CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

Page

LIST OF ABBREVIATIONS

API	Air Pollution Index (Hong Kong)
APS	Aerodynamic Particle Sizer
AQHI	Air Quality Health Index (Canada)
AQI	Air Quality Index (US EPA, Thailand and Asian)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange: (Character-encoding)
BAM	Beta Attenuation Monitor
CAG	Combustion Aerosol Generator
CAI	Comprehensive Air-quality Index (South Korea)
CAMMS	A Continuous Ambient Mass Monitor System
CAQI	Common Air Quality Index (Europe)
CFR	Code of Federal Regulations
CNC	Condensation Nuclei Counter
CO	Carbon Monoxide
COMEAP	Committee on Medical Effects of Air Pollutants (UK)
CPC	Condensation Particle Counter
DC	Direct Current
DMPS	Differential Mobility Particle Sizer
DMT	DMT Diffusion Dryer from Droplet Measurement Technologies
DNA	Deoxyribonucleic Acid
DRM	Direct Reading Monitor
EAA	Electrical Aerosol Analyzer
E-analyzer	the DAM for classifying the particle size of EAS
EAS	Electrical Aerosol Spectrometer
E-BAM	Beta Attenuation from Met One Instruments Inc
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor
EMA	Electrical Mobility Analyzers
EPA	Environmental Protection Agency

FEM	Federal Equivalence Method
FRM	Federal Reference Method
HI	Harvard-Marple Impactor
IMECAs	El Indice Metropolitano de la Calidad del Aire (Mexico)
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LIDAR	Light Detection and Ranging
MAR	Major Axis Line
MSB	Most Significant Bit
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
NH_3	ammonia
NO	Nitric Oxide
NO_2	Nitrogen Dioxide
O_3	Ozone
OPC	Optical Particle Counters
PCD	Pollution Control Department (Thailand)
PDE	Partial Differential Equation
PM	Particulate Matter
PSAP	Particle Soot/Absorption Photometer
PSI	Pollutant Standards Index (Singapore)
RH	Relative Humidity
SEM	Scanning Electron Microscope
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
SO_2	Sulfur Dioxide
TEM	Transmission Electron Microscope
TEOM	Taper Element Oscillating Microbalance
TSP	Total Suspended Particulate or PM100
US EPA	United State Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization

LIST OF SYMBOLS

α	The solidity
σ	The electrical conductivity (S/m)
γ	The auxiliary variable for calculated β_4
γ	The surface tension of the droplet liquid
λ_i	Ion mean free path (m)
λ	The mean free path (μm)
χ	The dynamic shape factor (for irregular particle)
$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$	The auxiliary variable for calculated the linear regression analysis
ρ	Density ($\mathrm{kg/m^3}$); The incoming charged particles; The electric charge density ($\mathrm{C/m^3}$)
μ	The deposition parameter; Micron (10^{-6} m)
ε	Dielectric constant of particles
η	The dynamic viscosity (Pa.s); Charge efficiency
$\Delta T_1,\ \Delta T_2$	Differential of temperature (Kelvin)
R_{e_p}	Particle Reynolds number
ε	The permittivity of particl (F/m
$\bar{u}$	The velocity vector (m/s)
π	Pi (3.1415926)
$\sigma(r)$	The path integrated extinction
A	The area ($\mathrm{m^2}$); Constant value in the power regression model
B	Magnetic flux ($\mathrm{Wb/m^2}$); Constant value (Power regression); Particle mobility (m/N.s)
c, C	The constant value
$\bar{c}$	The mean thermal speed of the ions (2.4×10^4 cm/s)
C_c	Cunningham correction factor

