

## 장대터널 굴착시 발파-라이닝 병행시공 사례연구

유정훈<sup>1)\*</sup>, 안형준<sup>1)</sup>, 유진오<sup>1)</sup>, 최병희<sup>2)</sup>

### A Case Study on the Construction of Concrete Lining in Parallel with Blasting in a Long Tunnel

Joung-Hoon Ryu, Hyung-Jun An, Jin-O You and Byung-Hee Choi

**Abstract** : The various alternatives to reduce the construction period and cost in the wide and long tunnel have been attempted recently. However, the concrete lining forming process after finishing tunnel excavation may delay construction period considering the specific conditions of the wide and long tunnel. The concrete lining is indispensable for the road tunnel. For this reason, the blasting-lining synchronizing study had been carried out to reduce construction period in the Gyea-Ryong Tunnel. Lining models were installed at four different distance conditions the floor of the tunnel. After model installation, hundreds of blasting vibration measurements and concrete material tests were performed to calculate the safe distance between blasting point and concrete lining form. The study also introduces a method which can obtain the better ability of construction by improving working environment with the ventilation and the relocation of tunnel equipments in the working places.

**Key words** : allowable peak vibration level, lining model, safe distance, parallel construction

**초 록** : 최근 들어 터널이 장대화 되면서 시공시 공기와 공사비를 감축할 수 있는 방안이 다양하게 강구되고 있다. 그러나 장대터널의 특성상 터널굴착작업이 종료된 후 콘크리트 라이닝 타설작업이 시작될 경우 공사기간이 상당히 지연될 수밖에 없다. 이에 따라 계룡터널에서는 도로터널에서 반드시 설치되는 콘크리트 라이닝 공정과 관련하여 소요되는 공기를 단축시키기 위해 터널굴착 발파와 병행하여 라이닝을 시공하는 연구를 수행하였다. 실험은 터널막장 후방에 일정한 거리별로 모두 4곳의 모형라이닝을 설치하고 발파계측 및 콘크리트 물성 실험을 실시하여 반복적인 발파진동하에서 콘크리트 라이닝에 영향을 미치지 않는 안전이격거리를 도출하였다. 또한 병행시공 현장적용시 환기 및 설비 재배치를 통해 작업환경을 개선하여 시공성을 확보할 수 있는 방안을 간략히 소개하고자 한다.

**핵심어** : 허용진동수준, 모형라이닝, 안전이격거리, 병행시공

## 1. 서 론

최근 들어 도로건설에 따른 주변 자연환경 훼손 최소화를 위한 환경친화적 고속도로 건설정책 추진으로 1 km 이상의 장대터널 건설이 급격히 증가하고 있다. 이러한 장대터널의 건설은 산악지 절

개나 도로의 곡선화를 방지하여 안전하고 환경친화적인 도로건설을 위해서는 필수적인 요소이다.

그러나 터널시공의 특성상 길이에 따른 공기의 증가와 공사비의 증대가 큰 부담이 되고 있으며 장대터널의 시공과정에서 각종 민원, 설계변경 등으로 인하여 공사지연이 발생하는 경우가 많다. 이러한 장대터널의 공사지연은 개별 현장의 문제에 그치는 것이 아니라 전체 사업의 일정에 막대한 영향을 미치게 되고 커다란 경제적 손실을 야기하게 된다. 따라서 공사지연에 대비한 다양한 공기단축기법의 개발이 장대터널의 주요한 이슈가 되고 있는 실정이다.

1) 코오롱건설 기술연구소

2) 한국지질자원연구원 지반안전연구부

\* Corresponding author : jhy9570@kolon.com

접수일 : 2006년 5월 29일

게재승인일 : 2006년 6월 20일

현재 NATM으로 시공되는 장대터널의 공정은 크게 발파굴착, 라이닝 타설, 설비 및 포장의 3단계로 구분할 수 있다. 특히 터널의 3대 공정 중 발파굴착과 라이닝 타설 공정은 전체 터널공사기간의 70% 이상을 차지하므로 이 두 공정을 동시에 병행시공이 가능하다면 터널공사기간을 크게 단축할 수 있다. 하지만 지금까지 국내의 도로터널공사에서는 발파작업에 의한 암반굴착이 완료된 후 콘크리트 라이닝 시공이 이루어져 왔는데, 이같은 작업공정은 발파작업에서 발생하는 발파진동이 타설되는 콘크리트 라이닝에 균열을 발생시키거나 강도를 저하시킬 수도 있으므로 이를 예방하기 위한 것이 주된 이유 중의 하나였다.

따라서 본 연구에서는 터널굴착을 위한 발파와 라이닝 등 본체 구조물을 병행시공 할 경우 터널 발파 시 발생하는 진동이 콘크리트 라이닝 등 구조물에 미치는 영향 여부를 알아보고 발파작업으로부터 안전성을 확보하기 위한 안전이격거리 도출 및 병행시공 실적용시 작업환경 개선방안을 소개하고자 한다.

## 2. 연구사례 고찰

터널굴진과 터널 내 라이닝 구조물을 병행시공 할 경우 터널발파로 인해 발생하는 지반진동이 구조물에 미치는 영향을 평가하기 위하여 국내·외 허용기준, 관련사례 및 자료들을 조사하였다. 특히 병행시공이라는 특수한 상황은 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 대한 평가를 필요로 한다.

콘크리트의 강도에 영향을 미치는 요소로는 성분, 재료의 취급, 타설 및 양생방법, 강도시험방법 등이 있다. 이중 가장 기본적인 요소로는 성분, 즉 주요재료인 시멘트, 골재, 물, 혼화재 등과 같은 콘크리트 구성성분과 물-시멘트 비와 같은 정량적인 배합비, 혹은 배합의 결과로써 나타나는 수화정도 등을 들 수 있다. 강도의 발현에서 이와같은 재료의 개별적인 특성 및 배합비의 특성이 가장 중요하며 진동의 영향은 콘크리트를 구성하는 성분들이 조직화되어 경화되는 과정에서 발생한다고 볼 수 있다.

또한 콘크리트는 암석과 달리 타설된 시점부터 재령에 따라 강도가 증가하다가 일정한 시점이 지난 후에 수렴하는 특성을 가진 재료이므로 동일한 크기의 진동에 대해서는 재령에 따라 서로 다른

영향을 보이게 되는데, 많은 연구결과에 의하면 타설후 시간대에 따라 초기 재령에서 진동을 받는 경우가 가장 위험한 것으로 알려져 있다.

일반적으로 진동이 양생중인 콘크리트에 주는 영향은 콘크리트의 양생시점이나 가해진 진동속도의 크기에 따라 다르게 나타난다. 따라서 각각의 연구결과를 바탕으로 제안된 양생중인 콘크리트에 대한 진동허용기준은 다음과 같다.

Table 1은 Hulshizer and Desai(1984)가 양생중인 콘크리트에 대한 현장시험 결과를 바탕으로 제안한 양생기간별 진동허용기준으로 재령 3~11 시간사이의 허용진동속도가 가장 낮은 3.81 cm/s로 제시되어 있다.

Table 1. Allowable peak particle velocity at each concrete age(Hulshizer and Desai, 1984)

Concrete age (hour)	Peak particle velocity level (cm/s)
0 ~ 3	10.16
3 ~ 11	3.81
11 ~ 24	5.08
24 ~ 48	10.16
> 48	17.78

또한 미국 교통국 산하 National Highway Institute에서 발파진동을 포함하는 진동에 대해 제시한 양생중인 콘크리트에 대한 허용기준이 Table 2에 제시되어 있는데, 가장 낮은 허용기준이 제시된 재령은 4~24 시간으로 허용진동속도는 0.63 cm/s이다.

Table 2. Allowable peak vibration level on curing concrete (U.S.Department of Transportation, 1991)

Concrete age	Peak particle velocity level (cm/s)
0 ~ 4 hours	5.08
4 ~ 24 hours	0.63
1 ~ 3 days	2.54
3 ~ 7 days	5.08
7 ~ 10 days	12.7
> 10 days	25.4

국내에는 아직까지 양생중인 콘크리트의 재령에 따른 허용진동기준이 설정되어 있지는 않으나, 보수적인 수준으로서 미국 교통국에서 제안된 허용진동수준 지침에서 진동에 예민한 시간대를 3~24 시간으로 수정한 안이 채택된 예가 있다(한국자원연구소, 1996).

본 연구에 앞서 2003 년에 미시령터널에서 유사한 실험을 실시하였으며, 병행시공을 위한 허용진동수준을 미국 교통국과 한국지질자원연구원서 제시한 허용수준을 반영하여 최소치인 0.63 cm/s 로 설정하여 연구를 수행한 바 있다(한국지질자원연구원, 2003).

