หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียพบว่าการใช้กระบวนการเฟอร์ไรท์ในการกำจัดจะขึ้นกับเงื่อนไขที่ใช้ทดลองอันได้แก่ พีเอช และอุณหภูมิ โดยที่พีเอช 9 และ 11 จะเกิดตะกอนเฟอร์ไรท์ได้ ที่พีเอช 9 จะมีโอกาสเกิดตะกอนเฟอร์ไรท์ได้มากที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 55^{o}, 65^{o}, 70^{o}ซ. พิจารณาการเกิดตะกอนเฟอร์ไรท์ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 55^{o}ซ. แม้จะเกิดได้แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันอย่างฉับพลัน (retention time) นั้น มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง และตะกอนที่ได้เป็นตะกอนเบาเช่นเดียวกับตะกอนที่เกิดจากการกำจัดที่พีเอช 11 อุณหภูมิ 65^{o}ซ. ฉะนั้นเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์คือ พีเอช 9 อุณหภูมิ 70^{o}ซ. เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการกำจัดถึง 99.86% และตะกอนที่ได้เป็นตะกอนหนักมีสีดำสนิท และมีความเป็นสารแม่เหล็กสูงกล่าวคือ สามารถูกดูดถูกด้วยแท่งแม่เหล็กได้สูงที่สุด ความเป็นสารแม่เหล็กนี้มีมากกว่าตะกอนเฟอร์ไรท์ที่เกิดที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 55^{o}ซ. และที่พีเอช 11 อุณหภูมิ 65^{o}ซ. และเมื่อศึกษาจากผลของ X-ray diffraction patterns ของการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70^{o}ซ. จะปรากฏพีคที่แสดงความเป็นสารแม่เหล็กสูงสุด (peak ที่ตำแหน่ง $2\theta = 35.48$) สูงกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ อีกทั้งยังพบพีคเกอไตต์น้อยด้วย

ผลการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมพบว่ากระบวนการเฟอร์ไรท์สามารถกำจัดแคดเมียมได้ดีกว่ากรณีของตะกั่วกล่าวคือ จะเกิดตะกอนเฟอร์ไรท์ได้ทุกเงื่อนไขที่ศึกษาคือ พีเอช 9 ถึง 11 อุณหภูมิ 55^{o}ถึง 75^{o}ซ. เมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดแคดเมียมด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์คือ ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 55^{o}ซ. เนื่องจากจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 99.98% และตะกอนที่ได้เป็นตะกอนที่มีสีดำสนิท มีน้ำหนักและมีความเป็นสารแม่เหล็กสูงมากกว่าที่เงื่อนไขอื่น ๆ ทั้งพีคที่แสดงความเป็นสารแม่เหล็ก X-ray diffraction pattern ก็มีความสูงมากและ sharp ด้วย แต่เนื่องจากในการ

ทดลองจะมีการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมไปพร้อมกัน ฉะนั้นจึงต้องเลือกเงื่อนไขในการกำจัดตะกั่วคือ พีเอช 9 อุณหภูมิ 70°ซ. ในการทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมพร้อมกัน เนื่องจากที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 55°ซ. ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วต่ำกว่าและตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้มีความเป็นสารแม่เหล็กน้อยกว่าที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70°ซ. ลักษณะตะกอนที่ได้ยังเป็นตะกอนเบาซึ่งคาดว่าน่าจะมีตะกอนไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นด้วย

