

## 터널 상부 근접시설물 통과구간의 발파시공사례

원연호<sup>1)\*</sup>, 강추원<sup>2)</sup>, 김종인<sup>3)</sup>

### A Blasting Experience in a Shallow Tunnel Section Overlain by Residential Structures

Yeon-Ho Won, Choo-Won Kang and Joung-In Kim

**Abstract** This study, to reduce a ground vibration damage of the structures in an area adjacent to housing structures located closely above the tunnel section, is the ground vibration reduction instance of a tunnel blasting selectively applied the ground vibration-controlled blasting method (delay time applied blasting method, large center hole cut method, Line Drilling method, etc) with an originally planned blasting method connected, but with it's workability and economic efficiency is satisfactory, so, the results says the ground vibration-controlled blasting method on a similar condition is very effective, even if the applicability is depend on the blasting method and ground condition of the work area.

**Key words** Blasting method, Delay time applied blasting method, Large center hole cut method

**초 록** 본 발파시공사례는 터널노선 상단부에 위치한 주택구조물 근접지역에서 구조물 진동피해 저감을 위해 당초 설계의 발파공법과 결부시켜 시공성과 경제성이 양호한 진동제어발파방법(다단식발파, 선대구경 심빼기, Line Drilling공법 등)들을 조합하여 단계적으로 추가시키는 굴착공법들을 검토 적용한 터널발파의 진동 저감사례이다. 따라서 시공에 대한 적용성은 발파방법이나 지반조건 등에 따라 진동 저감에는 다소의 차이는 있을 것으로 사료되나 유사조건의 현장 적용은 매우 유용할 것으로 판단된다.

**핵심어** 발파공법, 다단식발파, 선대구경심빼기

#### 1. 서론

본 발파시공사례는 터널노선 상단부에 위치한 보안물건(팬션주택 5가구)들의 근접지역에서 이들 보안물건의 진동피해 저감을 위해 기존 설계에 적용되어있는 발파공법과 결부시켜 시공성과 경제성에서 유리한 진동제어발파방법(다단발파, 선대구경 심빼기, Line Drilling공법 등)들을 조합하여 단계적으로 추가시키는 굴착공법들을 검토하였으며, 그 결과에 따라 대상

구간에 대한 발파굴착공법을 선정하여 시공에 적용한 터널발파의 진동 저감사례이다.

따라서 시공에 대한 적용성은 발파방법이나 지반조건 등에 따라 진동 저감에는 다소의 차이는 있을 것으로 사료되나 유사조건의 현장 적용은 가능할 것으로 판단된다.

#### 2. 대상구간 주요현황

대상구간은 Fig. 1, Fig. 2와 같이 터널갱구 상단부에 별장형 주택 5가구가 14m~28m에 근접 위치하여, 전체 터널의 연장 중, 표준지보패턴이 TYPE-2~TYPE-3 구간이 약 92.5%이상을 차지할 정도로 대부분 양호한 암반층을 통과한다.

설계당시 계획된 대상구간의 발파제원은 Table 1과

<sup>1)</sup> 원앤비 기술사사무소 대표

<sup>2)</sup> 조선대학교 자원공학과 교수

<sup>3)</sup> 인발파 환경 기술사사무소 대표

\* 교신저자 : won1407@hanmail.net

접수일 : 2008년 11월 27일

게재 승인일 : 2008년 12월 11일

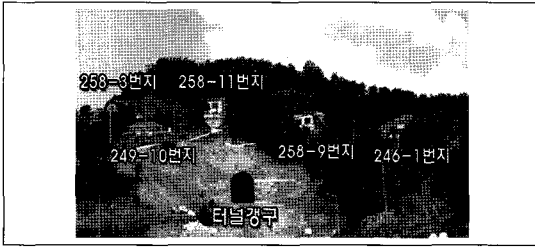


Fig. 1. General view of the surroundings.

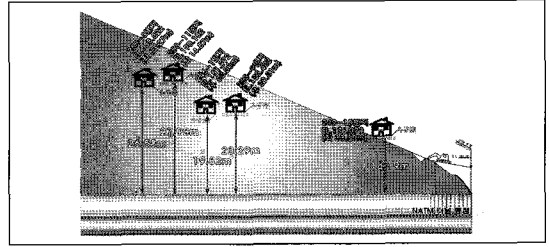


Fig 2. The distance between a tunnel and a structure for safety.

