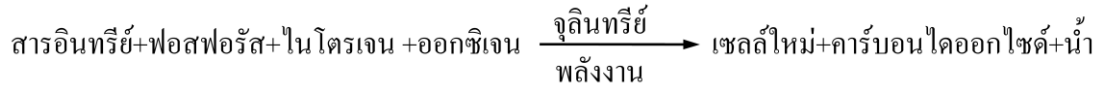
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบกะ

จุลินทรีย์จะย่อยสลายมลสาร (Pollutant) ในน้ำเสียเพื่อใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงาน ในการเจริญเติบโต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายมลสารจะลอยสู่บรรยากาศ และละลายอยู่ในน้ำ น้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการจะผสมออกไปกับน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด มลสารในน้ำเสียส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่และรวมตัวกันเป็นฟล็อก (Biological flocculation) ทำให้มีน้ำหนักรวมมากขึ้น และแยกออกจากน้ำเสียได้ด้วยการตกตะกอน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจึงสะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งแล้วไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์มีการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประมาณร้อยละ 95 [6] การเริ่มต้นการทำงานของจุลินทรีย์จะมีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง และมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ เมื่อจุลินทรีย์มีกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มากขึ้น ทำให้มีการใช้ออกซิเจนและ สารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดน้อยลงทำให้ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์จึงลดลง ส่งผลทำให้การใช้ออกซิเจนลดลง แต่ในระบบบำบัดน้ำเสียมีการเติมน้ำเสียหรือมีการไหลน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง ทำให้จุลินทรีย์มีสารอินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์และมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.2 จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนเพื่อใช้เป็นสารอาหาร สร้างเซลล์ใหม่ และใช้ย่อยสลาย จุลินทรีย์ตัวอื่นที่ตายแล้ว ดังสมการ

1. ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน



2. ใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่



3. ใช้ในการย่อยสลายจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ตายแล้ว



### 2.2.1 การเกิดตะกอนเร่ง [7]

การเกิดตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดต่อเนื่องกันสามขั้นตอนในถังเติมอากาศ คือ

ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นขั้นตอนการส่งถ่าย จุลินทรีย์จะดูดสารอินทรีย์ในน้ำเสียติดผนังเซลล์ และส่งน้ำย่อยมาย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของโมเลกุลที่เล็กพอที่จะซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ เพื่อให้เป็นสารอาหาร ใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที โดยน้ำย่อยจะถูกผลิตไว้ในเซลล์ของจุลินทรีย์และน้ำที่อยู่รอบตัว สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์ที่เจาะจงในการย่อย ดังนั้นจุลินทรีย์ต้องปรับตัวและผลิตเอนไซม์ให้เหมาะสมกับในเสียชนิดต่างๆ จึงต้องใช้เวลาในการปรับตัว (Acclimatize) ที่เหมาะสมในการเริ่มต้นการทำงานในระบบบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนที่สอง เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายและสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ จุลินทรีย์จะทำการสังเคราะห์โดยการเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) เป็นการสร้างเซลล์ใหม่ และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาที่มีการเติมออกซิเจนได้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน

ขั้นที่สาม เป็นการรวมตัวอย่างตะกอนเร่ง โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบจะถูกกวนผสมในถังเติมอากาศ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่เรียกว่า ฟล็อก (Floc) หรือตะกอนเร่ง เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้เจอกับสารแขวนลอย (Suspended Material) หรือคอลลอยด์ (Colloidal Material) จะจับสารเหล่านี้เอาไว้ภายในเซลล์ และทำการย่อยสลายเป็นสารอาหารต่อไป

## 2.2.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ [5]

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์หรือถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งสามารถแบ่งการเจริญเติบโตออกได้เป็น 4 ช่วงคือ

ช่วงที่หนึ่ง มีการเพิ่มจำนวนของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ (Lag growth phase) เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย

ช่วงที่สอง ตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (Log growth phase) เนื่องจากอาหารมีจำนวนมาก จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและกระจายเป็นเซลล์อิสระไม่รวมตัวเป็นฟล็อก (Floc) ที่ดี ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียทำงานในช่วงนี้จะเกิดตะกอนไม่จมตัว ทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีความขุ่น

ช่วงที่สาม การเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์จะลดลง (Declining growth phase) ในช่วงนี้มีอาหารอยู่อย่างจำกัดทำให้จุลินทรีย์เกิดการรวมตัวเป็นฟล็อก (Floc) ได้ง่าย น้ำออกมีคุณภาพดีและใส ช่วงนี้จึงเหมาะในการดำเนินระบบ

ช่วงที่สี่ ตะกอนจุลินทรีย์จะขาดอาหารและตาย (Endogenous growth phase) ช่วงนี้จะมีอาหารอยู่น้อยหรือไม่มีอาหารอยู่เลย ทำให้จุลินทรีย์ต้องใช้อาหารที่เก็บไว้ในตัวจนหมดแล้วตายและเซลล์จะแตก (Lysis) ปล่อยสารอินทรีย์ออกมาเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นที่มีชีวิตอยู่ หากไม่มีอาหารเพิ่มขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะตายเพิ่มขึ้นและลดจำนวนลงไปเรื่อยๆ

สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (Complete mix) จะมีค่าคงที่ตลอดทั้งถัง หากอัตราการไหลของน้ำเสียและค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์มีค่าคงที่ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้สม่ำเสมอทั้งถัง ซึ่งช่วงการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอาหารกับปริมาตรจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมักจะควบคุมให้การทำงานในช่วงที่สองและช่วงที่สี่

### 2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge; AS)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ จึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด

#### 2.2.3.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีการใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยหากอัตราสัดส่วนของสารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์สูง ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จุลินทรีย์กระจายอยู่ทั่ว ส่งผลให้การรวมตัวของตะกอนไม่ดี ทำให้การตกตะกอนไม่ดี มีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมากับน้ำทิ้งค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจึงสูง หากอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลง จุลินทรีย์สามารถตกตะกอนได้เร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนลงมาน้อย ทำให้น้ำทิ้งหลังการบำบัดขุ่น

#### 2.2.3.2 อาหารเสริม (Nutrient)

อาหารเสริมได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก หากขาดสารอาหารทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเจริญเติบโตไม่ดี จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้ดี ทำให้ตกตะกอนยาก และเกิดตะกอนอืด สำหรับน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีสารอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศจะควบคุม BOD: N: P: Fe เท่ากับ 100: 5: 1: 0.5

#### 2.2.3.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve oxygen)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนอิสระในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในถังเติมอากาศต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 2.2.3.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียจะต้องเหมาะสมที่จุลินทรีย์สามารถใช้ในการย่อยสารมลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาในการบำบัดน้อยเกินไป มลสารที่ย่อยยากจะไม่สามารถย่อยสลายได้ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำทิ้งมาก

#### 2.2.3.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เนื่องจากแบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5-8.5 หากน้ำเสียมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6.5 รา (fungi) จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ตะกอนตกตะกอนไม่ดี

#### 2.2.3.6 สารพิษ (Toxic)

สารพิษในน้ำเสียทำให้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ส่งผลให้จุลินทรีย์ตายได้ โดยสารพิษแบ่งเป็นสองจำพวกคือ แบบพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) จะทำให้จุลินทรีย์ตายอย่างรวดเร็ว ได้แก่ สารหนู ไซยาไนด์ เป็นต้น และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) ทำให้จุลินทรีย์ได้สารพิษเหล่านี้เข้าไปในเซลล์จนเกิดพิษ และตายในที่สุด สารพิษเหล่านี้ได้แก่ โลหะหนักต่างๆ

#### 2.2.3.7 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงมากกว่านี้จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตลดลง

#### 2.2.3.8 การกวน (Mixing)

การกวนจะทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์และน้ำเสียอย่างทั่วถึง การกวนจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารสูง

## 2.3 โลหะหนัก (Heavy Metals)

โลหะหนัก เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic number) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 23–92 และ อยู่ในคาบตั้งแต่ 4-7 ในตารางธาตุ (Periodic Table) โลหะหนักมีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป โลหะหนักมีสมบัติสามารถนำความร้อนได้ดี มีลักษณะ มันวาว เหนียว และมีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า จึงสามารถรวมกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ (Complex Compound) ปกติโลหะหนักมักเป็นผลึกบริสุทธิ และแสดงความเป็นพิษออกมาเพียงเล็กน้อย แต่หากโลหะหนักหรือสารประกอบบางตัว ปรากฏอยู่ในรูปของความดันไอสูงจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่น เมธอล ปรอท

### 2.3.1 ความเป็นพิษของโลหะหนักชนิดต่างๆ

ความเป็นพิษของโลหะหนัก เกิดจากร่างกายได้รับโลหะหนักเข้าไป ทำให้เกิดอาการผิดปกติ เนื่องจากโลหะหนักจะรบกวนการทำงานของเอ็นไซม์ของเซลล์ และยึดจับกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การลำเลียงสารต่างๆของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติ ซึ่งความเป็นพิษของโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีของโลหะหนักแต่ละชนิด อวัยวะในร่างกายที่รับสัมผัสโลหะหนัก และปริมาณโลหะหนักที่ได้รับ ซึ่งผลของความเป็นพิษของโลหะหนักในระดับเซลล์ มีดังนี้

- ทำให้เซลล์ตาย
- ทำให้การทำงานของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และทำให้โครงสร้างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป
- ทำให้เกิดมะเร็งเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์
- ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม เนื่องจากโลหะหนักทำให้โครโมโซมเสียหาย

#### 2.3.1.1 แคดเมียม (Cadmium; Cd)

แคดเมียม เป็นโลหะทรานซิชันสีขาว-ฟ้า ในธรรมชาติมักพบอยู่ในแร่สังกะสี ในปัจจุบันมีการใช้แคดเมียมในอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย เช่น การทำแบตเตอรี่ ในอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้สามารถพบโลหะแคดเมียมปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศ และในอาหารที่คนเรากินโดยทั่วไป ซึ่งหากได้รับแคดเมียมจำนวนมากทำให้เป็นอันตรายต่อปอด เช่น โรคปอดเรื้อรัง ทำให้เกิดการอุดตันภายในปอด ทำให้เป็นโรคถุงลมโป่งพอง และเป็นโรคไตอักเสบ หากตับและไตสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง จะพบแคดเมียมในปัสสาวะสูง มีโปรตีน และกลูโคสสูงในปัสสาวะ

หากแคดเมียมถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย แล้วสะสมอยู่ในอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ไต ม้าม ซึ่งทำให้เกิดอาการปวดกระดูกอย่างรุนแรง เกิดความผิดปกติที่กระดูก เรียกว่า โรคออสไตโต-ออสไต

### 2.3.1.2 โครเมียม (Chromium; Cr)

โครเมียมเป็นโลหะมันวาวสีเทา มีจุดหลอมเหลวสูง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสามารถตีขึ้นรูปได้ ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน และทำให้เกิดความมันวาว นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น การเคลือบโลหะ การทำเซรามิก กระจก การถ่ายรูป เป็นต้น อีกทั้งโครเมียมสามารถแพร่กระจายได้ โดยจากการฟุ้งกระจายของวัตถุต้นกำเนิด เปลือกโลก โครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ โดยการหายใจและการกิน พิษที่เกิดจากการได้รับโครเมียม จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อโพรงจมูก ทำให้เกิดแผลเรื้อรังหากได้รับการสัมผัสโครเมียมโดยตรง และมีการพบอุบัติการณ์ของมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นในผู้ที่สัมผัสกับโครเมียมเป็นเวลานาน

### 2.3.1.3 ทองแดง (Copper; Cu)

ทองแดงเป็นโลหะที่มีความหนาแน่น จุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง พบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในดิน หิน น้ำ และอากาศ อาจอยู่ในรูปธาตุอิสระหรือสารประกอบ เช่น  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CuFeS}_2$  มีการนำทองแดงเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้า จึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ใช้ผลิตลวด สายไฟ จึงส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจ การน้ำดื่ม การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน ทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตถ้าได้รับในปริมาณที่เหมาะสม โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระดูกและกล้ามเนื้อ หากได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียน อาเจียนเกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ อาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้ตับทำหน้าที่บกพร่อง ไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย

### 2.3.1.4 เหล็ก (Ferrous; Fe)

เหล็กเป็นโลหะหนักที่ไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย และร่างกายยังมีความต้องการเหล็กในระบบการย่อยอาหาร และในเม็ดเลือดแดงเพื่อทำหน้าที่นำออกซิเจนสู่เซลล์ต่างๆ ของร่างกาย โดยต้องการ

เหล็กในปริมาณน้อย ผู้ใหญ่ต้องการธาตุเหล็กวันละ 8–10 มิลลิกรัม หากมีปริมาณน้อยกว่านี้อาจทำให้เกิดโรคโลหิตจาง แต่หากได้รับเหล็กในปริมาณมาก อาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ถ่ายเป็นเลือด และชื่อจากการสูญเสียน้ำ

### 2.3.1.5 พรอท (Mercury; Hg)

พรอท มีลักษณะสีเงิน สามารถนำไฟฟ้าได้ดี มีการนำพรอทมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น เคลือบผิวโลหะ ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น พรอทเป็นโลหะหนักที่มีพิษต่อร่างกายมาก สารพรอทสามารถพบปนเปื้อนอยู่ในอากาศ น้ำ และดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงานที่ใช้พรอทเป็นวัตถุดิบ และสามารถพบพรอทได้ในเครื่องสำอางและอาหาร โดยเฉพาะอาหารทะเลที่เป็นสัตว์ทะเลตัวใหญ่ เช่น ฉลาม ทูน่า วาฬ เนื่องจากสัตว์เหล่านี้มีช่วงชีวิตที่ยืนยาว จึงสะสมพรอทในร่างกายได้มาก พรอทสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ผ่านทางหายใจ การกินอาหารและน้ำที่ปนเปื้อนสารพรอท และการสัมผัส การรับสารพรอทผ่านการหายใจ พรอทจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต และกระจายไปยังส่วนอื่นๆ ของร่างกาย และกระจายไปยังสมองได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ทำลายเนื้อเยื่อสมองในส่วนที่ควบคุมการมองเห็นและความรู้สึก อาการเป็นพิษจากพรอท ทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน คือการได้รับพรอทในปริมาณมากทำให้เกิดอาการไข้ หายใจลำบาก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดอวัยวะ การเคลื่อนไหวกุ่มเนื้อผิดปกติ และพิษเรื้อรังเกิดจากการได้รับพรอทในระยะเวลาที่ยาวนาน ทำให้เกิดพิษทางสมอง ตับ ไต มีอาการสั่น ชัก ปวดปลายมือปลายเท้า มีภาวะเลือดออกง่าย โลหิตจาง มีอาการเหงื่ออกมม มีเส้นทับสีน้ำเงิน พิษจากพรอททำให้เกิดโรคมินามาตะในญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ. 2495 มีเด็กและผู้ใหญ่จำนวนมากได้รับพิษจากพรอทจนมีอาการทางระบบประสาทส่วนกลาง และสมอง

### 2.3.1.6 ตะกั่ว (Lead; Pb)

ตะกั่ว เป็นธาตุโลหะ มีลักษณะเนื้ออ่อนนุ่มสามารถยืดได้ เมื่อตัดใหม่ๆ จะมีสีขาวอมน้ำเงิน แต่เมื่อโดนอากาศสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทา ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีพิษ ใช้ทำวัสดุก่อสร้าง แบตเตอรี่ กระจกปืน เป็นต้น ในธรรมชาติมักพบตะกั่วในรูปของสารประกอบเลดซัลไฟด์ เลดซัลไฟด์ โดยตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางปาก จมูกและผิวหนัง โดยการรับประทานอาหาร เครื่องดื่ม หรือยาที่มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ โดยการหายใจเอาควัน ฝุ่นละอองตะกั่วที่มีอยู่ในอากาศเข้าสู่ปอด และโดยการสัมผัสกับสินค้านำอุปโภคบริโภคที่มีสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วเจือปน เช่น การล้างมือด้วยน้ำมันเบนซิน ตะกั่วมีพิษก่อให้เกิดอาการฝืดคอ มีกลิ่นโลหะในปาก กระจายน้ำ คอแห้ง คลื่นไส้ อาเจียน ลักษณะ

ของอาเซียนอาจมีลักษณะขาวขุ่นจากเลคคอลลอยด์ ผู้ได้รับตะกั่วส่วนมากจะมีอาการท้องร่วง อุจจาระมีเลือดหรือมีสีดำอันเนื่องมาจากเลคซัลไฟด์ ผู้ได้รับตะกั่วบางรายอาจเกิดอาการช็อค กล้ามเนื้อกระตุก อ่อนเพลีย เป็นตะคริว

### 2.3.1.7 สังกะสี (Zinc; Zn)

สังกะสี มีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมย้อมผ้า อุตสาหกรรมชุบโลหะ หากร่างกายได้รับสังกะสีมากเกินไปจะทำให้มีผลต่อระบบทางเดินอาหาร มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง ทำให้ร่างกายแคระแกรน ร่างกายไม่เจริญเติบโต

## 2.3.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ กระบวนการทางเคมี การบวนการทางกายภาพ และกระบวนการทางชีวภาพ

### 2.3.2.1 การตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Precipitation)

การตกตะกอนทางเคมีเป็นวิธีการกำจัดหรือแยกสารที่ปนเปื้อน เช่น โลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยการเติมสารเคมีต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ในการกำจัด ตะกั่ว สังกะสี และทองแดงออกจากน้ำเสีย โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent)

### 2.3.2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการกำจัดโลหะหนักที่มีราคาต้นทุนค่อนข้างต่ำ กระบวนการดูดซับโลหะหนักขึ้นอยู่กับการออกแบบ การดำเนินระบบ และวัสดุที่ใช้ในการดูดซับ และมีการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่โดยอาศัยกระบวนการคายการดูดซับของตัวดูดซับ ซึ่งตัวดูดซับมีหลากหลายชนิด เช่น เอ็กทีเวเต็ดคาร์บอน (Activated carbon adsorbent) คาร์บอนนาโนทิว (Carbon nanotubes adsorbent) และตัวดูดซับชีวภาพ (Biosorbents) เช่น การใช้สาหร่ายสีเขียว *spirogyra* ในการกำจัดทองแดง [8] การดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย *Stigonema* sp. [9] การใช้เปลือกแพลงก์ตอนในการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี [10] การดูดซับแคดเมียม (II) จากสารละลายโดยผงแก่นไม้

Areca catechu [11] การกำจัดแคดเมียมในน้ำโดยการดูดซับของวัสดุชีวมวลทางการเกษตร [12] และการดูดซับแคดเมียมจากเปลือกส้ม [13] เป็นต้น

### 2.3.2.3 เมมเบรน ฟิวเตรชัน (Membrane filtration)

เทคโนโลยีเมมเบรนฟิวเตรชัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้มากขึ้น ง่ายต่อการดำเนินระบบ ซึ่งกระบวนการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียได้ ได้แก่ วิธีอัลตราฟิวเตรชัน รีเวิร์สออสโมซิส นาโนฟิวเตรชัน และอิเล็กโตรไดอะไลซิส เช่น การกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียด้วย soil-admixture membrane [14] การใช้แผ่นเมมเบรนทางชีวภาพในการกำจัดน้ำเสียโรงงานถ่านหิน โดยดำเนินกระบวนการ anaerobic-anoxic-oxic [15] เป็นต้น

### 2.3.2.4 โคแอกกูแลชัน และฟล็อกกูแลชัน (Coagulation and Flocculation)

กระบวนการโคแอกกูแลชันและฟล็อกกูแลชันเป็นผลต่อเนื่องมาจากการตกตะกอนและการกรอง ซึ่งสามารถกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียได้ โดยกระบวนการตกตะกอนที่ใช้ อะลูมิเนียม เฟอรัสซัลเฟต และเพอริกคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการรวมตะกอนและสามารถทำให้โลหะหนักเกิดการตกตะกอนได้

### 2.3.2.5 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออน อาศัยหลักการความชอบหรือการดูดจับของโลหะหนักแต่ละชนิดกับตัวดูดจับ เช่น เรซิน โดยสารที่แลกเปลี่ยนไอออนมีทั้งแบบธรรมชาติและแบบสังเคราะห์ โดยเรซินจะมีประจุตรงข้ามกับประจุของโลหะหนัก จะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างเรซินกับโลหะหนัก วิธีการนี้เหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย หากน้ำเสียที่นำมาบำบัดมีการปนเปื้อนมาก จำเป็นต้องมีการกำจัดสารปนเปื้อนก่อนที่จะเข้าสู่ระบบการกำจัดโลหะหนักด้วยเรซิน

## 2.4 การกำจัดโลหะหนักโดยใช้จุลินทรีย์

การกำจัดโลหะหนักโดยใช้จุลินทรีย์ เป็นกระบวนการทางเคมีและกายภาพ ระหว่างโลหะหนักกับเซลล์จุลินทรีย์ โดยมีกระบวนการดูดซับทางชีวภาพ (Biosorption) ระหว่างโลหะหนักกับเซลล์จุลินทรีย์ โดยกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับ และโลหะหนักที่มีประจุ

เกิดกระบวนการดูดซับจนเข้าสู่ภาวะสมดุล กลไกที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับโลหะหนักทางชีวภาพ เช่น กลไกที่อยู่บนพื้นฐานเมแทบอลิซึมของเซลล์ การสะสมโลหะหนักภายในเซลล์ (Intracellular accumulation) ไอออนของโลหะหนักจะถูกดูดซับและส่งผ่านเยื่อเมมเบรน เช่นเดียวกับกลไกการรับส่งไอออนของโพแทสเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ผ่านเยื่อเมมเบรน การตกตะกอนภายนอกเซลล์ (Extracellular precipitation) การสะสมโลหะหนักบนผิวหน้าเซลล์ (Cell surface sorption) การตกตะกอนบนผิวหน้าเซลล์ (Precipitation surface sorption) กระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นคือ กระบวนการออกซิไดซ์ กระบวนการรีดิวซ์ ด้วยจุลินทรีย์

#### 2.4.1 กระบวนการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์

กระบวนการสะสมโลหะหนักในจุลินทรีย์เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ และกระบวนการดูดซับหรือดูดติดผิวบริเวณผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ที่รีดิวซ์ โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างผนังเซลล์จุลินทรีย์กับประจุของโลหะหนัก จากนั้นจึงมีการเปลี่ยนโลหะหนักให้มีความเป็นพิษลดลงด้วยกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ กระบวนการนำพาสารมีดังนี้

##### 2.4.2.1 การแพร่

การแพร่แบบธรรมดา เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า การแพร่เกิดจากพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของโมเลกุลหรือไอออนของสาร บริเวณที่มีความเข้มข้นมากจะเกิดการชนของโมเลกุลหรือไอออนมากทำให้เกิดการกระจายไปยังบริเวณข้างเคียง จนกระทั่งมีความเข้มข้นของสารเท่ากัน จึงเรียกว่า ภาวะสมดุล

##### 2.4.2.2 การนำพาสารแบบการแพร่ฟาซิลิเตต (Facilitated Diffusion)

การนำพาสารแบบการแพร่ฟาซิลิเตต (Facilitated Diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของสาร โดยตัวพาเพื่อผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ โยอาศัยเกาะกับ โปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวพา (Carrier) ที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ โดยไม่มีการใช้พลังงานจากเซลล์

### 2.4.2.3 การนำพาสารแบบแอกทีฟ (Active Transport)

การนำพาสารแบบแอกทีฟ (Active Transport) เป็นการเคลื่อนที่ของสารผ่านตัวกลางจำเพาะ และต้องใช้พลังงานเข้าช่วย โดยโมเลกุลของสารจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่าง การนำพาสารผ่านเยื่อเมมเบรน เป็นการลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้น ซึ่งเกิดในเซลล์ที่มีชีวิตอยู่เท่านั้น ซึ่งการนำพาสารในลักษณะนี้เซลล์ต้องนำพลังงานที่ได้จากการสลายสารอาหารมาใช้ การลำเลียงสารแบบใช้พลังงาน จะอาศัยโปรตีนที่อยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์เป็นตัวพาสาร โดยเซลล์ต้องใช้พลังงานที่ได้จากการสลายพันธะของสารที่มีพลังงานสูงบางชนิด เช่น ATP เพื่อเป็นแรงผลักดันในการลำเลียง ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับการแพร่ งานเคลื่อนที่ของสารที่ใช้พลังงาน เช่น การนำพาโซเดียมโพแทสเซียมเข้าสู่เซลล์

### 2.4.2.4 การนำพาสารแบบการเคลื่อนที่ย้ายหมู่ (Group – Translocation)

การนำพาสารแบบการเคลื่อนที่ย้ายหมู่ (Group-Translocation) กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้โดยอาศัยตัวกลางจำเพาะเป็นตัวพาสารเข้าไปในเซลล์จุลินทรีย์ โดยสารละลายจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างที่เกิดกระบวนการนำพาสาร ซึ่งโมเลกุลของตัวกลางจะมีพฤติกรรมคล้ายเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่ง (Catalyse) ปฏิกริยาการเคลื่อนย้ายหมู่โดยมีสารละลายเป็นสับสเตรท (Substrate)

## 2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักของจุลินทรีย์

กระบวนการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์อาจเป็นการสะสมแบบพาสซีฟซึ่งไม่ขึ้นกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ หรืออาจเป็นการสะสมแบบแอกทีฟซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ โดยการสะสมโลหะหนักในระบบบำบัดแบบกะส่วนใหญ่พบว่าในขั้นตอนแรกโลหะหนักจะมีการสะสมอย่างรวดเร็ว (Rapid uptake) และจะเกิดกระบวนการสะสมอย่างช้าๆ (Slow uptake) โดยสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงมีผลต่อการสะสมโลหะหนัก

### 2.4.2.1 แสง

กรณีที่จุลินทรีย์ใช้แสงสว่างเป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต การลดปริมาณแสงเป็นการจำกัดพลังงานแก่จุลินทรีย์ แสดงว่าการสะสมโลหะหนักเกิดขึ้นโดยกระบวนการแบบแอกทีฟ

ซึ่งต้องการพลังงานในรูป ATP (Adenosin TriPhosphate) จากกระบวนการโฟโตฟอสฟอริเลชัน (Photophosphorylation) เกิดจากการสะสมโดยเซลล์ปกติที่แข็งแรง

#### 2.4.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักจากสารละลายของจุลินทรีย์บางชนิด และมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารมลพิษ ซึ่งอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้กระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จนอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่านี้จะทำให้การย่อยสลายลดลง เนื่องจากส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง

#### 2.4.2.3 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่าง ควรเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์คือ 6.5-8.5 นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงสมบัติของสารมลพิษ ในสถานะค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่างกันด้วย เนื่องจากสารมลพิษบางชนิดมีการแตกตัว เมื่อช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างหนึ่งๆ ทำให้สมบัติต่างไป เช่น อาจทำให้มีภาวะความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น

#### 2.4.2.4 เซลล์เป็นและเซลล์ตาย

การสะสมโลหะหนักในเซลล์ตายเกิดกระบวนการแบบพาสซีฟเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะไม่อาศัยกระบวนการเมตาบอลิซึม ในบางกรณีเซลล์ตายสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าเซลล์เป็น แต่ในบางกรณีเซลล์ตายมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักน้อยกว่าเซลล์เป็น ซึ่งความแตกต่างระหว่างการดูดซับโลหะหนักโดยเซลล์ตายและเซลล์เป็น อาจเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างผิวเซลล์จุลินทรีย์

#### 2.4.2.5 ไอออนต่างชนิด

การสะสมไอออนของโลหะหนักชนิดหนึ่ง อาจมีผลต่อไอออนอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งแคดไอออนมีผลต่อการสะสมโลหะหนักชนิดต่างๆ และผลของโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการสะสมของโลหะหนักอีกชนิดหนึ่ง มีผลในกระบวนการสะสมที่จำเพาะเจาะจงสำหรับไอออนใดๆ เท่านั้น

#### 2.4.2.6 สารคีเลติง (Chelating Agent)

โลหะหนักที่อยู่ในสารละลายหรือแหล่งน้ำอยู่ในลักษณะของสารประกอบต่างๆหลายชนิด จึงมีผลต่อการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์แตกต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะ โครงสร้างสารประกอบชนิดนั้นๆ

### 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.5.1 โลหะหนัก

โอภาส คำฝักฝน [16] ศึกษาปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำทิ้งจากบริษัท เซรามิก อุตสาหกรรมไทย จำกัด โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอนาไลเซอร์แบบซินสปีกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อหาความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียม และนำผลไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของควบคุมมลพิษ พบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมทั้งก่อนและหลังการบำบัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ) โดยปริมาณตะกั่วก่อนและหลังการบำบัดคือ 0.091–0.390 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.085–0.244 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งก่อนและหลังการบำบัด 0.027 – 0.037 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.024 – 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

Shu-juan et al. [17] ศึกษาการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยใช้ *waste saccharomyces cerevisiae* (WSC) โดยมีความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสีย 26 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ WSC 16.25 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 6 และเวลา precipitation 4 ชั่วโมง พบว่าหลังจาก 30 นาที มีอัตราการกำจัดแคดเมียมร้อยละ 88 และพบว่า WSC คึงดูดด้วยพันธะไฮโดรเจน และแรงวานเดอร์วาลส์ อีกทั้งประกอบด้วยหมู่อะมิโน หมู่คาร์บอนิล หมู่เอไมด์ และหมู่คาร์บอกซาลดีไฮด์

Marin et al. [13] ศึกษาการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโดยใช้ขยะจากส้มเป็นตัวดูดซับ พบว่าการดูดซับแคดเมียมเข้าสู่สถานะเสถียรใน 3 ชั่วโมง ความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่ 0.40, 0.41 และ 0.43 มิลลิโมลต่อกรัม ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

Pagnanelli et al. [18] ศึกษาการแยกและการหาปริมาณของกลไกการกำจัดแคดเมียมถึงปฏิกิริยาแบบกะ โดยซัลเฟตรีดิวซิงแบคทีเรีย (Sulphate Reducing Bacteria; SRB) เปรียบเทียบระหว่าง

ไบโอซอร์ปชัน (Biosorption) กับไบโอพรีซิพิตชัน (Bioprecipitation) พบว่าซัลเฟตรีดิวซิงแบคทีเรียสามารถลดซัลเฟตร้อยละ  $59 \pm 5$  ใน 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างระหว่างไบโอซอร์ปชัน กับไบโอพรีซิพิตชัน แสดงให้เห็นว่ามีนัยสำคัญในการสนับสนุนไบโอซอร์ปชัน (ร้อยละ 77) สามารถกำจัดแคดเมียม  $0.40 \pm 0.01$  มิลลิกรัมโมลต่อกรัม โดยลักษณะผิวหน้าของไบโอซอร์ปชัน พบว่ามีหมู่คาร์บอกซิลิก หมู่ฟอสเฟต และหมู่อะมิโนบนผนังเซลล์ ซึ่งมีผลในการกำจัดโลหะหนัก

Tsekova et al. [19] ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้ *Aspergillus niger* แบบมีตัวกลางยึดเกาะและไม่มีตัวกลางยึดเกาะ ซึ่งตัวกลางในการยึดเกาะของเซลล์มี polyvinyl-alcohol hydrogel (PVA) และ Ca-alginate โดยความสามารถของการดูดซับพบว่า เซลล์อิสระที่ไม่ยึดเกาะตัวกลาง (33.3 มิลลิกรัมต่อกรัม) น้อยกว่า PVA-biomass (39.8 มิลลิกรัมต่อกรัม) น้อยกว่า Ca-alginate-biomass (44.6 มิลลิกรัมต่อกรัม) ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของ Ca-alginate-biomass สามารถกำจัดแคดเมียมร้อยละ 96.2 ตะกั่วร้อยละ 90.0 เหล็กร้อยละ 80.0 ทองแดงร้อยละ 72.8 สังกะสีร้อยละ 55.4 นิกเกิลร้อยละ 54.4 และแมงกานีสร้อยละ 52.3 ขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของ PVA-biomass มีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก ทองแดง สังกะสี นิกเกิล และแมงกานีสร้อยละ 95.0, 88.0, 80.0, 67.1, 58.5, 48.9 และ 44.6 ตามลำดับ

### 2.5.2 ระบบซีควเอนซ์แบทช์แอกเตอร์ (Sequencing batch reactor system; SBR)

ธนินทร์ ปัญญาภิญญผล [20] ศึกษาอัตราส่วนเวลากักแอนแอโรบิกต่อแอโรบิกที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์เป็มันสำปะหลัง โดยกระบวนการแอกทีเวเต็ดสลัดจ์ ชนิดเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิกต่อแอโรบิกใช้น้ำเสียสังเคราะห์เป็มันสำปะหลังที่มีซีไอดี 8,256-9,090 มิลลิกรัมต่อลิตร (บีไอดี 6,000-6,800 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยใช้ระบบเอสปีอาร์ขนาด 10 ลิตร หนึ่งวัฏจักรเท่ากับ 12 ชั่วโมง อัตราส่วนน้ำที่เติม ( $V_p$ ) ค่อน้ำค้างถึง ( $V_0$ ) เท่ากับ 1 ต่อ 9 แปรสัดส่วนเวลากักแอนแอโรบิกต่อแอโรบิก พบว่าสัดส่วนแอนแอโรบิกต่อแอโรบิกที่เหมาะสมคือ 5.5 ต่อ 5.5 ชม. และอายุสลัดจ์ 7 วัน โดยพิจารณาจากความไวในการเกิดสลัดจ์อีดีและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่ากระบวนการแอนแอโรบิกต่อแอโรบิกเมื่อเดินระบบอย่างถูกต้อง สามารถช่วยลดปัญหาสลัดจ์อีดีเนื่องจากสารอาหารชนิดเป็มันสำปะหลังได้ โดยสามารถให้ค่าเอสวีไอ (SVI) 26-32 มิลลิกรัมต่อลิตร

Lim et al. [21] ศึกษากระบวนการดูดซับและย่อยสลาย ในระบบรีควเอนซ์แบทช์แอกเตอร์ สำหรับการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยทองแดงและแคดเมียม โดยใช้และไม่ใช้ powdered

activated sludge (PAC) ร่วมด้วย ดำเนินหนึ่งวัฏจักรเท่ากับ 6 ชั่วโมง มีช่วงการเติมน้ำเสีย 0.5 ชั่วโมง ช่วงปฏิกิริยา 3.5 ชั่วโมง ตกตะกอน 1 ชั่วโมง ถายน้ำทิ้ง 0.75 ชั่วโมง และช่วงพัก 0.25 ชั่วโมง มีทองแดงและแคดเมียม 10 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าในการใช้ PAC 143 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมด้วยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 85 และไม่ใช่ PAC มีประสิทธิภาพร้อยละ 60 ทองแดงและแคดเมียมมีผลต่อจุลินทรีย์ในช่วงการเกิดปฏิกิริยา

Tusseau-Vuillemin et al. [22] ศึกษาการย่อยสลายของออร์แกนิกคาร์บอนภายใต้สภาวะออกซิก (Oxic) และ แอนออกซิก (Anoxic) พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่เหลือจากสภาวะที่ให้อากาศใน 45 วัน จากนั้นให้อยู่ในสภาวะแอนออกซิก (Anoxic) มีสัดส่วนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำกว่า สภาวะออกซิก (Oxic) เพียงเล็กน้อย สภาวะแอนออกซิก (Anoxic) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย

Ong et al. [23] ศึกษาผลของทองแดงและแคดเมียมในระบบบำบัดแบบซีควเอนซ์แบทช์แอกเตอร์ (sequencing batch reactor) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยดำเนินระบบ 1 วัฏจักร ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ประกอบด้วยระยะเวลาเติมน้ำเสีย 0.5 ชั่วโมง ช่วงปฏิกิริยา 3.5 ชั่วโมง ตกตะกอน 1 ชั่วโมง ถายน้ำทิ้ง 0.75 ชั่วโมง และช่วงพัก 0.25 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (COD) และโลหะหนัก ในน้ำเสียได้

Kulikowska et al. [24] ศึกษาการกำจัด BOD<sub>5</sub> และ COD และสลัจ์ในระบบเอสปีอาร์ (SBR) ที่มีและไม่มีช่วงของแอนออกซิก (Anoxic) ที่การเก็บกักทางชลศาสตร์ 12, 6, 3, และ 2 วัน ดำเนินระบบ 1 วัฏจักร เท่ากับ 24 ชั่วโมง (แอนออกซิก 3 ชั่วโมง เติมน้ำเสีย 18 ชั่วโมง ตกตะกอน 2.75 ชั่วโมง ถายน้ำทิ้ง 0.25 ชั่วโมง) พบว่าระบบเอสปีอาร์ (SBR) มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD<sub>5</sub> มากกว่า ร้อยละ 98 และการเก็บกักทางชลศาสตร์ที่ 12, 6, 3, และ 2 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD) ลดลงจากร้อยละ 83.1–76.7 และระบบเอสปีอาร์ (SBR) ที่มีสภาวะแอนออกซิก (anoxic) มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีลดลงจากร้อยละ 79.6–75.7 และมีอัตราการเกิดตะกอนก่อนข้างคองที่ (0.55-0.6 มิลลิกรัมวีเอสเอสต่อมิลลิกรัมซีโอดี) และมีอัตราการเกิดตะกอนลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักเก็บทางชลศาสตร์มากขึ้น 0.22 มิลลิกรัมวีเอสเอสต่อมิลลิกรัมซีโอดี และ 0.44 มิลลิกรัมวีเอสเอสต่อมิลลิกรัมซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ 2 และ 4 วัน ตามลำดับ

Maranon et al. [25] ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานถ่านหินระบบซีควเอนซ์แบทช์แอกเตอร์ ระบบมีความจุ 400 ลิตร stripping tang 350 ลิตร และถังปรับเสถียร สูง 6 เมตร 1,500 ลิตร พบว่าการใช้แอมโมเนียมีประสิทธิภาพร้อยละ 96 ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ 66 ชั่วโมง การบำบัด

ทางชีวภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ร้อยละ 85 ไทโอไซยาเนตร้อยละ 98 ฟีนอลร้อยละ 96 ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ 115 ชั่วโมง และความเข้มข้นสุดท้ายในน้ำทิ้งมีฟีนอล 1.8 มิลลิกรัม ต่อลิตร SCL 5.4 มิลลิกรัมต่อลิตรซีโอดี 206 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไนโตรเจน-แอมโมเนียม 78 มิลลิกรัม

Zhu et al. [26] ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในขั้นตอนแอนอกซิกต่อออกซิก พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 95.81 โดย step-feeding ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเพิ่มขึ้น คือ 2.0:2.1:2.5:3.4

Malakahmad et al. [27] ศึกษากระบวนการชีวเคมีแบบทรีแอกเตอร์ (Sequencing Batch Reactor) ในการกำจัดปรอท ( $Hg^{2+}$ ) และแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) จากน้ำเสียสังเคราะห์อุตสาหกรรมปิโตรเคมี น้ำเสียมีปรอท ( $Hg^{2+}$ ) และแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) จาก 60 วัน ถึง 110วัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น  $9.03 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อลิตร และ  $15.52 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท ( $Hg^{2+}$ ) และแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) ร้อยละ 76-90 และ ร้อยละ 96-98 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) และ MLVSS มีผลต่อความเข้มข้นของ  $Hg^{2+}$  และ  $Cd^{2+}$  ในน้ำเข้า ซึ่งในระบบมีจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน เช่น แบคทีเรีย *Rhodospirillum* สาหร่าย *Gomphonema* และ Sulfate Reducing ในระบบเอสบีอาร์ (SBR) ไม่เพียงแต่เป็นกระบวนการทางชีวภาพ แต่ยังโดยการดูดซับของตะกอนอีกด้วย

Rajagopal et al. [28] ทำการศึกษาการบำบัดแบบไร้อากาศ และระบบตะกอนเร่งแอนอกซิก (Anoxic) ต่อออกซิก (Oxic) สำหรับน้ำเสียฟาร์มสุกร พบว่าการนำกระบวนการดังกล่าวมาใช้ร่วมกันสามารถกำจัดซีโอดีทั้งหมดร้อยละ 38-88 กำจัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 66-75 แอมโมเนียมร้อยละ 98-99 การย่อยสลายแบบไร้อากาศสามารถผลิตมีเทนได้ถึง  $5.9 \text{ Nm}^3$  ของ  $\text{CH}_4/\text{cm}^3$  slurry added

## บทที่ 3 อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

### 3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1.1 ชุดถังปฏิกิริยา

ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองมีรูปทรงกระบอกทำจากอะคริลิกใส ทนต่อความเป็นกรด-ด่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ขอบหนา 5 มิลลิเมตร

#### 3.1.2 ระบบกวน (Mixer)

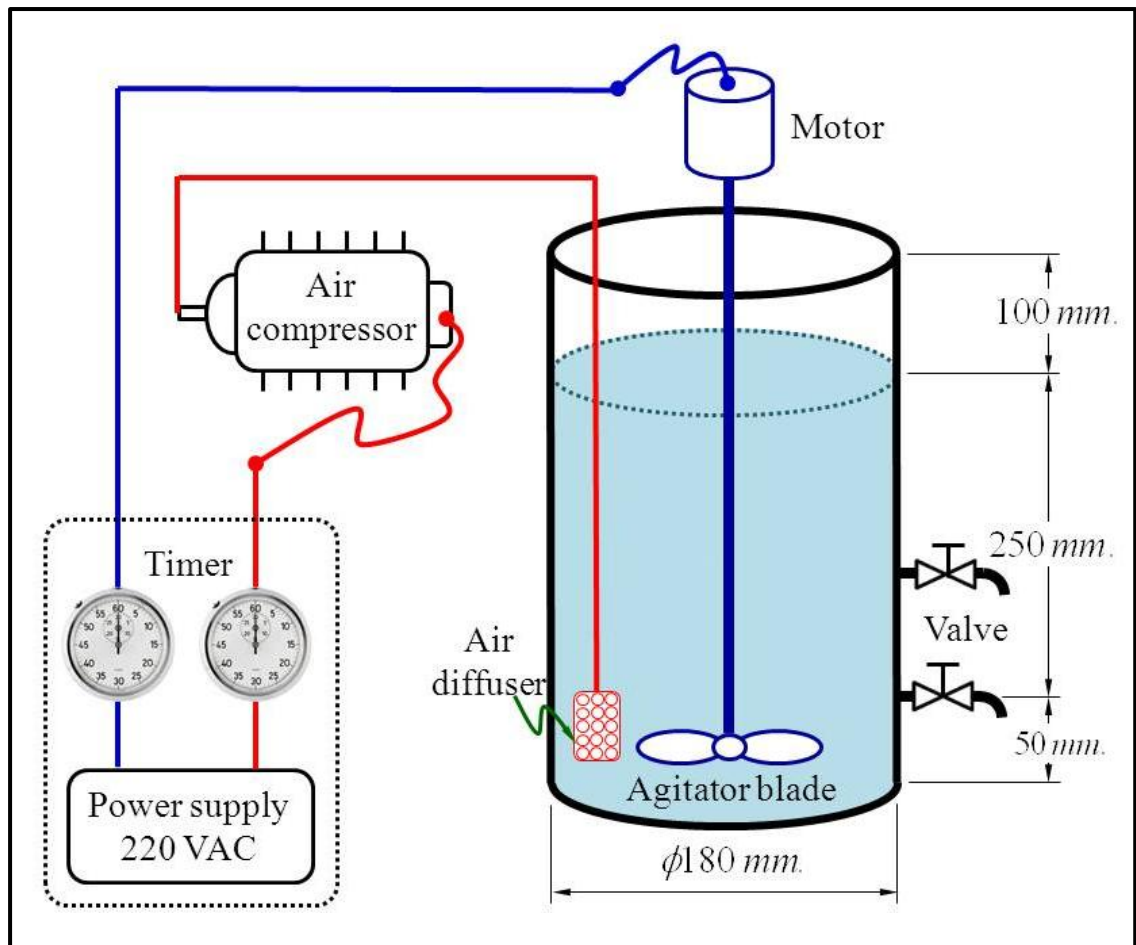
ประกอบด้วยมอเตอร์เกียร์และใบพัด มอเตอร์เกียร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นมอเตอร์รุ่น P630A-387 100V 50/60 Hz 1.7/1.3A โดยต่อมอเตอร์เกียร์เข้ากับใบพัด เพื่อทำหน้าที่กวนน้ำในถังปฏิกิริยาให้เข้ากัน และปรับความเร็วรอบให้เท่ากับ 60 รอบต่อนาที ควบคุมการทำงานโดยใช้เครื่องตั้งเวลา (Timer)

