



อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบบ้านเดี่ยว

โดย

นางสาวสรีดา พรหมตัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบบ้านเดี่ยว

โดย

นางสาวสรีดา พรหมตัน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

THE IMPACT OF GREEN AREA TO AMBIENT PARTICULATE
MATTER CONCENTRATION FOR DETACHED HOUSE

BY

MISS SARIDA PHROMTAN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE
ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2018
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวสรिता พรหมตัน

เรื่อง

อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบอาคาร

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2562

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 วรวัชรไพฑูริย์
(อาจารย์ ดร. จิฐพร วงศ์วัชรไพฑูริย์)

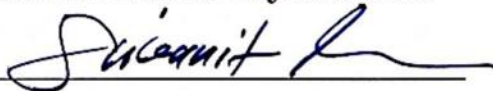
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสต์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์นรี ลลิตาภรณ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานัส ศรีวงษ์)

คณบดี


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาสาฬห์ สุวรรณฤทธิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง รอบบ้านเดี่ยว
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสรีดา พรหมตัน
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสด์
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (PM) ภายนอกอาคารเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรง แต่การหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมนอกอาคารและเน้นอยู่ภายในอาคารไม่สามารถป้องกันอันตรายจาก PM ได้เช่นกัน หากภายในอาคารไม่ได้ใช้ระบบปรับอากาศส่วนกลางที่มีระบบกรองอากาศคุณภาพสูง ซึ่งอาคารทั่วไปและที่พักอาศัยทุกประเภทไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ระบบปรับอากาศประเภทนี้ การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PM ภายนอกอาคารจึงควรถูกพิจารณา งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาลักษณะของพื้นที่สีเขียวที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความเข้มข้นของ PM ภายนอกอาคาร โดยใช้โปรแกรม ENVI-met ในการจำลองการแพร่ของ PM ในพื้นที่บ้านเดี่ยว ปัจจัยที่คำนึงในการจำลองได้แก่ ต้นไม้ 4 ประเภท คือ ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง และไม้พุ่ม กำหนดให้มีความหนาแน่นพุ่มใบ 2 ระดับ คือ ความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย (1.2, 0.6) ที่ความเร็วลม 2 ระดับ คือ ความเร็วลมต่ำและสูง (0.48, 2.96 m/s)

จากการศึกษาศักยภาพในการลดความเข้มข้นของ PM ด้วยต้นไม้บนพื้นที่โล่ง โดยเพิ่มการพิจารณาระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิด 4 ระดับ คือ 3, 10, 20 และ 30 ม. พบว่าที่ความเร็วลมต่ำ ระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิดระยะ 10 ม. เป็นระยะที่ต้นไม้มีศักยภาพในการลดความเข้มข้นของ PM มากที่สุด โดยไม้ยืนต้นทรงกลมที่มีความหนาแน่นพุ่มใบ 1.2 ลดความเข้มข้นลงมากที่สุดในระยะ 5 ม. แรกหลังแนวต้นไม้ แต่ระยะหลังจากนั้นกลับเพิ่มความเข้มข้นขึ้น ในขณะที่ไม้พุ่มให้ผลลัพธ์ตรงกันข้ามคือเพิ่มความเข้มข้นในระยะ 5 ม.แรก และลดลงมาก

ที่สุดในระยะยาวหลังจาก 5 ม. แต่ที่ความเร็วลมสูงทุกกรณีเพิ่มความเข้มข้นขึ้น ทั้งนี้กรณีไม่เย็นต้นทรงกลมยังให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ เพิ่มความเข้มข้นในอัตราที่ใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้น นอกจากนี้ระยะห่าง 3 ม. เป็นระยะเดียวที่แนวต้นไม้เพิ่มความเข้มข้นขึ้น

สำหรับพื้นที่บ้านเดี่ยวพบว่ามีความสอดคล้องกับการทดลองในพื้นที่โล่งที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. คือความเข้มข้นของ PM เพิ่มขึ้นทุกกรณีเทียบกับกรณีตั้งต้น แต่แตกต่างกันที่กรณีไม่เย็นต้นทรงกลมเพิ่มความเข้มข้นมากที่สุดและกรณีไม่พุ่มเพิ่มความเข้มข้นน้อยที่สุด บทบาทของต้นไม้กลายเป็นสิ่งกีดขวางลมและลดการระบาย PM รอบบ้านเดี่ยว แต่สำหรับประเทศไทยที่นิยมปลูกต้นไม้เพื่อความร่มเงา ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับลดความเข้มข้นของ PM รอบพื้นที่บ้านเดี่ยวคือการป้องกันไม่ให้ PM เข้ามาด้วยการล้อมเขตพื้นที่ด้วยกำแพงหรือรั้วทึบ ลดจำนวนต้นไม้ในพื้นที่ลง และจัดวางตำแหน่งของต้นไม้ให้อยู่หลังบ้านหรือไกลจากแหล่งกำเนิด เช่น ถนนที่มีการสัญจรด้วยยานพาหนะ

คำสำคัญ: ฝุ่นละออง, พื้นที่สีเขียวกับความเข้มข้นของฝุ่นละออง, PM_{10} และ $PM_{2.5}$, ENVI-met

Thesis Title	THE IMPACT OF GREEN AREA TO AMBIENT PARTICULATE MATTER CONCENTRATION FOR DETACHED HOUSE
Author	Miss Sarida Phromtan
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Chalermwat Tantasavasdi
Academic Years	2018

ABSTRACT

Outdoor Particulate Matter (PM) concentration is an uncontrollable factor that has direct effects on human health. Avoiding outdoor activities and staying indoor is not safe from PM either if central air conditioning system with high quality filtration is not used. And generally, normal buildings and residential buildings are not designed to use this system. PM concentration influential factors studying should be considered. This study emphasizes the impact of green area on outdoor PM concentration. The three-dimensional computational fluid dynamic model, ENVI-met, is used to investigate PM dispersion in detached house's landscape. Factors include various tree crown morphology settings (sphere, cylinder, high-crown and bush), Leaf area density; LAD (sparse and dense) in low and high wind speed (0.48 and 2.96 m/s)

The study of PM reduction potential from trees in open area considers additional factor of source-tree line distance (3, 10, 20 and 30 m). It is found that at low wind speed, the distance of 10 m promotes the best PM reduction. Spherical crown shape with LAD 1.2 case gives the best reduction of PM in the first 5 m but then increases PM concentration at distances beyond 5 m. Conversely, bushes cause increasing concentration at the first 5 m but give the best reduction for distances beyond 5 m. At high wind speed, all cases show increasing concentration. Spherical

crown shape still gives the best result and shows slightly different result from the base case. Moreover, the distance of 3 m is the only case that shows increases of PM concentration.

For detached houses, the results are similar to 3 m distance case in open area. In all cases, concentration increases comparing to the base case but spherical crowns and bushes give the highest and lowest average concentrations, respectively. Vegetation becomes air ventilation's obstruction. However, in Thailand, vegetation is usually used for sun protection. Therefore, the best alternative is to block PM by walls and solid fences, to reduce the number of trees, to place trees at the back of the house or far from the source such as street.

Keywords: Particulate matter, PM Concentration reduction by vegetation, PM₁₀ and PM_{2.5}, ENVI-met

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างย้งจากรองศาสตราจารย์ เณลิมวัฒน์ ตันตสวัสดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา ด้านวิชาการและคำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. จิฐพร วงศ์วัชรไพบูลย์ ที่คอยให้คำแนะนำ ความรู้และการประเมินด้านฝุ่นละออง รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยในหัวข้อที่ไม่มีความพร้อมทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์มากนัก

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์นรี ลลิตาภรณ์ ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ด้านฝุ่นละออง และช่วยเหลือในการออกแบบการทดลองที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลอง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานัส ศรีวนิช ที่สอนและให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม ENVI-met อีกทั้งยังให้คำแนะนำและตรวจสอบข้อมูลในเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายบัณฑิตศึกษาที่ช่วยเหลือในการยื่นเอกสารต่าง ๆ ทำให้กระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์ผ่านไปได้ด้วยดี

ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือ ขอขอบคุณหลังและครอบครัวห้วงที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ขอบคุณนักร้องนักดนตรีทุกคนที่สร้างเสียงเพลงและจัดคอนเสิร์ตในประเทศไทยเพื่อเติมความสดชื่นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะคิมจินอู อีซึงฮุน ชงมินโฮ คังซึงยูน และคังแดเนียล ที่มีความสุขทุกวัน

ขอขอบคุณการแข่งขันฟุตบอลที่ให้ผู้วิจัยใช้เป็นข้ออ้างในการทำงานในช่วงเวลากลางคืน สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อคุณพ่อ ร.ต.ต. สมพล พรหมตัน และคุณแม่ จันทร์เพ็ญ พรหมตัน ที่ให้การสนับสนุนแรงใจในการเรียนต่อระดับมหาบัณฑิต และการสนับสนุนทางทุนทรัพย์สำหรับการทำวิจัย รวมถึงตรวจทานวิทยานิพนธ์นี้ให้ถูกต้องครบถ้วน ขอขอบคุณก น้องสาวที่อยู่เป็นเพื่อนในการทำวิทยานิพนธ์ในช่วงวันหยุดยาว

นางสาวสริดา พรหมตัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 คำถามวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 นิยามศัพท์	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ผู้่นละออง	6
2.1.1 ความหมายของผู้่นละออง	6
2.1.2 ขนาดของผู้่นละออง	7
2.1.3 แหล่งกำเนิดผู้่นละออง	8
2.1.4 มาตรฐานระดับผู้่นละออง	11

2.1.5 การปล่อยฝุ่นของยานพาหนะ	11
2.2 คุณสมบัติเชิงกายภาพของฝุ่นละออง	12
2.2.1 การตกสะสมของฝุ่นละออง	12
2.2.2 การกระจายตัวของฝุ่นละอองตามความสูง	14
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองนอกอาคาร	14
2.3.1 บทบาทความเข้มข้นของฝุ่นละอองนอกอาคาร	14
2.3.2 ปัจจัยสภาพอากาศ	15
2.3.2.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	15
2.3.2.2 รูปแบบและลักษณะของลม	16
2.3.3 ปัจจัยสภาพแวดล้อม	16
2.3.3.1 รูปแบบการวางกลุ่มอาคาร	16
2.3.3.2 พื้นที่สีเขียว	16
2.3.3.3 วัสดุของอาคารและพื้น	21
2.4 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	24
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	24
3.1.1 ศึกษาข้อมูลและกำหนดตัวแปร	24
3.1.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4	24
3.1.3 การจำลองกรณีศึกษา	25
3.1.4 วิเคราะห์และประเมินผล	25
3.1.5 สรุปผลการวิจัย	25
3.2 กลุ่มตัวอย่าง	27
3.3 ตัวแปรที่ศึกษา	29
3.3.1 ตัวแปรต้น	29
3.3.2 ตัวแปรตาม	30
3.3.3 ตัวแปรควบคุม	30
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	32
3.4.1 เครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศ	32

3.4.2 โปรแกรม ENVI-met V4	32
3.5 การจำลองในโปรแกรม ENVI-met	33
3.5.1 การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองใน ENVI-met	33
3.5.1.1 ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริง	33
3.5.1.2 การเตรียมข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา	35
3.5.1.3 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ	37
3.5.1.4 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้า	37
3.5.2 การนำเข้าแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4	38
3.6 แบบจำลองกรณีศึกษา	39
3.6.1 การสร้างแบบจำลองศึกษาส่วนที่ 1	39
3.6.2 การสร้างแบบจำลองศึกษาส่วนที่ 2	40
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล	41
3.8 การประยุกต์ใช้	42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	43
4.1 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4	43
4.2 การนำเข้าแบบจำลองกรณีตั้งต้น	44
4.2.1 การสร้างแบบจำลองกรณีตั้งต้น	44
4.2.2 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าในกรณีตั้งต้น	44
4.3 ผลการจำลองกรณีตั้งต้น	46
4.4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของกรณีตั้งต้น	47
4.5 ผลการจำลองส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของ PM ด้วยต้นไม้	49
4.5.1 อิทธิพลจากประเภทต้นไม้และความหนาแน่นพุ่มใบ	49
4.5.2 อิทธิพลจากระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิด	53
4.5.3 อิทธิพลจากความเร็วลมตั้งต้น	55
4.6 ผลการจำลองส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของต้นไม้ในพื้นที่บ้านเดี่ยวต่อความเข้มข้นของ PM	58
4.6.1 อิทธิพลจากประเภทต้นไม้	58

4.6.2 อิทธิพลจากความหนาแน่นพุ่มใบ	62
4.6.3 อิทธิพลจากความเร็วลมตั้งต้น	63
4.6.4 อิทธิพลจากกำแพงที่ล้อมรอบพื้นที่บ้านเดี่ยว	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผลการวิจัย	68
5.1.1 ศักยภาพการลดความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ	68
5.1.2 อิทธิพลของประเภทต้นไม้ที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่บ้านเดี่ยว	70
5.1.3 แนวทางการออกแบบพื้นที่สีเขียวรอบบ้านเดี่ยวเพื่อจำกัดความเข้มข้นของ PM ให้น้อยที่สุด	72
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	75
รายการอ้างอิง	76
ภาคผนวก	80
ภาค ก	81
ภาค ข	82
ภาค ค	83
ภาค ง	86
ประวัติผู้เขียน	90

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สัดส่วนของฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในองค์ประกอบของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด	8
2.2	มาตรฐานคุณภาพอากาศของฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11
2.3	ค่าความสอดคล้องทางสถิติของความเร็วลมที่ได้จากการเก็บข้อมูล ภาคสนามและการจำลองด้วยโปรแกรม ENVI-met ในงานวิจัยที่ผ่านมา	23
3.1	จำนวนของครัวเรือนของที่อยู่อาศัยแต่ละประเภทในประเทศไทย จำแนก ตามประเภทที่อยู่อาศัย พ.ศ. 2553 และ 2563	27
3.2	ปริมาณปลดปล่อย PM ของยานพาหนะดีเซลขนาดเล็กในช่วงเวลา	31
5.1	ศักยภาพการลดความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้แต่ละประเภท เมื่อแนว ต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิดระยะต่าง ๆ ที่มีความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s	69

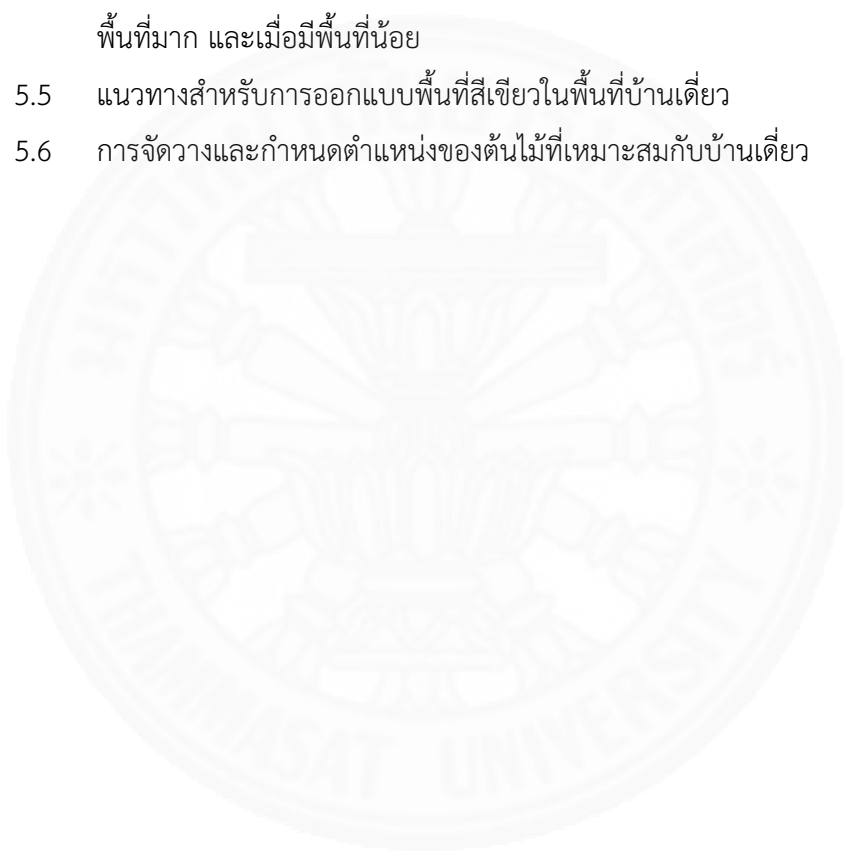
สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงปริมาณฝุ่นรวมเฉลี่ย 24 ชั่วโมงบริเวณริมถนนในกรุงเทพ ปีพ.ศ. 2535-2544	10
2.2	แสดงปริมาณฝุ่นขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมงบริเวณริมถนนในกรุงเทพ ปีพ.ศ. 2535-2544	10
2.3	กระบวนการตกสะสมแบบแห้งและเปียกของอนุภาคฝุ่นละออง	14
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและนอกอาคาร ในโรงพยาบาลที่มีระบบปรับอากาศประเภท AHU และ FCU, AHU, FCU , หน้าต่างและแยกส่วน	15
2.5	การเปรียบเทียบอัตราการตกของความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ รอบอาคารที่มี และไม่มีต้นไม้ล้อมรอบที่ระดับความสูงต่างๆของอาคาร	17
2.6	ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของ $PM_{2.5}$ ต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตรของหน้าใบของพืช 17 สายพันธุ์	18
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่สีเขียวและความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10}	19
2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ PM ที่ถูกชะล้างต่อปริมาณฝน	21
2.9	ความสามารถในการสะสมของอนุภาคขนาด $5\ \mu m$ บนพื้นผิววัสดุต่างๆใน 3 ทิศทาง (พื้น ผนัง เพดาน)	21
3.1	แสดงแบบแผนการวิจัย	26
3.2	ผังของโครงการบ้านเดี่ยวจัดสรรที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่าง	28
3.3	เครื่องมือวัดความเร็วลม (ซ้าย) วัดความเร็วลม 200-WS-25 (ขวา) เครื่องบันทึกข้อมูล 200-WS-02F	32
3.4	การกำหนดช่วงเวลาในการปล่อยมลพิษและระดับความเข้มข้น ($\mu g/m^3$) และการกำหนดตำแหน่งในการปล่อยมลพิษ	33
3.5	ความเร็วลมสูงสุดและความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง 3 วันของกลุ่มตัวอย่าง	34
3.6	ความเร็วลมรายชั่วโมงจากการวัดภาคสนามของกลุ่มตัวอย่างเฉลี่ย 3 วัน	34
3.7	อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561	35
3.8	ความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561	36

3.9	ความเร็วลมรายชั่วโมงในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561	36
3.10	ทิศทางลมในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561	37
3.11	ขนาดโมเดลจำลองสำหรับกรณีตั้งต้นเพื่อทดสอบความถูกต้องโปรแกรม ENVI-met	38
3.12	กรณีจำลองส่วนที่ 1	39
3.13	กรณีจำลองส่วนที่ 2	40
3.14	พื้นที่สำหรับใช้ประเมินผลความเข้มข้นของ PM ในแบบจำลองส่วนที่ 1	41
3.15	พื้นที่สำหรับใช้ประเมินผลความเข้มข้นของ PM ในแบบจำลองส่วนที่ 2	42
3.16	พื้นที่สำหรับใช้ประเมินความเข้มข้นของ PM ₁₀ และ PM _{2.5} บนพื้นที่โล่งและพื้นที่สีเขียวในแบบจำลองส่วนที่ 2	42
4.1	แบบจำลองกรณีตั้งต้นในโปรแกรม ENVI-met ตามผังโครงการบ้านเดี่ยวจัดสรรกลุ่มตัวอย่าง	44
4.2	แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมจากการวัดภาคสนามและผลการจำลองกรณีตั้งต้น 6 กรณีจากโปรแกรม ENVI-met	46
4.3	แผนภูมิเส้นแสดงค่า R ² ของกรณีตั้งต้น 1-6	47
4.4	แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ PM ₁₀ เมื่อต้นไม่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย บนตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิด 3, 10, 20 และ 30 ม. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s	50
4.5	แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลม เมื่อต้นไม่มีความหนาแน่นมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s	51
4.6	รูปผังแสดงลักษณะการกระจาย PM กรณีไม้ยืนต้นทรงกลม และไม้พุ่ม	51
4.7	รูปตัดแสดงลักษณะลมที่พัดผ่านแนวต้นไม้ประเภทไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง และ ไม้พุ่ม	52
4.8	แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณเฉลี่ย PM บนใบของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ เมื่อต้นไม่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s	53
4.9	รูปตัดแสดงลักษณะการกระจาย PM ที่แนวต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิดระยะ 3 และ 10 ม. กรณีไม้ยืนต้นทรงกลม และไม้พุ่ม	54

4.10	แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณเฉลี่ย PM บนใบของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 3 และ 10 ม. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s	55
4.11	แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ PM ₁₀ เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย บนตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิด 3, 10, 20 และ 30 ม. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s	56
4.12	รูปตัดแสดงลักษณะการแพร่กระจายของ PM ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s	57
4.13	แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ PM ₁₀ และ PM _{2.5} เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s	59
4.14	แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยว เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s	59
4.15	ปริมาณตกสะสมรวมบนใบของ PM ₁₀ บนต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากทุกต้นในพื้นที่บ้านเดี่ยว ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s ณ ความสูง 1.4 ม.	60
4.16	ผังพื้นแสดงรูปแบบการจัดวางต้นไม้ที่ส่งผลต่อลักษณะการกระจายของ PM ในการจำลองส่วนที่ 1 และ 2	61
4.17	รูปตัดแสดงลักษณะการกระจายของ PM ในการจำลองส่วนที่ 1 และ 2	61
4.18	ลักษณะลมที่ไหลผ่านต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ในกรณีที่ดินไม้เพิ่มความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่	62
4.19	แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ PM ₁₀ และ PM _{2.5} ในพื้นที่บ้านเดี่ยว เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s	64
4.20	แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยว เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s	64
4.21	แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ลานจอดรถ (ไม่มีต้นไม้) และพื้นที่สีเขียว (มีต้นไม้) ในบริเวณพื้นที่บ้านเดี่ยว	65
4.22	รูปตัดแสดงการไหลของลมในบ้านเดี่ยวบริเวณพื้นที่จอดรถ และพื้นที่สีเขียว	66
4.23	รูปตัดแสดงความเข้มข้นและการแพร่กระจายของ PM กรณีพื้นที่ถูกล้อมด้วยกำแพงทึบ	67

5.1	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} ในพื้นที่บ้านเดี่ยว สำหรับกรณีต้นไม้ประเภทต่าง ๆ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s	70
5.2	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบความเร็วลมในพื้นที่บ้านเดี่ยวสำหรับกรณี ต้นไม้ประเภทต่าง ๆ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s	71
5.3	การเลือกใช้ประเภทต้นไม้เพื่อลดความเข้มข้นของ PM บนพื้นที่โล่งหลัง แนวต้นไม้ในระยะสั้นและในระยะยาว	72
5.4	การเลือกใช้ประเภทต้นไม้เพื่อลดความเข้มข้นของ PM บนพื้นที่โล่ง เมื่อมี พื้นที่มาก และเมื่อมีพื้นที่น้อย	73
5.5	แนวทางสำหรับการออกแบบพื้นที่สีเขียวในพื้นที่บ้านเดี่ยว	73
5.6	การจัดวางและกำหนดตำแหน่งของต้นไม้ที่เหมาะสมกับบ้านเดี่ยว	74



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัญหามลพิษทางอากาศนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากมลพิษทางอากาศเป็นภาวะที่มีสารเจือปนอยู่ในอากาศปริมาณสูงกว่าระดับปกติจนก่อให้เกิดความเสี่ยงที่สำคัญต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และโรคมะเร็งปอด องค์การอนามัยโลกคาดคะเนว่าประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศใน ปี 2556 ประมาณ 50,000 คน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 60,000 ล้านบาทหรือประมาณ 1.8 ล้านล้านบาท ดังนั้นการลงทุนเพื่อควบคุมมลพิษจึงน่าจะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า ฝุ่นละออง (Particulate Matter; PM) นับเป็นมลพิษทางอากาศอย่างหนึ่งที่หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมและนักวิชาการให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีหลายขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนขึ้นไป โดยที่ขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จนถึงขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่ไม่สามารถมองเห็นได้ อาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากลมพายุ ไฟไหม้ หรือจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ฝุ่นละอองจากท่อไอเสียของรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม ปกติแล้วค่าฝุ่นละอองเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาวโดยเฉพาะเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ เนื่องจากมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ฝุ่นละอองในอากาศจึงลอยตัวต่ำ และในเดือนกุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2561 หน่วยงานจากรัฐบาลได้แจ้งเตือนความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนเนื่องจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เกินระดับมาตรฐานเป็นเวลานานมากกว่าหนึ่งสัปดาห์ ต่างจากในหลายปีก่อนที่มีค่าสูงเกินมาตรฐานเพียงไม่กี่วัน ทำให้ประชาชนตื่นตัวกับปัญหาฝุ่นละอองกันมากขึ้น โดยมีการรณรงค์ใส่หน้ากากที่สามารถป้องกันฝุ่นได้และให้ทำกิจกรรมอยู่ภายในอาคาร

ฝุ่นละอองในอากาศนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากภายในอาคารซึ่งสามารถควบคุมได้ เช่น กิจกรรมของมนุษย์ และจากภายนอกอาคารซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ เช่น มลพิษจากรถยนต์ หรือการพัดพาของลม คนทั่วไปคิดว่าการทำกิจกรรมอยู่ภายในอาคารอาจช่วยลดความเสี่ยงจากฝุ่นละอองได้ ซึ่งในความเป็นจริงหากภายในอาคารไม่ได้ใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางที่มีระบบกรองอากาศที่ได้มาตรฐาน แต่หากเป็นการปรับอากาศด้วยระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นไม่สามารถช่วยกรองฝุ่นละอองจากนอกอาคาร โดยการปรับอากาศประเภทนี้มักใช้โดยทั่วไปในอาคารประเภทต่าง ๆ เช่น อาคารสำนักงานทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่อยู่อาศัยทุกประเภท กล่าวได้ว่าในอาคารทั่วไปมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารไม่แตกต่างจากภายนอก เนื่องจากฝุ่นละอองขนาด

เล็กเหล่านี้จะเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลาไปตามสภาพอากาศ ภูมิอากาศ และลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา จึงสามารถแทรกซึมเข้าไปผ่านทางรอยรั่วที่เปลือกอาคาร และช่องเปิดจากหน้าต่างหรือประตูเพียงเล็กน้อยทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 56-63 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการหาทางเลือกในการลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบอาคารเพื่อที่สามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารด้วย จากข้อมูลเบื้องต้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดกรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูลสถิติจำนวนประเภทที่อยู่อาศัยพบว่าบ้านเดี่ยวมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 78.3 (ภาพที่ 3.2) หรือคิดเป็นสัดส่วน 3:4 ของปริมาณที่อยู่อาศัยทุกประเภท จึงควรได้รับการคำนึงถึงอย่างมาก

พื้นที่สีเขียวรอบบ้านเดี่ยวมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ ต้นไม้เป็นสิ่งกีดขวางฝุ่นละออง และใบไม้สามารถดักจับฝุ่นละออง อีกทั้งผู้อยู่อาศัยในบ้านเดี่ยวยินยมปลูกต้นไม้รอบพื้นที่ว่างรอบอาคาร โดยมีต้นไม้หลากหลายรูปแบบ เช่น ไม้ยืนต้นรูปทรงต่าง ๆ และไม้พุ่ม แต่อย่างไรก็ตามต้นไม้สามารถลดหรือเพิ่มความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ 1) รูปแบบการจัดวางของพื้นที่สีเขียว เช่น ระยะห่างของพื้นที่สีเขียวกับอาคาร, ระยะห่างระหว่างต้นไม้ , 2) ลักษณะต้นไม้ เช่น ทรงพุ่ม, ความหนาแน่นพุ่มใบ, ลักษณะกายภาพของใบ เนื่องด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ การศึกษาถึงผลลัพธ์จึงควรถูกพิจารณา

1.2 คำถามวิจัย

รูปแบบและการจัดวางของพื้นที่สีเขียวลักษณะใดที่ทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบอาคารมีค่าน้อยที่สุดสำหรับที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาศักยภาพการลดความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ
2. ศึกษาและเปรียบเทียบอิทธิพลของลักษณะต้นไม้ รูปแบบและการจัดวางพื้นที่สีเขียวที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM นอกอาคารที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยว
3. เสนอแนวทางการออกแบบพื้นที่สีเขียวที่ทำให้ความเข้มข้นของ PM มีค่าน้อยที่สุดและมีรูปแบบเหมาะสมสำหรับบ้านเดี่ยว

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาฝุ่นละอองประเภท $PM_{2.5}$, PM_{10} เท่านั้น
2. ศึกษาและจำลองโครงการที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยวจัดสรรที่มีความสูง 2 ชั้น (6 ม.) โดยใช้ผังการจัดวางจากโครงการเดียวกัน
3. วิเคราะห์และจำลองสภาพแวดล้อมด้วยโปรแกรม ENVI-met V4 ที่สามารถศึกษาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศด้วยการกำหนดอัตราการปล่อยฝุ่นละอองสำหรับแหล่งกำเนิดเฉพาะที่ได้
4. การตั้งค่าตั้งต้นความเข้มข้นของฝุ่นละอองสำหรับการทดลองประเมินจากอัตราการปล่อยมลพิษของยานพาหนะและข้อมูลเชิงสถิติเท่านั้น
5. การทดลองนี้ไม่ได้คำนึงถึงฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ในที่พักอาศัยและจากแหล่งกำเนิดภายนอกโครงการ

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

1. ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละออง
2. ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PM รอบอาคาร
3. ศึกษาลักษณะและรูปแบบของพื้นที่สีเขียว ประเภทต้นไม้ และเลือกรูปแบบกลุ่มตัวอย่างเป็นต้นแบบสำหรับการจำลอง
4. ศึกษาการใช้งานและออกแบบการทดลองด้วยการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ENVI-met V4

1.5.2 การวิจัยเชิงการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

1. ส่วนที่ 1 จำลองแนวต้นไม้ในที่โล่งเพื่อทดสอบศักยภาพของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ สำหรับการลดความเข้มข้นของ PM บริเวณพื้นที่หลังแนวต้นไม้
2. ส่วนที่ 2 จำลองการจัดวางผังที่พักอาศัยบ้านเดี่ยวกลุ่มตัวอย่างโดยกำหนดสัดส่วนพื้นที่อาคารและพื้นที่สีเขียวรอบบ้านเดี่ยวกรณีตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM รอบอาคารเมื่อรูปแบบการจัดวางของพื้นที่สีเขียวและประเภทต้นไม้แตกต่างกัน

1.5.3 การวิเคราะห์และสรุปผล

1. วิเคราะห์และเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM บริเวณพื้นที่หลังแนวต้นไม้ของแต่ละกรณีเทียบกับกรณีตั้งต้น
2. วิเคราะห์และเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่รอบบ้านเดี่ยวของแต่ละกรณีที่รูปแบบพื้นที่สีเขียวและการจัดวางแตกต่างกันเทียบกับกรณีตั้งต้น
3. วิเคราะห์และประเมินความสัมพันธ์ของรูปแบบและการจัดวางพื้นที่สีเขียวกับความเข้มข้นของ PM, ความเร็วลม และปริมาณตกสะสมบนใบของ PM
4. สรุปผลและเสนอแนวทางในการออกแบบพื้นที่สีเขียวรอบบ้านเดี่ยวที่ทำให้ความเข้มข้นของ PM นอกอาคารเกิดขึ้นน้อยที่สุด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในการศึกษาวิจัยนี้คาดว่าจะเกิดผลประโยชน์ต่อสังคมโดยรวม ดังนี้

1. ทราบถึงลักษณะและประเภทต้นไม้และรูปแบบการจัดวางพื้นที่สีเขียวที่มีผลต่อความเข้มข้นของ PM
2. สามารถเป็นข้อมูลทางเลือกในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมและแนวทางการออกแบบเพื่อลดความเข้มข้นของ PM สำหรับที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยวและอาคารอื่น ๆ
3. ในภาคการศึกษาและวิจัย เกิดองค์ความรู้ที่จะสามารถนำไปศึกษาและพัฒนาต่อยอดได้ต่อไปในอนาคต

1.7 นิยามศัพท์

1. ฝุ่นละอองรวม (total suspended particulate, TSP) หมายถึง ฝุ่นละอองที่ประกอบด้วยสารต่าง ๆ ที่เป็นของแข็งและของเหลวที่กระจายอยู่ในบรรยากาศ มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอนจนถึงฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน
2. ฝุ่นละออง (particulate matter, PM) หมายถึง ฝุ่นอันตรายที่มีองค์ประกอบทางเคมีใดๆ ก็ตาม เช่น โปรท แคดเมียม สารหนู และโพลีไซคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นต้น และจัดเป็นสารก่อมะเร็ง
3. ฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน หรือ PM₁₀ หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle)

4. ฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ $PM_{2.5}$ คือ ฝุ่นละเอียด (fine particle)
5. ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (particulate matter concentration) หมายถึง ปริมาณของอนุภาคที่ผสมอยู่อากาศ มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$)
6. ความหนาแน่นพื้นที่ใบ (leaf area density, LAD) หมายถึง ค่าผลรวมพื้นที่ใบหนึ่ง ด้านต่อปริมาตรหนึ่งหน่วย
7. รูปแบบพื้นที่สีเขียว (Green area pattern) หมายถึง การจัดวางต้นไม้ในพื้นที่ รวมถึงการจัดวางองค์ประกอบต่าง ๆ ในพื้นที่รอบบ้านอย่างสิ่งปลูกสร้าง โดยคำนึงถึงรายละเอียดเช่น ลักษณะต้นไม้, ความสูงและขนาดของต้นไม้, ความหนาแน่นพุ่มใบ, ลักษณะทรงพุ่ม เป็นต้น
8. การตกสะสม (deposition) หมายถึง กระบวนการเกิดฝุ่นละอองตกลงสู่พื้นผิวโลก และตกสะสมบนใบไม้ มีทั้งการตกสะสมแบบแห้งและแบบเปียก

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝุ่นละออง

2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง

เมื่อฝุ่นละอองถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดอาจลอยอยู่ในบรรยากาศหรือถูกพัดพาไปโดยอากาศและกระแสลม ซึ่งฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ (วิลาวรรณ คำหาญ, 2560)

2.1.1.1 ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (primary aerosol)