Table 1. Blasting condition

구 분		PD-2	PD-3
설 계 발 파 패 턴	굴착단면적	전단면	상부반단면 : 42.474m <sup>2</sup> 하부반단면 : 35.103m <sup>2</sup>
	심발공법	Cylinder-cut	V-cut
	폭약종류	기저장약 : Dynamite(Ø32) 주장약 : Dynamite(Ø28, Ø25) 정밀폭약(Ø17)	기저장약 : Dynamite(Ø32) 주장약 : Dynamite(Ø28) 정밀폭약(Ø17)
	기폭시스템	전기뇌관, 다단식 발파	전기뇌관, 다단식 발파
	천 공 수	141공	상부반단면 : 84공 하부반단면 : 59공
	최대지발당장약량(kg)	5.25	3.9

같으며, 본 설계시방에 의한 진동허용수준은 0.3cm/sec, 소음은 80dB(A)이다(한국철도시설공단, 2004).

### 3. 기술검토

#### 3.1 발파진동추정식 도출 및 이격거리에 따른 장약량 산출

발파진동추정식 도출을 위한 자료획득은 대상구간에서 당초 발파패턴과 수정된 발파패턴을 적용하여

수회에 걸쳐 상, 하단 분리하여 시험발파를 통하여 획득하였으며, 계측자료의 회귀분석은 발파진동화 설계 프로그램인 Tun-Design 4.0을 이용하여, 상부반단면 터널과 하부반단면 터널에서 획득한 계측자료를 Fig. 3, Fig. 4와 같이 회귀분석하였다.

대상구간 터널계측자료 회귀분석에 의한 발파진동 추정식은 상부반단면 터널의 자승근식은 식(1), 삼승근식은 식(2), 하부반단면 터널의 자승근식은 식(3),

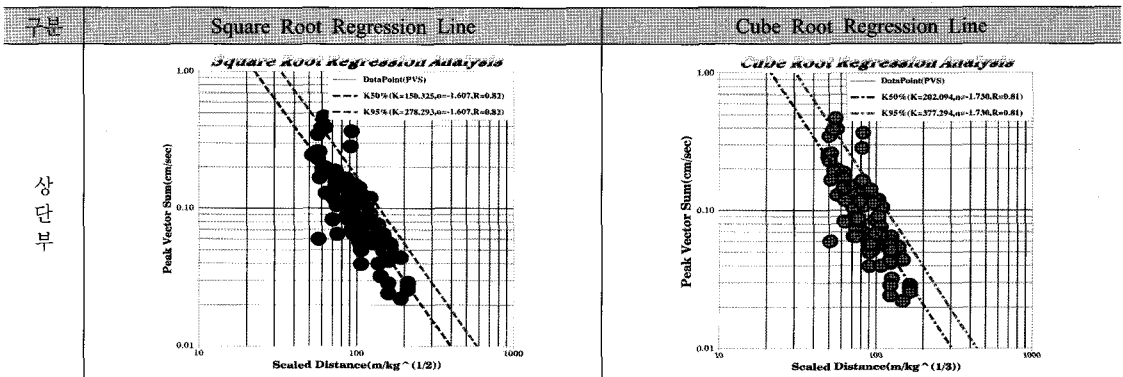


Fig. 3. The regression analysis of a upper half section.

