

국내 일반국도 터널 갱구사면 특성 통계 분석

Statistical Analysis about Characteristics of Tunnel Portal Slopes on the National Highway in Korea

권오일¹⁾, O-Il Kwon, 백 용²⁾, Yong Baek, 구호본³⁾, Ho-Bon Koo, 배규진⁴⁾, Gyu-Jin Bae

1) 한국건설기술연구원 지반연구부, 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

2) 한국건설기술연구원 지반연구부, 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

3) 한국건설기술연구원 지반연구부, 수석연구원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

4) 한국건설기술연구원 지반연구부, 연구위원, Senior Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : The demand of tunnels has been increased for the linear improvement of general national highway, and road construction and/or enlargement in Korea. Also, the collapses of tunnel portal slope have been increased in recent due to heavy rain caused by global warming. Therefore, it has been risen the requirement of system for the stability of tunnel portal slope in Korea as well as all over the world. The objective of this research is to develop an effective maintenance system for supervising the tunnel portal slope. This paper is a basic proposal to execute a survey on the current status and state of the tunnel portal slopes that were already installed along general national highways.

Key words : Tunnel portal slope, national highway, statistical analysis, maintenance

1. 서 론

한국건설기술연구원과 건설교통부가 공동 개발하여 관리하고 있는 도로관리통합 시스템(Highway Management System, HMS)의 자료와 건설교통부에서 발행하는 시설물통계연보(한국시설안전기술공단, 2004)에 의하면 국내에 분포하고 있는 도로 터널의 총 개소수는 584개로 파악되고 있다. 그 중 472개소는 고속도로, 지방도, 시군도 등에 분포하는 것으로 한국도로공사 또는 지방자치단체에서 관리하고 있으며, 그 외 112개소의 터널이 일반국도에 분포하는 것으로 건설교통부에서 관리하는 것이다.

본 연구는 일반국도에 분포하는 터널 현장을 연구대상으로 하고 있으며, 현장조사 또한 이에 상응하는 총 112개소를 대상으로 선정하였다. 도로관리통합시스템에 구축되어 있는 데이터베이스 자료를 이용하여 터널현장명과 노선 및 행정지명 등의 정보를 우선 취득하고, 전국에 각 국도유지건설사무소별 분포현황을 개략적으로 파악한 후 계획을 수립하여 현장조사를 실시하였다. 현장조사 항목은 갱구사면의 특수성 때문에 일반적인 도로 절토사면의 안전점검 및 정밀안전진단의 경우와는 다소 차별이 있다(한국시설안전기술공단, 2003). 항목은 크게 일반현황, 도로/위치정보, 터널개요, 지질특성, 사면정보, 기타 등

으로 구분되고, 단시간에 비전문가도 쉽게 수집할 수 있는 내용으로 선정하였다.

터널 갱구사면은 일반 도로 절토사면과 구별되는 특징들이 있다. 첫째로 불연속면의 방향성에 의한 안정성 검토 시 최대 3방향의 사면경사방향을 고려하여야 한다. 따라서 일반사면에서보다 불연속면에 의한 구조적인 붕괴 가능성이 상대적으로 높다. 둘째로, 좌안, 정면, 우안사면의 경계부에서 지표수의 배수 문제가 안정성 확보에 중요한 요인이 된다. 셋째로, 붕괴 발생 시 도로 이용자 차원의 즉각적인 대응이 곤란하고 터널이 대부분 산악 지역에 형성되어 있어서 교통흐름을 우회시키는데 어려움이 많아 경제적인 손실이 일반사면에 비해 상대적으로 크다(이풍희, 2003, 철도청, 2003).

이상에서 언급한 바와 같이 터널 갱구사면은 일반 절토사면보다 위험요소가 더 많으며, 안정성 확보에 더 많은 주의를 기울여야 한다. 따라서 본 연구에서는 터널 갱구사면이 갖는 특성들을 통계 분석을 통하여 살펴보고, 향후 유지관리에 적극적으로 활용하고자 한다.

