

Remicon 産業에 의한 분진의 측정기술에 관한 연구

禹 完 基

〈長安專門大學 教授〉

目 次

1. 序論	2.4 測定結果의 處理
2. 測定技術	2.5 측정법의 문제점 검토
2.1 입자상물질의 성질	3. 結論
2.2 測定方法 概要	
2.3 측정원리	

1. 序論

最近 建設경기의 호황으로 인해 Remicon의 수요는 급격히 늘어나, 생산실적은 매년 약 30% 정도의 증가추세를 나타내고 있는 것으로 알려져 있으며, Remicon 1m³ 生産當 투입되는 원료의 量은 用途別로 약간의 차이는 있으나 일반적인 혼합비 1:2:4 (330kg/N m³, 722.5kg/N m³, 1,128kg/N m³)로 이용되고 있으며, Cement, 모래, 골재에다 혼화제를 약간 섞고 있다. 여기서 Cement의 원료중 야적장의 비산분진의 발생원인이 되는 主原料에는 석회석, 철광석, 石材, slag 및 유연탄 등이 있다.

Cement의 生産工場들은 대부분 大都市와 멀리 떨어져 있어 排出量에 비해 상대적인 환경영향은 적지만 Remicon 工場은 수송상의 문제점으로 인해 都市 가까이에 위치하

므로 野積되어 있는 Cement, 모래, 골재 등에서 飛散되는 분진의 영향이 심각하다.

비산분진이란 차량운행, 바람, 산업활동 등에 의해 발생하는 분진이 배기시설 (Primary Exhaust System)을 통하지 않고 飛散되거나 부유되는 입자상 물질을 말하며 비산분진 배출원은 비산먼지 排出源 (Fugitive Dust Source) 과 산업공정 비산排出源 (Industrial Process Fugitive Emission Source)으로 大別된다¹⁾

비포장도로, 建設현장, 경작지, 야적장 등이 대표적인 배출원이다.

본 논문에서는 Remicon産業에 의해 發生되는 飛散분진의 효율적인 관리를 위해, 분진의 측정기술과 측정결과的 處理技法 등에 대해 검토해 보고자 한다.

2. 測定技術

2.1 입자상 물질의 성질

大氣중에 부유하고 있는 입자들에 適用되는 主要한 理論중의 하나로 stoke法則이다. stoke法則에 의하면 침강속도는 입자의 밀도와 직경에 의존한다. 즉,

$$V_0 = gd^2(\rho_1 - \rho_2) / 18\mu$$

밀도가 ρ_1 이고 직경이 d 인 구형의 입자가 밀도 ρ_2 이며 점도가 μ 인 공기중에서 침강할 때, 최종속도 V_0 는 매우 느리며 크기가 $0.1\mu\text{m}$ 보다 더 작은 입자의 경우 속도는 10^{-6}m/s 보다 작다.

이같은 속도로 볼때 입자의 年間 낙하거리는 32m에 달한다.

입자형태의 불규칙성, 큰 입자 주위에 형성되는 난류, 매우 작은 입자의 경우의 brown 運動, 바람, 강우 등의 기상현상에 의해 입자의 침강속도는 stoke法則을 벗어나기도 한다.²⁾

입자의 크기가 大氣의 性質에도 영향을 미치는데, 우리나라의 한 portland cement회사의 분진측정에 관한 논문을 보면 주 연돌 입경분포는 비표면적 크기에서 $2\sim 3\mu\text{m}$ 가 20.8%로 가장 높은 비유를 차지하고 있으며 누적분포율 50%의 값은 $1.5\mu\text{m}$ 이고 $10\mu\text{m}$ 이하가 전체 분진의 대부분을 차지하고 있다고 보고하고 있다.³⁾

2.2 측정방법 概要

일반적으로 飛散粉塵에 의한 오염현상은 日變化, 週變化, 계절 및 年變化 등의 변동이 있으며, 그 원인으로는 기상조건, 産業活動 등과 관계가 깊다.

Remicon産業에 의해 발생하는 飛散粉塵을 調査하려면 합리적인 측정장소를 선정하고, 표준화된 측정방법으로 長期間에 걸쳐서 측정을 계속할 필요가 있다.

우선 비산분진을 측정하는 技法에 대해 살펴보면 降下粉塵을 측정하는 方法으로

Deposit Gauge, Dust Jar, 등이 있으며 浮遊粉塵을 측정하는 方法으로 High Volume Air Sampler, Low Volume Air Sampler, Tape Air Sampler등이 있다. 특히 大氣汚染이나 作業環境管理의 측면에서 最近관심을 끌고 있는 측정법으로는 Andersen Dust Sampler, PM(Particle Material) - 10 등이 있다.

2.3 측정원리

2.3.1 High Volume Air Sampler법

Air가 covered housing 안으로 들어와 high-flow rate blower에 의해 filter를 통과한다. 이 flow rate는 100μ 보다 작은 입경을 가진 suspended particulate가 filter surface를 통과하도록 한다. 대기중에 suspended particulate의 총농도는 채취된 air의 양과 포집된 분진의 총량을 측정함으로써 계산된다.

이 방법의 air flow는 조절하지 않으며 포집된 sample의 크기는 통상 다른 분석에도 이용된다. 실제로 High Volume Air Sampler는 대기중의 분진의 총농도 측정에만 사용되어 왔다.

장치의 구성을 살펴보면 공기흡인부, 여과지홀더, 유량측정부 및 보호상자로 구성되어있다(그림1).

2.3.2 Low Volume Air Sampler법

이 방법은 환경대기중에 부유하고 있는 입자상 물질을 Low Volume Air Sampler를 사용하여 여과지위에 포집하는 방법으로 일반적으로 직경 $10\mu\text{m}$ 이하의 입자상 물질을 포집하여 질량농도를 구하거나 금속 등의 성분분석에 이용한다.

장치의 구성은 흡인펌프, 分粒裝置, 여과지홀더 및 유량측정부로 구성된다(그림2).

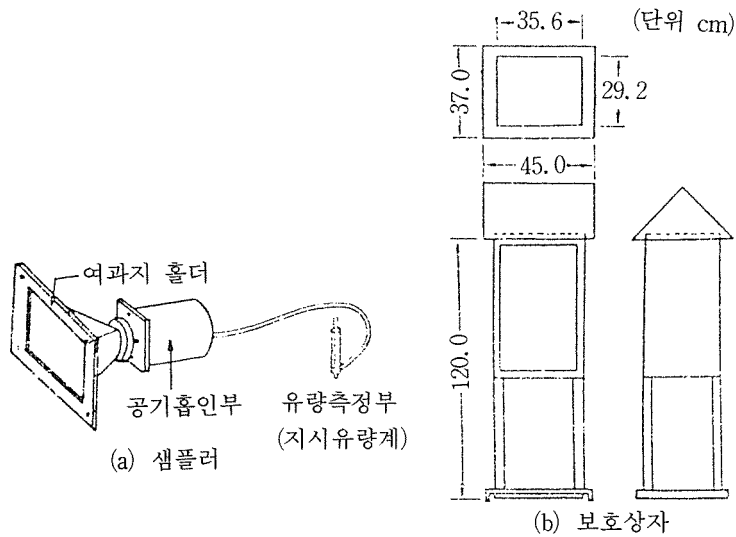


그림1 High Volume Air Sampler

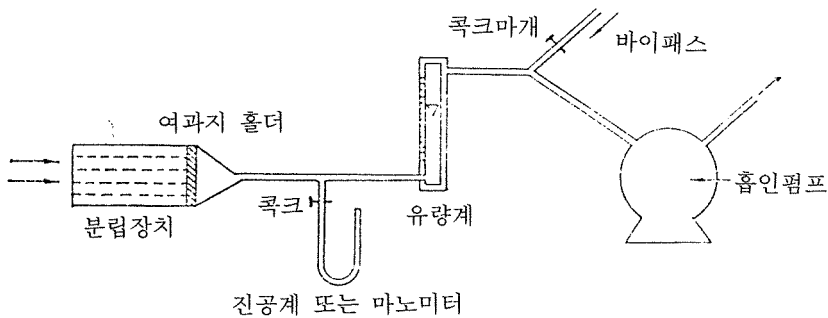


그림2 Low Volume Air Sampler의 구성

2.3.3 Andersen Dust Sampler법

Remicon공장에서 배출되는 부유분진이 인체에 미치는 영향을 생각할 때, 그 화학적인 성상도 중요하지만, 입경분포는 가장 중요한 고려의 대상이 된다.

호흡에 의해서 분진이 흡입되면 대체로 5~6 μ m 이상의 것은 코에 침착되어 버리지만, 그보다 작은 입자는 호흡기의 내부까지

들어간다. 폐의 심부에 달해서 침착되는 것은 1 μ m 전후의 것이 최고가 된다. 또, 0.5 μ 이하의 것은 폐포에 침착하기 어렵게 된다.

부유분진의 粒徑分포를 측정하는 방법으로는, 대기오염이나 작업환경관리의 측면에서 가장 대표적인 것이 Andersen Dust Sampler이다.

이 기기는 5 μ m 이상의 입자를 2개의 粒徑범위로, 또 5 μ m 미만을 4개의 범위로 구

분하고 있다.

구조는 통상 6단의 stage가 겹쳐 쌓여진 sampler인데, (그림3)에서 나타난 바와 같으며, 직경 3.75in(95mm), 높이 6in(152mm), 중량 2.5lb이고, 주요 부분은 내식성 알루미늄 합금으로 만들어져 있다. 각段的 stage에 400個의 제트(吸出口)가 있으며, 그 직경(단위 in)은 No.1에서 No.6까지 차차 작아진다.

각 stage의 제트를 통과한 입자를 포집하기 위하여, 직경 3.25in(82.5mm)의 포집판(stainless steel, 알루미늄호일, 유리판 등)을 제트의 밑 2.5mm의 자리에 놓는다. 또 필요에 따라서 No.6의 stage 다음에 membrane filter paper를 부착해서 No.7으로 하기도 한다.

2.3.4 Dustfall 측정법

Dustfall 측정법에는 Deposit Gauge, Dust Jar법 등이 있는데 Deposit Gauge는 포집율, 재현성, 시험조작에 따른 노력 등의 문제로

최근에는 조작이 간편한 Dust jar에 의한 측정법이 주목되고 있다.

Dust Jar에 의한 측정법은, 비나 응집등으로 인한 기계적인 힘이나 바람에 의해서 대기중에 부유하고 있는 large particulate matter를 약 한달 정도의 기간동안 노출되어지는 open-mouth container를 사용함으로써 측정한다.

측정기술은 간단하나 결과는 design과 용기의 높이에 크게 의존한다. 지역오염원에 의해 생기는 침강성 분진이 있는 경우 원래의 dustfall rate는 크게 변화한다.

포집된 sample은 요구사항에 적합하기 위해 여러 방법으로 분석된다.

통상, soluble과 insoluble fraction으로 나누어 정성분석을 하며, 물리적 분석은 비중, 분진의 입경분포 등 insoluble dustfall에 따라 시행되며, 화학적 분석은 지역내에 특히 관심있는 compound를 측정하기 위해 원소구성 등을 감안하여 일부 fraction에 의해 시행된다.

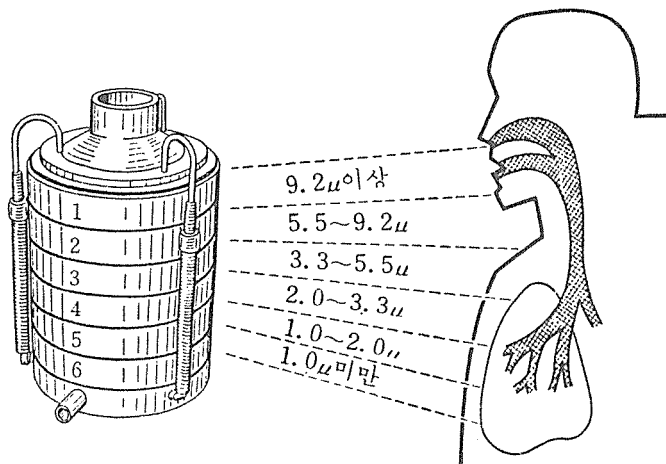


그림3 Andersen Dust Sampler의 외관과 各段的 粒徑범위와 호흡기 침입분위와의 관계

2.4 測定結果의 처리

2.4.1 실측자료의 통계처리

통계처리를 하기 위하여 사용된 산술평균식은 미정리 자료에서 그 중심적인 대표치를 구하려 할때 변량 전부를 합하여 그 변량들의 총수로 나눈 단순 산술평균식을 사용하였으며 다음식(1)과 같다.

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad N \dots\dots\dots (1)$$

여기서 X : 산술평균
n : 자료총수
x_i : 측정치

산술평균과 마찬가지로 통계집단에 있어서의 추상적인 계산대표치로서 변량의 변동율의 평균을 계산하는데 사용되는 기하평균(Mg)식을 다음 식(2)와 같다.

$$Mg = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n x_i} \quad \dots\dots\dots (2)$$

그런데, 실제 계산에서는 양변의 대수(logarithm)를 취한

$$\log Mg = \frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{N} \quad \dots\dots\dots (3)$$

의 공식을 사용하여 계산한 후 다시환원(antilog)시켜서 Mg를 구한다.

또한 통계집단의 분포도를 비교하기 위하여 표준편차를 계산하였으며 통계집단의 각 변량들과 그 산술평균치와의 편차들의 자승의 합계를 자료총수로 나누어 산술평균한 값의 평방근으로 표시되어 다음식(3)과 같다.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1}$$

여기서 σ : 표준편차
n : 자료총수
x : 산술평균

표준편차의 값이 크고 적음은 변량이 산술평균을 중심으로 얼마나 밀집되어 있는가를 나타내준다. 즉, 표준편차의 값이 크다는 것은 산술평균으로부터 멀리 떨어져 산재되어 있음을 나타내고, 값이 적다는 것은 산술평균을 중심으로 밀집되어 있음을 뜻한다.

또한 변량의 변동율을 고려하여 통계집단의 분포도를 비교하기 위한 기하표준편차(Sg)는 다음 식(4)로 계산된다.

$$Sg = \text{EXP} \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \ln Mg)^2}{n-1} \right)^{0.5} \right] \quad \dots (4)$$

여기서 Sg : 기하표준편차
Mg : 기하평균
n : 자료총수

2.4.2 실측자료의 통계적 분포형 검정

지역별, 오염물질별 통계적 분포형 검정을 위하여, 실측자료 Xi 자체로 이루어지는 집단과 대수변환에 의하여 얻어진 변량집단 log x_i, 각각에 대하여 무귀가설(null hypothesis)로서 “각 변량집단 자료들의 빈도분포는 정규분포를 이루게 된다”로 정하고, 대립가설(alternative hypothesis)로서는 “정규분포로 적합하지 않다”로 정하여 유의수준(significance level) 5%, 1%, 0.1%에서의 각 변량집단에 대한 가설검정을 x²-test로서 적합도 검정을 실시한다.

각개 변량집단 자료들의 통계해석을 위한 구간구분에 따른 계급수는 Sturges의 방법을 사용한다.

$$\text{Sturges의 방법} : m = 1 + 3.222 \log N$$

여기서 m : 계급수(정수로 표시됨)
N : 자료의 총수

$$\text{Range} = \text{자료의 최대값} - \text{자료의 최소값}$$

$$\text{Class Interval } i = \text{Range} \div m$$

위의 방법으로 각 구간이 결정되면 각 구간에 포함될 수 있는 dots수를 구하여 x²-test에 의한 정규성을 검정한다.

2.5 측정법의 문제점 검토

일반적으로 High Volume Air Sampler 나 Low Volume Air Sampler, 그리고 Andersen Dust Sampler로 측정할 때 공통적으로 적용되는 검정사항을 ① 유량계에 이상이 없는

가 ② Sampler에서 공기가 새지 않는가 ③ 전원 전압에 변동이 없는가를 확인한다. 이와같은 이상현상이 포집개시 직후에 있었다면 정상운전으로 되돌아 오는것을 확인한 후에 다시 포집을 시작한다.

또, 이상현상이 포집종료시에 확인되었을 경우에는 이상이 생기지 않도록 충분히 조치한 다음 포집조작을 다시 하고 먼저 포집된 시료는 기록을 정확히 하여 따로 보존한다.

가동중인 Sampler의 전원에 다른 기기를 가동시키면 전압의 변화가 생겨 Sampler의 유량을 일정하게 유지시키기 어려우므로 가동중인 Sampler의 전원에 다른 기기를 가동시켜서는 안되며 가동중인 Sampler의 전원·전압변동에 대하여 수시로 점검한다.

High Volume Air Sampler 측정시 다음 사항에 대하여 주의하여야 한다.

Sampler의 공기배기에 의하여 분진이 비산되지 않도록 주의를 깨끗이 청소하고 되도록이면 콘크리트 또는 아스팔트바닥위에 설치한다. 또한, Sampler의 보호상자는 비, 바람에 쓰러질 경우를 대비하여 밑부분을 단단히 고정시켜야 하며, Sampler설치시 소음·진동의 문제가 생기지 않도록 주의한다.

Low Volume Air Sampler로 측정할 때에는 분립장치, 팩킹, 망 등 장치의 세척을 자주해야 하는 번거로움이 있으며, 降雨 등 기상조건이 변화할 때는 그때마다 반드시 유량을 확인해야 한다.

또한, 장기간 채취할 때에는 입자상 물질에 의하여 여과지가 막히기 때문에 채취 후 반에는 되도록 자주 유량을 확인하여야 하는 번거로움이 있다.

Andersen Dust Sampler를 사용할시 문제점은 측정시마다 여과지를 교체해야 하는 번거로움이 있으며 옥외에 설치할 때에는 기중에 따라 보호상자를 설치해야 한다.

Dust Jar의 문제점은 측정결과가 다른 분석법과 비교할때 편차가 크다는 점 (Deposit Gauge가 100일때 Dust Jar는 150)이며 Jar가 장기간 open되어 있기 때문에 Algae의 성장

등으로 측정오차가 생길수 있다.

3. 結論

Remicon産業에서 배출되는 비산분진 측정을 위한 가장 효율적인 측정법으로는 High Volume Air Sampler법이 권장된다.

Andersen Dust Sampler법은 大氣管理보다는 作業環境管理의 노동위생 측면에서 많이 이용되며 최근에는 입자 size $10\mu m$ 를 기준으로 한 PM10 측정이 권장되고 있다.

Dust Jar는 광역오염에 대한 제어 및 관리를 위해서나 경제적인 면에서 유리하여 권장할만 하지만, 측정지점이 많아야 하고, 측정오차가 크고, 보통 1개월 정도 측정하나 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 통상 5년 정도의 장시간이 소요되는 단점이 있다.

끝으로 측정결과와 신뢰성을 높이기 위해서는 충분한 자료에 의한 적절한 통계처리가 요구된다.

Reference

1. 環境廳, 全國環境보전장기종합계획사업, 大氣部門報告書, 1986, 12
2. H. Brauer·Y. B. G. Varma, Air Pollution Control Equipment, 1981
3. 장남익, 정용, 권속표, 한 시멘트 공장의 粉塵發生과 대기확산에 관한 연구, 예방의학회지, 1983
4. 朴勝祚, 大氣汚染物調査方法, 東和技術, 1989
5. 環境廳, 環境汚染公定試驗法(大氣分野), 1989
6. 이갑덕외, 서울시 대기오염도 연속자동 측정 자료의 통계처리에 관한 연구, KAIST보고서, 1981
7. Henry C. Perkins, Air Pollution, Mcgraw-Hill Book Company, 1974
8. A. C. Stern, Air Pollution, Vol. 1, Academic press, 1976