

동홍천~양양간 고속도로 제14공구 인제터널의 대심도 수직갱 굴착 시 발파버력 낙하에 따른 진동·소음 영향검토



김진광

한국도로공사
홍천양양건설사업단
사업단장
(jkkim@ex.co.kr)



이재복

한국도로공사
홍천양양건설사업단
공사관리2팀장
(monalisa@ex.co.kr)



강석원

한국도로공사
홍천양양건설사업단
공사관리2차장
(ksw1006@ex.co.kr)



정철호

한국도로공사
14공구책임감독
(cch@ex.co.kr)



김태영

대우건설
현장소장
(taeyoung.kim@
daewoenc.com)



김웅구

대우건설 기술연구원
전임연구원
(woongku.kim@
daewoenc.com)

1. 서론

인제터널이 속해있는 고속국도 제60호선은 수도권과 동해안을 최단거리로 연결함으로써 동해안권 지역

의 교통수요 담당과 국토 균형발전을 위해 건설되고 있다. 이 노선의 일부인 서울~동홍천 구간(77.79km)는 2009년 7월에 기 개통되었고, 동홍천~양양 구간(71.51km)는 현재 건설 중에 있다.

인제터널이 속한 제14공구는 강원도 인제군 기린면 진동리와 양양군 서림리를 잇는 연장 11.958km의 구간으로서 이 중 인제터널은 연장 약 11km의 2차선 병렬터널로서 국내에서는 최대대이고 세계에서는 11번째로 긴 도로터널이다.

다음은 인제터널 본선부 단면을 나타낸 것으로서 공동구 상부에 타이어형 비상차량을 도입하여 비상 시 사고지점에 대한 신속한 접근과 유지관리 시의 효율성을 확보하였고 노면의 측방여유폭을 2.5m 확보함으

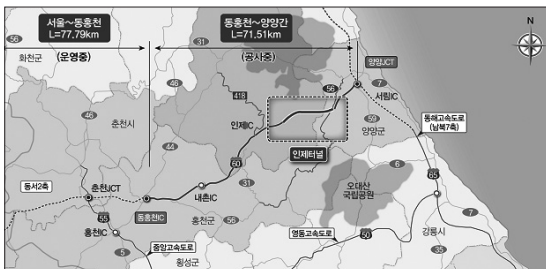


그림 1. 위치도



그림 2. 동홍천~양양 고속도로14공구 노선현황도

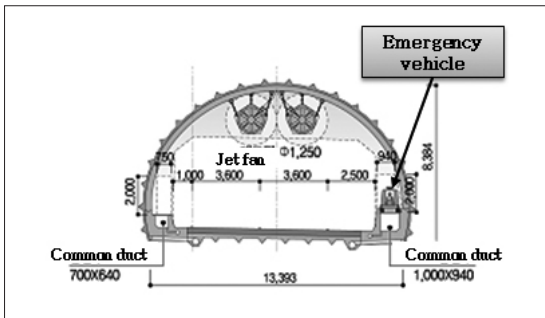


그림 3. 인제터널 본선단면



그림 4. 수직갱 및 사갱 배치도

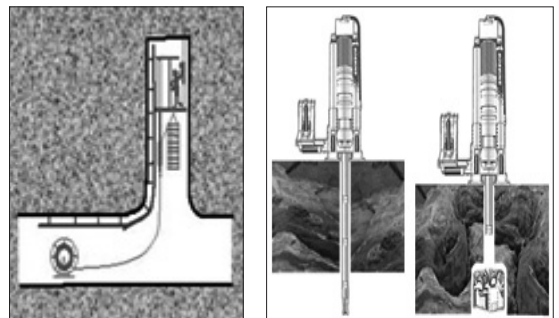
로서 전 구간 비상주차가 가능하도록 계획되었다.

인제터널은 본선 외에 다음 그림과 같이 춘천방향의 환기를 담당하는 2개의 수직갱과 공사 중에는 공기단축을 위한 굴착 및 버력 운반통로로 이용되다 운영 시에는 양양방향의 환기를 담당하면서 동시에 비상 시 피난대피통로로 이용되는 사갱 1개소가 계획되어 있다.

인제터널은 대심도 산악터널로서 최대 토피고는 450.6m에 달하므로 필연적으로 수직갱 또한 대심도로서 수직갱 #1의 경우 높이 212m, 수직갱 #2의 경우 307m에 달한다.

수직갱은 내경이 9.7m로서 굴착방법으로는 당초 RC(Raise Climber)방법으로 계획되었으나 안정성과

경제성 문제가 제기되어 R.B.M+확대발파하는 방법으로 변경되었다.



