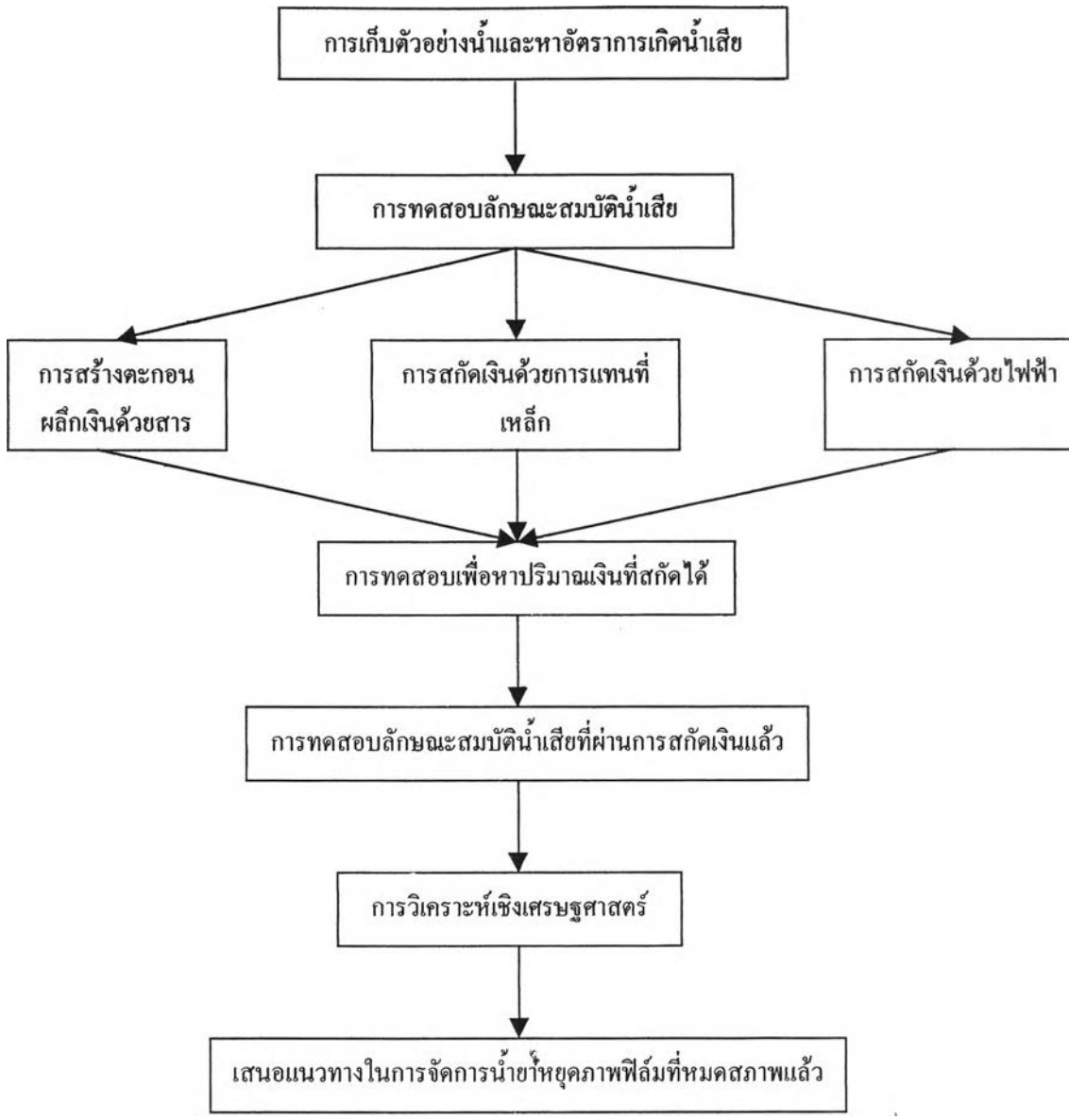
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเพื่อหาแนวทางจัดการน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาอัตราการเกิดน้ำเสียต่อจำนวนผู้เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสีต่อปี, ต่อจำนวนเตียงผู้ป่วยต่อปี, ต่อจำนวนครองเตียงต่อปี และการเก็บตัวอย่างน้ำจากโรงพยาบาลที่เป็นตัวแทนโรงพยาบาลประจำจังหวัด
2. การทดลองในห้องปฏิบัติการ
3. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น
4. เสนอแนวทางในการจัดการน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว สำหรับโรงพยาบาลต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดังผังขั้นตอนการดำเนินงานที่นำเสนอในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงผังขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาอัตราการเกิดน้ำเสียและเก็บตัวอย่างน้ำจากโรงพยาบาลที่เป็นตัวแทนโรงพยาบาลประจำจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ในแผนกรังสีวิทยาของโรงพยาบาลประกอบด้วยน้ำยาสร้างภาพ น้ำยาหยุดภาพฟิล์ม และน้ำล้างฟิล์ม แต่น้ำยาส่วนที่ควรนำมาศึกษาการสกัดเงิน คือ น้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์เพราะเป็นส่วนที่มีเงินปนเปื้อนอยู่มากที่สุด สำหรับอัตราการเกิดน้ำเสีย หรือ น้ำยาหยุดภาพฟิล์มนี้ (Unit generation rate) พิจารณาจากน้ำเสียเมื่อผ่านการใช้งาน จะถูกเก็บไว้เพื่อรอจำหน่ายแก่ผู้ประกอบการ และเมื่อมีช่วงระยะเวลาการใช้ระยะหนึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวนผู้เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสี ในระยะเวลาการใช้น้ำยาหยุดภาพฟิล์ม