#### 3.1.3 เครื่องเติมอากาศ (Air Pump)

เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นยี่ห้อ President รุ่น EK-8000 60 W เครื่องเติมอากาศแต่ละเครื่องจะต่อท่อส่งอากาศ เพื่อใช้ในแต่ละถังปฏิกิริยา ปลายสายท่อส่งอากาศติดหัวกระจายอากาศ เพื่อทำหน้าที่เติมอากาศในช่วงทำปฏิกิริยา การทำงานของเครื่องเติมอากาศจะถูกควบคุมโดยเครื่องตั้งเวลา

#### 3.1.4 เครื่องตั้งเวลา (Timer)

เครื่องตั้งเวลาที่ใช้ในการทดลองเป็นยี่ห้อ Universal รุ่น DT-1440-AC Type 200V 50/60 Hz 3W เครื่องตั้งเวลาทำหน้าที่ควบคุมการปิด – เปิดของระบบกวน และเครื่องเติมอากาศ



รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์

## 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานเคลือบโลหะ

### 3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ทำการเตรียมทุกวันโดยใช้น้ำประปาในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ มีปริมาณซีไอดีประมาณ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณบีไอดีประมาณ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ [29]

สารเคมี	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Glucose	718.75
Urea	53.6
FeSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	12.45
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	21.96
Cd (II)	5

### 3.2.2 น้ำเสียจากโรงงานเคลือบโลหะ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเป็นน้ำเสียจากกระบวนการเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า มีค่าซีโอดีประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ บีโอดีประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแคดเมียมประมาณ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสังกะสี ( $Zn^{2+}$ ) ประมาณ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียจากโรงงานเคลือบโลหะ

พารามิเตอร์	ปริมาณ (มก./ล.)
บีโอดี	500
ซีโอดี	400
โลหะหนัก	
แคดเมียมไอออน ( $Cd^{2+}$ )	9.0
สังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ )	45

### 3.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เป็นระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า บีโอดีประมาณ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดีประมาณ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมโลหะหนัก วันละ 1 ครั้ง จนได้ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (Mixed liquor Suspended Solid; MLSS) ในถังเพาะเลี้ยง อยู่ในช่วง 4,500-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงนำตะกอนจุลินทรีย์มาใช้ในการเดินระบบ โดยส่วนที่นำมาใช้ในการเดินระบบงดให้อาหาร 1 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์พักตัว และใช้สารอาหารที่จุลินทรีย์คุ้นเคย

### 3.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 5 การทดลอง การทดลองแรกศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีเควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ ขั้นตอนที่สอง ศึกษาระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ขั้นตอนที่สาม ศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสีย

ตั้งเคราะห์ ชั้นตอนที่สี่ศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิก (Anoxic) ต่อออกซิก (Oxic) ในการกำจัด แคลเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์และชั้นตอนสุดท้ายเป็นศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ที่มีและไม่มีช่วงแอนอกซิก (Anoxic) ต่อการกำจัดแคลเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ โดยการทดลองทั้งหมดทดลองที่อุณหภูมิห้อง (Ambient air)

### 3.4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคลเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์

ในการทดลองนี้จะแบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยกำหนดความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร กำหนดค่าระยะเวลา กักเก็บน้ำเสีย 3 วัน การระบายน้ำออกจากระบบเพื่อควบคุมค่าระยะเวลา กักเก็บน้ำเสีย และการคำนวณค่าอายุตะกอน สามารถทำได้โดยการคำนวณจาก

$$HRT = V/Q$$

โดยที่ HRT = ระยะเวลากักน้ำ (วัน)

V = ปริมาตรน้ำในถังปฏิกรณ์ (มิลลิลิตร)

Q = ปริมาตรน้ำที่ระบายออกในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)

$$\theta_c = V/Q$$

โดยที่  $\theta_c$  = อายุตะกอนจุลินทรีย์ (วัน)

V = ปริมาตรตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ (มิลลิลิตร)

Q = ปริมาตรของตะกอนจุลินทรีย์ที่ถ่ายทิ้งออกในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)

ดังนั้น ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน จะต้องระบายน้ำออก 2,500 มิลลิลิตรต่อวัน แสดงดังตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.3** ข้อมูลการทำงานของระบบซีเควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3	4	5
ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (มล./ล.)	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	3	3	3	3	3
ปริมาตรน้ำในถังทดลอง (มล.)	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
ปริมาตรน้ำเสียที่ป้อนเข้า (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
ปริมาตรน้ำทิ้งที่ระบาย (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
อัตราการแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) (มก./ลบ.ม.·วัน)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
อัตราการบีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
อัตราการซีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
วัฏจักรน้ำของการบำบัดน้ำเสีย (ครั้ง/วัน)	1	1	1	1	1
วัฏจักรในการทำงาน (ชั่วโมง)	24	24	24	24	24
- ระยะเวลารับน้ำเสีย (ชั่วโมง)	1	1	1	1	1
- ระยะเวลาทำปฏิกรณ์ (ชั่วโมง)	19	19	19	19	19
- ระยะเวลาการตกตะกอน (ชั่วโมง)	3	3	3	3	3
- ระยะเวลาระบายน้ำใสและระงับ (ชั่วโมง)	1	1	1	1	1

### 3.4.2 การศึกษาระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุด การทดลอง โดยนำผลการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดจากหัวข้อ 3.4.1 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้มาทดสอบระยะเวลากักเก็บน้ำเสียที่ระยะเวลา 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ตามลำดับ

**ตารางที่ 3.4** ข้อมูลการทำงานของระบบซีเควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ในการศึกษาระยะเวลาเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3	4
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	2.5	5	7.5	10
ปริมาณน้ำในถังทดลอง (มล.)	7,500	7,500	7,500	7,500
ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้า (มล./วัน)	3,000	1,500	1,000	750
ปริมาณน้ำทิ้งที่ระบาย (มล./วัน)	3,000	1,500	1,500	750
อัตราการแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) (มก./ลบ.ม.·วัน)	15.0	7.5	5.0	3.75
อัตราการบีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	1.8	0.9	0.6	0.45
อัตราการซีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	2.7	1.35	0.9	0.68
วัฏจักรน้ำของการบำบัดน้ำเสีย (ครั้ง/วัน)	1	1	1	1
วัฏจักรในการทำงาน (ชั่วโมง)	24	24	24	24
- ระยะเวลารับน้ำเสีย (ชั่วโมง)	1	1	1	1
- ระยะเวลาทำปฏิกรณ์ (ชั่วโมง)	19	19	19	19
- ระยะเวลาการตกตะกอน (ชั่วโมง)	3	3	3	3
- ระยะเวลาระบายน้ำใสและระเหยพัก (ชั่วโมง)	1	1	1	1

### 3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ นำผลการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดจากหัวข้อ 3.4.1 และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในหัวข้อ 3.4.2 นำมาทดลอง โดยกำหนดความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

**ตารางที่ 3.5** ข้อมูลการทำงานของระบบซีเควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียดังเคราะห์

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3	4	5
ความเข้มข้นของแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) (มก./ล.)	10	20	30	40	50
วัฏจักรน้ำของการบำบัดน้ำเสีย (ครั้ง/วัน)	1	1	1	1	1
วัฏจักรในการทำงาน (ชั่วโมง)	24	24	24	24	24
- ระยะเวลารับน้ำเสีย (ชั่วโมง)	1	1	1	1	1
- ระยะเวลาทำปฏิกรณ์ (ชั่วโมง)	19	19	19	19	19
- ระยะเวลาการตกตะกอน (ชั่วโมง)	3	3	3	3	3
- ระยะเวลาระบายน้ำใสและระยะพัก (ชั่วโมง)	1	1	1	1	1

#### 3.4.4 การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียดังเคราะห์

การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียดังเคราะห์ ดำเนินระบบ 1 วัฏจักร เท่ากับ 24 ชั่วโมง สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

**ตารางที่ 3.6** ข้อมูลการทำงานที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียดังเคราะห์

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3
วัฏจักรในการทำงาน (ชั่วโมง)	24	24	24
- ระยะเวลารับน้ำเสีย (ชั่วโมง)	1	1	1
- ระยะเวลาปฏิกรณ์ (ชั่วโมง)	1	1	1
แอนอกซิก (ชั่วโมง)	6	8	10
ออกซิก (ชั่วโมง)	13	11	9
- ระยะเวลาการตกตะกอน (ชั่วโมง)	3	3	3
- ระยะเวลาระบายน้ำใสและระยะพัก (ชั่วโมง)	1	1	1

### 3.4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีเควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ที่มีและไม่มีช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีเควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ โดยดำเนินระบบที่มีและไม่มีสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิก

## 3.5 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

ในการทดลองนี้ได้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าซีโอดี ค่าบีโอดี โลหะหนัก ของแข็งแขวนลอย ออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS), ดัชนีปริมาตรตะกอน (Sludge Volume Index; SVI) และ ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ [30]

Parameters	Analytical Method	Frequency
BOD <sub>5</sub>	Azide Modification of Iodometric Method	สามวันต่อครั้ง
COD	Dichromate (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) Close reflux method	สามวันต่อครั้ง
DO	DO meter	สามวันต่อครั้ง
SS	Filtration (GF/C drying at 103 °C)	สามวันต่อครั้ง
MLSS	Filtration (GF/C drying at 103 °C)	สามวันต่อครั้ง
SVI	Sludge volume index method	สามวันต่อครั้ง
Cadmium (Cd <sup>2+</sup> )	Atomic absorption spectrophotometer	สามวันต่อครั้ง
TKN	Total Kjeldahl Method	ห้าวันต่อครั้ง
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Nesslerization Method	ห้าวันต่อครั้ง
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ion Chromatography	ห้าวันต่อครั้ง
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion Chromatography	ห้าวันต่อครั้ง

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการกำจัดแคะเมียมด้วยระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง แบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง การทดลองแรกเป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ การทดลองที่สองศึกษาระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ การทดลองที่สามศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคะเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ การทดลองที่สี่ศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ และการทดลองสุดท้ายเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ที่มีและไม่มีช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

### 4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์

การทดลองผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดแคะเมียมด้วยระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา ในการทดลองกำหนดปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุมระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 3 วัน ทำการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังนี้ แคะเมียม, บีโอดี, ซีโอดี, ทีเคเอ็น, แอมโมเนีย, ไนไตรต์, ไนเตรต, ดัชนีปริมาตรตะกอน (Sludge Volume Index; SVI), ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์และนำความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่ได้ไปใช้ในการทดลองระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียสังเคราะห์แคะเมียมที่เหมาะสมต่อไป

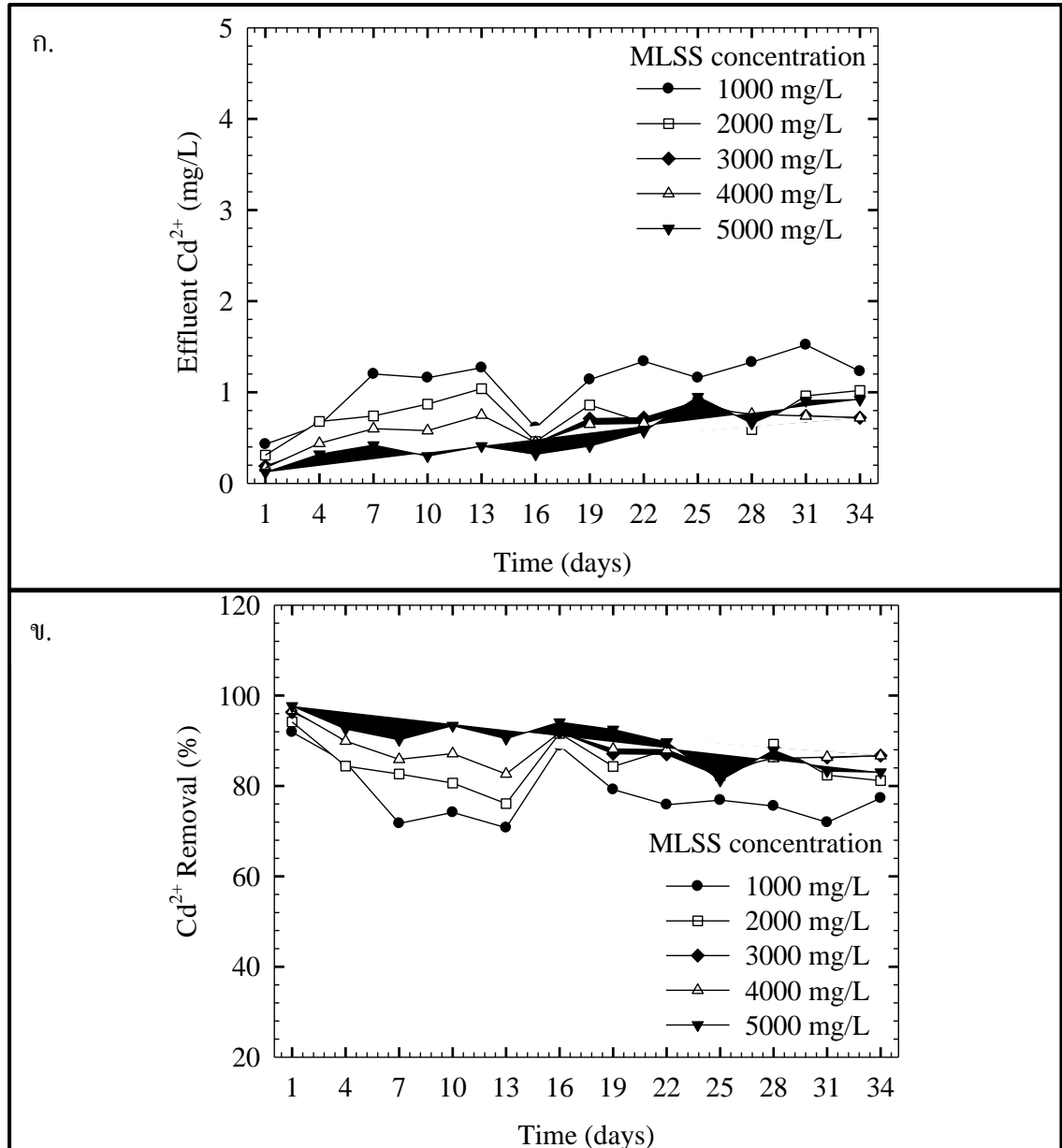
**ตารางที่ 4.1** ข้อมูลลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์  
ระยะเวลาเก็บกักเก็บน้ำเสีย 3 วัน

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3	4	5
ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (มก./ล)	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	3	3	3	3	3
ปริมาณน้ำในถังทดลอง (มล.)	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้า (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
ปริมาณน้ำทิ้งที่ระบาย (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
อัตราการแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) (มก./ลบ.ม.·วัน)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
อัตราการบีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
อัตราการซีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25

#### 4.1.1 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียหลังการบำบัด แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยระบบซีควนซ์แบบทรีแอกเตอร์จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดแคดเมียมกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บกักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีปริมาณแคดเมียมหลังจากการบำบัดใกล้เคียงกัน  $1.2 \pm 0.3$ ,  $0.8 \pm 0.2$ ,  $0.7 \pm 0.1$ ,  $0.7 \pm 0.1$ , และ  $0.7 \pm 0.2$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมอยู่ในช่วงร้อยละ 78.0–87.4 โดยที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีประสิทธิภาพกำจัดแคดเมียมมากที่สุด ร้อยละ  $87.4 \pm 5$  รองลงมาที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 4,000, 3,000, 2,000 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรดังนี้ ร้อยละ  $87.2 \pm 2.5$ ,  $86.8 \pm 2.8$ ,  $85.6 \pm 4.0$  และ ร้อยละ  $78.0 \pm 5.3$  ตามลำดับ เกิดจากกระบวนการที่จุลินทรีย์มีการสะสมสารพิษไว้ในเซลล์ (Bioaccumulation) และกระบวนการดูดซับทางชีวภาพซึ่งเกิดขึ้นระหว่างโลหะหนักที่มีประจุบวกกับเซลล์จุลินทรีย์ที่มีประจุลบ [17,18,27,31,32] โดยกระบวนการดูดซับจะดำเนินการต่อเนื่องจนถึงจุดสมดุลระหว่างตัวดูดซับและสารดูดซับ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soon Kwon และคณะ [33] ศึกษาการกำจัดโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และสารหนูในน้ำเสียโดยใช้แร่ scoria ขนาด 0.1–0.2 มิลลิเมตร ปริมาณ 60 กรัมต่อลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และสารหนูที่ร้อยละ 94, 70, 63, 59 และ 14

ตามลำดับ และงานวิจัยของ Kumer และคณะ [34] ศึกษาการดูดซับโครเมียมโดย *Aspergillusniger*, *Aspergillusssydoni* และ *Penicilliumginthinellum* พบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นปริมาณโครเมียมจะลดลง เนื่องจากเกิดสถานะสมดุลระหว่างตัวดูดซับและสารดูดซับและสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fereidouni และคณะ [35] ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียมและนิกเกิลด้วย *Saccharomyscerevisiae* และ *Ralstoniaeutropha* พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ โดย *S. Cerevisiae* ปริมาณ 3.87 และ 0.04 กรัมต่อลิตร และ *R.eutropha* ปริมาณ 2.01 และ 2.32 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล และแคดเมียมร้อยละ 35.1, 43.4, 67.3, 66.5, 51.8, 50.1, 50.8 และ 52.7 ตามลำดับ โดยกระบวนการกำจัดโลหะหนักเป็นกระบวนการดูดซับทางชีววิทยาโดยตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งอาศัยหมู่ฟังก์ชันอะมิโน ( $R-NH_2$ ), คาร์บอกซิล ( $R-COOH$ ), เอไมด์ ( $R-NH_2$ ), ไฮดรอกซิล ( $R-CH_2-OH$ ), ฟอสเฟต ( $R-PO_4H_2$ ) [17, 18, 27, 36] เกิดจากกระบวนการย้ายหมู่ (Group-Translocation) โดยอาศัยตัวกลางจำเพาะเป็นตัวพาสารเข้าไปในเซลล์จุลินทรีย์ เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่าง จากตารางที่ 4.3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.54-7.76 ซึ่งเป็นช่วงที่แคดเมียมเกิดการพรีซิพิเตชัน (Precipitation) เนื่องจากแคดเมียมเกิดการตกตะกอนเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 ดังนั้นกระบวนการกำจัดแคดเมียมนอกจากจะเกิดจากการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ยังเกิดจากกระบวนการพรีซิพิเตชันอีกด้วย



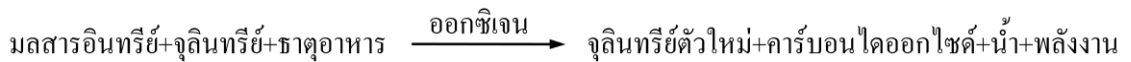
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) ในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) หลังผ่านการบำบัด

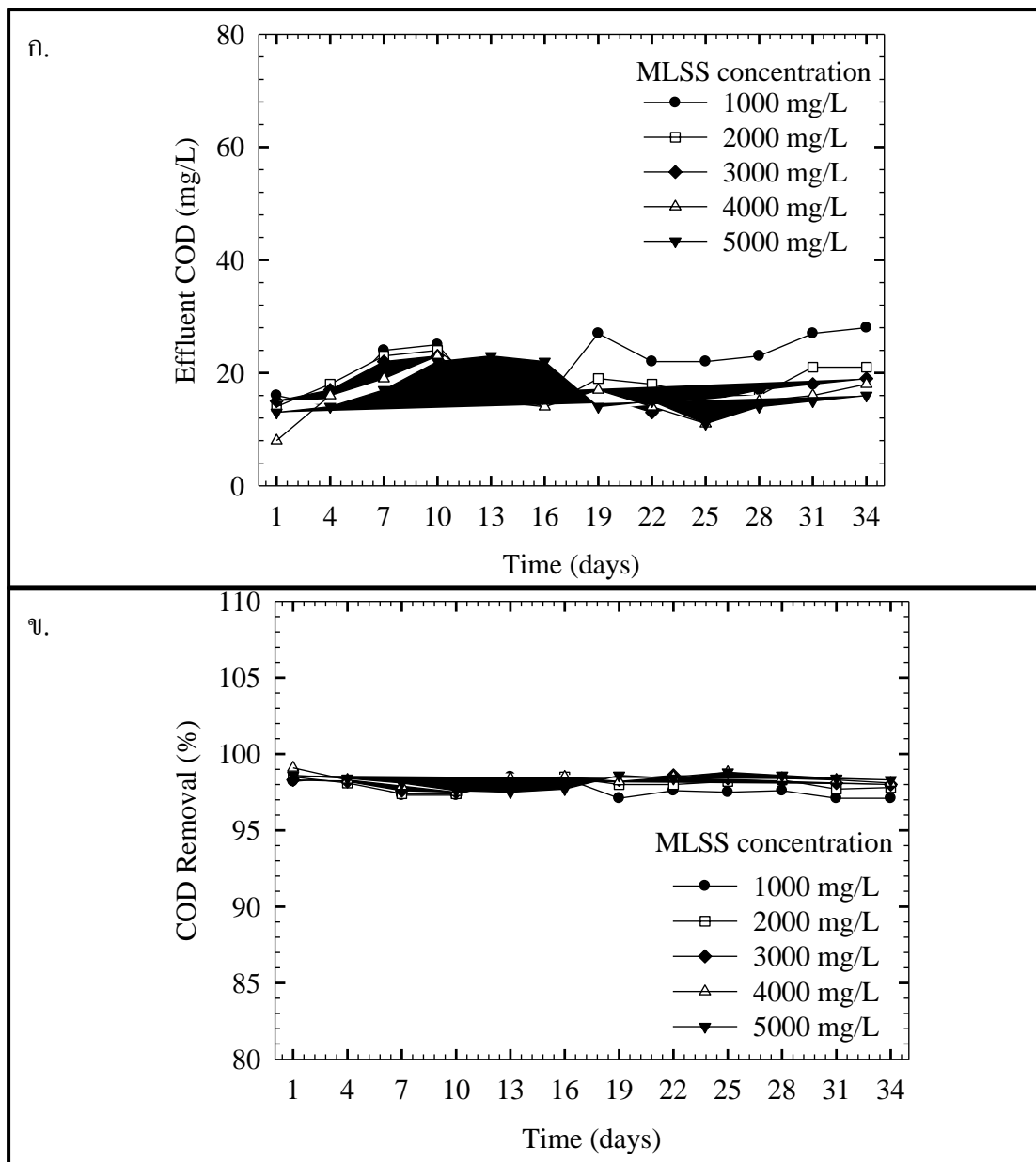
ข. ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) ในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.1.2 ผลของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

ค่าซีโอดีเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย จึงมีความสำคัญในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียจากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 วัน พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าซีโอดีมากที่สุด ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณซีโอดีหลังผ่านการบำบัดในสภาวะคงที่ ดังนี้  $22 \pm 5$ ,  $18 \pm 3$ ,  $17 \pm 2$ ,  $15 \pm 2$  และ  $16 \pm 4$  มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ดังนี้ ร้อยละ  $96.5 \pm 0.8$ ,  $97.3 \pm 0.5$ ,  $97.7 \pm 0.7$ ,  $97.6 \pm 0.4$  และ  $97.3 \pm 0.8$  ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 96.5-97.7 การลดลงของปริมาณซีโอดีในน้ำเสียหลังการบำบัดเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารและพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต ดังสมการ



เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียจึงเพิ่มขึ้นไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon และ Boobchupleing [37] ศึกษาผลความเข้มของตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วย  $Pb^{2+}$  และ  $Ni^{2+}$  พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด  $Pb^{2+}$  หรือ  $Ni^{2+}$  เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีดัชนีการอดตัวของตะกอนมากกว่า 100 มิลลิลิตรต่อกรัม มีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ และมีประสิทธิภาพการกำจัด  $Pb^{2+}$  หรือ  $Ni^{2+}$  บีโอดี ซีโอดี และที่เคเอ็นที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก ( $Pb^{2+}$  หรือ  $Ni^{2+}$ ) 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพร้อยละ 83-85, 96-97, 95-96 และ 83-94 ตามลำดับ



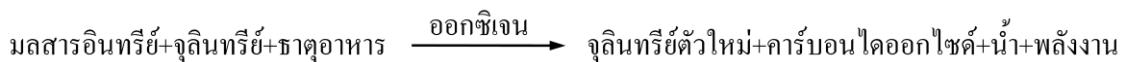
**รูปที่ 4.2** ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดชีโอดีกับระยะเวลาที่ดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

ก. ปริมาณชีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

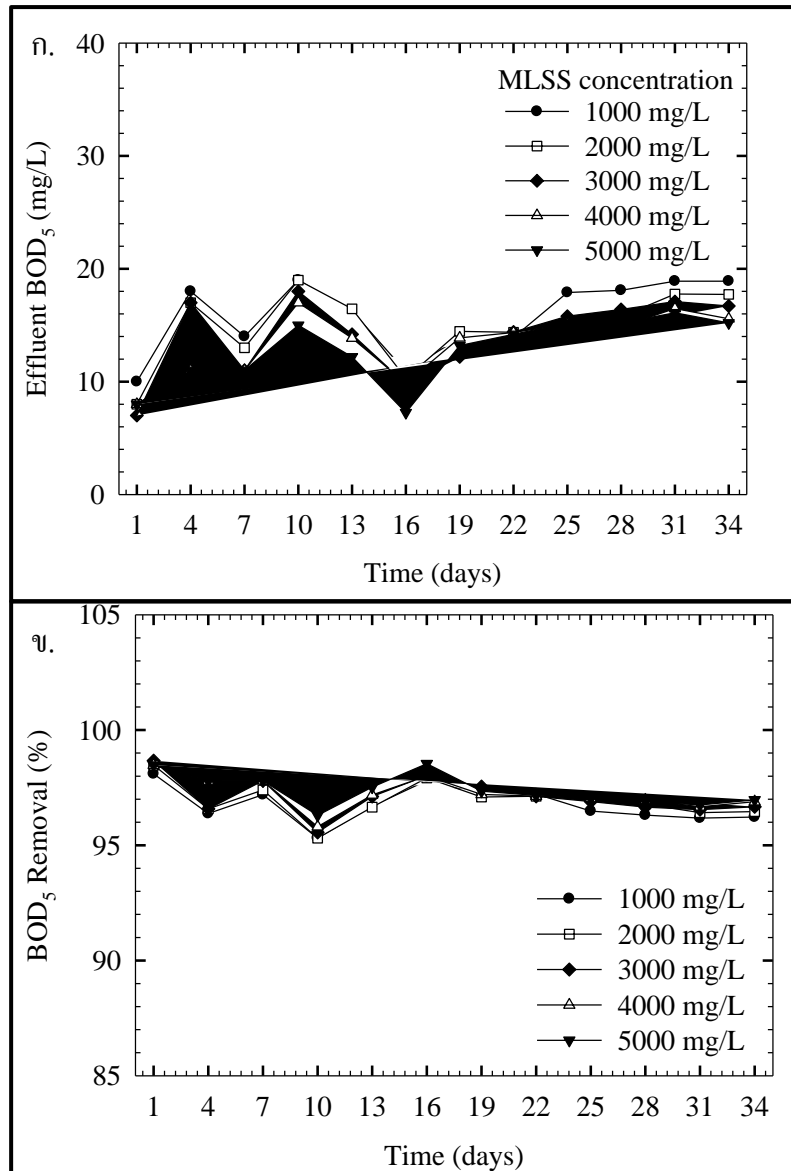
ข. ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.1.3 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณบีโอดีในน้ำเป็นตัวชี้วัดถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียพิจารณารูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ ในช่วงแรกของการทดลองมีปริมาณบีโอดีที่น้อยเนื่องจากอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์มีการปรับตัว เมื่ออยู่ในสภาวะคงที่พบว่าปริมาณบีโอดีหลังผ่านการบำบัดเคียงกันอย่างไม่มียสำคัญดังนี้  $16\pm 3$ ,  $15\pm 2$ ,  $15\pm 3$ ,  $14\pm 2$  และ  $14\pm 3$  มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพร้อยละ  $97.5\pm 0.5$ ,  $97.6\pm 0.4$ ,  $97.7\pm 0.4$ ,  $97.8\pm 0.3$  และ  $97.8\pm 0.8$  ตามลำดับ เมื่อเพิ่มประมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงขึ้น เนื่องด้วยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการ



จึงทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดมีปริมาณลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ทำให้มีความต้องการสารอินทรีย์มากขึ้น ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจึงมีค่าลดลง เนื่องจากระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดทางชีววิทยา มีกระบวนการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนอิสระ โดยแบคทีเรียกลุ่มเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (Thermophilic bacteria) จะมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 80 ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (3-4 วัน) ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน และสร้างเซลล์ใหม่ [3] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kulikowska และคณะ [24] ศึกษาการกำจัด  $BOD_5$  และ COD และสลัดจ์ในระบบเอสบีอาร์ (SBR) ที่มีและไม่มีช่วงของแอนอกซิก (Anoxic) พบว่าระบบเอสบีอาร์ (SBR) มีประสิทธิภาพในการบำบัด  $BOD_5$  มากกว่าร้อยละ 98 และการเก็บกักทางกลศาสตร์ที่ 12, 6, 3, และ 2 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD) ลดลงจากร้อยละ 83.1–76.7 และระบบเอสบีอาร์ (SBR) ที่มีสถานะแอนอกซิก (Anoxic) มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ลดลงจากร้อยละ 79.6–75.7 และมีอัตราการเกิดตะกอนค่อนข้างคงที่



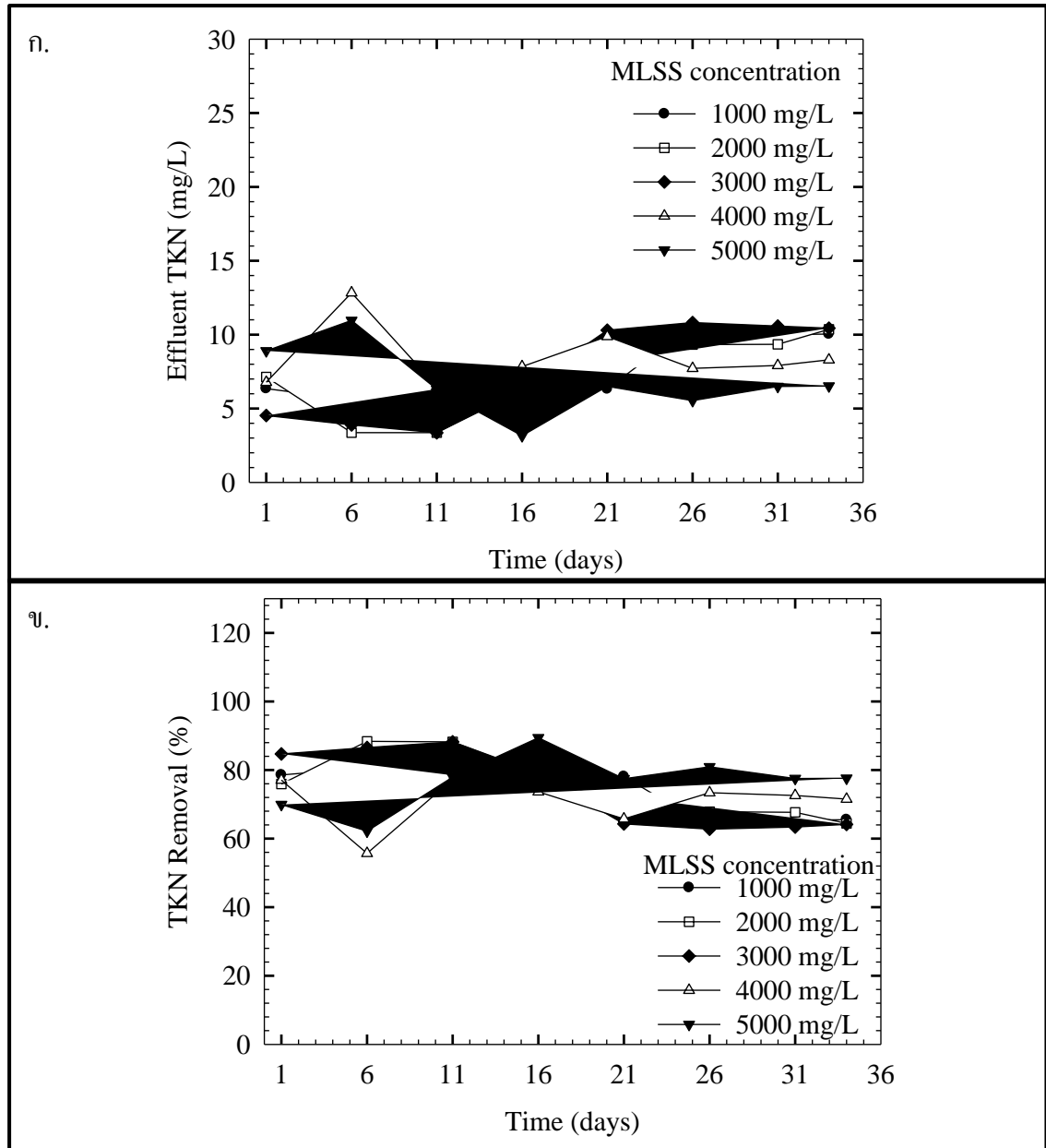
**รูปที่ 4.3** ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีกับระยะเวลาการดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลา กักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

ก. ปริมาณบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.1.4 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนเป็นผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียในน้ำ จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินการระบบ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่ามีปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนหลังการบำบัดที่สภาวะคงที่ดังนี้  $8.7 \pm 2.1$ ,  $8.8 \pm 1.6$ ,  $9.7 \pm 1.9$ ,  $8.3 \pm 0.9$  และ  $5.6 \pm 1.5$  มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ  $70.1 \pm 7.4$ ,  $69.6 \pm 5.6$ ,  $66.7 \pm 6.8$ ,  $71.4 \pm 3.2$  และ  $80.6 \pm 5.1$  ตามลำดับ ซึ่งที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ มีประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา จุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารโดยสารอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนียโดยปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) แอมโมเนียถูกกำจัดได้ 2 ทาง คือ ถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นสารอาหารและการสร้างเซลล์หรือถูกแบคทีเรียออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นไนไตรต์และไนเตรต โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน [38] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon และ Boonchupleing [37] ศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนตะกั่วและนิเกิลพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาดักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

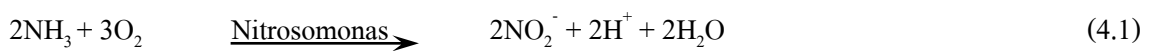
ก. ปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.1.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

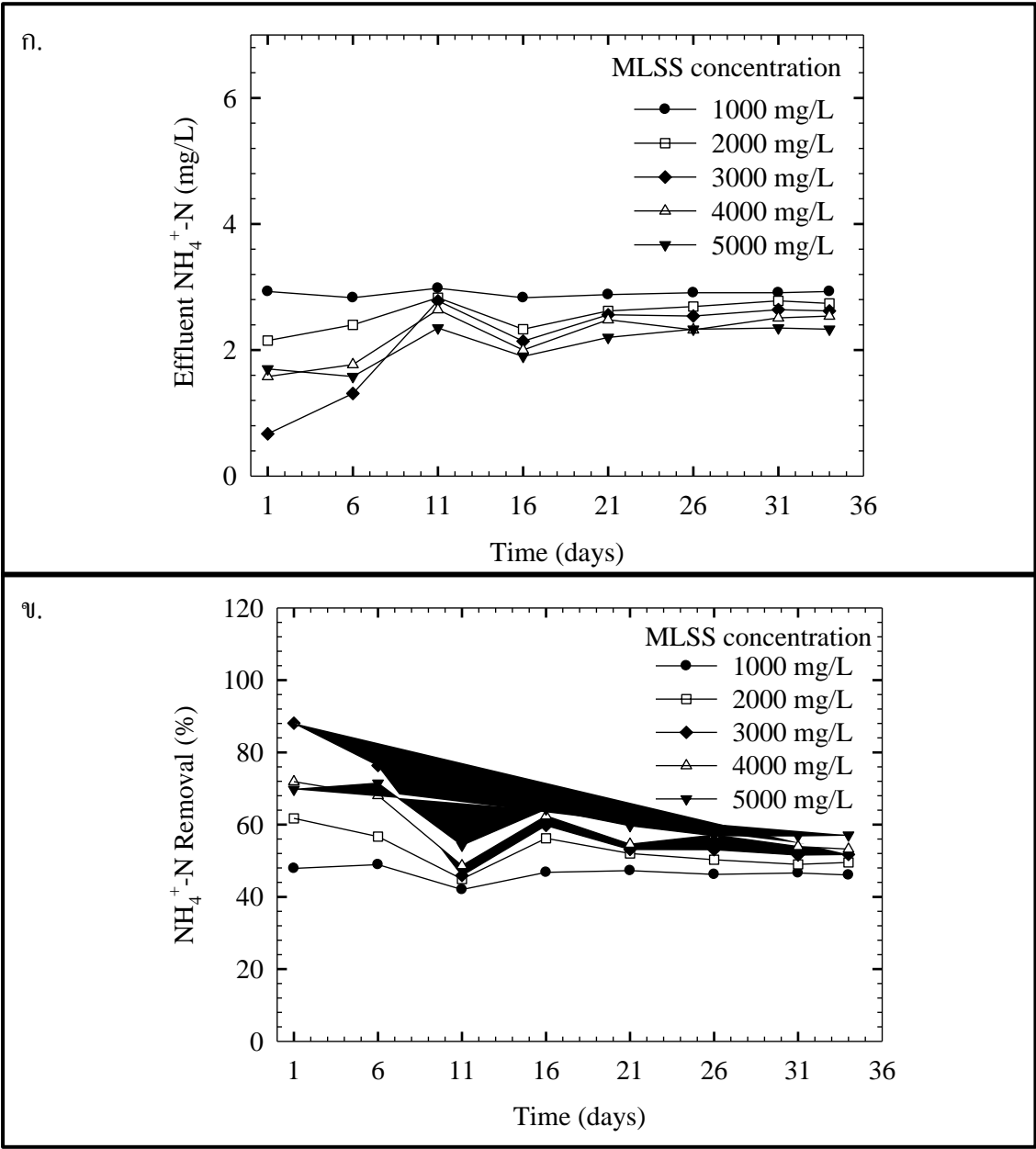
ในการทดลองได้ตรวจวิเคราะห์สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) ไนไตรต์ไนโตรเจน ( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ) และไนเตรตไนโตรเจน ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) พบว่าการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในแต่ละความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเริ่มคงที่เมื่อวันที่ 16 ของการทดลอง มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนดังนี้  $2.9 \pm 0.0$ ,  $2.6 \pm 0.2$ ,  $2.5 \pm 0.2$ ,  $2.4 \pm 0.2$  และ  $2.2 \pm 0.2$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนมีประสิทธิภาพร้อยละ  $46.6 \pm 0.5$ ,  $51.4 \pm 2.9$ ,  $53.8 \pm 3.4$ ,  $56.3 \pm 3.7$  และ  $59.0 \pm 3.2$  ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณารูป 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรระยะเวลาดักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์มีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนน้ำเข้า  $0.13 \pm 0.00$  มิลลิกรัมต่อลิตร หลังผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่ มีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น  $0.26 \pm 0.07$ ,  $0.32 \pm 0.05$ ,  $0.35 \pm 0.03$ ,  $0.38 \pm 0.02$  และ  $0.41 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเริ่มต้น  $0.35 \pm 0.03$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่มีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มขึ้น  $14.55 \pm 0.27$ ,  $15.64 \pm 0.25$ ,  $16.76 \pm 0.14$ ,  $19.13 \pm 0.73$  และ  $21.95 \pm 1.19$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

