

국도 36호선 충주-단양 간 도로암반절개면의 지질공학적 정수의 범위와 붕괴유형

김 승 현
구 호 본
백 용

한국건설기술연구원
한국건설기술연구원
한국건설기술연구원

개 요

절개면은 붕괴가 발생하게 되면 많은 인적·물적 피해를 동반하며 안전한 도로 이용을 방해하므로 지속적인 유지관리 하에 점검되어야 하는 구조물이다. 본 연구대상 지역은 월악산 국립공원 내에 위치하며 충주-단양을 잇는 국도 36호선에 해당된다. 본 노선은 일일 교통량이 약 4,000여대에 달함에도 불구하고, 도로절개면의 높이가 높고, 경사가 급하며, 지질현황이 복잡하여 매년 낙석사고 및 붕괴가 발생되고 있다. 본 연구의 목적은 본 노선을 따라 나타나는 절개면의 지반공학적이고 지질학적인 요소들을 분석하고 그 붕괴양상을 이해하는데 있다. 연구방법으로 첫째, 본 노선을 따라 존재하는 모든 절개면들을 간략·조사하였다. 그리고 절개면의 형상, 높이, 경사, 지질, 수리조건 등을 고려하여 위험절개면들을 선택하였다. 셋째로 이들 위험절개면들의 지질학적이고 지반공학적 자료를 취합하였다. 위험절개면에서 취득된 암반정수의 범위는 층군별로 다른 범위를 나타냈으며, 가장 우세한 붕괴유형은 썩기 파괴였다. 썩기파괴가 발생할 가능성이 있는 절개면에 대하여 안전율을 산출하는 방법으로 썩기파괴 발생가능절개면을 대상으로 한 입체투영기법을 적용하였으며, 대부분의 썩기형암괴의 안정도는 R_f 의 위치가 중력(F_G)보다 $I_{AB}(J_A$ 와 J_B 절리의 교차점)로부터 멀리 있으므로 불안정한 상태에 속하는 것으로 판단되어진다.

서 론

최근 산업의 발달에 따라 도로, 댐 건설 등 국가기간산업의 건설에 수반되어 절개면이 필연적으로 발생하고 있다. 그러나 과거에 만들어진 도로절개면들은 지질 및 지반공학적 특성 등에 대한 고려없이 절개면 구성물질의 강도에만 근거하여 표준경사를 적용하는 방식으로 설계, 시공된 경우가 대부분이어서 불안정한 상태로 남아있는 경우가 많다. 또한 우리나라는 연평균강우량의 2/3 정도가 여름철에 집중되며, 4계절이 뚜렷하여 집중호우기나 해빙기 등 특정 시기에 사면붕괴가 발생하는 취약한 자연조건에 놓여 있다. 대부분의 절개면 내 붕괴 활동은 지각운동으로 파쇄대가 많이 분포하는 지형, 지질조건하에서 집중된 호우나 폭설 등의 요인에 의하여 발생하게 된다. 이러한 요인들의 상호관계에 의한 절개면의 붕괴는 다양한 양상으로 나타나며 인적·물적 피해를 초래한다.

연구대상 국도는 충청북도 충주시와 단양군을 잇는 국도 36호선이다. 본 노선은 충주호 남단을 횡단하는 노선으로 전체적인 도로방향은 동서이다. 이 지역에 대한 기존연구로는 충주지역 주변의 산사태 발생지역에 대한 암상, 구조, 토지이용, 지형 등의 환경지질조건들의 조합에 따른 사면의 안정도와 지질공학적 요인을 도입하여 이를 공간적으로 표현하기 위하여 GIS(Geoscientific Information System)를 도입한 연구가 있었다(이사로, 1992 ; 신현준 외, 1996; 이영훈, 김규상, 1996; 문상기 외, 2000). 그러나, 충주-단양 간 국도 36호선에 나타나는 암반절개면에 대한 자료는 제공되지 않은 상태이다. 본 연구에서는 본 노선에 나타나는 모든 절개면에 대하여 현황조사를 실시하고, 조사우선순위기법(한국건설기술연구원, 2001)을 이용하여 위험절개면을 선정하였다. 선택된 절개면에 대하여 상세한 현장조사를 통하여 지질공학적이고 지반공학적인 자료를 취득하였다. 층서는 암상과 노두의 위치를 기초로 기 발간된 지질도와 기존문헌을 참고하여 조선누층군, 충주층군, 옥천층군, 불국사화강암류로 대별하였고(김기완, 이홍규, 1965; 이민성, 박봉순, 1965; 원종관, 이하영, 1967; 김옥준, 1968; 이대성, 1971; 이민성 등, 1998), 암반절개면에서 얻어진 공학적 특성과 암층군과의 관계를 비교하였다. 따라서 본 연구의 목적은 국도 36호선에 나타나는 위험암반절개면에 대한 현장조사 자료를 통하여 얻어진 암반강도정수의 암종별 범위를 설정하고, 위험절개면의 붕괴유형을 제공하는데 있다.

