

울산지역 제3기 정자분지의 도로사면 지반특성

Geotechnical Characteristics of Cut Slope in Tertiary Jungja Basin, Ulsan area

김승현¹⁾, Seung-Hyun Kim, 구호본²⁾, Ho-Bon Koo, 이정엽¹⁾, Jung-Yup Lee,
이종현¹⁾, Jong-Hyun Rhee, 박성규³⁾, Sung-Kyu Park, 김관영⁴⁾, Kwan-Young Kim

- 1) 한국건설기술연구원 연구원, Researcher, Korea Institute of Construction Technology
- 2) 한국건설기술연구원 수석연구원, Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology
- 3) 삼성엔지니어링 과장, Manager, Samsung Engineering
- 4) 삼성엔지니어링 현장소장, Site Manager, Samsung Engineering

SYNOPSIS : Road is built continuously along with development of industry and cut slope is happened necessarily in road construction. Geoengineers are executing cut slope stability analysis considering various cut slope condition such as topography, geology, hydraulic condition and so on. The Tertiary Jungja Basin is located in the southeastern coastal area of the Korea Peninsula. Jungja Basin area is created by geotectonic movement of the plate after Early Miocene epoch. The northwestern and southwestern boundary of the basin is fault zone. The Basement rock is hornfels (Ulsan Formation). Basin-fills consist of extrusive volcanic rock(Tangsa Andesites), unconsolidated fluvatile conglomerate(Kangdong Formation) and shallow brackish-water sandstone(Sinhyun Formation).

The characteristics of cut slopes in this area is different with cut slopes in the other site. Soil layers in this area is unconsolidated sediments and is not formed the weathering and erosion of the rock. So, the depth of soil layer is very thick.

Faults of this area are northwest-southeast and northeast-southwest direction. Expandible clay mineral as smectite, chlorite et al. detected from fault gouge using XRD. Therefore, Jungja Basin area must consider the characteristics of the faults and soil layers thickness necessarily cut slopes stability analysis.

Key words : cut slope, tertiary basin(Jungja Basin), fault, the thickness of soil layers, stability

1. 서 론

현재 국가기간사업의 일환으로 새로이 도로를 건설하거나 기존의 도로를 확장하는 대규모 공사가 지속적으로 진행 중에 있다. 신규도로의 건설과 더불어 절토사면의 발생은 필연적이며 절토사면의 안정화를 위한 여러 가지 접근이 이루어지고 있다. 절토사면의 안정성은 지형, 지질, 수리 등 다양한 사면 조건을 고려하여 해석되고 있으며 효율성, 시공성, 친환경성 등을 고려한 설계가 이루어지고 있다.

한반도는 지역에 따라 다양한 지질분포를 보이는 것이 특징이며 도로의 형성지점에 따라 독특한 지질의 영향을 받기도 한다. 특히 한반도 동해안을 따라 집중적으로 나타나는 신생대 제3기층 분포지역에서의 도로건설에 따라 형성되는 절토사면은 다른 지역의 절토사면과는 상이한 특성을 나타낸다. 즉, 제3기 지역의 경우 토사층이 암반의 풍화에 의해서 생성된 것이 아니라, 암석의 미고결 단계에 해당되는 것으

로 토층의 심도가 다른 지역에 비하여 상당히 깊은 편이다. 또한 신생대 제3기층이 분포하는 지역은 비교적 최신기(전기 마이오세~중기 마이오세)의 구조운동에 의해 생성된 지역이므로 단층계의 발달이 뚜렷하여 이와 수반된 규칙적인 불연속면이 명확히 관찰된다.

이러한 상기 특성에도 불구하고, 제3기층의 분포지역에 도로건설에 따른 절토사면이 형성되게 될 때 암반강도나 풍화정도만으로 사면구배를 설계하거나, 구배를 완화하기 위한 절취공을 실시할 시 풍화암이나 리핑암 이상의 암석이 분명히 나타날 것으로 판단하는 실수를 범하므로써 종종 잘못된 설계로 인한 사면붕괴가 발생되기도 한다. 따라서, 신생대 제3기층 분포지역에서 절토사면 설계시 지질특성과 구성재료의 제반 특성을 충분히 고려한 사면설계가 필요할 것으로 판단된다.