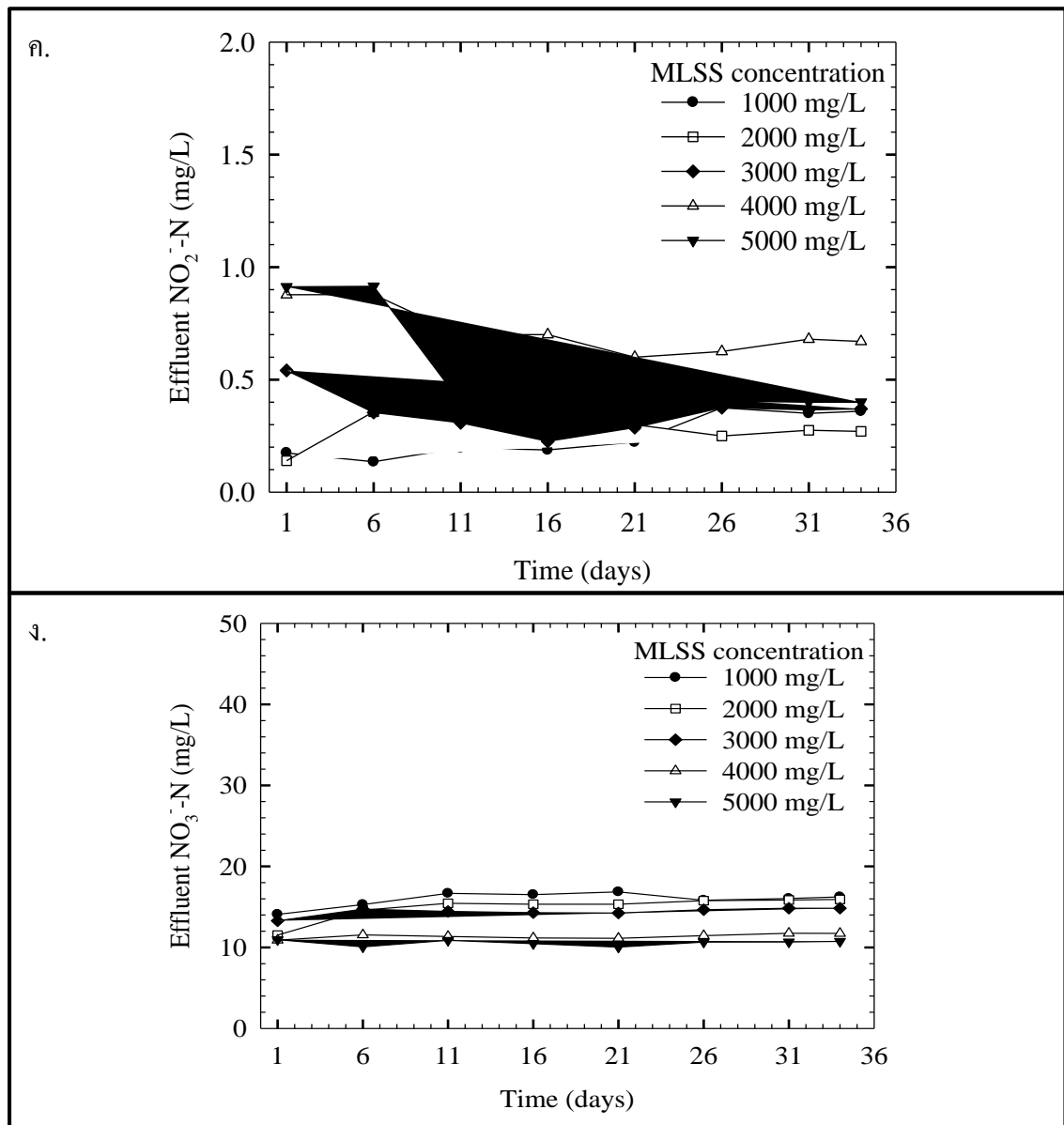
จากการศึกษาพบว่าปริมาณไนโตรเจนส่วนใหญ่เป็นค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและสารอินทรีย์ไนโตรเจน สารอินทรีย์ไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียโดยกระบวนการย่อยสลายในปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) และจุลินทรีย์สามารถกำจัดแอมโมเนียในการนำมาเป็นสารอาหารและสร้างเซลล์ใหม่ หรือแบคทีเรียกลุ่มออกโตโทรฟเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรต์และไนเตรต โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน [38] สมการการเกิดกระบวนการออกซิเดชันด้วยแบคทีเรียจำพวกไนตริไฟอิงเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ไนตริฟิเคชัน ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรต์และไนเตรต ดังนี้ [38]



จากการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในระบบลดลง แต่ปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยจุลินทรีย์ที่มีการใช้ออกซิเจนอิสระเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นไนไตรต์และไนเตรตทำให้

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศมีการสะสมไนโตรเจนในไทรตและไนเตรตเกิดขึ้นส่งผลให้การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดลดลง ดังตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสี้ยงเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่ดังนี้  $24.2 \pm 2.3$ ,  $25.6 \pm 0.8$ ,  $27.8 \pm 0.2$ ,  $28.01 \pm 1.0$  และ  $28.2 \pm 0.6$  มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด  $17.8 \pm 7.6$ ,  $13.1 \pm 2.4$ ,  $5.8 \pm 0.7$ ,  $5.0 \pm 3.3$  และ  $4.4 \pm 2.2$  ตามลำดับ





**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาดักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสีย สังกะระห์

- ก. ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด
- ข. ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์
- ค. ปริมาณไนไตรต์ในโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด
- ง. ปริมาณไนเตรตในโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์หลังการบำบัดที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

MLSS (mg/L)	TKN			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		TN		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent( mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
1,000	29.1 ±0.4	8.7 ±2.1	70.1 ±7.4	5.4 ±0.1	2.9 ±0.0	46.6 ±0.5	0.13 ±0.00	0.26 ±0.07	0.35 ±0.03	16.36 ±0.39	29.5 ±0.1	24.2 ±2.3	17.8 ±7.6
2,000	29.1 ±0.4	8.8 ±1.6	69.6 ±5.6	5.4 ±0.1	2.6 ±0.2	51.4 ±2.9	0.13 ±0.00	0.32 ±0.05	0.35 ±0.03	15.61 ±0.27	29.5 ±0.1	25.6 ±0.8	13.1 ±2.4
3,000	29.1 ±0.4	9.7 ±1.9	66.7 ±6.8	5.4 ±0.1	2.5 ±0.2	53.8 ±3.4	0.13 ±0.00	0.35 ±0.03	0.35 ±0.03	14.55 ±0.27	29.5 ±0.1	27.8 ±0.2	5.8 ±0.7
4,000	29.1 ±0.4	8.3 ±0.9	71.4 ±3.2	5.4 ±0.1	2.4 ±0.2	56.3 ±3.7	0.13 ±0.00	0.38 ±0.02	0.35 ±0.03	11.43 ±0.27	29.5 ±0.1	28.1 ±1.0	5.3 ±3.3
5,000	29.1 ±0.4	5.6 ±1.5	80.6 ±5.1	5.4 ±0.1	2.2 ±0.2	59.0 ±3.2	0.13 ±0.00	0.41 ±0.01	0.35 ±0.03	10.58 ±0.29	29.5 ±0.1	28.2 ±0.6	4.4 ±2.2

#### 4.1.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

การศึกษาปริมาณปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และดัชนีปริมาตรการอัดตัวของตะกอน (SVI) ของน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) เพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น  $24 \pm 3$ ,  $25 \pm 2$ ,  $67 \pm 3$ ,  $96 \pm 1$  และ  $97 \pm 2$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ทำให้มีอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) ดังนี้  $0.1 \pm 0.0$ ,  $0.07 \pm 0.0$ ,  $0.05 \pm 0.0$ ,  $0.04 \pm 0$  และ  $0.03 \pm 0$   $\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{kg}_{\text{MLSS}}$  ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์น้อย ส่งผลให้มีการรวมตัวกันของตะกอนไม่ดี จึงมีค่าของแข็งแขวนลอยสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ  $95 \pm 12$ ,  $99 \pm 3$ ,  $105 \pm 2$ ,  $110 \pm 9$  และ  $132 \pm 6$  มิลลิตรต่อกรัมตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าดัชนีปริมาตรการอัดตัวของตะกอนอยู่ในช่วง 100 มิลลิตรต่อกรัม ซึ่งอยู่ในช่วงดัชนีปริมาตรตะกอนอยู่ในช่วงการอัดตัวของตะกอนดี และที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีอายุตะกอนดังนี้  $6 \pm 0$ ,  $16 \pm 2$ ,  $22 \pm 2$ ,  $42 \pm 7$  และ  $88 \pm 13$  วันตามลำดับ เนื่องจากที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำมีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์มากกว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์สูง เมื่อกำหนดสารอาหารที่เท่ากัน ทำให้ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์น้อยกว่ามีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สูง ซึ่งที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีอายุตะกอนน้อยกว่า ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าที่ตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแคดเมียมในตะกอนจุลินทรีย์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนี้  $0.08 \pm 0.01$ ,  $0.08 \pm 0.01$ ,  $0.09 \pm 0.01$ ,  $0.09 \pm 0.01$  และ  $0.09 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อกรัม เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์มีการดูดซับโลหะหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ทำให้มีความสามารถในการดูดซับจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจึงเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีควนซ์แบทช์แอกเตอร์ ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม

5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและบีโอดีที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าใกล้เคียงกัน ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 71.4±3.2 และ 80.6±5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000, 3,000, 4000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมใกล้เคียงกันร้อยละ 78.0±5.3–87.4±5.0 เมื่อเปรียบเทียบอายุตะกอนพบว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอายุตะกอนคงที่ 60±0 และ 16±2 วัน และที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอายุตะกอนมากและอัตราการเกิดตะกอนไม่คงที่ เมื่อพิจารณาค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) พบว่าสมบัติของตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีการอัดตัวของตะกอนดี 99±3 มิลลิตรต่อกรัม (Sludge Volume Index; SVI มีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิตรต่อกรัม) จึงนำความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปใช้ในการทดลองการศึกษาผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 4.3 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

Cadmium 5 mg/L	MLSS (mg/L)	SS (mg/L)	SVI (mL/g)	Excess sludge (mg/d)	SRT (d)	F/M (kg <sub>BOD</sub> /Kg <sub>MLSS</sub> )	Cd <sup>2+</sup> sludge (mg/g)	pH
	1,000	24±3	95±12	365±73	6±0	0.1±0.0	0.08±0.01	7.76±0.01
	2,000	25±2	99±3	157±21	16±2	0.07±0.0	0.08±0.01	7.75±0.01
	3,000	67±3	105±2	144±45	22±2	0.05±0.0	0.09±0.01	7.65±0.01
	4,000	96±1	110±9	85±44	42±17	0.04±0.0	0.09±0.01	7.65±0.01
	5,000	97±2	132±6	53±23	88±13	0.03±0.0	0.09±0.01	7.54±0.01

## 4.2 การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

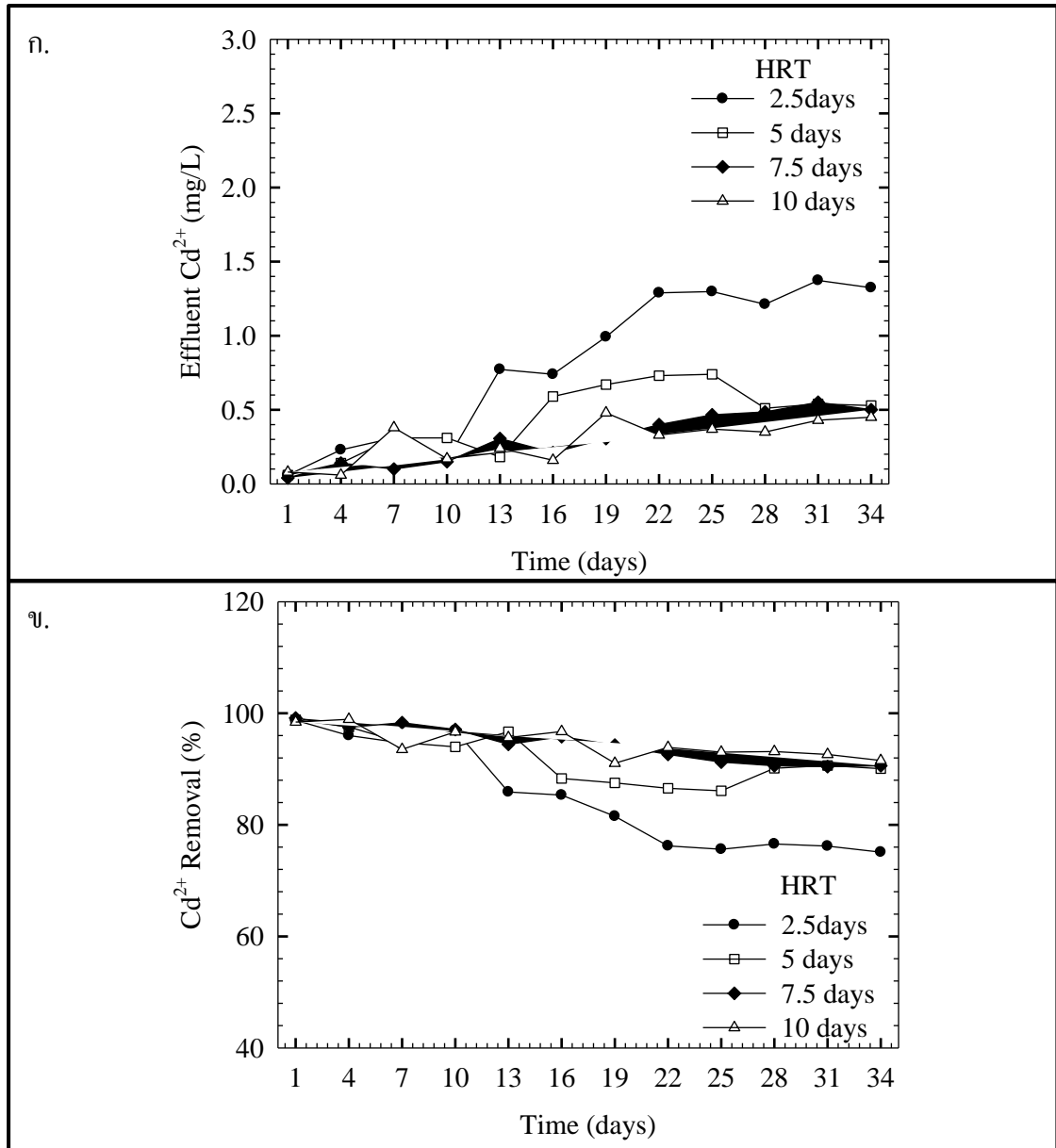
การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากการทดลอง 4.1 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร กำหนดระยะเวลา กักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

**ตารางที่ 4.4** ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3	4
ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (มก./ล.)	2,000	2,000	2,000	2,000
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	2.5	5	7.5	10
ปริมาตรน้ำในถังทดลอง (มล.)	7,500	7,500	7,500	7,500
ปริมาตรน้ำเสียที่ป้อนเข้า (มล./วัน)	3,000	1,500	1,000	750
ปริมาตรน้ำทิ้งที่ระบาย (มล./วัน)	3,000	1,500	1,500	750
อัตราการแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) (มก./ลบ.ม.·วัน)	15.0	7.5	5.0	3.75
อัตราการบีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	1.8	0.9	0.6	0.45
อัตราการซีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	2.7	1.35	0.9	0.68

### 4.2.1 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดแคดเมียมกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีปริมาณแคดเมียมที่สถานะคงที่ ดังนี้  $1.1 \pm 0.3$ ,  $0.6 \pm 0.2$ ,  $0.4 \pm 0.1$  และ  $0.4 \pm 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ  $79.1 \pm 4.5$ ,  $89.5 \pm 3.4$ ,  $92.5 \pm 2.1$  และ  $93.5 \pm 1.9$  ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บน้ำเสียเพิ่มขึ้นมีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน มีอัตราการแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) ในน้ำเสียสังเคราะห์ลดลง 15.0, 7.5, 5.0, 3.75 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงขึ้น



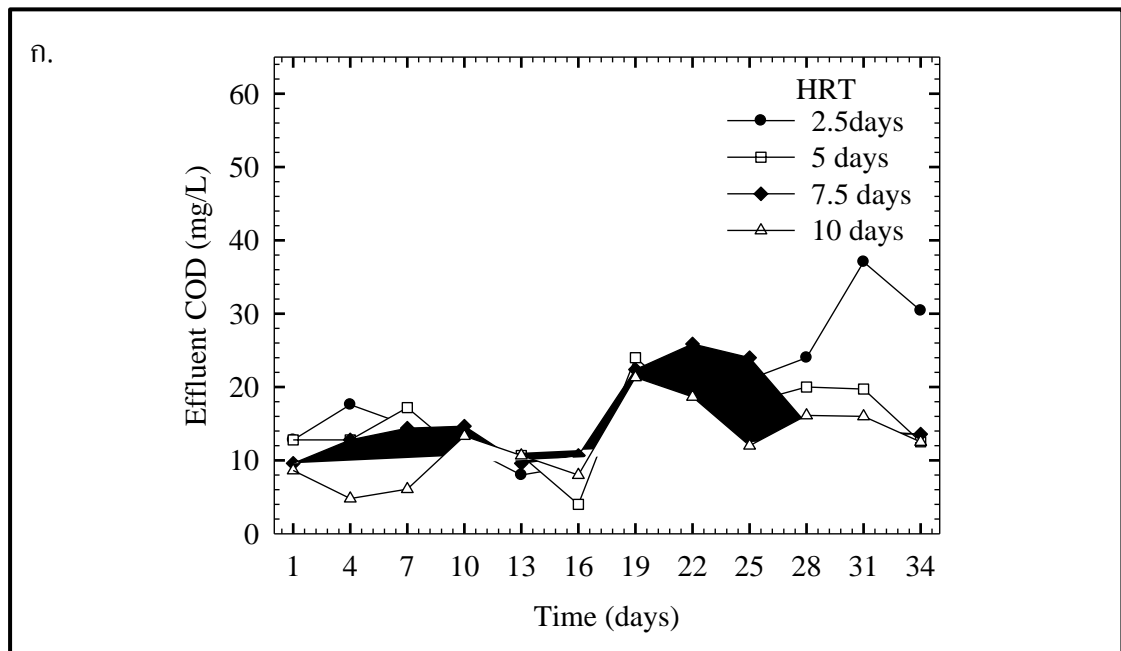
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดแคดเมียมกับระยะเวลาการดำเนินระบบที่ระยะเวลา  
 กักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000  
 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

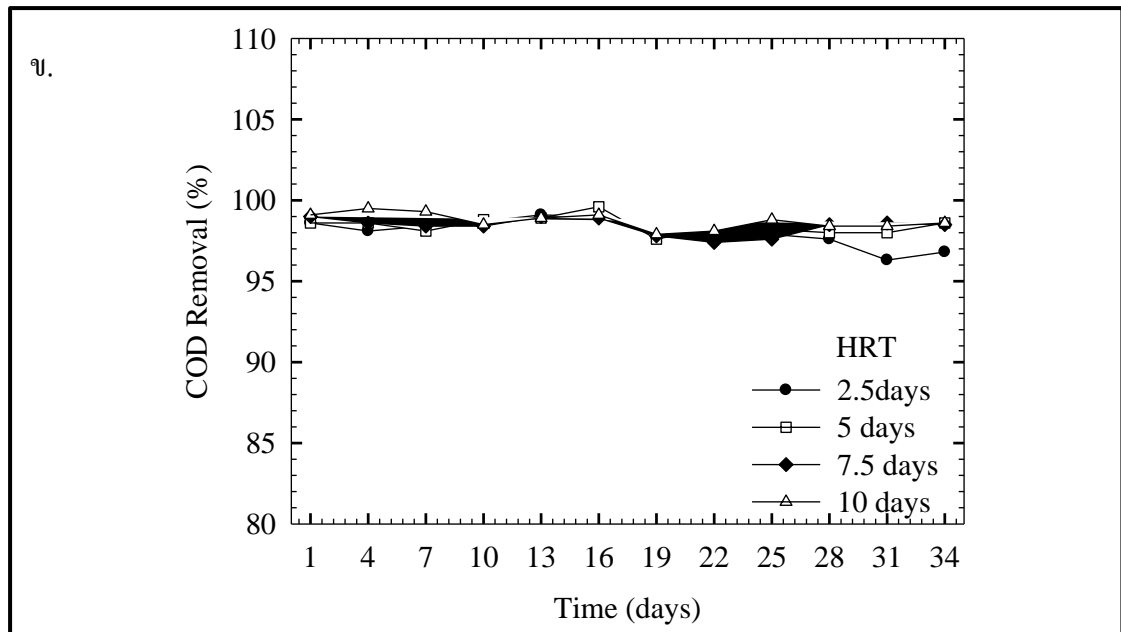
ก. ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.2.2 ผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดชีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

ค่าซีโอดีในน้ำเสียเป็นตัวชี้วัดความสกปรกในน้ำเสีย จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดชีโอดีกับระยะเวลาดำเนินการระบบ ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ มีปริมาณซีโอดีหลังการบำบัดที่สภาวะคงที่  $24 \pm 9$ ,  $17 \pm 6$ ,  $18 \pm 6$  และ  $15 \pm 4$  กิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ  $97.6 \pm 0.9$ ,  $98.3 \pm 0.6$ ,  $98.2 \pm 0.6$  และ  $98.5 \pm 0.4$  ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีแปรผันตรงกับระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 97–98 เมื่อเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียทำให้อัตราการชะซีโอดีลดลง ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5 7.5 และ 10 วัน มีอัตราการชะซีโอดี 2.7, 1.35, 0.9 และ 0.68 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ส่งผลให้ตะกอนจุลินทรีย์มีอายุเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียที่ยาวนานขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเพิ่มขึ้นเนื่องจากอายุตะกอนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการออกซิไดซ์สารอินทรีย์มากขึ้น [39]





**รูปที่ 4.7** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดชีโอดีกับระยะเวลาในการดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์

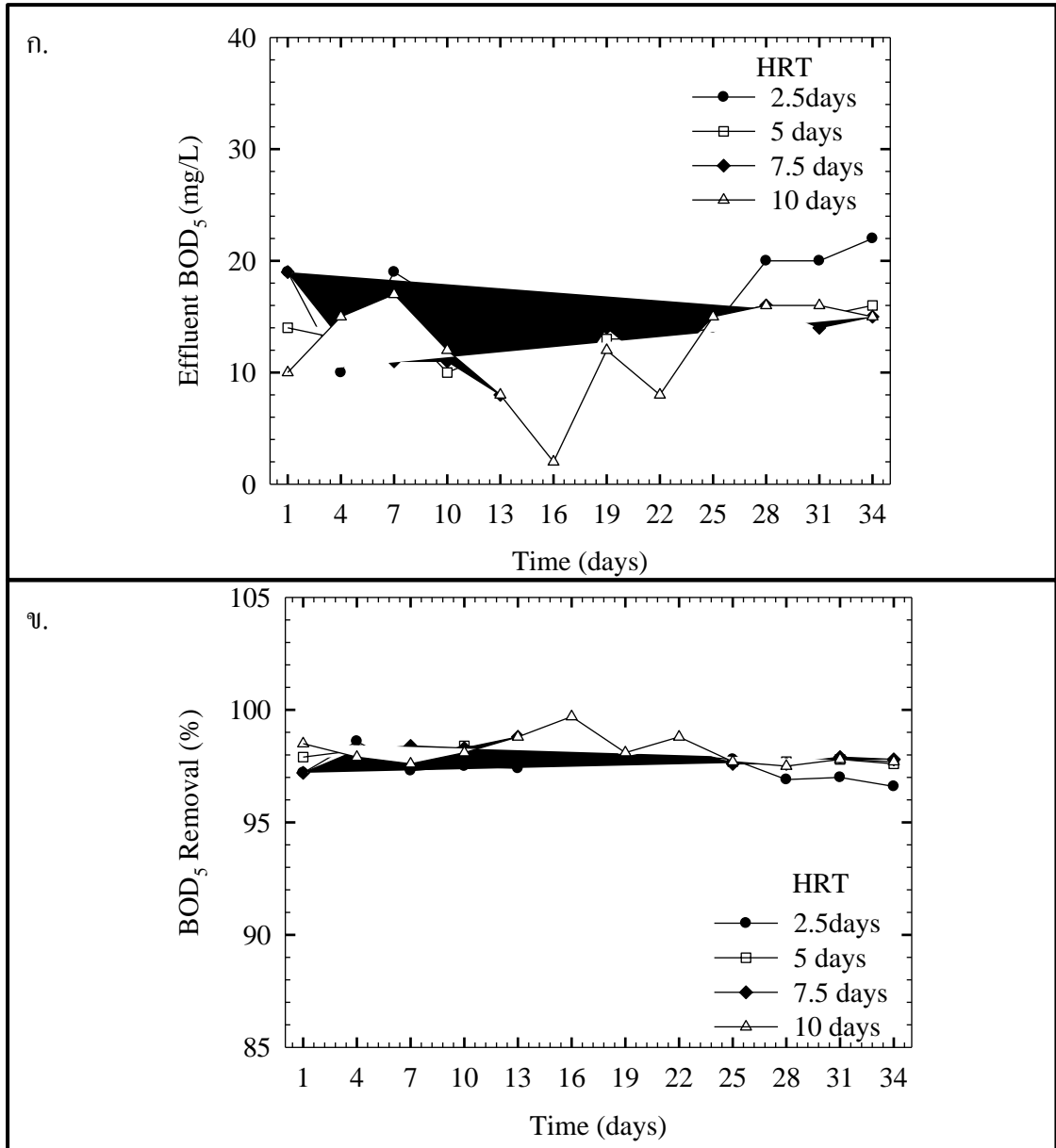
ก. ปริมาณชีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.2.3 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดชีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณชีโอดีในน้ำเสียเป็นดัชนีบ่งบอกถึงสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดชีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ มีปริมาณชีโอดีหลังการบำบัดที่สถานะคงที่ดังนี้  $16 \pm 5$ ,  $14 \pm 3$ ,  $13 \pm 3$  และ  $12 \pm 5$  คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีร้อยละ  $97.6 \pm 0.8$ ,  $98.0 \pm 0.4$ ,  $98.1 \pm 0.5$  และ  $98.2 \pm 0.8$  ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีในแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 97–98 เนื่องด้วยระบบเอสปีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ จุลินทรีย์ต้องการใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตและเป็นแหล่งพลังงาน เมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียทำให้จุลินทรีย์สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย [39] อีกทั้งเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียทำให้มีอัตราการบรรทุกชีโอดีลดลงทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลา

กักเก็บน้ำเสีย (อัตราการระบรทุกบีโอดี 1.8, 0.9, 0.6 และ 0.45 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ตามลำดับ)



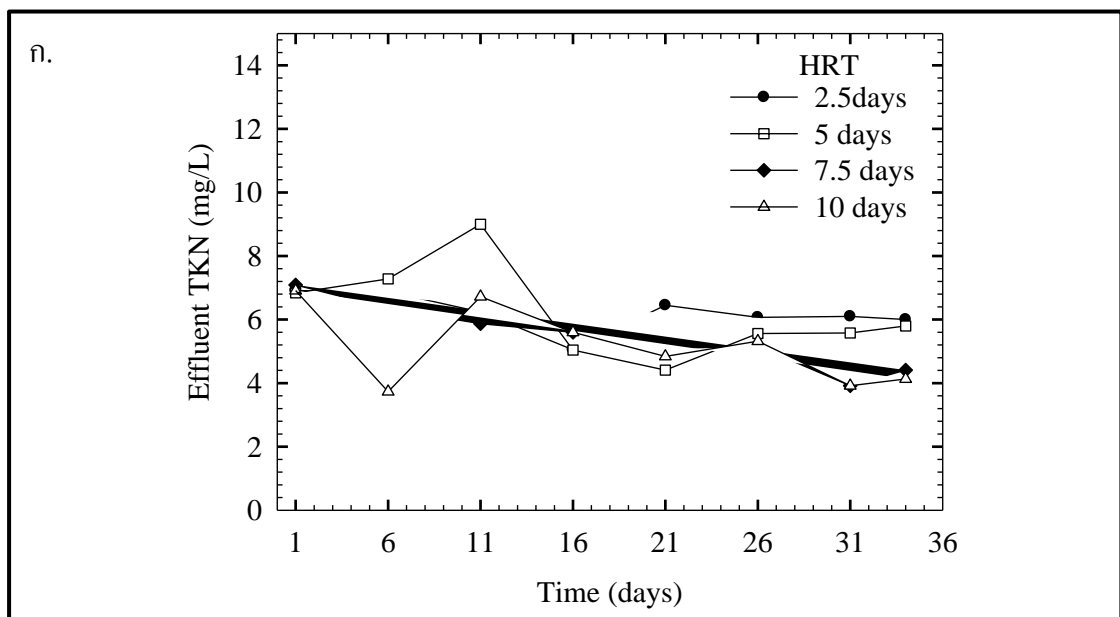
**รูปที่ 4.8** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์แคะเดเมียกับระยะเวลาดำเนินการระบบที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเดเมีย 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

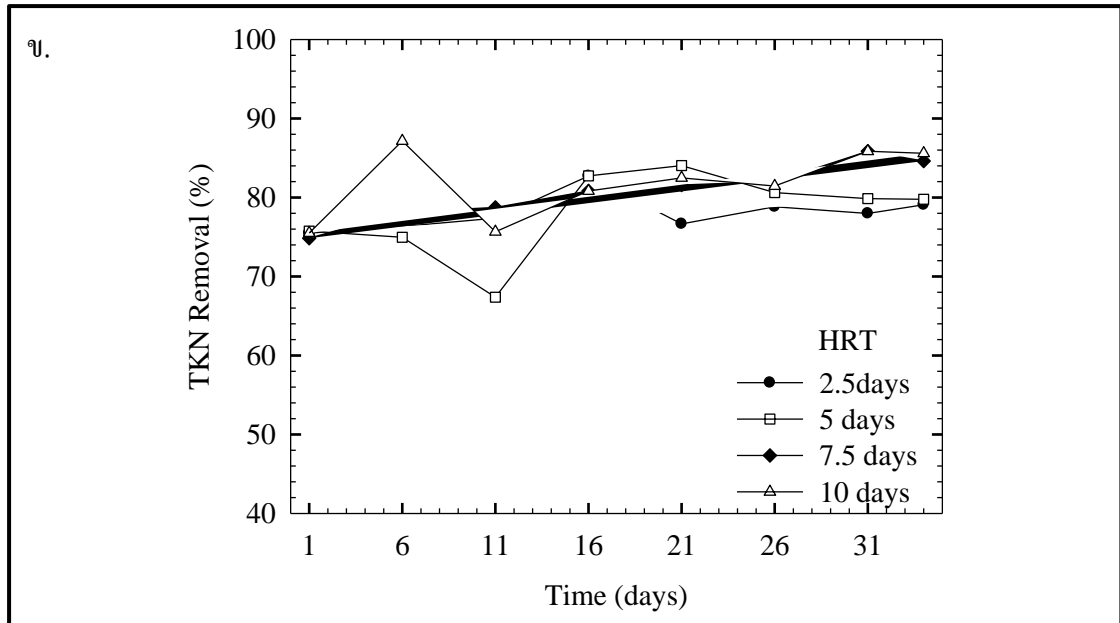
ก. ปริมาณบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.2.4 ผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่ดังนี้  $5.9 \pm 0.5$ ,  $5.3 \pm 0.6$ ,  $4.8 \pm 0.7$  และ  $4.8 \pm 0.7$  มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนร้อยละ 79.1 $\pm$ 2.3, 81.4 $\pm$ 1.9, 83.0 $\pm$ 2.2 และ 83.2 $\pm$ 2.3 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนแปรผันตรงกับระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย ซึ่งในระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียต่างๆ มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 79–83 ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน มีอายุตะกอน 9 $\pm$ 1, 14 $\pm$ 3, 34 $\pm$ 10 และ 45 $\pm$ 7 วัน ตามลำดับ โดย Metcaft and Eddy, 2004 อ้างถึงโดยขวัญเนตร สมบัติสมภพ และคณะ [40] กล่าวว่า การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่ออายุตะกอนเกิน 7 วัน เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของไนตริไฟอิงค์แบคทีเรีย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon and Ungkprasatcha [41] ศึกษาการบำบัดนิเกิลและตะกั่วที่ระยะเวลาการกักเก็บที่เหมาะสม พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 3 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนได้มากที่สุดร้อยละ 78.52 $\pm$ 2.01 รองลงมาคือระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 2 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนร้อยละ 74.57 $\pm$ 0.09 และระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 1.5 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนน้อยที่สุดร้อยละ 72.49 $\pm$ 0.54





**รูปที่ 4.9** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

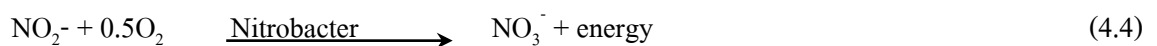
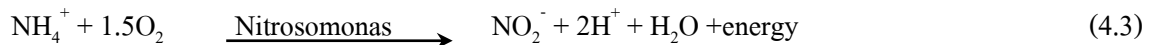
ก. ปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

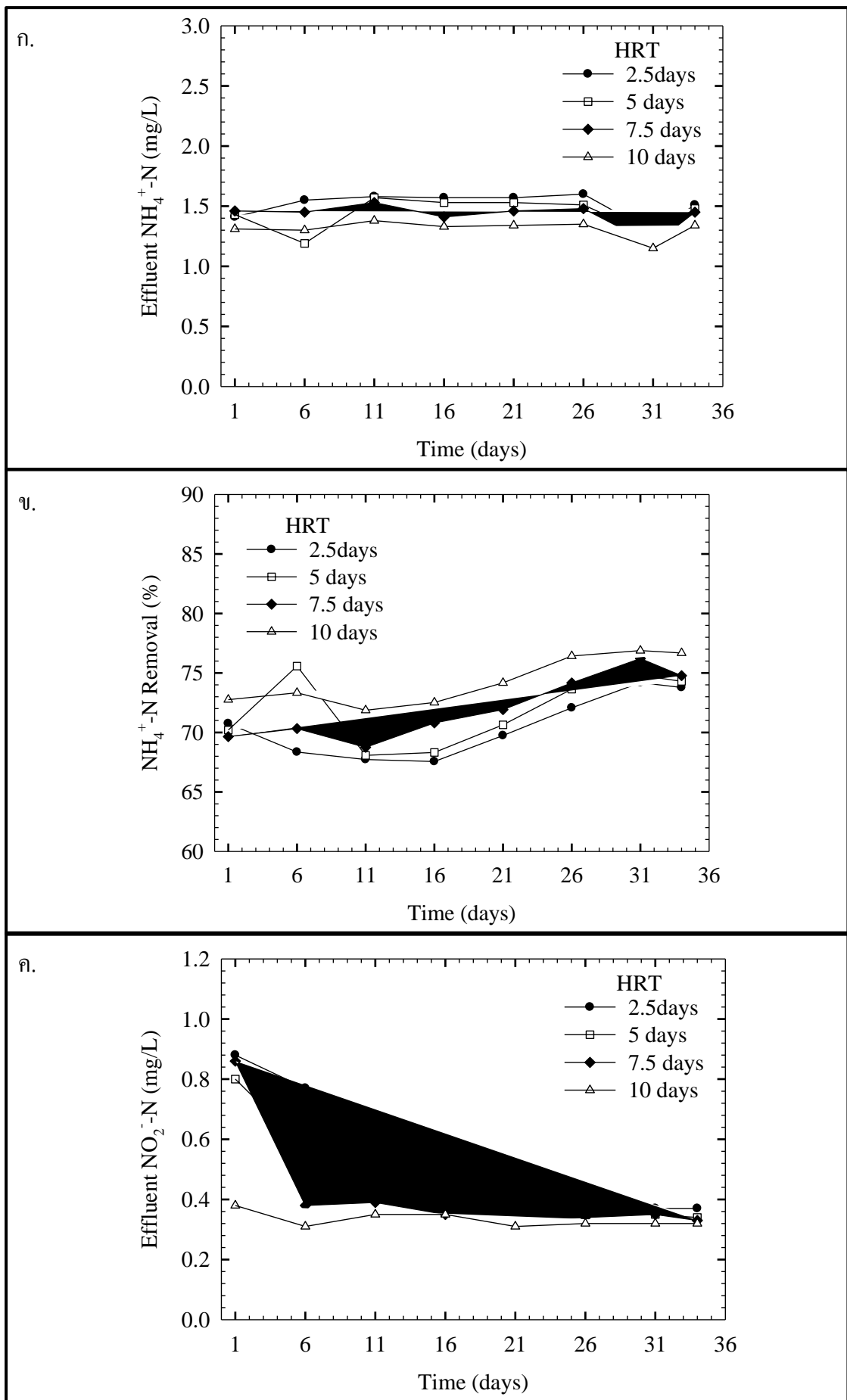
#### 4.2.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน

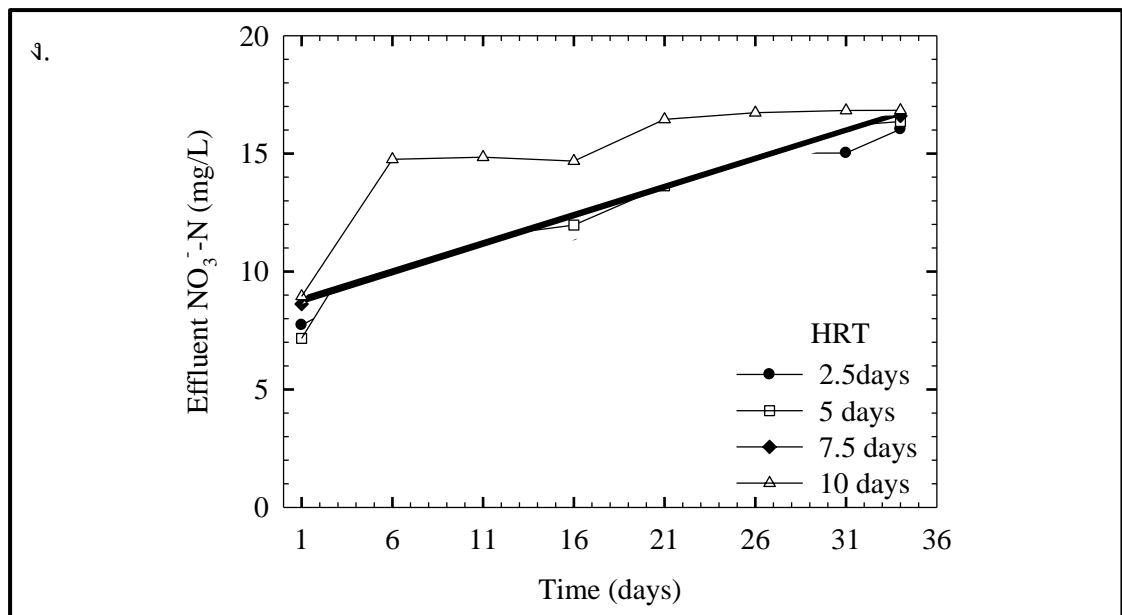
การศึกษาสารประกอบไนโตรเจนทำการวิเคราะห์ แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรต์ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน จากรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนหลังการบำบัดกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ผ่านการบำบัดที่สถานะคงที่ดังนี้  $1.5 \pm 0.1$ ,  $1.5 \pm 0.1$ ,  $1.4 \pm 0.1$  และ  $1.3 \pm 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ  $70.9 \pm 2.9$ ,  $71.6 \pm 3.0$ ,  $72.8 \pm 2.8$  และ  $74.8 \pm 2.2$  ตามลำดับ เนื่องด้วยเมื่อเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียเป็นการเพิ่มระยะเวลาการเติมอากาศให้กับระบบทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการย่อยสลายแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาสารประกอบไนโตรเจนในรูปไนไตรต์ไนโตรเจนจากตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสียต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วันมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น โดยมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนในน้ำเข้า  $0.13 \pm 0.03$  มิลลิกรัมต่อลิตร หลังผ่านการบำบัดมีปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนที่สภาวะคงที่เพิ่มขึ้น ดังนี้  $0.38 \pm 0.01$ ,  $0.35 \pm 0.01$ ,  $0.34 \pm 0.01$  และ  $0.32 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเริ่มต้น  $0.31 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดในสภาวะคงที่มีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มขึ้นดังนี้  $14.17 \pm 1.78$ ,  $14.85 \pm 1.96$ ,  $15.57 \pm 1.39$  และ  $16.31 \pm 0.92$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodriguez และคณะ [42] ในการศึกษาการควบคุมการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระบบซีแควนซ์แบทช์แอกเตอร์พบว่าปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศมีการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน หรือแอมโมเนียออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไตรต์ไนโตรเจน และปฏิกิริยาไนไตรต์ออกซิเดชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนไตรต์ไนโตรเจนให้เป็นไนเตรตไนโตรเจน ดังสมการ [43]



จากตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สภาวะคงที่ ดังนี้  $21.4 \pm 1.0$ ,  $21.3 \pm 1.9$ ,  $21.1 \pm 0.7$  และ  $21.6 \pm 0.7$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ  $25.3 \pm 2.5$ ,  $25.7 \pm 5.9$ ,  $26.3 \pm 1.3$  และ  $24.5 \pm 1.8$  ตามลำดับ เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้อากาศ เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนเตรตไนโตรเจน ทำให้มีการสะสมไนเตรตเกิดขึ้นในระบบ จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดไม่สูงนัก





**รูปที่ 4.10** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนของน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินการระบบที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

- ก. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด
- ข. ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์
- ค. ปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด
- ง. ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

ตารางที่ 4.5 แสดงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน

Cadmium 5 mg/L	HRT (days)	TKN			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		TN		
		Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
	2.5	28.4 ±0.7	5.9 ±0.5	79.1 ±2.3	5.14 ±0.39	1.5 ±1.2	70.9 ±2.9	0.13 ±0.03	0.38 ±0.01	0.31 ±0.01	14.17 ±1.78	28.6 ±0.6	21.4 ±1.0	25.3 ±2.5
	5	28.4 ±0.7	5.3 ±0.6	81.4 ±1.9	5.14 ±0.39	1.5 ±0.1	71.6 ±3.0	0.13 ±0.03	0.35 ±0.01	0.31 ±0.01	14.85 ±1.96	28.6 ±0.6	21.3 ±1.9	25.7 ±5.9
	7.5	28.4 ±0.7	4.8 ±0.7	83.0 ±2.2	5.14 ±0.39	1.4 ±0.1	72.8 ±2.8	0.13 ±0.03	0.34 ±0.01	0.31 ±0.01	15.57 ±1.39	28.6 ±0.6	21.1 ±0.7	26.3 ±1.3
	10	28.4 ±0.7	4.8 ±0.7	83.2 ±2.3	5.14 ±0.39	1.3 ±0.1	74.8 ±2.2	0.13 ±0.03	0.32 ±0.01	0.31 ±0.01	16.31 ±0.92	28.6 ±0.6	21.6 ±0.7	24.5 ±1.8

#### 4.2.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน

จากตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ใกล้เคียงกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ  $11\pm 1$ ,  $11\pm 0$ ,  $13\pm 2$  และ  $11\pm 2$  มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ดังนี้  $84\pm 12$ ,  $73\pm 15$ ,  $97\pm 20$  และ  $112\pm 38$  มิลลิตรต่อกรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5 และ 7.5 วัน มีค่าดัชนีปริมาตรตะกอนน้อยกว่า 100 มิลลิตรต่อกรัม แสดงให้เห็นว่าอยู่ในช่วงการอัดตัวของตะกอนดี (Sludge Volume Index; SVI น้อยกว่า 100 มิลลิตรต่อกรัม) ซึ่งที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน มีค่าดัชนีปริมาตรตะกอนน้อยที่สุด  $73\pm 15$  มิลลิตรต่อกรัม และที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน มีตะกอนส่วนเกินลดลง  $324\pm 39$ ,  $188\pm 47$ ,  $69\pm 19$  และ  $49\pm 7$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีอายุตะกอนเพิ่มขึ้น  $9\pm 1$ ,  $14\pm 3$ ,  $34\pm 10$  และ  $45\pm 7$  วัน ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียทำให้มีปริมาณสารอาหารเข้าสู่ระบบน้อยลง สัดส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์จึงมีจำนวนลดลง (อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M)  $0.07\pm 0.00$ ,  $0.04\pm 0.00$ ,  $0.03\pm 0.00$  และ  $0.02\pm 0.00$  ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ตามลำดับ) ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ช้าลง อายุตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ในการตรวจสอบปริมาณแคะเมียมในตะกอนจุลินทรีย์ พบว่ามีปริมาณแคะเมียม ในตะกอนจุลินทรีย์ลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย ทำให้มีอัตราภาระแคะเมียมลดลง 15.0, 7.5, 5.0 และ 3.75 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณแคะเมียมในตะกอนจุลินทรีย์จึงลดลงดังนี้  $0.09\pm 0.02$ ,  $0.04\pm 0.00$ ,  $0.03\pm 0.00$  และ  $0.02\pm 0.00$  มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วันต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมเพิ่มขึ้นร้อยละ  $79.1\pm 4.5$ ,  $89.5\pm 3.4$ ,  $92.5\pm 2.1$  และ  $93.5\pm 1.9$  ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและบีโอดีมากกว่าร้อยละ 97 และประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นไอ ไตรเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ  $79\pm 2.3$ ,  $81.4\pm 1.9$ ,  $83.0\pm 2.2$  และ  $83.2\pm 2.3$  ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าดัชนีปริมาตรตะกอนที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5 และ 7.5 วันมีการอัดตัวของตะกอนดี  $84\pm 12$ ,  $73\pm 15$  และ  $97\pm 20$  มิลลิตรต่อกรัม ตามลำดับ (Sludge Volume Index; SVI มีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) เนื่องจากที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียที่ 5 วัน มีค่าดัชนีปริมาตรตะกอนดี และสามารถกำจัดแคะเมียมได้ร้อยละ  $89.5\pm 3.4$  จึงนำระยะเวลาพักเก็บ

น้ำเสียที่ 5 วัน ใช้ในการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคะเมียมที่  
ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดแคะเคมีในน้ำเสียถังเคราะห์ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน

Cadmium 5 mg/L	HRT (days)	SS (mg/L)	SVI (ml/L)	Excess sludge (mg/L)	SRT (d)	F/M (kg <sub>BOD</sub> /kg <sub>MLSS</sub> )	Cd <sup>2+</sup> Sludge (mg/g)	pH
	2.5	11±1	84±12	324±39	9±1	0.07±0.00	0.09±0.02	7.49±0.01
	5	11±0	73±15	188±47	14±3	0.04±0.00	0.08±0.02	7.67±0.01
	7.5	13±2	97±20	69±19	34±10	0.03±0.00	0.07±0.01	7.76±0.02
	10	11±2	112±38	49±7	45±7	0.02±0.00	0.07±0.01	7.66±0.22

### 4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ ใช้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ และระยะเวลาเก็บน้ำเสียจากการทดลอง 4.1 และ 4.2 ดังนี้ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำที่ 5 วัน กำหนดความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

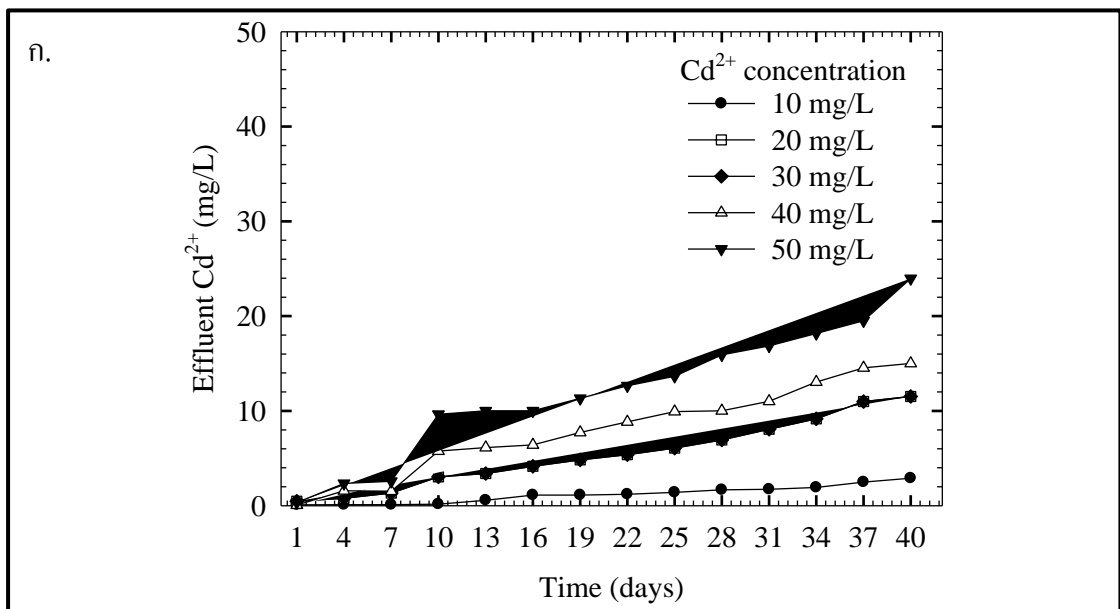
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ ในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

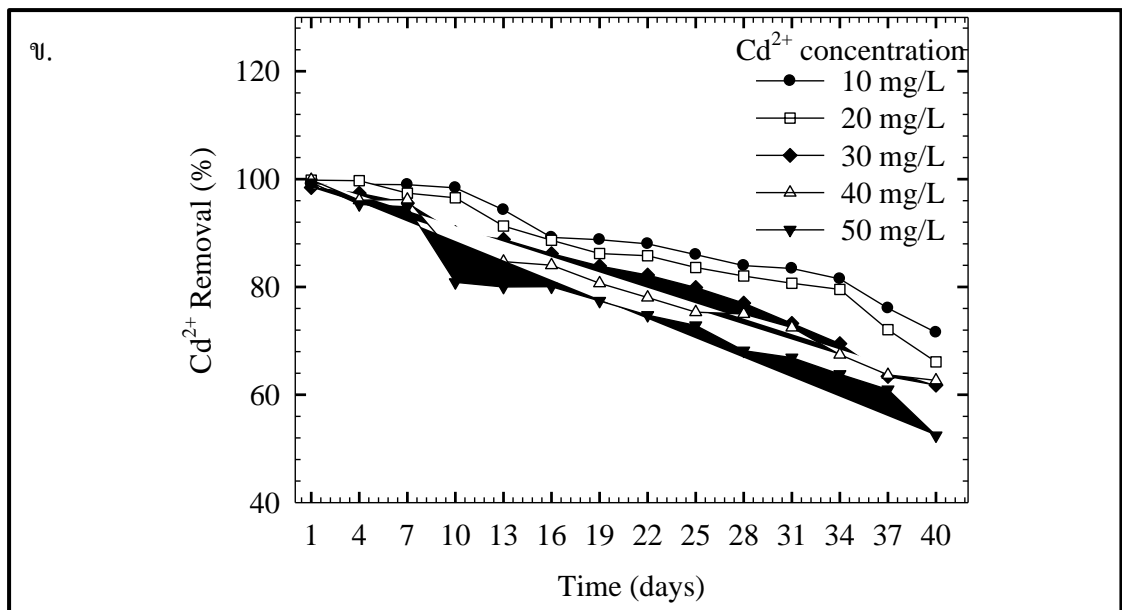
ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3	4	5
ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (มก./ล)	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	5	5	5	5	5
ปริมาตรน้ำในถังทดลอง (มล.)	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
ปริมาตรน้ำเสียที่ป้อนเข้า (มล./วัน)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
ปริมาตรน้ำทิ้งที่ระบาย (มล./วัน)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
อัตราการระเหยแคดเมียม (มก./ลบ.ม.วัน)	15.0	30.0	45.0	60.0	75.0
อัตราการบีโอดี (ก./ลบ.ม.วัน)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
อัตราการซีโอดี (ก./ลบ.ม.วัน)	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35

#### 4.3.1 ผลของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียมกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อ ที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน พบว่ามีปริมาณ

แคดเมียมหลังจากการบำบัดที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียตั้งคราะที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแคดเมียมน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียหลังการบำบัดที่สภาวะคงที่  $1.6 \pm 0.7$ ,  $3.7 \pm 1.7$ ,  $7.1 \pm 2.8$ ,  $10.3 \pm 3.2$  และ  $15.2 \pm 4.5$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพร้อยละ  $84.3 \pm 6.7$ ,  $81.6 \pm 7.6$ ,  $76.6 \pm 9.4$ ,  $74.4 \pm 7.5$  และ  $69.7 \pm 9.0$  ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมลดลง เนื่องจากแคดเมียมมีผลต่อการต่อต้านการส่งผ่านของกระบวนการ P-Type ATP ase ซึ่งเป็นกระบวนการผ่านของโปรตีนเข้าสู่ผิวของผนังเซลล์โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งใช้พลังงานจากกระบวนการ ATP hydrolysis และยับยั้งกระบวนการ CBA transporter ในการส่งผ่านโปรตีนผ่านทางผนังเซลล์แบบที่เรียกรวม ซึ่งกระบวนการนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญในการส่งผ่านของโปรตีน RNA ที่อยู่ในผนังเซลล์ [44] เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมจึงทำให้มีผลต่อการต่อต้านการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์มากขึ้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมลดลง อีกทั้งจุลินทรีย์ที่มีการสะสมแคดเมียมที่สูงเกินไป สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย [4] ทำให้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon and Boonchupleing [37] ศึกษาการกำจัดนิเกิลและตะกั่วในระบบเอสบีอาร์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของตะกั่วและนิเกิลในน้ำเสียทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิเกิลและตะกั่วลดลง





**รูปที่ 4.11** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียมกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน

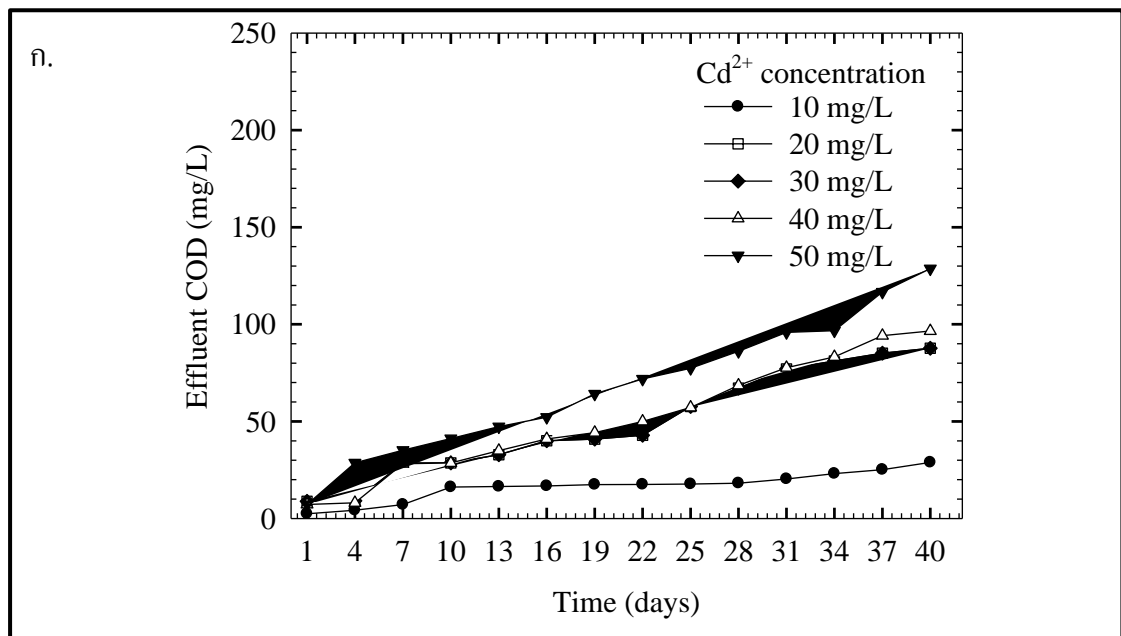
ก. ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

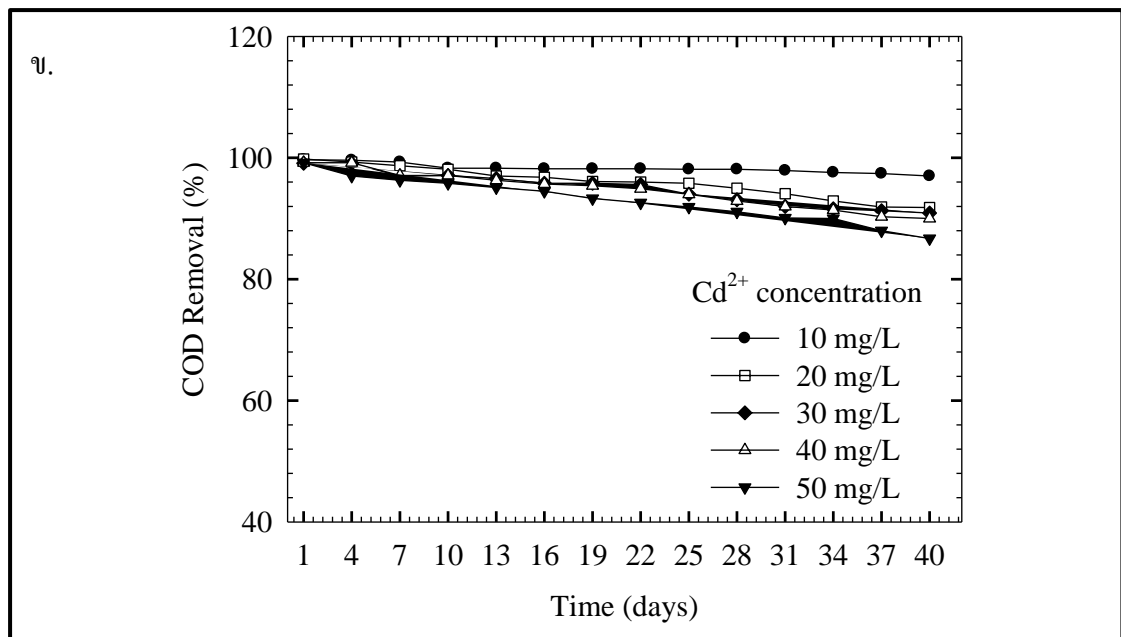
ข. ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.3.2 ผลของความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัดชีโอดี

ผลของความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัดชีโอดี จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดชีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน มีปริมาณชีโอดีในน้ำเสียหลังการบำบัดที่สถานะคงที่เพิ่มมากขึ้น  $20 \pm 4$ ,  $51 \pm 19$ ,  $61 \pm 21$ ,  $65 \pm 22$  และ  $84 \pm 26$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีพบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีร้อยละ  $97.9 \pm 0.4$ ,  $94.7 \pm 2.0$ ,  $93.1 \pm 2.0$ ,  $93.3 \pm 2.3$  และ  $91.3 \pm 2.7$  ที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เนื่องด้วยแคดเมียมยับยั้งกระบวนการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ โดยยับยั้งกระบวนการ P-Type ase ในการส่งผ่านโปรตีนเข้าสู่เซลล์โดยการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งอาศัยพลังงานจากกระบวนการ ATP hydrolysis และยับยั้งกระบวนการ CBA transporter ในการส่งผ่านโปรตีนที่มีความสำคัญต่อ RNA ผ่านผนังเซลล์ในแบคทีเรียแกรมลบ [44] เมื่อเพิ่ม

ความเข้มข้นของแคดเมียมทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่เซลล์ ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลง อีกทั้งแคดเมียมมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมทำให้จุลินทรีย์มีการสะสมแคดเมียมในเซลล์มากขึ้น ความเป็นพิษของแคดเมียมส่งผลให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาการย่อยสลาย ทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมทำให้ความเป็นพิษมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นทำให้จุลินทรีย์ตายได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon and Boonchupleing [37] ศึกษาการกำจัดนิเกิลและตะกั่วในระบบเอสบีอาร์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและนิเกิลในน้ำเสียประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลงร้อยละ 7-5





**รูปที่ 4.12** ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอไซด์กับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของ แคลเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของ ตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาดักเก็บน้ำเสีย 5 วัน

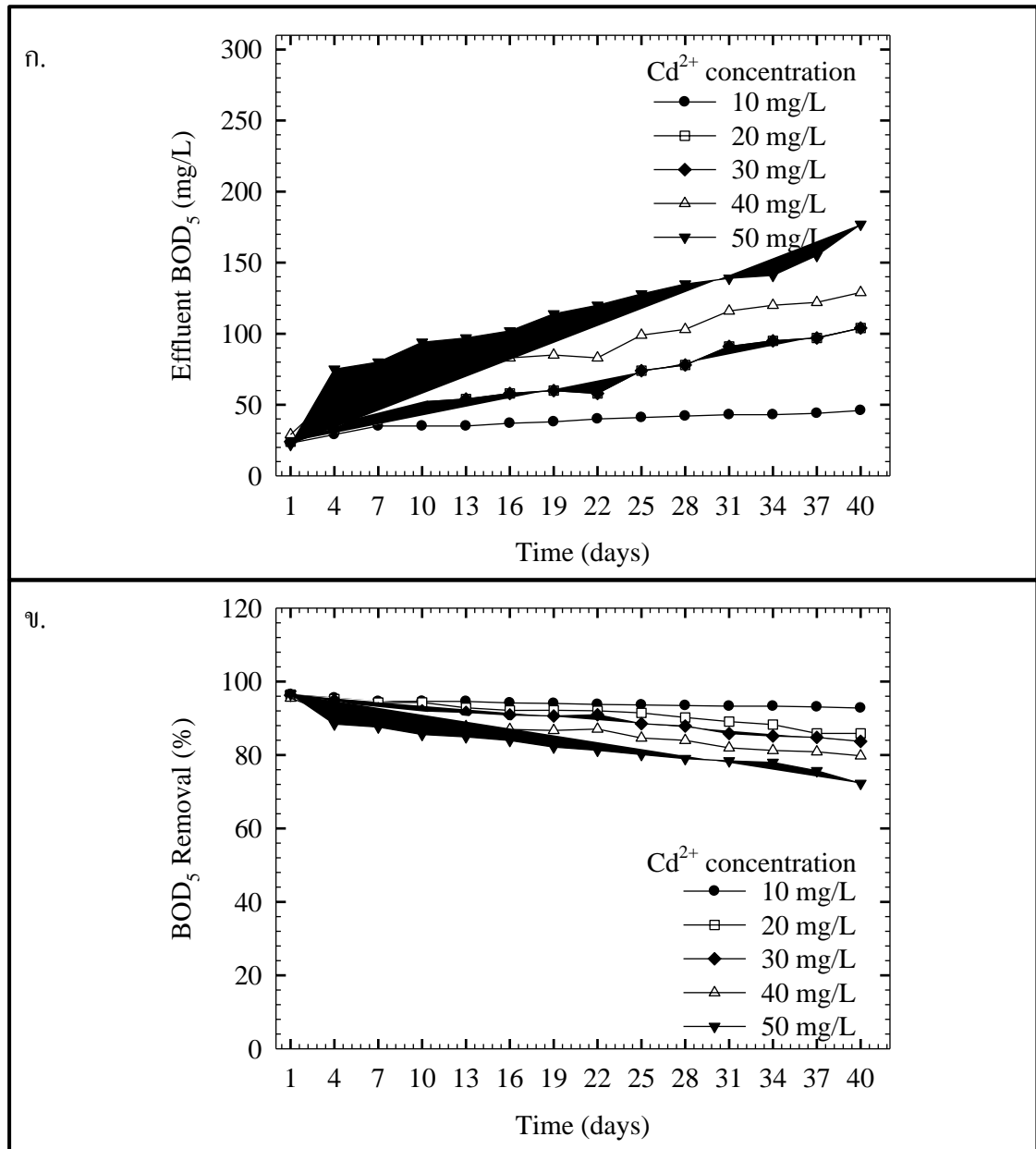
ก. ปริมาณซีโอไซด์หลังการบำบัดในน้ำเสียสังเคราะห์

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอไซด์ในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.3.3 ผลของความเข้มข้นของแคลเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัดบีโอดี

ปริมาณบีโอดีในน้ำเสียหลังการบำบัดบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ บำบัดน้ำเสีย จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของแคลเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้น ของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาดักเก็บน้ำเสีย 5 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้น ของแคลเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ในสถานะคงที่ มีปริมาณบีโอดีหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น  $41 \pm 3$ ,  $64 \pm 17$ ,  $77 \pm 19$ ,  $102 \pm 19$  และ  $131 \pm 24$  มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของแคลเมียม มีค่าบีโอดีหลังการบำบัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดีลดลงร้อยละ  $93.6 \pm 0.5$ ,  $90.0 \pm 2.6$ ,  $88.0 \pm 3.0$ ,  $84.1 \pm 3.0$  และร้อยละ  $79.6 \pm 3.8$  ที่ความเข้มข้น ของแคลเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เนื่องด้วยความเข้มข้นของแคลเมียม ที่เพิ่มขึ้น ทำให้จุลินทรีย์การสะสมแคลเมียมมากขึ้นทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการย่อยสลาย ของจุลินทรีย์ และทำให้จุลินทรีย์ตายลง ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีจึงลดลง สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Sirianuntapiboon and Boonchupleing [37] ศึกษาการกำจัดนิเกิลและตะกั่วในระบบเอสปีอาร์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและนิเกิลในน้ำเสียประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีลดลงร้อยละ 5-4



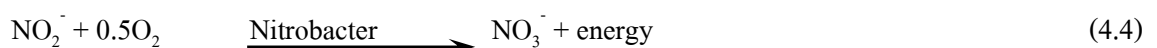
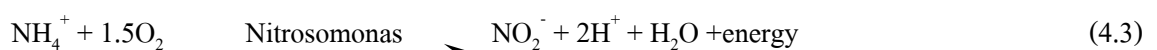
**รูปที่ 4.13** ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 5 วัน

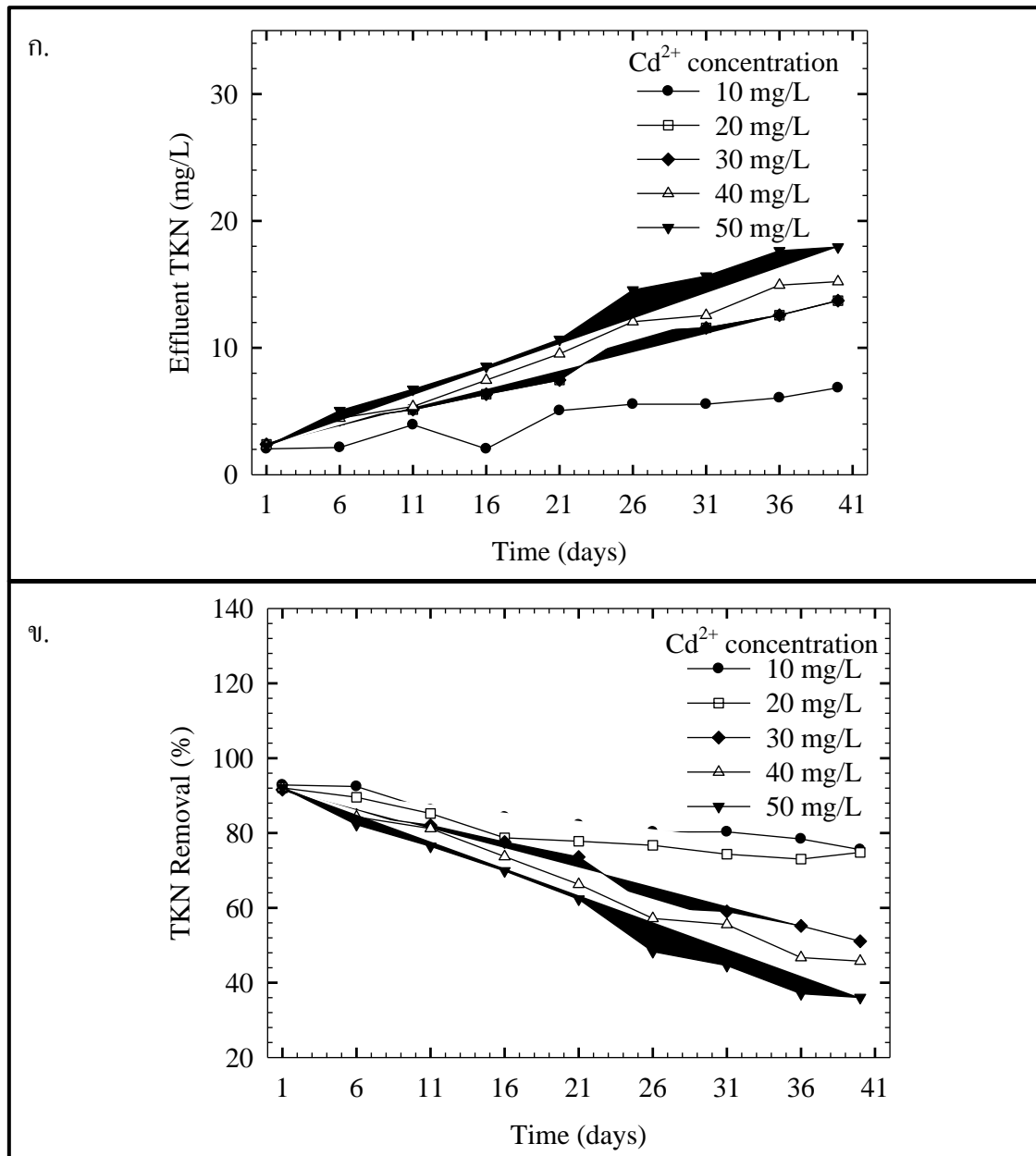
ก. ปริมาณบีโอดีหลังการบำบัดในน้ำเสียสังเคราะห์

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.3.4 ผลของความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจน

ผลของความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจน จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ มีปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนหลังการบำบัดที่สภาวะคงที่เพิ่มขึ้น  $5.0 \pm 1.6$ ,  $6.4 \pm 1.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนร้อยละ  $81.0 \pm 3.6$  และ  $77.2 \pm 4.0$  ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรในสภาวะคงที่ และความเข้มข้นของแคะเมียม 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนที่สภาวะคงที่ (วันที่ 11-21 ของการทดลอง) มีปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจน  $6.3 \pm 1.2$ ,  $7.5 \pm 2.1$ ,  $8.6 \pm 2.0$  มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ  $77.8 \pm 4.2$ ,  $73.7 \pm 7.5$  และ  $69.5 \pm 7.1$  หลังจากนั้นประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนลดลง โดยมีปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัดที่  $12.3 \pm 1.1$ ,  $13.7 \pm 1.6$  และ  $16.5 \pm 1.6$  มีประสิทธิภาพร้อยละ  $56.3 \pm 4.1$ ,  $51.3 \pm 5.9$  และ  $41.5 \pm 5.9$  ตามลำดับ จากตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่ความเข้มข้นของแคะเมียมต่างๆ พบว่าที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด  $23.5 \pm 0.7$ ,  $24.7 \pm 2.8$  และ  $22.3 \pm 1.7$  ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ  $17.6 \pm 2.8$ ,  $13.1 \pm 3.3$  และ  $22.2 \pm 6.1$  ตามลำดับ เนื่องจากเนื่องด้วยปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นจะยับยั้งหรือทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรียหรือทำให้ช้าลง จึงเกิดการสะสมของไนไตรต์ อันเนื่องมาจากแบคทีเรียพวกไนโตรโซโมแนส (*Nitrosomonas* bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียไอออนไปเป็นไนไตรต์ ซึ่งไนโตรโซโมแนสแบคทีเรียมีความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักมากกว่าไนโตรแบคเตอร์แบคทีเรีย (*Nitrobacter* bacteria) ที่เปลี่ยนไนไตรต์ไอออนให้เป็นไนเตรตไอออน ดังนั้นปริมาณไนไตรต์จึงเพิ่มขึ้น และไนเตรตลดลง และหากกระบวนการไนตริฟิเคชันหยุดลง ทำให้ไม่สามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียได้ และกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์และไนเตรตจะหยุดลง [4] โดยการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน หรือแอมโมเนียออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไตรต์ และปฏิกิริยาไนไตรต์ออกซิเดชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนไตรต์ให้เป็นไนเตรต ดังสมการ [43]





รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดที่เคเอ็นกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 5 วัน

ก. แสดงปริมาณที่เคเอ็นในโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด

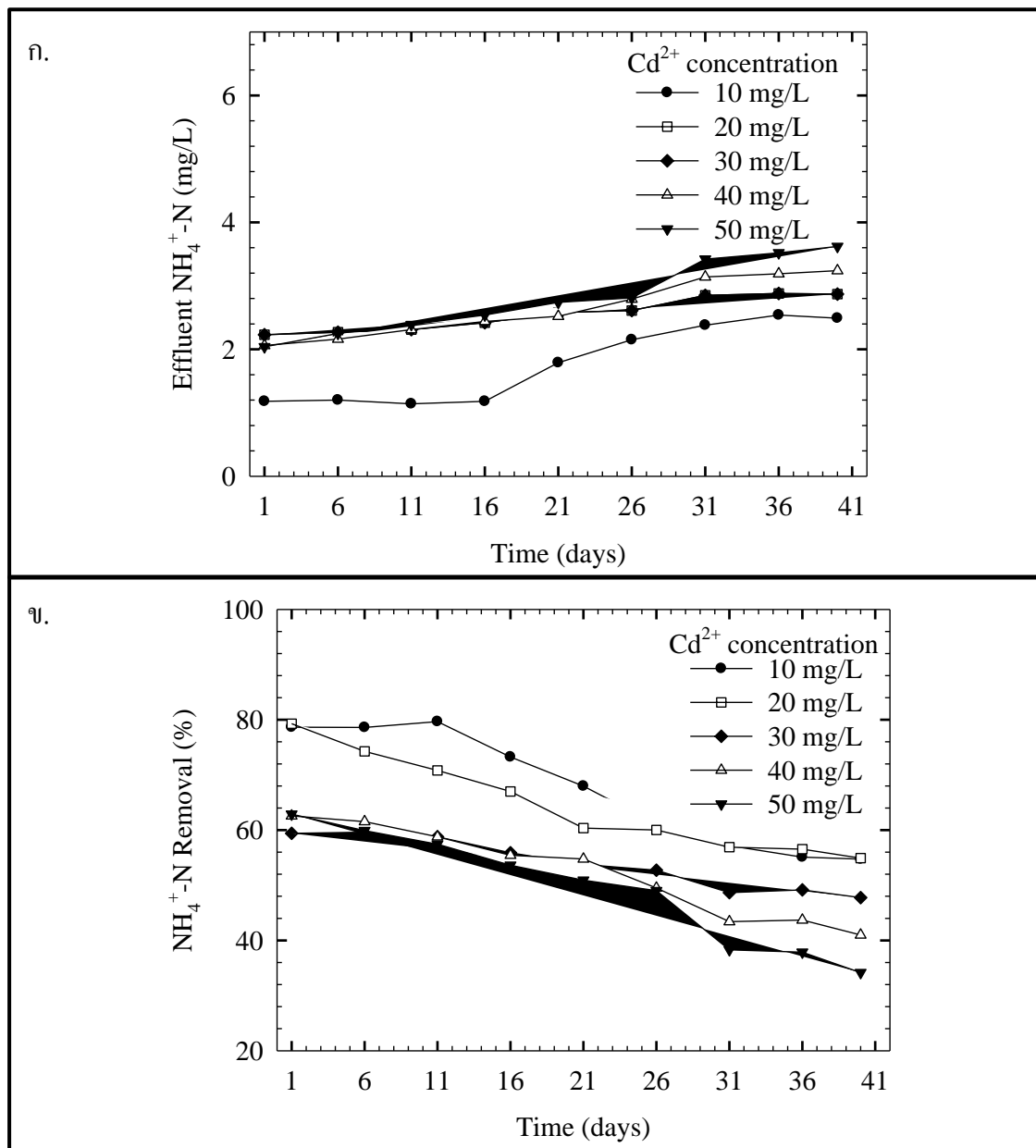
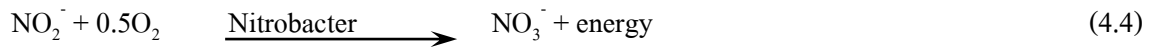
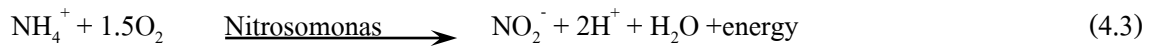
ข. ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์

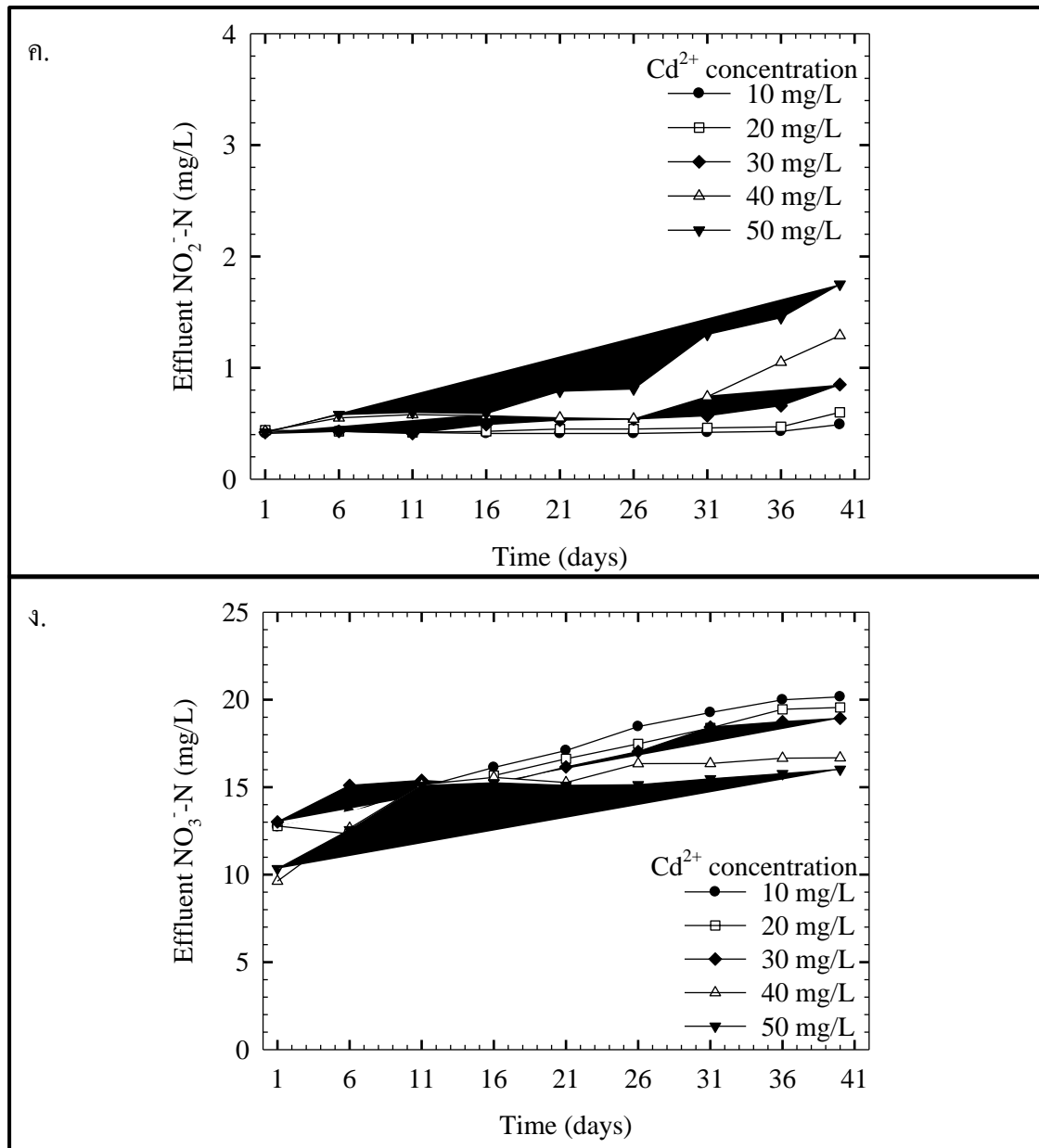
#### 4.3.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนหลังการบำบัดที่สภาวะคงที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคะเมียมเพิ่มขึ้นดังนี้  $2.1 \pm 0.5$  และ  $2.3 \pm 0.3$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพร้อยละ  $61.6 \pm 7.6$  และ  $59.3 \pm 4.3$  ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียสังเคราะห์แคะเมียมที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงแรกที่สภาวะคงที่ (วันที่ 16-26 ของการทดลอง) มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัด  $2.5 \pm 0.1$ ,  $2.6 \pm 0.2$  และ  $2.7 \pm 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ  $54.1 \pm 1.6$ ,  $53.2 \pm 3.3$  และ  $51.2 \pm 2.3$  ตามลำดับ หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียลดลง โดยมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัด  $2.9 \pm 0.0$ ,  $3.2 \pm 0.1$  และ  $3.5 \pm 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ  $48.5 \pm 0.7$ ,  $42.7 \pm 1.5$  และ  $36.8 \pm 2.3$  ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องด้วยแคะเมียมมีพิษต่อจุลินทรีย์โดยยับยั้งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียมทำให้มีพิษต่อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง

เมื่อพิจารณาสารประกอบไนโตรเจนในรูปไนไตรต์ไนโตรเจน พบว่าปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจน  $0.42 \pm 0.29$ ,  $0.47 \pm 0.05$ ,  $0.57 \pm 0.14$ ,  $0.76 \pm 0.29$  และ  $1.04 \pm 0.45$  มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่มีปริมาณ  $17.02 \pm 0.46$ ,  $17.03 \pm 0.70$ ,  $16.11 \pm 0.50$ ,  $15.36 \pm 0.05$  และ  $15.16 \pm 0.5$  มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการยับยั้งหรือทำให้แบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟอิงเจอร์ริเดียมโตช้าลง จึงส่งผลให้เกิดการสะสมของไนไตรต์ อันเนื่องมาจากแบคทีเรียพวกไนโตรโซโมนาสแบคทีเรีย (Nitrosomonas bacteria) ที่เปลี่ยนแอมโมเนียไอออนไปเป็นไนไตรต์มีความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักมากกว่าไนโตรแบคทีเรียแบคทีเรีย (Nitrobacter bacteria) ที่เปลี่ยนไนไตรต์ไอออนให้เป็นไนเตรตไอออน ดังนั้นปริมาณไนไตรต์จึงเพิ่มขึ้น และไนเตรตลดลง [4] โดยการเกิดปฏิกิริยานิทริฟิเคชัน หรือ

แอมโมเนียมออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไตรต์ และปฏิกิริยาไนไตรต์ออกซิเดชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนไตรต์ให้เป็นไนเตรต ดังสมการ [43]





รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาดักเก็บน้ำเสีย 5 วัน

ก. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

ค. ปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

ง. ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

ตารางที่ 4.8 แสดงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

Cd <sup>2+</sup> concentration (mg/L)	TKN			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		TN		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
10	28.2±0.2	5.0±1.6	81.0±3.6	5.5±0.1	2.1±0.5	61.6±7.6	0.12±0.00	0.42±0.29	0.22±0.00	17.02±0.46	28.5±0.1	23.5±0.7	17.6±2.8
20	28.2±0.2	6.4±1.1	77.2±4.0	5.5±0.1	2.3±0.3	59.3±4.3	0.12±0.00	0.47±0.29	0.22±0.00	17.03±0.7	28.5±0.1	24.77±2.8	13.1±3.3
30	28.4±0.2	6.3±1.2	77.8±4.2	5.5±0.1	2.5±0.1	54.1±1.6	0.12±0.00	0.57±0.14	0.22±0.00	16.11±0.5	28.5±0.1	22.37±1.7	22.2±6.1
	28.1±0.1	12.3±1.1	56.3±4.1	5.6±2.5	2.9±0.1	48.5±0.7	-	-	-	-	-	-	-
40	28.4±0.2	7.5±2.1	73.7±7.5	5.5±0.1	2.6±0.2	53.2±3.3	0.12±0.00	0.76±0.29	0.22±0.00	15.36±0.05	28.5±0.1	23.3±2.1	18.9±7.7
	28.1±0.1	13.7±1.6	51.3±5.9	5.5±0.0	3.2±0.1	42.7±1.5	-	-	-	-	-	-	-
50	28.4±0.2	8.6±4.80	69.5±7.1	5.5±0.1	2.7±0.1	51.2±2.3	0.12±0.00	1.04±0.45	0.22±0.00	15.16±0.05	28.5±0.1	24.4±2.1	14.9±7.7
	28.1±0.1	16.5±1.6	41.5±5.9	5.5±0.0	3.5±0.1	36.8±2.3	-	-	-	-	-	-	-

#### 4.3.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แคะเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ จากตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 5 วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียม  $9\pm 2$ ,  $14\pm 7$ ,  $28\pm 6$ ,  $39\pm 10$  และ  $57\pm 7$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าดัชนีปริมาตรตะกอน  $62\pm 4$ ,  $56\pm 6$ ,  $74\pm 7$ ,  $64\pm 4$  และ  $61\pm 6$  มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีปริมาตรตะกอนอยู่ในช่วงระหว่าง 57-64 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการอัดตัวของตะกอนดี (Sludge Volume Index; SVI มีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาณตะกอนส่วนเกินลดลง  $167\pm 36$ ,  $162\pm 23$ ,  $102\pm 21$ ,  $88\pm 22$  และ  $53\pm 6$  1 มิลลิกรัมต่อลิตร และอายุของตะกอนเพิ่มขึ้น  $16\pm 4$ ,  $16\pm 2$ ,  $57\pm 3$ ,  $43\pm 3$  และ  $41.4\pm 4$  วัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องแคะเมียมมีการยับยั้งการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ โดยยับยั้งกระบวนการ P-Type ase ในการส่งผ่านโปรตีนเข้าสู่เซลล์โดยการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งอาศัยพลังงานจากกระบวนการ ATP hydrolysis และยับยั้งกระบวนการ CBA transporter ในการส่งผ่านโปรตีนที่มีความสำคัญต่อ RNA ผ่านผนังเซลล์ในแบคทีเรียแกรมลบ [44] เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียมทำให้มีการเจริญเติบโตช้าลง เมื่อปริมาณแคะเมียมที่สูงมากทำให้เกิดการเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ทำให้ยับยั้งกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และทำให้จุลินทรีย์ตายได้ ส่งผลความเข้มข้นของแคะเมียมในตะกอนจุลินทรีย์ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนี้  $0.14\pm 0.03$ ,  $0.21\pm 0.05$ ,  $0.15\pm 0.04$ ,  $0.08\pm 0.02$  และ  $0.06\pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคะเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียมประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและบีโอดีลดลง และเกิดของตะกอนส่วนเกินลดลง ส่งผลให้อายุตะกอนเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกอนมีการตาย ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคะเมียมลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของแคะเมียมที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ทำให้ระบบล้มเหลว ประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมร้อยละ  $81.6\pm 7.6$  และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี บีโอดี และ ทีเคเอ็นในโตรเจนร้อยละ  $94.7\pm 2.0$ ,  $90.0\pm 2.6$  และ  $77.2\pm 4.0$  ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียตั้งเคราะห์ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

Cd <sup>2+</sup> concentration (mg/L)	SS (mg/L)	SVI (mL/g)	Excess sludge (mg/L)	SRT (d)	F/M (kg <sub>BOD</sub> /kg <sub>MLSS</sub> )	Cd <sup>2+</sup> Sludge (mg/g)	pH
10	9±2	62±4	167±36	16±4	0.05±0.00	0.14±0.03	7.17±0.01
20	14±7	56±6	162±23	16±2	0.05±0.00	0.21±0.05	7.12±0.01
30	28±6	74±7	102±21	57±3	0.06±0.00	0.15±0.04	6.73±0.01
40	39±10	67±4	88±22	43±3	0.06±0.00	0.08±0.02	6.54±0.01
50	57±7	61±6	53±6	41±4	0.06±0.00	0.06±0.01	6.75±0.02

