creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000266564

2018년 2월
석사학위 논문

광주광역시의 대기오염물질과 기상요소간의 상관관계 분석

조선대학교 대학원

대기과학과

김 선 태

2018년 2월
석사학위논문
광주광역시의 대기오염물질과 기상요소간의 상관관계 분석
김 선 태

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광주광역시의 대기오염물질과 기상요소간의 상관관계 분석

Analysis of Correlations between Air Pollutants and Meteorological Elements in Gwang-ju Metropolitan City

2018년 2월 23일

조선대학교 대학원

대기과학과

김 선 태

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광주광역시의 대기오염물질과 기상요소간의 상관관계 분석

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함

2017년 10월

조선대학교 대학원

대기과학과

김 선 태

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

김선태의 석사학위 논문을 인준함

위원장 군장대학교 교 수 정 병 옥 (인)

위 원 조선대학교 교 수 박 근 영 (인)

위 원 조선대학교 교 수 류 찬 수 (인)

2017년 11월

조 선 대 학 교 대 학 원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

LIST OF TABLE ····· iii
LIST OF FIGURES ····· IV
ABSTRACT ····· V

제1장 서 론 ····· 1
1.1 연구배경 ····· 1
1.2 연구목적 ····· 2
제2장 연구대상 및 연구방법 ····· 3
2.1 연구대상 ····· 3
2.1.1 광주광역시 지리적 위치 및 기후 특성 ····· 3
2.1.2 광주광역시 대기오염물질 오염도 ····· 4
2.2 연구자료 ····· 5
2.2.1 기상요소 ····· 5
2.2.2 대기오염물질 ····· 6
2.2.3 측정지점 ····· 7
2.3 연구방법 ····· 8
제3장 분석 및 연구결과 ····· 10
3.1 기상요소 및 관측방법 ····· 10
3.2 대기오염물질 및 측정방법 ····· 11

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2.1 대기오염물질 종류 및 특성 ····· 11
3.2.2 대기오염물질 측정방법 ····· 13
3.3 광주광역시 기상요소 변화 분석 ····· 14
3.3.1 기온 ····· 14
3.3.2 강수량 ····· 16
3.3.3 상대습도 ····· 18
3.3.4 풍속 ····· 20
3.3.5 풍향 ····· 22
3.4 광주광역시 대기오염물질 변화 분석 ····· 28
3.4.1 이산화황(SO_2) ····· 28
3.4.2 이산화질소(NO_2) ····· 30
3.4.3 오존(O_3) ····· 32
3.4.4 일산화탄소(CO) ····· 34
3.4.5 미세먼지(PM-10) ····· 36
3.5 광주광역시 대기오염물질과 기상요소 간의 상관관계 분석 ····· 38
제4장 결 론 ····· 40
참고문헌 ····· 43

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LIST OF TABLE

Table 2.1 Observation Points for Air Pollutants and Meteorological Factors ····· 7
Table 2.2 Absolute Values of Correlation Coefficients and Their Strengths ····· 9
Table 3.1 Measurement Methods for Air Pollutants ····· 13
Table 3.2 Air Quality Levels based on PM-10 Concentration ····· 23
Table 3.3 Correlations between Air Pollutants and Meteorological Factors in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 39

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1 Topological Map of Gwang-ju ····· 3
Fig. 2.2 Automatic Weather System(AWS) ····· 5
Fig. 2.3 Air Pollution Monitoring Station ····· 6
Fig. 2.4 Observation Points for Air Pollutants and Meteorological Elements ···· 7
Fig. 3.1 Number of Registered Cars in Gwang-ju, 2010-2015 ····· 14
Fig. 3.2 Average Daily Temperature(℃) in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 15
Fig. 3.3 Summer Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 16
Fig. 3.4 Average Daily Precipitation(mm) in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 17
Fig. 3.5 Population in Gwang-ju, 2010-2015(Gwang-ju Statistical Report 2016) ···· 18
Fig. 3.6 Relative Humidity(%) in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 19
Fig. 3.7 Gross Area and Number of Apartment Buildings Granted Permission, 2010-2015 ····· 20
Fig. 3.8 Average Wind Speed(m/s) in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 21
Fig. 3.9 Interpreting Wind Rose ····· 22
Fig. 3.10 Spring Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 23
Fig. 3.11 Particulate Matter Less than 10㎛(PM-10) Levels in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 24
Fig. 3.12 Summer Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 25
Fig. 3.13 Fall Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 26
Fig. 3.14 Winter Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 27
Fig. 3.15 Sulfur Dioxide(SO_2)Levels in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 29
Fig. 3.16 Nitrogen Dioxide(NO_2) Levels in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 31
Fig. 3.17 Ozone(O_3) Levels in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 33
Fig. 3.18 Carbon Monoxide(CO) Levels in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 35
Fig. 3.19 Particulate Matter Less than 10㎛ (PM-10) Levels in Gwang-ju, 2010-2014 ····· 37

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Analysis of Correlations between Air Pollutants and Meteorological Elements in Gwang-ju Metropolitan City

Kim Seon Tae
Advisor : Prof. Ryu Chan Su, Ph.D.
Department of Atmospheric Science,
Graduate School of Chosun University

Chemicals and dust particles generated by human activities not only increase their concentrations in the atmosphere but also further deteriorate the level of air pollution by engendering changes in the physical or chemical characteristics of such particulates. For example, sulfur oxides and nitrogen oxides emitted during the combustion of fossil fuels are converted into sulfates and nitrates, respectively, due to chemical reactions which alter the chemical structures and sizes of the particulates, resulting in a significant impact on the air quality.

Since the 1970s, Korea has undergone rapid industrialization under the nationwide economy-first policy which accelerated population growth in urban areas. The sharp population growth has drastically exacerbated many of the country's environmental problems including air, water and soil pollutions with serious consequences.

Air pollution is largely affected by, among others, topographical and meteorological characteristics as well as physical and chemical reactions. Even if all other emission conditions remain constant, the level of air

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

pollution can vary to a great extent according to numerous meteorological factors such as wind direction and speed, atmospheric stability, temperature and humidity.

Therefore, it is necessary to reduce emission sources aggravating air pollution and analyze the correlation between air pollutants and meteorological factors in order to lessen the effects of air pollution. Against this backdrop, this study seeks to provide baseline data for a comprehensive, scientific analysis including air pollution and weather forecasts by exploring the correlation between air pollutants and meteorological factors in Gwang-ju Metropolitan City.

The meteorological data used in this study is based on the daily averages of hourly data (i.e. temperature, relative humidity, precipitation, wind direction and speed) collected by the AWS (Automatic Weather System) of the Gwang-ju Meteorological Administration, for five years from 2010 to 2014, which conducts weather observations around the clock, whereas the air pollution data is based on the daily averages of the hourly levels of sulfur dioxide (SO2), nitrogen dioxide (NO2), CH4 (methane) and O3 (ozone) recorded by the air pollution monitoring network of the Ministry of Environment during the same timeframe. In Gwang-ju, there are a total of seven monitoring stations dedicated to measuring the levels of pollutants in the atmosphere in Seoseok-dong in Dong-gu, Nongseong-dong in Seo-gu, Juwol-dong in Nam-gu, Geonguk-dong in Buk-gu, Duam-dong, Oseon-dong and Songjeong 1-dong in Gwangsan-gu. For the purpose of this study, however, only the data collected from the monitoring station in Nongseong-dong, Seo-gu is utilized as the station is in the closest proximity to the Gwang-ju Meteorological Administration.

In this study, the Pearson correlation coefficient is applied to examine the correlation between air pollutants and meteorological factors with the SPSS statistics and data analysis program. To carry out an effective analysis, the precipitation data of -999 from the meteorological records and the air pollutant data since December 18, 2014 are considered as missing

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

values in the study since no pollution data was available due to the relocation of the monitoring station in Nongseong-dong, Seo-gu.

The results of the correlation analysis are as follows: Sulfur dioxide (SO2) is negatively correlated to temperature (-.428, $p<0.01$), precipitation (-.255, $p<0.01$), wind speed (-.220, $p<0.01$) and relative humidity (-.270, $p<0.01$). Nitrogen dioxide (NO2) is also negatively correlated to temperature (-.501, $p<0.01$), precipitation (-.178, $p<0.01$), wind speed (-.519, $p<0.01$) and relative humidity (-.206, $p<0.01$). On the other hand, ozone (O3) is positively correlated to temperature (.056, $p<0.05$) and negatively correlated to relative humidity (-.062, $p<0.05$), whereas carbon monoxide (CO) is negatively correlated to temperature (-.265, $p<0.01$), wind speed (-.405, $p<0.01$) and relative humidity (-.074, $p<0.01$). Furthermore, particulate matter (PM) is negatively correlated to temperature (-.098, $p<0.01$), precipitation (-.212, $p<0.01$), wind speed (-.200, $p<0.01$) and relative humidity (-.280, $p<0.01$).

In the correlation analysis between air pollutants and meteorological factors between 2010 and 2014, most of the pollutants excluding ozone demonstrated a positive correlation to the weather elements. However, the study confirmed such correlations are relatively weak since the majority of the absolute values of the correlation coefficients are less than 0.4. The correlations are even weaker for ozone of which absolute values are below 0.2. Although the correlation analysis can serve as an effective tool to determine the relationship between the two variables, it is not sophisticated enough to conclude on the causal relationship based on such correlation. In fact, air pollutants and meteorological factors are intricate elements that may have various complicated impacts on each other in many different ways. As such, a more in-depth study is needed to investigate the causative relationship between the two elements in order to fully utilize those data for air pollution and weather forecasts.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 서 론

1.1 연구배경

환경정책기본법에서 '환경오염'을 사업 활동 및 그 밖의 사람들의 활동에 의해 발생하는 대기오염, 수질오염, 토양오염, 소음 및 진동, 악취 등으로써 사람의 건강과 환경에 피해를 주는 상태로 정의하고 있다.

세계보건기구(WHO)에서 대기오염을 '대기 중 인위적으로 배출된 오염물질이 한 가지 또는 그 이상 존재함으로써 오염물질의 양, 농도, 지속시간 등이 어떤 지역의 불특정 다수에게 불쾌감을 주거나 해당지역에 공중보건상에 위해를 끼치고, 인간 및 동·식물 활동에 해를 줌으로써 생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해받는 상태'로 정의하고 있다.

인간 활동으로 배출되는 화학물질과 먼지들은 대기 중에 그들의 농도를 증가시킬 뿐만 아니라 그들 입자의 물리적 또는 화학적 특성에 변화를 야기하여 대기오염 농도를 증기시킨다. 화석연료 연소 시 배출되는 황산화물 및 질소산화물은 화학반응을 통해 황산염과 질산염으로 변하는데, 결과적으로 입자의 화학구성과 크기를 변형시켜 이들이 대기오염에 상당한 영향을 미친다.

우리나라의 경우 1970년 이후 경제발전 우선정책으로 급격한 산업화로 도시지역에 인구가 밀집되었다. 이 때문에 대기오염뿐만 아니라 수질 및 토양오염 등 다방면에 있어 오염도가 급격히 증가하였으며 그 피해는 날로 심각해지고 있다.

대기오염은 물리 및 화학반응 과정뿐만 아니라 지형 및 기상학적 특성에 의해 결정될 수 있다. 배출조건이 동일한 경우 대기오염도는 기상학적 특성 즉, 풍향, 풍속, 대기안정도, 기온 및 습도 등에 따라 큰 차이를 보이게 된다.

그러므로 어느 지역의 대기오염의 피해를 줄이기 위해서는 대기오염 원인물질의 배출원을 줄이는 동시에 대기오염물질과 기상요소 사이에 어떠한 관계가 있는지 분석할 필요성이 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.2 연구목적

풍속과 대기오염의 관계는 역비례 관계를 가지며, 특히 풍속이 1.5m/s 이하일 때 대기 중에 고농도의 SO_2가 측정되고 있다는 연구보고가 있다.(Fukuku, 1973) 영국의 London Smog 사건, 벨기에의 Meuse Valley 사건은 대기오염물질이 무풍과 기온 역전이 장기간 지속되면서 오염물질의 확산이 이루어지지 않아 같은 곳에 오랫동안 머물게 됨으로써 대기 중 오염물질의 농도 증가로 발생한 최악의 대기오염사건으로 알려져 있다. 앞서 언급한 풍속과 대기오염과의 관계를 이 두 사건이 이 사실을 반증하고 있는 셈이다.

대기오염물질을 직접적으로 배출하는 방출원을 제외할 때 대기오염에 가장 많은 영향을 줄 수 있는 것이 기상요소라고 생각된다.(Turner, 1976; Son, 1998) 따라서 본 연구에서는 광주 북구 운암동 소재의 광주지방기상청에서 관측하고 있는 기상요소 중 기온, 습도, 강수량, 풍향 및 풍속 자료와, 광주 서구 농성동 소재의 도시대기오염물질 측정소에서 측정하고 있는 이산화황(SO_2), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3), 일산화탄소(CO), 미세먼지(PM-10) 자료를 바탕으로 2010년부터 2014년까지 5년 간 변화 추이를 알아보고, 대기오염물질과 기상요소 사이의 상관도를 분석함으로써 대기오염도 및 기상예보 등 종합적이고 과학적인 분석을 위한 기초자료로 활용될 수 있도록 하고자 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 연구대상 및 연구방법

2.1 연구대상

2.1.1 광주광역시 지리적 위치 및 기후 특성

광주광역시는 동부 산악지대와 서부 평야지대의 점이지대라고 할 수 있는 곳에 위치하는 총면적 501.15km^2, 약 150만 명의 인구가 거주하는 대도시이다.(광주통계연보, 2016) 광주광역시의 산 지형은 노년기에 속하여 대체로 준평원화된 구릉성 지대의 특징을 보인다. 광주광역시를 중심으로 한 전남지방의 산세를 보면 북쪽에 노령산맥이 동서방향으로 뻗어 전라북도와 자연적인 경계를 이루고, 동쪽에 소백산맥과 그 기맥들이 남북방향으로 뻗어 경상남도와 경계를 이룸으로써 전라남도는 두 산맥의 사이에 위치한다. 광주평야는 노령산맥과 소백산맥의 지맥들 사이의 영산강 유역에 분포하며, 광주천과 그 소지류 및 극락강 유역에 연속되어 나타나고 있고, 영산강 본류를 따라 인접한 나주 등지로 이어져 결국 나주평야의 일부를 형성한다.

Fig. 2.1 Topological Map of Gwang-ju

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광주광역시의 기후는 서해안형과 내륙형의 중간형으로 대체로 서해안형에 가까운 특징을 보이고 있다. 겨울에는 몽고 부근에서 그 세력을 우리나라 쪽으로 확장하는 한랭한 대륙성 고기압의 영향으로 삼한사온의 날씨를 보이며, 여름에는 북태평양 동부에 중심을 두고 그 세력을 아시아 쪽으로 확장하는 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보인다. 초여름과 늦여름에는 장마기가 있어 호우에 의한 기상재해가 발생하며, 태풍은 연간 한두 번 영향을 준다. 봄과 가을에는 중국에서 이동하는 이동성 고기압의 영향으로 건조하고 맑은 날이 많다. 광주광역시의 연평균기온은 13.8℃를 나타낸다. 1월 평균기온은 0.6℃, 8월 평균기온은 26.2℃로 연교차는 26.8℃를 보인다. 연 강수량은 약 1,400㎜로 주로 7~8월에 집중되었다. 겨울철에는 주로 서~북서풍에 의한 강설현상이 자주 나타나 평균 31일 정도의 강설일수를 보이고 있고, 안개 발생 일수는 평균 14일 정도로 점차 증가하고 있다.

2.1.2 광주광역시 대기오염물질 오염도

이산화황(SO_2) 농도는 저황유 공급과 청정연료 사용 의무화 등의 정책 추진 결과로 지난 20년간 꾸준히 감소하는 추세를 보이고 있으며, 그 값은 2005년 이후 0.01ppm 이하를 나타내고 있다. 월평균 농도 변화는 여름철에 감소하고 겨울철에 증가하는 경향을 보인다.

이산화질소(NO_2) 농도는 1990년 이후로 연간 농도가 큰 폭의 변화 없이 0.018ppm으로 전국에서 가장 작은 값을 보이고 있다. 월평균 농도는 여름철에 감소하다가 겨울철에 점점 증가하는 경향을 보인다.

오존(O_3)의 연평균 농도는 1991년부터 2014년까지 꾸준한 증가 추세를 보이고 있으며, 그 값은 0.022ppm을 나타내고 있다. 월평균 농도는 봄철부터 점점 증가하다가 5~6월에 최고치를 보이고, 장마철에는 감소하는 경향을 보인다.

일산화탄소(CO) 농도는 2001년 이후로 큰 폭의 변화가 없이 1ppm 이하의 수준에서 유지되고 있다. 월평균 농도는 여름에 감소하고 겨울에 최고 농도를 보인다.

미세먼지(PM-10)의 경우 농도는 전반적으로 꾸준히 감소하는 추세를 보이고 있다. 약 50 $\mu g/m^3$의 값으로 전국에서 가장 낮은 농도를 나타내고 있으며, 월평균 농도는 봄철에 가장 높게 나타나고, 강수가 집중되는 여름철에 작은 값을 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2 연구자료

2.2.1 기상요소

24시간 연속관측을 실시하고 있는 광주지방기상청(광주광역시 북구 운암동 소재) AWS(Automatic Weather System)의 기상관측자료 중 기온, 상대습도, 강수량, 풍향 및 풍속에 대해 2010년부터 2014년까지의 5년 간 시간별 관측자료를 일평균하여 본 연구에 활용하였다.

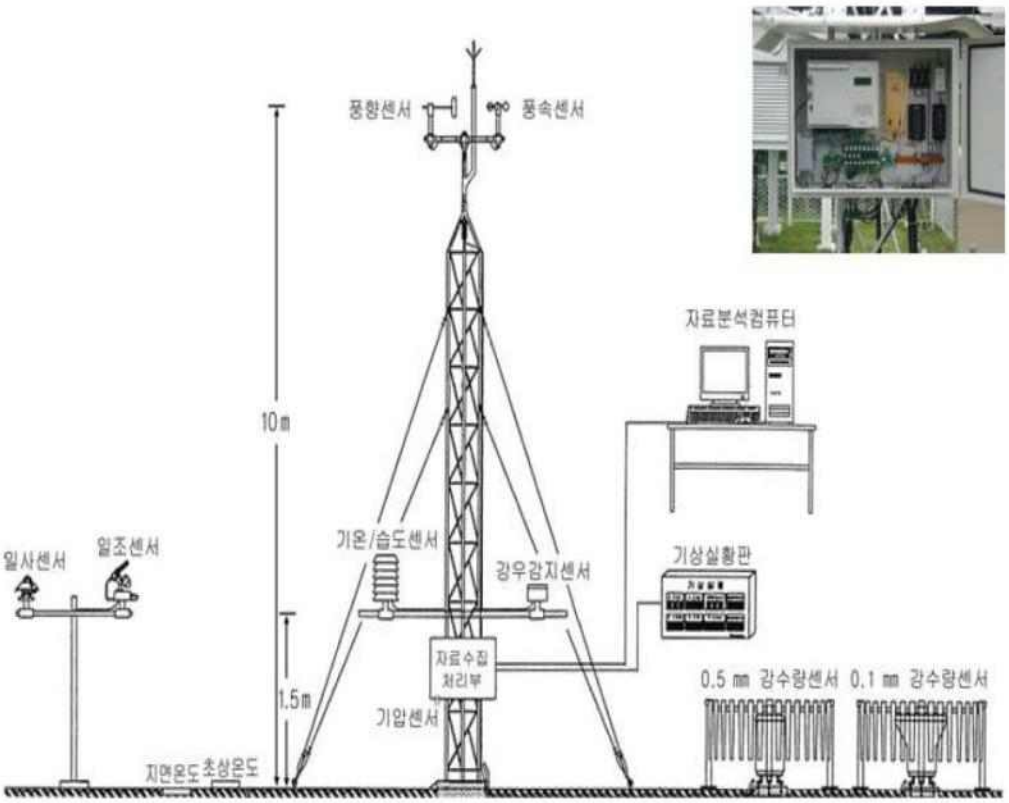

Fig. 2.2 Automatic Weather System(A.W.S)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.2. 대기오염물질

환경부에서 운용하고 있는 대기오염자동측정망에서는 SO_2, NO_2, CH_4, O_3 등의 오염물질들을 측정하고 있다. 광주광역시의 경우 대기오염물질을 측정하고 있는 곳은 동구 서석동, 서구 농성동, 남구 주월동, 북구 건국동, 두암동, 광산구 오선동 및 송정 1동 총 7개소에서 측정이 이루어지고 있다. 이 중 광주지방기상청과 가장 인접해 있는 서구 농성동 지점의 자료를 활용하였다. 활용한 대기오염물질의 종류는 SO_2, NO_2, CO, O_3, PM-10이며 2010년부터 2014년까지의 5년 간 시간별 측정자료를 일평균하여 본 연구에 활용하였다.

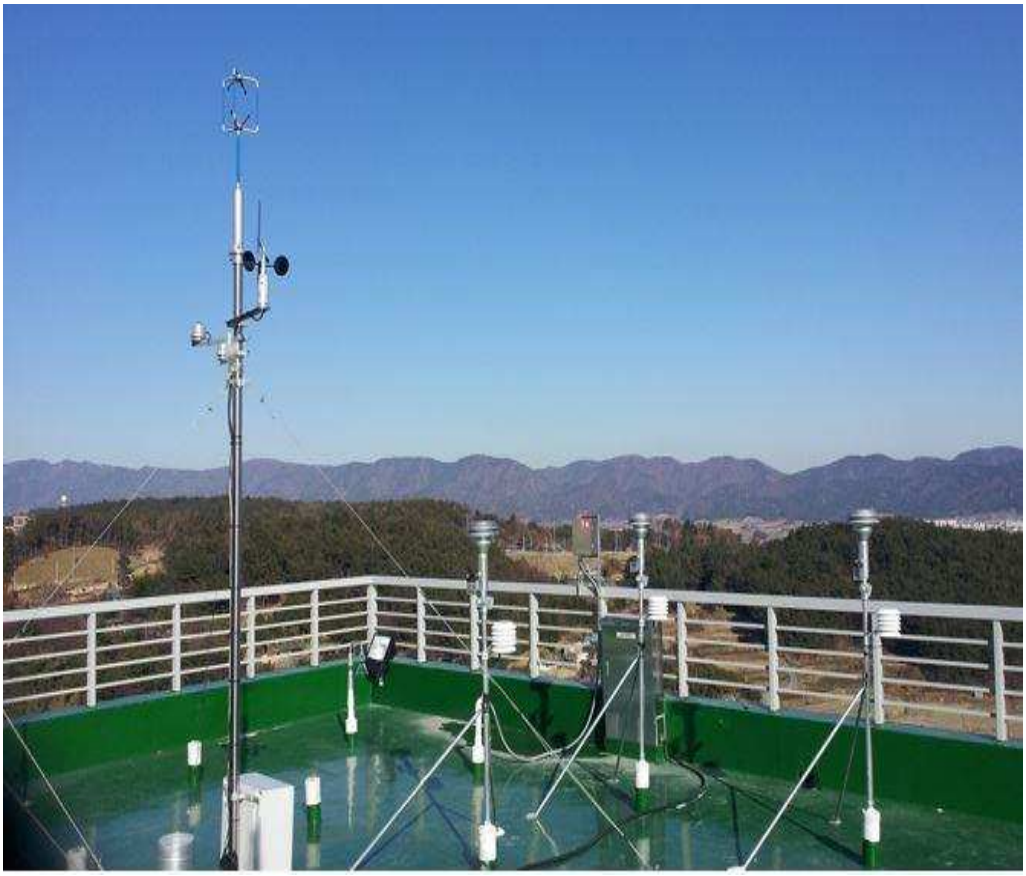

Fig. 2.3 Air Pollution Monitoring Station(Photo Courtesy of Ulsan National Institute of Science and Technology(UNIST))

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.3. 측정지점

기상요소 및 대기오염물질 측정이 이루어진 광주지방기상청과 광주광역시 서구 농성동 지점의 위치는 다음의 표와 같다.

Table 2.1 Observation Points for Air Pollutants and Meteorological Factors

Subjects for Observation	Points of Observation	Address	Latitude & Longitude
Meteorological Elements	Gwang-ju Meteorological Administration	48, Seoam-daero, Buk-gu, Gwang-ju	35° 10′ 19.94″ 126° 53′ 24.12″
Air Pollutants	Nongseong-dong	23, 1189-gil, Sangmu-daero, Seo-gu, Gwang-ju	35° 9′ 23.94″ 126° 53′ 22.92″

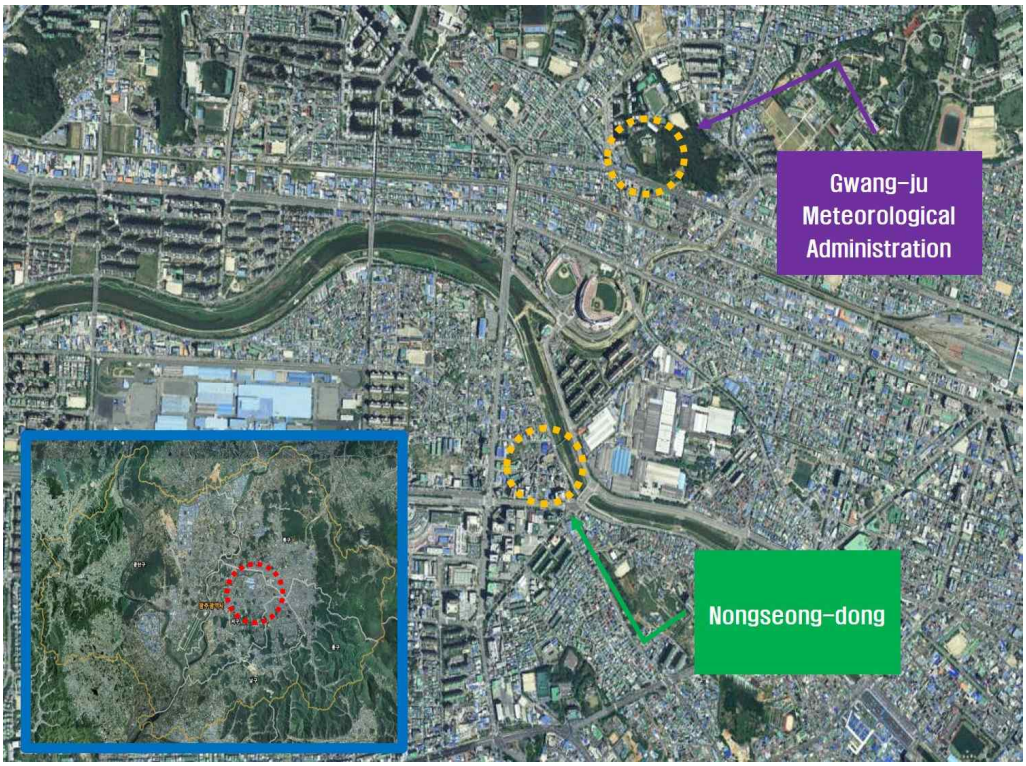

Fig. 2.4 Observation Points for Air Pollutants and Meteorological Elements

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.3 연구방법

2010년부터 2014년까지 5년 간 광주광역시의 5대 대기오염물질인 SO_2, NO_2, CO, O_3, PM-10과 기상요소 중 기온, 상대습도, 강수량, 풍향 및 풍속의 변화 추이를 분석하고, 이들 요소 간의 상관도를 알아보기 위해 Pearson 상관계수(Pearson Correlation Coefficient)를 활용하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석은 SPSS 통계분석 프로그램을 이용하였다. 기상요소의 강수량 중 -999를 나타낸 것과, 2014년 12월 18일부터 광주광역시 서구 농성동 지점의 대기오염물질 측정소 이전으로 측정자료가 확보되지 않은 부분은 유효한 상관분석의 결과를 얻기 위해 이들 값을 결측값(Missing Value)으로 처리하여 상관분석을 실시하였다.

상관분석(Correlation Analysis)이란 두 변수 간 관계를 규명하고자 할 때 사용되는 통계기법으로 변수 간의 관련성을 설명, 유의성을 검증하기 위해 사용되는 방법이다.(박정식 외, 2012)

상관분석은 상관관계의 정도를 수치로 표현하여 그 정도를 나타내는데, 이 때 사용되는 수치를 '상관계수(Correlation Coefficient)'라 한다. 상관계수에는 Pearson 상관계수, Spearman 상관계수, Kendall τ-b 상관계수 등이 있다. 본 연구에서는 Pearson 상관계수를 이용하였다.

Pearson 상관계수란 두 변수가 각각 간격척도 혹은 비율척도로 측정된 경우 상관관계의 크기를 나타낸 값으로써, 변수들이 정규분포를 따른다는 가정으로 적용하는 상관계수다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\rho X, Y = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma X \sigma Y}$$

$$r = \frac{\sum(x-\overline{x})(y-\overline{y})}{\sqrt{(\sum(x-\overline{x})^2 \times \sum(y-\overline{y})^2}}$$

X, Y: 확률변수 $\sigma X, \sigma Y$: X와 Y의 표준편차

$\overline{x}, \overline{y}$: X와 Y의 표본평균

$Cov(X, Y)$: X와 Y의 공분산

$\rho X, Y$: X와 Y의 모상관계수

r: X와 Y의 표본상관계수

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Pearson 상관계수 값의 범위는 -1부터 1까지며, 계수의 부호는 관계의 방향을 나타내고, 절댓값은 관계의 강도를 의미한다. 즉, -1 또는 1에 가까울수록 상관관계가 있다고 할 수 있다. 상관계수의 절댓값이 일반적으로 0.4인 경우 상관관계가 있다고 해석한다. 상관관계의 절댓값과 상관정도를 표 2.2에 정리하였다.

Table 2.2 Absolute Values of Correlation Coefficients and Their Strengths

Absolute Values of Correlation Coefficients	Strength of Correlation
0.80 ~ 1.00	Very Strong Correlation
0.60 ~ 0.80	Strong Correlation
0.40 ~ 0.60	Normal Correlation
0.20 ~ 0.40	Weak Correlation
0.00 ~ 0.20	Very Weak Correlation

본 연구에서는 기상요소와 대기오염물질 수준을 간격척도로 정하였기에 Pearson 상관계수를 사용하여 상관분석을 수행하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 분석 및 연구결과

3.1 기상요소 및 관측방법

① 기온(Temperature)

기온은 대기의 온도를 의미한다. 하지만 기온은 같은 시간과 장소에서도 높이에 따라 그 값이 달라진다. 따라서 기온관측은 1.2~1.5m 정도의 높이에서 나타나는 값을 활용한다. 기온은 백금저항온도계를 통해 자동으로 관측한다. 관측주기는 1시간이며, 단위는 ℃를 사용한다.

② 강수량(Precipitation)

강수량은 어떤 시간 동안에 지면에 도달한 수평면상의 지면 위에 액체상태로 있다는 가정에서 가지게 되는 높이를 말한다. 비, 이슬비 등의 액체성 강수는 물론 눈, 싸락눈, 우박 등 고체성 강수도 녹인 뒤 물의 깊이로 측정하여 강수량에 포함한다. 강수량의 관측은 관측소를 중심으로 관측대상 지역에 내린 실제량을 대표할 수 있는 표준값을 얻기 위한 것이다. 강수량은 전도형 강수량계 또는 무게식 강수량계를 통해 자동으로 관측한다. 관측주기는 1시간이며, 단위는 mm를 사용한다.

③ 풍향(Wind Direction)

풍향은 지표면에 대한 공기의 상대운동으로 정의된다. 풍속의 수평성분이 수직성분보다 매우 크므로 일반적인 기상 관측에서는 수평성분의 바람만을 대상으로 한다. 풍향은 바람이 불어오는 방향을 말하며, 풍향계를 통해 자동으로 관측된다. 관측주기는 1시간이며, 단위는 Deg를 사용한다.

④ 풍속(Wind Speed)

대기가 흘러간 거리와 소요된 시간의 비, 즉 단위시간에 대기가 이동한 거리를 말한다. 풍속은 풍속계를 통해 자동으로 관측된다. 관측주기는 1시간이며, 단위는 m/s를 사용한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

⑤ 상대습도(Relative Humidity)

상대습도는 관측할 때의 대기 중 실제로 포함되어 있는 수증기량과 그 때의 기온으로 포함할 수 있는 최대 수증기량과의 비를 말한다. 상대습도는 정전용량식 습도계를 통해 자동으로 관측된다. 관측주기는 1시간이며, 단위는 %를 사용한다.

3.2 대기오염물질 및 측정방법

3.2.1 대기오염물질 종류 및 특성

대기환경보전법에서는 대기오염물질을 대기오염의 원인으로 인정되는 가스 및 입자상의 물질로써 대기 중에 존재하고 있는 물질의 위해성을 독성, 생태계에 미치는 영향, 배출량 등을 고려하여 환경 여건 변화에 따라 적정성이 유지되도록 설정한 환경기준에 대비한 오염도 현황 등을 고려하여 대기오염물질을 심사 및 평가를 하여 정하고 있다.

대기오염물질은 크게 가스상의 물질과 입자상의 물질로 나눌 수 있다. 가스상의 물질은 물질의 연소와 합성, 분해 등에 의해 발생하고, 입자상의 물질은 물질의 파쇄, 선별, 이송 및 기타 기계적인 처리 또는 연소, 합성, 분해 시 발생된다. 대기오염물질을 생성과정에 따라 분류할 경우 공장의 굴뚝, 자동차 등에서 대기 중으로 직접 방출되는 1차 오염물질과 배출된 오염물질이 대기 중에서 광화학 반응 등에 의해 생성되는 2차 오염물질로 구분할 수 있다.

대기환경보전법에서 대기오염물질을 이산화황(SO_2), 이산화질소(NO_2), 일산화탄소(CO) 등 가스상의 물질과 먼지 등의 입자상의 물질을 포함한 총 61종으로 정하고 있다.

이번 연구에서 활용한 대기오염물질은 이산화황(SO_2), 이산화질소(NO_2), 일산화탄소(CO), 오존(O_3), 미세먼지(PM-10) 5가지로 이들의 특성은 다음과 같다.

① 이산화황(SO_2)

물에 잘 녹는 무색의 자극성이 있는 불연성 가스로 황 함유 연료의 연소나 금속 제련공정, 기타 산업 공정 등에서 발생한다.

이산화황은 인체의 점막을 자극하며, 고농도를 흡입하면 콧물, 담, 기침 등이

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나오고 호흡곤란을 초래한다. 이산화황은 질소산화물과 함께 산성비의 주요 원인물질로써 토양, 호수, 하천의 산성화에 영향을 미치고, 식물의 잎맥 손상 및 서장저해, 빌딩이나 기념물 등의 각종 구조물 부식을 일으키기도 한다. 또한 이산화황은 미세먼지(PM-10)의 주요 원인물질이기도 한다.

② 이산화질소(NO_2)

적갈색의 반응성이 큰 기체로, 대기 중에서 일산화질소(NO)의 산화에 의해 발생한다. 대기 중의 휘발성 유기화합물(VOC_S)과 반응할 때 오존(O_3)을 생성하는 전구물질(precursor)의 역할을 한다.

주요 배출원은 자동차의 배기가스, 파워 플랜트 등의 고온 연소공정과 화학물질 제조공정 시 발생하며, 토양 중의 세균에 의해 자연적으로 발생하기도 한다.

질소산화물은 일산화질소보다는 이산화질소가 인체에 더욱 큰 피해를 준다. 고농도의 이산화질소에 인체가 노출되면 눈, 코 등의 점막에서 폐렴, 폐출혈 등의 폐수종 발병으로 발전할 수 있다. 식물에 주는 피해로는 식물세포를 파괴하여 꽃식물의 잎에 갈색 또는 흑갈색의 반점을 생기게 한다.

③ 일산화탄소(CO)

무색, 무취의 유독성 가스로써 탄소 성분이 불완전연소 시 발생한다. 주요 배출원으로 수송부문이 차지하며, 산업공정과 비수송부문의 연료 연소과정에서도 발생한다. 산불과 같은 자연발생원 및 주방, 담배연기, 지역난방과 같은 곳에서도 발생하기도 한다.

인체에 주는 영향으로는 혈액순환 중에서 산소 운반 역할을 하는 헤모글로빈을 카르복시헤로글로빈(COHb)으로 변성시켜 체내 산소 운반기능을 저하시킨다. 또한 고농도의 일산화탄소는 유독성이 있어 건강한 사람에게도 치명적인 피해를 입힐 수 있다.

④ 오존(O_3)

질소산화물과 휘발성 유기화합물 등이 자외선과 광화학반응을 일으켜 생성되는 2차 오염물질에 속한다. 전구물질인 휘발성 유기화합물은 자동차, 화학공정 및 정유공정 등의 과정에서 주로 발생한다.

오존에 반복적으로 노출될 경우 가슴의 통증과 기침, 메스꺼움, 목 자극, 소화

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

불량 등의 증상을 유발시키며, 기관지염, 심장질환 등을 악화시키고, 폐활량을 감소시키기도 한다. 특히 기관지 천식 환자라 호흡기 질환자, 어린이나 노약자 등에게는 많은 영향을 주므로 주의해야 할 필요가 있다.

농작물과 식물에 직접적으로 영향을 미쳐 수확량이 감소되기도 한다.

⑤ 미세먼지(PM-10)

미세먼지는 공지 중에서 고체상태와 액체상태 입자의 혼합물로 배출되거나 화학반응 또는 자연적으로 생성된다. 사업장의 연소, 자동차 연료의 연소, 생물성 연소 과정 등 특정 배출원으로부터 직접 발생한다. 자연적으로 존재하는 입자로써는 광물입자(예 : 황사), 염분 입자, 생물성 입자(예 : 미생물 및 꽃가루) 등이 있다. 미세먼지 조성은 매우 다양하나 주로 탄소성분(유기 및 원소 탄소), 이온성분(황산염, 질산염, 암모늄), 광물성분 등으로 구성되어 있다.

미세먼지는 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐 기능의 저하를 초래하기도 한다. 또한 시정을 악화시키고, 식물의 잎에 침적되어 식물의 신진대사를 방해한다. 건축물에 퇴적되어 부식을 일으키기도 한다.

3.2.2 대기오염물질 측정방법

대기환경기준 항목의 측정방법은 환경정책기본법 시행령 제2조 별표 1과 같으며, 세부적인 측정방법은 '대기오염공정시험방법'의 환경대기 중 무기물질(ES 01351. 1 ~ 01355. 1)과 같다.

Table 3.1 Measurement Methods for Air Pollutants

Air Pollutant	Measurement Method
Sulfur Dioxide(SO_2)	Pulse U.V Fluorescence Method
Carbon Monoxide(CO)	Non-Dispersive Infrared Method
Nitrogen Dioxide(NO_2)	Chemiluminescence Method
Ozone(O_3)	U.V. Photometric Method
Particulate Matter Less than 10㎛(PM-10)	β-Ray Absorption Method

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3 광주광역시 기상요소 변화 분석

3.3.1 기온

그림 3.2는 2010년 1월부터 2014년 12월까지의 광주광역시 일평균기온 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 추세분석 결과 5년 간 광주광역시의 평균기온이 조금씩 상승했음을 알 수 있다.

이는 화석연료의 무분별한 사용에 따른 대기 중 온실가스 증가로 지구온난화에 따른 기온상승과 그림 3.1과 같이 광주광역시의 자동차 수요 증가 또는 주택 난방 시설 사용 증가, 도시열섬현상, 그림 3.7과 같이 신축되는 고층 건물 및 빌딩이 늘어남에 따라 도시열이 도심 외곽으로 확산되는 경향이 줄어듦(그림 3.8 평균풍속 감소 추세)에 따라 평균기온이 상승한 것으로 사료된다.

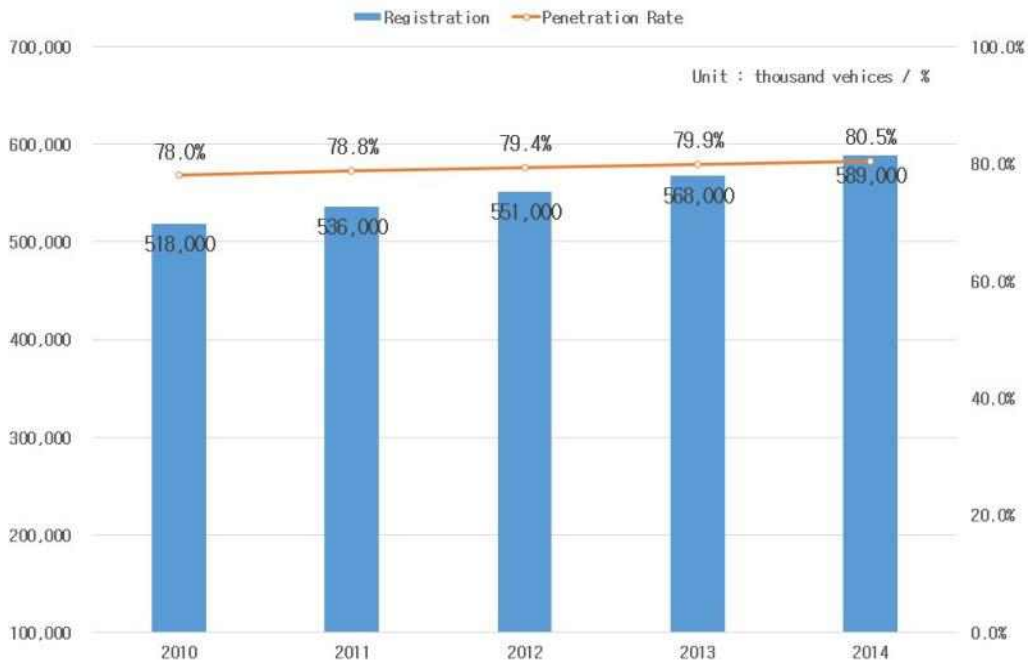

Fig. 3.1 Number of Registered Cars in Gwang-ju, 2010-2015(Gwang-ju Statistical Report 2016)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

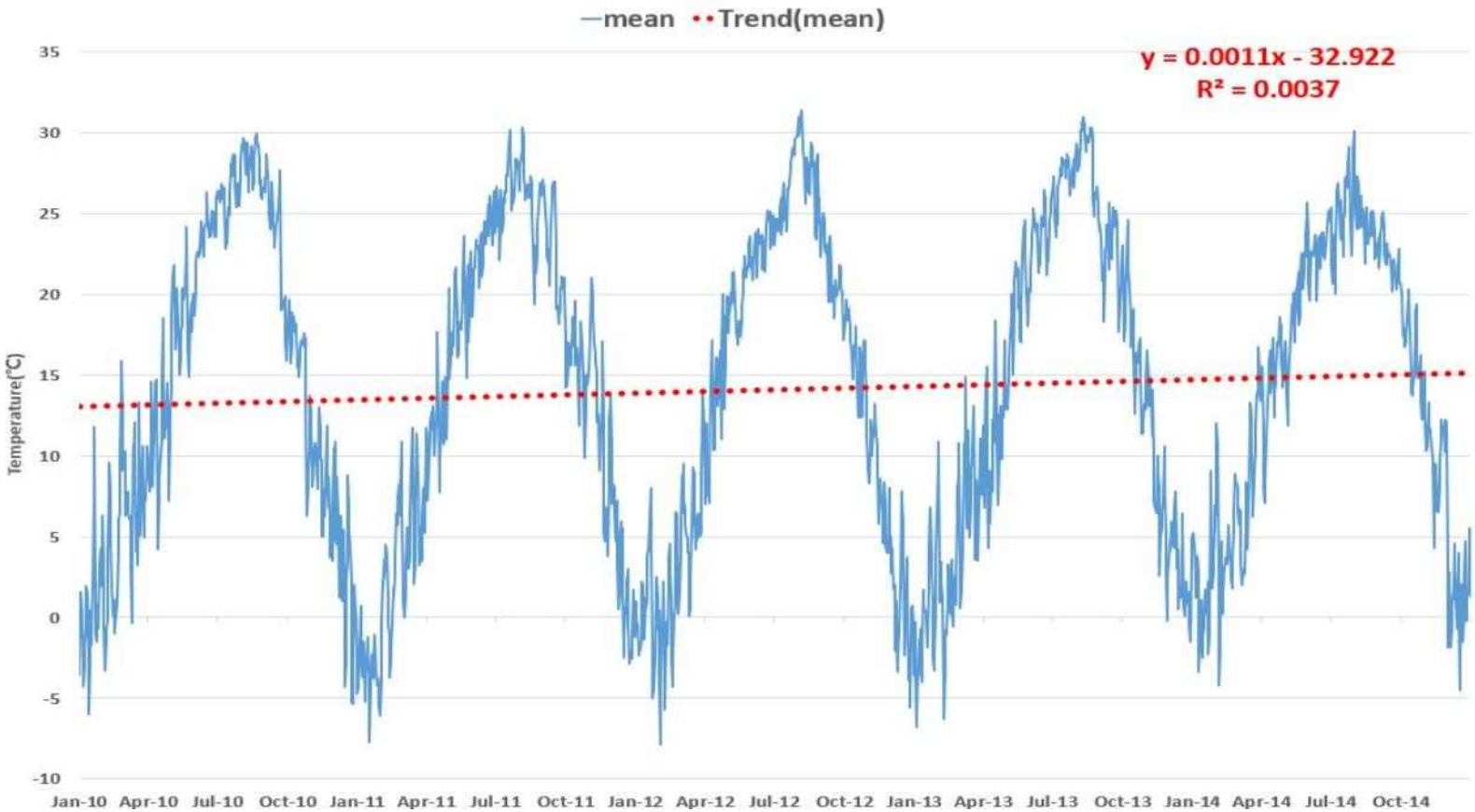

Fig. 3.2 Average Daily Temperature(℃) in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.2 강수량

그림 3.4는 2010년 1월부터 2014년 12월까지 광주광역시의 일평균 강수량을 나타낸 그래프이다. 강수량의 변화폭은 매우 미미하였음을 추세분석을 통해 알 수 있었다.

연간 광주광역시의 강수는 대부분 7, 8월에 집중되었다. 이는 6월 말부터 7월 중순까지 북태평양 기단과 오호츠크해 기단의 영향으로 생성된 정체전선에 따른 장마와 8월 전후로 찾아오는 태풍의 영향으로 사료된다. 또한 한반도에 북태평양 고기압의 가장자리가 위치함에 따라 남풍-남서풍계열의 바람을 타고 다량의 수증기가 유입되면서 국지적으로 발생하는 소낙성 강수의 영향도 있을 것으로 사료된다. 이는 그림 3.3과 같이 2010~2014년 광주광역시 여름철 바람장미에서와 같이 남풍계열의 바람이 주풍대로 나타난 것을 바탕으로 추론한 결과이다.

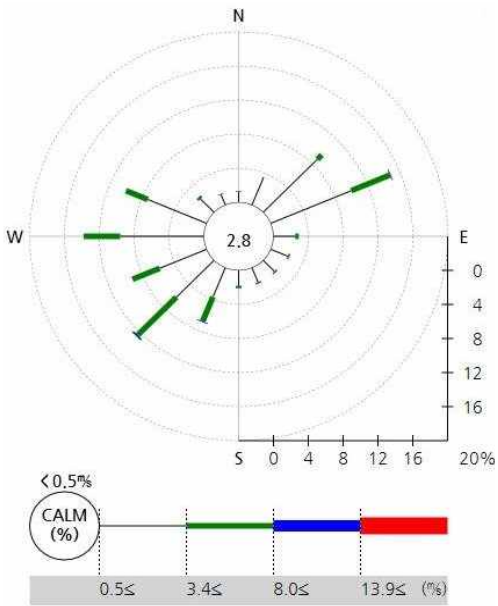

Fig. 3.3 Summer Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

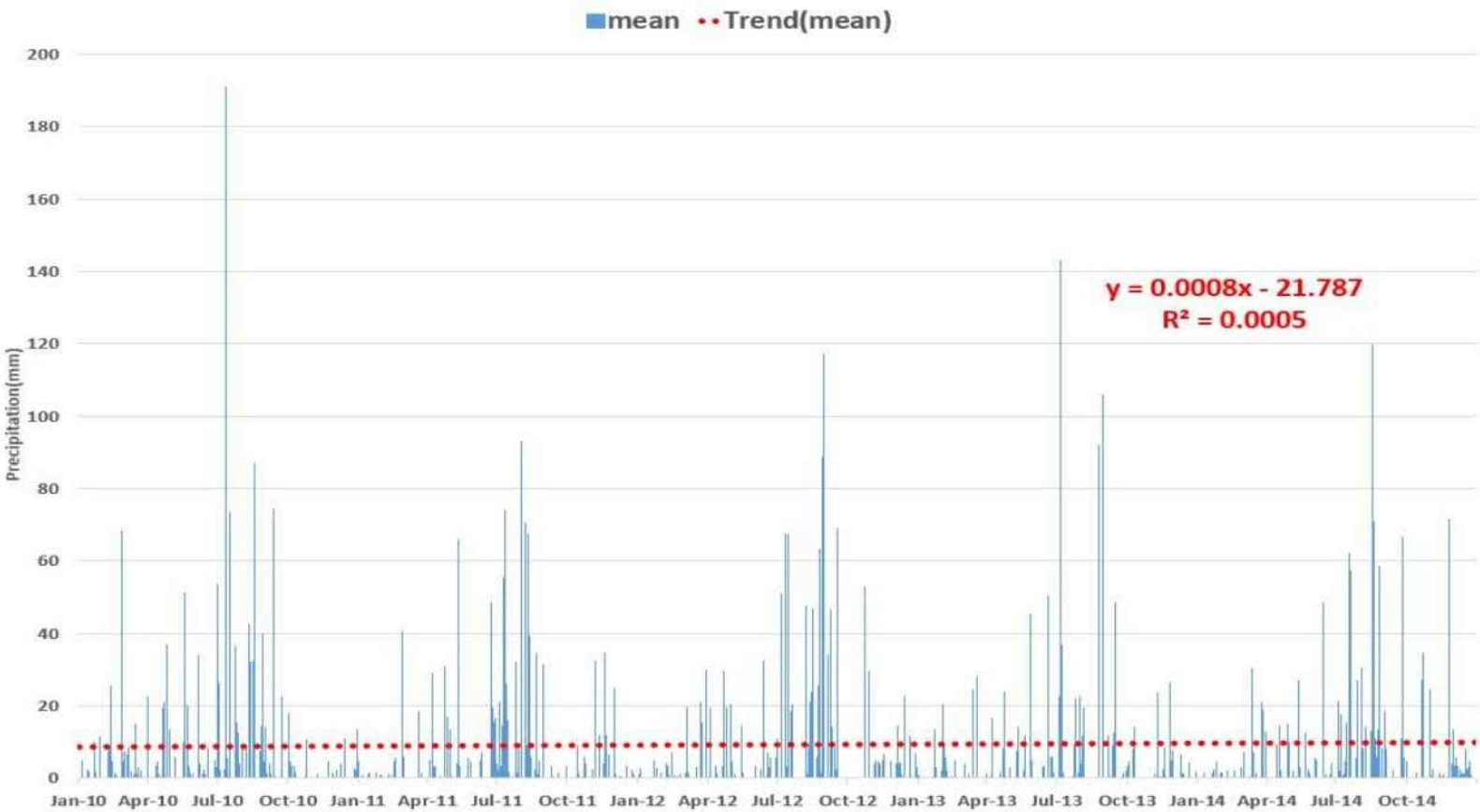

Fig. 3.4 Average Daily Precipitation(mm) in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.3 상대습도

그림 3.6은 2010년 1월부터 2014년 12월까지 광주광역시의 일평균 상대습도를 나타낸 그래프이다. 추세분석 결과 5년 간 상대습도가 줄어드는 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

도시지역의 상대습도 감소추세는 도시기후의 특성으로 해석되는 경향이 많다. 일반적으로 대도시에서 도시화에 따른 상대습도의 감소 경향은 주변의 교외지역에 비해 뚜렷하게 나타난다는 연구 결과가 있다.(엄향희, 1997)

광주광역시 역시 그림 3.5와 같이 인구 증가에 따른 도시화의 영향으로 도시승온현상, 도시열섬현상 등에 의해 평균기온이 점점 상승함에 따라 상대습도가 점점 감소하는 경향을 보이는 것으로 사료된다.

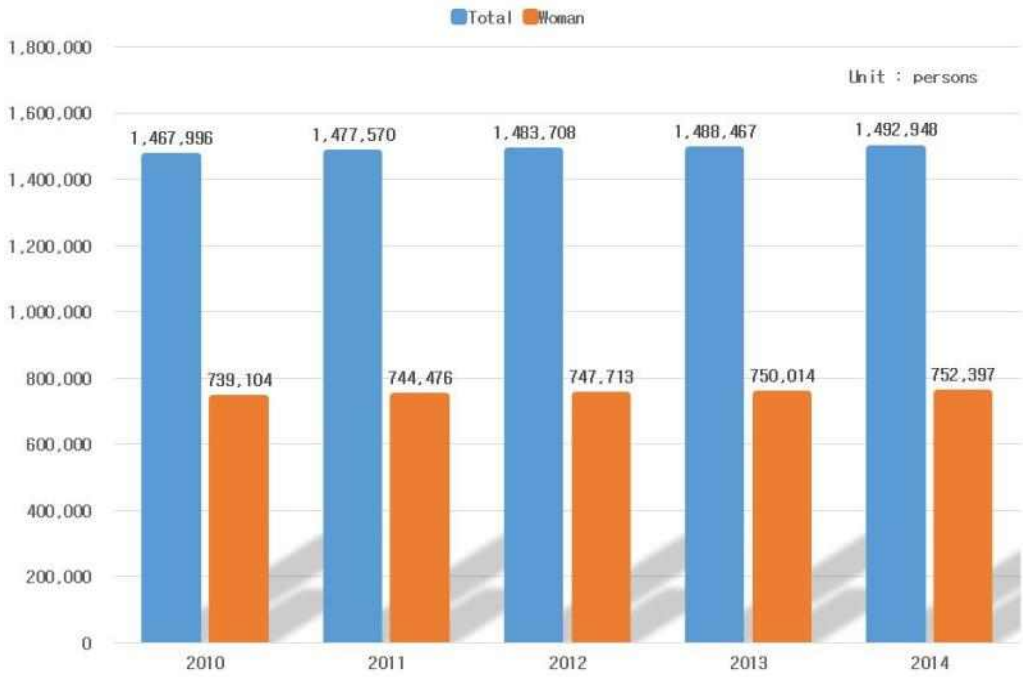

Fig. 3.5 Population in Gwang-ju, 2010-2015(Gwang-ju Statistical Report 2016)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

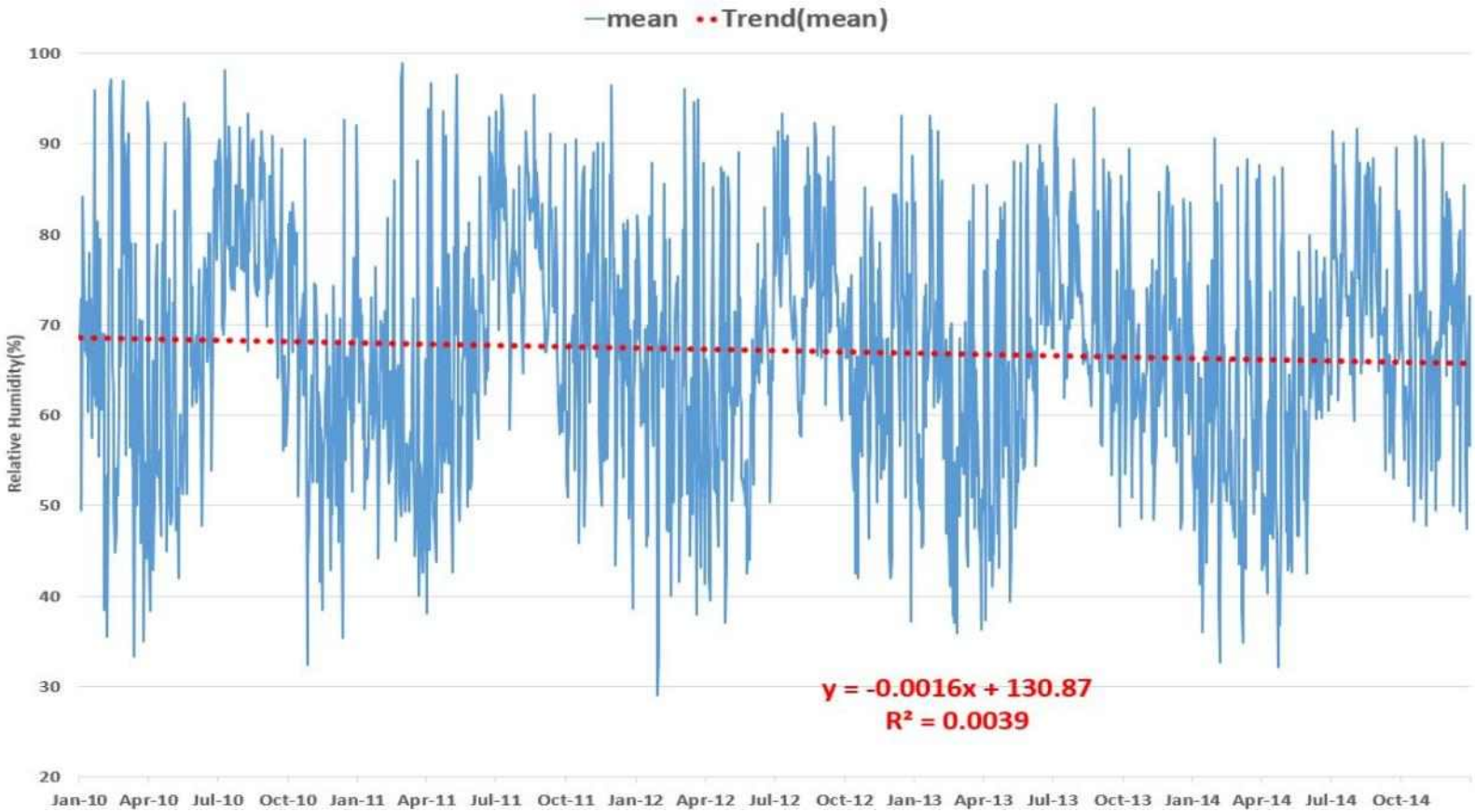

Fig. 3.6 Relative Humidity(%) in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.4 풍속

그림 3.8은 2010년 1월부터 2014년 12월까지 광주광역시의 일평균풍속을 나타낸 그래프이다. 추세분석 결과 5년 간 평균풍속이 조금씩 줄어드는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 2012년 9월 전후로 평균풍속이 급증한 것은 태풍 영향으로 평균풍속이 일시적으로 상승한 것으로 사료된다.

