

## 남양주-춘천(국도 46 호선)간 도로절개면 붕괴 특성 고찰

### Characteristics of Roadside Cut-Slopes Failures along the 46th National Highway

구호본<sup>1)</sup>, Ho-Bon Kooh, 정의진<sup>2)</sup>, Ui-Jin Jeong, 박성욱<sup>3)</sup>, Sung-Wook, Park

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Dept., KICT

<sup>2)</sup> 서울대학교 지질학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Geol. Sciences, Seoul Nat'l Univ.

<sup>3)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Dept., KICT

개요(SYNOPSIS) 136 cut slopes which extends from Namyangju to Chunchon city along the 46th national highway were investigated to analyze the influence factors affecting slope instability. Geologic and geotechnical conditions were examined and the detailed investigation were carried out for fifty five failed slopes. Failure mode (wedge failure, planar failure, circular failure, sheet erosion and rock falls) are examined with respect to slope inclination, rock type, weathering grade and discontinuity patterns. It is suggested that the failure modes and their dimensions have relations to the morphology and geologic conditions of the slopes. Wedge failure has highest is the most frequent failure mode and falls, sheet erosions, planar failures and circular in descending order of failure percentage. Wedge failure is most dominant failure type over all lithology except quartzite formation. In slopes of well foliated and banded gneiss, failure ratio of wedge is up to 50% ca. Failure ratio(number of rock fall/number of total failure) of rock fall increases with increase fo slope inclinations and decrease of weathering grade. Dimension analyses of failed slopes shows wedge and circular failure has higher value of D/L and D/H than planar failure and sheet erosion.

**Key words** : cut slops, Namyangju, Chunchon, dimension analyses

## 1. 서론

사면의 활동은 사면을 구성하고 있는 물질의 재료적 특성과 사면의 기하학적인 형상에 의해 특징지워진다. 특히 암반 절개면의 경우 절개면내 발달하는 지질 매체의 특성과 다양한 지질구조의 발달 양상에 따라 파괴 양상과 규모 등이 결정된다(김정환과 윤운상, 1999; 정형식 외, 1995; Goodman, 1993). 이번 연구는 절개면의 안정성에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 파악하기 위해 절개면 현황, 지형 특성, 지질 특성 및 붕괴 이력에 대한 조사를 수행하였다. 암반 절개면의 경우는 절개면을 구성하고 있는 암석의 풍화 정도를 구분하고, 암석 내에 발달하고 있는 엽리(foliation), 절리(joint), 단층(fault) 및 기타 불연속면의 방향성, 연장, 간격, 틈새, 거칠기 등을 측정하고 특성을 분류하였다. 또한 각각의 절개면에 대하여 절개면의 규모(연장, 높이, 절취경사) 및 지형적 특성을 파악하고 붕괴 유형에 대한 기하학적 특성 및 절개면을 구성하고 있는 암석의 종류 및 풍화 정도에 따른 붕괴 특성을 조사하였다. 이를 통해 각 인자들이 절개면의 파괴의 유형과 규모에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

## 2. 지형 및 지질

연구 지역은 국도 46 호선의 남양주시 화도읍 마치터널에서 춘천시 신동면 의암리에 이르는 약 60.5km에 해당하는 구간이다. 이 구간에서 46 호선은 대체로 동서 또는 북동-남서 방향의 도로선형을 갖고 있으며, 전체적으로 동북동-서남서 방향으로 길게 연장된 형태를 띠고 있다. 이 일대의 지형은 가 평균 상면을 경계로 서쪽으로 갈수록 구릉성 지형이 우세하게 나타나고 있으며, 북동쪽으로 갈수록 준 산악지형 및 산악지형이 주를 이루고 있다. 이 지역에 발달하는 산지는 깃대봉 (623.6 m) - 청우산 - 불기산 (600.2 m)을 잇는 북동-남서(동북동-서남서) 방향의 주능선을 중심으로 북서-남동 방향의 산지가 발달하고 있다. 수계 역시 부분적인 지역에서 사행을 이루기는 하지만 대체로 북동-남서 방향의 북한강과 여기에 합류되는 북서-남동 방향의 소규모 지류로 구성되어 있다. 수계는 단층이나 선형구조에 의해 제어되는 국부적인 지역을 제외하고 대부분 수지상 수계가 우세하게 발달하고 있다.

연구 지역은 지체구조상 한반도 중부에 위치하는 경기육괴에 해당한다. 경기육괴는 선캠브리아기의 변성암류와 중생대의 화강암류가 광범위하게 분포하는 지역으로 최소한 3회 이상의 변성 및 변형작용을 받은 것으로 보고되어 있다(김정환 외, 1981). 연구 지역 일대에 분포하는 암석은 하부로부터 경기편마암 복합체의 호상 편마암과 편암류 및 이를 부정합으로 피복하는 춘천누층군의 편마암류, 편암류와 규암 및 이들을 관입하고 있는 중생대의 화강암류로 대분된다(이병주 외,1999). 이 가운데 도로 절개면을 따라 주로 분포하는 암석은 편마암류, 편암류 및 규암류로 화강암류는 거의 관찰되지 않고 있다. 연구 지역내에 발달하고 있는 대규모 지질구조로는 북한강 수계를 따라 발달한 단층을 들 수 있다. 이 단층은 김정환 외(1981)에 의해 경강단층이라 명명된 바 있으며, 드러스트 단층에서 우수향 주향 이동 단층까지 다양한 형태를 띠는 것으로 보고된 바 있다.

## 3. 절개면 현황

### 3.1 분포 현황

연구 지역 내의 국도 46 호선에는 약 136 개소의 절개면들이 분포하고 있다. 조사 절개면의 총연장을 국도 연장으로 나눈 절개면 분포율은 약 22.5%로 나타났다. 이들은 구성 재료에 따라 크게 암반 절개면, 토사 절개면 및 이들의 중간 단계인 혼합 절개면으로 구분할 수 있는데, 이들 분류는 기본적으로 야외에서 관찰되는 절개면의 양상과 절개면의 높이와 토층 심도와와의 비(토층심도율)에 의해 결정하였다. 금번 연구에서는 토층심도율 0.1 미만을 암반 절개면으로 0.5 이상을 토층 절개면으로 두었으며, 그 사이를 혼합 절개면으로 분류하였다. 암반 절개면은 100 개소로 전체 절개면의 72.1%를 차지하고 있으며, 토사 절개면(22 개소; 16.2%), 혼합 절개면(16 개소; 11.7%)의 순으로 나타났다(그림 1(a)).

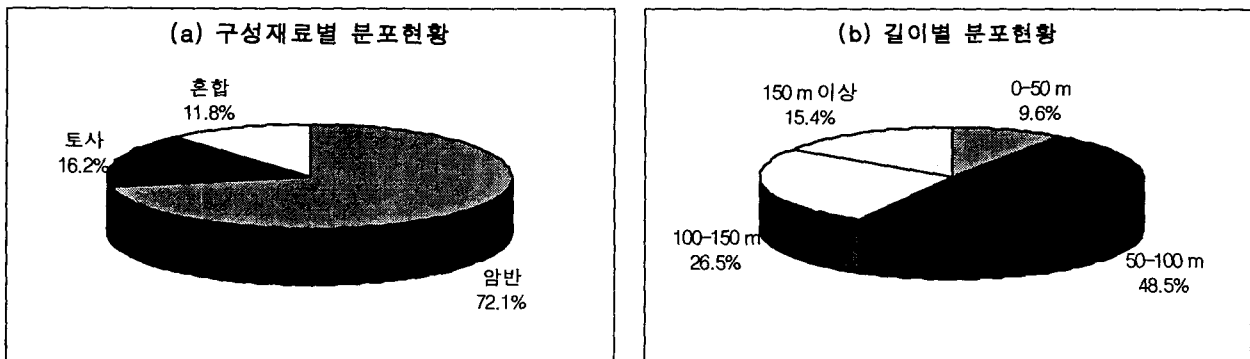


그림 1. 조사 절개면의 분포현황

절개면 연장 및 높이 분포를 살펴보면 연장 50~100m, 높이 10~20m 사이의 절개면이 가장 우세하게

분포하는 것으로 나타났다(그림 1(b)와 (c)). 절개면 경사분포는 63~73(1:0.5~1:0.3)의 경사각을 갖는 절개면의 분포 비율이 가장 높으나, 전반적으로 45°~73°(1:1~1:0.3) 사이의 경사각을 갖는 절개면이 고르게 분포하고 있다(그림 1(d)). 이들이 차지하는 비율은 약 72.8% 연구지역에 분포하는 암반 절개면의 분포율과 거의 동일하다.

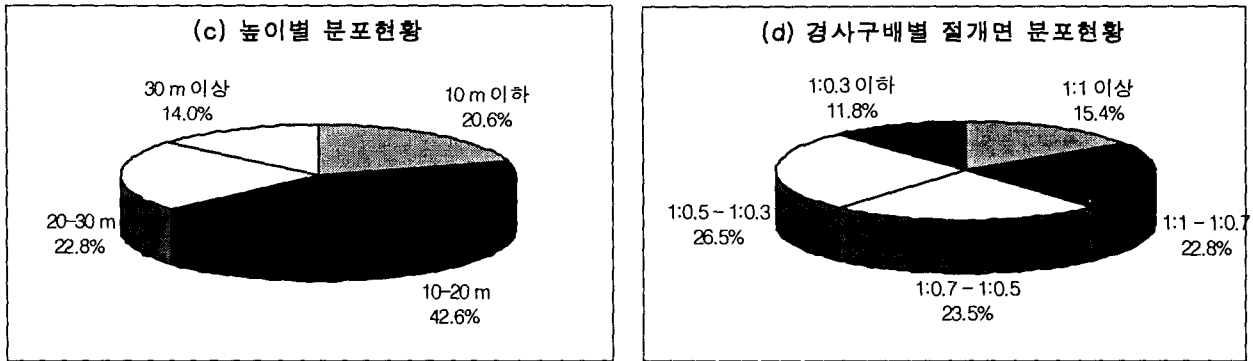


그림 1. 조사 절개면의 분포현황(계속)

