

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจริงจากโรงงานน้ำตาล ด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี รวมถึงค่าพีเอชสุดท้าย อุณหภูมิ ค่าของแข็งแขวนลอย ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และน้ำหนักระตะกั่วติดที่แผ่นอลูมิเนียม ปัจจัยที่ศึกษาคือ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น และจำนวนแผ่นอิเล็กโทรด โดยกำหนดศึกษาน้ำเสียที่ไม่มีอัตราการไหล และอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความต่างศักย์เท่ากับ 12 โวลต์ รายละเอียดของผลการทดลองเป็นดังนี้

#### การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

##### 1. ผลของเวลาต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

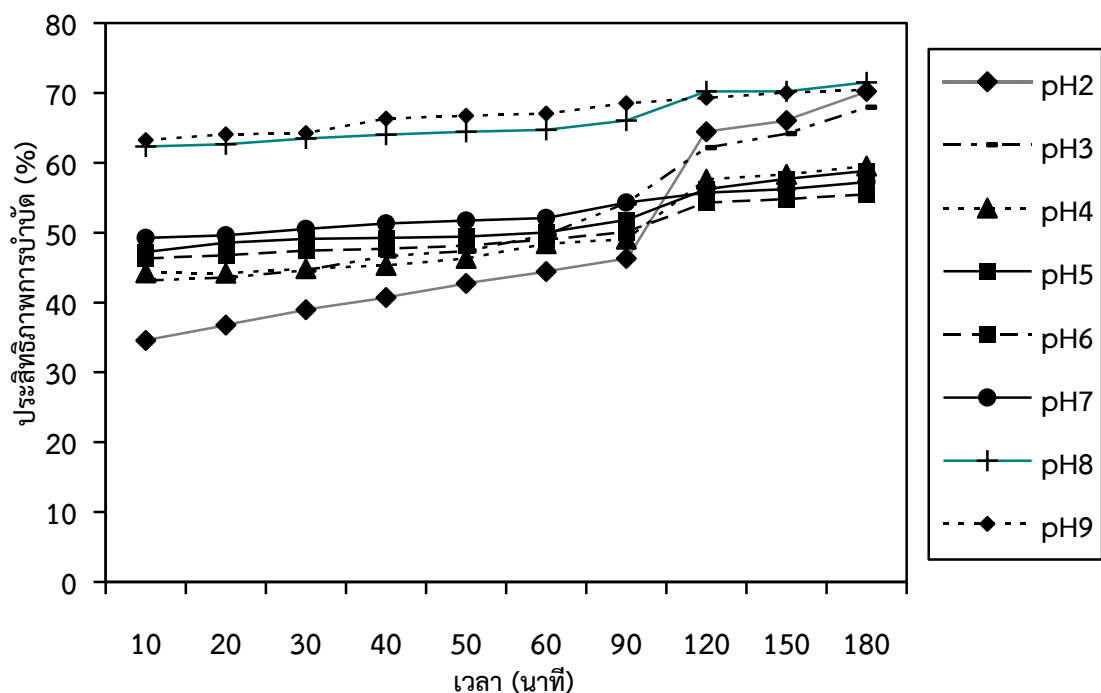
การศึกษาขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาโดยการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการปรับพีเอชเริ่มต้นที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมจำนวน 2 แผ่น ให้ระยะห่างระหว่างขบขั้วถึงแผ่นอลูมิเนียม และระยะระหว่างแผ่น ให้มีระยะห่างเท่ากันคือ 2.9 เซนติเมตร และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อเวลาครบ 10 , 20 , 30 , 40 , 50 , 60 , 90 , 120 , 150 และ 180 นาที เพื่อทำการศึกษาว่าช่วงเวลาใดที่สามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ได้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อที่จะได้เลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

จากการทดลองเราสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดังสมการที่ 4.1

$$\text{ประสิทธิภาพ \%} = \frac{(\text{ปริมาณสารเริ่มต้น} - \text{ปริมาณสารที่เหลืออยู่}) \times 100}{\text{ปริมาณสารเริ่มต้น}} \quad (4.1)$$

จากภาพที่ 4.1 พบว่าทุก ๆ พีเอชที่ทำการศึกษาช่วงเวลาในบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งช่วงเวลาที่ 10-90 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ จะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยที่ช่วงเวลาที่ 90 นาที ที่พีเอชที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 จะมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์อยู่ที่ร้อยละ 46.47, 54.39, 49.11, 51.93, 50.06, 54.44, 66.03 และ 68.69 ตามลำดับ และทำการเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่ช่วงเวลาที่ 120 ต่อโดยที่จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ อยู่ที่ร้อยละ 64.45, 62.23, 57.78, 56.35, 54.53, 55.87, 70.23 และ 69.42 ตามลำดับ ต่อจากนั้นจึงทำการเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่ช่วงเวลาที่ 150 นาที ปรากฏว่าค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 66.12, 64.27, 58.46, 57.87, 54.81,

56.31 , 70.34 และ 70.08 ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลา 180 นาทีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จะคงที่ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สามารถแบ่งช่วงการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ได้เป็น 3 ช่วง โดยที่ช่วงที่ 1 คือช่วงเวลาที่ 10-90 นาที ช่วงที่ 2 คือช่วงที่ 120 นาที ช่วงที่ 3 คือ ช่วงหลังจาก 120 นาทีจนถึง 180 นาที จากช่วงที่ได้ทำการแบ่งดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่าช่วงเวลา 2 หรือที่ช่วงเวลา 120 นาที เป็นช่วงเวลาที่ให้ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สูงสุด และหลังจาก 120 นาทีผ่านไปประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จะคงที่ ฉะนั้นเมื่อทำการเพิ่มเวลาให้มากกว่า 120 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไม่มีความแตกต่าง ดังนั้นการทดลองหลังจากนี้จะใช้เวลา 120 นาที ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ต่อไป (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-1)



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว

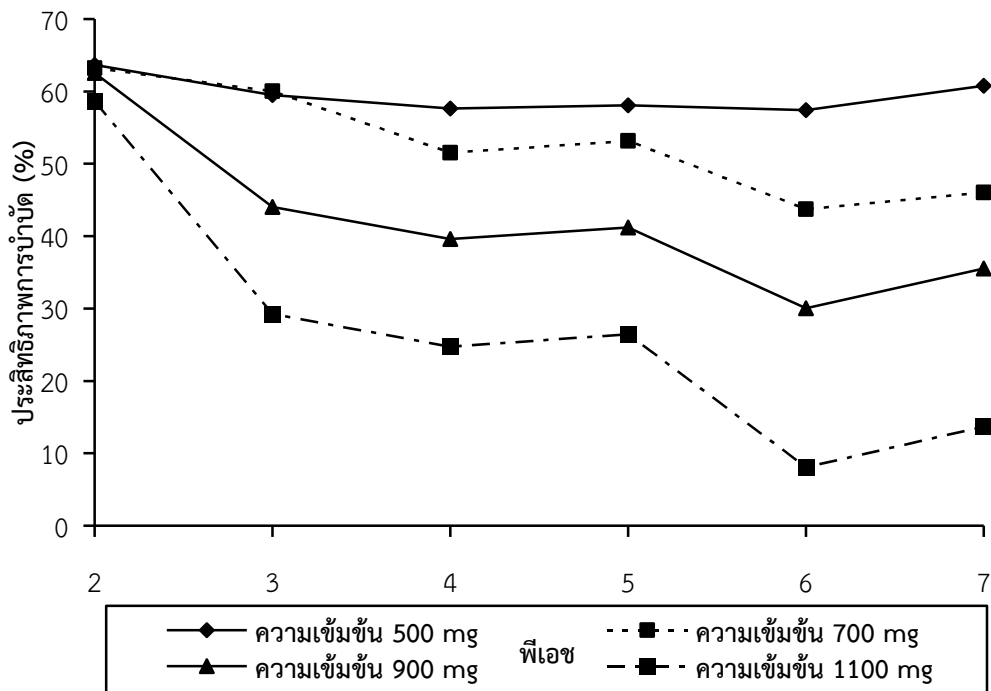
## 2. ผลค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อทำการทดลองบำบัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีการไหลเวียนของน้ำในเครื่องบำบัดทางไฟฟ้าเคมีที่ประจุขึ้นโดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 และ 9 และทุก ๆ พีเอชจะมีความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นที่ 500, 700, 900 และ 1100 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วทำปฏิกิริยาไฟฟ้ากระแสตรง โดยให้มีค่าความต่างศักย์โดยอิสระ และทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อบำบัดตะกั่วเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการทดลองจะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.2 (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-2)

