

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และวิจารณ์

การศึกษานี้ใช้การแยกสลายด้วยไฟฟ้าร่วมกับการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ในการกำจัดปรอทในน้ำเสีย โดยใช้การแยกสลายด้วยไฟฟ้าก่อนเพื่อแยกปรอทออกมาให้ได้มากที่สุด หลังจากนั้นจึงใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ตกตะกอนปรอทส่วนที่เหลือในน้ำเสีย ในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้า สภาวะที่ศึกษา ได้แก่ ความต่างศักย์ เวลาในการทดลอง และความเข้มข้นของน้ำเสีย ส่วนในการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ สภาวะที่ศึกษา ได้แก่ พีเอช และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ ปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้านำมาหาความบริสุทธิ์ โดยเปรียบเทียบกับปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม

งานวิจัยนี้มุ่งหาสภาวะในการกำจัดปรอทออกจากน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยให้มีความเข้มข้นของปรอทที่เหลืออยู่ในน้ำมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน คือ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร และปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ผลการทดลองแสดงตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

#### 4.1 การหาปริมาณปรอทและโลหะต่างๆ ในน้ำเสีย

การหาปริมาณปรอทในน้ำเสียใช้วิธีการไตเตรตกับอิตีทีเอ เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นของปรอทสูงมาก จึงไม่วิเคราะห์ด้วย AAS – Cold Vapor ซึ่งเหมาะสำหรับการหาปรอทปริมาณน้อย เพราะในการเจือจางสารละลายอาจเกิดความผิดพลาดได้สูง อีกทั้งอิตีทีเอก็เป็นสารที่เหมาะสมในการหาปริมาณของโลหะ เพราะสามารถรวมกับไอออนของโลหะส่วนใหญ่ด้วยอัตราส่วนโดยจำนวนโมล 1:1 นอกจากนี้อิตีทีเอยังเป็นสารที่อยู่ตัว ละลายน้ำได้ดี ซึ่งเหมาะที่จะทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะในสารละลาย และประการสำคัญคือ สารเชิงซ้อนของโลหะอิตีทีเอที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้ ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากการตกตะกอนร่วม สำหรับการหาปริมาณโลหะต่างๆ ได้แก่ นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง โคบอลต์ แคลเซียม แมงกานีส และเหล็ก จะใช้ AAS ในการวิเคราะห์ ผลการทดลอง

แสดงในตารางที่ 4.1 โดยแสดงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมไว้ด้วย (กระทรวงวิทยาศาสตร์, 2539)

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียที่จะนำมาทดลองมีค่าสูงมากถึง 8,385 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นจึงได้พยายามหาวิธีที่จะนำปรอทในส่วนนี้กลับมาใช้ใหม่ แทนการกำจัดทิ้งโดยไม่เกิดประโยชน์ เพราะนอกจากจะสูญเสียคุณค่าของปรอทไปแล้ว ยังทำให้เกิดของเสียภายหลังการบำบัดเป็นจำนวนมาก ส่วนผลความเข้มข้นของโลหะต่างๆ ในน้ำเสีย จะมีค่าที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยความเข้มข้นของแมงกานีสและเหล็กมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนความเข้มข้นของนิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งโลหะเหล่านี้สามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ ดังนั้นน้ำเสียที่จะปล่อยทิ้งจึงต้องมีความเข้มข้นของโลหะเหล่านี้ไม่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งคาดว่าหลังจากกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าร่วมกับตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ น่าจะสามารถลดความเข้มข้นของโลหะต่างๆ ในน้ำเสียให้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานได้ โดยจะทำการวิเคราะห์ปริมาณอีกครั้งในขั้นตอนสุดท้ายภายหลังจากตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์

ตารางที่ 4.1 ปริมาณปรอทและโลหะต่างๆ ในน้ำเสียเริ่มต้น

ชนิดของโลหะ	ความเข้มข้นในน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรม (มิลลิกรัม/ลิตร)
ปรอท	8,385 ± 51.96	ไม่เกิน 0.005
นิกเกิล	0.52 ± 0.01	ไม่เกิน 0.2
ตะกั่ว	0.35 ± 0.03	ไม่เกิน 0.2
ทองแดง	1.89 ± 0.02	ไม่เกิน 1.0
โคบอลต์	0.38 ± 0.03	-
แคดเมียม	0.33 ± 0.01	ไม่เกิน 0.03
แมงกานีส	0.58 ± 0.02	ไม่เกิน 5.0
เหล็ก	0.13 ± 0.02	ไม่เกิน 0.3

## 4.2 การหาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าเป็นส่วนที่สำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารับหรือคายอิเล็กตรอน โดยขั้วไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ต่อเชื่อมระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้าของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน จึงต้องหาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทดลองใช้วัสดุชนิดต่างๆ ได้แก่ อลูมิเนียม สแตนเลส แกรไฟต์ ทองเหลือง และไททานเนียม เคลือบแพลทินัม เป็นขั้วไฟฟ้า ผลการทดลองหาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วย ไฟฟ้า มีดังนี้

### - อลูมิเนียม

ในการทดลองใช้อลูมิเนียมชนิดแท่งเป็นแอโนดและแคโทด ทำให้อลูมิเนียมสึกกร่อนมาก และละลายออกมาในสารละลาย ทำให้สารละลายมีตะกอนแขวนลอยมาก จนไม่สามารถนำไปไตเตรตกับอิตีทีเอได้

### - สแตนเลส

ในการทดลองใช้ท่อสแตนเลสเป็นแอโนดและด้วยสแตนเลสเป็นแคโทด พบว่าสารละลายมีสีฟ้า เกิดตะกอนสีเทา เกิดปรอทเป็นเม็ดขนาดเล็กมากที่บริเวณด้านข้างของด้วยสแตนเลส เมื่อนำสารละลายไปไตเตรตกับอิตีทีเอจะไม่เห็นการเปลี่ยนสีที่จุดยุติ

### - แกรไฟต์

ในการทดลองใช้แกรไฟต์ชนิดแท่งกลมเป็นแอโนดและด้วยสแตนเลสเป็นแคโทด พบว่าสารละลายมีสีขาวขุ่น และเกิดตะกอนสีขาวขุ่นที่ก้นด้วย แท่งแกรไฟต์ไม่สึกกร่อน แต่ก็ไม่เกิดเม็ดปรอทเลยแม้แต่เม็ดเดียว เมื่อทดลองเพิ่มความต่างศักย์จาก 1 เป็น 2 โวลต์ ทำให้แท่งแกรไฟต์สึกกร่อนมาก และสารละลายมีสีดำ จึงใช้แกรไฟต์ชนิดแท่งขนาดเล็กเป็นแอโนด โดยใช้สภาวะในการทดลองเหมือนครั้งแรก พบว่าเกิดเม็ดปรอทขนาดเล็กจำนวนมากปะปนอยู่กับตะกอนสีเทาละเอียดที่ก้นด้วยสแตนเลส สารละลายใส และแท่งแกรไฟต์ไม่สึกกร่อน เมื่อเปลี่ยนเป็นแกรไฟต์ชนิดแผ่นก็ให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์เป็น 2 โวลต์ ก็จะให้ผลการทดลองเหมือนในครั้งแรก

#### - ทองเหลือง

ในการทดลองใช้แผ่นทองเหลืองชุบทองคำเป็นแอโนด และใช้ด้วยสแตนเลสเป็นแคโทด พบว่าหลังจากทดลองประมาณครึ่งชั่วโมง แผ่นทองเหลืองสึกกร่อนมากและสารละลายมีสีฟ้า

#### - ไททานเนียมเคลือบแพลทินัม

ในการทดลองใช้ไททานเนียมซึ่งเคลือบแพลทินัมมีลักษณะเป็นตะแกรงเป็นแอโนด และแผ่นสแตนเลสเป็นแคโทด พบว่าเกิดปรอททั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก เกาะที่แผ่นสแตนเลส เกิดตะกอนเล็กน้อยที่ก้นบีกเกอร์ สารละลายสามารถหาความเข้มข้นของปรอทในสารละลายด้วยวิธีการไตเตรตกับอดีทีเอ เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ให้ผลในลักษณะเดียวกับตอนแรก แต่มีตะกอนเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อใช้ไททานเนียมเป็นทั้งแอโนดและแคโทด พบว่าเกิดปรอทจำนวนมากที่แคโทด ไม่มีตะกอน สารละลาย และสามารถนำสารละลายไปไตเตรตกับอดีทีเอเพื่อหาความเข้มข้นของปรอทได้ เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ก็ทำให้เกิดปรอทที่แคโทดมากขึ้น

จากผลการหาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า พบว่าการใช้อลูมิเนียม สแตนเลส แกรไฟต์ หรือ ทองเหลือง เป็นขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดการสึกกร่อน และเกิดตะกอนละลายปะปนอยู่ในสารละลาย ทำให้ไม่สามารถหาความเข้มข้นของปรอทด้วยวิธีการไตเตรตกับอดีทีเอได้ เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ทดลองมีความเป็นกรดสูงมากคือน้อยกว่า 0 จึงเกิดการทำปฏิกิริยากับโลหะ ทำให้โลหะบางชนิดละลายปนออกมาในสารละลาย เมื่อนำไปไตเตรตกับอดีทีเอจะรบกวนจุดยุติ ทำให้เห็นการเปลี่ยนสีไม่ชัดเจน แต่สำหรับไททานเนียม ซึ่งเป็นโลหะทรานสิชันที่มีความหนาแน่นค่าที่สุด มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ที่สภาวะปกติค่อนข้างเหนียวมาก ดังนั้นเมื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าจึงไม่สึกกร่อนเหมือนโลหะชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ทำให้เกิดปฏิกิริยารับหรือคายอิเล็กตรอนได้ดี ส่งผลให้เกิดโลหะปรอทขึ้นที่ขั้วแคโทดเป็นจำนวนมาก จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า พบว่านิยมใช้แพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากแพลทินัมมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงมาก และมีสมบัติในการนำความร้อนและไฟฟ้าดีมาก และไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา แต่แพลทินัมนั้นมียุคน้อยมาก จึงมีราคาแพง ถ้าใช้แพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าเพื่อบำบัดน้ำเสียจะทำให้ต้นทุนสูงมาก จึงใช้ไททานเนียมซึ่งมีสมบัติในการเป็นขั้วไฟฟ้าแทนได้ และไททานเนียมที่เคลือบแพลทินัมก็น่าจะเหมาะสมในการเป็นขั้วไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

### 4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้า

การทดลองในขั้นนี้ จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า คือ ความต่างศักย์ เวลาในการทดลอง และความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยหาความต่างศักย์ที่เหมาะสมก่อน เมื่อได้ความต่างศักย์ที่ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายต่ำสุด จะนำความต่างศักย์นี้ไปหาเวลาในการทดลองที่เหมาะสม เมื่อได้เวลาในการทดลองที่ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายต่ำสุด จะนำความต่างศักย์และเวลาในการทดลองนี้ไปหาความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม

#### 4.3.1 การหาความต่างศักย์ที่เหมาะสม

จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ ได้แก่ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 โวลต์ โดยใช้เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง และนำสารละลายภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้ามาหาความเข้มข้นของปรอทด้วยวิธีการไตเตรตกับอีดีทีเอ พบว่าที่ความต่างศักย์ต่างๆ ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นของปรอท ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

