

การประเมินการปนเปื้อน และการฟื้นตัวของสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเชียน จากสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ภายหลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง

Assessment of contamination and recovery of petroleum hydrocarbon in fishes and crustaceans after oil spill into the coastal area, Rayong province

เศรษฐ์ ไกรทัศน์¹, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์^{1*}, ทรงเผ่า สมัชชานนท์¹, เยาวลักษณ์ มั่นธรรม¹,
ชาคริต เรืองสอน¹, อรอิงค์ เวชสิทธิ์¹ และ นิศรา ถาวรโสตร์¹

Set Kraitat¹, Shettapong Meksumpun^{1*}, Songpao Samachchanon¹, Yaowaluk Monthum¹, Chakhrit Ruengsorn¹, Oning Veschasit¹ and Nissara Thawonsode¹

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 10900

¹ Department of Marine science, Faculty of Fisheries, Kasetsart University 10900

* Corresponding author: ffisspm@ku.ac.th

Received: date; July 2, 2020 Accepted: date; August 3, 2020 Published: date

บทคัดย่อ: การประเมินการปนเปื้อน และการฟื้นตัวของสัตว์ทะเลกลุ่มปลา (Fishes) และครัสเตเชียน (Crustaceans) จากสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ภายหลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง ดำเนินการเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเล 2 กลุ่ม คือ กลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเชียน จากประมงพื้นบ้าน แล้วทำการสกัดด้วยวิธี Automated soxhlet extraction ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 ผลการศึกษาทำให้ทราบว่า การปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม (TPH) ในเนื้อสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเชียนมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-20.30 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ซึ่งพื้นที่ๆ มีการปนเปื้อนของ TPH ในสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเชียนสูงที่สุด ได้แก่ พื้นที่บริเวณฝั่งตะวันออกของชายฝั่งจังหวัดระยองซึ่งได้รับผลกระทบจากน้ำมันที่รั่วสูง รองลงมา คือ พื้นที่บริเวณอ่าวเพ และพื้นที่บริเวณฝั่งตะวันตกของชายฝั่งจังหวัดระยองตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการปนเปื้อนของ TPH ในเนื้อสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเชียน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.03$) การปนเปื้อนของ TPH ในสัตว์ทะเลดังกล่าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตามเวลา โดยปลาทรายขาวแถบน้ำตาล (*Scolopsis monogramma*) ต้องใช้เวลา 193 วัน เพื่อให้การปนเปื้อนของ TPH มีค่า 0.30 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของกลุ่มปลาตลอดการศึกษาในครั้งนี้ ส่วนปูม้า (*Portunus pelagicus*) ต้องใช้เวลา 468 วัน เพื่อให้การปนเปื้อนของ TPH มีค่า 0.01 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของกลุ่มครัสเตเชียนตลอดการศึกษารั้งนี้

คำสำคัญ: น้ำมันดิบ, ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน; การประเมิน; การฟื้นตัว

ABSTRACT: The assessment of contamination and recovery of petroleum hydrocarbon in fishes and crustaceans after oil spill into the coastal area, Rayong Province, was carried out. Two groups of marine organisms (fishes and crustaceans) were collected from artisanal fisheries and were extracted with automated soxhlet extraction method during September 2013 and July 2014. Results demonstrated that the contamination of total petroleum hydrocarbon (TPH) in fishes and crustaceans ranged between 0.01-20.30 µg/g dry weight. The highest value of TPH in marine organisms found in the eastern part of Rayong coastline, western part of Rayong coastline and Phe Bay, respectively. Furthermore, there are significantly different ($P=0.03$) between the TPH contamination in fish and crustaceans. The TPH value in fish and crustaceans significantly decreased ($P<0.05$) with the increase of time period. The results indicated that the TPH contamination of Monogrammed monocle bream (*Scolopsis monogramma*) can be recovered in 193 days. The TPH reduced to 0.30 µg/g dry weight (the lowest TPH level of this specie). Moreover, Blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) can be recovered in 468 days. The TPH reduced to 0.01 µg/g dry weight (the lowest TPH level of this specie).

Keywords: oil spill; petroleum hydrocarbon; assessment; recovery

บทนำ

พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง จัดเป็นหนึ่งในพื้นที่ ๆ มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจในภาคตะวันออกของประเทศไทย เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตโครงการพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก (Eastern Seaboard Development Program; ESB) และยังมีแผนที่จะถูกพัฒนาต่อเนื่องภายใต้โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor; EEC) โดยมีการใช้ประโยชน์ที่ดินตลอดแนวชายฝั่งทั้งจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย และแหล่งทำประมงที่สำคัญของภาคตะวันออกอีกด้วย ทั้งนี้ จากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน และยังมีแผนที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต จึงส่งผลให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง เป็นหนึ่งในพื้นที่ ๆ มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม รวมถึงปัญหามลพิษทางทะเลที่อาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรสัตว์น้ำ โดยเฉพาะกลุ่มของสัตว์ทะเลที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ

จากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลจากท่อขนส่งขนาด 16 นิ้ว ในพื้นที่ทางทะเลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งห่างจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 20 กิโลเมตร ส่งผลให้น้ำมันดิบประมาณ 50,000 ลิตร รั่วไหลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล ซึ่งความรุนแรงจัดอยู่ในระดับ 2 (Tier II) คือ มีการรั่วไหลอยู่ในช่วง 20,000-1,000,000 ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นบริเวณกว้าง โดยน้ำมันดิบที่รั่วไหลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณที่รั่วไหล ลักษณะของพื้นที่ รวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันดิบชนิดนั้น ๆ (Wheeler, 1978) โดยองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันดิบคือ สารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ สารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบางชนิด เช่น กลุ่มของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) ยังจัดเป็นสารก่อมะเร็ง และสารก่อการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิต โดยสิ่งมีชีวิตที่ปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง (ATSDR, 1999; Hussein et al., 2016) ทั้งนี้ สารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่สามารถสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้เป็นระยะเวลาอันยาวนานกว่ากลุ่มของสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก โดยสารประกอบเหล่านี้สามารถถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารไปจนถึงผู้บริโภคลำดับสูงสุดคือมนุษย์ได้อีกด้วย (Suwanagosoom, 2001) โดยสุทธิชา และคณะ (2557) ได้

ทำการศึกษาผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลต่อความหนาแน่น และพฤติกรรมของปูทหาร (*Dotilla wichmani*) บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง พบว่า คราบน้ำมันดิบส่งผลกระทบต่อพฤติกรรม และทำให้ความหนาแน่นของปูทหารบริเวณอ่าวพร้าวมีค่าลดลง สำหรับ Ansari and Badisab (2016) ได้ทำการศึกษากาการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเล 3 กลุ่ม บริเวณอ่าวเบงกอล พบว่า สัตว์ทะเลแต่ละกลุ่มมีค่าการปนเปื้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มเซฟาโลพอด (Cephalopod) มีค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมสูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มครัสเตเชียน (Crustaceans) และกลุ่มปลา (Fishes) ตามลำดับ นอกจากนี้ รัตนา (2560) ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันดิบต่อคุณภาพแหล่งประมง และทรัพยากรประมง จังหวัดระยอง โดยการศึกษาในส่วนของกาการประเมินผลกระทบแบบทันที ภายหลังเกิดเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่ว ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำตั้งแต่วันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 (5 วัน ภายหลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล) ถึง 11 กันยายน พ.ศ. 2556 พบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-22.95 มคก./ก. น้ำหนักแห้ง

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปนเปื้อน และการฟื้นตัวของสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเชียนจากสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม (Total petroleum hydrocarbon; TPH) ภายหลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินผลกระทบ และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนป้องกัน และลดผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันดิบที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

วิธีการศึกษา

แผนการศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ ตำบลมาตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ไปทางทิศตะวันออกจนถึง ตำบลเนินช้อ อำเภอแกลง จังหวัดระยอง รวมทั้งสิ้น 17 สถานี แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 3 พื้นที่ (Figure 1) ได้แก่ พื้นที่ ๆ ได้รับผลกระทบระดับต่ำ (L.1-L.7) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (I.8-I.10) และพื้นที่ ๆ ได้รับผลกระทบระดับสูง (H.11-H.17) ดำเนินการเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเล 2 กลุ่ม คือ กลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเชียน ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 รวมทั้งสิ้น 9 ครั้ง รวมเป็นระยะเวลา 340 วัน ภายหลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง โดยตัวอย่างสัตว์ทะเลทั้งหมดได้รับจากชาวประมงที่ทำการประมงแบบพื้นบ้าน (Artisanal fisheries) ซึ่งเลือกเก็บเฉพาะกลุ่มของสัตว์ทะเล ที่ชาวประมงสามารถระบุแหล่งที่มาได้ เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสถานีต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา โดยตัวอย่างที่ได้จะถูกห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ และใส่ในถุงซิปล็อกอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันการสัมผัสกับพลาสติกโดยตรง จากนั้นจึงนำไปเก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

