บทที่ 6
สรุปผลการศึกษา

ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล

1. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างน้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 - 11.84ไมโครกรัมต่อลิตร เทียบกับสารมาตรฐานไครซีน ค่าเฉลี่ยตามบริเวณการใช้พื้นที่อุตสาหกรรม ชุมชน และเพาะเลี้ยงคิดเป็น 1.94, 1.12, และ 1.09 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าเฉลี่ยตามระยะทางชายฝั่ง ห่างฝั่ง 5 กม.และห่างฝั่ง 10 กม. คิดเป็น 2.85, 0.67 และ 0.63 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ

การกระจายของปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนตามการใช้พื้นที่ พบว่า มีค่าสูงสุดในบริเวณอุตสาหกรรม ตามมาด้วยชุมชนและเพาะเลี้ยง การกระจายตามระยะทาง พบว่ามีปริมาณสูงสุดบริเวณชายฝั่งและลดลงตามระยะทางที่ห่างฝั่ง โดยบริเวณชายฝั่งมีค่าสูงกว่าบริเวณห่างฝั่งทั้ง 5 กม .และ 10 กม. ประมาณ 4 เท่า จากการทดสอบทางสถิติพบว่าบริเวณชายฝั่งแตกต่างจากบริเวณห่างฝั่งทั้งสองระยะอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนตามบริเวณการใช้พื้นที่พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 3 บริเวณ

2. แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล จากการศึกษารูปแบบของฟลูออเรสเซนต์สเปกตรัม พบว่า มีลักษณะคล้ายกับสเปกตรัมของน้ำมันดีเซล โดยบางสถานีพบว่ามีน้ำมันดิบบางชนิดปนเปื้อนร่วมกับน้ำมันดีเซลด้วย

ไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้า

1. อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

1.1 ปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมของพื้นที่ชายฝั่งระยองมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-14.37 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ย 2.16 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมเฉลี่ยตามการใช้พื้นที่อุตสาหกรรม ชุมชน และเพาะเลี้ยงคิดเป็น 3.36, 2.88 และ 1.31 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ ปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมเฉลี่ยตามระยะทางที่ห่างฝั่ง ชายฝั่ง ห่างฝั่ง 5 กม. ห่างฝั่ง 10 กม. คิดเป็น 5.11, 1.25และ 0.97 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ ปริมาณสูงสุดตามการใช้พื้นที่ พบในบริเวณอุตสาหกรรม ตามมาด้วย บริเวณชุมชน และเพาะเลี้ยงตามลำดับ และพบปริมาณสูงสุดบริเวณชายฝั่งแล้วลดลงเป็นลำดับตามระยะทางที่ห่างฝั่งออกไป

1.2 แหล่งที่มาของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน จากการพิจารณาลักษณะโครมาโตแกรม รูปแบบการกระจายของนอร์มัลอัลเคนและดัชนีต่างๆในแต่ละบริเวณ พบว่า สถานีชายฝั่งบริเวณอุตสาหกรรม บ่งว่า มีการปนเปื้อนจากน้ำมันทั้งจากน้ำมันดีเซล และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องจักรเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่ สถานีห่างฝั่ง 5 กม. แสดงถึงการได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนของน้ำมันจากชายฝั่งมาบ้างในบางช่วง พร้อมๆกับมีลักษณะที่แสดงถึงแหล่งกำเนิดจากกระบวนการทางชีวภาพด้วย ส่วนสถานีห่างฝั่ง 10 กม.บ่งว่าได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนจากน้ำมันที่ก่อเกิดมาจากบนพื้นดินและชายฝั่งไม่มากนัก

บริเวณชุมชนแนวชายฝั่งพบว่า เป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันอย่างชัดเจนทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันเครื่องต่างๆ และเป็นลักษณะการปนเปื้อนของน้ำมันที่ผ่านการย่อยสลายมาแล้ว แนวห่างฝั่ง 5 กม. ได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนของน้ำมันแผ่ออกมาถึง พร้อมกับพบว่ามาจากการสังเคราะห์โดยสาหร่ายบางชนิดด้วย ส่วนแนวห่างฝั่ง 10 กม. พิจารณาโดยรวมแล้วไฮโดรคาร์บอนน่าจะมาจากกระบวนการทางชีวภาพมากกว่าได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนของน้ำมัน

