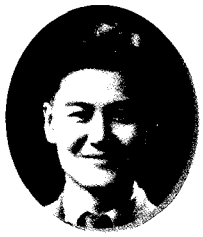
폐광지역을 통과하는 구조물 설계 사례



최 창 림
(주)삼보기술단
지반부 부장
(ccr12424@hanmail.net)

임 학 수
(주)삼보기술단
지반사업부 과장

김 도 형
(주)삼보기술단
지반사업부 과장

김 동 현
(주)삼보기술단
지반사업부 이사

소 충 섭
(주)삼보기술단
지반사업부 부사장

1. 개요

최근에는 국토 균형발전의 일환으로 도로 및 철도 건설이 활발하게 이루어지고 있는데 석탄채굴중지로 인해 폐광이 된 지역인 강원도 태백, 도계, 삼척 등에서도 많은 구조물 건설이 이루어지고 있다. 이러한 조건에서 구조물 건설은 구조물 자체의 안정성뿐만 아니라 지중의 탄층, 채굴적(석탄 채굴흔적) 및 폐갱도에 의한 상부 터널이나 교량 등의 구조물 피해가 종종 발생되고 있는 상황이다. 또한 2차로 양방향교통 조건의 장대터널에서의 터널내 화재사고로 인한 방재계획 수립의 중요성이 점점 증가하고 있는 현실이다.

본 설계의 목적은 폐탄광이 산재한 지역에서 기존 국도를 신설 및 확장하는 건설공사로 터널 및 교량 기초에 대한 원안설계를 분석하여 각 구조물별 최적의 대안 공법을 제시하는데 있다.

본 설계사례에서는 과업구간의 석탄광산, 채굴적 현황 및 광해사례 분석, 2차로 양방향교통 터널의 화재사고를 대비한 방재계획, 현재 가행 중지된 전두갱 교차부의 통과공법, 탄층조우시의 통과방안, 교량하부 채굴적을 고려한 기존교량 보강사례 분석 및 신설교량의 기초보강공법 등에 대하여 설계에서 검토한 내용 위주로 소개하고자 한다.

2. 현황

2.1 노선현황

본 계획노선은 국도38호선(서산~동해)중 태백~미로 2-1구간으로 강원남부 내륙지방과 동해, 삼척 등 해안지방을 연결하는 주간선 도로로서 장래 교통수요에 효율적으로 대처하기 위하여 기존도로에 대한 개량 및 신설계획을 수립하여 원활한 교통소통과 국토의 균형적인 발전을 촉진하기 위하여 양방향 교통의 터널 안전성과 폐광지역에 위치한 구조물의 안정성 확보를 위하여 계획되었다.

태백~미로 2-1공구 전체연장은 2~4차로 폭원의 11.04km이며 그 중 대안구간은 4.7km에 달하며,

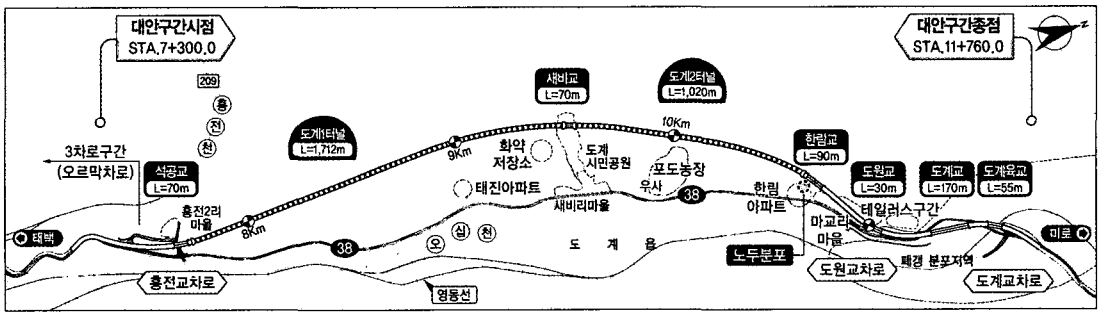


그림 1. 설계구간 노선 현황도

표 1. 원안 및 대안설계 사업규모

구 분		전 체 분	대 안 분	
			원 안	대 안
연장		11.03km	4.46km	4.47km
차로수		2~4차로	2~4차로	2~4차로
터 널	도계1터널	양방향 2차로 : 1,712m	양방향 2차로 : 1,712m	양방향 2차로 : 1,765m
	도계2터널	양방향 2차로 : 1,020m	양방향 2차로 : 1,020m	양방향 2차로 : 1,077m
교 량	장대교	2개소 / 549m	1개소 / 170m	1개소 / 170m
	소교량	6개소 / 325m	5개소 / 315m	4개소 / 215m
교차로	입체교차	2개소	1개소	2개소
	평면교차	5개소	2개소	1개소

표 2. 과업구간 터널현황

구 분		도계1터널		도계2터널	
		원 안	대 안	원 안	대 안
터널연장(m)		1,712	1,765	1,020	1,077
종단경사(%)		0.81	0.5	-2.5	-1.98
갱 문형 식	시 점	아치면벽	아치윙면벽	아치면벽	아치윙면벽
	종 점	벨마우스	버드비크	아치면벽	아치윙면벽
사갱/방향전환소		-	1 / 2	-	1 / 1
환 기	방 식	제트팬 종류식	제트팬 종류식	제트팬 종류식	제트팬 종류식
	제트팬대수	10 (일반형)	8 (고성능)	8 (일반)	6 (고성능)

