

2^k 팩토리얼 설계를 통한 습도가 미세먼지 센서에 미치는 영향 분석

김소현¹⁾, 김나혜²⁾, 이지민³⁾, 한나연⁴⁾, 이의철⁵⁾

Analysis of influence of humidity on fine dust sensor through 2^k factorial design

So Hyeon Kim¹⁾, Na Hye Kim²⁾, Ji Min Lee³⁾, Na Yeon Han⁴⁾, Eui Chul Lee⁵⁾

요 약

최근에 미세먼지 농도가 높아짐에 따라 공기청정기의 수요가 증가하고 있다. 주로 사용되는 공기청정기 내부의 미세먼지 센서는 광 산란 방식이다. 하지만 이 방식은 수분입자를 미세먼지 입자로 오인해 미세먼지 측정값에 오차가 발생한다. 기존의 연구에서는 미세먼지 센서의 습도에 의한 영향 여부를 밝혔을 뿐, 습도 또는 습도가 미세먼지와 상호 작용하여 끼치는 영향의 정량적인 분석을 수행하지 않았다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 습도가 낮고 높은 경우, 미세먼지 농도가 낮고 높은 경우를 조합해 4가지 환경을 조성한 후 광 산란 방식 미세먼지 센서를 이용하여 실험을 진행했다. 실험 결과를 2k 팩토리얼 설계를 통해 미세먼지 농도, 습도, 두 요인의 상호작용이 센서 측정값에 미치는 영향을 정량적으로 분석했다. 분석 결과, 센서의 측정값에 미세먼지 농도가 52.05%로 가장 많은 영향을 미치는 것으로 확인되었으나, 습도 및 습도와 상호작용 요인 또한 각각 27.01%와 20.92%로 영향을 미치는 것으로 나타나 그 영향이 적지 않음이 확인되었다. 본 연구 결과는 광 산란 방식의 미세먼지 센서 측정 값에 포함된 습도에 의한 영향을 보정할 수 있는 객관적 근거로 활용할 수 있을 것이다.

Received(July 10, 2019), Review Result(August 3, 2019)

Accepted(September 17, 2019), Published(September 30, 2019)

¹Undergraduate Student, Dept. of Human Centric Artificial Intelligence, Sangmyung Univ., Hongjimun 2-Gil 20, Jongno-Gu, Seoul, Republic of Korea 03016,

E-mail: rlathgus9872@gmail.com

²Undergraduate Student, Dept. of Human Centric Artificial Intelligence, Sangmyung Univ., Hongjimun 2-Gil 20, Jongno-Gu, Seoul, Republic of Korea 03016,

E-mail: nahelove03@gmail.com

³Undergraduate Student, Dept. of Human Centric Artificial Intelligence, Sangmyung Univ., Hongjimun 2-Gil 20, Jongno-Gu, Seoul, Republic of Korea 03016,

E-mail: jmlee2109@naver.com

⁴Undergraduate Student, Dept. of Human Centric Artificial Intelligence, Sangmyung Univ., Hongjimun 2-Gil 20, Jongno-Gu, Seoul, Republic of Korea 03016,

E-mail: anna4229@naver.com

⁵(Corresponding Author) Associate Professor, Dept. of Human Centric Artificial Intelligence, Sangmyung Univ., Hongjimun 2-Gil 20, Jongno-Gu, Seoul, Republic of Korea 03016,

E-mail: eeclee@smu.ac.kr

핵심어: 미세먼지, 미세먼지 센서, 광 산란 방식, 습도, 2k 팩토리얼 설계

Abstract

Recently, as the fine dust problem, the demand for air cleaners is increasing. Light scattering type is mainly used as the fine dust sensor inside the air cleaner. However, this type of sensor misunderstands the moisture particles as fine dust, an error can be caused in the measured value. Previous studies have only revealed whether the dust measurement value is affected by the humidity, but did not perform a quantitative analysis of the effects of humidity or humidity interacting with the dust. To solve this problem, in this study, four environments were created by combining low and high humidity, low and high fine dust, and then we performed experiment using light scattering type fine dust sensor. The 2k factorial design was used to quantitatively analyze the effects of fine dust, humidity, and their interaction. As a result, it was found that the fine dust had the most influence on the measured value of the sensor as 52.05%, the humidity and its interaction with the fine dust factors also affected 27.01% and 20.92%, respectively. The results of this study can be used as an objective basis to compensate the influence of humidity included in the light scattering type of sensor.