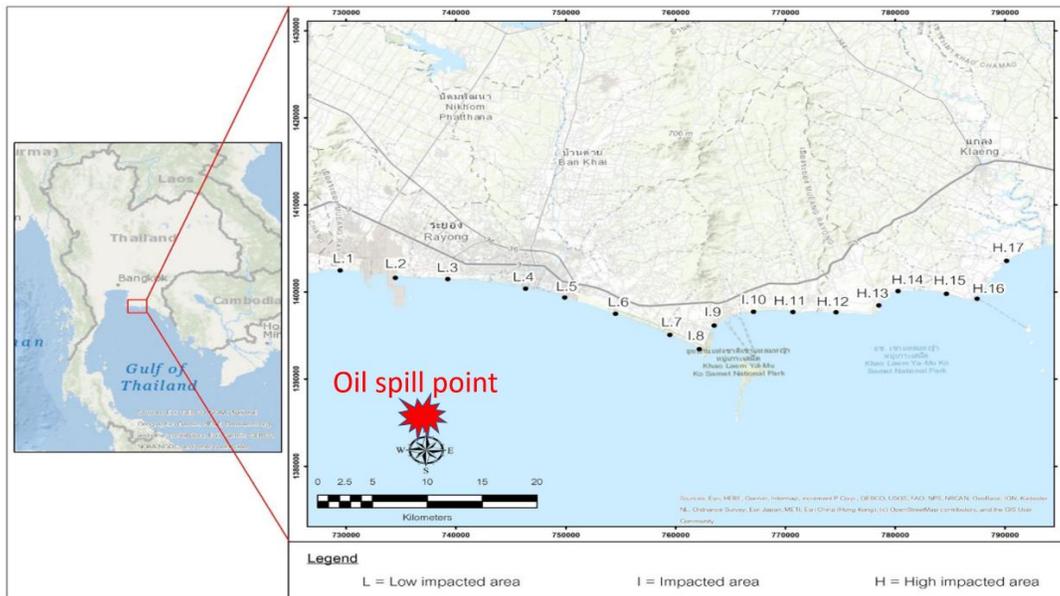


Figure 1 Sampling stations along the coastline, Rayong Province

วิธีการการสกัดสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม

การสกัดสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเชียน ดำเนินการโดยดัดแปลงวิธีการจาก Tolosa et al. (2005) โดยเลือกทำเฉพาะส่วนเนื้อของสัตว์ทะเลที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-dry) ประมาณ 2 ก. มาทำการสกัดในขั้นที่ 1 โดยวิธี Automated soxhlet extraction ซึ่งใช้สารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) ในเมทานอล (Methanol) และโทลูอิน (Toluene) ในอัตราส่วน 7:3 ปริมาตร 300 มล. เป็นตัวทำละลาย ทำการสกัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 24 ชม. จากนั้นจึงถ่ายเฉพาะส่วนของสารละลายผสมที่ได้ ลงในกรวยแยก (Separatory funnel) เพื่อทำการสกัดในขั้นที่ 2 โดยเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized water) 100 มล. และใช้เฮกเซน (Hexane) ปริมาตร 50 มล. เป็นตัวทำละลาย จากนั้นจึงเขย่าเป็นระยะเวลา 10 นาที ปล่อยให้สารละลายแยกชั้น แล้วจึงถ่ายเฉพาะส่วนของเฮกเซนผ่านลงในกระดาดกรองที่บรรจุด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรอส (Sodium sulfate anhydrous) เพื่อกำจัดน้ำที่ปะปนอยู่ในตัวอย่าง ทำการสกัดซ้ำอีกครั้ง โดยใช้เฮกเซน 50 มล. จากนั้นจึงรวมเฮกเซนที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 ครั้ง ไปทำการลดปริมาตรโดยใช้เครื่องระเหยสารแบบลดความดัน (Rotary evaporator) ให้เหลือประมาณ 0.5 มล. (อย่าให้แห้ง) จากนั้นจึงปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มล. ด้วยเฮกเซน บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ได้ ใส่ในขวดแก้วสีชา

การวิเคราะห์หาปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม

นำสารละลายดังกล่าวที่สกัดได้ไปตรวจวัดหาค่าปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโกปี (Fluorescence spectroscopy) ที่ความยาวคลื่น excitation 310 น.ม. และ emission 360 น.ม. โดยใช้ chrysene เป็นสารละลายมาตรฐานในการเปรียบเทียบความเข้มข้น

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมระหว่างสัตว์ทะเล 2 กลุ่ม คือกลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเชียน โดยใช้การวิเคราะห์ t-test จากสมมติฐาน คือ สัตว์ทะเลต่างชนิดกัน จะมีการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมแตกต่างกัน ความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลตามแต่ละพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับต่ำ (L.1-L.7) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (I.8-I.10) และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับสูง (H.11-H.17) โดยใช้การวิเคราะห์ t-test จากสมมติฐาน คือ พื้นที่ ๆ ได้รับผลกระทบแตกต่างกัน จะมีการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลแตกต่างกัน นอกจากนี้ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเล โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) จากสมมติฐาน ว่า ค่าการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในเนื้อของสัตว์ทะเลภายหลังเหตุการณ์น้ำมันรั่ว มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นจึงใช้การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการที่จะถูกนำไปใช้ในการประเมินการฟื้นตัวของสัตว์ทะเลแต่ละกลุ่ม