ผลความเข้มข้นของปรอทในสารละลายที่ความต่างศักย์ต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการแยกสลายด้วยไฟฟ้าสามารถลดปริมาณปรอทในสารละลายลงได้ อีกทั้งยังแยกปรอทออกมาในรูปของเหลวได้อีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ให้สูงขึ้น ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายจะลดลง โดยเมื่อทดลองที่ความต่างศักย์ 0.5 โวลต์ สามารถลดความเข้มข้นของปรอทในสารละลายได้ประมาณ 980 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์เป็น 1 โวลต์ ความเข้มข้นของปรอทจะลดลงประมาณ 1,300 มิลลิกรัม/ลิตร แต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์เป็น 1.5 โวลต์ ความเข้มข้นของปรอทจะลดลงมากถึง 5,600 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ครั้งละ 0.5 โวลต์จะทำให้ความเข้มข้นของปรอทลดลงเรื่อยๆ จนถึงความต่างศักย์ 3 โวลต์ ความเข้มข้นของปรอทลดลงเหลือ 137 มิลลิกรัม/ลิตร แต่เมื่อความต่างศักย์เพิ่มเป็น 3.5 และ 4 โวลต์ ความเข้มข้นของปรอทจะเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่

จากผลการทดลองนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบความแปรปรวนของความเข้มข้นของปรอทที่ความต่างศักย์ต่างๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ความต่างศักย์ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Multiple Comparison แบบ Duncan เพื่อหาว่า

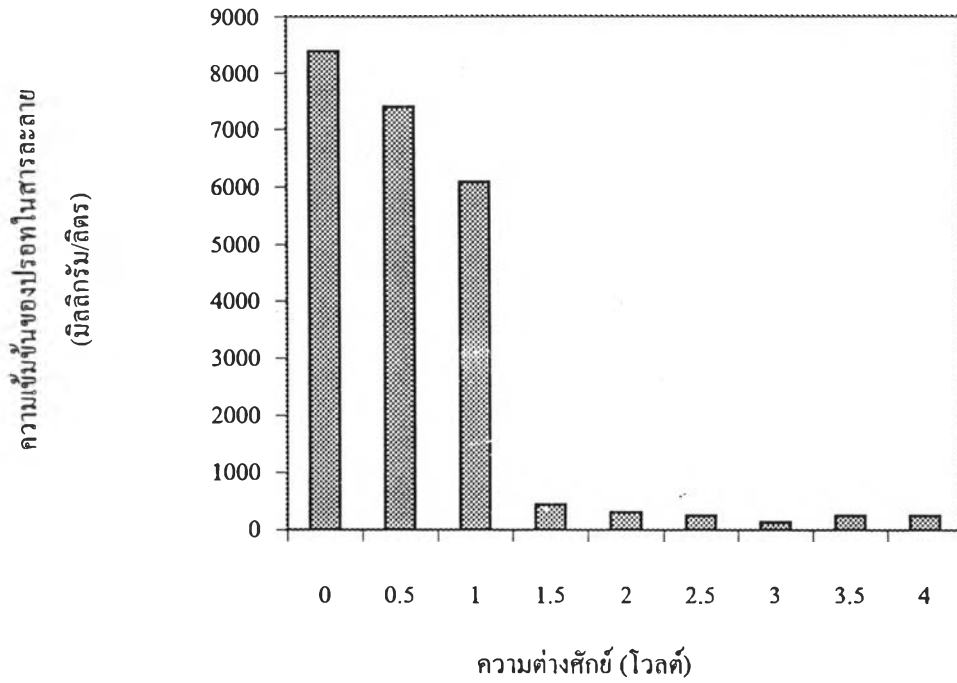
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายและประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง และความต่างศักย์ต่างๆ

ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความเข้มข้นของปรอทในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท (%)
0	<sup>a</sup> 8,385 ± 51.96	0
0.5	<sup>b</sup> 7,404 ± 20.78	11.70
1	<sup>c</sup> 6,039 ± 23.81	27.33
1.5	<sup>d</sup> 444 ± 5.57	94.70
2	<sup>c</sup> 308 ± 7.55	96.33
2.5	<sup>f</sup> 243 ± 10.82	97.10
3	<sup>g</sup> 137 ± 3.46	98.37
3.5	<sup>f</sup> 249 ± 11.14	97.03
4	<sup>f</sup> 248 ± 7.51	97.04

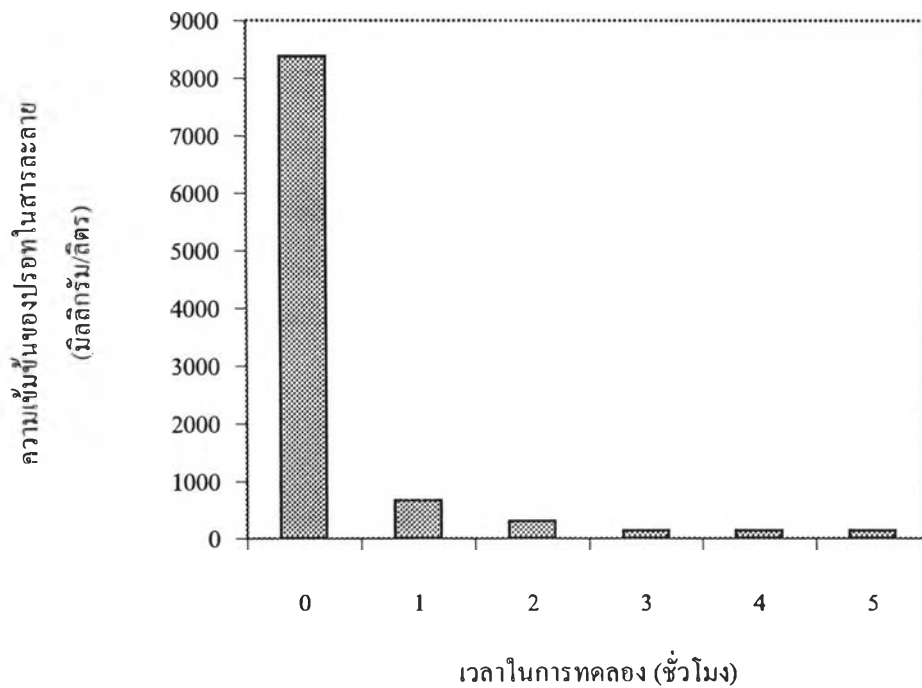
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายและประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ และเวลาในการทดลองต่างๆ

เวลาในการทดลอง (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของปรอทในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท (%)
0	<sup>a</sup> 8,385 ± 51.96	0
1	<sup>b</sup> 675 ± 9.00	91.95
2	<sup>c</sup> 307 ± 9.07	96.34
3	<sup>d</sup> 138 ± 2.89	98.35
4	<sup>d</sup> 139 ± 3.46	98.34
5	<sup>d</sup> 137 ± 4.04	98.37

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายภายใต้การแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง และความต่างศักย์ต่างๆ



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายภายใต้การแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ และเวลาในการทดลองต่างๆ

ความเข้มข้นของปรอทที่ความต่างศักย์คูใดที่มีความแตกต่าง พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ความต่างศักย์ต่างๆ แตกต่างกันทุกค่า ยกเว้นความต่างศักย์ 2.5, 3.5 และ 4 โวลต์ ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าที่ความต่างศักย์ 3 ค่านี้สามารถลดความเข้มข้นของปรอทในสารละลายให้อยู่ในระดับเดียวกันได้

ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ จะแตกต่างกัน โดยที่ความต่างศักย์ 0.5 และ 1 โวลต์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทค่อนข้างต่ำ เมื่อความต่างศักย์เพิ่มเป็น 2, 2.5 และ 3 โวลต์ ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจะเพิ่มขึ้น โดยที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทสูงสุด คือ 98.37% และเริ่มคงที่เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 3.5 และ 4 โวลต์

ความต่างศักย์เป็นตัวทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากจุดที่เป็นประจุลบไปสู่จุดที่เป็นประจุบวก กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้ามาในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ จะทำให้ปรอทอออนถูกรีดิวซ์ และเกิดโลหะปรอทที่แคโทด เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาก็จะสูงขึ้นด้วย เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากัน ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มากกว่า จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น จึงทำให้ปรอทอออนถูกรีดิวซ์ได้มากขึ้น กลายเป็นโลหะปรอทได้มากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลง จะเห็นได้จากการเพิ่มความต่างศักย์จาก 0.5 จนถึง 3 โวลต์ จะทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายเหลือต่ำสุด แต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์เป็น 3.5 และ 4 โวลต์ กลับทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายมากขึ้นและมากกว่าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าปริมาณกระแสไฟฟ้ามักเกินไป จึงเป็นการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วเกินไป กระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้ ดังนั้นที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ เป็นระดับที่เหมาะสมในการกำจัดปรอท เพราะทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายเหลือน้อยที่สุด

#### 4.3.2 การหาเวลาในการทดลองที่เหมาะสม

จากการทดลองหาความต่างศักย์ที่เหมาะสม พบว่าความต่างศักย์ 3 โวลต์ เป็นค่าที่มีความเหมาะสม สามารถลดความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียให้เหลือเพียง 137 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นในการหาเวลาในการทดลองที่เหมาะสม จะศึกษาที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ โดยทำการทดลองที่เวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง และนำสารละลายภายหลังจากการแยกสลายด้วยไฟฟ้ามาหา



ความเข้มข้นของปรอทด้วยวิธีการไตเตรตกับอีดีทีเอ พบว่าที่เวลาต่างๆ ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นของปรอท ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2

ผลความเข้มข้นของปรอทในสารละลายที่เวลาต่างๆ กัน พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทดลองมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลง จนกระทั่งเวลาในการทดลองเป็น 4 ชั่วโมง ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายจะเริ่มคงที่ จนถึงเวลา 5 ชั่วโมง

จากผลการทดลองนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบความแปรปรวนของความเข้มข้นของปรอทที่เวลาต่างๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่เวลาในการทดลองต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย เพื่อหาว่าความเข้มข้นของปรอทที่เวลาในการทดลองคู่ใดแตกต่างกัน พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่เวลาในการทดลองต่างๆ แตกต่างกันทุกค่า ยกเว้นเวลาในการทดลอง 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าเวลา 3, 4 และ 5 ชั่วโมง สามารถลดความเข้มข้นของปรอทในสารละลายให้อยู่ในระดับเดียวกันได้

ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อใช้เวลาในการทดลองเพียง 1 ชั่วโมง ก็สามารถกำจัดปรอทได้ถึง 91% แล้ว และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จนเมื่อเวลา 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทใกล้เคียงกันมาก

ปรอทที่อยู่ในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของปรอทไอออน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เซลล์อิเล็กโทรไลต์ ทำให้ปรอทไอออนถูกรีดิวซ์เกิดเป็นโลหะปรอทที่แคโทด ในตอนแรกจะมีปรอทไอออนอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าสู่สารละลายในชั่วโมงแรก จึงเกิดโลหะปรอทเป็นจำนวนมาก ทำให้ความเข้มข้นของปรอทลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทในชั่วโมงแรกสูงถึง 91% เมื่อเพิ่มเวลาในการทดลองเป็น 2 และ 3 ชั่วโมง ก็ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากยังมีปรอทไอออนอยู่มาก จนกระทั่งเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 4 และ 5 ชั่วโมง ความเข้มข้นของปรอทเริ่มคงที่ เพราะปรอทไอออนในสารละลายลดลงอยู่ในระดับที่สมดุล เมื่อถึงระดับนี้แล้วไม่ว่าจะเพิ่มเวลาในการทดลองเป็นเท่าไร ก็ไม่ทำให้สารละลายลดต่ำกว่านี้ ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงต้นทุนในการทำการทดลอง เวลา 3 ชั่วโมง จึงเป็นเวลาที่มีความเหมาะสม เพราะมีต้นทุนในด้านค่าไฟฟ้าต่ำกว่าที่ 4 และ 5 ชั่วโมง