지형 및 지질

본 연구지역의 산지는 차령산맥이 분맥된 남부를 차지한다. 본 조사지역에 대하여 남쪽에 위치한 산릉은 동서로 횡단하고 있으며 이를 경계로 남부와 북부의 지형이 큰 차이를 보이고 있다. 산릉 이남 지역은 험준한 산세를 보이며 좁고 긴 골짜기가 발달하면서 이를 따라 성천, 광천, 달천이 수계를 지배한다. 반면 북부지역은 점차 산세가 낮아지면서 남한강과 무질서한 방향의 하천들이 발달한다.

본 지역은 지체구조상 옥천대에 해당된다. 옥천대는 조선누층군, 평안층군, 옥천층군, 대동층군 및 경상누층군의 일부 등 고생대에서 중생대까지 여러 지층군이 복잡, 다양하게 분포되어 있다. 본 지역은 조선누층군, 옥천누층군 그리고 중생대 화강암류로 구성된다. 옥천대의 동북 연장대에 분포하는 캄브로-오오도비스기의 조선누층군은 주로 석회암, 돌로마이트, 슬레이트 그리고 규암으로 구성되며 주 구성암은 석회암이다. 조선누층군의 서남측에는 옥천층이 대상으로 분포하고 있으며 주구성암층은 다이아믹타이트, 이암, 사암, 그리고 염기성 화성암들이다. 이들 지층 중에 석회암 박층과 화산암류들이 협재한다. 그리고, 상기층군들을 중생대의 화강암이 관입하고 있다.

현황조사

국도 36호선은 1998년부터 2000년까지 총 17개소가 조사되었다. 그러나, 기존에 조사된 절개면은 관측자의 주관적인 판단에 의해 선정되었으므로 위험절개면이 다수 분포하고 있는 위험노선에 대하여 전체적인 절개면의 상황 파악에 대한 필요성이 대두되었다. 따라서 2000년 11월부터 2001년 2월에 걸쳐 위험절개면이 다수 분포하는 노선을 대상으로 간략조사가 실시되었다. 연구대상인 충주-단양 간 국도 36호선 내에는 총 198개소의 절개면이 존재하며 이를 대상으로 한국건설기술연구소(2001)에서 개발한 조사우선순위 결정기법을 이용하여 위험순위가 높은 순으로 조사현장을 선정하고 조사분석의 기초자료로 활용하였다. 추가로 선정된 절개면은 총 16개소이며, 자료분석에 이용된 절개면은 기존 조사된 절개면을 포함하여 총 33개소이다(그림 1).