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษา พบตัวอย่างสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเชียนบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง 46 ชนิด แบ่งออกเป็นกลุ่มปลา 39 ชนิด และกลุ่มครัสเตเชียน 7 ชนิด รวมทั้งสิ้น 116 ตัวอย่าง โดยตลอดการศึกษา พบการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในเนื้อของสัตว์ทะเลทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าอยู่ในช่วง 0.01-20.30 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยสัตว์ทะเลกลุ่มปลามีค่าการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.18-20.30 มก./ก. น้ำหนักแห้ง และสัตว์ทะเลกลุ่มครัสเตเชียนมีค่าการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.01-8.14 มก./ก. น้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับการศึกษาของรัตน (2560) ที่ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันดิบภายหลังเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่ว ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำตั้งแต่วันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ถึง 11 กันยายน พ.ศ. 2556 และพบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-22.95 มก./ก. น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ ยังพบว่าตัวอย่างสัตว์ทะเลร้อยละ 49.14 (57 ตัวอย่างจาก 116 ตัวอย่าง) มีค่าการปนเปื้อนสูงกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการศึกษาของเพ็ญใจ และศุภวัตร (2527) ซึ่งทำการศึกษากการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลบริเวณอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลตะวันออก (ไม่พบรายงานเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหล) โดยพบค่าการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.001-2.376 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยค่าการปนเปื้อนสูงสุดที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ (ปลาดอกหมากครีบสั้น 20.30 มก./ก. น้ำหนักแห้ง) มีค่าสูงกว่า 8.5 เท่า จากค่าสูงสุด (2.38 มก./ก. น้ำหนักแห้ง) ที่ได้จากการศึกษาของเพ็ญใจ และศุภวัตร (2527) และเมื่อพิจารณาค่าการปนเปื้อนที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ (0.01-22.95 มก./ก.) ก็กับการศึกษาของ ศุภวัตรและสุธิดา (2562) ที่ได้ทำการศึกษากการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในหอยสองฝา บริเวณชายฝั่งทะเล ประเทศไทย ซึ่งพบค่าการปนเปื้อนในหอยสองฝายอยู่ในช่วง 0.010-2.089 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ พบว่าตัวอย่างสัตว์ทะเลร้อยละ 50.86 จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าค่าสูงสุด (2.09 มก./ก. น้ำหนักแห้ง) ที่ได้จากการศึกษาของศุภวัตรและสุธิดา (2562) จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลของน้ำมันดิบที่มีต่อการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเล บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง ได้ชัดเจน สำหรับการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในแต่ละพื้นที่ พบการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลมีค่าสูงสุด ได้แก่ พื้นที่ ๆ ได้รับผลกระทบระดับสูง (H.11-H.17) รองลงมาคือ พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (I.8-I.10) และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับต่ำ (L.1-L.7) ตามลำดับ โดยมีค่าการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.04-20.30, 0.48-2.68, 0.01-7.45 และมีค่ามัธยฐาน (Median±Standard error of mean; SE) เท่ากับ 1.72±0.55, 1.35±0.38 และ 0.80±0.20 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Figure 2) ผลการศึกษาคความแตกต่างทางสถิติ (t-test) ของการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์