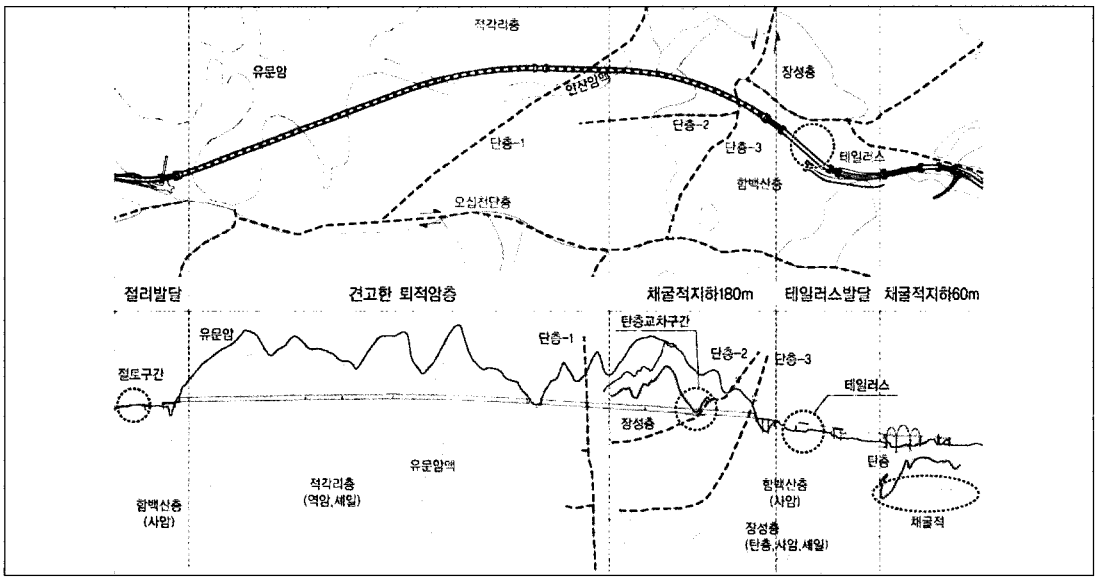


그림 2. 지질 평면도 및 종단면도

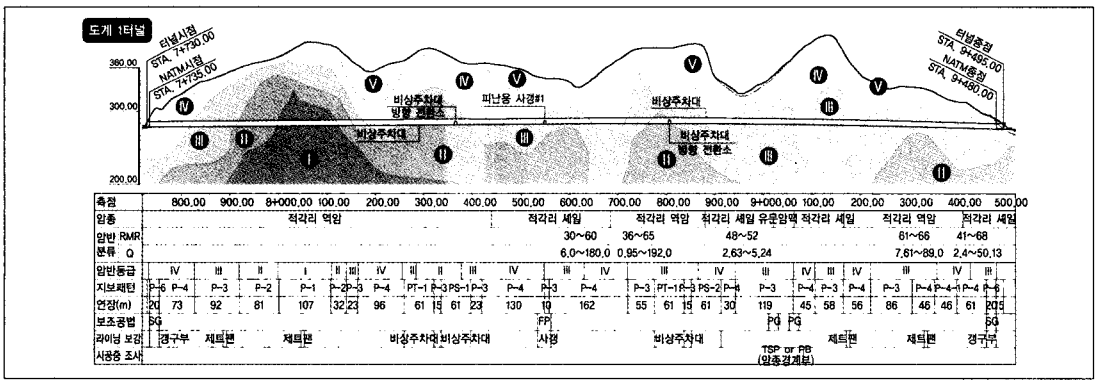


그림 3. 터널구간 암반등급도(도계1터널)

표 3. 구조물별 조사계획 및 주요 조사항목

구 간	터널 구간	교량 구간
지질특성	• 견고한 퇴적암(역암, 셰일), 석탄층 협재	• 석탄광산지역 지하 채굴적 산재
조사계획	• 지질이상대의 분포 및 특성파악 • 역암층의 특성파악 • 산성암반수 발생가능성 분석	• 채굴적 분포 파악 • 지반이완 상태 파악 • 정량적 침하위험도 작성
조사항목	• 수평 및 장심도 시추조사 • 대심도 / 반사법탄성파 탐사 • 역암층의 풍화민감도 / 고결도 시험 • 중금속 및 용출 시험	• 현장조사 및 위성사진 분석 • 대심도 탄성파 토모그래피 • 암반 장기변형 시험 • 원심모형시험

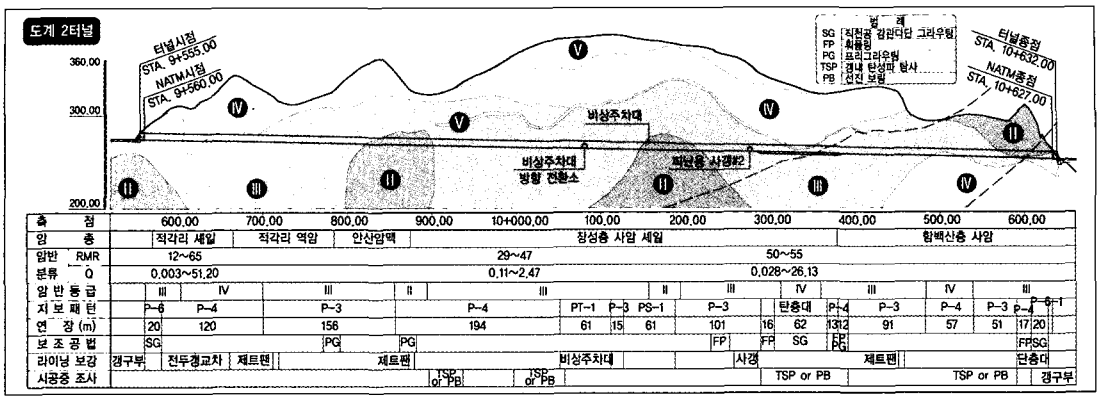


그림 3. 터널구간 암반등급도(도계2터널)

대안구간의 시설규모는 터널 2개소 2.84km, 교량 5개소 385m, 교차로 3개소로 이루어져 있다(표 1, 그림 1 참조). 터널 2개소는 중앙부 토공구간을 좌우로 하여 연속터널로 이루어져 있으며 각 1km이상의 양방향 교통으로서는 비교적 긴 터널로 계획되어, 대안설계에서는 각 터널의 종단경사를 0.5% 및 2% 이내로 개선하고 고성능 제트팬 적용으로 환기효율을 개선하였다. 다음의 표 2는 터널별 설계제원을 정리하여 나타내었다.

2.2 지질 및 지반현황

과업구간의 주 분포 암종은 적각리층 역암, 함백산층 사암, 장성층 사암, 셰일로 구성되며, 이중 터널구간의 대부분은 적각리층의 역암, 셰일 등이 주로 분포하고 있다. 특히, 주 채탄층인 장성층의 경우는 도계2터널의 종점부에 일부 걸쳐있어 터널설계시 탄층현황 파악 및 막장 출현시에 대한 대책이 필요하였다.

교량구간의 경우는 도계교, 도계육교 구간에 지표면 약60m 하부에 채굴적이 분포하는 것으로 인근자료 조사결과 나타나 기초설계시 주안점으로 선정하였다.

주요 구조물구간의 지반 및 지질특성 파악을 위하여 표 3과 같은 조사계획 및 조사항목을 선정하여 구조물 안정성 검토에 활용하였으며 지표지질조사, 시추조사 및 물리탐사 결과를 종합적으로 분석하여 지질도 및 터널구간 암반등급을 산정하였다(그림 2, 3 참조).

3. 석탄광산 및 채굴적 현황 분석

과업구간 부근의 석탄광산 현황은 대한석탄공사 도계광업소와 5개소의 민간탄광(대방, 삼마, 태안, 신원, 한양탄광)이 1930년대 이후로 석탄 채굴을 시작하여 도계광업소 및 태안탄광을 제외하고는 1980~1990년대에 폐광이 이루어졌다. 국내 광산은 석탄의 부존상태가 매우 불규칙하여 상부에서부터 석탄을 함몰시켜 채탄하는 "위경사승 붕락식" 방식을 주로 사용하게 되며 이로 인해 발생하는 침하형태는 부분적으로는 함몰형 침하와 연속적인 트라프형이 있으나 어느 한 형태의 피해보다는 복합적인 형태가 주로 발생하게 된다.

도계광업소의 개발계획에 대해 조사한 결과 도계 1 · 2터널 통과부의 하부 350m 이하에서 향후 채굴

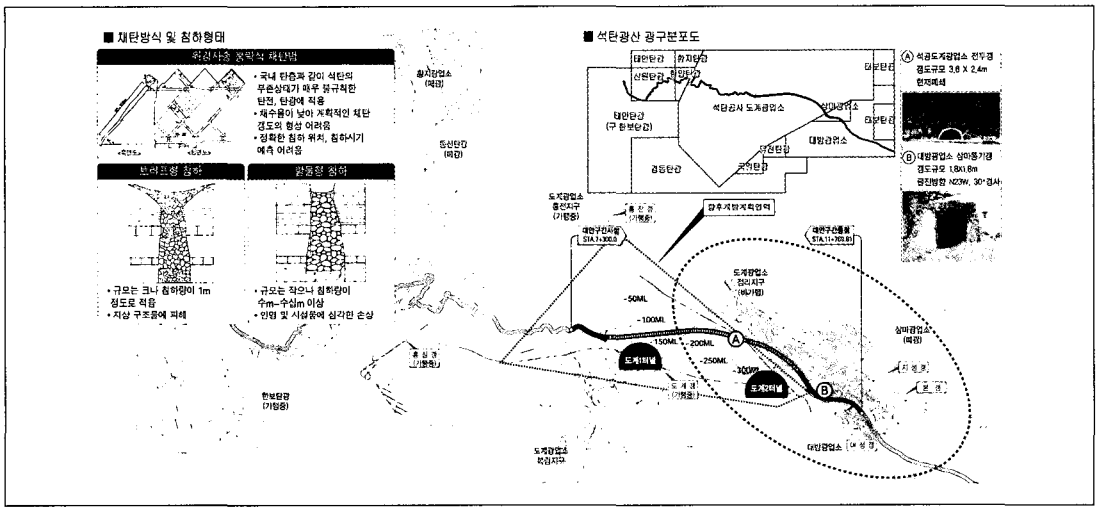


그림 4. 석탄광산 및 채굴적 현황도

표 4. 광산별 채굴 현황

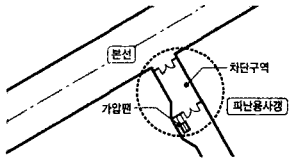
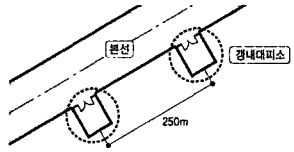
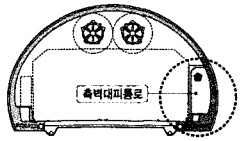
탄 광 명	채굴시기	생 산 량	가행여부	현 황
석탄공사 도계광업소	1937년 ~	-	가행중	• 도계갱, 동덕갱, 흥전갱, 흥심갱 가행중이나 전두갱 지역은 1992년부터 개발 중단
대방광업소	1960년 ~1989년	143만톤	폐 광	• 신사갱, 대성갱 등에서 심부개발 • 영동선철도 및 38번 국도 하부를 개발, 2005년도 보강공사 시행
삼마광업소	1960년 ~1989년	243만톤	폐 광	• 지성사갱에서 3편(139ML)~10편(-60ML)까지 개발 • 도계육교, 오십천교 등 주요시설물 하부에서 채탄하여 수차례 보강
태안탄광 (구 한보탄광)	1985년 ~	매장량 3,363만톤	가행중	• 수개의 사수갱 및 지하 10여편이 넘는 개발갱도에서 채굴 • 탄폭은 지질구조영향(단층, 습곡)으로 부분적인 부광대 형성
신원탄광	1959년 ~1987년	35만톤	폐 광	• 기성갱, 대성갱 등을 1987년까지 개발하였으며, 광구내 석탄층은 거의 채워진 상태
한양탄광	1958년 ~1992년	약 14만톤	폐 광	• 장성층 내의 협소한 탄층 및 금천층의 구조적 부광대를 개발