### 3. 현장실험

현장실험은 우선 국내의 기준, 기존 연구사례를 토대로 발파진동이 라이닝 등 구조물과 양생 콘크리트에 영향을 미치지 않는 허용 진동한계치를 설정한 후, 실제 터널발파시 나타나는 진동을 계측한 데이터를 회귀분석을 통해 진동추정식을 산출하고 이를 이용하여 허용수준을 만족시킬 수 있는 라이닝 타설지점까지의 최대이격거리(안전거리)를 산

정하게 된다.

또한 발파영향권 분석을 통하여 산정된 안전이격거리의 타당성을 검증하기 위해 터널내부에 일정한 거리별로 4개의 모형라이닝을 타설한 후 진동에 가장 예민한 시간대에 최초 발파를 실시하고 계속해서 28일 동안 일상적인 발파작업하에서 양생한다. 28일 강도시험을 위해 모형라이닝에서 코어를 채취한 후 표준공시체와 함께 실험을 실시하여 안전이격거리에 대한 타당성을 검증한다 (Fig. 1).

#### 3.1 현장개요

본 실험은 국도 1호선 두마 - 반포간 도로확장 및 포장공사 중 계룡터널에서 실시되었다. 계룡터널은 대부분 계룡산 국립공원을 통과하며 기술적, 경제적, 환경적 측면에서 유리한 선형을 선정하는 과정에서 계획된 터널로서 합리성 및 경제성 등의 관점에서 터널공법을 검토하여 안전하고 편리한 교통을 제공할 수 있기 위해 시공되는 도로터널이다. 당 터널구간은 총연장이 2,600 m로 설계되어 있으며 실험위치는 시점측 두마방향에서 수행되었다(Fig. 2).

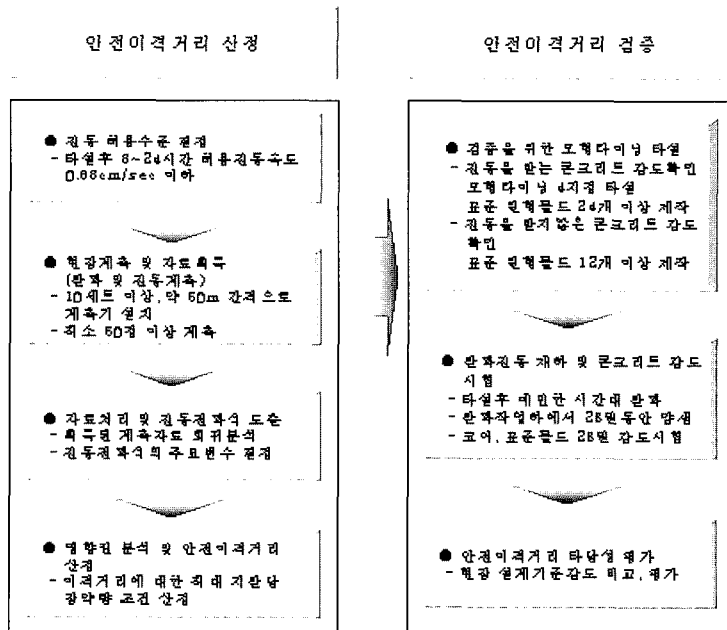


Fig. 1. Experimental procedure.



Fig. 2. Field test at Gyea-Ryong tunnel.

본 지역의 지질은 주로 선캄브리아기의 변성암류와 시대미상의 변성심성암류, 그리고 이들을 관입한 중생대의 화강암류 내지 제 3기의 각종 맥암류로 분류되고 이들을 부정합으로 덮은 신생대 제 4기의 충적층이 현 하천 주변을 따라 발달되어 있다.

3.2 현장계측 및 영향권 분석

실험용 모형라이닝 타설지점을 결정하기 위하여 터널 막장으로부터 일정한 거리마다 진동측정기를 설치하여 진동을 측정하였다. 현장의 발파조건 및 지반조건이 동일하지 않으므로 가능한 다양한 조건을 반영할 수 있도록 공사 진행 상황 및 조건에 따라 총 3차로 나누어 계측을 실시하여 자료를 획득하고자 계획하였다.

굴진중인 상·하행선 시점부의 터널 바닥을 대상으로 각 발파별로 10 개에서 11 개 측정점을 적절한 간격(평균 50 m)으로 두었으며 전체적으로 총 12 차례의 굴진발파에 대하여 총 123 개 측정점에서 진동을 계측하여 진동예측식을 도출하였다(Fig. 3). 발파진동 전파특성을 나타내는 예측식은 계측된 현장 자료로부터 회귀분석을 통하여 각각의 상수를 구한 후 적합도가 높은 삼승근 환산거리를 이용한 식을 선택하였다. 진동의 평균수준(50% 신뢰구간)을 나타내는 식(1)과 95% 신뢰구간을 갖는 예측식(2)을 도출하였으며 이중 보수적인 영향평가를 위해 95% 신뢰수준의 식을 본 현장의 진동 예측식으로 사용하였다. 다음 Fig. 4는 벡터합 진동의 회귀분석을 나타낸 그림이다.

