

인접구조물 하부통과에 따른 굴착공법에 대한 고찰

김태현¹⁾, 고진석²⁾, 조영동¹⁾

A Study on Excavation Method According to Passage under Adjacent Structure

Tai-Hyun Kim, Chin-Surk Ko and Young-Dong Cho

Abstract : This study is based on the research about center track(Dugso~Wonju) double line electric railway tunnel. Authors conducted test blasting to examine the effect of blasting pollution . To be conducted safe and effective work by using this result studies suitable substitution excavation method. No-vibration section generates continuously the vibration of breaker working to go abreast necessarily secondary fragmentation working and according to judging that application is actually difficult in case of the condition of study site, the period of construction, the cost of construction, the efficiency of construction, pre-heavy caliber horizontally boring working + line drilling method + vibration control secondary blasting method excavation working is possible from level within blast vibration standard.

Key words : substitution excavation method, blast vibration

초록 : 본 연구는 중앙선(덕소~원주간) 복선전철 터널공사를 기점으로 한 것으로 주변 보안물건에 대한 피해가 발생되지 않도록 시험발파를 통한 발파 환경영향권 분석을 실시하고, 그 결과를 상호 비교, 분석하여 안전하고 효율적인 공사가 수행될 수 있도록 적합한 대체 굴착공법의 적용에 대하여 연구하였다.

시험발파를 통해 제시된 대체굴착공법을 이용하여 더 안전하고 효과적인 작업을 수행할 수 있었으며, 무진동 구간은 일반적으로 2차 작업이 병행되므로 breaker 작업에 의한 진동이 지속적으로 발생되어 연구지역의 경우 적용이 사실상 어렵다고 판단됨에 따라 선대구경 수평보링 공법+라인드릴링 공법+다분할 미진동 소발파 공법을 적용함으로써 발파진동 기준치 이내의 수준으로 굴착작업이 가능하였다.

핵심어 : 대체 굴착공법, 발파진동

1. 개요

최근 지하공간은 주거문화시설, 통신 및 교통시설, 각종산업시설, 에너지관련 저장시설 그리고 군사기지 방어시설 등의 용도로 그 활용이 증가되는 추세이다.

일반적으로 지하공간을 개발하기 위해서는 암반을 굴착해야 하며 그 수단으로 화약에 의한 발파공법이 옛부터 널리 이용되고 있다. 그러나 발파공법 채택시 유의해야 할 사항은 시공의 효율성과 환경오염원 저감에 의한 민원방지를 들 수 있다. 즉, 첫째는 굴진장을 증대하는 것이며, 둘째는 발파에 의한 지반의 진동, 소음 및 분진을 저감시키

는 것이다. 그러나 이 두 가지는 서로 상반되는 관계로서 굴진장을 증대시키면 지반진동 및 소음이 커지고, 반대로 진동 및 소음을 저감시키면 굴진장이 감소되는 경향을 보인다.

따라서, 지하철의 건설 등 도심지나 주요 시설물에 인접된 곳에서의 발파작업은 굴진장보다는 환경오염원의 저감에 일차적인 목표를 두고 발파작업을 실시해 왔다.³⁻⁷⁾

본 연구는 중앙선(덕소~원주간) 복선전철 건설공사 중 팔당터널의 노선 굴착예정구간(STA.24K+060) 직상부(약 17m) 지점에 위치한 개인박물관의 발파공해 피해가 예상되므로 위 구조물과 소장중인 골동품 및 주변 보안물건에 대한 피해가 발생되지 않도록 시험발파를 통한 발파 환경영향권 분석을 실시하고, 그 결과를 상호 비교, 분석하여 안전하고 효율적인 공사가 수행될 수 있도록 적합한 굴착공법 적용에 대하여 연구하였다.

1) (주)무진네오테크

2) 조선대학교 자원공학과

접수일 : 2005년 3월 14일

2. 지형 및 지질

2.1 지형 및 지질분포

본 지역은 경기도 남양주시 와부읍 팔당리 일원으로서 북동쪽의 예봉산(697m)을 최고봉으로 그 남쪽으로는 직녀봉(590m)을 잇는 북북서 방향의 능선이 우세하며, 대부분의 능선은 편암 및 규암으로 구성되어 있고, 상대적으로 편마암은 저지대를 형성하고 있다. 이러한 지형적 암석의 분포 특성은 편마암의 낮은 풍화저항도 뿐만 아니라 습곡 구조와 관련이 있는 것으로 판단되며, 지형학적으로 배사축부는 계곡부, 향사 축부는 능선부를 형성하는 것으로 알려져 있다.