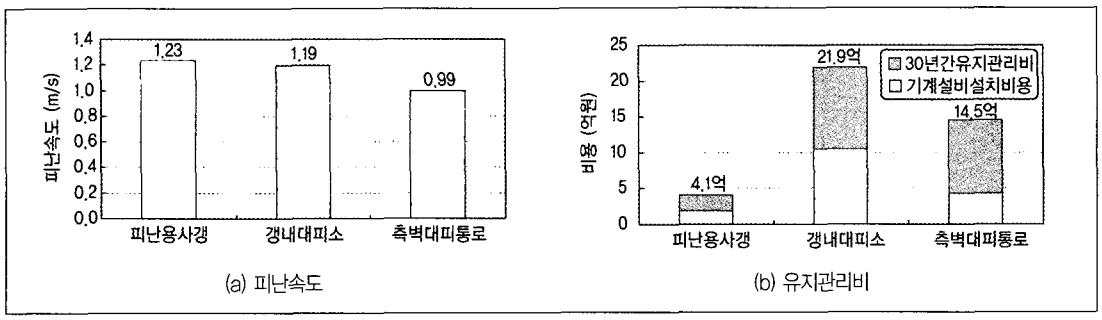
이 예정되어 도계2터널과 교차하는 전두갱(그림 4Ⓐ 참조) 통과부에 대한 보강계획이 필요하였다. 또한 종점부의 도계교, 도계육교 구간은 함몰형 및 트라프형 침하가 수차례 발생하여 지반보강공사가 진행된 것으로 조사되어 신설되는 구조물로 인한 안정성 평가가 필요하였다. 다음 그림 4에서는 인근의 석탄광산 및 광구분포도, 국내에서 주로 사용된 채탄방식, 대표적인 침하형태를 보여주고 있으며, 표 4에서는 인근광산의 가행여부 및 현황을 보여주고 있다.

4. 터널구간 주요 검토사항

4.1 터널 방재계획 검토

표 5. 피난특성을 고려한 방재계획 비교

구 분	피난용 사갱	갱내대피소	측벽대피통로
피난시설			
피난특성	• 비상차량 접근성 확보 • 단시간에 동시탈출 가능 • 피난동선이 짧고 단순 명확	• 화재지속시간이 길 경우 치명적 • 사고사례 빈발(예 : 몽블랑터널)	• 1열 대피대피통로내 2차사고 유발 • 상시 위압감 및 폐쇄감 유발
외부피난 거리/시간	• 866m / 12분 54초	• 1,373m / 19분 9초 (갱내대피소내 인원 제외)	• 1,737m / 24분 54초



(a) 피난속도 (b) 유지관리비

그림 5. 외부탈출시 피난속도 및 유지관리비

본 도계1,2터널의 경우 양방향교통의 연속된 터널로 외부에서 비상차량의 접근성, 단시간에 동시탈출이 가능하도록 피난시설계획이 필요하였다. 외부피난거리 및 탈출시간에 대한 검토결과(표 5 참조) 피난용 사갱을 각 터널에 설치하는 방안이 피난거리 및 피난시간 측면에서 최소화가 가능하였다. 갱내 승객의 피난속도에 대한 분석결과(그림 5 참조) 피난용 사갱 설치시 1.23m/sec로 측벽대피통로를 이용한 방법에 비해 약 25% 이상의 피난속도가 향상되는 것으로 나타났다. 또한 유지관리를 고려한 경제성 측면에서도 최소화가 가능한 것으로 분석되어 경제성, 안전성 측면에서 가장 우수한 방법으로 도계 1,2터널에 각각 사갱을 설치하는 것으로 계획하였다.

4.2 전두갱 보강공법 검토

터널 교차부 통과방안 처리를 위하여 전두갱에 대한 측량결과 도계2터널 시점으로부터 약 90m 이격하여 터널과 사교(약 22°)하는 것으로 조사되어 전두갱을 버력 및 시멘트 밀크로 채우는 방법과 구조물로 보강하는 방법을 우선적으로 검토하였으나, 석탄공사 도계광업소와 협의를 통해 전두갱을 향후 운반갱도로 활용할 수 있도록 콘크리트 박스 구조물을 설치하는 것으로 계획하였다(그림 6, 7, 표 6 참조).

도계광업소의 향후 개발계획으로 인한 신설구조물의 안정성 측면에서는 이격거리가 최소 200m 이상으로 응력-아치 체적방법 및 한계평형 해석법에

의한 안정성 검토결과 붕락고 80m 미만, 안전율 2.5 이상으로 도계1터널 및 도계2터널의 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다(그림 8, 9 참조).

4.3 탄층 통과공법 검토

탄층구간 상세분석을 위하여 지표지질조사, 시추

그림 6. 폐갱도 측량조사

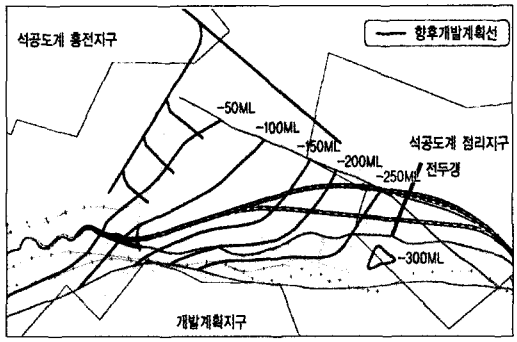
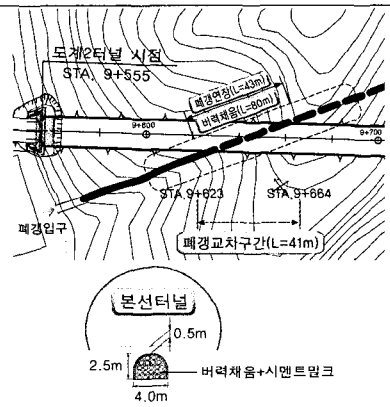
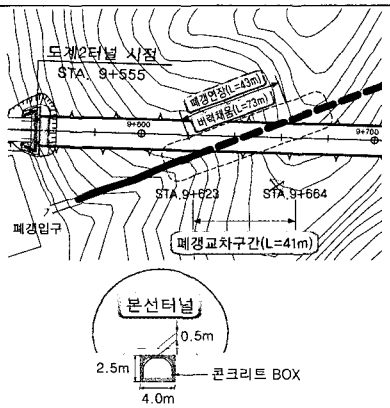


그림 7. 도계광업소 개발계획

표 6. 전두갱 처리계획 비교

구 분	버력 + 시멘트 밀크그라우팅 채움	콘크리트 BOX 설치
개요도		
공법개요	• 폐갱 영향범위내 버력을 다짐충전한 후 시멘트 밀크그라우팅 수행	• 폐갱내 콘크리트 BOX(2.5×4.0m) 시공
시공순서	① 폐갱내 버력채움 ② 천단부 및 버력 공극사이 시멘트 밀크 그라우팅 ③ 본선구간 굴착	① 폐갱내 콘크리트 BOX 시공위해 상부 추가굴착 수행 ② 콘크리트 BOX 구조물 설치 ③ 본선터널 굴착
특 징	• 경제적이며 시공관리가 용이 • 장기적 안정성 확보 가능 • 골재와 주입재 이탈 가능 • 폐갱 폐쇄시 적용	• 폐갱단면과 콘크리트 BOX 이음부 시공주의 필요 • 철근콘크리트 구조물로 안정성 양호 • 시공후 갱도 사용가능
경제성	0.9억원	2.4억원

