



# รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การปลดปล่อยฝุ่น  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$   
กับการใช้พลังงานทางเลือก กรณีศึกษาสี่เมืองใหญ่: กรุงเทพมหานคร,  
ปทุมธานี, จักรวรรดิ และโตเกียว

รหัสทฤษฎี: 1230019900

เสนอ

สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

โดย

ศาสตราจารย์ ดร. วนิดา จินศาสตร์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ทฤษฎีและกรอบแนวคิด	3
1.6 ผังดำเนินการวิจัย	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM <sub>10</sub> และ PM <sub>2.5</sub>	5
2.2 พื้นที่ศึกษา	6
2.3 การทบทวนวรรณกรรม	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	17
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	17
บทที่ 4 ผลการศึกษา	19
4.1 กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร ประเทศไทย	21
4.2 กรณีศึกษาโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น	28
4.3 กรณีศึกษาปักกิ่ง ประเทศจีน	30
4.4 กรณีศึกษาจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย	31
4.5 เปรียบเทียบ 4 เมืองใหญ่: กรุงเทพมหานคร, โตเกียว, ปักกิ่ง และจาการ์ตา	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	35
ผลผลิตจากโครงการ	36
เอกสารอ้างอิง	37



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 สถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร กรุงเทพมหานคร	9
ตารางที่ 4.1 แสดงมาตรฐานคุณภาพอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็กในแต่ละประเทศ	21
ตารางที่ 4.2 การบังคับใช้มาตรฐานยูโร (Euro Standard) ในพาหนะแต่ละชนิด	24
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และเชื้อเพลิงในยานพาหนะ	34

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	5
รูปที่ 2.2	6
รูปที่ 2.3	9
รูปที่ 2.4	11
รูปที่ 2.5	13
รูปที่ 2.6	14
รูปที่ 4.1	19
รูปที่ 4.2	20
รูปที่ 4.3	21
รูปที่ 4.4	22
รูปที่ 4.5	23
รูปที่ 4.6	25
รูปที่ 4.7	26
รูปที่ 4.8	27
รูปที่ 4.9	28
รูปที่ 4.10	29
รูปที่ 4.10	29
รูปที่ 4.11	30
รูปที่ 4.12	31
รูปที่ 4.13	32
รูปที่ 4.14	32
รูปที่ 4.15	33



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเมืองใหญ่หลายแห่งมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจในด้านต่างๆ อย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลให้มีการเพิ่มปริมาณการใช้งานในด้านคมนาคมขนส่งในการประกอบกิจกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้น ทำให้มีมลพิษทางอากาศเพิ่มสูงขึ้น เขตเมืองใหญ่หลักที่มีระดับมลพิษทางอากาศสูงหลายแห่ง เช่น ปักกิ่ง โตเกียว จาการ์ตา และกรุงเทพมหานคร จัดเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนที่รับสัมผัสมลพิษทางอากาศจากการจราจร ซึ่งเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เห็นชัดเจนทั้งในเขตชุมชนขนาดใหญ่ และพื้นที่พัฒนาที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จะมีระดับมลพิษทางอากาศหลักเกินค่ามาตรฐาน คุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ([www.aqicn.org/map/world/](http://www.aqicn.org/map/world/)) ซึ่งจะยังคงเป็นปัญหาในอนาคตที่สำคัญนั้น โดยเฉพาะฝุ่นละอองในแหล่งชุมชนที่มีการจราจรคับคั่ง จะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐาน และยังมีส่วนประกอบสารมลพิษอื่น เช่น โลหะหนัก และสารอินทรีย์เคมีที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้ (Jinsart et al., 2012, Thongsanit et al., 2003, Karita et al., 2004) แม้ว่ารัฐบาลแต่ละประเทศได้มีการดำเนินการเพื่อการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ หลายด้าน ทั้งในด้านการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิด มาตรฐานคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น การใช้น้ำมันไร้สารตะกั่ว การตรวจสอบสภาพมลพิษจากยานพาหนะก่อนการต่อทะเบียน และปรับปรุงมาตรฐานมลพิษแล้วก็ตาม แต่ก็สามารถแก้ไขปัญหาได้เพียงแต่ระดับหนึ่งเท่านั้น ([http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_polair.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_polair.html)) การลดมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> ที่แขวนลอยและกระจายตัวในอากาศได้นั้น ทำได้ยากลำบาก (<http://jakartaglobe.beritasatu.com/news/jakartas-air-quality-takes-toxic-turn-worse/>, Wang et al., 2010)

ฉะนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นการวิจัยเกี่ยวกับการปล่อย PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> ที่มีผลจากการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานการปล่อยมลพิษและการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกต่างๆ รวมทั้งวัฏกรรมของยานยนต์ในปัจจุบัน ที่น่าจะมีผลต่อการลดมลพิษได้ โดยเริ่มจากการสร้างองค์ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการปล่อยสารมลพิษ และแหล่งกำเนิดของสารมลพิษ และทำการเปรียบเทียบ มลพิษทางอากาศจากการจราจรในบริเวณเมืองใหญ่ในเอเชีย ที่มีการจราจรติดขัดสี่เมือง ได้แก่ กรุงเทพอโตเกียว จาการ์ตา และ ปักกิ่ง หากความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษ PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> กับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละประเทศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกมาตรการควบคุมการปลดปล่อยสารมลพิษต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการปล่อยมลพิษทางอากาศ PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> กับการใช้พลังงานทางเลือก ในเขตเมืองใหญ่: กรุงเทพมหานคร ปักกิ่ง จาร์กาต้า และ โตเกียว
- 1.2.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยมลพิษทางอากาศ PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> กับการใช้พลังงานทางเลือก
- 1.2.3 จัดทำข้อมูลประมวลผลของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศกับพลังงานที่ใช้

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ปักกิ่ง จาร์กาต้า และ โตเกียว
- ตัวแปร
  - ตัวแปรต้น : ปริมาณรถยนต์ ประเภทน้ำมันเชื้อเพลิง
  - ตัวแปรตาม : มลพิษทางอากาศ PM<sub>10</sub> PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่ศึกษา
  - ตัวแปรควบคุม : ระยะเวลาของข้อมูลที่ศึกษา
- ระยะเวลาวิจัย : 1 ตุลาคม 2560 ถึง 30 กันยายน 2561

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการปล่อยมลพิษทางอากาศ PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> กับการใช้พลังงานทางเลือก ในเขตเมืองใหญ่
- 1.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยมลพิษทางอากาศ PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> กับจำนวนพาหนะและมาตรการป้องกัน
- 1.4.3 ผลงานวิจัยตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการการปล่อยมลพิษทางอากาศ PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> กับการใช้พลังงานทางเลือก

## 1.5 ทฤษฎีและกรอบแนวคิด

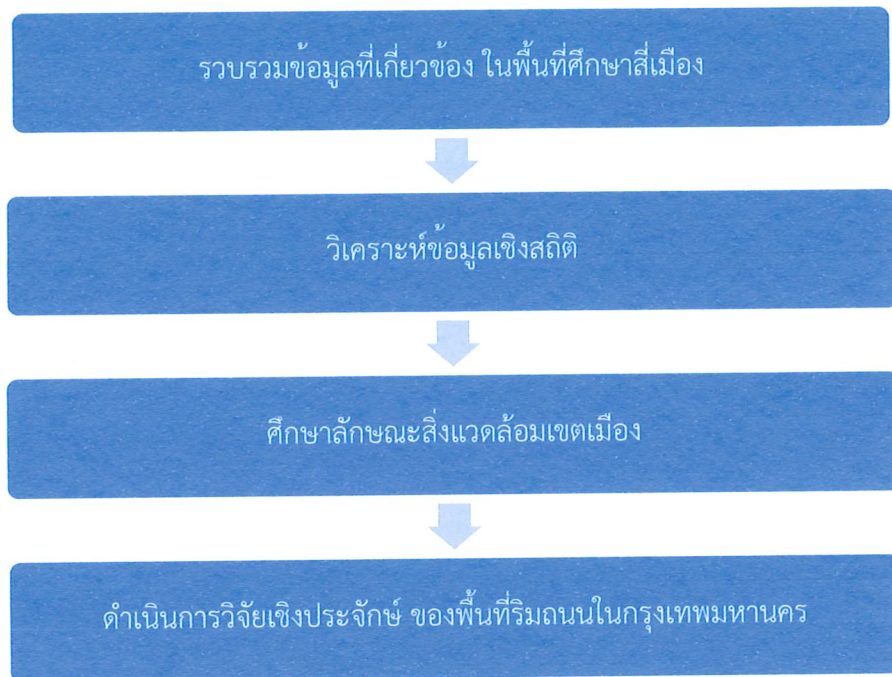
ในปัจจุบันมีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้น พลังงานที่ได้มาจากซากดึกดำบรรพ์เกือบทั้งหมดซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ทั้งยังการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโลกและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอีกด้วย การใช้พลังงานทางเลือก อาจเป็นทางแก้ปัญหามลพิษสู่สิ่งแวดล้อม และจะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ อากาศบริสุทธิ์ประกอบด้วยไนโตรเจน 78.01% ออกซิเจน 20.95% ที่เหลืออีก 0.97%



เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ฮีเลียม (He) อาร์กอน (Ar) คริปตอน (Kr) ซีโนน (Xe) สารอแกนิค และอินอแกนิคต่างๆ ส่วนอากาศเสีย คือ อากาศที่มีสิ่งเจือปนซึ่งรวมไปถึงมลพิษต่างๆ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการคมนาคมขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เมืองใหญ่ๆ เป็นมลพิษจากการคมนาคมซึ่งจะมีความรุนแรงมากกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากในเมืองใหญ่ๆ มักจะมีการคมนาคมอย่างหนาแน่น ทำให้มีการปล่อยสารมลพิษสูง (Jinsart et al., 2012, Hara et al., 2014) การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจะปล่อย CO NO<sub>x</sub> SO<sub>x</sub> PM และ PAHs สารมลพิษเหล่านี้เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกาย อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเป็นพิษเรื้อรังได้ (Thongsanit et al., 2003, Karita et al., 2004)

การปล่อยมลพิษอากาศจากยานพาหนะนั้น ขึ้นกับการทำงานของเครื่องยนต์และระบบการเผาไหม้น้ำมันของเครื่องยนต์ ซึ่งสรุปได้ว่าการเกิดมลพิษจากรถยนต์นั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 แหล่ง ได้แก่ การระเหยของน้ำมัน (Fuel Evaporation Gas) การระบายจากแครนจ์เคส (Crank case) และการระบายออกจากระบบไอเสีย (Exhaust Gas) ซึ่งสารมลพิษอากาศที่ระบายจากระบบไอเสียนี้มีปริมาณมากและมีความอันตรายมากที่สุด มีมาตรฐานการควบคุมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เป็นระบบ EURO สำหรับประเทศไทย รถยนต์ และรถบรรทุกขนาดเล็กใช้ EURO IV รถมอเตอร์ไซด์ และรถบรรทุกขนาดใหญ่ใช้ EURO III การใช้มาตรฐานการปล่อยมลพิษที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ อาจมีผลต่อระดับมลพิษในอากาศ โดยปริมาณการปล่อยสารมลพิษทางอากาศยังขึ้นกับจำนวนและประเภทยานพาหนะอีกด้วย ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องยนต์เป็นสำคัญ เช่น รถที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง กับรถที่ใช้ น้ำมันเบนซิน หรือ แก๊สโซลีนจะมีกระบวนการสันดาบต่างกัน รถที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะมีออกไซด์ของไนโตรเจนและอนุภาคของแข็งหรือควันดำเป็นส่วนใหญ่ แต่อาจมีการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาบ้าง (Bari, 2014; Pala-En, 2011, Yang et al., 2007)

## 1.6 ฟังการดำเนินการวิจัย (Conceptual Framework)





## บทที่ 2

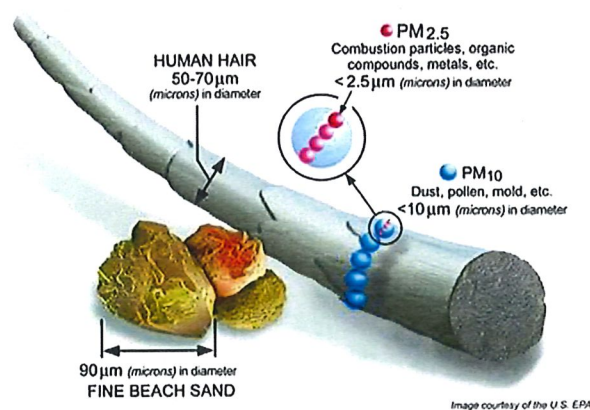
### การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub>

ฝุ่นละอองในบรรยากาศ เป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุดของกรุงเทพมหานคร และเมืองใหญ่ๆ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งทางตรง และทางอ้อม ฝุ่นละอองคือ อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ล่องลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งเกิดจากวัตถุที่ถูกทุบ ตี บด กระแทก จนแตกออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เมื่อถูกกระแสนลมพัดก็จะปลิวกระจายตัวอยู่ในอากาศ และตกลงสู่พื้น ซึ่งเวลาในการตกจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับน้ำหนักของอนุภาคฝุ่น แหล่งกำเนิดของฝุ่นจะแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพิษของฝุ่นด้วย เช่น แอสเบสตอส ตะกั่ว ไฮโดรคาร์บอน กัมมันตรังสี

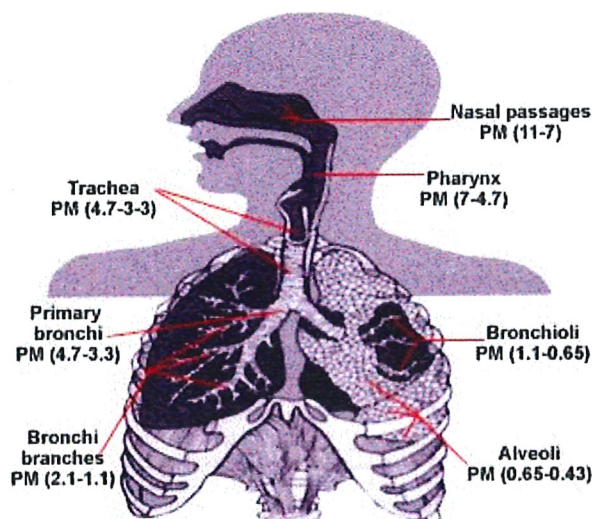
ฝุ่นละอองมีความหลากหลายทางด้านกายภาพและองค์ประกอบ มีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลว ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบตัวเรานั้น มีขนาดเล็กตั้งแต่ 0.002  $\mu\text{m}$  ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500  $\mu\text{m}$  ชื่อเรียกของฝุ่นละอองจะมีความต่างกันไปตามลักษณะการรวมตัว เช่น ควีน (smoke), พูม (fume), หมอกน้ำค้าง (mist) เป็นต้น ฝุ่นละอองสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดินทราย หรือเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ควีนดาที่ปล่อยมาจากท่อไอเสียรถยนต์หรือโรงงานอุตสาหกรรม ฝุ่นที่เข้าไปในระบบทางเดินหายใจนี้ ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ อีกทั้งฝุ่นที่ล่องลอยในบรรยากาศยังรบกวนการมองเห็น โดยฝุ่นละอองแต่ละชนิดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันจึงสามารถแยกประเภทของฝุ่นละอองตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 3 ประเภท คือ 1) ฝุ่นทั้งหมด (Total Suspended Particulate) คือ ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 100  $\mu\text{m}$  ลงไป, 2) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) และ 3) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>)

ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ฝุ่นละอองแต่ละขนาดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผมมนุษย์ (USEPA, 2016)

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า  $10\ \mu\text{m}$  สามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ โดยระบบทางเดินหายใจ แบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนบนตั้งแต่จมูกคอหอยถึงหลอดลมคอ และส่วนล่างตั้งแต่หลอดลม คอส่วนนอก หลอดลมและปอด (รูปที่ 2.2) โดยฝุ่นขนาดเล็กกว่า  $10\ \mu\text{m}$  เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้การแลกเปลี่ยนอากาศ น้อยลง ส่งผลให้การหายใจสั้น และหัวใจทำงานหนักมากขึ้นเพื่อทดแทนปริมาณการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ลดลง ยิ่งผู้ที่มีปัญหาของโรกระบบทางเดินหายใจ เช่น หอบหืด โรคถุงลมโป่งพอง โรคหัวใจ ก็ยิ่งมีผลกระทบมากขึ้น



รูปที่ 2.2 ขนาดของฝุ่นละอองที่สามารถผ่านระบบทางเดินหายใจตามส่วนต่าง ๆ

ที่มา: <http://smoke.magnesium.com/articles>

## 2.2 พื้นที่ศึกษา

### 2.2.1 กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

กรุงเทพมหานคร เป็นเมืองหลวงและนครที่มีประชากรมากที่สุดของประเทศไทย เป็นศูนย์กลางการปกครอง การศึกษา การคมนาคมขนส่ง การเงินการธนาคาร การพาณิชย์ การสื่อสาร และความเจริญของประเทศ เป็นเมืองที่มีชื่อยาวที่สุดในโลก ตั้งอยู่บนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านและแบ่งเมืองออกเป็น 2 ฝั่ง คือ ฝั่งพระนครและฝั่งธนบุรี กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ทั้งหมด 1,568.737 ตร.กม. มีประชากรตามทะเบียนราษฎรกว่า 5 ล้านคน ทำให้กรุงเทพมหานครเป็นเอกนคร (Primate City) จัด มีผู้กล่าวว่า กรุงเทพมหานครเป็น "เอกนครที่สุดในโลก" เพราะมีประชากรมากกว่านครที่มีประชากรมากเป็นอันดับ 2 ถึง 40 เท่า

กรุงเทพมหานครยังเป็นเมืองที่มีตึกระฟ้ามากที่สุดในโลกเป็นอันดับที่ 7 ของโลก มีสถานที่ท่องเที่ยวหลายแห่ง เช่น พระบรมมหาราชวัง พระที่นั่งวิมานเมฆ วัดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีแหล่งจับจ่ายใช้สอยและค้าขายที่สำคัญซึ่งดึงดูดนักท่องเที่ยวต่างชาติมากมาย โดยในปี พ.ศ. 2555 องค์การการท่องเที่ยวโลก (UNWTO) ได้จัด



อันดับกรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีคนเดินทางเข้าเป็นอันดับที่ 10 ของโลกและเป็นอันดับที่ 2 ของเอเชีย โดยมีคนเดินทางมากกว่า 26.5 ล้านคน นอกจากนี้จากการจัดอันดับการใช้จ่ายผ่านบัตรเครดิตมาสเตอร์การ์ด ประจำปี พ.ศ. 2557 กรุงเทพมหานครมีการใช้จ่ายผ่านบัตรเครดิตของนักท่องเที่ยวถึง 16.42 ล้านดอลลาร์ เป็นอันดับที่ 2 ของโลก รองจากกรุงลอนดอน สหราชอาณาจักร เท่านั้น

กรุงเทพมหานครเป็นเขตปกครองพิเศษของประเทศไทย มิได้มีสถานะเป็นจังหวัด คำว่า "กรุงเทพมหานคร" นั้นยังใช้เรียกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นของกรุงเทพมหานครอีกด้วย กรุงเทพมหานครมีการเลือกตั้งผู้บริหารท้องถิ่นโดยตรง แต่ปัจจุบันผู้บริหารกรุงเทพมหานครมาจากการแต่งตั้ง

### อาณาเขตติดต่อ

กรุงเทพมหานครมีอาณาเขตทางบกติดต่อกับจังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดนครปฐม จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดสมุทรปราการ ส่วนอาณาเขตทางทะเลอ่าวไทยตอนใน ติดต่อกับจังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดชลบุรี โดยมีรายละเอียดดังนี้

ทิศเหนือ มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดนนทบุรีและจังหวัดปทุมธานี

ทิศตะวันออก มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดฉะเชิงเทรา

ทิศใต้ มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดสมุทรปราการและอ่าวไทย (ส่วนที่เป็นอ่าวไทยที่เป็นพื้นดินเดิมของจังหวัดธนบุรี ปัจจุบันคือเขตบางขุนเทียน ซึ่งมีอาณาเขตทางทะเลติดต่อกับอ่าวไทยกับจังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดชลบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ จุดที่อยู่ใต้สุดอยู่ที่ละติจูด 13 องศา 13 ลิปดา 00 ฟลิปดาเหนือ, ลองจิจูด 100 องศา 27 ลิปดา 30 ฟลิปดาตะวันออก ซึ่งเป็นการแบ่งตามพระราชบัญญัติกำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนใน พ.ศ. 2502)

ทิศตะวันตก มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดสมุทรสาครและจังหวัดนครปฐม

### ภูมิประเทศ

กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ 1,568.7 ตร.กม. เป็นจังหวัด (โดยอนุโลม) ที่ใหญ่เป็นอันดับที่ 68 ของไทย เป็นเมืองที่กว้างที่สุดของโลก[31] เป็นเมืองที่ใหญ่เป็นอันดับที่ 73 ของโลก[32] และเป็นเมืองหลวงที่มีพื้นที่กว้างเป็นอันดับ 4 ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้[33] ด้วยมีแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งทอดตัวยาว 372 กม. พาดผ่านพื้นที่ ทำให้กรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียงเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่อุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การเพาะปลูก พื้นที่ส่วนมากในกรุงเทพมหานครเป็นที่ราบลุ่มตั้งอยู่บนพื้นที่บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำซึ่งเกิดจากตะกอนน้ำพา มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.50-2 ม. โดยมีความลาดเอียงจากทิศเหนือสู่อ่าวไทยทางทิศใต้ และเฉพะาลุ่มน้ำ

เจ้าพระยาตอนล่างจะอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1.50 เมตร ทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมบ่อยครั้งในช่วงฤดูมรสุม

### ภูมิอากาศ

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในเขตร้อน มีภูมิอากาศร้อนแบบทุ่งหญ้าสะวันนา (Aw) ตามเกณฑ์การแบ่งภูมิอากาศโลกของเวลาดีมีร์ เคิปเป็น คืออุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส มีอย่างน้อย 1 เดือนที่ปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 60 มิลลิเมตร

อากาศของกรุงเทพมหานครได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กลางเดือนพฤษภาคม - เดือนตุลาคม) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายน - กลางเดือนกุมภาพันธ์) ทำให้มีฝนตกในช่วงบ่ายถึงค่ำอย่างสม่ำเสมอ และยังก่อให้เกิดร่องมรสุมพาดผ่านในเดือนพฤษภาคมกับเดือนกันยายนซึ่งทำให้มีฝนตกหนักกว่าปกติ แต่ในช่วงเดือนมิถุนายน - เดือนกรกฎาคม ร่องมรสุมนี้จะเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านทางเหนือทำให้ฝนตกน้อยลง เดือนพฤศจิกายน เมื่อซีกโลกเหนือหันออกจากดวงอาทิตย์ หย่อมความกดอากาศสูงจากจีนจะแผ่ลงมา มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดเอาความแห้งแล้งและหนาวเย็นมาทำให้อากาศเย็นและแห้ง ท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆและฝนตกน้อย ครึ่งหลังของเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะอ่อนกำลังลง เป็นการเปลี่ยนเข้าสู่ฤดูร้อน อากาศจะร้อนขึ้นเรื่อย ๆ กระแสลมในช่วงนี้จะพัดมาจากทางใต้หรือตะวันออกเฉียงใต้ เรียกว่าลมตะเภา

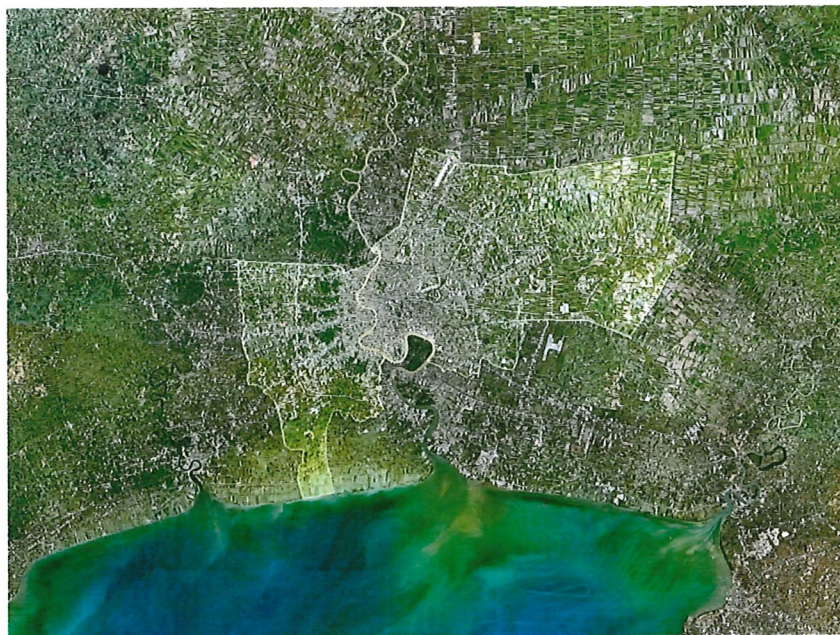
ในวันที่ 27 หรือ 28 เมษายน ของทุกปี ดวงอาทิตย์จะส่องตั้งฉากกับกรุงเทพมหานครพอดี ทำให้ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่และมักคาดการณ์กันว่าเป็นวันที่อากาศร้อนที่สุดของปี อุณหภูมิสูงสุดที่เคยบันทึกได้คือ 40.8 องศาเซลเซียส ที่ท่าอากาศยานดอนเมือง เมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2526 ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดที่เคยวัดได้คือ 9.9 องศาเซลเซียส ที่ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ เมื่อวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2498

### ด้านประชากร

จาก สถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร กรุงเทพมหานคร พบว่า ปี พ.ศ. 2554 กรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีประชากรหนาแน่นอันดับที่ 13 ของโลกทั้งนี้ เนื่องจากประชากรในกรุงเทพมหานครนั้นมีทั้งที่เป็นแรงงานข้ามชาติ ประชาชนจากต่างจังหวัด ซึ่งไม่ได้ขึ้นทะเบียนราษฎรที่กรุงเทพมหานครจำนวนมาก

ตารางที่ 2.1 สถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร กรุงเทพมหานคร

ปี (พ.ศ.)	ประชากร	ปี (พ.ศ.)	ประชากร
2551	5,710,883	2556	5,686,252
2552	5,702,595	2557	5,692,284
2553	5,701,394	2558	5,696,409
2554	5,674,843	2559	5,686,646
2555	5,673,560	2560	5,682,415



รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายดาวเทียมของกรุงเทพมหานคร

### 2.2.2 โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

โตเกียว หรือชื่ออย่างเป็นทางการว่ามหานครโตเกียว (Tokyo Metropolis) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งคือเอโดะ เป็นเมืองหลวงของประเทศญี่ปุ่น มีระบบการปกครองแบบพิเศษซึ่งรวมการปกครองในรูปแบบจังหวัดและเมืองไว้ด้วยกัน ทั้งนี้ เขตมหานครโตเกียวจัดว่าเป็นเขตเมืองที่ใหญ่ที่สุดในโลก โดยรวมเขตปริมณฑลแล้วมีประชากรอาศัยอยู่ราว 35,237,000 คน เฉพาะในตัวเมืองโตเกียว 23 แขวงการปกครองพิเศษ มีประชากรในเขตเมืองประมาณ 12 ล้านคน ถือเป็นเมืองที่มีประชากรมากที่สุดในโลกเมืองหนึ่ง ประชากรทั้งหมดของโตเกียวมีทั้งหมดกว่า 35 ล้านคน โตเกียวตั้งอยู่บริเวณภูมิภาคคันโตของญี่ปุ่น คำว่า "โตเกียว" หมายถึง "นครหลวงตะวันออก" ในโตเกียวยังเป็นที่ตั้งของพระราชวังหลวงของสมเด็จพระจักรพรรดิ

## ภูมิศาสตร์

กรุงโตเกียวตั้งอยู่ในที่ราบคันโตติดกับอ่าวโตเกียว มีขนาดประมาณ 90 กม. จากตะวันออกไปถึง ตะวันตก และ 25 กม. จากเหนือถึงใต้ ทิศตะวันออกติดกับจังหวัดชิบะ ทิศตะวันตกติดกับจังหวัดยามานาชิ ทิศใต้ติดกับจังหวัดคานางาวะ และทิศเหนือติดกับจังหวัดไซตามะ เขตการปกครองของโตเกียวนั้นรวมไปถึงหมู่ เกาะอิซุและหมู่เกาะโองาซาวาระด้วย จึงทำให้โตเกียวมีจุดที่อยู่ใต้สุดและตะวันออสุดของญี่ปุ่นอยู่ในพื้นที่ ด้วย

ทางตะวันออกของโตเกียวเป็นที่ราบตะกอนน้ำพาเช่นบริเวณปากแม่น้ำซูมิตะและแม่น้ำเอโดะ พื้นดิน ค่อนข้างอ่อนจึงทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดิน อ่าวโตเกียวถูกถมที่เพื่อสร้างพื้นที่ใช้สอยตั้งแต่ยุคเอโดะ และ เริ่มมีการถมที่เพื่อสร้างสถานที่กำจัดขยะตั้งแต่ปี 1927 ปัจจุบันพื้นที่ประมาณร้อยละ 20 ของอ่าวโตเกียว กลายเป็นพื้นที่ที่ถูกถม ในแขวงนิชิตามะทางตะวันตกเป็นที่สูง โดยมีเขาคูโมโตรีซึ่งมีความสูง 2,017 ม. เป็นจุดที่ สูงที่สุดในโตเกียว โตเกียวตั้งอยู่บนรอยเลื่อนที่มีพลังซึ่งอยู่ใกล้ผิวโลกมาก จึงมีการคาดการณ์ว่าอาจจะเกิด แผ่นดินไหวรุนแรงขึ้น

