

신생대 지층에서의 터널 및 암반사면의 설계·시공 사례

한병현, 이현구, 김영근, 이승복, 심재범 (삼성물산 건설부문)

1. 서 론

최근 도로 및 철도건설이 활발하게 진행됨에 따라 미고결층, 석회암층과 같이 지질공학적으로 문제가 되는 특수지질불량구간에서의 암반구조물을 시공하는 사례가 증가하고 있다. 이러한 지층에서의 암반구조물을 설계하거나 시공하는 경우 대상지질이 가지고 있는 고유한 지질특성으로 인하여 설계 및 시공상 많은 어려움을 겪고 있고, 실제로 이구간에서 많은 붕락사고가 일어나고 있는 실정이다.

특히 신생대 지층은 고결정도가 약하여 상대적으로 취약한 암반을 형성하고 있으며, 이암·세일층의 경우 풍화에 상당히 민감하고, 수분함유시 팽창하는 특성을 가지고 있어 암반구조물 설계시 주의가 요구되고, 미고결 상태인 경우에는 특히 굴착중의 안정성 확보에 유의하여야 하며, 안전성 확보를 위한 보강대책이 요구된다 할 수 있다.

따라서 미고결층, 화산암층과 같은 특수지질불량구간에서 합리적인 시공을 달성하기 위해서는 먼저 대상지질에 대한 지질특성, 암반특성을 정확히 이해하는 것이 필요하며, 이러한 것을 바탕으로 지반특성에 적합한 보강 및 시공대책을 수립하도록 하여야 한다.

본 고에서는 신생대 지층으로 알려진 경주지역 미고결 역암층 그리고 제주도 지역의 화산암층에서의 설계 및 시공사례를 검토하여, 그 문제점을 분석하므로써 신생대 지층에서의 암반구조물 설계 및 시공시 합리적인 방안을 도출하고자 하였다.

2. 신생대 지층의 지질 특성

국내에는 분포하는 대표적인 신생대 지층은 퇴적분지인 포항지역과 화산암지대인 제주지역이다. 신생대 제3기의 퇴적분지는 동해안을 따라 단속적으로 분포하는데, 이들 중에서 포항분지, 장기분지 및 어일분지는 양산단층 동측에 분포하는 분지이다(그림 1). 신생대 제 3기 퇴적분지는 대개 속성작용이 완전히 이루어지지 않은 미고결의 역암, 사암 및 이암으로 이루어져 있으며, 화산암류들이 협재하여 분포하고 있다.

2.1 포항분지의 지질

본 지역은 경상누층군의 최상부층에 해당되는 퇴적암 및 화산암을 기반암으로 하여 제3기의 연일층군이 부정합으로 피복하고 있다. 연일층군의 층서는 하부로부터 주로 역암, 조립질 사암 및 소규모의 이암이 호층을 이루는 천북층, 이암, 이질사암, 사암 등으로 구성된 학전층, 주로 이암으로 구성되고 사암이 협재되는 두호층으로 구분하였다.

먼저 경상누층군의 퇴적암류는 포항분지의 동측 청하면 청진리 일대에 분포하며, 이들은

주로 화산암의 역을 가지는 역암, 자색셰일, 회색사암, 역질사암, 응회암질 셰일, 알코즈사암 등으로 구성되어있다.

학전 용결응회암은 본역 서남부에 소규모로 분포되며 그 남측 연장부로는 비교적 광범위하게 분포를 보이는 용결 응회암이다. 특히 포항에서 경주에 이르는 국도변에 위치한 이 암석의 노출지에서는 거대한 암편을 함유하고 있다. 이들 암편들도 암편의 외곽부를 따라 welding 구조가 발달된다. 암편들 중 큰 것은 1m 정도의 안산암, 용결응회암 및 퇴적암들로 구성되어 있고 각력 내지 아각력이다.

철포 화산암류는 용결응회암 및 유문암으로 구성되어 있는데 유문암은 포항-송라간 국도변인 벌래재에 잘 노출이 되어 있으며 담홍색으로 미약한 유동구조를 보인다. 본 용결응회암은 칠포해수욕장의 곤륜산 도로변에 잘 노출이 되어 있으며 이곳에서 본암의 암색은 암흑색이다.

천북층은 일층군의 최하부지층으로 약 50km의 연장을 보이며 층후는 약 150-400m이다. 본층 최하위인 소위 단구리 역암에 해당하는 곳에서는 주위 모암과 같은 성분을 갖는 각력이 대부분이고 입자지지 역암인데 이는 단층에 의한 파쇄대가 근거리를 이동하여 퇴적된 것으로 해석된다.

학전층은 천북층의 상부에 정합적으로 놓이는 지층으로 천북층의 연장과 방향이 같으며 층의 두께는 약 280-400m 정도이다. 천북층에서 점이적으로 변하며 주로 이암, 이질사암, 사암 등으로 구성되고 역암이 협재 하며 지층의 변화도 천북층에 비하여 안정되어 거의 일정하게 10°내외의 지층 경사를 가진다.

두호층은 주로 갈색 내지 백갈색 또는 담록색을 띠는 이암으로 이루어지고 세립질 사암이 협재하고 층의 중간에 직경 수 cm의 역을 갖는 역암층이 폭1m 이내로 협재한다.

현무암은 포항시 서쪽 달전부근 당수마을 일대와 광방리 북쪽 일원에 소규모로 분포하고 있다.