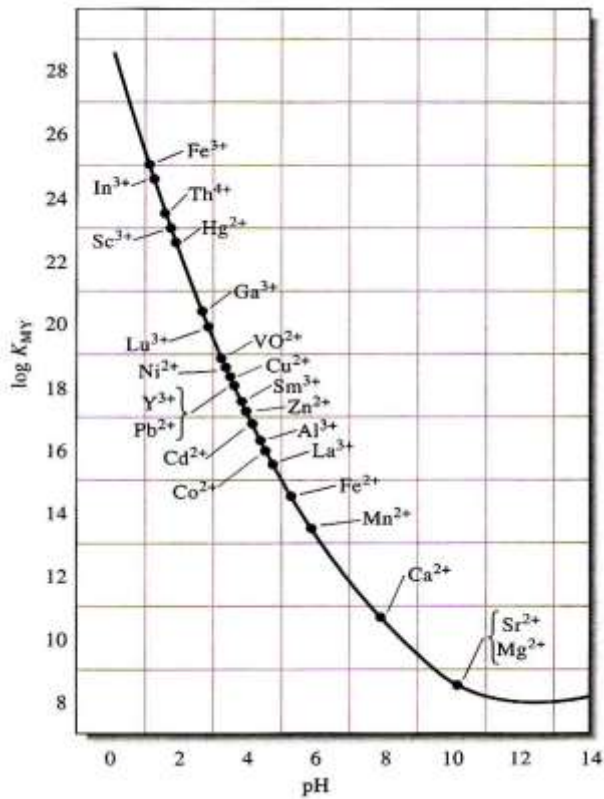
จากภาพที่ 4.2 พบว่า ช่วงพีเอชที่ 2-6 ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วจะลดลงและช่วงพีเอชที่ 7-9 ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอชที่ 9 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วสูงสุดเท่ากับร้อยละ 72.92 แต่เนื่องจากสารละลายในน้ำที่มี  $[H^+] = [OH^-]$  จัดได้ว่าเป็นสารละลายที่เป็นกลาง สารละลายที่เป็นกรด จะมีไฮโดรเจนไอออนมากกว่า ไฮดรอกไซด์ไอออนมากกว่าคือ  $[H^+] > [OH^-]$  ส่วนสารละลายที่เป็นเบสก็จะมีไฮดรอกไซด์ไอออนมากกว่าคือ  $[H^+] < [OH^-]$  ในทางปฏิบัติเราอาจเปลี่ยนความเข้มข้นของไอออนทั้งสองชนิดพร้อมๆ กันไม่ได้ เช่นถ้าทำให้สารละลายมี  $[H^+] = 1.0 \times 10^{-6} M$  ความเข้มข้นของ  $[OH^-]$  จะต้องเปลี่ยนไป จากภาพที่ 4.3 แสดงถึงค่าพีเอชต่ำสุดที่โลหะต่าง ๆ สามารถไทเทรตกับสารละลายได้ โดยที่จะสามารถแบ่งโลหะต่างๆ ออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน เมื่อทำการปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ ตะกั่วจะละลายได้ดีที่พีเอชที่เป็นกรด แต่พอทำการปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีพีเอชตั้งแต่ 7 - 9 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์จะมีลักษณะขุ่น ยิ่งพีเอชยิ่งสูงน้ำเสียสังเคราะห์จะยิ่งมีลักษณะขุ่นมากขึ้นเรื่อย ๆ มองเห็นเป็นคอลลอยด์ และมีบางส่วนที่เกิดการตกตะกอนลงมา โดยที่ตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นจะแยกมาจากของเหลว โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเกิดกับอนุภาคสารแขวนลอยที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ ดังนั้นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เริ่มต้น ตะกั่วได้ถูกทำให้ตกตะกอนไปบ้าง เป็นบางส่วนจากการปรับพีเอช แต่ไม่ได้เกิดจากการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วที่ได้มิใช่ค่าจริง ดังนั้น จากภาพที่ 4.2 พีเอชที่สามารถบำบัดตะกั่วได้ดีที่สุดก็คือ พีเอชที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 63.77 (ศุภชัย, 2537)

## 3. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

จากภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด คือความเข้มข้นที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากการละลายซึ่งกันและกันเกิดเป็นการละลายได้นั้น อนุภาคตัวถูกละลายต้องสามารถกระจายเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวทำละลายได้อย่างทั่วถึง หรืออาจกล่าวได้ว่า อนุภาคของตัวถูกละลายต้องสามารถเข้าไปแทนที่อนุภาคตัวทำละลายได้ แต่ถ้าใน ตัวทำละลายมีปริมาณเท่าเดิม และเพิ่มตัวถูกละลายให้มากขึ้น ความเข้มข้นของสารละลายก็เพิ่มขึ้นดังนั้น ไอออนที่อยู่ในสารละลายก็ถูกเพิ่มให้มากขึ้นด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเกิดขึ้นได้ลดลง (บุญฤกษ์และคณะ, 2539)



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ณ เวลา 2 ชั่วโมง ที่พีเอชต่างๆ

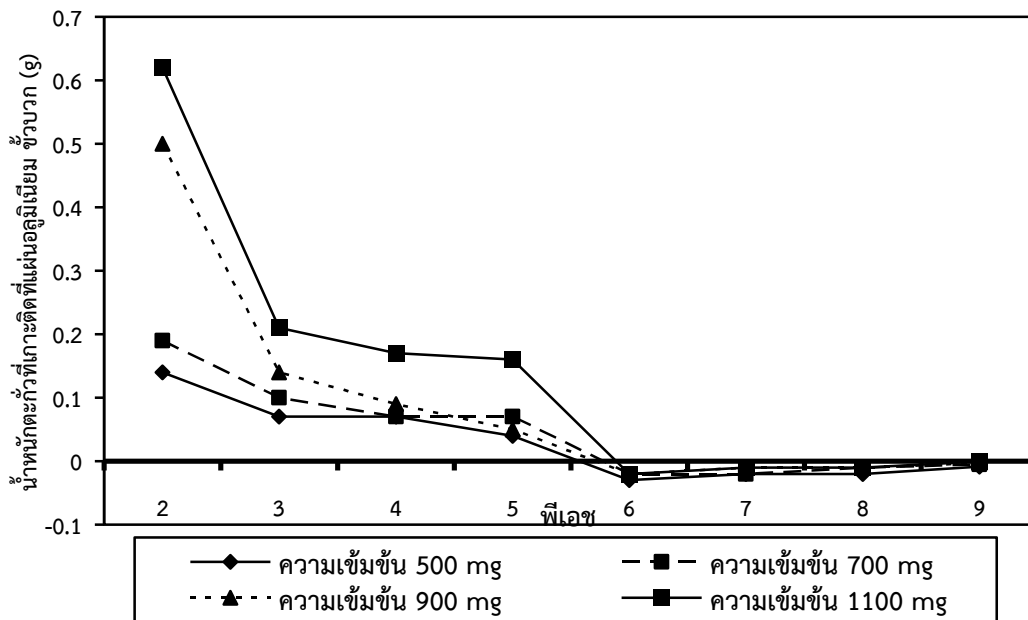


ภาพที่ 4.3 พีเอชที่ต่ำสุดที่ใช้ในการไทเทรตของไอออนของโลหะต่าง ๆ  
ที่มา: (Skoog, West & Holler, 1997, p.290)

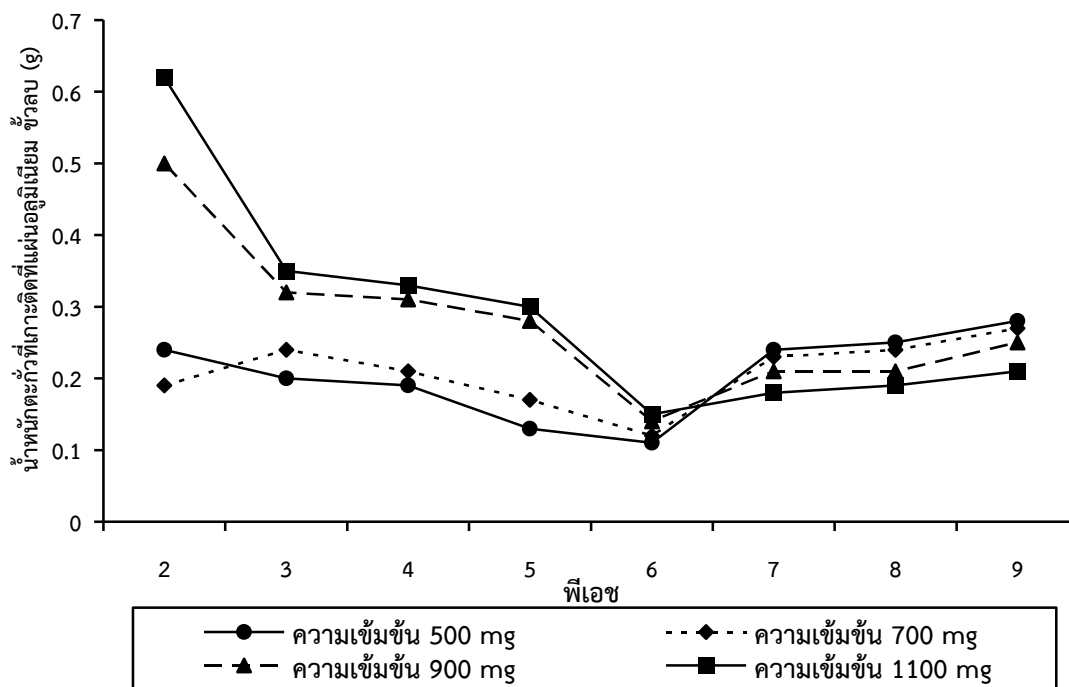
#### 4. ผลของค่าพีเอชและความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำหนักตะกั่วที่เกาะติดที่แผ่นอลูมิเนียม

จากการทดลองน้ำหนักของตะกั่วที่เกาะติดที่แผ่นอลูมิเนียมทั้ง 2 แผ่น คือขั้วบวกและขั้วลบ ณ พีเอช และความเข้มข้นที่ต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-3)

เมื่อทำการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น (Oxidation-Reduction) โดยที่ขั้วบวก (Anode) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอลูมิเนียม และที่ขั้วลบ (Cathode) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกั่วทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วแคโทด และอาจกลายเป็นไฮดรอกไซด์ตะกอนลงมา และจากปฏิกิริยาข้างต้นจะพบว่า มีตะกั่วเกาะติดกับแผ่นอลูมิเนียมที่ต่อกับขั้วอิเล็กโทรด (ทศพลและวรินทร์พย์ , 2548) ดังนั้นหลังจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าครบ 2 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้คือ



