



ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่าง พื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท

Efficiency of Carbon Dioxide Adsorption between Green Urban Area and Green Rural Area

สายรุ้ง แววดตะคุ^{1*} สุจินณา กรรมสุต¹ และ สุรัตน์ บัวเลิศ¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่สีเขียวในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากค่าความเข้มข้นและการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการตรวจวัดในรูปแบบ CO₂ Flux Measurements และใช้วิธี Eddy Covariance ด้วยเครื่องมือ 3D Sonic Anemometer พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท (บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี) มีค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 2.41 mg/m³ และพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง คือ สวนเบญจสิริกรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 4.82 mg/m³ เกณฑ์ในการพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือ 1) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Flux) ที่เคลื่อนที่ผ่านต่อพื้นที่ต่อเวลา (CO₂ flux) และ 2) ความถี่ของการเคลื่อนที่แนวตั้ง (แกน z) ที่มีทิศทางเคลื่อนที่ลง (มีค่าลบ) ในเวลากลางวันเนื่องจากความต้องการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะที่พืชสังเคราะห์แสง พบว่า พื้นที่สีเขียวในเขตชนบทมีการดูดซับสูงสุด -0.06 mg/(m²s) และมีความถี่ร้อยละ 25 ที่มีการเคลื่อนที่ลง ในขณะที่พื้นที่สีเขียวในเขตเมืองมีค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ -0.02 mg/(m²s) และมีความถี่ร้อยละ 41.7 ที่มีการเคลื่อนที่ลง การที่ความถี่ของการเคลื่อนที่ลงในพื้นที่สีเขียวชนบทมีน้อยกว่าพื้นที่สีเขียวในเมือง ถึงร้อยละ 50 แต่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ลงสู่พื้นที่สีเขียวในชนบทที่สูงกว่าพื้นที่สีเขียวในเมือง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของพื้นที่สีเขียวในชนบทมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

* Corresponding Author; E-mail: moomuilopez@gmail.com

ABSTRACT

The objective of the study was carbon dioxide absorption efficiency of green areas by using carbon dioxide concentration and its movement. The measurement was in a unit of concentration per unit area per unit of time, eddy covariance technique with 3D sonic anemometer. Averaged ambient carbon dioxide concentrations measured at green rural area (mangrove forest of Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province) was 2.41 mg/m^3 and green urban area (Benjasiri Park, Bangkok) was 4.82 mg/m^3 . Criteria for considering carbon dioxide absorption efficiency were 1) carbon dioxide flux (concentration of carbon dioxide which moved per unit area and per unit of time) and 2) frequency of downward vertical movement (Z axis) which were negative values in daytime. Because plant's photosynthesis process needs carbon dioxide. It was found that green rural area gave the highest CO_2 Flux $-0.06 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ and the downward vertical movement frequency was 25%. The secondly was green urban area $-0.02 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ with the frequency of was 41.7 %. Considering the frequency in rural green area was lower 50% but the downward carbon dioxide volume in the green rural area was higher than the urban green area caused the higher carbon dioxide absorption efficiency.

คำสำคัญ: ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พื้นที่สีเขียว การดูดซับ ประสิทธิภาพ

Keywords: Carbon dioxide, Green area, Absorption, Efficiency

บทนำ

พื้นที่สีเขียว (green area) มีความสำคัญกับการดำรงชีวิตของมนุษย์เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ให้ความร่มรื่นเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจ และที่สำคัญเป็นแหล่งที่เติมไปด้วยก๊าซออกซิเจน (O_2) ที่มีความจำเป็นต่อระบบร่างกาย ปัจจุบันพื้นที่สีเขียวนับว่ามีความสำคัญต่อระบบสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศบริสุทธิ์

พื้นที่สีเขียวในเขตเมือง (green urban area) เช่น สวนสาธารณะ และพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท (green rural area) เช่น สวนเกษตร ป่า ต่างมีความหลากหลายของชนิด พันธุ์พืช ตลอดจนพื้นที่สีเขียวนั้นมีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้

แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นพืชพันธุ์แต่ละชนิด เช่น หล่อกว่าไม้เลื้อย ต้นไม้ชนิดต่างๆ ที่ขึ้นอยู่ตามสถานที่ที่แตกต่างกัน คุณสมบัติของพืชมีบทบาททั้งในด้านการกักเก็บ (sink) และปลดปล่อย (source) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของโลก (สรีร์ตัน, 2555) กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณมากแล้วจะทำให้อากาศอบอุ่น ดังเช่นปัจจุบันจะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากก็จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์โลกร้อนซึ่งเป็นปัญหาในปัจจุบัน ในขณะที่ปัจจุบันพื้นที่สีเขียวยังคงมีไม่เพียงพอ กับความต้องการ โดยเฉพาะพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง

ผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท เพื่อศึกษาค่าความเข้มข้นและทิศทางการเคลื่อนที่ของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการวิจัยและการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบของ CO₂ flux measurements และใช้วิธี Eddy covariance โดยใช้เครื่องมือ 3Dsonic anemometer มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและดำเนินการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาค่าความเข้มข้นและการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ทำการวิจัยและเก็บตัวอย่าง

ในการศึกษาค้นครั้งนี้จะทำการศึกษาพื้นที่สีเขียวในเขตพื้นที่เมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท โดยมีการเก็บตัวอย่างของพื้นที่สีเขียวในเขตชนบทคือ บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี (รูปที่ 1) และการเก็บตัวอย่างของพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง คือ สวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร (รูปที่ 2)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่างครั้งนี้ใช้เครื่องมือ 3 D Sonic Anemometer (รูปที่ 3) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด CO₂ Flux



รูปที่ 1 และ 2 การตรวจวัด CO₂ flux บริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย และบริเวณสวนเบญจสิริฯ (ตามลำดับ)



รูปที่ 3 เครื่องมือ 3D sonic anemometer

3. การวางแผนและวิธีการเก็บตัวอย่าง

3.1 การวางแผนการเก็บตัวอย่าง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากในการตรวจวัดนั้นมีข้อจำกัดของเครื่องมือ คือ ต้องไม่มีความชื้น เพราะจะส่งผลต่อค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรง ตัวแทนของพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง ได้แก่ สวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง เริ่มตั้งแต่เวลา 18.00 น. วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เวลา 17.30 น. วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 พื้นที่สีเขียวในเขตชนบท ได้แก่ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี วันที่ทำการเก็บตัวอย่างเริ่มตั้งแต่เวลา 18.00 น. วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ถึงเวลา 17.30 น. วันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2557

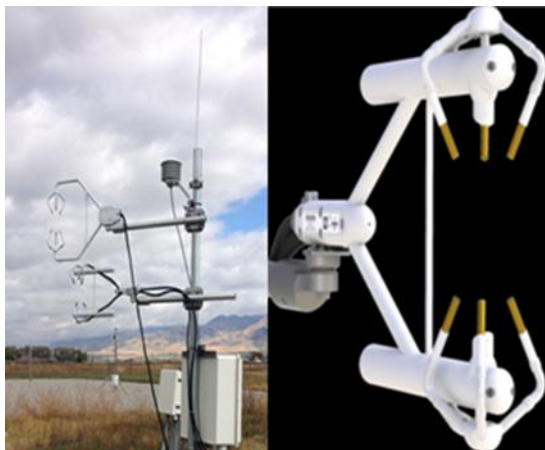
3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่างจะใช้ข้อมูลจากเครื่องมือ 3D sonic anemometer ซึ่งสามารถแสดงผลจาก Irgason (รูปที่ 4) ทุก ๆ 30 นาที ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะแบ่งเวลาในการตรวจวัดเป็นช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืน และทำการ calibrate

ผลที่ได้วิเคราะห์ผ่าน gas analyzer ไปยัง data logger โดยพารามิเตอร์มีหน่วยที่ตรวจวัดตามตารางที่ 1 ซึ่งภายในจะมีเครื่อง CR3000 (รูปที่ 5) ที่ใช้ในการประมวลผลจาก sensor โดยใช้ software ที่ชื่อว่า LoggerNet ที่ใช้ในการแสดงค่าของ gas ที่ใช้ในการตรวจวัด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้อย่างแม่นยำ โดยมีกระบวนการของ Eddy covariance ที่สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างละเอียด ถึง 0.1 วินาที (Janssens et al., 2000) และยังสามารถใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในแต่ละพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดจะเก็บในพื้นที่ขนาด 4x4 เมตร เลือกพื้นที่ในบริเวณที่โล่งกว้าง และอยู่ห่างจากสิ่งรบกวนต่าง ๆ อย่างน้อย 10 เมตร โดยติดตั้ง Irgason ให้อยู่ในระดับความสูงประมาณ 2 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมของการทำกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ มีรัศมีในการบันทึกข้อมูลจะครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด 20 เท่าของความสูงที่ติดตั้ง