ทะเลกลุ่มปลาและคริสต์เขียนตามแต่ละพื้นที่ ๆ ทำการศึกษา พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับสูงกับพื้นที่ได้รับผลกระทบระดับต่ำ ($P=0.01$) และระหว่างพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับสูงกับพื้นที่ได้รับผลกระทบ ($P=0.04$) แสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของน้ำมันรั่วที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและคริสต์เขียน บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง มีความแตกต่างกันในละพื้นที่ ทั้งนี้ เนื่องมาจากในช่วงเริ่มต้นของเหตุการณ์น้ำมันรั่ว ภาพถ่ายดาวเทียมของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2556) แสดงให้เห็นภาพสะท้อนของคราบน้ำมันที่เคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง โดยมีการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (I.8-I.10) เป็นพื้นที่แรก และด้วยทิศทางของกระแสน้ำในช่วงเวลาเกิดเหตุ มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกของชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง คราบน้ำมันจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (I.8-I.10) จึงเคลื่อนที่ต่อไปยังพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับสูง (H.11-H.17) ประกอบกับพฤติกรรมของน้ำมันดิบที่เมื่อเกิดการรั่วไหล ในระยะแรกจะลอยเป็นแผ่นฟิล์มคลุมอยู่บริเวณผิวน้ำทะเล (การแพร่กระจายลงสู่ชั้นน้ำระดับที่ลึกลงไปเกิดขึ้นได้น้อย) และเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของกระแสน้ำ สารประกอบปิโตรเลียมบางกลุ่มจะระเหยออกไปในช่วงเวลานี้ สำหรับสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ เมื่อระยะเวลาผ่านไป บางส่วนเกิดการรวมตัวกับน้ำทะเลผ่านกระบวนการ Emulsifications จนทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจากผิวน้ำทะเลสู่ชั้นน้ำระดับที่ลึกลงไป (Wheeler, 1978) ซึ่งทำให้การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมีลักษณะที่ครอบคลุมพื้นที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเลตามแนวตั้ง (Vertical profile) มากกว่าช่วงระยะเวลาเริ่มแรกที่เกิดเหตุการณ์ จากข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุที่การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์ทะเลบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (I.8-I.10) มีค่าต่ำกว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับสูง (H.11-H.17) นอกจากนี้ ลักษณะการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ ๆ มีความแตกต่างกัน ยังมีส่วนเสริมที่ทำให้เกิดความแตกต่างด้านการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเล โดยผลจากการสำรวจภาคสนาม พบว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับสูง (H.11-H.17) มีกิจกรรมที่เป็นทั้งแหล่งชุมชน แหล่งจอดเรือประมง ซึ่งรวมถึงเรือประมงแบบพื้นบ้านและพาณิชย์ นอกจากนี้ยังมีจุดขนถ่ายสัตว์น้ำจากเรือประมงแบบพื้นบ้านกระจายตัวอยู่ทั่วไปบริเวณชายฝั่ง อีกทั้งยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีกิจกรรมทางน้ำ เช่น สปีดโบ๊ท และเจ็ทสกี ในขณะที่พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (I.8-I.10) เป็นแหล่งชุมชน และท่าเรือโดยสารระหว่างชายฝั่งกับเกาะเสม็ด สำหรับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบระดับต่ำ (L.1-L.7) มีลักษณะของที่อยู่อาศัยกระจายตัวอยู่ห่าง ๆ มีจุดขนถ่ายสัตว์น้ำจากเรือประมงพื้นบ้าน และเป็นจุดที่มีการท่องเที่ยวเช่นเดียวกับพื้นที่ ๆ ได้รับผลกระทบระดับสูง แต่กิจกรรมที่พบมีระยะห่าง และความถี่ที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจน สอดคล้องกับผลการศึกษาของสาวิตรี (2558) ที่ทำการศึกษากการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง และพบว่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลมีความแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของทรงเผ่า (2558) ที่ทำการศึกษากการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง และพบว่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ชุมชนและท่าเรือมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือพื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่ท่องเที่ยว และพื้นที่ ๆ อยู่อาศัย ตามลำดับ

