

제목	국문	중량분석법을 이용한 공기 중 먼지농도 측정시 시간별 농도변이를 향상시키기 위한 측정방법의 개발			
	영문	Development of a noble approach to increase time resolution for gravimetric method of airborne dust concentrations			
저자 및 소속	국문	전찬규, 박두용 한성대학교 산업시스템공학부			
	영문	Chan Kyu Jeon, Doo Yong Park, Cheollim Shin			
분야	대기환경	발표자	전찬규	발표형식	포스터
진행상황	연구완료(), 연구중(○) --> 완료예정시기: 2001년 8월				
<p>1. 연구목적</p> <p>2. 연구방법</p> <p>3. 연구결과</p> <p>4. 고찰</p>					

중량분석법을 이용한 공기 중 먼지농도 측정시 시간별 농도변이를
향상시키기 위한 측정방법의 개발

전찬규, 박두용, 신철임
한성대학교 산업시스템공학부, 안전과학기술연구소

Development of a noble approach to increase time resolution for gravimetric method of
airborne dust concentrations

Chan Kyu Jeon, Doo Yong Park, Cheollim Shin
Department of Industrial Systems Engineering,
Center for Safety Science and Technology, Hansung University,

1. 연구목적

환경오염원의 종류가 다양해지고 환경오염물질의 특성이 다양해짐에 따라 대기오염의 특성을 정확히 파악하는 것이 더욱 중요한 문제로 대두되었다. 대기 오염의 기본적 특성을 파악하기 위해서는 오염물질에 대한 지역적 분포와 시간별 변이에 대한 정보가 필요하다. 최근 대기 중 먼지는 미세먼지가 증가함에 따라 먼지에 대하여 지역적 농도분포와 함께 시간별 변이에 대한 특성을 파악하는 것이 중요한 문제로 대두되었다. 입경을 분리하여 중량법으로 미세먼지를 측정할 경우 먼지의 중량이 매우 낮아 단시간의 시료채취로는 정량이 불가능한 경우가 많아 시간별 변이를 보기는 매우 어렵다. 더구나 시료채취의 이동성을 높이기 위하여 소형의 시료채취기를 이용할 경우 시간대별 변이의 측정은 매우 거의 불가능하다. 본 연구에서는 이러한 제한점을 극복하고 시간별 변이를 측정할 수 있는 측정방법을 개발하고자 시도되었다.

2. 연구방법

본 연구는 개인용 공기시료채취펌프(personal air sampler)를 이용할 경우, 시간대별 변이의 측정이 가능한 이론적 방법을 개발하였다.

3. 연구결과

(1) 이론적 고찰

대기중 먼지, 특히 미세먼지이나 디젤배출물의 농도를 파악하기 위해서는 충분한 시료채취시간이 필요하다. 시료채취시간을 짧게 할 경우 채취된 미세먼지는 정량한계(LOD)이하가 되어 정량적 분석이 불가능하다. 더구나 미세먼지는 입경이 작아질수록 중량이 급격히 작아지므로 ($mass = density \times volume$, $volume = 4/3 * \pi * r^3$) 입경별로 단시간의 농도를 측정한다는 것은 매우 어렵다. 현재까지 미세먼지의 시간별 변이를 파악하는 방법은 직독식 기기에 의존할 수밖에 없었다. 그러나 직독식 기기는 절대적인 중량농도를 직접 측정하는 것이 아니며, 가격과 이동성 등의 문제로 다양한 대기중에 적용하기에는 적합하지 않다.

(2) 기본적인 모델의 개발

기본적으로 여과포집/증량분석법에 충분한 시료채취시간 동안 n 개의 시간별 변이를 파악하고자 할 때, 각 시간대의 농도를 C1, C2, C3, C4, ... Cn-1, Cn이라 하고, 각 시간대를 t1, t2, t3, t4, ... tn-1, tn이라 하자. 그러면 평균농도는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\sum C_i \cdot t_i}{\sum t_i} = TWA$$

여기에서 알고자하는 시간대 수만큼 시료를 채취하되 차례대로 각각의 시간대만 빼고 측정한다. 알고자하는 각각의 시간대만 측정해야 하지만 여기서는 시간이 너무 짧아 충분한 미세먼지가 채취되지 못하므로 반대로 그 시간대만 빼 나머지 시간을 모두 측정한다. 그렇게 하면 분석에 충분한 먼지시료를 채취할 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(P-1)} \sum t_i - C_{(P-1)} t_1 \\ C_1 t_1 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(P-1)} \sum t_i - C_{(P-1)} t_2 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(P-1)} \sum t_i - C_{(P-1)} t_3 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(P-1)} \sum t_i - C_{(P-1)} t_4 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(P-1)} \sum t_i - C_{(P-1)} t_5 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} &= C_{(P-1)} \sum t_i - C_{(P-1)} t_n \end{aligned}$$

이것을 다음과 같이 수식으로 간단하게 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{첫 번째} \quad & \frac{\sum_{k=2}^n C_k t_k}{\sum t_i - t_1} = C_{(P-1)} \\ \text{i 번째} \quad & \frac{\sum_{k=1}^{k=(i-1)} C_k t_k + \sum_{k=(i+1)}^n C_k t_k}{\sum t_i - t_i} = C_{(P-i)} \\ \text{n 번째} \quad & \frac{\sum_{k=1}^{k=(n-1)} C_k t_k}{\sum t_i - t_n} = C_{(P-n)} \end{aligned}$$

이것을 이항정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{1st} \quad & \sum_{k=2}^n C_k t_k = C_{(P-1)} (\sum t_i - t_1) \\ \text{i th} \quad & \sum_{k=1}^{k=(i-1)} C_k t_k + \sum_{k=(i+1)}^n C_k t_k = C_{(P-i)} (\sum t_i - t_i) \\ \text{n th} \quad & \sum_{k=1}^{k=(n-1)} C_k t_k = C_{(P-n)} (\sum t_i - t_n) \end{aligned}$$

간단히 하기 위하여 재정리하면 다음과 같다.

$$1^{st} \quad \sum_{k=2} C_k t_k = C_{(F-1)} \sum t_i - C_{(F-1)} t_1$$

$$i^{th} \quad \sum_{k=1}^{k=(i-1)} C_k t_k + \sum_{k=(i+1)}^n C_k t_k = C_{(F-i)} \sum t_i - C_{(F-i)} t_i$$

$$n^{th} \quad \sum_{k=1}^{k=(n-1)} C_k t_k = C_{(F-n)} \sum t_i - C_{(F-n)} t_n$$

다시 처음에 본 식에 대하여 양변을 모두 더하면 .

$$\begin{aligned} C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(F-1)} \sum t_i - C_{(F-1)} t_1 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(F-1)} \sum t_i - C_{(F-1)} t_1 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(F-1)} \sum t_i - C_{(F-1)} t_1 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(F-1)} \sum t_i - C_{(F-1)} t_1 \\ C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + C_5 t_5 + \dots + C_{n-2} t_{n-2} + C_{n-1} t_{n-1} + C_n t_n &= C_{(F-1)} \sum t_i - C_{(F-1)} t_1 \end{aligned}$$

다음과 같다.

$$(n-1) \sum (C_i \cdot t_i) = \sum (C_{F-i} \cdot \sum t_i) - \sum C_{F-i} \cdot t_i$$

When $\sum t_i = T$, the above equation would be

$$\begin{aligned} (n-1) \sum (C_i \cdot t_i) &= \sum (C_{F-i} \cdot T) - \sum C_{F-i} \cdot t_i \\ &= T \sum C_{F-i} - \sum C_{F-i} \cdot t_i \end{aligned}$$

$$\sum (C_i \cdot t_i) = \frac{T \sum C_{F-i} - \sum C_{F-i} \cdot t_i}{n-1}$$

그리고 이 식은 다음과 같이 정리되어

$$\begin{aligned} C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + \dots + C_i t_i + \dots + C_n t_n &= \sum C_i t_i \\ C_i t_i &= \sum C_i t_i - (C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + \dots + C_{i-1} t_{i-1} + C_{i+1} t_{i+1} + \dots + C_n t_n) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_i t_i &= \sum (C_i \cdot t_i) - \left(\sum_{k=1}^{k=(i-1)} C_k t_k + \sum_{k=(i+1)}^n C_k t_k \right) \\ &= \frac{T \sum C_{F-i} - \sum C_{F-i} \cdot t_i}{n-1} - C_{F-i} \cdot (T - t_i) \end{aligned}$$

최종적으로 i 번째만 빼고 측정한 결과를 가지고 다음과 같이 우리가 파악하고자 하는 i 번째 농도를 구할 수 있다.

$$\therefore C_i = \frac{T \sum C_{F-i} - \sum C_{F-i} \cdot t_i}{(n-1) \cdot t_i} - \frac{(T - t_i)}{t_i} C_{F-i}$$

따라서 각각의 시간대별 먼지농도를 추정할 수 있으며 시간별 변이의 측정이 가능하다.

4. 고찰

본 연구에서 개발된 이론은 디젤연소배출물의 경우, 발생원이나 노출대상집단 등의 특성을 파악하고 대기 중 미세먼지의 특성을 파악하는데 시간별 변이특성을 파악하는데 활용될 수 있을 것이다. 예를 들어, 교통량과 미세먼지의 특성을 파악한다든지 출퇴근시간과 낮시간 그리고 밤시간 동안 미세먼지의 변화특성을 파악하는 것은 건강장해연구와 연관시키는데 중요한 정보를 파악할 수 있다. 또한 미세먼지의 발생원과 차량의 기여도를 파악하는 것도 가능하다.