C_D	The coefficient of drag
C_{eq}	Concentration of water vapor at saturation
C_r	Rotameter coefficient (about 0.6 – 0.8)
D_j	The impactor jet diameter
d_{50}	Particle cutoff diameter
d_a	The aerodynamic diameter (m)
d_c	Particle velocity that gravity force; Cylinder diameter
d_m	The collision diameter of the molecule
d_e	The equivalent volume diameter (m)
d_p	Nozzle diameter; Particle diameter
d_s	Stoke diameter (m)
e	The elementary unit of charge (1.6×10^{-19} C)
E	The electric field strength or electric field intensity (V/m)
E_C	The Collection Efficiency
F	Particle trajectories force; Force; Volume force field
F_D	The drag force of the air on the particle (N)
F_G	The gravity force (N)
F_E	Magnitude of the force (N)
g	Acceleration due to gravity
I	Discharge current (A); Transmitted flux (Wb/m^2)
I_e	The electrometer current signal (A)
I_p	Charging current (A)
J	The current density (A/m^2)
J_e	The externally generated current density (A/m^2)
J_R	The parameter function of R_{dl}
k	Boltzmann’s constant (1.38×10^{-16} dyn cm/K)
K_E	Constant of proportionality (9×10^9 $N.m^2/C^2$)
K_n	Knudsen number
L_1	The length of needle electrode (the corona needle-cone charger)
m	The particle mass (kg)
m_f	The float mass (kg)

m_p	The particle mass concentration (μg/m^3)
n	The number of charge
n_c	The number of charge in combined chargers
n_d	The number of charge in diffusion charging
n_f	The number of charge in field charging
n_{ion}	The ion number concentration (ions/m^3)
n_p	The average number of elementary charge
n_{pi}	The mean of particle probability
n_s	Saturation charge
N	The number of air exchanges per day
N_i	The ion concentration (ion/cm^3)
N_p	The particle number concentration (particles/m^3)
p	Pressure (Pa or Pascal)
P_r	The pressure at standard temperature or NTP (101.3 kPa)
P_p	The particle penetration of the charger
P_t	Penetration of the inlet concentration
p_{STP}	The pressure at standard condition
q	The charge on the particle (coulomb)
Q	The air flow rate (m^3/s)
Q_a	The fluid flow rate (m^3/s)
Q_{kg}	The mass of silica gel (kg)
$Q_{STP,}$	The flow rate at standard condition
Q_j	The boundary current source (A/m^2)
r	The radius or distance (m)
r_p	Particle radius
R	Correlation coefficient
R^2	Correlation coefficient of determination
Re	Raynold number
R_{e_p}	The particle Reynolds number
R_{e_0}	The Reynold number of the particle at the initial velocity

R_f	Feedback resistor
R_i	Acceptable concentration range (μg/m^3)
s	The ratio of stop distance
S	The Sutherland interpolation constant; Stopping distance
S_{tk}	Stokes number
S_{tk50}	Stoke number at d_{50}
t	The charging time (s)
τ	The relaxation time (s)
T	The absolute temperature (Kelvin)
T_r	The standard condition (20^{o}C or 293.15 K)
$\bar{u}_p$	The particle velocity vector (m/s)
v, V, U	The velocity (m/s)
V_{out}	The output voltage (V)
V_p	The particle velocity (m/s)
V_{TE}	The terminal electrostatic velocity, m/s
V_{TS}	The terminal settling velocity, m/s
x	The mass thickness of the sample, g/cm^2
$x(y)$	x on y in the Linear Regression Analysis
$y(x)$	y on x in the Linear Regression Analysis
$y_1(x)$	y_1 on x in the Linear Regression Analysis
$y_2(x)$	y_2 on x in the Linear Regression Analysis
Z_i or Z_{ion}	Electrical mobility of ion
Z_i^+	The electrical mobility of positive ion 1.15×10^{-4} m^2/V s
Z_i^-	The electrical mobility of positive ion 1.425×10^{-4} m^2/V s

GLOSSARY

22D1180	Diaphragm Vacuum Pump from GAST
5014i	The continuous PM monitor model 5014i Beta Ray
ADAM-4017	Analog to Digital 8 channel input 16 bit data
ADD	ADD Diffusion Drying
APS3320	An aerodynamic particle sizer model 3320 from TSI Company
Arduino UNO	Arduino Microcontroller Module
ATM 226	Aerosol Generator from TOPAS Company
BAM 1020	Beta Attenuation Monitor from Met One Instruments
D-analyzer	The DAM for classifying the particle size of EAS
DD250	Diffusion Dryer model DD250 of ATI Company
DDU570	Diffusion Dryer model DDU570 of TOPAS Company
DIAL	Differential Absorption LIDAR
DM-870A	Digital Voltmeter
DRX8533	Continuous PM Monitor from DUSTTRAK
DustDETEC	Electrostatic Sensor for Measuring Airborne Particulate Matter
Dusttrak8520	The continuous PM monitor model DustTrak8520
Dusttrak8533	The continuous PM monitor model DustTrak8533
DustTrak^{TM}	The continuous PM monitor model DustTrak^{TM}
E-Sample	The continuous PM monitor model E-Sample
FH62C14	The continuous PM monitor model FH62C14 Beta Ray
FH62I-N	Beta Attenuation Ambient Particulate Monitor