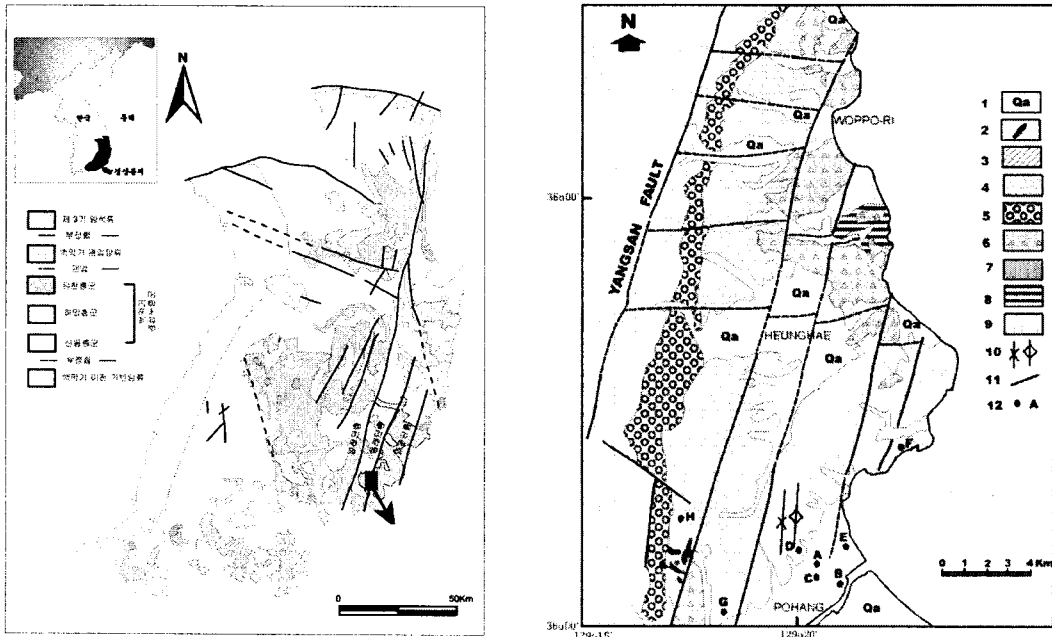


그림 1. 신생대 지층의 분포 - 제 3기 퇴적분지

2.2 제주도의 지질

2.2.1 지질 개요

제주도는 서쪽과 동쪽은 완만하고 한라산에서 서귀포시와 제주시 쪽으로는 험준하다. 완만한 지역에는 파호이호이용암이 굳어서 된 암석이, 험준한 지역에는 아아용암이 굳어서 된 암석이 분포한다. 제주도는 높은 온도의 현무암질 마그마 기원의 용암이 흐르고 쌓여 한라산을 정점으로 완만한 구름 모양을 이루고 있다(방패형 화산, shield volcano). 제주도에는 용암분출에 의해 형성된 화산암과 화산폭발에 의해 형성된 화산쇄설암이 있으며, 용암과 용암사이에 퇴적암이 나타난다.

지질조사에 의하면 상부는 현무암이 차지하고 있고, 그 밑으로는 서귀포층, 미고결 퇴적층이, 더 깊은 곳에는 화강암과 용결응회암이 분포하고 있다. 화산암으로는 현무암, 조면현무암, 현무암질 조면안산암, 조면안산암 등이 있다. 그림 2는 제주도 지질도를 나타낸 것이다.



그림 2. 제주도 지질도

2.2.2 제주도의 지질 특성

그림 3에서 보는 바와 같이 제주도 대포동 일대에는 현무암이 분포하고 딱딱한 암석이 성냥개비를 세워 놓은 모양의 주상절리가 관찰된다. 주상절리는 액체 상태의 용암이 고체인 암석으로 굳으면서 부피가 줄어들어 생기는데, 주상절리는 용암이 비교적 빨리 식는 환경에서 잘 생기며, 모양은 사각형에서 칠각형에 이르기 까지 다양하며 육각형이 우세하게 나타난다. 또한 주상절리가 형성되는 동안 용암의 내부에 물리적 성질의 차이가 있어서 절리가 휘어져 만들어지기도 한다. 암석이 바닷물과 접하는 부분의 주상절리는 뚜렷한데 상부로 가면서 주상절리가 희미해져 없어지는 현상을 볼 수 있다. 이는 클링커가 두꺼운 부분에서는 암석이 식게 되어 주상절리는 발달하지 못한 것이다.

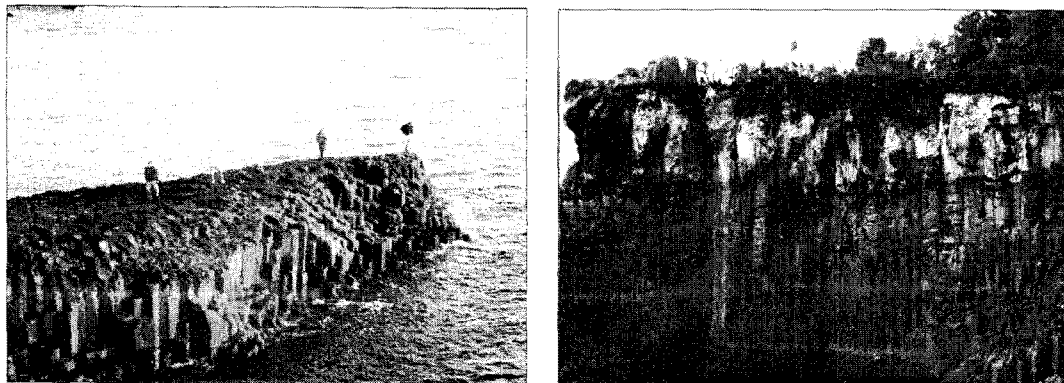


그림 3. 대포동 현무암과 주상절리

제주도 서남쪽 송악산은 그림 4에서 보는 바와 같이 전형적인 응회암구조를 관찰할 수 있다. 송악산을 이루고 있는 암석은 수성응회암이며, 낮은 산높이와 완만한 층리로 보아 응회환(tuff ring)에 해당한다. 송악산은 응회암, 스크리아층, 조면현무암, 분석구로 되어 있다. 송악산은 형성된 후 수 천년 동안 바닷물의 작용으로 응회환의 화산재층이 깎여 나가 분화구의 중심부 근처부터 가장자리까지 높은 절벽을 이루며 화산체의 절단면이 만들어져 있다. 송악산에서 가장 쉽게 관찰할 수 있는 구조는 층리, 거대연흔, 탄낭 등이다. 절벽을 이루고 있는 해안에서 커다란 암석이 지층을 주머니 모양으로 뚫고 들어간 현상을 볼 수 있는데, 이를 탄낭구조라 한다.

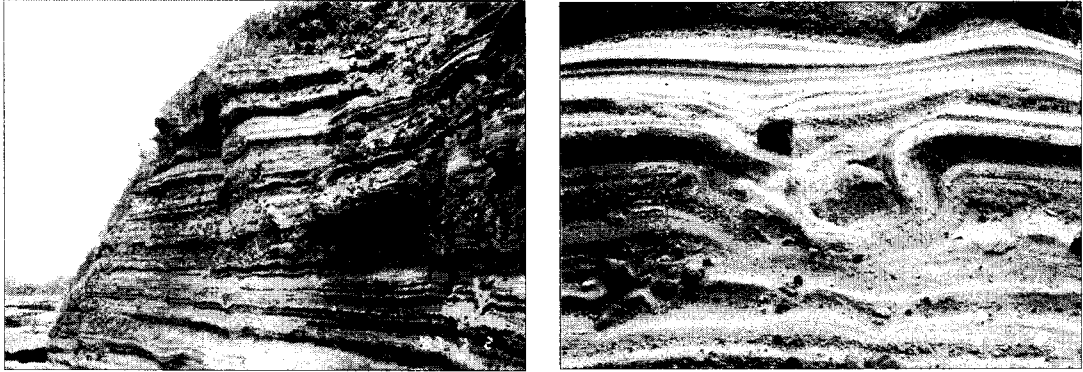


그림 4. 송악산 응회암과 탄낭구조

제주도 형성초기에 현무암질 암편과 화산회를 분출시킨 수성화산활동이 있었고, 이들 화산쇄설물질이 운반되어 조개화석과 같이 굳은 지층이 서귀포층이다. 이 층은 최하부에 분포하는 암석으로 수성화산활동 산물이 이동되어 퇴적된 것으로 많은 조개화석이 들어 있다.

이 층의 암석은 역질사암, 사암, 사질이암, 이암 및 유리질 쇄설암으로 구성된다. 역질사암은 1cm 크기의 각력상 유리질 현무암과 유리질 화산회로 구성되어 있고, 암편의 테두리는 당황색으로 변질되어 있다. 그림 5에는 서귀포 퇴적층을 보여주고 있으며, 여기에는 조개화석과 연흔과 사교층리의 특징을 보여주고 있다. 해안에 위한 서귀포 퇴적암층은 해안침식에 의한 차별침식에 의하여 사면붕괴가 일어나고 있으며, 이는 상부 도로나 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미치고 있는 실정이다.

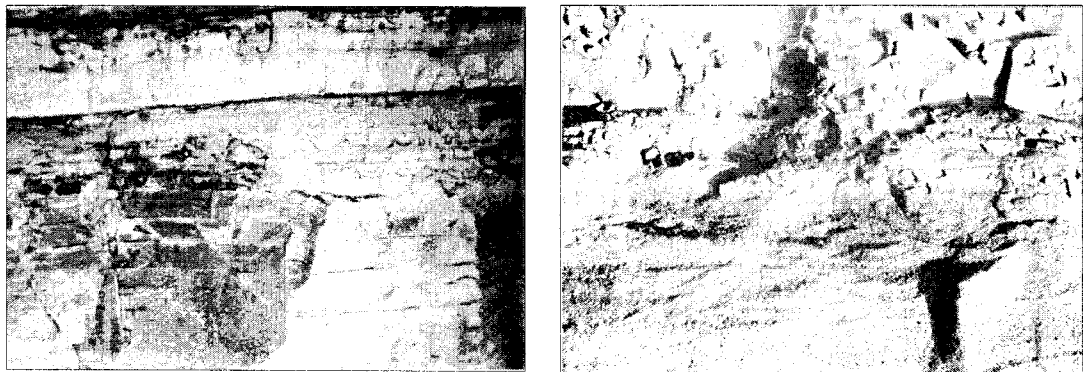


그림 5. 서귀포 퇴적층과 퇴적구조

3. 미고결 역암층 및 세일층에서의 설계·시공사례

3.1 경주지역 미고결 역암층에서의 터널설계

경주-감포2 국도건설공사는 왕복 4차로 도로로서 공사구간 내에는 총 연장 2.38km의 양복터널이 계획되어 있다. 본 구간내에는 신생대 제 3기의 미고결 역암층이 분포하고 있어 터널시공시의 안정성을 확보하기 위해 미고결 역암층에 대한 공학적 특성을 파악하여, 그 결과를 터널설계에 반영하도록 하였다(그림 6).

3.1.1 미고결 역암층의 공학적 특성

본 구간의 지질은 하위로부터 백악기 경상누층군 하양층군에 속하는 암회색 세일 및 실트암과 유천층군의 유문암, 그리고 이들을 관입하고 있는 제3기의 불국사 화강암류, 제3기 마이오신의 염기성 및 산성의 응회암과 암맥으로 구성되어 있으며, 상기의 유문암을 제외한 모든 암석을 마이오신 말에 생성된 미고결 역암층(각력층)이 피복하고 있다(그림 7).

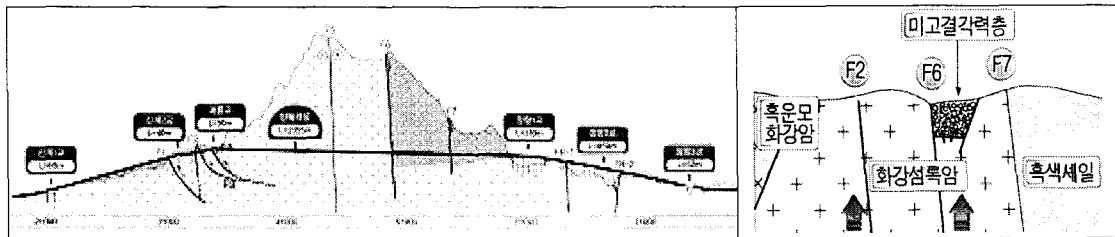


그림 6. 미고결 역암층을 통과하는 터널구간

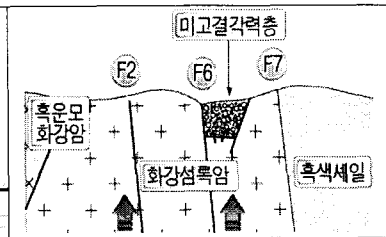


그림 7. 미고결 역암층의 생성

그림 8에는 본 구간에서 관찰되는 미고결 역암층을 보여주고 있다. 이러한 미고결 역암층의 분포특성을 조사하기 위하여, 물리탐사를 실시한 결과 터널내 일부구간에는 2,500 m/sec 이하의 탄성과 속도를 가지는 저속도층 분포하고 있으며, 시추조사 결과와 비교해 볼 때 저속도 분포 이상대는 역암층 구간으로 보이며, 4+700~4+800 구간은 화강섬록암과 역암층의 경계부로 속도층이 명확하게 구분된다.

수직시추를 통해 역암층의 분포위치 및 심도 파악하고, 경사시추를 통해 각섬석, 흑운모 화강섬록암과 역암층의 경계부가 파악하였다. 시추조사 결과 역암층은 화강암질의 역과 세립내지 조립질의 가질로 구성되어 있으며 분포심도는 지표로부터 0.6~9.3m에서 나타났으며, 층두께는 29~120m의 범위를 보이며 터널 중앙부에서 종점부까지 분포하고 있다.

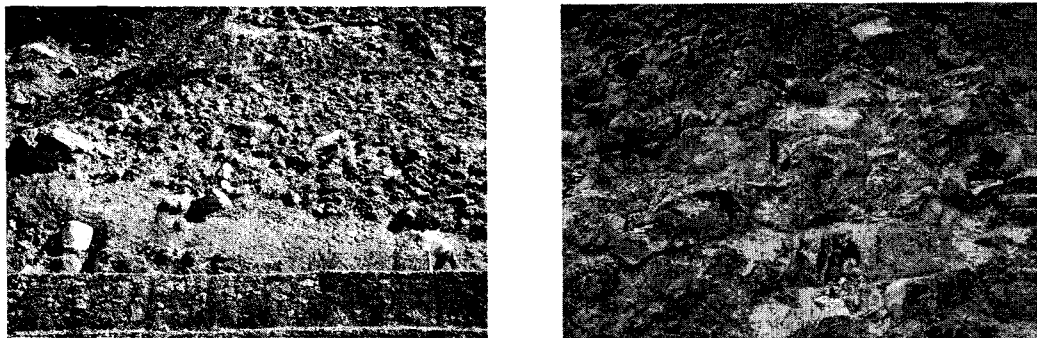


그림 8. 노두에서 관찰된 미고결 역암층

본구간의 역암층은 기질부가 극단적으로 연질한 경우로 노두 및 시추공에서 육안관찰시 점토광물이 다량으로 포함되어 있어 팽창성 암반 상태를 유지하고 있다. 또한 역암층은 토사의 압밀영역으로부터 교결작용영역에 이르는 과정에 있으며, 역과 기질부 사이의 틈, 역암층 자체의 절리들도 비교적 발달하고 있는 상태로 이들 역암층 사이에는 사암과 박층의 갈탄층들이 협재, 이방성을 보이고 있다. 본구간의 미고결 역암층의 함수에 의한 강도저하 현상, Slaking, Swelling 현상을 일으키기 좋은 조건으로 지하수 영향에 대한 분석 필요하다고 판단된다.

3.1.2 미고결 역암층의 암반분류

터널 종점부 미고결 역암층의 분포를 고려하여 암층의 특성에 따라 암반분류 시행하고, 절리암반과 공학적 특성이 상이한 미고결 역암층에 대해서는 탄성과속도, 지반강도비를 고려하여 암반분류를 시행하였다. 그림 9에는 암반분류기준과 이에 의한 암반등급 산정결과를 보여주고 있다.

역암층의 형성과정에 따른 특성상 큰 직경의 역이 하부에 주로 분포하고 단층면에서 멀어질수록 작은 입경이 분포하고 있으며, 또한 기질의 고결정도는 시추공별 점하중 시험결과로부터 산정한 일축압축강도를 기준으로 판단하였으며, 기질부 일축압축강도는 심도에 관계없이 평균 33 kgf/cm² 정도인 것으로 분석되었다.

터널 상부지반의 두께가 클수록 굴착으로 인한 이완하중 및 응력해방으로 터널의 변위량이 증가, 기질에 팽창성 성분이 있는 경우 터널의 안정성 저하하고, 역암층의 단위중량은 2.1 kgf/cm²으로 파악되었다. 그림 9에서 지반강도비는 터널굴착 지반의 안정성을 평가하는 기준으로 일축압축강도에 대한 토피하중과의 비를 말한다.

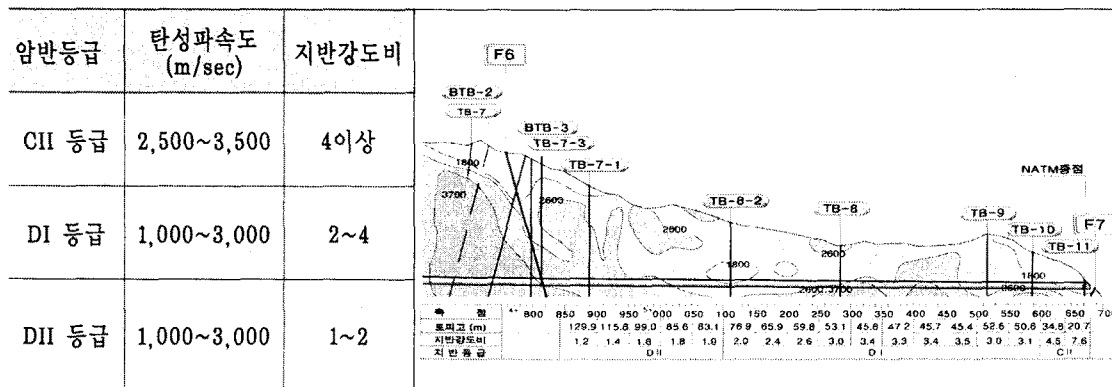


그림 9. 미고결 역암층에 대한 암반등급 산정

3.1.3 미고결 역암층에서의 보강대책

미고결 역암층구간에 별도의 표준지보패턴을 고려하여 설계에 반영하였다. 먼저 낮은 지반강도에 따른 터널의 과도한 변형발생에 대비하여 지반등급이 DI이고 지반강도비가 2-4인 구간은 지보패턴 B1을 적용하며, 지반등급이 DII이고 지반강도비가 1-2인 구간은 지보패턴 B2를, 그리고 암층 경계부에서는 B3을 적용하였다. 또한 기계굴착 가능성을 검토하여 기계굴착공법을 적용하였다. 그림 10은 지반강도특성에 따른 미고결 역암층의 지보패턴 적용개요를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 막장면 및 천단부 안정성을 확보하기 위하여 휘폴링 및 직천공 대구경 강관보강 그라우팅 공법을 적용하였다.

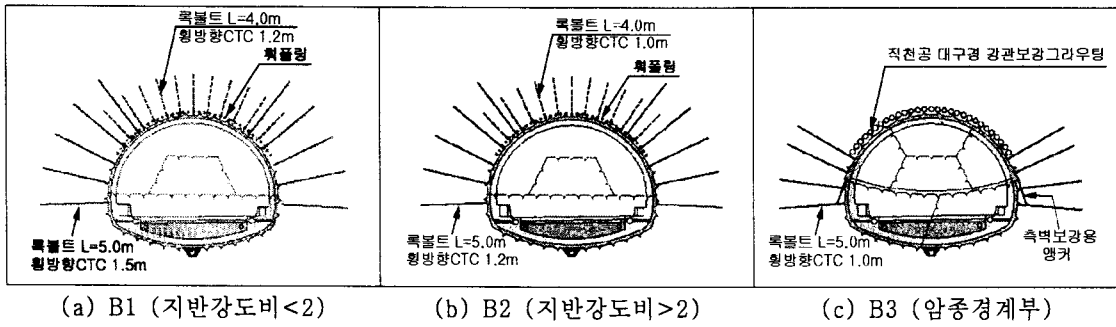


그림 10. 미고결 역암층에서의 보강대책

지하수 용출시 미고결 역암층의 기질부 강도저하 및 터널 주변 지반의 연약화로 인한 터널 막상면이 불안정하게 되므로 지하수 처리가 중요한데, 용수량이 적을 경우 수발공을, 지하수의 수압이 크고 용출량이 많을 경우 선진도관을 적용하여 지하수를 처리하고자 하였다. 또한 굴착면 부근 각력 및 여굴 대책으로는 소규모일 경우 각력을 제거하고 슛크리트와 콘크리트로 채우며, 대규모일 경우는 각력을 절단하고 록볼트로 보강하도록 계획하였다.

그리고 터널 설계시 제한적인 조사로 인한 한계를 시공시 미고결 역암층의 분포현황 및 강도특성을 재평가하고, 지하수 상태를 파악하여 용출수량의 규모 및 배수상태를 평가하기 위하여 시험시공 터널을 계획하였다. 시험시공은 선시공 대상인 터널 종점부 갱구부로부터 굴착되는 미고결 역암층 구간에 적용하였다.

3.2 경주지역 세일층에서의 터널설계 및 시공사례

3.2.1 세일층의 공학적 특성

당초 경주와 감포를 연결하기 위하여 토함산을 통과하는 터널로 계획된 설계는 문화재청과의 협의하는 과정에서 종점부 문화재를 우회하고, 시점부 민원을 최소화할 수 있도록 기존노선 우회를 바탕으로 변경설계를 수행하였다.

주요 변경사항으로는 터널연장이 2,380m에서 4,345m로 증가하였으며, 또한 당초에는 터널중간부의 미고결 역암층을 통과하는 것으로 계획되어 종단을 하향조정하여 회피하였으나, 후반부에서 그림 11과 같은 종점부 구간에서 세일층 통과구간이 발생하였다. 세일층은 국내 지반분류기준 및 굴착특성에 대해 뚜렷하게 정립되지 않아 지보패턴 설계시 국내의 터널설계 일반기준에 의한 지보재량만으로는 안정성에 문제가 있을 수 있으므로, 국내의 시공사례를 조사하여 굴착 및 보강방안을 검토하였다.

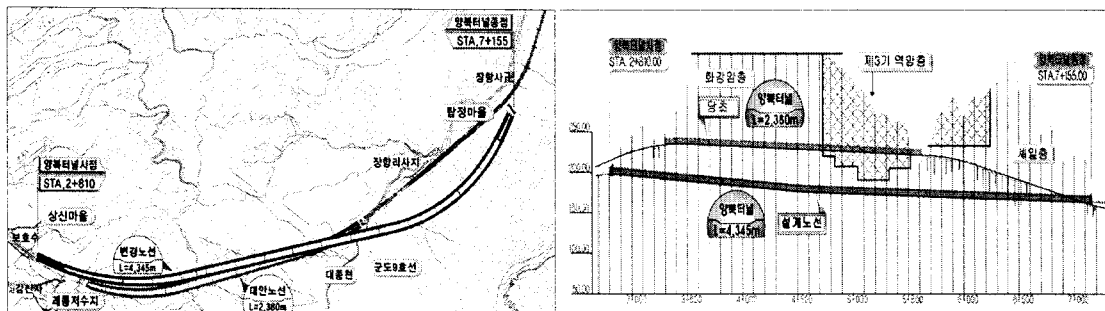


그림 11. 터널 평면 및 종단선형

3.2.2 세일층에서의 터널설계

세일층에서의 안정성을 확보하기 위한 보강방안을 검토하기 위하여 다양한 설계 및 설계 사례를 검토하였다. 국내의 경우 고결상태가 불량한 팽창성 이암층에서는 수분흡수시 급격히 약화되어 토사화하는 특성을 가지므로 이암층에 대한 지보패턴 및 굴착방법은 연약암반에 적용가능한 방법 등을 별도로 추가하여 설계하였다. 또한 일본의 경우 굴착공법은 발파/기계굴착을 혼용 적용하고 있으며, 보조공법의 적용도 다양하게 조사되었다.

본 설계에서는 세일층의 공학적 특성을 반영하여 암반이 비교적 양호한 화강암 구간과 다른 별도의 지보패턴을 선정하고 이를 설계에 반영하였다(그림 15).

구분	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
표준단면						
굴착장	진단면 3.5m (발파)	진단면 3.0m (발파)	진단면 2.0m (발파)	상이분할 1.5m/3.0m (발파)	상이분할 1.2m/1.2m (발파)	상이분할 1.0m/1.0m (기계/발파)
SHOTCRETE	T=50mm	T=50mm	T=120mm	T=150mm	T=200mm	T=250mm
박펄트	3.0m (RANDOM)	4.0m (3.834ea/M)	4.0M (7.75ea/M)	4.0M (10.3ea/M)	4.0M (5ea/M)	4.0M (6ea/M)
강지보			50x20x30(총 2.0M)	70x20x30(총 1.5M)	H-100x100x8x8 (총 1.2M)	H-125x125x6.5x9 (총 1.0M)
보조공법			Fore-piling (CIC500, 120')	Fore-piling (CIC500, 120')	강판다만그라우팅 (L=12m, CIC500, 120')	강판다만그라우팅 (L=12m, CIC500, 120')

그림 15. 세일층에서의 표준지보패턴

또한 그림 16에서 보는 바와 같이 터널 전구간에 걸쳐 주요 위험요인을 분석하고 이에 대한 대책을 수립하여 설계에 반영하였다. 또한 시공중 터널 굴착시 예상치 못한 현장상황에 대비하여 막장전방 지질조건의 사전예측이 필요할 것으로 판단하여 DRISS시스템을 기본으로 선진수평시추를 적용하였다. 그리고 시공중에는 계측에 의한 변위 및 응력관리기준을 설정하여 계측결과에 대해 지보량을 재검토하여 안정성을 확보하며, 운영중 주기적 계측을 통한 유지관리방안을 수립하였다.

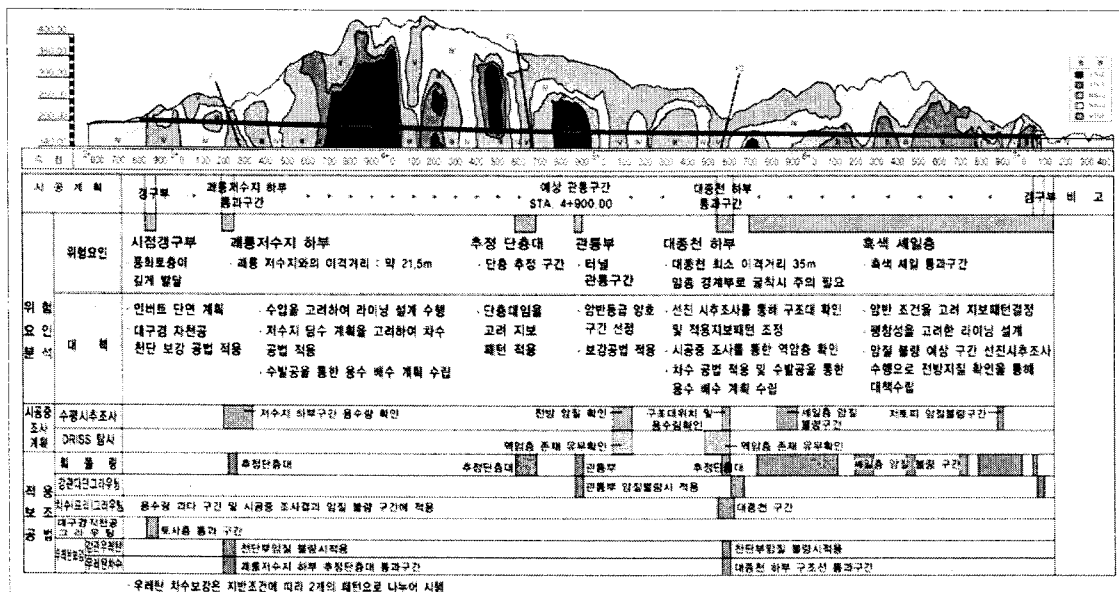


그림 16. 터널구간의 위험요인 및 대책

4. 화산암 지층에서의 암반사면 설계 및 시공사례

4.1 클링커층에서의 암반사면 설계사례

4.1.1 클링커층의 특성

화산활동과정에서 고온의 용암이 화국에서 사면을 따라 흐르면서 식어서 굳은 상태에 따라 파호이호이 용암과 아아용암으로 나누어지는데, 파호이호이용암은 반원형의 호를 만들거나 동심원상의 주름이 많은 형상을 하고 있으며, 아아용암은 표면이 아주 가칠어서 클링커를 쌓아올린 것과 같은 모양을 하고 있다. 여기서 아아용암이 이후 또 다른 화산작용으로 인하여 지층에 들어가서 다공성의 지층으로 발견되는데 이러한 지층을 일명 클링커층이라고 한다. 클링커층은 화성쇄설물과 같이 혼합되어 발견되기도 하며, 층의 높이가 수미터에 이르기도 하며, 비교적 단단한 암반층사이에 존재하며 화산활동의 반복으로 여러 층을 이루기도 한다. 이러한 지층은 층경계부에서 수직절리가 발달하여 있으며, 절리의 간격이 넓고 완전히 분리되어 있어 절리자체가 공동으로 발견되기도 한다.

4.1.2 지질 및 지층현황

본 설계 노선은 제주시 봉개동~ 북제주군 조천읍 신촌리 까지로서 시점부는 국지도 97호선과 종점부는 국도 12호선과 교차하고 있다. 본 구간은 남북방향으로 계획되고 있으며, 시점부에서 종점부로 가면서 영평동 현무암, 신안동 현무암 및 원당봉 현무암이 분포되고 있다. 또한, 종점부 북측에는 원당봉의 기생화산(오름)이 형성되고 있으면서 다양한 지층 분포를 나타내고 있다.

본 계획노선 중 깎기구간의 지층상태 및 깎기방법, 비탈면경사 및 안정검토에 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 깎기구간에 대하여 시추조사를 실시하였다. 지층 상태는 표토층, 보통암층, 클링커층, 연암층, 보통암층, 클링커층의 층서를 이루 있으며 지하수위는 시추심도 이하에 분포하고 각층의 특성은 표 1과 같다.

표 1. 지층별 특성

공 번	지층명	층두께 (m)	지 층 설 명	색조	통일분류	SPT 또는 TCR/RQD
절 토 부	표토층	1.6	화산재 퇴적·풍화층, 실트	암황색	ML	-
	보통암층	1.4	상단부 약간 파쇄, 현무암	암회색	-	95/50
	클링커층	1.5	암층경계면에 형성된 파쇄구간, 비교적 치밀	암갈색	-	-
	연암층	1.5	극소량의 기공, 치밀, 현무암	암갈색	-	93/65
	보통암층	6.0	치밀하고 견고함, 부분적 경사 균열, 현무암	암회색	-	88/80
	클링커층	3.0	암층경계면에 형성된 파쇄구간, 부분적 암반 형성, 풍화암 형태	암갈색	-	-

4.1.3 암반사면 설계

(1) 적용 경사

기개설된 주변도로의 암반사면 시공사례를 확인한 결과 암반층 1:0.5, 암층 및 스크리아, 클링커 등의 화산쇄설물 복합층은 1:0.7~1.0, 토사층 1:1.2~1:1.5 정도로 시공되었다.

따라서 본 구간에서의 사면경사는 국내 여러 기관에서 적용하는 일반적인 표준경사와 주변도로 시공 및 설계사례를 종합적으로 비교·검토하고 특히 제주지역이 관광도시임을 감안 도로 이용자에게 심리적 안정감을 주는 사면 경사를 고려하여 암반층 1:0.7~0.8, 클링커층이 암반층과 암반층 사이에 분포하는 경우 클링커층 상부는 1:1.0, 클링커층이 암반층 상부와 토사층 하부 사이에 분포하는 경우 리핑암으로 취급 1:1.0, 토사층의 경우 1:1.2~1.5를 적용하였다.

표 2. 사면의 적용 표준경사

구 분	사면 높이		사면 경사	비 고
절 토	토사	0 - 5m	1 : 1.0 ~ 1.2	5m 마다 소단 1m 설치
		5m 이상	1 : 1.2 ~ 1.5	
	리 핑 암		1 : 1.0	암반층 상부와 토사층 하부에 분포하는 클링커층은 1:1.0 경사 적용
	발 파 암		1 : 0.7~0.8	클링커층이 암반층과 암반층 사이에 분포하는 경우 클링커층 상부는 1:1.0 경사 적용

(2) 적용 물성치

0.4~2.4m 정도의 박층으로 분포하는 클링커층의 경우 암층 경계면에 형성된 파쇄구간으로서 전반적으로 자갈형태로 분포하고 있다. 따라서 이러한 지층구성 상태를 고려할 때 자연상태 자갈층과 비교할 수 있을 것으로 판단되어 다음과 같이 클링커층 강도정수를 선정하였다.

표 3. 클링커층 강도정수 산정 결과

구 분	단위체적중량 (t/m ³)	점착력 C (t/m ²)	내부마찰각 ϕ (°)
적 용	2.0	0	35

(3) 사면 안정성 검토 결과

가. 토사층

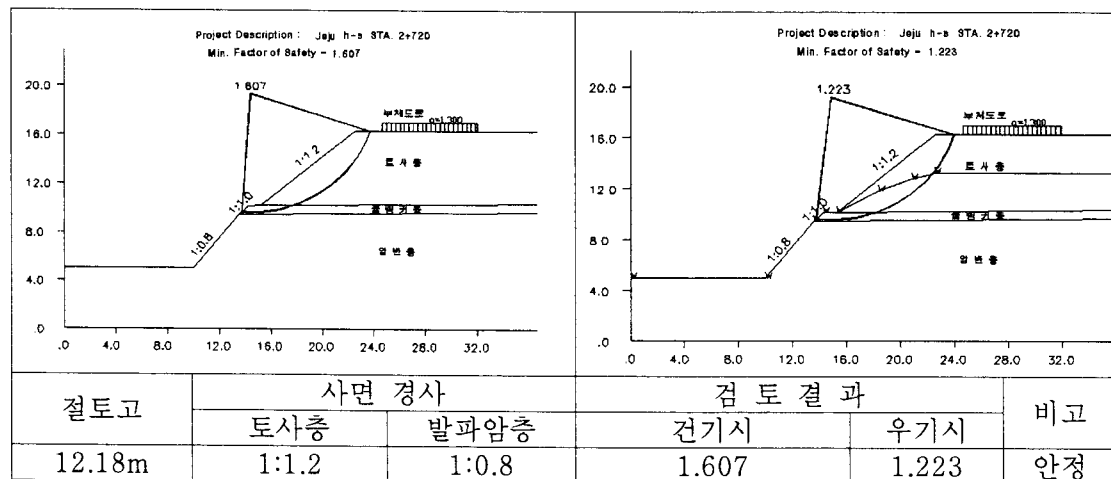


그림 17. 클링커층을 포함한 사면 안정성 검토 결과

나. 암반층

본 구간내 절토구간의 지층분포 상태는 지표로부터 퇴적토층, 클링커층, 연암층, 보통암층으로 분포하고 있다. 암반사면의 안정성 평가를 위해서는 지표지질 조사를 통한 불연속면의 방향성 및 상태 등을 측정하여 비탈면 안정검토에 사용하여야 하나 본 조사지역의 경우 계획노선을 따라 노두 확인을 거의 할 수 없었으며 극히 국부적인 지점의 노두 관찰 결과는 불연속면의 발달상태가 매우 불규칙하여 일정한 방향성을 갖고 있지 않는 것으로 관찰 되었다. 따라서 절토대상이 되는 이들 암층은 평사투영법에 의한 비탈면안정 분석은 적용할 수 없는 것으로 판단되며, 일정한 파괴양상을 예측하기 어렵기 때문에 일반적으로 이용되는 사면경사를 적용시키되, 시공시 절토사면에 대한 상세 관찰이 요구되며 필요시 비탈면 경사의 조정과 적절한 보강공법의 적용 등이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

표 4. 암반사면 안정검토 결과

구 분	검토단면 (STA.)	최소 안전율		기준안전율		판 정	적용경사
		건기	우기	건기	우기		
제2 절토부	2+720	1.607	1.223	1.5	1.2	O.K	토사 : 1:1.2 클링커 : 1:1.0 발파암 : 1:0.8
제3 절토부	3+380	1.692	1.438	1.5	1.2	O.K	토사 : 1:1.2 클링커 : 1:1.0 발파암 : 1:0.8

4.2 스코리아층에서의 암반사면 시공사례

4.2.1 스코리아층의 공학적 특성

스코리아는 용암의 분출시 압력의 급격한 감소로 인하여 갑자기 늘어나면서 Gas가 방출하여 생성된 화산쇄설물로서 화구를 중심으로 퇴적되며 조립 내지 세립질에 모가 난 입형이고 기공이 불규칙하게 발달한다. 송이의 주성분은 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 합량이 80%에 달해 천연골재로서 안정된 화학조성을 가지며, 투수율이 높아서 원형의 보존이 양호하고 덧재움 재료로서 훌륭한 특성을 가진다. 또한 쇄설물의 안식각이 크기 때문에 30~40°의 지형을 이루는 것이 특색이다.

스코리아는 유리질의 현무암질 부석으로서, 크기는 6cm 이하이며, 각력상이며 미고결층을 이루며, 기공의 함량이 높다(70-80%). 스코리아의 형성은 휘발성분이 높은 압력의 마그마에 녹아 있다가 마그마가 상승하면서 압력이 낮아지면 마그마속에 기포를 형성한다. 기포는 서로 합쳐져 커다란 기포를 만들어 압력이 높아지고 마그마 보다 빠른 속도로 상승하면서 폭발한다. 이때 다소 굳은 마그마가 작은 크기로 깨져 나오면서 스코리아가 되고, 큰 덩어리로 뿔어 나오게 되면 화산탄이 된다.

제주도에서는 이를 송이라고 하는데 지역에 따라 조금씩 차이를 보이고 있으나 색깔에 따라 적갈색, 황갈색, 흑색 및 암회색으로 크게 4가지로 분류하고 이들은 화학적 성분과 공학적 특성에서 차이를 보이고 있다.

4.2.2 스코리아층에서의 암반사면 시공

앞서 설명한 바와 같이 제주도는 화산암지대 특성으로 인한 매우 특이한 암반사면 형태를

보이고 있다. 즉 화산 및 용암분출당시 생성된 스킨리아층에 일정시간 후에 흘러나온 현무암체가 스킨리아층 상부를 덮어 그림 18 및 그림 19에서 보는 바와 같이 하부에는 연약한 스킨리아층이 상부에는 단단한 현무암층으로 구성된 복합적인 암반사면을 형성하게 된다.

그 형태는 스킨리아 형태에 따라 평행한 직선을 이루거나 원호현태를 이루는 경우도 보인다. 일반적으로 현무암층의 두께는 3~5m 정도를 이루고 있으며, 스킨리아층은 손으로도 쉽게 부스러지는 형태를 보인다. 그림에서 보는 바와 같이 일부 스킨리아층이 부분적으로 붕락되는 모습을 쉽게 관찰할 수 있다.

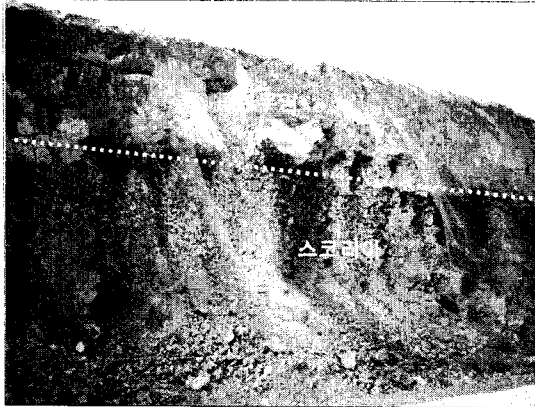


그림 18. 스킨리아층과 현무암

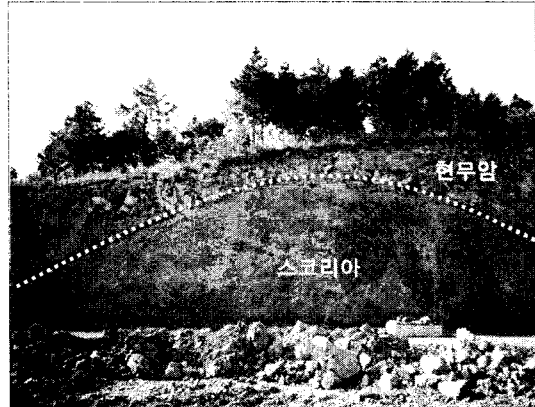


그림 19. 스킨리아층과 현무암

이와 같이 스킨리아층을 포함한 암반사면의 경우, 하부층이 연약한 토층에 가까운 상태이므로 일반적인 암반사면과는 전혀 다른 거동 특성을 보일 것으로 예상되는데, 특히 하부 스킨리아층에 대한 보강방안이 전체 사면의 안정성을 확보할 수 있는 대책이라고 할 수 있다. 본 현장에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 스킨리아층 보강방안에 대한 시험시공을 실시하고 있었는데, 그림 20과 그림 21에서 보는 바와 같이 슛크리트로 보강하는 모습을 보여주고 있다. 제주도에서는 일반적으로 스킨리아층에 석축을 쌓아 보강하므로써 스킨리아층이 더 이상 풍화와 변질을 방지하도록 하고 있으며, 현무암층은 지면에 수평으로 흘러 수평방향으로의 비교적 연속적인 절리가 형성되어 사면 안정성을 확보하고 있는 상태로 별도의 보강대책을 시공하지 않음을 확인할 수 있다.

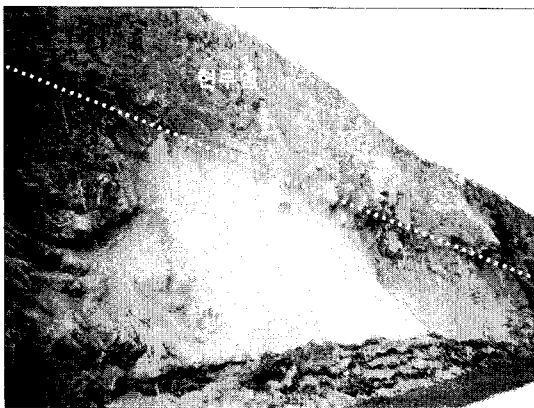


그림 20. 스킨리아층 슛크리트 보강

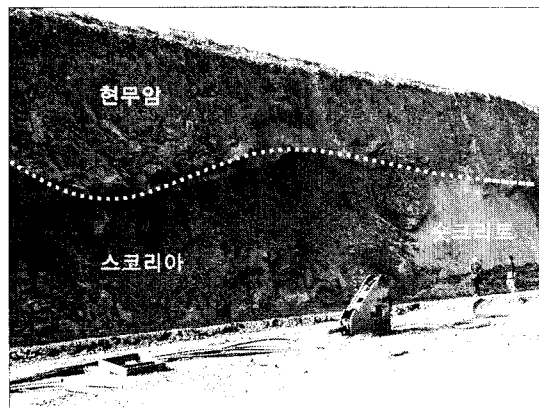


그림 21. 스킨리아층 보강 시험시공

5. 결 언

본 고에서는 신생대 지층으로 알려진 경주지역 미고결 역암층과 제주지역의 화산암층에서의 터널 및 암반사면에 대한 설계 및 시공사례를 검토하여, 그 문제점을 분석하므로서 신생대 지층에서의 암반구조물 설계 및 시공시 합리적인 방안을 검토하였다. 그 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 미고결 역암층, 화산암층과 같은 특수지질불량구간에서 합리적인 시공을 달성하기 위해서는 먼저 대상지질에 대한 지질 및 암반특성을 정확히 규명하여, 이에 대한 합리적인 보강대책을 수립하여야 한다.

2. 신생대 미고결 역암층 및 세일층에 대해서는 공학적 특성을 반영한 암반분류를 실시하고 그 결과를 별도의 지보패턴을 고려한 터널설계에 반영하였으며, 터널구간에 대한 위험요인을 분석하여 보강대책을 수립하였다.

3. 신생대 화산암 지층에서는 화산지형의 특징인 클링커층과 스크리아층의 공학적 특성을 고려하여 암반사면설계에 반영하도록 하였으며, 특히 사면시공시 스크리아층에 대한 보강대책을 강구하였다.

국내 대표적인 특수지질불량구간인 신생대 지층에 대한 암반구조물의 설계 및 시공사례를 중심으로 문제점 및 대책을 고찰하였는데, 이러한 자료들이 암반기술자들의 설계 및 시공업무에 활용되길 바라며, 향후 보다 합리적인 보강대책에 대한 체계적인 기술개발이 이루어져 한다.

참고 문헌

1. 이내용, 김용일, 정한중, 김영근(2002), 이암/세일지역에서의 터널 및 사면 시공시의 문제점, 2002년 특별세미나 논문집, 한국지반공학회 암반역학위원회, pp.58-65.
2. 정현철, 박치면, 이호(2004), 경주-감포간 국도건설공사 대안설계 사례, 지반구조물 설계·시공사례집, 한국지반공학회, pp.133-152
3. 이병주, 선우춘(2000), 제주도 화산암지대의 지질구조 및 지질조사기법, 2000년도 특별세미나 논문집-암반구조물 붕괴·보강기술 세미나, 한국지반공학회 암반역학위원회, pp. 195-212
4. 남정만(2000), 제주도 지반의 공학적 특성, 2000년도 특별세미나 논문집-암반구조물 붕괴·보강기술 세미나, 한국지반공학회 암반역학위원회, pp. 171-182
5. 경주-감포2 국도건설공사 터널설계보고서 및 지반조사보고서(2006), 건설교통부 부산지방국토관리청
6. 제주도 국도우회도로(회천-신촌)건설공사 실시설계 토질조사보고서(2003), 건설교통부 제주지방국토관리청
7. 건설교통부(2005), 국도건설공사 설계실무 요령
8. 일본도로공단(2001), 설계요령 제3집, 터널