ทั้งหมู่เกาะอิซุและโองาซาวาระเป็นหมู่เกาะภูเขาไฟ หมู่เกาะอิซุมีภูเขาไฟที่ยังมีพลังอยู่จำนวนมาก เช่นภูเขาไฟโอยามะบนเกาะมียาเกะที่ระเบิดในปี 2000 ส่วนหมู่เกาะโองาซาวาระนั้นอยู่ห่างจากแผ่นดินใหญ่ มากและมีสัตว์ท้องถิ่นหลายชนิด จนบางครั้งถูกเรียกว่าหมู่เกาะกาลาปาโกสแห่งตะวันออก

ตามการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิเปิน โตเกียวยู่ในเขตภูมิอากาศชุ่มชื้นกึ่งเขตร้อน (Cfa) และตาม การแบ่งเขตภูมิอากาศในประเทศญี่ปุ่น โตเกียวยู่ในเขตภูมิอากาศชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งมีลักษณะเด่น คือมีความแตกต่างระหว่างฤดูชัดเจน อากาศเปลี่ยนแปลงง่ายในแต่ละวัน ฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงและฝนตกมาก ฤดูหนาวมีวันที่แดดออกและอากาศแห้ง

โตเกียวเป็นตัวอย่างของปรากฏการณ์เกาะความร้อน ซึ่งเป็นผลจากการปล่อยความร้อนโดยวิธีต่าง ๆ เช่นไอร้อนจากเครื่องปรับอากาศหรือรถยนต์ และการพัฒนาตัวเมืองทำให้มีพื้นที่สีเขียวน้อยลง

## ประชากร

โตเกียวมีประชากรทั้งหมดประมาณ 12.79 ล้านคนในเดือนตุลาคม 2007 ซึ่งในจำนวนนั้น 8.65 ล้าน คนอาศัยอยู่บริเวณ 23 แขวงการปกครองพิเศษในโตเกียว ในเวลากลางวันมีประชากรเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2.5 ล้านคนเนื่องจากมีประชากรจากเมืองใกล้เคียงเดินทางเข้ามาเพื่อทำงานหรือศึกษาเล่าเรียน[33] ปรากฏการณ์ นี้จะเป็นได้ชัดในแขวงชิโยดะ แขวงชูโอ และแขวงมินาโตะ ซึ่งมีประชากรมากกว่า 2 ล้านคนในเวลากลางวัน แต่น้อยกว่า 3 แสนคนในเวลากลางคืน





รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายดาวเทียมของกรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

### 2.2.3 ปักกิ่ง ประเทศจีน

ปักกิ่ง หรือ เป่ย์จิง เป็นเมืองหลวงของประเทศจีน มีพื้นที่ประมาณ 16,800 ตารางกิโลเมตรมีประชากรอาศัยอยู่ 13 ล้านคน เฉพาะย่านใจกลางเมืองมีประชากรอยู่ราว 8 ล้านคนด้วยความที่เป็นศูนย์กลางการปกครองมากกว่า 600 ปีทำให้ภายในกรุงปักกิ่งมีมรดกทางวัฒนธรรมจากราชวงศ์ต่างๆอยู่มากมาย ทั้งกำแพงเมืองจีนที่เป็นสุดยอดสิ่งมหัศจรรย์ของโลกตลอดกาล พระราชวังต้องห้ามที่แสนอลังการ มีอุทยานซึ่งเคยเป็นที่เสด็จพักผ่อนของราชวงศ์อยู่ทั่วไป รวมทั้งสุสานของจักรพรรดิในราชวงศ์ต่างๆ ที่ได้กลายมาเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่พลาดไม่ได้ในการไปเยือนปักกิ่ง

ปักกิ่งเป็นหนึ่งในเมืองเพียงไม่กี่แห่งของจีนที่ได้ติดต่อกับโลกภายนอก โดยเป็นที่ตั้งของสถานทูตต่างชาติมาตั้งแต่ครั้งอดีต และในทศวรรษหลังนี้ ปักกิ่งก็ได้ต้อนรับนักการทูต นักปราชญ์ ผู้เชี่ยวชาญ ศิลปิน นักธุรกิจ และนักท่องเที่ยวต่างชาติมากกว่าเมืองใดในประเทศจีน ปัจจุบันมีชาวปักกิ่งกว่า 100,000 คนที่เกิดในต่างประเทศ และส่วนใหญ่เป็นลูกจ้างของบริษัทต่างชาติ นอกจากนี้ ปักกิ่งยังเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยชั้นนำ หน่วยงานรัฐบาล และออฟฟิศบริษัทต่างชาติอีกมากมาย ยิ่งนานวัน ปักกิ่งก็ยิ่งมีความเป็นสากลเพิ่มมากขึ้น

ผังเมืองของกรุงปักกิ่งที่ถูกวางให้เป็นตารางสี่เหลี่ยม มาตั้งแต่แรกสร้างในสมัยราชวงศ์หมิงถนนหนทางจึงทอดตรงยาวเหยียดจากเหนือลงใต้ และจากตะวันออกไปตะวันตก ศูนย์กลางเมืองอยู่ที่พระราชวัง

ต้องห้ามและจัดรั้วสเทียอันเหมิน ปัจจุบันตัวเมืองขยายออกไปมาก จนเกิดถนนวงแหวนซ้อนกันถึง 5 ชั้น แต่กระนั้นการจราจรก็มีการติดขัดเป็นปกติบนถนนสายหลักด้วยจำนวนรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับประชาชนส่วนหนึ่งยังใช้จักรยานในการสัญจรไปมา แต่วินัยการจราจรยังมีไม่มากนัก

ปักกิ่งมีภาษาและอาหารในรูปแบบที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว นักท่องเที่ยวที่เกาะติดอยู่กับโรงแรม รถของบริษััทัวร์ มัคคุเทศก์ ร้านค้าและร้านอาหารใหญ่ๆมักจะไม่ประสบปัญหาในเรื่องภาษาสักเท่าไรแต่หากพ้นขอบเขตนี้ออกไป คุณจะได้เห็นแต่ป้ายไต้ยีนแต่เสียงที่เป็นภาษาจีนเท่านั้น ประเทศจีนมีภาษาถิ่นหลากหลายแตกต่างกันไปในแต่ละท้องที่ ชาวปักกิ่งพูดภาษาถิ่นที่ใกล้เคียงกับภาษาผู้ทงฮั่ว (แมนดาริน) ที่ทางการกำหนดให้ใช้เป็นภาษาราชการ

### ภูมิประเทศ

กรุงปักกิ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศจีน เป็นศูนย์กลางทั้งด้านการปกครอง เศรษฐกิจ การคมนาคม และวัฒนธรรมของประเทศ มีที่ตั้งอยู่ระหว่าง 116 20' ลองจิจูดตะวันออก และ 39 56' แลตติจูดเหนือ ทิศตะวันออกติดกับเมืองเทียนจิน และทิศอื่นๆ ติดกับมณฑลเหอเป่ย์ โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 16,410.54 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เป็นที่ราบมีเนื้อที่ 6,338 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 38.6 ของพื้นที่ทั้งปักกิ่ง และพื้นที่ที่เป็นภูเขาเนื้อที่ 10,072 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 61.4 ของพื้นที่ทั้งปักกิ่ง ลักษณะภูมิประเทศของปักกิ่ง ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแนวภูเขา ทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นพื้นที่ราบลาดตัวลงสู่ทะเลป้อไห่

พื้นที่ ราบในปักกิ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 20 - 60 เมตร ส่วนพื้นที่ที่เป็นภูเขามีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,000 - 1,500 เมตร โดยยอดเขาที่สูงที่สุดคือยอดเขาตงหลิงติดกับมณฑลเหอเป่ย์ ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 2,303 เมตร แม่น้ำสายหลักของกรุงปักกิ่ง ได้แก่ แม่น้ำเฉาไป แม่น้ำเป่ย์หยุนซึ่งอยู่ด้านตะวันออก และแม่น้ำหย่งตั้ง แม่น้ำจวีหมาซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตก

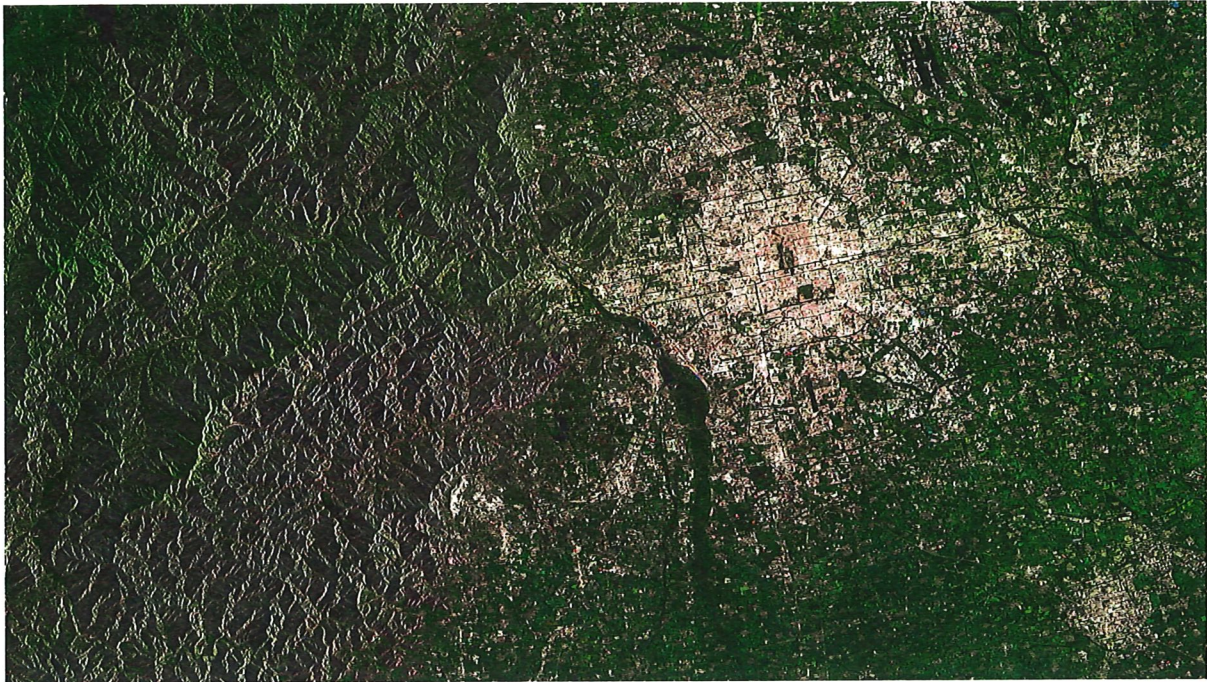
กรุงปักกิ่งประกอบด้วย 16 เขต 2 อำเภอ ได้แก่ เขตตงเฉิง เขตซีเฉิง เขตชวณอู่ เขตฝางชาน เขตฉงเหวิน เขตไห่เตี้ยน เขตเฉาหยาง เขตเฟิงไถ เขตเหมินโถวโถว เขตสี่จิ่งชาน เขตทงโจว เขตซุ่นอี้ เขตซางฝิง เขตต้าซิ่ง เขตฮวายโหลว เขตฝิงกู่ อำเภอหมี่หยุน และอำเภอเหยียนชิ่ง

### ภูมิอากาศ

กรุงปักกิ่งมีลักษณะอากาศอบอุ่นกึ่งชุ่มชื้น แบ่งเป็น 4 ฤดู ฤดูใบไม้ผลิ และใบไม้ร่วงมีระยะเวลาสั้นมาก ฤดูร้อนอากาศร้อนจัด และมีฝนมาก ขณะที่ฤดูหนาวอากาศแห้งและหนาวจัด อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 10 - 12 องศาเซลเซียส เดือนมกราคมอุณหภูมิเฉลี่ย -7 ถึง-4 องศาเซลเซียส เดือนกรกฎาคมอุณหภูมิเฉลี่ย 25 - 26



องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 600 มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำฝนในฤดูร้อนคิดเป็นร้อยละ 75 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี และในช่วงเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมจะเป็นช่วงที่มีฝนตกชุก



รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายดาวเทียมของกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน

#### 2.2.4 จาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย

เมืองจาการ์ตา (Jakarta) เป็นเมืองหลวงของประเทศอินโดนีเซีย และเป็นเมืองที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่บนเกาะชวาฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือ ในอดีตมีชื่อว่า บาดาเวีย หรือ ปัตตาเวีย (Batavia) และเป็นศูนย์กลางของหน่วยงานราชการต่าง ๆ ในการบริหารประเทศอินโดนีเซีย นอกจากนี้จาการ์ตายังเป็นเมืองที่มีพื้นที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ถึง 7,639 ตารางกิโลเมตร โดยแบ่งเป็นพื้นที่ดินประมาณ 666 ตารางกิโลเมตร และพื้นน้ำ 6,973 ตารางกิโลเมตร

เมืองจาการ์ตา มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

- ทิศเหนือ ติดต่อกับ West Java Province
- ทิศใต้ ติดต่อกับ Banten Province
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับ Java Sea
- ทิศตะวันตก ติดต่อกับ Depok City

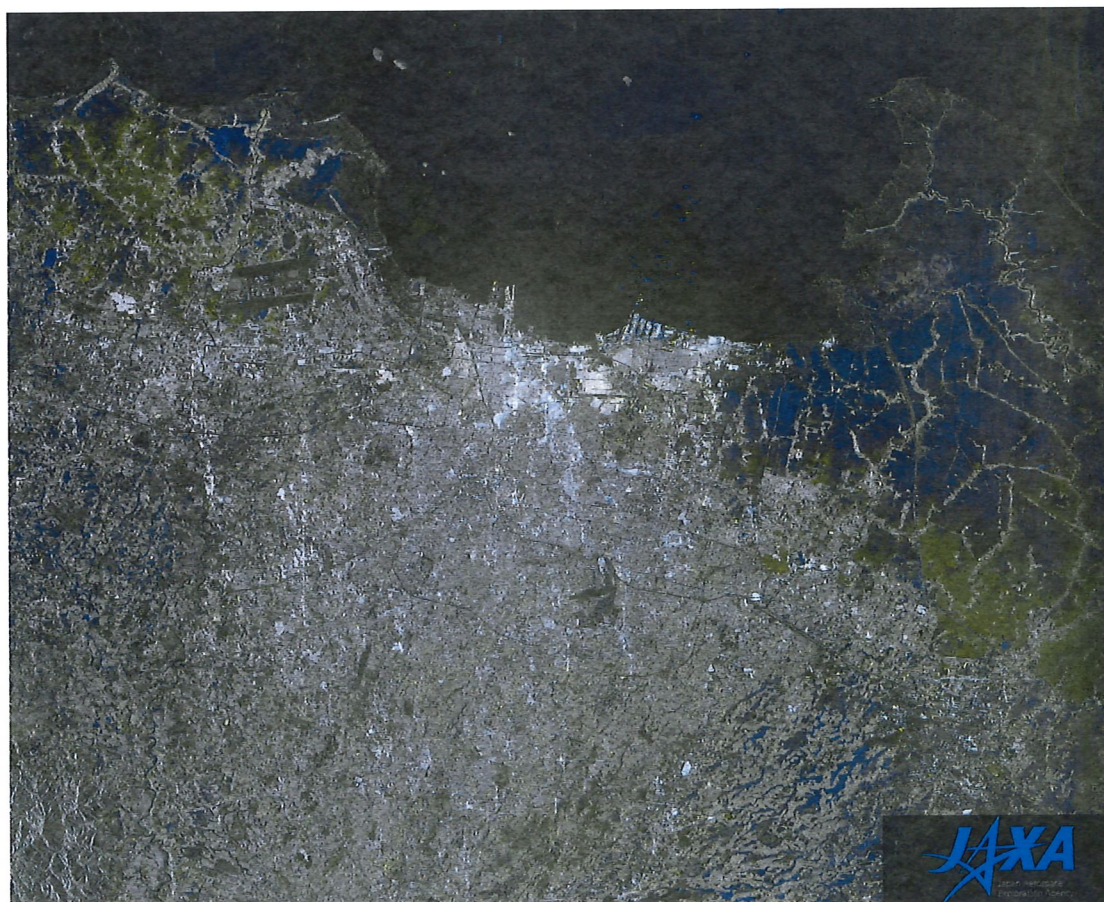


## ภูมิอากาศ

ในจาการ์ตาสภาพอากาศของจาการ์ตาคคล้ายคลึงกับเมืองอื่นๆ ของอินโดนีเซีย จาการ์ตามีสภาพอากาศแบบเขตร้อน นั่นคืออากาศร้อนและชื้นตลอดทั้งปี อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 25 - 28 องศาเซลเซียส อากาศเย็นเป็นบางครั้งจากอิทธิพลลมทะเลที่ช่วยพัดระบายความร้อนบนผืนแผ่นดิน เนื่องจากจาการ์ตาตั้งอยู่บนเขตเส้นศูนย์สูตรของโลกจึงมีการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลน้อยมาก

## ด้านประชากร

ปี พ.ศ. 2556 จาการ์ตามีจำนวนประชากรประมาณ 10,188,000 คนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.3 เมื่อเทียบกับประชากรในปี พ.ศ. 2555 มีความหนาแน่นประชากร 39,740 คนต่อตารางไมล์ ประชากรส่วนใหญ่มีเชื้อสายมีประชากรส่วนใหญ่เป็นเชื้อสายมาเลย์ ประมาณร้อยละ 95 ที่เหลือเป็นอินเดีย อาหรับ จีน และชาวยุโรป สำหรับภาษาในจาการ์ตานั้นถึงแม้ว่าภาษาอินโดนีเซียเป็นภาษาราชการในจาการ์ตา แต่คนรุ่นเก่ายังพูดภาษา ดัตช์เป็นภาษาที่สอง หรืออาจจะได้ยินการสนทนาที่แปลกออกไปมากมายเนื่องจากในระดับภูมิภาคมีทั้งหมด 583 ภาษาที่เป็นภาษาพูดท้องถิ่นของ



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายดาวเทียมของจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย

## 2.3 การทบทวนวรรณกรรม

Bari (2014) ทดสอบการปล่อยมลพิษจากรถบัสที่ใช้ไบโอดีเซล 20% ที่ผสมกับ ultra-low sulfur diesel (ULSD) 80% เพื่อหาประสิทธิภาพในการเผาไหม้และการลดปล่อยมลพิษ ประสิทธิภาพของรถบัส เช่นแรงบิด และกำลังของรถเมื่อใช้ B20 พบว่าใกล้เคียงกับการใช้ ULSD 100% ดังนั้นการใช้ B20 จึงไม่เป็นปัญหาต่อสมรรถนะของรถยนต์ การเผาไหม้ของB20มีความใกล้เคียงกับการใช้ ULSD การลดปล่อยมลพิษ นั้นปริมาณ Hydrocarbon และ Carbon monoxide ลดลง แต่ปริมาณของออกไซด์ไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 4.4% ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการที่น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณออกซิเจนมาก ทำให้การใช้ไบโอดีเซล B20 มีการปล่อย  $\text{NO}_x$  สูง แต่  $\text{PM}_{10}$  ลดลงประมาณ 19% ที่ความเร็วต่ำ และ 47% ที่ความเร็วสูง

Hara et al. (2013) ทำการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณฝุ่นรวมและฝุ่นเล็ก  $\text{PM}_{2.5}$  ในกรุงโตเกียว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 – 2553 พบว่าปริมาณมลพิษมีแนวโน้มลดลง โดยค่าเฉลี่ยรายปีของฝุ่นรวม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ถึง ปี พ.ศ. 2553 ค่ำลดลง 62.6% จาก  $59.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในปีพ.ศ.2537 เป็น  $22.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในปี พ.ศ.2553 และ  $\text{PM}_{2.5}$  ค่ำลดลง 49.8% จาก  $29.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในปีพ.ศ.2544 เป็น  $14.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในปีพ.ศ.2553

Jinsart. (2012) ศึกษาปริมาณการรับสัมผัส  $\text{PM}_{2.5}$  และ  $\text{PM}_{10-2.5}$  ที่คนขับรถในกรุงเทพมหานครได้รับ รวมทั้งวิเคราะห์หาสัดส่วนของปริมาณธาตุคาร์บอนต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ซึ่งสัดส่วนนี้เป็นค่าบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ ทำการศึกษาในช่วงปีพ.ศ. 2551 - 2552 พบว่า ฝุ่นส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนอินทรีย์ และคนขับรถทุกๆ หรือรถสามล้อเครื่องได้รับสัมผัสมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย  $\text{PM}_{2.5}$  เท่ากับ  $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในเดือน สิงหาคม ซึ่งเป็นฤดูฝน และ  $198 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในเดือน มกราคม ซึ่งเป็นฤดูแล้ง

Pala-En et al. (2013) ทดสอบการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกแทนน้ำมันปิโตรเลียม ไบโอดีเซลมีค่าปริมาณออกซิเจนสูงทำให้มีการเผาไหม้ที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล มีการลดปล่อยมลพิษจำพวก ไฮโดรคาร์บอน(HC) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ฝุ่นขนาดเล็ก(PM) ลดลง แต่มีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน( $\text{NO}_x$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์( $\text{CO}_2$ ) ปล่อยออกมามากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ชนิดของเครื่องยนต์ที่ใช้งานและจำนวนรอบที่ทำการทดสอบ ไบโอดีเซล B20 ที่ผลิตจากวัตถุดิบ 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันคาโนลา น้ำมันจากการประกอบอาหาร และไขมันสัตว์ นำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ปราศจากกำมะถัน (ULSD, Ultra low Sulfur Diesel) ใช้การจำลองการขับเคลื่อนแบบเสมือนจริง โดยใช้เครื่อง Horiba On-Board Measurement OBS-1300 จำลองการขับเคลื่อนทางหลวง และการขับเคลื่อนที่มีการจราจรติดขัด ตรวจวัดอัตราการปล่อย  $\text{NO}_x$  HC CO  $\text{CO}_2$  และ PM จากน้ำมัน B20 ด้วยเครื่อง Chassis Dynamometer พบว่าอัตราการปล่อย HC CO และ PM จากน้ำมัน B20 มีค่าน้อย

กว่า ULSD สำหรับ CO<sub>2</sub>พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างน้ำมัน B20 กับ ULSD สำหรับ NO<sub>x</sub>พบว่า B20 ที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองมีการปลดปล่อยมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

Yang et al. (2007) ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้น้ำมัน B20 (น้ำมันไบโอดีเซล 20% และ น้ำมันดีเซล80%) หากการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC)ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (particulate matter, PM) และ สารpolycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) โดยจำลองสภาวะการขับขี่ตามแบบของ USEPA พบว่า ในช่วง 0 กิโลเมตร การปลดปล่อย HC CO และPM ของ B20 มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่หลังจากที่เดินเครื่องไปได้ถึง 20,000 กิโลเมตรหรือมากกว่า B20 มีค่าการปลดปล่อย HC COและPM สูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่ค่าการปลดปล่อยมลพิษก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นหลังจาก 80,000 กิโลเมตรเป็นต้นไป และพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน B20 มีค่า PAHs เพิ่มขึ้นตามจำนวนไมล์ที่ขับขี่ การปลดปล่อย PAHs รวม มีค่าเท่ากับ 1,097 และ 1,437 µg/bhp/h สำหรับ B20 และดีเซล การใช้น้ำมัน B20 ช่วยลด PAHs รวมได้

Lang et al., (2017) ได้ศึกษาแนวโน้มของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> และสารเคมีในองค์ประกอบของฝุ่น ในเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน จากการศึกษาพบว่าแนวโน้มของฝุ่นละอองในบรรยากาศลดลงระหว่างปี 2000 ถึง 2015 เนื่องจากมีการใช้มาตรการควบคุมฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ จะมีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูหนาว ซึ่งมาตรการการควบคุมการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการควบคุมการเผาไหม้ในพื้นที่โล่ง เป็นปัจจัยสำคัญในการลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ

Kusumaningtyas et al., (2018) ได้ศึกษาสถานการณ์ปัจจุบันของมาตรฐานคุณภาพอากาศทั่วไปในเมืองจาร์ต่า ประเทศอินโดนีเซีย พบว่า คุณภาพอากาศของเมืองจาร์ต่า ประเทศอินโดนีเซียมีแนวโน้มที่ดีขึ้นระหว่างปี 2016 ถึง 2017 โดยแนวโน้มที่ลดลงนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงของยานพาหนะในเขตเมือง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ ทำให้ส่งผลโดยตรงถึงความเข้มข้นของมลพิษในชั้นบรรยากาศ

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ในพื้นที่ศึกษาสี่เมือง กรุงเทพฯ โตเกียว จาการ์ตา ปักกิ่ง ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - 2559 ได้แก่ปริมาณมลพิษอากาศ PM<sub>10</sub> PM<sub>2.5</sub> ปริมาณรถยนต์ ข้อกำหนดควบคุม กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

- ข้อมูลของกรุงเทพมหานคร รวบรวมจาก กรมควบคุมมลพิษ กรมขนส่งทางบกและ <http://aqicn.org/city/bangkok/>
- ข้อมูลของโตเกียว รวบรวมจาก Tokyo Metropolitan Government, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism and Ministry of Environment, Japan (Hara *et al.*, 2013) และรวบรวมจากการประชุมกลุ่มวิจัย เมื่อวันที่ 16 กันยายนพ.ศ. 2559 นอกจากนี้ยังมีการอภิปรายข้อมูลที่เกี่ยวข้องใน International Collaborated research symposium: Air pollution in Asia mega cities ในวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ.2561
- ข้อมูลของปักกิ่ง รวบรวมจาก Clean Air Asia, primary source: National Bureau of Statistics, China; China National Environmental Monitoring Center, WHO air pollution data base (Update 2016) และ <http://aqicn.org/city/beijing/>
- ข้อมูลของเมืองจาการ์ตา รวบรวมจาก <http://aqicn.org/city/jakarta/>และ [airnow.org](http://airnow.org)

#### 2. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

2.1 วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ ด้วยวิธี Pearson's Correlation Coefficient สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่าความแจกแจงปกติ (Normal Distribution) และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ ด้วยวิธี Spear's man Correlation Coefficient สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่าความแจกแจงไม่ปกติ (Non-normal Distribution) ด้วยโปรแกรม SPSS version 14.0

##### Spear's man Correlation Coefficient

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (X_i - \bar{X})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

$\rho$  คือ the Spearman rank correlation,  $d_i$  คือความแตกต่างระหว่าง ranks of corresponding variables,  $n$  คือจำนวนของ observations และ  $x$  and  $y$  คือตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

### Pearson's Correlation Coefficient

$$\rho_{X,Y} = \frac{E[XY] - E[X]E[Y]}{\sqrt{E[X^2] - [E[X]]^2} \sqrt{E[Y^2] - [E[Y]]^2}}$$

$\rho$  คือ person's correlation coefficient, di คือความแตกต่างระหว่าง ranks of corresponding variables, n คือจำนวนของ observations และ x and y คือตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

### 2.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วย Multiple Linear Regression Analysis ด้วยโปรแกรม SPSS version 14.0

วิธี multiple linear regression (MLR) ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่มากกว่าสองตัวขึ้นไปกับตัวแปรต้น (Jobson, 1991) โดยวิธีนี้ถูกนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอื่นในสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลมากหรือน้อยให้กับความเข้มข้นของมลพิษในอากาศ (Vlachogianni et al., 2011). ซึ่งสมการ Multiple Linear Regression เป็นดังนี้

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \varepsilon$$

เมื่อ  $b_i$  และ  $x_i$  คือ regression coefficients และตัวแปรต้น, and  $\varepsilon$  คือค่าคงที่หรือจัดตัดแกน  $y$  โดยนิยามของ Multiple Linear Regression จะถือว่าเซตของข้อมูลมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงอย่างปกติ

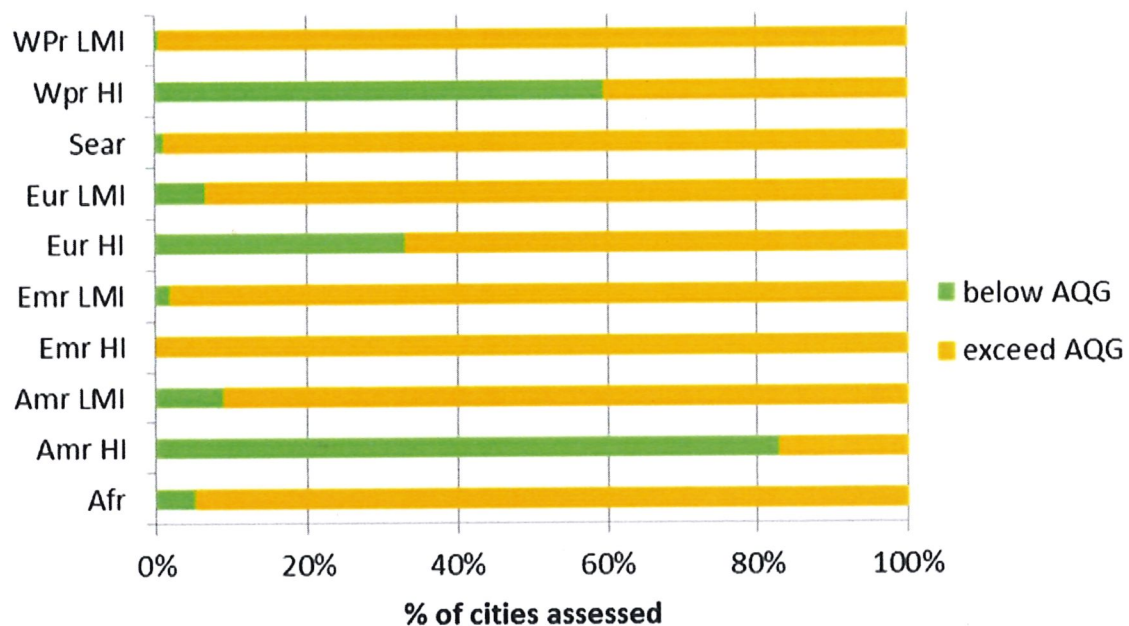
3. ศึกษาลักษณะสิ่งแวดล้อมเขตเมืองของแต่ละพื้นที่ เช่น จำนวนประชากร ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละประเภท
4. ดำเนินการวิจัยเชิงประจักษ์ ของพื้นที่ริมถนนในกรุงเทพมหานคร หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจร กับค่ามลพิษอากาศ  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  ในเขตริมถนน
  - ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานที่ตรวจวัดโดยตรง จากกรมควบคุมมลพิษ กรุงเทพมหานคร และจากกรมการขนส่งทางบกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำกรสู่มตรวจวัด
  - ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Multiple regression analysis ด้วยโปรแกรม SPSS ระหว่างปริมาณการจราจรและค่ามลพิษอากาศ  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$
  - ประมวลผลสร้างแผนที่ระบุระดับของพื้นที่เสี่ยงในกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรม ARC-GIS



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการศึกษา

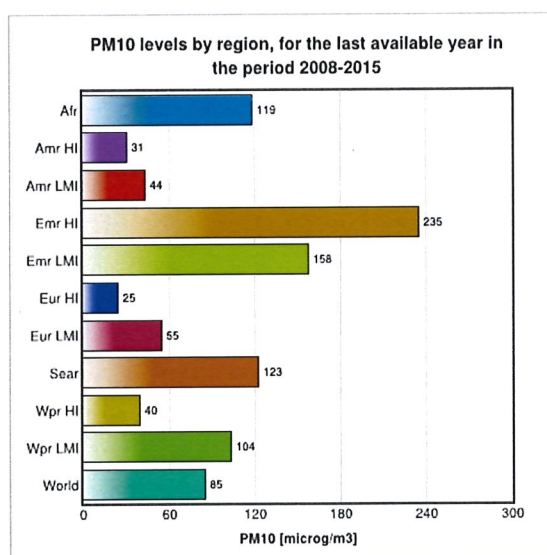
จากกรณีศึกษาเมืองใหญ่ต่างๆ ในแต่ละทวีปพบว่า ประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ที่เกินกว่าค่ามาตรฐานของ WHO คือ Annual mean PM<sub>10</sub>: 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และ Annual mean PM<sub>2.5</sub>: 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ดังรูปที่ 1 ซึ่งประเทศที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ ประเทศไทย และอินโดนีเซีย ส่วนประเทศในกลุ่ม WPr HI คือประเทศในแถบแปซิฟิกตะวันตกและมีรายได้สูง ซึ่งได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก อยู่ในเกณฑ์ดีและต่ำกว่าค่ามาตรฐาน WHO อยู่ในหลายประเทศ นอกจากนี้ประเทศในกลุ่ม Wpr LMI คือประเทศในแถบแปซิฟิกตะวันตกและมีรายได้ต่ำ ซึ่งประเทศในกลุ่มนี้อยู่ในกลุ่มที่มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเกินกว่าค่ามาตรฐาน WHO มากที่สุด โดยเกือบทุกประเทศมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งประเทศในกลุ่มนี้ เช่น ประเทศจีน ดังนั้น จึงเลือกตัวแทนจากกลุ่มประเทศดังกล่าว คือ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย, ปักกิ่ง ประเทศจีน, จาการ์ต้า อินโดนีเซีย และ โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบ



Afr: Africa; Amr: America; Emr: Eastern Mediterranean; Eur: Europe; Sear: South=East Asia; Wpr: Western Pacific; LMI: Low- and middle-income; HI: high-income; AQG: WHO Air Quality Guidelines.

รูปที่ 4.1 การประเมินค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเฉลี่ยรายปีในแต่ละภูมิภาคของโลก (WHO, 2016)

จากรายงานของ WHO's Urban Ambient Air Pollution database - Update 2016 พบว่า แนวโน้มของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้(SEAR)และประเทศในแถบแปซิฟิกตะวันตก(WPr LMI)มีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ปี และในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กในกลุ่มประเทศ WPr HI มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ปี จากเหตุผลนี้สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า กรุงเทพมหานคร ปักกิ่ง จากัวร์ต้า มีแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็กเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และโตเกียว มีแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็กลดลง นอกจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ยังพบว่า กลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SEAR) และประเทศในแถบแปซิฟิกตะวันตก (WPr LMI) มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ใกล้เคียงกัน คือ  $123\mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $104\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงกว่า ในกลุ่มประเทศในแถบแปซิฟิกตะวันตก และมีรายได้สูง (WPr HI) เกือบสามเท่า ( $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2



Afr: Africa; Amr: America; Emr: Eastern Mediterranean; Eur: Europe; Sear: South-East Asia; Wpr: Western Pacific; LMI: Low- and middle-income; HI: high-income; AQG: WHO Air Quality Guidelines.

รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 โดยเฉลี่ย ระหว่างปีพ.ศ. 2551 - 2558

แบ่งตามภูมิภาค



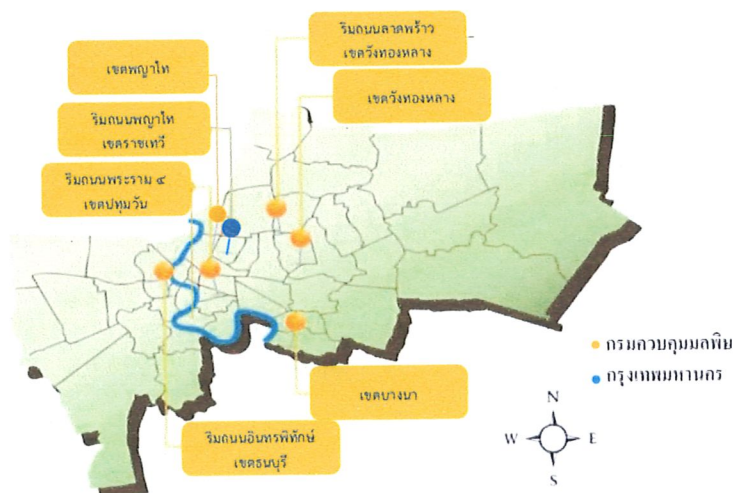
ตารางที่ 4.1 แสดงมาตรฐานคุณภาพอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็กในแต่ละประเทศ

Air Quality		WHO <sup>1</sup>	ไทย <sup>2</sup>	ญี่ปุ่น <sup>3</sup>	จีน <sup>4</sup>	อินโดนีเซีย
PM10	24 hr.	50	120	100	150	-
	Annual	20	50	-	70	-
PM2.5	24 hr.	25	50	35	75	-
	Annual	10	25	15	35	-

ที่มา: 1 WHO, 2016; 2 PCD, 2016; 3 Hara et al, 2011; 4 Clean Air Asia, 2555;

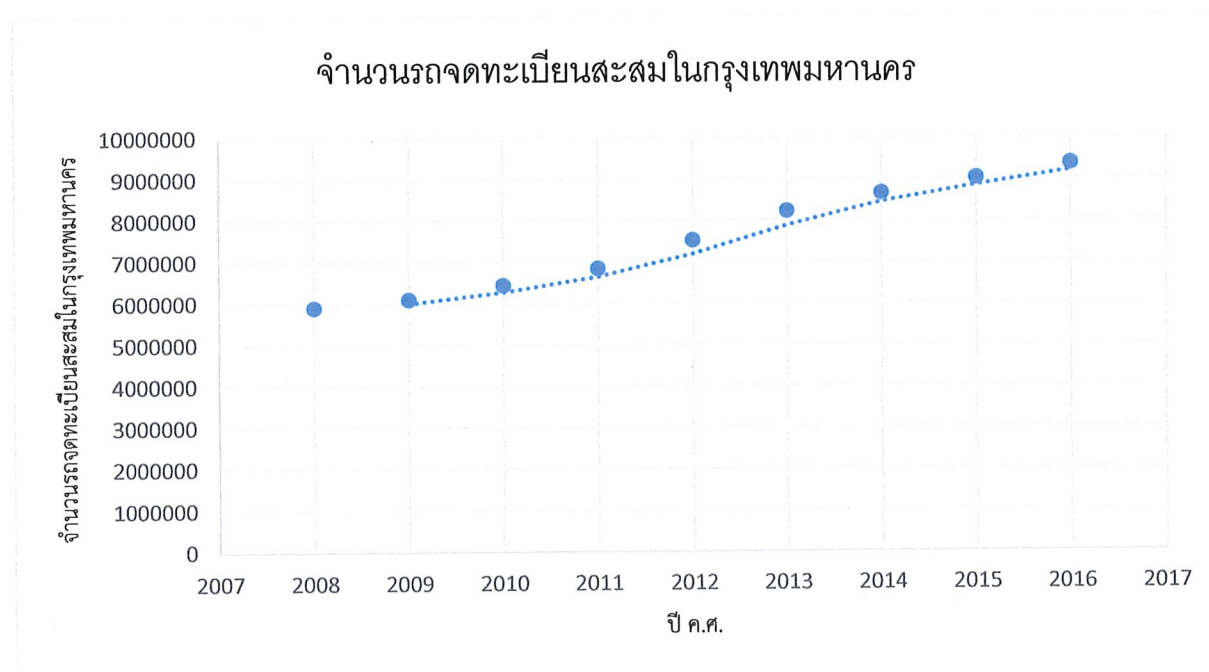
#### 4.1 กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

ในกรณีศึกษาของประเทศไทย ได้เลือกกรุงเทพมหานครเป็นเมืองในกรณีศึกษา โดยในกรุงเทพมหานครมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศถูกแบ่งสถานีตรวจวัดเป็น 2 ชนิดคือ สถานีตรวจวัดอากาศทั่วไป และสถานีตรวจวัดอากาศริมถนน โดยการดำเนินการตรวจวัดจาก 2 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องคือ กรมควบคุมมลพิษ (PCD) และกรุงเทพมหานคร (BMA) ซึ่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีทั้งหมด 22 สถานีตรวจวัดในเขตกรุงเทพมหานคร แต่ในกรณีศึกษานี้ เลือกเพียง 7 สถานีตรวจวัดที่สามารถตรวจวัดฝุ่นละอองทั้ง 2 ประเภทคือ PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> ดังรูปที่ 3 และประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษ ได้ออกมาตรฐานความเข้มข้นของมลพิษในอากาศ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4.3 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร

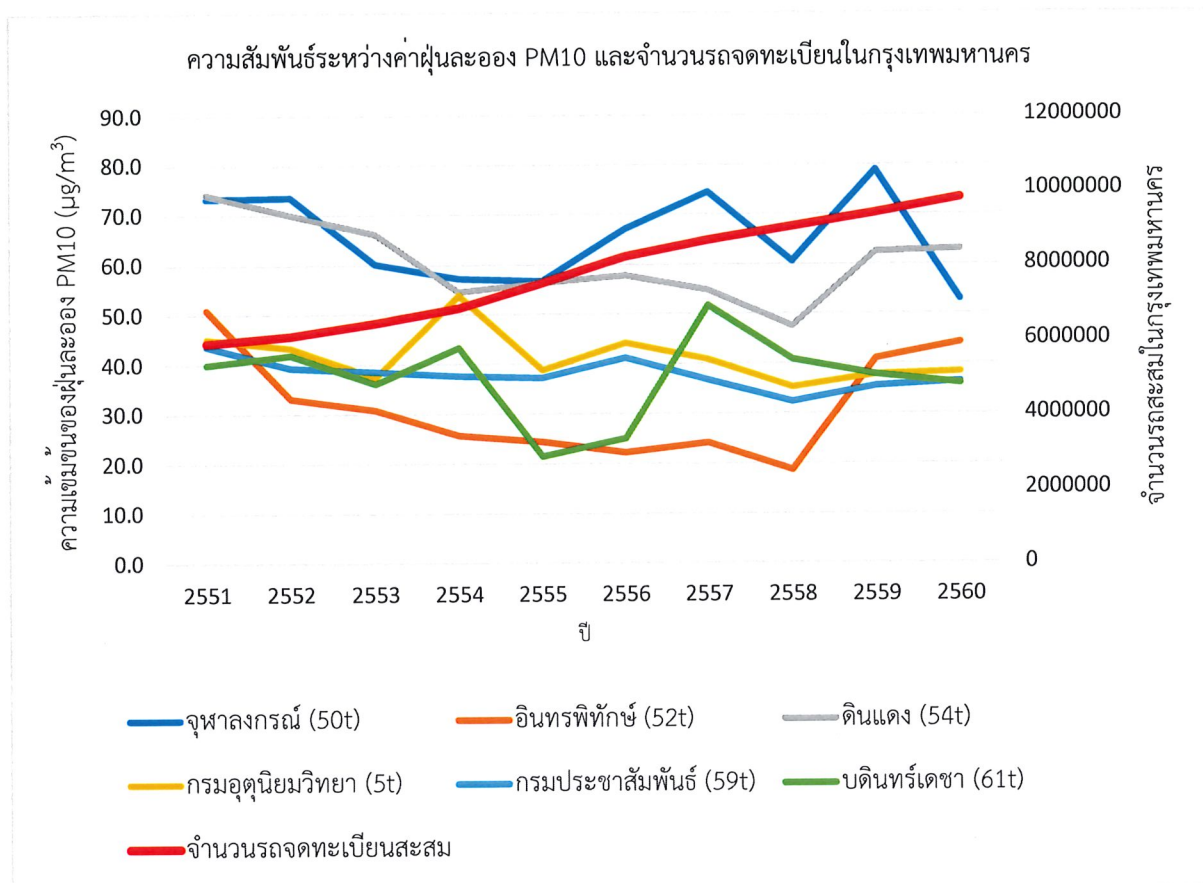
นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณพาหนะรถในกรุงเทพมหานคร จากกรมขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม และผลการประเมินอัตราเพิ่มขึ้นของปริมาณรถในกรุงเทพมหานครพบว่า ปริมาณพาหนะในกรุงเทพมหานครมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แนวโน้มของปริมาณรถจดทะเบียนในกรุงเทพมหานคร

