

양생중인 콘크리트에서의 발파진동의 영향 시험방법에 대한 연구

김장득*¹ · 김용하²

¹삼성물산 건설부문, ²(주) 선진지.큐.씨

A Study on Experimental Method of Blasting Vibration in Curing Concrete

Jang Deuk Kim*¹ and Yong Ha Kim²

¹Samsung C&T Corporation, ²Sun Jin Good Quality Control CO.,LTD

최근 건설되는 터널은 장대화될 뿐만아니라 파쇄대 등의 불량한 지반을 통과하는 사례가 많아지고 있다. 지반의 강도가 좋지 않을 때는 터널의 소성변형이 일어나고 때로는 붕락하는 사례도 발생한다. 지금까지의 터널시공방식은 굴착작업이 완료된 후에 라이닝콘크리트를 타설하는 순차적 시공방법이었다. 이 방법은 공사기간이 길고 비용이 많이 들어갈 뿐만 아니라 파쇄대나 소성지반에서 굴착후 장기간 방치했을 때, 터널의 안정을 기대하기 어려운 경우도 있다. 이에 따라 양북터널에서는 터널굴착과 라이닝콘크리트를 동시에 시공하여 공사기간 단축은 물론 심한 파쇄대구간에서 터널을 조기에 안정시키기 위해 동시시공을 계획하게 되었다. 동시시공을 위한 사전 검토사항으로서 발파굴착과 동시에 콘크리트를 타설했을 때 발파진동이 라이닝콘크리트의 강도에 미치지 않는 안전한 이격거리를 산출하기 위한 시험을 현장에서 시행하였다. 또한 동시시공을 위한 라이닝폼의 개선과 콘크리트 타설방법 개선, 집진기를 이용한 환기방식의 개선과 설비의 재배치 등을 동시에 시행하였다.

주요어 : 동시굴착, 이격거리, 발파진동

Tunnels that have recently been constructed are characterized by longer length than ever before and furthermore they frequently go through the ground area with poor conditions such as fractured zones. If ground strength is weak, plastic deformation of tunnel occurs, and occasionally a big fall may be brought about. Up to now, the construction work of tunneling has been executed as a sequential method placing the lining concrete after completion of excavation. Such a method requires a long time and much money to complete the tunnel. It is hard to ensure the stability of tunnel if tunnel is left undone for a long time after excavation in fracture zones or plastic grounds. For this reason, we tried to take simultaneous construction of tunnel excavation and lining concrete in order to not only shorten construction schedule but also stabilize the tunnel at the highly fractures zone as soon as possible. As preliminary consideration for simultaneous construction, in-situ tests are performed to calculate the isolation distance over which blasting vibration does not influence the strength of lining concrete. Improvement of ling form, placing method of concrete, ventilation using a dust collector, together with equipment arrangement, was made to assure the simultaneous construction work.

Key words : simultaneous excavation, isolation distance, blasting vibration

서 언

양북터널은 터널길이가 4,315 m인 병력터널로서 굴착 방법은 NATM이고, 라이닝콘크리트는 현장타설로 계획되어 있다. 터널노선의 지반은 Fig. 1과 같다.

터널이 통과하는 지반은 주로 고제3기의 화강암류(불국사화강암류)와 암회색 세일로 구성되어 있고, 파쇄대가 심층 풍화를 받은 상태에 있어 지하수의 유출과 소규모의 붕락 및 지반의 변위가 크게 발생되었다. 터널굴착 공기는 약 34개월이고 터널굴착후 라이닝콘크리트를 타설하기

*Corresponding author: jdk8703@samsung.com

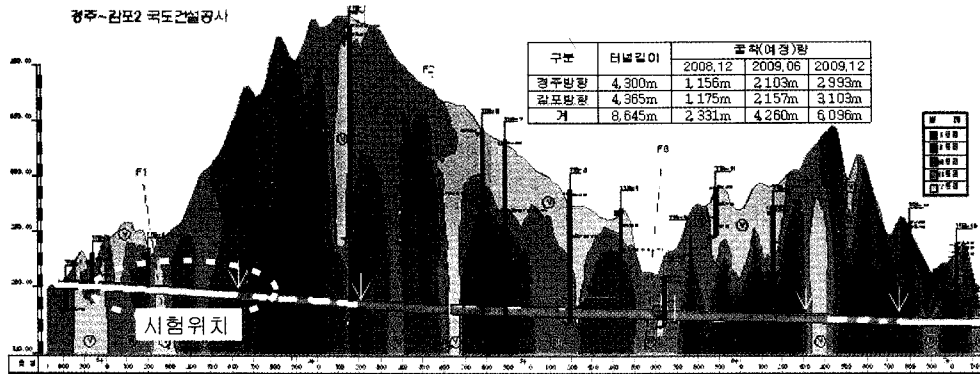


Fig. 1. Tunnel route map.

