บทที่ 6

วิจารณ์ผลการวิเคราะห์

<u>การเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเมื่อใช้แผ่นกรองชนิดต่างๆ</u>

ในการศึกษาพฤติกรรมของโลหะ โดยการแยกเป็นส่วนที่แขวนลอยกับส่วนที่ละลายในน้ำ อาจทำได้โดยการใช้วิธีเหวี่ยงหนีศูนย์ถ่วง (centrifugation) หรือโดยการกรอง (filtration) ซึ่งวิธีหลังทำได้สะดวกกว่า โดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ วัสดุที่ใช้ในการกรองตัวอย่างน้ำควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. แผ่นกรองควรมีขนาดรู (pore size) สม่ำเสมอ
2. อัตราการกรองควรมีค่าสูงและแผ่นกรองอุดตันได้ยาก
3. สารแขวนลอยต้องตกค้างอยู่บนแผ่นกรอง ไม่สอดแทรกเข้าไปในเนื้อแผ่นกรอง
4. แผ่นกรองต้องไม่ดูดซับพวกโลหะปริมาณน้อย
5. แผ่นกรองไม่ควรมีเส้นใยหลุดลุ่ย

ซึ่งเมื่อพิจารณาเกณฑ์ต่างๆ ของแผ่นกรองแล้ว แผ่นกรองที่เหมาะสมคือแผ่นกรอง membrane (MF) ซึ่งมีขนาดรูแผ่นกรอง 0.45 ไมโครเมตร (สุจินต์ ดีแท้, 2524) แต่เนื่องจากแผ่นกรองนี้มีราคาค่อนข้างแพง (ราคาแผ่นละ 13 บาท) จึงเลี่ยงมาใช้แผ่นกรองใยแก้ว GF/C (ราคาแผ่นละ 2 บาท) ซึ่งมีขนาดของรูแผ่นกรอง 0.7 ไมโครเมตร แทน โดยใช้หลายๆ แผ่นซ้อนกันเพื่อให้การกรองได้ผลใกล้เคียงกับแผ่นกรอง membrane จากผลการทดลองใช้แผ่นกรอง GF/C จำนวน 3 แผ่น แทนแผ่นกรอง MF 1 แผ่น จะทำให้แบ่งชนิดโลหะเป็นส่วนที่แขวนลอยกับส่วนที่ละลายน้ำได้ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 5.1) โดยที่เมื่อใช้แผ่นกรอง GF/C จำนวน 3 แผ่น จะมีความแตกต่างของเหล็กที่แขวนลอยจากแผ่นกรอง MF เพียง 3.13% และเหล็กที่ละลายน้ำก็แตกต่างจากแผ่นกรอง MF เพียง 7.20% แต่เมื่อใช้แผ่นกรอง GF/C จำนวน 2 แผ่น ปริมาณเหล็กที่แขวนลอยแตกต่างจากแผ่นกรอง MF ถึง 11.80% และปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำแตกต่างจากแผ่นกรอง MF ถึง 48.40% และเมื่อใช้แผ่นกรอง GF/C จำนวน 1 แผ่น ปริมาณเหล็กที่แขวนลอยแตกต่างจากแผ่นกรอง MF ถึง 48.21% และปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำแตกต่างจากแผ่นกรอง MF ถึง 126.07% อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ไม่ได้วิเคราะห์ถึงการใช้แผ่นกรอง GF/C จำนวน 4 แผ่น เนื่องจากอัตราการกรองช้ากว่าแผ่นกรอง MF มาก เมื่อดูด้วยตาเปล่า

ผลการศึกษาพฤติกรรมของเหล็กและแมงกานีสในแม่น้ำบางปะกง

1. การศึกษาครั้งที่ 1 ฤดูน้ำมาก (วันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2527)