RC(당초)

RBM(변경)

그림 5. 수직갱 굴착방법

수직갱의 R.B.M+확대발파 굴착방법의 시공순서는 그림 6과 같다.

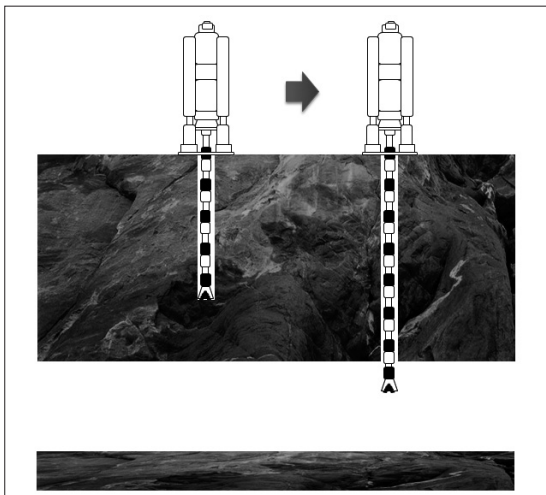
R.B.M+확대발파 굴착방법이 적용되면서 다음과 같은 문제점이 제기되었다.

- ① 수직갱 확대발파와 굴착 시 발파버력을 처리하기 위해 수백 m에 달하는 높이에서 버력을 수직 낙하시킬 경우 바닥부와 충격으로 발생하는 진동에

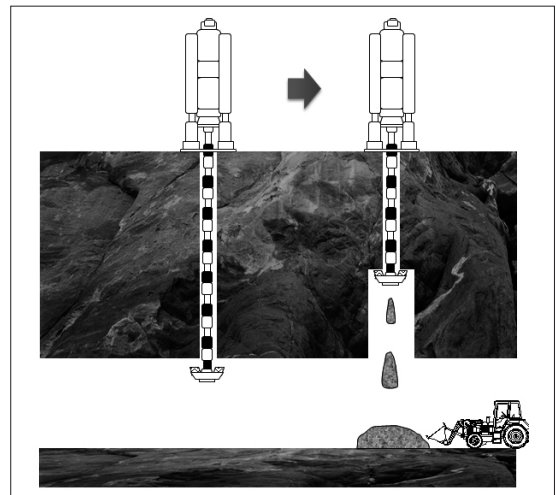
의한 본선터널 콘크리트 라이닝의 동시시공 가능성과 품질확보 여부

- ② 버력 낙하 및 충격으로 발생하는 진동·소음에 대한 작업자의 안전 확보 여부 및 영향성

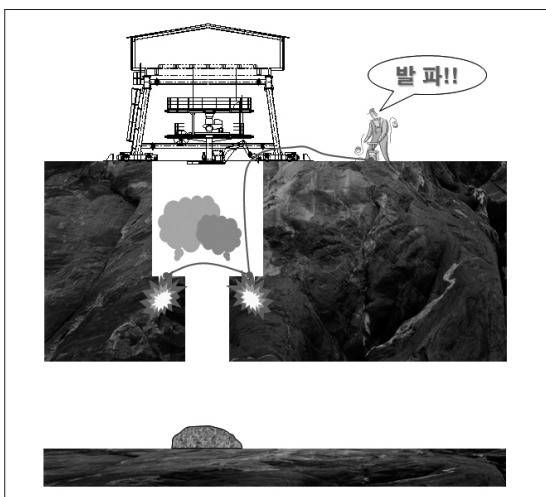
본 검토는 수직갱 #2(높이 307m) 확대발파와 굴착 시 발파버력을 처리하기 위해 수백 m의 높이에서 버력을



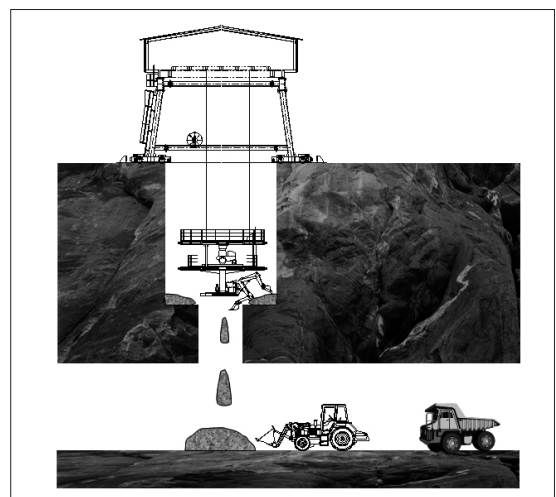
① R.B.M 유도공(φ311mm)굴착



② 리밍(φ3.1m)굴착



③ 천공장약 및 확대발파



④ 버력처리

그림 6. R.B.M+확대발파 굴착 시공순서도

수직 낙하시킬 경우 발생하는 진동과 소음이 수직갱 굴착과 동시에 시공될 본선터널 콘크리트 라이닝에 미치는 영향과 작업자의 안전 확보 여부를 확인하고 영향범위를 산정하여 추후 수직갱 #1 굴착 시 이를 활용하기 위해 수행되었다.

