

사무용기기에서 발생하는 미세입자 측정 및 분석방법 연구

이경환 · 김선만 · 안강호*
한양대학교 기계공학과

(2010년 8월 13일 투고; 2010년 8월 27일 수정; 2010년 9월 7일 게재확정)

Particle Emission Characteristics and Measurement of Ultrafine Particles from Laser Printer

Kyung Hwan Lee · Sun Man Kim · Kang-Ho Ahn*
Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

(Received 13 August 2010; received in revised form 27 August 2010; accepted 7 September 2010)

Abstract

As the indoor activity increases in recent years, the indoor air quality becomes more important. One of the major contaminants in office space is the copy machines and the laser based printers. These devices usually emit nano-particles and chemical species that may give some health effect. The amount of particles generated by the printers and copy machines depend on printer models, printing speed, toners, papers, humidity and so on. To evaluate the emission rate of nano-particles from Laser Printers, the mass concentration measurement method has been used (BAM, 2004). However, the mass concentration measurement method for nano-particles is tedious and time consuming. Therefore, for the development of a new nano-particle counting method, the nano-particle emission characteristics and size distributions are evaluated.

Keywords : Nanoparticles, OA Device, Laser Printer, Test Chamber

1. 서 론

에너지 소비량의 급증에 따른 대기오염물질 발생량의 증가와 함께 각종 건축물에서 에너지 절약 및 효율을 높이기 위한 일환으로 단열화 및 밀폐화를 시도한 결과 오염된 외기와 함께 실내의 온습도 및

한정된 공간에서 인공적인 설비를 통하여 발생된 오염공기가 계속적으로 순환되면서 사무실내의 공기 질이 악화되고 있다. 지금까지는 공기오염문제라고 하면 건물 밖의 대기오염을 떠올렸으나, 도시인의 경우 하루의 80~90%를 실내에서 생활하고 있다. 따라서 외부에서 실내로 유입되는 오염물질 외에도 실내에서 배출되는 오염물질에도 상당히 노출되고 있는 실정이다. 최근 실내 오염물질의 오염농도가 점차 증가하여 장시간 실내에서 활동을 하는 사람

Tel : +82-31-400-5284, Email : khahn@hanyang.ac.kr

중에 두통, 현기증, 안질, 후두염 등 건물증후군(SBS; Sick Building Syndrome)이라는 질병의 발생 사례가 보고되고 있다.(Congrong He, 2007) 세계적으로 관심이 높은 환경인증제도와 더불어 가구류나 컴퓨터, Laser Printer, TV 등의 가전제품, 침구류 등 생활용품의 환경친화성에 대한 요구가 증가하고 있다.(Eggert & Andersen, 1987) 이는 건축자재는 물론 가구류, 전기전자 가전제품, 의류 및 장난감 등 각종 생활용품으로부터 방출되는 휘발성 유기화합물(VOCs)과 포름알데히드에 의한 실내공기오염 문제가 심각하게 받아들여지고 있으며, 이에 각종 완제품에서 방출되는 오염물질의 특성과 실내공간에 미치는 영향을 측정 분석하여 안전하고 쾌적한 실내 공기 오염도를 규정하도록 규정화를 진행 중에 있다.(Brown, 1999) 사무실 환경에서의 실내 공기 오염원의 대표적인 용품은 많은 화학물질과 입자상 물질을 포함하고 있는 Laser Printer와 복사기이다. 실내 공기 질과 관련하여 사무기기나 건축자재의 오염물질 배출 방출 특성에 대한 평가 방법은 챔버 시험법을 규정하고 있는 것이 특징이다.(DIN EN ISO 16000-9, 2006) 사무기기의 오염 물질 배출량 측정 방법 중 가장 체계적으로 확립되어 있는 독일의 블루 엔젤(Blue Angel)에 기준한 규제 방안에서조차 초미세 입자의 크기별 측정방법은 필터법에 근거하여, 시간당 무게로서만 물질(Powder dust)을 규제할 뿐 초 미세입자의 수 농도에 근거한 규제방안은 마련되어 있지 않은 상태이다.(BAM, 2004) 이는 미세입자를 측정하기 위한 기기 구성이 필터포집에 비해 어렵고, 챔버내의 공기유량의 전량을 샘플링하기 난해함이 그 이유라 들겠다. 앞서 언급한 바와 같이 미세입자는 그 크기에 따라 인체에 미치는 영향이 상이하하다.(Morawska & Taplin, 2007) 나노기술의 발달과 더불어 나노입자의 독성 및 인체 유해성의 관심이 고취되고 있는 작금의 현실을 고려하면 농도 계수법에 의거한 실내 오염 물질 배출 평가의 필요성이 대두됨이 틀림없다.

