

# 터널건설공사시 발생분진의 입경특성

류장진<sup>‡</sup> · 장재길 · 이병규 · 정시정 · 김성진 · 김광종

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

## The Size Characteristic of Particles generated during Road Tunnel Construction Work

Jang-Jin Ryoo<sup>‡</sup> · Jae-Gil Jang · Byung-Kyu Lee · Si-Jung Jung · Sung-Jin Kim · Kwang-Jong Kim

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

In tunnel construction work, major dust-generating activities are blasting rock, rock drilling and transport operations. The aim of this study was to find the characteristic of particle size of dusts which were generated during road tunnel construction work using the New Austrian Tunneling Method(NATM). An 8-stage personal cascade impactor was used for particle size-selective sampling by area sampling method. Paired samples for total(closed-face 37-mm cassette holder) and respirable(10 mm-nylon cyclone) dust were taken to compare with the results of cascade impactor at the same location where cascade impactor samples were taken. The geometric mean of mass median aerodynamic diameter(MMAD) of dust is 3.9  $\mu\text{m}$ (GSD=4.3). This is quite similar to 50% cut size(4.0  $\mu\text{m}$ ) for respirable mass fraction defined in

the ACGIH TLV. The mass fraction of inhalable, thoracic, and respirable particulate defined at ACGIH TLV are 84.0%, 67.2%, and 43.1%, respectively. The arithmetic mean ratio of inhalable particulate mass to respirable particulate mass is 2.04 for paired sample, 1.95 for cascade impactor sample, which showed much lower than those of other construction tasks. We conclude that the dust generated during road tunnel excavation has about 50% respirable fraction in inhalable particulate mass.

**Key Words:** Cascade impactor, Particulate size-selective sampling, Tunnel construction work, Mass median aerodynamic diameter(MMAD), Respirable fraction

## I. 서 론

직업성 폐질환은 분진, 흙, 미스트 등의 에어로졸 노출과 관련이 있다. 노출측정은 유해도 평가와 기준 설정에 매우 중요한 요소이다. 그러나 의미있는 결과를 얻기 위해서는 적절히 노출 특성을 반영할

수 있는 시료채취방법을 사용하여야 한다. 그러한 방법은 인간을 대상으로 하는 에어로졸의 흡입과 축적에 대한 기전에 근거한 입자 크기별 선택기준에 기반을 두어야 한다. 1980년 초 이래 전문가들은 에어로졸에 대한 산업위생기준은 인간 노출특성을 가능한 한 가깝게 반영하는 노

출평가기준에 바탕을 두어야 한다는 인식 하에 미국 산업위생전문가협회(ACGIH), 국제표준기구(ISO), 유럽표준위원회(CEN)가 공동으로 공기중 분진입자에 대한 분진크기별 시료채취기준(Particle Size-Selective Sampling Criteria for Airborne Particulate Matter)을 제정, 권고하게 되었다(AIHA, 1996).

이에 따라 미국 산업위생전문가협회(ACGIH)에서는 흡입성(inhalable), 기관지 침착성(thoracic), 호흡성(respirable) 분진

접수일 : 2002년 3월 5일, 채택일 : 2003년 6월 5일

<sup>‡</sup> 교신저자 : 류장진(인천직할시 부평구 구산동 34-4 한국산업안전공단 산업안전보건연구원

Tel : 032-5100-906, E-mail : r89024@kosha.net)

에 대한 공기역학적 입경별 포집효율을 제시하고 있으며 포집된 분진의 입경특성, 즉 분진의 흡입성, 기관지 침착성, 호흡성 분진의 중량비율(mass fraction)을 산출할 수 있게 하였다(ACGIH, 2001). 이러한 분진특성에 적합한 시료채취기로서 cascade impactor(series 290 Marple Personal Cascade Impactor, Andersen Sampler Inc.)가 개발되어 오랫동안 사용되어 왔다. Cascade impactor는 고유의 시료채취효율과 내부손실을 가지는데 제조사에서 실험 연구를 통해 제품판매시 동 두 가지 시료채취효율을 저하시키는 요인을 고려한 효율을 제시하고 있다(Andersen Sampler Inc.). 따라서 cascade impactor 사용시는 채취한 각 단계별 포집효율을 적용하여 포집 분진중량을 환산하는 것이 분진특성을 파악하는데 중요하다.

