

ORIGINAL ARTICLE

## 해안 및 내륙도시 내 토지이용도별 미세먼지 분포 특성 및 상호 관련성에 관한 연구

한승욱 · 이순환<sup>1)\*</sup> · 이화운<sup>2)</sup>

부산대학교 환경시스템학과, <sup>1)</sup>부산대학교 지구과학교육과, <sup>2)</sup>부산대학교 대기환경과학과

## Study on the Characteristics of PM Distribution in Coastal and Inland Cities Correlation and Its Correlation

Seung-Wook Han, Soon-Hwan Lee<sup>1)\*</sup>, Hwa-woon Lee<sup>2)</sup>

Department of Environment System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>1)</sup>Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>2)</sup>Department of Atmospheric Environment, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

### Abstract

In order to clarify the characteristics of PM10 in coastal and inland cities and their variation statistical analysis were carried out using environmental and meteorological data observed at Busan and Daegu metropolitans during 4 year from 2010. Averaged PM10 concentration was higher in industrial area than any other land-use sites, and its maximum value reach on over 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  at Jangrim site in Busan. Temporal and spatial variations of PM10 concentration in Busan were more sharply, since topograph and mesoscale wind pattern in Busan is more complicated than those in Daegu.

Correlation of PM10 concentrations between sites within Daegu appeared strongly and maximum values  $R^2$  is about 0.8. This indicate that because wind pattern induced by mesoscale forcing in Daegu are well unified, the variation of PM10 concentration tends to be similar in all sites within Daegu. However, due to complicate wind pattern induced by topography and coastal line, PM10 correlation of sites within Busan was weaker in comparison with in Daegu. And correlation of PM10 at same lane-use in Busan and Daegu tend to be related to the intensity of meteorological forcing, which can decide the intensity of wind pattern.

**Key words** : Particle matter(PM), Land-use, Correlation, Busan, Daegu

### 1. 서 론

한반도의 급격한 산업화와 인구 증가는 도시 대기질 악화의 원인으로 지적되고 있다. 특히 미세먼지는 인체 내 제거 기작이 없기 때문에 단시간 노출에도 인체에 심

각한 영향을 준다. 실제 폐 모세혈관의 직경은 8~15  $\mu\text{m}$  정도이다. 숨을 들이마실 때 폐포의 입구는 5  $\mu\text{m}$ ~10  $\mu\text{m}$  정도로 개방되고, 숨을 내설 때 폐포의 입구는 0.5  $\mu\text{m}$  이하로 수축된다. 따라서 10  $\mu\text{m}$  이하의 입자는 인체의 폐 깊숙이 들어가 폐포 표면과 접촉해 입자에 포함된 중금

Received 22 October, 2015; Revised 13 November, 2015;

Accepted 13 November, 2015

\*Corresponding author : Soon-Hwan Lee, Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Phone: +81-51-510-1626

E-mail: withshlee@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

속, 각종 발암성 물질 등을 혈액을 통해 각종 장기에 전달, 축적되며 폐포에 갇힌 입자들로 인해 기능을 상실한 폐포들은 단단히 굳으면서 폐섬유종이나 폐암 등을 유발할 수도 있다(Brunelli et al., 2007; Bae et al., 2008; Bahadur et al., 2009).

이러한 미세먼지는 직접 대기 중에 방출되거나 가스 상으로 방출된 기체의 상변화에 따라 대기 중에서 입자를 생성하기도 하며, 광역수송에 의해 좌우되기도 한다. 따라서 미세먼지 농도는 배출원 상태, 복사량, 바람, 습도 등 다양한 요인에 의하여 결정된다(Lee et al., 2011).

Jeon(2015)은 부산지역 내 구덕산에 관측한 미세먼지(PM10) 농도 사례 분석을 통해, 미세먼지 고농도 발생 특성은 대기확산이 원활하게 이뤄지지 못한 상태에서 입자가 정체 및 농축되는 등 황사 잔여 미세먼지의 대기 침적의 영향으로 볼 수 있고, 또 오전과 오후의 해륙풍 강도가 국지적인 미세먼지의 농도 증감에 영향을 미친다고 제시하였다.

Shin et al.(2007)은 우리나라는 편서풍 지대에 위치하고 있어 인접국인 중국에서 발생하는 대기오염물질이 장거리 수송되어 국내에 영향을 미치고 있으며, 강우 시 가장 낮았고 PM10의 농도가 상승할수록 일반적인 기상의 빈도는 낮아지고 박무, 안개, 연무 등의 대기정체와 관련된 기상빈도가 상승하는 것을 확인하였다.

Jang et al.(2012)은 도시 지역 PM10 농도의 파워스펙트럼(Power spectrum) 분석을 통하여 미세먼지의 발생 주기를 분석하였으며, 지역에 따라 분포 특성이 달라 나타날 수 있음을 제시하였다. 또한 대기 중의 비산하는 PM10의 농도는 장거리 수송 뿐 아니라 중규모 기류 흐름에도 영향을 받는다. Song et al.(2008)은 부산시의 해안지역과 내륙 지역의 광화학 오염물질의 농도차이에 주목하고 이들에 미치는 영향을 분석하였으며, Lee et al.(2010)은 바람장 해석 모형을 사용하여 지형적인 바람장이 나타날 수 있음을 제시하였다.

한반도 남동지역에 속하는 부산과 대구 지역은 대표적인 해안지역과 내륙 분지 지역으로 분류된다. 이들은 각 지역의 지형적인 특성에 따라 중규모 기류장이 다양하게 나타난다(Lee and Kim, 2010; Koo et al., 2011). 또한 종관 강제력에 따른 기류장에 영향을 받기 때문에 바람장이 매우 복잡하게 나타날 것이다. 따라서 동일한 종관장의 영향을 받으면서 동시에 서로 다른 중규모 강

제력이 작용하는 도시의 상호 관련성을 분석한다면, 미세먼지의 지역적 분포 특성 및 예측 연구에 유용한 자료가 될 수 있다.

본 연구는 부산과 대구 지역의 공업, 상업, 주거 지역의 미세먼지의 노출정도와 미세먼지 변동에 따른 상호 관련성을 분석하기 위해 2010년 1월부터 2013년 12월 까지 4년간 측정된 PM10의 자료를 이용하여, 각 지역 내의 성격이 다른 지점 간의 상관관계 및 서로 다른 지역의 같은 성격을 가지고 있는 지점 간의 상관관계 등을 파악하고 상호 비교를 통해 미세먼지에 대한 관리와 대처에 기여하고자 한다.

## 2. 분석 자료

본 연구는 기후학적으로 차이를 가진 부산광역시와 대구광역시 내의 토지이용에 따른 미세먼지의 분포 특성을 분석한 것으로 각 지역의 공업, 상업, 주거 지역을 선정하여 분석하였다. 기후학적으로 부산지역은 한반도의 남동부 끝에 위치하여 동쪽과 남쪽에 바다를 접하고 있다. 이 때문에 기후학적으로 따뜻한 해양성 기후이며, 겨울에도 눈을 보기 힘든 지역이다. 여름에도 대구 등의 내륙 분지에 비해 덜 덥기 때문에 연중 기온 차이가 크지 않다. 또한 해양을 면하고 있기 때문에 종과 기류 뿐 아니라 중규모 기류인 해륙풍의 영향을 강하게 받는다. 반면 대구 지역은 북쪽으로 팔공산과 남쪽으로 앞산으로 둘러싸인 분지 지역으로 대체로 비가 적고 매우 건조하며, 여름은 무덥고 겨울은 추운 지역으로 기온의 연교차가 심하다. 또한 산악으로 둘러싸인 지형적인 특성으로 산곡풍이 강하게 나타난다(Koo et al., 2010).

기후학적인 차이가 큰 부산과 대구 지역 내 토지이용도에 따라 공업, 상업, 주거 지역으로 구분하고 각각 대표 하는 대기오염 및 기상관측 지점을 선정하여 분석하였다. 대기오염 관측지점으로 공업지역은 부산의 장림동 지점과 대구의 갈산동 지점을 선정하였다. 이들은 각각 장림공단과 성서공단 지역의 대기환경을 대표한다고 볼 수 있다. 그 외 부산의 해운대 인근에 위치한 좌동과 대구의 대명동을 주거 지역으로 선정하고, 부산의 전포동과 대구의 수창동을 상업 지역으로 선정하였다. 여기서 부산의 전포동 지역은 대표적인 상업 중심가인 서면이 위치하며, 대형 상업 빌딩 및 교통량 밀집 지역으로 본 연구에

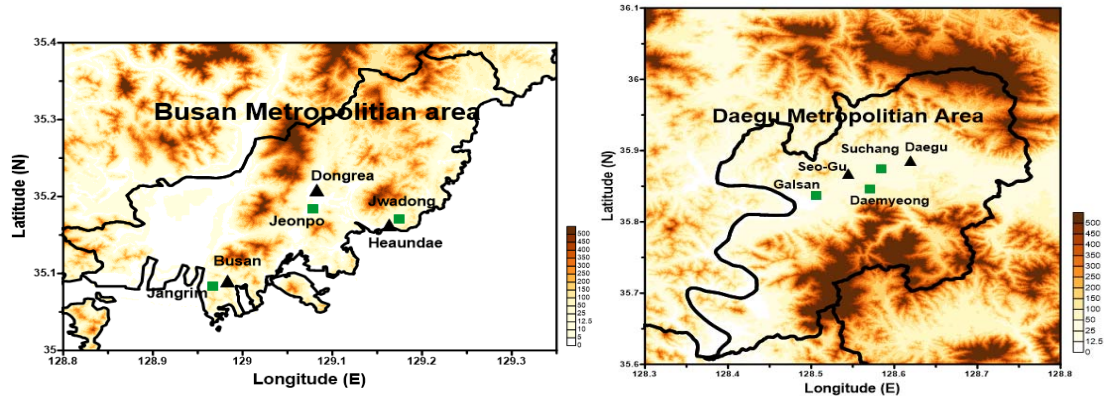


Fig. 1. Study domain and topography including meteorological(closed triangle) and air pollutant(closed rectangular) monitoring sites in Busan and Daegu metropolitans areas.

서는 상업지역으로 설정하였다. 각 관측지점의 위치는 Fig.1에 나타냈다. 각 대기오염 관측 지점은 한국 환경부가 관리 감독하에  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ , CO, PM 등을 관측한다. 본 연구에서는 미세먼지(PM10)을 중심으로 분석하였다.

또한 대기오염 관측지점에서 가장 근접한 위치의 기상 관측 자료를 확보하여 기상특성을 분석하였다. Fig. 1은 각각의 기상관측 지점 위치를 나타낸 것이다. 대구의 경우 대구기상대(35.88N, E128.61)과 서구지점(35.86N,

128.54E)에서 측정한 자료를 사용하였으며, 부산의 경우 부산기상청(35.09N, 128.98E), 동래지점(35.20N, 129.08E), 해운대지점(35.16N, 129.16E)에서 관측한 기상 자료를 적용하였다.

측정기간은 2010년 1월 1일부터 2013년 12월 31일까지 4년이며, 각 시간별 PM10 자료와 기상자료(강수, 기온, 풍향, 풍속, 습도)의 상호 관련성을 중심으로 분석하였다. 강수는 세정 효과에 의하여 도시 대기질을 향상시키는 역할을 하기 때문에 본 연구에서는 강수가 발생

Table 1. Concentration of PM10 and its average values observed in 6 sites during 2010-2013

City	Site name	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
		2010	2011	2012	2013	Average
Busan Metro. Area	Jangrim (industrial)	62.0	68.4	62.8	67.7	65.3
	Jeonpo (commercial)	59.7	51.7	43.0	46.1	50.1
	Jwadong (residential)	35.0	33.7	32.1	36.1	34.2
Daegu Metro. Area	Galsan (industrial)	53.1	52.1	42.7	46.1	48.3
	Suchang (commercial)	49.3	45.6	39.7	45.2	44.9
	Daemyeong (residential)	43.7	36.6	33.2	37.6	37.7

하지 않은 날을 중심으로 분석하였다.

