

터널 굴착시 작업현장의 분진농도 실태조사

박종순 · 안대현 · 심명진 · 정지승* · 유진오** · 엄명현*** · 김재용†

충북대학교 환경공학과, *(주)신한건설산업, **코오롱 건설, ***공주대학교 화학공학부
(2007년 1월 31일 접수, 2007년 2월 14일 채택)

System Analysis of Dust Concentration at the Field of Tunnel Excavation

Jong-Soon Park, Dae-Hyun An, Myeong-Jin Shim, Ji-Seung Jung*, Jin-O You**, Myeong-Heon Um***, and Jae-Yong Kim†

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National Univ., Cheongju 361-763, Korea

*Shinhan Construction Industrial Co., Ltd., Hwasung 445-913, Korea

**Construction & Environment Research Team, Kolon E&C, Yongin 449-815, Korea

***Devision of Chemical Engineering, Kongju National Univ. Cheonan 330-717, Korea

(Received January 31, 2007; accepted February 14, 2007)

원활한 교통망 요구에 따라 도로의 확충이 요구되고, 산악지형이 많은 국토의 특성을 고려할 때 터널이 많이 요구된다. 이러한 터널 공사에서 많은 오염 물질은 천공, 발파, 버럭처리 슛크리트 과정에서 발생되었다. 특히 급기 팬만을 가동 할 경우 분진과 같은 오염물질은 발파 후 4 h이 지나도록 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상을 나타내었으며, 발파 직후에는 높은 분진 농도로 인하여 30 min 이상 작업을 중단할 수밖에 없었다. 또한 건식 집진기를 가동 할 경우에도 일정 시간까지는 분진의 제거는 가능하였으나 발파 후 3 h이 지나면 집진 효율이 없는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 분진입자들의 거동과 분진제거장치의 사용에 대해 중점적으로 연구하였다. 또한 건식집진기와 습식집진기의 사용에 있어 각각에 대한 집진제거효율을 비교검토하는 것이 매우 중요하다 결론을 얻었다.

In order to reduce traffic-jam, it is requested to extend road. As a result, the construction of tunnels is inevitable considering our mountainous topography. In tunnel construction work, major contamination materials occur from rock drilling, blasting rock, rock transporting, and short-creat. After rock blasting, a very high concentration of particles over 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ is maintained for 4 h when air is supplied by pans, by which the construction work has to be delayed at least 30 min. Although dry dust collectors are used, the effective operation time span is limited to 3 h. In this work, the behavior of particles in air and use of particle removal instruments are investigated. As a result, it was important to compare efficiencies of dry and hydro dust collectors.

Keywords: tunnel excavation, contamination materials, particles, dust collector, diesel gas

1. 서 론

산업의 발달과 더불어 원할한 교통망에 대한 요구는 더욱 증대되고 있으며, 이에 따른 도로의 확충에 있어 우리나라의 경우 국토의 70%가 산악 지형인 지형적 특성상 터널의 건설이 요구되고 있다. 특히 최근에 건설되고 있는 터널들은 대부분 1 km 이상의 장대터널들이며, 대구 부산간 고속철도 건설과 관련하여 백두대간을 지나는 울산-부산 권역의 터널들은 대부분 장대터널들이다.

이러한 터널 공사는 대부분 NATM (New Austrian Tunneling Method) 공법으로 천공, 발파, 버럭처리, 슛크리트 작업 순으로 이루어지고 있으며, 지반 조건과 보강 목적에 따라 Fore-Poling, Pipe roof, 락볼팅, 마이크로파일링, 주입공법, 배수공법 등이 실시된다[1].

터널의 오염도 예측이나 터널 내에서의 환기효과에 대한 연구나 터

널 출구에서의 오염물질 확산에 대한 연구는 있으나, 터널 건설 공사 현장은 많은 오염물질이 발생할 가능성이 있음에도 불구하고, 일반인의 출입이 제한되며, 접근성이 불리하여 발생분진의 입경 특성에 대한 조사 외에는 국내에서는 정확한 오염물질의 발생 및 제거에 대한 조사가 이루어진 바 없다[2-5].