광주광역시의 풍속 감소추세는 인구 증가 및 그림 3.7과 같이 도시개발에 따른 신축 건물의 수가 많아져서 나타난 현상으로 사료된다. 특히 고층 아파트 및 빌딩이 많아짐에 따라 공기의 흐름에 장애가 발생하여 풍속이 감소한 것으로 보인다.

이러한 요인에 의해 도시열이 주변 외곽지역으로 확산되지 못함에 따라 도시열섬, 도시승온현상 등이 발생하는 것으로 사료된다. 이는 앞서 분석한 광주광역시의 평균기온이 상승하는 것과 어느 정도 일치하는 경향이 있다.

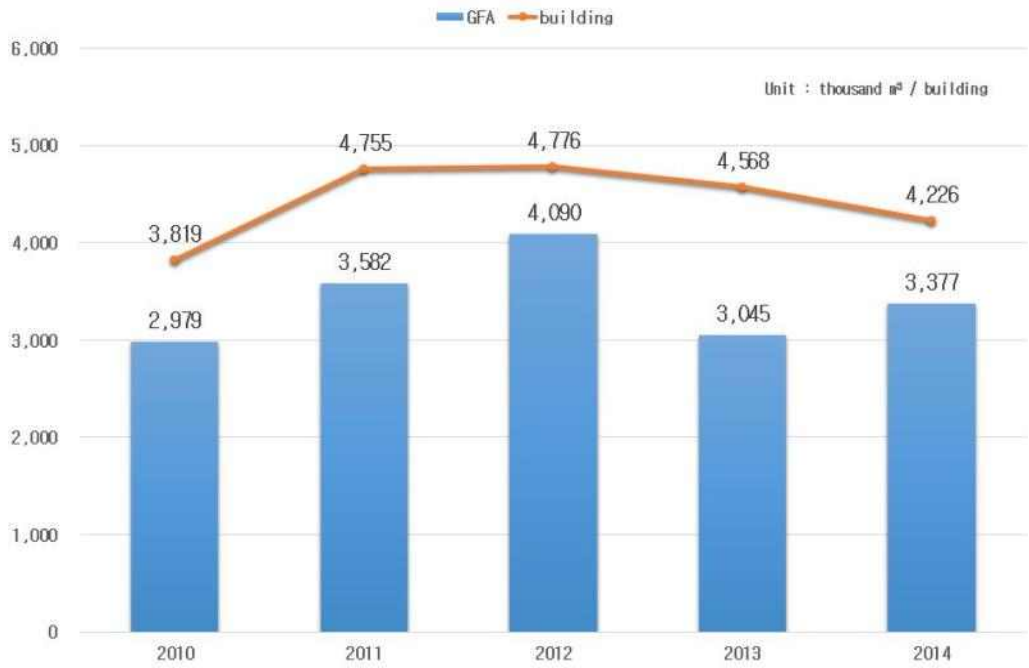

Fig. 3.7 Gross Area and Number of Apartment Buildings Granted Permission, 2010-2015(Gwang-ju Statistical Report 2016)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

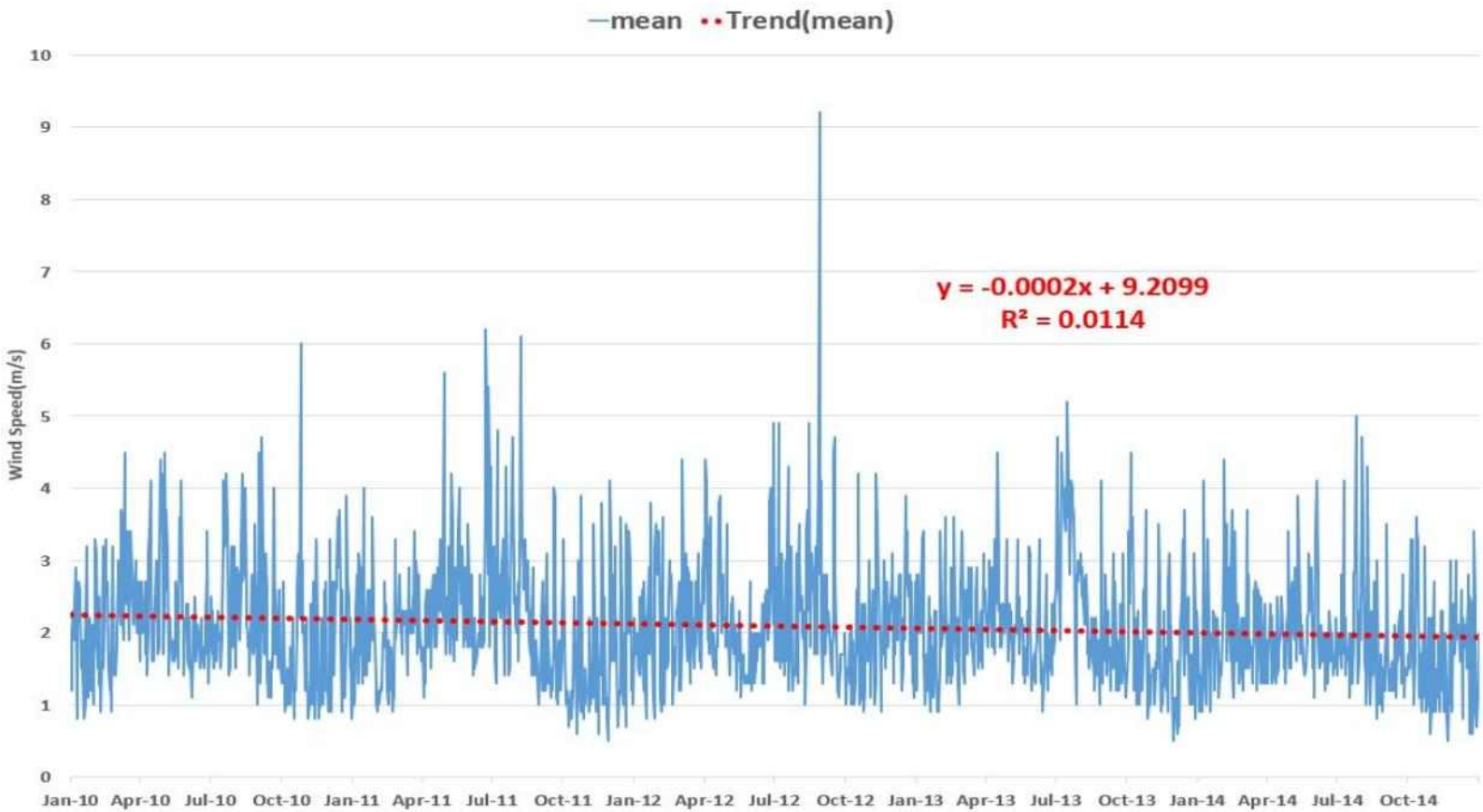

Fig. 3.8 Average Wind Speed(m/s) in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.5 풍향

바람장미(풍배도, wind rose)는 어떤 관측지점에서 어느 기간 동안 방위별 풍향, 풍속 등급을 분석한 뒤 방사형 그래프로 형상화한 것을 말한다. 바람장미는 특정 장소의 바람에 관한 상당한 정보를 제공한다. 바람장미를 계절별로 표현하여 대기오염 수준을 결합시키면 새로운 정보를 얻을 수 있다. 즉, 대기오염물질 농도의 시간에 따른 변동을 비교하기 위해 바람장미를 사용하게 되고, 이를 통해 알려지지 않은 오염원들을 확인할 수 있는 자료가 될 수 있다. 바람장미 자료 해석방법은 그림 3.9와 같다.

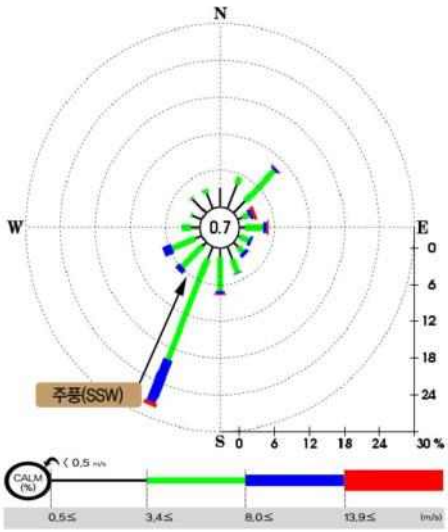

Fig. 3.9 Interpreting Wind Rose

① 막대는 바람이 불어오는 방향을 나타낸다.

② 막대 길이는 해당등급의 바람이 불어온 빈도를 백분율로 나타낸 것이다.

③ 가운데의 원 속의 값은 무풍(풍속이 0.5m/s 미만)일 경우를 백분율로 나타낸 것이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) 봄철 풍향

그림 3.10은 2010~2014년 광주광역시 봄철 바람장미를 분석한 그래프다. 분석 결과 서-서남서 계열의 바람이 주풍을 이루고 있었음을 알 수 있다. 그림 3.11은 2010~2014년 광주광역시 PM-10의 농도 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 일평균 PM-10 농도가 100㎍/m^{3}을 초과한 월이 주로 3~5월에 집중되고 있음을 알 수 있다. 이는 계절상 봄을 나타내는 시기로, 이 때 PM-10 농도가 갑작스럽게 높아지게 된 이유는 서풍계열의 바람을 타고 중국으로부터 날아온 황사나 미세먼지가 광주광역시에 도달하면서 PM-10의 농도가 높아진 것으로 사료된다.

Table 3.2 Air Quality Levels based on PM-10 Concentration

Air Quality Level	Good	Fair	Poor	Very Poor
PM-10 (㎍/m^3)	0 ~ 30	31 ~ 80	81 ~ 150	151 ~

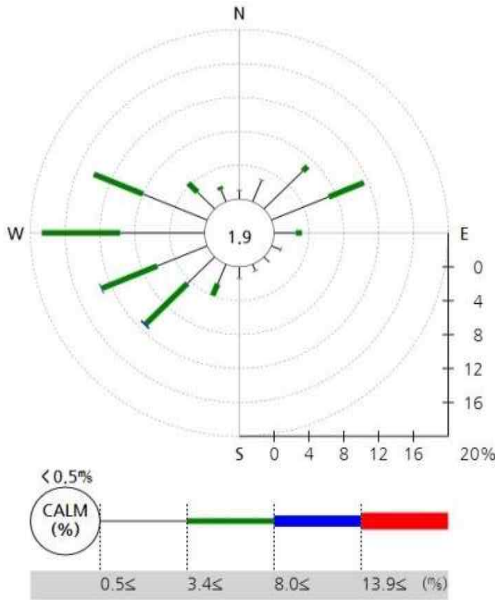

Fig. 3.10 Spring Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

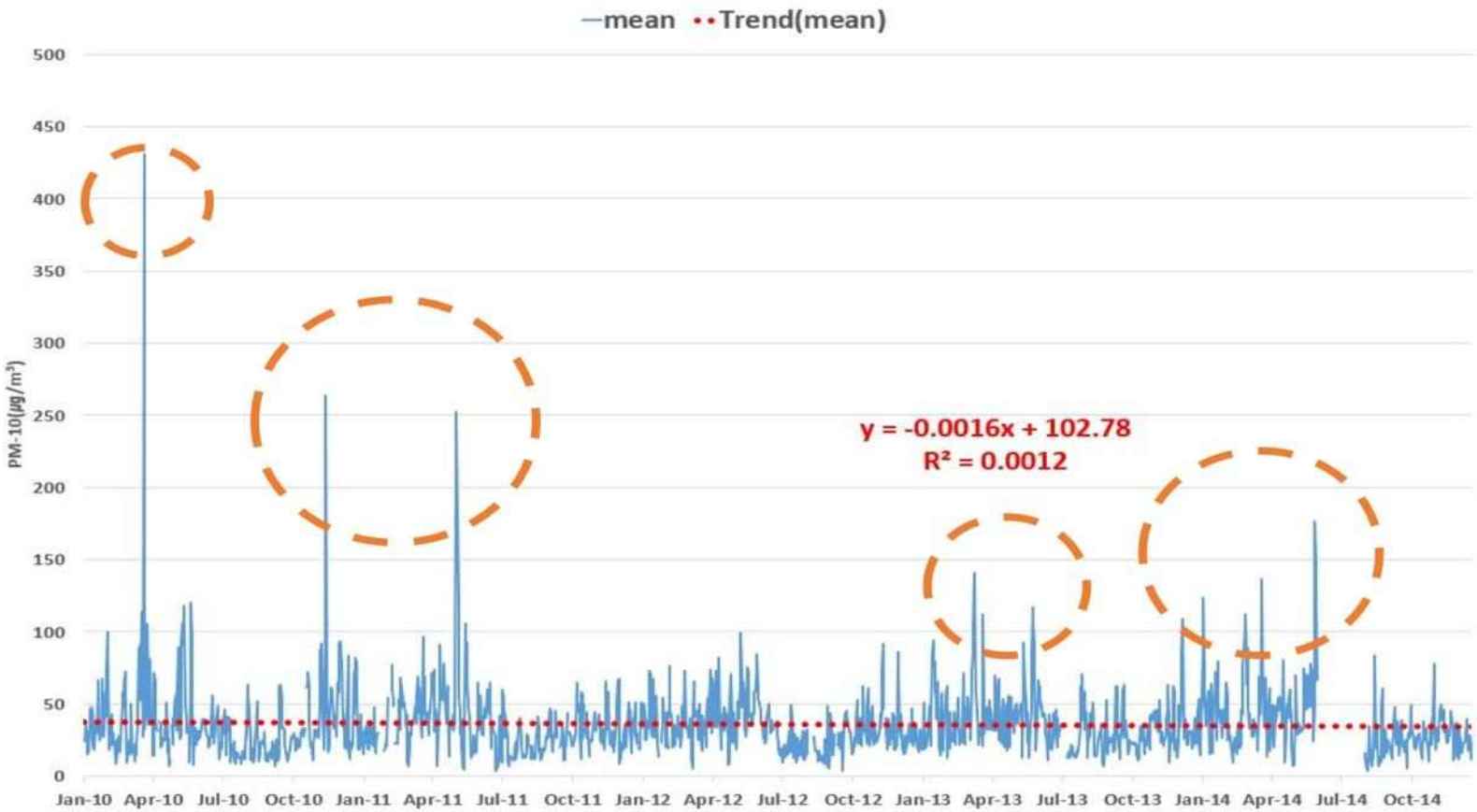

Fig. 3.11 Particulate Matter Less than 10㎛(PM-10) Levels in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 여름철 풍향

그림 3.12는 2010~2014년 광주광역시 여름철 바람장미를 분석한 그래프다. 여름철 바람장미를 분석한 결과 남-남서 계열의 바람이 주풍을 이루고 있음을 알 수 있다. 여름철에 한반도는 북태평양 고기압의 가장자리에 위치하게 된다. 때문에 고온다습한 공기가 남-남서 방향에서 한반도로 유입이 됨에 따라 남-남서 계열의 주풍이 나타난 것으로 보인다.

여름철 대기오염물질의 농도변화를 확인한 결과 오존(O_3)을 제외한 나머지 대기오염물질의 농도가 점점 감소하였다. 6월 말부터 7월 중순까지 이어지는 장마, 북태평양 고기압의 영향으로 유입되는 남-남서 계열의 바람 특성으로 인한 중국발 황사 및 미세먼지의 감소, 태풍의 영향 등에 의해 대기오염물질 확산이 잘 이루어져 농도가 감소한 것으로 보인다.

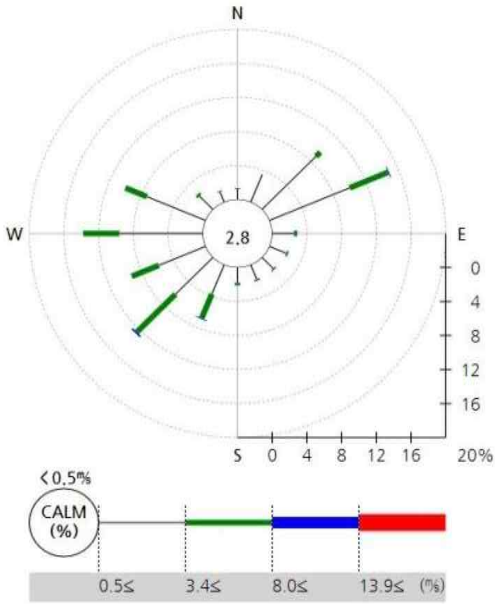

Fig. 3.12 Summer Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 가을철 풍향

그림 3.13은 2010~2014년 광주광역시 가을철 바람장미를 분석한 그래프다. 가을철 바람장미를 분석한 결과 서-북동 계열의 바람이 주풍을 이루고 있음을 알 수 있다.

가을철은 일반적으로 북고남저형의 기압배치를 보인다. 화남지방으로부터 접근해 오는 이동성 고기압과, 이동성 고기압이 한반도를 통과한 후 화남지방에서 생성되는 열적 기압골이 점차 저기압의 모습을 갖춘 뒤 한반도로 다가온다. 이에 따라 광주광역시의 가을철 주풍대가 서-북동 계열로 형성되었을 것으로 보인다.

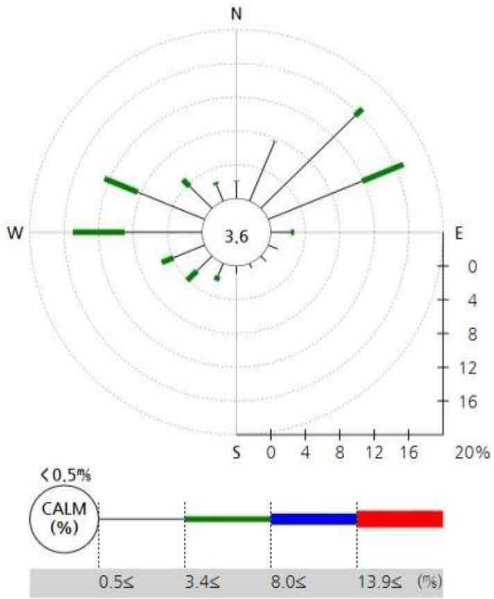

Fig. 3.13 Fall Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(4) 겨울철 풍향

그림 3.14는 2010~2014년 광주광역시 겨울철 바람장미를 분석한 그래프다. 겨울철 바람장미를 분석한 결과 북-북서 계열의 바람이 주풍을 이루고 있음을 알 수 있다.

한반도의 겨울은 서고동저의 기압배치 구조를 이루게 된다. 북서쪽의 시베리아 고기압의 영향으로 한반도로 북풍계열의 바람이 불어옴에 따라 광주광역시 역시 북풍계열의 바람이 겨울철에 주풍으로 나타났다고 사료된다.

11월에서 2월 사이에 PM-10 농도가 100㎍/㎥을 넘는 경우가 있다. 이는 중국으로부터 황사 또는 미세먼지가 북풍계열의 바람을 타고 한반도로 넘어옴에 따라 나타난 현상이라 사료된다. 실제 2010~2014년 광주광역시 PM-10 일평균 농도 변화 추이를 분석한 결과 2010년 11월, 2013년 11월, 2014년 1월 등 PM-10의 농도가 100㎍/㎥을 넘은 것을 확인할 수 있다.(그림 3.11)

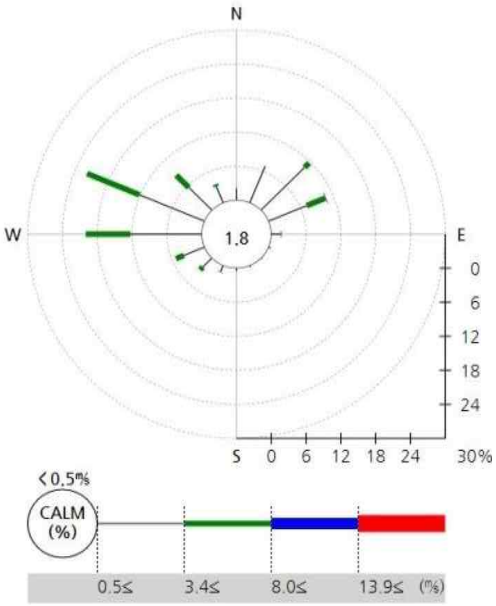

Fig. 3.14 Winter Wind Rose in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.4 광주광역시 대기오염물질 변화 분석

3.4.1 이산화황(SO_2)

그림 3.15는 2010년부터 2014년까지 5년 간 이산화황(SO_2)의 농도 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 농도 변화는 점차 증가하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 도시의 성장과 관련이 있을 것으로 사료된다. 특히, 광주광역시의 인구는 점차 증가하는 추세를 보이고 있음을 앞서 확인할 수 있었다.(그림 3.5) 즉, 산업시설의 증가, 인구증가에 따른 난방시설 및 사용 빈도수가 늘어남에 따라 나타난 결과로 보인다.

그래프를 통해 알 수 있듯이 이산화황의 농도가 겨울철에 급증한 것을 알 수 있다. 이산화황의 주요 배출원은 산업시설과 난방시설의 공정 시 주로 발생한다. 특히 겨울철의 경우 다른 계절에 비해 난방시설의 활성화가 높아지는 시기이다. 이 때문에 겨울철에 대기 중으로 이산화황의 배출이 높아진 것으로 보인다.

겨울철 이후 이산화황의 농도가 급격히 줄어드는 것을 알 수 있다. 난방시설 사용 비중이 점차 줄어 대기 중으로 이산화황 배출이 줄어든 것이 원인으로 사료된다. 또한 강수 증가에 따른 세정작용, 대기불안정에 따른 오염물질 확산 등의 영향도 있을 것으로 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

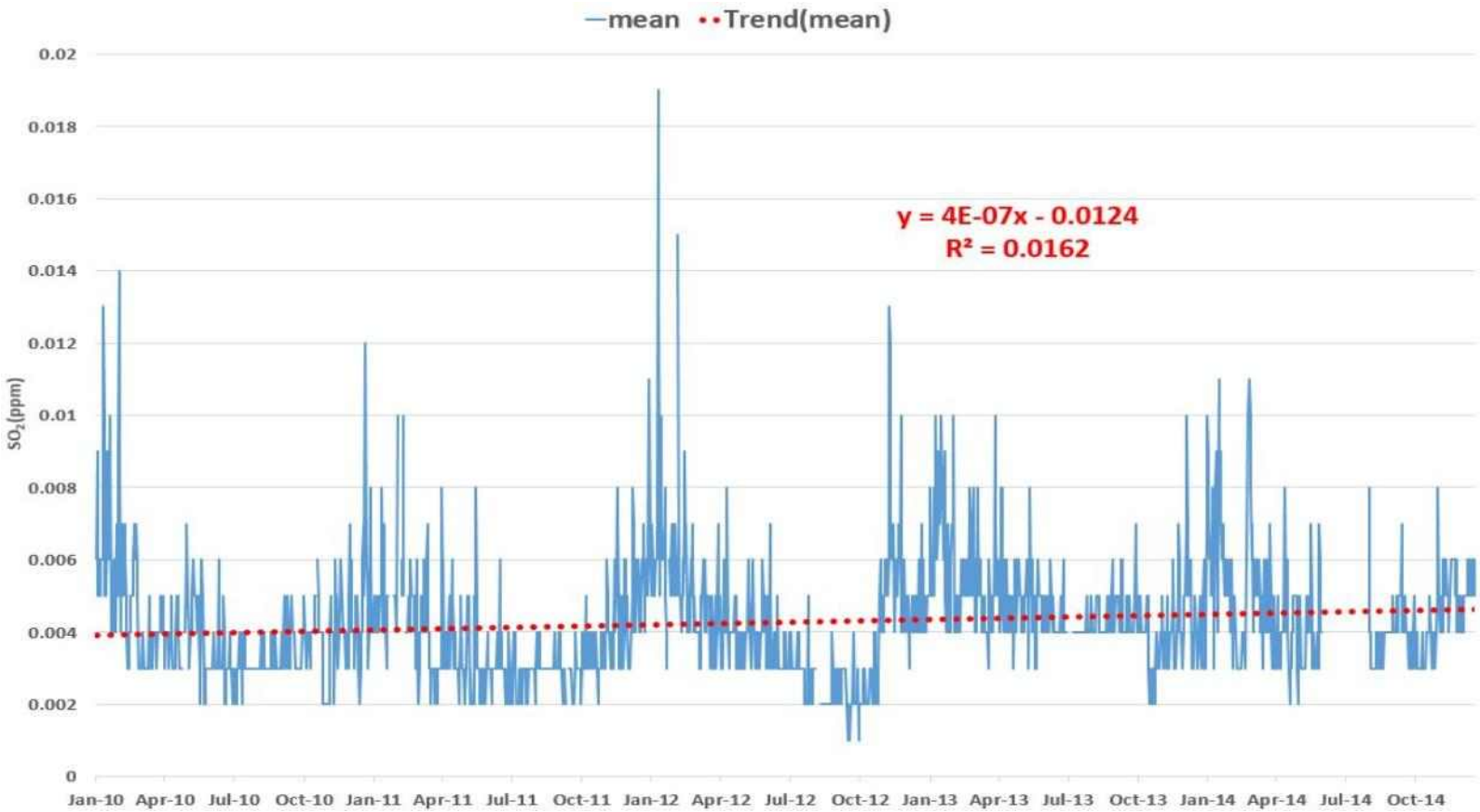

Fig. 3.15 Sulfur Dioxide(SO_2) Levels in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.4.2 이산화질소(NO_2)

그림 3.16은 2010년부터 2014년까지 5년 간 이산화질소(NO_2)의 농도 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 농도 변화는 점차 증가하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 이산화질소의 농도 증가는 광주광역시의 인구 증가(그림 3.5)에 따른 자동차 수요의 증가(그림 3.1)로 높아진 것으로 사료된다.

특히 이산화질소의 농도는 1~3월 사이에 높게 나타난 것을 그래프를 통해 알 수 있다. 이는 겨울철 북풍 계열(그림 3. 14), 봄철 서풍 계열(그림 3. 10)의 바람으로 인해 중국으로부터 날아온 대기오염물질 및 황사의 영향으로 보인다.

이 시기 이후에는 이산화질소의 농도가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 대기불안정에 따른 오염물질의 확산과 강수에 따른 세정작용으로 나타난 결과로 사료된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

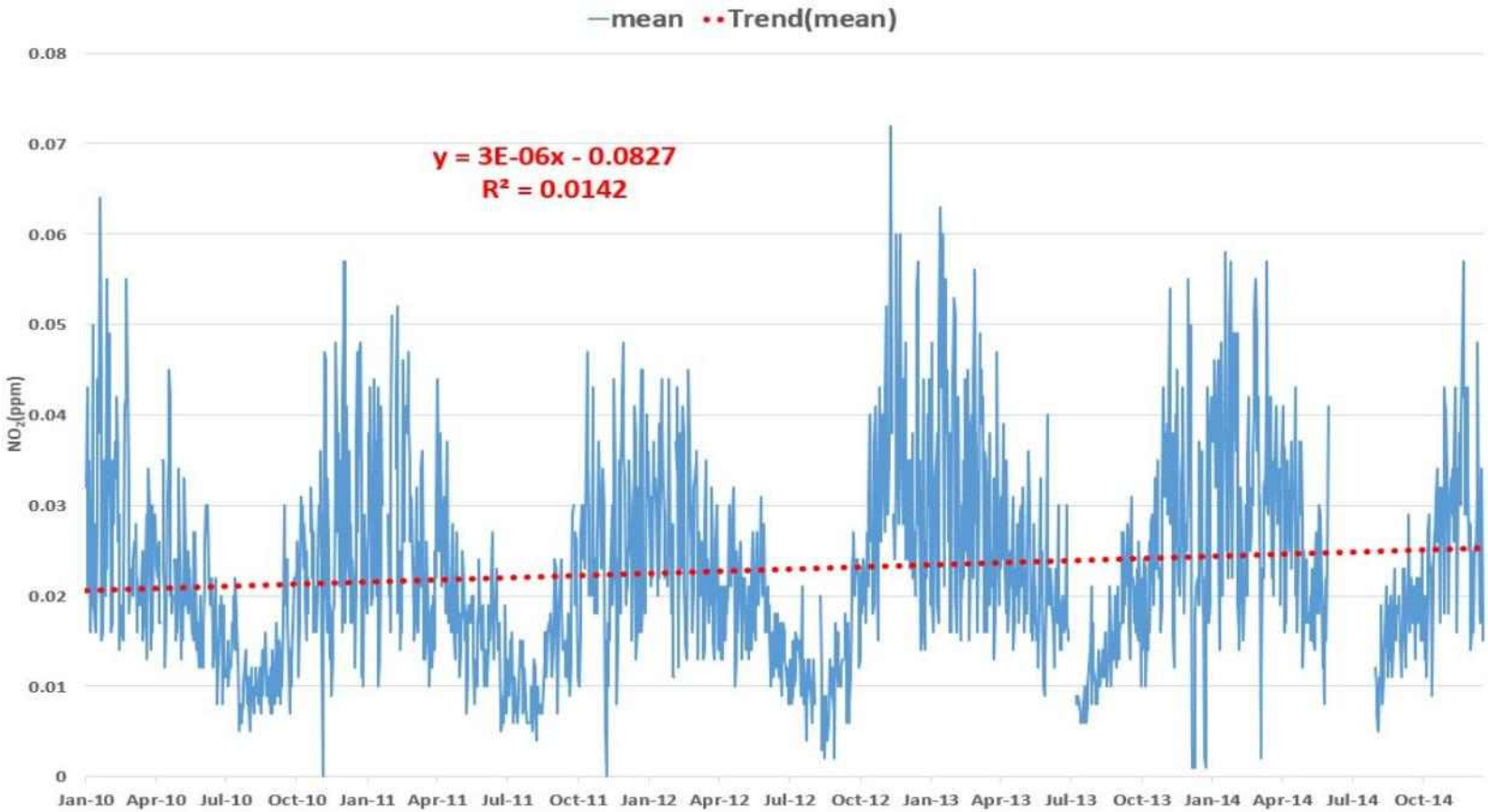

Fig. 3.16 Nitrogen Dioxide(NO_2) Levels in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.4.3 오존(O_3)

그림 3.17은 2010년부터 2014년까지 5년 간 오존(O_3)의 농도 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 농도 변화는 미미하지만 점차 증가하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 그래프를 보면 특히 3~5월 즉, 봄철에 대기 중의 오존 농도가 높았음을 알 수 있다.

오존은 지상의 평균풍속이 3.0m/s 미만으로 바람이 약하고, 기온이 평년보다 높으며, 최고기온이 25℃ 이상으로 기온이 높을 때 발생하기 쉽다. 2010~2014년 광주광역시의 봄철은 평균풍속이 3.0m/s 이하의 값을 보이고(그림 3.8), 평균기온이 25℃에 가까운 값을 나타냈는데(그림 3.2) 이와 같은 요인으로 오존의 농도가 증가한 것으로 사료된다.

또한 광주광역시의 인구 증가(그림 3.5)에 따라 자동차 수요가 늘어나면서(그림 3.1) 대기 중 이산화질소의 농도가 높아짐(그림 3.16)에 따라 대기 중에서 광화학 반응의 결과로 오존이 생성됨에 따라 농도가 증가한 것으로 사료된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

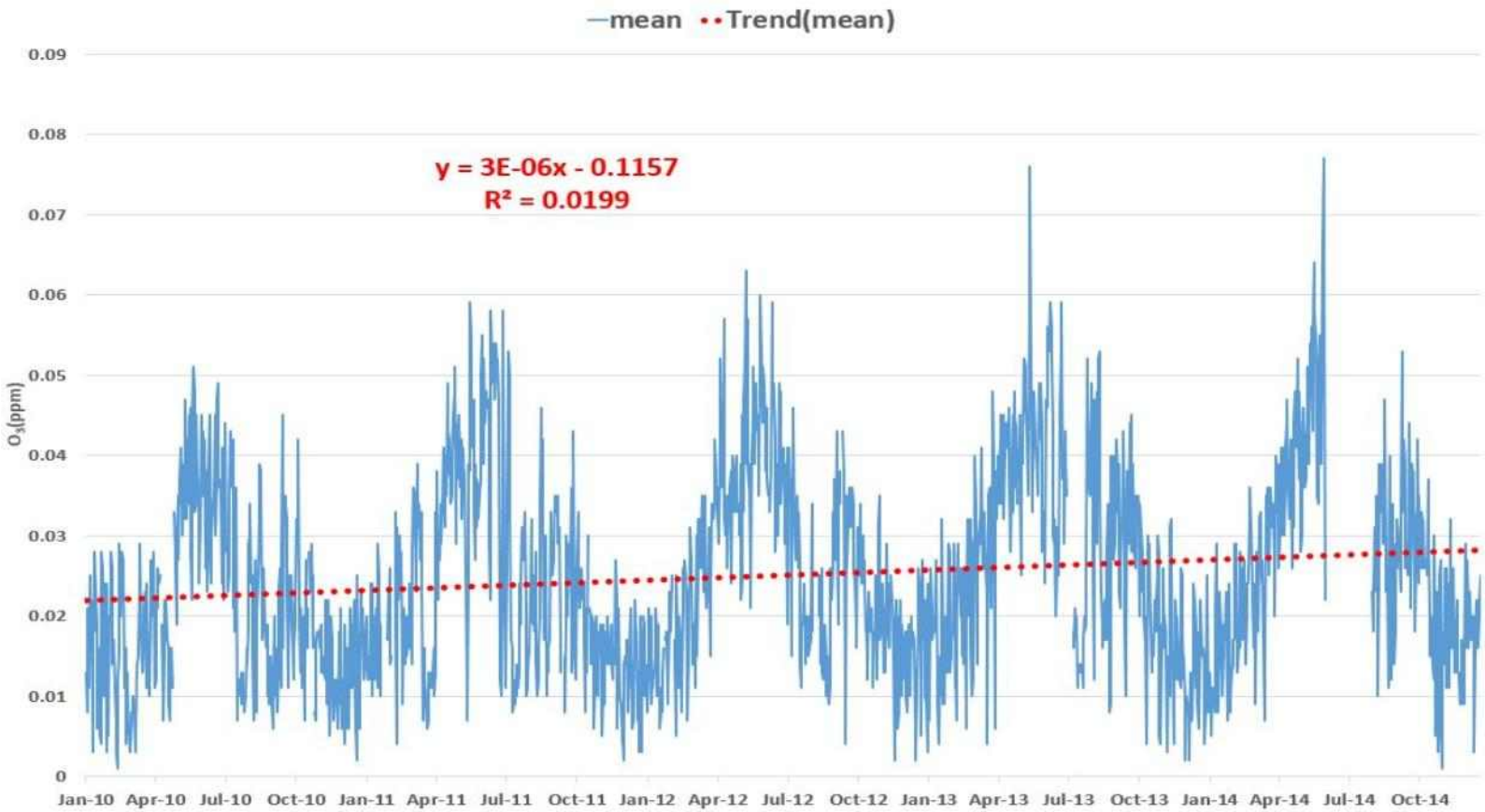

Fig. 3.17 Ozone(O_3) Levels in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.4.4 일산화탄소(CO)

그림 3.18은 2010년부터 2014년까지 5년 간 일산화탄소(CO)의 농도 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 농도 변화는 점차 증가하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 일산화탄소의 주요 배출원은 자동차이다. 자동차의 엔진 공정에서 불완전 연소에 의한 일산화탄소가 발생하여 배기가스 형태로 대기 중에 배출된다. 앞서 언급했듯이 광주광역시의 자동차 수요는 점점 증가하는 추세를 보이고 있다.(그림 3. 1) 이에 따라 자동차 운행이 증가함으로써 대기 중으로 방출되는 일산화탄소의 양이 늘어남에 따라 대기 중 농도가 증가한 것으로 사료된다.

그래프에서도 알 수 있듯이 일산화탄소 농도가 겨울철에 급증하는 것을 알 수 있다. 이는 난방시설 사용의 증가로 시설 공정과정에서 불완전 연소로 발생한 일산화탄소가 대기 중으로 방출되어 농도가 증가한 것으로 사료된다.

겨울철 이외의 계절에서는 강수로 인한 세정작용, 대기의 불안정에 따른 바람에 의한 확산작용으로 농도가 감소한 것으로 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

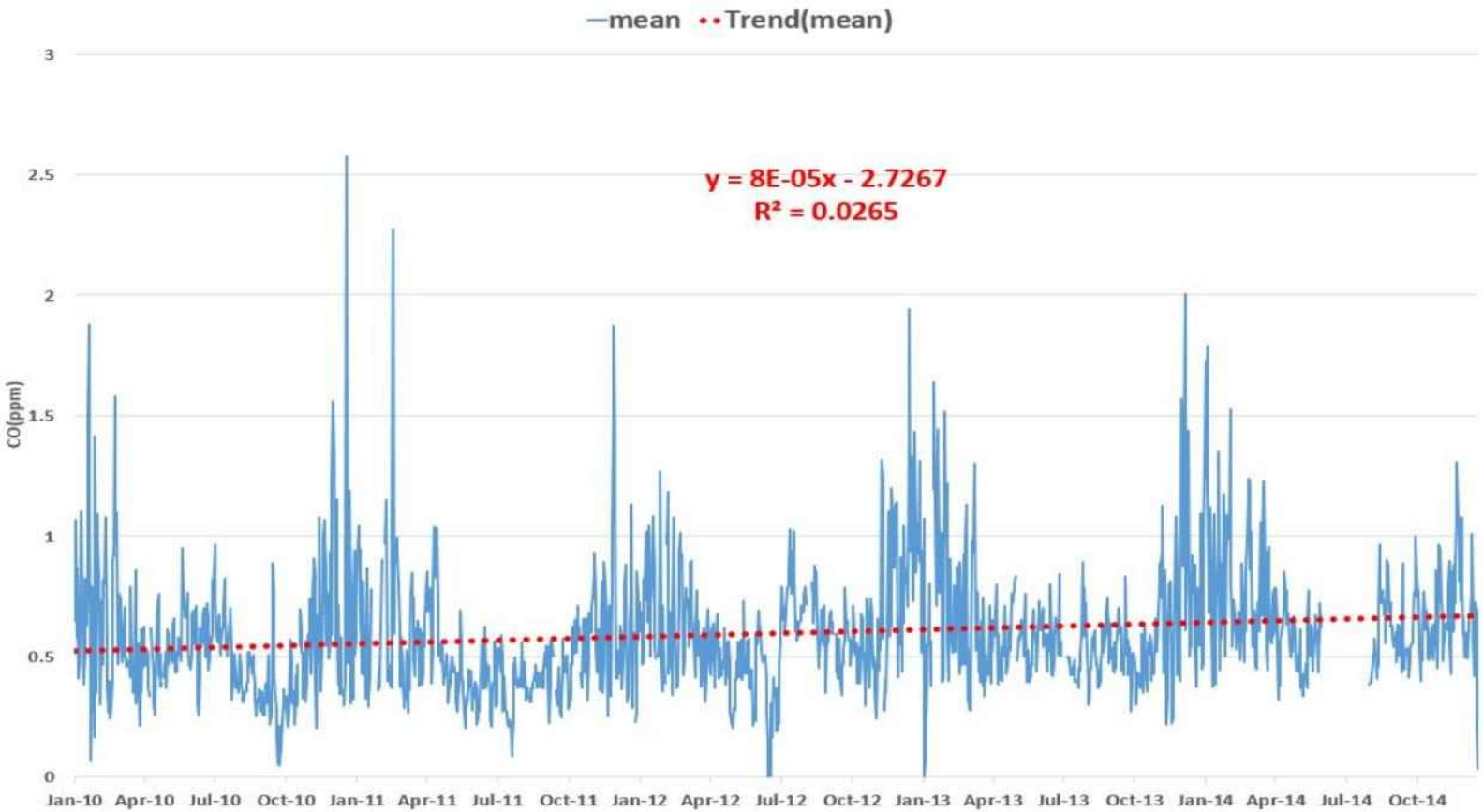

Fig. 3.18 Carbon Monoxide(CO) Levels in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.4.5 미세먼지(PM-10)

그림 3.19는 2010년부터 2014년까지 5년 간 미세먼지(PM-10)의 농도 변화 추이를 나타낸 그래프이다. 농도 변화는 점차 감소하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 여러 기상요소 중 풍향과 풍속이 미세먼지 농도 변화에 주된 영향을 미치는 중요한 변수로 알려져 있다.(Guerra et al., 2006; Yu et al., 2006) 풍속의 경우 그 값이 커질수록 미세먼지 농도는 낮아지는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 2010년부터 2014년까지 광주광역시의 평균풍속은 점점 감소하는 추세(그림 3. 8)를 보이고 있는데 앞서 언급한 내용과 상반된 결과를 보이고 있다. 따라서 광주광역시의 미세먼지 농도는 주로 외부 지역에서 유입된 오염물질의 농도에 따라 그 값의 변화가 나타나는 것으로 사료된다.

그래프 상에서 PM-10의 농도가 급격히 증가한 구간을 쉽게 확인할 수 있다. 이는 봄철과 겨울철에 중국으로부터 유입된 황사와 대기오염물질이 광주광역시에 유입되면서 나타난 결과라 사료된다. 광주광역시의 봄철과 겨울철의 바람장미를 확인한 결과 봄철과 겨울철의 주풍대가 각각 서풍 계열(그림 3. 10), 북풍 계열(그림 3. 14)을 보였다. 황사 발생일을 제외한 다른 날에는 미세먼지 평균 농도가 50~80㎍/m^3의 값을 가지는 것을 알 수 있는데 표 3.2를 토대로 광주광역시의 미세먼지 농도는 최소 보통 이상의 대기질 수준을 보이는 것을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

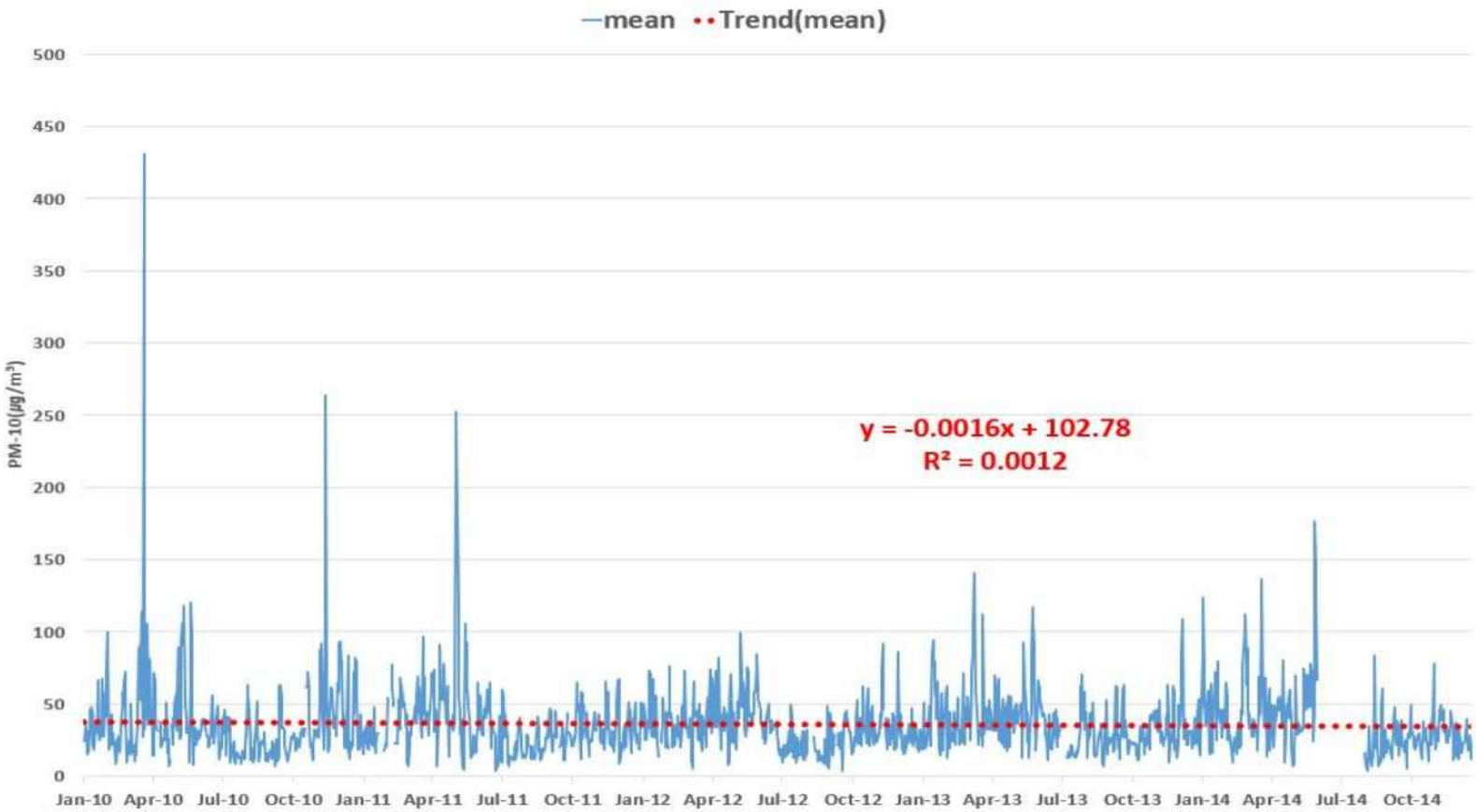

Fig. 3.19 Particulate Matter Less than 10㎛(PM-10) Levels in Gwang-ju, 2010-2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.5 광주광역시 대기오염물질과 기상요소 간의 상관관계 분석

표 3.3은 2010년부터 2014년까지 광주광역시의 대기오염물질(이산화황(SO_2), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3), 일산화탄소(CO), 미세먼지(PM-10))과 기상요소(기온, 강수량, 풍속, 상대습도)와의 상관관계를 분석한 결과이다.

① 이산화황(SO_2)

이산화황은 기온과 음의 상관관계(-.428, $p<0.01$), 강수량과 음의 상관관계(-.255, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.220, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.270, $p<0.01$)를 나타냈다.

② 이산화질소(NO_2)

이산화질소는 기온과 음의 상관관계(-.501, $p<0.01$), 강수량과 음의 상관관계(-.178, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.519, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.206, $p<0.01$)를 나타냈다.

③ 오존(O_3)

오존은 기온과 양의 상관관계(.056, $p<0.05$), 상대습도와 음의 상관관계(-.062, $p<0.05$)를 나타냈다.

④ 일산화탄소(CO)

일산화탄소는 기온과 음의 상관관계(-.265, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.405, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.074, $p<0.01$)를 나타냈다.

⑤ 미세먼지(PM-10)

미세먼지는 기온과 음의 상관관계(-.098, $p<0.01$), 강수량과 음의 상관관계(-.212, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.200, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.280, $p<0.01$)를 나타냈다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.3 Correlations between Air Pollutants and Meteorological Factors in Gwang-ju, 2010-2014

*p < 0.05, **p < 0.01

	T (℃)	P (mm)	WS (m/s)	RH (%)	PM10 (㎍/m³)	SO2 (ppm)	O3 (ppm)	CO (ppm)	NO2 (ppm)
T (℃)	1.000								
P (mm)	.293**	1.000							
WS (m/s)	.091**	.149**	1.000						
RH (%)	.331**	.433**	-.002	1.000					
PM10 (㎍/m³)	-.098**	-.212**	-.200**	-.280**	1.000				
SO2 (ppm)	-.428**	-.255**	-.220**	-.270**	.388**	1.000			
O3 (ppm)	.056*	-.047	.030	-.062*	.043	.008	1.000		
CO (ppm)	-.265**	-.042	-.405**	.074**	.353**	.495**	-.041	1.000	
NO2 (ppm)	-.501**	-.178**	-.519**	-.206**	.344**	.566**	-.049*	.667**	1.000

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 결 론

본 연구는 2010년부터 2014년까지 광주광역시의 대기오염물질과 기상요소 변화 추이 및 특징을 분석하고, 이들 간의 상관성이 있는지를 알아보기 위해 Pearson 상관계수를 활용하여 SPSS 통계분석 프로그램을 이용한 상관관계를 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 2010년부터 2014년까지 광주광역시의 기온, 강수량, 상대습도, 풍속을 분석한 결과 기온과 강수량은 증가하는 추세를 보였고, 상대습도 및 풍속은 감소하는 추세를 보였다.

기온의 경우 화석연료의 무분별한 사용으로 인해 대기 중의 온실가스 증가로 지구온난화 영향으로 평균기온이 증가한 것으로 보인다. 또한 광주광역시의 인구증가로 인해 자동차 수요 및 난방시설 공정의 증가 등 대기 중으로 온실가스 배출이 늘어남과 건물 신축이 늘어나면서 도시열이 외곽지역으로의 확산이 잘 이루어지지 않아 평균기온이 증가한 것으로 사료된다. 강수량도 점점 증가하는 추세를 보였으나 그 값의 변화가 매우 미미하였다.

상대습도의 감소는 도시기후의 특성으로 해석되는 경향이 많다. 일반적으로 대도시에서 도시화에 따른 상대습도의 감소 경향은 주변의 교외지역에 비해 뚜렷하게 나타난다는 연구 결과가 있다.(엄향희, 1997) 또한 광주광역시의 평균기온이 상승함에 따라 상대습도가 줄어드는 추세를 보이는 것으로 사료된다.

풍속의 경우 도시개발에 따른 신축 건물의 수가 많아짐에 따라 지표 마찰 영향으로 감소하는 추세를 보이는 것으로 사료된다. 이는 앞서 분석한 평균기온 변화 추이와 어느 정도 상통하는 부분이 있는 것으로 보인다.

둘째, 2010년부터 2014년까지 광주광역시의 이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, 미세먼지(PM-10)를 분석한 결과 미세먼지(PM-10)를 제외한 나머지 대기오염물질은 농도가 점점 증가하는 추세를 보였다.

이산화황, 이산화질소, 일산화탄소는 광주광역시의 인구 증가에 의한 도시의 성장으로 나타난 결과라 사료된다. 특히 겨울철에 높은 값을 보이는 경향이 있는데

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이는 겨울철 난방시설 수요가 증가한 것이 원인으로 사료된다. 또한 겨울철 북풍계열의 바람을 타고 중국으로부터 대기오염물질이 유입되어 농도가 높아진 것으로 보인다.

오존의 경우 그 농도는 점점 증가하는 추세를 보였다. 특히 3월에서 5월 사이에 오존의 농도가 눈에 띄게 높아졌음을 알 수 있었다. 오존은 지상의 평균풍속이 3.0m/s 미만으로 바람이 약하고, 기온이 평년보다 높으며, 최고기온이 25℃ 이상으로 기온이 높을 때 발생하기 쉬운데, 이 시기의 평균풍속은 3.0m/s 이하의 값을 보이고, 평균기온이 25℃에 가까운 값을 나타냈다. 이와 같은 요인으로 오존의 농도가 증가한 것으로 사료된다.

미세먼지(PM-10)의 경우 농도 변화는 점차 감소하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있었다. 여러 기상요소 중 풍향과 풍속이 미세먼지 농도 변화에 주된 영향을 미치는 중요한 변수로 알려져 있다.(Guerra et al., 2006; Yu et al., 2006) 풍속의 경우 그 값이 커질수록 미세먼지 농도는 낮아지는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 2010년부터 2014년까지 광주광역시의 평균풍속은 점점 감소하는 추세를 보이고 있는데 앞서 언급한 내용과 상반된 결과를 보이고 있다. 따라서 광주광역시의 미세먼지 농도는 주로 외부 지역에서 유입된 오염물질의 농도에 따라 그 값의 변화가 나타나는 것으로 사료된다.

셋째, 대기오염물질에 대한 기상요소와의 상관관계는 다음과 같다.

이산화황의 경우 기온과 음의 상관관계(-.428, $p<0.01$), 강수량과 음의 상관관계(-.255, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.220, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.270, $p<0.01$)를 나타냈다. 기온과는 어느 정도 상관도가 있는 것으로 나타났지만 다른 기상요소와의 상관도는 낮게 나타났음을 알 수 있었다. 특히 겨울철 기온의 감소로 난방시설 수요가 증가하게 되는데 이 때 배출되는 이산화황의 영향으로 대기 중의 오염물질 농도가 증가하여 기온과 음의 상관관계를 보인 것으로 사료된다.

이산화질소의 경우 기온과 음의 상관관계(-.501, $p<0.01$), 강수량과 음의 상관관계(-.178, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.519, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.206, $p<0.01$)를 나타냈다. 기온과 풍속과의 상관도가 비교적 높게 나왔음을 알 수 있었다. 이는 겨울철 난방시설 수요 증가에 따른 이산화질소의 배출이 증가하여 기온과 음의 상관관계를 보인 것으로 보인다. 또한 풍속의 경우 광주광

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

역시의 평균풍속은 감소하는 추세를 보이는 반면, 이산화질소의 대기 중 농도는 증가한 추세를 보인다. 이러한 요인으로 풍속과 음의 상관관계를 보이는 것으로 사료된다.

오존의 경우 기온과 양의 상관관계(.056, $p<0.05$), 상대습도와 음의 상관관계(-.062, $p<0.05$)를 나타냈다. 하지만 상관계수의 절댓값이 거의 0에 가깝게 나타나 상관도가 거의 없음을 알 수 있었다.

일산화탄소의 경우 기온과 음의 상관관계(-.265, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.405, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.074, $p<0.01$)를 나타냈다. 풍속을 제외한 나머지 기상요소와의 상관도는 낮다는 것을 알 수 있었다. 광주광역시의 평균풍속은 점점 감소하는 추세를 보이고, 일산화탄소의 농도는 점점 증가하는 추세를 보인다. 이러한 요인으로 풍속과 음의 상관관계를 보이는 것으로 사료된다.

미세먼지의 경우 기온과 음의 상관관계(-.098, $p<0.01$), 강수량과 음의 상관관계(-.212, $p<0.01$), 풍속과 음의 상관관계(-.200, $p<0.01$) 상대습도와 음의 상관관계(-.280, $p<0.01$)를 나타냈다. 상관계수의 절댓값이 0.2에 가까운 것으로 보아 기상요소와의 상관도는 비교적 낮음을 알 수 있었다. 미세먼지는 기상요소보다 주변으로부터 유입되는 대기오염물질 및 황사 등의 영향에 기인한 농도변화가 더 컸을 것으로 사료된다.

2010년부터 2014년까지 광주광역시의 대기오염물질과 기상요소 사이의 상관도를 분석한 결과 오존을 제외한 나머지 대기오염물질들은 기상요소와 대부분 음의 상관을 보였다. 하지만 상관계수의 절댓값이 0.4 이하의 값을 보이는 것이 많은 것으로 보아 상관도는 비교적 낮다는 것을 확인할 수 있었다. 오존 역시 상관계수의 절댓값이 0.2 이하의 값을 보임으로써 기상요소와의 상관도가 매우 낮다는 것을 알 수 있었다. 하지만 상관관계 분석은 두 변수 사이의 연관성을 알아볼 수 있는 분석방법이지 실제로 두 변수 사이의 관련성에 따른 인과관계를 도출하는 것은 무리가 있다. 대기오염물질과 기상요소는 서로가 복합적이고 다양한 방향으로 영향을 줄 수 있는 요소들이다. 따라서 대기오염도 및 기상예보 등에 이 두 요소들을 활용하기 위해선 이들 사이의 상관도에 따른 인과관계를 분석할 수 있는 보다 심층적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

광주광역시, 2016, 제56회 광주통계연보, 광주광역시청

국가공간정보포털 홈페이지(www.nsdi.go.kr) 지도서비스

기상청 홈페이지(www.kma.go.kr) 기상연보(2010~2014)

기상청 기상자료개방포털 홈페이지(data.kma.go.kr)

민경덕 외, 2005, 대기과학개론, ㈜시그마프레스

민경덕 외, 2006, 대기환경과학, ㈜시그마프레스

박정식 외, 2010, 현대통계학 제5판, 다산출판사

엄향희, 1997, 서울의 상대습도 변화에 나타난 도시효과, 한국기상학회지 33(1), 127-135.

에어코리아 홈페이지(www.airkorea.or.kr) 대기환경연보(2010~2014)

이우진, 2006, 일기도와 날씨해석, ㈜광교이택스

손정석 외, 2011, 수도권(SMA) 지역의 PM-10 농도 저감 원인 분석, 환경관리학회지 17(3), 201-211.

정해정, 2008, 서울과 춘천의 대기오염 농도와 기상요소의 상관성 연구(1997~2006), 석사학위논문, 한양대학교 공학대학원

최두수, 2007, 서울지역 시정과 대기오염의 상관성에 관한 연구(1971-2006년), 석사학위논문, 한양대학교 공학대학원

홍성길, 2013, 기상분석과 일기예보, 교학연구사

Fukuoko.y., 1973, Meteorological study of air pollution, Faculty of education` Fukushima university. Science report 23, 51-61.

Guerra, S.A., Lane, D.D., Marotz, G.A., Garter, R.E., Hohl, C.M., Baldauf, R.W., 2006, Effects of wind direction on coarse and fine particulate matter concentrations in southeast Kansas, J Air Waste Manage Assoc. 56, 1525-1531.

Park.G.Y., 2013, Correlation Analysis between Ambient Air Quality Standards Substances and Meteorological Elements, Journal of Climate Change & Environment 1(2), 11-22.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Son G.T., 1998, Statistical Analysis between Air Pollutants and Meteorological Factors in Pusan. Journal of Korea Society of Environment Engineers 20(9), 1235-1245.

Turner D.B., 1976, Relationships between 24 hour mean air quality measurements and meteorological factors in Nashville. Ten-ssee` Journal of Air Pollution Control Association USA, 11(10), 483-489.

Collection @ chosun