



ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ



โดย
นางสาวอนุสรณ์ รอดธานี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

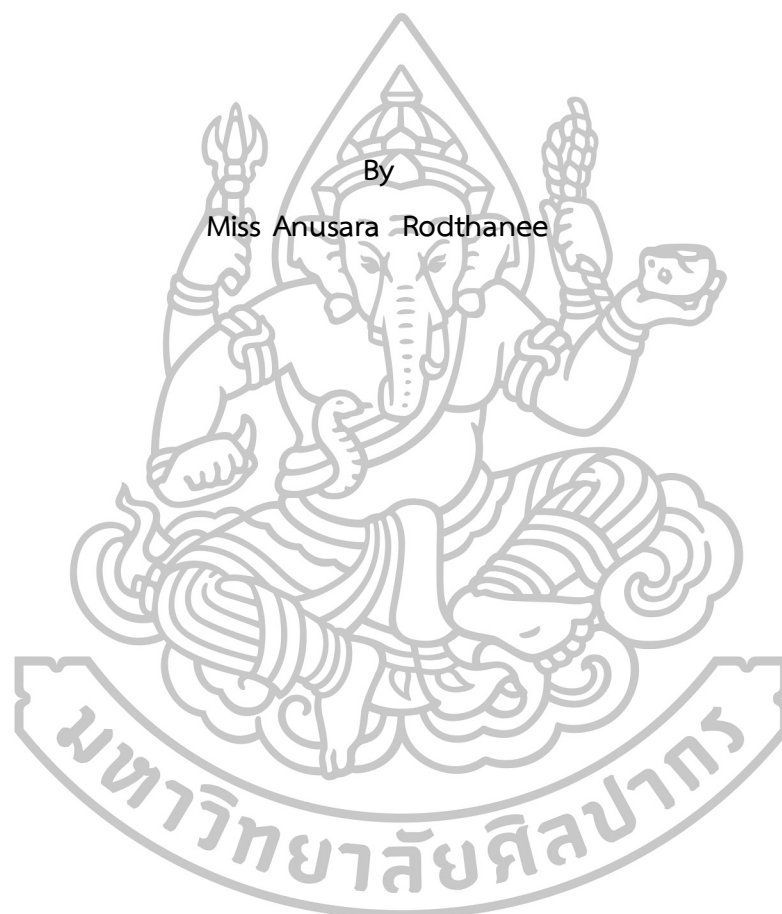
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

QUANTITIES OF PM_{2.5} INSIDE PUBLIC VEHICLES IN BANGKOK



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Science Program in Environmental Science
Department of Environmental Science
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2015
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ” เสนอโดย นางสาวอนุสราร รอดธานี เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแอ่ง

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังค์ศิริ ทิพย์ารมณี)

...../...../.....

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอื้อมพร มัชฌิมวงศ์)

...../...../.....

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแอ่ง)

...../...../.....



56311315 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : รถโดยสารสาธารณะ/PM_{2.5}/อัตราเร็ว/การประเมินการได้รับสัมผัส/กรุงเทพมหานคร

อนุสรณ์ รอดธานี : ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.รัฐพล อ้นแฉ่ง. 87 หน้า.

ระบบขนส่งมวลชนเป็นบริการสาธารณะที่มีความสำคัญในการช่วยให้ประชาชนสามารถเดินทางไปยังที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวกสบาย ช่วยลดการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ลดแหล่งระบายมลพิษ ส่งผลให้คุณภาพอากาศในเมืองดีขึ้น การปนเปื้อนของสารมลพิษภายในรถโดยสารสาธารณะอาจเกิดขึ้นจากหลาย ๆ ปัจจัย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้โดยสาร การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ภายในห้องโดยสารของรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท ประกอบด้วย รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีและรถแท็กซี่ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณ PM_{2.5} ในรถโดยสารสาธารณะ 2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถ 3) ประเมินการได้รับสัมผัส PM_{2.5} ของผู้โดยสาร และ 4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{2.5} กับสถานะการขับขี่ การศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณฝุ่นแบบต่อเนื่อง (Dusttrak Aerosol Monitor) ในการตรวจวัดปริมาณ PM_{2.5} การติดตามความเร็วและสถานะการขับขี่ด้วยเครื่องมือตรวจวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ (จีพีเอส) ผลการศึกษาพบว่า รถประจำทางปรับอากาศ มีความเข้มข้น PM_{2.5} เฉลี่ย (มก./ลบ.ม.) ตลอดระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด (2,650±2,348) รองมาคือ รถมินิบัส (1,996±1,042) รถไฟฟ้าบีทีเอส (1,070±626) รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (806±645) รถตู้สาธารณะ (424±324) และรถแท็กซี่ (366±362) ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณ PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารนั้นพบว่า รถตู้สาธารณะมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับ 0.05) โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) เท่ากับ 0.256 ส่วนรถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอสและรถแท็กซี่ มีปริมาณ PM_{2.5} กับอัตราเร็วที่สัมพันธ์กันแบบแปรผกผันตามเช่นกันแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.121 0.137 และ 0.163 ตามลำดับ ส่วนในรถประจำทางปรับอากาศพบว่าปริมาณ PM_{2.5} และอัตราเร็วมีความสัมพันธ์กันแบบผกผันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ (-0.020) เมื่อประเมินการได้รับสัมผัสในรูปของปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยรายวัน (Average Daily Intake หรือ ADI) (มก./กก.-น.ร่างกาย/วัน) พบว่า ในกลุ่มผู้ใหญ่ รถประจำทางปรับอากาศมีการรับสัมผัสมากที่สุด (0.0063) รองลงมาคือ รถมินิบัส (0.0034) รถตู้ (0.0014) รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (0.0011) และรถไฟฟ้าบีทีเอส (0.0008) ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มเด็กพบว่า รถประจำทางปรับอากาศมีการรับสัมผัสมากที่สุด (0.0149) รองลงมา คือ รถไฟฟ้าบีทีเอส (0.0028) รถตู้สาธารณะ (0.0026) และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (0.0016) ตามลำดับ (รถมินิบัสไม่พบกลุ่มผู้โดยสารที่เป็นเด็กขณะทำการสำรวจ) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{2.5} กับสถานะการขับขี่พบว่า PM_{2.5} มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในช่วงที่รถโดยสารสาธารณะมีการชะลอ ซึ่งอาจมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีผล เช่น การขึ้นลงของผู้โดยสารระหว่างสถานี สภาพการจราจร ฯลฯ จากผลการศึกษาที่น่ามาสู่ข้อเสนอแนะให้มีการปรับปรุงระบบระบายอากาศรวมทั้งการทำความสะอาดในห้องโดยสารอย่างสม่ำเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในรถประจำทางปรับอากาศ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

56311315 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : PUBLIC VEHICLES /PM_{2.5}/VELOCITY/EXPOSURE ASSESSMENT/BANGKOK

ANUSARA RODTHANEE : QUANTITIES OF PM_{2.5} INSIDE PUBLIC VEHICLES IN BANGKOK

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RATTAPON ONCHANG, Ph.D. 87 pp.

Public Transport System is an important public service in order to supporting people travelling to their destinations conveniently. It can aid reduction of personal vehicle uses, which intern decrease the vehicle emissions, resulting in gaining better urban air quality. However, contamination of air pollutants in public vehicle cabins caused by several factors may have a potential effect on passengers' health. This study quantified particulate matter with diameter not more than 2.5 microns (PM_{2.5}) in the cabins of 6 public vehicle types in Bangkok, consisting of public van, air conditioning bus, non-air conditioning minibus, sky train (BTS), subway (MRT) and taxi. The objectives of the study were as follow; 1) To compare PM_{2.5} quantities in the public vehicles, 2) To analyze correlations between PM_{2.5} and the vehicle velocities, 3) To assess passengers' exposure to PM_{2.5} and 4) To analyze relationship between PM_{2.5} quantities and driving conditions. Measurements of PM_{2.5} in vehicle cabins were conducted using a particulate matter continuous measurement device (Dusttrak Aerosol Monitor). Vehicle velocities and its driving condition were tracked using a GPS device parallel to the PM_{2.5} measurements. The results indicate that air conditioning bus had the highest average PM_{2.5} concentration (in the unit of $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (2,650±2,348), followed by minibus (1,996±1,042), BTS (1,070±626), MRT (806±645), public van (424±324) and taxi (366±362), respectively. For PM_{2.5} and vehicle velocity correlations, a significant positive correlation (at a significant level of 0.05) was found in public van (correlation coefficient of 0.256). The positive correlations were also detected, with no statistical significant, in minibus, BTS and MRT. Their correlation coefficients were 0.121, 0.137 and 0.163, respectively. A significant negative correlation was found only in air conditioning bus with low power correlation coefficient (-0.020). For exposure assessment in terms of Average Daily Intake (ADI) (in the unit of mg./kg.-body weight /day), as in adult group; air conditioning bus had a highest ADI (0.0063), followed by minibus (0.0034), public van (0.0014), MRT (0.0011) and BTS (0.0008), respectively. In the group of children, the highest ADI was found in air conditioning bus (0.0149), followed by BTS (0.0028) public van (0.0026) and MRT (0.0016), respectively (minibus had no child passengers during the survey). For the relationships between PM_{2.5} and driving conditions, PM_{2.5} tended to be generated higher than other driving states during the vehicles slowing down. These may be influenced by other factors, such as getting on and off the vehicles of the passengers during the trips, traffic conditions etc. Based on the results, improvement of the vehicle ventilation systems together with cleaning up the vehicle cabins regularly was recommended, especially in air conditioning bus.

Department of Environmental Science

Graduate School, Silpakorn University

Student's Signature.....

Academic Year 2015

Thesis Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะ ในกรุงเทพฯ ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ในการนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่สนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ในการประสานงานในทุก ๆ ด้านจนการศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นฉ่าง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และแนะนำพร้อมทั้งเสนอข้อคิดเห็น ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพย์ารมณั์ กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอื้อมพร มัชฌิมวงศ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณพนักงานและเจ้าหน้าที่ประจำสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต สถานีรถไฟฟ้ามหานคร สถานีรับส่งผู้โดยสารรถตู้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่เก็บตัวอย่าง รวมถึงพนักงานขับรถและพนักงานเก็บค่าโดยสารที่ให้ความร่วมมือในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณ นางสาวจิรัชญา สุขคำ และนางสาวศศิธร ร่มพา นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร นายนิธิโรจน์ วัฒนรัฐกำจร และนางสาวนิตารัตน์ เข้ายำภักดี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณ นายธีรไฉย ศรีธรรมรงค์ นักศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิตมหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการใช้โปรแกรม Arc Map 10.0 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบคุณ นางสาวเบญจวรรณ อังกรวิวัฒน์ ที่ให้คำปรึกษาในการจัดรูปแบบเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การดำเนินการเอกสารข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ รวมถึงทุกคนในครอบครัวรอดธานี ที่เป็นกำลังใจพร้อมสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันตลอดมา ขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาแต่พระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจอย่างดีเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
รายการคำย่อ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ในการศึกษา	2
ขอบเขตการศึกษา	3
ประโยชน์ที่ได้รับ	3
2 การตรวจสอบเอกสาร.....	5
ความหมายและลักษณะทั่วไปของฝุ่นละออง	5
ฝุ่นละออง.....	5
ลักษณะของฝุ่นละออง	5
ประเภทของฝุ่นละออง	6
ชนิดของฝุ่นละออง.....	7
สัณฐานของฝุ่นละออง	7
แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง	8
ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle).....	8
ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Particle).....	8
ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมอื่น ๆ	9
กลไกการรับสัมผัสฝุ่นละอองและผลกระทบต่อสุขภาพ	9
มลพิษภายในอาคาร	11
มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร	11
มลพิษทางอากาศในห้องโดยสารสาธารณะ	11
การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment).....	12
การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification).....	12

	การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment).....	13
	การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment).....	15
	การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization).....	15
	การขนส่งสารพิษ.....	16
	รถผู้โดยสาร.....	16
	รถโดยสารประจำทาง.....	18
	รถไฟฟ้าบีทีเอส.....	22
	รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (รถไฟฟ้ามหานคร).....	25
	รถแท็กซี่.....	28
	แนวโน้มการให้บริการระบบขนส่งสาธารณะในอนาคต.....	29
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3	วิธีดำเนินการทดลอง.....	35
	ขั้นตอนการศึกษา.....	35
	เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	36
	เครื่องมือตรวจวัดปริมาณ PM _{2.5}	36
	เครื่องมือวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Global Positioning System).....	37
	วิธีการศึกษา.....	37
	พื้นที่ศึกษา.....	37
	รถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษา.....	38
	เส้นทางการศึกษา.....	38
	การเก็บข้อมูล.....	38
	การบันทึกข้อมูล/ลักษณะของยานพาหนะและข้อมูลอื่น ๆ.....	38
	การใช้แบบสอบถามเพื่อสอบถามพฤติกรรมการใช้รถโดยสารสาธารณะของ- ประชาชนในเขตกรุงเทพฯ.....	40
	การรวบรวมผลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
	การประเมินการได้รับสัมผัส.....	41
	การวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่กับปริมาณ PM _{2.5} ของเส้นทางการเดินรถ แต่ละประเภท.....	41
	การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ.....	41
4	ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา.....	43
	ลักษณะของรถโดยสารสาธารณะที่ศึกษา.....	43
	ปริมาณ PM _{2.5} ของรถโดยสารประเภทต่าง ๆ.....	46

ความสัมพันธ์ของ PM _{2.5} กับอัตราเร็ว	50
การประเมินการได้รับสัมผัส PM _{2.5} ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท	51
ข้อมูลทั่วไปของผู้โดยสาร	51
พารามิเตอร์ในการคำนวณการรับสัมผัส (ADI) PM _{2.5} ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท.....	53
ค่าเฉลี่ยการได้รับสัมผัส (ADI) PM _{2.5} ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท	55
ปริมาณ PM _{2.5} กับความรู้สึกที่ผู้โดยสารได้รับเมื่อโดยสารรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท	57
ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินรถของรถโดยสารสาธารณะ	61
ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินรถของรถตู้สาธารณะ	62
ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินรถของรถประจำทางปรับอากาศ	63
ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินรถของรถมินิบัส	64
ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินรถของรถไฟฟ้าบีทีเอส	65
ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินรถของรถแท็กซี่.....	66
5 สรุปลผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	68
สรุปลผลการศึกษา	68
ปริมาณ PM _{2.5} ในรถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษา	68
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM _{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษา.....	69
การศึกษาการรับสัมผัส PM _{2.5} ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษา	69
ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินรถของรถโดยสารสาธารณะ	69
ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต	70
ข้อเสนอแนะด้านนโยบาย	70
รายการอ้างอิง	71
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก	78
ภาคผนวก ข	83
ประวัติผู้วิจัย	87

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ลำดับพื้นที่ที่มีปัญหา PM _{2.5} เรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยรายวันจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด.....	2
2.1	กลไกการตกค้างของฝุ่นละอองในส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจ	10
2.2	วิธีที่ร่างกายได้รับสารพิษผ่านตัวกลางต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกาย.....	13
2.3	ค่าคงที่สำหรับประเมินการได้รับสัมผัส	14
2.4	ปริมาณรถที่จดทะเบียนจำแนกตามประเภทในกรุงเทพฯ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2556 – 2558.....	16
2.5	เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางเฉลี่ยต่อวันขององค์การขนส่งมวลชน กรุงเทพฯ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 – 2557.....	22
4.1	ลักษณะของรถโดยสารสาธารณะและพฤติกรรมการขับขี่	44
4.2	ปริมาณ PM _{2.5} ของรถโดยสารสาธารณะทั้ง 6 ประเภท	46
4.3	เปรียบเทียบปริมาณ PM _{2.5} จากการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ	49
4.4	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R ²) ระหว่างปริมาณ PM _{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารแต่ละประเภท	50
4.5	ผลการตอบแบบสอบถามพฤติกรรมผู้ใช้รถโดยสารสาธารณะของประชาชนในเขตพื้นที่ กรุงเทพฯ	52
4.6	ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการคำนวณ ADI	54
4.7	การรับสัมผัส (ADI) ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท.....	56
4.8	ระดับของความรู้สึกของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท.....	59
4.9	ปริมาณ PM _{2.5} กับความรู้สึกที่ผู้โดยสารได้รับเมื่อโดยสารในรถโดยสารสาธารณะ.....	60

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ เมื่อเข้าสู่ทางเดินหายใจ	10
2.2	รถตู้สาธารณะ.....	17
2.3	จำนวนรถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ปี พ.ศ. 2551 – 2557 ...	17
2.4	รถปรับอากาศธรรมดา.....	19
2.5	รถปรับอากาศใช้ก๊าซ	19
2.6	รถปรับอากาศ (ยูโร).....	20
2.7	รถโดยสารไม่ปรับอากาศ (รถครีมแดง).....	20
2.8	รถโดยสารไม่ปรับอากาศขนาดเล็ก (มินิบัส).....	21
2.9	รถไฟฟ้าบีทีเอส	23
2.10	เส้นทางให้บริการของรถไฟฟ้าบีทีเอส	24
2.11	จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 - 2557.....	25
2.12	รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (รถไฟฟ้ามหานคร).....	26
2.13	เส้นทางรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (รถไฟฟ้ามหานคร).....	27
2.14	จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 – 2557.....	28
2.15	รถแท็กซี่.....	29
3.1	ขั้นตอนการศึกษา	35
3.2	เครื่องวัดปริมาณฝุ่น Dusttrak™ II Aerosol Monitor Model 8530.....	36
3.3	เครื่องมือ GPS.....	37
3.4	เส้นทางรถโดยสารสาธารณะในการศึกษารั้งนี้	39
3.5	ตำแหน่งการวางเครื่องมือในการเก็บตัวอย่าง.....	40
4.1	เปรียบเทียบปริมาณ PM _{2.5} กับเวลาเฉลี่ยในการเดินทางในรถโดยสาร 6 ประเภท.....	47
4.2	ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินทางของรถตู้สาธารณะ	62
4.3	ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินทางของรถประจำทางปรับอากาศ	63
4.4	ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินทางของรถมินิบัส	64
4.5	ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินทางของรถไฟฟ้าบีทีเอส	65
4.6	ปริมาณ PM _{2.5} กับเส้นทางการเดินทางของรถแท็กซี่.....	66

รายการคำย่อ

กก.	กิโลกรัม
กม.	กิโลเมตร
กม./ชม.	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
มก./ลบม.	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน	มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกายต่อวัน
มคก./ลบม.	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ลบ.ม./ชม.	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ADI	Average Daily Intake
GPS	Global Positioning System
PM _{2.5}	ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
PM ₄	ฝุ่นขนาดไม่เกิน 4 ไมครอน
PM ₁₀	ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
TSP	Total Suspended Particulate Matters
US EPA	United States Environmental Protection Agency

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัญหามลพิษทางอากาศนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากมลพิษทางอากาศเป็นความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อสุขภาพอย่างมาก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน มีผลต่อการลดอายุขัยเฉลี่ยของประชาชนลง อีกทั้งยังเป็นที่มาของการเข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลอันเนื่องมาจากอาการเจ็บป่วยต่าง ๆ เกิดภาวะของการรักษาโรกระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และโรคมะเร็งปอด เป็นต้น โดยมลพิษทางอากาศนั้นเกิดขึ้นได้ทั้งภายในอาคาร (Indoor Air Pollution) และภายนอกอาคาร (Outdoor Air Pollution) ซึ่งรวมถึงมลพิษอากาศตามท้องถนนในเขตพื้นที่เมือง การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยจากการศึกษาการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับปริมาณยานพาหนะในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

ประเทศไทยเริ่มมีการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในบริเวณริมถนนตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2553 โดยปี พ.ศ. 2555 มีจุดตรวจวัด 5 สถานี ได้แก่ กรุงเทพฯ จังหวัดสระบุรี จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดสงขลา และจังหวัดระยอง จากการตรวจวัดพบว่ามีปริมาณ $PM_{2.5}$ สูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทุกพื้นที่ (ตารางที่ 1.1) ค่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด มีค่าระหว่าง 55 – 147 มคก./ลบ.ม. ค่าเฉลี่ยรายปี มีค่าระหว่าง 18 – 35 มคก./ลบ.ม. พื้นที่ที่พบ $PM_{2.5}$ สูงที่สุดเรียงตามลำดับ ได้แก่ บริเวณถนนดินแดง เขตดินแดง ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ถนนพระปกเกล้า อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และตำบลท่าประดู่ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ถึงแม้ว่าข้อมูลข้างต้นจำกัดอยู่ที่ 5 พื้นที่ แต่จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เขตเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ ที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเสี่ยงของประชาชนในเขตเมืองที่จะได้รับผลกระทบจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

เนื่องจากประชาชนในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ มีทางเลือกในการใช้รถโดยสารสาธารณะในการเดินทางประจำวัน เช่น รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที และรถแท็กซี่ เป็นต้น กลุ่มประชาชนที่ใช้ระบบขนส่งมวลชนสาธารณะดังกล่าวอาจมีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ระดับการได้รับมลพิษทางอากาศ

ภายในห้องโดยสารมีค่าสูงกว่าสิ่งแวดล้อมแบบกึ่งเปิด (เช่น บริเวณประตูทางเข้า) โดยมีอิทธิพลจากการถ่ายเทอากาศ ความเร็วลม การสะสมของมลพิษ การฟุ้งขึ้นมาของฝุ่น และแหล่งกำเนิดที่อยู่ภายในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการได้รับมลพิษจากการเดินทางในสภาพการจราจรที่หนาแน่นของพื้นที่กรุงเทพฯจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญ (ภาสกรณ, 2553)

ตารางที่ 1.1 ลำดับพื้นที่ที่มีปัญหา PM_{2.5} เรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยรายวันจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด

จังหวัด	พื้นที่	ค่าเฉลี่ยรายวัน		จำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐาน	ฐานนิยมค่าเฉลี่ยรายวัน (มคก./ลบ.ม.)
		ค่าเฉลี่ยรายปี (มคก./ลบ.ม.) ¹	สูงสุด (มคก./ลบ.ม.) ²		
กรุงเทพฯ	ถ.ดินแดงเขตดินแดง	34 *	86 **	46	33
สระบุรี	ต.หน้าพระลาน	35 *	82 **	46	20
เชียงใหม่	ถ.พระปกเกล้า อ.เมือง	29 *	147 **	40	16
สงขลา	อ.หาดใหญ่	19	81 **	5	13
ระยอง	ต.ท่าประดู่ อ.เมือง	18	55 **	3	10

หมายเหตุ ¹ ค่ามาตรฐานรายปี ไม่ควรเกิน 25 มคก./ลบ.ม.
² ค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมง ไม่ควรเกิน 50 มคก./ลบ.ม.
 * เกินค่ามาตรฐานรายปี ** เกินค่ามาตรฐานราย 24 ชั่วโมง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2555)

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณ PM_{2.5} ในรถโดยสารสาธารณะประเภทต่าง ๆ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะ
- 1.2.3 เพื่อประเมินการได้รับสัมผัส PM_{2.5} ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ
- 1.2.4 เพื่อศึกษาเส้นทางการเดินทางรถกับปริมาณ PM_{2.5} ในเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ตรวจวัดปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษ และทำการประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ภายในรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท ในกรุงเทพฯ ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทาง-ปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที และรถแท็กซี่ โดยกำหนดการเดินทางเป็น 3 เส้นทาง โดยพยายามให้อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังนี้

1.3.1.1 เส้นทางที่ 1 คือ เส้นทางจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต รถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษ ได้แก่ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถแท็กซี่

1.3.1.2 เส้นทางที่ 2 คือ เส้นทางจากสถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที สถานีจตุจักร ไปยังสถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที สถานีห้วยขวาง รถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษคือรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที

1.3.1.3 เส้นทางที่ 3 คือ เส้นทางจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังท่ารถตู้ (ชั่วคราว) บริเวณตรงข้ามสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต และกลับมายังอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิทางเส้นทางทางด่วนพิเศษศรี-รัช รถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษคือรถตู้สาธารณะ

1.3.2 ทำการตรวจวัดปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท โดยใช้เครื่องวัดปริมาณฝุ่น Dusttrak™ II Aerosol Monitor Model 8530 ของบริษัท TSI Incorporated ประเทศสหรัฐอเมริกา ตรวจวัดตามระยะเวลาในการเดินทางของรถแต่ละประเภทโดยแต่ละประเภทรถจะตรวจวัดตัวอย่าง 20 ครั้งรวมตัวอย่างทั้งหมด 120 ตัวอย่าง

1.3.3 การประเมินการได้รับสัมผัส ได้กำหนดวิธีการรับสัมผัสผ่านการหายใจ ค่าของตัวแปร ได้แก่ อายุ น้ำหนัก และระดับความรู้สึก ใช้ข้อมูลจากแบบสอบถามผู้โดยสาร ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท ส่วนตัวแปรที่เหลือ ได้แก่ อัตราการหายใจใช้ค่าของ US EPA (1989) โดยผู้ใหญ่มีค่าเท่ากับ 0.830 ลบ.ม./ชม. และของเด็กมีค่าเท่ากับ 0.208 ลบ.ม./ชม.

1.3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $PM_{2.5}$ กับอัตราเร็ว ขณะที่รถเคลื่อนที่ได้ทำการตรวจวัดอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะโดยใช้ Bluetooth GPS Receiver รุ่น 747 A+ ของบริษัท Transystem Inc. ประเทศไต้หวัน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในรถโดยสารสาธารณะที่ได้ทำการศึกษาทั้ง 6 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภทนั้นล้วนเป็นรถโดยสารสาธารณะหลักที่ประชาชนใช้ในการสัญจรอย่างต่อเนื่อง

เป็นประจำทุกวัน

1.4.2 ทำให้ทราบถึงปริมาณการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสารที่ใช้รถโดยสารสาธารณะประเภทต่าง ๆ

1.4.3 ทำให้ทราบความเข้มข้นของปริมาณ $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เส้นทางการเดินรถ เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศในกรุงเทพฯ

1.4.4 นำผลที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลเพื่อป้องกันและแก้ปัญหามลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อผู้โดยสาร



บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร

2.1 ความหมายและลักษณะทั่วไปของฝุ่นละออง

2.1.1 ฝุ่นละออง

ประเทศไทยได้มีกำหนดมาตรฐาน $PM_{2.5}$ ตั้งแต่ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 โดยอาศัยผลการศึกษาทางระบาดวิทยาในประเทศไทยร่วมด้วย พบว่าเมื่อประชาชนได้รับ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นทุก 10 มคก./ลบ.ม. จะมีความเสี่ยงต่อการตายต่อวัน เนื่องจากโรคหลอดเลือดหัวใจ และการตายต่อวันเนื่องด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ การศึกษา Panel study ยังพบว่ามีความสัมพันธ์แบบเฉียบพลันกับระบบทางเดินหายใจอีกด้วย ซึ่งในพื้นที่กรุงเทพฯ พบว่าเมื่อได้รับ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นทุก 10 มคก./ลบ.ม. จะมีความเสี่ยงต่ออาการระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และอาการระบบทางเดินหายใจส่วนบนเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และร้อยละ 11 ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

2.1.2 ลักษณะของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง มีความหมายรวมถึงอนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้ บางชนิดก็มีขนาดใหญ่ และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน บางชนิดก็มีขนาดเล็กมากจึงมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น และเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบๆตัวเรา มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (ฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป) ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น จะแขวนลอยในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอนอาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง (นพภาพรและคณะ, 2547)

2.1.3 ประเภทของฝุ่นละออง

ประเภทของฝุ่นละอองแบ่งตามขนาดได้คือ ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 100 ไมครอน ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10}) หมายถึง ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอนลงมา (PM_{10}) และฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นแต่ละขนาดมีแหล่งกำเนิดดังนี้

2.1.3.1 ฝุ่นรวม มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งพบในอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005 ไมครอน ถึง 100 ไมครอน โดยทั่วไปฝุ่นรวม เกิดจากกิจกรรมด้านอุตสาหกรรมการเผาไหม้ทั้งที่อยู่ในรูปอนุภาคของแข็ง เช่น ฝุ่นละอองจากวัตุถุคิข เฆมาควัน เป็นต้น และอนุภาคของเหลวในรูปละอองไอน้ำในอากาศ เช่น ละอองในกรดหรือละอองไอของสารเคมีต่าง ๆ เป็นต้น ฝุ่นรวมอาจเกิดจากกิจกรรมทั่วไป ที่ไม่มีการเผาไหม้ เช่น ฝุ่นจากการทำเหมือง ฝุ่นจากการก่อสร้าง เป็นต้น (วนิดา, 2551)

2.1.3.2 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควัน (Smoke) และเฆมา (Soot) ประกอบด้วย มลสารหลายชนิดผสมผสานกันและมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน PM_{10} เกิดจากแหล่งกำเนิดหลายชนิด โดย PM_{10} ที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นละออง ไอของทะเล ฝุ่นละอองที่เกิดในอาคาร (Indoor Particulate) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง เช่น โรงไม้หิน โรงงานปูนซีเมนต์ ซึ่ง PM_{10} จากแหล่งกำเนิดเหล่านี้จะมีปริมาณคาร์บอนสูง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทต่อร่างกายที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับ PM_{10} ทางการหายใจ (Respirable Particulate) และสามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ ทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ อนุภาคส่วนหยาบ (Coarse Fraction Particulate) มีขนาดตั้งแต่ 2.5 ไมครอน ถึง 10 ไมครอน และอนุภาคส่วนละเอียด (Fine Fraction Particle) มีขนาด 2.5 ไมครอนลงไป

2.1.3.3 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นอนุภาคของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) ประกอบด้วยอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิ และอนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิผสมกันอยู่ แต่ส่วนใหญ่ $PM_{2.5}$ จะเป็นอนุภาคทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในอากาศเมื่อแก๊สต่างๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนรูปในอากาศ โดยทำปฏิกิริยาทางเคมี และฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏ-

ภาคจากแก๊สไปอยู่ในรูปของอนุภาคที่อยู่ในอากาศ ทั้งอนุภาคละเอียดปฐมภูมิ และอนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิ มีช่วงเวลาที่อยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนาน เป็นวันหรือสัปดาห์ และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ระยะไกล 100 – 1,000 กิโลเมตร (US EPA, 1999) โดยมีแนวโน้มที่จะเกิดการแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเขตเมืองที่มียานพาหนะเป็นจำนวนมาก

2.1.4 ชนิดของฝุ่นละออง

ชนิดของฝุ่นละอองสามารถแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

2.1.4.1 ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ (Organic Dust) มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจน และออกซิเจน แบ่งเป็น

2.1.4.1.1 ฝุ่นละอองสารอินทรีย์จากยานพาหนะ ที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ โดยมีอนุภาคของคาร์บอนเป็นผงหรือเขม่าที่เหลือจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่มีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นส่วนใหญ่

2.1.4.1.2 ฝุ่นละอองสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ซึ่งเกิดจากวัชพืช หญ้าและต้นไม้มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา สามารถลอยในอากาศได้ ขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศและอุณหภูมิ เช่น ละอองเกสรของพืชหรือหญ้าทำให้เกิดอาการแพ้หรือทำให้เกิดโรคมะเร็งได้

2.1.4.1.3 ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ที่มีชีวิต เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส นั้น พบได้เสมอในอากาศ โดยเฉพาะเชื้อราที่พบในอากาศทำให้เกิดโรคได้หลายชนิด เช่น บาดทะยัก คอตีบ วัณโรค ไทฟอยด์ เป็นต้น สิ่งมีชีวิตเหล่านี้อาจล่องลอยอยู่ตามลำพังด้วยตัวของมันเองหรืออาจติดอยู่กับอนุภาคต่าง ๆ

2.1.4.2 ฝุ่นละอองจากสารอนินทรีย์ (Inorganic Dust) มีองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น SO_4^{2-} NO_3^- Ca^{2+} Mg^{2+} K^+ Na^+ Cl^- Br^- หรือ ประกอบด้วยโลหะ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แอสเบสตอส เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นนี้เข้าไปและสะสมในร่างกายจะทำให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรง (วสันต์และคณะ, 2548)

2.1.5 สัณฐานของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศโดยปกติจะไม่เป็นทรงกลม มีลักษณะสัณฐานของอนุภาคแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดของอนุภาคนั้น ๆ ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) เกสรดอกไม้ จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ มักเป็นทรงกระบอก สีนแร่โดยปกติอาจจะมีรูปทรงไม่เป็นระเบียบ เป็นปุยสะเก็ด (Flakelike) หรือ ก้อนรวม (Agglomerates) อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันในขณะลอยอยู่ในอากาศหรือเกิดจากการเย็นตัวของแก๊สร้อนรูปร่างที่เห็นเหมือนลูกโซ่ (Chainlike) และเป็นฟล็อก (Flocs) กลุ่ม

อนุภาครวมตัวกันหลวม ๆ เช่น ฝุ่นละอองจากท่อไอเสียรถยนต์และมักจะเกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก (วนิดา, 2551)

2.2 แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle) และฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Particle) (ปวีณา, 2546)

2.2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle)

ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่นได้ เช่น ดิน ทราย หิน ละอองไอน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า ฝุ่นเกลือจากทะเล เป็นต้น

2.2.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Particle)

2.2.2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร

ฝุ่นละอองจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร เช่น ฝุ่นดินทรายที่ฟุ้งกระจายในถนนขณะที่รถยนต์วิ่งผ่าน ฝุ่นดินทรายที่หล่นจากการบรรทุกขนส่ง การกองวัสดุสิ่งของบนทางเท้าหรือบนเส้นทางการจราจร รถบรรทุกหิน ดิน ทราย ซีเมนต์หรือวัสดุที่ทำให้เกิดฝุ่น หรือดินโคลนที่ติดอยู่ที่ล้อรถ ขณะแล่นจะมีฝุ่นตกอยู่บนท้องถนน และกระจายตัวอยู่ในอากาศ ไอเสียจากรถยนต์ จากเครื่องยนต์ดีเซลที่ปล่อยเขม่า ฝุ่น ควันดำ ออกมา ถนนที่สกปรก มีดินทรายตกค้างอยู่มาก หรือมีกองวัสดุข้างถนนเมื่อรถแล่นจะทำให้เกิดฝุ่นปลิวอยู่ในอากาศ การก่อสร้างถนนใหม่หรือการปรับปรุงผิวจราจรทำให้เกิดฝุ่นมาก และฝุ่นที่เกิดจากยางรถยนต์และผ้าเบรก

2.2.2.2 ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง

ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง เช่น ฝุ่นจากการสร้างถนน/อาคาร การปรับปรุงผิวจราจร การรื้อถอนอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ การก่อสร้างเพื่อติดตั้งหรือปรับปรุงระบบสาธารณูปโภค นอกจากนี้การก่อสร้างหลายชนิดมักมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้างซึ่งทำให้เกิดฝุ่นได้ง่าย การก่อสร้างอาคารสูงอาจทำให้ฝุ่นปูนซีเมนต์ถูกลมพัดออกมาจากอาคาร รวมถึงการรื้อถอน ทำลาย อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง

2.2.2.3 ฝุ่นละอองจากการประกอบการอุตสาหกรรม

ฝุ่นละอองจากการประกอบการอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับหิน กรวด ทราย หรือดิน สำหรับใช้ในการก่อสร้างอย่างใดอย่างหนึ่ง การโม่บดหรือย่อยหิน

การร่อนหรือการคัดกรองทราย การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในการผลิตที่มีฝุ่นออกมา เช่น การปั่นฝ้าย การเจียรโลหะ การเคลื่อนย้ายวัสดุดิบ ฯลฯ

2.2.2.4 ฝุ่นละอองจากการประกอบกิจกรรมอื่น ๆ

ฝุ่นละอองจากการประกอบกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การทำความสะอาด (ปวีณา, 2546)

การศึกษาแหล่งกำเนิดของฝุ่นในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ พบว่าแหล่งกำเนิดของปริมาณฝุ่นนั้นเกิดจาก แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่เป็นหลัก ได้แก่ รถยนต์ รถบรรทุก รถโดยสาร รถจักรยานยนต์ รถไฟ เสิลคอปเตอร์และเรือโดยสาร มีปริมาณฝุ่นถึงร้อยละ 53.9 รองลงมา คือ แหล่งกำเนิดแบบฟุ้งกระจาย ได้แก่ การเผาในที่โล่ง การก่อสร้าง การทำเหมืองและสถานีบริการน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 36.3 อันดับสุดท้ายคือแหล่งกำเนิดแบบอยู่กับที่ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม อาคารบ้านเรือนและเตาเผา โดยคิดเป็นร้อยละ 9.8 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

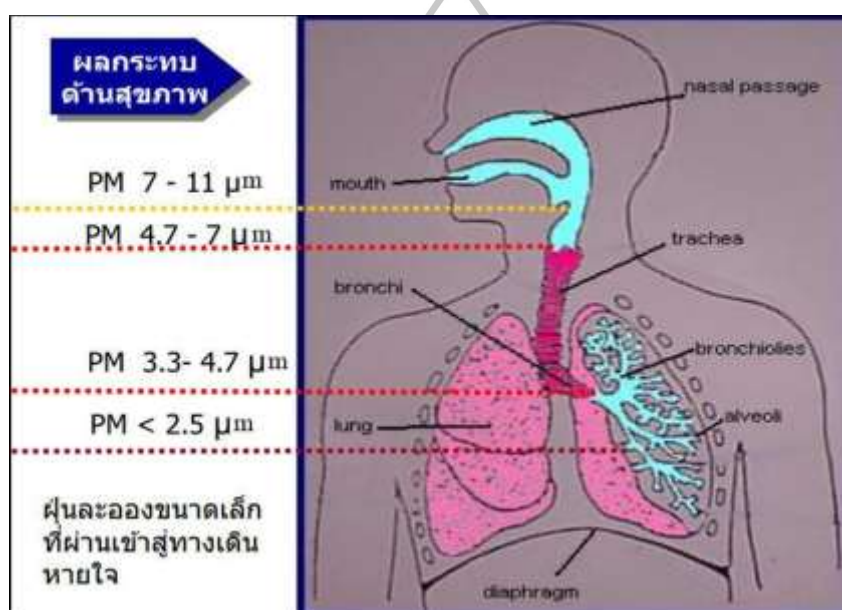
2.3 กลไกการรับสัมผัสฝุ่นละอองและผลกระทบต่อสุขภาพ

จากการศึกษาผลของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (รูปที่ 2.1) พบว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะติดอยู่บริเวณโพรงจมูกและปากเท่านั้นไม่สามารถผ่านเข้าสู่หลอดลมได้ ส่วนฝุ่นที่มีขนาด 5-10 ไมครอนจะเข้าสู่หลอดลม (Trachea) และแขนงหลอดลม (Bronchus) สำหรับฝุ่นขนาด 2.5-5 ไมครอนจะเข้าสู่หลอดลมฝอย (Bronchioles) ถุงลม (Alveoli) และฝุ่นละเอียดขนาดเล็กกว่า 0.02 ไมครอนสามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตผ่านเส้นเลือดฝอยในปอดเข้าสู่ร่างกายได้ (วนิดา, 2551) โดยมีกลไกการตกค้างของฝุ่นละอองในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ แสดงดังตารางที่ 2.1

ใน พ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพฯ พบว่า PM₁₀ ในกรุงเทพฯ มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยโดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก โดยอาจทำให้คนในกรุงเทพฯ เสียชีวิตก่อนเวลาอันควรถึง 4,000 - 5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่า การเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก และจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าหากสามารถลดปริมาณ PM₁₀ ในบรรยากาศลงได้ 10 ลูกบาศก์เมตร จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพคิดเป็นจำนวนเงิน 35,000 ถึง 88,000 ล้านบาทต่อปี (ภาสกรณ, 2553)

อนุภาค PM_{2.5} สามารถเข้าสู่ร่างกายไปฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อปอด ส่งผลกระทบต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของร่างกาย (Gas Exchange Regions) นอกจากนี้สามารถทำให้เกิดร่องรอยแผลในเส้นเลือดแดงและทำให้สมรรถภาพในการยืดหยุ่นของเส้นเลือดแดงลดลง ทำให้เกิดโรคหัวใจ

(Heart Attack) และโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบการไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular Problem) ในทำนองเดียวกัน อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร (Ultrafine Particles) สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ร่างกายได้ในระดับเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่สมอง และทำให้สมองเกิดความเสียหายได้ (คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2557) จากรายงานข้อมูลผู้เสียชีวิตจากปัญหามลพิษอันเกิดจากอนุภาคฝุ่นละอองพบว่าในสหรัฐอเมริกา มีผู้เสียชีวิตจากปัญหามลพิษดังกล่าวเฉลี่ยปีละประมาณ 22,000 – 52,000 ราย และในทวีปยุโรป เฉลี่ยปีละประมาณ 200,000 ราย (สุชาติ, 2555)



รูปที่ 2.1 ฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ เมื่อเข้าสู่ทางเดินหายใจ
ที่มา: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (2557)

ตารางที่ 2.1 กลไกการตกค้างของฝุ่นละอองในส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจ

ขนาดของฝุ่นละออง	กลไกของฝุ่นในทางเดินหายใจ	บริเวณตกค้างของฝุ่น
5-10 ไมครอน	การปะทะเนื่องจากความเฉื่อย	จมูกและคอหอยส่วนจมูก
1-10 ไมครอน	การตกตะกอน	คอหอยและหลอดลม หลอดลมคอ และหลอดลมฝอย
1 ไมครอนและเล็กกว่า	การแพร่	ถุงลม และบริเวณถุงลม

ที่มา: มาริชา (2542)

2.4 มลพิษภายในอาคาร (Indoor Air Pollution)

มลพิษอากาศภายในอาคาร หมายถึง การที่อากาศภายในอาคารมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณและระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ นอกจากนี้ สมชัย (2548) ได้กล่าวว่า อากาศพิษ หรือ ภาวะมลพิษทางอากาศ สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ ภาวะมลพิษในอาคาร (Indoor Air Pollution) และภาวะมลพิษนอกอาคาร (Atmospheric หรือ Outdoor Air Pollution) โดยตัวอย่างอาคารที่มีความเสี่ยงต่อมลพิษในอาคาร ได้แก่ บ้านเรือน สำนักงาน และโรงพยาบาล รวมถึงสภาพอากาศภายในยานพาหนะ ในส่วนของยานพาหนะนั้นในปัจจุบันประชาชนที่อาศัยในเขตเมือง ต้องใช้เวลาการเดินทางหรืออยู่ในยานพาหนะมากขึ้น จากสภาพการจราจรที่ติดขัด จึงมีความเสี่ยงต่อการได้รับมลพิษทางอากาศภายในยานพาหนะสูงกว่าในอดีต

2.5 มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร

“มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร” หมายถึง มาตรฐานที่ใช้เป็นสัญญาเตือนถึงสภาพอากาศภายในอาคารที่เกี่ยวข้องกับภาวะสบายเชิงความร้อน และมลภาวะอากาศภายในอาคารที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้อาคาร โดยกรมอนามัยได้กำหนดค่าคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสมสำหรับอาคารในประเทศ เนื่องจากการพัฒนาทางสังคมเมือง ความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจ ความจำเป็นของการประหยัดพลังงาน ทำให้การสร้างอาคารมีลักษณะปิดทึบ ก่อให้เกิดปัญหาการระบายอากาศ รวมถึงมลพิษทางอากาศภายในอาคาร ทั้งนี้ปัญหาดังกล่าวมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ประสิทธิภาพการทำงาน และความพึงพอใจในการเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยอาคาร เพื่อให้เกิดการคุ้มครองสุขภาพของประชาชน และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงเพื่อให้มีค่าคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เป็นประโยชน์สำหรับการปฏิบัติงาน ทั้งนี้ จากร่างประกาศกรมอนามัย เรื่อง มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 โดยมีค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 35 มคก./ลบ.ม. ต่อค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง หรือค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีผู้ใช้งานอยู่ในอาคาร (กรมอนามัย, 2558)

2.6 มลพิษทางอากาศในห้องโดยสารสาธารณะ

มีรายงานว่าผู้ขับขี่และผู้โดยสารภายในห้องโดยสารได้รับสารมลพิษที่เป็นอันตรายสูงกว่าคนเดินถนน โดยอากาศในห้องโดยสารรถเป็นพิษเนื่องมาจากสาเหตุทั้งภายนอกและภายในรถ มลพิษที่ปล่อยจากยานพาหนะ เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฯลฯ สารมลพิษสามารถเข้าห้องโดยสารได้โดยการเลื่อนหรือหมุนกระจกลง การเปิดประตู การขับรถโดยเปิด

ช่องระบายอากาศ การที่รถไม่มีตัวกรองอากาศ ทั้งนี้ในสภาพการจราจรที่หนาแน่นในบริเวณเมืองใหญ่ อากาศมักมีมลพิษสูง เมื่อสารมลพิษเข้าไปในห้องโดยสารรถยนต์ อากาศจะมีความเข้มข้นของสารมลพิษเพิ่มขึ้นภายในไม่กี่นาที โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องปรับอากาศที่ทำงานด้วยระบบการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด วิธีการควบคุมแหล่งมลพิษทางอากาศภายในห้องโดยสารทำได้โดยการดูแลรักษาเครื่องฟอกอากาศ เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องโดยสาร หลีกเลี่ยงการใช้รถโดยไม่จำเป็น บำรุงรักษาเครื่องยนต์อย่างสม่ำเสมอ ไม่สตาร์ทเครื่องยนต์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแล้วยังทำให้มีการปล่อยไอเสียมากขึ้น (Healthy Car Cabin, 2016)

2.7 การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

สภาวิจัยแห่งชาติของสถาบันวิทยาศาสตร์แห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกาได้เสนอรูปแบบการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ออกเป็น 4 ขั้นตอน ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางจากหน่วยงานต่าง ๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency หรือ EPA) ด้วย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ ขั้นตอนการประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification)

ขั้นตอนที่ 2 คือ ขั้นตอนการประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment)

ขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นตอนการประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment)

ขั้นตอนที่ 4 คือ ขั้นตอนการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization) มีรายละเอียดดังนี้ (จรรยา, 2552)

2.7.1 การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification)

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพื่อตอบคำถามว่าสิ่งที่กำลังคุกคามที่กำลังสนใจมีความสัมพันธ์กับผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ (พงศเทพ, 2547) โดยระบุถึงความเป็นอันตรายของสารหรือระบุว่าสารตัวใดมีความเป็นอันตรายมากน้อยเพียงใด ขั้นตอนการเลือกสารเคมีหรือสิ่งคุกคามต้องทราบคุณสมบัติของสารเคมีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมี 3 ประเด็นหลักที่นำมาประเมิน ได้แก่

- 1) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามที่มีความเป็นพิษสูง
- 2) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามที่มีความคงทนสูง มีความเข้มข้นและกระจายตัวสูง
- 3) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้สูง

การรายงานสารเคมีหรือสารคุกคามต้องประกอบด้วยความเสี่ยงของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer Risk) และความเสี่ยงในอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non Cancer Risk)

2.7.2 การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment)

การประเมินการได้รับสัมผัสเป็นวิธีการประมาณหรือวัดปริมาณความเข้มข้นของสารที่คุกคามหรือสารที่แต่ละคนได้รับ โดยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การกำหนดลักษณะของการสัมผัส

การกำหนดลักษณะของการรับสัมผัส จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เช่น สภาพอากาศ ตัวสภาพทางอุตุนิยมวิทยา สภาพทางภูมิศาสตร์ ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ขั้นที่ 2 การค้นหาเส้นทางการรับสัมผัส (Identifying Exposure Pathways)

เส้นทางการรับสัมผัสเป็นการแสดงถึงการเป็นพิษและสารคุกคามจะเข้าสู่คนแต่ละคนได้อย่างไร ดังนั้นในการวิเคราะห์เส้นทางการรับสัมผัสต้องทราบแหล่งกำเนิดของสารคุกคาม ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 วิธีที่ร่างกายได้รับสารพิษผ่านตัวกลางต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกาย

ตัวกลาง	วิธีที่ร่างกายได้รับสารผ่านตัวกลางต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกาย
น้ำใต้ดิน	ทางเดินอาหาร ผิวหนัง ทางการหายใจระหว่างอาบน้ำ
น้ำผิวดิน	ทางเดินอาหาร ผิวหนัง ทางการหายใจระหว่างอาบน้ำ
ตะกอนดิน	ทางเดินอาหาร ผิวหนัง
อากาศ	ทางการหายใจ
ดินและฝุ่น	ทางเดินอาหาร ผิวหนัง
อาหาร	ทางเดินอาหาร

ที่มา: จรรยา (2552)

ขั้นที่ 3 การวัดการได้รับสัมผัส (Quantifying Exposure)

การวัดการได้รับสัมผัสคือการประเมินการรับสารเข้าสู่ร่างกาย ตามเส้นทางการรับสัมผัสผ่านตัวกลางต่าง ๆ ในส่วนของการได้รับสัมผัสสารในกรณีตัวกลางที่เป็นอากาศ สามารถคำนวณหาปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยรายวัน (Average Daily Intake หรือ ADI) ดังสมการที่ 1 (US EPA, 1989)

$$ADI = \frac{CA \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (\text{สมการที่ 1})$$

- โดยที่ ADI คือ ปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยรายวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
- CA คือ ความเข้มข้นของสารในอากาศ (มก./ลบ.ม.)
- IR คือ อัตราการหายใจ (ลบ.ม./ชม.)
- ET คือ เวลาในการรับสัมผัส (ชม./วัน)
- EF คือ ความถี่ในการได้รับสัมผัส (204 วัน/ปี)
- ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี) (อายุขัยเฉลี่ยของประชากร - อายุของผู้โดยสาร)
- BW คือ น้ำหนักของร่างกาย (กก.)
- AT คือ ช่วงเวลาในการได้รับสัมผัส (วัน) (ED X 365 วัน/ปี)

โดยค่าคงที่สำหรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่สำหรับประเมินการได้รับสัมผัส

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าคงที่	อ้างอิง
น้ำหนักเฉลี่ยของร่างกายผู้ใหญ่		70 กก.	
น้ำหนักเฉลี่ยของร่างกายเด็ก			
0 – 1.5 ปี		10 กก.	
1.5 – 5 ปี	BW	14 กก.	US EPA (1989)
5 – 12 ปี		26 กก.	
อัตราการหายใจของผู้ใหญ่		0.830 ลบ.ม./ชม.	
อัตราการหายใจของเด็ก	IR	0.208 ลบ.ม./ชม.	
ระยะเวลาที่สัมผัส	ED	อายุขัยเฉลี่ยของประชากร (70ปี) - อายุของผู้โดยสารจากแบบสอบถาม	US EPA (1991)
ความถี่ในการได้รับสัมผัส (วัน/ปี)	EF	เวลาราชการ (วันจันทร์ - วันศุกร์)	จรรยา (2552)
ช่วงเวลาในการได้รับสัมผัส (วัน)	AT	ED x 365 วัน/ปี	

2.7.3 การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสัมผัสกับโอกาสของการเกิดผลเสียด้านสุขภาพผลลัพธ์สุดท้ายจะนำไปสู่การหาค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยในมนุษย์ (พงศเทพ, 2547)

การประเมินความเป็นพิษมี 2 รูปแบบ ได้แก่ ความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และความเป็นพิษที่เป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง โดยมีค่า Slope Factor (SF) เป็นค่าความเป็นพิษที่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษที่เป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง สามารถค้นคว้าได้จาก <http://www.epa.gov/iris> (จรรยา, 2552)

2.7.4 การอธิบายลักษณะของความเสียหาย (Risk Characterization)

การอธิบายลักษณะความเสียหาย คือการพรรณนาลักษณะทางธรรมชาติและขนาดของความเสียหายที่มนุษย์ซึ่งจะต้องรวมเอาความไม่แน่นอน (Uncertainties) เข้าด้วย โดยสรุปผลลัพธ์สุดท้ายที่ต้องการคือ การตอบคำถามว่าสิ่งคุกคามใด ๆ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์มากน้อยเพียงใด ซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยองค์ความรู้ที่ได้จาก 3 ขั้นตอนข้างต้น (พงศเทพ, 2547)

สามารถนำมาประเมินภาพรวมของความเสียหาย โดยสามารถอธิบายความเสียหายได้ในลักษณะของขนาดและความรุนแรงซึ่งได้จากการคำนวณความเสียหายที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเสียหายที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

2.8 การขนส่งสาธารณะ

การขนส่งสาธารณะในกรุงเทพฯ มีความหลากหลายในเรื่องของชนิดของยานพาหนะ เช่น รถตู้สาธารณะ รถประจำทาง (รถเมล์) ทั้งปรับอากาศและไม่ปรับอากาศและรถไฟฟ้าระบบราง จากการเปรียบเทียบระหว่าง ปี พ.ศ. 2556 - 2558 พบว่าปริมาณรถสาธารณะในกรุงเทพฯ ซึ่งประกอบด้วย รถรับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Urban Taxi) รถยนต์รับจ้างสามล้อ (Motorcycle Taxi หรือ Tuk Tuk) รถจักรยานยนต์สาธารณะ (Public Motorcycle) และรถโดยสารประจำทาง (Fixed Route Bus) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นในรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Urban Taxi) ที่มีแนวโน้มลดลง แสดงดังตารางที่ 2.4

รถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการในพื้นที่ของกรุงเทพฯ มีรายละเอียดดังนี้

2.8.1 รถตู้สาธารณะ

ตั้งแต่วันที่ 17 ธันวาคม 2551 กรมการขนส่งทางบกได้กำหนดให้รถตู้สาธารณะเป็นโดยสารประเภทที่หนึ่งระหว่าง 10-11 ที่นั่ง แต่ในปัจจุบันพบว่าจำนวนที่นั่งผู้โดยสารมีทั้ง 14 และ 15 ที่นั่ง ซึ่งผู้ขับขี่สามารถจดทะเบียนอนุญาตเพิ่มเติมได้ ซึ่งจะพิจารณาจากรุ่นการผลิต น้ำหนักรวมหลังจากการติดตั้งเบาะโดยสาร และถังเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่ น้ำมันดีเซล และก๊าซ ซีเอ็นจี สำหรับน้ำหนักรวมสุทธิเพื่อให้เกิดความปลอดภัยเมื่อบรรทุกผู้โดยสาร ต้องไม่เกิน 3,500 กิโลกรัม นอกจากนี้ระยะของเบาะที่นั่งจะต้องไม่น้อยกว่า 67 เซนติเมตร ซึ่งปัจจุบันปริมาณของรถตู้สาธารณะโดยสารมีอัตราเติบโตสูงขึ้น และแนวโน้มการใช้บริการรถตู้สาธารณะของผู้บริโภคก็กลายเป็นทางเลือกที่นิยมเป็นอย่างมาก (กรมการขนส่งทางบก, 2558) รถตู้สาธารณะแสดงดังรูปที่ 2.2

ตารางที่ 2.4 ปริมาณรถที่จดทะเบียนจำแนกตามประเภทในกรุงเทพฯ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2556 – 2558
หน่วย : คัน

