

บทที่ 4

ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัยโครงการวิจัยที่ 2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับ

หินพัมมิชเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟและมีการทับถมนานตามธรรมชาติ จึงทำให้มีเศษฝุ่นและดินเกาะติดตามพื้นผิวภายนอกและภายในโพรงดังนั้นจำเป็นต้องทำความสะอาดและปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก และใช้ Deciator เป็นตัวช่วยทำความสะอาดอนุภาคบางประเภทที่อาจติดอยู่ในโพรงของหินพัมมิช ตามภาพที่ 2.10-2.15



ภาพที่ 2.10 หินพัมมิชลพบุรีก่อนทำความสะอาด



ภาพที่ 2.11 หินพัมมิชลำปางก่อนทำความสะอาด



ภาพที่ 2.12 หินพัมมิชอินโดนีเซียก่อนทำความสะอาด



ภาพที่ 2.13 หินพัมมิชลพบุรีหลังทำความสะอาด



ภาพที่ 2.14 หินพัมมิชลำปางหลังทำความสะอาด



ภาพที่ 2.15 หินพัมมิชอินโดนีเซียหลังทำความสะอาด

1.1 การหาค่าประกอบทางเคมีของหินพัมมิช

การศึกษาหาค่าประกอบทางเคมีของหินพัมมิชโดยการทำให้หินพัมมิชอยู่ในรูปของสารละลายด้วยวิธีการย่อย จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่องวัดปริมาณโลหะหนัก (ICP) จากตัวอย่างหินพัมมิชลพบุรี 5 ตัวอย่าง ได้แก่ หินพัมมิชลพบุรี 1 หินพัมมิชลพบุรี 2 หินพัมมิชลพบุรี 3 หินพัมมิชลพบุรี 4 และหินพัมมิชลพบุรี 5

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินพัมมิชลพบุรี

องค์ประกอบของหินพัมมิช	ชนิดของหินพัมมิช Major Oxides [wt%]				
	ลพบุรี 1	ลพบุรี 2	ลพบุรี 3	ลพบุรี 4	ลพบุรี 5
ซิลิกา	69.45	69.27	69.55	69.41	69.45
อะลูมินา	13.64	13.71	13.88	13.27	14.23
เฟอร์ริกออกไซด์	1.19	1.15	1.10	1.24	1.23
แคลเซียมออกไซด์	1.10	1.0	1.20	1.16	1.18
แมกนีเซียมออกไซด์	0.11	0.20	0.21	0.18	0.12
โซเดียมออกไซด์	1.13	1.07	1.03	1.09	1.03
โพแทสเซียมออกไซด์	5.32	5.37	5.28	5.30	5.21
แมงกานีสไดออกไซด์	0.19	0.18	0.16	0.17	0.18

จากตาราง 4.19 พบว่า ในหินพัมมิชลพบุรี 1-5 มีซิลิกามากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 69.27 - 69.55 รองลงมาคืออะลูมินาอยู่ในช่วงร้อยละ 13.27 - 14.23 เฟอร์ริกออกไซด์ อยู่ในช่วงร้อยละ

ละ 1.10 – 1.24 แคลเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.00-1.20 แมกนีเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.11 - 0.21 โซเดียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.03 - 1.13 โพแทสเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 5.21 - 5.37 และแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.16 - 0.19

ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินพัมมิชลำปาง

องค์ประกอบของหินพัมมิช	ชนิดของหินพัมมิช Major Oxides [wt%]				
	ลำปาง 1	ลำปาง 2	ลำปาง 3	ลำปาง 4	ลำปาง 5
ซิลิกา	61.00	61.15	60.43	60.88	60.77
อะลูมินา	24.32	24.09	24.54	24.30	24.58
เฟอร์ริกออกไซด์	3.42	3.23	3.12	3.33	3.25
แคลเซียมออกไซด์	3.67	3.65	3.48	3.50	3.58
แมกนีเซียมออกไซด์	0.11	0.15	0.13	0.13	0.15
โซเดียมออกไซด์	1.10	1.12	1.10	1.12	1.10
โพแทสเซียมออกไซด์	4.59	4.58	4.73	4.30	4.35
แมงกานีสไดออกไซด์	4.35	4.30	4.28	4.25	4.40

ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมีของหินพัมมิชลำปาง แสดงในตารางที่ 2.2 โดยหินพัมมิชลำปาง 1-5 มีซิลิกามากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 60.43 - 61.15 รองลงมาคืออะลูมินาอยู่ในช่วงร้อยละ 24.09 - 24.58 เฟอร์ริกออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 3.12 - 3.42 แคลเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 3.48 - 3.67 แมกนีเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.11 - 0.15 โซเดียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.10 - 1.12 โพแทสเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 4.30 - 4.73 และแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 4.25 - 4.40

ตารางที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหินพัมมิชอิน โดนีเซีย

องค์ประกอบของหินพัมมิช	ชนิดของหินพัมมิช Major Oxides [wt%]				
	อินโดนีเซีย 1	อินโดนีเซีย 2	อินโดนีเซีย 3	อินโดนีเซีย 4	อินโดนีเซีย 5
ซิลิกา	61.29	60.91	61.33	61.04	61.32
อะลูมินา	24.55	24.21	24.17	24.38	24.22
เฟอร์ริกออกไซด์	3.47	3.33	3.41	3.44	3.39
แคลเซียมออกไซด์	3.85	3.82	3.81	3.80	3.82

องค์ประกอบของหินพิมพ์	ชนิดของหินพิมพ์มีช Major Oxides [wt%]				
แมกนีเซียมออกไซด์	0.15	0.11	0.13	0.14	0.11
โซเดียมออกไซด์	1.20	1.09	1.15	1.19	1.18
โพแทสเซียมออกไซด์	0.58	0.69	0.58	0.57	0.55
แมงกานีสไดออกไซด์	5.32	5.41	5.44	5.11	5.42

จากตาราง 4.21 พบว่า ในหินพิมพ์มีชอินโดนีเซีย 1-5 มีซิลิกามากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 60.91 - 61.33 อลูมินาอยู่ในช่วงร้อยละ 24.17 - 24.55 เฟอริกออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 3.33 - 3.47 แคลเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 3.80 - 3.85 แมกนีเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.11 - 0.15 โซเดียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.09 - 1.20 โพแทสเซียมออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.55 - 0.69 และแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 5.11 - 5.44

ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าหินพิมพ์มีชจากลพบุรี มีปริมาณอลูมินา น้อยที่สุดซึ่งปริมาณของอะลูมินาจะสัมพันธ์กับจำนวน Active site ของคาร์บอนไอออนที่พบใน โครงสร้างของหินพิมพ์มีช ในขณะที่เดียวกันพบว่าปริมาณของอลูมินาทั้งจากอินโดนีเซียและลำปาง มีปริมาณที่ใกล้เคียงกันคือโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 24-25 ส่วนปริมาณแคลไออน ที่เป็นตัว balance ประจุของอลูมินาพบว่าปริมาณเหล็กและแคลเซียมในรูปของเฟอริกออกไซด์และ แคลเซียมออกไซด์ พบมากในหินพิมพ์มีชทั้งจากอินโดนีเซียและลำปางส่วนปริมาณ แคลไออน หมู่หนึ่งทั้งโซเดียมและโพแทสเซียมพบมากในหินพิมพ์มีชที่มีมาจากเมืองไทย

1.2 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์

1.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าค่ามาตรฐานน้ำ ทิ้งของโลหะทองแดงเท่ากับ 2 ppm สังกะสีเท่ากับ 5 ppm แคลเมียมเท่ากับ 0.03 ppm ตะกั่ว เท่ากับ 0.2 ppm และปรอท 0.05 ppm

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
โลหะหนัก (Heavy Metal) สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
โครเมียมชนิดเฮกซะวา เลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	- Atomic Absorption Cold Vapour Technique
อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	
ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ในการทดลองนี้เตรียมน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของโลหะมากกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง 10 เท่า คือความเข้มข้น สังกะสี 50 ppm ทองแดง 20 ppm แคดเมียม 0.3 ppm ตะกั่ว 2 ppm และปรอท 0.05 ppm ตามลำดับ

1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก (แบบ continuous)