### 3. 분석 결과

#### 3.1. 지역별 PM의 시계열 분포

Table 1은 2010년부터 2013년까지 4년 동안의 각 지역 토지이용도별 미세먼지의 연평균 농도를 나타낸 것이다. 전체적으로 배출원이 집중되어 있는 공업지역의 미세먼지 농도가 높으며, 상업지역, 주거지역 순으로 나타난다. 부산의 경우, 토지이용에 따른 차이가 크게 나타나 반면, 대구의 경우 미세먼지 농도의 차이가 크지 않다. 이는 중규모 기상장에 따른 영향으로 판단된다. Fig.1에서 보는 바와 같이 대구의 경우 분지 지형으로 기상장에 따른 차이가 크지 않으나, 부산의 경우 남서-북동으로 가로지른 산들이 위치하는 지형의 복잡성으로 인하여 국지적인 순환장의 차이가 크게 나타난다. 이러한 순환의 복잡성이 지역적인 큰 차이를 나타낸다고 볼 수 있다.

부산과 대구의 PM10 연간 평균농도를 분석한 결과, 부산의 대표적인 공업 지역인 장림동의 경우 4년 모두 PM10의 연간평균치인  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였다. 대구의 성서공단이 위치한 갈산동의 경우도 2010년~2011년간 연간평균치인  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였으며 매년 평균농도가 증가하고 있다. 상업지역인 전포동은 2013년에 연간 평균치를 초과하였고 수창동은 연간평균치에는 미치지

못했지만 두 지역 모두 PM10의 농도가 증가했으며, 주거 지역인 좌동과 대명동은 4년간 평균농도가  $34.2 \sim 37.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 공업, 상업 지역에 비해 비교적 낮은 농도를 보였다. 또한 부산에 비하여 대구 공업지역의 평균 농도가 낮은 것은 전체적으로 부산지역과 대구지역의 공단 밀집도의 차이에 의한 것으로 보인다.

Fig.2와 3은 각각 지점의 전체 기간에 대한 계절 변동 및 월 변동을 나타낸 것이다. 전반적으로 두 지역 모두 여름철의 미세먼지 농도는 낮게 나타나며, 봄철과 겨울철의 미세먼지 농도가 높게 나타난다. 특히 5월의 농도가 높게 나타나는데 이는 여름의 많은 강수량과 봄철의 기온상승에 따라 지상에서 발생하는 미세먼지와 중국에서 나타나는 월경성 미세먼지의 증가에 의한 것으로 판단된다. 여름부터 겨울까지 PM10의 농도가 서서히 증가하는 원인은 공기가 점점 건조해지기 시작하는 시기이고 기온의 변화로 인해 난방을 위해 사용하는 화석연료의 사용량 증가와 함께 대기안정도에 의한 지표역전층 형성과 혼합층 고도가 낮아지기 때문이다.

여름철의 경우, 모든 지역 간의 미세먼지 농도차이가 줄어들었다. 봄철과 겨울철은 지역 간의 차이가 크게 나타난다. 따라서 겨울철과 봄철에 지역적인 특성이 미세먼지 농도에 반영될 가능성이 크다. 그리고 특징적인 것은 가을에서 겨울철의 대구지역의 상업 및 주거지역의 미세

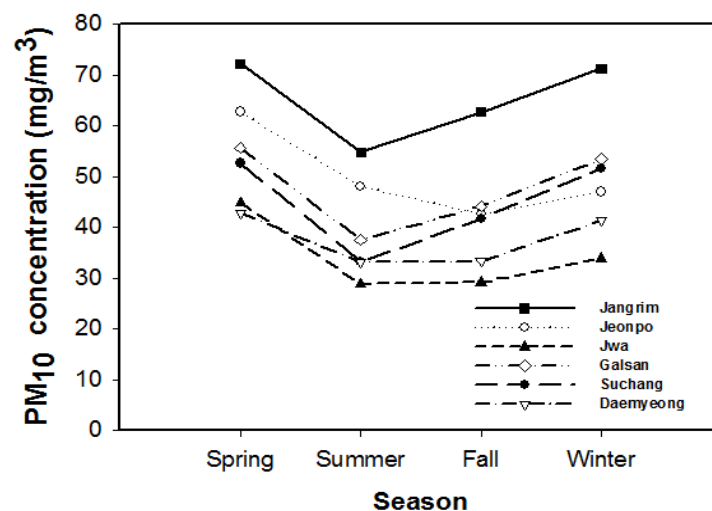


Fig. 2. Seasonal variation of PM10 concentration observed at 6 sites during 2010-2013.

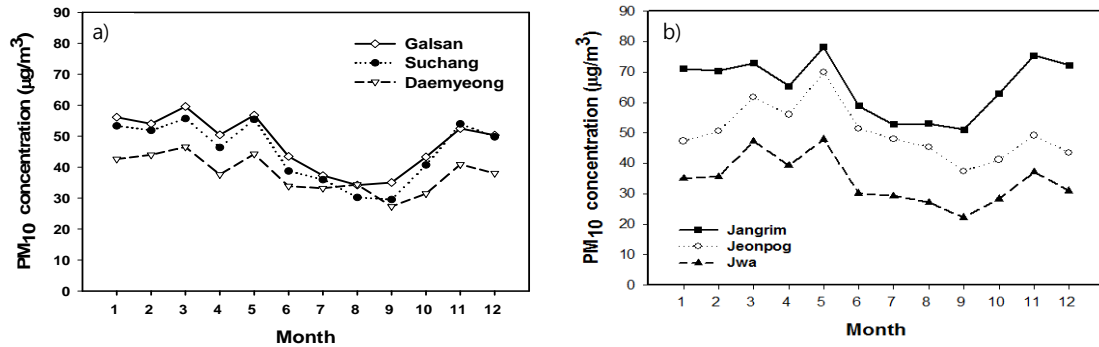


Fig. 3. Temporal variation of monthly mean PM10 concentration observed at 6 sites during 2010-2013.