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับทฤษฎีของไมเคิล ฟาราเดย์ ที่ได้จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารหรือธาตุที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้ากับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ ปริมาณสารที่เกิดขึ้นหรือหายไปที่ขั้วไฟฟ้าในการแยกสลายด้วยไฟฟ้าจะแปรโดยตรงกับประจุไฟฟ้า (Q) ที่ผ่านเข้าไปในสารละลาย โดยเมื่อกระแส (I) คงที่ จะได้ว่า  $Q = It$  เมื่อ  $t$  เป็นเวลาที่ใช้ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า (สุรพงษ์ สุวจิตตานนท์, 2531) หมายความว่า เมื่อกระแสคงที่ แต่เวลาที่ใช้ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ประจุไฟฟ้ามากขึ้นด้วย แต่ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าแปรโดยตรงกับประจุไฟฟ้า นั่นคือ ปริมาณสารที่ขั้วไฟฟ้าย่อมมากขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

#### 4.3.3 การหาความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม

จากการทดลองหาความต่างศักย์และเวลาในการทดลองที่เหมาะสม พบว่าความต่างศักย์ 3 โวลต์ และเวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง เป็นค่าที่มีความเหมาะสม เพราะสามารถลดความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียให้ลดลงได้ต่ำสุด ดังนั้นในการหาความเข้มข้นของน้ำเสีย จะศึกษาที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ และเวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง โดยเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำที่กำจัดคือนแล้ว ด้วยสัดส่วนของน้ำเสียต่อน้ำที่กำจัดคือนแล้วเป็น 1:2, 1:4, 1:6, 1:8 และ 1:10 และนำสารละลายภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้ามาหาความเข้มข้นของปรอทด้วย AAS – Cold Vapor พบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นของปรอทดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

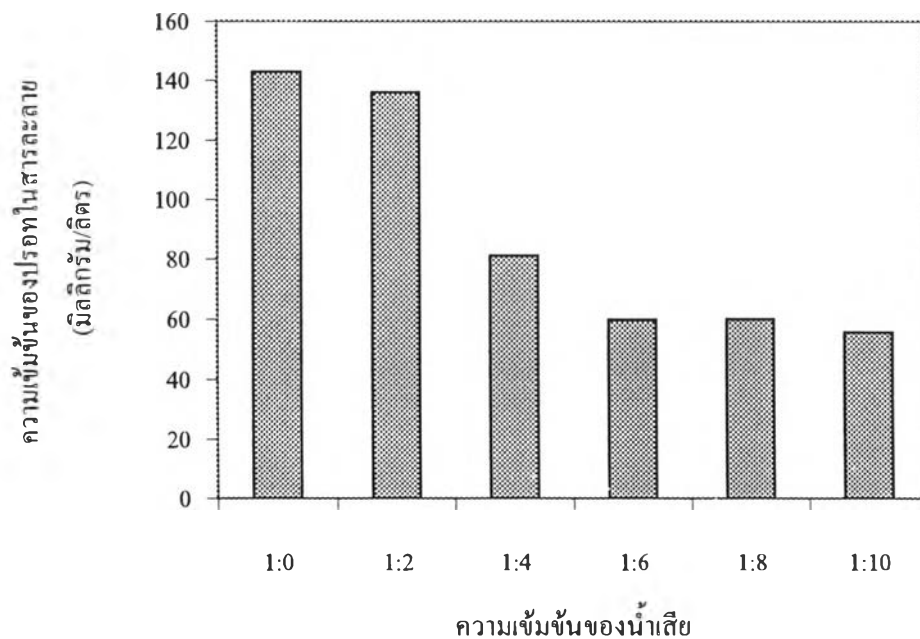
ผลความเข้มข้นของปรอทในสารละลายที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ พบว่าเมื่อเจือจางน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลงเรื่อยๆ โดยเมื่อเจือจางน้ำเสียเป็น 1:6, 1:8 และ 1:10 ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลงต่ำที่สุด

จากผลการทดลองนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบความแปรปรวนของความเข้มข้นของปรอทที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย เพื่อหาว่าความเข้มข้นของปรอทที่ความเข้มข้นของน้ำเสียคู่ใดที่แตกต่างกัน พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ แตกต่างกันทุกค่า ยกเว้นความเข้มข้นของน้ำเสีย เมื่อเจือจางน้ำเสียเป็น 1:6, 1:8 และ 1:10 ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าเมื่อเจือจางน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของปรอทภายหลังการแยก

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายและประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง และความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ

ความเข้มข้นของน้ำเสีย เมื่อเจือจางด้วย น้ำที่กำจัดออมนแล้ว	ความเข้มข้นของปรอทในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)		ประสิทธิภาพใน การกำจัดปรอท (%)
	เริ่มต้น	สุดท้าย	
1:0	8,385 ± 51.96	<sup>a</sup> 142.83 ± 2.36	98.30
1:2	4,185 ± 21.25	<sup>b</sup> 135.83 ± 1.76	96.75
1:4	2,081 ± 12.37	<sup>c</sup> 81.17 ± 5.01	96.10
1:6	1,391 ± 15.20	<sup>d</sup> 59.83 ± 2.08	95.70
1:8	1,035 ± 19.63	<sup>d</sup> 60.00 ± 2.50	94.20
1:10	829 ± 10.41	<sup>d</sup> 55.67 ± 3.75	93.28

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง และความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ

สลายด้วยไฟฟ้าลดลง จนกระทั่งเมื่อเจือจางน้ำเสียเป็น 1:6, 1:8 และ 1:10 จะสามารถลดความเข้มข้นของปรอทในสารละลายให้อยู่ในระดับเดียวกันได้ โดยทำให้ความเข้มข้นของปรอทลดลงต่ำที่สุด อยู่ในช่วง 55 - 60 มิลลิกรัม/ลิตร

ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ แตกต่างกันเล็กน้อย โดยเมื่อเจือจางน้ำเสียมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจะลดลงด้วย

ความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และความต้านทานกระแสไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กันตามกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่า ความต่างศักย์ที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในวงจรได้ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้า และความต้านทานกระแสไฟฟ้า สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$V = IR$$

ดังนั้นความต้านทานกระแสไฟฟ้าในกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า คือความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั่นเอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ตามสมการดังนี้

$$R = \frac{l}{C \times A}$$

เมื่อ	R	เป็นความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโอห์ม
	l	เป็นระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในหน่วยเซนติเมตร
	C	เป็นค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโมห์หรือซีเมน
	A	เป็นพื้นที่หน้าตัดของขั้วไฟฟ้าที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยตารางเซนติเมตร

ค่าการนำไฟฟ้าจะขึ้นกับจำนวนไอออนหรือตัวนำพาประจุที่มีอยู่ในสารละลาย เนื่องจากโดยปกติจำนวนไอออนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจะเพิ่มตามความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นจึงพบว่าค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มตามความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ด้วย

จากการหาความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม พบว่าการแยกสลายด้วยไฟฟ้าในน้ำเสียที่ไม่ได้เจือจาง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทสูงสุด คือ 98.30% แต่เมื่อเจือจางน้ำเสียมากขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจะลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อลดความเข้มข้นของน้ำเสียลง ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงด้วย เพราะน้ำเสียที่ใช้ทดลองนี้มีความเป็นกรดสูงมาก คือน้อยกว่า 0 จึงมีสมบัติเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียลดลง นั่นคือความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลดลง ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงทำให้ความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้น เมื่อความต่างศักย์คงที่ ถ้าความต้านทานกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรลดลง ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ลดลงด้วย ปรอทที่ออกจะถูกรีดิวซ์ได้น้อยลง ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจึงลดลงด้วย

#### 4.4 การหาปริมาณและความบริสุทธิ์ของปรอท

##### 4.4.1 การหาปริมาณปรอท

##### 1. ปริมาณปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ

จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ สามารถแยกปรอทในรูปของเหลวออกมาได้ นำมาหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก ที่ความต่างศักย์ต่างๆ จะได้น้ำหนักปรอท ดังตารางที่ 4.5

เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ทำให้ได้ปรอทมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงความต่างศักย์ 3 โวลต์ ได้ปรอทสูงสุด คือ 1.04 กรัม และมีประสิทธิภาพการนำปรอทกลับคืนสูงมากถึง 99.05% หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความต่างศักย์เป็น 3.5 และ 4 โวลต์ น้ำหนักปรอทกลับลดลง และมีประสิทธิภาพการนำปรอทกลับคืนลดลงด้วยเหลือเพียง 96.19% และ 97.14% ตามลำดับ เหตุผลอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 4.3.1

##### 2. ปริมาณปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ

จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ จะได้น้ำหนักปรอท ดังตารางที่ 4.6 น้ำหนักปรอทที่ได้มีความสัมพันธ์กับเวลาในการทดลอง โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้

น้ำหนักปรอทเพิ่มขึ้นด้วย จนกระทั่งที่เวลา 3 ชั่วโมง น้ำหนักปรอทจะเริ่มคงที่ จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการทดลอง 3, 4 และ 5 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการนำปรอทกลับคืนเท่ากัน คือ 99.05% เหตุผลอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.2

### 3. ปริมาณปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ

จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ จะได้น้ำหนักปรอทดังตารางที่ 4.7 น้ำหนักปรอทที่ได้มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยเมื่อเจือจางน้ำเสียมากขึ้น ทำให้น้ำหนักปรอทที่ได้ลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของปรอทในสารละลายเริ่มต้นน้อยลง และประสิทธิภาพการนำปรอทกลับคืนจะน้อยลงเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นของน้ำเสียที่ลดลง เหตุผลอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 4.3.3

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง ความต่างศักย์ต่างๆ และประสิทธิภาพการนำปรอทกลับคืน

ความต่างศักย์ (โวลต์)	น้ำหนักปรอท (กรัม)	ประสิทธิภาพการนำ ปรอทกลับคืน (%)
0.5	0.11 ± 0.01	10.48
1	0.19 ± 0.02	18.40
1.5	0.97 ± 0.02	92.38
2	1.00 ± 0.01	95.24
2.5	1.02 ± 0.01	97.14
3	1.04 ± 0.01	99.05
3.5	1.01 ± 0.01	96.19
4	1.02 ± 0.01	97.14

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์  
เวลาในการทดลองต่างๆ และประสิทธิภาพการนำปรอทกลับคืน

เวลาในการทดลอง (ชั่วโมง)	น้ำหนักปรอท (กรัม)	ประสิทธิภาพการนำ ปรอทกลับคืน (%)
1	0.95 ± 0.01	90.48
2	1.01 ± 0.01	96.19
3	1.04 ± 0.01	99.05
4	1.04 ± 0	99.05
5	1.04 ± 0.01	99.05

ตารางที่ 4.7 น้ำหนักปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์  
เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ และประสิทธิภาพ  
การนำปรอทกลับคืน

ความเข้มข้นของน้ำเสีย เมื่อเจือจางด้วยน้ำที่กำจัดออกแล้ว	น้ำหนักปรอท (กรัม)	ประสิทธิภาพการนำ ปรอทกลับคืน (%)
1:2	0.51 ± 0	98.08
1:4	0.25 ± 0.01	96.15
1:6	0.16 ± 0.01	94.12
1:8	0.12 ± 0.01	92.31
1:10	0.09 ± 0.01	90.00