3.3 หน่วยที่ใช้ในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 4 Irgason



รูปที่ 5 เครื่อง CR3000

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สัญลักษณ์	หน่วย	ความหมาย
CO ₂	mg/m ³	ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
U _x	mg/(m ² s)	ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ
U _y	mg/(m ² s)	ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ
U _z	mg/(m ² s)	ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่ง
U	m/s	ค่าความเร็วลม

ผลการวิจัย

1. ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.1 ผลการตรวจวัดช่วงเวลากลางวัน

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วงเวลากลางวัน แสดงในรูปที่ 6 จากผลการศึกษา พบว่าในพื้นที่บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัย และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำสุด อยู่ที่ 0.90 mg/m³ ในช่วงเวลา 17.30 น. และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 7.16 mg/m³ ในช่วงเวลา 11.30 น. โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3.44 mg/m³ และพื้นที่บริเวณสวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร พบว่า มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 2.23 mg/m³

ในช่วงเวลา 13.00 น. และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 9.95 mg/m³ ในช่วงเวลา 10.30 น. โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 5.02 mg/m³

1.2 ผลการตรวจวัดช่วงเวลากลางคืน

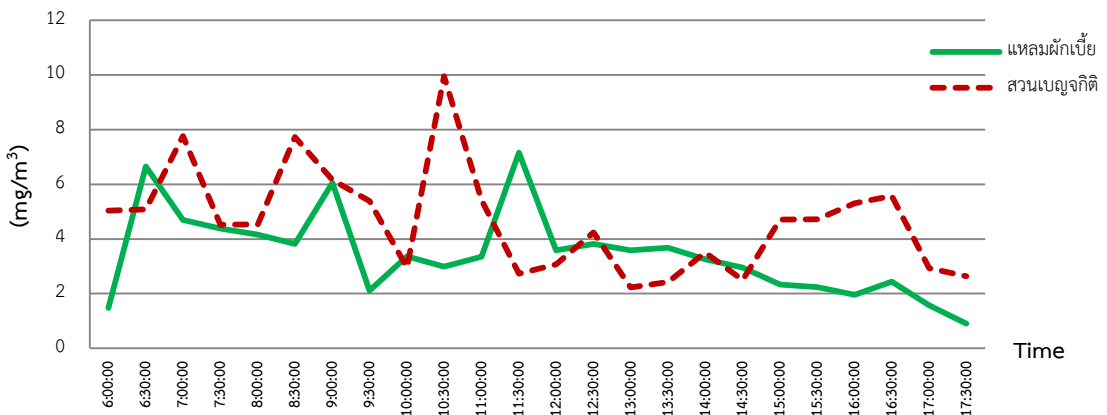
ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วงเวลากลางคืน แสดงในรูปที่ 7 จากผลการศึกษา พบว่าในพื้นที่บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัย และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.69 mg/m³ ในช่วงเวลา 01.00 น. และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.64 mg/m³ ในช่วงเวลา 02.00 น. โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.39 mg/m³ และพื้นที่บริเวณสวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 2.46 mg/m³

ในช่วงเวลา 18.00 น. และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 9.89 mg/m^3 ในช่วงเวลา 21.00 น. โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 4.63 mg/m^3

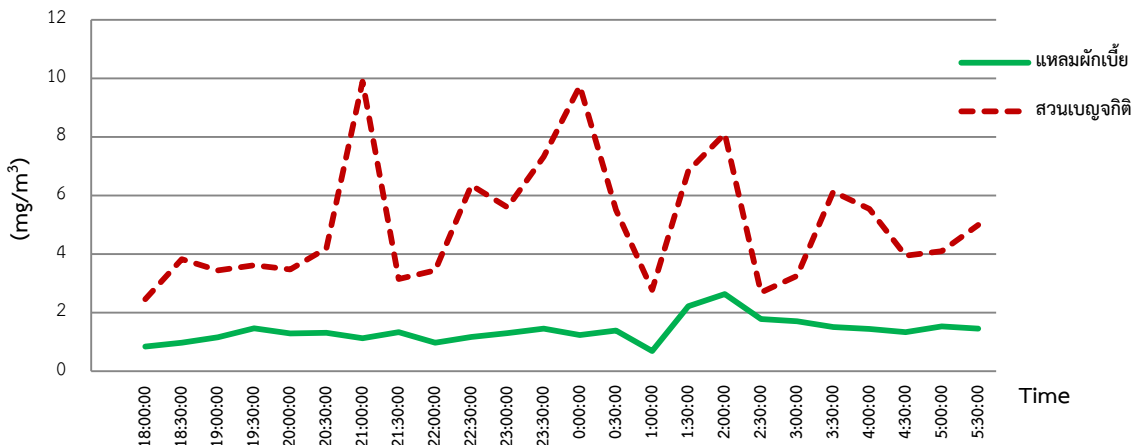
1.3 ผลของการตรวจวัดก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

จากการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา

สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี มีค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 2.41 mg/m^3 และการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในพื้นที่บริเวณสวนเบญจกิติ กรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 4.82 mg/m^3



รูปที่ 6 ค่าความเข้มข้นของ (CO_2) ช่วงเวลากลางวันที่แสดงผลมาจาก Irgason



รูปที่ 7 ค่าความเข้มข้นของ (CO_2) ช่วงเวลากลางคืนที่แสดงผลมาจาก Irgason

2. ทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux)

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบของ Eddy covariance มีทิศทางการเคลื่อนที่

ในรูปแบบของ U_x U_y และ U_z ซึ่งแต่ละค่าที่ได้มานั้น แสดงได้จากการตรวจวัดโดยมีผลดังนี้

2.1 ผลการตรวจวัดช่วงเวลากลางวัน

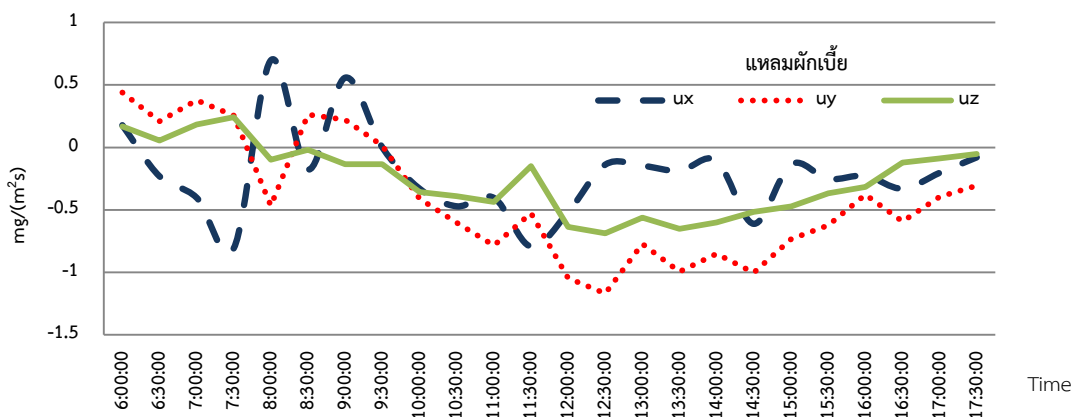
ทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ช่วงเวลากลางวัน บริเวณพื้นที่ป่าชายเลน

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี พบว่าการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในรูปที่ 8 แสดงผลได้เป็นดังนี้

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน x) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-0.81 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 07.30 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $0.70 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 08.00 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน y) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-1.17 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 12.30 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $0.44 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 06.00 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-0.69 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 12.30 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $0.24 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 07.30 น.



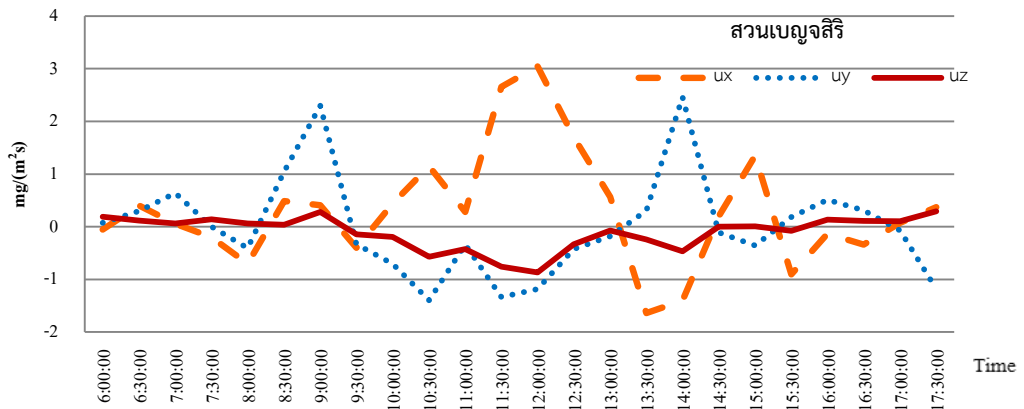
รูปที่ 8 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ (CO₂) ช่วงเวลากลางวันที่แสดงผลมาจาก Irgason บริเวณพื้นที่ป่าชายเลนฯ

ทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงเวลากลางวัน บริเวณพื้นที่สวนเบญจสิริกรุงเทพมหานคร พบว่าการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในรูปที่ 9 แสดงผลได้เป็นดังนี้

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน x) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-1.64 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 13.30 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $3.05 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 12.00 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน y) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-1.40 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 10.30 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $2.46 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 14.00 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-0.87 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 12.00 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $0.29 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 17.30 น.