이에 따라 본 연구에서는 사무용 기기의 초미세 입자 배출량에 대한 평가 및 관리방안을 수립함에 그 목적을 두고 1-5m³의 소형 챔버를 사용하여 사무용 기기의 초미세입자 배출량 평가 및 관리방안을 수립함에 있어서 소형 챔버 내부에서의 입자의 거동특성에 대하여 농도계수법에 의한 측정을 실시

하였다.

2. 연구방법

2.1 Laser Printer 입자발생 부위별 측정

소형챔버를 이용하여 기기에서 발생하는 입자의 계수를 측정하기에 앞서 Laser Printer기기의 각 지점별에서 발생되어지는 입자의 계수를 측정하기 위하여 입자계수기를 사용하였다. 현재 사무실에서 가장 많이 쓰이는 Laser Printer를 Fig. 1과 같이 FFU(Fan Filter Unit)가 설치되어있는 Dual Chamber에 설치하여 Laser Printer에서 입자가 발생되어지는 지점들 내부의 온도 및 환기를 위한 팬이 달린 부분과 용지의 출력이 되어 나오는 부분을 중점으로 입자계수기를 이용하여 측정하였다.

2.2 입자방출 위치별 입자 수농도 비교

기기의 각 지점에서 발생되어지는 입자의 농도가 다르고 초미세입자들은 소형챔버 내에서 주위 유동에 따라 쉽게 확산을 이루기 때문에 챔버 내의 Laser Printer의 양옆과 앞뒤로 인위적인 입자를 분무하여 수 농도의 추이를 관찰하였다.

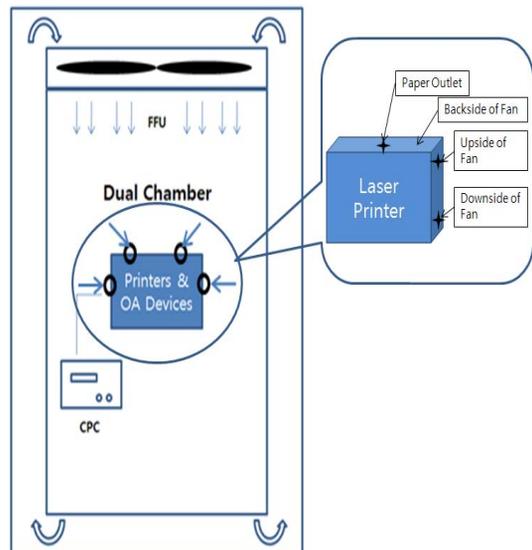


Figure 1. Dual Chamber Particle Measurement Set-up for Particle Mapping test.

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 챔버내 입자방출 지점에 따른 수 농도 관측추이를 측정하는 과정을 개략적으로 나타낸 그림이다. 기기에서 발생하는 입자의 크기 분포와 유사한 NaCl(0.05%)용액을 기기주변 각 지점에서 분무하여 시험 챔버내 발생하는 입자의 수 농도를 측정하여 그 변화를 확인하였다. 여기서 NaCl용액을 사용한 이유는 입자의 연속적인 포집을 위한 것이다. 챔버의 출구에서 순환유량은 1시간에 3번의 챔버내의 공기가 순환하도록 유량조절을 하였다. Laser Printer에서 발생되어지는 입자는 각 부위에 따라 다르기 때문에 샘플링 되어지는 입자의 대표성을 확인하기 위하여 Fig. 2에서와 같이 Laser Printer의 양옆, 앞, 뒤 각 지점에서 발생 시켜 챔버내 발생 지점에 따라 샘플링을 하여 발생하는 입자의 수 농도를 측정하였다.

