

## การกำจัดเงินในน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติก

### The Silver Removal from X-ray Waste by Electrolytic

พนิดา สามพรานไพบุลย์ สุภาภรณ์ ล่องลอย และ กัญติศา นิยม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดเงินน้ำยาจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกโดยทำการศึกษาค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสีย ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเงิน ซึ่งใช้ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ยอมรับได้ในนิคมอุตสาหกรรมและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นเกณฑ์ในการหาสภาวะที่เหมาะสม ตลอดจนถึงศึกษาถึงการสลายตัวของขั้วอิเล็กโทรดและชนิดของสารประกอบในตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัด ผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเงินด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกโดยใช้น้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์เจือจาง โดยมีเงินเริ่มต้น 9.87 ppm ค่า pH เริ่มต้น = 4 ใช้แผ่นเหล็กเป็นอิเล็กโทรด ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 1.18 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณเงินเหลืออยู่ในน้ำ 0.66 ppm ซึ่งคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัดเงินในงานวิจัยนี้มีค่าใช้จ่ายประมาณ 2.25 บาทต่อน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ผลการวิจัยนี้ยังพบว่า เมื่อทำการกำจัดเงินด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าที่สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จะมีการสลายตัวของแผ่นเหล็กจากขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง ซึ่งเมื่อนำตะกอนที่เกิดขึ้นหลังจากการบำบัดภายใต้สภาวะนี้ไปวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) จะพบสารประกอบ 3 ชนิดคือ maghemite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), goethite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) และ  $\text{Ag}_3\text{Fe}_2$

*คำสำคัญ:* เงิน น้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ กระบวนการอิเล็กโทรไลติก

#### Abstract

This research aimed to study the optimum conditions for electrolytic silver recovery from X-ray waste. Factors that affect the efficiency of silver removal were calculated with the initial pH, the voltage and the operation time. In addition, the electrode consumptions and the main compounds of the precipitated sludge occurred from the reaction were also studied. The criteria used for determining the optimum conditions were based on the effluent standards of most industrial estates and the electricity expense. The results from this study showed that the electrolytic could effectively remove silver in diluted used radiographic fixer under the conditions of low pH (pH = 4) using iron plates as anode and cathode, the voltage was 2.5 V, and the operation time was 30 minutes. Under these

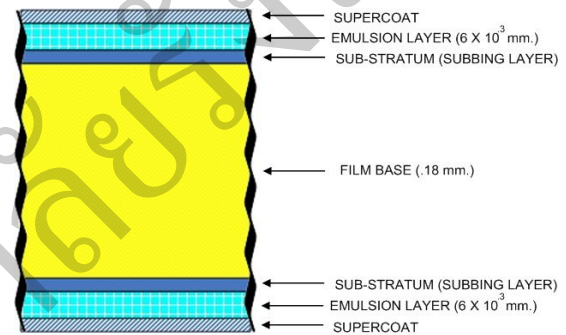
conditions, the concentrations of silver in diluted wastewater were decreased to 0.66 ppm, from the initial concentrations of 9.87 ppm. In addition, the electricity expense for the silver ion removal of diluted used radiographic fixer waste in this study was about 2.25 baht/m<sup>3</sup>. The results from this study also demonstrated that, under the above optimum conditions, the iron electrode plates were lost during reaction. The X-ray diffractometric analysis of the precipitated sludge in the electrochemical process revealed the three main compounds of the precipitated sludge to be maghemite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), goethite (Fe(OH)<sub>3</sub>) and Ag<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>

**Keywords:** silver X-ray waste electrolytic

## 1. บทนำ

เนื่องจากการล้างฟิล์มเอกซเรย์ที่มีอยู่ในโรงพยาบาลนั้นมีเงินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญได้ถูกชะล้างออกไปเป็นจำนวนมาก เงินที่ปะปนอยู่ในน้ำยาล้างฟิล์มก็ต้องถูกทิ้งไปเป็นจำนวนมาก เป็นการสูญเสียทรัพยากรไปอย่างน่าเสียดาย เนื่องจากไม่มีเครื่องแยกเงินที่ปนอยู่นั้นออกมา และยังเป็นการทำลายสภาวะแวดล้อมอย่างรุนแรงอีกด้วย หากสามารถแยกเงินนั้นออกมาแล้วนำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพที่เหมาะสม ก็จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น นำไปใช้ในการผลิตเครื่องประดับหรือใช้เป็นส่วนประกอบในการอุดฟันในวงการแพทย์หรือเป็นเครื่องมือในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เพราะเงินที่แยกมาได้นี้จะมีความบริสุทธิ์สูงและราคาแพง (Gould and Miller, 1984) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดเงินในน้ำยาล้างฟิล์มเอกซเรย์จากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติก และคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัดเงิน

ส่วนประกอบของฟิล์มเอกซเรย์แสดงดังรูปภาพที่ 1



รูปภาพที่ 1 ส่วนประกอบของฟิล์มเอกซเรย์

ก. Film Base ในยุคเริ่มแรกในการผลิตฟิล์มสำหรับถ่ายภาพ ได้มีการพัฒนาการใช้ชั้นของฟิล์มต่างๆ กัน ในยุคเริ่มแรกใช้กระดาษเป็นชั้น จากนั้นได้พัฒนามาใช้ชั้นเป็นสารพวกไนเตรดซึ่งมีข้อเสียตรงที่สารชนิดนี้ติดไฟได้ง่าย ภายหลังได้มีการพัฒนามาใช้ชั้นเป็นสารพวก Cellulose Tri-Acetate ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นหลายประการและล่าสุดใช้สารโพลีเอสเตอร์แทน ซึ่งมีความเหนียวไม่ฉีกขาดง่าย ไม่ติดไฟ ไม่ยืดหรือหด ทำให้รักษาขนาดของฟิล์มคงที่เสมอ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติให้แสงทะลุผ่านได้ดี โดยปกติแล้วชั้นของฟิล์มจะมีความหนาประมาณ 0.18 มิลลิเมตร

ข. Sub-stratum Layer หรือ Subbing Layer เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดชั้นอิมัลชันเข้ากับชั้นฟิล์ม

ค. Emulsion Layer ชั้นนี้ประกอบด้วยผลึกของเงินเฮไลด์ (Silver Halide Grain) ผสมกับเจลาติน (Gelatin) เงินเฮไลด์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ พวกเงินโบรไมด์ (AgBr) เงินคลอไรด์ (AgCl) และ เงินไอโอไดด์ (AgI) ชั้นนี้หนา 0.006 mm โดยเงินโบรไมด์เป็นเงินเฮไลด์ที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตทั้งฟิล์มถ่ายภาพและฟิล์มเอ็กซ์เรย์ รวมทั้งผลิตกระดาษโบรไมด์ สำหรับใช้ในด้านการอัดภาพขยาย โดยปกติแล้วมักจะผสมเงินคลอไรด์ หรือเงินไอโอไดด์ด้วยในปริมาณเล็กน้อย กระดาษอัดภาพบางชนิดก็ถูกฉาบด้วยส่วนผสมของเงินโบรไมด์ และเงินคลอไรด์ ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า กระดาษคลอโรโบรไมด์ ซึ่งให้ภาพน้ำตาลดำ

น้ำยาล้างฟิล์ม ประกอบด้วย Developer และ Fixer โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

#### ก. ส่วนประกอบของ Developer

1. Metal – Hydroquinone (Pinioned ใน Automatic Processing)

2. Sodium Carbonate (Sodium Hydroxide, Potassium Carbonate, Potassium Hydroxide) ทำตัวเป็น Accelerator ช่วยเร่งปฏิกิริยาของ Metal และ hydroquinone ใช้ทำงานที่ pH ประมาณ 10 – 11.5

3. Restraimer ใช้ KBr หรือ Benzotriazole ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาไม่ให้ Metal และ Hydroquinone ทำปฏิกิริยากับ Ag – Halide Grain ที่ไม่โดนแสง

4. Preservative เนื่องจาก Developer Oxidize ได้ง่ายเมื่อโดน  $O_2$  ในอากาศ เพื่อให้ใช้ได้ นาน และน้ำยาไม่เปลี่ยนสีต้องปิดฝาถังไว้เสมอ รวมทั้งใส่สารเพื่อให้เกิด Oxidation ลดน้อยลง Preservative ที่ใช้ได้แก่  $NaSO_3$

5. Solvent – Water

6. Buffer Solution เพื่อช่วยปรับสภาพการเป็นกรด – ด่าง ของน้ำยาให้คงที่ Buffer Agent ที่ใช้จะ

ใช้เป็นคู่คือ Sodium Carbonate ร่วมกับ Sodium Bicarbonate หรือ Boric Acid ร่วมกับ Sodium hydroxide

#### ข. ส่วนประกอบของสารเคมีใน Fixer

1. Sodium Thiosulphate ร่วมกับ Silver Bromide กลายเป็น Sodium Salt ของ Monoargento Dithiosulphuric Acid ร่วมกับ Sodium Bromide Compound Salt เกือบนี้ละลายน้ำได้ทำให้ละลายหลุดออกจากฟิล์ม Base ไป

2. Acid คือ Sodium Thiosulphate จะทำงานได้ Activity สูง เมื่ออยู่ในภาวะเป็นกรด อีกทั้งในสภาพเช่นนี้ จะหยุดปฏิกิริยาของ Developer ลงด้วย กรดที่ใช้ คือ Acetic Acid การใช้กรดแรงกว่านี้จะทำให้ Thiosulphate รวมตัว ทำให้ตกตะกอน Sulphur ได้

3. Stabilizer Sodium Sulphite เพื่อป้องกันการ Decompose ของ Thiosulphate Buffer ใช้ Acetic Acid ผสมกับ Sodium Acetate

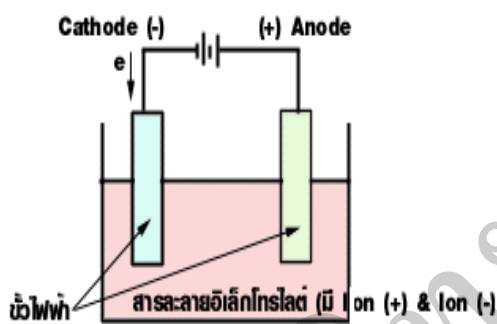
4. Hardener Emulsion Layer ของ film เมื่อดูน้ำมาก ๆ ขณะล้างฟิล์มจะบวมตัวขึ้นหนาหลายเท่าของขณะที่แห้ง ๆ ดังนั้นเพื่อป้องกัน Physical Damage จึงต้องใช้ Hardener ช่วย สารเคมีที่ใช้คือ Chrome Alum หรือ Potassium Alum ซึ่งประโยชน์จากการเพิ่ม Hardener ลงใน Fixer คือ สามารถใช้ Drier ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อต้องการให้ฟิล์มแห้งเร็ว เวลาการอบแห้งลดลงและไม่มีการถูกทำลายบนผิวของแผ่นฟิล์ม

5. ตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำ

6. Anti – Sludging Agent ป้องกันการเกิดตะกอนลอยขาวๆ เนื่องจากระดับ pH สูงเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ hardener ร่วมด้วย Anti-Sludging Agent ที่ใช้คือ Boric Acid

กระบวนการอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic) หรือเรียกว่า การแยกสลายด้วยกระบวนการอิเล็ก

โทรไลติกเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า กระทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยการผ่านไฟฟ้า กระแสตรงจากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป (Allmand 1931 and Berger 1987) โดยอุปกรณ์ที่ใช้แยกสารละลายด้วยไฟฟ้า เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Cell) ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปภาพที่ 2 (Freeman, 1989)



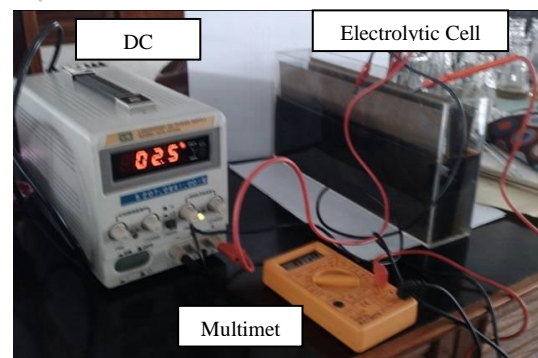
รูปภาพที่ 2 ส่วนประกอบกระบวนการอิเล็กโทรไลติก

## 2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดเงินในน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติก ได้แก่ ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสม ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม ผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมและการสลายตัวของขั้วอิเล็กโทรดและคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัดเงิน

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

เตรียมชุดอุปกรณ์การวิจัย แสดงดังรูปภาพที่ 3 โดยยึดแผ่นเหล็กจำนวน 2 แผ่นกับราวเหล็กที่หุ้มฉนวน แล้ววางในกล่องพลาสติกอะคริลิกซึ่งป็นภาชนะที่ทำการวิจัยขนาดกว้าง 5.5 cm ยาว 30 cm สูง 15 cm ต่อขั้วไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) โดยแผ่นเหล็กขนาด 295 mm x 140 mm x 1.5 mm ที่ต่อกับขั้วลบทำหน้าที่เป็นแคโทด และแผ่นเหล็กที่ต่อกับขั้วบวกทำหน้าที่เป็นแอโนด มีระยะห่างกัน 5 cm ทำการต่อเครื่องวัด Multimeter ที่ขั้วแคโทดและขั้วแอโนดเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า ป้องกันการลัดวงจรและบันทึกผลการวิจัย ซึ่งก่อนทำการวิจัยให้นำแผ่นเหล็กไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 5% v/v เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วล้างคราบตะกอนออกด้วยน้ำสะอาด จากนั้นเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาดจึงสามารถนำไปใช้งานได้



รูปภาพที่ 3 ชุดอุปกรณ์และการติดตั้งที่ใช้ในการวิจัย

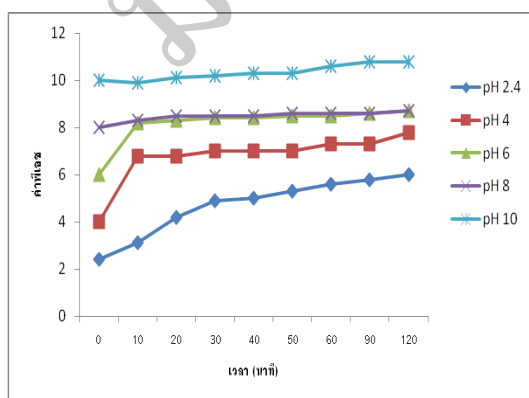
ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาถึงสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดเงินด้วยการใช้ของเสียจากน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ในโรงพยาบาลสงขลาที่มีความเข้มข้นเงินเริ่มต้นประมาณ 1,000 ppm และ pH = 4 ซึ่งในการทดลองต้องนำมาเจือจาง 100 เท่าด้วยน้ำกลั่นเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงมากเกินไป ปริมาตร 1.5 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่ทำการวิจัย จากนั้น

ทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อเกิดปฏิกิริยาตามหลักการของกระบวนการอิเล็กโทรไลติก สภาวะที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ ค่า pH เริ่มต้นที่ 2.4, 4, 6, 8 และ 10 ทำการปรับ pH ด้วยสารละลาย NaOH 1.5 mol/L และสารละลายกรด HCl 25 %v/v เพื่อให้ได้ค่า pH ที่ต้องการ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาทีจากนั้นนำค่าปริมาณเงินซึ่งอยู่ในรูปของไอออนที่เหลือจากการกำจัดไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ยอมรับได้ในนิคมอุตสาหกรรมคือ 1.0 ppm เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะที่เหมาะสม และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเงินที่ลดลง การสลายตัวของซัลไฟด์อิเล็กโทรด ศึกษาชนิดของสารประกอบในตะกอนที่เกิดขึ้นจากการกำจัดเงินจากน้ำเสียด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกเพื่อหาประสิทธิภาพ และคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัดเงินด้วย