ในการศึกษาแบ่งชนิดของรถออกเป็น 4 ประเภท คือ รถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์ดีเซล รถยนต์ขนาดใหญ่เครื่องยนต์ดีเซล และรถจักรยานยนต์ ซึ่งทั้ง 4 ประเภทจะมีการนำมาตรฐาน Euro Standard มาใช้ที่แตกต่างกัน

จากแนวโน้มของปริมาณพาหนะในกรุงเทพมหานคร พบว่า ปริมาณยานพาหนะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2551พบว่า ปริมาณรถมีจำนวน 5,911,696 คัน ที่จดทะเบียนของกรุงเทพมหานคร และในปี พ.ศ. 2559พบว่า ปริมาณรถมีจำนวน 9,363,588คัน จดทะเบียนของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัวจากปี พ.ศ. 2551ดังรูปที่ 3 เมื่อหาความสัมพันธ์และแนวโน้มของจำนวนรถที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> พบว่า มีแนวโน้มแปรผกผันกัน ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM<sub>10</sub> และจำนวนรถในกรุงเทพมหานคร

จากความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> และปริมาณรถในกรุงเทพมหานครพบว่าแนวโน้มผลผันกัน กล่าวคือ ปริมาณรถมีจำนวนเพิ่มขึ้นในแต่ละปี แต่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> มีแนวโน้มลดลง ในเกือบทุกสถานีตรวจวัด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการพัฒนาระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและระบบน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 ประเทศไทยมีผลบังคับใช้ มาตรฐาน Euro standard ในยานพาหนะ ซึ่งในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยได้นำมาตรฐาน EURO IV สำหรับรถยนต์เครื่องแก๊สโซลีนเบน เช่นรถยนต์ส่วนบุคคล 7 ที่นั่ง และรถยนต์เครื่องเบนซินเบน เช่น รถกระบะ นอกจากนี้มาตรฐาน Euro III ได้นำมาใช้ในรถจักรยานยนต์และรถเครื่องยนต์ดีเซลหนัก เช่น รถบรรทุก รถโดยสารสาธารณะ ซึ่งการนำมาตรฐานเหล่านี้เข้ามาใช้ในยานพาหนะนั้นทำให้การปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> มีปริมาณลดน้อยลง และแนวโน้มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีความเข้มข้นน้อยกว่า 120 µg/m<sup>3</sup> สำหรับค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง และ 50 µg/m<sup>3</sup> สำหรับค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (WHO,2006)

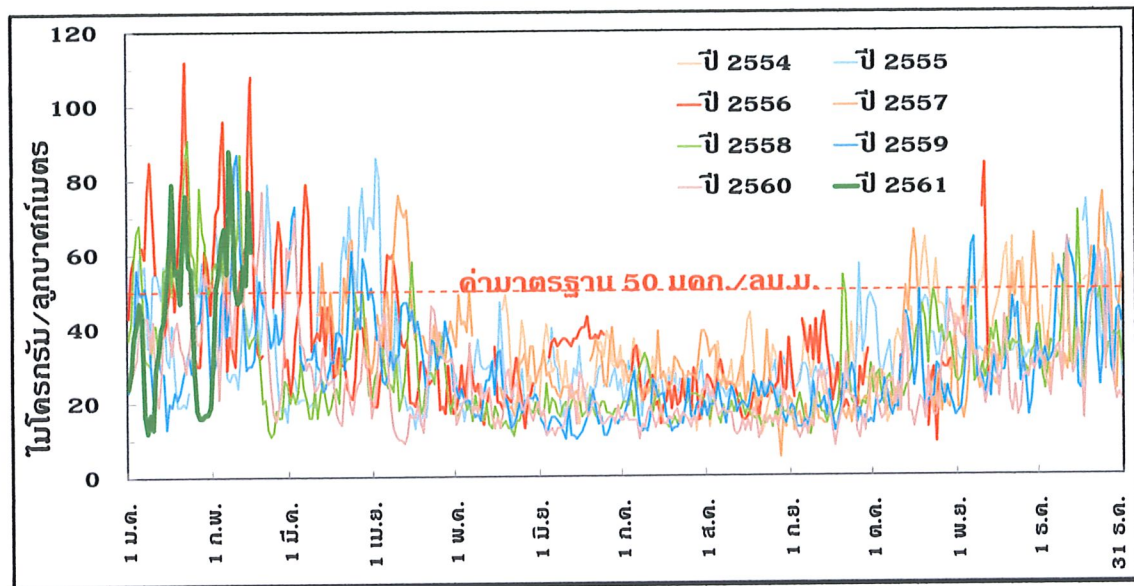


ตารางที่ 4.2 การบังคับใช้มาตรฐานยูโร(Euro Standard) ในพาหนะแต่ละชนิด

ปี	มาตรการ
2536	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถจักรยานยนต์ (Pre EURO)
2538	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์เบนซินและรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์ดีเซล (Pre EURO)
2541	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดใหญ่เครื่องยนต์ดีเซล(EURO 1)
2542	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์เบนซินและรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์ดีเซล (EURO 1)
2543	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดใหญ่เครื่องยนต์ดีเซล (EURO 2)
2544	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์เบนซินและรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์ดีเซล(EURO 2)
2548	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์เบนซินและรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์ดีเซล(EURO 3)
2550	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดใหญ่เครื่องยนต์ดีเซล (EURO 3)
2551	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถจักรยานยนต์(EURO 3)
2555	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์เบนซินและรถยนต์ขนาดเล็กเครื่องยนต์ดีเซล (EURO 4)
2561	การบังคับใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษสำหรับรถจักรยานยนต์(EURO IV)

ในขณะเดียวกัน  $PM_{2.5}$  กับปริมาณรถในกรุงเทพมหานคร มีความสัมพันธ์ในแนวโน้มที่แปรผันตรง คือ ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในอากาศมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี และปริมาณพาหนะในกรุงเทพมหานครมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้ปัญหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก  $PM_{2.5}$  มีความรุนแรงเพิ่มขึ้น คือค่าความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ในชั้นบรรยากาศในกรุงเทพมหานคร มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ มากกว่า  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  สำหรับค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปริมาณฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub>เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2561

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศจะมีความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐานในช่วงเดือนตุลาคม จนถึงเดือนเมษายนในปีถัดไป ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านระหว่างฤดูฝนเข้าฤดูแล้ง ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพทางอุตุนิยมวิทยาทำให้ส่งเสริมการกักเก็บฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ มลพิษทางอากาศจะเคลื่อนที่ตามลักษณะของลมฟ้าอากาศคือ ตามการฟุ้งกระจายในแนวนอน(Horizontal dispersion)จะมาจากทิศทางและความเร็วลมและตามการฟุ้งกระจายในแนวตั้ง (Vertical dispersion) จะมาจากความแตกต่างของความกดอากาศหรืออุณหภูมิในแนวตั้งหากพื้นที่ใดลมสงบนิ่งความเร็วลมไม่เกิน 1-2 เมตรต่อวินาที (การฟุ้งกระจายแนวนอน) อากาศจะนิ่ง เคลื่อนไหวน้อย ส่วนการฟุ้งกระจายในแนวตั้งขึ้นกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิพื้นดินอากาศโดยจะเคลื่อนที่หรือลอยขึ้นจากอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำ (ร้อนไปเย็น) โดยปกติหากอุณหภูมิมบนพื้นดินสูงกว่าในอากาศ เรียกว่าสภาพอากาศไม่คงตัว (unstable condition) ก้อนมลพิษที่อยู่บนพื้นดินจะลอยขึ้นไปจนเกิดการเจือจาง แต่หากบนอากาศอุณหภูมิลบร้อนกว่าพื้นดินโดยในระยะความสูงจากพื้นดิน 100 เมตร อุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับหรือมากกว่า 1 องศาเซลเซียสเรียกว่า สภาพอากาศคงตัว (stable condition) ก้อนมลพิษจะไม่ลอยขึ้นและอาจตกลงมา ยิ่งอุณหภูมิอากาศข้างบนร้อนกว่าพื้นดินมาก กล่าวคือ inversion condition จะทำให้ก้อนมลพิษตกลงปกคลุมพื้นที่ นอกจากนี้ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนเมษายน อากาศเย็นพัดปกคลุมมีไอน้ำมากแต่แดดแรง ลมสงบนิ่ง ทำให้มลพิษทางอากาศโดยเฉพาะฝุ่นขนาดเล็กบนพื้นดิน เช่น จากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม การเผา เป็นต้น ไม่ถูกลมพัดให้เจือจางในแนวนอนแต่จะลอยขึ้นในแนวตั้งเมื่อลอยขึ้นไปเจอกับไอน้ำและอุณหภูมิต่ำจึงตกลงมา (รูปที่ 4.7)



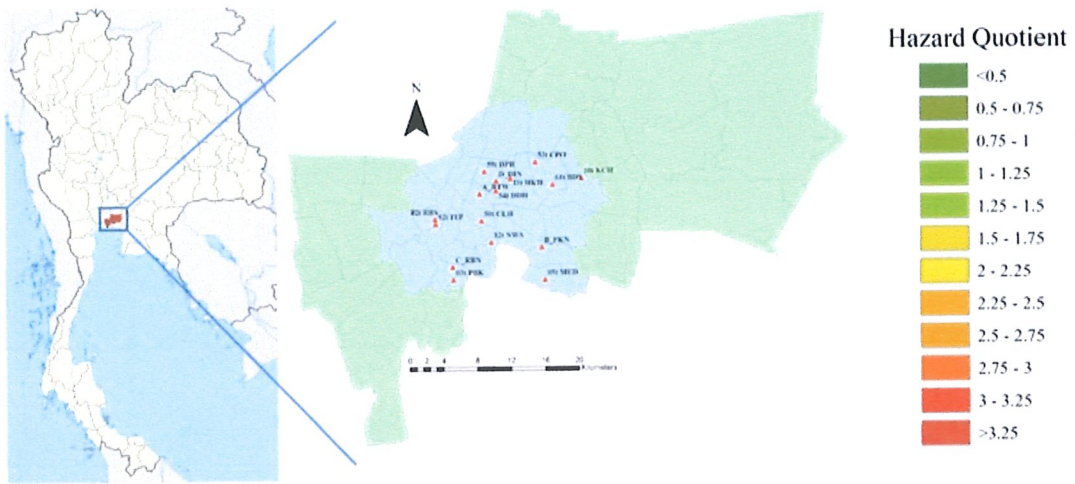


รูปที่ 4.7 Bangkok Temperature inversion ถ่ายเมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2551

#### แผนที่ความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร

จากการศึกษาการแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กและนำมาจัดทำแผนที่ความเสี่ยงจากการประเมินการรับสัมผัสมลพิษ โดยการคำนวณ Hazard Quotient พบว่า ในช่วงเดือน ธันวาคม - กุมภาพันธ์ มีค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองมากที่สุด และในช่วงเดือน มิถุนายน - สิงหาคม มีค่าความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก น้อยที่สุด เนื่องจากเป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกันในกรุงเทพมหานคร (รูปที่ 4.8)

จากแผนที่ความเสี่ยงในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ในบริเวณทิศใต้ของกรุงเทพ มีค่าความเสี่ยงมากที่สุด เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวมีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญ คือ โรงกลั่นน้ำมันบางจาก (Petroleum Refinery plant) และท่าเรือขนส่งนานาชาติ (Wharf Transportation Pier) ซึ่งสองแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่นี้ ทำให้บริเวณทางทิศใต้ของกรุงเทพมหานคร มีค่าความเสี่ยงมากกว่าพื้นที่อื่น (รูปที่ 4.9)



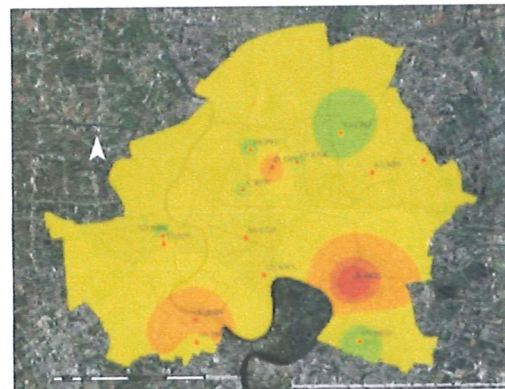
(A)



(B)



(C)

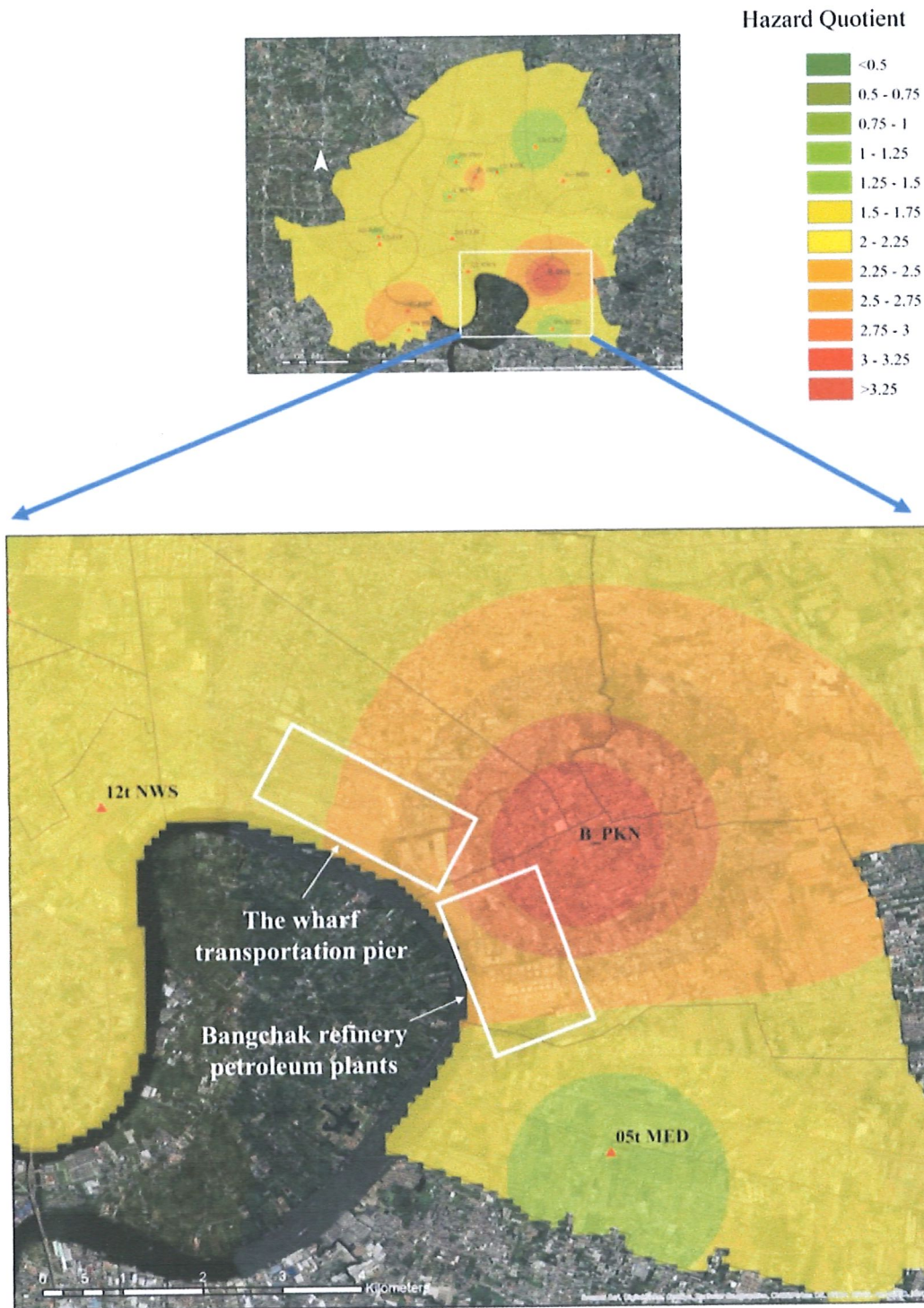


(D)

รูปที่ 4.8 แผนที่ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร

A) มีนาคม - พฤษภาคม B) มิถุนายน - สิงหาคม C) กันยายน - พฤศจิกายน D) ธันวาคม - กุมภาพันธ์



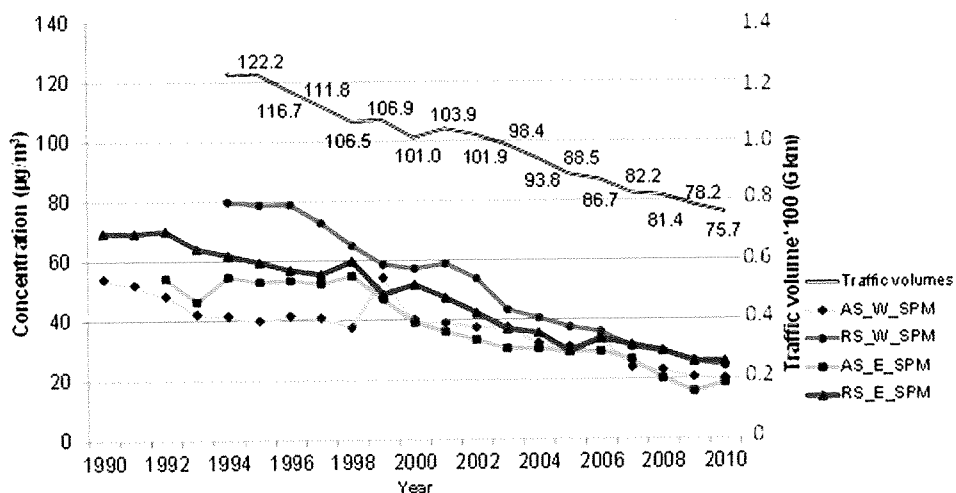


รูปที่ 4.9 แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กจากทางทิศใต้ของกรุงเทพมหานคร

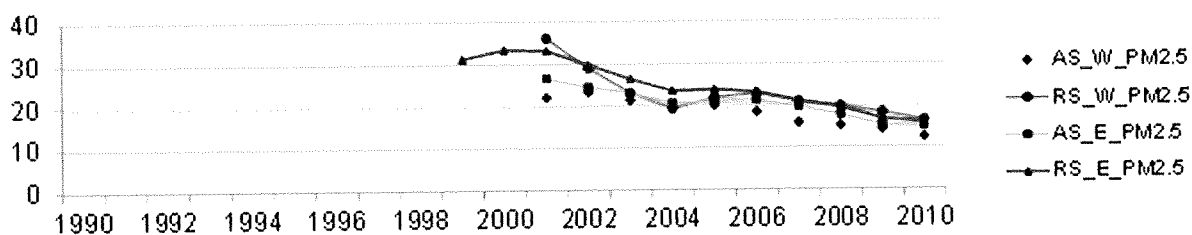
#### 4.2 กรณีศึกษาโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

ญี่ปุ่นจัดอยู่ในกลุ่ม WPr HI คือ Western Pacific High Income country ซึ่งจากรายงานของ WHO พบว่ามีแนวโน้มการลดลงของฝุ่นละอองขนาดเล็กอย่างต่อเนื่อง ในกรณีศึกษาของเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ดังรูปที่ 10พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> และรูปที่ 11 PM<sub>2.5</sub> มีแนวโน้มลดลงและมีความสัมพันธ์

สอดคล้องกับปริมาณการจราจรด้วยที่มีแนวโน้มลดลงด้วย (Hara, 2013) ซึ่งคาดว่าแนวโน้มการลดลงนี้ยังคงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุมาจากการนำกฎหมายบังคับใช้ในการจราจรที่มีการพัฒนาระบบเครื่องยนต์ ระบบท่อไอเสียรถ และปรับปรุงคุณภาพน้ำมันในมีคุณภาพที่ดีมากขึ้นกว่าเดิม

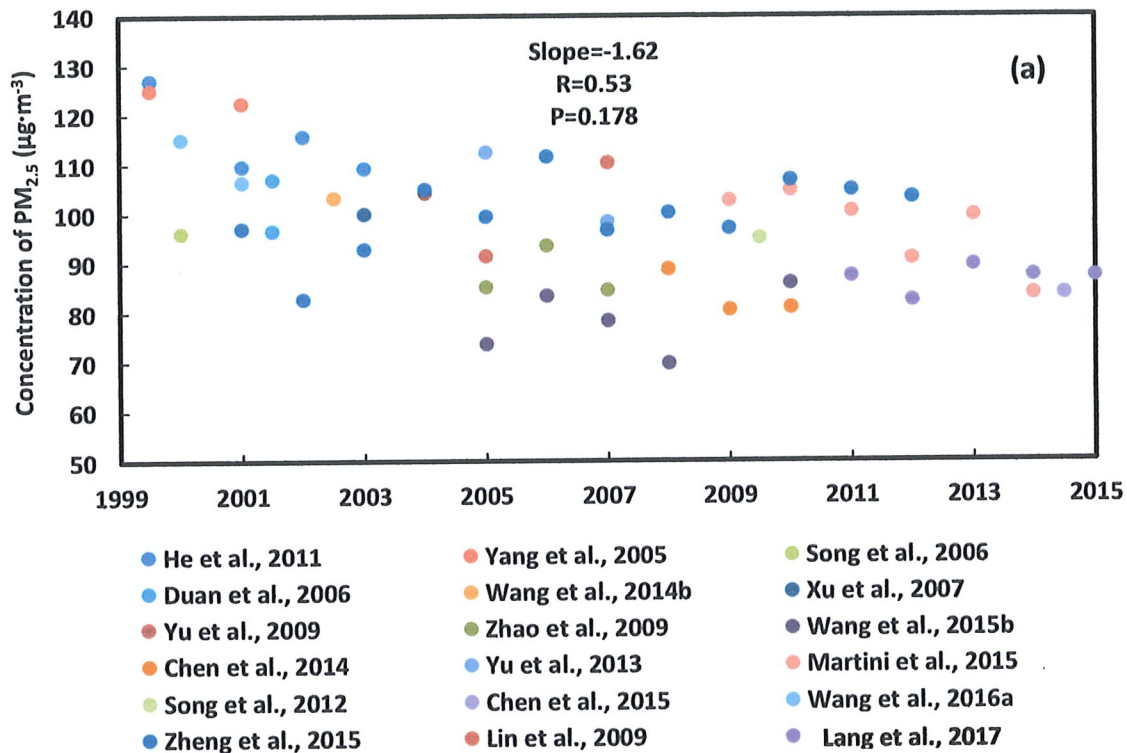


รูปที่ 4.9 แนวโน้มความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>10</sub> และปริมาณการจราจร ในโตเกียว



รูปที่ 4.10 แนวโน้มความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> ในโตเกียว

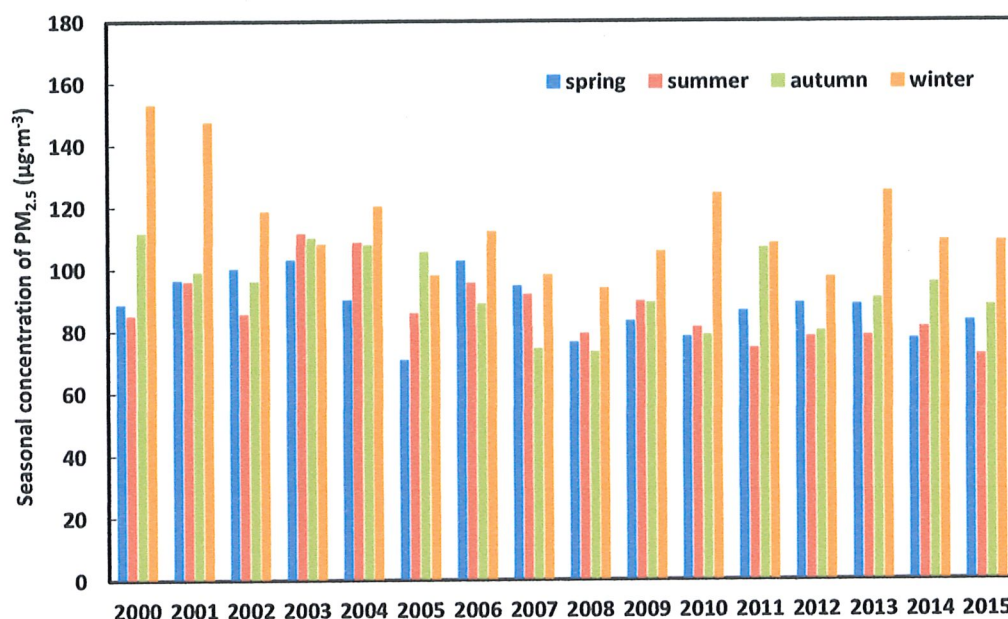
### 4.3 กรณีศึกษาปักกิ่ง ประเทศจีน



รูปที่ 4.11 แนวโน้มของ PM<sub>2.5</sub> ในปักกิ่งระหว่างปี 1999 ถึง 2015

จากศึกษาแนวโน้มของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> และสารเคมีในองค์ประกอบของฝุ่น ในเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน จากการศึกษาพบว่าแนวโน้มของฝุ่นละอองในบรรยากาศลดลงระหว่างปี 2000 ถึง 2015 ดังรูปที่ 4.11 เนื่องจากมีการใช้มาตรการควบคุมฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศจะมีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูหนาว (รูปที่ 4.12) ซึ่งมาตรการการควบคุมการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการควบคุมการเผาไหม้ในพื้นที่โล่ง เป็นปัจจัยสำคัญในการลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ



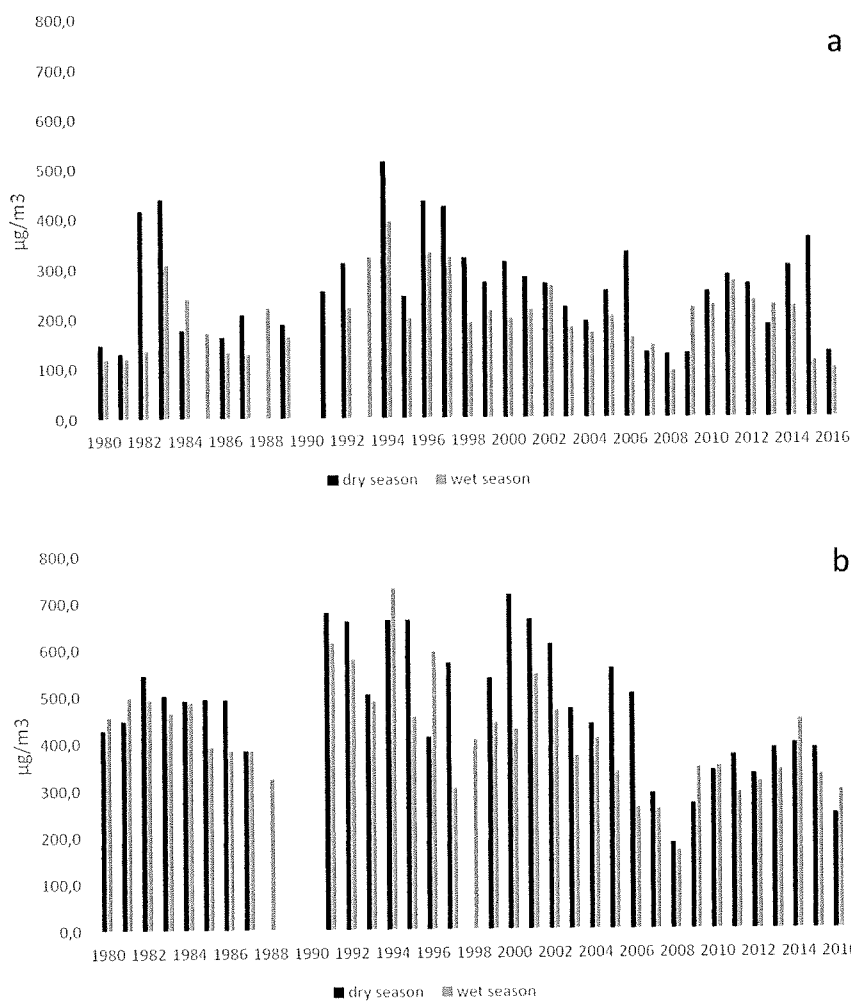


รูปที่ 4.12 แนวโน้มของ PM<sub>2.5</sub> ในปักกิ่งระหว่างปี 2000 ถึง 2015 โดยแบ่งตามฤดูกาล

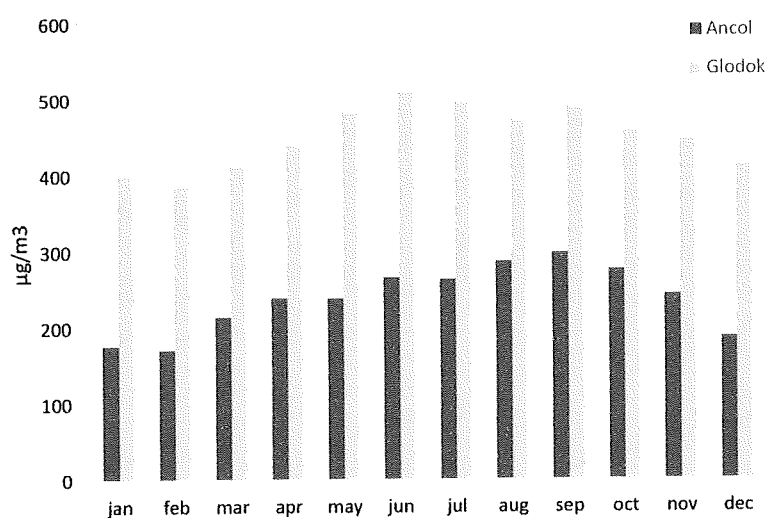
#### 4.4 กรณีศึกษาจากการท่า ประเทศอินโดนีเซีย

จากการศึกษาแนวโน้มความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> ในชั้นบรรยากาศทั่วไปในเมืองจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย พบว่า คุณภาพอากาศของเมืองจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซียมีแนวโน้มที่ดีขึ้นระหว่างปี 2016 ถึง 2017 โดยแนวโน้มที่ลดลงนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงของยานพาหนะในเขตเมือง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ (รูปที่ 4.13) ทำให้ส่งผลโดยตรงถึงความเข้มข้นของมลพิษในชั้นบรรยากาศ

รูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยรายเดือนของฝุ่นละอองขนาดเล็กในจาการ์ต้า พบว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนมิถุนายนของ Glodok และเกิดขึ้นในเดือนกันยายนของ Ancol แต่ในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กในชั้นบรรยากาศน้อยที่สุด นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลต่อความเข้มของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ ของเมือง A Ancol (จาการ์ต้าตอนเหนือ) และ B Glodok (จาการ์ต้าตอนใต้) พบว่า ความเข้มของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศในเมือง Glodok สูงกว่าความเข้มของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศในเมือง Ancol เนื่องจาก Glodok เป็นเขตศูนย์กลางธุรกิจที่มีความหนาแน่นของการคมนาคมสูง และมีตึกสูงเป็นจำนวนมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการสะสมของฝุ่นละอองขนาดเล็กในชั้นบรรยากาศและปรากฏการณ์ Urban Heat Island ในเขตเมืองใหญ่ก็ส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองเช่นกัน



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศของเมือง A Ancol (จาร์กาต้าตอนเหนือ) และ B Glodok (จาร์กาต้าตอนใต้)



รูปที่ 4.14 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> รายเดือนระหว่างปี 1980 – 2016 ของเมืองจาร์กาต้าประเทศอินโดนีเซีย



ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> และเชื้อเพลิงในยานพาหนะ

เมือง	ความเข้มข้นเฉลี่ย		อ้างอิง
	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ปี 2018	เชื้อเพลิงในยานพาหนะ	
กรุงเทพมหานคร	95.2	1. Gasohol (Blended Ethanol 10 – 85%) 2. Biodiesel 10-20% 3. Natural Gas	1. PCD, 2016 2.Thongthammachart and Jinsart, 2019
โตเกียว	50.4	1. Gasohol (Blended Ethanol 10 – 85%) 2. Electric Vehicle	Hara et al., 2013
ปักกิ่ง	110.6	1. Gasoline 2. Diesel	Lang et al., 2017
จาร์กาตา	94.9	1. Gasoline 2. Biodiesel 10-20% 3. Gasohol Blended Ethanol 10 – 20%)	Kasumaningtyas et al., 2018

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

ฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศทั่วไปเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองใหญ่เกือบทุกแห่ง โดยเฉพาะแล้วภาคการขนส่งเป็นแหล่งกำเนิดของ PM2.5 ถึง 22% ในเมืองใหญ่ทั่วโลก (Keuken et al., 2013) การควบคุมหรือลดปริมาณฝุ่น ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อม อาทิ เทคโนโลยีของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนไป ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ หรือกิจกรรมต่าง ๆ ที่สามารถทำให้เกิดฝุ่นละอองปะปนอยู่ในบรรยากาศและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่า ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กใน กรุงเทพมหานคร โตเกียว ปักกิ่ง และจาร์กาต้า มีแหล่งกำเนิดและกิจกรรมที่คล้ายกัน คือ แหล่งกำเนิดหลักมาจากภาคพลังงาน และการขนส่ง และมีโรงงานอุตสาหกรรมในเขตปริมณฑลเป็นแหล่งกำเนิดเสริม ในการเปรียบเทียบทางสถิติ ในช่วงระยะเวลาสิบปี 2007-2016 พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะในโตเกียวค่าต่ำที่สุด เนื่องจากมี Traffic Volume น้อยกว่าทุกเมือง มีการสนับสนุนการใช้พลังงานทางเลือก นอกจากการใช้น้ำมัน คือมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้า และขนส่งมวลชนอย่างกว้างขวาง ในกรุงปักกิ่ง ค่า PM2.5 สูงกว่าทุกเมือง เนื่องจากมีรถยนต์และโรงงานโดยรอบที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นมากกว่าทุกแห่ง แต่ปริมาณมีแนวโน้มลดลง เพราะ สาธารณรัฐประชาชนไต้หวันมีการออกกฎหมายและการควบคุมการปล่อยมลพิษที่เข้มงวดมากขึ้น ให้ลดการเผาถ่านหินเพื่อให้ความร้อนในหน้าหนาว ให้ใช้ เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าแทน ให้ใช้ขนส่งมวลชนมากกว่ารถยนต์ส่วนบุคคล และมีการตรวจวัดติดตามเฝ้าระวังมลพิษร่วมด้วย ทำให้ฝุ่นมีแนวโน้มลดลง กรุงจาร์กาดาก็มีแนวโน้มลดลง มีการใช้รถยนต์ และน้ำมันที่มาตรฐานสูงขึ้น ส่วนกรุงเทพมหานคร ฝุ่นมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับจาร์กาต้า คือ มีการใช้รถยนต์ และน้ำมันที่มาตรฐานสูงขึ้น แต่ตั้งแต่ปี 2015 ถึงปัจจุบัน ค่าเฉลี่ยรายปี PM2.5 สูงขึ้น เนื่องจากการก่อสร้างรถไฟฟ้าหลายแห่งในเวลาใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดจราจรติดขัด บางพื้นที่มีปริมาณรถหนาแน่น รถยนต์และรถบรรทุกไม่มีอุปกรณ์ดักจับฝุ่นก่อนปล่อยจากท่อไอเสีย ถ้าการก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเสร็จภายในอีกสามปีนี้ และมีระบบควบคุมฝุ่นในยานพาหนะ คาดว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในบรรยากาศทั่วไปจะลดลงได้

ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการวิจัยต่อไปเพื่อคาดการณ์ปริมาณฝุ่นในอนาคต ซึ่งต้องอาศัยการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์แหล่งที่มาของฝุ่นละอองต่าง ๆ ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ สามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้ชี้บ่งแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่เป็นปัญหาได้

อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากงานศึกษาวิจัยนี้ คาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปสู่การเสนอแนะมาตรการ มาตรฐาน ตลอดจนการทบทวนนโยบายที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันได้ อันจะทำให้การจัดการปัญหามลพิษทางอากาศได้ผลและมีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน

#### ผลผลิตจากโครงการ

- Jinsart W., Prapassornpitaya P., and Thongthammachart T. Trends of PM2.5 in Four Asian Mega Cities: Beijing, Jakarta, Tokyo and Bangkok, 2010 – 2018. EnvironmentAsia. (Submitted manuscript)
- Thongthammachart, T. , and Jinsart, W. , “Estimating PM2.5 Concentrations with Statistical Distribution Techniques for Health Risk Assessment in Bangkok” Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal
- Thammasaroj, P. and Jinsart, W. “Roadside PM2.5, PM10 and Heavy Metal Composition Related to Overcrowded Traffic and Roadside Construction Activities in Bangkok” EnvironmentAsia. 12 (Special Issue 2019)

## เอกสารอ้างอิง

1. Bari, S. 2014 Performance combustion and emission tests of a metro-bus running on biodiesel-ULSD blended (B20) fuel. *Applied Energy* 124 : 35-43.
2. Clean Air Asia. 2016. China Releases New Air Ambient Quality Standards. [online]. Available from <https://cleanairasia.org/node8163/>
3. Chen, Y., Schleicher, N., Chen, Y., Chai, F. and Norra, S. (2014). The influence of governmental mitigation measures on contamination characteristics of PM<sub>2.5</sub> in Beijing. *Sci. Total Environ.* 490: 647–658.
4. Chen, W., Tang, H. and Zhao, H. (2015). Diurnal, weekly and monthly spatial variations of air pollutants and air quality of Beijing. *Atmos. Environ.* 119: 21–34.
5. Duan, F.K., He, K.B., Ma, Y.L., Yang, F.M., Yu, X.C., Cadle, S.H., Chan, T. and Mulawa, P.A. (2006). Concentration and chemical characteristics of PM<sub>2.5</sub> in Beijing, China: 2001-2002. *Sci. Total Environ.* 355: 264– 275.
6. Hara K, Homma J, Tamura K, Inoue M, Karita K, Yano E. 2013. Decreasing trends of suspended particulate matter and PM<sub>2.5</sub> concentrations in Tokyo, 1990-2010. *Journal of the Air Waste Management Association*. Jun; 63(6): 737-48.
7. He, K.B., Yang, F.M., Ma, Y.L., Zhang, Q., Yao, X.H., Chan, C.K., Cadle, S., Chan, T. and Mulawa, P. (2001). The characteristics of PM<sub>2.5</sub> in Beijing, China. *Atmos. Environ.* 35: 4959–4970.
8. Lin, P., Hu, M., Deng, Z., Slanina, J., Han, S., Kondo, Y., Takegawa, N., Miyazaki, Y., Zhao, Y. and Sugimoto, N. (2009). Seasonal and diurnal variations of organic carbon in PM<sub>2.5</sub> in Beijing and the estimation of secondary organic carbon. *J. Geophys. Res.* 114: D00G11.
9. Jinsart, W., Kaewmanee, C., Inoue, M., Hara, K. S Hasegawa, S., Karita, K., Tamura, K. and Yano, E. ,2012 Driver exposure to particulate matter in Bangkok, *JAWMA*, Vol.62(1), 64-71
10. Karita K, Yano E, Tamura K and Jinsart W, 2004 “Effect of working and residential location areas on air pollution related respiratory symptoms in policemen and their wives in Bangkok, Thailand” *European Journal of Public Health*, 14 (1),24-26
11. Martini, F.M.S., Hasenkopf, C.A. and Roberts, D.C. (2015). Statistical analysis of PM<sub>2.5</sub> observations from diplomatic facilities in China. *Atmos. Environ.* 110: 174–185.



12. M.P. Keuken, M. Moerman, M. Voogt, M. Blom, E.P. Weijers, T. Röckmann, U. Dusek, **2013** Source contributions to PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at an urban background and a street location, *Atmospheric Environment*, 71; 26-35.
13. Pala-En, N., Sattler, M., Dennis, B.H., Chen, V.C.P., and Muncrief, R.L. **2013** Measurement of Emissions from a Passenger Truck Fueled with Biodiesel from Different Feedstocks. *Journal of Environmental Protection* 4: 74-82.
14. Song, Y., Xie, S.D., Zhang, Y.H., Zeng, L.M., Salmon, L.G. and Zheng, M. (2006). Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Beijing using principal component analysis/absolute principal component scores and UNMIX. *Sci. Total Environ.* 372: 278–286.
15. Song, S., Wu, Y., Jiang, J., Yang, L., Cheng, Y. and Hao, J. (2012). Chemical characteristics of size-resolved PM<sub>2.5</sub> at a roadside environment in Beijing, China. *Environ. Pollut.* 161: 215–221.
16. Thongsanit,P., JinsartW, Hooper B, Limpaseni W and Hooper M, **2003** Atmospheric Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for PM<sub>10</sub> and Size-Segregated Samples in Bangkok. *Air & Waste Manage. Assoc.*, 53: 1490-1498
17. U.S. EPA. **2016**. Particulate Matter (PM). [Online]. Available from: <https://www3.epa.gov/pm/basic.html> [2018, May 20]
18. Wang T, et al., 2010. Air quality during the 2008 Beijing Olympics: secondary pollutants and regional impact. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7603–7615
19. Yang, F., He, K., Ye, B., Chen, X., Cha, L., Cadle, S.H., Chan, T. and Mulawa, P.A. (2005). One-year record of organic and elemental carbon in fine particles in downtown Beijing and Shanghai. *Atmos. Chem. Phys.* 5: 1449–1457.
20. Yang, H., Chien, S., Lo, M., Lan, J., Lu, W., and Ku, Y. **2007** Effects of biodiesel on emissions of regulated air pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons under engine durability testing. *Atmospheric Environment* 41: 7232-7240.
21. Yu, L.D., Wang, G.F., Zhang, R.J., Zhang, L.M., Song, Y., Wu, B.B., Li, X.F., An, K. and Chu, J.H. (2013). Characterization and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in an urban environment in Beijing. *Aerosol Air Qual. Res.* 13: 574–583.
22. Yu, N., Wei, Y.J., Hu, M., Zeng, L. M. and Zhang, Y.H. (2009). Characterization and source identification of ambient organic carbon in PM<sub>2.5</sub> in urban and suburban sites of Beijing.

23. Wang, W., Maenhaut, W., Yang, W., Liu, X.D., Bai, Z.P., Zhang, T., Claeys, M., Cachier, H., Dong, S.P. and Wang, Y.L. (2014b). One-year aerosol characterization study for PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Beijing. *Atmos. Pollut. Res.* 5: 554–562.
24. Wang, L., Liu, Z., Sun, Y., Ji, D. and Wang, Y. (2015b). Long-range transport and regional sources of PM<sub>2.5</sub> in Beijing based on long-term observations from 2005 to 2010. *Atmos. Res.* 157: 37–48.
25. Wang, Y.L., Yang, W., Han, B., Zhang, W.J., Chen, M.D. and Bai, Z.P. (2016a). Gravimetric analysis for PM<sub>2.5</sub> mass concentration based on year-round monitoring at an urban site in Beijing. *Sci. Dir.* 40: 154–160.
26. World Health Organization. WHO's Urban Ambient Pollution database – Update 2016. 2016;(online): [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AAP\\_database\\_summary\\_results\\_2016\\_v02.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_database_summary_results_2016_v02.pdf)
27. World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. 2006 (Online): [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair\\_aqg/en](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en)
28. Xu, J., Ding, G.A., Yan, P., Wang, S.F., Meng, Z.Y., Zhang, Y.M., Liu, Y.C., Zhang, X.L. and Xu, D.X (2007). Componential Characteristics and Sources Identification of PM<sub>2.5</sub> in Beijing. *J. Appl. Meteorol. Sci.* 18: 645–654 (in Chinese).
29. Zheng, S., Pozzer, A., Cao, C.X. and Lelieveld, J. (2015). Long-term (2001-2012) concentrations of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and the impact on human health in Beijing, China. *Atmos. Chem. Phys.* 15: 5715–5725.
30. Zhao, X., Zhang, X., Xu, X., Xu, J., Meng, W. and Pu, W. (2009). Seasonal and diurnal variations of ambient PM<sub>2.5</sub> concentration in urban and rural environments in Beijing. *Atmos. Environ.* 43: 2893–2900.