GDS-1052-U	Digital Oscilloscope from GW-INSTEX
GFC-1111	Dwyer Mass Flow Controller series GFC 0-15 L/min
GFC-1144	Dwyer Mass Flow Controller series GFC 0-100 L/min
GK2.05 KTL	Respirable/Thoracic Cyclone
GRIMM180	The continuous PM monitor model GRIMM180
JSM-5910LV	Scanning Electron Microscope (SEM) from JEOL
Kimoto180	The beta gauge sampler
MD^{TM} Series	Nafion Dryer
MiniVol	The Air Sampler
Model289	True RMS Digital Multimeter from Fluke
Model2025	PM2.5 Sequential Air Sampler from Partisol-Plus
Model3081	Scanning Mobility Particle Sizer from TSI
Model3321s	the aerodynamic particle sizer from TSI Company
Model3775	the condensation particle counter from TSI Company
Model3776	Condensation Particle Counter from TSI Company
Model521721	DC High Voltage Power Supply from Leybold Didactic
Model6517A	Electrometer from Keithley
Model80K-40	High Voltage Probe from Fluke
Partisol-Plus	The Sequential Air Sampler
PD^{TM} Series	Nafion Dryer
PQ2000	The FRM air sampler from BGI Company
TE-EDM 180	The continuous PM monitor model TE-EDM 180
TEOM1400	The continuous PM monitor model TEOM

ข้อความแห่งการริเริ่ม

๑) ระบบควบคุมและฐานข้อมูลอัลกอลิทึมใหม่ ใช้ระบบฐานข้อมูลแบบคลาวด์และการควบคุมระยะไกลสำหรับการวัดพีเอ็มในดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นอัลกอลิทึมใหม่ ในขณะที่เครื่องวัดพีเอ็มแบบอื่นทั่วไปใช้การบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำภายในเครื่อง เครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ซอฟต์แวร์แลปวิวในการบันทึกข้อมูลการวัดพีเอ็มลงในไฟล์ซีเอสวีในเครื่องคอมพิวเตอร์ (พีซี) และมีการส่งข้อมูลการวัดนี้ไปยังระบบคลาวด์ด้วยซอฟต์แวร์ดรอบบ๊อก โดยมีความจำเป็นต้องเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์กับระบบอินเตอร์เนต (ไวไฟ หรือ โมเด็มจีเอสเอ็ม) สำหรับส่งข้อมูลการวัดไปยังระบบคลาวด์โดยอัตโนมัติ ระบบนี้สามารถแสดงผลการวัดแบบเวลาจริงและสามารถควบคุมระยะไกลจากเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นหรือสมาร์ทโฟนได้

๒) ส่วนการให้ประจุอนุภาคและชุดดักจับอนุภาคแบบ ๒ ใน ๑ เป็นชุดเดียวกัน ชุดให้ประจุอนุภาคแบบยูนิโพลาร์ส่วนใหญ่เป็นการให้ประจุแบบโคโรนาดีสชาร์จ (โดยเฉพาะขั้วอิเล็กโทรดแบบเข็ม) สำหรับสร้างไอออนให้กับอนุภาคละอองลอย ชุดให้ประจุบางแบบอาจใช้ตะแกรงตัวนำและแรงดันขับหรือแผ่นแรงดันสูงสำหรับผลักให้ไอออนไปยังพื้นที่ให้ประจุ ในขณะที่ชุดให้ประจุบางแบบใช้อากาศสะอาดนำไอออนไปผสมกับอนุภาคละอองลอยในพื้นที่ให้ประจุ สำหรับชุดให้ประจุแบบโคโรนาเข็ม-กรวย จำเป็นที่จะต้องมีชุดดักจับไอออนหลังจากกระบวนการให้ประจุ ส่วนการให้ประจุอนุภาคในดุษฎีนิพนธ์นี้ เป็นการรวมระหว่างชุดให้ประจุแบบยูนิโพลาโคโรนาและชุดดักจับไอออนเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งสามารถลดผลกระทบจากไอออนหลังจากกระบวนการให้ประจุได้ (เช่นการให้ประจุซ้ำนอกพื้นที่การให้ประจุ)

๓) ชุดคัดแยกขนาดอนุภาค ชุดถ้วยฟาราเดย์และวงจรอิเล็กโทรมิเตอร์แบบ ๓ ใน ๑ เป็นชุดเดียวกัน อุปกรณ์วัดพีเอ็มในอากาศที่ใช้หลักการทางไฟฟ้าทั่วไปมีการแยกส่วนระหว่างชุดคัดแยกขนาดอนุภาค กับชุดตรวจวัดสัญญาณอนุภาค หรือมีการแยกระหว่างถ้วยฟาราเดย์และวงจรอิเล็กโทรมิเตอร์ ทำให้มีการสูญเสียที่อนุภาคและที่สัญญาณไฟฟ้า ระหว่างอุปกรณ์ที่แยกกันนี้ การสูญเสียอนุภาคมักเกิดกับท่ออากาศชนิดที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ในขณะที่สัญญาณไฟฟ้าระดับต่ำจะสูญเสียที่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้า และจากสัญญาณรบกวนภายนอก การรวมชุดคัดแยกขนาดอนุภาค ชุดถ้วยฟาราเดย์และวงจรอิเล็กโทรมิเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน ทำให้การ

ไหลอนุภาคภายในมีระยะที่สั้น และสามารถลดการสูญเสียในท่อได้ นอกจากนี้วงจรอิเล็กโทรมิเตอร์ที่อยู่ใต้ชุดถ้วยฟาราเดย์จะมีเสถียรภาพสูง และมีความเหมาะสมต่อการวัดสัญญาณระดับต่ำถึง ๑๐$^{-๑๕}$ (เฟมโต)

๔) การหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นมวลกับประจุ ตามที่ ยูเอส อีพีเอ กำหนดการวัดเปรียบเทียบของเครื่องมือวัดที่จะยื่นขอการรับรองมาตรฐาน ระบุว่าการวัดพีเอ็ม ๑๐ จะต้องวัดในช่วงที่ต่ำกว่าและสูงกว่า ๖๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับค่าเฉลี่ยราย ๒๔ ชั่วโมง และในช่วงที่ต่ำกว่าและสูงกว่า ๓๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับค่าเฉลี่ยราย ๒๔ ชั่วโมงของพีเอ็ม ๒.๕ ตามที่แสดงในตารางที่ ๒.๓ งานวิจัยการเปรียบเทียบการวัดส่วนใหญ่เป็นการทดสอบเปรียบเทียบในช่วงเวลาที่สั้น และบางงานทดสอบวัดกับฝุ่นที่มีความเข้มข้นน้อย สำหรับการทดสอบวัดเปรียบเทียบในดุษฎีนิพนธ์นี้ ได้ทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานแบบทีออม เบต้าเรย์ และเครื่องวัดเทคนิคทางแสงในระยะเวลานาน สำหรับการวัดพีเอ็ม ๑๐ พีเอ็ม ๒.๕ และ พีเอ็ม ๑.๐ ค่าสหสัมพันธ์แบบกำลังของพีเอ็ม ๑๐ ระหว่างเครื่องพีเอ็มเอ็กกับเครื่องมือวัดมาตรฐานถูกคำนวณจากข้อมูลค่าเฉลี่ยราย ๒๔ ชั่วโมงของการวัดเปรียบเทียบในช่วง ๑๑.๑๕/๒๗.๖๗ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วง ๒๘.๓๔/๑๙๕.๗๒ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วง ๑๓.๗๔/๘๒.๐๗ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในช่วง ๒๐.๙๙/๖๙.๘๘ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าสหสัมพันธ์แบบกำลังของพีเอ็ม ๒.๕ คำนวณจากข้อมูลค่าเฉลี่ยราย ๒๔ ชั่วโมงของการวัดเปรียบเทียบในช่วง ๗.๖๒/๓๖.๘๘ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสหสัมพันธ์แบบกำลังของพีเอ็ม ๑.๐ คำนวณจากข้อมูลค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของการวัดเปรียบเทียบในช่วง ๓๑.๖๓/๕๘.๕๘ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