#### 4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

##### 4.1 ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสม

จากการนำน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์มาทำการปรับค่า pH เริ่มต้นเป็น 2.4, 4, 6, 8 และ 10 จะพบว่าที่แต่ละค่า pH เริ่มต้น เมื่อสิ้นสุดการวิจัย (ใช้ระยะเวลา 120 นาที) จะมีค่า pH สุดท้ายเพิ่มขึ้นเป็น 6, 7.8, 8.7, 8.7 และ 10.8 ตามลำดับ แสดงดังรูปภาพที่ 4



**รูปภาพที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา เมื่อปรับค่า pH เริ่มต้นค่าต่างๆ เพื่อกำจัดเงินในของเสียโรงพยาบาลด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 V

จากรูปภาพที่ 4 ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยที่ค่า pH เริ่มต้นต่ำ (สภาพเป็นกรด) ได้แก่ 2.4, 4 และ 6 พบว่า ในระยะแรกของการวิจัย ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรก แล้วจึงเริ่มมีแนวโน้มคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงท้ายการวิจัย ส่วนในการวิจัยที่มีการปรับค่า pH เริ่มต้นสูง (สภาพเป็นด่าง) คือ 8 และ 10 ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการวิจัยเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อทำการแปลงค่า pH เป็นค่าความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) ตามความสัมพันธ์

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (1)$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} \quad (2)$$

การที่ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก็เนื่องมาจากการเกิด  $\text{OH}^-$  ในของเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งมาจากการเกิดปฏิกิริยาของแผ่นขั้วไฟฟ้าที่บริเวณขั้วแคโทด นั่นคือ เมื่อโมเลกุลของน้ำรับอิเล็กตรอนจากขั้วอิเล็กโทรด จะทำให้ปริมาณ  $\text{OH}^-$  เกิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า pH ของน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการเกิด  $\text{OH}^-$  จะมีแนวโน้มเข้าสู่จุดสมดุล คือ ที่ค่า pH ต่ำ (มีความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$ ) ปริมาณไฮดรอกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่ค่า pH สูง (มีความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  สูง) ปริมาณ  $\text{OH}^-$  จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่เนื่องจากระยะเวลาที่ทำกรวิจัยไม่มากพอ ทำให้ความเข้มข้นสุดท้ายของไฮดรอกไซด์ยังไม่ถึงจุดสมดุล และนอกจากนี้  $\text{OH}^-$  ยังส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการสร้างตะกอนแข็งของ  $\text{OH}^-$  ด้วย เช่น  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{AgOH}$  เป็นต้น ทำให้เกิดเป็นตะกอนสีดำนในขณะทำการวิจัย ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยในการกำจัดเงินออกจากของเสียนั้นเอง

น้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์มีลักษณะเป็นสารละลายใส ไม่มีสี เมื่อนำมาเจือจางแล้วจะมีปริมาณ

เงินเริ่มต้น 9.87 ppm และมีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 4.0 โดยต้องการปรับค่า pH เริ่มต้นให้มีค่า 2.4 (ซึ่งเป็นค่า pH ต่ำที่สุดที่สามารถปรับได้), 6, 8 และ 10 ด้วยสารละลาย HCl ที่ความเข้มข้น 25 %v/v และสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 1.5 mol/L เมื่อทำการปรับค่า pH เริ่มต้นได้แล้วจึงทำการวัดปริมาณเงินที่เปลี่ยนแปลงไปจากการปรับค่า pH เริ่มต้น 4.0 และปริมาณเงินเริ่มต้น 9.87 ppm จากผลการวิจัยพบว่า น้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์มีลักษณะเป็นสารละลายใส ไม่มีสี แต่เมื่อทำการปรับค่า pH เริ่มต้นให้มีสภาพเป็นกรดและต่าง จะมีตะกอนสีขาวเกิดขึ้นแล้วละลายไป จนถึงจุดหนึ่งตะกอนดังกล่าวจะไม่ละลาย ทำให้น้ำเสียนั้นมีลักษณะเป็นสารละลายที่มีสีขาวขุ่นและพบว่าปริมาณเงินที่เหลือภายหลังจากการปรับค่า pH เริ่มต้นมีปริมาณลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการปรับค่า pH ให้สูงขึ้น (มีสภาพเป็นด่าง) และมีปริมาณเหลือน้อยมาก อันเป็นผลมาจากกลไกการสร้างตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation) ซึ่งการตกตะกอนผลึกทางเคมีถือเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียวิธีหนึ่งโดยมีหลักการคือ การเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสียเพื่อเปลี่ยนสภาพของสารมลพิษต่างๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลาย (Soluble) ให้เปลี่ยนเป็นตะกอนผลึกที่อยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble) โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ ค่า pH นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีไอออนหนักปนเปื้อนอยู่ เช่น โรงงานชุบโลหะ หรือโรงงานแบตเตอรี่ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาปริมาณเงินที่เหลือในน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ภายหลังจากการปรับค่า pH เริ่มต้น จะพบว่าเมื่อมีการปรับค่า pH เริ่มต้นให้มีค่าสูงขึ้น (ด่าง) เป็น 6, 8 และ 10 โดยใช้สารละลาย NaOH เป็นสารปรับค่า pH ปริมาณเงินที่เหลือมีแนวโน้มลดลงไม่มากนักโดยมีค่า 8.42 ppm, 8.16 ppm และ 8.11 ppm ตามลำดับ แต่

