



HEPA급 필터 등급에 따른 가정용 진공청소기의 미세먼지방출량 연구

A Study on Dust Emissions in the Household Vacuum Cleaner Using HEPA Grade Filters

김종원* · 전병헌* · 서정섭* · 강영모* · 안영철*†

Jong-Won Kim*, Byung-Hun Jeon*, Jung-Sub Seo*,
 Young-Mo Kang* and Young-Chull Ahn*†

(Received 28 January 2019, Revision received 22 April 2019, Accepted 22 April 2019)

Abstract: A household vacuum cleaner has become an essential home appliance recently. However, dust emissions from the vacuum cleaners create a problem. The vacuum machine sucks in all sorts of pollutants by inhaling the dust into the dust collection barrel. Some of the dusts will be filtered through the exhaust filter, but some will be released back into the air. Hazardous substances and contaminated materials from outdoor air can be harmful to human body causing serious illnesses. In this study, we used the synthetic filter which is made by using the melt blown method, categorizing into four different types (H11, H12, H13, and H14 grades) of filter to measure the relevance between the cleaning efficiency and the dust emission amount, and the optimized filter grade was suggested. The H13 grade filter shows that the dust emission cut down rates and the dust collection efficiency are the highest, which will be the best choice for the vacuum cleaner.

Key Words : Household Vacuum Cleaner, Dust Emission, Hazardous Substances, Dust Collection Efficiency

1. 서 론

가정용 진공청소기는 1960년대부터 보급이 시작되어, 지금은 보급률이 0.89대에 이를 정도로

*† 안영철(ORCID:<http://orcid.org/0000-0003-0377-8101>) : 교수, 부산대학교 건축공학과
 E-mail : ycahn@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-2492
 *김종원(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-7582-3496>) : 대학원생, 부산대학교 건축공학과
 *전병헌(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-1496-0569>) : 대학원생, 부산대학교 건축공학과
 *서정섭(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-3068-922X>) : 대학원생, 부산대학교 건축공학과
 *강영모(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-1358-8144>) : 대학원생, 부산대학교 건축공학과

*† Young-Chull Ahn(ORCID:<http://orcid.org/0000-0003-0377-8101>) : Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.
 E-mail : ycahn@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-2492
 *Jong-Won Kim(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-7582-3496>) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.
 *Byung-Hun Jeon(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-1496-0569>) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.
 *Jung-Sub Seo(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-3068-922X>) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.
 *Young-Mo Kang(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-1358-8144>) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

일반적인 가전제품이 되었다. 이렇듯 가정용 진공 청소기의 보급률이 높아짐에 따라 가전기기에서 방출되는 미세먼지방출에 대한 관심과 더불어 연구¹⁾ 또한 활발히 이루어지고 있다.

Do 등²⁾은 실내에서 가정용 진공청소기를 가동할 때 방출되는 실내오염물질 및 미세먼지의 유해성을 분석하기 위해서, 진공청소기에서 방출되는 먼지를 포집, 수거한 뒤 100 μm 이하로 체거름하여 추출한 후에 분석하였다. 그 결과 발암물질로 알려진 Cd와 Ni을 포함한 14개 원소(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn)가 검출되었다. 실내의 오염된 물질을 제거하기 위해 사용되는 진공청소기에서 방출되는 미세먼지가, 실내공간에서 대부분의 시간을 보내는 현대인들의 건강에 오히려 영향을 미치고 있는 실정이다.

가정용 진공청소기는 실내의 각종 오염물질이 속해 있는 먼지를 흡입하여 먼지 포집통으로 모으고, 그 중 대다수는 배기필터를 통해 걸러지지만 일부는 미세먼지가 되어 다시 방출된다. 이런 이유로 현재 국내 가정용 진공청소기는 산업통상자원부에서 고시한 효율관리기자재 운용규정에 따라 의무적으로 청소효율, 미세먼지방출량, 1시간 사용시 CO₂ 배출량, 연간에너지비용, 소비효율등급이 표기된 소비효율등급라벨을 부착하게 되어 있다.