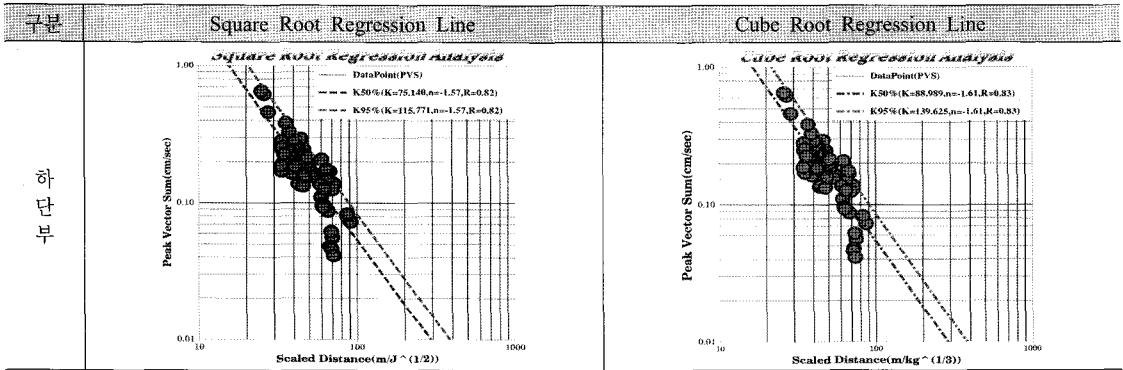


Fig. 4. The regression analysis of a down half section.

삼승근은 식(4)와 같이 나타내었으며,

$$V_{95\%} = 278.293 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.607} \quad (1)$$

$$V_{95\%} = 377.294 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.73} \quad (2)$$

$$V_{95\%} = 115.771 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.57} \quad (3)$$

$$V_{95\%} = 139.625 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.61} \quad (4)$$

상기 식을 이용한 상단부 반단면터널과 하부반단면 터널의 이격거리별 지발당장약량은 Table 2, Table 3 과 같다.

**3.2 발파진동추정식에 의한 각 보안물건별 진동영향 예측**

대상구간의 진동영향 예측은 상·하반단면 터널로 구분하여 발파진동허용 수준(0.3cm/sec)을 기준하여 각 보안물건과 터널 상단부까지의 최소이격거리를 기

Table 2. A charge volume per delay time by the interval of a upper half section

폭원과 보안 물건간의 최소 이격거리(m)	Charge per Weights (Kg/Delays) - 0.3cm/sec 기준시		비 고
	$V_{95\%} = 278.293 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.607}$ (자승근)	$V_{95\%} = 377.294 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.73}$ (삼승근)	
10	0.020	0.004	
20	0.081	0.034	
30	0.182	0.114	
40	0.324	0.270	
50	0.507	0.527	
60	0.730	0.911	

Table 3. A charge volume per delay time by the interval of a down half section

폭원과 보안 물건간의 최소 이격거리(m)	Charge per Weights (Kg/Delays) - 0.3cm/sec 기준시		비 고
	$V_{95\%} = 115.771 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.57}$ (자승근)	$V_{95\%} = 139.625 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.61}$ (삼승근)	
10	0.051	0.011	
20	0.203	0.085	
30	0.456	0.289	
40	0.811	0.684	
50	1.268	1.336	
60	1.826	2.308	

준(상부반단면은 터널상단부, 하부반단면은 상부반단면 굴착높이 5.2m 추가)하였다.

검토결과, 진동크기 예측은 각 보안물건의 이격거리에 따라 상부반단면 기존 설계패턴 PD-2 구간 0.757~2.498cm/sec, PD-3 구간 0.594~2.201cm/sec, 하부반단면 터널은 PD-2 구간 0.524~1.452cm/sec, PD-3 구간 0.468~1.298cm/sec로 예측되어 설정된 허용기준치(0.3cm/sec)를 크게 상회하는 것으로 나타내었다(원앤비기술사사무소, 2008).

따라서 기존 설계패턴은 진동이 허용수준을 상회한 것으로 예측되어 각 보안물건과 터널과의 이격거리에 따라 발파진동을 저감할 수 있는 진동제어 굴착공법의 적용이 요구된다.

### 3.3 발파진동저감을 위한 굴착공법검토

#### 미진동 굴착공법 검토

진동크기의 예측결과, 발파공법의 적용이 어려운 경우에는 발파공해의 영향을 고려하여 발파공해가 허용수준 이내로서 적용할 수 있는 미진동굴착공법의 적용이 요구된다.

미진동 굴착공법은 암파쇄 과정이 상대적으로 발파공법에 비해 진동이 적게 발생하는 공법으로서 종류(브레이커, 비폭성파쇄제, 플라즈마, 할암공법 등)는 매우 다양하나 터널과 같이 단일 자유면 상태에서 적용될 수 있는 공법은 할암공법(DARDA, GNR, Bigger, HRS, Super wedge 등)들이 주로 적용된다. 그러나 유압력을 이용한 대부분의 할암공법은 유압을 이용하여 암반을 절개한 후, 브레이커나 리퍼에 의해 2차 파쇄를 수행하는 공법으로 발파공법에 비해 상대적으로 공사비가 매우 높고 공사기간도 증가한다는 단점이 있으나 발파공법의 적용이 불가한 경우에는 이들 공법의 부분적인 적용이 불가피하다(기경철과 김일중, 1999).

발파진동저감을 위한 단계별 진동제어발파공법의 검토 대상구간의 당초 발파패턴은 허용진동치를 초과한 것으로 예측된 바, 발파진동 저감을 위한 방법으로 발파원과 보안물건과의 이격거리에 따라 기존의 발파공법에 단계별로 진동을 제어할 수 있는 제어 발파공법으로 기계굴착 또는 특수굴착공법을 적용할 경우보다는 공사비가 훨씬 저렴하여 시공성과 경제성이 유리하도록 기존 설계에 적용되어있는 다단시차분할발파와 선대구경을 이용한 심발발파, 라이드릴링 천공

그리고 굴진장 축소에 따른 지발당 장약량을 최소화하는 방법 등을 검토하였다.

- 다단시차분할발파

회로시차 분할에 의한 지발당 장약량 분산으로 진동저감(기경철과 김일중, 1999)

- 선대구경 심발공법

터널발파의 심발부에 2자유면을 형성하여 진동감소 선대구경에 의한 진동저감 효율은 유사현장 적용사례 및 여러 차례의 시공경험으로부터 얻어지는데 선대구경 심발공법 적용시 15~50%(1공적용시 15%, 3공 적용시 30%, 4공적용시 40%), Line drilling공법 적용시 약 10~20%(1열시 10%, 2열시 20%)의 진동저감효과가 있는 것으로 알려지고 있다.(서울대학교 공학연구소, 2002)

- Line drilling

터널 최외곽 굴착선부 또는 터널발파시 진동이 가장 크게 발생하는 심발공 주변에 무장약공 형태로 천공하여 외부로 향하여 전파되는 발파진동을 차단하여 진동을 저감(기경철과 김일중, 1999)

- 굴진장 축소에 따른 지발당 장약량의 최소화

터널 발파굴착시 발파진동수준에 미치는 여러 가지 영향 인자 중에서 조절 가능한 발파 요소 한 가지가 지발당 최소장약량이며, 보안물건이 근접된 지역여건에서는 발파진동에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다(기경철과 김일중, 1999).

일반적으로 터널발파의 굴진장 설정은 대상구간 지반상태에 따른 보강타입을 기준하여 적용되나 대상구간과 같이 발파공해(진동, 소음 등) 예상지역에서는 이들 발파공해의 영향을 고려한 발파제원(천공장, 공간격, 저항선, 장약량 등)의 최소 지발당장약량을 기준하여 설정되며, 다단시차발파를 하는 경우 지발당 장약량은 공당 장약량과 동일하고, 일반적으로 적용되는 공당 장약량에 따른 굴진장은 Table 4와 같다.

### 3.4 발파진동저감을 위한 단계별 진동제어공법 조합의 검토

진동예측결과, 상단부 및 하단부 원설계 패턴(PD-2, PD-3)은 보안물건을 기준할 때, 진동의 크기가 허용수준을 상회하여 적용이 불가하다.

따라서 상기 언급한 바와 같이 진동저감을 위해 각

**Table 4.** An excavated length according to a charge volume per delay time

구 분	지발당 장약량에 따른 굴진장				
	2.0m	1.5m	1.2m	1.0m	0.8m
굴진장	2.0m	1.5m	1.2m	1.0m	0.8m
천공장	2.2m	1.65m	1.3m	1.1m	0.9m
지발당 공수	1공	1공	1공	1공	1공
지발당장약량	1.25kg	1.0kg	0.75kg	0.5kg	0.375kg

중 진동제어공법(다단시차에 의한 기폭, 라인천공, 선대구경 등)과 굴진장을 축소하는 발파패턴을 발파공법과 결부시켜 단계별로 적용할 수 있도록 TYPE을 분류 검토하였다.

