

발파해체현장에서 발생하는 순간분진의 입경분포 특성

이경희^{*,**} · 김효진^{**} · 박찬규^{*} · 고희백^{*}

^{*}연세대학교 토목·환경공학과, ^{**}대한주택공사

(2008년 4월 30일 접수; 2008년 7월 25일 수정; 2008년 10월 30일 채택)

Characteristics of Particle Size Distributions Generated in the Vicinity of Building Blasting Demolition Sites

Kyoung Hee Lee^{*,**}, Hyo Jin Kim^{**}, Chan Gyu Park^{*} and Kwang Baik Ko^{*}

^{*}School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, 134 Shinchondong, Seoul 120-749, Korea

^{**}Korea National Housing Corporation, Gyeonggi 463-810, Korea

(Manuscript received 30 April, 2008; revised 25 July, 2008; accepted 30 October, 2008)

Abstract

In building demolition work, major dust-generating activities are blasting concrete and rock. The aim of this study was to find the characteristic of particle size of dusts which were generated during building demolition work using explosion. The DustMate of the Turnkey-Instruments Ltd. was used for particulate size-selective sampling of the four sites. TSP(Total Suspended Particle), PM10(Particle Matter 10 μm), PM2.5(Particle Matter 2.5 μm), and PM1.0(Particle Matter 1.0 μm) were measured during building demolition work using explosion. The large particulate (higher than the diameter 10 μm) showed to be higher than 50%. The particulate ranged from 10 μm to 2.5 μm showed about 30-40%. PM2.5 was not scarcely detected in the samples collected for building demolition work using explosion. We conclude that the dust generated during building demolition work using explosion has not most respirable particulate.

Key Words : Demolition, Explosion, Particulate

1. 서론

1960년대 경제개발 초기에 수도권을 중심으로 건립된 각종 도심구조물의 노후화가 진전됨에 따라 해체 대상건물이 급증하고 있으며 규모도 층층이하에서 고층으로 전환되고 있다. 이미 미국, 영국, 스웨덴 등과 같은 서구 선진국들은 고층건물에 대해 수십년 전부터 발파해체공법을 적용해 왔다¹⁾. 그러나 도시공간의 높은 곳에서 작업이 이루어지는

고층건물의 발파해체는 저층건물의 해체에 비하여 소음, 진동, 분진 등의 각종 환경위해요인이 미치는 영향권이 광범위하다. 또한 도심지에서의 발파해체 공사는 상업지역이나 주거 밀집지역에서 시행되는 경우가 많아 다수의 민원이 발생할 가능성이 높다. 하지만 발파로 인한 환경오염 허용기준은 발생 민원을 객관적이고 명쾌하게 해결해 주기 위한 기준에는 미흡하여, 민원의 강도에 따라 피해보상의 기준도 천차만별로 적용되고 있는 실정이다²⁾. 이러한 민원은 발파로 인한 피해 여부를 객관적으로 판단하기가 매우 곤란하여 피해보상이 원만하게 해결이 되지 않고 법적인 단계로까지 확대되는 경우가 많

Corresponding Author: Kyoung Hee Lee, Korea National Housing Corporation, Gyeonggi 463-810, Korea
Phone: +82-31-738-4637
E-mail: khlee75@jokong.co.kr

다^{3,4)}.

그러나 우리나라의 경우 발파 붕괴과정에서 집중적으로 발생하는 분진이 주변의 광범위한 지역에 영향을 미치게 된다는 점은 심각한 민원요인으로 작용할 수 있다. 이것은 시공기간, 경제성, 작업효율 측면에서 고층건물에 보다 효과적인 발파해체공법의 적용을 저해하는 하나의 요인으로 작용할 수 있다. 이러한 점은 1994년도 11월에 시행되었던 여의도 라이프빌딩 발파해체에서의 심각한 분진 및 비석의 발생사태가 국내 발파해체공사의 활성화에 심각한 영향을 미쳤던 예를 통하여 충분히 예견할 수 있다⁵⁾. 특히 해체현장에서 발생하는 분진은 분진자체의 비산으로 인한 민원 발생 등 주변지역의 직접적인 피해뿐만 아니라 분진내에 함유된 각종 오염물질이 현장 내외에 침전하여 간접오염을 유발할 수 있다는 점에서 관리가 중요하다.