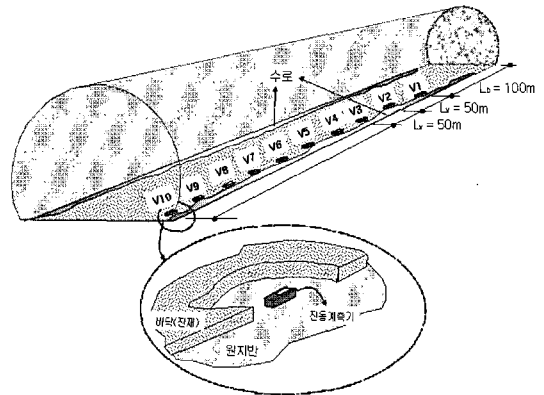


Fig. 3. Scheme of blasting vibration measurement.

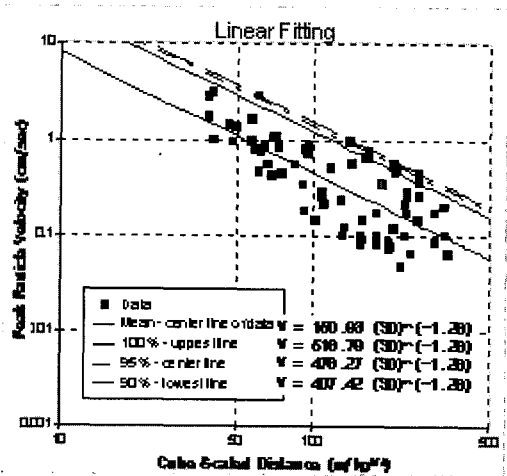


Fig. 4. Regression analysis of peak vector sum vibration levels.

$$PPV(sum)_{50\%} = 150.93 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.26} \quad (1)$$

$$PPV(sum)_{95\%} = 476.27 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.26} \quad (2)$$

여기서,  $PPV$  : Peak particle velocity(cm/s),  $D$  : Distance from blasting point(m),  $W$  : Maximum charge weight per delay(kg)

본 실험현장에서 주로 적용되고 있는 현행 발파 패턴에 의하면 폭약류는 다이내마이트와 정밀폭약이며, 발파조건에 따라 지발당 최대 10.5kg의 폭약을 사용하고 있다. 따라서 지발당 최대장약량에 따

Table 3. Distance between concrete placing point and the tunnel face, which satisfy the allowable vibration level (0.63 cm/s)

Maximum charge weight per delay (kg)	95% confidence level	Site application
10.5	422 m	more than 500 m

라 가장 민감한 시간대의 양생중인 콘크리트 허용 수준 0.63cm/s에 대한 영향권을 계산하면 허용진동수준을 만족시킬 수 있는 영향권은 422m로 분석되었다(Table 3).

한편 발파패턴이 변경되어 장약량 조건이 바뀔 경우 환산거리를 이용한 기준을 사용할 수 있으며, 가장 민감한 시간대의 양생 콘크리트 허용수준 0.63 cm/s를 만족시키기 위한 환산거리는 다음 식 (3)과 같다.

$$SD(\text{Scaled Distance}) = D/W^{1/3} = 192.55 \quad (3)$$

여기서,  $D$  : Distance between concrete placing point and the tunnel face(m),  $W$  : Maximum charge weight per delay(kg)

### 3.3 모형라이닝 검증실험

도출된 진동추정식을 이용하여 영향권 분석을 통해서 산정된 안전이격거리의 타당성을 검증하기 위해 발파진동을 받는 실험용 콘크리트 모형라이닝을 터널 내에 설치하였다. 설치지점은 기존의 사례 분석을 토대로, 본 연구에서 제시한 양생중인 콘크리트에 영향을 주지 않는 지점과 피해여부를 확인하기 위한 지점으로 분류하여 총 4곳에 콘크

리트 모형라이닝을 제작하였다.

#### (1) 양생콘크리트 실험조건

타설지점은 전단면 발파가 진행중인 막장면 후방에 해당하는 터널의 하단부 우측부분 4 곳에 거푸집을 제작한 후 발파 4 시간 전까지 콘크리트 모형라이닝을 타설하였다. Fig. 5는 계룡터널 표준 설계단면도에 모형라이닝을 표현한 그림이다.