먼지 증가율이 다른 지역에 비하여 크게 나타난다는 것이다. 이는 대구지역의 경우 부산에 비하여 상대적으로 폐쇄적인 중규모 순환이 형성되기 때문에 오염물질의 배출 기작이 약하기 때문으로 분석된다.

Fig.4는 각 지점에 관측한 미세먼지의 시간변동을 나타낸 것이다. 오전 7시경부터 미세먼지의 농도가 높아지며 정오를 지나면서 감소하다가 다시 오후에 증가하는 경향을 보인다. 이는 전체적으로 교통량 증가에 따른 것으로 분석할 수 있다. 부산의 공업 지역인 장림동은 0700LST부터 PM10의 농도가 서서히 증가하기 시작하여 1000LST에 최대 농도를 나타내었다. 0700LST부터 공단에 출입하는 차량의 교통량 증가와 함께 공장의 기계들이 본격적으로 가동되기 시작하는 시간대인 1000

LST까지 PM10의 농도가 꾸준히 증가하였다. 1000LST 이후로 1400LST까지 PM10 농도가 서서히 감소하다가 1400LST이후로 공단에서 빠져나가는 귀가차량들로 인해 PM10의 농도가 소폭 상승하였다.

부산의 상업 지역인 전포동은 교통량의 증가로 인해 PM10의 농도가 증가하였는데, 0700LST부터 1500LST까지 PM10의 농도가 꾸준히 증가하다가 1200LST 이후로 PM10의 농도가 서서히 감소한다. 부산의 주거지역인 좌동은 PM10의 농도가 크게 변하지 않음을 알 수 있다. 그 이유는 PM10의 발생원이 없을뿐더러 교통량도 많지 않기 때문이다.

반면, 대구의 공업 지역인 갈산동은 부산의 장림동과 마찬가지로 0600LST부터 1000LST까지 PM10의 농도

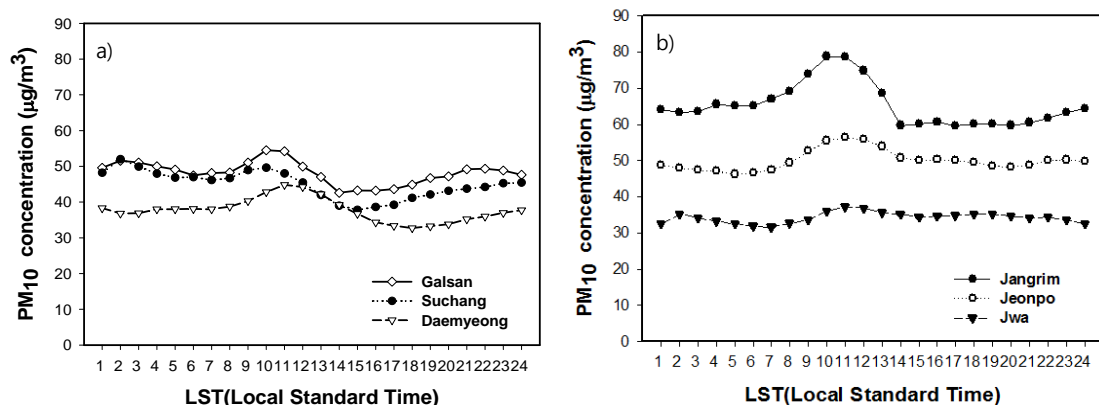


Fig. 4. Diurnal variation of PM10 concentrations at sites in a) Daegu and b) Busan metropolitans during 2010-2013.

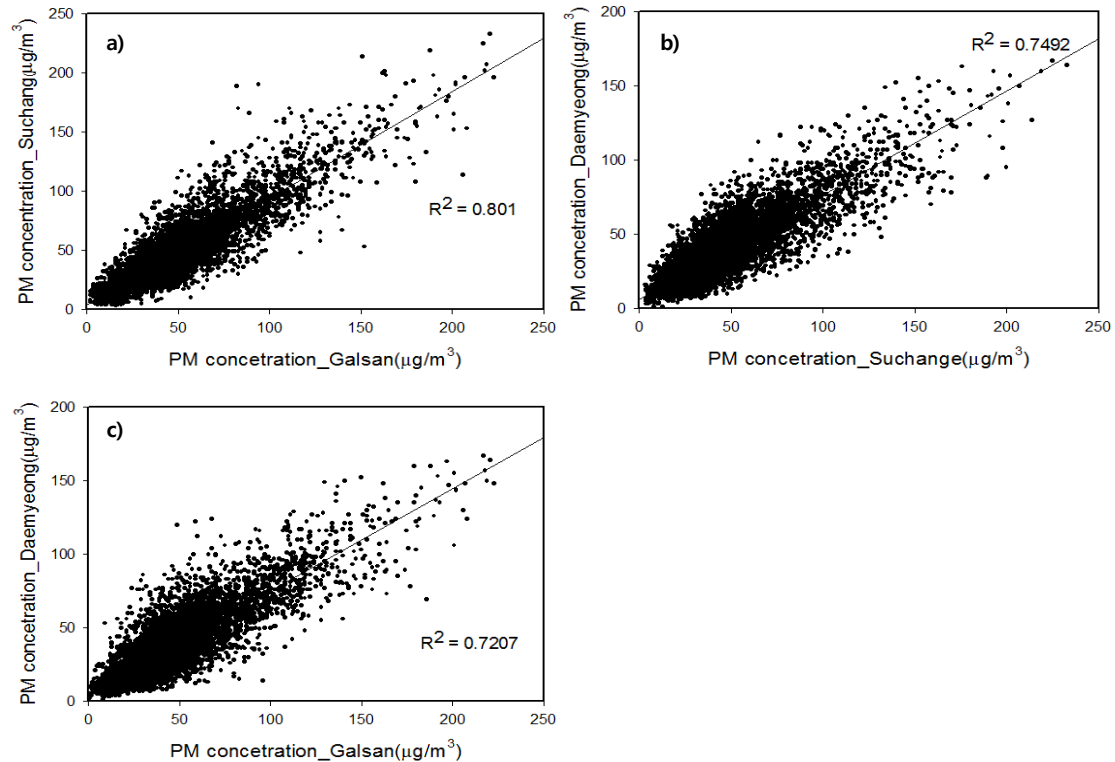


Fig. 5. Scatter plots of PM10 concentration between a) Galsan and Suchang, b) Suchang and Daemyeong, and c) Galsan and Daemyeong in Daegu metropolitan.

가 증가하였으나, 장림동과 달리 소폭 증가하였으며 수창동과 대명동 또한 눈에 띄 정도의 PM10의 농도변화는 없었다. 지역 내 지점 간의 농도 차이는 앞서 제시한 바와 같이 대구광역시의 경우 지역 내 미세 먼지의 농도차가 크지 않으나 부산광역시에 지역 간의 미세 농도 차이는 크게 나타난다. 이는 지형 등에 의하여 형성되는 국지 바람장의 차이에 기인한 것이다. 또한 미세먼지의 시간 변동폭은 대구에 비하여 부산이 크게 나타나는데, 이는 부산 지역내의 복잡한 지형과 강의 지리적 분포로 인하여 중규모 기류 흐름의 강하며 복잡한 형태를 나타내기 때문으로 사료된다.

### 3.2. 지역 간 PM 농도의 상관 관계

동일한 토지이용도에서 관측되는 미세먼지의 농도 특성을 분석하기 위하여 부산과 대구 광역시내의 관측지점 간의 상관관계와 동일한 토지이용도 지역의 미세먼지 농

도의 상관관계를 살펴보았다. Fig.5는 대구광역시 내 3개의 관측 지점에서 측정된 미세먼지농도의 지점 간 산포도를 나타낸 것이다. 3개 지점 모두  $R^2$ 가 0.7이상으로 높은 상관성을 가진다. 특히 공업 지역인 갈산지점과 상업 지역인 수창지점의 상관도가 높게 나타나는데, 이는 미세먼지의 배출량 뿐 아니라 대구광역시 내에 유사한 바람 경로상에 위치하기 때문으로 분석된다.

대구의 지형 구조상 산악이 대구 시가지를 중심으로 동서로 뻗어 있기 때문에 동서 바람이 중요하게 나타난다. Fig. 6은 4년간 서구지점과 대구 기상청에서 관측한 바람을 이용하여 제시한 바람장미이다. 바람장미를 보면 대체적으로 서풍 계열의 바람이 강하게 나타난다. 이러한 바람은 지형적인 요인에 의하여 발생한 것이다. 서구의 경우, 북쪽에 가까이에 위치한 팔공산의 영향으로 북풍이 빈번히 나타나지만 유사한 강도로 남서풍도 빈번하



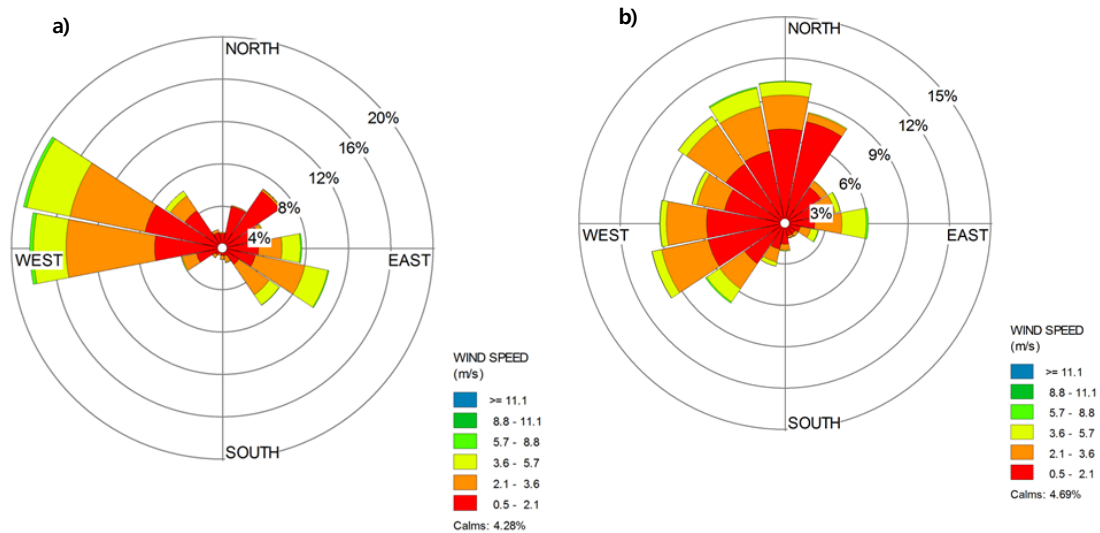


Fig. 6. Wind rose observed at a) Seo-gu site and b)Deagu meteorological station during 2010-2013.

게 나타난다. 따라서 성서 공단 지역 등에서 발생한 미세 먼지가 바람을 타고 동쪽으로 이동할 개연성이 나타난다. 따라서 갈산 지점과 수창지점의 상호 관련성이 크다고 볼 수 있다.

또한 수창지점과 대명지점의 상관도도 높게 나타나는 데 이는 이 두 지점의 거리가 3.4 km 정도 밖에 떨어지지 않았기 때문으로 판단된다.

Fig.7은 부산 광역시내 각 지점에 관측한 미세먼지의 산포도를 나타낸 것이다. 대구광역시 내 관측지점간의 상관도( $R^2$ )에 비하여 떨어지는 것을 볼 수 있다. 특히 장림지점과 좌동지점의  $R^2$ 는 0.47로 다른 지역에 비하여 매우 낮게 나타난다. 또한 추세선의 기울기를 비교하면, 공업 지역인 장림의 미세먼지농도가 다른 지역에 비하여 높게 나타난다. 즉 동일한 부산 광역시내에 위치하지만 지역에 따른 편차가 매우 크게 나타나고 있다는 것을 의미한다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 부산광역시는 동일한 권역임에도 불구하고 낮고 긴 산악이 도시 내 기류의 이동을 방해하기 때문에 지역적인 상관성이 낮게 나타난다. 또한 도시의 형태가 장방형으로 길게 구성되어 있으며, 장림과 좌동지점의 거리가 20 km 정도로 멀리 떨어져 있는 지리적 요소도 지점 간 상관성을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다.

이러한 부산광역시의 특성은 바람분포에도 나타나는데 Fig. 8은 부산광역시 내 3개 기상 지점의 바람장미를 나타낸 것이다. 부산광역시의 동부에 위치한 해운대 기상지점은 장산의 영향으로 북동-남서 방향의 바람이 주요하게 작용한다. 그러나 약 8.9 km 의 이격거리를 가진 동래 기상지점의 경우, 남동방향의 바람을 제외한 전 방향에서 골고루 바람이 불어 온다. 반면 부산 광역시의 서부에 위치한 부산기상청지점의 경우, 북서풍이 탁월하게 나타난다. 이와 같이 동일한 지역내에서 다양한 형태 및 상대적으로 독립적인 풍계가 나타난다. 따라서 이러한 풍계의 다양성은 국지적으로 독립된 미세먼지 농도 분포가 나타날 수 있다.

그러면 부산광역시와 대구광역시의 동일 토지 이용도 지점내 상호 관련성을 살펴보았다. Fig.9는 해안 및 내륙도시 내 동일 토지이용도 지점 간의 미세먼지 농도 산포도를 나타낸 것이다. 공업 지역, 상업 지역, 주거 지역의  $R^2$ 이 각각 0.52, 0.43, 0.34로 상관도가 동일지역내의 서로 다른 지점들의  $R^2$ 값보다 낮게 나타난다. 즉 부산과 대구 지역 간의 상호 관련성은 동일 지역내의 서로 다른 토지이용도의 미세 먼지 농도와 관련이 작다.

그러나 여기서 주목할 부분은 공업 지역인 부산의 장림 지점과 대구의 갈산지점의  $R^2$ 값이 다른 두 가지 토지

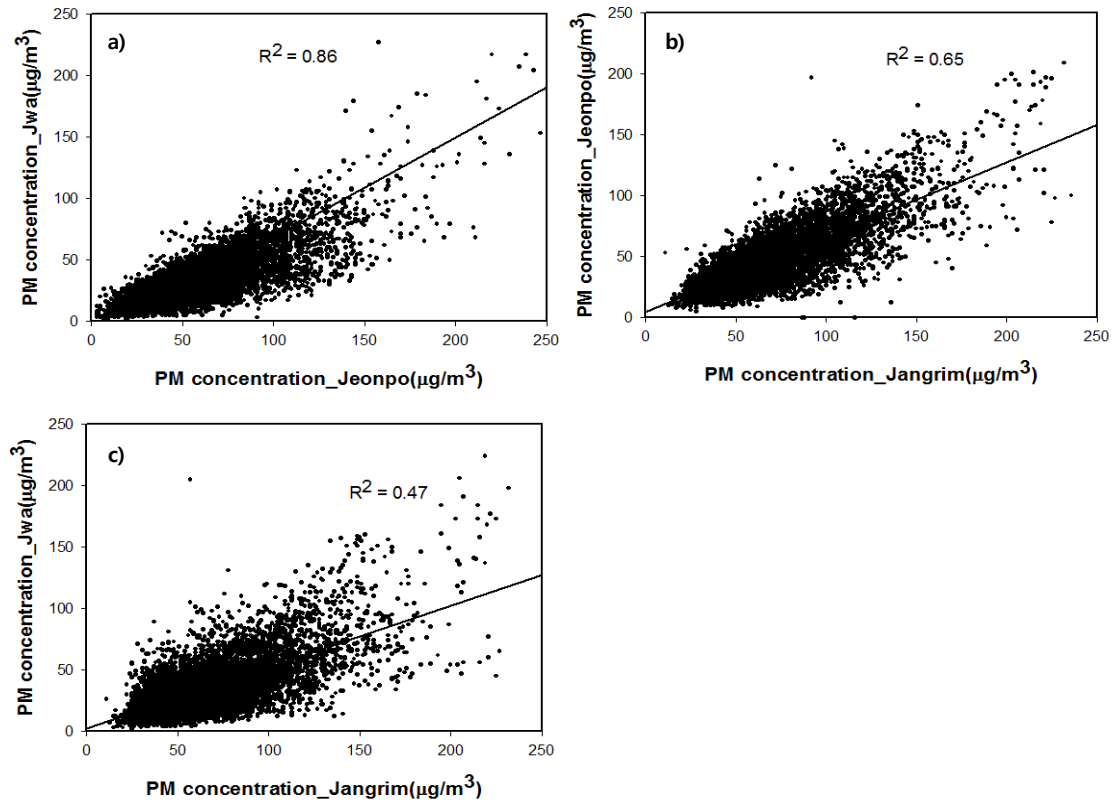


Fig. 7. Scatter plots of PM10 concentration between a) Jeonpo and Jwa, b) Jangrim and Jeonpo, and c) Jangrim and Jwa in Busan metropolitan.

이용도 지점 보다 높다는 점과 반대로 주거 지역인 해운대 지점과 대명 지점의  $R^2$  값이 다른 두 지역의 비교치보다 낮게 나타난다는 점이다. 앞서 살펴본 바와 같이 부산과 대구 지역은 지형적인 특성에 의하여 발생하는 중규모 순환의 복잡성이 다르다. 그럼에도 불구하고 공업 지역 간의 상호 관련성이 상대적으로 주거 지역 보다 높게 나타나는 것은 미세먼지 발생원이 밀집한 지역에서는 중규모 기류보다는 중관규모의 기상장에 밀접하게 영향을 미친다는 것을 의미한다. 반면 미세먼지의 발생원이 상대적으로 적은 지역의 경우, 중관규모 기상장제력에 비하여 상대적으로 강도가 약한 중규모 기상장에 의한 순환도 지점의 미세먼지의 농도에 영향을 준다는 의미이다. 그러므로 비록 한반도 남동 지역의 해안과 내륙에 위치하여 지리적인 거리가 발생하지만, 발생원이 밀집한 지역에서는 이들 지역적인 요인보다는 기상학적인 요인이

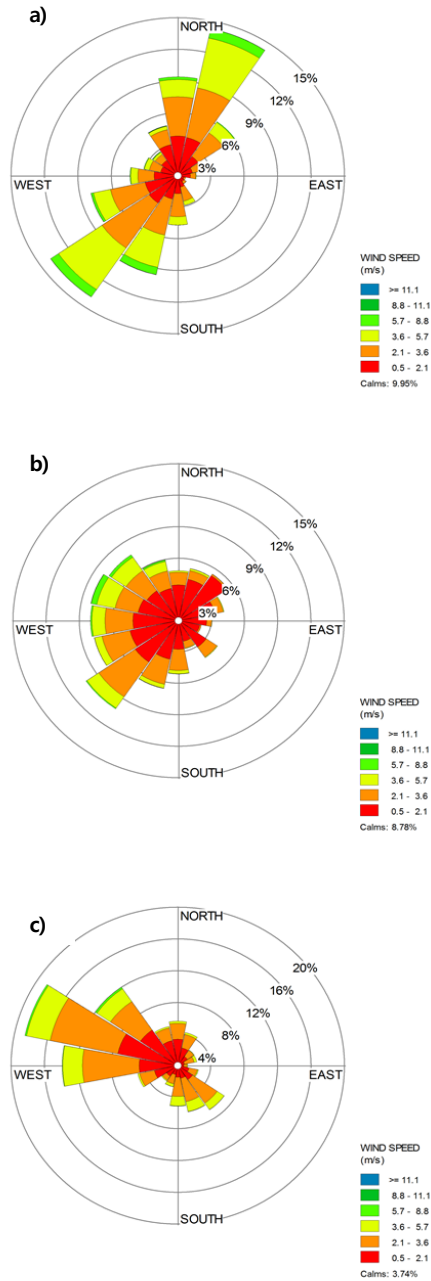
중요하게 작용할 수 있다.

#### 4. 결론

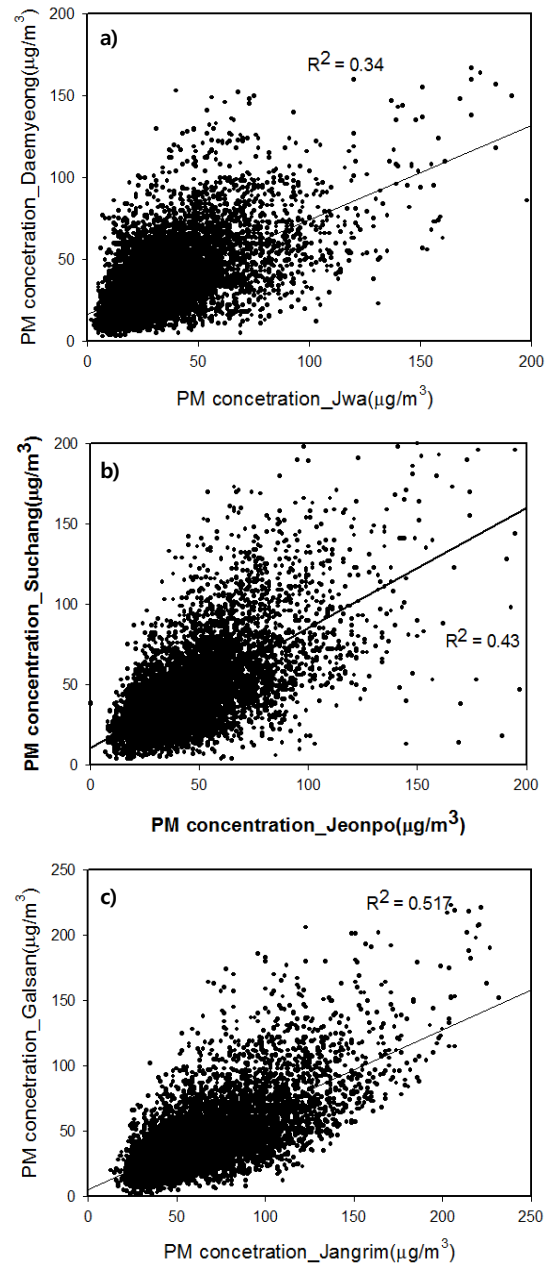
부산과 대구 지역의 공업, 상업, 주거 지역의 미세먼지의 노출정도와 미세먼지 변동에 따른 상호 관련성을 분석하기 위해 부산과 대구의 대표적인 공업, 상업, 주거 지역을 대상지점으로 선정하여, 2010년 1월부터 2013년 12월까지 부산과 대구의 4년간 시간별 PM10 측정 데이터와 2010년 1월부터 2013년 12월까지 기상청 AWS (Automatic Weather Station)의 4년간 시간별 측정 데이터를 적용하여 대상지점 데이터를 비교분석 하였다.

부산 지역과 대구 지역의 미세먼지 농도는 발생원의 밀집 정도에 따라 공업 지역, 상업 지역, 주거 지역 순으로 나타나며, 특히 부산의 대표적인 공업 지역인 장림동





**Fig. 8.** Wind rose observed at a) Haewoondae site and b) Dongrae, and c) Busan meteorological station during 2010-2013.



**Fig. 9.** Scatter plots of PM10 concentration between a) residential areas (Jwa and Daemyeong), b) Commercial areas (Jeonpo and Suchang), and c) industrial areas (Jangrim and Galsan) during 2010-2013.

의 경우 4년 모두 PM10의 연간평균치인  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 것으로 나타났다. 계절적으로 봄철과 가을철의 미세먼지가 높게 나타나는데, 이는 습도가 낮아지는 계절적 요인과 난방, 대기 안정도 등에 의하여 지표 부근의 미세먼지 유입 기작이 강화되기 때문으로 판단된다.

부산 지역과 대구 지역의 미세먼지 분포 특성을 결정짓는 요인 중의 하나가 지형의 복잡성과 그에 따른 중규모 순환장의 차이에 있다. 부산 지역은 해안선과 기류가 복잡하고 해풍의 침입정도가 다르며, 지점마다 해풍의 영향 및 부산 지역내 산악의 형태에 따라 중규모 순환이 복잡하게 나타나는데, 대구는 산곡풍의 영향을 받으며 하나의 기류장으로 움직인다. 부산은 복잡한 지형과 강의 지리적 분포로 인해 PM10 농도의 시간적 변동이 크지만 대구는 PM10 농도의 시간적 변동이 작다.

부산과 대구의 지역 내의 지점 간의 상관관계를 분석한 결과 대구가 부산보다 지점 간 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, 부산이 대구에 비해 지역의 용도별 상관관계가 높지 않게 나타나는 이유는 각 지점이 용도별 특성을 비교적 뚜렷하게 나타나고 있고, 각 지점이 해풍에 받는 영향 및 해안선과 복잡한 기류가 미치는 영향 정도가 다르기 때문이라 판단된다.

부산과 대구의 서로 다른 지역의 같은 용도별 지역의 상관관계는 매우 낮게 나타나는데, 이는 해풍 및 복잡한 지형과 강의 지리적 분포에 많은 영향을 받는 부산과 달리 산곡풍의 영향을 받으며 하나의 기류장으로 묶여있는 대구의 지리적 환경 등 여러 요인들이 각 지역의 지점들에 미치는 영향이 다르기 때문에 부산과 대구의 PM10 농도의 분포형태가 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

하지만, 황사와 같은 대규모의 대기현상에는 1시간 내외의 시간차를 두고 두 지역 모두 예외 없이 동일하게 PM10의 농도가 급증하는 것을 볼 때 부산과 대구 두 지역 모두 국지적 규모의 대기활동에 대한 영향을 동일하게 받고 있으나 각 지역의 지리적, 환경적 특성으로 인해 공업, 상업, 주거 지역의 농도 분포에 차이를 나타내는 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 국립기상과학원의 응용기상기술사업(Advanced Research on Applied Meteorology)과 한국연구

재단 일반연구자지원 사업(2014R1A1A2057518)의 지원으로 이루어졌습니다. 본 논문은 저자의 석사논문을 기초로 작성되었습니다.

### REFERENCE

- Bae, H. J., Ha, J. S., Lee, A. K., Park, J. I., 2008, Age Dependencies in air pollution-associated asthma hospitalization, *Korean J. of Environ. Health Sci.*, 34(2), 124-130.
- Bahadur, R., Habib, G., Russell, L. M., 2009, Climatology of PM2.5 organic carbon concentrations from a review of ground-based atmospheric measurements by evolved gas analysis, *Atmos. Environ.*, 43(9), 1591-1602.
- Brunelli, U., Piazza, V., Pignato, L., Vitabile, S., 2007, Twodays ahead prediction of daily maximum concentrations of SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, PM10, NO<sub>2</sub>, CO in the urban area of Palermo, Italy, *Atmos. Environ.*, 41(14), 2967-2995.
- Jang, J. H., Lee, H. W., Lee, S. H., 2012, Spatial and temporal features of PM10 evolution cycle in the Korean peninsula, *J of Environ. Sci. Int.*, 21(2), 189-202.
- Jeon B. I., 2015, Meteorological Relations and Characteristics of Fine Particles at Guducksan in Busan, *J of Environ. Sci. Int.*, 24(7), 883-892.
- Koo, H. S., Kim, H. D., Yun, W. T., Lee, S. H., 2010, Variation of regional circulations due to long-term change land-use in the Daegu Metropolitan region for 100 years, *Asia-Pacific J. of Atmos. Sci.*, 46(1), 53-64.
- Lee, H. W., Cha, Y. M., Lee, S. H., Kim, D. H., 2010, Impact of high resolution sea surface temperature on the simulated wind resources in the southeastern coast of the Korean peninsula, *J of Environ. Sci. Int.*, 19(2), 171-184.
- Lee S. H., Kim H. D., 2010, Modification of nocturnal drainage flow due to using surface heat flux, *Asia-Pacific J. of Atmos. Sci.*, 46(4), 453-465.
- Lee, S. M., Ho, C. H., Choi, Y. S., 2011, High-PM10 concentration episodes in Seoul, Korea: Background sources and related meteorological conditions, *Atmos. Environ.*, 45, 7240-7247.
- Shin, M. K., Lee, C. D., Ha, H. S., Choe, C. S., Kim, Y. H., 2007, The Influence of meteorological factors on PM<sub>10</sub> concentration in Incheon, *Journal of Korean Society*

- for Atmospheric Environment, 23(3), 322-331.
- Song, S. K., Shon, J. H., Kim, Y. K., 2008, Meteorological and chemical effects on the concentration difference of critical air pollutants between coastal and inland regions, Proceeding of the 46th Meeting of KOSAE (2008) in Korean society for Environmental Science, 532-534.