

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในระบบขนส่งมวลชนทางบกในเขตกรุงเทพมหานคร

Concentrations of Carbon Dioxide within Land Transportation System in Bangkok

ภารดี ช่วยบำรุง* และชัญญิกา ประพันธ์พจน์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Paradee Chuaybamroong* and Chantisa Prapunpoj

Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การศึกษานี้กระทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในรถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าใต้ดิน รถโดยสารประจำทางปรับอากาศ และรถตู้โดยสาร ประเภทละ 3 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องมือที่อ่านค่าได้เลยในทันทีเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ที่ 1,000 ppm อันแสดงถึงการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ ผลการตรวจวัดพบว่าในรถไฟฟ้าบีทีเอสมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 430-2,225 ppm (ผู้ให้บริการ 8-168 คน) โดยจำนวนคนเฉลี่ยในตู้โดยสารที่ไม่ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐาน คือ 75 คนต่อตู้โดยสาร ขณะที่รถไฟฟ้าใต้ดินพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 364-2,544 ppm (ผู้ให้บริการ 6-250 คน) จำนวนคนเฉลี่ยที่ไม่ทำให้ระดับก๊าซเกิน 1,000 ppm คือ 73 คน ต่อตู้โดยสาร ส่วนรถโดยสารประจำทางปรับอากาศพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 458-3,546 ppm (ผู้ให้บริการ 5-73 คน) และรถตู้โดยสารพบอยู่ในช่วง 760-7,316 ppm (ผู้โดยสารสูงสุด 16 คน) ซึ่งนอกจากจำนวนผู้ให้บริการจะมีผลต่อระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว สภาพการจราจรยังส่งผลต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในรถอีกด้วย โดยสันนิษฐานว่าอากาศจากภายนอกมีการปนเปื้อนเข้าสู่รถโดยสาร ซึ่งในรถตู้โดยสารสาธารณะมีจำนวนผู้โดยสารน้อยที่สุดในระบบขนส่งมวลชนทั้งหมด แต่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด สรุปได้ว่าการระบายอากาศภายในระบบขนส่งมวลชนที่ทำการศึกษานี้ทุกประเภทมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐานที่ ASHRAE กำหนดไว้ที่ 1,000 ppm

คำสำคัญ : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์; การระบายอากาศ; ระบบขนส่งมวลชน; ASHRAE

Abstract

This study triplicately measured the concentrations of carbon dioxide in BTS trains, underground trains, air-conditioned buses and vans using the direct-reading instrument. The measured values were compared with the standard of 1,000 ppm from the American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) for the efficient ventilation. It was found that carbon dioxide concentrations in the BTS trains were 430-2,225 ppm (8-168 passengers). The average number of passenger that did not make the concentration exceeding 1,000 ppm was 75. In the underground trains, the concentrations of 364-2,544 ppm (6-250 passengers) were found. With the average of 73 passengers, the 1,000 ppm standard was not exceeded. In the air-conditioned buses, the carbon dioxide concentrations were 458-3,546 ppm (5-73 passengers) while those in the vans were 760-7,316 ppm (16 passengers maximum). Not only the numbers of passenger, but also the surrounding traffic had affected the increased carbon dioxide concentrations inside the buses/vans by infiltration. For the vans, the passengers were minimum among all transportations in this study, but the carbon dioxide concentrations were maximum. In conclusion, the ventilation within the land transportation system in this study was insufficient to dilute carbon dioxide to be lower than the ASHRAE standard concentration of 1,000 ppm

Keywords: carbon dioxide; ventilation; mass-transportation; ASHRAE

1. บทนำ

การขนส่งมวลชนในประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การขนส่งมวลชนทางบก (การขนส่งมวลชนทางถนนและการขนส่งมวลชนทางราง) การขนส่งมวลชนทางน้ำ และการขนส่งมวลชนทางอากาศ [1] ในปี พ.ศ. 2553 มีจำนวนผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าและรถไฟใต้ดินเฉลี่ย 392,167 และ 177,846 คนต่อวัน ตามลำดับ [2] และในปี พ.ศ. 2554 มีผู้ใช้บริการรถโดยสารในระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) รวมรถตู้โดยสารเฉลี่ย 531,309 คนต่อวัน [3]

ระบบระบายอากาศภายในรถไฟฟ้า รถไฟฟ้าใต้ดิน รถโดยสารประจำทางปรับอากาศ และรถตู้โดยสารมีความคล้ายคลึงกับระบบระบายอากาศภายในอาคารทั่วไปของประเทศไทย กล่าวคือ มีเพียงเครื่องปรับอากาศคอยจ่ายอากาศให้ภายในห้องหรือ

ภายในอาคารเท่านั้น แต่ไม่มีการดูดอากาศเสียออกหรือเติมอากาศใหม่เข้ามาภายในห้อง อากาศเสียจึงหมุนเวียนอยู่ภายในตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อระบบขนส่งมวลชนต้องรองรับผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมากจึงอาจก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศเช่นเดียวกับภายในอาคาร ระบบระบายอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ สามารถก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษ เชื้อโรค กลิ่น [4] ซึ่งการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหายใจของผู้ใช้บริการตลอดการเดินทาง สามารถสะท้อนถึงโอกาสการสะสมตัวของสารมลพิษหรือเชื้อก่อโรคอื่น ๆ ได้ ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่า 1,000 ppm เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอตามข้อกำหนดของ ASHRAE standard 62-1989 ซึ่งหากระบบระบายอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

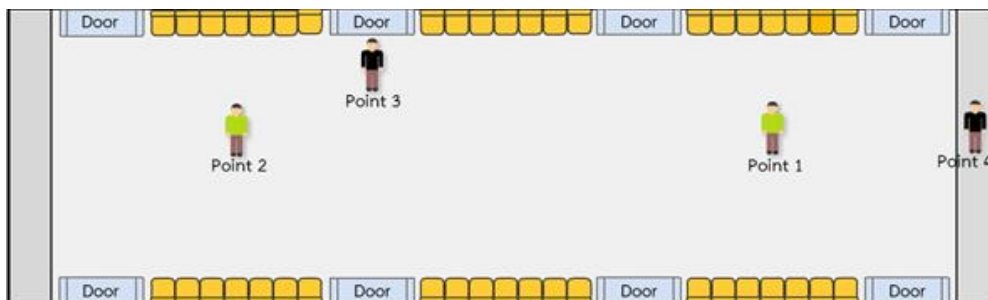
ภาพแล้ว ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องไม่สูงเกินกว่า 1,000 ppm [5]

ปัจจุบันในประเทศไทยมีข้อมูลในเรื่องของระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสะท้อนถึงคุณภาพของการระบายอากาศในระบบรถไฟฟ้า รถไฟฟ้าใต้ดิน รถโดยสารประจำทางปรับอากาศ และรถตู้โดยสารในปริมาณที่น้อยมาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบขนส่งมวลชนทางถนนภายในเขตกรุงเทพมหานคร รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการกับระดับความเข้มข้นของก๊าซที่พบ ผลที่ได้สามารถนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายอากาศในระบบขนส่งแต่ละประเภทให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 รถไฟฟ้าบีทีเอส

การศึกษาระทำในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ในรถไฟฟ้าสายสุขุมวิท ทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ (หมอชิต-แบร์ริง และแบร์ริง-หมอชิต) ในขบวนเดิม จำนวน 3 ครั้ง โดยใช้อุปกรณ์ TSI Q-TRAK Indoor Air Quality Meter รุ่น 7565 และรุ่น 9555 ตรวจวัดพร้อมกัน 2 จุด ใน 1 ตู้โดยสาร โดยพยายามกระจายจุดเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ในตู้โดยสารให้มากที่สุด เพื่อสังเกตความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 จุดตรวจวัดภายในรถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าใต้ดิน

การตรวจวัดกระทำทั้งหมด 3 ชั่วโมง โดยสุ่มวันและเวลาให้แตกต่างกันไป ครั้งแรกตรวจวัดที่จุด 1 และ 2 ครั้งที่สองและสาม ตรวจวัดที่จุด 3 และ 4 ที่ระดับความสูง 1.1-1.5 เมตร ซึ่งเป็นระดับของการหายใจ และนับจำนวนผู้ใช้บริการในช่วงเวลาที่มีการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปพร้อม ๆ กัน

2.2 รถไฟฟ้าใต้ดิน

การศึกษาระทำในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 ในรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล ทั้งเที่ยวไป

และกลับ (บางซื่อ-หัวลำโพง และหัวลำโพง-บางซื่อ) ในลักษณะเดียวกับการศึกษาในรถไฟฟ้าบีทีเอส โดยกำหนดจุดตรวจวัดที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังรูปที่ 1 รวมถึงสุ่มเลือกวันและเวลาให้แตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของช่วงเวลาต่าง ๆ ให้ครอบคลุมได้มากที่สุด

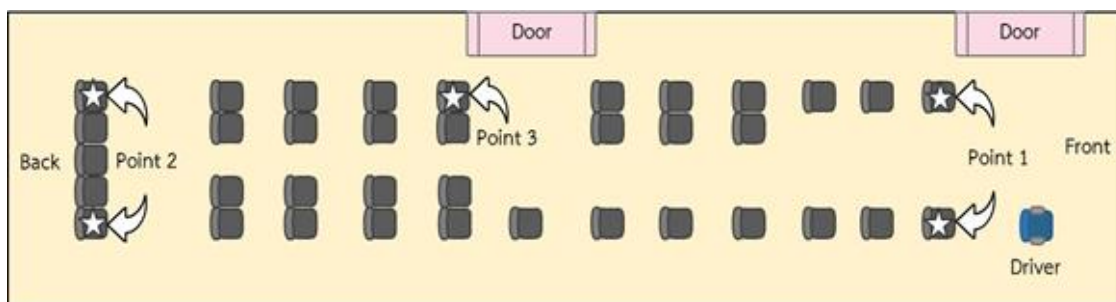
2.3 รถโดยสารประจำทางปรับอากาศ สาย 510 และ 29

การศึกษาระทำในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 บนรถโดยสาร

ประจำทางปรับอากาศสาย 510 และสาย 29 เฉพาะจากช่วงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ถึงห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล ลาดพร้าว และห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล ลาดพร้าว ถึงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ด้วยอุปกรณ์ TSI Q-TRAK Indoor Air Quality Meter รุ่น 7565 และรุ่น 9555 ตรวจวัดพร้อมกัน 2 จุด ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยเลือกจุดที่อยู่ใกล้ประตู

ทางออกเพื่อเป็นตัวแทนตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการถ่ายเทอากาศจากภายนอกจรด และจุดที่อยู่ด้านท้ายรถเพื่อเป็นตัวแทนตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการถ่ายเทอากาศน้อยที่สุด

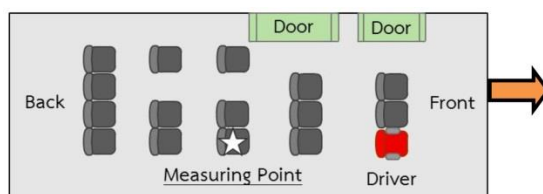
ครั้งแรกตรวจวัดที่จุด 2 และ 3 ครั้งที่สองและสาม ตรวจวัดที่จุด 1 และ 2 โดยนับจำนวนผู้ใช้บริการไปพร้อม ๆ กับการตรวจวัดด้วย



รูปที่ 2 จุดตรวจวัดภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ

2.4 รถตู้โดยสารสาธารณะ

การศึกษากระทำในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ในรถตู้โดยสารรวม 3 เส้นทาง คือ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ถึงห้างสรรพสินค้าฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต (ไปและกลับ) ห้างสรรพสินค้าบิ๊กซี พระราม 2 สาขา 2 ถึงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (ไปและกลับ) และอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิถึงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (ไปและกลับ) โดยมีจุดตรวจวัดเพียง 1 จุด บริเวณกลางรถเพื่อเป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยภายในรถโดยสาร ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยใช้อุปกรณ์ Testo Model 535 เนื่องจากระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้สูงเกินค่าที่อุปกรณ์ TSI Q-TRAK Indoor Air Quality Meter รุ่น 7565 และรุ่น 9555 สามารถตรวจวัด (>5,000 ppm) โดยนับจำนวนผู้ใช้บริการในช่วงเวลาที่มีการตรวจวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปพร้อม ๆ กันด้วย

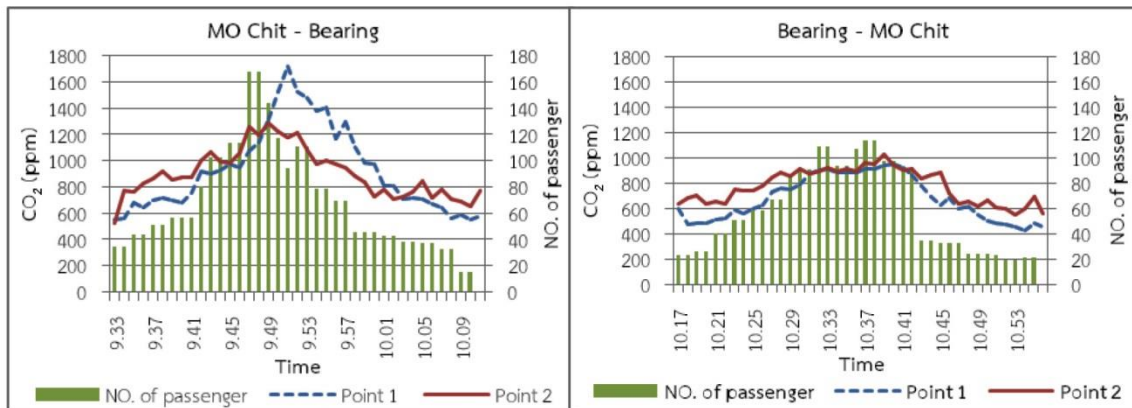


รูปที่ 3 จุดตรวจวัดภายในรถตู้โดยสาร

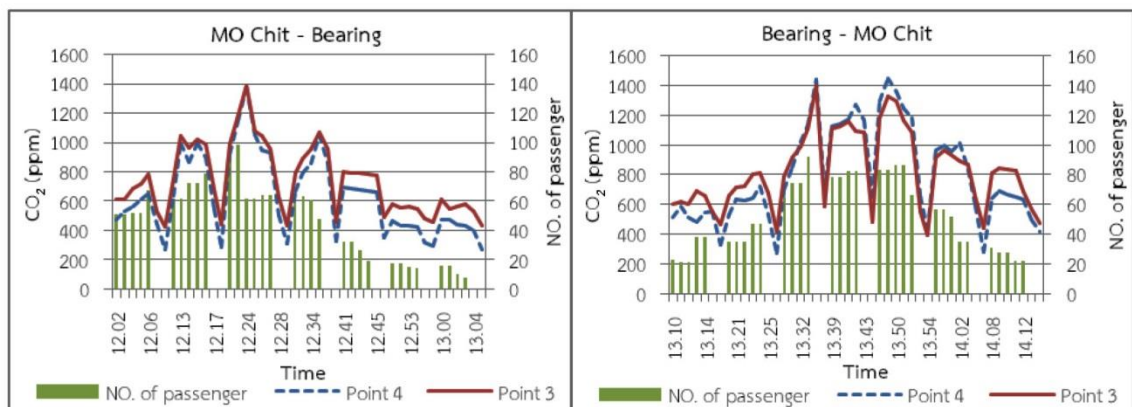
3. ผลการวิจัย

3.1 รถไฟฟ้าบีทีเอส

ผลการศึกษครั้งที่ 1 ตรวจวัดเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ในรถไฟฟ้า สายสุขุมวิท จากสถานีหมอชิตไปจนถึงสถานีแจ้งวัฒนะ (เวลา 09:33-10:11 น.) และจากสถานีแจ้งวัฒนะไปจนถึงสถานีหมอชิต (เวลา 10:17-10:56 น.) ที่ตำแหน่งจุด 1 และ 2 สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4 โดยกราฟแท่งคือจำนวนผู้ใช้บริการ กราฟเส้นประคือระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดวัด 1 และกราฟเส้นทึบคือระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดวัด 2



รูปที่ 4 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ให้บริการภายในรถไฟฟ้าบีทีเอส (ครั้งที่ 1)



รูปที่ 5 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ให้บริการภายในรถไฟฟ้าบีทีเอส (ครั้งที่ 2)

จากรูปที่ 4 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นสอดคล้องกับจำนวนคนภายในตู้โดยสาร กล่าวคือ เมื่อผู้โดยสารมีจำนวนน้อยระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นน้อย และเมื่อผู้โดยสารเพิ่มจำนวนขึ้นระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็เพิ่มความเข้มข้นขึ้นตามไปด้วย แม้ว่าจุดสูงสุด (peak) ของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งจุดตรวจวัด 1 เคลื่อนไปจากช่วงเวลาที่มีคนสูงสุด (168 คน) เล็กน้อยก็ตาม โดยระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดที่ตรวจวัด คือ 430 ppm ที่เวลา 10:54 น. (เที่ยวกลับแบร์ริง-หมอชิต) และสูงสุด

คือ 1,725 ppm ที่เวลา 09:51 น. (เที่ยวไปหมอชิต-แบร์ริง) ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ASHRAE (1,000 ppm) โดยมีจำนวนผู้ให้บริการต่ำสุด 15 คน และสูงสุด 168 คน จำนวนผู้โดยสารที่ยังไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 1,000 ppm ในเที่ยวไป (หมอชิต-แบร์ริง) คือ 81 คน และในเที่ยวกลับ (แบร์ริง-หมอชิต) คือ 97 คน

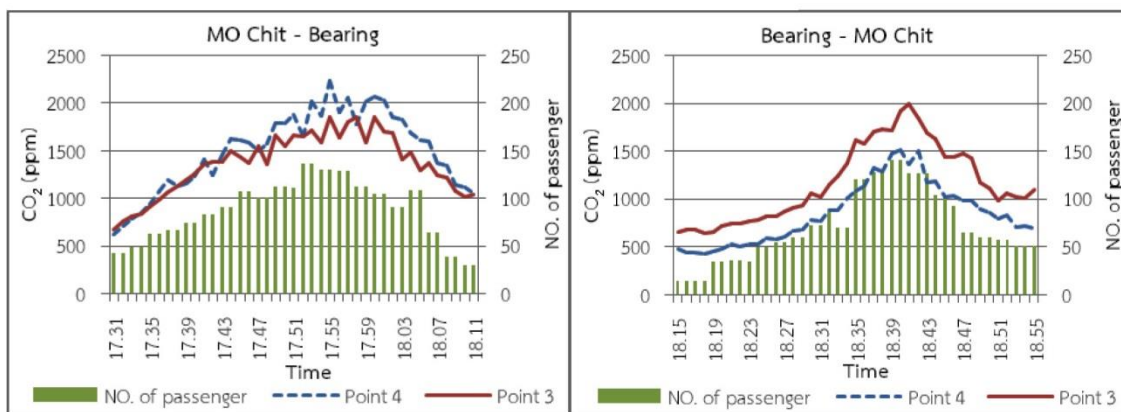
จากนั้นจึงทำการตรวจวัดในครั้งที่ 2 ในวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2556 จากสถานีหมอชิตไปจนถึงสถานีแบร์ริง (เวลา 12:02-13:05 น.) และจากสถานีแบร์ริงจนถึงสถานีหมอชิต (เวลา 13:10-14:14 น.) ที่ตำแหน่งจุด 3 และ 4 โดยผู้ทำการตรวจวัดออก

จากขบวนรถพร้อมกับผู้โดยสารอื่นๆ แล้วกลับเข้ามาในขบวนรถใหม่ทุก ๆ 2 สถานี เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณชานชาลา สถานีเปรียบเทียบกับระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนรถไฟฟ้า ได้ผลดังรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 ชัดเจนว่าการออกจากขบวนรถไฟฟ้าไปยังบริเวณชานชาลาซึ่งเป็นสถานที่เปิดโล่งและมีจำนวนคนที่หนาแน่นน้อยกว่าภายในตู้โดยสารรถไฟฟ้าที่เวลา 12:08, 12:18, 12:29, 12:37, 12:46 และ 12:56 น. (รูปซ้ายมือ) และเวลา 13:16, 13:26, 13:35, 13:44, 13:54 และ 14:05 น. (รูปขวามือ) ส่งผลให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าในตู้โดยสารอย่างเห็นได้ชัดเจน สอดคล้องกันทั้งสองจุดตรวจวัดทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ โดยมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดที่ 269

ppm ที่เวลา 12:08 น. และสูงสุดที่ 1,443 ppm ที่เวลา 13:49 น. (เที่ยวกลับ) ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ASHRAE ที่ 1,000 ppm จำนวนผู้ใช้บริการต่ำสุด 8 คน และสูงสุด 98 คน โดยจำนวนคนสูงสุดที่ยังไม่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐาน คือ 79 คน ในเที่ยวไป (หมอชิต-บางร็จ) และ 74 คนในเที่ยวกลับ (บางร็จ-หมอชิต)

จากนั้นจึงทำการตรวจวัดในครั้งที่ 3 ในวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2557 จากสถานีหมอชิตไปจนถึงสถานีบางร็จ (เวลา 17:31-18:11 น.) และจากสถานีบางร็จจนถึงสถานีหมอชิต (เวลา 18:15-18:55 น.) โดยทำการตรวจวัดที่ตำแหน่งจุด 3 และ 4 โดยครั้งนี้ไม่มีการออกจากขบวนรถเช่นที่กระทำในครั้งที่ 2 แสดงผลได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้โดยสารภายในรถไฟฟ้าบีทีเอส (ครั้งที่ 3)

จากรูปที่ 6 ชัดเจนว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ โดยพบความเข้มข้นต่ำสุดอยู่ที่ 426 ppm ที่เวลา 18:18 น. (เที่ยวกลับ) และสูงสุดที่ 2,225 ppm ที่เวลา 17:55 น. (เที่ยวไป) ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ASHRAE กว่า 2 เท่าตัว จำนวนผู้โดยสารต่ำสุด 14 คน และสูงสุด 140 คน

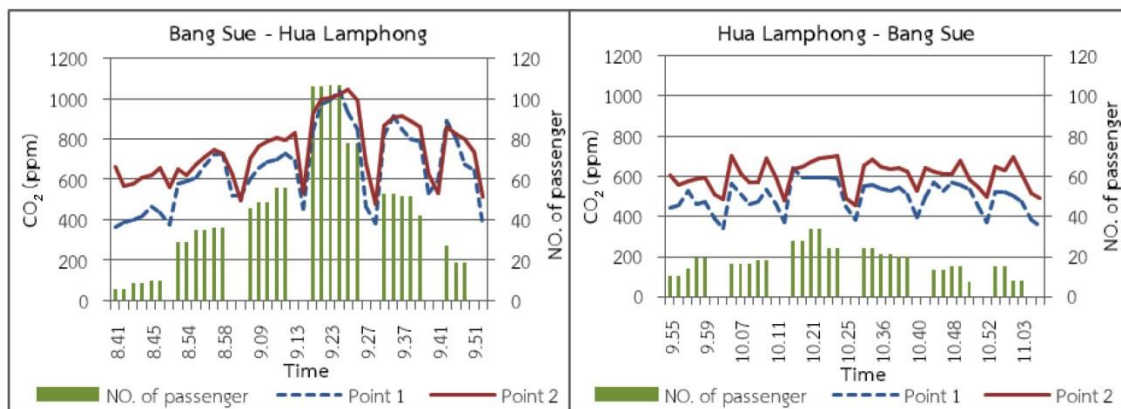
ซึ่งจำนวนคนที่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังไม่เกินค่ามาตรฐานในเที่ยวขาไป (บางร็จ-หมอชิต) คือ 62 คน และในเที่ยวกลับ (บางร็จ-หมอชิต) คือ 60 คน