2. 터널 갱구사면 특성 통계 분석

전국 일반국도변의 조사된 터널 갱구사면 자료를 통계 분석 처리하였다. 본 통계 자료는 향후 계획시스템 구축 및 지반 조사의 효율성을 극대화하기 위하여 진행되는 과정으로 국내 터널 갱구사면의 정확한 실태를 파악하고자 하는 것이다.

국내 터널 갱구사면의 암종별 분포를 살펴보면 그림 1과 같다. 국내에 분포하는 암종의 특성을 살펴보면 화성암중 화강암과 편마암이 80%이상을 차지하는 것으로, 본 조사결과에서도 변성암이 57.8%로 가장 많이 나타나는 것과 일치하는 결과를 나타내고 있다. 본 연구의 조사 분석에서는 변성암을 열리상 변성암과 비열리상 변성암으로 구분하여 조사하였으며, 화성암은 심성/반심성암 및 화산암으로 분류하였다. 퇴적암은 쇄설성 퇴적암과 비쇄설성 퇴적암으로 구분하였다. 화성암 중에서는 화강암이 대부분이며 24.2%로 분포하고 있고, 이외에는 10% 미만의 분포비율을 나타내고 있다. 반면에, 퇴적암이 집중적으로 분포되고 있는 경상남북도에는 터널의 수가 적어 터널 갱구사면의 구성 암종에 있어서 퇴적암의 비율이 낮게 분포하는 것으로 나타났다.

터널 갱구사면의 암종을 세분하여 암석종류별 분석을 실시하였다. 암석종류별 분석 결과는 그림 2와 같다. 분석결과에서 나타나듯이 편마암과 화강암이 60.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 국내의 지질분포와도 일치하는 것으로 나타났다. 터널의 경우, 대부분 산악지방에 시공되어 있어 국내의 산악이 편마암과 화강암으로 구성되어 있는 것의 영향으로 생각된다.

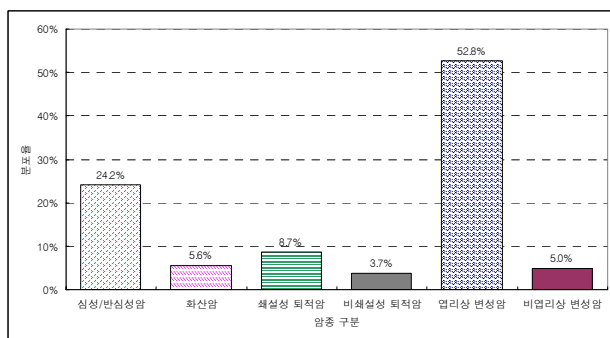


그림 1. 터널 갱구사면 기반 암종별 분포율

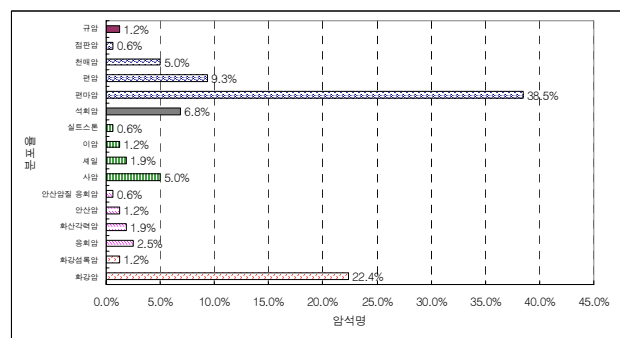


그림 2. 터널 갱구사면 암석종류별 분포율

터널 갱구사면의 암반 안정성의 영향을 평가하기 위하여 풍화등급별 분포율을 조사하였다. 풍화등급은 총 6개의 등급으로 구분하였으며 사면에 노출된 암반을 대상으로 하였다. 그림 3은 풍화등급별 분포율의 조사 결과를 나타낸 것이다. 분석 결과 풍화등급에서 가장 많이 분포하는 것이 심한풍화 등급으로 41.0%에 달하고 있으며 심한풍화 이상의 등급이 62.8%의 분포를 보인다. 이는 터널 갱구사면의 상태가 시공 당시에는 양호하였으나 시간의 경과와 더불어 열화 작용을 받아 풍화 등급이 매우 불량하게 나타

나는 것으로 분석할 수 있다. 향후 풍화작용 등 암반의 열화 과정이 진행되므로 인하여 풍화는 더욱 심하게 발생하고, 풍화등급도 완전풍화 및 풍화 잔류토로 진행될 것으로 생각할 수 있다.

