บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์วิจารณ์ผล

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน

ในการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ตั้งแต่วันที่ 10 มิถุนายน ถึง วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2542 พบว่า

น้ำเสียดิบก่อนเข้าระบบบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีลักษณะใส มีสารแขวนลอยอยู่ในปริมาณน้อย ไม่มีกลิ่นเหม็น ส่วนน้ำเสียก่อนบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง มีลักษณะสีเหลืองขุ่น มีกลิ่นเหม็น แต่เมื่อนำน้ำไปทำการบำบัดแล้ว น้ำจากโรงบำบัดทั้งสองแห่งจะมีลักษณะเหมือนกัน คือ ใส และไม่มีกลิ่นเหม็น ส่วนลักษณะต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพและเคมี รวมถึงปริมาณโลหะหนักนั้นได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

4.1.1.1 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

ค่าSSจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่าน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เนื่องจากลักษณะทั่วไปของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจะใสและมีตะกอนแขวนลอยน้อยกว่า จึงส่งผลให้ค่า SS ที่ได้มีค่าน้อย โดยค่า SS เฉลี่ยจากน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวางเท่ากับ 74.90 และ 108.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1และรูปที่ 4.2)

4.1.1.2 ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids : TDS)

ค่า TDS จากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่าสี่พระยา ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับค่า SS โดยค่า TDS เฉลี่ยของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางเท่ากับ 291.1 และ 373.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1และรูปที่ 4.3)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเฉลี่ยจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

คุณลักษณะของน้ำเสีย	โรงบำบัดน้ำเสีย	
	สี่พระยา	ห้วยขวาง
pH (ก่อนบำบัด)	6.7504	7.5059
SS (mg/l) (ก่อนบำบัด)	74.90	108.30
TDS (mg/l) (ก่อนบำบัด)	291.10	373.0
BOD (mg/l)		
• ก่อนบำบัด	81.7494	295.51
• หลังบำบัด	8.7527	25.352
% Removal Efficiency	87.6750	91.5729
COD (mg/l) (ก่อนบำบัด)	140.3700	349.854

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของลักษณะสมบัติต่าง ๆ ในตารางคิดจากจำนวนตัวอย่างน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียละ 27 ตัวอย่าง

4.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี

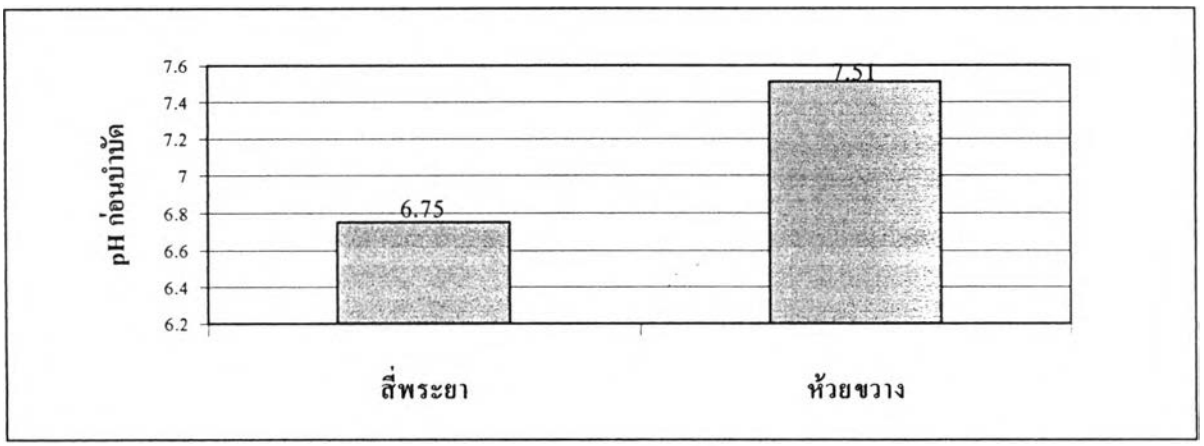
4.1.2.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ค่า pH ของน้ำเสียก่อนบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่าน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา โดยค่า pH เฉลี่ยจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง มีค่าเท่ากับ 6.7504 และ 7.5059 ตามลำดับ โดยจัดอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง (ตารางที่ 4.1และรูปที่ 4.1)

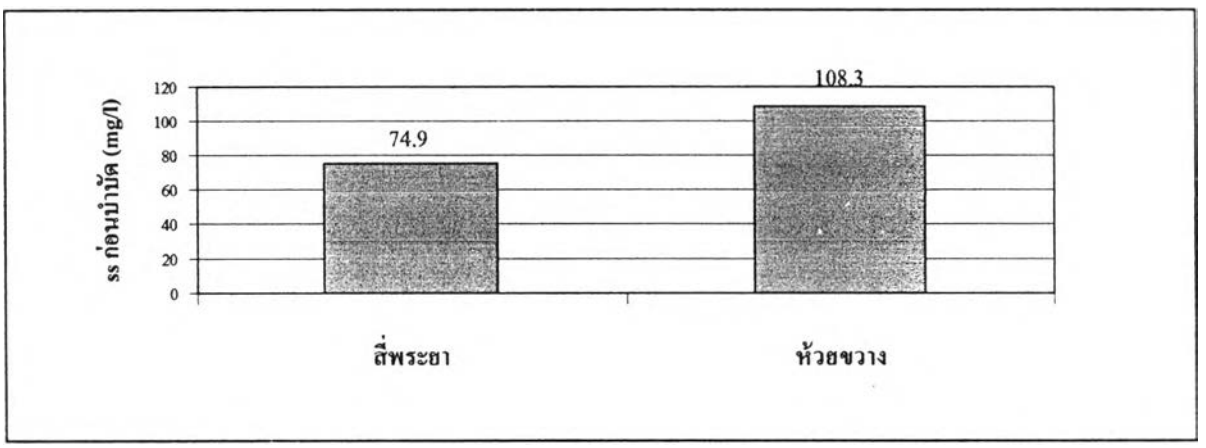
4.1.2.2 BOD

น้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยามีลักษณะที่ใส และมีความสกปรกน้อยกว่าน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง เมื่อดูด้วยสายตา เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า BOD จะได้ว่าค่า BOD ของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าน้อยกว่าน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.7494 และ 295.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

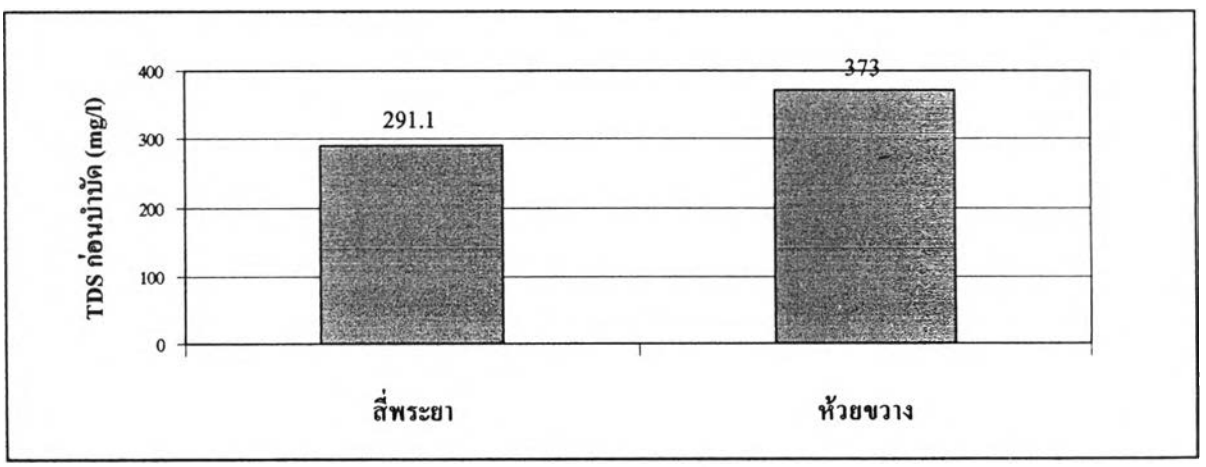
ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วนั้น เมื่อมองด้วยตาเปล่านั้น น้ำเสียจากโรงบำบัดทั้งสองแห่งนั้นมีความใส ค่า BOD เฉลี่ยของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด



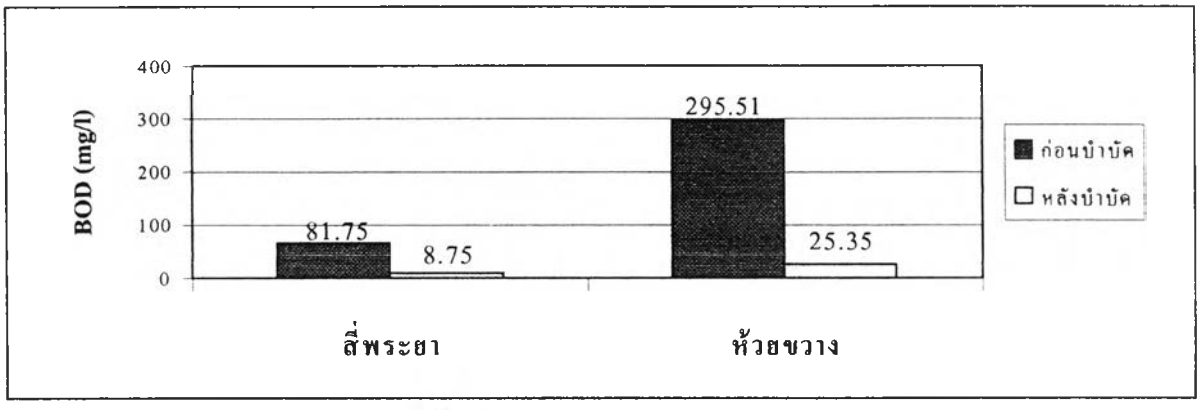
รูปที่ 4.1 ค่า pH เฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



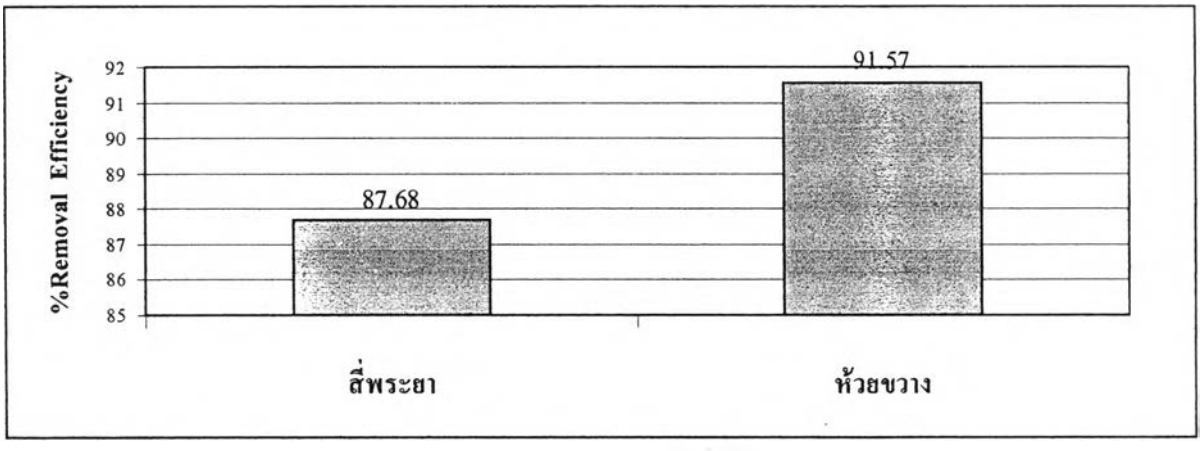
รูปที่ 4.2 ค่า SS เฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



