

## 일반국도상 절토사면 강도정수에 관한 연구

### A Study on the Strength Parameters of Cut Slopes on the National Highway

이종현<sup>1)</sup>, Jong-Hyun Rhee, 김승현<sup>1)</sup>, Seung-Hyun Kim, 김진환<sup>1)</sup>, Jin-Hwan Kim,  
이정엽<sup>1)</sup>, Jeong-Yeob Lee, 구호본<sup>2)</sup>, Ho-Bon Koo

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Disaster & Environment  
Research Division, Korea Institute of Construction  
Technology

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 책임연구원, Research Fellow, Geotechnical Disaster &  
Environment Research Division, Korea Institute of  
Construction Technology

**SYNOPSIS :** Many cut slopes are situated on national highways. In this study, we chose rock slopes of moderated weathering grade to analyze general strength parameters of cut slopes. We analyzed the strength parameters of selected rock slopes by the experience method. Also, we arranged the strength parameters by area and rock types.

**Key words :** the strength parameters, cut slopes, moderated weathered, the experience method, rock types

## 1. 서론

절토사면에 대한 안정성은 내적으로 지반응력 조건의 평형상태 도달유무에 달려있다. 평형상태를 깨뜨리는 절토사면 외적인 주변 응력조건의 변화는 절토사면 안정성에 직접적인 영향을 미치게 된다. 절토사면의 응력조건을 변화시키는 요인은 자연상태의 비교적 안정된 산지를 대상으로 절취를 함에 따른 지반응력의 변화, 집중강우나 유수의 침투 등에 의한 원지반 강도의 저하, 간극수압의 증대, 지진 등을 들 수 있다.

절취를 통해 형성된 절토사면은 자연을 기반으로 하는 대상물이므로 구간에 따라 불균질한 특성을 가지고 있다. 이러한 지반정보의 불확실성을 정량적으로 표현하기 위해 다양한 강도정수 결정 기법들이 적용되고 있다. 즉, 지반강도정수의 성분인 점착력( $c$ , cohesion) 및 내부마찰각( $\phi$ , friction angle)을 도출하기 위하여 실내시험(전단시험, 삼축압축시험), 현장시험(현장 원위치시험, 슈미트해머 테스트 등), 경험식에 의한 방법, 문헌조사 등에 의한 여러 방법이 동원되고 있으나, 실제 활동면의 강도정수 산정에는 여러 가지 어려움이 따르고 있는 것이 현실이다.

특히, 절토사면 예비 설계 단계에서는 기존 문헌에 의존한 설계를 실시함으로써 절토사면 특성을 제대로 반영하지 못하게 되므로 본 설계시 및 시공시 많은 시행 착오를 일으키게 된다.

본 논문에서는 전국 국도변에 위치한 위험 도로절토사면 가운데 보통풍화 등급을 보이는 암반으로 이루어진 절토사면을 선정하여 기존 경험식을 이용한 강도정수를 파악하고, 이들 자료를 분류함으로써 지역별, 암종별 강도정수 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 강도정수 산출 방법

절토사면의 안정성 해석에 있어서 현장에서 암석 시료를 채취하여 실내시험을 실시하여야 하나 현장 특성상 시료의 선택, 연약 시료 채취의 어려움 등의 한계성을 극복하기 위하여 경험식에 의한 강도정수 산정이 이루어질 수 있다.

암반의 강도정수를 경험식에 의해 도출하기 위한 첫 단계로 지반의 RMR을 산정한다. 암반절토사면에 대한 조사는 국제암반공학회(ISRM, International Society for Rock Mechanics)의 기준(1986)에 의거하여 실시되었으며, 이를 통하여 얻어진 ① 암석의 일축압축강도 ② R.Q.D.(Rock Quality Designation) ③ 불연속면 간격 ④ 불연속면 상태 ⑤ 지하수 상태 ⑥ 불연속면 방향성에 대하여 점수를 부여하고 이를 합산하여 RMR 값을 산출한다.

산출된 RMR 값을 근거로 암반의 강도정수를 경험식을 통해 구하였으며, 이 때 사용된 경험식은 점착력의 경우 식(1), 내부마찰각의 경우에는 식(2)를 사용하였다.