### 3.2 지질 현황

연구 지역은 한 곳에서 관찰되는 중생대의 관입암체를 제외한 나머지 모든 지역에서 선캠브리아기의 변성암이 분포하고 있다. 암석 종류는 구성 성분과 조직(texture)에 따라 10여 가지 이상으로 세분될 수 있다. 금번 연구에서는 암종을 크게 편마암류(호상편마암, 안구상 편마암, 화강암질 편마암), 편암류(석영 편암, 운모편암), 규암으로 대분 하였다. 암종별 절개면 분포 현황은 각 암종별로 고른 분포를 나타내고 있다(그림 2(a)). 그러나 절개면 종류에 따른 암종 분포를 살펴보면 편암류로 구성된 절개면은 혼합 절개면의 비율이, 편마암류 구성된 절개면은 토사 절개면의 비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다(그림 2(b)).

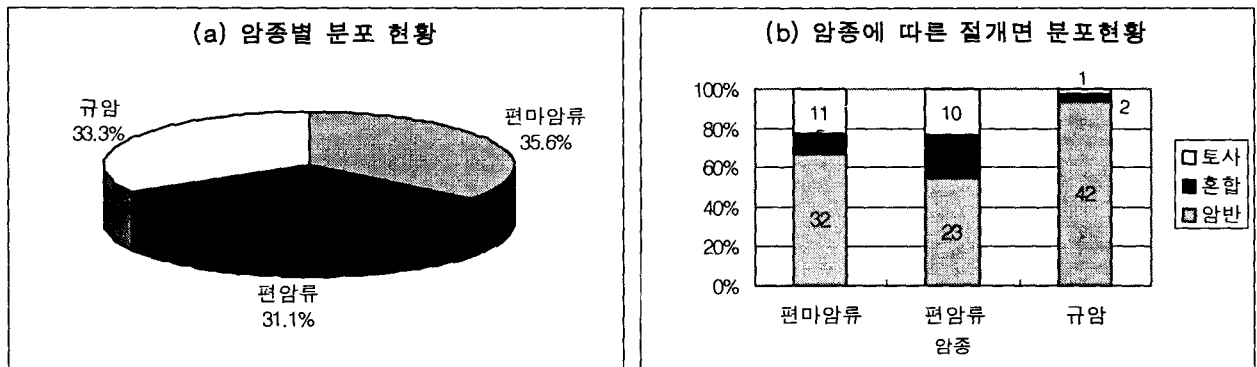


그림 2. 연구지역의 암종 분포 현황(a) 및 절개면 종류에 따른 암종 분포 현황(b)

ISRM(1981)과 Geological society(1977)가 정한 6 등급의 풍화 등급을 기준으로 조사 절개면의 풍화 정도와 암종별 풍화 정도를 살펴보았다. 그림 3(a)에서 보통 풍화(MW)가 53개소로서 전체의 39.3%를 차지 차지하고 있으며, 약간 풍화(SW)(37 개소), 심한 풍화(HW)(24 개소), 잔류 토층(RS)(12 개소) 및 완전 풍화(CW)(9 개소)의 순으로 나타났다. 변성암류가 분포하는 135 개소의 현장에 대해 암종과 풍화 정도와의 상관성을 알아보기 위해 각 암종에 대해 풍화 등급별 분포 비율을 도시해 보았다(그림 3(b)). 규암은 약간 풍화에서 그 분포율이 가장 높게 나타났으며, 보통 풍화의 풍화등급에서는 편마암으로 구

성된 절개면이, 심한 풍화의 풍화등급에서는 편암류로 구성된 절개면이 각각 우세하게 분포하는 것으로 나타났다.

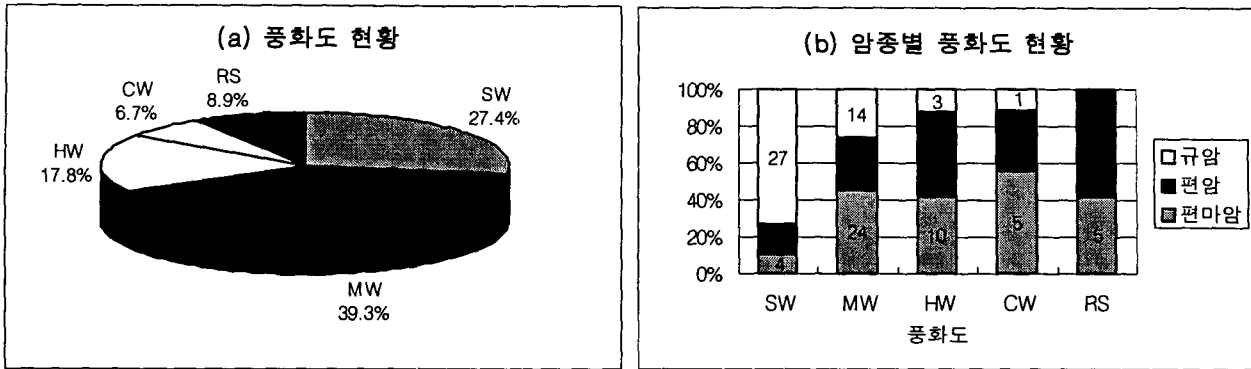


그림 3. 연구지역의 암종 분포 현황(a) 및 절개면 종류에 따른 암종 분포 현황(b)

절개면의 토층 심도는 주변 지형의 특성을 반영할 뿐만 아니라 절개면의 풍화 상태를 파악하는데 중요한 역할을 한다(김정환 외, 2000). 조사 절개면의 평균 토층심도는 약 2.3m로 나타났으며, 이를 암종별로 살펴보면 편마암류와 편암류는 각각 2.8m와 3.3m의 토층심도를 보이나 규암의 경우 이보다 매우 낮은 0.7m의 토층심도를 보여주고 있다. 연구 지역에 분포하는 절개면들의 토층심도의 변화를 파악하기 위해 절개면 높이와 토층 심도의 상관 관계를 분석을 실시한 결과 편마암류와 편암류는 높이가 증가함에 따라 토층심도가 증가하는 경향을 보여주는 반면 규암은 높이에 따라 토층심도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다(그림 4(a)). 또한 규암의 경우 1 개소를 제외하고는 매우 낮은 토층심도율을 보이고 있는 반면, 편마암류와 편암류는 높이가 증가할수록 토층심도율이 감소하는 경향을 보여주었다(그림 4(b)).

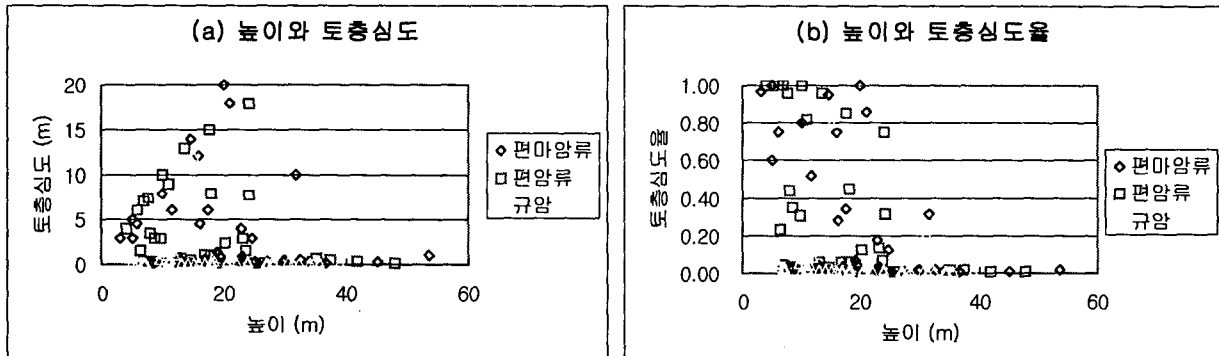


그림 4. 높이에 따른 토층심도(a) 및 토층심도율(b)의 상관관계

#### 4. 파괴 현황 분석

절개면의 파괴 유형을 크게 썩기파괴, 평면파괴, 원호파괴, 표층유실, 낙석의 5 가지 나누어 파괴 유형을 분석하였다(Heok & Bray, 1981). 또한, 절개면의 파괴 현황을 알아보기 위해 이미 파괴가 발생한 절개면과 파괴가 발생하지 않은 절개면을 구분하였으며, 전체 절개면과 파괴가 발생한 절개면의 비율을 절개면 파괴율로 정의하였다.

136개소의 조사 절개면 가운데 총 55개소에서 파괴가 발생하여 40.4%의 파괴율을 보여주고 있으며, 이를 파괴유형별로 살펴보면 썩기파괴가 19 개소로 전체의 34.5%를 차지하고 있으며, 낙석 15 개소 (27.3%), 표층유실 11 개소 (20.0%), 평면파괴 6 개소 (10.9%), 원호파괴 4 개소 (7.3%)의 순으로 나타났다 (그림 5).

#### 4.1. 구성재료에 따른 파괴 유형

절개면 종류별 파괴 현황 및 파괴 유형 분석을 실시한 결과는 표 1과 그림 5과 같다. 암반 절개면과 토사 절개면의 경우 각각 38.8%와 40.9%의 파괴율을 보여주고 있으나, 혼합 절개면의 경우 전체 16개소의 절개면 가운데 8개소에서 파괴가 발생하여 50.0%의 파괴율을 보여주고 있다(그림 5(a)). 이를 파괴 유형별로 살펴보면 암반 절개면은 켜기파괴와 낙석이 우세한 반면 토사 절개면은 표층유실이 우세한 것으로 나타났으며, 혼합 절개면의 경우는 켜기파괴가 가장 우세한 파괴양상으로 드러났다(그림 5(b)).