STATEMENTS OF ORIGINALITY

1) New Algorithm for Database and Control System: The cloud database and remote control system of this thesis is a new PM measurement algorithm. Other PM detectors based on internal data logger. This detector used Labview software for write the PM measuring data into CSV file at the personal computer (PC) and upload data to cloud system by Dropbox software. This PC was needed connect to internet system (Wi-Fi, or GSM modem) for upload the data to the cloud system automatically. This system can be real-time monitor and remote control from anywhere by other PC or smart phone.

2) Two-in-One Particle Charging Section: Most unipolar chargers that use corona discharge (especially a needle electrode type) for generating the ion charges to aerosol particle has high concentration ion that does not stick with the ion. Some prototypes use a conductive mesh and a driving voltage or high voltage plate for getting an ion in to the charging zone, while some prototypes use the sheath air to get the ion into the charging zone. (Intra and Tippayawong 2009; Kimoto *et al.* 2010; Intra and Tippayawong 2011; Li and Chen 2011; Qi *et al.* 2007; Alguacil and Alonso 2006; Kruis and Fissan 2001; Intra *et al.* 2013). For the needle-cone types of corona charger, the ion trap is needed after charging process (Intra and Tippayawong 2011; Intra *et al.* 2014). The particle charging section of this thesis was a combination between the unipolar corona charger and the ion trap together, which can reduce effect from the ion after the charging process (such as the net charge distribution was charged).

3) Three-in-One of a PM Classifier, Faraday Cup and Electrometer: Conventional electrical analyzers for measuring PM in the air have separate units for particle size classifier and sensor (Shimada *et al.* 2000; Intra and Tippayawong 2015; He *et al.* 2007) or Faraday cup and electrometer circuit (Intra and Tippayawong 2008; Laitinen *et al.* 1996; Marjamaki et al. 2000; Jarvinen *et al.* 2014; Yao and Yoon 2000). The particle loss and the electrical loss between these components can be

high. The particle loss may be on the nonconductive air tube, while an ultra-low measuring signal may loss in a connector and has the interference signal. The combination of three parts resulted in a short path for aerosol flow and particle loss on the tube can be reduced. In addition, the electrometer circuit under the Faraday cup was stable (Amin *et al.* 2006) and appropriate for measuring ultra-low current signal in 10^{-15} (Femto) levels.

4) Regression between Mass Concentration and Charge Concentration: According to US EPA for comparison between a candidate instrument for certification. Acceptable sample sets for PM10 must be under/over 60 $\mu g/m^3$ in 24-h average, and under/over 30 $\mu g/m^3$ in 24-h average for PM2.5, as shown in Table 2.3. Most research studies involved a short comparison test and low concentration (Mohtar *et al.* 2013; Lopez *et al.* 2012; Chung *et al.* 2001; Wanjura *et al.* 2008; Zhu *et al.* 2007; Huang 2007; Venkatachari *et al.* 2006; Yanoskey *et al.* 2002; Yanosky and Maclntosh 2001; Cyrys *et al.* 2001; Ramachandran *et al.* 2000; Tsai and Cheng 1996). In this thesis, the detector was compared with the standard detectors including TEOM, Beta, and light scattering technique for a long time for PM10, PM2.5, and PM1.0. The power regression of PM10 between the detector and the standard detectors was calculated from the comparative data with 11.15/27.67 $\mu g/m^3$, 28.34/195.72 $\mu g/m^3$, 13.74/82.07 $\mu g/m^3$, and 20.99/69.98 $\mu g/m^3$ in min/max range of 24-h average. While, the power regression relation of PM2.5 was calculated from the comparative data with 7.62/36.88 $\mu g/m^3$ in min/max range of 24-h average. The power regression relation of PM1.0 had 31.63/58.58 $\mu g/m^3$ in min/max range of an hour average.