บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

5.1 คุณภาพน้ำ

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในช่วงฤดูฝน (ค่าเฉลี่ย 8.0±0.1) มีค่าต่ำกว่าฤดูแล้ง (ค่าเฉลี่ย 8.1±0.1) เป็นผลเนื่องมาจากในฤดูฝนมีปริมาณน้ำท่าไหลลงสู่อ่าวไทยตอนใน (>120x10^6 ลบ.ม. ต่อวัน) มากกว่าในฤดูแล้ง (<100x10^6 ลบ.ม. ต่อวัน) จึงมีการสะสมของสารอินทรีย์ และเกิดการย่อยสลาย ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลลดลงเล็กน้อย

อุณหภูมิของน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ยกเว้นในระหว่าง 7-11 กันยายน 2553 ที่พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด (31.3±0.6 °C) เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำทะเลมีแนวโน้มแปรผันตามอุณหภูมิอากาศ ซึ่งประเทศไทยมีอุณหภูมิอากาศที่ค่อนข้างคงที่ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554) ทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ความเค็มของน้ำทะเลในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุด (32.9±1.4) ในช่วงฤดูแล้ง (20-24 มีนาคม 2553) และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (26.8±1.9) ในช่วงฤดูฝน (30 สิงหาคม-3 กันยายน 2552) เนื่องจากในช่วงฤดูแล้งจะมีปริมาณน้ำท่า (~80x10^6 ลบ.ม. ต่อวัน) ที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนในน้อยกว่าในฤดูฝน (~320x10^6 ลบ.ม. ต่อวัน) จึงส่งผลให้ความเค็มของน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในในช่วงฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝน โดยการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่ผิวน้ำทะเลทั้งสองฤดูกาลมีลักษณะการกระจายที่ใกล้เคียงกันคือจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อห่างจากปากแม่น้ำหรือชายฝั่งออกไป (ภาพที่ 4-2)

จากข้อมูลพบว่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทะเลมีปริมาณใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ยกเว้นในระหว่าง 7-11 กันยายน 2553 โดยสภาพด่างทั้งหมดที่ผิวน้ำทะเลในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำบางปะกงมีปริมาณน้อยกว่า 1000 μmol/kg (ภาพที่ 4-3 (ง)) เนื่องจากในระยะเวลาดังกล่าวปริมาณน้ำท่าจากแม่น้ำบางปะกงมีสัดส่วนสูงถึง 58.2% ของปริมาณน้ำท่ารวม ซึ่งปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่าวไทยในปริมาณมากนี้จะนำพาเอาสารอินทรีย์ และสารประกอบคาร์บอนจากแผ่นดินมาด้วย เมื่อเกิดการย่อยสลายก็จะมีผลทำให้สภาพด่างทั้งหมดของน้ำทะเลลดลงได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.2 pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน

อ่าวไทยตอนในที่ระดับผิวน้ำทะเล มีปริมาณ pCO_2 เฉลี่ย 165.9±74.2 µatm ซึ่งน้อยกว่า pCO_2 ที่มีอยู่ในบรรยากาศ (Undersaturation) สำหรับปริมาณ pCO_2 (360 µatm) ในการศึกษาครั้งนี้นำมาจากการศึกษาของ Zhai et al. (2005) ซึ่งเป็นปริมาณ pCO_2 ในบรรยากาศในบริเวณทางตอนเหนือของทะเลจีนใต้ และเป็นพื้นที่ที่ใกล้กับอ่าวไทยตอนใน มาใช้ในการคำนวณฟลักซ์สุทธิของ CO_2 เพื่อประเมินศักยภาพของอ่าวไทยตอนในในการรองรับ CO_2 จากบรรยากาศ โดยเลือกใช้ pCO_2 ในบรรยากาศเพียงค่าเดียว เนื่องจากเมื่อพิจารณาข้อมูลความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยของความกดอากาศเท่ากับ 1007.8, 1011.1, 1010.9, 1008.0 และ 1010.0 เฮกโตปาสคาล ระหว่าง 30 สิงหาคม-3 กันยายน 2552, 18-22 พฤศจิกายน 2552, 20-24 มีนาคม 2553, 7-11 กันยายน 2553 และ 1-5 มีนาคม 2554 ตามลำดับ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554)