단, 선대구경 4공과 라인드릴링 2열을 적용하는 상

-TYPE 17에 한해서는 다음의 16개 TYPE을 검토 후 필요한 구간이 발생하게 되면 검토하여 적용하도록 하였다.

발파진동제어를 위한 단계별 공법조합 분류

**Table 5.** An excavating-method compounding classification by step at a upper section of a tunnel

TYPE	공법 조합 내용
상-1-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(0.8m)
상-2-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(1.0m)
상-3-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(1.2m)
상-4-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(1.5m)
상-5-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(1공)+굴진장축소(0.8m)
상-6-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(1공)+굴진장축소(1.0m)
상-7-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(1공)+굴진장축소(1.2m)
상-8-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(1공)+굴진장축소(1.5m)
상-9-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+굴진장축소(0.8m)
상-10-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+굴진장축소(1.0m)
상-11-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+굴진장축소(1.2m)
상-12-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+굴진장축소(1.5m)
상-13-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+Line drilling(1열)+굴진장축소(0.8m)
상-14-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+Line drilling(1열)+굴진장축소(1.0m)
상-15-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+Line drilling(1열)+굴진장축소(1.2m)
상-16-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(3공)+Line drilling(1열)+굴진장축소(1.5m)
상-17-TYPE	•다단식 발파+선대구경 심발(4공)+Line drilling(2열)+굴진장축소(0.8m)
비고	•다단식 발파의 경우 지발당 공수를 1공으로 설정.

**Table 6.** An excavating-method compounding classification by step at a down section of a tunnel

TYPE	공법 조합 내용
하-1-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(0.8m)
하-2-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(1.0m)
하-3-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(1.2m)
하-4-TYPE	•다단식 발파+굴진장축소(1.5m)
하-5-TYPE	•다단식 발파+굴진장(2.0m, 다단회로증가시)
비고	•다단식 발파의 경우 지발당 공수를 1공으로 설정.

**3.5 조합단계별 진동제어공법의 예상진동과 허용수준 (0.3cm/sec)을 상회하지 않는 최단거리 검토**

조합단계 TYPE 별 이격거리에 따른 상단부 터널의 발파공법 적용은 설정된 진동허용수준 0.3cm/sec를 기준할 때, 발파원과 보안물건과의 27m 이상 이격되었을 때, 가능한 것으로 나타났으며, 이때 적용 가능한 발파공법은 단계별 조합에 의해 진동을 최대한으로 저감시킬 수 있는 상-17-TYPE(다단발파+선대구경(4공)+Line drilling(2열)+굴진장(0.8m))이다. 그러나 발파원과 보안물건과의 이격거리가 27m 이내 일 경우에는 상-17-TYPE(다단발파+선대구경(4공)+Line drilling(2열)+굴진장(0.8m))의 발파제원을 적용하되, 실 계측결과에 의해 굴진장을 더 축소시키거나 심폐기 부분에 라인드릴링 1열 추가하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

조합단계 TYPE 별 이격거리에 따른 하단부 터널의 발파공법 적용은 설정된 진동허용수준 0.3cm/sec를 기준할 때, 발파원과 보안물건과의 33m 이상 이격되었을 때, 가능한 것으로 나타났으며, 이때 적용 가능한 발파공법은 단계별 조합에 의해 진동을 최대한으로 저

감시킬 수 있는 하-1-TYPE(다단발파+굴진장(0.8 m))이다. 따라서 발파원과 보안물건과의 이격거리가 33m 이내 일 경우에는 실 계측결과에 의해 굴진장을 더 축소시키거나 브레이크에 의한 굴착공법을 적용하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

**3.6 대상 공사구간 발파구간별 발파공법 선정(제한)**

허용진동기준과 보안물건과의 이격거리에 따라 각 보안물건별로 진동제어 공법을 단계적으로 적용하기 위해 STA 위치별로 적용 가능한 진동제어발파공법의 조합과 지발당장약량(또는 굴진장)을 검토하였다.