ฝุ่นละอองปฐมภูมิ เป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดไปสู่บรรยากาศโดยตรงจากการยกตัวของลม ได้แก่ ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ของรถยนต์และโรงงานอุตสาหกรรม จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ จากละอองน้ำทะเล และจากเกษตรกรรม ฝุ่นละอองปฐมภูมิมิรูปร่างไม่เป็นทรงกลม มีอนุภาคขนาดใหญ่ และสะท้อนแสงน้อย จึงส่งผลให้ผิวโลกเกิดปรากฏการณ์ความร้อน (warming effect) มากกว่าปรากฏการณ์การเย็นตัว (cooling effect)

2.1.1.2 ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (secondary aerosol)

ฝุ่นละอองทุติยภูมิ เป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการสะสมตัวของฝุ่นละอองปฐมภูมิ หรือฝุ่นละอองปฐมภูมิมิรวมตัวกับแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งโดยผ่านกระบวนการดูดซับเข้าสู่อนุภาค กระบวนการดูดซับเข้าไปในหยดน้ำ และกระบวนการทางเคมี ฝุ่นละอองชนิดนี้เกิดจากการเผาไหม้ของเพลิงชีวมวลและซากดึกดำบรรพ์ การปล่อยความร้อนใต้พิภพ มหาสมุทร ทะเลสาบ แม่น้ำ ดิน พืช การก่อสร้าง และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์อื่น ๆ เช่น การปล่อยจากท่อไอเสียของเครื่องบิน รถยนต์ และการขนส่งต่าง ๆ ฝุ่นละอองทุติยภูมิโดยส่วนใหญ่จะมีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาดเล็ก สะท้อนแสงได้ดีจึงส่งผลให้โลกเกิดปรากฏการณ์การเย็นตัว

การจำแนกชนิดของอนุภาคในบรรยากาศสามารถจำแนกได้ดังนี้ ฝุ่นผง (dust) คือ อนุภาคของแข็งที่เกิดจากกระบวนการสลายตัวทางกลศาสตร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า $1\text{ }\mu\text{g}$ หมอก (fog) คือ กลุ่มละอองน้ำที่ลอยตัวอยู่ในระดับต่ำเหนือพื้นดิน ใช้เรียกฝุ่นละอองที่มองเห็นได้ ส่วนไอ (fume) คือ อนุภาคของแข็ง เกิดจากการควบแน่นของสารในสถานะแก๊ส มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า μm ฟ้าหลับ (haze) เกิดจากอนุภาคจำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ มีเส้น

ผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า $1\ \mu\text{m}$ ละออง (mist) คือ หยดของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ เกิดจากการควบแน่นของสารจากสถานะแก๊สมาเป็นสถานะของเหลว มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า $1\ \mu\text{m}$ อนุภาค (particle) คือ อนุภาคฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในบรรยากาศ ประกอบด้วยโมเลกุลของแข็งหรือโมเลกุลของเหลวรวมกัน หมอกควัน (smog) เกิดจากการปนเปื้อนกับกลุ่มควันที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ เขม่า (soot) คือ อนุภาคผงถ่านชนิดละเอียด เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงประเภทซากดึกดำบรรพ์ เป็นเศษเหลือตกค้างแล้วยึดเกาะกันภายในช่องเผาไหม้

2.1.2 ขนาดของฝุ่นละออง

2.1.2.1 ฝุ่นละอองแบบหยาบ (TSP)

ฝุ่นละอองแบบหยาบมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า $1\ \mu\text{m}$ ประกอบด้วย เถ้าละอองแร่ เถ้าภูเขาไฟ และเถ้าลอย มาจากกระบวนการทางกายภาพ มีความเข้มข้นน้อยที่สุด มีช่วงเวลาอยู่ในอากาศสั้น เนื่องจากมีอัตราการตกสะสมแบบแห้งสูง แต่มีความสำคัญต่อสมบัติเชิงแสงของฝุ่นละออง

2.1.2.2 ฝุ่นละอองแบบละเอียด (PM_{10})

(1) แบบการสะสมตัว ฝุ่นละอองชนิดนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.1\text{--}1\ \mu\text{m}$ เกิดจากกระบวนการจับตัวกันเป็นก้อนของอนุภาคเล็กๆ และการควบแน่นของแก๊สบนอนุภาค ความเข้มข้นของฝุ่นละอองชนิดนี้มากกว่าแบบหยาบ ช่วงเวลาที่อยู่ในอากาศประมาณ 1 สัปดาห์ การตกการสะสมแบบเปียกมีอิทธิพลต่อฝุ่นละอองชนิดนี้

(2) แบบการเกิดนิวเคลียส ฝุ่นละอองชนิดนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.01\text{--}1\ \mu\text{m}$ เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำอิมิต์ที่เกิดจากการเผาไหม้ และการจับตัวกันเป็นก้อนของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากแก๊สไปเป็นอนุภาคในบรรยากาศ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกำมะถัน ความเข้มข้นของฝุ่นละอองชนิดนี้สูงแต่มวลรวมมีค่าน้อยมาก

2.1.2.3 ฝุ่นละอองแบบละเอียดมาก ($\text{PM}_{2.5}$)

ฝุ่นละอองแบบหยาบมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ $0.01\ \mu\text{m}$ เกิดจากการสะสมตัวของอนุภาคเป็นนิวเคลียสของแก๊ส ทำหน้าที่เป็นแกนกลางในการก่อตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ฝุ่นละอองชนิดนี้มีช่วงเวลาอยู่ในบรรยากาศสั้นกว่าอนุภาคชนิดอื่น ๆ ทำให้เราเห็นมันใกล้กับแหล่งกำเนิดเท่านั้น

2.1.3 แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองมีทั้งจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองเปลือกโลก เกิดจากการสึกกร่อนของดิน หิน หรือของแข็งอื่น ๆ เนื่องจากวัตถุปะทะกับแรงลม ทำให้อนุภาคของแข็งหลุดออกมาจากวัตถุและฟุ้งกระจายไปตามทิศทางการไหลของกระแสลม และฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ต่าง ๆ มีทั้งฝุ่นละอองแบบละเอียดและหยาบ เช่น เเขม่าและควันไฟ ฝุ่นละอองนี้มีการกระจายตัวอย่างหนาแน่นในย่านอุตสาหกรรมและชุมชนเมือง

ตารางที่ 2.1

สัดส่วนของฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในองค์ประกอบของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด

ประเภทของฝุ่นละออง	ร้อยละของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ		
	< 1 μm	< 2.5 μm	< 10 μm
ถนนและฝุ่นดิน	4.5	10.7	52.3
การเผาไหม้ทางการเกษตร	81.6	82.7	95.8
การเผาไหม้ของครัวเรือน	92.4	93.1	95.8
เครื่องยนต์ดีเซล	91.8	92.3	96.2
การเผาไหม้ถ่านหิน	87.4	97.4	99.2
ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง	4.6	5.8	34.9

ที่มา: เอกสารวิชาการของ US.EPA, 2012

แหล่งกำเนิดของมลพิษจำแนกออกเป็น 3 ประเภท (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2558) ได้แก่

(1) แหล่งกำเนิดแบบจุด (point sources)

แหล่งกำเนิดซึ่งโดยปกติเป็นโรงงานที่มีการผลิตหรือกระบวนการผลิตขนาดใหญ่ซึ่งรวมจุดระบายมลพิษ มีทั้งจากพื้นที่จำกัด ปล่องควันไฟ หรือปล่อง เช่น เตาเผา โรงพยาบาล อุตสาหกรรม เป็นต้น

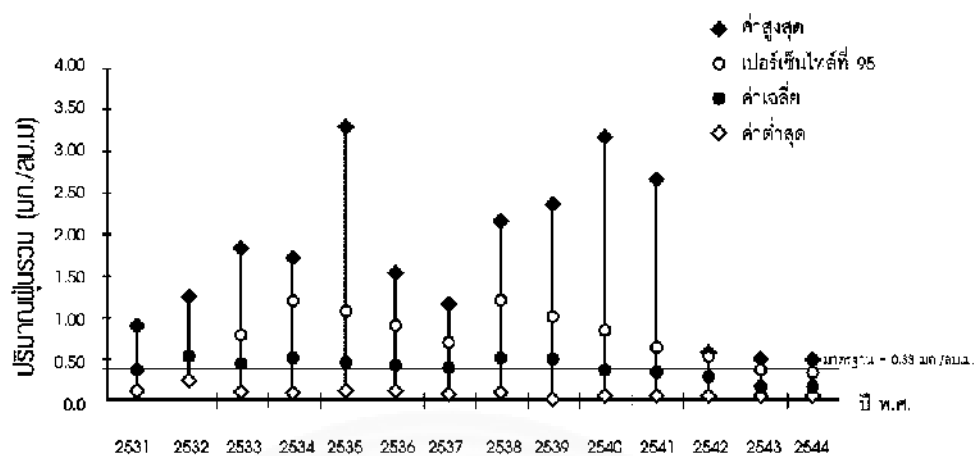
(2) แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (area sources)

แหล่งกำเนิดชนิดอยู่กับที่ที่มีขนาดเล็ก และมีจำนวนมากเกินกว่าจะพิจารณาจัดให้อยู่ในแหล่งแบบจุดได้ แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ยังรวมแหล่งกำเนิดหลากหลายชนิดไว้ด้วยกัน เช่น ครุฑ ปิมน้ำมัน สถานที่ก่อสร้าง สถานีขนส่ง เป็นต้น

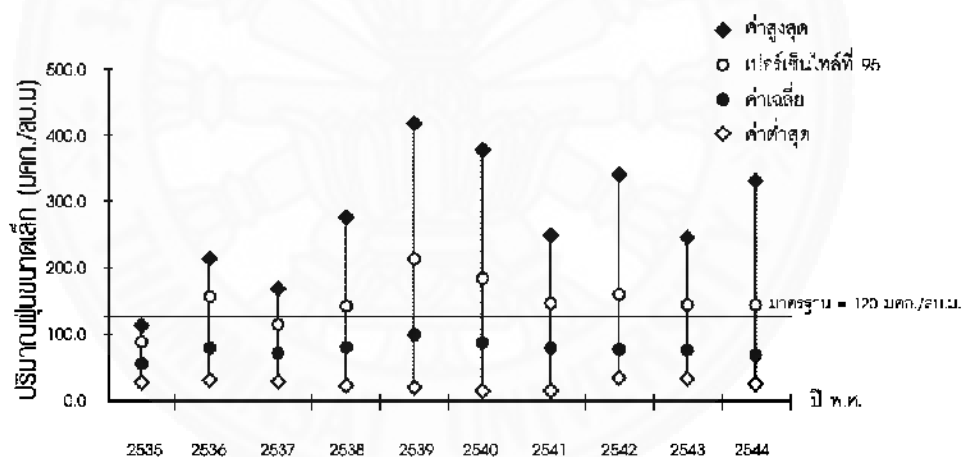
(3) แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ (เส้น) (mobile; line sources)

ยานพาหนะต่างๆ เครื่องยนต์และอุปกรณ์ที่ก่อมลพิษและสามารถเคลื่อนที่ได้ แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่จัดแบ่งได้เป็นแหล่งกำเนิดชนิดอยู่บนถนน ซึ่งรวมยานพาหนะต่าง ๆ ที่สัญจรบนถนนที่อาจใช้ทั้งเชื้อเพลิงน้ำมันหรือเชื้อเพลิงทางเลือกอื่น ๆ และแหล่งกำเนิดชนิดอยู่นอกถนนจะรวมถึงยานยนต์ต่าง ๆ ที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันเบนซินหรือดีเซลที่ใช้ในการก่อสร้าง การเกษตร และวัตถุประสงค์อื่น ๆ อีกมากมาย

แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM มีสาเหตุมาจากการเผาในที่โล่งมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 54 รองลงมาคือ อุตสาหกรรมการผลิต การคมนาคมขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และที่อยู่อาศัย คิดเป็นร้อยละ 17, 13, 8 และ 7 ตามลำดับ



ภาพที่ 2.1 ปริมาณฝนรวมเฉลี่ย 24 ชั่วโมงบริเวณริมถนนในกรุงเทพ ปีพ.ศ. 2535-2544.



ภาพที่ 2.2 ปริมาณฝนขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมงบริเวณริมถนนในกรุงเทพ ปีพ.ศ. 2535-2544. จาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.1.4 มาตรฐานระดับฝุ่นละออง

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ. 2547) กำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.2

มาตรฐานคุณภาพอากาศของฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ประเภทฝุ่นละออง	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	ค่าเฉลี่ย 1 ปี
TSP	330 ^[1]	100 ^[1]
PM ₁₀	120 ^[1]	50 ^[1]
PM _{2.5}	50	25

หมายเหตุ. [1] การวัดค่าเฉลี่ยของ TSP, PM₁₀ ต้องสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.5 ม. แต่ไม่เกิน 6 ม.

2.1.5 การปล่อยฝุ่นละอองของยานพาหนะ

ในการกำหนดอัตราปล่อยฝุ่นละอองจากยานพาหนะคำนวณปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยจากยานพาหนะ โดยคำนวณจาก Emission Factor ของยานพาหนะแต่ละประเภท ค่าอัตราการปล่อยฝุ่นละอองของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (Light vehicle) ของ PM_{2.5} มีค่าเฉลี่ย 0.23 g/km และ PM₁₀ มีค่า 0.398 g/km (Nguyen & Thiansathit, 2010)

2.2 คุณสมบัติเชิงกายภาพของฝุ่นละออง

2.2.1 การตกสะสมของฝุ่นละออง (deposition)

ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆถูกปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศโดยกระบวนการทางฟิสิกส์และกระบวนการทางเคมี ในช่วงที่ฝุ่นละอองอยู่ในบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและจำนวนด้วยกระบวนการต่าง ๆ ฝุ่นละอองเหล่านี้จะหายออกไปจากบรรยากาศด้วยกระบวนการตกสะสมแบบแห้งและการตกสะสมแบบเปียก

2.2.1.1 การตกสะสมแบบแห้ง (dry deposition)

การตกสะสมแบบแห้งเป็นกระบวนการเกิดฝุ่นละอองตกลงสู่พื้นผิวโลกโดยไม่มีการควบแน่นของไอน้ำเข้าไปเกี่ยวข้อง การตกสะสมแบบแห้งเกิดขึ้นได้ดังนี้

(1) การตกตะกอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational sedimentation) คือ การที่อนุภาคฝุ่นละอองตกลงสู่พื้นเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก

(2) การขัดขวาง (interception) เมื่ออนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไหลไปตามกระแสอากาศ ถ้าอนุภาคฝุ่นละอองไหลเข้าใกล้สิ่งกีดขวาง อนุภาคจะวิ่งชนกับสิ่งกีดขวางและติดกับสิ่งกีดขวาง เช่น ติดกับกิ่งไม้หรือใบไม้

(3) การชน (impaction) เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กชนกับสิ่งกีดขวางใหญ่ ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวของกระแสอากาศได้เนื่องจากแรงเฉื่อยของอนุภาค ดังนั้น อนุภาคฝุ่นละอองชนและติดอยู่กับสิ่งกีดขวาง

(4) การกระจายหรือการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (diffusion or Brownian motion) เป็นกระบวนการที่อนุภาคฝุ่นละอองเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทาง เนื่องจากอนุภาคฝุ่นละอองชนกับโมเลกุลของก๊าซในบรรยากาศ

(5) ความปั่นป่วน (turbulence) ของการถ่ายเทอนุภาคในอากาศทำให้เกิดการชนหรือกระบวนการอื่นๆ

กระบวนการที่อนุภาคฝุ่นละอองตกลงสู่พื้นผิวโลกโดยไม่มีการควบแน่นของไอน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง จะเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขทางอุณหภูมิต่ำกว่า 10°C ความหยาบของพื้นผิว สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของอนุภาคฝุ่นละออง โดยทั่วไปจะวัดอัตราการร่วงหล่นของอนุภาคฝุ่นละอองในรูปแบบของฟลักซ์ของอนุภาคต่อความเข้มข้นของอนุภาคที่บริเวณใกล้พื้นผิวโลก ความเร็วของการร่วงหล่นของอนุภาคที่มีรัศมีใหญ่กว่า 10 μm ถูกควบคุมโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนอนุภาคที่มีรัศมีขนาด 1-10 μm จะถูกควบคุมโดยความเร็วลม

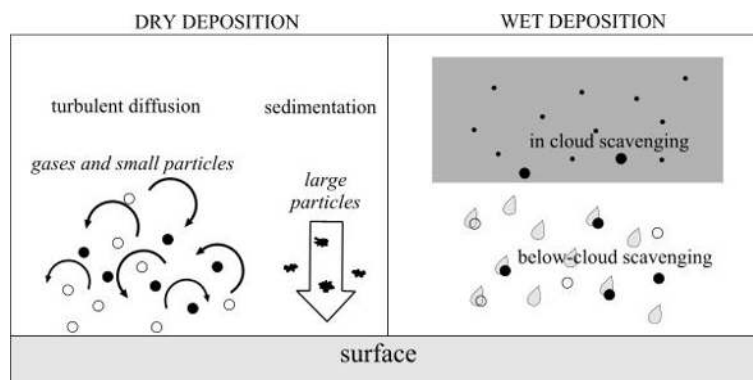
2.2.1.2 การตกสะสมแบบเปียก (wet deposition)

การตกสะสมแบบเปียกเป็นกระบวนการที่ฝุ่นละอองหายออกไปจากบรรยากาศเนื่องจากกระบวนการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศรวมกันกลายเป็นหยดน้ำแล้วตกลงสู่พื้นผิวโลก แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กระบวนการในเมฆ (in-cloud process) และกระบวนการใต้เมฆ (below-cloud process)

(1) กระบวนการในเมฆ เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำบนอนุภาคฝุ่นละอองจนมีขนาดใหญ่แล้วกลายเป็นฝนตกลงสู่พื้นผิวโลก กระบวนการนี้เกิดขึ้นกับอนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า $0.1\ \mu\text{m}$ โดยทั่วไป อัตราการกลั่นตัวกลายเป็นเมฆของหยดน้ำจะช้าลงเมื่อหยดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น

(2) กระบวนการใต้เมฆ เกิดขึ้นเมื่อเมฆกลั่นตัวเป็นฝนและเกิดการชนกันของหยดน้ำ เมื่อหยดน้ำจับอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศเอาไว้ อนุภาคฝุ่นละอองเหล่านี้ตกลงสู่พื้นผิวโลกพร้อมกับฝน นอกจากนี้อนุภาคฝุ่นละอองที่อยู่ในแนวทางการเคลื่อนที่ของฝนก็ตกลงสู่พื้นผิวโลกกับฝนเช่นกัน กระบวนการนี้เกิดขึ้นกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า $2\ \mu\text{m}$ แต่อนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาด $0-1.2\ \mu\text{m}$ จะไม่ได้รับผลกระทบจากกระบวนการนี้ ดังนั้น กระบวนการนี้จึงมีอิทธิพลต่ออนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น

การศึกษาการตกสะสมแบบเปียกจะใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาแน่นของอากาศ เงื่อนไขทางอุณหพลศาสตร์ อัตราการตกสะสมแบบเปียก และอัตราการถ่ายโอนอนุภาคที่กลั่นตัวเป็นฝน เมื่อเม็ดฝนผ่านบรรยากาศตกลงพื้นผิวโลก จะเกิดการชนกับอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศ อัตราการชะล้างออกด้วยน้ำฝน โดยประสิทธิภาพการชนของหยดน้ำที่มีขนาดแตกต่างกันจะมีค่าที่แตกต่างกัน แต่รูปแบบของประสิทธิภาพการชนกันของหยดน้ำมีลักษณะเหมือนกัน โดยอนุภาคที่มีรัศมีขนาดเล็กกว่ามีค่าประสิทธิภาพการชนของหยดน้ำมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่กว่า $2\ \mu\text{m}$ จะถูกชะล้างออกด้วยน้ำฝนได้มากกว่าเนื่องจากความเฉื่อยของการชน ในขณะที่อนุภาคที่มีรัศมีขนาดเล็กกว่า $0.05\ \mu\text{m}$ จะติดแนบไปกับหยดน้ำเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบบราวน์ สิ่งที่สำคัญคืออนุภาคที่มีรัศมี $0.1-2\ \mu\text{m}$ จะไม่ได้รับผลกระทบจากการกำจัดได้เมฆเลย



ภาพที่ 2.3 กระบวนการตกสะสมแบบแห้งและเปียกของอนุภาคฝุ่นละออง

2.2.2 การกระจายตัวของฝุ่นละอองตามความสูง

การกระจายตัวตามความสูงของฝุ่นละอองจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างในแนวดิ่งของชั้นบรรยากาศ ซึ่งบรรยากาศโลกที่ใกล้พื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักรตามเวลาในรอบวัน อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ชั้นบรรยากาศดังกล่าวนี้เรียกว่า ชั้นขอบเขต (boundary layer) ซึ่งสูงจากพื้นผิวโลกประมาณ 1-2 กิโลเมตร

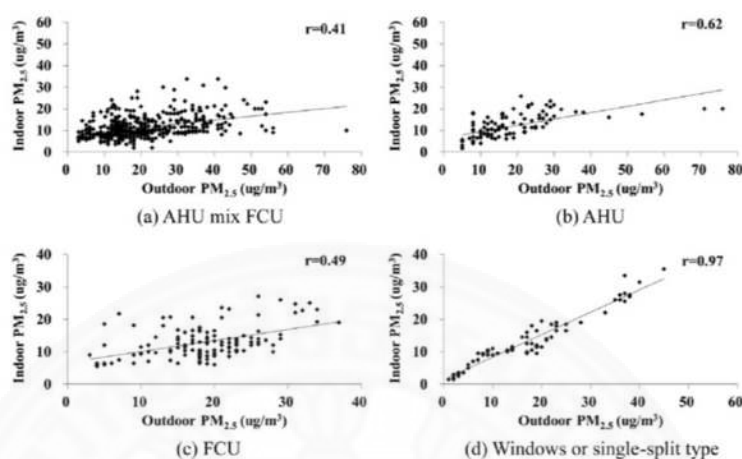
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองนอกอาคาร

2.3.1 บทบาทของความเข้มข้นของฝุ่นละอองนอกอาคาร

กิจกรรมประจำวันของมนุษย์ส่งผลต่อการอยู่อาศัยในอาคารถึงร้อยละ 89 ดังนั้นการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเป็นอย่างมาก เพราะมีผลต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย ในงานวิจัยนี้จะเน้นให้ความสำคัญกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองนอกอาคาร เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอาคาร

ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด 3 แหล่งคือ แหล่งกำเนิดภายนอก, แหล่งกำเนิดภายในห้อง และละอองภายในห้อง (SOA) โดยที่ $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดภายนอกมีอิทธิพลมากที่สุด เมื่อปิดหน้าต่างร้อยละ 54 - 63 และเมื่อเปิดหน้าต่างร้อยละ 92, จากแหล่งกำเนิดภายในห้อง เมื่อปิดหน้าต่างร้อยละ 37- 46 และเมื่อเปิดหน้าต่างร้อยละ 4 และจากละอองภายในห้อง (SOA) มีอิทธิพลน้อยกว่าร้อยละ 3 นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เป็นอย่างมากคือความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายนอกและอัตราการเพิ่มของ $PM_{2.5}$ อีกทั้งอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Exchange Rate) (Jia & Zhao, 2015) นอกจากนี้ระบบปรับอากาศยังมีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอาคาร พบว่า $PM_{2.5}$, PM_{10} และเชื้อราจะมีค่าสูงในโรงพยาบาลที่ไม่ได้มีระบบปรับอากาศส่วนกลาง เช่น เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง,

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เทียบกับโรงพยาบาลที่มีระบบปรับอากาศส่วนกลาง (Jung & Wu, 2015)



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในและนอกอาคาร ในโรงพยาบาลที่มีระบบปรับอากาศประเภท AHU และ FCU (a), AHU (b), FCU (c), หน้าต่างและแยกส่วน (d). จาก (Jung & Wu, 2015)

2.3.2 ปัจจัยสภาพอากาศ

2.3.2.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ความเข้มข้นเชิงจำนวนของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นนอกอาคาร ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง PM ในอาคาร, CO₂, CO กับ ความเร็วลม ในทางตรงข้าม ความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} มีความสัมพันธ์เชิงลบกับตัวแปรทางสภาพอากาศหลายตัวแปร เช่น ความชื้นภายในห้อง, อุณหภูมิในและนอกห้อง, อัตราการระบายอากาศ (Elbayoumi, 2014) ตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มข้นของ PM คือ อุณหภูมิ, ความเร็วลม, ทิศทางลม, ความชื้น, ช่วงเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์, น้ำฟ้า (precipitation) (RaoKarri, 2018) สรุปคือความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

2.3.2.2 รูปแบบและลักษณะของลม

ความเร็วลมมีผลต่อการระบายเพื่อเจือจางความเข้มข้นของฝุ่นละออง เมื่อความเร็วลมลดลงก็มีแนวโน้มว่าในพื้นที่นั้นจะมีความเข้มข้นของฝุ่นละออง และการตกสะสมของในใบไม้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้สำหรับพืชบางสายพันธุ์ เมื่อปะทะกับความเร็วลมที่สูงจะทำให้มีการชะล้างฝุ่นละอองที่ตกสะสมนั้นหลุดออกไป เนื่องจากไม่สามารถยึดอนุภาคไว้ในใบได้ ทั้งนี้ลมแบบปั่นป่วนจะทำให้เพิ่มการตกสะสมซึ่งช่วยให้เจือจางความเข้มข้นของฝุ่นละอองลง

2.3.3 ปัจจัยสภาพแวดล้อม

2.3.3.1 รูปแบบการวางกลุ่มอาคาร

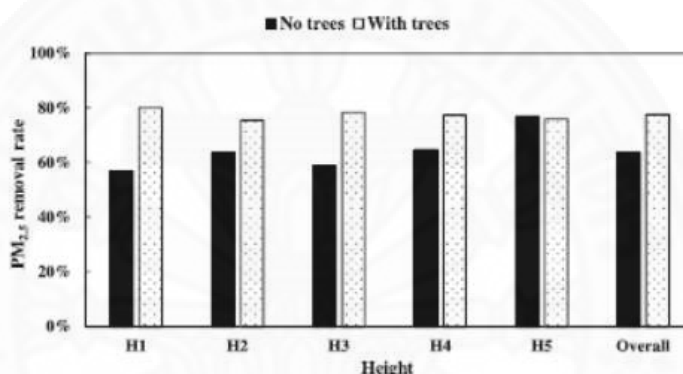
รูปแบบการวางกลุ่มอาคารและการวางต้นไม้มีผลต่อความเข้มข้นเชิงจำนวนของ $PM_{2.5}$ แตกต่างกัน ระยะห่างระหว่างต้นไม้กับอาคารก็เช่นกัน (Hong & Lin, Numerical investigation on the coupled effects of building-tree arrangements on fine particulate matter ($PM_{2.5}$) dispersion in housing blocks, 2017) การวางกลุ่มอาคารควรคำนึงถึงค่า H/W ratio (height to width ratio) โดยเฉพาะพื้นที่เมืองที่มีลักษณะเป็นหุบเขาถนน (street canyon) มีผลต่อการระบายอากาศและความเร็วในใน street canyon และสำหรับ ค่า H/W เยอะ (สูงและแคบ) ประสิทธิภาพของต้นไม้จะเพิ่มขึ้น

2.3.3.2 พื้นที่สีเขียว

รูปแบบพื้นที่สีเขียวสามารถเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษได้อย่างมีนัยยะสำคัญ โดยเฉพาะ $PM_{2.5}$ พื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่และมีรูปทรงที่ซับซ้อนมีผลต่อความเข้มข้นที่น้อยลง ทั้งนี้ในเรื่องการแพร่ของมลพิษมีความสำคัญในเชิงเชิงสถิติน้อย แต่ในรายละเอียดพบความสัมพันธ์ของระยะห่างจุดต้นกำเนิดและความเข้มข้นของ PM มลพิษจากปล่องที่สูงสามารถแพร่กระจายได้มากกว่าและไม่มีผลกระทบกับความเข้มข้นของ PM ให้พื้นที่รอบๆ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวสามารถช่วยลดการแพร่กระจายของอนุภาคได้ (Łowicki, 2019) โครงแบบของพื้นที่สีเขียวมีความสำคัญเนื่องจากอิทธิพลของพืชต่อการแพร่มลพิษด้วยการดัดแปลงการไหลของลม อนุภาคขนาดเล็กและใหญ่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญในทุกทิศทางลม และในความเร็วลมต่ำ <0.5 m/s ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในทุกมลพิษ (Brantley, 2014) ความเข้มข้นของมลพิษใกล้กับถนนในที่เปิดโล่งที่ไม่มีแนวต้นไม้มีค่าสูง แต่ในกรณีนี้ความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็วด้วยระยะห่างเมื่อมีที่กันรั้ว (Bowker, 2007)

(1) ความสูงและทรงพุ่ม

ต้นไม้สามารถลดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ลงได้ประมาณร้อยละ 20 โดยประสิทธิภาพในการกรองขึ้นอยู่กับความสูงของต้นไม้ ในระดับความสูงที่ต่ำ (โคนต้นไม้) มีอัตราการลดลงที่มีนัยยะสำคัญมากกว่าระดับความสูงที่สูง (ยอดต้นไม้) ซึ่งเกือบจะไม่มีผลแตกต่างทั้งก่อนและหลังกรอง (Jia & Zhao, A wind tunnel study on the effect of trees on $PM_{2.5}$ distribution around buildings, 2017) ลักษณะของทรงพุ่มที่แตกต่างกันสามารถลดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ได้แตกต่างกัน (Hong & Lin, Numerical investigation on the effect of avenue trees on $PM_{2.5}$ Dispersion in urban street canyons, 2017)



ภาพที่ 2.5 การเปรียบเทียบอัตราการลดของความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ รอบอาคารที่มีและไม่มีต้นไม้ล้อมรอบที่ระดับความสูงต่างๆของอาคาร. จาก (Jia & Zhao, A wind tunnel study on the effect of trees on $PM_{2.5}$ distribution around buildings, 2017)

(2) ความหนาแน่นพุ่มใบ (leaf area density: LAD)

แสดงถึงสรีระของพืช กำหนดจากพื้นที่ใบ 1 ด้านของต้นไม้ต่อ 1 ส่วนของชั้นปริมาตร หน่วยคือ $\mu m^2/m^3$ มีวิธีที่หลากหลายในการหาค่า วิธีที่นิยมคือ ระบบ LiDAR (Hosoi & Omasa, 2009)

ค่า LAD ที่ใช้ใน ENVI-met V4 ใช้แทนที่ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (LAI) วัดจากหนึ่งด้านของพุ่มใบต่อปริมาตรหนึ่งช่วงของเรือนยอดต้นไม้

$$LAI = \sum_{i=1}^n LAD_i \times dz$$

LAI คือ ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ
 LAD คือ ค่าความหนาแน่นพุ่มใบ (m^2/m^3)
 n คือ จำนวนชั้น (Layer) ของความสูงพืช
 dz คือ ความหนาของชั้นหรือความสูงของพืชหารด้วย n (m)

(3) ลักษณะกายภาพของใบ

ลักษณะของใบมีผลต่อการตกสะสมของ $PM_{2.5}$ รูปร่างใบ; ขนาด, ความเรียว ผิวใบ; ใบเรียบ ใบมีขนปกคลุม และใบมัน สามารถดักจับ PM ได้แตกต่างกันภายใต้ความเร็วลมแต่ละระดับ (พาสินี สุนากร, องอาจ ภาพรภาชี, 2559) (Weerakkody & Dover, 2017) (Perinia & Ottel , 2017)

Species	Mean PM density $\pm$ SE (mm^{-3}) and Tukey's groups of significance					
	$PM_{10} \pm SE \times 10^3$	Group	$PM_{2.5} \pm SE \times 10^3$	Group	$PM_{10} \pm SE \times 10^3$	Group
<i>B. sempervirens</i>	45.03 $\pm$ 3.3	a	16.46 $\pm$ 0.9	a	3.04 $\pm$ 0.2	ab
<i>H. albicans</i>	40.41 $\pm$ 6.2	a	13.01 $\pm$ 1.4	ab	2.77 $\pm$ 0.2	abc
<i>T. vulgaris</i>	27.86 $\pm$ 2.6	a	11.41 $\pm$ 0.7	abc	4.04 $\pm$ 0.2	a
<i>H. salicifolia</i>	14.76 $\pm$ 2.4	b	8.32 $\pm$ 1.1	bcd	1.87 $\pm$ 0.2	cd
<i>G. macrorrhizum</i>	12.28 $\pm$ 2.2	bc	2.79 $\pm$ 0.3	efgh	0.90 $\pm$ 0.1	efg
<i>H. youngii</i>	11.65 $\pm$ 0.8	bc	7.26 $\pm$ 0.5	cd	2.53 $\pm$ 0.2	bc
<i>H. helix</i>	9.99 $\pm$ 1.4	bcd	4.90 $\pm$ 0.5	de	1.45 $\pm$ 0.2	de
<i>E. amygdaloides</i>	9.88 $\pm$ 1.5	bcd	4.23 $\pm$ 0.6	ef	1.68 $\pm$ 0.1	efg
<i>A. maritima</i>	9.24 $\pm$ 1.1	bcd	3.51 $\pm$ 0.3	efg	1.28 $\pm$ 0.1	de
<i>P. terminalis</i>	8.37 $\pm$ 1.0	bcd	2.51 $\pm$ 0.2	fghi	0.83 $\pm$ 0.1	efg
<i>G. odoratum</i>	6.87 $\pm$ 1.3	cde	2.79 $\pm$ 0.4	efgh	1.09 $\pm$ 0.1	def
<i>P. veris</i>	6.58 $\pm$ 0.8	cde	2.17 $\pm$ 0.2	ghi	0.72 $\pm$ 0.07	efg
<i>H. officinalis</i>	5.82 $\pm$ 0.8	def	2.69 $\pm$ 0.3	fghi	0.90 $\pm$ 0.09	efg
<i>H. sternii</i>	4.35 $\pm$ 0.7	efg	2.49 $\pm$ 0.4	fghi	0.68 $\pm$ 0.1	fg
<i>B. spicant</i>	3.08 $\pm$ 0.3	efg	0.74 $\pm$ 0.06	j	0.26 $\pm$ 0.02	hi
<i>P. scolopendrium</i>	3.01 $\pm$ 0.5	fg	1.47 $\pm$ 0.1	ij	0.21 $\pm$ 0.03	i
<i>L. nivea</i>	2.78 $\pm$ 0.4	g	1.74 $\pm$ 0.3	hi	0.54 $\pm$ 0.09	gh

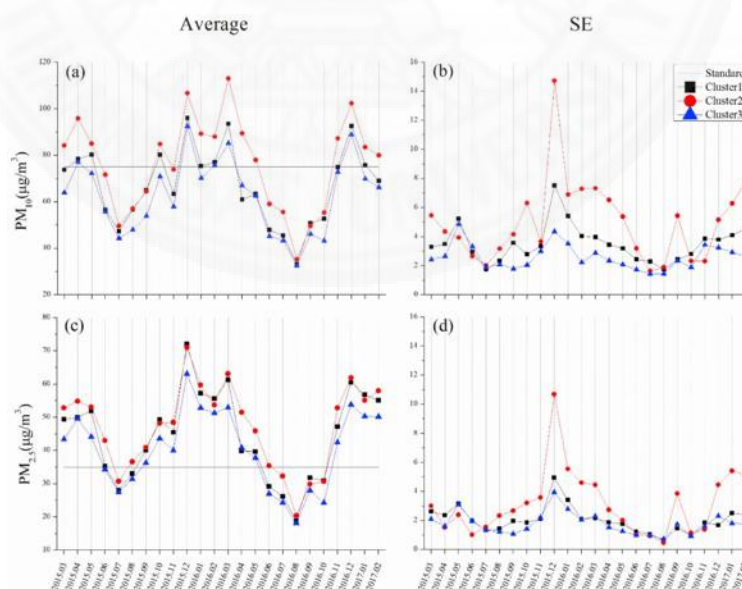
Species sharing the same letter/group for a specific PM size range are not significantly different using Tukey's HSD post hoc test with 95% confidence level, $P > 0.05$.

ภาพที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของ $PM_{2.5}$ ต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตรของหน้าใบของพืช 17 สายพันธุ์. จาก (Weerakkody & Dover, 2017)

พืชสามารถช่วยลดการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ ด้วยการรวมของการแพร่โดยต้นไม้และการสะสมบนอาคาร ต้นไม้ และหญ้า การจำลองในช่วงฤดูร้อนพบว่า การไหลของอากาศมีผลต่อการแพร่กระจายลดลงร้อยละ 9 ในทางตรงข้ามร้อยละ 2.8 เป็นผลมาจากการทับถมของต้นไม้และร้อยละ 0.6 จากหญ้า (Jeanjean, 2016) เมื่อเทียบความสามารถในการกรองของพืช เทียบจากการทดสอบด้วยความดันตกคร่อม พบว่าเมื่อความดันตกคร่อมสูงทำให้ความเสียหายในอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เพิ่มเวลาให้อากาศถูกกรองโดยพืชจึงเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองของพืช ในระบบระบายอากาศด้วยวิธีกลก็พบผลแบบนี้เช่นเดียวกัน (Pettit & Irga, 2017)

(4) รูปแบบการจัดวางต้นไม้

รูปแบบการจัดวางของต้นไม้ส่งผลต่อการเปลี่ยนทิศทางของลมและศักยภาพในการตกสะสมบนต้นไม้ของ $PM_{2.5}$ การจัดวางต้นไม้อย่างกระจายสามารถลดความเข้มข้นได้ดีกว่าจัดรวมกันตรงกลางทีเดียวเพราะทำให้การตกสะสมเพิ่มมากขึ้น (Hong & Lin, Numerical investigation on the coupled effects of building-tree arrangements on fine particulate matter ($PM_{2.5}$) dispersion in housing blocks, 2017) (Rui & Buccolieri, 2018) ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวและ $PM_{2.5}$ มีมากกว่า PM_{10} ที่ระยะ 5 กม.หรือน้อยกว่า โดยในพื้นที่ที่มีมลพิษสูงและเป็นพื้นที่ราคาสูงในพื้นที่เมือง การใช้แนวพื้นที่สีเขียวสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับมลพิษของพื้นที่สีเขียวได้ (Wu, 2018)



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่สีเขียวและความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} . จาก (Wu, 2018)

(5) ข้อจำกัดของต้นไม้

ข้อจำกัดของต้นไม้เปรียบเหมือนอายุการใช้งานของต้นไม้ ซึ่ง (Cai, Xin, & Yu, 2017) ได้รวบรวมข้อมูลสรุปไว้ว่า

(1) จากพืชที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมดมีเพียงร้อยละ 2 ที่มีค่าการสะสม PM ในใบสูง โดยมีความเฉลี่ยจากทุกสายพันธุ์ 1.71 ± 0.05 กรัมต่อตารางเมตรต่อสัปดาห์

(2) ใบเรียวเล็กสามารถดักจับ PM ในอากาศได้ดีที่สุด

(3) ค่าการสะสม PM ในใบสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ

(4) ระยะเวลาสะสม PM มีผลต่อการสะสม PM ในใบ ค่าสะสม PM สูงสุดในวันที่ 28 ซึ่งสะสมได้ 3.57 ± 0.29 กรัมต่อตารางเมตรต่อสัปดาห์ และวันที่มีค่าสะสมของ PM สูงสุดคือวันที่ 10 ซึ่งสะสมได้ 2.52 ± 0.27 กรัมต่อตารางเมตรต่อสัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ PM ด้วย

(5) ฤดูหนาวสะสม PM ได้มากที่สุด เพราะสภาพอากาศทำให้มีความเข้มข้นของ PM สูง

(6) ค่าการสะสม PM สัมพันธ์กับระยะห่างจากแหล่งกำเนิด

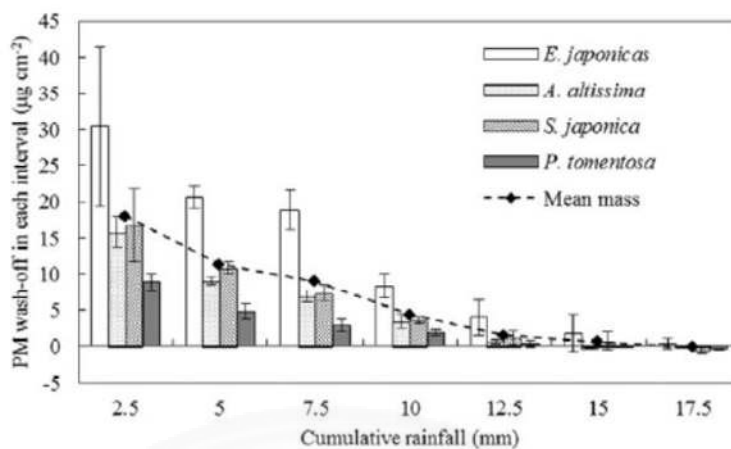
(7) ฝนและความเร็วลมสามารถชะล้าง PM ออกจากใบได้ โดยเฉพาะ PM ขนาดใหญ่

อีกทั้งฝุ่นละอองที่ตกสะสมบนใบไม่มีโอกาสหลุดออกจากใบไม่ได้ด้วยการชะล้างจากลมที่มีความเร็วลมสูงหรือจากฝน (Janhall, 2015) ในการชะล้างของฝนมีรายละเอียดดังนี้

(1) ปริมาณของ PM ลดลงอย่างต่อเนื่องจนระดับฝนอยู่ที่ 12.5 มิลลิเมตรค่าจึงเริ่มคงที่

(2) ความแรงของฝนสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ชำระล้าง PM จากใบได้เกือบทั้งหมด หมายความว่า ยิ่งฝนตกหนักมากขึ้น PM จะถูกชำระให้หมดไปในระยะเวลาที่สั้นลง

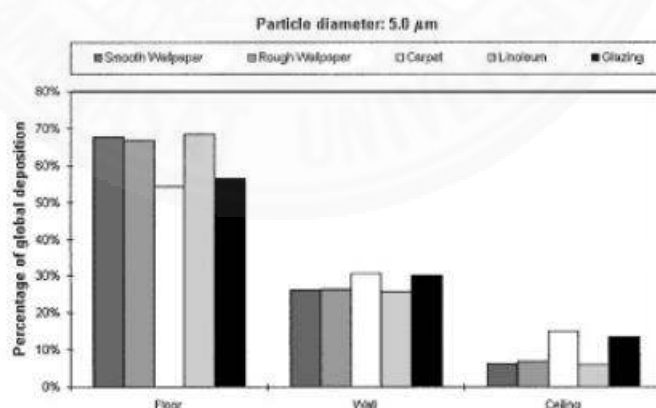
(3) ทั้งนี้ฝนไม่สามารถชะล้าง PM ได้ทั้งหมด มี PM ที่สามารถละลายน้ำหรือถูกชะล้างออกมาจากใบได้ แต่ยังคงเหลือบางส่วนที่ใบซึ่งไม่สามารถชะล้างออกได้



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ PM ที่ถูกชะล้างต่อปริมาณฝน. จาก (Xu & Zhang, 2017)

2.3.3.3 วัสดุของอาคารและพื้น

ทดสอบความสามารถในการสะสมของวัสดุ 3 ชนิด คือ ไม้, ปูนผสมกรวด (roughcast) และพรม 7 พื้นผิว ลักษณะเรียบและแข็ง (กระจก, เสื่อน้ำมัน, ไม้ และ วอลเปเปอร์แบบเรียบ) ลักษณะขรุขระและนุ่ม (วอลเปเปอร์แบบหยาบ, พรมกำมะหยี่ และ ปูนผสมกรวด) พบว่าความสามารถในการสะสมของวัสดุต่างๆมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิว โดยพื้นผิวหยาบจะสามารถสะสมได้ดีกว่าพื้นผิวเรียบ (Abadie, 2001)



ภาพที่ 2.9 ความสามารถในการสะสมของอนุภาคขนาด 5 µm บนพื้นผิววัสดุต่างๆใน 3 ทิศทาง คือ พื้น ผนัง เพดาน. จาก (Abadie, 2001)

2.4 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพอากาศนอกจากการวัดค่าในพื้นที่จริงแล้ว ในการทดลองต่าง ๆ มักจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล เช่น ANSYS Fluent, RANS, AERMOD, ENVI-met เป็นต้น จึงจำเป็นต้องศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อเปรียบเทียบการตั้งค่าข้อมูลในการจำลองและได้แนวทางการทดลองไปสอดคล้องกัน โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของฝุ่นละออง คือ ความเร็วและทิศทางลม

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมจะพิจารณาจากความสอดคล้องทางสถิติ 2 ค่า ซึ่งมักถูกใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ The Coefficient of Determination (R^2) Root Mean Square Error (RMSE) ค่าความสอดคล้องทางสถิติที่ดีควรมีค่า R^2 ใกล้ 1 ส่วน RMSE มีค่าใกล้ 0 รูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณ RMSE มีรูปดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

เมื่อ P_i คือ ค่าจากแบบจำลองที่ i
 O_i คือ ค่าจากการวัดภาคสนามที่ i
 n_i คือ จำนวนชั่วโมง

การจำลองแบบจำลองภูมิอากาศในโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้อง เพื่อให้ข้อมูลนำเข้ามีความสอดคล้องและคล้ายคลึงข้อมูลสภาพอากาศในสถานที่จริง ข้อมูลในตารางที่ 2.3 เป็นค่าความสอดคล้องทางสถิติของความเร็วลมที่วัดภาคสนามและความเร็วลมจากการจำลองในโปรแกรม ENVI-met ในงานวิจัยที่มาโดยส่วนมากใช้ค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2 และ RMSE ทั้งนี้ในการตรวจสอบความถูกต้องของความเร็วลมในโปรแกรม ENVI-met มีค่อนข้างน้อยที่รวบรวมได้ ดังนี้ (Tsoka, Tsikaloudaki, & Theodosiou, 2018)

ตารางที่ 2.3

แสดงค่าความสอดคล้องทางสถิติของความเร็วลมที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามและการจำลองด้วยโปรแกรม ENVI-met ในงานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัย	ข้อมูลลม		R^2	d	RMSE
(Krüger, Minella, & Rasia, 2011)	ใช้ค่าจากการวัดความเร็วลมภาคสนามที่ความสูง 2.1 ม. ^[1]		0.7; V<2 m/s 0.8; V>2 m/s	-	-
(Acero & Herranz-Pascual, 2015)	ใช้ค่าจากการวัดความเร็วลมภาคสนามที่ความสูง 1.1 ม. ^[1]		0.32	-	-
(Zhao & Fong, 2017)	ใช้ข้อมูลจากสถานี		0.57	-	0.26
(Zhang, Zhan, & Lan, 2017)	ใช้ข้อมูลจากสถานี	ฤดูร้อน	-	0.77	0.19
		ฤดูหนาว	-	0.81	0.1

หมายเหตุ. [1] โปรแกรม ENVI-met กำหนดความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 ม. ดังนั้นจึงใช้สูตรแปลงความเร็วลมในข้อที่ 4.4.2

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ (simulation experimental research) บทนี้นำเสนอวิธีการวิจัยที่ประกอบด้วย ขั้นตอนการวิจัย ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบของพื้นที่สีเขียวรอบที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้นที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบอาคาร โดยใช้โปรแกรม ENVI-met V4 ที่สามารถวิเคราะห์ลักษณะการไหลของฝุ่นละอองตามทิศทางของลม กำหนดอัตราการปล่อยฝุ่นละออง ณ แหล่งกำเนิดหลายรูปแบบ และมีความสามารถในการประเมินประสิทธิภาพจากฝุ่นละออง โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

3.1.1 ศึกษาข้อมูลและกำหนดตัวแปร

- (1) ศึกษาทฤษฎี เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับฝุ่นละออง
- (2) กำหนดตัวแปรที่ศึกษา ขั้นตอนการทดลอง และกำหนดพื้นที่กรณีตั้งต้น

3.1.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4

3.1.2.1 การเก็บข้อมูลจากพื้นที่จริง

ศึกษาและสำรวจในพื้นที่จริงเพื่อตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศระดับจุลภาค โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดความเร็วลม จากนั้นหาค่าเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล 3 วันที่มีท้องฟ้าปลอดโปร่ง

3.1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met โดยการนำข้อมูลความเร็วลมที่วัดภาคสนามจากกลุ่มตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 รวมถึงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับกำหนดกรณีตั้งต้นและกรณีอื่นในการจำลอง การตรวจสอบความถูกต้องพิจารณาจากความสอดคล้องทางสถิติทั้งหมด 2 ค่า ได้แก่ R^2 , RMSE

3.1.3 การจำลองกรณีศึกษา

(1) ส่วนที่ 1 ศึกษาศักยภาพการลดความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้

ศึกษาอิทธิพลของลักษณะกายภาพต้นไม้ และระยะห่างระหว่างต้นไม้ และแหล่งกำเนิดต่อความเข้มข้นของ PM เพื่อให้ได้ผลลัพธ์อย่างถูกต้องจึงกำหนดให้แบบจำลองเป็น พื้นที่โล่งที่มีพันธุ์ไม้เพียง 1 ประเภท เป็นแนวต้นไม้โดยพุ่มใบแต่ละต้นห่างกัน 1 ม.

(2) ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของลักษณะต้นไม้และรูปแบบพื้นที่สีเขียวต่อความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่รอบบ้านเดี่ยว

ศึกษาต่อจากการจำลองในส่วนที่ 1 ซึ่งมีจุดมุ่งหมายนำไปจัดวางพื้นที่สีเขียวตามลักษณะที่วางรอบบ้านเดี่ยวที่มีการล้อมรอบด้วยรั้วโปร่ง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของความเข้มข้นที่เกิดขึ้นจริงเมื่อปลูกต้นไม้ในพื้นที่ จำลองกรณีพื้นที่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้เพียงประเภทเดียว

3.1.4 วิเคราะห์และประเมินผล

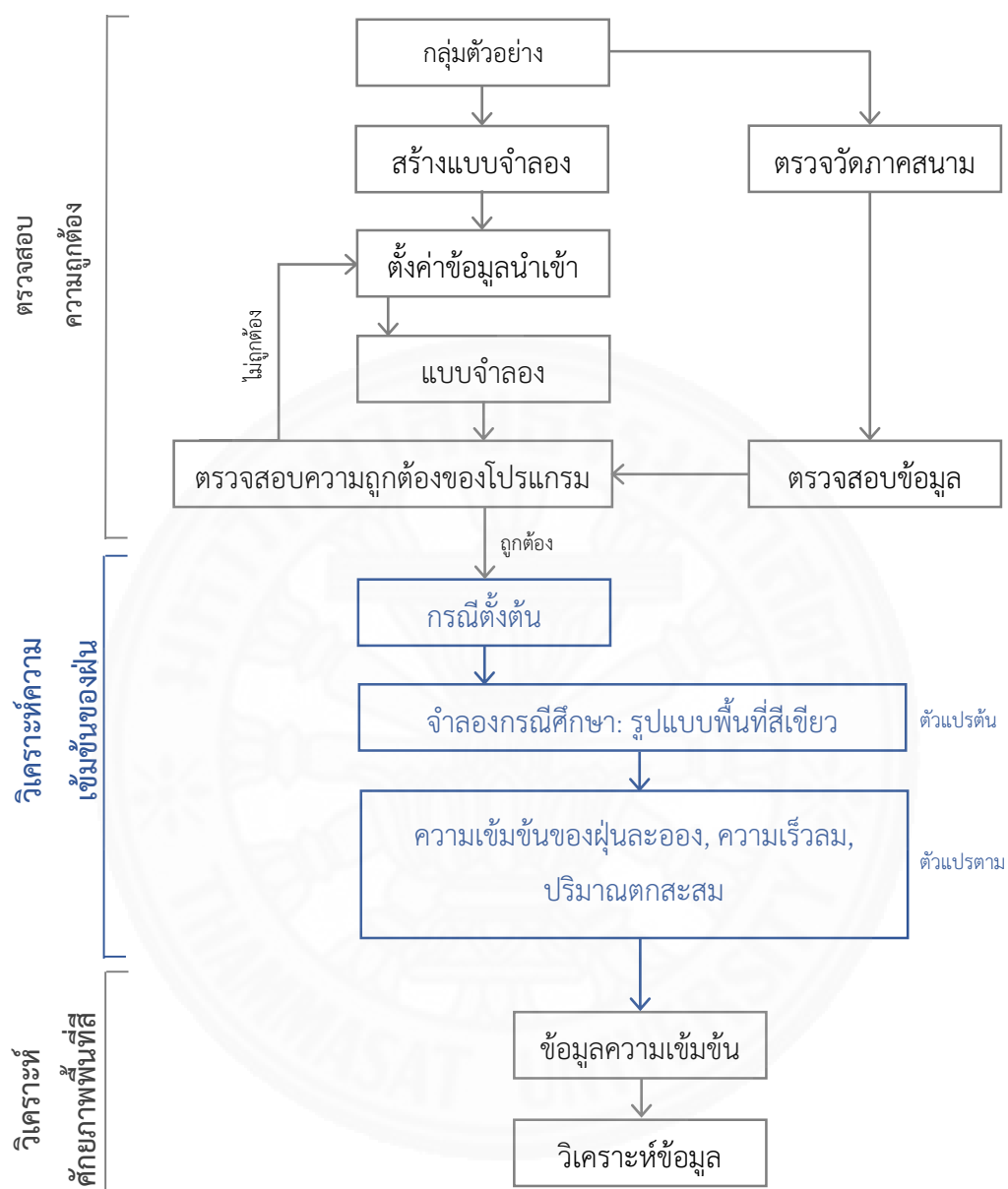
(1) เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่หลังแนวต้นไม้ของแต่ละกรณีจากปัจจัยลักษณะต้นไม้ ระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิด ความเร็วลม และปริมาณการตกสะสมบนใบ

(1) เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ รอบที่พักอาศัยของแต่ละกรณีจากปัจจัยรูปแบบพื้นที่สีเขียว ความเร็วลม และปริมาณการตกสะสมบนใบ

(2) ประเมินความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ 2 ค่า ได้แก่ R^2 , RMSE และ paired t-test

3.1.5 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยและนำเสนอแนวทางการการออกแบบพื้นที่สีเขียวที่สามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบที่พักอาศัยอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ว่างโดยรอบมากที่สุด



ภาพที่ 3.1 แบบแผนการวิจัย

3.2 กลุ่มตัวอย่าง

ประเภทที่อยู่อาศัยบ้านเดี่ยวเป็นประเภทที่มีปริมาณมากที่สุดในประเทศไทย ลักษณะเป็นบ้านตั้งอยู่เดี่ยวๆ มีรั้วรอบขอบชิดบนพื้นที่ที่มีขนาดแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่มักเป็นบ้านเดี่ยว 2 ชั้น กฎหมายการจัดสรรบ้านเดี่ยวนั้นกำหนดให้ต้องมีขนาดที่ดินไม่ต่ำกว่า 50 ตารางวา (200 ตร.ม.) โดยที่ดินต้องมีหน้ากว้างติดถนนไม่ต่ำกว่า 10 เมตร และลึก 20 เมตร หากความกว้างหรือความยาวไม่ได้ตามขนาดที่กล่าวมาข้างต้นจะต้องมีเนื้อที่ไม่ต่ำกว่า 60 ตารางวา ตัวบ้านต้องห่างจากเขตที่ดินทุกด้าน ด้านละไม่ต่ำกว่า 2.00 เมตร (พระราชบัญญัติการจัดสรรที่ดิน, 2558)

ตารางที่ 3.1

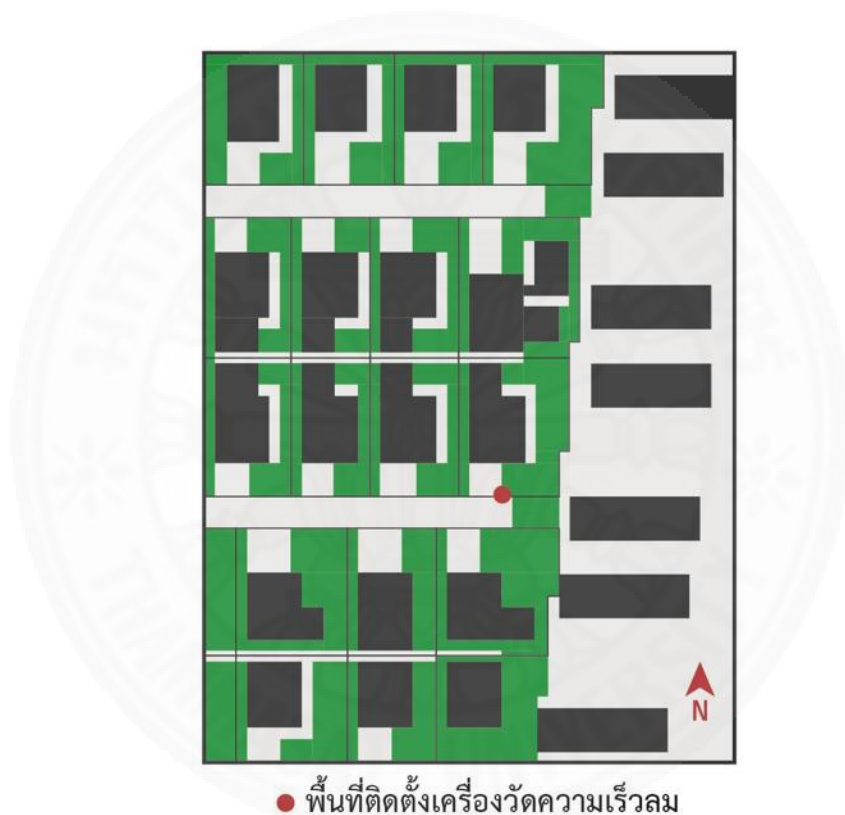
แสดงจำนวนของครัวเรือนของที่อยู่อาศัยแต่ละประเภทในประเทศไทย จำแนกตามประเภทที่อยู่อาศัย พ.ศ. 2553 และ 2563

ประเภทที่อยู่อาศัย	จำนวน		อัตราส่วน	
	2553	2563	2553	2563
บ้านเดี่ยว	17,129,832	18,224,119	82.4	78.3
ทาวน์เฮาส์	789,968	1,131,036	3.8	4.9
คอนโดมิเนียม	852,334	1,391,461	4.1	6.0
ตึกแถว/ห้องแถว/เรือนแถว	1,933,343	2,290,761	9.3	9.8
อื่น ๆ	83,155	236,462	0.4	1.0
รวม	20,788,632	23,273,839	100.0	100.0

จาก (ปราชญ์ พิเศษกุล, 2559)

กลุ่มตัวอย่าง คือ ที่พักอาศัยแบบบ้านเดี่ยวทั่วไปที่ระบายอากาศแบบธรรมชาติและแบบวิธีกลที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ไม่สามารถควบคุมและกรองฝุ่นละอองจากอากาศที่มาจากภายนอกที่พักอาศัยได้ การควบคุมความเข้มข้นของฝุ่นละอองรอบที่พักอาศัยจึงเป็นเรื่องที่ควรคำนึงถึง อีกทั้งที่พักอาศัยแบบบ้านเดี่ยวยังมีพื้นที่รอบอาคารที่สามารถออกแบบและจัดวางพื้นที่สีเขียวเพื่อลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้

โดยกลุ่มบ้านจัดสรรตัวอย่างเป็นพื้นที่ส่วนบุคคล มีลักษณะทางกายภาพตามที่ได้สำรวจตามภาพที่ 3.2 บ้านจัดสรร 2 ชั้น สูง 6 ม. ที่ดินถูกแบ่งออกเป็นหลายขนาดตั้งแต่ 80-100 ตร.วา แต่แปลงจัดพื้นที่สีเขียวในขอบเขตที่ดินค่อนข้างหนาแน่นและมีรูปแบบแตกต่างกันไป เพราะพื้นที่รอบตัวบ้านค่อนข้างกว้าง (2-4 ม.) ลักษณะรั้วที่ใช้ในโครงการเป็นรั้วเหล็กดัดที่มีความโปร่งทำให้ลมสามารถพัดผ่านได้ แต่ละครัวเรือนใช้รถยนต์ส่วนตัวหลังละ 2 คัน ซึ่งเป็นตัวกำหนดแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองในพื้นที่ พื้นที่ข้างเคียงของบ้านจัดสรรตัวอย่างเป็นโครงการทาวน์เฮ้าส์สูง 3 ชั้น มีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งไม่มีต้นไม้ปกคลุมและยังไม่ได้เปิดให้ผู้อยู่อาศัยเข้ามา (วันที่สำรวจ 24 มกราคม 2562)



ภาพที่ 3.2 ผังของโครงการบ้านเดี่ยวจัดสรรที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่าง

3.3 ตัวแปรที่ศึกษา

3.3.1 ตัวแปรต้น

3.3.1.1 พื้นที่สีเขียว

พิจารณาเลือกจากต้นไม้ที่นิยมปลูกในบ้านเดี่ยวของไทย โดยมีทรงพุ่ม ที่แตกต่างกัน พันธุ์ไม้ที่เลือกประกอบไปด้วย

(1) ไม้ยืนต้น

เป็นประเภทไม้ที่มีความหลากหลายของทรงพุ่มและความหนาแน่นพุ่มใบ ซึ่งทำให้สามารถเลือกใช้งานได้หลายรูปแบบ โดยประเภทที่นิยมแบ่งตามลักษณะทรงพุ่มเป็น 3 รูปแบบ คือ ทรงกระบอก เช่น โอศกอินเดีย วาสนา ต้นไม้มีขนาดทรงพุ่ม 5 เมตร สูง 7 เมตร, ทรงกลม เช่น ต้นมะม่วง ต้นมะยม ขนาดทรงพุ่ม 1 เมตร สูง 7 เมตร และทรงพุ่มสูง เช่น ต้นทุกระจง ปาล์ม ขนาดทรงพุ่ม 3 เมตร สูง 7 เมตร ตามลำดับลักษณะทรงพุ่ม

(2) ไม้พุ่ม

นิยมปลูกเป็นรั้วเพื่อบังสายตาจากคนภายนอก เช่น ไทรเกาหลี คริสติน่า โมก ช่อย เป็นต้น เป็นไม้พุ่มขนาดใหญ่ 1 เมตร สูง 2 เมตร

3.3.1.2 ความหนาแน่นพุ่มใบ (LAD)

ความหนาแน่นพุ่มใบขึ้นอยู่กับแต่ละสายพันธุ์ อายุต้นไม้ และการตัดแต่งกิ่งกับทรงพุ่ม โดยทดลองกำหนดค่าความหนาแน่นพุ่มใบ 2 ระดับ คือความหนาแน่นต่ำ (0.6) และความหนาแน่นสูง (1.2) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของต้นไม้ในโปรแกรม ENVI-met

3.3.1.3 ระยะห่างระหว่างพื้นที่สีเขียวและแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองของแนวต้นไม้มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองในพื้นที่แตกต่างกัน จึงต้องกำหนดให้มีระยะห่างน้อย-มาก

3.3.1.4 ความเร็วลม

ความเร็วลมมีผลต่ออัตราการระบายอากาศซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ระดับความเร็วลมต่ำ และระดับความเร็วลมสูง

3.3.2 ตัวแปรตาม

3.3.2.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

กำหนดพื้นที่สำหรับวัดความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ณ ความสูง 1.4 เมตร คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นรอบตัวบ้าน จากนั้นจึงนำทุกกรณีมาเปรียบเทียบกัน

3.3.2.2 ความเร็วลมหลังผ่านต้นไม้

วัดความเร็วลม ณ พื้นที่เดียวกันกับ 3.3.2.1 เพื่อเปรียบเทียบความเร็วลมก่อนและหลังมีพื้นที่สีเขียว และหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเข้มข้น

3.3.2.3 ปริมาณตกสะสมบนใบของ PM

PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่ถูกพัดมาตามกระแสลมจะตกสะสมบนใบไม้ เพื่อหาความสามารถในการดักจับอนุภาคของต้นไม้เมื่ออยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ

3.3.3 ตัวแปรควบคุม

3.3.3.1 สภาพอากาศ

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรทางอุตุนิยมที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ กำหนดจากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินดอนเมือง

3.3.3.2 วัสดุผิวภายนอก

วัสดุผิวของพื้นรอบบ้านและผนังต้องถูกกำหนดให้เหมือนกัน เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีผลต่อการตกสะสมของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ แตกต่างกัน

(1) วัสดุปกคลุมพื้น

พื้นลาดจอดรถเป็นคอนกรีต เกลียงและลานซักล้างเป็นกระเบื้องเซรามิก และพื้นที่โถงรอบปกคลุมด้วยหญ้า โดยกำหนดให้หญ้ามีความสูง 5 เซนติเมตรจากพื้นดิน

(2) วัสดุผนัง

ที่ใช้ในแบบจำลองเป็นผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนเรียบ

3.3.3.3 ค่าการปล่อยฝุ่นละอองตั้งต้น

ความเข้มข้นตั้งต้นของฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ กำหนดให้เป็นฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ โดยแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ประมาณการหาค่าการระบายมลพิษด้วย

- (1) แบบจำลองการระบายอากาศ
- (2) ตัวคูณการระบายมลพิษคูณกับข้อมูลกิจกรรมของแหล่งกำเนิด
- (3) การวิเคราะห์เชื้อเพลิง

จึงสรุปเป็นปริมาณฝุ่นละอองที่รถยนต์ 1 คันปล่อยออกมาซึ่งในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกัน โดยกำหนดความเข้มข้น 2 ระดับใน 1 วันตามตารางที่ 3.2 กำหนดให้ปล่อยฝุ่นละอองที่ความสูง 0.5 เมตร เปรียบเป็นความสูงของท่อระบายของเสียของยานพาหนะ สำหรับโปรแกรม ENVI-met V4 จำเป็นต้องกำหนดข้อมูลการปล่อยฝุ่นละอองในแต่ละชั่วโมงเป็นหน่วย $\mu g/s \cdot m$

ตารางที่ 3.2

แสดงปริมาณปลดปล่อย PM ของยานพาหนะดีเซลขนาดเล็กในช่วงเวลา

ปริมาณรถยนต์ (คัน/ชั่วโมง)	ช่วงเวลา ^[1]	ปริมาณ PM_{10} ($\mu g/s \cdot m$)	ปริมาณ $PM_{2.5}$ ($\mu g/s \cdot m$)
20	06.00-09.00	2.21	1.28
	15.00-18.00		
10	09.00-15.00	1.11	0.64
	18.00-21.00		

หมายเหตุ. [1] การจำแนกช่วงเวลาพิจารณาจากเวลาเข้า-ออกในช่วงเดินทางไปทำงาน

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 เครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศ

เครื่องวัดความเร็วลม 200-WS-25 และ 200-WS-02F ที่เป็นเครื่องวัดความเร็วลมแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (Hot wire anemometer) วัดที่ความสูง 6 เมตรเหนือระดับพื้นดิน บันทึกข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยและความเร็วลมสูงสุดทุก 1 ชั่วโมง



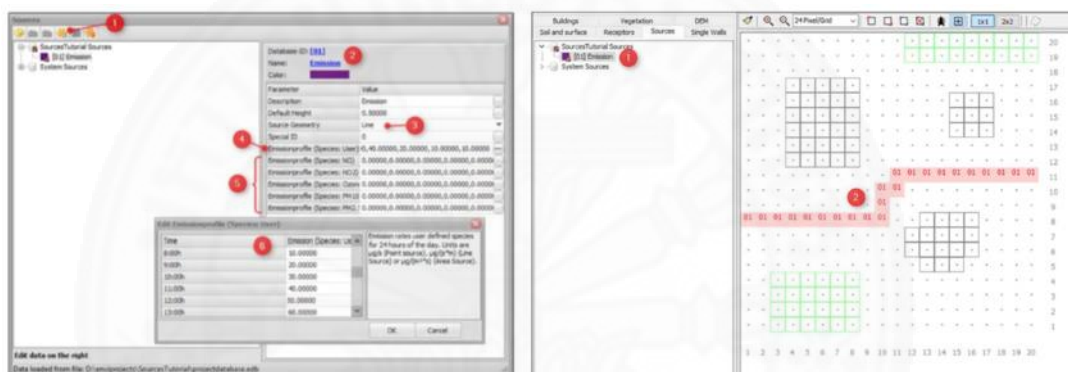
ภาพที่ 3.3 เครื่องมือวัดความเร็วลม (ซ้าย) วัดความเร็วลม 200-WS-25 (ขวา) เครื่องบันทึกข้อมูล 200-WS-02F