#### 4.4 การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิกในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ใช้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์จากการทดลอง 4.1 และระยะเวลาเก็บน้ำเสียที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4.2 ดังนี้ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิก 6 : 13, 8 : 11 และ 10 : 9 ชั่วโมง

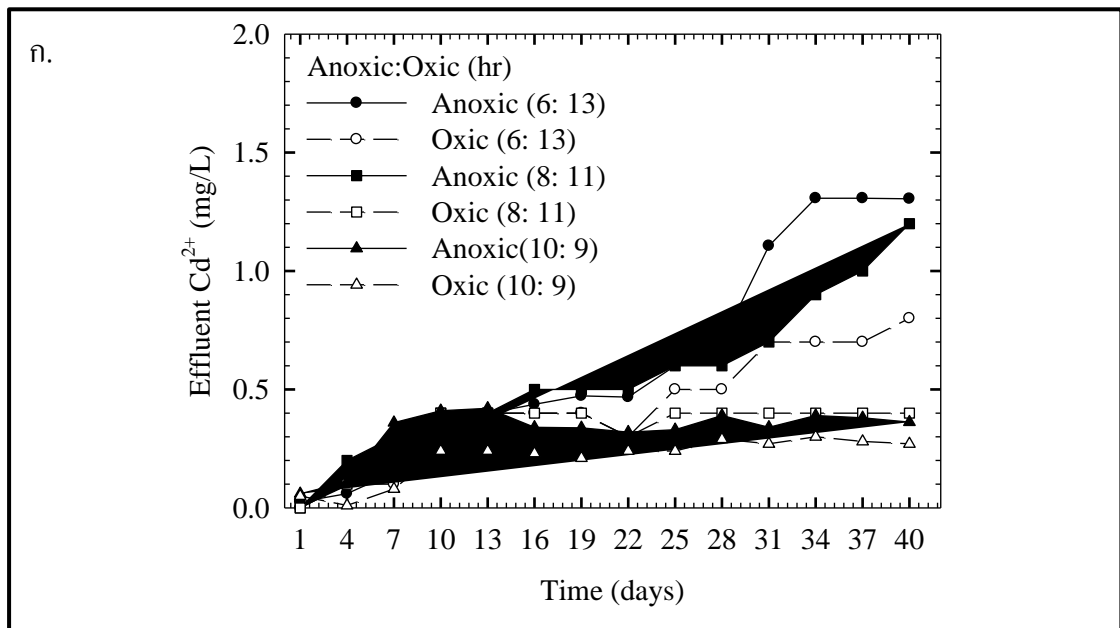
ตารางที่ 4.10 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกและออกซิกในการกำจัดแคดเมียม

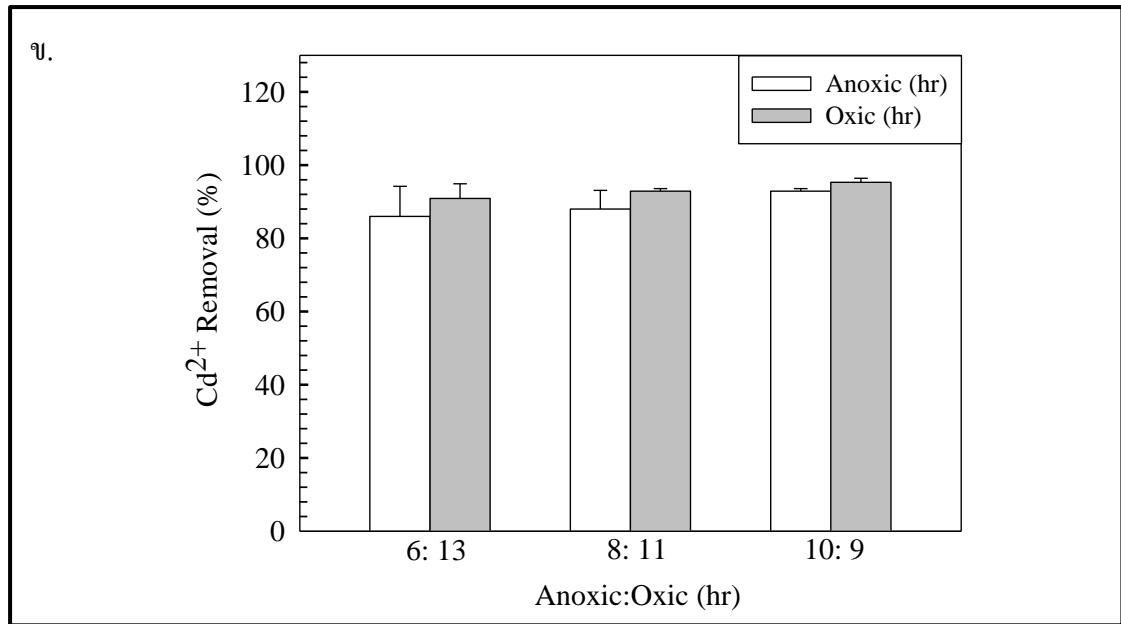
ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์	1	2	3
สัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิก (ชม.)	6: 13	8: 11	10: 9
ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (มก./ล)	2,000	2,000	2,000
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	5	5	5
ปริมาตรน้ำในถังทดลอง (มล.)	7,500	7,500	7,500
ปริมาตรน้ำเสียที่ป้อนเข้า (มล./วัน)	1,500	1,500	1,500
ปริมาตรน้ำทิ้งที่ระบาย (มล./วัน)	1,500	1,500	1,500
อัตราการแคดเมียม ( $Cd^{2+}$ ) (มก./ลบ.ม.·วัน)	7.5	7.5	7.5
อัตราการบีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	0.9	0.9	0.9
อัตราการซีโอดี (ก./ลบ.ม.·วัน)	1.35	1.35	1.35

##### 4.4.1 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ จากรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์กับสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสภาวะแอนออกซิกมีปริมาณแคดเมียมดังนี้  $0.7 \pm 0.4$ ,  $0.6 \pm 0.3$  และ  $0.4 \pm 0.0$

มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพร้อยละ 86.0±8.2, 88.0±5.1 และ 92.9±0.7 ที่สัดส่วนระยะเวลา แอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ และที่สภาวะออกซิกในสภาวะคงที่มี ปริมาณแคะเดมียม 0.5±0.2, 0.4±0.0 และ 0.2±0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพร้อยละ 90.9±4.0, 92.9±0.7 และ 95.3±1.1 ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ ในการดำเนินระบบที่มีสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกสามารถกำจัดแคะเดมียมได้ ตั้งแต่ช่วงแรกของระยะเวลาแอนอกซิก และบำบัดได้อีกเล็กน้อยในช่วงระยะเวลาออกซิก โดยที่ สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัดแคะเดมียมมากที่สุด



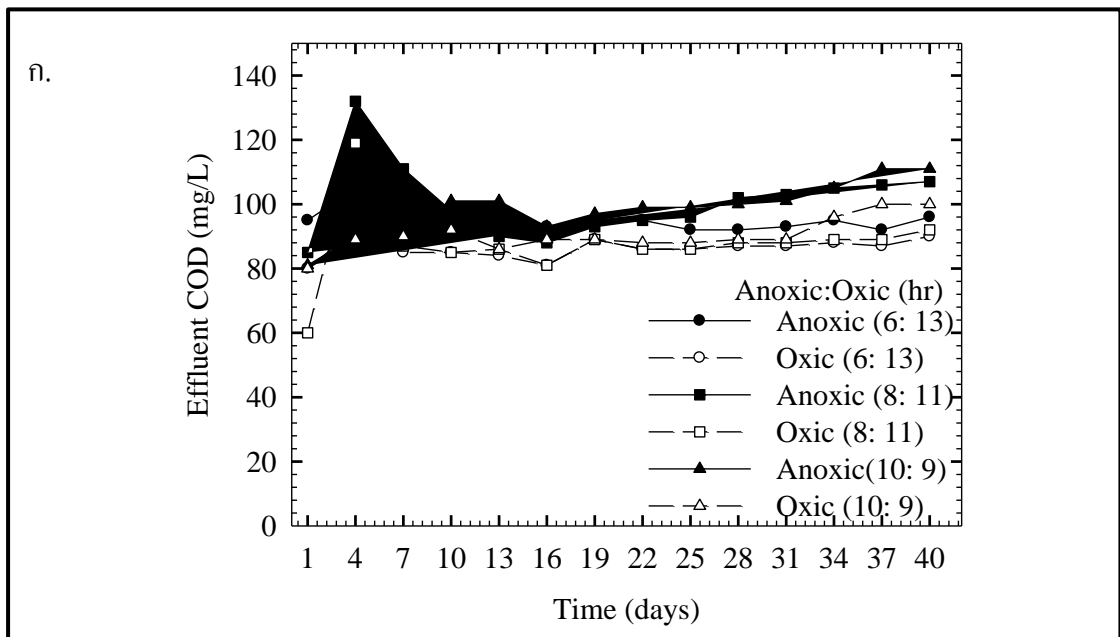


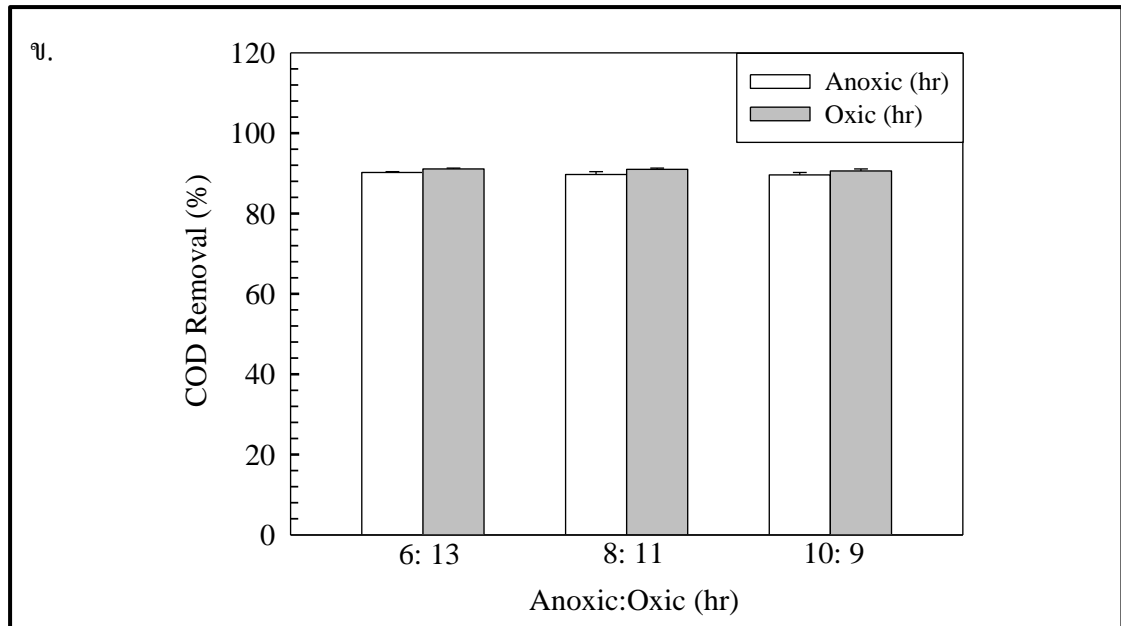
- รูปที่ 4.16** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกและออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ก. ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด
- ข. ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะคงที่

#### 4.4.2 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ จากรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าในช่วงแอนอกซิกในสภาวะคงที่มีปริมาณซีโอดีดังนี้  $94 \pm 2$ ,  $99 \pm 7$  และ  $101 \pm 6$  มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ  $90.2 \pm 0.2$ ,  $89.7 \pm 0.7$  และ  $89.6 \pm 0.6$  และช่วงออกซิกมีปริมาณซีโอดีดังนี้  $86 \pm 3$ ,  $87 \pm 3$  และ  $90 \pm 6$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีร้อยละ  $91.1 \pm 0.2$ ,  $91.1 \pm 0.3$  และ  $90.6 \pm 0.5$  ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกน้อยมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมากที่สุดร้อยละ  $91.1 \pm 0.2$  ที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13

ชั่วโมง เนื่องจากในสภาวะออกซิเจนจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้ ออกซิเจนอิสระ (Aerobic bacteria) มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ มากกว่าแบคทีเรียในจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (Anaerobic bacteria และ Facultative bacteria) เนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้ ออกซิเจนมีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่า แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ทำให้การดำเนินระบบที่มีช่วงระยะเวลาแอนออกซิกมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีน้อยกว่าช่วงระยะเวลาออกซิก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alessandro spani [45] ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนโดยการเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ในระบบเอสบีอาร์ ในการกำจัดน้ำชะขยะชุมชน พบว่าในการควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนมากกว่าร้อยละ 98 ซีโอดีมากกว่าร้อยละ 20 โดยอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ การเพิ่มซีโอดีจากภายนอกเป็นการเพิ่มกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ในช่วงแอนออกซิกยับยั้งการเกิดกระบวนการออกซิเดชันในการเปลี่ยนแอมโมเนียในโตรเจนให้เป็นไนเตรต และสนับสนุนกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นไนไตรต์





**รูปที่ 4.17** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกและออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

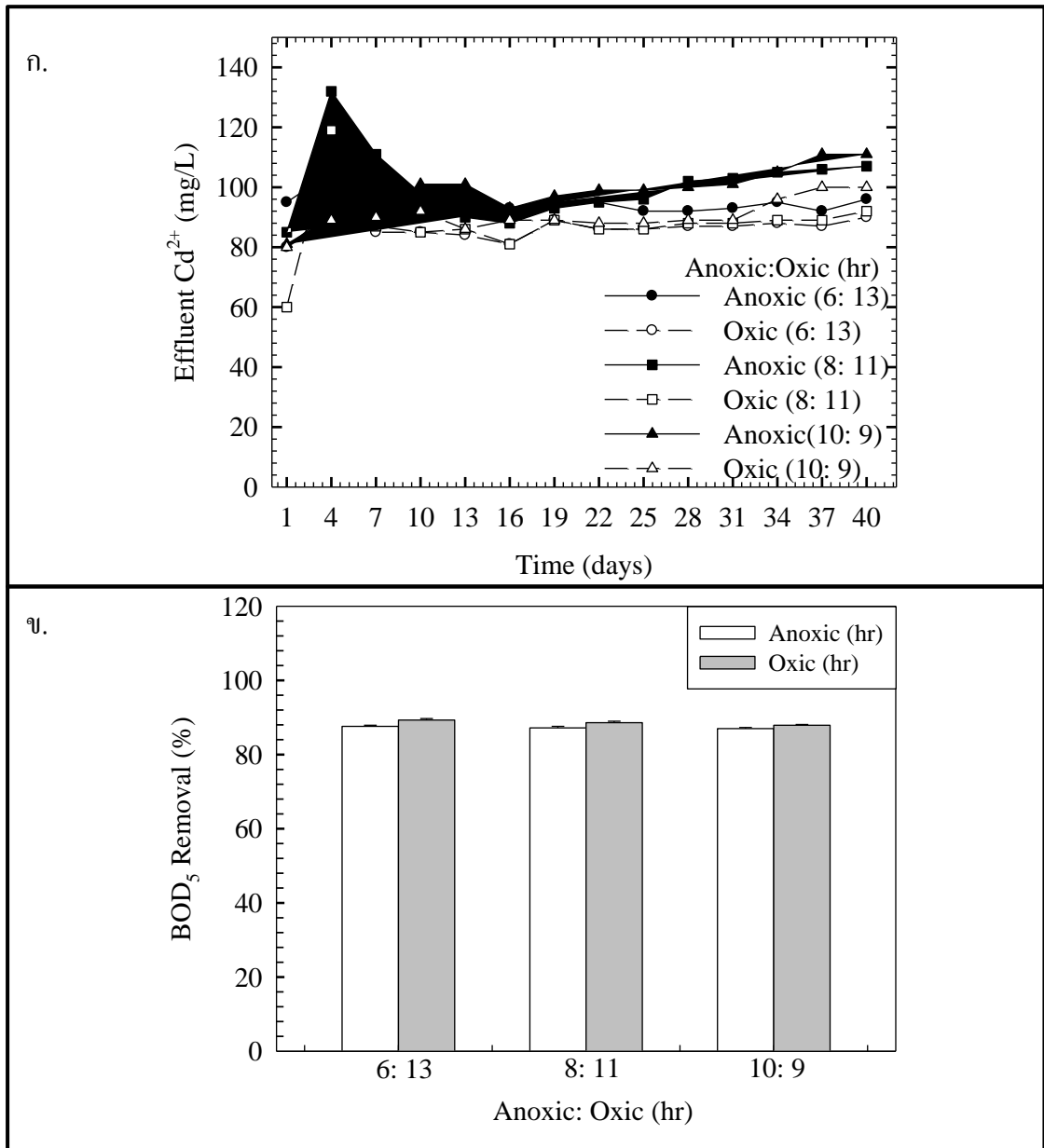
ก. ปริมาณซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด

ข. ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะคงที่

#### 4.4.3 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ จากรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6:13, 8:11 และ 10:9 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะคงที่พบว่าสภาวะแอนอกซิกมีปริมาณบีโอดี  $79 \pm 2$ ,  $82 \pm 3$  และ  $83 \pm 2$  มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ  $87.6 \pm 0.3$ ,  $87.2 \pm 0.4$  และ  $87.0 \pm 0.3$  ที่สภาวะออกซิกมีปริมาณบีโอดี  $68 \pm 2$ ,  $73 \pm 2$  และ  $78 \pm 2$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ  $89.3 \pm 0.4$ ,  $88.6 \pm 0.3$  และ  $87.9 \pm 0.2$  ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องด้วยในสภาวะออกซิก จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) การเจริญเติบโตและการย่อยสลายสารอินทรีย์ มากกว่าแบคทีเรียแบบที่เรียในกรณีที่ไม่มีใช้

ออกซิเจนอิสระ (Anaerobic bacteria และ Facultative bacteria) ซึ่งช่วงระยะเวลาแอนอกซิกที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีน้อยกว่าช่วงระยะเวลาออกซิกเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีพบว่าที่สัดส่วนภาวะแอนอกซิกต่อออกซิกมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันร้อยละ 86



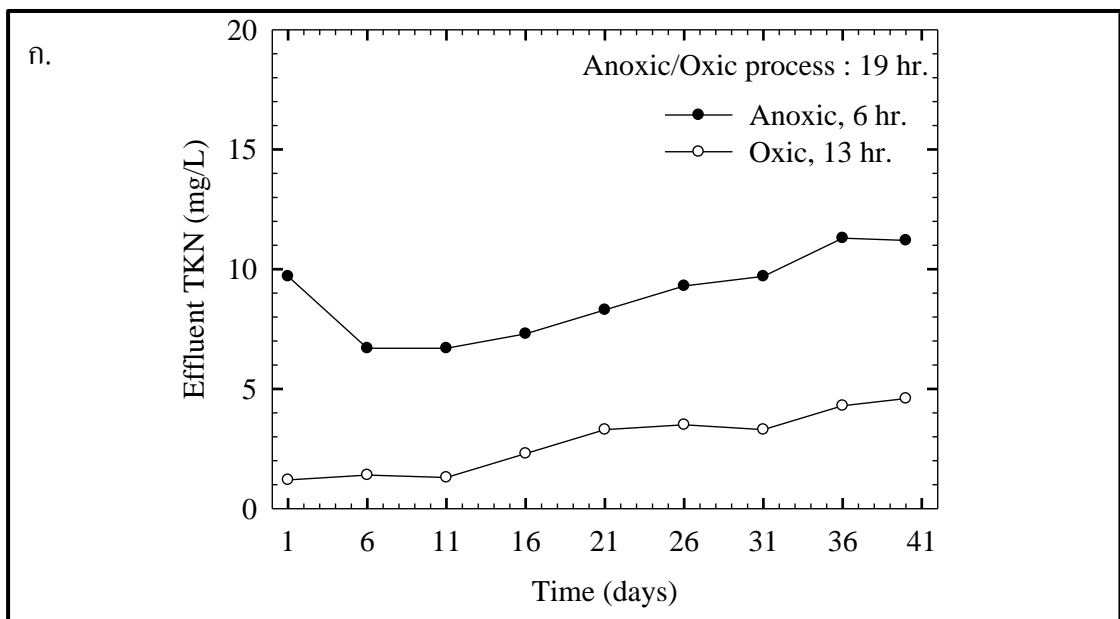
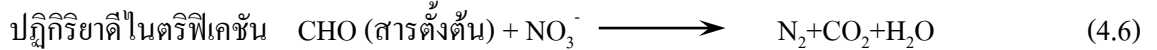
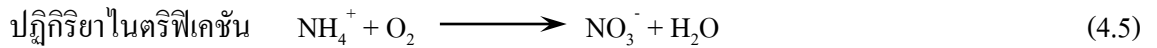
**รูปที่ 4.18** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

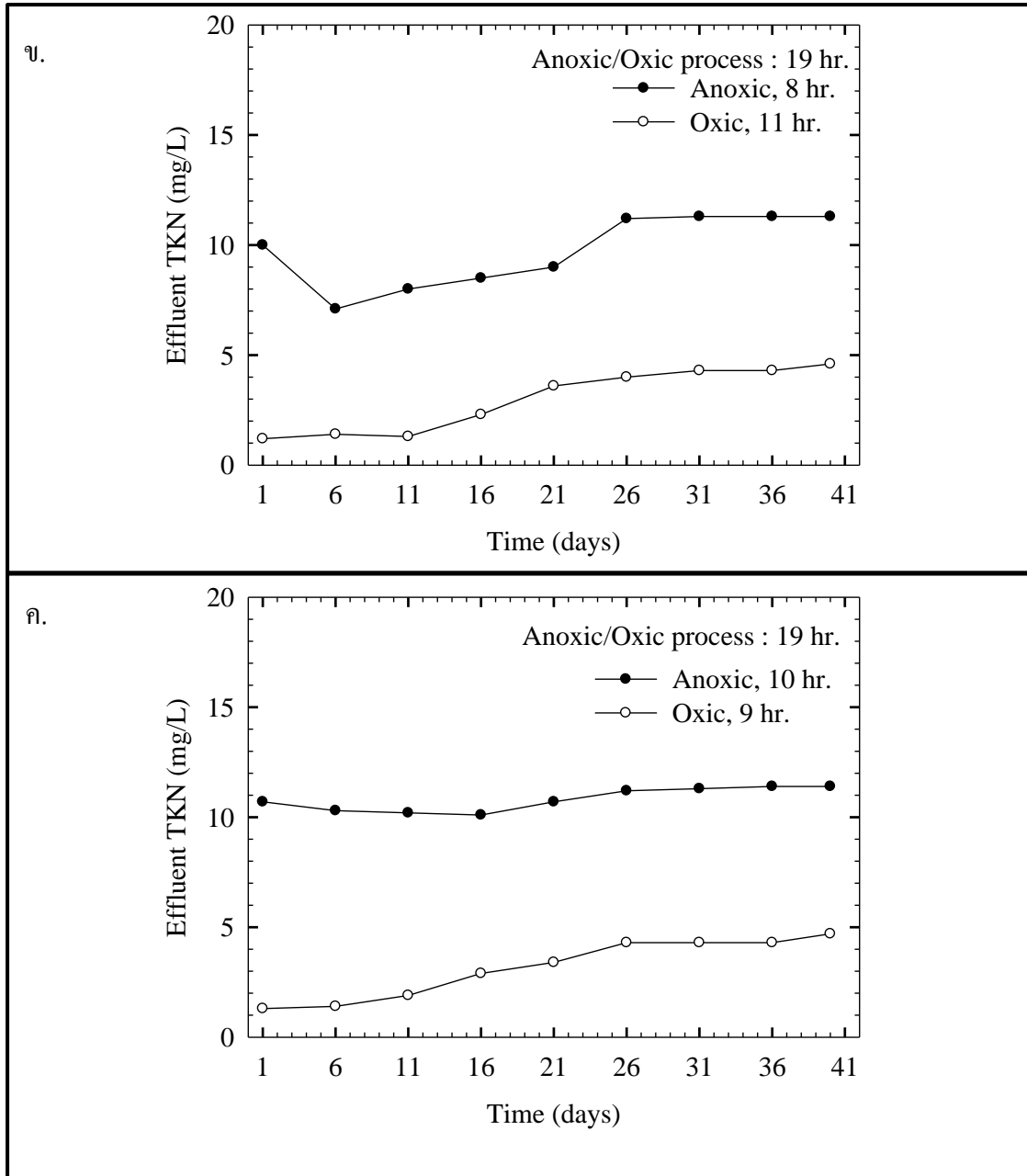
ก. ปริมาณบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด

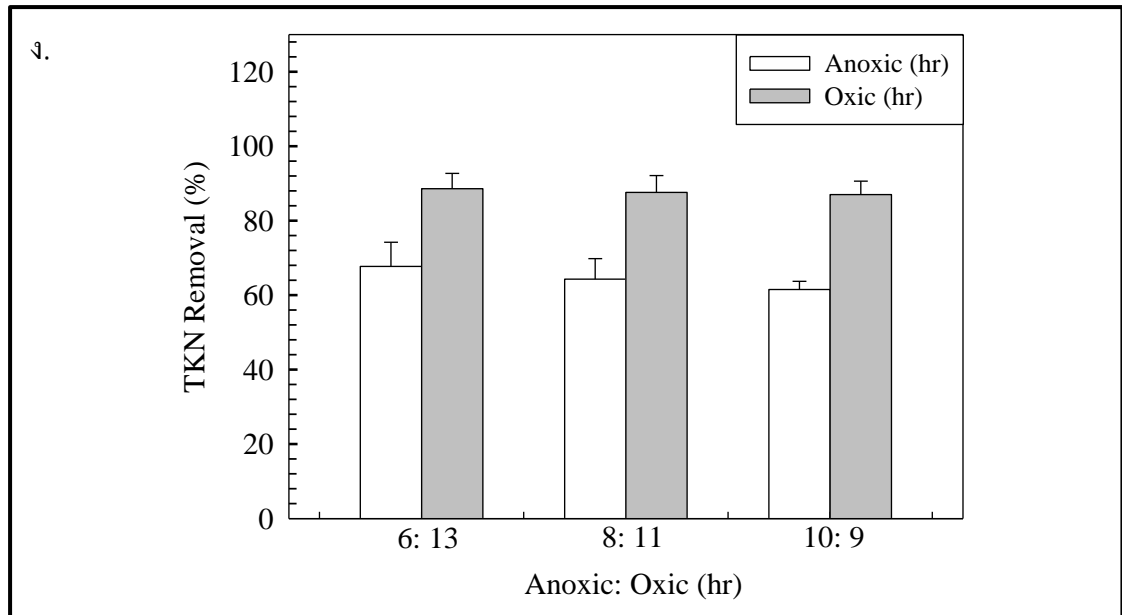
ข. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะคงที่

#### 4.4.4 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลของการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก จากรูปที่ 4.19 พบว่าเมื่อเพิ่มช่วงระยะเวลาแอนอกซิกมีปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนในช่วงแอนอกซิกหลังการบำบัด ลดลง  $9.1 \pm 1.8$ ,  $10.1 \pm 1.5$  และ  $10.9 \pm 0.6$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพร้อยละ  $67.7 \pm 6.5$ ,  $64.3 \pm 5.5$  และ  $61.5 \pm 2.2$  ที่ช่วงเวลาออกซิกมีปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจน  $3.2 \pm 1.1$ ,  $3.5 \pm 1.2$  และ  $3.7 \pm 1.0$  มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพร้อยละ  $88.6 \pm 4.1$ ,  $87.6 \pm 4.5$  และ  $87.0 \pm 3.6$  ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6:13, 8:11 และ 10:9 ชั่วโมง ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าการดำเนินระบบที่มีช่วงแอนอกซิกและออกซิกสลับกัน มีประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนต่างกันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นในการดำเนินระบบช่วงแอนอกซิกและออกซิกสลับกันจึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจน เนื่องจากการดำเนินระบบที่มีช่วงแอนอกซิกสลับกับช่วงออกซิกทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันในระบบบำบัด โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นการย่อยสลายแอมโมเนียมไอออนหรือก๊าซแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตในสภาวะที่มีออกซิเจน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ดังสมการ [43]







**รูปที่ 4.19** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกและออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. ปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13 ชั่วโมง

ข. ปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 8: 11 ชั่วโมง

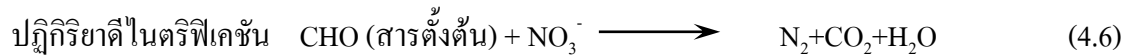
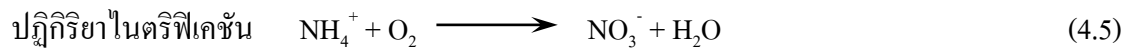
ค. ปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 9: 10 ชั่วโมง

ง. ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะคงที่ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

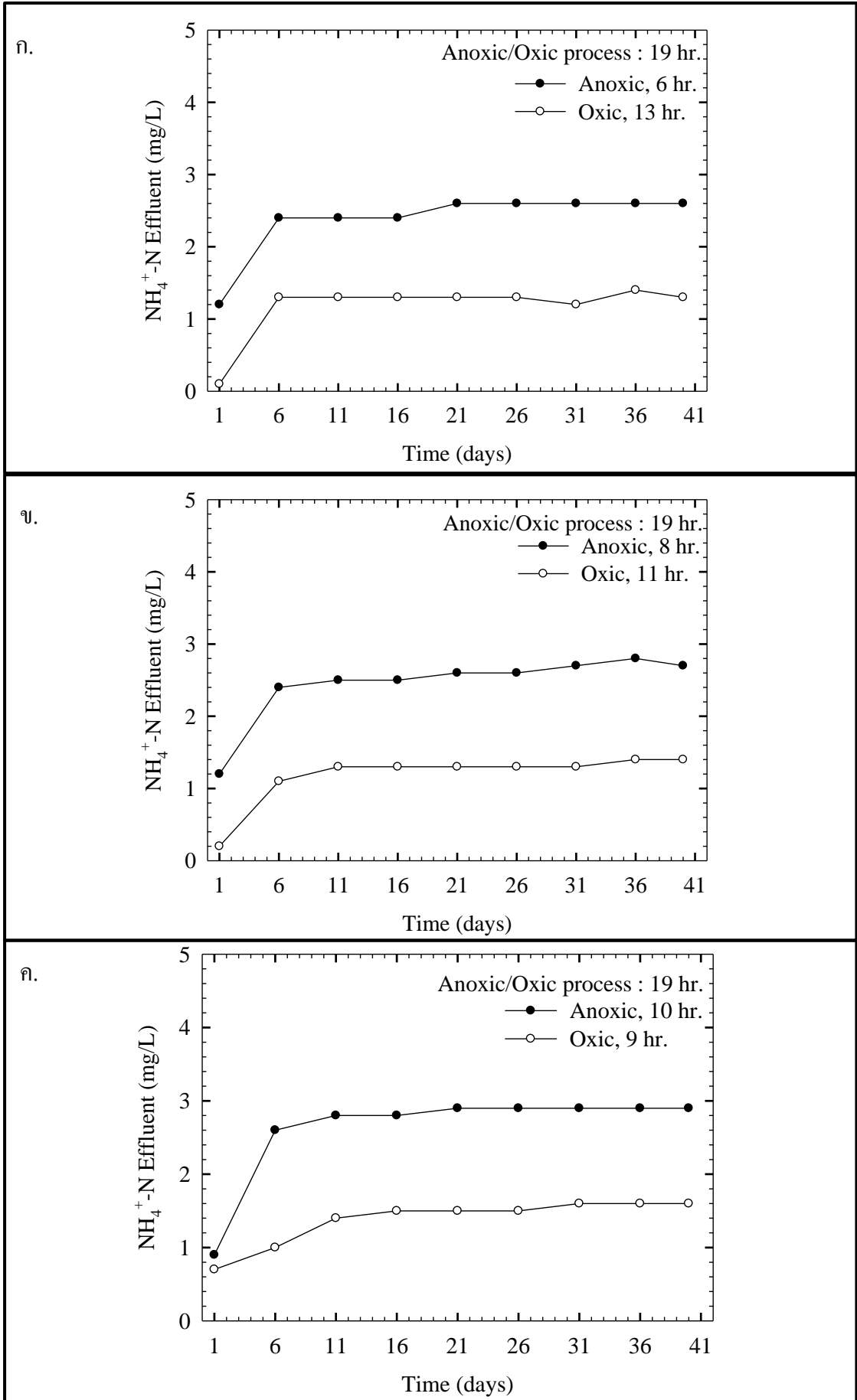
#### 4.4.5 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

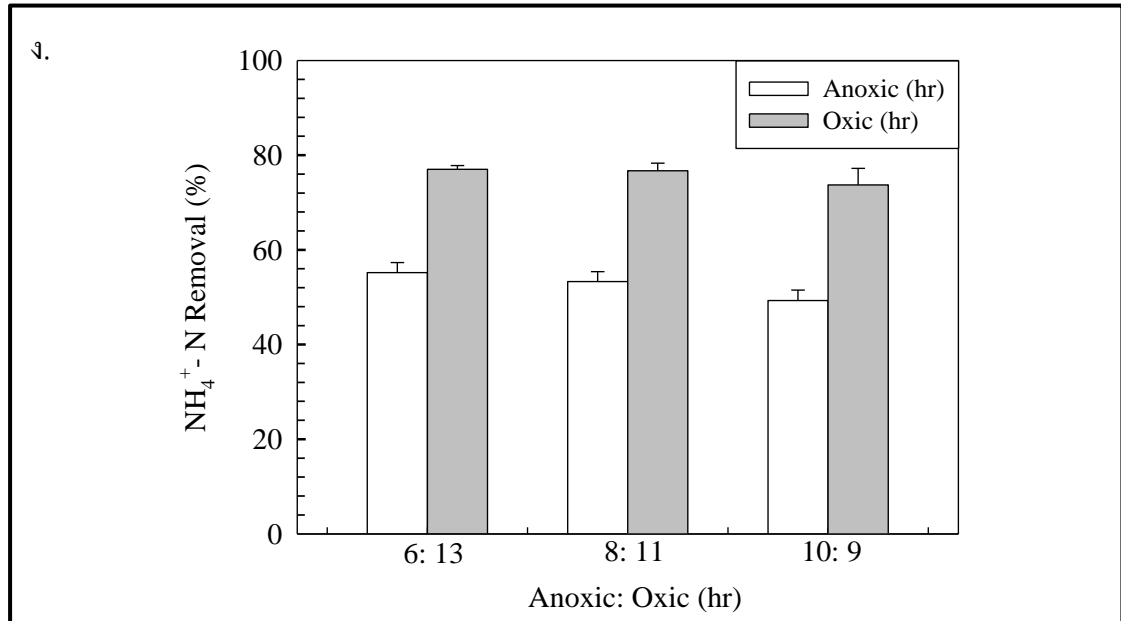
ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ จากรูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกและออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าเมื่อเพิ่มช่วงระยะเวลาแอนอกซิกมีปริมาณ

แอมโมเนียในโตรเจนหลังผ่านการบำบัดลดลง ช่วงระยะเวลาแอนออกซิกมีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนที่สถานะคงที่ดังนี้  $2.5 \pm 0.1$ ,  $2.6 \pm 0.1$  และ  $2.8 \pm 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนร้อยละ  $55.2 \pm 2.1$ ,  $53.3 \pm 2.1$  และ  $49.3 \pm 2.2$  ที่สถานะออกซิกมีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนหลังผ่านการบำบัดที่สถานะคงที่  $1.3 \pm 0.0$ ,  $1.3 \pm 0.1$  และ  $1.5 \pm 0.2$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจน ร้อยละ  $77.0 \pm 0.8$ ,  $76.7 \pm 1.6$  และ  $73.7 \pm 3.5$  ที่สัดส่วนภาวะแอนออกซิกต่อออกซิก 6: 13 ชั่วโมง 8: 11 ชั่วโมง และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนออกซิกมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนลดลงเนื่องจากการเกิดกระบวนการไนตริและดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในระบบบำบัด โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน เป็นการย่อยสลายแอมโมเนียในไอออนหรือก๊าซแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตในสถานะที่มีออกซิเจน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซในโตรเจน ดังสมการ [43]



สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chin- Nam Lei และคณะ [46] ในการศึกษากระบวนการกำจัดทางชีวภาพของ thin-film transistion liquid crstal display (TEF-LCD) ในน้ำเสียโดยใช้ แอโรบิก และ แอนออกซิก และออกซิก ในระบบซีเควนซึ่งแบทรีแอคเตอร์ พบว่าสามารถลดปริมาณแอมโมเนียโดยกระบวนการย่อยสลาย โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์และเปลี่ยนไนเตรตด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และในช่วยแอนออกซิกเปลี่ยนไนเตรตในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงสถานะออกซิกมีปริมาณมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้แบคทีเรีย Heterotrophic nitrifiers ในระบบที่มีออกซิเจนสมบูรณ์ ทำให้มีประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่สูง เนื่องจากกระบวนการออกซิเดชัน โดยแบคทีเรียไนโตรแบคทีเรียอ่อนไหวต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำทำให้ในระบบมีการสะสมของไนเตรต และเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน [42]



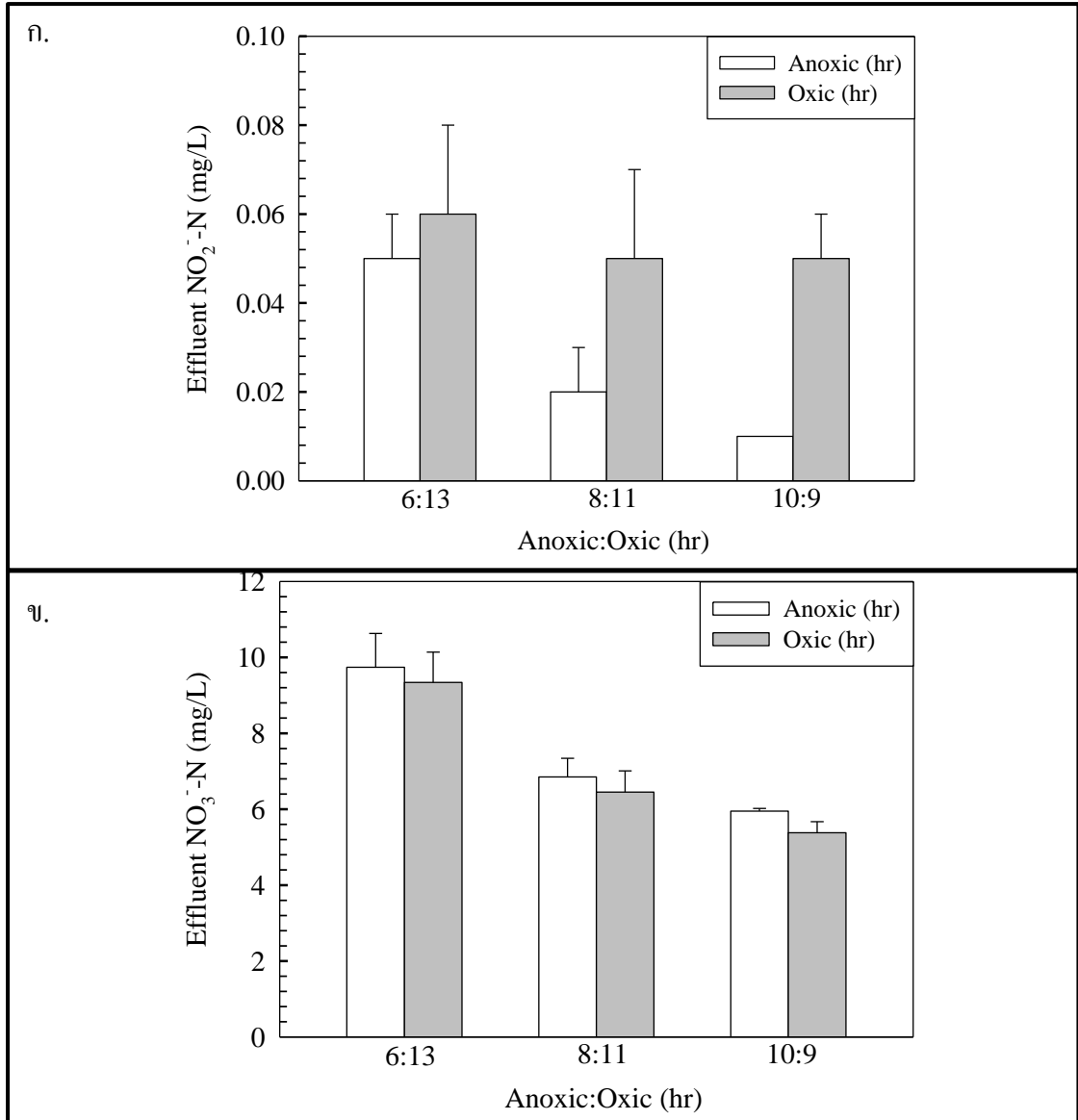
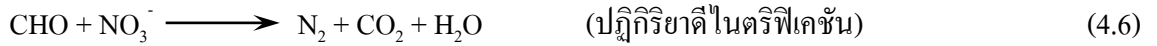
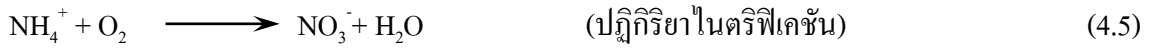


- รูปที่ 4.20** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์กับ  
 ระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกและออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง  
 ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ก. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัดที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อ  
 ออกซิก 6: 13 ชั่วโมง
- ข. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัดที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อ  
 ออกซิก 8: 11 ชั่วโมง
- ค. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัดที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อ  
 ออกซิก 10: 9 ชั่วโมง
- ง. ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะคงที่  
 ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8:11, 10: 9 ชั่วโมง

#### 4.4.6 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียมที่สัดส่วนระยะเวลา แอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.21 แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดในสภาวะคงที่ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนไตรต์หลังผ่านการบำบัดลดลง โดยมีปริมาณไนไตรต์ในน้ำเข้า  $0.12 \pm 0.11$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนไตรต์หลังผ่านการบำบัดในสภาวะคงที่ดังนี้  $0.05 \pm 0.01$ ,  $0.02 \pm 0.01$  และ  $0.01 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ตามลำดับ เนื่องจากไนไตรต์ในโตรเจนเป็นอินทรีย์ที่ไม่คงตัว และสามารถเปลี่ยนเป็นไนเตรตในโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว [38] ในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้นหลังผ่านการบำบัด โดยมีปริมาณไนเตรตน้ำเข้า  $0.22 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณไนเตรตหลังผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่ ดังนี้  $9.34 \pm 0.80$ ,  $6.45 \pm 0.56$  และ  $5.38 \pm 0.29$  มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ

พิจารณาตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่  $12.2 \pm 2.5$ ,  $9.7 \pm 2.1$  และ  $9.0 \pm 1.4$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ  $59.3 \pm 5.6$ ,  $67.5 \pm 4.8$  และ  $70.0 \pm 2.6$  ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนอกซิกมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการดำเนินระบบที่มีสภาวะแอนอกซิกทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ที่เปลี่ยนไนไตรต์ในโตรเจนให้เป็นไนโตรเจนแก๊ส ทำให้มีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในระบบลดลง ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดจึงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodriguez และ Mesa [47] ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียโดยใช้ไนตริฟิอิงแบคทีเรียและดีไนตริฟิอิงแบคทีเรียในระบบเอสบีอาร์พบว่า มีประสิทธิภาพบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 60-75 เนื่องจากในช่วงออกซิก มีกระบวนการย่อยสลายแอมโมเนียภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจนให้เป็นไนเตรต และในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในสภาวะแอนอกซิกจะเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ดังสมการ [43] โดยการเพิ่มช่วงแอนอกซิกทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการเปลี่ยนไนไตรต์ในโตรเจนให้เปลี่ยนเป็นไนโตรเจนแก๊ส ( $N_2$ ) [45]



**รูปที่ 4.21** แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในสภาวะคงที่ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

ก. ปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนหลังการบำบัดในสภาวะคงที่ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

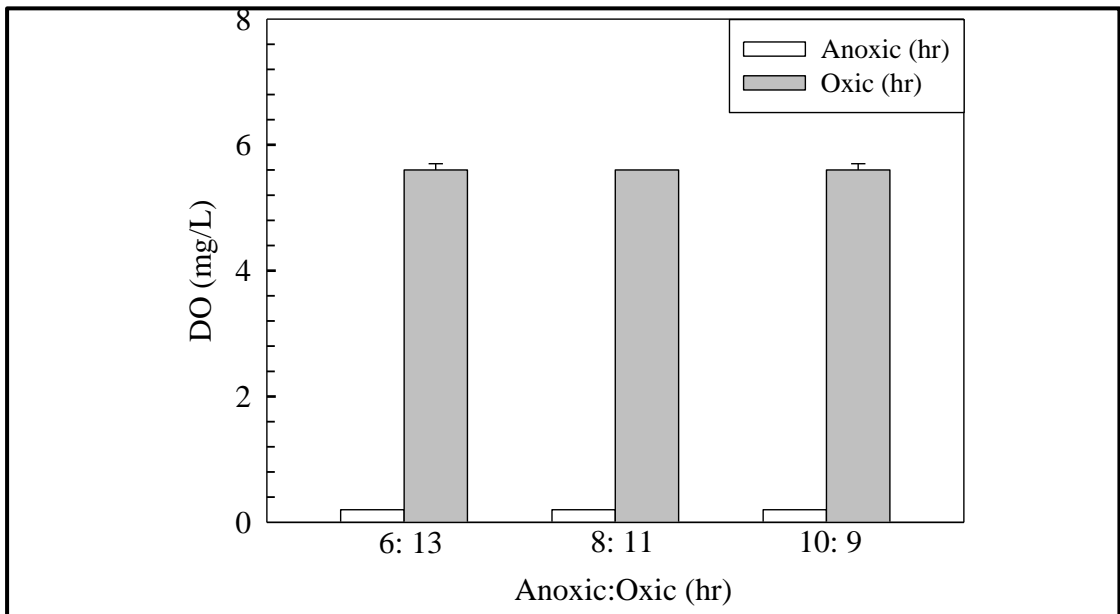
ข. ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนหลังการบำบัดในสภาวะคงที่ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.11 แสดงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสี้ยวถังเคราะห์ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

anoxic: oxic (hr)	TKN			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		TN		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
6:13	28.2 ±0.2	3.2 ±1.1	88.6 ±4.1	5.6 ±0.1	1.3 ±0.0	77.0 ±0.8	0.12 ±0.01	0.06 ±0.02	0.22 ±0.02	9.34 ±0.80	29.9 ±0.2	12.2 ±2.5	59.3 ±5.6
8:11	28.2 ±0.2	3.5 ±1.2	87.6±4. 5	5.6 ±0.1	1.3 ±0.1	76.7 ±1.6	0.12 ±0.01	0.05 ±0.02	0.22 ±0.02	6.45 ±0.56	29.9 ±0.2	9.7 ±2.1	67.5 ±4.8
10:9	28.2 ±0.2	3.7 ±1.0	87.0±3. 6	5.6 ±0.1	1.5 ±0.2	73.7 ±3.5	0.12 ±0.01	0.05 ±0.01	0.22 ±0.02	5.38 ±0.29	29.9 ±0.2	9.0 ±1.4	70.0 ±2.6

#### 4.4.7 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6:13, 8:11 และ 10:9 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.22 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในช่วงการดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิก และออกซิกที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าในช่วงแอนอกซิกมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำปริมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และในช่วงออกซิก มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำปริมาณ 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในช่วงแอนอกซิก มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ในแต่ละช่วงระยะเวลาแอนอกซิกและออกซิกในระบบ



รูปที่ 4.22 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในช่วงการดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิก และออกซิกที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 4.4.8 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แควมที่สกัดส่วน ระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่สกัดส่วนแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง มีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ  $6 \pm 1$ ,  $5 \pm 2$  และ  $5 \pm 2$  ตามลำดับ มีดัชนีปริมาตรตะกอน  $87 \pm 2$ ,  $94 \pm 11$  และ  $92 \pm 2$  มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดัชนีปริมาตรตะกอนอยู่ในช่วง 86-91 มิลลิลิตรต่อลิตร ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนอยู่ในช่วงการอัดตัวของตะกอนดี (Sludge Volume Index; SVI มีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิลิตรต่อกรัม) มีปริมาณตะกอนส่วนเกินลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนอกซิกดังนี้  $97 \pm 12$ ,  $78 \pm 15$  และ  $71 \pm 24$  มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สกัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ และมีอายุตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนอกซิกที่สภาวะคงที่ ดังนี้  $20 \pm 3$ ,  $30 \pm 6$  และ  $34 \pm 11$  วัน ที่สกัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องด้วยจุลินทรีย์ในที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระมีการเจริญเติบโตช้ากว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนอิสระเมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนอกซิกทำให้มีอายุตะกอนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาสภาวะแอนอกซิกต่อออกซิกที่ 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนอกซิก มีประสิทธิภาพในการกำจัดแควมเพิ่มขึ้นร้อยละ  $90.9 \pm 4.0$ ,  $92.9 \pm 0.7$  และ  $95.3 \pm 1.1$  ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนอกซิกซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มแฟคคัลเททีฟ ซึ่งส่งผลต่อการกำจัดแควม การดำเนินการระบบที่เพิ่มช่วงระยะเวลาแอนอกซิกทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดในโตรเจนได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยาทั้งไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน มีประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็น และแอมโมเนียมากกว่าร้อยละ 67 และ 55 ตามลำดับ การดำเนินระบบที่มีสภาวะแอนอกซิกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและบีโอดีมากถึงร้อยละ 80 จึงนำสกัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง ใช้ในการทดลองต่อไป

**ตารางที่ 4.12** สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ตัดส่วนระยะเวลา  
แอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

anoxic:oxic (hr)	6: 13	8: 11	10: 9
SS (mg/L)	6±1	5±2	5±2
SVI (mL/g)	87±12	94±11	92±12
Excess sludge (mg/L)	97±12	78.04±15	71±23.85
SRT (d)	20±3	30±7	34±11
F/M (kg <sub>BOD</sub> /kg <sub>MLSS</sub> )	0.06±0.00	0.06±.00	0.06±0.00
Cd <sup>2+</sup> Sludge (mg/g)	0.07±0.03	0.07±0.02	0.08±0.03
pH	7.72±0.01	7.67±0.02	7.49±0.22

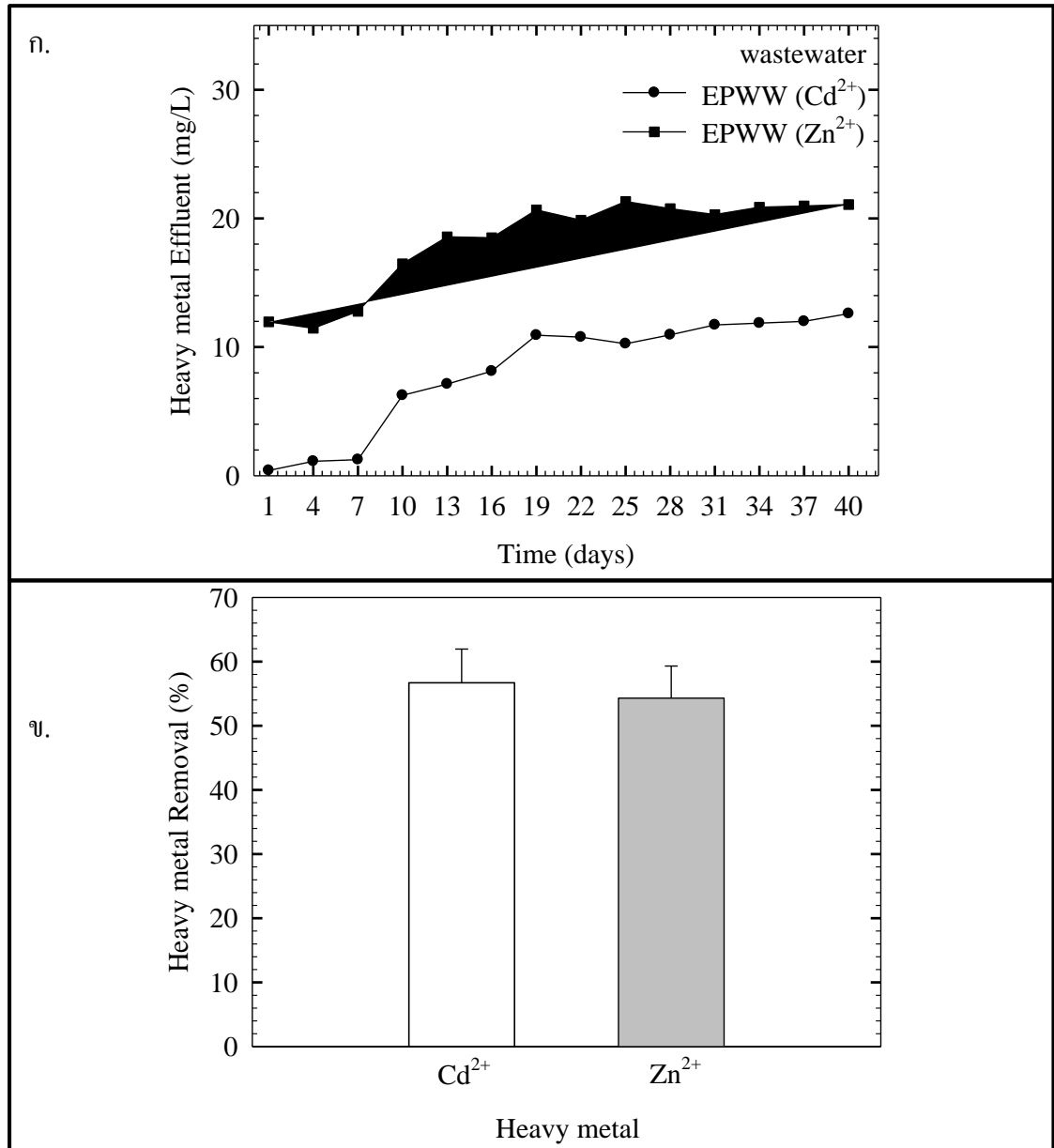
#### 4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ที่มีและไม่มีช่วงแอนอกซิก ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ที่มีและไม่มีช่องแอนอกซิกต่อการกำจัด  
แคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ (Electro Plating Wastewater; EPWW) ความเข้มข้นของ  
ตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม  
และสังกะสี 20 และ 45 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

##### 4.5.1 ประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสีย โรงงานเคลือบโลหะ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงาน  
เคลือบโลหะ ดำเนินระบบ 1 วัฏจักร เท่ากับ 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000  
มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน จากรูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัด  
โลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ กับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของตะกอน  
จุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน มีปริมาณแคดเมียม (Cd<sup>2+</sup>) ในน้ำเข้า  
20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสังกะสี (Zn<sup>2+</sup>) ในน้ำเข้า 45 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีปริมาณแคดเมียม  
หลังผ่านการบำบัดในสภาวะคงที่ดังนี้ 8.8±1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม

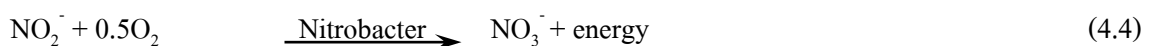
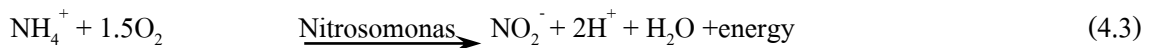
ร้อยละ 56.7±5.2 มีปริมาณสังกะสี หลังผ่านการบำบัดในสภาวะคงที่ 20.3±0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดสังกะสีร้อยละ 54.3±5.0



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ กับ  
 ระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน  
 ก. ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ (Electro Plating Wastewater; EPWW) หลังผ่านการบำบัด  
 ข. ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ (Electro Plating Wastewater; EPWW) ในสภาวะคงที่

#### 4.5.2 ประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

จากตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน พบว่ามีปริมาณซีไอดี บีไอดี ทีเคเอ็นในโตรเจน แอมโมเนียในโตรเจน หลังผ่านการบำบัด 79.9±9, 99.0±16, 6.7±0.9 และ 1.9±0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพร้อยละ 84.4±2.6, 75.2±4.2, 55.2±6.3 และ 47.5±7.7 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนในไนโตรเจน และไนเตรตในโตรเจนในน้ำเข้า 0.64±0.02, 10.07±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่มีปริมาณไนโตรเจนในไนโตรเจน และไนเตรตในโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณไนโตรเจนในไนโตรเจน และไนเตรตในโตรเจนหลังการบำบัดดังนี้ 0.85±0.01 และ 20.4±0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ จุลินทรีย์ต้องการสารอินทรีย์ในการเจริญเติบโตและเป็นแหล่งพลังงาน จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี และบีไอดีได้มากถึงร้อยละ 75 และปริมาณทีเคเอ็นในโตรเจน แอมโมเนียในโตรเจนลดลง และปริมาณไนโตรเจนในไนเตรตเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน หรือแอมโมเนียมออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียในโตรเจนให้เป็นไนโตรเจน และปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นไนเตรต ดังสมการ [43]



ตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบทรีแอกเตอร์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

Parameter	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
COD	512±39	79±9	84.4±2.6
BOD <sub>5</sub>	400±11	99±16	75.2±4.2
TKN	15.0±0.1	6.7±0.9	55.2±6.3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.7±0.1	1.9±0.3	47.5±7.7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.64±0.02	0.85±0.01	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.07±0.01	20.43±0.51	-
TN	25.7±0.1	25.5±0.1	0.8±0.4

#### 4.5.3 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

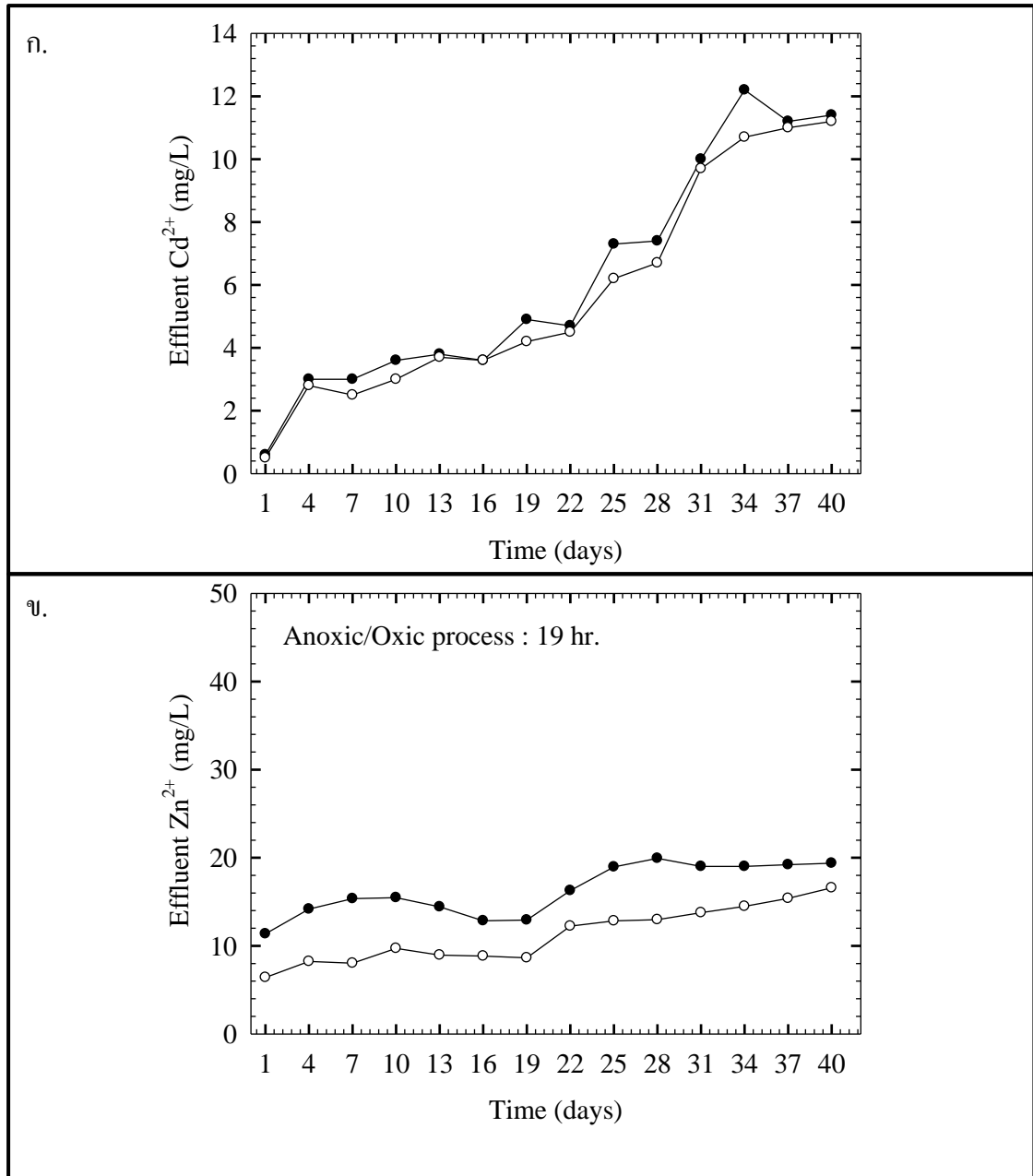
จากตารางที่ 4.14 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ มีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในปริมาณน้อย  $0.2\pm 0.0$  มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)  $116\pm 10$  มิลลิลิตรต่อกรัม ปริมาณตะกอนส่วนเกิน  $55\pm 3$  มิลลิกรัมต่อลิตร

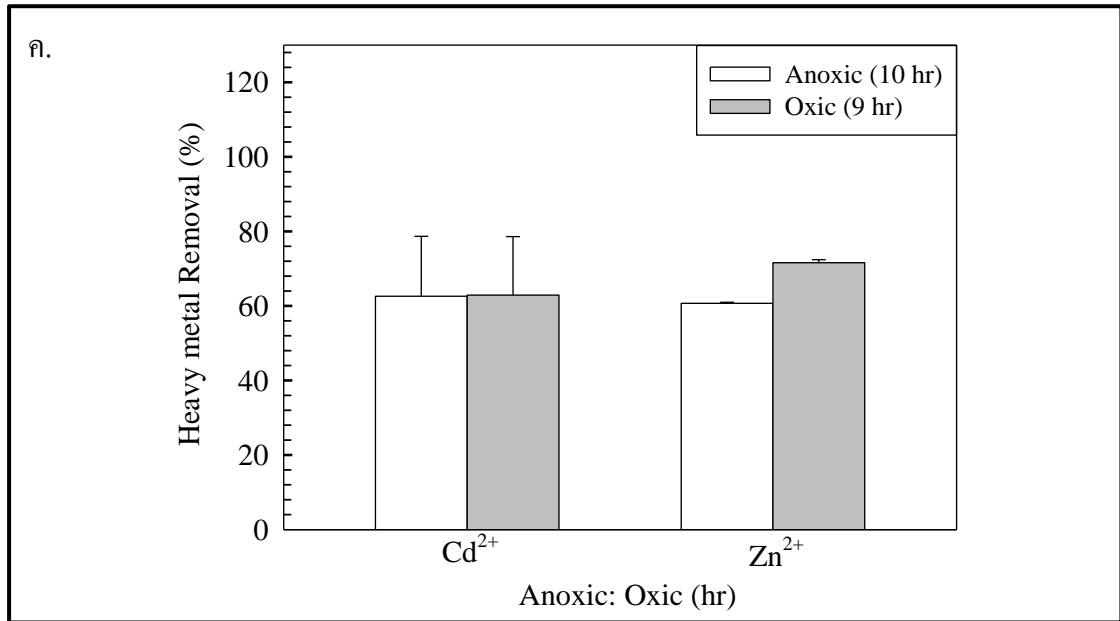
ตารางที่ 4.14 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

Parameter	Average
SS (mg/L)	$0.2\pm 0.0$
SVI (ml/L)	$116\pm 10$
Excess sludge (mg/L)	$55\pm 3$
SRT (d)	$39\pm 2$
F/M ( $\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{kg}_{\text{MLSS}}$ )	$0.04\pm 0.0$
$\text{Cd}^{2+}$ sludge (mg/g)	$0.09\pm 0.03$
pH	$6.04\pm 0.02$

#### 4.5.4 ประสิทธิภาพของระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ที่มีช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีแควนซ์แบบทรีแอกเตอร์ที่มีช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ กำหนดสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน จากรูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสังกะสี 45 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่สภาวะคงที่ในช่วงแอนอกซิกดังนี้  $5.0\pm 1.7$  และ  $17.5\pm 2.8$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมและสังกะสีร้อยละ  $75.3\pm 8.2$  และ  $60.7\pm 8.3$  ช่วงออกซิกมีปริมาณแคดเมียมและสังกะสี  $4.6\pm 1.4$ ,  $12.9\pm 2.7$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพร้อยละ  $77.6\pm 15.65$  และ  $71.0\pm 8.0$  ตามลำดับ





**รูปที่ 4.24** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

กับระยะเวลาดำเนินระบบ สัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาดักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสังกะสี 45 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. ปริมาณแคะเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ (Electro Plating Wastewater; EPWW) หลังผ่านการบำบัด

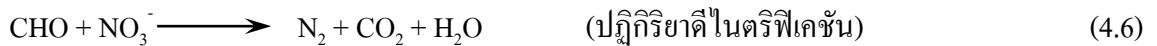
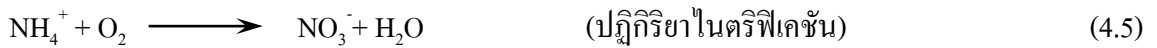
ข. ปริมาณสังกะสีในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ (Electro Plating Wastewater; EPWW) หลังผ่านการบำบัด

ค. ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะในสภาวะคงที่

#### 4.5.5 ผลของระบบซีควนซิ่งแบทรีแอกเตอร์ที่มีช่วงแอนออกซิกต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

จากตารางที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบซีควนซิ่งแบทรีแอกเตอร์ ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและบีโอดีร้อยละ  $74.3 \pm 4.8$  และ  $71.3 \pm 1.6$  ตามลำดับ ประสิทธิภาพบำบัดทีเคเอ็นในโตรเจนและแอมโมเนียในโตรเจนร้อยละ  $78.1 \pm 5.0$  และ  $72.4 \pm 3.4$  ตามลำดับ มีปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนและไนเตรตในโตรเจนน้ำเข้า  $0.64 \pm 0.02$  และ  $10.07 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดในสภาวะคงที่มีปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนและไนเตรตในโตรเจนลดลง  $0.06 \pm 0.00$  และ  $8.3 \pm 0.7$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เนื่องจากการดำเนินการระบบที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิกเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในระบบ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน เป็นการย่อยสลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์หรือก๊าซแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตในสภาวะที่มีออกซิเจน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ทำให้ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียลดลง ดังสมการ [43]



**ตารางที่ 4.15** แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบซีแวนซึ่งแบทรีแอกเตอร์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิก

Parameter	Influent (mg/L)	Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
COD	512±39	131±20	74.3±4.8	99±10	80.5±2.6
BOD <sub>5</sub>	400±11	115±6	71.3±1.6	108±2	73.1±0.8
TKN	15.0±0.1	15.0±1.4	65.1±9.2	3.3±0.74	78.1±5.0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.7±0.1	1.7±0.2	69.6±5.2	1.7±0.2	72.4±3.4
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.64±0.02	0.05±0.00	-	0.06±0.00	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.07±0.01	8.86±0.5	-	8.30±0.7	-
TN	25.7±0.1	-	-	12.4±0.9	51.8±3.4

#### 4.5.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีช่วงแอนอกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.16 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10:9 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 5 วัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียในโรงงานเคลือบโลหะมีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าน้อยประมาณ 0.1±0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) 103±3 มิลลิตรต่อกรัม ปริมาณตะกอนส่วนเกินเท่ากับ 74±2 มิลลิกรัมต่อลิตร และอายุตะกอน 87±8 วัน

ตารางที่ 4.16 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่สัดส่วน  
ระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10:9 ชั่วโมง

Parameter	Average
SS (mg/L)	0.1±0.0
SVI (mg/L)	103±8
F/M (kg <sub>BOD</sub> /kg <sub>MLSS</sub> )	0.04±0.0
SRT (d)	87±8
Excess sludge (mg/L)	74±2
Cd <sup>2+</sup> sludge (mg/g)	0.10±0.05
pH	6.22±0.01

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีแวนซึ่งแบทรีแอกเตอร์ในการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีสถานะแอนอกซิกมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้น้อยกว่า ระบบบำบัดที่มีสถานะแอนอกซิก ประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมและสังกะสีในระบบที่ไม่มีสถานะแอนอกซิกร้อยละ 56±5.2 และ 54.3±5.0 ประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมและสังกะสีในระบบบำบัดที่มีสถานะแอนอกซิกร้อยละ 75.3±8.2 และ 60.7±8.3 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มดีไนตริไฟอิงมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคะเมียมได้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี และบีโอดี พบว่าระบบบำบัดที่มีสถานะแอนอกซิกมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและบีโอดีน้อยกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีสถานะแอนอกซิก อย่างไรก็ตาม ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีสถานะแอนอกซิกสามารถบำบัดซีโอดีและบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 73 ในกระบวนการที่มีสถานะแอนอกซิกสามารถบำบัดไนโตรเจนได้มากกว่ากระบวนการที่ไม่มีแอนอกซิกมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 51.8 เนื่องจากในสถานะแอนอกซิกมีเกิดปฏิกิริยาทั้งไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ทำให้สามารถลดปริมาณไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียได้

## บทที่ 5 รูปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

#### 5.1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีแควนซ์แบบรีแอกเตอร์

การศึกษานี้กำหนดความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะกักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ปริมาณแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมร้อยละ 78.0±5.3, 85.6±4.0, 87.2±2.5, 86.8±2.8 และ 87.4±5.0 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี ร้อยละ 96.5±0.8, 97.3±0.5, 97.7±0.7, 97.6±0.4 และ 97.3±0.8 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ 97.5±0.5, 97.6±0.4, 97.7±0.4, 97.8±0.3 และ 97.8±0.8 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ไนโตรเจนร้อยละ 70.1±7.4, 69.6± 5.6, 66.7± 6.8, 71.4±3.2 และ 80.6±5.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมจะเพิ่มขึ้น แต่ที่การดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ดีที่สุด ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ดังนี้ 95±12 และ 99±3 มิลลิตรต่อกรัม (Sludge Volume Index; SVI มีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิตรต่อกรัม)

#### 5.1.2 การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคะเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของแคะเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมร้อยละ 79.1±4.5, 89.5±3.4, 92.5±2.1 และ 93.5±1.9 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีร้อยละ 97.6±0.9, 98.3±0.6, 98.2±0.6 และ 98.5±0.4 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ 97.6±0.8, 98.0±0.4, 98.1±0.5 และ 98.2±0.8 และมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ไนโตรเจนร้อยละ 79.1±2.3, 81.4±1.9, 83.0±2.2 และ 83.2±2.3 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียทำให้มีประสิทธิผลการบำบัดของระบบซีแควนซ์แบบรีแอกเตอร์มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น เนื่องเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียทำให้มีอัตราภาวะบรรทุกที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การเดินระบบที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียที่ 5 วัน สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 73±15 มิลลิตรต่อกรัม (Sludge Volume Index; SVI มีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิตรต่อกรัม)

### 5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมร้อยละ 84.3±6.7, 81.6±7.6, 76.6±9.4, 74.4±7.5 และ 69.7±9.0 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีร้อยละ 97.9±0.4, 94.7±2.0, 93.1±2.0, 93.3±2.3 และ 91.3±2.7 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ 93.6±0.5, 90.0±2.6, 88.0±3.0, 84.1±3.0 และ 79.6±3.8 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบมีประสิทธิภาพลดลง และส่งผลให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ช้าลง เมื่อจุลินทรีย์มีการสะสมสารพิษไว้ในตัวเซลล์มากเกินไปทำให้เกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ในระบบลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียม อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

### 5.1.4 การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิกในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยกำหนดระยะเวลาแอนออกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ที่และตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ มีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมร้อยละ 90.9±4.0, 92.9±0.7 และ 95.3±1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีร้อยละ 91.1±0.2, 91.1±0.3 และ 90.6±0.5 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ 89.3±0.4, 88.6±0.3 และ 87.9±0.2 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นในโตรเจนร้อยละ 88.6±4.1, 87.6±4.5 ร้อยละ 87.0±3.6 เมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนออกซิกมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีมากกว่าร้อยละ 87 เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการสารอินทรีย์ในการเจริญเติบโตและเป็นแหล่งพลังงาน และมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นในโตรเจนมากขึ้นเนื่องจากระบบมีการเกิดปฏิกิริยาทั้งไนตริฟิเคชัน ในช่วงออกซิก และปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันในช่วงแอนออกซิก เมื่อเพิ่มระยะเวลาแอนออกซิกส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมเพิ่มขึ้น

### 5.1.5 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีเควนซ์แบบรีแอกเตอร์ที่มีและไม่มีช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

การศึกษาประสิทธิภาพการของระบบซีเควนซ์แบบรีแอกเตอร์ที่มีและไม่มีช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ ดำเนินระบบ 1 วัฏจักร เท่ากับ 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ระบบที่มีช่วงแอนอกซิก กำหนดระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10:9 ชั่วโมง พบว่าระบบที่ไม่มีระยะเวลาแอนอกซิกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและบีโอดีได้มากกว่าระบบที่มีสถานะแอนอกซิก อย่างไรก็ตามทั้งสองระบบสามารถบำบัดซีโอดีและบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80 และระบบที่มีสถานะแอนอกซิกมีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมได้มากกว่าระบบที่ไม่มีช่วงระยะเวลาแอนอกซิก แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์พวกแฟลคคัลเททีฟมีความสามารถในการกำจัดแคดเมียมได้มากกว่า โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในระบบที่มีมีและมีสถานะแอนอกซิกร้อยละ  $56.7 \pm 5.2$  และ  $77.6 \pm 6.9$  ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- เพื่อให้ทราบกลุ่มจุลินทรีย์ควรมีการทดลองคัดแยกชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ในช่วงที่มีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมสูงสุด
- ในการทดลองสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก ควรเพิ่มระยะเวลาช่วงแอนอกซิกเพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างในการกำจัดแคดเมียมมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. L.C., Rai P.K., Mallick N., 1996, "Regulation of Heavy Metal Toxicity in Acid Tolerant *Chlorella*: Physiological and Biochemical Approaches." **Journal of Environ. Exp**, Vol. 36, pp. 99-109.
2. สุธิลา ตูลยสเถียร, เกศ วงศ์สุวรรณค์ และสถิต วงศ์สุวรรณค์, 2544, **มลพิษสิ่งแวดล้อม**, บริษัท รวมสาส์น (1977) จำกัด, กรุงเทพมหานคร, หน้า 28-230.
3. Metcalf & Eddy, 2003, **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**, Fourth Edition, McGRAW-HILL Companies, pp. 659 – 809.
4. Gerardi, M. 2010, **Settle ability Problems and Loss of Solids in the Activated sludge Process**, USA, pp. 83 - 117.
5. สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549, **ระบบบำบัดน้ำเสีย**, บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพ, หน้า 291 – 346.
6. Gerardi, M., 2002, **Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process**, USA, pp. 43 – 49.
7. คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2538, **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 151 – 156.
8. Gupta, V.k., Rostogi, A., Saini, V.k., Jain, N., 2006, "Biosorption of copper (II) from aqueous solution by *Sprigoryz species*", **Journal of Colloid Interface Sci.**, Vol. 296, pp. 59-63.
9. อาทิตย์ สะพานกลาง และสุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์, "การดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย (*Stigonema sp.*)", **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, หน้า 20-30.

10. ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ และภาณุมาศ พรหมเทศ, “การใช้เปลือกแพชชันฟรุ้ตดูดซับแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี”, *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม*, ปีที่ 20, ฉบับที่ 2, หน้า 87-98.
11. Chalravarty, P., Sarma, N., Sarma, H.P., 2010, “Biosorption of cadmium (II) from aqueous solution using heartwood powder of Areca Catechu”, *Journal of Chemical Engineering*, Vol. 162, pp. 949-955.
12. Garg. U., Kaur. M.P., Jawa. G.K., Sud. D., Garg. V.K., 2008, “Removal of cadmium (II) from aqueous solutions by adsorption on agricultural waste biomass”, *Journal of Hazardous Material*, Vol. 154, pp.1149-1157.
13. Marin, A., Zepata. V., Ortuno, J., Aguilar, M., Saez, J., Llorens, M., 2007, “Removal cadmium from aqueous solution by adsorption onto orange waste”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 139, pp. 122-131.
14. Saha. P., Sanyal. S., 2010, “Assessment of removal of cadmium present in wastewater using soil-admixture membrane”, *Journal of Desalination*, Vol. 259, pp. 131-139.
15. Zhao, W., Shen. Y., Xiao, K., Huang, X., 2010, “Fouling Characteristics in membrane bioreactor coupled with anaerobic-anoxic-oxic process for coke wastewater treatment”, *Journal of Bioresource Technology*, Vol.101, pp. 3876-3883.
16. โอภาส คำฝักฝน, 2545, “การศึกษาปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว และแคดเมียม) ในน้ำทิ้งจาก บริษัท เซรามิคอุตสาหกรรมไทย จำกัด ตำบลโลกแย้ อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี”, ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขามลพิษสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลัย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
17. Shu - Juan, D., De-zhou. W., Dong - qin, Z., Chun-yun, J., Yu-juan, W., Wen-gang, W., 2008, “Removal cadmium from electroplating wastewater by waste saccharomyces cerevisiae”, *Journal of Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 18, pp. 1008-1013.

18. Pagnanelli, F., Cruz, C., Toro, L., 2010, "Isolation and quantification of cadmium removal mechanisms in batch reactors inoculated by sulphate reducing bacteria: Biosorption versus bioprecipitation", **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 101, pp. 2981-2987.
19. Tsekova, K., Todorova, D., Ganeva, S., 2010, "Removal of heavy metals from industrial wastewater by free and immobilized cells of *Aspergillus niger*", **Journal of International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 64, pp. 447 - 451.
20. ชนินทร์ ปัญญาญญูโณผล, 2543 "ผลของอัตราส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์เป็งมันสำปะหลังโดยกระบวนการแอดติเวเต็ดสลับชนิดเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
21. Lim, P., Ong, S., Seng, C., 2002, "Simultaneous adsorbtion and biodegradation process in sequencing batch reactor (SBR) for treating copper and cadmium – containing wastewater", **Journal of Water Research**, Vol. 36, pp. 667-675.
22. Tusseau-vuillemin, M., Dispan, J., Mouchel, J., Servais, P., 2003, "Biodegradation fraction of organic carbon estimate under oxic and anoxic condition", **Journal of "Water Reshearch**, Vol. 37, pp. 2242 - 2247.
23. Ong, S., Lim, P., Sengl, C., Hirata, M., 2005, "Effects of Cu (II) and Cd (II) on the performance of sequencing batch reactor treatment", **Journal of Process Biochemistry**, Vol. 40, pp. 453 – 460.
24. Kulikowska, D., Klimiuk, E., Drzewicki, A., 2007, "BOD5 and COD removal and sludge production in SBR working with or without anoxic phase", **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 98, pp. 1426 – 1432.
25. Maranon, E., Vazquez, I., Rodriguez, J., Castrillon, L., Fernandez, Y., Lopez, H., 2008, "Treatment of coke wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) at pilot plant scale", **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 99, pp. 4192 – 4198.

26. Zhu, G., Peng, Y., Zhai, Y., Wanc, S., 2009, “Performance and optimization of biological nitrogen removal process enhanced by anoxic/oxic step feeding”, **Journal of Biochemical Engineering**, Vol. 43, pp. 280 – 287.
27. Malakahmad, A., Hasani, A., Eisakhani, M., Isa, M., 20011, “Sequencing Batch Reactor (SBR) for removal of  $Hg^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  from synthetic petrochemical factory wastewater ”, **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 191, pp. 118 – 125.
28. Rajagopal, R., Rousseau, P., Bernet, N., Beline, F., 2011, “Combined anaerobic and activated sludge anoxic/oxic treatment for piggery wastewater”, **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 102, pp. 2185 – 2192.
29. องค์อร อังคประสาทชัย, 2547, “ การบำบัดนิกเกิล (2+) และตะกั่ว (2+) ในน้ำเสียอุตสาหกรรม ด้วยระบบถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ด – เอสบีอาร์”, โครงการศึกษาวิจัยปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 27–28.
30. APHA, AWWA, WEF, 1998, **Standard Method for the Examination of Water and wastewater**, 20<sup>th</sup> ed., United Book press, Ind., Martland, USA.
31. Chakraverty. R., C. Benergee. P., 2012, “Mechanism of cadmium, binding on the cell wall of an acidophilic bacterium”, **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 108, pp. 176-183.
32. Xu, H., Lui, Y., 2008, “Mechanism of  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  biosorption by aerobic granules”, **Journal of Separation and Purification Technology**, Vol. 58, pp. 400-411.
33. Soon-Kwon, J., Yun, S., Lee, J., Kim, S., Jo, H., 2010, “Removal of divalent heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and arsenic (III) from aqueous solution using scoria: Kinetic and equilibria of sorption”, **Journal of Hazardous Materials.**, Vol. 174, pp. 307 – 313.

34. Kumar, R., Bishnoi, N., Gerima., Bishnoi, K., 2008, “Biosorption of Chromium (VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass”, **Journal of Chemical Engineering.**, Vol. 135, pp. 202 -208.
35. Fereidouni, M., Daneshi, A., Younesi, H., 2009, “Biosorption equilibria of binary Cd(II) and Ni(II) system onto *Saccharomyces cerevisia* and *Ralstonia eutropha* cells: Application of response surface methodology”, **Journal of Hazardous Materials.**, Vol. 168, pp. 1437 – 1448.
36. Barakat, M., 2010, “New trends in removing heavy metals from industrial wastewater”, **Arabian Journal of Chemistry**, pp. 1 - 17.
37. Sirianunpiboon, S. and Boonchupleing, M., 2009, “Effect of bio – sludge concentration on the efficiency of sequencing batch reactor (SBR) system to treat wastewater containing  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$ ”, **Journal of Hazardous Materials.**, Vol. 166, pp. 356 – 364.
38. มั่นสิน ตันทุลเวศม์ และมั่งรักษ์ ตันทุลเวศม์, 2547, **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 19/3-19/24.
39. Lee, J., Choi, C., Lee, K., Yim, S., 2008, “ Mass balance of nitrogen, and estimates of COD, nitrogen and phosphorus used in microbial synthesis as a function of sludge retention time in a sequencing batch reactor system”, **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 99, pp. 7788 – 7796.
40. ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, เจตนา วงศ์วิเชียร, วิริยะ जानทอง และ วรกิตติ ประพฤติ, 2552, “ผลของอายุตะกอนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบเอสบีอาร์”, **วารสารวิชาการวิจัย มข.**, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, มกราคม, หน้า 26-34.
41. Sirianunpiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2007, “Removal of  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  by Bio-sludge in sequencing batch reactor (SBR) and Granular Activated Carbon-SBR (GAC-SBR) System”, **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 98, pp. 2749 – 2757.

42. Rodriguez, D., Pino, N., Penuela. G., 2011, “Monitoring the removal of nitrogen by applying nitrification-denitrification process in a Sequencing Batch Reactor (SBR)”, **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 102, pp. 2316-2312.
43. สุปัทธิต นิมรัตน์, 2548, **จุลชีววิทยาของน้ำเสีย**, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 17-108.
44. Hynninen, A., 2010, “**Zince, cadmium and lead resistance mechanisms in bacteria and their contribution to boisensing**”, Agriculture and Forestry, University of Hesinki, pp. 1-50.
45. Spagni, A., Marsili-Libelli. S., 2009, “Nitrogen removal via nitrite in sequencing batch reactor treating sanitary landfill leachate”, **Journal of Bioresource Technology**, Vol. 100, pp. 609-614.
46. Lei, C., Whang. L., Chen, P., 2010, “Biological treatment of thin-film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) wastewater using anaerobic and anoxic/ oxic sequencing batch reactor”, **Journal of Chemosphere**, Vol. 81, pp. 57-64.
47. Rodriguez, D. C., Mesa, G., 2009, “Ammoniacal nitrogen removal in wastewater using nitrifying and denitrifying bacteria in a SBR system”, **Journal of New Biotechnology**, Vol. 25S, pp. S353.

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

## ก.1 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) โดยวิธี Azide

### Modification of Iodometric

การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับการหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียได้ดีเกือบทุกชนิด และสามารถใช้ได้กับน้ำที่มีไนโตรเจนมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ใช้ได้ไม่ดีสำหรับน้ำที่มีอนุภาคเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือสารที่มีตัวเติม หรือตัวลดออกซิเจนปนอยู่ในน้ำยาเคมี

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

#### 1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

ชั่ง  $MnSO_4 \cdot H_2O$  480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ( $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ ) ละลายในน้ำกลั่น 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ( $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ ) 364 กรัม ละลายในกลั่น กรองแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

#### 2. สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-ไอโซด์

ชั่ง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม และ โซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม หรือโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 150 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมไนไตรด์ ( $NaN_3$ ) 10 กรัมในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตรแล้วเติมในสารละลายข้างต้น

#### 3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 นอร์มัล (N)

ละลายสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) 24.82 กรัม ในน้ำต้มที่เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร (volumetric flask) เดิมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม เพื่อรักษาคุณภาพของสารละลาย

#### 4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล

เจือจางสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาด้วยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

#### 5. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$ .conc)

#### 6. น้ำแป้ง

ละลายแป้ง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มิลลิลิตร เติมน้ำให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดแล้วตั้งค้างคืน นำน้ำใส่เติมกรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) 1.25 กรัมต่อน้ำแป้ง 1 ลิตร

#### 7. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.0250 นอร์มัล

ละลายโปแตสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

การหาค่ามาตรฐานของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตด้วยสารละลายไดโครเมต

ละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม ในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ใส่ของรูปกรวย เติมกรดซัลฟูริก (1+9) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่มีด 5 นาที แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำมาไทเทรตกับ โซเดียมไทโอซัลเฟต จนกระทั่งสีของสารละลายอ่อนลง เติมน้ำแข็ง 4 – 5 หยด ไทเทรตจนกระทั่ง สีน้ำเงินหายไป

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

$N_1$  หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $N$ )

$V_1$  หมายถึง ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (ml)

$N_2$  หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (0.025 N)

$V_2$  หมายถึง ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ( 10 ml)

$$\text{นอร์มัลลิตีของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต} = \frac{a \times n}{20}$$

ปรับสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตมีความเข้มข้นแน่นอนเป็น 0.025 นอร์มัล

$$\text{ความเข้มข้นของโซเดียมไซโอซัลเฟต (นอร์มัลลิตี, N)} = \frac{0.025 \times a}{20}$$

วิธีการวิเคราะห์

1. เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวด บีโอดีแล้วเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มล. และสารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ 2 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดบีโอดี เขย่าโดยการพลิกกลับไปมาประมาณ 20 ครั้ง ตั้งปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รอจนได้ส่วนน้ำใสส่วนบนประมาณ 100 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟูริก 2 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำ เขย่าโดยพลิกขวดกลับไปมาเพื่อละลายตะกอน จนตะกอนละลายหมด
3. ตวงสารละลายตัวอย่าง 202 มิลลิลิตร โดยคำนวณจากปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร เป็นหลัก ถ้าขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร เติมแมงกานีสซัลเฟต และอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ อย่างละ 1.5 มิลลิลิตร รวมเป็น 3 มิลลิลิตร ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต  $(200 \times 300) / (300 - 3) = 202$  มิลลิลิตร จึงนำสารละลายจำนวนดังกล่าวมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล จนได้สีเหลืองอ่อน (สีน้ำฟางข้าว)

4. เมื่อตัวอย่างน้ำมีสีจางลง เติมน้ำแข็ง 1-2 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็น ไม่มีสี

#### การคำนวณ

เนื่องจาก 1 มิลลิลิตรของโซเดียมไซโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล เท่ากับปริมาณออกซิเจนละลาย 0.2 มิลลิกรัม ดังนั้นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตในการไทเทรต 1 มิลลิลิตร ตัวอย่างน้ำจะมีออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่าง 200 มิลลิกรัมต่อลิตรในการไทเทรต

## ก.2 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีเป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสียของน้ำเสียโดยแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

#### การเก็บรักษาตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างควรวิเคราะห์ทันที หากไม่สามารถทำได้ ควรเก็บตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ต้องปล่อยให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดบีโอดี (BOD) ขนาด 250-300 มิลลิลิตร มีจุกแก้วปิดสนิท การป้องกันไม่ให้อากาศผ่านเข้าไปในขวดบีโอดีทำได้โดยใช้น้ำหล่อปากขวดไว้
2. ตู้ควบคุมอุณหภูมิหรือตู้อินคิวเบต (incubator) ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส
3. กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร บิวเรต ขวดรูปชมพู่
4. เครื่องจ่ายลมและหัวกระจายอากาศ

#### สารเคมี

##### 1. น้ำกลั่น

น้ำกลั่นควรปริมาณของทองแดงน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ปราศจากคลอรีน คลอรามิน ความเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ อินทรีย์สาร และกรด (ค่าความเป็นกรดต้องเป็นกลาง)

##### 2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปต้าไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 33.4 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 ลบ.ซม. แล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

##### 3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 22.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลิตร

#### 4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ละลายแอนไฮดรัสแคลเซียมคลอไรด์ (anhydrous  $\text{CaCl}_2$ ) 27.5 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

#### 5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์

ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 0.25 กรัม เจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

#### 6. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

ละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{sH}_2\text{O}$ ) 400 กรัม กรองแล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

#### 7. สารละลายอัลคาไลน์-ไอโอดีน-เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azind reagent)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) 500 กรัม และโซเดียมไอโอดีน ( $\text{NaI}$ ) 135 กรัม ในน้ำกลั่น เจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมเอไซด์ ( $\text{NaN}_3$ ) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร เติมนลงในสารละลายข้างต้น

#### 8. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (36 นอร์มัล)

#### 9. น้ำเป้ง

ละลายเป้ง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ต้มให้เดือด ตั้งค้างคืน นำน้ำใสมาใส่กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) 1.25 กรัมต่อน้ำเป้ง 1 ลิตร

#### 10. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 นอร์มัล (N)

ละลายสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 24.82 กรัม ในน้ำต้มที่เย็น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร (volumetric flask) เติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม เพื่อรักษาคุณภาพของสารละลาย

#### 11. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล

เจือจางสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาด้วยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์

- ตัวอย่างต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง (pH 6.5-7.5) ด้วยกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เข้มข้น 1 นอร์มัล หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล

2. ตัวอย่างน้ำที่มีคลอรีนต้องกำจัดคลอรีนตกค้างก่อนโดยตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ คลอรีนจะสลายตัวไป แต่ถ้าตัวอย่างน้ำยังมีคลอรีนเหลืออยู่มาก ให้กำจัดคลอรีนด้วยการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) การคำนวณปริมาณสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้เติมลงในตัวอย่าง อาจทำได้โดยเติมน้ำตัวอย่าง 100-1,000 มิลลิลิตร เติมกรดอะเซติก (1+1) หรือกรดซัลฟูริก (1+50) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 10 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์จนถึงจุดยุติ
3. ตัวอย่างน้ำที่มีสารพิษหรือโลหะหนักปนเปื้อนจะต้องศึกษาและกำจัดก่อน
4. ตัวอย่างน้ำที่เก็บรักษาโดยการแช่เย็นต้องทำให้ตัวอย่างน้ำมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องก่อนการวิเคราะห์

#### การวิเคราะห์

##### วิธีเตรียมน้ำเจือจาง

1. นำน้ำกลั่นที่สะอาดเป่าอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
2. เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟริกคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อปริมาณน้ำเจือจาง 1 ลิตร

##### วิธีการเจือจาง

1. เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในน้ำการเจือจางที่คาดว่าจะมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนด และเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างน้ำที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันตามตาราง ก2-1
2. เติมน้ำเจือจางปริมาณ 700-800 มิลลิลิตรในกระบอกตวง 1,000 มิลลิลิตร ค่อยๆรินพยายามไม่ให้มีฟองอากาศ
3. เติมน้ำตัวอย่างตามเปอร์เซ็นต์ที่ต้องการ เติมน้ำเจือจางจนมีปริมาตร 1 ลิตร
4. รินใส่ขวดบีโอดี 3 ขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ ปิดจุกและใช้น้ำเติมบริเวณฝาขวดเพื่อป้องกันอากาศ นำขวดแรกวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเริ่มต้น ( $\text{DO}_0$ ) นำอีกสองขวดบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสนาน 5 วัน
5. เมื่อครบ 5 วัน นำขวดบีโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่ ( $\text{DO}_5$ )

การคำนวณ

$$\text{ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)} = (DO_0 - DO_5) \times \text{อัตราส่วนเจือจาง}$$

เมื่อ

$DO_0$  = ค่าออกซิเจนละลายที่ไต่เตรทได้ในวันแรก

$DO_5$  = ค่าออกซิเจนละลายที่ไต่เตรทได้ในวันที่ 5 ของการบ่ม

อัตราเจือจาง = (ปริมาตรน้ำเต็มขวดบีโอดี ( 300 มิลลิลิตร)/ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้

ตารางที่ ก.1 อัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่างๆ

ปริมาณตัวอย่าง	ช่วงบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราเจือจาง
0.02	30,000-105,000	15,000
0.05	12,000-42,000	6,000
0.10	6,000-21,000	3,000
0.20	3,000-10,500	1,500
0.50	1,200-4,200	600
1.0	600-2,100	300
2.0	300-1,050	150
5.0	120-420	60
10.0	60-210	30
20.0	30-105	15
50.0	12-42	6
100.0	6-21	3
300.0	0-7	1

### ก3. การวิเคราะห์ซีไอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)

วิธีรีฟลักซ์แบบปิด แบบไตเตรชัน

เครื่องมือและอุปกรณ์

หลอดย่อย (Digestion Vessels)

1. เตาอบ
2. บิวเรต
3. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่อบไว้ในอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$  conc.) 167 มิลลิลิตร และปรอทซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) 33.3 กรัม คนให้ละลายและปล่อยให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

2. กรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต

นำซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) 8.8 กรัม ใส่ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$  conc.) 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายให้หมดก่อนนำไปใช้

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) 19.6 กรัมลงในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์

ละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) จำนวน 695 มิลลิกรัม และ 1,10-ฟีแนนโทรีน โมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate,  $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$ ) จำนวน 1.485 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

นำสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล 5.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$  conc.) 15 มิลลิลิตร ตั้งไว้ให้เย็นแล้วเติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนถึงจุดยุติ (สีน้ำตาลแดง)

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย FAS

ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล (N) =  $(5.0 \times 0.1)$  / มิลลิลิตร FAS ที่ใช้

วิธีวิเคราะห์

1. เลือกขนาดหลอดแก้วให้เหมาะสม ตามตารางที่ ก. 2
2. เลือกปริมาณตัวอย่างให้มีค่าซีไอดีที่เหมาะสม ดังตาราง ก. 3 ใส่ในหลอดแก้ว เติมสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต และกรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต ในปริมาณดังตารางที่ ก. 2 ปิดฝาให้แน่น เขย่าให้เข้ากัน ในการทำแบลงก์ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ
3. วางหลอดแก้วไว้ในบล็อกรีดน้ำที่อุณหภูมิ  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงนำมาทำการไตเตรชัน
4. การทำไตเตรชัน

นำสารละลายจากหลอดแก้วใส่ในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนถึงจุดยุติ (สีน้ำตาลแดง)

การคำนวณ

ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) =  $((A-B) \times N \times 8,000)$  / มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ

เมื่อ A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทแบลงก์

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล

ตารางที่ ก.2 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างและสารเคมี

ขนาดหลอดแก้ว (mm.)	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (ml.)	สารละลายได โครเมต (ml.)	สารละลายกรดซัลฟูริก และซิลเวอร์ซัลเฟต (ml.)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)
16×100	2.5	1.5	3.5	7.5
20×150	5.0	3.0	7.0	15.0
25×150	10.0	6.0	14.0	30.0

ตารางที่ ก.3 ขนาดตัวอย่างและอัตราการใช้ของที่เหมาะสม

ช่วงซีไอดี	ขนาดตัวอย่าง (ml.)	อัตราเจือจาง
<200	5	1:1
200-400	4	1:1
400-800	2	1:1
800-1,600	1	1:1
1,600-3,200	5	1:10
2,700-5,300	3	1:10
4,000-8,000	4	1:10
8,000-16,000	2	1:10

#### ก.4 วิธีวิเคราะห์ที่เคเอ็นไนโตรเจน

วิธี Kjeldahl Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดเจดดาห์ (kjeldahl flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เครื่องควบแน่น (condenser)
3. เตาให้ความร้อน (heater)
4. ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
5. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สารเคมี

1. สารละลายปรอทซัลเฟต

ซั่งปรอทซัลเฟต (HgO, Red) จำนวน 8 กรัม ละลายในกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 6 นอร์มัล (N) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. น้ำยาสำหรับย่อยสลาย (Digestion Reagent)

ซั่งโปแตสเซียมซัลเฟต (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) จำนวน 134 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc.) จำนวน 200 มิลลิลิตร เติมปรอทซัลเฟต 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์- โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Hydroxide-Sodium Thiosulfate Reagent)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม และ โซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 25 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (borate buffer solution)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล จำนวน 8.8 มิลลิลิตร ละลายในโซเดียมเตตราบอเรต ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) 0.025 โมลาร์ จำนวน 500 มิลลิลิตร (5 กรัม  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  หรือ 9.5 กรัม  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  สารละลาย 1 ลิตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายที่ใช้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล

สารละลายกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล

6. มิกซ์อินดิเคเตอร์ (mixed indicator)

ซังเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (methyl red indicator) จำนวน 200 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 95) จำนวน 50 มิลลิลิตร ละลายเมทิลีน บลู (methylene blue) จำนวน 100 กรัมในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 95) จำนวน 50 มิลลิลิตร ผสมสารละลายทั้งสองชนิดให้เข้ากัน สารละลายนี้ควรเตรียมทุกเดือน

10. สารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด (indicating boric acid solution)

ซังกรดบอริก ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) จำนวน 20 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมมิกซ์อินดิเคเตอร์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร สารละลายชนิดนี้จะมีสีม่วงถ้าไม่มีแอมโมเนียละลายอยู่

11. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 6 นอร์มัล

12. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 240 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

การย่อยสลาย (digestion)

นำตัวอย่างน้ำจำนวน 50 มิลลิลิตร เติมน้ำย่อยสลาย 50 มิลลิลิตร ต้มจนเกิดควันสีขาวของ  $\text{SO}_3$  จนได้สารละลายใส ย่อยสลายต่ออีก 20-30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นจำนวน 50 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดหรือด่างต้องปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล หรือ สารละลายกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล
2. นำตัวอย่างที่ปรับให้เป็นกลางแล้ว 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ 25 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 9.5
3. นำตัวอย่างไปกลั่นโดยต่อกับคอนเนคติลบัลบ์ ซึ่งต่อกับเครื่องควบแน่น โยที่ปลายเครื่อง

ควมแน่นจุ่มในสารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด 50 มิลลิลิตร ควมคุมอัตราเร็วในการกลั่น 6-10 มิลลิลิตรต่อนาที

4. นำส่วนที่กลั่นได้ 200 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด 50 มิลลิลิตร ไปหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน โดยการไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ (สีม่วงอ่อน)

5. ทำแบบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง

การคำนวณ

มิลลิกรัมต่อลิตรแอมโมเนียในโตรเจน  $(\text{NH}_3\text{-N}) = ((A-B) \times 280) / \text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)}$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตแบบลงค์ (มิลลิลิตร)

## ก.5 วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียในโตรเจน (ammonia nitrogen)

วิธีเนสเลอร์ไรเซชัน (Nesslerization)

แอมโมเนียในโตรเจน เกิดการการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในโตรเจน น้อยที่มีแอมโมเนียจึงมักเป็นน้ำสกปรก ในน้ำธรรมชาติมีปริมาณแอมโมเนียไม่มากนัก

วิธีเก็บรักษาตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างถ้ามีคลอรีนตกค้างควรต้องทำลายทันที หากไม่สามารถวิเคราะห์ทันทีได้ ควรเก็บรักษาตัวอย่างโดยการเติมกรดซัลฟูริก 0.8 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร แล้วนำไปแช่เย็น ก่อนที่นำน้ำตัวอย่างดังกล่าวมาวิเคราะห์ต้องปรับค่าความเป็นกรดต่างให้เป็นกลาง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่องวัดพีเอช
3. หลอดเนสเลอร์

สารเคมี

1. สารละลายซิงค์ซัลเฟต (Zinc Sulfate Solution) ละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 100 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายอีดีทีเอ (EDTA Reagent)

ละลายไอโซเดียมเอทิลีนไดอะมีน เตตระอะเซเตตไดไฮเดรต (Disodium Ethylenediamine Tetracetate Dihydrate) จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายอยู่ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

### 3. น้ำยานเนสเลอร์ (Nessler Reagent)

ละลายปรอทไอโอไดด์ ( $HgI_2$ ) จำนวน 100 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) จำนวน 70 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 160 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดแก้วสีชา

### 4. สารละลายสต็อกแอมโมเนีย (Stock Ammonia Solution)

นำแอมโมเนียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ ( $NH_4Cl$ ) ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจำนวน 3.819 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

สารละลายนี้ 1.00 มิลลิลิตร = 1.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน = 1.22 มิลลิกรัมแอมโมเนีย ( $NH_3$ )

### 5. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

นำสต็อกแอมโมเนียจำนวน 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

สารละลายนี้ 1.00 มิลลิลิตร = 10.00 ไมโครกรัมไนโตรเจน = 12.2 ไมโครกรัมแอมโมเนีย ( $NH_3$ )

## วิธีวิเคราะห์

### 1. การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างน้ำที่ปราศจากคลอรีนจำนวน 100 มิลลิลิตร ใส่หลอดเนสเลอร์ เติมสารละลายซิงค์ซัลเฟต 1 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.5 คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้เพื่อแยกส่วนน้ำใสเพื่อทำให้เกิดสี

### 2. การทำให้เกิดสี

นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการเตรียมจำนวน 50 มิลลิลิตร เติมน้ำยาอีดีทีเอ 1-2 หยด เติมน้ำยานเนสเลอร์ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา 15 นาที แบลงก์ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ โดยทำให้เกิดสีได้เลย นำตัวอย่างน้ำที่ครบเวลาตามที่กำหนดวัดค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร อ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน

### 3. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

เตรียมอนุกรมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียในโตรเจน ให้มีความเข้มข้น 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 ไมโครกรัม โดยใช้สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียจำนวน 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเนสเลอร์ เติมน้ำกลั่นให้ครบ 50 มิลลิลิตร แล้วทำให้เกิดสี จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับ Absorbance

การคำนวณ

แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปไนโตรเจน (N)) = ไมโครกรัมแอมโมเนียที่อ่านจากกราฟ/  
ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

## ก.6 ไนไตรต์และไนเตรต

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง Ion Chromatography

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างน้ำผ่านกระดาษกรองเมมเบรนพิวเตอร์ ที่มีขนาดความพรุน 0.45 ไมโครเมตร เพื่อป้องกันการอุดตันของเครื่องในขณะทำการวิเคราะห์ และตัวอย่างน้ำต้องเจือจางตามความเหมาะสมก่อนที่นำไปวิเคราะห์

## ก.7 Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
2. กรวยบुकเนอร์ ความจุ 100 มิลลิลิตร
3. เครื่องดูดอากาศ
4. เตาอบแห้ง
5. โถดูดความชื้น (desiccators)
6. เครื่องชั่งอย่างละเอียด

วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรอง GF/C ให้แห้งที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำ จนน้ำหนักกระดาษกรองคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมุติ เป็น A กรัม
2. เลือกปริมาตรน้ำตัวอย่าง โดยให้ค่าของแข็งน้อยที่สุดปริมาณ 2.5 มิลลิกรัม
3. นำกระดาษกรองวางในกรวยบुकเนอร์ที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
4. กรองน้ำตัวอย่าง โดยฉีดล้างของแข็งข้างกรวยจนหมด

5. นำกระดาษที่กระดาษกรองใส่ในงานเพาะเชื้อ และอบที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
6. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก สมมุติเป็น B กรัม

การคำนวณ

$$\text{MLSS มิลลิกรัมต่อลิตร} = ((B-A) \times 100) / \text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักกระดาษกรอง (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองและตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

### ก.8 เอสวี 30 (Sludge volume 30, $SV_{30}$ )

เครื่องมือและอุปกรณ์

กระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. นำน้ำตัวอย่างที่เขย่าจนเข้ากันดีแล้วใส่ในกระบอกตวงจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
2. ปล่อยให้สารที่หนักจมตัวเป็นเวลา 30 นาที
3. อ่านค่าปริมาตรที่จมตัวในเวลา 30 นาที มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

### ก.9 การวิเคราะห์โลหะหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer
2. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
3. กรวยบุคเนอร์ ขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร

การเก็บตัวอย่างน้ำ

หากไม่วิเคราะห์ทันทีให้นำตัวอย่างน้ำใส่กรดไนตริกเข้มข้น ( $HNO_3$  conc.) 1.5 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร เก็บในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส

### วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างน้ำกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่มีความพรุน 4.7 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการอุดตันของเครื่อง โดยตัวอย่างน้ำต้องเจือจางตามความเหมาะสมก่อนที่จะฉีดตัวอย่างน้ำเข้าเครื่องเพื่อวิเคราะห์

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการศึกษาคำเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์

ตารางที่ ข.1 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคะเมียม

Time (days)	Influent (mg/L)	MLSS 1,000 mg/L		MLSS 2,000 mg/L		MLSS 3,000 mg/L		MLSS 4,000 mg/L		MLSS 5,000 mg/L	
		Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal
1	5.3	0.4	91.9	0.3	94.2	0.2	96.3	0.2	96.7	0.1	97.7
4	4.3	0.6	85.3	0.7	84.4	0.4	90.8	0.4	89.9	0.3	92.6
7	4.3	1.2	71.7	0.7	82.7	0.6	87.1	0.6	85.9	0.4	90.2
9	4.5	1.2	74.2	0.9	80.7	0.4	90.5	0.6	87.2	0.3	93.3
13	4.3	1.3	70.8	1.0	76.1	0.7	84.7	0.8	82.7	0.4	90.5
16	5.5	0.6	88.9	0.5	91.6	0.4	91.9	0.5	91.8	0.3	94.1
19	5.5	1.1	79.2	0.9	84.3	0.7	87.1	0.7	88.2	0.4	92.5
22	5.5	1.3	75.8	0.7	88.0	0.7	87.0	0.7	88.0	0.6	89.7
25	5.0	1.2	76.9	0.9	82.3	0.9	82.2	0.8	83.5	1.0	81.2
28	5.5	1.3	75.6	0.6	89.3	0.7	86.7	0.8	86.1	0.7	87.9
31	5.4	1.5	72.0	1.0	82.4	0.7	86.3	0.7	86.4	0.9	83.3
34	5.4	1.2	77.3	1.0	81.2	0.7	86.7	0.7	86.7	0.9	83.0
Average	5.4±1.7	1.2±0.3	78.0±5.3	0.8±0.2	85.6±4.0	0.7±0.1	86.8±2.8	0.7±0.1	87.2±2.5	0.7±0.2	87.4±5.0

ตารางที่ ข.2 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดชีโอดี

Time (days)	Influent (mg/L)	MLSS 1,000 mg/L		MLSS 2,000 mg/L		MLSS 3,000 mg/L		MLSS 4,000 mg/L		MLSS 5,000 mg/L	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	914	16	98.2	14	98.5	15	98.3	8	99.1	13	98.6
4	917	14	98.5	18	98.1	17	98.2	16	98.3	14	98.4
7	911	24	97.3	23	97.4	22	97.6	19	97.9	17	98.1
10	926	25	97.3	24	97.4	23	97.5	23	97.5	22	97.6
13	922	14	98.5	17	98.1	17	98.1	15	98.4	23	97.5
16	944	15	98.4	14	98.5	17	98.3	14	98.5	22	97.7
19	932	27	97.1	19	98	16	98.3	17	98.2	14	98.6
22	924	22	97.6	18	98	13	98.6	14	98.5	15	98.4
25	916	22	97.5	16	98.2	15	98.4	11	98.8	11	98.8
28	959	23	97.6	16	98.3	17	98.2	15	98.4	14	98.6
31	951	27	97.1	21	97.7	18	98.1	16	98.3	15	98.4
34	948	28	97.1	21	97.8	19	98	18	98.1	16	98.3
Average	939±16	23±5	97.5±0.5	18±3	98.1±0.3	16±2	98.3±0.2	15±2	98.4±0.2	15±3	98.4±0.3

ตารางที่ ข.3 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดบีโอดี

Time (Day)	Influent (mg/L)	MLSS 1,000 mg/L		MLSS 2,000 mg/L		MLSS 3,000 mg/L		MLSS 4,000 mg/L		MLSS 5,000 mg/L	
		Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal
1	661	10	98.5	8	98.8	7	99	8	98.8	8	98.8
4	632	18	97.2	17	97.3	17	97	11	98.3	11	98.3
7	634	14	97.8	13	97.9	11	98	11	98.3	11	98.3
10	540	19	96.5	19	96.5	18	97	17	96.9	15	97.2
13	627	16	97.4	16	97.4	14	98	14	97.8	12	98.1
16	631	11	98.3	10	98.4	10	98	10	98.4	7	98.9
19	632	14	97.8	14	97.7	12	98	14	97.8	13	97.9
22	636	14	97.8	14	97.7	14	98	14	97.7	14	97.8
25	644	18	97.2	15	97.7	16	98	15	97.7	15	97.6
28	625	18	97.1	16	97.5	16	97	15	97.6	15	97.6
31	630	19	97.0	18	97.2	17	97	16	97.4	16	97.4
34	636	19	97.0	18	97.2	17	97	16	97.6	15	97.6
Average	636±6	16±3	97.5±0.5	15±3	97.6±0.4	16±2	97.7±0.4	14±2	97.8±0.3	14±3	97.8±0.8

ตารางที่ ข. 4 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจน

Time (Day)	Influent (mg/L)	MLSS 1,000 mg/L		MLSS 2,000 mg/L		MLSS 3,000 mg/L		MLSS 4,000 mg/L		MLSS 5,000 mg/L	
		Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal
1	29.6	6.4	78.6	7.1	75.9	4.5	84.7	6.8	77.1	8.9	70
6	29	5.6	80.7	3.4	88.4	3.9	86.6	12.8	55.7	11	62.2
11	28.6	3.9	86.5	3.4	88.2	3.4	88.2	6.5	77.3	6.3	78
16	29.8	6.5	78.3	6.2	79.1	6.3	78.8	7.8	73.7	3.2	89.4
21	28.9	6.3	78.1	9.0	68.9	10.3	64.3	9.9	65.8	6.5	77.5
26	29.1	10.7	63.2	9.3	67.9	10.8	62.8	7.7	73.4	5.5	81
31	28.9	10.0	65.4	9.3	67.7	10.6	63.4	7.9	72.6	6.5	77.5
34	29.1	10.0	65.5	10.4	64.4	10.4	64.2	8.3	71.5	6.5	77.6
Average	29.1±0.4	8.7±2.1	70.1±7.4	8.8±1.6	69.6±5.6	9.7±1.9	66.7±6.8	8.3±0.9	71.4±3.2	5.6±1.5	80.6±5.1

ตารางที่ ข. 5 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน

Time (Day)	Influent (mg/L)	MLSS 1,000 mg/L		MLSS 2,000 mg/L		MLSS 3,000 mg/L		MLSS 4,000 mg/L		MLSS 5,000 mg/L	
		Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal	Effluent (mg/L)	% Removal
1	5.6	2.9	47.9	2.2	61.7	0.7	88.1	1.6	71.9	1.7	69.8
6	5.5	2.8	48.9	2.4	56.7	1.3	76.4	1.8	68.1	1.6	71.5
11	5.1	3.0	42.0	2.8	44.9	2.8	45.9	2.6	48.6	2.4	54.3
16	5.3	2.8	46.8	2.3	56.2	2.1	59.8	2.0	62.4	1.9	64.3
21	5.5	2.9	47.3	2.6	52	2.6	53.1	2.5	54.6	2.2	59.7
26	5.4	2.9	46.2	2.7	50.3	2.5	53	2.3	57.1	2.3	56.9
31	5.5	2.9	46.6	2.8	49.0	2.6	51.6	2.5	53.9	2.4	56.9
34	5.4	2.9	46.0	2.7	49.5	2.6	51.7	2.5	53.2	2.3	57.1
Average	5.4±0.1	2.9±0.0	46.6±0.5	2.6±0.2	51.4±2.9	2.5±0.2	53.8±3.4	2.4±0.2	56.3±3.7	2.2±0.2	59.0±3.2

ตารางที่ ข.6 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อสารประกอบไนโตรเจน

Time (Day)	Influent (mg/L)		MLSS 1,000 mg/L		MLSS 2,000 mg/L		MLSS 3,000 mg/L		MLSS 4,000 mg/L		MLSS 5,000 mg/L	
			Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)	
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	0.13	0.33	0.17	14.08	0.24	11.52	0.34	13.28	0.38	10.9	0.41	10.96
6	0.13	0.33	0.18	15.29	0.36	14.6	0.35	14.73	0.42	11.55	0.42	10.07
11	0.12	0.35	0.20	16.67	0.28	15.44	0.29	14.45	0.37	11.35	0.40	10.87
16	0.13	0.31	0.26	16.52	0.32	15.34	0.35	14.29	0.37	11.17	0.41	10.46
21	0.13	0.37	0.25	16.86	0.30	15.34	0.35	14.24	0.36	11.13	0.40	10.04
26	0.13	0.39	0.31	15.83	0.35	15.77	0.38	14.65	0.38	11.45	0.41	10.66
31	0.13	0.31	0.34	16.04	0.36	15.86	0.38	14.84	0.39	11.75	0.40	10.68
34	0.13	0.34	0.35	16.24	0.37	15.92	0.38	14.84	0.39	11.74	0.40	10.74
Average	0.13±0.0	0.35±0.03	0.26±0.07	16.36±0.39	0.32±0.05	15.61±0.27	0.35±0.03	14.55±0.27	0.38±0.02	11.43±0.27	0.41±0.01	10.58±0.29

ตารางที่ ข.7 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

Time (days)	TN Influent (mg/L)	MLSS 1,000 mg/L		MLSS 2,000 mg/L		MLSS 3,000 mg/L		MLSS 4,000 mg/L		MLSS 5,000 mg/L	
		TN Effluent (mg/L)	%Removal	TN Effluent (mg/L)	%Removal	TN Effluent (mg/L)	%Removal	TN Effluent (mg/L)	%Removal	TN Effluent (mg/L)	%Removal
1	30.1	21.8	27.5	22.9	23.9	20.95	30.4	26.1	13.2	29.2	2.9
6	29.4	20.51	30.3	18.7	36.5	19.53	33.7	28.3	3.8	28.9	1.7
11	29.1	18.5	36.3	19.0	34.6	20.32	30.1	25.7	11.4	27.1	6.9
16	30.2	21.0	30.4	21.9	27.4	23.19	23.2	27.1	10.4	27.5	8.8
21	29.4	20.8	29.2	24.8	15.6	27.51	6.4	28.2	4.1	28.9	1.6
26	29.6	25.7	13.3	25.5	13.9	28.03	5.2	28.1	5.1	28.2	4.7
31	29.3	25.2	14.2	25.6	12.9	27.8	5.2	27.9	4.9	28.2	3.7
34	29.6	25.2	14.8	26.7	10.0	27.66	6.6	28.3	4.5	28.7	3.1
Average	29.5±0.1	24.2±2.3	17.8±7.6	25.6±0.8	13.1±2.4	27.8±0.2	5.8±0.7	28.01±1.0	5.0±3.3	28.2±0.6	4.4±2.2

ตารางที่ ข. 8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

Time (Day)	MLSS 1,000 mg/L			MLSS 2,000 mg/L			MLSS 3,000 mg/L			MLSS 4,000 mg/L			MLSS 5,000 mg/L		
	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)
1	1040	13	721	2440	147	316	3210	70	283	3870	0	235	4260	87	221
4	1850	283	108	2485	162	133	3155	52	152	3700	0	162	4490	0	180
7	1570	190	102	2170	57	138	3060	20	95	3290	0	112	3790	0	142
10	1510	170	113	2710	237	103	3070	23	104	4120	40	97	4990	0	88
13	1796	265	61	2560	187	117	3120	40	122	4055	18	126	4902	0	149
16	1948	316	104	2963	323	100	3560	185	106	4517	172	107	51173	39	131
19	2110	370	95	2438	146	102	3458	153	104	4333	111	108	5165	55	126
22	2008	336	105	3433	478	94	3425	142	104	4218	72	118	5163	54	139
25	2393	464	84	2473	158	101	3454	151	104	5102	367	94	5150	50	134
28	2422	474	74	3078	359	97	3450	150	104	4242	81	106	5274	91	121
31	1952	317	108	3280	427	95	3542	181	104	4410	137	113	5228	76	138
34	2135	378	94	2448	149	102	3426	142	110	4226	75	121	5234	78	134
Average	2138±198	365±73	95±12	2873±420	157±21	99±3	3473±55	144±45	105±2	4435±314	85±44	110±9	5190±50	53±23	132±6

ตารางที่ ข. 8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่อ)

Time (Day)	MLSS 1,000 mg/L			MLSS 2,000 mg/L			MLSS 3,000 mg/L			MLSS 4,000 mg/L			MLSS 5,000 mg/L		
	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M
1	78	105	0.21	17	178	0.07	46	322	0.05	0	345	0.05	0	420	0.04
4	7	11	0.11	15	13	0.07	61	39	0.05	0	26	0.04	0	20	0.04
7	8	12	0.13	38	10	0.08	153	17	0.05	0	10	0.05	0	14	0.03
10	9	12	0.12	11	10	0.05	132	11	0.04	103	11	0.03	0	14	0.03
13	7	10	0.12	14	13	0.06	78	19	0.05	221	20	0.04	0	27	0.04
16	6	18	0.11	14	21	0.06	19	26	0.05	26	17	0.04	132	24	0.03
19	6	21	0.1	17	20	0.07	23	24	0.05	39	26	0.04	94	22	0.03
22	6	29	0.11	17	23	0.07	24	65	0.05	58	95	0.04	95	95	0.03
25	5	22	0.09	16	27	0.07	22	63	0.05	14	96	0.04	103	99	0.03
28	5	26	0.09	16	21	0.07	23	70	0.05	53	97	0.04	89	98	0.03
31	6	20	0.11	19	26	0.07	20	69	0.05	32	98	0.04	79	98	0.03
34	6	22.00	0.1	16	26.00	0.07	24	63	0.05	56	95.00	0.04	67	97.00	0.03
Average	6±0	24±3	0.1±0.0	16±2	25±2	0.07±0.0	22±2	67±3	0.05±0.0	42±17	96±1	0.04±0.0	88±13	97±2	0.03±0.0

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย

ตารางที่ ค.1 แสดงผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำต่อการกำจัดแคดเมียม

Time (days)	Influent (mg/L)	HRT 2.5 days		HRT 5 days		HRT 7.5days		HRT 10 days	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	5	0.1	98.7	0.1	98.8	0.0	99.2	0.1	98.4
4	5.7	0.2	96.0	0.1	97.5	0.1	97.5	0.1	98.9
7	5.9	0.3	94.7	0.3	94.7	0.1	98.3	0.4	93.5
10	5.1	0.2	96.9	0.3	94.0	0.2	97.1	0.2	96.7
13	5.5	0.8	85.9	0.2	96.7	0.3	94.4	0.2	95.6
16	5.0	0.7	85.3	0.6	88.3	0.2	95.8	0.2	96.7
19	5.4	1.0	81.5	0.7	87.5	0.3	94.3	0.5	91.1
22	5.4	1.3	76.2	0.7	86.5	0.4	92.6	0.3	93.9
25	5.3	1.3	75.6	0.7	86.1	0.5	91.3	0.4	93.0
28	5.2	1.2	76.6	0.5	90.1	0.5	90.6	0.4	93.1
31	5.8	1.4	76.2	0.5	90.6	0.6	90.4	0.4	92.6
34	5.3	1.3	75.1	0.5	90.1	0.5	90.6	0.5	91.5
Average	5.4±0.2	1.1±0.3	79.1±4.5	0.6±0.2	89.5±3.4	0.40±0.12	92.5±2.1	0.4±0.1	93.5±1.9

ตารางที่ ค.2 แสดงผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำต่อการบำบัดชีโอดี

Time (days)	Influent (mg/L)	HRT 2.5 days		HRT 5 day		HRT 7.5 days		HRT 10 day	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	923	13	98.6	13	98.6	10	99	9	99.1
4	918	18	98.1	13	98.6	13	98.6	5	99.5
7	917	15	98.4	17	98.1	14	98.4	6	99.3
10	900	12	98.7	11	98.8	15	98.4	13	98.5
13	940	8	99.1	11	98.9	10	99.0	11	98.9
16	939	9	99.0	4	99.6	11	98.9	8	99.1
19	1000	21	97.9	24	97.6	22	97.8	21	97.9
22	997	23	97.7	17	98.3	26	97.4	19	98.1
25	1005	21	97.9	18	98.2	24	97.6	12	98.8
28	1003	24	97.6	20	98.0	15	98.5	16	98.4
31	1000	37	96.3	20	98.0	14	98.6	16	98.4
34	940	30	96.8	13	98.6	14	98.5	13	98.6
Average	983±30	24±9	97.6±0.9	17±6	98.3±0.6	18±6	98.2±0.6	15±4	98.5±0.4

ตารางที่ ๓.3 แสดงผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำต่อการบำบัดบีโอดี

Time (days)	Influent (mg/L)	HRT 2.5 days		HRT 5 days		HRT 7.5 days		HRT 10 days	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	675	19	97.2	14	97.9	19	97.2	10	98.5
4	705	10	98.6	13	98.2	13	98.2	15	97.9
7	695	19	97.3	15	97.8	11	98.4	17	97.6
10	645	16	97.5	10	98.4	11	98.3	12	98.1
13	670	17	97.4	12	98.2	8	98.8	8	98.8
16	675	7	99.0	8	98.8	7	98.9	2	99.7
19	645	15	97.8	13	97.9	14	97.9	12	98.1
22	660	13	98.0	13	98.0	10	98.4	8	98.8
25	645	14	97.8	15	97.7	15	97.6	15	97.7
28	660	20	96.9	15	97.7	16	97.6	16	97.5
31	690	20	97	15	97.8	14	97.9	16	97.8
34	660	22	96.6	16	97.6	15	97.8	15	97.7
Average	663±15	16±5	97.6±0.8	14±3	98.0±0.4	13±3	98.1±0.5	12±5	98.2±0.8

ตารางที่ ๑.๔ แสดงผลของระยะเวลาเก็บน้ำต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)	HRT 2.5 days		HRT 5 days		HRT 7.5 days		HRT 10 days	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	28.2	6.9	75.5	6.8	75.7	7.1	74.9	6.9	75.5
6	29.1	6.9	76.3	7.3	75.0	6.4	78.2	3.7	87.2
11	27.6	6.2	77.4	9.0	67.4	5.9	78.7	6.7	75.7
16	29.2	5.1	82.7	5.0	82.7	5.6	80.8	5.6	80.8
21	27.6	6.5	76.7	4.4	84.0	5.1	81.6	4.8	82.5
26	28.7	6.1	78.8	5.6	80.6	5.2	82.0	5.3	81.5
31	27.7	6.1	78.0	5.6	79.9	3.9	85.9	3.9	85.9
34	28.7	6.0	79.1	5.8	79.8	4.4	84.6	4.1	85.6
Average	28.4±0.7	5.9±0.5	79.1±2.3	5.3±0.6	81.4±1.9	4.8±0.7	83.0±2.2	4.8±0.7	83.2±2.3

ตารางที่ ค.5 แสดงผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน

Time (days)	Influent(mg/L)	HRT 2.5 days		HRT 5 days		HRT 7.5 days		HRT 10 days	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	4.81	1.41	70.75	1.43	70.20	1.46	69.65	1.31	72.76
6	4.89	1.55	68.35	1.19	75.58	1.45	70.33	1.30	73.33
11	4.91	1.58	67.73	1.57	68.07	1.53	68.75	1.38	71.87
16	4.84	1.57	67.56	1.53	68.32	1.41	70.80	1.33	72.52
21	5.2	1.57	69.74	1.53	70.64	1.46	71.92	1.34	74.17
16	5.74	1.60	72.07	1.51	73.64	1.48	74.16	1.35	76.42
31	4.96	1.28	74.19	1.25	74.80	1.18	76.21	1.15	76.88
34	5.75	1.51	73.78	1.48	74.30	1.45	74.77	1.34	76.68
Average	5.23±0.41	1.52±.12	70.85±2.93	1.48±0.12	71.63±3.03	1.42±0.12	72.77±2.78	1.32±0.08	74.76±2.22

ตารางที่ ๖ แสดงผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำต่อสารประกอบไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)		HRT 2 days		HRT 5 days		HRT 7.5days		HRT 10 days	
			Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)	
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	0.1	0.34	0.88	7.73	0.8	7.166	0.86	8.62	0.38	8.9508
6	0.14	0.32	0.77	9.7359	0.57	13.4	0.38	14.27	0.31	14.76
11	0.1	0.29	0.41	10.4959	0.41	11.46	0.39	13.87725	0.35	14.85
16	0.18	0.3	0.4	11.5338	0.37	11.969	0.35	13.4434	0.35	14.68316
21	0.12	0.32	0.38	13.2563	0.36	13.638	0.33	14.8539	0.31	16.45196
26	0.11	0.3	0.37	15.02	0.35	16.12	0.34	16.401	0.32	16.7345
31	0.13	0.3	0.37	15.022	0.35	16.18	0.35	16.547	0.32	16.83
34	0.12	0.31	0.37	16.03643	0.34	16.36	0.33	16.59732	0.32	16.83568
Average	0.13±0.03	0.31±0.01	0.38±0.01	14.17±1.78	0.35±0.01	14.85±1.96	0.34±0.01	15.57±1.39	0.32±0.01	16.31±0.92

ตารางที่ ค.7 แสดงผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

Time (days)	TN Influent (mg/L)	HRT 2.5 days		HRT 5 days		HRT 7.5 days		HRT 10 days	
		TN Effluent (mg/L)	% Removal	TN Effluent (mg/L)	% Removal	TN Effluent (mg/L)	% Removal	TN Effluent (mg/L)	% Removal
1	28.6	15.5	45.8	14.8	48.3	16.6	42.1	16.2	43.3
6	29.5	17.4	41.1	21.3	28.1	21.0	28.9	18.8	36.4
11	28.0	17.2	38.7	20.9	25.4	20.1	28.0	21.9	21.7
16	29.7	17.0	42.8	17.4	41.5	19.4	34.7	20.6	30.5
21	28.1	20.1	28.4	18.4	34.4	20.3	27.8	21.6	23.0
26	29.1	21.5	26.2	22.0	24.3	21.9	24.7	22.4	23.1
31	28.1	21.5	23.6	22.1	21.4	20.8	26.0	21.1	25.1
34	29.1	22.4	23.0	22.5	22.7	21.3	26.7	21.3	26.9
Average	28.6±0.6	21.4±1.0	25.3±2.5	21.3±1.9	25.7±5.9	21.1±0.7	26.3±1.3	21.6±0.7	24.5±1.8

ตารางที่ ค.8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 2.5 , 5, 7.5 และ 10 วัน

Time (days)	HRT 2.5 days			HRT 5 days			HRT 7.5 days			HRT 10 days		
	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI(mL/g)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)
1	2420	140	79	2270	90	69	2660	220	75	2410	137	86
4	2610	203	79	2210	70	71	2150	50	91	2100	33	102
7	2453	151	87	2337	112	74	2177	59	77	2180	60	90
10	2280	93	99	2880	293	66	2250	83	74	2170	57	94
13	2390	130	106	2875	292	64	2170	57	98	2125	42	110
16	3105	368	69	2770	257	71	2140	47	101	2153	51	105
19	3020	340	72	2730	243	67	2180	60	99	2108	36	109
22	3000	333	82	2520	173	69	2252	84	104	2165	55	108
25	3092	364	71	2440	147	66	2276	92	94	2128	43	107
28	2800	267	95	2440	147	71	2132	44	109	2148	49	104
31	2947	316	83	2595	198	71	2246	82	91	2165	55	105
34	2835	278	81	2448	149	118	2224	75	148	2166	55	231
Average	2971±118	324±39	84±12	2563±140	188±47	73±15	2207±57	69±19	97±20	2147±22	49±7	112±38