단, 구간별로 지발당장약량을 기준으로 1~16TYPE 까지 단계별 진동제어공법을 적용하여 최적의 진동제어공법 조합과 지발당장약량을 13개 TYPE으로 선정하였으며, 27~35m의 이격거리에서 발파작업이 이루어져야 하는 경우에는 최대단계별 진동제어공법(굴진장 축소+선대구경 4공+라인천공 2열)을 적용하였다.

검토결과에 따른 전체 대상 공사구간 상·하단부에 대한 발파구간별 발파공법과 발파패턴의 영역을 선정(제한)하면 Table 9, Table 10, Fig 5, Fig 6과 같다.

**Table 7.** An investigation on the shortest distance within a permission level of an expected ground vibration at the upper half section of a tunnel

타입	이격거리	예상진동 (cm/s)	타입	이격거리	예상진동 (cm/s)
상-1-TYPE	45	0.296	상-10-TYPE	41	0.287
상-2-TYPE	50	0.297	상-11-TYPE	49	0.297
상-3-TYPE	61	0.299	상-12-TYPE	57	0.294
상-4-TYPE	71	0.295	상-13-TYPE	35	0.288
상-5-TYPE	41	0.295	상-14-TYPE	38	0.295
상-6-TYPE	45	0.299	상-15-TYPE	46	0.296
상-7-TYPE	56	0.291	상-16-TYPE	53	0.297
상-8-TYPE	64	0.296	상-17-TYPE	27	0.286
상-9-TYPE	37	0.291			

**Table 8.** An investigation on the shortest distance within a permission level of an expected ground vibration at the down half section of a tunnel

타입	이격거리	예상진동 (cmsec)	타입	이격거리	예상진동 (cmsec)
하-1-TYPE	33	0.296	하-4-TYPE	46	0.294
하-2-TYPE	37	0.287	하-5-TYPE	50	0.297
하-3-TYPE	42	0.291			

**Table 9.** A selection of an appropriate blasting method by blasting section at the upper half section of a tunnel

구분	원설계 패턴	선정공법			연장	공법 내용
		지발당 장약량	TYPE	발파패턴 명칭(재선정)		
43K 070~063	PD-6	0.375kg	상-13 TYPE	PD-6BH	7m	· 다단발파시차+선대구경(3공) +LineDrilling+굴진장축소(0.8m)
43K 063~060	PD-6	0.375kg	상-17 TYPE	PD-6AH	3m	· 다단발파시차+선대구경(4공) +LineDrilling(2열)+굴진장축소(0.8m)
43K 060~038	PD-3	0.375kg	상-17 TYPE	PD-3AH	22m	· 다단발파시차+선대구경(4공) +LineDrilling(2열)+굴진장축소(0.8m)
43K 038~031	PD-3	0.375kg	상-13 TYPE	PD-3BH	7m	· 다단발파시차+선대구경(3공) +LineDrilling+굴진장축소(0.8m)
43K 031~028	PD-3	0.5kg	상-14 TYPE	PD-3CH	3m	· 다단발파시차+선대구경(3공) LineDrilling+굴진장축소(1.0m)
43K 028~015	PD-3	0.375kg	상-13 TYPE	PD-3BH	13m	· 다단발파시차+선대구경(3공) +LineDrilling+굴진장축소(0.8m)
43K 015~000	PD-3	0.375kg	상-17 TYPE	PD-3AH	15m	· 다단발파시차+선대구경(4공) +LineDrilling(2열)+굴진장축소(0.8m)
43K 000~42K 985	PD-2	0.375kg	상-17 TYPE	PD-2AH	15m	· 다단발파시차+선대구경(4공) +LineDrilling(2열)+굴진장축소(0.8m)
42K 985~979	PD-2	0.375kg	상-13 TYPE	PD-2BH	6m	· 다단발파시차+선대구경(3공) +LineDrilling+굴진장축소(0.8m)
42K 979~966	PD-2	0.5kg	상-14 TYPE	PD-2CH	13m	· 다단발파시차+선대구경(3공) +LineDrilling+굴진장축소(1.0m)
42K 966~957	PD-2	0.75kg	상-15 TYPE	PD-2DH	9m	· 다단발파시차+선대구경(3공) +LineDrilling+굴진장축소(1.2m)
42K 957~923	PD-2	1.0kg	상-16 TYPE	PD-2EH	34m	· 다단발파시차+선대구경(3공) +LineDrilling+굴진장축소(1.5m)
42K 923~	PD-2	1.25kg	PD2	PD2	-	· 원설계패턴(전단면)+다단회로증가, 굴진장2m