จากการศึกษาพบว่า หินพัมมิชที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการทดลองนี้ใช้หินพัมมิชขนาดไม่เกิน 4.75 mm. ซึ่งในกรณีนี้จะพิจารณาเฉพาะหินพัมมิชลพบุรี 1 หินพัมมิชลำปาง 1 และหินพัมมิชอินโด 1 จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียมและปรอท ของหินพัมมิชจากแหล่งดังกล่าวสามารถกำจัดโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ได้ไม่เท่ากัน การเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิด %removal

ตารางที่ 2.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์

ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก removal, %				
	หินพัมมิชลพบุรี 1	หินพัมมิชลำปาง 1	หินพัมมิชอินโดนีเซีย 1	เรซิน	คอมโพสิต
สังกะสี	68.21	68.54	75.15	67.54	72.37
ทองแดง	69.48	70.21	78.64	69.14	75.64
แคดเมียม	75.24	76.38	80.59	74.25	79.11
ตะกั่ว	69.54	81.25	84.26	68.72	80.47
ปรอท	100	100	100	100	100

จากตารางที่ 4.23 พบว่าหินพัมมิชอินโดนีเซียมีประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสีได้ดีที่สุดร้อยละ 75.15 รองลงมาคือ คอมโพสิตร้อยละ 72.37 หินพัมมิชลำปางร้อยละ 68.54 หินพัมมิชจากลพบุรี ร้อยละ 68.21 และเรซินร้อยละ 67.54 หินพัมมิชอินโดนีเซียมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงได้ดีที่สุด ร้อยละ 78.64 รองลงมาคือ คอมโพสิตร้อยละ 75.64 หินพัมมิช

ลพบุรีร้อยละ 69.48 และเรซินร้อยละ 69.14 หินพัมมิชอินโดนีเซียมีประสิทธิภาพในการกำจัด แคลเมียมได้ดีที่สุดร้อยละ 80.59 รองลงมาคือ คอมโพสิทร้อยละ 79.11 หินพัมมิชลำปางร้อยละ 76.38 หินพัมมิชลพบุรีร้อยละ 75.24 และเรซินร้อยละ 74.25 หินพัมมิชอินโดนีเซียประสิทธิภาพ ในการกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุดร้อยละ 84.26 รองลงมาคือ หินพัมมิชลำปางร้อยละ 81.25 คอมโพสิท ร้อยละ 80.47 หินพัมมิชลพบุรีร้อยละ 69.54 และเรซินร้อยละ 68.72 สำหรับประสิทธิภาพในการ กำจัดปรอทมีการกำจัดได้ดีทุกตัวดูค่าคือร้อยละ 100