타설지점 및 모형라이닝 제원은 Table 4와 같으며 콘크리트 거푸집의 크기는 차후 충분한 수량의 코어채취와 현장 굴착작업에 영향이 없도록 제작하였다.

한편 현장에서 모형라이닝 타설작업이 진행되는 동안 모형라이닝에서 코어링을 통해 채취한 시료들과 비교분석할 목적으로 타설하는 콘크리트 레미콘에서 일부를 이용하여 원형 표준몰드를 제작하였다. 표준몰드는 발파진동 영향을 받는 몰드와 진동을 받지 않은 몰드로 구분하여 발파진동 영향을 받는 몰드인 경우 터널내부 모형라이닝당 10 개씩 총 40 개의 공시체를 각각의 모형라이닝 내부에 양생하였다.

또한 진동을 받지 않은 기준시료로 사용하기 위해 제작한 14 개의 표준몰드는 수중양생하였다.

Table 4. Information on the concrete lining model

Lining	Distance between lining model and tunnel face (m)	Specification of concrete lining model
A	145	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Size of lining model : 3m×3m×2m (W×L×H)</li> <li>▪ Thickness : 30 cm</li> <li>▪ Design strength : 240 kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>
B	245	
C	445	
D	545	

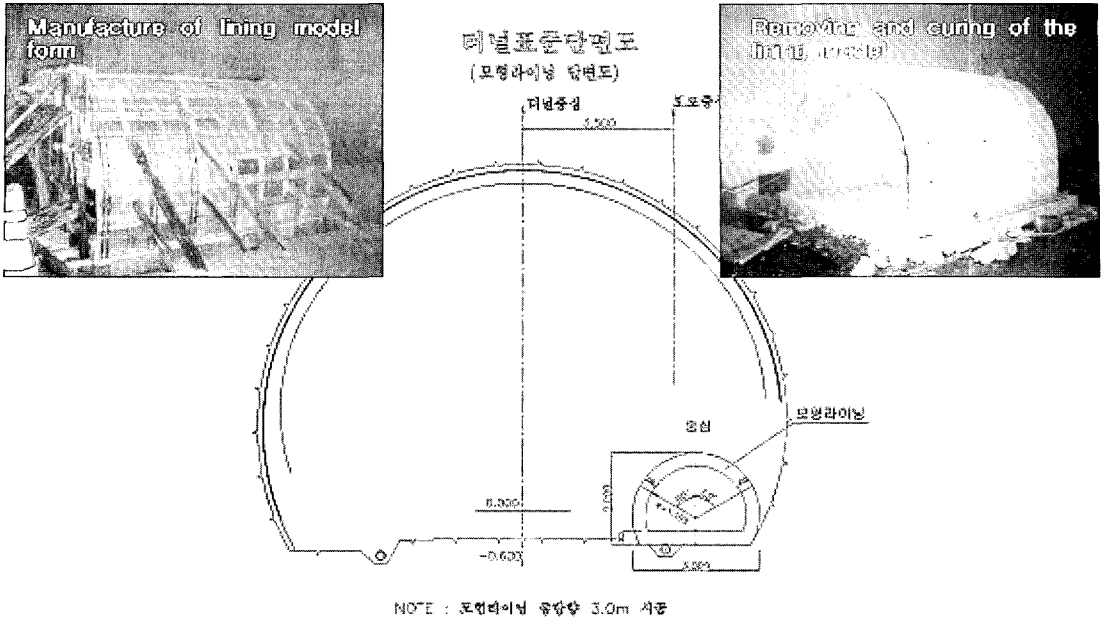


Fig. 5. Standard tunnel section and concrete lining model.

(2) 모형라이닝 발파진동 측정

콘크리트 모형라이닝 타설이 완료된 다음, 4시간 경과후에 최초발파를 실시하였으며 진동계측은 라이닝 타설 후 4시간, 20시간, 28일 발파진동을 측정하였다(Table 5).

Table 5. Blast-vibration results at the concrete lining model

Lining	Measurement time (after placing)	Distance (m)	PPV (cm/s)
A	4 hrs	146.6	0.881
	20 hrs	150.7	0.824
	28 days	322.0	0.468
B	4 hrs	246.6	0.695
	20 hrs	250.7	0.557
	28 days	422.0	0.359
C	4 hrs	446.6	0.322
	20 hrs	450.7	0.367
	28 days	622.0	0.152
D	4 hrs	546.6	0.154
	20 hrs	550.7	0.165
	28 days	722.0	0.095

발파진동측정기 설치는 타설된 모형라이닝 바닥부에 암석용 드릴로 구멍을 천공한 후, 진동측정기 바닥에 있는 개 또는 개의 스파이크를 끼워서 고정시켜 측정을 실시하였다.