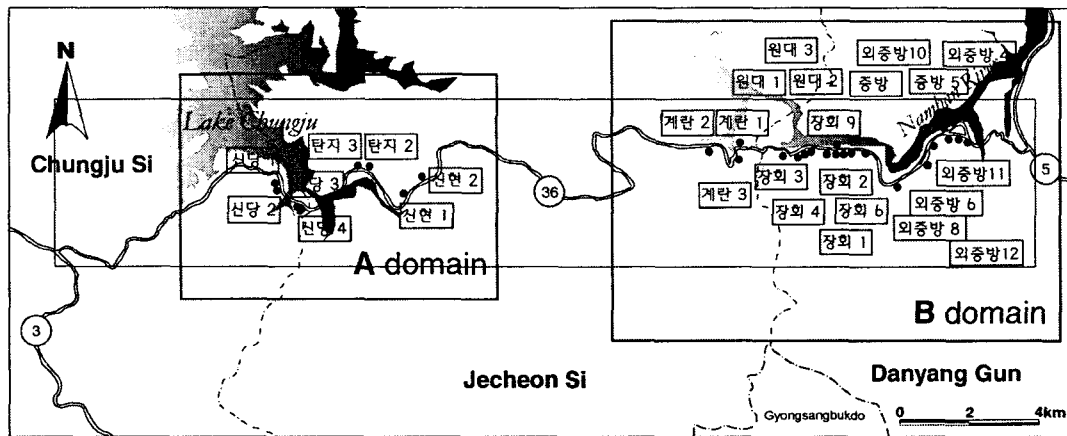


그림 1. 조사대상절개면 위치도

현장조사 및 지반공학특성

암반 절개면은 다양한 불연속면(절리, 층리, 엽리, 단층, 전단대 등)을 갖고 있는 암석으로 구성되어 있으므로 절개면의 안정성은 이러한 불연속면에 의해 크게 좌우된다. 암반 절개면의 안정성을 정확하게 해석하기 위해서는 대상 절개면에 발달한 불연속면의 방향, 연속성, 간격, 상태(분리도, 거칠기, 충전물 등) 등을 정확히 조사해야 한다. 이 외에도 암반의 풍화상태와 지하수 누수 정도, 절리면 상에서의 암석 강도 등이 반드시 조사되어야 한다. 본 연구에서는 암반절개면 현장조사시 국제암반역학회(ISRM, 1981b,c)에서 제안한 '암반 불연속면의 정량적 기재에 대한 지침'에 따라 불연속면 조사를 수행하였다.

조사대상 절개면의 안정성 검토를 위해 현장조사에서 얻은 불연속면의 자료를 근거로 RMR(Rock Mass Rating)값과 SMR(Slope Mass Rating)값을 구해 보았다. 이 때 암석의 일축압축강도 값은 현장에서 얻은 슈미트 해머 타격값을 통해 얻은 값을 사용하였으며 R.Q.D.(Rock Quality Design) 역시 현장에서 직접 시추를 시행하지 않았기 때문에 체적 당

절리빈도와 R.Q.D.와의 상관관계식을 이용하여 구하였다.

국도 36호선에서 조사된 현장에 대하여 RMR 및 SMR값의 도출결과, RMR 및 SMR 공히 3등급이 가장 우세한 것으로 나타났다. 이를 다시 층별로 비교해본 결과, 불국사 화강암류와 충주층군의 경우는 RMR과 SMR 등급이 비슷한 것으로 나타나지만, 조선누층군의 경우 SMR 등급이 더 취약한 것으로 나타나는 현상들이 관찰된다. 이러한 현상은 주로 석회암으로 구성되는 조선누층군의 층리방향을 따라 나타나는 불연속면의 경사방향이 절개면 경사방향에 대하여 취약한 방향을 가지는 이유 때문이다. 충주층군의 경우 탄산염질암을 기원으로 하는 옥천층군과는 달리 산성암질암을 주 구성역으로 하며 풍화에 매우 강하다. 따라서 RMR과 SMR등급의 차이가 크지 않은 것으로 사료된다(그림 2).

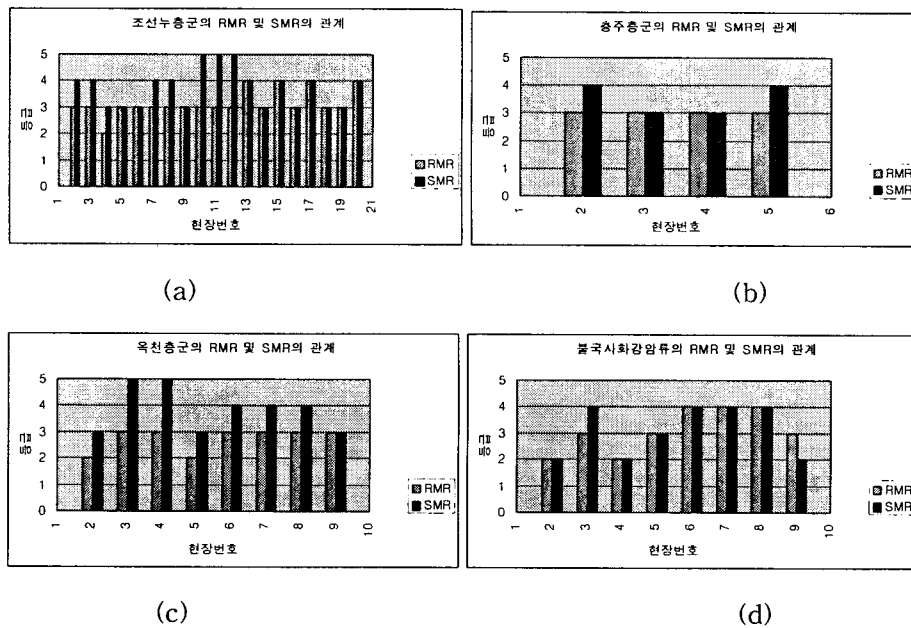


그림 2. 암종별 RMR 및 SMR 등급

암반의 역학적 물성을 구하기 위한 방법은 직접적인 시료의 강도실험, 파괴조건식(Hoek & Brown, 1980), 경험식에 의한 방법(Serafim & Pereira, 1983; Nicholson & Bieniawski, 1990; Trueman, 1988; 김교원 1998; 김효율, 장보완, 2001), 역해석에 의한 방법(송원경 외, 2001) 등이 있다. 본 연구에서는 각 절개면의 암반강도정수를 비교하는 게 목적이므로 현장 조사에서 얻은 각 절개면의 RMR값을 이용하여 경험식을 사용하여 도출하였다.

$$C = 5.0 \cdot RMR \text{ (kPa)} \quad (1)$$

$$\phi = 0.5 \cdot (RMR) + 5 \text{ (}^\circ\text{)} \quad (2)$$

“단양 단성 장회 1 지구”, “단양 단성 장회 3 지구”, “단양 단성 장회 9 지구”, “충주 살미

신당 3 지구”의 경우, 절개면 구간에 따라 절개면의 방향이 다르며, 풍화도의 차이가 현저하므로 구분하여 암반강도정수값을 도출하였다. 이를 다시 층서별로 분류하여 정리하였으며 암반의 점착력 및 내부마찰각은 절대적인 값이 아니므로 그 상·하한을 도시하였다(표 1, 표 2).

표 1. 조사현장의 점착력과 내부마찰각

현장명	층서	cohesion (kPa)	friction angle(°)	현장명	층서	cohesion (kPa)	friction angle(°)
단양 단성 외증방 6	조선누층군	281	33	단양 단성 장회 18	옥천층군	296	34
단양 단성 외증방 8	조선누층군	190	24	단양 단성 장회 19	불국사화강암	328	37
단양 단성 외증방 10	조선누층군	274.2	32	제천 수산 원대 1	조선누층군	257	30
단양 단성 외증방 11	조선누층군	194	24	제천 수산 원대 2	조선누층군	246	29
단양 단성 외증방 12	조선누층군	266	31	제천 수산 원대 3	조선누층군	174	22
단양 단성 외증방 14	조선누층군	246	29	제천 수산 계란 2	조선누층군	238	28
단양 단성 증방	조선누층군	230	28	제천 수산 계란 3	불국사화강암	228.3	27
단양 단성 증방 2	조선누층군	299	34	제천 한수 신현 1	옥천층군	313.6	36
단양 단성 증방 5	조선누층군	199	25	제천 한수 신현 2	옥천층군	245	29
단양 단성 장회 1	조선누층군	234	28	제천 한수 탄지 2	옥천층군	226	27
	조선누층군	283	33	제천 한수 탄지 3	불국사화강암	318	36
단양 단성 장회 2	조선누층군	311	36	충주 살미 신당 1	충주층군	219	26
단양 단성 장회 3	조선누층군	243	29	충주 살미 신당 1-1	옥천층군	219	26
	조선누층군	264	31	충주 살미 신당 2	옥천층군	314	36
단양 단성 장회 4	불국사화강암	333	38	충주 살미 신당 3	충주층군	251	30
단양 단성 장회 6	불국사화강암	285	33		충주층군	245	29
단양 단성 장회 9	불국사화강암	166	21		충주층군	240	29
	불국사화강암	190	24	충주 살미 신당 4	옥천층군	225	28
단양 단성 장회 11	불국사화강암	195	24	충주 살미 신당 5	옥천층군	220	27