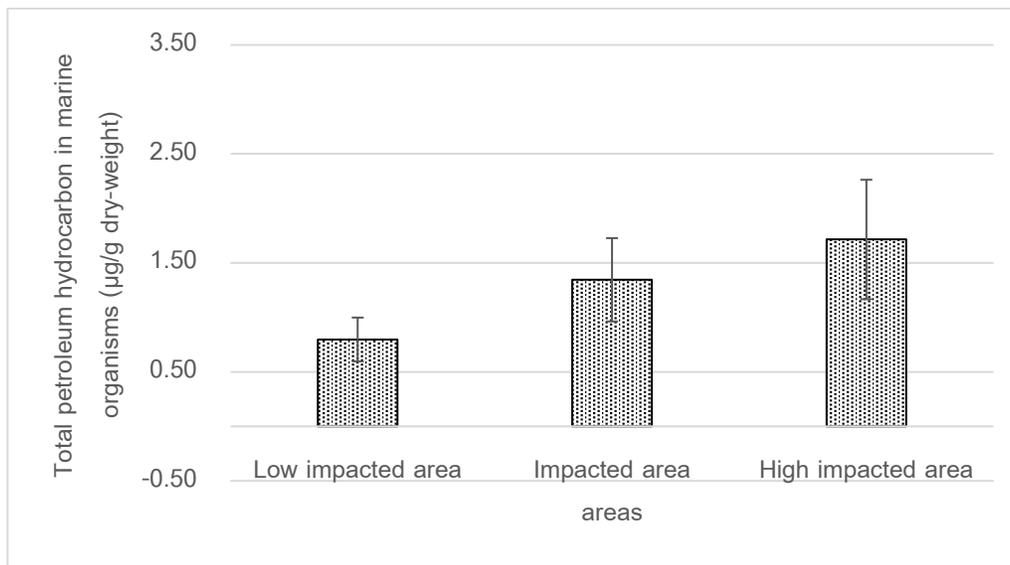


Figure 2 Total petroleum hydrocarbon in marine organisms from different areas

ผลการศึกษาการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเชียน (Figure 3) พบว่า การปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในกลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเชียน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.03$) โดยการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลามีค่าสูงกว่ากลุ่มครัสเตเชียน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.30-20.30 และ 0.01-8.14 และมีค่ามัธยฐาน (Median±SE) เท่ากับ 1.39 ± 0.54 และ 0.94 ± 0.24 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แตกต่างจากผลการศึกษาของ Ansari et al. (2012) ที่ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเล 3 กลุ่ม บริเวณอ่าวเบงกอล ได้แก่ กลุ่มปลา (Fishes) กลุ่มครัสเตเชียน (Crustaceans) และกลุ่มเซฟาโลพอด (Cephalopoda) โดยพบว่า กลุ่มเซฟาโลพอด (Cephalopod) มีค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มครัสเตเชียน (Crustaceans) และกลุ่มปลา (Fishes) ตามลำดับ ทั้งนี้ ความแตกต่างของข้อมูลดังกล่าว เกิดขึ้นจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำภายใต้เหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล ในขณะที่การศึกษาของ Ansari et al. (2012) เป็นการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำภายใต้สถานการณ์ปกติ ประกอบกับพฤติกรรมของน้ำมันดิบที่เมื่อเกิดการรั่วไหลจะมีลักษณะการแพร่กระจายตามแนวตั้ง คือเริ่มจากผิวน้ำทะเลลงสู่ชั้นกลางน้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเลกลุ่มปลา ก่อนแพร่กระจายหรือตกตะกอนลงสู่พื้นทะเล ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเลกลุ่มครัสเตเชียน ส่งผลให้ค่าการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์ทะเลกลุ่มปลามีค่าสูงกว่ากลุ่มครัสเตเชียนในช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล นอกจากนี้ อัตราการสะสม (Accumulation rate) และอัตราการปลดปล่อย (Excretion rate) สารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์ทะเลยังมีความแตกต่างกันตามแต่ละกลุ่มของสิ่งมีชีวิต โดยความแตกต่างดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับขนาด ช่วงอายุ ลักษณะการกินอาหาร และแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ (สุวัจน์, 2558; Neff et al., 1976)

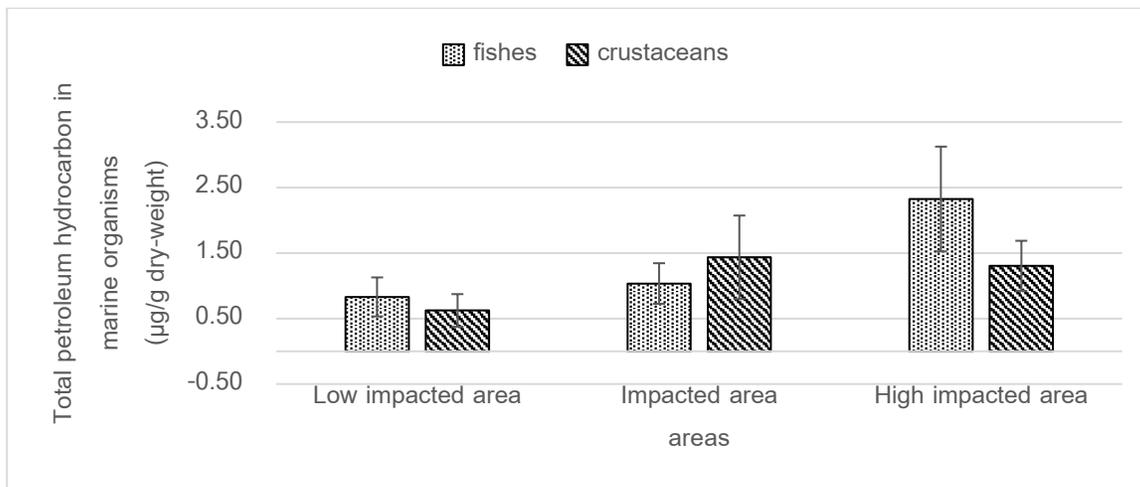


Figure 3 Total petroleum hydrocarbon in fishes and crustaceans from different areas

ในการศึกษาได้พบว่า ภายหลังจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าสู่พื้นที่ทางทะเล บริเวณชายฝั่ง จังหวัดระยอง เมื่อเวลาผ่านไป กลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่ทำการศึกษา 2 กลุ่ม คือ กลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเชียน มีปริมาณการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ลดลง ซึ่งทำให้เกิดการศึกษาด้านการประเมินการฟื้นตัวของสัตว์ทะเลจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม ซึ่งได้ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย (Correlation and regression analysis) เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการประเมินระยะเวลาที่สัตว์ทะเลแต่ละกลุ่มต้องใช้ในการฟื้นตัวจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม ภายหลังจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล ซึ่งค่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเชียนโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1-5 (อยู่ในช่วง 47-125 วัน ภายหลังจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล) มาใช้ในการประเมิน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวยังคงอยู่ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่เกิดเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล (กรกฎาคม พ.ศ. 2556) ประกอบกับกิจกรรมทั้งจากการประมง และการท่องเที่ยวทางทะเลยังมีน้อย ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อ การปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยผลการศึกษา พบว่า การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับระยะเวลา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Spearman's correlation coefficient; R) เท่ากับ -0.634 แสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลา ภายหลังจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.00$) และเมื่อนำค่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในเนื้อของปลาทรายขาวแถบน้ำตาล (*Scolopsis monogramma*) ซึ่งเป็นตัวแทนของสัตว์ทะเลกลุ่มปลา มาใช้ในการประเมินการฟื้นตัวจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม โดยใช้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย (Figure 4) พบว่า ต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 193 วัน เพื่อที่การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในเนื้อของปลาทรายขาวแถบน้ำตาลจะมีค่าเท่ากับ 0.30 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของสัตว์ทะเลกลุ่มปลาที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) ของสมการถดถอยเท่ากับ 0.9612

