

복합 선진도갱굴착공법 시공사례 연구

안명석¹⁾ · 조영동²⁾ · 이 효³⁾

1. 서 론

극심한 교통체증 및 고층건물이 밀집한 도심지 발파현장에서 기존의 공법으로는 진동감쇄가 더 이상 불가능하여 선진수평보링공과 선진도갱부 미진동 굴착공법 등 3종류의 신기술·특허기술을 조합한 복합 선진도갱 굴착공법을 시행한 결과 발파진동 감쇄율이 약 33.4% 저감된 시공사례 분석결과를 다루고자 한다.

2. 주변현황 및 지질 개요

2.1 공사개요

- 공 사 명 : 경부고속철도 ○○공구 건설공사
- 발 주 처 : 한국철도 시설공단
- 감 리 사 : (주)○○
- 시 공 사 : ○○건설(주)
- 협력업체 : ○○엔지니어링

2.2 지질 및 암반개요

본 공사장의 지저른 중생대 하양층군 퇴적암, 유천층군 화산암류, 화강암, 제4기 퇴적층으로 이루어져 있으며 과업노선의 동측은 대부분 유천층군의 안산암질 화산 암류로 구성되며 서측은 불국사 화강암류가 주를 이루고 대규모의 단층계인 동래단층이 발달하고 그와 관련된 여러 취성변형(단층, 절리)이 발달하였고, 노선 종점부에는 신생대 제4기 연안 퇴적층이 발달되어 있다. 지질평면도는 그림 1과 같다.

1) (주)지앤비건설발파연구소

2) 무진네오테크

3) SK건설(주)

안명석 조영동 이 효

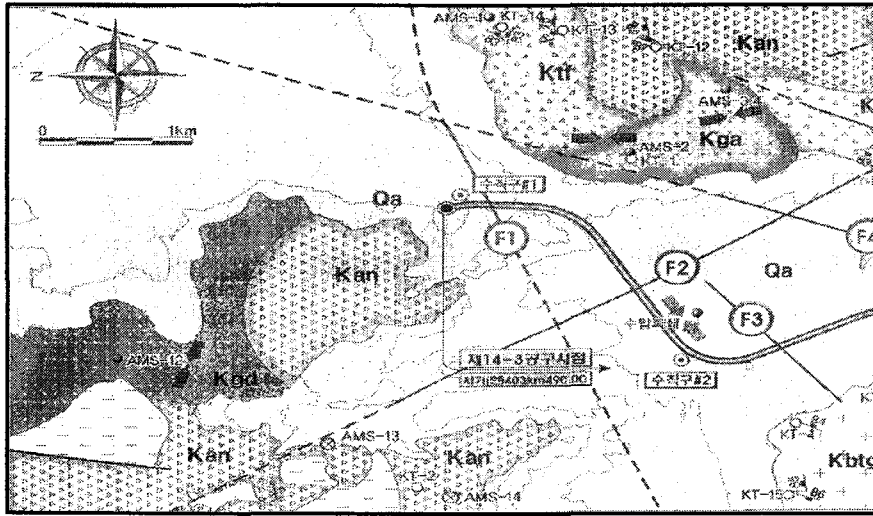


그림 1. 지질평면도

2.3 주변 보안물건 현황

서울 방향 STA.407km+550m지점이 굴착시점으로써(GI-44m지하) 주변에서 ○○역, 고층아파트, 과선교 등이 있으며 특히○○아파트는 7개 동으로써 104동 36.1km, 103동 40m, 106동 40.9m 지점에 위치하고 있으며 도심지 차량정체지역으로 안전성이 매우 많이 요구되는 현상으로서, 그림 2에 평면도를 나타내었다.

