

TECHNICAL NOTE

## 진주지역 시정과 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도와의 상관관계

김형갑 · 서정민<sup>1)</sup> · 박정호\*

경남과학기술대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>부산대학교 바이오환경에너지학과

### A Correlation Analysis between Visibility and PM<sub>10</sub> in Jinju

Hyoung-Kab Kim, Jeong-Min Suh<sup>1)</sup>, Jeong-Ho Park\*

Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

<sup>1)</sup>Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

#### Abstract

This study was conducted to investigate how PM<sub>10</sub> concentration and Relative Humidity (RH) affected visibility in Jinju, Korea. A 9-yr dataset of 1 h averages for visibility, PM<sub>10</sub>, and RH data was analyzed to examine the correlation between these variables. On average, visibility decreased by 1.4 km for every 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in PM<sub>10</sub> and by 2.1 km for every 10% increase in RH. In general, a negative correlation was observed between visibility and PM<sub>10</sub> concentration. However, under conditions of low PM<sub>10</sub> concentration (< 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and visibility (< 2 km), there was a positive correlation between these two variables. In this case, RH levels were high (> 75%). A high correlation analysis between two variables need to be under control conditions with RH < 75%, PM<sub>10</sub> 15~100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , and visibility > 2 km.

**Key words:** Visibility, PM<sub>10</sub> concentration, Relative humidity, Jinju city

#### 1. 서론

최근 전국적으로 빈번한 고농도 미세먼지(PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>) 발생문제는 건강상 피해영향 측면과 더불어 시정(visibility) 저하 현상에 따른 대기환경적 측면에서도 관심이 집중되고 있다. 시정은 대기의 혼탁 정도를 나타내는 기상요소이며, 안개, 박무, 황사 현상 등 자연적인 원인과 스모그, 연무 등 인위적 원인에 의해 감소현상이 발생되며, 일기분석 외에 체감 대기오염도

의 척도로도 이용될 수 있다.

대기 에어로졸 입자에 의한 시정 저하현상은 입자의 산란 및 흡수되어 시정이 감소되며, 특히 대기 중 입경분포 특성 중 상대적으로 미세먼지 영역이 더 큰 영향이 있는 것으로 밝혀져 있다(Kim, 2009). 따라서, PM<sub>2.5</sub> 농도 및 화학조성 분석에 주안점을 두고 두 변수와의 상관성 및 시정관련 식이 많이 제안되고 있으며, 서울의 경우 PM<sub>2.5</sub> 저감대책을 통해서 연평균 환경기준을 달성할 경우 약 2~3 km의 시정 개선효과가

Received 21 February, 2017; Revised 11 March, 2017;

Accepted 3 April, 2017

\*Corresponding author: Jeong-Ho Park, Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

Phone : +82-55-751-3345

E-mail : jhpark@gntech.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.

있을 것으로 분석되고 있다(NIER, 2013; Park et al., 2015; IMPROVE, 2016). 다만, 두변수와의 상관성은 지역별 큰 차이를 보일 수 있으나, 지금까지 주로 수도권, 대도시, 서해안 지역 등 제한된 지역에서 연구들이 진행되고 있다.

또한, 시정과 미세먼지와의 상관관계 특성을 상세히 파악하기 위해서는 두 변수가 동시에 관측되는 지점에서 장기간 축적된 자료의 검토가 필요할 것이다. 이에 기상청의 주요 기상관측소에서는 시정을 포함한 기상관측뿐만 아니라, 황사관측을 위해  $PM_{10}$  농도를 관측하고 있다. 따라서  $PM_{2.5}$ 의 관측자료가 축적되어 있지 않는 기타 지역의 경우 장기간 축적된  $PM_{10}$  농도 자료를 활용하여 시정과 상관성을 검토해볼 필요가 있다(Lee et al., 2012; Li et al., 2015).

한편, 진주지역의 시정은 2009년 16.3 km에서 2015년 13.4 km로 매년 감소 경향을 보이고 있으며, 특히 진주 도시 대기측정망의  $PM_{10}$  연평균 농도는 2014년  $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2015년  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  등 대기환경기준 초과 및 경남지역에서 가장 높은 농도 특성이 나타나고 있다(NCDSS, 2016; MoE, 2016). 또한, 지리적으로는 진양호 및 남강댐 그리고 남강이 도심을 통과하여 안개발생일수가 연간 88.5일로 전국에서 높게 나타나고 있어 지역의 시정장애 감소 요인에는 인위적, 자연적인 영향 등 복합적 요인에 의한 영향이 고려되고 있다(KMA, 2011).

본 연구에서는 진주지역에서 시정에 영향을 미치는 미세먼지 농도 등의 상관성을 도출하기 위하여, 진주기상대의 최근 9년간(2007~2015년)의 1시간별 적외선 산란계측기를 통한 시정 및 베타선 흡수법의  $PM_{10}$  농도 관측 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 강수, 안개, 박무, 연무, 황사 현상 등 시정장애 현상시 그리고 자연적인 시정장애 현상을 배제한 조건 및 주간시간대 등 다양한 조건별로 분류하고 상관성을 분석하였다. 본 연구결과는 관련 연구 및 지역 대기질 관리정책의 기초자료로써 활용되길 기대한다.

## 2. 자료 및 분석방법

### 2.1. 시정 및 미세먼지 농도 자료수집

진주의 도심지역은 서쪽의 진양호로 부터 동서로

남강이 흐르고 있으며, 진양호와 인접한 진주기상대(관측지점 192)는 도심 외곽에 위치하고 있고 최소 반경 2 km 이내에는 주요 대기배출원의 직접적인 영향을 거의 받지 않은 곳에 위치하고 있다.

본 연구에서는 진주지역의 시정과  $PM_{10}$  농도의 상관성을 도출하기 위해서 진주기상대에서 2007년 2월부터 2015년 12월까지 최근 9년간 측정된 시정 및  $PM_{10}$  농도의 시간별 측정 자료를 수집하였다(NCDSS, 2016). 두 변수와의 상관성을 도출하기 위해서는 시정과 미세먼지 농도를 동시에 관측되는 지점의 자료를 이용할 필요가 있으며, 진주기상대의 경우 적외선 산란계측기를 통한 시정 관측 등 기상관측뿐만 아니라 2007년 2월부터 베타선 흡수법으로 대기 중  $PM_{10}$  농도를 관측하고 있다.

### 2.2. 수집 자료의 분석조건

본 연구에서는 Table 1에 나타낸 바와 같이 진주기상대에서 최근 9년간 시정 및  $PM_{10}$  농도의 수집된 시간별 관측자료 58,850개 중 두 변수가 동시에 관측된 56,612개(96%)의 측정자료(Sector 1)를 분석대상으로 하였다.

대표적인 시정장애 현상에는 강수(precipitation), 안개(fog), 박무(mist), 연무(haze), 황사현상(Asian dust) 등이 있으며, 강수의 유무, 상대습도(Relative Humidity, RH), 시정 및  $PM_{10}$  농도 등을 기준으로 분류할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 강수의 경우 강수량 0.1 mm 또는 적설량 0.1 cm 이상 발생시 그리고 강수시를 제외한 자료 중 안개 및 박무의 경우 RH 75% 이상이면서 시정 1 km 미만 및 1~10 km인 조건, 연무의 경우 RH 75% 미만이고 시정 1~10 km인 조건으로 각각 구분하였다.  $PM_{10}$  농도를 기준으로 분류되는 황사의 경우 시정 및 RH의 조건에 관계없이 지역 황사 관측일 중 시간별 대기환경기준  $PM_{10}$  100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상인 조건으로 분류하였다.

여기서, 황사 현상은 지상으로 낙하하지 않고 상층 대기로 통과하는 경우 등으로 지역에서 황사가 관측되어도 실제 주의보 수준인  $PM_{10}$  400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 고농도로 나타나는 경우가 많지 않았다(KMA, 2016). 그리고 이러한 시정장애 현상을 모두 제외한 조건을 청정한 대기 상태(Other)로 분류하였다.

**Table 1.** Classification method of collected data in this study

|                  | N (%)          | Classification condition  |
|------------------|----------------|---|
| Sector 1         | 56,612 (100%)  | Excluding visibility or PM <sub>10</sub> missing data among raw data (N=58,850)                           |
| 1) Precipitation | 4,270 (7.5%)   | Rainfall $\geq$ 0.1 mm or snow $\geq$ 0.1 cm  |
| 2) Fog           | 626 (1.1%)     | Visibility < 1.0 km and RH $\geq$ 75% with the exception of precipitation in Sector 1                     |
| 3) Mist          | 9,780 (17.3%)  | Visibility 1.0 ~ < 10.0 km and RH $\geq$ 75% with the exception of precipitation in Sector 1              |
| 4) Haze          | 2,513 (4.4%)   | Visibility 1.0 ~ < 10.0 km and RH < 75% with the exception of precipitation in Sector 1                   |
| 5) Asian dust    | 420 (0.7%)     | Asian dust warning is issued in Jinju (PM <sub>10</sub> $\geq$ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Sector 1 |
| 6) Other         | 39,254 (69.3%) | Excluding 1)~5) data among in Sector 1  |
| Sector 2         | 51,307 (90.6%) | Excluding 1), 2), 5) data among in Sector 1   |
| Sector 3         | 24,673 (43.6%) | Daylight hours (10-18) in Sector 2  |

Sector 2에는 다양한 시정 장애현상 중 대기오염물질에 의한 인위적 영향보다 자연적 현상요인에 의한 영향이 훨씬 크다고 판단되는 강수, 안개, 황사 현상 등 3가지 시정장애 현상을 배제한 조건인 51,307개의 자료를 분류하고 분석하였다.

또한, 주간시간대 눈으로 보이는 체감적인 시정 특성을 고려하기 위해 Sector 2 중 시간별 평균 RH가 약 75% 미만으로 상대적으로 RH의 간섭영향이 적은 주간 시간대(10시~18시)의 자료 24,673개를 Sector 3로 분류하고 분석하였다. 특히, 시정과 미세먼지 농도와와의 상관관계 연구에서는 RH의 영향이 적은 하루 중 정오 12시 기준 또는 10시~14시 등의 주간시간대의 시정 관측 시점이 고려되고 있다(Zorita and Storch, 1999; Dayan and Levy, 2004).

한편, 수집된 자료는 IBM SPSS Statistics 프로그램 (Ver. 21)을 이용하여 조건별 분류 및 통계처리 분석 등을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 연도별, 월별, 24시간별 변화추이

Fig. 1에 연도별, 월별, 24시간별에 따른 시정의 평균 및 퍼센타일(10<sup>th</sup>, 25<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>, 90<sup>th</sup>) 그리고 평균 PM<sub>10</sub> 농도 및 RH의 변화 특성을 나타냈다.

시정은 전체 평균 15.2 km 및 10<sup>th</sup> 5 km, 25<sup>th</sup> 8 km, 50<sup>th</sup> 15 km, 75<sup>th</sup> 20 km, 90<sup>th</sup> 25 km로 나타났다. 연도별 2007년 15.4 km에서 2009년 16.3 km까지 증가 이후 2015년 13.4 km로 감소하고 있으며, 1월 17.1 km 및 6월 12.4 km로 월별 큰 차이를 보였다.

PM<sub>10</sub> 농도는 평균 34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 연도별로는 2007년 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2015년 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매년 감소 경향을 보였으며, 5월 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  및 9월 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 월별 농도 차이를 보였다. 여기서, 진주기상대의 PM<sub>10</sub> 농도는 도심 대기측정소 보다 평균 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  낮았으며, 도심외곽에 위치하여 각종 대기배출원의 직접적인 영향을 적게 받는 입지여건의 특성으로 판단된다.

RH는 평균 66%로 나타났으며, 연도별 64%~70%로 다소의 차이가 나타났고 월별로는 1월 55% 및 7월 79%로 큰 차이가 나타났다.

한편, 24시간의 일변화는 시정의 경우 최고 16시 19.6 km 및 최저 01시 8.6 km로 약 11 km의 큰 차이를 보였으며, 특히 주간시간대(10~18시)가 16.1~19.6 km로 나타났다. 이러한 시정의 시간별 변화는 PM<sub>10</sub> 및 RH와 강한 음의 상관성을 보이고 있었다.

#### 3.2. PM<sub>10</sub> 및 RH의 구간범위별 시정 변화

Table 2에는 PM<sub>10</sub>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 및 RH(%)에 대해 모든 범위(All) 그리고 PM<sub>10</sub> 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  및 RH 10% 씩 증가시

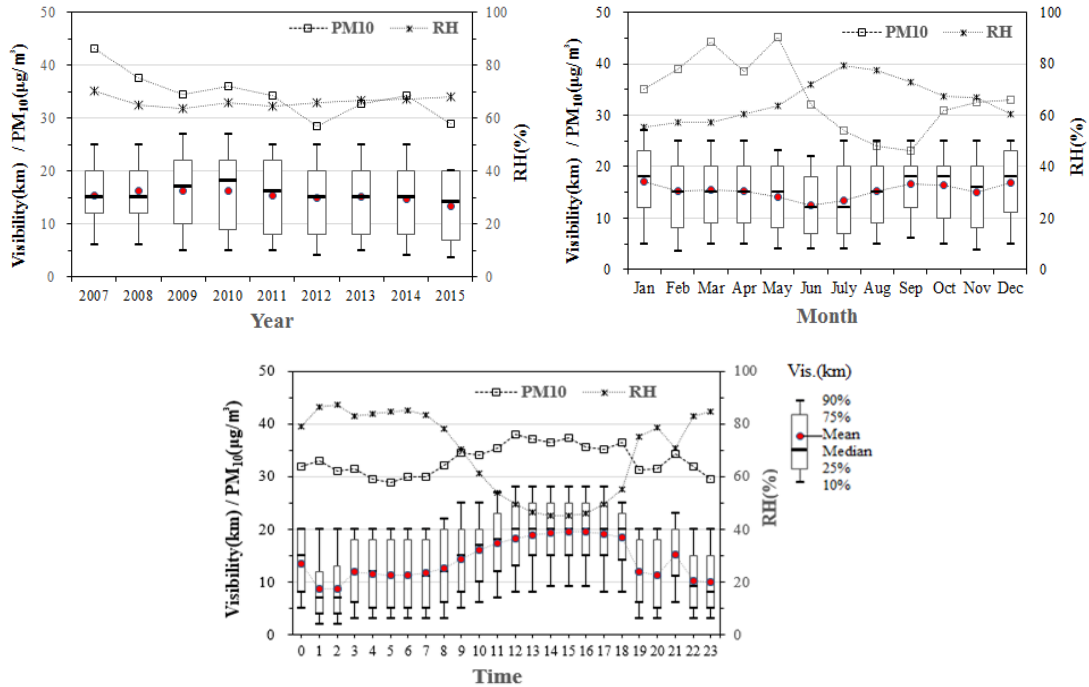


Fig. 1. Time variation of visibility, PM<sub>10</sub>, and RH in Jinju.

각 구간범위의 평균 시정(km) 및 빈도를 나타냈다.

최고 시정은 26.1 km로써 RH ≤ 30% 및 PM<sub>10</sub> ≤ 20 µg/m<sup>3</sup>의 조건에서 나타났으며, 약 2.4%의 분포율을 차지하고 있었다. 반면 최저 시정은 2.9 km로써 RH > 90% 및 PM<sub>10</sub> 91~100 µg/m<sup>3</sup>의 구간이었으며, 분포율은 0.1%로 매우 낮았다. 또한, 시정은 RH 90% 이하의 모든 구간에서 PM<sub>10</sub>이 증가할수록 감소 경향이 나타났으나, RH 90% 이상 및 PM<sub>10</sub> 60 µg/m<sup>3</sup> 이상의 구간에서는 2.9~3.4 km로 큰 오차 변화는 나타나지 않았다.

결국 시정은 전반적으로 PM<sub>10</sub> 농도가 10 µg/m<sup>3</sup>씩 증가할수록 평균 1.4 km 그리고 RH는 10%씩 증가할수록 약 2.1 km씩 감소하는 경향을 보였다. 또한, PM<sub>10</sub> 및 RH가 10 µg/m<sup>3</sup> 및 10%씩 동시에 증가할수록 평균 3.1 km의 시정 감소 경향을 보였다.

### 3.3. 각종 조건별 특성

Table 3에는 총 자료(Sector 1) 중 강수, 안개, 박무, 연무, 황사현상 등 각종 시정장애 현상시 및 모든 시정

장애 현상시를 제외한 청정 조건시(Other) 그리고 강수, 안개, 황사 등 자연적 시정장애 현상시를 제외한 조건 Sector 2 및 Sector 2 중 주간 시간대(10:00~18:00)인 Sector 3에 대한 각각의 시정, PM<sub>10</sub> 및 RH의 평균값(mean), 표준편차(SD), 50<sup>th</sup> 중위값, 상관계수를 나타냈다.

시정은 시정장애 현상인 안개 0.5 km, 박무 5.5 km, 연무 7.2 km, 강수 8.3 km, 황사 9.0 km의 순으로 낮게 나타났으며, 이러한 시정장애 현상을 제외한 청정시 19.2 km에 비해 크게 줄어드는 것으로 나타났다. PM<sub>10</sub> 농도의 경우 강우 21 µg/m<sup>3</sup>로 가장 낮게 나타났으며, 청정시 30 µg/m<sup>3</sup>, 안개 32 µg/m<sup>3</sup>, 박무 39 µg/m<sup>3</sup> 그리고 연무 84 µg/m<sup>3</sup> 및 황사 238 µg/m<sup>3</sup>의 순으로 높았다. RH는 수증기와 관련 있는 안개, 박무, 강수시 약 90% 이상으로 높았으며, 연무, 황사, 청정시에는 약 60% 이하 수준으로 낮았다. 시정과의 상관계수는 강수시의 경우 PM<sub>10</sub> -0.139 및 RH -0.535로 상대적으로 RH가 시정에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 황사시의 경우 PM<sub>10</sub> -0.470 및 RH -0.427로

**Table 2.** Change distribution of mean visibility(km) by PM<sub>10</sub>(µg/m<sup>3</sup>) and RH(%) range

| N=56,612  |                   | RH range (%)          |                     |                     |                    |                     |                     |                     |                     |                    |
|---|-------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
|   |                   | All                   | ≤ 30                | 31-40               | 41-50              | 51-60               | 61-70               | 71-80               | 81-90               | > 90               |
| PM <sub>10</sub><br>range<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | All               | 15.2±7.7 km<br>(100%) | 22.9±5.5<br>(10.5%) | 22.0±5.7<br>(19.0%) | 19.5±5.8<br>(9.5%) | 18.2±5.9<br>(10.2%) | 16.9±5.9<br>(11.3%) | 15.1±5.8<br>(12.6%) | 11.4±6.0<br>(19.4%) | 7.3±5.5<br>(18.0%) |
|   | ≤ 20              | 17.0±7.8<br>(31.1%)   | 26.1±4.1<br>(2.4%)  | 24.3±4.2<br>(1.4%)  | 23.5±4.0<br>(1.8%) | 22.8±3.9<br>(2.4%)  | 21.3±4.2<br>(3.3%)  | 19.4±4.0<br>(4.1%)  | 14.6±5.8<br>(7.4%)  | 9.3±6.2<br>(8.4%)  |
|   | 21-30             | 16.3±7.7<br>(24.2%)   | 24.9±4.1<br>(2.4%)  | 23.7±4.3<br>(2.0%)  | 22.3±4.1<br>(2.3%) | 20.7±4.0<br>(2.4%)  | 18.6±4.4<br>(2.9%)  | 15.8±4.6<br>(3.2%)  | 11.3±5.4<br>(4.9%)  | 6.9±4.5<br>(4.2%)  |
|   | 31-40             | 15.2±7.4<br>(18.1%)   | 23.5±4.1<br>(2.0%)  | 21.9±4.2<br>(1.9%)  | 20.4±4.6<br>(2.0%) | 17.9±4.6<br>(2.1%)  | 15.5±4.7<br>(2.2%)  | 13.2±4.9<br>(2.2%)  | 9.5±4.8<br>(3.2%)   | 5.5±3.7<br>(2.4%)  |
|   | 41-50             | 13.9±7.1<br>(10.8%)   | 21.8±4.6<br>(1.4%)  | 19.8±4.5<br>(1.2%)  | 17.7±4.6<br>(1.4%) | 15.4±4.8<br>(1.4%)  | 13.3±4.6<br>(1.2%)  | 11.4±4.8<br>(1.3%)  | 8.2±4.6<br>(1.6%)   | 4.4±3.2<br>(1.3%)  |
|   | 51-60             | 12.7±6.7<br>(6.3%)    | 20.2±4.6<br>(1.0%)  | 17.1±4.8<br>(0.8%)  | 15.6±4.9<br>(0.8%) | 13.3±4.3<br>(0.8%)  | 11.9±4.6<br>(0.7%)  | 10.1±4.4<br>(0.7%)  | 7.1±4.3<br>(0.9%)   | 3.9±3.1<br>(0.7%)  |
|   | 61-70             | 11.2±6.5<br>(3.6%)    | 18.3±4.9<br>(0.5%)  | 15.9±5.2<br>(0.4%)  | 14.4±4.6<br>(0.5%) | 12.1±4.4<br>(0.5%)  | 10.2±4.2<br>(0.4%)  | 8.5±4.6<br>(0.4%)   | 6.6±4.1<br>(0.5%)   | 3.1±2.2<br>(0.4%)  |
|   | 71-80             | 10.3±6.2<br>(2.1%)    | 17.3±5.4<br>(0.3%)  | 14.6±5.4<br>(0.3%)  | 12.4±4.5<br>(0.2%) | 11.0±4.5<br>(0.3%)  | 9.1±4.2<br>(0.3%)   | 8.6±4.3<br>(0.2%)   | 5.6±3.4<br>(0.4%)   | 3.2±2.3<br>(0.2%)  |
|   | 81-90             | 9.7±5.8<br>(1.3%)     | 15.7±5.5<br>(0.2%)  | 13.3±5.2<br>(0.2%)  | 10.5±4.2<br>(0.2%) | 9.8±4.0<br>(0.2%)   | 8.5±3.8<br>(0.1%)   | 7.9±4.5<br>(0.2%)   | 5.6±3.7<br>(0.2%)   | 3.4±2.9<br>(0.1%)  |
|   | 91-100            | 9.2±5.3<br>(0.8%)     | 14.7±6.0<br>(0.1%)  | 11.2±4.1<br>(0.1%)  | 10.3±5.1<br>(0.1%) | 8.6±3.9<br>(0.1%)   | 8.9±4.3<br>(0.1%)   | 8.8±4.4<br>(0.1%)   | 5.5±3.3<br>(0.1%)   | 2.9±2.2<br>(0.1%)  |
| > 100   | 8.4±4.8<br>(1.6%) | 12.2±5.2<br>(0.3%)    | 10.1±4.4<br>(0.3%)  | 8.7±4.3<br>(0.2%)   | 8.5±4.1<br>(0.2%)  | 7.8±4.3<br>(0.2%)   | 6.9±3.3<br>(0.2%)   | 5.1±2.9<br>(0.2%)   | 3.1±2.6<br>(0.1%)   |                    |

상대적으로 PM<sub>10</sub>가 시정에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 시정장애 현상의 발생율은 수증기와 관련 있는 강수, 박무 및 안개의 경우 약 26% 그리고 먼지

등과 관련 있는 연무나 황사시가 약 5% 등 전체 자료 중 약 31%의 발생 비율을 보였다.

한편, Sector별로 시정은 Sector 1 15.2 km, Sector 2

**Table 3.** Statistics of visibility, PM<sub>10</sub>, and RH in various conditions

| Sector | N      | Visibility (km) |     |      | PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) |     |      | RH (%) |    |      | Correlation coeff.       |            |
|--------|--------|-----------------|-----|------|---------------------------------------|-----|------|--------|----|------|--------------------------|------------|
|        |        | Mean            | SD  | 50th | Mean                                  | SD  | 50th | Mean   | SD | 50th | Vis. vs PM <sub>10</sub> | Vis. vs RH |
| Preci. | 4,270  | 8.3             | 5.7 | 6.0  | 21                                    | 16  | 17   | 89     | 10 | 91   | -0.139**                 | -0.535**   |
| Fog    | 626    | 0.5             | 0.3 | 0.5  | 32                                    | 25  | 25   | 95     | 3  | 95   | 0.281                    | -0.228**   |
| Mist   | 9,780  | 5.5             | 2.2 | 5.0  | 39                                    | 29  | 33   | 90     | 6  | 91   | -0.177**                 | -0.291**   |
| Haze   | 2,513  | 7.2             | 1.7 | 8.0  | 84                                    | 111 | 64   | 57     | 14 | 61   | -0.318**                 | -0.156**   |
| Dust   | 420    | 9.0             | 4.3 | 9.0  | 238                                   | 232 | 164  | 52     | 21 | 49   | -0.470**                 | -0.427**   |
| Other  | 39,254 | 19.2            | 5.3 | 20.0 | 30                                    | 17  | 27   | 58     | 23 | 59   | -0.269**                 | -0.478**   |
| Ave    | 56,612 | 15.2            | 7.7 | 15.0 | 34                                    | 33  | 28   | 66     | 24 | 70   | -0.204**                 | -0.644**   |
| 2 Ave  | 51,307 | 16.0            | 7.4 | 18.0 | 33                                    | 20  | 29   | 64     | 24 | 67   | -0.338**                 | -0.620**   |
| 3 Ave  | 24,673 | 19.1            | 6.8 | 20.0 | 36                                    | 21  | 32   | 48     | 20 | 47   | -0.455**                 | -0.475**   |

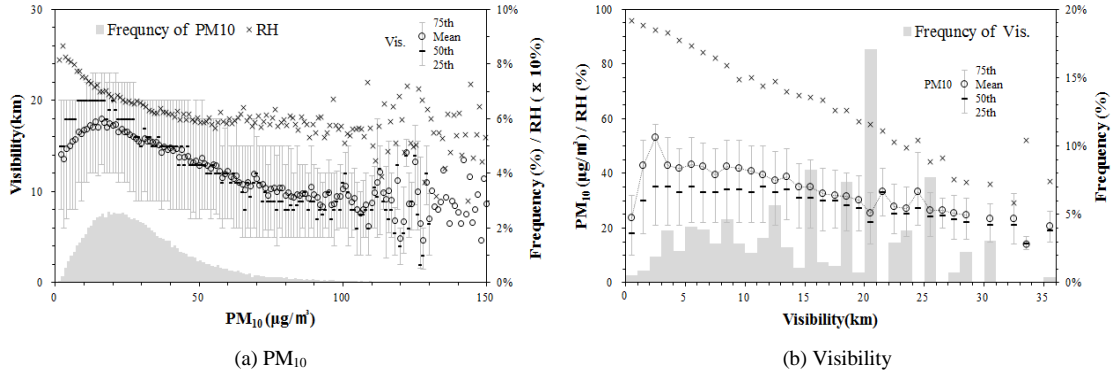


Fig. 2. Relationship of between visibility and PM<sub>10</sub> concentration.

16.0 km 및 Sector 3 19.1 km로 나타났으며, 시정과의 상관계수는 PM<sub>10</sub>의 경우 -0.204에서 -0.338 및 -0.455로 증가된 반면, RH와의 경우 -0.644에서 -0.620 및 -0.475로 점차 감소하였다.

3.4. 시정 및 PM<sub>10</sub> 농도별 변화 특성

Fig. 2의 (a)에는 Sector 1의 조건에서 PM<sub>10</sub> 1 µg/m<sup>3</sup> 농도별에 따른 시정 변화, 반대로 (b)에는 시정 1 km 거리별에 따른 PM<sub>10</sub> 농도변화에 대해 발생빈도, 평균값, 사분위값(25<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>) 및 평균 RH를 나타냈다.

(a)에서 PM<sub>10</sub>의 농도별 발생빈도는 100 µg/m<sup>3</sup> 이하가 98.4%로 대부분을 차지하고 있었다. 전반적으로 시정은 PM<sub>10</sub>과 음의 상관성을 보였으나, 100 µg/m<sup>3</sup> 이상에서는 매우 큰 편차를 보였다. 그러나, PM<sub>10</sub> 약 15 µg/m<sup>3</sup> 이하에서는 시정과 양의 상관성을 보였으며, 이

때 RH 75% 이상으로 나타나 높은 RH에서 시정은 PM<sub>10</sub> 영향보다 RH에 매우 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

(b)에서 시정 거리별 발생빈도는 20 km가 약 17%로 가장 높았다. 전반적으로 시정이 증가할수록 PM<sub>10</sub>의 경우 편차가 다소 줄어드는 음의 상관성 그리고 RH가 PM<sub>10</sub>보다 더 강한 음의 상관성을 보였다. 그러나 시정 2 km 이하에서는 PM<sub>10</sub>과 양의 상관성을 나타내고 있었으며, 이때 RH 90% 이상으로 나타나 RH에 의한 영향을 더 크게 받는 것으로 판단된다.

결국, 시정과 PM<sub>10</sub> 농도와의 음의 지수함수 상관관계 하에서 평가 및 관련 수식을 정립하기 위해서는 RH 75~90% 이하 조건, PM<sub>10</sub> 15~100 µg/m<sup>3</sup> 농도범위 조건 및 시정 2 km 이상 조건 등을 고려할 필요가

Table 4. Regression statistics for visibility to PM<sub>10</sub> concentration and relative humidity

|  | Sector 1  | Other   | Sector 2  | Sector 3  |
|--|---|---|---|---|
| <i>1) All condition</i>  |   |   |   |   |
| R (R <sup>2</sup> )  | 0.713 (0.509)                                     | 0.647 (0.418)                                     | 0.765 (0.586)                                     | 0.728 (0.529)                                     |
| Equation   | Vis=(-0.071×PM <sub>10</sub> )+(-0.222×RH)+32.337 | Vis=(-0.139×PM <sub>10</sub> )+(-0.145×RH)+31.778 | Vis=(-0.169×PM <sub>10</sub> )+(-0.218×RH)+35.569 | Vis=(-0.185×PM <sub>10</sub> )+(-0.200×RH)+35.397 |
| Cal/Obs  | 1.71±8.81   | 1.05±0.24   | 1.21±0.81   | 1.11±0.56   |
| <i>2) Control condition : Range of PM<sub>10</sub> 15~100 µg/m<sup>3</sup> and Visibility ≥ 2 km</i> |   |   |   |   |
| R (R <sup>2</sup> )  | 0.778 (0.605)                                     | 0.651 (0.423)                                     | 0.776 (0.602)                                     | 0.728 (0.530)                                     |
| Equation   | Vis=(-0.170×PM <sub>10</sub> )+(-0.231×RH)+36.150 | Vis=(-0.143×PM <sub>10</sub> )+(-0.150×RH)+32.103 | Vis=(-0.175×PM <sub>10</sub> )+(-0.223×RH)+35.989 | Vis=(-0.200×PM <sub>10</sub> )+(-0.204×RH)+36.071 |
| Cal/Obs  | 1.19±0.64   | 1.05±0.24   | 1.17±0.60   | 1.10±0.42   |

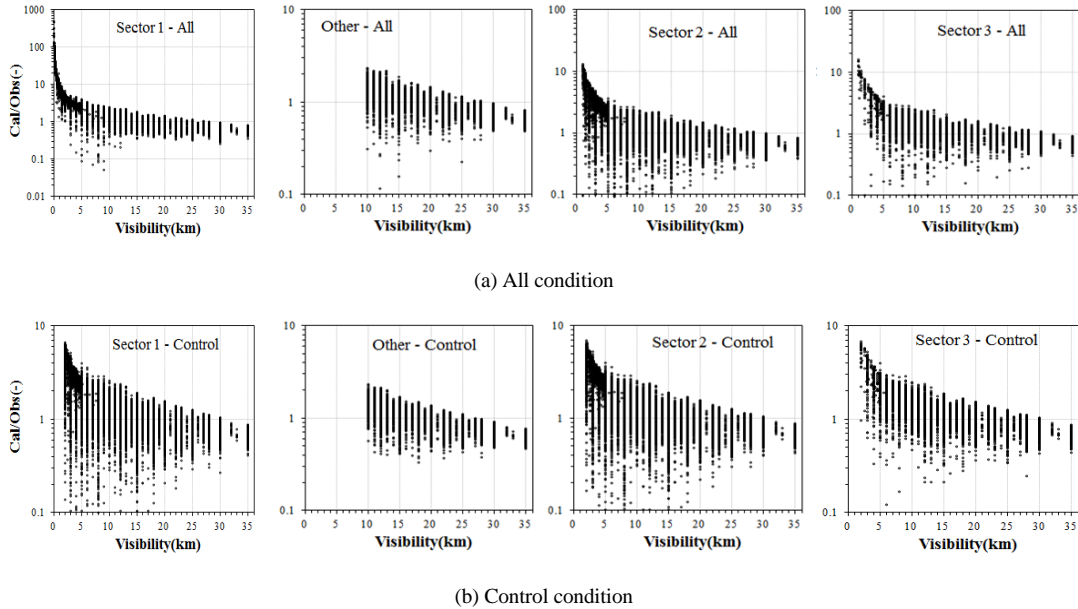


Fig. 3. Ratios of calculated/observed visibility.

있을 것이다. 이러한 조건은 강수, 안개, 황사 등 주로 자연적 시정장애 현상시를 제외한 경우로 나타날 수 있다.

3.5. 회귀분석

Table 4에는 Sector 1, Other(청정 조건), Sector 2 및 Sector 3 등 각 조건에서 종속변수 시정과 독립변수 PM<sub>10</sub> 농도 및 RH를 포함한 선형 회귀분석의 결과를 나타냈다. 여기서 모든 자료(All) 그리고 PM<sub>10</sub> 15~100 µg/m<sup>3</sup> 농도범위 및 시정 ≥ 2 km의 조건 자료(control)에 대해 상관관계(R), 수식의 결정계수(R<sup>2</sup>), 시정에 따른 상관관계식 그리고 시정 관측치(Obs)에 계산치(Cal)를 나눈 비교값(Cal/Obs)으로 각각 나타냈다.

회귀분석 결과 Sector 1의 경우 All 조건에서 R 0.713, R<sup>2</sup> 0.509, Cal/Obs 1.71 그리고 control 조건에서 R 0.778, R<sup>2</sup> 0.605, Cal/Obs 1.19로 나타났다. 특히, Cal/Obs 값은 Sector 1의 경우 All 조건보다 control 조건이 시정의 계산치가 관측치에 더 가까운 상관 특성이 나타났으나, Other, Sector 2, Sector 3의 경우 All 조건 및 control 조건 모두 유사한 결과가 나타났다.

한편, Fig. 3에는 시정거리에 따른 비교값(Cal/Obs)을 각 조건별로 각각 나타냈다.

Cal/Obs의 분포 스케일은 Sector 1의 경우 All 조건에서는 약 0.1~1,000까지 매우 넓게 분포하고 있는 반면, control 조건에서는 약 0.1~10으로 크게 줄어들었으며, 또한 모든 시정거리에서 Cal/Obs 1을 포함하고 있었다. 결국 PM<sub>10</sub> 농도를 통해 시정과와의 상관관계식을 나타내기 위해서는 RH 변수를 포함한 control 조건에서 상대적으로 보다 정확히 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

시정은 기상학적 특성 및 대기오염물질의 거동 특성 등 다양한 자연적, 인위적 현상요인에 따라 지역별 큰 편차를 보이게 되나, 대기질의 개선 및 체감오염도를 평가하는 측면에 있어 가장 단편적인 지표로써 사용될 수 있다. 본 연구에서는 최근 9년간 진주기상대의 관측자료를 사용하여 진주지역의 시정 특성을 PM<sub>10</sub> 및 RH 등 변수와의 상관성으로 파악한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 시정은 평균 15.2 km으로 나타났으며, 각종 시정장애 현상시 시정은 안개 0.5 km, 박무 5.5 km, 연무 7.2 km, 강수 8.3 km, 황사 9.0 km의 순으로 나타났으며, 시정장애 현상을 제외한 청정 조건시 19.2 km에 비해 크게 줄어드는 것으로 나타났다.

2) 시정은 PM<sub>10</sub> 농도가 10 µg/m<sup>3</sup>씩 증가할수록 약 1.4 km, RH은 10%씩 증가할수록 약 2.1 km 그리고 동시에 PM<sub>10</sub>와 RH가 10 µg/m<sup>3</sup> 및 10%씩 증가할수록 평균 3.1 km의 감소하였다.

3) 그러나 시정은 PM<sub>10</sub> 15 µg/m<sup>3</sup> 이하 및 시정 2 km 이하에서는 PM<sub>10</sub> 농도와 양의 상관 특성을 보였고 이는 75% 이상의 높은 RH에 의한 영향을 더 크게 받는 것으로 판단되었다.

4) 따라서 시정과 PM<sub>10</sub> 농도와 음의 상관관계 하에서 상관성을 분석하기 위해서는 RH 75~90% 이하 조건, PM<sub>10</sub> 15~100 µg/m<sup>3</sup> 농도범위 조건 및 시정 2 km 이상 조건 등을 고려할 필요가 있다. 또한, PM<sub>10</sub> 농도를 통해 시정과의 상관관계식을 나타내기 위해서는 RH 변수를 포함한 control 조건에서 상대적으로 정확하게 표현될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2016년도 경남과학기술대학교 연구비지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

### REFERENCES

Dayan, U., Levy, I., 2004, The influence of meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM<sub>10</sub> and visibility in Tel Aviv, J. Appl. Meteor., 44, 606-619.

Interagency Monitoring of Protected Visual Environments (IMPROVE), 2016, <http://vista.cira.colostate.edu/improve>

Kim, K. W., 2009, Physico-chemical characteristics of visibility impairment in a national park area, KOSAE, 25(4), 325-338.

Korea Meteorological Administration (KMA), 2011, Climatological normals of Korea, 1981~2010.

Korea Meteorological Administration (KMA), 2016, <http://web.kma.go.kr/communication/elearning/>

Lee, H. J., Lee, E. H., Lee, S. S., Kim, S. B., 2012, Study of methodology for estimating PM<sub>10</sub> concentration of asian dust using visibility data, Atmosphere, 22(1), 13-28.

Li, Y., Chen, Q., Zhao, H., Wang, L., Tao, R., 2015, Variations in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1.0</sub> in an urban area of the Sichuan Basin and their relation to meteorological factors, Atmosphere, 6, 150-163.

Ministry of Environment (MoE), 2016, Annual report of air quality in Korea, 2015.

National Climate Data Service System (NCDSS), 2016, <https://data.kma.go.kr>

National Institute of Environmental Research (NIER), 2013, The study of the visual characteristics for the improvement of bodily sensation air pollution level, NIER-RP2013-191.

Park, J. S., Park, S. M., Song, I. H., Shin, H. J., Hong, Y. D., 2015, Characteristics of visibility impairment by semi-continuous optical and chemical property monitoring of aerosols in Seoul, KOSAE, 31(4), 319-329.

Zorita, E., Storch, H., 1999, The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods, J. Climate, 12, 2474-2489.