2. 지형 및 지질

연구대상 지역은 울산시 북구 연암동-경주시 양남면 수렴리를 잇는 국도 31호선 도로확장공사구간이다. 기존도로의 경우 많은 교통량(10,670대/일, 2003 도로교통량통계연보)도 불구하고 평면선형 및 종단선형이 매우 불량하며 교통사고가 잦아, 교통소통을 보다 원활히 하고 안전사고를 미연에 방지하며 물류비용을 절감할 목적으로 신설도로를 건설 중에 있다. 본 과업의 연구지역은 북위 35°34'58"~35°37'20",

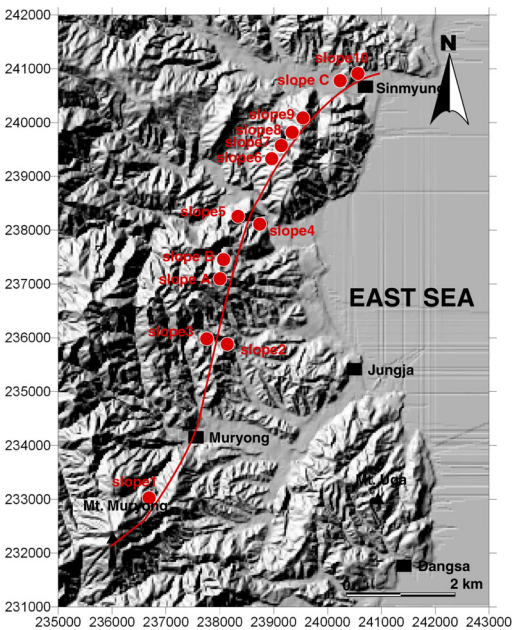


그림 1. 연구지역 음영기복도

동경 129°24'40"~129°27'20"의 범위에 놓이며, 행정구역상 울산광역시 북구 송정동, 신현동, 정자동, 무룡동, 산하동, 신명동 일원에 위치한다(그림 1). 조사지역의 서쪽은 동대산(△444 m), 무룡산(△453 m) 등을 잇는 평균 고도 300 m 내외의 N10°W 방향의 산계로 이루어지며, 동쪽은 해안 저지대로 이루어져 있다. 본 지역에 발달하는 수계는 동북동 방향의 하천으로 동해로 유입되고 있다.

연구지역은 동해안을 따라 분포하는 제3기 퇴적분지들 중 최남단의 것으로 정자분지라고 한다. 정자분지는 백악기 경상누층군의 울산층과 이를 분출 또는 관입한 제3기 안산암질화산암류 및 현무암류를 기반으로 제3기의 미고결 역암층 및 사암층이 약 2 km의 폭을 가지며 N30°E방향으로 대상으로 분포되어 있다.

울산층은 불국사화강암류의 관입의 영향을 받아 혼펠스화되어 있으며, 주변단층대의 영향으로 파쇄 정도가 심하다. 당사안산암질화산암류(이하 당사안산암류)는 당사안산암, 데사이트와 당사안산암질응회암으로 나뉘어지며, 당사안산암은 울산층을 관입하고 있으며, 당사안산암질응회암에 의해

피복된다. 또한 현무암류는 상기 당사안산암질화산암류를 관입하고 있다. 당사안산암 및 데사이트는 대체로 관입 또는 분출의 산출상태를 보여주며, 유상구조가 발달되기도 한다. 암색은 주로 암회색, 회색, 적갈색을 띠며, 소량의 장석과 휘석의 반정을 가진다. 당사안산암질응회암은 당사안산암과 항상 수반되어 나타나며, 야외에서 회색 또는 녹회색을 띠며, 화산재와 각력들로서 고결되어 있고 층리의 발달이 미약하다. 부분적으로는 각력이 장경 25 cm~1.5 m에 달하는 큰 것도 포함하고 있어, 화산집괴암으로 분류할 수 있다. 제3기 퇴적층은 하위의 강동층과 신현층으로 구분된다. 강동층은 육성퇴적물로서 층리의 발달이 불량한 역암으로 주로 구성되어 있으며, 신현층은 사암과 이암 또는 사질이암의 호층으로 구성되어 있으며 렌즈상의 역암을 협재한다. 신현층은 강동층을 정합으로 피복하고 있으며, 굴화석 균집, 조개류 화석균집, *Vicarya-Anadara* 균집 등이 나타난다. 제4기 퇴적층은 담황색 내지 갈색의 미고결 역층과 역질사암층의 교호층인 하부대와 암갈색 내지 암회색의 현생 토양과 충적층 그리고 산록퇴적물로 구성된 상부대로 구분된다. 하부대는 최대 20 m 이상의 두께를 보이며, 수십 cm ~ 수 m 두께의 상부대에 의해 부정합으로 피복된다.