그 중 인체에 위해를 주는 미세먼지를 적게 방출하기 위해서는 진공청소기에 사용되는 필터를 HEPA급 중에서도 가장 높은 등급을 사용하여야 하나 등급이 높을수록 집진효율은 향상되지만 높은 공기저항 때문에 에너지효율등급의 지표가 되는 청소효율이 낮아지게 된다.

따라서 본 연구에서는 EN 1822 규격에 따라 구분된 H11부터 H14, 4종류의 HEPA급 필터로 청소효율 및 미세먼지방출량 시험을 실시하여, 청소효율과 미세먼지방출량의 상관관계 및 최적 필터 등급을 도출하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 공기정보시험 장치 및 방법

공기정보는 진공청소기의 공기유량(m^3/s), 진공

도(Pa), 소비전력(W), 흡입력(W), 청소효율(%) 등을 구하여 에너지소비량 지정 등 청소기의 성능 근거가 되거나 여러 가지 상황에서 요구되는 공기 데이터를 결정하는데 이용된다.

본 연구에서는 KS C 9101 및 KS C IEC 60312에 근거하여 Fig. 1과 같이 장치를 제작 후 Table 1의 조건하에 시험을 실시하였다. 공기정보를 측정하기 위하여, 시험 전 항온항습실 내부의 표준 공기 밀도($1.20 \text{ kg}/\text{m}^3$) 및 표준대기 조건(20°C , 101.3 kPa , 50% 상대습도)을 설정하였으며, 초음파유량계, 지시형 진공계, 교축밸브, 강관으로 만들어진 시험장치를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 샘플은 한국형 진공청소기로 전압 및 주파수는 220 V, 60 Hz이며, 주파수 변환이 가능한 AC Power Supply를 사용하였다.

처음 시험을 실시하기 전 진공청소기 및 이의 부착장치를 적절히 길들이기 위해 공기흐름이 방해받지 않도록 하여 적어도 2시간 동안 작동시킨다. 호스와 연장관은 정상사용 때처럼 장착하며 노즐이나 브러시는 부착하지 않고 공기정보 시험 장치에 설치한다.

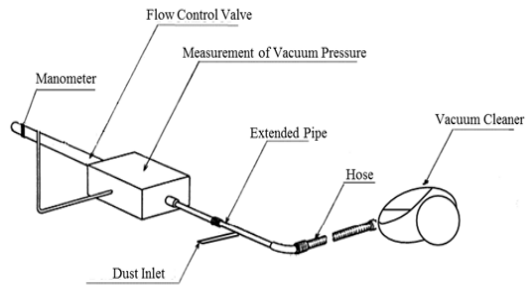


Fig. 1 Schematic diagram of the suction power test equipment

Table 1 Test conditions

Parameter	Value	Unit
Temperature	(23.0 ± 2)	$^\circ\text{C}$
Humidity	(50 ± 5)	% R.H.
Atmospheric pressure	(86 ~ 106)	kPa
Rated Voltage	(220 ± 2.2)	V
Rated Frequency	(60 ± 0.1)	Hz
Air density	1.20	kg/m^3

공기정보 데이터는 공기유량, 진공도, 소비전력, 흡입력, 청소효율을 나타내며, 이는 풍량 측정 제어밸브의 풍량에 따라 결정된다. 측정 방법으로 풍량 측정 제어 밸브의 풍량을 다르게 하여 10회를 측정하며 각 풍량별 측정점에 대해서는 공기유량, 진공도 및 소비전력을 교축 1분 후 기록한다. 풍량 측정 제어밸브가 닫힐수록 진공도는 높아지고 유량은 줄어든다. 이러한 순서로 마지막 최대진공도의 측정점으로 곡선이 완성될 때까지 계속 진행한다.

여기에서 청소기에 적용되는 청소효율은 흡입력이 최대가 되었을 때의 흡입력과 소비전력의 비로서 나타나게 된다.

2.2 미세먼지방출량시험 장치 및 방법

이 시험의 목적은 청소기를 최대공기유량으로 운전하면서 지정된 비율로 시험먼지를 흡입시킬 때 배기에서 방출되는 평균 먼지 농도를 측정하기 위한 것이다.