표 2. 층군별(지층별) 점착력 및 내부마찰각

암상	cohesion(kPa)	friction angle(°)
조선누층군	174~311	28~33
충주층군	219~251	26~30
옥천층군	219~314	26~36
불국사화강암류	166~333	21~38

표 2에서 나타난 것과 같이 조선누층군과 옥천층군의 강도정수값의 범위가 넓은 것은 본 암상의 지질학적인 위치에 관련한다. 즉, 이들 암상이 분포하는 지역은 지질도상에서 도폭 중앙부로서 이 지역은 북북동방향의 지층경계, 북북동방향의 습곡축의 반복, 동서 또는 동북동-서남서 방향의 단층 등에 의한 구조 등의 결과로 지층의 파쇄가 심하고 단층 또는 습곡의 영향으로 교란이 되어 절개면의 위치에 따라 풍화정도의 차이가 심하다. 특히 급속히 풍화가 진행된 현장의 경우 본래의 암반강도를 상실하기 때문에 통상적인 방법으로 구한 암반의 강도와 실제 많은 차이를 보인다. 따라서 본 자료는 충분한 재고를 통하여 암종별 강도

정수의 상·하한을 설정하여야 할 것이다.

안정성 해석

암반절개면의 안정성 해석을 위하여는 일반적으로 수학적 해석, 경험적인 해석 그리고 입체투영도를 해석한 해석 등으로 구분된다. 이 중 입체투영기법이 가장 많이 사용되는 이유는 경험적인 방법에 비하여 정확도가 높고 수리적인 방법에 비하여 간단하고 현장에서도 사용할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 본 노선에서는 현장상황에 따라 모든 암반절개면에 대하여 입체투영도를 이용한 방법을 사용하였으므로 이를 중심으로 절개면의 안정성을 논하고자 한다. 조사된 총 38개소의 불연속면자료를 하반구등면적투영법을 이용하여 안정해석을 실시한 결과 다음과 같다(표 3).

표 3. 현장별 안정성 해석결과(○ : 파괴발생, × : 안정)

현장명	층서	Wedge failure	Plane failure	Toppling failure	현장명	층서	Wedge failure	Plane failure	Toppling failure
단양 단성 외중방 6	조선누층군	×	×	×	단양 단성 장회 18	옥천층군	×	×	×
단양 단성 외중방 8	조선누층군	×	×	×	단양 단성 장회 19	불국사화강암	○	○	×
단양 단성 외중방 10	조선누층군	×	○	×	제천 수산 원대 1	조선누층군	○	○	×
단양 단성 외중방 11	조선누층군	×	×	×	제천 수산 원대 2	조선누층군	×	○	×
단양 단성 외중방 12	조선누층군	×	×	×	제천 수산 원대 3	조선누층군	×	×	×
단양 단성 외중방 14	조선누층군	×	×	×	제천 수산 계란 2	조선누층군	○	○	×
단양 단성 중방	조선누층군	○	○	○	제천 수산 계란 3	불국사화강암	○	×	×
단양 단성 중방 2	조선누층군	○	○	×	제천 한수 신현 1	옥천층군	○	○	○
단양 단성 중방 5	조선누층군	○	×	×	제천 한수 신현 2	옥천층군	○	○	○
단양 단성 장회 1	조선누층군	×	×	○	제천 한수 단지 2	옥천층군	○	○	○
단양 단성 장회 2	조선누층군	×	×	×	제천 한수 단지 3	불국사화강암	×	×	×
	조선누층군	○	○	○	충주 살미 신당 1	충주층군	○	×	×
단양 단성 장회 3	조선누층군	○	×	×	충주 살미 신당 1-1	옥천층군	○	×	×
	조선누층군	×	×	×	충주 살미 신당 2	옥천층군	○	○	×
단양 단성 장회 4	불국사화강암	○	○	×	충주 살미 신당 3	충주층군	×	×	○
단양 단성 장회 6	불국사화강암	○	○	×		충주층군	×	×	×
단양 단성 장회 9	불국사화강암	○	×	×		충주층군	○	○	×
	불국사화강암	○	×	×	충주 살미 신당 4	옥천층군	○	×	○
단양 단성 장회 11	불국사화강암	○	×	×	충주 살미 신당 5	옥천층군	×	×	×