제4기 퇴적층은 계곡을 따라 발달한 하천의 활동과 관련한 현생 하상충전 퇴적물이 대부분이며, 계곡 양편의 산록에서 유래된 현생 계곡 선상지 퇴적물도 포함된다.

3. 단층계와 사면안정성과의 관계

신생대 제3기층의 형성에 관한 구조지질학적인 과거 연구를 살펴보면, 제3기분지는 동해의 형성과 확장 그리고 깊은 관련이 있으며, 최근 들어 울산단층대와 제3기분지 지역에서 활동성이 의심되는 다수의 제4기 단층들이 보고되고 있어 한반도 동남부는 현재까지도 구조운동이 계속되고 있는 지역임이 밝혀지고 있다. 제3기 퇴적분지의 형성 메카니즘에 대

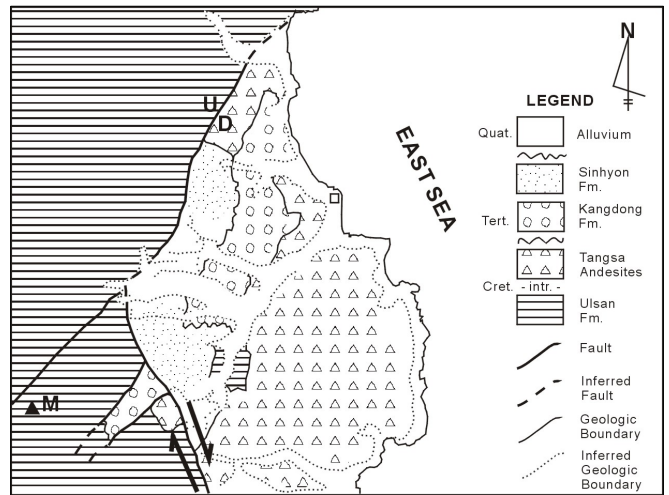


그림 2. 연구대상 지역 지질도

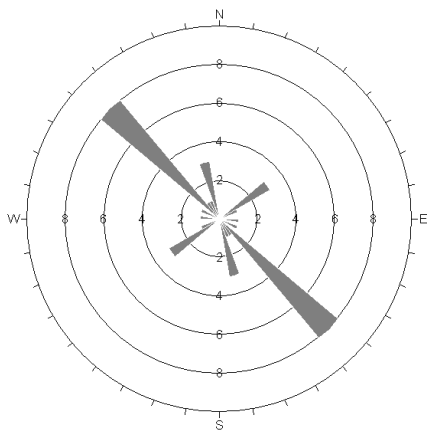


그림 3 단층계 분포

하여는 화산암류의 화산활동 이후 지각함몰에 의하여 분지가 형성되었다는 다이아피릭 조산운동(diapiric tectogenesis)이론(윤선 등, 1991, Yoon, 1997)과 주향이동단층이 벌어지거나 국부적으로 중첩된 두 주향이동단층이 신장조건 하에서 함몰분지를 형성했다는 인리형분지(pull-apart basin) 이론(손문, 김인수, 1994, 기원서, 도성재, 1995, 손문, 김인수, 1998)이 있다.

다이아피릭 조산운동과 관련된 단층계는 방사상 단층계를 형성하고 있는 것이 특징적으로서 모든 방향의 단층이 분지 및 분지 외곽에 나타날 수 있다. 반면 인리형분지이론에 따른 단층계는 특징적인 방향으로 규제되는 단층계를 형성하게 된다.