I20126843

จำนวนนั้น ๆ รวมถึงจำนวนแผ่นฟิล์มที่ใช้ และจากการสำรวจเบื้องต้น พบว่า อัตราการเกิดน้ำเสียจะประมาณ 900 ลิตรต่อโรงพยาบาลต่อปี และฟิล์มหนึ่งแผ่นจะใช้น้ำยาหยุดภาพฟิล์มเฉลี่ยประมาณ 0.023 ลิตร (โรงพยาบาลจังหวัดกาฬสินธุ์ ปีงบประมาณ 2542) อัตราการเกิดน้ำเสียที่สามารถคาดการณ์ได้ คือ อัตราที่คิดต่อจำนวนเตียงต่อปี เพื่อที่ว่าในอนาคตหากต้องการทราบปริมาณน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้นของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถคำนวณได้จากอัตราการเกิดน้ำยาต่อจำนวนเตียงต่อปี

โรงพยาบาลประจำจังหวัดทุกจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกระบุเป็นโรงพยาบาลขนาด 90 เตียง ซึ่งหมายถึงว่าโรงพยาบาลเหล่านั้นจะมีจำนวนเตียงผู้ป่วยตั้งแต่ 90 เตียงขึ้นไป ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนเตียงผู้ป่วยของโรงพยาบาลประจำจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงพยาบาล	จำนวนเตียง	โรงพยาบาล	จำนวนเตียง
รพ.มหาราชนครราชสีมา	1039	รพ.ศรีษะเกษ	415
รพ.สรรพสิทธิประสงค์ อุบลราชธานี	900	รพ.ชัยภูมิ	415
		รพ.มหาสารคาม	347
รพ.อุดรธานี	774	รพ.นครพนม	337
รพ.ขอนแก่น	661	รพ.หนองคาย	324
รพ.สุรินทร์	652	รพ.เลย	324
รพ.บุรีรัมย์	522	รพ.ยโสธร	320
รพ.ร้อยเอ็ด	543	รพ.มุกดาหาร	260
รพ.สกลนคร	539	รพ.อำนาจเจริญ	160
รพ.กาฬสินธุ์	447	รพ.หนองบัวลำภู	135

