



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว

ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตการเก็บน้ำเสียจากโรงพยาบาลประจำจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งโรงพยาบาลที่ทำการเก็บน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว คือ โรงพยาบาลมหาสารคาม ซึ่งเป็นโรงพยาบาลประจำจังหวัดมหาสารคาม ที่มีข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ของโรงพยาบาล และจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในโรงพยาบาล ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ข้อมูลอัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์และขนาดของโรงพยาบาล

รายการ	ปีงบประมาณ 2541	ปีงบประมาณ 2542
จำนวนเตียงผู้ป่วย(เตียง)	347	347
จำนวนผู้ป่วยนอก(คน/วัน)	855	947
ผู้ป่วยใน(คน/วัน)	328	317
อัตราครองเตียง	95%	91%
อัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์(ลิตร/ปี)	520	350
จำนวนผู้เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสี(คน/ปี)	35,903	45,550
อัตราส่วนจำนวนผู้เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสีต่อจำนวนผู้ป่วยนอก	11.50%	13.18%
อัตราส่วนจำนวนผู้เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสีต่อจำนวนผู้ป่วยใน	29.99%	39.37%

ตาราง 4.1 ข้อมูลอัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์และขนาดของโรงพยาบาล (ต่อ)

รายการ	ปีงบประมาณ 2541	ปีงบประมาณ 2542
อัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ต่อ จำนวนเตียง(ลิตร/เตียง)	1.4985	1.009
อัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ต่อ จำนวนเตียงที่มีผู้ป่วย(ลิตร/เตียง)	1.5774	1.1084
อัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ต่อ จำนวนผู้ป่วยนอก(ลิตร/คน)	0.0016	0.0010
อัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ต่อ จำนวนผู้เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสี(ลิตร/ครั้ง)	0.0145	0.008

ที่มา : โรงพยาบาลมหาสารคาม

4.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

4.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย(น้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว)

ในการศึกษาการสกัดเงินจากน้ำเสียนี้ ผู้วิจัยได้นำน้ำเสียคือน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้วจากแผนกรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาสารคาม มาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย น้ำเสียที่นำมาเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า มีสีเหลือง ก่อนข้างใส มีกลิ่นฉุน แสบจมูก แสดงลักษณะในรูปที่ 4.1

เมื่อทำการทดสอบลักษณะสมบัติน้ำเสียเบื้องต้นพบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่า 4.78 ซึ่งเป็นค่าที่เป็นกรด เนื่องจากส่วนผสมของน้ำยาหยุดภาพมีกรดผสมเพื่อทำหน้าที่หยุดความเป็นด่างที่มาจากปฏิกิริยาการสร้างภาพ ทำให้ฟิล์มหยุดการสร้างภาพ และเป็นสารบัพเฟอร์คงสภาพพีเอชที่เป็นกรดไว้



รูปที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสีย

สำหรับปริมาณของแข็งในน้ำเสีย ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งละลาย ซึ่งหมายถึงปริมาณสารเคมีที่ใช้ผสมในน้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ และผลึกของเงินเฮไลด์ที่ถูกทำให้ละลายหลุดออกจากฟิล์ม ส่วนที่เหลือเป็นของแข็งแขวนลอย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกับของแข็งละลาย พบว่าของแข็งแขวนลอยมีค่า 267 มก./ล ค่าของแข็งทั้งหมดเป็น 118,200 มก./ล. ของแข็งละลาย 117,900 มก./ล. คิดเป็น 99.75% และของแข็งแขวนลอยเป็น 0.25% ของของแข็งทั้งหมด

โลหะหนักในน้ำเสียประกอบด้วยเงินเป็นส่วนใหญ่ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 2,267 มก./ล. ซึ่งเป็นเงินที่มาจากผลึกของเงินเฮไลด์ที่ยังไม่ถูกแสงและยังจับอยู่ที่ฟิล์ม แล้วถูกทำให้ละลายหลุดออกจากฟิล์มโดย Fixing agent จึงทำให้น้ำเสียมีเงินปนอยู่เป็นจำนวนมาก

นอกจากนี้ ยังพบว่ามีค่าเฉลี่ยของสารอื่นๆ คือ แคลเซียม 0.81 มก./ล. สังกะสี 0.33 มก./ล. COD 83,930 มก./ล. ซัลเฟต 11,500 มก./ล. ไนเตรด 430 มก./ล. โบรไมด์ 3,100 มก./ล. ซี 3.7 SU หรือ 70.58 ADMI ซึ่งค่าลักษณะสมบัติต่างๆ ของน้ำเสียแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย (น้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว)

ลักษณะสมบัติ	ค่าที่วัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ของแข็งทั้งหมด(มก./ล.)	117,900	118,000	118,500	118,200
ของแข็งละลาย(มก./ล.)	117,600	117,700	118,200	117,900
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	260	265	278	267
COD(มก./ล.)	83,950	83,850	83,990	83,930
เงิน(มก./ล.)	2,129	2,208	2,463	2,267
แคลเซียม(มก./ล.)	0.78	0.80	0.75	0.81
เหล็ก(มก./ล.)	3.75	3.89	3.90	3.85
สังกะสี(มก./ล.)	0.369	0.287	0.331	0.329
โบรไมด์(มก./ล.)	3,200	3,100	3,000	3,100
ซัลเฟต(มก./ล.)	11,480	11,560	11,460	11,500
ไนเตรต(มก./ล.)	435	432	438	430
TKN(มก./ล.)	10,470	10,460	10,420	10,450
พีเอช	4.78	4.77	4.78	4.78
ดี (SU/ADMI)	3.6/70.5	3.7/70.7	3.7/70.5	3.7/70.6

4.2.2 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S)

ทำการทดสอบโดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น 240 ก./ล. ปริมาณต่างๆ กันคือ 2,4, 6, 8, 10, และ 12 มล. ค่อน้ำเสีย 100 มล.ซึ่งคำนวณเป็นความเข้มข้นได้ 4.8, 9.6, 14.4, 24.0, 57.6 มก./ล. ตามลำดับ เนื่องจากการใช้โซเดียมซัลไฟด์เพื่อสร้างตะกอนผลึกเงินจากน้ำยาหยาบคุณภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ จะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็นและเป็นอันตราย จึงต้องปรับพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าสูงกว่า 7 ดังนั้นในการทดลองจึงปรับพีเอชของน้ำเสียด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล โดยให้แต่ละชุดการทดลองปรับพีเอชน้ำเสียเป็น 8, 9, 10 และ 11 ตามลำดับ วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อหาปริมาณสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ และสภาพพีเอชที่สร้างตะกอนผลึกเงินในรูปของ Ag_2S ได้มากที่สุด ซึ่งแสดงข้อมูลผลการสร้างตะกอนผลึกเงินในภาคผนวก ก และรูปที่ 4.2 พบว่าจากการทดลองใช้น้ำเสีย 100 มล. ที่สภาพพีเอช 10 และเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 10 มล. จะสร้างตะกอนผลึกได้มากที่สุด คือ 0.9371 กรัม แต่การใช้สารประกอบซัลไฟด์เพื่อสร้างและตกตะกอนผลึกเงินจะต้องใช้เวลานาน คือ 1-2 วัน เพื่อให้เกิดตะกอนและการรวมตัวของตะกอนอย่างสมบูรณ์ แล้วตกตะกอนแบ่งชั้นน้ำใสอย่างชัดเจน เพราะตะกอนซัลไฟด์มีขนาดเล็กและเบา โดยเฉพาะที่พีเอชสูงจึ้นนั้นตะกอนจะมีความละเอียดและเบา มากกว่าตะกอนที่ตกผลึกที่พีเอชต่ำ ทำให้การรวมตะกอนของชุดการทดลองที่มี พีเอชสูง จะใช้เวลานานกว่า โดยที่พีเอช 10 และ 11 ตะกอนจะตกลงมารวมกันแบ่งน้ำใสชัดเจน ใช้เวลา 2 วัน ในขณะที่ชุดการทดลองที่พีเอช 8 และ 9 จะใช้เวลา 1 วัน

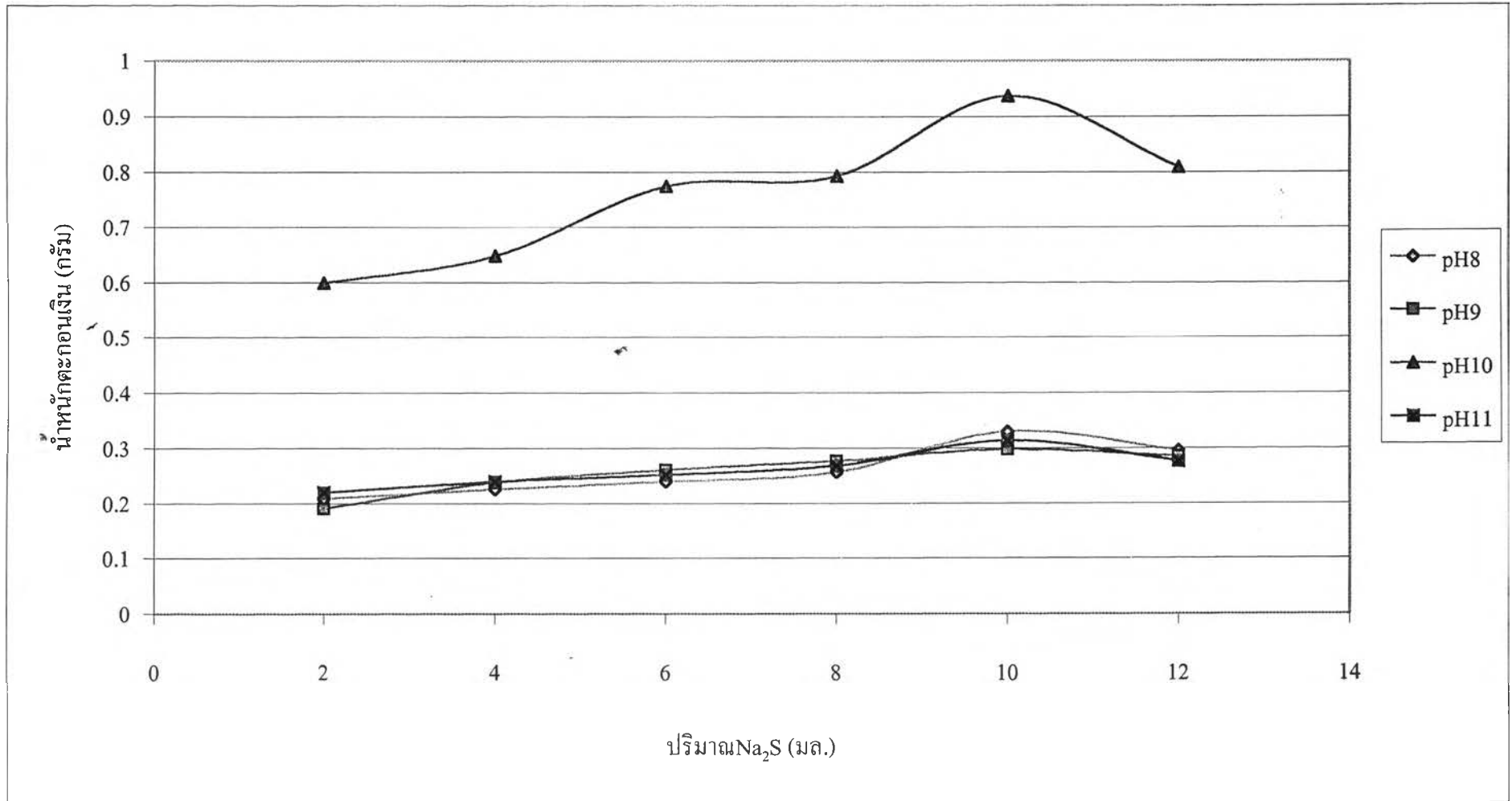
จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุในตะกอนที่ตกผลึก (Ag_2S) ได้ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) แสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ได้จากการใช้โซเดียมซัลไฟด์สร้างตะกอนผลึกเงิน(Ag_2S) จากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้วด้วยเครื่อง XRF

ชนิดของธาตุ	ปริมาณของธาตุแต่ละชนิด (%)			ปริมาณของธาตุเฉลี่ย (%)
	การวิเคราะห์ครั้งที่ 1	การวิเคราะห์ครั้งที่ 2	การวิเคราะห์ครั้งที่ 3	
คาร์บอน	6.03	5.87	6.24	6.06
ออกซิเจน	46.30	47.11	45.37	46.26
โซเดียม	7.78	8.20	8.35	8.11
อลูมิเนียม	16.88	15.99	16.49	16.45
ซิลิกอน	1.04	1.12	1.34	1.17
ซัลเฟอร์	7.15	7.23	7.34	7.23
เงิน	14.82	14.48	14.87	14.72

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ตะกอนที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ด้วยโซเดียมซัลไฟด์จากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว 100 มล. มีปริมาณเงินเพียง 14.72% ซึ่งเมื่อคิดเทียบเป็นน้ำหนักแล้วมีค่า 0.138 กรัม จากตะกอนผลึกทั้งหมด 0.9371 กรัม และมีปริมาณของธาตุอื่น ๆ ถึง 85.28%

รูปที่ 4.2 ผลการตกตะกอนผลิตภัณฑ์ด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่พีเอชต่าง ๆ กัน



4.2.3 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น

ในการทดสอบการตกตะกอนผลึกด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 65% นี้ได้ทำการศึกษาผลของเวลาและปริมาณกรดไนตริกที่ใช้ตกตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ได้มากที่สุด โดยเติมกรดไนตริกปริมาณ 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 และ 15 มล./น้ำเสีย 100 มล. ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งแสดงผลการตกตะกอนในตารางภาคผนวก ก และรูปที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ปริมาณกรดไนตริกมากขึ้นและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น จะได้ตะกอนผลึกเงินมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาผลการทดลองในชุดที่เติมกรดไนตริก 12 – 15 มล. นั้น จะเห็นได้ว่า ปริมาณตะกอนผลึกเงินที่ได้ค่อนข้างคงที่ และการใช้กรดไนตริกปริมาณมากอาจเป็นอันตรายต่อการทำงาน จึงสรุปว่าปริมาณกรดไนตริกที่เหมาะสมต่อการสร้างตะกอนผลึกเงิน คือ 12 มล./น้ำเสีย 100 มล. ซึ่งสามารถสร้างตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ได้ 1.6810 กรัม และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง

อนึ่งการเติมกรดไนตริกเข้มข้น 65% ลงในน้ำเสีย ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วและรุนแรงมาก เกิดตะกอนเร็วกว่าการใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ แต่เนื่องจากความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายในการทำงาน และน้ำเสียที่ผ่านการสร้างตะกอนและแยกตะกอนแล้วมีพีเอชต่ำมาก จึงไม่ควรใช้กรดไนตริกในการสร้างตะกอนผลึกสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ทั้งหมดสภาพแล้ว

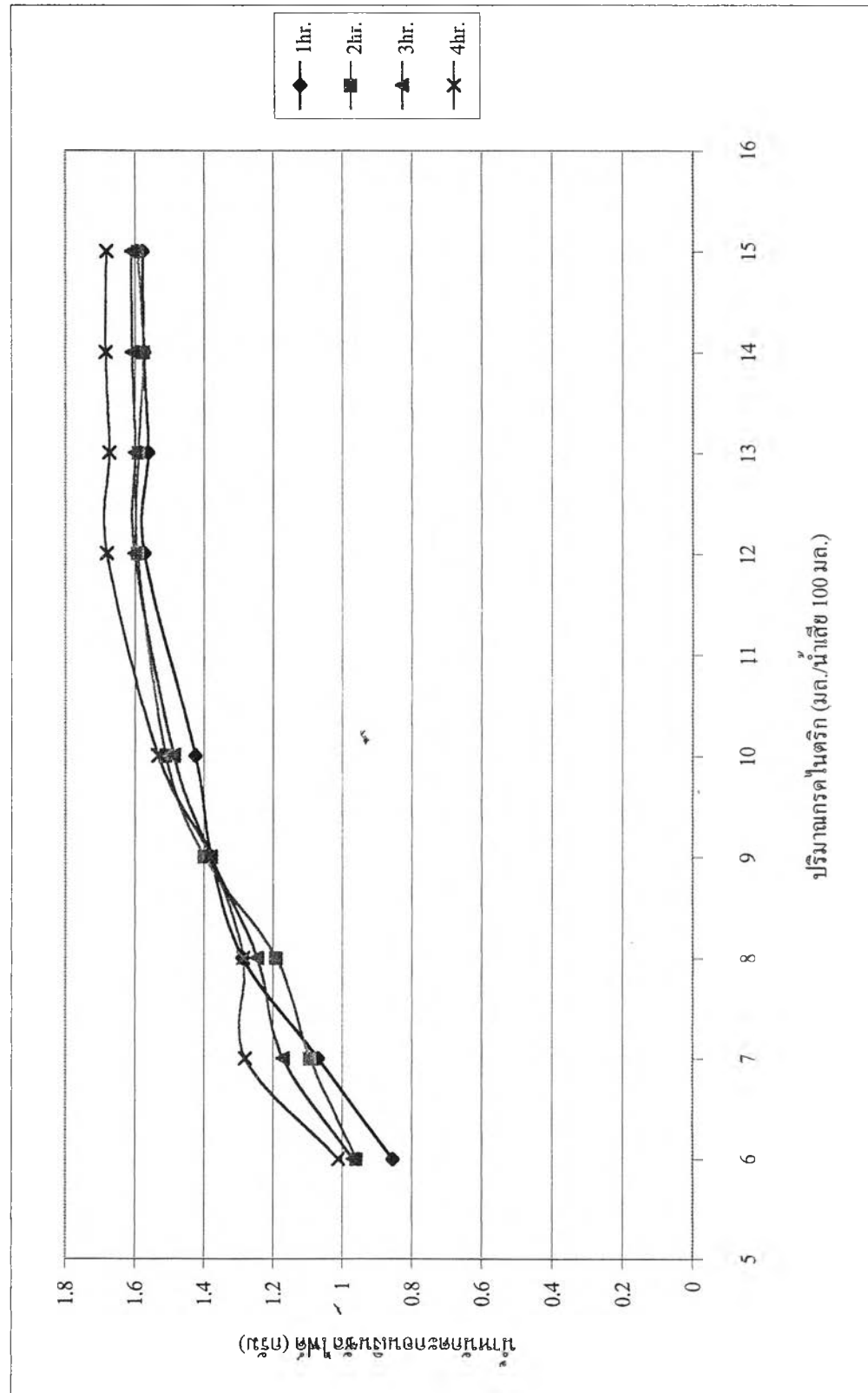
จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุในตะกอนที่ตกผลึก(Ag_2S)ได้ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ได้จากการใช้กรดไนตริกสร้างตะกอนผลึกเงิน(Ag_2S) จากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ทั้งหมดสภาพแล้วด้วยเครื่อง XRF

ชนิดของธาตุ	ปริมาณของธาตุแต่ละชนิด (%)			ปริมาณของธาตุเฉลี่ย (%)
	การวิเคราะห์ครั้งที่ 1	การวิเคราะห์ครั้งที่ 2	การวิเคราะห์ครั้งที่ 3	
โซเดียม	0.89	0.53	0.57	0.66
โบรไมด์	49.77	49.82	56.33	51.97
ซัลเฟอร์	41.04	41.52	36.15	39.57
เงิน	8.30	8.13	6.95	7.80

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตะกอนที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ด้วยกรดไนตริก จากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว 100 มล. มีปริมาณเงินเฉลี่ยเพียง 7.80% ซึ่งเมื่อคิดเทียบเป็นน้ำหนักแล้วมีค่า 0.131 กรัม จากตะกอน 1.6810 กรัม และมีปริมาณของธาตุอื่น ๆ ถึง 92.2%

รูปที่ 4.3 ผลการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริกที่เวลาต่างๆ กัน



4.2.4 การทดสอบการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็ก

ในการทดสอบการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็กนี้ ได้ใช้ขดลวดเหล็กในการแลกเปลี่ยนอิเล็คตรอนกับเงินซึ่งละลายอยู่ในน้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว ซึ่งขดลวดเหล็กที่ใช้มีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 4.4 และได้ทำการศึกษาพีเอชและเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดเงินเนื่องจากปฏิกิริยาการแทนที่โลหะส่วนใหญ่จะเกิดได้ดีในสภาพพีเอชที่ต่ำกว่า 7 ดังนั้นในการทดสอบผลของพีเอชที่มีต่อการแทนที่เหล็ก จึงได้ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 3.5, 4.5, 5.5 และ 6.5 ตามลำดับในการทดลองขั้นแรก และได้กำหนดระยะเวลาการทำปฏิกิริยาดังแต่ 0-12 ชั่วโมง เพื่อสังเกตผลของพีเอช ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ที่พีเอช 3.5 และ 4.5 นั้นขดลวดเหล็กมีน้ำหนักลดลง และที่พีเอช 5.5 น้ำหนักของขดลวดเหล็กจะลดลงในช่วง 0-4 ชั่วโมง แต่เมื่อเวลาผ่านช่วงนี้ไปน้ำหนักของขดลวดเหล็กก็เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสภาพน้ำยาที่มีความเป็นกรดมากจะกัดกร่อนทำให้เหล็กละลายออกมาและเร็วเกินกว่าปฏิกิริยาการแทนที่เหล็กด้วยเงินจะเกิดได้ทัน ทำให้ขดลวดเหล็กไม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในสภาพที่น้ำยามีความเป็นกรดมาก แต่ที่พีเอช 6.5 พบว่าขดลวดเหล็กมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาการแทนที่เหล็กด้วยเงิน ซึ่งเมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการแยกเงินโดยวิธีนี้ทั้ง 4 ชุดพีเอชไปทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเหล็กและเงินด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAs) แล้วซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 พบว่าในชุดการทดลองที่มีพีเอชต่ำจะมีความเข้มข้นของเงินและเหล็กละลายอยู่ในน้ำเสียมากกว่าชุดการทดลองที่มีพีเอชสูง และในชุดที่มีพีเอช 3.5 และ 4.5 จะไม่เกิดปฏิกิริยาการแทนที่เหล็กดังแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.6 และได้คำนวณหาปริมาณเงินที่สกัดได้ ซึ่งแสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์และการคำนวณไว้ในภาคผนวก ข ซึ่งจากสภาพพีเอชต่างๆ ดังที่ได้ทำการทดลอง สรุปได้ว่า พีเอช 6.5 เป็นสภาพที่สามารถสกัดเงินด้วยวิธีการแทนที่เหล็กได้ดีที่สุด



รูปที่ 4.4 ขดลวดที่ใช้ในการทดลอง

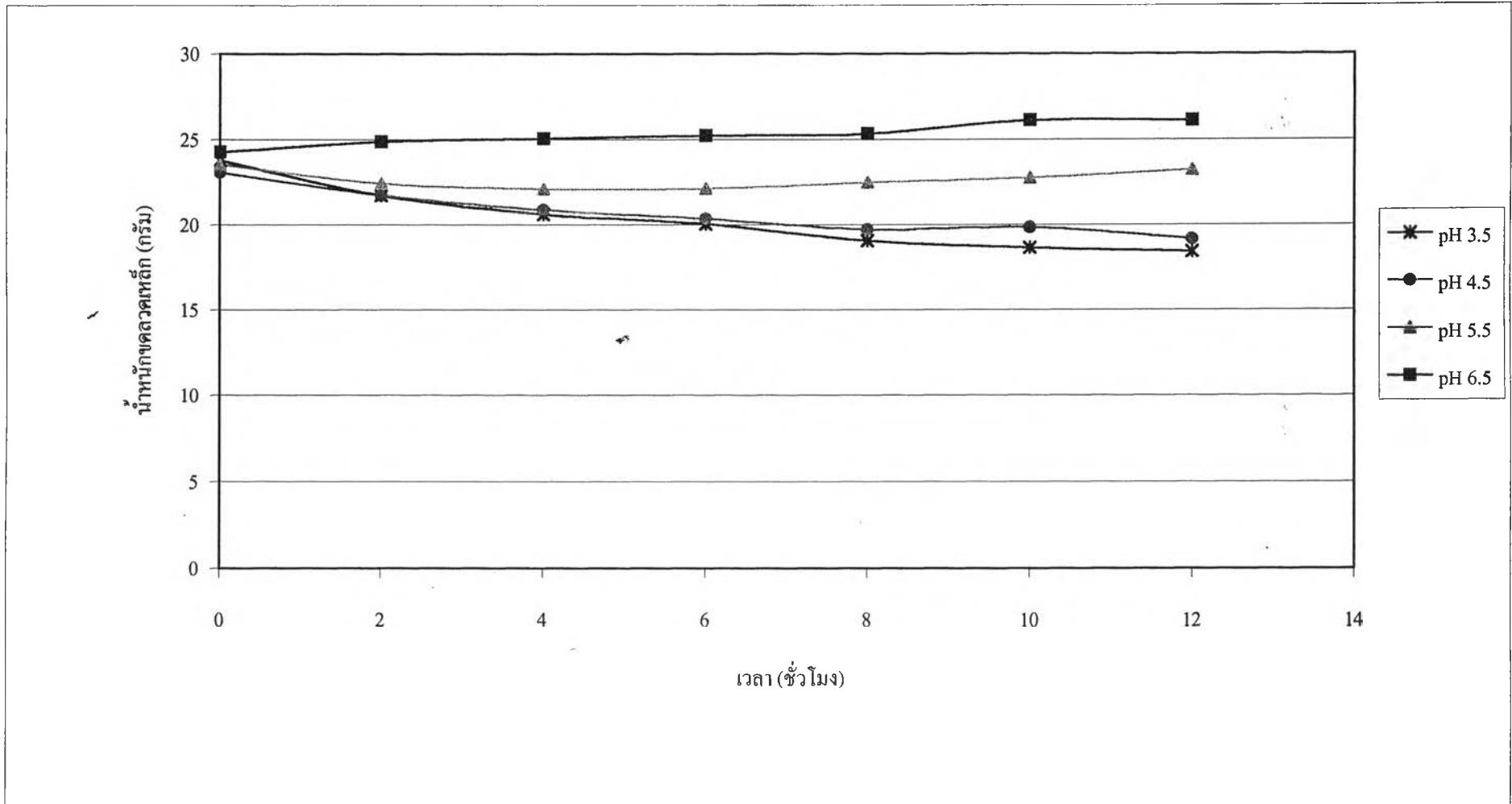
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาสภาพพีเอชที่เหมาะสมต่อการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก

No.	pH	ปริมาณกรด/ ค่าที่ใช้ (มล.)	ปริมาณน้ำเสีย (มล.)	น้ำหนักเหล็กที่จุดเวลาต่างๆ (กรัม)เวลา						
				0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	8 ชม.	10 ชม.	12 ชม.
1	3.5	กรด 11.5	1000	23.7923	21.7005	20.5927	20.0429	19.0640	18.6670	18.4361
2	4.5	กรด 3	1000	23.0549	21.7162	20.8600	20.3565	19.7344	19.8514	19.1755
3	5.5	ค่า 12	1000	22.5535	22.4165	22.0852	22.1111	22.4556	22.7486	23.2259
4	6.5	ค่า 20.7	1000	24.2765	24.8802	25.0510	25.2369	25.3316	26.0937	26.0982

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณหาปริมาณเงินของการทดลองในหัวข้อ 4.2.4

การทดลอง	W_t (กรัม)	W_0 (กรัม)	$C_{Fe/in}$ (มก./ล.)	$C_{Fe/ถ}$ (มก./ล.)	C_{rinse} (มก./ล.)	V (มล.)	W_{Ag} (กรัม)
3.5/12	18.4361	23.7923	3.86	37.94	12.06	1000	-
4.5/12	19.1755	23.0549	3.86	37.06	12.41	1000	-
5.5/12	23.2259	22.5535	3.86	35.51	11.36	1000	0.7154
6.5/12	26.0982	24.2765	3.86	34.04	11.54	1000	1.8634

รูปที่ 4.5 ผลการทดลองหาสภาพพีเอชที่เหมาะสมต่อการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก



ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเสียด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAs)

ชุดการทดลองที่พีเอช/เวลาการทำปฏิกิริยา	ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเสีย (มก./ล.)	ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกเงิน (มก./ล.)	ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำล้าง (มก./ล.)	น้ำหนักของเหล็กที่ละลายไป (กรัม/ 1 ลิตร)
3.5/12	37.94	3.86	12.06	0.0461
4.5/12	37.06	3.86	12.41	0.0456
5.5/12	35.51	3.86	11.36	0.0430
6.5/12	34.04	3.86	11.54	0.0417

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเงินในน้ำเสียด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAs)

ชุดการทดลองที่พีเอช/เวลาการทำปฏิกิริยา	ความเข้มข้นของเงินในน้ำเสียก่อนการสกัดเงิน (มก./ล.)	ความเข้มข้นของเงินในน้ำเสียที่ผ่านการสกัดเงินแล้ว (มก./ล.)
3.5/12	2,267	2,260
4.5/12	2,267	2,253
5.5/12	2,267	123
6.5/12	2,267	24.8

เมื่อได้สภาพพีเอชที่ดีที่สุดแล้ว จึงได้ทำการทดลองขั้นต่อไป คือ การหาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมโดยปรับพีเอชของน้ำยาให้เป็น 6.5 และกำหนดระยะเวลาการทำปฏิกิริยาดังแต่ 0-36 ชั่วโมง เพื่อพิจารณาหาช่วงเวลาทำปฏิกิริยาการแทนที่เหล็กเริ่มคงที่ โดยชั่งน้ำหนักขดลวดที่อบแห้งเพื่อนำน้ำหนักของขดลวดเหล็กที่เพิ่มขึ้นมาพิจารณาเวลาที่ปฏิกิริยาการแทนที่เหล็กเริ่มคงที่ และตรวจวัดค่าความเข้มข้นของเงินในน้ำเสียที่แต่ละช่วงเวลาของการทดลอง ซึ่งแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.8, 4.9 และรูปที่ 4.6, 4.7

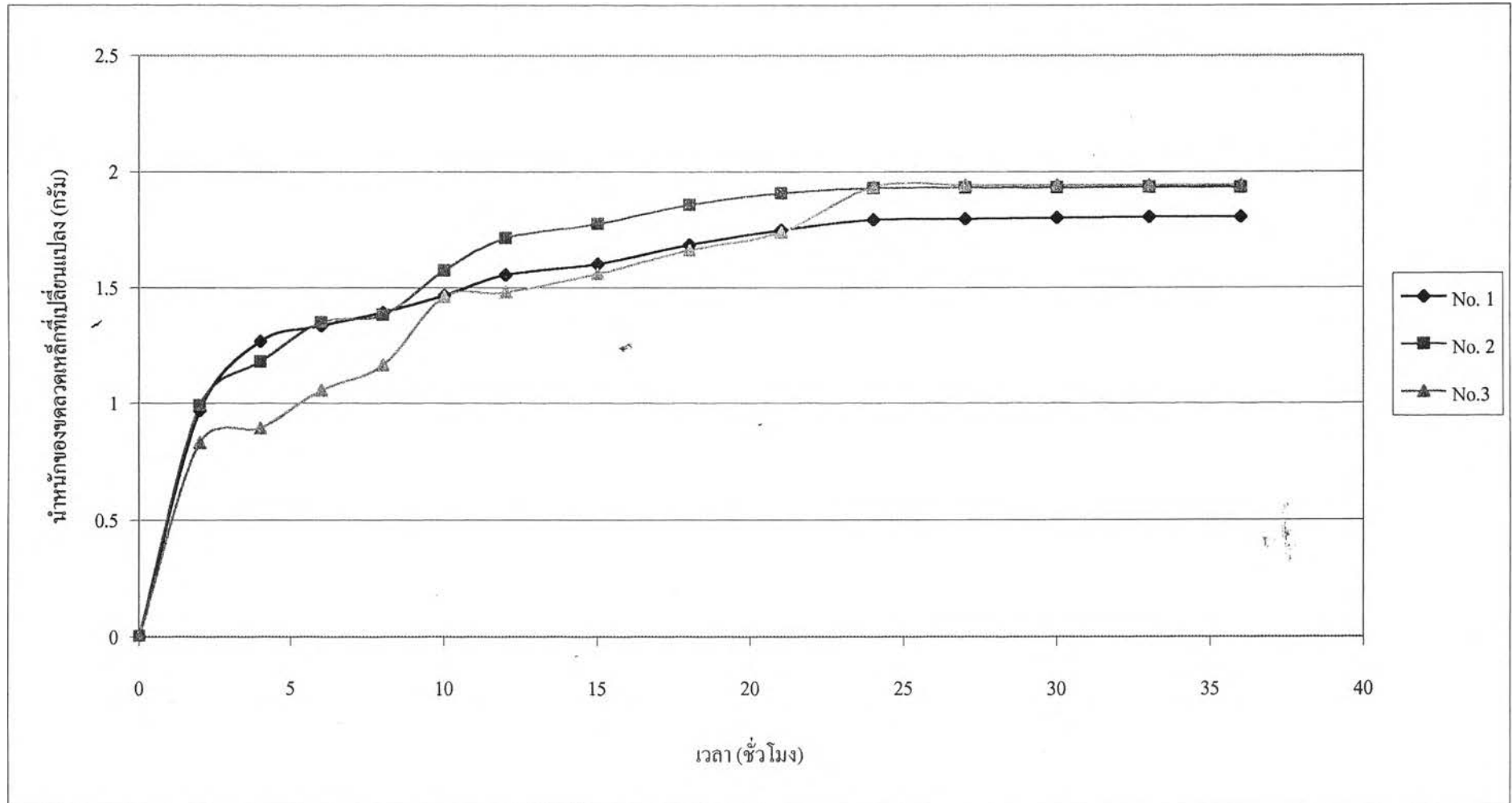
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็ก (กำหนดพีเอชคงที่ 6.5 ทุกชุดการทดลอง)

No.	ปริมาตร น้ำเสีย (มล.)	น้ำหนักของขดลวดเหล็กที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลา (กรัม)														
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	8 ชม.	10 ชม.	12 ชม.	15 ชม.	18 ชม.	21 ชม.	24 ชม.	27 ชม.	30 ชม.	33 ชม.	36 ชม.
1	1000	0	0.9681	1.2678	1.3354	1.3924	1.4661	1.5559	1.6018	1.6851	1.7486	1.7933	1.7972	1.8015	1.8055	1.8061
2	1000	0	0.9910	1.1801	1.3502	1.3812	1.5736	1.7130	1.7732	1.8570	1.9069	1.9304	1.9309	1.9318	1.9330	1.9336
3	1000	0	0.8316	0.8950	1.0562	1.1643	1.4611	1.4805	1.5606	1.6607	1.7393	1.9354	1.9422	1.9427	1.9429	1.9431

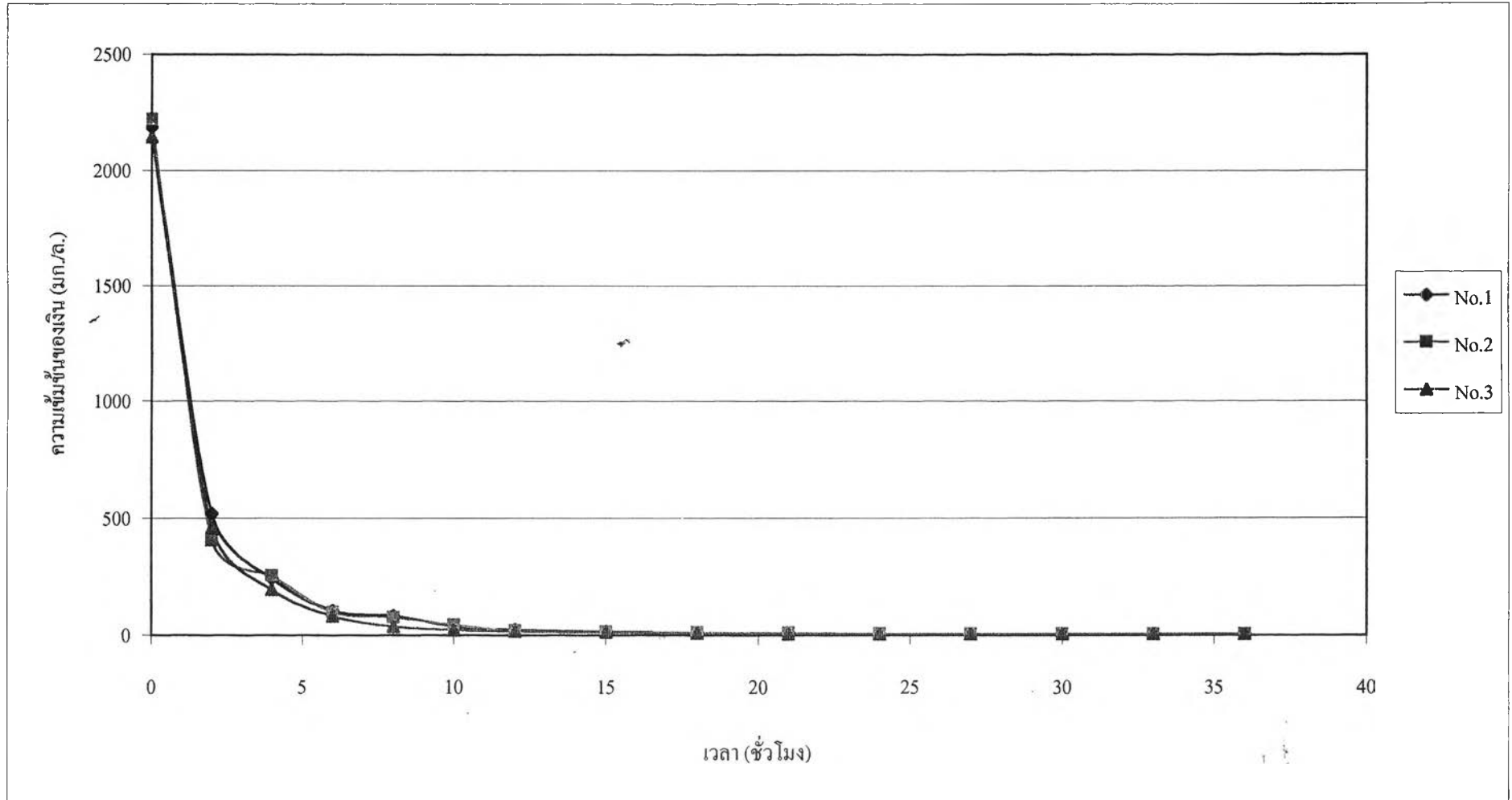
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเงินในน้ำยาที่ผ่านการสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็กแล้ว (กำหนดพีเอชคงที่ 6.5)

No.	ความเข้มข้นของเงินในน้ำยาที่ผ่านการสกัดเงินในแต่ละช่วงเวลา (มก./ล.)														
	0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	8 ชม.	10 ชม.	12 ชม.	15 ชม.	18 ชม.	21 ชม.	24 ชม.	27 ชม.	30 ชม.	33 ชม.	36 ชม.
1	2,185	520	245	105	82.5	39.8	24.4	17.3	13.0	10.4	7.89	6.48	6.44	6.42	6.36
2	2,220	405	251	98	76.1	45.0	20.9	14.5	13.6	10.5	7.03	6.45	6.47	6.46	6.41
3	2,145	460	196	81.0	36.9	22.3	16.0	12.7	9.23	6.44	6.33	6.33	6.32	6.30	6.30

รูปที่ 4.6 ผลการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดเงินโดยการแทนที่โลหะ



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของเงินในน้ำยาที่ผ่านการสกัดเงินโดยการแทนที่โลหะที่เวลาต่างๆ กัน

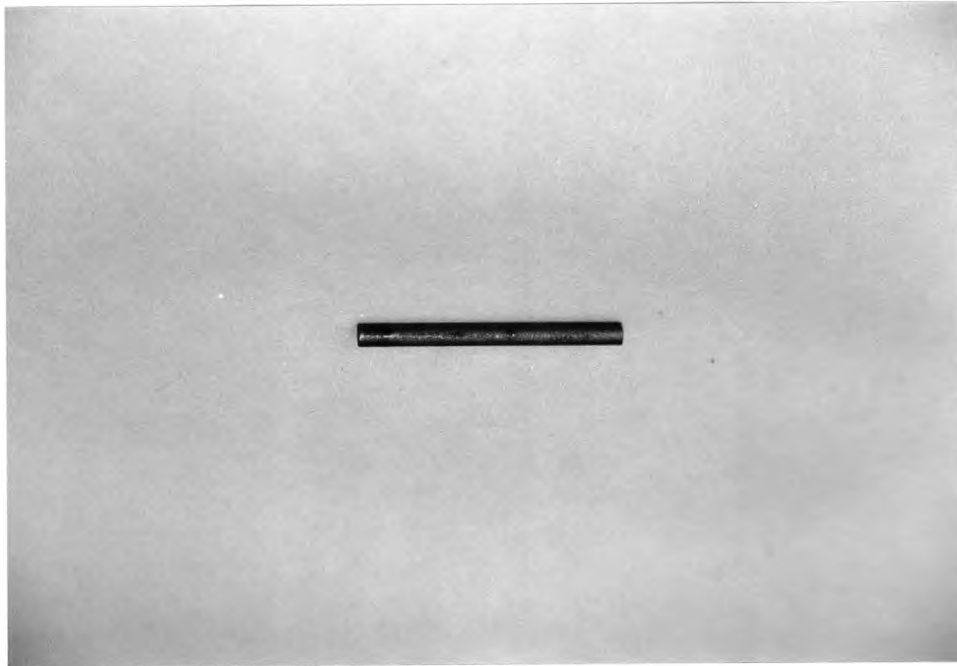


จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของทั้ง 3 ชุดการทดลองจะมีความชันเพิ่มขึ้นในช่วง 0-24 ชั่วโมงแรก แสดงว่าปฏิกิริยาการแทนที่เหล็กที่เกิดในช่วงนี้มีอัตราสูง และเริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 27 และในทำนองเดียวกัน เส้นกราฟทั้ง 3 ชุดการทดลองในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของเงินลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0 – 24 ชั่วโมงแรก แสดงว่าปฏิกิริยาการแทนที่เหล็กที่เกิดในช่วงนี้มีอัตราสูง และความเข้มข้นของเงินที่ลดลงก็เริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 27 เช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลา 27 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็ก

และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณเงินที่สกัดได้ จึงได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเสียที่แยกเงินแล้ว และแสดงรายละเอียดการคำนวณหาปริมาณเงินที่สกัดได้ในภาคผนวก ข ซึ่งจากผลการทดลอง หาสถานะที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่พีเอช 6.5 และใช้เวลาการทำปฏิกิริยานาน 27 ชั่วโมง จะสกัดเงินได้ 1.926 กรัม/น้ำยา 1000 มิลลิลิตร

4.2.5 การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

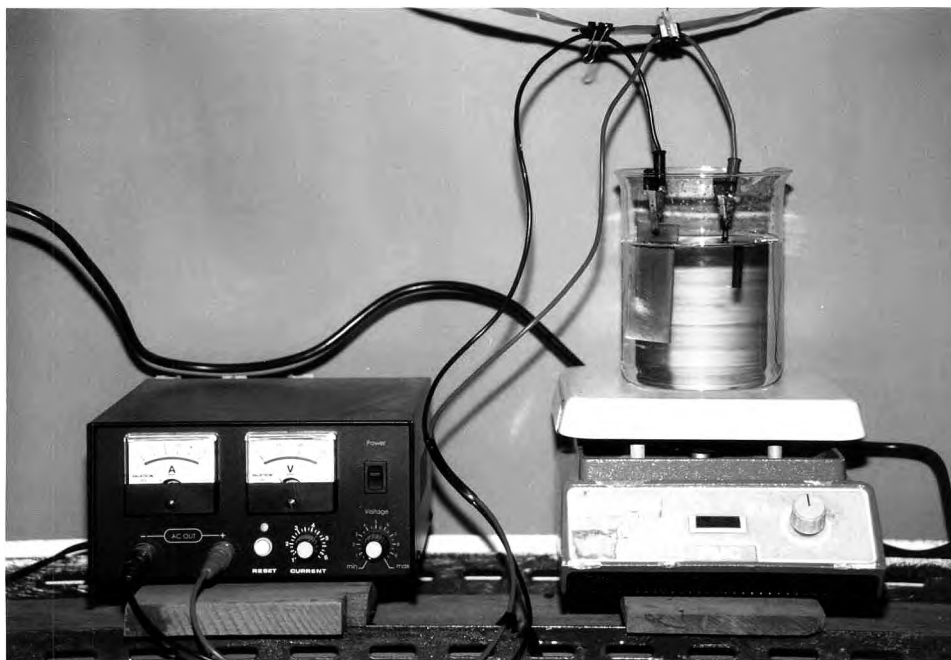
ในการทดสอบการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า ได้เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง คือ ขั้วไฟฟ้าบวกใช้แท่งคาร์บอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. ยาว 5 ซม. และขั้วไฟฟ้าลบใช้แผ่นสแตนเลสขนาด 2x10 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ โดยขั้วไฟฟ้าทั้งสองต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 แท่งคาร์บอนที่ใช้ในการทดลอง



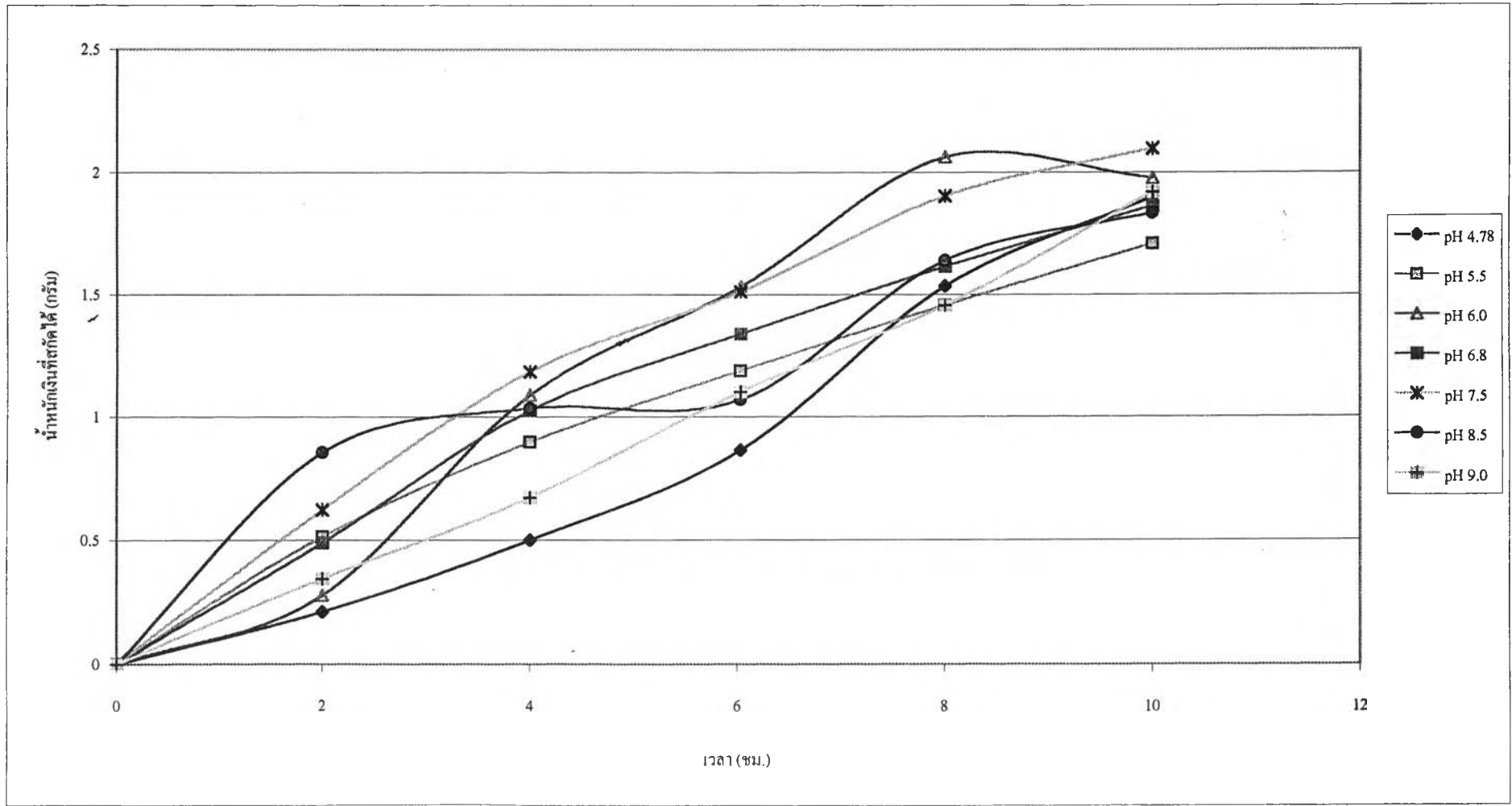
รูปที่ 4.9 แผ่นสแตนเลสที่ใช้ในการทดลอง



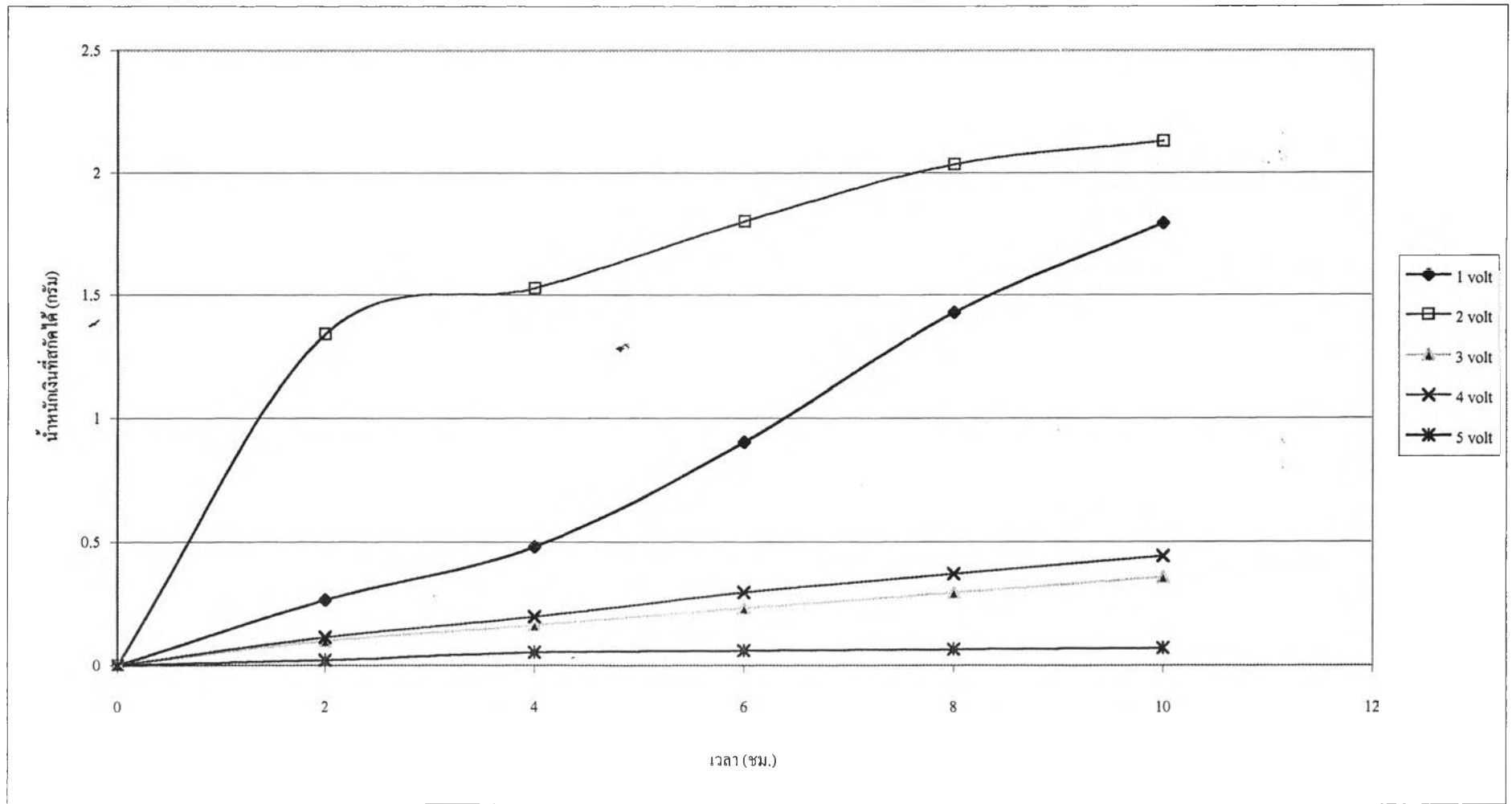
รูปที่ 4.10 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

การทดสอบเป็นแบบแบทช์ (Batch) โดยกำหนดสภาวะการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่สกัดเงินได้มากที่สุด ดังนี้ แปรพีเอชของน้ำเสียปรับให้มีค่า 5.5, 6.0, 6.8, 7.5, 8.5, 9.5 และไม่ปรับพีเอช (ซึ่งเป็นค่าพีเอชของน้ำเสีย คือ 4.78) ความต่างศักย์ที่ใช้คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 โวลต์ และเวลาที่ใช้ในการทดลอง 2, 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่า ในการทดสอบขั้นแรก (กำหนดค่าความต่างศักย์คงที่ 1 โวลต์) เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดเงินให้ได้มากที่สุด ซึ่งแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.11 พบว่า พีเอช 7.5 เป็นค่าที่เหมาะสม และในการทดสอบขั้นที่สอง (กำหนดค่าพีเอชคงที่ 7.5) เพื่อหาความต่างศักย์ที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเงิน ซึ่งแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.12 พบว่าที่ความต่างศักย์ 2 โวลต์ จะมีความเหมาะสม และเมื่อสิ้นสุดเวลาของการทำปฏิกิริยาที่ 10 ชั่วโมง พบว่า สามารถสกัดเงินได้มากที่สุด คือ 2.13 กรัมต่อน้ำเสีย 1000 มล. และน้ำเสียที่สกัดเงินออกแล้วจะมีความเข้มข้นของเงิน 2.33 มก./ล. และมีค่าพีเอชสุดท้าย 5.90

รูปที่ 4.11 ผลของพีเอชที่มีต่อการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

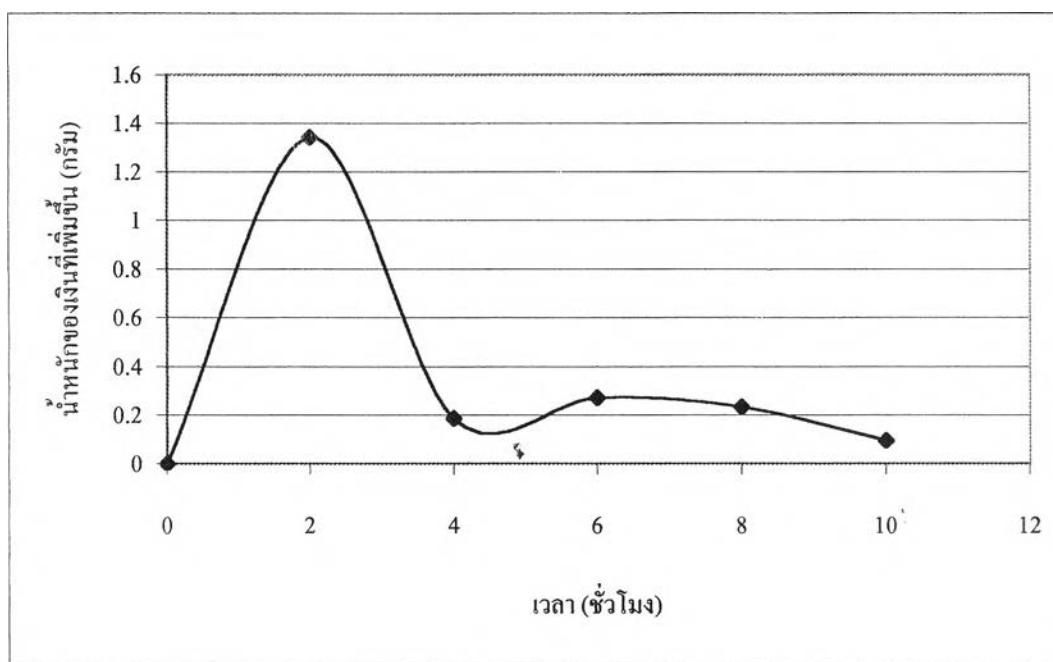


รูปที่ 4.12 ผลของความต่างศักย์ที่มีต่อการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า



การวิจัยนี้ได้กำหนดเวลาการทำปฏิกิริยาไว้นานที่สุด 10 ชั่วโมง เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้แนะนำว่าเวลาที่ใช้ในการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า คือ 8 - 10 ชั่วโมง โดยเฉพาะจากงานวิจัยของ Lin Shin-Min และ Yang Hann-Ming (1997) ได้อธิบายว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันของโซโอซัลเฟตไปเป็นซัลเฟต ทำให้ไฮดรอกซิลไอออน (OH) ถูกใช้ไป ซึ่งส่งผลให้พีเอชมีค่าลดลงขณะที่ทำการสกัดด้วยไฟฟ้า และเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง สารละลายจะเริ่มมีความเป็นกรดมากขึ้นจนเกิดปฏิกิริยา Self-oxidation of thiosulfate to sulfate ดังสมการที่ 2.10 ซึ่งจะเกิดอนุภาคแขวนลอยสีเหลืองในสารละลายเป็นจำนวนมาก จึงได้กำหนดเวลาการทำปฏิกิริยาไว้ที่ 10 ชั่วโมง

และจากข้อมูลการทดลองเพื่อหาความต่างศักย์ที่เหมาะสม ได้นำข้อมูลน้ำหนักของเงินที่สกัดได้ (น้ำหนักของเงินที่เพิ่มขึ้น) และเวลาในชุดการทดลองที่ใช้ความต่างศักย์ 2 โวลต์ ที่พีเอช 7.5 มาสร้างกราฟเพื่อพิจารณาว่า เวลา 10 ชั่วโมงนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเริ่มคงที่ ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เวลาที่ปฏิกิริยาการสกัดเงินด้วยไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเริ่มคงที่

เมื่อพิจารณาผลของความต่างศักย์ จะเห็นได้ว่าความต่างศักย์ที่ต่ำกว่าจะสกัดเงินได้มากกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการที่ว่า ในการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า ปริมาณเงินที่สกัดได้จะแปรตามปริมาณกระแสไฟฟ้า และมีขีดจำกัดความสามารถการสกัดของค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าหนึ่งๆ เท่านั้น หมายความว่า ความเข้มข้นของเงินมีขีดจำกัดต่อการสกัดด้วยไฟฟ้า แม้ว่า会增加ปริมาณกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ก็ไม่สามารถลดความเข้มข้นของเงินได้ต่ำกว่าค่าที่เป็นขีดจำกัดนั้น แต่สำหรับการทดลองนี้ได้แปรค่าความต่างศักย์แทนปริมาณกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน คือ ความต่างศักย์

จะแปรผกผันกับปริมาณกระแสไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูง ความต่างศักย์จะมีค่าต่ำ และผลการทดลองจะเป็นไปในทำนองเดียวกันว่า ความต่างศักย์ต่ำจะสกัดเงินได้ดีกว่าที่ความต่างศักย์สูง

4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้ในรูปต่าง ๆ

4.2.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้จากการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

ตะกอนผลึกที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึกด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ แสดงในรูปที่ 4.14 มีสีดำและละเอียดเช่นตะกอนซัลไฟด์ทั่วไป จึงต้องใช้เวลาดั่งทิ้งไว้นานถึง 1-2 วันเพื่อให้ตะกอนตกมารวมกันและแยกชั้นน้ำใส



รูปที่ 4.14 ตะกอนผลึก Ag_2S ที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึกด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

เมื่อพิจารณาผลการทดลองสร้างตะกอนผลึกเงินในรูป Ag_2S ด้วยโซเดียมซัลไฟด์จากหัวข้อ 4.2.2 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างตะกอนผลึกเงิน คือใช้ปริมาณสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น 240 กรัม/ลิตร 10 มล. ต่อ น้ำเสีย 100 มล. และที่ค่าพีเอช 10 สำหรับทำปฏิกิริยา จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกสามครั้ง เพื่อหาประสิทธิภาพเฉลี่ยในการสกัดเงิน รวมทั้งหาความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้ง และจากการนำตะกอนที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุใน

ตะกอนด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) เพื่อคำนวณหาปริมาณเนื้อเงินในตะกอน และความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้ง ดังผลการคำนวณในตารางที่ 4.11 โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกอนคือ 0.9099 กรัม น้ำหนักเงินเฉลี่ย 0.1339 กรัม และความเข้มข้นของเงินในน้ำทิ้งเหลือเฉลี่ย 15.33 มก./ล.

ตารางที่ 4.11 การทดสอบหาประสิทธิภาพการสร้างตะกอนเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

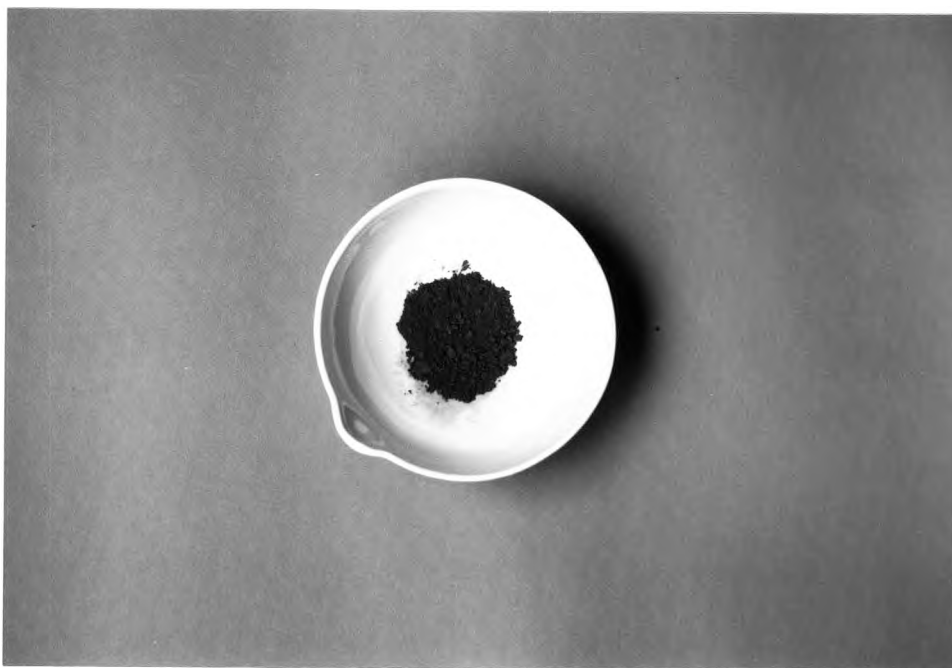
การทดลองที่	ปริมาณน้ำเสีย (มล.)	ปริมาณ Na_2S (มล.)	น้ำหนักตะกอนผลึก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อเงินในตะกอนผลึก (กรัม)*	ความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้ง (มก./ล.)
1	100	10	0.8990	0.1323	16.0
2	100	10	0.9172	0.1350	15.0
3	100	10	0.9134	0.1344	15.0
		ค่าเฉลี่ย	0.9099	0.1339	15.33

หมายเหตุ * ปริมาณเนื้อเงินในตะกอนผลึกเป็น 14.72 % ของน้ำหนักตะกอนผลึก Ag_2S ทั้งหมด

จากข้อมูลของผู้ประกอบการสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ทั้งหมดสภาพแล้วด้วยการใช้โซเดียมซัลไฟด์ พบว่าเมื่อนำตะกอนผลึกที่ได้ทั้งหมดไปผ่านกรรมวิธีการหลอม แยกเงินแล้ว จะได้ปริมาณเนื้อเงินประมาณ 50 % ของน้ำหนักตะกอนทั้งหมด แต่จากการวิเคราะห์ตะกอนผลึกเงินที่ได้จากการทดลองพบว่า ในตะกอนมีธาตุเงินเป็นส่วนประกอบเพียง 15 % เท่านั้น ซึ่งความแตกต่างระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์เงินในตะกอนอาจเกิดจากน้ำยาที่ผู้ประกอบการรับซื้อนั้น ต้องมีความเข้มข้นของเงินสูงมากๆ กล่าวคือต้องเป็นน้ำยาที่มีการหมุนเวียนใช้หลายๆ ครั้ง อีกทั้งในการสร้างตะกอนผลึกเงินแต่ละครั้ง จะใช้น้ำยาปริมาณมากทำให้เกิดตะกอนผลึกเงินมาก และสูญเสียตะกอนน้อยกว่า จึงทำให้ได้เนื้อเงินในปริมาณที่มากกว่า ในขณะที่น้ำยาที่ได้รับการวิเคราะห์เพื่อใช้ทดลอง เป็นน้ำยาที่มีความเข้มข้นของเงินไม่สูงนัก คือ 2,267 มิลลิกรัมต่อลิตร และการทดลองเป็นระบบเบทซ์ใช้น้ำยาในปริมาณที่น้อยกว่าการทำงานจริง อาจทำให้ตะกอนผลึกเงินที่ได้สูญเสียไปในขั้นตอนการกรอง และการวิเคราะห์เนื้อเงินได้ใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะวิเคราะห์เป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุเงินบริสุทธิ์ ทำให้ปริมาณเงินที่คำนวณได้จากการทดลองค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากผู้ประกอบการ

4.2.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้จากการสร้างตะกอนผลึกด้วยกรดไนตริก

ตะกอนผลึกที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึกเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 65 % จะเกิดตะกอนผลึกขึ้นทันทีเมื่อเทกรดไนตริกลงในน้ำเสีย (แสดงรูปตะกอนในรูปที่ 4.15) โดยตะกอนผลึกมีสีเทา เกาเป็นกลุ่มไม่ฟุ้งกระจายและหนัก ซึ่งเห็นได้จากตะกอนเริ่มนอนก้นเร็วโดยใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที และการกรองแยกน้ำและตะกอนง่าย



รูปที่ 4.15 ตะกอนผลึก Ag_2S ที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึกด้วยกรดไนตริก

เมื่อได้ผลการทดลองจากหัวข้อ 4.2.3 คือ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างตะกอนผลึกเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้วด้วยกรดไนตริก (ปริมาณกรดไนตริกเข้มข้น 65% 12 มล. ค่อน้ำเสีย 100 มล. และใช้เวลา 4 ชั่วโมง) จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกสามครั้งที่สภาวะดังกล่าว เพื่อหาประสิทธิภาพเฉลี่ยในการสกัดเงิน รวมทั้งวัดความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้ง และจากการนำตะกอนผลึกที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุต่าง ๆ ในตะกอนด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) เพื่อคำนวณหาปริมาณเนื้อเงินในตะกอนและความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้ง ดังผลการคำนวณในตารางที่ 4.12 โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกอนคือ 1.6798 กรัม น้ำหนักเงินเฉลี่ย 0.1310 กรัม และความเข้มข้นของเงินในน้ำทิ้งเฉลี่ย 22.0 มก./ล.

ตารางที่ 4.12 การทดสอบหาประสิทธิภาพการสร้างตะกอนฟล็อกด้วยกรดไนตริก
ที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

การทดลองที่	ปริมาณน้ำเสีย (มล.)	ปริมาณ กรดไนตริก (มล.)	น้ำหนักตะกอนฟล็อก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อเงินในตะกอนฟล็อก (กรัม)*	ความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้ง (มก./ล.)
1	100	12	1.6799	0.1310	21.0
2	100	12	1.6684	0.1301	26.5
3	100	12	1.6910	0.1319	18.5
		ค่าเฉลี่ย	1.6798	0.1310	22.0

หมายเหตุ * ปริมาณเงินในตะกอนฟล็อกเป็น 7.80 % ของน้ำหนักตะกอนฟล็อก Ag₂S ทั้งหมด

4.2.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้จากการแทนที่เหล็ก

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.4 พบว่าสภาวะการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็กที่ดีที่สุดคือ การปรับพีเอชของน้ำเสียด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 6.5 และใช้เวลาทำปฏิกิริยานาน 27 ชั่วโมง จึงนำมาทดลองที่สภาวะดังกล่าวซ้ำอีกสามครั้ง เพื่อหาประสิทธิภาพเฉลี่ยในการสกัดเนื้อเงิน พบว่าสามารถสกัดเนื้อเงินได้เฉลี่ย 1.9210 กรัมต่อน้ำเสีย 1000 มล. และน้ำทิ้งที่แยกเงินแล้วมีความเข้มข้นของเงินเหลือเฉลี่ย 6.86 มก./ล. แสดงข้อมูลในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การทดสอบหาประสิทธิภาพของการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็ก

การทดลองที่	พีเอช	ปริมาณ NaOH (มล.)	ปริมาณน้ำเสีย (มล.)	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเนื้อเงิน* (กรัม)	ความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้ง (มก./ล.)
1	6.5	27.8	1000	27	1.9855	6.87
2	6.5	27.0	1000	27	1.8057	6.99
3	6.5	27.6	1000	27	1.9617	6.71
				ค่าเฉลี่ย	1.9210	6.86

หมายเหตุ * ตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักเงินแสดงไว้ในภาคผนวก ข (ตาราง ข 2)

4.2.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณเงิน ที่ได้จากการสกัดด้วยไฟฟ้า

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของแผ่นสแตนเลส คือเนื้อเงินที่สกัดจากน้ำเสียด้วยไฟฟ้า จากหัวข้อ 4.2.5 ได้ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า คือใช้ความต่างศักย์ 2 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ พีเอชของน้ำเสีย 7.5 และใช้เวลาในการสกัด 10 ชั่วโมง จึงได้นำสภาวะการสกัดเงินด้วยไฟฟ้างดกล่าวมาทำการทดลองซ้ำอีกสามครั้ง เพื่อหาประสิทธิภาพเฉลี่ยของการสกัดเงินและค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเงินในน้ำทิ้งที่สกัดเงินแล้ว (แสดงผลในตารางที่ 4.14) ซึ่งสามารถสกัดเนื้อเงินได้เฉลี่ย 2.1972 กรัมค่อน้ำเสีย 1000 มล. และมีความเข้มข้นในน้ำทิ้งเหลือเฉลี่ย 2.27 มก./ล.

ตารางที่ 4.14 การทดสอบหาประสิทธิภาพการสกัดเงินด้วยไฟฟ้าที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด*

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำเสีย (มล.)	น้ำหนักเนื้อเงินที่สกัดได้ (กรัม)	ความเข้มข้นของเงินที่เหลือในน้ำทิ้งที่สกัดเงินแล้ว (มก./ล.)
1	1000	2.2443	1.90
2	1000	2.1480	2.62
3	1000	2.1892	2.30
	ค่าเฉลี่ย	2.1972	2.27

หมายเหตุ * ความต่างศักย์ 2 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ พีเอช 7.5 เวลา 10 ชั่วโมง

4.3 ประมวลการค่าใช้จ่ายการสกัดเงินด้วยวิธีต่าง ๆ

4.3.1 การสกัดเงินโดยการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์

ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินด้วยวิธีนี้ประกอบด้วย

1. ค่าลงทุนระบบการสร้างตะกอน หรือทุนอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกรณ์แก้วขนาด 25 ลิตร ราคา 1000 บาท ซึ่งมีอายุการใช้งาน 3 ปี
2. ค่าใช้จ่ายประจำวัน หรือทุนหมุนเวียนซึ่งประกอบด้วย ค่าน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว ค่าสารเคมี คือ สารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น 240 กรัม/ลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล ซึ่งมีราคาคงนี้ โซเดียมซัลไฟด์ (Reagent Grade) ราคา 800 บาท/250 กรัม และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Reagent Grade)

ราคา 280 บาท/ 1000 กรัม ค่าหลอมแยกเงินจากตะกอน และค่าแรงงาน ซึ่งจะคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายของการตกตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์

รายการ	ราคา/สารละลาย 1 มล. (บาท)	ปริมาณที่ใช้/น้ำเสีย 1 ลิตร ที่สถานะที่ดีที่สุด ¹ (มล.)	ราคา/น้ำเสีย 20 ลิตร ² (บาท)
ค่าซื้อน้ำยาหยุดภาพ	0.005	1000	100
Na ₂ S 240 กรัม/ล.	0.075	100	150
NaOH 6 N	0.067	71	95.14
แรงงาน ³	-	-	110
ถังปฏิกรณ์ ⁴	-	-	6.4
ค่าหลอมตะกอน ⁵	-	-	23.08
ค่าขนส่งน้ำยา ⁶	-	-	6.69
		รวม	491.31

- หมายเหตุ 1. สถานะที่ดีที่สุด คือ พีเอช 10 และปริมาณสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 10 มล./น้ำยา 100 มล.
 2. ในการสกัดเงินแต่ละครั้งใช้น้ำยา 20 ลิตร และทำการสกัดสัปดาห์ละครั้ง
 3. ค่าแรงงาน ว่าจ้างแรงงาน 1 คน/วัน
 4. ถังปฏิกรณ์มีค่าเสื่อมราคา 6.41 บาท/ครั้ง
 5. ค่าหลอมตะกอนเพื่อแยกเงินคิดเป็น 5% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด
 6. ค่าขนส่งน้ำยาคิดที่ระยะทางไป-กลับรวม 200 กม. และบรรทุกครั้งละ 900 ลิตร

จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินจะเท่ากับ 491.31 บาทต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.6.1 พบว่าวิธีนี้จะสกัดเงินได้ 0.1339 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มล. หรือ 26.78 กรัมต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสกัดเงินคืน 1 กรัมจะเท่ากับ 18.35 บาท ในขณะที่ราคาซื้อขายเงินในวันที่ 24 กันยายน 2544 เป็น 6.38 บาทต่อเงิน 1 กรัม ดังนั้นเงินที่สกัดได้โดยวิธีนี้มีต้นทุนการสกัดที่สูงกว่าราคาที่รับซื้อในท้องตลาด

4.3.2 การสกัดเงินโดยการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริก

ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินด้วยวิธีนี้ประกอบด้วย

1. ค่าลงทุนระบบการสร้างตะกอน หรือทุนอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกรณ์แก้วขนาด 25 ลิตร ราคา 1000 บาท ซึ่งมีอายุการใช้งาน 3 ปี
2. ค่าใช้จ่ายประจำวัน หรือทุนหมุนเวียนซึ่งประกอบด้วย ค่าน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว ค่าสารเคมี คือ กรดไนตริกเข้มข้น 65% (Reagent Grade) ซึ่งมีราคา 495 บาท/ 2.5 ลิตร ค่าหลอมแยกเงินจากตะกอน และค่าแรงงาน ซึ่งจะคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าใช้จ่ายของการตกตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริก

รายการ	ราคา/สารละลาย 1 มล. (บาท)	ปริมาณที่ใช้/น้ำเสีย 1 ลิตร ที่สภาวะที่ดีที่สุด ¹ (มล.)	ราคา/น้ำเสีย 20 ลิตร ² (บาท)
ค่าซื้อน้ำยาหยุดภาพ	0.005	1000	100
กรดไนตริก 65%	0.198	120	475
แรงงาน ³	-	-	110
ถังปฏิกรณ์ ⁴	-	-	6.41
ค่าหลอมตะกอน ⁵	-	-	34.6
ค่าขนส่งน้ำยา ⁶	-	-	6.69
		รวม	732.7

หมายเหตุ 1. สภาวะที่ดีที่สุด คือ ปริมาณกรดไนตริก 12 มล./น้ำยา 100 มล. และเวลา 4 ชั่วโมง

2. ในการสกัดเงินแต่ละครั้งใช้น้ำยา 20 ลิตร และทำการสกัดสัปดาห์ละครั้ง

3. ค่าแรงงาน ว่าจ้างแรงงาน 1 คน/วัน

4. ถังปฏิกรณ์มีค่าเสื่อมราคา 6.41 บาท/ครั้ง

5. ค่าหลอมตะกอนเพื่อแยกเงินคิดเป็น 5% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

6. ค่าขนส่งน้ำยาคิดที่ระยะทางไป-กลับรวม 200 กม. และบรรทุกครั้งละ 900 ลิตร

จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินจะเท่ากับ 732.7 บาทต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.6.2 พบว่าวิธีนี้จะสกัดเงินได้ 0.1310 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มล. หรือ 26.2 กรัมต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสกัดเงินคืน 1 กรัมจะเท่ากับ 27.96 บาท ในขณะที่ราคารับซื้อเงินในวันที่ 24 กันยายน 2544 เป็น 6.38 บาทต่อเงิน 1 กรัม ดังนั้นเงินที่สกัดได้โดยวิธีนี้มีต้นทุนการสกัดที่สูงกว่าราคาที่รับซื้อในท้องตลาด

4.3.3 การสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก

ค่าใช้จ่ายของวิธีนี้ประกอบด้วย

1. ค่าลงทุนระบบการสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็กหรือทุนอุปกรณ์ คือ ถังปฏิกรณ์โพลิเอธิลีน ขนาด 25 ลิตร ราคา 300 บาท มีอายุการใช้งาน 3 ปี
2. ค่าใช้จ่ายประจำวัน หรือทุนหมุนเวียน ประกอบด้วย ค่าน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ ขดลวดเหล็กน้ำหนักประมาณ 40 กรัม ซึ่งมีราคา 16.67 บาทต่อ 1อัน สารเคมี คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล และค่าแรงงาน ซึ่งคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายประจำวันของการสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก

รายการ	ราคา/สารละลาย 1 มล. (บาท)	ปริมาณที่ใช้/น้ำเสีย 1 ลิตร ที่สถานะที่ดีที่สุด ¹ (มล.)	ราคา/น้ำเสีย 20 ลิตร ² (บาท)
ค่าซื้อน้ำยาหยุดภาพ	0.005	1000	100
NaOH 6 N	0.067	27.6	36.94
แรงงาน ³	-	-	110
ถังปฏิกรณ์ ⁴	-	-	1.92
ค่าขนส่งน้ำยา ⁵	-	-	6.69
		รวม	255.55

หมายเหตุ 1. สถานะที่ดีที่สุด คือ พีเอช 6.5 และเวลา 27 ชั่วโมง

2. ในการสกัดเงินแต่ละครั้งใช้น้ำยา 20 ลิตร และทำการสกัดสัปดาห์ละครั้ง

3. ค่าแรงงาน ว่าจ้างแรงงาน 1 คน/วัน

4. ถังปฏิกรณ์มีค่าเสื่อมราคา 1.92 บาท/ครั้ง

5. ค่าขนส่งน้ำยาคิดที่ระยะทางไป-กลับรวม 200 กม. และบรรทุกครั้งละ 900 ลิตร

จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินจะเท่ากับ 255.55 บาทต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.6.3 พบว่าวิธีนี้จะสกัดเงินได้ 1.9210 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร หรือ 38.42 กรัมต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสกัดเงินคืน 1 กรัมจะเท่ากับ 6.65 บาท ในขณะที่ราคาซื้อขายเงินในวันที่ 24 กันยายน 2544 เป็น 6.38 บาทต่อเงิน 1 กรัม ดังนั้นเงินที่สกัดได้โดยวิธีนี้มีต้นทุนการสกัดที่สูงกว่าราคาที่ซื้อขายในท้องตลาด

4.3.4 การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายของวิธีนี้ประกอบด้วย

1. ค่าลงทุนระบบการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า (แสดงผังอุปกรณ์ในภาคผนวก ค) ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์โพลิเอธิลีน ขนาด 30 ลิตร ราคา 400 บาท เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ราคา 1000 บาท แท่งคาร์บอนราคาแท่งละ 200 บาท แผ่นสแตนเลสชุดละ 100 บาท และมอเตอร์ไฟฟ้าราคา 1000 บาท อุปกรณ์ทั้งหมดมีอายุการใช้งาน 3 ปี
2. ค่าใช้จ่ายประจำวัน หรือต้นทุนหมุนเวียน คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล ค่าไฟฟ้า และค่าแรงงาน ซึ่งคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

รายการ	ราคา/หน่วย (บาท)	ปริมาณที่ใช้/น้ำเสีย 1 ลิตร ที่สภาวะที่ดีที่สุด ¹ (มล.)	ราคา/น้ำเสีย 20 ลิตร ² (บาท)
ค่าซื้อน้ำยาหยุดภาพ	5/ลิตร	1000	100
NaOH 6 N	0.067/มล.	38.6	51.72
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ³	1000/เครื่อง	-	6.41
มอเตอร์ไฟฟ้า ⁴	1000/เครื่อง	-	6.41
แท่งคาร์บอน ⁵	200/แท่ง	-	1.28
แผ่นสแตนเลส ⁶	100/ชุด	-	0.64
แรงงาน ⁷	-	-	110
ถังปฏิกรณ์ ⁸	-	-	2.56
ค่าขนส่งน้ำยา ⁹	-	-	6.69
		รวม	285.7

หมายเหตุ 1. สภาวะที่ดีที่สุด คือ พีเอช 7.5 ความต่างศักย์ 2 โวลท์ และเวลา 10 ชั่วโมง

2. ในการสกัดเงินแต่ละครั้งใช้น้ำยา 20 ลิตร และทำการสกัดสัปดาห์ละครั้ง

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเสื่อมราคา 6.41 บาท/ครั้ง

4. มอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเสื่อมราคา 6.41 บาท/ครั้ง

5. แท่งคาร์บอนมีค่าเสื่อมราคา 1.28 บาท/ครั้ง

6. แผ่นสแตนเลสมีค่าเสื่อมราคา 0.64 บาท/ครั้ง

7. แรงงาน ว่าจ้างแรงงาน 1 คน/วัน

8. ถังปฏิกรณ์มีค่าเสื่อมราคา 2.56 บาท/ครั้ง

9. ค่าขนส่งน้ำยาคัดที่ระยะทางไป-กลับรวม 200 กม. และบรรจุทุกครั้งละ 900 ลิตร

จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินจะเท่ากับ 285.7 บาทต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.6.4 พบว่าวิธีนี้จะสกัดเงินได้ 2.1972 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร หรือ 43.94 กรัมต่อน้ำเสีย 20 ลิตร ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสกัดเงินคืน 1 กรัมจะเท่ากับ 6.50 บาท ในขณะที่ราคารับซื้อเงินในวันที่ 24 กันยายน 2544 เป็น 6.38 บาทต่อเงิน 1 กรัม ดังนั้นเงินที่สกัดได้โดยวิธีนี้มีต้นทุนการสกัดที่สูงกว่าราคาที่รับซื้อในท้องตลาด แต่เป็นวิธีที่มีต้นทุนในการสกัดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 4 วิธี

4.4 การคิดรายรับจากการขายเงินที่สกัดได้

ราคาของเงินที่รับซื้อในท้องตลาดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าเงินบาท ซึ่งราคาการซื้อขายในวันที่ 24 กันยายน 2544 คือ 97 บาท ต่อเงินหนัก 1 บาท (15.2 กรัม) หรือ 6.38 บาทต่อเงิน 1 กรัม จากผลการทดลองและการคำนวณต้นทุนของการสกัดเงิน พบว่า ทั้ง 4 วิธีมีต้นทุนที่สูงกว่าราคารับซื้อ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาวิธีที่มีต้นทุนต่ำที่สุด คือ การสกัดเงินด้วยไฟฟ้านั้นก็มีต้นทุนที่สูงกว่าราคารับซื้อเงินไม่มาก คือ 6.50 บาทต่อเงิน 1 กรัมที่สกัดได้ ซึ่งถ้าราคารับซื้อเงินสูงขึ้นก็จะทำให้การสกัดเงินด้วยไฟฟ้านั้น ไม่ขาดทุน

4.5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบวิธีการสกัดเงินทั้ง 4 วิธี คือ

1. การสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์
2. การสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริก
3. การสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็ก
4. การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

พบว่าการสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยไฟฟ้า เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพราะสกัดเงินได้ปริมาณมากและมีต้นทุนในการสกัดต่ำที่สุด นอกจากนี้การสกัดด้วยไฟฟ้ายังทำได้ง่าย การเตรียมอุปกรณ์ไม่ยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายก็ต่ำกว่าวิธีอื่น และเงินที่สกัดได้ด้วยวิธีนี้เป็นเงินที่มีความบริสุทธิ์สูง นำไปขายได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีใด ๆ ทางเคมีอีก อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในการสกัดใช้สารเคมีน้อย และไม่มีตะกอนใดๆ ต้องกำจัดต่อ

จึงเห็นควรเลือกการสกัดเงินด้วยไฟฟ้าเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อทำการสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซเรย์ที่หมดสภาพแล้ว

ถึงแม้ว่าการสร้างตะกอนผลึกด้วยโซเดียมซัลไฟด์หรือกรดไนตริกจะได้ตะกอนผลึกปริมาณมาก แต่ในตะกอนผลึกนั้นมีธาตุอื่น เช่น โซเดียม อลูมิเนียม ซัลเฟอร์ เจือปนอยู่ด้วยโดยมีเงินจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ประมาณ 8-15 % ของน้ำหนักตะกอนผลึก อีกทั้งในขั้นตอนการหลอมตะกอนผลึกที่ได้เพื่อแยกเนื้อเงินออกมา อาจเกิดการสูญเสียเงินบางส่วนอีก โดยปนไปกับกากตะกอนที่เหลือ ซึ่งตะกอนที่เหลือจากการสกัดเงินนี้ยังต้องมีการกำจัดต่อ ในขณะที่การสกัดด้วยไฟฟ้าไม่เกิดตะกอนที่ต้องกำจัดต่อ ส่วนการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็กร่นั้น แม้ว่าขดลวดเหล็กจะมีพื้นที่ผิวเพื่อการเกาะติดของเงินมาก แต่ลักษณะเช่นนี้กลับทำให้การแยกเนื้อเงินที่มากเกาะขดลวดเหล็กทำได้ยาก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อนำกลับคืนเงิน เมื่อพิจารณาถึงการสูญเสียเงินระหว่างการสกัด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 สมดุลมวลของเงินของวิธีการสกัดต่างๆ

วิธีการ	ความเข้มข้น ของเงินก่อน สกัด (มก./ล)	ความเข้มข้น ของเงินหลัง สกัด(มก./ล)	ปริมาณเงิน ที่สกัดได้ (มก./ล)	ปริมาณเงิน ที่สูญเสีย (มก./ล)
การสร้างตะกอนผลึกด้วย Na ₂ S	2,267 (100%)	15.33 (0.6)	1,339 (59.1%)	912.67 (40.3%)
การสร้างตะกอนผลึกด้วยกรด ไนตริก	2,267 (100%)	22.00 (1.0%)	1,310 (57.8%)	935.00 (41.2%)
การแทนที่เหล็ก	2,267 (100%)	6.86 (0.3%)	1,921 (84.7%)	339.14 (15.0%)
การสกัดด้วยไฟฟ้า	2,267 (100%)	2.27 (0.1%)	2,197 (96.9%)	67.73 (3.0%)

จะเห็นได้ว่าการสกัดด้วยไฟฟ้าเป็นวิธีที่สกัดเงินได้มากที่สุด และสูญเสียเงินน้อยที่สุด เนื่องจากลักษณะการทำงานไม่เกิดการสูญเสียของเงินซึ่งต่างจากวิธีอื่นดังที่กล่าวในข้างต้น

อย่างไรก็ตามแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียที่สังเกตได้ระหว่างการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์

ข้อดี

1. ต้นทุนที่ใช้ในการสกัดเงินต่ำ
2. ไม่ต้องควบคุมสภาวะใด ๆ มาก เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์แล้ว ก็ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนตามเวลาที่กำหนดได้

ข้อเสีย

1. เกิดมลพิษทางอากาศ คือ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างการทดลอง
2. น้ำยาที่ผ่านการสกัดเงินแล้ว ไม่สามารถนำไปใช้ใหม่ได้อีก
3. ตะกอนที่ได้เป็นสารประกอบซัลไฟด์ และมีสารอื่นเจือปน จึงต้องนำไปหลอมแยกเงินออกมาอีกขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งจะเกิดตะกอนที่ต้องกำจัดต่อ
4. ใช้เวลานานในการตกตะกอน (1-2 วัน)

การสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริก

ข้อดี

1. เกิดตะกอนเร็ว และตะกอนรวมตัวกันได้ดี
2. ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเกิดตะกอนน้อย (1-4 ชั่วโมง)

ข้อเสีย

1. เนื่องจากกรดไนตริกที่ใช้เป็นกรดเข้มข้น จึงค่อนข้างอันตรายต่อการทำงาน
2. เกิดไอกรดขณะที่เติมกรดลงไปใต้น้ำยา
3. น้ำยาที่ผ่านการสกัดเงินแล้ว ไม่สามารถนำไปใช้ใหม่ได้อีกเพราะมีความเป็นกรดสูงมาก
4. ตะกอนที่ได้ต้องนำไปหลอมเพื่อแยกเงินออกมา

การสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก

ข้อดี

1. ไม่ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทางไฟฟ้า
2. ไม่ต้องมีการควบคุมสถานะขณะทำการสกัดเงิน
3. ไม่เกิดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการสกัดเงิน
4. ขดลวดเหล็กเป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาไม่แพง

ข้อเสีย

1. การแยกเงินออกจากขดลวดเหล็กทำได้ยาก
2. น้ำยาที่ผ่านการสกัดเงินด้วยวิธีนี้แล้ว ไม่สามารถนำกลับไปใช้ได้

การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

ข้อดี

1. เงินที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูง
2. น้ำยาที่ผ่านการสกัดเงินแล้ว อาจนำกลับไปใช้ได้ ในบางกระบวนการของการล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์
3. ไม่เกิดตะกอนที่ต้องกำจัดต่อ
4. ไม่เกิดมลพิษทางอากาศ

ข้อเสีย

1. ต้องมีการควบคุมสถานะในการสกัด เช่น ควบคุมค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า
2. เมื่อปริมาณเงินในน้ำยาเหลือถึงค่าหนึ่ง จะไม่สามารถสกัดเงินต่อไปได้อีก

ค่าใช้จ่ายของแต่ละวิธีก็แตกต่างกัน ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์
ที่หมดสภาพแล้ว ด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการ	ปริมาณเงินที่สกัดได้ (กรัม/น้ำเสีย 1000มล.)	ค่าใช้จ่ายต่อน้ำเสีย 1000 มล. (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่อเงินที่สกัด ได้ 1 กรัม (บาท)
การสร้างตะกอน ผลึกเงินด้วยโซเดียม ซัลไฟด์	1.3390	24.56	18.35
การสร้างตะกอนผลึก เงินด้วยกรดไนตริก	1.3100	36.64	27.96
การสกัดเงินโดยการ แทนที่เหล็ก	1.9210	12.78	6.65
การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า	2.1972	14.28	6.50

4.6 แนวทางในการจัดการน้ำเสีย

หลังจากการทดลองสกัดเงินด้วยวิธีสกัดด้วยไฟฟ้า ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ก็ได้
นำน้ำเสียที่ผ่านการสกัดเงินมาตรวจวัดลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่คาดว่าจะมีความสกปรก และอาจส่ง
ผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียและสิ่งแวดล้อม ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งได้แสดงในตารางที่
4.21

ตารางที่ 4.21 ลักษณะสมบัติน้ำเสียหลังจากการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า

ลักษณะสมบัติ	น้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ ที่หมดสภาพแล้ว	น้ำทิ้งที่ผ่านการสกัด เงินด้วยไฟฟ้าแล้ว	มาตรฐานน้ำทิ้งของ กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539)
พีเอช	4.78	5.72	5.5-9.0
COD	83,930	14,520	120-400 มก./ล.
เงิน	2,267	2.27	ไม่ได้กำหนด
สังกะสี	0.33	0.22	5 มก./ล.
แคดเมียม	0.81	0.14	0.03 มก./ล.
โบรไมด์	3,100	2,700	ไม่ได้กำหนด
ซัลเฟต	11,500	9,810	ไม่ได้กำหนด
ไนเตรต	430	340	ไม่ได้กำหนด

จากตารางข้างต้น จะเห็นได้ว่า COD ของน้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้วมีค่า 83,930 มก./ล. และหลังจากผ่านการสกัดเงินด้วยไฟฟ้าแล้ว มีค่าลดลงเหลือ 14,520 มก./ล. ซึ่งนับว่ามีค่าที่สูงมาก และเกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม คือ กลุ่มของโลหะหนักพบว่า แคดเมียมมีความเข้มข้นลดลงจาก 0.81 มก./ล. เหลือ 0.14 มก./ล. ซึ่งก็ยิ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ 0.03 มก./ล. ดังนั้นจึงต้องพิจารณาหาทางบำบัดน้ำเสียหลังจากการสกัดเงินออกแล้ว ซึ่งผู้ประกอบการสกัดเงินจากน้ำยาประเภทนี้ทำการสกัดเงินแล้วในอดีตจะทิ้งน้ำทิ้งที่ได้ลงท่อระบายน้ำของเทศบาลโดยตรง หรือเทราดลงพื้นดิน เนื่องจากน้ำยามีปริมาณน้อยและไม่ทราบว่ามีอันตราย ซึ่งเป็นการกระทำที่ขาดความรู้และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในปัจจุบันผู้ประกอบการเหล่านี้หลายรายได้รับความรู้เกี่ยวกับอันตรายของน้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จึงรวบรวมและนำไปทิ้งที่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาล ซึ่งเป็นระบบทางชีวภาพ ในขณะที่น้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว เป็นน้ำเสียเคมีที่ประกอบด้วยสารเคมีและโลหะหนักเจือปนอยู่ จึงต้องมีการตรวจสอบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ จะรับน้ำเสียประเภทนี้ได้หรือไม่ แม้ว่าน้ำเสียจะมีปริมาณน้อยแต่ก็มีความเข้มข้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ สูง เมื่อเจือจางกับน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ แล้ว จะเกินความสามารถในการรองรับหรือบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดน้ำเสียนั้นหรือไม่ หากคำนวณระดับการเจือจางแล้ว ค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์บางตัวยังมีค่าสูง ก็ควรมีระบบบำบัดขั้นต้น (Pre treatment) เพื่อลดโลหะหนักบางส่วนก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัด เพื่อป้องกันความเสียหายต่อระบบบำบัด

แต่เนื่องจากน้ำเสียเป็นน้ำยาเคมี ระบบบำบัดทางชีวภาพอาจจะไม่เหมาะสม จึงเห็นควรว่าวิธีที่จะใช้จัดการน้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์หลังจากการสกัดเงินแล้วควรเป็นการนำส่งศูนย์รับจัดการของเสียอันตรายที่ทางราชการรับรอง ซึ่งจะเป็นการกำจัดน้ำเสียเคมีที่มีความเข้มข้นของมลพิษสูงได้ดีที่สุด