3.2 รถไฟฟ้าใต้ดิน

การศึกษาครั้งที่ 1 ตรวจวัดเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2556 ภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิม

รัชมงคล จากสถานีบางซื่อไปจนถึงหัวลำโพง (เวลา 08:41-09:52 น.) และจากสถานีหัวลำโพงจนถึงสถานีบางซื่อ (เวลา 09:55-11:05 น.) ที่ตำแหน่งจุด 1 และ

2 โดยครั้งที่ 1 มีการออกจากขบวนรถไปตรวจวัดที่ชานชาลาทุก ๆ 2 สถานีและกลับเข้าไปในตู้โดยสารใหม่เช่นเดียวกับรถไฟฟ้ามหานครได้ผลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้โดยสารภายในรถไฟฟ้ามหานคร (ครั้งที่ 1)

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าความเข้มข้นของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นสอดคล้องกับจำนวนคนภายในตู้โดยสาร กล่าวคือ เมื่อผู้โดยสารมีจำนวนมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดที่ 342 ppm ที่เวลา 10:01 น. (เที่ยวกลับ) และสูงสุดที่ 1,046 ppm ที่เวลา 09:25 น. (เที่ยวไป) ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ASHRAE เพียงเล็กน้อย จำนวนผู้โดยสารต่ำสุด 6 คน และสูงสุด 107 คน และความเข้มข้นของระดับก๊าซที่บริเวณชานชาลา มีความเข้มข้นที่ต่ำกว่าในขบวนรถอย่างเห็นได้ชัด (ที่เวลา 08:47, 09:00, 09:14, 09:28 และ 09:41 ในรูปซ้ายมือ และ 10:01, 10:12, 10:26, 10:40 และ 10:52 น. ในรูปขวามือ) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีลักษณะเป็นห้องโถงขนาดใหญ่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศภายในบริเวณสถานี และมีจำนวนผู้โดยสารน้อยกว่าภายในขบวนรถ โดยพบว่าผู้โดยสารจำนวน 78 คน เป็นจำนวนที่ไม่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนได-

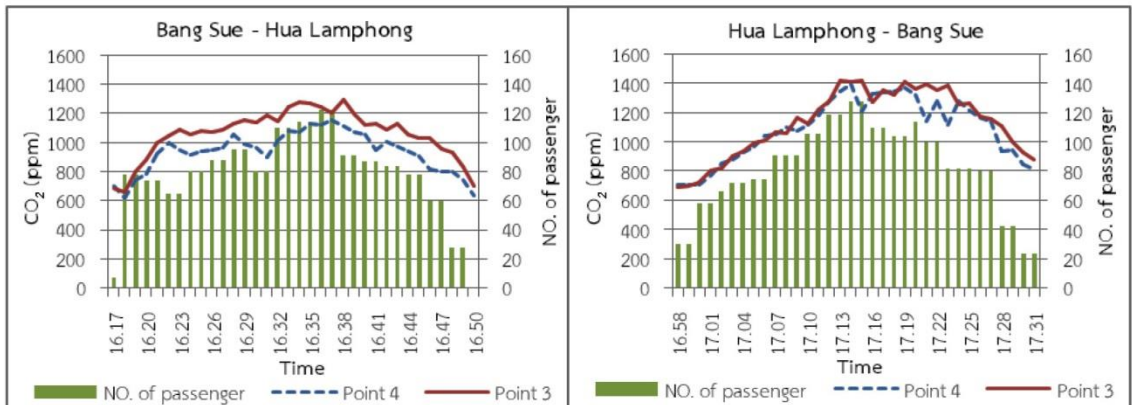
ออกไซด์เกินค่ามาตรฐานที่ 1,000 ppm

จากนั้นจึงทำการตรวจวัดครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2556 จากสถานีบางซื่อไปจนถึงหัวลำโพง (เวลา 16:17-16:50 น.) และจากสถานีหัวลำโพงจนถึงสถานีบางซื่อ (เวลา 16:58-17:31 น.) ที่ตำแหน่งจุด 3 และ 4 โดยไม่มีการออกไปนอกขบวนรถไฟฟ้ามหานคร ดังเช่นในครั้งที่ 1 สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 8

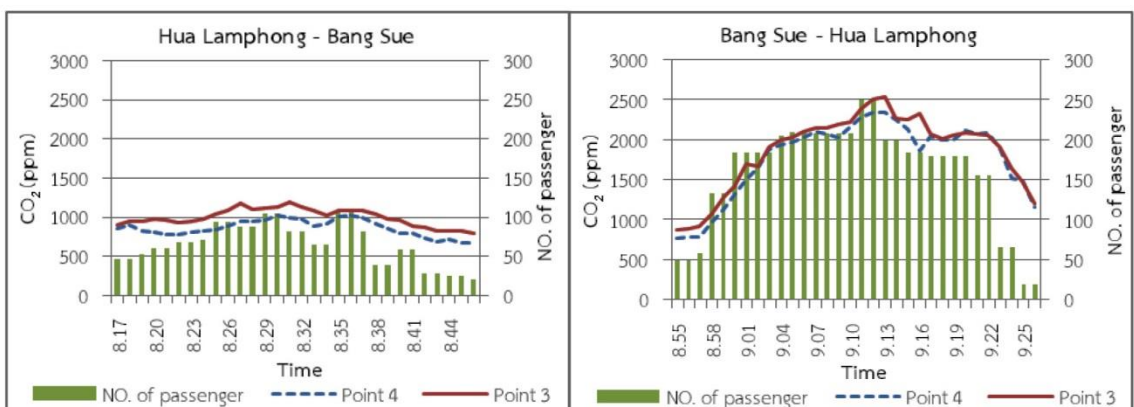
จากรูปที่ 8 ยังคงชัดเจนว่าความเข้มข้นของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นแปรผันตามจำนวนคนภายในตู้โดยสารเช่นเดียวกับการตรวจวัดครั้งที่ 1 โดยมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดที่ 634 ppm ที่เวลา 16:50 น. (เที่ยวไป) และสูงสุดที่ 1,427 ppm ที่เวลา 17:13 น. (เที่ยวกลับ) ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ASHRAE อีกเช่นกัน โดยจำนวนผู้โดยสารที่เริ่มทำให้ระดับก๊าซเกิน 1,000 ppm ในเที่ยวไป (บางซื่อ-หัวลำโพง) คือ 84 คน และในเที่ยวกลับ (หัวลำโพง-บางซื่อ) คือ 75 คน

จากนั้นทำการตรวจวัดครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2556 จากสถานีหัวลำโพงไปจนถึงบางซื่อ (เวลา 08:17-08:46 น.) และจากสถานีบางซื่อจนถึง

สถานีหัวลำโพง (เวลา 08:55-09:26 น.) ตรวจวัดที่ ตำแหน่งจุด 3 และ 4 สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ให้บริการภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน (ครั้งที่ 2)



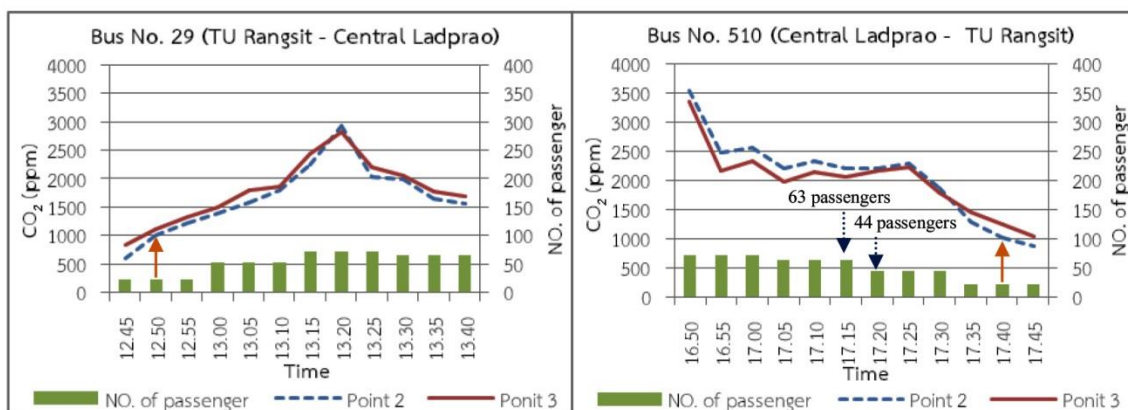
รูปที่ 9 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ให้บริการภายในรถไฟฟ้าใต้ดิน (ครั้งที่ 3)

จากรูปที่ 9 พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุด คือ 662 ppm ที่เวลา 08:45 น. (เที่ยวไป) และสูงสุดที่ 2,544 ppm ที่เวลา 09:13 น. (เที่ยวกลับ) ซึ่งเกินค่ามาตรฐานไป 2.5 เท่า โดยมีจำนวนผู้ให้บริการต่ำสุด 19 คน และสูงสุด 250 คน ซึ่งระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยังไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ เมื่อมีจำนวนผู้โดยสาร 71 คน ในเที่ยวไป (หัวลำโพง-บางซื่อ) และ 58 คน ใน

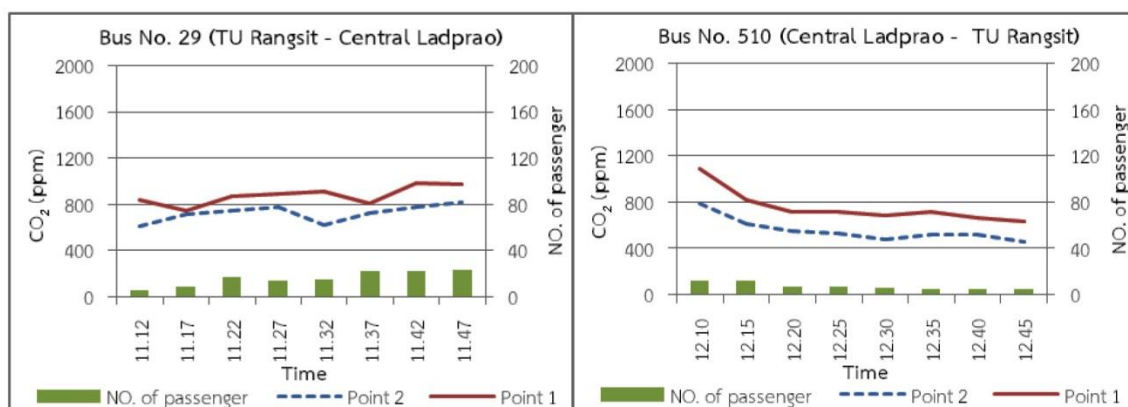
เที่ยวกลับ (บางซื่อ-หัวลำโพง)

3.3 รถโดยสารประจำทางปรับอากาศ

การศึกษาครั้งที่ 1 ตรวจวัดเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2556 ภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ สาย 29 จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จนถึงห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาซ่า ลาดพร้าว (เวลา 12:45-13:40 น.) และรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ สาย 510 จากห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล



รูปที่ 10 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้โดยสารภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ (ครั้งที่ 1)



รูปที่ 11 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้โดยสารภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ (ครั้งที่ 2)

พลาซา ลาดพร้าว จนถึงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (เวลา 16:50-17:45 น.) ที่ตำแหน่งจุด 2 และ 3 ได้ผลดังรูปที่ 10

จากรูปที่ 10 จะเห็นว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศทั้ง 2 สาย มีความสอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารภายในรถ กล่าวคือ เมื่อจำนวนคนมาก ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็มาก และเมื่อจำนวนคนน้อยลง ความเข้มข้นของก๊าซก็ลดลงเช่นเดียวกัน โดยในเที่ยวขาไปเมื่อมีจำนวนผู้โดยสาร 23

คน ที่เวลา 12:50 น. (ตำแหน่งลูกศรชี้) พบว่าทำให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มเกิน 1,000 ppm ส่วนเที่ยวขากลับที่เวลา 17:40 น. (ตำแหน่งลูกศรชี้) เหลือผู้โดยสาร 22 คน ส่งผลให้ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มอยู่ในค่ามาตรฐาน อีกทั้งยังพบว่าเที่ยวขาไปบริเวณสนามบินดอนเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น รถเคลื่อนตัวช้า (เวลา 13:20 น.) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นทั้งๆที่มีจำนวนผู้โดยสารเท่าเดิม เช่นเดียวกับเที่ยวกลับที่เวลา 17:20-17:25 น. ที่รถอยู่บริเวณตลาดใหม่ดอนเมืองที่มีการจราจร

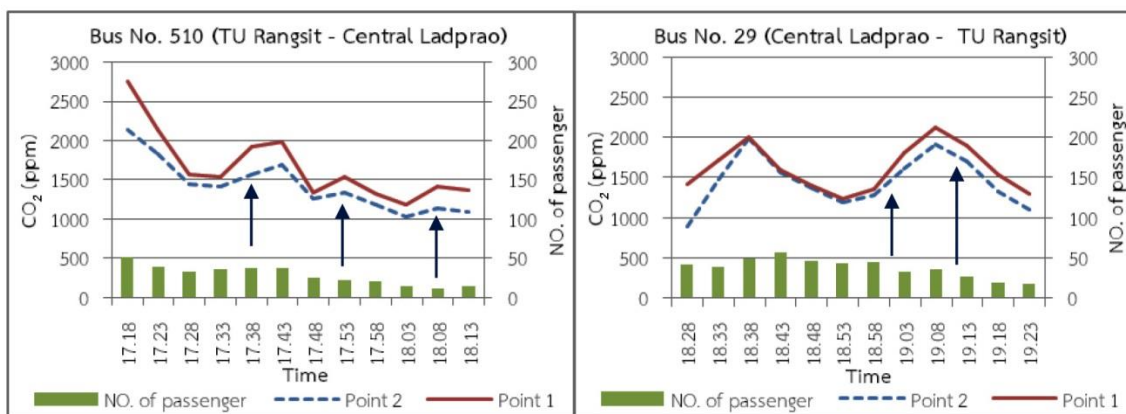
หนาแน่น แม้ว่าจำนวนผู้โดยสารจะลดลงจาก 63 คน เหลือ 44 คน แต่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้ลดลง แต่ยังเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกด้วย สันนิษฐานว่าน่าจะมาจากอากาศภายนอกปนเปื้อนเข้าสู่ภายในรถ โดยจำนวนผู้โดยสารที่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐานนั้นมีจำนวนน้อยกว่าที่พบในรถไฟฟ้ามหานครไฟฟ้าใต้ดินมาก (22-23 คน เทียบกับ 58-97 คน)

จากนั้นจึงทำการตรวจวัดครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2557 ภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ สาย 29 จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จนถึงห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาชาลาดพร้าว (เวลา 11:12-11:47 น.) และภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ สาย 510 จากห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาชาลาดพร้าว จนถึงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (เวลา 12:10-12:45 น.) ที่ตำแหน่งจุด 1 และ 2 ได้ผลดังรูปที่ 11

จากรูปที่ 11 พบว่าระดับก๊าซคาร์บอนได-

ออกไซด์ภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศทั้ง 2 สาย มีความสอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารภายในรถ โดยมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุด 458 ppm ที่เวลา 12:45 น. และสูงสุด 1,090 ppm ที่เวลา 12:10 น. มีจำนวนผู้โดยสารน้อยสุด 5 คน และมากที่สุด 23 คน ซึ่งผู้โดยสารที่ยังไม่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 1,000 ppm คือ 22 คน โกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งที่ 1

จากนั้นจึงทำการตรวจวัดครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2557 ภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ สาย 510 จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จนถึงห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาชาลาดพร้าว (เวลา 17:18-18:13 น.) และภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ สาย 29 จากห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาชาลาดพร้าว จนถึงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (เวลา 18:28-19:23 น.) ที่ตำแหน่งจุด 1 และ 2 แสดงผลดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ให้บริการภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ (ครั้งที่ 3)

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สอดคล้องกับจำนวนผู้ให้บริการและความหนาแน่นของการจราจร โดยในเที่ยวไป เวลา

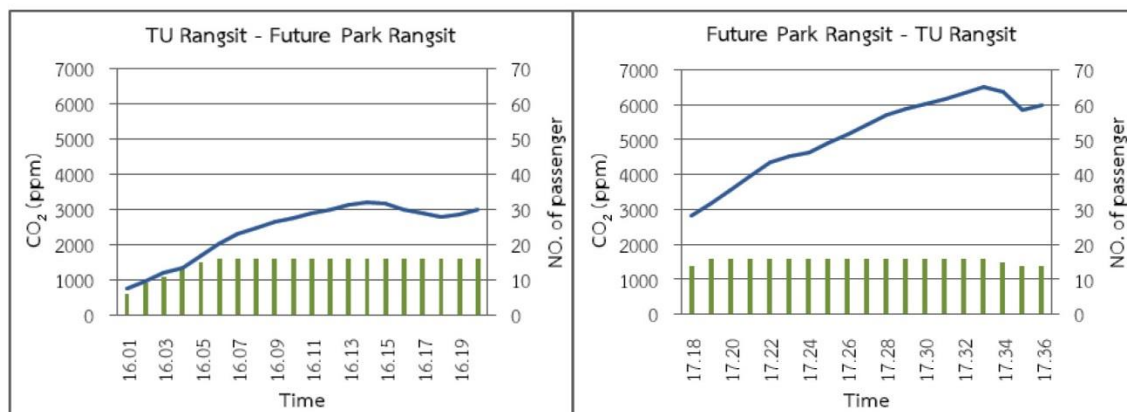
17:38 น. รถโดยสารอยู่บริเวณสน.ดอนเมือง (ตำแหน่งลูกศรชี้) เวลา 17:53 น. รถโดยสารอยู่บริเวณวัดหลักสี่ และเวลา 18:08 น. รถโดยสารอยู่บริเวณโรงเรียน

นานาชาติสตีเฟน ซึ่งเวลาดังกล่าวมีรถจำนวนมากและเคลื่อนตัวช้า แม้ว่าจำนวนผู้โดยสารภายในรถจะลดลงเรื่อย ๆ แต่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสูงขึ้นที่เวลาดังกล่าวกว่าในช่วงเวลาอื่น ๆ ส่วนในเที่ยวกลับตั้งแต่เวลา 19:00-19:12 น. (ตำแหน่งลูกศรชี้) รถเคลื่อนผ่านบริเวณตลาดใหม่ตอนเมือง โดยมีการจราจรที่หนาแน่นเช่นกัน พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ทั้ง ๆ ที่ผู้โดยสารภายในรถลดลงเรื่อย ๆ สันนิษฐานว่าอากาศจากภายนอกรถไหลปนเปื้อนเข้าสู่ภายในรถโดยสาร ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในเที่ยวขาไปมีระดับเกิน 1,000 ppm ตั้งแต่เริ่มตรวจวัด (17:18 น.) จนถึงปลายทาง (18:13 น.) โดยมีผู้โดยสารต่ำสุด 12 คน และสูงสุด 51 คน เช่นเดียวกับเที่ยวกลับที่มีผู้โดยสารบนรถ 17-56 คน

ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้เกินค่ามาตรฐานตั้งแต่เริ่มทำการตรวจวัด (18:28 น.) จนถึงปลายทาง (19:23 น.) อย่างไรก็ตาม จำนวนคนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำหนดระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ยังขึ้นกับสภาพการจราจรภายนอกอีกด้วย

3.4 รถตู้โดยสารสาธารณะ

การศึกษาครั้งที่ 1 ตรวจวัดเมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ภายในรถตู้โดยสารจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ไปยังห้างสรรพสินค้าฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต (เวลา 16:01-16:20 น.) และจากห้างสรรพสินค้าฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต จนถึงมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (เวลา 17:18-17:36 น.) สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 13



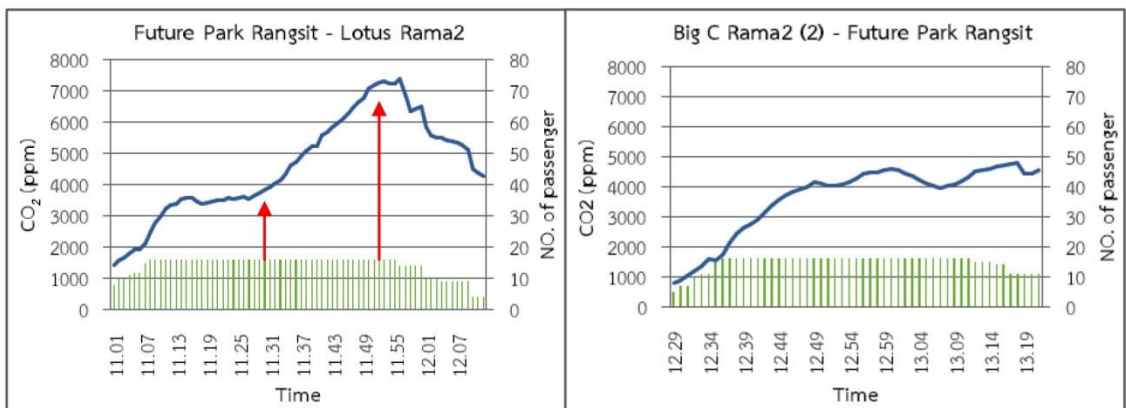
รูปที่ 13 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้โดยสารภายในรถตู้โดยสารสาธารณะ (ครั้งที่ 1)

จากรูปที่ 13 ช่ายมือพบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเส้นทางมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ไปยังฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้โดยสารที่ทยอยขึ้นรถ เนื่องจากเป็นต้นทาง โดยเมื่อเริ่มทำการตรวจวัดมีจำนวนผู้โดยสารนั่งรออยู่ในรถแล้ว 6 คน ซึ่งรถตู้โดยสารจะรอให้ผู้โดยสารเต็มคันรถก่อน (16 คน)

จึงจะออกเดินทาง ในช่วงเริ่มต้นมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 760 ppm (เวลา 16:01 น.) เมื่อเวลาผ่านไปเพียง 3 นาที ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 1,187 ppm และค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นจนสูงสุดที่ 3,218 ppm ที่เวลา 16:14 น. โดยจำนวนผู้โดยสารคงที่ที่ 16 คนอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่เที่ยวกลับ (รูปขวามือ) รถตู้

โดยสารนี้รับผู้โดยสารที่รออยู่ที่ฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต กลับมายังมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต เกือบจะทันที ทำให้ไม่มีการระบายอากาศออกจากรถ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเริ่มต้นที่ 2,328 ppm และเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆจนสูงสุดที่ 6,531 ppm ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ASHRAE ถึง 6.5 เท่า ตลอดจนเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 8 ชั่วโมงของโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ที่ 5,000 ppm [6] ซึ่งแสดงถึงการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในรถโดยสารสาธารณะ เนื่องจากจำนวนผู้โดยสารไม่มีการ

เปลี่ยนแปลง โดยพบการลดลงเล็กน้อยที่เวลา 17:34-17:35 น. เนื่องจากมีผู้โดยสารลงที่ปลายทาง จากนั้นจึงทำการตรวจวัดครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ภายในรถโดยสารจากห้างสรรพสินค้าฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต ไปจนถึงห้างสรรพสินค้าโลตัส พระราม 2 (เวลา 11:01-12:12 น.) และจากห้างสรรพสินค้าบิ๊กซี พระราม 2 สาขา 2 (อยู่ตรงข้ามกับห้างสรรพสินค้าโลตัส พระราม 2 เวลา 12:29-13:31 น.) และสังเกตสภาพการจราจรขณะที่รถโดยสารวิ่งผ่าน ได้ผลดังรูปที่ 14



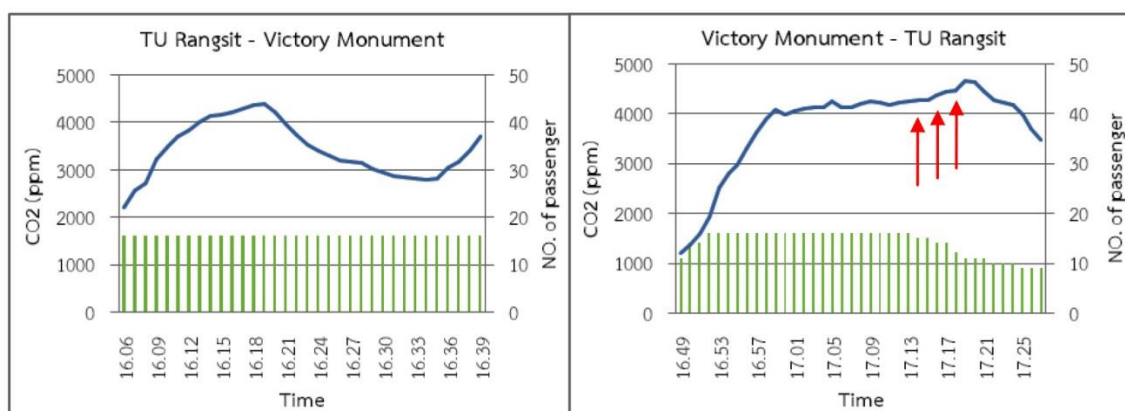
รูปที่ 14 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ให้บริการภายในรถโดยสารสาธารณะ (ครั้งที่ 2)

จากรูปที่ 14 ซ้ายมือจะเห็นว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเส้นทางฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต ไปจนถึงโลตัส พระราม 2 ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้โดยสารที่ทยอยขึ้นรถเช่นเดียวกัน โดยมีจำนวนผู้โดยสาร 8 คน เมื่อเริ่มทำการตรวจวัด ซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,454 ppm เกินค่ามาตรฐาน ASHRAE ตั้งแต่เริ่มทำการตรวจวัด โดยตั้งแต่วเวลา 11:29-11:52 น. (ตำแหน่งลูกศรชี้) รถโดยสารอยู่บริเวณพระราม 3 จนถึงสะพานแขวนซึ่งมีการจราจรที่หนาแน่น รถเคลื่อนตัวช้า สลับกับหยุดนิ่ง ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 7,319 ppm ทั้ง ๆ ที่จำนวน

ผู้โดยสารคงที่อยู่ตลอดเวลา และค่อย ๆ ลดลงเมื่อลงจากทางด่วน (เวลา 11:53 น.) รวมถึงมีผู้โดยสารทยอยลงปลายทาง (เวลา 11:56, 12:01, 12:04 และ 12:10 น.) จึงอาจเป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ในขณะที่รถอยู่ในเส้นทางบิ๊กซี พระราม 2 สาขา 2 กลับมายังฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต (รูปขวามือ) มีจำนวนผู้โดยสารภายในรถเริ่มต้น 5 คน วัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 791 ppm และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็น 1,032 ppm ภายใน 3 นาที โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีระดับสูงสุดที่ 4,788 ppm ในช่วงเวลา 13:00-13:06 น. สภาพการจราจรเบาบาง ทำให้รถวิ่งได้เร็ว สังเกตได้ว่า

ระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงทั้งที่จำนวนคนภายในรถเท่าเดิมที่ 16 คน และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อรถถึงทางด่วนที่มีปริมาณการจราจรที่หนาแน่นขึ้น (เวลา 13:07 น.) อีกทั้งยังสูงขึ้นเรื่อย ๆ แม้จะมีผู้โดยสารลงปลายทาง ซึ่งบริเวณที่ผู้โดยสารลงเป็นบริเวณ สน.ดอนเมือง ที่มีปริมาณรถจำนวนมาก (เวลา 13:12 น.) รวมถึงบริเวณหมู่บ้านเมืองเอกที่เวลา 13:17 น. บริเวณที่ผู้โดยสารลงมีการจราจรที่หนาแน่นเช่นกัน ทำให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงขึ้น

จากนั้นจึงทำการตรวจวัดครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ภายในรถตู้โดยสารจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ไปจนถึงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ (เวลา 16:06-16:39 น.) และจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิกลับมายังมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (เวลา 16:49-17:27 น.) โดยสังเกตการจราจรบริเวณที่รถตู้โดยสารขับผ่านด้วย แสดงผลได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้โดยสารภายในรถตู้โดยสารสาธารณะ (ครั้งที่ 3)

จากรูปที่ 15 ชัดเจนว่าเมื่อเริ่มทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เส้นทางมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ไปยังอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ มีค่า 2,198 ppm ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ASHRAE ที่ 1,000 ppm อยู่แล้ว เนื่องจากมีผู้โดยสารนั่งรออยู่เต็มคันรถแล้ว (16 คน) และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุดที่ 4,378 ppm (เวลา 16:19 น.) จากนั้นเมื่อเวลา 16:18-16:33 น. รถตู้โดยสารขึ้นทางด่วนโทลเวย์ ซึ่งมีสภาพการจราจรที่เบาบางจึงสามารถวิ่งได้เร็วขึ้น เป็นผลให้ระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างชัดเจนทั้งที่มีจำนวนผู้โดยสารเท่าเดิม และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อลงจากทางด่วนโทลเวย์บริเวณดินแดงที่มีการจราจรหนาแน่น (เวลา 16:34-16:37 น.) แต่

อย่างไรก็ตามตลอดเส้นทางดังกล่าวระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐาน 1,000 ppm อยู่ตลอดเวลา ในขณะที่เวลากลับจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิมายังมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (รูปขวามือ) มีจำนวนผู้โดยสารเริ่มต้นที่ 11 คน และวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 1,119 ppm ซึ่งเกินค่ามาตรฐานตั้งแต่เริ่มการตรวจวัดอีกเช่นกัน และเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆจนมีระดับสูงสุดที่ 4,652 ppm โดยเวลา 17:14, 17:16 และ 17:18 น. (ตำแหน่งลูกศรชี้) มีผู้โดยสารลงรถบริเวณตลาดประตวนพร หมู่บ้านไวก้อเฮาส์ และมหาวิทยาลัยกรุงเทพตามลำดับ แต่ก็ไม่พบการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีรถจำนวนมาก สันนิษฐาน

ได้ว่าอากาศจากภายนอกปนเปื้อนเข้าสู่รถตู้โดยสาร โดยจากการศึกษาทั้ง 3 ครั้ง พบว่ารถตู้โดยสาร สาธารณะนั้นมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สูงที่สุด ทั้ง ๆ ที่มีจำนวนคนน้อยที่สุดในระบบขนส่งมวลชนทางบกทั้งหมดที่ทำการศึกษาในครั้งนี้

4. วิจารณ์

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในรถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าใต้ดินสอดคล้องกับ จำนวนผู้ใช้บริการ โดยพบว่าเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ มากขึ้น ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะยิ่งสูงขึ้น และเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยลง ระดับ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ลดลงด้วย ซึ่งแหล่งกำเนิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน ระบบขนส่งมวลชนมาจากการหายใจออกของผู้ใช้ บริการ ส่วนรถประจำทางปรับอากาศ และรถตู้โดยสาร พบว่ามีแหล่งกำเนิดภายนอกจากสภาพการจราจร บริเวณโดยรอบเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยพบว่าบริเวณที่ มีการจราจรหนาแน่น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอน- ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นแม้ว่ามีจำนวนผู้ใช้บริการเท่าเดิม อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนได- ออกไซด์ภายในระบบขนส่งมวลชนทุกประเภทที่ทำการ ตรวจวัดมีระดับความเข้มข้นเกิน 1,000 ppm ซึ่งเป็น ค่าแนะนำที่ ASHRAE กำหนดไว้ แสดงว่าระบบระบาย อากาศภายในระบบขนส่งมวลชนมีประสิทธิภาพไม่ เพียงพอ โดยจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยภายในรถไฟฟ้า บีทีเอสที่ไม่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออก- ไซด์เกิน 1,000 ppm คือ 75 คน ต่อตู้โดยสาร ขณะที่ รถไฟฟ้าใต้ดินควรมีจำนวนคน 73 คน ต่อตู้โดยสาร ส่วนรถปรับอากาศควรมีจำนวนคน 19 คน ต่อคัน ซึ่งเป็นตัวเลขที่มาจากการสำรวจตามสภาพการปรับ อากาศที่ใช้อยู่ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดนี้ แต่ในทาง ปฏิบัติแล้วระบบขนส่งมวลชนต้องการจะขนส่งผู้โดยสาร

จำนวนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ก็จำเป็นต้องเพิ่ม อัตราการระบายอากาศเพื่อควบคุมหรือเจือจาง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้เกิดการสะสมตัวอยู่ ในอากาศให้มากยิ่งขึ้น โดยรถตู้โดยสารสาธารณะนั้นมี ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐาน ตลอดเวลา จนไม่สามารถกำหนดจำนวนคนที่เหมาะสม ได้ ทั้งนี้การศึกษาของประเทศฮ่องกงในปี พ.ศ. 2548 [7] พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศสูงกว่ารถโดยสารประจำทางธรรมดา และมีค่าเกินมาตรฐานของ ASHRAE เช่นกัน โดยเส้นทางในบริเวณเขตเมือง ทาง หลวง และอุโมงค์ในช่วงที่รถขับผ่าน มีความเข้มข้น ของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าในเส้นทางบริเวณชนบท เนื่องจากกลไกการระบายอากาศภายในรถขึ้นกับ ปริมาณอากาศสะอาดที่แทรกซึมผ่านด้านหลัง ประตู และหน้าต่างของรถ ดังนั้นบริเวณที่รถเคลื่อนที่ผ่านจึง มีผลต่อระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องฝุ่นละออง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในรถโดยสารประจำ ทางขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2555 [8] ที่พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอน- ไดออกไซด์ภายในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศสูง กว่ารถโดยสารประจำทางธรรมดา โดยที่ความเข้มข้น เฉลี่ยเกินค่ามาตรฐานเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากคนขับรถไม่ ยอมเปิดพัดลมระบายอากาศภายในรถ เพราะต้องการ รักษาความเย็นภายในรถเอาไว้ ทำให้เกิดการสะสมตัว ของก๊าซภายในรถขึ้นมา และอีกการศึกษาหนึ่งที่ ตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในรถ โดยสารประจำทาง (ขสมก.) ทั้งหมด 515 คัน เป็นรถ ธรรมดา 265 คัน และรถปรับอากาศ 250 คัน [9] พบว่ารถธรรมดามีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 725-1,133 ppm ต่ำกว่ารถปรับอากาศที่มี ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,450-

1,667 ppm เนื่องจากการปิดพัดลมระบายอากาศภายในรถขณะที่มีผู้โดยสารจำนวนมาก รวมถึงบริเวณโดยรอบมีสภาพการจราจรที่หนาแน่นด้วย

5. สรุป

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระบบขนส่งมวลชนทางบก 4 ประเภท ได้แก่ รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าใต้ดิน รถโดยสารประจำทางปรับอากาศ และรถตู้โดยสารสาธารณะพบว่าระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการและสภาพการจราจรบริเวณที่รถเคลื่อนผ่าน อีกทั้งการระบายอากาศภายในระบบขนส่งมวลชนที่ทำการศึกษาก็ทุกประเภทมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ เนื่องจากมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐานที่ ASHRAE กำหนดไว้ที่ 1,000 ppm เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น โดยจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยภายในรถไฟฟ้าบีทีเอสที่ไม่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐาน คือ 75 คน ต่อตู้โดยสาร ขณะที่จำนวนคนภายในรถไฟฟ้าใต้ดินอยู่ที่ 73 คน ต่อตู้โดยสาร และรถปรับอากาศควรมีจำนวนคน 19 คน ส่วนรถตู้โดยสารสาธารณะมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าประเภทอื่น ๆ และมีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐานตลอดเวลาจึงไม่สามารถกำหนดจำนวนคนที่เหมาะสมได้

ในทางปฏิบัติระบบขนส่งมวลชนต้องการให้ผู้โดยสารให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นระบบขนส่งมวลชนจำเป็นต้องเพิ่มอัตราการระบายอากาศเพื่อควบคุมหรือเจือจางปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้มีการสะสมตัวอยู่ในอากาศให้มากยิ่งขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้บริการภายในระบบขนส่งมวลชน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มเสนีย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (TSI Q-Track Indoor Air Quality Meter Model 7565) และขอขอบคุณ นางสาวศิริรัตน์ เรืองเกษ และนางสาวภรณ์ ลิขิตชัยวรรณ ที่ช่วยเหลือในการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

6. รายการอ้างอิง

- [1] สลิลทิพย์ ทิพย์ไกรสร, 2554, ประเทศไทย เริ่มต้นพัฒนาระบบขนส่งมวลชนอย่างไร, ว.นักบริหาร 31(4): 55-58.
- [2] กองนโยบายและแผนงาน สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร, รายงานการศึกษาเรื่องข้อมูลผู้ใช้บริการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ, แหล่งที่มา : http://cpd.bangkok.go.th:90/web2/strategy/DATA54_55/2MASST.pdf, 7 มีนาคม 2558.
- [3] กองนโยบายและแผนงาน สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร, รายงานการศึกษาข้อมูลผู้ใช้บริการระบบขนส่งมวลชนทางบกบนราง (รถไฟ รถไฟฟ้า บีทีเอส และรถไฟฟ้ามหานคร), แหล่งที่มา : http://cpd.bangkok.go.th:90/web2/strategy/DATA54_55/3MASST.pdf, 7 มีนาคม 2558.
- [4] สำนักสิ่งแวดล้อม การควบคุมมลพิษทางอากาศภายใน, แหล่งที่มา : <http://bangkokgreencity.bangkok.go.th/Knowledge-Based/Article/PollutionAndNoise/การควบคุมมลพิษทางอากาศภายในอาคาร.aspx>, 17 พฤษภาคม 2557.
- [5] Persily, A.K., Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide,

- Available Source: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build97/PDF/b97044.pdf>, March 14, 2015.
- [6] NIOSH, Carbon dioxide, Available Source: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build97/PDF/b97044.pdf>, May 3, 2014.
- [7] Chan, M.Y., 2005, Commuters' exposure to carbon monoxide and carbon dioxide in air-conditioned buses in Hong Kong, J. Indoor Built Environ. 14: 397-403.
- [8] Kongtip, P., Anthayanon, T., Yoosook, W., and Onchoi, C., 2012, Exposure to particulate matter, CO₂, CO, VOCs among bus drivers in Bangkok, J. Med. Assoc. Thai 95(6): 169-178.
- [9] อรวรรณ แก้วบุญชู และคณะ, การพัฒนาศักยภาพการดูแลสุขภาพพนักงานขับรถโดยสารประจำทางขนส่งมวลชน กรุงเทพฯ, แหล่งที่มา : http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?PJID=RDG4530029, 25 มิถุนายน 2558.