(3) 콘크리트 강도시험

콘크리트 타설 후 27일째 되는 날 터널 내 타설된 4개의 콘크리트 모형라이닝에서 각각 7개씩 모두 28개의 코어를 채취하여 재령 28일에 압축강도시험을 실시하였다(Fig. 6).

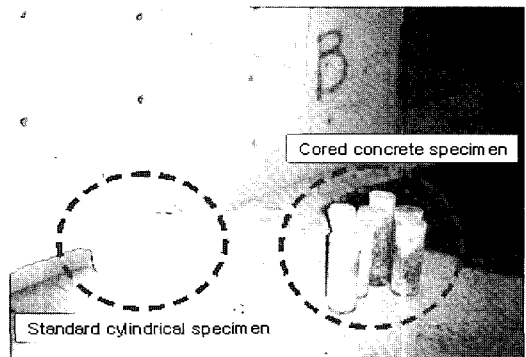


Fig. 6. Standard cylindrical and cored concrete specimens.

Table 6은 콘크리트 강도시험 결과를 모두 나타낸 표로서 우선 발파진동 영향을 받지 않고 시험실내에 수중양생한 공시체인 경우, 28일 압축강도 평균값은 279 kgf/cm<sup>2</sup>로 현장 라이닝 설계 기준강도 240 kgf/cm<sup>2</sup> 대비 약 116%로 더 크게 나타났다.

Fig. 7은 콘크리트 타설후 28일 동안 일상적인 발파작업 상태에서 각각의 콘크리트 모형라이닝 내부에 양생시킨 표준공시체 28일 강도를 비교한 그림으로 C지점 및 D지점에서의 표준공시체는 설계기준강도보다 10%~25% 크게 나타난 반면 A지점과 B지점에서 양생시킨 표준공시체 강도는 설계 기준강도 보다 작게 나왔다. 이는 타설된 지점의 진동영향과 A지점과 B지점 모형라이닝 거푸집 제거 당시 내부에서 양생하던 몰드에 외부충격으로 인해 강도가 저하된 것으로 판단되므로 터널 막장으로부터의 안전이격거리 확보 및 콘크리트 타설과 양생중 시공관리를 철저히 해야 할 필요가 있음을 보여준다.

Fig. 8은 모형라이닝에서 채취한 코어 28일 압축강도 결과를 나타낸 그림으로 각각의 모형라이닝 코어강도 평균값에 있어서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 터널막장으로부터 이격된 거리

별로 보면 A지점(145 m), B지점(245 m), D지점(545 m) 콘크리트 압축강도는 현장코어 채취에 의한 강도 기준대비 평균강도 이상으로 나타났으며 C지점(445 m)에 타설한 모형라이닝 코어강도인 경우 설계강도에 다소 못미치는 결과를 보였다. 또한 전반적으로 표준공시체 강도시험 결과와도 서로 상이한 결과를 나타내고 있는데, 이는 모형라이닝 실험과정에서 실제 라이닝을 일정한 크기로 축소하는 과정에서 라이닝 두께에 대한 축적영향과 일부 코어 공시체의 형상조건이 압축강도값에 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 코어강도 측정 결과에 의하면 산정된 이격거리 422 m 이내에도 만족하지만 보다 안전한 시공을 위해서는 표준공시체에 대한 실험결과를 반영하여 C지점의 이격거리 445 m 이상으로 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

또한 본 논문에서는 모형라이닝에 대하여 발파진동으로 인한 양생 콘크리트 영향을 압축강도만으로 살펴보았으나 향후에는 터널 내 발파진동에 대한 영향을 충분히 고려할 수 있도록 강도시험뿐만 아니라 가속도, 콘크리트 변형률, 주파수 등에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

Table 6. Results of compressive strength tests (unit : kgf/cm<sup>2</sup>)

Classification		A		B		C		D		Standard
		145 m		245 m		445 m		545 m		
		Standard	Core	Standard	Core	Standard	Core	Standard	Core	Water curing
28 day Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	1	214	200	233	242	266	185	303	199	277
	2	189	211	216	211	268	182	291	230	274
	3	214	184	219	227	277	247	305	182	278
	4	199	219	224	208	247	234	305	224	283
	5	185	216	230	247	268	195	311	238	289
	6	198	200	215	204	289	182	291	175	269
	7	200	225	224	182	245	187	299	199	282
	Average	200	208	223	217	266	202	301	207	279
Reference		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Design strength of concrete lining : 240 kgf/cm<sup>2</sup></li> <li>■ For core, the average strength should be over 85% of the design strength.</li> </ul>								

