기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 53

제 목: 북방1터널 발파에 따른 라이닝 콘크리트 영향 검토

2007. 1

강 원 건 설 사 업 단

춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

기술검토건명	북방1터널 발파에 따른 라이닝 콘크리트 영향 검토		
공 구	제2공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2006. 12. 26 ~ 2007. 1. 16	검 토 자	오 관 식
		담 당 자	오 성 민
근 거 공 문	춘천동홍천분소-1288	회 신 공 문	용마(홍천) 제2007 - 0001호

1. 검토목적

고속국도 60호선 춘천~동홍천간 건설공사를 시행함에 있어 북방1터널 시점부(양양방향) 굴착작업시 발파에 의한 라이닝 콘크리트에 미치는 영향범위와 시공방안을 강구하여 라이닝 콘크리트의 품질을 확보하고자 함.

2. 검토내용

가. 현황

1) 설계 현황

[표-1] 북방1터널 터널설계 현황

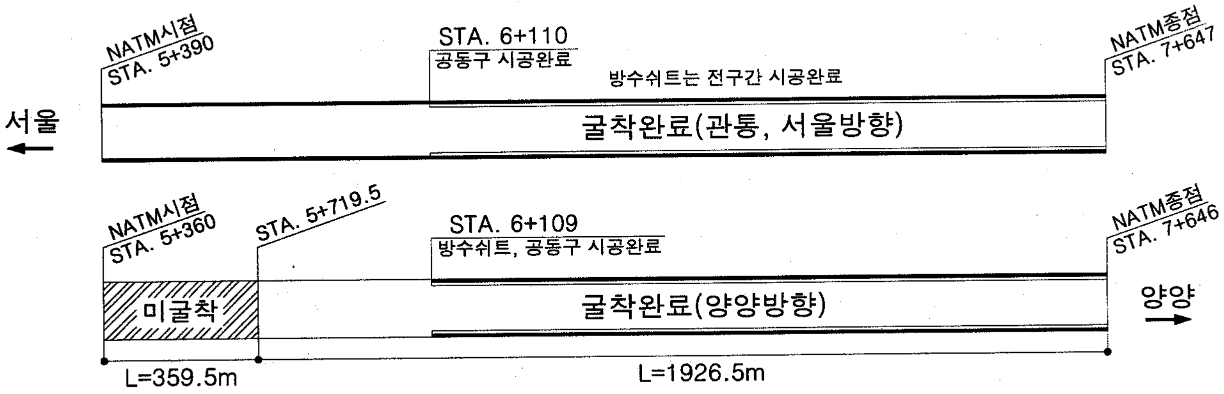
구 분		북방1터널	
		서울방향	양양방향
시점부	NATM	STA.5+390	STA.5+360
	터널	STA.5+380	STA.5+352
종점부	NATM	STA.7+647	STA.7+646
	터널	STA.7+670	STA.7+663
연장	NATM	2257m	2286m
	터널	2290m	2311m
환기방식		기계환기	기계환기
갱문형식		시점부 : 돌출아치윙형 종점부 : 면벽형	시점부 : 돌출아치윙형 종점부 : 면벽형
터널시공방법		NATM 공법	NATM 공법
터널중심간격		33.020m	33.020m

2) 시공 현황

북방1터널은 종점측에서 시점측으로 시공중이며, 서울방향은 굴착 및 방수쉬트의 시공이 완료되었고 공동구를 시공중에 있으며, 양양방향은 시점부 갱구사면의 안정성 검토로 인해 STA. 5+360~STA.5+719.5(L=359.5m) 구간은 굴착이 중단된 상태로 굴작완료구간에 대해서 방수쉬트 및 공동구를 시공중에 있으며 시공현황은 〔표-2〕 및 〔그림-1〕 과 같음.