국내외 유사사례를 조사한 결과 터널 굴착 시 수백 m에서 버력을 수직 낙하시킨 사례와 진동·소음 영향을 검토한 사례가 없는 것으로 조사되었으며 따라서 본 검토가 첫 사례가 될 것으로 예상되는 바, 추후 유용하게 이용되었으면 한다.

2. 검토방법

발파와 버력 낙하 시 진동·소음 영향을 검토하는 방법으로는 허용기준값을 설정하고 발파하중과 버력의 충격을 모사할 수 있는 수치해석이나 실시간 계측을 통해서 이격거리에 따른 진동·소음을 산정하고 허용기준값과 비교하는 방법이 있다. 이 중 수치해석은 필요한 변수가 너무 많고 각 변수들을 정확히 산정하는 것은 불가능하다고 판단되어 진동·소음 계측을 수행하였다.

전체적인 진동·소음영향 검토 흐름은 다음과 같다.

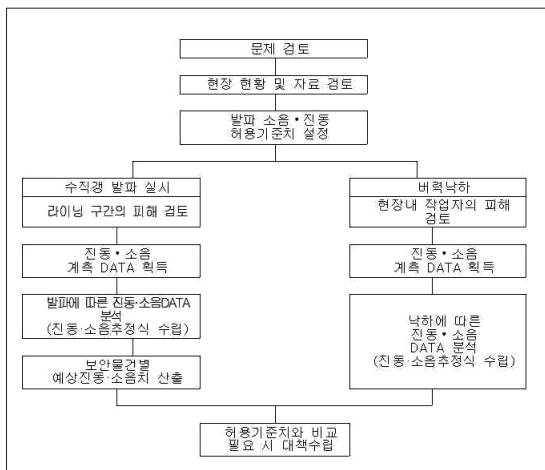


그림 7. 진동·소음영향 검토 흐름도

발파에 의한 진동·소음영향 검토는 각 계측결과를 토대로 진동·소음 추정식을 산정하여 영향권을 검토하는 기존과 같은 방법을 그대로 적용하였다. 하지만 발파버력의 낙하 충격에 의해 발생된 진동·소음은 기존에 계측된 사례가 없어 어떤 변수를 측정하고 어떻게 분석을 해야 하는지가 명확치 않아 계측케이스를 설정하는데 어려움이 있었다. 문헌조사 및 진동·소음 이론 등을 검토한 끝에 발생하는 진동·소음의 크기는 작용되는 하중과 하중작용점과의 이격거리에 따르며 버력 낙하 시 하중은 버력이 낙하지점과 충돌할 때 발생하는 충격하중이다. 충격하중은 백(2011)에 의하면 충돌체의 낙하높이와 무게, 충돌체와 피충돌체의 상대적인 탄성계수의 함수이며 충돌체의 무게는 결국 크기와 관련되고 크기는 발파패턴에 따라 달라질 수 있으므로 발파패턴과 낙하높이별로 최종적으로 다음과 같이 계측계획을 수립하였다.

① 1차 계측: 낙하높이 306m

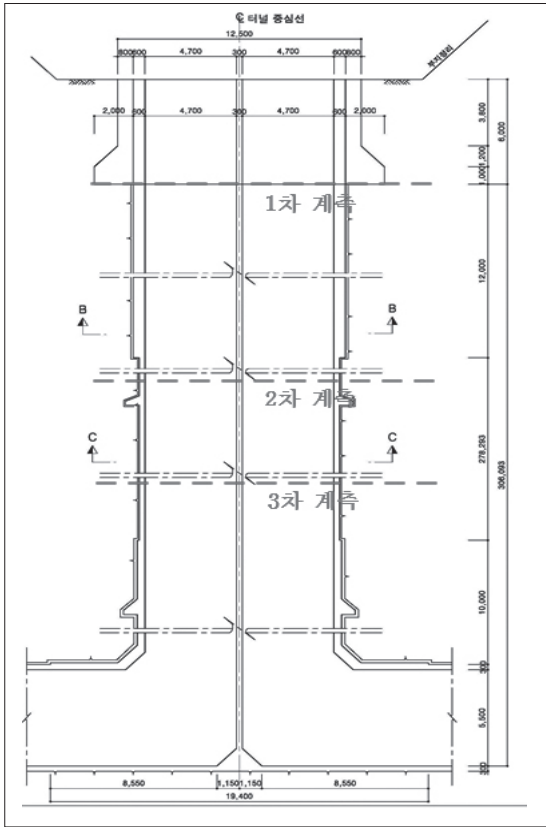
굴진장 (m)	1.2	총장약량 (kg)	74.6	
천공장 (m)	1.3	비장약량 (kg/m³)	0.669	
장약공수 (공)	208	최대 지발당 장약량(kg)	3.9	