까지는 적어도 2년 이상이 소요되어, 이미 굳착한 지반은 심한 풍화를 받은 지반이어서 계속하여 조금씩 변위하고 있었다. 따라서, 조기에 라이닝콘크리트를 타설하여 지반을 안정시켜야만 했다.

시 험

터널굴착을 위한 발파와 라이닝콘크리트를 동시에 시공할 때, 양생중인 콘크리트에 미치는 발파진동의 영향과 이에 따른 이격거리를 측정해서, 안전한 라이닝콘크리트의 시공을 위해 당 현장에 적합한 기준을 마련하고자 현장 시험을 실시하였다.

현장시험은 실제 발파하는 과정을 그대로 반영하였다. 터널내에서 발파지점으로부터 후방으로 일정거리(50m, 100m, 150m, 200m, 250m, 300m, 400m, 500m)를 이격하여 굴착된 터널바닥의 공동구 위치에 콘크리트를 타설하고, 막장에서는 발파와 버럭치리 및 지보보강 과정을 평상시대로 진행하였다. 이 과정에서 콘크리트를 타설한 위치에서 발파시 마다 진동을 측정하였고, 일정기간 경과후에 콘크리트의 강도를 시험하여 비교하였다(Fig. 2). 시험은 Fig. 3에 나타난 과정대로 시행하였다.

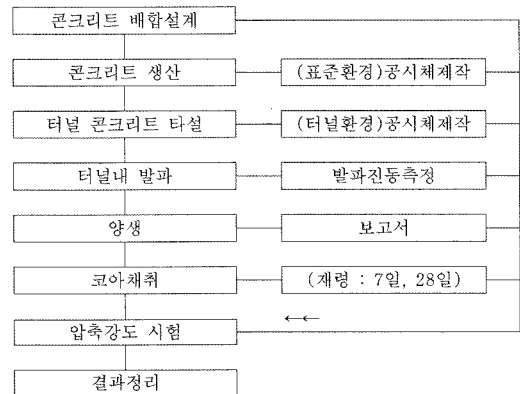


Fig. 3. Process of experiment.

발파진동 측정

지발당 장약량

시험발파는 3회에 걸쳐 시행하였다. 최대지발당 약량은 1, 2회는 1.50 kg, 3회는 2.25 kg을 사용하였으며 시험발파에 적용한 장약량은 Table 1과 같다.

발파진동 측정

발파원으로부터 계획된 이격거리별로 콘크리트를 타



Fig. 2. Experiment of concrete construction.

Table 1. Charge per delay for test blasting.

구 분	천공경	천공장	천공수	공당약량	지발당약량	장약량
1 회	45 mm	1.3 m	70공	0.3~0.75 kg	0.5~1.5 kg	40 kg
2 회	45 mm	1.3 m	74공	0.3~0.75 kg	0.5~1.5 kg	57 kg
3 회	45 mm	1.7 m	85공	0.5~1.125 kg	0.5~2.25 kg	60 kg

설한 지점에서 진동측정기로 발파진동을 측정하였다.

발파진동 측정 결과는 Table 2와 같고, 이를 그래프로 나타내면 Fig. 4와 같다.

Table 2. Measurement results of blasting vibration.

계측장소	진동치 PPV(mm/sec)			비고
	1회	2회	3회	
50m	3.87	3.52	6.19	
100m	1.76	2.67	3.64	
150m	1.56	2.14	3.30	
200m	1.30	1.83	2.33	
250m	1.17	1.46	2.29	
300m	0.714	1.24	2.08	
400m	0.730	0.984	1.13	
500m	0.603	0.905	1.05	

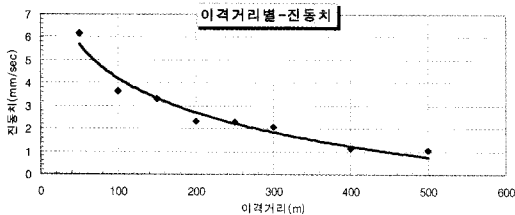


Fig. 4. Vibration values in isolation distance.

발파진동 추정식

Table 2의 발파진동 측정 결과를 이용하여 진동이력을 95% 신뢰선에 의한 회기분석 결과 진동추정식 그래프는 Fig. 5와 같고 진동추정식은 다음과 같다.

$$V = 11.8 \left(\frac{D}{W^2} \right)^{-0.744} \tag{1}$$

여기서, V : 발파진동속도(cm/sec)

D : 폭원으로부터의 거리(m)

W : 지발당 허용 장약량(kg/delay)

라이닝콘크리트의 코아 압축강도

배합 설계

라이닝콘크리트의 재령 28일에서의 압축강도 기준은 24 MPa이다. 거푸집의 조기 탈형을 위한 라이닝콘크리트의 배합설계를 적용하여야 하지만, 여기서는 강도변화를 비교하는 과정이기에 일반구조물용 배합설계를 적용하였다. 배합설계 결과는 Table 3과 같다.

터널내 타설된 콘크리트의 양생

터널내에 타설한 콘크리트를 양생하는 과정은 터널굴

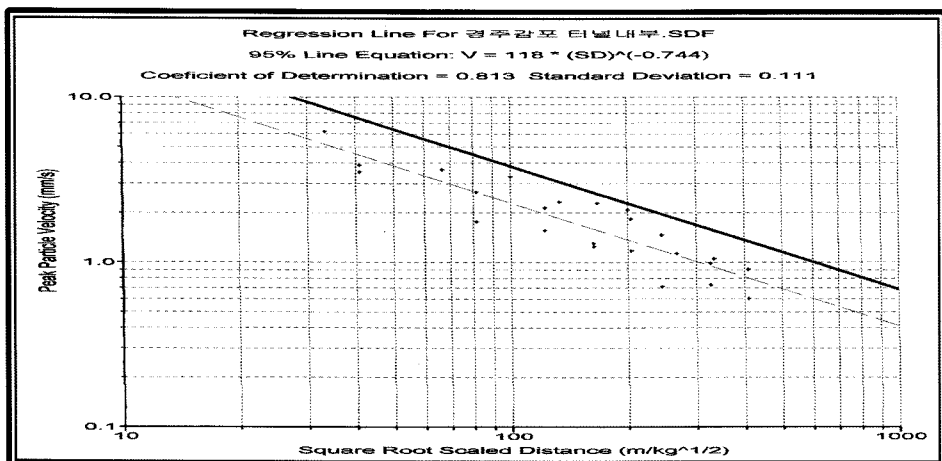


Fig. 5. Regression analysis.

Table 3. Design for mixing of concrete.

Gmax (mm)	설계강도 (Mpa)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량 (kg/m ³)						
						W	C	slag	S1	S2	G	Ad
25	24	15	4.5~1.5	49.7	48.5	192	309	77	491	327	875	1.93

착과 라이닝콘크리트의 동시시공을 모사하기 위하여 콘크리트를 타설하고 난 뒤 터널의 굴착 공정에 따라 발파굴착을 공사계획대로 진행하였다. 또한 숏크리트 타설과 록볼트 등의 지보보강도 공사계획대로 진행하였다. 따라서 발파와 중장비의 통과과정에서 발생하는 진동은 콘크리트의 양생과정에서 타설된 콘크리트에 그대로 전달되었다.

터널내와 터널외 기온 비교

라이닝콘크리트의 양생방법을 수립하기 위하여 3월 23일~29일까지 일주일간 터널내·외부의 온도를 측정하였다. 온도 측정 결과 터널외부는 주간은 약 20°C 정도이고 야간은 약 0°C 정도이나 터널 내부는 10~12°C로 일정하였다(Fig. 6).