1.1 พฤติกรรมของเหล็ก

เหล็กเป็นโลหะปริมาณน้อยที่มีในน้ำจืดมากกว่าในน้ำเค็ม โดยเหล็กที่ละลายในน้ำมีแนวโน้มที่จะเกิดเป็น hydroxide polymer ที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นเมื่อน้ำจืดผสมผสานกับน้ำทะเลในเอสทูรี ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH, pE และ ionic strength จึงทำให้เกิดการกำจัดเหล็กจากน้ำ (Aston และ Chester, 1973) จากการศึกษาพฤติกรรมของเหล็กที่ละลายน้ำใน Potomac Estuary โดย Eaton (1979) ใน Delaware Estuary โดย Eastman et al. (1984) ใน Merrimack Estuary โดย Boyle et al. (1974) และใน Beaulieu Estuary โดย Hollidays และ Liss (1976) พบว่ามีพฤติกรรมเป็น non-conservative ทั้งสิ้น คือมีการเบี่ยงเบนไปจาก theoretical dilution line ในช่วงแรกๆ ของการผสมผสาน ซึ่งจากการสำรวจน้ำในแม่น้ำบางปะกง ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำก็ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงความเค็ม 0 ถึง 9.78 ppt. (ตารางที่ 5.2, รูปที่ 5.3) แสดงว่ามีพฤติกรรมเป็นแบบ non-conservative (แบบ removal) เช่นเดียวกันกับพฤติกรรมในเอสทูรีอื่นๆ และสอดคล้องกับ Liss และ Burton (1976) ที่ว่าการกำจัดเหล็กจะเกิดเสร็จสมบูรณ์ภายในความเค็ม 15 ppt. นอกจากนี้ในการสำรวจครั้งนี้พบว่าปริมาณเหล็กส่วนที่ละลายน้ำที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ (organic-Fe) มีการเบี่ยงเบนไปจาก dilution line ในลักษณะ removal และมีปริมาณระหว่าง 20-90% ของเหล็กส่วนที่ละลายน้ำทั้งหมด คิดเป็นปริมาณ 61.79% โดยเฉลี่ย แสดงว่าส่วนใหญ่ของเหล็กที่ละลายน้ำเป็นส่วนที่ยึดติดกับสารอินทรีย์ (organically bound) เช่น humic acid เป็นต้น (ตารางที่ 5.2)

สำหรับปริมาณเหล็กส่วนที่แขวนลอยพบว่ามีค่าสูงกว่าส่วนที่ละลายน้ำ เนื่องจากแม่น้ำบางปะกงค่อนข้างตื้น (มีความลึก 4-14 เมตร จากบริเวณที่เก็บน้ำตัวอย่าง) ดังนั้นจึงเกิดการลอยกลับของตะกอนทำให้น้ำค่อนข้างขุ่น ดังนั้นพฤติกรรมของเหล็กส่วนที่แขวนลอยจึงไม่เห็นชัด

1.2 พฤติกรรมของแมงกานีส

แมงกานีสก็เป็นโลหะปริมาณน้อยที่มีในน้ำจืดมากกว่าในน้ำเค็ม มีการศึกษากันในหลายเอสทูรี แต่พฤติกรรมของแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำยังไม่ชัดเจนเหมือนเหล็ก โดยมี

พฤติกรรมเป็นแบบ conservative ใน Delaware Estuary (Eastman et al., 1984) ใน Beaulieu Estuary (Hollidays และ Liss, 1976) และใน St.Lawrence Estuary (Subramanian et al., 1976) แต่มีการเบี่ยงเบนไปจาก dilution line ใน Rhine Estuary และ Scheldt Estuary (Wallast, 1979; Duinker, 1979) ซึ่งจากการสำรวจน้ำแม่น้ำบางปะกง ปริมาณแมงกานีสที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นมาก dilution line มากกว่า 10% (ตารางที่ 5.2, รูปที่ 5.6) จึงน่าจะมีพฤติกรรมเป็น non-conservative แบบ addition (Burton และ Liss, 1976) แต่การพิจารณาพฤติกรรมของโลหะปริมาณน้อยจำเป็นจะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณแมงกานีสส่วนที่แขวนลอย พบว่ามีค่าสูงกว่าส่วนที่ละลายน้ำมาก เช่นเดียวกับเหล็ก ซึ่งก็เป็นเพราะแม่น้ำบางปะกงค่อนข้างตื้น จึงเกิดการลอยกลับของตะกอน ดังจะเห็นว่าน้ำค่อนข้างขุ่นตลอดแม่น้ำ (จากค่าความโปร่งใสน้ำบางปะกง ซึ่งสำรวจโดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2528 ที่แสดงไว้ในตารางที่ ผ.8) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำจึงอาจมาจากการละลายสู่น้ำของแมงกานีสจากตะกอน ซึ่ง มนูวดี หังสพฤกษ์ และคณะ (2528) ได้ศึกษาปริมาณโลหะในดินตะกอนของแม่น้ำบางปะกงแล้วพบว่า มีค่าสม่ำเสมอตลอดแม่น้ำ เนื่องจากแม่น้ำบางปะกงมีช่วงของการผสมผสานระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็มได้ตลอดลำน้ำ คือในฤดูน้ำมากการผสมผสานจะอยู่ใกล้ปากแม่น้ำ และในช่วงฤดูน้ำน้อยก็จะไปไกลถึงต้นแม่น้ำได้ ดังนั้นในฤดูน้ำมากจึงมีการละลายของตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งค่อนข้างตื้นมามีอิทธิพลอยู่มาก

2. <u>การศึกษาครั้งที่ 2 ฤดูน้ำน้อย</u> (วันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2528)

<u>2.1 พฤติกรรมของเหล็ก</u>

การสำรวจครั้งนี้พบว่า น้ำในแม่น้ำบางปะกงขุ่นมาก โดยเฉพาะบริเวณที่เก็บน้ำตัวอย่างมีความลึกของน้ำเพียง 2-11 เมตร ปริมาณเหล็กส่วนใหญ่พบว่าเป็นส่วนที่แขวนลอยมากกว่าส่วนที่ละลายน้ำ ปริมาณเหล็กส่วนที่ละลายน้ำมีการกำจัดเหล็กจากน้ำในช่วงความเค็ม 0 ถึง 11.23 ppt. (ตารางที่ 5.3, รูปที่ 5.8) แสดงถึงพฤติกรรม non-conservative แบบ removal เช่นเดียวกับฤดูฝนสอดคล้องกับเอสทูรีอื่นๆ ที่ได้กล่าวไว้ในการสำรวจครั้งที่ 1 และยังเป็นไปตามที่ Burton และ Liss (1976) ว่าการกำจัดเหล็กจะเกิดสมบูรณ์ภายในช่วงความเค็ม 15 ppt. การสำรวจครั้งนี้แม้ว่าจะเก็บตัวอย่างน้ำไปจนถึงต้นน้ำ แต่ความ

เค็มของน้ำก็ยังเป็น 0.52 ppt. เนื่องจากเป็นฤดูน้ำน้อยจึงทำให้น้ำทะเลมีอิทธิพลมาก ดังจะเห็นว่าค่า pH มีค่าสูงกว่าในฤดูฝน โดยมีค่า 7.02 ถึง 7.64 ppt. จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับ dilution line ที่ end member มีความเค็มเป็น 0 ppt. ได้ แต่หากจะรอช้ากว่านี้ก็จะเข้าสู่ฤดูฝนแล้ว ดังนั้นจึงคิดเทียบกับ dilution line ที่ end member มีความเค็มเป็น 0.52 ppt. แทน นอกจากนี้การสำรวจครั้งนี้ยังมีข้อบกพร่องในแง่ที่จุดเก็บตัวอย่างอยู่ห่างกันมาก เมื่อคิดระยะทางระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง (เพียง 10 จุด ในระยะทางประมาณ 120 กิโลเมตร) ถ้าสามารถเก็บได้ถี่กว่านี้ จะทำให้การดูพฤติกรรมเห็นได้ชัดเจนขึ้น

สำหรับปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำส่วนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ พบว่ามีการกำจัดเหล็กแต่ก็มองได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากวิเคราะห์ได้น้อยจุดเกินไป นอกจากนี้ยังไม่สามารถหา dilution line ได้ เนื่องจากเก็บน้ำได้จนถึงความเค็ม 0.52 ppt. เท่านั้น แต่ก็พบว่าปริมาณเหล็กส่วนใหญ่เป็น organically bound โดยมีค่าเป็น 10 ถึง 98 % ของเหล็กที่ละลายน้ำทั้งหมด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 63.94% ซึ่งสาเหตุที่วิเคราะห์น้ำตัวอย่างได้น้อยจุดก็เนื่องจากตัวอย่างน้ำของการสำรวจครั้งนี้ขุ่นมาก และในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ก็ต้องใช้ปริมาตรถึง 1 ลิตร (ใช้เวลากรองน้ำประมาณ 1 ชั่วโมง) ดังนั้นจึงเลือกวิเคราะห์เพียงบางตัวอย่างเพื่อไม่ให้การกรองน้ำต้องใช้เวลานานจนมีผลกับตัวอย่างน้ำอื่นๆ ที่รอการกรองต่อไป (ตารางที่ 5.3)

สำหรับปริมาณเหล็กส่วนที่แขวนลอย พบว่ามีค่าสูงกว่าส่วนที่ละลายน้ำ และมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงความเค็ม 0.52 ถึง 11.23 ppt. สอดคล้องกับปริมาณเหล็กส่วนที่ละลายน้ำที่มีค่าลดลง จึงสนับสนุนว่าเหล็กจะมีพฤติกรรม non-conservative แบบ removal ซึ่งการที่เหล็กเกิดการเปลี่ยนรูปแบบจากส่วนที่ละลายน้ำไปเป็นส่วนที่แขวนลอยก็เนื่องจากเหตุหลายๆ ประการ เช่น เกิดการตกตะกอนของเหล็กในน้ำจืดเมื่อมาพบกับน้ำทะเล (Coonley et al, 1971) หรือเกิดจากกระบวนการ flocculation ของเหล็กส่วนที่เป็น colloid และการที่ออกไซด์ของเหล็กเกิดการดูดซับบนผิวของตะกอน (clay particle) ซึ่งจะเกิดได้สูงเป็น 10 เท่าของความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออน (cation exchange capacity) ของตะกอน (Aston และ Chester, 1973)

2.2 พฤติกรรมของแมงกานีส

ดังกล่าวแล้วในการสำรวจครั้งที่ 1 ว่าพฤติกรรมของแมงกานีสไม่เห็นชัดเหมือนเหล็ก แม้ว่าจะมีการสำรวจศึกษาในหลายเอสทูรีก็ตาม การสำรวจครั้งนี้พฤติกรรมของแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำก็ยังมองได้ไม่ชัดโดยมีค่าแปรเปลี่ยน ตลอดการผสมผสาน (ตารางที่ 5.3, รูปที่ 5.11)

สำหรับแมงกานีสส่วนที่แขวนลอยพบว่ามีค่าสูงมาก และจากการที่น้ำตัวอย่างครั้งนี้ขุ่นมาก แสดงว่ามีการลอยกลับของตะกอนสูงมาก โดยเฉพาะในช่วงต้นแม่น้ำที่ความเค็ม 0.52 ถึง 6.87 ppt. (ตารางที่ 5.3, รูปที่ 5.12) และเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นในช่วงความเค็ม 8.48 ถึง 22.91 ppt. แมงกานีสส่วนที่แขวนลอยน้อยลง ปริมาณแมงกานีสที่ละลายน้ำก็ลดน้อยลง จึงแสดงว่ามีการละลายน้ำของตะกอนที่ลอยกลับ ซึ่งเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของแมงกานีสส่วนที่แขวนลอยแล้ว แมงกานีสน่าจะมีพฤติกรรม non-conservative แบบ addition ด้วยเหตุ 3 ประการ (Duinker, 1979) คือ

1. เกิดการปล่อยแมงกานีสจากสารแขวนลอยที่พัดมากับแม่น้ำ
2. เกิดการปล่อยแมงกานีสจากสารแขวนลอยที่มากับน้ำจืด เมื่อมาพบกับน้ำทะเลในบริเวณเอสทูรี
3. เกิดจากการแพร่กระจายจากน้ำส่วนที่แทรกอยู่ระหว่างตะกอน

ผลการศึกษาการผสมผสานของน้ำจืดกับน้ำทะเลในห้องปฏิบัติการ

1. การศึกษาครั้งที่ 1 วันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2527

1.1 พฤติกรรมของเหล็ก

พฤติกรรมของโลหะปริมาณน้อยที่เป็น non-conservative พิจารณาได้จากการเบี่ยงเบนไปจาก theoretical dilution line อย่างน้อย 10% โดยอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ (Burton และ Liss, 1976) ซึ่งจากการทดลองในห้องปฏิบัติการครั้งนี้เห็นได้ชัดเจนดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.13 ว่าเหล็กส่วนที่ละลายน้ำมีการเบี่ยงเบนไปจาก dilution line มากกว่า 10% และสอดคล้องกับเหล็กส่วนที่แขวนลอยที่เพิ่มขึ้นในช่วงความเค็ม 0 ถึง 6.07 ppt. แสดงถึงพฤติกรรม non-conservative แบบ removal การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วัดค่าของแมงกานีส เนื่องจากเป็นการทดลองผสมผสานน้ำจืดกับน้ำทะเลเป็นครั้งแรก จึงพิจารณาแต่เหล็ก ซึ่งคาดว่าจะแสดงพฤติกรรมให้เห็นได้ชัดเจน

2. การศึกษาครั้งที่ 2 ฤดูน้ำมาก (วันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2527)

2.1 พฤติกรรมของเหล็ก

การทดลองครั้งนี้พฤติกรรมของเหล็กส่วนที่ละลายน้ำยังคงแสดงถึงพฤติกรรม non-conservative แบบ removal โดยมีการกำจัดเหล็กอย่างมากที่ความเค็ม 1.80 ppt. (ตารางที่ 5.5) และมีการลดลงตลอดในช่วงความเค็ม 0 ถึง 10.05 ppt. ซึ่งสอดคล้องกับเหล็กส่วนที่แขวนลอยที่เพิ่มขึ้นอย่างมากที่ความเค็ม 1.80 ppt. และมีการเพิ่มขึ้นในช่วงความเค็ม 0 ถึง 7.90 ppt.

2.2 พฤติกรรมของแมงกานีส

พฤติกรรมของแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำมองได้ไม่ชัดเจน ในขณะที่ค่าของแมงกานีสส่วนที่แขวนลอยมองเห็นชัดว่ามีค่าสูงขึ้นในช่วงการผสมผสานความเค็มช่วงต้นๆ แล้วค่อยๆ ลดลง (ตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.15) ดังนั้นพิจารณาจากส่วนที่แขวนลอยในน้ำประกอบแล้วแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำน่าจะมีพฤติกรรมเป็น non-conservative แบบ removal เพราะมีการเบี่ยงเบนจาก dilution line

3. การศึกษาครั้งที่ 3 ฤดูน้ำน้อย (วันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2528)

3.1 พฤติกรรมของเหล็ก

พฤติกรรมของเหล็กส่วนที่ละลายน้ำแสดงการกำจัดเหล็กจากน้ำในช่วงความเค็ม 0 ถึง 5.08 ppt. จึงสอดคล้องกับเหล็กส่วนที่แขวนลอยที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังนั้นพฤติกรรมของเหล็กในการทดลองครั้งนี้ยังคงแสดงพฤติกรรม non-conservative แบบ removal

3.2 พฤติกรรมของแมงกานีส

พฤติกรรมของแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำเห็นได้ไม่ชัดเจน แต่ส่วนที่แขวนลอยในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงความเค็ม 12.26 ppt. แล้วลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 5.6, รูปที่ 5.17) จึงน่าจะแสดงถึงแนวโน้มของพฤติกรรมแบบ non-conservative แบบ removal ของแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำ

การที่เหล็กและแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำแสดงพฤติกรรม non-conservative แบบ removal ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ ก็น่าจะเป็นเพราะเกิดการตกตะกอน, กระบวนการ flocculation และกระบวนการดูดซับ เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ในส่วนของการสำรวจแม่น้ำ

บางปะกงครั้งที่ 3 ในช่วงฤดูน้ำน้อย อย่างไรก็ตาม การทดลองในห้องปฏิบัติการมีข้อเสียเปรียบในแง่ที่ไม่สามารถเลียนแบบธรรมชาติได้ทุกประการ นอกจากนี้ยังอาจมีการเปลี่ยงเบนอันเกิดจากการดูดซับบนภาชนะที่ใช้ทดลอง Lewin (1973) พบว่าเหล็กที่ละลายน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเหล็กที่แขวนลอยได้ในอัตราเร็วขึ้น ถ้าภาชนะบรรจุมีปริมาตรเล็กลง เป็นต้น

<u>ผลการศึกษาอิทธิพลของโลหะหนักอื่นต่อพฤติกรรมของเหล็กและแมงกานีส</u>

1. <u>เหล็ก</u>

เมื่อเติมโลหะหนักประเภท ทองแดง สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว ลงไปในน้ำที่ทดลองผสมผสานน้ำจืดกับน้ำทะเล แล้วเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้เติมโลหะหนักประเภทดังกล่าว พบว่าไม่ว่าโลหะหนักที่เติมจะเป็นทองแดง, สังกะสี, แคดเมียม หรือตะกั่ว ผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน โดยที่ปริมาณเหล็กส่วนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นจากชุดที่ไม่ได้เติม และปริมาณเหล็กส่วนที่แขวนลอยลดลงจากชุดที่ไม่ได้เติม (ตารางที่ 5.7 และ 5.8) แสดงให้เห็นว่าเกิดการคาย (desorption) เหล็กจากส่วนที่แขวนลอยเป็นเหล็กที่ละลายน้ำ โดยทั่วไปเมื่อน้ำจืดผสมผสานกับน้ำทะเลจะเกิดปฏิกริยาตกตะกอนของสารที่ละลายน้ำ, คอลลอยด์หรือส่วนแขวนลอย ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของคอลลอยด์ หรือสารแขวนลอยซึ่งมีประจุลบถูกทำให้เป็นกลาง (neutralization) โดยอิออนที่มีประจุบวกจากน้ำทะเล (Bewer และ Yeats, 1981) แต่การเติมโลหะหนักอิออนบวกลงไปในปริมาณมาก (10-20 ไมโครกรัม/น้ำ 1 ลิตร) ทำให้พวกสารแขวนลอยซึ่งมีประจุลบถูกทำให้เป็นกลางมากขึ้น หรืออาจมีค่าประจุเป็นบวก (Allen et al., 1982; Walton, 1967) จึงทำให้กระบวนการต่างๆ ที่จะทำให้เกิดเหล็กส่วนที่แขวนลอยเกิดได้น้อยลง นอกจากนี้ปริมาณอิออนบวกที่เติมลงไปมากๆ อาจทำให้อิออนเหล่านี้เข้าทำปฏิกริยากับสารอินทรีย์หรือสารแขวนลอยแทนที่เหล็ก เป็นผลให้เกิดการคาย (desorption) เหล็กเป็นส่วนที่ละลายน้ำ ปริมาณเหล็กส่วนที่ละลายน้ำจึงมีค่ามากขึ้นเมื่อเติมอิออนบวกลงไปในน้ำที่ทำการทดลองที่ทุกความเค็ม ซึ่งจากการทดลองของ Allen et al., (1982) พบว่าโลหะหนักที่เติมลงไปจะเข้าทำปฏิกริยากับคอลลอยด์ สารแขวนลอยและองค์ประกอบอินทรีย์ในน้ำที่ทดลอง โดยเกิดปฏิกริยาอย่างรวดเร็วกับคอลลอยด์และสารแขวนลอยในการทดลองเขาใช้เวลาของการผสมน้ำกับตะกั่วและแคดเมียมที่เติมลงไป 24 ชั่วโมง เพราะหากใช้เวลานานกว่านี้จะมีผลข้างเคียงจากการลดลงของสารอินทรีย์ การรวมตัวตกตะกอนของคอลลอยด์ตลอดจนการปนเปื้อนต่างๆ และการ

ถูกดูดซับโดยผนังภาชนะที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะทำให้ปริมาณส่วนที่ละลายน้ำและส่วนที่แขวนลอยคลาดเคลื่อนไป ซึ่งในการทดลองของ Lewin (1973) ก็ยืนยันว่าไม่ควรใช้เวลานานเกินกว่า 36 ชั่วโมง

2. แมงกานีส

ปริมาณแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำมีค่าลดลงจากชุดที่ไม่ได้เติมโลหะหนักในช่วงความเค็มต่ำ และแมงกานีสส่วนที่แขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างไปจากกรณีของเหล็ก เนื่องจากอิออนของแมงกานีสมีความไวในการทำปฏิกริยาน้อยกว่าอิออนของเหล็ก (Kieffer, 1976) เมื่อเติมโลหะหนักอิออนบวกลงไปจึงทำให้ปริมาณแมงกานีสส่วนที่แขวนลอยที่ยังคงมีประจุลบมีค่ามากกว่าปริมาณของเหล็ก จึงยังคงเกิดปฏิกริยาตกตะกอน ปฏิกริยา flocculation หรือกระบวนการดูดซับ (adsorption) ทำให้แมงกานีสส่วนที่แขวนลอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงความเค็มต่ำ นอกจากนี้แมงกานีสยังมีพื้นที่ผิวของอะตอมมากกว่าเหล็กจึงทำให้เกิดกระบวนการดูดซับกับอิออนโลหะหนักได้มากกว่า (Walton, 1967) ซึ่งกระบวนการดูดซับจะมีผลให้ขนาดของแมงกานีสใหญ่มากขึ้น และยังทำให้มีค่าประจุรวมเป็นกลาง (neutralization) จึงเกิดเป็นแมงกานีสส่วนที่แขวนลอยมากขึ้น

สำหรับที่ความเค็มสูงขึ้นแมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น และส่วนที่แขวนลอยจะมีค่าลดลง จากชุดที่ไม่ได้เติมโลหะหนัก ก็น่าจะเป็นเพราะว่ากระบวนการดูดซับเกิดได้น้อยลง เพราะน้ำมีอิออนลบของคลอไรด์ (chloride) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปลดความสามารถของโลหะที่จะละลายน้ำหรือเกิดการแข่งขันระหว่างอิออนบวกจากน้ำทะเลกับ adsorbate ในน้ำ (Elliott et al., 1979) นอกจากนี้ยังอาจเนื่องจากกระบวนการคาย (desorption) เช่นเดียวกับกรณีของเหล็กดังกล่าวมาแล้ว จึงทำให้แมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

3. ทองแดง, สังกะสี, แคดเมียม และตะกั่ว

ปริมาณโลหะส่วนที่แขวนลอยของ ทองแดง, สังกะสี, แคดเมียมและตะกั่ว มีค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมสารละลายเหล่านี้ลงในน้ำที่ผสมผสานน้ำจืดกับน้ำทะเล แสดงว่ามีการจับโลหะเหล่านี้ไปตกตะกอนด้วยพร้อมกับเหล็กและแมงกานีสตามที่ Sholkovitz (1976) ได้ศึกษาในบริเวณแม่น้ำอะเมซอน นอกจากนี้โลหะหนักที่เติมลงไปยังอาจไปเกิด complex กับพวกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ หรือเกิดกระบวนการดูดซับกับพวกสารแขวนลอยที่มีในน้ำ

(Allen et al., 1982; Anderson et al., 1978; Elliott et al., 1979) ซึ่งจากค่าเฉลี่ยสังกะสีจะเพิ่มมากที่สุด และแคดเมียมจะเพิ่มน้อยที่สุด เนื่องจากสังกะสีมีความไวในการทำปฏิกริยามากกว่าโลหะตัวอื่น (Kieffer, 1976)

การพิจารณาปฏิกริยาที่จะเกิดมีทั้งการตกตะกอนและการดูดซับ แต่กระบวนการดูดซับจะเกิดหลังการตกตะกอน (Burke, 1979) จึงน่าจะเป็นไปได้ว่าโลหะที่เติมลงไปอาจจะไปแทนที่เหล็กในการตกตะกอน แม้ว่าส่วนหนึ่งจะตกตะกอนร่วมไปกับเหล็กและแมงกานีสก็ตาม จึงทำให้ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำมีค่ามากกว่าก่อนการเติมโลหะลงไป และเมื่อพิจารณาจากปริมาณที่เติมลงไปจะสอดคล้องกับการศึกษาของ Robinson (1981) ที่ว่าเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นก็จะมีการดูดซับได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม มันไม่สามารถตกตะกอนลงไปทั้งหมด ก็น่าจะเป็นเพราะว่าโลหะที่เติมเป็นอิออนอิสระ ซึ่งจะถูกดูดซับได้น้อยกว่าอิออนที่เป็น complex (Elliott และ Huang, 1979)

สำหรับแมงกานีสนั้นอาจพิจารณาได้ว่า ในช่วงความเค็ม 0 ถึง 10 ppt. แมงกานีสที่แขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากโลหะที่เติมลงไปร่วมตกตะกอนด้วย และเกิดการดูดซับทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนในช่วงหลังที่ความเค็มมากกว่า 10 ppt. โลหะที่เติมอาจจะไปแทนที่แมงกานีสในการตกตะกอนเช่นเดียวกับเหล็กก็ได้