3.4.2 โปรแกรม ENVI-met V4

โปรแกรม ENVI-met V4 ใช้สร้างแบบจำลองสามมิติทางอุตุนิยมวิทยาที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับพื้นที่เมืองมากที่สุด โดยสามารถจำลองความสัมพันธ์ของพื้นผิว พืชไม้ และสภาพอากาศในระดับจุลภาค โปรแกรม ENVI-met สามารถจำลองอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) ภายใต้หลักการของสมการ Reynolds-averaged Navier-Stokes equation (RANS) ซึ่งมักใช้ในแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model) อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ความสมดุลของรังสีดวงอาทิตย์ (Radiation Balance) และยังพัฒนาเพื่อคำนึงถึงผลกระทบจากมลพิษ (Pollutants) อีกด้วย ในพื้นที่เมืองที่มีความละเอียด 0.5-10 ม. โดยเฉพาะการวิเคราะห์ผลกระทบของพื้นที่สีเขียว เนื่องจากโปรแกรมนี้อาจคำนวณอัตราการคายระเหยของพื้นที่สีเขียวได้ พืชพรรณที่ใช้ในแบบจำลองนี้จำเป็นต้องระบุค่าความหนาแน่นของพุ่มใบ (Leaf area density, LAD) เพื่อแสดงถึงสรีรวิทยาของพืช การแสดงผลนำเสนอผลลัพธ์ได้หลากหลาย

เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม รวมไปถึงความเข้มข้นของมลพิษ ทั้งในรูปแบบของสองมิติและสามมิติ โปรแกรม ENVI-met จำเป็นต้องมีข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา

โปรแกรม ENVI-met จำลองการแพร่กระจายของมลพิษที่สามารถแพร่ของมลพิษได้ 6 รูปแบบในเวลาเดียวกัน นับค่าการตกสะสมบนพื้นผิววัสดุและใบไม้ซึ่งหมายความว่าสามารถทราบปริมาณมลพิษที่ต้นไม้ช่วยดักจับและคำนวณถึงความเข้มข้นของมลพิษที่ลดลงเมื่อมีต้นไม้มาช่วยได้ โปรแกรมต้องการข้อมูลอัตราการปล่อยมลพิษรายชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมงโดยระบุเป็นอัตราการปล่อย ($\mu\text{g}/\text{s} \cdot \text{m}$) แหล่งกำเนิดมลพิษสามารถเลือกกำหนดได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ แหล่งกำเนิดแบบจุด แหล่งกำเนิดแบบเส้น และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่



ภาพที่ 3.4 (ซ้าย) การกำหนดช่วงเวลาในการปล่อยมลพิษและระดับความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

(ขวา) การกำหนดตำแหน่งในการปล่อยมลพิษ

3.5 การจำลองในโปรแกรม ENVI-met

3.5.1 การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองใน ENVI-met

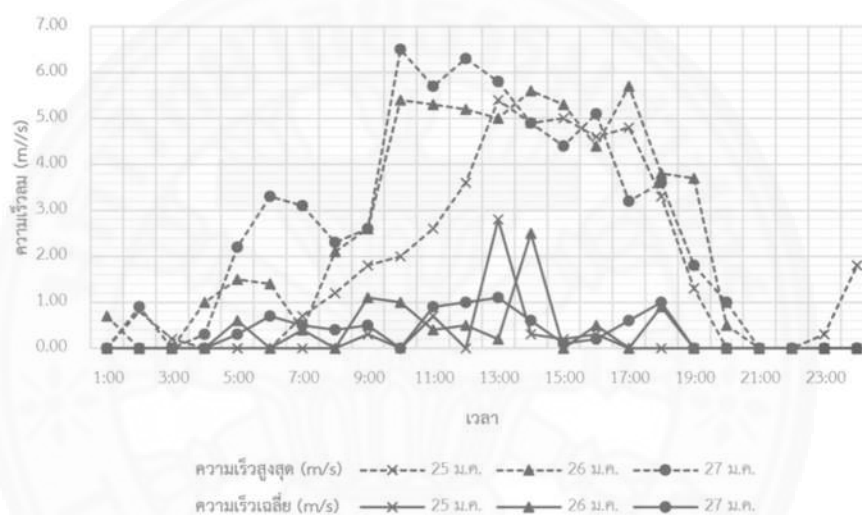
การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 มี 2 กลุ่ม ประกอบด้วยข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริงในระดับจุลภาคของกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจเก็บข้อมูล และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เป็นข้อมูลสภาพอากาศระดับมหภาคจากสถานีอุตุนิยมวิทยา

3.5.1.1 ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริง

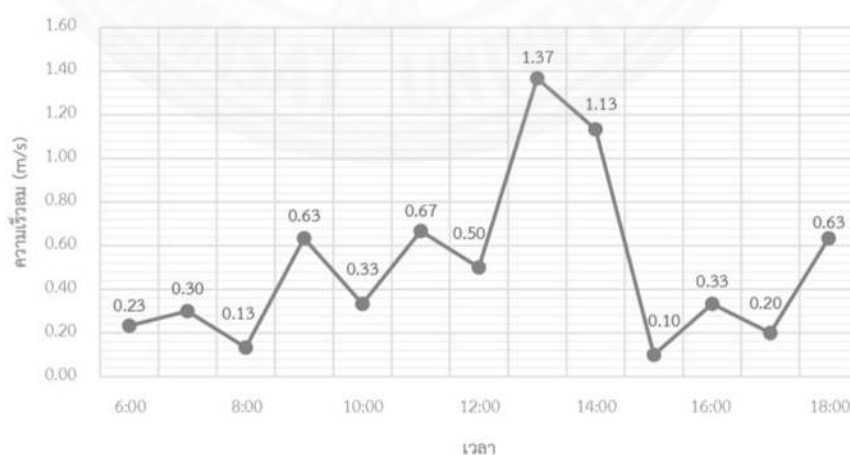
เนื่องจากงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญเรื่องการแพร่กระจายของฝุ่นละอองตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ ความเร็วลมและทิศทางลม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ชุดวัดความเร็วลม โดยติดตั้งเครื่องมือในพื้นที่กลางแจ้งในวันที่สภาพอากาศปลอดโปร่ง เครื่องมือติดตั้งสูงจากระดับพื้นผิวโลก 6 เมตร ทำการตรวจวัดเป็นเวลา 3 วันคือวันที่ วันที่ 25, 26, 27 มกราคม 2562 ในพื้นที่เดิมเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งเป็นการตรวจวัดช่วงฤดู

หนาวของประเทศไทยที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูง ข้อมูลสภาพอากาศระดับจุลภาคนี้จะใช้ในการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

พิจารณาจากข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บจากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 วันพบว่า ความเร็วลมช่วงเวลากลางวันมีแนวโน้มที่สูงกว่าช่วงเวลากลางคืน ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงที่วัดค่าได้ (>0 m/s) คือช่วงเวลา 05.00-18.00 น. จากภาพที่ 3.6 จะเห็นว่าความเร็วลมในช่วงเวลา 13.00-14.00 น. มีความเร็วลมเฉลี่ยมากกว่า 1 m/s ซึ่งมากกว่าช่วงเวลาอื่น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดรายชั่วโมงเวลา 10.00-18.00 น. มีความเร็วลมมากกว่า 3 m/s



ภาพที่ 3.5 ความเร็วลมสูงสุดและความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง 3 วันของกลุ่มตัวอย่าง



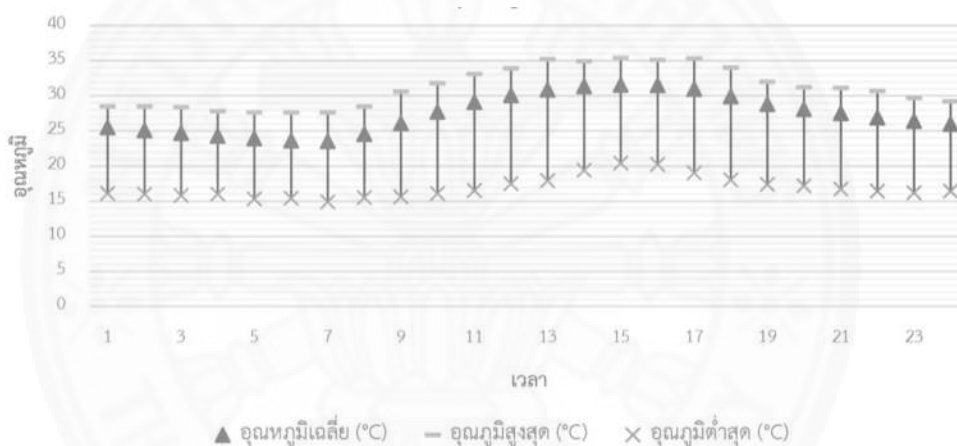
ภาพที่ 3.6 ความเร็วลมรายชั่วโมงจากการวัดภาคสนามของกลุ่มตัวอย่างเฉลี่ย 3 วัน

3.5.1.2 การเตรียมข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลสภาพอากาศระดับมหภาคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วและทิศทางลม ซึ่งถูกวัดที่ระดับความสูง 10 เมตรจากระดับพื้นผิวโลกที่เป็นข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาสถานี โดยเลือกข้อมูลจากสถานีที่ใกล้กับการวัดภาคสนาม เป็นข้อมูลเฉลี่ยย้อนหลัง 5 ปี ในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558–2561 เพื่อให้ลักษณะอากาศใกล้เคียงกันกับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด

(1) อุณหภูมิอากาศ

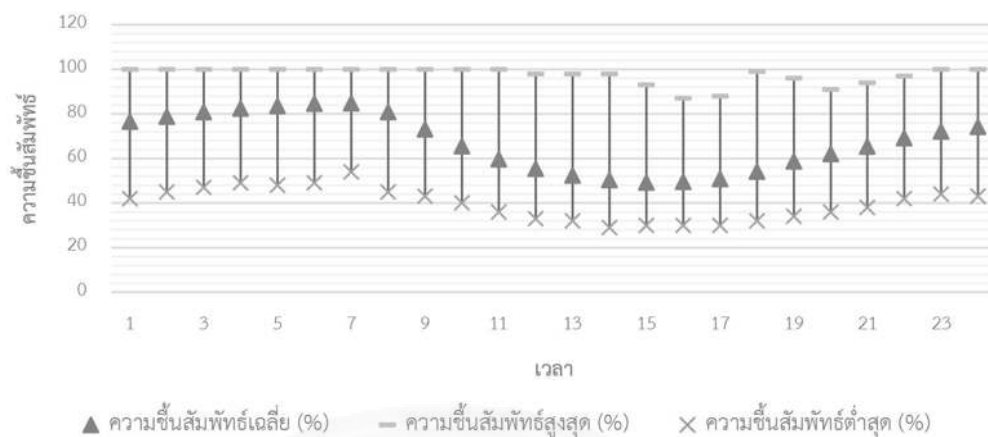
แนวโน้มของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อชั่วโมงของเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 31.6 ในเวลา 15.00 น. และอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 23.5 ในเวลา 7.00 น. ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561

(2) ความชื้นสัมพัทธ์

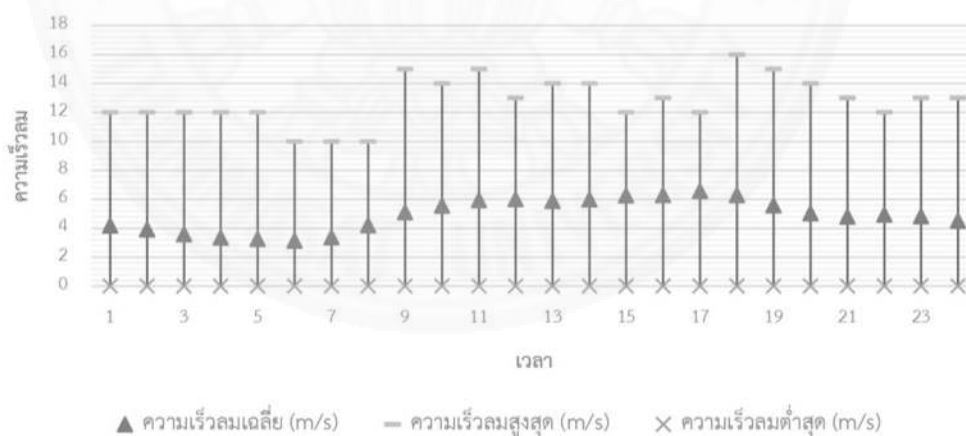
แนวโน้มของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อชั่วโมงของเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 85 ในเวลา 6.00-7.00 น. และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดประมาณ 49.3 ในเวลา 15.00 น. ดังภาพที่ 3.9



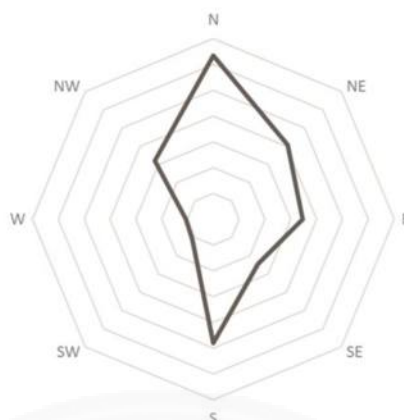
ภาพที่ 3.8 ความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561

(3) ความเร็วและทิศทางลม

แนวโน้มของความเร็วลมเฉลี่ยต่อชั่วโมง (สูงจากระดับพื้น 10 ม.) ของเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด 6.57 m/s ในเวลา 17.00 น. และความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุด 3.1 m/s ในเวลา 06.00 น. ดังภาพที่ 3.8 ค่าเฉลี่ยความเร็วลมต่อชั่วโมงอยู่ที่ 4.94 m/s และได้ลมจากทิศเหนือ (0°) มากที่สุด รองลงมาคือทิศใต้ (180°) ซึ่งเป็นทิศทางตั้งฉากกับอาคารทั้ง 2 ทิศ โดยลักษณะลมค่อนข้างไปทางทิศตะวันออก ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.9 ความเร็วลมรายชั่วโมงในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561



ภาพที่ 3.10 ทิศทางลมในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2558-2561

3.5.1.3 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ

- (1) สร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่างที่ลงสำรวจพื้นที่จริง พร้อมตั้งค่าข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศที่ได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- (2) นำผลลัพธ์ของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการจำลองกรณีตั้งต้นในโปรแกรม ENVI-met V4 มาเปรียบเทียบกับสภาพอากาศที่ตรวจวัดในพื้นที่จริงด้วยการใช้ค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2 , RMSE
- (3) ปรับค่าในกรณีตั้งต้นด้วยการปรับเปลี่ยนข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศ เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด
- (4) นำแบบจำลองกรณีตั้งต้นที่มีความน่าเชื่อถือมาใช้ในการทำวิจัย
ขั้นต่อไป

3.5.1.4 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้า

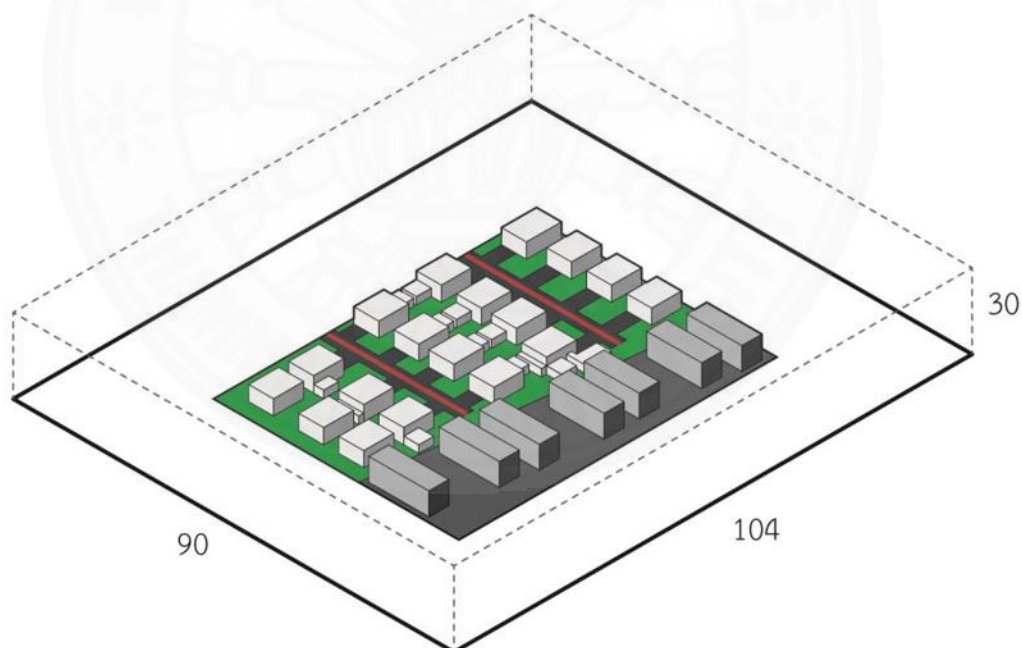
การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าสามารถทำได้ด้วยการใช้เครื่องมือ ConfigWizard โดยนำข้อมูลนำเข้าในการจำลองโปรแกรม ENVI-met ประกอบด้วยตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มตัวอย่างวันและเวลาที่ต้องการจะจำลองตรงกับวันที่ตรวจวัดภาคสนาม และข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่เป็นค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 5 ปี ซึ่งคือข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง รวมถึงทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน

3.5.2 การนำเข้าแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

การสร้างแบบจำลองทางกายภาพจำเป็นต้องพิจารณาถึงขนาดของพื้นที่เขตพักอาศัย ขนาดพื้นที่และความสูงของบ้านเดี่ยว ลักษณะของพืชพรรณและวัสดุพื้นผิวภายนอกที่ใช้ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

แบบจำลองพื้นที่เขตพักอาศัยมีขนาดความกว้างยาวของแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 ขนาด 90x104x30 ช่อง ใช้ช่องตารางกริดขนาด 2x2x2 ม. ขนาดจำลองจริงคือ 180x208x60 ลบ.ม. โดยในการจำลองมีระยะรันของแกนนอนทั้ง 4 ด้านและแกนตั้งด้านละ 20 ช่อง เพื่อเพื่อระยะระหว่างแบบจำลองทางลมเข้าให้มีความเหมาะสม การปล่อยฝุ่นละอองกำหนดให้ปล่อยจากกึ่งกลางถนน โดยสมมติให้เป็นการปล่อยฝุ่นละอองจากยานพาหนะในท้องถนนตามภาพที่ 3.7

ขนาดพื้นที่ที่ที่พักอาศัยจำลองและรูปแบบของพื้นที่ว่างรอบที่ที่พักอาศัยเป็นข้อมูลจากการสำรวจแบบบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวที่นิยมมากที่สุด โดยพื้นที่สีเขียวที่ใช้ในแบบจำลองมีค่าเริ่มต้นจากโปรแกรมและข้อมูลที่สร้างโดยผู้วิจัยด้วยการใช้เครื่องมือ Manage Database และ Alberio

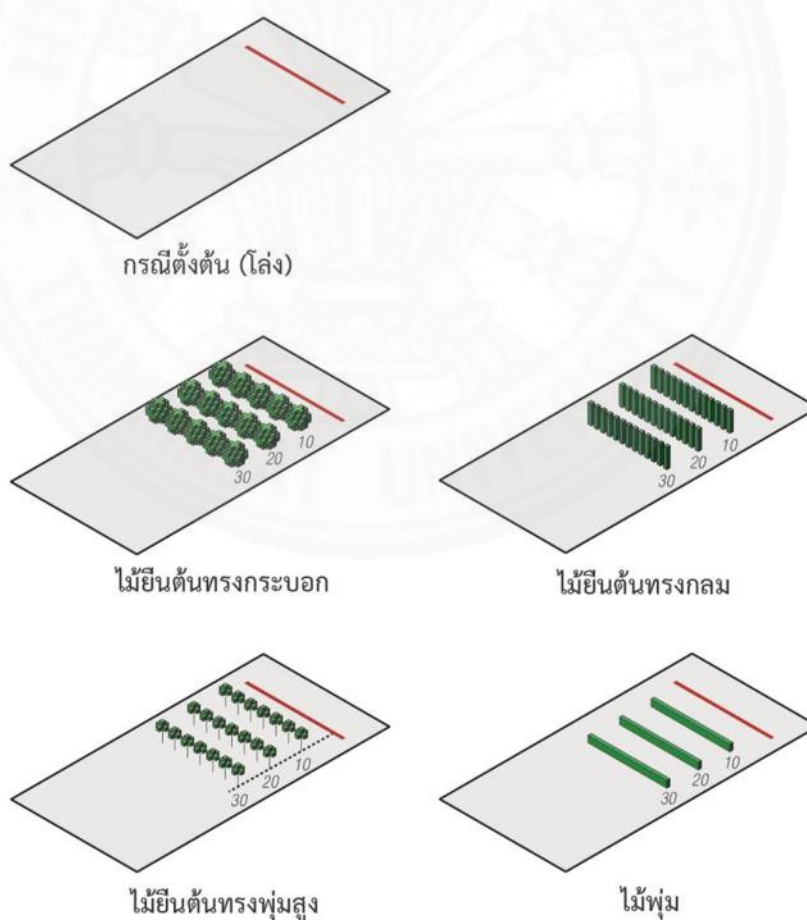


ภาพที่ 3.11 ขนาดโมเดลจำลองสำหรับกรณีตั้งต้นเพื่อทดสอบความถูกต้องโปรแกรม ENVI-met

3.6 แบบจำลองกรณีศึกษา

3.6.1 การสร้างแบบจำลองการศึกษาส่วนที่ 1

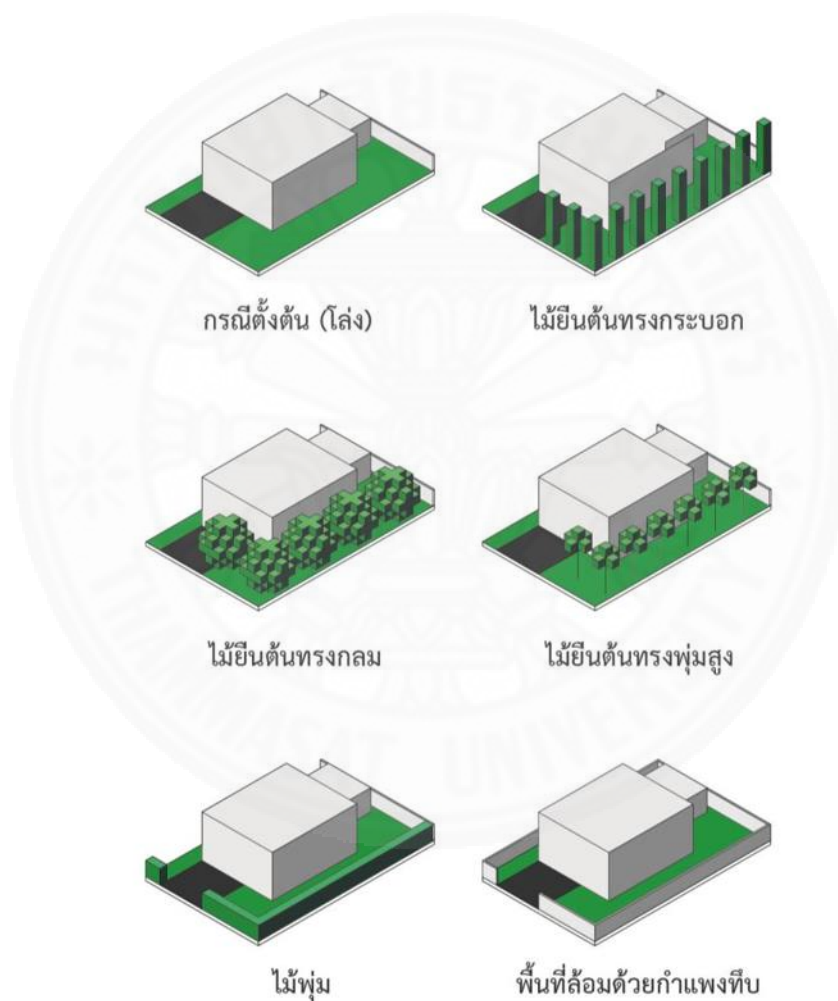
กรณีศึกษาจำแนกได้ 60 กรณีซึ่งถูกแบ่งเป็นตัวแปร ได้แก่ ประเภทของพันธุ์ไม้ที่ใช้ในกรณีศึกษาแบ่งเป็น 5 ประเภท คือ ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง ไม้พุ่มและไม้เลื้อย ทั้ง 5 ประเภทนี้ถูกกำหนดค่าความหนาแน่นพุ่มใบเป็น 2 ระดับ คือ 0.6 (ความหนาแน่นพุ่มใบต่ำ) และ $1.2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (ความหนาแน่นพุ่มใบสูง) ที่ระยะห่างของต้นไม้จากแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง 3 ระยะ คือ 10 20 และ 30 ม. ส่วนปัจจัยสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษาประกอบด้วยความเร็วลม 2 ระดับ คือ 0.48 และ 2.96 m/s ตามข้อ 4.2.2.1 ในแบบจำลองวางตำแหน่งดังรูปที่ 4.4 ไม้ยืนต้นห่างกัน 1 ม. วัดจากขนาดที่กว้างที่สุดของพุ่ม ส่วนไม้พุ่มและไม้เลื้อยวางเป็นแนวยาวที่ไม่มีช่องว่าง



ภาพที่ 3.12 กรณีจำลองส่วนที่ 1

3.6.2 การสร้างแบบจำลองศึกษาส่วนที่ 2

กรณีศึกษาจำแนกได้ 18 กรณีซึ่งถูกแบ่งเป็นตัวแปร ได้แก่ ประเภทของพันธุ์ไม้ที่ใช้ในการศึกษาแบ่งเป็น 5 ประเภท คือ ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง ไม้พุ่มและไม้เลื้อย ทั้ง 4 ประเภทนี้ถูกกำหนดค่าความหนาแน่นพุ่มใบ เป็น 2 ระดับ คือ 0.6 (ความหนาแน่นพุ่มใบต่ำ) และ $1.2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (ความหนาแน่นพุ่มใบสูง) โดยพื้นที่บ้านล้อมด้วยรั้วโปร่ง และเปรียบเทียบกับกรณีพื้นที่บ้านล้อมรอบด้วยกำแพงทึบด้วยเช่นกัน ส่วนปัจจัยสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษาประกอบด้วย ความเร็วลม 2 ระดับ คือ 0.48 และ 2.96 m/s ตามข้อ 4.2.2.1



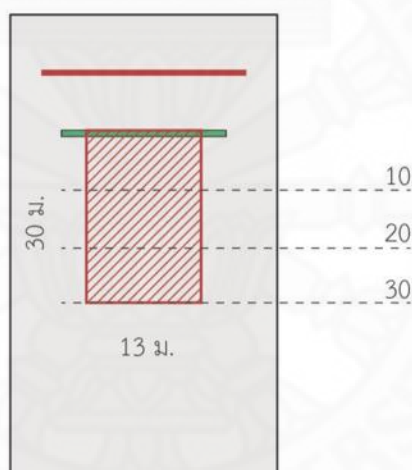
ภาพที่ 3.13 กรณีจำลองส่วนที่ 2

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล

เนื่องจากการจำลองทั้งหมด 3 ส่วนจึงต้องใช้การวัดผลที่แตกต่างกัน โดยการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการนำข้อมูลมาวิเคราะห์และประเมินผลจากการจำลอง ซึ่งประกอบไปด้วย ความเข้มข้นของ PM, ความเร็วลม และ ปริมาณตกสะสมบนใบของ PM

(1) การวิเคราะห์ผลการจำลองส่วนที่ 1

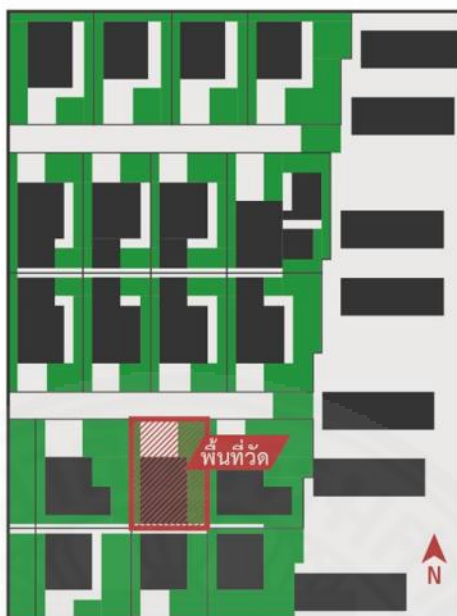
การจำลองส่วนที่ 1 แบบจำลองเป็นพื้นที่โล่งที่มีแนวต้นไม้ยาว 15 ม. จึงใช้วิธีการประเมินความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่หลังแนวต้นไม้ 30 ม. เพื่อดูศักยภาพในการลดความเข้มข้นของต้นไม้ในระยะยาว จากนั้นนำผลลัพธ์จากทุกกรณีมาเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ภายในขอบเขต 13x30 ตร.ม.



ภาพที่ 3.14 พื้นที่สำหรับใช้ประเมินผลความเข้มข้นของ PM ในแบบจำลองส่วนที่ 1

(2) การวิเคราะห์ผลการจำลองส่วนที่ 2

การจำลองส่วนที่ 2 แบบจำลองเป็นผังโครงการบ้านเดี่ยวจัดสรร จึงประเมินผลเป็นความเข้มข้นของ PM ในขอบเขตพื้นที่บ้าน 1 หลัง กำหนดการวัดผลในพื้นที่บ้านที่กำหนด เพื่อหาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในพื้นที่บ้านและความสอดคล้องของบ้านแต่ละหลัง เพื่อความถูกต้องของข้อมูล และนำผลลัพธ์จากทุกกรณีมาเปรียบเทียบ



ภาพที่ 3.15 พื้นที่สำหรับใช้ประเมินความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในแบบจำลองส่วนที่ 2



ภาพที่ 3.16 พื้นที่สำหรับใช้ประเมินความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ บนพื้นที่โล่งและพื้นที่สีเขียว ในแบบจำลองส่วนที่ 2

3.8 การประยุกต์ใช้

หลังจากสรุปผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ข้อสรุปที่ได้จะนำมาเสนอในรูปแบบของ ตัวอย่างการเลือกใช้ประเภทและลักษณะต้นไม้ในพื้นที่สีเขียวรอบที่พักอาศัยบ้านเดี่ยวที่เหมาะสม สำหรับอาคารที่อยู่อาศัยที่ไม่มีระบบกรองอากาศ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4

การตรวจสอบความถูกต้องของค่าตั้งต้นนำเข้าของโปรแกรม ENVI-met V4 พิจารณาหาความสอดคล้องทางสถิติเพื่อกำหนดค่าความเร็วตั้งต้นสำหรับใช้ในแบบจำลองตั้งต้น จากนั้นจึงนำมาเป็นต้นแบบในการปรับเปลี่ยนเป็นกรณีศึกษาต่าง ๆ

1) สร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่างให้มีความใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมในสถานที่จริงมากที่สุด โดยตั้งค่าข้อมูลนำเข้าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีตรวจวัดอากาศดอนเมือง จากนั้นจึงกำหนดกรณีตั้งต้นที่มีการตั้งค่าข้อมูลนำเข้าความเร็วลมซึ่งมีที่มาแตกต่างกัน

2) นำผลลัพธ์ของความเร็วลมที่ได้จากการจำลองกรณีตั้งต้นมาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามด้วยการใช้ค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2 และ RMSE

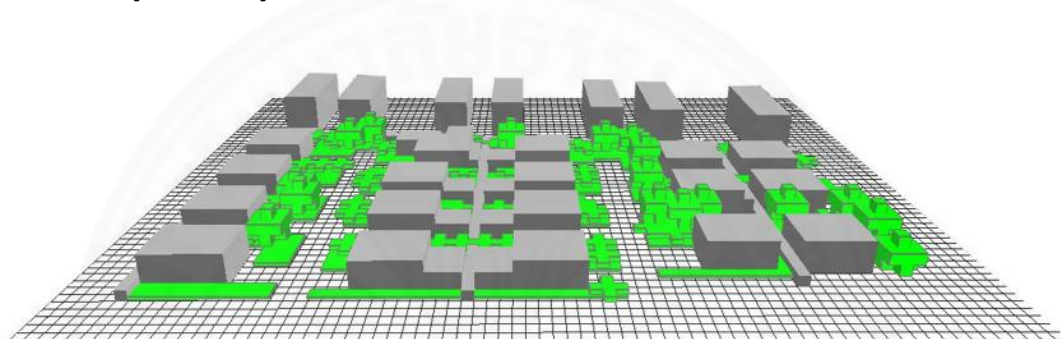
3) ปรับค่าในกรณีตั้งต้นด้วยการปรับการตั้งค่าข้อมูลความเร็วลมตั้งต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความจริงมากขึ้น

4) นำแบบจำลองกรณีตั้งต้นที่มีความใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุดมาใช้ในการทำวิจัยในขั้นต่อไป โดยปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวตามกรณีศึกษา

4.2 การนำเข้าแบบจำลองกรณีตั้งต้น

4.2.1 การสร้างแบบจำลองกรณีตั้งต้น

ลักษณะทางกายภาพของกรณีตั้งต้นของกลุ่มตัวอย่าง คือ โครงการบ้านจัดสรร ซึ่งถูกนำมาจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 ดังภาพที่ 3.2 พันธุ์ไม้ที่ถูกปลูกภายในแปลงที่ดิน แตกต่างกันไปประกอบด้วยหญ้าและไม้ยืนต้นขนาดพุ่ม 3, 5 ม. ที่ตามภาพที่ 4.1 สิ่งปลูกสร้างที่จำลองประกอบด้วย บ้านเดี่ยวสูง 6 ม., บ้านแถวสูง 9 ม. และรั้วสูง 2 ม. บริเวณด้านหลังบ้าน โครงการตั้งอยู่ในย่านที่อยู่อาศัยนอกเขตเมืองจึงกำหนดค่า surface roughness length เป็น 0.5



ภาพที่ 4.1 แบบจำลองกรณีตั้งต้นในโปรแกรม ENVI-met ตามผังโครงการบ้านเดี่ยวจัดสรรกลุ่มตัวอย่าง

4.2.2 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าในกรณีตั้งต้น

การนำเข้าข้อมูลลงในโปรแกรม ENVI-met ถูกระบุความเร็วลมตั้งต้นเพียง 1 ค่าที่ความสูง 10 ม. เหนือระดับพื้นดินและทิศทางลมจาก 1 ทิศทาง เพราะฉะนั้นความเร็วลมและทิศทางลมที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมจึงคงที่ตลอดระยะเวลาที่กำหนดในการทดลอง ซึ่งอาจจะทำให้ค่าจากการจำลองด้วยโปรแกรมไม่สอดคล้องกับค่าที่วัดได้ในพื้นที่กลุ่มตัวอย่างกันมากนัก สำหรับการตั้งค่าข้อมูลนำเข้าลมโดยอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้า มีวิธีการซึ่งได้นำมาปรับใช้และแจกแจงเป็นกรณี คือ กำหนดความเร็วลมจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้พื้นที่กลุ่มตัวอย่างที่สุดและจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยความเร็วลมจากกรมอุตุนิยมวิทยาถูกวัดที่ความสูง 10 ม.เหนือพื้นดิน และความเร็วลมภาคสนามในงานวิจัยนี้ถูกวัดที่ระดับความสูง 6 ม.เหนือพื้นดิน จึงต้องใช้สมการเพื่อแปลงค่าความเร็วลมให้เป็นความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 ม.

$$WS_{10} = WS_h(10/h)^\alpha$$

- เมื่อ WS = ความเร็วลม (m/s)
 h = ความสูงจากระดับพื้น (m)
 α = เลขกำลังเชิงประจักษ์ของค่า surface roughness (m)

4.2.2.1 กำหนดค่าความเร็วลม 1 ค่า

(1) **กรณีที่ 1** ตั้งค่าข้อมูลนำเข้าจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่เป็นความเร็วลมเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่ระดับความสูง 10 ม. คือ 4.94 m/s

(2) **กรณีที่ 2** ตั้งค่าความเร็วจากกรมอุตุนิยมวิทยาเหมือนกรณีที่ 1 แต่ลดความเร็วลงโดยใช้ความเร็วลมที่ความสูง 6 ม. คือ 2.96 m/s

4.2.2.1 กำหนดค่าความเร็วลม 2 ค่า

แบ่งช่วงเวลา 2 ช่วงสำหรับการตั้งค่าข้อมูลนำเข้าตามรูปแบบจากข้อมูลภาคสนามดังภาพที่ 3.7 ซึ่งมีค่าความเร็วลมที่แตกต่างกัน คือ ช่วงความเร็วลมสูงในช่วงเวลา 13.00-14.00 น. และช่วงความเร็วลมต่ำในช่วงเวลา 05.00-12.00 น. และ 15.00-18.00 น.