#### 4.4.2 การหาความบริสุทธิ์ของปรอท

จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ ความต่างศักย์ เวลาในการทดลอง และความเข้มข้นของน้ำเสีย จะได้ปรอทออกมาในรูปของเหลว เป็นเม็ดเล็กๆ มีลักษณะเป็นสีเงินใสหรือมีคราบสีดำปนอยู่ นำปรอทที่ได้มาหาความบริสุทธิ์ โดยจะหาความบริสุทธิ์ของปรอทเฉพาะปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 1.5 - 4 โวลต์ เพราะที่ความต่างศักย์ 0.5 และ 1 โวลต์ ได้ปรอทกลับคืนมาน้อยมากเพียง 0.11 และ 0.19 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยเกินกว่าจะนำมาวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ได้ และปรอทที่ได้จากการแยก

สลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลอง 1-5 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ ส่วนปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ มีปริมาณปรอทค่อนข้างน้อย จึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ได้เช่นกัน

นำปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้ามาวิเคราะห์ด้วย AAS เพื่อหาปริมาณสารมลทินที่อยู่ในปรอท ได้แก่ นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง โคบอลต์ แคดเมียม แมงกานีส และเหล็ก พบว่าปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ และเวลาในการทดลองต่างๆ มีปริมาณนิกเกิลและทองแดงในปริมาณที่สูง ส่วนเหล็กและตะกั่วจะมีปริมาณมากรองลงมา สำหรับโคบอลต์ แคดเมียม และแมงกานีส จะมีปริมาณค่อนข้างต่ำ แสดงผลในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.10 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวมีปริมาณที่เหมือนกันและแตกต่างกับปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม ดังนี้

### 1. การหาความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ

#### 1.1 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณนิกเกิลในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีนิกเกิลเจือปนอยู่ในปรอท  $3.29 \times 10^{-4}$  ถึง  $7.90 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าที่ความต่างศักย์ต่างกันจะมีปริมาณนิกเกิลเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม ซึ่งมีนิกเกิลเจือปนอยู่  $1.80 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยทุกความต่างศักย์จะมีนิกเกิลในปริมาณที่สูงกว่าปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม และที่ความต่างศักย์ 2 กับ 2.5 โวลต์ มีนิกเกิลในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

#### 1.2 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณทองแดงในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีทองแดงเจือปนอยู่ในปรอท  $2.69 \times 10^{-4}$  ถึง  $9.41 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าที่ความต่างศักย์ต่างกันจะมีปริมาณทองแดงเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอท



ตารางที่ 4.8 ปริมาณโลหะมลทินในปรอทจากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ

ความต่างศักย์ (โวลต์)	ปริมาณโลหะที่ตรวจพบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)						
	นิกเกิล	ทองแดง	โคบอลต์	แคดเมียม	แมงกานีส	เหล็ก	ตะกั่ว
1.5	<sup>a</sup> 3.29 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 2.69 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 3.04 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>a</sup> 3.81 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>a</sup> 13.90 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>a</sup> 2.77 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 13.01 x 10 <sup>-5</sup>
2	<sup>b</sup> 5.42 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 3.03 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 9.47 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 7.43 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 10.80 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>a</sup> 2.84 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 9.59 x 10 <sup>-5</sup>
2.5	<sup>b</sup> 5.53 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 3.08 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 12.13 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>c</sup> 9.41 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>c</sup> 9.20 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>b</sup> 3.22 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 7.73 x 10 <sup>-5</sup>
3	<sup>c</sup> 5.90 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 4.20 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>c</sup> 15.04 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>d</sup> 12.68 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>c</sup> 8.40 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>c</sup> 3.67 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 14.39 x 10 <sup>-5</sup>
3.5	<sup>d</sup> 6.41 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>c</sup> 7.20 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>d</sup> 18.39 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>e</sup> 16.22 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>d</sup> 5.00 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>d</sup> 3.95 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>c</sup> 27.58 x 10 <sup>-5</sup>
4	<sup>e</sup> 7.90 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>d</sup> 9.41 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>e</sup> 19.02 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>f</sup> 21.77 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>e</sup> 2.50 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>d</sup> 4.07 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>d</sup> 44.02 x 10 <sup>-5</sup>
ปรอทมาตรฐานทาง ทันตกรรม	<sup>f</sup> 1.80 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>e</sup> 2.07 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 11.46 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>g</sup> 11.14 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>d</sup> 4.80 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>e</sup> 2.04 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 12.76 x 10 <sup>-5</sup>

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

มาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีทองแดงเจือปนอยู่  $2.07 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนักโดยทุกความต่างศักย์จะมีทองแดงในปริมาณที่สูงกว่าปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม และที่ความต่างศักย์ 1.5 กับ 2 โวลต์ และ 2 กับ 2.5 โวลต์ มีทองแดงในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

**1.3 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณโคบอลต์ในปรอท**

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีโคบอลต์เจือปนอยู่ในปรอท  $3.04 \times 10^{-5}$  ถึง  $19.02 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าที่ความต่างศักย์ต่างกันจะมีปริมาณโคบอลต์เจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความต่างศักย์ 1.5, 3, 3.5 และ 4 โวลต์ จะมีโคบอลต์แตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีโคบอลต์เจือปนอยู่  $11.46 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนที่ความต่างศักย์ 2 และ 2.5 โวลต์ พบว่ามีโคบอลต์ไม่แตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ความต่างศักย์ 1.5 โวลต์ มีโคบอลต์ต่ำกว่าปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม เมื่อความต่างศักย์เพิ่มจาก 1.5 ถึง 4 โวลต์ ปริมาณโคบอลต์จะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ โดยที่ความต่างศักย์ 3, 3.5 และ 4 โวลต์ จะมีปริมาณโคบอลต์สูงกว่าปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม

**1.4 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณแคดเมียมในปรอท**

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีแคดเมียมเจือปนอยู่ในปรอท  $3.81 \times 10^{-5}$  ถึง  $21.77 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าที่ความต่างศักย์ต่างกันจะมีปริมาณแคดเมียมเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีแคดเมียมเจือปนอยู่  $11.14 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยเมื่อความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้นปริมาณแคดเมียมที่เจือปนอยู่ในปรอทก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

**1.5 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณแมงกานีสในปรอท**

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีแมงกานีสเจือปนอยู่ในปรอทแต่มีในปริมาณที่น้อยมาก คือ  $2.50 \times 10^{-6}$  ถึง  $13.90 \times 10^{-6}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าที่

ความต่างศักย์ต่างกันจะมีปริมาณแอมกานีสเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความต่างศักย์ 1.5, 2, 2.5, 3 และ 4 โวลต์ มีแอมกานีสแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีแอมกานีสเจือปนอยู่  $4.80 \times 10^{-6}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนความต่างศักย์ 3.5 โวลต์ พบว่ามีแอมกานีสไม่แตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม และที่ความต่างศักย์ 2.5 กับ 3 โวลต์ พบว่ามีปริมาณแอมกานีสไม่แตกต่างกัน

1.6 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณเหล็กในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีเหล็กเจือปนอยู่ในปรอท  $2.77 \times 10^{-4}$  ถึง  $4.07 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าที่ความต่างศักย์ต่างกันจะมีปริมาณเหล็กเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีเหล็กเจือปนอยู่  $2.04 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยทุกความต่างศักย์จะมีปริมาณเหล็กสูงกว่าปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม และที่ความต่างศักย์ 1.5 กับ 2 โวลต์ และ 3.5 กับ 4 โวลต์ มีปริมาณเหล็กไม่แตกต่างกัน

1.7 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณตะกั่วในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีตะกั่วเจือปนอยู่ในปรอท  $7.73 \times 10^{-5}$  ถึง  $44.02 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าที่ความต่างศักย์ต่างกันจะมีปริมาณตะกั่วเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความต่างศักย์ 1.5, 2 และ 3 โวลต์ มีปริมาณตะกั่วไม่แตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีตะกั่วเจือปนอยู่  $12.76 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก

จากปริมาณสารมลทินของปรอทที่วิเคราะห์ด้วย AAS คือ นิกเกิล ทองแดง โคบอลต์ แคดเมียม แอมกานีส เหล็ก และตะกั่ว ที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ นำมาคำนวณปริมาณสารมลทินทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และคำนวณความบริสุทธิ์ของปรอทได้ผล ดังตารางที่ 4.9 แสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.9 ความบริสุทธิ์ของปรอทจากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ  
ซึ่งตรวจสอบสารมลทินด้วย AAS

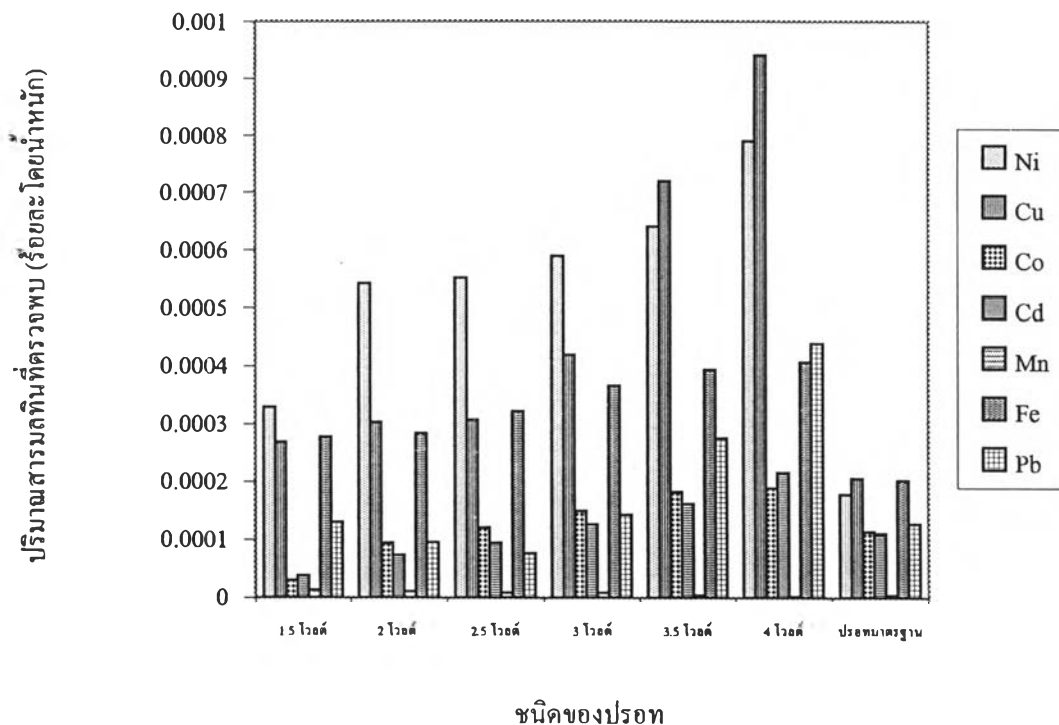
ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความบริสุทธิ์ของปรอท (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
1.5	<sup>a</sup> 99.99891 ± 0.0000252
2	<sup>b</sup> 99.99860 ± 0.0000208
2.5	<sup>c</sup> 99.99852 ± 0.0000284
3	<sup>d</sup> 99.99819 ± 0.0000179
3.5	<sup>e</sup> 99.99762 ± 0.0000117
4	<sup>f</sup> 99.99701 ± 0.0000360
ปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม	<sup>g</sup> 99.99905 ± 0.0000376

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  
( $P < 0.05$ )