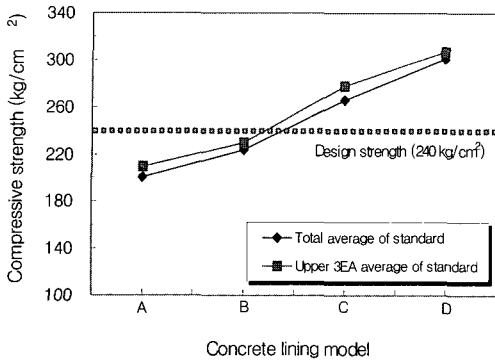


Fig. 7. Compressive strength of standard specimen.

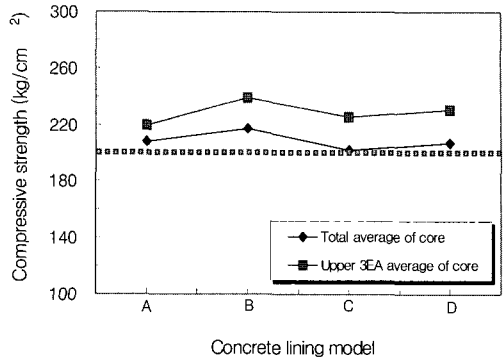


Fig. 8. Compressive strength of cored specimen.

#### 4. 현장적용

병행시공을 위한 발파영향권 분석 및 모형라이닝 검증실험을 통해 제시된 안전이격거리를 토대로 시공 중인 터널에서 발파-라이닝 병행시공을 실시하였다. 이격거리는 예측식을 통한 평가결과와 표준공시체 및 코어시료에 대한 강도시험 결과에 의하면 445 m 이상이면 되지만 보다 안전한 시공을 위하여 안전이격거리를 500 m 이상으로 결정하였다.

굴착과 라이닝 병행시공은 라이닝 시공 중에도 막장에서는 발파굴착이 이루어지므로 굴착시 필요한 환기 및 급수, 전기설비 등 터널내 설비의 운용

이 중요하다. 콘크리트 라이닝 시공을 위해서는 시공하고자 하는 구간에 부직포와 방수시트를 붙이고 라이닝 폼을 설치한 후, 콘크리트 라이닝을 타설하는데 이때 터널 굴착시 필요한 터널벽면을 따라 기설치되어 있는 환기를 위한 급기덕트, 급수관, 전기배선을 제거하여야 한다. 막장 굴착작업을 위하여 필요한 상기의 부속설비는 횡갱과 반대편 터널을 이용하여 이동 설치하며, 환기의 효율성을 증대시키기 위하여 집진기를 설치하였다(유지오, 2005). 막장후방에서의 콘크리트 구조물 시공시 쾌적한 작업환경을 확보하기 위하여 추가로 차단막을 설치하여 공사중 발생하는 분진 및 매연의 흐름을 차단하였다(Fig. 9).

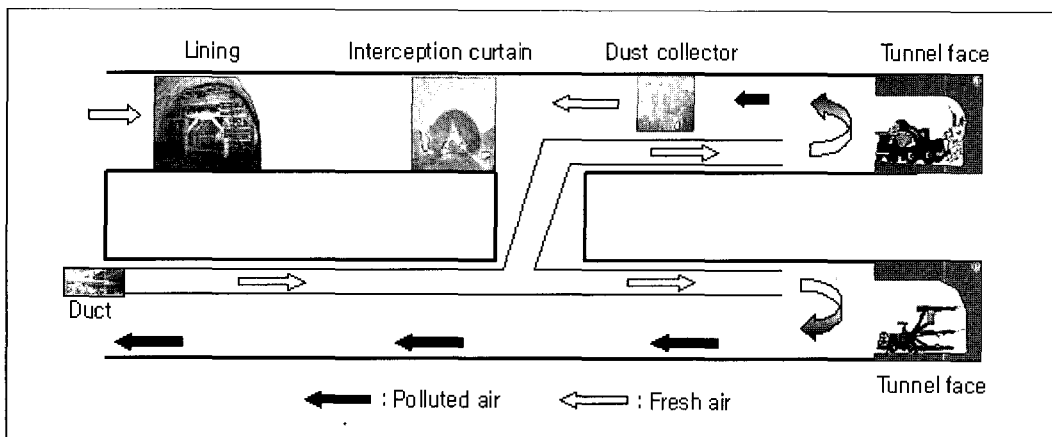


Fig. 9. Ventilation system of parallel construction.