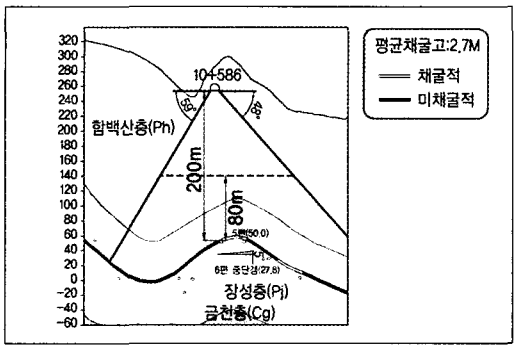


그림 8. 응력아치-체적방법 검토

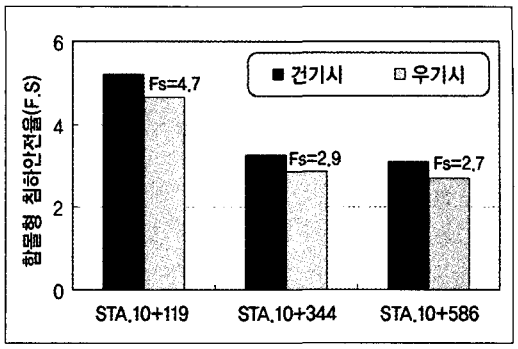


그림 9. 한계평형법에 의한 검토

조사, 시추공영상촬영 및 물리탐사(전기비저항, 반사법탄성파 탐사) 등의 조사를 통하여 탄층 분포범위를 예측하였다. 조사 분석결과 도계2터널에 직접적인 영향을 미치는 탄층의 폭원은 약 2~3m, 연장은 약 91m로 예상되었다(그림 10 참조).

터널굴착시 탄층조우시에 대한 지보패턴은 터널과 탄층 이격거리에 따른 거동특성을 고려하여 표 7과 같이 터널 천단부와 탄층이격거리가 0.5D ~ 1.0D이하인 경우는 탄층대-1 패턴으로 상하분할 굴착 및 인버트 설치, 이격거리가 0.5D이하인 경우는 탄층대-2 패턴으로 링컷굴착 및 인버트 설치, 탄층이 막장면 전반에 분포하는 경우는 탄층대-3 패턴으로 파일럿 굴착 및 인버트를 설치하고 전 구간 철근콘크리트 라이닝으로 보강하여 터널의 장기적인 안정성을 확보하였다.

과업구간에는 여러개의 현재 가행중인 탄광을 비롯하여 폐광, 폐탄 더미들이 인근에 산재하여 있어 지하에 묻혀있던 황화광물들이 산화되어 발생되는 산성광산배수(Acid Mine Drainage), 암반 내 존재하는 황철석(Pyrite) 등의 산화반응으로 인해 발생하는 산성암반배수(Acid Rock Drainage)등의 산성수가 발생하고 있다. 이러한 산성수는 주변 지표수와 지하수를 오염시키는 문제와 더불어 터널 지보재의 부식 및 콘크리트의 산화를 발생시켜 터널의 장기적 안정성에 영향을 주는 경우가 발생하고 있어 이에 대한 현장내 수질 및 토양분석 등 영향인자에 대한 검토가 필요하였다. 과업구간의 산성수 발생가능성을 평가하기 위하여 그림 11과 같이 지표수, 지하수, 토양 및 시추코어 등을 채취하여 분석하였으며 조사결과는 표 8과 같이 과업구간 인근에서 흰색 또는 갈색의 침전물이 관측되어 터널내 직접적인 영향범위와 대책수립이 필요한 것으로 판단되었다.

도계2터널의 경우 주변 지하수 내 높은 황산이온의 농도와 더불어 시추조사 결과 일반적으로 황화광물의 함량이 높은 것으로 알려진 탄질셰일층이 분포하여 황산이온을 주오염원으로 하여 오염원 거동해석을 수행하였다. 검토결과 STA. 10+300~10+380 구간에서 황산이온의 농도가 200ppm 이상을 보일 것으로 평가되었다. 구조물 부식피해가 우려되는 황산이온의 농도가 600ppm(DIN4030)으로 이에 근접하는 농도를 나타내므로 도계2터널에 산성수 대책을 적용하였다. 따라서 록볼트를 산성수로부터 보호하기 위하여 이중관 록볼트, 콘크리트 라이닝의 부식방지를 위한 에폭시 코팅철근과 내황산 시멘트를 적용하여 터널 구조물의 안정성을 확보하였다(그림 12, 13 참조).

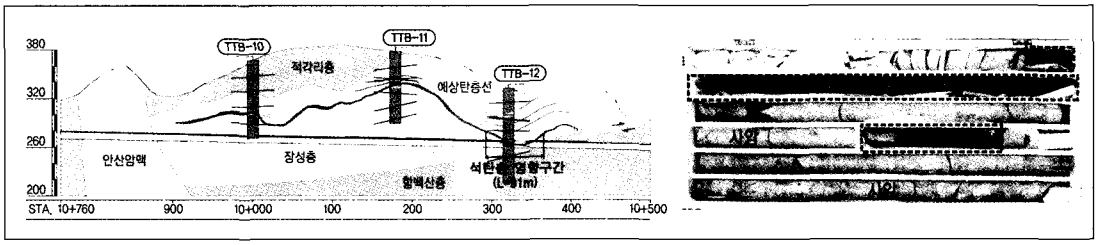


그림 10. 탄층분포 현황 및 암석 코어

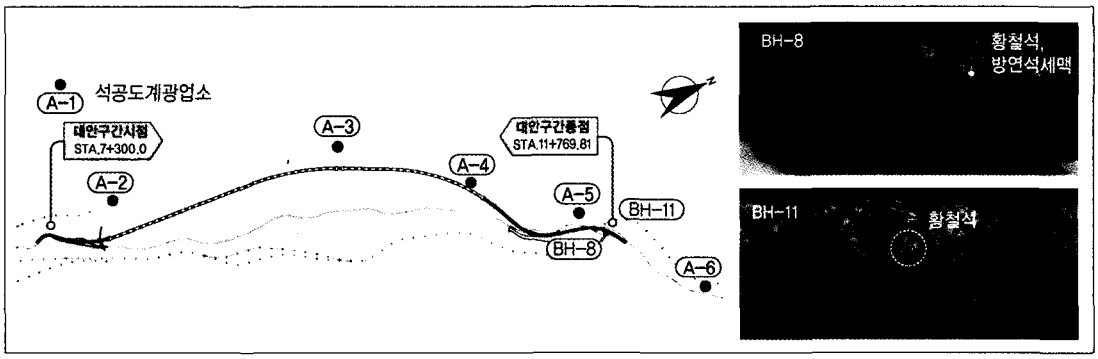


그림 11. 산성수 검토를 위한 조사위치 및 시추코어 분석

표 7. 탄층분포에 따른 지보패턴

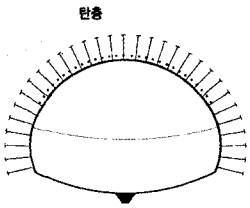
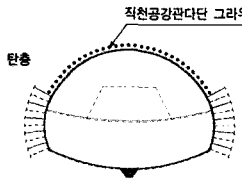
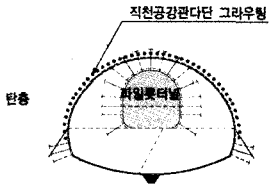
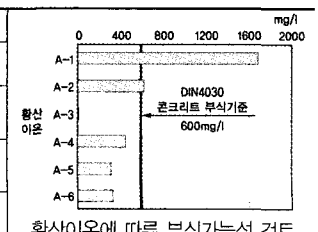
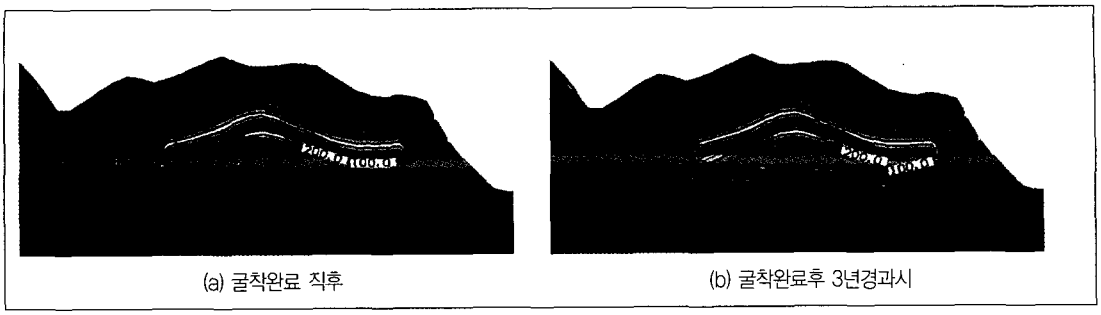
구 분	탄층대-1	탄층대-2	탄층대-3
개 요 도			
탄층이격거리	0.5D ~ 1.0D	0.5D 이하	막장 전반에 걸쳐 분포시
굴착 공법	상하분할 굴착 + 인버트	링컷 굴착 + 인버트	파일롯 터널 + 인버트
보조 공법	훠 폴 링	직천공 강관다단 그라우팅	대구경 직천공 강관다단 그라우팅

표 8. 실내시험 및 현장조사 결과

구 분	시 료 명	비 고
광미, 계곡수	A-1	흰색 침전물
사면토양	A-5	-
계곡, 하천수	A-2, 3, 4, 6	흰색, 갈색 침전물
시추코어	BH-8, BH-11	황철석 관찰



황산이온에 따른 부식가능성 검토



(a) 굴착완료 직후 (b) 굴착완료후 3년경과시

그림 12. 도계2터널 황산이온 거동해석 결과

(a) 이중관 록볼트 (b) 에폭시 코팅 철근 (c) 내황산 시멘트

그림 13. 산성수를 고려한 지보 및 라이닝 대책

5. 교량기초 주요검토사항

5.1 광해 현황 분석

과업구간에 영향을 미치는 주 채굴적은 동부배사 축부의 탄층을 집중 개발한 삼마광업소의 지성갱 5편이며, 수평에 가까운 동익부 탄층을 개발한 연층의 채굴적도 다수 분포하고, 채굴적의 분포심도는 지표하 60~130m인 것으로 파악되었다. 이러한 채굴적에 대해서는 금번 조사에서는 탄목 등을 직접 확인하지는 못하였으나 점리 및 고사리 지역의 지반보강공사시 수행한 지반조사에서는 직접적인 폐갱징후를 여러 곳에서 확인한 것으로 파악되었다(그림 14 참조).

또한 기존교량 인근의 광해 조사결과 기존 도계교와 도계육교의 침하발생으로 인한 교량구조물 균열과 인근 지역의 지표침하가 그림 15에 보이는 바와 같이 상당히 진행되었으며, 인근지역의 채굴적에 대한 문헌조사결과 채굴이 종료된 이후 약 20년간 동안에 최대 약 18cm의 침하가 발생한 것으로 측정되었다.

5.2 지반보강 사례분석

인근 폐광지역의 채굴적에 대한 지반보강은 주로 상부에는 장심도의 뿌리말뚝(마이크로 파일)을 적용하여 지반과의 강체거동을 유도하는 개념의 보강설계가 이루어졌으며, 보강재는 주로 강관 및 철근을 사용하고 충전재로는 시멘트 밀크 또는 시멘트 몰탈을 사용하였다. 또한 채굴적 채움은 시멘트 몰탈을 이용한 그라우트 충전법이 주로 적용되었는데 이러한 보강방법은 기존교량의 보강공법에 한정하여 적

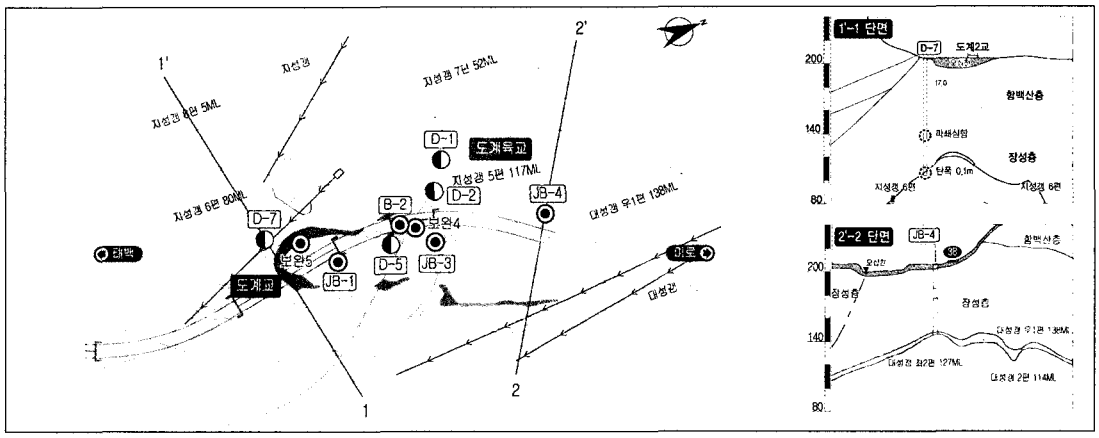
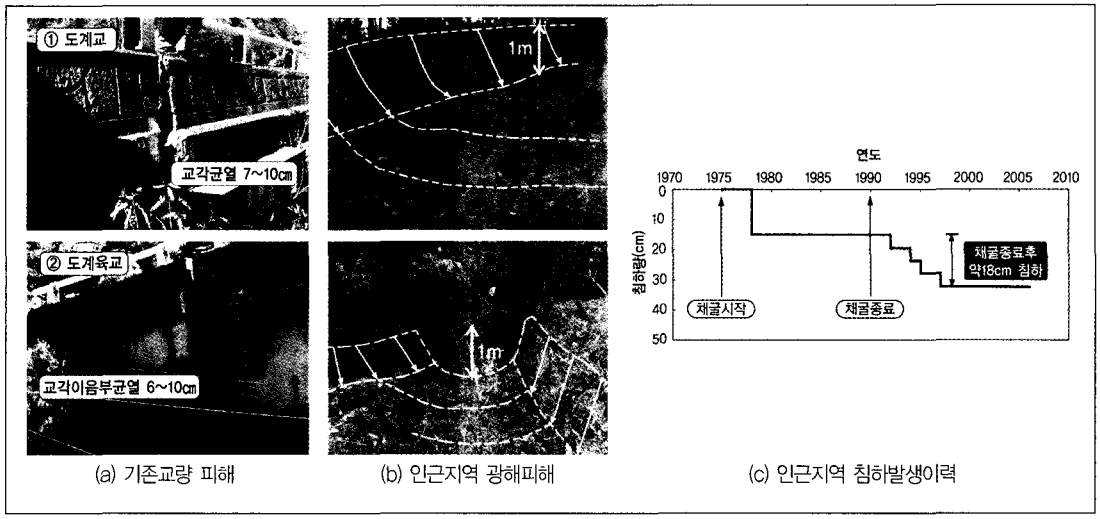


그림 14. 도계(육)교 구간의 탄층분포 및 채굴적 상세 현황



(a) 기존교량 피해 (b) 인근지역 광해피해 (c) 인근지역 침하발생이력

그림 15. 광해 피해 현황 및 침하이력

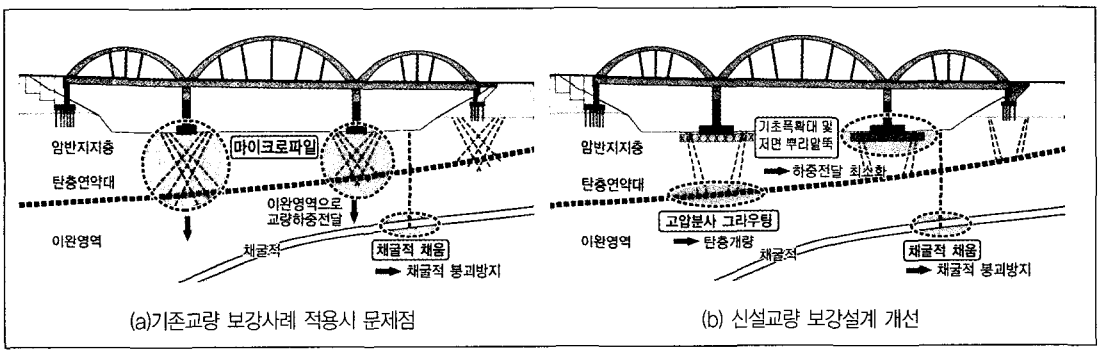
용할 수 있는 것으로 판단하였다. 다음의 표 9에서는 기존 채굴적의 지반보강 사례를 나타내었다.

5.3 교량기초 보강대책 검토

기존 보강사례를 신설구조물에 적용할 경우에는 그림 16(a)에 보는 바와 같이 마이크로 파일의 말뚝 효과로 인해 교량구조물의 하중이 하부 이완영역으로 전달되어 침하가 가속화 될 우려가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 그림 16 (b)와 같이 교량구조물 하중의 전달을 최소화하기 위하여 기초폭을 확대시키고 중간부 연약한 탄층의 이완영역 확대방지를 위해 고압분사 그라우팅을 통해 탄층대를 개량하며, 하부 채굴적에는 추가 붕괴방지를 위하여 시멘트 몰탈로 채우도록 계획하였다. 또한, 충분한 암반강도를 보이는 기초 직하부는 천공작업을 최소화하여 원

표 9. 인근 채굴적에 대한 지반보강 사례

구 분	침하유형	보강 대상	보 강 공 법
태백철암지구 (1995)	트러프형 함몰 침하 (20~70m)	철도/도로 교량	• 상부보강 : 뿌리말뚝공법(보강재 : 철근D19 5EA) • 그라우트 충전 : – 시멘트몰탈, 조골재+시멘트밀크 충전(보강재 : 강관 D50)
고사리지역 (2000)	트러프형 함몰 침하 (3~130m)	철도/도로 교량	• 상부보강 : 고압충전 뿌리말뚝(보강재 : 강관 및 철근) • 그라우트 충전 : 저유동성 몰탈 그라우팅 공법
심포리지역 (2001)	트러프형 함몰 침하	철도/도로 주택	• 상부보강 및 그라우트 충전 : 시멘트몰탈 그라우팅 공법 (보강재 : 강관 D80, 철근 D194EA)
삼척,도계지역 (2002)	함몰형 (5~30m)	철도 시가지	• 철도지역 : 상부보강 및 그라우팅 충전 → 시멘트 밀크 그라우팅 공법(보강재 : 강관 D50)



(a)기존교량 보강사례 적용시 문제점 (b) 신설교량 보강설계 개선

그림 16. 기존교량 보강시 문제점 분석 및 보강설계 개선

지반 손상이 최소화 되도록 하였다.

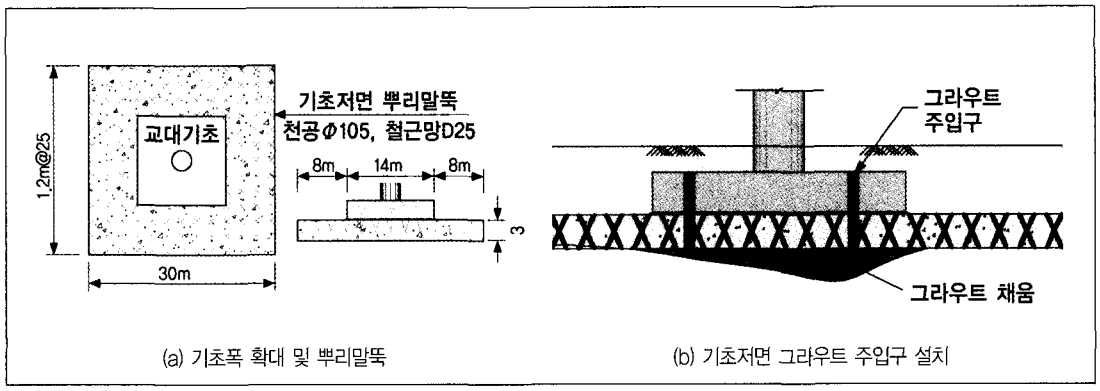
공용중 교량기초의 장기적인 안정성 확보를 위해 그림 17과 같이 원안설계에 비해 기초면적 3배 확대, 기초저면 뿌리말뚝 계획, 향후 신설교량의 침하발생 시 신속한 복구를 위해 기초저면에 그라우트 주입구를 설치하여 안정성 확보 및 유지관리가 가능하도록 보강대책을 수립하였다.

6. 결론

본 사례는 태백~미로 구간의 기존국도를 신설 및 확장하는 대안설계로서 가장 주안점을 둔 부분은 2차로 양방향교통 장대터널의 방재계획과 국내의 대표적인 석탄광산지역에 건설되는 구조물에 대한 최적의 대안공법 제시로서 본 설계를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 도계1, 2터널의 방재계획은 피난용 사갱, 갱내대피소 및 측벽대피통로 설치하는 방안에 대하여 각각 외부 피난거리와 피난시간 분석, 유지관리 비용 등을 종합적으로 고려하여 각 터널에 사갱 1개소를 설치하는 방안이 가장 유리한 것으로 판단되었다.

둘째, 도계광업소 개발계획을 석탄공사와 협의한 결과 향후 개발계획이 예정되어 있는 구간을 통과하



(a) 기초폭 확대 및 뿌리말뚝 (b) 기초저면 그라우트 주입구 설치

그림 17. 교량기초 안정성 확보방안

게 되어 전두갱을 콘크리트 구조물로 보강하여 신설 터널 및 전두갱의 장기 안정성을 확보함과 동시에 향후 석탄공사에서 이동통로로 활용할 수 있도록 계획하였다.

셋째, 지반조사 결과 도계2터널에 탄층이 확인되어 터널과의 이격거리별로 지보패턴을 제시하였으며, 탄층에서 발생가능한 산성수에 대한 확산거동을 통하여 지보재 및 콘크리트 라이닝의 안정성 확보방안을 수립하였다.

넷째, 도계교 및 도계육교 기초하부에는 탄층과 채굴적이 분포하고 있어 기존 보강사례 분석을 통하여 보강방법을 개선하였으며 기초폭원 확대, 뿌리말뚝을 통한 장기 안정성 확보와 기초저면 그라우팅 주입구 설치를 통한 유지관리 방법을 개선하였다.

참고문헌

1. 동부건설주식회사, 삼보기술단, 2007, 태백~미로 2-1 도로건설공사 설계보고서
2. 동부건설주식회사, 삼보기술단, 2007, 태백~미로 2-1 도로건설공사 토질조사보고서
3. 고사리지역 정밀계측조사(1997), 석탄합리화사업단
4. 고사리지역 2차 정밀계측조사(1999), 석탄합리화사업단
5. 고사리지역 지반보강공사 실시설계보고서(1999), 석탄합리화사업단
6. 고사리지역 3차 정밀계측조사(1999), 석탄합리화사업단
7. 점리지역 지반안정성 정밀조사보고서(2003), 석탄합리화사업단
8. 지하채굴에 따른 지반안정성 평가(1995), 석탄합리화사업단
9. 김도형, 최창림, 김동현, 이두화, 이선복, 제해찬, 2007, "폐광지역 침하위험도 분석을 통한 채굴적 및 구조물기초 보강사례", 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 393~404
10. 김주용, 1998, 산성광산배수에 의한 강릉탄전 임곡천 일대의 수계오염과 처리에 관한 연구, 서울대학교 공학박사학위논문
11. 방기문, 전효택(2004), "폐탄광 지역내 침하방지 지반보강공법 연구", 한국지구시스템공학회지, vol. 41, no. 4, pp. 319~326
12. 지상우, 김선준, 2003, "산성광산배수에 의한 한창탄광 부근 지하수의 오염과 자연정화처리시설 효율에 관한 연구", 한국지하수토양환경학회