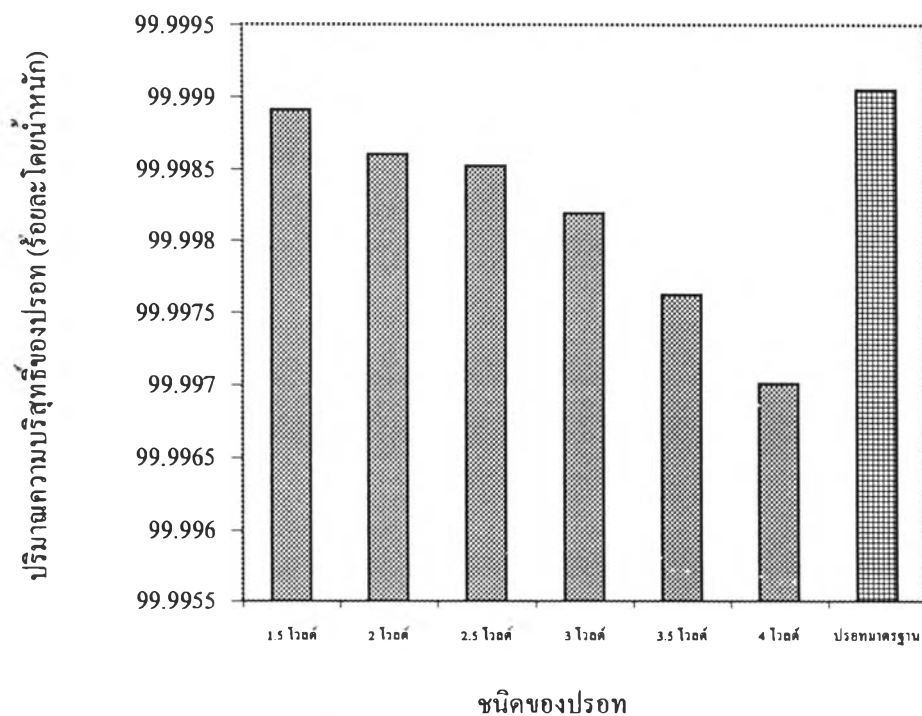
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่าปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม

ผลการทดสอบทางสถิติแบบ t-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทุกความต่างศักย์แตกต่างจาก 99.99905% ซึ่งเป็นความบริสุทธิ์ของปรอทมาตรฐานทางทันตกรรมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าต่ำกว่าปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น จะทำให้ความบริสุทธิ์ของปรอทลดลง จากผลการทดลองพบว่าที่ความต่างศักย์ 1.5 โวลต์ มีความบริสุทธิ์ของปรอทมากที่สุด

จากผลการหาปริมาณสารมลทินของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ พบว่ามีปริมาณนิกเกิลและทองแดงสูงมาก ส่วนเหล็กและตะกั่วมีปริมาณรองลงมา สำหรับโคบอลต์ แคดเมียมและแมงกานีสจะมีปริมาณค่อนข้างต่ำ ที่เป็นเช่นนี้ สามารถอธิบายจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้า ( $E^0$ ) ดังนี้



รูปที่ 4.4 ปริมาณโลหะมลพิษทั้งหมดที่พบในปรอทภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ที่เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง และความต่างศักย์ต่างๆ ซึ่งตรวจด้วย AAS



รูปที่ 4.5 ความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง และความต่างศักย์ต่างๆ เปรียบเทียบกับปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม

$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	$E^0 = -0.250$	โวลต์
$\text{Cu}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	$E^0 = +0.521$	โวลต์
$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}$	$E^0 = -0.277$	โวลต์
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	$E^0 = -0.403$	โวลต์
$\text{Mn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	$E^0 = -1.18$	โวลต์
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	$E^0 = -0.440$	โวลต์
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	$E^0 = -0.126$	โวลต์

ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้า เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการรับหรือจ่ายอิเล็กตรอนของครึ่งเซลล์ โดยถ้าค่า  $E^0$  สูง แสดงว่าเป็นตัวออกซิไดส์หรือเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี ดังนั้นครึ่งเซลล์ที่มีค่า  $E^0$  สูง จึงรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าครึ่งเซลล์ที่มีค่า  $E^0$  ต่ำ และทำให้เกิดเป็นโลหะได้ดีกว่า จะเห็นได้ว่าค่า  $E^0$  ของทองแดงสูงที่สุด นั่นคือ ทองแดงสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าชนิดอื่น ทำให้เกิดโลหะทองแดงปนเปื้อนอยู่ในปรอทได้มาก ส่วนแมงกานีสมีค่า  $E^0$  ต่ำที่สุด จึงรับอิเล็กตรอนได้ไม่ดี ทำให้เกิดโลหะแมงกานีสปนเปื้อนในปรอทได้น้อย

จากผลการทดลองเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ทำให้ความบริสุทธิ์ของปรอทลดลง นั่นคือปริมาณสารมลทินมากขึ้น เป็นเพราะว่า การเพิ่มความต่างศักย์ เป็นการเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าด้วย นอกจากทำให้ปรอทอ็อกไซด์ริคซ์ไปเป็นโลหะปรอทได้มากขึ้นแล้ว อ็อกไซด์ของโลหะอื่นๆ ในสารละลาย ก็สามารถถูกรีดิวซ์มากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อความต่างศักย์มากขึ้น จึงมีปริมาณสารมลทินของโลหะอื่นๆ ปะปนอยู่ในปรอทเพิ่มมากขึ้นด้วย

## 2. การหาความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ

### 2.1 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณนิเกิลเกิดในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีนิเกิลเกิดเจือปนอยู่ในปรอท  $4.68 \times 10^{-4}$  ถึง  $6.33 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าเวลาในการทดลองต่างกันจะมีปริมาณนิเกิลเกิดเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอท

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโลหะมลทินในปรอทจากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ

เวลาในการทดลอง (ชั่วโมง)	ปริมาณโลหะที่ตรวจพบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)						
	นิกเกิล	ทองแดง	โคบอลต์	แคดเมียม	แมงกานีส	เหล็ก	ตะกั่ว
1	<sup>a</sup> 4.67 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 9.63 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>a</sup> 8.47 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>a</sup> 1.80 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 2.70 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>a</sup> 2.84 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 1.34 x 10 <sup>-4</sup>
2	<sup>b</sup> 6.03 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 19.78 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>a</sup> 8.49 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 1.62 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 4.20 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>b</sup> 2.64 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 1.33 x 10 <sup>-4</sup>
3	<sup>b</sup> 5.99 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>c</sup> 41.64 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 14.42 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 1.61 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 6.50 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>c</sup> 3.67 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 1.54 x 10 <sup>-4</sup>
4	<sup>c</sup> 6.33 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>d</sup> 46.07 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 13.06 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 1.62 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 4.00 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>c</sup> 3.79 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 1.30 x 10 <sup>-4</sup>
5	<sup>b</sup> 6.25 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>c</sup> 50.39 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 13.33 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>b</sup> 1.69 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 4.90 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>c</sup> 3.65 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 1.21 x 10 <sup>-4</sup>
ปรอทมาตรฐานทาง ทันตกรรม	<sup>d</sup> 1.80 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 20.67 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>c</sup> 11.46 x 10 <sup>-5</sup>	<sup>c</sup> 1.11 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>b</sup> 4.80 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>d</sup> 2.04 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>a</sup> 1.18 x 10 <sup>-4</sup>

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

มาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีนิกเกิลเจือปนอยู่  $1.80 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยทุกช่วงเวลา จะมีนิกเกิลในปริมาณที่สูงกว่าปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม และที่เวลา 2, 3 และ 5 ชั่วโมง มีปริมาณนิกเกิลไม่แตกต่างกัน

2.2 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณทองแดงในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีทองแดงเจือปนอยู่ในปรอท  $9.63 \times 10^{-5}$  ถึง  $50.39 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าเวลาในการทดลองต่างกันจะมีปริมาณทองแดงเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ช่วงเวลา 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณทองแดงไม่แตกต่างกันกับปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีทองแดงเจือปนอยู่  $20.67 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนที่เวลา 1, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง มีปริมาณทองแดงแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม

2.3 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณโคบอลต์ในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีโคบอลต์เจือปนอยู่ในปรอท  $8.47 \times 10^{-5}$  ถึง  $14.42 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าเวลาในการทดลองต่างกันจะมีปริมาณโคบอลต์เจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีโคบอลต์เจือปนอยู่  $11.46 \times 10^{-5}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยเวลาในการทดลอง 1 กับ 2 ชั่วโมง และ 3, 4 กับ 5 ชั่วโมง จะมีปริมาณโคบอลต์ไม่แตกต่างกัน

2.4 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณแคดเมียมในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีแคดเมียมเจือปนอยู่ในปรอท  $1.61 \times 10^{-4}$  ถึง  $1.80 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าเวลาในการทดลองต่างกันจะมีปริมาณแคดเมียมเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางพันธุกรรม ซึ่งมีแคดเมียมเจือปนอยู่  $1.11 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยที่เวลา 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง มีปริมาณแคดเมียมไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับเวลาในการทดลอง 1



ชั่วโมง

## 2.5 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณแอมกานีสในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีแอมกานีสเจือปนอยู่ในปรอท  $2.70 \times 10^{-6}$  ถึง  $6.50 \times 10^{-6}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าเวลาในการทดลองต่างกันจะมีปริมาณแอมกานีสเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเวลาในการทดลอง 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง มีปริมาณแอมกานีสไม่แตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม ซึ่งมีแอมกานีสเจือปนอยู่  $4.80 \times 10^{-6}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนที่เวลา 1 ชั่วโมง จะมีปริมาณแอมกานีสต่ำกว่าปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม

## 2.6 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณเหล็กในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีเหล็กเจือปนอยู่ในปรอท  $2.64 \times 10^{-4}$  ถึง  $3.79 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าเวลาในการทดลองต่างกันจะมีปริมาณเหล็กเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม ซึ่งมีเหล็กเจือปนอยู่  $2.04 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยที่เวลา 3, 4 และ 5 ชั่วโมง มีปริมาณเหล็กไม่แตกต่างกัน

## 2.7 ผลการตรวจความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยคำนวณจากปริมาณตะกั่วในปรอท

การกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้มีตะกั่วเจือปนอยู่ในปรอท  $1.21 \times 10^{-4}$  ถึง  $1.54 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยตรวจพบว่าเวลาในการทดลองต่างกันจะมีปริมาณตะกั่วเจือปนอยู่ในปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่เวลา 1, 2, 4 และ 5 ชั่วโมง มีปริมาณตะกั่วไม่แตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม ซึ่งมีตะกั่วเจือปนอยู่  $1.18 \times 10^{-4}$  ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนที่เวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณเหล็กแตกต่างจากปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม

จากปริมาณสารมลทินของปรอทที่วิเคราะห์ด้วย AAS คือ นิกเกิล ทองแดง โคบอลต์ แคดเมียม แมงกานีส เหล็ก และตะกั่ว ที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ นำมาคำนวณปริมาณสารมลทินทั้งหมด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 และคำนวณความบริสุทธิ์ของปรอทได้ผล ดังตารางที่ 4.11 แสดงในรูปที่ 4.7

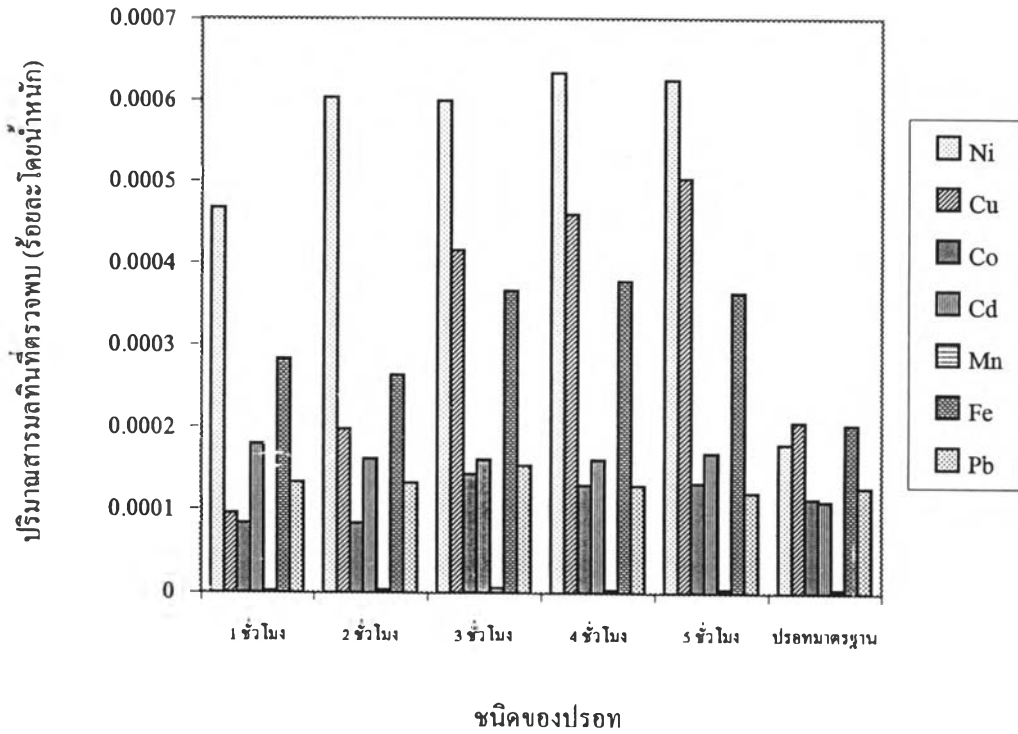
ตารางที่ 4.11 ความบริสุทธิ์ของปรอทจากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ ซึ่งตรวจสอบสารมลทินด้วย AAS

เวลาในการทดลอง (ชั่วโมง)	ความบริสุทธิ์ของปรอท (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	<sup>a</sup> 99.99875 ± 0.0000360
2	<sup>b</sup> 99.99853 ± 0.0000019
3	<sup>c</sup> 99.99815 ± 0.0000260
4	<sup>c</sup> 99.99810 ± 0.0000528
5	<sup>c</sup> 99.99808 ± 0.0000101
ปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม	<sup>d</sup> 99.99905 ± 0.0000376

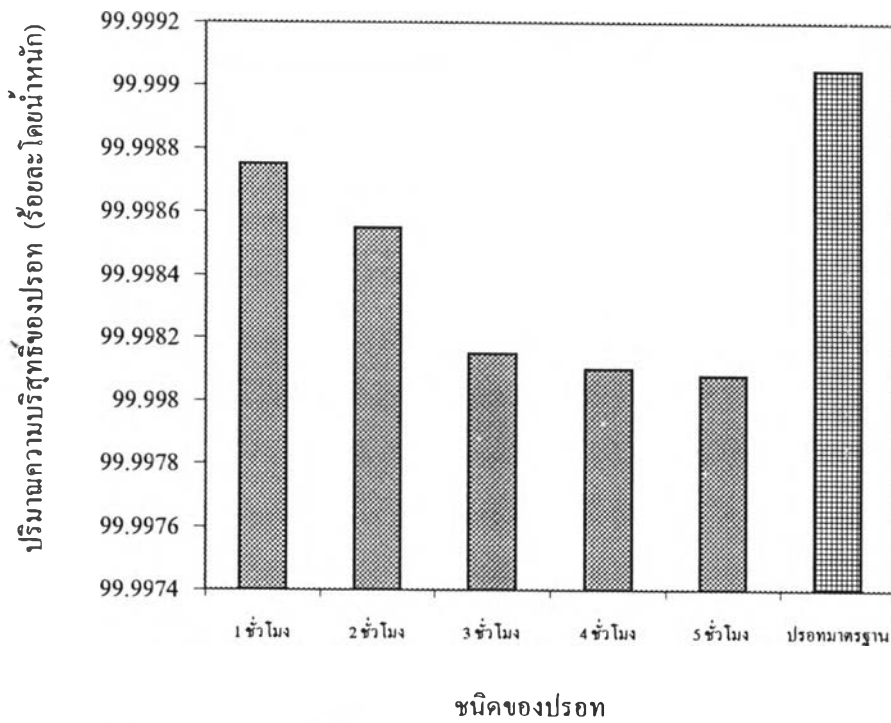
หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

จากการทดสอบวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่าปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่เวลาในการทดลองต่างๆ มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและแตกต่างกับปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม โดยที่เวลา 3 กับ 4 ชั่วโมง และ 4 กับ 5 ชั่วโมง มีความบริสุทธิ์ไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบทางสถิติแบบ t-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทุกช่วงเวลาในการทดลองแตกต่างจาก 99.99905% ซึ่งเป็นความบริสุทธิ์ของปรอทมาตรฐานทางทันตกรรมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าต่ำกว่าปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม เมื่อเวลาในการทดลองมากขึ้น จะทำให้ความบริสุทธิ์ของปรอทลดลง จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง มีความบริสุทธิ์ของปรอทมากที่สุด



รูปที่ 4.6 ปริมาณโลหะมลทินทั้งหมดที่พบในปรอทภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ และเวลาในการทดลองต่างๆ ซึ่งตรวจด้วย AAS



รูปที่ 4.7 ความบริสุทธิ์ของปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 3 โวลต์ และเวลาในการทดลองต่างๆ เปรียบเทียบกับปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม

จากผลการหาปริมาณสารมลทินของปรอทที่เวลาในการทดลองต่างๆ จะมีลักษณะเดียวกันกับการหาปริมาณสารมลทินที่ความต่างศักย์ต่างๆ ซึ่งอธิบายเหตุผลได้ในลักษณะเดียวกัน ส่วนผลการหาความบริสุทธิ์ของปรอทที่เวลาต่างๆ พบว่าความบริสุทธิ์ของปรอททดลองเมื่อเวลาในการทดลองมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เมื่อความต่างศักย์คงที่ แต่เวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น ทำให้ประจุไฟฟ้ามากขึ้น แต่ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าแปรโดยตรงกับประจุไฟฟ้า ดังนั้นปริมาณสารที่เกิดขึ้นย่อมมากขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น อธิบายได้ในลักษณะเดียวกับข้อ 4.3.2 เมื่อเวลาในการทดลองมากขึ้น ทำให้โลหะต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ทำให้ปรอทถูกปะปนด้วยโลหะอื่นมากขึ้น ความบริสุทธิ์จึงลดลงเมื่อเวลามากขึ้น

ปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์และเวลาในการทดลองต่างๆ จะมีความบริสุทธิ์น้อยกว่าปรอทมาตรฐานทางทันตกรรม แต่ก็นับได้ว่าการแยกสลายด้วยไฟฟ้าสามารถกำจัดปรอทในน้ำเสียได้ และได้ปรอทกลับคืนมาในรูปที่มีความบริสุทธิ์สูงซึ่งมากกว่า 99.99% แม้ว่าปรอทที่ได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าจะมีความบริสุทธิ์ไม่มากพอที่จะนำมาใช้ทางด้านทันตกรรม แต่ก็สามารถนำมาใช้ในงานด้านอื่นๆ ได้ หรือถ้าจะนำมาใช้ทางด้านทันตกรรมก็สามารถนำมาเข้ากระบวนการกลั่นเพื่อให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการแยกสลายด้วยไฟฟ้าสามารถกำจัดปรอทในน้ำเสียได้ โดยเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นอกจากนี้ปรอทที่ได้กลับคืนยังอยู่ในรูปที่บริสุทธิ์มากกว่า 99.99% จึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

#### 4.5 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอน

การทดลองในขั้นนี้จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน คือ ระดับพีเอช และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ น้ำเสียที่นำมาตกตะกอนมีความเข้มข้นของปรอทประมาณ 142 มิลลิกรัม/ลิตร โดยทดลองที่ระดับพีเอช 5-9 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช ส่วนปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสมจะทดลองที่ปริมาณ 0.5, 1, 2 และ 3 เท่า ของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี หลังจากกรองตะกอนออกแล้ว นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณปรอทด้วย AAS – Cold Vapor และวิเคราะห์ปริมาณโลหะต่างๆ ได้แก่ นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง โคบอลต์ แคดเมียม แมงกานีส และเหล็ก โดยใช้ AAS ในการวิเคราะห์ พบว่าการตกตะกอนที่ระดับพีเอช 5-9 และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 0.5, 1, 2 และ 3 เท่า ของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นของปรอท ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายภายหลังการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์  
เมื่อระดับพีเอชและโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ

พีเอช	ความเข้มข้นของปรอทในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	Na <sub>2</sub> S 0.5 เท่า	Na <sub>2</sub> S 1 เท่า	Na <sub>2</sub> S 2 เท่า	Na <sub>2</sub> S 3 เท่า
5	<sup>a</sup> 0.045 ± 0.002 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 0.010 ± 0.001 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 0.006 ± 0.001 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 0.005 ± 0.001 <sup>n</sup>
6	<sup>b</sup> 0.033 ± 0.002 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 0.008 ± 0.001 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 0.006 ± 0.001 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 0.006 ± 0.001 <sup>n</sup>
7	<sup>b</sup> 0.039 ± 0.008 <sup>n</sup>	<sup>c</sup> 0.006 ± 0.001 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 0.005 ± 0 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 0.006 ± 0.001 <sup>n</sup>
8	<sup>c</sup> 0.021 ± 0.005 <sup>n</sup>	<sup>d</sup> 0.003 ± 0 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 0.003 ± 0 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 0.003 ± 0 <sup>n</sup>
9	<sup>c</sup> 0.025 ± 0.004 <sup>n</sup>	<sup>d</sup> 0.003 ± 0 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 0.004 ± 0 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 0.003 ± 0 <sup>n</sup>

หมายเหตุ : ด้วยภาษาไทย (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในแถวมีความแตกต่างกัน  
อย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

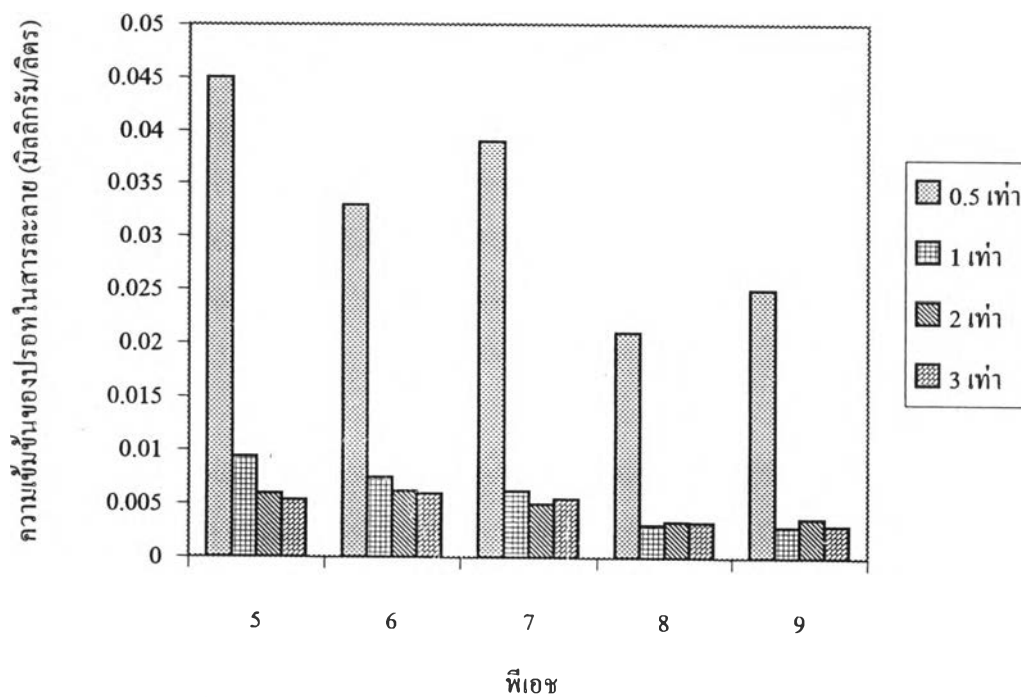
ด้วยภาษาอังกฤษ (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์  
มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

