# บทที่ 6

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรม

จากผลของการวิจัยพบว่าเครื่องกรองแอนแอโรบิคเป็นระบบกำจัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำทิ้งที่มีความสกปรกสูง โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้ ซึ่งในการทดลองได้ใช้น้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้ที่มีความเข้มข้น COD 1,600 - 10,000 มก./ลบ.ดม. คิดเป็น organic loading ได้ 0.65 - 4.09 กก. COD/ม.$^3$/วัน (40.63 - 255.63 ปอนด์ COD/ฟ.$^3$/วัน) ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของเครื่องกรองร้อยละ 84 - 95 และประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ร้อยละ 90 - 97 ซึ่งทัดเทียมหรือสูงกว่าระบบ Activated Sludge และ Trickling Filter ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้กันอยู่ นอกจากประสิทธิภาพที่สูงแล้วระบบเครื่องกรองแอนแอโรบิคสามารถปรับตัวรับ Organic loading ที่เพิ่มขึ้นโดยทันทีได้ถึงสองเท่าโดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัด COD แทบจะไม่ลดลงเลย

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปใช้งานจริง ๆ นั้นประสิทธิภาพการกำจัดน้ำทิ้งอาจลดลงไปจากผลของการทดลองนี้ก็ได้ เนื่องจากการทดลองนี้กระทำในห้องปฏิบัติการ สาเหตุที่ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ลดลงอาจจะเนื่องจากการไหลลัดทาง (Short Cicuit) ของน้ำทิ้ง Taylor ได้ใช้เครื่องกรองแอนแอโรบิคขนาดใช้งาน (Full scale) ในการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานทำแป้ง (Wheat starch-gluten waste) โดยเครื่องกรองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เมตร สูง 6 เมตร ปรากฏว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เพียงร้อยละ 64 ภายใต้ organic loading 37.9 กก. COD/ม.$^3$/วัน (237 ปอนด์/1,000 ฟ.$^3$/วัน)

## 6.2 ข้อดีของเครื่องกรองแอนแอโรบิค

จากผลการทดลองพบว่าระบบเครื่องกรองแอนแอโรบิคมีข้อดีอยู่หลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยาอื่น ๆ ทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

1. เครื่องกรองแอนแอโรบิคสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้อุณหภูมิปกติ (room temperature) ทัดเทียมกับระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยาระบบอื่น ๆ

2. เครื่องกรองแอนแอโรบิคมีระยะเวลาการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ (SRT) ยาวนานโดยไม่ต้องมีการแยกเอาตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งกลับมาใช้หมุนเวียนอีก

3. ตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างช้า ๆ ทำให้ลดปัญหาในการกำจัดตะกอน และตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ตามช่องว่างของตัวกรอง สามารถกำจัดออกได้ง่ายเมื่อมีปริมาณมากเกินความต้องการ

4. มีความต้องการอาหารเสริม (nutrients) สำหรับจุลินทรีย์ในเครื่องกรองน้อยกว่าระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบใช้ออกซิเจน

5. ความดันที่จะต้องใช้สำหรับเครื่องกรองแอนแอโรบิคน้อยมากจะมีแรงดันสูญเสียคิดเทียบเป็นความสูงของน้ำเพียง 6 ซม. เท่านั้น หลังจากเครื่องกรองถูกใช้งานเป็นเวลา 150 วัน

6. สามารถที่จะรับ organic loading ที่เพิ่มขึ้นอย่างกระทันหัน (shock-load) โดยใช้เวลาการปรับตัวเพียงเล็กน้อย

7. สามารถทำงานได้ดีหลังจากมีการหยุดทำงานไปชั่วระยะเวลาหนึ่งโดยไม่ต้องมีการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (start up) ใหม่

8. กำลังงาน (power) ที่จะต้องใช้น้อย เพราะไม่ต้องการก๊าซออกซิเจนและมีผลพลอยได้คือก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

## 6.3 ข้อเสียของเครื่องกรองแอนแอโรบิค

เครื่องกรองแอนแอโรบิคถึงแม้มีข้อดีหลายประการ แต่ก็มีข้อเสียคือ

1. น้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองแอนแอโรบิคมีปริมาณตะกอนแขวนลอยมาก ซึ่งจำเป็นต้องมีการกำจัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง

2. น้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองจะมีกลิ่นเหม็นและกัดกร่อน (corrosive) เนื่องจากมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) ละลายอยู่ ซึ่งจะต้องทำการกำจัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง

3. เนื่องจากจุลินทรีย์ซึ่งไม่ใช้ออกซิเจนนี้เจริญเติบโตช้า จะเป็นการไม่ประหยัดถ้าใช้เครื่องกรองแอนแอโรบิคในการกำจัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้น COD ต่ำกว่า 1,000 มก./ลบ.ดม.

4. ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) จะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกรองแอนแอโรบิคมากที่สุด เพราะถ้ามีระยะเวลาการเก็บกักน้ำทิ้งต่ำเกินไปแล้วจะทำให้ตะกอนแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งที่ออกมาจากเครื่องกรองมาก และประสิทธิภาพในการกำจัด COD จะลดลงมากด้วย

5. เครื่องกรองแอนแอโรบิคเหมาะกับการกำจัดน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำ ถ้าน้ำทิ้งมีตะกอนแขวนลอยสูงจะก่อให้เกิดปัญหาอุดตันขึ้นได้

## 6.4 การออกแบบเครื่องกรองแอนแอโรบิค (Process disign)

จากผลการทดลองและวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้ด้วยเครื่องกรองแอนแอโรบิค ถ้าจะนำไปใช้งานจริง ๆ (Full-scale) สามารถกระทำได้โดยนำข้อมูลจากการศึกษาและทดลองเหล่านี้ไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| Organic loading | 2.00 - 2.50 | กก. COD/ม.$^3$/วัน |
| Minimum HRT | 24 | ชั่วโมง |
| Filter height | 1.50 - 1.80 | เมตร |
| Treatment efficiency | 85 % | เปอร์เซ็นต์ |
| Crush stone media (porosity 0.41) | 2.50 - 5.00 | เซ็นติเมตร |

นอกจากกำจัดน้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้แล้ว เครื่องกรองแอนแอโรบิคสามารถใช้กับน้ำทิ้งจากโรงงานชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะน้ำทิ้งคล้ายคลึงกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเต้าหู้ แต่ทางที่ดีแล้วควรทำการศึกษาและทดลองเสียก่อนเพื่อที่จะทราบถึงประสิทธิภาพ, organic loading ที่เหมาะสมสำหรับน้ำทิ้งแต่ละชนิด

## 6.5 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองวิจัยครั้งนี้ สามารถที่จะสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. น้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้สามารถที่จะกำจัดได้ด้วยเครื่องกรองแอนแอโรบิคภายใต้สภาวะปกติ

2. เครื่องกรองแอนแอโรบิคสามารถกำจัด COD ได้มากกว่าร้อยละ 89 สำหรับ organic loading ตั้งแต่ 0.65 - 4.09 กก. COD $ม.^3$ /วัน และมีความเข้มข้น COD ของน้ำทิ้งตั้งแต่ 1,600 - 10,000 มก./ลบ.ดม.

3. ตลอดระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 158 วัน ไม่ต้องมีการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ออกจากเครื่องกรองแอนแอโรบิคเลย

4. เครื่องกรองแอนแอโรบิคสามารถกำจัดน้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้ซึ่ง pH ประมาณ 4 ได้โดยไม่ต้องมีการควบคุม pH หรือให้อาหารเสริมเลย เพราะว่าน้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้มีค่า COD : N : P เท่ากับ 100 : 26.18 : 1.14 ซึ่งเบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอาหารเสริมในการย่อยสลายอินทรีย์สารอย่างน้อยที่สุดคือ COD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 ดังนั้น น้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้จึงมีอาหารเสริมอย่างพอเพียง และประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงถึงร้อยละ 94.87 และประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูงถึงร้อยละ 97.06 โดยที่น้ำทิ้งมีความเข้มข้น COD 6,000 มก./ลบ.ดม., HRT 24 ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น organic loading ได้เท่ากับ 2.45 กก. COD/$ม.^3$/วัน

5. คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดแล้วโดยเครื่องกรองแอนแอโรบิคมีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่สูงตั้งแต่ 15 - 70 มก./ลบ.ดม. และ BOD สูงกว่า 48 มก./ลบ.ดม. ไม่สามารถที่จะกำจัด BOD และตะกอนแขวนลอยให้เหลือ 20

และ 30 มก./ลบ.ดม. ตามลำดับ เท่ากับมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ในการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำทิ้งอีกครั้งหนึ่ง

6. น้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดแล้วโดยเครื่องกรองแอนแอโรบิคจะมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) จำเป็นต้องกำจัดกลิ่นให้หมดโดยทำการเติมอากาศ (Aeration) เพื่อกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟดนั่นเอง

7. การเพิ่ม organic loading โดยวิธีเพิ่มความเข้มข้น COD ของน้ำทิ้งจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของเครื่องกรองแอนแอโรบิคเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการเพิ่ม organic loading โดยวิธีลดระยะเวลาในการเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT)

8. ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของเครื่องกรองแอนแอโรบิคแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่ม organic loading อย่างกระทันหัน (shock loading) หรือลด organic loading ลงต่ำในช่วงเวลาสั้น ๆ

9. เมื่อหยุดการทำงานของเครื่องกรองเป็นเวลา 26 วัน ระบบกำจัดก็สามารถฟื้นตัวมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ดังเดิมได้โดยไม่ต้องทำการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ใหม่ (start-up) แต่อย่างใด

10. ปริมาณเกลือซัลเฟตในน้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้ในรูปของอนุมูลซัลเฟตมีประมาณ 120 มก./ลบ.ดม. ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน

6.6 <u>ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองและวิจัยที่ควรจะทำต่อไป</u> (Recommendations for future work)

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีระยะเวลาจำกัด ดังนั้น จึงยังมีสิ่งต่าง ๆ ที่ควรจะได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเครื่องกรองแอนแอโรบิค ในการกำจัดน้ำทิ้งอยู่อีก ได้แก่

1. ศึกษาและวิจัยชนิดต่าง ๆ ของตัวกรอง (Filter media) เพื่อดูถึงประสิทธิภาพของเครื่องกรองที่ให้ผลในการกำจัดน้ำทิ้งดีที่สุด

2. ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองแอนแอโรบิคขนาดใช้งานจริง (Full scale)

3. ศึกษาถึงระยะเวลาการหยุดทำงานของเครื่องกรองแอนแอโรบิคที่นานที่สุด ซึ่งเครื่องกรองจะสามารถหยุดทำงานได้โดยไม่ต้องมีการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (start-up) ใหม่

4. ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการใช้เครื่องกรองแอนแอโรบิคในการกำจัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้น BOD ต่ำ (Low BOD waste) เช่น Domestic waste

5. ศึกษาและวิจัยการใช้เครื่องกรองแอนแอโรบิครวมกับระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน ในแง่ของประสิทธิภาพและการลงทุนเพื่อเปรียบเทียบกับระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบอื่น ๆ

6. ศึกษาถึงพิษของผงซักฟอก, ผงขัด เช่น วิม ต่อการทำงานหรือประสิทธิภาพของเครื่องกรองแอนแอโรบิค

7. ศึกษาถึงการทำงานของเครื่องกรองแอนแอโรบิคจนกระทั่งเกิดการอุดตัน ทำการ washing เพื่อล้างส่วนที่อุดตันออกแล้วทำการทดลองวิจัยต่อเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องกรองเมื่อนำมาใช้งานใหม่

8. ศึกษาถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำ washing เพื่อให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องกรองสม่ำเสมอและป้องกันปัญหาเรื่องอุดตัน.