Keywords: Fine dust, fine dust sensor, light scattering method, humidity, 2k factorial design

1. 서론

미세먼지는 지름이 $10\mu\text{m}$ 보다 작고 $2.5\mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 먼지로 PM10이라고 한다. 자동차 배출 가스나 공장 굴뚝 등을 통해 주로 배출된다. 환경부는 지난 1995년 1월부터 $10\mu\text{m}$ 이하의 미세먼지 (PM10)를 새로운 대기오염물질로 규제하고 있으며, 현재 「환경정책기본법 시행령」에 따른 미세먼지의 대기환경 기준은 24시간 평균 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이며, 1년간 평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다 [1]. 장기간 미세먼지에 노출되면 면역력이 급격히 저하되어 감기, 천식, 기관지염 등의 호흡기 질환은 물론 심혈관 질환, 피부질환, 안구질환 등 각종 질병에 노출될 수 있다.

최근 미세먼지 농도가 높아지고 그 위험성이 커지는 만큼 공기청정기의 수요가 증가하고 있다. 일반 가정에서 주로 쓰이는 공기청정기에는 광 산란 방식으로 미세먼지를 측정하는 센서가 내장되어 있다. 광 산란 방식 (light scattering method)이란 공기 중에 부유하고 있는 입자상 물질을 흡인하여 빛을 조사하였을 때 발생하는 산란광의 양을 이용해 질량농도를 최대 1초 단위로 연속적으로 측정하는 방법이다 [2]. 이러한 광 산란 방식의 경우는 채취된 대기 시료 중의 수분입자가 미세먼지 입자로 계수되는 경우가 있어 이로 인한 오차 가능성이 높다 [3]. 이 오차로 인한 공기청정기의 오작동 때문에 공기청정기와 가습기를 같이 사용하면 문제가 발생하는 불편함이 있어 미세먼지와 습도의 상관관계를 알아보는 것이 중요하다.

미세먼지와 습도의 상관관계에 대한 기존 연구로 시정자료를 이용한 황사의 미세먼지 농도 추정방법 연구가 있다. 시정이란 대기의 혼탁정도를 나타내는 기상요소로서 지표면에서 정상적인 시각을 가진 사람이 목표를 식별할 수 있는 최대거리를 말한다. 이 연구에서는 상대습도가 낮을 때는 시정이 좋고, 상대습도가 높을 때는 시정이 나쁘다는 결과를 도출했다 [4]. 또한 실내 공기질에 대한 연구에서는 PM10과 습도의 상관관계를 다루었다. 전반적으로 상대습도가 높아질수록 PM10 농도가 상승하는 추이를 보였다 [5]. 무인항공기 시스템을 이용한 미세먼지 측정 개발 연구에서는

OPC, GPS, 온도, 습도 등의 센서를 활용하여 대기오염 물질을 측정하고 그 오염원을 추적할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 연구를 통해 상대습도의 변화가 상대적으로 미미한 곳에서는 미세먼지의 변화량이 적지만 상대습도의 변화량이 큰 곳에서는 미세먼지의 변화량이 크다는 것을 알 수 있다 [6]. 미세먼지 예측 모델을 만들기 위한 연구를 한 논문에서는 상대습도가 높을수록 대기 중 먼지입자의 크기가 커져 미세먼지의 농도가 높아짐을 보였다 [7]. 국외의 몇몇 연구들에서는 광 산란 방식의 미세먼지 측정 센서가 습도 등의 다른 요인에 의해 영향을 받는다는 것을 실험적으로 보인 바 있다 [8-10].