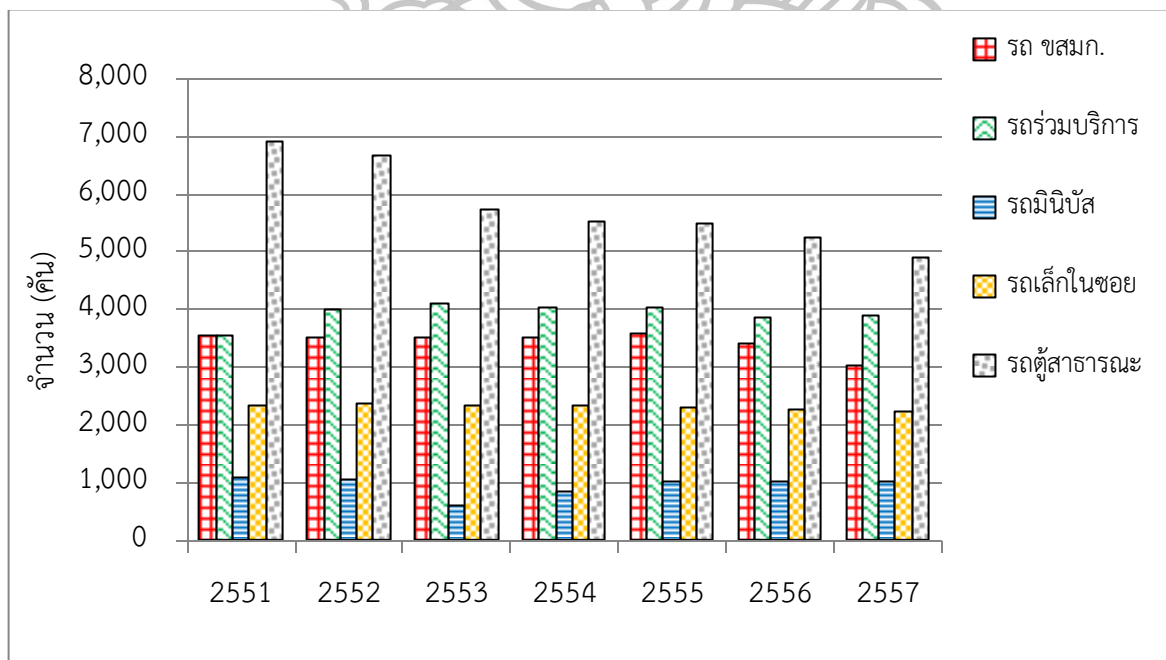
ประเภทรถ	2556	2557	2558
รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน (Urban Taxi)	111,860	109,422	100,200
รถยนต์รับจ้างสามล้อ (Motorcycle Taxi หรือ Tuk Tuk)	9,000	8,983	9,008
รถจักรยานยนต์สาธารณะ (Public Motorcycle)	51,376	88,473	91,735
รถโดยสารประจำทาง (Fixed Route Bus)	23,986	24,227	24,585

ที่มา: กรมการขนส่งทางบก (2559)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนรถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการในกรุงเทพฯ และปริมาณรถจำแนกแต่ละประเภท พบว่าใน ปี พ.ศ. 2551 – 2557 มีจำนวนรถตู้สาธารณะมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรถโดยสารประเภทอื่น ๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 รถตู้สาธารณะ
ที่มา: เอ็มไทย (2559ก)



รูปที่ 2.3 จำนวนรถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ปี พ.ศ. 2551 – 2557
ที่มา: กระทรวงคมนาคม (2558)

2.8.2 รถโดยสารประจำทาง

ในปี พ.ศ. 2518 คณะรัฐมนตรีได้มีมติให้รวมรถโดยสารประจำทางในกรุงเทพฯ เป็นบริษัท เรียกว่า "บริษัทมหานครขนส่ง จำกัด" โดยมีรัฐบาลถือหุ้นร้อยละ 51 และเอกชนถือหุ้นร้อยละ 49 ต่อมาในปี พ.ศ. 2519 มีการจัดตั้งเป็นองค์การของรัฐบาล เรียกว่า "องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ" โดยรวมกิจการรถโดยสารทั้งหมดจากบริษัทมหานครขนส่ง จำกัด มาขึ้นอยู่กับองค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจประเภทกิจการสาธารณูปโภค สังกัดกระทรวงคมนาคมมีภารกิจ และขอบเขตความรับผิดชอบ ในการจัดบริการ รถโดยสารประจำทางวิ่งรับ-ส่งผู้โดยสาร ในเขตกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง 5 จังหวัด คือ นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสงครามและนครปฐม มีผู้ใช้บริการประมาณกว่า 3 ล้านคนต่อวันนอกจากนี้ยังมีหน้าที่ ในด้านประกอบการอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับหรือต่อเนื่องกับการประกอบการขนส่งบุคคล เนื่องจากกิจการเดินรถโดยสารประจำทางจัดเป็นสาธารณูปโภค ชนิดหนึ่งของรัฐที่ให้บริการแก่ประชาชนผู้มีรายได้น้อยและปานกลางเป็นหลัก

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ ได้จัดให้มีการจัดรถวิ่งบริการในเส้นทางต่าง ๆ รวม 461 เส้นทาง มีจำนวนรถทั้งสิ้น 2,774 คัน (ณ 30 เดือน เมษายน 2559) แยกเป็นรถธรรมดา 1,562 คัน รถปรับอากาศ 1,095 คัน รถ PBC (รถเช่า) 177 คัน และมีรถของบริษัทเอกชนที่ร่วมวิ่งบริการกับองค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ ทั้งรถธรรมดาและรถปรับอากาศจำนวน 12,299 คัน ประกอบด้วย รถธรรมดา 2,310 คัน รถปรับอากาศ 1,457 คัน รถมินิบัส 1,005 คัน รถในซอย 2,180 คัน รถตู้โดยสารปรับอากาศ 5,215 คัน และรถตู้ ซีเอ็นจี 132 คัน (องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ, 2559)

โดยรถโดยสารประจำทางแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ

1) รถโดยสารปรับอากาศ

รถโดยสารปรับอากาศมี 3 ประเภท ได้แก่

- รถปรับอากาศธรรมดา ซึ่งรถปรับอากาศธรรมดาคงใช้น้ำมันดีเซล และก๊าซซีเอ็นจีเป็นเชื้อเพลิง รถปรับอากาศธรรมดาแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รถปรับอากาศธรรมดา

ที่มา: องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (2552)

- รถปรับอากาศใช้ก๊าซ จะใช้ก๊าซเอ็นจีวีเป็นเชื้อเพลิง รถปรับอากาศใช้ก๊าซ

แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รถปรับอากาศใช้ก๊าซ

ที่มา: ศศิธร และ จิรัชญา (2558)

- รถปรับอากาศ (ยูโร) ซึ่งรถปรับอากาศ (ยูโร) จะใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซซีเอ็นจีเป็นเชื้อเพลิง รถปรับอากาศ (ยูโร) แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รถปรับอากาศ (ยูโร)

ที่มา: ศศิธร และ จิรัชญา (2558)

2) รถโดยสารไม่ปรับอากาศ

รถโดยสารไม่ปรับอากาศ หรือรถโดยสารธรรมดา มี 2 ประเภท ได้แก่

- รถครีมแดง ซึ่งรถครีมแดงจะใช้น้ำมันดีเซล และก๊าซซีเอ็นจีเป็นเชื้อเพลิง รถ

ครีมแดง แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รถโดยสารไม่ปรับอากาศ (รถครีมแดง)

ที่มา: ศศิธร และ จิรัชญา (2558)

- รถประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก (มินิบัส) ซึ่งรถประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก จะใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รถโดยสารไม่ปรับอากาศขนาดเล็ก (มินิบัส)
ที่มา: ศศิธร และ จิรัชญา (2558)

จากการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางเฉลี่ยต่อวันขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 - 2557 พบว่ามีปริมาณลดลง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.5 ซึ่งการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะลดลงอาจเกิดจากประชาชนเลือกใช้บริการระบบขนส่งสาธารณะประเภทรางมากขึ้น เช่น รถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที เพราะระบบขนส่งประเภทรางมีเวลาการเดินทางที่ค่อนข้างแน่นอน ไม่ติดขัดจากการจราจรบนท้องถนนแบบรถโดยสารประจำทาง อีกทั้งยังสะดวกและรวดเร็วด้วย

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางเฉลี่ยต่อวันขององค์การขนส่งมวลชน
กรุงเทพ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 – 2557

ปี พ.ศ.	ประเภท		รวม	เปรียบเทียบ +เพิ่ม/-ลด
	รถปรับอากาศ	รถธรรมดา		
2551	706,305	892,491	1,598,797	
2552	607,717	505,639	1,113,357	-485,440
2553	568,089	480,353	1,048,443	-64,914
2554	544,484	482,655	1,027,139	-21,304
2555	558,420	411,892	970,312	-56,827
2556	538,218	397,507	935,726	-34,589
2557	482,864	381,141	864,005	-71,721

ที่มา: องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (2557)

2.8.3 รถไฟฟ้าบีทีเอส

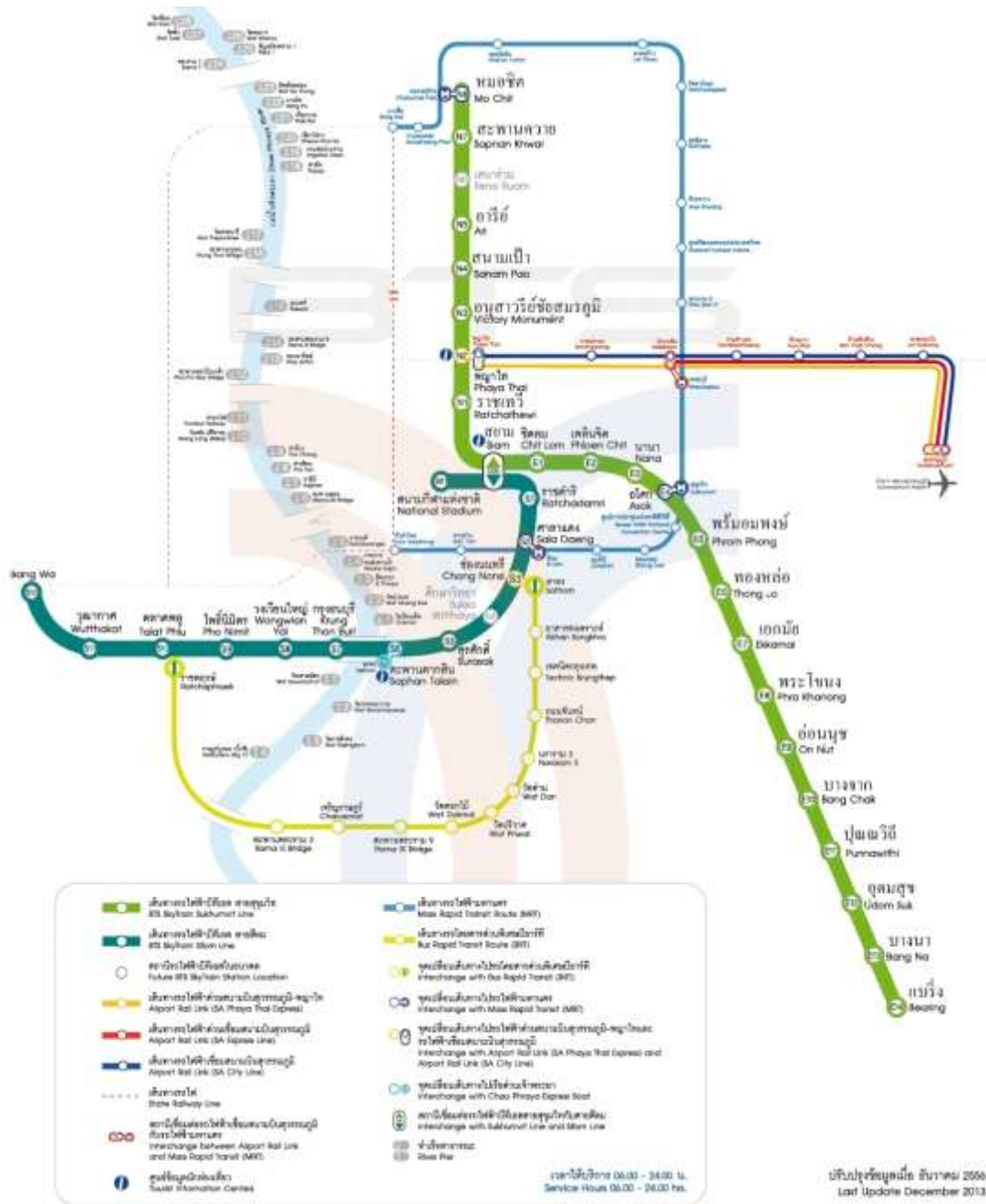
รถไฟฟ้าบีทีเอส (Bangkok Mass Transit System หรือ BTS) (รูปที่ 2.9) เป็นระบบขนส่งมวลชนแบบรางในพื้นที่ยุทธศาสตร์กรุงเทพมหานคร ดำเนินการโดย บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) เริ่มเปิดดำเนินงานเมื่อ วันที่ 5 ธันวาคม ปี พ.ศ. 2542 แบ่งออกเป็น 2 สาย ได้แก่ สายสุขุมวิท ระยะทาง 22.25 กิโลเมตร ตั้งแต่สถานีหมอชิต สถานีสะพานควาย สถานีสนามเป้า สถานีอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ สถานีราชเทวี สถานีสยาม สถานีชิดลม สถานีเพลินจิต สถานีนานา สถานีโอโศก สถานีพร้อมพงษ์ สถานีทองหล่อ สถานีเอกมัย สถานีพระขนิษฐา สถานีอ่อนนุช สถานีบางจาก สถานีปทุมวัน สถานีอุดมสุข สถานีบางนา สิ้นสุดที่สถานีแบริ่ง และสายสีลม ระยะทาง 14.67 กิโลเมตร ตั้งแต่สถานีสนามกีฬาแห่งชาติ สถานีราชดำริ สถานีศาลาแดง สถานีช่องนนทรี สถานีสุรศักดิ์ สถานีสะพานตากสิน สถานีกรุงธนบุรี สถานีวงเวียนใหญ่ สถานีโพธิ์นิมิต สถานีตลาดพลู สถานีวุฒากาศ สิ้นสุดที่สถานีบางหว้า ซึ่งมีระยะทางในการให้บริการรวม 36.92 กิโลเมตร ใน 34 สถานี (บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด, 2559ก) (รูปที่ 2.10)



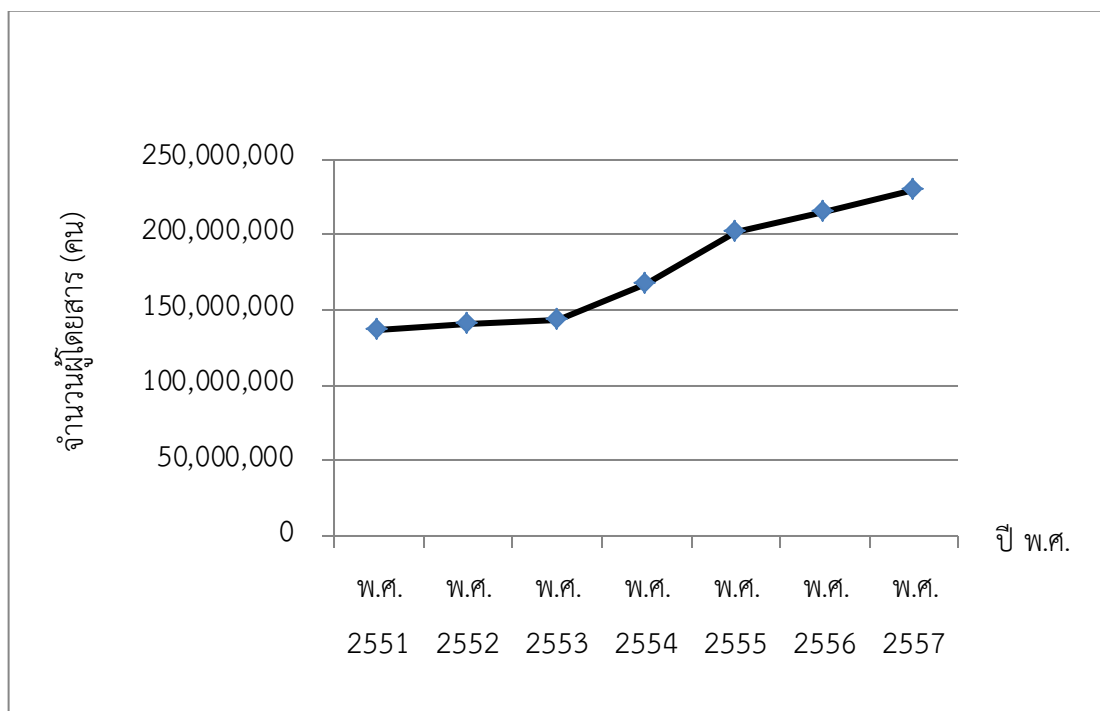
รูปที่ 2.9 รถไฟฟ้าบีทีเอส
ที่มา: เอ็มไทย (2559ก)

ระบบรถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นระบบขนส่งมวลชนความจุสูงแบบมาตรฐานที่ใช้กันแพร่หลายในเมืองใหญ่ทั่วไป ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนวิ่งบนรางคู่ยกระดับ แยกทิศทางไปและกลับ โดยมีรางป้อนกระแสไฟฟ้าอยู่ด้านข้าง (Third Rail System) สามารถให้บริการแก่ผู้โดยสารได้มากกว่า 1,000 คน ต่อขบวน ในขณะที่การเดินทางโดยรถยนต์ต้องใช้รถยนต์จำนวนมากถึง 800 คัน เพื่อขนส่งผู้โดยสารในจำนวนที่เท่ากัน นับได้ว่าการให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นการพลิกโฉมรูปแบบการเดินทางและเป็นการปฏิวัติมาตรฐานการให้บริการของระบบขนส่งมวลชน

การให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ใจกลางกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นศูนย์รวมของธุรกิจการค้าย่านที่พิกอาศัย และแหล่งท่องเที่ยว จึงทำให้รถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นทางเลือกที่สะดวกสบายสำหรับผู้คนในกรุงเทพฯ (บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด, 2559ก) หากพิจารณาจำนวนผู้โดยสารรถไฟฟ้าบีทีเอสพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ในระหว่าง ปี พ.ศ. 2551–2557 ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 เส้นทางให้บริการของรถไฟฟ้าบีทีเอส
ที่มา: บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (2559ข)



รูปที่ 2.11 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส เปรียบเทียบระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 – 2557
ที่มา: สำนักการจราจรและขนส่ง กองขนส่ง กรุงเทพฯ (2558)

2.8.4 รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (รถไฟฟ้ามหานคร)

รถไฟฟ้าใต้ดิน มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า “รถไฟฟ้ามหานคร” หรือรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที จัดตั้งเมื่อ ปี พ.ศ. 2535 ดำเนินงานโดย บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการรถไฟฟ้าในกรุงเทพฯ ปริมณฑล และจังหวัดอื่น ๆ มีรูปแบบการบริหารแบบรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงคมนาคม เป็นทางเลือกในการเดินทางได้สะดวก รวดเร็ว และยังปลอดภัย สายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) เป็นรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใต้ดินสายแรกในประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 2.13



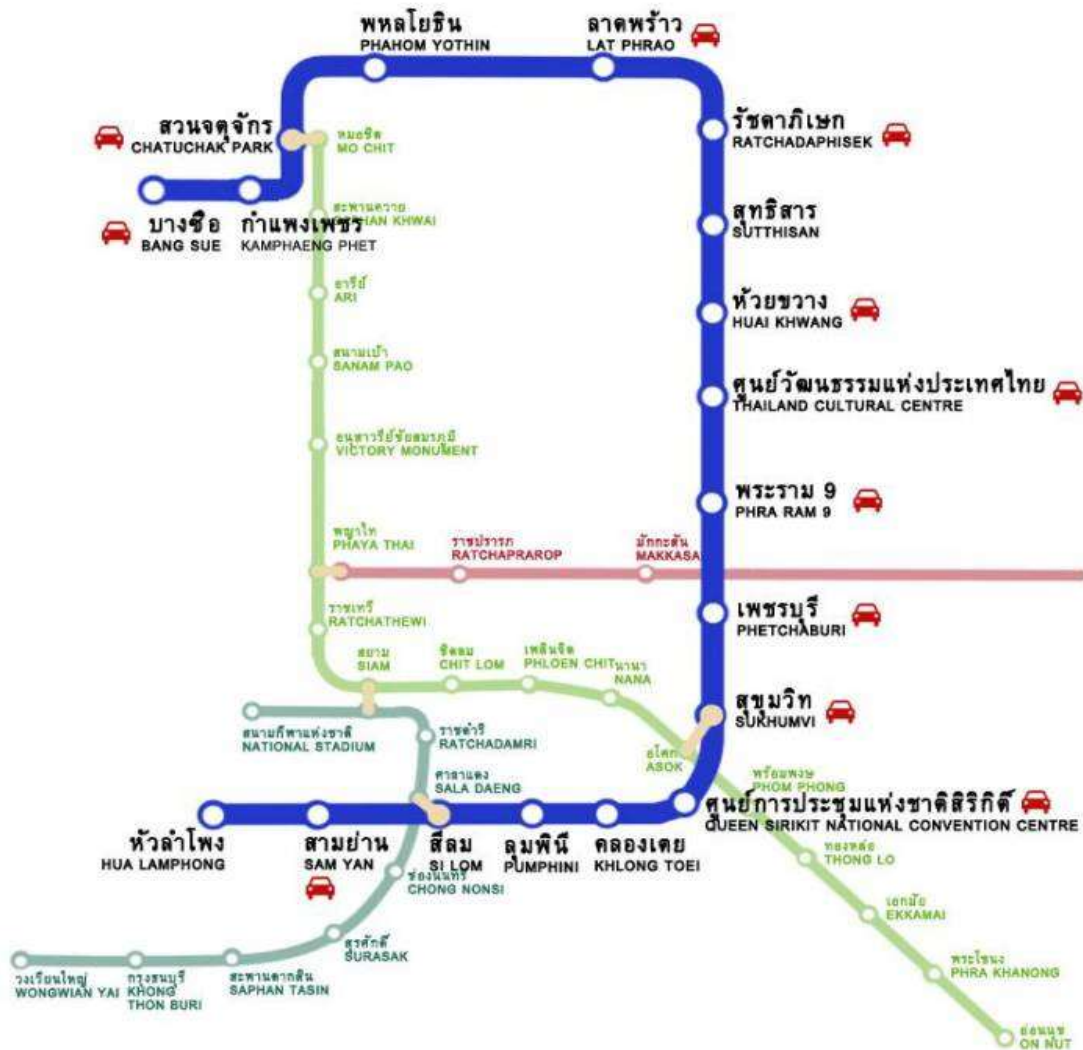
รูปที่ 2.12 รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (รถไฟฟ้ามหานคร)
ที่มา: เอ็มไทย (2559ข)

ในปี พ.ศ. 2549 มีมติรัฐมนตรีให้พัฒนารถไฟฟ้ามี 4 โครงการ 5 เส้นทาง รวมระยะทาง 113 กิโลเมตร ได้แก่ เส้นทางสายสีแดง เส้นทางสีเขียวแก่ เส้นทางสีเขียวอ่อน เส้นทางสายสีม่วง และเส้นทางสายสีน้ำเงิน โดยได้เริ่มดำเนินการโครงการในปี พ.ศ. 2550 เป็นต้นไป ต่อมาได้มีการเปลี่ยนชื่อโครงการจากเดิม โครงการรถไฟฟ้า 5 เส้นทาง เป็นระบบขนส่งมวลชนทางราง สำหรับกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยรายละเอียดของงานได้ดำเนินการ 2 โครงการ เป็นระยะทาง 50 กิโลเมตร มีดังนี้

1) โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินมี 2 ช่วง คือ ช่วงบางซื่อ - ท่าพระ มีระยะทาง 13 กิโลเมตร มี 10 สถานี เส้นทางผ่าน สถานีเตาปูน สถานีบางโพ สถานีบางอ้อ สถานีบางพลัด สถานีสี-รินทร สถานีบางยี่ขัน สถานีบางขุนนนท์ สถานีแยกไฟฉาย สถานีจรัญสนิทวงศ์ สถานีท่าพระ สำหรับช่วงหัวลำโพง - บางแค มีระยะทาง 14 กิโลเมตร มี 11 สถานี วิ่งไปกลับผ่านสถานีมังกร สถานีวังบูรพา สถานีสนามไชย สถานีอิสรภาพ สถานีท่าพระ สถานีบางไผ่ สถานีบางหว้า สถานีเพชรเกษม 48 สถานีภาษีเจริญ สถานีบางแค และสถานีหลักสอง

2) โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง มีระยะทาง 23 กิโลเมตร มี 16 สถานี ผ่านเส้นทาง สถานีเตาปูน สถานีบางซื่อ สถานีวงศ์สว่าง สถานีแยกติวานนท์ สถานีกระทรวงสาธารณสุข สถานีศูนย์ราชการนนทบุรี สถานีศรีพรสวรรค์ สถานีแยกถนนบุรี 1 สถานีสะพานพระนั่งเกล้า สถานีไทรม้า สถานีท่าอิฐ

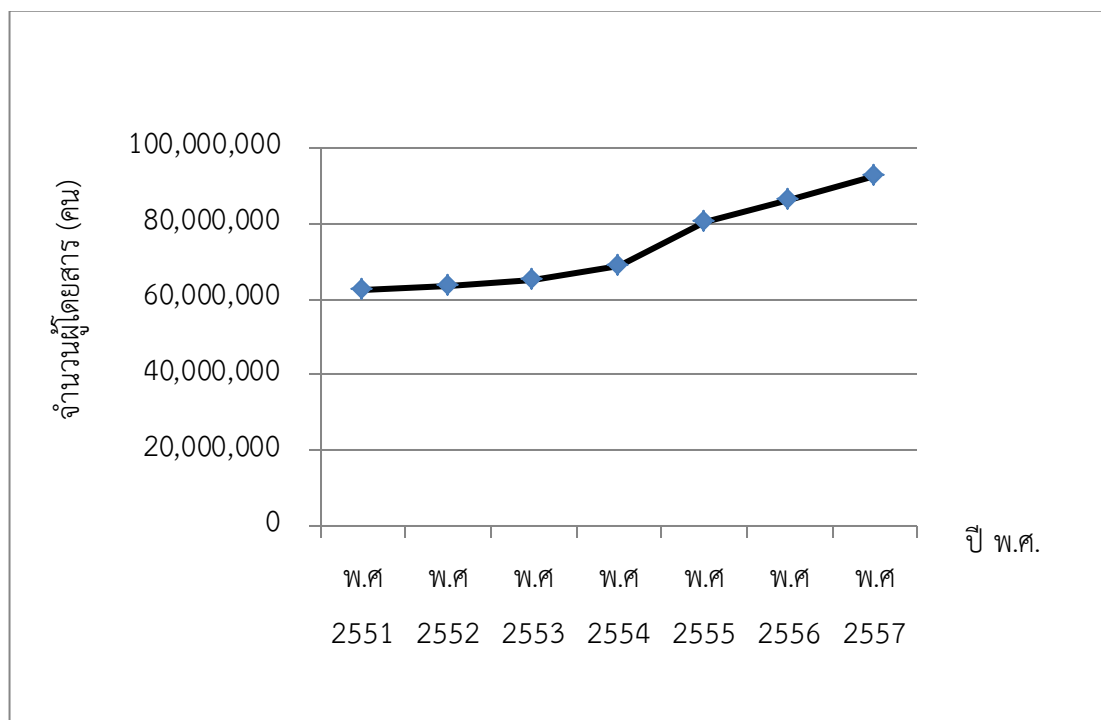
สถานีบางรักใหญ่ สถานีบางพลู สถานีสามแยกบางใหญ่ สถานีตลาดบางใหญ่ และสถานีคลองบางไผ่ (บริษัท ทางด่วนและการไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2559)



รูปที่ 2.13 เส้นทางรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (รถไฟฟ้ามหานคร)

ที่มา: บริษัท ทางด่วนและการไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) (2559)

จำนวนผู้โดยสารใช้บริการรถไฟฟ้ามหานคร มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 - 2557 ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการเพิ่มขึ้น รายละเอียดดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 –2557

ที่มา: สำนักการจราจรและขนส่ง กองขนส่ง กรุงเทพฯ (2558)

2.8.5 รถแท็กซี่

ในประเทศไทยเริ่มมีแท็กซี่ให้บริการเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2466 (ค.ศ. 1923) โดย พระยาเทพหัสดินร่วมกับพระยาพิไชยชาญฤทธิ์ เป็นผู้ก่อตั้งบริษัทแท็กซี่สยามขึ้นเป็นครั้งแรก โดยมีรถให้บริการ 14 คัน คิดค่าบริการตามไมล์ ไมล์ละ 0.15 บาท (1 ไมล์ เท่ากับ 1.609344 กิโลเมตร) โดยใช้รถยนต์ยี่ห้อฮออสติน แต่ประสบปัญหาขาดทุน จึงต้องล้มเลิกกิจการไป จนกระทั่ง ปี พ.ศ. 2490 (ค.ศ. 1947) เจ้าของธุรกิจเอกชนบางรายได้เริ่มมีการฟื้นฟูกิจการแท็กซี่ในประเทศไทยขึ้นมาใหม่ โดยในช่วงแรกจะนิยมใช้รถยนต์ยี่ห้อโรโนลด์ ยุคต่อมาก็เปลี่ยนกลับมานิยมยี่ห้อฮออสตินตามด้วย ยี่ห้อดัทสันบลูเบิร์ดและโตโยต้าในที่สุด (อเจนต้าแบงคอก, 2556)

แท็กซี่คือรถบริการที่คนในกรุงเทพฯ ใช้บริการมากพอสมควร ซึ่งทุกวันนี้ไม่อาจปฏิเสธได้เลยว่าแท็กซี่ก็เป็นหนึ่งในช่องทางการโดยสารที่สะดวก รวดเร็ว มีให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง จากข้อมูลปัจจุบัน กรุงเทพฯ มีแท็กซี่ในระบบ จำนวน 100,200 คัน (พ.ศ. 2558) แต่วิ่งให้บริการจริง จำนวน 80,000 คัน โดยเป็นรถแท็กซี่นิติบุคคลประมาณร้อยละ 76 ส่วนที่เหลือเป็นแท็กซี่ส่วนบุคคล ในปัจจุบันเชื้อเพลิงที่รถแท็กซี่ใช้ คือ ซีเอ็นจีและแอลพีจี (อเจนต้าแบงคอก, 2556) รถแท็กซี่ในปัจจุบันแสดงดังรูปที่

2.15 รถแท็กซี่เป็นรถโดยสารสาธารณะที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถบรรทุกสัมภาระได้มากกว่ารถโดยสารสาธารณะประเภทอื่น ๆ



รูปที่ 2.15 รถแท็กซี่

ที่มา: อเจนต้าแบงค็อก (2556)

2.9 แนวโน้มการให้บริการระบบขนส่งสาธารณะในอนาคต

การเดินทางของประชาชนในกรุงเทพฯ ส่วนใหญ่จะเป็นการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะ เพราะมีเส้นทางครอบคลุม อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อไปยังระบบขนส่งรูปแบบอื่น เช่น รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที รถไฟฟ้าบีทีเอส รถแอร์พอร์ตลิงก์ และรถแท็กซี่ ได้อีกด้วย แต่ในปัจจุบันการให้บริการยังประสบปัญหาในเรื่องการให้บริการ เช่น การวิ่งแย่งผู้โดยสาร ขับขี่ด้วยความเร็ว และจอดรอรับผู้โดยสารตามป้ายรถประจำทางเป็นเวลานาน ส่งผลให้การจราจรติดขัดเป็นอย่างมาก และเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาของระบบขนส่งด้วยรถโดยสารสาธารณะเป็นระบบ กระทรวงคมนาคม จึงมีนโยบายในการนำระบบเทคโนโลยีทั้งระบบ GPS และระบบตั๋วร่วม (E-ticket) มาติดตั้งบนรถโดยสารสาธารณะเพื่อจัดเก็บข้อมูลและเชื่อมโยงไปยังศูนย์ควบคุม ทำให้สามารถบริหารจัดการการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการพัฒนาารูปแบบการให้บริการให้มีคุณภาพมากขึ้น สำหรับแผนและโครงการในอนาคต เช่น

2.9.1 โครงการพัฒนาระบบบัตรโดยสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Ticket) มาใช้กับรถโดยสารขององค์การ เพื่อเตรียมความพร้อมในการเชื่อมโยงระบบบัตรโดยสารร่วม (Common Ticket) และโครงสร้างราคาค่าโดยสารร่วม (Common Fare Structure) กับระบบขนส่งสาธารณะประเภทอื่น ๆ ในอนาคต

2.9.2 โครงการตรวจสอบและติดตามการปฏิบัติการเดินรถ (Vehicle Tracking and Tracing) เพื่อนำระบบ GPS มาใช้บริหารจัดการให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาระดับคุณภาพและมาตรฐานการให้บริการ (องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ, 2557)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วนิดา (2543) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้องพักอาศัยที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพฯ โดยใช้แบบสอบถามและการตรวจสอบสมรรถนะของปอด โดยได้ทำการศึกษาใน 3 พื้นที่ ได้แก่ กรุงเทพฯ ชั้นใน กรุงเทพฯ ชั้นนอก และอำเภอ พิมาย จังหวัดนครราชสีมา จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ PM_{10} ภายในห้องพักอาศัยมีค่าเฉลี่ย 77.9 58.4 และ 85.4 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ และปริมาณ PM_{10} ภายนอกที่พักอาศัย มีค่าเฉลี่ย 89.2 71.3 82.14 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ อาการของโรคทางเดินหายใจผลการการวิเคราะห์แบบสอบถาม พบว่ากลุ่มตัวอย่างในกรุงเทพฯ ชั้นนอก มีภาวะสุขภาพที่ดีกว่า กลุ่มตัวอย่างอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา และกลุ่มกรุงเทพฯ ชั้นใน ตามลำดับ

ณัฐพล (2558) ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีการสองวิธี ได้แก่ วิธีอ้างอิง (เชิงน้ำหนัก) และวิธีตรวจวัดแบบ การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนักใช้ไซโคลน (PM_{10} และ PM_4) และใช้เครื่อง Personal Environmental Monitor (PEM) (สำหรับ $PM_{2.5}$) ร่วมกับปัดดูดอากาศส่วนบุคคลในขณะที่ใช้เครื่องตัดสแตร็ค รุ่น 8530 ในการเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ ตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ประเภท ไว้ในสถานที่เดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดที่ได้จากวิธีทั้งสอง เก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องเครื่องซิ่ง ห้องวิจัยอากาศ และในร้านปิ้งย่าง โดยใช้เครื่องตัดสแตร็ค 2 เครื่อง และไซโคลน 2 ตัว (หรือ PEM 1 ตัว) เป็นเวลา 20 วัน ในแต่ละสถานที่ บันทึกความเข้มข้นเฉลี่ยทุก 5 นาทีที่ได้จากเครื่องตัดสแตร็คตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างและนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากแต่ละวิธี ประกอบด้วย Paired sample T-Test สมการถดถอยแบบ OLS Pearson correlation และค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ความเข้มข้นของ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องตัดสแตร็คมีความสัมพันธ์อย่าง

สูงกับความเข้มข้นที่ได้จากวิธีอ้างอิง ($R^2=0.97$ 0.90 และ 0.94 ตามลำดับ) และแทบจะไม่มี ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ อย่างไรก็ตามพบความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วนของข้อมูล ($\beta_1= 0.23$ 0.21 และ 0.10 ตามลำดับ) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเครื่องดักสแตร็คให้ผลการตรวจวัด PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ที่แม่นยำแต่จำเป็นต้องใช้สมการปรับแก้เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการตรวจวัด ในกรณี $PM_{2.5}$ สมการปรับแก้คือ $y=7.52x$ โดยที่ y คือ สมการที่ถูกต้องหลังการปรับแก้ และ x คือค่าที่อ่านได้จาก อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ โดยตรง

Chan (2002) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ รถสาธารณะประเภทต่าง ๆ ในประเทศฮ่องกง ช่วงเดือน ตุลาคม ค.ศ. 1999 ถึง เดือน มกราคม ค.ศ. 2000 (ช่วงฤดูหนาว) โดยสำรวจรถสาธารณะทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่ รถไฟใต้ดิน รถบัสไม่ปรับอากาศ รถบัสปรับอากาศ รถแท็กซี่ไม่ปรับอากาศ และรถแท็กซี่ปรับอากาศ โดยเส้นทางการเก็บจะเลือกในเส้นทางที่มีการจราจรที่หนาแน่น ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเช้า เวลา (8:00 – 10:00 น.) ช่วงบ่ายเวลา (16.30-19.00 น.) และภายในรถแท็กซี่เวลา (10.30 - 00.30 น.) นอกจากนั้นยังเก็บบันทึกจำนวนผู้โดยสารด้วย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}$ ในรถไฟใต้ดิน รถไม่ปรับอากาศ รถปรับอากาศ รถแท็กซี่ไม่ปรับอากาศ และรถแท็กซี่ปรับอากาศ มีค่าเท่ากับ 44 145 101 106 และ 73 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่ามีปัจจัยอื่น ๆ เช่น อายุการใช้งาน การบำรุงรักษา และสภาพการจราจรมีผลต่อปริมาณ $PM_{2.5}$

กุลธิดา (2547) ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นรวม (TSP) และ PM_{10} ที่ตัวบุคคลภายในห้องโดยสารของยานพาหนะ 4 ประเภท ได้แก่รถประจำทางปรับอากาศ รถประจำทางไม่ปรับอากาศ รถโดยสารขนาดเล็ก และรถยนต์ส่วนบุคคล ในกรุงเทพฯ โดยเก็บตัวอย่างภายในห้องโดยสารของยานพาหนะประเภทละ 1 คัน ตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ. 2546 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2546 ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ย PM_{10} ในรถประจำทางปรับอากาศ รถประจำทางไม่ปรับอากาศ รถโดยสารขนาดเล็ก และรถยนต์ มีค่าเท่ากับ 144 56 30 และ 89 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของฝุ่นรวม (TSP) มีค่าเท่ากับ 306 188 51 และ 170 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารถประจำทางปรับอากาศมีปริมาณฝุ่นรวม (TSP) และปริมาณ PM_{10} มากกว่ารถประเภทอื่น ๆ

Zhang and Zhu (2010) ได้ทำการวัดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กและมลพิษอื่น ๆ ได้แก่ $PM_{2.5}$ PM_{10} Black carbon (BC) CO และ CO_2 ภายในรถรับส่งนักเรียนของโรงเรียนในพื้นที่ทางตอนใต้ของ

รัฐเท็กซัส โดยทำการศึกษาดังตั้งแต่วันที่ 18 มีนาคม ถึง 20 พฤษภาคม ค.ศ. 2008 โดยเปรียบเทียบปริมาณมลพิษในรถรับส่งนักเรียนที่ผลิตในปี ค.ศ. 1990 และ ค.ศ. 2006 ทั้งในสภาพเปิดและปิดหน้าต่าง ในส่วนของ $PM_{2.5}$ ได้ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Dusttrak Photometers Model 8520 ขณะที่รถวิ่งเป็นระยะทาง 12 ไมล์ขณะเดียวกันได้ใช้กล้องวิดีโอบันทึกสภาพการจราจรร่วมกับการบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ เพื่อแสดงตำแหน่งที่อยู่ พร้อมจดบันทึกจำนวนผู้โดยสาร จากการศึกษาพบว่าปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถรับส่งนักเรียนที่ผลิตในปี ค.ศ. 1990 เมื่อเปิดและปิดหน้าต่างมีปริมาณ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 19.0 และ 10.5 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ และรถนักเรียนที่ผลิตในปี ค.ศ. 2006 เมื่อเปิดและปิดหน้าต่างมีปริมาณ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 19.7 และ 6.5 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ารถรับส่งนักเรียนที่ผลิตในปี ค.ศ. 1990 มีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากกว่ารถรับส่งนักเรียนที่ผลิตในปี ค.ศ. 2006 การเปิดและปิดหน้าต่างไม่มีผลต่อปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถรับส่งนักเรียนทั้งสองรุ่น และจากสภาวะการขับพบว่าในช่วงที่รถเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ และเมื่อรถมีการจราจรที่ติดขัดจะมีปริมาณ $PM_{2.5}$ ค่อนข้างสูง แต่ในระหว่างการขับรถพบว่ามีปริมาณ $PM_{2.5}$ น้อยกว่า

Shaowei *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ และการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจของคนขับรถแท็กซี่รอบกรุงปักกิ่ง ช่วงเวลา 9.00 – 21.00 น. ในช่วงโอลิมปิกในปี ค.ศ. 2008 (26 พฤษภาคม ค.ศ. 2008 – 13 พฤศจิกายน ค.ศ. 2008) และช่วงหน้าร้อน (24 กุมภาพันธ์ – 11 มีนาคม ค.ศ. 2009) ภายในรถแท็กซี่โดยแบ่งการศึกษาเป็น 4 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงก่อนการแข่งขัน ระหว่างการแข่งขัน หลังแข่งขันกีฬาโอลิมปิก และช่วงหน้าร้อน พร้อมทั้งประเมินความเสี่ยงจาก $PM_{2.5}$ จากการศึกษาพบว่ามีปริมาณ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 104.2 45.5 77.3 และ 72.1 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการรับสัมผัสอยู่ในระดับสูงและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Cheng *et al.* (2012) ได้ทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ภายในห้องโดยสารของรถไฟใต้ดินและรถไฟยกระดับ ในเมืองไทเปประเทศไต้หวัน โดยใช้อุปกรณ์ Dusttrak รุ่น 8520 โดยทำการศึกษาระหว่างวันที่ 20 สิงหาคม ถึง 12 พฤศจิกายน ค.ศ. 2000 ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในรถไฟใต้ดินมีค่าเท่ากับ 32.67 มกค./ลบ.ม. และรถไฟยกระดับมีค่าเท่ากับ 28 มกค./ลบ.ม.

Pornpimol *et al.* (2012) ได้ทำการประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ด้วยอุปกรณ์แบบพกพาติดที่ตัวบุคคล (Model 761-203A, SKC Inc. USA) ที่บริเวณปกคอเสื้อของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง ชสมก.ในกรุงเทพฯ ประกอบด้วย รถปรับอากาศและรถไม่ปรับอากาศ จำนวน 60 คัน ใน 3 เส้นทางตลอดระยะเวลาการทำงานเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ของพนักงานขับรถโดยสารประเภทไม่ปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 323.81 มคก./ลบ.ม. สูงกว่าในประเภทปรับอากาศที่มีค่าเท่ากับ 206.46 มคก./ลบ.ม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.016$)

ปรียาภรณ์ (2557) ได้ทำการศึกษาปริมาณและการได้รับสัมผัส PM_{10} ในโรงเรียน 4 แห่ง ที่อยู่ใกล้และไกลแหล่งอุตสาหกรรม ใน อ.เมือง จ.ราชบุรี ในช่วงเดือน มกราคม ถึง มีนาคม ปี พ.ศ. 2557 โดยโรงเรียนที่อยู่ใกล้อุตสาหกรรม ได้แก่ โรงเรียนวัดดอนตลุงราษฎร์ศรัทธาทานและโรงเรียนวัดเขางูสันติธรรม และโรงเรียนที่อยู่ไกลอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงเรียนกองทัพกอบกู้ภัฏมัญญูรณวิทยาและโรงเรียนบ้านเขากรวด โดยเก็บตัวอย่างในช่วงการเรียนการสอนเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่บริเวณกลางห้องเรียน ร่วมกับการใช้แบบสอบถามที่ถามเกี่ยวกับอากาศที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ การรับสัมผัสและผลกระทบต่อด้านคุณภาพอากาศ จำนวนโรงเรียนละ 30 ตัวอย่าง จากผลการศึกษาพบว่า กลุ่มโรงเรียนที่อยู่ใกล้อุตสาหกรรม ได้แก่ โรงเรียนวัดดอนตลุงราษฎร์ศรัทธาทานและโรงเรียนเขางูสันติธรรม มีปริมาณการรับสัมผัสเฉลี่ยรายวัน (ADI) เท่ากับ 0.0105 และ 0.0071 มคก./กก. ของน้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ส่วนโรงเรียนที่อยู่ไกลอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงเรียนกองทัพกอบกู้ภัฏมัญญูรณวิทยาและโรงเรียนบ้านเขากรวด มีค่าเท่ากับ 0.0049 และ 0.0045 มคก./กก. ของน้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโรงเรียนในพื้นที่ใกล้อุตสาหกรรมมีการรับสัมผัส PM_{10} มากกว่าพื้นที่โรงเรียนที่อยู่ไกลอุตสาหกรรม

รพีพัฒน์ และ วรวรรณ (2557) ได้ทำการศึกษาผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของสถานการณ์รถติดที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชนในกรุงเทพฯ โดยเฉพาะผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ ข้อมูลที่จะนำมาศึกษาเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ จำนวนผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ความเร็วของรถยนต์เฉลี่ย พื้นที่ของอาคารที่ได้รับอนุญาตให้ปลูกสร้าง ในพื้นที่ 13 เขต ประกอบด้วย เขตธนบุรี เขตราชบุรีบูรณะ เขตบางนา เขต จตุจักร เขตบางกะปิ เขตห้วยขวาง เขตยานนาวา เขตบางขุนเทียน เขตพญาไท เขตราชเทวี เขตปทุมวัน เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย และเขตดินแดง ระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง 2556 โดยใช้เกณฑ์การเลือกเขตพื้นที่ที่มีสถานีตรวจวัดมลพิษทางอากาศบริเวณริมถนน ในกรุงเทพฯ โดยผลการศึกษาพบว่า หาก

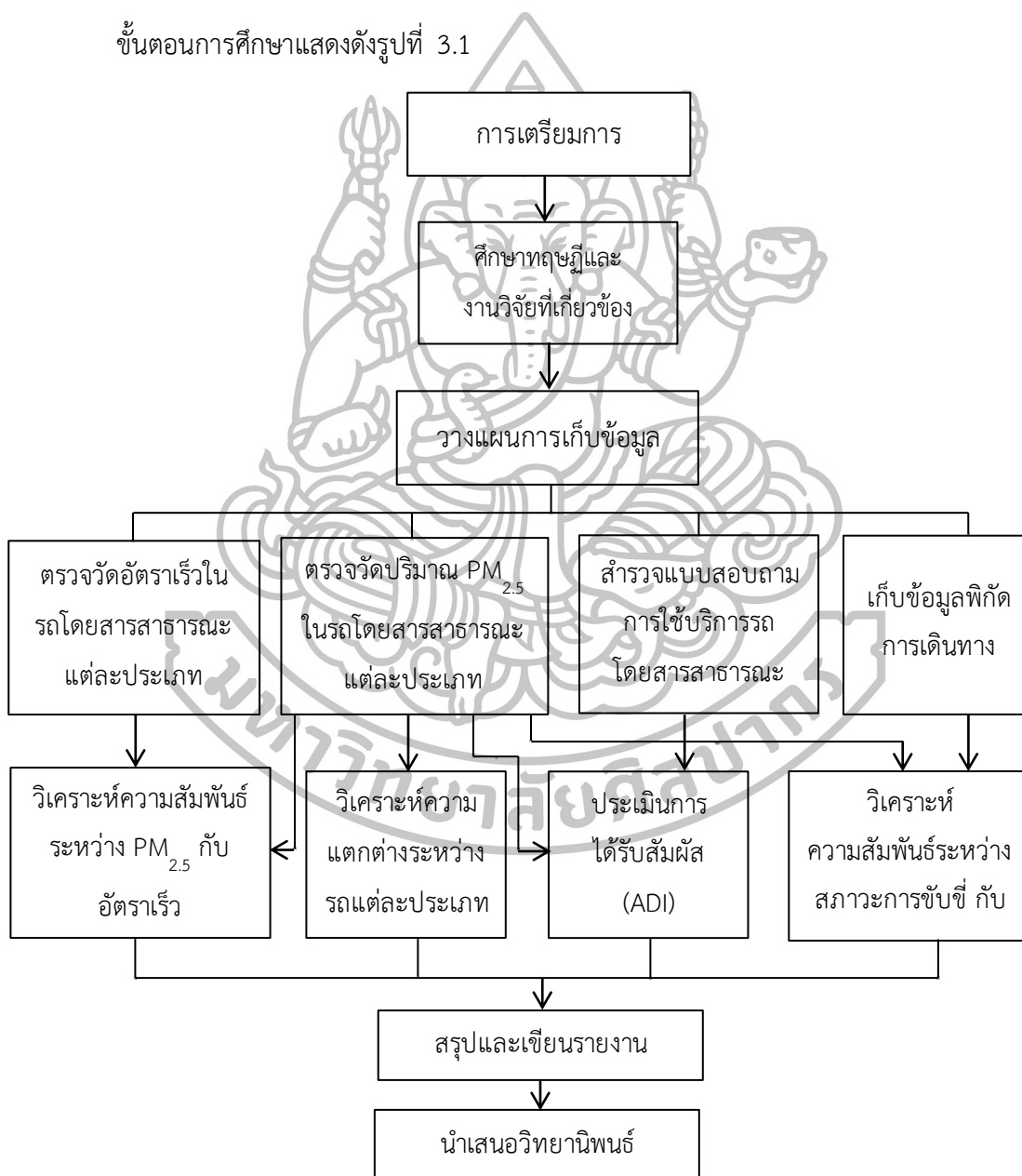
ความเร็วเฉลี่ยรถยนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้ปริมาณผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจลดลง 3,603 คน และพบว่าความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้มูลค่าความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ที่คำนวณโดยข้อมูลรายจ่ายของสำนักอนามัย กรุงเทพฯ ลดลง 4,282,151.63 บาท/ปี



บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 เครื่องมือตรวจวัดปริมาณ PM_{2.5}

การศึกษาในครั้งนี้ทำการตรวจวัดปริมาณ PM_{2.5} ด้วยเครื่องวัดปริมาณฝุ่น Dusttrak™ II Aerosol Monitor Model 8530 ของบริษัท TSI Incorporated ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดปริมาณฝุ่น Dusttrak™ II Aerosol Monitor Model 8530
ที่มา: TSI (2015)

เครื่องมือนี้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้หลักการกระเจิงแสง ซึ่งทำให้สามารถอ่านค่ามวลของอนุภาคแขวนลอยในอากาศได้ทันที เป็นหลักการที่ใช้กันมากในเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบอัตโนมัติ วิธีนี้ไม่ต้องใช้กระดาษกรอง โดยเครื่องจะทำงานโดยการดูดอากาศด้วยปั๊มดูดอากาศที่อยู่ภายในเครื่อง อากาศที่มีฝุ่นจะเคลื่อนที่ผ่านลำแสงเลเซอร์ เมื่อแสงกระทบอนุภาคฝุ่นจะเกิดกระเจิงแสงเป็นมุมเล็ก ๆ โดยแสงที่กระเจิงจากฝุ่นที่มีขนาดต่างกันจะมีมุมที่แตกต่างกันออกไปและมีอุปกรณ์ตรวจวัดแสง (Detector) ทำหน้าที่วัดแสงและส่งข้อมูลความเข้มแสงที่กระเจิงจากอนุภาคเข้าสู่หน่วยประมวลผลของเครื่องมือ เมื่อหน่วยประมวลผลทำการประมวลข้อมูลมุมของแสงจะแสดงผลการตรวจวัดในรูปแบบความเข้มข้น อนึ่งในกรณีที่ตัวอย่างมีความเข้มข้นสูง แสงมีโอกาสที่จะกระเจิงกับอนุภาคอื่นก่อนที่อุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะสามารถตรวจวัดได้ ส่งผลให้การแยกขนาดอนุภาคเกิดความผิดพลาด เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์อนุภาคเล็กที่สุดได้ถึง 1 นาโนเมตร (Tasic *et al.*, 2012) เหมาะสำหรับติดตั้งในสำนักงาน สถานที่ทำงานในอุตสาหกรรม สถานที่ก่อสร้าง รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้ได้กับภายนอกสถานที่หรือนอกตัวอาคาร ช่วงความเข้มข้นฝุ่นที่สามารถตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 0.001 ถึง 400 มก./ลบ.ม. (TSI, 2015)

3.2.2 เครื่องมือวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Global Positioning System)

เครื่องมือตรวจวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ คือ เครื่องมือที่ใช้ระบบค้นหาตำแหน่งบนพื้นโลก สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษานี้คือ Bluetooth GPS Receiver รุ่น 747 A+ ของบริษัท Transystem Inc. ประเทศไต้หวัน ดังรูปที่ 3.3 โดยเครื่องมือสามารถใช้งานได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ การนำทางเพียงอย่างเดียวและการนำทางพร้อมกับการจัดเก็บข้อมูล ตลอดจนสามารถใช้ในการคำนวณของความเร็วรถโดยสารสาธารณะ มีหน่วยความจำที่สามารถจัดเก็บตำแหน่งได้ 125,000 ตำแหน่ง (ระยะเวลาประมาณ 35 ชั่วโมง) สำหรับข้อจำกัดของอุปกรณ์คือ ไม่สามารถรับตำแหน่งในที่อับสัญญาณ หรือภายในอาคารได้ (Yegor Korzh Travel Photography, 2009)



รูปที่ 3.3 เครื่องมือ GPS

ที่มา: Yegor Korzh Travel Photography (2009)

3.3 วิธีการศึกษา

3.3.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาในพื้นที่เขตกรุงเทพฯ โดยเลือกพื้นที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ สถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต สถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที สถานีจตุจักร สถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที สถานีห้วยขวาง และบริเวณท่ารถตู้ (ชั่วคราว) ตรงข้ามสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต การศึกษานี้พิจารณาเลือกพื้นที่การศึกษาจากพื้นที่ที่มีผู้ใช้บริการระบบขนส่งสาธารณะเป็นจำนวนมาก และเป็นพื้นที่ที่มีระบบขนส่งสาธารณะหลายชนิด ทั้งระบบขนส่งธรรมดาและประเภทรถ อีกทั้งรถโดยสารแต่ละชนิดนั้นวิ่งในเส้นทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกันเพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัด PM_{2.5} และอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะ พร้อมทั้งทำการแจกแบบสอบถามผู้โดยสาร โดยทำการศึกษาดังแต่วันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ถึง วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2558 ระยะเวลา 8.00 – 18.00 น.

3.3.2 รถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษ

การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษารถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ (สาย 77 157 และ 183) รถมินิบัส (สาย 77) รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที และรถแท็กซี่ โดยได้ทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ในห้องโดยสาร และทำการตรวจวัดอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับรวม 20 เที่ยว ต่อยานพาหนะ รวมตัวอย่างทั้งหมดในรถโดยสารสาธารณะทั้ง 6 ประเภท เท่ากับ 120 ตัวอย่าง

3.3.3 เส้นทางการศึกษา

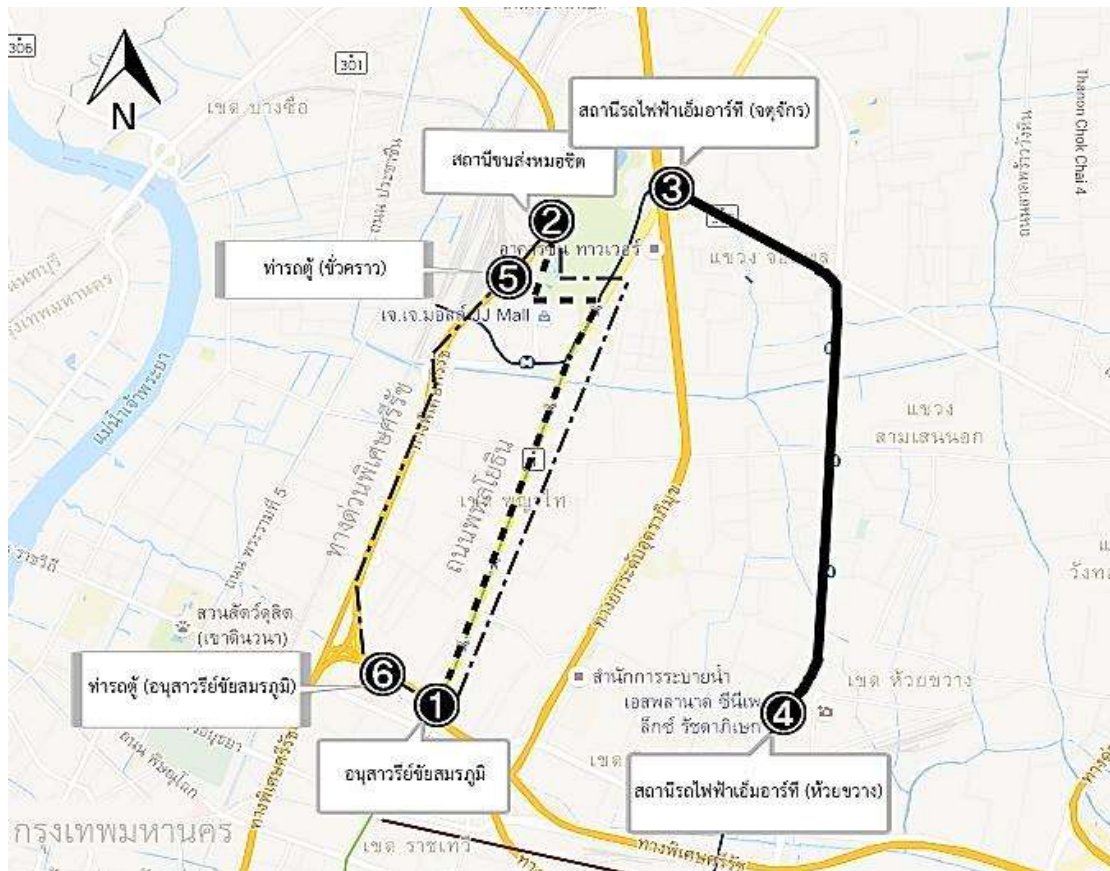
เส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะที่ได้ทำการสำรวจ 6 ประเภท มีความแตกต่างกันซึ่งแบ่งเป็น 3 เส้นทาง ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งเส้นทางที่ 1 ได้แก่ เส้นทางจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังสถานีขนส่งหมอชิต รถโดยสารสาธารณะที่ทำการสำรวจ ประกอบด้วย รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถแท็กซี่ เส้นทางที่ 2 สำหรับรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที ได้แก่ เส้นทางจากสถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีสถานีจตุจักรไปยังสถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีสถานีห้วยขวาง และเส้นทางที่ 3 ได้แก่ เส้นทางจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังท่ารถตู้ (ชั่วคราว) บริเวณตรงข้ามสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต และกลับมายังอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิทางเส้นทางทางด่วนพิเศษศรีรัช รถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษ คือ รถตู้สาธารณะ

3.3.4 การเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้เลือกตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างใน รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ และรถมินิบัส ที่บริเวณจุดกึ่งกลางของรถ ในรถแท็กซี่จะเลือกตำแหน่งในการเก็บตัวอย่าง บริเวณที่นั่งผู้โดยสารด้านหลัง ส่วนรถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที จะไม่สามารถระบุตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างได้ เนื่องจากรถ 2 ประเภทนี้ มีผู้ใช้บริการค่อนข้างมาก หนึ่งในส่วนของรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลพิกัดตามเส้นทางเดินรถและอัตราเร็วได้ เนื่องจากเป็นรถไฟฟ้าใต้ดินซึ่งเป็นที่เป็นที่อับสัญญาณ สำหรับการตรวจวัด $PM_{2.5}$ จะทำการวางเครื่องตรวจวัด $PM_{2.5}$ ในระดับจุมูก เพื่อให้การรับสัมผัสอยู่ในระดับเดียวกับการหายใจ ทั้งการยืนและการนั่ง ดังรูปที่ 3.5

3.3.5 การบันทึกข้อมูล/ลักษณะของยานพาหนะและข้อมูลอื่น ๆ

การศึกษาครั้งนี้นอกจากจะทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ และอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะแล้วยังทำการบันทึกข้อมูลและลักษณะของรถโดยสารสาธารณะ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ใช้ เลขไมล์ของรถ (แสดงอายุการใช้งาน) จำนวนที่นั่งของผู้โดยสาร จำนวนหน้าต่าง ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง พฤติกรรมการขับชี่ของคนขับ และจำนวนผู้โดยสารโดยเฉลี่ย



สัญลักษณ์



อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังสถานีขนส่งหมอชิต



เอ็มอาร์ที (จตุจักร)ไปเอ็มอาร์ที (หัวขวาง)



อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปสถานีขนส่งหมอชิตไปทางด่วนพิเศษศรีรัช

- แทนเส้นทางจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต
- แทนเส้นทางจากสถานีรถไฟฟ้ําเอ็มอาร์ที (จตุจักร) ไปยังสถานีรถไฟฟ้ําเอ็มอาร์ที (หัวขวาง)
- แทนเส้นทางการเดินทางจากทางด่วนพิเศษศรีรัชไปยังอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ

รูปที่ 3.4 เส้นทางรถโดยสารสาธารณะในการศึกษาครั้งนี้
ที่มา: ปรับปรุงจาก Google Earth (2559)



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการวางเครื่องมือในการเก็บตัวอย่าง ยืน (ซ้าย) นั่ง (ขวา)

3.3.6 การใช้แบบสอบถามเพื่อสอบถามพฤติกรรมการใช้รถโดยสารสาธารณะของประชาชนในเขตกรุงเทพฯ

การศึกษานี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบสอบถามจากงานวิจัยของกุลธิดา (2547) โดยการศึกษานี้ได้ทำการแจกแบบสอบถาม (ตั้งภาคผนวก ข.) เพื่อสอบถามพฤติกรรมของประชาชนผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะทั้ง 5 ประเภท ยกเว้นรถแท็กซี่ ทั้งนี้ยกเว้นในรถแท็กซี่ไม่ได้ทำการสำรวจแบบสอบถามเนื่องจากต้องใช้ข้อมูลจากผู้นั่งรถแท็กซี่จริง ซึ่งผู้วิจัยโดยสารรถแท็กซี่เพียงคนเดียวในทุกเที่ยวการเดินทาง ดำเนินการสำรวจข้อมูลการใช้รถโดยสารสาธารณะประเภทละ 100 ชุด รวมจำนวนทั้งสิ้น 500 ชุด (เที่ยวการเดินทางละ 5 คน รวม 100 เที่ยว จำนวนทั้งสิ้น 500 คน) ซึ่งแบบสอบถามประกอบด้วย 2 ตอน ตอนที่ 1 สอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปข้อมูลของผู้โดยสาร ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง และตอนที่ 2 สอบถามระดับความรู้สึกเมื่อโดยสารรถโดยสารสาธารณะ โดยความรู้สึกประกอบด้วย อึดอัด หายใจไม่ออก แสบตา เกรียด และเวียนศีรษะ ซึ่งระดับความรู้สึกแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม นำมาประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ และความสัมพันธ์ระหว่างความรู้สึกดังกล่าวกับปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท

ทั้งนี้ แบบสอบถามพฤติกรรมการใช้รถโดยสารสาธารณะของประชาชนในกรุงเทพฯ ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรแล้วว่าสามารถใช้สอบถามผู้โดยสารได้โดยไม่ขัดต่อจริยธรรม ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.

3.3.8 การรวบรวมผลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

จำนวนข้อมูลของการศึกษานี้ได้จากการตรวจวัด $PM_{2.5}$ และพิกัดของรถโดยสารสาธารณะทุก ๆ 1 นาที ตลอดระยะเวลาการเดินทางของรถโดยสารสาธารณะทุกประเภท โดยข้อมูลชุดนี้จะนำไปประกอบการวิเคราะห์ในทุกขั้นตอนการศึกษา ได้แก่ ความแตกต่างของปริมาณ $PM_{2.5}$ ของรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ กับอัตราเร็ว การประเมินการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการขับขี่กับปริมาณ $PM_{2.5}$

3.3.8 การประเมินการได้รับสัมผัส

ได้ใช้ข้อมูลจากแบบสอบถาม ได้แก่ อายุ (ED) น้ำหนัก (BW) เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ET) ส่วนความถี่ในการได้รับสัมผัส (EF) ได้จากเวลาราชการ คือ วันจันทร์ – วันศุกร์ ในรอบ 1 ปี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 204 วัน นำมาแทนค่าในสมการที่ 1 ส่วนอัตราการหายใจได้ใช้ค่าจาก US EPA (1989) ซึ่งกำหนดว่าผู้ใหญ่มีค่าเท่ากับ 0.830 ลบ.ม./ชม. และเด็กมีค่าเท่ากับ 0.208 ลบ.ม./ชม. ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังภาคผนวกที่ ก.5

3.3.9 การวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่กับปริมาณ $PM_{2.5}$ ของเส้นทางการเดินทางแต่ละประเภท

ได้ใช้ผลจากการตรวจวัดปริมาณ $PM_{2.5}$ และการตรวจวัดอัตราเร็วร่วมกับการบันทึกพิกัดการเดินทางของรถโดยสารแต่ละประเภท นำมาซ้อนทับข้อมูลด้วยโปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Arc Map 10.0) ซึ่งแสดงผลการศึกษาเป็นภาพถ่ายทางอากาศที่แสดงระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ตลอดเส้นทางการเดินทาง

3.3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) การวิเคราะห์ความแตกต่างของ $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที ได้ใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน One-way ANOVA

2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ กับ อัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะ 5 ประเภท ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถแท็กซี่ (รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีไม่สามารถเก็บข้อมูลอัตราเร็วได้) ได้ใช้สถิติ Pearson Correlation

3) การวิเคราะห์ผลของ $PM_{2.5}$ ต่อความรู้สึกใช้สถิติ Binary Logistic Regression



บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 ลักษณะของรถโดยสารสาธารณะที่ศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้นอกจากจะทำการตรวจวัดปริมาณ PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะ และทำการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามแล้ว ยังได้ทำการบันทึกลักษณะของรถโดยสารสาธารณะอีกด้วย ซึ่งประกอบด้วย การใช้เชื้อเพลิงของรถ เลขไมล์ (แสดงอายุของรถ) จำนวนที่นั่งของผู้โดยสาร ตำแหน่งการตรวจวัด พฤติกรรมการขับขี่ของคนขับ จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยขณะเก็บตัวอย่าง ตำแหน่งเครื่องยนต์ จำนวนหน้าต่าง และการเปิดปิดหน้าต่าง ข้อมูลลักษณะของรถโดยสารสาธารณะดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 พบว่า รถตู้สาธารณะและรถประจำทางปรับอากาศ เป็นยานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทเดียวกันคือน้ำมันดีเซลและก๊าซซีเอ็นจี รถมินิบัสน้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง รถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีใช้ ไฟฟ้า ส่วนรถแท็กซี่ใช้ระบบเชื้อเพลิง แอลพีจี/ซีเอ็นจี เลขไมล์เฉลี่ยของรถโดยสารสาธารณะพบว่า รถประจำทางปรับอากาศมีเลขไมล์เฉลี่ยมากที่สุด (9,003,419 กิโลเมตร) รองลงมาคือ รถมินิบัส (604,126 กิโลเมตร) รถตู้สาธารณะ (383,372 กิโลเมตร) และรถแท็กซี่ (114,940 กิโลเมตร) ตามลำดับ (รถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีไม่มีข้อมูล) ตำแหน่งเครื่องยนต์ของรถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ และรถแท็กซี่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน คือบริเวณด้านหน้าภายนอกห้องโดยสาร ส่วนรถประจำทางปรับอากาศและรถมินิบัสมีตำแหน่งเครื่องยนต์บริเวณภายในห้องโดยสาร ด้านซ้ายมือของพนักงานขับรถโดยสาร สำหรับรถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที ไม่มีตำแหน่งเครื่องยนต์เนื่องด้วยขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าระบบราง จำนวนที่นั่งพบว่า รถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที มีจำนวนที่นั่งมากที่สุด (42 ที่นั่ง/1 ตู้ รองลงมาคือ รถประจำทางปรับอากาศ (35 ที่นั่ง) รถตู้สาธารณะ (15 ที่นั่ง) รถมินิบัส (14 ที่นั่ง) และรถแท็กซี่มีจำนวนที่นั่งน้อยที่สุด (5 ที่นั่ง) ตามลำดับ สำหรับจำนวนประตูพบว่า รถแท็กซี่มีจำนวนประตูมากที่สุด (4 ประตู/ตู้) รองลงมาคือ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (2 ประตู) รถตู้สาธารณะ และรถมินิบัสมีจำนวนประตูน้อย

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของรถโดยสารสาธารณะและพฤติกรรมการขับขี่

ปัจจัย	รถตู้สาธารณะ	รถประจำทางปรับอากาศ	รถมินิบัส	รถไฟฟ้าบีทีเอส	รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	รถแท็กซี่
เชื้อเพลิงที่ใช้	น้ำมันดีเซล/ซีเอ็นจี	น้ำมันดีเซล/ซีเอ็นจี	น้ำมันดีเซล	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	แอลพีจี/เอ็นจีวี
เลขไมล์เฉลี่ย (กม.) (สูงสุด - ต่ำสุด)	383,372 (268,954- 587,495)	9,003,419 (782,457 – 87,950,486)	604,126 (237,002- 1,922,043)	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	114,940 (28,758 – 415,788)
ตำแหน่งเครื่องยนต์	ด้านหน้าภายนอกห้องโดยสาร	ภายในห้องโดยสาร / ซ้ายมือของผู้ขับขี่	ภายในห้องโดยสาร / ซ้ายมือของผู้ขับขี่	-	-	ด้านหน้าภายนอกห้องโดยสาร
จำนวนที่นั่ง	15	35	14	42/1ตัว	42/1ตัว	5
จำนวนประตู/หน้าต่าง	1/8	1/35	2/14	2/8	2/8	4/4
การเปิด/ปิด หน้าต่าง	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด
พฤติกรรมการขับส่วนใหญ่อ	ตามสภาพการจราจร	ขับช้า	ขับเร็ว	ตามข้อกำหนด	ตามข้อกำหนด	ตามสภาพการจราจร
จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยขณะเก็บตัวอย่าง (คน)	9	21	11	135/1ตัว	111/1ตัว	2
ตำแหน่งที่ตรวจวัด PM _{2.5}	ตอนกลางของรถ ตำแหน่งเดิม	ตอนกลางของรถ ทั้งการ ยืนและการนั่ง	ตอนกลางของรถทั้งการ ยืนและการนั่ง	แล้วแต่ สถานการณ์	แล้วแต่ สถานการณ์	บริเวณที่นั่งผู้โดยสาร (เบาะหลัง)

ที่สุด (1 ประตู)ตามลำดับ ส่วนจำนวนหน้าต่างในรถประจำทางปรับอากาศมากที่สุด (35 บาน) รองลงมาคือ รถมินิบัส (14 บาน) รถตู้สาธารณะ รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีที่มีหน้าต่างเท่ากัน (8 บาน) และรถแท็กซี่ที่มีจำนวนหน้าต่างน้อยที่สุด (4 บาน) ตามลำดับ ส่วนพฤติกรรมในการขับขี่พบว่า ส่วนใหญ่จะขับขี่ตามสภาพการจราจรในแต่ละวัน ในรถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีมีการขับขี่เป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัท จำนวนผู้โดยสารพบว่า ในรถไฟฟ้าบีทีเอส มีจำนวนผู้โดยสารมากที่สุด (135 คน/1 ตู้) รองลงมาคือ รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (111คน/1 ตู้) รถประจำทางปรับอากาศ (21 คน) รถมินิบัส (11 คน) รถตู้สาธารณะ (9 คน) และรถแท็กซี่ที่มีจำนวนผู้โดยสารน้อยที่สุด (2 คน) ตามลำดับ สำหรับตำแหน่งในการตรวจวัด รถตู้สาธารณะจะทำการตรวจวัดบริเวณตอนกลางของรถในตำแหน่งเดิม รถประจำทางปรับอากาศและรถมินิบัส บริเวณตอนกลางของรถทั้งขณะยืนและขณะนั่ง และรถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้ามหานครแล้วแต่สถานการณ์เนื่องด้วยมีปริมาณผู้โดยสารมาก จึงไม่สามารถเก็บตัวอย่างในจุดเดิมได้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยละเอียด แสดงดังภาคผนวกที่ ก.1 ก.2 และ ก.3

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณ $PM_{2.5}$ ภายในรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท ในรถประจำทางปรับอากาศ มีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากที่สุด (2,650 มก./ลบ.ม.) รองมาคือรถมินิบัส (1,996 มก./ลบ.ม.) รถไฟฟ้าบีทีเอส (1,070 มก./ลบ.ม.) รถไฟฟ้ามหานคร (806 มก./ลบ.ม.) รถตู้สาธารณะ (424 มก./ลบ.ม.) และรถแท็กซี่ (366 มก./ลบ.ม.) ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารสาธารณะประเภทต่าง ๆ พบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ มีความแตกต่างกันในรถแต่ละประเภทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยกเว้นรถตู้สาธารณะ และรถแท็กซี่ ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การเก็บตัวอย่างนอกจากการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ แล้ว ยังได้จับเวลาในการเดินทางด้วย เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับปริมาณ $PM_{2.5}$ ได้ผลดังรูปที่ 4.1

4.2 ปริมาณ PM_{2.5} ของรถโดยสารประเภทต่าง ๆ

จากการตรวจวัด PM_{2.5} ในห้องโดยสารของรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที และรถแท็กซี่ ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ PM_{2.5} ของรถโดยสารสาธารณะทั้ง 6 ประเภท

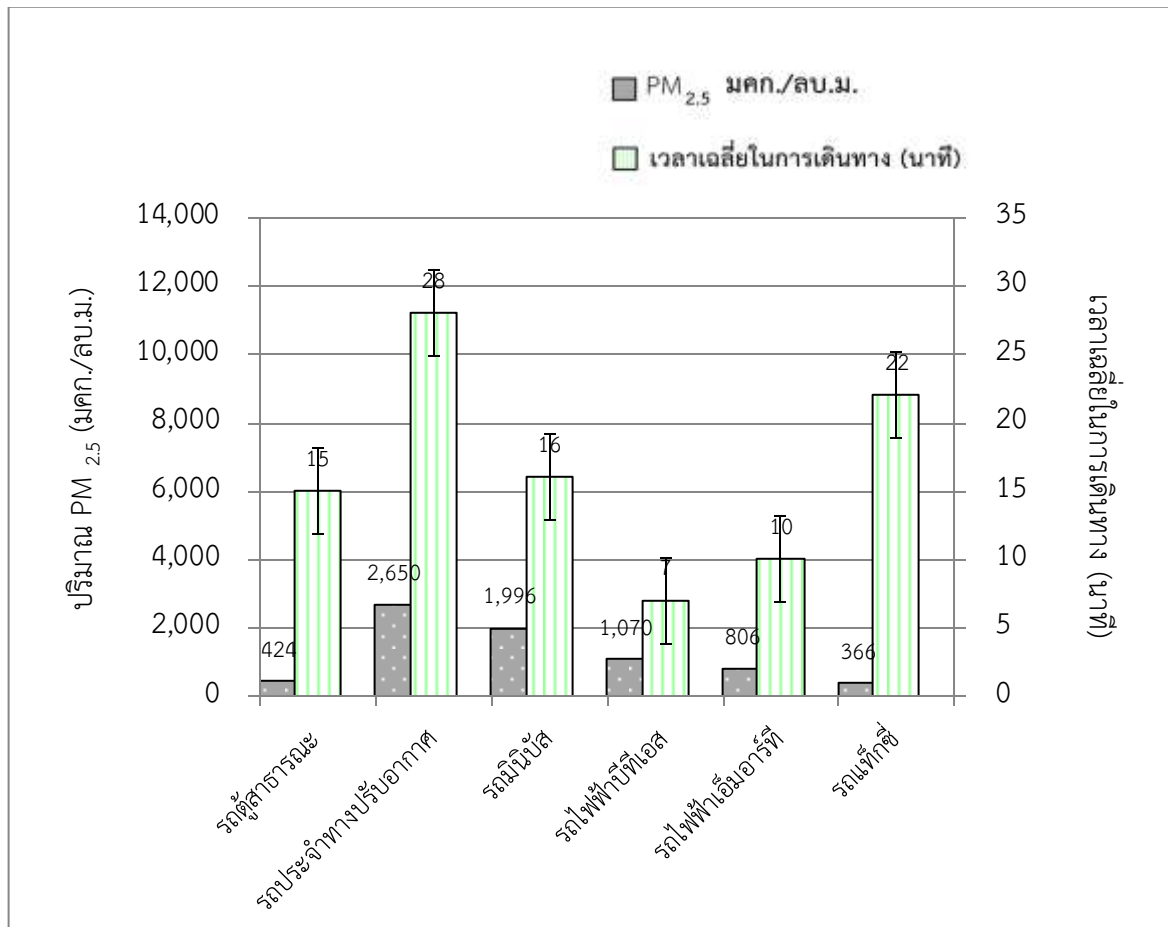
ประเภทรถ	จำนวนข้อมูล**	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (พิสัย)*	F***	p****
รถตู้สาธารณะ	2,269	424±324 (7.52-2,181)	1139	0.000
รถประจำทางปรับอากาศ	4,069	2,650±2,348 (7.52-20,605)		
รถมินิบัส	2,605	1,996±1,042 (172.96-9,626)		
รถไฟฟ้าบีทีเอส	1,048	1,070±626 (15.04-5,926)		
รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	1,393	806±645 (7.52-12,107)		
รถแท็กซี่	1,669	366±362 (7.52-3,752)		

หมายเหตุ: * ได้ปรับแก้ค่าให้เข้ากับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric Method) ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐาน ด้วยสมการ $y=7.52x$ (ณัฐพล, 2558) โดยที่ y คือ ค่าหลังจากการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และ x คือ ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด PM_{2.5}

** จำนวนข้อมูลของปริมาณ PM_{2.5} ที่ได้จากการสำรวจทุก ๆ นาที

*** F เท่ากับ ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

**** P หรือ p value เท่ากับ ระดับนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณ PM_{2.5} กับเวลาเฉลี่ยในการเดินทางในรถโดยสาร 6 ประเภท

จากรูปที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางกับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} ในรถโดยสาร 6 ประเภท พบว่า รถประจำทางปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการเดินทางมากที่สุด (28 นาที) รองลงมาคือรถแท็กซี่ (22 นาที) รถมินิบัส (16 นาที) รถตู้โดยสารระยะ (15 นาที) รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (10 นาที) และรถไฟฟ้าบีทีเอส (7 นาที) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณ PM_{2.5} ประกอบจะพบว่า รถประจำทางปรับอากาศมีปริมาณ PM_{2.5} มากที่สุดในขณะที่เวลาที่ใช้ในการเดินทางก็มากที่สุดเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับรถโดยสารประเภทอื่น ๆ สำหรับรถตู้โดยสารระยะและรถมินิบัสมีเวลาในการเดินทางใกล้เคียงกัน แต่มีปริมาณ PM_{2.5} ที่แตกต่างกัน สำหรับรถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที ซึ่งเป็นระบบขนส่งแบบรางและมีระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด เนื่องจากไม่มีปัญหาการจราจรทำให้มีการได้รับสัมผัส PM_{2.5} น้อยกว่าประเภทอื่น ๆ และรถแท็กซี่มีปริมาณ PM_{2.5} น้อยที่สุดเนื่องจากรถแท็กซี่เป็น

รถโดยสารส่วนบุคคล มีผู้โดยสารจำนวนน้อยกว่ารถโดยสารสาธารณะประเภทอื่น ๆ อีกทั้งยังมีการทำความสะอาดเป็นประจำทุกวันจึงทำให้พบปริมาณของ $PM_{2.5}$ น้อยที่สุด

เนื่องด้วยในปัจจุบันยังไม่มีมีการประกาศใช้ค่ามาตรฐานในการเฝ้าระวังฝุ่นละอองภายในรถโดยสารสาธารณะ จึงได้ใช้การเปรียบเทียบผลการศึกษากับร่างประกาศกรมอนามัย เรื่อง มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 โดยมีค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่ยอมรับได้ ไม่เกิน 35 มคก./ลบ.ม. ต่อค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง หรือค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีผู้ใช้งานอยู่ในอาคาร โดยการศึกษาพบว่า มีปริมาณ $PM_{2.5}$ เกินกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารที่กรมอนามัยได้ที่กำหนดไว้

จากการศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ ภายในรถโดยสารสาธารณะครั้งนี้ พบว่า รถประจำทางปรับอากาศมีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรถโดยสารสาธารณะประเภทอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลธิดา (2547) ซึ่งพบว่ารถประจำทางปรับอากาศมีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรถโดยสารสาธารณะประเภทอื่น ๆ ได้แก่ รถมินิบัส รถโดยสารขนาดเล็ก และรถยนต์ส่วนบุคคล อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chan (2002) ที่พบว่า รถแท็กซี่มีปริมาณ $PM_{2.5}$ น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรถประเภทอื่น ๆ ได้แก่ รถบัสไม่ปรับอากาศ รถบัสปรับอากาศ และรถแท็กซี่ไม่ปรับอากาศ ความเก่าใหม่ของรถมีผลต่อปริมาณ $PM_{2.5}$ โดยจากงานวิจัยของ Zhang and Zhu (2010) ที่พบว่ารถบัสที่ผลิตในปี ค.ศ. 1900 มีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากกว่ารถบัสที่ผลิตในปี ค.ศ. 2006 มีความสอดคล้องกับการศึกษา โดยผลที่แตกต่างจากงานวิจัยของ Pornpimol *et al.* (2012) ที่ทำการประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ภายในรถประจำทางปรับอากาศและรถประจำทางไม่ปรับอากาศ พบว่ารถไม่ปรับอากาศมีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากกว่ารถประจำทางปรับอากาศ และในระบบขนส่งประเภทรางนั้น ให้ผลการศึกษาที่แตกต่างเช่นกัน โดยจากงานวิจัยของ Cheng *et al.* (2012) พบว่ารถไฟใต้ดินมีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากกว่ารถไฟฟ้ายกระดับ จากผลการศึกษานำผลการศึกษามาเป็นเหตุผลการตัดสินใจเลือกใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในการเดินทางในชีวิตประจำวันได้ อีกทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบขนส่งสาธารณะในกรุงเทพฯ เช่น การควบคุมดูแลความสะอาด และการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณ $PM_{2.5}$ จากการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณ PM_{2.5} จากการศึกษาครั้งนี้นักับงานวิจัยอื่น ๆ

การศึกษา	PM	ประเภทรถ	ความเข้มข้น (มคก./ลบ.ม.)		
การศึกษาค้างนี้	PM _{2.5}	รถตู้สาธารณะ	424		
		รถประจำทางปรับอากาศ	2,650		
		รถมินิบัส	1,996		
		รถไฟฟ้าบีทีเอส	1,070		
		รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	806		
		รถแท็กซี่	366		
Pfeifer <i>et al.</i> (1990)	PM _{2.5}	รถแท็กซี่	33		
Adams <i>et al.</i> (2001)	PM _{2.5}	รถบัส	39		
Zhang and Zhu (2010)	PM _{2.5}	รถบัสที่ผลิตในปี ค.ศ. 1990	เปิดหน้าต่าง 19 ปิดหน้าต่าง 10.5		
		รถบัสที่ผลิตในปี ค.ศ. 2006	เปิดหน้าต่าง 19.7 ปิดหน้าต่าง 6.5		
		Shaowei <i>et al.</i> (2011)	PM _{2.5}	รถแท็กซี่	73.7
		Pornpimol <i>et al.</i> (2012)	PM _{2.5}	รถโดยสารชนิดไม่ปรับอากาศ	323.81
รถโดยสารชนิดปรับอากาศ	206.46				
Cheng <i>et al.</i> (2012)	PM _{2.5}	รถไฟใต้ดิน	33		
		รถไฟยกระดับ	28		
Chan (2002)	PM _{2.5}	รถไฟใต้ดิน	44		
		รถบัสไม่ปรับอากาศ	145		
		รถบัสปรับอากาศ	101		
		รถแท็กซี่ไม่ปรับอากาศ	106		
		รถแท็กซี่ปรับอากาศ	73		
กุลธิดา (2547)	PM ₁₀	รถประจำทางปรับอากาศ	144		
		รถมินิบัส	56		
		รถโดยสารขนาดเล็ก	30		
		รถยนต์ส่วนบุคคล	89		

4.3 ความสัมพันธ์ของ PM_{2.5} กับอัตราเร็ว

จากการวัดอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะ ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถแท็กซี่ นั้น เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารทั้ง 5 ประเภท ด้วยสถิติ Pearson Correlation ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ระหว่างปริมาณ PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารแต่ละประเภท

ประเภทรถ **	อัตราเร็ว (กม./ชม.)		สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R ²)
	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (พิสัย)		
รถตู้สาธารณะ	17.45±21.85 (0.00-73.19)		0.256*
รถประจำทางปรับอากาศ	13.89±15.27 (0.01-60.80)		-0.020
รถมินิบัส	15.24±12.62 (0.06-47.29)		0.121
รถไฟฟ้าบีทีเอส	24.60±22.50 (0.573-74.42)		0.137
รถแท็กซี่	26.21±23.08 (0.01-80.99)		0.163

หมายเหตุ : * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีไม่สามารถตรวจวัดความเร็วได้เนื่องจาก รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีอยู่ในที่อับสัญญาณ เครื่องวัดสัญญาณจึงไม่สามารถวัดความเร็วได้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะแสดงดังภาคผนวก ก.4

จากตารางพบว่าปริมาณ $PM_{2.5}$ กับอัตราเร็วของรถโดยสารประเภทต่าง ๆ นั้น รถตู้สาธารณะมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.256 ส่วนรถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถแท็กซี่ มีปริมาณ $PM_{2.5}$ กับอัตราเร็วที่สัมพันธ์กันแบบแปรผันตามอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.121 0.137 และ 0.163 ตามลำดับ ส่วนในรถประจำทางปรับอากาศพบว่าปริมาณ $PM_{2.5}$ และอัตราเร็วมีความสัมพันธ์กันแบบผกผันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.020

จากการศึกษาของ Zhang and Zhu (2010) ซึ่งได้ทำการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ภายในรถรับส่งนักเรียนที่ผลิตใน ค.ศ. 1990 และ ค.ศ. 2006 โดยพบว่ารถบัสที่เปิดหน้าต่างเมื่อวิ่งรถในอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ระดับ $PM_{2.5}$ ลดลง ซึ่งไม่มีความสอดคล้องกับการศึกษาที่เมื่อรถมินิบัสวิ่งด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณของ $PM_{2.5}$ ปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเพราะมีสภาพการจราจรที่แตกต่างกันทำให้ผลการศึกษามีความแตกต่างกันตามไปด้วย

4.4 การประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะรถแต่ละประเภท

4.4.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้โดยสาร

จากการสำรวจผู้โดยสารด้วยแบบสอบถามการโดยสารสาธารณะของประชาชนในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ โดยแบ่งเป็นประเภทละ 100 ชุด รวม 500 ชุด ในรถโดยสารสาธารณะ 5 ประเภท ประกอบด้วย รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที เพื่อสำรวจพฤติกรรมการใช้รถโดยสารสาธารณะ มีผลการสรุปการตอบแบบสอบถาม แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการตอบแบบสอบถามพฤติกรรมการใช้รถโดยสารสาธารณะของประชาชนในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ

ประเด็น		รถตู้สาธารณะ	รถประจำทางปรับอากาศ	รถมินิบัส	รถไฟฟ้าบีทีเอส	รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที
เพศ	ชาย	44 (44%)	44 (44%)	52 (52%)	40(40%)	40 (40%)
	หญิง	56 (56%)	56 (56%)	48 (48%)	60(60%)	60 (60%)
อายุ	<12 ปี (เด็ก)	2 (2%)	3 (3%)	*	3 (3%)	3 (3%)
	>12 ปี (ผู้ใหญ่)	98 (98%)	97 (97%)	100 (100%)	97 (97%)	97 (97%)
น้ำหนัก (กก.)	เด็ก	(38.50±4.04)	(21.00±15.18)	*	23.33±10.21	33.00±17.42
	ผู้ใหญ่	(63.52±13.31)	(61.81±14.79)	(63.37±13.04)	61.26±15.46	59.95±13.94
เวลาการเดินทาง (นาที)	\bar{x} ±SD	15±6.77	28±7	16±7	7±1	10±1
	(พิสัย)	(5-24)	(17-44)	(10-35)	(5-9)	(9-11)

หมายเหตุ * ขณะสำรวจไม่พบกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเด็ก

จากตารางที่ 4.5 พบว่าจากจำนวนผู้โดยสาร จำนวน 500 คน มีเพศหญิงมากกว่าเพศชาย ยกเว้นในรถมินิบัสที่พบว่า เพศชายมากกว่าเพศหญิง (เพศชายร้อยละ 52) นอกจากนี้ยังพบว่าในรถไฟฟ้ายูบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที มีอัตราส่วนเพศชายและเพศหญิงเท่ากัน (เพศชายร้อยละ 40 และเพศหญิงร้อยละ 60) สำหรับอายุเฉลี่ยของผู้โดยสารพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันทั้งกลุ่มผู้ใหญ่และเด็กในรถโดยสารสาธารณะทั้ง 5 ประเภท (ยกเว้นในรถมินิบัสที่ไม่พบเด็กในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจแบบสอบถาม) สำหรับน้ำหนักเฉลี่ยของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะพบว่ากลุ่มเด็กมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 21.00 – 38.50 กก. และกลุ่มผู้ใหญ่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 59.95 – 63.52 กก. สำหรับเวลาเฉลี่ยในการเดินทาง พบว่า รถประจำทางปรับอากาศมีเวลาในการเดินทางมากที่สุด (28 นาที) ขณะที่รถไฟฟ้ายูบีทีเอสใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด (7 นาที)

4.4.2 พารามิเตอร์ในการคำนวณการรับสัมผัส (ADI) $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท

จากการสำรวจด้วยแบบสอบถามผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 5 ประเภท (ประเภทละ 100 คน) จำนวนรวม 500 คน นั้น สามารถแสดงผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ในการคำนวณ ADI (ตามสมการที่ 1) ดังตารางที่ 4.6

จากตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะจำนวน 500 คน พบว่าเวลาเฉลี่ยในการเดินทาง (ET) ในรถโดยสาร 5 ประเภทคือ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที นั้น รถประจำทางปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการเดินทางมากที่สุด (28 นาที) รองลงมาคือ รถมินิบัส (16 นาที) รถตู้ (15 นาที) รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (10 นาที) และรถไฟฟ้าบีทีเอส (7 นาที) ตามลำดับ โดยมีวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ก. สำหรับอายุโดยเฉลี่ย (ED) ของผู้โดยสารพบว่า อายุของผู้โดยสารในรถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ และรถมินิบัสมีอายุเฉลี่ยมากที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน (36 ปี) รองลงมาคือ ผู้โดยสารรถไฟฟ้าบีทีเอส (33 ปี) และผู้โดยสารเอ็มอาร์ทีที่มีอายุเฉลี่ยน้อยที่สุด (32 ปี) ตามลำดับ น้ำหนักของผู้โดยสารโดยเฉลี่ย (BW) ในผู้โดยสารรถตู้สาธารณะ และรถมินิบัสมีค่ามากที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน (63 กก.) รองลงมาคือ ผู้โดยสารรถประจำทางปรับอากาศ (61 กก.) และผู้โดยสารรถไฟฟ้าบีทีเอสและรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีมีน้ำหนักน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากัน (60 กก.) ตามลำดับ และสำหรับช่วงเวลาในการได้รับสัมผัส (AT) ผู้โดยสารรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีมีช่วงเวลาในการรับสัมผัสนานที่สุด (14,112

วัน) รองลงมาคือ ผู้โดยสารรถไฟฟ้าบีทีเอส (13,658 วัน) ผู้โดยสารรถประจำทางปรับอากาศ (12,604 วัน) ผู้โดยสารรถตู้สาธารณะ (12,515วัน) และผู้โดยสารมินิบัส (12,406 วัน) ซึ่งมีช่วงเวลาในการได้รับสัมผัสน้อยที่สุด ตามลำดับ โดยมีวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการคำนวณ ADI

ประเภทรถ	PM _{2.5}	ET	ED	BW	AT
	(มก./ลบ.ม.)	(นาทีก)	(ปี)	(กก.)	(วัน)
รถตู้สาธารณะ	0.424±0.324	15±6.77	36±14	63±14	12,515±4,729
	(0.007-2.180)	(5-24)	(11-74)	(25-106)	(1,095-21,535)
รถประจำทางปรับอากาศ	2.650±2.348	28±7	36±14	61±14	12,604±47,779
	(0.007-20.605)	(17-44)	(7-70)	(20-92)	(730-22,995)
รถมินิบัส	1.996±1.041	16±7	36±14	63±19	12,406±4,622
	(0.172-9.626)	(10-35)	(16-68)	(35-86)	(730-1,9710)
รถไฟฟ้าบีทีเอส	1.070±0.626	7±1	33±13	60±14	13,658±4,744
	(0.0150-5.926)	(5-9)	(8-73)	(28-98)	(365-22,630)
รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	0.806±0.645	10±1	32±13	60±14	14,112±4,622
	(0.0070-12.107)	(9-11)	(10-72)	(32-90)	(4,015-21,900)

4.4.3 ค่าเฉลี่ยการได้รับสัมผัส (ADI) $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท

จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะของประชาชนที่ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ จำนวน 500 คน เพื่อนำข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.6 เพื่อนำผลการศึกษาไปคำนวณการรับสัมผัส (ADI) $PM_{2.5}$ ตามสมการที่ 1 ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.7 หนึ่ง ในส่วนของอัตราการหายใจ (IR) ของผู้ใหญ่และเด็กได้ใช้ค่าของ US EPA ที่มีค่าเท่ากับ 0.830 และ 0.208 ลบ.ม./ชม.

การประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสาร มีค่า ADI (Average Daily Intake) (ดังตารางที่ 4.7) ภายในรถโดยสารสาธารณะ 5 ประเภท ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที นั้น พบว่ากลุ่มผู้ใหญ่ในรถไฟฟ้าบีทีเอสมีการรับสัมผัสที่น้อยที่สุด (0.0008 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) รองลงมาคือ กลุ่มผู้ใหญ่ในรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (0.0011 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) กลุ่มผู้ใหญ่ในรถตู้สาธารณะ (0.0014 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) กลุ่มผู้ใหญ่ในรถมินิบัส (0.0034 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) และกลุ่มผู้ใหญ่ในรถประจำทางปรับอากาศมีการรับสัมผัสมากที่สุด (0.0063 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) ตามลำดับ ส่วนการรับสัมผัสในกลุ่มเด็กพบว่า กลุ่มเด็กในรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีพบการรับสัมผัสที่น้อยที่สุด (0.0016 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) รองลงมาคือ กลุ่มเด็กในตู้สาธารณะ (0.0026 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) กลุ่มเด็กในรถไฟฟ้าบีทีเอส (0.0028 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) และกลุ่มเด็กในรถประจำทางปรับอากาศมีการรับสัมผัสมากที่สุด (0.0149 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) ตามลำดับ (รถมินิบัสไม่พบเด็กขณะทำการสำรวจ) ซึ่งการรับสัมผัสในกลุ่มผู้ใหญ่มีค่าสูงสุดในรถประจำทางปรับอากาศ อาจเป็นเพราะรถปรับอากาศมีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากที่สุดประกอบกับมีการใช้เวลาในการเดินทางมากที่สุดด้วยทำให้ผู้โดยสารมีโอกาสในการรับสัมผัสที่มากตามไปด้วย สำหรับรถไฟฟ้าบีทีเอสมีการรับสัมผัสในกลุ่มผู้ใหญ่ที่น้อยที่สุด อาจเป็นเพราะรถไฟฟ้าบีทีเอสมีปริมาณ $PM_{2.5}$ ค่อนข้างน้อย ทำให้มีโอกาสในการรับสัมผัสที่น้อย เมื่อพิจารณาการรับสัมผัสในกลุ่มเด็ก พบว่ากลุ่มเด็กในรถประจำทางปรับอากาศมีการรับสัมผัสมากที่สุดเช่นกัน อาจเป็นเพราะรถประจำทางปรับอากาศมีปริมาณ $PM_{2.5}$ มากที่สุดประกอบกับใช้เวลาในการเดินทางมากที่สุดด้วย และในกลุ่มเด็กในรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที พบการรับสัมผัสที่น้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีมีปริมาณ $PM_{2.5}$ ค่อนข้างน้อย ทำให้มีโอกาสได้รับสัมผัสที่น้อย

ตารางที่ 4.7 การรับสัมผัส (ADI) PM_{2.5} ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท

ประเภทรถ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (พิสัย) (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)	
	รถตู้สาธารณะ	ผู้ใหญ่
เด็ก		0.0026±0.0003 (0.0024-0.0028)
รถปรับอากาศ	ผู้ใหญ่	0.0063±0.0030 (0.0004-0.0221)
	เด็ก	0.0149±0.0086 (0.0069-0.0281)
รถมินิบัส	ผู้ใหญ่	0.0034±0.0022 (0.0013-0.0075)
	เด็ก	**
รถไฟฟ้าบีทีเอส	ผู้ใหญ่	0.0008±0.0022 (0.0002-0.0015)
	เด็ก	0.0028±0.0013 (0.0014-0.0042)
รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	ผู้ใหญ่	0.0011±0.0022 (0.0005-0.0027)
	เด็ก	0.0016±0.0006 (0.0012-0.0023)

หมายเหตุ: ** ไม่พบผู้โดยสารที่เป็นเด็ก (อายุต่ำกว่า13ปี)

ผู้โดยสารที่มีอายุตั้งแต่ 70 ปีขึ้นไป ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากมีอายุขัยเฉลี่ยเกิน 70 ปี

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยก่อนหน้านี้ยังไม่มีการศึกษาการได้รับสัมผัสฝุ่นจากยานพาหนะจึงได้นำผลการศึกษาของ ปรียาภรณ์ (2557) ซึ่งได้ทำการศึกษาปริมาณและการได้รับสัมผัส PM_{10} ในโรงเรียนที่ใกล้และไกลแหล่งอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการศึกษาภายในอาคาร (Indoor Air Pollution) โดยจากผลการศึกษาพบว่า กลุ่มโรงเรียนที่อยู่ใกล้อุตสาหกรรม จะได้รับปริมาณของ PM_{10} มากกว่าโรงเรียนที่อยู่ไกลแหล่งอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับการศึกษานี้ที่พบว่ามีค่า ADI ของการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ระหว่าง 0.0045 - 0.0105 ของน้ำหนักร่างกาย/วัน ในขณะที่การศึกษาครั้งนี้มีค่า ADI ระหว่าง 0.00001 - 0.00116 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า ADI จะมีความแตกต่างกันกับงานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบกับนี้มาก เนื่องจากมีค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกันตามสภาพแวดล้อมและขนาดอนุภาคฝุ่น

4.4.4 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับความรู้สึกที่ผู้โดยสารได้รับเมื่อโดยสารรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท

จากผลการสำรวจแบบสอบถามเกี่ยวกับระดับของความรู้สึก ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 5 ประเภท รวมทั้งสิ้น 500 คน (ประเภทละ 100 คน) ประกอบด้วย รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที มีการอาการความรู้สึก 5 ประเภท ได้แก่ อึดอัด หายใจไม่ออก แสบตา เคี้ยว และเวียนศีรษะ และมีระดับของอาการ 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) ซึ่งจากตารางที่ 4.8 พบว่า ผู้โดยสารในรถประจำทางปรับอากาศและรถตู้สาธารณะมีการรับสัมผัสอยู่ในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบกับรถโดยสารประเภทอื่น ๆ กล่าวคือ ผู้โดยสารประจำทางปรับอากาศมีอาการอึดอัดมากกว่าในรถตู้สาธารณะ มีอาการหายใจไม่ออกอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน และพบว่าผู้โดยสารรถตู้สาธารณะมีอาการแสบตามากกว่ารถประจำทางปรับอากาศ สำหรับอาการความเคี้ยวอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน และยังพบว่าผู้โดยสารรถปรับอากาศมีอาการเวียนหัวมากกว่ารถตู้สาธารณะ

สำหรับปริมาณ $PM_{2.5}$ ที่มีผลต่อระดับความรู้สึกของผู้โดยสารในรถสาธารณะประเภทต่าง ๆ ได้ใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Binary Logistic Regression) (ตัวแปรเชิงกลุ่มมีค่าได้เพียง 2 ค่า) โดยได้จัดกลุ่มอาการความรู้สึกต่าง ๆ จากน้ำหนัก 5 ระดับข้างต้น คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยค่าน้ำหนัก มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย มีค่าเท่ากับ 1 (ปรากฏอาการ) และน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0 (ไม่ปรากฏอาการ) โดยปริมาณ $PM_{2.5}$ ได้มาจากการตรวจวัดค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ (ดังตารางที่

4.1) ส่วนระดับความรู้สึกได้มาจากการสำรวจผู้โดยสารโดยใช้แบบสอบถาม จำนวน 100 ชุด ต่อประเภทรถโดยสาร (ดังตารางที่ 4.8) โดยมีเกณฑ์การวิเคราะห์ผลในตัวสถิติดังนี้

ถ้าค่า อัตราเสียง (Exp(b)) มากกว่า 1 ผลของ PM_{2.5} ที่มีผลต่อความรู้สึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อ PM_{2.5} เพิ่มขึ้น 1 หน่วย

อัตราเสียงน้อยกว่า 1 ผลของ PM_{2.5} ที่มีผลต่อความรู้สึกจะลดลงเมื่อ PM_{2.5} เพิ่มขึ้น 1 หน่วย

อัตราเสียง เท่ากับ 1 ผลของ PM_{2.5} ไม่มีผลต่อความรู้สึกต่าง ๆ (กมลชนก, 2559)

ทั้งนี้ผลการศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.9



ตารางที่ 4.8 ระดับของความรู้สึกของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท

อาการ	ระดับ	รถตู้ สาธารณะ	รถประจำ ทางปรับ อากาศ	รถมินิบัส	รถไฟฟ้าบีที เอส	รถไฟฟ้า เอ็มอาร์ที
จำนวนตัวอย่าง	100	100	100	100	100	100
อึดอัด	มากที่สุด	0 (0%)	3 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	มาก	7 (7%)	3 (3%)	0 (0%)	2 (2%)	0 (0%)
	ปานกลาง	15 (15%)	12 (12%)	0 (0%)	6 (6%)	6 (6%)
	น้อย	20 (20%)	25 (25%)	12 (12%)	20 (20%)	12 (12%)
	น้อยที่สุด	58 (58%)	57 (57%)	88 (88%)	72 (72%)	82 (82%)
หายใจไม่ออก	มากที่สุด	1 (1%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	มาก	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	ปานกลาง	14 (14%)	10 (10%)	0 (0%)	3 (3%)	3 (3%)
	น้อย	13 (13%)	22 (22%)	16 (16%)	11 (11%)	8 (8%)
	น้อยที่สุด	71 (71%)	67 (67%)	84 (84%)	86 (86%)	89 (89%)
แสบตา	มากที่สุด	3 (3%)	2 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	มาก	3 (3%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	ปานกลาง	7 (7%)	3 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	น้อย	13 (13%)	9 (9%)	10 (10%)	6 (6%)	5 (5%)
	น้อยที่สุด	74 (74%)	85 (85%)	90 (90%)	94 (94%)	95 (95%)
เครียด	มากที่สุด	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	มาก	1 (1%)	3 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	ปานกลาง	10 (10%)	17 (17%)	0 (0%)	3 (3%)	2 (2%)
	น้อย	23 (23%)	17 (17%)	27 (27%)	17 (17%)	12 (12%)
	น้อยที่สุด	66 (66%)	63 (63%)	73 (73%)	80 (80%)	86 (86%)
เวียนศีรษะ	มากที่สุด	1 (1%)	3 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	มาก	2 (2%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (1%)
	ปานกลาง	13 (13%)	10 (10%)	4 (4%)	4 (4%)	2 (2%)
	น้อย	26 (26%)	15 (15%)	20 (20%)	23 (23%)	24 (24%)
	น้อยที่สุด	58 (58%)	71 (71%)	76 (76%)	73 (73%)	73 (73%)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณ PM_{2.5} กับความรู้สึกที่ผู้โดยสารได้รับเมื่อโดยสารในรถโดยสารสาธารณะ

ประเภทรถ	ความรู้สึก	B	S.E.	sig	Exp (b)	95% CI for Exp (b)	
รถตู้สาธารณะ	อึดอัด	0.000	0.000	0.712	1.000**	0.999	1.000
	หายใจไม่ออก	0.000	0.000	0.849	1.000**	0.999	1.000
	แสบตา	0.000	0.000	0.140	1.000**	1.000	1.001
	เครียด	0.000	0.000	0.729	1.000**	0.999	1.000
	เวียนศีรษะ	0.000	0.000	0.529	1.000**	0.999	1.000
รถประจำทาง ปรับอากาศ	อึดอัด	0.000	0.000	0.015*	1.000**	1.000	1.001
	หายใจไม่ออก	0.000	0.000	0.997	1.000**	1.000	1.000
	แสบตา	0.000	0.000	0.664	1.000**	1.000	1.001
	เครียด	0.000	0.000	0.443	1.000**	1.000	1.000
	เวียนศีรษะ	0.000	0.000	0.964	1.000**	1.000	1.000
รถมินิบัส	อึดอัด	-0.002	0.001	0.013*	0.998**	0.997	1.000
	หายใจไม่ออก	-0.002	0.001	0.001*	0.998**	0.997	0.999
	แสบตา	-0.002	0.001	0.027*	0.998**	0.997	1.000
	เครียด	-0.002	0.001	0.002*	0.998**	0.997	0.999
	เวียนศีรษะ	-0.001	0.001	0.248	0.999**	0.998	1.000
รถไฟฟ้าบีทีเอส	อึดอัด	0.002	0.001	0.017*	1.002**	1.000	1.003
	หายใจไม่ออก	0.001	0.001	0.206	1.001**	0.999	1.003
	แสบตา	0.001	0.001	0.330	1.001**	0.999	1.004
	เครียด	0.000	0.001	0.972	1.000**	0.999	1.001
	เวียนศีรษะ	-0.001	0.001	0.258	0.999**	0.998	1.001
รถไฟฟ้าเอ็ม อาร์ที	อึดอัด	0.003	0.001	0.001*	1.003**	1.001	1.005
	หายใจไม่ออก	0.004	0.001	0.000*	1.004**	1.002	1.006
	แสบตา	0.006	0.002	0.002*	1.006**	1.002	1.010
	เครียด	0.003	0.001	0.003*	1.003**	1.001	1.005
	เวียนศีรษะ	0.002	0.001	0.003*	1.002**	1.001	1.004

หมายเหตุ : * Sig < 0.05 หมายถึงระดับความเสียมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** Exp (b) คือ อัตราเสี่ยงจากการวิเคราะห์ด้วยการถดถอยโลจิสติก

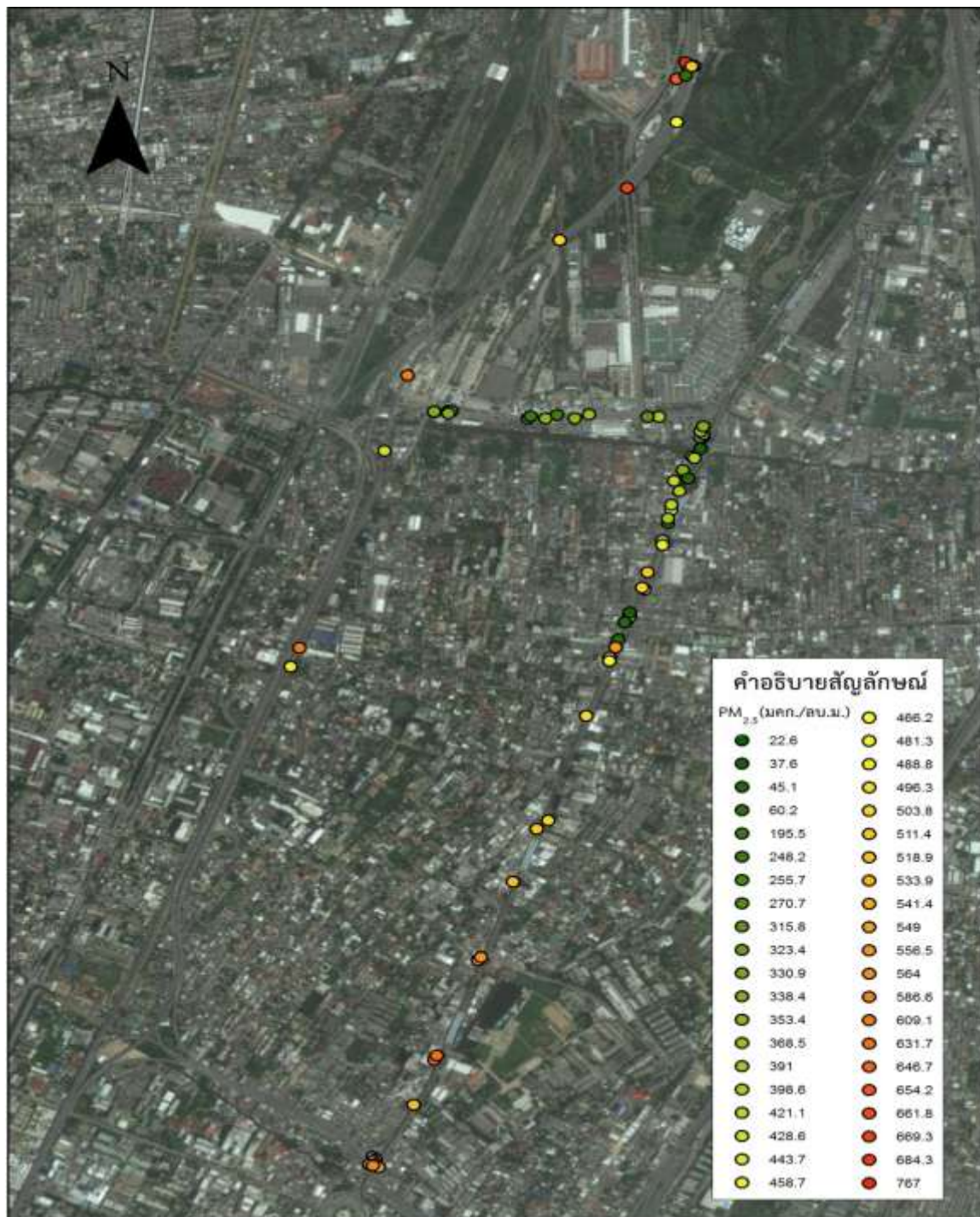
จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่ารถตู้สาธารณะและรถประจำทางปรับอากาศนั้นมีปริมาณ $PM_{2.5}$ ที่ไม่มีผลต่อความรู้สึกทั้ง 5 ($Exp(b) = 1$) ได้แก่ อีต้อด หายใจไม่ออก แสบตา เครียดและเวียนศีรษะ อย่างไรก็ตามมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นอาการอีต้อดในรถปรับอากาศที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($Sig \geq (0.05)$) สำหรับรถมินิบัสพบว่าเมื่ออัตราเสี่ยง ($Exp(b)$) เท่ากับ 0.998 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าปริมาณ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มที่ไม่มีผลต่อความรู้สึกทั้ง 5 ดังกล่าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยกเว้นในอาการเวียนศีรษะที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสำหรับรถไฟฟ้ายูบีทีเอสพบว่า มีอัตราเสี่ยงเท่ากับ 0.999 – 1.000 ได้แก่ อาการ เวียนศีรษะ และเครียดตามลำดับ และอัตราเสี่ยงระหว่าง 1.001 – 1.002 ได้แก่ อาการแสบตา หายใจไม่ออก และอีต้อด ตามลำดับ สำหรับรถไฟฟ้ายูบีทีเอสที่ พบว่ามีอัตราเสี่ยงอยู่ในช่วง 1.002 – 1.006 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $PM_{2.5}$ มีผลต่อความรู้สึกทั้ง 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการวิเคราะห์ระดับความรู้สึก อีต้อด หายใจไม่ออก แสบตา เครียด และเวียนศีรษะ ในรถโดยสารประเภทต่าง ๆ นั้น โดยรวมพบว่า $PM_{2.5}$ ไม่มีผลกับอาการความรู้สึกต่าง ๆ ของผู้โดยสาร เนื่องจากค่า $Exp(b)$ มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1

4.5 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินทางของรถโดยสารสาธารณะ

การศึกษาครั้งนี้นอกจากจะทำการตรวจวัดปริมาณ $PM_{2.5}$ และตรวจวัดอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะทั้ง 6 ประเภทแล้ว ยังทำการศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินทางของรถโดยสารสาธารณะอีกด้วย โดยได้ทำการซ้อนทับข้อมูลระหว่างข้อมูลปริมาณ $PM_{2.5}$ กับภาพถ่ายทางดาวเทียม ด้วยโปรแกรม Arc Map 10.0 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินทางของรถโดยสารสาธารณะประเภทต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.2 – รูปที่ 4.6

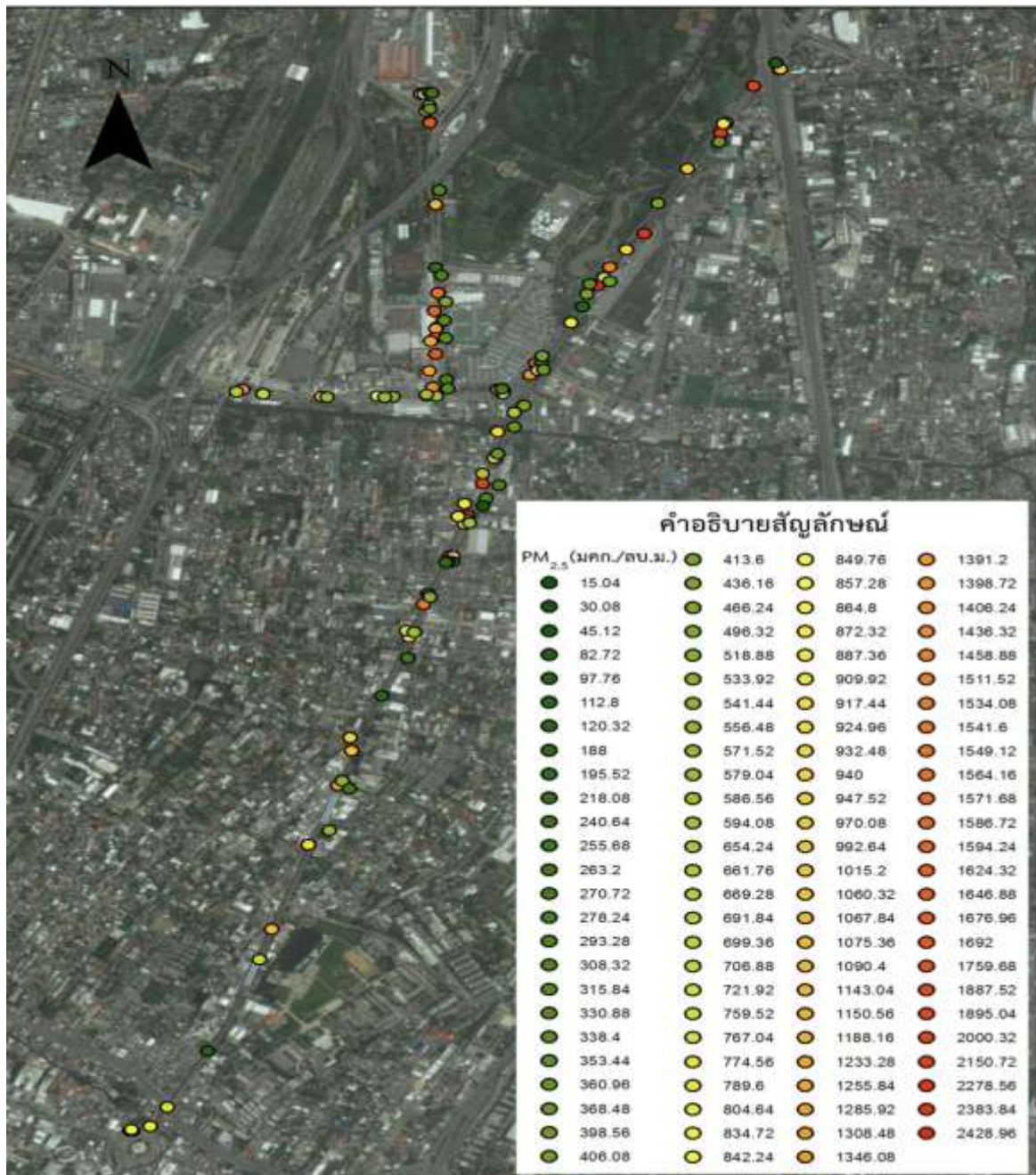
4.5.1 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถตู้สาธารณะ



รูปที่ 4.2 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถตู้สาธารณะ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อรถตู้สาธารณะมีการเคลื่อนตัวช้าลงเป็นผลให้ปริมาณ $PM_{2.5}$ มีปริมาณลดลงด้วย และเมื่อรถตู้สาธารณะเคลื่อนตัวเร็วทำให้ปริมาณ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้น

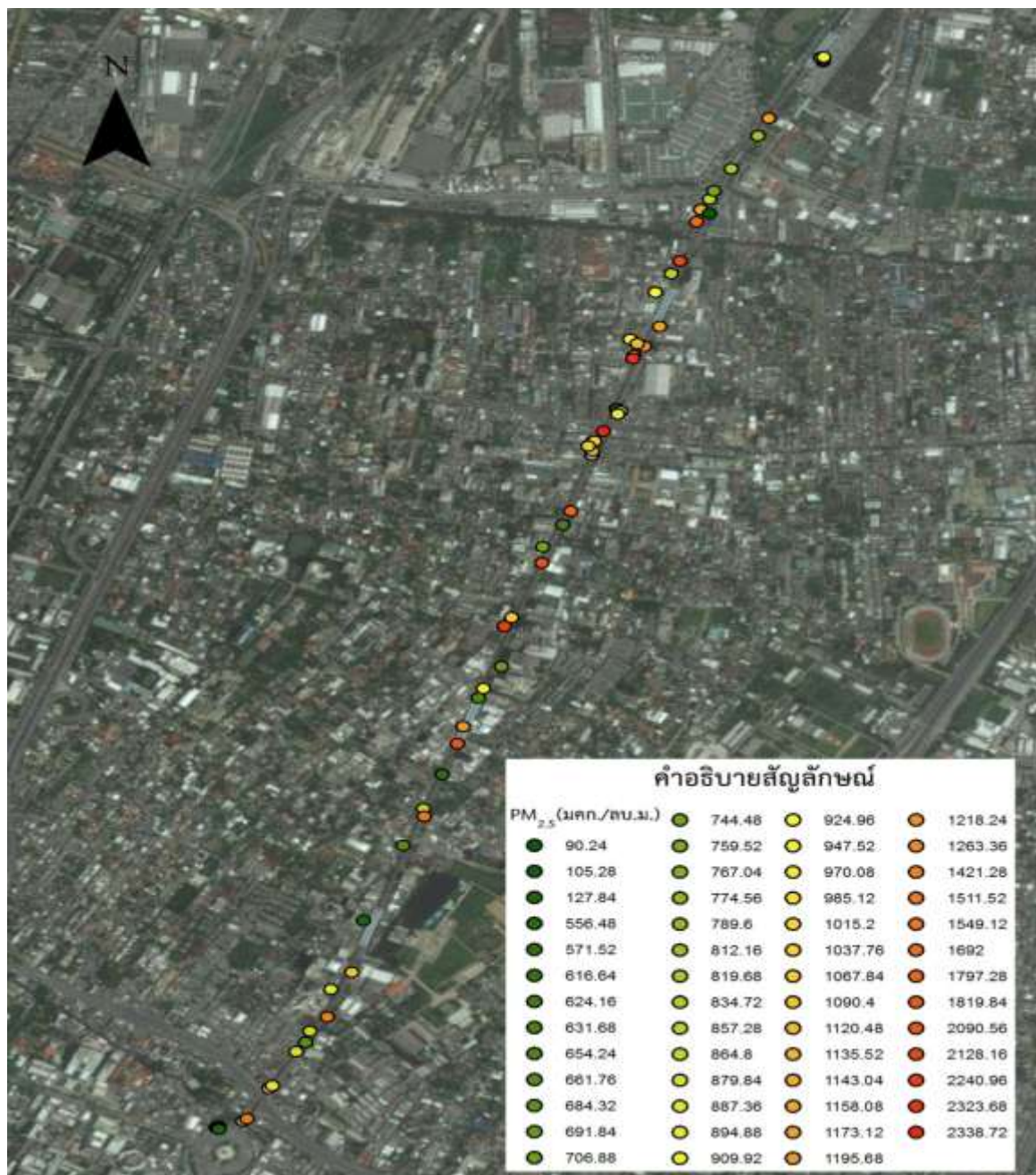
4.5.2 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถประจำทางปรับอากาศ



รูปที่ 4.3 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถประจำทางปรับอากาศ

จากรูปที่ 4.3 พบว่ารถประจำทางปรับอากาศมีปริมาณ $PM_{2.5}$ เพิ่มมากขึ้นบริเวณสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต ซึ่งอาจเกิดจากการจอดรถเพื่อรอรับส่งผู้โดยสารพร้อมกับการสตาร์ทเครื่องยนต์ รวมทั้งมีการเปิดประตูรอผู้โดยสารเป็นเวลานานทำให้ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นมากกว่าบริเวณอื่น ๆ

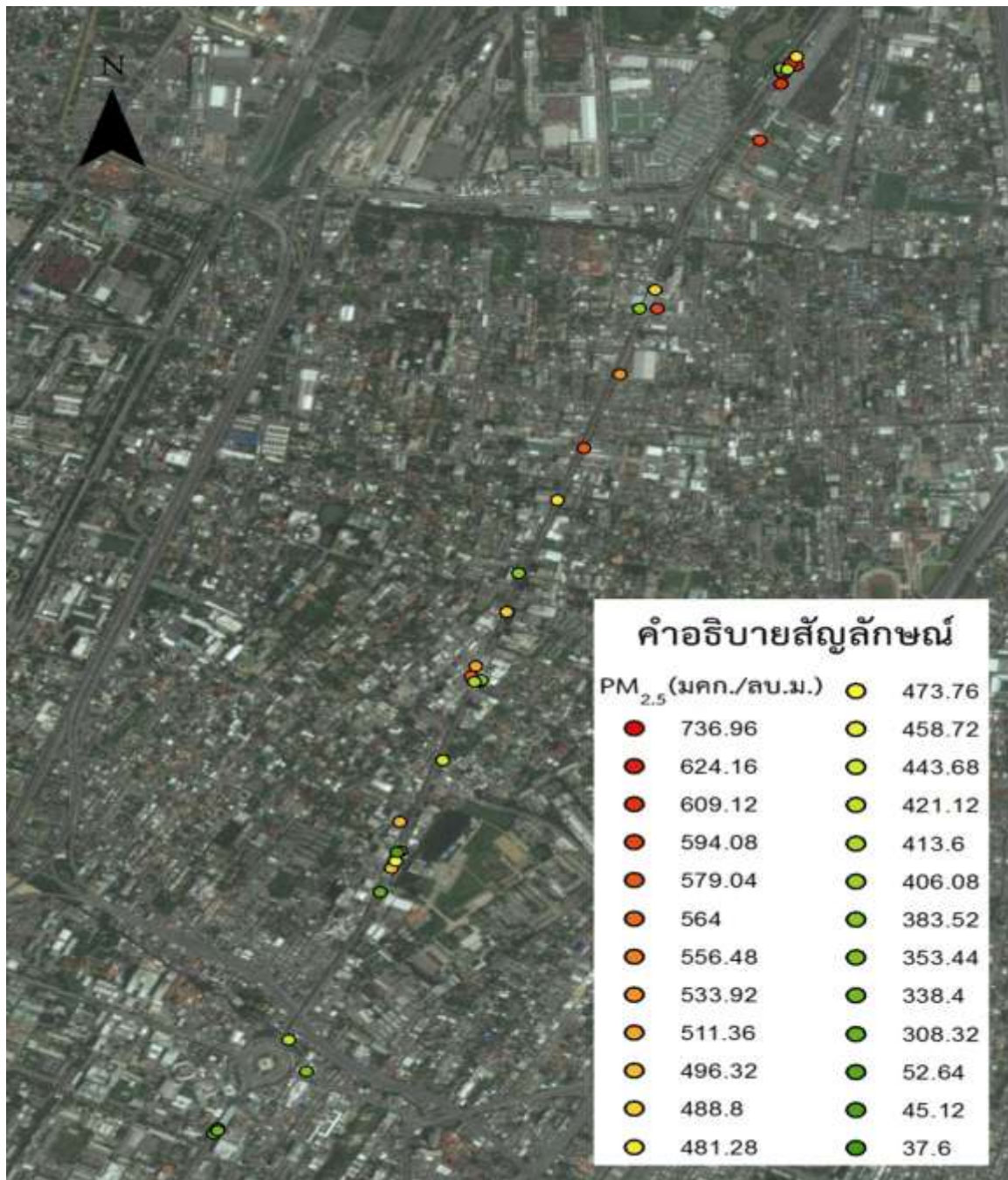
4.5.3 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถมินิบัส



รูปที่ 4.4 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถมินิบัส

รถมินิบัสพบว่าปริมาณ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นเป็นระยะ ๆ อาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากการขึ้นลงระหว่างเส้นทางของผู้โดยสาร

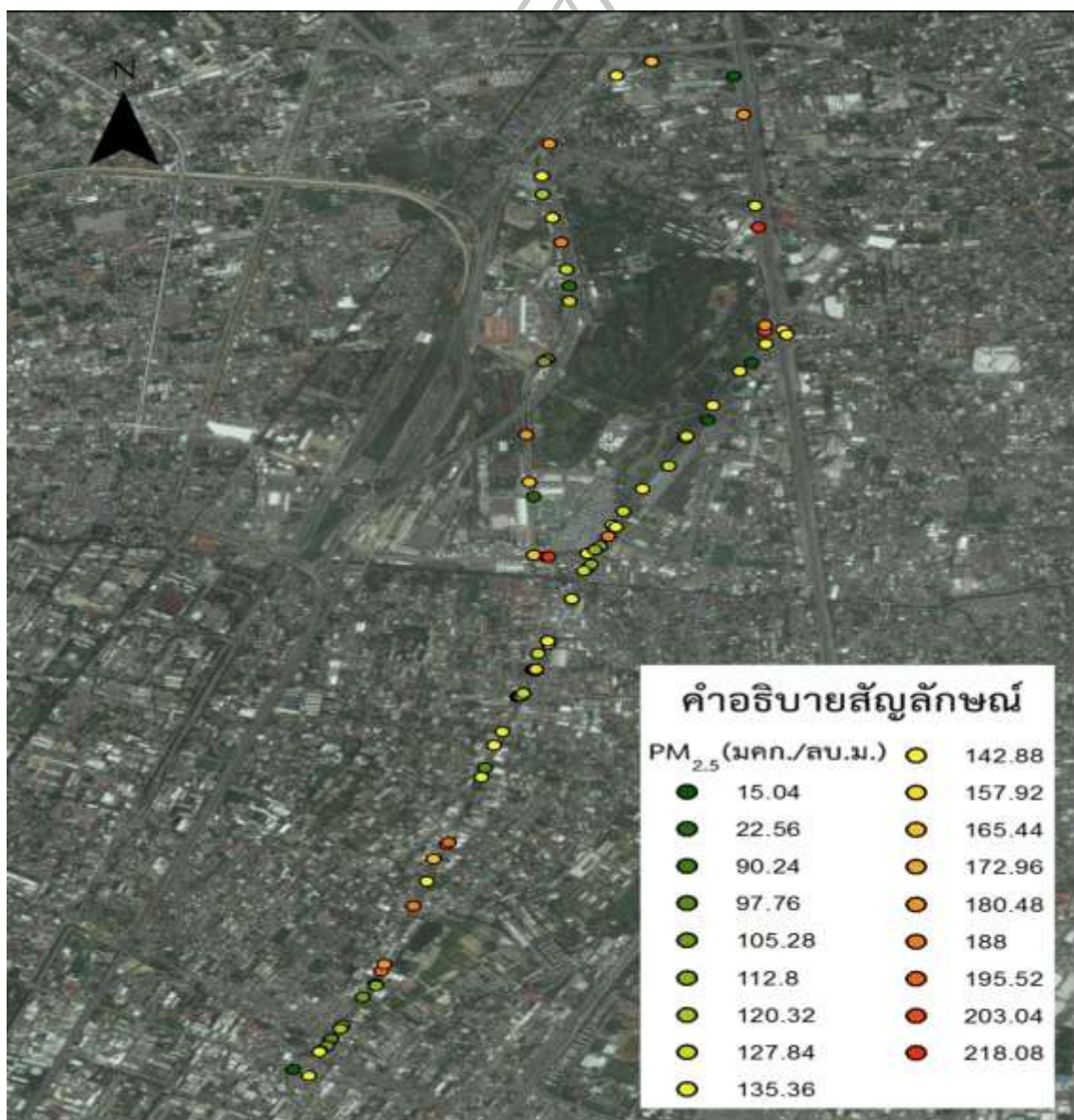
4.5.4 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถไฟฟ้าบีทีเอส



รูปที่ 4.5 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถของรถไฟฟ้าบีทีเอส

จากรูปที่ 4.5 พบว่าในรถไฟฟ้ามหานครที่มีปริมาณ $PM_{2.5}$ ขึ้นลงเป็นช่วง ๆ อาจมีปัจจัยต่าง ๆ เช่น การรับส่งผู้โดยสารระหว่างสถานี ทำให้มีปริมาณ $PM_{2.5}$ ค่อนข้างมากในจุดรับส่งผู้โดยสาร จากพิกัดของพื้นที่พบว่าบริเวณอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิมีปริมาณ $PM_{2.5}$ ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต อาจเป็นเพราะพื้นที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิใช้เวลาจอดน้อยกว่าเนื่องจากเป็นสถานีปลายทาง

4.5.5 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินทางของรถแท็กซี่



รูปที่ 4.6 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินทางของรถแท็กซี่

รถแท็กซี่พบว่ามีปริมาณ $PM_{2.5}$ มีความผันแปรตลอดระยะเวลาการเดินทาง อนึ่ง รถแท็กซี่เป็นรถโดยสารสาธารณะชนิดเดียวที่ไม่มีการเปิดหรือปิดประตูระหว่างที่รถเคลื่อนที่ในทำให้ปริมาณ $PM_{2.5}$ อยู่ในระดับที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรถโดยสารสาธารณะประเภทอื่น ๆ

ซึ่งจากผลการศึกษาของ Zhang and Zhu (2010) พบว่าภายในห้องโดยสารของรถจะมีจำนวนอนุภาคในปริมาณมากหากรถไม่มีการเคลื่อนที่หรือจอดติดบนท้องถนน แตกต่างจากในขณะที่รถเคลื่อนตัวในช่วงการขับขี ซึ่งจะมีจำนวนอนุภาคที่น้อยกว่าทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพการจราจรแตกต่างกัน



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการเปรียบเทียบปริมาณ $PM_{2.5}$ ความสัมพันธ์ระหว่าง $PM_{2.5}$ กับ อัตราเร็ว การประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ โดยใช้แบบสอบถามพฤติกรรมการใช้รถสาธารณะของผู้โดยสารและการศึกษาระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ตามเส้นทางการเดินทางในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ในรถโดยสารสาธารณะทั้งหมด 6 ประเภท ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีและรถแท็กซี่ โดยได้ทำการศึกษาทั้งสิ้น 3 เส้นทาง ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน คือ เส้นทางจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังสถานีขนส่งหมอชิต รถโดยสารสาธารณะที่เก็บตัวอย่างประกอบด้วย รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถแท็กซี่ เส้นทางที่ 2 ได้แก่ เส้นทางจากสถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีสถานีจตุจักรไปยังสถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ทีสถานีห้วยขวาง รถโดยสารสาธารณะที่เก็บตัวอย่างคือ รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที และเส้นทางที่ 3 ได้แก่ เส้นทางจากอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิไปยังท่ารถตู้ (ชั่วคราว) บริเวณตรงข้ามสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต และกลับมายังอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิทางเส้นทางทางด่วนพิเศษศรีรัช รถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษาคือ รถตู้สาธารณะ ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาดังตั้งแต่วันที่ 21 พฤศจิกายน 2557 ถึง วันที่ 3 เมษายน 2558 ระหว่างเวลา 8.00 – 18.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ ของรถสาธารณะ 6 ประเภทในกรุงเทพฯ ได้แก่ รถตู้ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที และรถแท็กซี่ สามารถสรุปได้ว่ารถประจำทางปรับอากาศ มีความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด (2,650 มคก./ลบ.ม.) รองมา คือ รถมินิบัส (1,996 มคก./ลบ.ม.) รถไฟฟ้าบีทีเอส (1,070 มคก./ลบ.ม.) รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (806 มคก./ลบ.ม.) รถตู้สาธารณะ (424 มคก./ลบ.ม.) และรถแท็กซี่ (366 มคก./ลบ.ม.) ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณ $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารสาธารณะประเภทต่าง ๆ พบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ มีความแตกต่างกันในรถแต่ละประเภทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยกเว้นรถตู้สาธารณะ และรถแท็กซี่ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $PM_{2.5}$ กับอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $PM_{2.5}$ กับอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะสามารถสรุปได้ว่ารถตู้สาธารณะ มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.256 ส่วนรถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถแท็กซี่ มีปริมาณ $PM_{2.5}$ กับอัตราเร็วที่สัมพันธ์กันแบบแปรผกผันตามอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.121 0.137 และ 0.163 ตามลำดับ ส่วนในรถประจำทางปรับอากาศพบว่าปริมาณ $PM_{2.5}$ และอัตราเร็วมีความสัมพันธ์กันแบบผกผันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.020

5.1.3 การศึกษาการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะที่ทำการศึกษา

การประเมินการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของผู้โดยสาร มีค่า ADI (Average Daily Intake) ภายในรถโดยสารสาธารณะ 5 ประเภท ได้แก่ รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที นั้น พบว่าในกลุ่มผู้ใหญ่ รถประจำทางปรับอากาศมีการรับสัมผัสมากที่สุด (0.0063 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) รองลงมา คือ รถมินิบัส (0.0034 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) รถตู้ (0.0014 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (0.0011 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) และรถไฟฟ้าบีทีเอส (0.0008 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มเด็กพบว่า รถประจำทางปรับอากาศมีการรับสัมผัสมากที่สุด (0.0149 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) รองลงมา คือ รถไฟฟ้าบีทีเอส (0.0028 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) รถ รถตู้สาธารณะ (0.0026 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) และรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (0.0016 มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน) ตามลำดับ (รถมินิบัสไม่พบกลุ่มผู้โดยสารที่เป็นเด็กขณะทำการสำรวจ)

5.1.4 ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะ

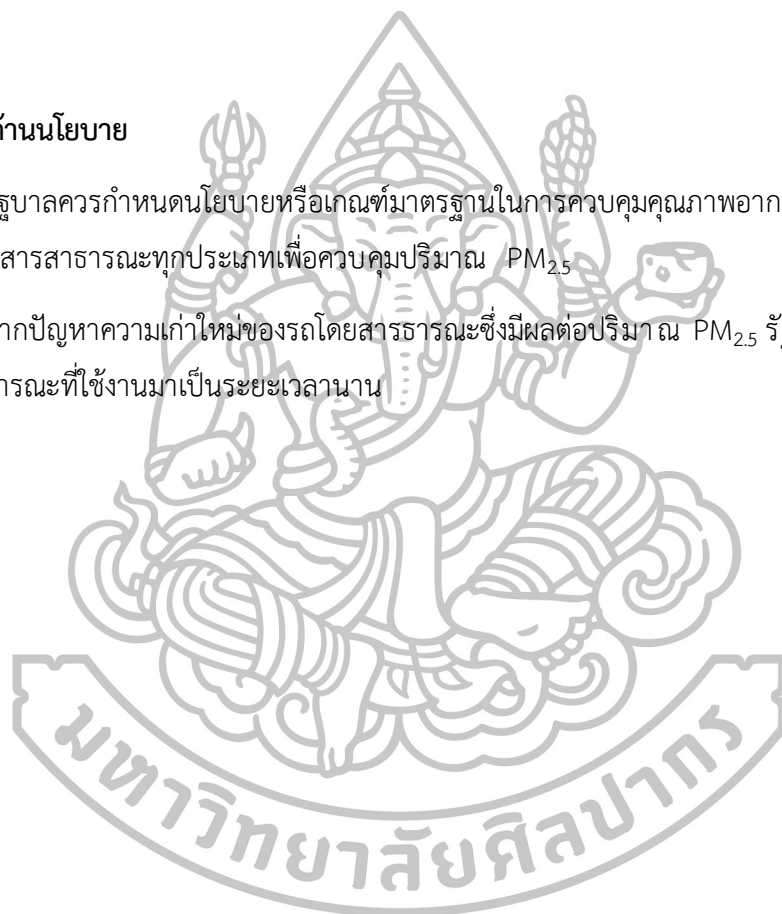
จากการวิเคราะห์ปริมาณ $PM_{2.5}$ กับเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะโดยการซ้อนทับข้อมูลระหว่างค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}$ กับภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ด้วยโปรแกรม Arc Map 10.0 สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณของ $PM_{2.5}$ ของรถโดยสารกับเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะที่แสดงดังภาพที่ 4.2 – ภาพที่ 4.6 นั้น นอกจากการเคลื่อนตัวของรถจะมีผลต่อปริมาณค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}$ แล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น การเปิดหรือปิดประตูระหว่างเส้นทาง และการขึ้นลงระหว่างเส้นทาง เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

- 5.2.1 ควรศึกษาการประเมินความเสี่ยงให้ครบทุกขั้นตอน
- 5.2.2 ควรศึกษาแบบที่เรียและเชื้อรา ภายในรถโดยสารสาธารณะประเภทต่าง ๆ ร่วมด้วย
- 5.2.3 ควรเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ด้วยวิธีการชั่งด้วยน้ำหนักประกอบด้วย
- 5.2.4 ควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ของรถโดยสารสาธารณะร่วมด้วย เช่น การเปิดปิดประตู การเปิดปิดหน้าต่าง ความเก่าใหม่ของรถ เพราะอาจมีผลต่อปริมาณ PM_{2.5} ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะ

5.3 ข้อเสนอแนะด้านนโยบาย

- 5.3.1 รัฐบาลควรกำหนดนโยบายหรือเกณฑ์มาตรฐานในการควบคุมคุณภาพอากาศภายในห้องโดยสารของรถโดยสารสาธารณะทุกประเภทเพื่อควบคุมปริมาณ PM_{2.5}
- 5.3.2 จากปัญหาความเก่าใหม่ของรถโดยสารสาธารณะซึ่งมีผลต่อปริมาณ PM_{2.5} รัฐบาลควรปลดระวางรถโดยสารสาธารณะที่ใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน



รายการอ้างอิง

- กมลชนก พานิชการ. 2559. เอกสารประกอบการสอน การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก. ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- กรมการขนส่งทางบก. 2558. **ข่าวกรมการขนส่งทางบก**. กรุงเทพฯ: 21 มกราคม 2558. หน้า 1.
- กรมการขนส่งทางบก. 2559. **กลุ่มสถิติขนส่ง**. แหล่งที่มา: <http://www.dlt.go.th/th/index.php>, 14 กรกฎาคม 2557.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2540. **รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย 2540 กรมควบคุมมลพิษ**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ม.ค. 40 – ก.พ. 41. 8 หน้า.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2554. **ฝุ่นละออง**. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/air_dust.htm, 14 กรกฎาคม 2557.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2555. **รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย 2555 กรมควบคุมมลพิษ**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ม.ค. 55 – ก.พ. 56. 8 หน้า.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. **ข่าวสารอากาศและเสียง เดือนมิถุนายน ถึง กรกฎาคม 2557**. 16 หน้า.
- กระทรวงคมนาคม. 2558. **แผนยุทธศาสตร์กระทรวงคมนาคม ปี พ.ศ. 2554 – 2558 (ฉบับปรับปรุง)**. 116 หน้า
- กุลธิดา ตระสินธุ์. 2547. **มลพิษอากาศที่บุคคลได้รับจากการเดินทาง และการจราจรในเขตเทศบาลนครราชสีมา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2557. **ฝุ่นละอองในบรรยากาศ**. แหล่งที่มา: http://www.en.mahidol.ac.th/elearning/upload/Dust_Patcharawadee.pdf, 10 กุมภาพันธ์ 2558.
- จรรยา บริวชยาวิสุทธิ. 2552. **การประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน**. ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- ณัฐพล วริกุล. 2558. สมการปรับแก้สำหรับ PM₁₀ PM₄ และ PM_{2.5} ภายในอาคารที่ได้จากวิธีเชิง
น้ำหนักและวิธีกระจายแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- พงศ์เทพ วิวรรณเดช. 2547. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะ
แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นพภาพร พานิชและคณะ. 2547. ตำราระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- บริษัท ทางด่วนและการไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) .2559. เส้นทางการเดินทางรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที.
แหล่งที่มา :<http://www.bangkokmetro.co.th/mrtSearch.aspx?Menu=158&Lang=Th>, 10 มิถุนายน 2559.
- บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด. 2559ก. ประวัติความเป็นมา. แหล่งที่มา :
<http://www.bts.co.th/corporate/th/01-about-history.aspx>, 10 มิถุนายน 2559.
- บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด. 2559ข. เส้นทางให้บริการในปัจจุบัน. แหล่งที่มา :
http://www.bts.co.th/customer/th/02-route-current_new.aspx, 10 มิถุนายน
2559.
- ปรียาภรณ์ เหมวัตร. 2557. ปริมาณและการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองในโรงเรียนใกล้แหล่ง
อุตสาหกรรม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัย
ศิลปากร.
- ปวีณา ทิพย์เสวต. 2546. อิทธิพลของสิ่งก่อสร้างต่อการกระจายตัวของฝุ่นละอองบริเวณใต้สถานี
รถไฟฟ้าระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภาสกรณ กิ่งนขวิญ. 2553. ชีวิตเปื้อนฝุ่น. การจัดการความรู้. แหล่งที่มา :
http://www.academic.hcu.ac.th/forum/board_posts.asp?FID=413&UID, 14
กรกฎาคม 2557.
- มารีชา เพ็ญสุต. 2542. กลไกการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ. แหล่งที่มา :
http://advisor.anamai.moph.go.th/download/Factsheet/FS_Vol4No6.pdf, 10
มิถุนายน 2559.