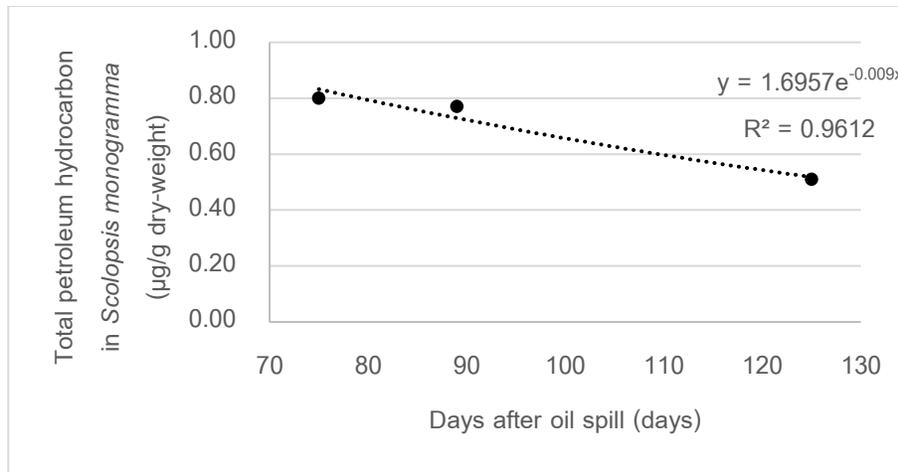


Figure 4 Regression analysis of total petroleum hydrocarbon in *Scolopsis monogramma*

สำหรับการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มครัสเตเชียน พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับระยะเวลาเช่นเดียวกันกับสัตว์ทะเลกลุ่มปลา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Spearman's correlation coefficient; R) เท่ากับ -0.515 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มครัสเตเชียนภายหลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.03$) และเมื่อนำค่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในเนื้อของปูม้า (*Portunus pelagicus*) ซึ่งเป็นตัวแทนของสัตว์ทะเลกลุ่มครัสเตเชียน มาใช้ในการประเมินการฟื้นตัวจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม (Figure 5) พบว่า ต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 468 วัน เพื่อที่การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในเนื้อของปูม้าจะมีค่าเท่ากับ 0.01 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของสัตว์ทะเลกลุ่มครัสเตเชียนที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) ของสมการถดถอยเท่ากับ 0.5205

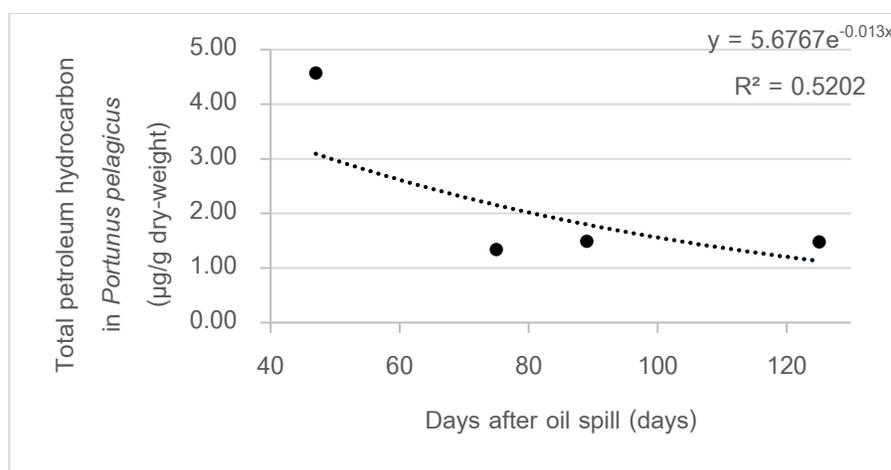


Figure 5 Regression analysis of total petroleum hydrocarbon in *Portunus pelagicus*