3. 측정 및 분석

시험발파는 4차에 걸쳐 실시하였으며, 계측은 보안물건 4곳 외에 현장내 3개소에서 실시하였다. 자료 분석은 발파위치 및 지발당 장약량의 증감에 따라 진동속도의 변화를 관찰하고자 구간별 발파 패턴을 적용하여 각 계측 위치별로 계측한 자료 중 신뢰성이 높은 자료만을 사용하였다.^{2,6,7)}

Table 1은 시험발파위치와 보안물건간의 최소이격거리를 나타낸 것이며, Fig.1은 시험발파 위치와 보안물건(개인박물관)의 위치를 나타낸 것이다.

Table 1. The minimum distance between blast site and safety thing

구분	보안물건	횟수	최소 이격거리
1	개인 박물관	1차	214.04m
		2차	193.96m
		3차	191.48m
		4차	188.19m
2	개인 박물관 신축부지	1차	204.91m
		2차	185.11m
		3차	182.81m
		4차	179.62m
3	예봉산장	1차	245.13m
		2차	225.22m
		3차	223.83m
		4차	219.63m
4	민가	1차	191.23m
		2차	172.21m
		3차	169.85m
		4차	166.81m

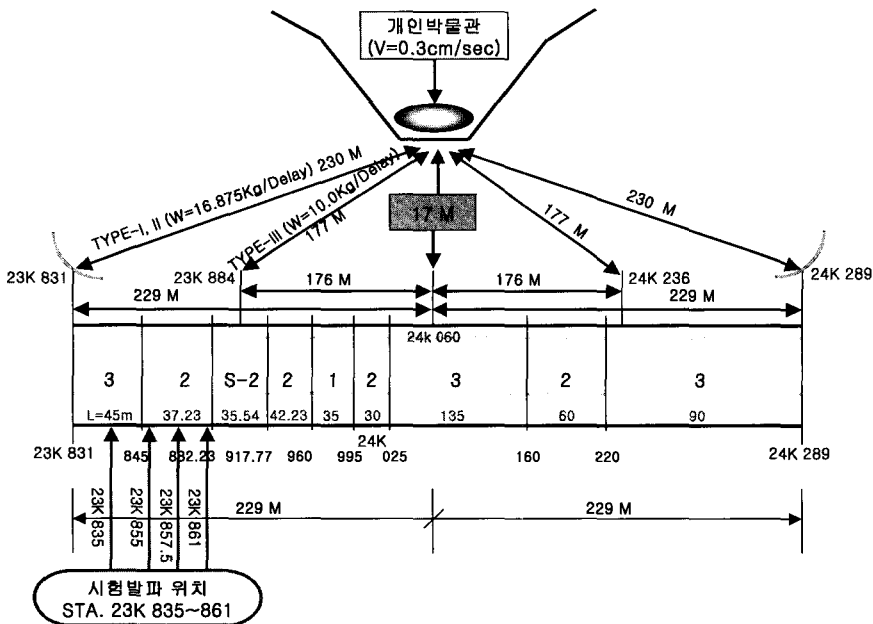


Fig. 1. Interval distance between blast site and safety thing.

3.1 발파진동의 측정 결과

시험발파를 실시하여 각 보안물건에서 계측을 실시한 결과 Table 2와 같은 진동 및 소음이 측정되었다.

3.2 자료 분석

본 연구지역에서 시험발파를 통해 측정된 30개

의 자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 측정 자료의 회귀분석에 의해 입지상수 K, n을 구하기 위해 최대진동속도와 환산거리의 log-log1차 상관관계를 이용하여 전산처리 하였으며, 이때 최대진동속도는 접선, 진행 및 수직방향의 성분을 합성한 실벡터 값(P.V.S)을 적용하였다. K는 입지상수, n은 감쇠지수, SD는 환산거리, coefficient of

Table 2. Result of blast vibration and noise monitoring

구간	지발당최대장약량 (kg/delay)		이격거리 (m)	P.V.S (cm/sec)	소음 dB(A)	계측위치	구간	지발당최대장약량 (kg/delay)		이격거리 (m)	P.V.S (cm/sec)	소음 dB(A)	계측위치
	심발부	확대부						심발부	확대부				
STA. 23K+835	심발부	6	51.23	1.17	-	터널 직상부	STA. 23K+855	심발부	7.5	55.5	1.70	-	터널 직상부
	확대부	7.5						확대부	16.875				
	심발부	6	120	0.624	-	자유장		심발부	7.5	140	0.202	-	자유장
	확대부	7.5						확대부	16.875				
	심발부	6	150	0.183	-	자유장		심발부	7.5	170	0.135	-	자유장
	확대부	7.5						확대부	16.875				
	심발부	6	214.04	0.0381	62.0	개인 박물관		심발부	7.5	193.96	0.0508	57.4	개인 박물관
	확대부	7.5						확대부	16.875				
	심발부	6	204.91	0.0508	57.0	개인박물관 신축부지		심발부	7.5	185.11	0.0651	56.4	개인박물관 신축부지
	확대부	7.5						확대부	16.875				
심발부	6	245.13	0.0222	53.2	예봉산장	심발부	7.5	225.22	0.0238	51.2	예봉산장		
확대부	7.5					확대부	16.875						
심발부	6	191.23	0.0778	56.8	민가	심발부	7.5	172.21	0.268	67.6	민가		
확대부	7.5					확대부	16.875						

구간	지발당 최대장약량 (kg/delay)		이격거리 (m)	P.V.S (cm/sec)	소음 dB(A)	계측위치	구간	지발당 최대장약량 (kg/delay)		이격거리 (m)	P.V.S (cm/sec)	소음 dB(A)	계측위치
	심발부	확대부						심발부	확대부				
STA. 23K+857.5	심발부	7.5	56.08	1.94	-	터널 직상부	STA. 23K+861	심발부	7.5	61.56	0.559	-	터널 직상부
	확대부	16.875						확대부	16.875				
	심발부	7.5	142.5	0.287	-	자유장		심발부	7.5	146	0.276	-	자유장
	확대부	16.875						확대부	16.875				
	심발부	7.5	172.5	0.146	-	자유장		심발부	7.5	176	0.198	-	자유장
	확대부	16.875						확대부	16.875				
	심발부	7.5	192.5	0.105	-	자유장		심발부	7.5	216	0.0968	-	자유장
	확대부	16.875						확대부	16.875				
	심발부	7.5	191.48	0.0635	56.8	개인박물관		심발부	7.5	188.19	0.0857	55.8	개인박물관
	확대부	16.875						확대부	16.875				
심발부	7.5	182.81	0.0841	59.8	개인박물관 신축부지	심발부	7.5	179.62	0.0730	61.0	개인박물관 신축부지		
확대부	16.875					확대부	16.875						
심발부	7.5	223.83	0.0286	52.4	예봉산장	심발부	7.5	219.63	0.0381	54.6	예봉산장		
확대부	16.875					확대부	16.875						
심발부	7.5	169.85	0.221	73.8	민가	심발부	7.5	166.81	0.130	74.6	민가		
확대부	16.875					확대부	16.875						

※ P.V.S. = peak vector sum

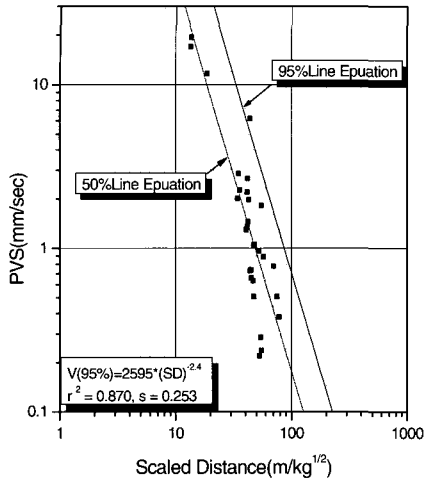


Fig. 2. Relation of square root scale distance and vibration velocity.

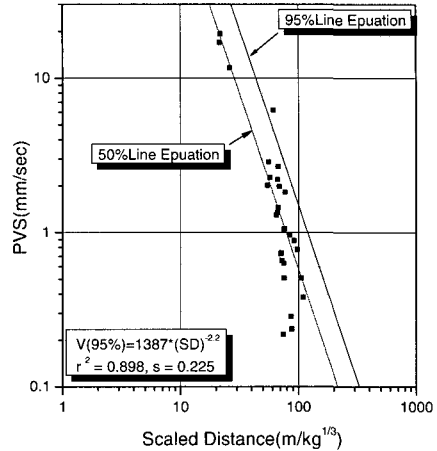


Fig. 3. Relation of cube root scale distance and vibration velocity.

determination(r^2)은 결정계수이며, standard deviation(s)은 표준편차이다.