ตารางที่ ๘ แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 2.5 , 5, 7.5 และ 10 วัน (ต่อ)

Time (days)	HRT 2.5 days			HRT 5 days			HRT 7.5 days			HRT 10 days		
	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M	SRT (d)	SS (mg/L)	F/M
1	17	0	0.09	25	0	0.05	12	0	0.03	18	4	0.02
4	13	3	0.09	32	1	0.05	43	1	0.04	63	4	0.03
7	16	1	0.11	21	12	0.06	37	2	0.04	37	5	0.03
10	24	6	0.09	10	4	0.04	27	7	0.03	38	9	0.02
13	18	2	0.07	10	2	0.03	38	5	0.03	51	8	0.02
16	8	11	0.07	11	2	0.04	46	10	0.03	42	8	0.02
19	9	11	0.07	11	3	0.04	36	12	0.03	59	9	0.02
22	9	10	0.07	15	5	0.04	27	13	0.03	39	9	0.02
25	8	10	0.07	17	16	0.04	25	10	0.03	50	11	0.02
28	11	10	0.08	17	17	0.04	49	13	0.03	44	11	0.02
31	9	11	0.08	13	17	0.04	27	16	0.03	40	14	0.03
34	10	11	0.07	17	17	0.04	30	15	0.03	39	13	0.02
Average	9±1	11±1	0.07±0.0	14±3	11±0	0.04±0.0	34±10	13±2	0.03±0.0	45±7	11±2	0.02±0.0

ภาคผนวก ง

ผลการทดลองความเข้มข้นของแคดเมียม

ตารางที่ ง.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์

Time (days)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
1	10.3	0.1	99.1	20.2	0.0	99.8	30.2	0.5	98.5	40.2	0.1	99.9	50.0	0.3	99.4
4	10.1	0.1	99.1	20.0	0.1	99.7	30.2	0.8	97.4	40.2	1.6	96.1	50.2	2.4	95.3
7	10.0	0.1	99.0	20.0	0.5	97.4	30.2	1.3	95.6	40.1	1.5	96.2	50.2	2.6	94.9
10	10.3	0.2	98.4	20.2	0.7	96.5	30.6	3.0	90.1	40.2	5.8	85.7	50.4	9.6	80.9
13	10.0	0.6	94.3	20.0	1.7	91.3	30.3	3.4	88.8	40.0	6.1	84.7	50.0	10.0	80.0
16	10.4	1.1	89.2	20.3	2.3	88.7	30.1	4.2	86.2	40.2	6.4	84.0	50.2	10.0	80.1
19	10.0	1.1	88.8	20.0	2.8	86.2	30.0	4.8	83.9	40.0	7.7	80.7	50.1	11.3	77.4
22	10.0	1.2	88.0	20.2	2.9	85.8	30.2	5.4	82.2	40.3	8.8	78.1	50.1	12.7	74.8
25	10.0	1.4	86.0	20.4	3.3	83.6	30.2	6.1	79.9	40.2	9.9	75.3	50.3	13.7	72.9
28	10.4	1.7	84.0	20.4	3.7	82.0	30.2	6.9	77.0	40.0	10.0	75.0	50.0	15.9	68.2
31	10.4	1.7	83.4	20.3	3.9	80.7	30.2	8.1	73.2	40.0	11.0	72.5	50.9	16.9	66.9
34	10.4	1.9	81.5	20.5	4.2	79.5	30.0	9.2	69.5	40.0	13.0	67.4	50.2	18.2	63.8
37	10.4	2.5	76.1	20.0	5.6	72.1	30.1	11.0	63.4	40.0	14.5	63.7	50.0	19.5	61.0
40	10.2	2.9	71.6	20.1	6.8	66.1	30.1	11.5	61.8	40.2	15.0	62.7	50.4	24.0	52.4
Average	10.2±0.2	1.6±0.7	84.3±6.7	20.2±0.2	3.7±3.7	81.6±7.6	30.1±0.1	7.1±2.8	76.6±9.4	40.1±0.1	10.3±3.2	74.4±7.5	50.2±0.3	15.2±4.5	69.7±9.0

ตารางที่ ง.2 แสดงผลความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดซีโอดี

Time (days)	Influent (mg/L)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	960	2	99.7	2	99.8	9	99.1	7	99.2	7	99.2
4	968	4	99.6	7	99.3	9	99.1	8	99.2	29	97.0
7	962	7	99.3	12	98.7	29	97	28	97.1	35	96.3
10	971	16	98.3	19	98.1	29	97.1	29	97.1	41	95.8
13	957	16	98.3	29	97	33	96.6	35	96.3	47	95.1
16	947	17	98.2	30	96.8	40	95.8	41	95.7	52	94.5
19	963	17	98.2	37	96.1	41	95.8	44	95.4	64	93.3
22	977	18	98.2	39	96.0	43	95.6	50	94.9	72	92.6
25	956	18	98.1	40	95.8	58	94	57	94.0	77	91.9
28	969	18	98.1	49	95	67	93.1	69	92.9	86	91.1
31	968	20	97.9	57	94.1	77	92	78	92	96	90.1
34	965	23	97.6	69	92.9	81	91.6	83	91.4	97	90.0
37	973	25	97.4	79	91.9	85	91.3	94	90.3	117	88.0
40	964	29	97.0	79	91.8	88	90.9	97	90.0	129	86.7
Average	964±9	20±4	97.9±0.4	51±19	94.7±2.0	61±21	93.7±2.0	65±22	93.3±2.3	84±26	91.3±2.7

ตารางที่ 3.3 แสดงผลความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดปีโอดี

Time (days)	Influent (mg/L)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	646	23	96.4	23	96.4	24	96.3	29	95.5	22	96.6
4	648	29	95.5	31	95.2	33	94.9	58	91.1	75	88.4
7	646	35	94.6	37	94.3	48	92.6	73	88.7	80	87.6
10	651	35	94.6	37	94.3	52	92.0	77	88.2	94	85.6
13	644	35	94.6	46	92.9	54	91.6	79	87.7	97	84.9
16	636	37	94.2	50	92.1	58	90.9	83	87.0	102	84.0
19	639	38	94.1	50	92.2	60	90.6	85	86.7	114	82.2
22	641	40	93.8	51	92.0	58	91.0	83	87.1	120	81.3
25	644	41	93.6	55	91.5	74	88.5	99	84.6	128	80.1
28	643	42	93.5	63	90.2	78	87.9	103	84.0	135	79.0
31	643	43	93.3	70	89.1	91	85.9	116	82.0	139	78.4
34	640	43	93.3	75	88.3	95	85.2	120	81.3	141	78.0
37	638	44	93.1	90	85.9	97	84.8	122	80.9	155	75.7
40	638	46	92.8	90	85.9	104	83.7	129	79.8	177	72.3
Average	641±3	41±3	93.6±0.5	64±17	90.0±2.6	77±19	88.0±3	102±19	84.1±3	131±24	79.6±3.8

ตารางที่ ๓.๔ แสดงผลความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	28.5	2	92.9	2.3	92.1	2.4	91.6	2.3	92	2.3	92.1
6	28.4	2.2	92.4	3	89.5	4.3	84.8	4.5	84	5.1	82.2
11	28.6	3.9	86.2	4.2	85.2	5.1	82.1	5.4	81	6.7	76.4
16	28.4	2	84.2	6	78.7	6.4	77.6	7.5	74	8.5	69.9
21	28.3	5.1	82.1	6.3	77.8	7.5	73.6	9.5	66	10.7	62.3
26	28.2	5.6	80.3	6.6	76.7	11.3	60.0	12.1	57	14.6	48.3
31	28.2	5.6	80.3	7.3	74.3	11.6	59.0	12.6	56	15.7	44.6
36	28.0	6.1	78.4	7.6	73.0	12.6	55.2	14.9	47	17.7	37.1
40	28.1	6.9	75.6	7.1	74.8	13.7	51.1	15.2	46	17.9	36.1
Average	28.2±0.2	5.0±1.6	81.0±3.6	6.4±1.1	77.2±4.0						
11-21	28.4±0.2					6.3±1.2	77.8±4.2	7.5±2.1	73.7±7.5	8.6±2.0	69.5±7.1
26-40	28.1±0.1					12.3±1.1	56.3±4.1	13.7±1.6	51.3±5.9	16.5±1.6	41.5±5.9

ตารางที่ ๓.5 แสดงผลของความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	5.5	1.2	78.7	1.1	79.3	2.2	59.4	2.1	62.6	2.0	62.9
6	5.6	1.2	78.6	1.5	74.3	2.3	59.6	2.2	61.5	2.3	59.9
11	5.6	1.1	79.7	1.6	70.8	2.3	58.8	2.3	58.8	2.4	57.5
16	5.5	1.2	73.3	1.8	67	2.4	55.9	2.4	55.5	2.5	53.6
21	5.6	1.8	68.0	2.2	60.4	2.6	53.8	2.5	54.8	2.7	50.9
26	5.5	2.2	61.1	2.2	60.0	2.6	52.7	2.8	49.5	2.8	49
31	5.6	2.4	57.2	2.4	56.9	2.9	48.7	3.1	43.4	3.4	38.3
36	5.7	2.5	55.1	2.5	56.5	2.9	49.2	3.2	43.7	3.5	37.9
40	5.5	2.5	54.8	2.5	54.9	2.9	47.8	3.2	41.0	3.6	34.2
Average	5.5±0.1	2.1±0.5	61.6±7.6	2.3±0.3	59.3±4.3						
16-26	5.5±0.0					2.5±0.1	54.1±1.6	2.6±0.2	53.2±3.3	2.7±0.1	51.2±2.3
31-34	5.6±2.5					2.9±0.0	48.5±0.7	3.2±0.1	42.7±1.5	3.5±0.1	36.8±2.3

ตารางที่ ๖.6 แสดงผลของความเข้มข้นของแคดเมียมต่อสารประกอบไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)		Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L	
	Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)	
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	0.13	0.23	0.41	12.7	0.44	12.78	0.42	13.01	0.43	9.63	0.42	10.34
6	0.12	0.22	0.43	13.6	0.43	12.33	0.43	15.11	0.55	12.66	0.58	12.56
11	0.12	0.22	0.42	15	0.42	12.34	0.41	15.39	0.58	15.14	0.6	15.1
16	0.13	0.2	0.41	16.1	0.43	15.66	0.49	15.14	0.57	15.44	0.59	15.25
21	0.13	0.25	0.41	17.1	0.45	16.62	0.53	16.15	0.55	15.27	0.79	15.1
26	0.12	0.21	0.41	17.5	0.45	17.48	0.54	16.04	0.54	15.34	0.81	15.14
31	0.13	0.24	0.42	17.3	0.46	17.39	0.57	16.44	0.74	15.35	1.3	15.18
36	0.12	0.23	0.43	17	0.47	17.45	0.66	16.44	1.05	15.36	1.45	15.17
40	0.12	0.19	0.49	17.2	0.6	17.56	0.85	16.44	1.29	15.37	1.75	15.12
Average	0.12±0.01	0.22±0.02	0.43±0.03	17.02±0.46	0.47±0.06	17.03±0.75	0.58±0.14	16.11±0.5	0.76±0.03	15.36±0.05	1.04±0.46	15.16±0.05

ตารางที่ ๓.7 แสดงผลของความเข้มข้นของแคดเมียมต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

Time (days)	Influent (mg/L)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L		Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	28.83	15.52	46.17	15.52	46.17	15.83	45.1	12.36	57.13	13.06	54.71
6	28.73	16.18	43.68	15.76	45.14	19.84	30.94	17.71	38.35	18.24	36.5
11	28.9	19.32	33.16	16.96	41.32	20.9	27.69	21.12	26.93	22.4	22.5
16	28.68	18.54	35.36	22.09	22.98	22.03	23.19	23.51	18.03	24.34	15.13
21	28.65	22.6	21.13	23.37	18.44	24.18	15.61	25.32	11.63	26.59	7.2
26	28.49	23.47	17.62	24.53	13.9	27.88	2.14	27.98	1.79	30.55	0
31	28.61	23.29	18.59	25.15	12.09	28.61	0	28.69	0	32.18	0
36	28.4	23.53	17.14	25.52	10.13	29.7	0	31.31	0	34.32	0
40	28.37	24.56	13.43	25.26	10.96	30.99	0	31.86	0	34.77	0
Average	28.5±0.13	23.49±0.7	17.58±2.79	24.77±0.86	13.1±3.3	-	-	-	-	-	-
11-21	-	-	-	-	-	22.37±1.7	22.16±6.1	23.32±2.1	18.86±7.68	24.44±2.10	14.94±7.65

ตารางที่ ๘ แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ ของแคดเมียมในน้ำเสียดังเคราะห์

Time (days)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L		
	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SRT (d)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SRT (d)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SRT (d)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SRT (d)	MLSS (mg/L)	Excess sludge (mg/d)	SRT (d)
1	2241	80	28	2256	85	26	2256	85	26	2155	52	42	2153	51	42
4	2265	88	26	2366	122	19	2284	95	24	2253	84	27	2148	49	44
7	2367	122	19	2340	113	21	2180	60	36	2282	94	24	2180	60	36
10	2579	193	13	2525	175	14	2168	56	39	2146	49	44	1905	-	-
13	2566	189	14	2546	182	14	2165	55	39	2141	47	46	1930	-	-
16	2559	186	14	2550	183	14	2182	61	54	2163	54	40	1977	-	-
19	2558	186	14	2545	182	14	2249	83	27	2212	71	31	1928	-	-
22	2666	222	12	2523	174	14	2261	87	26	2214	71	31	1871	-	-
25	2534	178	14	2517	172	15	2381	127	19	2375	125	19	1944	-	-
28	2475	158	16	2432	144	17	2357	119	20	2320	107	22	2022	-	-
31	2479	160	16	2454	151	16	2345	115	20	2275	92	25	1986	-	-
34	2462	154	16	2446	149	16	2332	111	21	2234	78	29	1953	-	-
37	2344	115	21	2334	111	21	2223	74	30	2208	69	32	1949	-	-
40	2286	95	24	2155	52	42	2133	44	48	2108	36	58	1955	-	-

ตารางที่ ๓.๘ แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นของแคดเมียมต่างๆ ในน้ำเสียถังเคราะห์ (ต่อ)

Time (days)	Cd <sup>2+</sup> concentration 10 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 20 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 30 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 40 mg/L			Cd <sup>2+</sup> concentration 50 mg/L		
	SS (mg/L)	SVI (mL/g)	F/M	SS (mg/L)	SVI (mL/g)	F/M	SS (mg/L)	SVI (mL/g)	F/M	SS (mg/L)	SVI (mL/g)	F/M	SS (mg/L)	SVI (mL/g)	F/M
1	3	94	0.06	4	93	0.06	3	96	0.06	3	103	0.06	3	102	0.06
4	2	91	0.06	2	87	0.05	3	89	0.06	3	96	0.06	4	101	0.06
7	3	84	0.05	5	81	0.06	5	90	0.06	6	89	0.06	10	93	0.06
10	4	75	0.05	5	72	0.05	6	103	0.06	7	85	0.06	8	88	0.07
13	5	70	0.05	7	68	0.05	8	86	0.06	7	62	0.06	10	76	0.07
16	8	65	0.05	9	58	0.05	10	72	0.06	10	68	0.06	12	62	0.06
19	7	60	0.05	11	56	0.05	10	68	0.06	10	65	0.06	23	62	0.07
22	9	59	0.05	11	53	0.05	10	83	0.06	20	74	0.06	35	63	0.07
25	9	59	0.05	10	54	0.05	22	66	0.05	24	63	0.05	46	60	0.07
28	10	62	0.05	16	49	0.05	22	65	0.05	30	63	0.06	54	56	0.06
31	11	59	0.05	25	52	0.05	25	72	0.05	37	65	0.06	58	57	0.06
34	11	57	0.05	26	52	0.05	31	72	0.05	48	66	0.06	60	58	0.07
37	12	61	0.05	14	53	0.05	36	76	0.06	49	67	0.06	61	58	0.07
40	12	66	0.06	19	62	0.06	35	83	0.06	47	74	0.06	65	58	0.07
Average	9±2	62±4	0.05±0.0	14±7	56±6	0.05±0.0	9±2	74±7	0.06±0.0	11±5	67±4	0.06±0.0	17±11	61±6	0.06±0.0
	-	-	-	-	-	-	28±6	-	-	39±10	-	-	57±7	-	-

**ภาคผนวก จ**

**ผลการทดลองสัดส่วนระยะเวลาแอนนอซิกต่อออกซิก**

ตารางที่ จ.1 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

Time (days)	Influent (mg/L)	6: 13				8: 11				10: 9			
		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	5.00	0.02	99.50	0.00	99.70	0.00	99.70	0.00	99.70	0.06	98.80	0.05	99.00
4	5.10	0.06	98.80	0.10	99.00	0.20	96.30	0.10	97.80	0.11	97.90	0.01	99.80
7	5.10	0.15	97.00	0.10	97.60	0.30	94.90	0.30	95.00	0.36	92.90	0.08	98.50
10	5.10	0.35	93.10	0.20	95.70	0.40	92.20	0.40	92.40	0.41	91.90	0.24	95.20
13	5.10	0.40	92.20	0.40	92.50	0.40	91.20	0.40	92.50	0.42	91.80	0.24	95.30
16	5.10	0.44	91.40	0.40	92.80	0.50	90.80	0.40	92.50	0.34	93.30	0.23	95.40
19	5.10	0.47	90.80	0.40	92.10	0.50	90.70	0.40	93.10	0.34	93.40	0.21	95.90
22	5.20	0.47	91.00	0.30	93.50	0.50	90.40	0.30	93.30	0.32	93.80	0.24	95.30
25	5.10	0.60	88.30	0.50	91.10	0.60	88.60	0.40	92.80	0.33	93.50	0.24	95.30
28	5.10	0.70	86.30	0.50	90.40	0.60	88.90	0.40	92.80	0.39	92.40	0.29	94.30
31	5.20	1.11	78.70	0.70	86.00	0.70	86.60	0.40	92.50	0.34	93.40	0.27	94.70
34	5.10	1.31	74.60	0.70	87.30	0.90	83.10	0.40	93.00	0.39	92.40	0.30	94.20
37	5.10	1.31	74.60	0.70	86.30	1.00	81.40	0.40	92.60	0.38	92.60	0.28	94.60
40	5.10	1.30	74.30	0.80	85.20	1.20	77.20	0.40	92.40	0.36	92.90	0.27	94.80
Average	5.1±0.0	0.7±0.4	86.0±8.2	0.5±0.2	90.9±4.0	0.6±0.3	88±5.1	0.4±0.0	92.9±0.7	0.4±0.0	92.9±0.7	0.2±0.1	95.3±1.1

ตารางที่ จ.2 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดชีโอดี

Time (days)	Influent (mg/L)	6: 13				8: 11				10: 9			
		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	960	95	90.1	80	91.6	85	91.2	60	93.8	81	91.6	80	91.6
4	968	105	89.2	92	90.5	132	86.4	119	87.7	90	90.7	89	90.8
7	962	95	90.1	85	91.1	111	88.5	87	91	92	90.5	90	90.7
10	971	95	90.2	85	91.2	98	89.9	85	91.3	101	89.6	92	90.5
13	957	99	89.7	84	91.2	90	90.5	86	91.1	101	89.5	86	91.0
16	947	93	90.2	81	91.5	88	90.7	81	91.5	93	90.2	89	90.6
19	963	95	90.2	89	90.8	93	90.4	89	90.8	97	89.9	89	90.8
22	977	95	90.3	86	91.2	95	90.3	86	91.2	99	89.9	88	91
25	956	92	90.4	86	91.0	96	89.9	86	91.0	99	89.6	88	90.8
28	969	92	90.5	87	91.1	102	89.4	88	90.9	100	89.7	89	90.9
31	968	93	90.4	87	91.0	103	89.4	88	90.9	101	89.6	89	90.8
34	965	95	90.2	88	90.9	105	89.1	89	90.8	105	89.1	96	90.1
37	973	92	90.5	87	91.1	106	89.1	89	90.8	111	88.6	100	89.8
40	964	96	90.1	90	90.7	107	88.9	92	90.5	111	88.5	100	89.6
Average	964±8	94±2	90.2±0.2	86±2	91.1±0.2	100±7	89.7±0.7	87±3	91.0±0.3	101±6	89.6±0.6	91±5	90.6±0.5

ตารางที่ จ.3 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดบีโอดี

Time (days)	Influent (mg/L)	6: 13				8: 11				10: 9			
		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	646	81	87.5	81	87.5	90	86.0	78	88.0	78	87.9	78	88.0
4	648	90	86.0	87	86.5	97	85.0	87	86.6	94	85.5	89	86.3
7	646	83	87.1	72	88.8	81	87.5	76	88.3	81	87.5	79	87.8
10	651	82	87.3	76	88.4	86	86.7	78	88.1	82	87.4	81	87.6
13	644	80	87.6	70	89.1	87	86.5	75	88.3	87	86.5	77	88.0
16	636	75	88.3	64	89.9	82	87.2	70	88.9	81	87.3	74	88.4
19	639	79	87.6	69	89.2	82	87.1	73	88.6	81	87.4	77	87.9
22	641	79	87.6	68	89.3	84	86.9	72	88.7	83	87.1	77	88.0
25	644	80	87.5	68	89.5	81	87.4	70	89.1	84	86.9	78	87.9
28	644	77	88.0	66	89.7	80	87.6	71	88.9	84	87.0	78	87.9
31	643	78	87.9	67	89.6	79	87.7	71	88.9	85	86.9	79	87.8
34	640	80	87.6	70	89.1	81	87.4	74	88.5	84	86.8	80	87.5
37	637	80	87.5	68	89.3	80	87.5	74	88.4	83	87.0	76	88.0
40	638	81	87.3	68	89.3	81	87.3	73	88.5	83	87.1	77	87.9
Average	642±4	79±2	87.6±0.3	69±3	89.3±0.4	82±3	87.2±0.4	73±2	88.6±0.3	83±2	87.0±0.3	78±2	87.9±0.2

ตารางที่ จ. 4 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)	6: 13				8: 11				10: 9			
		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	28.5	9.7	65.9	1.2	95.9	10	64.8	1.2	95.9	10.7	62.6	1.3	95.6
6	28.4	6.7	76.3	1.4	95.2	7.1	75.1	1.4	95.2	10.3	63.9	1.4	95.2
11	28.6	6.7	76.5	1.3	95.5	8	72	1.3	95.5	10.2	64.4	1.9	93.5
16	28.4	7.3	74.3	2.3	92	8.5	70.1	2.3	92	10.1	64.4	2.9	89.9
21	28.3	8.3	70.7	3.3	88.5	9	68.3	3.6	87.1	10.7	62.3	3.4	88.1
26	28.2	9.3	67	3.5	87.7	11.2	60.4	4	85.6	11.2	60.1	4.3	84.9
31	28.2	9.7	65.8	3.3	88.5	11.3	60.1	4.3	84.9	11.3	60.2	4.3	84.9
36	28	11.3	59.7	4.3	84.8	11.3	59.8	4.3	84.8	11.4	59.5	4.3	84.7
40	28.1	11.2	60	4.6	83.4	11.3	59.7	4.6	83.4	11.4	59.5	4.7	83.4
Average	28.2±0.2	9.1±1.8	67.7±6.5	3.2±1.1	88.6±4.1	10.1±1.5	64.3±5.5	3.5±1.2	87.6±4.5	10.9±0.6	61.5±2.2	3.7±1.0	87±3.6

ตารางที่ จ.5 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)	6: 13				8: 11				10: 9			
		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/l)	%Removal	Effluent (mg/l)	%Removal	Effluent (mg/l)	%Removal	Effluent (mg/l)	%Removal	Effluent (mg/l)	%Removal	Effluent (mg/l)	%Removal
1	5.5	1.2	78.8	0.1	98.4	1.2	78.2	0.2	97.3	0.9	83.1	0.7	87.1
6	5.6	2.4	58	1.3	77.6	2.4	57.3	1.1	80.1	2.6	54.3	1	81.9
11	5.6	2.4	58.1	1.3	77.2	2.5	55.1	1.3	77.4	2.8	50.6	1.4	74.7
16	5.5	2.4	57.2	1.3	76.7	2.5	53.7	1.3	76.1	2.8	49	1.5	72.7
21	5.6	2.6	53.9	1.3	77.6	2.6	53.4	1.3	76.9	2.9	48.9	1.5	72.6
26	5.5	2.6	53.4	1.3	76.8	2.6	52.5	1.3	75.7	2.9	48.2	1.5	72.3
31	5.6	2.6	53.7	1.2	78.2	2.7	51.9	1.3	75.9	2.9	47.9	1.6	71.7
36	5.7	2.6	54.4	1.4	75.6	2.8	51.4	1.4	76.1	2.9	48.6	1.6	72.1
40	5.5	2.6	53.2	1.3	76.7	2.7	51.2	1.4	75	2.9	47.2	1.6	71.4
Average	5.6±0.1	2.5±0.1	55.2±2.1	1.3±0.0	77.0±0.8	2.6±0.1	53.3±2.1	1.3±0.1	76.7±1.6	2.8±0.1	49.3±2.2	1.5±0.2	73.7±3.5

ตารางที่ จ.6 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน

Time (days)	Influent (mg/L)		6: 13				8: 11				10: 9			
			Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic	
			Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Effluent (mg/L)	
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	0.13	1.55	0.01	7.97	0.02	7.09	0.03	8.76	0.01	10.04	0.03	5.76	0.03	5.54
6	0.12	1.51	0.03	8.28	0.03	8.13	0.03	5.76	0.03	4.04	0.01	4.68	0.02	4.08
11	0.12	1.53	0.03	6.96	0.04	6.1	0.01	4.99	0.04	4.43	0.01	4.86	0.06	4.31
16	0.13	1.54	0.04	8.87	0.04	8.57	0.03	5.97	0.05	5.34	0.02	5.97	0.06	5.09
21	0.13	1.53	0.05	8.67	0.05	8.46	0.03	6.75	0.05	6.46	0.02	6.05	0.06	5.88
26	0.12	1.53	0.05	9.56	0.06	9.25	0.03	6.9	0.05	6.68	0.01	5.86	0.04	5.48
31	0.13	1.54	0.06	9.84	0.06	9.18	0.02	6.86	0.06	6.68	0.01	5.87	0.04	5.12
36	0.12	1.52	0.06	10.6	0.07	10.26	0.03	7.26	0.06	6.76	0.01	5.95	0.04	5.27
40	0.12	1.52	0.05	10.88	0.09	10.32	0.01	7.37	0.09	6.8	0.01	5.97	0.05	5.45
Average	0.12±0.01	1.53±0.01	0.05±0.01	9.74±0.89	0.06±0.02	9.34±0.80	0.02±0.01	6.85±0.49	0.05±0.02	6.45±0.56	0.01±0.00	5.95±0.07	0.05±0.01	5.38±0.29

ตารางที่ จ.7 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

Time days	Influent (mg/L)	6: 13		8: 11		10: 9	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	30.18	8.31	72.47	11.25	62.72	6.87	77.24
6	30.03	9.56	68.17	5.47	81.78	5.5	81.68
11	30.25	7.44	75.4	5.77	80.93	6.27	79.27
16	30.07	10.91	63.72	7.69	74.43	8.05	73.23
21	29.96	11.81	60.58	10.11	66.26	9.34	68.83
26	29.85	12.81	57.09	10.73	64.05	9.82	67.1
31	29.87	12.54	58.02	11.04	63.04	9.46	68.33
36	29.64	14.63	50.64	11.12	62.48	9.61	67.58
40	29.74	15.01	49.53	11.49	61.37	10.2	65.7
Average	29.9±0.2	12.2±2.5	59.3±5.6	9.7±2.1	67.5±4.8	9.0±1.4	70.0±2.6

ตารางที่ จ.8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง

Time (days)	6: 13					8: 11					10: 9				
	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	SS (mg/L)	SRT (d)	F/M	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	SS (mg/L)	SRT (d)	F/M	Excess sludge (mg/d)	SVI (mL/g)	SS (mg/L)	SRT (d)	F/M
1	61	104	9	36	0.06	46	111	10	47	0.06	48	107	10	45	0.06
4	197	86	10	13	0.05	126	102	11	19	0.05	175	88	12	14	0.05
7	116	92	5	20	0.06	88	112	10	26	0.06	94	91	8	24	0.06
10	118	96	5	20	0.06	86	99	6	26	0.06	74	90	7	30	0.06
13	85	89	6	26	0.06	77	88	4	29	0.06	76	90	4	30	0.06
16	96	87	4	24	0.06	92	95	5	25	0.06	46	90	5	46	0.06
19	94	96	6	24	0.06	48	101	4	44	0.06	42	96	3	51	0.06
22	85	93	4	26	0.06	82	111	4	27	0.06	83	102	3	27	0.06
25	84	79	6	27	0.06	80	82	4	28	0.06	93	73	4	24	0.06
28	100	74	5	23	0.06	95	79	4	24	0.06	86	81	5	26	0.06
31	108	73	7	21	0.05	86	81	5	26	0.06	117	80	5	20	0.05
34	104	91	7	22	0.06	87	93	6	26	0.06	57	107	6	38	0.06
37	93	78	7	25	0.06	56	86	7	39	0.06	43	78	4	50	0.06
40	81	92	7	28	0.06	59	96	6	37	0.06	48	110	7	44	0.06
Average	97±12	87±12	6±1	20	0.06±0.00	78±15	94±11	5±2	30	0.06±0.00	71±24	92±12	5±2	34	0.06±0.00

ตารางที่ จ.9 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงระยะเวลาแอนอกซิกและออกซิก 6: 13, 8:11 และ 10: 9 ชั่วโมง

Time (days)	6: 13		8: 11		10: 9	
	DO (mg/L)		DO (mg/L)		DO (mg/L)	
	Anoxic	Oxic	Anoxic	Oxic	Anoxic	Oxic
1	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.7
4	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.6
7	0.2	5.7	0.2	5.6	0.2	5.8
10	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.6
13	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.7
16	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.6
19	0.2	5.8	0.2	5.6	0.2	5.6
22	0.2	5.7	0.2	5.6	0.2	5.6
25	0.2	5.7	0.2	5.7	0.2	5.6
28	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.6
31	0.2	5.7	0.2	5.6	0.2	5.6
34	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.6
37	0.2	5.5	0.2	5.7	0.2	5.6
40	0.2	5.6	0.2	5.6	0.2	5.6
Average	0.2±0.0	5.6±0.1	0.2±0.0	5.6±0.0	0.2±0.0	5.6±0.1

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลองประสิทธิภาพของระบบซีควนซ์แบบรีแอกเตอร์ที่มีและ  
ไม่มีช่วงแอนอักษิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

ตารางที่ ๑.1 แสดงการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

Time (days)	Cd <sub>2+</sub>			Zn <sup>2+</sup>		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
1	20.2	0.33	98.37	41.71	11.96	71.32582
4	20.2	0.90	95.54	41.77	11.46	72.56404
7	20.2	1.00	95.05	40.77	12.78	68.65342
10	20.22	5.00	75.27	41.07	16.47	59.89774
13	20.13	5.70	71.68	48.34	18.57	61.58461
16	20.25	6.5	67.90	48.21	18.5	61.62622
19	21.33	8.734	59.05	47.82	20.66	56.79632
22	20.21	8.615	57.37	46.51	19.86	57.29951
25	20.28	8.21	59.52	49.83	21.31	57.2346
28	20.3	8.76	56.85	49.91	20.76	58.40513
31	20.17	9.373	53.53	40.47	20.3	49.83939
34	20.21	9.487	53.06	40.39	20.87	48.32879
37	20.33	9.597	52.79	41.59	20.97	49.57923
40	20.26	10.08	50.25	41.58	21.08	49.30255
Average	20.37±0.36	8.81±1.05	56.70±5.24	45.1±4.1	20.5±0.9	54.3±5.0

ตารางที่ ๑.๒ แสดงการบำบัดซีโอดีและบีโอดีในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

Time (days)	COD			BOD <sub>5</sub>		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/l)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/l)	%Removal
1	514.71	85	83.6	401	76	81.1
4	514.71	72	86.1	411	75	81.6
7	517.78	77	85.2	410	76	81.6
10	520.38	67	87.1	406	71	82.6
13	548.45	69	87.4	408	71	82.7
16	535.56	63	88.2	409	86	79.0
19	535.63	76	85.9	419	79	81.1
22	584.47	80	86.3	408	91	77.8
25	471.59	81	82.8	381	90	76.3
28	479.44	84	82.5	390	94	75.9
31	443.13	86	80.7	395	96	75.7
34	502.3	87	82.7	400	108	73.1
37	501.37	90	82.1	400	117	70.7
40	507.41	90	82.3	401	130	67.7
Average	512±39	79±9	84.4±2.6	400±11	99±16	75.2±4.2

ตารางที่ ๓.3 แสดงการบำบัดที่เคเอ็นไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

Time (days)	TKN			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/l)	%Removal	Influent (mg/L)	Effluent (mg/l)	%Removal
1	14.9	2.2	85.1	3.5	0.1	97.4
6	14.8	2.2	84.9	3.8	1.5	61.4
11	15.1	5.6	62.9	3.7	1.7	55.6
16	15.1	5.2	66.0	3.7	1.8	50.7
21	14.9	6.7	54.8	3.4	2	41.9
26	15.0	7.1	52.7	3.6	2	44.5
31	15.1	7.4	50.9	3.8	2.1	45
36	15.0	7.4	50.6	3.6	2.3	35.9
40	15.0	7.7	48.8	3.8	2.1	45.2
Average	15.0±0.1	6.7±0.92	55.2±6.3	3.7±0.1	1.9±0.3	47.5±7.7

ตารางที่ ๑.๔ แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนหลังการบำบัดในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

Time (days)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		TN		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%TN Removal
1	0.65	1.24	10.01	20.11	25.5	23.6	7.7
6	0.64	0.85	10.08	19.75	25.6	22.8	10.7
11	0.67	0.86	10.07	20.37	25.9	24.8	4.0
16	0.66	0.85	10.07	21.38	25.9	24.4	5.8
21	0.65	0.86	10.08	20.7	25.7	25.6	0.3
26	0.62	0.85	10.06	20.53	25.7	25.5	0.8
31	0.63	0.84	10.06	20.64	25.8	25.7	0.5
36	0.62	0.85	10.06	20.05	25.7	25.3	1.4
40	0.62	0.82	10.06	20.02	25.7	25.5	0.6
Average	0.64±0.02	0.85±0.01	10.07±0.01	20.43±0.51	25.7±0.1	25.5±0.1	0.8±0.4

ตารางที่ ๓.5 แสดงสมบัติตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ

Time (days)	MLSS (mg/L)	Excess Sludge (mg/L)	SRT (d)	F/M	SVI (mL/g)	Cd <sup>2+</sup> sludge (mg/g)
1	2283	94	24	0.04	99	0.02
4	2273	91	25	0.04	98	0.02
7	2105	35	60	0.04	95	0.02
10	2145	48	45	0.04	95	0.02
13	2155	52	41	0.04	97	0.05
16	2186	62	35	0.04	114	0.05
19	2162	54	40	0.04	126	0.06
22	2164	55	39	0.04	114	0.1
25	2164	55	39	0.04	120	0.09
28	2173	58	37	0.04	121	0.1
31	2169	56	39	0.04	121	0.11
34	2165	55	39	0.04	120	0.11
37	2167	56	39	0.04	120	0.11
40	2175	58	38	0.04	124	0.12
Average.	2166±11	55±3	39±2	0.04±0.0	116±10	0.09±0.03

ตารางที่ จ.6 แสดงปริมาณโลหะหนักในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิก

Time (days)	Influent (mg/L)		Cd <sup>2+</sup>				Zn <sup>2+</sup>			
			Anoxic		Oxic		Anoxic		Oxic	
	Cd <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	20.2	41.7	0.6	97.2	0.5	97.5	11.4	72.7	6.4	84.6
4	20.2	41.8	3	85.1	2.8	86.2	14.2	66.1	8.2	80.3
7	20.2	40.8	3	85.2	2.5	87.4	15.4	62.3	8	80.3
10	20.2	41.1	3.6	82.2	3	85.1	15.5	62.3	9.7	73.6
13	20.1	48.3	3.8	81.4	3.7	81.6	14.4	70.1	9	81.5
16	20.3	48.2	3.6	82.1	3.6	82.5	12.9	73.3	8.8	81.7
19	21.3	47.8	4.9	77.1	4.2	80.3	12.9	73.0	8.7	81.9
22	20.2	46.5	4.7	76.8	4.5	77.7	16.3	65	12.2	73.7
25	20.3	49.8	7.3	64.3	6.2	69.3	19	62	12.8	74.2
28	20.3	49.9	7.4	63.3	6.7	66.8	19.9	60.1	13	74
31	20.2	40.5	10	50.4	9.7	51.9	19	53	13.8	66
34	20.2	40.4	12.2	39.7	10.7	47.2	19	52.9	14.5	64.1
37	20.3	41.6	11.2	44.8	11	45.7	19.2	53.8	15.4	63
40	20.3	41.6	11.4	43.9	11.2	44.6	19.4	53.4	16.6	60.1
Average	20.4±0.4	47.4±3	5.0±1.7	75.3±8.2	4.6±1.4	77.6±6.9	17.5±2.8	60.7±8.3	12.9±2.7	71.0±8

ตารางที่ ๗.7 แสดงปริมาณซีโอไซด์และบีโอดีในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีสถานะแอนอกซิกและออกซิก

Time (days)	COD					BOD <sub>5</sub>				
	Influent (mg/L)	Anoxic		Oxic		Influent (mg/L)	Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	514.71	98	80.99	100	80.66	401	126	68.6	111	72.39
4	514.71	94	81.71	93	82	411	120	70.7	117	71.44
7	517.78	110	78.73	96	81.49	410	123	70	112	72.6
10	520.38	103	80.16	93	82.19	406	122	69.8	116	71.49
13	548.45	109	80.17	99	81.99	408	120	70.6	110	73
16	535.56	93	82.68	82	84.75	409	115	71.9	104	74.48
19	535.63	136	74.58	96	82.11	419	119	71.5	109	73.96
22	584.47	141	75.91	94	83.94	408	100	75.3	108	73.41
25	471.59	134	71.56	95	79.9	381	110	71	108	71.7
28	479.44	140	70.9	96	80	390	117	69.9	106	72.74
	443.13	134	69.77	100	77	395	118	70.1	107	72.96
34	502.3	146	70.88	110	78	400	120	70.1	110	72.61
37	501.37	149	70.24	110	78	400	120	70.1	108	72.99
40	507.41	151	70.17	115	77	401	111	72.2	108	72.98
Average	512±39	131±20	74.3±4.8	99±10	80.5±2.6	401±11	115±6	71.3±1.6	108±2	73.1±0.8

ตารางที่ ๘.๘ แสดงปริมาณที่เคเอ็นในโตรเจนและแอมโมเนียในโตรเจนการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิก

Time (days)	TKN					NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N				
	Influent (mg/L)	Anoxic		Oxic		Influent (mg/L)	Anoxic		Oxic	
		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal		Effluent (mg/L)	%Removal	Effluent (mg/L)	%Removal
1	14.9	2.5	83.5	2.2	85.1	3.5	0.2	95.7	0.2	96.7
6	14.8	3.3	77.7	2.2	85.0	3.8	1.7	69.8	1.4	75.9
11	15.1	3.6	76.4	2.2	85.2	3.7	1.5	74.5	1.4	76.1
16	15.1	4.2	72.5	2.8	81.4	3.7	1.9	67.5	1.7	69.6
21	14.9	4.4	70.7	2.9	80.4	3.4	1.9	65.3	1.8	66.4
26	15.0	4.8	68.3	3.1	79.3	3.6	1.6	72.2	1.3	76.0
31	15.1	6.0	60.6	3.6	76.1	3.8	1.6	71.5	1.5	74.6
36	15.0	6.9	53.9	4.0	73.2	3.6	1.8	66.9	1.6	71.8
40	15.0	7.0	53.4	4.4	70.9	3.8	1.8	69.0	1.6	72.3
Average	15.0±0.1	15.0±1.4	65.1±9.2	3.3±0.74	78.1±5.0	5.65±0.14	1.72±0.16	69.55±3.15	1.7±0.2	72.4±3.4

ตารางที่ ๑.๑ แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิก

Time (days)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			TN		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)		Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)		Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	%Removal
		Anoxic	Oxic		Anoxic	Oxic			
1	0.65	0.01	0.02	10.01	8.64	7.14	25.5	9.4	63.3
6	0.64	0.05	0.06	10.08	8.98	7.51	25.6	9.8	61.6
11	0.67	0.05	0.05	10.07	9.37	7.55	25.9	9.8	62
16	0.66	0.05	0.06	10.07	9.58	9.32	25.9	12.2	52.8
21	0.65	0.05	0.06	10.08	8.15	7.95	25.7	11	57.3
26	0.62	0.05	0.06	10.06	8.19	8.05	25.7	11.2	56.3
31	0.63	0.05	0.06	10.06	8.8	8.76	25.8	12.4	51.8
36	0.62	0.05	0.05	10.06	8.83	8.55	25.7	12.6	50.8
40	0.62	0.05	0.06	10.06	8.98	8.91	25.7	13.3	48.1
Average	0.62±0.01	0.05±0.00	0.06±0.00	10.07±0.00	8.86±0.5	8.3±0.7	25.7±0.1	12.4±0.9	51.8±3.4

ตารางที่ ๑.10 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีสถานะแอนอกซิกและออกซิก

Time (days)	MLSS (mg/l)	Excess Sludge (mg/d)	F/M	SVI (mL/g)	SRT (d)	Cd <sup>2+</sup> Sludge (mg/g)	DO (mg/L)	
							Anoxic	Oxic
1	2115	38	0.04	109	55	0.02	0.2	5.6
4	2078	28	0.04	107	80	0.04	0.2	5.6
7	2065	24	0.04	100	95	0.04	0.2	5.7
10	2037	12	0.04	98	165	0.05	0.2	5.6
13	2064	22	0.04	97	97	0.08	0.2	5.7
16	2170	58	0.04	89	38	0.1	0.2	5.6
19	2080	28	0.04	96	78	0.11	0.2	5.6
22	2019	7	0.04	117	319	0.11	0.2	5.6
25	2000	2	0.04	123		0.13	0.2	5.7
28	2001	2	0.04	110		0.12	0.2	5.6
31	1897		0.04	111		0.17	0.2	5.7
34	1820		0.04	115		0.18	0.2	5.6
37	1893		0.04	106		0.19	0.2	5.6
40	1736		0.05	125		0.13	0.2	5.7
Average	1998±120	22.1±17	0.04±0.00	108±12	95±18	0.10±0.05	0.2±0.0	5.6±0.1

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นางสาวแทนดา จันทร์วุ่น

วัน เดือน ปีเกิด

3 กุมภาพันธ์ 2530

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

โรงเรียนปากพ่อง

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ. 2552

ระดับปริญญาโท

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม  
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555

ทุนการศึกษาหรือทุนวิจัย

ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงาน  
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2556  
ทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา  
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ  
2553

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

แทนดา จันทร์วุ่น และสันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2555,  
“ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) และ  
ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) ต่อการกำจัดแคดเมียม  
ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบเอสบีอาร์”, รายงานการ  
ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
วิทยาเขตหนองคาย, ครั้งที่ 2, หน้า 57.