또한 본 노선에 나타난 절개면의 전체적인 붕괴유형을 비교하기 위하여 ① 썩기파괴(Wedge failure), ② 평면파괴(Plane failure), ③ 전도파괴(Toppling failure), ④ 썩기파괴 + 평면파괴, ⑤ 썩기파괴 + 전도파괴 ⑥ 평면파괴 + 전도파괴 ⑦ 썩기파괴 + 평면파괴 + 전도파괴 별로 절대적인 비율을 구하였다(그림 3). 분석결과, 썩기파괴의 비율이 다른 유형에 비하여 84%를 차지하여 본 노선을 따라 발생하는 절개면의 주요한 붕괴유형은 썩기파괴임을 알 수 있었다.

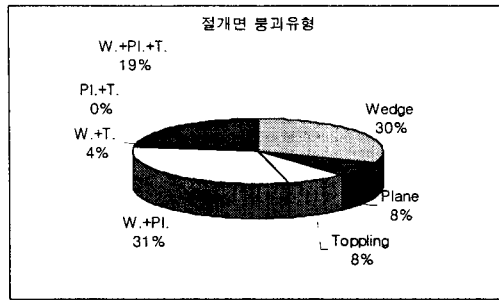
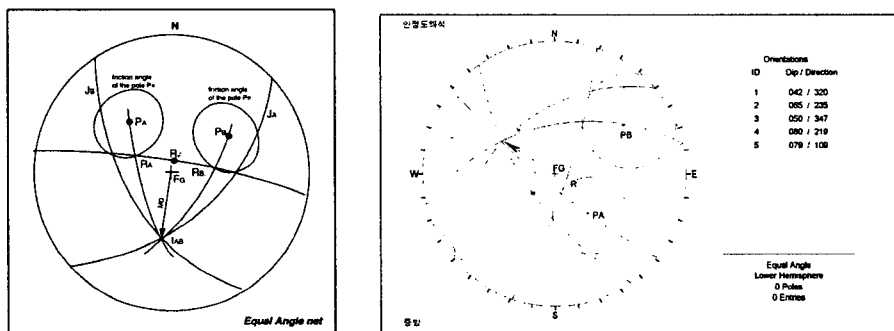


그림 3. 절개면 내 나타나는 붕괴유형별 백분율

썩기과괴가 발생할 가능성이 존재하는 절개면을 대상으로 입체투영도를 이용한 썩기형 사면 붕괴의 안정도 해석에 적용하였다(Goodman, 1976; 이동우, 이성대, 1997). 썩기형 암반의 안정도(안전계수)는 사면의 경사각과 내부마찰각의 상대적인 크기에 의하여 좌우된다.