จากผลการศึกษา pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในนั้นแสดงให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ (165.9±74.2 µatm) สอดคล้องกับการศึกษาที่ทะเลเหนือพบว่าที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณ pCO_2 ต่ำกว่า 300 µatm (Frankignoulle & Borges, 2001; Schiettecatte, Thomas, Bozec, & Borges, 2007) เช่นเดียวกับช่องแคบอังกฤษที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณ pCO_2 เท่ากับ 190 µatm (Gypens, Lancelot, & Borges, 2004) และชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่ในทวีปยุโรป (European Coastal Water) พบว่าที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณ pCO_2 ต่ำกว่า 200 µatm (Borges et al., 2006) รวมถึงบริเวณชายฝั่งทะเลของอลาสกา (มหาสมุทรอาร์กติก; Arctic Ocean) ซึ่งที่ผิวน้ำทะเลมักมีปริมาณ pCO_2 น้อยกว่า 300 µatm (Murata & Takizawa, 2003; Jutterstrom & Anderson, 2010) ซึ่งบริเวณที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนี้ เป็นบริเวณที่ตั้งอยู่ในเขตอบอุ่นและเขตหนาวที่พบว่าเป็นแหล่งดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ ส่วนในเขตร้อน ซึ่งยังไม่มีการศึกษาปริมาณ pCO_2 มีแต่เพียงการทำนายผลจากแบบจำลองเท่านั้น (Takahashi, 2001) ที่ระบุว่าในทะเลเขตร้อนหรือบริเวณที่อยู่ในเขตละติจูดต่ำจะมีแนวโน้มเป็นแหล่งปลดปล่อย CO_2 ออกสู่บรรยากาศ การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ ซึ่งต่างจากงานวิจัยดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากอ่าวไทยตอนในตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา พบว่ามีการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี โดยแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่สำคัญในห่วงโซ่อาหารนั้นมีส่วนช่วยในการดูดซับ CO_2 ในน้ำทะเล จึงส่งผลให้อ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่า pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในมีความแตกต่างตามฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือในฤดูแล้งมีปริมาณ pCO_2 อยู่ในช่วง 103.7-270.3 µatm ขณะที่ในฤดูฝน pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณอยู่ในช่วง 49.2-590.1 µatm ซึ่งมีการผันแปรอยู่ในช่วงกว้างกว่าฤดูแล้ง (ภาพที่ 5-1) โดยเฉพาะในระหว่าง 18-22 พฤศจิกายน 2552 ซึ่งเป็นช่วงปลายของฤดูฝน พบว่าในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณสูงสุดคือ 590.1 µatm ซึ่งมีปริมาณสูงกว่า pCO_2 ที่มีอยู่ในบรรยากาศ (Oversaturation) เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวนี้มีสารอินทรีย์คาร์บอนจากแผ่นดินถูกพัดพาลงสู่อ่าวไทยตอนใน ผ่านแม่น้ำบางปะกงในปริมาณมาก (Boonphakdee & Fujiwara, 2008; Boonphakdee, Kasai, Fujiwara, Sawangwong, & Cheevaporn, 2008) ซึ่งปริมาณน้ำท่าจากแม่น้ำบางปะกงในระหว่าง 18-22 พฤศจิกายน 2552 มีมากถึง 34.4% ของปริมาณน้ำท่ารวม ส่งผลให้ในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงมีปริมาณ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลสูงกว่าในบริเวณปากอ่าว (101.2 µatm) (ภาพที่ 4-4 (ข)) เช่นเดียวกับในบริเวณปากแม่น้ำ Changjiang ประเทศจีน ซึ่งพบว่า pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณ 375 µatm (Zhai & Dai, 2009) และอ่าว Hangzhou ประเทศจีน ที่พบว่า pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในบริเวณดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 168-2264 µatm ซึ่งส่วนใหญ่มีปริมาณสูงกว่า pCO_2 ที่มีอยู่ในบรรยากาศ (Xuelu et al., 2008)

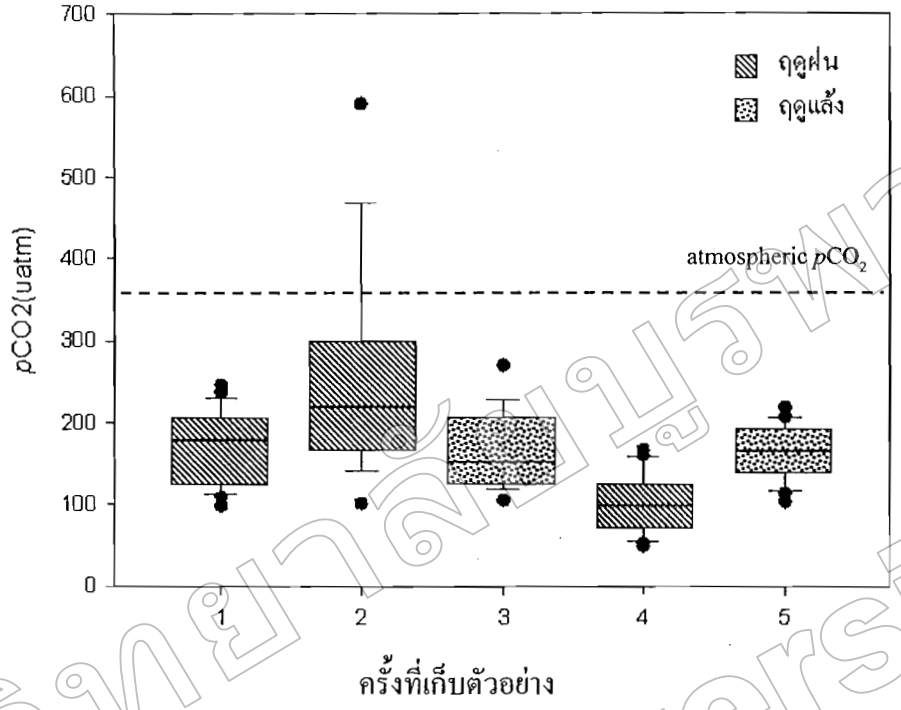
ส่วนในฤดูฝน พบว่าในบริเวณทะเลใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) และปากแม่น้ำ มีปริมาณ pCO_2 สูงกว่าในบริเวณที่ห่างฝั่ง (Offshore) (ภาพที่ 4-4 (ก และ ง)) เช่นเดียวกับในบริเวณตอนใต้ของทะเลเหลือง (Southern Yellow Sea) (Zhang et al., 2010) และทางตอนใต้ของทะเลเหนือ (Southern North Sea) (Gypens et al., 2011) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริเวณทะเลใกล้ชายฝั่งเป็นบริเวณที่ได้รับสารประกอบคาร์บอนจากแผ่นดินมากกว่าในบริเวณที่ห่างฝั่ง จึงทำให้บริเวณใกล้ชายฝั่งมีปริมาณ pCO_2 สูงกว่าในบริเวณที่ห่างฝั่ง ยกเว้นในบริเวณใกล้กับปากแม่น้ำบางปะกง (30 สิงหาคม-3 กันยายน 2552) ที่พบว่ามีปริมาณ pCO_2 (<140 µatm) ต่ำกว่าบริเวณอื่นในอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 4-4 (ก)) เนื่องจากในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงช่วงเวลาดังกล่าวนั้น พบว่าเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี CO_2 ที่ละลายน้ำจึงถูกใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้ในบริเวณดังกล่าวมีปริมาณ pCO_2 ต่ำกว่าในบริเวณอื่น เช่นเดียวกับบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ในระหว่าง 7-11 กันยายน 2553 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี จึงพบว่ามีปริมาณ pCO_2 (<100 µatm) ต่ำกว่าบริเวณอื่นในอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 4-4 (ง))

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

นอกจากนี้ยังพบว่าในระหว่าง 7-11 กันยายน 2553 ที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณ pCO_2 เฉลี่ย (100.0±35) ต่ำกว่าในช่วงฤดูฝนครั้งอื่น (30 สิงหาคม-3 กันยายน 2552 และ 18-22 พฤศจิกายน 2552) (ภาพที่ 5-1) เนื่องจากในระหว่าง 7-11 กันยายน 2553 นั้น พบว่ามีการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีตลอดแนวชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำ CO_2 ที่ละลายน้ำจึงถูกใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช ประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าวมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทะเล (31.3±0.6 °C) สูงกว่าในการศึกษาครั้งอื่น ทำให้ CO_2 จากบรรยากาศแพร่ลงสู่ผิวน้ำทะเลได้น้อยกว่าในขณะที่น้ำทะเลมีอุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลให้ในบริเวณดังกล่าวมีปริมาณ pCO_2 ต่ำกว่าในช่วงฤดูฝนครั้งอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Takahashi (2001) และ Murata and Takizawa (2003) ที่พบว่า CO_2 จากบรรยากาศแพร่ลงสู่ผิวน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิต่ำได้มากกว่าในน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูง

ขณะที่ในช่วงฤดูแล้ง บริเวณทะเลชายฝั่งและปากแม่น้ำมีปริมาณ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล (>180 µatm) สูงกว่าในบริเวณปากอ่าว (<150 µatm) (ภาพที่ 4-4 (ค และ จ)) ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณทะเลชายฝั่งและปากแม่น้ำมีการสะสมของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง (Onpankoon, Boonphakdee, Laoharojanaphand, & Chantarachot, 2012) เมื่อเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ดังกล่าว จะปลดปล่อย CO_2 ออกสู่น้ำทะเล จึงส่งผลให้ในบริเวณดังกล่าวมี pCO_2 สูงกว่าในบริเวณปากอ่าว ยกเว้นบริเวณปากแม่น้ำบางประกง ในระหว่าง 1-5 มีนาคม 2554 ที่พบว่ามีปริมาณ pCO_2 (<150 µatm) ใกล้เคียงกับบริเวณปากอ่าว (ภาพที่ 4-4 (ก)) เนื่องจากในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงช่วงเวลาดังกล่าวนั้น พบว่าเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี CO_2 ที่ละลายน้ำจึงถูกใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้ในบริเวณดังกล่าวมีปริมาณ pCO_2 ต่ำกว่าในบริเวณปากแม่น้ำอื่น

ซึ่งผลการศึกษาที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและพื้นที่ (Seasonal and Spatial Variations)



ภาพที่ 5-1 pCO_2 (µatm) ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน ตลอดระยะเวลาทำการศึกษา; ครั้งที่ 1 (30 สิงหาคม-3 กันยายน 2552), ครั้งที่ 2 (18-22 พฤศจิกายน 2552), ครั้งที่ 3 (20-24 มีนาคม 2553), ครั้งที่ 4 (7-11 กันยายน 2553) และครั้งที่ 5 (1-5 มีนาคม 2554)

หมายเหตุ เส้นประหมายถึง pCO_2 ในบรรยากาศ (Zhai et al., 2005)

สัญลักษณ์ • หมายถึง Outliner ของชุดข้อมูล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.3 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของ pCO_2 ในอ่าวไทยตอนใน

การที่บริเวณปากแม่น้ำมีปริมาณ pCO_2 (>150 µatm) สูงกว่า pCO_2 ในบริเวณปากอ่าวทั้งในฤดูแล้ง (20-24 มีนาคม 2553) และฤดูฝน (7-11 กันยายน 2553) (ภาพที่ 4-6) นั้นมีความสัมพันธ์กับผลการศึกษาของ Onpankoon et al. (2012) ที่พบว่าสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Matter; TOM) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon; TOC) ที่ผิวหน้าดินตะกอน (Surface Sediment) ในบริเวณปากแม่น้ำมีปริมาณ >80 และ >15 mg/g ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าในบริเวณปากอ่าว (TOM <50 mg/g; TOC <5 mg/g) ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน เนื่องจากในบริเวณปากแม่น้ำเป็นบริเวณที่อยู่ติดกับแผ่นดิน ได้รับสารประกอบคาร์บอนจากแผ่นดิน จึงมักเกิดการตกทับถมของสารอินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าดินตะกอนบริเวณพื้นท้องทะเลในปริมาณสูง สังเกตได้จากลักษณะของดินตะกอนที่เป็น โคลนละเอียดและมีสีดำ ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจน (O_2) ของผู้ย่อยสลาย เช่น จุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณ O_2 ลดลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่า Redox Potential (ORP หรือ Eh) บริเวณผิวหน้าดินตะกอน ที่พบว่ามี Eh เท่ากับ -200 mV (ศิริพรเพ็ญ อ่อนปานกุล; ยังไม่เผยแพร่) ซึ่ง Eh ใช้บ่งบอกถึงปริมาณ O_2 โดยในบริเวณที่ Eh มีค่าติดลบ แสดงว่าในบริเวณนั้นมีปริมาณ O_2 ต่ำ (Kristensen, 2000) จากนั้น CO_2 ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายดังกล่าวจะแพร่ออกสู่มวลน้ำบริเวณเหนือพื้นท้องทะเล ขณะที่บริเวณปากอ่าวซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแผ่นดิน และมีการสะสมของสารอินทรีย์ในดินตะกอนน้อยกว่าในบริเวณปากแม่น้ำ ดินตะกอนในบริเวณนี้มีลักษณะเป็นทรายปนโคลน โดยที่ผิวหน้าดินตะกอนจะมี Eh ประมาณ -60 mV ซึ่งสูงกว่า Eh ที่ผิวหน้าดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ แสดงให้เห็นว่า O_2 ที่ผิวหน้าดินตะกอนในบริเวณปากอ่าวถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ค่อนข้างน้อย จึงทำให้มีการปลดปล่อย CO_2 สู่น้ำทะเลในปริมาณน้อยกว่าในบริเวณพื้นท้องทะเลที่มีลักษณะเป็นโคลน ส่งผลให้ในบริเวณนี้มีปริมาณของ pCO_2 ต่ำกว่าในบริเวณปากแม่น้ำ

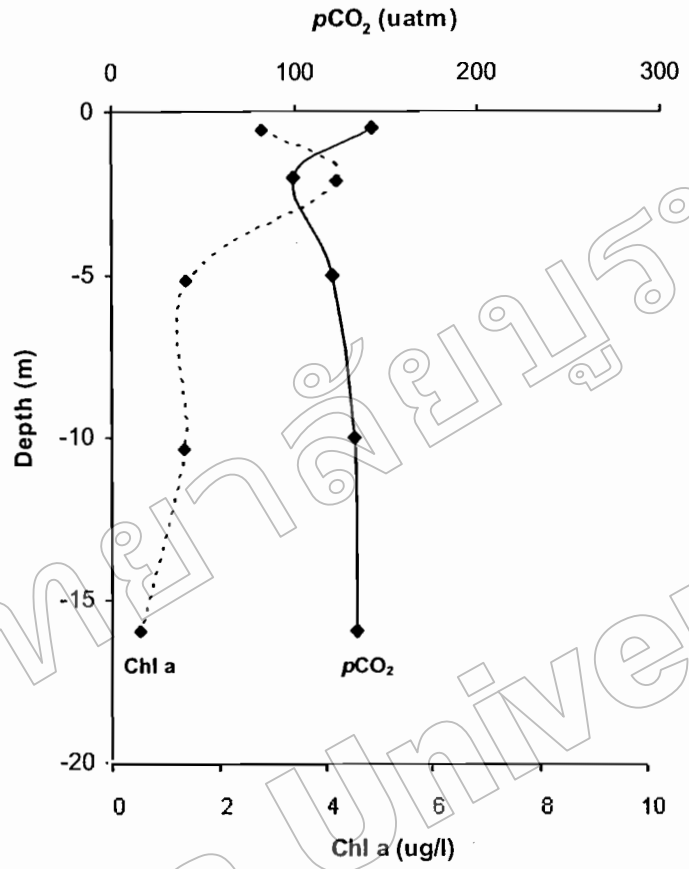
จากผลการศึกษาปริมาณ pCO_2 ในน้ำทะเลระหว่างฤดูแล้ง (20-24 มีนาคม 2553) และฤดูฝน (7-11 กันยายน 2553) ในอ่าวไทยตอนใน แสดงให้เห็นว่า pCO_2 ในน้ำทะเลทั้งสองฤดูกาลมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามความลึกที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4-6) ดังนี้

5.3.1 ช่วงฤดูแล้ง มีการเปลี่ยนแปลงของ pCO_2 ตามความลึกของน้ำทะเล (ภาพที่ 4-6 (ก)) เนื่องจากในฤดูแล้งมีปริมาณน้ำท่าจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนในไม่มากนัก (19.4×10^6 ลบ.ม. ต่อวัน) ส่งผลให้มวลน้ำค่อนข้างนิ่ง และมักไม่เกิดการผสมกันของมวลน้ำ โดยพบว่าในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำมีปริมาณ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล (~180 µatm) สูงกว่า pCO_2

ที่พื้นท้องทะเล (~170 μatm) แสดงให้เห็นว่าในบริเวณดังกล่าวก็ยังคงได้รับสารประกอบคาร์บอนจากแผ่นดิน ซึ่งมีการสะสมอยู่ที่บริเวณผิวน้ำทะเลโดยไม่เกิดการแพร่ของ pCO_2 ลงสู่บริเวณพื้นท้องทะเล เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมักไม่เกิดการผสมกันของมวลน้ำ ส่วนในบริเวณที่ห่างจากปากแม่น้ำออกไปจนถึงกลางอ่าว ปริมาณ pCO_2 ในน้ำทะเลจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าดินตะกอนในบริเวณพื้นท้องทะเล ซึ่งจะทำให้เกิดการปลดปล่อย CO_2 ออกสู่น้ำทะเล ส่งผลให้ในบริเวณเหนือพื้นท้องทะเลมีปริมาณ pCO_2 สูงกว่าในบริเวณผิวหน้าน้ำทะเล สอดคล้องกับการศึกษาของ Taguchi and Fujiwara (2010) ที่พบว่าในมวลน้ำบริเวณพื้นทะเลจะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนที่ละลายน้ำในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แล้วปลดปล่อย CO_2 ออกมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ

5.3.2 ช่วงฤดูฝน บริเวณใกล้ปากแม่น้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ pCO_2 ตามความลึก เนื่องจากในระยะเวลาดังกล่าวอ่าวไทยตอนในได้รับน้ำท่าจากแม่น้ำเจ้าพระยาในปริมาณมาก (87.52 ลบ.ม. ต่อวัน) ส่งผลให้มวลน้ำในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำมีการผสมกันตลอดทั้งความลึก ขณะที่ในบริเวณที่ห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 40 กิโลเมตร (สถานี B ในภาพที่ 4-6 (ข)) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี พบว่าปริมาณ pCO_2 ในน้ำทะเลจะลดลงจากผิวหน้าน้ำทะเลที่ระดับความลึก 2 เมตร แล้วจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ โดยพบว่าคลอโรฟิลล์เอมีปริมาณสูงในบริเวณที่มี pCO_2 ต่ำ (ภาพที่ 5-2) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Liqi et al. (2004) และ Torres and Ampuero (2009) ทั้งนี้เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอเป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชทุกชนิด จึงทำให้เกิดการดูดซับ CO_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำ และสร้างสารอินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้ปริมาณ CO_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำลดลงในขณะที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูง แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์เอกับ pCO_2 ในลักษณะดังกล่าวนี้ (ภาพที่ 5-2) มิได้ปรากฏขึ้นในทุกครั้งที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี เนื่องจากมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (Rysgaard et al., 2012) เช่น การย่อยสลาย ความเร็วของกระแสน้ำ ความเข้มแสง ความขุ่น และความลึกของน้ำทะเล เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) และ pCO_2 ของน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน (สถานี B ในภาพที่ 4-6 (ข))

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ผิวน้ำทะเลในบริเวณที่อยู่ระหว่างสถานี C และ D (ภาพที่ 4-6 (ข)) ในช่วงฤดูฝน มีปริมาณ pCO_2 (~80 µatm) สูงกว่ามวลน้ำที่พื้นท้องทะเล (<70 µatm) เนื่องจากที่ผิวน้ำทะเลสามารถดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศได้โดยตรง และในบริเวณสถานี C และ D อยู่ห่างจากปากแม่น้ำมาก (>60 กิโลเมตร) จึงได้รับสารอินทรีย์ รวมถึงสารประกอบคาร์บอนจากแผ่นดินในปริมาณน้อย ทำให้มีการสะสมของสารอินทรีย์ที่พื้นท้องทะเลไม่มากนัก และเกิดอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ประกอบกับมีความลึกของน้ำทะเลมากกว่า 20 เมตร จึงมักไม่เกิดการผสมกันระหว่างมวลน้ำที่ผิวน้ำทะเลและมวลน้ำบริเวณเหนือพื้นท้องทะเล ส่งผลให้บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งดังกล่าวมีปริมาณ pCO_2 ในน้ำทะเลลดลงจากผิวน้ำทะเลตามความลึกที่เพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.4 ฟลักซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน

อ่าวไทยตอนในมีปริมาณฟลักซ์ของ CO_2 อยู่ในช่วง -0.02 ถึง 11.92 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน ซึ่งฟลักซ์ส่วนใหญ่ของ CO_2 มีการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศสู่น้ำทะเล โดยมีอัตราการดูดซับอยู่ในช่วง -0.02 ถึง -2.83 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน แสดงให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ เช่นเดียวกับในบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันตกของแคนาดา (Western Canadian Coastal Sea) ที่มีการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศในอัตรา -6 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Evans, Hales, Strutton, & Lanson, 2012) และทะเลชายฝั่งของอลาสกา (มหาสมุทรอาร์กติก (Arctic Ocean)) ซึ่งมีการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศสูงถึง -17.8 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Murata & Takizawa, 2003) รวมถึงทะเล Aegean ที่มีการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศในอัตรา -11.8 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Krasakopoulou, Rapsomanikis, Papadopoulos, & Papathanassiou, 2009) และชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่ของทวีปยุโรป (European Coastal Sea) ซึ่งมีการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศในอัตรา -5.2 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Borges et al., 2006)