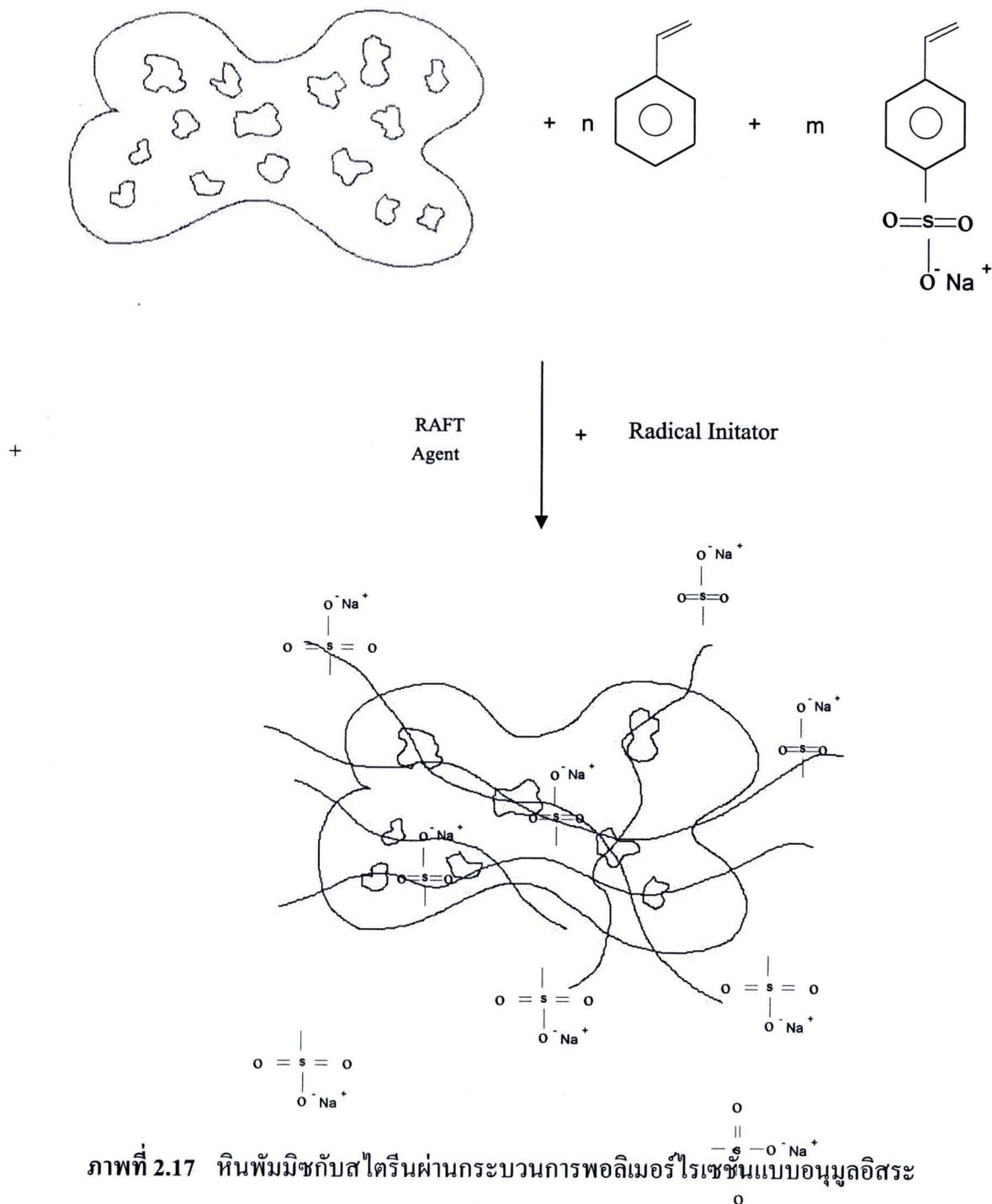
1.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก (แบบ batch)

จากการศึกษาพบว่า หินพัมมิชที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพในการกำจัด โลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการทดลองนี้ใช้หินพัมมิชขนาดไม่เกิน 4.75 mm. ซึ่งในกรณีนี้จะ พิจารณาเฉพาะหินพัมมิชลพบุรี 1 หินพัมมิชลำปาง 1 และหินพัมมิชอินโด 1 จากการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคลเมียมและปรอท ของหินพัมมิชจาก แหล่งดังกล่าวสามารถกำจัดโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ได้ไม่เท่ากัน การเปรียบเทียบความสามารถใน การกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิด %removal แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์

ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก removal,%				
	หินพัมมิชลพบุรี 1	หินพัมมิชลำปาง 1	หินพัมมิชอินโดนีเซีย 1	เรซิน	คอมโพสิท
สังกะสี	70.24	70.58	77.42	71.35	71.12
ทองแดง	70.87	71.54	79.52	72.54	72.53
แคลเมียม	76.21	77.85	81.79	81.76	79.36
ตะกั่ว	77.54	83.13	85.24	83.54	80.45
ปรอท	100	100	100	100	100

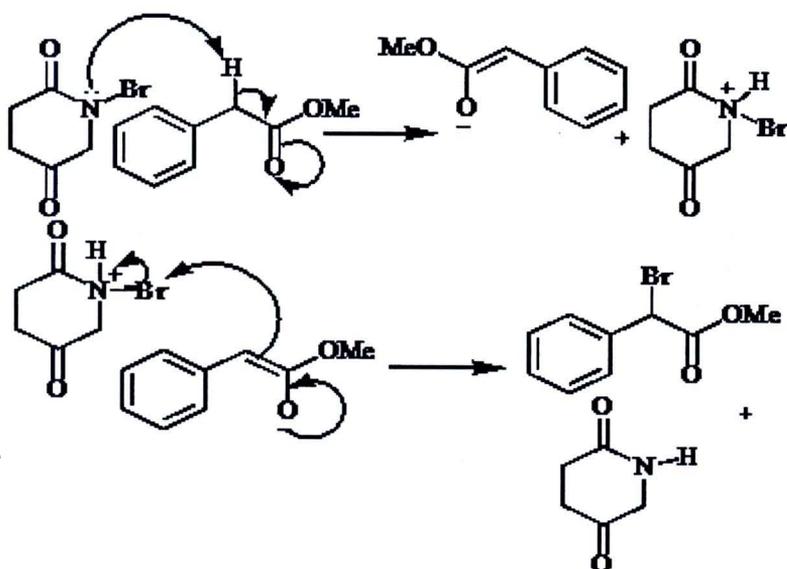
จากตารางที่ 2.6 พบว่าหินพัมมิชอินโดนีเซียมีประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสีได้ดีที่สุดร้อยละ 77.42 รองลงมาคือ เรซินร้อยละ 71.35คอมโพสิทร้อยละ 71.12 หินพัมมิชจาก ลำปางร้อยละ 70.58 และหินพัมมิชลพบุรีร้อยละ 70.24 หินพัมมิชอินโดนีเซียมีประสิทธิภาพใน การกำจัดทองแดงได้ดีที่สุด ร้อยละ 79.52รองลงมาคือ เรซินร้อยละ 72.54 คอมโพสิทร้อยละ 72.53 หินพัมมิชลำปางร้อยละ 71.54 และหินพัมมิชลพบุรีร้อยละ 70.87 หินพัมมิชอินโดนีเซียมี



ภาพที่ 2.17 หินพัมมิชกับสไตรีนผ่านกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุโมลติสระ

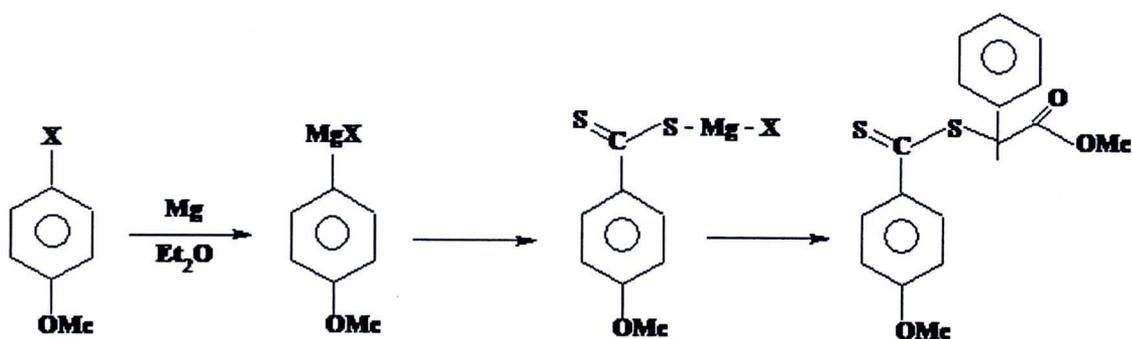
1.7 การสังเคราะห์ methyl α -bromophenyl acetate

ปฏิกิริยาการเติมโบรมีนผ่าน ตำแหน่ง α carbon ของ methyl ester สามารถทำได้ โดยการเติมโบรมีนผ่าน *N*-bromo succinimide



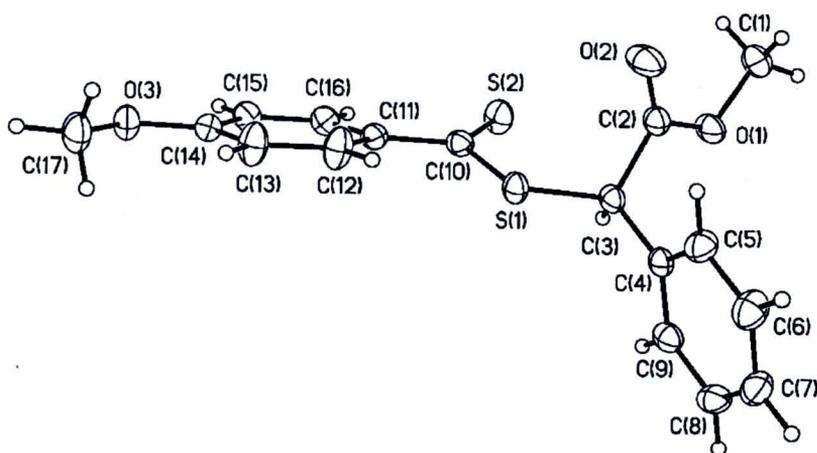
ภาพที่ 2.18 methyl α -bromophenyl acetate

หลังจากนั้น methyl α -bromophenyl acetate ทำปฏิกิริยากับ benzophenone และ 2-bromoanisole พร้อม carbondisulfide เพื่อผลิต Methyl 2-(2-methoxybenzodithioyl)-2-phenylacetate (MoBDP)



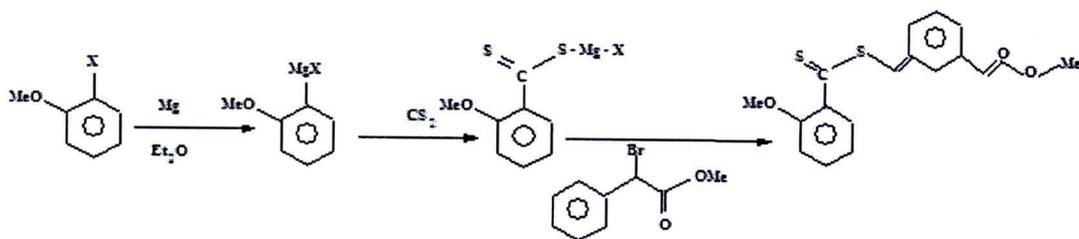
ภาพที่ 2.19 โครงสร้างของ Methyl 2-(2-methoxybenzodithioyl)-2-phenylacetate (MoBDP)

หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์และตกผลึกด้วยสารละลายผสมระหว่าง Diethyl ether กับ hexane จะได้ผลึกสีส้มแดงผลึกที่ได้นี้นำไปศึกษาด้วย X-ray single crystallography จะได้โครงสร้างดังแสดงในรูป 4.6

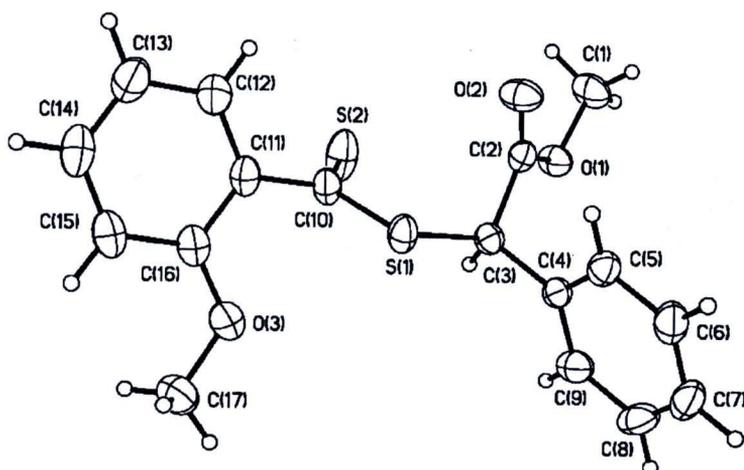


ภาพที่ 2.20 ORTEP ของ Methyl 2-(2-methoxybenzodithiopyl)-2-phenylacetate (MoBDP)

ส่วนการสังเคราะห์ methyl 2-(4-methoxybenzodithiopyl)-2-phenylacetate (MpBDP) Methyl α -bromophenyl acetate ทำปฏิกิริยากับ benzophenone และ 4-bromoanisole โดยมี carbondisulfid



ภาพที่ 2.21 ขั้นตอนการสังเคราะห์ของ Methyl 2-(4-methoxybenzodithiopyl)-2-phenylacetate (MpBDP)



ภาพที่ 2.22 ORTEP ของ methyl 2-(4-methoxybenzodithioyl)-2-phenylacetate (MpBDP)