2.3 기기에서 발생하는 미세입자 측정

사무실에서 많이 쓰이는 Laser Printer를 컬러와 흑백을 나누어 Blue Angel RAL UZ-122 규격을 준수하는 챔버 및 기반 실험의 시스템을 적용하여, Blue Angel의 Test Pattern중 하나인 Fig. 3의 컬러 20% 프린트 패턴과 흑백 5% 프린트 패턴을 사용하였고, 테스트의 과정은 동일한 조건을 만족시키도록 하였다. Laser Printer마다 출력속도가 틀리기 때문에 일정한 출력량을 출력하여 실험을 진행하였다.

Laser Printer를 실험용 챔버에 설치한 후 준비된 실험용 챔버를 하루 동안 내부 기류 및 조건을 안정화 시키고, 측정을 시작하기에 앞서 내부 공기를 1

시간동안 3회 순환시키며 챔버 내부의 남아있는 입자를 모두 제거한다. 흑백 Laser Printer는 5% 흑백패턴을 사용하고 컬러Laser Printer는 20% 컬러패턴을 이용하여 100매 출력하고 출력시점부터 챔버 내 공기를 시간당 3회의 순환을 시키며 4시간 동안 Laser Printer에서 발생한 입자의 계수를 측정하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 기기 지점별 발생입자

사무기기에서 배출되는 입자를 측정하기 위하여 챔버에 설치하기 전 기기의 각 지점에서 발생하는 입자를 측정하였다. Laser Printer의 내부 환기와 온도 조절을 위한 팬이 위치한 부분과 종이가 인쇄되어지고 나오는 부분에서 가장 많은 입자가 측정되어짐이 Fig. 4의 c)와 d)에서 보여주고 있다. Laser Printer내의 전기부품의 온도조절을 위한 팬에서는 다른 부분에 비해 거의 입자가 발생하지 않음을 Fig. 4의 b)에서 보인다. 팬의 특성상 인쇄를 모두 마친 후에 20초 동안 작동이 멈추고 환기를 위한 동작을 다시 하였다. 이로 인한 Laser Printer기 내에 있던 입자의 추가배출 현상을 Fig. 4 c)에서 볼 수 있다. Fig. 4의 b)는 다른 a), c), d)에 비하여 수농도의 큰 차이를 보인다. 여기서 b)의 Fan은 다른 Fan과 출력 부분과 다르게 Laser Printer내부의 전자회로기판의 방열을 위한 Fan이어서 다른 부분에 비해 적은 양의 입자가 발생함을 알 수 있었다.

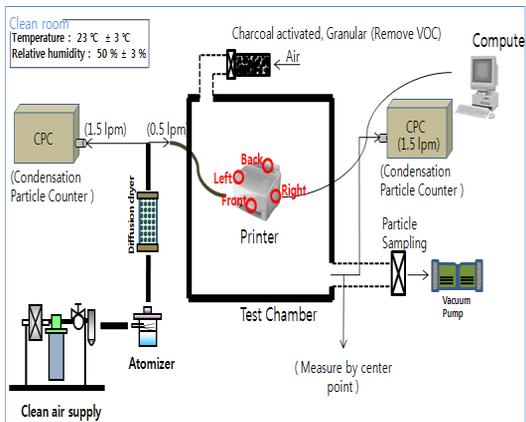
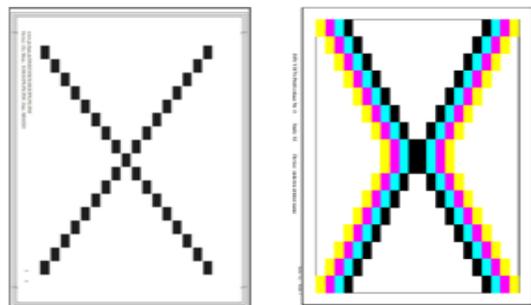


Figure 2. Measurement set-up for testing devices.



(a) 흑백(5%) (b) 컬러(20%)

Figure 3. Master print patterns.

