บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

<u>การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างๆ</u>

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวาที่ใช้ในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate Water Hyacinth)
2. ซัลโฟเอทีล (Sulphoethyl Water Hyacinth)

ตารางที่ 1-4 ในภาคผนวก ข. แสดงผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 5.1 แสดงผลสรุปของลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการวิจัยที่ทำจากผักตบชวา

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 5.1 พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตและซัลโฟเอทีลมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันมากทั้งความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) และความหนาแน่นจริง (True density) โดยสารเซลลูโลสชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตมีค่าความหนาแน่นปรากฏเท่ากับ0.318 กรัม/มล. และความหนาแน่นจริงเท่ากับ 1.68 กรัม/มล. ส่วนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทีล มีค่าความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริงเท่ากับ 0.328 และ 1.661 กรัม/มล. ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆ ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน พบว่า เมื่อสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ช่องว่างภายในจะมีค่าลดลงจึงทำให้เก็บกักน้ำไว้ภายในได้น้อย ซึ่งจะเป็นผลให้สารแลกเปลี่ยนไอออนมีความชื้นภายในต่ำและมีค่าการบวมน้ำต่ำด้วย

ตารางที่ 5.1 ลักษณะทางกายภาพ-เคมี ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

ชนิดสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน	Particle Size (mm)	V(SD)*	Apparent density (g/ml)	True density (g/ml)	% Void Volume	%Moisture Content (Dry REsin)	% Moisture Content (Wet Resin)	Swelling (ml/g dry Resin)
Crosslink-Xanthate	0.18-0.212	65	0.318	1.680	81.071	8.045	61.309	12.2
Sulphoethyl	0.18-0.212	65	0.328	1.661	80.253	8.455	61.138	10.8
** Untreated	0.18-0.212	65	0.227	1.052	78.430	9.321	78.351	21.3
** Carboxylmethyl	0.18-0.212	70	0.274	1.135	75.874	10.032	72.995	13.9

* SD = Settled and Drained

** เกศสุชา (2537)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการทดลองของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการวิจัยนี้ พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ที่กล่าวข้างต้นและค่าที่ได้ของสารเซลลูโลสทั้งสองต่างกันเพียงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของเกศสุชา (2537) พบว่า ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ ส่วนค่าความชื้นและการบวมน้ำจะมีค่าลดลง เนื่องจากในการปรับสภาพผักตบชวาด้วยกระบวนการทางเคมี ขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการ คือ การนำผักตบชวากวนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ปฏิกริยานี้ทำให้การบวมน้ำของผักตบชวาลดลง จากนั้นจึงทำการเติมสารซึ่งแสดงหมู่ไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีดีกว่าผักตบชวา ที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมี

<u>การเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ</u>

ตารางที่ 5 ในภาคผนวก ค แสดงผลการทดลองในการศึกษาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

ตารางที่ 5.2 แสดงผลสรุปขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 5.2 พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทั้ง 2 ชนิด มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนใกล้เคียงกันมาก โดยครอสลิ้ง-แซนเทตมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ในช่วง 0.279-0.595 meq/g โดยขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองและซัลโฟเอทิล มีขีดความสามารถในการแลกปลี่ยนไอออนอยู่ในช่วง 0.233-0.503 meq/g

เมื่อพิจารณาถึง ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทั้ง 2 ชนิดนี้ พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตและซัลโฟเอทิล มีลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกัน คือ ชอบแลกเปลี่ยนไอออนกับสังกะสีมากกว่านิคเกิลและทองแดง ดังนั้นขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนกับสังกะสีจึงมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ นิคเกิลและทองแดงตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างๆ

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (meq/g)		
	ทองแดง	นิคเกิล	สังกะสี
Crosslink-Xanthate	0.279	0.583	0.595
Sulphoethyl	0.233	0.500	0.503
Untreated *	0.809	0.686	0.705
Carboxymethyl *	0.496	0.346	0.330

* เกศสุชา (2537)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 5.2 เมื่อพิจารณาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวาทั้ง 4 ชนิด พบว่า ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงสุด คืออยู่ในช่วง 0.686-0.809 meq/g รองลงมา คือ ผักตบชวาแบบครอสส์ลิ้ง-แซนเทต ซัลโฟเอธิลและคาร์บอกซี่เมทิล ซึ่งมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ในช่วง 0.279-0.595 , 0.233-0.503 และ 0.33-0.496 meq/g ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพมีค่าสูงกว่าผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีประมาณ 1-3.5 เท่า โดยขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนัก ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า กระบวนการทางเคมีที่เลือกใช้ในการปรับสภาพผักตบชวาในการวิจัยนี้ไม่สามารถทำให้ ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นได้

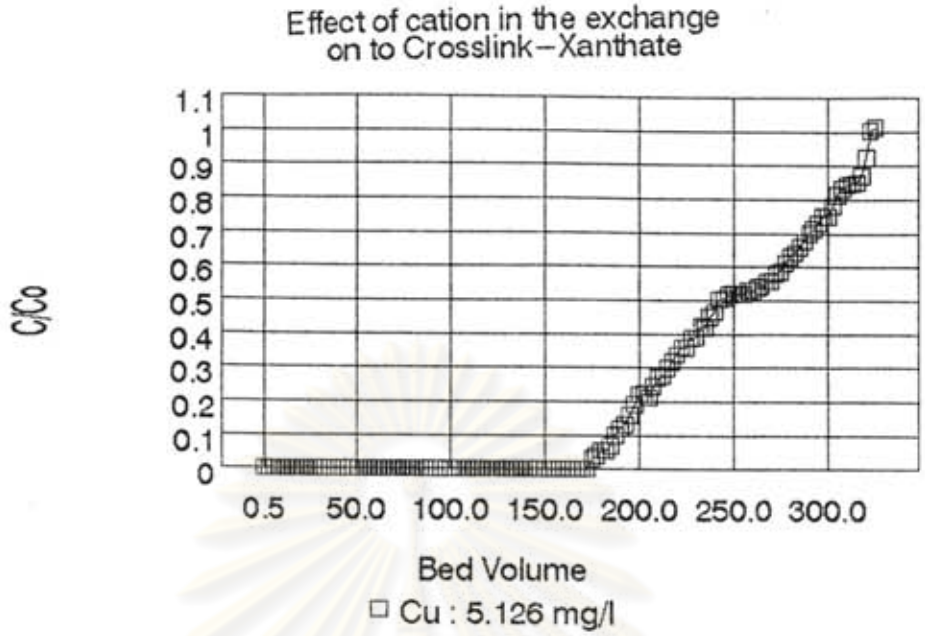
<u>การเปรียบเทียบผลของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพผักตบชวาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย</u>

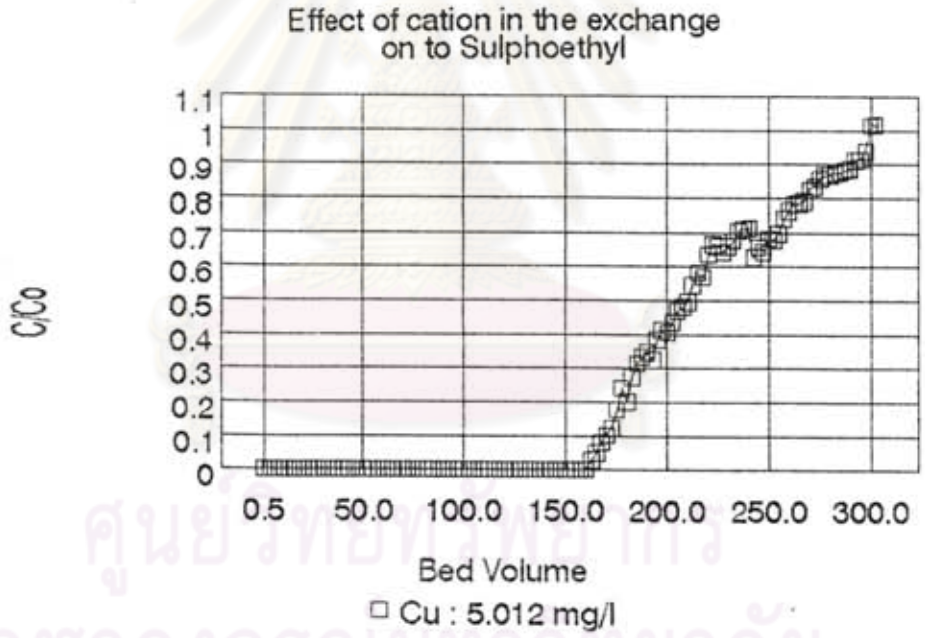
การวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของผักตบชวา ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ

1. ผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยสาร Epichlorohydrin และ Carbon disulfide มีคุณสมบัติเป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดกรดอ่อน เรียกว่า ครอสส์ลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate Cellulose)
2. ผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยการ Sodium 2-Chloroethane Sulphonate มีคุณสมบัติเป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดกรดแก่ เรียกว่า ซัลโฟเอทีล (Sulphoethyl Cellulose)

ผลการทดลอง จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวาทั้ง 2 ชนิด แสดงในภาคผนวก ง. สามารถสรุปเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.1-5.12 โลหะหนักที่ใช้ในการทดลองคือ ทองแดง นิคเกิลและสังกะสีโดยมีความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับ 5,10,20 และ 50 มก./ล.

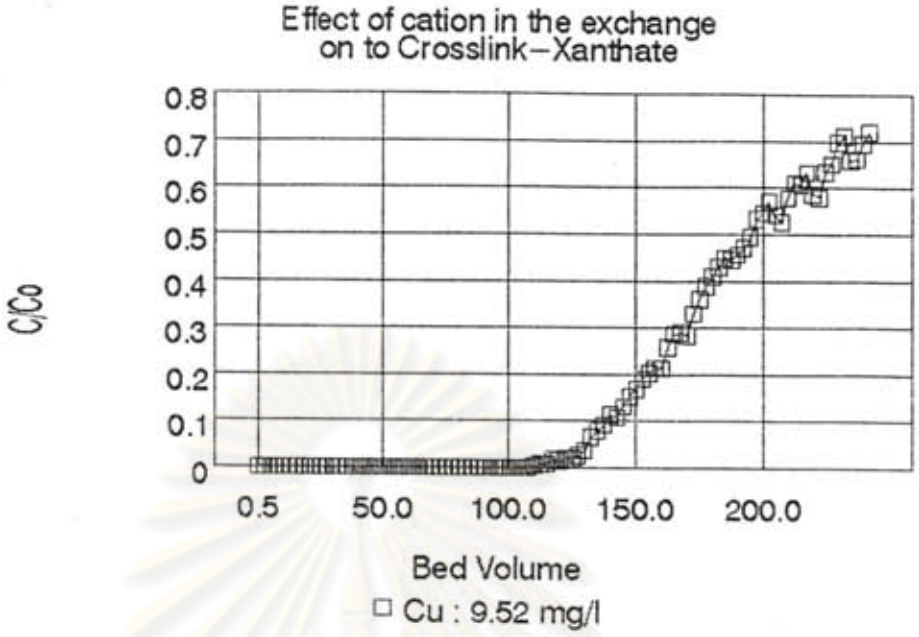
จากผลการทดลอง พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิ้ง-แซนเทต มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าสารแลกเปลี่ยนชนิดซัลโฟเอทีล ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.3-5.6 โดยครอสส์ลิ้ง-แซนเทตสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้อยู่ในช่วง 67-592 ปริมาตรเซ็นและซัลโฟเอทีลสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้อยู่ในช่วง 60-437 ปริมาตรเรซินทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและ

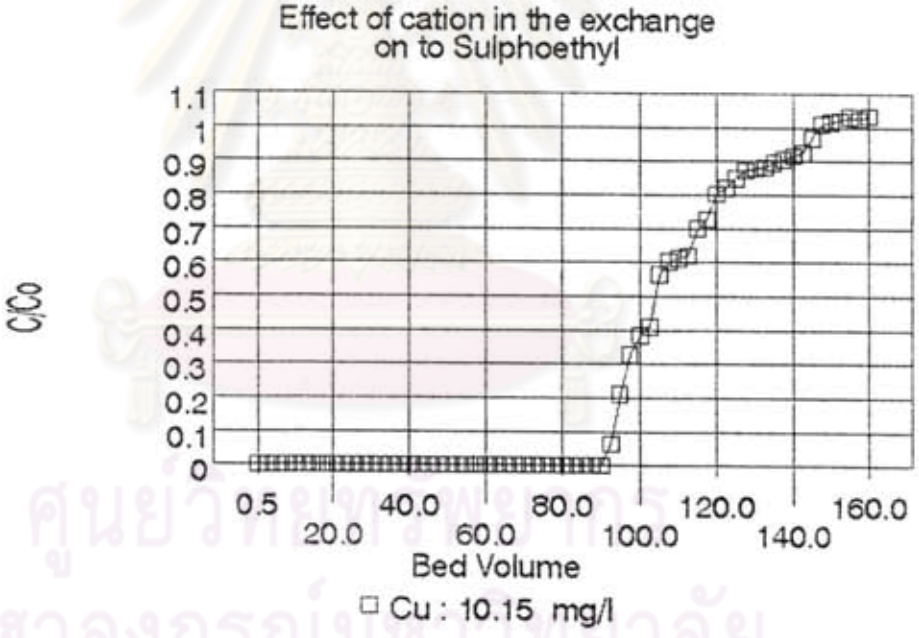




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

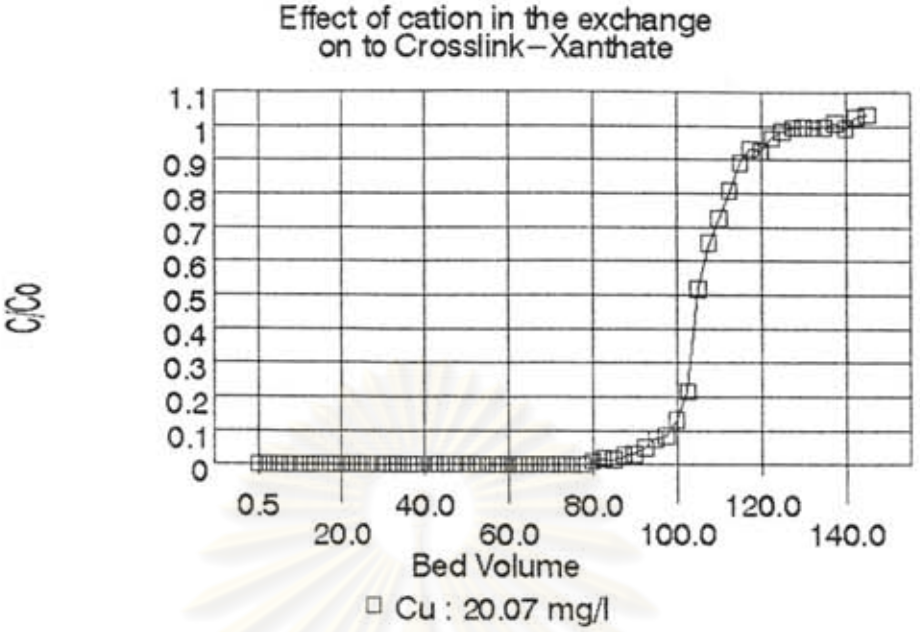
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณทองแดงประมาณ 5 mg/l

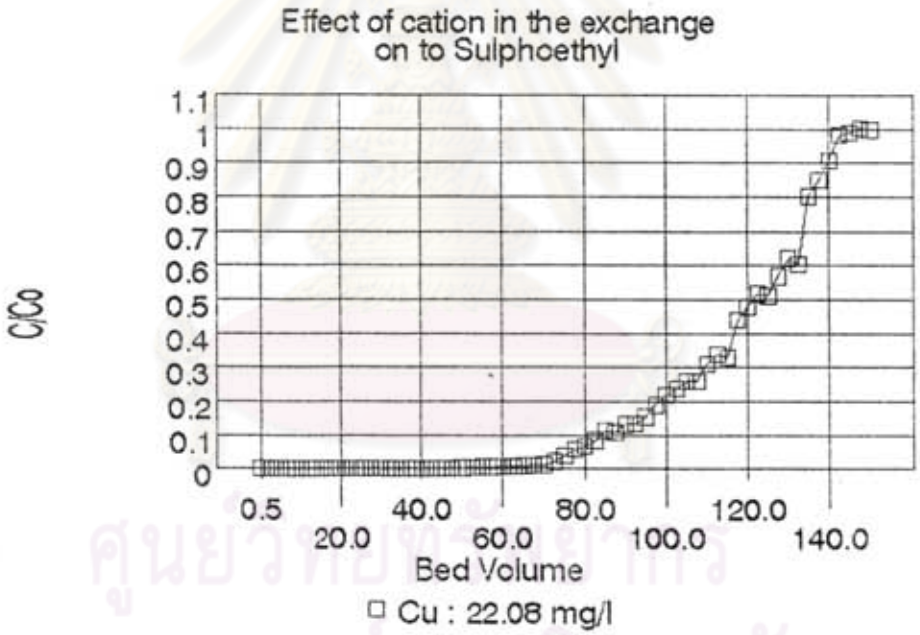




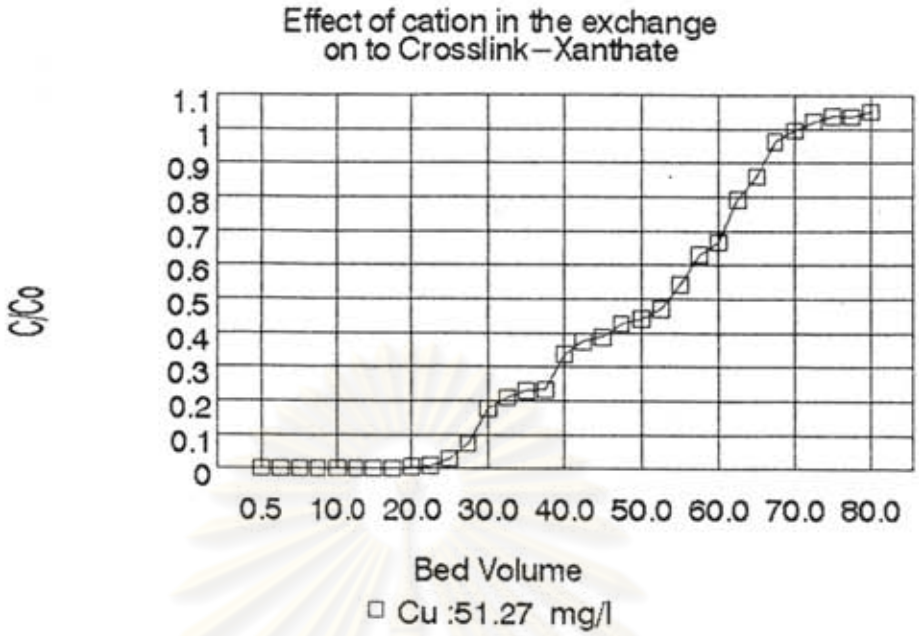
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณทองแดงประมาณ 10 mg/l

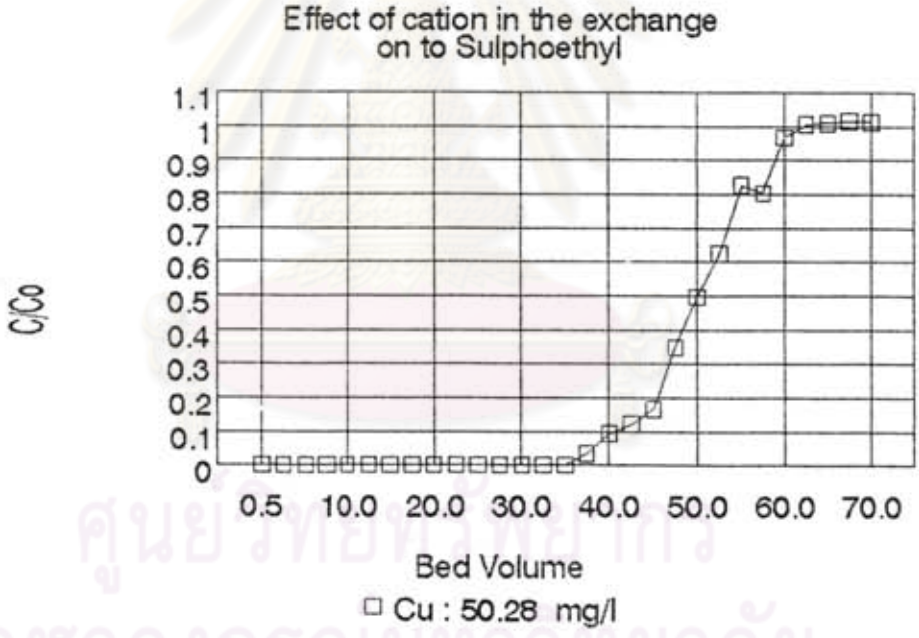
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





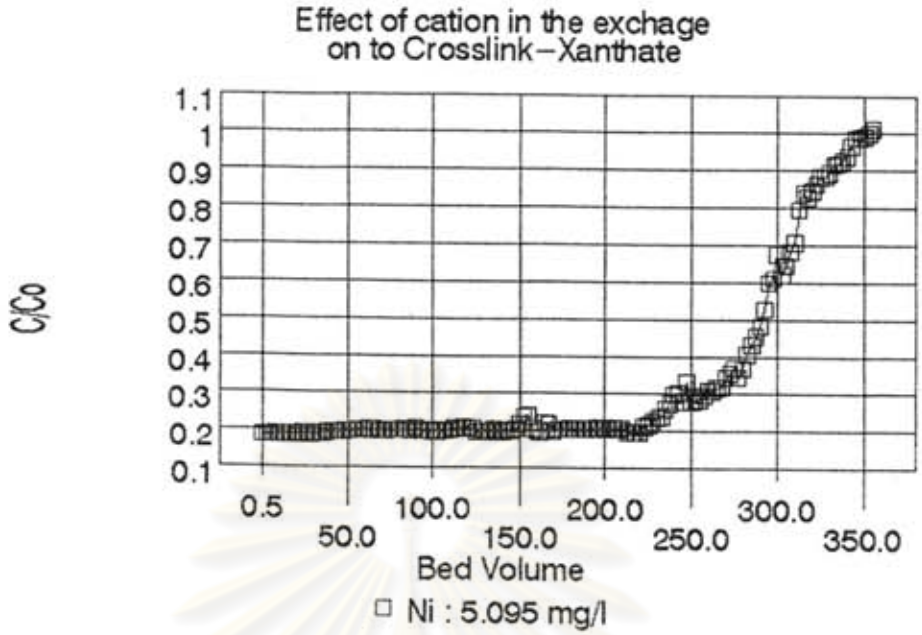
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณทองแดงประมาณ 20 mg/l

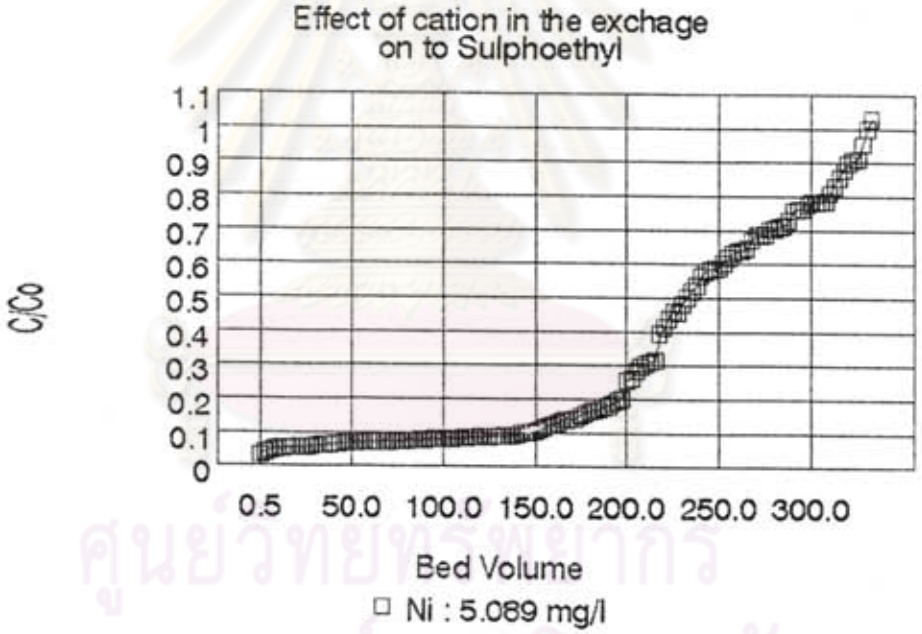




รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณทองแดงประมาณ 50 mg/l

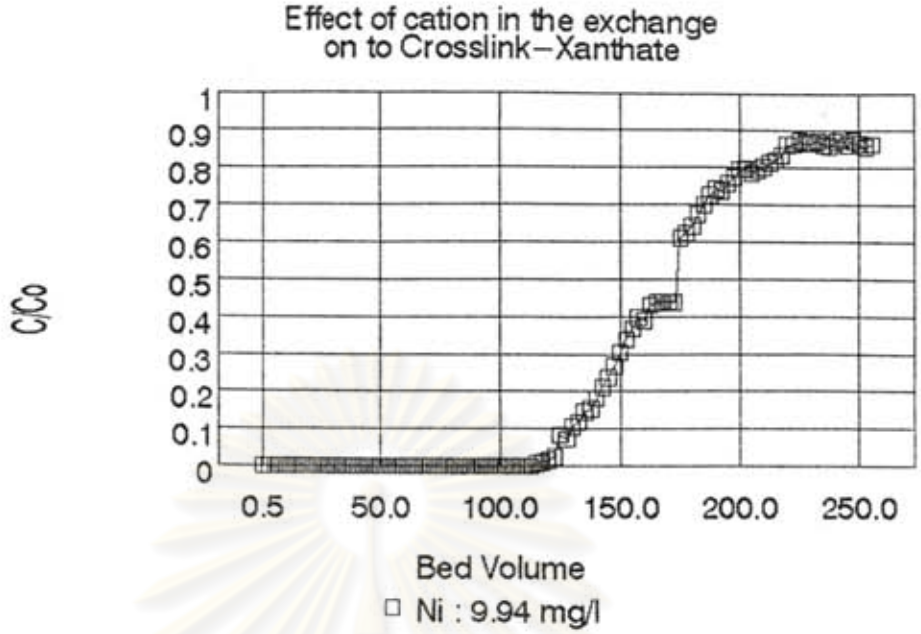
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

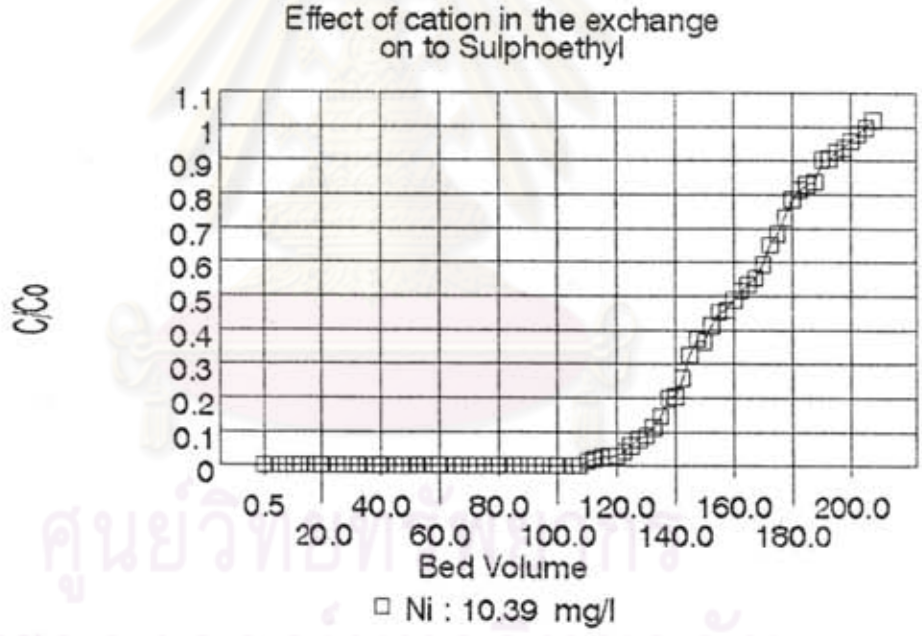




รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิคเกิลประมาณ 5 mg/l

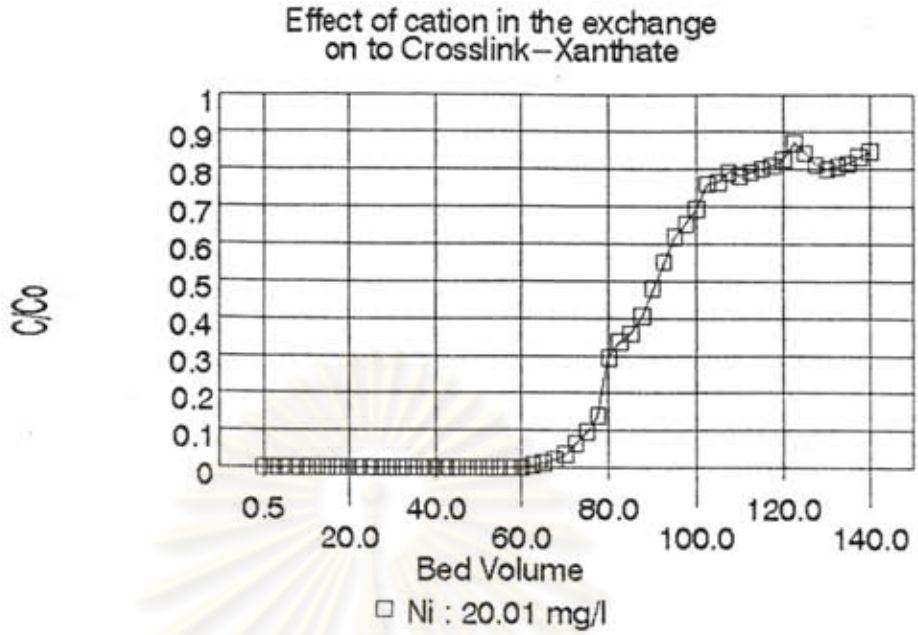
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

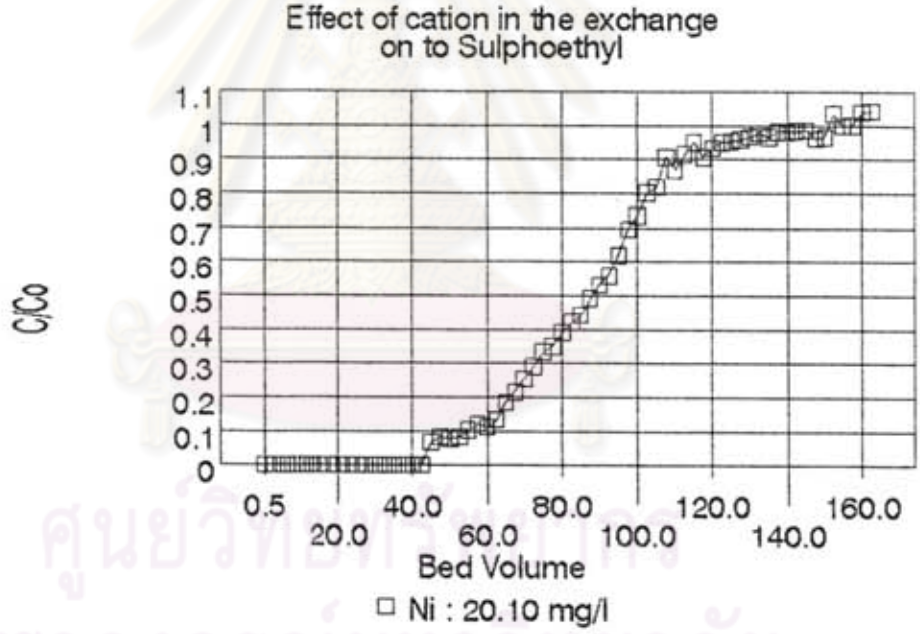




รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิคเกิลประมาณ 10 mg/l

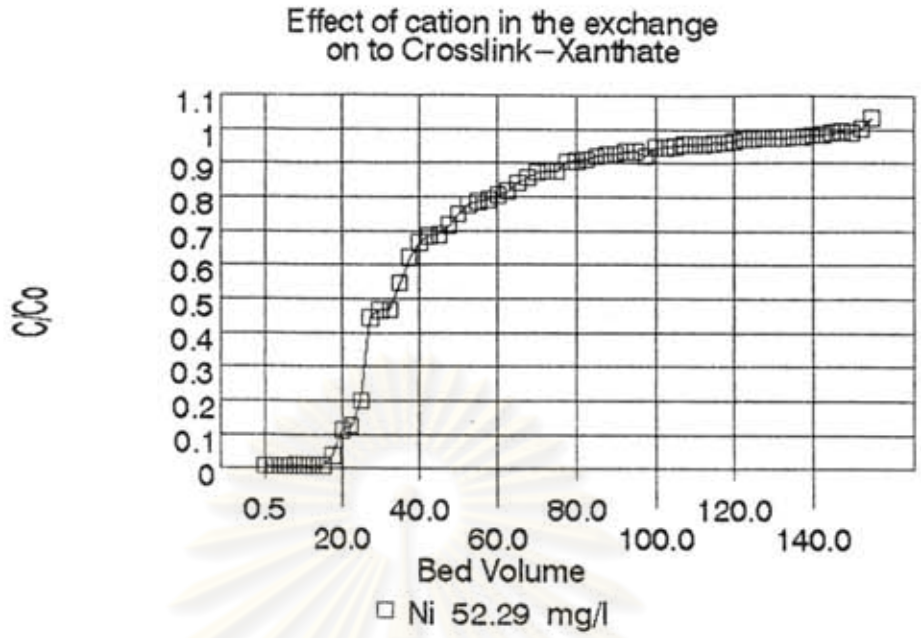
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

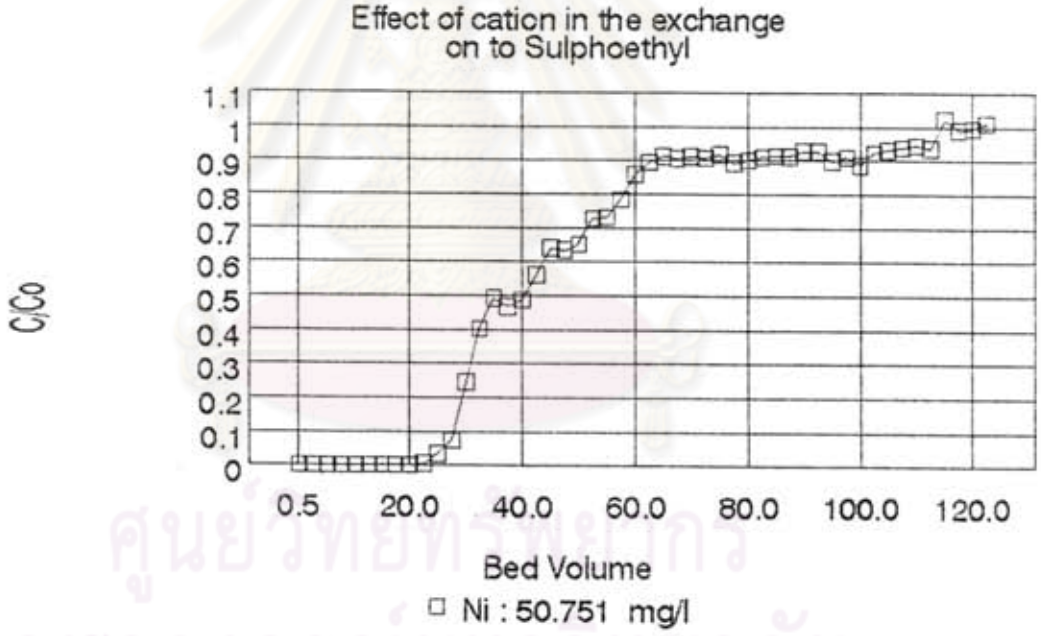




รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิคเกิลประมาณ 20 mg/l

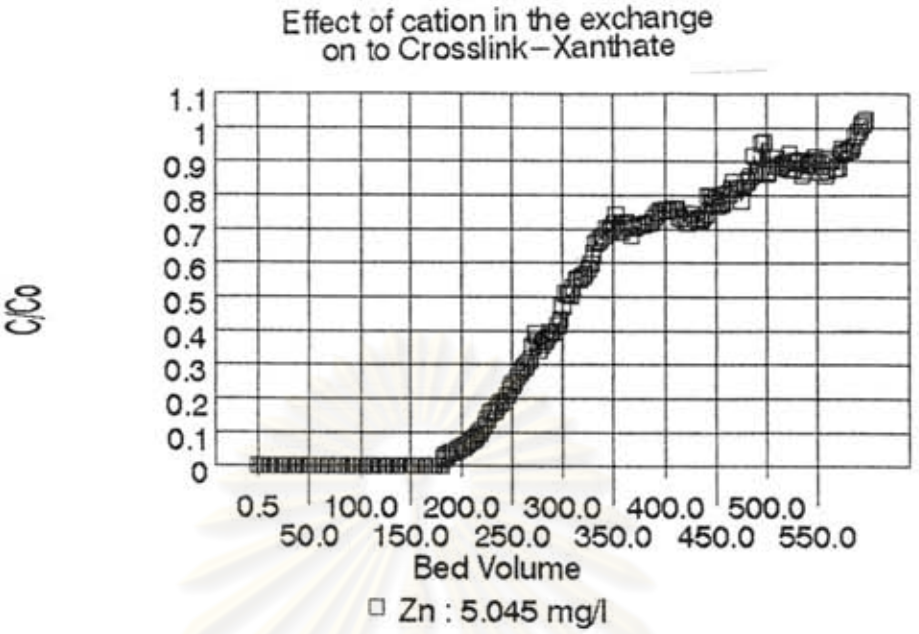
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

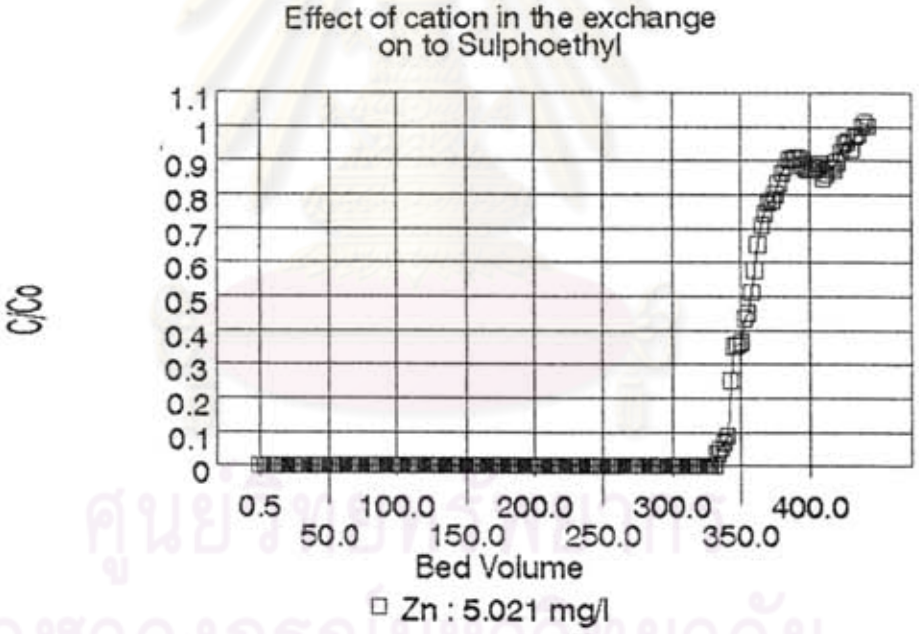




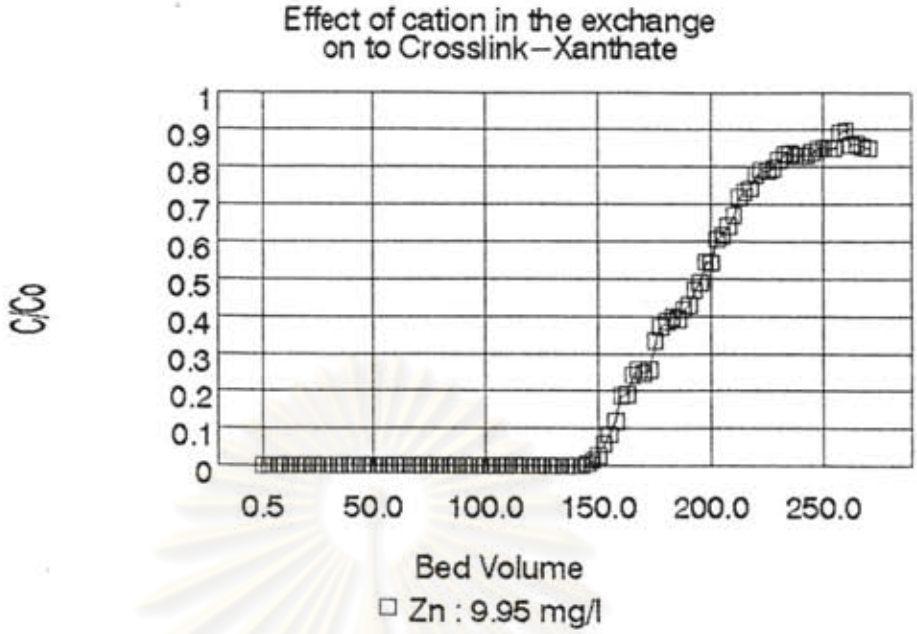
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณนิคเกิลประมาณ 50 mg/l

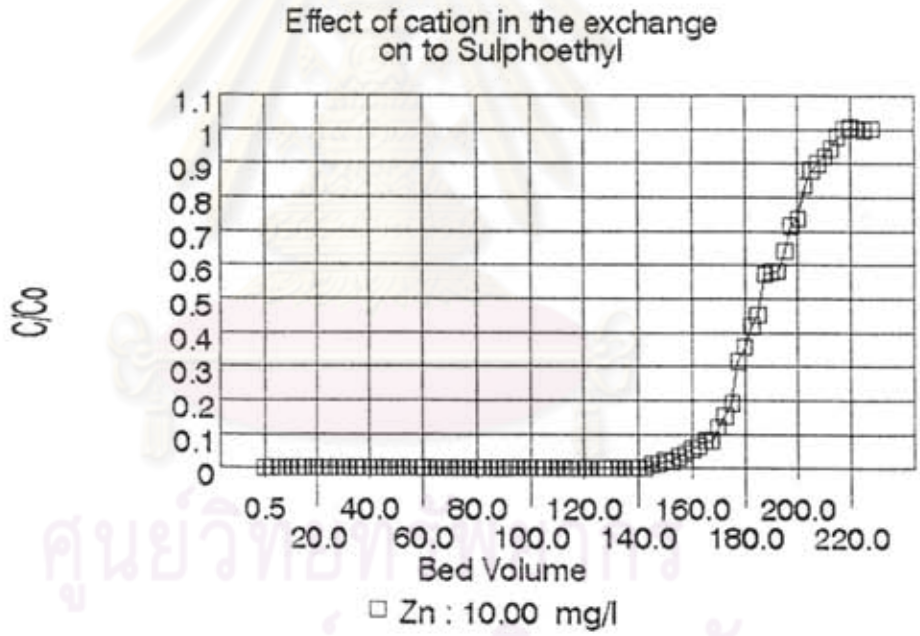
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



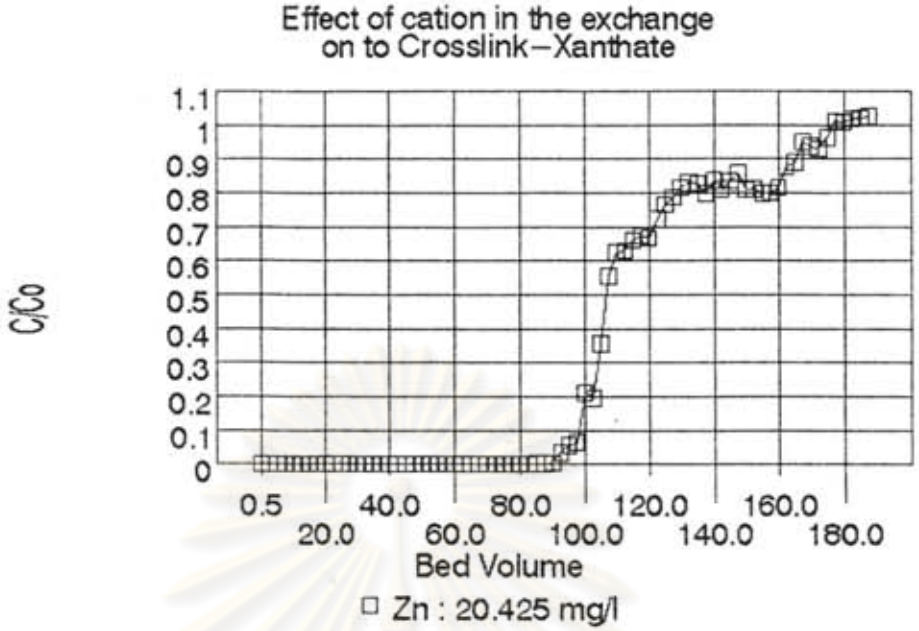


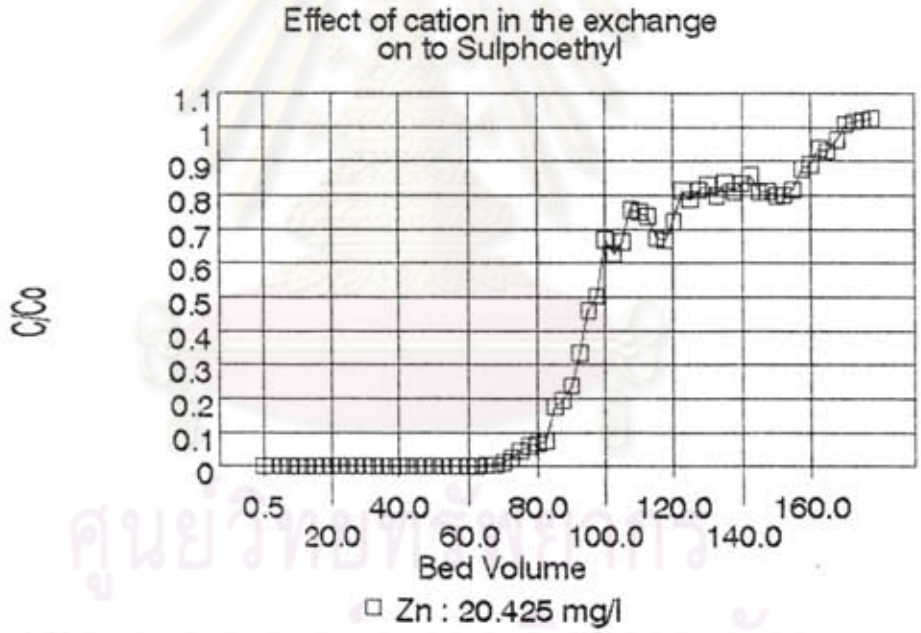
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 5 mg/l





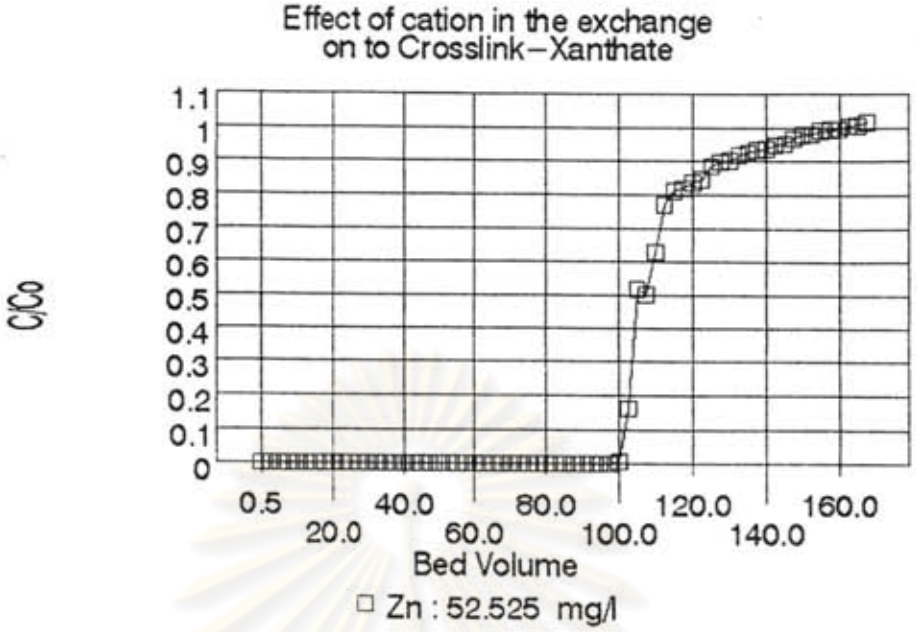
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 10 mg/l

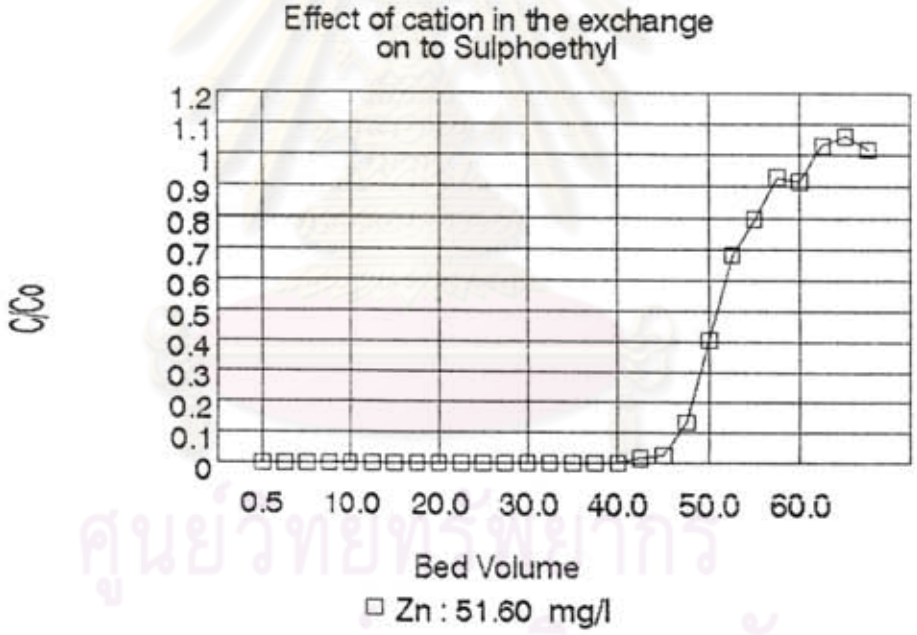




รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 20 mg/l

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชากับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสังกะสีประมาณ 50 mg/l

ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนของเรซินชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ
(น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่มากกว่าในน้ำเสีย)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิคเกิล	สังกะสี
5	322	345	592
10	242	255	260
20	127	140	177
50	67	110	147

ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนของเรซินชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ
(น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิคเกิล	สังกะสี
5	197	-	592
10	137	120	195
20	92	62	102
50	22	-	100

หมายเหตุ เกณฑ์มาตรฐานกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม

- ทองแดง ไม่มากกว่า 1.0 มก./ล.
- นิคเกิล ไม่มากกว่า 0.2 มก./ล.
- สังกะสี ไม่มากกว่า 5.0 มก./ล.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนของเรซินชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ
(น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่มากกว่าในน้ำเสีย)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิคเกิล	สังกะสี
5	300	327	437
10	145	200	217
20	140	150	167
50	60	65	60

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนของเรซินชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ
(น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิคเกิล	สังกะสี
5	175	2	437
10	92	112	185
20	75	42	90
50	35	20	45

หมายเหตุ เกณฑ์มาตรฐานกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม

- ทองแดง ไม่มากกว่า 1.0 มก./ล.
- นิคเกิล ไม่มากกว่า 0.2 มก./ล.
- สังกะสี ไม่มากกว่า 5.0 มก./ล.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเข้มข้นของโลหะหนัก เมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่าสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิดดังตารางที่ 5.7 พบว่า สารเซลลูโลสชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตมีค่าสารเคมีประมาณ 3.70 บาท/กรัม และซัลโฟเอทีลมีค่าสารเคมีประมาณ 9.00 บาท/กรัม จะเห็นได้ว่าสารเซลลูดลสชนิดซัลโฟเอทีลมีราคาสูงกว่าครอสลิ้ง-แซนเทตประมาณ 2.5 เท่า

เมื่อพิจารณาจากค่าสารเคมี ความยากง่ายในการเตรียมและขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตเหมาะที่จะนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมากกว่าสารเซลลูโลสชนิดซัลโฟเอทีล เนื่องจากมีค่าสารเคมีในการเตรียมถูกกว่าและขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าซัลโฟ-เอทีลเล็กน้อย เมื่อพิจารณาถึงความยากง่ายในการเตรียมสารเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด พบว่า สารเซลลูโลสชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตใช้เวลาในการเตรียมมากกว่าซัลโฟเอทีล ในทางปฏิบัติจริงการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนแต่ละครั้งสามารถเตรียมได้ในปริมาณมากๆ ดังนั้นเรื่องเวลาที่ใช้ในการเตรียมจึงยอมรับได้เมื่อพิจารณาถึงค่าสารเคมีที่ใช้และขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ตารางที่ 5.7 ค่าสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

Crosslink-Xanthate		Sulphoethyl	
สารเคมี	เป็นเงิน	สารเคมี	เป็นเงิน
1. NaCl 1.5 กรัม	0.27	1. NaOH 104 กรัม	24.96
2. Epichlorohydrin 7.5 มล.	12.75	2.Sodium2chloroethane sulphonate 61.4กรัม	736.8
3. KOH 6 กรัม	2.28	3. Ether 500 มล.	56.25
4. NaOH 48 กรัม	11.52		
5. CS_2 15 มล.	30.50		
6. Acetone 1500 มล.	240.00		
7. Ether 150 มล.	33.75		
รวม	331.07 *	รวม	818.01 *
เฉลี่ย (บาท/กรัม)	3.70	เฉลี่ย (บาท/กรัม)	9.00

* ค่าสารเคมีต่อสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมได้ 90 กรัม

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของเกศสุชา (2537) พบว่า ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีประมาณ 1-3.5 เท่า โดยขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนัก รองลงมา คือ ครอสลิ้ง-แซนเทต ซัลโฟเอทิลและคาร์บอกซี่เมทิล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมดจะเห็นได้ว่า กระบวนการทางเคมีที่เลือกมาใช้ในการปรับสภาพผักตบชวาในการวิจัยนี้ไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลสรุปในหัวข้อการเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลส

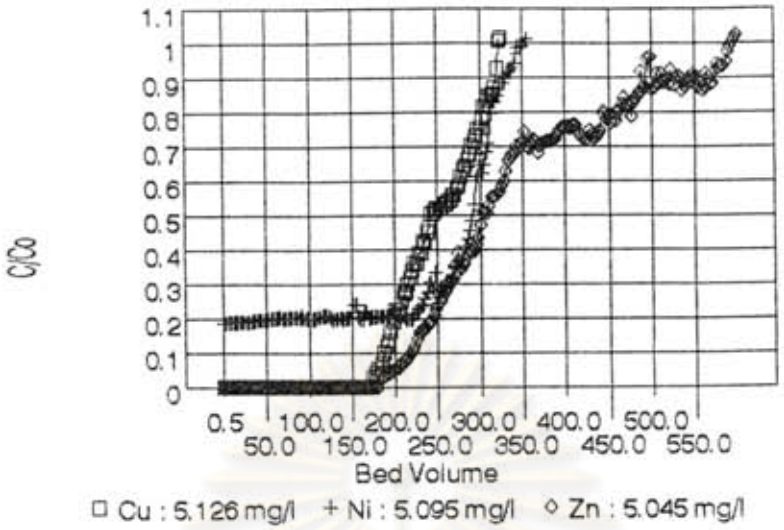
<u>การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่มีต่อชนิดโลหะหนัก</u>

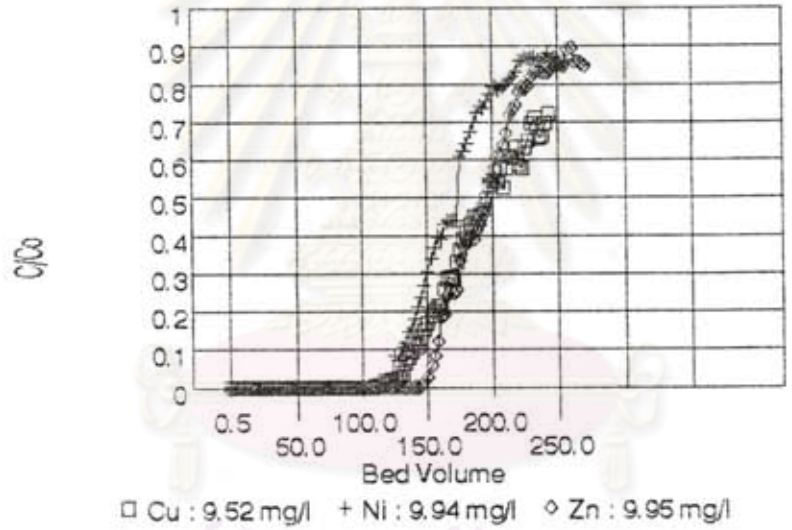
ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่มีต่อชนิดของโลหะหนักที่พบได้มากในอุตสาหกรรมการชุบโลหะ ซึ่งโลหะที่ทำการศึกษา คือ ทองแดง, นิคเกิลและสังกะสี ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงในภาคผนวก ง. และสามารถสรุปข้อมูลได้ดังกราฟรูปที่ 5.13-5.16

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตและซัลโฟเอทิลชอบที่จะแลกเปลี่ยนไอออนกับสังกะสีมากที่สุด รองลงมา คือ นิคเกิลและทองแดง ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการวิจัยที่แสดงถึงขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ในหัวข้อที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

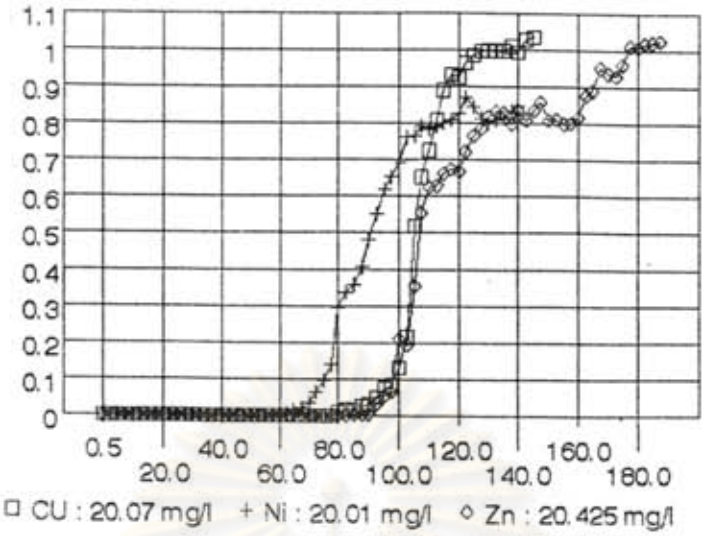
จากข้อมูลในตารางที่ 5.3-5.6 พบว่าสารเซลลูโลสชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตมีลำดับความชอบในการเลือกจับสังกะสีมากกว่านิคเกิลและทองแดงประมาณ 1-2 เท่า ส่วนซัลโฟเอทิลมีลำดับความชอบที่จะเลือกจับสังกะสีมากกว่านิคเกิลและทองแดง 0.2-0.5 เท่า

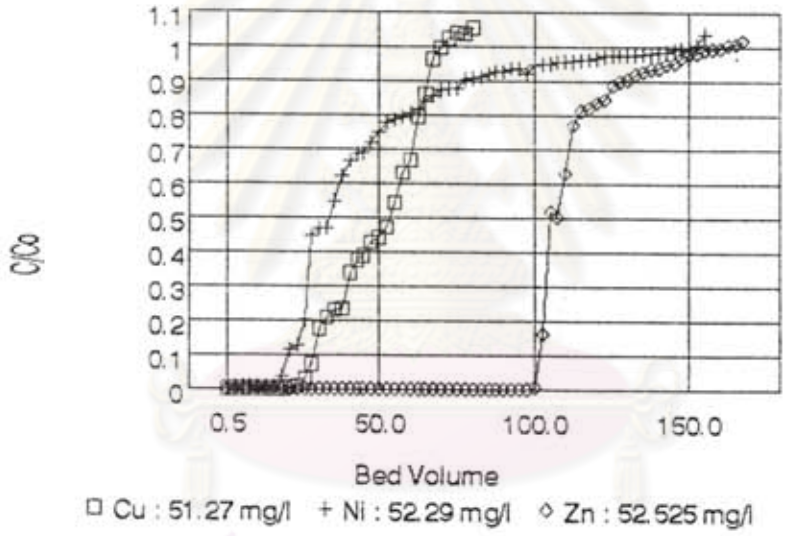
เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิจัย เปรียบเทียบกับผลการวิจัยของเกศสุชา (2537) พบว่า ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตและซัลโฟเอทิลแตกต่างกับลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ได้ปรับสภาพและคาร์บอกซี่เมทิล คือ สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน 2 ชนิดแรกชอบที่จะเลือกจับกับสังกะสีสูงสุด รองลงมาคือ นิคเกิลและทองแดงตามลำดับ ส่วนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน 2 ชนิดหลังชอบที่จะเลือกจับกับทองแดงมากที่สุด รองลงมาคือ สังกะสีและนิคเกิลตามลำดับ



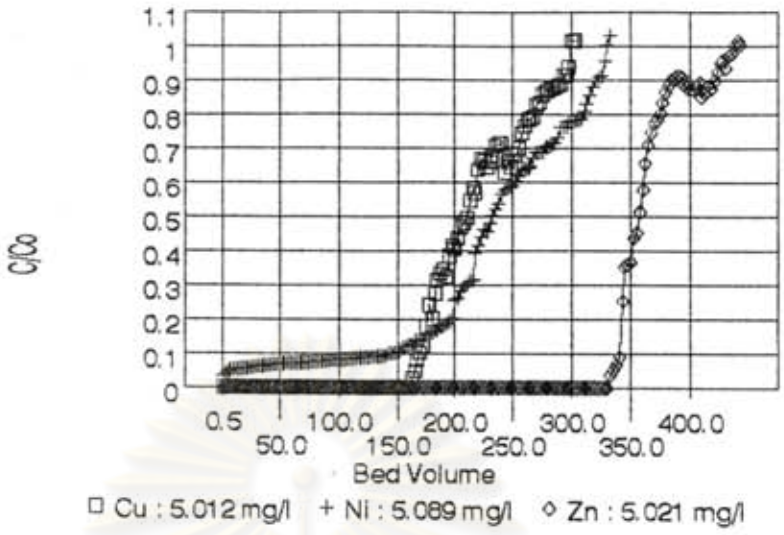


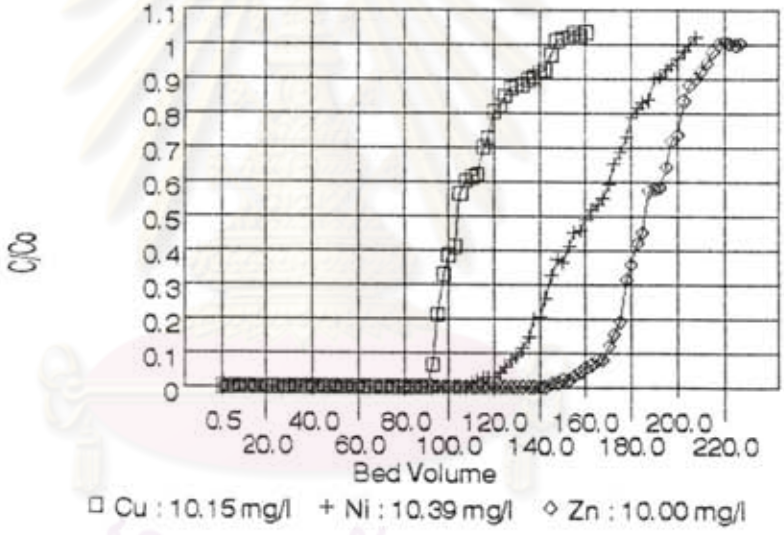
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 5 และ 10 mg/l



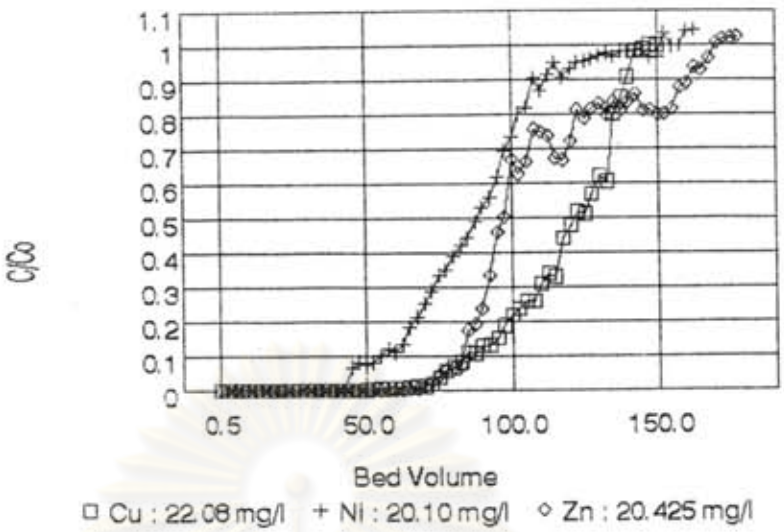


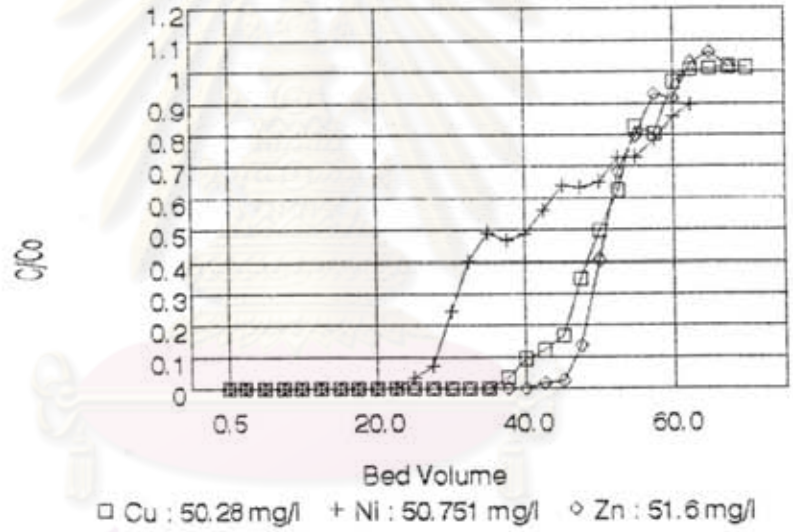
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 20 และ 50 mg/l





รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทีล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 5 และ 10 mg/l





รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 20 และ 50 mg/l

การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่มีต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย

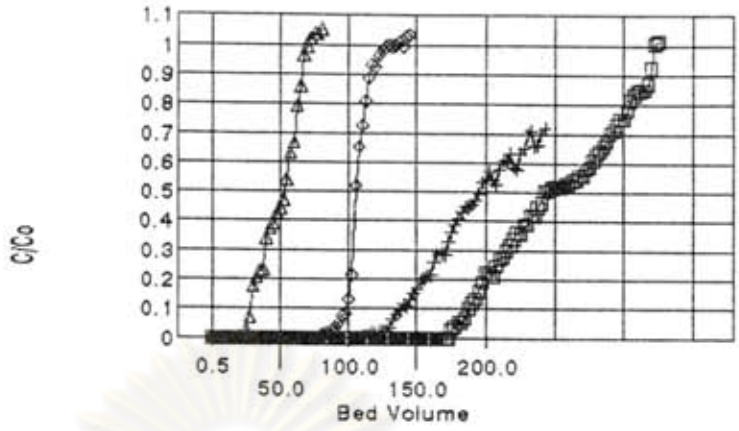
ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียที่มีต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้มีความเข้มข้นของโลหะหนัก 4 ค่า คือ 5, 10, 20, และ 50 มก./ล as M^{2+} (M^{2+}: Cu^{2+} , Ni^{2+} และ Zn^{2+})

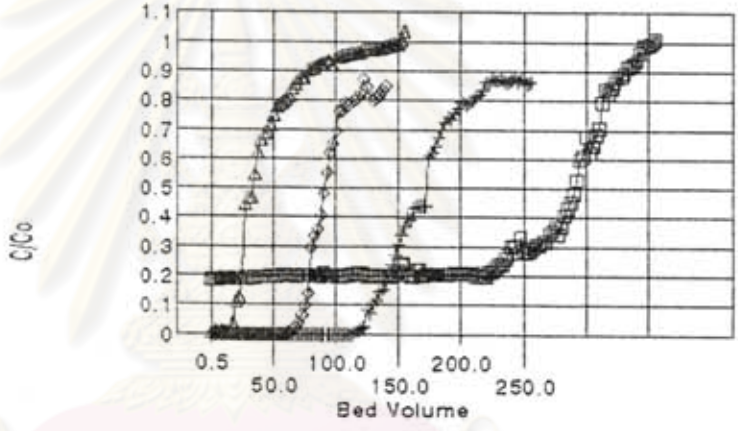
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในภาคผนวก ง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังกราฟที่ 5.17-5.18

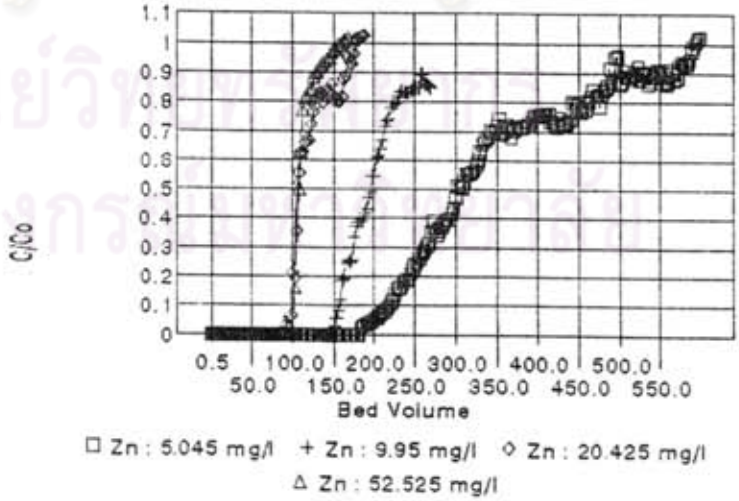
เมื่อพิจารณาจากกราฟ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทั้ง 2 ชนิดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ไอออนที่รั่วได้ง่ายที่สุด คือ นิคเกิลดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.13 และ 5.15 และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.3 และ 5.5 จะเห็นได้ว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทั้งชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตและซัลโฟเอทิลเหมาะจะใช้กับน้ำเสียที่มีความ เข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในช่วง 5-20 มก./ล ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงประมาณ 50 มก./ล. พบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด จะลดลงอย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของเกศสุชา (2537) พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวาทั้ง 4 ชนิด ขณะที่ทำการทดลองมีไอออนที่รั่วได้ง่ายที่สุด คือ ไอออนของนิคเกิล

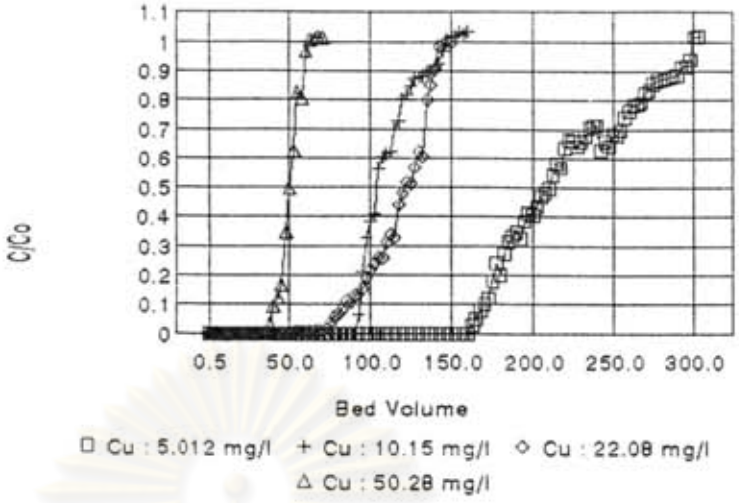
นอกจากนี้ยังพบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพแบบคาร์บอกซี่เมทิลเหมาะกับการใช้กำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำคือ อยู่ในช่วง 5-10 มก./ล. ในขณะที่สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตและซัลโฟเอทิลที่ใช้ในการวิจัยนี้เหมาะกับการใช้ในการกำจัดน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในช่วงที่กว้างกว่า คือ 5-20 มก./ล

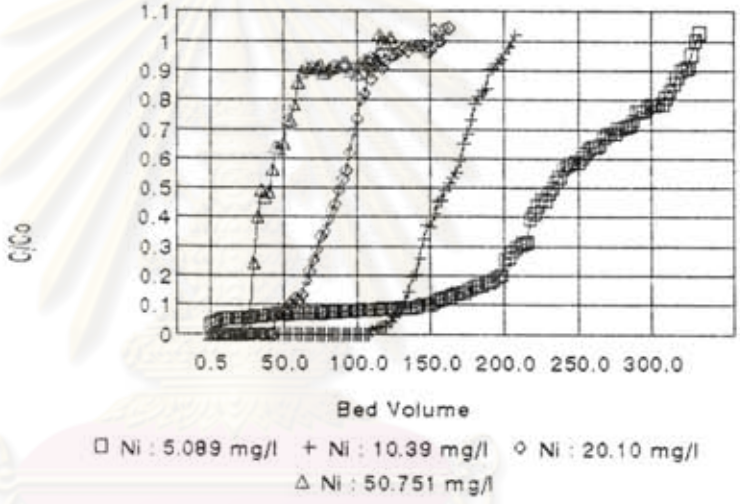


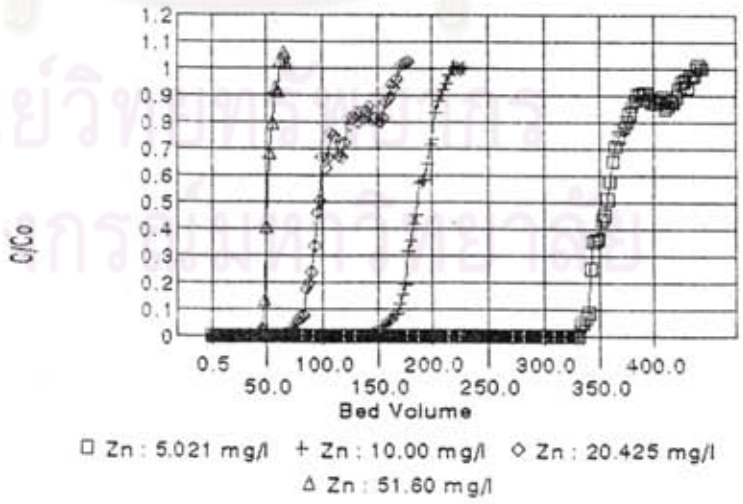




รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา







รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนไอออนซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา

<u>ระดับพีเอชของน้ำทิ้งจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสที่ทำจากผักตบชวา</u>

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยนี้มีการควบคุมพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 5 เนื่องจากที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5 พบว่า ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักมีประสิทธิภาพดีที่สุด (Maranon และ Sastre, 1992)

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงใน ภาคผนวก ง. และสามารถสรุปได้ดังกราฟรูปที่ 5.19-5.26

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 5.19-5.22 พบว่า ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต มีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น โดยในช่วงแรกค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีค่าสูงประมาณ 9 เนื่องจากในการปรับสภาพผักตบชวาด้วยกระบวนการทางเคมี ขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการ คือ การกวนผักตบชวาในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ปฏิกริยานี้ทำให้การบวมน้ำของผักตบชวาลดลงและจากขั้นตอนนี้ทำให้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมได้ มีความเป็นด่างเหลืออยู่ภายใน และเนื่องจากสารเซลลูโลสชนิดครอสลิ้ง-แซนเทตนี้สามารถสลายตัวเป็นกรดแซนตริก (Xanthic acid) ได้ เมื่อแช่อยู่ในสารละลายที่เป็นกรด (Iwasaki ,1957) ดังนั้นในขั้นตอนการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดนี้จึงไม่มีการปรับให้มีคุณสมบัติเป็นกลางด้วยสารละลายกรด

ขณะที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนความเป็นด่างส่วนหนึ่งถูกชะออกมาจากสารเซลลูโลส จึงเป็นผลให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น เมื่อพิจารณาต่อไปพบว่า ค่าพีเอชของน้ำทั้งลดลง เนื่องจากสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดนี้มีอนุมูลอิสระที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนกับไอออนของโลหะหนักที่ต้องการกำจัด คือ Na^+ จึงทำให้มี Na^+ ในน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้นและเนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้อยู่ในรูปซัลเฟต (SO_4^{2-}) ดังนั้นน้ำทิ้งที่ได้จึงอยู่ในรูปของ Na_2SO_4 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกลาง จึงทำให้พีเอชของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 6-9

เมื่อพิจารณา ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.23-5.26 พบว่า ค่าพีเอชของน้ำทิ้งในช่วงแรกมีค่าสูงประมาณ 9 เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนดังที่กล่าวในข้างต้นและมีความเป็นด่างที่ถูกชะออกมาจากสารเซลลูโลสในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออน เนื่องจากสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดนี้มีอนุมูลอิสระ ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนกับไอออนของโลหะหนักที่

ต้องการกำจัด คือ H^+ จึงทำให้น้ำทิ้งมี H^+ เพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำทิ้งลดลงอย่างเร็ว มีผลให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอชเริ่มต้น จากกราฟจะเห็นได้ว่า พีเอชของน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 5-9

<u>ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวา</u>

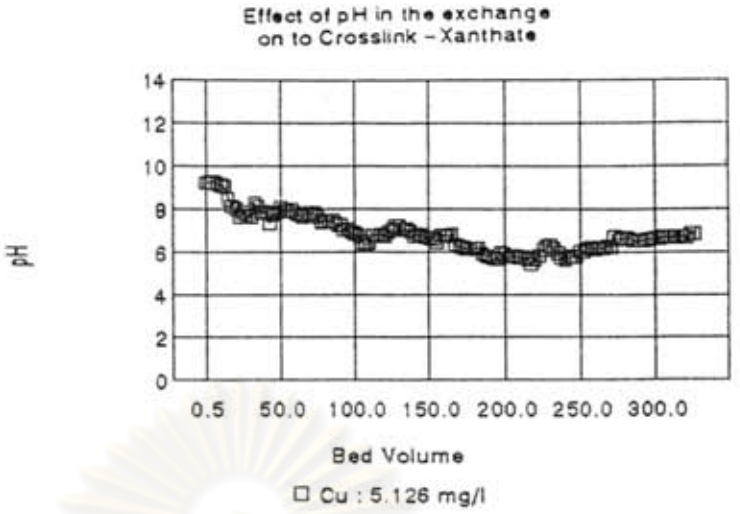
ในการวิจัยนี้เลือกใช้สารละลายโซเดี่ยมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้น 0.5 N เป็นสารรีเจนเนอแรนต์ในการฟื้นอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนให้กับสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดควอสส์ลิ้ง-แซนเทต ส่วนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทีลเลือกใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.5 N เป็นสารรีเจนเนอแรนต์

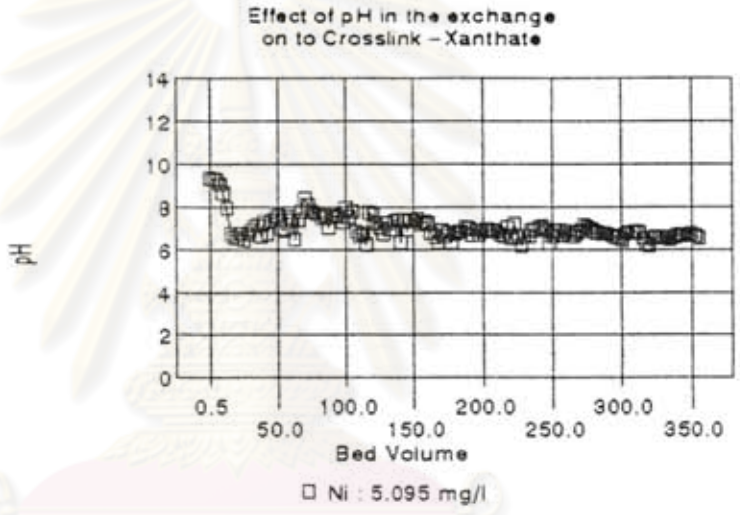
ผลจากการทดลองแสดงในภาคผนวก ง และสามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังรูป ที่ 5.27-5.34

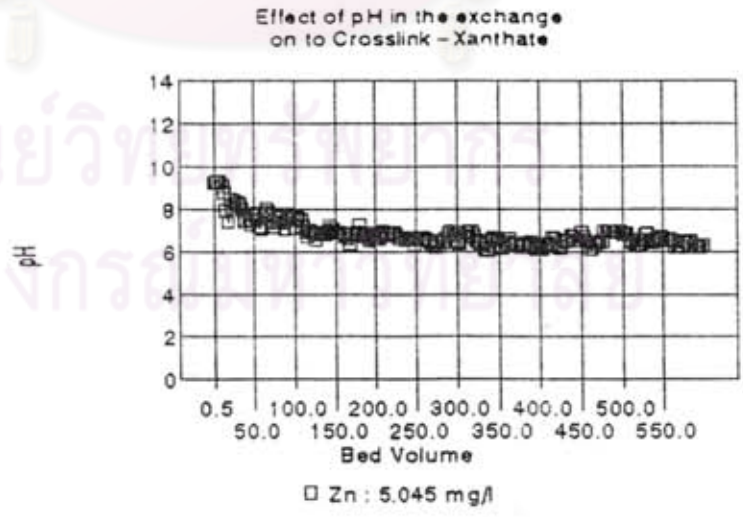
เมื่อพิจารณาจากกราฟ พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณสารรีเจนเนอแรนต์ที่ใช้ในการฟื้นอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 2 ปริมาตรเรซิน

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของเกศสุชา (2537) พบว่าปริมาณสารเจนเนอแรนต์ที่ใช้ในการฟื้นอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน คือ 2-3 ปริมาตรเรซิน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

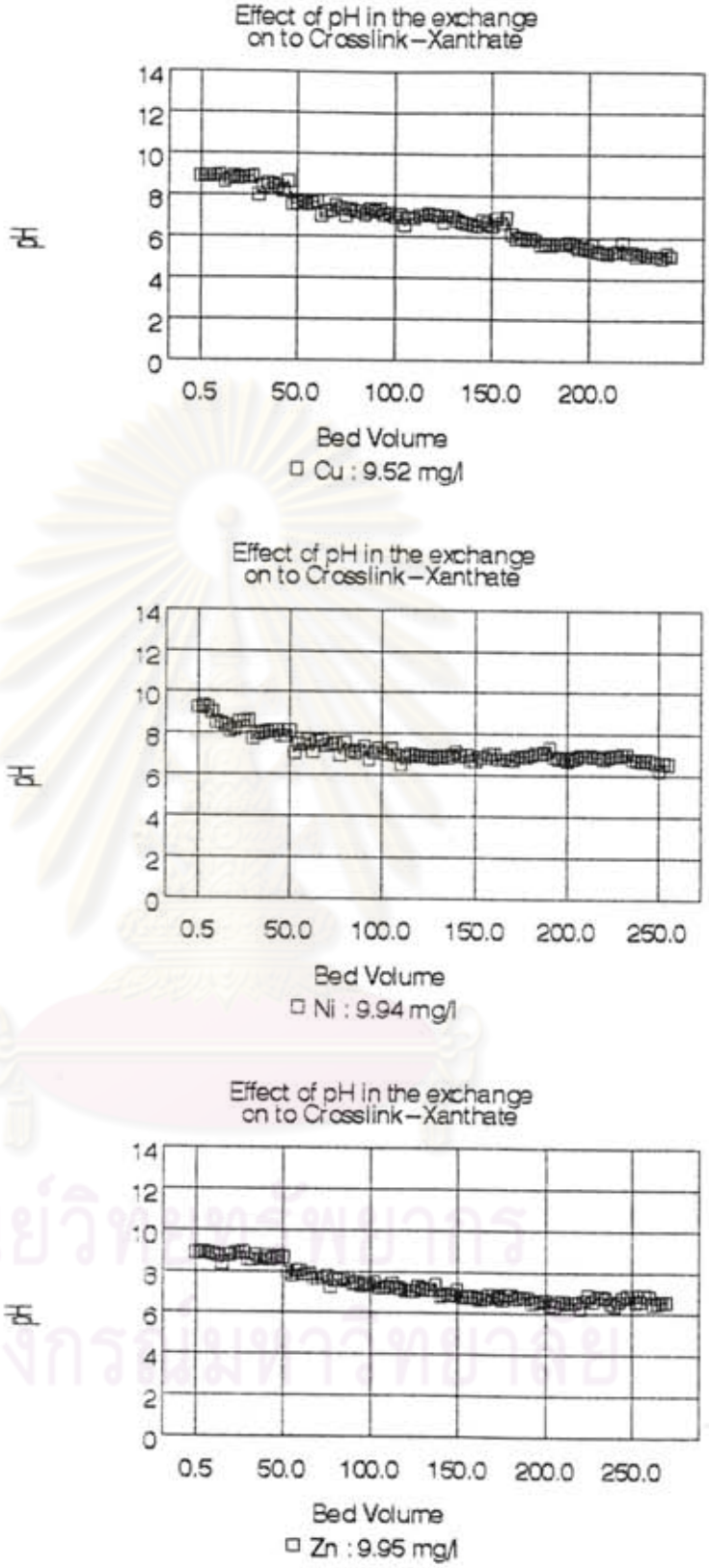
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



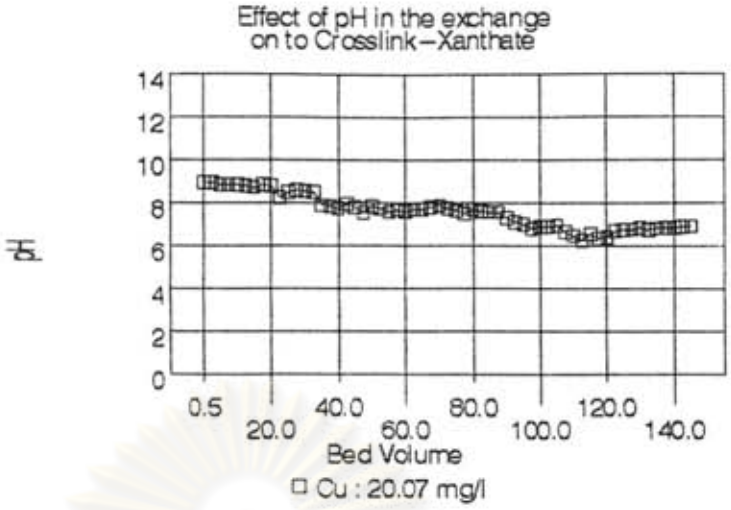


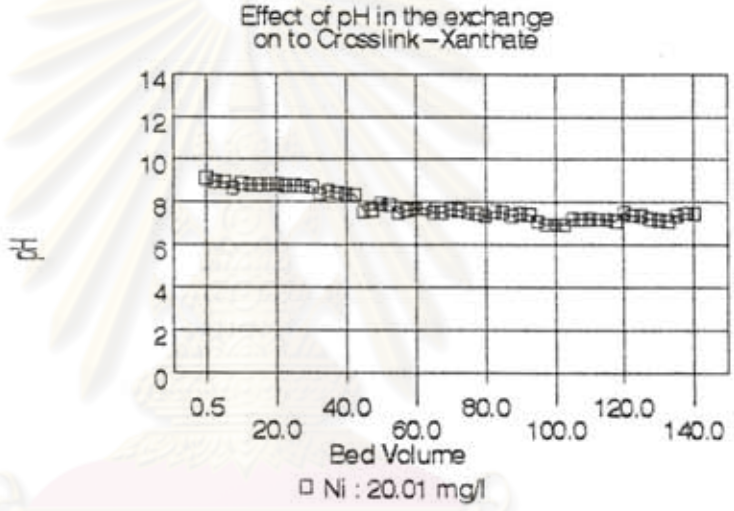


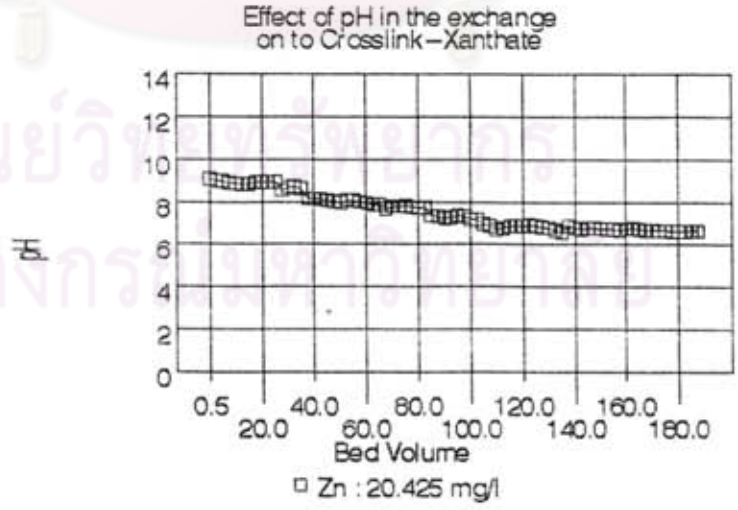
รูปที่ 5.19 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l



รูปที่ 5.20 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสส์ลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l

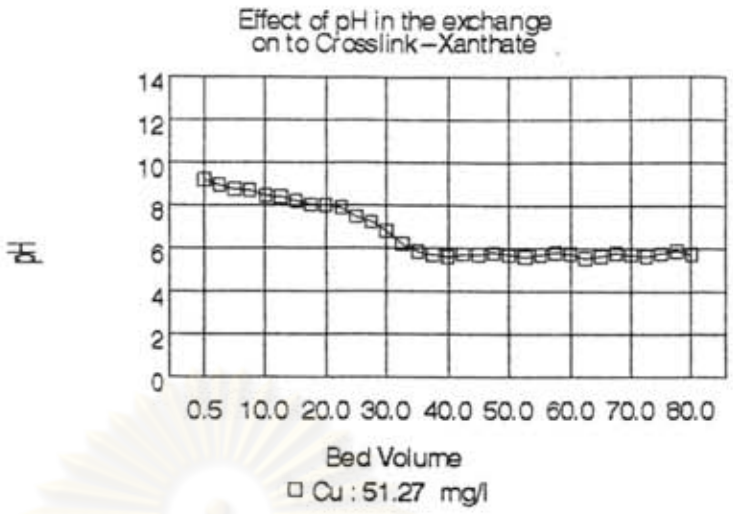


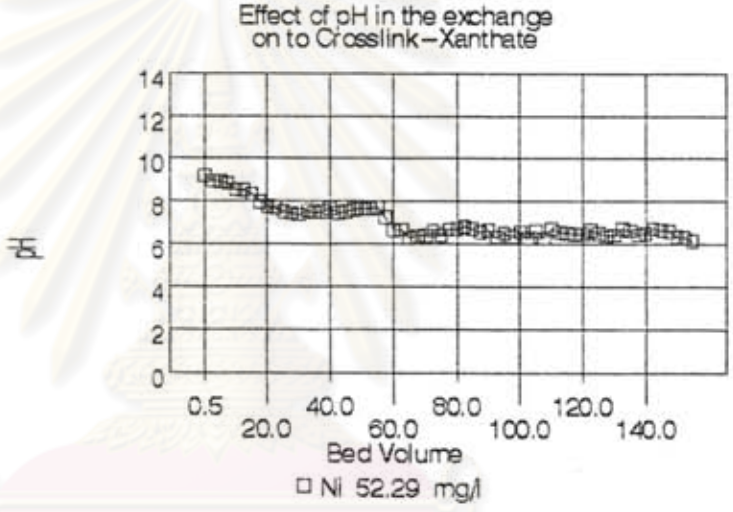


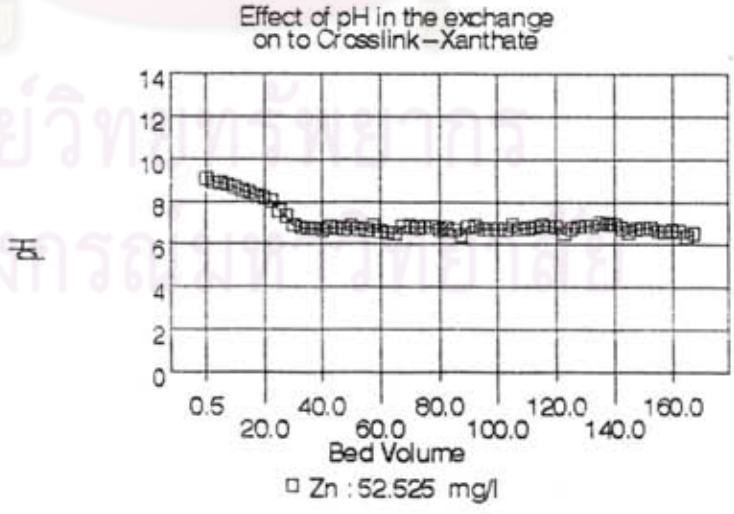


รูปที่ 5.21 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l

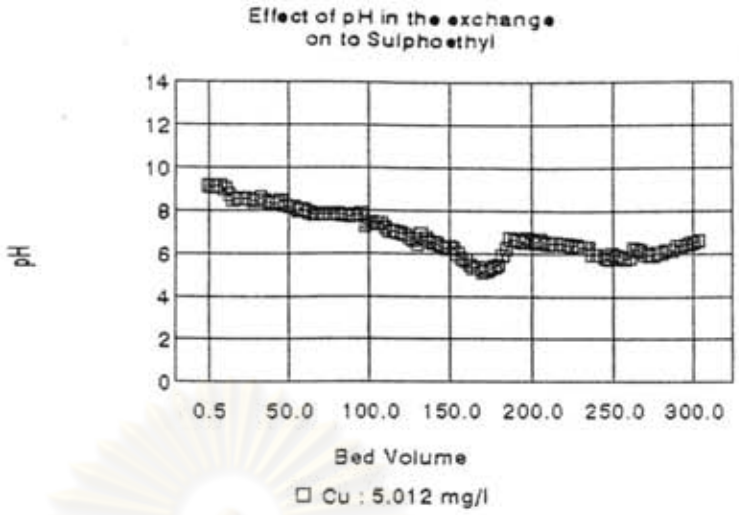
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

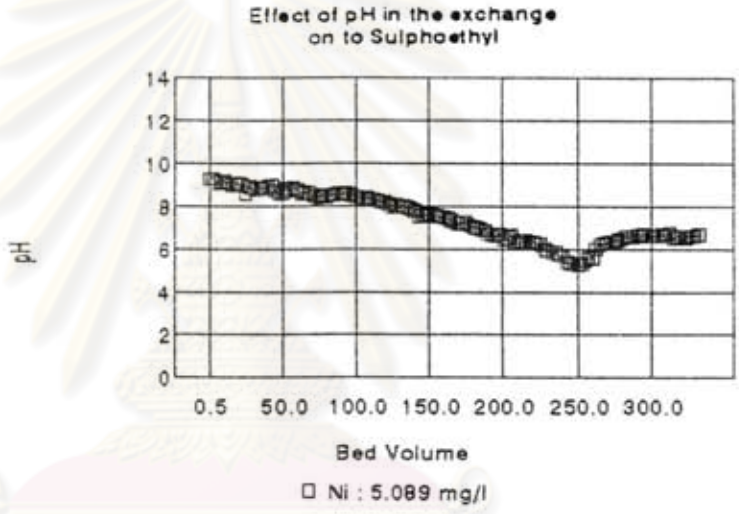


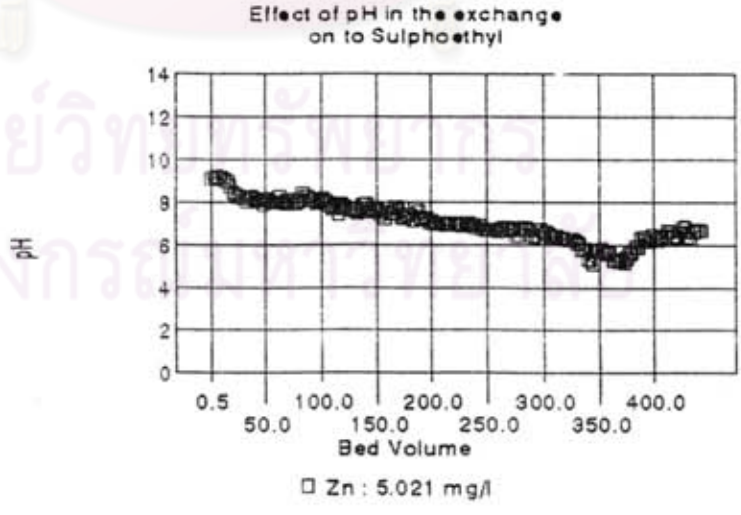




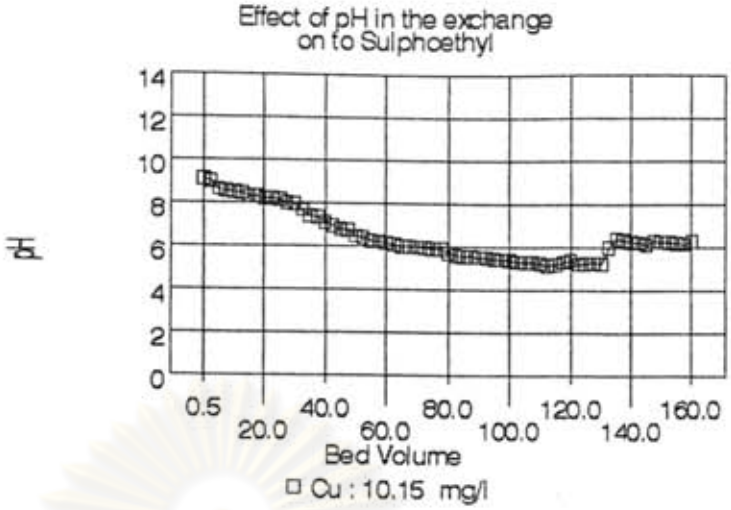
รูปที่ 5.22 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l

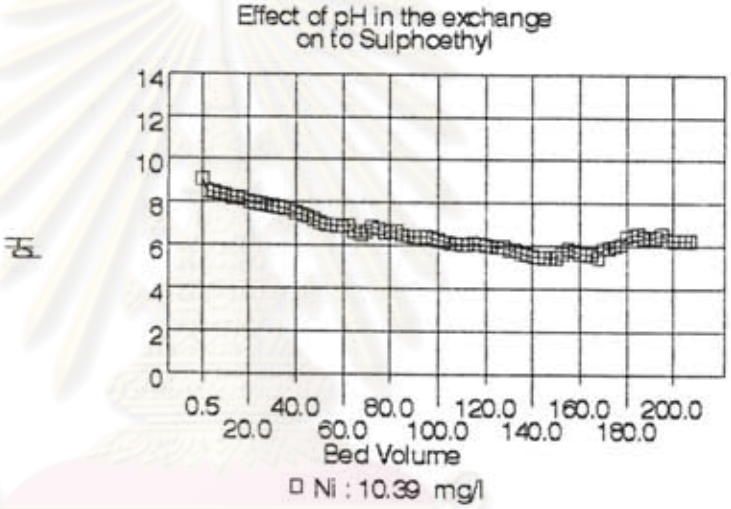


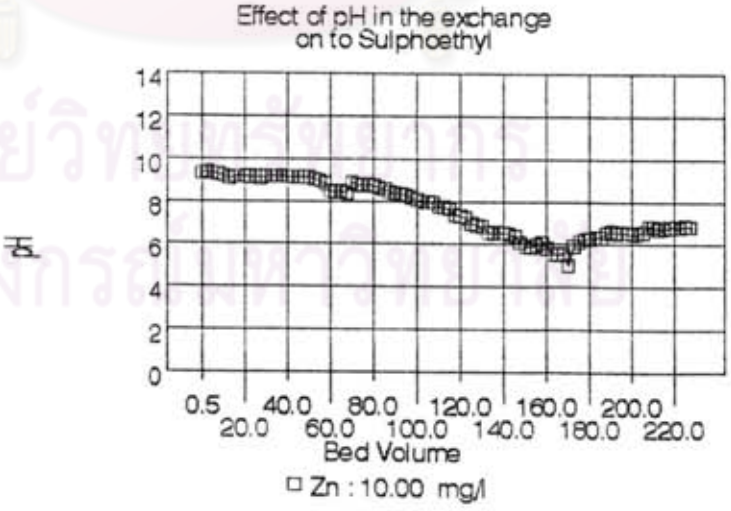




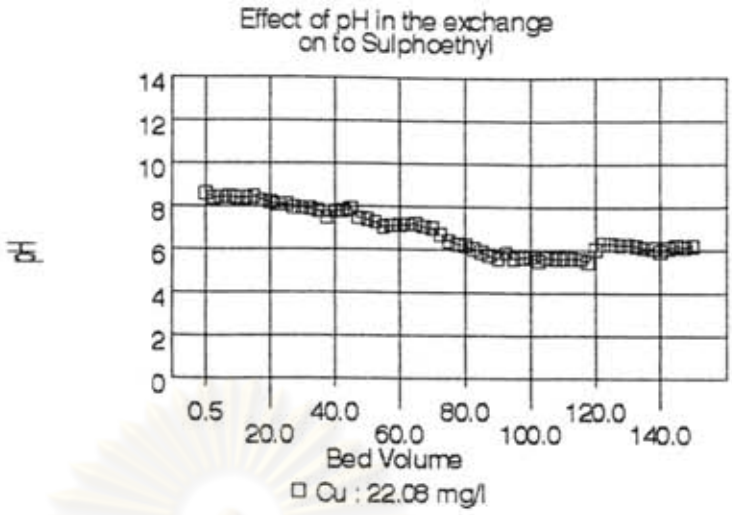
รูปที่ 5.23 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l

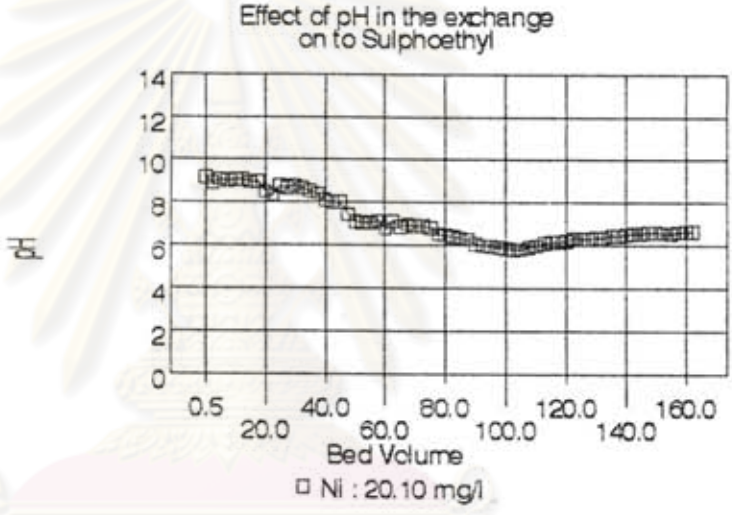


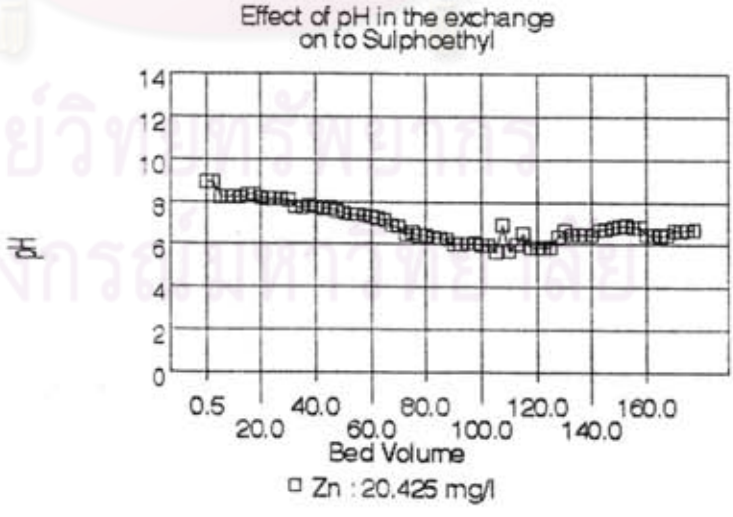




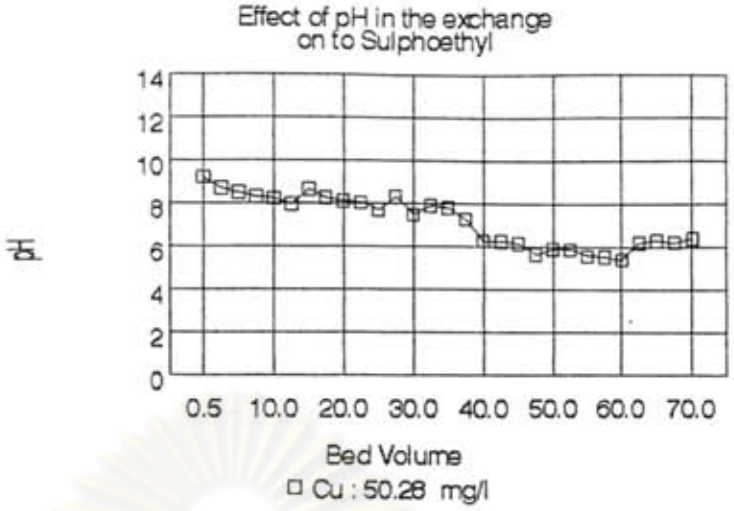
รูปที่ 5.24 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l

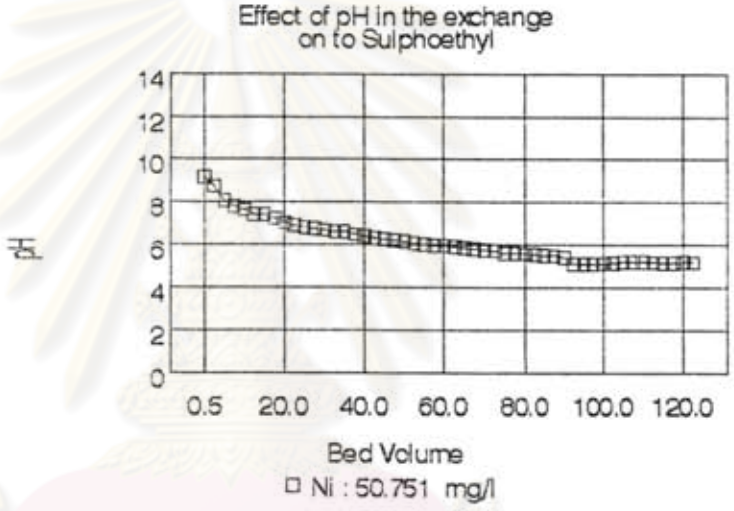


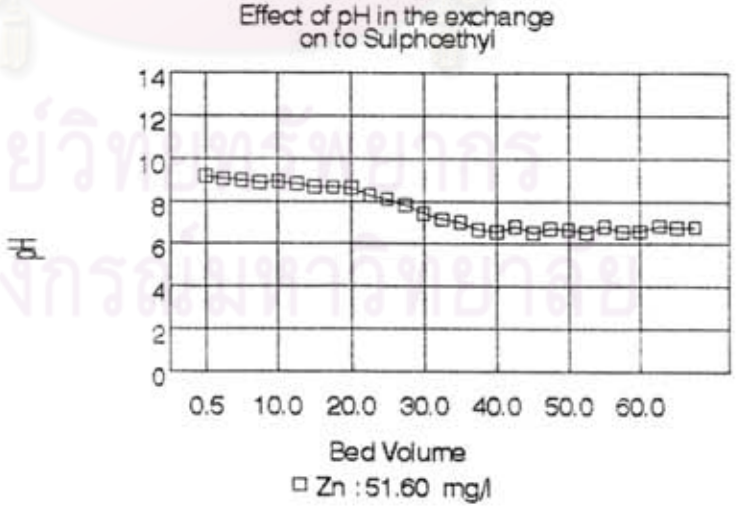




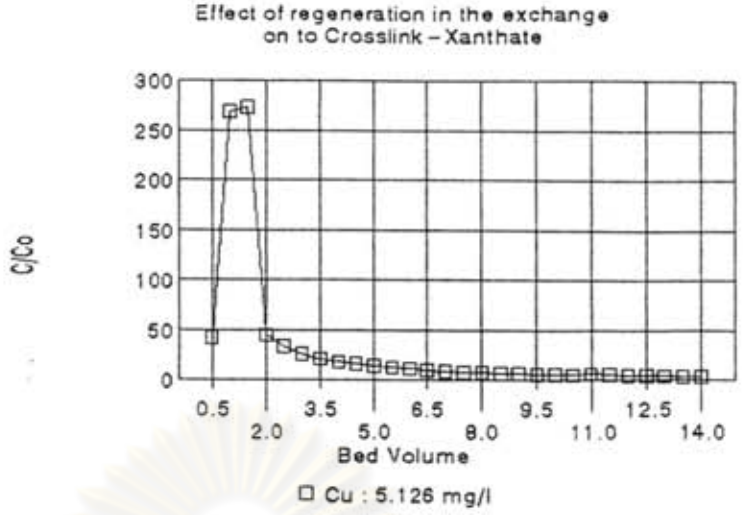
รูปที่ 5.25 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l

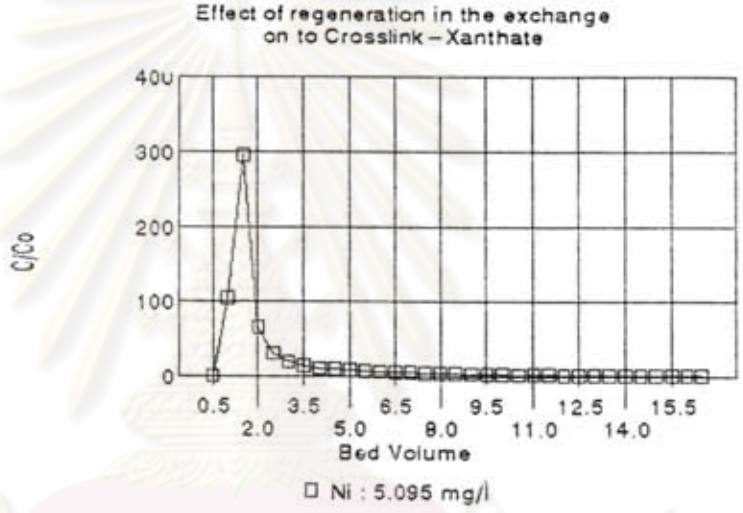


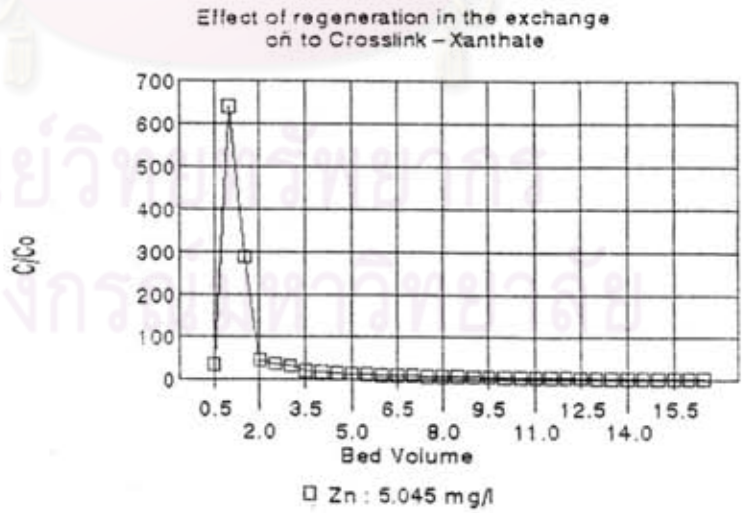




รูปที่ 5.26 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l

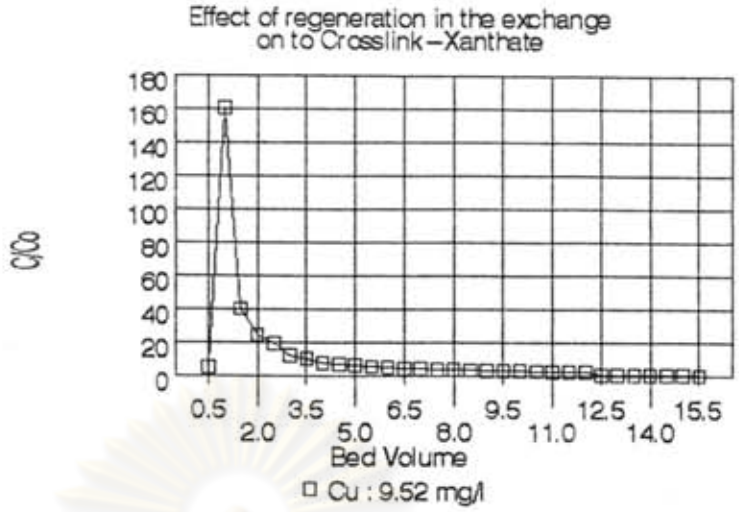


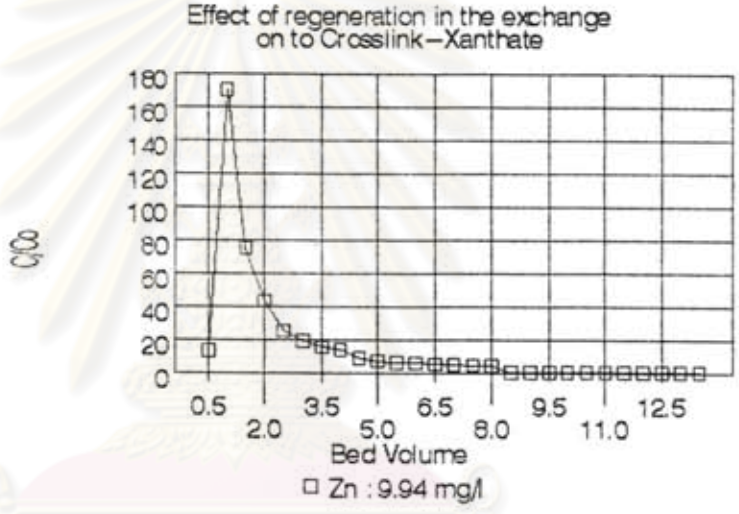


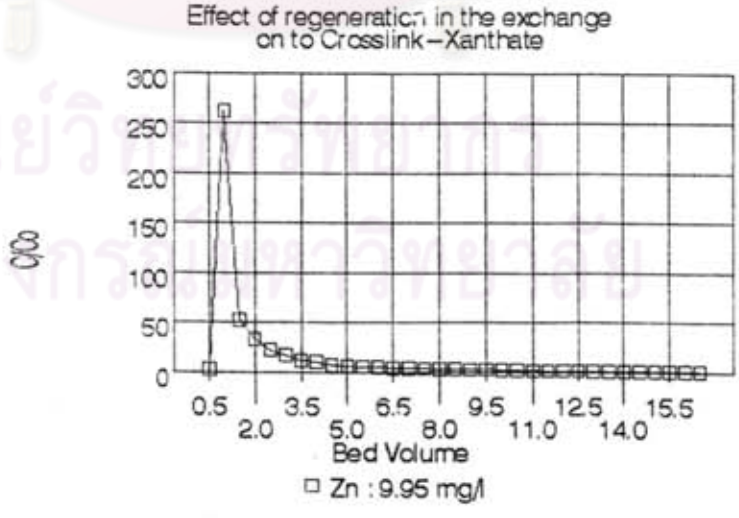


รูปที่ 5.27 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l

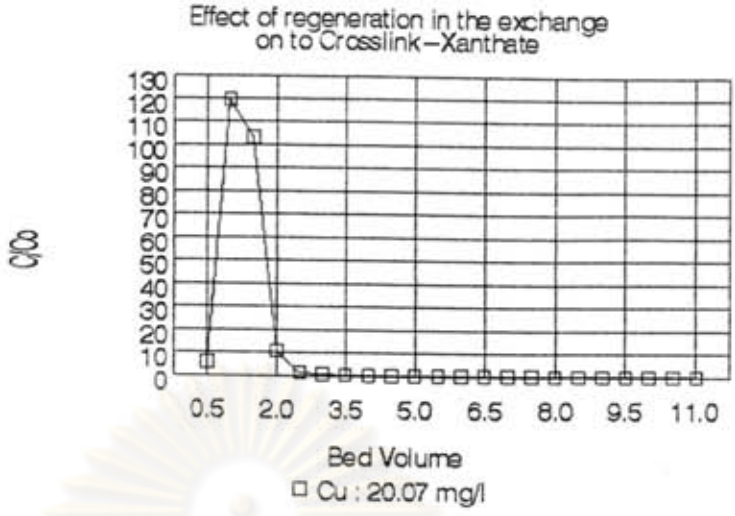
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

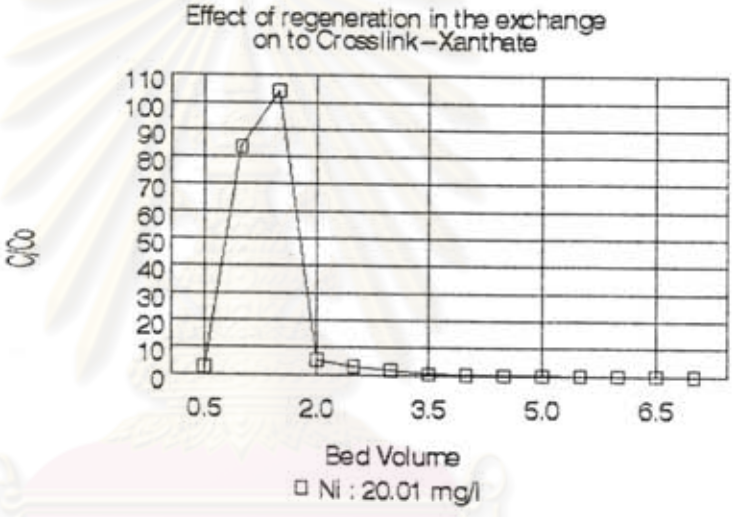


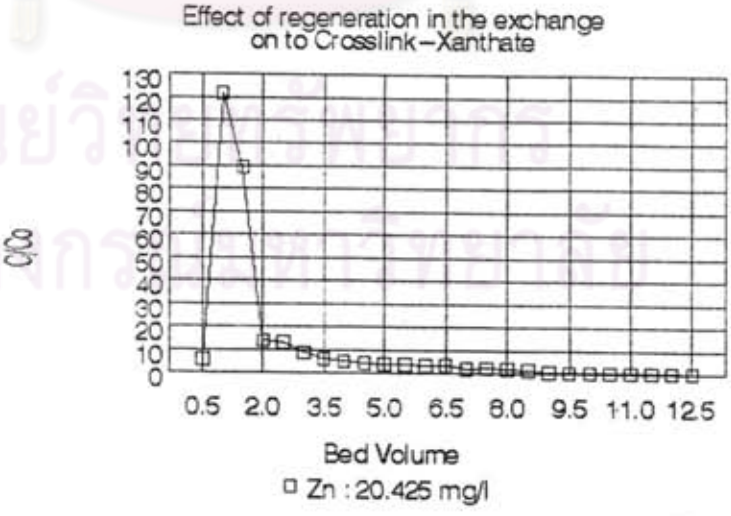




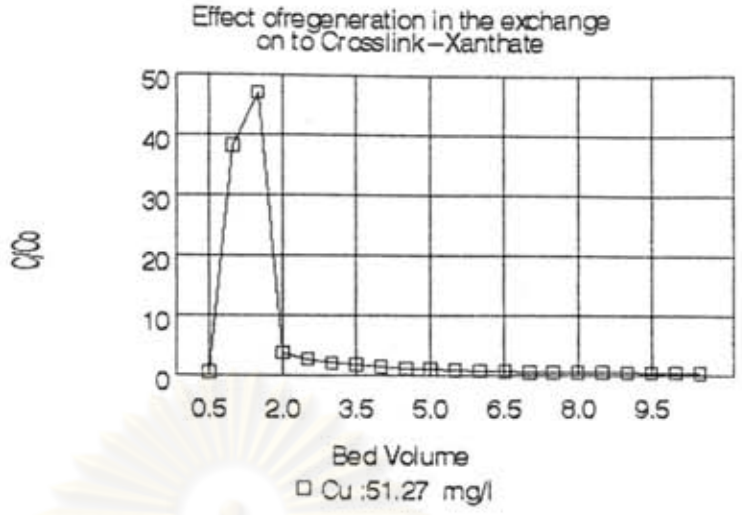
รูปที่ 5.28 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l

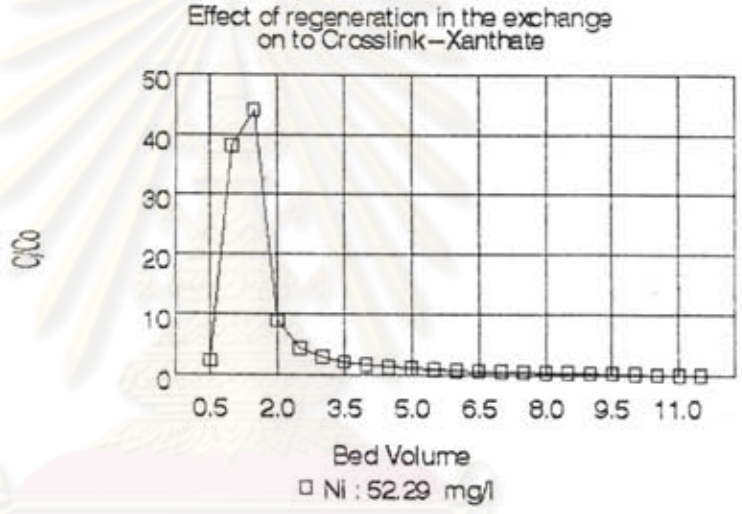


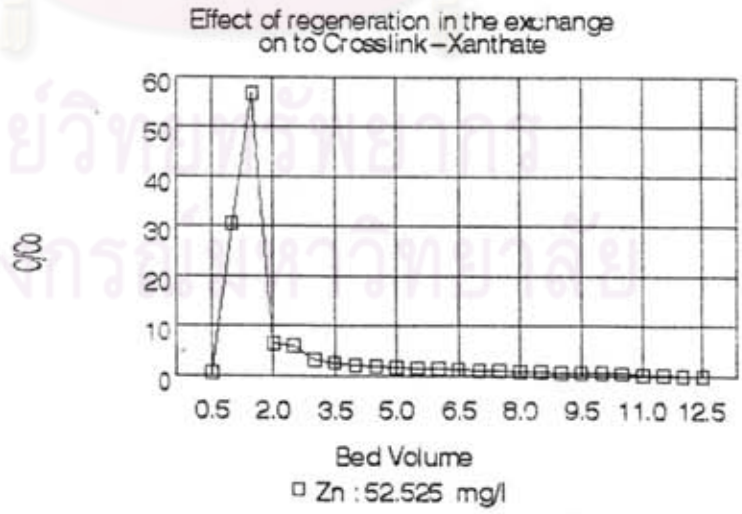




รูปที่ 5.29 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l

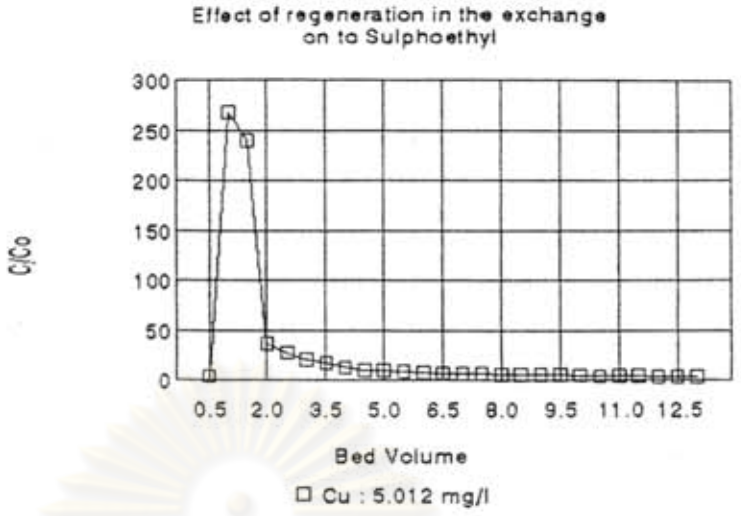


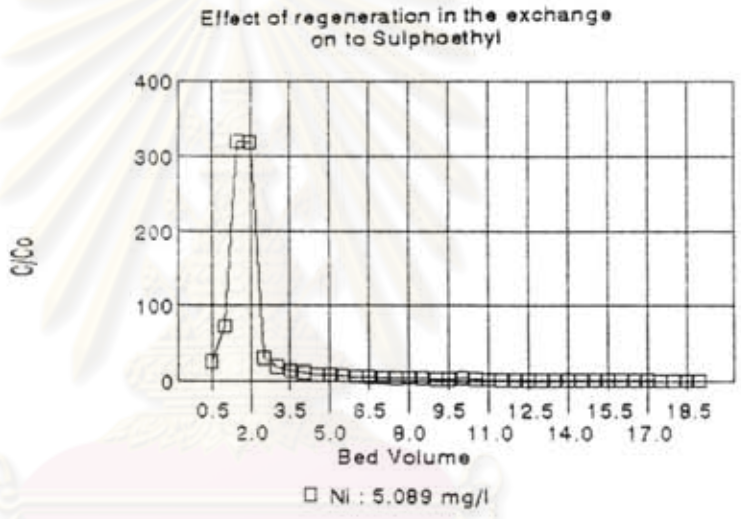


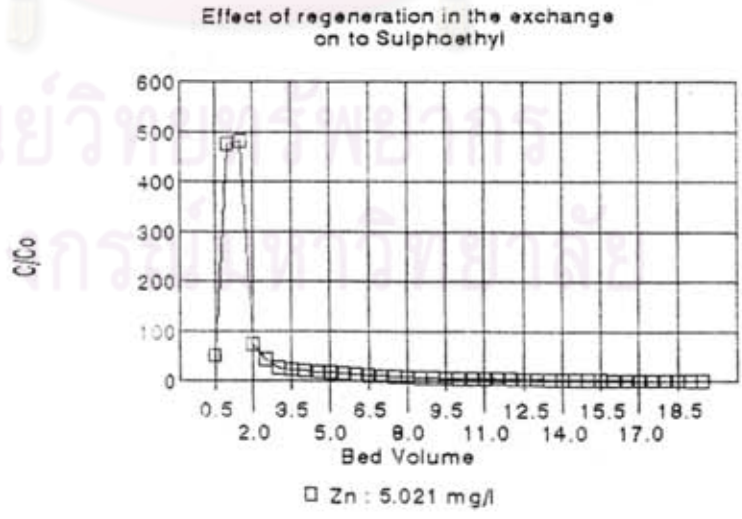


รูปที่ 5.30 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดครอสลิ้ง-แซนเทต (Crosslink-Xanthate) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l

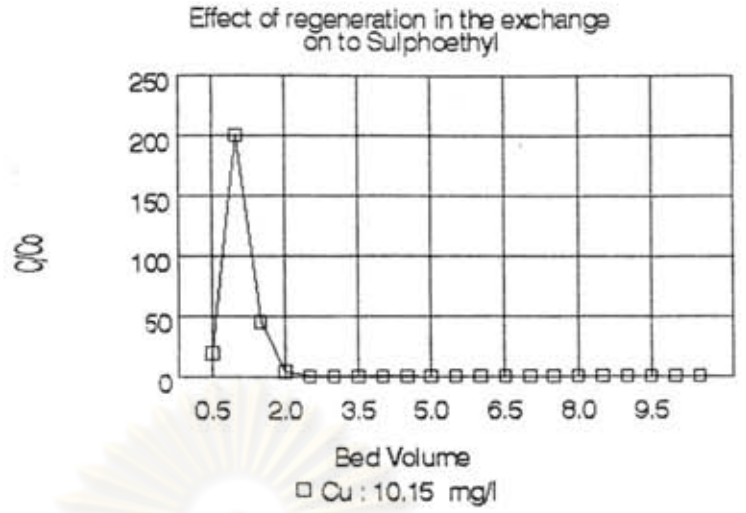
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

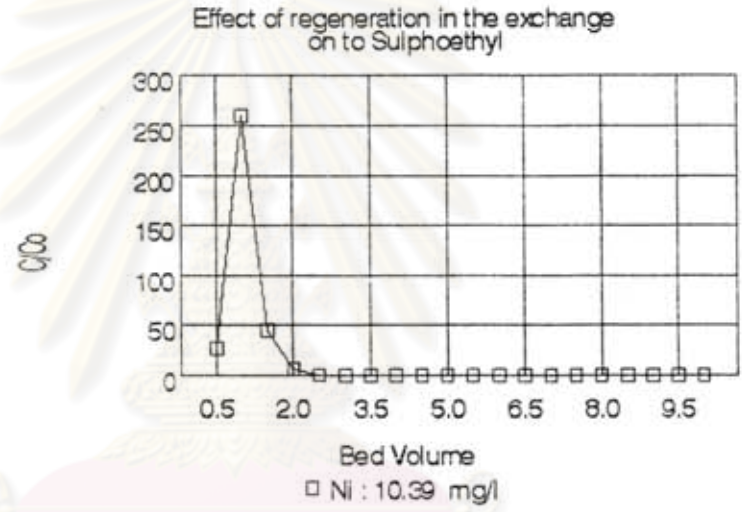


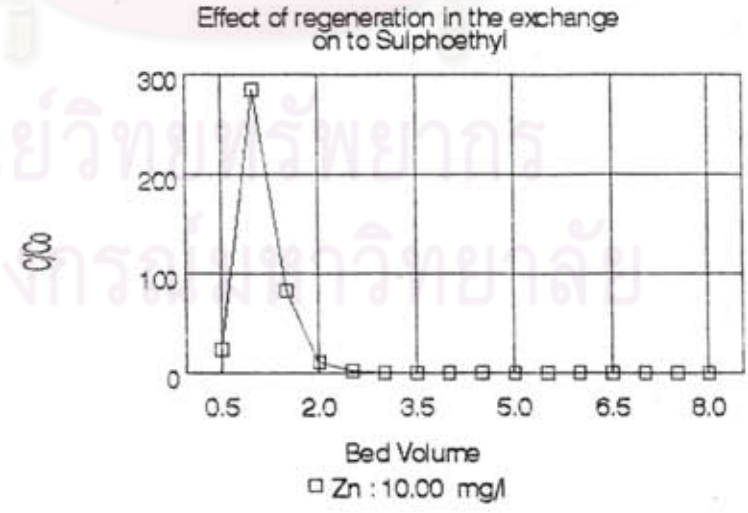




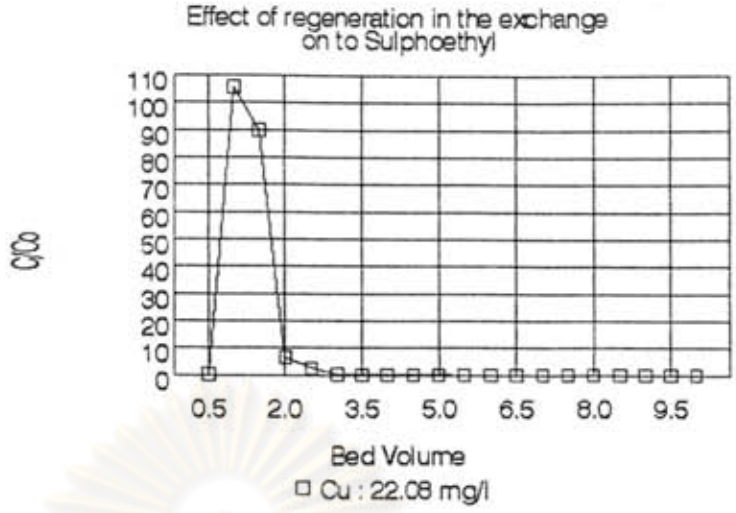
รูปที่ 5.31 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l

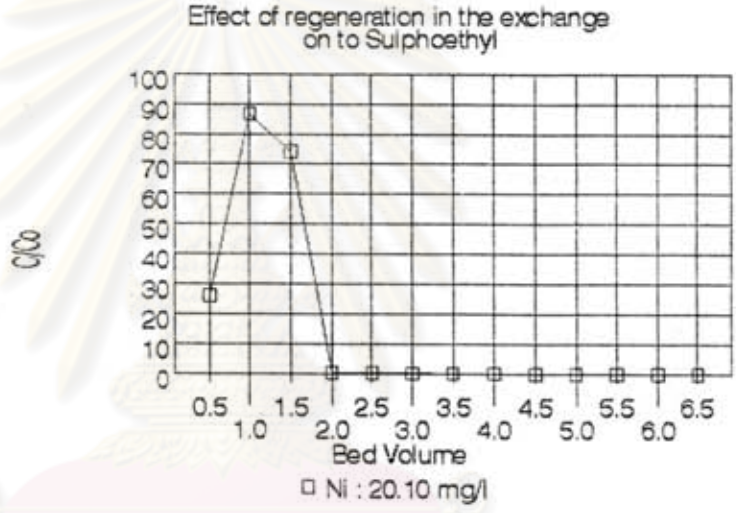


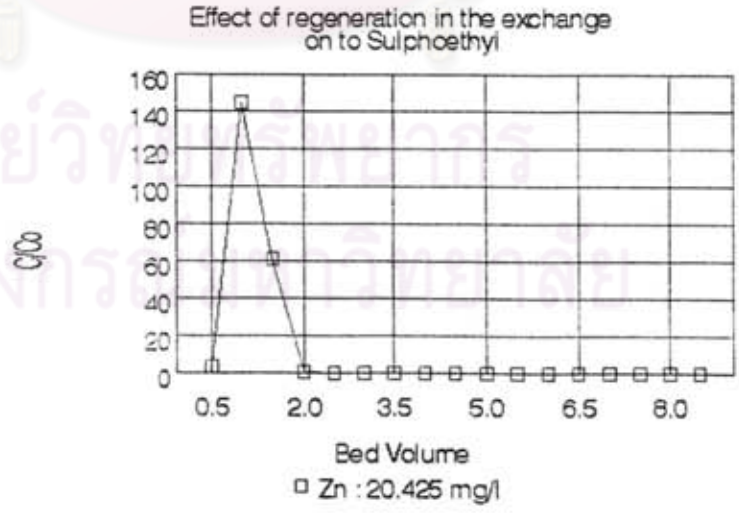




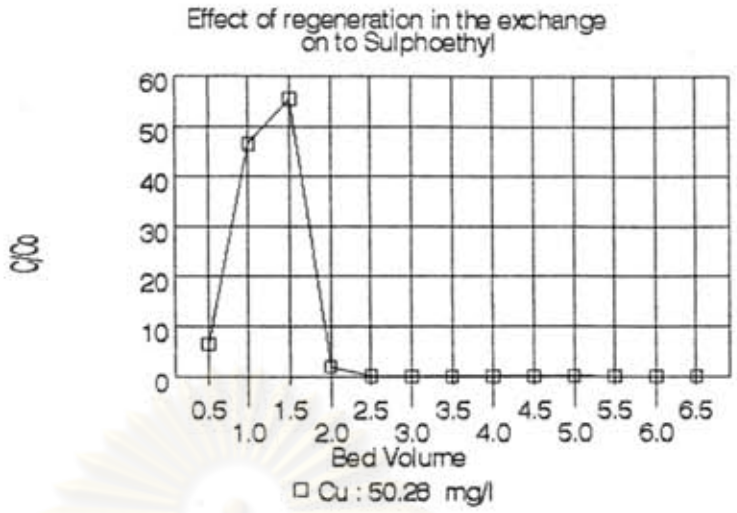
รูปที่ 5.32 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l

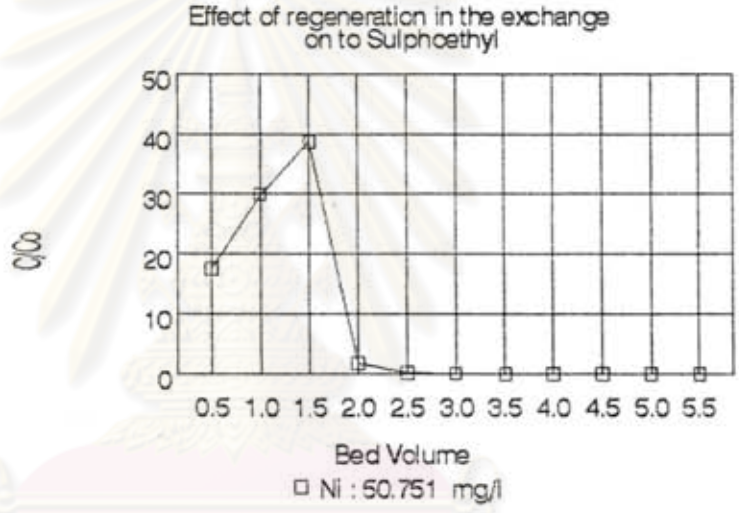


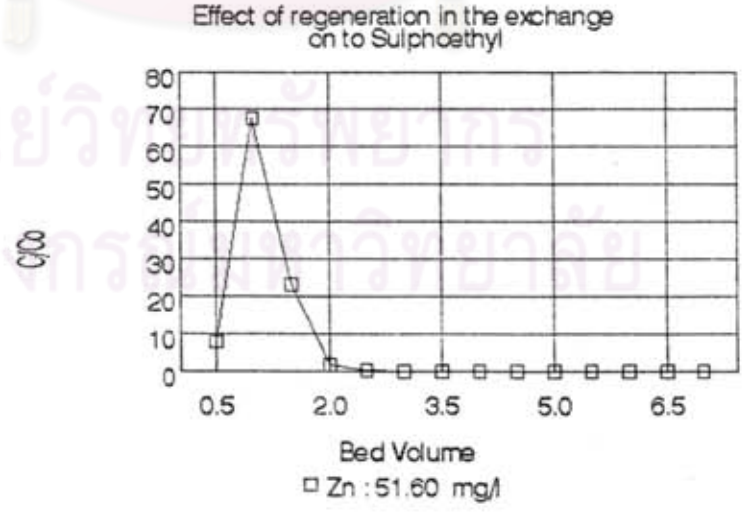




รูปที่ 5.33 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l







รูปที่ 5.34 ระดับการรีเจนเนอเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทีล (Sulphoethyl) ที่ทำจากผักตบชวา เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l