(1) **กรณีที่ 3** ช่วงความเร็วลมสูงกำหนดจากกรณีที่ 1 คือ 4.94 m/s และช่วงความเร็วลมต่ำกำหนดจากความเร็วลมเฉลี่ยทุกชั่วโมงของกลุ่มตัวอย่าง คือ 0.65 m/s

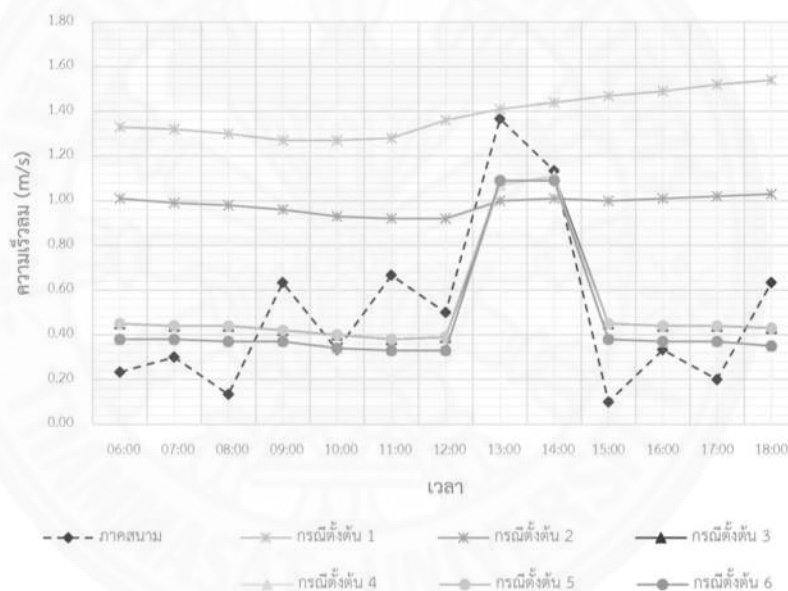
(2) **กรณีที่ 4** ช่วงความเร็วลมสูงกำหนดจากกรณีที่ 1 คือ 4.94 m/s และช่วงความเร็วลมต่ำกำหนดจากความเร็วลมเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเฉพาะช่วงเวลาความเร็วลมต่ำ คือ 0.48 m/s

(3) **กรณีที่ 5** ช่วงความเร็วลมสูงกำหนดจากกรณีที่ 2 คือ 2.96 m/s และช่วงความเร็วลมต่ำกำหนดจากความเร็วลมเฉลี่ยทุกชั่วโมงของกลุ่มตัวอย่าง คือ 0.65 m/s

(4) **กรณีที่ 6** ช่วงความเร็วลมสูงกำหนดจากกรณีที่ 2 คือ 2.96 m/s และช่วงความเร็วลมต่ำกำหนดจากความเร็วลมเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเฉพาะช่วงเวลาความเร็วลมต่ำ คือ 0.48 m/s

4.3 ผลการจำลองกรณีตั้งต้น

ผลของการจำลองกรณีตั้งต้น 6 กรณีที่ตั้งค่าข้อมูลนำเข้าแตกต่างกันส่งผลให้ข้อมูลความเร็วลมแตกต่างกัน จึงวิเคราะห์เพื่อหาความสอดคล้องระหว่างการวัดภาคสนามและแบบจำลอง โดยการวัดความเร็วลมที่ความสูง 6 ม. โดยแสดงผลดังภาพที่ 4.2 เห็นได้ว่าผลจากการวัดภาคสนามค่อนข้างซับซ้อนกว่าผลจากการจำลองในโปรแกรมจึงทำให้ความสอดคล้องน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าจากการจำลองในกรณีที่ 1 และ 2 ที่มีค่าความเร็วลมคงที่เนื่องจากกำหนดค่าตั้งต้นความเร็วลมเพียงค่าเดียว ในขณะที่กรณีที่ 3, 4, 5, และ 6 ที่ใช้ค่าตั้งต้น 2 ค่ามีความสอดคล้องค่อนข้างมากและใกล้เคียงกันเมื่อมองจากกราฟ

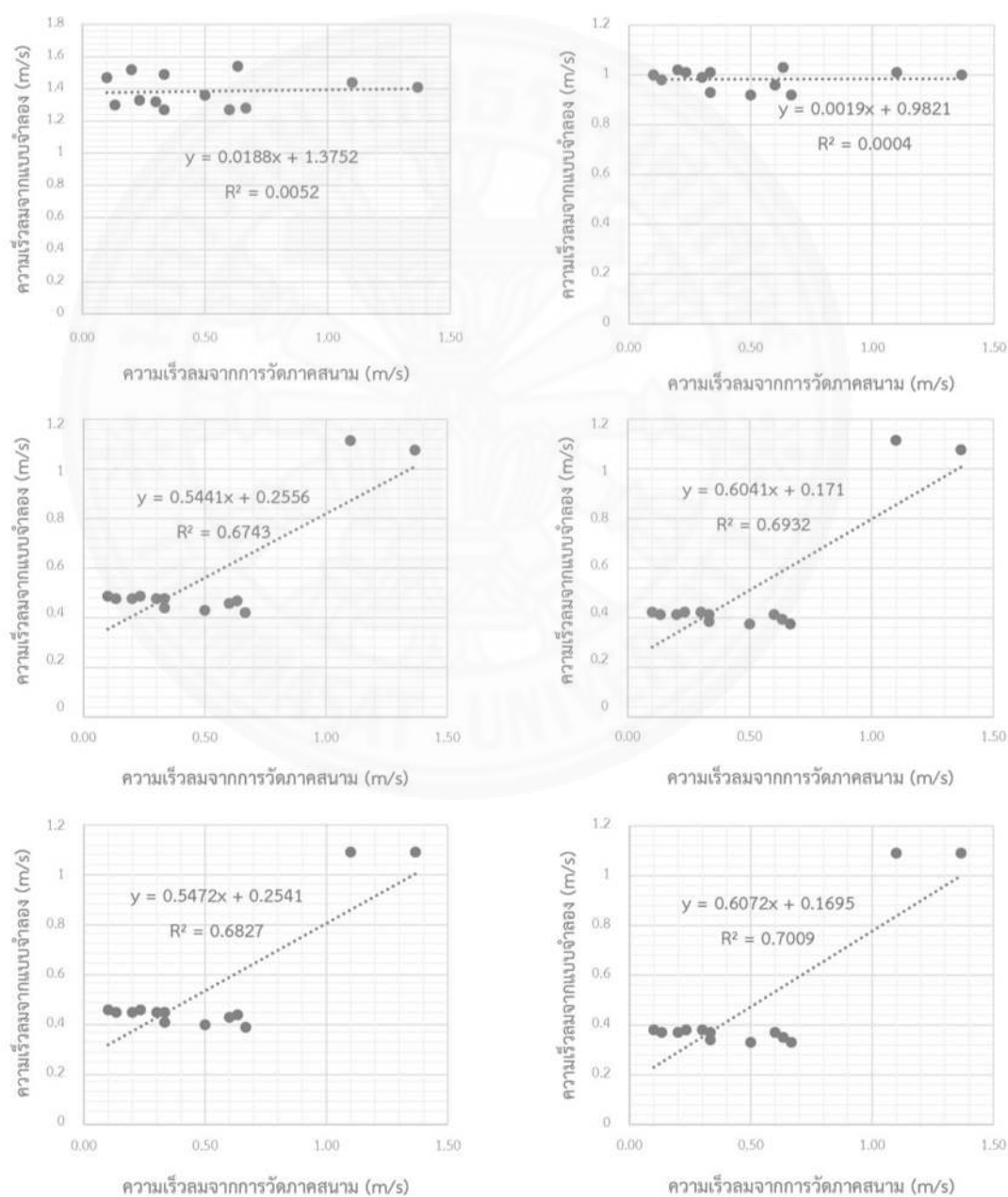


ภาพที่ 4.2 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมจากการวัดภาคสนามและผลการจำลองกรณีตั้งต้น 6 กรณีจากโปรแกรม ENVI-met

4.4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของกรณีตั้งต้น

4.4.1 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2

จากผลการจำลองกรณีตั้งต้น 4 กรณีพบว่า ค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2 ของความเร็วลมในกรณีตั้งต้น 1 2 3 4 5 และ 6 มีค่า 0.0052, 0.0004, 0.6743, 0.6932, 0.6827 และ 0.7009 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) โดยกรณีตั้งต้น 6 มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภาคสนามสูง หมายถึงค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด คือ 0.7009 เนื่องจากการตั้งค่าความเร็วลมเป็น 2 ระดับ



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิเส้นแสดงค่า R^2 ของกรณีตั้งต้น 1-6

4.4.2 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ Root Mean Square Error (RMSE)

จากผลการจำลองกรณีตั้งต้น 6 กรณีพบว่า ค่าความสอดคล้องทางสถิติ RMSE ของความเร็วลมในกรณีตั้งต้น 1 2 3 4 5 และ 6 มีค่า 0.9585, 0.6053, 0.2171, 0.2068, 0.2150 และ 0.2047 ตามลำดับ ซึ่งกรณีตั้งต้น 6 มีค่า RMSE เข้าใกล้ 0 มากที่สุด

4.4.3 ผลสรุป

จากค่าความสอดคล้องทางสถิติของ R^2 และ RMSE มีค่าที่ดีและอยู่ในช่วงที่งานวิจัยที่ผ่านมาได้จากการจำลองเช่นกัน (ตารางที่ 2.3) คือ ค่า R^2 เป็น 0.7-0.8 และ RMSE เป็น 0.26-0.1 ดังนั้นจึงใช้ค่าความเร็วลมตั้งต้นตามกรณีที่ 6 ในแบบจำลองกรณีศึกษาของงานวิจัย คือ ช่วงความเร็วลมสูง 2.96 m/s และช่วงความเร็วลมต่ำ 0.48 m/s

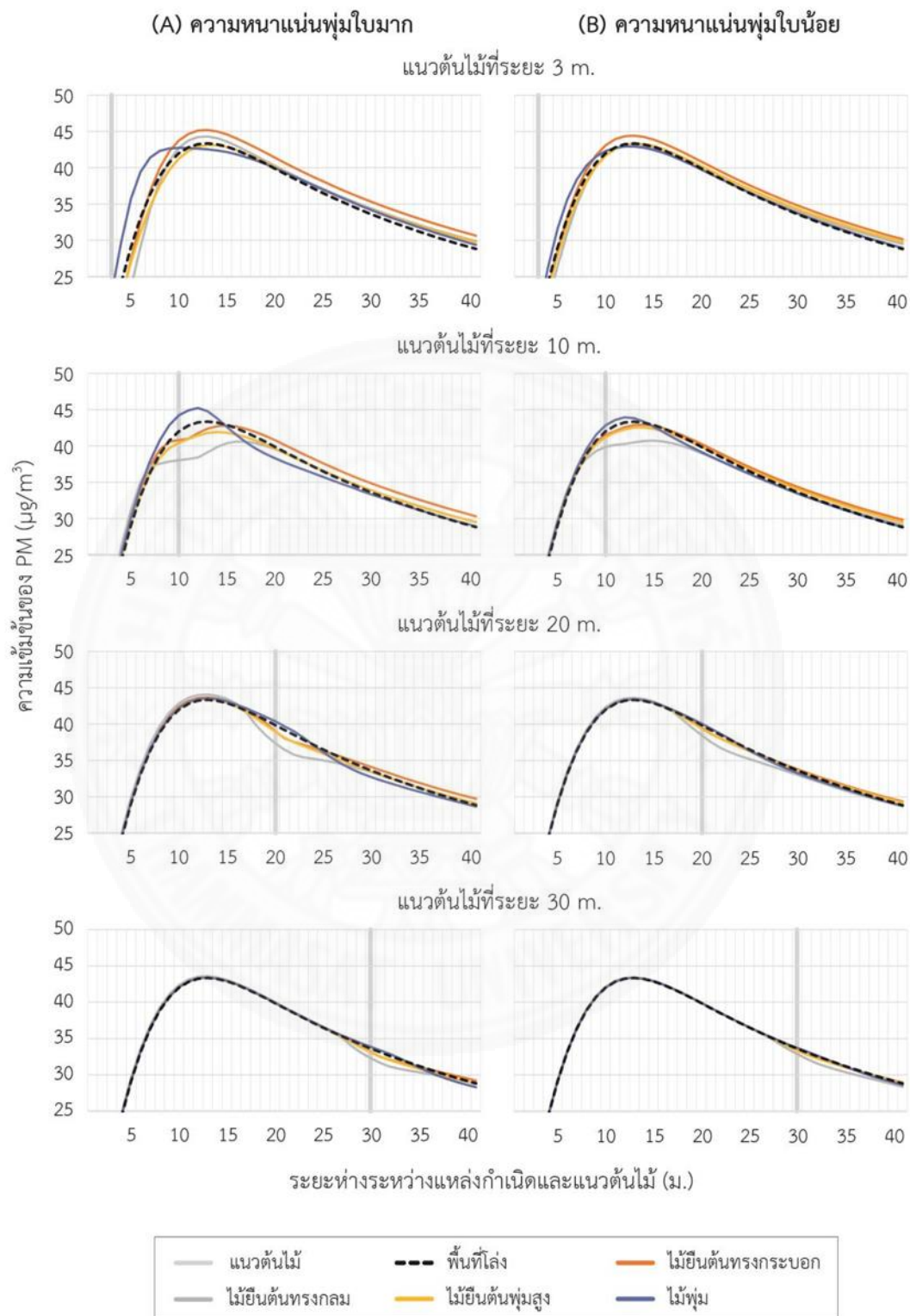
4.5 ผลการจำลองส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของ PM ด้วยต้นไม้

การจำลองส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของต้นไม้แต่ละประเภท เมื่อถูกจัดเป็นแนวต้นไม้ในระยะห่างจากแหล่งกำเนิดระยะต่าง ๆ บนพื้นที่โล่งต่อความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM หลังแนวต้นไม้ โดยแจกแจงผลการจำลองเป็นตัวแปรที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย ประเภทต้นไม้, ความหนาแน่นพุ่มใบ, ระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิด, ความเร็วลมตั้งต้น, ความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่หลังแนวต้นไม้ และปริมาณตกสะสมบนใบของ PM

4.5.1 อิทธิพลจากประเภทต้นไม้และความหนาแน่นพุ่มใบ

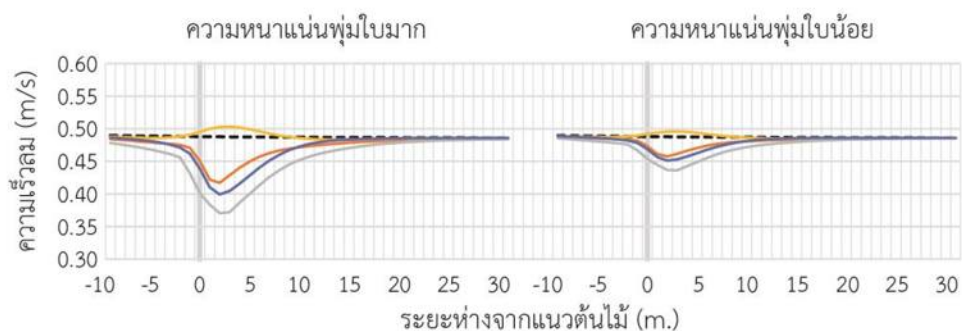
แนวต้นไม้บางกรณีบนพื้นที่โล่งสามารถช่วยลดความเข้มข้นของ PM หลังแนวต้นไม้ได้แตกต่างกันตามแต่ละประเภท (ภาพที่ 4.4) ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s เมื่อต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 10 ม. พบว่ากรณีที่มีศักยภาพลดความเข้มข้นของ PM ได้มากที่สุดคือ ไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ลดได้มากที่สุดตามลำดับ โดยกรณีไม้ยืนต้นทรงกลมและไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูงสามารถลดความเข้มข้นได้น้อยกว่ากรณีตั้งต้นในพื้นที่ตั้งแต่หลังแนวต้นไม้จนถึงระยะ 10 ม. โดยเฉพาะภายในระยะ 5 ม. มีค่าลดลงมากที่สุด กรณีไม้ยืนต้นทรงกระบอกสามารถลดความเข้มข้นในพื้นที่หลังแนวต้นไม้ได้ในระยะ 5 ม. ส่วนกรณีไม้พุ่มทำให้ความเข้มข้นของ PM เพิ่มขึ้นช่วงก่อนและหลังแนวต้นไม้ในระยะ 5 ม. แต่ลดความเข้มข้นหลังแนวต้นไม้ตั้งแต่ระยะ 6 ม. เป็นต้นไป และมีค่าความเข้มข้นลดลงมากกว่าไม้ยืนต้นทรงกลมที่ระยะหลังแนวต้นไม้ตั้งแต่ 10 ม. เป็นต้นไป

ความหนาแน่นพุ่มใบมากส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM ที่มากขึ้นและน้อยลง ต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากสามารถลดความเข้มข้นในพื้นที่ได้มากกว่าความหนาแน่นพุ่มใบน้อย ในขณะที่เดียวกันเมื่อต้นไม้เพิ่มความเข้มข้น ต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากจะเพิ่มความเข้มข้นขึ้นมากกว่าเช่นกัน เมื่อความหนาแน่นพุ่มใบมากที่แนวต้นไม้ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 10 ม. กรณีไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง ไม้ยืนต้นทรงกระบอกสามารถลดความเข้มข้นเฉลี่ยในพื้นที่ลงได้ร้อยละ 8.29, 3.26, 1.77 ตามลำดับ ในขณะที่ความหนาแน่นพุ่มใบน้อยสามารถความเข้มข้นเฉลี่ยในพื้นที่ลงร้อยละ 5.79, 1.65, 0.87 ตามลำดับ

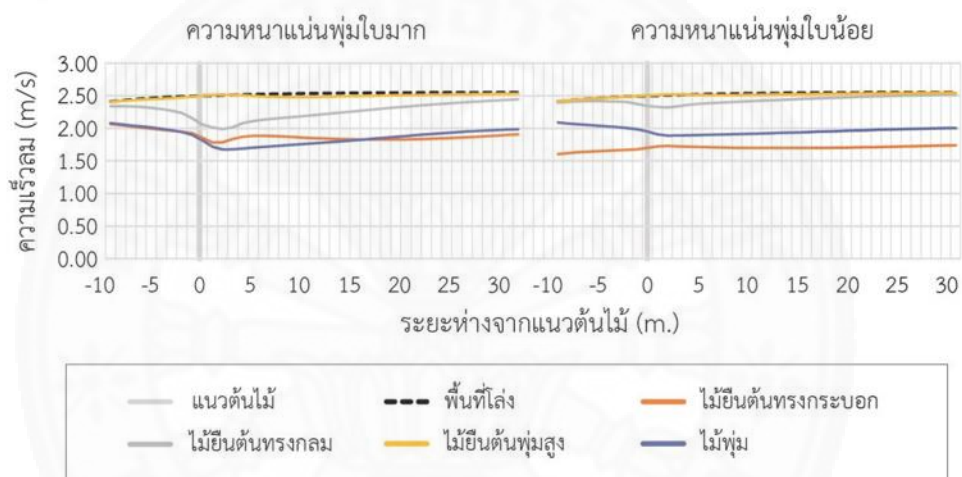


ภาพที่ 4.4 แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ PM_{10} เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก (A) และน้อย (B) บนตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิด 3, 10, 20 และ 30 m. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s

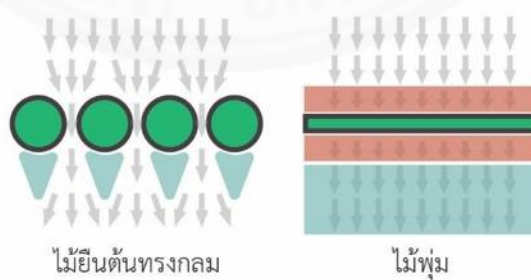
(A) ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s



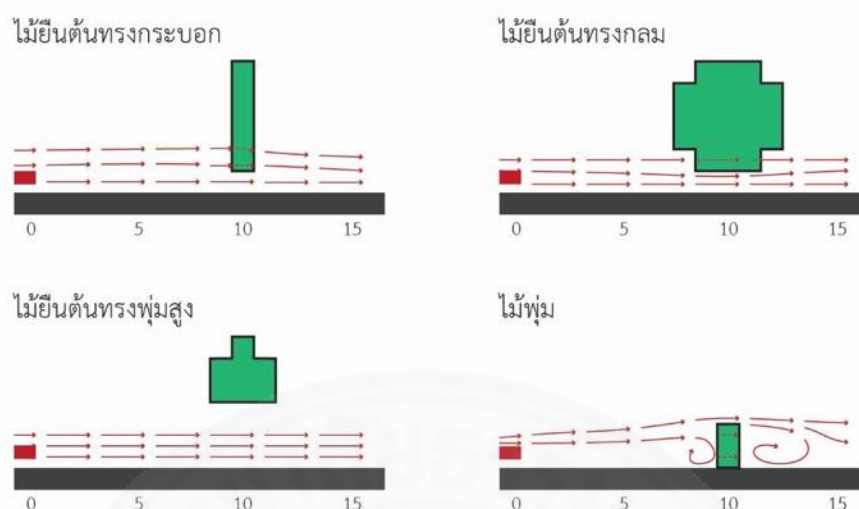
(B) ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s



ภาพที่ 4.5 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลม เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 (A) และ 2.96 m/s (B)

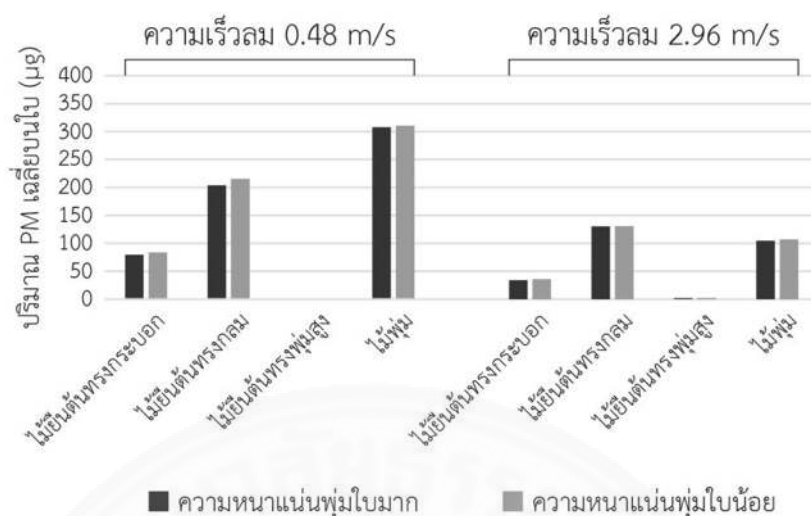


ภาพที่ 4.6 รูปผังแสดงลักษณะการกระจาย PM กรณีไม้ยืนต้นทรงกลม และไม้พุ่ม



ภาพที่ 4.7 รูปตัดแสดงลักษณะลมที่พัดผ่านแนวต้นไม้กรณีไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง และไม้พุ่ม

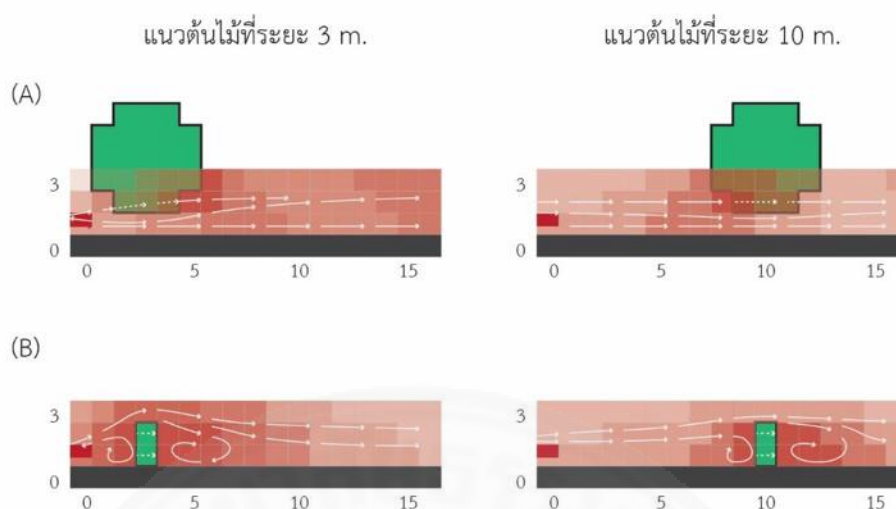
เมื่อศึกษาถึงลักษณะลมที่เกิดขึ้นและปริมาณตกสะสมบนใบของ PM ที่ตำแหน่งระยะห่างต้นไม้จากแหล่งกำเนิด 10 ม. (ภาพที่ 4.6 และ 4.7) กรณีไม้ยืนต้นทรงกลมที่มีระยะพุ่มตั้งแต่ความสูง 1 ม. ทำให้ลมสามารถไหลผ่านบริเวณด้านล่าง ช่วยเจือจางความเข้มข้นด้านหน้าต้นไม้ และด้วยพุ่มขนาดใหญ่ทำให้ลมทะลุผ่านต้นไม้ได้น้อย ทำให้ความเร็วลมลดลงจากกรณีตั้งต้น อนุภาคของ PM จึงไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ด้วยเช่นกัน ความเข้มข้นของ PM จึงลดลง แต่ช่องว่างระหว่างต้นไม้ยังมีความเข้มข้นระดับเดิม และตั้งแต่ระยะหลังแนวต้นไม้ 10 ม. ความเข้มข้นกลับมาอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้นเพราะลมไหลผ่านช่องว่างระหว่างต้นไม้ พัดพาอนุภาคของ PM มาด้วย และเมื่อผ่านจุดอับลมหลังต้นไม้ ความเข้มข้นจึงกลับมาอยู่ในระดับปกติ ในขณะที่ไม้พุ่มทำให้เกิดลมแบบปั่นป่วน (Turbulence) ด้านหน้าและด้านหลังของพุ่ม ความเร็วลมจึงลดลงในบริเวณดังกล่าว เป็นเหตุให้อนุภาคของ PM กระจุกตัวอยู่บริเวณนั้นมาก ความเข้มข้นจึงเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันลมแบบปั่นป่วนทำให้ปริมาณตกสะสมบนใบของ PM สูงสุดเทียบกับกรณีอื่น อีกทั้งพื้นที่พุ่มของต้นไม้ที่ปะทะกับแหล่งกำเนิดมีมากที่สุดด้วย ไม้พุ่มจึงสามารถช่วยลดความเข้มข้นได้ตั้งแต่ระยะ 5 ม. หลังแนวต้นไม้ ทั้งนี้ระยะหลังแนวต้นไม้ที่เริ่มลดความเข้มข้นขึ้นอยู่กับความสูงของไม้พุ่มด้วย ส่วนกรณีไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูงลดความเข้มข้นในพื้นที่หลังแนวต้นไม้ได้จากพุ่มที่สูงตั้งแต่ระดับ 4 ม. จึงให้ลมพัดผ่านบริเวณใต้ต้นไม้ด้วยความเร็วที่สูงกว่ากรณีตั้งต้น ต่างจากกรณีอื่นที่ลดความเร็วลมหลังแนวต้นไม้ลงทั้งหมด ความเข้มข้นของ PM จึงลดลงโดยไม่ต้องพิจารณาปัจจัยการตกสะสมบนใบของ PM



ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณเฉลี่ย PM บนใบของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s

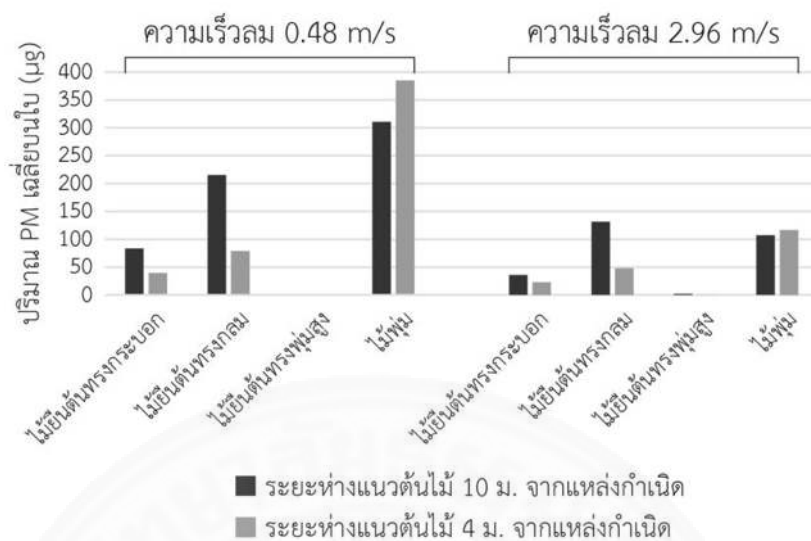
4.5.2 อิทธิพลจากระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิด

ตำแหน่งแนวต้นไม้จากแหล่งกำเนิดมีผลต่อความเข้มข้นของ PM อย่างมาก (ภาพที่ 4.4) ตำแหน่งต้นไม้ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. ทำให้ความเข้มข้นหลังแนวต้นไม้เพิ่มขึ้นทุกกรณี ยกเว้นกรณีไม่มีต้นทรงพุ่มสูงที่ได้ค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้นซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เพราะตำแหน่งพุ่มอยู่สูงจึงไม่กีดขวางลมและลดการฟุ้งกระจายของอนุภาค PM กรณีไม่มีพุ่มเพิ่มความเข้มข้นมากที่สุดตั้งแต่ระยะหลังแนวต้นไม้จนถึง 7 ม. หลังจากนั้นจะมีระดับใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้น กรณีไม่มีต้นทรงกระบอกและไม่มีต้นทรงกลมเพิ่มความเข้มข้นมากที่สุดในพื้นที่หลังแนวต้นไม้ตั้งแต่ระยะ 5 ม. ในขณะที่ตำแหน่งแนวต้นไม้ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 10, 20 และ 30 ม. สามารถลดความเข้มข้นของ PM ได้มากที่สุดตามลำดับ เพราะยิ่งระยะใกล้แหล่งกำเนิด ความเข้มข้นของ PM ยิ่งมากกว่าระยะไกล ทำให้อัตราการลดความเข้มข้นของ PM ลงอย่างเห็นได้ชัด ประเภทต้นไม้ที่ลดความเข้มข้นได้มากที่สุดที่แนวต้นไม้อยู่ในระยะ 10, 20 และ 30 ม. คือ ไม่มีต้นทรงกลม ไม่มีต้นทรงพุ่มสูง ไม่มีต้นทรงกระบอก ตามลำดับ โดยทุกระยะสามารถลดความเข้มข้นได้มากที่สุดบริเวณหลังแนวต้นไม้ระยะ 5 ม. ผลการทดลองพบว่าไม่มีต้นทรงกลมความหนาแน่นพุ่มใบมากซึ่งมีศักยภาพลดความเข้มข้นของ PM ได้มากที่สุด โดยลดลงร้อยละ 8.29, 5.55, 3.57 ที่ระยะห่าง 10, 20, 30 ม. ตามลำดับ และลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นที่มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้น



ภาพที่ 4.9 รูปตัดแสดงลักษณะการกระจาย PM ที่แนวต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิดระยะ 3 และ 10 ม. กรณีไม้ยืนต้นทรงกลม (A) และไม้พุ่ม (B)

พิจารณาลักษณะลมและปริมาณตกสะสมบนใบของ PM ที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PM แตกต่างกันเมื่อแนวต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. และ 10 ม. (ภาพที่ 4.9 และ 4.10) กรณีไม้ยืนต้นทรงกลมและไม้ยืนต้นทรงกระบอกมีระดับพุ่มสูง 1 ม. ทำให้ลมสามารถพัดผ่านด้านล่างของแนวต้นไม้ได้ แต่ในตำแหน่งแนวต้นไม้ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. อนุภาคของ PM ถูกอัดอยู่ด้านล่างพุ่มและกระจายออกไปเมื่อผ่านแนวต้นไม้ จึงทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาควบคู่กับปริมาณตกสะสมพบว่าที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. มีปริมาณตกสะสมน้อยกว่าที่ระยะห่าง 10 ม. เพราะส่วนใบไม้ด้านหน้าของไม้ยืนต้นทั้งสองมีปริมาณ PM ที่ดักจับได้น้อยกว่าใบไม้ด้านหลัง เนื่องจากอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดที่ปล่อย PM ระดับความสูงที่ต่ำมากเกินไป ตรงข้ามกับแนวต้นไม้ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 10 ม. ซึ่งก่อนที่ใบไม้ด้านหน้าดักจับ PM นั้น มีการกระจายตัวของ PM ในระดับที่สูงระดับพุ่มแล้ว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กรณีไม้ยืนต้นทรงกลมและทรงกระบอกมีความเข้มข้นของ PM มากกว่าเมื่อตำแหน่งต้นไม้อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างไม้ยืนต้นทั้งสอง พบว่าค่าความเข้มข้นในกรณีไม้ยืนต้นทรงกระบอกมีค่ามากกว่าไม้ยืนต้นทรงกลม เพราะพื้นที่พุ่มที่ปะทะลมและ PM มีมากกว่า ส่วนกรณีไม้พุ่มเมื่ออยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. นั้นอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมากเกินไปจึงทำให้อนุภาคของ PM ที่หมุนวนในลมแบบปั่นป่วนด้านหน้าและด้านหลังพุ่มปริมาณมากกว่าที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดระยะอื่นที่ไกลกว่า ค่าความเข้มข้นหลังแนวไม้พุ่มในระยะนี้จึงมีความเข้มข้นมากกว่าในช่วงตั้งแต่หลังแนวต้นไม้จนถึง 10 ม. ถึงแม้ว่ามีปริมาณตกสะสมของ PM บนใบมากกว่า

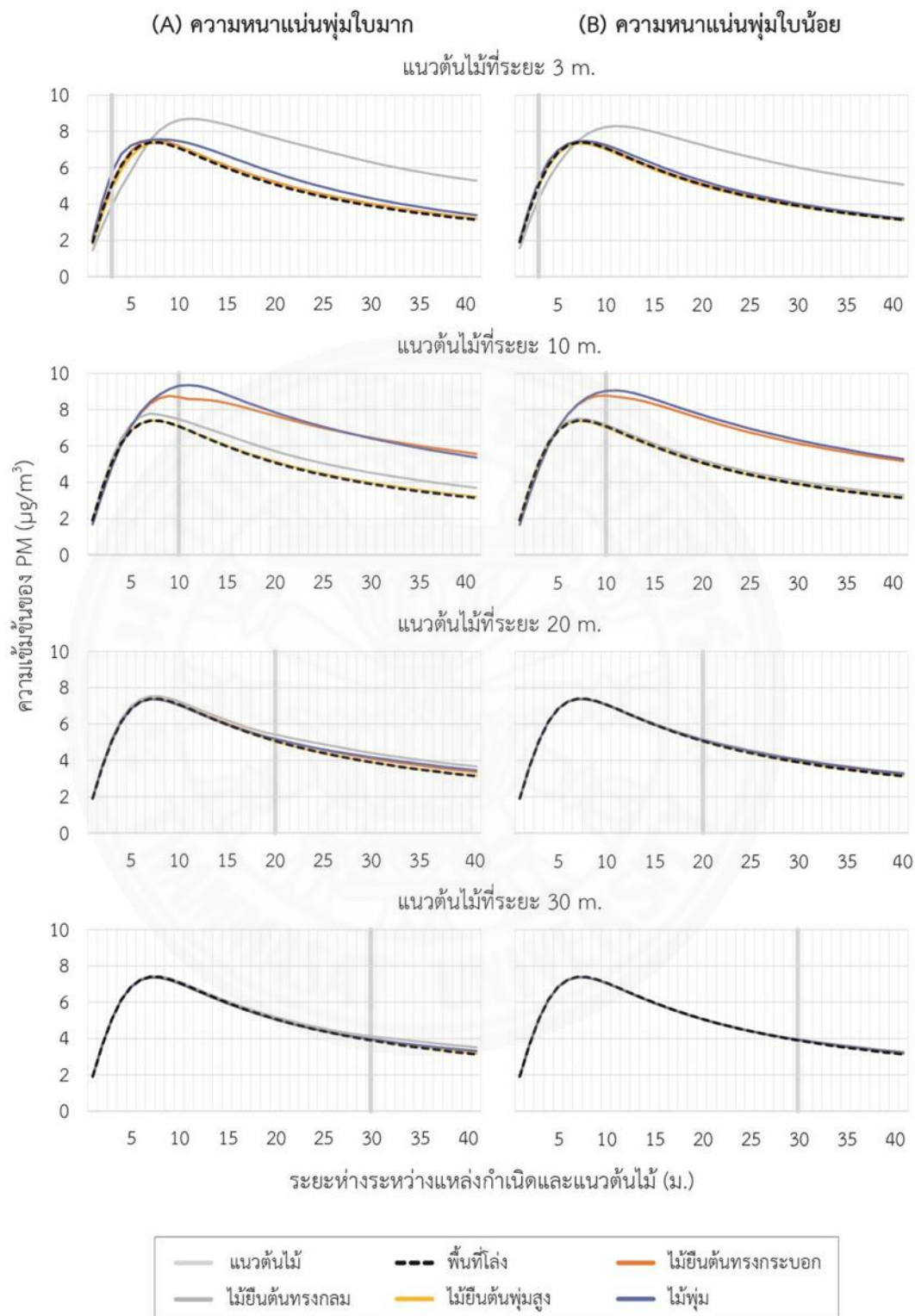


ภาพที่ 4.10 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณเฉลี่ย PM บนใบของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 3 และ 10 ม. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s

4.5.3 อิทธิพลจากความเร็วลมตั้งต้น

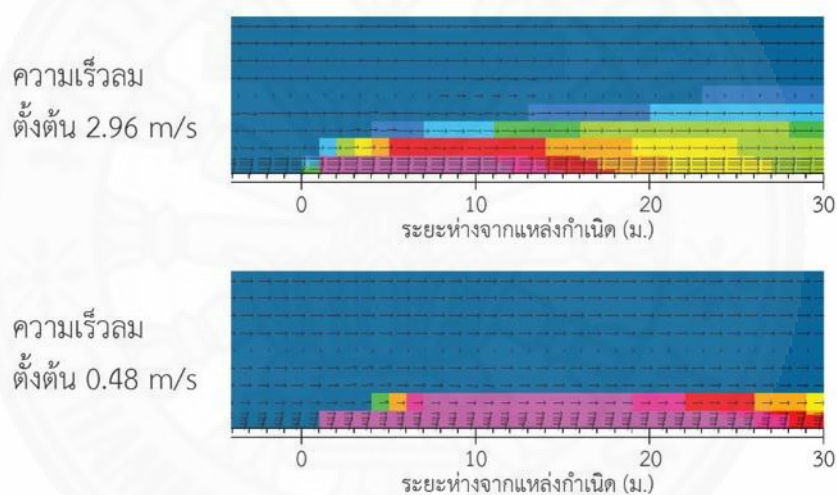
ถึงแม้ว่าเมื่อความเร็วลมตั้งต้นสูงขึ้นส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่ให้ลดลงอย่างมากจากระดับ 30-45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ กลายเป็น 3-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เพราะความเร็วลมสูงขึ้น เพิ่มอัตราการระบายนและเจือจาง PM แต่ความเข้มข้นของ PM หลังแนวต้นไม้ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s ที่แนวต้นไม้ระยะต่าง ๆ ให้ผลลัพธ์แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง (ภาพที่ 4.11)

ที่ความเร็วลม 0.48 m/s แนวต้นไม้ที่ห่างจากแหล่งกำเนิด 10, 20 และ 30 ม. สามารถช่วยลดความเข้มข้นของ PM ลงได้ แต่ที่ความเร็วลม 2.96 m/s ต้นไม้ทุกประเภทที่ทุกระยะห่างจากแหล่งกำเนิดกลับทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยในพื้นที่หลังแนวต้นไม้เพิ่มขึ้นหรือใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้น เพราะเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นแรงปะทะระหว่างลมและแนวต้นไม้สูงเช่นกัน ต้นไม้จึงกลายเป็นสิ่งกีดขวางลมที่ทำให้อนุภาคของ PM พุ้งกระจาย โดยความเข้มข้นของ PM เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อแนวต้นไม้มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 10 ม. กรณีที่เพิ่มความเข้มข้นอย่างมากทั้งความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อยคือ ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นทรงกระบอก โดยเพิ่มความเข้มข้นขึ้นร้อยละ 34-43 เทียบกับกรณีตั้งต้น ในขณะที่กรณีไม้ยืนต้นทรงกลมและไม้ยืนต้นทรงกระบอกมีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับพื้นที่โล่ง และเมื่อแนวต้นไม้ทุกประเภทมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20, 30 ม. ค่าความเข้มข้นของ PM ใกล้เคียงกับพื้นที่โล่งเช่นกันในทุกกรณีประเภทต้นไม้ เพราะอนุภาคของ PM บริเวณด้านหน้าต้นไม้ถูกลมที่มีความเร็วสูงเจือจางไปมากแล้ว



ภาพที่ 4.11 แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ PM_{10} เมื่อต้นไมมีความหนาแน่นพุ่มใบมาก (A) และน้อย (B) บนตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิด 3, 10, 20 และ 30 ม. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s

อีกทั้งสาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นของ PM แตกต่างกันเมื่อความเร็วลมตั้งต้นต่างกัน เพราะความเร็วลมทั้งสองส่งผลต่อการกระจายตัวของ PM ในลักษณะที่ต่างกัน (ภาพที่ 4.12) จากการปล่อย PM ที่แหล่งกำเนิด ณ ระดับความสูง 0.5 ม. พบว่าที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s ทำให้ PM กระจายอยู่ในระดับต่ำที่ความสูง 2 ม. แต่ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s ทำให้ PM มีลักษณะฟุ้งและกระจายตัวสูงขึ้น รวมทั้งเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น ความสามารถในการดักจับ PM ของใบไม้มีประสิทธิภาพลดลง ทำให้ใบไม้สะสมอนุภาค PM บนใบได้ไม่มากพอสำหรับช่วยลดความเข้มข้นของ PM โดยปริมาณตกสะสมของ PM บนใบลดลงประมาณร้อยละ 52 เมื่อเปลี่ยนความเร็วลมตั้งต้นจาก 0.48 เป็น 2.96 m/s อีกทั้งความเร็วลมที่เพิ่มมากขึ้นทำให้อนุภาคของ PM สามารถทะลุผ่านพุ่มไม้ได้ จึง ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่



ภาพที่ 4.12 รูปตัดแสดงลักษณะการแพร่กระจายของ PM ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s

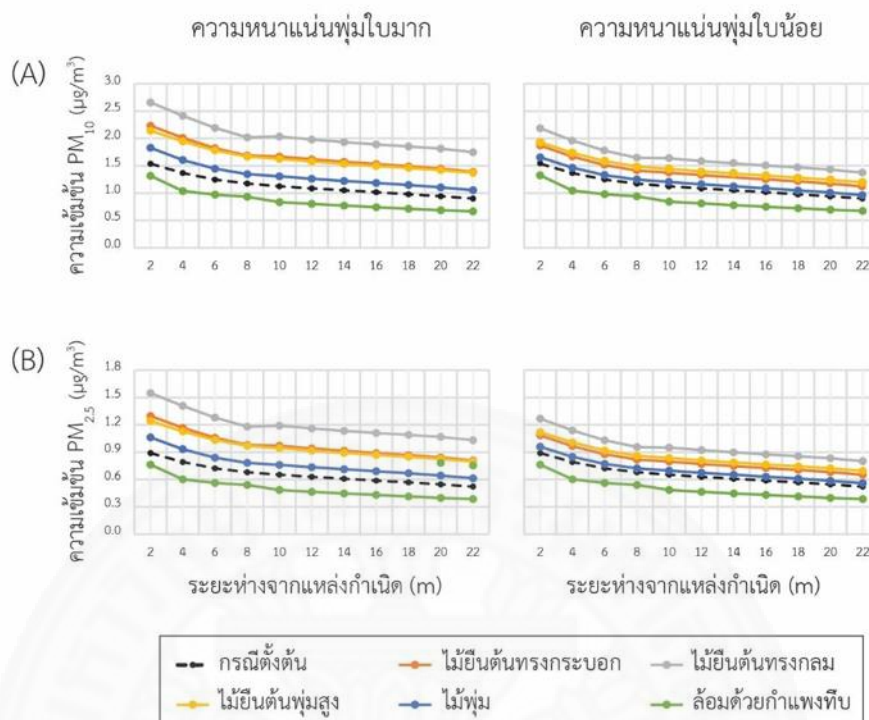
4.6 ผลจำลองส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของต้นไม้ในพื้นที่บ้านเดี่ยวต่อความเข้มข้นของ PM

การจำลองส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ เมื่อถูกจัดตามลักษณะการจัดวางจริงบนพื้นที่สีเขียวต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ในพื้นที่จำลองโครงการบ้านจัดสรรเดี่ยวที่ล้อมด้วยรั้วโปร่ง และล้อมด้วยกำแพงทึบ โดยแจกแจงผลการจำลองด้วยปัจจัยต่าง ๆ ในตัวแปรต้น ได้แก่ ประเภทต้นไม้, ความหนาแน่นพุ่มใบ, ระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิด และความเร็วมวลอากาศ โดยอธิบายและสรุปผลจากความเร็วมวลอากาศในพื้นที่หลังแนวต้นไม้ และปริมาณตกสะสมบนใบของ PM

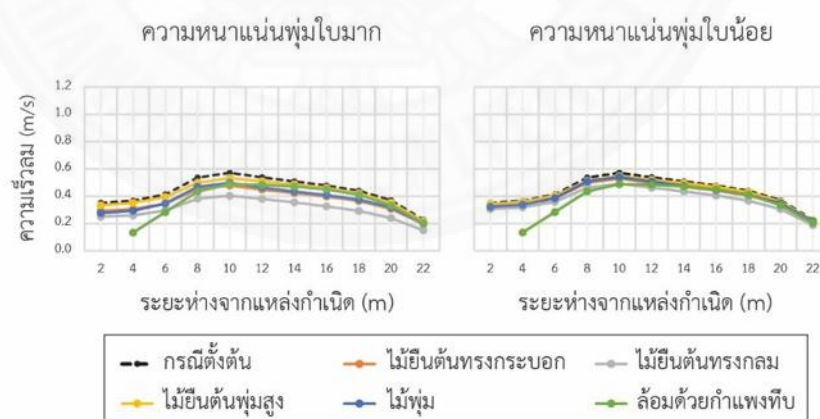
4.6.1 อิทธิพลจากประเภทต้นไม้

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ที่มีต้นไม้ประเภทต่าง ๆ กับกรณีตั้งต้นพบว่าในทุกกรณีทำให้ความเข้มข้นของ PM เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับตำแหน่งแนวต้นไม้ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. ในการจำลองส่วนที่ 1 เพราะการทดลองทั้งสองส่วนกำหนดระยะห่างของต้นไม้กับแหล่งกำเนิดเท่ากัน ผลจากการจำลองพบว่าที่ความเร็วมวลอากาศตั้งต้น 0.48 m/s กรณีตั้งต้นมีค่าความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} เฉลี่ยในพื้นที่ 1.205, 0.698 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

ที่ความเร็วมวลอากาศตั้งต้น 0.48 m/s เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก กรณีที่เพิ่มความเข้มข้นของ PM น้อยที่สุดคือ ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง ไม้ยืนต้นทรงกระบอก และไม้ยืนต้นทรงกลม ความเข้มข้นของ PM₁₀ มีค่า 1.409, 1.732, 1.777, 2.152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มข้นของ PM_{2.5} มีค่า 0.819, 1.006, 1.033, 1.259 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คิดเป็นความเข้มข้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 17, 43, 47, 80 ตามลำดับจากกรณีตั้งต้น (ภาพที่ 4.13) สรุปผลได้ว่ากรณีไม้พุ่มทำให้ความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่มีค่าน้อยที่สุดเทียบกับทุกกรณี เพราะตำแหน่งของไม้พุ่มอยู่ชิดขอบเขตที่ดินจึงทำให้ไม้พุ่มกีดขวางลมน้อยที่สุด โดยกรณีไม้พุ่มที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากมีความเร็วมวลอากาศเฉลี่ยในพื้นที่ 0.314 m/s (ภาพที่ 4.14) ซึ่งมีค่าลดลงร้อยละ 13.31 จากกรณีตั้งต้น ในขณะที่กรณีไม้ยืนต้นทรงกลมทำให้ความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่มีค่ามากที่สุด เพราะมีทรงพุ่มขนาดใหญ่ซึ่งกีดขวางทางลม ทำให้ลดอัตราการระบายอากาศที่ช่วยเจือจางความเข้มข้นของ PM โดยไม้ยืนต้นทรงกลมที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากมีความเร็วมวลอากาศเฉลี่ยในพื้นที่ 0.263 m/s ซึ่งมีค่าลดลงร้อยละ 27.32 จากกรณีตั้งต้น ส่วนในกรณีไม้ยืนต้นทรงกระบอกและไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง ให้ผลความเข้มข้นเฉลี่ยแตกต่างกันเล็กน้อยอยู่ระดับกลางในช่วงไม้พุ่มและไม้ยืนต้นทรงกลม

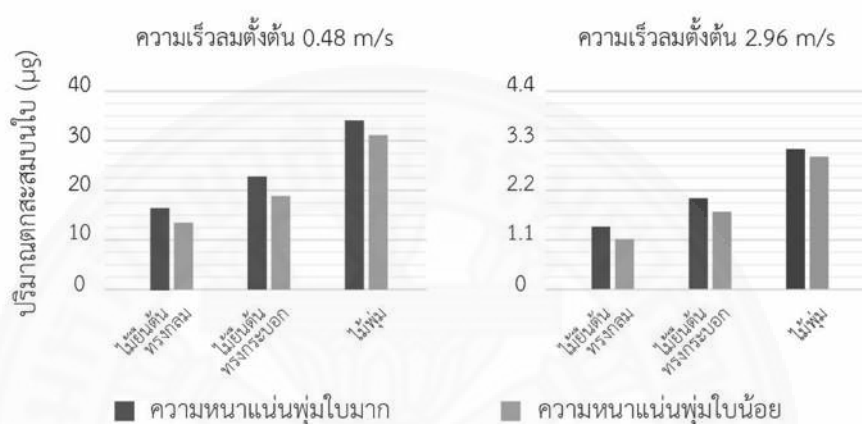


ภาพที่ 4.13 แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ (A) PM_{10} และ (B) $PM_{2.5}$ เมื่อต้นไ้มีความหนาแน่นฝุ่นไ้มากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s



ภาพที่ 4.14 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยว เมื่อต้นไ้มีความหนาแน่นฝุ่นไ้มากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s

พิจารณาที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก ปริมาณตกสะสมรวมบนใบมีค่ามากที่สุดในการณ์ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม โดยมีปริมาณตกสะสมของ PM_{10} มีค่า 34.11, 22.81, 16.59 μg และปริมาณตกสะสมของ $PM_{2.5}$ มีค่า 1.32, 0.88, 0.63 μg ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่มีผลจากกรณีไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง เพราะวัดค่าที่ระดับความสูง 1.4 ม. จากพื้น ซึ่งพุ่มของไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูงที่อยู่ระดับ 5 ม. (ภาพที่ 4.15)

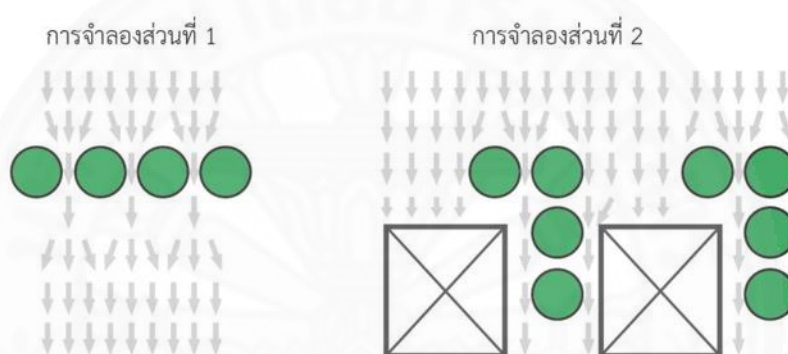


ภาพที่ 4.15 ปริมาณตกสะสมรวมบนใบของ PM_{10} บนต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากทุกต้นในพื้นที่บ้านเดี่ยว ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s ณ ความสูง 1.4 ม.

จากผลการจำลองพบว่า ค่าปริมาณตกสะสมบนใบของ PM ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s แปรผกผันกับผลความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ กรณีไม้พุ่มมีค่าความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่น้อยที่สุดและมีปริมาณตกสะสมมากที่สุด ในขณะที่กรณีไม้ยืนต้นทรงกลมให้ค่าความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่มากที่สุดและมีปริมาณตกสะสมน้อยที่สุดเช่นกัน เห็นได้ว่าตำแหน่งต้นไม้ที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมีค่าเฉลี่ยปริมาณตกสะสมมากกว่าเทียบกับต้นไม้ที่อยู่ไกลแหล่งกำเนิด กล่าวคือ ลักษณะการปลูกไม้พุ่มเป็นการปลูกแบบไม่มีช่องว่างระหว่างต้นและอยู่ริมขอบเขตที่ดิน ทำให้ไม้พุ่มที่ใกล้แหล่งกำเนิดดักจับอนุภาค PM มากกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนไม้ยืนต้นทรงกลมนั้นมักปลูกห่างกันเพื่อรองรับการเติบโตในอนาคตและมีระยะปลูกที่ห่างจากแหล่งกำเนิดมากกว่ากรณีไม้พุ่ม อีกทั้งยังเป็นการปลูกในแนวสีกตามลักษณะที่ว่างของที่ดิน ทำให้ต้นไม้บริเวณใกล้แหล่งกำเนิดมีเพียง 2 ต้นที่ช่วยดักจับฝุ่นละออง ดังนั้นปริมาณตกสะสมบนใบของ PM ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ PM แต่ละระยะในพื้นที่และการจัดวางต้นไม้

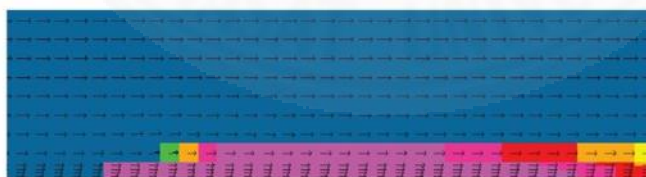
ผลการจำลองส่วนที่ 1 ชี้ว่าไม้ยืนต้นทรงกลมสามารถลดความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่ได้มากที่สุด แต่ในการจำลองส่วนที่ 2 กลับเพิ่มความเข้มข้นในพื้นที่มากที่สุด เนื่องจากรูปแบบ

การจัดวางต้นไม้แตกต่างกัน ซึ่งตำแหน่งที่ปลูกต้นไม้ในพื้นที่บ้านเดี่ยวมักถูกจัดเรียงไปตามลักษณะพื้นที่ว่างรอบบ้าน อีกทั้งบริเวณด้านหน้ามีช่องว่างสำหรับรถเพื่อเข้า-ออก ทำให้ไม่สามารถปลูกต้นไม้ได้ต่อเนื่องยาวนานตลอดถนน (ภาพที่ 4.16) และบริบทกายภาพของพื้นที่ส่งผลต่อการไหลของลมที่แตกต่างกัน ในการจำลองส่วนที่ 1 เป็นพื้นที่โล่งทำให้ลมไหลโดยเกิดความปั่นป่วนเพียงเล็กน้อยที่ส่งผลให้อนุภาคของ PM กระจายตัวอยู่ในแนวราบ แต่การจำลองส่วนที่ 2 มีอาคารและกำแพงทึบเป็นสิ่งกีดขวางทางลมทำให้ลมไหลแบบปั่นป่วนมากและส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของ PM ในแนวราบและแนวตั้งร่วมด้วย (ภาพที่ 4.17) ทั้งสองปัจจัยนี้จึงทำให้ต้นไม้ในการจำลองส่วนที่ 1 และ 2 มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PM ในอากาศแตกต่างกัน

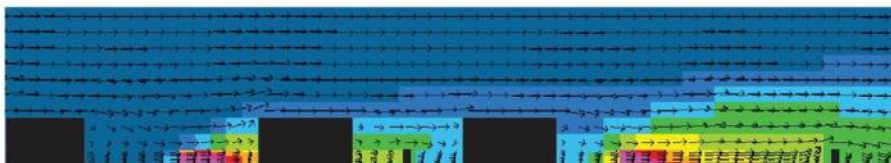


ภาพที่ 4.16 ผังพื้นแสดงรูปแบบการจัดวางต้นไม้ที่ส่งผลต่อลักษณะการกระจายของ PM ในการจำลองส่วนที่ 1 และ 2

ลักษณะการกระจายของ PM ในการจำลองส่วนที่ 1



ลักษณะการกระจายของ PM ในการจำลองส่วนที่ 2

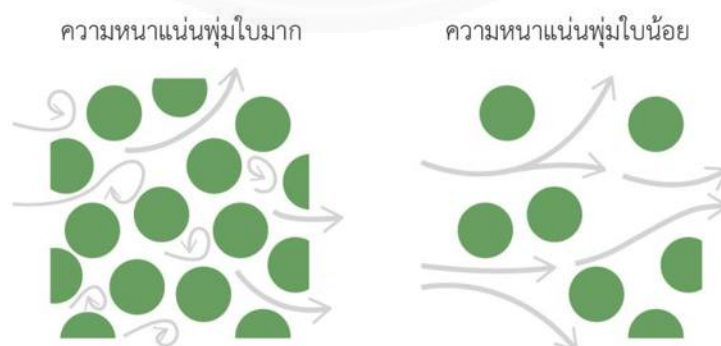


ภาพที่ 4.17 รูปตัดแสดงลักษณะการกระจายของ PM ในการจำลองส่วนที่ 1 และ 2

4.6.2 อิทธิพลจากความหนาแน่นพุ่มใบ

ความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยว เมื่อต้นไม้ความหนาแน่นพุ่มใบมาก นั้นมีค่ามากกว่าความหนาแน่นพุ่มใบน้อย (ภาพที่ 4.13) ที่ความเร็วลม 0.48 m/s ผลจากการทดลอง เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากเป็นไปตามข้อ 4.6.1 และเมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อย กรณีที่เพิ่มความเข้มข้นน้อยที่สุดคือ ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง และไม้ยืนต้น ทรงกลม ความเข้มข้นของ PM₁₀ มีค่า 1.290, 1.471, 1.539, 1.740 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM_{2.5} มีค่า 0.748, 0.853, 0.893, 1.011 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีตั้งต้น ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 17, 43, 47, 80 เช่นเดียวกับความหนาแน่นพุ่มใบมาก และเมื่อเทียบกับความหนาแน่นพุ่มใบมาก ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ลดลงร้อยละ 8, 17, 11, 19 สรุปได้ว่าความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อยให้ผลลัพธ์เหมือนกันคือ กรณีไม้พุ่มเพิ่มความเข้มข้นของ PM น้อยที่สุด และไม้ยืนต้นทรงกลม เพิ่มความเข้มข้นมากที่สุด

ผลการทดลองความหนาแน่นพุ่มใบสอดคล้องกับผลการจำลองในส่วนที่ 1 ที่ว่า กรณีที่ต้นไม้อลดความเข้มข้นของ PM ต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากจะลดความเข้มข้นของ PM มากกว่าเทียบกับต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อย เพราะต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากสามารถลดความเข้มข้นหลังแนวต้นได้จากการที่ลมสามารถไหลผ่านพุ่มใบได้น้อยทำให้อนุภาค PM ไม่ทะลุผ่านเข้าไปน้อยด้วยเช่นกัน แต่ในทางตรงข้ามกรณีที่ต้นไม้เพิ่มความเข้มข้นของ PM เพราะถึงแม้ว่าลมสามารถไหลผ่านได้มากกว่า แต่เนื่องจากความหนาแน่นพุ่มใบมากทำให้เกิดลมแบบปั่นป่วนมากขึ้น ลมจึงหน่วงอนุภาคของ PM ให้อยู่ในพื้นที่ได้นานกว่าเทียบกับความหนาแน่นพุ่มใบน้อย ดังนั้นในสถานการณ์ที่ต้นไม้เพิ่มความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่ ต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อยทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเพราะระบายอากาศในพื้นที่ได้ดีกว่า (ภาพที่ 4.18)



ภาพที่ 4.18 ลักษณะลมที่ไหลผ่านต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ในกรณีที่ต้นไม้เพิ่มความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่

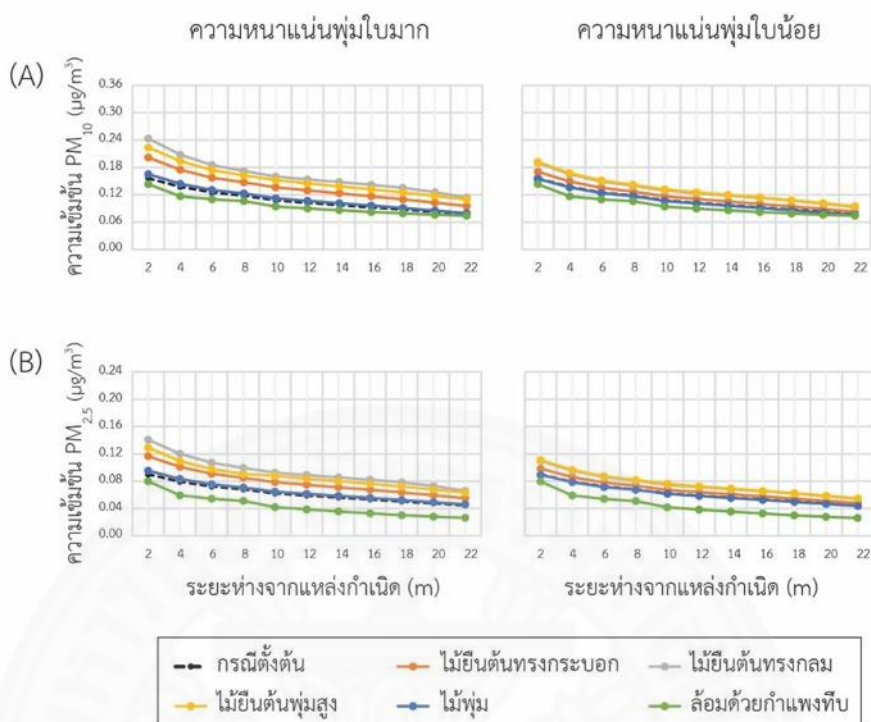
พิจารณาที่ความเร็วลม 0.48 m/s เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อย ปริมาณตกสะสมรวมบนใบของ PM มีค่ามากที่สุดในการณิไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม โดยปริมาณตกสะสมของ PM₁₀ มีค่า 31.22, 18.89, 13.39 μg และปริมาณตกสะสมของ PM_{2.5} มีค่า 1.26, 0.76, 0.54 μg ตามลำดับ พบว่าปริมาณตกสะสมบนใบที่ความหนาแน่นพุ่มใบน้อยลดลงร้อยละ 8.47, 17.16, 19.28 เมื่อเทียบกับต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก จะเห็นได้ว่ากรณีไม้พุ่มที่มีปริมาณตกสะสมมากที่สุดนั้น ผลลัพธ์จากความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่ที่มีค่าน้อยกว่าเมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อยเทียบกับความหนาแน่นพุ่มใบมาก แต่ปริมาณตกสะสมบนใบของ PM มีค่าน้อยลงเมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อย ดังนั้นการปลูกต้นไม้ในบ้านเดี่ยวโดยคำนึงถึงเรื่องความหนาแน่นพุ่มใบของต้นไม้ ปัจจัยการระบายอากาศส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่มากกว่าปริมาณตกสะสม เพราะปริมาณตกสะสมบนใบของ PM ไม่แตกต่างระหว่างความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย

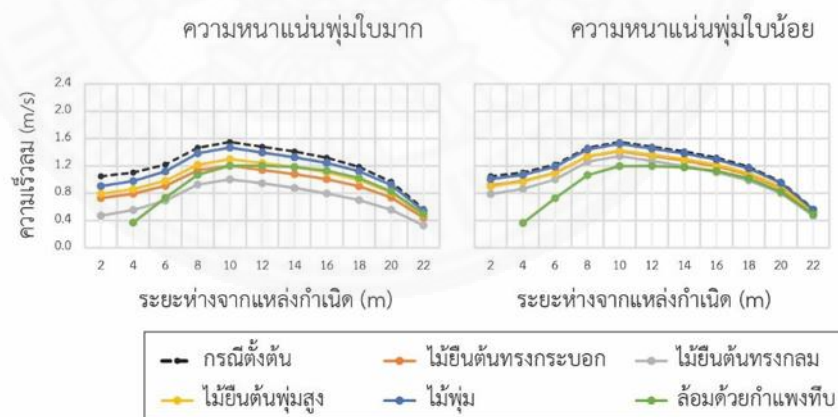
4.6.3 อิทธิพลจากความเร็วลมตั้งต้น

ความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่โดยรวมที่ความเร็วลม 2.96 m/s มีค่าน้อยกว่าที่ความเร็วลม 0.48 m/s เพราะความเร็วลมสูงช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศและเจือจางปริมาณ PM ในอากาศได้ เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s ช่วงความเร็วลมในพื้นที่บ้านเดี่ยวอยู่ที่ 0.2-0.6 m/s ที่และความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s ช่วงความเร็วลมในพื้นที่บ้านเดี่ยวอยู่ที่ 0.4-1.4 m/s

ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s และต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก กรณีที่เพิ่มความเข้มข้นของ PM น้อยที่สุดคือ ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง และไม้ยืนต้นทรงกลม ความเข้มข้นของ PM₁₀ มีค่า 0.123, 0.149, 0.166, 0.178 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มข้นของ PM_{2.5} มีค่า 0.071, 0.086, 0.094, 0.103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 4.19) เมื่อเทียบกับกรณีตั้งต้น ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 4, 27, 40, 50 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ PM ที่ความเร็วลม 0.48 m/s ความเข้มข้นลดลงมากกว่าร้อยละ 90 ในทุกกรณี ถึงแม้ว่าความเข้มข้นตั้งต้นในช่วงความเร็ว 2.96 m/s น้อยกว่าช่วง 0.48 m/s (ตารางที่ 3.2) สรุปได้ว่ากรณีไม้ยืนต้นทรงกลมเพิ่มความเข้มข้นมากที่สุด และกรณีไม้พุ่มเพิ่มความเข้มข้นขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ความเร็วลม 0.48 m/s



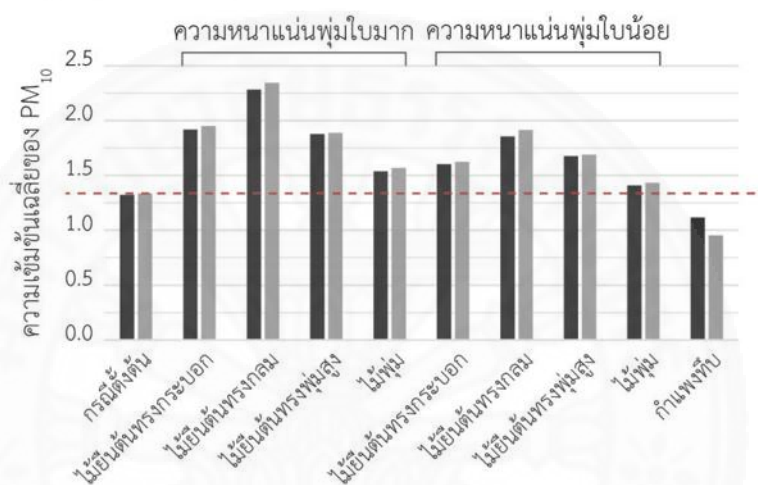
ภาพที่ 4.19 แผนภูมิเส้นแสดงความเข้มข้นของ (A) PM_{10} และ (B) $PM_{2.5}$ ในพื้นที่บ้านเดี่ยว เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s



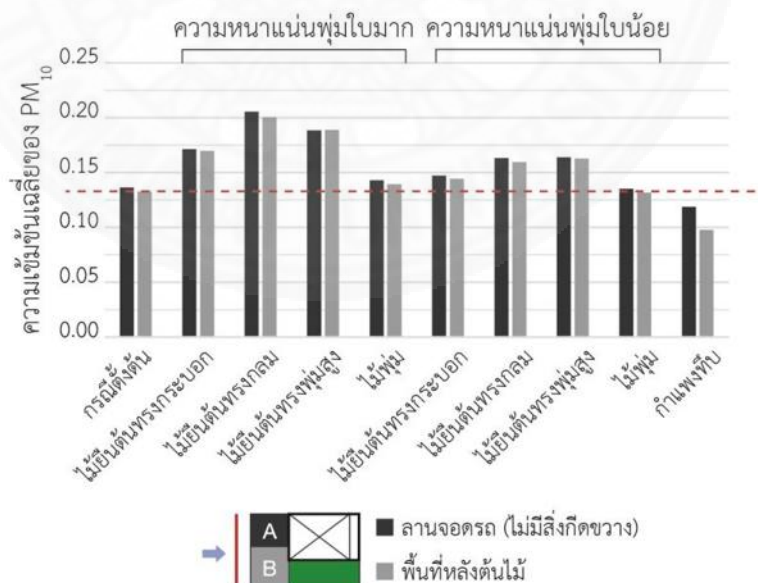
ภาพที่ 4.20 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยว เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่ลานจอดรถและพื้นที่สีเขียว พบว่าผลสอดคล้องกับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s กรณีที่เพิ่มความเข้มข้นในพื้นที่น้อยและมากที่สุดคือ ไม้พุ่มและไม้ยืนต้นทรงกลมตามลำดับ โดยที่พื้นที่ลานจอดรถทุกกรณีมีความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยกว่าพื้นที่สีเขียวเล็กน้อย แต่ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s พื้นที่ลานจอดรถกลับมีความเข้มข้นเฉลี่ยมากกว่าพื้นที่สีเขียว (ภาพที่ 4.21)

ความเร็วลม 0.48 m/s

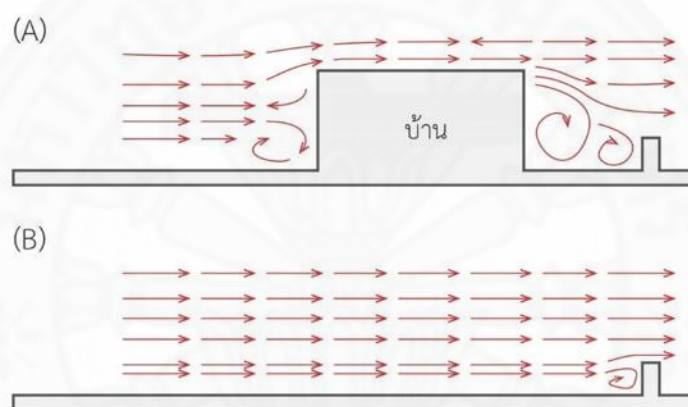


ความเร็วลม 2.96 m/s



ภาพที่ 4.21 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ลานจอดรถ (ไม่มีต้นไม้) และพื้นที่สีเขียว (มีต้นไม้) ในบริเวณพื้นที่บ้านเดี่ยว

เมื่อพิจารณาจากรูปตัดบนลานจอดรถและพื้นที่สีเขียวจะเห็นว่าลานจอดรถทำให้เกิดลมแบบปั่นป่วนอย่างมากเพราะมีบ้านกีดขวาง แต่พื้นที่สีเขียวที่มีต้นไม้กีดขวางลมทำให้เกิดลมแบบปั่นป่วนน้อยกว่า ดังนั้นที่ความเร็วลม 0.48 m/s ทำให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศในพื้นที่สีเขียวน้อยลงเทียบกับลานจอดรถซึ่งไม่มีต้นไม้ เพราะที่ความเร็วลมต่ำทำให้ผลกระทบจากลมแบบปั่นป่วนน้อยจึงกระจายลมได้ดีกว่าที่มีต้นไม้ แต่ที่ความเร็วลม 2.96 m/s ผลกระทบจากลมแบบปั่นป่วนมีมากทำให้อนุภาคของ PM หมุนวนอยู่บริเวณลานจอดรถมากกว่าพื้นที่สีเขียวที่เมื่อความเร็วลมสูงสามารถพัดผ่านต้นไม้ได้มาก สรุปได้ว่าความเร็วลมและลักษณะพื้นที่มีผลต่อความเข้มข้นของ PM ที่แตกต่างกันด้วย (ภาพที่ 4.22)



ภาพที่ 4.22 รูปตัดแสดงการไหลของลมในบ้านเดี่ยวบริเวณ (A) พื้นที่จอดรถ และ (B) พื้นที่สีเขียว

4.6.4 อิทธิพลจากกำแพงที่ล้อมรอบพื้นที่บ้านเดี่ยว

จากผลการทดลองก่อนหน้านี้ชี้ว่าต้นไม้เพิ่มความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยว เพราะตำแหน่งต้นไม้อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมากเกินไป เพราะฉะนั้นนอกเหนือจากการจำลองต้นไม้บนพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยรั้วโปร่งแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังจำลองพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยกำแพงทึบ จากผลพบว่าที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s ในขณะที่ต้นไม้เพิ่มความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่ทุกกรณี เพราะบทบาทของต้นไม้กลายเป็นสิ่งกีดขวางลมในพื้นที่บ้านเดี่ยว แต่พื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยกำแพงทึบสามารถลดความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่บ้านเดี่ยวได้ ถึงแม้ว่าความเร็วหลังกำแพงทึบลดลง (ภาพที่ 4.13 และ 4.19)

พื้นที่ล้อมรอบด้วยกำแพงทึบ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s ทำให้ความเข้มข้นของ PM_{10} เฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยวมีค่า $0.920 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ มีค่า $0.533 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเทียบกับกรณีตั้งต้น ความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่ลดลงร้อยละ 23 และที่ความเร็วลมตั้งต้น

2.96 m/s ทำให้ความเข้มข้นของ PM_{10} เฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยวมีค่า $0.095 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่า $0.055 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเทียบกับกรณีตั้งต้น ความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยในพื้นที่ลดลงร้อยละ 19 ซึ่งผลลัพธ์จากทั้งสองความเร็วลมตั้งต้นสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 4.14 และ 4.20)

เมื่อพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่บ้านเดี่ยว จาก (ภาพที่ 4.13 และ 4.19) เห็นได้ว่าความเร็วลมหลังกำแพงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกรณีตั้งต้นและกรณีต้นไม้อื่น ๆ แต่หลังจากระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 10 ม. ความเร็วลมมีค่ากลับมาใกล้เคียงกับกรณีอื่น ๆ ดังนั้นสรุปได้ว่าบทบาทของกำแพงคือสิ่งป้องกันไม่ให้ PM กระจายและแทรกซึมผ่านเข้ามาในพื้นที่ ในเหตุนี้ความเข้มข้นของ PM บริเวณถนนหรือแหล่งกำเนิดนั้นมีค่าสูงกว่ากรณีอื่น เพราะกำแพงที่ป้องกันไม่ให้ PM เข้ามาในพื้นที่ อนุภาคของ PM จึงกระจายและหมุนวนอยู่บนถนน แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาที่มาและความสูงของแหล่งกำเนิดด้วย (ภาพที่ 4.23)



ภาพที่ 4.23 รูปตัดแสดงความเข้มข้นและการแพร่กระจายของ PM กรณีพื้นที่ถูกล้อมด้วยกำแพงทึบ

จากผลการจำลองส่วนความเข้มข้นของ PM และความเร็วลมพบว่ามีความสอดคล้องกับ (Wania, 2011) ว่าต้นไม้เพิ่มความเข้มข้นในพื้นที่ ไม้พุ่มทำให้มีความเข้มข้นในพื้นที่น้อยกว่าไม้ยืนต้น เนื่องจากการกีดขวางและลดความเร็วลม (Hong & Lin, 2017) กล่าวว่าต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากทำให้ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ไม้ยืนต้นทรงกรวยซึ่งมีขนาดทรงพุ่มเล็กที่สุดมีความเข้มข้นเฉลี่ยในพื้นที่น้อยที่สุดเทียบกับทรงพุ่มที่มีขนาดใหญ่กว่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ โดยแยกส่วนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 ศึกษาศักยภาพของต้นไม้ในการลดความเข้มข้นของ PM โดยพิจารณาปัจจัยประเภทต้นไม้ ความหนาแน่นพุ่มใบ ระยะห่างระหว่างแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิด ความเร็วลมตั้งต้น ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบพื้นที่สีเขียวรอบอาคารที่อยู่อาศัยบ้านเดี่ยวต่อความเข้มข้นของ PM โดยพิจารณาปัจจัยลักษณะรูปทรงพุ่มใบ ความหนาแน่นพุ่มใบ และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความเข้มข้น เช่น ลักษณะรั้วโปร่งและทึบ นอกจากศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นแล้ว ยังศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ประเมินและวิเคราะห์ผล เช่น ความเร็วลมในพื้นที่และปริมาณตกสะสมบนใบของ PM

5.1.1 ศักยภาพการลดความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ

ในพื้นที่โล่งใหญ่ที่มีแนวต้นไม้เรียงขนานตามแหล่งกำเนิด ที่ความเร็วลม 0.48 m/s แนวต้นไม้สามารถลดความเข้มข้นของ PM สำหรับพื้นที่ในระยะ 5-10 เมตรหลังแนวต้นไม้ได้มากที่สุด ประเภทต้นไม้ที่มีศักยภาพมากที่สุดในทุกตำแหน่งของแนวต้นไม้ที่ห่างจากแหล่งกำเนิด ทั้ง 10, 20 และ 30 ม. คือ ไม้ยืนต้นทรงกลม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง และไม้ยืนต้นทรงกระบอก แต่ตำแหน่งแนวต้นไม้ที่สามารถลดความเข้มข้นของ PM ได้มากที่สุดคือระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 10 ม. โดยความเข้มข้นลดลงไปถึงร้อยละ 8.29 ในส่วนของไม้พุ่มพบว่าทำให้เพิ่มความเข้มข้นของ PM ในช่วงระยะ 5 ม. หลังแนวต้นไม้มากที่สุด แต่นับจากระยะ 6 ม. เป็นต้นไป สามารถลดความเข้มข้นลงได้มากที่สุดเทียบกับกรณีต้นไม้ประเภทอื่น

แต่ตำแหน่งแนวต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิดระยะ 3 ม. ทุกกรณีเพิ่มความเข้มข้นขึ้น ยกเว้นไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูงที่ลดความเข้มข้นลงเล็กน้อยและอยู่ในระดับใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้น เพราะเมื่อต้นไม้อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมากเกินไป ต้นไม้จึงไม่สามารถดักจับอนุภาคได้มากพอเนื่องจากแหล่งกำเนิดอยู่ในระดับความสูงต่ำและต้นไม้มีตำแหน่งพุ่มที่สูง (ตารางที่ 5.1)

ตารางที่ 5.1

แสดงศักยภาพการลดความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้แต่ละประเภท เมื่อแนวต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิดระยะต่าง ๆ ที่มีความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s

ประเภทต้นไม้	ความเร็วลม 0.48 m/s				ความเร็วลม 2.96 m/s			
	3 ม.	10 ม.	20 ม.	30 ม.	3 ม.	10 ม.	20 ม.	30 ม.
	●	●	●	●	●	●●	●●	●●
	●	●●	●●	●●	●●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●● [1]	●● [1]	●● [1]	●	●●	●●	●●

 ลดความเข้มข้นของ PM มากที่สุด  ลดความเข้มข้นของ PM
 เพิ่มความเข้มข้นของ PM  เพิ่มความเข้มข้นของ PM มากที่สุด

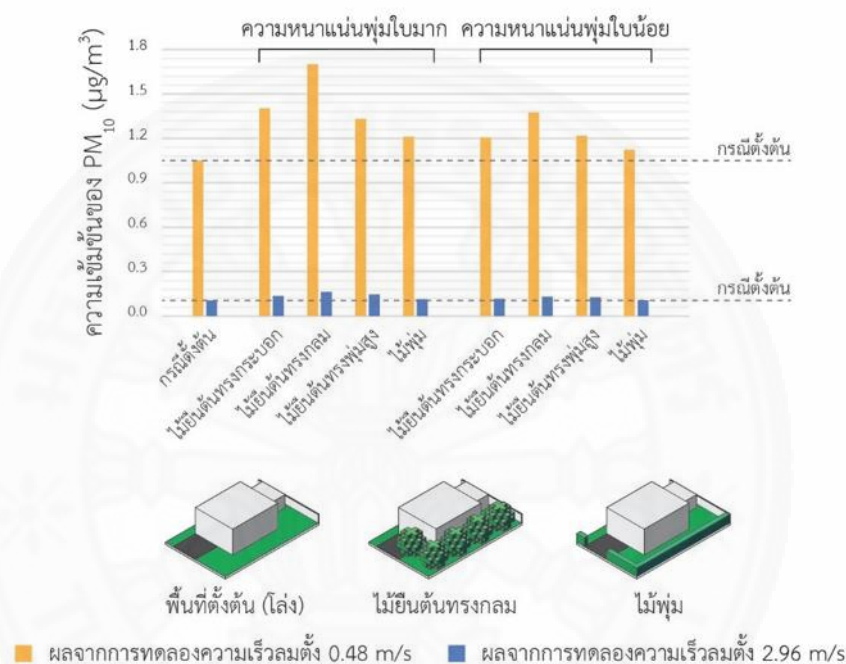
หมายเหตุ. [1] ไม่พุ่มลดความเข้มข้นของ PM ตั้งแต่ระยะ 5 ม.หลังแนวต้นไม้

ในกรณีพื้นที่โล่ง เมื่อแนวต้นไม้สามารถช่วยลดความเข้มข้นของ PM ได้ ต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากสามารถช่วยลดความเข้มข้นของ PM ได้มากกว่าความหนาแน่นพุ่มใบน้อย แต่ในทางกลับกันเมื่อแนวต้นไม้ทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากนั้นทำให้ความเข้มข้นของ PM มากกว่าต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อยเช่นกัน ซึ่งผลการจำลองความหนาแน่นพุ่มใบน้อยนั้นทุกประเภทต้นไม้และระยะห่างของแนวต้นไม้และแหล่งกำเนิดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้นมาก ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้ต้นไม้ควรคำนึงถึงความเร็วลมของแต่ละพื้นที่

ความเร็วลมมีผลต่อความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยภายในพื้นที่ เห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกรณีไม่พุ่มและไม่ย่นต้นทรงกลม กรณีไม่พุ่มทำให้เกิดความเข้มข้นในพื้นที่น้อยที่สุดและมีความเร็วลมในพื้นที่มากที่สุด และกรณีไม่ย่นต้นทรงกลมทำให้เกิดความเข้มข้นในพื้นที่มากที่สุดและมีความเร็วลมในพื้นที่น้อยที่สุด

5.1.2 อิทธิพลของประเภทต้นไม้ที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่บ้านเดี่ยว

ต้นไม้ที่มีความหนาแน่นพุ่มใบมากส่งผลทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความหนาแน่นพุ่มใบน้อย (ภาพที่ 5.1) เมื่อเทียบความเข้มข้นของ PM ในกรณีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อยมาก พบว่าลดลงมากที่สุดในการณียืนต้นทรงกลมร้อยละ 13-22 และน้อยที่สุดในกรณีไม้พุ่มร้อยละ 5-8

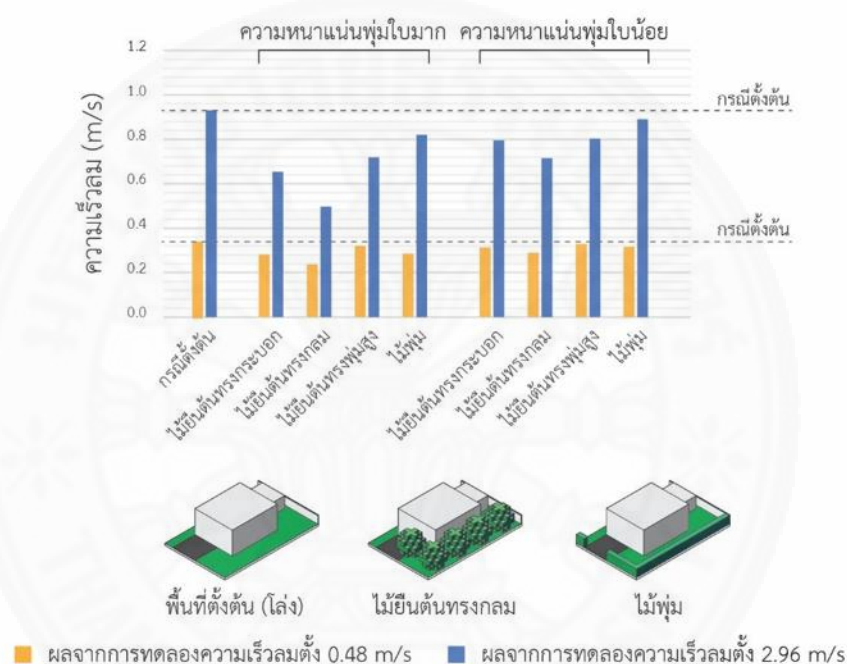


ภาพที่ 5.1 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM₁₀ ในพื้นที่บ้านเดี่ยวสำหรับกรณีต้นไม้ประเภทต่าง ๆ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s

เมื่อพื้นที่รอบบ้านเดี่ยวทุกกรณีที่มีต้นไม้ทำให้ความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} เพิ่มขึ้นเทียบกับกรณีตั้งต้น (พื้นที่โล่ง) ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองในส่วนที่ 1 ที่จำลองบนพื้นที่โล่ง ที่แนวต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิด 3 ม. เพราะต้นไม้อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดที่มีความสูงต่ำมากเกินไป ส่วนในกรณีที่ระยะห่าง 10, 20 และ 30 ม. รูปแบบผังโครงการบ้านเดี่ยวมีระยะห่างระหว่างบ้านแต่ละหลังอยู่ในช่วง 4-6 ม. เมื่อมีต้นไม้ปลูกในพื้นที่รอบบ้าน จึงกลับทำให้ต้นไม้กีดขวางลมที่เป็นเหตุให้ลดอัตราการระบายอากาศส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM กรณีต้นไม้ที่เพิ่มความเข้มข้นน้อยที่สุด คือ ไม้พุ่ม ไม้เลื้อย ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง ไม้ยืนต้นทรงกระบอก ไม้ยืนต้นทรงกลม เห็นได้ชัดว่าไม้พุ่มไม่ได้มีถูกจัดวางกีดขวางทางเดินลม แต่ไม้พุ่มถูกจัดชิดขอบเขตที่ดินบ้าน ในขณะที่กรณีไม้ยืนต้นทรงกระบอกที่ปลูกติดริมขอบเขตที่ดินในลักษณะ

เดียวกันนั้นมีความสูงใหญ่ และมีช่องว่างระหว่างต้น ทำให้ใบไม้ของไม้ยืนต้นทรงกระบอกดักจับ PM ได้น้อยกว่าไม้พุ่ม

ปัจจัยความเร็วลมมีผลต่อความเข้มข้นของ PM เฉลี่ยภายในพื้นที่ เห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกรณีไม้พุ่มและไม้ยืนต้นทรงกลม กรณีไม้พุ่มให้ความเข้มข้นในพื้นที่น้อยที่สุดและมีความเร็วลมในพื้นที่มากที่สุด และกรณีไม้ยืนต้นทรงกลมให้ความเข้มข้นในพื้นที่มากที่สุดและมีความเร็วลมในพื้นที่น้อยที่สุด (ภาพที่ 5.2)



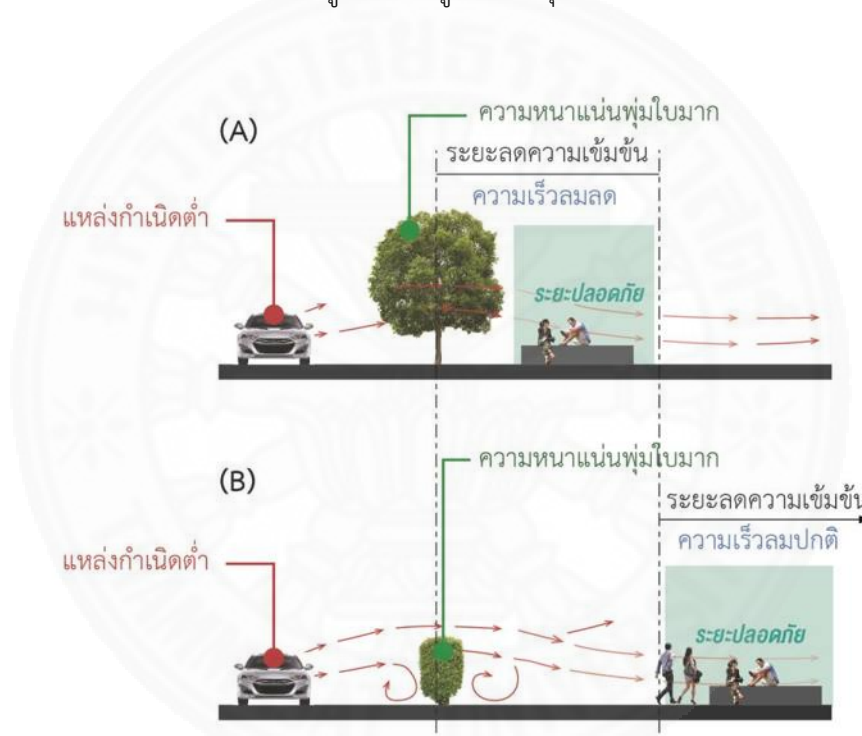
ภาพที่ 5.2 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบความเร็วลมในพื้นที่บ้านเดี่ยวสำหรับกรณีต้นไม้ประเภทต่าง ๆ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s

เนื่องจากในทุกกรณีประเภทต้นไม้ที่จำลองของบ้านเดี่ยวทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นควรพิจารณาถึงการออกแบบสภาพแวดล้อมรอบบ้านอื่น ๆ เช่น ลักษณะกำแพง พบว่าการใช้กำแพงทึบแทนรั้วโปร่งเพื่อสกัดกั้นไม่ให้ PM เข้ามายังพื้นที่รอบบ้านเดี่ยวทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM ในพื้นที่ลดลง อีกทั้ง การเพิ่มจำนวนต้นไม้ 1-2 ต้นในพื้นที่ล้อมด้วยกำแพงทึบ ความเข้มข้นยังคงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีตั้งต้น ซึ่งในการทดลองส่วนนี้ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมในรูปแบบเดียวกับกรณีของต้นไม้ เพราะเมื่อกั้นด้วยกำแพงทำให้ความเร็วลมในพื้นที่ลดลงมากกว่ากั้นด้วยรั้วโปร่ง

5.1.3 แนวทางการออกแบบพื้นที่สีเขียวรอบบ้านเดี่ยวเพื่อจำกัดความเข้มข้นของ PM ให้น้อยที่สุด

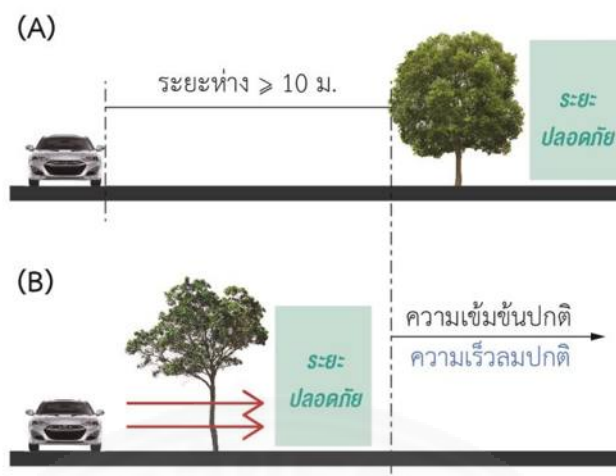
5.1.3.1 การออกแบบพื้นที่สีเขียวบนพื้นที่โล่งเพื่อลดความเข้มข้นของ PM

(1) ต้นไม้ทุกประเภทที่ความหนาแน่นพุ่มใบมากสามารถลดความเข้มข้นของ PM หลังแนวต้นไม้ได้ หากต้องการลดความเข้มข้นของ PM หลังแนวต้นไม้ทันทีให้ใช้ไม้ยืนต้นซึ่งสามารถลดได้ในระยะหลังแนวต้นไม้ 5-10 ม. โดยไม้ยืนต้นขนาดพุ่มใหญ่สามารถลดความเข้มข้นได้มากขึ้นด้วย และหากต้องการลดความเข้มข้นระยะยาวหลังแนวต้นไม้ให้เลือกใช้ไม้พุ่ม ทั้งนี้ระยะหลังแนวต้นไม้ที่ลดความเข้มข้นขึ้นอยู่กับความสูงของไม้พุ่มด้วย (ภาพที่ 5.3)



ภาพที่ 5.3 การเลือกใช้ประเภทต้นไม้เพื่อลดความเข้มข้นของ PM บนพื้นที่โล่งหลังแนวต้นไม้ (A) ในระยะสั้น และ (B) ในระยะยาว

(2) หากพื้นที่โล่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ควรจัดตำแหน่งแนวต้นไม้ห่างจากแหล่งกำเนิดอย่างน้อย 10 ม. เพราะหากต้นไม้อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมากเกินไป ความเข้มข้นของ PM หลังแนวต้นไม้มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่หากเป็นพื้นที่ขนาดเล็กและจำเป็นต้องปลูกต้นไม้ใกล้แหล่งกำเนิดยังสามารถเลือกใช้ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูงได้ (ภาพที่ 5.4)

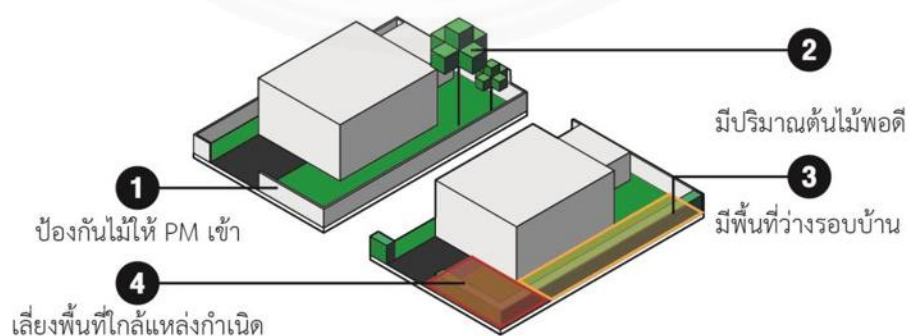


ภาพที่ 5.4 การเลือกใช้ประเภทต้นไม้เพื่อลดความเข้มข้นของ PM บนพื้นที่โล่ง (A) เมื่อมีพื้นที่มาก และ (B) เมื่อมีพื้นที่น้อย

(3) เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดสามารถเลือกใช้ประเภทต้นไม้มากกว่า 1 ประเภทในพื้นที่เดียวกันได้ เช่น การปลูกไม้ยืนต้นทรงกลมหลังแนวไม้พุ่มในระยะห่างมากกว่า 5 ม. หรือเป็นระยะที่ไม้พุ่มลดความเข้มข้นของ PM ลงแล้ว

5.1.3.4 การออกแบบพื้นที่สีเขียวรอบบ้านเดี่ยวเพื่อลดความเข้มข้นของ PM

การออกแบบพื้นที่สีเขียวสำหรับบ้านเดี่ยวแตกต่างกับพื้นที่โล่ง เพราะฉะนั้นควรพิจารณาถึงลักษณะพื้นที่เพื่อเลือกแนวทางที่แนะนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม

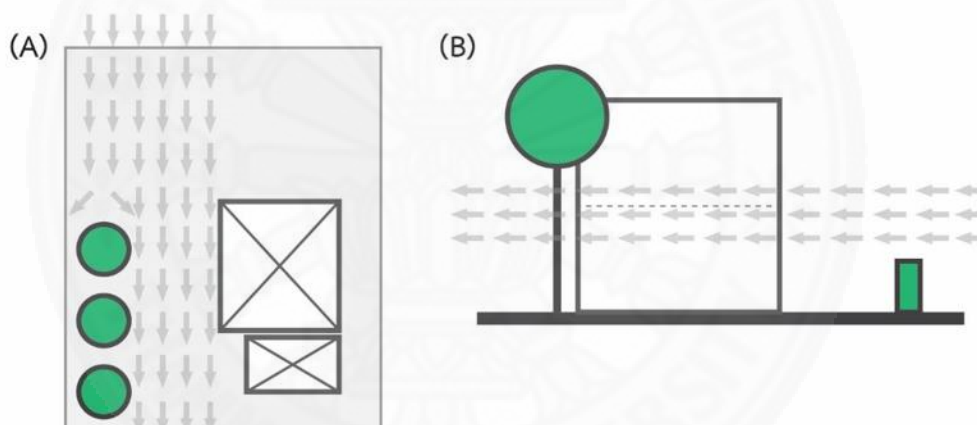


ภาพที่ 5.5 แนวทางสำหรับการออกแบบพื้นที่สีเขียวในพื้นที่บ้านเดี่ยว

(1) การป้องกันที่ดีที่สุดเพื่อลดความเข้มข้นของ PM รอบอาคารคือ การป้องกันไม่ให้ PM เข้ามาในบ้าน เพราะฉะนั้นการเลือกใช้กำแพงที่บิดกว่ารั้วโปร่ง ในกรณีที่ปลูกไม้พุ่มชิดขอบเขตที่ดินเป็นรั้ว ไม้พุ่มดังกล่าวควรมีความหนาแน่นพุ่มใบมากพอเพื่อป้องกันไม่ให้ลมทะลุผ่านเข้ามาได้เหมือนกับเป็นการป้องกันด้วยกำแพงที่บ

(2) การเลือกใช้ไม้ยืนต้นควรเลือกขนาดพุ่มเล็กที่มีความหนาแน่นพุ่มใบน้อย และควรเลือกใช้ต้นไม้เท่าที่จำเป็นเพื่อไม่ให้กีดขวางลมเข้าห้อง เช่น ถ้าเลือกปลูกต้นไม้พุ่มใหญ่ และมีทรงพุ่มต่ำ ไม่ควรปลูกไม้พุ่มที่พุ่มต่ำเพิ่มในพื้นที่ด้วย

(3) ถ้าหากมีพื้นที่รอบบ้านกว้างควรปลูกต้นไม้ให้ห่างจากตัวบ้านมากที่สุดหรือชิดรั้ว เพื่อให้มีช่องว่างรอบตัวบ้านที่ลมสามารถระบายไปได้ รวมถึงการเลือกใช้ต้นไม้ที่ไม่กีดขวางลมในพื้นที่บ้าน เช่น ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง (ภาพที่ 5.6)



ภาพที่ 5.6 การจัดวางและกำหนดตำแหน่งของไม้ยืนต้นที่เหมาะสมกับบ้านเดี่ยว

(4) การปลูกต้นไม้ควรปลูกบริเวณหลังบ้านหรือปลูกห่างจากแหล่งกำเนิด เช่น ถนนที่มีอัตราการปล่อย PM จากยานพาหนะ และหลีกเลี่ยงการปลูกต้นไม้ใกล้แหล่งกำเนิดมากเกินไป ที่ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ความเข้มข้นของ PM ในพื้นที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งสามารถพิจารณาตำแหน่งต้นไม้โดยคำนึงถึงทิศทางการบังแดดควบคู่ด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1 การกำหนดตัวแปรทิศทางและเพิ่มความละเอียดของช่วงความเร็วลม เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบพื้นที่สีเขียวเพื่อลดความเข้มข้นของ PM ถึงแม้งานวิจัยนี้กำหนดทิศทางลมเดียวคือ ทิศเหนือและใต้ตามข้อมูลทิศทางลมที่มากที่สุดในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ โดยหน้าบ้านตั้งฉากกับทิศทางลม แต่ควรคำนึงถึงบ้านเดี่ยวโครงการอื่น ๆ ที่หน้าบ้านทำมุมกับทิศทางลมอื่น ๆ อีกทั้งช่วงความเร็วลม 2 ค่ามีความแตกต่างกันมากเกินไป ควรมีค่าความเร็วลมช่วงกลางเพิ่มอีก 1-2 ค่าเพื่อให้พิจารณาได้เหมาะสมและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.2 นอกเหนือจากการคำนวณอัตราการปล่อย PM จากแหล่งกำเนิดภายในโครงการที่อยู่อาศัย ควรคำนึงถึงแหล่งกำเนิดภายนอกโครงการที่อยู่ใกล้เคียงในแบบจำลอง เช่น ถนนใหญ่ หรือแหล่งเผาในที่โล่ง เป็นต้น เพื่อให้ค่าความเข้มข้นในการทดลองมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง และสามารถนำค่าไปประเมินได้อย่างถูกต้องมากกว่านี้

5.2.3 การเสนอแนวทางการออกแบบสำหรับโครงการบ้านเดี่ยวที่มีอยู่จริง นอกจากการออกแบบพื้นที่สีเขียวที่คำนึงถึงความเข้มข้นของ PM ที่ได้จากการทดลอง ควรคำนึงถึงการบังแดดของต้นไม้ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการปลูกต้นไม้ของบ้านเดี่ยวในประเทศไทย เพราะฉะนั้นการคำนึงถึงทิศทางและตำแหน่งการวางต้นไม้ตามการใช้งานจริงจึงสมควรถูกพิจารณา และเพิ่มรูปแบบหลากหลายของพื้นที่สีเขียว เช่น ต้นไม้ขนาดใหญ่ในพื้นที่ 1 ต้นเทียบกับต้นไม้ขนาดเล็กหลายต้น

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

วิลาวรรณ คำหาญ. (2560). *ฝุ่นละอองในบรรยากาศ*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บทความวารสาร

พาสินี สุนากร, งามอาจ ภาพภาณี. (2559). การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการจับฝุ่นละอองของพันธุ์ไม้เลื้อย. *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 175-186.

ปราโมทย์ ประสาทกุล (2559). การคาดประมาณคร่าวเรือนที่อยู่อาศัยของประชากรไทย พ.ศ. 2553 - 2563. *วารสารประชากร ปีที่ 4 ฉบับที่ 2*, 45-60.

วิทยานิพนธ์

พงศ์พัฒน์ สุขเกษม. (2558). *การจัดการคุณภาพอากาศของโรงงานโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศร่วมกับแนวทางเทคโนโลยีสะอาด*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

พิชามญช์ ลีทองอิน. (2559). *อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.

นวล ใจเพชร. (2558). *ค่าการปลดปล่อยและรูปแบบการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างอาหารด้วยเตาไฟฟ้า*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศิลปากร, คณะวิทยาศาสตร์.

สาวิตรี จำปาหอม. (2559). *ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และโลหะใน PM₁₀ ภายในและภายนอกอาคารในจังหวัดราชบุรี*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศิลปากร, คณะวิทยาศาสตร์.

อนุสรณ์ รอดธานี. (2558). ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศิลปากร, คณะวิทยาศาสตร์.

รายงาน

กรมควบคุมมลพิษ. (2546). การปรับแต่งและดูแลบำรุงรักษาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เพื่อลดมลพิษและประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

สำนักงานสิ่งแวดล้อม. (2558). การระบุแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ. การอบรมหลักสูตรการจัดทำบัญชีการระบายสารมลพิษทางอากาศ, (pp. 10-16). กรุงเทพมหานคร.

Article

Abadie, M. (2001). Indoor particle pollution: effect of wall textures on particle deposition. *Building and Environment*, 36(7), pp. 821-827.

Acero, J. A., & Herranz-Pascual, K. (2015). A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. *Building and Environment*, 93, pp. 245-257.

Bowker, G. (2007). The effects of roadside structures on the transport and dispersion of ultrafine particles from highways. *Atmospheric Environment*, 41(37), pp. 8128-8139.

Brantley, H. (2014). Field assessment of the effects of roadside vegetation on near-road black carbon and particulate matter. *Science of The Total Environment*, 468, pp. 120-129.

Cai, M., Xin, Z., & Yu, X. (2017). Spatio-temporal variations in PM leaf deposition: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 231, pp. 207-218.

Elbayoumi, M. (2014). Multivariate methods for indoor PM10 and PM2.5 modelling in naturally ventilated schools buildings. *Atmosphere Environment*, 94, pp. 11-21.

- Hofman, J., & Bartholomeus, H. (2016). Influence of tree crown characteristics on the local PM₁₀ distribution inside an urban street canyon in Antwerp (Belgium): A model and experimental approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, *Urban Frestry & Urban Greening*, 20, pp. 265-276.
- Hong, B., & Lin, B. (2017). Numerical investigation on the coupled effects of building-tree arrangements on fine particulate matter (PM_{2.5}) dispersion in housing blocks. *Sustainable Cities and Society*, 34, 358-370.
- Hong, B., & Lin, B. (2017). Numerical investigation on the effect of avenue trees on PM_{2.5} Dispersion in urban street canyons. *Atmosphere*, 8, 129.
- Hosoi, F., & Omasa, K. (2009). Estimating vertical leaf area density profiles of tree canopies using three-dimensional portable LiDAR imaging. *ISPRS*.
- Janhall, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130-137.
- Jeanjean, A. (2016). Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM_{2.5} reduction via dispersion and deposition at a city scale. *Atmospheric Environment*, 147, 1-10.
- Jia, W., & Zhao, B. (2015). Contribution of outdoor-originating particles, indoor-emitted particles and indoor secondary organic aerosol (SOA) to residential indoor PM_{2.5} concentration: A model-based estimation. *Building and Environment*, 90, 196-205.
- Jung, C., & Wu, P. (2015). Indoor air quality varies with ventilation types and working areas in hospitals. *Building and Environment*, 85, 190-195.
- Krüger, E., Minella, F., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621-634.
- Łowicki, D. (2019). Landscape pattern as an indicator of urban air pollution of particulate matter in Poland. *Ecological Indicators*, 97, 17-24.
- Nguyen, T., & Thiansathit, W. (2010). Compositional characterization of PM_{2.5} emitted from in-use diesel vehicles. *Atmospheric Environment*, 44(1), 15-22.

- Perinia, K., & Ottel , M. (2017). Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system. *Ecological Engineering*, 100, 268-276.
- Pettit, T., & Irga, P. (2017). Do the plants in functional green walls contribute to their ability to filter particulate matter?. *Building and Environment*, 125, 299-307.
- RaoKarri, R. (2018). Modeling airborne indoor and outdoor particulate matter using genetic programming. *Sustainable Cities and Society*, 43, 395-405.
- Rui, L., & Buccolieri, R. (2018). The impact of green space layouts on microclimate and air quality in residential district of Nanjing, China. *Forests* 2018, 9, 224.
- Tsoka, S., Tsikaloudaki, A., & Theodosiou, T. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications–A review. *Sustainable Cities and Society*, 43, 55-76.
- Wania, A., Bruse, M., Blond, N., Weber, C. (2011). Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Mangement*, 94, 91-101.
- Weerakkody, U., & Dover, J. (2017). Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 173-186.
- Wu, H. (2018). Effects of Green space landscape patterns on particulate matter in Zhejiang Province, China. *Atmospheric Pollution Research*, 9(5), 923-933.
- Xu, X., & Zhang, Z. (2017). Influence of rainfall duration and intensity on particulate matter removal from plant leaves. *Science of the Total Environment*, 609, 11-16.
- Zhang, L., Zhan, Q., & Lan, Y. (2017). Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone: A case study in Wuhan residential quarters. *Building and Environment*, 130, 27-39.
- Zhao, T., & Fong, K. (2017). Characterization of different heat mitigation strategies in landscape to fight against heat island and improve thermal comfort in hot–

humid climate (Part I): Measurement and modelling. *Sustainable Cities and Society*, 32, 523-53.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ ก.1

ประสิทธิภาพของพืชในการดักจับฝุ่น

ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่น
ไม้เลื้อย		
สร้อยอินทนิล	<i>Thunbergia Grandiflora</i> (Roxb. Ex Rottler) Roxb.	***
เลื้อยมือนาง	<i>Quisqualis Indica</i> L.	***
พวงชมพู	<i>Antigonon leptopus</i> Hook & Arn.	**
อัญชัน	<i>Clitoria Tematea</i> L.	**
พวงคราม	<i>Petrea Volubilis</i> L.	**
กะทกรก	<i>Passiflora Foetida</i> L.	***
ไม้ล้มลุก		
ไผ่รวก	<i>Thyrsostachys Siamensis</i> Gamble	***
วงศ์ลิ้นงู	<i>Begonia</i> Spp.	**
จัตุรัสอินทร์	<i>Leonotis Nepetifolia</i> (L.) R.br.	**
ไม้พุ่ม		
วาสนา	<i>Dracaena Fragrans</i> (L.) Jack	**
แก้ว	<i>Murraya Paniculata</i> (L.) Jack	***
หางนกยูงไทย	<i>Caesalpinia Pulcherrima</i> (Linn.) Swartz	***
กฤษณิการ	<i>Nyctanthes Arbor-Tristis</i> L.	***
ทองอุไร	<i>Tecoma Stans</i> (L.) Kunth.	****
โมกบ้าน	<i>Wrightia Religiosa</i> Benth. Ex Kurz	**
คริสตินา	<i>Syzygium Australe</i> (J.c.wendl. Ex Link) B.hyland	***
ไม้ต้น		
สังกำ	<i>Diospyros Buxifolia</i> (Blume) Hiem	**
ช่อย	<i>Streblus Asper</i> Lour.	**
โพทะเล	<i>Thespesia Populnea</i> (L.) Sol. Ex Correa	**
พญา	<i>Albizia Lebbeck</i> (L.) Benth.	**
ซีเหล็กเลือด	<i>Senna Timoriensis</i> (Dc.) H. S. Irwin & Bameby	**
ปอกระสา	<i>Broussonetia Papyrifera</i> (L.) L'her. Ex Vent.	**
ตะลิงปลิง	<i>Averrhoa Bilimbi</i> L.	**
โมกหลวง	<i>Holarrhena Pubescens</i> (Buck.-Ham.) Wall. Ex G.don	*
โมกบ้าน	<i>Wrightia Pubescens</i> R. Br.	***
สกุลชงโค	<i>Phanera</i> Spp.	***
ซีเหล็กบ้าน	<i>Cassia Siamea</i> Lamk.	**
ตะขบฝรั่ง	<i>Muntingia Calabura</i> L.	****
ตะแบก	<i>Lagerstroemia Floribunda</i> Jack	***
อินทนิล	<i>Lagerstroemia Speciosa</i> (L.) Pers	***
เสลา	<i>Lagerstroemia Tomentosa</i> C.presl	****
จามจุรี	<i>Samanea Saman</i> (Jacq.) Merr	***
แคแสด	<i>Spathodea Campanulata</i> P.beauv.	****
ชมพูพันธุ์ทิพย์	<i>Tabebuia Rosea</i> (Bertol.) Dc	**
พะยี่ห้อ	<i>Trema Orientalis</i> (L.) Bl	**

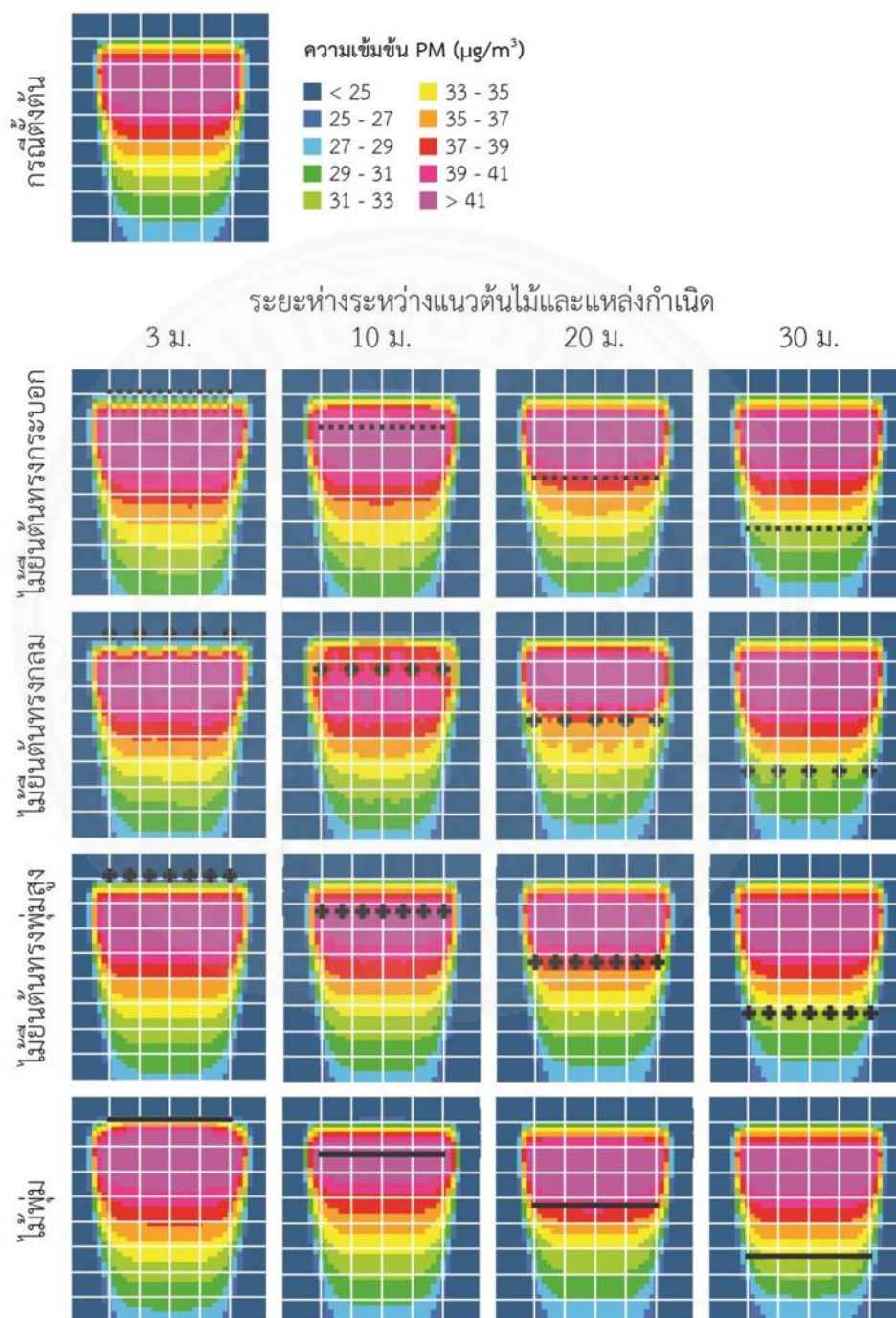
จาก BLT Bangkok (2019), เผยรายชื่อต้นไม้ 35 ชนิด มีประสิทธิภาพในการดักฝุ่นละออง. สืบค้นจาก <http://www.bltbangkok.com>.

ภาคผนวก ข
ตำแหน่งการปลูกไม้ประเภทต่าง ๆ

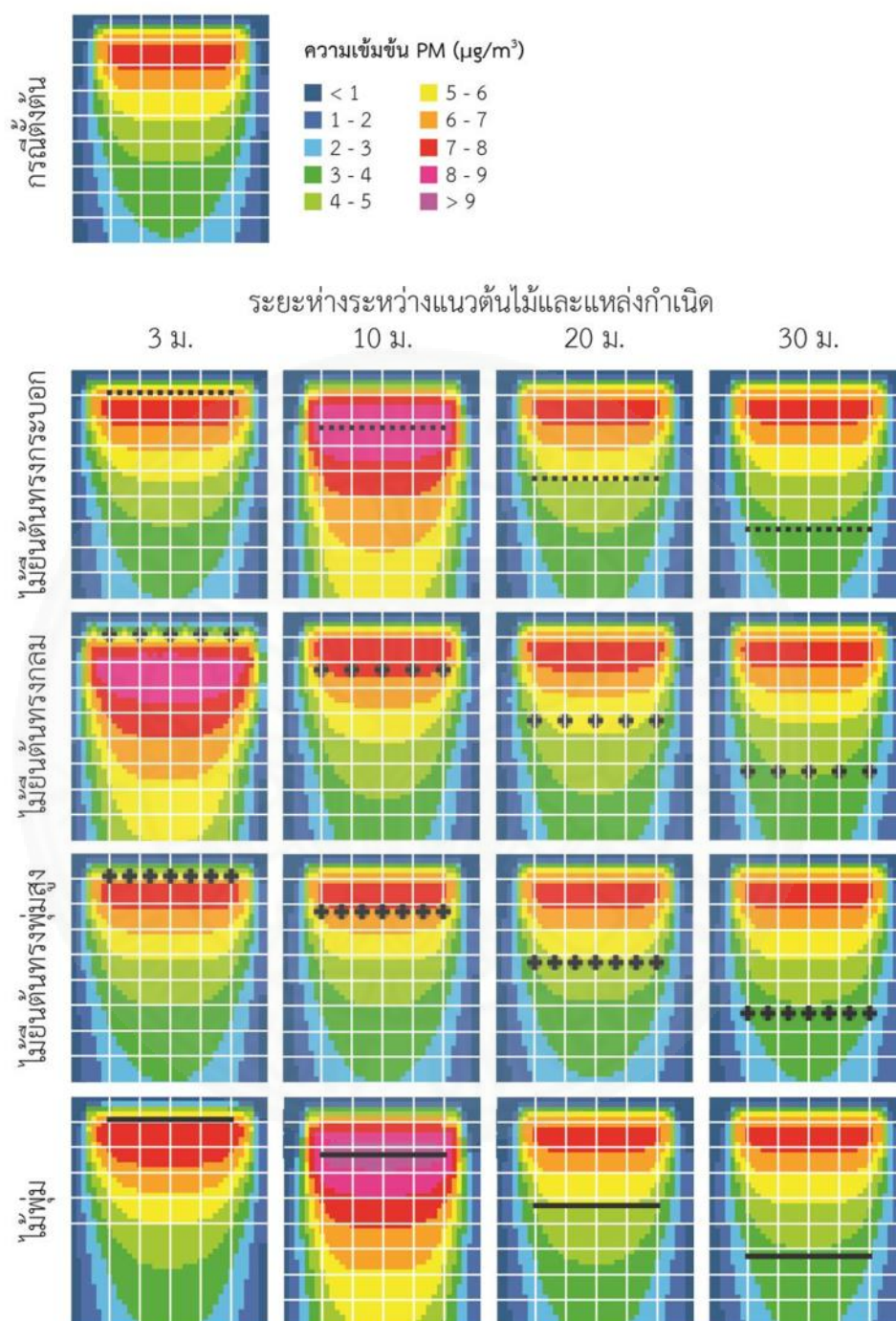


ภาพที่ ข.1 ตำแหน่งปลูกต้นไม้แต่ละประเภทในพื้นที่บ้านเดี่ยว (A) ไม้ยืนต้นทรงกระบอก (B) ไม้ยืนต้นทรงกลมและพุ่มสูง (C) ไม้พุ่ม

ภาคผนวก ค
ผลการทดลองในการจำลองส่วนที่ 1



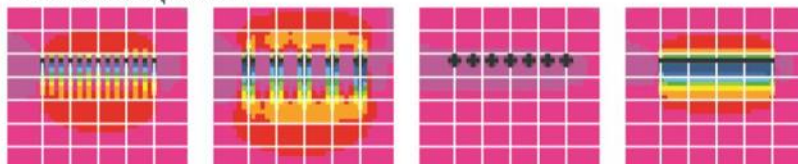
ภาพที่ ค.1 ความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก ณ ตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิด 3, 10, 20 และ 30 ม. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s



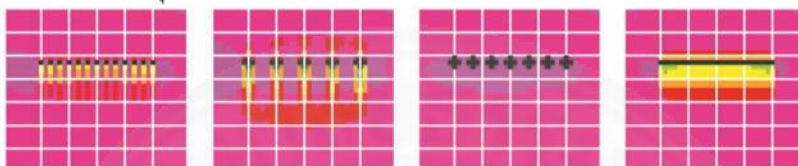
ภาพที่ ค.2 ความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ มีความหนาแน่นพุ่มใบมาก ณ ตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิด 3, 10, 20 และ 30 ม. ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s

(A) ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s

ความหนาแน่นพุ่มใบมาก



ความหนาแน่นพุ่มใบน้อย



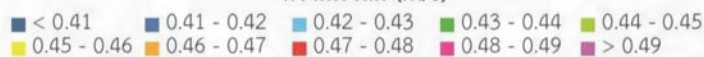
ไม้ยืนต้นทรงกระบอก

ไม้ยืนต้นทรงกลม

ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง

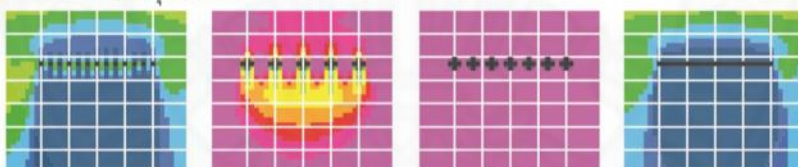
ไม้พุ่ม

ความเร็วลม (m/s)

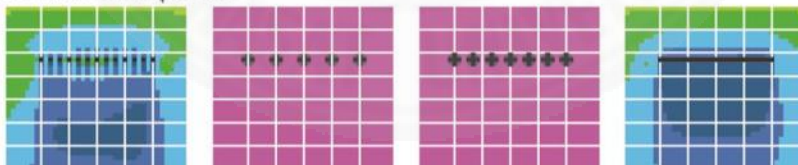


(B) ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s

ความหนาแน่นพุ่มใบมาก



ความหนาแน่นพุ่มใบน้อย



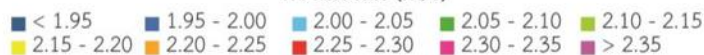
ไม้ยืนต้นทรงกระบอก

ไม้ยืนต้นทรงกลม

ไม้ยืนต้นทรงพุ่มสูง

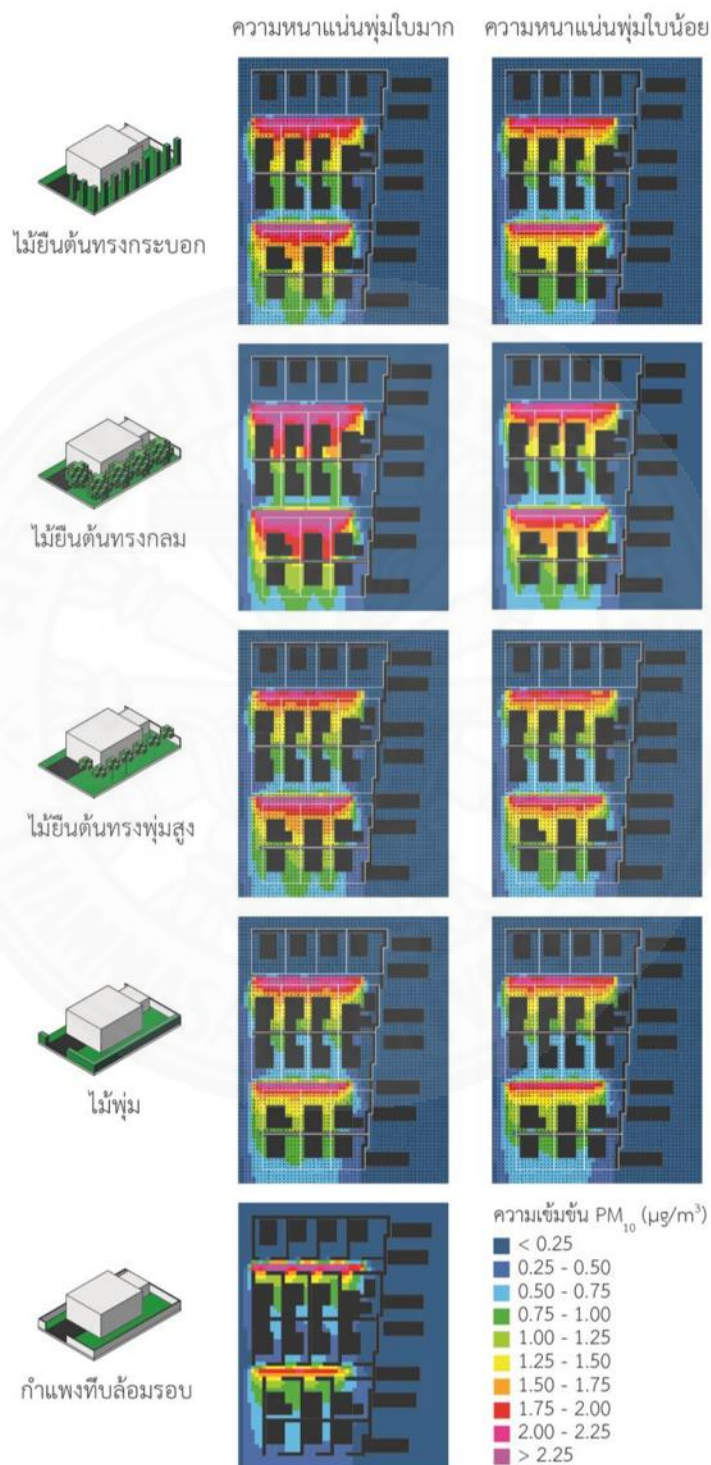
ไม้พุ่ม

ความเร็วลม (m/s)

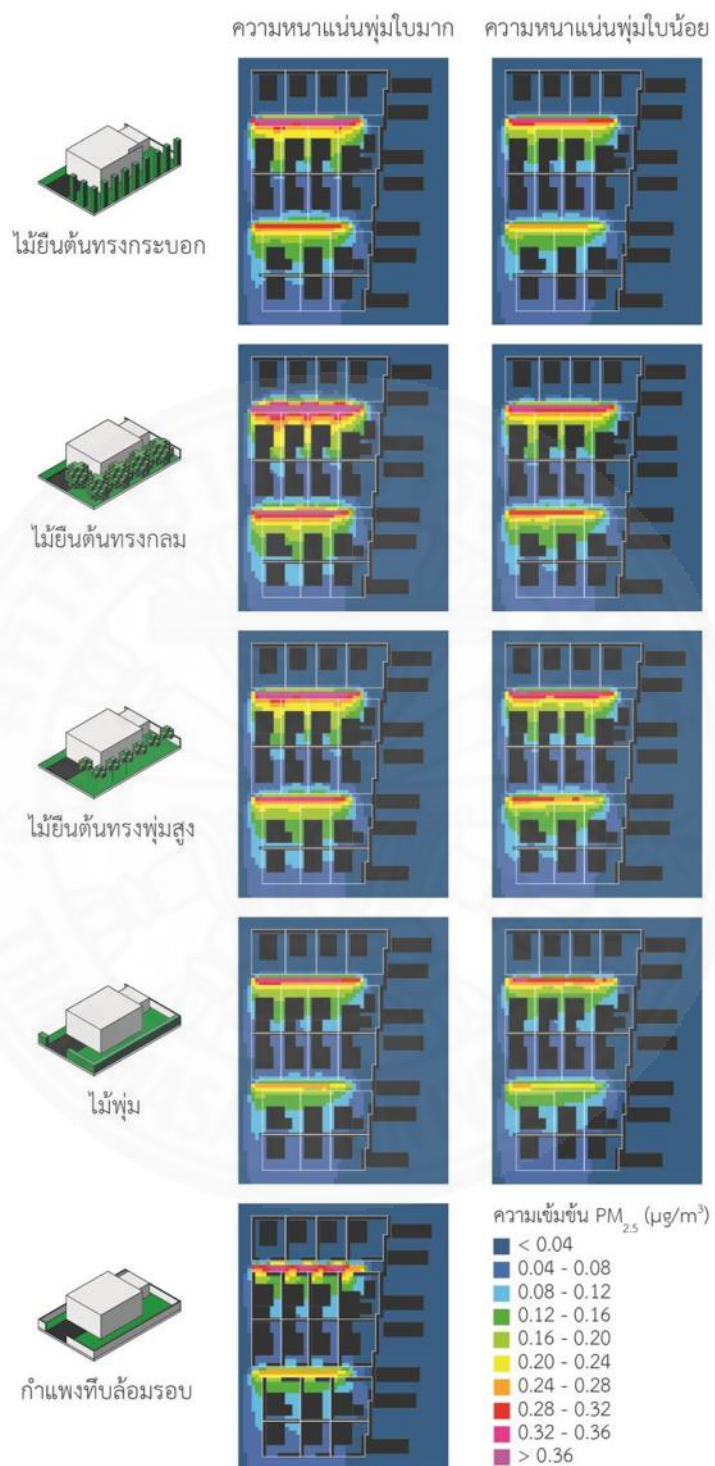


ภาพที่ ค.3 ความเร็วลมของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ณ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 และ 2.96 m/s

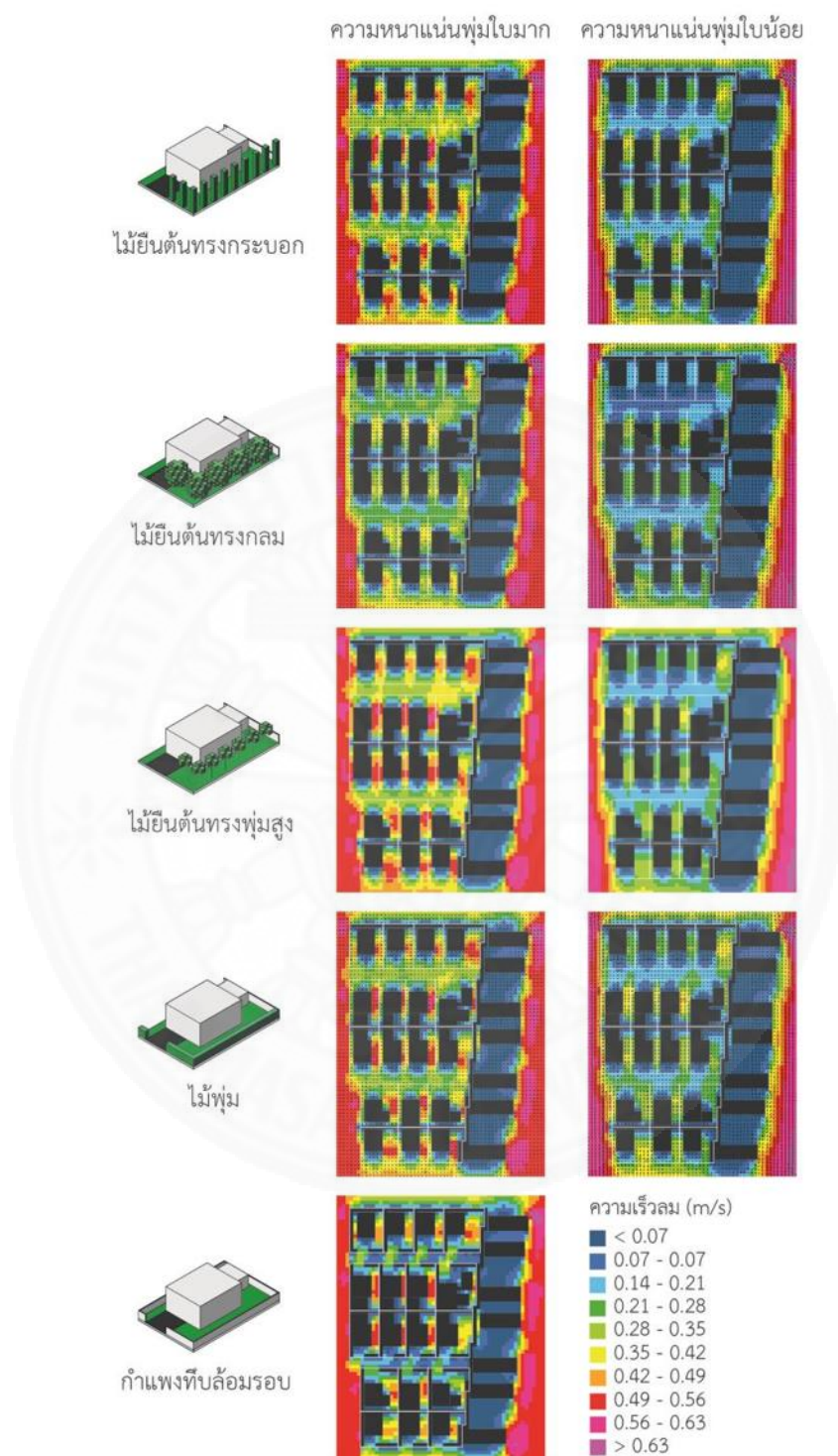
ภาคผนวก ง
ผลการจำลองในส่วนที่ 2



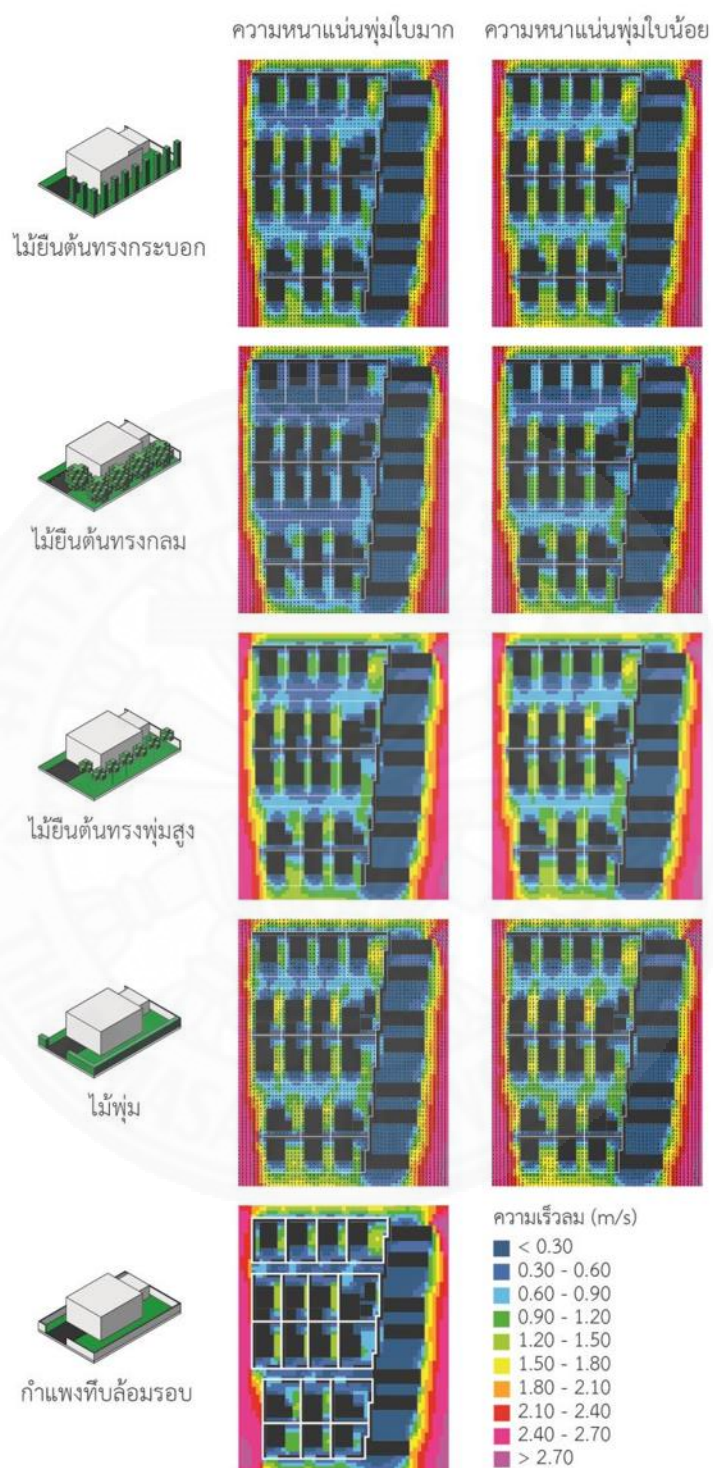
ภาพที่ ง.1 ความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ณ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s



ภาพที่ ง.2 ความเข้มข้นของ PM ของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ณ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s



ภาพที่ ง.3 ความเร็วลมของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ณ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 0.48 m/s



ภาพที่ ง.4 ความเร็วลมของต้นไม้ประเภทต่าง ๆ มีความหนาแน่นพุ่มใบมากและน้อย ณ ที่ความเร็วลมตั้งต้น 2.96 m/s

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสรีดา พรหมตัน
วันเดือนปีเกิด	17 กันยายน 2537
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2559: วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรม) ปีการศึกษา 2561: สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