<u>ผลของจุลินทรีย์ต่อปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำ</u>

1. <u>เหล็ก</u>

การทดลองเติม phenol จำนวน 1 กรัม/น้ำ 1 ลิตร เพื่อเป็น biocide หยุดการทำงานของจุลินทรีย์ ได้ผลว่าปริมาณเหล็กส่วนที่ละลายน้ำของชุดที่เติม phenol มีค่าใกล้เคียงกับชุดที่ไม่เติม phenol และยังคงมีการลดลงของเหล็กส่วนที่ละลายน้ำตามความเค็มที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการทดลองครั้งที่ 1 ทำที่ความเค็มต่างๆ น้อยเกินไปทำให้มองเห็นไม่ชัดเจน (ตารางที่ 5.12 และ 5.13) แต่ผลจากการทดลองครั้งที่ 2 (ตารางที่ 5.14 และ 5.15) ก็ยืนยันเช่นเดียวกับครั้งที่ 1 มีเพียงที่ความเค็ม 5.6 และ 7.4 ppt. ซึ่งมีค่าเปลี่ยนสูงกว่าที่ความเค็มอื่นๆ แต่ก็ยังเป็นปริมาณน้อย (เพียง 0.20 และ 0.21 ไมโครกรัม/ลิตร) สำหรับเหล็กส่วนที่แขวนลอยก็มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองชุด มีเพียงที่ความเค็ม 5.6 ppt. ซึ่งให้ค่าที่เปลี่ยน 0.50 ไมโครกรัม/ลิตร แต่ก็ยังเป็นปริมาณที่น้อย เมื่อคิดจากปริมาณเหล็กที่แขวนลอย

ที่ความเค็มนี้ซึ่งมีค่า 20.70 ไมโครกรัม/ลิตร (ตารางที่ 5.14 และ 5.15) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าจุลินทรีย์ไม่มีผลกับปริมาณเหล็กทั้งส่วนที่ละลายน้ำและส่วนที่แขวนลอย โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของเหล็กเหมือนเดิม (รูปที่ 5.30 และ 5.31) แตกต่างไปจากใน Potomac Estuary ซึ่ง Eaton (1979) ได้ทดลองเติม biocide ในน้ำจากแม่น้ำ Potomac และพบว่าเหล็กส่วนที่ละลายน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลง เนื่องจากกิจกรรมของมวลชีวภาพ

การที่ปริมาณเหล็กส่วนที่ละลายน้ำในการทดลองมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงความเค็ม 0-7.4 ppt. (รูปที่ 5.30 และตารางที่ 5.12) โดยที่ปริมาณเหล็กส่วนที่แขวนลอยก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงความเค็ม 0-5.6 ppt. (รูปที่ 5.13 และตารางที่ 5.12) แสดงว่าการเปลี่ยนรูปแบบของเหล็กไม่ใช่ผลจากจุลินทรีย์ แต่เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การตกตะกอน การดูดซับ กระบวนการ flocculation ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sholkovitz (1978) ที่ใช้ตัวอย่างน้ำจืดจากแม่น้ำ Luce และน้ำทะเลที่ผ่านการกรองด้วยแผ่นกรอง membrane แล้วนำมาผสมกันในห้องปฏิบัติการชั่วระยะเวลาหนึ่ง โดยใช้สัดส่วนของน้ำทั้งสองต่างๆ กัน ให้ได้น้ำที่มีความเค็มต่างๆ แล้วจึงนำมากรองด้วยแผ่นกรอง membrane อีกครั้ง พบว่าเกิด flocculation ได้ดีที่ความเค็ม 0 และ 15 ถึง 20 ppt. ซึ่งเป็นช่วงความเค็มต่ำๆ ที่น้ำมีอินทรีย์สารในปริมาณค่อนข้างสูง

2. <u>แมงกานีส</u>

ในการทดลองนี้ ปริมาณแมงกานีสส่วนที่แขวนลอยและส่วนที่ละลายน้ำของชุดที่เติม phenol ก็มีค่าใกล้เคียงกับชุดที่ไม่เติม phenol เช่นเดียวกับเหล็ก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนรูปแบบของแมงกานีสจึงน่าจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ไม่ใช่ผลของจุลินทรีย์ ดังผลการทดลองที่แมงกานีสส่วนที่ละลายน้ำมีปริมาณลดลงในช่วงความเค็ม 0 ถึง 6.2 ppt. (รูปที่ 5.32 และตารางที่ 5.13) ในขณะที่แมงกานีสส่วนที่แขวนลอยก็เพิ่มขึ้นในช่วงความเค็ม 0 ถึง 6.2 ppt. เช่นกัน