표 1. 구성 재료에 따른 절개면 파괴율 및 파괴 유형

	파괴율 (파괴/전체)	파괴유형별 개소				
		켜기파괴	평면파괴	원호파괴	표층유실	낙석
암반절개면	38.8% (38/98)	14	6	0	3	15
토사절개면	40.9% (9/22)	0	0	2	7	0
혼합절개면	50.0% (8/16)	5	1	1	1	0
계	41.2% (56/136)	19	6	4	11	15

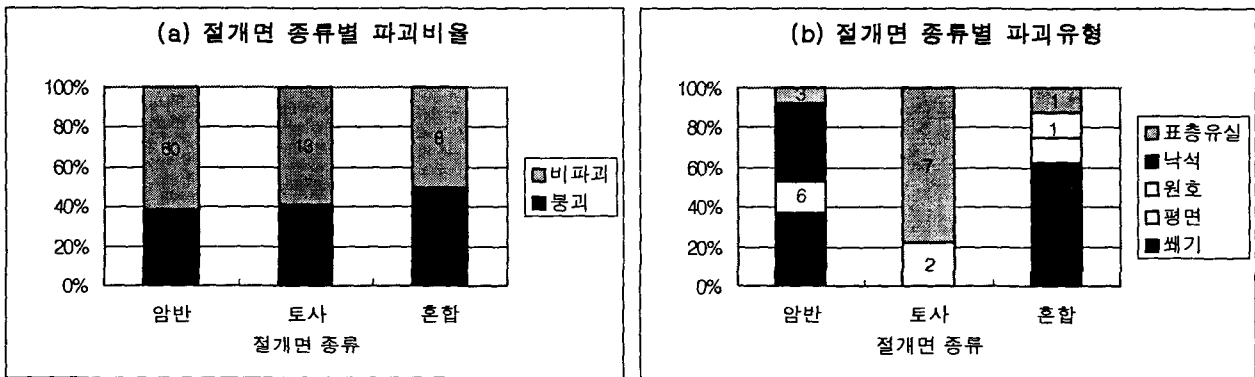


그림 5. 구성재료에 따른 절개면 파괴율(a) 및 파괴 유형(b)

#### 4.2. 암종에 따른 파괴유형 및 규모

조사가 이루어진 136개소의 절개면 가운데 화성암으로 구성된 1 개소를 제외한 나머지 절개면에 대해 암종에 대한 파괴율, 파괴유형 및 파괴 규모에 대한 분석을 실시하였다(표 2, 그림 6과 7). 분석에 있어 토사 절개면은 암반 절개면과 상이한 재료적 특성과 물리적 거동을 보이므로 암종에 관계없이 별도의 항목으로 두었다.

절개면의 파괴율은 편암류가 전체 32개소 가운데 절반인 16개소에서 파괴가 발생하여 가장 높은 파괴율을 보여주고 있으며, 그 뒤로 토사, 편마암류, 규암의 순이다. 이를 파괴 유형별로 살펴보면 토사 절개면에서는 표층유실이, 편마암류와 편암류에서는 켜기파괴가 우세한 파괴 양상으로 나타났으며(그림 6(a)), 규암에서는 켜기파괴, 평면파괴 및 낙석이 고르게 나타나는 것을 알 수 있다(그림 6(b)). 파괴 규모에 대한 상관관계를 살펴보면 암반 절개면에서는 파괴 길이가 증가할수록 파괴 심도 역시 증가하는 경향을 보이나 토사 절개면에서는 거의 일정한 경향을 보여주고 있다(그림 7(a)). 암종별 토층심도율과 파괴심도율의 경향 역시 암반 절개면과 토사 절개면이 뚜렷한 차이를 보여주고 있다(그림 7(b)).

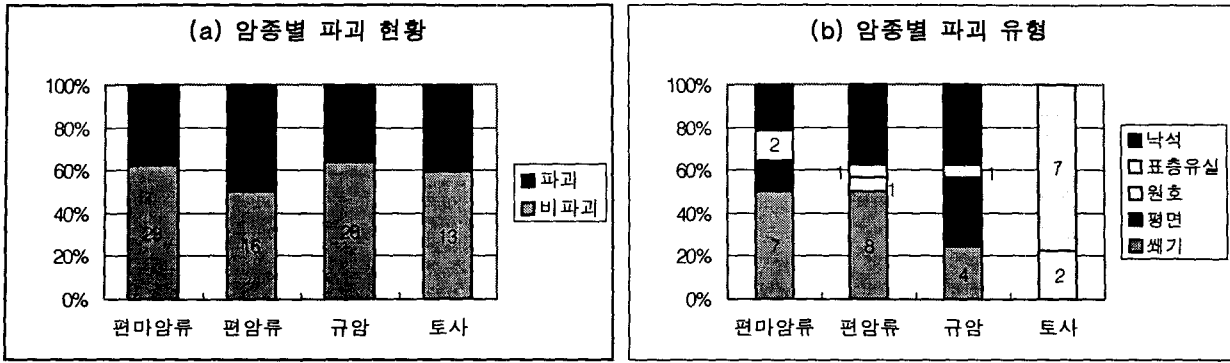


그림 6. 암종에 따른 절개면 파괴율(a)과 파괴 유형(b)

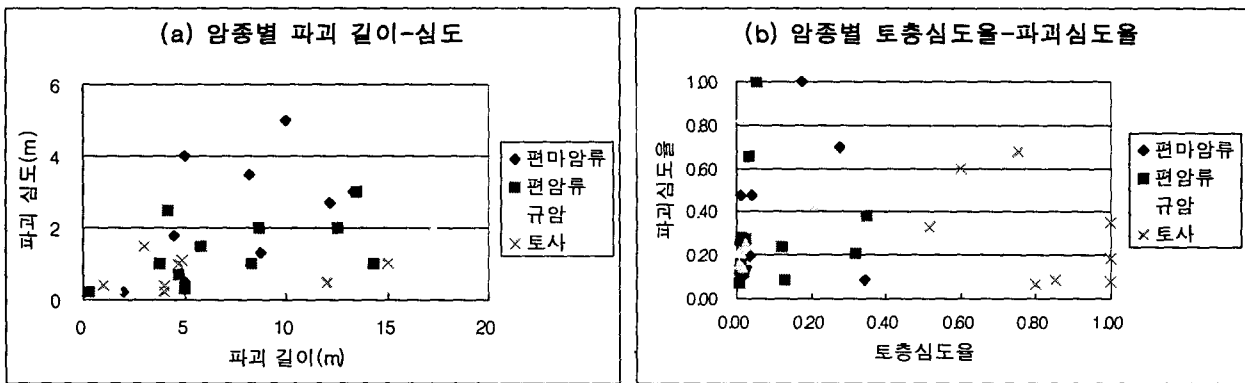


그림 7. 암종에 따른 파괴 길이-심도 변화(a) 및 토층심도율과 파괴심도율의 상관관계(b)

### 4.3. 풍화도에 따른 파괴유형

풍화 정도에 따른 파괴율 및 파괴 유형에 대한 분석은 그림 8와 같다. 풍화 등급에 따른 파괴율은 심한 풍화 등급에서 56.3%로 전체 파괴율(40.4%) 보다 월등히 높은 것으로 나타났으며, 표본수가 작은 완전 풍화를 제외하고는 거의 동일한 파괴율을 보여주고 있다(그림 8(a)). 이를 파괴 유형별로 알아보면 약간 풍화에서는 낙석이 46.2%(6 개소)로 가장 높은 파괴 유형을 차지하고 있으며, 보통 풍화와 심한 풍화에서는 썩기파괴가 가장 우세한 파괴 유형을 차지한다(그림 8(b)). 완전 풍화와 잔류 토층의 풍화 등급에서는 표층 유실과 원호파괴만이 관찰된다. 또한, 풍화도별 파괴 길이와 심도의 변화는 대체로 모든 풍화 등급에서 양의 상관관계가 있으며(그림 9(a)), 풍화 정도와 직접적으로 연관이 있는 토층심도에 따른 파괴심도의 변화는 심한 풍화(HW)에서 경향성을 갖는 것으로 나타났다(그림 9(b)).

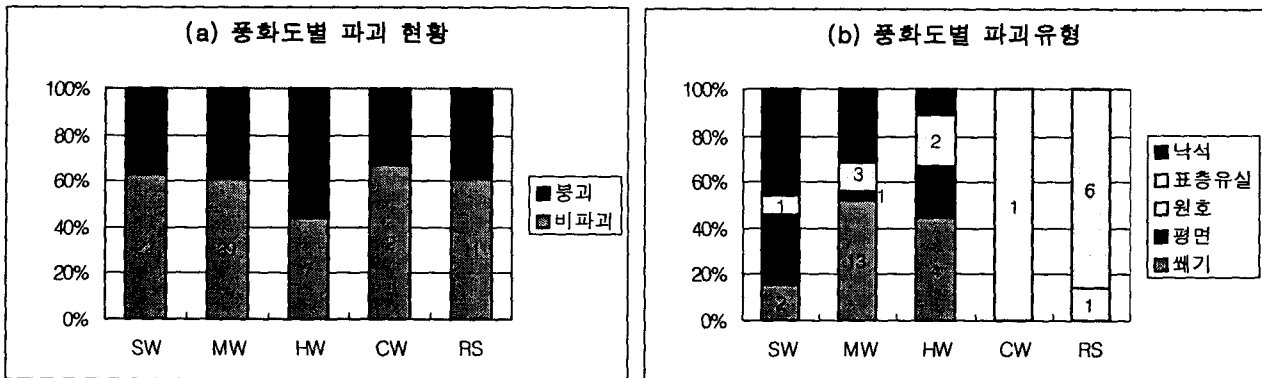


그림 8. 풍화도에 따른 절개면 파괴율(a)과 파괴 유형(b)

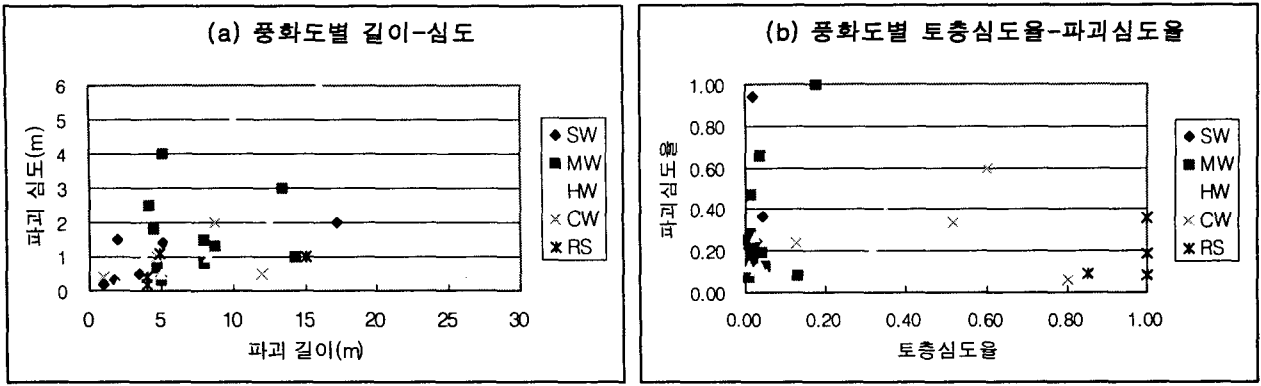


그림 9. 풍화도에 따른 파괴 길이-심도 변화(a) 및 토층심도율과 파괴심도율의 상관관계(b)

#### 4.4 파괴 유형별 현황 및 규모

파괴가 발생한 55 개소에 대해 보다 자세한 붕괴 특성을 규명하고자 규모에 대한 분석을 수행하였다 (표 3, 그림 10). 평균 파괴 길이와 높이는 원호파괴와 표층유실이 유사한 값을 보여주며, 썩기파괴와 평면파괴가 유사한 값을 보여준다. 파괴심도율은 썩기파괴와 원호파괴가 0.3~0.4로 비교적 높은 값을 갖고 있으며 평면파괴와 표층유실은 0.1~0.15의 낮은 값을 갖는다. 파괴 유형에 따른 길이-심도 변화와 길이-폭의 변화는 전체적으로 정의 상관관계를 보여주고 있다(그림 10(a)와(b)). 토층 심도에 따른 파괴 심도의 변화는 표층유실의 경우 토층 심도와는 무관하게 일정한 파괴 심도를 갖는 것으로 나타났으며, 썩기파괴는 토층 심도가 증가하면서 파괴심도도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한 원호파괴의 경우는 다른 유형의 파괴에 비해 일정한 토층심도/파괴심도 비를 갖는 것으로 나타났다.

표 3. 파괴 유형별 특성

파괴유형	썩기파괴	평면파괴	원호파괴	표층유실
평균 파괴폭(W)	10.3m	6.8m	7.2m	10.3m
평균 파괴길이(L)	9.1m	8.1m	6.1m	5.9m
평균 파괴심도(D)	2.4m	0.9m	1.5m	0.6m
평균 파괴높이(H)	7.7m	7.6m	4.8m	4.3m
평균 파괴심도율(A)	0.366	0.118	0.411	0.140
평균 토층심도	1.5m	0.8m	4.2m	4.8m
평균 토층심도율(B)	0.195	0.105	0.524	0.547

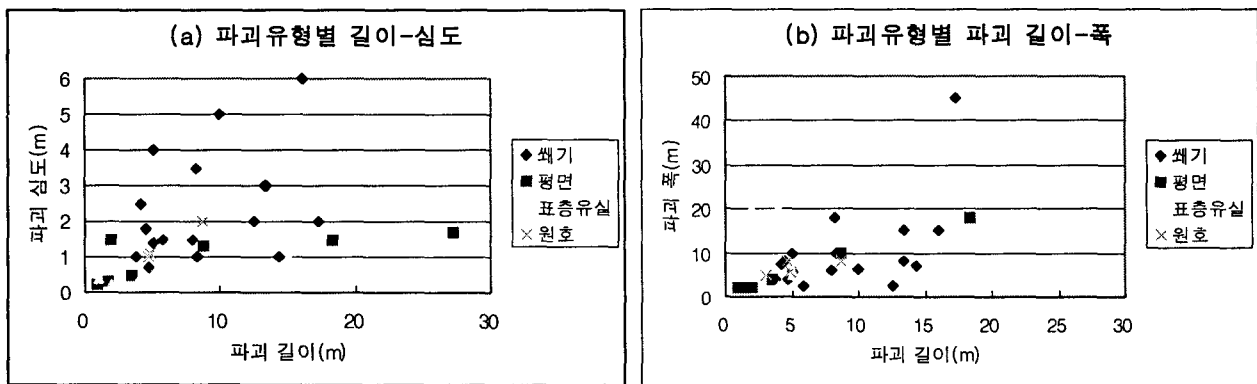


그림 10. 파괴 유형에 따른 규모

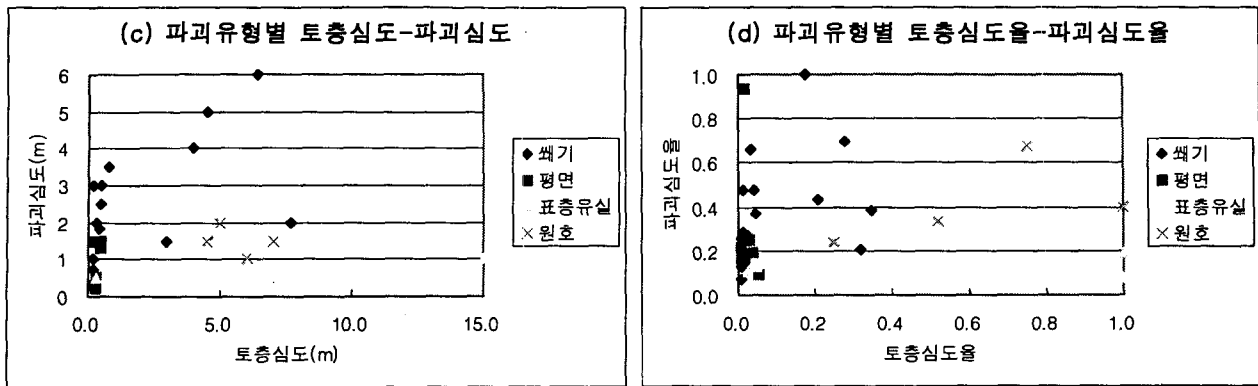


그림 10. 파괴 유형에 따른 규모(계속)

## 5. 결 론

국도 46 호선 남양주-춘천간 도로 절개면에 대해 절개면 현황, 지질 현황, 파괴 현황 등을 조사, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

연구 지역에 분포하는 절개면은 총 136개소로 이 가운데 암반 절개면이 100개소로 가장 높은 빈도수를 보이고 있으며, 연장 50~100m, 높이 10~20m의 절개면이 가장 우세하게 분포하고 있다. 이 가운데 파괴가 발생한 절개면은 55개소로 약 40.4%의 파괴율을 보이고 있다. 이를 절개면을 구성하고 있는 재료적인 측면에서 본다면 토층심도율이 0.1~0.5 사이에 있는 혼합 절개면에서 파괴율이 50%로 가장 파괴에 취약한 것으로 나타났다. 암종에 따른 파괴 현황은 편암류에서 가장 높은 파괴율을 보이고 있으며, 암종별 붕괴유형은 편마암류과 편암류에서는 썩기파괴가 우세한 반면 규암류에서는 평면파괴가 우세한 것으로 나타났다. 또한 풍화 등급에 따른 파괴 현황에서는 심한 풍화(HW)에서 56.3%의 가장 높은 파괴율을 보여주고 있다.

파괴가 발생한 절개면을 유형별로 살펴보면 썩기파괴가 19개소로 가장 높은 빈도수를 보이고 있으며, 낙석, 표층유실, 평면파괴, 원호파괴의 순으로 나타났다. 또한 이들의 규모 분석 결과 파괴 길이와 심도 및 폭에는 일정한 상관관계가 있는 것이 나타났으며, 평면 파괴와 썩기 파괴와 같이 암반의 불연속면을 따른 파괴는 토층심도율 0.4 이하에서만 발생하는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 김정환, 박석환, 이병주(1981), 한국 지질도 청평 도폭(1:50,000) 및 설명서, 한국동력자원연구소, pp. 54.
2. 김정환, 윤운상, 최재원(1998), "절취 사면의 파괴 특성 분석과 관련된 영향 요인 분석 ; 경기도 남부 국도 사례", 한국지반공학회 '99 봄 학술발표회 논문집, 서울, pp. 277~284.
3. 김정환, 윤운상, 최재원, 권혁신, 김세현(2000), 암반 사면의 파괴예측을 위한 단일 구조 특성화 및 평가 시스템 개발 연구, 서울대학교, pp. 188.
4. 이병주, 김유봉, 이승렬, 김정찬, 강필중, 최현일, 진명식(1999), 1:250,000 서울-남천점 지질도폭 설명서, 과학기술부, pp.64.
5. Goodman, R. E.(1993), *Engineering geology: rock in engineering construction*, J. Wiley, pp. 412.
6. Geological Society(1977), "The description of rock masses for engineering purposes", Geol. Soc.(London) Eng. group working party, *Quaternary Journal of. Eng. Geol.* Vol. 25(4) pp. 312~313.
7. Hoek, E., Bray, J. W.(1981), *Rock Slope Engineering*, Institute of Mining and Metallurgy, pp. 309.