연구지역에서 취득된 단층자료를 이용하여 장미도표로 표현한 결과, 본 지역에서는 북서-남동 방향의 단층계(미포단층)와 북동-남서 방향의 단층계(산하단층)가 우세하게 분포하고 있음을

알 수 있었다(그림 3). 미포단층을 경계로 남서외곽은 주로 울산층으로 이루어져 있으며 단층선에 연결하여 유상절리를 가지는 화산암류와 미고결역암층이 주로 분포한다. 또한 산하단층은 정자분지의 북서 경계를 이루며 이 단층을 경계로 북서편의 분지외곽은 울산층이 남동편의 퇴적분지는 단층선 가까운 쪽에 신기의 신현층이 그리고 먼쪽이 고기의 강동층이 나타난다.

북서-남동 방향 단층계(미포단층)는 주로 140~150°(dip direction) 방향으로 형성된 사면에서 잘 관찰된다. 사면방향에 대하여 본 단층의 방향은 거의 90° 내외의 주향차이를 보여 사면안정성 측면에서 안정할 것으로 판단할 수 있으나, 본 단층과 수반되어 나타나는 공액상절리에 의한 켜기형 암괴가 형성되어 있어 두 불연속면에 의한 켜기파괴가 발생되었던 것으로 판단된다(그림 4). 특히 이 방향의 단층계는 최초 단층 형성 이후 계속적으로 활동하고 있는 단층으로 울산층의 변이 패턴으로 보아 정단층 활동이 있었음을 알 수 있으며, 단층면 내 제4기 단구층들이 나타나므로 제4기 지질시대 동안에도 계속적인 운동이 있었던 것으로 판단된다(그림 5). 또한 단층에서 채취한 단층점토의 X선 회절분석 결과, 석영, 장석 외에 점토광물로는 카오린 광물, 스펙타이트, 녹니석 등이 인지되었으며, 특히, 이들 점토 중에는 팽윤성이 큰 스펙타이트가 다량 함유되어 있는 것으로 나타났다. 울산층으로 이루어진 암사면의 붕괴는 단층과쇄대에 발달된 점토질 물질에 의한 것으로 보이며, 팽윤성 점토광물에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 일반적으로 붕괴에 관련된 점토는 스펙타이트, 팽윤성 녹니석, 할로이사이트 등의 팽윤성이 큰 점토광물이 함유되는 경우가 많다(Tanaka, 1992). 본 지역에서는 우기시 사면으로 유입된 수분의 흡수에 의하여 단층면 내 점토광물이 팽윤하여 붕괴를 촉진시켰을 것으로 판단된다. 상기 단층계에 의해서 나타난 붕괴는 상단부 토층까지 연장되지 않고 울산층에 제한적으로 나타나는 경향을 가진다.

상기 단층들은 주로 울산층에서 관찰된다. 울산층 자체는 사면안정성 측면에서 열변성작용의 결과로 만들어진 산물로서 조적이 치밀건고하므로 암반강도는 매우 강한 편이다. 그러나 이들 암층이 존재하는 지역은 울산단층계에 포함되는 미포단층의 영향 하에 놓여 있어 경면(slickenside), 단층점토(fault gouge), 단층각력암(fault breccia) 등 넓은 폭의 파쇄대 등을 형성시켜 일반적인 토층보다 강도가 상대적으로 약한 약대(weak zone)을 이루고 있다. 특히, 이러한 파쇄대에 유수가 유입되게 되면, 점착력과 내부마찰각이 급격히 감소하는 특성을 보여 외력에 대한 저항력이 0에 가깝게 되므로 파쇄대의 발달 특성 및 불연속면의 방향성을 고려한 설계가 이루어져야 한다.

신설국도 31호선 주변의 경우, 사면붕괴가 도로의 서편에 집중되는 경향을 보인다. 이는 단층계의 발달 방향과 밀접한 관련을 가지고 있음을 지시하는 결과로서, 이를 고려한 적절한 설계가 요구되어야 할 것으로 판단된다.



그림 4. 단층발달에 의한 사면붕괴



그림 5. 단층충진물 내 제4기 퇴적층



그림 6. 북서-남동 방향 단층의 정단층 활동

4. 제3기 암석과 사면안정성과의 관계

정자분지 내 제3기 암석은 화산암류와 퇴적암류로 크게 나누어진다. 화산암류는 당사안산암류와 현무암류로 구분되며 퇴적암류는 미고결역암층인 강동층과 미고결사암층인 신현층으로 분대된다.

당사안산암류는 당사안산암과 당사안산암질응회암에 따라 공학적인 특징이 현저히 다르다. 즉, 당사안산암의 경우는 단단하며, 암석강도가 크며, 지반전문가들이 기대하는 수준에 적합한 기반암의 한 종류이다. 그러나 당사안산암류가 현무암류에 의해 관입당한 지역은 안산암류의 풍화침식이 매우 빠르게 진행되어 지반강도가 급격히 감소하는 경향을 보인다. 당사안산암질응회암과 같이 기질(matrix)이 화산성 물질로 이루어진 화산집괴암의 경우 다른 퇴적환경의 제3기 암층보다 속성작용이 빨리 진행되어 암석화되는 정도가 상대적으로 빠르다. 따라서, 화산집괴암의 경우, 토목공사시 어느 정도 암반강도가 확보된 보통암 계열로 판단하여 설계를 실시할 경우가 많다. 그러나 화산집괴암이 대기 중에 노출되게 되면 급격히 풍화되는 특징을 보이며, 공극과 광물의 불안정성에 의해 쉽게 변질될 수 있다. 또한 호우기시 유수가 유입되게 되면 기질을 약하게 변화시키게 되어 지반강도의 급격한 강하로 인하여 붕괴가 발생되기

도 한다. 따라서 당사안산암질응회암이 나타나는 사면의 설계에 있어서는 빠른 풍화진행을 고려한 적절한 설계가 이루어져야 한다.

사면안정성을 평가하는 데 있어서 토층심도는 고려되어야 될 중요한 요소이다. 암반층과 토사층과의 경계면은 사면 내 주요한 취약부이며, 유수의 유입시 경계면으로 활동하게 되어 사면붕괴를 유발하는 중요한 인자로 인지되어 왔다. 국내 절토사면의 경우, 토층심도의 분포범위가 비교적 얇은 편이다. 한국 건설기술연구원에서 2003년까지 국내 2,969개소 국도변 사면을 대상으로 조사한 자료에 의하면 국내 절토사면의 토층심도는 대부분 0.5 m 이하인 것으로 나타나(그림 7), 사면설계를 실시함에 있어서, 관심 있는 접근이 부족하였다.

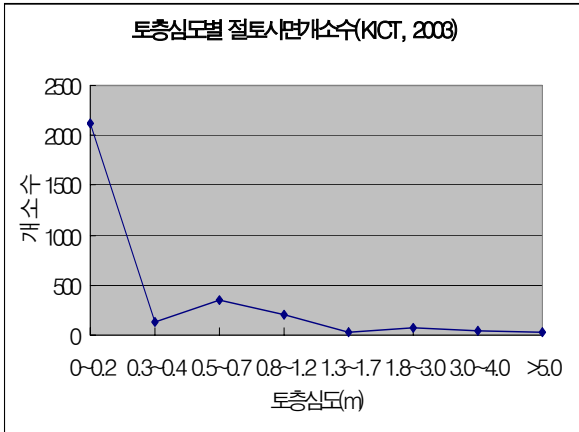


그림 7. 도로절토사면 토층심도분포

법의 적용은 곤란하다. 역암층은 역의 함량과 고결도, 수리특성 등에 따라 지반특성이 달라지므로 이를 고려한 사면설계가 이루어져야 한다. 신현층은 주로 해성모래로 구성된 사암층으로 점토가 협재되어 나타나기도 한다. 따라서 신현층으로 이루어진 사면에 콘크리트 구조물 등을 이용한 사면안정화를 실시할 경우, 콘크리트와 염분과의 화학적 풍화진행으로 인하여 구조물이 보다 빠르게 부식될 수 있으므로 콘크리트 구조물을 이용한 안정성 확보는 배제하여야 될 것으로 판단된다.

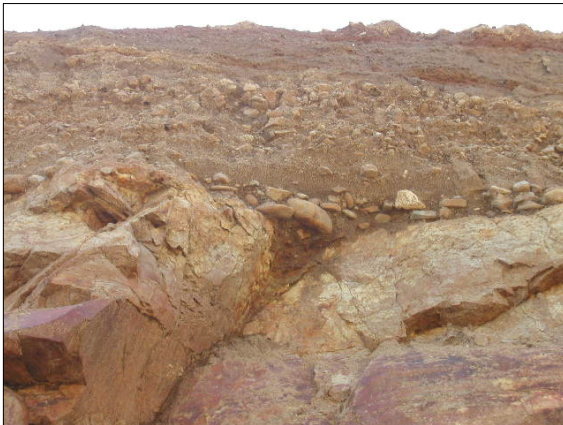


그림 8. 강동층과 안산암의 부정합면



그림 9. 신현층으로 구성된 절토사면

5. 결 론

본 연구에서는 울산-강동 간 국도 31호선의 도로확장공사 중 발생된 절토사면의 현장조사결과 및 분석 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연구지역의 지형은 서쪽이 고지대를 형성하고 있으며, 동쪽은 해안가 및 평야로 이루어진 저지대로 해양성 풍화의 영향을 가진다.
2. 정자분지는 전기마이오세 이후 판의 운동에 의해 형성되었으며, 기반암은 울산층으로 분지충전물은 제3기층인 당사안산암질암류, 강동층, 신현층으로 이루어져 있고 제4기 퇴적물이 피복하고 있다.
3. 본 지역의 단층은 울산층으로 구성된 절토사면에서 우세하게 나타나며 주 발달 방향은 주로 북서-남동 방향, 북동-남서 방향이며, 단층점토 내에는 팽윤성이 큰 스�멕타이트류가 인지되었다.
4. 울산층은 혼펠스화되어 암석자체는 치밀건고하나 발달된 단층으로 인하여 파쇄대가 매우 잘 발달한다.
5. 당사안산암은 지반공학적으로 어느 정도의 지반강도가 확보된 암석이지만 현무암에 의해 관입받은 안산암의 경우 변질작용의 결과로 지반강도가 저하된다.
6. 당사안산암질응회암은 공극과 광물의 불안정성에 의하여 쉽게 변질될 수 있으며, 대기 중에 노출시 급격한 풍화를 나타내므로 이를 고려한 사면 설계가 요구된다.
7. 강동층과 신현층은 암석화 과정에 있는 미고결퇴적물로서 층후가 깊고, 풍화에 민감하므로 이를 고려한 안정성 해석이 요구된다. 강동층은 역의 함량과 고결도, 수리특성 등을 고려한 안정성 해석을 실시하여야 하며, 신현층의 경우에는 화학적 풍화에 의한 부식을 고려하여 콘크리트 구조물의 설치 배제하여야 한다.

6. 참고문헌

1. 기원서, 도성재(1995) “제3기 어일분지 남부지역의 지질구조”, **지질학회지**, 31권, pp.10~20.
2. 서만철, 김민규, 최석원(1994), “경북 추령터널 부근 암석의 풍화특성에 관한 지구물리화학적 연구”, **지반공학회지**, 4권, pp.269~281.
3. 손문, 김인수(1994), “울산군 강동면 제3기 정자분지의 지질구조와 분지발달”, **지질학회지**, 27권, pp.65~80.
4. 손문, 김인수(1998) “한반도 동남부 제3기 마이오세 분지들의 발달모델”, **대한지질학회**, 제53차 학술발표회.
5. 윤선, 장기홍, 유환수, 이영길(1991), “한반도 남부의 제3기 분지 발달사”, **광산학회지**, 24권, pp.301~308.
6. 한국건설기술연구원(2004), **2003 도로절토유지관리시스템 개발 및 운용**, 건설교통부.
7. Tanaka, K(1992) "Slope hazards and clay minerals", *Clay Sci.Soc Japan*, 32, pp.16~22.
8. Yoon, S. (1997) "Miocene-Pleistocene volcanism and tectonics in southern Korea and their relationship to the opening of the Japan Sea", *Tectonophysics*, 281, pp. 53~70.