#### 4.5.1 การหาพีเอชที่เหมาะสม

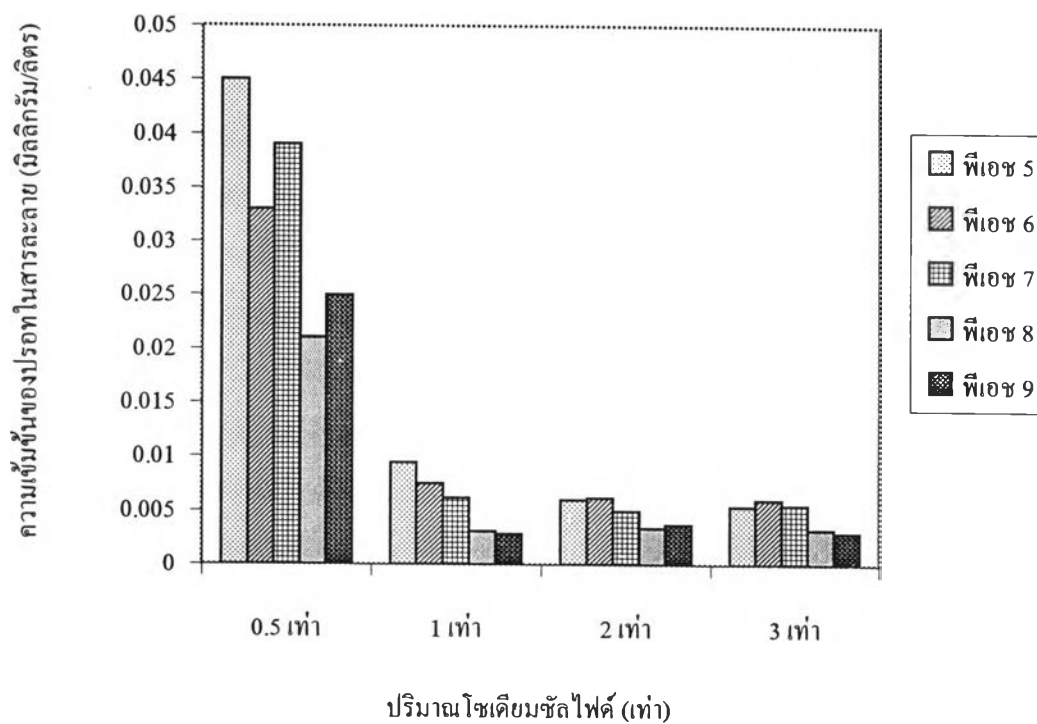
ผลการตกตะกอนปรอทที่ระดับพีเอช 5-9 พบว่าทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลงได้ โดยมีความเข้มข้นของปรอทแตกต่างกันตามระดับพีเอช นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบความแปรปรวนของความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอชต่างๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอชต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย เพื่อหาว่าความเข้มข้นของปรอทที่พีเอชคู่ใดแตกต่างกัน ดังนี้

##### 1. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอช 8 และ 9 (0.021 และ 0.025 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับพีเอช 6 และ 7 (0.033 และ 0.039 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ทุกระดับพีเอชมีความเข้มข้นของปรอทมากกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งคือ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายภายหลังการตกตะกอนด้วยโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับพีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายภายหลังการตกตะกอนด้วยโซเดียมคลอไรด์ปริมาณต่างๆ

## 2. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอช 5, 6 และ 7 (0.010, 0.008 และ 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) แตกต่างกัน ส่วนที่พีเอช 8 และ 9 (0.003 มิลลิกรัม/ลิตร) ความเข้มข้นของปรอทไม่แตกต่างกัน แต่ที่พีเอช 8 และ 9 จะแตกต่างกับ พีเอช 5, 6 และ 7 โดยที่ระดับพีเอช 5, 6 และ 7 จะมีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าที่ระดับพีเอช 8 และ 9 ซึ่งระดับพีเอช 8 และ 9 นี้จะมีความเข้มข้นของปรอทต่ำกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

## 3. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 2 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอช 5, 6 และ 7 (0.006, 0.006 และ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับพีเอช 8 และ 9 (0.003 และ 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) โดยที่ระดับพีเอช 5, 6 และ 7 มีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าที่ระดับพีเอช 8 และ 9 ซึ่งที่ระดับพีเอช 8 และ 9 จะมีความเข้มข้นของปรอทต่ำกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

## 4. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 3 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอช 5, 6 และ 7 (0.005, 0.006 และ 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับพีเอช 8 และ 9 (0.003 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยที่ระดับพีเอช 5, 6 และ 7 มีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าที่ระดับพีเอช 8 และ 9 ส่วนที่ระดับพีเอช 8 และ 9 มีความเข้มข้นของปรอทต่ำกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการตกตะกอนโดยใช้ปริมาณ โซเดียมซัลไฟด์ 3 เท่า จะเป็นไปในลักษณะเดียวกับการใช้ปริมาณ โซเดียมซัลไฟด์ 2 เท่า

จากการทดลองต้องการทราบว่า การตกตะกอนปรอทที่ระดับพีเอชต่างๆ จะสามารถลดปริมาณปรอทในน้ำเสียให้มีค่าต่ำกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ได้หรือไม่ จึงทดสอบทางสถิติแบบ t-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5 และ 6 มีความเข้มข้นของปรอทแตกต่างจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โดยมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ ที่ระดับพีเอช 7, 8 และ 9 มีความเข้มข้นของปรอทไม่แตกต่างจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือเท่ากับ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่ไม่ได้ปรับพีเอช พบว่าการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์

ปริมาณต่างๆ มีความเข้มข้นของปรอทแตกต่างจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โดยมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (แสดงผลในภาคผนวก ข)

ในการตกตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช แต่โลหะหนักสามารถรวมตัวกับไฮดรอกไซด์ไอออนได้เป็นโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งในระหว่างปรับพีเอช ปรอทในสารละลายส่วนหนึ่งจะตกตะกอนในรูปของปรอทไฮดรอกไซด์ก่อนแล้ว แต่ก็มีเพียงเล็กน้อย เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ลงในน้ำเสียจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างปรอทไอออนกับซัลไฟด์ไอออนได้เป็นปรอทซัลไฟด์ สามารถตกตะกอนแยกออกจากสารละลายได้ เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มว่าจะตกอนที่ได้เพิ่มขึ้นด้วย (แสดงผลในภาคผนวก ข) ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลง

พีเอชเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการตกตะกอน โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.1) ในการตกตะกอนจึงต้องพิจารณาค่าพีเอชหลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยทั่วไปต้องมีพีเอชสูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ t-Test สอดคล้องกับหลักการดังกล่าว ทำให้ที่ระดับพีเอช 5 และพีเอช 6 มีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนระดับพีเอช 7, 8 และ 9 ความเข้มข้นของปรอทเท่ากับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง และน้ำเสียที่ไม่ได้ปรับพีเอชจะมีความเข้มข้นของปรอทมากกว่าที่ปรับพีเอช แต่การพิจารณาจากพีเอชเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ เพราะการตกตะกอนยังขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวช่วยตกตะกอนด้วย

#### 4.5.2 การหาปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสม

ผลการตกตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ พบว่าทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลงได้ โดยมีความเข้มข้นของปรอทแตกต่างกันไปตามปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบความแปรปรวนของความเข้มข้นของปรอทที่โซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่โซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย เพื่อหาว่าความเข้มข้นของปรอทที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์คู่ใดแตกต่างกัน ดังนี้



### 1. ระดับพีเอช 5

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่า (0.045 มิลลิกรัม/ลิตร) แตกต่างกับ 1 เท่า (0.010 มิลลิกรัม/ลิตร) ส่วน 2 และ 3 เท่า (0.006 และ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ทุกค่า ทำให้ความเข้มข้นของปรอทมากกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

### 2. ระดับพีเอช 6

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า (0.008, 0.006 และ 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับ 0.5 เท่า (0.033 มิลลิกรัม/ลิตร) แต่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ทุกค่า ทำให้ความเข้มข้นของปรอทมากกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับที่ระดับพีเอช 5

### 3. ระดับพีเอช 7

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า (0.006, 0.005 และ 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับ 0.5 เท่า (0.039 มิลลิกรัม/ลิตร) เช่นเดียวกับพีเอช 6 แต่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 2 เท่า ทำให้ความเข้มข้นของปรอทเท่ากับ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

### 4. ระดับพีเอช 8

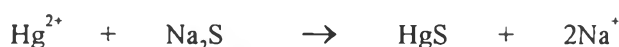
จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า (0.003 มิลลิกรัม/ลิตร) ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกับ 0.5 เท่า (0.021 มิลลิกรัม/ลิตร) เช่นเดียวกับพีเอช 6 และ 7 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า ทำให้ความเข้มข้นของปรอทต่ำกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

### 5. ระดับพีเอช 9

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า (0.003, 0.004 และ 0.003 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับ 0.5 เท่า (0.025 มิลลิกรัม/ลิตร) เช่นเดียวกับพีเอช 6, 7 และ 8 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า ทำให้ความเข้มข้นของปรอทต่ำกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับพีเอช 8

จากการทดลองต้องการทราบว่ากรดตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ จะสามารถลดปริมาณปรอทในน้ำเสียให้มีค่าต่ำกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ได้หรือไม่ จึงทดสอบทางสถิติแบบ t-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการตกตะกอนที่ระดับพีเอชต่างๆ โดยใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี มีความเข้มข้นของปรอทแตกต่างจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โดยมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนการตกตะกอนที่ระดับพีเอชต่างๆ โดยใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี มีความเข้มข้นของปรอทไม่แตกต่างจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ เท่ากับ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ t-Test พบว่าปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่า มีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า มีความเข้มข้นของปรอทเท่ากับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่อเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ลงในน้ำเสียที่มีปรอทไอออน จะเกิดปฏิกิริยาได้เป็นปรอทซัลไฟด์ ดังสมการนี้