ปริมาณฟลักซ์สุทธิของ CO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน แสดงให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนในมีศักยภาพในการกักเก็บ CO_2 โดยในฤดูแล้งมีการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศสู่น้ำทะเลอยู่ในช่วง -0.13 ถึง -0.44 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน ขณะที่ในฤดูฝนฟลักซ์ส่วนใหญ่ของ CO_2 มีการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศสู่น้ำทะเล ในช่วง -0.02 ถึง -2.83 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน ยกเว้นในระหว่าง 18-22 พฤศจิกายน 2552 ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝน ที่พบว่าเป็นแหล่งปลดปล่อย CO_2 ออกสู่บรรยากาศในช่วง 2.10-11.92 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1,718 ตารางกิโลเมตร ในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำบางปะกง เช่นเดียวกับในมหาสมุทรแอตแลนติก (Atlantic Ocean) ที่พบว่ามีอัตราการปลดปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศ ในช่วง 1.69-2.78 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Koffi, Lefevre, Kouadio, & Boutin, 2010) และทางตอนเหนือของทะเลจีนใต้ (South China Sea) พบว่ามีการปลดปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศ ในอัตรา 7 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Zhai et al., 2005) รวมถึงบริเวณทางตอนใต้ของทะเลเหลือง (Southern Yellow Sea) ที่เป็นแหล่งปลดปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศในอัตรา 5.45 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Xue, Zhang, Cai, & Jiang, 2011) และบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงใต้ของมหาสมุทรแปซิฟิก (Coastal Southeastern Pacific) พบว่ามีการปลดปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศ ในอัตรา 13.7 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (Friederich et al., 2008)

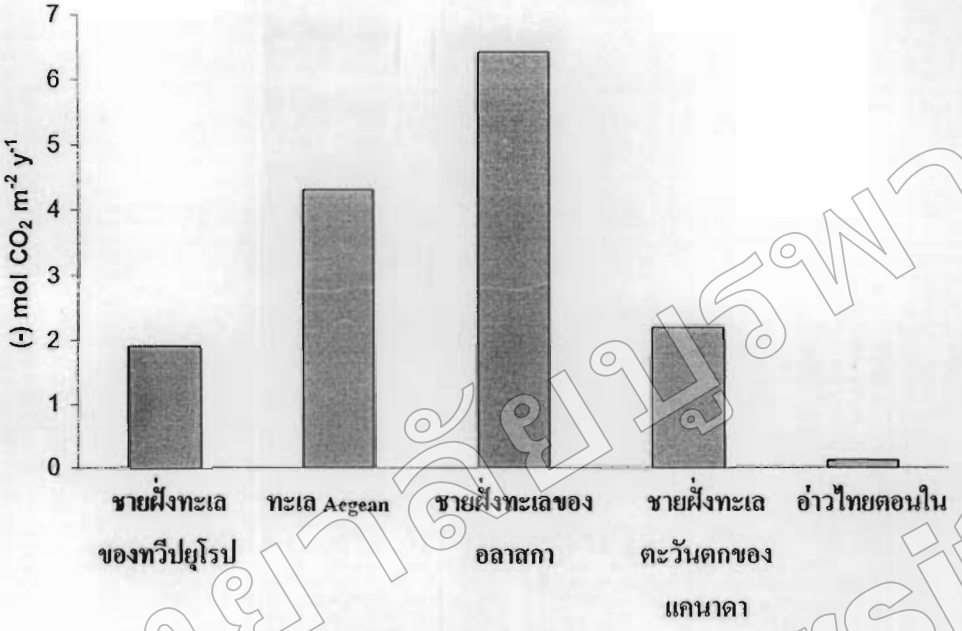
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.5 ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอ่าวไทยตอนใน

อ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งสะสมหรือแหล่งดูดซับของ CO_2 โดยมีการถ่ายเท CO_2 จากบรรยากาศลงสู่ทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในอัตรา -49.65×10^3 ตัน/ปี (-0.12 โมล/ตารางเมตร/ปี) คิดเป็น 0.018% ของปริมาณการปลดปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศของประเทศไทย (273×10^6 ตัน/ปี) (Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2010) ซึ่งอ่าวไทยตอนในมีอัตราการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศต่ำกว่าในบริเวณอื่น เช่น ชายฝั่งทะเลของทวีปยุโรป ทะเล Aegean ชายฝั่งทะเลของอลาสกา (มหาสมุทรอาร์กติก) และชายฝั่งทะเลตะวันตกของแคนาดา ซึ่งมีปริมาณการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศในอัตรา -1.9 โมล/ตารางเมตร/ปี (Borges et al., 2006) -4.3 โมล/ตารางเมตร/ปี (Krasakopoulou et al., 2009) -6.4 โมล/ตารางเมตร/ปี (Murata & Takizawa, 2003) และ -2.19 โมล/ตารางเมตร/ปี (Evans et al., 2012) ตามลำดับ (ภาพที่ 5-3)

การที่อ่าวไทยตอนในมีอัตราการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศต่ำกว่าในบริเวณอื่นที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น เป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่ง CO_2 จากบรรยากาศสามารถแพร่ลงสู่ผิวน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าในน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูง (Takahashi, 2001; Murata & Takizawa, 2003) อ่าวไทยตอนในซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนมีอุณหภูมิของน้ำทะเลสูงกว่าในบริเวณอื่นที่อยู่ในเขตอบอุ่น ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้อ่าวไทยตอนในมีอัตราการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศต่ำกว่าในบริเวณอื่น