· Bieniawski & Orr(1976)

$$C = 5 \times RMR(\text{kPa}) = 5 \times (1/9.8) \times RMR(\text{t/m}^2) \approx 0.5 \times RMR(\text{t/m}^2) \quad (1)$$

· Trueman(1988)

$$\phi = 0.5 \times RMR + 5 (^\circ) \quad (2)$$

## 3. 지역별 강도정수 특성

### 3.1 경기도 지역 국도변 절토사면 강도특성

경기도 지역은 서해안 매립지 및 수원시, 오산시의 서쪽을 제외하고는 대체로 높은 산악지형을 이루고 있으며, 북동부에서 비교적 높은 지형으로 형성되어 있다. 발달하는 산계는 주로 남북 내지 북북동 방향이다. 이 지역은 한반도의 지체구조에 의하면 경기육괴에 해당되는 지역으로 경기변성암복합체를 비롯하여, 연천계라고 불리는 변성퇴적암과 유라기의 심성암류가 주로 분포한다. 경기도 동부지역의 고지는 주로 선캠브리아기의 편마암 내지 편암이 분포하고 있으며, 서울 근교의 북한산 및 도봉산은 유라기의 화강암으로 구성되어 있다.

경기도 지역 국도변 절토사면중 보통풍화 등급의 암반으로 구성된 총 74개소의 위험절토사면을 대상으로 강도특성 분석을 실시하였다. 분석 대상 절토사면은 편마암으로 구성된 절토사면이 주를 이루고 있으며, 그 외 편암과 화강암으로 구성된 절토사면이 일부를 점하고 있다. 이들 절토사면의 점착력, 내부마찰각 범위와 평균값을 다음의 표 1에 나타내었다.

표 1. 경기도 지역 국도변 절토사면 암종별 강도정수

암 종	점착력(t/m <sup>2</sup> )		내부마찰각(°)	
	평균	범위	평균	범위
편마암	29.0	16.5~39.3	32.4	17.1~43.0
편암	26.4	25.8~27.0	26.2	22.4~30.0
화강암	28.7	22.2~35.2	33.0	27.0~39.0

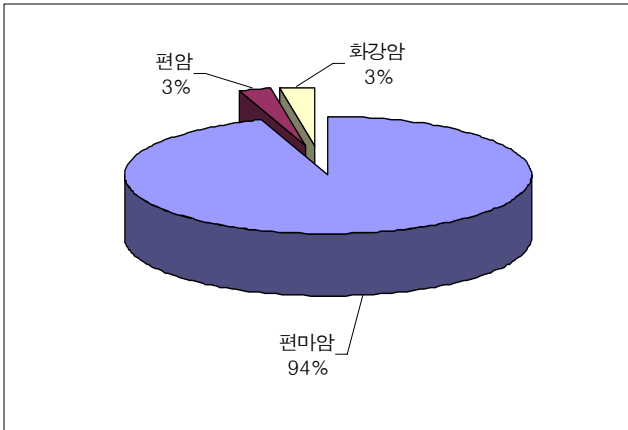


그림 1. 경기도 지역 국도변 절토사면 분석 대상 절토사면 암종별 분포

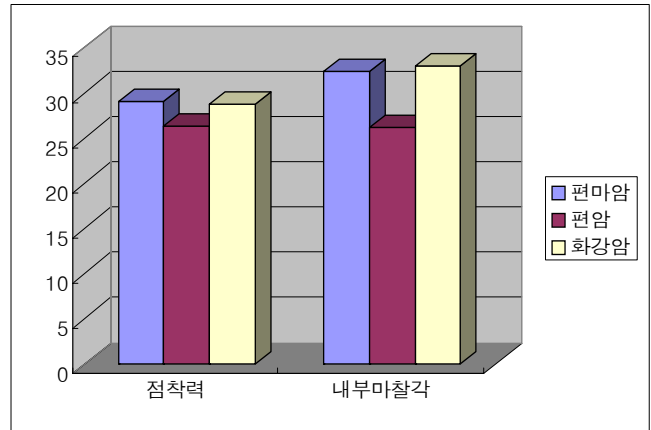


그림 2. 경기도 지역 분석 대상 절토사면 암종별 평균 강도정수 값 비교

### 3.2 강원도 지역 국도변 절토사면 강도특성

강원도 지역은 선캠브리아시대의 변성암으로 구성된 경기육괴, 고생대 퇴적암 및 중생대 퇴적암, 주라기 심성암류(대보관입암류), 신생대 제3기층군 등 다양하고 다소 복잡한 지질분포를 보인다. 경기육괴는 강원도 북서부에 주로 나타나며, 북동-남서 방향의 고생대 퇴적암 및 중생대 퇴적암은 강원도 지역의 중심부에 분포한다. 중생대 주라기 화강암은 북동-남서 방향의 대규모 저반을 형성하며 강원도 지역 중심부에 주로 분포한다. 신생대 제3기층군은 동해시 북평동 부근에 소규모로 나타난다.

경기육괴는 미그마타이트질편마암, 호상편마암, 편암, 규암, 대리암과 같은 퇴적기원의 변성암과 이들을 관입한 화성암 기원의 화강편마암, 함석류석화강편마암, 우백질편마암, 반상변정질편마암 등으로 구성되어 있다. 경기육괴 중 가장 넓은 분포를 보이는 호상편마암은 양양과 홍천을 잇는 북동-남서 방향의 저반형 대보화강암류를 기준으로 크게 북서부 지역, 오대산 지역, 체천시 이북지역 등에 나타난다.

강원도 지역 국도변 절토사면중 보통풍화 등급의 암반으로 구성된 총 557개소의 위험절토사면을 대상으로 강도특성 분석을 실시하였다. 분석 대상 절토사면은 편마암과 화강암 등으로 구성된 절토사면이 주를 이루고 있으며, 그 외 사암, 석회암, 편암, 변성퇴적암류, 셰일 등으로 구성된 절토사면이 일부 분석되었다. 이들 절토사면의 점착력, 내부마찰각 범위와 평균값을 다음의 표 2에 나타내었다.

표 2. 강원도 지역 국도변 절토사면 암종별 강도정수

암 종	점착력(t/m <sup>2</sup> )		내부마찰각(°)	
	평균	범위	평균	범위
편마암	27.7	15.0~42.1	31.5	19.0~46.0
화강암	28.5	17.3~39.7	32.5	21.0~44.0
사암	29.6	20.9~36.7	33.8	25.0~41.0
석회암	28.9	20.2~38.4	32.2	24.4~40.0
편암	28.2	15.0~38.8	32.2	19.0~42.0
변성퇴적암류	28.3	21.7~38.8	32.5	26.0~43.0
셰일	26.0	18.9~31.1	30.1	23.0~35.0