เมื่อทำการปรับค่า pH สภาพจะเป็นกรดให้ต่ำลงด้วยสารละลาย HCl พบว่าปริมาณเงินที่เหลือในน้ำเสียนั้นมีปริมาณลดลงถึงครึ่งหนึ่งโดยมีค่าเพียง 3.99 ppm เท่านั้น ซึ่งจากการวิจัยปรับค่า pH เริ่มต้นแล้ว พบว่าปริมาณเงินที่เหลือในน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ยังมีปริมาณสูงกว่าค่าสูงสุดของเงินในน้ำทิ้งที่นิคมอุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือ มีค่าไม่เกิน 1.0 ppm (ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการวิจัยนี้) จึงต้องนำน้ำเสียดังกล่าวไปทำการวิจัยบำบัดด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าต่อไป หลังจากนั้นนำน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่ผ่านการปรับค่า pH เริ่มต้นแล้วไปบำบัดด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกโดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ เป็นระยะเวลา 120 นาที เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที

จากการวิจัยข้างต้นพบว่า หลังจากใช้เวลา 30 นาที ที่ค่า pH เริ่มต้น 2.4 และ 10 จากปริมาณเงินที่เริ่มต้น 3.99 ppm และ 8.11 ppm ตามลำดับ มีปริมาณเงินลดลงเป็น 0.63 ppm และ 0.76 ppm ตามลำดับ ส่วนที่ค่า pH เริ่มต้น 4, 6 และ 8 ซึ่งมีปริมาณเงินเริ่มต้น 9.87 ppm, 8.42 ppm และ 8.16 ppm ตามลำดับ ปริมาณเงินที่เหลือหลัง 30 นาที จะมีปริมาณน้อยมากคือ ต่ำกว่า 0.25 ppm ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของเงินต่ำสุดที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบในการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy ทำให้ค่าปริมาณเงินที่วัดได้มีความไม่แน่นอนจึงใช้ค่า 0.25 ppm และนำข้อมูลที่ได้อามาหาประสิทธิภาพในการกำจัดเงินที่ค่า pH เริ่มต้นต่างๆ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากันที่ 30 นาที (โดยที่ค่า pH เริ่มต้นเป็น 4, 6 และ 8 จะใช้ค่าปริมาณเงินที่เหลืออยู่เป็น 0.25 ppm) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเงินเป็น 84.21%, 97.47%, 97.03%, 96.94% และ 90.63% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่ค่า pH เริ่มต้นเป็น 4 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเงินสูงสุด และที่ค่า pH

เริ่มต้นเป็น 2.4 ซึ่งมีสภาพเป็นกรดสูงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเงินต่ำสุด

#### 4.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

นอกจากนี้การปรับค่า pH เริ่มต้นของน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการกำจัดเงินด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้ายังมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมด้วย โดยปริมาณเงินที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเมื่อทำการวิจัยที่เวลาต่างๆ ที่ทุกค่า pH เริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ทำให้เหลือปริมาณเงินต่ำกว่าค่าสูงสุดของเงินในน้ำทิ้งที่นิคมอุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือ มีค่าไม่เกิน 1.0 ppm พบว่าที่ค่า pH เริ่มต้นเป็น 2.4, 4, 6, 8 และ 10 จะต้องใช้ระยะเวลาเป็น 30, 20, 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่ค่า pH เริ่มต้นเป็น 6 การกำจัดเงินด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าเคมีเพื่อให้เหลือเงินในปริมาณที่ยอมรับได้จะใช้เวลาน้อยที่สุดคือ 10 นาทีเท่านั้น

ตารางที่ 1 ปริมาณเงินที่เหลือในน้ำเสียเมื่อทำการกำจัดเงินด้วยกระบวนการ ไฟฟ้าเคมี ที่ค่า pH เริ่มต้น 2.4, 4, 6, 8 และใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 V

เวลา (นาที)	ปริมาณเงิน (ppm) ที่ค่า pH เริ่มต้น				
	pH 2.4	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0	3.99	9.87	8.42	8.16	8.11
10	3.18	4.76	0.85	1.35	1.49
20	1.75	0.63	< 0.25*	0.29	1.1
30	0.63	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	0.76
40	0.47	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	0.29
50	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	0.27
60	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*
90	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*
120	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*	< 0.25*

หมายเหตุ ปริมาณเงินที่มีเครื่องหมาย \* หมายถึง มีปริมาณต่ำกว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้เทียบวัด จึงมีความไม่แน่นอนสูง

จากตารางที่ 1 พบว่าที่ค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 6 จะใช้เวลาในการกำจัดเงินในน้ำเสียด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาร่วมกับผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเงินจากน้ำเสียการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ค่า pH เริ่มต้น 2.4, 4, 6, 8 และ 10 พบว่า ที่ค่า pH เริ่มต้น 6 มีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดเงินสูงถึง 97.03% ดังนั้นจึงถือเป็นค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสม

#### 4.3 ผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมและการสลายตัวของขั้วอิเล็กโทรด

ในการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาปริมาณเงินที่เหลือในน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกโดยศึกษาถึงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม แล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้า คือ เมื่อทำการบำบัดด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าแล้วจะมีปริมาณเงินเหลืออยู่ในน้ำเสียน้อยกว่าค่าสูงสุดของเงินในน้ำทิ้งที่นิคมอุตสาหกรรมกำหนดไว้ นอกจากนี้การวิจัยในขั้นตอนนี้จะศึกษาถึงการสลายตัวของขั้วอิเล็กโทรดด้วย

ในขั้นตอนนี้จะทำการวิจัยโดยการเตรียมของเสียในโรงพยาบาลที่ได้จากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 100 เท่า ซึ่งพบว่ามีความเข้มข้นของเงิน 9.87 ppm และค่า pH เท่ากับ 4 (เป็นค่าที่ไม่ต้องปรับ pH) โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 3 ค่า คือ 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การวิจัยกำจัดเงินที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 โวลต์ เมื่อสิ้นสุดการวิจัยจะมีปริมาณเงินเหลืออยู่ 0.575 ppm ส่วนการกำจัดเงินโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 และ 3.5 โวลต์ จะมีปริมาณเงินเหลืออยู่ในน้ำเสียน้อยกว่า 0.25 ppm ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของเงินต่ำสุดที่ใช้เป็น

ตัวเปรียบเทียบในการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

จากการวิจัยข้างต้น พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณเงินที่เหลืออยู่หลังผ่านกระบวนการกำจัดเงินด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้ามีค่าไม่เกิน 1.0 ppm เมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ เป็น 90, 30 และ 30 นาที ตามลำดับ

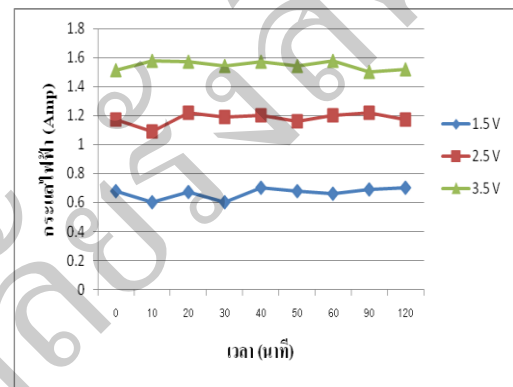
ตารางที่ 2 ปริมาณเงินที่เหลืออยู่หลังกำจัดเงินในของเสียในโรงพยาบาลด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติก ณ เวลาต่างๆ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ ค่า pH เริ่มต้น 4.0 และปริมาณเงินเริ่มต้น 9.87 ppm

เวลา (นาที)	ปริมาณเงิน (ppm) ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า		
	1.5 โวลต์	2.5 โวลต์	3.5 โวลต์
0	9.87	9.87	9.87
10	5.32	4.26	2.88
20	2.77	1.07	1.11
30	2.62	0.66	0.3
40	2.22	< 0.25*	< 0.25*
50	2.035	< 0.25*	< 0.25*
60	1.595	< 0.25*	< 0.25*
90	0.59	< 0.25*	< 0.25*
120	0.575	< 0.25*	< 0.25*

หมายเหตุ ปริมาณเงินที่มีเครื่องหมาย \* หมายถึง มีปริมาณต่ำกว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้เทียบวัด จึงมีความไม่แน่นอนสูง

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยทั้งการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทั้งสามและระยะเวลาที่เหมาะสม ควรใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำและระยะเวลาน้อยเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย โดยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ควรใช้ในการกำจัดเงินในกำจัดเงินในน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์โรงพยาบาลด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกคือใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที

เมื่อพิจารณาที่แต่ละค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่จะมีแนวโน้มสูงขึ้นคือ 0.67, 1.18 และ 1.55 Amp ตามลำดับ ดังรูปภาพที่ 5 และพบว่าที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 และ 2.5 โวลต์ เมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาผ่านไปจนเมื่อปฏิกิริยาเคมีในระบบเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว กระแสไฟฟ้าจะมีแนวโน้มคงที่



รูปภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในการกำจัดเงินกับเวลา เมื่อปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ ที่ค่า pH เริ่มต้น 4.0 ที่ปริมาณเงินเริ่มต้นมีค่า 9.87 ppm

จากการวิจัยการกำจัดเงินจากน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ในโรงพยาบาลด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกโดยใช้ขั้วเหล็กเป็นทั้งขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ที่มีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 4 และทำการวิจัยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ จะสามารถวัดปริมาณเงินที่เหลืออยู่หลังการกำจัดและคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดเงินได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพในการกำจัดเงินที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 และ 3.5 โวลต์ เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากันคือ 30 นาที กระบวนการที่ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเงินสูงกว่าด้วย เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3 พบว่าที่



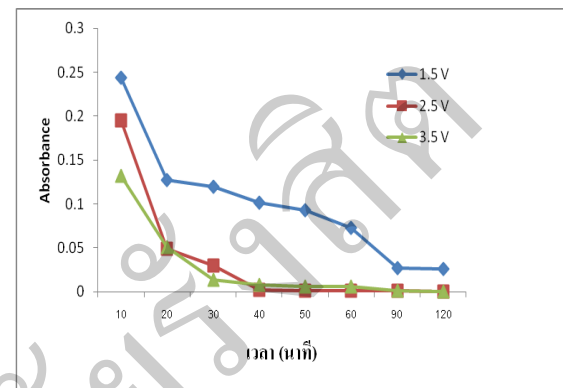
แต่ละสภาวะ คือ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 , 2.5 และ 3.5 โวลต์ จะสามารถกำจัดเงินที่อยู่ในน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์เจือจางให้มีปริมาณเงินต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ของนิคมอุตสาหกรรมบางแห่ง คือ มีค่าไม่เกิน 1.0 ppm ได้ ดังนั้นวิธีการบำบัดนี้จึงถือเป็นวิธีการที่สามารถกำจัดเงินได้ดี

ตารางที่ 3 ปริมาณเงินที่เหลืออยู่ในของเสียหลังการกำจัดเงินด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าที่เวลา 30 นาที ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	เวลาที่ใช้ใน การทำ ปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณเงิน (ppm)		ประสิทธิภาพ ในการกำจัด เงิน (%)
		เริ่ม ต้น	สุด ท้าย	
1.5 โวลต์	30	9.87	2.62	73.45
2.5 โวลต์	30	9.87	0.66	93.31
3.5 โวลต์	30	9.87	0.3	96.96

จากการวิจัยทำการสร้างกราฟแสดงปริมาณเงิน (กราฟเทียบเคียงโดยใช้ค่า Absorbance) ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นทำปฏิกิริยา ปริมาณเงินเริ่มต้นจะมีค่า 9.87 ppm ซึ่งทำให้กราฟทั้งสามเส้นทับกันพอดี จึงมองเห็นเส้นกราฟไม่ชัดเจน ดังนั้นในการสร้างกราฟนี้ จะเริ่มต้นสร้างกราฟที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไป ตั้งแต่ 10 นาทีแรกเป็นต้นไป และจากรูปภาพที่ 6 จะพบว่า การวิจัยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ จะมีอัตราการลดลงของปริมาณเงินในน้ำเสียอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลา 90, 30 และ 30 นาทีแรก ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ จากนั้นปริมาณเงินจะลดลงด้วยอัตราที่ต่ำลงจนกราฟเกือบจะเป็นเส้นตรง คือ ไม่มีการลดลงของปริมาณเงินมากนัก ดังนั้นจึงถือว่า

วิธีการนี้สามารถกำจัดเงินจากของเสียในโรงพยาบาลได้ดี



รูปภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance ที่เปลี่ยนแปลงไปในการกำจัดเงินด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้ากับเวลา เมื่อปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 , 2.5 และ 3.5 โวลต์ ที่ค่า pH เริ่มต้นเป็น 4.0 และปริมาณเงินเริ่มต้นเป็น 9.87 ppm

จากการวิจัยข้างต้นศึกษาน้ำหนักของขั้วอิเล็กโทรดที่สลายไปได้ ซึ่งการวิจัยนี้ใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยเป็นทั้งขั้วแอโนดและขั้วแคโทด และใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการวิจัย คือ ใช้ค่า pH เริ่มต้นเป็น 4 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที แล้วหาน้ำหนักของเหล็กที่สลายตัวออกจากขั้วอิเล็กโทรด โดยที่ขั้วแอโนดสลายตัวออกมา 1.96 กรัม ส่วนขั้วแคโทดมีการสลายตัวออกมาเล็กน้อยเพียง 0.68 กรัม และพบว่าปริมาณเหล็กที่สลายตัวออกจากขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองรวมกัน คือ 2.64 กรัม ภายใต้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที หรือเกิดเป็นอัตราการสลายตัวของเหล็กเท่ากับ 0.044 g/min และจะพบว่าขั้วแอโนดมีอัตราการสลายตัวของเหล็กออกมาได้มากกว่าขั้วแคโทด อันเกิดเป็นผลจาก

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนดจะเกิดการสลายตัวออกมาเป็นไอออนในระบบ ในขณะที่ขั้วแคโทด สารต่างๆ รอบขั้วแอโนดจะเข้ามาจับอิเล็กตรอน ทำให้ไม่มีการสลายตัวของขั้วไฟฟ้าแคโทดมากนัก

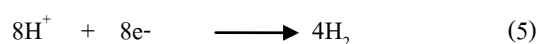
สำหรับน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์เริ่มต้นจะไม่มีปริมาณเหล็กปนอยู่เลย ดังนั้นจึงบอได้ว่าปริมาณเหล็กที่เกิดขึ้นจะเกิดในขณะที่บำบัดซึ่งเกิดจากการสลายตัวของขั้วแอโนด และปริมาณเหล็กส่วนใหญ่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับไอออนไฮดรอกไซด์และออกซิเจน ซึ่งจะกลายเป็นตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังจากการบำบัดด้วยขั้วไฟฟ้า (Aslam and Walker, 1982)

ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการวิจัยจะมีสีดำ และเมื่อนำไปอบในตู้อบจะกลายเป็นตะกอนสีแดง และเมื่อมีการนำตะกอนนี้ไปวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) แล้ว จะพบสารประกอบ 3 ชนิด คือ 1)  $Fe_2O_3$  หรือ Maghemite (Iron Oxide) 2)  $FeO(OH)$  หรือ Goethite (Iron Oxide Hydroxide) และ 3)  $Ag_3Fe_2$  โดยสารประกอบของเหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดจากปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด (ขั้วเหล็ก) มีการสลายตัว คือ จ่ายอิเล็กตรอน ทำให้เกิดไอออนของเหล็ก แล้วรวมตัวกับ  $OH^-$  (Kongscrharoern and Polprasert, 1996) ดังสมการ