จากผลการศึกษาด้านการประเมินการปนื้อตัวของสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเซียนจากการปนื้อสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม ภายหลัเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าสู่พื้นที่ทางทะเล บริเวณชายฝั่ง จังหวัดระยอง แสดงให้เห็นว่า สัตว์ทะเลกลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเซียน มีความสามารถในการปนื้อตัวจากการปนื้อสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในระดับที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากอัตราการนำเข้า (Exposure rate) อัตราการสะสม (Accumulation rate) และอัตราการขับออก (Excretion rate) ของสัตว์ทะเลแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน (Neff et al., 1976; Ansari et al., 2012)

สรุป

การประเมินการปนื้อ และ การปนื้อตัวของสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเซียนจากสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม ภายหลัเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง พบว่า การปนื้อของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเซียน มีความแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ โดยพบค่าสูงที่สุดในพื้นที่ ๆ ได้รับความผลกระทบระดับสูงรองลงมา คือ พื้นที่ ๆ ได้รับความกระทบ และพื้นที่ ๆ ได้รับความกระทบระดับต่ำ ตามลำดับ โดยการปนื้อของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในเนื้อของสัตว์ทะเลกลุ่มปลามีค่าสูงกว่ากลุ่มครัสเตเซียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการประเมินการปนื้อตัวของสัตว์ทะเลกลุ่มปลาและครัสเตเซียนจากสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวม ภายหลัเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล พบว่า สัตว์ทะเลกลุ่มปลาและกลุ่มครัสเตเซียน จะใช้ระยะเวลาในการปนื้อตัวที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ การประเมินดังกล่าวเป็นการประเมินที่เกิดขึ้นจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่จริง ซึ่งไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมได้ จึงควรที่จะมีการศึกษาในห้องปฏิบัติการควบคู่กัน เพื่อชี้ให้เห็นถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ปนื้อในสัตว์ทะเล และเพื่อทำให้การประเมินมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุนงานวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณทีมนิสิตจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และห้องปฏิบัติการวิจัยดินตะกอนและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง ที่ให้ความร่วมมือในการออกสำรวจทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในภาคสนามเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. การคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ และ แนวทางจัดการแก้ไข. ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.
- ทรงเผ่า สมัชชานนท์, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และ พงศ์ จันทรวล. 2558. การปนื้อของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง. น. 1211-1218. ใน: ประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 (สาขาประมง) 3-6 กุมภาพันธ์ 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ ศุภวัตร แซ่ลิ้ม. 2527. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในอ่าวไทยตอนบน. รายงานปัญหาพิเศษ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- รัตนา มั่นประสิทธิ์. 2560. การประเมินผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันดิบต่อคุณภาพแหล่งประมง และทรัพยากรประมงบริเวณจังหวัดระยอง. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 1/2560. กรมประมง, กรุงเทพฯ.

- ศุภวัตร กาญจนอติเรกกลาก และสุธิดา กาญจนอติเรกกลาก. 2562. การปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในหอยสองฝา บริเวณชายฝั่งทะเล ประเทศไทย. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 1/2562. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- สุวัจน์ ชุมทรัพย์. 2558. ผลกระทบจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุธิชา ภูแก้วแก้ว, จรวย สุขแสงจันทร์, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และธรรณ์ ชำรงค์นาวาสวัสดิ์. 2557. การศึกษาความหนาแน่นและพฤติกรรมของปูทหาร (*Dotilla wichmani*) หลังจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเข้าอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง. น.548-554. ใน ประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 4 วันที่ 10-12 มิถุนายน 2557. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- สาวิตรี ชูบุบผา, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และ นิศรา อารวโสตร์. 2558. การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่ง จังหวัดระยอง. น. 1131-1141. ใน: ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 (สาขาประมง) วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1999. Toxicological profile for total petroleum hydrocarbons (TPH). U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
- Ansari, Z., C. Desilva, and S. Badesab. 2012. Total petroleum hydrocarbon in the tissues of some commercially important fishes of the Bay of Bengal. Marine Pollution Bulletin. 64: 2564-2568.
- Neff, J., B. Cox, D. Dixit, and J. Anderson. 1976. Accumulation and Release of Petroleum-Derived Aromatic Hydrocarbons by Four Species of Marine Animals. Marine Biology. 38: 279-289.
- Hussein, I., A. Shafy, and M. Mansour. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. Egyptian Journal of Petroleum. 25: 107-123.
- Suwanagosoom, S. 2001. Accumulation of total petroleum hydrocarbon in marine food chain around Phe bay, Rayong province. M.S.Thesis. Mahidol University, Bangkok.
- Tolosa, I., S. Mora, S. Fowler, J. Villeneuve, J. Bartocci, and C. Cattini. 2005. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. Marine Pollution Bulletin. 50: 1691-1633.
- Wheeler, R. B. 1978. The Fate of Petroleum in the Marine Environment (Special Report). Exxon Production Research Company, Houston, TX, USA.