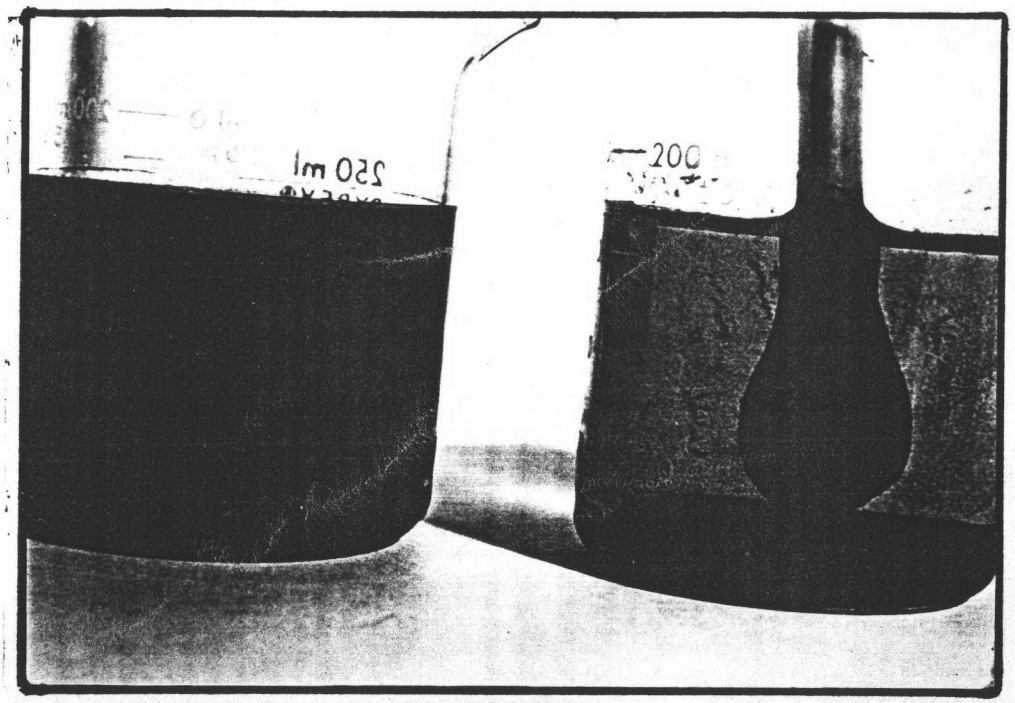
เมื่อทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมพร้อมกันที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70°ซ. โดยการแปรค่าอัตราส่วนโมล พบว่าที่อัตราส่วนโมลของ $\frac{10^{-2}Pb^{2+}}{Iron_{total}} > 1.383$ และอัตราส่วนโมลของ $\frac{10^{-2}Cd^{2+}}{Iron_{total}} > 2.549$ จะไม่เกิดตะกอนเฟอร์ไรท์ และสรุปได้ว่าอัตราส่วนส่วนโมลที่เหมาะที่สุด คือ $\frac{10^{-2}Pb^{2+}}{Iron_{total}} = 0.691$ และอัตราส่วนโมล $\frac{10^{-2}Cd^{2+}}{Iron_{total}} = 1.274$ โดยจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมสูงกล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 99.91% และประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม 99.97% และตะกอนที่ได้เป็นตะกอนดำ มีน้ำหนัก และเป็นสารแม่เหล็กด้วย

ผลการศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70°ซ. พบว่าเมื่อมีเอธานอลผสมอยู่ 10% ในสารเริ่มต้นจะไม่มีผลต่อการเกิดตะกอนเฟอร์ไรท์ ทั้งในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัดและความเป็นสารแม่เหล็กของตะกอนเฟอร์ไรท์ แต่ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันพบว่า curve ที่ได้จะเป็น 2 ช่วง เช่นเดียวกันกับ curve ที่ได้จากการศึกษาผลของ MIBK ซึ่งตะกอนที่ได้เป็นสารแม่เหล็กและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงเช่นกัน ยกเว้นกรณีมี MIBK ผสมอยู่ในสารเริ่มต้นเป็น 5% จะไม่เกิดตะกอนเฟอร์ไรท์ และจาก X-ray diffraction patterns พบว่ากรณีที่ผสมตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งสองชนิดลงไปในสารเริ่มต้นตะกอนก็ยังคงปรากฏพีคที่แสดงความเป็นสารแม่เหล็กอยู่ ยกเว้นกรณีที่ผสม MIBK 5% จะปรากฏพีคของเกอไทต์ให้เห็นชัด นั่นคือปริมาณ $\geq$ 5% น่าจะมีผลต่อการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยวิธีการตกตะกอนแบบธรรมดาด้วยสารเคมีคือ ตกตะกอนด้วย 4N NaOH กับวิธีกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์ พบว่าเมื่อพิจารณาถึงลักษณะตะกอนที่ได้ ประสิทธิภาพการกำจัด ตลอดจนถึงผลกระทบของตะกอนที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อม พบว่ากระบวนการเฟอร์ไรท์จะให้ผลที่ดีกว่า กล่าวคือ ลักษณะตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ได้เป็นตะกอนเบา ซึ่งจะใช้ระยะเวลานานในการทำให้ตกตะกอนนอนก้น

หรือกรอง ในขณะที่ตะกอนเฟอร์ไรท์เป็นตะกอนหนักสามารถตกตะกอนได้ใสในระยะเวลาประมาณ 7 นาที ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้วิธีการแยกออกจากสารละลายได้ดีมาก โดยใช้อำนาจแม่เหล็ก (mag etic separator) นอกเหนือจากวิธีการกรองธรรมดา เนื่องจากเป็นสารแม่เหล็กจึงสามารถถูกดูดได้โดยอำนาจแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งตะกอนเฟอร์ไรท์จะถูกแม่เหล็กดูดจับไว้ และปล่อยให้ส่วนที่เป็นสารละลายผ่านไป ในแง่ของประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบการกำจัดทีพีเอช 9 ด้วยกันในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 1000, 100, 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่าวิธีตกตะกอนธรรมดา (ซึ่งสามารถทำได้ที่ pH10) กำจัดตะกั่วและแคดเมียมต่ำกว่าวิธีของกระบวนการเฟอร์ไรท์

จากตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากบริเวณที่คาดว่าจะมีการใช้โลหะหนักในจุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย พบว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกปล่อยจากห้องปฏิบัติการตามท่อน้ำและบริเวณใกล้เคียงมีน้อยมากจนถึงระดับที่ตรวจไม่พบ สถานที่เก็บที่พบปริมาณโลหะหนักทั้งสองนี้สูงกว่าปกติคือ จากท่อน้ำทิ้งของตึกเคมี 2 ซึ่งวันที่เก็บเป็นวันที่มีปฏิบัติการวิเคราะห์ unknown cation หมู่ I และ II ของนิสิตเคมี คณะวิทยาศาสตร์ โดยพบว่ามีตะกั่ว 1.861 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร และแคดเมียม 1.692 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากส่วนของโลหะหนักทั้งสองนี้ได้ถูกเจือจางไปมากด้วยน้ำที่ใช้ทดลองหรือน้ำล้าง และการที่ไม่พบโลหะหนักทั้งสองนี้ที่บริเวณอื่น ๆ ตกค้างอยู่เลยก็คาดว่าน่าจะเป็นด้วยเหตุผลเดียวกัน โดยเมื่อทดลองเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 โดยตรงพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสองนี้ค่อนข้างสูง ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าต่ำมากกล่าวคือมีความเป็นกรดมากนั่นเอง และค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงมากด้วย จากการทดลองกำจัดโลหะหนักทั้งสองนี้ซ้ำ 4 ครั้งด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์สำหรับตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บโดยตรวจจากเคมี 1 (ตัวอย่างที่ 2) และเคมี 2 (ตัวอย่างที่ 4) และทดลอง 2 ครั้งสำหรับตัวอย่างน้ำที่เก็บจากท่อเคมี 2 (ตัวอย่างที่ 3) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลการทดลองในแต่ละตัวอย่างจะให้ประสิทธิ-ภาพการกำจัดสูงมากกว่า 99% และตะกอนที่ได้จากการทดลองทุกครั้งจะเป็นสารแม่เหล็ก สอดคล้องกับ X-ray diffraction patterns ซึ่งปรากฏพีคที่มีความเป็นแม่เหล็กของตัวอย่างน้ำหมายเลข 2,3,4จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันพบว่า curve จะแบ่งเป็น 2 ตอน ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการที่มีโลหะหนักชนิดอื่นผสมอยู่และเกิดการตกตะกอนเฟอร์ไรท์ด้วย



รูปที่ 5.1 แสดงถึงความเป็นสารแม่เหล็กของตะกอนเฟอร์ไรท์

รูปซ้ายมือ เป็นสภาพตะกอนเฟอร์ไรท์ก่อนที่จะดูดด้วยแท่งแม่เหล็ก รูปขวามือ แสดงสภาพตะกอนเฟอร์ไรท์ภายหลังจากใช้แท่งแม่เหล็กดูด

จากการสุ่มตัวอย่างศึกษาชนิดและปริมาณการใช้โลหะหนักในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ช่วงปีการศึกษา 2526-2529 พบว่ามีการนำตะกั่วและปรอทมาใช้กันมากในงานวิจัยและงานสอนโดยเฉพาะในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ และจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรวมถึงการทดลอง เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบริเวณที่คาดว่าจะมีการเจือปนของพวกโลหะหนักจากน้ำเสียโดยเฉพาะกรณีของตะกั่วและแคดเมียมพบว่ายังไม่จำเป็นในการนำระบบนี้มาใช้ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปัจจุบัน เนื่องจากวิธีการการตกตะกอนเฟอร์ไรท์นี้ถึงแม้จะใช้สารเคมีหลักคือ $FeSO_4.7H_2O$ ซึ่งมีราคาถูกในการกำจัดก็ตาม แต่จะต้องมีการใช้แก๊สไนโตรเจนในกระบวนการด้วยจึงทำให้ต้นทุนการกำจัดจะค่อนข้างสูงกว่าวิธีการตกตะกอนด้วยวิธีธรรมดา แต่เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของกากโลหะหนักที่กำจัดมาแล้วไม่ทำการฝังด้วย ความระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกโดยจะต้องเลือกที่ดินที่เหมาะสมที่สุดในการฝังและมีการติดตามตรวจสอบ (monitoring) การปนเปื้อนตลอดเวลา กระบวนการเฟอร์ไรท์นี้ก็นับว่าเป็นวิธีที่น่าสนใจที่จะนำไปใช้เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าว คือ ตะกอนที่ได้นอกจากจะไร้พิษแล้วยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นได้อีก

ข้อเสนอแนะ กระบวนการเฟอร์ไรท์ที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อมีการทดลองศึกษานำตะกอนที่ได้จากการกำจัดโลหะหนักที่ได้ไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง ในประเทศไทย ดังเช่นที่ในประเทศญี่ปุ่น Hayashi (1975) ได้กล่าวถึงประโยชน์ในการนำไปใช้ในการเป็นตัวดูดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าวัสดุทางการสื่อสาร ฯลฯ และสำหรับงานวิจัยที่ควรศึกษาต่อไปด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์นี้คือ หาวิธีการลดค่าใช้จ่ายของกระบวนการนี้เพื่อให้เหมาะสมกับความคุ้มที่จะทดลองโดยอาจจะทดลองลดเวลาการพ่นแก๊สไนโตรเจนลงและศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดและ X-ray diffraction patterns เพื่อเปรียบเทียบความเป็นสารแม่เหล็กของตะกอนที่ได้ นอกจากนั้นควรจะศึกษากระบวนการเฟอร์ไรท์ในการกำจัดปรอท เนื่องจากเป็นสารที่มีพิษภัยสูงดังที่เราทราบกันอยู่ โดยพิจารณาจากการสำรวจยังพบว่าปรอทเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีการนำไปใช้ในงานสอนและวิจัยทั้งยังปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยที่ไม่มีการกำจัดก่อนทิ้งแต่อย่างใด อันเป็นปัญหาที่น่าวิตกโดยเฉพาะในเรื่องของการสะสมปริมาณปริมาณปรอทในแม่น้ำลำคลองและสิ่งแวดล้อมทั่วไป และจากการสำรวจชนิดและปริมาณการใช้โลหะหนักโดยการสุ่มตัวอย่างนั้นถึงแม้จะพบว่าปริมาณการใช้โลหะหนักภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยยังไม่ถึงจุดที่น่าวิตกก็ตาม ผู้วิจัยใคร่ขอเสนอแนะให้มีการวางแผนเพื่อป้องกันและแก้ไขมลพิษจากโลหะหนัก ซึ่งจะเกิดขึ้นในอนาคต