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำเสีย ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น และน้ำหนักตะกั่วที่เกาะติดบนแผ่นอลูมิเนียมที่ต่อเข้ากับขั้วบวก (Anode)



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำเสีย ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น และ น้ำหนักตะกั่วที่เกาะติดบนแผ่นอลูมิเนียมที่ต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode)

#### 4.1 ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการนำหนักตะกั่วที่เกาะติดที่แผ่นอลูมิเนียม

จากภาพที่ 4.4 ซึ่งแสดงผลการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอลูมิเนียมที่ต่อเข้ากับขั้วบวก ผลที่ได้คือที่พีเอช 2-5 จะมีตะกั่วมาเกาะติดที่แผ่นอลูมิเนียม ซึ่งพีเอชที่ 2 จะมีน้ำหนักของตะกั่วที่แผ่นอลูมิเนียมมากที่สุด แต่ในทางกลับกันพีเอชที่ 6-9 แผ่นอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักของแผ่นลดลงและลักษณะของแผ่นจะมีรอยขรุขระไม่เรียบ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นหลังการบำบัดของพีเอชที่ 2-5 เป็นไปได้ว่าแผ่นอลูมิเนียมเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก (Anode) ดังนั้นจึงทำให้แผ่นอลูมิเนียมเกิดการสึกกร่อน ละลายออกมาในรูป  $Al^{3+}$  ในสารอิเล็กโทรไลต์ เพราะว่าใน สารอิเล็กโทรไลต์หรือน้ำที่พีเอช 6-9 มีค่าการนำไฟฟ้าลดลง ก็แสดงว่าสารที่แตกตัวในน้ำลดลง โดยจะเกี่ยวกับความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน ถ้าน้ำนั้นมีพีเอชมากกว่า 9 หรือมีพีเอชน้อยกว่า 5 จะมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้ามาก เพราะ  $H^+$  และ  $OH^-$  มี ionic mobility สูงกว่าไอออนตัวอื่น กล่าวคือ ionic mobility ของ  $H^+ = 350$   $OH^- = 278$  และ  $Na^+ = 20-60$  เป็นต้น ดังนั้นค่าที่มาจากพีเอช จะมากกว่าจากไอออน (ศิริรักษ์ , 2547)

จากภาพที่ 4.5 ซึ่งแสดงผลการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอลูมิเนียมที่ต่อเข้ากับขั้วลบผลที่ได้คือ น้ำหนักของแผ่นอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นทุกๆพีเอช พีเอชที่มีน้ำหนักของแผ่นอลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้นที่สุด คือ พีเอช 2 เนื่องจากที่ขั้วลบเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ เกิดการแตกตัวให้ก๊าซ (Hydrogen,  $H_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide,  $OH^-$ ) ดังนั้นในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะวิ่งจากขั้วบวกมายังขั้วลบ เมื่อรวมกับไอออนของโลหะที่แตกตัวจากขั้วบวก จะเกิดเป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $2Al(OH)_3$ ) ช่วยให้สามารถเกิดตะกอนและเกิดการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอลูมิเนียมต่อเข้า

กับขั้วลบได้มากกว่า แต่ในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ถ้าขั้วทั้งสองได้รับความต่างศักย์จากภายนอก (DC Power Supply) ไม่มากพออิเล็กตรอนจะวิ่งจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ดังนั้นในการทำการบำบัดน้ำเสียจึงจำเป็นต้องให้แหล่งจ่ายมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าศักย์ไฟฟ้าภายในระบบ (ทศพลและวรินทร์พีย์ , 2548)

#### 4.2 ผลของค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อการนำหนักตะกั่วที่เกาะติดที่แผ่นอลูมิเนียม

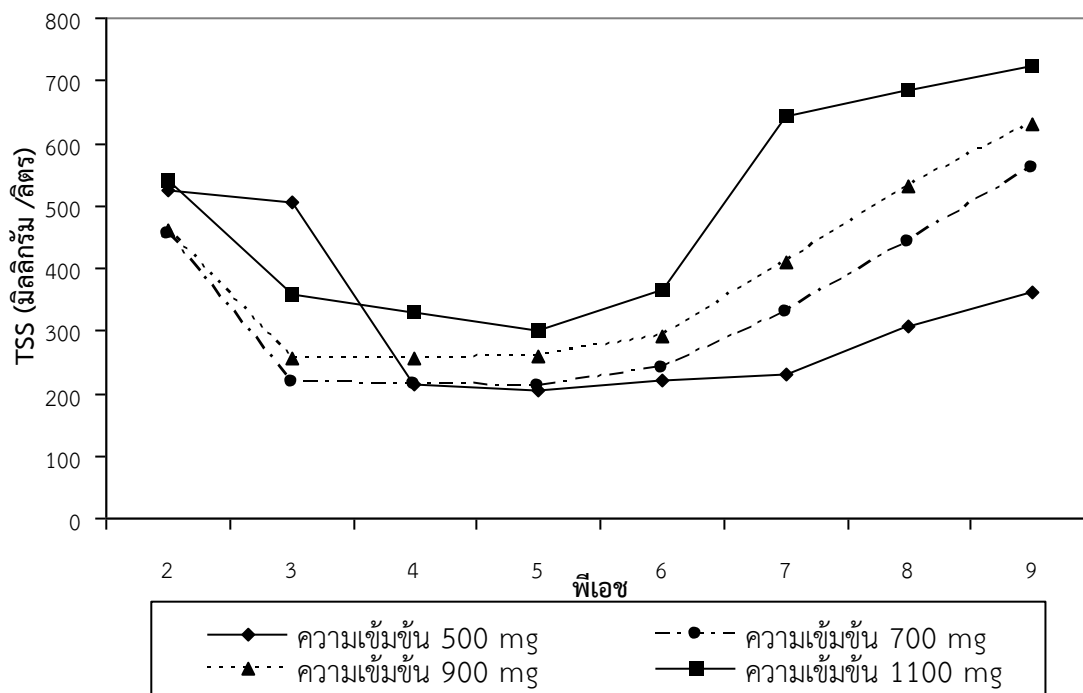
จากภาพที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งแสดงผลการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอลูมิเนียมที่ต่อเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบนั้น ปรากฏว่าที่ความเข้มข้น 1100 มิลลิกรัมจะมีตะกั่วเกาะที่แผ่นอลูมิเนียมมากที่สุด เพราะว่าจากความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีตะกั่วมากกว่า ดังนั้นเมื่อทำการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นได้มากกว่าความเข้มข้นอื่นๆ

### 5. ผลของค่าพีเอชและความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)

จากการทดลองปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS) ณ พีเอช และความเข้มข้นที่ต่างกัน ดังภาพที่ 4.6 (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-4)

#### 5.1 ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)

จากภาพที่ 4.6 พบว่าปริมาณ TSS มีแนวโน้มที่จะเกิดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยที่พีเอชที่ 9 จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุด แต่พีเอชที่ 9 จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้น เป็นปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดจากการปรับค่าพีเอช ในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นพีเอชที่ 2 จึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุด เนื่องจาก เมื่อทำการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น ซึ่งสามารถทำการตกตะกอนอลูมิเนียม ที่มาจากขั้ว ตะกั่วที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และปริมาณ TSS ที่เพิ่มขึ้นมีปริมาณของ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์รวมอยู่ด้วย ซึ่งตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติ เป็นตัวที่ช่วยในการตกตะกอน ทำให้สามารถตกตะกอนตะกั่วได้ดียิ่งขึ้น (จิราพร และพิเชษฐ์, 2548)



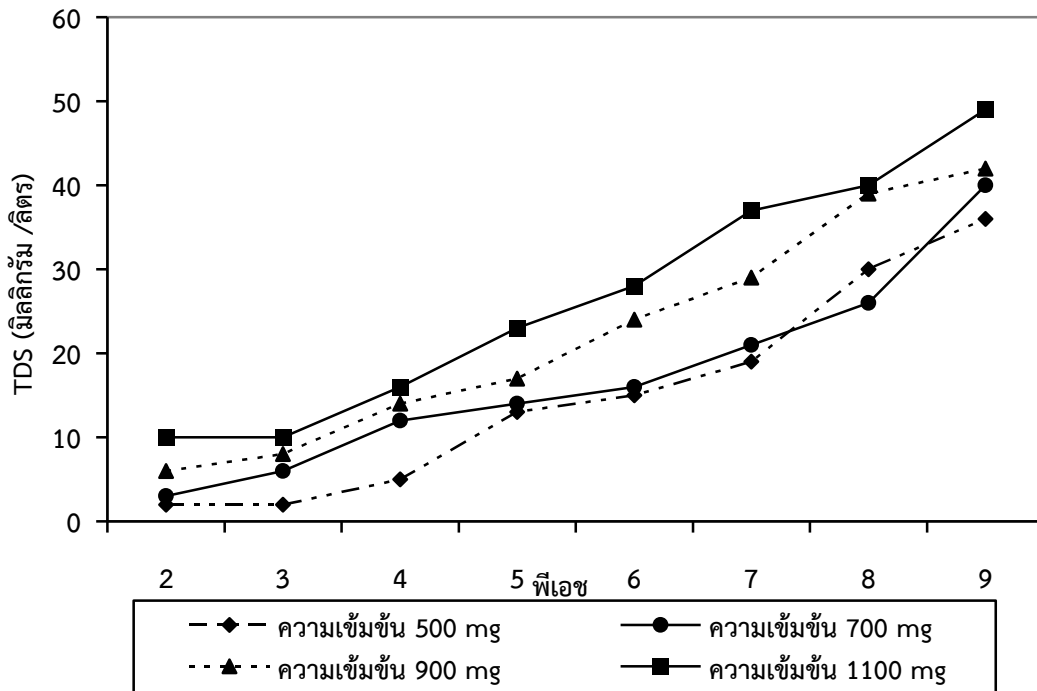
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำเสีย ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้นและปริมาณของแข็งแขวนลอย