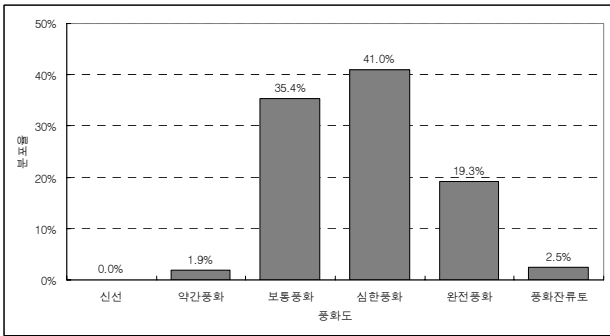


그림 3. 터널 갱구사면 풍화등급별 분포율

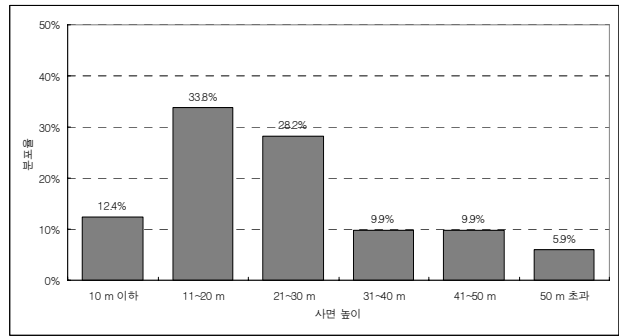


그림 4. 터널 갱구사면 사면 높이별 분포율

터널 갱구사면의 형상에 대한 분포를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 사면의 높이에 대한 분포비율을 분석하였다. 그림 4는 사면 높이별 분포비율을 나타낸 것이다. 분석 결과 30m미만의 사면이 74.4%에 해당이 되는 것으로 나타났다. 국내의 사면 특성상 20m내외의 높이를 가지는 사면을 중규모의 사면으로 분류하는 점을 고려할 때 터널 갱구사면의 경우는 대부분 중규모의 사면에 해당된다고 할 수 있다.

터널 갱구사면을 3가지 형태로 분류하고 좌안, 정면, 우안으로 구분하여 분석을 실시하였다. 분석결과 특이한 점은 정면사면의 높이가 가장 높게 나타나는 것이다. 좌우안 사면의 경우는 대부분 20m이내로 분포하는 것으로 조사되었다.