จากสมการจะเห็นได้ว่าปรอทไอออนจะทำปฏิกิริยาโซเดียมซัลไฟด์ด้วยอัตราส่วน 1:1 และเกิดเป็นตะกอนปรอทซัลไฟด์ ดังนั้นเมื่อใช้โซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่า ทำให้มีซัลไฟด์ไอออนที่จะไปทำปฏิกิริยาน้อยกว่าปรอทไอออน ทำให้สารละลายมีปรอทเหลืออยู่มาก แต่เมื่อใช้โซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า จะทำปฏิกิริยาพอดี ดังสมการด้วยอัตราส่วน 1:1 ส่งผลให้มีความเข้มข้นของปรอทเหลืออยู่น้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เป็น 2 และ 3 เท่า ก็ให้ผลไม่แตกต่างจากเมื่อใช้ 1 เท่า เพราะปรอทไอออนทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า เท่านั้น จึงทำให้สารละลายมีโซเดียมซัลไฟด์ไอออนมากขึ้น จากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดว่าน้ำทิ้งที่มีปริมาณซัลไฟด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต้องไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้ามีสูงกว่านี้ต้องทำการบำบัดซัลไฟด์ก่อนปล่อยน้ำทิ้ง ดังนั้นการใช้โซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า จึงเหมาะสมในการตกตะกอนมากที่สุด

จากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า ของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี และระดับพีเอช 7, 8 และ 9 มีความเข้มข้นของปรอทเท่ากับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง แต่เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.12 แล้ว พบว่าการตกตะกอนด้วยปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า ที่พีเอช 7 มีความเข้มข้นของปรอท 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐาน คือ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะในการวิเคราะห์ทางสถิติจะคิดจากค่าเฉลี่ย แต่ในความเป็นจริงความ

เข้มข้นของปรอท 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่สามารถปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นพีเอช 8 และ 9 น่าจะมีความเหมาะสมมากกว่าพีเอช 7 แต่เมื่อคำนึงถึงต้นทุนในการบำบัด พีเอช 8 จึงเหมาะสมกว่าพีเอช 9 เพราะประหยัดต้นทุนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับพีเอชมากกว่า ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ คือ ระดับพีเอช 8 และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า

#### 4.5.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์

การกำจัดปรอทโดยการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์มีประสิทธิภาพสูงมาก โดยทุกระดับพีเอช และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ต่างๆ มีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่า 99% ดังแสดงในตารางที่ 4.13 เมื่อนำประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวที่ระดับพีเอชต่างๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่า ระดับพีเอช 6, 8 และ 9 ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกันกับพีเอช 5 กับ 7 ส่วนที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า พีเอช 6, 7, 8 และ 9 ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับพีเอช 5 โดยพีเอช 5 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทต่ำกว่าพีเอช 6, 7, 8 และ 9 สำหรับปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 2 และ 3 เท่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดไม่แตกต่างกัน คือ 100%

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวที่โซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ทุกค่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ระดับพีเอช 5, 6, 7, 8 และ 9 ให้ผลการวิเคราะห์เหมือนกันหมดคือ ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1, 2 และ 3 เท่า ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับ 0.5 เท่า

ในการกำจัดปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์มีประสิทธิภาพสูงมาก จากงานวิจัยของขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์ (2539) ซึ่งตกตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ พบว่าที่ระดับพีเอช 5-9 และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 0.1, 0.5, 1, 2, 3 และ 4 เท่า ทุกสภาวะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทเท่ากับ 100% คือสามารถกำจัดปรอทให้มีความเข้มข้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานได้

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอนเมื่อระดับฟิเอช และโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ

ฟิเอช	ประสิทธิภาพการกำจัดปรอท (%)			
	Na <sub>2</sub> S 0.5 เท่า	Na <sub>2</sub> S 1 เท่า	Na <sub>2</sub> S 2 เท่า	Na <sub>2</sub> S 3 เท่า
5	<sup>a</sup> 99.97 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 99.99 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>
6	<sup>b</sup> 99.98 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>
7	<sup>a</sup> 99.97 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>
8	<sup>b</sup> 99.99 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>
9	<sup>b</sup> 99.98 <sup>n</sup>	<sup>b</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>	<sup>a</sup> 100 <sup>n</sup>

หมายเหตุ : ด้วยภาษาไทย (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

ด้วยภาษาอังกฤษ (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

#### 4.6 การหาปริมาณโลหะในน้ำเสียภายหลังตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์

หลังจากตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์แล้ว นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะต่างๆ ได้แก่ นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง โคบอลต์ แคดเมียม แมงกานีส และเหล็ก โดยใช้ AAS ในการวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.14

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะต่างๆ ในน้ำเสียเริ่มต้นกับภายหลังตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ พบว่าโลหะทุกชนิดมีความเข้มข้นลดลง นิกเกิล ทองแดง แคดเมียม และแมงกานีส มีความเข้มข้นลดลงค่อนข้างมาก แต่ตะกั่ว โคบอลต์ และเหล็ก มีความเข้มข้นลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการแยกสลายด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ นอกจากสามารถกำจัดปรอทได้แล้ว ยังสามารถลดปริมาณของโลหะอื่นได้ด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่านิกเกิล ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ตะกั่วและแคดเมียม มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4.14 ปริมาณโลหะในน้ำเสียภายหลังตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า  
ที่ระดับพีเอช 8

ชนิดของโลหะ	ความเข้มข้นในน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)		ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรม
	เริ่มต้น	สุดท้าย	
นิกเกิล	0.52 ± 0.01	0.19 ± 0.012	ไม่เกิน 0.2
ตะกั่ว	0.65 ± 0.03	0.54 ± 0.025	ไม่เกิน 0.2
ทองแดง	1.89 ± 0.02	0.13 ± 0.006	ไม่เกิน 1.0
โคบอลต์	0.48 ± 0.03	0.43 ± 0.040	-
แคดเมียม	0.33 ± 0.01	0.06 ± 0	ไม่เกิน 0.03
แมงกานีส	0.58 ± 0.02	0.01 ± 0.006	ไม่เกิน 5.0
เหล็ก	0.20 ± 0.02	0.15 ± 0.010	ไม่เกิน 0.3

#### 4.7 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัด

จากผลการทดลองสภาวะที่มีความเหมาะสม นำมาศึกษาค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า ด้านสารเคมี และด้านบำบัดกากตะกอน โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้ คำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า และคำนวณค่าสารเคมีที่ต้องใช้ในการตกตะกอน แล้วนำตะกอนที่เกิดขึ้นมาคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอน โดยคิดค่าบริการตามศูนย์บริการกำจัดกากตะกอนแสมดำ และทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ร่วมกับการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์กับวิธีการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว (รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก จ)

##### - ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า

ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า คือ เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าและเครื่องกวนแม่เหล็ก ค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 320 บาท ค่าไฟฟ้าของเครื่องกวนแม่เหล็กเท่ากับ 1,200 บาท ค่าน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้า มีค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าทั้งหมด 1,520 บาท ค่าน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

- ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ในการตกตะกอนปรอทใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์ ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 217 บาท และโซเดียมซัลไฟด์ 4.95 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอน มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 221.95 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

- ค่าบำบัดกากตะกอนที่ศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ

การกำจัดปรอทโดยการตกตะกอนที่ระดับพีเอช 8 และโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า ทำให้เกิดตะกอนหนัก 0.036 กรัม ต่อน้ำเสีย 100 มิลลิเมตร ถ้าน้ำเสียปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จะเกิดตะกอน 0.36 กิโลกรัม ดังนั้นค่าบำบัดกากตะกอนเท่ากับ 0.83 บาท

ในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าร่วมกับการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า ด้านสารเคมี และค่าบำบัดกากตะกอน รวมทั้งหมด 1,742.78 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ถ้ากำจัดปรอทโดยการตกตะกอนเพียงวิธีเดียว จะต้องเสียค่าใช้จ่ายดังนี้

- ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียเริ่มต้น 8,385 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 217 บาท และโซเดียมซัลไฟด์ 293.58 บาท ดังนั้นการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอน มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 510.58 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

- ค่าบำบัดกากตะกอนที่ศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียเริ่มต้น 8,385 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำมาตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์เพียงอย่างเดียว จะทำให้เกิดตะกอนประมาณ 21.26 กิโลกรัม ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ค่าบำบัดกากตะกอนเท่ากับ 49.37 บาท

ดังนั้นการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอนเพียงวิธีเดียว ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี และค่าบำบัดกากตะกอน ทั้งหมด 559.95 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัด จะคำนวณเฉพาะค่าไฟฟ้า ค่าสารเคมี และค่าบำบัดกากตะกอน ไม่ได้คำนวณถึงต้นทุนทั้งหมดในการบำบัด เพราะการทดลองนี้เป็นการ

ทดลองขนาดเล็ก เพื่อทดสอบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติมากน้อยแค่ไหน ชนิด และขนาดอุปกรณ์ จึงยังไม่เหมาะสมเพียงพอ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายในการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าร่วมกับการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์กับวิธีการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว พบว่าการแยกสลายด้วยไฟฟ้าร่วมกับการตกตะกอนจะเสียค่าใช้จ่ายสูงมากถึง 1,743 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร แต่ถ้าใช้วิธีการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว จะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 560 บาท การแยกสลายด้วยไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าสูงมาก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดมากกว่าวิธีการตกตะกอนเพียงอย่างเดียวประมาณ 3 เท่า แม้ว่าการแยกสลายด้วยไฟฟ้าจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงมาก แต่ก็สามารถนำปรอทที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.99% กลับคืนมาได้มากถึง 8.32 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ถ้านำมาใช้ประโยชน์ ก็น่าจะทำให้เกิดผลตอบแทนที่คุ้มค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป อีกทั้งตะกอนที่เกิดจากการบำบัดโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าร่วมกับการตกตะกอนจะมีน้อยมากเพียง 0.36 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดโดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีตะกอนเป็นจำนวนมากถึง 21.26 กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าวิธีการแรกประมาณ 60 เท่า

การจัดการของเสียไม่ว่าวิธีใดก็ตาม ควรมีกากของเสียที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดในรูปที่ไม่เป็นพิษและมีปริมาณน้อยที่สุด เพื่อสะดวกในการฝังกลบ แม้ว่าตอนนี้การฝังกลบยังมีราคาที่ไม่สูงและไม่ยุ่งยากมากนัก แต่ในอนาคตมีแนวโน้มว่าจะมีราคาที่สูงขึ้นอีกทั้งมีความเข้มงวดมากขึ้น อาจเนื่องจากพื้นที่รองรับกากตะกอนมีน้อยลง แต่กากตะกอนกลับมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาที่ต้องแก้ไขกันอีกมากมาย ดังนั้นจึงควรที่จะป้องกันไม่ให้เกิดปัญหานี้ขึ้น โดยทำให้มีกากตะกอนหลังการบำบัดน้อยที่สุดเพื่อประหยัดพื้นที่ในการฝังกลบ

งานวิจัยนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ถ้าพิจารณาในด้านคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว อาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่ถ้าพิจารณาในด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว งานวิจัยนี้ให้ประโยชน์เป็นอย่างมาก เพราะเป็นแนวทางในการกำจัดของเสียในรูปแบบของเทคโนโลยีที่สะอาด (clean technology) ซึ่งแนวทางนี้ในต่างประเทศให้ความสนใจมาก คาดว่าในอนาคตอันใกล้นี้ แนวทางนี้น่าจะเป็นที่สนใจของประเทศไทยมากขึ้น การลงทุนในตอนนี้แม้ว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก แต่เป็นการลงทุนที่คุ้มค่าและมีประโยชน์ในระยะยาวต่อสิ่งแวดล้อม เพราะถ้าปล่อยให้สิ่งแวดล้อมเกิดความเสียหายแล้ว อาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากกว่านี้ อีกทั้งไม่สามารถทำให้สิ่งแวดล้อมกลับคืนมาได้เหมือนเดิม แม้ว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากเพียงใดก็ตาม