그러나 위 연구들은 미세먼지 측정에 있어서 습도의 영향 여부를 밝히는데 그쳤고, 습도 자체만의 영향인지 습도와 미세먼지의 상호작용에 의한 영향인지에 대한 정량적인 분석 연구는 없었다. 본 연구는 이런 문제를 해결하기 위해 습도와 미세먼지 수치를 조절하여 4가지 환경을 조성한 후, 습도와 미세먼지가 미세먼지 센서의 측정값에 미치는 영향을 분석하는 방법을 제안한다. 더 나아가서는 측정된 미세먼지 센서의 수치에서 습도에 의한 오차를 보정할 수 있는 기반 연구결과가 될 수 있도록 한다.

2. 실험방법

미세먼지 측정 센서에 영향을 끼치는 변수를 미세먼지 농도와 습도 2가지로 가정하고, 2k factorial design 성능분석 방법을 사용하기 위해 두 변수의 양 극단 값을 제시할 수 있는 실험환경을 설계하고 제작했다.

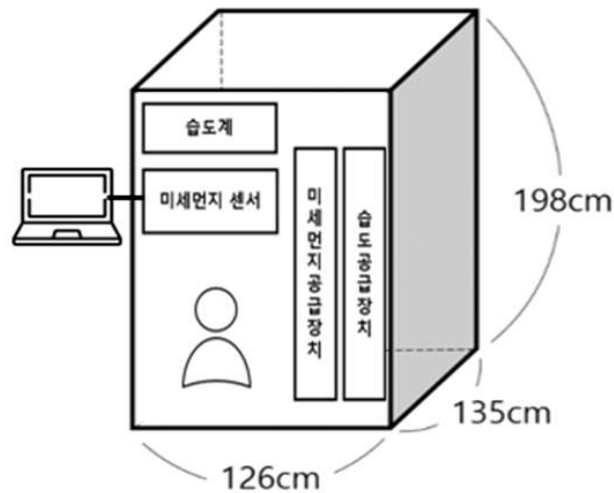
실험환경 설계방법은 다음과 같다. 3.36798m³(가로 : 126cm, 세로 : 135cm, 높이 : 198cm) 크기인 밀폐된 실내 공간에서, 초기 환경을 습도 약 45%, 미세먼지 농도 약 47 μ g/m³로 설정하고 이를 유지하기 위해 공기청정기와 가습기, 습도계를 사용하였다. 미세먼지 측정 센서의 종류는 광 산란 방식을 이용하는 아두이노 미세먼지 센서(GP2Y1014AU)를 사용했고, 아두이노에서 제공하는 Adafruit Unified Sensor 라이브러리를 이용했다.



[그림 1] 실험에서 사용한 미세먼지 센서 (GP2Y1014AU)

[Figure 1] The used fine dust sensor (GP2Y1014AU)

초기 환경에서 습도가 낮은/높은 경우와 미세먼지 농도가 낮은/높은 경우를 조합해 총 4가지 실험환경을 조성하기 위해 뜨거운 물을 5분 동안 벽에 뿌려 습도를 높였고, 향을 5분 동안 피워 미세먼지 농도를 높였다. 매 실험이 끝날 때 마다 동일한 초기 환경을 조성하기 위해 공기청정기를 사용하고 환기를 했다. 실험은 총 4회 진행했고 실험을 시작하고 5분 후의 측정값을 사용했다.



[그림 2] 실험환경 구조도

[Figure 2] Experimental environment

3. 실험결과

1회의 실험은 4개의 습도와 미세먼지 상태의 조합으로 구성된다. 각각의 조합은 1) 습도가 낮고 미세먼지 농도가 낮을 때, 2) 습도가 높고 미세먼지 농도가 낮을 때, 3) 습도가 낮고 미세먼지 농도가 높을 때, 4) 습도가 높고 미세먼지 농도가 높을 때이다. 총 4회의 실험을 했으며 실험 결과값은 동일한 초기 환경에서, 환경 조성 후 미세먼지 센서의 값이 변화 추세 이후 충분한 안정기에 접어들었다고 판단되는 5분 후에 측정하였다. 표 1, 2, 3, 4는 각각 4가지의 실험환경을 조성한 후, 실험한 결과를 정리한 표이다.

[표 1] 첫 번째 실험결과

[Table 1] Results of the first experiment

요인A \ 요인B	습도가 낮을 때 (50%)	습도가 높을 때 (73%)
미세먼지 농도가 낮을 때	71.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	68.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
미세먼지 농도가 높을 때	229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

[표 2] 두 번째 실험결과

[Table 2] Results of the second experiment

요인A \ 요인B	습도가 낮을 때 (50%)	습도가 높을 때 (73%)
미세먼지 농도가 낮을 때	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
미세먼지 농도가 높을 때	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	187.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

[표 3] 세 번째 실험결과

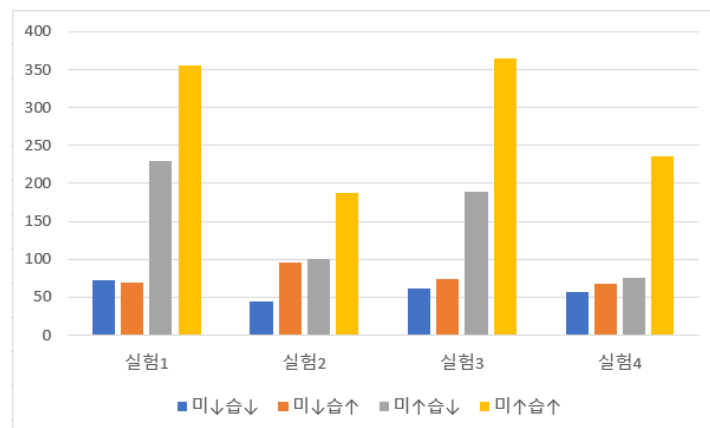
[Table 3] Results of the third experiment

요인A \ 요인B	습도가 낮을 때 (48%)	습도가 높을 때 (74.5%)
미세먼지 농도가 낮을 때	62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
미세먼지 농도가 높을 때	189 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	364 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

[표 4] 네 번째 실험결과

[Table 4] Results of the fourth experiment

요인A \ 요인B	습도가 낮을 때 (50%)	습도가 높을 때 (73%)
미세먼지 농도가 낮을 때	57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
미세먼지 농도가 높을 때	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	236 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



[그림 3] 총 4번의 실험 결과를 나타낸 그래프

[Figure 3] Graph representing four experimental results

위 그래프의 '미↓습↓'은 미세먼지 농도가 낮으면서 습도가 낮은 경우, '미↓습↑'은 미세먼지 농도가 낮으면서 습도가 높은 경우, '미↑습↓'은 미세먼지 농도가 높으면서 습도가 낮은 경우, '미

↑습↑'은 미세먼지 농도가 높으면서 습도가 높은 경우이다. 총 4번의 실험 결과에서 '미↑습↑'인 오른쪽으로 갈수록 미세먼지의 농도가 높아지는 추이를 보였다.

4. 실험분석

본 연구는 미세먼지 농도와 습도의 상관관계를 알아보기 위한 실험을 진행했다. 습도, 미세먼지의 농도, 그리고 둘의 상호작용이 미세먼지 센서의 측정값에 미치는 영향을 측정하기 위해서 2k factorial design 분석법을 사용했다.

$$f = c_0 + c_a x_a + c_b x_b + c_{ab} x_a x_b \quad [\text{식 1}]$$

f 는 요인 A, 요인 B, A와 B의 상호작용에 따른 미세먼지 농도를 나타낸다. 2k factorial design 분석법은 식 1의 방정식을 사용한다 [11].

위 방정식에서 c_0 , c_a , c_b , c_{ab} 는 각각 미세먼지 센서가 측정한 값의 평균, 요인 A (미세먼지 농도)가 미치는 영향, 요인 B (습도)가 미치는 영향, 두 요인의 상호작용이 미치는 영향을 말한다. x_a 는 인위적으로 요인 A (미세먼지 농도)를 높이지 않은 경우에는 -1, 높인 경우에는 1로 정의했다. 동일한 방법으로 x_b 도 인위적으로 요인 B (습도)를 높이지 않은 경우에는 -1, 높인 경우에는 1로 정의했다.

[표 5] 4회의 실험에서 측정된 값의 평균

[Table 5] The average values of four experiments

요인A \ 요인B	요인B	
	습도가 낮을 때 (44.5%)	습도가 높을 때 (74%)
미세먼지 농도가 낮을 때	58.99 $\mu\text{m}/\text{m}^3$	76.45 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
미세먼지 농도가 높을 때	148.25 $\mu\text{m}/\text{m}^3$	285.71 $\mu\text{m}/\text{m}^3$

식 1에 표 5의 값을 대입한 결과 아래와 같이 네 개의 방정식을 도출했다. 표 5는 4번의 실험 결과 값들의 평균을 계산한 것이다.

$$\begin{aligned} 58.99 &= c_0 - c_a - c_b + c_{ab} \\ 148.25 &= c_0 + c_a - c_b - c_{ab} \\ 76.45 &= c_0 - c_a + c_b - c_{ab} \\ 285.71 &= c_0 + c_a + c_b + c_{ab} \end{aligned} \quad [\text{식 2}]$$

식 2의 첫 번째 방정식은 미세먼지 농도가 낮고($x_a = -1$) 습도가 낮음($x_b = -1$) 경우이며 그 값은 58.99이다. 두 번째 방정식은 미세먼지 농도가 높고($x_a = 1$) 습도가 낮음($x_b = -1$) 경우이며 그 값은 148.25이다. 세 번째 방정식은 미세먼지 농도가 낮고($x_a = -1$) 습도가 높음($x_b = 1$) 경우이며 그 값은 76.45이다. 네 번째 방정식은 미세먼지 농도가 높고($x_a = 1$) 습도가 높음($x_b = 1$) 경우이며 그 값은 285.71이다. 식 2의 연립방정식을 행렬 계산식으로 정리하면 아래 식 3과 같다.

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_a \\ c_b \\ c_{ab} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 58.99 \\ 148.25 \\ 76.45 \\ 285.71 \end{bmatrix} \quad [\text{식 3}]$$

식 3에서 4×4 계수행렬의 역행렬을 양 변에 곱하면 c_0, c_a, c_b, c_{ab} 를 계산할 수 있으며, 그 결과는 각각 142.35, 74.63, 38.73, 30 이었다. 이를 식 1에 대입하면 아래 식 4와 같다.

$$\begin{aligned} f &= c_0 + c_a x_a + c_b x_b + c_{ab} x_a x_b \\ &= 142.35 + 74.63 x_a + 38.73 x_b + 30 x_a x_b \end{aligned} \quad [\text{식 4}]$$

이 값에 따르면 평균 미세먼지 센서의 측정값은 $142.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 미세먼지 농도와 습도가 상호작용해 측정값에 미치는 영향인 c_{ab} 는 30으로 나타나, 단일 요인들의 영향 계수인 c_a (74.63), c_b (38.73)의 값과 비교했을 때 무시할 수 없는 큰 값이라고 볼 수 있다. 또한 그 값이 양수이므로 습도와 미세먼지 농도의 상호작용 관계가 양의 상관관계임을 알 수 있다.

요인 A(미세먼지 농도), 요인 B(습도), A와 B의 상호작용 각각이 미세먼지 센서 측정값에 미치는 영향을 총 합($c_0 + c_a + c_b + c_{ab}$)으로 나누어 비율을 계산했고, 그 결과는 식 5와 같다. 요인 B(습도)가 미세먼지 센서 측정값에 미치는 영향은 27.01%로 미세먼지 센서 측정값에 미치는 영향이 유의미하다고 볼 수 있다. A와 B의 상호작용이 미치는 영향은 20.92%이다.

The effect ratio of factor A (미세먼지) = $76.63 / 143.36 = 52.05\%$

The effect ratio of factor B (습도) = $38.73 / 143.36 = 27.01\%$

[식 5]

The effect ratio of interaction factor A with B (미세먼지 + 습도) = $30.0 / 143.36 = 20.92\%$

또한 표 5를 보면 미세먼지 농도가 높고 습도가 높을 때의 미세먼지 센서 측정값이 나머지 경우에 비해 월등히 높았다. 이를 통해 미세먼지 농도와 습도가 상호작용한 경우가 한 요인(미세먼지 농도 또는 습도)만 변화시켰을 경우보다 미세먼지 측정값을 증폭시켰다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 미세먼지 농도와 습도의 상호작용이 미세먼지 센서 측정값에 유의미한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 미세먼지 농도와 습도가 미세먼지 센서의 측정값에 미치는 영향을 분석하는 실험을 진행했다. 실험 환경은 습도가 높고 낮은 경우, 미세먼지 농도가 높고 낮은 경우를 조합해 4가지 환경을 조성했다. 실험 결과를 분석하기 위해 2k factorial design을 사용했고 미세먼지 농도, 습도, 이 둘의 상호작용이 미세먼지 센서의 측정값에 미치는 영향은 각각 52.05%, 27.01%, 20.92%로 도출되었다. 그 결과 미세먼지 센서의 측정값에 미세먼지 농도가 가장 많은 영향을 미치지만 습도와 그 둘의 상호작용도 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

추후 연구에서는 도출된 결과를 기반으로 습도에 의한 영향을 보정할 수 있는 방법에 대한 연구를 진행할 계획이다. 이 연구에서는 본 연구 결과인 광 산란 방식의 미세먼지 센서 측정 값에 포함된 습도에 의한 영향을 정량적으로 산출하는 방법이 객관적 근거로 활용될 것이다.

Reference

- [1] Park, W., Bae, C. S. (2019). Fine Dust Status and Challenges. *Journal of the KSME*, 59(6), 55-58.
- [2] Lee, N., Um, H., Cho, Hy. (2018). Development of Detection and Monitoring by Light Scattering in Real Time. *Fire Science and Engineering*, 32(3), 134-139.
- [3] Hong, J. H., Lee, H. Y., Kim, Y. S., Pokhrel, R., Lee H. K., Chang, H. J., Shin, J. S., Yoon, Y. B., Kim, D. J. (2013). Analysis of humidity effect for airborne particle monitoring using optical method. *Proceeding of Korean Society for Atmospheric Environment*, 2013(8), 135.
- [4] Lee, H., Lee, E., Lee, S., Kim, S. (2012). Study of Methodology for Estimating PM10 Concentration of Asian Dust using Visibility Data. *Atmosphere*, 22(1), 13-28.
- [5] Cho, T., Choi, H., Jeon, Y., Lee, C., Lee, J., Jou, H., Son, B. (2008). The Study of Indoor Air Quality at Schools in Chung-Nam Area. *Journal of Environmental Science International*, 17(5), 501-507.
- [6] Hee Sang Kim, Kang Ho Ahn. (2017). Development of aerial particle measurement system using UAV(Unmanned Aerial Vehicle) and humidity effect on particle concentration. Thesis of Hanyang University.
- [7] Hyun Sun Kim, Jong Bae Heo, Yong Seok Seo, Seung Hee Kim, Seung Mook Lee. (2005). Distribution of PM_{2.5} and Relationship of Relative Humidity and Deliquescence Relative Humidity in Seoul. *Proceeding of Korean Society for Atmospheric Environment*, 2005(5), 302-303.
- [8] Crilley, L.R., Shaw, M., Pound, R., Kramer, L.J., Price, R., Young, S. Lewis, A.C., Pope, F.D. (2018). Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 709-720.
- [9] Heal, M.R., Beverland, I.J., McCabe, M., Hepburn, W., Agius, R.M. (2000). Intercomparison of Five PM10 Monitoring Devices and the Implications for Exposure Measurement in Epidemiological Research. *Journal of Environmental Monitoring*, 2, 455-461.
- [10] Kingham, S., Durand, M., Aberkane, T., Harrison, J., Wilson, J.G., Epton, M. (2006) Winter Comparison of TEOM, MiniVol and DustTrak PM10 Monitors in a Woodsmoke Environment. *Atmospheric Environment*, 40, 338-347.
- [11] R. Jain, *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling*, Wiley-Interscience: New York, 1991.