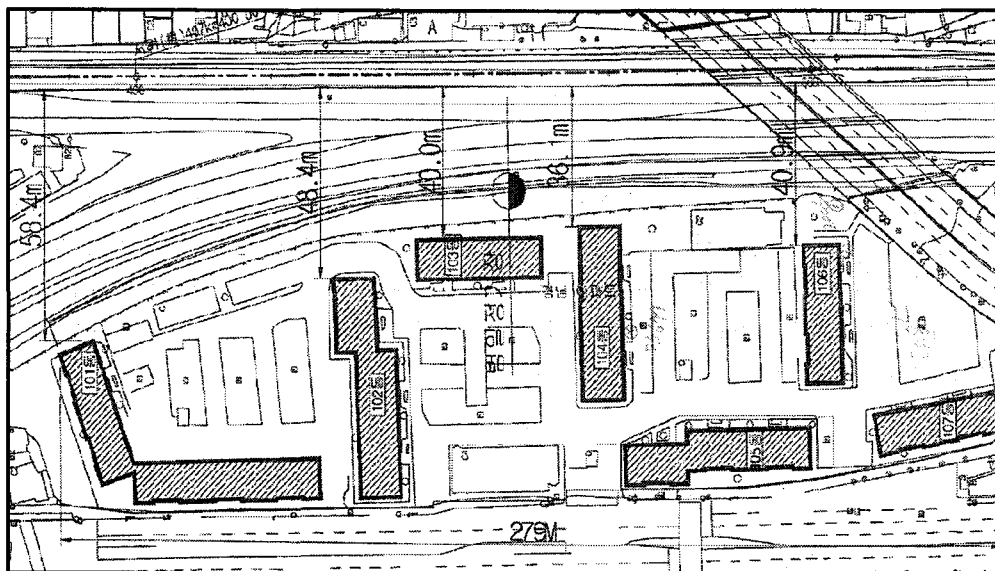


그림 2. 보안물건 위치 평면도

3. 공법의 개요

3.1 선진수평 보링공과 선진도갱부 미진동 굴착공법

(1) 공법의 개요

터널의 막장 심발부의 중심에 소자유면과 지하수 유도 배수통로의 기능을 하는 대구경 무장약공의 선진수평보링공과 선진도갱부의 굴착선을 따라 위치한 복수의 무장약 방진공들을 이용하여 장약의 집중도를 낮추어 발파초기의 진동발생을 최대한억제하면서 선진도갱부 병역내의 장약공들을 발파하는 공법

(2) 공법의 원리

선진도갱부에 대구경 수평보링공을 1공 천공하여 1회 상부반단면 발파 혹은 2회 분할 발파를 실시하여 지반진동을 극소화 시킨다. 이때 단일 자유면에서 초기진동 및 탄성파 에너지를 줄이기 위해 방진공을 활용하고 심발부와 확대부의 분할발파로 발파규모 축소 및 지반진동의 감소를 가져온다.

(3) 특징 및 효과

2차 확대발파 시 암석의 자중을 이용한 자유낙하 방식의 파괴를 유도시키므로 도심지나 보안물건 인접구간의 터널굴착 시 무진동 대체공법으로 활용도가 높으며, 확대부의 경우 2자유면 발파로 발파 효율이 증대되고 파쇄입도가 균일하다.

3.2 다단식 발파기를 이용한 터널발파공법

(1) 공법의 원리 및 개요

전기뇌관을 지발시차와 다단식 발파기의 회로초시를 조합시켜 다단단차로 전기뇌관을 기폭 시킴으로써 발파진동 및 소음저감, 1회 발파로 전단면 굴착을 할 수 있다. 기존 발파에서 시차 한계를 보완하고 원지반 손상을 최소화 할 수 있다.

(2) 특징 및 효과

보안물건의 발파공해 저감에 효율적이고 제발효과에 따른 발파효율이 증대되며, 여굴량 최소화, 단층대, 절리구간의 안전성 유지에 유리함.

3.3 에어튜브를 이용한 에어테크 발파공법

(1) 공법의 원리 및 개요

장약공내의 에어튜브를 이용하여 폭발폭발 시 자유면 방향으로 작용압력과 운동에너지를 증대시켜 암발파 파쇄력을 극대화 시키는 기술로써, 장약공내의 공저 및 폭약사이 또는 폭약과 전색사이에 에어테크를 형성한다. 이때 발파공내의 작용압력은 약 2~7재 정도, 운동에

안명석, 조영동, 이 효

너지는 50~100배정도 증가되는 신개념의 발파기술임.

(2) 특징 및 효과

디커플링 효과를 활용하여 폭약사용 비용을 절감하고, 모암의 손상영역을 최소화 하여 여 굴 감소에 효과적이다.

4. 공법적용 시공 사례

복합 선진도갱 굴착공법 적용 시공사례는 다음과 같다.

4.1 시공공법 설계 및 장약도

1차 심배기를 위한 선진도갱부의 선대구경 수평보링공은 $\phi 482\text{mm}$ 로써 30m 선천공하였으며 그림 3에 정면도 및 단면도와 그림 4에 다단식 발파영역 구분도 및 선진도갱부 상세도를 나타내었다.