② 2차 계측: 낙하높이 272m

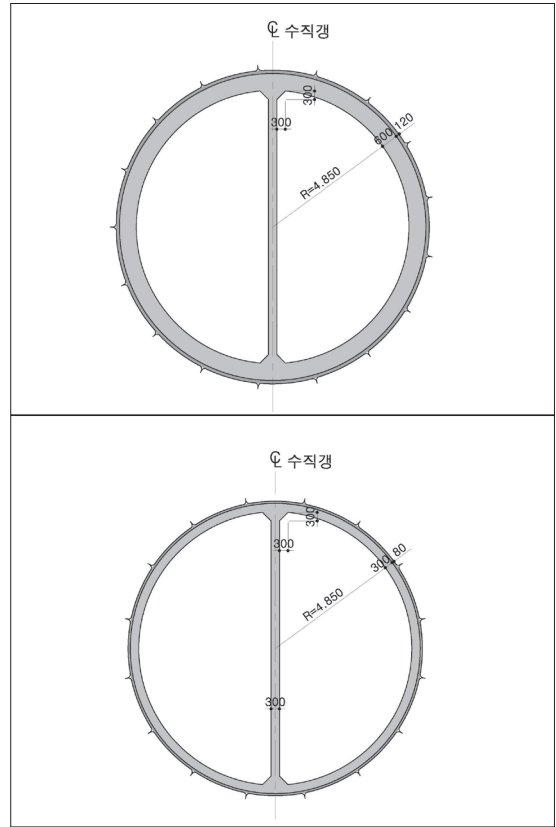
굴진장 (m)	2.0	총장약량 (kg)	91,950	
천공장 (m)	2.2	비장약량 (kg/m³)	0.565	
장약공수 (공)	146	최대 지발당 장약량(kg)	6.750	

③ 3차 계측: 낙하높이 198m

굴진장 (m)	2.0	총장약량 (kg)	91,950	
천공장 (m)	2.2	비장약량 (kg/m³)	0.565	
장약공수 (공)	146	최대 지발당 장약량(kg)	6.750	



수직갱2 단면도



수직갱2 단면 상세도

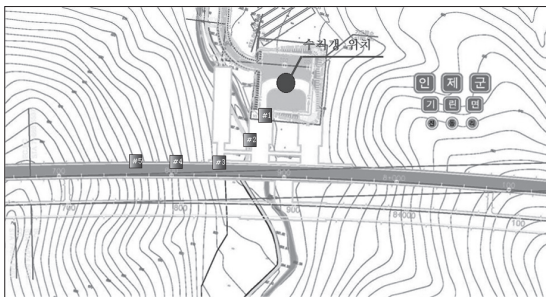


그림 8. 계층기 배치도

〈범례〉	
버력낙하지점과의 이격거리	#1 30m #2 60m #3 90m #4 120m #5 150m
비고	<ul style="list-style-type: none"> 계층은 버력처리 위치 반대편에서 실시 계층기 설치 위치는 버력낙하 위치와 직선상의 최단거리로 표시

계층기는 다음 그림과 같이 본선 바닥과의 충돌지점에서 30m 간격으로 이격하여 배치하였다.

사용된 계층기의 사양은 다음과 같으며 버력의 크기

는 낙하 후 디지털카메라로 촬영한 후 이미지프로세싱을 통해 산정하였다.

장비 외양	장비 사양	
 <p>Blastmate</p>	<ul style="list-style-type: none"> 측정범위 <ul style="list-style-type: none"> - 진동 Trigger Level : 0.13~253.9 mm/sec의 범위내에서 0.01mm/sec 단계로 설정 가능 - 소음 Trigger Level : 55.0~110.0 dB 범위내에서 0.2 dB 단계로 Level 설정 가능 가속도 : 0.01~30 gal 범위내 진동 가속도 계산 가능 변 위 : 0.0001"~ 1.5"범위내 진동 변위 계산 가능 주파수 분석 : 최고치의 주파수 및 USBM/OSMRE과 DIN4150 주파수 분석 정확도 : B & K Reference accelerometer @15Hz의 1%내에서 검정됨 	
 <p>Minimate</p>		
 <p>HLVS-04</p>		
<p>진동</p>		<ul style="list-style-type: none"> 측정범위 : 40dB ~ 120dB(V) 측정값 : 시간을 레벨(L5, L10, L50, L90, L95), 최대치(Lmax) 최소치(Lmin), 등가(Leq)
<p>소음</p>		<ul style="list-style-type: none"> 측정범위 : 3dB ~ 130dB(A) 측정값 : 시간을 레벨(L5, L10, L50, L90, L95), 최대치(Lmax) 최소치(Lmin), 등가(Leq)