#### 5.2 ผลของค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)

จากภาพที่ 4.6 พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 1,100 มิลลิกรัมจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุด เพราะว่าจากความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีตะกั่วมากกว่า ดังนั้นเมื่อทำการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น และจะเกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้มากกว่าความเข้มข้นอื่นๆ

#### 6. ผลของค่าพีเอชและความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS)

จากการทดลองปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS) ณ พีเอช และความเข้มข้นที่ต่างกัน ดังภาพที่ 4.7 (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-4)



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพิเอชของน้ำเสีย ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น และ ปริมาณของแข็งละลายน้ำ

#### 6.1 ผลของค่าพิเอชที่มีผลต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS)

จากภาพที่ 4.7 พบว่าที่พิเอชที่ 9 จะมีปริมาณของแข็งละลายน้ำมากที่สุด และจะลดลงเมื่อพิเอชลดลง แต่พิเอชที่ 9 จะมีปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เกิดขึ้น เป็นปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เกิดจากการปรับค่าพิเอช ในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

#### 6.2 ผลของค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS)

จากภาพที่ 4.7 พบว่าที่ความเข้มข้นของ ตะกั่ว 1100 มิลลิกรัมจะมีปริมาณของแข็งละลายน้ำมากที่สุด เพราะว่าจากความเข้มข้นเริ่มต้น ที่มีตะกั่วมากกว่า ดังนั้นเมื่อทำการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นได้มากกว่าความเข้มข้นอื่นๆ

## 7. ผลของค่าพีเอชและความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

จากข้อที่ 4.4 และข้อที่ 4.5 เมื่อนำค่าทั้งสองมารวมกัน ค่าที่ได้จะเท่ากับค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานในการศึกษาทางด้านการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ดังสมการที่ 4.2

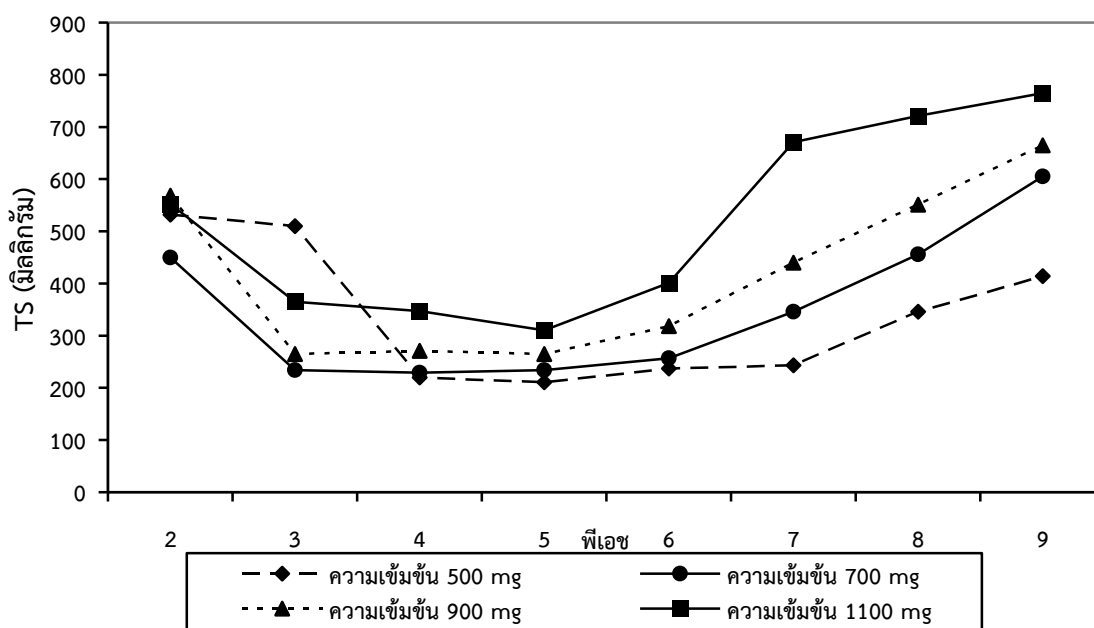
$$TS = TSS + TDS \quad (4.2)$$

จากผลการทดลองปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ณ พีเอช และความเข้มข้นที่ต่างกัน ดังภาพที่ 4.8 (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-4)

จากภาพที่ 4.8 พบว่าที่พีเอชที่ 9 จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด โดยที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่เกิดขึ้น จะมาจากเหตุผลข้อเดียวกับข้อ 4.2.1

ผลของค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

จากภาพที่ 4.8 พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 1100 มิลลิกรัมจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด เพราะว่าจากความเข้มข้นเริ่มต้น ที่มีตะกั่วมากกว่า ดังนั้นเมื่อทำการปล่อย ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นได้มากกว่าความเข้มข้นอื่นๆ



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำเสีย ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น และปริมาณของแข็งทั้งหมด

### 8. ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองความสัมพันธ์ของพีเอชเริ่มต้นกับพีเอชสุดท้ายของน้ำเสีย ได้ผลการศึกษ แสดงในตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นที่ 500, 700, 900 และ 1100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้น ที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 นั้น ปรากฏว่าหลังจาก การบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแล้ว พีเอชตั้งแต่ 2-5 จะมีค่าพีเอชหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการ ปลอ่ยไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ขั้วลบ ซึ่งจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.4-2.7 จะมีไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลทำให้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการทดลองมีค่าพีเอช สูงขึ้นจากเดิม แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงจากพีเอชเริ่มต้นมากนัก ส่วนพีเอชตั้งแต่ 6-9 จะมีค่าพีเอชหลัง การบำบัดลดลงเนื่องจากเมื่อทำการปลอ่ยไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ ขั้วบวก ซึ่งจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.4-2.7 จะมีไฮโดรเจนไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลทำให้น้ำ เสียสังเคราะห์ที่ทำการทดลองมีค่าพีเอชลดลงจากเดิมแต่จะไปเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเริ่มต้นมากนัก เช่นกัน (จิราพรและพิเชษฐ์, 2548)

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชเริ่มต้นกับพีเอชหลังการบำบัด

pH	ความเข้มข้น (mg/L)			
	500	700	900	1100
2	2.04	2.08	2.12	2.17
3	3.05	3.06	3.08	3.14
4	4.16	4.18	4.20	4.19
5	5.01	5.02	4.97	4.99
6	5.52	5.68	5.70	5.71
7	6.29	6.30	6.31	6.41
8	7.80	7.87	7.90	7.92
9	8.19	8.20	8.36	8.46

### 9. อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 500, 700, 900 และ 1,100 มิลลิกรัม ต่อลิตร ค่าอุณหภูมิ ณ เวลาที่ต่างกัน ได้ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 พบว่าเมื่อเริ่มทำการปลอ่ยกระแสไฟฟ้าขึ้น อุณหภูมิจะสูงขึ้นเนื่องจากเซลล์ไฟฟ้ามีความต้านทาน คือเมื่อทำการให้กระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะ ไหลผ่านความต้านทาน ซึ่งมีผลทำให้พลังงานไฟฟ้าบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ไอออนในสารละลายเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ได้เร็วขึ้น เป็นการ

ลดการเกิดโพลาริเซชัน เนื่องจากความเข้มข้น และทำให้ศักย์ไฟฟ้าเกิดตัวน้อยลงด้วย เมื่ออุณหภูมิสูงสารละลายมีความหนืดน้อยลง จนเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งอุณหภูมิจะค่อย ๆ คงที่ แต่อุณหภูมิที่ได้ทำการทดลองนี้ มีอุณหภูมิต่ำเริ่มต้นที่ประมาณ 27.5 – 29.0 องศา แต่เมื่อทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าไป อุณหภูมิจะมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิที่ลดลงนี้ จะลดลงเพียง 1 องศา เท่านั้นจากอุณหภูมิเริ่มต้น (วรรณรัตน์, 2547)

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 500 มก./ลิตร

pH	เวลาในการบำบัด		
	ก่อนปล่อยกระแสไฟฟ้า	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
2	29.0	29.0	29.0
3	29.0	29.0	28.5
4	29.0	28.5	28.0
5	28.5	28.0	28.0
6	28.5	28.0	28.0
7	29.0	28.5	28.0
8	29.0	28.5	28.0
9	29.0	28.0	28.0

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 700 มก./ลิตร

pH	เวลาในการบำบัด		
	ก่อนปล่อยกระแสไฟฟ้า	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
2	28.0	28.0	28.0
3	27.5	27.0	27.0
4	28.0	27.5	27.0
5	28.0	27.0	27.5
6	28.5	28.0	27.5
7	28.5	28.0	27.5
8	28.5	28.0	27.5
9	28.0	27.0	27.0