รูปที่ 9 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ (CO₂) ช่วงเวลากลางวันที่แสดงผลมาจาก Irgason บริเวณพื้นที่สวนเบญจสิริ

2.2 ผลการตรวจวัดช่วงเวลากลางคืน

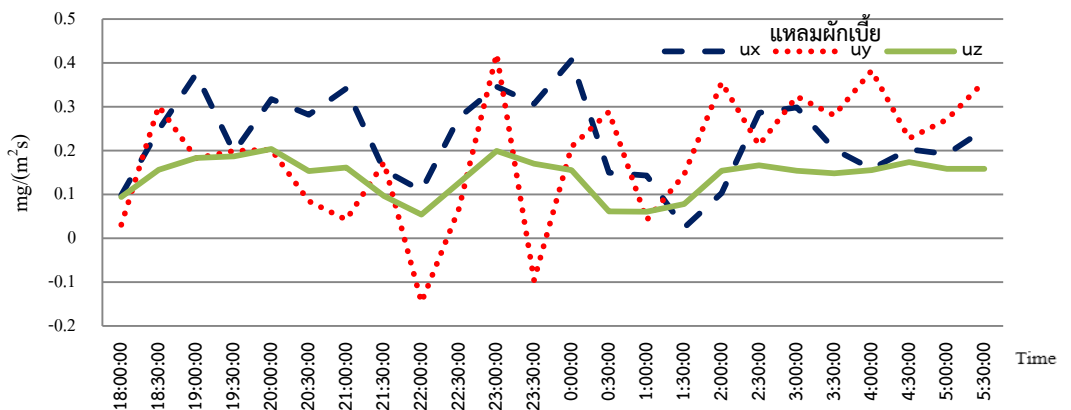
ทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงเวลากลางคืน บริเวณพื้นที่ป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเป็ดอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี พบว่าการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในรูปที่ 10 แสดงผลได้เป็นดังนี้

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน x) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.41

mg/(m²s) ในช่วงเวลา 00.00 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ 0.02 mg/(m²s) ในช่วงเวลา 01.30 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน y) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ -0.14 mg/(m²s) ในช่วงเวลา 22.00 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ 0.42 mg/(m²s) ในช่วงเวลา 23.00 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.20 mg/(m²s) ในช่วงเวลา 20.00 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ 0.05 mg/(m²s) ในช่วงเวลา 22.00 น.



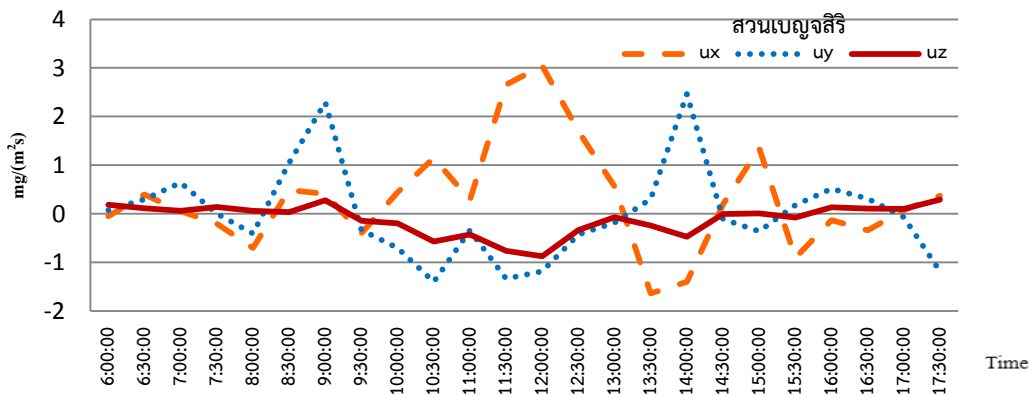
รูปที่ 10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ (CO₂) ช่วงเวลากลางคืนที่แสดงผลมาจาก Irgason บริเวณพื้นที่ป่าชายเลนฯ

ทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ช่วงเวลากลางคืน บริเวณพื้นที่สวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร พบว่ามีการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดงในรูปที่ 11 แสดงผลได้เป็นดังนี้

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน x) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-2.59 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 18.00 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $2.23 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 23.30 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน y) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-1.20 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 19.00 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $0.95 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 00.30 น.