해체시 분진의 발생에 영향을 미치는 요인으로는 콘크리트 수분, 풍속/풍향, 강우-증발지수, 수분함량, 입경분포 등을 들 수 있으며 측정당시의 대기상태가 중요한 인자로 작용한다. 분진은 크게 10 μm 이상의 조대입자와 10 μm 이하의 미세입자로 나누어진다. 조대입자는 코와 후두내 난류에 의한 관성력에 의해 흡입시 제거되는 반면 미세입자는 폐포까지 침투하여 기관지에 남이있게 된다. 미세입자는 입자의 크기에 따라 공기역학적 직경이 10 μm 이하인 PM10과 2.5 μm 이하인 PM2.5로 나누어지며 PM10은 호흡계 질환에, PM2.5은 심장박동수가 증가하는 등 심혈관계 질환과 암, 조기사망에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며 PM10에 비해 PM2.5의 독성이 더욱 강하다⁶⁾.

기계식 해체현장에서 분진은 공사기간 동안 장기간에 걸쳐 저농도로 발생하는 누적분진이 문제가 될 수 있으며, 규제기준과는 별개로 감정적인 민원 유발 요인이 될 수 있다. 반면 발파 해체시 발생하는 분진은 발파순간에 콘크리트 입자의 파쇄로 다량이 순간적으로 집중 발생하며, 발파압력 및 건물붕괴시의 풍압으로 인근 지역 전체에 영향을 미친다는 특징이 있다. 국내에서는 산업위생분야에서 분진의 입자크기 특성에 대한 연구는 석탄광산, 납취급 사업장 등 일부 업종에 국한되어 연구가 수행되어 왔으며, 비교적 분진 발생이 많은 터널건설에 대한 연

구가 진행되고 있을 뿐 건축물의 발파 해체시 발생하는 분진에 대한 연구는 전무한 실정이다. 터널건설공사시 발생분진의 입경특성은 10 μm 이하의 기관지 침착성 분진의 평균 중량비율이 약 67%이며, 4 μm 이하의 호흡성 분진은 약 43%의 평균 중량비율을 나타내었다. 뿐만 아니라 1 μm 미만의 입경을 가진 초미세분진의 중량 비율도 약 10% 이상 높게 나타났다⁷⁾.

향후 본격적인 고층건물 해체시점에 대비하여 도심지에서의 발파해체공사의 활성화 및 이를 통한 효과적인 해체기술로의 정착을 위해서는 분진을 효과적으로 제어할 수 있는 기술이 필요하다. 이를 위해서는 발파해체현장에서 발생하는 분진의 특성을 파악하고 대상건물의 특성에 따른 발생기전을 분석한 데이터베이스가 필요하다. 이러한 데이터베이스는 발파해체현장의 종합적인 환경관리 대책 마련 및 민원대응 자료로 활용할 수 있으며, 각 인자별 관리기준을 수립하고 체계화하는데 활용할 수 있다. 또한 향후 개별적인 친환경 해체기술의 개발과 더불어 건설기술 자체의 발전 및 고도화를 촉진하는데 기여할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 발파해체현장에서 발생하는 순간분진의 발생량을 측정하고 입경에 따른 발생특성을 파악하여 환경기준 및 환경인식에 부응할 수 있는 저공해형 및 민원발생 저감형 해체기술을 개발하기 위한 발판을 마련하고자 한다.