Fig. 2는 미세먼지 방출량 측정 장치의 개략도이며, 샘플링 프로브가 붙은 시험용 후드, 먼지 분배기 및 입자계수기로 구성된다. 시험을 진행하기 위하여, 먼저 시험 동안 사용할 부속품, 부착장치, 일회용 먼지받이 및 여분의 필터들을 Table 1과 같이 표준대기 조건($(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, $(50 \pm 5)\%$ 상대습도)에서 24시간 이상 두고 시험을 실시하기 전 10분 이상 동작시켜 안정화 시킨 후, 진공청소기를 시험 후드 내에 설치하였다. 이때, 시험실 내의 오염된 공기는 시험결과에 영향을 주기 때문에 충분히 깨끗한 환경 조건에서 측정을 실시한다.

본 연구에서 사용된 청소기는 일반 가정에서 보편적으로 사용하는 이동형 진공청소기를 사용하였으며, 청소기의 호스와 전원코드가 통과하는 슬롯은 청소기의 배기가 시험후드의 배기관으로만 통과할 수 있도록 발포고무나 유사 재질로 주의해서 밀폐하였다.

최대공기유량에 따라 먼지양이 구해지면 먼지 분배기 흡에 시험 먼지를 균일하게 채우고, 먼지 분배기 공급 관에 흡입소스를 약 100 mm 정도의 깊이로 중앙에 확실하게 삽입한다. 측정에 앞서

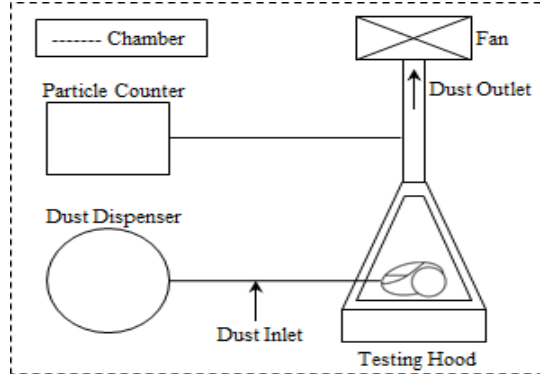


Fig. 2 Schematic diagram of dust emission test equipment

Table 2 Filter grade of efficiency and pressure loss and air permeability

Filter Grade	Flow (l/min)	Pressure loss (Pa)	Efficiency (%)	Air permeability @ 125 Pa
H11	32	13.7	96.3	49.00
H12	32	22.6	99.6	31.60
H13	32	38.2	99.97	18.00
H14	32	53.9	99.997	14.00

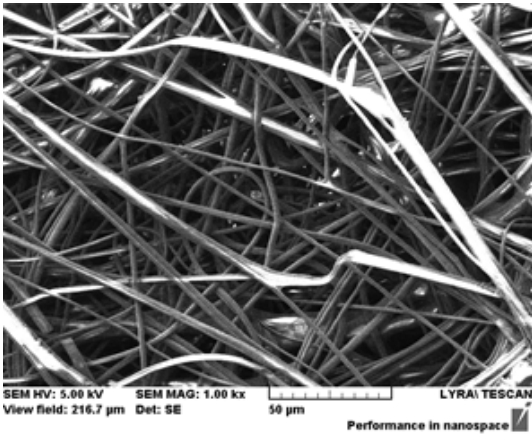
청소기는 새로운 먼지받이와 필터를 장착하여야 하며, 시험 후드 내에서 초기 조건을 안정화하기 위해 10분 동안 작동시킨 다음 청소기를 계속 작동시키면서 먼지 분배기를 작동 시키는 동시에 2분 동안 입자 계수기를 작동시킨다. 또한, 청소기 배기의 평균 먼지 농도를 구하기 위하여 독립된 다섯 번의 측정을 실시한다.

3. 실험 결과

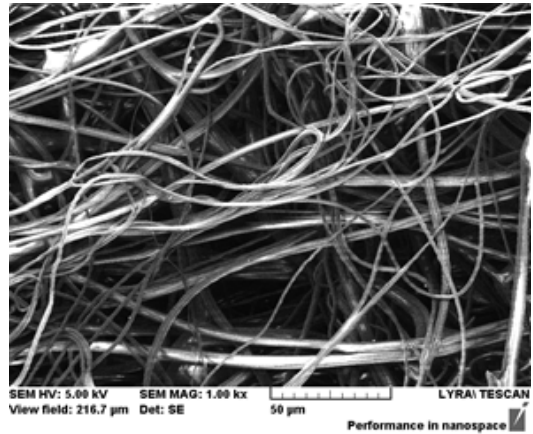
3.1 필터 효율시험 결과

현재 국내 산업현장 및 일반적으로 HEPA필터를 구분할 때에는 EN 1822 규격에 따라 H11, H12, H13, H14 등으로 구분된다.

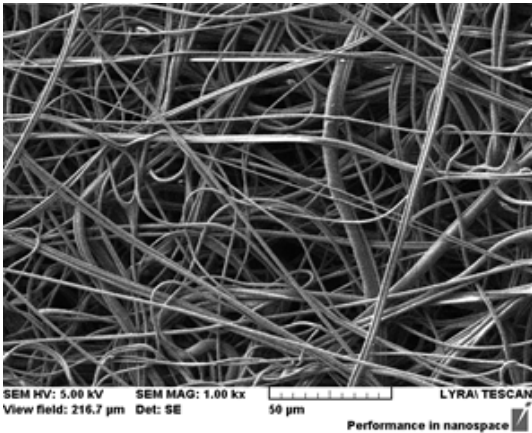
Fig. 3은 본 연구에서 사용된 Melt blown 방식으로 제조된 H11, H12, H13, H14 필터의 전자현미경 사진을 비교하여 나타내었다. H11에서 H14 필터까지 다양한 굵기의 섬유들이 얽혀 있는 모



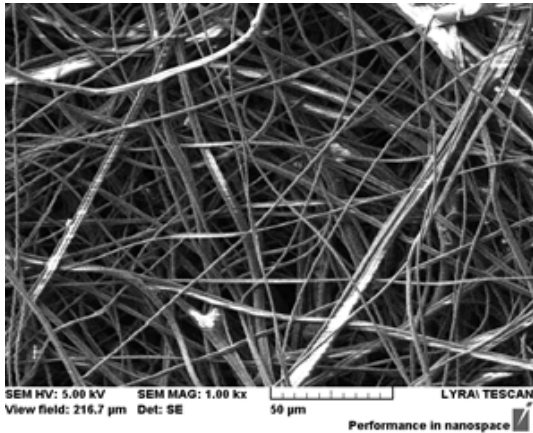
(a) Filter grade H11



(b) Filter grade H12



(c) Filter grade H13



(d) Filter grade H14

Fig. 3 Scanning electron micrographs of the H11, H12, H13 and H14 filters

습을 볼 수 있으며 비교적 비슷한 직경의 섬유들로 구성되어 있음을 확인할 수 있다.

또한 청소효율 및 미세먼지방출량을 측정하기 전, 필터의 효율시험을 실시하였다. 그 결과, Table 2에서 보듯이 효율과 압력손실은 14등급이 가장 높았고 H11등급이 가장 낮았다. 공기통기도는 125 Pa에서 측정3)하였으며, H11 등급이 가장 높게 나타났고 H14 등급이 가장 낮게 나타났다.

3.2 청소효율 측정결과

Fig. 4는 필터 등급에 따른 청소기의 최대유량 변화를 보여주고 있으며 Fig. 5에서는 그에 따른 청소기 소비전력의 변화를 보여주고 있다. 필터의

압력손실이 작고 통기도가 큰 순서대로 유량이 크게 형성 되었다. 유량이 크다는 것은 같은 시간에 더 많은 공기를 흡입 하면서 흡입 모터의 부하는 적어지지만 모터회전수는 많아지게 되어 결과적으로 소비전력이 상승하는 결과를 초래한다.

Fig. 6은 등급에 따른 청소기의 흡입력 변화를 보여주는 그래프이다. 필터 등급이 낮을수록 효율이 올라가는 것을 볼 수 있다. 여기서 유량과 소비전력과 흡입력의 관계는 유량이 많을수록 소비전력은 상승하고 따라서 흡입력도 상승하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 필터 등급에 따른 청소기의 청소효율의 변화를 보여주는 그래프이다. 청소효율은 에너지

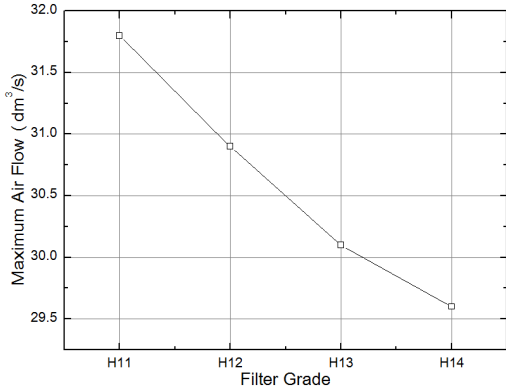


Fig. 4 Max. flow rate as a function of filter grade

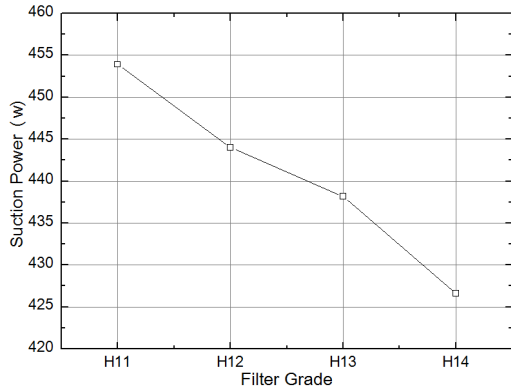


Fig. 6 Suction power as a function of filter grade

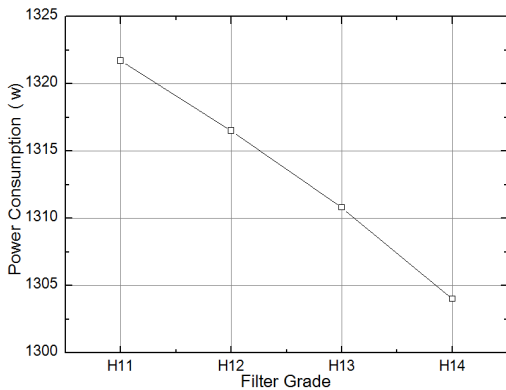


Fig. 5 Power consumption as a function of filter grade

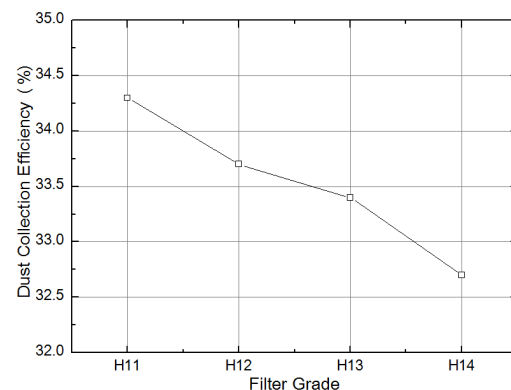


Fig. 7 Dust collection efficiency as a function of filter grade

효율의 지표가 되는 항목으로 소비전력과 흡입력의 비율로서 나타내는데, H11부터 H14 등급까지의 효율은 34.34%, 33.72%, 33.4%, 32.71% 같이 필터 등급이 낮을수록 높게 나타났다. 즉, 낮은 필터 등급일수록 유량, 소비전력, 흡입력, 청소효율 모두 상승하였다.

3.3 미세먼지방출량 측정결과

미세먼지방출량은 입자 사이즈의 상하한 평균값, 먼지의 밀도, 입자계수기의 공기유량, 입자계수의 측정값을 분석하여, 1 m³ 공간에 미세먼지의 방출량을 질량(mg)으로 나타내며 본 연구에서는 5회 반복시험 결과를 평균하여 나타내었다.

3.4 청소효율과 미세먼지방출량과의 상관관계

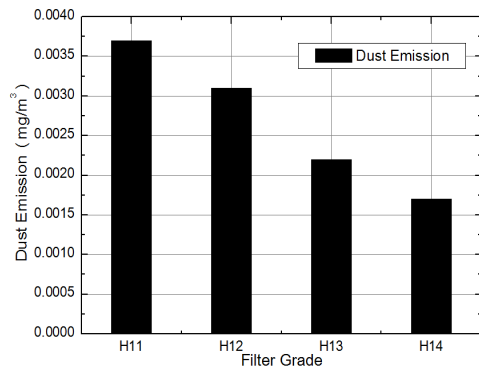


Fig. 8 Dust emissions as a function of filter grade

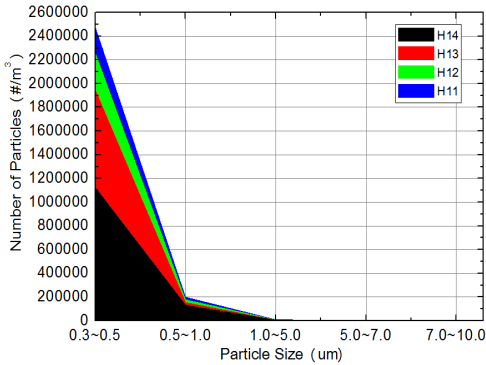


Fig. 9 Number distributions of particles as a function of filter grade

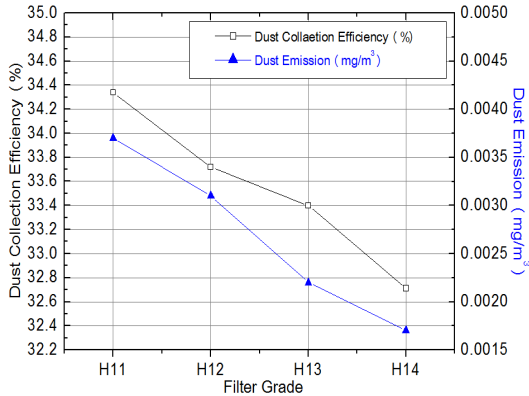


Fig. 10 Vacuum cleaner efficiency and dust emission as a function of filter grade

4. 결 론

본 연구는 Melt blown 방식으로 제작된 H11 ~ H14 4종류의 필터를 이용하여 청소효율과 미세먼지방출량을 시험하여 최적 필터 등급을 도출하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1) H11부터 H14 등급까지 필터효율을 측정 한 결과, 효율과 압력손실은 H14 등급이 가장 높았고 H11 등급이 가장 낮았다.

2) 필터 등급별로 청소효율 측정 결과, H11 부터 H14 등급까지의 청소효율은 각각 34.34%, 33.72%, 33.43%, 32.7%로 H11 등급에서 가장 높은 효율이 나타났고 H14 등급에서 가장 낮은 효

율이 나타났다.

3) 미세먼지방출량에서는 H11 등급에서 0.0037 mg/m³, H12 등급에서 0.0031 mg/m³, H13 등급에서 0.0022 mg/m³, H14 등급에서 0.0017 mg/m³로 H14 등급에서 가장 적게 방출되었고, H11 등급에서 가장 많이 방출되었다.

4) 청소효율은 필터 등급이 높을수록 낮게 나왔고 미세먼지 방출량은 필터 등급이 높을수록 적게 나오는 상관관계를 알 수 있다. 그 중, H13 등급의 필터를 사용할 경우 청소효율과 미세먼지 제거 측면에서 가장 적절한 것으로 분석되었다.

Author contributions

Y. C. Ahn; Writing-review & editing, J. W. Kim; Conceptualization, Writing-original draft, B. H. Jeon; Investigation, J. S. Seo; Methodology, Y. M. Kang; Investigation.

References

1. S. W. Lee, T. K. Kim, Y. M. Heo and S. Y. Han, 2014, "Emission Characteristics of Airborne Particles and Bacteria from Household Vacuum Cleaners", Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 256-262.
2. H. S. Do, H. B. Song, Y. W. Jung, J. H. Kwak, J. U. Han, H. J. Kang and Y. G. Phee, 2010, "Trace Element Analysis and Source Assessment of Household Dust in Daegu", Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 32, No. 1, pp. 69-78.
3. B. Lee, H. L. Choi and C. K. Moon, 2008, "A Study on the Polymer Surface Treatment of GF-filter Bag for Collection of Fine Particle like Carbon Black", Journal of the Korea Society For Power System Engineering Vol. 12, No. 3, pp. 55-59.