**Table 10.** A selection of an appropriate blasting method by blasting section at the upper half section of a tunnel

구분	원설계 패턴	선정공법			연장	공법 내용
		지발당 장약량	TYPE	발파패턴 명칭(재선정)		
43K 070~066	PD-6	0.5kg	하-2 TYPE	PD-6BL	4m	· 다단발파시차+굴진장축소(1.0m)
43K 066~060	PD-6	0.375kg	하-1 TYPE	PD-6AL	6m	· 다단발파시차+굴진장축소(0.8m)
43K 060~035	PD-3	0.375kg	하-1 TYPE	PD-3AL	25m	· 다단발파시차+굴진장축소(0.8m)
43K 035~027	PD-3	0.5kg	하-2 TYPE	PD-3BL	8m	· 다단발파시차+굴진장축소(1.0m)
43K 027~000	PD-3	0.375kg	하-1 TYPE	PD-3AL	27m	· 다단발파시차+굴진장축소(0.8m)
43K 000~42K 986	PD-2	0.375kg	하-1 TYPE	PD-2AL	14m	· 다단발파시차+굴진장축소(0.8m)
42K 986~976	PD-2	0.5kg	하-2 TYPE	PD-2BL	10m	· 다단발파시차+굴진장축소(1.0m)
42K 976~969	PD-2	0.75kg	하-3 TYPE	PD-2CL	7m	· 다단발파시차+굴진장축소(1.2m)
42K 969~963	PD-2	1.0kg	하-4 TYPE	PD-2DL	6m	· 다단발파시차+굴진장축소(1.5m)
42K 963~923	PD-2	1.25kg	하-5 TYPE	PD-2EL	40m	· 다단발파시차+굴진장2m
42K 923~	PD-2	1.25kg	PD2	PD2	-	· 원설계패턴(전단면)+다단회로증가, 굴진장2m

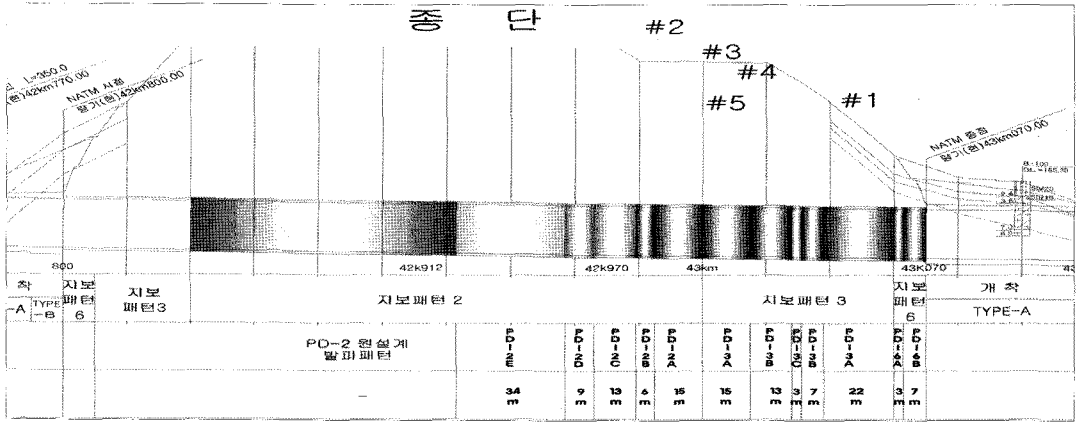


Fig. 5. The blasting pattern by a blasting section at the upper half section of a tunnel (a cross-section).