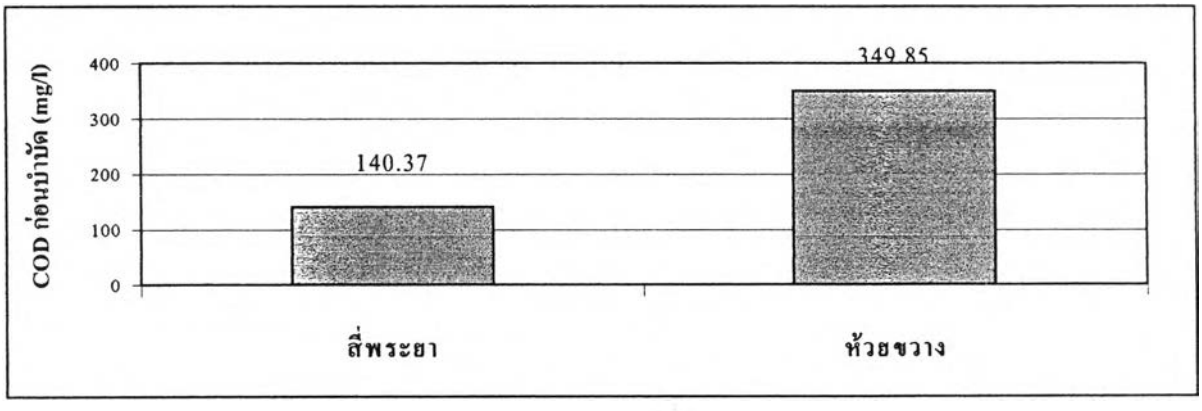
รูปที่ 4.3 ค่าTDS เฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.4 ค่าBOD เฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.6 ค่า COD เฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

แล้วจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวางเท่ากับ 8.7527 และ 25.352 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากค่า BOD ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด พบว่า ส่วนต่างของค่า BOD จากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่า ทำให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัด (Removal Efficiency) ของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่าโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา คือ 91.5729 % และ 87.6750 % (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 – 4.5)

4.1.2.3 COD

ค่าCODของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับค่า BOD คือ โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่า COD มากกว่าน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา คือ 349.854 และ 140.3700 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.6)

จากลักษณะสมบัติต่าง ๆ ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีลักษณะแตกต่างกัน โดยที่น้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีความสกปรกมากกว่า ซึ่งเนื่องมาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1) น้ำเสียที่เข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการรวมของน้ำเสียจากชุมชนและน้ำฝน ซึ่งน้ำเสียที่มาจากชุมชนนั้นได้ผ่านบ่อเกรอะบ่อซึมจากอาคารบ้านเรือนมาแล้ว จึงทำให้ความสกปรกของน้ำลดลง แต่สำหรับน้ำเสียที่เข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางเป็นน้ำเสียจากอาคารที่อยู่อาศัยที่ไม่ได้ผ่านบ่อเกรอะบ่อซึม จึงทำให้ค่าความสกปรกทั้งในรูป BOD และ COD รวมทั้งปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีปริมาณมาก

2) น้ำเสียที่จะเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจะถูกระบายลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะที่ใช้สำหรับระบายน้ำทั้งน้ำเสียและน้ำฝน ซึ่งลักษณะของท่อมีขนาดใหญ่ มีความลาดชันน้อย รวมถึงระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงโรงบำบัดที่ไกล ทำให้น้ำเสียในท่อไหลช้าและเกิดการตกตะกอน ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลง นอกจากนี้ยังเป็นการลดค่า BOD ในส่วนที่เป็นของแข็งลงอีกด้วย ในฤดูฝน น้ำฝนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลง

แต่ในกรณีของน้ำเสียที่จะเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง จะถูกระบายลงท่อรับน้ำเสียโดยเฉพาะ ประกอบกับระยะทางจากอาคารบ้านเรือนอยู่ไม่ไกลจากโรงบำบัดมากนัก การตกตะกอนภายในท่อจึงเกิดได้น้อย และน้ำเสียไม่สามารถถูกเจือจางโดยน้ำฝน เพราะท่อระบายน้ำเสียแยกกับท่อระบายน้ำฝน จึงทำให้น้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีความสกปรกมากกว่าน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

4.1.2.4 แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 0.0600 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อผ่านการบำบัดแล้วปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยลดลงเหลือ 0.0473 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณแคดเมียมที่ถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสียเท่ากับ 21.17%

ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางเท่ากับ 0.0490 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อผ่านการบำบัดแล้วปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยเท่ากับ 0.0473 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณแคดเมียมที่ถูกกำจัดออกไปเท่ากับ 3.47 % (ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7)

4.1.2.5 ตะกั่ว

ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียก่อนการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 0.00243 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 0.00129 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณตะกั่วที่ถูกกำจัดไปจากน้ำเสียเท่ากับ 46.91 %

ส่วนปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

4.1.2.6 ปรอท

ปริมาณปรอทของน้ำเสียจาก โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่ามากกว่า น้ำเสียที่ยังไม่ได้บำบัด โดยปริมาณปรอทของน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัดเท่ากับ 0.0131 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.0154 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สำหรับปริมาณปรอทของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ในน้ำที่ยังไม่ได้บำบัดเท่ากับ 0.0034 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อนำไปบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณปรอทเท่ากับ 0.0021 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณปรอทที่ถูกกำจัดออกไปเท่ากับ 37.70 % (ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.9)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

คุณลักษณะของน้ำเสีย	โรงบำบัดน้ำเสีย	
	สี่พระยา	ห้วยขวาง
Cadmium (mg/l)		
• ก่อนบำบัด	0.0600	0.0490
• หลังบำบัด	0.0473	0.0473
Lead (mg/l)		
• ก่อนบำบัด	0.00243	N.D.
• หลังบำบัด	0.00129	N.D.
Mercury (mg/l)		
• ก่อนบำบัด	0.0131	0.0034
• หลังบำบัด	0.0154	0.0021

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของลักษณะสมบัติต่าง ๆ ในตารางคิดจากจำนวนตัวอย่างน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียละ 27 ตัวอย่าง

Detection Limit Cd = 0.02 mg/l

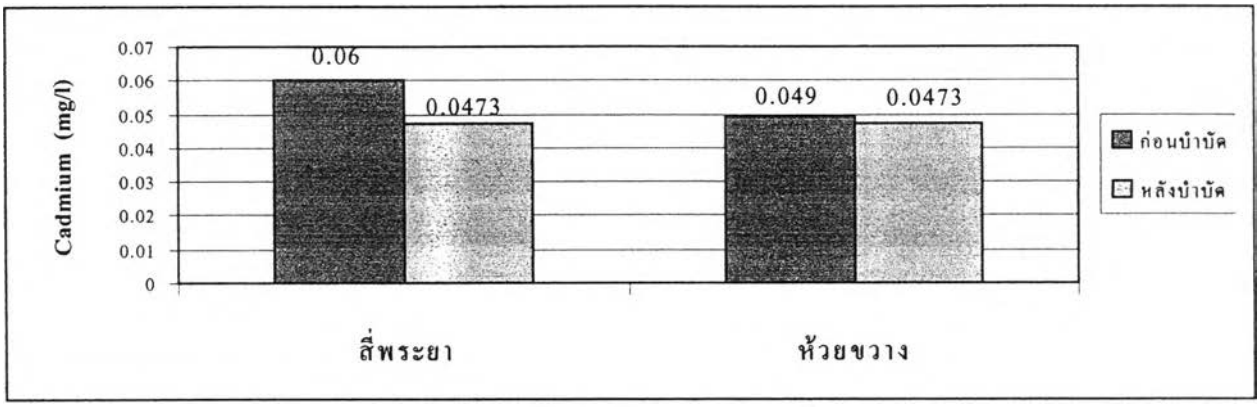
Detection Limit Pb = 0.001 mg/l

Detection Limit Hg = 0.001 mg/l

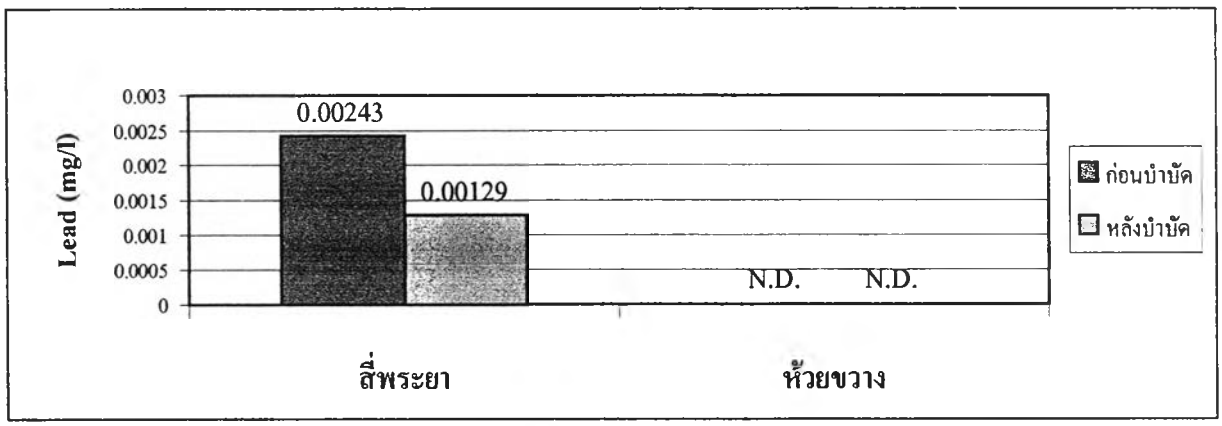
N.D. หมายถึง มีปริมาณน้อยจนไม่สามารถตรวจวัดได้

จากการผลการศึกษาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทจากน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง พบว่า

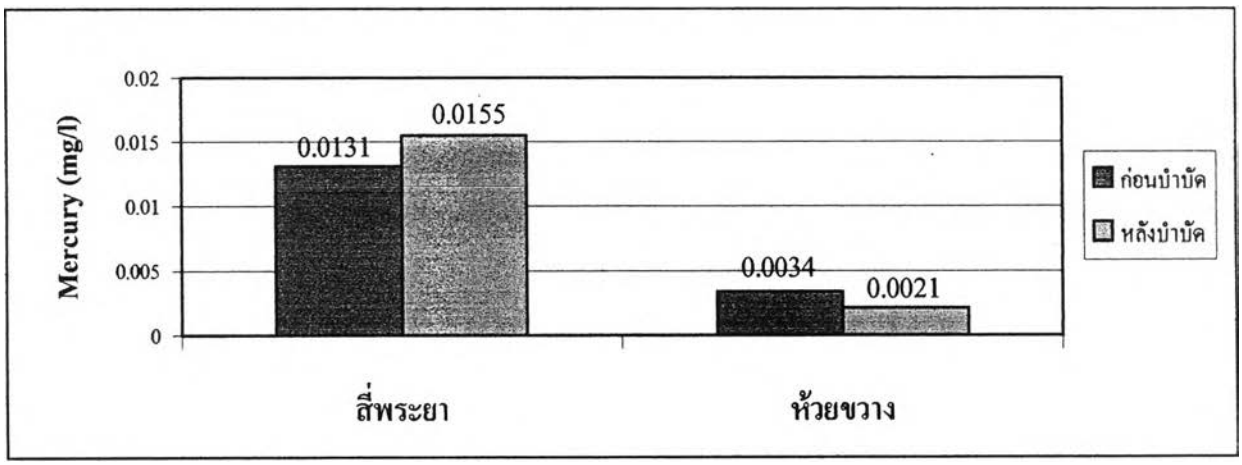
1) ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวางสามารถลดปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียได้ แต่ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางถูกกำจัดออกน้อยกว่าในน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ทั้งที่จากการศึกษาของ Alablaster and Lloyd (1980) พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียนั้น เนื่องจากแคดเมียมส่วนที่ละลายน้ำจะถูกดูดซับอยู่บนสารอินทรีย์ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่าโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา คือ 91.5729 % (ประสิทธิภาพการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 87.6750 %) ดังนั้นถ้าผลการวิจัยเป็นไปตามการศึกษาของ Alablaster and Lloyd (1980) การกำจัดแคดเมียมออก