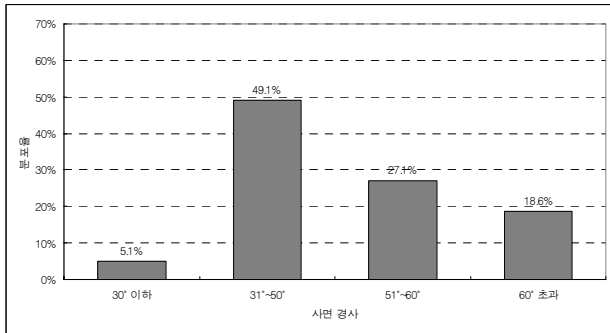


그림 5. 터널 갱구사면 사면경사 분포율

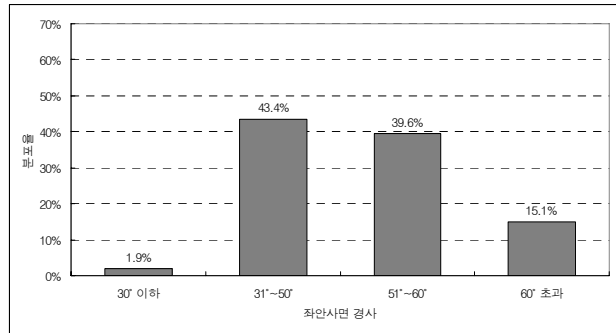


그림 6. 좌안사면 사면경사 분포율

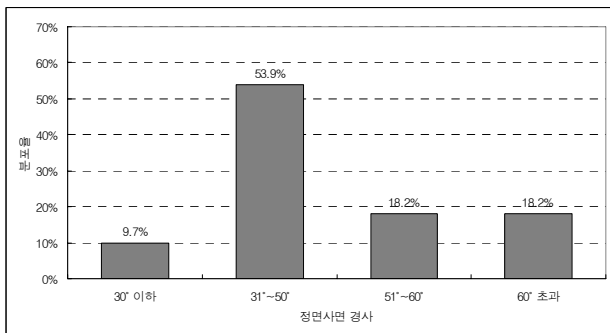


그림 7. 정면사면 사면경사 분포율

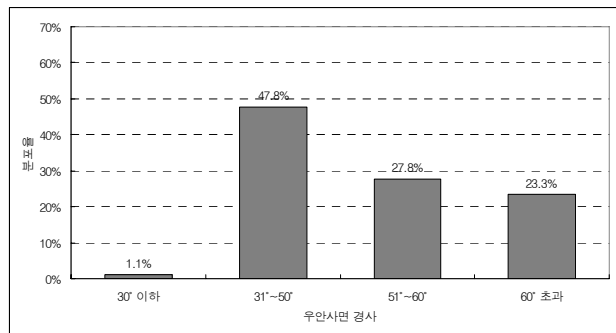


그림 8. 우안사면 사면경사 분포율

터널 갱구사면의 형상분석에서 경사도에 대한 분석을 실시하였다. 그림 5는 사면경사 분포율을 나타낸 것이다. 건설교통부 도로설계편람에 따르면 일반적으로 암반의 경우, 사면 경사가 1: 0.7~1: 1.0으로 설계지침에 제시하고 있다(한국건설기술연구원, 1999). 본 조사 결과에서도 터널 갱구사면의 경사도는

이에 부합되는 1: 1.0부근에 많이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

그림 6~8은 각 사면별로 경사각을 나타낸 것이다. 분석결과 정면사면의 경사는 상대적으로 완만하나 좌,우안 사면의 경사는 급한 것으로 분석되었다. 이는 국내 대부분의 터널이 갱문부를 돌출하여 시공한 갱문 타입을 적용하고 있고 좌,우안 사면의 경우 자연 암반의 상태에서 보호공법을 적용하고 있는 경향이 반영된 것으로 분석할 수 있다.

본 조사결과에서 보듯이 정면사면의 경우, 갱문부 상부를 성토하여 식생공을 시공한 터널이 많은 것으로 나타났다. 국내 터널 갱구사면의 경우, 정면사면 뿐만 아니라 좌,우안 사면이 더욱 위험한 상태라 볼 수 있다. 사면의 경사는 사면의 안정과 매우 밀접한 영향을 가지며 안정성 평가 및 향후 유지관리 시 중요한 인자로 작용하는 것으로 암반의 특성과 고려하여 분석되어야 한다.