두 개의 절리로부터 안정도는 다음과 같이 투영된다. 우선 등각 투영도상에 두 개의 절리 (J_A, J_B)와 극점(P_A, P_B)를 투영하고 투영된 극점을 중심으로 암석의 내부마찰각(ϕ)을 도시한다. 도시된 대원과 마찰소원이 만나는 점(저항력점)을 찾는다. 암괴가 실제로 이동하는 방향은 두 절리의 교차점을 향하므로 실제 암괴에 작용하는 저항력도 저항력에 의하여 발생하는 두 방향의 마찰력($R_{A\phi}$ 와 $R_{B\phi}$)의 합벡터가 된다. 이 합벡터는 두 면에 작용하는 저항력 점을 포함하는 대원을 도시함으로써 나타난다. 이 대원상에서 교차점으로 향하는 각이 썩기형 암반에 발생하는 총 저항력이다(R_ϕ). 암괴의 안정도는 R_ϕ 의 위치가 중력(F_G)과 I_{AB} (J_A 와 J_B 절리의 교차점)사이 에 위치하면 안정이고, F_G 보다 I_{AB} 로부터 멀리 있으면 이 암괴는 불안정한 상태를 나타낸다. 중력은 지표면에 수직하게 작용하기 때문에 투영도의 중심에 위치하게 된다(그림 4(a)). 그림 4(b)는 이러한 방법을 현장에 적용한 실례이다.



(a)

(b)

그림 4. 썩기과괴안정성 검토를 위한 투영개략도

본 노선에 나타나는 절개면 중 썩기과괴가 예상되는 현장 및 불연속면의 자료 및 이를 대상으로 입체투영기법을 통한 암괴의 안정도해석 결과는 다음과 같다(표 4).

대부분의 현장들의 R_ϕ 의 위치가 F_G 보다 I_{AB} 로부터 멀리 있으므로 불안정한 상태를 나타

낸다. 그러나, “단양 단성 증방 2”, “단양 단성 증방 5”, “충주 살미 신당 1”지구는 R_{ϕ} 의 위치가 F_G 과 I_{AB} 사이에 위치하므로 암괴는 안정한 상태로 해석되었다.

그러므로 이러한 결과를 이용하여 절개면에 존재하는 불안정한 요소를 제거함으로써 절개면의 안전율을 높여야 할 것으로 사료된다.

표 4 썩기과괴발생가능 불연속면자료

현장명	J_A	J_B	friction angle	안정 여부	현장명	J_A	J_B	friction angle	안정 여부
단양 단성 증방	42/320	65/235	28	불안정	제천 수산 원대 1	76/347	78/099	22	불안정
단양 단성 증방 2	74/128	58/348	34	안정	제천 수산 계란 2	64/190	80/180	28	불안정
단양 단성 증방 5	71/343	84/131	25	안정	제천 수산 계란 3	85/100	55/045	27	불안정
단양 단성 장회 2	40/340	70/260	36	불안정	제천 한수 신현 1	42/130	72/200	36	불안정
단양 단성 장회 3	32/072	82/150	31	불안정	제천 한수 신현 2	60/106	82/210	29	불안정
단양 단성 장회 4	70/325	85/210	38	불안정	제천 한수 탄지 2	46/110	60/072	27	불안정
단양 단성 장회 6	75/264	72/030	33	불안정	충주 살미 신당 1	51/283	74/164	36	안정
단양 단성 장회 9	85/155	48/072	21	불안정	충주 살미 신당 1-1	42/118	47/165	26	불안정
	85/155	48/072	24	불안정	충주 살미 신당 2	45/334	55/074	26	불안정
단양 단성 장회 11	55/333	85/084	24	불안정	충주 살미 신당 3	56/004	54/320	36	불안정
단양 단성 장회 19	81/101	54/357	37	불안정	충주 살미 신당 4	44/080	70/135	28	불안정