ที่มา : กระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2542

เมื่อพิจารณาโรงพยาบาลทุกแห่งแล้ว พบว่าโรงพยาบาลมหาสารคามตั้งอยู่บริเวณที่เป็นศูนย์กลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในตัวจังหวัดมีสถานที่ราชการ โรงเรียน และสถาบันระดับอุดมศึกษาหลายแห่ง และยังสะดวกต่อการขออนุญาตทำการเก็บน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว จึงได้เลือกโรงพยาบาลแห่งนี้เป็นตัวแทนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพจากโรงพยาบาลมหาสารคาม แล้วนำมาหาปริมาณความเข้มข้นของเงิน พร้อมทั้งเก็บข้อมูลจำนวนเตียงผู้ป่วย อัตราครองเตียง จำนวนผู้เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสี และปริมาณน้ำยาหยุดภาพที่หมดสภาพแล้วไปพร้อมๆ กัน

3.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยการศึกษาการสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับขั้นตอนการศึกษาการสกัดเงินและการบำบัดน้ำเสีย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย
2. การสร้างตะกอนผลึกเงินโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ และกรดไนตริก
3. การสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก
4. การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า
5. การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้ในรูปต่าง ๆ
6. การตรวจลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการสกัดเงินออกแล้ว

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียทำโดย เก็บตัวอย่างน้ำจากโรงพยาบาลประจำจังหวัดมหาสารคามที่ได้คัดเลือกเป็นตัวแทนให้เพียงพอกับการใช้ทดสอบทั้งหมด ทำการเก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วสีชา เพื่อป้องกันการดูดซับโลหะและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแสงสว่าง ก่อนที่จะนำไปทดสอบขั้นต่อไป

ลักษณะสมบัติที่วิเคราะห์ มีดังนี้

ลักษณะทางกายภาพ : พีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็ง-แขวนลอย สี

ลักษณะทางเคมี : ปริมาณความเข้มข้นของเงิน สังกะสี แคดเมียม TKN ซัลเฟต ไนเตรต โบรไมด์ และ COD

สำหรับวิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ จะใช้ตามวิธีในหนังสือ Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 19th (1995)

3.2.2 การสร้างตะกอนผลึกเงินโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์และกรดไนตริก

ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์ และกรดไนตริก ซึ่งการใช้โซเดียมซัลไฟด์ ต้องปรับพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 8, 9, 10 และ 11 แล้วจึงหาปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ ส่วนกรณีกรดไนตริกนั้นจะศึกษาปริมาณและเวลาที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนผลึกเงิน ตามลำดับ

3.2.2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล
2. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น 240 กรัมต่อลิตร
3. กรดไนตริกเข้มข้น 65%
4. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 6 ใบ
5. แท่งแก้ว
6. เครื่องวัดพีเอช
7. กระดาษกรอง GF/C

3.2.2.2 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์

1. เตรียมน้ำเสีย 100 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 8 ทุกใบ
2. เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณ 2, 4, 6, 8, 10, 12 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบตามลำดับ ใช้แท่งแก้วคนให้สารละลายผสมกันอย่างทั่วถึง
3. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้ว แยกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยกรองผ่านกระดาษกรองด้วยแรงดันสุญญากาศ โดยใช้กรวยบุคเนอร์ จากนั้นเก็บตะกอนไปอบแห้งเพื่อหาปริมาณตะกอนเงิน
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 อีก 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยปรับพีเอชเป็น 9, 10 และ 11 ต่อไป ซึ่งในการทดลองชุดที่พีเอช 10 และ 11 ให้เวลาการตกตะกอน 48 ชั่วโมง

3.2.2.3 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริก

1. เตรียมน้ำเสีย 100 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ จำนวน 9 ใบ
2. เติมสารละลายกรดไนตริกปริมาณ 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 และ 15 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบตามลำดับ
3. ตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยานาน 1 ชั่วโมง แล้วแยกน้ำเสียกับตะกอนเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้
4. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-3 อีก 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
5. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2, 3, และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ

3.2.3 การสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก

ประกอบด้วยการทดสอบหาพีเอชและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเงิน

3.2.3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. ขดลวดเหล็กน้ำหนัก 23-25 กรัม จำนวน 4 ขด
   และน้ำหนัก 40-42 กรัม จำนวน 6 ขด
2. บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 4 ใบ
3. สารละลายกรดกำมะถันเข้มข้น
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

3.2.3.2 การทดสอบหาพีเอชที่เหมาะสม

1. ใส่ขดลวดน้ำหนัก 23-25 กรัม ลงในบีกเกอร์ 4 ใบ
2. เตรียมน้ำเสียปริมาณ 1000 มิลลิลิตรต่อ 1 ตัวอย่าง จำนวนทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ปรับพีเอชด้วยกรดกำมะถันให้เป็น 3.5, 4.5 และปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้เป็น 5.5, และ 6.5 พร้อมทั้งบันทึกปริมาณกรดและด่างที่ใช้

3. เติมน้ำเสียที่ปรับพีเอชแล้วลงในบีกเกอร์แต่ละใบ เริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการทดลองรอบแรกนาน 2 ชั่วโมง

4. เมื่อครบกำหนดเวลา 2 ชั่วโมงนำขดลวดไปล้างในน้ำกลั่นเพื่อล้างคราบกรดออกก่อนอบแห้ง เพื่อชั่งน้ำหนักสำหรับหาปริมาณเงินที่สกัดได้

5. ทำการทดลองรอบต่อไปโดยใช้ขดลวดเดิมที่อบแห้งแล้ว และเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาครั้งละ 2 ชั่วโมงจนครบ 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ

6. เมื่อทำการทดลองครบทุกชุดแล้ว นำข้อมูลของน้ำหนักขดลวดเหล็กที่ชั่งได้มาพล็อตกราฟเพื่อพิจารณาว่า น้ำยาที่พีเอชใดสามารถสกัดเงินได้มากที่สุด

7. นำน้ำเสียที่ผ่านการสกัดเงินทุกค่าพีเอช ในรอบเวลา 12 ชั่วโมง และน้ำกลั่นที่ใช้ล้างขดลวดเหล็กไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเหล็ก และเงินในน้ำเสีย เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณเงินที่สกัดได้

3.2.3.3 การทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก

1. เตรียมการทดลองตามการทดลอง 3.2.3.2 โดยใช้พีเอชที่เหมาะสมที่ทดลองได้ โดยใช้ 3 ชุดการทดลอง และใช้ขดลวดที่มีน้ำหนัก 40-42 กรัม

2. เริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการทดลองรอบแรกนาน 3 ชั่วโมง

3. เมื่อครบเวลาการทำปฏิกิริยาตามข้อ 2 นำขดลวดเหล็กล้างในน้ำกลั่น อบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักขดลวดเหล็ก และบันทึกค่า

4. ทำการทดลองรอบต่อไปโดยใช้ขดลวดเดิมที่อบแห้งแล้ว และเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาครั้งละ 3 ชั่วโมง

5. เมื่อได้ข้อมูลน้ำหนักขดลวดเหล็กที่เวลาต่าง ๆ แล้ว นำมาพล็อตกราฟ เพื่อพิจารณาเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดเงินโดยแทนที่เหล็ก

3.2.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของการสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก

1. เตรียมการทดลองโดยใช้พีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.2.3.2

2. จับเวลาการทำปฏิกิริยาให้เป็นไปตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 3.2.3.3

3. เมื่อครบเวลาการทำปฏิกิริยาตามข้อ 2 นำขดลวดอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณเงินที่สกัดได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

4. นำน้ำเสียส่วนที่ผ่านการสกัดเงินออกแล้วไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็กและเงิน

5. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.2.4 การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

ประกอบด้วยการทดสอบหาพีเอช ค่าความต่างศักย์ และเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเงินจากน้ำเสีย