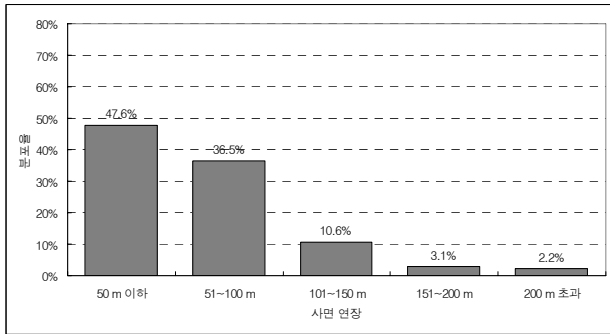


그림 9. 터널 갱구사면 사면 연장별 분포율

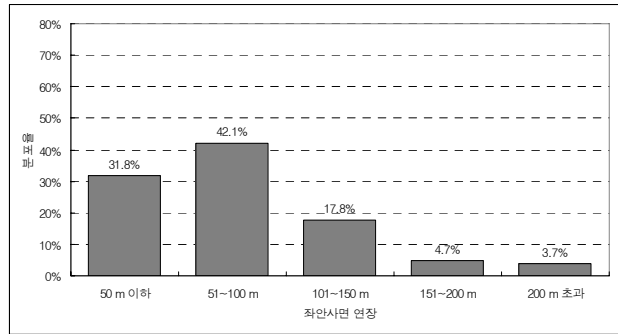


그림 10. 좌안사면 연장별 분포율

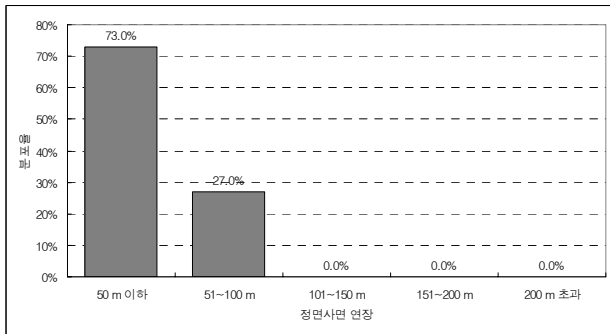


그림 11. 정면사면 연장별 분포율

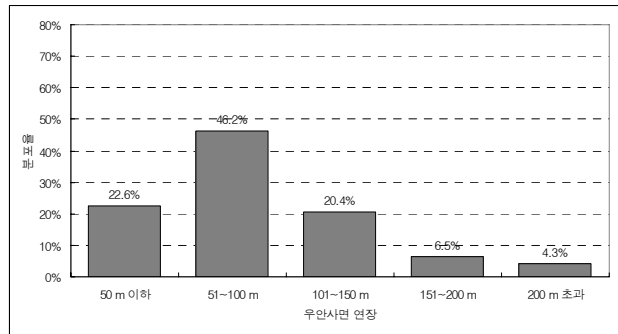


그림 12. 우안사면 연장별 분포율

터널 갱구사면 현황분석 중 사면의 연장에 대한 분석을 실시하였다. 사면의 연장은 낙석 및 사면 붕괴 발생시 통과 차량의 피해 확률과 피해에 영향을 미치는 인자로서 활용된다. 사면 연장별 분포율에 대한 조사 결과는 그림 9와 같다. 분석결과 100m이하의 연장을 가지는 사면이 84.1%를 나타내고 있다. 이중 50m이하의 사면은 47.6%에 해당되어 대부분의 사면은 연장이 짧은 것으로 나타났다.

좌,우안 및 정면 사면의 결과는 그림 10~12와 같다. 좌,우안 사면과 정면사면의 연장 차이가 큰 것은 정면사면의 경우, 일반국도의 경우 편도 2차선 이상이 없는데 원인이 있다고 생각할 수 있다. 터널 갱구사면의 경우, 특히, 정면사면은 50m내외로, 좌,우안 사면은 100m내외로 고려하여 유지관리 및 국내 현장에 적합한 계측시스템을 개발하여 운영하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

터널 갱구사면의 대책공법 시공 상태에 대한 조사 분석을 실시하였다. 그림 13은 터널 갱구사면의 식생공 시공유무에 대한 분석 결과이다. 그림에서 보듯이 터널 갱구사면의 70%에 해당되는 사면이 식생공이 시공되어 있는 것으로 나타났다. 친환경적인 사면 관리 등의 영향으로 생각 할 수 있으며 사면 유지관리 차원에서는 식생공이 시공되어 있으므로 인하여 붕괴 시 조사 및 대책마련에 어려움이 따른다고 할 수 있다.

터널 갱구사면의 과거 붕괴 상황에 대하여 조사를 실시하였다. 붕괴 형태는 낙석, 표층유실, 법면 붕괴 등으로 구분하였다. 그림 14는 터널 갱구사면 붕괴이력에 대한 분포율을 나타낸 것이다. 분석 결과

에서 보듯이 사면의 45%에 달하는 사면이 붕괴이력을 가지고 있는 것으로 조사되었다. 이는 터널 갱구사면이 시공당시에는 안정한 상태이었으나 시간이 경과함에 따라 점차 불안정한 상태로 전이되어 사면 붕괴가 지속적으로 발생하는 것으로 판단된다. 붕괴이력을 살펴보면 낙석에 의한 붕괴가 21.5%에 해당이 되고 표층유실 등 일부 구간의 토사층 유실 등의 피해가 18.4%로 나타났다. 또한, 대규모의 사면 파괴에 해당되는 법면 붕괴도 4.5%에 달하는 것으로 조사되었다.