〔표-2〕 북방1터널 시공현황

터널명	방향	공종	시공현황	NATM연장	비고
북방1	서울	방수쉬트	2257m(전구간) 완료	2257m	굴착완료(관통)
		공동구	1537m(STA. 6+110) 완료		
	양양	방수쉬트	1537m(STA. 6+109) 완료	2286m	1926.5m 굴착완료
		공동구	1537m(STA. 6+109) 완료		



〔그림-1〕 북방1터널 시공 현황도

나. 발파영향 검토

1) 검토범위

(1) 발파진동 추정식에 따른 발파영향 거리 검토

- 설계에 반영된 지발당 장약량을 고려한 허용진동치를 계산하여 발파진동에 따른 라이닝 콘크리트 및 공동구 등의 콘크리트 구조물에 영향이 없는 안정거리 산정.
- 계산된 이격거리를 유지하면서 후속공정(라이닝 콘크리트 및 공동구 타설 등)을 진행하는 방안

(2) 발파작업시 발파진동 저감대책 검토

- 시공성을 고려하여 서울방향은 라이닝 콘크리트 및 공동구 등을 시공하고 후속공정으로 최소이격거리(약 20m)인 경우 양양방향의 발파작업시 지발당 장약량 계산 및 발파진동에 의한 저감대책의 적용가능 여부 검토

2) 발파진동으로 인한 라이닝 콘크리트의 영향

(1) 진동피해 대상물의 특성

- 서울방향의 라이닝 및 공동구 등의 구조물을 선시공한 후 양양방향의 시공이 진행될 경우 기존 터널에 평행하게 신설되는 시공조건과 유사하며 이 경우 Spingline의 변형에 유의하여 함.
- 구조적으로 라이닝 및 공동구 등은 터널의 주지보재가 아니며 초기 양생강도만 발휘되면 암반화된 강성을 띠므로 이에 대한 규정치를 조정하는 등의 고려가 필요함.

(2) 허용진동 규정치의 각종기준

대상시설물의 위치와 특성에 따라 분류한 허용진동 규제치는 동일조건에서도 기온이나 습도 등 기상조건과 지형조건에 따라 속도가 달라진다. 허용발파진동치란 진동에 의해 구조물에 피해가 발생되지 않도록 규제하는 범위의 진동치를 말하며, 일반적으로 엄밀한 의미의 허용진동치란 구조물의 크기(층수 등), 설계구조(내진설계 유무), 재질(철근콘크리트, 블록조, 석조, 목조 등)과 건전성(결함유무, 노후화 정도 등) 등에 따라서 개개 구조물별로 서로 상이하게 되며, 인체에 대한 허용진동치는 개개인의 진동에 대한 인내심이나 그 당시의 심리상태 등의 주관적 요소에 따라 달라지게 된다.

3) 발파진동 허용기준치

(1) 발파진동에 대한 허용진동치 현황

- 발파진동 허용기준치 설정에 있어서는 각국마다 그 기준을 다소 다르게 규정하고 있으며, 우리나라에서는 독일의 허용진동치를 참고로한 서울지하철 3, 4호선 건설당시 설정한 기준과 부산지하철 기준은 아래 〔표-3,4,5〕 와 같다.
- 서울지하철 공사시 주파수에 의하여 제한된 발파진동 허용기준치의 수정제안치는 〔표-6〕 과 같으며, 기타의 경우에는 조건에 따라 미광무국 등의 외국의 사례를 근거로 설계기준을 마련하고 있으며, 대체로 안전율을 높여 엄격하게 적용하고 있는 실정임.

(2) 발파진동 허용기준치

- 일반적인 허용진동속도

〔표-3〕 독일의 허용진동치(DIN 4150)

건 축 물 의 종 류	허용진동치(cm/sec)
유적이나 고적 등의 문화재	0.2
결함이 있는 건물, 빌딩이나 균열이 있는 저택	0.4
균열이 있고 결함이 없는 빌딩	0.8
회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	1.0~4.0

〔표-4〕 서울지하철에서 구조물에 적용된 발파진동의 피해범위

건 물 구 분	I	II	III	IV
건 물 종 류	문화재	주택, 아파트(실금이 나타나 있는 정도)	상가(금이 나타나 있는 블록 건조물)	철근콘크리트 빌딩 및 공장
건물기초에서의 허용진동치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

비고 : (1) 위 표는 서독의 Vornrm DIM 4150 TEIL 3을 기준하였음.
(2) 주파수는 약 100Hz까지 통용된다.