따라서 본 연구는 터널 공사 현장에서 발생하는 오염물질의 종류 및 그 농도를 파악하고 방지시설의 설치 유무에 따른 오염도 분석을 통하여 쾌적한 작업환경 조성을 통한 작업자의 안전은 물론 작업능률의 향상을 위한 방지시설 설계를 위한 기초 정보를 제공하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 조사대상

조사대상은 터널굴착공사가 진행중인 건설현장 2개소였으며, 지역

† 주 저자 (e-mail: jykim4@korea.com)

Table 1. General Specific of Construction Tunnel

Area	Construct length	Blasring times	Tunnel area
Duma-Banpo up-line	800 m	1/day	85 m ²
Duma-Banpo down-line	850 m	1/day	85 m ²
Train 13-3	990 m	1/day	140 m ²

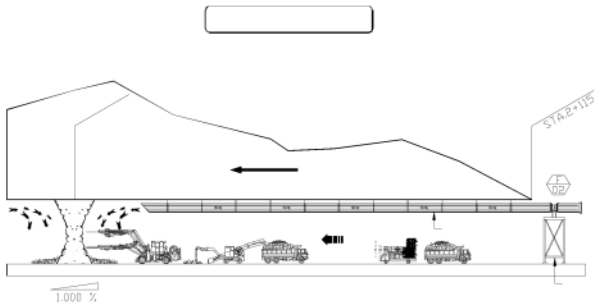


Figure 1. Concept of construction tunnel work.

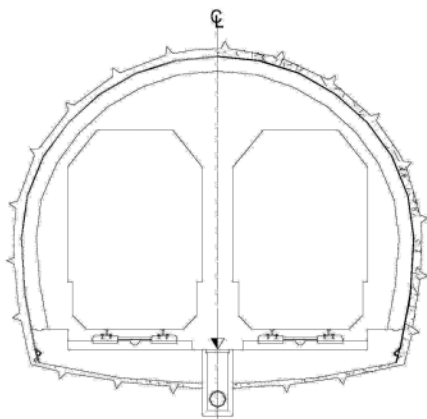


Figure 2. Cross section of construction tunnel.

별로는 두마-반포 1개소의 터널 상하행선 2곳과, 고속철도 13-3공구 터널 1개소로 조사대상 터널 건설현장에 대한 기본적인 현황은 Table 1과 같다. 또 상기 터널들은 NATM 공법으로 굴진 작업 중이었으며, Figure 1은 터널 공사의 개념을 나타낸 것이고, Figure 2는 공사중인 터널의 종단면도이다.

터널 공사시 맨 먼저 실시되는 천공은 발파를 위한 폭약을 장입하기 위하여 암반에 구멍을 내는 작업으로 주로 점보드릴을 사용하며, 드릴링시 물을 이용하여 드릴의 냉각 및 미세 암석가루를 처리하는 방법을 사용할 때 석분이 포함된 폐수가 발생하므로 터널의 한편으로 도랑을 내어 발생한 폐수를 폐수처리장으로 유입되도록 하고 있었다. 천공 후 폭약의 장입이 끝나면 장입 작업인원이 대피한 후 감독관의 통제 하에 발파가 이루어지고, 발파에 따른 분진이 어느 정도 제거되면 파쇄된 암석들을 대형 페이로더와 굴삭기 등으로 덤프트럭에 실어 터널 밖으로 치워내는 버럭 처리 작업이 이루어진다. 버럭 처리 작업이 어느 정도 완료되면 굴착 표면의 안정화가 요구되는 경우 슛크리트 작업을 수행하는데 슛크리트 작업이란 시멘트, 각종 골재, 급결제,

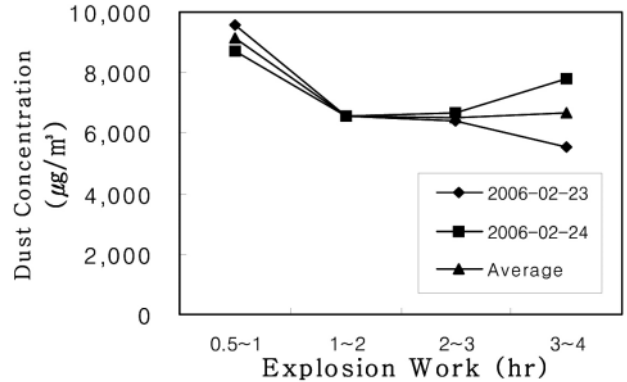


Figure 3. Air supplying within construction tunnel work.

강(철)섬유 등을 잘 혼합하여 터널 굴착표면에 뿌어 보강하는 것을 말한다.

터널 현장의 특성상 이상의 작업들이 24 h 내내 반복되고 있었으며, 비산 먼지 발생을 줄이기 위하여 살수 차량이 주기적으로 터널 입구에서 버럭 처리장까지 물을 뿌리고 있었다.

2. 측정방법

발생 오염 물질은 주로 암석발파에 따른 먼지와 폭약의 발파가스, 버럭 처리 과정에서 암석끼리의 충돌로 발생하는 먼지, 장비와 차량의 이동에 의하여 재비산되는 먼지 및 매연으로 예상되었다. 특히 발파 직후 농후한 먼지 및 가스로 인한 호흡곤란 및 시야 장애로 인하여 작업이 곤란하므로 터널내로 진입이 불가능한 상태이며, 발파 지점 100 m까지도 발파시 암석 파편들이 날아올 수 있는 지역이므로 측정 장비의 설치가 바람직하지 않아 200 m 지점으로 하였으며, 또 측정 중에도 작업 차량이 계속하여 운행을 하므로 측정 장비를 터널의 중앙부에 설치하지 못하고 한 측면에 점보드릴로 천공하는 동안 미리 설치하였다.

발생 분진의 측정은 KNJ Engineering Co., Ltd.의 KNJ M-5로 실시하였다. 이때 공기의 흡입량은 10 L/min으로 하였으며, 분진의 흡입 시간은 1차 측정에서는 발파 후 4 h까지 30 min간 채취하였으며, 급기팬 만을 가동 할 때와 건식집진기 가동시, 습식집진기 가동시에 대해서 각각 실시하였다. 여지는 ADVANTEC Co., Ltd의 원통여지를 사용하였으며 측정 전에 무게를 측정하여 여지보관 용기에 담아두었다가 현장에서 개봉하여 여지홀더에 채워 넣고 일정 시간동안 측정하였으며 샘플링이 끝난 후 여지 홀더에 넣어 보관 후 분석실로 가져와 AND Co., Ltd.의 Chemical Balance를 이용하여 소수점 4자리까지 측정하였다. 또 순간 분진 농도를 측정하기 위하여 분진 농도계를 사용하여 그 농도를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분진농도

급기팬 만을 가동할 경우 분진 농도의 변화를 측정하여 결과를 Figure 3에 나타내었다.

Figure 3에서 보는 바와 같이 발파 직후 분진의 측정 지점에서의 분진 농도는 25000 µg/m³ 이상으로 나타났으며 시간이 경과함에 따라 감소하나 발파 후 4 h 이후에도 5000 µg/m³ 이상을 유지하였다.

Table 2. Yield of Particle Remove for Tunnel Shapes

(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	General tunnel		Inclined shaft tunnel	
	Ventilation	Wet dust eliminator	Ventilation	Wet dust eliminator
Particles (after blast 10 min)	15000	17830	25020	23278
Particles (after blast 1 h)	9095	6557	20311	6590
Effect of remove	39.4%	63.2%	18.8%	71.7%

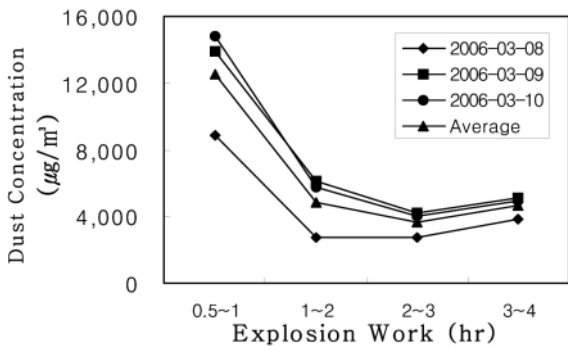


Figure 4. Air supplying within construction tunnel and dust collector (bag filter) operating.

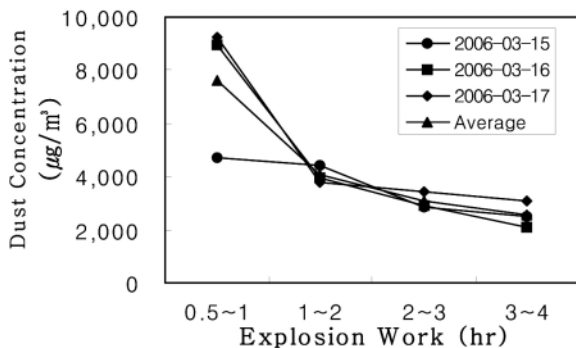


Figure 5. Air supplying within construction tunnel and dust collector (water spray) operating.

Figure 4에서 보는 바와 같이 급기팬과 건식집진기를 가동할 경우 분진의 농도는 2 h 이내에 $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 나타났으며 계속 감소 하였으나 Figure 5에서 보는 바와 같이 3 h 이상 경과 후에는 분진의 농도의 감소가 거의 없는 것으로 나타났다.

공사 중인 터널 내에서 발생하는 분진은 발파 시 발생하는 것이 대부분이지만 점보드릴에 의한 굴착과정이나 버럭의 처리를 위해 굴삭기와 덤프트럭의 운행에 따른 디젤분진 및 주행에 따른 노면의 마찰에서 발생하는 분진과 발파 분진의 재 비산에 따른 분진으로 발파 직후 원활한 공사 수행을 위하여 빠른 시간 내에 분진을 제거할 필요가 있으나 버럭 처리 중에도 급기팬만을 가동할 경우 분진 농도가 $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 작업자의 안전과 건강을 위하여 반드시 집진장치가 가동되어야 함을 나타내었다.

Table 2에서 보는 바와 같이 터널의 형태에 따라 분진의 제거 효율에 큰 차이를 나타내었다. 즉 사갱의 경우 급기팬 만을 가동할 경우 작업장에 필요한 산소는 공급되지만 환기가 불량하여 분진의 제거가 잘 이루어지지 않으며 반드시 집진장치가 필요한 것으로 나타났다. 또 디젤 분진은 $1 \mu\text{m}$ 미만의 입경을 가진 미세분진으로 류장진의 ‘터

널 공사시 발생분진의 입경특성’ 연구에 따르면 $0.52 \mu\text{m}$ 미만의 입경을 가진 미세분진의 중량 비율이 10% 이상으로 터널공사 시 발생하는 호흡성 분진의 절반에 가까운 것으로 보고 있다[5].

또한 본 연구에서는 분진의 입경에 대한 검토를 하지 못하였지만 류장진 등의 연구 결과에 따르면 터널공사 시 발생 분진은 일반적인 건설작업과는 호흡성 분진의 비율이 높은 것으로 보고하고 있다[6].

따라서 환기팬을 가동하여도 호흡성 미세분진은 제거되지 않고 대부분 갱내에 부유하게 되며 백필터를 사용한 건식 집진기를 가동하여도 $1 \mu\text{m}$ 미만의 분진은 제거하기 어려우므로 터널 공사 시 호흡성 분진을 제거하기 위한 집진 설비가 반드시 필요한 것으로 나타났다.

4. 결 론

공사중인 터널의 분진 농도를 측정된 결과는 다음과 같다.

- 1) 터널 굴착시 발생하는 분진은 급기팬만을 가동할 경우 제거되지 않고 작업 차량등에 의하여 재비산 되어 매우 높게 나타난다.
- 2) 건식집진기를 사용할 경우 발파 후 2 h 이후에는 집진 효율을 기대하기 어렵다.
- 3) 발파 직후 습식 집진기를 사용할 경우 아주 짧은 시간 안에 분진의 80% 이상 제거가 가능하다.
- 4) 장대 터널의 공사시에는 긴 구간에서 작업차량의 주행이 수반되므로 분진의 재비산 및 자동차 배출가스 등의 오염물질이 발생하게 되므로 집진 장치를 분산 배치할 필요성이 있으며, 특히 호흡성 분진이나 연소 배출가스를 제거하기 위한 장치가 필요하다고 사료된다.

이상의 결과에서 터널굴착공사 시 분진의 제거를 위한 장비가 반드시 필요하며, 특히 진폐 및 규폐증의 원인이 되는 호흡성 분진의 제거가 반드시 필요한 것으로 사료된다.

감 사

“이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2006)”

참 고 문 헌

1. C. D. Lee, J. B. Shim, M. Wulfdietrich, and K. M. Han, Proceedings of the KSR Conference, 410 (2001).
2. J. P. Jung, T. I. Son, and S. S. Youn, Korean Environmental Science, 41 (1995).
3. S. D. Kim, S. K. Park, and J. H. Kim, Korean Environmental Science Society, 21 (1997).
4. S. S. Lee, Y. S. Kim, Y. M. Kim, and C. H. Kim, The Wind

- Engineering institute for korea, 7, 39 (2004).
5. C. J. Ryu, J. K. Jang, B. K. Lee, S. J. Jung, S. J. Kim, and K. J. Kim, Korean Industrial Hygiene Association Journal, **13**, 2, 107 (2003).
6. D. Bello, M. A. Virji, A. J. Kalil, and S. R. Woskie, Occup. Environ. Hyg, **17**, 8, 580 (2002).