코아채취 및 압축강도 시험

코아채취는 콘크리트의 압축강도 시험일전에 타설된 콘크리트에서 채취하였다. 콘크리트가 타설된 위치별로 코아를 채취하여 시험실로 이동하고 이튿날 커팅하여 시료로 사용하였다. Fig. 8은 타설된 콘크리트를 코아채취하고 압축강도 시험을 시행하는 장면이다. 각 위치별로 채취한 코아별 압축강도시험의 결과는 Table 4, Fig. 9와 같다.

시험결과 분석

3월 23일~29일까지 일주일간 터널내·외부의 온도를 측정한 결과, 터널외부의 온도는 0~20°C로 변화가 심하였으나, 터널내부의 온도는 10~12°C 정도로 일정하게 유지되었다. 이는 터널내에서는 온도가 거의 일정함을 보여준다.

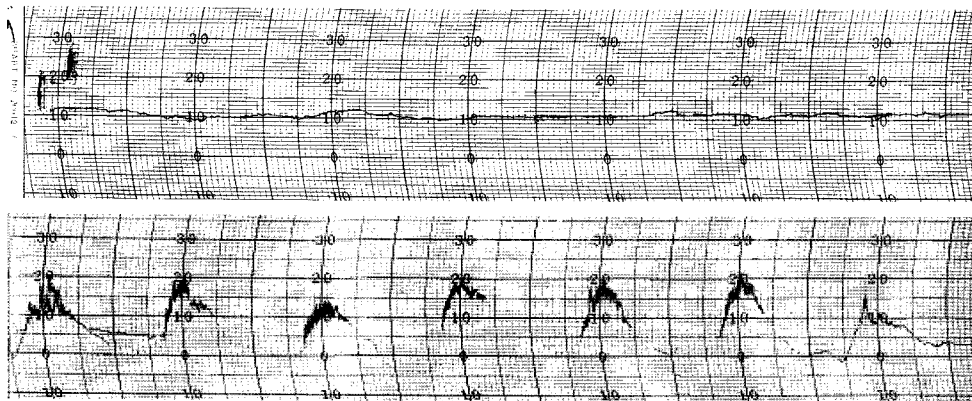


Fig. 6. Inside temperature and outside temperature of tunnel.



Fig. 7. Concrete construction in tunnel (left) and measurement of vibration (right).

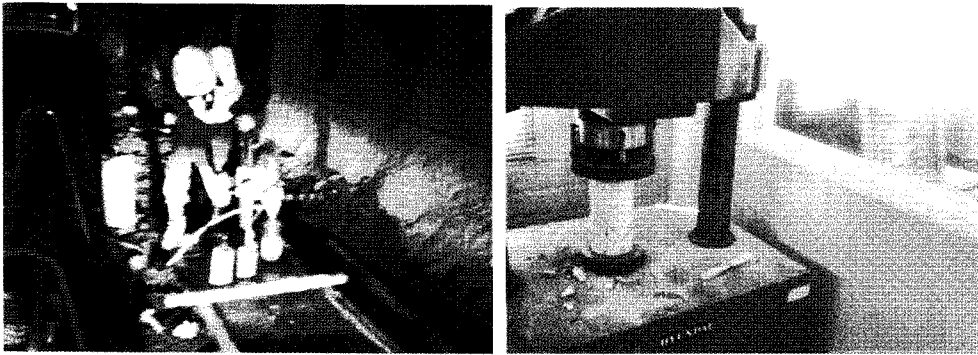


Fig. 8. Coring and compression test.

Table 4. Comparison of core strength in distance.

이격거리 (m)	50	100	150	200	250	300	400	500
f28 강도 (Mpa)	23.21	24.04	23.97	24.97	24.54	26.73	26.78	26.37

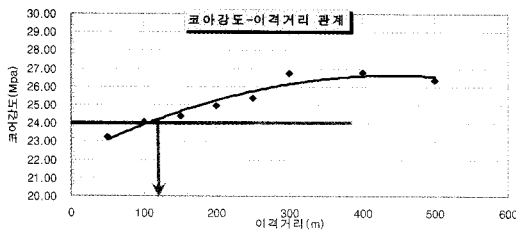


Fig. 9. Core strength in distance.

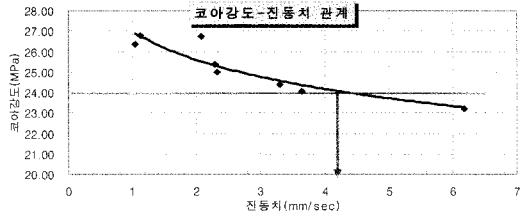


Fig. 10. Relationship of core strength and vibration values.