3. 허용기준값 설정

3.1 양생중인 콘크리트에 대한 규제기준 검토

일부 공사에서는 양생되지 않은 콘크리트 부근에서 발파작업을 실시해야 하는 경우가 있다. 이런 상황에서는 콘크리트의 재령, 콘크리트에서 발파지점까지의 거리, 구조물의 유형 등에 의해서 결정되는 한계 이내

로 지반진동을 유지할 수 있도록 지발당 장약량을 설계해야 한다. 대표적인 국가별, 학자별 진동허용 수준을 나열하면 다음과 같다.

검토 결과는

- 양생중인 콘크리트의 발파진동에 대한 규제기준은 당 현장내 발파작업과 라이닝 타설 작업이 병행되는 것을 고려하여 가장 엄격한 기준인 ASCE의 0~12시간 기준인 0.254cm/sec로 설정

신고리 원자력발전소 건설시 적용한 기준

Elapsed Time after Pour (hours & days)	Max. Peak Particle Velocity (cm/sec)
0~12 hours	0.254
12~24 hours	1.27
24 hours~5 days	1.27~2.54
More than 5 days	2.54

ASCE 미국토목학회

Elapsed Time after Pour (hours & days)	Max. Peak Particle Velocity (cm/sec)
0~12 hours	0.254
12~24 hours	1.27
24 hours~5 days	1.27~5.08
More than 5 days	5.08

VIBRATECH/독일

Elapse Time after Pour(hours & days)	Max. Peak Particle Velocity(cm/sec)	Design Strength(%)
12 hours	0.635	5
24 hours	1.27	10
48 hours	2.54	20
7 days	6.35	45
14 days	10.2	80
28 days	12.7	100

미수송부

Elapsed Time after Pour (hours & days)	Max. Peak Particle Velocity (cm/sec)
0~4 hours	5.08
4~24 hours	0.635
1~3 days	2.54
7~10 days	12.7
More than 10 days	25.4

Elapsed Time after Pour (hours & days)	Max. Peak Particle Velocity (cm/sec)
0~4 hours	5.08
4~24 hours	0.635
1~3 days	2.54
7~10 days	12.7
More than 10 days	25.4

Nitro Consult AB

Elapse Time after Pour (days)	Max. Peak Particle Velocity (cm/sec)
0~3	1~1.5
3~7	3.5
More Than 7	5.0

3.2 발파 시 인체에 대한 진동 · 소음 규제기준 검토 결과

- 인체에 대한 허용 발파진동 규제기준은 공사장 주간시간을 기준으로 65dB(V)이고 발파작업시 +10dB(V)을 보정하여 75dB(V)로 설정하고 있다.
- 인체에 대한 허용 발파소음 규제기준은 공사장 주간시간을 기준으로 65dB(A)이고 발파작업시 +10dB(A)을 보정하여 75dB(A)로 설정하고 있다.

3.3 버력낙하 시 인체에 대한 진동 · 소음 규제 기준 검토 결과

- 인체에 대한 허용 진동 규제기준은 환경법고시 생활소음 · 진동의 규제기준(제20조3항 별표8)의 그 밖의 지역, 공사장 주간시간을 기준으로 70dB(V)로 설정하고 있다.
- 인체에 대한 허용 소음 규제기준은 환경법고시 생활소음 · 진동의 규제기준(제20조3항 별표8)

의 그 밖의 지역, 공사장 주간시간을 기준으로 70dB(A)로 설정하고 있다.

3.4 당현장 진동·소음 허용값 설정

아래 표와 같다.

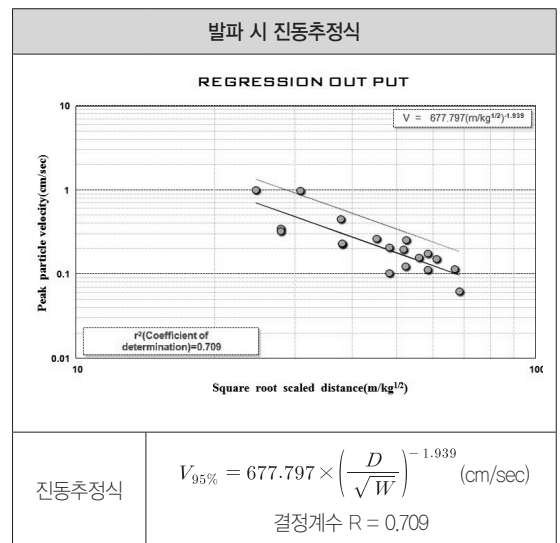
주요 보안물건	구분	진동 규제 기준		소음 규제 기준												
		구조물 cm/sec	인체 dB(V)	인체dB(A)												
현장내 라이닝 타설 구간 (발파)	적용 기준치	0.254	75	75												
	적용 범위 및 사유	<table border="1"> <thead> <tr> <th>타설 후 경과시간</th> <th>허용기준 (cm/sec)</th> <th>타설 후 경과시간</th> <th>허용기준 (cm/sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0~12시간</td> <td>0.254</td> <td>24시간~5일</td> <td>1.27~5.08</td> </tr> <tr> <td>12~24시간</td> <td>1.27</td> <td>5일 이후</td> <td>5.08</td> </tr> </tbody> </table>	타설 후 경과시간	허용기준 (cm/sec)	타설 후 경과시간	허용기준 (cm/sec)	0~12시간	0.254	24시간~5일	1.27~5.08	12~24시간	1.27	5일 이후	5.08		
		타설 후 경과시간	허용기준 (cm/sec)	타설 후 경과시간	허용기준 (cm/sec)											
0~12시간	0.254	24시간~5일	1.27~5.08													
12~24시간	1.27	5일 이후	5.08													
<ul style="list-style-type: none"> ASCE 미국토목학회에서 제시한 양생중인 콘크리트에 대한 규제기준을 참고함. 발파작업과 라이닝 타설 작업이 병행되는 것을 고려하여 가장 엄격한 기준인 0~12시간 0.254cm/sec 적용. 발파소음의 경우 주간 규제기준치인 65dB(A)에 주간에 한하여 +10dB(A)를 보정한다. 발파진동의 경우 주간 규제기준치인 65dB(V)에 주간에 한하여 +10dB(V)를 보정한다. 																
현장내 작업자 (버력낙하)	적용 기준치	-	70	70												
	적용 범위 및 사유	<ul style="list-style-type: none"> 환경법고시 생활소음·진동의 규제기준(제20조3항 별표8)의 그 밖의 지역, 공사장 주간시간 기준을 참고하여 70dB(V), 70dB(A) 적용. 버력낙하 시 터널 현장내 근무자에 적용. 생활진동 및 소음에 대하여는 인체에 대한 영향이 예상되는 지역에만 적용. 														

4. 진동·소음 계측결과 분석

4.1 발파 시 진동계측결과 분석

시험발파시 상부에서 계측된 진동 DATA 4개(시험 발파결과보고서 참고), 1차 계측시 상부에서 계측된 DATA 5개, 2차 계측시 상부에서 계측된 DATA 5개, 차 계측시 상부에서 계측된 DATA 5개를 이용하여 회귀분석을 실시하였고, 오른쪽과 같은 진동추정식을 산출하였다.

당현장의 발파 진동추정식을 이용하여 지발당장약량 3.9kg과 6.75kg 사용 시 거리별 예상진동값은 다음과 같다.



지발당장약량 3.9kg 사용 시

지발당 장약량 (kg)	이격거리 (m)	예상진동 (cm/sec)	이격거리 (m)	예상진동 (cm/sec)
3.9	10	29.183	110	0.279
	20	7.611	120	0.236
	30	3.467	130	0.202
	40	1.985	140	0.175
	50	1.288	150	0.153
	60	0.904	160	0.135
	70	0.671	170	0.120
	80	0.518	180	0.107
	90	0.412	190	0.097
	100	0.336	200	0.088

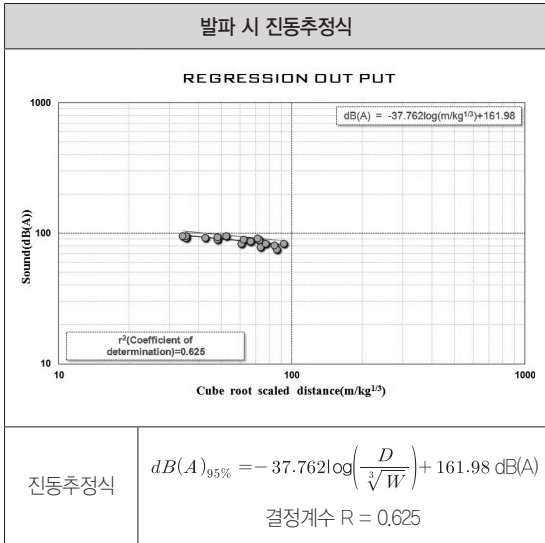
지발당장약량 6.75kg 사용 시

지발당 장약량(kg)	이격거리 (m)	예상진동 (cm/sec)	이격거리 (m)	예상진동 (cm/sec)
6.75	10	49.672	110	0.475
	20	12.954	120	0.401
	30	5.902	130	0.344
	40	3.378	140	0.298
	50	2.192	150	0.260
	60	1.539	160	0.230
	70	1.141	170	0.204
	80	0.732	180	0.183
	90	0.701	190	0.165
	100	0.572	200	0.149

상기 분석결과 발파 시 양생중인 콘크리트 라이닝의 품질확보를 위해서는 지발당최대장약량 3.9kg을 사용할 경우 120m 이상, 6.75kg을 사용할 경우 160m 이상 이격거리를 확보해야하는 것으로 나타났다.

시험발파 시 상부에서 계측된 소음 DATA 4개(시험 발파결과보고서 참고), 1차 계측시 상부에서 계측된 DATA 5개, 2차 계측시 상부에서 계측된 DATA 5개, 3차 계측시 상부에서 계측된 DATA 5개를 이용하여 회귀분석을 실시하였고, 아래와 같은 소음추정식을 산출하였다.

4.2 발파 시 소음계측결과 분석



지발당장약량 3.9kg 사용 시

지발당 장약량(kg)	이격거리(m)	예상소음 (dB(A))	이격거리(m)	예상소음 (dB(A))
3.9	20	120.3	220	81.0
	40	108.9	240	79.5
	60	102.3	260	78.2
	80	97.6	280	77.0
	100	93.9	300	75.9
	120	90.9	320	74.8
	140	88.4	340	73.8
	160	86.2	360	72.9
	180	84.3	380	72.0
	200	82.5	400	71.2

지발당장약량 6.75kg 사용 시

지발당 장약량(kg)	이격거리(m)	예상소음(dB(A))	이격거리(m)	예상소음(dB(A))
6.75	20	123.3	220	84.0
	40	111.9	240	82.5
	60	105.3	260	81.2
	80	100.6	280	80.0
	100	96.9	300	78.9
	120	93.9	320	77.8
	140	91.4	340	76.8
	160	89.2	360	75.9
	180	87.3	380	75.0
	200	85.5	400	74.2

발파 시 계측된 소음DATA를 회귀분석하여 산출한 소음추정식을 이용하여 지발당장약량 3.9kg과 6.75kg 사용 시 위와 같이 거리별 예상 소음치를 산출하였다.

상기 분석결과 발파 시 인체에 대한 소음 규제기준을 만족하기 위해서는 지발당최대장약량 3.9kg을 사용할 경우 320m 이상, 6.75kg을 사용할 경우 360m

이상 작업자를 발파지점에서 떨어뜨려야하는 것으로 나타났다.

4.3 버력 낙하 시 진동·소음 계측결과 분석

버력 낙하 시 계측된 진동·소음 계측결과와 버력의 입도측정결과를 종합하여 다음 표에 나타내었다.

버력 낙하 시 진동 · 소음 계측결과 및 버력의 입도분석 결과

구분	버력 평균입도 (mm)	낙하 높이 (m)	이격거리 (m)	라이닝	작업자	
				진동속도 (cm/sec)	생활진동 (dB(V))	생활소음 (dB(A))
1차 계측DATA	64.7	306	30	0.222	66.5	109.9
			60	0.078	54.4	109.1
			90	0.034	41.6	87.9
			120	-	38.2	89.5
			150	-	36.2	계측기 오류
2차 계측DATA	102.0	272	30	0.231	55.8	108.9
			60	0.105	42.9	97.6
			90	0.083	36.1	85.7
			120	0.061	33.4	84.0
			150	0.046	35.7	74.9
3차 계측DATA	102.5	198	30	계측기 오류	55.1	110.7
			60	0.065	48.8	111.2
			90	0.029	38.4	89.9
			120	-	43.9	83.7
			150	-	34.5	82.3

표에서 보면 발생된 진동 및 소음의 최대값은 낙하높이뿐만 아니라 버력의 크기와도 관련되는 것을 알 수 있다. 하지만 전체적으로 버력 낙하에 따른 진동 및 소음은 발파 시에 비해 작게 발생하는 것으로 나타났다.

낙하높이 200m 이상에서, 직경 약 10m에 굴진장 1.2m 혹은 2.0m로 굴착한 버력을 한꺼번에 수직 낙하시키는 상황에 비해 진동과 소음은 예상된 것보다는 작게 발생하는 것으로 나타났다.

그 원인을 살펴보면 우선 버력이 크기가 약 10cm 내외로 매우 작게 파쇄되어 충격하중이 크지않았기 때문에 사료되며 그 만큼 대심도 수직낙하를 대비한 발파설계가 이루어진 것으로 판단된다. 두 번째로는 버력이 충돌되는 바닥부에 충격하중을 최소화하기 위해 R.B.M 굴착 시 발생된 석분과 파쇄암편을 포설하였고

매우 느슨한 상태이기 때문에, 전술한 바와 같이 충돌체와 피충돌체의 상대적 탄성계수의 함수인 충격하중에서 피충돌체의 탄성계수가 매우 작아짐에 따라 충격하중이 크게 감소하였기때문으로 판단되며 이 또한 버



그림 9. 버력 낙하시점 파쇄암편 및 석분 포설

력의 수직낙하에 대비한 적절한 대책인 것으로 판단된다.

5. 결론

발파와 수백 m에서 버력의 수직낙하 시 바닥부와 충돌로 인해 발생하는 진동·소음이 수직갱굴착과 병행하여 타설되는 본선터널 콘크리트 라이닝의 품질과 작업자의 안전에 미치는 영향을 검토하기 위해 일련의 계측을 실시하였으며 이를 분석 및 종합하면 다음과 같다.

- (1) 수백 m의 높이에서 버력의 수직낙하로 인한 충돌로 발생하는 진동 및 소음을 계측한 사례로는 첫 사례가 될 것으로 예상되며, 문헌 등을 분석하여 버력의 크기와 낙하높이를 변수로 계측케이스를 설정하였으며, 버력의 크기는 발파패턴에 영향을 받으므로 최종적으로 발파패턴과 낙하높이에 따라 계측케이스를 선정하였다.
- (2) 발파로 인한 콘크리트 라이닝의 진동에 대한 영향을 분석하기 위하여 발파 시 계측된 진동 DATA를 회귀분석하여 거리별 예상진동치를 산출한 결과 콘크리트 라이닝의 동시시공을 위한 발파작업 안전이격거리는 당 현장의 라이닝에 대한 규제기준이 0.254cm/sec인 것을 고려한다면 지발당 장약량 3.9kg 사용 시 120m, 지발당 장약량 6.75kg 사용 시 160m 이내에서는 발파작업이 콘크리트 라이닝 작업에 영향을 미칠 것으로 사료된다.
- (3) 발파 시 발생하는 소음의 영향을 검토하기 위해 계측된 소음DATA를 회귀분석한 결과, 발파 시 당 현장 규제기준이 75dB(A)인 것을 고려한다면 지발당 장약량 3.9kg 사용 시 320m, 6.75kg

사용 시 400m 이내에서는 발파소음이 작업자에 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 소음추정식은 대체로 결정계수가 낮기 때문에 소음 감쇠경향을 파악하는데 참고자료로 이용하는 것이 적절하다고 사료된다. 또한 발파 전 사전 경고 방송과 인원통제 등을 할 경우 피해는 없을 것으로 사료된다.

- (4) 버력 낙하 시 발생된 진동 및 소음은 낙하높이뿐만 아니라 버력의 크기와도 관련되는 것으로 나타났으며, 콘크리트 라이닝의 동시시공 시 낙하높이 300m에서 충돌지점과 이격거리 48.3m 이내에서는 버력낙하 작업이 콘크리트 라이닝 작업에 영향을 미칠 것으로 분석되었다. 하지만 전체적으로 버력 낙하에 따른 진동 및 소음은 발파 시에 비해 작게 발생하는 것으로 나타나 발파에 의한 진동 및 소음이 주요 관리대상인 것으로 사료된다.
- (5) 낙하높이 수백 m에서, 직경 약 10m에 굴진장 1.2m 혹은 2.0m로 굴착한 버력을 한꺼번에 수직 낙하시키는 상황에 비해 진동과 소음은 예상된 것보다는 작게 발생하는 것으로 나타났는데, 그 원인을 살펴보면 우선 버력이 크기가 약 10cm 내외로 매우 작게 파쇄되어 충격하중이 크지 않았기 때문에 사료되며 그 만큼 대심도 수직낙하를 대비한 발파설계가 이루어진 것으로 판단된다. 두 번째로는 버력이 충돌되는 바닥부에 충격하중을 최소화하기 위해 R.B.M 굴착 시 발생된 석분과 파쇄아편을 포설하였고 매우 느슨한 상태이기 때문에, 충돌체와 피충돌체의 상대적 탄성계수의 함수인 충격하중에서 피충돌체의 탄성계수가 매우 작아짐에 따라 충격하중이 크게 감소하였기때문에 판단되며 이 또한 버력의 수직낙하에 대비한 적절한 대책인 것으로 판단된다.