본 연구지역에서는 인근 보안물건(개인 박물관)을 고려하여 최대허용진동속도(0.3cm/sec)를 적용하여 자승근 환산거리 및 삼승근 환산거리에 따른

발파진동속도를 Fig. 2, 3에 각각 나타내었다.¹⁾

회귀분석 결과 안전문제를 고려하여 연구지역에서 95% 신뢰도의 발파진동에상식은 다음과 같이 결정되었다.

$$V = 2595 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-2.4} \quad r^2 = 0.870$$

$$V = 1387 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-2.2} \quad r^2 = 0.898$$

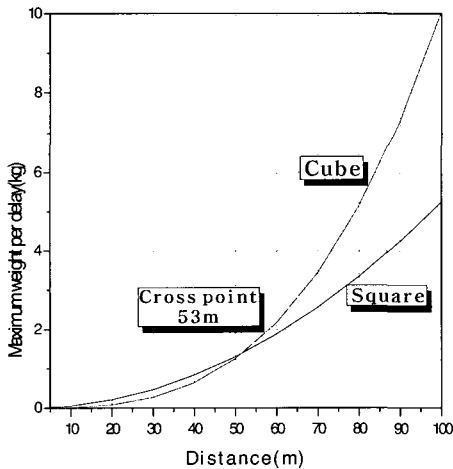


Fig. 4. Relation of distance and charge weight per delay(0.3cm/sec).

연구지역 주변의 보안물건에 피해를 발생시키지 않는 지발당 최대허용장약량의 산출을 위해 지반진동 계측자료를 근거로 신뢰구간을 부여한 자승근 환산식과 삼승근 환산식을 도출하고, 안전한 진동치를 설정하여 노모그램을 작성한 후 교차점을 상호 비교, 검토하여 지발당 최대허용장약량을 결정하였다.

회귀분석 결과 본 연구지역의 안전성을 고려하여 허용진동기준치를 0.3cm/sec로 하였을 경우 Fig. 4와 같이 53m이내의 거리에서는 삼승근 환산거리를 적용하고, 53m이상의 거리에서는 자승근 환산거리를 적용하여 발파작업이 이루어져야 한다.

4. 예상진동식에 의한 비교 평가

발파공해에 의한 영향평가를 하기 위해 당초 설계식과 시험발파 예상진동식을 Table 3에 나타내었으며, 이 발파진동예상식을 통해 거리별 지발당 허용장약량이 Table 4에 제시되었다.

Table 3. Blast expect vibration equation

구분	자승근 환산식	삼승근 환산식
설계 적용식	$V=83.69(SD)^{1.5}$	$V=83.69(SD)^{1.5}$
시험 발파식	$V=2595(SD)^{2.4}$	$V=1387(SD)^{2.2}$

Table 4. Comparison of allowable charge weight per delay by distance

지발당장약량 (kg/delay)		거리 (m)	지발당장약량 (kg/delay)	
SRSD			CRSD	
설계식	시험 발파식		설계식	시험 발파식
0.055	0.052	10	0.013	0.010
0.219	0.210	20	0.103	0.080
0.494	0.471	30	0.347	0.271
0.878	0.838	40	0.822	0.643
1.372	1.309	50	1.606	1.257
1.975	1.886	60	2.776	2.172
2.688	2.567	70	4.407	3.448
3.511	3.352	80	6.579	5.148
4.444	4.243	90	9.367	7.329
5.486	5.238	100	12.850	10.054
7.900	7.543	120	22.204	17.373
10.753	10.266	140	35.260	27.588
14.044	13.409	160	52.633	41.181
17.775	16.971	180	74.940	58.634
21.944	20.951	200	102.798	80.431
26.553	25.351	220	136.824	107.054
31.600	30.170	240	177.635	138.985
37.086	35.408	260	225.848	176.707
43.011	41.065	280	282.078	220.703
49.375	47.141	300	346.808	271.455

Table 3의 설계 진동식과 시험발파 예상진동식을 적용하여 Table 5와 같은 진동치를 예상할 수 있었으며, 허용진동치 0.3cm/sec미만은 발파 가능 구간이며, 그 이상은 발파 불가능 구간이다.

Table 5. Expected vibration velocity by distance

구분 거리	발파진동(cm/sec)					
	설계식			시험발파식		
	T-1	T-2	T-3	T-1	T-2	T-3
50	1.97	1.97	1.33	1.97	1.97	1.35
60	1.50	1.50	1.01	1.32	1.32	0.90
70	1.19	1.19	0.80	0.94	0.94	0.64
80	0.97	0.97	0.66	0.70	0.70	0.48
90	0.82	0.82	0.55	0.54	0.54	0.37
100	0.70	0.70	0.47	0.43	0.43	0.29
120	0.53	0.53	0.36	0.29	0.29	0.20
140	0.42	0.42	0.28	0.20	0.20	0.14
160	0.34	0.34	0.23	0.15	0.15	0.10
180	0.29	0.29	0.19	0.12	0.12	0.08
200	0.25	0.25	0.17	0.09	0.09	0.06
220	0.21	0.21	0.14	0.08	0.08	0.05
240	0.19	0.19	0.13	0.06	0.06	0.04
260	0.17	0.17	0.11	0.05	0.05	0.04
280	0.15	0.15	0.10	0.04	0.04	0.03
300	0.13	0.13	0.09	0.04	0.04	0.03

- : 발파 불가능 구간
- Pattern 별 최대 지발당 장약량
 T-1 : 16.875kg/delay
 T-2 : 16.875kg/delay
 T-3 : 10.0kg/delay

5. 설계 및 대체 굴착공법

설계 굴착공법의 발파패턴(일반 발파패턴)과 대체 굴착공법의 발파패턴을 구별하기 위해 설계 굴착공법의 발파패턴은 TYPE-1(T-1), TYPE-2(T-2), TYPE-3(T-3)이라 하고, 대체 굴착공법의 발파패턴은 Pattern-1(P-1), Pattern-2(P-2), Pattern-3(P-3)으로 나타냈으며, Table 6은 설계 굴착공법의 제원을 나타낸 것으로 시험발파시 이를 적용하였다.⁸⁾

Table 6. Resource of design blast pattern

발파 패턴	굴착 공법	굴착 단면적 (m ³)	굴진장 (m)	화약량 (kg)	지발당 장약량 (kg)	비장 약량 (kg/m ³)
T-1	전단면	84.493	3.5	352.966	16.875	1.194
T-2	전단면	84.493	3.5	326.966	16.875	1.106
T-3	전단면	85.203	2.0	172.45	10.0	1.012

시험발파 분석 결과에 의한 대체 굴착공법의 제원은 Table 7에 나타내었다.

5.1 무진동 구간의 굴착공법

무진동 굴착구간의 유압식 할암기에 의한 굴착 작업은 반드시 breaker에 의한 2차 파쇄 작업이

병행되므로 굴삭 장비의 연속 진동이 지속적으로 발생되며, 현장 여건 및 공기, 공사비, 효율성 등을 고려한다면 적용이 사실상 어렵다고 판단된다. 반면에 무진동 공법의 대체 공법으로 선대구경 수평 보링 공법+라인드릴링 공법+다분할 미진동 소발파 공법을 적용함으로써 다수공의 선대구경을 천공하면 거대한 횡방향의 2자유면이형성되어 자유면의 효과를 증대시키고 발파의 파괴 중심을 선대구경(무장약공=자유면)에 유도하여 자유면 효과와 함께 다분할 미진동 소발파(1회발파/5공이하)공법을 조합 할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 자중에 의한 파괴를 유도시키고 지반 진동을 극소화하여 무진동 굴착 수준으로 굴착이 가능할 것으로 사료되어 본 공법을 무진동 구간에 적용하였다.^{3,4)}

Table 7. Resource of Substitution blasting pattern(Sequential blasting method)

발파 패턴	굴착 공법		굴착 단면적 (m ³)	굴진장 (m)	화약량 (kg)	지발당 장약량 (kg)	비장약량 (kg/m ³)	
P-1	상·하반단면 굴진장축소(L=2.0m)	상반	53.757	2.0	138.063	2.625	1.284	
		하반	30.731	2.0	63.475	2.625	1.033	
	상·하반단면 굴진장축소(L=1.5m)	상반	53.757	1.5	91.1625	1.875	1.131	
		하반	30.731	1.5	43.575	1.125	0.945	
	상·하반단면굴진장축소+ 선진도갱(L=1.5m)	상반	1차	11.707	1.5	25.125	1.875	1.431
			2차	42.050	1.5	60.4125	1.125	0.958
하반		30.731	1.5	43.575	1.125	0.945		
P-2	전단면굴착		전단면	84.493	3.5	319.8	6.75	1.081
	상·하반단면	상반	53.757	3.5	244.5	3.75	1.300	
		하반	30.731	3.5	122.025	3.75	1.135	
	상·하반단면 굴진장 축소 (L=1.0m)	상반	53.757	1.0	69.6	1.125	1.295	
		하반	30.731	1.0	32.7	1.125	1.064	
	상·하반단면 굴진장축소+선진도갱(L=0.8)	상반	1차	8.939	0.8	11.0625	0.75	1.547
			2차	44.818	0.8	40.6375	0.75	1.133
		하반		30.731	0.8	28.5375	0.75	1.161
P-3		상·하반단면 굴진장축소(L=2.0m)	상반	54.309	2.0	121	1.95	1.114
	하반		30.889	2.0	51.1	2.50	0.827	
	상·하반단면 굴진장축소(L=1.5m)	상반	54.309	1.5	84.975	1.5	1.043	
		하반	30.889	1.5	40.7	1.5	0.878	
	상·하반단면 굴진장 축소 (L=1.0m)	상반	54.309	1.0	63.475	1.0	1.169	
		하반	30.889	1.0	30.7	1.0	0.994	
상·하반단면 굴진장축소+선진도갱(L=0.8)	상반	1차	8.939	0.8	10.25	0.75	1.433	
		2차	45.370	0.8	37.45	0.75	1.032	
	하반		30.889	0.8	26.85	0.75	1.087	

6. 설계 및 대체 굴착 공법의 비교

시험발파 결과 도출된 예상진동식에 의한발파공해 영향권 분석을 실시하여 대체 굴착공법을 제시하였으며, 설계 굴착공법과 비교, 분석하였다. 라인드릴링(L/D)공법 적용시 진동감쇄율을 20% 적

용하여 예상진동치를 산정하였다.⁹⁾

설계공법 예상진동치는 시험발파에 의한 발파진동식에 Table 6을 적용하고, 대체공법 예상진동치는 Table 7을 적용하여 진동치를 결정하였으며, 그 결과를 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Comparison of expect blast vibration

	설계공법	예상진동치 (cm/sec)	이격거리 (m)		설계공법	예상진동치 (cm/sec)
T-1	일반발파공법(전단면) L=3.5m	0.997	84.0	P-1	상·하 반단면 다단식 발파공법 L=2.0m(굴진장 하향조정)	0.199
	일반발파공법(전단면) L=3.5m	1.283	71.0		상·하 반단면 다단식 발파공법 L=1.5m(굴진장 하향조정)	0.199
	일반발파공법(전단면) L=3.5m	1.393	67.2		상·하 반단면 다단식 발파공법 L=1.5m(굴진장향조정+선진 도갱공법)	0.182
T-2	일반발파공법(전단면) L=3.5m	1.577	58.0	P-2	상·하 반단면 다단식 발파공법 L=1.0m(굴진장 하향조정)	0.200
	일반발파공법(전단면) L=3.5m	2.233	46.0		상·하 반단면 다단식 발파공법 L=2.0m(굴진장 하향조정+선진도갱공법)	0.198
	일반발파공법(전단면) L=3.5m	2.872	38.9		무진동 굴착	-
T-3	일반발파공법(전단면) L=2.0m	6.714	17.0	P-3	무진동 굴착	-
	일반발파공법(전단면) L=2.0m	1.508	46.0		상·하 반단면 다단식 발파공법 L=0.8m(굴진장 하향조정+선진도갱공법)	0.198
	일반발파공법(전단면) L=2.0m	1.123	56.0		상·하 반단면 단식발파공법 L=1.0m(굴진장 하향조정)	0.198
	일반발파공법(전단면) L=2.0m	0.919	64.0		상·하 반단면다단식발파공법 L=1.5m(굴진장 하향조정)	0.198

7. 대체 굴착공법의 적용결과

결과를 Table 9에 나타내었다.

대체 굴착공법의 적용시 발파진동 및 소음 계측 결과
 구간별 최대발파진동은 P-1이 0.179~.211, P-2가 0.211~0.284, P-3이 0.148~0.298cm/sec, 무진

Table 9. Result of blast vibration and noise monitoring

발파패턴	굴착공법	적용구간	측정data		이격거리 (m)	측정위치	발파패턴	굴착공법	적용구간	측정data		이격거리 (m)	측정위치
			진동치 (cm/sec)	소음 dB (A)						진동치 (cm/sec)	소음 dB (A)		
P-1	전단면 (다단)굴착	23K965.2	0.211	70.2	84.0	터널 직상부	상하반단면 (선대구경 +미진동 다분할 소발파) 굴착	24K077.9	0.219	70.8	17	터널 직상부	
		23K975.7	0.179	71.6					0.257	75.2			
	전단면 (다단+LD) 굴착	23K986.2	0.243	69.6	71.0			0.235	67.2				
		23K992.2	0.092	75.8	67.2			24K079.9	0.271	76.8			
P-2	상하반단면 (다단)굴착	24K002.2	0.222	77.8	58.0	터널 직상부	24K080.9	0.202	76.0				
		24K008.2	0.176	81.4	46.0			0.205	76.2				
		24K023.7	0.284	76.0	38.9								
P-3	상하반단면 (다단선진 도갱+LD) 굴착	24K032.4	0.289	83.6	17.0	터널 직상부	P-3	상하반단면 (다단)굴착	24K085.4	0.271	78.8	17	터널 직상부
		24K033.2	0.289	70.4					0.267	63.2	예봉산장		
		24K035.6	0.297	76.0					24K086.2	0.279	78.0		터널 직상부
	상하반단면 (선대구경 +미진동 다분할 소발파) 굴착	24K037.9	0.249	73.2	17.0	터널 직상부		24K087.0	0.211	81.0	17	예봉산장	
		24K039.4	0.246	71.4				24K087.8	0.152	78.0		터널 직상부	
		24K039.4	0.243	72.2				0.148	60.4	예봉산장			
		24K039.4	0.297	71.2				24K089.4	0.200	78.4		터널 직상부	
		24K047.9	0.222	68.8				0.192	63.2	예봉산장			
		24K047.9	0.298	72.0				24K090.2	0.227	78.8		터널 직상부	
		24K048.9	0.268	73.8				24K092.6	0.176	66.6		예봉산장	
		24K048.9	0.257	77.0				24K093.4	0.286	78.0		터널 직상부	
		24K049.9	0.210	75.2				24K094.2	0.256	75.4		예봉산장	
		24K050.9	0.191	69.2				24K098.0	0.297	76.0		터널 직상부	
		24K050.9	0.256	69.8				24K102.5	0.238	74.8		예봉산장	
		24K051.9	0.230	71.8				0.254	65.4	터널 직상부			
		24K052.9	0.241	73.8				24K104.0	0.243	72.0		예봉산장	
		24K053.9	0.192	76.6				0.200	75.2	터널 직상부			
		24K053.9	0.186	75.6				0.229	66.6	예봉산장			
		24K054.9	0.237	76.4				24K107.0	0.260	71.8		46.0	터널 직상부
		24K054.9	0.244	76.8									
		24K055.9	0.298	65.0				24K110.0	0.210	64.4		46.0	예봉산장
	24K056.9	0.278	68.4	0.197	73.8								
	24K056.9	0.297	67.4	24K111.5	0.246	74.4		46.0	터널 직상부				
	24K057.9	0.262	64.0		0.203	64.5							
24K057.9	0.233	72.4	24K113.0	0.178	74.4	46.0	예봉산장						
24K057.9	0.257	76.6		0.289	83.6								
24K058.9	0.241	75.2	24K116.0	0.246	75.8	46.0	터널 직상부						
24K059.9	0.278	66.4		0.237	73.4								
24K059.9	0.264	64.6	24K117.5	0.243	72.8	46.0	터널 직상부						
24K060.9	0.237	65.8		0.151	78.4								
24K060.9	0.210	77.4	24K119.0	0.273	76.6	56.0	터널 직상부						
24K061.9	0.237	65.8		0.273	76.6								
24K062.9	0.286	76.4	24K122.0	0.197	69.6	24K123.5	0.197	69.6					
24K063.9	0.286	75.4	24K125.0	0.273	76.6	24K125.0	0.273	76.6					
24K063.9	0.257	69.8											
24K066.9	0.287	72.6											

동구간은 0.284~0.298cm/sec로 발파진동 허용기준치(0.3cm/sec)를 초과하지 않으며, 소음은 P-1이 69.6~75.8, P-2가 76.0~81.4, P-3이 60.4~83.6dB(A)로 일반적인 건설현장 생활, 소음 규제기준에 의거한 70dB(A)에 1일 2시간이내 작업에 대한 보정치 10dB(A)을 합한 80dB(A)을 초과하는 경우가 발생하긴 했으나 대체적으로 기준치 이내의 소음이 발생하였다.

9. 결 론

본 연구는 『중앙선 복선화 건설공사(판당터널) NATM 구간(STA.23K+831~STA.24K+289.1)의 노선 중 굴착예정구간 계획고(STA.24K+060)의 직상부(약17m)에 개인박물관이 위치하고 있어 터널발파에 따른 발파공해가 예상됨에 따라 시험발파를 시행하여 측정된 자료를 회귀분석 함으로써 발파진동식을 도출하였으며, 발파 환경 영향권 분석에 따른 대체 굴착공법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구지역의 시험발파에 의한 예상 발파진동식은 다음과 같다.

$$V = 2595 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{2.4} \quad r^2 = 0.870$$

$$V = 1387 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{2.2} \quad r^2 = 0.898$$

위 식은 95%의 신뢰도를 갖는 식으로 K값은 자승근이 2595, 삼승근이 1387로 나타났으며, n값은 각각 -2.4, -2.2, 결정계수 (r^2)는 각각 0.870, 0.898로 나타났다.

2. 대체 굴착공법 적용결과 구간별 최대발파진동은 P-1이 0.179~0.211, P-2가 0.211~0.284, P-3이 0.148~0.298cm/sec, 무진동구간은 0.284~0.298cm/sec로 발파진동 허용기준치(0.3cm/sec)를 초과하지 않았으며, 소음은 P-1이 69.6~75.8, P-2가 76.0~81.4, P-3이 60.4~83.6dB(A)로 일반적인 건설현장 생활, 소음 규제기준에 의거한 70dB(A)에 1일 2시간이내 작업에 대한 보정치 10dB(A)을 합한 80dB(A)을 초과하는 경우가 발생하므로 이에 대한 소음감소 방안을 강구해야 한다.

3. 무진동 구간의 유압식 활암기에 의한 굴착작업은 반드시 2차 파쇄 작업이 병행되므로 breaker 작업에 의한 진동이 지속적으로 발생되며, 현장 여건 및 공기,공사비, 효율성 등을 고려한다면 적용이 사실상 어렵다고 판단됨에 따라 선대구경 수평보링공법+라인드릴링 공법+다분할 미진동 소발파 공법을 적용함으로써 발파진동 기준치(0.3cm/sec) 이내의 수준에서 굴착작업이 가능하였다.

4. 향후 발파 영향분석에 의거한 터널 굴착공법 적용시 전단면 굴착, 상·하 반단면 굴착, 선진도갱 공법, 선대구경 수평보링공법, 다분할 소발파공법 등의 단독 및 혼합공법별 발파진동 및 소음의 전파특성에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Bollinger, G.A., 1980, Blast vibration analysis, Southern Illinois University Press.
2. Dowding, C. H., 1984, Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, NJ.
3. 한국토지개발공사, 1993, 암발파 설계기법에 관한 연구, 한국토지개발 공사.
4. 강대우, 심동수 편역, 1995, 응용발파기술, 구미서관, 서울.
5. 서동렬 편저, 1994, 발파실무, 원기술, 서울.
6. 김재극, 1990, 산업화약과 발파공학, 서울대출판부, 서울.
7. 기경철, 김일중 편저, 1999, 발파공학, 기공사, 서울.
8. 한국자원공학회, 1995, 1995년도 춘계총회 및 제 64회 연구발표회 최신엔지니어링 발파 특별 심포지움, 한국자원공학회.
9. 조상호, 양형식, 2000, 방진공에 의한 발파진동 차단효과의 실험 및 수치해석적 연구, 터널과 지하공간, Vol. 10, No. 3, pp. 481-485.