좌,우안 사면과 정면사면을 비교하여 붕괴이력을 살펴보면 그림 15~17과 같다. 분석결과에 의하면 좌,우안사면 보다 정면사면의 붕괴 빈도가 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 터널 갱구사면의 갱문 구조상 돌출형식이 많은 국내의 터널 시공 경향의 영향으로 생각할 수 있다. 반면 좌,우안 사면은 정면사면에 비하여 위험한 요소가 많이 노출되어 있는 것으로 나타났다.

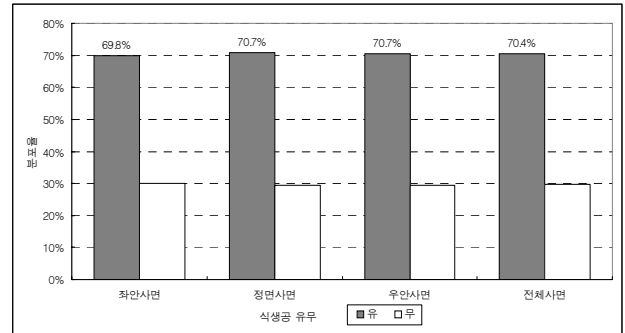


그림 13. 터널 갱구사면 식생공 시공유무

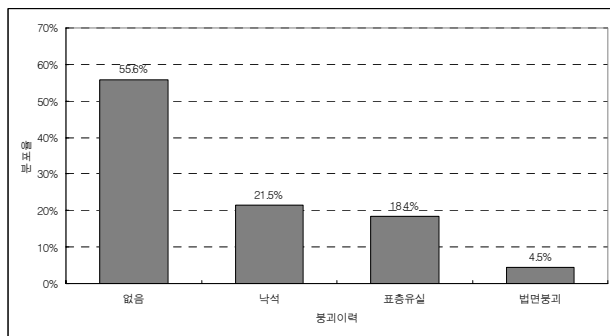


그림 14. 터널 갱구사면 붕괴이력 분포율

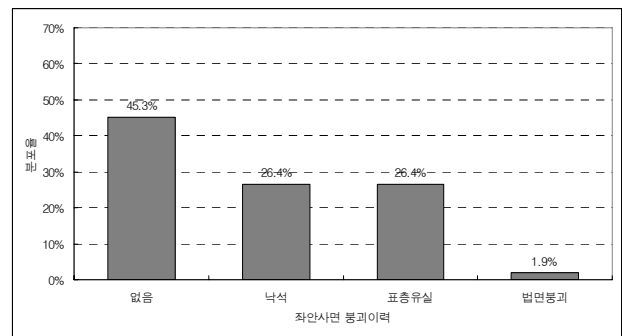


그림 15. 좌안사면 붕괴이력 분포율

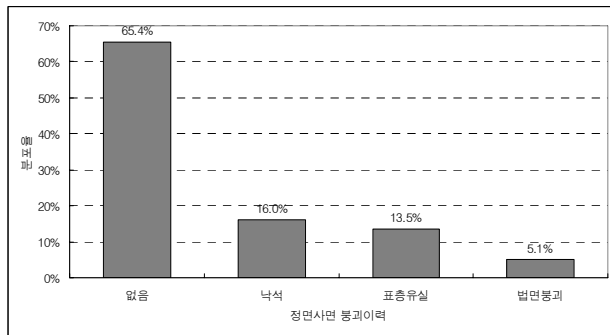


그림 16. 정면사면 붕괴이력 분포율

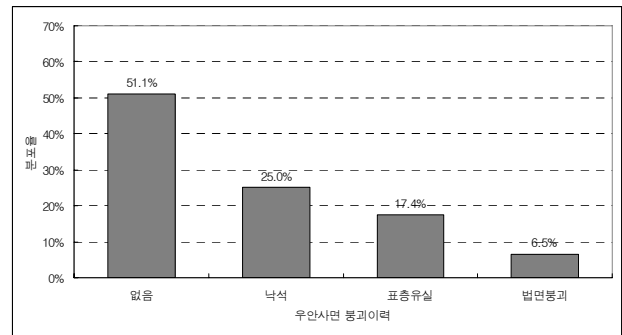


그림 17. 우안사면 붕괴이력 분포율

3. 결 론

국내 일반 국도상의 터널 갱구사면을 대상으로 현황조사를 통하여 취득된 데이터를 활용하여 갱구사면의 특성을 통계 분석하였다. 총 112개의 터널에 대하여 암종분포, 풍화등급, 사면높이, 사면경사, 사면연장, 식생공 시공 유무, 붕괴이력 등에 대한 분석을 실시하였으며, 다음은 본 연구에서 수행한 연구 결과를 정리한 것이다.

- (1) 암종별 분포현황은 변성암이 57.8%로 가장 많이 분포하는 것으로 분석되었고, 암종을 세분하여 암

석종류별 분석 결과는 편마암과 화강암이 60.9%를 차지하는 것으로 나타났다.

- (2) 풍화등급별 분포율 분석 결과 풍화등급에서 가장 많이 분포하는 것이 심한풍화 등급으로 41.0%에 달하고 있으며 심한풍화 이상의 등급이 62.8%의 분포를 보인다.
- (3) 사면 높이별 분포비율은 30m미만이 74.4%를 차지하였으며, 특히 정면사면의 높이가 가장 높게 분석되었고, 좌,우안 사면의 경우는 대부분 20m이내로 분포하는 것으로 나타났다.