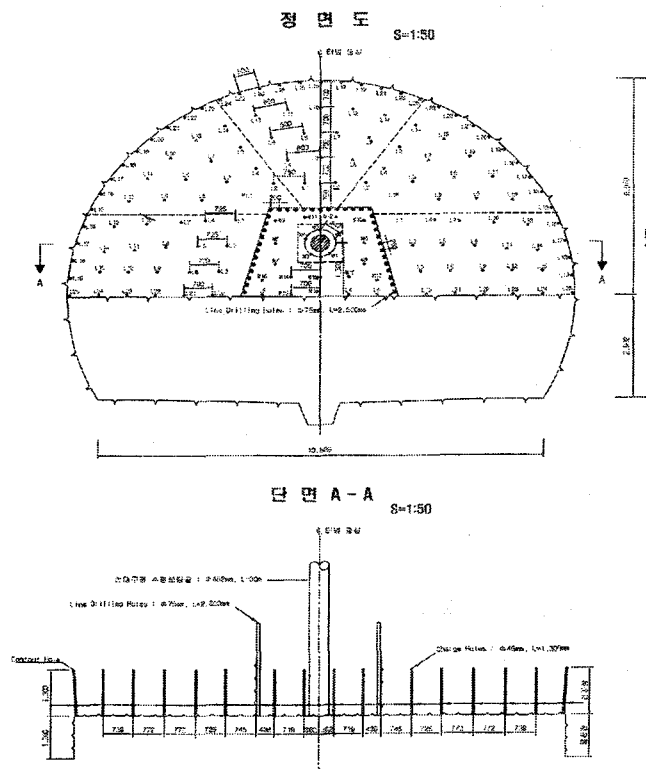


그림 3. 정면도 및 단면도

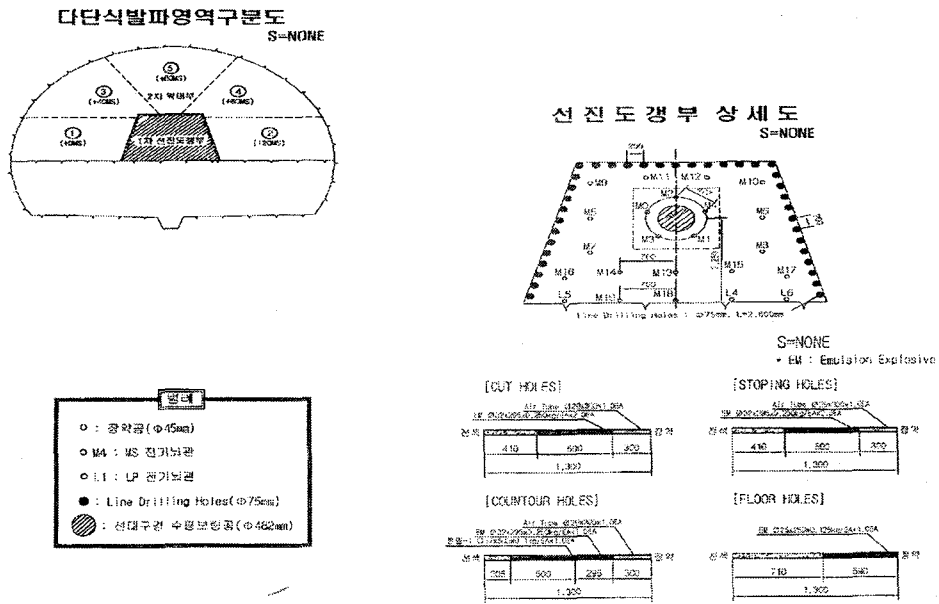


그림 4. 다단식발파 영역구분도 및 선진도갱부 상세도

4.2 진동소음 계측위치

진동소음 측정 위치는 그림 5와 같이 발파현장으로 부터 가장 인접한 ○○아파트 106동과 104동 및 과선교 인접으로 18~62m 지점에 3대를 설치하여 측정하였다.

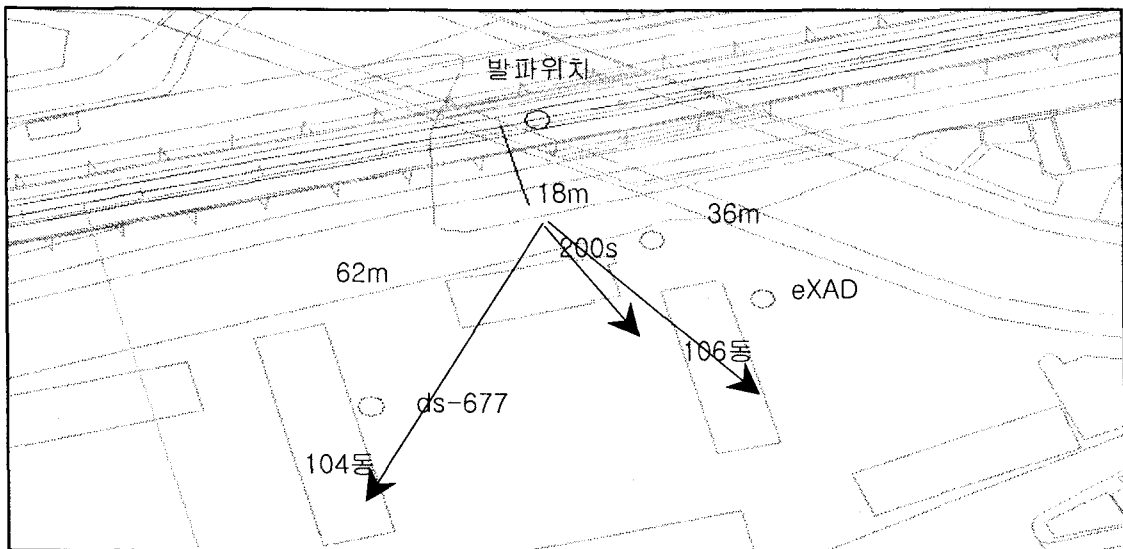


그림 5. 진동소음 계측 위치

4.3 진동소음 계측 결과

선진도갱부 1차발파 후 확대부 5회로 다단식 2차발파 결과와 상부반단면 선진도갱부 및 확대부 5회로 다단식 1회 발파결과는 표 1과 같다.

표 1. 복합 선진도갱굴착공법 적용 진동소음 측정 결과

순번	위치	거리 (m)	진동치 PVS (cm/sec)	주파수 (Hz)	소음 · 음압치 (dB(A) / dB(L))	천공장 (m)	굴진장 (m)	지발당 장약량 (kg)	천공수	총 장약량 (kg)	비고
2/15 1차	과선교 인접	18	미측정			1.3	1.2	0.5	23	11.5	선진도 갱부 1차발파
	106동 앞	36	0.1914	64~170.7	66.9						
	104동 앞	62	0.143	64~170.7	66.8						
2/15 2차	과선교 인접	18	미측정			1.3	1.2	0.5	121	54.95	확대부 2차발파
	106동 앞	36	0.1922	64~170.7	58.8						
	104동 앞	62	0.256	64~170.7	69.8						
2/16 3차	106동 앞	36	0.0238	64~170.7	55.8	1.3	1.2	0.375	144	50.2	상부 반단면 1회발파
	104동 앞	62	0.013cm/sec 이하로 미측정								

5. 예측 및 결과 분석

5.1 당초설계와 제안설계 비교

당초 일반설계 지발당장약량 0.75kg일 때와 복합 선진도갱굴착공법 제안설계 지발당장약량 0.5kg일 때의 예상진동치 비교표는 표 2와 같다.

표 2. 당초 설계와 제안설계의 예상진동치 비교표

이격거리 (m)	당초설계 지발당장약량	당 초 설계식에 의한 진동예측치	제안설계 지발당장약량	선진수평보링공과 선진 도갱부를 이용한 미진동 터널굴착공법/ 에어튜브를 이용한 에어테크 발파공법에 의한 진동예측치	비고
10	0.75kg/delay	2.378	0.50kg/delay	1.059	선진수평보링공과 선진도 갱부를 이용한 미진동 터널굴착공법에 의한 진동예측치는 신공법 적용에 따른 발파진동 평균 감쇄율 45% 적용하여 예측함.
15		1.560		0.695	
20		1.156		0.515	
25		0.917		0.409	
30		0.759		0.338	
35		0.646		0.288	
40		0.562		0.250	
45		0.498		0.222	
50		0.446		0.199	
53		0.420		0.187	

5.2 제안설계와 시험발파 결과비교

복합 선진도갱굴착공법 1차 시험발파 결과와 제안설계를 비교한 결과 표 2에서와 같이 36m 지점에서 당초설계 지발당장약량 0.75kg에서 제안설계 지발당장약량 0.5kg으로 변경하였을 때 55.4% 감쇄를 예상하였으며, 0.5kg 지발당장약량으로 시공발파 시에는 45%감쇄를 예측하였다. 그러나 시공 및 측정결과 이보다 조금 적은 33.4%의 감쇄효과가 있었음을 알 수 있었으며, 2차 시험발파 지발당장약량(0.375kg)의 경우 91.7%의 감쇄효과가 있었다.

표 3. 제안설계와 시험발파 결과 비교표

이격거리 (m)	제안설계		1차 시험발파		2차 시험발파	
	지발당장약량 (kg)	예측진동치 (cm/sec)	지발당장약량 (kg)	실측진동치 (cm/sec)	지발당장약량 (kg)	실측진동치 (cm/sec)
36	0.5	0.288	0.5	0.1914	(0.375)	(0.0238)
				0.1922		
평균진동치		0.288		0.1918		(0.0238)
발파진동 감쇄율			-33.4%		(-91.7%)	

5.3 결과 분석 및 검토

표 1에서와 같이 18m 지점에서는 지발당장약량 0.50kg/delay의 경우 철로 및 경계 방음벽의 진동차단 효과로 진동은 측정이 되지 않았다. 그러나 36m 지점 경우 0.1914~0.1922cm/sec 였으며, 62m지점의 경우 0.143~0.256cm/sec 였다. 이때 2차발파 시 104동 앞의 과도한 수치의 진동치는 측정시 인근 차량진동의 간섭효과로 추정된다.

그러므로 36m 지점의 106동 앞 측정데이터를 기준으로 하여 비교할 때 표 3 에서와 같이 동일 지발당 장약량일 때 33.4%의 진동감쇄율이 있었음을 알 수 있다

6. 결론

(1) 도심지 터널굴착 공사장에서 기존의 일반 터널발파 설계법으로는 0.3cm/sec 이하의 진동제어가 불가능 하여 대구경 선진수평 보링공과 선진도갱부 미진동 굴착공법 다단식 발파기를 이용한 터널발파공법, 에어튜브를 이용한 에어데크 발파공법 등의 신기술 특허 공법을 혼합하여 설계한 최신 복합 선진도갱굴착공법을 적용하여 2차례 3회의 시험발파를 시행한

결과 발파지점으로부터 36m 지점에서 33.4%의 진동감소 효과가 있었다.

(2) 본 시공사례 연구를 통하여 도심지 고층건물 밀집지역 및 불규칙한 암질의 터널현정에서의 간선도로, 철도, 방음벽 등의 진동차단 및 증폭 효과와 차량진동에 의한 간섭효과 및 고층건물에서의 측정점과 효율적인 평가기준에 대한 계속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이정인, 1998, 선대구경 수평보링공법에 관한 연구, 서울대학교 공과대학 부설 에너지·자원 신기술연구소.
2. 한국도로공사, 1999, 건설공사 안전관리 실무(터널공사).
3. 류창하, 2001, 발파공학의 세계적 연구동향과 우리나라의 학문적 기술적 수준, 추계공동 학술발표회 논문집, 한국암반공학회/ 대한화약발파공학회.
4. 한국건설기술연구원, 1994, TBM/NATM 병용공법의 효용성평가 연구.
5. 한국지반공학회, 2000, 토목기술자를 위한 암반공학(제11장 토목구조물 건설을 위한 발파설계-류창하), 지반공학시리즈 11.
6. 김희창, 안명석, 김종현, 2000, 화약 및 화공품의 역사와 향후전망에 관한 연구, 대한화약발파공학회.
7. 류창하, 안명석, 윤성현, 이천식, 박주연, 2002, 미진동발파공법적용사례에 관한 연구, 대한화약발파공학회.
8. 안명석, 박종남, 배상근, 1998, 도심지 미진동제어발파에서 진동분석을 통한 안전발파설계에 관한연구(I), 대한토목학회.
9. 안명석, 김종대, 김남수, 2000, 대구지역지층의 지질특성과 대표암반에 대한 발파진동계수산출, 한국암반공학회.
10. 안명석, 김수석, 2000, 안산암반 절취장에서 충격진동 및 소음이 건물의 균열에 미치는 영향, 대한화약발파공학회.