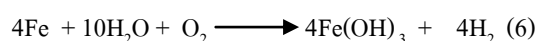
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด



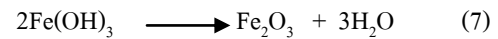
ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวม



ซึ่งหลังจากนั้น  $Fe(OH)_3$  จะสามารถถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบของเหล็ก คือ  $Fe_2O_3$  ได้ดังสมการ (7) และอาจถูกเปลี่ยนเป็น  $FeO(OH)$  ได้ด้วย



ส่วนสารประกอบ  $Ag_3Fe_2$  ที่ตรวจพบก็มีโอกาสเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน เพราะในน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์จะมีไอออนของเงิน

#### 4.4 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดเงิน

ในขั้นตอนนี้เป็น การบอกถึงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยสามารถคำนึงถึงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นที่ใช้ในการบำบัดเงินในน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ โดยใช้ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ยอมรับได้ของอุตสาหกรรม คือ มีค่าไม่เกิน 1.0 ppm เป็นเกณฑ์ในการเลือกสภาวะเพื่อใช้คำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในส่วนของค่าไฟฟ้า ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

การคำนวณค่าไฟฟ้าจะคิดตามอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ประเภทที่ 6 โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้า 2.1412 บาทต่อหน่วย ตัวอย่างการคำนวณ การบำบัดเงินจากน้ำเสียในโรงพยาบาลด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 1.18 Amp ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

จากสูตร  $W = (V \times I \times t) / 1,000$

เมื่อ  $W$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW-h)

$V$  คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

$I$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

$t$  คือ ระยะเวลาที่ใช้ไฟฟ้า (ชั่วโมง)

แทนค่าในสูตร  $W = (2.5 \times 1.18 \times 0.5) / 1,000$   
 $= 0.001475 \text{ kW-h}$

คิดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่ต้องการบำบัดได้

$$\begin{aligned} \text{โดยมีค่า} &= 0.001475 \times 1,000 / 1.5 \\ &= 0.983 \text{ kW-h/น้ำเสีย } 1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

หรือเท่ากับ 0.983 หน่วยต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

จะได้ค่าไฟฟ้า =  $2.1412 \times 0.983 = 2.10$  บาท

คิดค่าภาษี 7% เพราะฉะนั้นต้องเสียค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการ

กำจัดเงินด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติก =  $2.10 +$

$(0.07 \times 2.10) = 2.25$  บาทต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

นำข้อมูลไปคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัดเงินด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าได้ตั้งการคำนวณข้างต้น ซึ่งจะได้ค่าไฟฟ้าต่อน้ำเสีย  $1 \text{ m}^3$  ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลต์ เป็น 2.28 บาท 2.25 บาท และ 4.14 บาท ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัดเงินที่เหมาะสมที่สุดคือเมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 2.5 โวลต์ ดังนั้นจึงบอกได้ว่าสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดเงินในน้ำเสียจากการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกคือ ทำการบำบัดที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 1.18 แอมแปร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และปริมาณเงินที่เหลืออยู่ในน้ำ คือ 0.66 ppm

##### 5. บทสรุป

ในการกำจัดเงินจากของเสียในโรงพยาบาลด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกใช้หลักการของการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารในน้ำเสีย และการละลายของอิเล็กโทรดอยู่ในรูปตะกอน  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ซึ่งเป็นตัวช่วยในการตกตะกอนของโลหะเงิน อยู่ในรูปสารประกอบเงินและเหล็ก ทำให้ปริมาณโลหะเงินในน้ำเสียลดลงจน

ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1.0 ppm สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดเงินจากน้ำเสียการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติกโดยใช้ค่า pH เริ่มต้น 4 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ และระยะเวลา 30 นาที

##### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงพยาบาลสงขลาที่อนุเคราะห์น้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์เพื่อใช้ในการงานวิจัยนี้

##### 7. เอกสารอ้างอิง

- Abdo, M.S., and Sedahmed, G.H. 1991, June. A new technique for removing hexavalent Chromium from wastewater via galvanic reducing with Iron scrap. World Congress of Chemical Engineer (Karlsruhe. Germany) Vol.16 – 21, pp. 10 – 14.
- Allmand, J. 1931. The principles of electrochemical engineering. 1<sup>st</sup> edition. New York.
- Aslam, S., and Walker, O.L. 1982. Recycling of mercury and silver from COD tests. Water pollution Control Federal. Vol.54, pp. 1148 – 1151.
- Berger, K. 1987. Electrochemical engineering, 2<sup>nd</sup> edition. New York.
- Freeman, H.M. 1989. Handbook of hazardous watsetreatment and disposal. USA : McGraw Hill Book.
- Gould, J.P., M.Y., and Miller, M. 1984. Recovery of silver and mercury from COD samples by

iron cementation. Water Pollution Control  
Federal Vol. 56, pp. 280 – 286.

Kongsricharoern, N. and Polprasert, C. 1996. Cr  
Removal By a Bipolar Electro-chemical  
Precipitation Process, Wat.Sci.Tech., Vol.34  
No.9 : 109-116.

มหาวิทยาลัยรังสิต