บริเวณเพาะเลี้ยง พิจารณาโดยรวมทั้งแนวบริเวณชายฝั่ง ห่างฝั่ง 5 กม. และห่างฝั่ง 10 กม .แล้ว จะเห็นว่าเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากทั้งการสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนตามธรรมชาติมากกว่าจากน้ำมันที่มาจากเรือประมงต่างๆ

จากการทดสอบทางสถิติพบว่า ปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวม ตามบริเวณการใช้พื้นที่ทั้ง 3 บริเวณ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การเปรียบเทียบตามระยะทางที่ห่างฝั่งพบว่า บริเวณชายฝั่งแตกต่างจากระยะห่างฝั่ง 5 กม.และ 10 กม. อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนบริเวณห่างฝั่ง 5 กม.และ 10 กม.. ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. โพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

2.1 ปริมาณ PAHs รวมมีค่าตั้งแต่ trace - 1.99 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ย 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัม ค่าเฉลี่ยของปริมาณ PAHs รวม ตามการใช้พื้นที่อุตสาหกรรม ชุมชน และเพาะเลี้ยงมีค่า 0.28, 0.36 และ 0.22 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยตามระยะทางที่ห่างฝั่ง ชายฝั่ง ห่างฝั่ง 5 กม.และห่างฝั่ง 10 กม. คิดเป็น 0.51, 0.21 และ 0.11 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ปริมาณสูงสุดของสาร PAHs พบในบริเวณชุมชน ตามมาด้วยบริเวณอุตสาหกรรมและเพาะเลี้ยง ปริมาณสูงสุดตามระยะทาง พบในบริเวณชายฝั่ง และลดลงตามระยะทางที่ห่างฝั่งตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณนอร์มัลอัลเคน แสดงถึงการปนเปื้อนที่มาจากแหล่งก่อเกิดบนพื้นดินเป็นสำคัญ จากการทดสอบทางสถิติปริมาณ PAHs บริเวณชายฝั่งแตกต่างจากระยะห่างฝั่ง 5 กม. และระยะห่างฝั่ง 10 กม. อย่างมีนัยสำคัญ ระยะ 5 กม.และ 10 กม. ไม่มีความแตกต่างกัน การทดสอบตามบริเวณการใช้พื้นที่พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 3 บริเวณ ทั้งนี้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.2 ชนิดของสาร PAHs พบสาร PAHs 16 ชนิดได้แก่ แนพธาลีน, ไดเบนโซฟูราน, ฟลูออรีน, 1 - เมทิลฟลูออรีน, ไดเบนโซไธโอฟีน, แอนทราซีน, ฟลูออแรนทีน, ไพรีน, 11-เอ็ช-เบนโซ (บี) ฟลูออรีน, เบนโซ (เอ) แอนทราซีน, ไครซีน, เบนโซ (อี) ไพรีน, เบนโซ (เอ) ไพรีน, เพอร์ลีน ซึ่งมีลักษณะการกระจายแตกต่างกันไปทั้งชนิดและปริมาณในแต่ละสถานี พบการกระจายของชนิดและปริมาณมากที่สุดในสถานีชายฝั่ง และพบไพรีนในเกือบทุกตัวอย่าง

2.3 แหล่งที่มาของสาร PAHs สาร PAHs ที่พบมีลักษณะคล้ายคลึงกันในทั้ง 3 บริเวณ โดยส่วนใหญ่เป็น Unsubstituted Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ซึ่งพบในการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ และมีลักษณะเด่น คล้ายคลึงกับสาร PAHs ในน้ำมันเครื่องเก่า จึงพิจารณาได้ว่าบริเวณนั้นน่าจะมีการปนเปื้อนจากน้ำมันเครื่องเก่า ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอน ชนิดที่ผ่านการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มาแล้วเป็นส่วนใหญ่

ไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึก

ค่าเฉลี่ยปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมในสถานี A,B,C และ D คิดเป็น 3.32, 2.78 และ 2.95 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณ PAHs รวม คิดเป็น 0.20, 0.07, 0.05 และ 0.04 ในสถานี A,B,C และ D ตามลำดับ

