

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 กรอบแนวคิด	4
1.6 นิยามศัพท์	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ประเภทเครื่องยนต์.....	6
2.2 ลักษณะอนุภาคและแหล่งกำเนิด	7
2.3 การก่อตัวของอนุภาคภายในเครื่องยนต์.....	8
2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพ	9
2.5 การตรวจวัดอนุภาคในอากาศ	12
2.6 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุและสัณฐานวิทยา.....	15
2.7 มาตรฐานการทดสอบรยนต์.....	17
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 รูปแบบวิธีการวิจัย	19
3.2 ประชากร กลุ่มตัวอย่าง สถานที่ทำการวิจัย	19
3.2.1 กลุ่มตัวอย่าง	19
3.2.2 สถานที่ทำการศึกษา	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	19
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	23
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	30
4 ผลการวิจัย.....	32
4.1 การวิเคราะห์การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาค	32
4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงมวลและความเข้มข้นเชิงมวล	50
4.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของอนุภาค	74
4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ	79
5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	91
5.2 การอภิปรายผล	95
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	98
รายการอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ความเข้มข้นเชิงจำนวนของเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซินภายใต้การจำลอง การทดสอบการขับขี้อยนต์ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง.....	109
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการศึกษาองค์ประกอบธาตุของเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซิน ภายใต้การจำลองการทดสอบการขับขี้อยนต์ตามสภาวะในเมือง และนอกเมือง	111
ภาคผนวก ค รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่และรางวัล จากการนำเสนอบทความวิชาการ	116
ประวัติผู้เขียน.....	131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดอนุภาค	15
3.1	คุณลักษณะของ Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D	20
3.2	คุณลักษณะของ Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) รุ่น GRIMM 5416	21
3.3	เครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์ Chassis dynamometer รุ่น FPS2700.....	23
3.4	ขั้นตอนการการจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมือง (Urban Condition).....	27
3.5	ขั้นตอนการการจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง (Extra-Urban Condition).....	27
4.1	การทดสอบการกระจายตัวของความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนที่เกิดจากการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมือง	44
4.2	การทดสอบการกระจายตัวของความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนที่เกิดจากการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์เบนซินภายใต้การจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมือง ...	45
4.3	การเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคดีเซลและเบนซินภายใต้การจำลองการ ทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมือง	46
4.4	การทดสอบการกระจายตัวของความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนที่เกิดจากการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง ...	47
4.5	การทดสอบการกระจายตัวของความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวนที่เกิดจากการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์เบนซินภายใต้การจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง	48
4.6	การเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคดีเซลและเบนซินภายใต้การจำลองการ ทดสอบการขับรถยนต์ภายใต้การจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง	49
4.7	การทดสอบการกระจายตัวของความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลที่เกิดจากการเผาไหม้ของ เครื่องยนต์ดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะในเมือง	55
4.8	การทดสอบการกระจายตัวของความเข้มข้นของอนุภาคเชิงมวลที่เกิดจากการเผาไหม้ของ เครื่องยนต์ดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับรถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง.....	56
4.9	การเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยของอนุภาคดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบ การขับรถยนต์ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง.....	57

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	Aerosol Monitor DUST-TRAK model 8520 (TSI).....	13
2.2	Ultrafine Particle Counter P-TRAK model 8525 (TSI).....	13
2.3	Grimm Aerosol Spectrometer model 1.108	13
2.4	SMPS model 3080, TSI with Long DMA TSI. Model 3081.....	13
2.5	Grimm Aerosol Spectrometer model 1.109	14
2.6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	16
2.7	หลักการทำงานของ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	17
3.1	Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) รุ่น GRIMM 11D.....	20
3.2	Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) รุ่น GRIMM 5416.....	21
3.3	เครื่องวัดความเร็วลมประเภท Hotwire รุ่น 9555-P	22
3.4	เครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์ Chassis dynamometer รุ่น FPS 2700	23
3.5	ขั้นตอนการติดตั้ง และการตรวจวัดอนุภาคในห้องปฏิบัติการ.....	25
3.6	การนำรถยนต์ขึ้นทดสอบบนเครื่องทดสอบสมรรถนะยานยนต์	26
3.7	การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่การทดสอบ	26
3.8	การเก็บตัวอย่างองค์ประกอบธาตุและสัณฐานวิทยา	29
3.9	การติดตั้ง Nano Particle Sampler (NPS).....	30
3.10	การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน.....	31
4.1	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเฉลี่ยของอนุภาคดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการ- ขับที่รถยนต์ตามสถานะในเมืองและนอกเมือง	33
4.2	การกระจายตัวของอนุภาคดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับที่รถยนต์ ตามสถานะในเมือง (ก) ขั้นตอนเร่งความเร็ว (ข) ขั้นตอนลดความเร็ว.....	33
4.3	การกระจายตัวของอนุภาคดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับที่รถยนต์ ตามสถานะนอกเมือง (ก) ขั้นตอนเร่งความเร็ว (ข) ขั้นตอนลดความเร็ว	34
4.4	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับที่ตามสถานะในเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคดีเซล ภายใต้การจำลองการทดสอบการขับที่รถยนต์ตามสถานะในเมือง.....	35
4.5	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับที่ตามสถานะนอกเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาค ดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับที่รถยนต์ตามสถานะนอกเมือง.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเฉลี่ยของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง..... 36
4.7	การกระจายตัวของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมือง (ก) ขั้นตอนเร่งความเร็ว (ข) ขั้นตอนลดความเร็ว..... 37
4.8	การกระจายตัวของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง (ก) ขั้นตอนเร่งความเร็ว (ข) ขั้นตอนลดความเร็ว 37
4.9	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับชี้ตามสภาวะในเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมือง..... 38
4.10	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับชี้ตามสภาวะนอกเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง..... 39
4.11	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมือง..... 40
4.12	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง 41
4.13	ก-ข แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมืองโดยแบ่งตามขั้นตอนการขับชี้ 42
4.14	ก-จ แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะนอกเมืองโดยแบ่งตามขั้นตอนการขับชี้ 43
4.15	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลของอนุภาคดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง 50
4.16	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับชี้ตามสภาวะในเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคดีเซลจำแนกตาม Environmental Parameter (ค) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคดีเซลจำแนกตาม Occupational parameter 51
4.17	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับชี้ตามสภาวะนอกเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคดีเซลจำแนกตาม Environmental Parameter (ค) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคดีเซลจำแนกตาม Occupational parameter 52
4.18	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลจำแนกตาม Environmental Parameter ของอนุภาคดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง 53
4.19	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลจำแนกตาม Occupational Parameters ของอนุภาคดีเซลภายใต้การจำลองการทดสอบการขับชี้รถยนต์ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง..... 58
4.21	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับขี่ตามสภาวะในเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคเบนซีน จำแนกตาม Environmental Parameter (ค) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคเบนซีน จำแนกตาม Occupational parameter..... 59
4.22	(ก) ความเร็วที่ใช้ในการขับขี่ตามสภาวะนอกเมือง (ข) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคเบนซีน จำแนกตาม Environmental Parameter (ค) ความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคเบนซีน จำแนกตาม Occupational parameter..... 61
4.23	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลเฉลี่ยจำแนกตาม Environmental Parameter ของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ตามสภาวะในเมือง และสภาวะนอกเมือง..... 62
4.24	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลเฉลี่ยจำแนกตาม Occupational Parameters ของอนุภาคเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ตามสภาวะในเมือง และสภาวะนอกเมือง..... 62
4.25	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลอง การทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ตามสภาวะในเมือง..... 66
4.26	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลอง การทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ตามสภาวะนอกเมือง..... 67
4.27	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลเฉลี่ยจำแนกตาม Environmental Parameter ของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ ตามสภาวะในเมือง..... 68
4.28	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลเฉลี่ยจำแนกตาม Occupational Parameter ของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ ตามสภาวะในเมือง..... 68
4.29	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลจำแนกตาม Environmental Parameter ของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ ตามสภาวะนอกเมือง..... 71
4.30	การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงมวลจำแนกตาม Occupational Parameters ของอนุภาคดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการ ขับขี่รถยนต์ ตามสภาวะนอกเมือง..... 72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.31	74
4.32	75
4.33	76
4.34	76
4.35	77
4.36	78
4.37	79
4.38	83
4.39	87
4.40	89

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

nm	= นาโนเมตร
μm	= ไมโครเมตร
km/h	= กิโลเมตรต่อชั่วโมง
particles/cm ³	= อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	= ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
TSP	= ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate)
PM ₁₀	= ฝุ่นละอองในอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมโครเมตร
PM ₄	= ฝุ่นละอองในอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 4 ไมโครเมตร
PM _{2.5}	= ฝุ่นละอองในอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร
PM ₁	= ฝุ่นละอองในอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 ไมโครเมตร
Inhalable dust	= อนุภาคที่สามารถหายใจเข้าไปในระบบทางเดินหายใจของมนุษย์และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร
Thoracic dust	= อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบหายใจส่วนกลาง (Tracheobronchial) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร
Respirable dust	= อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบหายใจส่วนลึกที่สุดของปอดถึงระดับถุงลมปอด (alveoli) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร