บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การกำจัดอาร์เซนิคโดยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

การทดลองนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและภาวะที่เหมาะสมเบื้องต้นในการกำจัดอาร์เซนิคในน้ำสังเคราะห์ โดยการกรองผ่านตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราไหลต่างๆกัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการทดลองปรับเปลี่ยนพีเอช และศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิค วัฏจักร 10 รอบการทำงานต่อไป

5.1.1 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูที่ผ่านการกำจัดที่อัตราการไหลต่าง ๆ

ทำการทดลองโดยผ่านน้ำสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น สารหนู 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากน้ำประปาที่ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำสังเคราะห์ตามตารางที่ 5.1 แล้วทำการตรวจวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการกรอง และเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค และค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดที่ปริมาตรน้ำสังเคราะห์ใดๆ และผลของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหลต่างๆ โดยจะกรองน้ำสังเคราะห์ในปริมาตร 250 BV เท่ากันทุกการทดลอง

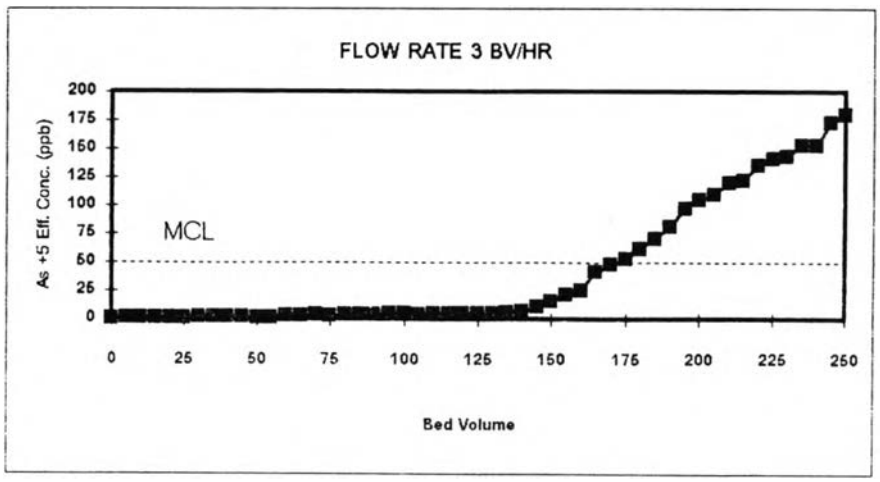
ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำสังเคราะห์ (ข้อมูลตั้งแต่ มิ.ย. 2541- ธ.ค. 2541)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
ความขุ่น	เอ็นทียู	3.1	5.2	0.8
พีเอช	-	7.32	7.39	6.89
ความนำไฟฟ้าจำเพาะ	ไมโครโม/ซม.	219	299	198
ความเป็นด่างทั้งหมด	มก./ล. หินปูน	78	92	55
สารละลาย	มก./ล.	150	169	119
ความกระด้างทั้งหมด	มก./ล. หินปูน	91	117	72
คลอไรด์	มก./ล.	14	23	7
ซัลเฟต	มก./ล.	34	45	18
ซิลิกา	มก./ล.	18	31	11

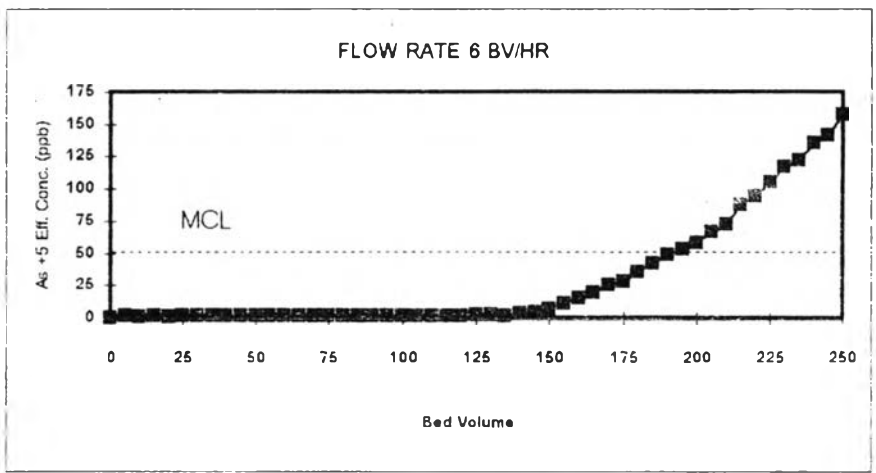
จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราการไหล 3 BV/hr. ที่ปริมาตรน้ำที่กรองได้ตั้งแต่ 0-140 BV ความเข้มข้นของอาร์เซนิคมีค่าต่ำ และค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอาร์เซนิคระหว่าง 1.29 ถึง 6.85 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากนี้ปริมาณอาร์เซนิคในน้ำออกจึงมีแนวโน้มสูงขึ้น ตามปริมาตรน้ำดิบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่จุด Break Through (ในที่นี้คือจุดความเข้มข้นประมาณ 50 ส่วนต่อล้านส่วน ตามมาตรฐานน้ำดื่มของประเทศไทย) จะได้น้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 170 BV และเมื่อทดลองเพิ่มอัตราไหลของน้ำสังเคราะห์ขึ้นพบว่าจะได้น้ำที่ผ่านการกำจัดให้ได้ตามมาตรฐานเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อัตราไหล 6, 12 และ 20 BV/hr. จะได้ปริมาณน้ำออกที่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้นเป็น 195, 205 และ 220 BV ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 30 BV/hr.ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดจะลดลงเป็น 195 BV โดยที่ลักษณะการกำจัดอาร์เซนิคที่อัตราไหลต่างๆมีความคล้ายคลึงกันในช่วงแรกจะมีค่าเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำออกต่ำ และช่วงเรซินใกล้หมดสภาพที่จุด Break through ความชันเส้นกราฟจะสูงขึ้น ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.1 แต่การใช้ที่อัตราการไหลมากขึ้น ความชันของเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอีกทั้งความเข้มข้นของอาร์เซนิคในช่วงแรกจะมีค่าสูงกว่าที่อัตราการไหลต่ำ อัตราการไหลที่ 20 BV/hr. ให้ปริมาตรน้ำที่ผ่านการกำจัดสารหนูที่เข้มข้นน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรมากที่สุดเนื่องจากเกิดปฏิกริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไฮดรอกซิลไอออนกับอาร์เซเนตไอออนได้ดีที่สุด อาจจะเขียนสมการสมดุลอย่างง่ายของการแลกเปลี่ยนไอออนที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของโลหะออกไซด์ได้ดังนี้

$$M - OH^- + HAsO_4^{-2} \rightleftharpoons M - HAsO_4^{-2} + OH^-$$

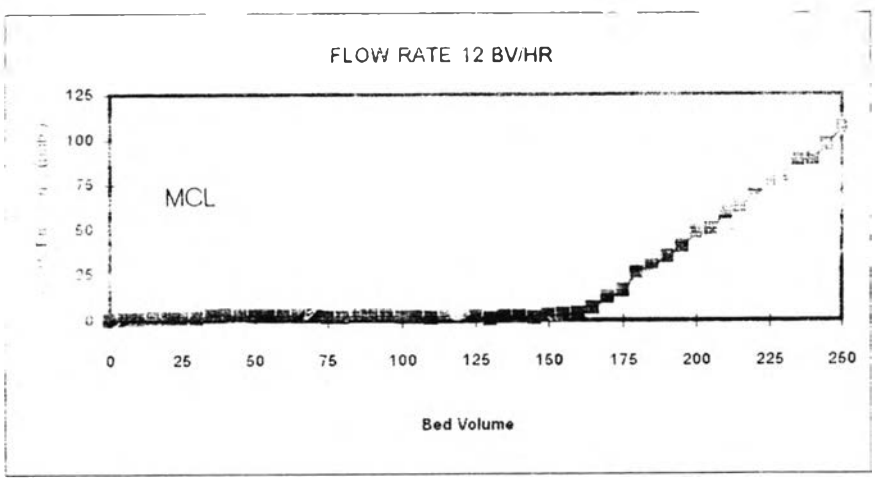
M แทนพื้นที่ผิวสัมผัสของโลหะออกไซด์ จากสมการอาร์ซิเนตไอออนในน้ำสังเคราะห์เข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลบนผิวสัมผัสของโลหะออกไซด์ หมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะอยู่บนผิวโลหะออกไซด์เกิดจากการรีเจนเนอเรชั่นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนที่จะนำมาใช้งานโดยที่ไฮดรอกซิลไอออนที่ถูกแทนที่จะปะปนออกมาพร้อมกับน้ำที่ถูกการกำจัด (Anderson, 1981) ที่อัตราการไหลที่ 20 BV/hr. ปฏิกริยาสมดุลของการแลกเปลี่ยนไอออนมีแนวโน้มที่จะเกิดไปข้างหน้า แต่อัตราการไหลที่ลดลงทำให้เกิดปฏิกริยาย้อนกลับบางส่วนและอาจเกิดการไหลแบบลัดวงจรที่ค่าอัตราการไหลต่ำ เป็นผลให้ปริมาณอาร์เซนิคในน้ำออกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อัตราการไหล 30 BV/hr. ให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดน้อยกว่าเนื่องจากเวลาสัมผัสที่น้อยเกินไป ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไฮดรอกซิลไอออนกับอาร์เซเนตไอออนบนผิวเหล็กออกไซด์ลดลง อีกทั้งการใช้อัตราการไหลที่สูงยังทำให้เกิดการสูญเสียเฮดในการกรองสูงตามดังนี้ อัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดอาร์เซนิค(+5) โดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์อยู่ ช่วง 12-20 BV/hr.ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.1



ก.อัตราการไหล 3 B V/hr.



ข.อัตราไหล 6 B V/hr.

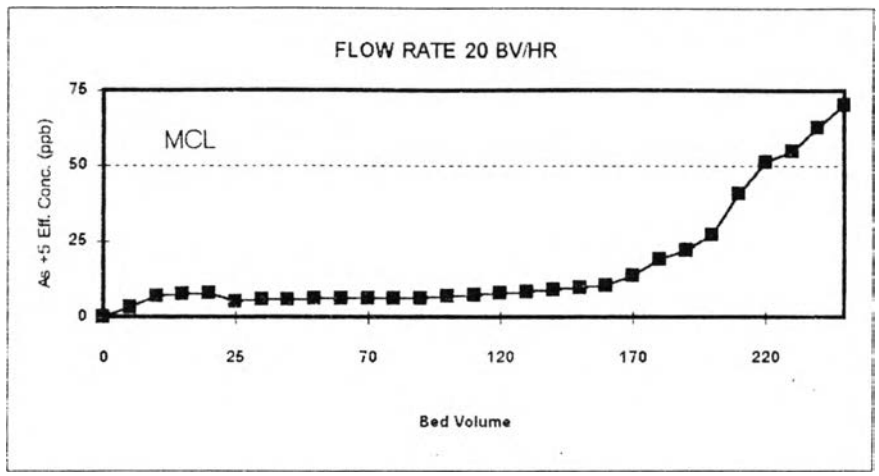


ค.อัตราไหล 12 B V/hr.

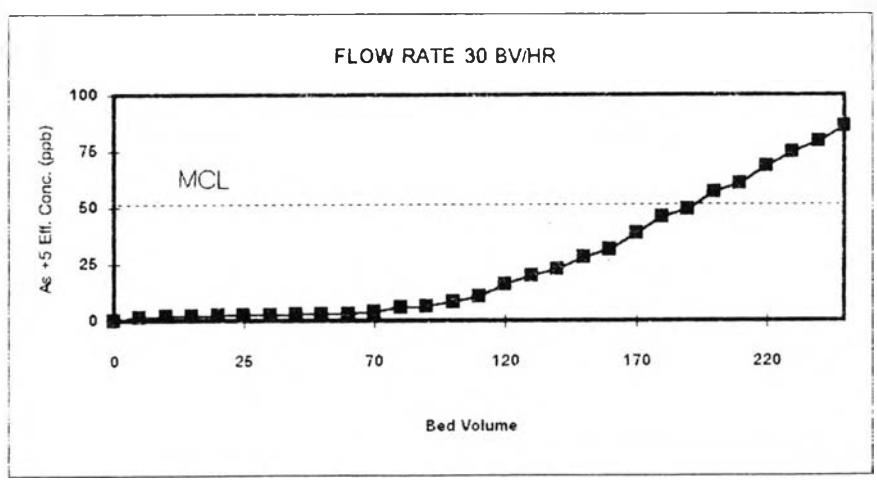
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มของอาร์เซนิค (+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ก.อัตราไหล 3 BV/hr. ข.อัตราไหล 6 BV/hr. ค.อัตราไหล 12 BV/hr.

ค.อัตราไหล 20 BV/hr. ง.อัตราไหล 30 BV/hr.



ง.อัตราไหล 20 B V/hr.



จ.อัตราไหล 30 B V/hr.

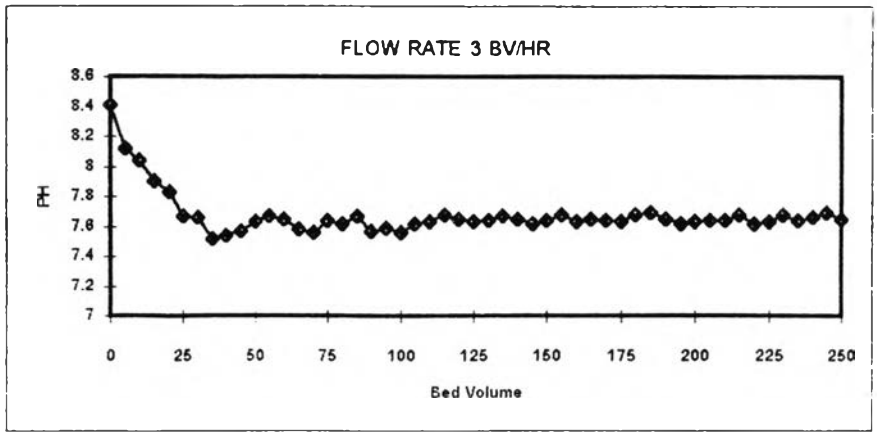
รูปที่ 5.1 (ต่อ) กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มของอาร์เซนิค (+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ก.อัตราไหล 3 BV/hr. **ข.อัตราไหล 6 BV/hr.** **ค.อัตราไหล 12 BV/hr.**

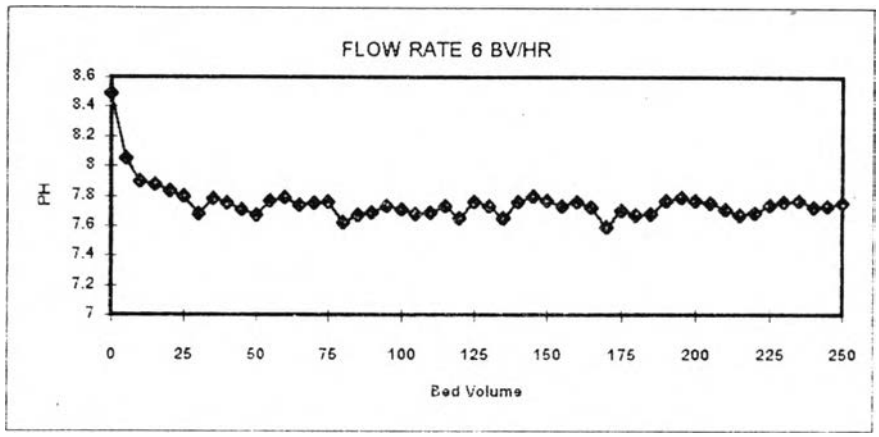
ค.อัตราไหล 20 BV/hr. ง.อัตราไหล 30 BV/hr.

5.1.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ผ่านการกำจัด

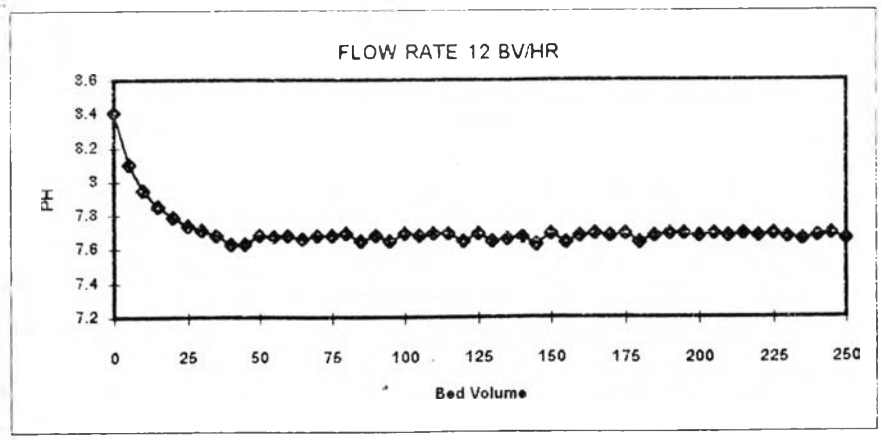
กราฟรูปที่ 5.2 แสดงค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองผ่านทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ซึ่งได้ทำการวัดทุกๆ 5 BV จนครบ 250 BV ที่อัตราการไหล 3, 6, 12, 20 และ 30 BV/hr. ซึ่งกราฟมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน คือพีเอชของน้ำออกในช่วงแรกจะมีค่าค่อนข้างเป็นด่างอยู่ในช่วง 8-8.5 เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้างอยู่ในชั้นตัวกลางถูกชะล้างออกมาในช่วงแรกของการกรอง เมื่อปริมาณชั้นเรซินเพิ่มขึ้นพีเอชมีแนวโน้มลดลงและคงที่อยู่ในช่วงพีเอช 7.5-7.8 ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงพีเอชของเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มระหว่าง 6.5-8.5 ตลอดจนกระทั่งหยุด เนื่องจากหมู่ไฮดรอกออกซิลไอออนบนผิวของเหล็กออกไซด์ ถูกแทนที่ด้วยธาตุประจุลบที่ละลายอยู่ในน้ำสังเคราะห์ ไฮดรอกซิลไอออนที่อยู่ในน้ำออกจึงทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงกว่าพีเอชของน้ำเข้าเล็กน้อย แต่การใช้อัตราการไหลที่สูงขึ้น พีเอช ในช่วงแรกของน้ำที่ผ่านการกำจัดมีแนวโน้มที่จะลดลงได้เร็วกว่าที่อัตราการไหลต่ำ



ก.อัตราการไหล 3 BV/hr.



ข.อัตราการไหล 6 BV/hr.

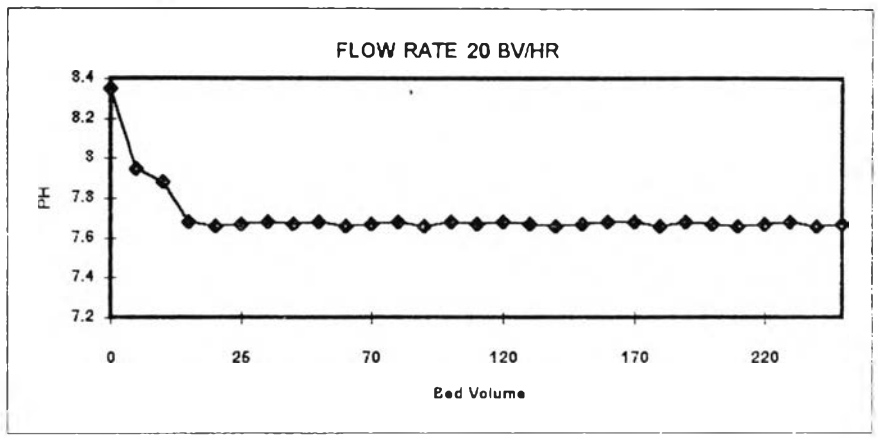


ค.อัตราการไหล 12 BV/hr.

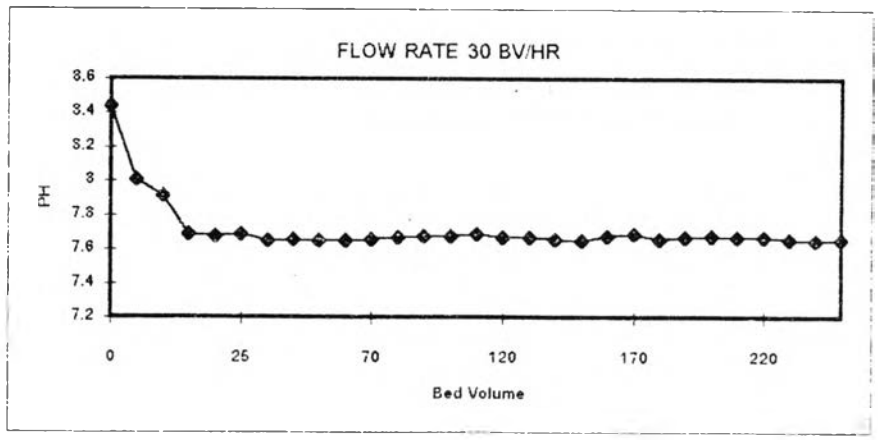
รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัด ด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ก.อัตราไหล 3 BV/hr. ข.อัตราไหล 6 BV/hr. ค.อัตราไหล 12 BV/hr.

ง.อัตราไหล 20 BV/hr. จ.อัตราไหล 30 BV/hr.



ง.อัตราการไหล 20 BV/hr.



จ.อัตราการไหล 30 BV/hr.

รูปที่ 5.2 (ต่อ)กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัด ด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

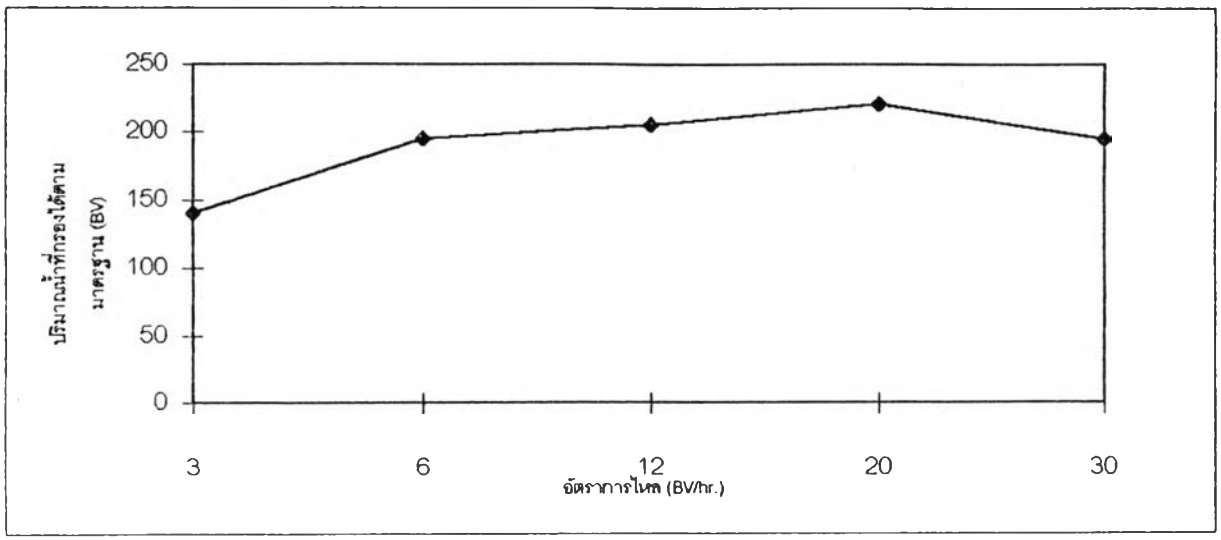
ก.อัตราไหล 3 BV/hr. ข.อัตราไหล 6 BV/hr. ค.อัตราไหล 12 BV/hr.

ง.อัตราไหล 20 BV/hr. จ.อัตราไหล 30 BV/hr.

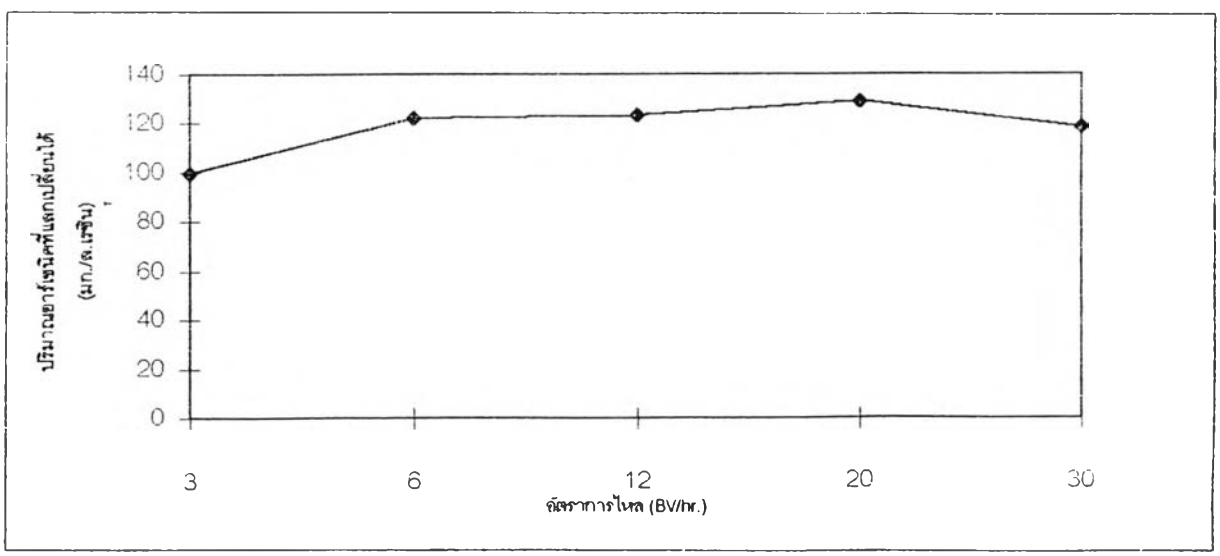
ปริมาณอาร์เซนิค เพื่อศึกษาปริมาณอาร์เซนิคที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 และ 5.4 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหล 20 BV/hr.อาร์เซนิคถูกแลกเปลี่ยนมากที่สุด ที่อัตราการไหล 30 BV/hr., 12 BV/hr. และ 6 BV/hr. ปริมาณอาร์เซนิคที่ถูกแลกเปลี่ยนมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่อัตราการไหล 3 BV/hr.อาร์เซนิคถูกแลกเปลี่ยนน้อยที่สุด ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอาร์เซนิคในแต่ละอัตราการไหลสอดคล้องกับคำอธิบายในหัวข้อ 5.1.1

ตารางที่ 5.2 ปริมาณอาร์เซนิคที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำสังเคราะห์ที่อัตราการไหลต่างๆ

ชนิดของตัวกลาง	อัตราการไหลของน้ำสังเคราะห์ (BV/hr.)	ปริมาณน้ำกรองได้ตามมาตรฐาน (BV)	ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./ล เรซิน)
ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	3	170	99.4
	6	195	122.0
	12	205	123.4
	20	220	129.2
	30	195	118.3



รูปที่5.3 ปริมาตรน้ำที่ผ่านการกำจัดที่ได้ตามมาตรฐานด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราไหลต่างๆ



รูปที่ 5.4 ปริมาณอาร์เซนิคอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราไหลต่างๆ

5.2 การกำจัดอาร์เซนิคโดยตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

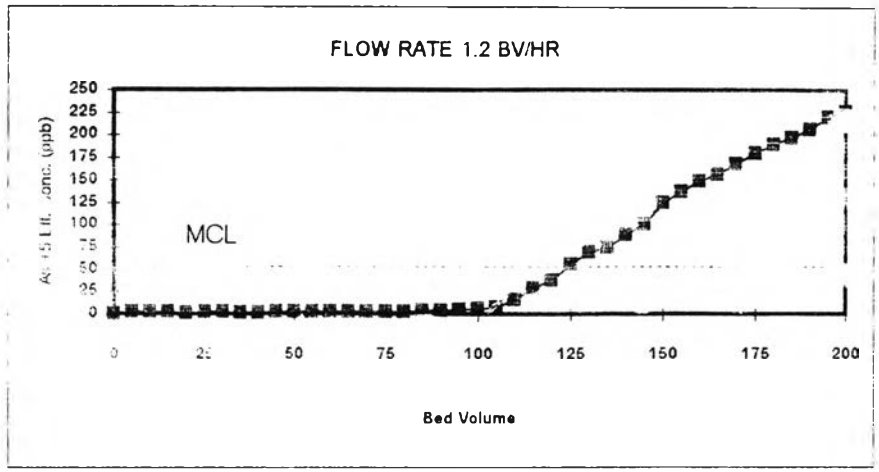
การทดลองนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ และภาวะที่เหมาะสมเบื้องต้นในการกำจัดอาร์เซนิคในน้ำสังเคราะห์ โดยการกรองผ่านตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราไหลต่างๆกัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการทดลองปรับเปลี่ยนพีเอช และศึกษาสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิค วัฏจักร 10 รอบการทำงานต่อไป

5.2.1 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูที่ผ่านการกำจัดที่อัตราการไหลต่าง ๆ

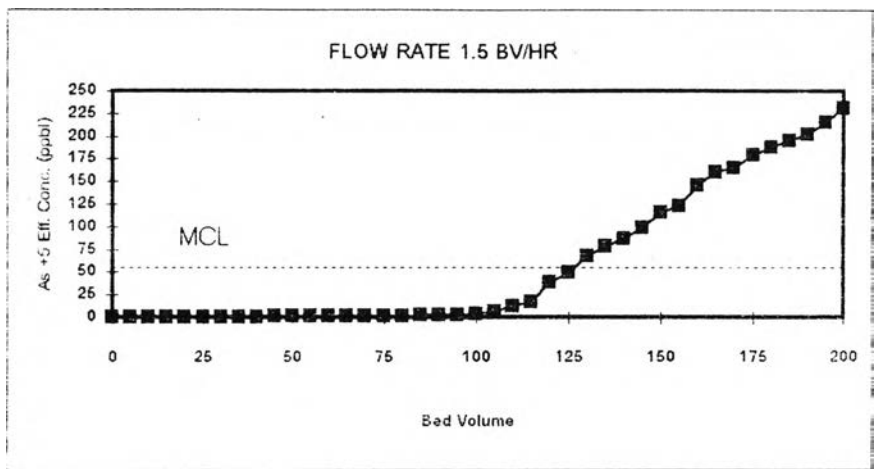
ทำการทดลองโดยผ่านน้ำสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น สารหนู 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากประปาที่ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำสังเคราะห์ตามตารางที่ 5.1 แล้วทำการตรวจวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการกรอง และเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค และค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดที่ปริมาตรน้ำสังเคราะห์ใดๆ และผลของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหลต่างๆ โดยจะกรองน้ำสังเคราะห์ในปริมาตร 200 BV เท่ากันทุกการทดลอง ผลการทดลองจะเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนู ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัด ที่ปริมาตรน้ำสังเคราะห์ใดๆ และผลของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหลต่างๆ

ลักษณะกราฟการกำจัดอาร์เซนิคของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสคล้ายคลึงกับกราฟจลศาสตร์การรั่วของอาร์เซนิคของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ จากรูปที่ 5.5 ในชั้นปริมาตรเรซินแรกๆ จะมีค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำออกค่อนข้างต่ำ เมื่อชั้นปริมาตรเรซินเพิ่มขึ้นจนค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิคถึงจุด Break Through ความชันของเส้นกราฟจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว รูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหล 3 BV/hr. ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดมากที่สุด คือประมาณ 160 BV ในขณะที่อัตราการไหล 1.2, 1.5, 2 และ 6 BV/hr. ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 125, 125, 140 และ 105 BV ตามลำดับ

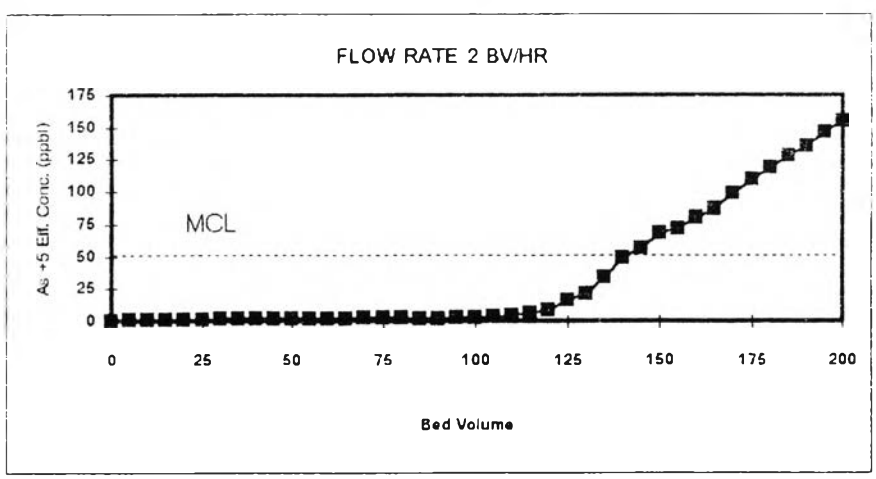
เหตุผลนั้นคล้ายคลึงกับที่ได้อธิบายในกรณีของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ คือ เวลาสัมผัสหรือ ความเร็วของน้ำที่ผ่านหน้าตัดของชั้นทรายจะต้องมีค่าที่เหมาะสม จึงจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตัวกลางทรายเคลือบโลหะออกไซด์กับอาร์เซเนตไอออนได้ดี เวลาสัมผัสที่นานจนเกินไปหรือที่อัตราการไหลต่ำๆมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการไหลแบบลัดวงจรในชั้นทราย ซึ่งจะทำให้ปริมาณอาร์เซนิคในน้ำออกเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่เวลาสัมผัสที่เร็วจนเกินไปหรือที่อัตราการไหลสูง อัตราการแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวโลหะออกไซด์จะลดลง ปริมาณอาร์เซนิคในน้ำออกจึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดอาร์เซนิค(+5) โดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์อยู่ในช่วง 2-3 BV/hr.



ก.อัตราไหล 1.2 B V/hr.



ข.อัตราไหล 1.5 B V/hr.

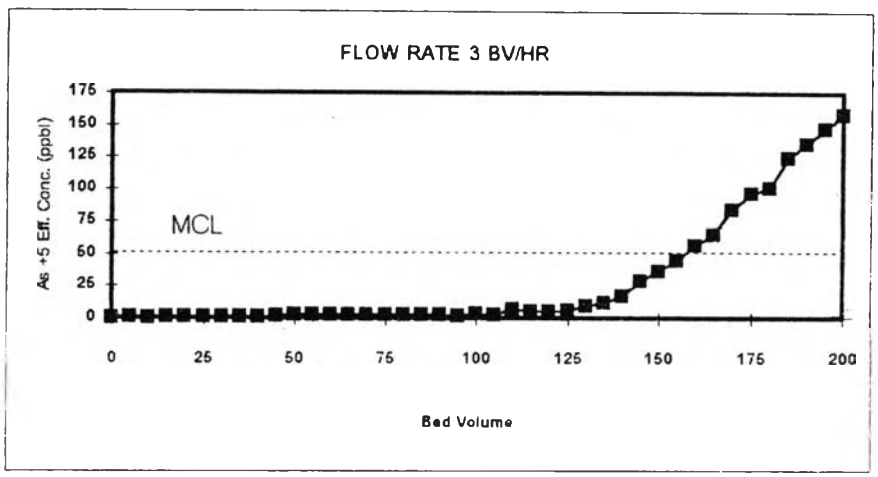


ค.อัตราไหล 2 B V/hr.

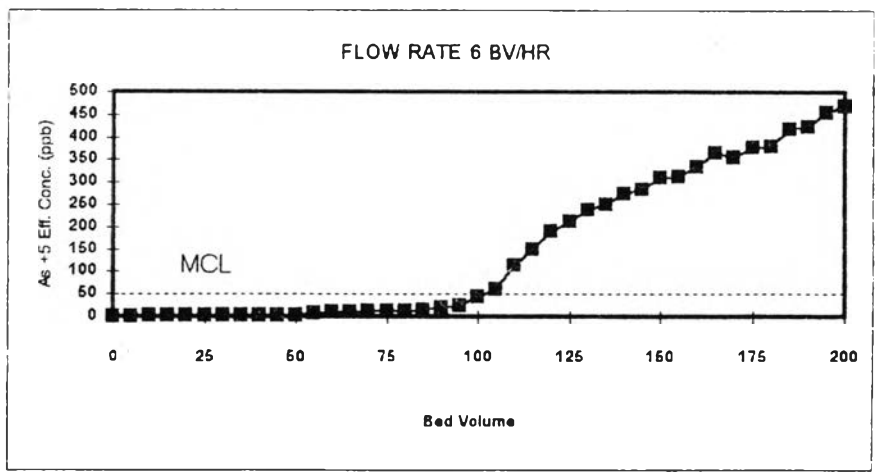
รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

ก. อัตราไหล 1.2 BV/hr. ข. อัตราไหล 1.5 BV/hr. ค. อัตราไหล 2 BV/hr.

ง. อัตราไหล 3 BV/hr. จ. อัตราไหล 6 BV/hr.



ง อัตราไหล 3 B V/hr



จ.อัตราไหล 6 B V/hr.

รูปที่ 5.5(ต่อ) กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

ก.อัตราไหล 1.2 BV/hr. **ข.อัตราไหล 1.5 BV/hr.** **ค.อัตราไหล 2 BV/hr.**

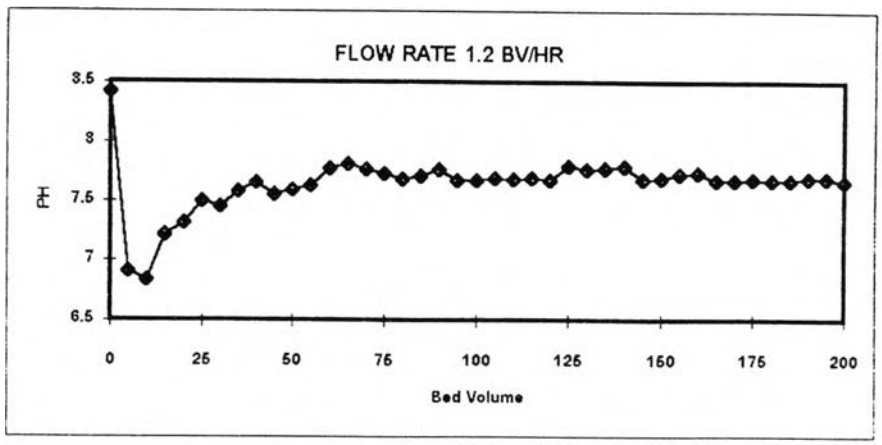
ง.อัตราไหล 3 BV/hr. **จ.อัตราไหล 6 BV/hr.**

5.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ผ่านการกำจัด

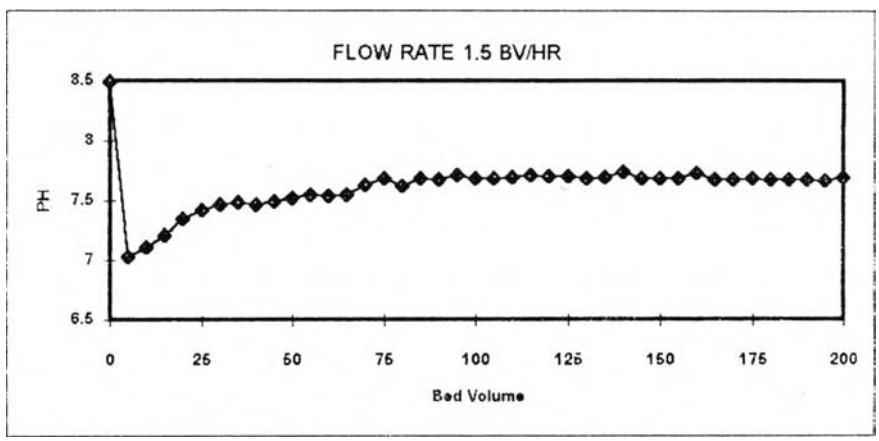
จากรูปที่ 5.6 ที่อัตราการไหลทั้ง 5 ค่า กราฟมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน โดยเริ่มต้นน้ำที่ผ่านการกำจัดจะมีค่าพีเอชสูงอยู่ในช่วง 8.0 ถึง 8.5 เนื่องจากการตกค้างของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในชั้นตัวกลางที่ถูกชะล้างออกมากับน้ำที่ผ่านการกำจัดหลังจากเมื่อปริมาตรชั้นเรซินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย พีเอชมีแนวโน้มลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เช่นที่อัตราการไหล 6 BV/hr. พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดช่วงแรกมีค่าต่ำกว่า 7 และเมื่อชั้นปริมาตรเรซินเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 50 BV พีเอชของน้ำออกจึงมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ประมาณ 7.5-7.7 พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดในช่วงแรกลดต่ำลง เนื่องจากทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ทำมาจากทราย ซึ่งผ่านการคัดขนาดแล้ว (graded sand) นำมาเคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกริยาของแมงกานีสคลอไรด์และ โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนเป็นสมการอย่างง่ายได้ดังนี้ (สุกัญญา, 2534)

$$3MnCl_2 + 2\ kMnO_4 + 2H_2O \longrightarrow 5\ MnO_2 + 4HCL + 2KCL$$

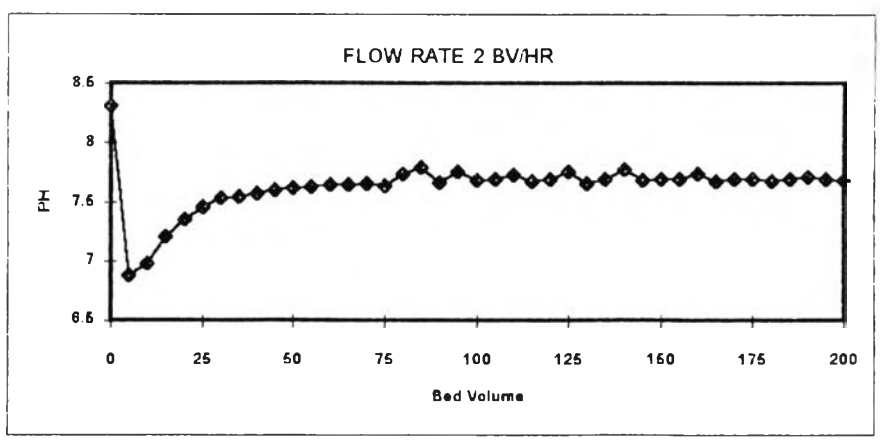
จะเห็นได้ว่าเกิดผลผลิตของกรดเกลือขึ้น ในระหว่างการเตรียมตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดลดต่ำลงในช่วงเริ่มต้นของวัฏจักร



ก อัตราไหล 1.2 B V/hr.



ข.อัตราไหล 1.5 B V/hr.

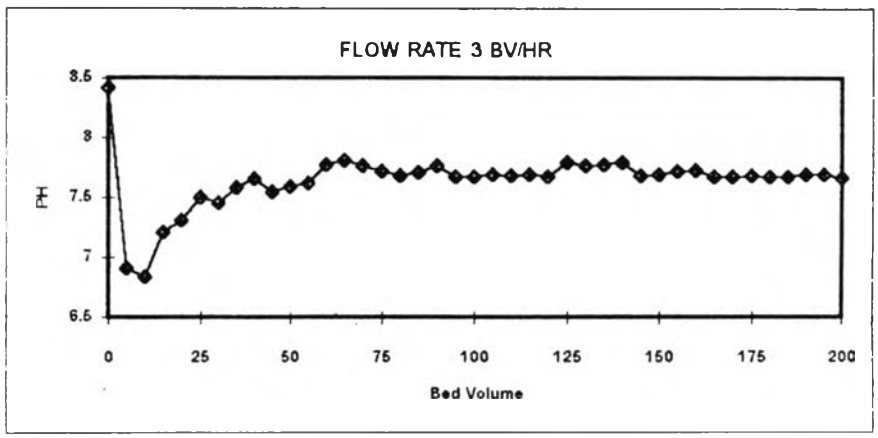


ค.อัตราไหล 2 B V/hr.

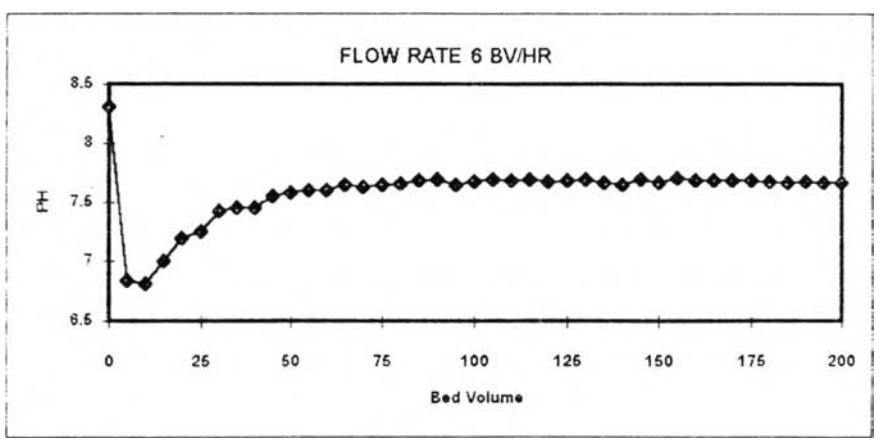
รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดที่อัตราการไหล ที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

ก.อัตราไหล 1.2 BV/hr. ข.อัตราไหล 1.5 BV/hr. ค.อัตราไหล 2 BV/hr.

ง.อัตราไหล 3 BV/hr. จ.อัตราไหล 6 BV/hr.



ง.อัตราไหล 3 B V/hr.



จ.อัตราไหล 6 B V/hr.

รูปที่ 5.6 (ต่อ) กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดที่อัตราการไหลที่ตัวกลางคือ ทราย เคลือบแมงกานีสออกไซด์

ก.อัตราไหล 1.2 BV/hr. **ข.อัตราไหล 1.5 BV/hr.** **ค.อัตราไหล 2 BV/hr.**

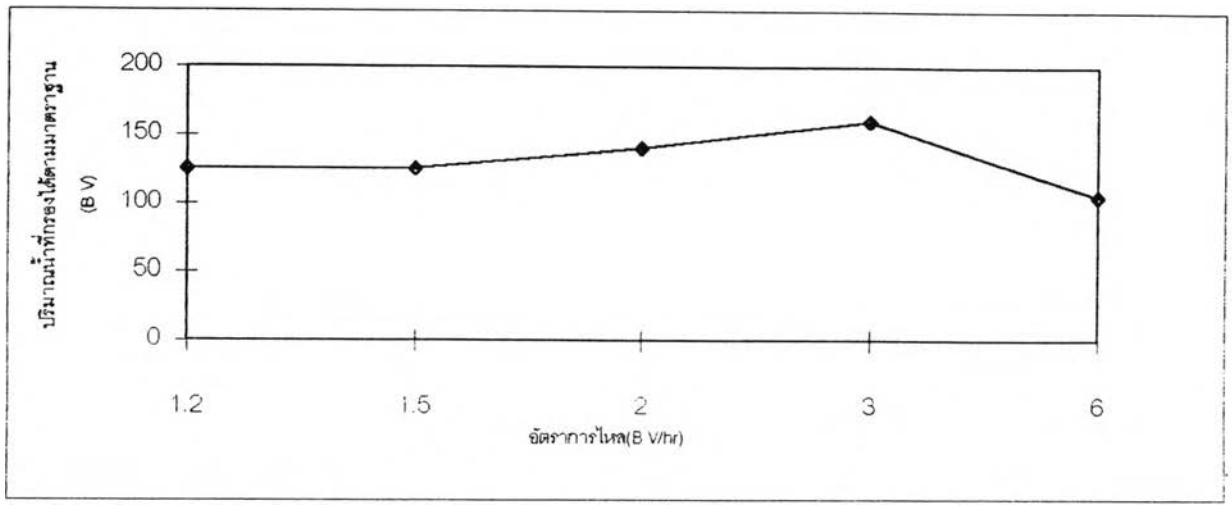
ง.อัตราไหล 3 BV/hr. จ.อัตราไหล 6 BV/hr.

5.2.3 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

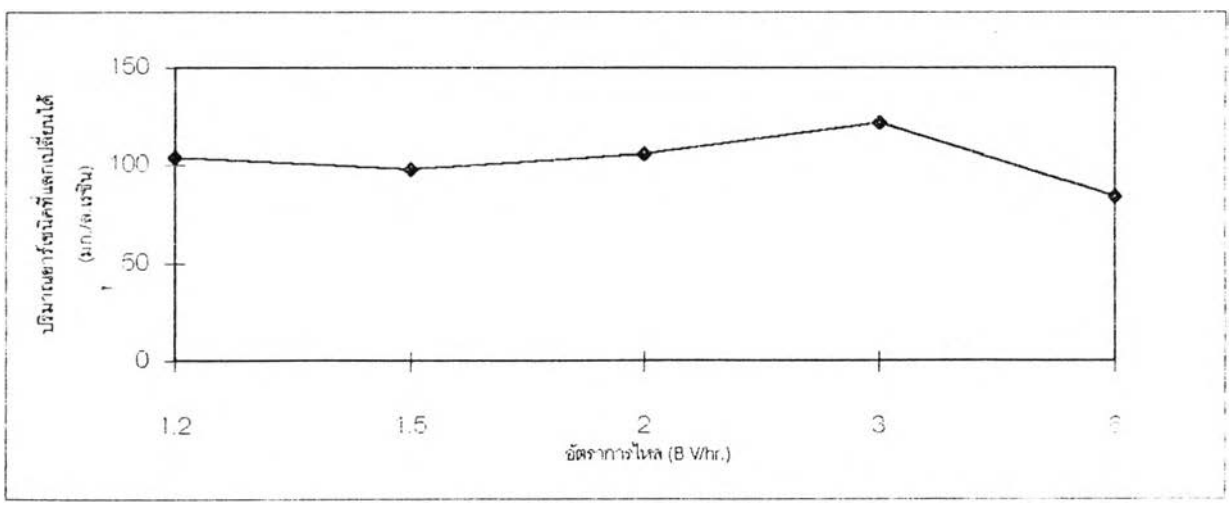
ในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดปริมาตรน้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ไว้ที่ 200 BV ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณอาร์เซนิคที่ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์แลกเปลี่ยนได้ จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหล 3 BV/hr. อาร์เซนิคถูกแลกเปลี่ยนมากที่สุด ส่วนที่อัตราการไหล 6 BV/hr. อาร์เซนิคถูกแลกเปลี่ยนน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8

ตารางที่ 5.3 ปริมาณอาร์เซนิคทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ได้สำหรับน้ำสังเคราะห์ที่อัตราการไหลต่างๆ

ชนิดของตัวกลาง	อัตราการไหลของน้ำสังเคราะห์ (BV/hr.)	ปริมาณน้ำที่กรองได้ตามมาตรฐาน (BV)	ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./ล.เรซิน)
ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์	1.2	125	104.0
	1.5	125	98.1
	2	140	105.7
	3	160	121.7
	6	105	84.0



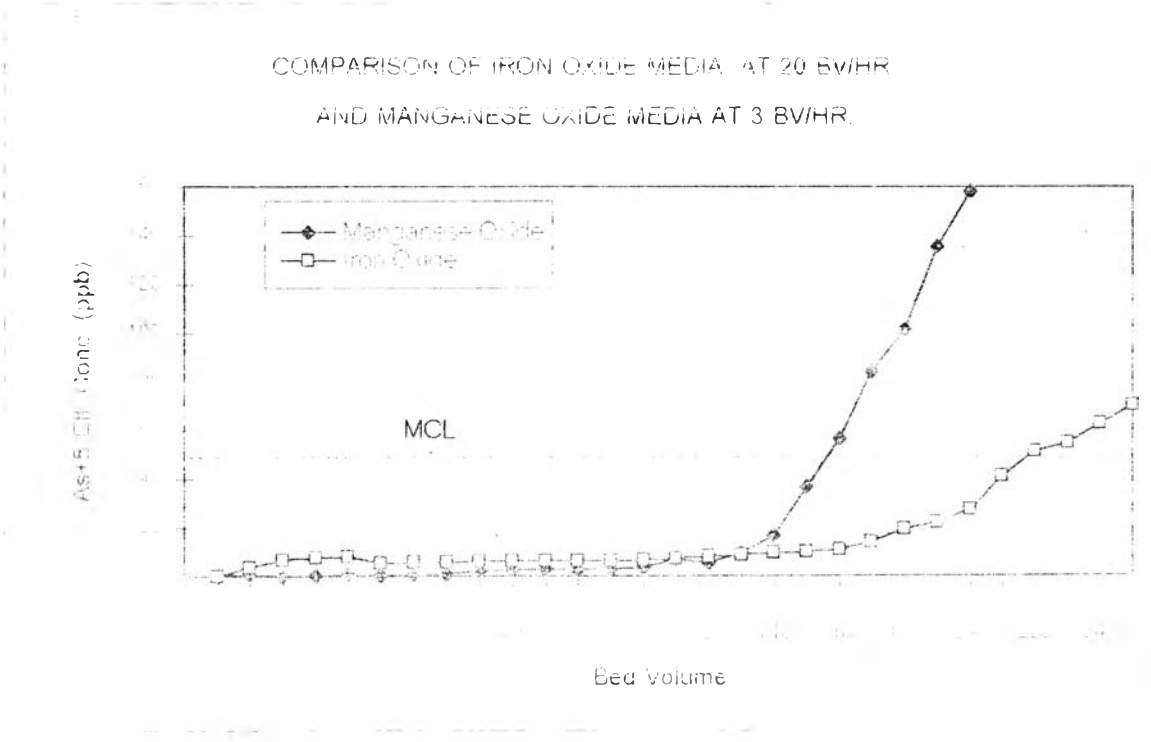
รูปที่ 5.7 ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองที่ได้มาตรฐานด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการไหลต่างๆ



รูปที่ 5.8 ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการไหลต่างๆ

5.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดที่อัตราการไหลต่าง ๆระหว่างตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ได้น้ำที่ผ่านการกำจัดมากที่สุด คือ ประมาณ 220 BV ที่อัตราการไหล 20 BV/hr. ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ได้น้ำที่ผ่านการกำจัดมากที่สุดประมาณ 160 BV ที่อัตราการไหล 3 BV/hr. จะเห็นได้ว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์สามารถใช้อัตราการกรองที่สูงกว่าทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์มากถึง 6.7 เท่า หรือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ใช้เวลาสัมผัสในการแลกเปลี่ยนอาร์เซเนตไอออนน้อยกว่าทรายเคลือบแมงกานีส ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีอัตราการแลกเปลี่ยนอาร์เซเนตไอออนสูงกว่าทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ รูปที่ 5.9 แสดงกราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำออกของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราการกรอง 20 BV/hr. กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการกรอง 3 BV/hr. ปริมาณอาร์เซนิคที่ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้ที่ อัตราการไหล 20 BV/hr.คือ 129.2 มก./ล.เรซิน แต่ปริมาณอาร์เซนิคที่ตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสแลกเปลี่ยนได้ที่ 3 BV/hr.มีค่าน้อยกว่าเล็กน้อยคือ 121.7 มก./ล.เรซิน เนื่องจากทรายเคลือบแมงกานีสมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนอาร์เซเนตไอออนได้ดีกว่าในช่วง 120 BVแรกจึงทำให้สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ใกล้เคียงกับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดของทั้ง 2 ตัวกลางมีความคล้ายคลึงกัน คือพีเอชในช่วงแรกจะมีค่าเป็นด่างในช่วง 8.0-8.5 จากนั้นจึงลดลง และคงที่ที่ระดับพีเอชในช่วง 7.5-7.7 แต่ต่างกันที่ตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์จะมีพีเอชที่ต่ำกว่าในช่วงเริ่มต้น ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น



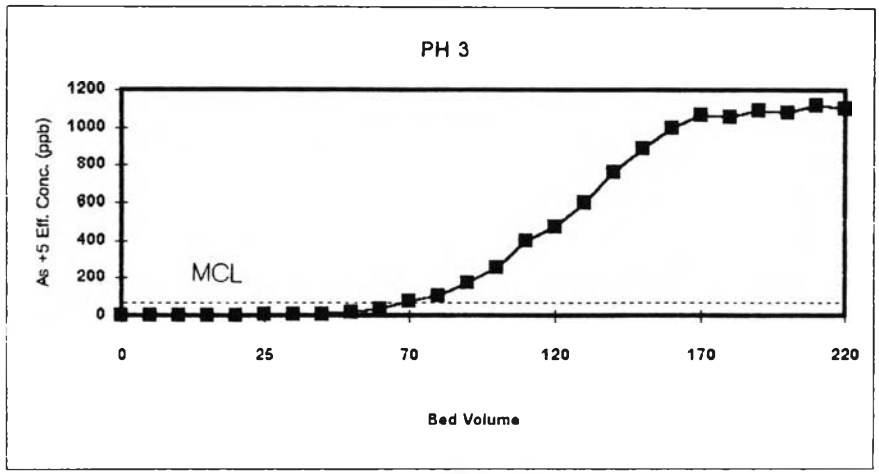
รูปที่ 5.9 **กราฟเปรียบเทียบค่าเข้มข้นของอาร์เซนิค** (+5) **ในน้ำที่ผ่านการกำจัดของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่อัตราการไหล** 20 **และ** 3 BV/hr.**ตามลำดับ**

5.4 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิค โดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

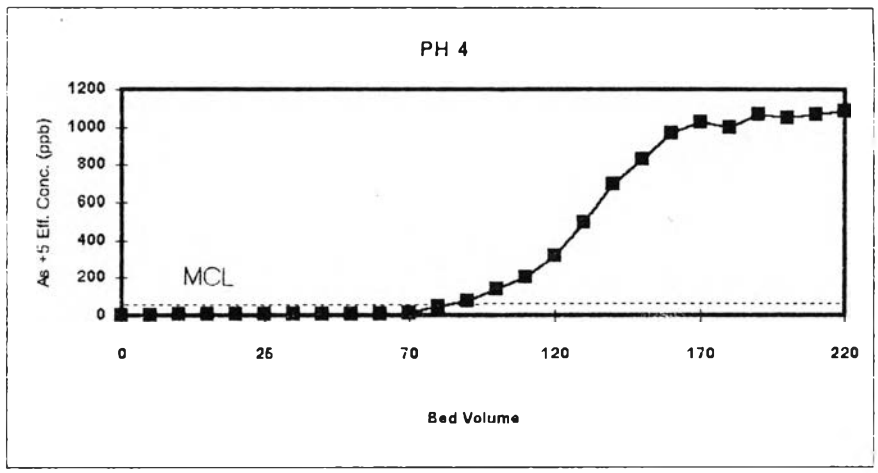
ในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราไหลที่ 20 BV/hr. โดยกรองน้ำสังเคราะห์ที่มีอาร์เซนิคเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรผ่านตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และตรวจวัดปริมาณอาร์เซนิคและค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดที่ปริมาณน้ำสังเคราะห์ใดๆ แล้วจึงนำน้ำรีเจนมาวิเคราะห์ปริมาณอาร์เซนิคเพื่อศึกษาผลของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่ความเข้มข้นอาร์เซนิคในน้ำเข้า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรจำนวน 220 BV

5.4.1 ความเข้มข้นของสารหนูที่ผ่านการกำจัดที่พีเอช 3 ถึง 8

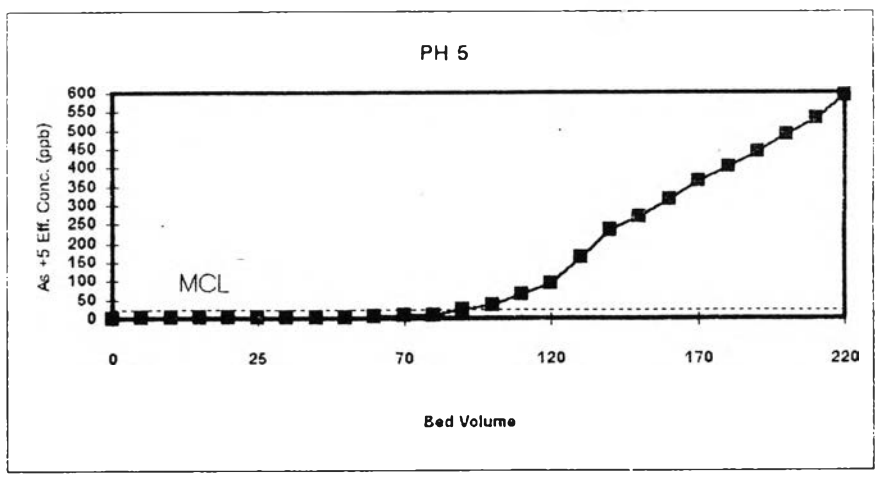
จากการทดลองปรับเปลี่ยนพีเอชของน้ำสังเคราะห์ให้มีค่าต่างกัน 6 ค่า คือที่พีเอช 3 ถึง 8 และกำหนดจุด Break through ที่ระดับความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 7 จะได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดมากที่สุดประมาณ 205 BV แสดงว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนไอออนได้มาก แต่เมื่อพีเอชของน้ำสังเคราะห์ลดลง ปริมาณของน้ำผ่านการกำจัดได้มีแนวโน้มลดลงดังนี้ ที่พีเอช 6ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 100 BV ที่พีเอช 5 ได้ ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 100 BV ที่พีเอช 4 ได้ปริมาตรน้ำที่ผ่านการกำจัด 80 BV ที่พีเอช 3 ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด 65 BV โดยที่ปริมาณของอาร์เซนิคที่ผ่านการกรองได้จะคล้ายกับที่ได้กล่าวไว้ตอนต้น คือช่วงปริมาตรชั้นเรซินแรกทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนไอออนได้มาก ทำให้ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำออกมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำเข้ามาก ดังแสดงเป็นเส้นในรูปที่ 5.10 โดยกราฟจะเริ่มจากค่าต่ำ และค่อยๆ ชันขึ้นจนกระทั่งเลยจุด Break Through แสดงว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เกิดการแลกเปลี่ยนได้น้อยลง พีเอชของน้ำสังเคราะห์ที่มีค่าต่ำทำให้เกิดการรั่วของอาร์เซนิคในน้ำออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำสังเคราะห์ที่มีพีเอชเป็นกรดเข้าไปสะเทินกับไฮดรอกซิลไอออนที่เกาะอยู่บนผิวสัมผัสของเหล็กออกไซด์ ทำให้ปริมาณไฮดรอกซิลไอออนบนผิวสัมผัสลดลง ดังนั้นปริมาณไฮดรอกซิลที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนอิสระ จึงมีจำนวนลดลงตามพีเอชของน้ำสังเคราะห์ที่ต่ำลง เป็นผลให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดมีปริมาณลดลง เมื่อพีเอชของน้ำสังเคราะห์ลดลง แต่ในกรณีของน้ำสังเคราะห์ที่พีเอช 8 ได้ ปริมาณที่ผ่านการกำจัด 60 BV ซึ่งน้อยกว่าปริมาณน้ำผ่านการกำจัดที่พีเอช 7 ค่อนข้างมาก อธิบายได้ว่าพื้นที่ผิวสัมผัสของเหล็กออกไซด์ที่มีไฮดรอกซิลไอออน OH^- มีแนวโน้มที่จะแลกเปลี่ยนไฮดรอกซิลไอออน ที่อยู่ในน้ำสังเคราะห์พีเอช 8 มากกว่าที่จะแลกเปลี่ยนกับอาร์เซเนตไอออนหรืออาจเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จึงทำให้ปริมาณอาร์ซีนเนตไอออนที่รั่วออกมาในน้ำออกเกิดขึ้นได้ง่าย ปริมาณน้ำที่ผ่านกำจัดที่ได้จึงน้อยกว่าที่พีเอช 7



ก.พีเอช 3



ข.พีเอช 4

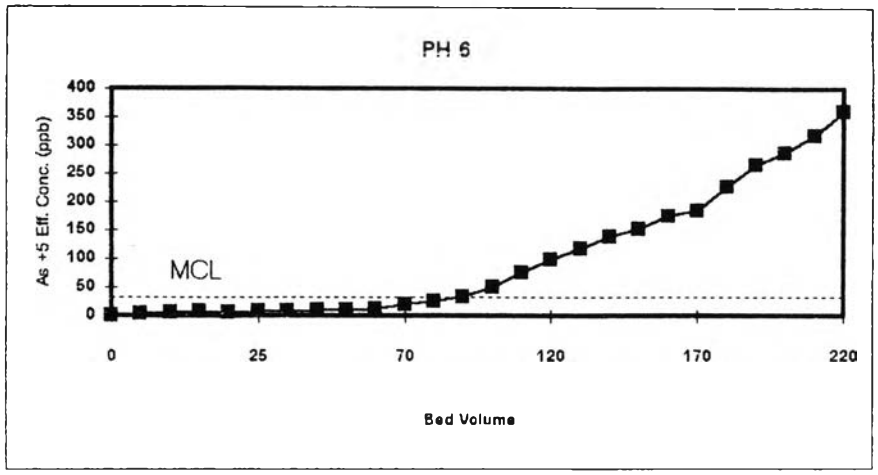


ค.พีเอช 5

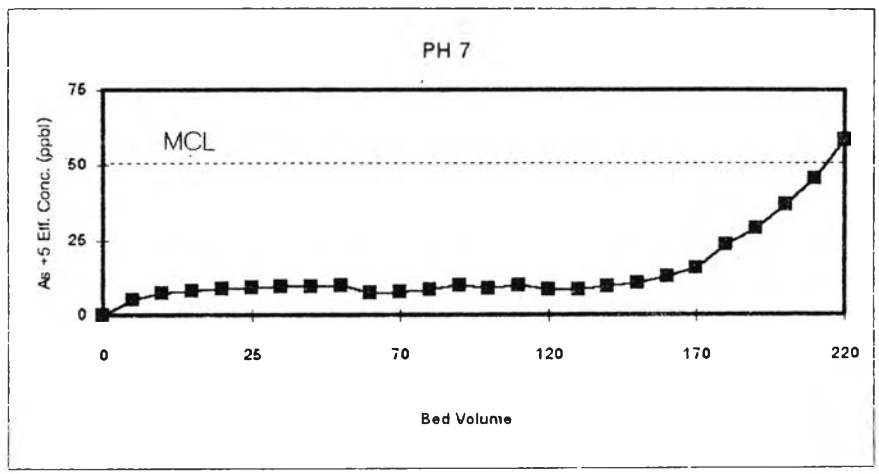
รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ก.พีเอช 3 ข.พีเอช 4 ค.พีเอช 5

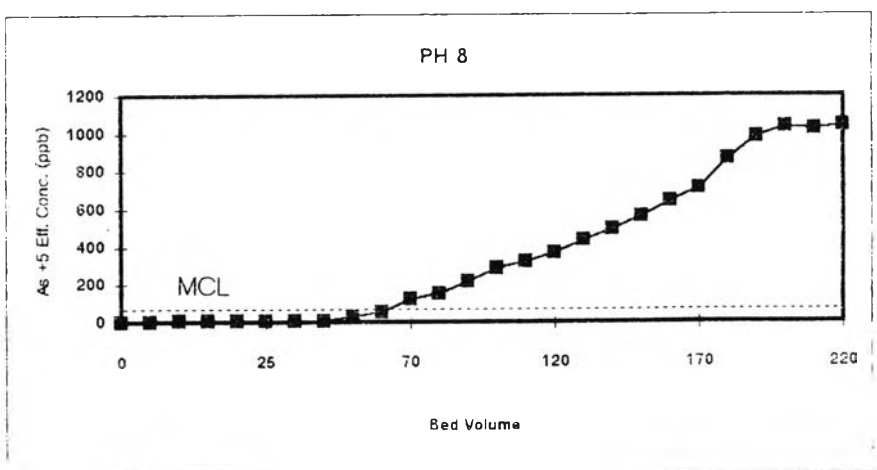
ง.พีเอช 6 จ.พีเอช 7 ฉ.พีเอช 8



ง.พีเอช 6



จ.พีเอช 7



ฉ.พีเอช 8

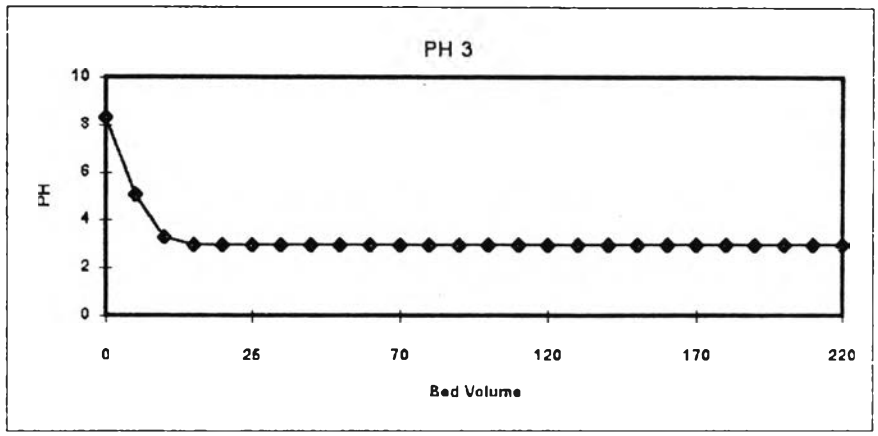
รูปที่5.10 (ต่อ) กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยสาร เคลือบเหล็กออกไซด์

ก.พีเอช 3 ข.พีเอช 4 ค.พีเอช 5

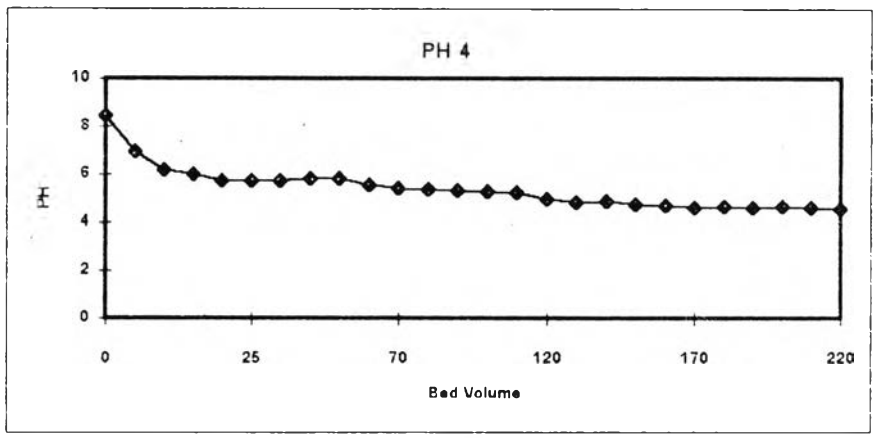
ง.พีเอช

5.4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ผ่านการกำจัด

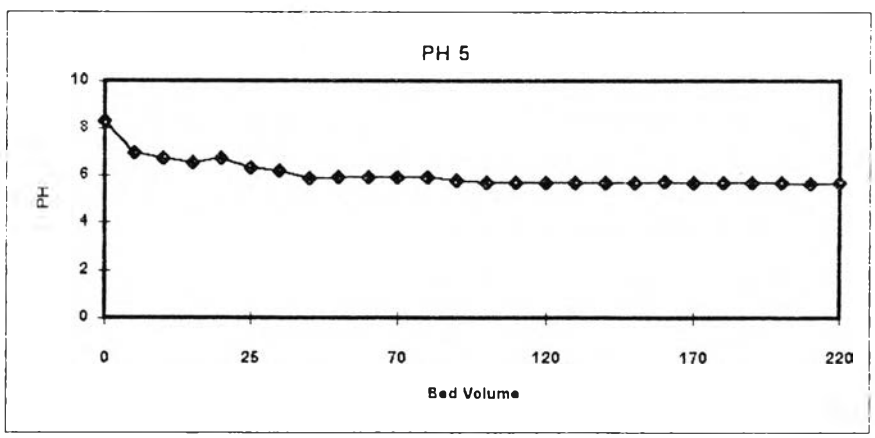
จากรูปที่ 5.11 แสดงค่าพีเอชของน้ำผ่านการกรองผ่านทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ปริมาตรน้ำกรองต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่พีเอชของน้ำสังเคราะห์เท่ากับ 3 เมื่อผ่านเข้าไปในชั้นตัวกลางที่อัตราการไหล 20 BV/hr. พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว และคงที่ที่ระดับพีเอชเท่ากับน้ำเข้า แสดงว่าไฮดรอกซิลไอออนบนผิวเหล็กออกไซด์ถูกสะเทินจนหมดที่ระดับพีเอช 4 ในช่วงแรก พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ และพีเอชคงที่อยู่ในช่วง 4.5 - 5.0 ที่พีเอช เท่ากับ 5 และ 6 เส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกหลังจากนั้นน้ำที่ผ่านการกำจัดคงที่อยู่ในช่วง 5.6 - 5.7 และ 6.9 - 7.0 ตามลำดับ ที่พีเอชเท่ากับ 8 ในช่วงแรกพีเอชของน้ำที่ผ่านจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงประมาณ 7.75 หลังจากนั้นพีเอชจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย และคงที่ที่ระดับพีเอชประมาณ 8 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์อาจจะแลกเปลี่ยนไอออนกับไฮดรอกซิลไอออนได้ดี ในช่วงแรกจึงทำให้พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดมีค่าน้อยกว่า 8



ก.พีเอช 3



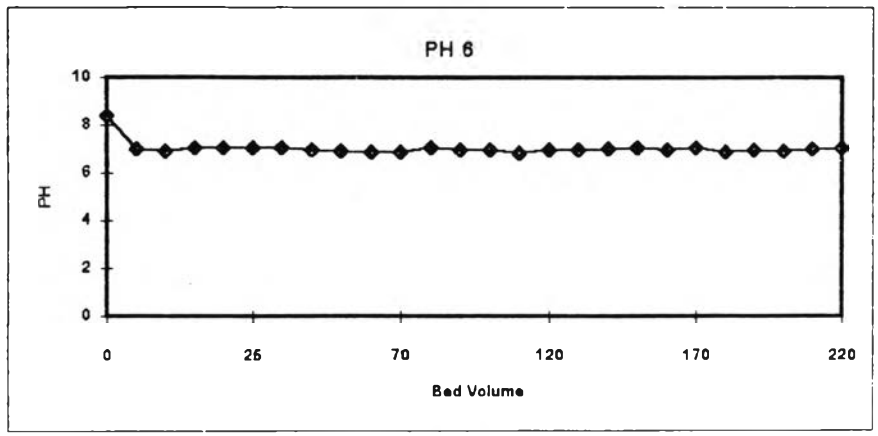
ข.พีเอช 4



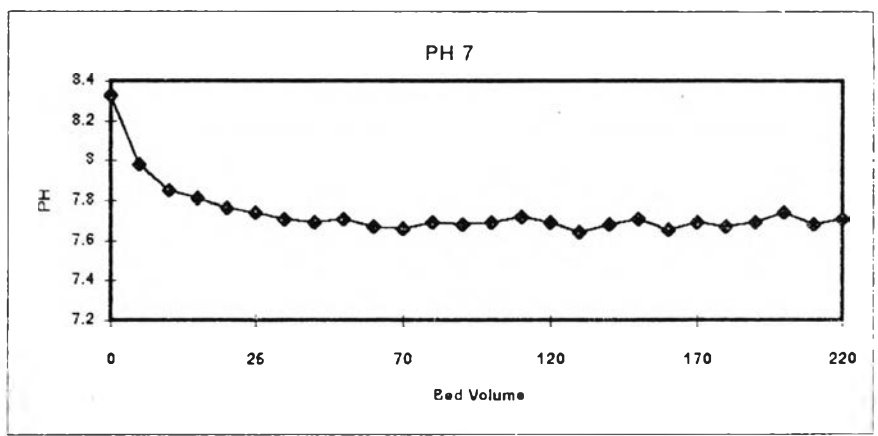
ค.พีเอช 5

รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ต่างๆ

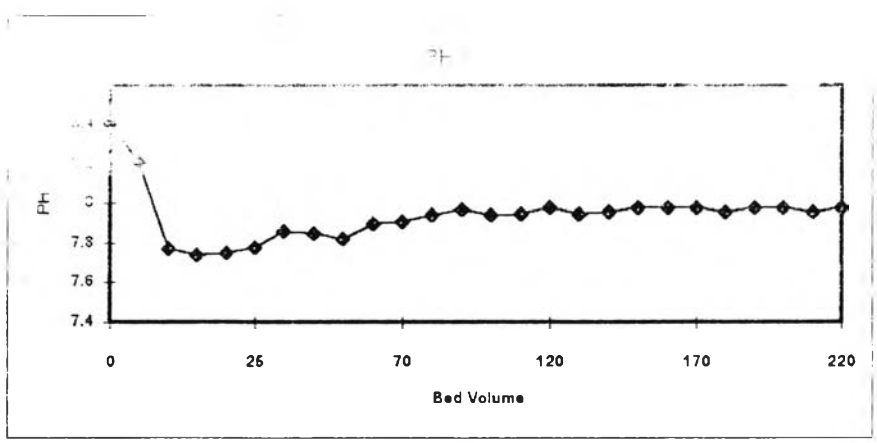
ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7	ฉ.พีเอช 8



ง.พีเอช 6



จ.พีเอช 7



ฉ.พีเอช 8

<u>รูปที่ 5.11 (ต่อ)</u> กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ต่างๆ

ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7	ฉ.พีเอช 8

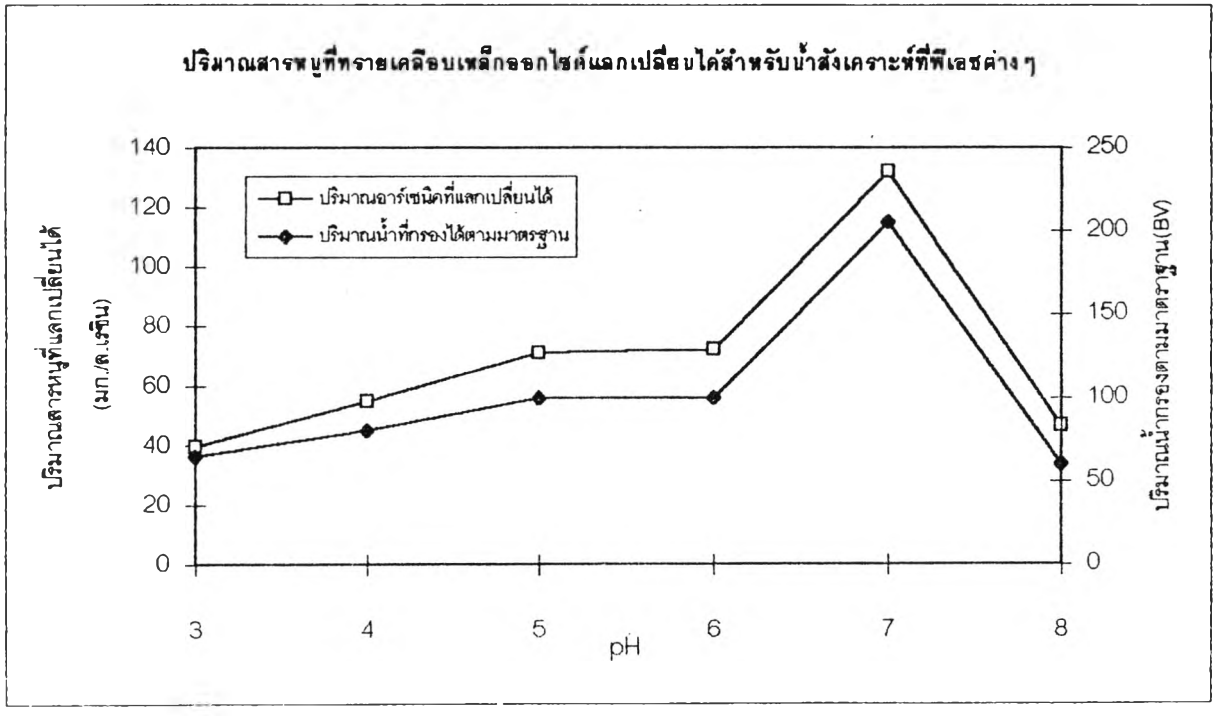
5.4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ในการวิจัยครั้งนี้ได้คำนวนค่าปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนไอออนกับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ 220 ปริมาตรชั้นเรซิน ตารางที่ 5.4 และกราฟรูปที่ 5.12 แสดงปริมาณอาร์เซนิคที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้เปรียบเทียบกับปริมาตรน้ำกรองที่ได้ตามมาตรฐานสำหรับน้ำสังเคราะห์ที่พีเอช 3 ถึง 8

ตารางที่ 5.4 ปริมาณอาร์เซนิคที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำสังเคราะห์ที่พีเอชเริ่มต้น 3 ถึง 8

ชนิดของเรซิน	พีเอชของน้ำสังเคราะห์	ปริมาณน้ำกรองที่ได้ตามมาตรฐาน (BV)	ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./ล.เรซิน)
ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	8	60	46.5
	7	205	132.2
	6	100	72.1
	5	100	71.0
	4	80	54.8
	3	65	39.6

ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 7 ที่พีเอชของน้ำสังเคราะห์น้อยกว่า 7 ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าน้อยลงเรื่อยๆ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนน้อยที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 3 ที่พีเอช 8 ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าน้อยกว่าที่พีเอช 7 และ 6 จากตารางแสดงเห็นว่าปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ในแต่ละค่าพีเอชมีค่าสอดคล้องกับผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในน้ำออกจากหัวข้อ 5.4.1



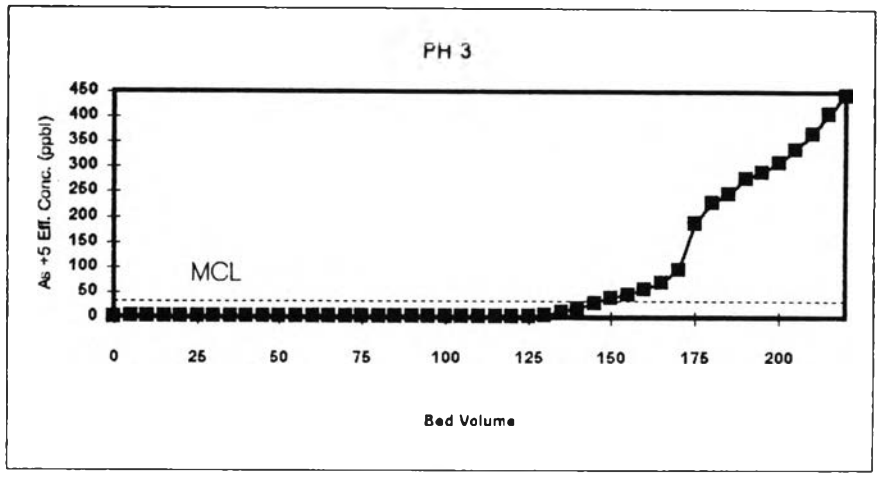
รูปที่ 5.12 ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณน้ำกรองด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่พีเอชต่างๆ

5.5 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิค โดยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

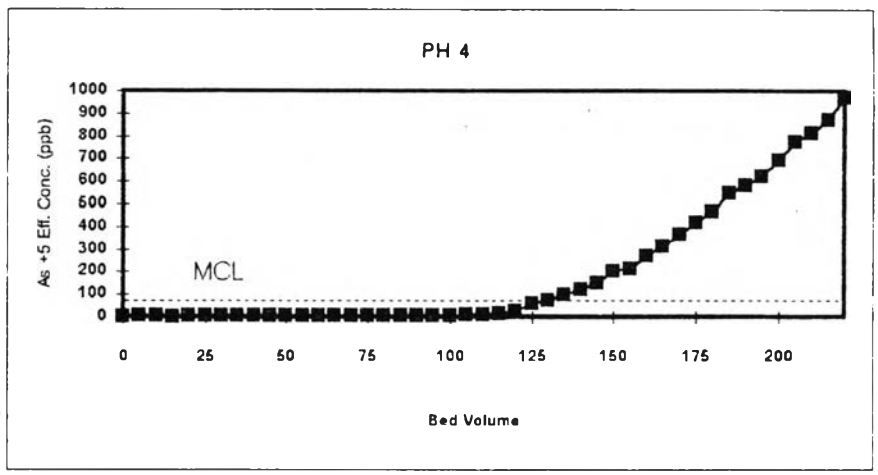
ในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราไหลที่ 3 BV/hr.โดยกรองน้ำสังเคราะห์ที่มีอาร์เซนิคเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรผ่านตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ และตรวจวัดปริมาณอาร์เซนิคและค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดที่ปริมาณน้ำสังเคราะห์ใดๆ แล้วจึงนำน้ำรีเจนมาวิเคราะห์ปริมาณอาร์เซนิค เพื่อศึกษาผลของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่ความเข้มข้นอาร์เซนิค 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 220 BV

5.5.1 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูที่ผ่านการกำจัดที่พีเอช 3 ถึง 8

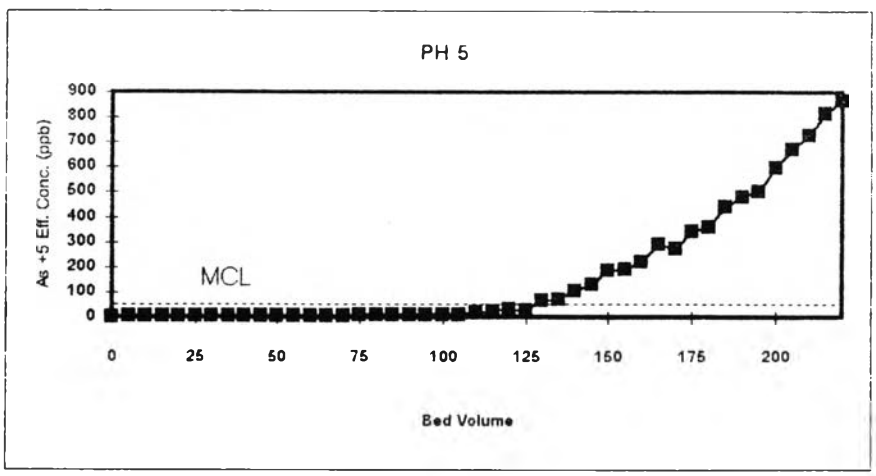
จากผลการทดลองปรับเปลี่ยนพีเอชของน้ำสังเคราะห์ให้มีค่าต่างกัน 6 ค่า คือที่พีเอช 3 ถึง 8 และที่จุดยุติ ความเข้มข้นของอาร์เซนิคมากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร จากการทดลองที่พีเอชของน้ำสังเคราะห์ 3 และ 7ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดมีค่าใกล้เคียงกันคือ 155 และ 160 BVตามลำดับที่พีเอช 6 ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 105 BV ที่พีเอช 5 ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 130 BV ทีพีเอช 4 ได้ปริมาณน้ำประมาณ 125 BV ตามรูปที่ 5.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อพีเอชของน้ำดิบสังเคราะห์มีค่าลดลง ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของแมงกานีสออกไซด์ดึงดูดไฮดรอกซิลไอออนที่เกาะอยู่อย่างหลวมๆ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำสังเคราะห์ที่มีพีเอชเป็นกรด จึงมีแนวโน้มที่จะทำปฏิกริยากับไฮดรอกซิลไอออนอิสระและหลุดออกมากับกระแสออก จนกระทั่งทำให้ไม่มีไฮดรอกซิลไอออนที่มีประจุลบเกาะอยู่ที่ผิวสัมผัสแมงกานีสออกไซด์ การกำจัดอาร์เซนิคด้วยแมงกานีสออกไซด์ในสภาวะที่เป็นกรดจะเกิดกลไกการดูดติด (Adsorption) ขึ้นบนผิวของแมงกานีสออกไซด์ เนื่องจากพีเอชของน้ำสังเคราะห์ที่ลดลงเป็นการเพิ่มจำนวนโปรตรอน (H^+) จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างผิวของแมงกานีสออกไซด์กับประจุลบของอาร์เซเนตไอออน (Gupta, S.K and Chen, K.Y., 1978) ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มการดูดติดในสภาวะที่เป็นกรดเช่นกัน ในกรณีของน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีพีเอช 8 ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด 90 BV ซึ่งน้อยกว่าที่พีเอชของน้ำสังเคราะห์เท่ากับ 7 เนื่องจากพื้นผิวสัมผัสของแมงกานีสออกไซด์มีแนวโน้มจะแลกเปลี่ยนไฮดรอกซิลไอออนที่อยู่ในน้ำสังเคราะห์พีเอช 8 มากกว่า อาร์เซเนตไอออน อัตราการแลกเปลี่ยนไอออนของอาร์เซเนตไอออนจึงเกิดขึ้นน้อย น้ำที่ผ่านการกำจัดที่ได้มาตราฐานจึงมีปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดน้อยกว่าที่พีเอช 7



ก.พีเอช 3



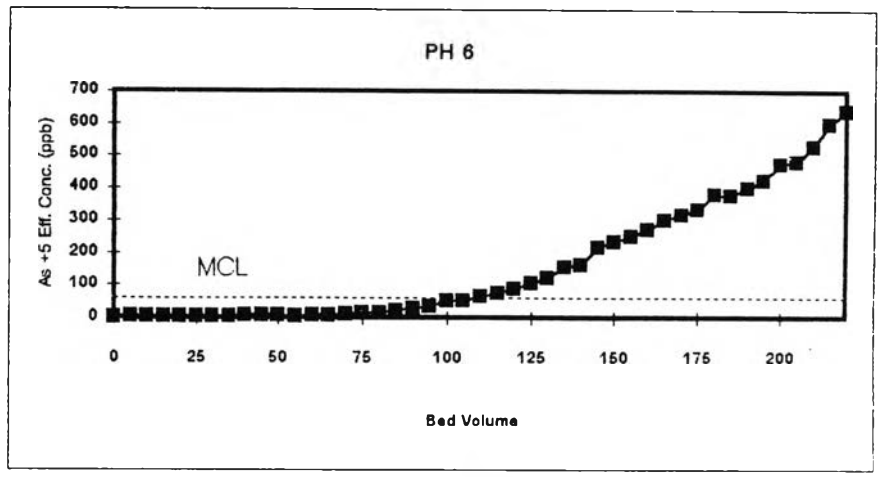
ข.พีเอช 4



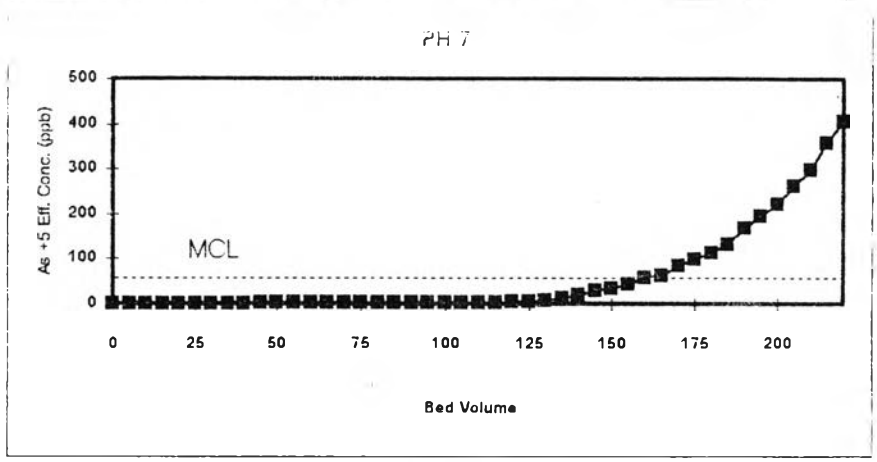
ค.พีเอช 5

<u>รูปที่ 5.13</u> กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค (+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

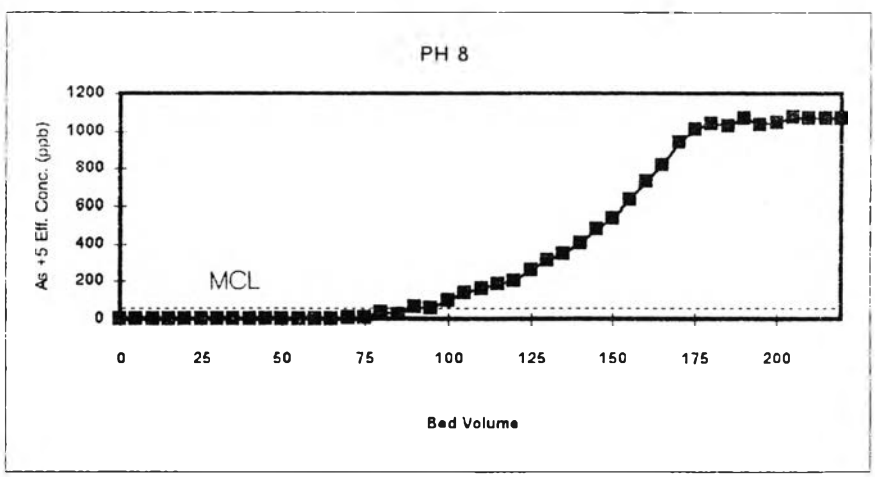
ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7	ฉ.พีเอช 8



ง.พีเอช 6



จ พีเอช 7



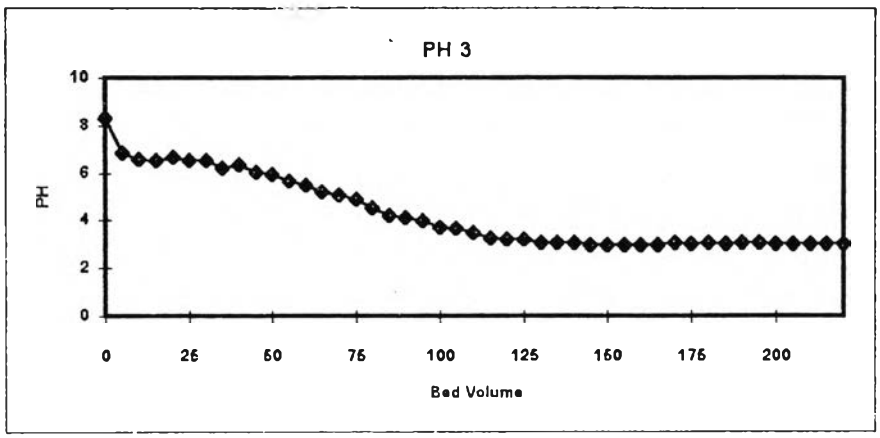
ฉ พีเอช 8

<u>รูปที่ 5.13</u> (ต่อ)กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิค (+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทราย เคลือบแมงกานีสออกไซด์

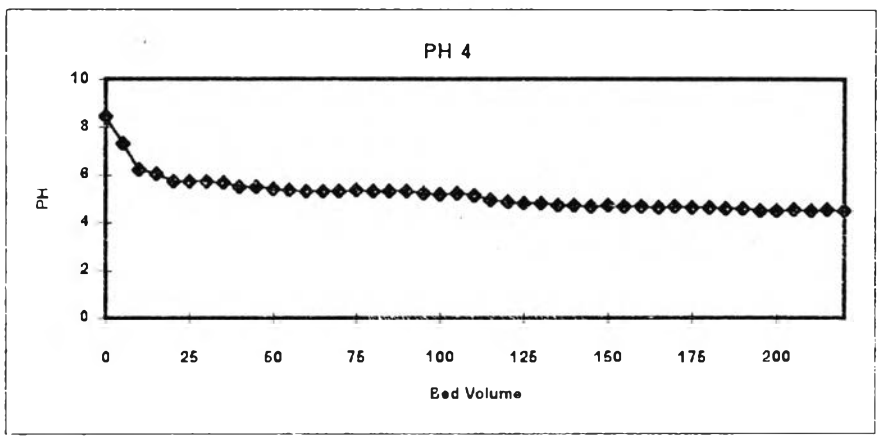
ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7.	ฉ.พีเอช 8

5.5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ผ่านการกำจัด

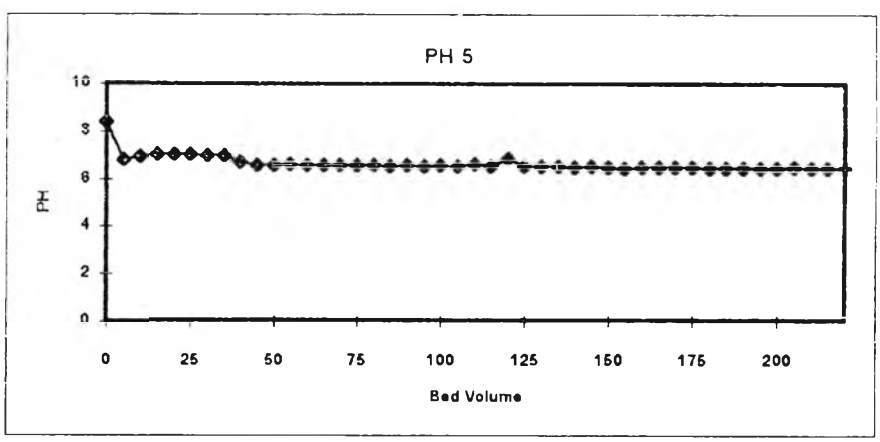
จากรูปที่ 5.14 ที่ระดับพีเอชของน้ำสังเคราะห์เท่ากับ 3 ในช่วง 0 - 10 BV พีเอชลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงพีเอชประมาณ 6.5 และตั้งแต่ในช่วง 10 - 110 BV พีเอชของน้ำออกลดลงช้าๆอย่างสม่ำเสมอหลังจากนั้นจึงเริ่มคงที่ที่พีเอชประมาณ 3 ที่ระดับพีเอช 4, 5, 6,กราฟมีแนวโน้มลดลงต่อมาจึงคงที่ที่ระดับพีเอชที่สูงกว่า พีเอชของน้ำเข้าเล็กน้อย ที่พีเอช 7 กราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเพิ่มขึ้น ต่อมาจึงคงที่อยู่ระหว่างพีเอช 7.5 - 7.7 ที่พีเอช 8 ช่วงแรกเส้นกราฟมีลักษณะคล้ายคลึงกับที่พีเอช 7 แต่น้ำที่ผ่านการกำจัดในช่วงกลังพีเอชจะคงที่อยู่ช่วงพีเอช 7.6 - 7.8



ก.พีเอช 3



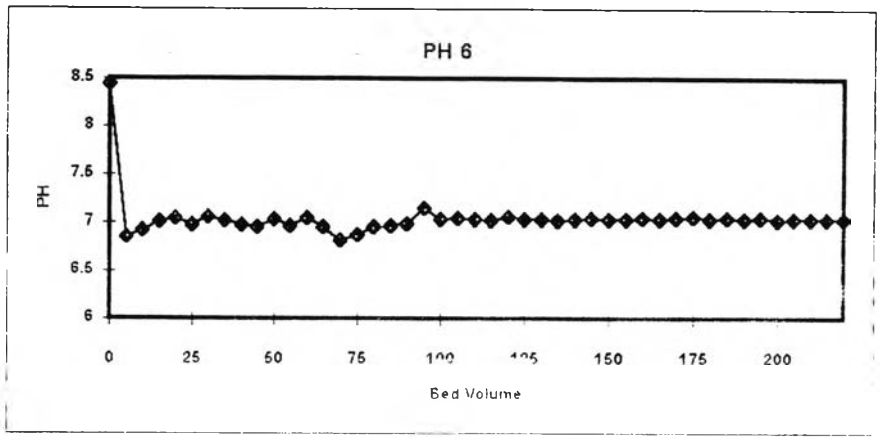
ข.พีเอช 4

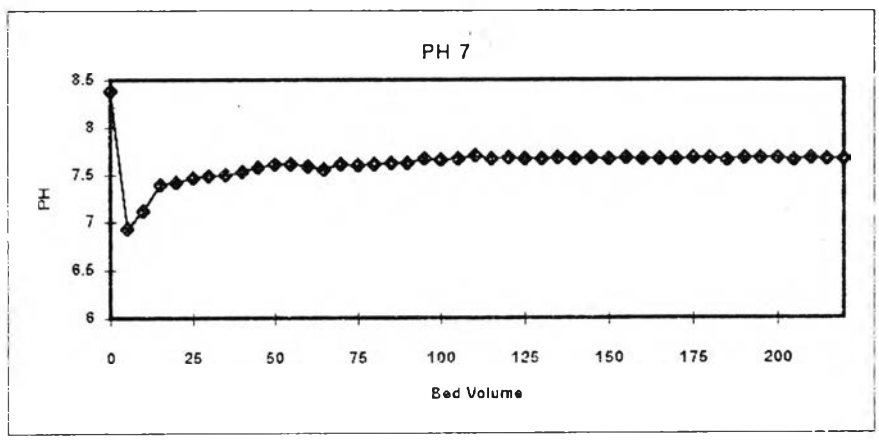


ค.พีเอช 5

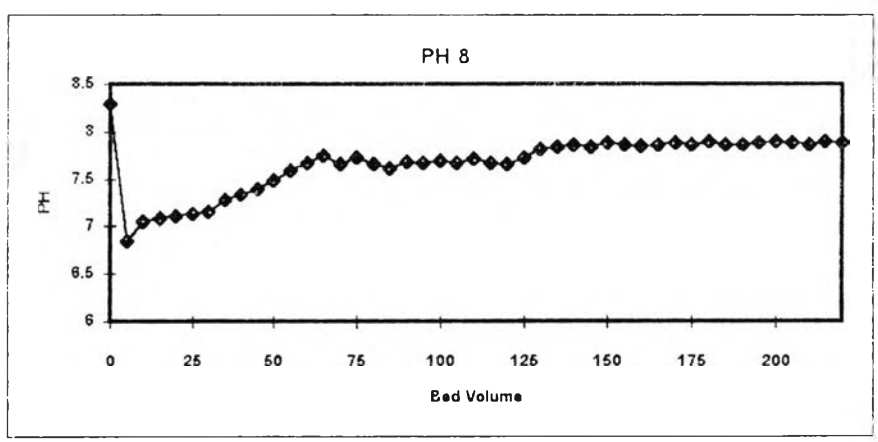
<u>รูปที่ 5.14</u> กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำที่ผ่านกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7	ฉ.พีเอช 8





จ.พีเอช 7



ฉ.พีเอช 8

รูปที่ 5.14(ต่อ) กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอช ในน้ำที่ผ่านกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7.	ฉ.พีเอช 8

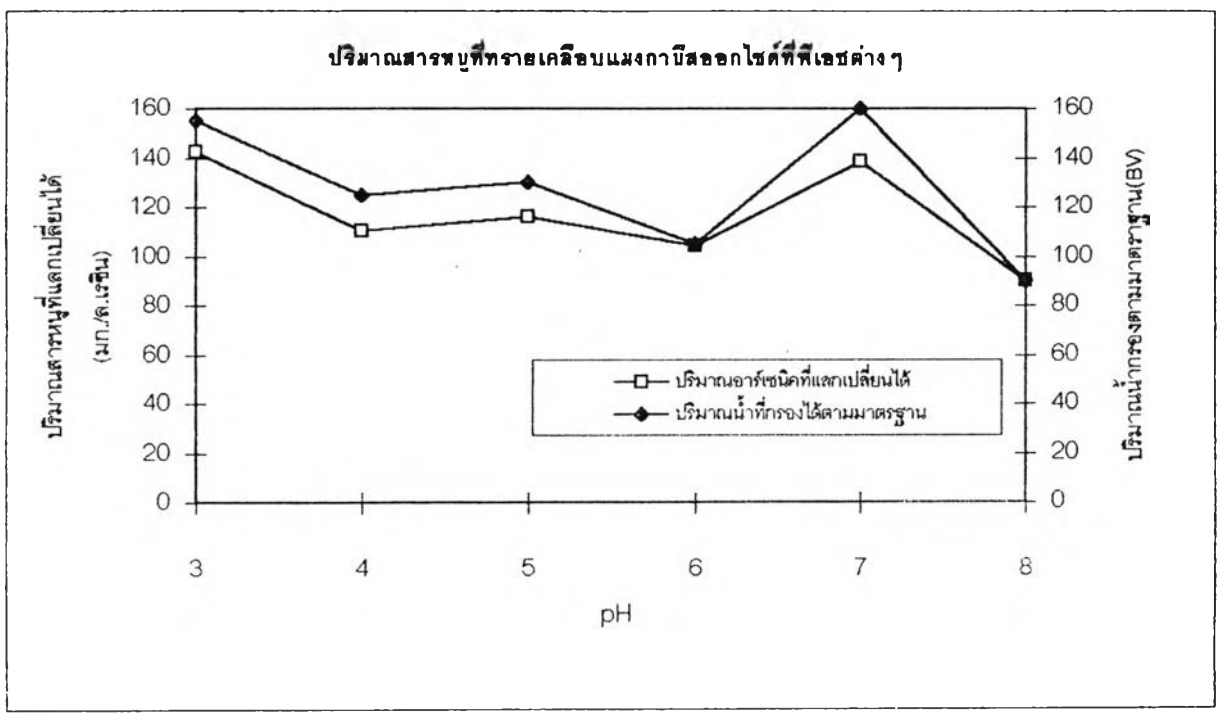
5.5.3 ผลของพีเอชที่มีต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ คำนวณจากปริมาณน้ำสังเคราะห์ 220 ปริมาตรชั้นเรซิน ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ แสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ปริมาณอาร์เซนิคที่ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำสังเคราะห์ที่พีเอชต่างๆ

ชนิดของเรซิน	พีเอชของน้ำสังเคราะห์	ปริมาณน้ำกรองที่ได้มาตรฐาน (BV)	ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./ล.เรซิน)
ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์	8	90	90.3
	7	160	138.3
	6	105	104.2
	5	130	115.9
	4	125	110.2
	3	155	142.5

ปริมาณอาร์เซนิค ที่แลกเปลี่ยนได้สำหรับทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์มากที่สุด ที่พีเอช 3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่พีเอช 7 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนน้อยที่สุดที่พีเอช 8 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่อพีเอชของน้ำสังเคราะห์ลดลง จากผลการทดลองที่ผ่านมาพอสรุปได้ว่าในช่วงพีเอช 3 ถึง 8 ทรายเคลือบแมงกานีสสามารถแลกเปลี่ยนอาร์เซนิคได้ดีที่พีเอช 7 และสามารถดูดติดอาร์เซนิคในน้ำสังเคราะห์ได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชของน้ำสังเคราะห์เท่ากับ 3 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.15



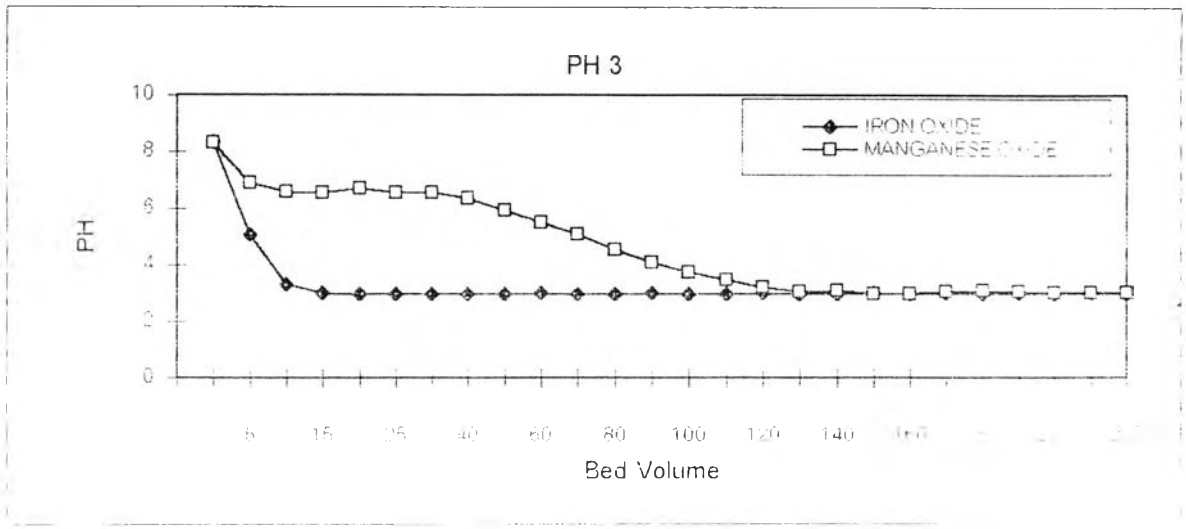
รูปที่ 5.15 ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณน้ำกรองด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่พีเอชต่างๆ

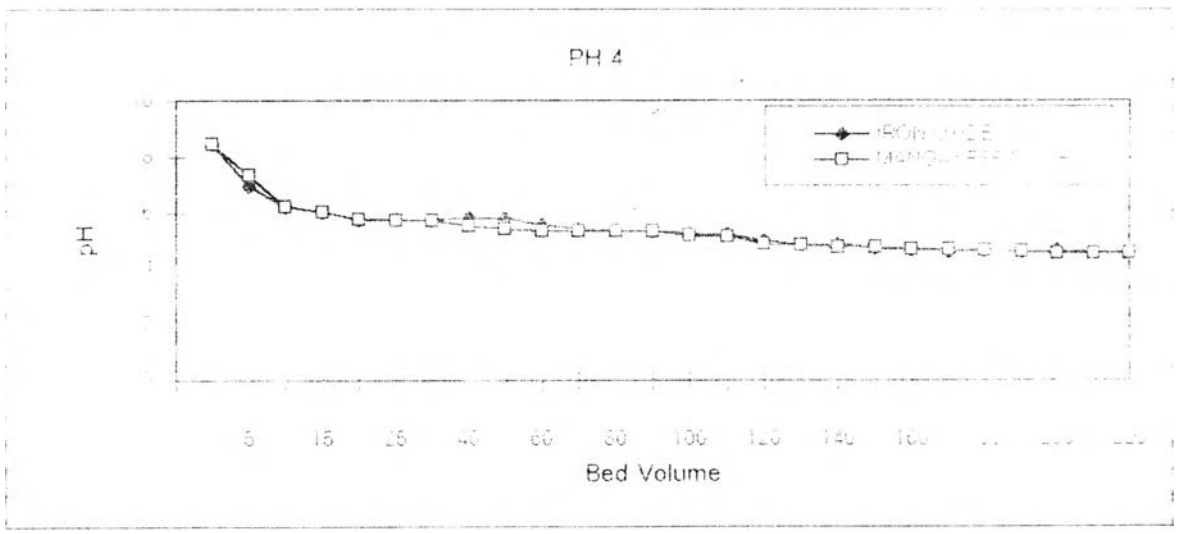
5.6 การเปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิคระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

จากผลการทดลองที่ผ่านมาสรุปแล้วว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ สามารถแลกเปลี่ยนอาร์เซนิคได้ดีที่พีเอชเท่ากับ7และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์สามารถแลกเปลี่ยนอาร์เซนิคได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 7 เช่นกัน แต่ที่พีเอชเท่ากับ 3 ทรายเคลือบแมงกานีสได้ปริมาณน้ำ ที่ผ่านการกำจัดใกล้เคียงกับที่พีเอชเท่ากับ 7 โดยเกิดกลไกการดูดติดบนผิวแมงกานีสออกไซด์ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าในสภาวะที่เป็นกรด และที่พีเอชเท่ากับ 8 ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด และปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ในขณะที่พีเอชเป็นกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดอาร์เซนิค(+5)มากกว่า ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดของตัวกลางทั้งสองชนิด จะเห็นได้ว่าในพีเอช 3, 5 และ 6 พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดในช่วงที่เส้นกราฟเริ่มคงที่ พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีค่าสูงกว่าพีเอชของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ในขณะที่พีเอช 4 กราฟทั้งสองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ที่พีเอช 7 และ 8 กรดไฮโดรคลอริคในตัวกลางแมงกานีสออกไซด์จะทำให้พีเอชน้ำออกในช่วงแรกมีค่าต่ำกว่า

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด และปริมาณอาร์ซนิคที่ถูกแลกเปลี่ยนโดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่พีเอช 3 ถึง 8

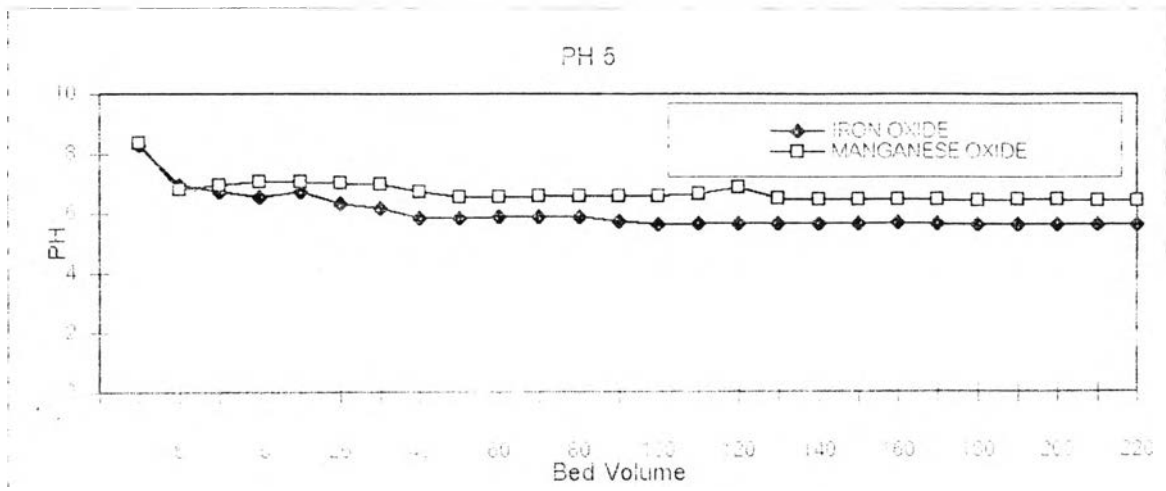
พีเอชของน้ำสังเคราะห์	ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด (BV)		ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./ล.เรซิน)	
	ทรายเคลือบเหล็ก	ทรายเคลือบแมงกานีส	ทรายเคลือบเหล็ก	ทรายเคลือบแมงกานีส
3	65	155	39.6	142.5
4	80	125	54.8	110.2
5	100	130	71.0	115.9
6	95	105	72.1	104.2
7	205	160	129.2	138.3
8	60	90	46.5	90.3

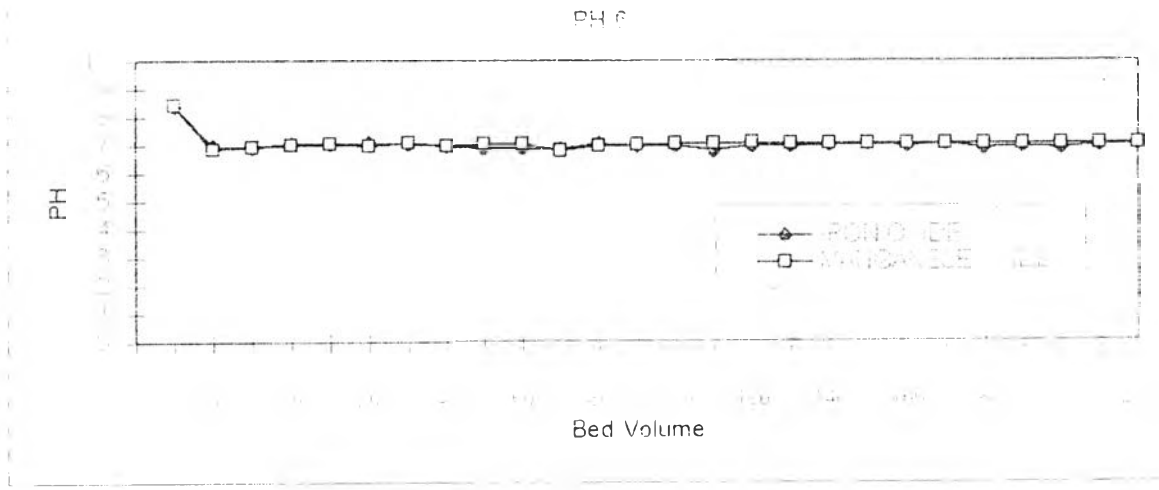




<u>รูปที่ 5.16</u> กราฟเปรียบเทียบพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์และทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

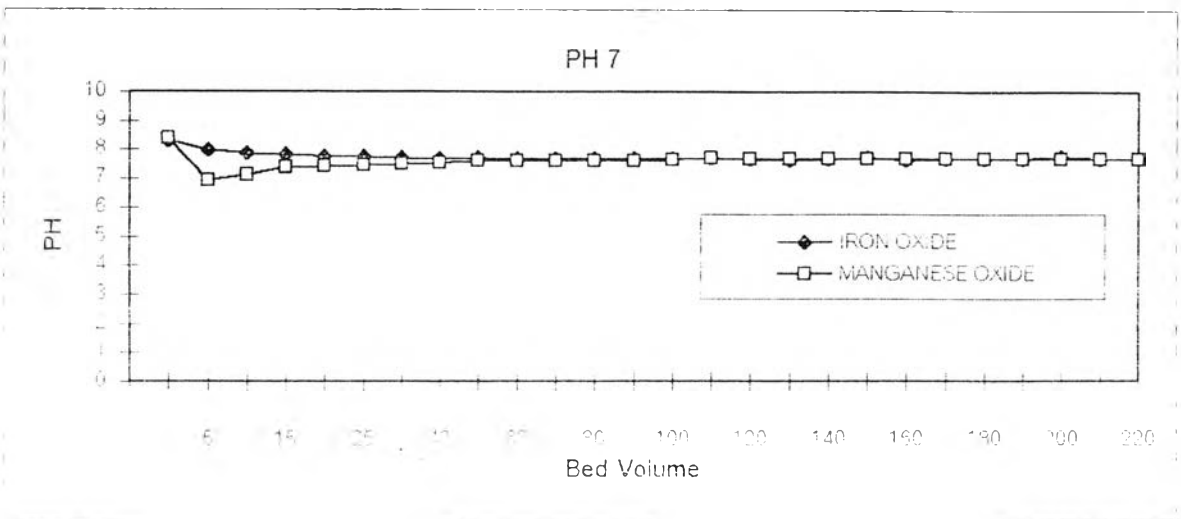
ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7	ฉ.พีเอช 8

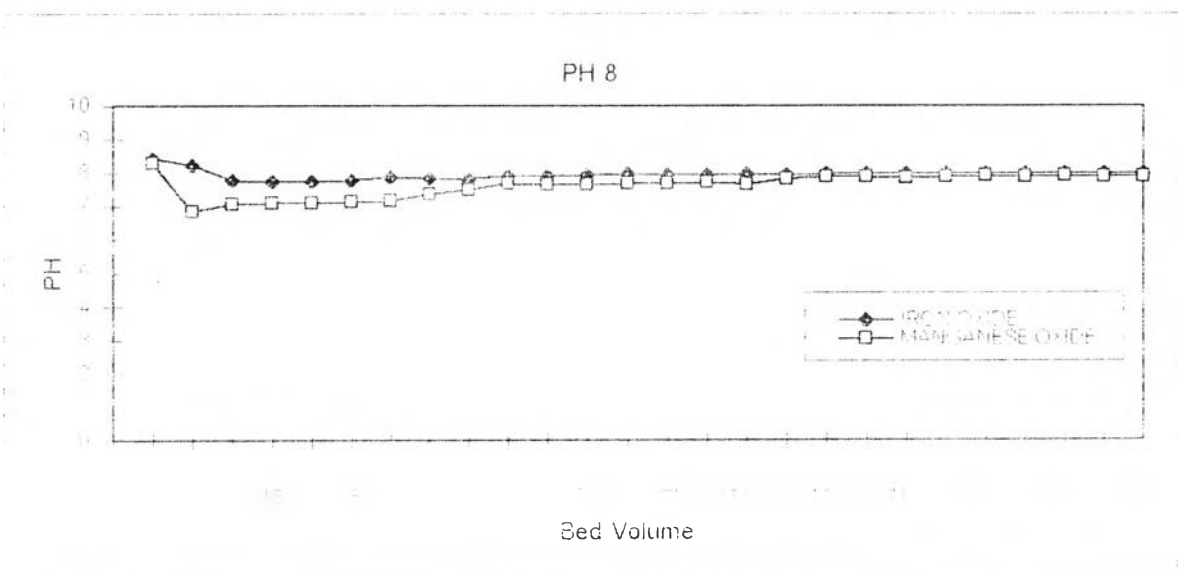




<u>รูปที่ 5.16 (ต่อ)</u> กราฟเปรียบเทียบพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์และทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7	ฉ.พีเอช 8





<u>รูปที่ 5.16 (ต่อ)</u> **กราฟเปรียบเทียบพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์และทรายเคลือบเหล็กออกไซด์**

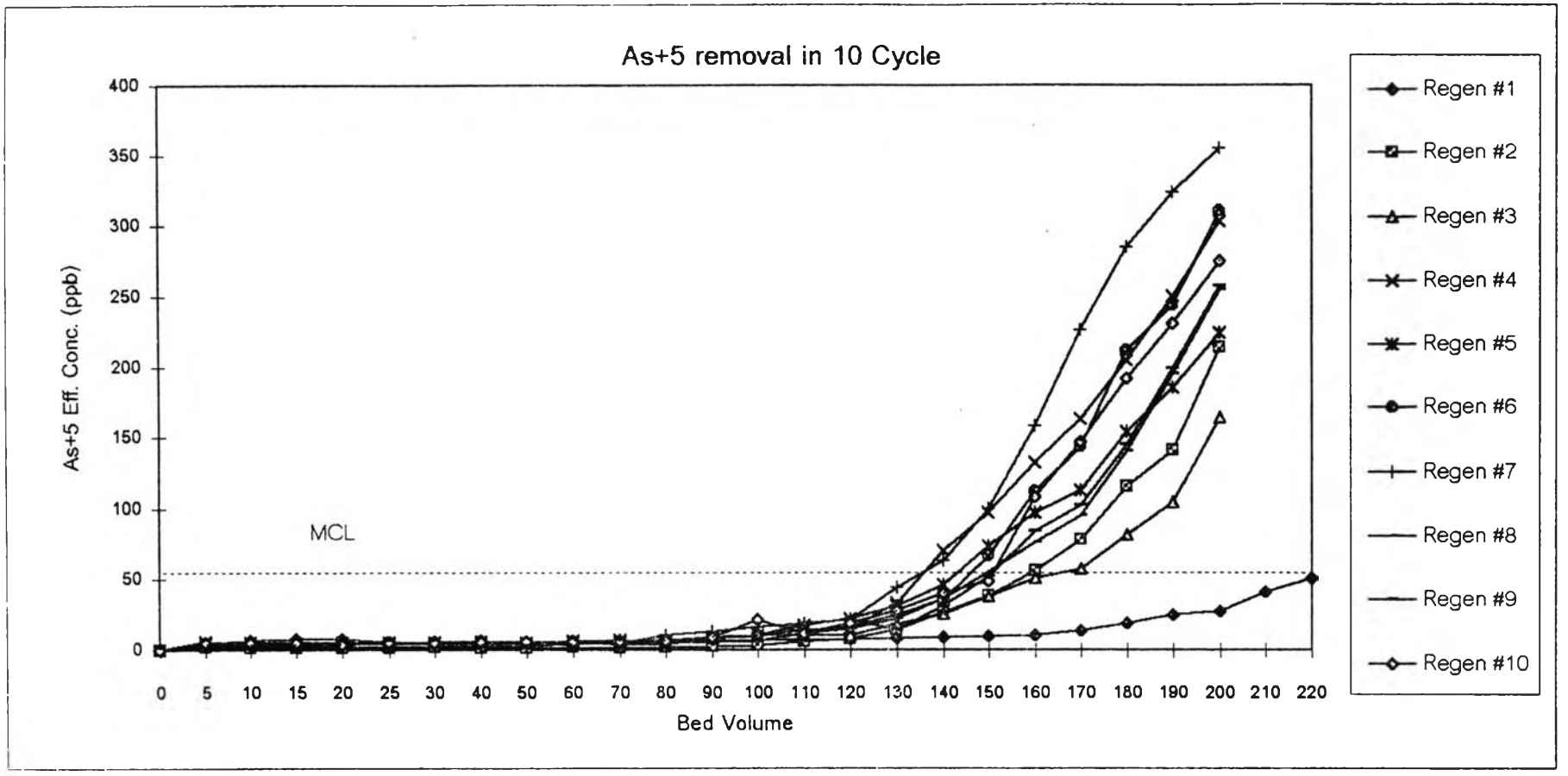
ก.พีเอช 3	ข.พีเอช 4	ค.พีเอช 5
ง.พีเอช 6	จ.พีเอช 7.	ฉ.พีเอช 8

5.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน กรณีของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

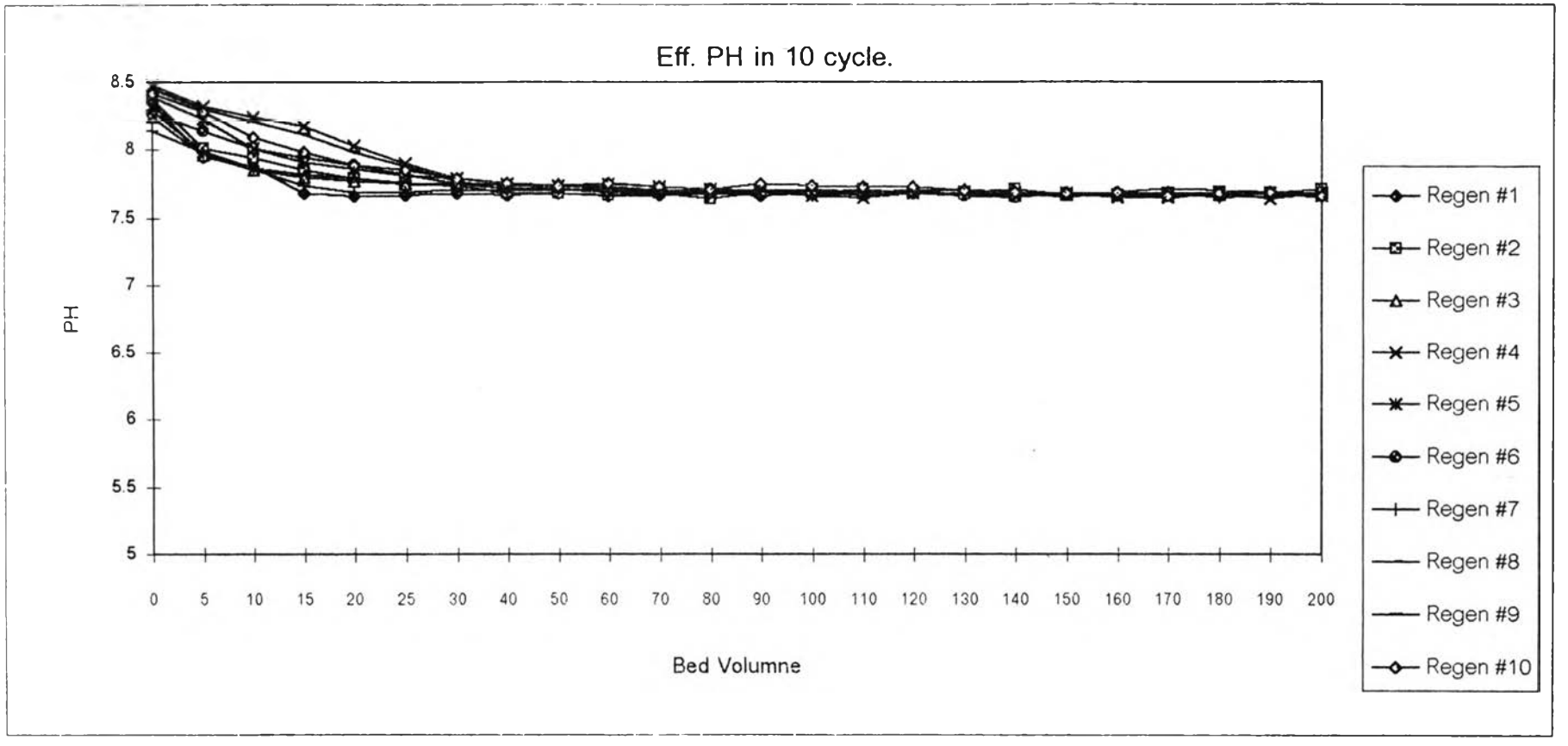
จากผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิคที่อัตราไหลต่างๆ และที่พีเอช 3 ถึง 8 พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการกำจัดอาร์เซนิค โดยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ คือที่อัตราไหล 20 BV/hr. และพีเอชเป็นกลาง (pH=7.34) ซึ่งได้ใช้สภาวะนี้มาทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน โดยเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนู ค่าพีเอชที่ปริมาตรน้ำสังเคราะห์ใดๆ และผลของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน โดยเตรียมน้ำประปาให้มีความเข้มข้นอาร์เซนิค 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ป้อนน้ำสังเคราะห์เข้าคอลัมน์ทางด้านบน ใช้อัตราการไหลที่ 20 BV/hr. จนกระทั่งถึง 200 BV จึงหยุดเดินระบบ และทำการรีเจนเนอเรชั่น จากนั้นป้อนน้ำสังเคราะห์ใหม่ที่อัตราการไหลเดิม สลับกับการทำรีเจนเนอเรชั่นจนครบ 10 รอบ เพื่อศึกษาอายุการใช้งานของตัวกลางได้ผลดังนี้คือ

5.7.1 ความเข้มข้นของสารหนู และพีเอชที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการรีเจนเนอเรชั่นตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ถูกใช้งานแล้วหรือทำการรีเจนเนอเรทในวัฏจักรที่สอง จุดยุติที่ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในน้ำออก 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 160 BV ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักรแรก (ประมาณ 220 BV) ตามรูปที่ 5.17 อธิบายได้ว่าอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนไอออนในวัฏจักรและจับกับออกไซด์ของเหล็กได้ดีทำให้ความเข้มข้นไฮดรอกซิลไอออนในสารละลายรีเจนเนอแรนต์ (NaOH 0.2N) มีปริมาณไม่เพียงพอกับไอออนของอาร์เซเนตบนผิวสัมผัสของเหล็กออกไซด์ จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง อาร์เซเนตไอออนกับไฮดรอกซิลไอออน บนผิวสัมผัสไม่หมด ซึ่งทำให้ผิวสัมผัสของเหล็กออกไซด์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลไอออนเกาะอยู่มีน้อยกว่าตัวกลางที่ใช้งานครั้งแรก เป็นผลให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดที่จุดยุติที่ 0.05 มิลลิกัมต่อลิตร มีปริมาณน้อยกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานตัวกลางเหล็กออกไซด์ ในระหว่างการใช้งาน 10 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมีค่าอยู่ระหว่าง 135-160 BV ในขณะที่พีเอชของน้ำออกในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ตามรูปที่ 5.18 มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน โดยในช่วงแรกประมาณ 0-5 BV พีเอชจะมีค่าอยู่ระหว่าง 8.5-8.0 เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกชะล้างออกมากับน้ำออก เมื่อปริมาตรชั้นเรซินเพิ่มขึ้น พีเอชของน้ำออกจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว และคงที่ที่ค่าพีเอชประมาณ 7.7-7.5 ที่ปริมาตรชั้นเรซินประมาณ 50 BV



รูปที่ 5.17 กราฟค่าความเข้มข้นของอาร์ซินิค(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีตัวกลางคือ ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์



รูปที่ 5.18 กราฟค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัด ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ตารางที่ 5.7 ปริมาตรน้ำที่กรองได้ตามมาตรฐานในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

จำนวนวัฏจักร	ปริมาณน้ำที่กรองได้ตามมาตรฐาน BV	ปริมาตรรวม BV	ประสิทธภาพเปลี่ยนแปลง
1	220	220	-
2	155	375	-29.5
3	160	535	+3.2
4	133	668	-16.9
5	140	808	+5.3
6	145	953	+3.6
7	150	1,103	+3.4
8	145	1,248	-3.3
9	145	1,393	0
10	150	1,543	+3.4

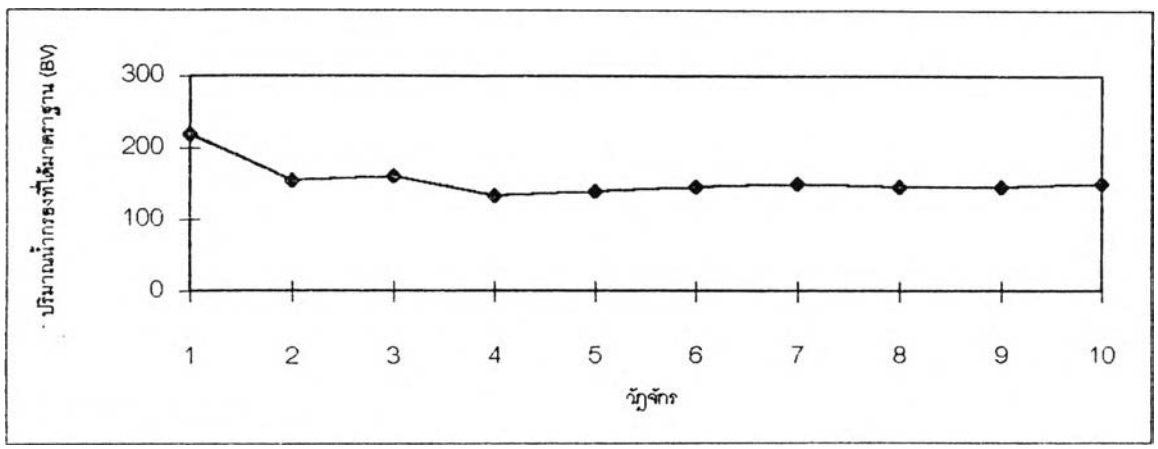
5.7.2 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

การวิจัยนี้จะใช้จุดยุติของการแลกเปลี่ยนที่ความเข้มข้นของน้ำออกมีปริมาณสารหนูมากกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือที่ 200 ปริมาตรชั้นเรซิน

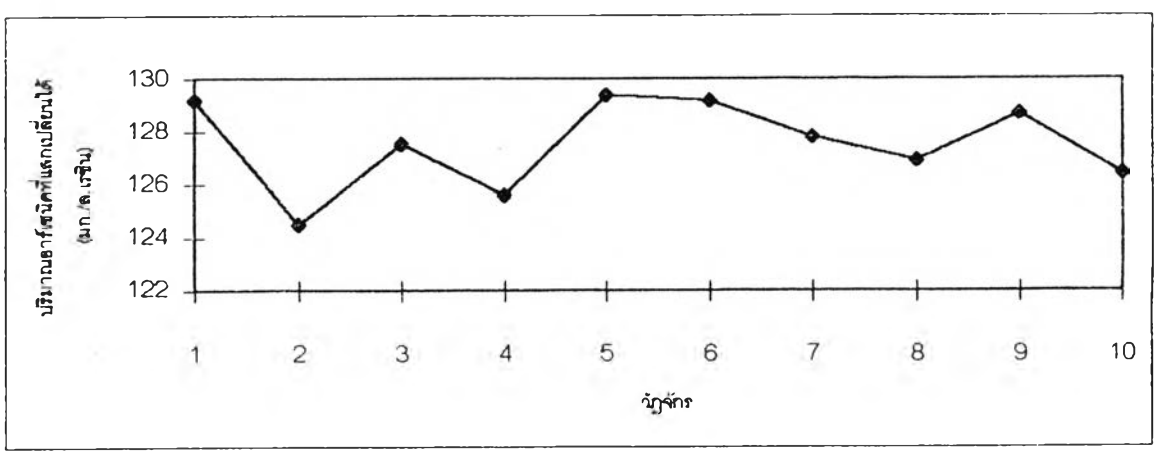
ตารางที่ 5.8 ปริมาณสารหนูที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

ชนิดของตัวกลาง	จำนวนวัฏจักร	ปริมาณสารหนูที่แลกเปลี่ยน (มก./ล.เรซิน)	ปริมาณสารหนูที่แลกเปลี่ยนได้รวม(มก./ล.เรซิน)	ประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลง
ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	1	129.2	129.2	-
	2	124.5	253.7	-3.6
	3	127.5	381.2	+2.4
	4	125.6	506.8	-1.5
	5	129.4	636.2	+3.0
	6	129.2	765.4	-0.2
	7	127.8	893.2	-1.08
	8	126.9	1,020.1	-0.7
	9	128.7	1,148.8	+1.4
	10	126.4	1,275.2	-1.8

จากตารางที่ 5.8, รูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 จะเห็นว่าปริมาณสารหนูที่แลกเปลี่ยนในแต่ละวัฏจักรมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนในช่วง 10 วัฏจักรการใช้งาน



รูปที่ 5.19 ปริมาณน้ำกรองที่ได้ตามมาตรฐานด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน



รูปที่ 5.20 ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

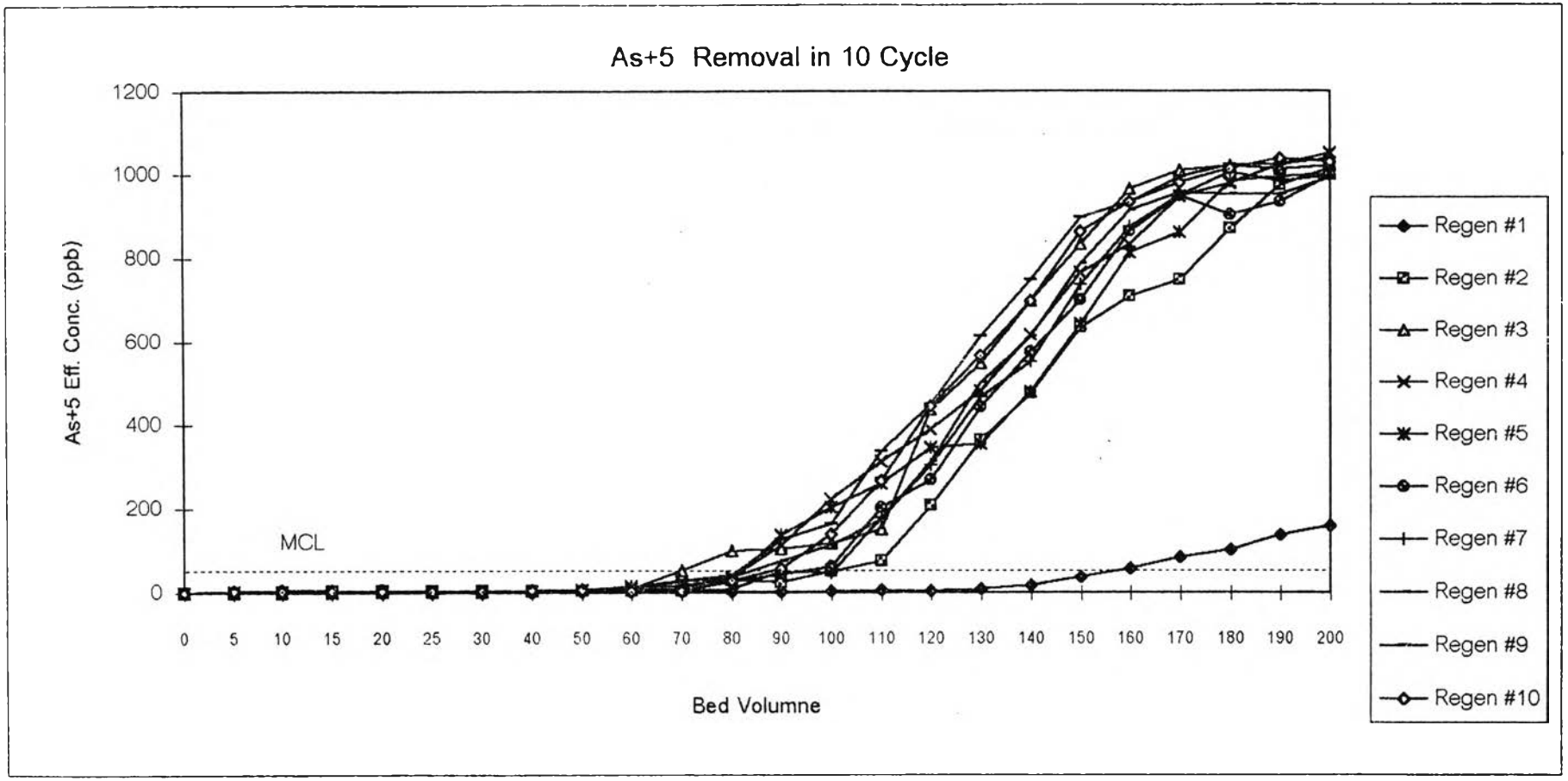
5.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน กรณีของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

จากผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิคที่อัตราไหลต่างๆและที่พีเอช 3ถึง 8 พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการกำจัดอาร์เซนิค โดยตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ คือที่อัตราไหล 3 BV/hr. และพีเอชที่เป็นกลางซึ่งได้ใช้สภาวะนี้มาทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน โดยเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนู ค่าพีเอชที่ปริมาตรน้ำสังเคราะห์ใดๆ และผลของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ โดยเตรียมน้ำประปาให้มีความเข้มข้นอาร์เซนิค 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ป้อนน้ำสังเคราะห์เข้าทางคอลัมน์ด้านบนด้วยอัตราการไหล 3 BV/hr. จนปริมาตรน้ำสังเคราะห์ถึง 200 BV แล้วจึงทำการรีเจนเนอเรชัน ป้อนน้ำสังเคราะห์ใหม่ที่อัตราการไหลเดิม สลับกับการทำรีเจนเนอเรชันจนครบ 10 รอบ เพื่อศึกษาอายุการใช้งานของตัวกลาง

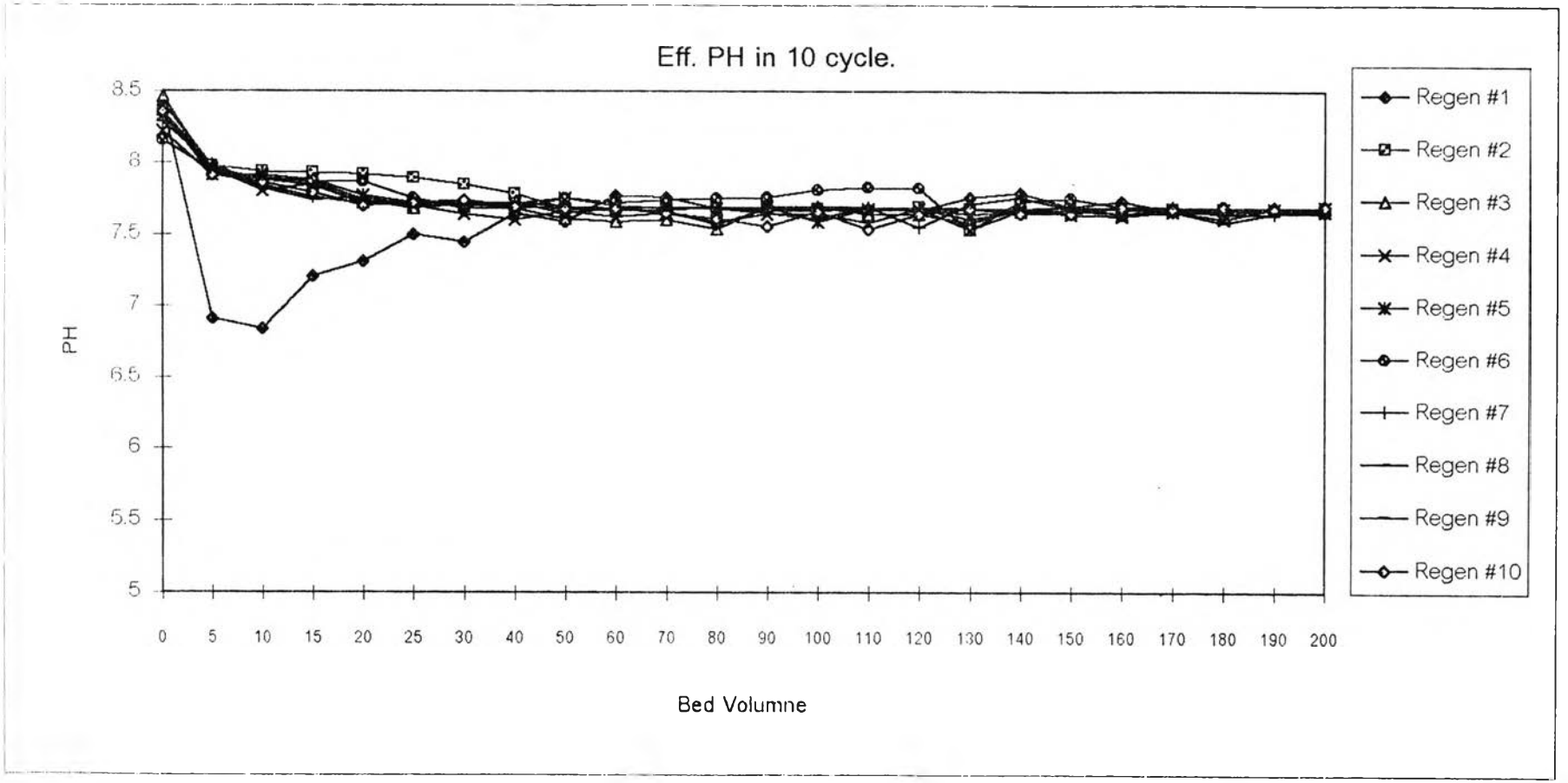
5.8.1 ความเข้มข้นของสารหนู และพีเอชที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

ที่จุด Breakthrough ปริมาณอาร์เซนิคในน้ำออกมากกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการรีเจนเนอเรชันในวัฏจักรที่สอง ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดประมาณ 105 BV ซึ่งมีค่าน้อยปริมาณที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักรแรก (160 BV) เนื่องมาจากเหตุผลในลักษณะเดียวกันกับกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ตามรูปที่ 5.21 เปรียบเทียบลักษณะของความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำออกที่ชั้นปริมาตรเรซินใดๆ ในแต่ละวัฏจักรเมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟวัฏจักรที่ 2 จนถึงวัฏจักรที่ 10 ลักษณะของกราฟมีความคล้ายคลึงกันในช่วงปริมาตรแรกๆ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์แลกเปลี่ยนไอออนได้มากทำให้ความเข้มข้นของอาร์เซนิคมีค่าค่อนข้างต่ำ และค่อยๆขึ้นขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งที่ปริมาตรชั้นเรซินประมาณ 80 ถึง 100 BV จึงถึงระดับที่อาร์เซนิคมีความเข้มข้นมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในขณะที่พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ตามรูปที่ 5.22 ตั้งแต่วัฏจักรที่ 2 ถึง 10 กราฟมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ในช่วงปริมาตรชั้นเรซินแรกๆ พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดมีค่าอยู่ระหว่าง 8.5-8.0 เมื่อปริมาณชั้นเรซินเพิ่มขึ้น พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดจะเริ่มลดลง และคงที่ที่ค่าพีเอชประมาณ 7.8-7.5 ยกเว้นในการใช้งานตัวกลางครั้งแรกหรือในวัฏจักรแรก แมงกานีสออกไซด์ยังคงมีกรดเกลือซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบเม็ดทรายตกค้างอยู่ในตัวกลางดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น จึงทำพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดในช่วงแรกเป็นกรดอ่อน แต่เมื่อน้ำได้ชะเอากรดเกลือ



รูปที่ 5.21 กราฟค่าความเข้มข้นของอาร์ซินิค(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีส



รูปที่ 5.22 กราฟค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

ในตัวกลางออกหมด พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดก็กลับสูงขึ้น และมีค่าคงที่ใกล้เคียงกับพีเอชของวัฏจักรอื่นๆ

ตารางที่ 5.9 ปริมาตรน้ำที่กรองได้ตามมาตรฐานในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

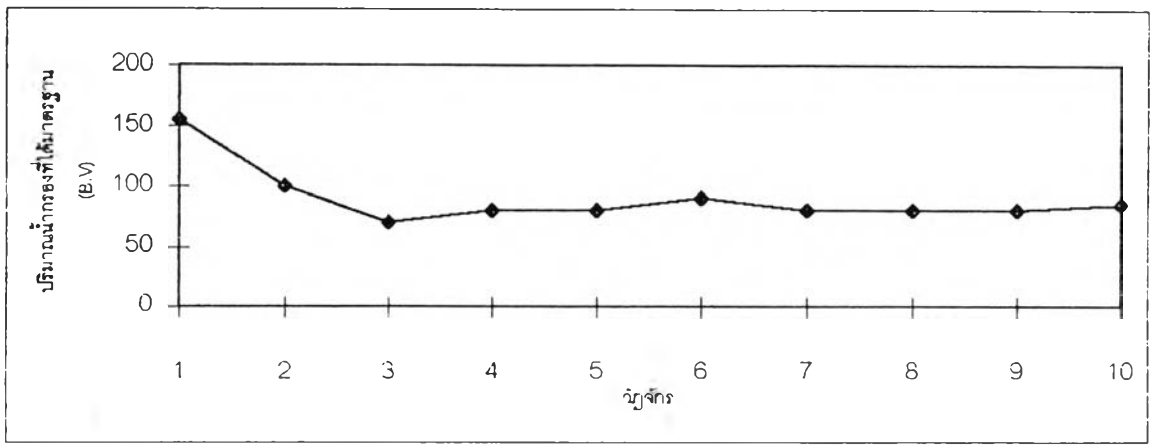
จำนวนวัฏจักร	ปริมาณน้ำที่กรองได้ตามมาตรฐาน BV	ปริมาตรรวม BV	ประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลง
1	155	155	0
2	100	255	-35.4
3	70	325	-30
4	80	405	+14.2
5	80	485	0
6	90	575	+12.5
7	80	655	+11.1
8	80	735	0
9	80	815	0
10	85	900	+6.25

5.8.2 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

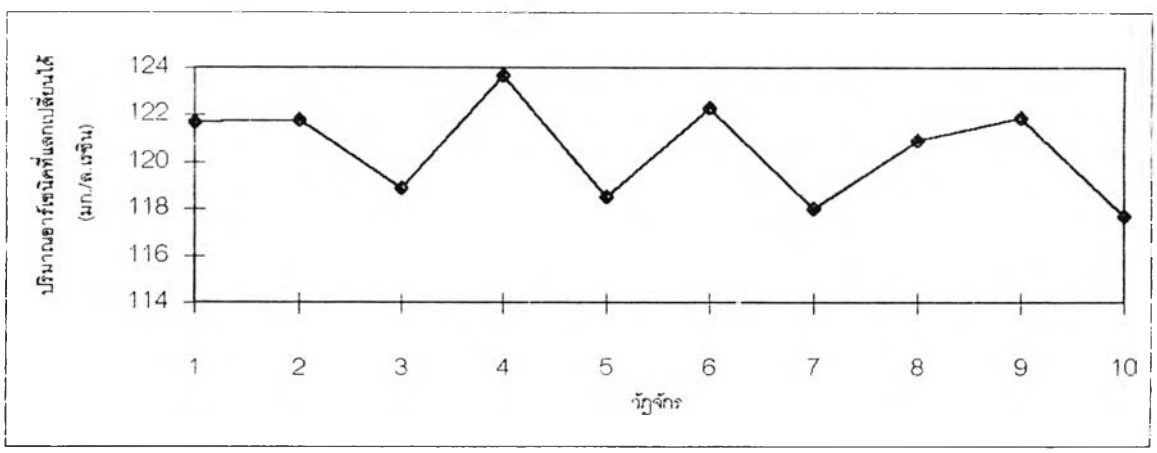
จากตารางที่ 5.10, รูปที่ 5.23 และรูปที่ 5.24 จะเห็นได้ว่าปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ในแต่ละวัฏจักร มีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะการใช้งาน ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนของอาร์เซนิคในระหว่าง 10 วัฏจักรการใช้งานเช่นกัน

ตารางที่ 5.10 ปริมาณอาร์เซนิคที่ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

ชนิดของตัวกลาง	จำนวนวัฏจักร	ปริมาณสารหนูที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./ล.เรซิน)	ปริมาณสารหนูที่แลกเปลี่ยนได้รวม (มก./ล.เรซิน)	ประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลง
ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์	1	121.7	121.7	-
	2	121.8	243.5	+0.08
	3	118.9	362.4	-2.4
	4	123.7	486.1	+4.0
	5	118.5	604.6	-4.2
	6	122.3	726.9	+3.2
	7	118.0	844.9	-3.5
	8	120.9	965.8	+2.5
	9	121.9	1,087.7	+0.8
	10	117.7	1,205.4	-3.4



รูปที่ 5.23 ปริมาณน้ำกรองที่ได้มาตราฐานด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน



รูปที่ 5.24 ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

5.9 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการกำจัดอาร์เซนิคในวัฏจักร 10 รอบการทำงานระหว่างตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพอสรุปได้ว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนของอาร์เซเนต และทำการรีเจนเนอเรทกลับมาใช้ใหม่ได้ในช่วง 10 วัฏจักรการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดที่ได้ใน 10 รอบการทำงาน จะเห็นได้ว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดมากกว่าทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ในขณะที่พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดเฉลี่ยใน 10 รอบวัฏจักรการทำงานของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ จะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ยังมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนในระหว่างวัฏจักร 10 รอบการทำงาน มากกว่าตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ตารางที่ 5.11 สรุปค่าปริมาณอาร์เซนิค (+5) ที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย และปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดเฉลี่ยในวัฏจักร 10 รอบการทำงานของทั้ง 2 ตัวกลาง

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบปริมาณอาร์เซนิค(+5) เฉลี่ยที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดเฉลี่ยในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

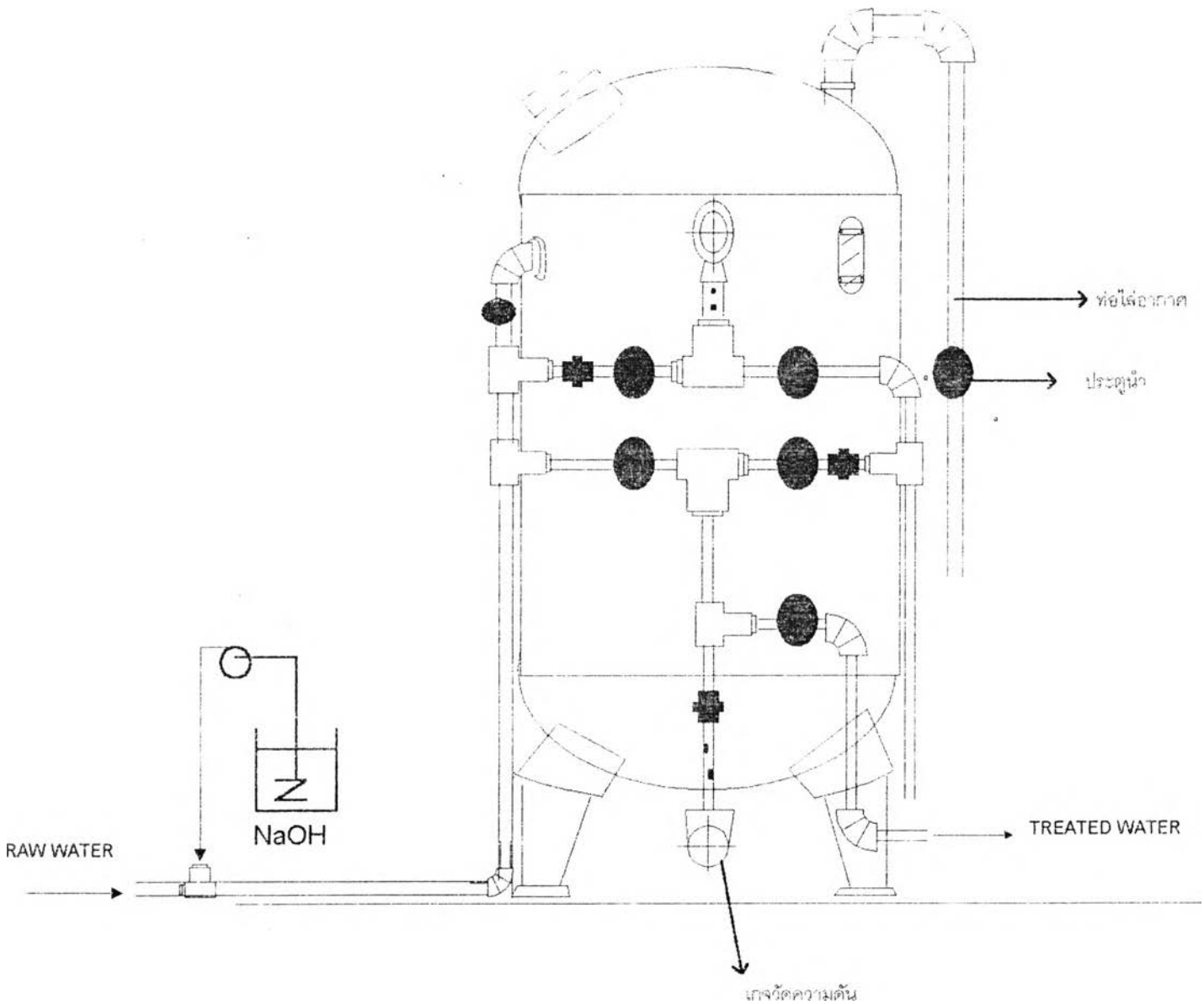
พารามิเตอร์	ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์
-ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด/รวม 10 รอบการทำงาน, B.V	1,543	900
-ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดเฉลี่ย,B.V	154.3	90
-ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเฉลี่ย,%	3.08	2.14
-ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้ รวม 10 รอบการทำงาน , มก./ล.เรซิน	1,275.2	1,205.4
-ปริมาณอาร์เซนิคที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย. มก./ล.เรซิน	127.52	120.54

5.10 การใช้ตัวกลางทรายเคลือบโลหะออกไซด์กำจัดสารหนูในน้ำ

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าตัวกลางทรายเคลือบโลหะออกไซด์มีความสามารถในการกำจัดสารหนูให้ได้ระดับความเข้มข้นที่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐานน้ำดื่มที่ความเข้มข้นสารหนูในน้ำดิบ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมักจะเป็นความเข้มข้นของสารหนูที่พบได้ในน้ำบาดาลหรือแหล่งน้ำผิวดินในบริเวณที่มีการปนเปื้อน ดังนั้นการนำตัวกลางทรายเคลือบโลหะออกไซด์บรรจุในถังกรองทรายทั่วไป เพื่อใช้กำจัดสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำบาดาลเป็นสิ่งที่กระทำได้ไม่ยาก เมื่อความเข้มข้นสารหนูในกระแสออกมีค่ามากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงทำการรีเจนเนอเรชั่นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นจึงเริ่มต้นกรองน้ำเพื่อใช้งานได้อีกครั้ง ผลการทดลองในการรีเจนเนอเรท 10 รอบการทำงาน ตัวกลางทรายเคลือบโลหะออกไซด์ยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนู และปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดค่อนข้างคงที่

5.10.1 การใช้ถังกรองทรายกำจัดสารหนู

โดยปกติถังกรองทรายจะบรรจุทรายกรอง และกรวดคัดขนาดไว้ โดยเรียงชั้นทรายละเอียดไว้ด้านบน เราสามารถนำทรายเคลือบโลหะออกไซด์แทนที่ทรายละเอียด (มักจะเป็นทรายเบอร์ 1 ขนาด 0.5-1 มิลลิเมตร) ด้วยความสูงที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดเวลาสัมผัสที่เพียงพอ ในขณะที่รีเจนเนอเรทจะใช้ปั๊มขนาดเล็กดูดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในถังผสมที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้น และอัตราการสูบที่เหมาะสมเข้าไปในถังกรอง ดังแสดงในรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 ถังกรองทรายที่มีการติดตั้งปั๊มสูบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไว้ตรงทางน้ำเข้าเพื่อใช้ใน

การออกแบบขนาดถังกรองทราย เช่นกรณีของตัวกลางแมงกานีสออกไซด์ อัตราการกรองที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 2-3 BV/hr. ถ้าต้องการออกแบบถังกรองขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

เลือกใช้ที่ 3 BV/hr.

หาเวลาสัมผัส 1/3 = 0.33 ชั่วโมง

ปริมาตรสารกรองที่ต้องการ = 0.33 x 10 =3.3 ลูกบาศก์เมตร

เลือกความสูงของ ชั้นกรองแมงกานีสออกไซด์ที่ 0.6 m.

ดังนั้น พ.ท.ถังกรอง = 3.3/0.6 = 5.5 ตารางเมตร

ถังกรองที่ใช้กำจัดสารหนูขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะต้องมีพื้นที่การกรอง 5.5 ตารางเมตร มีความสูงของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ 0.6 เมตร

มีความสูงของชั้นกรองกรวด (Support Media) 0.6 เมตร

ความสูงที่เผื่อไว้ (Free Board) สำหรับการขยายตัวของชั้นกรองระหว่างล้างย้อน 0.3 เมตร

ดังนั้นความสูงรวมของถังกรองเท่ากับ 1.5 เมตร

5.10.2 ค่าใช้จ่ายสารเคมีในการเดินระบบกำจัดสารหนู โดยใช้ตัวกลางโลหะออกไซด์

จากการทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.2 N =0.8%

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% ราคา 9 บาท/กิโลกรัม

NaOH 50% มีความถ่วงจำเพาะ 1.52

NaOH 50% มีราคา 9/1.52 = 5.9 บาทต่อลิตร

ถ้าผสม NaOH ใช้ความเข้มข้น 0.8%

$$= \frac{0.8 \times 5.9}{50} = 0.09 \text{ บาท/ลิตร}$$

ก.กรณีการใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

จากผลการทดลองที่ความเข้มข้นสารหนูในน้ำเข้า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ปริมาณน้ำประมาณ 140 BV รีเจนเนอเรท 1 ครั้งใช้ NaOH 0.2 N ที่อัตราการไหล 1.5 BV/hr. เวลา 45 นาที

ดังนั้นรีเจนเนอเรท 1 ครั้งใช้ NaOH $1.5 \times \frac{45}{60} = 1.125$ BV

เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ $= \frac{1.125}{140} \times 0.09 \times 1000$

= 0.7 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ข.กรณีการใช้ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

จากผลการทดลองที่ความเข้มข้นสารหนูในน้ำเข้า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ปริมาณน้ำประมาณ 80 BV รีเจนเนอเรท 1 ครั้งใช้ NaOH 0.2 N ที่อัตราการไหล 1.5 BV/hr. เวลา 45 นาที

รีเจนเนอเรท 1 ครั้งใช้ NaOH $1.5 \times \frac{45}{60} = 1.125$ BV

เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ $= \frac{1.125}{80} \times 0.09 \times 1000$

= 1.26 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินระบบโดยคิดเฉพาะค่าสารเคมีในการรีเจนเนอเรทพบว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เสียค่าใช้จ่าย 0.7 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์เสียค่าใช้จ่าย 1.26 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดและปริมาณน้ำที่กรองได้ตามมาตรฐาน สรุปได้ว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูสูงกว่าทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ และเมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดสารหนูโดยวิธีอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.12 พบว่าการใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีถูกที่สุดที่สภาวะการทดลองใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดอาร์เซนิคด้วยวิธีต่าง ๆด้วยสภาวะที่ใกล้เคียงกัน

กระบวนการ	ค่าสารเคมี(บาท/ลูกบาศก์เมตร)
โคแอกกูเลชั่น (สมศักดิ์,2532)*	0.96
แอดติเวตเตดอลูมิน่า (Bellack, 1971)	1.5
ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์	1.26
ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	0.7

หมายเหตุ *คิดค่าสารส้ม 1 กิโลกรัม = 8 บาท