## 5. 결 론

본 연구는 계룡터널 발파-라이닝 병행시공과 관련하여 터널 굴착을 위한 발파와 라이닝 등 본체 구조물을 병행시공할 경우 터널 발파시 발생하는 진동이 구조물에 미치는 영향에 대하여 현장실험을 수행하였으며 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 기존의 국내외 연구 및 시공사례를 분석한 결과, 병행시공시 양생중인 콘크리트에 영향을 미치지 않는 허용진동수준은 0.63 cm/s로 설정하였으며, 현장발파에 대한 진동속도 예측식을 도출하기 위해 총 12회의 굴진발파에 대하여 123 측정점을 계측하였다.

2) 계룡터널 건설 현장에서 주로 적용되고 있는 현행 발파 패턴에 따라 지발당 최대장약량 10.5 kg을 도출된 진동예측식에 적용할 경우 허용진동수준을 만족시킬 수 있는 영향권은 422m로 분석되었다.

3) 진동에 가장 예민한 시간대에 발파 진동을 가한 조건하에서 모형라이닝 강도시험 결과 표준공시체인 경우 터널막장으로부터 250 m 이하 지점에서 제작하여 양생한 공시체는 진동영향과 외부충격으로 강도가 저하되는 경향이 나타났으며, 400 m 이상에서 제작한 공시체는 현장설계강도를 만족하는 것으로 나타났다. 모형라이닝에서 채취한 코어의 28일 압축강도 측정결과에 의하면 예측식을 통해 산정된 이격거리 422 m 이내에서도 만족하지만 표준공시체 시험을 통해 확인된 445 m를 최소이격거리로 결정하였다. 실제 시공 시에는 보다 안전한 시공이 될 수 있도록 안전이격거리를 500 m 이상으로 하여 적용하였다.

4) 병행시공 현장적용시 터널내 환기문제와 부속설비 처리는 횡갱(피난연결통로)을 이용하여 이동, 설치하였으며 추가적으로 집진기와 차단막을 설치하여 작업환경을 개선하였다.

5) 병행시공과 관련하여 현장 라이닝 실제 시공 현황을 살펴보면, 실험결과에서 산정한 안전이격거리를 기준으로 각 공정의 상호간섭을 최소화할

수 있는 라이닝 시공 착수시점을 선정하여 병행시공을 실시한 결과 현장 터널 발파굴착 완료시점이 2006년 2월이었으나 2005년 11월부터 라이닝을 시공함으로써 콘크리트 라이닝 시공시기를 약 3개월 정도 단축할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : 05건설핵심 D03)에 의하여 연구비가 지원된 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 유지오, 2005, 공사중 환기설비, 한국터널공학회지, Vol. 7, No. 1, pp. 12-31.
2. 한국자원연구소, 1996, 발파진동이 콘크리트 구조물의 건축에 미치는 영향평가 및 발파설계지침 수립 연구보고서.
3. 한국지질자원연구원, 2003, 미시령터널 굴진발파-구조물 병행시공 영향평가 연구보고서.
4. Hulshizer, A. J. and A. J. Desai, 1984, Shock Vibration Effects on Freshly Placed Concrete, J. Construction Engineering & Management, Vol. 110, No. 2, pp. 266-285.
5. U.S. Department of Transportation, 1991, NHI Course No. 13211, Rock Blasting and Overbreak Control, pp. 273-274.



**유 정 훈**

1995 상지대학교 자원공학과 공학사  
2004 아주대학교 산업대학원 건설교통공학과 공학석사

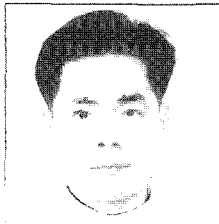
현재 코오롱건설(주) 기술연구소 대리  
(E-mail : jhy9570@kolon.com)



**안 형 준**

1994 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
1996 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사

현재 코오롱건설(주) 기술연구소 과장  
(E-mail : hjan@kolon.com)



**유 진 오**

1990 전남대학교 공과대학 자원공학과 공학사

현재 : 코오롱건설(주) 기술연구소 과장  
(E-mail : yoojino@kolon.com)



**최 병 희**

1988 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
2002 전남대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
2005 전남대학교 대학원 지구시스템공학과 공학박사

현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 선임 연구원  
(E-mail : bhchoi@kigam.re.kr)