터널 막장에서 발파한 발파진동은 장약량에 따라 진동의 크기가 차이가 나고, 발파원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 진동의 크기는 점차 작게 측정되었다. 또한, 이격거리 250m 이상에서는 진동치가 1mm/sec 정도로 거의 일정하게 측정되었다. 이 진동치는 터널내에서 한방향으로 전달되는 폭풍압의 영향으로 사료된다.

코아압축시험 결과 다소의 차이는 발생하였으나 발파원으로부터 멀어질수록 강도가 증가하였고, 이격거리 300m 이상에서는 강도가 비슷하게 발현되었다. 이는 300m 이상에서는 발파진동의 영향이 별로 미치지 않는 것으로 추정된다.

진동과 코아강도의 관계를 추정하기 위해 거리별 진동치와 거리별 코아강도를 『코아강도-진동치』로 나타내보았다. Fig. 10에서 코아강도 24 Mpa에 해당하는 진동치는 4.2mm/sec로 나타났다. 따라서 진동치 4.2mm/sec 이하이면 콘크리트의 강도 24 MPa를 발현하는 데는 발파진동이 영향하지 않는 것으로 사료된다.

위에서 라이닝콘크리트에 영향하는 진동치를 4.2mm/sec

로 추정하면 Table 2에서 이격거리 120m 이상에서는 진동치가 4.2mm/sec 이하로 나타나므로, 코아압축강도 24MPa를 나타내기 위해서는 120m 이상만 이격거리면 된다. 그러나 앞에서 진동에 영향하지 않는 이격거리를 300m로 추정하였으므로 적정이격거리는 300m 이상이 타당하다고 사료된다.

결 언

불국사화강암은 풍화가 매우 발달된 구간이므로 이 구간의 터널에서 시행한 발파영향시험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 터널내의 온도는 외부와는 달리 거의 일정하다.
- 2) 터널내에서 이격거리 300m 이상에서 타설한 콘크리트는 발파진동의 영향을 거의 받지 않는다.
- 3) 코아압축강도로서 비교하면 발파원과 라이닝콘크리트의 이격거리는 300m 이상이면 기준강도를 발현할 수 있다.
- 4) 진동치가 4.2mm/sec 이하이면 기준강도를 발현할

수 있다.

5) 따라서, 진동치와 코어압축강도 모두를 감안하면 발파원으로부터 라이닝콘크리트의 이격거리는 300 m 이상이면 기준강도를 발현할 수 있다.

참고문헌

- 일본철도건설공단, 1984, NATM에 있어서 2차복공에 관한 조사연구중간보고서.
 일본터널기술협회편, 1982, 경암 NATM에 있어서 2차복공의 설계시공에 관한 조사연구보고서.
 건설성토목연구소, 1981, 터널 지보구조에 관한 연구보고.
 Fernandez-Delgado, G., Mahar, J. W. and Parker, H. W., 1976, Structural behavior of thin concrete liners obtained from large scale tests, Shotcrete Concrete, 399-411
 Fernandez-Delgado, G., Cording, E. J., Mahar, J. W. and M. L. VAN SINT JAN, 1979, Thin concrete lining in loosening rock, RFTC-1979 Proceedings obtained from large scale tests, Shotcrete Concrete, 399-411
 Goodman, R. E., 1976, Methods of geological engineering in discontinuous rocks. Berkeley: West Publishing Company.
 Ito, T. and M. Hisatake, 1981, Ground pressure acting on arbitrary shaped tunnel lining in visco-elastic ground, Proc. Japan Society of Civil Engrs., 307.

2009년 8월 13일 원고접수, 2009년 9월 17일 게재승인

김장득

삼성건설(주) 토목사업본부경주-감포간도로현장
 경북 경주시 외동읍 신계리 1045번지
 Tel: 054-745-1905
 FAX: 054-745-1907
 E-mail: jdk8703@samsung.com

김용하

(주) 선진지. 큐. 씨
 경북 경주시 외동읍 신계리 1045번지
 Tel: 054-745-1905
 FAX: 054-745-1907
 E-mail: kl0218@naver.com