3.2.4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายกระแสไฟสูงสุด 3 แอมแปร์ 24 โวลท์ จำนวน 1 เครื่อง พร้อมแอมมิเตอร์ และ โวลท์มิเตอร์
2. แผ่นสแตนเลส ขนาด 2 x10 ซม. จำนวน 20 แผ่น
3. แท่งคาร์บอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. ยาว 5 ซม. จำนวน 1แท่ง
4. สายไฟฟ้า
5. เครื่องวัดพีเอช
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล
7. Magnetic Stirrer และลูกเหล็ก
8. บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร

3.2.4.2 การทดสอบเพื่อหาพีเอชที่เหมาะสม

1. เตรียมน้ำเสียปริมาณ 700 มิลลิลิตรต่อ 1 ตัวอย่าง เติมลงในบีกเกอร์
2. ตั้งค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ 1 โวลท์และ 0.5 แอมแปร์
3. ชั่งน้ำหนักแผ่นสแตนเลส แล้วต่อกับขั้วลบ และต่อแท่งคาร์บอนกับขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแล้วจุ่มแผ่นขั้วไฟฟ้าทั้งสองลงในน้ำเสีย
4. เมื่อทดลองครบ 2 ชั่วโมง ปิดเครื่อง นำแผ่นสแตนเลสมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105^{0}C เพื่อชั่งน้ำหนักหาปริมาณเงินที่สกัดได้
5. ทำการทดลองต่อโดยใช้แผ่นขั้วไฟฟ้าเดิมที่อบแห้งแล้ว เพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาต่อครั้งละ 2 ชั่วโมง จนครบ4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมงตามลำดับ
6. ทำการทดลองซ้ำโดยปรับพีเอชเป็น 5.5, 6.0, 6.8, 7.5, 8.5 และ 9.5 ตามลำดับ
7. เมื่อทำการทดลองครบทุกชุดแล้ว นำข้อมูลน้ำหนักของเงินที่สกัดได้มาพล็อตกราฟ เพื่อพิจารณาพีเอชที่สกัดเงินได้มากที่สุด

3.2.4.3 การทดสอบเพื่อหาความต่างศักย์ที่เหมาะสม

1. เตรียมน้ำเสียปริมาณ 700 มิลลิลิตรต่อ 1 ตัวอย่าง ปรับพีเอชตามที่ทดลองได้ เติมน้ำเสียลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร

2. ชั่งน้ำหนักแผ่นแสตนเลส แล้วต่อเข้ากับขั้วลบ และต่อแท่งคาร์บอนกับขั้วบวก ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แล้วจุ่มแผ่นขั้วไฟฟ้าทั้งสองลงในน้ำเสีย

3. ตั้งค่าความต่างศักย์ของการทดลองครั้งแรก 1 โวลท์

4. เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จับเวลาการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงแล้วปิดเครื่อง นำแผ่นสแตนเลสมาอบแห้ง ชั่งน้ำหนักหาปริมาณเงินที่สกัดได้

5. ทำการทดลองต่อโดยใช้แผ่นขั้วไฟฟ้าเดิมที่อบแห้งที่อุณหภูมิ $105^{0}C$ แล้ว เพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาต่อครั้งละ 2 ชั่วโมง จนครบ4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมงตามลำดับ

6. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนค่าความต่างศักย์เป็น 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0โวลท์ตาม ลำดับ

7. เมื่อทำการทดลองครบทุกชุดแล้ว นำข้อมูลน้ำหนักของเงินที่สกัดได้มาพล็อตกราฟ เพื่อพิจารณาความต่างศักย์ที่สกัดเงินได้มากที่สุด

3.2.4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

1. เตรียมน้ำเสียตัวอย่างละ 1000 มิลลิลิตรปรับพีเอชตามผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.2.4.2

2. ตั้งค่าความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมตามผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.2.4.3

3. เตรียมแผ่นขั้วไฟฟ้าเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้น

4. เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้เวลาการทำปฏิกิริยาจากการทดลองที่ 3.2.4.3

5. นำแผ่นสแตนเลสไปอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณเงินที่สกัดได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

6. น้ำเสียส่วนที่เหลือนำไปวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางการจัดการน้ำเสีย

7. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.2.5 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการสกัดเงินแล้ว

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในน้ำเสียหลังจากการสกัดออกเงินแล้ว เป็นพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะมีอันตรายหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือระบบบำบัดน้ำเสียรวม และยังมีความเข้มข้นสูงในน้ำเสีย ได้แก่ ความเข้มข้นของเงิน, แคดเมียม, TKN, โบรไมด์, COD และ พีเอช

3.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีการสกัดเงิน ประกอบด้วยการคิดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น เงินลงทุนค่าสารเคมี ค่าอุปกรณ์ น้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่ซื้อมา ไฟฟ้า ค่าแรงงาน ฯลฯ ของการสกัดเงิน เปรียบเทียบปริมาณเงินที่สกัดได้ ราคาขายเงินที่สกัดได้ในรูปต่าง ๆ เพื่อประกอบการเสนอแนะวิธีการจัดการที่เหมาะสมที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ค่าใช้จ่ายต่อปริมาณเงินที่สกัดได้

3.3.1.1 ค่าลงทุนระบบการสกัดตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ด้วยสารเคมี

ตะกอนผลึกเงินที่ได้จากการสกัดตะกอนผลึกโดยใช้สารเคมีทั้งสองชนิด คือ โซเดียมซัลไฟด์ และกรดไนตริกนั้น จะอยู่ในรูปของ Ag_2S และสารปนเปื้อนอื่นๆ ซึ่งในทางการค้าจะต้องหลอมตะกอนเหล่านี้ตามวิธีที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5 เพื่อแยกเงินบริสุทธิ์ออกมา ดังนั้นค่าลงทุนระบบการสร้างตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ด้วยสารเคมี ประกอบด้วย

1. คำนวณค่าสารเคมี คือ โซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ต่อปริมาณเงินที่สกัดได้ 1 กรัม
2. คำนวณค่ากรดไนตริกที่ใช้ต่อปริมาณเงินที่สกัดได้ 1 กรัม
3. ค่าหลอมตะกอนเพื่อแยกเงินออกจากตะกอน
4. ค่าอุปกรณ์ คือ ถังปฏิกรณ์
5. ค่าแรงงาน
6. ค่าขนส่งน้ำยา

3.3.1.2 ค่าลงทุนระบบการสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก

เงินที่สกัดได้โดยวิธีนี้จะเป็นโลหะเงินที่มีความบริสุทธิ์สูงประมาณ 90 – 95 % ซึ่งสามารถนำไปขายได้โดยไม่ต้องผ่านการหลอมแยกเงินบริสุทธิ์โดยวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.5 แต่ทว่าเงินที่สกัดจากน้ำยาจะติดกับขดลวดเหล็ก ทำให้ยากแก่การแยกเงินออกจากขดลวดเหล็ก ดังนั้นค่าลงทุนระบบสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก ประกอบด้วย

1. ค่าขดลวดเหล็ก
2. คำนวณค่าสารเคมีที่ใช้ปรับพีเอช คือ กรดกำมะถันหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อปริมาณเงินที่สกัดได้ 1 กรัม
3. ค่าอุปกรณ์ คือ ถังปฏิกรณ์
4. ค่าแรงงาน
5. ค่าขนส่งน้ำยา