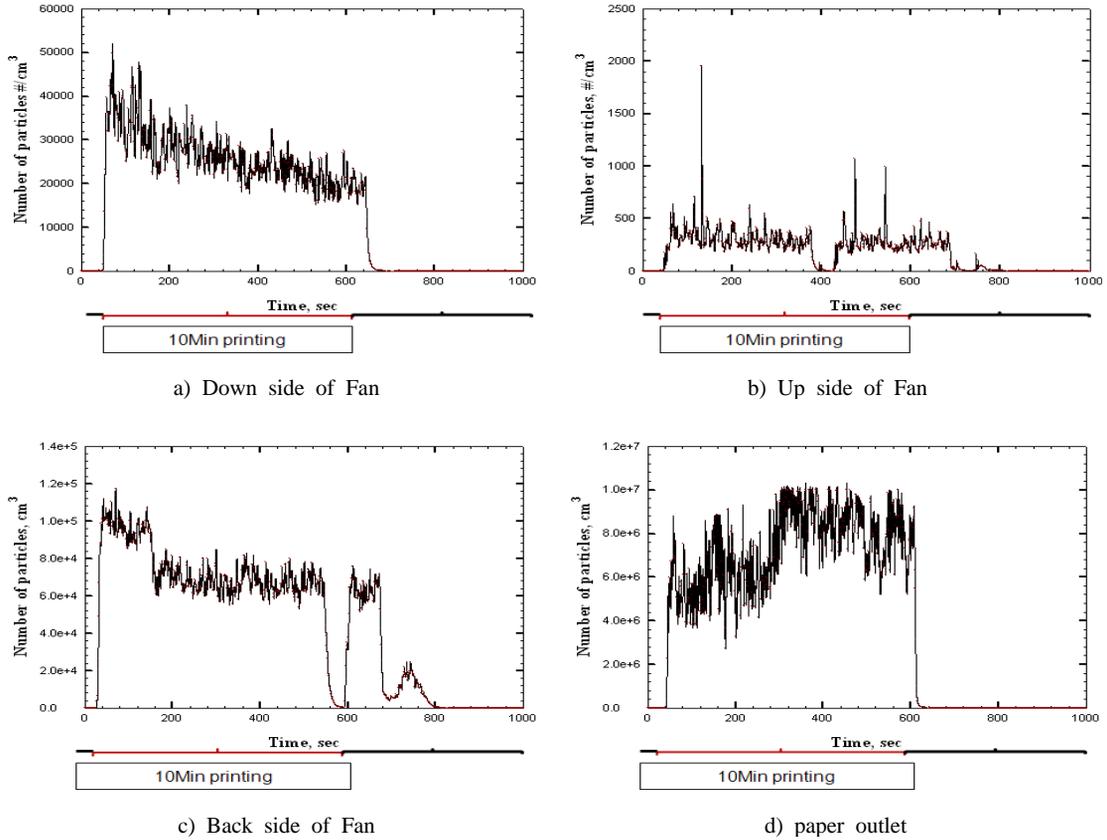


Figure 4. The particle number concentration at different particle emission points.

3.2 입자분무에 따른 수농도 측정결과

앞의 실험에서 실제 Laser Printer에서 발생되어 나오는 입자의 양이 위치별로 매우 다르다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서는 Laser Printer의 각 지점에서 발생하는 입자의 농도 차이에 의한 샘플링 문제점을 알기 위하여 챔버 내에 시험체(Laser Printer)를 설치하였을 경우 샘플링의 대표성을 확인하기 위하여 Laser Printer의 네 개의 지점을 정하여 각 지점에서 인위적인 NaCl 입자를 분무하여 샘플링을 하였다.(Fig. 2) Laser Printer에서 나오는 입자를 대신하여 연속적인 입자의 샘플링을 위하여 NaCl 입자를 연속적으로 분무하였다. Fig. 5에서 Laser Printer에서 실제 방출되는 입자의 크기와 농도를 나타내었으며, 100nm 주위에서 가장 많은 입자가 발생함을 알 수 있었다. Laser Printer에서 방출되는 입자와 유사한 입자크기 분포를 만들기 위해 NaCl용

액(0.05%)을 이용 분무하였다. Fig. 6은 분무입자의 크기 분포도를 측정된 것으로 Laser Printer에서 나오는 입자의 크기와 거의 비슷한 양상을 보임을 알 수 있었다. Laser Printer에서 발생하는 입자를 대신하여 NaCl(0.05%) 입자를 연속적으로 각 지점에서 분무하며 샘플링 되는 입자들의 수 농도를 측정 하여 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다. 어느 지점에서 입자를 분무하여도 이에 상관없이 샘플링되는 입자들의 수 농도가 일정함을 알 수 있었다. 즉 앞선 실험의 결과에서 처럼 Laser Printer의 각 지점에서 입자의 개수가 다르게 발생하여도 챔버 내에서 Laser Printer를 설치하여 발생하는 입자의 샘플링을 함에 있어 대표성을 확인하는데 문제가 발생하지 않음을 보인다.

3.3 챔버 내의 입자유동의 수치해석

실제 사무 환경의 Laser Printer에서 발생된 입자들

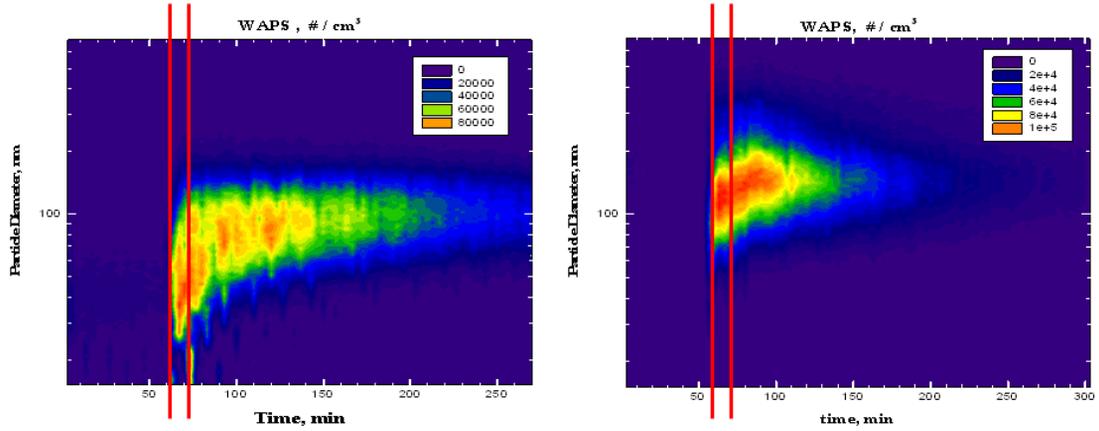


Figure 5. Laser Printer generated particle size distribution.

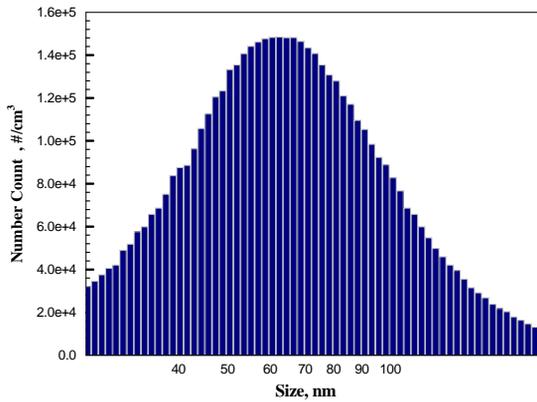


Figure 6. NaCl(0.05%) atomized particle size distribution.

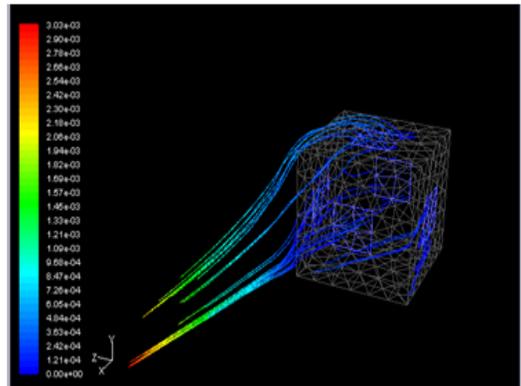


Figure 8. Particle emission and its trajectories.

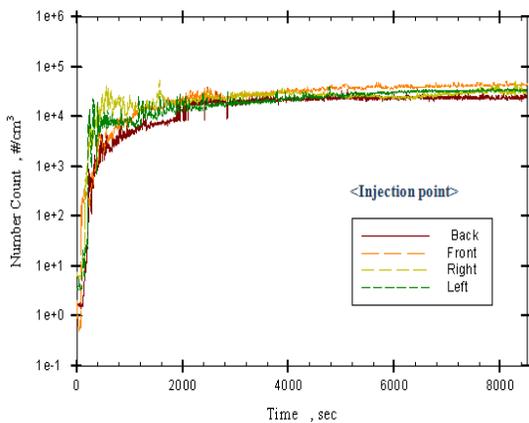


Figure 7. Particle concentration changes as a function of particle injection point.

은 주위 유동에 따라 쉽게 확산 분포되어진다. 수치 해석을 통하여 소형챔버 내의 Laser Printer에서 발생하는 입자들의 움직임을 해석을 해보았다. Fig. 8은 1m³의 소형챔버 내에서 Laser Printer를 출력하였을 경우 발생하는 입자의 유동특성을 수치해석한 결과를 보여주고 있다. Fig. 8에서와 같이 입자의 유동이 주위 유동의 Path line을 크게 벗어나지 않는 것을 볼 수 있다. 그림에 나타나는 그림의 Path line은 속도를 나타냄으로서 단위는 m/sec를 조건으로 입력하였다. Fig. 8에서와 같이 챔버내의 출구에 가까워 질수록 속도가 증가함을 보인다. 챔버내 유동이 아래로 흐르고 있어서 대부분의 결과 값이 아래로 향하고 있다. 이 결과는 시중에 있는 많은 사무기기들의 가장 단순화된 모델링을 통하여 나타낸 결과이다.

각 제품마다 다른 특성을 가지고 있고 각기 다른 확산 패턴들을 나타낼 수 있지만 일반적으로 사무기기에서 발생하는 열과 주위 유동에 따라 입자들의 확산이 이루어지는데 챔버내의 유동에서 입자들이 유로와 같이 이동함을 보였다.

3.4 기기에서 발생하는 입자 수농도

사무기기에서 배출되는 입자상 오염 물질의 배출량을 산정하기 위해서는 챔버 내의 사무기기에서 발생하는 오염 입자의 시간당 배출량이 일정하고, 챔버 내에서 발생된 입자들이 챔버 내부에 균일하게 분포한다는 가정이 만족되어야 한다. 앞선 실험의 결과에서 Laser Printer의 어떠한 지점에서 입자를 발생시켜 샘플링한 결과 이러한 가정을 만족하기에 챔버(1m³)내에 Laser Printer를 설치하고 통신을 이루어 작동시키고 Fig. 3의 패턴을 컬러와 흑백 Laser Printer에 각각 출력하였다. Laser Printer의 출력속도가 틀리기 때문에 모두 100매씩 출력을 하였다. 소형챔버에 Laser Printer를 설치한 후 100매를 출력한 결과 수 농도는 Fig. 9의 a)에서와 같이 5% mono pattern을 흑백 Laser Printer에 출력을 하고 측정한 결과 발생입자의 최대 수 농도가 1.2×10¹³#/m³까지 증가를 하고 줄어드는 현상을 볼 수가 있었다.

Fig. 9의 b)는 컬러 Laser Printer를 챔버에 설치하여 20% color pattern을 100매 출력하여 수 농도를 측정한 결과다. 100매를 출력 하는 동안 발생입자의 최대 수 농도는 8×10¹⁰ #/m³까지 증가하고 줄어들었

다. Fig. 10에서 사각형의 box는 프린팅하고 있는 시간 구간을 나타낸다. 프린팅하는 시간동안 입자의 수가 증가를 보이며 프린팅이 끝난 후 입자의 발생 수가 감소함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구의 분석 결과로부터 실내의 초미세입자를 발생할 수 있는 사무기기 중 하나인 Laser Printer는 다양한 크기와 농도의 입자를 발생하고 있는 것으로 사료되고 있다. 이에 따라 세계적으로 유럽에서는 사무기기에서 발생하는 나노입자 농도 양에 따른 규제방안을 마련하고 있는 것이 현재의 실정이다. 본 실험을 기반으로 하는 수 농도의 초미세 입자 배출량에 대한 평가 및 관리방안을 수립함에 있어서 1m³의 소형챔버를 사용하여 사무용 기기의 초미세 입자 배출량 평가를 시행하였다. 소형 챔버 내부에서의 입자의 거동특성에 대해 필터법이 아닌 농도계수법을 통하여 샘플링을 하였고, 소형챔버를 사용하여 Laser Printer에서 발생하는 입자의 샘플링을 하기 위한 기초 연구를 하였다. 실험의 결과를 통하여 챔버에서 발생되어진 입자의 샘플링의 대표성을 확인 할 수 있었으며 향후 농도계수법을 통하여 Laser Printer와 토너제품의 특성에 따른 다양한 실험이 선행 되어져야 한다고 사료되어진다.

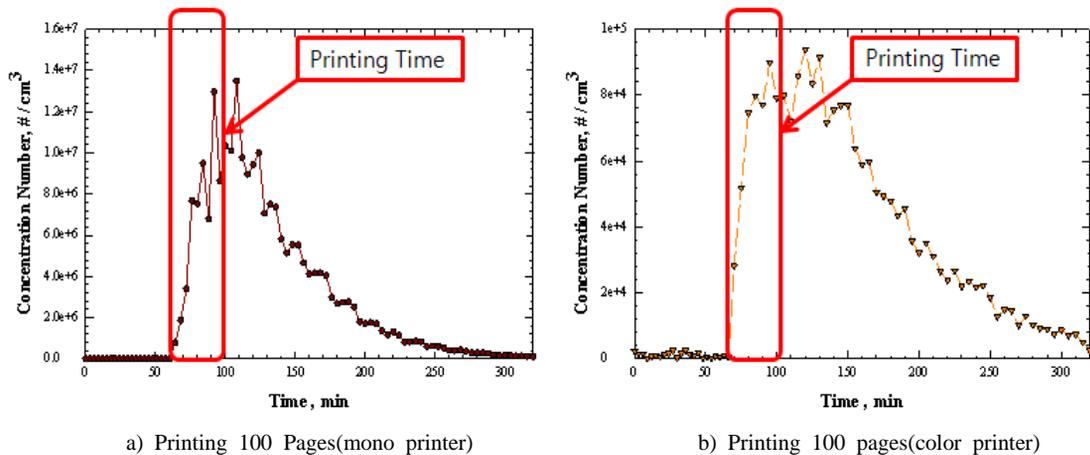


Figure 9. The number concentration through mono and color printer.

감사의 글

본 연구는 한국환경산업기술원 “차세대 핵심환경 기술개발사업”으로 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- ISO 16000-9 Indoor Air-part9 : Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing - emission test chamber method. Berlin : BeuthVerlag; 2006.
- ECMA-328. Determination of chemical emission rates from electronic equipment; 2007.
- BAM(2004), Development of a Test Method for and Investigation into Limiting the Emissions from Printers and Copiers within the Framework of Assigning the Environmental Label, Research Report 201 95 311/02 UBA-FB 000510/E.
- Eggert, T., & andersen, B.(1987). Emissions of ozone and dust from laser printer canon LBP-8 II, Kemiskt-Analytiskt Laboratorium, Rapport 1987-06.18HE 7684(in Danish). Teknologiskt Institut, Taastrup, Denmark.
- Brown, S. K. (1999). Pollutant emission properties of photocopiers and laser printers. In: Proceedings of the eighth international conference on indoor air quality and climate Vol 5 (pp. 123-128). Edinburgh.
- He, C., Morawska, L., & Taplin, L.(2007). Particle emission characteristics of office printers. Environmental Science and Technology, 41, 6039-6045.
- Ganan-Calvo, A. M., Davila, J., & Barrero, A. (1997). Current and droplet size in the electrospraying of liquids. Scaling laws. Journal of Aerosol Science, 28, 249-275.
- Congrong He, Lidia Morawska and Len Taplin(2007). Particle Emission Characteristics of Office Printers, Environ. Sci. Technol. 41, 6039-6045