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 900 มก./ลิตร

pH	เวลาในการบำบัด		
	ก่อนปล่อยกระแสไฟฟ้า	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
2	28.0	28.0	28.0
3	28.0	28.0	28.0
4	28.0	28.0	27.5
5	28.0	28.0	27.5
6	28.0	28.0	27.5
7	27.5	27.0	27.0
8	28.0	27.0	27.0
9	28.0	27.5	27.5

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 1100 มก./ลิตร

pH	เวลาในการบำบัด		
	ก่อนปล่อยกระแสไฟฟ้า	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
2	28.0	28.0	28.0
3	28.0	28.0	28.0
4	28.5	28.0	28.0
5	28.5	28.5	28.5
6	28.0	28.0	28.0
7	28.0	28.0	28.0
8	28.5	28.0	28.0
9	28.0	27.5	27.5

## 10. กระแสไฟฟ้า

การศึกษากำหนดค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องบำบัดเซลล์ไฟฟ้าเคมีให้มีกระแสไฟฟ้าที่ 9 แอมแปร์ จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-5) พบว่าหลังการทดลองค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมีค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ทุกๆพีเอช และทุกๆความเข้มข้น หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เป็นเพราะว่าเครื่องบำบัดเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้ออกแบบควบคุมให้มีการปล่อยกระแสไฟฟ้า ให้สม่ำเสมอและคงที่เพื่อความประหยัดนั่นเอง ความหนาแน่นของกระแส (Current density) ในการเกาะของโลหะที่ขั้ว พบว่าถ้าอัตราเร็วของการเกาะมีค่ามาก จะให้ขนาดของโลหะที่เกาะเป็นผงเล็กๆ เกาะไม่แน่นและเปราะซึ่งเป็นหลักการเดียวกับการตกตะกอน ถ้าอัตราเร็วของการเกิดตะกอนมีค่ามากจะทำให้ตะกอนที่ได้มีขนาดเล็กและไม่บริสุทธิ์ อัตราเร็วของการเกาะจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแส ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสควรมีค่าสูงพอประมาณ เพื่อให้โลหะเกาะที่ขั้วได้แน่นและเรียบ ถ้าความหนาแน่นของกระแสมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เกิดก๊าซที่ขั้วได้ แต่ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานเกินไปหรือบางที่ไม่เกิดการเกาะของโลหะที่ขั้วเลย ปกติควรใช้ความหนาแน่นของกระแสประมาณ 0.001 – 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร (วรรณรัตน์, 2547)

## 11. ค่าแรงดันไฟฟ้า

จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังการบำบัด ณ พีเอชต่างๆ ดังตารางที่ 4.6

จากตารางที่ 4.6 พบว่าที่พีเอชที่ 2-3 จะมีแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น พีเอชที่ 4-7 จะมีแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 0.50 โวลต์ และพีเอช 8-9 จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1.00 โวลต์ ดังนั้นพีเอชที่ 8-9 จะมีค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องมาจากการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเป็นการเติมไฮดรอกไซด์อ่อนลงไปซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิดเป็นน้ำ ทำให้มีการเจือจางสารละลาย และทำให้ไฮโดรเจนอ่อนก็ทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะเป็นตะกอนเกิดขึ้นขัดขวางการเดินทางของกระแสไฟฟ้า ทำให้ในระบบต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้น เพื่อที่จะทำให้อ่างจรรยาไฟฟ้าเกิดสมบูรณ์ (ทศพลและวรินทิพย์, 2548)

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้า(โวลต์)น้ำเสียสังเคราะห์ หลังการบำบัด

pH	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ลิตร)			
	500	700	900	1100
2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.50	0.50	0.50	0.50
5	0.50	0.50	0.50	0.50
6	0.50	0.50	0.50	0.50
7	0.50	0.50	0.50	0.50
8	1.00	1.00	1.00	1.00
9	1.00	1.00	1.00	1.00

#### 11.1 ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

จากตารางที่ 4.6 พบว่าที่พีเอชที่ 2-3 จะมีแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น พีเอชที่ 4-7 จะมีแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 0.50 โวลต์ และพีเอช 8-9 จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1.00 โวลต์ ดังนั้นพีเอชที่ 8-9 จะมีค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องมาจากการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเป็นการเติมไฮดรอกไซด์ไอออนลงไปซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิดเป็นน้ำ ทำให้มีการเจือจางสารละลาย และทำให้ไฮโดรเจนไอออนทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะเป็นตะกอนเกิดขึ้นขัดขวางการเดินทางของกระแสไฟฟ้า ทำให้ในระบบต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้น เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดสมบูรณ์ (ทศพล และวรินทิพย์, 2548)

#### 11.2 ผลของค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัด

จากตารางที่ 4.6 พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นที่ 500, 700, 900 และ 1100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทุกๆ ความเข้มข้นที่ทำการศึกษา กล่าวคือจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่าไม่เปลี่ยนแปลง และก็มีค่าแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 0.00 ไปเป็น 0.50 และเปลี่ยนจาก 0.00 ไปเป็น 1.00 แต่แรงดันไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้น แต่จะเปลี่ยนแปลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น

## การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจริงจากโรงงานน้ำตาล

### 1. สมบัติทางเคมีและทางกายภาพน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของโรงงานผลิตน้ำตาล มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล

สมบัติ	ปริมาณ
พีเอช	5.22
ความเข้มข้นของตะกั่ว	3,126.96 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	1,376 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	96,586 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งทั้งหมด (TS)	97,866 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 2. ผลของจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจริง

การศึกษาชั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาโดยการเตรียมน้ำเสียจริงขึ้นโดยใช้ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นที่ 3,126.96 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาของ อติเรก และ กัลญาณี, (2550) พบว่า ที่พีเอช 2 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้จึงทำการปรับพีเอชเริ่มต้นที่ 2 โดยใช้แผ่นอิเล็กโทรดจำนวน 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น (รายละเอียดของระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดแสดงในบทที่ 3) และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงเมื่อครบเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อทำการศึกษาว่าจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดเท่าใดที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 2.1 อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที

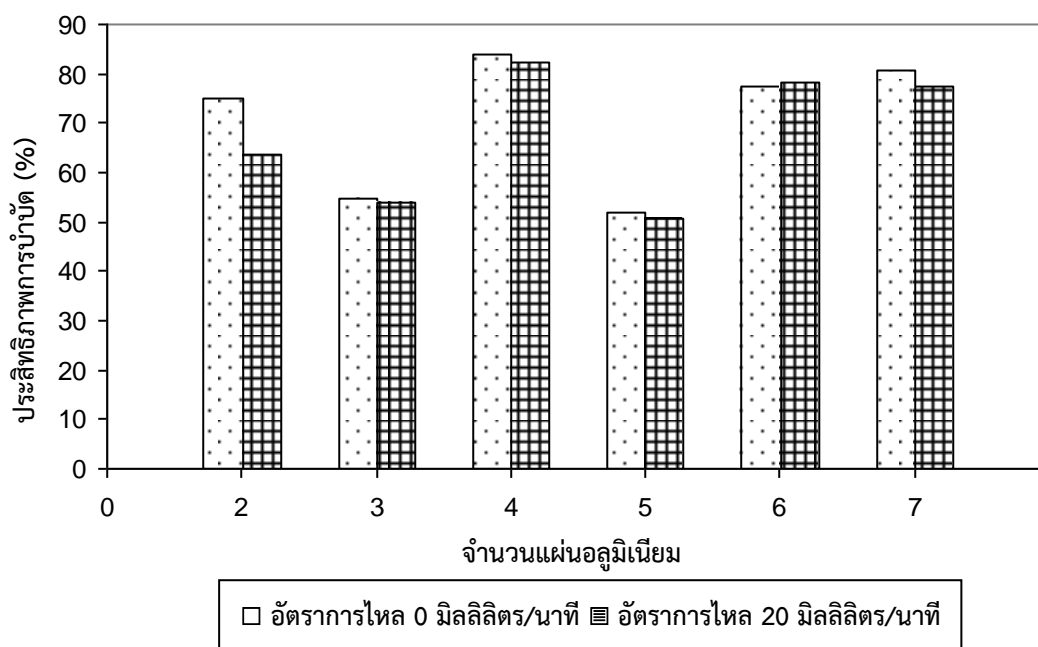
จากการทดลองพบว่าจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดที่แตกต่างกันสามารถกำจัดตะกั่วได้ต่างกัน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือ จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น จะมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงอยู่ร้อยละ 83.86 และประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยสุดคือ จำนวนอิเล็กโทรด 5 แผ่น จะมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงอยู่ที่ร้อยละ 52.04 ดังภาพที่ 4.9

#### 2.2 อัตราการไหลเป็น 20 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการทดลองพบว่าจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดที่แตกต่างกันสามารถกำจัดตะกั่วได้ต่างกัน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือ จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น จะมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงอยู่ร้อยละ 82.83 และประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยสุดคือ จำนวนอิเล็กโทรด 5 แผ่น จะมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงอยู่ที่ร้อยละ 50.75 ดังภาพที่ 4.9