결론

본 연구로 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 본 노선이 포함된 지역은 조선누층군, 충주층군, 옥천층군, 불국사화강암류로 구별되며 암종별로 암반강도정수를 도출한 결과, 점착력의 경우 조선누층군은 174~311kPa, 충주층군은 219~251kPa, 옥천층군은 219~314kPa, 불국사화강암류는 166~333kPa이었고, 내부마찰각의 경우 조선누층군은 28~33°, 충주층군은 26~30°, 옥천층군은 26~36°, 불국사화강암류는 21~38°의 범위를 가진다.
2. 현장조사에서 얻어진 RMR 및 SMR 등급은 3등급이 가장 우세하며, 조선누층군의 경우 SMR 등급이 더 취약한 것으로 나타나는 현장들이 관찰된다.
3. 하반구등면적투영법을 통해 나타난 가장 주된 붕괴양상은 썩기과괴였다.
4. 썩기과괴를 일으킬 가능성을 가진 절개면에 대하여 입체투영기법을 통한 안정도 해석을 실시한 결과 대부분의 현장들의 R_{ϕ} 의 위치가 F_G 보다 I_{AB} 로부터 멀리 있으므로 불안정한 상태로 나타났다.

참고문헌

- 김기완, 이흥규, 1965, 한국지질도(1:50,000), 충주도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 35p.
 김옥준, 1968, 충주문경간에 옥천계의 층서와 구조, 광산지질, 1(1), 35~46.

- 김효율, 장보완, 2001, 공내재하시험에 의한 암반의 변형계수와 Rock Quality Index Parameters의 상관관계, 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 1-4p.
- 문상기, 이영훈, 민경덕, 2000, 지구정보시스템을 이용한 충주호 북부 지역의 사면 안정 평가, 자원환경지질학회지, 33 (1), 51~59.
- 송원경, 선우춘, 박찬, 신희순, 2001, 사면의 지질특성을 고려한 암반강도 결정, 사면안정 설계 및 시공, 한국지반공학회, 19~30.
- 신현준, 이영훈, 민경덕, 원중선, 김윤중, 1996, 원격탐사와 지구정보시스템을 이용한 충주지역의 사면안정분석, 자원환경지질학회지, 29 (5), 615~622.
- 원종관, 이하영, 1967, 한국지질도(1:50,000), 단양도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 34p.
- 이대성, 1971, 한국중부 옥천지향사대에 있어서 화성활동에 대한 연구, 지질학회지, 7(3), 153~216.
- 이동우, 이성대, 1997, 입체투영기법을 이용한 쇄기형 사면의 안정도 해석 연구, 지구과학회지, 18(1) 7~11.
- 이민성, 박봉순, 1965, 한국지질도(1:50,000), 황강리도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 43p.
- 이민성, 여정필, 이종익, 좌용주, S.Yoshida, 이한영, 1998, 옥천계의 빙하기원 다이아믹타이트와 그 지질시대 및 고생대 말의 한반도의 고지리, 지질학회지, 34(4), 343~370.
- 이사로, 1992, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 청주지역의 광역적 산사태 분석연구. 석사학위논문. 연세대학교 지질학과 대학원.
- 이영훈, 김규상, 1996, 충주호 북부지역의 지질공학적 조사와 GIS를 이용한 인위절취사면의 안정성 평가, 대한자원환경지질학회 제29차 학술발표회 발표논문 요약집, 53p.
- 한국건설기술연구원, 2001, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용Ⅲ, 337p.
- Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, Wiley-Interscience, New York. 251p.
- Hoek, E & Brown, E.T.,1980, Underground excavation in rock, The Institute of mining and metallurgy, London, 527p.
- International Society for Rock Mechanics, 1981b, Basic geological description of rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 18, 85~110.
- International Society for Rock Mechanics, 1981c, Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses(ed. E. T. Brown), Pergamon Press, Oxford.
- Nicholson, G. A. & Z.T. Bieniawski, 1990, A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification, Int. J. Min. & Geological Eng., vol 8, 181~202.
- Romana, R. M., 1993, "A Geomechanical classification for slopes: Slope mass rating",

Comprehensive rock engineering, ed. Hudson, Pergamon Press, chpt. 23, 575~600.

Serafim, J.L. & Pereira, J.P., 1983, Consideration on geomechanics classification of Bieniawski, Proc. Int. Symp. on Eng. Geol. and Underg. Constr.LNFC. Lisboa. vol 1, pp. II 31 ~ II 42.

Trueman, R. 1988, An evaluation of strata support techniques in dual life gateroad, Ph. D Thesis, Univ. of Wales.