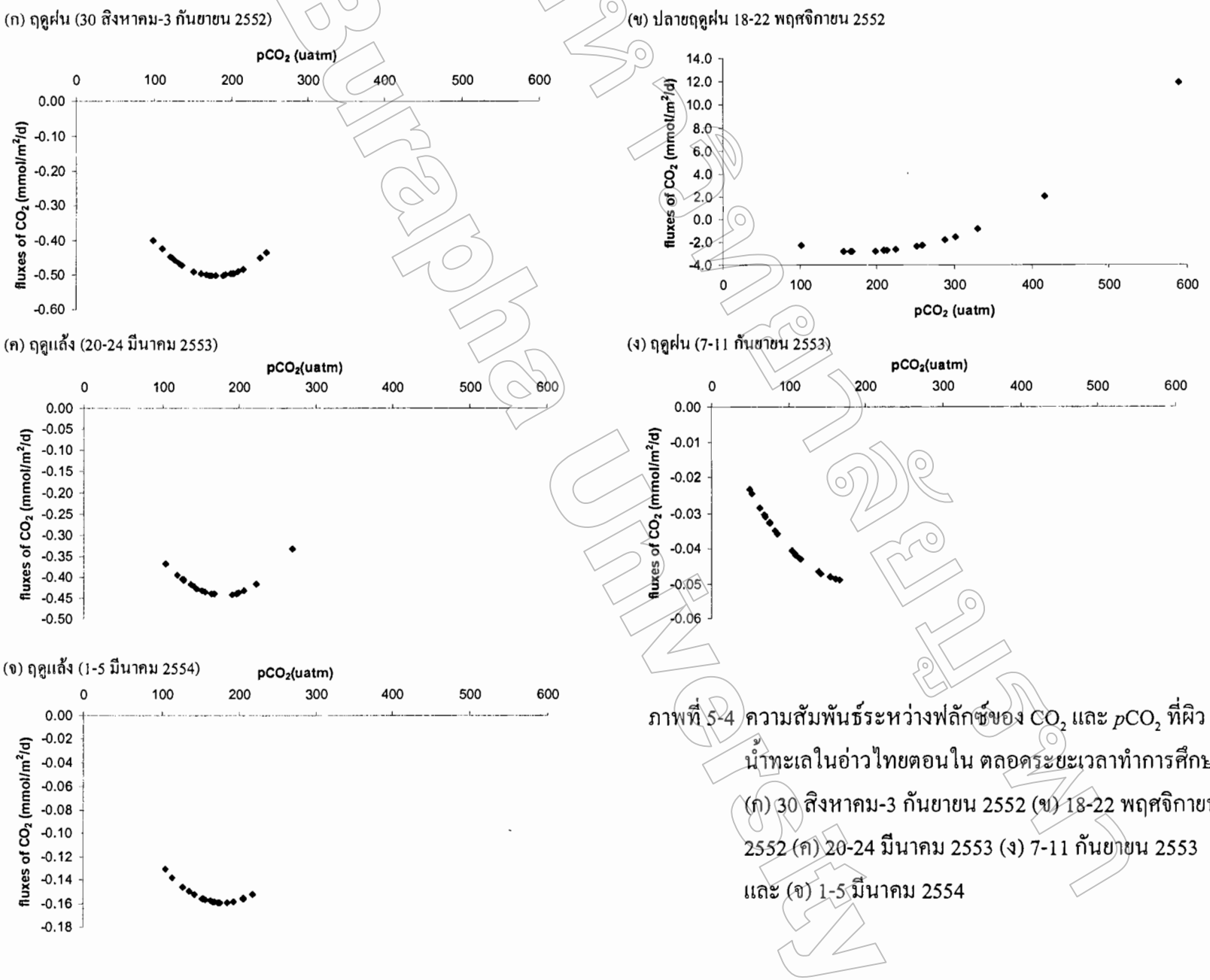
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-3 เปรียบเทียบอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศในบริเวณชายฝั่งทะเลของทวีปยุโรป (Borges et al., 2006) ทะเล Aegean (Krasakopoulou et al., 2009) ชายฝั่งทะเลของอลาสกา (Murata & Takizawa, 2003) ชายฝั่งทะเลตะวันตกของแคนาดา (Evans et al., 2012) และอ่าวไทยตอนใน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของ CO_2 กับ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 5-4) พบว่าอ่าวไทยตอนในจะมีอัตราการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศสูงสุด เมื่อที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณ pCO_2 เท่ากับ 180 µatm และมีแนวโน้มที่จะแพร่ CO_2 ออกสู่บรรยากาศมากขึ้น หากที่ผิวน้ำทะเลมีปริมาณ pCO_2 มากกว่า 180 µatm ซึ่งอัตราการแลกเปลี่ยน CO_2 ระหว่างผิวหน้าน้ำทะเลกับบรรยากาศนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วลม หากมีความเร็วลมสูงก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ หรือปลดปล่อย CO_2 ออกสู่บรรยากาศได้มากยิ่งขึ้น (Weiss, 1974) เนื่องจากลมจะมีส่วนช่วยทำให้เกิดความปั่นป่วนของมวลน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณผิวน้ำ กระแสลมจะทำให้มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยน CO_2 ระหว่างมหาสมุทรกับบรรยากาศมากยิ่งขึ้น (Friederich et al., 2008) นอกจากนี้ลมยังมีส่วนช่วยให้มวลน้ำมีการผสมกันในแนวดิ่ง (Vertical Mixing) ด้วย ดังเช่นการศึกษาของ Copin-Montegut et al. (2004) ที่พบว่าในขณะที่มีความเร็วลมสูง pCO_2 ในน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งความลึก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



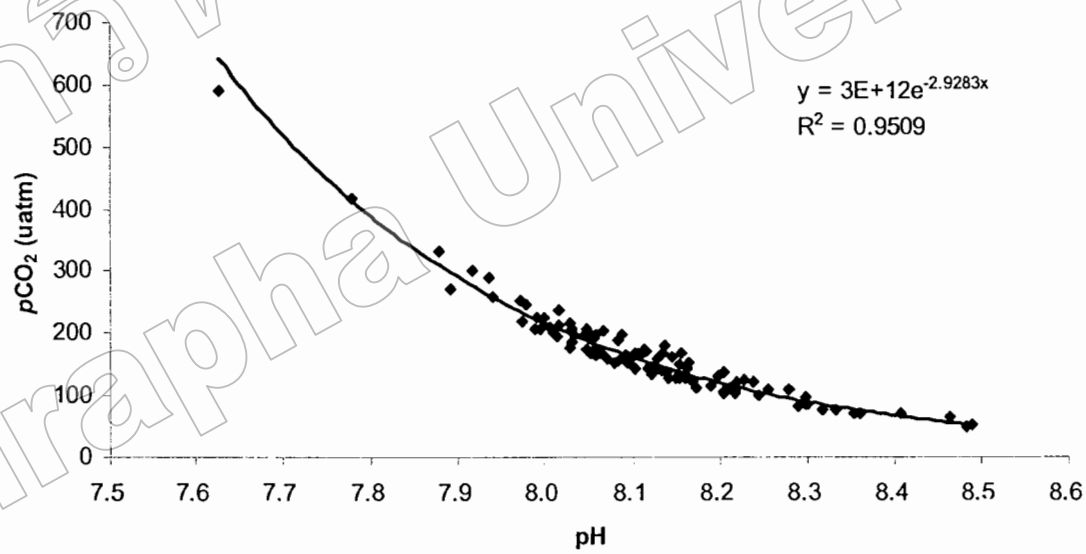
ภาพที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของ CO_2 และ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน ตลอดระยะเวลาทำการศึกษา (ก) 30 สิงหาคม-3 กันยายน 2552 (ข) 18-22 พฤศจิกายน 2552 (ค) 20-24 มีนาคม 2553 (ง) 7-11 กันยายน 2553 และ (จ) 1-5 มีนาคม 2554

Burapha University

5.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็ม สภาพด่างทั้งหมด และผลผลิตขั้นต้นกับ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล พบว่า pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรด-ด่าง ส่วนอุณหภูมิ ความเค็ม สภาพด่างทั้งหมด และผลผลิตขั้นต้นไม่มีความสัมพันธ์กับ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล

ความเป็นกรด-ด่างมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล โดยขณะที่ pCO_2 มีค่าต่ำจะพบว่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูง หรือ pCO_2 จะมีค่าสูงในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำ ดังภาพที่ 5-5 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเทนเชียลของความเป็นกรด-ด่างและ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล ($R^2 = 0.9509$) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Liqi et al. (2004); Gledhill et al. (2008) และ Taguchi and Fujiwara (2010) ที่พบว่าเมื่อ CO_2 ละลายในน้ำทะเลจะทำปฏิกิริยากับน้ำส่งผลให้น้ำทะเลมีความเป็นกรด-ด่างลดลงหรือมีสภาพเป็นกรดเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง pCO_2 และความเป็นกรด-ด่างที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนใน

อุณหภูมิไม่มีความสัมพันธ์กับ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Hardman-Mountford et al. (2009) ที่พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อ CO_2ที่ละลายน้ำ ขณะที่อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ CO_2 จากบรรยากาศแพร่ลงสู่ผิวน้ำได้น้อยลง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากการนำข้อมูลผลผลิตขั้นต้นมาทดสอบความสัมพันธ์ กับ pCO_2 พบว่า pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราผลผลิตขั้นต้น ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Hjalmarsson, Chierici, and Anderson (2010) ที่พบว่า pCO_2 มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับอัตราผลผลิตขั้นต้น เนื่องจาก CO_2 ที่ละลายน้ำจะถูกใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิตขั้นต้น ทำให้ pCO_2 ในน้ำมีค่าต่ำในขณะที่มีอัตราผลผลิตขั้นต้นสูง

การที่อุณหภูมิ ความเค็ม สภาพด่างทั้งหมด และผลผลิตขั้นต้นไม่มีความสัมพันธ์กับ pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเล เนื่องจากอาจมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (Rysgaard et al. 2012) ได้แก่ ความเข้มแสง ความขุ่น และความลึกของน้ำทะเล ตลอดจนกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ และการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นต้น

5.7 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการแปรผันความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ (pCO_2) ในอ่าวไทยตอนใน สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

5.7.1 pCO_2 ที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนในมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและพื้นที่ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ CO_2 ที่ละลายน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนใน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณน้ำท่า

5.7.2 อ่าวไทยตอนในเป็นแหล่งดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ สามารถดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำทะเล เท่ากับ -49.65×10^3 ตัน/ปี

5.8 ข้อเสนอแนะ

5.8.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำรูปแบบอื่นร่วมด้วย เช่น คาร์บอนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DIC) และคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DOC) เพื่อประเมินศักยภาพในการกักเก็บ CO_2 ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.8.2 ควรทำการศึกษาอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าดินตะกอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ CO_2 ที่ละลายในน้ำบริเวณเหนือพื้นท้องทะเล

5.8.3 ควรเก็บข้อมูล pCO_2 ในบรรยากาศ เพื่อการคำนวณฟลักซ์สุทธิของ CO_2 ได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University