### 2.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วที่อัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า ที่อัตราการไหลทั้ง 2 ค่า มีประสิทธิภาพสูงสุดที่แผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น ซึ่งมีค่า พบว่า ระยะระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดเท่ากับ 2.0 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Escobar and Soto-Salazar, (2006) ที่พบว่าระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดเท่ากับ 2.0 เซนติเมตรที่สามารถบำบัดตะกั่วได้ดี การวิจัยเรื่อง Optimization of the electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก 3 ชนิดคือ ตะกั่ว, ทองแดง และ อลูมิเนียม จากการศึกษาพบว่า ระยะห่างมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด โลหะหนักทั้ง 3 ชนิด กล่าวคือ ที่ระยะห่างของอิเล็กโทรด 2 เซนติเมตร สามารถกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุดประมาณ 70 % (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ก-6) และเมื่อระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น จำนวนแผ่นอิเล็กโทรดน้อยลง จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง (Escobar and Soto-Salazar, 2006) แต่ในทางกลับกัน ถ้าระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดลดลง จำนวนแผ่นอิเล็กโทรดมากขึ้น จะทำให้พื้นที่ของแผ่นอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลดลง คาดว่าไม่เหมาะสมในการเกาะติดของตะกั่ว แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วที่อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที มากกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ก-7)



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดกับประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่ว

### 3. ผลของจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดต่อน้ำหนักตะกั่วที่เกาะติดที่แผ่นอิเล็กโทรด

จากการทดลองน้ำหนักของตะกั่วที่เกาะติดที่แผ่นอิเล็กโทรด 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น ที่ต่อเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบ ณ พีเอช 2 และความเข้มข้นที่ 3,126.96

เมื่อทำการปล่อยกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation-Reduction) โดยที่ขั้วบวก (Anode) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอิเล็กโทรด และที่ขั้วลบ (Cathode) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกั่วทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วแคโทด และอาจกลายเป็นไฮดรอกไซด์ตะกอนลงมา และจากปฏิกิริยาข้างต้นจะพบว่ามีตะกั่วเกาะติดกับแผ่นอิเล็กโทรดที่ต่อกับขั้วอิเล็กโทรด (ทศพลและวรินทร์พย์, 2548) หลังจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าครบ 2 ชั่วโมง (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-8)

#### 3.1 อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที

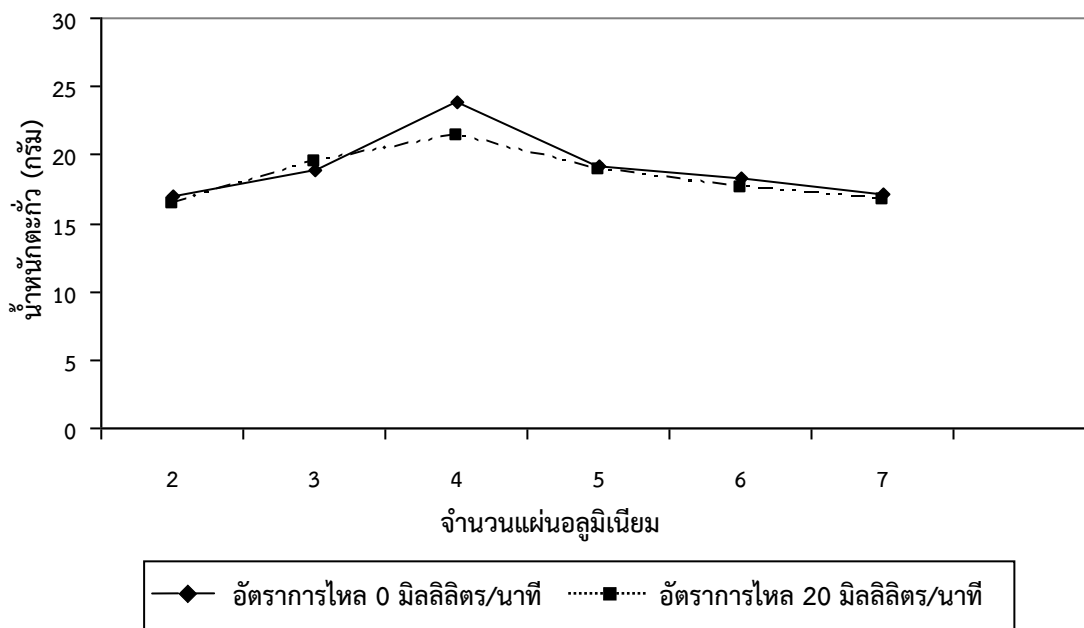
จากการทดลองการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอิเล็กโทรดต่างกัน โดยมีน้ำหนักตะกั่วเกาะติดที่แผ่นอิเล็กโทรดสูงสุดคือ จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น มีค่าเท่ากับ 23.91 กรัม และน้ำหนักตะกั่วเกาะติดที่แผ่นอิเล็กโทรดน้อยสุดคือ จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 2 แผ่น มีค่าเท่ากับ 17.07 กรัม ดังภาพที่ 4.10

#### 3.2 อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการทดลองการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอิเล็กโทรดต่างกัน โดยมีน้ำหนักตะกั่วเกาะติดที่แผ่นอิเล็กโทรดสูงสุดคือ จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น มีค่าเท่ากับ 21.45 กรัม และน้ำหนักตะกั่วเกาะติดที่แผ่นอิเล็กโทรดน้อยสุดคือ จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 6 แผ่น มีค่าเท่ากับ 17.69 กรัม ดังภาพที่ 4.10

#### 3.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอิเล็กโทรดที่อัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอิเล็กโทรดสูงสุดที่แผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการเกาะติดของตะกั่วที่แผ่นอิเล็กโทรดที่อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที มากกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าไปทำปฏิกิริยากับขั้วบวก ถ้ายังใช้กระแสไฟฟ้ามากก็ต้องใช้อัตราการไหลต่ำ หรือในทางกลับกัน ถ้าใช้กระแสไฟฟ้าต่ำก็ต้องใช้อัตราการไหลสูง จึงมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดกับน้ำหนักตะกั่วที่เกาะติดที่แผ่นอลูมิเนียม

#### 4. ผลของจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)

จากการทดลองปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS) ที่จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด และอัตราการไหล ที่ต่างกันดังภาพที่ 4.11 (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-9)

##### 4.1 อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที่

จากการทดลองพบว่าปริมาณ TSS มีแนวโน้มที่จะเกิดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆโดยแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุดคือ 1,258 มิลลิกรัมต่อลิตร และแผ่นอิเล็กโทรด 6 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุดคือ 616 มิลลิกรัมต่อลิตรดังภาพที่ 4.11

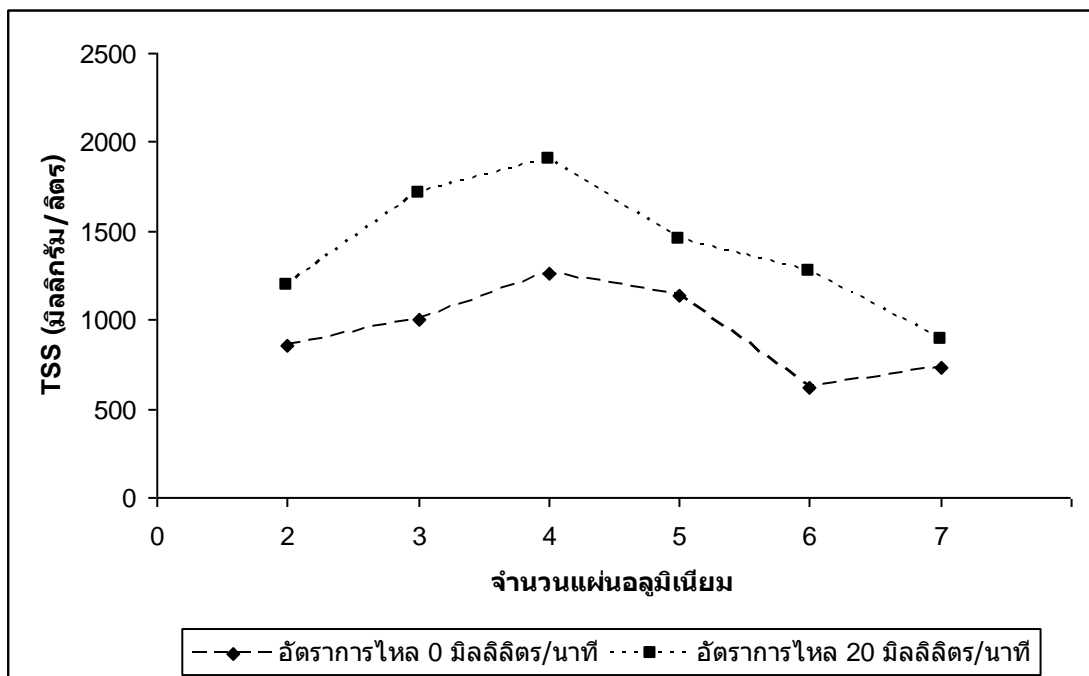
##### 4.2 อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที่

จากการทดลองพบว่าปริมาณ TSS มีแนวโน้มที่จะเกิดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆโดยแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุดคือ 1,906 มิลลิกรัมต่อลิตร และแผ่นอิเล็กโทรด 7 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุดคือ 894 มิลลิกรัมต่อลิตรดังภาพที่ 4.11

##### 4.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที่

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS) ที่อัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที่ พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงสุดที่แผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แผ่นอิเล็กโทรดที่อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที่ มากกว่า 0 มิลลิลิตรต่อนาที่ เนื่องจากอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที่ จะมีการไหลของน้ำเกิดขึ้น จะทำให้

ตะกอนที่อยู่ภายในถังปฏิกิริยา เกิดการไหลไปตามน้ำ จึงเป็นเหตุให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดของน้ำเสียต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย

## 5. ผลของจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS)

### 5.1 อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที

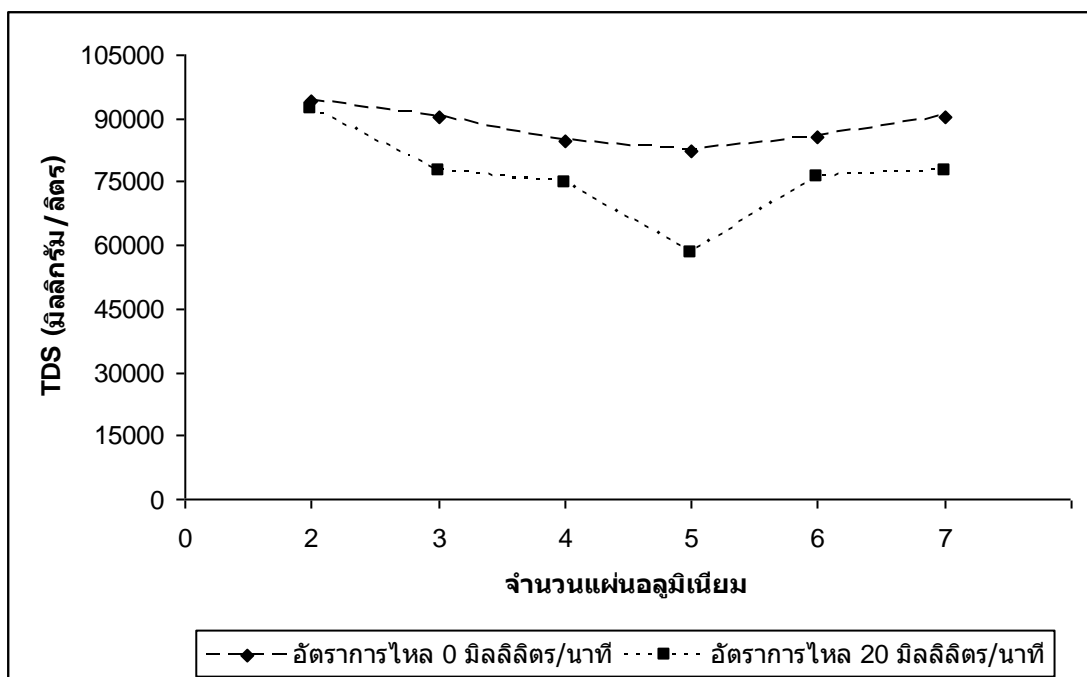
จากการทดลองพบว่าแผ่นอิเล็กโทรด 2 แผ่นจะมีปริมาณของแข็งละลายมากที่สุดเท่ากับ 94,168 มิลลิกรัมต่อลิตร ลิตร และแผ่นอิเล็กโทรด 5 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุดคือ 82,176 มิลลิกรัมต่อลิตรดังภาพที่ 4.12 (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-10)

### 5.2 อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการทดลองพบว่าแผ่นอิเล็กโทรด 2 แผ่นจะมีปริมาณของแข็งละลายมากที่สุดเท่ากับ 92,432 มิลลิกรัมต่อลิตร ลิตร และแผ่นอิเล็กโทรด 5 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุดคือ 58,156 มิลลิกรัมต่อลิตรดังภาพที่ 4.12

### 5.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบ (TDS) โดยใช้จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 โดยมีอัตราการไหลอยู่ที่ 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที จะพบว่าจำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น ไม่ผ่านค่ามาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงต้องทำการบำบัดด้วยวิธีอื่นต่อไปอีก



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นอิเลกโทรดของน้ำเสียต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำ

#### 6. ผลของจำนวนแผ่นอิเลกโทรดต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

จากข้อที่ 4.4 และ ข้อที่ 4.5 เมื่อนำค่าทั้งสองมารวมกัน ค่าที่ได้จะเท่ากับค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานในการศึกษาทางด้านวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ดังสมการที่ 4.1

$$TS = TSS + TDS \quad (4.1)$$

จากผลการทดลองปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่จำนวนแผ่นอิเลกโทรดและอัตราการไหลที่ต่างกัน ดังภาพที่ 4.13 (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-11)

##### 6.1 อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที

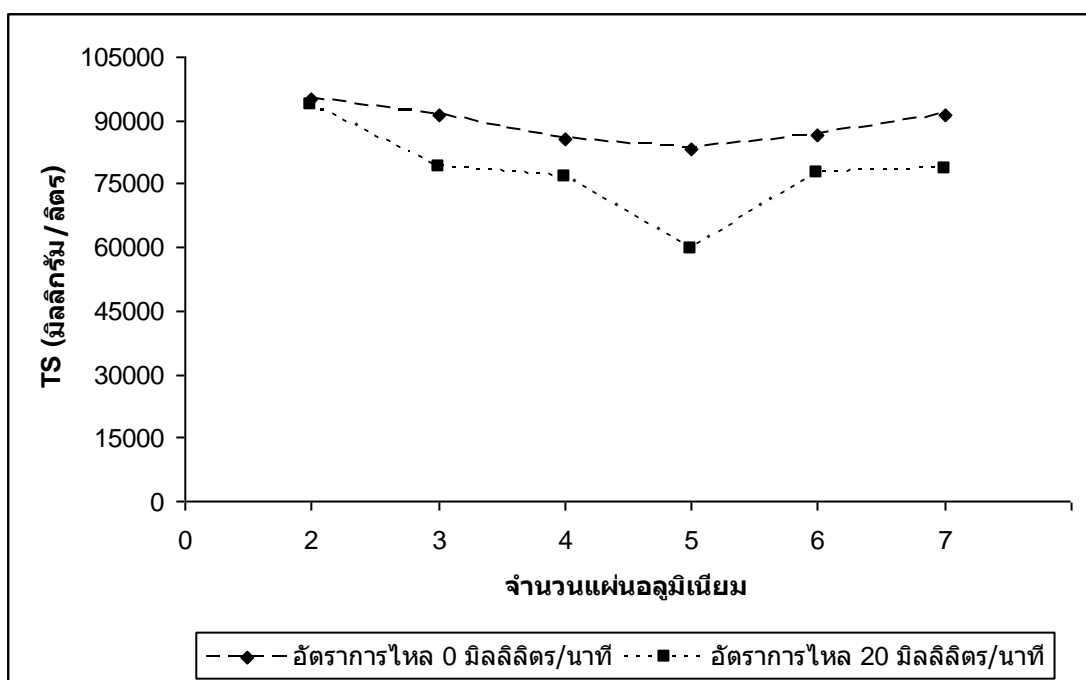
จากการทดลองพบว่าจากจำนวนแผ่นอิเลกโทรด 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น โดยแผ่นอิเลกโทรด 2 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 95,026 มิลลิกรัมต่อลิตร และแผ่นอิเลกโทรด 5 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยที่สุดเท่ากับ 83,314 มิลลิกรัมต่อลิตร

##### 6.2 อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการทดลองพบว่าจากจำนวนแผ่นอิเลกโทรด 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น โดยแผ่นอิเลกโทรด 2 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 93,628 มิลลิกรัมต่อลิตร และแผ่นอิเลกโทรด 5 แผ่น จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยที่สุดเท่ากับ 59,608 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 6.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) โดยใช้จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น โดยมีอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที จะพบว่าจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดแผ่น 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น โดยที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่เกิดขึ้น จะมาจากเหตุผลเดียวกับข้อ 4.5.3



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดของน้ำเสียต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด

## 7. ค่าความสึกกร่อนของแผ่นอิเล็กโทรด

จากการทดลองค่าความสึกกร่อนของแผ่นอิเล็กโทรด โดยที่ตะกั่วเกาะติดที่แผ่นอิเล็กโทรด 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แผ่น ที่ต่อเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบ ณ พีเอช 2 และความเข้มข้นที่ 3,126.96 โดยมีอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ได้ผลการศึกษแสดงในตารางที่ 4.8

พบว่าค่าความสึกกร่อนของจำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 2 แผ่น โดยมีอัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที มีค่าความสึกกร่อนมาก เนื่องจาก แผ่นอิเล็กโทรดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก (Anode) ดังนั้นจึงทำให้แผ่นอิเล็กโทรดเกิดการสึกกร่อน ละลายออกมาในรูป  $Al^{3+}$  ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพราะว่าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีค่าความนำไฟฟ้าลดลง ก็แสดงว่าสารที่แตกตัวในน้ำลดลง โดยจะเกี่ยวกับความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน (ศิริรักษ์, 2547)

**ตารางที่ 4.8** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดกับค่าความสึกกร่อนของแผ่นอลูมิเนียมที่อัตราการไหลต่างกัน

จำนวนแผ่น อลูมิเนียม	ค่าเฉลี่ยของการสึกกร่อนของแผ่นอลูมิเนียม (กรัม)	
	อัตราการไหล 0 (มล./นาที่)	อัตราการไหล 20 (มล./นาที่)
2	1.01	0.92
3	0.64	0.82
4	0.44	0.75
5	0.52	0.72
6	0.44	0.63
7	0.38	0.51

#### 8. ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำเสียจริง

จากการทดลองความสัมพันธ์ของพีเอชเริ่มต้นกับพีเอชสุดท้ายของน้ำเสีย ได้ผลการศึกษาลงในตารางที่ 4.9

จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นที่ 3,126.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้มีการปรับค่าพีเอชที่ 2 นั้น ปรากฏว่าหลังจากการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแล้วจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดตั้งแต่ 3-7 แผ่น ในอัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที และที่จำนวนแผ่นอิเล็กโทรดตั้งแต่ 2-7 แผ่นในอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที จะมีค่าพีเอชหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น แสดงในตารางที่ 4.9 เนื่องจากเมื่อทำการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำที่ขั้วลบ ซึ่งจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลทำให้น้ำเสียจริงที่ทำการทดลองมีค่าพีเอชสูงขึ้นจากเดิม แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงจากพีเอชเดิมมากนัก (จิราพรและพิเชษฐ์, 2548)

**ตารางที่ 4.9** อัตราการไหลต่างกันระหว่างจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดกับพีเอชหลังการบำบัด

จำนวนแผ่น อลูมิเนียม	pH หลังการบำบัด	
	อัตราการไหล 0 (มล./นาที่)	อัตราการไหล 20 (มล./นาที่)
2	2.00	2.03
3	2.04	2.05
4	2.06	2.08
5	2.10	2.17
6	2.14	2.19
7	2.15	2.19

### 9. อุณหภูมิของน้ำเสียจริง

ความเข้มข้นของตะกั่วที่ 3,126.96 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวนแผ่นต่างกัน มีอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.10

จากการทดลอง พบว่า อุณหภูมิจะสูงขึ้น แสดงในตารางที่ 4.10 เนื่องจากเซลล์ไฟฟ้ามีความต้านทาน คือ เมื่อทำการให้กระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทาน ซึ่งมีผลทำให้พลังงานไฟฟ้าบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไอออนในสารละลายเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดได้เร็วขึ้น เป็นการลดการเกิดโพลาไรเซชัน เนื่องจากความเข้มข้นและทำให้ศักย์ไฟฟ้าเกิดตัวน้อยลง เมื่ออุณหภูมิสูงสารละลายมีความหนืดน้อยลง จนเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งอุณหภูมิจะค่อย ๆ คงที่ แต่อุณหภูมิที่ได้ทำการทดลองนี้ มีอุณหภูมิกำลังเริ่มต้นที่ประมาณ 29 – 33.5 องศา แต่เมื่อทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าไปอุณหภูมิจะมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิที่ลดลงนี้จะลดลงเพียง 1 องศา เท่านั้นจากเริ่มต้น (วรรณรัตน์, 2547)

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดกับอุณหภูมิ ที่อัตราการไหลต่างกัน

จำนวนแผ่น อคูมินิยม	อุณหภูมิของน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)			
	อัตราการไหล 0 (มล./นาที)		อัตราการไหล 20 (มล./นาที)	
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
2	29	29	29	29
3	29	29	29	29
4	29	29	29	29
5	30	29	30	29
6	29	29	30	33.5
7	29	29	29	29

### 10. กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าของเครื่องบำบัดเซลล์ไฟฟ้าเคมีให้มีกระแสไฟฟ้าที่ 9 แอมแปร์ จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงในตารางที่ ก-12) พบว่าหลังการทดลองค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมีค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ทุก ๆ แผ่น การทดลองทั้งอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเป็นเพราะว่าเครื่องบำบัดเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ประดิษฐ์ขึ้นได้มีการออกแบบควบคุมให้มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าให้สม่ำเสมอและคงที่เพื่อความประหยัดนั่นเอง ความหนาแน่นของกระแส (Current density) ในการเกาะของโลหะที่ขั้ว พบว่าถ้าอัตราเร็วของการเกาะมีค่ามากจะทำให้ขนาดของโลหะที่เกาะเป็นผงเล็ก ๆ เกาะไม่แน่นและเปราะซึ่งเป็นหลักการเกี่ยวกับการตกตะกอน ถ้าอัตราเร็วของการเกิดตะกอนมีค่ามากจะทำให้ตะกอนที่ได้มีขนาดเล็กและไม่บริสุทธิ์ อัตราเร็วของการเกาะจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแส ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสควรมีค่าสูงพอประมาณ เพื่อให้โลหะเกาะที่ขั้วได้แน่นและเรียบ ถ้าความหนาแน่นของกระแสมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เกิดก๊าซ

ที่ขั้วได้ แต่ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานเกินไปหรือบางที่ไม่เกิดการเกาะของโลหะที่ขั้วเลย ปกติควรใช้ความหนาแน่นของกระแสประมาณ 0.001 – 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร (วรรณรัตน์, 2547)

## 11. ค่าแรงดันไฟฟ้า

จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาในน้ำเสียจริง หลังการบำบัด ที่จำนวนแผ่นอิเล็กโทรดต่าง ๆ ดังตารางที่ 4. 11

### 11.1 อัตราการไหล 0 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการทดลองพบว่าจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดแผ่นที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 จะมีแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียจริง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นดังตารางที่ 4.11

### 11.2 อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการทดลองพบว่าจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดแผ่นที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 จะมีแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียจริง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นดังตารางที่ 4.11

### 11.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าหลังการบำบัดน้ำเสียจริงที่อัตราการไหล 0 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 0.02 ไปเป็น 0.01 แต่แรงดันไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหล แต่จะเปลี่ยนแปลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) น้ำเสียจริงหลังการบำบัด

จำนวนแผ่น อลูมิเนียม	แรงดันไฟฟ้าของน้ำเสีย (โวลต์)			
	อัตราการไหล 0 (มล./นาที่)		อัตราการไหล 20 (มล./นาที่)	
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.02	0.01	0.00	0.00
6	0.02	0.01	0.00	0.00
7	0.02	0.01	0.00	0.00

## 12. อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Rates)

อัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารทำปฏิกิริยาหรือผลิตภัณฑ์เทียบกับเวลา อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 0 ไม่ขึ้นกับความเข้มข้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 1<sup>st</sup> ความเข้มข้นเป็นสัดส่วนตรงต่อปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 2<sup>nd</sup> เป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มข้นยกกำลังสอง

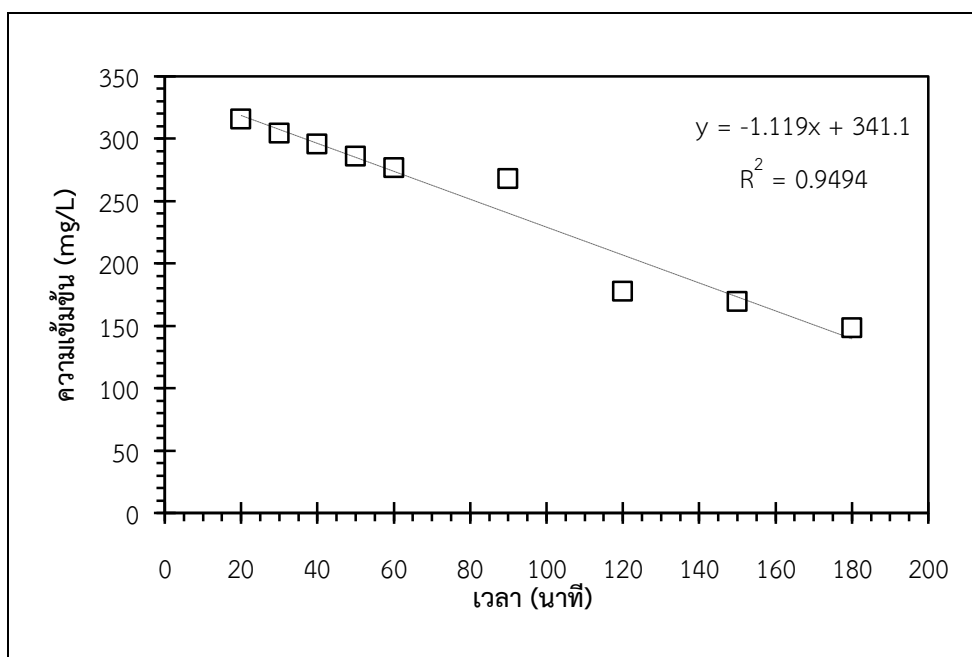
สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ค่าที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่เหลือจากการบำบัด pH 2 ในตารางที่ ก-1 มาทำการหาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา และพบว่า เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยา เป็นอันดับศูนย์ (0) โดยการทำให้ปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มข้น ได้จากสมการดังนี้

$$C - C_0 = -kt$$

$$C = C_0 - kt$$

$$y = b + mx$$

และได้ภาพที่ 4.13 ทำให้ทราบว่า k มีค่าเท่ากับ -1.119



ภาพที่ 4.14 กราฟระหว่างความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ถูกบำบัดกับเวลาที่ต่าง ๆ กัน ที่ pH 2 ความเข้มข้นเริ่มต้น 500 mg/L

### 13. สมบัติทางเคมีและทางกายภาพน้ำเสียจริงหลังการบำบัด

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจริงแล้ว พบว่า ตัวแปรที่ศึกษา ทั้ง 4 คือ ความเข้มข้นของตะกั่ว ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2539 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539 ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพน้ำเสียจริงหลังการบำบัด

สมบัติ	ปริมาณเริ่มต้น (mg/L)	ปริมาณหลังบำบัด (mg/L)	ค่ามาตรฐาน (mg/L)
พีเอช	5.22	5-6	5.5-9
ความเข้มข้นของตะกั่ว	3,126.96	1,681.99	ไม่เกิน 0.2
ของแข็งแขวนลอย (TSS)	1,376.00	616.00	ไม่เกิน 50
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	96,586.00	58,156.00	ไม่เกิน 3,000
ของแข็งทั้งหมด (TS)	97,866.00	58,772.00	ไม่เกิน 3,000