2. 재료 및 방법

단시간에 다량의 분진을 발생시키는 4개 발파해체현장을 대상으로 계측을 실시하였으며, 일반 건축물 1개 현장과 화력발전소 2개 현장, 종합운동장 1개 현장에서 분진발생량을 측정하였다. 일반적으로 대기오염공정시험법에 따르면 대기중에 부유하고 있는 입자상 물질을 여과지상에 포집하여 질량농도를 1회 6시간 이상 측정하여 칭량하도록 되어 있다. 그러나 발파해체시 발생하는 순간분진은 수초내에 대부분이 발생하며, 수분내에 가라앉으므로, 질량분석법이 적당하지 않다고 판단되어 광산란방식을 이용하였다. 분진의 측정위치는 그 지역의 주변환경 및 기상조건을 고려하여 주위에 건물

Table 1. Summaries of building demolition sites

| Items | M Site | Y Site | G Site | D Site |
|--------------------|--|--|---|--|
| Structure | Reinforce Rahmen & Wall | Reinforce Rahmen & Wall | Reinforce Rahmen & Wall | Reinforce Rahmen |
| Applied method | Demolition | Falling down | Demolition & Falling down | Falling down |
| Measured position | 50 m off a scaffold | 110 m off the front | 120 m off the front | 70 m off the front |
| Weather conditions | Cloudy Temp.: 13.7℃ Humidity: 38%, Northwest wind (2.9 ㎍) | Cloudy Temp.: 10.6℃ Humidity: 57% East wind (5.3 ㎍) | Mist Temp.: 11.1℃ Humidity: 82% Southwest wind (2.1 ㎍) | Mist Temp.: 3.7℃ Humidity: 88% Northwest wind (1.5 ㎍) |

Table 2. Analysis conditions

| Feature | Description |
|---------------------|------------------------------|
| Measurement mode | TSP, PM10, PM2.5, PM1.0 |
| Measurement range | 0 to 6,000 mg/m ³ |
| Detection limit | 0.01 mg/m ³ |
| Indicator range | 0 to 60 mg/m ³ |
| Particle size range | 0.5 to 20 μm |
| Flow rate | 600 cc/min |
| Averaging period | 1 second to 4 hours |

이나 수목 등의 장애물이 없고, 그 지역의 오염도를 대표할 수 있다고 생각되는 곳을 선정하였다. 분진 측정시에는 비나 눈이 오거나, 바람이 거의 없을 때 (0.5 ㎍ 미만), 바람이 너무 강할 때(10 ㎍)에는 시료 채취를 하지 못하게 되어있다. 본 연구에서 대상으로 선정된 네 개 현장의 발파해체 당시 기상상태는 시료채취에 무리가 없었다. TSP(Total Suspended Particle), PM10(Particle Matter 10), PM2.5, PM1.0 (Particle Matter 1.0)을 대상으로 발파전후 약 50분간 초 단위로 분석을 실시하였으며, 대상 현장의 개요를 Table 1에 제시하였다. 발파순간의 최대 분진발생량과 발파전후의 평균 분진량 등을 비교하였고, TSP 농도에 따른 분진 입경 분포를 분석하였으며, 측정장비는 영국 Turnkey-Instruments Ltd.의 DustMate를 사용하였으며 제원은 Table 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

4개 현장에서 이격거리와 방향별로 각각 3~4개의 측정점을 설치하고 분진의 발생양상을 계측하였

으며, 이중 분진의 입경에 따라 4개 항목을 동시에 측정된 측정점에서의 분진 발생양상은 다음의 Fig. 1과 같다.

일반적으로 발파시의 순간분진량은 10~300 μg/m³, 해체작업시에는 옥외에서 1~1,000 μg/m³이 발생하는 것으로 알려져 있다. 건물의 특성과 규모에 따라 차이는 있지만 발파해체현장에서의 초당 순간 분진 발생량은 PM10 기준으로 최대 1,100,000 μm/m³까지 발생하며, 대상건물로부터 약 50 m 이격된 거리에서 평균 2~300,000 μm/m³ 정도 발생한다⁸⁾.

대상현장에서의 측정점은 장비의 특성상 발파분진이 직접적으로 영향을 미치는 지점보다 멀리 설치하여 Y Site를 제외하고는 발파순간의 침투값이 뚜렷하게 나타나지는 않았다. 그러나 발파시 발파전에 비해 3배에서 최고 178배까지 분진량이 증가하였다. 발파시의 분진 발생량은 건물로부터의 이격거리보다는 건물의 붕괴방향, 당시의 풍향, 풍속, 대기습도 등의 기상상태에 의해 크게 영향을 받는다. 또한 대상건물의 층고, 규모, 적용공법, 주변환경 등이 주요 변수가 되므로, 유사한 규모의 건물이 아닌 경우, 각 현장에서 발생하는 정량적인 분진 발생값을 직접적으로 비교하는 것은 무리가 있다고 판단된다.

Fig. 2는 발파해체시 발생하는 분진의 농도에 따른 입경 분포를 도식화한 것이다. 그 결과 모든 현장에서 분진의 발생량이 높아질수록 직경 10 μm 이상의 비교적 큰 입자들이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 발파와 동시에 다량으로 발생하는 분진에는 콘크리트 입자가 대부분을 차지하고 있으며, 입

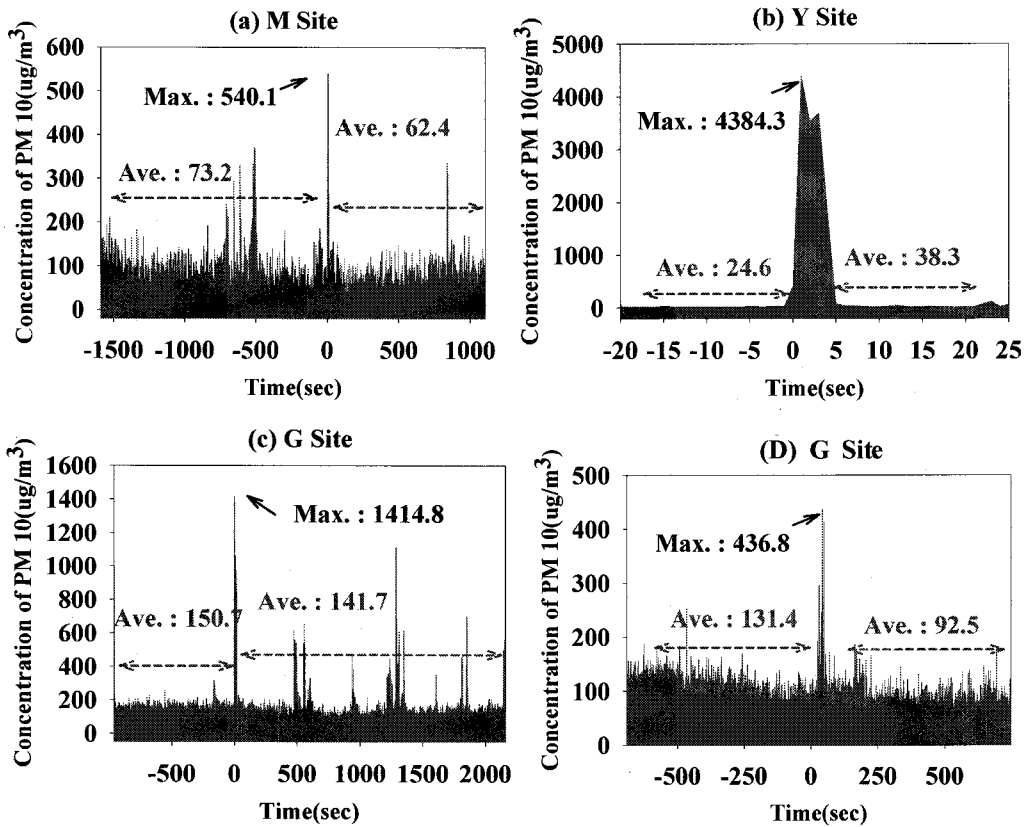


Fig. 1. Aspects of particle generated in the vicinity of building demolition sites.

경이 큰 입자들이 폭풍압 등에 의해 비산하였다가 빠르게 가라앉는 것으로 판단된다. 분진발생량이 높을수록, 즉 발파순간과 발파직후에는 큰 입자들이 많은 비율을 차지하였고 발파 후 일정 시간이 경과되면 입경이 작은 입자들이 대부분을 이루는 것으로 나타났다. Y Site의 PM10을 제외하고는 R²값이 0.58~0.91로 평균 0.79로 나타나 유의성이 있는 것으로 판단된다. 또한 이러한 경향은 분진 입경이 작을수록 보다 뚜렷하게 나타내는 것으로 분석되었다.

Fig. 3은 발파순간 분진발생량이 최대가 되었을 때의 TSP를 입경 1.0 μm이하, 1.0~2.5 μm, 2.5~10 μm, 10 μm이상으로 구분하여 나타낸 것이다. 이 중 Y Site는 Fig. 3(b)에서와 같이 TSP 중 PM이 차지하는 비율을 분석한 결과 R²값이 0.14에 불과해 유의성이 없다고 판단되어 10 μm는 입경 구분 기준으로 채택하지 않았다.

분석 결과에 따르면 발파순간과 발파직후에는 직경 10 μm 이상인 조대분진이 50% 이상을 차지하였고, 직경 10~2.5 μm인 미세분진은 약 30~40%를 차지하였다. 그러나 직경 2.5 μm 이하의 초미세분진은 큰 비중을 차지하지 않는 것으로 나타났다. 또한 앞에서 언급한 터널건설공사시 발생하는 분진의 입경 특성과 비교분석한 결과 건축물 발파 해체시에는 비교적 큰 입경을 가진 분진이 발생하였다.

따라서 발파해체 현장에서 발생하는 순간분진은 발파와 동시에 입경이 큰 콘크리트 입자들이 다량으로 비산하였다가 중력에 의해 빠르게 가라앉으므로, 인체에 흡입되어 호흡기 장애를 일으킬 수준은 아닌 것으로 판단된다. 그러나 발생량에 비해 인체에 미치는 유해성은 크지 않지만 단시간에 대규모의 분진이 발생한다. 따라서 향후 인근 주거지역 등 감정적인 민원에 대응하고 친환경적인 해체기술의

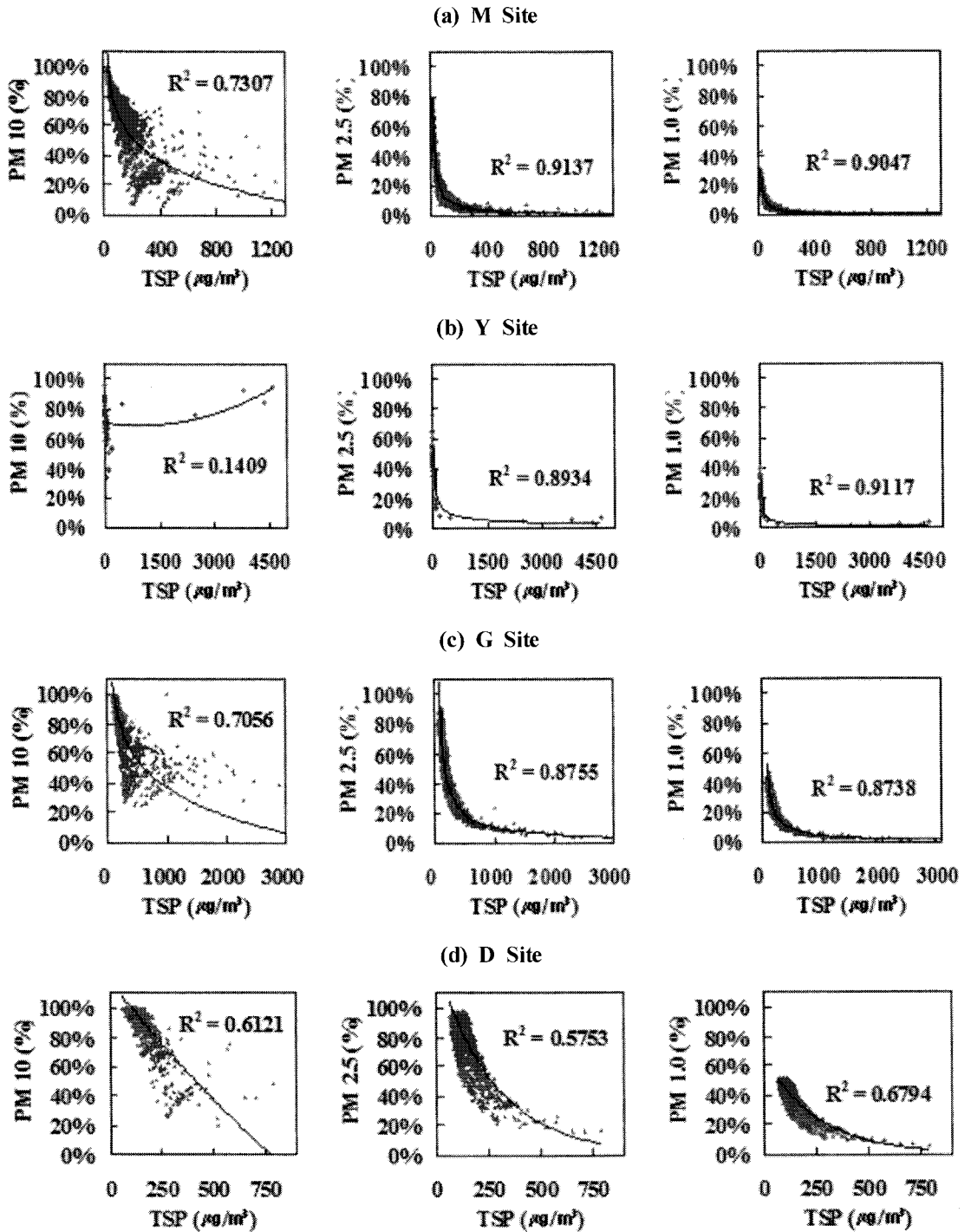


Fig. 2. Particle size distributions according as TSP increases in the vicinity of building demolition sites.

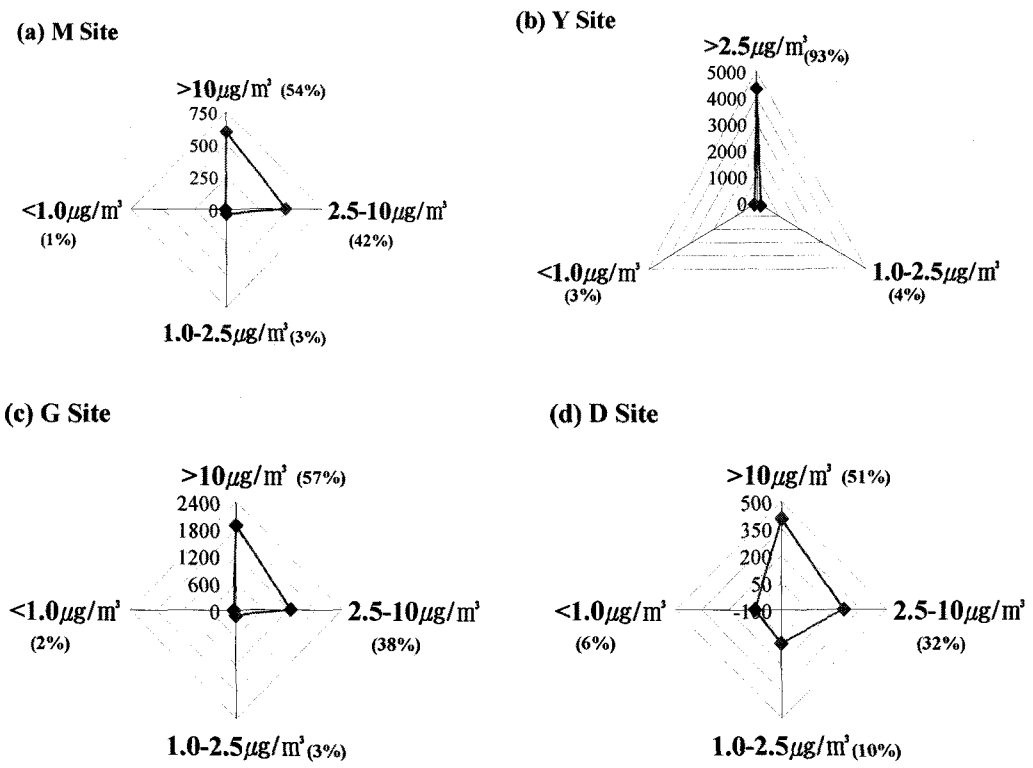


Fig. 3. Particle size distributions in the maximum generation point on demolishing.

정착을 위해서는 각종 분진발생 저감기술의 개발이 반드시 필요하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서 발파해체 현장에서 발생하는 순간분진 발생량을 측정하여 입경에 따른 발생특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 발파해체시 발파직후 분진발생량이 클 때에는 큰 입자들이, 발파전, 혹은 발파후 일정 시간이 경과된 후에는 상대적으로 입경이 작은 입자들이 대부분을 이루는 것으로 나타났다.

2) 발파해체시 최대 분진발생 시점에서는 직경 10 µm 이상인 조대분진이 50% 이상, 직경 10~2.5 µm인 미세먼지가 약 30~40%를 차지하고, 직경 2.5 µm 이하의 초미세먼지는 큰 비중을 차지하지 않는 것으로 나타났다.

3) 따라서 발파시 발생하는 순간분진은 입경이 큰 입자가 대부분을 차지하여 호흡기 등에 흡입되지 않으므로, 그 발생량에 비해 인체에 미치는 유해성은 크지 않을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원 (과제번호 : 06건설핵심B04)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) 김희창, 1993, 건물해체공법과 전망, 대한화약발파공학회, 11(3), 57-72.
- 2) Moore P. J., 1985, Analysis and Design of Foundations for Vibrations, Balkema, 5-40.
- 3) Duvall W. I., Forgelson D. E., 1990, Review of Criteria for Estimating Damage to Residences, USBM.

- RI. 5968, 78-100.
- 4) 유창하, 1992, 암반굴착에 의한 발파 진동, 소음 및 비석의 조절, 한국암반역학회, 터널과 지하공간, 2(1), 102-115.
 - 5) 건설교통부, 2006, 환경위해요인 최소화를 위한 도심지 고층건물 유형별 최적해체기술개발, 19pp.
 - 6) 김성연, 정문호, 손부순, 양원호, 최경호, 2005, 서울시 일부 지역과 대기 중 미세먼지에 관한 연구, 한국환경보건학회지, 31(4), 301-308.
 - 7) 류장진, 장재길, 이병규, 정시정, 김성진, 김광중, 2003, 터널건설공사시 발생분진의 입경 특성, 한국산업위생학회지, 13(2), 107-112.
 - 8) 건설교통부, 2006, 해체현장 인근지역의 환경영향 평가기법 및 기준개발, 19, 49-57.