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) มีค่าลบต่ำสุดอยู่ที่ $-0.11 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 18.00 น. และมีค่าบวกสูงสุดอยู่ที่ $0.21 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ในช่วงเวลา 23.00 น.



รูปที่ 11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ (CO₂) ช่วงเวลากลางคืนที่แสดงผลมาจาก Irgason บริเวณพื้นที่สวนเบญจสิริ

2.3 ผลของการตรวจวัดทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

จากการตรวจวัดทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในพื้นที่บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรีมีผลดังต่อไปนี้

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน x) ช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ $-0.21 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ช่วงเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.23 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ และค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ $0.01 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน y) ช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-0.41 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ช่วงเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.19 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ และค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ $-0.11 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) ช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-0.26 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ช่วงเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.14 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ และค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ $-0.06 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ s})$

จากการตรวจวัดทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในพื้นที่สวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร มีผลดังต่อไปนี้

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน x) ช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.31 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ ช่วงเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-0.17 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ และค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ $0.07 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน y) ช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.16 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ ช่วงเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.12 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ และค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ $0.06 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) ช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-0.11 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ ช่วงเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.07 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$ และค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ $-0.01 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{s})$

วิจารณ์ผลการวิจัย

การเก็บตัวอย่างของปริมาณค่าความเข้มข้นและทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวในเมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท จากข้อมูลการตรวจวัด ทำให้ทราบถึงทิศทางและขนาดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเคลื่อนที่ แสดงให้เห็นได้ว่า

ค่า + การเคลื่อนที่ของ (CO_2 flux) แสดงถึงการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีการปลดปล่อยและมีลักษณะลอยขึ้นไปในบรรยากาศ

ค่า - การเคลื่อนที่ของ (CO_2 flux) แสดงถึงการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถูกดูดซับลงมาโดยพืชหรือพื้นที่สีเขียว

จากผลที่ได้นั้นแสดงถึงลักษณะของพื้นที่สีเขียว ที่มีการดูดซับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่าที่ได้จากผลการศึกษา นั้น มีความแตกต่างกันจากชนิดของไม้ยืนต้น เช่น พื้นที่สีเขียวในเขตเมือง บริเวณ

สวนเบญจสิริ จะประกอบไปด้วย ประดู่แดง จามจุรี ราชพฤกษ์ ชงโค หูกวาง และพญาสัตบรรณ ประกอบกับลักษณะพื้นที่ผสมหญ้า โดยจากการศึกษาของพูนพิภพ (2550) พบว่า ประเภทไม้ยืนต้นที่มีคุณสมบัติในการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ ราชพฤกษ์ ชงโค มะเกลือ เสม็ดแดง ช่อย หูกวาง ขนุน เสลา แคลฝรั่ง มะเดื่อ ฝรั่ง และพญาสัตบรรณ ซึ่งควรปลูกพืชชนิดเหล่านี้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ดียิ่งขึ้น (Kaimal et al., 1994) อีกทั้งชนิดของพืชพันธุ์ ก็เป็นอีกปัจจัยเนื่องจากความแตกต่างของผลผลิต อัตราการหายใจปริมาณการร่วงหล่นของใบพืช ปริมาณรากพืชและความหนาแน่นของรากพืชก็มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Dugas et al., 1999) โดยบริเวณสวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่ใจกลางเมืองตลอดจนสภาพความเป็นพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองทำให้มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ของบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย ที่มีลักษณะเป็นไม้ยืนต้นเช่นกัน แต่ต้นโกงกางมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่า ซึ่งมีผลมาจากในพื้นที่มีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเวลากลางวันมากกว่าการสังเคราะห์แสงของไม้ยืนต้น อีกทั้งปัจจัยในเรื่องของแพลงก์ตอนพืชสิ่งมีชีวิตที่ลอยอยู่ในน้ำ ทำให้มีส่วนช่วยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนการสังเคราะห์แสงด้วย (ลัดดา, 2539) อีกทั้งลักษณะของภูมิอากาศที่ปลอดโปร่งในวันที่ทำการตรวจวัดบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย ทำให้มีปริมาณของแสงมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงโดยตรง ตลอดจนความถี่ของอากาศที่ตกลงมาในแนวตั้งที่ช่วยให้พื้นที่ป่าชายเลนมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีในช่วงเวลากลางวัน และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าค่าความถี่ของอากาศที่มี

การลอยตัวขึ้นจากปริมาณของความหนาแน่นของป่าชายเลนในพื้นที่ตามสัดส่วนของพื้นที่สีเขียวที่มีความหนาแน่นของพืชที่มีมาก

การตรวจวัดในรูปแบบ CO₂ flux ทำให้ทราบถึงการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เทคนิคของวิธีการแบบ Eddy covariance ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับ ความเร็วลม (U) ในทิศทางขึ้นและทิศทางลงภายในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่มีความเร็วแตกต่างกัน การวัด CO₂ flux ในแนวตั้งนั้นเป็นตัวแทนของความแปรปรวนร่วมระหว่างการตรวจวัดความเร็วลมในแนวตั้ง (ทิศทางขึ้นและทิศทางลง) ซึ่งวิธีการนี้ได้มีการตรวจวัดขึ้นเป็นครั้งแรกโดย

Swinbank et al. (1951) วิธี Eddy covariance นี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางทางอุตุนิยมวิทยาในระดับ micro climate มากกว่า 30 ปี เพื่อตรวจวัดความแปรปรวนของ flux ในลักษณะแนวตั้งที่ชั้นบรรยากาศ ในการนำไปใช้ในด้านวิทยาศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2557) ทิศทางการเคลื่อนที่ (CO₂ flux) จะเป็นในลักษณะของการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ คือ แกน x แกน y และการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง คือ แกน z โดยที่แกน z มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ดีที่สุดแสดงผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความถี่ของการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในแนวตั้ง (Uz) ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนของบริเวณป่าชายเลนฯ และบริเวณสวนเบญจสิริฯ

สถานที่	กลางวัน		กลางคืน	
	ร้อยละของความถี่			
	เคลื่อนที่ลง (-)	เคลื่อนที่ขึ้น (+)	เคลื่อนที่ลง (-)	เคลื่อนที่ขึ้น (+)
บริเวณป่าชายเลนฯ	25	25	8.3	41.7
บริเวณสวนเบญจสิริฯ	41.7	8.3	0	50

พื้นที่บริเวณป่าชายเลน บริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี นั้นมีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) แสดงให้เห็นถึงการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่สีเขียวในช่วงเวลากลางวันที่เคลื่อนที่ลง (ค่า Uz มีค่าเป็นลบ) คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลากลางคืนคิดเป็น 8.3 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเวลากลางวันคิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลากลางคืนคิดเป็น 41.7 เปอร์เซ็นต์ ตามแสดงในตารางที่ 2

พื้นที่สวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร นั้นมีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) แสดงให้เห็นถึงการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของพื้นที่สีเขียวในช่วงเวลากลางวันคิดเป็น 41.7 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลากลางคืนคิดเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงเวลากลางวันคิดเป็น 8.3 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลากลางคืนคิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ตามแสดงในตารางที่ 2 จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่สีเขียวมีประสิทธิภาพในการช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ดีในช่วงเวลากลางวันและมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งสอดคล้อง

กับการศึกษาของนงภัทรและคณะ (2555) ที่ได้ทำการศึกษาโดยทำการประเมินแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอ้อยตอหนึ่งด้วยวิธี Eddy covariance technique พบว่าค่าการแลกเปลี่ยน CO_2 กับบรรยากาศ มีค่าเป็นลบในช่วงเวลากลางวันซึ่งแสดงถึงพืชดูดซับ CO_2 โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่ค่าของ CO_2 มีค่าเป็นบวกในช่วงเวลากลางคืนแสดงถึง CO_2 ถูกปลดปล่อยโดยกระบวนการหายใจของพืชและดิน

เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่มีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่สีเขียวในช่วงเวลากลางวัน จากผลที่ได้ของพื้นที่บริเวณป่าชายเลนฯ ซึ่งมีลักษณะพื้นที่สีเขียว 100 เปอร์เซ็นต์และสวนเบญจสิริฯ ซึ่งมีลักษณะพื้นที่สีเขียว 75 เปอร์เซ็นต์พบว่าพื้นที่สวนเบญจสิริฯ มีทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง(แกน z) มากหรือ มีอัตราการดูดซับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความถี่มากกว่า จากผลของการตรวจวัดทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนในข้อที่ 2.3 โดยพบว่าลักษณะของสภาพอากาศที่ทำการตรวจวัดมีความแตกต่างกัน โดยลักษณะสภาพอากาศของพื้นที่บริเวณป่าชายเลนฯ ในวันที่ตรวจวัดมีลักษณะสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปท้องฟ้าโปร่งอากาศแจ่มใสและลักษณะสภาพอากาศของพื้นที่สวนเบญจสิริฯ ในวันที่ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปนั้นมีเมฆปกคลุมอยู่มากบรรยากาศมีความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องจากมีฝนตกในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถลอยขึ้นไปในบรรยากาศอันเนื่องมาจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) โดยปกติก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หนักกว่าอากาศโดยรวม (air mass) มีความร้อนก็จะถูกแรงลอยตัว (buoyant force) เป็นแรงลอยตัว เนื่องจาก

ความร้อนลอยตัวขึ้นตามมวลอากาศ พืชจึงสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เคลื่อนที่ลงได้ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช มีผลมาจากการเปิดและปิดของปากใบพืช จึงมีผลต่อการดูดซับและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ลดาวัลย์และคณะ, 2540)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบว่า ช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างโดยตรงต่อการกักเก็บและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพื้นที่สีเขียวจะมีความสัมพันธ์ต่อค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แตกต่างกันตามชนิดของพืชพันธุ์ โดยพบว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เคลื่อนที่ผ่านความเร็วลม ในแนวตั้ง (Uz) มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด

อีกทั้งสภาพบริเวณของพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองสวนเบญจสิริฯ กรุงเทพมหานคร ซึ่งพื้นที่สีเขียวคิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมของมนุษย์ก็เป็นตัวกระตุ้น กล่าวคือ เป็นเส้นทางจราจรทางบกที่มีรถคับคั่งจากถนนสุขุมวิทเข้าและขาออก ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพื้นที่สีเขียวแห่งนี้ยังเป็นสวนสาธารณะที่ประกอบไปด้วยสถานที่จัดกิจกรรมทางด้านสุขภาพและกีฬาใจกลางเมือง มีตึกสูงรอบล้อมและลักษณะพื้นที่ดังกล่าวจะมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อใช้ในการเปรียบเทียบจะมีผลกับค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงกับพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท คือ บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาลิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งจะมีลักษณะของพื้นที่เป็นป่าชายเลน ที่มีพื้นที่สีเขียว 100 เปอร์เซ็นต์ และ

เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในบริเวณนั้นผลการศึกษา พบว่า พื้นที่บริเวณป่าชายเลนฯ มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าสวนเบญจสิริ ถึง 50.05 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการติดตามลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดินและมลสารทางอากาศสำหรับประเทศไทย ภายใต้การสนับสนุนของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2557). Introduction The Eddy Covariance method. แหล่งที่มา: http://thai techno.net/t1/knowledge_detail.php?id=598&uid=39167, ค้นเมื่อ วันที่ 18 สิงหาคม 2557.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2557). หลักการการตรวจวัด Flux. แหล่งที่มา: http://thaitechno.net/t1/knowledge_detail.php?id=598&uid=39167 ค้นเมื่อ วันที่ 18 สิงหาคม 2557.

นงภัทร ไชยชนะ ทิวา พาโคกทม เจษฎา ภัทรเลอพงศ์ และ เชษฐ สาทริก. (2555). การประเมินการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอ้อยตอหนึ่งโดยวิธี Eddy Covariance Technique. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. หน้า 174.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. (2550). ต้นไม้และสภาวะโลกร้อน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 33.

ลดาวัลย์ พวงจิตร, สนิท อักษรแก้ว และ วัลยา คงผล. (2540). การสังเคราะห์แสงและการตอบสนองต่อปัจจัยแสงของพรรณไม้ป่าชายเลนบางชนิด. รายงานการสัมมนาระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ ครั้งที่ 10 “การจัดการและอนุรักษ์ป่าชายเลน: บทเรียนในรอบ 20 ปี”. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. หน้า 58.

ลัดดา วงศ์รัตน์. (2539). คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 33.

สุรัตน์ บัวเลิศ. 2555. เอกสารประกอบการสอนวิชาอุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดินทางสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. คณะสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 3.

Dugas, W.A., Heuer, M.L. and Mayeux, H.S. (1999). Carbon dioxide fluxes over Bermuda grass, native prairies, and sorghum, Agricultural and Forest Meteorology. 93(2): 121-139.

Janssens, A., Ivan, A., Kowalski, S. and Ceulemans, R. (2000). Forest floor CO₂ fluxes estimate by eddy covariance and chamber – based model. Agricultural and Forest Meteorology. New York, USA.

Kaimal, J.C. and Finnigan, J.J. (1994). Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement. Oxford, UK: Oxford University Press. 289.

Swinbank, WC, (1951). The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. Journal of Meteorology 8: 135-145.