국내에서는 산업위생분야에서 에어로졸 입자크기 특성에 대한 연구는 석탄광산, 납취급 사업장 등 일부 업종에 국한되어 연구가 수행되어 왔으며, 건설업에 대한 연구는 전무한 상태이다(윤영노 등, 1991; 박동욱, 1995). 외국에서는 건설업 작업에서 에어로졸에 대한 근로자 노출평가연구는 활발히 이루어져 왔으며, 최근에 와서 건설업에서 노출되는 분진 및 실리카의 크기특성에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다(Berit et al., 2001; Bello et al., 2002; Hilt et al., 2002; Woskie et al., 2002). 그러나 분진입자 크기특성에 대한 주요 연구 대상은 거푸집 조립, 콘크리트 마감작업, 지반굴착 등 일반적인 건설작업으로 지하 공간에서 분진발생이 많은 도로 터널건설 작업은 포함되지 않았다. 일반적인 건설 작업에서 발생하는 분진에 대한 근로자 노출평가결과 노출분진 및 실리카 입자는 대부분이 흡입성 입자인 것으로 보고하고

있다(Bello et al., 2002).

지하 터널건설현장에서 가장 중요한 유해요인은 광산과 같이 발파과정과 파쇄된 암석의 처리시 발생하는 분진이다. 분진의 공기역학적 직경은 진폐 또는 규폐증 유발가능성을 평가하는데 매우 중요한 인자이다. 이에 본 연구의 목적은 발파에 의한 터널굴착작업시 발생하는 분진의 크기 특성을 알아봄으로써 터널 작업근로자의 진폐 또는 규폐의 위험성을 예측하고, 작업근로자의 건강보호를 위한 기초정보를 제공하는데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 대상

조사대상은 도로용 터널굴착공사가 진행 중인 건설현장 2개소였으며, 지역별로는 강원지역(태백) 1개소와 충청지역(괴산) 1개소이다. 조사대상 터널건설현장에 대한 기본적인 현황은 표1과 같다.

NATM(New Austrian Tunneling Method) 공법의 작업방법은 크게 천공, 발파, 버력처리, 락볼팅, 숏크리트 등으로 구분된다. 천공은 주로 점보드릴이란 천공장비를 이용하여 암반의 구멍을 내는 장비이며, 습식작업으로 이루어진다. 발파작업은 천공 작업이 완료된 후 천공된 암반 구멍에 미리 준비한 화약을 장입하는 작업과 장입 완료 후 장입근로자가 터널외부로 모두 나온 후 화약주입에 의한 발파작업으로 이루어진다. 버력처리작업은 발파 후 약 10분 이내에 파쇄된 버력(암석)을 처리하기 위해 페이로더 장비와 덤프트럭에 의해 이루어진다. 버력처리작업이 완료된 후에 발파한 터널굴착 표면을 안정시킬

목적으로 숏크리트 작업을 수행하는데 숏크리트는 시멘트, 세골재, 조골재, 물, 급결제를 배합하여 제조되며, 배합된 숏크리트를 터널굴착면에 뿜는 작업은 숏크리트 타설장비를 이용하여 타설공이 운전조작하게 된다. 암반의 자체 지지력 등 암반 상태가 불량한 경우에는 강재 지보공(H-Beam)을 터널벽면에 설치하거나 와이어 메쉬로 보강한 후 이 위에 숏크리트 작업을 수행한다. 이상의 작업들을 터널작업의 1 사이클로 볼 수 있는데 현장특성에 따라 1일(24시간) 2~3 사이클 작업을 반복하게 된다. 터널작업에 사용되는 각종 중장비는 디젤연료를 사용한다.

### 2. 방법

#### 1) 발생분진의 입경분포 및 특성조사

발생분진의 크기를 측정하기 위하여 8 단계(stage) 충돌판으로 구성된 Marple Personal Cascade Impactor(Model 298, Andersen Sampler Inc., U.S.A)와 개인시료채취기(Gilian 및 MSA 모델)를 사용하였다. 시료채취 전에 분진입자를 포집하기 위한 포집 매체로서 Mylar Substrate(Andersen Stock # C-290-MY, Andersen Sampler Inc., U.S.A)에 실리콘(Dow Corning 316 Silicone Release Spray, Dow Chemicals, U.S.A)을 코팅하여 cascade impactor의 각 단계 Mylar Substrate를 장착하였다. 실리콘으로 코팅된 Mylar Substrate는 코팅액이 희뿌연 상태에서 투명하고 끈적끈적한 상태가 될 때까지 상온에서 자연 증발시켰다. 이것은 분진입자가 반동(particle bounce)에 의한 손실을 방지하기 위한 것이다. 그리고 마지막 단계에는 PVC(5 $\mu$ m pore size, poly vinyl chloride, Andersen Stock # F-290-P5,

Table 1. The characteristics of the surveyed tunnels

Area	Tunnel length(m)	Excavation length(m)	Excavation method	Type of excavation <sup>†</sup>	Type of road
Taebaek	2,470	400~700	NATM <sup>†</sup>	3, 4 type	one tunnel, 2 lines one-way
Goesan	3,100	1,500~1,700	NATM	3 type	two tunnels, 2 lines one-way

<sup>†</sup> NATM : New Austrian Tunneling Method

<sup>‡</sup> 1~3 type : no support excavation, 4~5 type : support excavation

Andersen Sampler Inc., U.S.A.) 필터를 장착하였다. 채취 유량은 2 l/min로 폭약 발파직후부터 최소 6시간 이상(발파후 버려 처리가 완료되는 시간) 시료를 채취하였다. 시료채취 전후에 cascade impactor의 각 단계의 충돌판을 깨끗이 세척하고, 견고히 조립함으로써 정확한 시료채취를 피하였다. 각 단계에 포집된 분진중량을 분석하기 위해 시료채취 전후에 실리콘이 코팅된 Mylar Substrate의 무게를  $10^{-5}$  g까지 칭량이 가능한 저울(Satorious R 200D)로 칭량하였다. 각 단계의 충돌판에서 분리, 채취되는 분진입자의 유효한계직경(Effective cut-point diameter, ECD)은 cascade impactor의 제조사인 Andersen Sampler Inc.에서 발간한 자료를 사용하였다.

## 2) 분진입자의 공기역학적 질량 중위입경(MMAD)의 산출

채취된 분진의 공기역학적 질량 중위입경을 구하기 위해 첫 번째로 각 단계별로 채취된 분진의 중량을 cascade impactor의 제조사인 Andersen Sampler Inc.에서 제시한 시료채취 효율 및 내부 손실을 보정하기 위한 효율로 나누어 보정 분진중량을 구하였다. 두 번째로 각 단계별 보정 분진중량을 전체 보정 분진중량으로 나누어 각 단계별 중량비율(%)을 산출하였다. 세 번째로 각 단계별 유효한계직경(ECD)에 대수를 취하여 y축으로 하고, 각 단계별 포집된 중량비율을 x축에 누적확률 단위로 하는 대수확률 그래프(log probability graph)를 SigmaPlot 2001 프로그램을 사용하여 도식하였다. 네 번째로 채취한 분진의 질량 중위입경은 도식된 그래프에서 누적확률 50%에 대응하는 유효한계직경으로 하였고, 기하표준편차는 질량 중위입경을 누적확률 15.87%에 해당되는 유효한계직경으로 나누어서 산출하였다.

## 3) ACGIH TLV에 의한 흡입성, 기관지 침착성, 호흡성분진 중량비율의 산출

채취한 분진의 입경 크기별 분진중량의 비율을 구하기 위하여 ACGIH에서 제정한 Particle Size-Selective Sampling Criteria for Airborne Particulate Matter를 이용하였

Table 2. MMAD and GSD of blasting dust

Tunnel	No. of sample	MMAD( $\mu\text{m}$ ) <sup>†</sup>	GSD <sup>‡</sup>	Remark
Taebaek	6	4.27	4.45	
Goesan	6	3.58	4.08	
Total	12	3.90	4.30	

† MMAD : Mass Median Aerodynamic Diameter

‡ GSD : Geometric Standard Deviation( $D_{84.13}/\text{MMAD}$  or  $\text{MMAD}/D_{15.87}$ )

다. 흡입성(IPM), 기관지 침착성(TPM), 호흡성분진(RPM)의 포집효율이 50%인 공기역학적 입경은 각각 100 $\mu\text{m}$ , 10 $\mu\text{m}$ , 4 $\mu\text{m}$ 로 정의하고 있으며, 흡입성, 기관지 침착성, 호흡성 분진별 공기역학적 입경에 따른 포집효율은 ACGIH에서 권고하는 방정식을 사용하여 산출하였다. Cascade impactor의 각 단계별 하한(lower), 중위(mid), 상한(upper) 크기별 유효한계직경에 따른 포집효율을 구하고, 각 단계별 평균 포집효율은 Simpson's Rule에 의해 계산하였다(Bello et al, 2002). 채취한 분진의 흡입성, 기관지 침착성, 호흡성분진 중량비율은 각 단계의 보정 분진중량비율에 각 단계별 평균 포집효율을 곱한 값들을 합하여 산출하였다.

## 4) Cascade impactor와 closed-face 37-mm cassette holder 및 nylon cyclone 측정시료의 결과비교

Cascade impactor를 이용한 분진입자의 특성결과와 closed-face 37-mm cassette holder(총분진) 및 nylon cyclone(호흡성

분진)를 하나의 짝으로 측정한 분진입자의 특성결과를 비교하기 위해 cascade impactor 측정위치와 동일한 위치에서 총분진 및 호흡성분진을 위한 지역시료를 병행하여 채취하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 발생분진의 크기특성

NATM 공법을 사용하는 터널굴착공사 현장 2개소를 대상으로 실시한 발생분진입자의 공기역학적 질량중위입경(MMAD) 및 기하표준편차(GSD)를 표 2에 나타내었다. 강원태백지역 터널현장의 MMAD는 4.27  $\mu\text{m}$ (GSD : 4.45)이었으며(그림 1), 충북괴산지역 터널현장의 MMAD는 3.58  $\mu\text{m}$ (GSD : 4.08)로 나타났다(그림 2). 또한 두 터널건설현장의 평균발생분진의 MMAD는 3.90  $\mu\text{m}$ (GSD : 4.30)로 ACGIH에서 정의한 호흡성분진의 중위입경(50% cut-off size)인 4.0  $\mu\text{m}$ 과 유사하였다(그림 3).

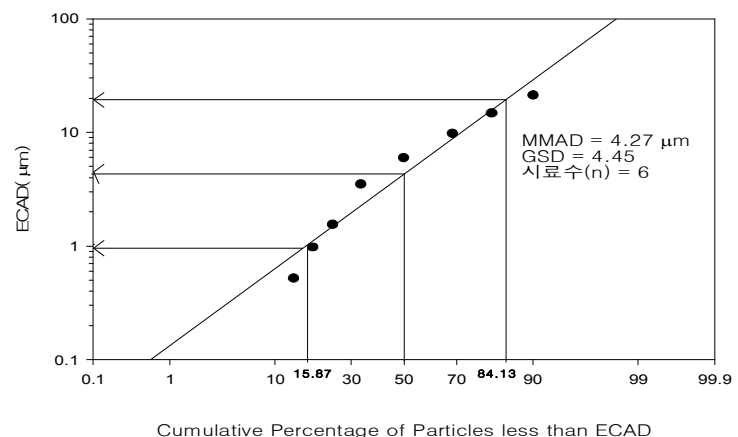


Figure 1. MMAD of dust at Taebaek tunnel.

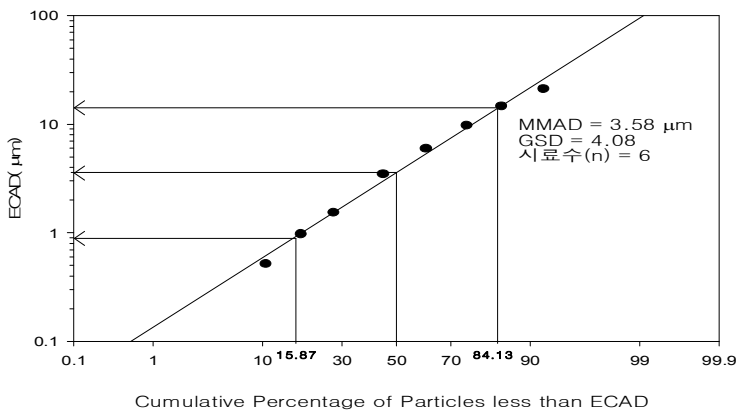


Figure 2. MMAD of dust at Goesan tunnel.

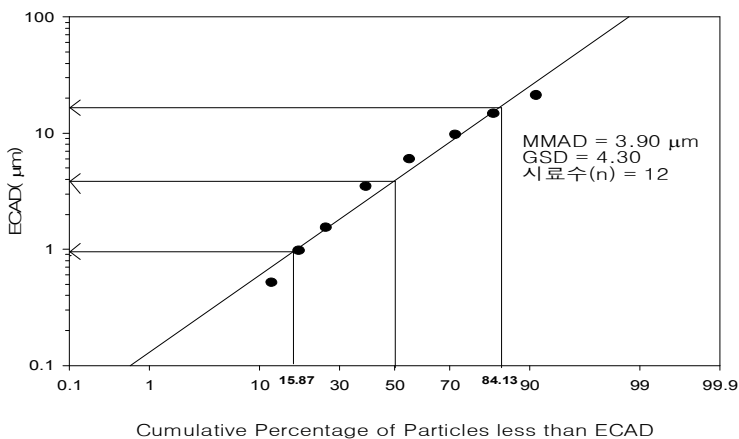


Figure 3. MMAD of dust at two tunnels.

발생분진중 호흡성분진이 차지하는 비율이 약 50%로서, 윤 등(1991)이 보고한 석탄광산의 기중 부유분진에 대한 입경분포 연구결과에서 굴진부서의 중위입경 1.8~2.6 $\mu\text{m}$ 보다는 크나 채탄부서의 중위입경 4.3~6.6 $\mu\text{m}$ 보다는 작은 것으로 나타

났다.

터널내 발생분진은 발파된 암석분진이 주요 분진이겠지만 버력처리를 위해 운행되는 각종 증장비에서 배출되는 디젤분진이 복합적으로 노출될 수 있다. 따라서 터널건설작업에서 발생하는 분진의 입경 분

포에 디젤분진이 영향을 주었는지 확인하기 위해 히스토그램 그래프를 도식해 본 결과, 특별한 이중 분포 특성을 확인할 수는 없었다. Volkwein(2000)의 보고에 의하면 디젤분진은 1 $\mu\text{m}$  미만의 입경을 가진 미세분진으로서 본 연구에서 사용한 cascade impactor의 각 단계중 미세분진(1 $\mu\text{m}$  미만)이 포집되는 8단, 9단 및 마지막 필터의 유효한계직경이 각각 0.93  $\mu\text{m}$ , 0.52  $\mu\text{m}$ , 0.1 $\mu\text{m}$ 로서 디젤분진의 입경특성 분포를 확인하기에는 충돌판의 단수가 적었다. 그러나 두 터널지역에서 0.52  $\mu\text{m}$ 미만의 입경을 가진 미세분진의 중량비율이 각각 10.5%(괴산지역)와 13.6%(태백지역)으로 높게 나타나 디젤분진의 영향을 완전히 배제할 수는 없었다.

## 2. 흡입성, 기관지 침착성, 호흡성 분진 중량비율

ACGIH에서 정의한 흡입성, 기관지 침착성, 호흡성 분진에 대한 공기역학적 입경별 포집효율을 적용하여 발생분진중 흡입성, 기관지 침착성, 호흡성 분진의 중량비율(%)을 터널현장별로 나타내면 표 3과 같다.

강원태백지역 터널현장 발생분진의 흡입성, 기관지 침착성 및 호흡성분진의 중량비율은 각각 82.8%, 64.1%, 및 38.4%로 나타났고, 충북괴산지역 터널현장의 경우는 각각 85.1%, 70.3%, 및 47.9%로 조사되었다. 이 결과를 MMAD 조사결과(강원태백지역 4.27 $\mu\text{m}$ , 충북괴산지역 3.58  $\mu\text{m}$ )와 비교하였을 때에 질량중위입경이 적은 충북괴산지역 터널분진의 호흡성분진 중량비율이 질량중위입경이 상대적으로 큰 강원지역 터널현장보다 높게 나타났다.

Table 3. Inhalable, thoracic, and respirable particulate mass fraction of dust generated in tunnel construction

Tunnel	No. of sample	Mean particulate mass fraction(%)		
		IPM(S.D)	TPM(S.D)	RPM(S.D)
Taebaek	6	82.8(1.53)	64.1( 4.45)	38.4( 5.19)
Goesan	6	85.1(4.03)	70.3(11.05)	47.9(11.76)
Total	12	84.0(3.15)	67.2( 8.65)	43.1( 9.98)

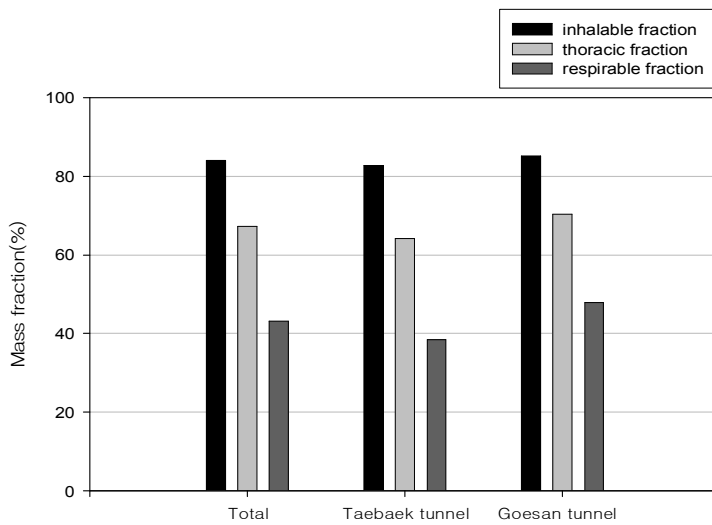


Figure 4. Inhalable, thoracic, and respirable particulate mass fraction.

두 개 터널현장의 발생분진 전체시료에 하면 표4와 같다.

대한 흡입성, 기관지 침착성 및 호흡성분  
진 평균 중량비율(%)은 각각 84.0%,  
67.2%, 및 43.1%이며, cascade impactor 각  
단계별 평균 중량비율(%)을 상세히 제시

3. Cascade impactor와 closed-face  
37-mm cassette holder 및 nylon  
cyclone 측정시료의 결과 비교

표 5는 cascade impactor로 측정한 동일  
한 측정지점에서 흡입성 분진이 포집되는  
closed-face 37-mm cassette와 호흡성분진  
이 포집되는 10 mm nylon cyclone을 하나  
의 짝으로 설치하여 측정한 결과를 cas-  
cade impactor로 측정한 결과와 호흡성분  
진 중량비율에 대한 흡입성분진 중량비율  
의 비를 비교한 것이다. 짝시료의 호흡성  
분진 농도에 대한 흡입성분진 농도의 비  
는 평균 2.04를 보였는데, cascade impactor  
로 측정한 호흡성분진 중량비율에 대한  
흡입성분진 중량비율의 비는 1.95(84.0/  
43.1)로서 약간 낮은 수준으로 나타났다.

지역별로는 강원태백지역 터널의 경우  
짝시료와 cascade impactor 시료의 호흡성  
분진 중량비율에 대한 흡입성분진 중량비  
율의 비가 각각 2.37과 2.19이었고, 충북  
괴산지역 터널은 각각 1.94와 1.85로 짝시  
료의 비가 cascade impactor 시료의 비보다  
전체적으로 약간 높게 나타났다. 이는 짝  
시료의 호흡성분진 농도를 구하는데 사용

Table 4. Inhalable, thoracic, and respirable particulate mass fraction of each stage in cascade impactor

Stage no.	No. of sample	ECD* ( $\mu\text{m}$ )	Mean corrected mass fraction <sup>†</sup>	Mean particulate mass fraction(%) <sup>‡</sup>		
				IPM	TPM	RPM
1	12	>21.3	0.090	5.1	0.1	0.0
2	12	14.8	0.085	5.7	0.9	0.0
3	12	9.8	0.109	8.1	3.7	0.1
4	12	6.0	0.162	13.2	10.8	1.0
5	12	3.5	0.164	14.3	14.1	5.9
6	12	1.55	0.135	12.6	12.6	11.1
7	12	0.93	0.075	7.2	7.2	7.2
8	12	0.52	0.060	5.9	5.9	5.9
Back-up filter	12	<0.01	0.120	12.0	12.0	12.0
Total			1.000	84.0	67.2	43.1

\* Effective Cut-off Diameter

<sup>†</sup> (Mean mass fraction)  $\times$  (Sampling efficiency)

<sup>‡</sup> (Mean corrected mass fraction)  $\times$  (Collection efficiency)  $\times$  100

Table 5. The ratio of inhalable particulate mass to respirable particulate mass

Tunnel	Area sample*			Cascade impactor sample(area)		
	No. of sample	Arithmetic mean	S.D	No. of sample	Arithmetic mean	S.D
Taebaek	17	2.37	0.99	6	2.19	0.26
Goesan	14	1.94	1.18	6	1.85	0.34
Total	31	2.04	1.25	12	1.95	0.34

\* paired sample for total and respirable dust



한 10mm Nylon cyclone의 50% cut-size는  $3.5\mu\text{m}$ (구 기준)인 반면, cascade impactor의 호흡성분진 중량비율을 산출하는데 사용한 포집효율의 50% cut-size는  $4.0\mu\text{m}$ 을 적용하였기 때문인 것으로 판단된다.

Woskie 등(2002)의 연구결과에서는 건설업 근로자를 대상으로 cascade impactor (four stage)를 사용하여 측정된 호흡성 분진 및 실리카농도에 대한 흡입성 분진 및 실리카농도의 비를 각각 25.6과 9.3으로 보고하고 있다. Bello 등(2002)의 연구결과에서는 건설업에서 가장 높은 실리카 노출은 큰 입경부분에서 나타나며, 호흡성 실리카농도에 대한 흡입성 실리카농도의 비를 건설작업형태에 따라 9.4 ~ 34.6으로 보고하는 등 전반적인 건설업에서 노출되는 분진 및 실리카 입자는 대부분이 흡입성 입자인 것으로 보고하고 있다. 그러나 본 연구에서는 터널건설현장에서 발생하는 분진은 일반적인 건설작업에서 발생하는 분진과는 달리 호흡성분진의 비율이 높은 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

NATM 공법을 사용하는 2개소의 터널 공사현장을 대상으로 분진의 입경특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. NATM 공법에 의한 터널 굴착작업에서 발생하는 분진의 공기역학적 중위입경은  $3.9\mu\text{m}$ 로 ACGIH에서 정의한 호흡성 분진의 중위입경( $4.0\mu\text{m}$ )과 비슷하였다.

2. ACGIH의 기준에 의한 흡입성, 기관지 침착성 및 호흡성 분진의 중량비율은 각각 84.0%, 67.2% 및 43.1%로 기타 건설작업에서 발생하는 분진의 호흡성분진 중량비율보다 현저히 높게 나타났다.

3. closed-face 37-mm cassette holder 및

10mm-nylon cyclone를 이용하여 산출한 호흡성분진농도에 대한 흡입성분진(총분진) 농도의 비(2.04)가 cascade impactor로 측정된 결과(1.95)와 비슷하게 나타났다.

이상의 결과에서 전형적인 지하작업의 하나인 도로 터널건설현장 근로자는 다른 건설작업자에 비하여 진폐 또는 규폐증의 주 원인인 호흡성분진에 노출될 가능성이 크기 때문에 향후 철저한 근로자 보건관리가 필요한 것으로 생각된다.

#### REFERENCES

- 권인환. NATM 터널공법. 원기사, 1989. (10-25쪽)
- 박동욱. 공기중 납입자의 크기특성이 혈액중 납과 ZPP 농도에 미치는 영향. 서울대 보건대학원, 1995. (22-27쪽)
- 윤영노, 김영식. 일부 석탄광산 기중 부유분진의 입경분포와 호흡성분진 비율. 한국산업위생학회지 1991;1(1):62-66
- 한국건설기술연구원. 건설기술정보센터. 건설공법 자료집(터널분야). 한국건설기술연구원, 1995. (15-27쪽)
- Andersen Samplers, Inc. Marple Personal Cascade Impactors Instruction Manual, Bulletin # 290 I.M.-3-82. Atlanta: Andersen Samplers, Inc.; 1982. p. 17-30
- American Industrial Hygiene Association (AIHA). Cascade Impactor Sampling and Data Analysis, Fairfax, Virginia: AIHA; 1986. p. 7-18.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). TLVs and BEIs: 2001 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH, ACGIH; 1994. p. 73-76.
- American Industrial Hygiene Association (AIHA). Particle Sampling Using Cascade Impactors. Fairfax, Virginia: AIHA; 1995. p. 1-11.
- Bakke, B., P. Stewart, B. Ulvestad, and W. Edward. Dust and Gas Exposure in Tunnel Construction Work. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 2001;62:457-465
- Bello, D., M. A. Virji, A. J. Kalil, and S. R. Woskie. Quantification of Respirable, Thoracic, and Inhalable Quartz Exposures by FT-IR in Personal Impactor Samples from Construction Sites. Appl. Occup. Environ. Hyg. 2002;17(8):580-590
- Hinds, W.C., W.V. Liu, and J.R. Froines. Particle Bounce in a Personal Cascade Impactor: Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1985;46(9):517-523
- Hilt, B., T. Qvenild, J. Holme, K. Svendsen, and B. Ulvestad. Increase in Interleukin-6 and Fibrinogen after Exposure to Dust in Tunnel Construction Workers. Occup. Environ. Med. 2002; 59:9-12
- Liden, G. Evaluation of the SKC Personal Respirable Dust Sampling Cyclone. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1993;8(3): 178-190
- Susan R. W., A. J. Kalil, D. Bello, and M. A. Virji. Exposure to Quartz, Diesel, Dust, and Welding Fumes During Heavy and Highway Construction. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 2002;63:447-457
- Volkwein, J.C. Diesel Particulate Dosimeter. Available from: URL: <http://www.cdc.gov/niosh/mining/comp2000/apa.htm>