รูปที่ 4.7 ค่าแคดเมียมเฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.8 ค่าตะกั่วเฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.9 ค่าปรอทเฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

น้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางควรจะมีค่ามากกว่า 3.47 % โดยอาจจะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณแคดเมียมที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.17 % เหตุผลที่ปริมาณแคดเมียมที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีปริมาณน้อย เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วซึ่งอยู่ในบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย อาจมีน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดและได้รับการบำบัดแล้วก่อนหน้านี้ซึ่งมีแคดเมียมปนอยู่ จึงทำให้น้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมที่มากขึ้น เมื่อมองในภาพรวมแล้วจึงทำให้เห็นว่าระบบบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางสามารถกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

2) ปริมาณปรอทในน้ำเสียหลังการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่ามากกว่าปริมาณปรอทในน้ำเสียก่อนการบำบัด สาเหตุอาจเนื่องมาจาก ในน้ำเสียก่อนการบำบัด จุลินทรีย์ในน้ำเสียจะทำให้ปรอทอยู่รูปของ CH_3Hg^+ ซึ่งละลายน้ำได้ และ CH_3HgCH_3 ที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถระเหยได้ และเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด จุลินทรีย์ในระบบบำบัดจะทำให้ปรอทอยู่ในรูปของ CH_3Hg^+ มากขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณปรอทในน้ำเสียที่อยู่ระหว่างการบำบัดนี้มีค่ามากขึ้นกว่าน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วอาจมีปรอทบางส่วนถูกกำจัดไป ในขณะที่อาจจะมีน้ำเสียปริมาณหนึ่งที่ได้รับการบำบัดก่อนหน้านี้ปนอยู่ในระบบซึ่งเป็นอีกโอกาสหนึ่งที่ทำให้ปริมาณ CH_3Hg^+ ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ซึ่ง CH_3Hg^+ ส่วนหนึ่งมาจากน้ำเสียที่ค้างอยู่ในระบบบำบัดนั่นเอง

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอน

ในการสุ่มตัวอย่างกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา และโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ช่วงเวลาเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย คือ ตั้งแต่วันที่ 10 มิถุนายน ถึง วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2542 แล้วนำมาวิเคราะห์ลักษณะต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

4.2.1.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ค่าpHเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าน้อยกว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง โดยมีค่าเท่ากับ 6.7615 และ 7.0074 ตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่าค่า pH ของกากตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับค่า pH ของน้ำเสียด้วย (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.10)

4.2.1.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา และโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 82.357 % และ 85.80 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.11)

4.2.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาค่ามากกว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.648 % และ 14.197 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.12)

4.2.1.4 ปริมาณของแข็งที่ไหม้ไฟ (Volatile Solids)

ปริมาณของแข็งที่ไหม้ไฟเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 8.9515 % และ 8.4743 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.13)

4.2.1.5 ปริมาณเถ้า (Ash content)

ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่ามากกว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง คือ 8.6985 % และ 5.7004 % (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.14)

4.2.2 ลักษณะทางเคมี

4.2.2.1 ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวางมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 2.3722 % และ 2.7107 % ตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่ามากกว่ากากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง คือ 0.0603 % และ 0.0202 % ตามลำดับ

ปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ย ในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่ามากกว่ากากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง คือ 0.1629 % และ 0.0856 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.15 – 4.17)

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

คุณลักษณะของกากตะกอน	โรงบำบัดน้ำเสีย	
	สี่พระยา	ห้วยขวาง
pH	6.7615	7.0074
Moisture content (%)	82.357	85.802
Total Solids (%)	17.648	14.197
Volatile Solids (%)	8.9515	8.4743
Ash content (%)	8.6985	5.7004
Nitrogen (%)	2.3722	2.7107
Phosphorus (%)	0.0603	0.0202
Potassium (%)	0.1629	0.0856
Organic Matter (%)	8.9442	8.4975
Organic Carbon (%)	4.9724	4.7203
Heating value (cal/g)	2385.6	3288.5
Sulfur (%)	0.0716	0.1786
Cadmium (mg/kg)	3.2740	3.0433
Lead (mg/kg)	1.0010	0.9505
Mercury (mg/kg)	0.5107	0.7925

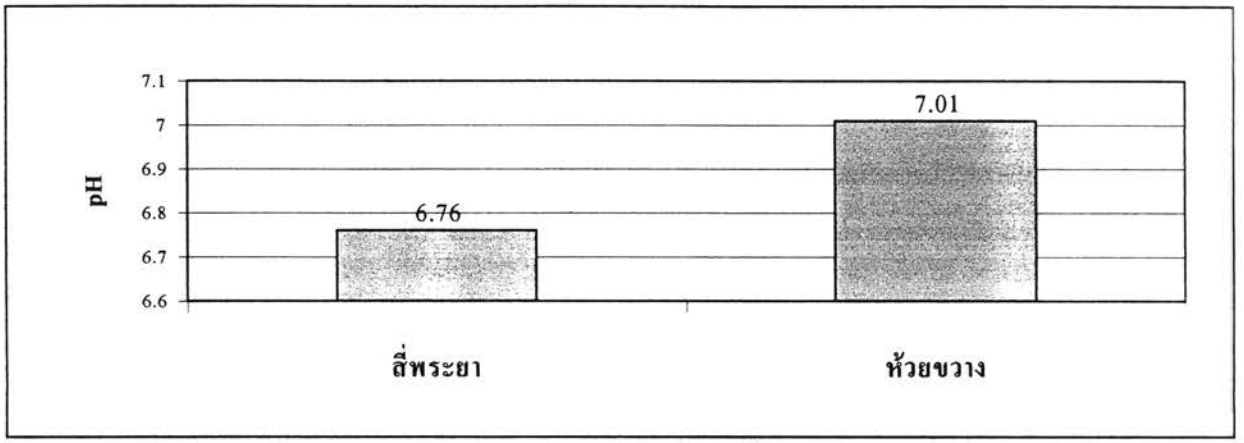
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของลักษณะสมบัติต่าง ๆ ในตารางคิดจากจำนวนตัวอย่างกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียละ 27 ตัวอย่าง

4.2.2.2 อินทรียวัตถุ (Organic Matter)

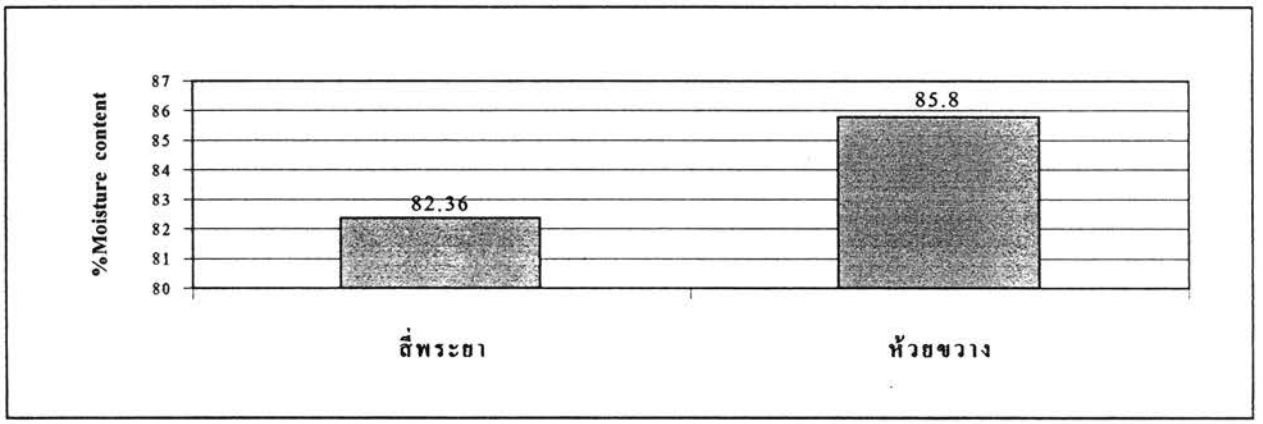
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ จากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ 8.9442 % และ 8.4975 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่4.18)

4.2.2.3 คาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon)

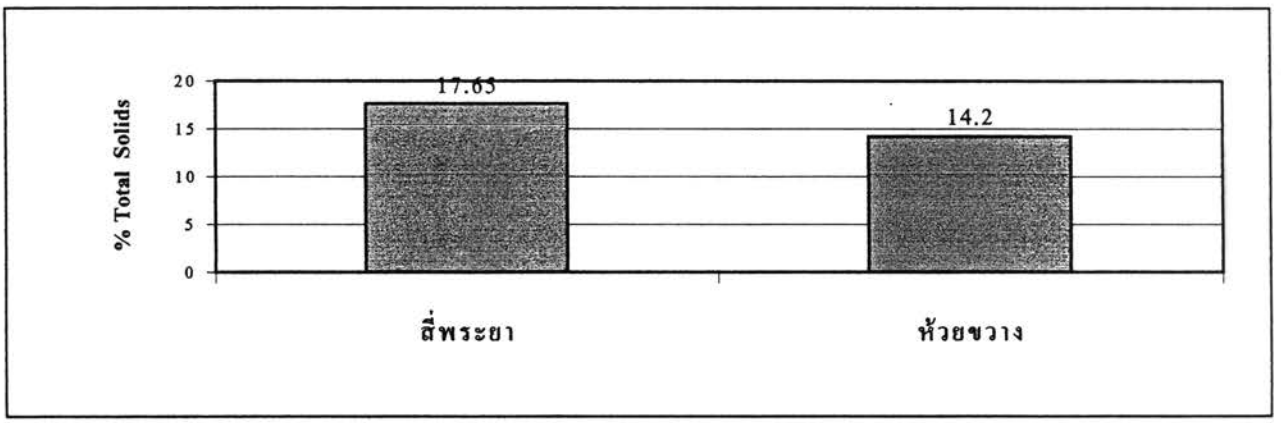
จากการพิจารณาตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 4.9724 % และ 4.7203 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.19)



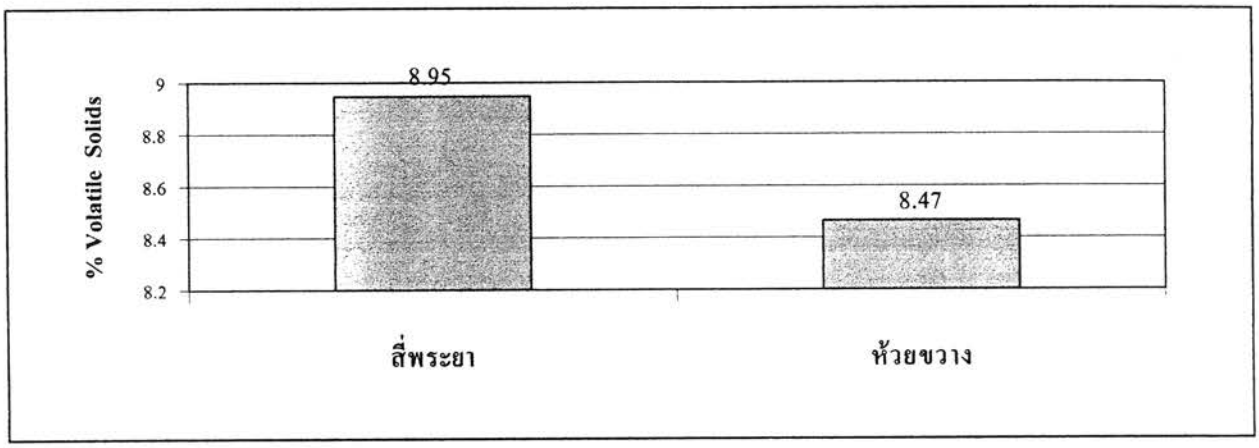
รูปที่ 4.10 ค่า pH เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



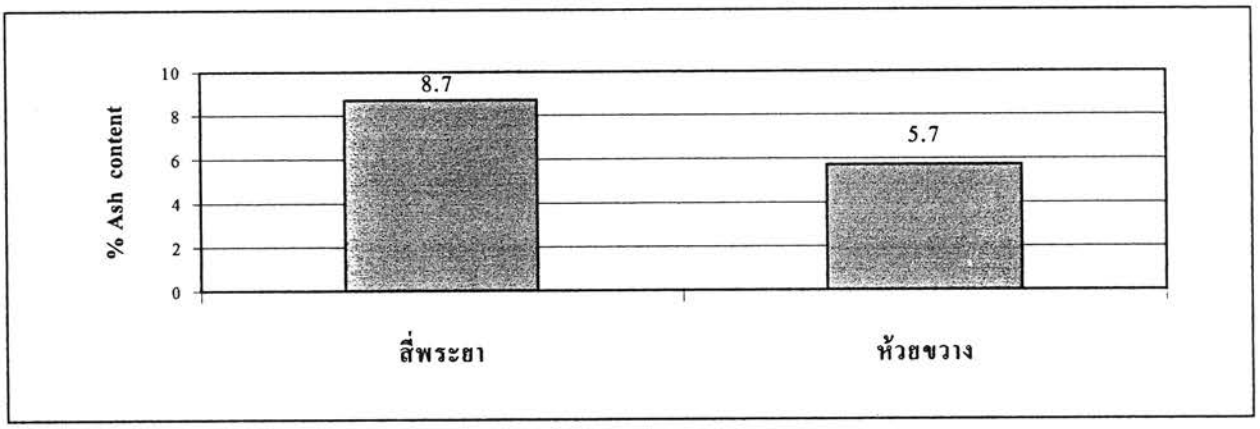
รูปที่ 4.11 ค่าปริมาณความชื้น (%)เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



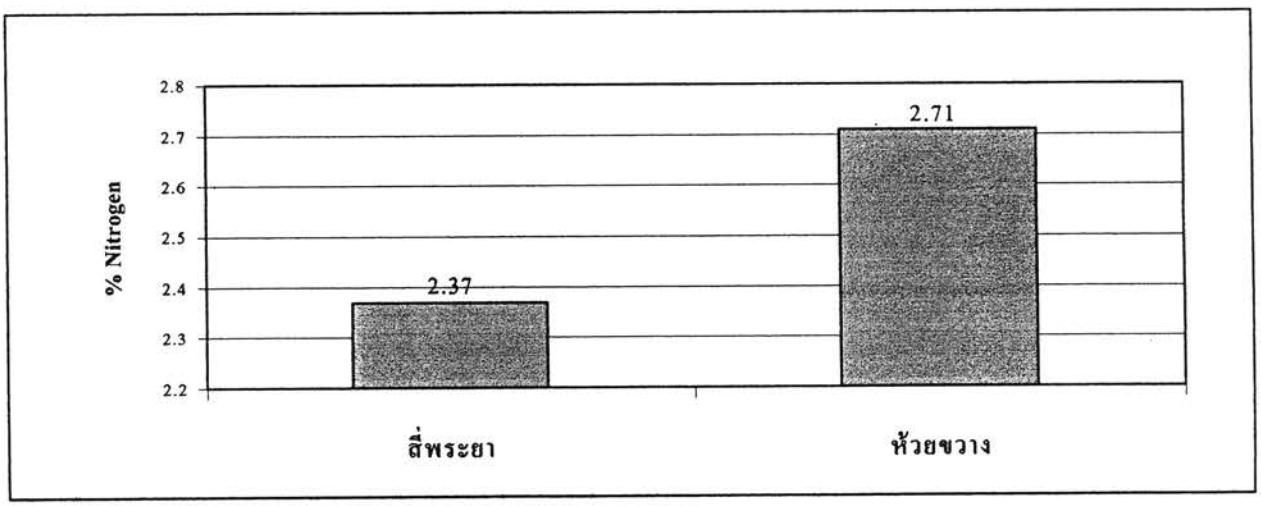
รูปที่ 4.12 ค่าของแข็งทั้งหมด (%)เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



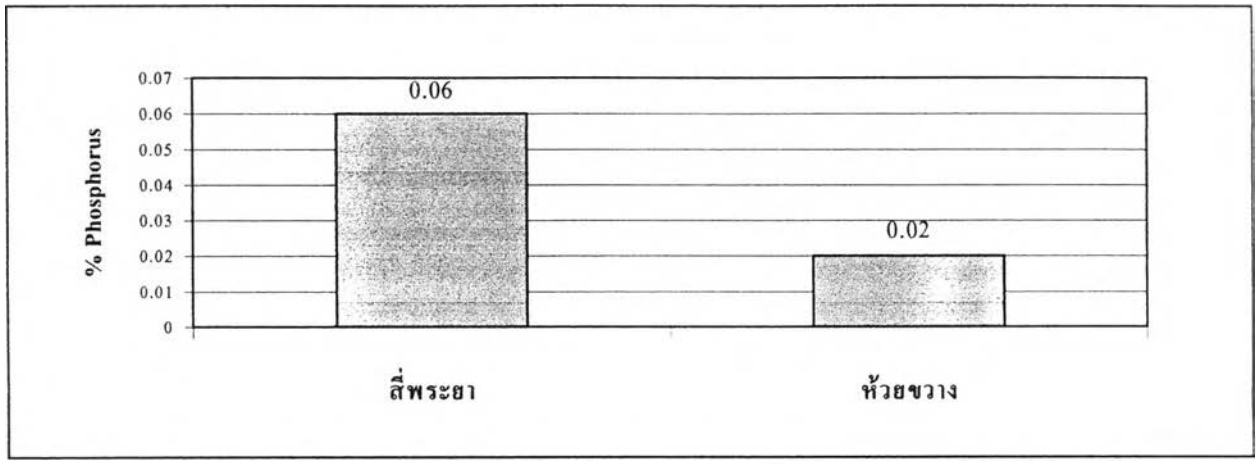
รูปที่ 4.13 ค่าของแข็งที่ไหม้ไฟ (%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



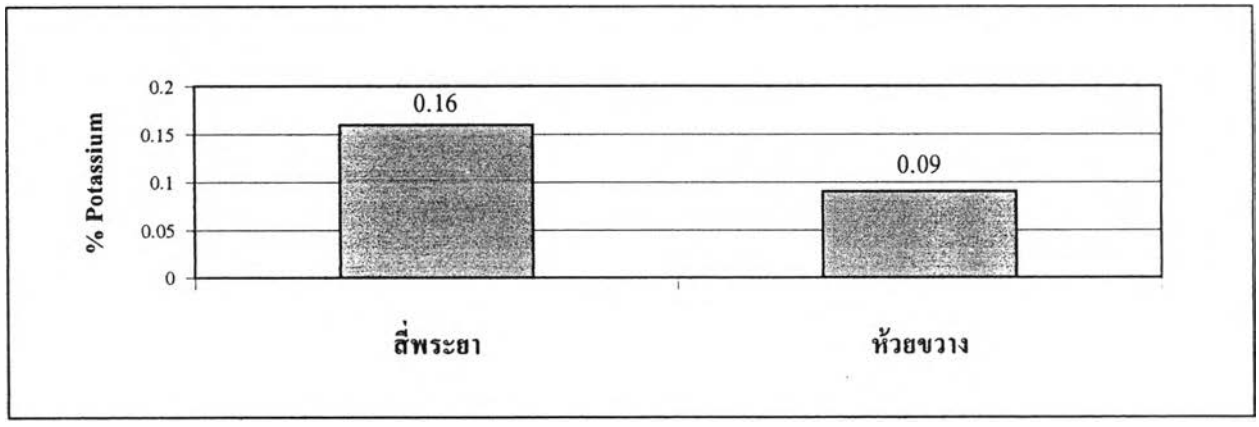
รูปที่ 4.14 ค่าของปริมาณเถ้า(%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



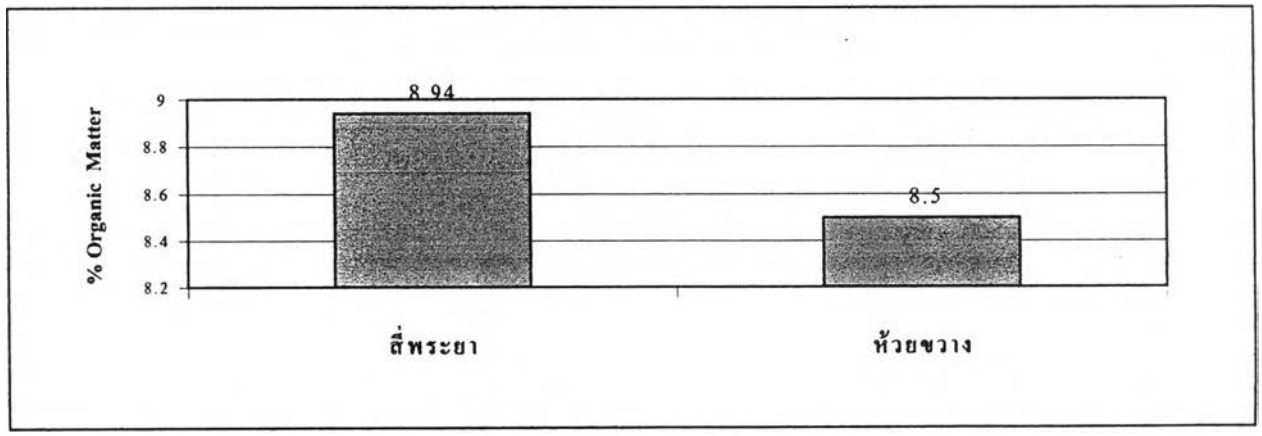
รูปที่ 4.15 ค่าไนโตรเจน (%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



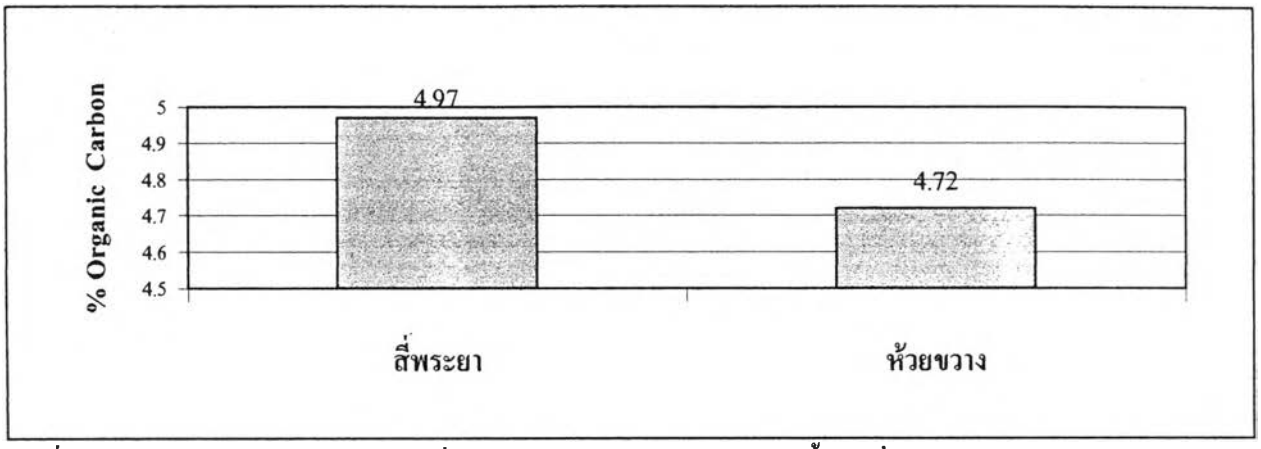
รูปที่ 4.16 ค่าฟอสฟอรัส (%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



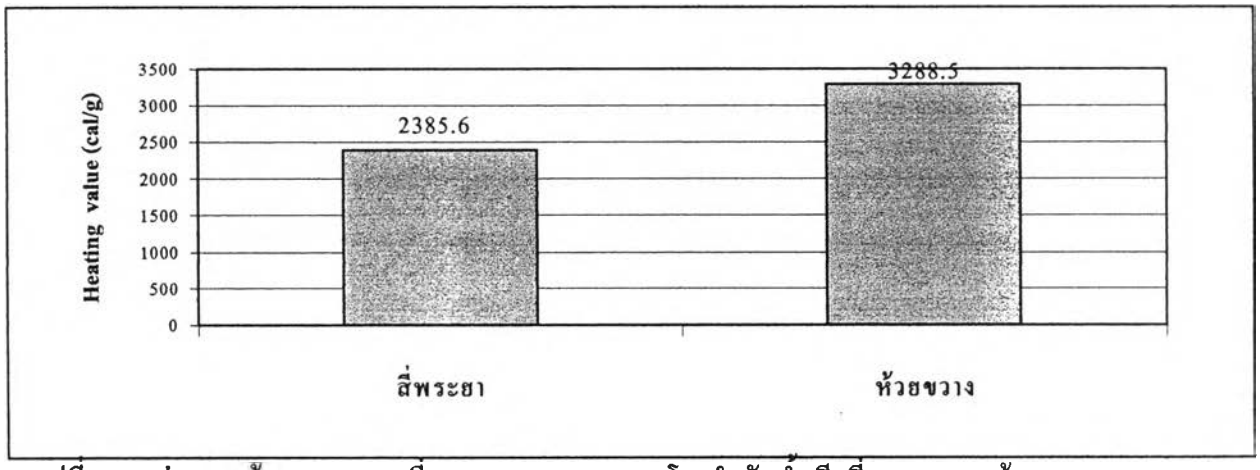
รูปที่ 4.17 ค่าโพแทสเซียม (%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



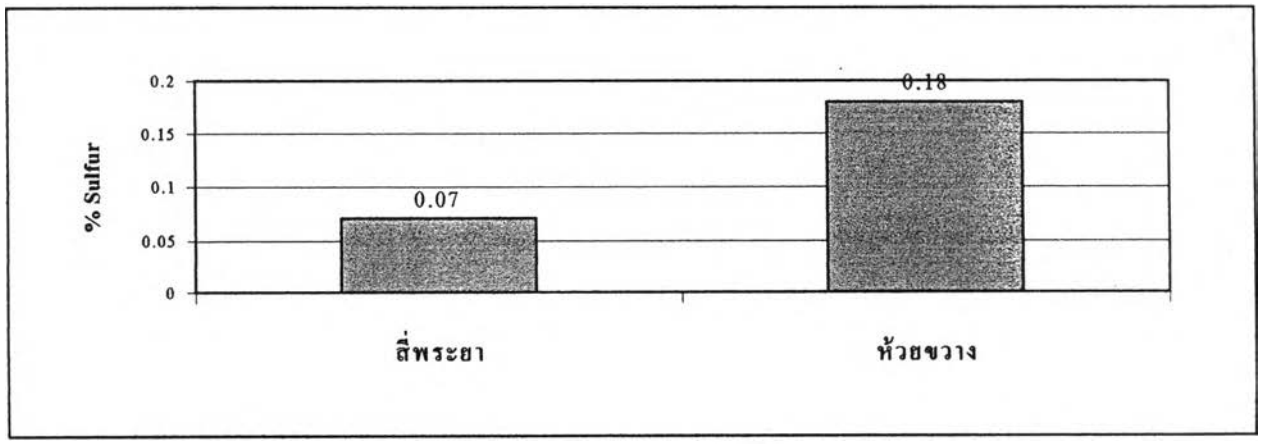
รูปที่ 4.18 ค่าอินทรีย์วัตถุ (%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.19 ค่าคาร์บอน อินทรีย์ (%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.20 ค่าความร้อน (cal/g) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.21 ค่าซัลเฟอร์ (%) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

4.2.2.4 ค่าความร้อน (Heating value)

จากการพิจารณาตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าความร้อนเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่า กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา คือเท่ากับ 3288.5 cal/g และ 2385.6 cal/g ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.20)

4.2.2.5 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfer)

ปริมาณซัลเฟอร์ในกากตะกอนมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนของกากตะกอน ดังนั้นเมื่อค่าความร้อนของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมากกว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ซึ่งทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมากกว่ากากตะกอนในโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาด้วย โดยปริมาณซัลเฟอร์เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง เท่ากับ 0.0716 % และ 0.1786 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.21)

4.2.3 โลหะหนัก

4.2.3.1 แคดเมียม

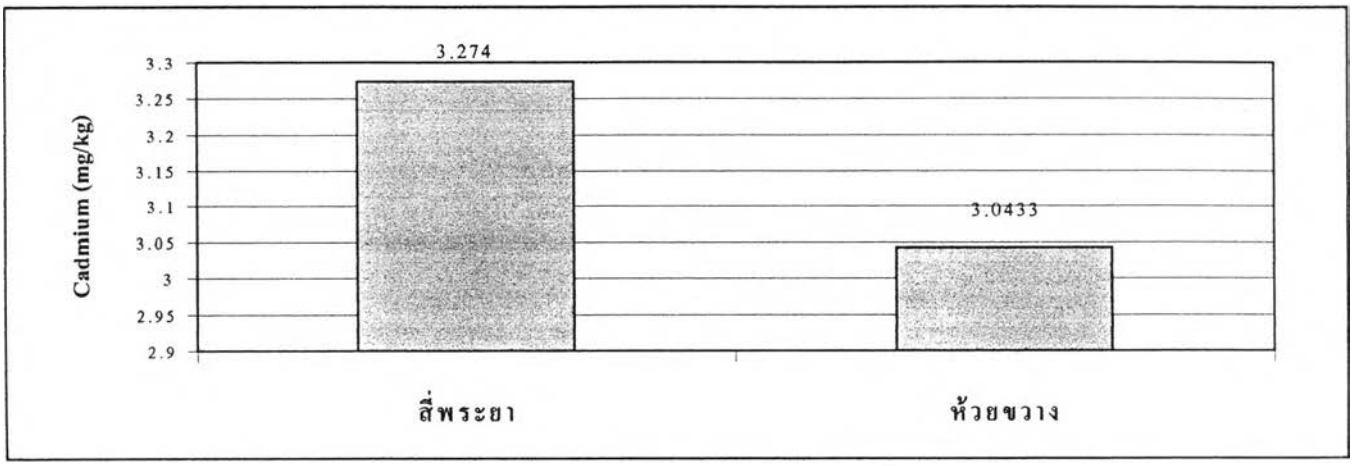
ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง มีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 3.2740 mg/kg และ 3.0433 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.22)

4.2.3.2 ตะกั่ว

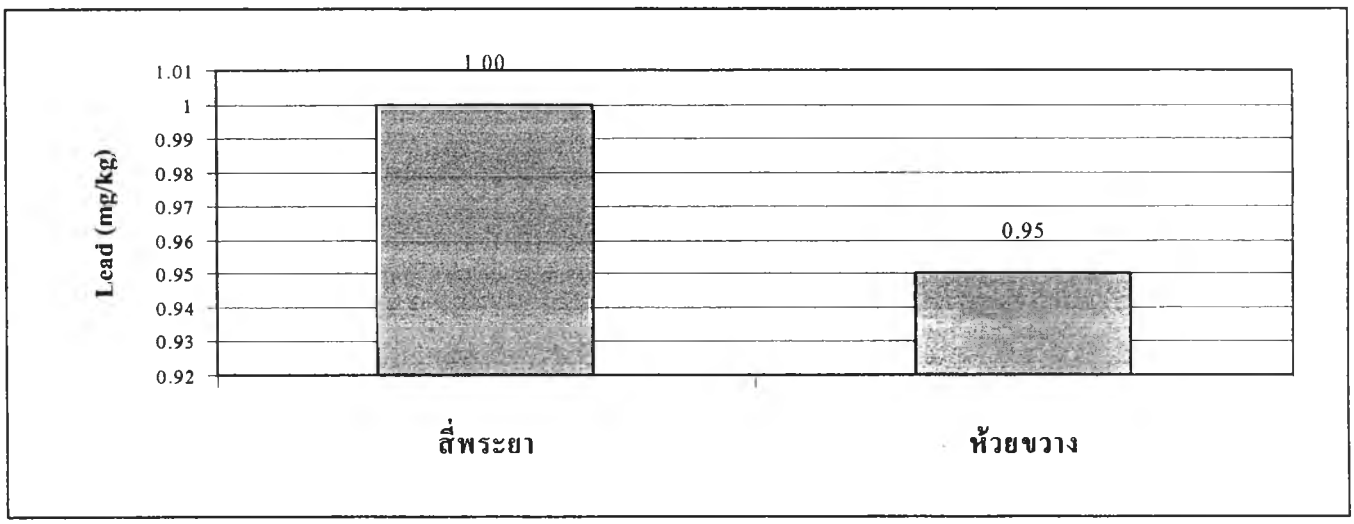
ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง มีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 1.0010 mg/kg และ 0.9509 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.23)

4.2.3.3 ปรอท

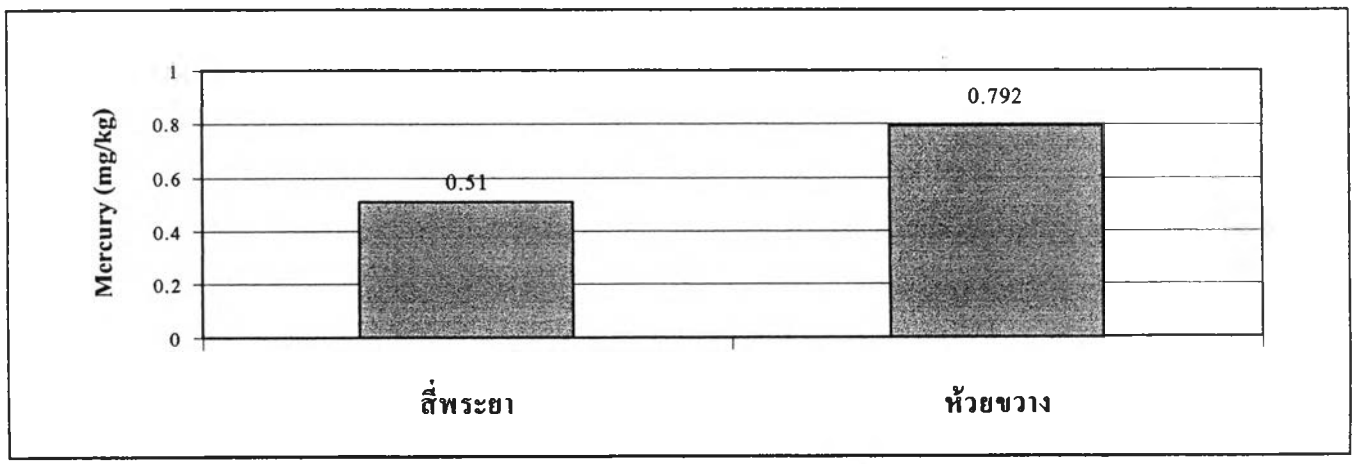
ปริมาณปรอทเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่ามากกว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา โดยมีค่าเท่ากับ 0.792 mg/kg และ 0.510 mg/kg (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.24)



รูปที่ 4.22 ค่าแคดเมียม (mg/kg) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.23 ค่าตะกั่ว (mg/kg) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง



รูปที่ 4.24 ค่าปรอท (mg/kg) เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

4.3 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน

นำผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสีย และกากตะกอนทั้งด้านกายภาพและเคมี มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน โดยใช้ Multiple Linear Regression ในการพิจารณาจะแบ่งตามชนิดของโลหะหนัก และโรงบำบัดน้ำเสีย

4.3.1 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

ในการหาความสัมพันธ์ครั้งนี้ ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย ค่า pH ค่าความสกปรกในรูป BOD และ COD ประสิทธิภาพการบำบัด ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียก่อนบำบัด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียหลังบำบัด และความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ มีดังนี้

$$Y_{Cd} = 0.010TDS_{inf(t = 2.916)} \quad ; \; F = 8.505 \; , R^2 = 0.262$$

$$Y_{Pb} = 0.971 - 98.952Pb_{eff(t = -2.554)} + 0.0018SS_{inf(t = 2.334)} \quad ; \; F = 8.002 \; , R^2 = 0.400$$

$$Y_{Hg} = 0.463 \; pH_{inf(t = 2.139)} \quad ; \; F = 4.577 \; , R^2 = 0.160$$

เมื่อ Y_{Cd} = ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Pb} = ความเข้มข้นของตะกั่วในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Hg} = ความเข้มข้นของปรอทในกากตะกอน (mg/kg)

TDS_{inf} = ของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียก่อนบำบัด(mg/l)

Pb_{post} = ตะกั่วในน้ำเสียหลังบำบัด (mg/l)

SS_{inf} = ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)

PH_{inf} = ค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียก่อนบำบัด

R^2 = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ช่วยในการตัดสินใจ

จากความสัมพันธ์ทั้งสามความสัมพันธ์ข้างต้น ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียก่อนการบำบัด และตะกั่วในน้ำเสียหลังบำบัดซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก

1) แคดเมียม

ในสภาวะที่มี pH ต่ำกว่า 9 ดังเช่นสภาวะน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาซึ่งมีค่า pH เพียง 6.75 แคดเมียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ divalent ion (Cd^{2+}) ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี ทำให้เกิดสารประกอบระหว่าง Cd^{2+} กับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังอาจเกิดกระบวนการรวมตัวของ Cd^{2+} ที่ผิวของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และระหว่างการบำบัดน้ำเสียจะมีการเติมอากาศให้กับน้ำเสีย ซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนในน้ำเสีย น้ำเสียจะมี pH ต่ำลง ทำให้แคดเมียมกลายเป็น Cd^{2+} มากขึ้น และเมื่อผ่านกระบวนการบำบัด ซึ่งโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 87.675 % สารประกอบของสารอินทรีย์และ Cd^{2+} จะถูกแยกออกจากน้ำเสียไปรวมกันเป็นกากตะกอน ทำให้ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียไปอยู่ในกากตะกอน ซึ่งเป็นไปตามสมการข้างต้นที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณแคดเมียมในกากตะกอน

2) ตะกั่ว

ในน้ำเสีย ตะกั่วจะมีการแตกตัวเป็นตะกั่วอิออน (Pb^{2+}) และจะถูกดูดซับอยู่บนสารแขวนลอย ในสภาวะที่มีออกซิเจน การแลกเปลี่ยนอิออนยังเป็นปฏิกิริยาหนึ่งที่ทำให้ตะกั่วออกจากสารละลายไปยังสารแขวนลอย เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดผ่านระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูง จะทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียถูกกำจัดไปในปริมาณที่สูงเช่นกัน ซึ่งในระบบตะกอนเร่งการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียคือการกำจัดโลหะหนัก ดังนั้นเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วมีตะกั่วเหลืออยู่ในปริมาณที่น้อย แสดงว่าตะกั่วส่วนใหญ่ถูกกำจัดรวมกับสารอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่ในรูปของกากตะกอน ในทางกลับกัน ถ้าในน้ำเสียหลังการบำบัดมีตะกั่วอยู่มาก ย่อมแสดงว่ากากตะกอนมีตะกั่วอยู่มาก จากสมการข้างต้นจึงอธิบายได้ว่าของแข็งแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในทางบวก แต่ปริมาณตะกั่วหลังการบำบัดมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณตะกั่วในกากตะกอน

3) ปรอท

จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียจะเปลี่ยนปรอท (Hg^{2+}) ให้เป็น monomethlymercury (CH_3Hg^+) ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำ และ CH_3Hg^- จะถูกดูดซับบนสารอินทรีย์ ในขณะที่ CH_3Hg^+ บางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็น CH_3HgCH_3 ซึ่งไม่ละลายน้ำและระเหยสู่บรรยากาศได้ จากความสัมพันธ์ข้างต้นแสดงว่า ปริมาณปรอทในกากตะกอนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า pH เนื่องมาจากถ้าในน้ำเสียมีค่า pH สูงจะทำให้เกิดมี CH_3HgCH_3 มากขึ้น และทำให้มีอนุภาคปรอทตกตะกอนลงไปรวมอยู่ในกากตะกอนมากขึ้น เช่นเดียวกันถ้าในน้ำเสียมีค่า pH ต่ำอนุภาคปรอทจะอยู่ในรูป CH_3Hg^+ มากขึ้น

4.3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาหาความสัมพันธ์ประกอบด้วย ค่า pH ค่าความสกปรกในรูป BOD และ COD ประสิทธิภาพการบำบัด ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียก่อนบำบัด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียหลังบำบัด และความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ มีดังนี้

$$Y_{Cd} = 14.065 - 0.136\text{Removal}_{(t=-3.112)} + 0.000474\text{BOD}_{inf(t=2.692)} \quad ; F = 9.482 , R^2 = 0.452$$

$$Y_{Pb} = 7.383 - 0.0702\ \text{Removal}_{(t=-2.902)} \quad ; F = 8.422 , R^2 = 0.252$$

เมื่อ Y_{Cd} = ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Pb} = ความเข้มข้นของตะกั่วในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Hg} = ความเข้มข้นของปรอทในกากตะกอน (mg/kg)

Removal = ประสิทธิภาพการกำจัด BOD ในน้ำเสีย

BOD_{inf} = ค่าความสกปรกในรูป BOD (mg/l) ก่อนการบำบัด

R^2 = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ช่วยในการตัดสินใจ

จากความสัมพันธ์ข้างต้น ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับโลหะหนักทั้งสามชนิดได้แก่ ค่าความสกปรกในรูป BOD ก่อนการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด (การลดค่า BOD ในน้ำเสีย) ซึ่งเนื่องมาจาก ในสภาพที่เป็นกลางของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง แคดเมียม และตะกั่วจะอยู่ในรูป ของ Cd^{2+} และ Pb^{2+} ซึ่งจะถูกดูดซับอยู่บริเวณผิวของสารอินทรีย์ ดังนั้นถ้าในน้ำเสียมีสารอินทรีย์มากก็จะทำให้ประจุบวกทั้ง 2 ชนิดนี้ถูกดูดซับอยู่ในปริมาณมาก ระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสียจะมีการเติมอากาศ ส่งผลให้น้ำเสียมีออกซิเจนมากขึ้น ค่า pH จะลดต่ำลง ทำให้แคดเมียม และตะกั่วมีการละลายมากขึ้น ทำให้เกิด Cd^{2+} และ Pb^{2+} มากขึ้น และประกอบกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่าสูง จึงทำให้มีการกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งมีประจุบวกของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดเกาะอยู่ที่ผิวไปได้ในปริมาณมาก จึงทำให้ปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว ที่จะตกตะกอนรวมอยู่ในกากตะกอนมีปริมาณน้อย จึงเป็นไปตามความสัมพันธ์ด้านบนที่ ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนจะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความสกปรกในรูป BOD ของน้ำเสียก่อนการบำบัด แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับประสิทธิภาพการบำบัด ปริมาณตะกั่วในกากตะกอนจะมีความสัมพันธ์ทางลบกับประสิทธิภาพการบำบัด สำหรับปรอทในกากตะกอนไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนจาก โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา และโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกัน อาจมีสาเหตุเนื่องมาจาก

ลักษณะของท่อรวบรวมน้ำเสียเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียแตกต่างกัน จึงทำให้คุณภาพของน้ำเสียที่เข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียทั้งสองแห่งมีความแตกต่างกัน คือ ท่อรวบรวมน้ำเสียเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เป็นท่อรวมที่ใช้ระบายน้ำฝนและน้ำเสีย จึงทำให้น้ำเสียที่จะเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีความสกปรกน้อย เนื่องจากมีการเจือจางจากน้ำฝนในช่วงฤดูฝน มีการตกตะกอนภายในท่อระบายน้ำเสียก่อนเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสีย ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ค่าความสกปรกในรูป BOD ของน้ำเสียที่จะเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยเฉพาะฤดูฝนและส่งผลถึงประสิทธิภาพการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียด้วย ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความสกปรกของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด จึงทำให้ค่าความสกปรกในรูป BOD และประสิทธิภาพการบำบัดมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดในกากตะกอนน้อย และเหตุผลที่ปริมาณของแข็ง

น้ำเสียที่จะเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางนั้นถูกระบายลงท่อระบายน้ำเสียโดยเฉพาะ ดังนั้นค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปของBOD จึงมีค่ามากและไม่แปรปรวนหรือเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเช่นเดียวกับน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ค่าประสิทธิภาพการบำบัดจึงค่อนข้างคงที่ตลอดการวิจัย ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ค่าความสกปรกในรูป BOD ของน้ำเสียก่อนการบำบัด และค่าประสิทธิภาพการบำบัดมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมากกว่าลักษณะสมบัติอื่น ๆ

4.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

เมื่อนำคุณลักษณะของน้ำเสียและกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวางมารวมกัน เพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน โดยตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย ค่า pH ค่าความสกปรกในรูป BOD และ COD ประสิทธิภาพการบำบัด ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียก่อนบำบัด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียหลังบำบัด และความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอน พบว่า มีเพียงความสัมพันธ์ของแคดเมียมในกากตะกอน กับคุณลักษณะของน้ำเสียและกากตะกอนเท่านั้น ส่วนปรอทไม่มีความสัมพันธ์เกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ มีดังนี้

$$Y_{Cd} = 10.013 - 0.087\text{Removal}_{(t=-2.986)} + 0.004\text{BOD}_{inf(t=3.017)} \quad ; \quad F = 6.003 , R^2 = 0.361$$

$$Y_{Pb} = 0.538 + 0.004\text{SS}_{inf(t=2.696)} \quad ; \quad F = 7.270 , R^2 = 0.200$$