<u>สถานี A</u> บริเวณอุตสาหกรรมห่างจากฝั่งประมาณ 21 กม. ดัชนีของตะกอนชั้นบนและรูปแบบการกระจายของนอร์มัลอัลเคน บ่งถึงอิทธิพลการปนเปื้อนจากน้ำมัน ขณะเดียวกันก็มีลักษณะของการถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย และมีการสังเคราะห์กลับออกมาจากกิจกรรมต่างๆของแบคทีเรียด้วย การย่อยสลายมีแนวโน้มทำให้ปริมาณนอร์มัลอัลเคนลดลงเรื่อยๆตามความลึกจากชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 4 จากนั้นตะกอนในชั้นที่ 5 - 9 มีแนวโน้มจะสูงขึ้นจากการสังเคราะห์โดยกิจกรรมของแบคทีเรีย การพบสาร PAHs ในตะกอนชั้นที่ 1 จนถึงชั้นที่ 3 ซึ่งมีอายุประมาณ 10 ถึง 45 ปี แสดงร่องรอยการปนเปื้อนจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงในบริเวณนี้ที่เริ่มจากการเดินเรือสินค้าซึ่งเป็นเรือกลไฟและเรือจักรไอน้ำในอดีต จนกระทั่งถึงการสัญจรของเรือประมงติดเครื่องยนต์ที่เพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆในปัจจุบัน

<u>สถานี B</u> บริเวณชุมชน ห่างจากฝั่ง ประมาณ 1 กม. รูปแบบโครมาโตแกรมของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ในตะกอนชั้นบนจนถึงชั้นที่ 4 แสดงถึงแหล่งที่มาของการปนเปื้อนจากน้ำมัน โดยที่มีกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นแล้ว และมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านไป ปริมาณนอร์มัลอัลเคนในชั้นลึกๆ(5-9) มีปริมาณสูงขึ้นมาก เนื่องจากการสังเคราะห์โดยแบคทีเรีย การพบสาร PAHs ในชั้นที่ 1 -6 ซึ่งมีอายุตั้งแต่ 7 ปีจนถึง 84 ปี แสดงถึงร่องรอยการปนเปื้อนของ PAHs จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในกิจกรรมการประมงต่างๆในปัจจุบัน ตลอดจนการเดินเรือกลไฟ เรือจักรไอน้ำในการขนส่งสินค้าในอดีต

สถานี C บริเวณเพาะเลี้ยง ห่างฝั่งประมาณ 0.5-1 กม. การพิจารณารูปแบบโครมาโตแกรมของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนจากดัชนีของตะกอนชั้นบนและลักษณะการกระจายของคาร์บอนอะตอมต่างๆ แสดงถึงการได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนจากน้ำมัน และเริ่มมีการย่อยสลายแล้วจนมีปริมาณลดลงมากในชั้นที่ 2 ตะกอนในชั้นที่ 3-8 มีปริมาณนอร์มัลอัลเคนสูงขึ้นมาก ชนิดของคาร์บอนอะตอมเด่นบ่งถึงการสังเคราะห์โดยพืชชั้นสูง เนื่องจากบริเวณนี้เป็นป่าชายเลน หลังจากนั้นปริมาณที่พบก็ค่อยๆลดลง สาร PAHs พบว่า มีการกระจายจากชั้นที่ 1 จนถึงชั้นที่ 8 เนื่องจากตะกอนบริเวณนี้ลักษณะเป็นตะกอนใหม่อายุประมาณ 1-14 ปีมีอัตราการตกตะกอนสูง การปนเปื้อนของสาร PAHs จึงพบในชั้นที่ลึกกว่าทุกๆ สถานี

สถานี D บริเวณควบคุม ห่างฝั่งประมาณ 47 กม. รูปแบบการกระจายของนอร์มัลอัลเคนและดัชนีของตะกอนชั้นบนไม่บ่งถึงการปนเปื้อนจากน้ำมัน ปริมาณที่พบมีแนวโน้มลดลงจากชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 4 โดยมีลักษณะคาร์บอนอะตอมที่มีแหล่งกำเนิดจากการสังเคราะห์โดยไฟโตแพลงตอนเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในชั้นที่ 4 ถึงชั้นที่ 10 พบปริมาณสูงขึ้นมาก และบ่งถึงการสังเคราะห์โดยแบคทีเรียตามธรรมชาติ การพบสาร PAHs ในตะกอนชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ซึ่งมีอายุของตะกอนตั้งแต่ประมาณ 20-54 ปี แสดงร่องรอยของการปนเปื้อนที่อาจเริ่มมาจากการเดินเรือในอดีตเช่นเดียวกับในสถานี A

การศึกษาประวัติการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกทั้ง 4 สถานี ในครั้งนี้ ทำให้มองเห็นภาพรวมได้ว่าในสถานี หรือบริเวณที่อยู่ใกล้ชายฝั่งประมาณ 0.5-1 กม.นั้น การปนเปื้อนจากน้ำมันเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่เมื่อประมาณ 80 ปีที่ผ่านมา (ตัวอย่างจากการศึกษาในสถานี B) ส่วนบริเวณที่อยู่ห่างฝั่งออกไปประมาณ 20-40 กม.(ดังในสถานี A และ D) การปนเปื้อนมีแนวโน้มเพิ่งจะแผ่มาถึงในราว 45-50 ปีที่ผ่านมา และมีร่องรอยทางประวัติศาสตร์ว่าการปนเปื้อนดังกล่าวน่าจะมาจากการเดินเรือสินค้าในอดีต

ข้อเสนอแนะ

1. จากการพบปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำสูงสุดในบริเวณอุตสาหกรรม รองลงมา คือ ชุมชน และเพาะเลี้ยง ตามลำดับ รวมทั้งการพบปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวม และปริมาณ PAH_S สูงสุดในบริเวณอุตสาหกรรมและปริมาณ PAHs สูงในบริเวณชุมชนนั้น กล่าวได้ว่า ในปัจจุบัน ทั้งแหล่งอุตสาหกรรมและบริเวณชุมชน เป็นแหล่งก่อเกิดที่มีแนวโน้มจะปลดปล่อยปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนลงสู่ชายฝั่งทะเลในระดับใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาแล้ว บริเวณชุมชนนั้นเกิดขึ้นมาก่อนแหล่งอุตสาหกรรมเป็นเวลานานมาก เพราะเพิ่งมีการตั้งนิคมอุตสาหกรรมและท่าเทียบเรืออุตสาหกรรมเมื่อราว 8 ปีที่ผ่านมานี่เอง ดังนั้น แหล่งอุตสาหกรรมจึงมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่สูงกว่าแหล่งชุมชน การติดตามตรวจสอบมลภาวะทางน้ำมันในบริเวณนี้จึงควรดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ

2. การศึกษาครั้งนี้พบว่า สาร PAHs ที่สะสมอยู่ในดินตะกอนจากทั้ง 3 บริเวณมีลักษณะคล้ายคลึงกันและมีแหล่งกำเนิดจาก pyrogenic sources เป็นส่วนใหญ่ การจะศึกษาความแตกต่างของสาร PAHs เพื่อบ่งบอกถึงแหล่งที่มาอย่างชัดเจนในแต่ละบริเวณ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะมาจำแนกโดยละเอียดดังได้กล่าวมาแล้ว ในอนาคตอีก 1 -2 ปีข้างหน้า เมื่อโรงกลั่นน้ำมัน 2 โรง และท่าเทียบเรือของโรงกลั่นเริ่มดำเนินการ การปนเปื้อนจากน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูป (petrogenic sources) มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น การศึกษาเพื่อจำแนกชนิดของสาร PAHs ในบริเวณนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจติดตาม เพราะนอกจากจะทำให้เห็นความแตกต่างในแต่ละบริเวณได้ชัดเจนขึ้นแล้ว ก็จะสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงในบริเวณอุตสาหกรรมได้ด้วย อันจะเป็นประโยชน์ในการควบคุมแหล่งก่อเกิดได้ถูกต้องต่อไป

3. การศึกษาประวัติการปนเปื้อนโดยศึกษาปริมาณไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามระดับความลึกเทียบกับอายุตะกอนนั้น เป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษาต่อไป เนื่องจากหากสามารถทำการศึกษาตะกอนตามความลึกหลายๆจุดในบริเวณการใช้พื้นที่หนึ่งๆแล้ว ข้อมูลที่ได้จะมากพอที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ เพื่อทำนายภาวะการปนเปื้อนในอนาคตของบริเวณนั้นได้

4. ควรมีการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลปริมาณมาก เพื่อศึกษาชนิดของสาร PAHs ในน้ำทะเลด้วย เพื่อจะได้เปรียบเทียบแหล่งกำเนิด และความสัมพันธ์ระหว่างปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและในตะกอนได้ดีขึ้น

5. ควรมีการศึกษาถึงชนิดและจำนวนของแบคทีเรียในชั้นดินตะกอนตามลำดับความลึกด้วย เพื่อเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดและเห็นความสัมพันธ์ของสารไฮโดรคาร์บอนกับระดับความลึกของชั้นตะกอนได้ชัดเจนขึ้น