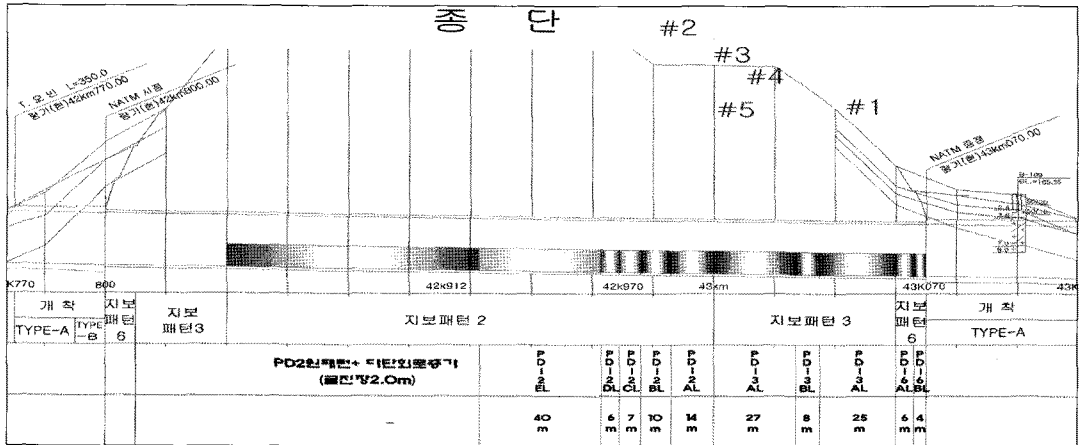


Fig. 6. The blasting pattern by a blasting section at the down half section of a tunnel (a cross-section).

#### 4. 결론

본 발파시공사례는 터널노선 상단부에 위치한 보안물건 근접통과 구간에서 진동저감을 위해 기존의 발파공법과 결부시켜 진동을 제어할 수 있는 방법들을 단계적으로 조합하여 터널을 통과한 사례로서 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 시험발파는 상, 하단 터널로 분리하여 수행하였으며, 다수의 계측자료를 회귀분석하여 신뢰도 95% 구간의 발파진동추정식과 이격거리에 따른 지발당장약량을 산출하였다.
- 2) 도출된 발파진동추정식에 의한 각 보안물건의 진동예측결과, 상단부 터널 PD-2 구간이 0.757~

2.498cm/sec, PD-3 구간 0.594~2.201cm/sec, 하단부터널 PD-2구간 0.524~1.452 cm/sec, PD-3구간 0.468~1.298cm/sec로 당초 설계패턴의 적용은 불가한 것으로 예측되었다.

- 3) 발파진동저감을 위한 굴착공법은 시공성과 경제성을 감안하여 기존의 발파공법과 결부시킬 수 있는 방법으로 다단시차분할발파, 선대구경에 의한 심빼기, 라인드릴링 천공 등과 굴진장 축소에 따른 지발당장약량을 최소화하는 방법으로 검토 선정하였다.
- 4) 조합단계별 진동제어공법의 적용은 이격거리에 따른 지발당장약량과 진동허용수준을 기준하여 1단계부터 17단계별로 진동제어 방법들을 조합하여 적용하였다.



따라서 시공에 대한 적용성은 발파방법이나 지반조건 등에 따라 진동 저감에는 다소의 차이는 있을 것으로 사료되나 유사조건의 현장 적용은 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 기경철, 김일중 편저, 1999, 산화인을 위한 발파공학, 기공사, pp.258-264, pp.281-284.
2. 서울대학교 공학연구소, 2002, 선 대구경 수평보링공을 이용한 터널발파공법에 관한 연구 중간보고서 pp.27.
3. 한국철도시설공단, 2004, 중앙선(덕소~원주간) 5공구 노반공사 실시설계보고서(발파패턴, 장약표 등).



**원 연 호**

원앤비 기술사사무소 대표

Tel : 031)487-1271  
E-mail : won1407@hanmail.net



**강 추 원**

조선대학교 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7117  
E-mail : cwkang@chosun.mail.ac.kr



**김 중 인**

인발파환경기술사사무소 대표

Tel : 062)603-3945  
E-mail:nam4tin@nate.com