〔표-5〕 부산지하철 굴진발파 진동의 범위치

건 물 종 류	문화재	주택, 아파트	상가	철근콘크리트 빌딩 및 공장	Computer 시설물 주변
건물기초에서의 허용진동치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0	0.2

〔표-6〕 발파진동의 허용진동치 제안(단위 cm/sec)

건축물 및 시설물의 종류	허용진동치(cm/sec)	
	30Hz 이상	30Hz 이하
문화재, Computer 시설물 주변	0.2	0.2
주택, 아파트(미세균열이 나타나 있는 정도)	0.4	0.4
상가(균열이 나타나 있는 블록건조물, 그러나 구조적 결함이 없는 구조물)	0.8	0.8
회벽이 없는 철근콘크리트 빌딩 및 공장	1.0~4.0	0.8~2.0

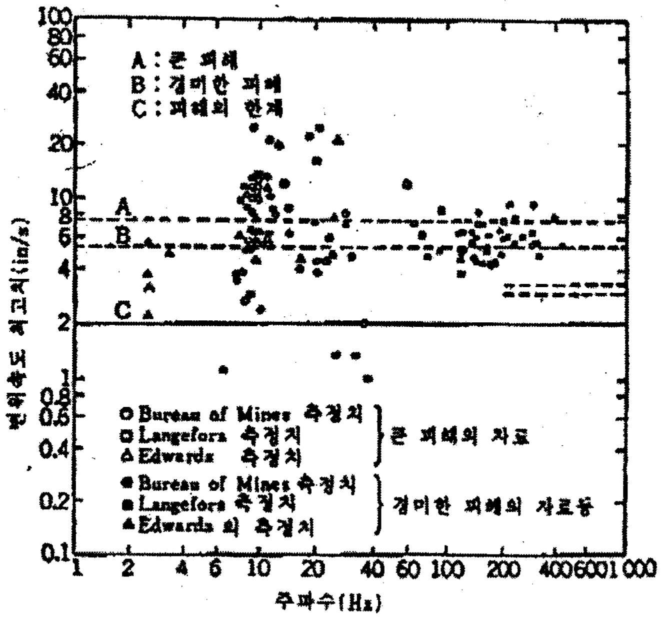
※ 건물의 일반적인 고유진동수 30Hz 이하

〔표-7〕 미국발파진동기준

진동가속도	피해정도	비 고
0.1gal(1gal=980cm/sec²)이하	건물에는 피해가 없음	
0.1～1.0gal	경미한 피해	
1.0gal이상	건물이 피해를 입음	

미국의 경우는 발파진동에 대한 연구가 주로 미광무국을 중심으로 이루어졌는데 1935년에서 1940년까지 계속되었던 연구결과에서는 가속도를 기준으로 위와 같이 허용기준을 정하고 있다. 그러나 최근 연구결과에 의하면 진동으로 인한 피해의 정도는 5.0kine을 한계치로 잡고 있음.

또한 U.S.Bureau of Mine에서는 1959년부터 10년간에 걸쳐 주로 노천굴의 채석장을 대상으로 해서 발파에 의한 지반진동에 대한 대규모 실험을 하여, 진동의 크기와 건물 피해와의 관계에 대해 검토를 하였다. 이 실험에서는 26개소의 채석장에서 합계 171회의 발파을 하고, 각각 발파때마다 지반진동이나 폭풍을 측정하였다. 제발(齊發)약량 혹은 MS발파의 1단당, 약량은 11～8900kg, 지질은 석회암, 백운암, 화강암질의 암석, 휘록암, 편암, 사암 등 각종 암석층이 대상이 되고 있다. 〔그림-2〕 의 실험결과를 정리해서 얻은 지반진동의 변위속도, 주파수와 건물 피해와의 관계를 나타낸 것이다. 그리고 이 그림에 제시한 결과에 따라, 건물의 안정성에 대한 지반진동의 척도는 변위속도로 주어져야 하며, 그때의 허용한계치로서는 2inch/sec (약 5cm/sec)의 값이 타당하다고 결론을 내렸다.



〔그림-2〕 지반진동의 변위속도최고치, 주파수와 피해와의 관계(U.S.Bureau of Mine에 의함)

[표-8] 최대진동 속도와 피해기준(Dupont 사)

최대진동속도(cm/sec)	피해정도
30.5	터널암반의 낙석유발
19.3	회벽에 커다란 피해
13.9	회벽이 갈라지기 시작
7.6	밀폐지역 발파의 규제치
5.0	미 광무국이 추천한 안전한계

[표-9] 발파진동에 의한 피해기준(스웨덴)

지반조건 / 진동범위	지하수 수준이하의 점토,모래,자갈	퇴석(Moraine) 슬레이트(Slate) 연약한 석회석	강한석회석, 석영 질사암, 편마암, 화강암, 현무암	피해정도
종파의 전파속도 (m/sec)	300~1,500	2,000~3,000	4,500~6,000	
발파에 의한 진동속도(cm/sec)	0.4~1.8	3.5이하	7.0이하	피해없음
	0.6~3.0	5.5	11.0	무시할 수 있는 피해(피해한계)
	0.8~4.0	8.0	16.0	균열생성
	1.2~6.0	11.5이상	23.0이상	상당한 피해발생

Langefors, Kihlstrom, Westerberg 등은 도심지 빌딩철거 작업과정에서 많은 시험발파를 실시하여 기초지반의 상태에 따라 [표-9] 와 같이 정의하고 있다. 화강암이나 편마암 지반의 경우 7.0cm/sec 이하에서는 아무런 피해도 일어나지 않는다고 보고 하고 있음.

- 양생중인 콘크리트 진동 관리 기준

① 양생 시간대별 콘크리트에 대한 허용진동속도 기준(ASCE:미국 양회학회 제안)

[표-10] 양생 시간대별 콘크리트에 대한 허용진동속도 기준(ASCE)

콘크리트 양생 시간	허용진동속도(cm/sec)
0~12hr	0.254
12~24hr	1.27
24~5day	1.27~5.08
5day 이상	5.08

② 구조물별 재령에 따른 허용진동속도 기준(Law Engineering Test Company)

〔표-11〕 구조물별 재령에 따른 허용진동속도 기준(Law Engineering Test Company)

구조물	양생시간에 따른 허용진동속도(cm/sec)		
	0~12hr	12hr~7day	7day 이상
원자력 발전소	0.25	5.1	10.2
11층 건물	0.51	5.1	10.2
터널 공사현장에 인접한 소규모 하수처리 시설과 배수로	-	-	5.1
2층 규모의 소매점과 주차빌딩	0.25	5.1	10.2
2~11층 규모의 건물	0.25	5.1	5.1
화력 발전소	0.25	5.1	10.2

③ 양생 시간대별 콘크리트에 대한 양생기간별 허용진동기준(Hulshizer)

〔표-12〕 양생 시간대별 콘크리트에 대한 양생기간별 허용진동기준(Hulshizer)

콘크리트 양생 시간	허용진동속도(cm/sec)
0~3hr	10.16
3~11hr	3.81
11~24hr	5.08
24~48hr	10.16
48hr 이상	17.78

④ 양생중인 콘크리트에 대한 진동수준지침(미 교통국)

〔표-13〕 양생중인 콘크리트에 대한 진동수준지침(미 교통국)

콘크리트 양생 시간	허용진동속도(cm/sec)
0~4hr	5.08
4~24hr	0.63
24hr~3day	2.54
3~7day	5.08
7~10day	12.70
10day 이상	25.40

⑤ 국내의 허용기준

국내에서는 그 동안 양생중인 콘크리트의 재령에 따른 허용기준이 제안되지 않아, 한국자원연구소에서는 미국 교통국에 의해 제안된 기준을 채택하여 연구를 수행하였으며, 임한욱 등은 0.25cm/sec 이하의 저진동에서는 강도의 변화가 거의 없고 점차 진동이 커짐에 따라 강도의 감소율도 증가하다가 5cm/sec 및 10cm/sec의 진동에서는 거의 같은 경향을 보여주고 있다고 보고하였다. 한편 신일재는 모형 라이닝에 대한 충격진동시험, 현장 모형 라이닝에 대한 발파진동시험, 그리고 원형 라이닝의 진동특성에 관한 수치해석 등 일련의 과정을 통해, 콘크리트의 강도저하가 가장 우려되는 재령 12시간 이내에 가해진 2cm/sec 이하의 발파진동은 양생중인 라이닝 콘크리트의 강도를 저하시키지 않는 것으로 보고하였다.

4) 발파진동 피해대상물 특성에 따른 허용기준치 선정

(1) 설계내용 검토

일반보고서 p511에 의하면 "일반적으로 국내기준에서 구조물대상으로 제시하는 규제값은 0.5~4.0kine이며, 본 설계에서는 안전율을 고려하여 0.3kine으로 설정" 하는 것으로 되어 있으나 이는 구조물에 대한 실질적인 피해보다는 구조물에 거주하는 인체가 받는 영향을 고려한 것으로 매우 엄격한 수준이며, 검토대상이 인체가 아닌 구조물(라이닝 콘크리트) 임을 고려할 경우 설계에서 제시된 설정치(0.3kine)는 다소 과한 것으로 판단되므로 이에 대한 조정이 필요한 것으로 사료됨.

(2) 지질조건

북방1터널의 지질조건은 변성암(편마암 계열)이 우세한 상태이며 숏크리트와 록볼트의 시공완료로 1차 지보재가 시공되어 안정한 상태로 라이닝 콘크리트는 충분한 재령기간 확보에 의한 양생강도만 발휘되면 암반화된 강성을 띠므로 [표-9] 에 의하면 허용진동속도는 7cm/sec까지 허용가능한 것으로 판단됨.

(3) 시공(양생)조건

양생중인 라이닝 콘크리트에 대한 허용진동속도에 대한 문헌치를 고려할 경우 현장에서 라이닝 콘크리트의 양생시간을 7일 이상 확보한다면 최소 5cm/sec까지 허용가능한 것으로 판단됨.

(4) 라이닝 콘크리트의 허용인장강도를 감안한 개략 진동속도 추정 검토

콘크리트 구조물에 대하여 진동허용치는 인장강도, 탄성계수 등으로 적당한 안전율을 고려하여 이론적으로 유도할 수 있다. 발파시 충격파는 탄성파로 변화되어 매질을 따라 전파되고, 구조물에 영향을 주게 되는데 이 때, 구조물이 받는 응력(σ)은

$\sigma = \rho \cdot V \cdot \upsilon$ 에서

ρ : 매질의 밀도(개략 2.5 적용)

V : 매질의 탄성파 전파 속도(V=3km/sec:연암수준으로 가정)

υ : 탄성파의 전파에 의한 매질의 진동속도

σ : 구조물의 허용인장응력($0.42\sqrt{\sigma_{ck}} = 6.5$kgf/cm^2)

σ_{ck} : 라이닝 콘크리트의 설계 압축응력(240kgf/cm^2)

$$\therefore \text{진동속도 } \upsilon = \frac{\sigma}{\rho \cdot \upsilon} = \frac{6.5 \times 1000 \times 980 (g/cm^2 \cdot cm/sec^2)}{2.5 \times 300000 (g/cm^3 \cdot cm/sec)}$$

$$\fallingdotseq 8.5 cm/sec(kine)$$

그러나, 발파 진동응력의 반복과 신설구조물로서 라이닝 콘크리트의 건전성 확보 및 이론적인 추정값이므로 안전을 고려하여 5Kine 정도로 허용진동속도를 기준으로 함이 바람직 할 것으로 판단됨.

5) 기존의 문헌 및 기타 자료 등을 고려할 경우 1~25.4cm/sec의 다양한 범위에 있으나 지반의 불균질성, 안정성, 불확실 요인, 신설구조물로서 건전성 확보 등을 감안할 경우 구조물의 진동에 대한 관리기준은 5cm/sec를 허용기준치로 선정함이 바람직 할 것으로 판단됨.

다. 발파진동에 따른 영향거리 산정

1) 터널 굴진을 위한 발파시공시 발파진동 영향거리 산정은 발파진동 지점으로부터 거리와 지발당 최대 장약량은 허용진동속도를 5cm/sec으로 규제하여 산정함.

2) 일반적으로 진동의 크기는 화약의 종류에 따른 화약의 특성, 기폭방법, 장약량, 전색의 상태나 화약의 장전밀도, 자유면의 수, 폭원과의 거리, 지질조건 등에 따라 다르므로 발파시 위 모든 조건과 지질특성을 정확히 파악하여 발파에 따른 진동 영향거리를 산정하여 함.

3) 따라서 위의 조건을 만족하는 진동추정식은 "북방1터널 시험발파결과 보고서(04.12)" 의 내용을 이용하여 영향거리를 산정함.

4) 발파진동 영향거리 계산

(1) Type별 잔여거리 및 지발당장약량(SUPEX - CUT 발파패턴도 참조)

[표-14] Type별 잔여거리 및 지발당장약량

설계패턴	잔여거리(m)	최대지발당 장약량 (kg/delay)	비고
Type - 1	232.5	12.0	심발공
Type - 2	28	12.0	심발공
Type - 3	22	6.0	심발공
Type - 4	35	4	상부(심발공)
		7.5	하부(주변공)
Type - 5	24	3	상부(심발공)
		3	하부(주변공)
Type - 6	18	2.5	상부(심발공)
		2.25	하부(바닥공)
계	359.5		

(2) 발파에 의한 진동 검토

- 발파 진동검토를 위한 추정식(일반식)

$$V = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-n}$$

여기서, V : 진동속도(cm/sec, kine)

D : 폭원으로부터 이격거리(m)

W : 지발당 장약량(kg/delay)

K, -n : 지반조건에 의해 결정되는 입지상수

- 발파 진동식 적용(북방1터널 시험발파 결과 보고서 42page 이용)

$$V_{95\%} = 4137.708\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-2.139}$$ ....식 ①

$$V_{95\%} = 7160.846\left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}}\right)^{-2.160}$$ ....식 ②

식 ①, ② 중 결정계수의 신뢰도가 높은 식 ②를 적용함.

(3) 영향거리 계산

발파진동에 의한 허용진동속도 5cm/sec, 지보Type별 지발당 장약량을 이용한 영향거리의 계산결과는 다음과 같다.

［표-15］ Type별 예측 지반진동거리

설계패턴	잔여거리(m)	최대지발당 장약량(kg/delay)	5cm/sec적용시	
			영향거리 (m)	적용영향 거리(m)
Type - 1	232.5	12.0	66.20	67
Type - 2	28	12.0	66.20	67
Type - 3	22	6.0	52.54	53
Type - 4	35	4(상반)	45.90	46
		7.5(하반)	56.60	57
Type - 5	24	3(상반)	41.70	42
		3(하반)	41.70	42
Type - 6	18	2.5(상반)	39.24	40
		2.25(하반)	37.89	38
계	359.5			

라. 발파진동 저감 시공방안 검토

1) 최소이격 거리에 따른 지발당 장약량 산정

북방1터널 서울방향과 양양방향의 터널간 최소이격거리(약 20m)를 고려한 허용진동속도 5cm/sec의 지발당 장약량을 산정한 결과 약 0.33kg/delay로 계산됨. 이는 설계시 적용된 Type-1,2의 지발당 장약량 12kg/delay의 약 2.75%수준으로 다단계 분할굴착 발파에 따른 작업효율이 현저히 저하되고 지보재 등의 시공성이 어려울 뿐만 아니라 원활한 공사추진이 불가할 것으로 판단되므로 적용성이 떨어질 것으로 사료됨.

2) 발파작업시 진동 경감대책 검토

(1) 발파진동에 영향을 주는 요소

- 사용화약의 종류 및 특성

화약류의 폭발에 의해서 발생하는 진동은 폭발반응에 의한 압력상승의 시간에 관계되므로 폭속이 큰 화약일수록 진동은 커진다. 발파진동의 진동원으로 되는 파동은 동

적 파괴효과의 비율이 작은 폭약일수록 크게되므로, 발파 진동을 작게 하기 위해서는 동적 파괴효과의 비율이 작은 폭약 즉, 저비중 저폭속의 폭약이 유리함.

- 장약방법

천공경에 대해서 약경을 작게하고 소위 디커플링 장약으로 하여 공극에 의해 충격파를 완화하고, 충격파에 의한 동적 파괴효과의 비율을 작게 하고 발파 진동을 경감하고자 하는 것이며, 제어발파용 폭약을 쓴 발파, Smooth Blasting, Pre-Splitting 등이 이 방법을 이용하는 것임.

- 기폭방법

발파진동은 그 지속 시간이 짧기 때문에 진동속도와 같이 진동의 최고치를 평가 단위로 하는 경우에는 단발발파를 하면 진동파형은 불리되고 발파진동의 크기를 단정하는 약량은 총약량이 아니라 지발당의 약량이 됨. 따라서 예정된 발파공을 모두 순발뇌관을 쓰고 발파하는 것이 아니라 지발 전기식 뇌관 또는 비전기식 뇌관을 이용한 발파를 함으로써 발파진동을 경감시킬 수 있음.

- 파동의 전파 차단

폭원과 진동수진점 사이에 도랑(trench) 등을 굴착함으로써 진동을 경감하고자 하는 것이지만 이 방법은 대책방법으로서 일이 많고, 번거로우며 많은 일손을 필요로 하게 되는 반면 기대하는 경감효과는 크기 않다는 이유로 많이 적용되지 않음.

- 전색상태 및 장전상태

폭파공의 밀폐효과가 클수록 폭발 Energy가 유효하게 이용되어 파쇄효과가 크고 따라서 진동도 커짐.

- 폭원과의 감응지점간의 거리

어떤 일정한 지점에서의 진동의 크기는 폭원과의 거리에 반비례함.

- 전파경로의 지반상태

발파진동은 지반중에서 전파되는 것이므로 파동의 모체가 되는 지질조건에 관계가 되며 지층, 암질, 단층, 지하수 등의 복잡한 요인에 의하여 좌우됨. 발파에 의한 지반진동은 지반의 밀도 및 종파의 전달속도에 관계되며 또 지하수의 함수상태에 따라 영향을 받아 함수량이 클수록 진동은 큼.

(2) 발파진동을 감소시키는 방법

- 진동경감 방 법
  - 발생원에서의 억제
    - 약종에 의한 경감
      - 저폭속, 저비중 폭약사용
      - 파쇄기, 팽창제 등 특수 화약사용
    - 다단발파에 의한 경감
      - DSD 사용
      - MSD 사용
    - 약량의 제한에 의한 경감
    - 심발폭파방법에 의한 경감
      - Double 심발
      - 심발의 위치조정
    - 폭파방식에 의한 경감
      - Decoupling 효과
      - 분할발파의 실시
      - 일발파 진행장의 제한
  - 진동전파의 방지

마. 본검토구간 적용성 분석

금번 북방1터널의 양양방향 시점부 굴착작업을 위한 발파시 선시공되거나 선시공예정에 있는 인접 및 근접한 터널의 라이닝 콘크리트에 대하여 영향을 종합검토한 결과

1) 허용진동속도관리는 기존의 문헌 및 기타자료, 라이닝 콘크리트의 허용인장강도등을 고려할 경우 1~25.4cm/sec의 다양한 범위에 있으나, 지반의 불균일성, 안정성 불확실요인, 신설구조물로서 건전성 확보 등을 감안한 경우 허용진동속도를 5cm/sec 정도로 관리하는 것이 바람직 할 것으로 판단되고, 계산된 영향거리는 약 67m 정도이므로 미굴착부로부터 100m정도는 영향권으로 관리를 하여야 할 것임.

2) 현장여건상 서울방향의 라이닝 콘크리트를 선시공후 양양방향을 굴착할 경우 최소이격거리는 약 20m로 이때의 지발당 장약량은 약 0.33kg/delay로 계산되었으며 이는 설계시 적용된 Type-1,2의 지발당 장약량 12kg/delay의 약 2.75%수준으로 다단발파에 따른 작업효율이 저하되고 지보재의 시공성이 어려울 뿐만 아니라 원활한 공사추진이 불가할 것으로 판단됨.

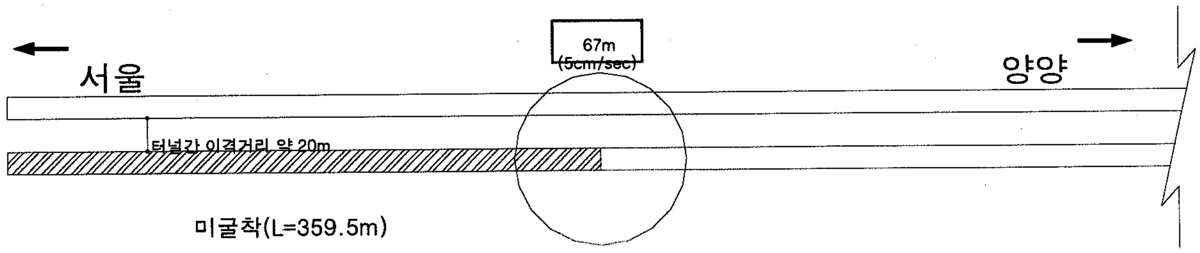
3) 따라서, 발파에 의한 라이닝 콘크리트의 안정성을 고려할 경우 허용진동속도에 준하는 이격거리를 유지하면서 시공함이 타당한 것으로 판단됨. 이 경우 실시공시 반드시 계측을 통한 실제 발파진동을 확인하여 계산식에 의한 이격거리의 적정여부를 확인하고 계산된 이격거리에서 계측된 진동속도가 상이할 경우에는 재 산정된 발파진동식에 의해 이격거리에 대한 조정이 필요한 것으로 판단됨.

3. 검토결론

1) 북방1터널의 시공현황은 종점측에서 시점측으로 굴착이 진행중이며 서울방향은 굴착이 완료되어 방수쉬트의 시공이 완료되었으며 공동구를 시공중에 있고, 양양방향은 시점부 갱구사면의 안정성 검토로 인해 시점측 STA. 5+360~STA.5+719.5(L=359.5m) 구간은 굴진이 중단된 상태로 굴착완료구간에 대해서 방수쉬트 및 공동구를 시공중에 있음.

2) 미굴착된 양양방향의 약 360m구간의 추가굴착에 의한 발파진동 영향에 따른 서울방향 및 양양방향의 라이닝 콘크리트 시공시 영향여부 및 안정거리에 대한 검토가 필요한 실정임.

3) 허용진동속도관리는 기존의 문헌 및 기타자료, 라이닝 콘크리트의 허용인장강도등을 고려할 경우 1~25.4cm/sec의 다양한 범위에 있으나, 지반의 불균일성, 안정성, 불확실요인, 신설구조물로서 건전성 확보 등을 감안 허용진동속도를 5cm/sec정도(라이닝 양생기간 7일 확보)로 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단되고, 계산된 영향거리는 약 67m 정도이므로 미굴착부로부터 100m정도는 영향권으로 관리를 하여야 할 것으로 판단됨.



[그림-3] 북방1터널 발파영향권 모식도

〔표-16〕 Type별 예측 지반진동거리

설계패턴	잔여거리(m)	최대지발당 장약량(kg/delay)	5cm/sec적용시	
			영향거리 (m)	적용영향 거리(m)
Type - 1	232.5	12.0	66.20	67
Type - 2	28	12.0	66.20	67
Type - 3	22	6.0	52.54	53
Type - 4	35	4(상반)	45.90	46
		7.5(하반)	56.60	57
Type - 5	24	3(상반)	41.70	42
		3(하반)	41.70	42
Type - 6	18	2.5(상반)	39.24	40
		2.25(하반)	37.89	38
계	359.5			

4) 현장여건상 서울방향의 라이닝 콘크리트를 선시공후 양양방향을 굴착할 경우

- 최소이격거리는 약 20m로 이때의 지발당 장약량은 약 0.33kg/delay로 계산되었으며 이는 설계시 적용된 Type-1,2의 지발당 장약량 12kg/delay의 약 2.75%수준으로 다단 발파에 따른 작업효율이 저하되어 시공이 어려울 뿐만 아니라 공기의 연장이 불가피한 것으로 판단됨.

5) 북방1터널 발파 굴착시 반드시 화약 전문가에 의한 막장 face Mapping 결과에 의하여 발파 패턴도를 작성하여 시행하고, **계측을 통한 실제 발파진동을 확인**하여 계산식에 의한 이격거리의 적정여부를 확인하고 계산된 이격거리에서 계측된 진동속도가 상이할 경우에는 재 산정된 발파진동식에 의한 이격거리에 대하여 라이닝 콘크리트에 미치는 영향을 검토하여 필요시 안정대책을 수립함이 합리적인 것으로 판단됨.