3.3.1.3 ค่าลงทุนระบบการสกัดเงินไฟฟ้า

เงินที่สกัดได้ด้วยวิธีนี้ จะมีความบริสุทธิ์สูงประมาณ 90 – 95 % เช่นเดียวกับเงินที่สกัดได้โดยการแทนที่เหล็ก แต่จะแยกเงินออกจากแผ่นสแตนเลส (ขั้วแคโทด) ได้ง่ายกว่าการแยกเงินออกจากขดลวดเหล็ก ซึ่งทำได้โดยการขูดเงินออกจากแผ่นสแตนเลส จึงไม่ต้องมีค่าลงทุนของการหลอมแยกเงิน ดังนั้นค่าลงทุนระบบการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า ประกอบด้วย

1. ค่าสารเคมี คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับพีเอช ต่อปริมาณเงินที่สกัดได้ 1 กรัม
2. ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณเงินที่สกัดได้ 1 กรัม
3. ค่าอุปกรณ์ ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้า ขั้วแคโทดที่ทำจากแผ่นสแตนเลส และขั้วแอโนดที่ทำจากแท่งคาร์บอน
4. ค่าแรงงาน
5. ค่าขนส่งน้ำยา

3.3.1.4 ราคาซื้อขายของน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว

โดยทั่วไปแล้วราคาซื้อขายของน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้วที่ทางโรงพยาบาลกำหนดไว้นั้น จะขึ้นลงตามการแข่งขันประมูลของผู้ประกอบการ กล่าวคือ หากมีผู้ประกอบการหลายรายแสดงความจำนงรับซื้อน้ำยา ก็ต้องมีการประมูลเพื่อเสนอราคาซื้อที่สูงที่สุด การประมูลราคาเช่นนี้มักจะเกิดกับการรับซื้อน้ำยาที่มีความเข้มข้นของเงินสูงมากประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ซึ่งราคารับซื้อมักจะอยู่ในช่วง 20 – 30 บาท/ลิตร

จากการตรวจสอบพบว่าโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือหลายแห่ง น้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว มีความเข้มข้นของเงินไม่สูงมาก ประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน้ำยาที่ความเข้มข้นของเงินอยู่ในช่วงนี้จะมีราคารับซื้อประมาณ 5 –10 บาทเท่านั้น เนื่องจากผู้ประกอบการส่วนใหญ่เล็งเห็นว่าไม่เป็นการคุ้มทุนต่อการเดินทางมารับซื้อ และทำการแยกเงินจากน้ำยา

3.3.1.5 ค่าการขนส่งน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว

กำหนดสมมุติฐานเพื่อคำนวณค่าขนส่งน้ำยาดังนี้

1. ระยะทางจากโรงพยาบาลถึงศูนย์จัดการน้ำยา 100 กิโลเมตร
2. ในการขนส่งน้ำยา ใช้แรงงาน 1 คนเพื่อขับรถและขนน้ำยา ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ 100 บาท
3. การขนส่งน้ำยาใช้รถกระบะที่สามารถบรรทุกน้ำยาได้ 900 ลิตร
4. ค่าน้ำมันรถและค่าสึกหรอ 1.005 บาทต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร

3.3.2 การคิดรายรับ

รายรับของการสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว คือ การขายเงินที่สกัดได้ให้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกันเงิน เช่น อุตสาหกรรมเครื่องประดับ ซึ่งราคารับซื้อเงินนี้จะขึ้นลงทุกวันเช่นเดียวกับราคารับซื้อทองคำ หรือ ค่าเงินบาท

3.4 การเสนอแนวทางในการจัดการน้ำเสีย

หลังจากการทดลองจนได้วิธีที่มีประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยคำนึงถึงความปลอดภัย ความยากง่ายของการทำงาน และค่าใช้จ่ายในส่วนต่าง ๆ แล้ว ยังได้เสนอแนวทางในการจัดการน้ำเสียประเภทนี้หลังจากการสกัดเงินออกแล้ว เพื่อให้เป็นแนวทางปฏิบัติ ในกรณีที่อาจมีกฎหมายออกมาบังคับเกี่ยวกับน้ำยาเคมีประเภทนี้ในโรงพยาบาล หรือมีการจัดตั้งศูนย์รับจัดการน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการประหยัด คุ้มค่า และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม