บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน คือ การทดลองแบบแบตช์ (Batch System) เพื่อทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวปรอทและโครเมียม โดยมีปัจจัยที่จะทำการศึกษาคือ พีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้นของปรอทและโครเมียม เวลาสัมผัส จากการศึกษาปัจจัยต่างๆเหล่านี้ จะทำให้ทราบถึงความสามารถของการดูดติดผิว และสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิวโครเมียมและปรอท ของถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ยังทำการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว เพื่อเปรียบเทียบขีดความสามารถของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการกำจัดโครเมียมและปรอท ส่วนการทดลองในตอนที่สองเป็นการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continucus System) โดยการใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Adsorption Column) โดยจะนำถ่านกัมมันต์ที่มีผลในการกำจัดโครเมียมและปรอทดีที่สุด และสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์มาใช้ในถังดูดติดผิวแบบแท่ง เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลองแบบแบตช์มี 3 ชนิด คือ Carbon A Carbon B และ Carbon C ในการทดลองแบบแบตช์นั้นจะนำถ่านกัมมันต์มาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ส่วนในการทดลองแบบต่อเนื่อง จะใช้ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดซึ่งจะร่อนคัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 12 และค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40 จะมีขนาดเท่ากับ 0.42-1.68 มม.

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากการเติมปรอทและโครเมียมลงในน้ำกลั่น และน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยอ่อนนุช ซึ่งน้ำชะมูลฝอยที่เก็บมานี้ จะเป็นน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านจากบ่อเฟคัลเททีฟ (Facultative Pond) ลักษณะต่างๆของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง (เก็บหลังจากผ่านบ่อเฟคัลเททีฟ เดือนตุลาคม 2539)

Characteristics	Range	Mean
pH	7.72-8.24	7.98
Color (Hazen)	595-1021	853
COD	533-886	746
S.S.	79-126	95
Hg	0.006-0.025	0.014
Cr	0.98-1.32	1.14

All units in mg/l except pH and color

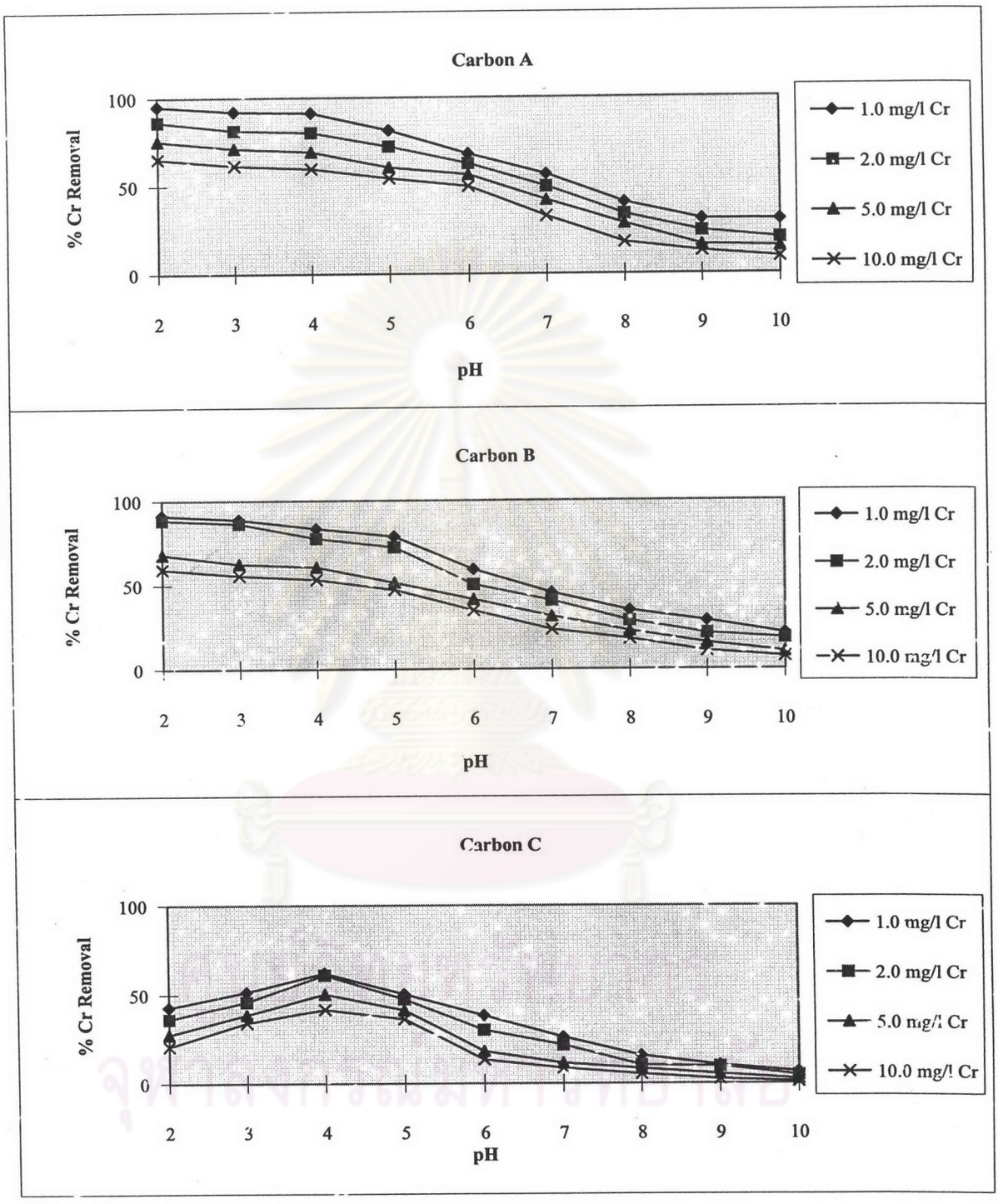
4.1 ผลการทดลองแบบแบตช์

4.1.1 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิว

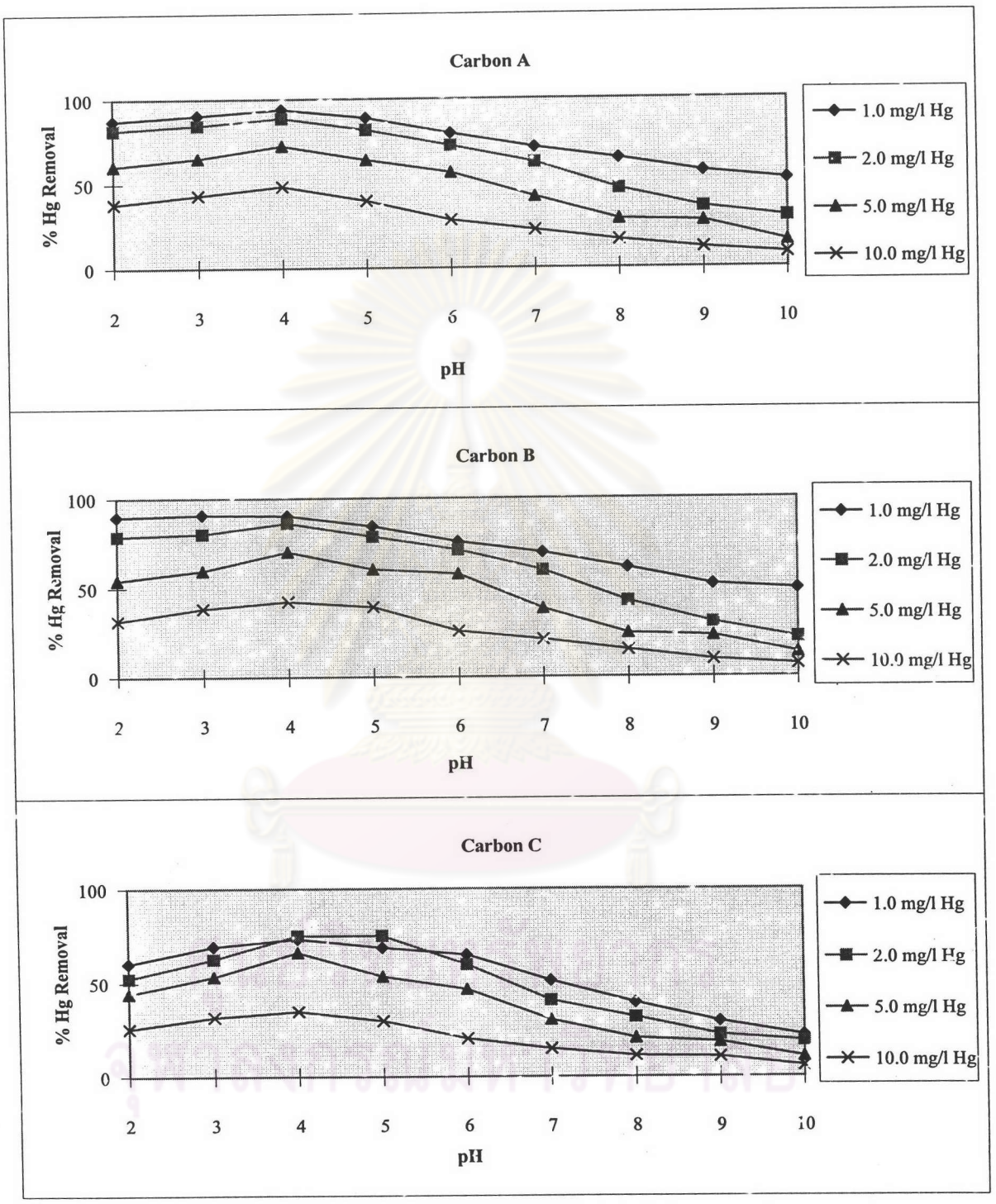
ในการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทนั้น มีพีเอชที่จะทำการศึกษาทั้งหมด 9 ค่า คือ ตั้งแต่พีเอช 2 ถึง พีเอช 10 โดยจะใช้ 1.0 N HNO_3 และ 1.0 N NaOH ในการปรับพีเอชของน้ำเสีย ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ ใช้เท่ากับ 0.5 กรัม ปริมาตรน้ำเสียที่นำมาทดลองเท่ากับ 100 มล. จะใช้อัตราเร็วรอบการทำงานของเครื่องเขย่าที่ 250 รอบต่อนาที และเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะนำน้ำเสียไปกรองผ่านกระดาษกรอง โดยจะทิ้งน้ำที่กรองได้ในครั้งแรกประมาณ 10 มล. แล้วจึงเก็บน้ำที่เหลือทั้งหมด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโครเมียมและปรอทที่เหลืออยู่ภายหลังการเติมถ่านกัมมันต์ ผลของการทดลองมีดังนี้

ก. น้ำเสียสังเคราะห์

ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดโลหะหนัก คือ ปรอท และโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ ก-1 ถึง ก-12 ของภาคผนวก ก. และผลของการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างกัน



รูปที่ 4.2 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดโครเมียมและปรอทได้ดีเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าต่ำระหว่าง 2 - 4 โดยดูได้จากเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมและปรอท สำหรับการกำจัดโครเมียมในรูปที่ 4.1 พบว่าถ่านกัมมันต์ A และ B สามารถกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดเมื่อพีเอชของระบบมีค่าเท่ากับ 2 โดยที่ถ่านกัมมันต์ A และ B สามารถกำจัดโครเมียมได้ประมาณ 95% และ 91% ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 มก./ล. ส่วนถ่านกัมมันต์ C นั้นแตกต่างจากถ่านกัมมันต์ A และ B ซึ่งจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมมากที่สุดเมื่อพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมประมาณ 62% ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 มก./ล. ส่วนที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างกันพบว่า เมื่อความเข้มข้นโครเมียมเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกำจัดโครเมียมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะลดลง โดยมีแนวโน้มในการลดลงคล้ายคลึงกัน และถ่านกัมมันต์ A และ B จะกำจัดโครเมียมได้มากที่สุด เมื่อพีเอชเท่ากับ 2 ส่วนถ่านกัมมันต์ C จะกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดเมื่อพีเอชเท่ากับ 4 เช่นเดิมซึ่งจะสังเกตุได้จากกราฟ ผลของความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป เมื่อพีเอชของสารละลายสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดติดผิวโครเมียมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าลดลง โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่ามากกว่า 5 ซึ่งจะสังเกตุได้จาก ความชันของกราฟในการกำจัดโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ และพบว่าการกำจัดโครเมียมเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าเท่ากับ 10 โดยจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมของถ่านกัมมันต์ A, B และ C ประมาณ 30%, 21% และ 6% เมื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 มก./ล.

สำหรับการกำจัดปรอท จากรูปที่ 4.2 พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดปรอทได้ดีที่สุดเมื่อพีเอชเท่ากับ 4 โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 94%, 90% และ 73% สำหรับถ่านกัมมันต์ A, B และ C ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 มก./ล. และเช่นเดียวกับการดูดติดโครเมียม เมื่อความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกำจัดปรอทจะลดลง โดยแนวโน้มในการลดลงจะคล้ายคลึงกัน และความสามารถในการกำจัดปรอทที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่พีเอชเท่ากับ 4 เช่นเดิม เมื่อพีเอชของสารละลายสูงขึ้นความสามารถในการกำจัดปรอทจะลดลง แต่การลดลงจะไม่เหมือนกับในกรณีของการดูดติดผิวโครเมียม กล่าวคือ การดูดติดผิวโครเมียมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะลดลงเร็วกว่าการดูดติดผิวปรอท โดยสังเกตุได้จากความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 4.1 และ 4.2

ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวโลหะหนักนั้น เป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ คือโดยทั่วไปแล้วถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ถ่านกัมมันต์แบบแอล (L-type Carbon) ซึ่งจะดูดติดผิวไฮดรอกซิลไอออน (Hydroxyl Ion) ได้ดี ถ่านกัมมันต์

แบบนี้ใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะน้อยกว่า 400 °C ส่วนถ่านกัมมันต์อีกกลุ่มนั้น คือ ถ่านกัมมันต์แบบเอช (H-type Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นมากกว่า 750 °C และสามารถดูดติดผิวไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen Ion)ได้ดี จากการทดลองพบว่าพีเอชของสารละลายหลังจากเติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆลงไปมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3

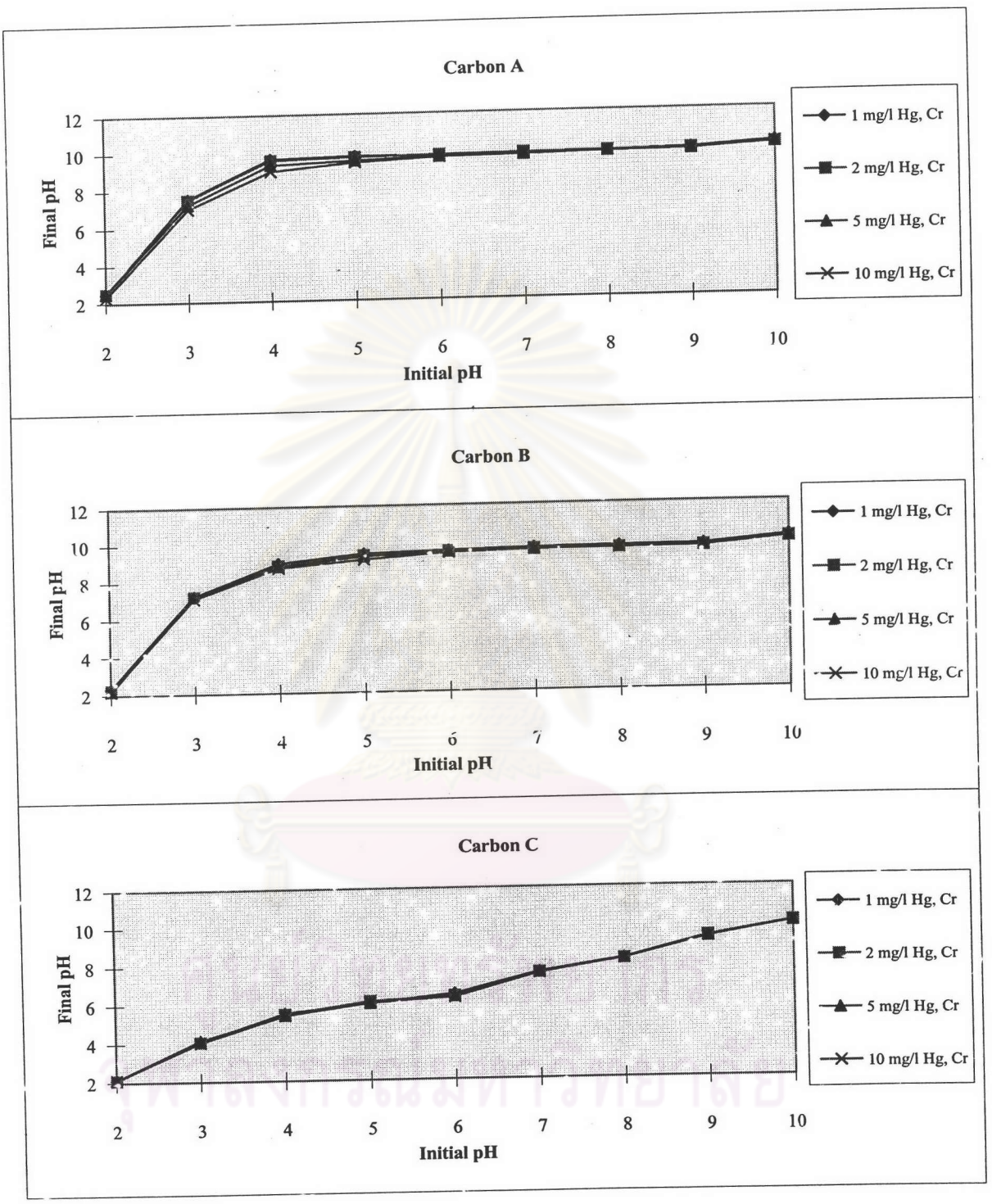
จากรูปที่ 4.3 พบว่าถ่านกัมมันต์ A และ B เมื่อเติมลงไปในสารละลายแล้วทำให้พีเอชของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเทียบกับพีเอชของสารละลายก่อนเติมถ่านกัมมันต์ เช่น ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 มก./ล. เมื่อเติมถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดลงไปพบว่า พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยมีพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 9.64, 8.97 และ 5.54 เมื่อความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายเมื่อเติมถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะสังเกตุได้จากเส้นกราฟที่เกือบจะเป็นเส้นเดียวกัน ถ่านกัมมันต์ A และ B จะมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงพีเอชคล้ายคลึงกัน ส่วนถ่านกัมมันต์ C มีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชน้อยมากเมื่อเทียบกับการเติมถ่านกัมมันต์ A และ B โดยสังเกตุได้จากความชันของเส้นกราฟที่แตกต่างกัน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ C ดูดติดผิวไฮโดรเจนไอออนได้น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ A และ B เนื่องจากถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองทำให้พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นดังนั้น ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดนี้น่าจะมีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์แบบเอช

Frumkin (1930, Huang and Fu, 1984) ได้อธิบายถึงสาเหตุของพีเอชที่เพิ่มขึ้นของสารละลายภายหลังการเติมถ่านกัมมันต์ไว้ดังนี้ บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์แบบเอช จะมีกลุ่มฟังก์ชั่นนอลซึ่งอยู่ในรูปของ C_xO หรือ C_xO_2 เมื่อสัมผัสกับน้ำในสารละลายที่สภาวะเป็นกลางหรือสภาวะที่เป็นกรด กลุ่มฟังก์ชันนอลเหล่านี้จะไปออกซิไดซ์โมเลกุลของน้ำที่อยู่รอบๆถ่านกัมมันต์ ดังปฏิกิริยาในสมการที่ 4.1

$$C_xO + H_2O \text{ -------> } C_x^{2+} + 2OH^- \qquad \text{..... (4.1)}$$

จากสมการที่ 4.1 ปฏิกิริยาระหว่างน้ำและกลุ่มฟังก์ชันนอลบนผิวของถ่านกัมมันต์ทำให้เกิดไฮดรอกซิลไอออนขึ้น เป็นผลให้พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยสมการที่ 4.1 ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงผลของพีเอชที่เพิ่มขึ้นภายหลังการเติมถ่านกัมมันต์ลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

Huang และ Wu (1975) ได้อธิบายถึงกลไกการดูดติดผิวโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์ดังต่อไปนี้ เมื่อเติมถ่านกัมมันต์แบบเอชลงไปในสารละลายที่มีโครเมียมปนอยู่ กลุ่มฟังก์ชั่นนอลบน พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำดังสมการที่ 4.2

$$C_xO + H_2O \longleftrightarrows C_x^{2+} + 2OH^-$$

หรือ

$$C_xO_2 + H_2O \longleftrightarrows C_xO^{2+} + 2OH^- \quad \text{..... (4.2)}$$

จากสมการที่ 4.2 จะเกิดโมเลกุลของสารที่มีประจุบวกขึ้นบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ และภายใต้สภาวะของสารละลายที่พีเอชน้อยกว่า 7 ไบโครเมตไอออน(Bichromate Ion) เป็นรูปแบบของโครเมียมที่มีปริมาณมากที่สุด ไบโครเมตไอออนจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารที่มีประจุบวกเหล่านี้ ดังแสดงในสมการที่ 4.3

$$C_x^{2+} + HCrO_4^- \longleftrightarrows C_xOHO_3Cr^+$$

หรือ

$$C_xO^{2+} + HCrO_4^- \longleftrightarrows C_xO_2HO_3Cr \quad \text{..... (4.3)}$$

เมื่อรวมสมการที่ 4.2 และ 4.3 เข้าด้วยกันจะได้ปฏิกิริยาทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในสมการที่ 4.4

$$C_xO + H_2O + HCrO_4^- \longleftrightarrows C_xOHO_3Cr^+ + 2OH^-$$

หรือ

$$C_xO_2 + H_2O + HCrO_4^- \longleftrightarrows C_xO_2HO_3Cr^+ + 2OH^- \quad \text{..... (4.4)}$$

จากสมการที่ 4.4 พบว่าแต่ละโมลของไบโครเมตไอออนที่ถูกดูดติดผิว จะเกิดไฮดรอกซิลไอออนขึ้นจำนวน 2 โมลในสารละลาย จากกลไกของการกำจัดโครเมียมนี้แสดงให้เห็นว่าการดูดติดผิวโครเมียมจะทำให้พีเอชของสารละลายสูงขึ้น เมื่อพีเอชของสารละลายที่มีโครเมียมปนอยู่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 7 ปริมาณของไบโครเมตไอออนจะลดลงทำให้ความสามารถในการกำจัดโครเมียมลดลง จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าผลของการกำจัดโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ สอดคล้องกับกลไกของการกำจัดโครเมียม

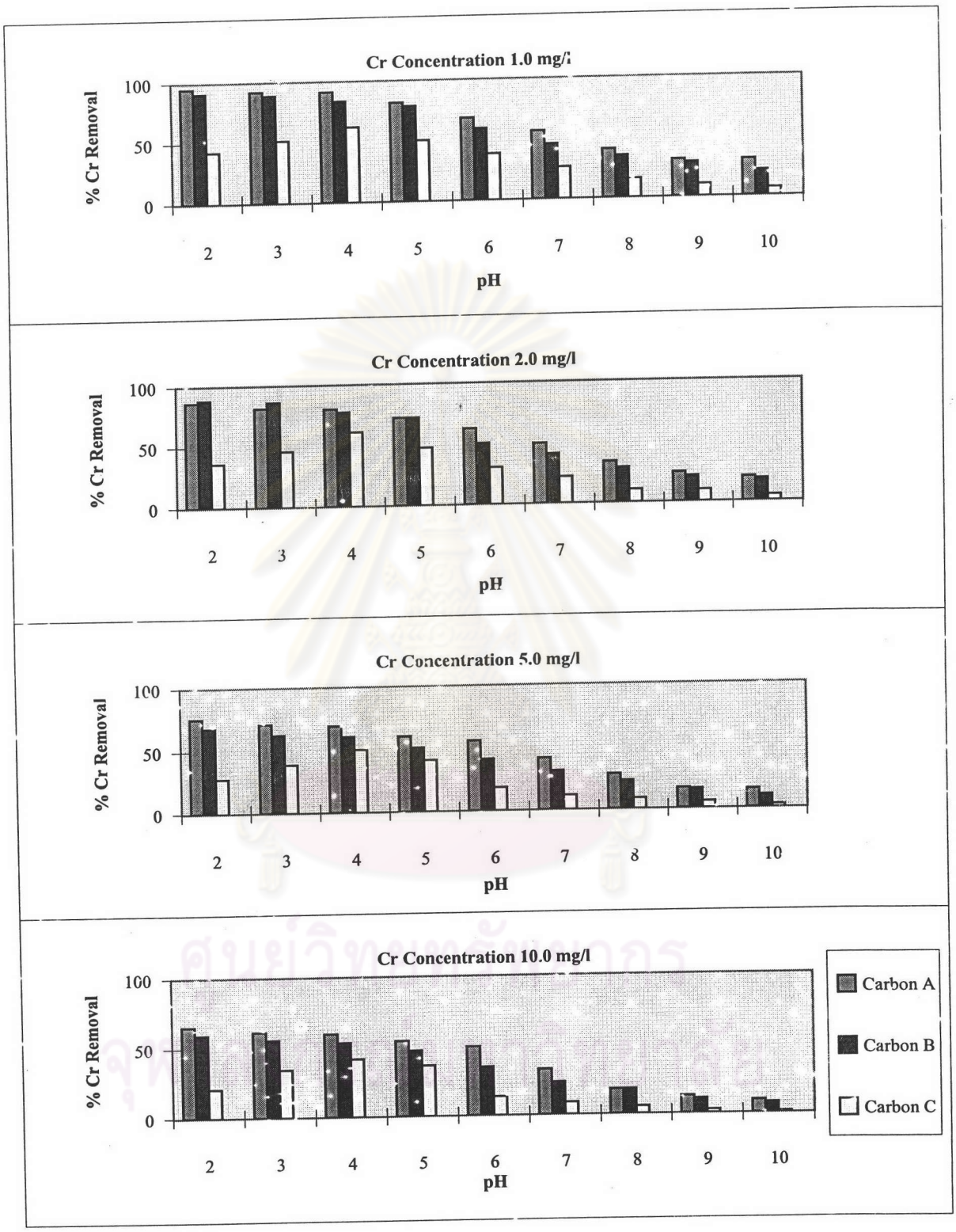
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนการกำจัดปรอทนั้นยังไม่ทราบกลไกที่แน่นอน อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของผู้วิจัยอื่นๆ พบว่าน่าจะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างพื้นผิวของถ่านกัมมันต์กับไอออนของปรอท เช่นเดียวกับกลไกการกำจัดโครเมียม กล่าวคือ เมื่อเติมถ่านกัมมันต์แบบเอชลงในสารละลายที่มีปรอทปนอยู่ กลุ่มฟังก์ชั่นนอลบนผิวของถ่านกัมมันต์จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำ ทำให้เกิดโมเลกุลของสารที่มีประจุบวกขึ้นบนผิวของถ่านกัมมันต์ และไอออนของปรอทส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบที่ไม่มีประจุหรือมีประจุลบ โมเลกุลของสารที่มีประจุบวกเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับไอออนของปรอท ทำให้เกิดการดูดติดผิวของปรอทขึ้น

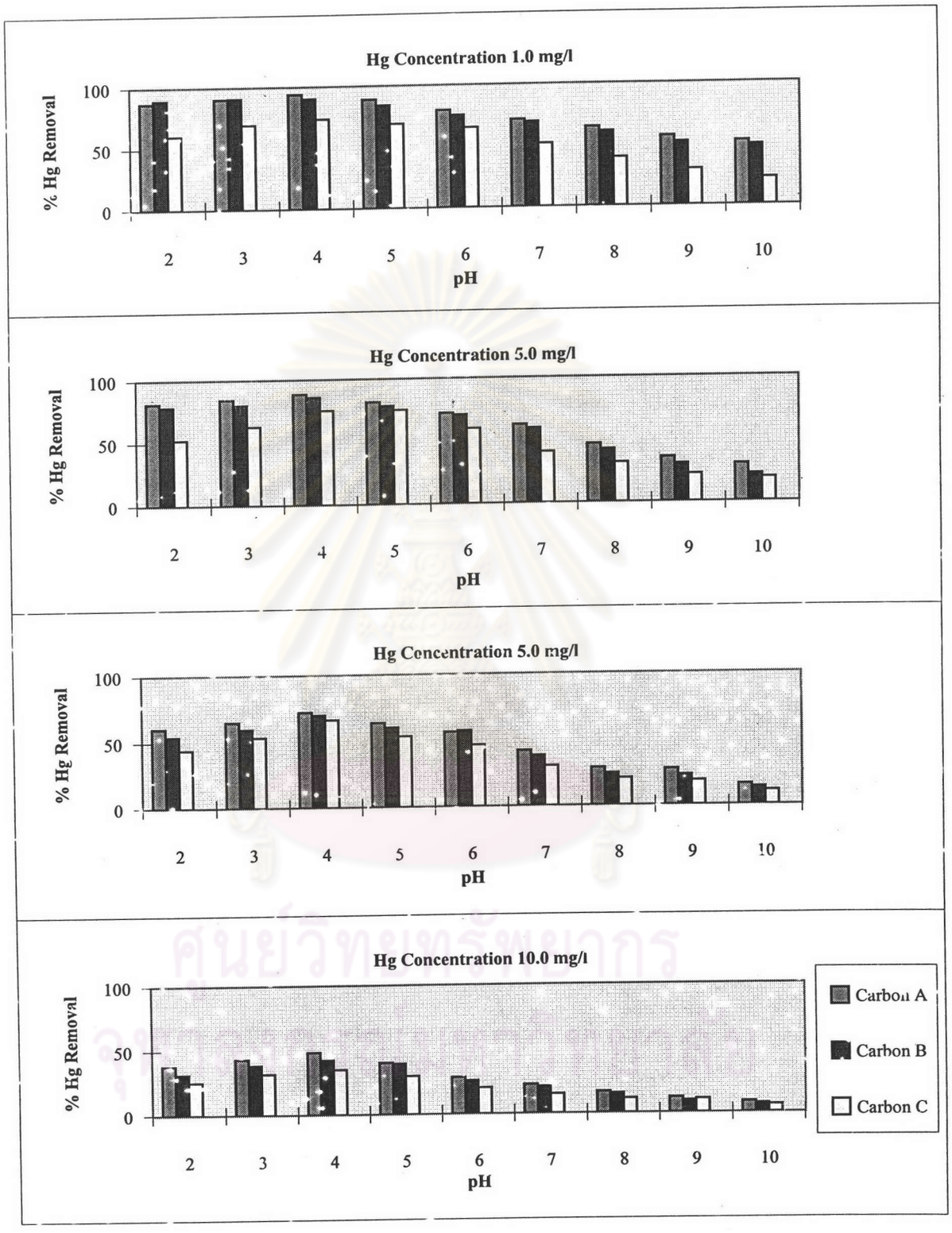
เมื่อนำผลพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวของปรอทและโครเมียมมาทำการเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะพบว่าถ่านกัมมันต์ A มีความสามารถในการกำจัดปรอทและโครเมียมได้ดีที่สุด ที่พีเอชต่างๆ รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ B และถ่านกัมมันต์ C ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์ C นั้นมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทและโครเมียมต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ A และ B ทั้งนี้เนื่องจาก คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ ในการดูดติดผิวสารอนินทรีย์อิเลคโทรไลต์ คือ พื้นที่ผิวจำเพาะ โครงสร้างของรูพรุน และโครงสร้างทางเคมีบนผิวของถ่านกัมมันต์นั้นๆ จากคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ A , B และ C ดังตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า ถ่านกัมมันต์ A และ B มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิต พื้นที่ผิวหรือโครงสร้างของรูพรุน และเมื่อพิจารณารูป 4.3 จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ A และ B มีผลการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ A และ B มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทและโครเมียมใกล้เคียงกัน ส่วนถ่านกัมมันต์ C นั้นมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ A และ B และมีความสามารถในการดูดติดผิวไฮโดรเจนไอออนน้อยกว่า จึงทำให้มีความสามารถในการกำจัดปรอทและโครเมียมได้น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ A และ B นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ A และ B เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัสดุเดียวกันคือ ถ่านหินบิทูมินัส ส่วนถ่านกัมมันต์ C ทำจากถ่านหินลิกไนต์ จึงทำให้ความสามารถในการกำจัดปรอทและโครเมียมของถ่านกัมมันต์ C แตกต่างไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างกัน



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นต่างกัน

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง

Carbon characteristics	Carbon A	Carbon B	Carbon C
Material	Bituminous coal	Bituminous coal	Lignite
Surface area (m^2/g)	950-1,050	900	650
Density (g/cc)	1.43	-	-
Pore volume (cc/g)	0.85	-	-
Moisture as packed (%)	max . 2	max. 4	max. 5
Iodine number (mg/g)	900	800	950
Ash content (%)	8	15	1.8

ในการหาพีเอชที่เหมาะสมของการดูดติดผิวปรอทและโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป จะพิจารณาเฉพาะพีเอชระหว่าง 2 - 4 เนื่องจากถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดสามารถกำจัดโครเมียมและปรอทได้มากที่สุดในช่วงพีเอชนี้ ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดปรอทและโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ความสามารถของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการกำจัดปรอทและโครเมียมที่พีเอช2-4 และความเข้มข้นปรอทและโครเมียมเริ่มต้นต่างกัน

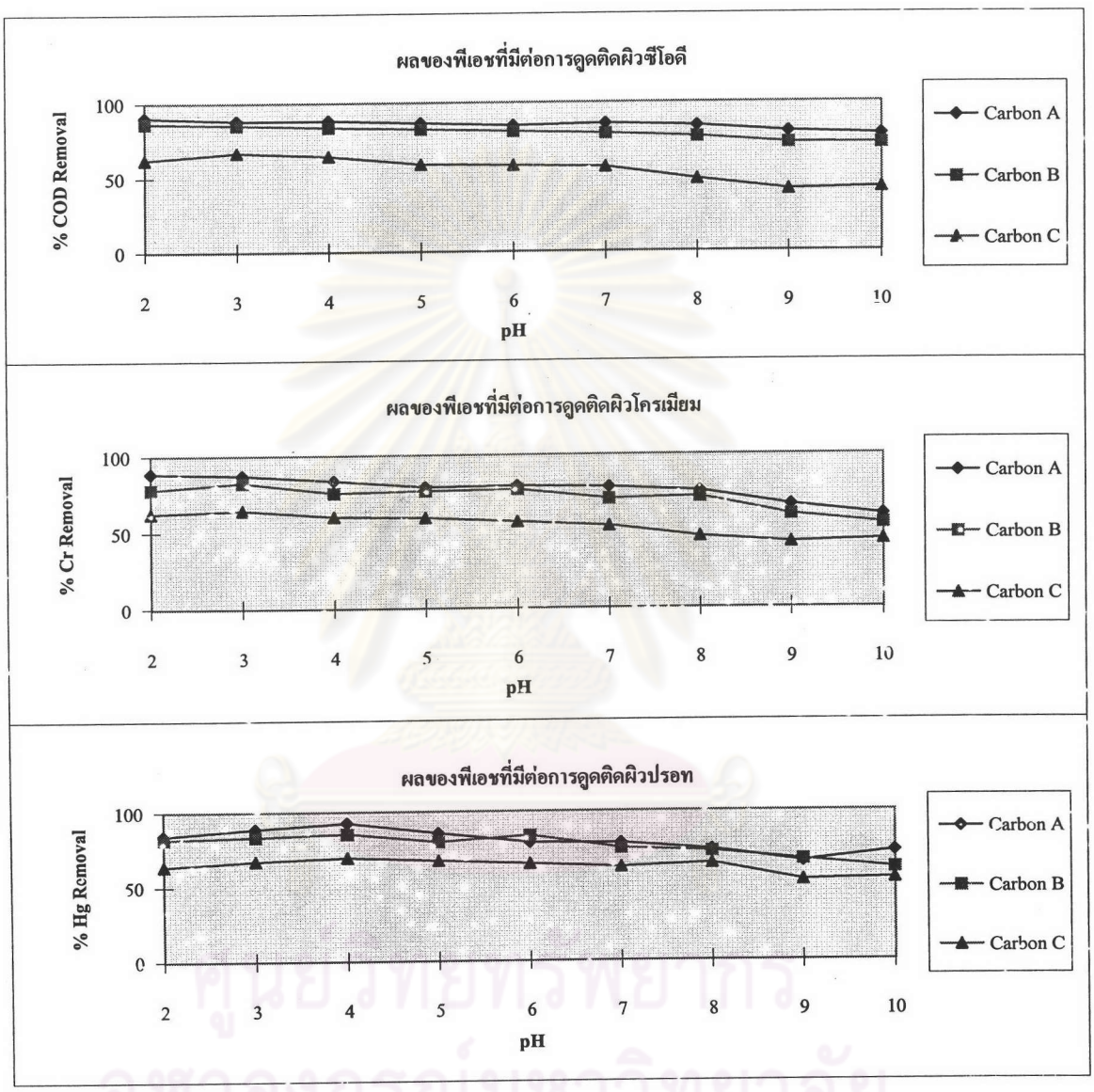
		% Cr Removal			% Hg Removal		
Hg & Cr Conc.	pH	Carbon A	Carbon B	Carbon C	Carbon A	Carbon B	Carbon C
	2	95.15	91.21	42.72	87.23	89.61	60.27
1.0 mg/l	3	92.20	88.85	51.44	90.37	90.74	69.38
	4	91.45	83.46	62.00	93.91	90.23	73.55
	2	86.45	38.54	36.20	81.44	78.76	52.43
2.0 mg/l	3	81.57	86.35	45.88	84.53	80.11	62.75
	4	80.34	77.61	61.00	88.70	85.96	75.21
	2	75.56	68.14	27.53	60.36	54.22	44.10
5.0 mg/l	3	71.28	62.55	38.67	64.94	59.46	53.38
	4	69.38	60.67	50.25	72.22	69.93	66.30
	2	65.34	59.37	20.82	38.06	31.45	25.29
10.0 mg/l	3	61.47	55.67	34.16	43.15	38.34	31.55
	4	59.14	53.26	41.52	48.42	42.27	34.68

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดกำจัดปรอทได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 ส่วนการกำจัดโครเมียมนั้น ถ่านกัมมันต์ A และ B สามารถกำจัดโครเมียมได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 2 และถ่านกัมมันต์ C กำจัดโครเมียมได้ดีที่สุดเมื่อพีเอชเท่ากับ 4 จากการพิจารณาการกำจัดโครเมียม ของถ่านกัมมันต์ A และ B ที่พีเอชเท่ากับ 2 และ 4 เปรียบเทียบกับการกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์ A และ B ที่ พีเอชเท่ากับ 2 และ 4 พบว่า เมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 4 มาเป็น 2 เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมที่เพิ่มขึ้น มีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทที่ลดลง ซึ่งทีความเข้มข้นโลหะหนักต่างกันจะมีผลที่คล้ายคลึงกัน เช่นที่ความเข้มข้นปรอทและโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล. เมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 4 เป็น 2 ถ่านกัมมันต์ A มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมเพิ่มจาก 69% เป็น 76% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทลดลงจาก 72% เป็น 60% เช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ B เมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 4 เป็น 2 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมเพิ่มจาก 61% เป็น 68% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทลดลงจาก 70% เป็น 54% ดังนั้นจึงเลือกใช้พีเอชเท่ากับ 4 เป็นพีเอชที่เหมาะสมของการกำจัดปรอทและโครเมียมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจากน้ำเสียสังเคราะห์

ข. น้ำชะมูลฝอย

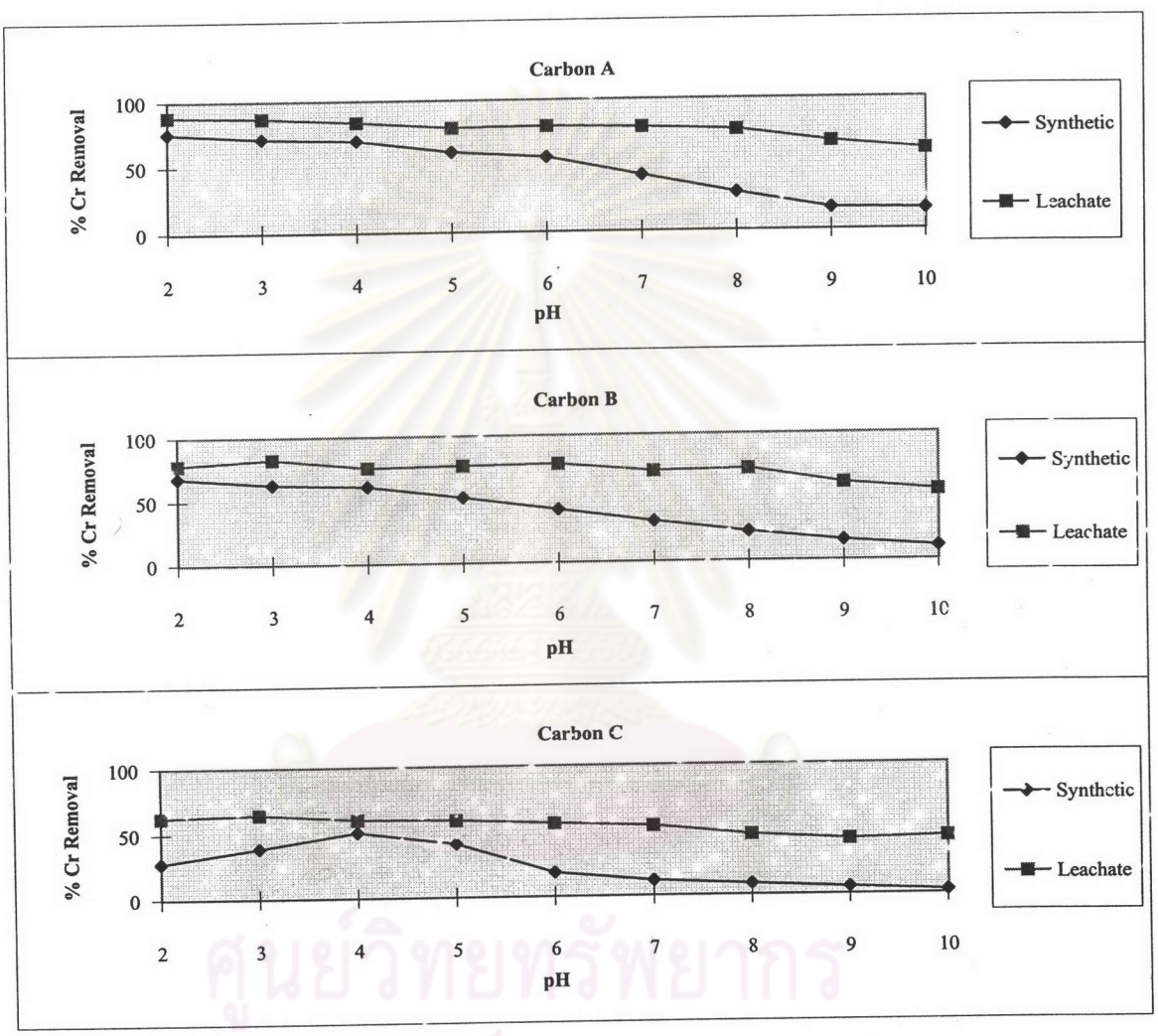
ในการทดลองนี้จะทำการวัดปริมาณซีโอดี ปรอท และ โครเมียมที่เหลืออยู่หลังจากการเติมถ่านกัมมันต์ลงในน้ำชะมูลฝอยที่มีพีเอชแตกต่างกัน ผลของการวิเคราะห์ปริมาณปรอท โครเมียม และ ซีโอดี ก่อนและหลังการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ ข-1 ถึง ข-3 ของภาคผนวก ข. และแสดงดังรูปที่ 4.6

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่อพีเอชของน้ำชะมูลฝอยต่ำ ประมาณ 2-4 ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดปรอท โครเมียม และซีโอดีได้ดี เช่นเดียวกับผลการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีประมาณ 90%, 86% และ 67% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมมีค่าประมาณ 88%, 82% และ 64% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 92%, 85% และ 69% ตามลำดับ เมื่อพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดปรอท โครเมียม และซีโอดี ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าลดลง แต่การลดลงจะเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งจะสังเกตุได้จากความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 4.6 เมื่อนำผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดปรอทและโครเมียมจากน้ำสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำชะมูลฝอย ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ4.8



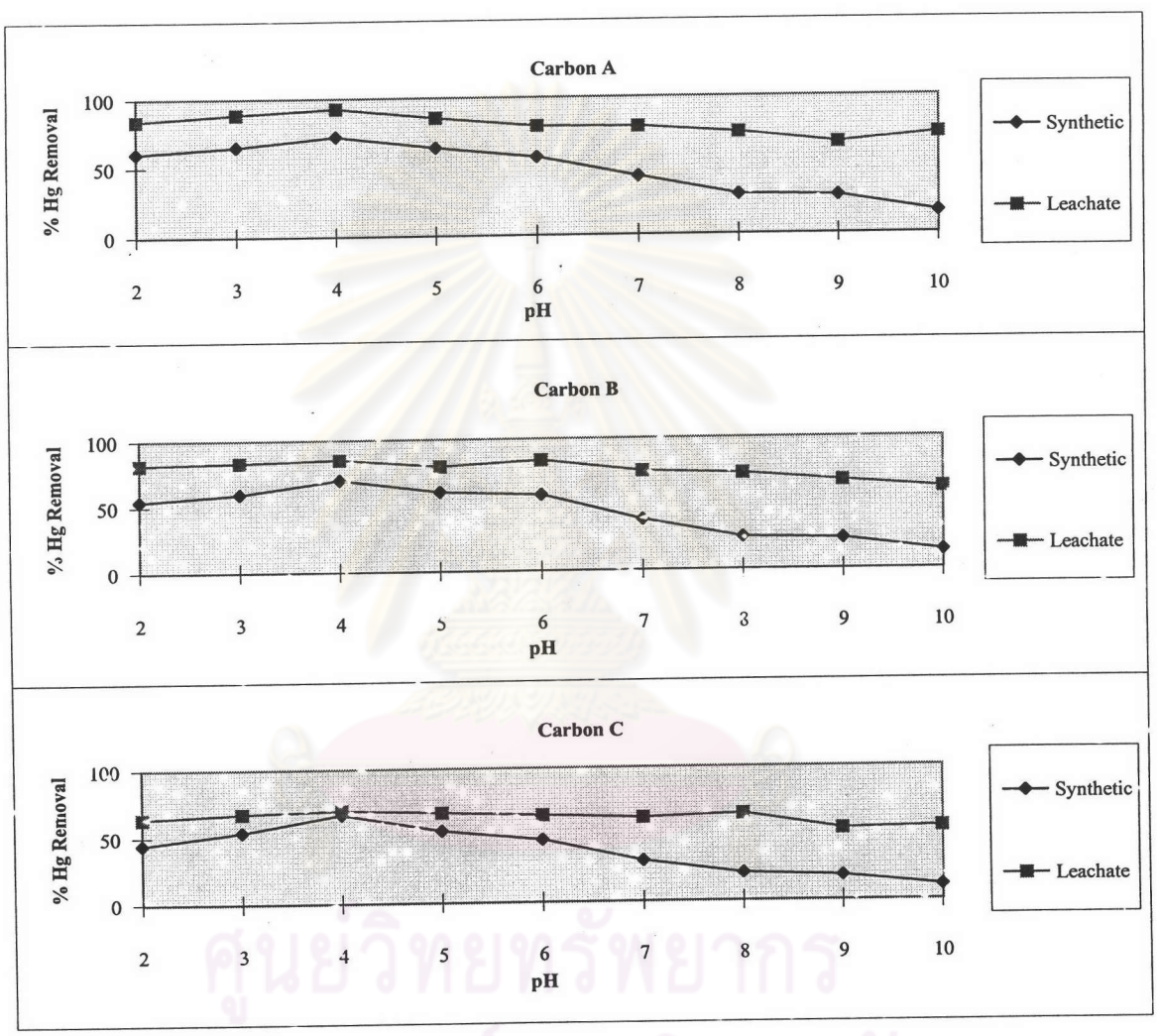
รูปที่ 4.6 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวซีโอดี โครเมียม และปรอทจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด (ความเข้มข้นของปรอทและโครเมียมเท่ากับ 5 มก./ล.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะมูลฝอย ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด (ความเข้มข้นของปรอทและโครเมียมเท่ากับ 5 มก./ล.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่ามากกว่าผลที่ได้จากน้ำเสียสังเคราะห์ เช่น ที่พีเอช 2 จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าประมาณ 76%, 68% และ 28% ตามลำดับ แต่จากการทดลองโดยใช้น้ำชะมูลฝอยพบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมเพิ่มสูงขึ้น คือ 88%, 78% และ 62% ตามลำดับ และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมจะลดลงเช่นเดียวกัน แต่อัตราการลดลงของเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์จะรวดเร็วกว่าการใช้น้ำชะมูลฝอย โดยสังเกตุได้จากเส้นกราฟที่มีความชันต่างกัน

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่ามากกว่าผลที่ได้จากน้ำสังเคราะห์เช่นเดียวกับรูปที่ 4.7 เช่น ที่พีเอช 4 จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าประมาณ 72%, 70% และ 66% ตามลำดับ แต่จากการทดลองโดยใช้น้ำชะมูลฝอยพบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทเพิ่มสูงขึ้น คือ 92%, 85% และ 69% ตามลำดับ และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทจะลดลงเช่นเดียวกัน แต่อัตราการลดลงของเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอท ในน้ำเสียสังเคราะห์จะรวดเร็วกว่าการใช้น้ำชะมูลฝอย โดยสังเกตุได้จากเส้นกราฟที่มีความชันต่างกัน

ผลจากการทดลองโดยใช้น้ำชะมูลฝอย พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทและโครเมียมสูงกว่าผลที่ได้จากการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำกลั่น ซึ่งมีปริมาณของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ต่ำ เมื่อเทียบกับน้ำชะมูลฝอยซึ่งประกอบด้วยสารต่างๆมากมาย ส่วนสาเหตุที่ปรอทและโครเมียมในน้ำชะมูลฝอยถูกกำจัดได้ดีนั้น พอจะสรุปได้ว่าน่าจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ผลของสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย

สารอินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอย ทำหน้าที่เป็นสารถูกดูดซับร่วม(Coadsrobate) ซึ่งจะช่วยเชื่อมไอออนของโลหะหนักและถ่านกัมมันต์เข้าด้วยกัน (Lindstedt et al., 1971 quoted in Argo and Culp, 1972) และเนื่องจากปรอทสามารถจับตัวกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดการกำจัดปรอทได้มากขึ้น

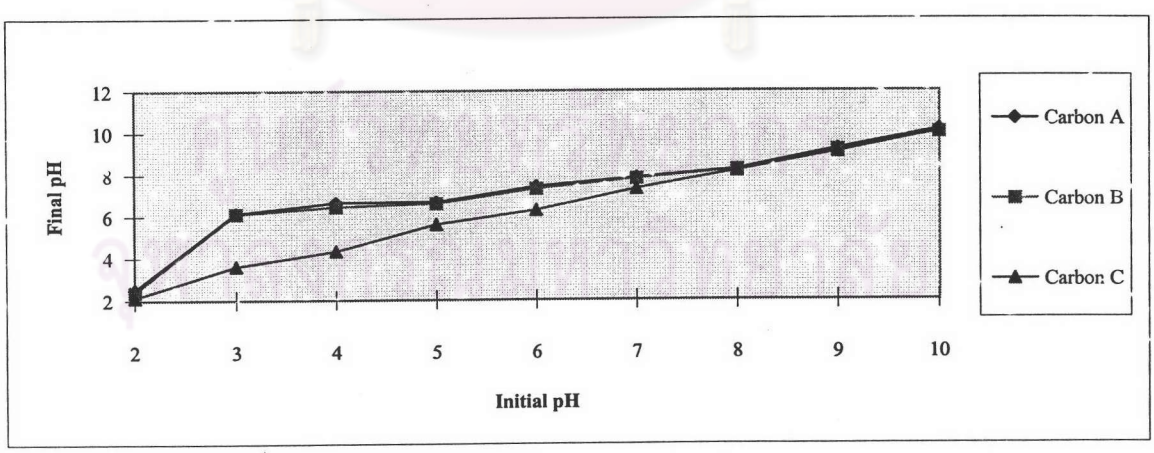
2. ผลของสารแขวนลอยและความขุ่นของน้ำชะมูลฝอย

จากการศึกษาของ Chen, Young และ Rohatgi (1974, Goidstone, Kirk and Lester, 1990) พบว่า 45-55% ของโครเมียมจะสามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคสารแขวนลอย และจากการ

ศึกษาของ Logsdon และ Symons (1973) พบว่าความสามารถในการกำจัดปรอทเพิ่มขึ้น เมื่ออนุภาคสารแขวนลอยและความขุ่นเพิ่มขึ้น

ส่วนผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดซีโอดีนั้นจากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่อพีเอชของน้ำชะมูลฝอยสูงขึ้นการกำจัดซีโอดีจะลดลง เนื่องจากผลของประจุไฟฟ้าบนผิวของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์จะมีประจุเป็นลบที่พื้นผิว เช่นเดียวกับสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่อยู่ในน้ำเสียก็จะมีประจุเป็นลบ เมื่อพีเอชของน้ำชะมูลฝอยต่ำ จะเกิดการสะเทินของประจุไฟฟ้าบนผิวของถ่านกัมมันต์กับไฮโดรเจนไอออน ทำให้เกิดการดูดติดผิวของสารอินทรีย์ขึ้น เนื่องจากการลดลงของแรงผลักระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์ เมื่อพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ปริมาณไฮโดรเจนไอออนลดลง จึงเกิดการผลักกันระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ทำให้การกำจัดซีโอดีลดลง แต่การลดลงจะไม่รวดเร็ว โดยสังเกตุได้จากความชันของเส้นกราฟซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อย เนื่องมาจาก การดูดติดผิวสารอินทรีย์ของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดติดผิวแบบหลายชั้น (Multilayered) โดยที่แต่ละชั้นของสารอินทรีย์ ที่ถูกดูดติดผิวจะเกิดอยู่บนชั้นของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดติดผิวก่อนหน้านี้ เมื่อความหนาของชั้นสารอินทรีย์มากขึ้น แรงผลักระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์จะลดลง การดูดติดผิวของสารอินทรีย์จึงเกิดขึ้นได้

ความสามารถในการกำจัดซีโอดี ปรอท และโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ มีค่าแตกต่างกันออกไป เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น ส่วนรูปที่ 4.9 แสดงผลของพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำชะมูลฝอยหลังเติมถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.9 พีเอชของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังการเติมถ่านถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าการเติมถ่านกัมมันต์ A และ B ลงในน้ำชะมูลฝอยทำให้พีเอชของน้ำชะมูลฝอยเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าการเติมถ่านกัมมันต์ C โดยแนวโน้มของพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเติมถ่านกัมมันต์ A และ B มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน ส่วนการเติมถ่านกัมมันต์ C จะมีแนวโน้มของพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปแตกต่างจากการเติมถ่านกัมมันต์ A และ B ซึ่งจะสังเกตุได้จากกราฟ สาเหตุของความแตกต่างนั้น เนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ดังที่อธิบายไว้ข้างต้น

ในการหาพีเอชที่เหมาะสมของการดูดติดผิวปรอท โครเมียม และซีโอดี จากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆนั้น จะพิจารณาพีเอชระหว่าง 2 - 4 กับพีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีค่าระหว่าง 7 กับ 8 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวปรอท โครเมียม และซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ (ความเข้มข้นของปรอทและโครเมียม 5 มก./ล.)

	Carbon A			Carbon B			Carbon C		
	% Removal			% Removal			% Removal		
pH	Hg	Cr	COD	Hg	Cr	COD	Hg	Cr	COD
2	84.09	88.47	90.54	81.82	78.16	86.55	63.64	62.41	62.28
3	88.64	87.06	88.28	83.18	82.34	85.37	67.05	64.36	66.88
4	92.50	83.46	88.14	85.23	75.44	83.69	69.32	60.11	54.33
7	78.41	78.56	85.72	75.00	70.89	79.12	62.50	53.43	56.71
8	73.86	75.98	84.22	72.73	72.10	76.81	64.77	46.17	48.42

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดสามารถกำจัดปรอท โครเมียม และซีโอดี ได้ดีเมื่อพีเอชของน้ำชะมูลฝอยอยู่ระหว่าง 2 ถึง 4 แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับที่พีเอชระหว่าง 7 กับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยดิบ พบว่า เมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 2-4 มาเป็น 7-8 ความสามารถในการกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์ A, B และC จะลดลงประมาณ 14%, 10% และ 4.6% ตามลำดับ ความสามารถในการกำจัดโครเมียมจะลดลงประมาณ 10%, 10% และ 11% ตามลำดับและ ความสามารถในการกำจัดซีโอดีของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะลดลงประมาณ 5%, 7% และ 10% ตามลำดับ จะเห็นว่าในการปรับพีเอชของน้ำชะมูลฝอยให้ต่ำลงถึงแม้จะทำให้การกำจัด

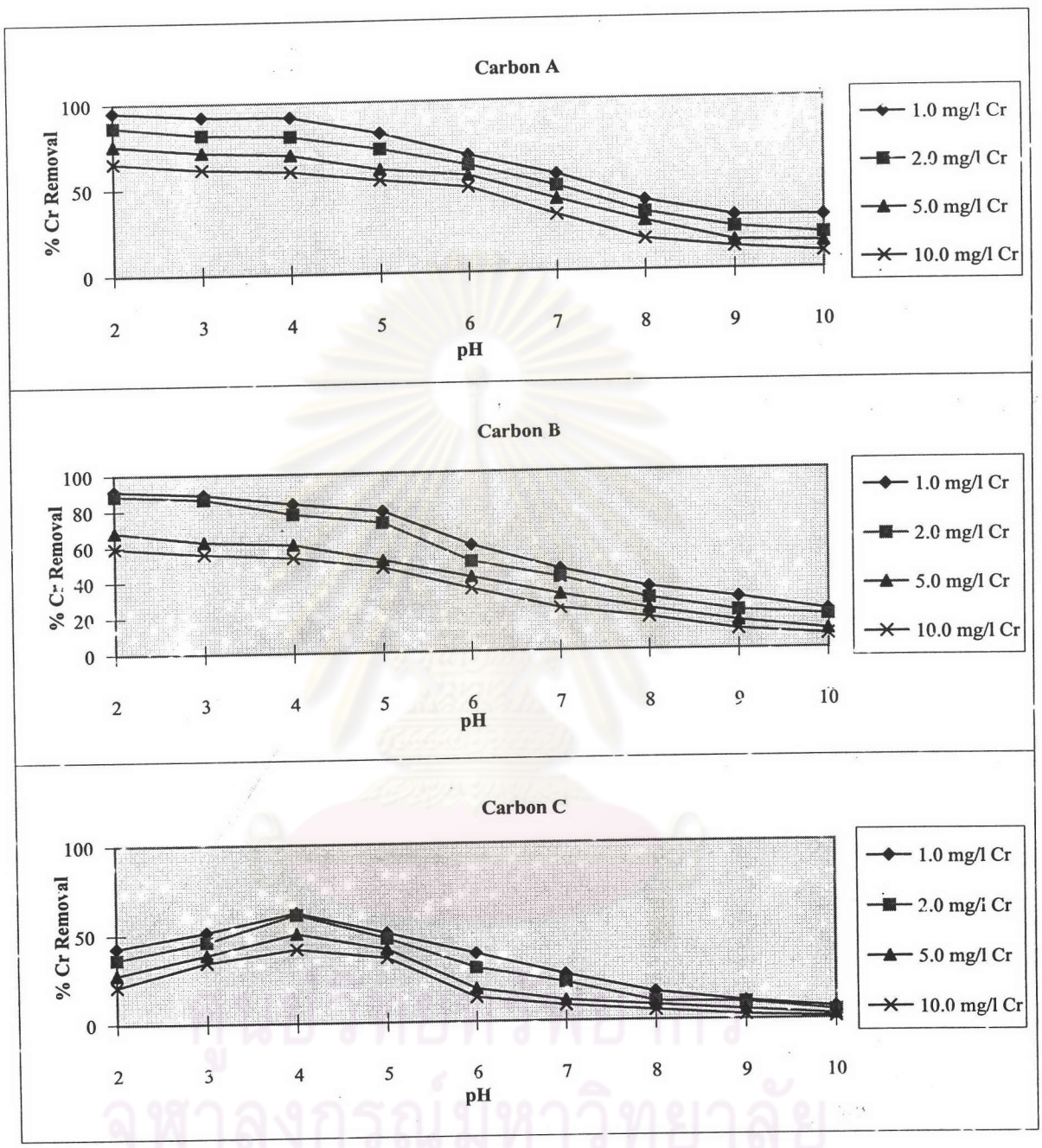
ปรอท โครเมียม และซีโอดี สูงขึ้น แต่ผลที่ได้รับไม่คุ้มค่า นอกจากนี้ยังต้องใช้กรดเป็นจำนวนมากในการปรับพีเอช ดังนั้นจะเลือกใช้พีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยดิบเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4.1.2 ผลของความเข้มข้นโลหะหนัก

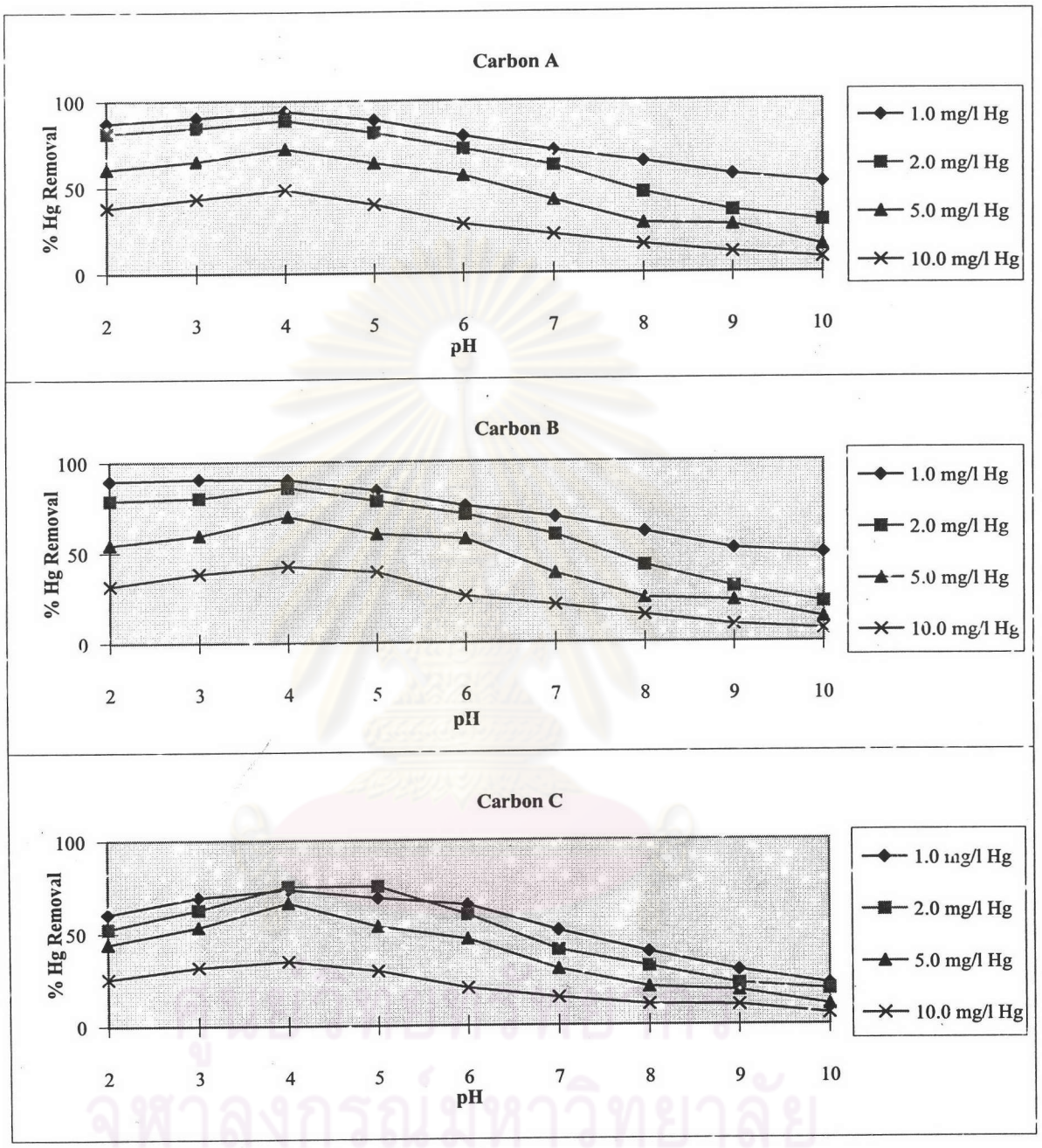
ในการทดลองนี้จะทำการทดลองเฉพาะน้ำเสียสังเคราะห์เท่านั้น ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมและปรอทที่ใช้ในการทดลองมี 4 ค่า คือ 1.0, 2.0, 5.0 และ 10.0 มก./ล. โดยจะเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสียตั้งแต่ 2-10 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ ใช้เท่ากับ 0.5 กรัม ปริมาตรน้ำเสียที่นำมาทดลองเท่ากับ 100 มล. จะใช้อัตราเร็วรอบการทำงานของเครื่องเขย่าที่ 250 รอบต่อนาที และเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะนำน้ำเสียไปกรองผ่านกระดาษกรอง โดยจะทิ้งน้ำที่กรองได้ในครั้งแรกประมาณ 10 มล. แล้วจึงเก็บน้ำที่เหลือทั้งหมด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโครเมียมและปรอทที่เหลืออยู่ภายหลังการเติมถ่านกัมมันต์ ผลของการทดลองแสดงในตารางที่ ก-1 ถึง ก-12 ของภาคผนวก ก. และแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่าความสามารถในการกำจัดโครเมียมและปรอทของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมและปรอทมีค่าลดลง โดยที่แนวโน้มของเส้นกราฟที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆกัน ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น เมื่อพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้น 1.0 มก./ล. พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดสามารถกำจัดโครเมียมได้ประมาณ 95%, 91% และ 43% ตามลำดับ และสามารถกำจัดปรอทได้ประมาณ 87%, 89% และ 60% ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเปลี่ยนเป็น 5.0 มก./ล. ที่พีเอชเดียวกัน พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมและปรอทลดลง คือ สามารถกำจัดโครเมียมได้ประมาณ 76%, 68% และ 28% ตามลำดับ และสามารถกำจัดปรอทได้ประมาณ 60%, 54% และ 44% ตามลำดับ

สาเหตุที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมและปรอทลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมและปรอท เนื่องมาจาก ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมและปรอทต่ำ ปริมาณของพื้นที่ที่ใช้ในการดูดติดผิวมีมาก เมื่อเทียบกับปริมาณของโครเมียมและปรอท เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมและปรอทเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ใช้ในการดูดติดผิวกับปริมาณของโครเมียมและปรอทน้อยลง เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและปรอทลดลง นอกจากนี้ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมและปรอท ยังมีผลต่อปริมาณไอออนของโครเมียมและปรอท เช่น เมื่อความเข้มข้นของโครเมียมเพิ่มขึ้น ปริมาณไบโครเมตไอออนจะลดลง ทำให้ ความสามารถในการกำจัดโครเมียมลดลง เป็นต้น



รูปที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ



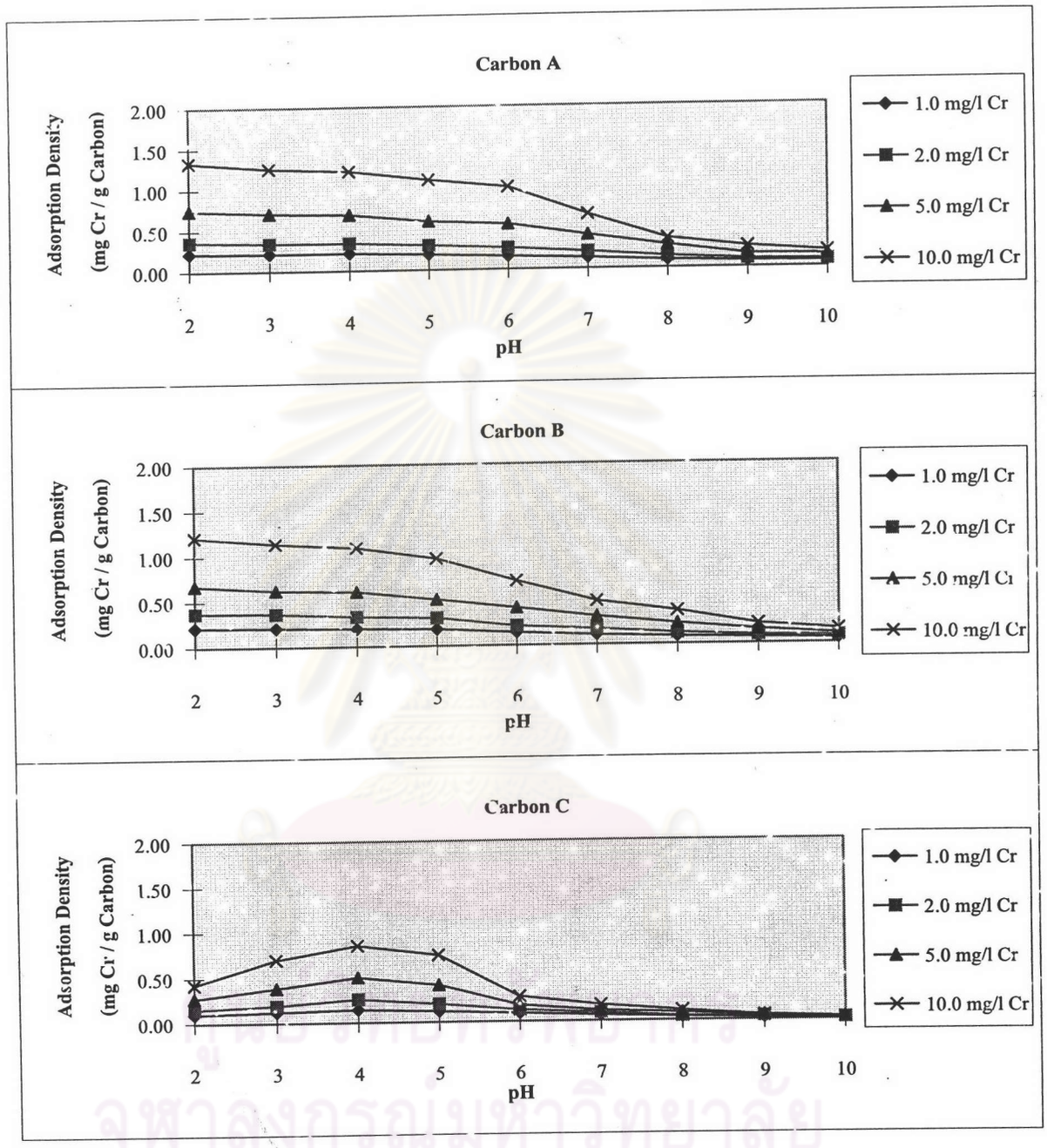
รูปที่ 4.11 ผลของความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้นที่มีต่อการดูดติดผิวปรอทของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

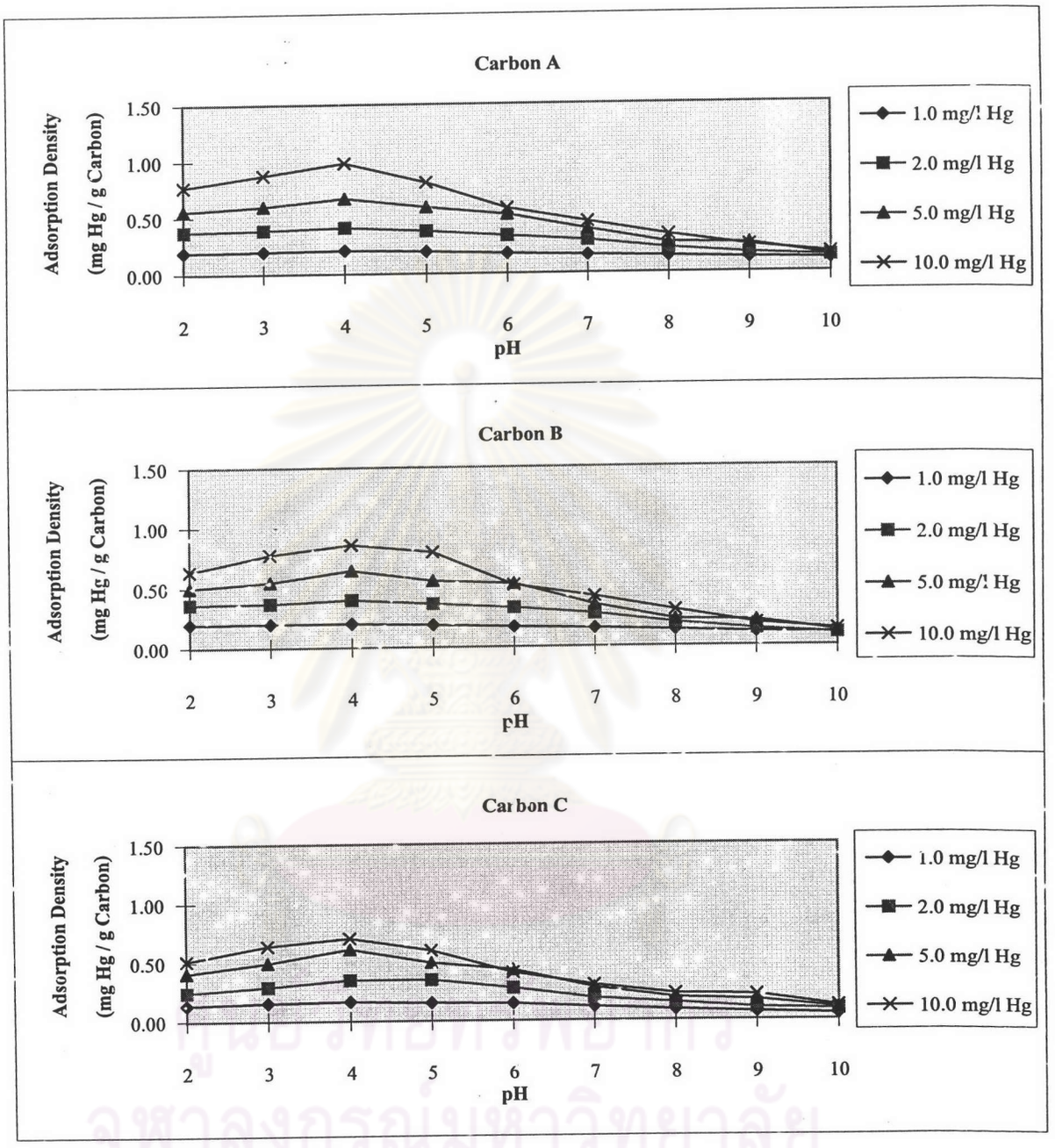
จากการทดลอง เมื่อนำปริมาณของโครเมียมและปรอทที่ถูกกำจัดไปต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง มาเขียนเป็นกราฟแสดงความหนาแน่นของการดูดติดผิวปรอทและโครเมียมที่พีเอช ต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 จะพบว่า ความหนาแน่นการดูดติดผิวเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมและปรอทเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มของกราฟคล้ายคลึงกันในถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด เช่น เมื่อพีเอช เท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้น 1.0 มก./ล. พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีความหนาแน่นการดูดติดผิวโครเมียมได้ประมาณ 0.22, 0.21 และ 0.10 มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน ตามลำดับ และมีความหนาแน่นการดูดติดผิวปรอทได้ประมาณ 0.19, 0.20 และ 0.13 มก.ปรอท/ก.คาร์บอน ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเปลี่ยนเป็น 5.0 มก./ล. ที่พีเอชเดียวกัน พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีความหนาแน่นการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทเพิ่มขึ้น คือ มีความหนาแน่นการดูดติดผิวโครเมียมได้ประมาณ 0.75, 0.67 และ 0.27 มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน ตามลำดับ และมีความหนาแน่นการดูดติดผิวปรอทได้ประมาณ 0.56, 0.50 และ 0.41 มก.ปรอท/ก.คาร์บอน ตามลำดับ

สาเหตุที่ความหนาแน่นการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของปรอทและโครเมียมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของปรอทและโครเมียมสูง จะมีปริมาณของโครเมียมและปรอทมาก ซึ่งจะมีโอกาสในการสัมผัสกับคาร์บอนและเกิดการดูดติดผิวได้มากกว่า ในกรณีที่มีความเข้มข้นของปรอทและโครเมียมต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ความหนาแน่นของการดูดติดผิวโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 4.13 ความหนาแน่นของการดูดติดผิวปรอทของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นต่างๆ

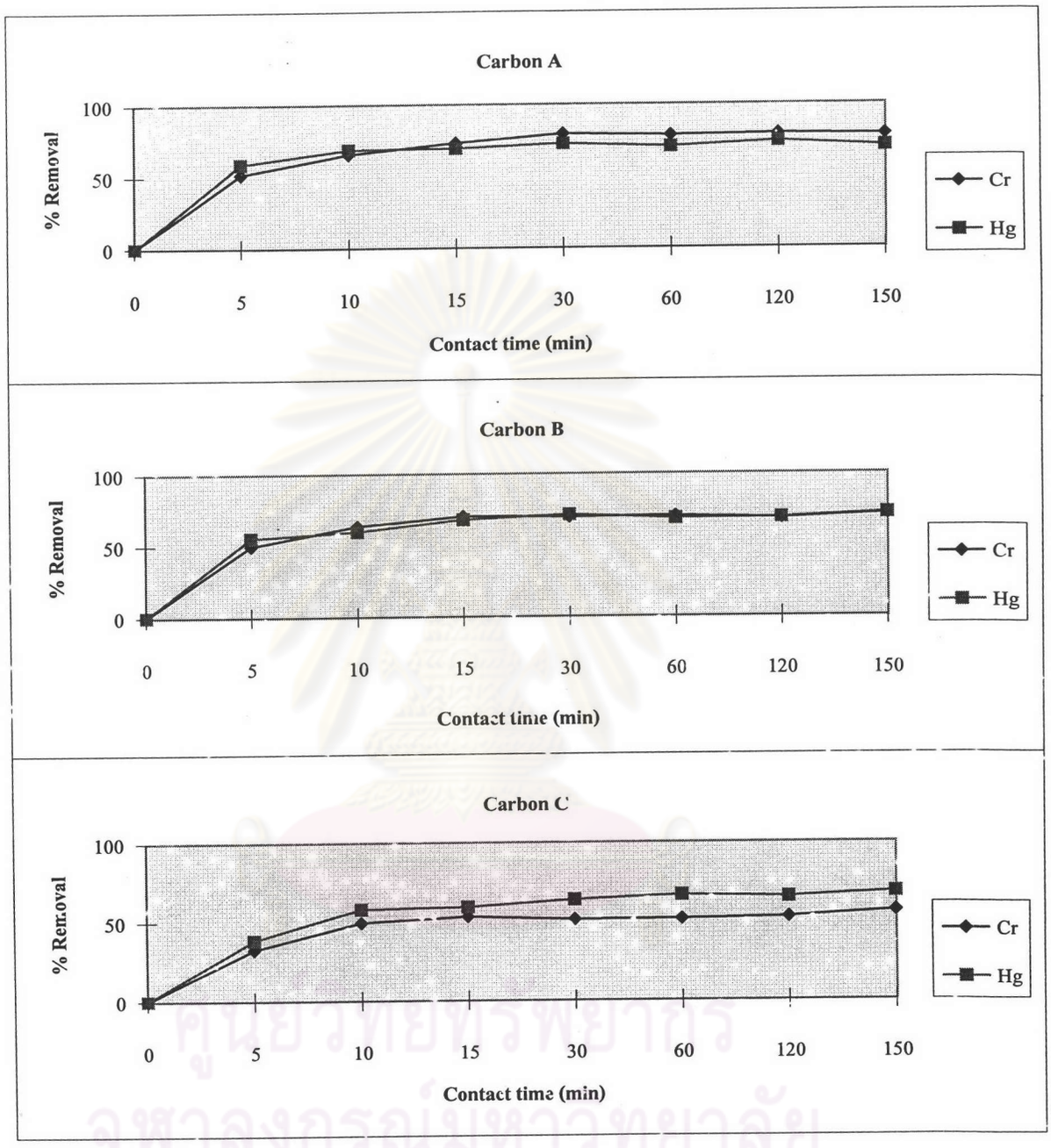
4.1.3 ผลของเวลาสัมผัส

ในการทดลองนี้ จะศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียมและปรอท โดยมีเวลาสัมผัสที่จะศึกษา คือ 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 150 นาที ความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล. ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ ใช้เท่ากับ 0.5 กรัม ปริมาตรน้ำเสียที่นำมาทดลองเท่ากับ 100 มล. จะใช้อัตราเร็วรอบการทำงานของเครื่องเขย่าที่ 250 รอบต่อนาที และพีเอชของน้ำเสียที่ใช้ คือ พีเอชเท่ากับ 4 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ และพีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 7.98 สำหรับการทดลองนี้ เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะนำน้ำเสียไปกรองผ่านกระดาษกรอง โดยจะทิ้งน้ำที่กรองได้ในครั้งแรกประมาณ 10 มล. แล้วจึงเก็บน้ำที่เหลือทั้งหมด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโครเมียมและปรอทที่เหลืออยู่ภายหลังการเติมถ่านกัมมันต์ ผลของการทดลองมีดังนี้

ก.น้ำเสียสังเคราะห์

ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียม และปรอทของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ ก-13 ถึง ก-15 ในภาคผนวก ก. และแสดงดังรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.5

จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าอัตราการกำจัดโครเมียมและปรอทเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที และมีแนวโน้มของกราฟที่คล้ายคลึงกันสำหรับถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด โดยจะสังเกตุได้จากความชันของกราฟที่มีความชันมาก ที่เวลาสัมผัสนี้จะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมประมาณ 51%, 50% และ 33% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 58%, 55% และ 38% ตามลำดับ เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น อัตราการกำจัดโครเมียมและปรอทของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะลดลง สังเกตุได้จากความชันของกราฟจะลดลง เมื่อเวลาสัมผัสมีค่ามากกว่า 15 นาที จะมีอัตราการกำจัดโครเมียมและปรอทค่อนข้างคงที่ โดยที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 15 นาที ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมประมาณ 73%, 70% และ 53% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 69%, 68% และ 59% ตามลำดับ และที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมประมาณ 79%, 70% และ 51% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 72%, 71% และ 63% ตามลำดับ ดังนั้น เวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการกำจัดโครเมียมและปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าประมาณ 15 นาที และเวลาสัมผัสที่มากกว่า 2 ชั่วโมงน่าจะเพียงพอสำหรับการเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 4.14 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆที่เวลาสัมผัสต่างกัน

Contact time (min)	Carbon A		Carbon B		Carbon C	
	Cr	Hg	Cr	Hg	Cr	Hg
0	0	0	0	0	0	0
5	51.54	58.49	49.88	55.24	32.59	38.47
10	65.33	68.41	63.47	59.66	49.32	58.00
15	**72.90**	**69.16**	**70.28**	**68.02**	**53.07**	**59.10**
30	79.25	72.42	69.76	71.35	51.16	63.65
60	78.09	70.27	70.16	68.50	51.48	66.52
120	79.14	73.67	68.55	68.92	52.60	65.29
150	78.51	70.38	71.62	72.03	56.53	68.41

การที่เลือกเวลาสัมผัสเท่ากับ 15 นาทีเป็นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมแทนที่จะเลือกที่ 5 นาที เนื่องจากที่จุดนี้จะมีการใช้ประโยชน์ของคาร์บอนได้สูงสุด และมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักสูงกว่าที่ 5 นาที

ข. น้ำชะมูลฝอย

ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการกำจัดซีโอดี ปรอท และ โครเมียม ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ ข-4 ถึง ข-6 ในภาคผนวก ข. และแสดงดังในรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.6

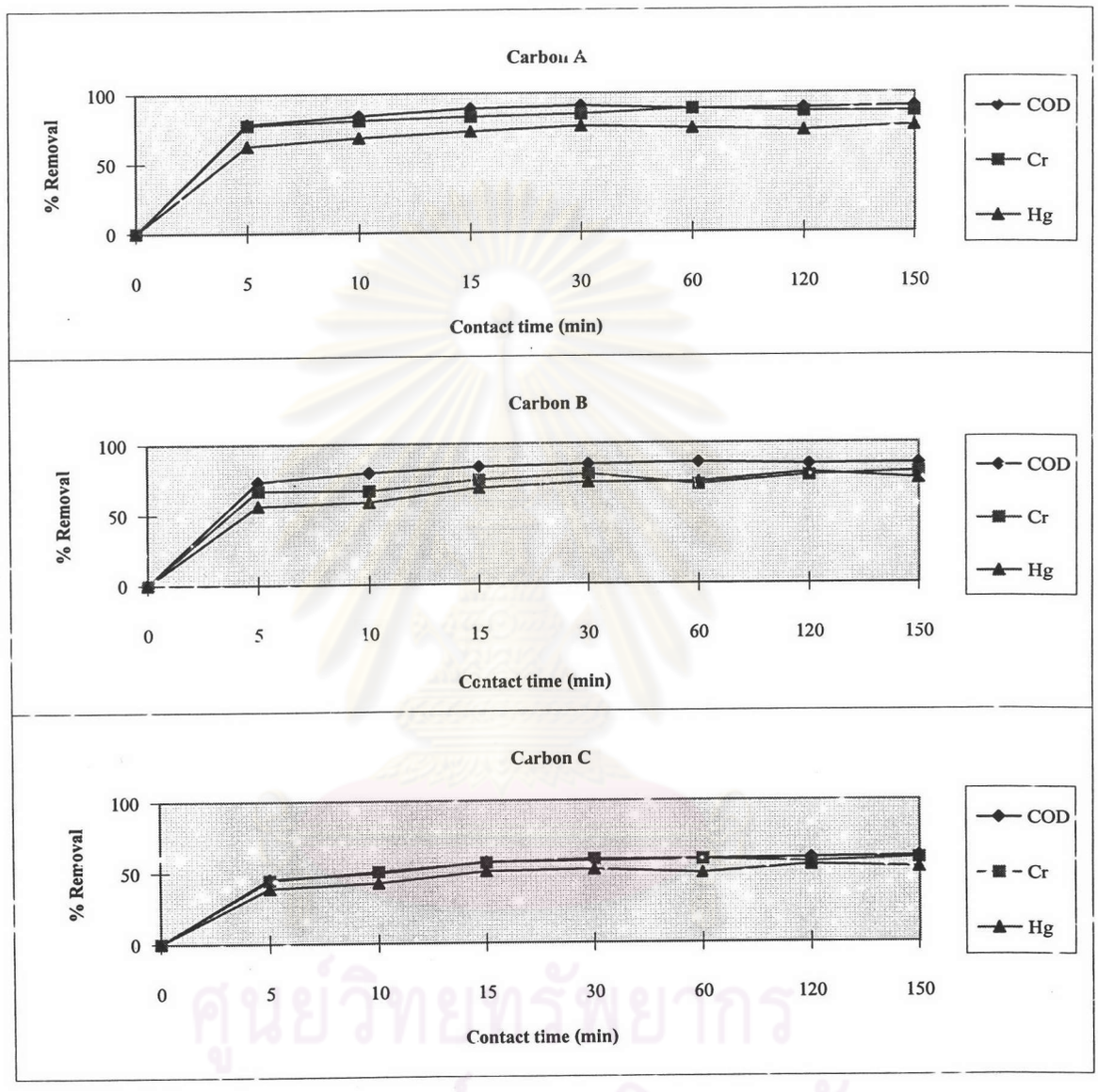
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าอัตราการกำจัดซีโอดี ปรอท และ โครเมียม เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที สังเกตุได้จากความชันของกราฟ และรูปกราฟจะมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันสำหรับถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมประมาณ 77%, 67% และ 44% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 62%, 56% และ 34% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีประมาณ 78%, 73% และ 45% ตามลำดับ เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้น การกำจัดซีโอดี ปรอท และ โครเมียม ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะลดลง โดยสังเกตุจากความชันของกราฟที่ลดลง พบว่าที่เวลาสัมผัสมากกว่า 30 นาที การกำจัดซีโอดี ปรอท และ โครเมียม ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3

ชนิดจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 15 นาที ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมประมาณ 83%, 74% และ 56% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 72%, 68% และ 50% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีประมาณ 89%, 83% และ 57% ตามลำดับ และเมื่อเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมประมาณ 85%, 78% และ 58% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การกำจัดปรอทประมาณ 76%, 72% และ 51% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีประมาณ 91%, 85% และ 57% ตามลำดับ ดังนั้น เวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการกำจัดซีโอดี ปรอท และ โครเมียม ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าประมาณ 15 นาที และเวลาสัมผัสที่มากกว่า 2 ชั่วโมง น่าจะเพียงพอสำหรับการเข้าสู่สมดุลการดูดติดผิวของซีโอดี โครเมียมและปรอท ซึ่งเวลาสัมผัสที่ได้เท่ากับผลการทดลองในน้ำสังเคราะห์

เมื่อนำผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียมและปรอท จากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มาทำการเปรียบเทียบกับการทดลองที่ได้จากน้ำชะมูลฝอย ผลของการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 พบว่า ความสามารถในการกำจัดปรอทและโครเมียมของถ่านกัมมันต์ A และ B จากน้ำชะมูลฝอยสูงกว่าน้ำเสียสังเคราะห์เล็กน้อย ส่วนถ่านกัมมันต์C นั้นจะกำจัดโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอยได้มากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ แต่การกำจัดปรอทจะตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากพีเอชที่ใช้ของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิดต่างกันและน้ำเสียที่ใช้ก็แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวและเวลาสัมผัสในการกำจัดโครเมียมและปรอท แตกต่างกันไป

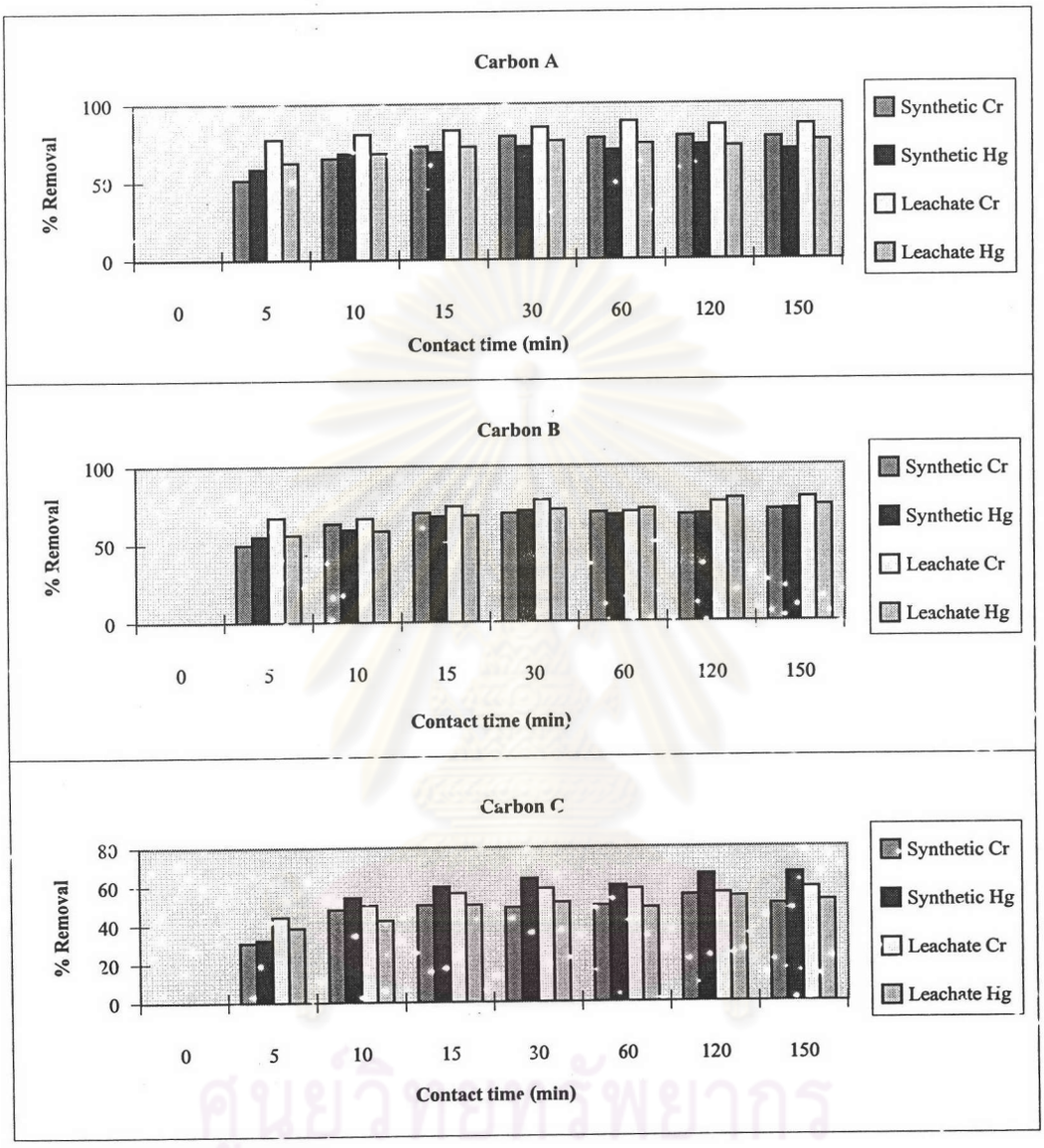
ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีและโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เวลาสัมผัสต่างกัน

Contact time (min)	Carbon A			Carbon B			Carbon C		
	COD	Cr	Hg	COD	Cr	Hg	COD	Cr	Hg
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	78.33	77.60	62.57	73.38	67.26	56.18	45.12	44.38	38.61
10	84.17	80.86	68.34	79.62	66.74	58.65	49.28	50.25	42.34
15	**89.17**	**83.10**	**72.42**	**83.54**	**74.25**	**68.37**	**56.69**	**56.32**	**50.17**
30	90.83	84.93	76.22	85.12	78.11	72.14	57.44	58.51	51.45
60	88.33	88.59	74.41	86.23	70.42	72.28	58.36	58.44	48.56
120	88.83	86.15	72.76	84.77	76.58	78.82	59.25	56.16	54.24
150	90.17	86.56	76.31	85.31	79.36	74.24	60.08	58.84	52.22



รูปที่ 4.15 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดติดผิวปรอท โครเมียม และ ซีโอดี จากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดติดผิวโครเมียม และปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิวปรอทและโครเมียม

ในการทดลองนี้จะใช้ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ในการศึกษาผลของการทดลอง เนื่องจากไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชเหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบน้ำเสีย สารดูดติดผิวที่ทำการศึกษาคือ ถ่านกัมมันต์ A, B และ C ความเข้มข้นของโครเมียมและปรอทเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 5 มก./ล. เวลาสัมผัสที่ใช้ 3 ชั่วโมง ส่วนพีเอชของน้ำสังเคราะห์น้ำสังเคราะห์เท่ากับ 4 พีเอชของน้ำชะมูลฝอยคือพีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยซึ่งในการทดลองนี้เท่ากับ 7.88 และปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะมีค่าตั้งแต่ 0.5 ก./ล. ถึง 25 ก./ล.

ก.น้ำสังเคราะห์

ผลของการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของโครเมียมและปรอท แสดงดังในตารางที่ ก-16 ถึง ก-18 ของภาคผนวก ก และ แสดงดังในรูปที่ 4.17 และ 4.18

จากผลการทดลองดังรูปที่4.17และ4.18 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการดูดติดโครเมียมและปรอท และความจุของการดูดติดผิว (C) ดังนี้

<u>ถ่านกัมมันต์ A</u> ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้น 5.0 มก./ล.

$\text{Log } x/m = 0.82 \text{ Log } C_e + \text{Log } 0.058$

$C = 3.99$ มก.ปรอท/ก.คาร์บอน

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 5.0 มก./ล.

$\text{Log } x/m = 1.21 \text{ Log } C_e + \text{Log } 0.276$

$C = 6.57$ มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน

<u>ถ่านกัมมันต์ B</u> ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้น 5.0 มก./ล.

$\text{Log } x/m = 0.78 \text{ Log } C_e + \text{Log } 0.035$

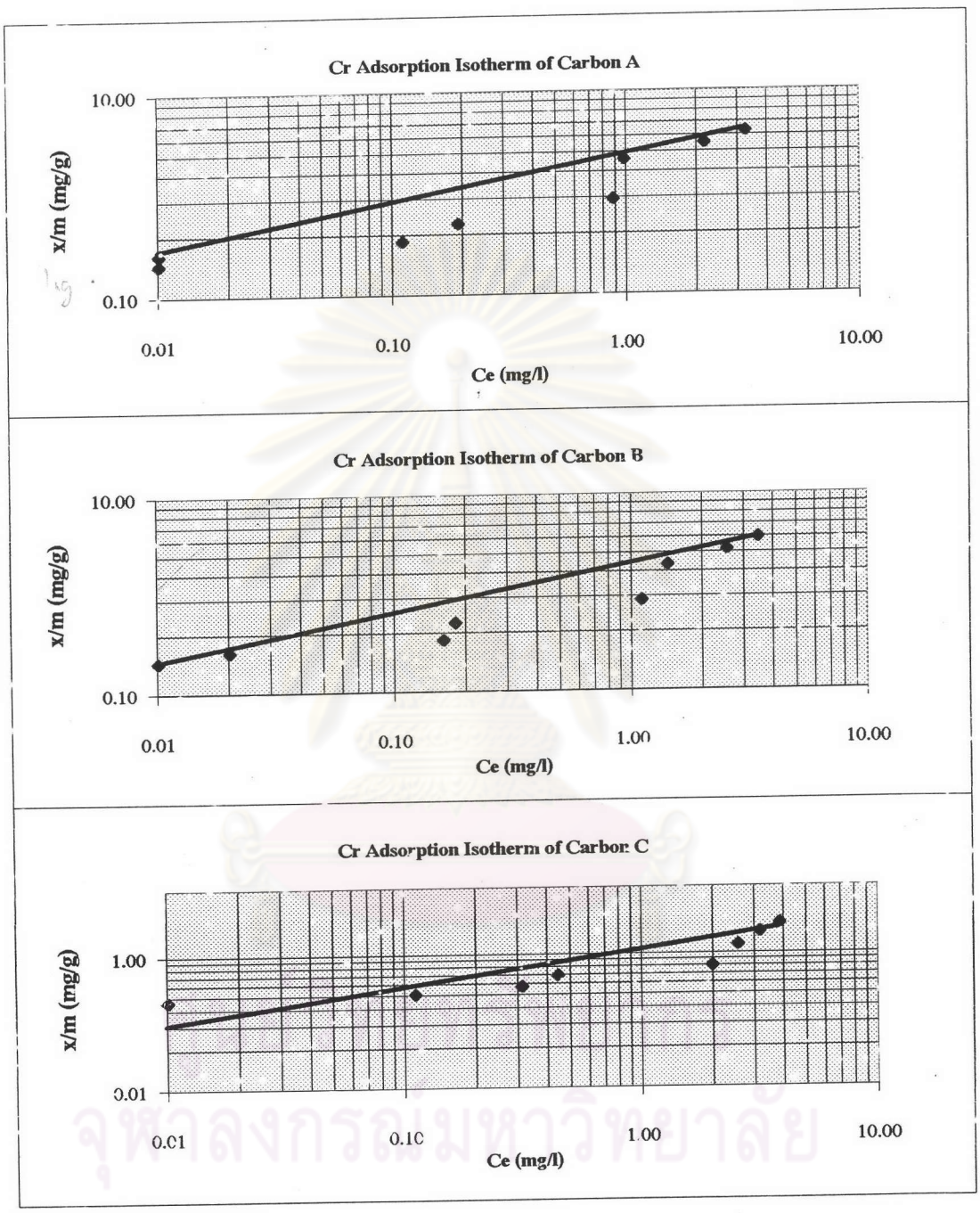
$C = 3.78$ มก.ปรอท/ก.คาร์บอน

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 5.0 มก./ล.

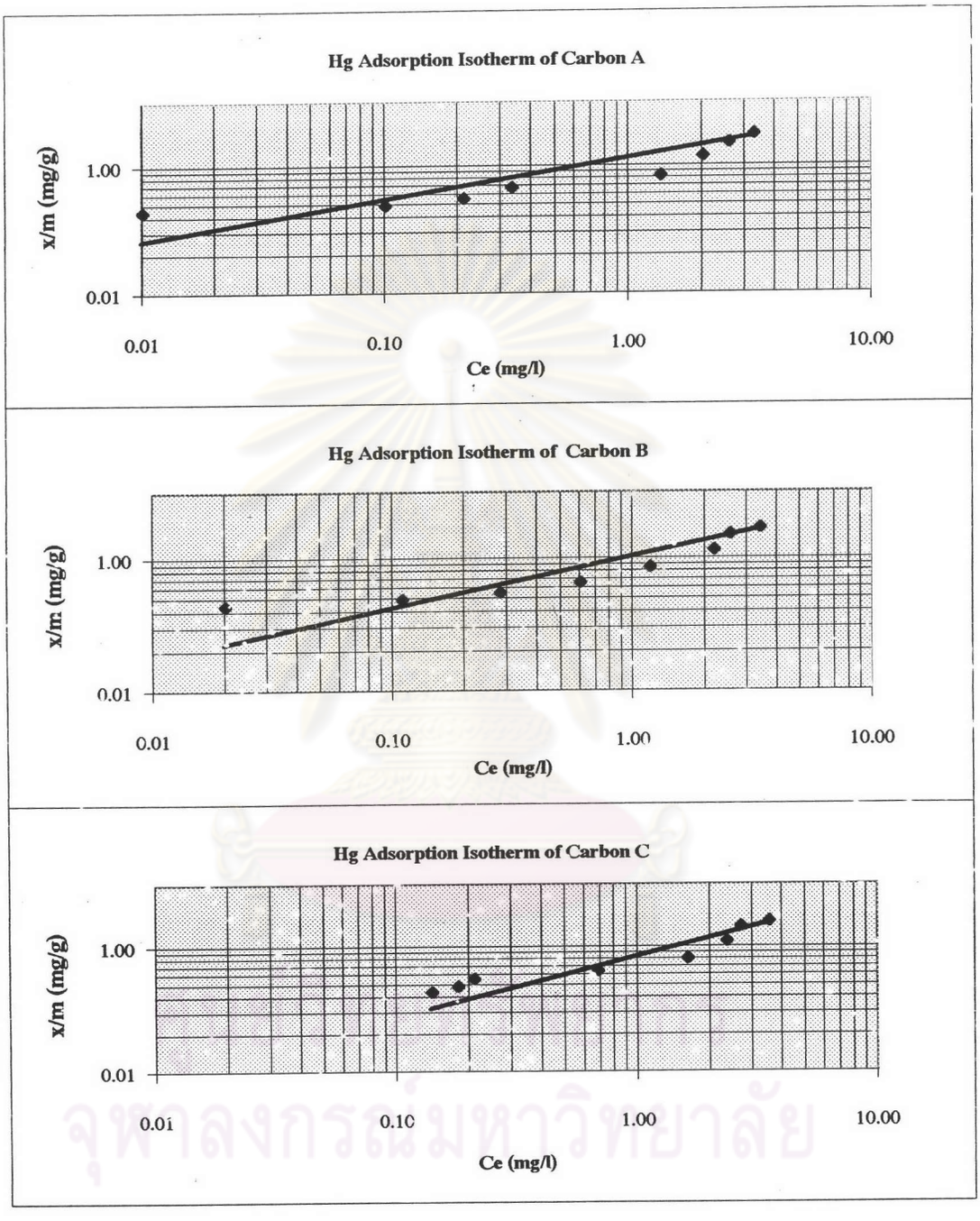
$\text{Log } x/m = 0.98 \text{ Log } C_e + \text{Log } 0.201$

$C = 5.30$ มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการดูดติดผิวโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 4.18 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการดูดติดผิวปรอท จากน้ำเสียสังเคราะห์

<u>ถ่านกัมมันต์ C</u> ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้น 5.0 มก./ล

$\text{Log } x/m = 0.67 \text{ Log } C_e + \text{Log } 0.008$

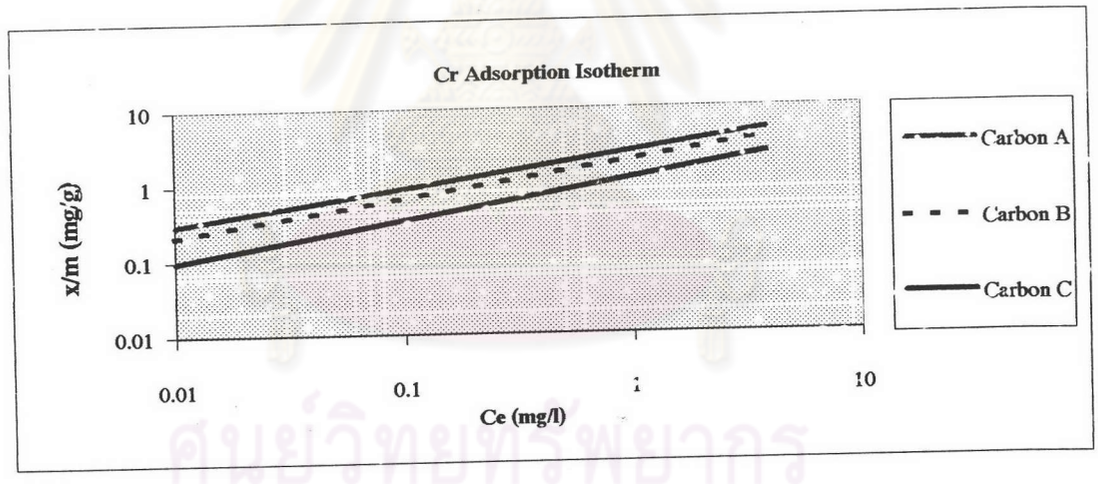
$C = 3.22$ มก.ปรอท/ก.คาร์บอน

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 5.0 มก./ล.

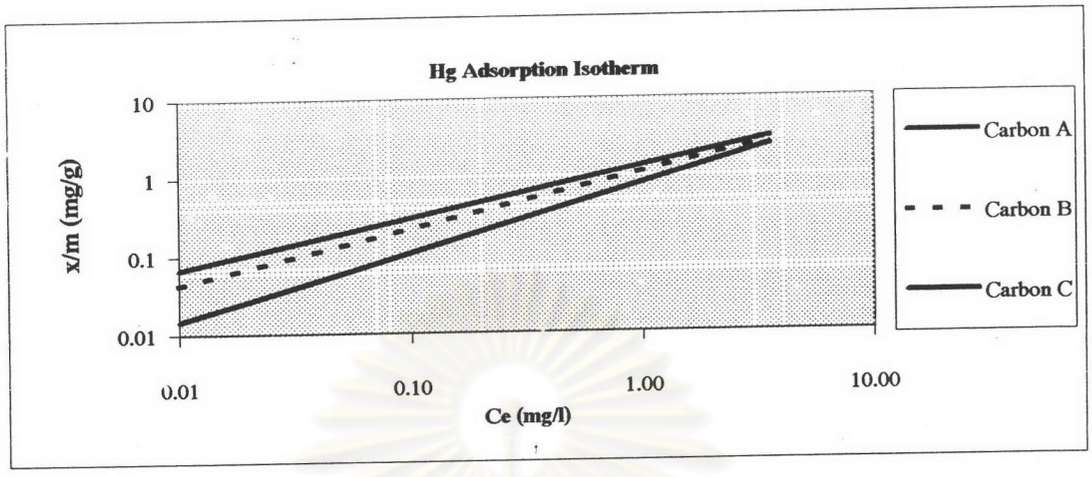
$\text{Log } x/m = 0.59 \text{ Log } C_e + \text{Log } 0.088$

$C = 3.16$ มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชในการดูดติดผิวของปรอทและโครเมียม จากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบขีดความสามารถในการกำจัดปรอทและโครเมียม ผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 และ รูปที่4.20 และตารางที่ 4.7 แสดงผลสรุปของค่าคงที่การดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช และความจุของการดูดติดผิว ที่ได้จากการทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของการทดลองนี้



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดติดผิวโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการดูดติดผิวปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่การดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชและความชุของการดูดติดผิวปรอทและโครเมียมจากการทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

	Hg			Cr		
ชนิดของถ่านกัมมันต์	K (mg/g)	1/n (l/g)	C (mg/g)	K (mg/g)	1/n (l/g)	C (mg/g)
Carbon A	0.058	0.82	3.99	0.276	1.21	6.57
Carbon B	0.035	0.78	3.78	0.201	0.98	5.30
Carbon C	0.008	0.67	3.22	0.088	0.59	3.16

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความชัน 1/n ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการกำจัดโครเมียม มีค่าเท่ากับ 1.21, 0.98 และ 0.59 ตามลำดับ ซึ่งเส้นกราฟไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ A จะมีความชันสูงสุด แสดงถึงขีดความสามารถในการดูดติดผิวโครเมียมได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ B และ C เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เท่ากันในการดูดติดผิวโครเมียม ค่าความชัน 1/n ที่มากแสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของการดูดติดผิวที่ความเข้มข้นโครเมียมสูงจะมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นโครเมียมต่ำ ส่วนค่าคงที่ K แสดงถึง

ความหนาแน่นของการดูดติดผิวเมื่อ C_e มีค่าเท่ากับ 1 โดยที่ถ้าค่า K มากขึ้นเท่าไร ก็จะส่งผลให้ความหนาแน่นของการดูดติดผิวมากขึ้น

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความชัน 1/n ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ มีค่าเท่ากับ 0.82, 0.78 และ 0.67 ตามลำดับ ซึ่งเส้นกราฟไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ A จะมีความชันสูงสุดแสดงถึงขีดความสามารถในการดูดติดผิวปรอทได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อแทนค่าความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้น (Co) เท่ากับ 5.0 มก./ล. ลงใน Ce ของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ จะได้ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุด (Ultimate Capacity) หรือ $(x/m)_{Co}$ ของปรอทและโครเมียมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่า ดังนี้ ความจุการดูดติดผิวปรอท คือ 3.99, 3.78 และ 3.22 มก.ปรอท/ก.คาร์บอน ส่วนความจุการดูดติดผิวโครเมียม คือ 6.57, 5.30 และ 3.16 มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน จากค่าความจุการดูดติดผิวสูงสุดสามารถที่จะหาปริมาณน้ำที่บำบัดได้ต่อกรัมของคาร์บอนที่ใช้ โดยแทนค่าต่างๆลงในสมการที่4.5

$$V_{Co} = [(x/m)_{Co} \times (V)]/Co \qquad \text{.....(4.5)}$$

โดยที่ V_{Co} = ปริมาณน้ำที่บำบัดได้ต่อกรัมคาร์บอนที่ใช้ (มล.)

$(x/m)_{Co}$ = ความจุของการดูดติดผิวสูงสุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)

V = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบไอโซเทอม (มล.)

Co = ความเข้มข้นเริ่มต้นของปรอทและโครเมียม (มก./ล.)

เมื่อแทนค่าต่างๆลงในสมการที่ 4.5 จะได้ปริมาณน้ำที่สามารถกำจัดปรอทและโครเมียมต่อกรัมของคาร์บอนที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่สามารถกำจัดปรอทและโครเมียมต่อกรัมของคาร์บอนชนิดต่างๆที่ใช้

ชนิดของถ่านกัมมันต์	V_{Co} for Hg Removal (ml.)	V_{Co} for Cr Removal (ml.)
Carbon A	83.20	126.31
Carbon B	78.73	101.87
Carbon C	67.17	60.69

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของปรอทและโครเมียม 5.0 มก./ล. ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ทดสอบไอโซเทอม 100 มล. ถ่านกัมมันต์ A สามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปรอทและโครเมียมปนอยู่ได้มากที่สุด และถ่านกัมมันต์ C บำบัดน้ำได้น้อยที่สุด เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากัน โดยในการกำจัดปรอท ถ่านกัมมันต์ A สามารถบำบัดน้ำได้ 83.20 มล. ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ C บำบัดน้ำได้ 67.17 มล. ซึ่งจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ C ปริมาณ 1.24 กรัม จึงจะสามารถบำบัดน้ำได้เท่ากับถ่านกัมมันต์ A ส่วนการกำจัดโครเมียม ถ่านกัมมันต์ A สามารถบำบัดน้ำได้ 126.31 มล. ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ C บำบัดน้ำได้ 60.69 มล. ซึ่งจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ C ปริมาณ 2.08 กรัม จึงจะสามารถบำบัดน้ำได้เท่ากับถ่านกัมมันต์ A ดังนั้นถ่านกัมมันต์ A จึงเป็นถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดในการกำจัดปรอทและโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีปริมาณที่เท่ากัน

ส่วนสาเหตุที่ถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีค่าความจุของการดูดติดผิวที่แตกต่างกันนั้น เนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น และจากสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชที่ได้นี้ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่จะใช้ในการกำจัดโครเมียมและปรอท จากน้ำที่มีลักษณะคล้ายกับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้

ข.น้ำชะมูลฝอย

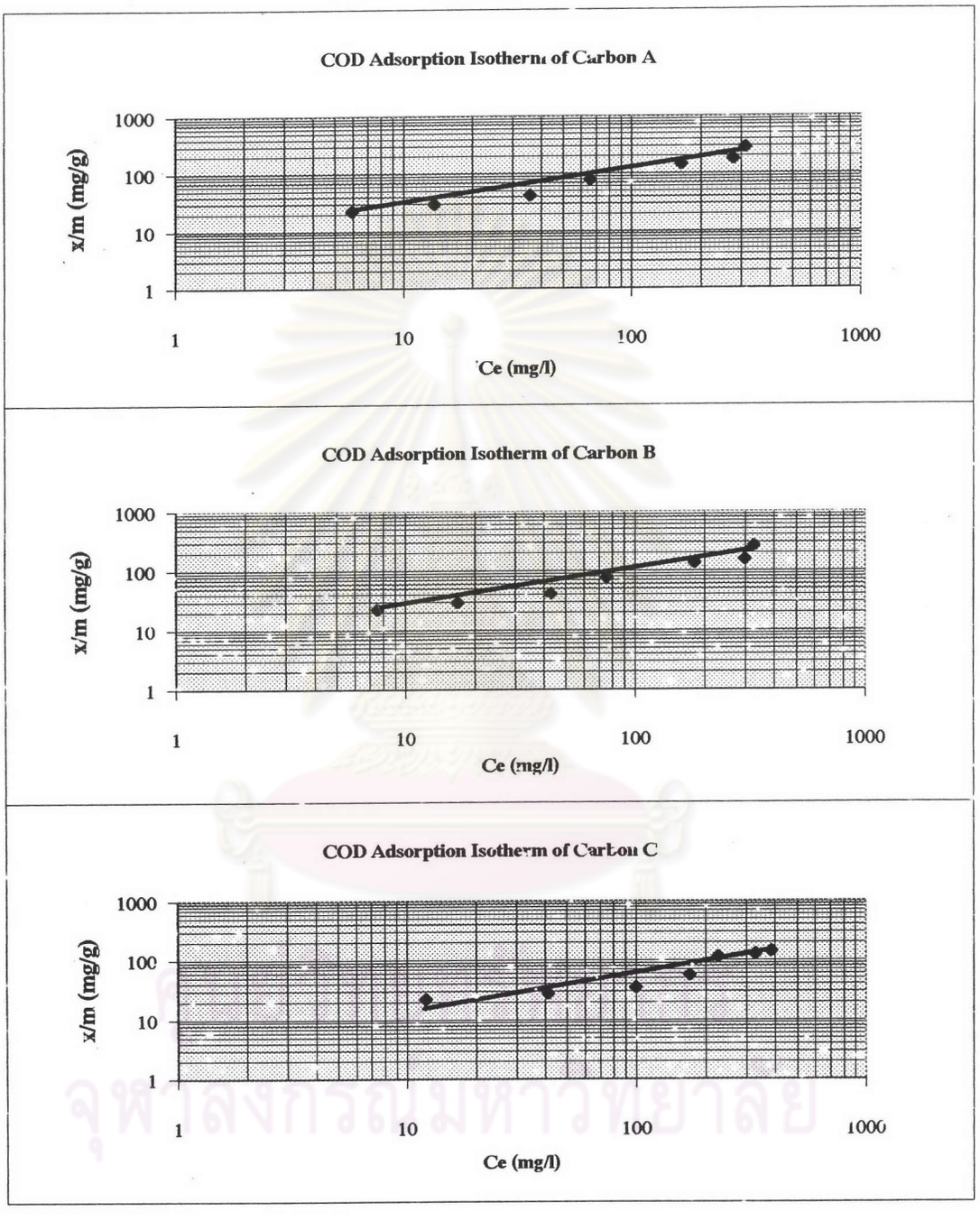
ผลของการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ต่างๆในการดูดติดผิวของซีโอดี โครเมียม และปรอท จากน้ำชะมูลฝอย แสดงดังในตารางที่ ข-7 ถึง ข-9 ของภาคผนวก ข. และแสดงได้ดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.23

จากผลของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.21 ถึง 4.23 จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการกำจัดซีโอดี ปรอท และ โครเมียม และ ความจุของการดูดติดผิว (C) ดังนี้

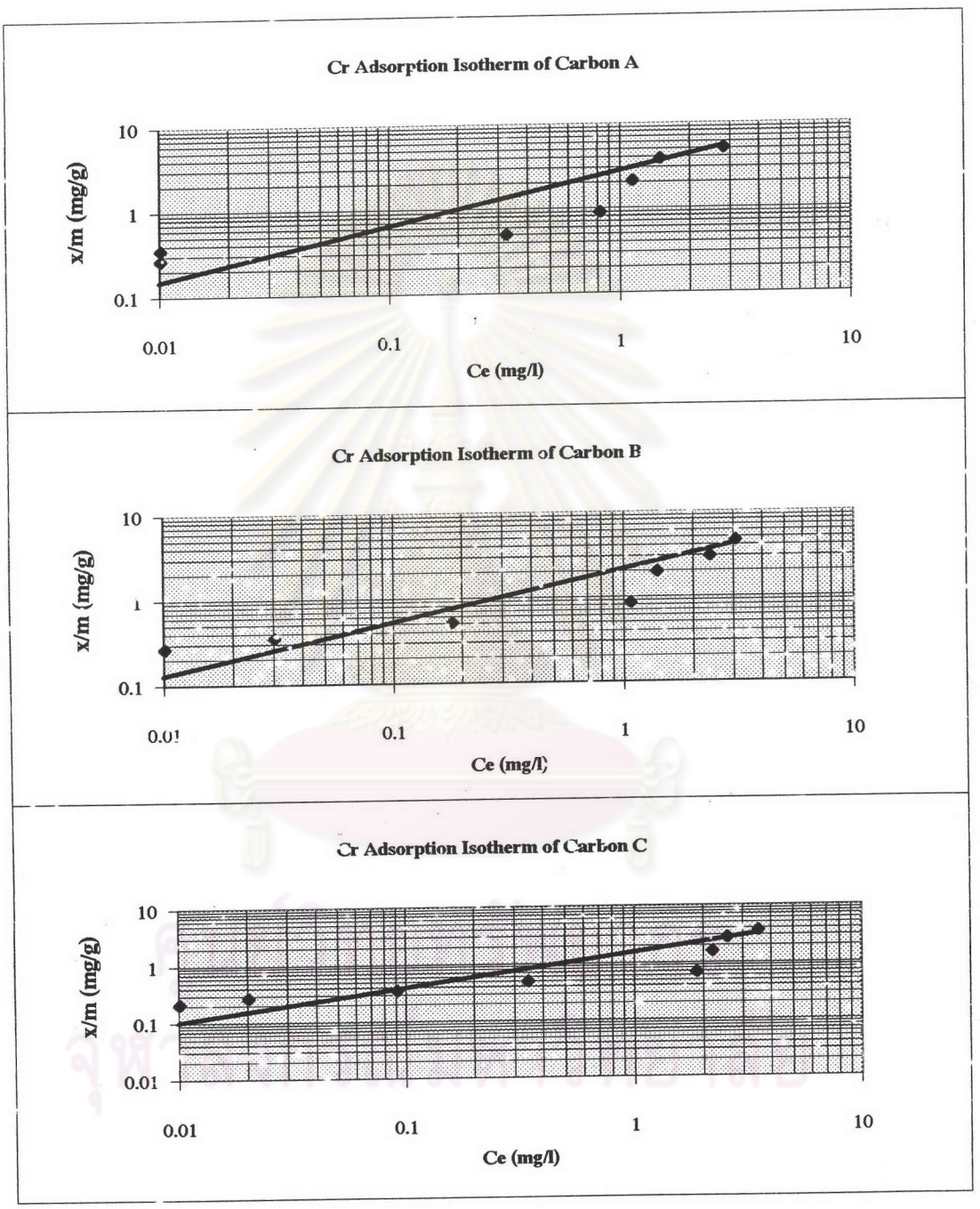
<u>ถ่านกัมมันต์ A</u> ความเข้มข้น ซีโอดีเริ่มต้น เท่ากับ 500 มก/ล.

$$\text{Log } x/m = 0.75 \text{ Log } Ce + \text{Log } 19.264$$

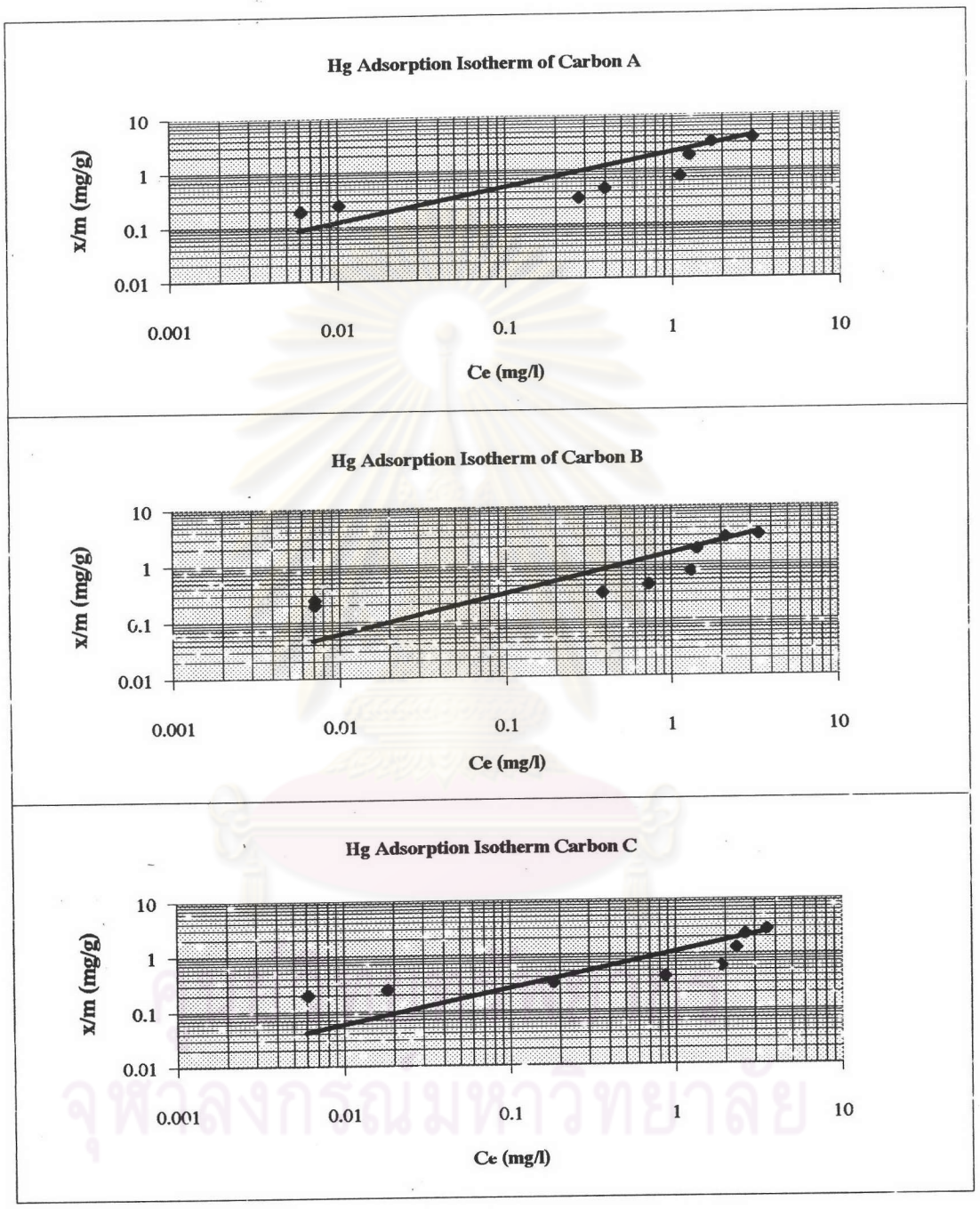
$$C = 358.91 \text{ มก.ซีโอดี/ก.คาร์บอน}$$



รูปที่ 4.21 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการดูดติดผิวซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.22 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการดูดติดผิวโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.23 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการดูดติดผิวปรอทจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก/ล

Log x/m = 1.29 Log Ce + Log 0.078

C = 6.35 มก ปรอท/ก.คาร์บอน

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล.

Log x/m = 1.86 Log Ce + Log 0.128

C = 10 มก.โครเมียม /ก.คาร์บอน

<u>ถ่านกัมมันต์ B</u> ความเข้มข้นซีโอดี เริ่มต้นเท่ากับ 500 มก./ล

Log x/m = 0.63 Log Ce + Log 19.027

C = 304.33 มก.ซีโอดี/ก.คาร์บอน

ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล.

Log x/m = 0.99 Log Ce + Log 0.039

C = 4.85 มก.ปรอท/ก.คาร์บอน

ความเข้มข้นโครเมียม เริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล.

Log x/m = 1.32 Log Ce + Log 0.116

C = 7.13 มก.โครเมียม / ก.คาร์บอน

<u>ถ่านกัมมันต์ C</u> ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 500 มก./ล.

Log x/m = 0.36 Log Ce + Log 11.267

C = 174.30 มก.ซีโอดี /ก.คาร์บอน

ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล.

Log x/m = 0.68 Log Ce + Log 0.037

C = 3.34 มก./ปรอท /ก.คาร์บอน

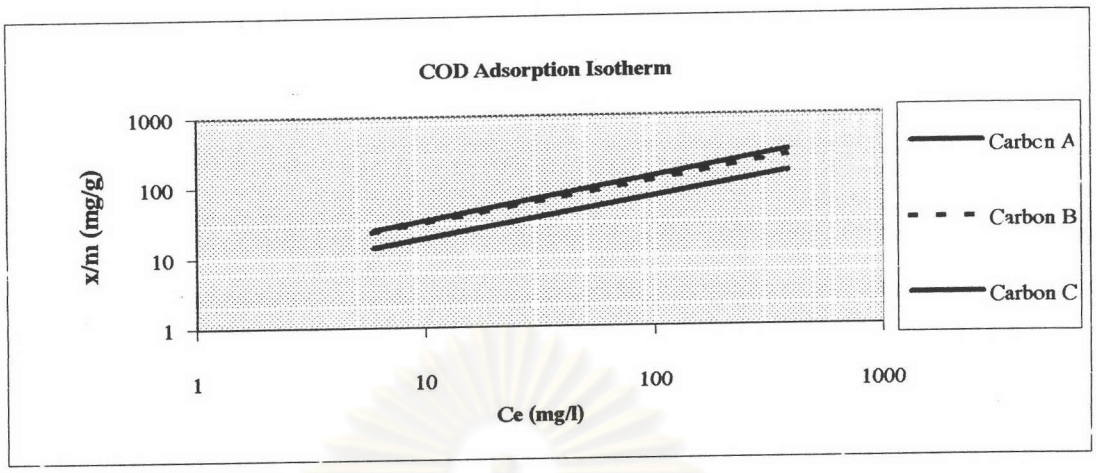
ความเข้มข้นโครเมียม เริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล.

Log x/m = 0.88 Log Ce + Log 0.0916

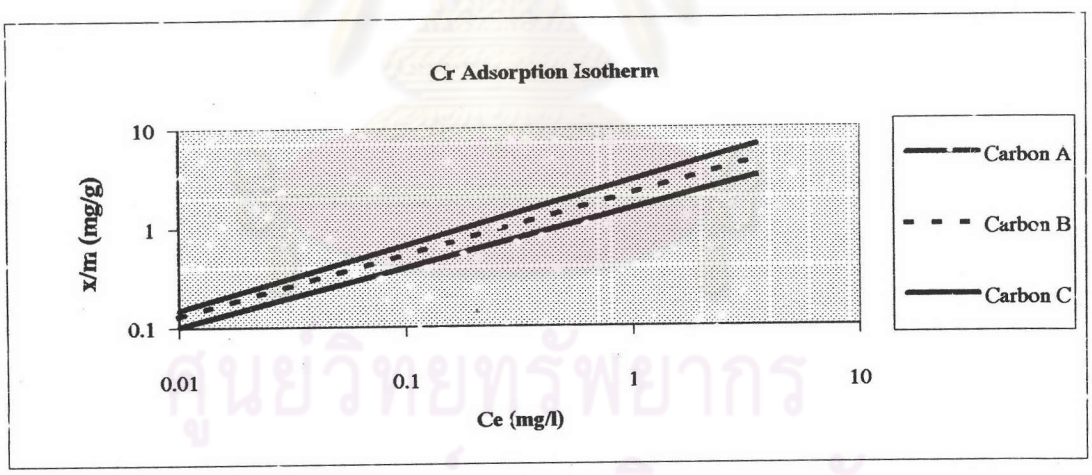
C = 4.76 มก.โครเมียม/ ก.คาร์บอน

เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการดูดติดผิวซีโอดี ปรอท และ โครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย มาทำการเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบขีดความสามารถในการดูดติดผิวซีโอดี ปรอท และ โครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย ผลของการเปรียบเทียบแสดงดังในรูปที่ 4.24 ถึง 4.26 และตารางที่ 4.9 แสดงผลสรุปค่าคงที่ของการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช และความจุของการดูดติดผิว จากการทำการทดสอบไอโซเทอมของการทดลองนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

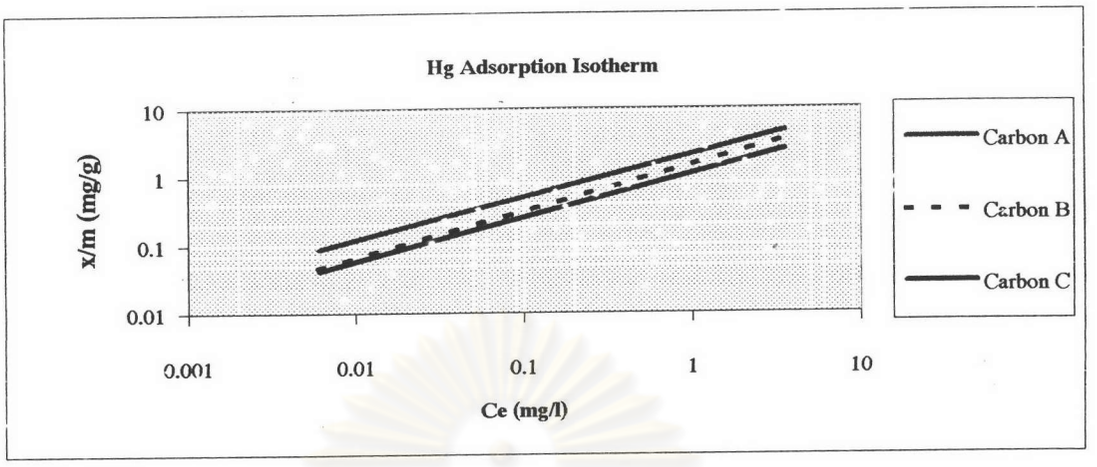


รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการดูดติดผิวซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการดูดติดผิวโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆในการดูดติดผิวปรอท จากน้ำชะมูลฝอย

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่การดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช และความจุของการดูดติดผิวซีโอดี ปรอท และโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

	COD			Hg			Cr		
ชนิดของถ่านกัมมันต์	1/n	K	C	1/n	K	C	1/n	K	C
Carbon A	0.75	19.264	358.91	1.29	0.078	6.35	1.86	0.128	10
Carbon B	0.63	19.027	304.33	0.99	0.039	4.85	1.32	0.116	7.13
Carbon C	0.36	11.267	174.30	0.68	0.037	3.34	0.88	0.092	4.76

Unit: K in mg/g; 1/n in l/g; C in mg/g

เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.9 พบว่าค่าของความชัน 1/n ของสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการกำจัดซีโอดี ของถ่านกัมมันต์ ทั้ง 3 ชนิด มีค่าเท่ากับ 0.75, 0.63 และ 0.36 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบเส้นกราฟไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ A จะมีความชันสูงสุด แสดงถึงขีดความสามารถในการดูดติดผิว ซีโอดี ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ ชนิดอื่น ส่วนค่า K เป็นค่าความหนาแน่นของการดูดติดผิว เมื่อ Ce = 1 ยิ่งค่า K มีค่ามากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นการดูดติดผิวของซีโอดีบนถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับความชันของสมการไอโซ

เทอม ความชันของกราฟที่ชันมากจะแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของการดูดติดผิวที่ความเข้มข้นซีโอดีสูง จะมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นซีโอดีต่ำ ความจุการดูดติดผิวสูงสุดของซีโอดีที่ได้จากกราฟ เมื่อความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 500 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด คือ 358.91, 304.33 และ 174.30 มก.ซีโอดี/ก.คาร์บอน

เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดผิวโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.9 พบว่า ความชัน 1/n ของสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการดูดติดผิวโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ มีค่าเท่ากับ 1.86, 1.32 และ 0.88 ตามลำดับ จะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ A มีความชันสูงสุด ซึ่งจะมีขีดความสามารถในการดูดติดผิวโครเมียมได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆ เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากันในการดูดติดผิวโครเมียม และความจุการดูดติดผิวสูงสุดของโครเมียมที่ได้จากกราฟ เมื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด คือ 10, 7.13 และ 4.76 มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน

เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดผิวปรอทดังรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.9 พบว่าความชัน 1/n ของสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชในการดูดติดผิวปรอทของถ่านกัมมันต์ ทั้ง 3 ชนิด มีค่าเท่ากับ 1.29 ,0.99 และ 0.68 ตามลำดับ ความชันของเส้นกราฟไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ A มีความชันสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ A มีขีดความสามารถในการดูดติดผิวปรอทสูงที่สุด และความจุการดูดติดผิวสูงสุดของปรอทที่ได้จากกราฟ เมื่อความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด คือ 6.35, 4.85 และ 3.34 มก. ปรอท/ก. คาร์บอน

จากค่าความจุการดูดติดผิวสูงสุดของซีโอดี ปรอท และโครเมียม สามารถหาปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่สามารถกำจัด ซีโอดี ปรอทและโครเมียมต่อกรัมของคาร์บอนที่ใช้ โดยแทนค่าต่างๆลงในสมการที่ 4.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่สามารถกำจัด ซีโอดี ปรอทและโครเมียมต่อกรัมของคาร์บอนชนิดต่างๆที่ใช้

ชนิดของถ่านกัมมันต์	V_{Co} for COD Removal	V_{Co} for Hg Removal	V_{Co} for Cr Removal
Carbon A	79.25 ml.	130.60 ml.	188.32 ml.
Carbon B	67.20 ml.	99.79 ml.	134.18 ml.
Carbon C	38.49 ml.	68.72 ml.	89.72 ml.

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของปรอทและโครเมียม 5.0 มก./ล. ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ทดสอบไอโซเทอม 100 มล. ถ่านกัมมันต์ A สามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีปรอทและโครเมียมปนอยู่ได้มากที่สุด และถ่านกัมมันต์ C บำบัดน้ำได้น้อยที่สุด เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากัน โดยในการกำจัดปรอท ถ่านกัมมันต์ A สามารถบำบัดน้ำได้ 130.60 มล. ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ C บำบัดน้ำได้ 68.72 มล. ซึ่งจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ C ปริมาณ 1.9 กรัม จึงจะสามารถบำบัดน้ำได้เท่ากับถ่านกัมมันต์ A ส่วนการกำจัดโครเมียม ถ่านกัมมันต์ A สามารถบำบัดน้ำได้ 188.32 มล. ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ C บำบัดน้ำได้ 89.72 มล. ซึ่งจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ C ปริมาณ 2.1 กรัม จึงจะสามารถบำบัดน้ำได้เท่ากับถ่านกัมมันต์ A ดังนั้นถ่านกัมมันต์ A จึงเป็นถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดในการกำจัดปรอทและโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีปริมาณที่เท่ากัน

จากการทดลองหาไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ในการกำจัดปรอท และโครเมียม จากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะมูลฝอย พบว่าถ่านกัมมันต์ A มีขีดความสามารถสูงที่สุด ดังนั้นจะเลือกถ่านกัมมันต์ A เพื่อนำไปใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยพีเอชที่เหมาะสมของการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 4 และพีเอชของน้ำชะมูลฝอย คือ พีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยดิบ

4.2 การทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง

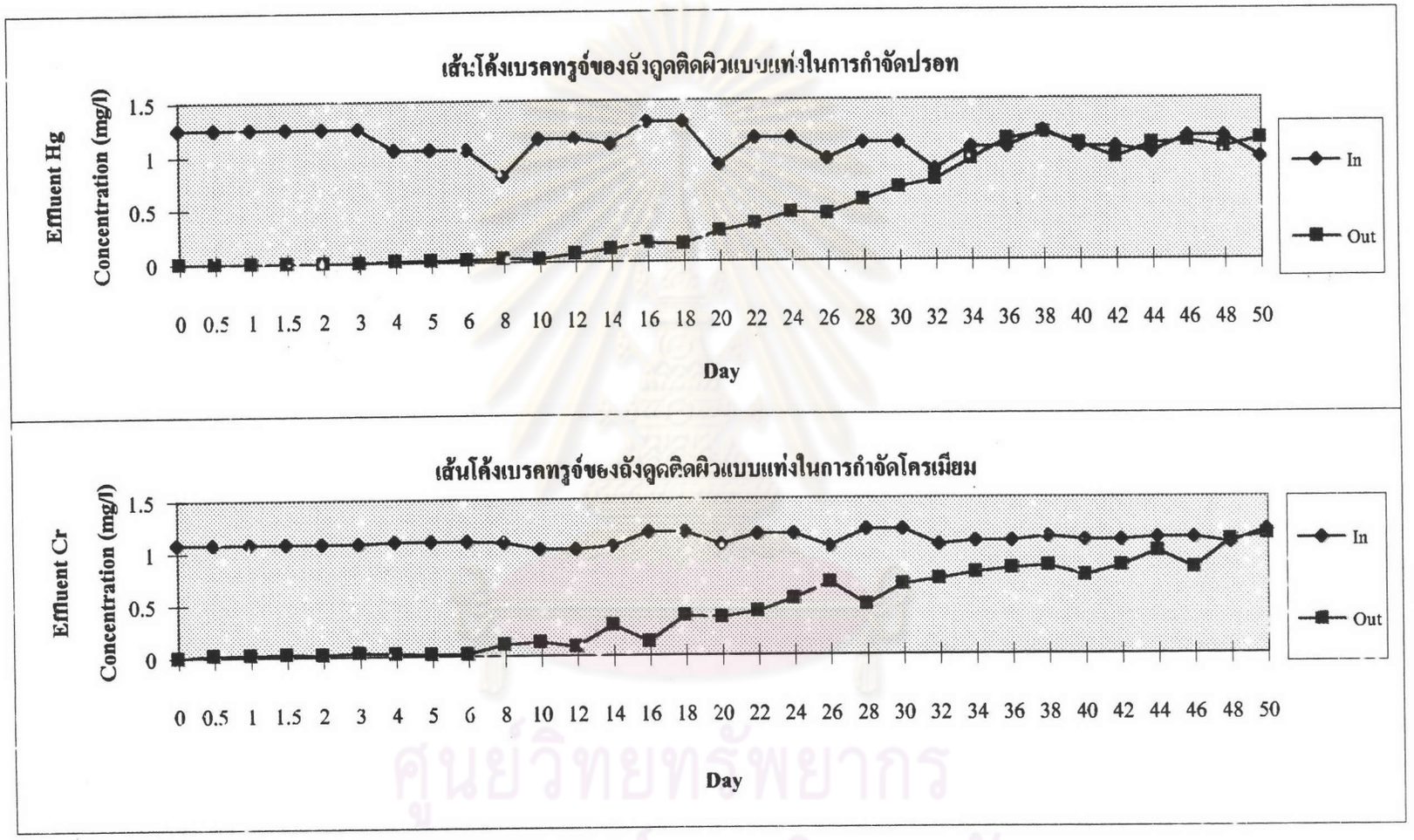
ในการทดลองนี้จะใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งซึ่งมีการป้อนน้ำเสียแบบไหลลง (Down flow) สารดูดติดผิวที่ใช้คือ ถ่านกัมมันต์ A ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่ให้ผลดีที่สุดในการกำจัดซีโอดี ปรอท และ โครเมียม จากการทดลองแบบแบตช์ ปริมาณของถ่านกัมมันต์ ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 197.42 กรัม ซึ่งจะมีความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ในถังดูดติดผิวแบบแท่งเท่ากับ 30 ซม. ภาระปริมาณน้ำเท่ากับ 0.6 $ม^3/ม^2$-ชม. ทำให้มีเวลาสัมผัสในถังดูดติดผิวแบบแท่งเท่ากับ 30 นาที น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดคือ น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งจะมีปริมาณ ของปรอทและโครเมียม ที่ใช้ทดลอง 2 ค่า คือ 1.0 มก./ล. และ 5.0 มก./ล. พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4 ส่วนน้ำชะมูลฝอยนั้นจะใช้พีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยดิบ ปริมาณของปรอทและโครเมียมในน้ำชะมูลฝอยจะถูกควบคุมให้มีค่าเท่ากับ 5.0 มก./ล. และซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยจะถูกควบคุมให้มีค่าเท่ากับ 500 มก./ล. เพื่อไม่ให้น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ทดลองมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก ขั้นตอนการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบแท่ง

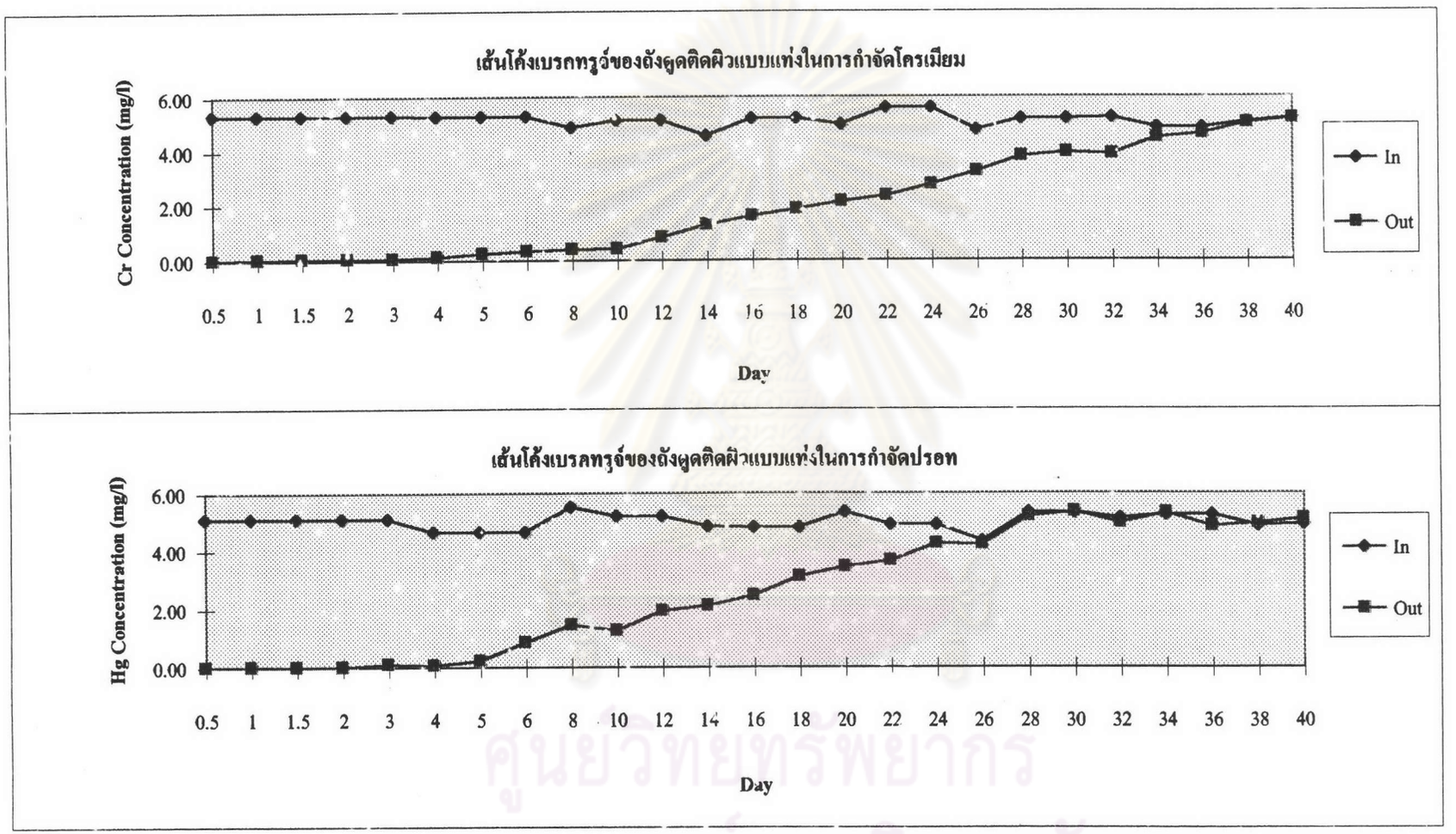
Column	Waste Type	Hg conc. (mg/l)	Cr conc. (mg/l)	Hydraulic loading (m/h)
1	Synthetic	1.0	1.0	0.6
2	Synthetic	5.0	5.0	0.6
3	Leachate	5.0	5.0	0.6

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจะเก็บที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ หาปริมาณของปรอทและโครเมียมสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ และสำหรับน้ำชะมูลฝอยก่อนที่จะวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก จะต้องทำการย่อย (Digestion) สารอินทรีย์ก่อน และจะวัดค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยด้วย การทดลองจะทำจนกว่าจะเกิดการเบรคทรูจ์เท่ากับ 100%ของความเข้มข้นปรอทและโครเมียมในน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิว ในการทดลองเมื่อเกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของชั้นสารดูดติดผิว จะทำการล้างผิวหน้าของสารดูดติดผิวโดยการกวน แล้วดูดน้ำที่มีความขุ่นออก ผลของการทดลองแสดงในตารางที่ ค-1 ถึง ค-3 ของภาคผนวก ค. และแสดงดังรูปที่ 4.27 ถึง 4.29

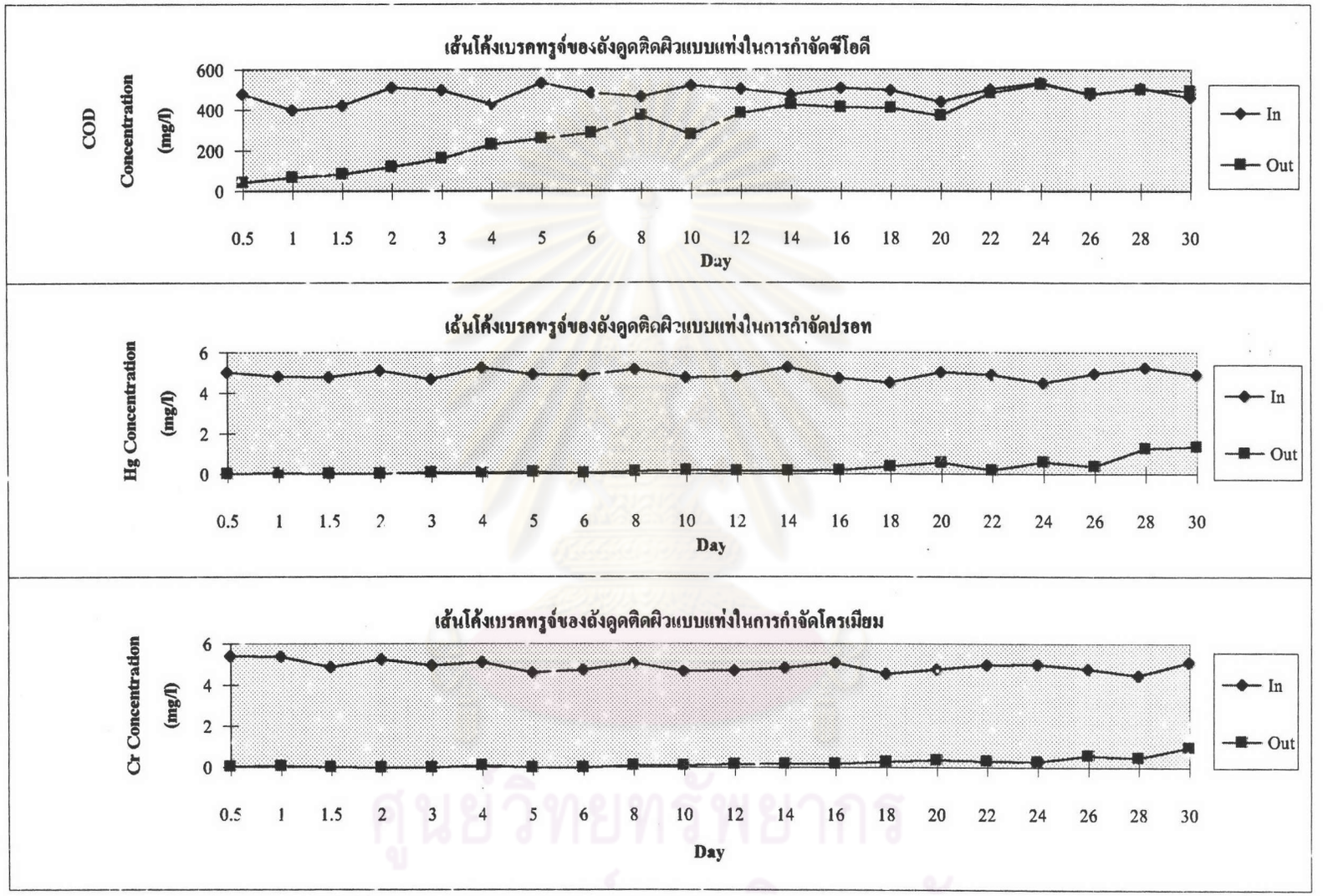
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.27 ผลการทดลองของถังดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดโครเมียมและปรอทของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นปรอทและโครเมียมเท่ากับ 1.0 มก./ล.



รูปที่ 4.28 ผลการทดลองของถังดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดโครเมียมและปรอท ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นปรอทและโครเมียมเท่ากับ 5.0 มก./ล.



รูปที่ 4.29 ผลการทดลองของถังดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดโครเมียมและปรอทของน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นโครเมียมและปรอทเริ่มต้น 5.0 มก./ล.และซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 500 มก./ล.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.27 ซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ มีความเข้มข้นของโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 มก./ล. จะพบว่าในช่วง 3 วันแรกของการทดลองหรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 21.90 ลิตร (124 BV) ปริมาณของปรอทในน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิว มีค่าเท่ากับ 0 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท เท่ากับ 100% เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการกำจัดปรอทจะลดลง โดยสังเกตุได้จากการที่มีปรอทหลุดรอดออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัด ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจะลดลงเหลือ 50 % เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 204.40 ลิตร (1155 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 28 วัน และจะพบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดปรอทจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งปริมาณของปรอทในน้ำเข้าและน้ำที่ออกจากถังมีค่าเท่ากัน เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 262.80 ลิตร (1485 BV) หรือ มีระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำทั้งสิ้น 36 วัน

ส่วนการกำจัดโครเมียมของถังดูดติดผิวนี้ พบว่าในครึ่งวันแรกของการทดลองหรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 3.65 ลิตร (21 BV) มีปริมาณของโครเมียมในน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิวเท่ากับ 0.02 มก./ล. คิดเป็นประสิทธภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 98% และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดลง เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดจาก 98% เป็น 89% เมื่อเวลาในการบำบัดผ่านไป 8 วัน หรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 58.40 ลิตร (330 BV) และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดลงเหลือ 50% เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัด เท่ากับ 175.20 ลิตร (990 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการบำบัดเท่ากับ 24 วัน และประสิทธิภาพของการกำจัดโครเมียมจะลดลงจนกระทั่งปริมาณของโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำที่ออกจากถังมีค่าเท่ากัน เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 350.40 ลิตร (1980 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเท่ากับ 48 วัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในรูปที่ 4.28 ซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ มีความเข้มข้นของโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล. จะพบว่าในวันแรกของการทดลองหรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 7.30 ลิตร (41 BV) ปริมาณของปรอทในน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิวมีค่าเท่ากับ 0.016 มก./ล. หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทเท่ากับ 99.70% ซึ่งถังดูดติดผิวจะมีประสิทธิภาพมากกว่า 90% จนกระทั่งปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 43.80 ลิตร (247 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 6 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจะลดลงเหลือ 81% เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการกำจัดปรอทจะลดลง โดยสังเกตุได้จากการที่มีปรอทหลุดรอดออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัด ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจะลดลงเหลือ 50 % เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 116.80 ลิตร (660 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 16 วัน และจะพบว่าประสิทธิภาพของ

การกำจัดปรอทจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งปริมาณของปรอทในน้ำเข้าและน้ำที่ออกจากถังมีค่าเท่ากัน เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 219 ลิตร (1237 BV) หรือมีระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำทั้งสิ้น 30 วัน

ส่วนการกำจัดโครเมียมของถังดูดติดผิวในการทดลองนี้ พบว่าในครึ่งวันแรกของการทดลองหรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 3.65 ลิตร (21 BV) มีปริมาณของโครเมียมในน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิวเท่ากับ 0.03 มก./ล. คิดเป็นประสิทธภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 99% และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดลง เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดจาก 99% เป็น 84% เมื่อเวลาในการบำบัดผ่านไป 12 วัน หรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัด เท่ากับ 87.60 ลิตร (495 BV) และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดลงเหลือ 50% เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 175.20 ลิตร (990 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการบำบัดเท่ากับ 22 วัน และประสิทธิภาพของการกำจัดโครเมียมจะลดลงจนกระทั่งปริมาณของโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำที่ออกจากถัง เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 292 ลิตร (1650 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเท่ากับ 40 วัน

จากรูปที่ 4.29 ซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้น้ำชะมูลฝอย ที่มีความเข้มข้นของโครเมียมและปรอทเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 มก./ล. จะพบว่าในช่วงวันแรกของการทดลองหรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 7.30 ลิตร (41 BV) ปริมาณของปรอทในน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิวมีค่าเท่ากับ 0.06 มก./ล. หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท เท่ากับ 98% เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการกำจัดปรอทจะลดลง โดยสังเกตุได้จากการที่มีปรอทหลุดรอดออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัด ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทจะลดลงต่ำกว่า 90% เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 146 ลิตร (825 BV) หรือคิดเป็นเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 20 วัน และจะพบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดปรอทจะลดลง จนกระทั่งมีประสิทธิภาพของการกำจัดปรอทประมาณ 72% เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากับ 219 ลิตร (1237 BV) หรือ มีระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำ 30 วัน การทดลองจะหยุดลงเนื่องจาก เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของชั้นถ่านกัมมันต์ในระหว่างการทดลอง แม้จะทำการล้างผิวหน้าถ่านกัมมันต์แล้วก็ตาม การอุดตันยังคงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการที่น้ำเสียจะไหลผ่านถังดูดติดผิว

ส่วนการกำจัดโครเมียมของถังดูดติดผิวนี้ พบว่าในวันแรกของการทดลองหรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัด เท่ากับ 7.30 ลิตร (41BV) มีปริมาณของโครเมียมในน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิวเท่ากับ 0.08 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม ประมาณ 98% และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดลง เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดจาก 98% เป็น 80% เมื่อเวลาในการบำบัดผ่านไป 30 วัน

หรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัด เท่ากับ 219 ลิตร (1237 BV) และการทดลองจะหยุดลงเนื่องจากเกิดการอุดตันที่ผิวหน้าชั้นถ่านกัมมันต์

จากการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง สามารถสรุปปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดของถังดูดติดผิวแบบแท่งทั้ง 3 ใบ ได้ดังในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมและปรอทในถังดูดติดผิวแบบแท่ง

	Volume Treated (l.)		Bed Volume	
Column	Cr	Hg	Cr	Hg
1	350.40	262.80	1980	1485
2	292	219	1650	1237
3	219*	219*	1237*	1237*

* เกิดการอุดตันในชั้นถ่านกัมมันต์

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ในถังดูดติดผิวใบที่ 1 สามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปรอทและโครเมียม 1 0 มก./ล. โดยมีปริมาณน้ำที่บำบัดได้ทั้งสิ้น 350.40 และ 262.80 ลิตร หรือคิดเป็น 1485 BV และ1980 BV ตามลำดับ สำหรับการกำจัดโครเมียมและปรอทตามลำดับ ความจุของการดูดติดผิวปรอทมีค่าเท่ากับ 0.995 มก.ปรอท/ก. คาร์บอน และความจุของการดูดติดผิวโครเมียมมีค่าเท่ากับ 1.044 มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน เมื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพโดยรวมของการกำจัดโครเมียมและปรอท โดยคำนวณจากปริมาณของโครเมียมและปรอททั้งหมดที่ป้อนเข้าถังดูดติดผิวกับปริมาณของโครเมียมและปรอทที่หลุดออกมาจากถังดูดติดผิว พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท เท่ากับ 73% และโครเมียมเท่ากับ 53.44%

ในถังดูดติดผิวใบที่ 2 ซึ่งใช้ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณโครเมียมและปรอทเท่ากับ 5.0 มก./ล. พบว่าสามารถบำบัดน้ำได้ทั้งสิ้น 292 และ 219ลิตร หรือ 1650 และ 1237 BV สำหรับการกำจัดโครเมียมและปรอทตามลำดับ ความจุของการดูดติดผิวปรอทมีค่าเท่ากับ 2.67 มก. ปรอท/ก.คาร์บอน และความจุของการดูดติดผิวโครเมียมมีค่าเท่ากับ 4.012 มก.โครเมียม/ก.คาร์บอน ความจุของการดูดติดผิวที่ได้จะมากกว่าในถังใบที่ 1 เนื่องจากปริมาณของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสในการดูดติดผิวมีสูงขึ้น เมื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพโดยรวมของการกำจัดโครเมียมและปรอท โดยคำนวณจากปริมาณของโครเมียมและปรอททั้งหมดที่ป้อนเข้าถังดูด

ติดผิว กับปริมาณของโครเมียมและปรอทที่หลุดออกมาจากถังดูดติดผิว พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท เท่ากับ 51.6% และโครเมียมเท่ากับ 52.94% จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนัก ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับผลของความเข้มข้นในการทดลองแบบแบตช์

ในถังดูดติดผิวใบที่ 3 ซึ่งใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีปริมาณโครเมียมและปรอทเท่ากับ 5.0 มก./ล. พบว่าการทดลองต้องหยุดลงเมื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้ 219 ลิตร หรือเท่ากับ 1237 BV เนื่องจากเกิดการอุดตันของสารแขวนลอยที่ผิวหน้าของชั้นถ่านกัมมันต์ ถึงแม้จะทำการล้างผิวหน้าของชั้นถ่านกัมมันต์ ก็ยังคงเกิดการอุดตันขึ้นเช่นเดิม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Huang และ Garrett (1977) พบว่า ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังดูดติดผิวแบบแท่งที่มีการป้อนน้ำเสียแบบไหลลง (Down Flow) อนุภาคของดินสามารถทำให้เกิดการอุดตันที่บริเวณผิวหน้าของถ่านกัมมันต์เนื่องจากแรงดันที่ผ่านชั้นถ่าน ดังนั้นความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์จะลดลงทีละน้อย อันเนื่องมาจากการอุดตันทางกายภาพ หรือ การสะสมของอนุภาคดินบนผิวหน้าถ่าน

จากผลการทดลองในถังดูดติดผิวใบที่ 3 พบว่า เกิดการหลุดรอดของโครเมียมและปรอทในน้ำที่ออกจากถังเท่ากับ 19% และ 28% ตามลำดับ เมื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพโดยรวมของการกำจัดโครเมียมและปรอท โดยคำนวณจากปริมาณของโครเมียมและปรอททั้งหมดที่ป้อนเข้าถังดูดติดผิว กับปริมาณของโครเมียมและปรอทที่หลุดออกมา พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอท เท่ากับ 92% และโครเมียมเท่ากับ 94%

เมื่อทำการเปรียบเทียบการดูดติดผิวของโครเมียมและปรอทในถังดูดติดผิวใบที่ 1 และ 2 พบว่าเมื่อความเข้มข้นโลหะหนักเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำที่บำบัดได้จะน้อยลง และประสิทธิภาพในการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทจะลดลงเช่นเดียวกัน แต่ความจุของการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับการทดลองแบบแบตช์ ส่วนสาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้นนั้นดังที่ได้อธิบายไว้ในตอนต้นของการทดลองแบบแบตช์ ส่วนผลการทดลองในถังดูดติดผิวใบที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับถังดูดติดผิวใบที่ 2 พบว่ามีความสามารถในการกำจัดโครเมียมและปรอทได้ดีกว่า น่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยในน้ำชะมูลฝอยดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง X-ray diffraction และกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน แสดงในภาคผนวก ค โดยรูปที่ ค-1 แสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เมื่อขยาย 5000 เท่า ส่วนในรูปที่ ค-2 และ ค-3 เป็นผลการวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังทำการทดลอง

4.3 ต้นทุนการกำจัดโครเมียมและปรอทโดยสังเขป

จากสมการไอโซเทอมในการการดูดติดผิวปรอทและโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอยของ Carbon A คือ

ปรอท : $\text{Log } x/m = 1.29 \text{ Log } Ce + \text{Log}0.078$ .....(4.6)

โครเมียม : $\text{Log } x/m = 1.86 \text{ Log } Ce + \text{Log } 0.128$ .....(4.7)

จะพบว่าในการกำจัดปรอท 5 มก./ล. ให้เหลือ 0.005 มก./ล. จะต้องใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 59.15 กรัมต่อลิตร ดังนั้นในการกำจัดปรอทปริมาณ 0.025 มก./ล. ให้เหลือ 0.005 มก./ล ต้องใช้ถ่านกัมมันต์จำนวน 1.48 กรัมต่อลิตร และในการกำจัดโครเมียม 5 มก./ล. ให้เหลือ 0.5 มก./ล. จะต้องใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 4.25 กรัมต่อลิตร ดังนั้นในการกำจัดโครเมียมปริมาณ 1.32 มก./ล. ให้เหลือ 0.5 มก./ล. ต้องใช้ถ่านกัมมันต์จำนวน 1.12 กรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นในการกำจัดโครเมียมและปรอทจากน้ำชะมูลฝอยที่มีปริมาณโครเมียม 1.32 มก./ล.และปรอท 0.025 มก./ล.ให้เหลือตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์จำนวน 1.48 กรัมต่อลิตร

สำหรับการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีปรอทและโครเมียมปนอยู่จำนวน 1 ลบ.ม. จะต้องใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.48 กก. หรือคิดเป็นเงิน 1.48x80 = 118.40 บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย