

## Forward Scattering Meter 측정에 의한 부산의 하계 시정 특성

김 유 근·배 주 현·이 수 현  
부산대학교 대기과학과  
(1999년 8월 11일 접수)

### The Characteristics of Visibility Measured by Forward Scattering Meter on Summertime in Pusan

Yoo-Keun Kim, Joo-Hyun Bae and Sue-Hyun Lee

Dept. of Atmospheric Science, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea

(Manuscript received 11 August, 1999)

Visibility reduction is a barometer of air pollution, which people can notice easily. First of all, we need to measure quantified visibility continuously in order to examine visibility reduction. Prevailing visibility is not practical to measure visibility depending on observer's expertness.

Scattering visibility using Forward Scattering Meter (Belfort Visibility Sensor 6230) has been measured at Kwangan-Dong in Pusan and analysed since July, 1998. According to the analysis, the correlation coefficient(R) between prevailing visibility and scattering visibility was 0.7235.

The visibility appeared that each frequency of poor visibility(under 6km) and good visibility(over 25km) was 10.6%, 9.7% on summertime in Pusan and the visibility range from 10km to 20km ranked high frequency as a half of whole ranges.

The order of correlation coefficients between visibility and air pollutants are ranking CO, PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub>, that values are 0.5878, 0.5369, 0.5284 respectively. In meteorological factor, the case of poor visibility presented more weakly wind speed and higher relative humidity than the case of good visibility.

The correlation coefficient between calculated visibility of multiple linear regression model and observed visibility was 0.7215. But the trend of calculated and observed visibility variation was similar with the exception of several good visibility cases.

Key words : visibility, Forward Scattering Meter, scattering visibility

#### 1. 서 론

대기 중의 오염물질은 빛을 흡수하거나 산란시키기 때문에 시정 목표물로부터 빛의 강도를 감쇄시키는데, 많은 경우 빛의 감쇄는 대기 중에 존재하는 입자상 물질과 기체분자에 의한 빛의 산란효과에 지배된다.<sup>1)</sup> 1991년 이후 SO<sub>2</sub>를 포함한 일부 1차 대기오염물질은 감소 추세를 보인 반면 O<sub>3</sub> 등 2차 대기오염물질은 오히려 증가하고 있는 것으로 여러 조사 연구에서 제시되었고, 이러한 2차 오염물질은 기상인자 등과 결합하여 시정악화의 주원인인 것으로 보고된 바 있다.<sup>2)</sup>

특히 낮시간의 시정장에 현상은 일반인들이 대기오염 척도로 이해하는 현상으로 볼 수 있기에, 이러한 시정악화 현상을 정확하게 규명하는 것은 지역 대기질 환경을 파악하는 중요한 방법중의 하나라고 볼 수 있다. 이를 위해서는 시정을 신뢰성 있는 방법을 통해 정량적으로 측정하여 연속적인 자료를 얻어야 하며, 아울러 동일 시간대의 기상 자료와 대기질 자료를 충분히 확보하여야

한다. 현재 기상청의 시정 측정은 목측을 기본으로 하는 관측방법으로 관측자의 숙련도와 판단기준의 객관도, 그리고 거리별 목표물의 한정성 등의 영향으로 2km미만의 시정이나 30km이상의 시정을 정확하게 측정하지 못하는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 기기의 신뢰성이 인정된 Forward Scattering Meter(Belfort Visibility Sensor 6230)를 이용하여 측정 한 시정자료와 당시의 기상 및 대기질 자료를 이용하여 부산 지역의 하계 시정 특성을 분석·고찰하였다.

#### 2. 자료 및 연구 방법

본 연구에 사용된 시정자료는 Forward Scattering Meter(이하 FSM으로 약술)를 이용하여 측정 한 자료이다. FSM 측정은 송신부의 크세논 후레쉬 램프에서 자외광선이 1초에 두 번씩 일정 공간의 대기 중으로 투사되고, 이것이 대기 중의 에어로솔에 의해 전방 산란된 것을 수신부에서 감지하여 이를 시정으로 환산하는 원

리로 측정이 된다. Table 1은 FSM의 사양을 나타낸 것이며, 이 기기의 관측원리는 Fig. 1에 간략하게 도식화하였다. 본 연구에서는 10분 간격으로 측정하여, 이를 1시간 단위로 평균한 값을 그 시간의 시정으로 정하였다.

Table 1. The constituent of Forward Scattering Meter(Belfort Visibility Sensor 6230)

Item	Content	
<b>Electrical</b>	Range of Extinction coefficient	$579\text{km}^{-1} \sim 0.05\text{km}^{-1}$
	Corresponding Daytime Visibility	5.2m ~ 59.6km
	Accuracy	$\pm 10\%$
	Time Constant	60s
	Optional Analog Output impedance	0.0024 ~ 10V (<150Ω)
<b>Optical</b>	Flash Rate	2/sec
	Band Width	400 ~ 800nm
	Scatter Angle	20 ~ 50 °
	Sample Volume	0.02m <sup>3</sup>
<b>Environmental</b>	Temperature	-55 ~ 55°C
	Humidity	5 ~ 100%
	Wind	~ 125kts

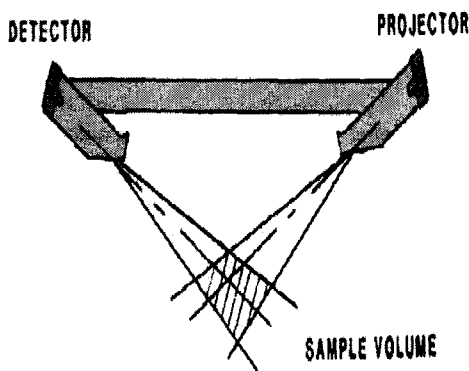


Fig. 1. Observation principle of Forward Scattering Meter.

현재 이 기기는 Fig. 2와 같이 부산시 수영구 광안동 소재 부산보건환경연구원 옥상에 설치되어 측정되고 있으며, 본 연구에서는 1998년 7월과 8월의 측정 자료를 사용하여 하계 시정의 특성을 분석·고찰하였다. 대부분의 기상자료는 시정이 측정되고 있는 동일 장소인 부산보건환경연구원의 자동 기상관측기에서 관측된 자료(풍향·풍속·상대습도·기온·기압 등)를 이용하였고, 강수자료만은 부산지방기상청에서 관측된 자료를 이용하였다.

또한, 대기오염자료로는 SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, non-CH<sub>4</sub>, PM<sub>10</sub>의 농도 자료를 사용하였는데 이 자료 역시 부산보건환경연구원에서 측정된 값이다. 그리고 1시간 단위로 측정된 기기 시정값(FSM 측정값)과의 비교를 위해 부산지방기상청에서 3시간 간격으로 측정되는 목측 시정자료를 이용하였다. 특히, 본 연구에서는 대기오염물질과 시정과의 관계를 분석하기 위해 시

정 감소의 자연적 원인이 되는 강수에 의한 효과는 모두 배제하였다.

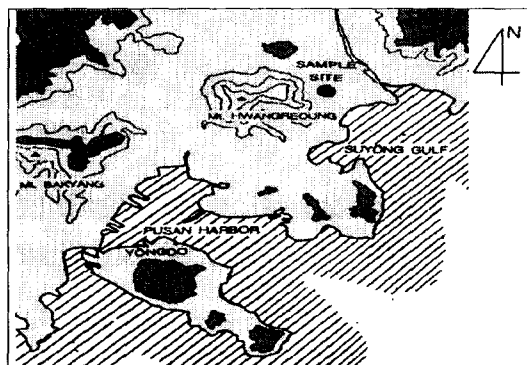


Fig. 2. The monitoring site of visibility and air pollutants in Pusan.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기기 시정과 목측 시정의 관계

FSM에 의해 측정된 기기 시정(forward scattering meter visibility)과 지방 기상청에서 관측된 목측 시정(prevaling visibility)의 시계열과 두 값 사이의 상관관계는 각각 Fig. 3과 4와 같다. 두 시정의 상관계수(R)는 0.7235로 어느 정도 상관성은 있어 보이나, 측정값의 분포에서는 두 값 사이에 엄연한 차이가 나타났다. 특히 목측 시정의 경우 30km이상의 시정은 측정되지 않았지만, 기기 시정의 경우는 30km 이상의 시정도 민감하게 측정되었다.

또한, 측정값의 시정대별 빈도 수를 보면 Fig. 5와 같이 기기 시정의 경우는 거의 모든 시정범위를 잘 표현하고 있는 반면, 목측 시정의 경우는 대부분 대표값으로 측정되어 정확한 측정값이 기록이 되지 않는 시정의 범위가 있음을 알 수 있다. 이는 목측 시정이 관측자의 주관적 판단에 의해 관측됨으로 해서 측정값의 객관성과 정확성이 기기 시정에 비해 떨어지기 때문인 것으로 사료된다.

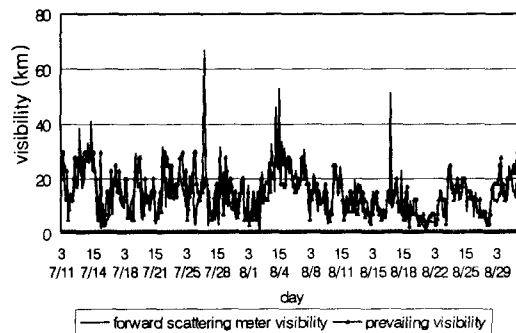


Fig. 3. Time series of prevailing visibility and forward scattering meter visibility in Pusan (Jul. 11 ~ Aug. 31, 1998).

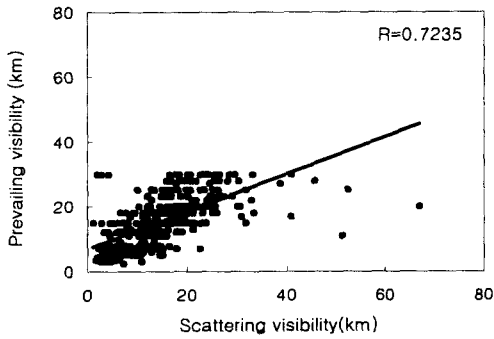


Fig. 4. Correlation of prevailing visibility and scattering visibility in Pusan(Jul. 11 ~ Aug. 31, 1998).

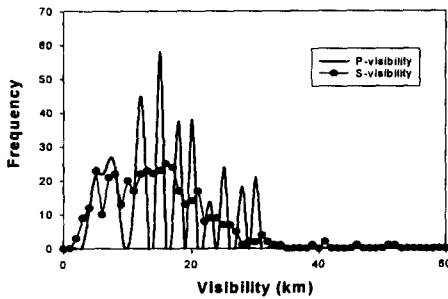


Fig. 5. The appearance frequency of prevailing visibility and scattering visibility in Pusan(Jul. 11 ~ Aug. 31, 1998).

3.2. 양시정과 악시정시의 대기환경 특성

영국의 Corfield와 Newton<sup>3)</sup>은 양시정을 20km이상, 악시정을 5km이하로 정한 바가 있고, 우리나라에서는 최정숙과 정용승<sup>4)</sup>이 시정이 6km이하인 날을 연무 일이라 하여 연구 한 바가 있다. 본 연구에서는 6km이하인 경우를 악시정이라 하고, 25km이상인 경우를 양시정이라 하여 각 경우의 대기환경 특성을 고찰하였다. Table 2와 같이 시정거리대별 관측 빈도를 보면, 연구기간동안의 악시정과 양시정의 빈도는 각각 10.6%와 9.7%로 나타났으며, 가장 높은 빈도는 시정 10~15km(28.8%)와 15~20km(22.5%)에서 나타나 부산의 하계 시정이 10~20km범위가 절반이상의 높은 빈도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Table 2. The appearance frequency of scattering visibility of each visual range group in Pusan(Jul. 11 ~ Aug. 31, 1998)

	<6km	6~10km	10~15km	15~20km	20~25km	25km<	Total
Number	88	130	239	187	106	81	831
Percentage(%)	10.6	15.6	28.8	22.5	12.8	9.7	100

양시정시와 악시정시의 주요 기상요소(상대습도, 풍향, 풍속, 기온)와 대기오염물질 농도(SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>)의 평균치를 비교·분석한 결과는 Table 3과 같다. 모든 오염물질이 악시정의 경우가 양

시정의 경우보다 높았으나, SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 경우는 두 경우의 차이가 두드러지지 않았고, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>의 경우는 악시정이 양시정보다 팔목할 만큼 높게 나타났다. 이로써 부산의 시정악화는 자동차 등 수송기관에 의해 배출되는 대기오염물질에 의해 주도된다고 해석할 수 있다.

그리고 악시정인 경우와 양시정인 경우의 기상요소를 비교해보면 기온은 거의 비슷하였으나, 상대습도는 악시정인 경우가 약간 더 높게 나타났다. 또한 풍속은 양시정보다는 악시정 때가 보다 약한 풍속을 보였으며, 풍향의 경우는 양시정시에는 남서풍 또는 북동풍이 탁월하였고, 악시정시에는 서풍계열이 탁월하였다(Fig. 6).

Table 3. Mean values of atmospheric environmental elements of good and poorvisibility case in Pusan

factor	visibility	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	T	wind speed	Humidity
good visibility	26.0	3.7	4.1	11.7	270.6	27.2	14.5	26.7	2.4	77.0
poor visibility	3.8	6.0	8.6	29.6	835.7	35.0	60.3	26.6	1.2	80.0

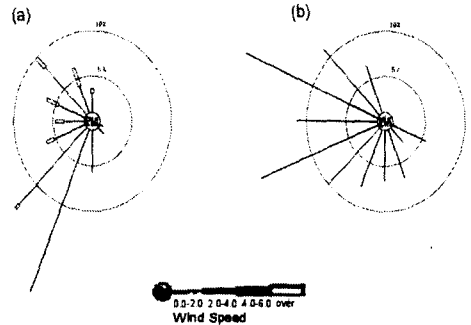


Fig. 6. Wind roses for the case of (a) good and (b) poor visibility.

3.3. 시정과 대기오염과의 관계

시정과 대기오염과의 관계를 살펴보기 위해 FSM에 의해 측정된 기기 시정값과 SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> 농도, 그리고 기상인자를 이용하여 중회귀 분석을 하였고, 분석은 통계프로그램인 SAS(Statistical Analysis System)를 이용하였다. Table 4는 SAS의 상관분석 결과를 도표화한 것으로, 시정과 상관성이 가장 높은 오염물질은 CO, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>의 순이었고, 기상인자는 상대습도와 바람의 u성분 벡터가 높은 상관성을 보였다. 그리고 FSM 측정에 의한 기기 시정의 경험적 추정식을 만들기 위하여 다중선형회귀방식의 하나인 stepwise 범을 통해 다음과 같은 중회귀 모형식을 만들었다.

$$\begin{aligned}
 \text{Visibility} = & -151.5363442 - 0.18371802 \times \text{SO}_2 \\
 & - 0.17996714 \times \text{NO}_2 + 0.05679335 \times \text{NO}_x \\
 & - 0.00948474 \times \text{CO} - 0.0848124 \times \text{PM}_{10} + \\
 & 0.69485883 \times u - 0.98118275 \times v - 0.26299333 \\
 & \times \text{Rh} + 0.19707113 \times \text{P}
 \end{aligned}$$

Table 4. Correlation coefficient matrix of the various environmental and meteorological elements

	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NOx	CO	PM <sub>10</sub>	u	v	RH	P	Vis
SO <sub>2</sub>	1.0000										
NO	0.2110	1.0000									
NO <sub>2</sub>	0.4668	0.3673	1.0000								
NOx	0.4328	0.7603	0.8827	1.0000							
CO	0.2260	0.1988	0.5914	0.5131	1.0000						
PM <sub>10</sub>	0.2410	0.0200	0.5109	0.3663	0.6275	1.0000					
u	0.0448	0.0459	-0.1671	-0.0924	-0.2623	-0.1717	1.0000				
v	-0.0706	-0.0708	-0.0588	-0.0794	0.0310	0.0079	0.2963	1.0000			
Rh	-0.1639	0.0680	0.0548	0.0789	-0.0746	-0.0630	0.0266	-0.0996	1.0000		
P	0.1832	0.0067	0.0612	0.0635	0.1382	0.2033	0.1446	-0.3058	-0.1369	1.0000	
Vis	-0.2246	-0.1100	-0.5284	-0.4220	-0.5678	-0.5369	0.2050	-0.0879	-0.2185	0.0478	1.0000

여기서 SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NOx, CO, PM<sub>10</sub>은 각각의 농도를 말하며, u와 v는 각각 바람의 x와 y 성분 벡터, Rh는 상대습도, P는 기압을 나타낸다. 각 요소의 단위는 Table 3에 나타난 단위와 같다.

이 모형식은 3% 유의수준에서 기기 시정값을 잘 표현하였고, 모형의 상관계수(R)는 0.7215로 나타났다. Fig. 7과 8은 추정된 값과 측정된 기기 시정값의 시계열과 산포도를 각각 나타낸 그림이다. 이 모형식은 실측 시정값의 경향을 잘 표현하고 있고, 극히 높은 양시정의 경우를 제외하고는 시정을 잘 추정하고 있다. 특히, 이 중회귀 모형식은 악시정을 포함한 저시정을 상당히 잘 추정하고 있어, 시정모형으로서는 상당히 유효하다고 생각된다.

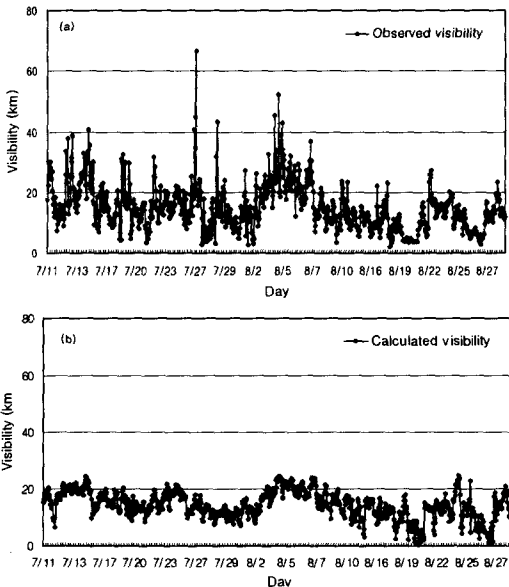


Fig. 7. Time series of (a) observed visibility and (b) calculated visibility.

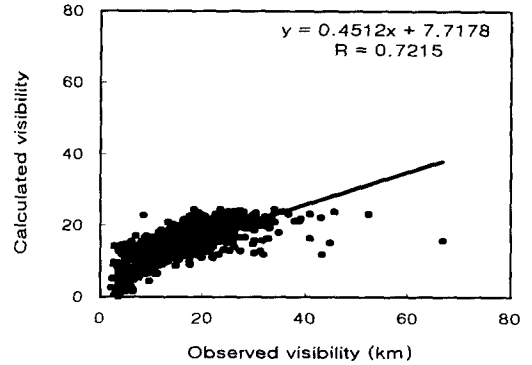


Fig. 8. The dispersion of observed visibility and calculated visibility.

#### 4. 결 론

본 연구는 Forward Scattering Meter로서 1998년 하계(7, 8월)에 측정된 부산의 시정 자료를 이용하여, 부산 시 하계 시정의 특성을 분석하고, 아울러 시정 추정을 위한 중회귀 방정식을 만들고자 하는 것이 목적이며 그 연구 결과는 다음과 같다.

1. 목적 시정과 기도시정의 상관관계는 0.72정도로 나타났다으며 목적의 경우는 30km이상의 시정은 측정하지 못하였으나, FSM은 민감하게 측정되었다.
2. 부산의 하계시정은 6km이하의 악시정이 10.6%, 25 km이상의 양시정이 9.7%의 빈도를 나타내었고, 10~20 km대의 시정범위가 전체의 절반으로 높은 빈도를 나타내었다.
3. 시정과 상관성이 가장 높은 오염물질은 CO, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>의 순이었고, 기상인자로는 상대습도와 바람의 u 성분 벡터가 높은 상관성을 보였다. 악시정의 경우에는 약한 풍속과 높은 상대습도가 두드러졌고, 서풍계열이 탁월하였다.
4. 기기 시정의 중회귀 모형식은 계산치와 실측치의 상관계수가 0.7215로 극히 높은 양시정의 경우를 제외하고는 대체적으로 좋은 결과를 보여주었으며, 특히 악시정을 포함한 저시정을 상당히 잘 추정하는 결과를 보여주었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 김필수, 오미석, 김희운, 1991, 서울대기 에어로졸의 농도와 광소산에 관한 연구, 한국 대기보전학회지, 4(2), 28-37.
- 2) 문길주, 심상규, 백준준, 김성주, 1992, 환경오염 방지 기술 개발 - 서울 지방의 스모그현상 연구 (II), 한국 과학기술연구원 연구보고서, 122pp.
- 3) Corfield, G. A. and W. G. Newton, 1968, A recent change in visibility characteristics at Finningley, Meteor. Mag., 97, 204-209.
- 4) 최정숙, 정용승, 1993, 서울의 대기오염과 시정감소, 한국대기보전학회지, 9(1), 51-66.