เมื่อ Y_{Cd} = ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)

Removal = ประสิทธิภาพการกำจัดBOD ในน้ำเสีย

BOD_{inf} = ค่าความสกปรกในรูป BOD (mg/l)

SS_{inf} = ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนการบำบัด (mg/l)

R^2 = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ

จากความสัมพันธ์ข้างต้น ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอน จะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า BOD แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับประสิทธิภาพการบำบัด เนื่องมาจากแคดเมียมในรูปที่ละลายน้ำได้ คือ Cd^{2+} จะถูกดูดซับจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เพราะฉะนั้นในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์มาก จะสามารถดูดซับ Cd^{2+} ไว้ได้มาก แต่เมื่อน้ำเสียได้ผ่านการบำบัดที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงแล้ว สารอินทรีย์ที่มี Cd^{2+} ดูดซับอยู่ที่ผิวถูกกำจัดไป จึงทำให้มีแคดเมียมตกตะกอนอยู่ในกากตะกอนน้อย

สำหรับตะกั่วในกากตะกอนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนการบำบัด เนื่องมาจากตะกั่วอิออน (Pb^{2+}) จะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัด สารอินทรีย์และตะกั่วจะถูกกำจัดและรวมตัวกับจุลินทรีย์อยู่ในรูปของกากตะกอน ดังนั้นเมื่อของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอนมากขึ้น ในทางตรงกับข้ามถ้ามีของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัดน้อย จะทำให้ตะกั่วในกากตะกอนน้อยเช่นกัน

4.3.4 การปรับแก้สมการ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน กับลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงใน 4.3.1 – 4.3.3 แล้ว มีการปรับสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ที่ถูกต้องโดยการทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและกากตะกอนแล้วนำไปวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในสมการ ได้แก่

4.3.4.1 โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียและกากตะกอนดังนี้

ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TDS_{inf})	=	326.70 mg/l
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS_{inf})	=	24 mg/l
ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH_{inf})	=	6.72

ส่วนปริมาณตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน และแคดเมียมในน้ำเสียหลังบำบัดและในกากตะกอน มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้หลังจากนั้นนำไปแทนค่าในสมการที่แสดงใน 4.3.1 แล้วทำการปรับสมการให้ถูกต้อง จะได้ความสัมพันธ์ใหม่และได้สมการที่สามารถนำไปทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่วและปรอทได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นดังต่อไปนี้

$$Y_{Cd} = 0.010TDS_{inf} - 3.267 \quad (1)$$

$$Y_{Pb} = 0.0432 - 98.952Pb_{eff} + 0.0018SS_{inf} \quad (2)$$

$$Y_{Hg} = 0.463\ pH_{inf} - 3.111 \quad (3)$$

เมื่อ Y_{Cd} = ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Pb} = ความเข้มข้นของตะกั่วในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Hg} = ความเข้มข้นของปรอทในกากตะกอน (mg/kg)

TDS_{inf} = ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำเสียก่อนบำบัด(mg/l)

Pb_{eff} = ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียหลังการบำบัด (mg/l)

SS_{inf} = ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)

ดังนั้นการนำสมการไปใช้เพื่อการทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาแนะนำให้เลือกใช้สมการที่ (1) (2) และ (3)

4.3.4.2 โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียและกากตะกอนดังนี้

ค่าความสกปรกในรูป BOD_{inf}	=	249.57 mg/l
ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal)	=	92.78 %

ส่วนปริมาณแคดเมียม ตะกั่วและปรอทในกากตะกอนมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้หลังจากนั้นนำไปแทนค่าในสมการที่แสดงใน4.3.2 แล้วทำการปรับสมการให้ถูกต้อง จะได้ความสัมพันธ์ใหม่และได้สมการที่สามารถนำไปทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่วและปรอทได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นดังต่อไปนี้

Y_{Cd} = $12.5008 - 0.136Removal + 0.00047BOD_{inf}$ ..... (4)

Y_{Pb} = $6.5132 - 0.0702Removal$ ..... (5)

เมื่อ Y_{Cd} = ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Pb} = ความเข้มข้นของตะกั่วในกากตะกอน (mg/kg)

Y_{Hg} = ความเข้มข้นของปรอทในกากตะกอน (mg/kg)

Removal = ประสิทธิภาพการบำบัด (%) (การลดค่า BOD ของน้ำเสีย)

BOD_{inf} = ค่าความสกปรกในรูป BOD (mg/l) ก่อนการบำบัด

ดังนั้นการนำสมการไปใช้เพื่อการทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางแนะนำให้เลือกใช้สมการที่ (4) และ (5)

4.3.4.3 โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง ในที่นี้จะใช้ค่าความสกปรกในรูป BOD และประสิทธิภาพการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ

ค่าความสกปรกในรูป BOD_{inf} = 249.57 mg/l

ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal) = 92.78 %

ส่วนปริมาณแคดเมียม ตะกั่วและปรอทในกากตะกอนมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ หลังจากนั้นนำไปแทนค่าในสมการที่แสดงใน4.3.3 แล้วทำการปรับสมการให้ถูกต้อง จะได้ความสัมพันธ์ใหม่และได้สมการที่สามารถนำไปทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่วและปรอทดังต่อไปนี้

Y_{Cd} = $7.0736 - 0.087Removal + 0.004BOD_{inf}$ ..... (6)

Y_{Pb} = $0.096 + 0.004SS_{inf}$ ..... (7)

เมื่อ Y_{Cd} = ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)

Removal = ประสิทธิภาพการกำจัด BOD (%)

BOD_{inf} = ค่าความสกปรกในรูป BOD ของน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)

SS_{inf} = ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)

จะเห็นได้ว่าในที่นี้ใช้ค่าความสกปรกในรูป BOD และประสิทธิภาพการบำบัดของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางแทนค่าลงไปในสมการที่ (6) และใช้ค่า SS ของน้ำเสียจากโรงบำบัดสี่พระยาแทนค่าลงไปในสมการที่ (7) เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากสมการที่ (6) จะเห็นว่าปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับค่าความสกปรกในรูป BOD และประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์นี้เหมือนกับสมการที่ใช้คาดการณ์ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางคือสมการที่ (4) แต่สำหรับในสมการที่ใช้คาดการณ์ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาคือ สมการที่ (1) จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของความสัมพันธ์แล้วจะเห็นได้ว่า สมการที่ (6) มีความเหมาะสมกับการคาดการณ์ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมากกว่าโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ส่วนสมการที่ (7) จะมีความเหมาะสมกับการคาดการณ์ปริมาณตะกั่วในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามากกว่าโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ซึ่งเห็นได้จากรูปแบบสมการที่เหมือนกันในสมการที่ (2) และ(7)

แม้ว่าระบบบำบัดทั้งสองแห่งจะเป็นระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เหมือนกัน แต่ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและระบบการรวบรวมน้ำเสียของทั้งสองแห่งแตกต่างกัน กล่าวคือ ความสกปรกของน้ำเสียในรูป BOD ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่าสูง และไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำฝนทำให้ความสกปรกมีค่าใกล้เคียงกันตลอดเวลา ประกอบกับระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ที่สูง แต่สำหรับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจะมีความสกปรกน้อย และบางช่วงเวลาจะมีการเจือจางจากน้ำฝน ทำให้ค่าความสกปรกในรูป BOD เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล อีกทั้งประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ยังน้อยกว่าเมื่อเทียบกับโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ดังนั้นเพื่อเป็นการนำสมการไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรใช้สมการเพื่อการคาดการณ์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียของแต่ละโรงบำบัดน้ำเสีย คือ ควรคาดการณ์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจากลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยา และควรคาดการณ์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางจากลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง นอกจากนี้ยังอาจนำสมการเหล่านี้ไปใช้ได้กับระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งอื่น ๆ ที่มีลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและระบบการรวบรวมน้ำเสียใกล้เคียงกับสี่พระยาและห้วยขวางได้อีกด้วย

4.4 การจัดการกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนพบว่า

4.4.1 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อยู่ในระดับที่สูงมาก เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยกากตะกอนนี้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 8.9442 % ซึ่งมากกว่า 4.5 % ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในกากตะกอนมีปริมาณเท่ากับ 0.0603 % (603 ppm) และ 0.1629 % (1629 ppm) ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 45 ppm และ 120 ppm ตามลำดับ และค่าไนโตรเจนในกากตะกอนก็มีมากถึง 2.37 % เมื่อเทียบกับปริมาณต่ำสุดที่ควรมีในปุ๋ยหมัก คือ 0.5% (ปรัชญา ธัญญาดี , พิทยกร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ , 2535)

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์สำหรับการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระดับที่บ่งบอก	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัส (ppm)	โพแทสเซียม (ppm)
ต่ำมาก	<0.5	<3	<30
ต่ำ	0.5 – 1.0	3 – 6	30 – 60
ต่ำปานกลาง	1.0 – 1.5	6 – 10	-
ปานกลาง	1.5 – 2.0	10 – 15	60 – 90
สูงปานกลาง	2.5 – 3.5	15 – 25	-
สูง	3.5 – 4.5	25 – 45	90 – 120
สูงมาก	> 4.5	> 45	> 120

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ที่มา : ปรัชญา ธัญญาดี , พิทยกร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ 2535.

สำหรับปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนสามารถนำไปเติมในดินที่ใช้ทำการเกษตรได้ตามปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศอังกฤษเท่านั้นเนื่องจาก แคดเมียมในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีเท่ากับ

3.2740 mg/kg ซึ่งเกณฑ์ของประเทศอังกฤษกำหนดไว้ไม่เกิน 3.5 mg/kg แต่ปริมาณแคดเมียมของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาอยู่ในระดับที่ไม่ก่อความเป็นพิษต่อพืช(5-700 mg/kg) ถึงแม้จะอยู่ในปริมาณที่เกินระดับปกติ (0.1-1mg/kg) และไม่ควรนำกากตะกอนนี้ไปใส่ลงในพื้นที่ป่าเนื่องจากกากตะกอนมีค่าเกิน 3 mg/kg ตามที่กำหนดไว้ของประเทศอังกฤษ สำหรับเกณฑ์ในประเทศออสเตรเลีย กากตะกอนนี้สามารถนำไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ ยกเว้นพื้นที่ประเภทสวนดอกไม้และแปลงผักสวนครัว

ปริมาณตะกั่วในกากตะกอนมีปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศในยุโรป ได้แก่ อังกฤษ เยอรมัน ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ ซึ่งกำหนดให้มีตะกั่วได้ถึง 100 – 550 mg/kg แต่ตะกั่วในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีเพียง 1.00 mg/kg เท่านั้น ซึ่งจัดอยู่ในระดับปกติที่พบในพืช และสามารถนำกากตะกอนนี้ไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ในพื้นที่ป่า สวนดอกไม้ ได้ตามเกณฑ์ของประเทศอังกฤษและประเทศออสเตรเลีย

ปริมาณปรอทในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 0.51 mg/kg ซึ่งมีปริมาณเกินเกณฑ์ที่จะยอมให้นำไปใส่ในดินเพื่อการทำเกษตรกรรมของประเทศอังกฤษ แต่สามารถนำกากตะกอนนี้ไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ในพื้นที่ป่า สวนดอกไม้ ได้ตามเกณฑ์ของประเทศอังกฤษและประเทศออสเตรเลีย

ถึงแม้ว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจะมีโลหะหนักบางชนิดที่มีปริมาณเกินมาตรฐานของประเทศในยุโรปบางประเทศ แต่คุณสมบัติโดยทั่วไป กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาก็ยังมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการเติมลงไปในดิน หรือนำไปทำปุ๋ยหมักซึ่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 สำหรับปัญหาด้านโลหะหนักในกากตะกอน Parkpin , Sirisukhodom และ Carbonell – Barrachina (1998) ได้ทำการศึกษาโลหะหนักและธาตุอาหารในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาผสมกับดิน พบว่ากากตะกอนมีความเหมาะสมในการเกษตรกรรม เมื่อเติมกากตะกอนลงไปในดิน จะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน ส่วนความเป็นพิษของโลหะหนักในกากตะกอนจะลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์

การนำกากตะกอนไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นวิธีการจัดการอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งกากตะกอนมีค่าความร้อนเท่ากับ 2385.6 cal/g ซึ่งให้ความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 3220.425 Btu/lb แต่เมื่อเผาไหม้แล้วจะเหลือปริมาณเถ้ามากประมาณ 8.7 % ของน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)								รายการอ้างอิง
	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg	
ออสเตรเลีย	1200	1500	1000	300	200	900	6	4	Lutz (1984)
อังกฤษ	-	1000	400	-	100	250	10	2	Bardos , Hadley and Kendle (1992)
สหรัฐอเมริกา									
• มินเนโซตา	-	1000	500	1000	100	500	10	5	Gurkewiz (1989) ; Robert (1994)
• นิวยอร์ค	-	2500	1000	1000	200	250	10	-	Robert (1994)
แคนาดา									
• ออนตาริโอ	-	500	60	50	60	150	3	-	Robert (1994)
เนเธอร์แลนด์	-	240	40	30	10	160	1	0.5	De Bertodi , Civilni and Comi (1990)
(แยกประเภทของมูลฝอย)									
สวิตเซอร์แลนด์	-	300	100	-	-	100	3	1	Krauss , Blessing and Kortherr (1986 , 1987)
อิตาลี	-	-	600	500	200	500	10	-	Genevini , Mezzanotte and Gabarino (1987)
กลุ่มประชาคมยุโรป									De Bertodi , Civilni and Comi (1990)
• สำหรับไม้ผล	-	1000	300	150	50	750	5	5	
• สำหรับไม้ประดับ	-	1500	500	200	100	1000	5	5	
ช่วงของทุกประเทศ	1200	240-2500	60-1000	30-1000	10-200	160-1000	1-10	1-5	

4.4.2 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม เช่นเดียวกับกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เท่ากับ 8.4975% 0.0202 % (202 ppm) และ 0.856% (856ppm) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.4 สามารถจัดให้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางนี้มีความอุดมสมบูรณ์มาก ส่วนปริมาณไนโตรเจนก็มีมากถึง 2.71 %

ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่าเท่ากับ 3.0433 mg/kg ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่สามารถนำไปเติมลงดินเพื่อการเกษตรได้ตามเกณฑ์ของประเทศอังกฤษและเยอรมัน (3.5และ3.0 mg/kg ตามลำดับ) และอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (5-700 mg/kg) นอกจากนี้ยังสามารถนำกากตะกอนไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น พื้นที่ป่า ใช้เป็นสารปรับปรุงดินในแปลงผักและดอกไม้ได้ (3.0 mg/kg) และสามารถใช้ทำเป็นปุ๋ยหมักได้

ปริมาณตะกั่วในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่าเท่ากับ 0.9505 mg/kg ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของปริมาณตะกั่วในกากตะกอนที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศในยุโรป ได้แก่ อังกฤษ เยอรมัน ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ ซึ่งกำหนดให้มีตะกั่วได้ถึง 100 – 550 mg/kg สามารถนำกากตะกอนไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น พื้นที่ป่า ใช้เป็นสารปรับปรุงดินในแปลงผักและดอกไม้ได้ (3.0 mg/kg) และสามารถใช้ทำเป็นปุ๋ยหมักได้

ปริมาณปรอทในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางไม่สามารถนำไปใส่ในดินเพื่อการเกษตรได้ ตามเกณฑ์ของประเทศอังกฤษ เยอรมัน ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ เนื่องจากมีปริมาณปรอทเท่ากับ 0.79 mg/kg ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้เท่ากับ 0.3 mg/kg แต่สามารถนำกากตะกอนไปใส่ในพื้นที่ป่า แปลงผักและดอกไม้ได้ และสามารถนำไปทำปุ๋ยหมักได้

แม้ว่าปริมาณปรอทในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง จะเกินมาตรฐานของการนำไปใส่ในพื้นที่การเกษตรของประเทศอังกฤษ เยอรมัน

ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ แต่คุณสมบัติด้านอื่น เช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณธาตุอาหาร ที่มีอยู่ในปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.4 จึงทำให้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารปรับปรุงดินและปุ๋ยหมัก เช่นเดียวกับการศึกษาของอรวรณ ศิริรัตนพิริยะ (2529) ศิราณี ศิริสุโขดม (2535) อรรณพ หอมจันทร์ (2535)

การนำกากตะกอนไปเป็นเชื้อเพลิง กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง จะให้ผลดีกว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เนื่องจากมีค่าความร้อนมากกว่า และมีปริมาณเถ้าน้อยกว่า โดยค่าความร้อนของกากตะกอนเท่ากับ 3288.5 cal/g ซึ่งทำให้เกิดความร้อนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 4439.475 Btu/lb และเมื่อเผาไหม้แล้วจะเหลือเถ้าประมาณ 5.70 % ของน้ำหนักเปียก

4.5 วิจารณ์ผลการวิจัย

4.5.1 สมมติฐานของงานวิจัยนี้คือ ประสิทธิภาพการบำบัดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง และสามารถทำนายปริมาณโลหะหนักดังกล่าวได้ด้วยลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด และเมื่อทำการวิจัยพบว่า สมมติฐานนี้เป็นจริงกับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางเท่านั้น โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนในทางลบ และนอกจากประสิทธิภาพการบำบัด ความสกปรกของน้ำเสียในรูปของ BOD ยังเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ทำให้สามารถทำนายปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนได้ตามสมมติฐาน ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ แต่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่าความเป็นกรด – ด่าง ถึงแม้ว่าจะไม่เป็นไปตามสมมติฐานแต่ก็สามารถทำนายปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนได้ในระดับหนึ่งที่จะเป็นจุดเริ่มต้นของการจัดการโลหะหนักในกากตะกอน

สมการสำหรับการนำไปใช้คาดการณ์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนทั้ง 7 สมการที่ได้นั้น ได้ทำการปรับสมการให้ถูกต้องและสามารถทำนายปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนได้

ใกล้เคียงยิ่งขึ้นที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ และจากสมการทั้ง 7 สมการที่ได้จากการวิจัยทำให้ทราบว่า ระบบบำบัดที่มีระบบการรวบรวมน้ำเสียเพื่อเข้าสู่ระบบบำบัดต่างกัน และลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบต่างกันจะทำให้ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนมีความสัมพันธ์กับลักษณะสมบัติของน้ำเสียต่างกัน โดยที่ระบบที่มีการเจือจางโดยน้ำฝน มีการตกตะกอนระหว่างไหลเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำเสียมีความสกปรกน้อย ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจะสัมพันธ์กับลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำเสีย ได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง ปริมาณของแข็งแขวนลอย และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ดังเช่นน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ส่วนระบบที่มีการแยกน้ำเสียกับน้ำฝน และไม่มีการตกตะกอนในขณะที่น้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด ทำให้น้ำเสียไม่มีการเจือจาง เป็นเหตุให้น้ำเสียมีความสกปรกมาก ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจะสัมพันธ์กับลักษณะสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความสกปรกในรูป BOD และยังมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดอีกด้วย ดังเช่นน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

4.5.2 จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าความสกปรกในรูปของ BOD เท่ากับ 81.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความสกปรกในรูปของ BOD เท่ากับ 8.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าความสกปรกในรูปของ BOD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งกำหนดให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความสกปรกรูปของ BOD ได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นทางโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาสามารถลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียสำหรับบางขั้นตอนได้ เช่น การเติมอากาศเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังดักกรวดและทราย จากเดิมน้ำเสียจะอยู่ในถังนี้ประมาณ 20 นาที ในขณะเดียวกันจะมีการเติมอากาศตลอดเวลา เพื่อเป็นการประหยัดไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเติมอากาศอาจลดเวลาในกระบวนการนี้ลง หรืออาจลดปริมาณพอลิเมอร์ประเภทประจุบวกที่ใช้ช่วยให้ตะกอนจับตัวกันแล้วตกลงสู่ก้นถัง ซึ่งตัวอย่างที่เสนอไปนั้นสามารถทำได้แต่ค่าความสกปรกในรูปของ BOD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีค่าความสกปรกในรูปของ BOD เท่ากับ 295.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความสกปรกในรูป ของ BOD เท่ากับ 25.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความสกปรกของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดสูงมากเมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางที่ประมาณไว้ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นควรมีการปรับปรุงเพื่อให้ความสกปรกของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าน้อยลงโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น เพิ่ม

ระยะเวลาให้น้ำเสียอยู่ในบ่อสูบน้ำเสียมากขึ้น เพื่อให้มีการตกตะกอนหรือการลดลงของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในน้ำเสีย ลดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ถูกสูบเข้าสู่รางตกตะกอนกรวดและทรายโดยลดอัตราการสูบน้ำเสียลง เป็นต้น เมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความสกปรกน้อยลง ประกอบกับประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงของระบบบำบัดอาจส่งผลให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความสกปรกน้อยลง และอยู่ภายใต้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งกำหนดให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความสกปรกรูปของ BOD ได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5.3 ในกรณีที่มีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในกากตะกอนมากจนอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ สามารถนำความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน และลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดทั้งสองแห่งนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนได้ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยา สามารถลดการปนเปื้อนโลหะหนักทั้งสามชนิดในกากตะกอนของได้โดย การปรับสภาพน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดให้เป็นกรดมากขึ้น (ทำให้ค่า pH น้อยลง) เพื่อลดปริมาณปรอทในกากตะกอน และทำให้น้ำเสียมีความสะอาดมากขึ้นโดยมีของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง (ทำให้ค่า SS และ TDS ลดลง) และเพิ่มตะกั่วในน้ำเสียหลังบำบัดให้มากขึ้น เพื่อลดปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในกากตะกอน ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียห้วยขวางสามารถลดการปนเปื้อนโลหะหนักทั้งสามชนิดในกากตะกอนได้โดย ทำการลดค่าความสกปรกในรูป BOD ของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดให้น้อยลง ซึ่งอาจทำได้โดยเพิ่มระยะเวลาในการเติมอากาศให้กับน้ำเสียก่อนจะเข้าสู่ระบบบำบัด ในการลดปริมาณแคดเมียมในกากตะกอน ส่วนการลดตะกั่วในกากตะกอนทำได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียให้มากขึ้นกว่าเดิม แต่ในความเป็นจริงแล้วปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียทั้งสองแห่งมีอยู่ในปริมาณที่น้อยและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต จึงไม่จำเป็นต้องทำการลดปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดนี้ลง