- รพีพัฒน์ รุ่งวิริยะวงศ์ และ วรวรรณ ตุ่มมงคล. 2557. **ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของสถานการณ์รถติดที่มีผลต่อผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจในกรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วนิดา จินศาสตร์. 2543. **ผลของฝุ่นละอองขนาดเล็ก และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในที่พักอาศัยต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- วนิดา จินศาสตร์. 2551. **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วสันต์ มาพริก, เจษฎา วงษ์มาก, ศุภพร โลหะเวช. 2548. **ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀) จากการก่อสร้างอาคาร**. โครงการปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ศศิธร ร่มพา และ จิรชญา สุขคำ. 2557. **ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ในรถโดยสารสาธารณะ**. โครงการวิจัยปริญญาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร
- สมชัย และคณะ. 2548. **โรคเหตุความเครียด**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์กรุงเทพเวชสาร, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานจราจรและขนส่ง กองการขนส่ง กรุงเทพมหานคร. 2558. **สถิติจราจร 2557**. 171 หน้า.
- สุชาติ เกียรติวัฒนเจริญ. 2555. **มลพิษทางอากาศ. ฝุ่นละอองขนาดเล็ก**. แหล่งที่มา:http://rt-cmu.blogspot.com/2012/07/blog-post_4572.html, 14 กรกฎาคม 2557.
- องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. 2552. **Bangkok. Mass Transit Authority**. แหล่งที่มา: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=892168>, 4 กุมภาพันธ์ 2559.
- องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. 2557. **รายงานประจำปี พ.ศ. 2557** แหล่งที่มา: <http://www.bmta.co.th/sites/default/files/files/download/annual-report-bmta-2557.pdf>, 10 มิถุนายน 2559.
- องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ. 2559. **ประวัติขสมก.** แหล่งที่มา: <http://www.bmta.co.th/?q=th/content/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4-%E0%B8%82%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%81>, 10 มิถุนายน 2559

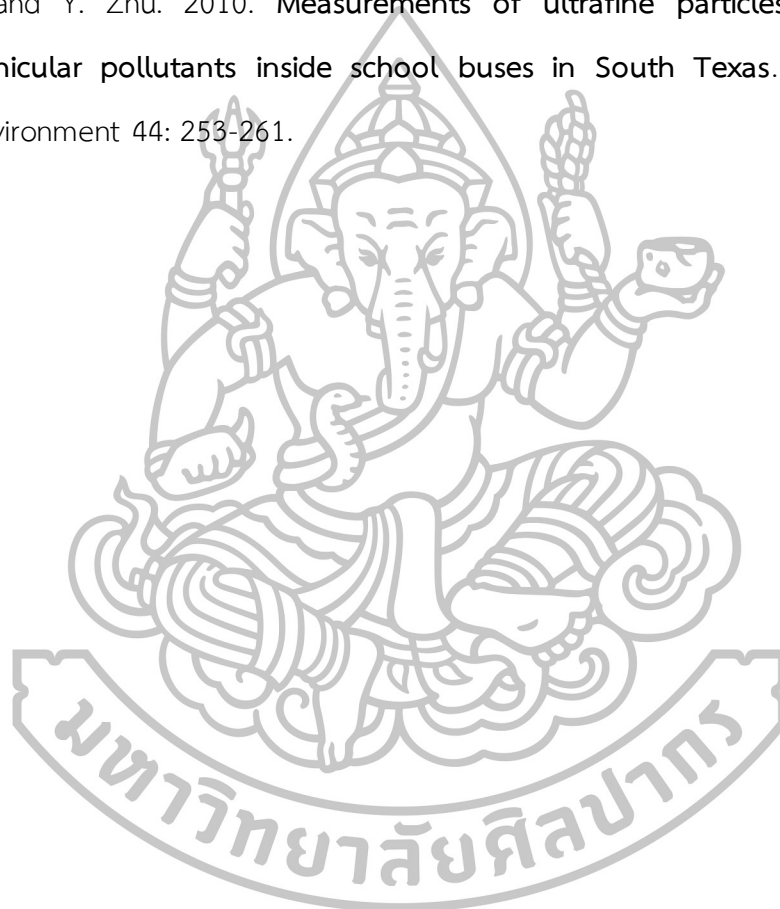
- อเจนต้าแบงคอก. 2556. **แท็กซี่กับคุณภาพการให้บริการ**. แหล่งที่มา: <http://www.siamintelligence.com/taxi-bangkok-problems-agenda-bangkok/>, 10 มิถุนายน 2559
- เอ็มไทย. 2559ก. **ปิดจากรถตู้สาธารณะ คสช. เตรียมยกเลิกรถตู้โดยสารข้ามจังหวัด**. แหล่งที่มา: <http://news.mthai.com/hot-news/general-news/482383.html>, 10 มิถุนายน 2559.
- เอ็มไทย. 2559ข. **รถไฟฟ้าใต้ดิน ปรับค่าโดยสารอัตราใหม่**. แหล่งที่มา: <http://news.mthai.com/hot-news/311357.html>, 10 มิถุนายน 2559.
- Adams H.S., M. Nieuwenhuijsen., R. Colvile., M. McMullen. and P. Khandelwal., 2001. **Fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments**. London. UK. The Science of the Total Environment 279: 29-44.
- Chan L.Y. 2002. **Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong**. M.E. Thesis, The Hong Kong Polytechnic University
- Cheng, Y.H., Y.L., Lin. And C.C. 2012. **Levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in Taipei Rapid Transit System**. Atmospheric Environment 42: 7242-7249.
- Google Earth. (2015). **Google Map**. Available Source: <https://earth.google.com>, June 10, 2016.
- Healthy Car Cabin. 2016. **How to Air Polluted in Car Cabin**. Available Source: http://www.gaftech.com/carcabin/thai/car_air_pollution.htm, June 10, 2016.
- Pfeifer G.D., R. Harrison., and D. Lynam, 1999. **Personal exposure to airborne metals in London taxi driver and office worker in 1995 and 1996**. The Science of the Total Environment 235: 253-260.

- Pornpimol K., T. Anthayanon., W. Yoosook. and C. Onchoi. 2012. **Exposure to Particulate Matter, CO₂, CO, VOCs among Bus Drivers in Bangkok.** J Med Assoc Thai 2012. 95: 169-178.
- Shaowei W., F. Deng., J.Niu., Q. Huang., Y. Liu. and X. Guo. 2011. **Exposures to PM_{2.5} components and heart rate variability in taxi drivers around the Beijing 2008 Olympic Games.** Science of the Total Environment 409: 2478–2485.
- Tasic, V., M. Jovasevic-Stojanovic. S. Vardoulakis. N. Milosevic R Kovacevic. and J. Petrovic, 2012. **Comparative assessment of a real-time particle monitor against the reference gravimetric method for PM₁₀ and PM_{2.5} indoor air.** Atmospheric Environment 54: 358-364.
- TSI. (2015). **Dust Monitors.** Retrieved from <http://www.tsi.com/Dust-Monitors/>. June 10, 2016.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (1989). **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A).** Available Source: http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/pdf/rags-vol1-pta_complete.pdf, June 10, 2016.
- US Environmental Protection Agency. (1991). **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual Supplemental Guidance “Standard Default Exposure Factors” Interim Final.** Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response Toxics Integration Branch U.S., Environmental Protection Agency.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (1999). **Determination of Metals in Ambient Particulate Matter Using Atomic Absorption (AA) Spectroscopy,** Available Source:

<http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/inorganic/mthd-3-2.pdf>, June 10, 2016.

Yegor Korzh Travel Photography. (2009). **Geotagging with i-Blue747A+, BT747, GpicSync**. Available Source: <http://www.yktravelphoto.com/blog/geotagging-with-i-blue747a-bt747-gpiscync/684>, June 10, 2016.

Zhang Q. and Y. Zhu. 2010. **Measurements of ultrafine particles and other vehicular pollutants inside school buses in South Texas**. Atmospheric Environment 44: 253-261.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
รายละเอียดข้อมูลผลการวิเคราะห์

ตารางที่ ก.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณPM_{2.5} ของรถโดยสารแต่ละประเภท

(หน่วย: มคก./ลบ.ม.)

ประเภทรถ	N	\bar{x}	S.D.	S.E	(Min-Max)	95% CI for Mean	
รถตู้สาธารณะ	2,269.00	423.54	324.16	6.81	7.52-2,180.80	410.19	436.88
รถประจำทางปรับอากาศ	4,069.00	2,650.46	2,348.26	36.81	7.52-20,605.00	2,578.29	2,722.64
รถมินิบัส	2,605.00	1,995.73	1,041.68	20.41	172.96-9,626.00	1,955.71	2,035.75
รถไฟฟ้าบีทีเอส	1,048.00	1,070.32	626.44	19.35	15.04-5,926.00	1,032.35	1,108.29
สถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	1,393.00	806.45	645.28	17.29	7.52-12,107.00	772.53	840.36
รถแท็กซี่	1,669.00	366.77	362.08	8.86	7.52-3,752.48	349.39	384.16

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ PM_{2.5} ของรถโดยสารแต่ละประเภท

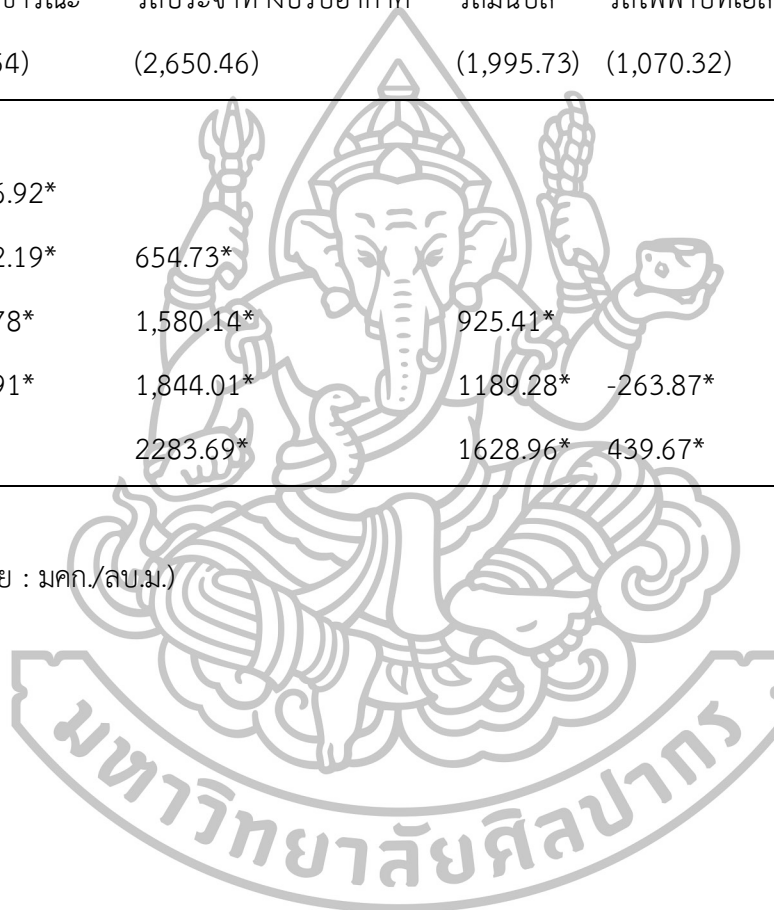
แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
ระหว่างกลุ่มการศึกษา	5.00	11658095775.91	2331619155.18	1139.12	0.000
ภายในกลุ่มการศึกษา	13047.00	26705437074.11	2046864.19		
รวม	13052.00	38363532850.03			

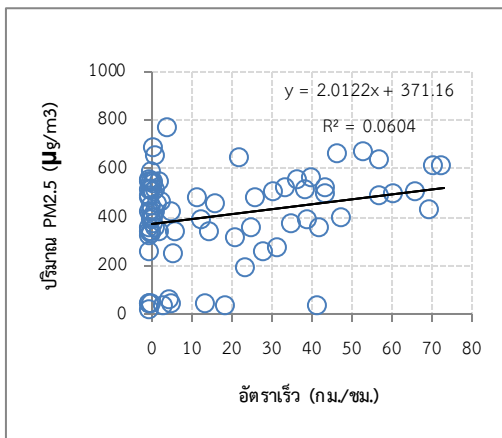
ตารางที่ ก.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ PM_{2.5} ของรถโดยสารแต่ละประเภท

ประเภทรถ	ค่าเฉลี่ย	รถตู้สาธารณะ	รถประจำทางปรับอากาศ	รถมินิบัส	รถไฟฟ้าบีทีเอส	รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	รถแท็กซี่
		(423.54)	(2,650.46)	(1,995.73)	(1,070.32)	(806.45)	(366.78)
รถตู้สาธารณะ	(423.54)						
รถประจำทางปรับอากาศ	(2,650.46)	-2,226.92*					
รถมินิบัส	(1,995.73)	-1,572.19*	654.73*				
รถไฟฟ้าบีทีเอส	(1,070.32)	-646.78*	1,580.14*	925.41*			
สถานีรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที	(806.45)	-382.91*	1,844.01*	1189.28*	-263.87*		
รถแท็กซี่	(366.78)	56.77	2283.69*	1628.96*	439.67*	382.9*	

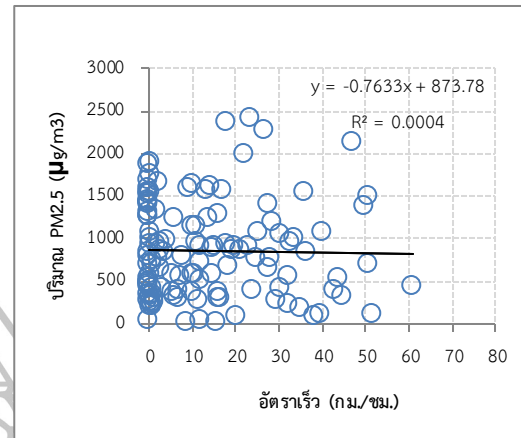
หมายเหตุ: * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเฉลี่ย PM_{2.5} (หน่วย : มคก./ลบ.ม.)

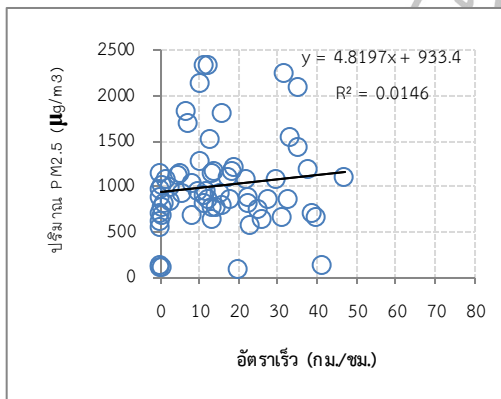




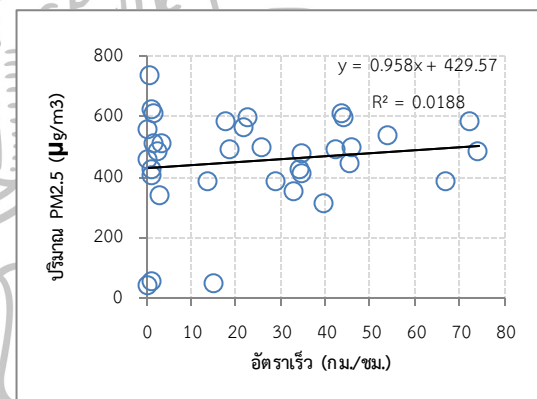
ก.



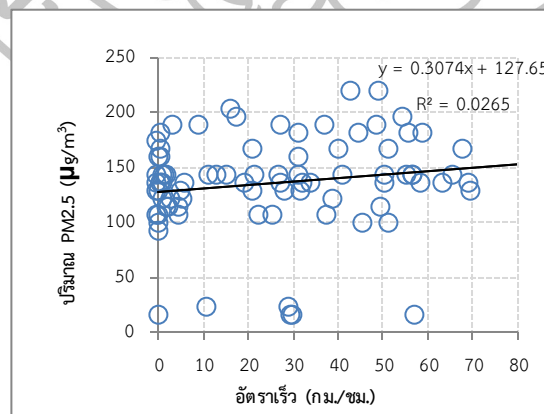
ข.



ค.



ง.



จ.

รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{2.5} กับอัตราเร็วของรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท

ก.รถตู้สาธารณะ ข.รถประจำทางปรับอากาศ ค.รถมินิบัส ง.รถไฟฟ้าบีทีเอส และจ.รถแท็กซี่

ก.5 ตัวอย่างการคำนวณตัวแปรจากสมการการประเมินการได้รับสัมผัส (ADI) $PM_{2.5}$

1. การคำนวณ เวลาในการรับสัมผัส หรือค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการเดินทาง (ET) มีหน่วยเป็น ชม./วัน

จากข้อมูลในแบบสอบถาม ได้สอบถามเวลาในการเดินทางของผู้โดยสารของรถโดยสารสาธารณะแต่ละประเภท โดยอนุมานว่าผู้โดยสารที่ตอบแบบสอบถามใช้บริการรถโดยสารสาธารณะประเภทนั้น ๆ 1 ครั้งในแต่ละวันโดยไม่ใช้รถโดยสารสาธารณะประเภทอื่น ๆ ตัวอย่างการคำนวณเวลาในการรับสัมผัส (exposure Time หรือ ET) แสดงได้คือ ผู้ตอบแบบสอบถามใช้เวลาในการเดินทางด้วยรถประจำทางปรับอากาศ เท่ากับ 28 นาที หรือเท่ากับ $28 \text{ นาที} \times \frac{1 \text{ ชม.}}{60} = 0.47 \text{ นาที}$

ดังนั้นผู้ตอบแบบสอบถามรายนี้มีเวลาในการรับสัมผัสเท่ากับ 0.47 ชม./วัน

2. การคำนวณช่วงเวลาในการได้รับสัมผัส (AT) มีหน่วยเป็นวัน

การคำนวณช่วงเวลาในการได้รับสัมผัส (AT) สามารถคำนวณได้จาก $AT = ED \times 365 \text{ วัน/ปี}$ แสดงตัวอย่างได้คือ ผู้ตอบแบบสอบถามรถโดยสารประจำทางปรับอากาศมีอายุ 37 ปี โดยจากอายุขัยเฉลี่ยของประชากร (ปี) $70 - 37 \text{ (ปี)} \times 365 \text{ วัน} = 12,045 \text{ วัน}$

ดังนั้นช่วงเวลาในการได้รับสัมผัส (AT) เท่ากับ 12045 วัน

3. การคำนวณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยรายวัน (Average Daily Intake หรือ ADI)

จากการสำรวจข้อมูลของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะดังกล่าวคนที่ ข. ได้นำผลการตอบแบบสอบถามคำนวณตามสมการที่ 1 เพื่อประเมินการได้รับสัมผัสเฉลี่ยรายวัน หรือ ADI ตัวอย่างการคำนวณการได้รับสัมผัสแสดงได้ดังนี้

รถประจำทางปรับอากาศมีปริมาณ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 2.650 มก./ลบ.ม. (CA) ผู้โดยสารเป็นผู้ใหญ่มีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.830 ลบ.ม./ชม. มีเวลาในการเดินทาง (ET) 0.47 นาที มีความถี่ในการได้รับสัมผัส (EF) เท่ากับ 204 วัน/ปี มีระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ED) เท่ากับ 33 ปี มีน้ำหนักเท่ากับ 60 กิโลกรัม และมีช่วงเวลาในการได้รับสัมผัสเท่ากับ 12,045 วัน หรือเท่ากับ

$$ADI = \frac{2.650 \times 0.830 \times 0.47 \times 204 \times 33}{60 \times 12,045} = 0.0097 \text{ มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน}$$

ดังนั้นผู้โดยสารรายนี้จะได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศเท่ากับ 9.630 มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน





ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

แบบสอบถาม เรื่อง พฤติกรรมการใช้รถโดยสารสาธารณะ

ของประชาชนในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถามนี้จัดทำเพื่อสำรวจพฤติกรรมของบุคคลซึ่งมีการใช้รถโดยสารสาธารณะในการเดินทางในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ คำตอบจากท่าน จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการนำมาเป็นข้อมูลในการประเมินการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองจากการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะ กรุณาตอบคำถามให้ครบทุกข้อ คำตอบจากท่านจะเป็นความลับ และใช้เฉพาะในการศึกษานี้เท่านั้น

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ที่ตรงกับคำตอบของท่าน และเขียนคำตอบลงในช่องว่างที่เว้นไว้ให้

1. เพศ ชาย

หญิง

2. วัน/เดือน/ปีเกิด...../...../.....

3. น้ำหนักตัว กิโลกรัม

4. ขณะนี้ท่านเดินทางโดยรถโดยสารสาธารณะประเภทใด

รถตู้สาธารณะ ใช้เวลาเดินทาง (นาที/ชั่วโมง)

รถประจำทางปรับอากาศ ใช้เวลาเดินทาง (นาที/ชั่วโมง)

รถมินิบัส ใช้เวลาเดินทาง (นาที/ชั่วโมง)

รถไฟฟ้าบีทีเอส ใช้เวลาเดินทาง (นาที/ชั่วโมง)

รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที (รถไฟฟ้าใต้ดิน) ใช้เวลาเดินทาง (นาที/ชั่วโมง)

รถแท็กซี่ ใช้เวลาเดินทาง (นาที/ชั่วโมง)

5. ความรู้สึกเมื่อท่านโดยสารสาธารณะชนิดนี้ (โปรดระบุ)

ความรู้สึก	ระดับ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
อึดอัด					
หายใจไม่ออก					
แสบตา					
เครียด					
เวียนศีรษะ					



บันทึกข้อความ

ID 0001/2559

ส่วนราชการ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โทร. 24254

ที่ _____ วันที่ ๕ กุมภาพันธ์ 2559

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาของคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

เรียน นางสาว อรุสรา รอดธานี

ตามที่ท่านได้ส่งโครงการวิจัย เรื่อง "ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารของยานพาหนะสาธารณะในกรุงเทพฯ" (เลขที่รับโครงการวิจัย 2-2559) ให้คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พิจารณารับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ นั้น

ในการนี้ คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้พิจารณาโครงการวิจัยของท่านแล้ว ขอแจ้งผลการพิจารณาให้ท่านทราบว่า โครงการวิจัยของท่านเป็นไปตามหลักเกณฑ์และแนวทางของโครงการที่มีลักษณะไม่เข้าข่ายต้องขอรับรองด้านจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จึงไม่ต้องขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(เภสัชกร รองศาสตราจารย์ ดร.ชนะเศรษฐ์ จ้าวหิรัญพัฒน์)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์



MEMORANDUM

ID 0001/2559

ORGANIZATION Faculty of Pharmacy, Silpakorn University Tel 034 - 255800

No.

3

FEBRUARY

2016

SUBJECT Certificate of exemption by board of ethics committee

Dear, MISS ANUSARA RODTHANEE

In accordance with your request concern submitting research project title "QUANTITIES OF PM_{2.5} INSIDE PUBLIC VEHICLES IN BANGKOK" (Project Accepted No 1-2559) that present for approved by BOARD OF ETHICS COMMITTEE FOR HUMAN RESEARCH, FACULTY OF PHARMACY, SILPAKORN UNIVERSITY.

The project addressed about has been submitted for **exemption determination** BY BOARD OF ETHICS COMMITTEE FOR HUMAN RESEARCH, FACULTY OF PHARMACY, SILPAKORN UNIVERSITY.

Forwarded for your information

(ASSOC.PROF.DR.TANASAIT NGAWHIRUNPAT)

CHAIRMAN OF ETHICS COMMITTEE FOR HUMAN RESEARCH

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล นางสาวอนุสราร รอดธานี
 ที่อยู่ 95/60 ซ.เทศบาล 3 ถ.เพชรเกษม ตำบลอ้อมใหญ่ อ.สามพราน จ.
 นครปฐม
 โทรศัพท์ 086-544-7192
 E-mail address: Anusara_su@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
 มหาวิทยาลัยมหิดล
 ปี พ.ศ. 2556 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท
 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
 มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงานและอบรม

ปี พ.ศ. 2554 – 2556 เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป
 สำนักสหกิจศึกษา มหาวิทยาลัยสยาม
 ปี พ.ศ. 2556 – ปัจจุบัน ผู้ช่วยนักวิจัย
 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 ปี พ.ศ. 2559 ผ่านการอบรม ISO 14001
 โดยบริษัท BSI Group (Thailand) Co., Ltd.

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์และเผยแพร่

นำเสนอโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย ระดับ
 บัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 38 ระหว่างวันที่ 19 – 20 กุมภาพันธ์
 พ.ศ. 2559