- (4) 사면의 경사도를 분석한 결과, 1: 1.0 내외의 구배가 가장 높은 비율을 차지하였으며, 정면사면의 경사는 상대적으로 완만하나 좌,우안 사면의 경사는 급한 것으로 분석되었다.
- (5) 사면 연장에 대한 분석 결과 100m이하의 연장을 가지는 사면이 84.1%를 나타내고 있다. 이중 50m이하의 사면은 47.6%에 해당되어 대부분의 사면은 연장이 짧은 것으로 나타났다.
- (6) 터널 갱구사면의 70%에 해당되는 사면이 식생공이 시공되어 있는 것으로 나타났다. 친환경적인 사면 관리 등의 영향으로 생각 할 수 있으며 사면 유지관리 차원에서는 식생공이 시공되어 있으므로 인하여 붕괴 시 조사 및 대책마련에 어려움이 따른다고 할 수 있다.
- (7) 붕괴이력에 대한 분포율을 분석한 결과, 전체사면의 45%가 붕괴이력이 있는 것으로 나타났다. 낙석에 의한 붕괴가 21.5%에 해당이 되고 표층유실 등 일부 구간의 토사층 유실 등의 피해가 18.4%로 나타났다. 또한, 대규모의 사면 파괴에 해당되는 범면 붕괴도 4.5%의 비율을 차지하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 2004년도 산학연 연구과제인 “시간열화 특성을 고려한 터널갱구사면 안정성 기법 및 상시계측시스템 개발” 과 관련하여 수행되었으며, 이에 협조해주신 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 이풍희, 신재상, 김일환, 김우성, 김영근(2003), “도로안전성을 고려한 친환경적 터널 갱문부 설계기준”, 한국터널공학회 터널기술, 제 5권, 제 4호, pp.18~33.
2. 철도청(2003), **철도설계편람(노반편)**, 제5편 터널, pp.1~42.
3. 한국건설기술연구원(1999), “**도로설계편람(I)**”, 건설교통부, 제 1권, pp.600-1~623-5.
4. 한국시설안전기술공단(2003), “**안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(절토사면)**”, 건설교통부, 제 1권, pp.12~32.
5. 한국시설안전기술공단, 건설교통부(2004), **시설물통계연보**.