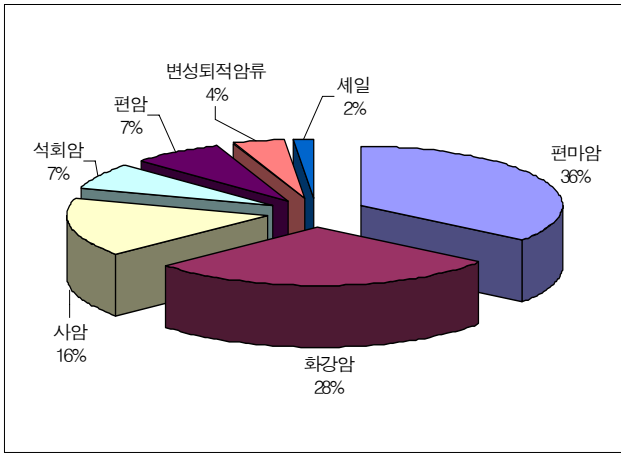


그림 3. 강원도 지역 국도변 절토사면중 분석 대상 절토사면 암종별 분포

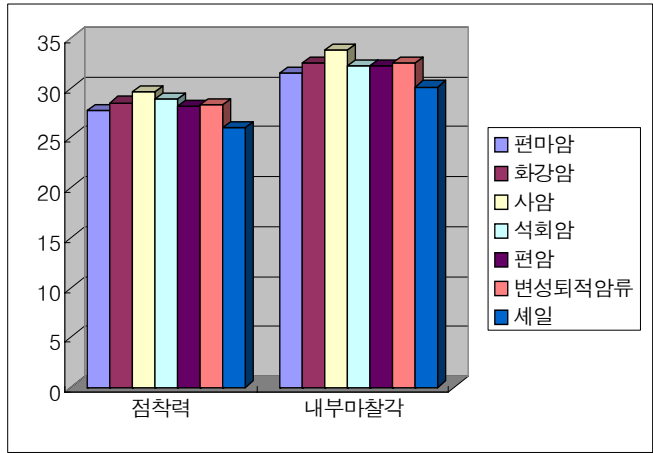


그림 4. 강원도 지역 분석 대상 절토사면 암종별 평균 강도정수 값 비교

### 3.3 충청도 지역 국도변 절토사면 강도특성

충청도 지역은 동부가 고지대로서 충청남도보다는 충청북도의 국도변에 대절토사면이 집중 분포하는 경향을 보인다. 논산-증평을 잇는 고지대는 대전시 서쪽 계룡산과 대둔산 부근을 제외하고는 대체로 옥천대의 변성퇴적암류가 분포한다. 대전시 남부의 북동방향의 산계는 차령산맥의 남서단부로서 중생대 대동층군이 분포된 지역이며, 북동 연장부로는 선캠브리아기의 편마암류들이 분포하며 고지를 이룬다. 금산, 충주 및 문경과 인접한 단양 남부에서는 화강암체가 소규모 저반으로 나타난다.

충청도 지역 국도변 절토사면중 보통풍화 등급의 암반으로 구성된 총 191개소의 위험절토사면을 대상으로 강도특성 분석을 실시하였다. 분석 대상 절토사면은 석회암, 화강암, 천매암 등으로 구성된 절토사면이 주를 이루고 있으며, 그 외 편마암, 사암, 편암, 세일 등으로 구성된 절토사면이 분석되었다. 이들 절토사면의 점착력, 내부마찰각 범위와 평균값을 다음의 표 3에 나타내었다.

표 3. 충청도 지역 국도변 절토사면 암종별 강도정수

암종	점착력(t/m <sup>2</sup> )		내부마찰각(°)	
	평균	범위	평균	범위
석회암	25.6	16.4~40.0	29.7	21.0~44.0
화강암	28.6	17.1~38.8	32.7	21.0~43.0
천매암	24.5	15.5~40.0	28.8	20.0~44.0
편마암	26.9	20.2~36.2	31.1	24.0~40.0
사암	25.2	19.0~37.2	29.3	23.0~41.0
편암	24.6	19.6~34.2	28.8	24.0~38.0
세일	21.0	15.7~28.1	25.9	20.0~32.0

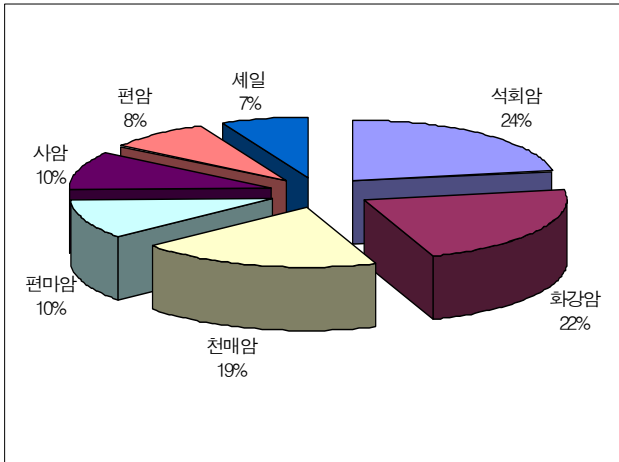


그림 5. 충청도 지역 국도변 절토사면중 분석 대상 절토사면 암종별 분포

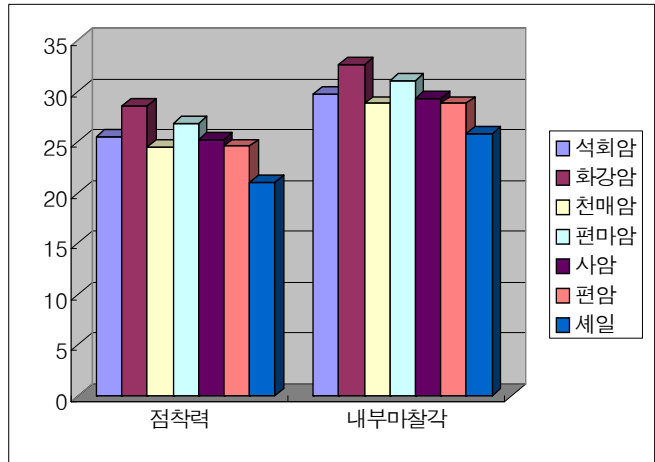


그림 6. 충청도 지역 분석 대상 절토사면 암종별 평균 강도정수 값 비교

### 3.4 전라도 지역 국도변 절토사면 강도특성

전라도 지역은 동쪽이 서쪽에 비해 높은 지형을 이루고 있다. 1,500m 이상의 고지는 북동부의 덕유산, 지리산 등에 주로 위치한다. 익산시, 군산시, 김제시, 부안읍 지역은 호남평야 지대로서 지형적으로는 광활한 평지를 이루고 있으나, 화산암이 분포하는 변산반도는 500m 내외의 고지를 형성하고 있다.

전라도 지역 국도변 절토사면중 보통풍화 등급의 암반으로 구성된 총 217개소의 위험절토사면을 대상으로 강도특성 분석을 실시하였다. 분석 대상 절토사면은 편마암, 응회암, 화강암 등으로 구성된 절토사면이 주를 이루고 있으며, 그 외 편암, 천매암, 안산암, 역암, 유문암, 사암, 세일 등으로 구성된 절토사면이 분석되었다. 이들 절토사면의 점착력, 내부마찰각 범위와 평균값을 다음의 표 4에 나타내었다.

표 4. 전라도 지역 국도변 절토사면 암종별 강도정수

암 종	점착력(t/m <sup>2</sup> )		내부마찰각(°)	
	평균	범위	평균	범위
편마암	26.9	16.8~43.6	31.0	21.0~47.0
응회암	28.2	17.1~41.0	32.3	21.0~45.0
화강암	29.3	15.8~36.7	33.2	20.0~41.0
편암	27.6	19.5~32.9	31.7	24.0~37.0
천매암	29.1	21.4~40.0	32.0	26.0~40.0
안산암	26.7	15.9~40.7	30.7	20.0~44.0
역암	26.5	17.3~34.0	29.5	21.0~39.0
유문암	28.5	20.0~37.8	32.6	24.0~42.0
사암	26.0	22.0~32.2	30.0	26.0~36.0
세일	25.8	21.6~29.9	30.0	26.0~34.0

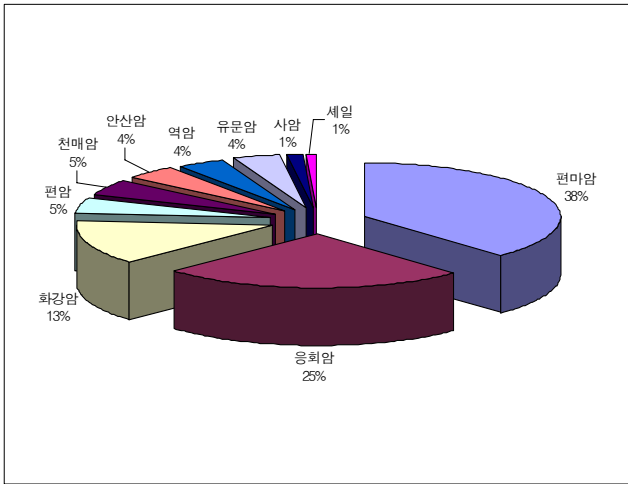


그림 7. 전라도 지역 국도변 절토사면중 분석 대상 절토사면 암종별 분포

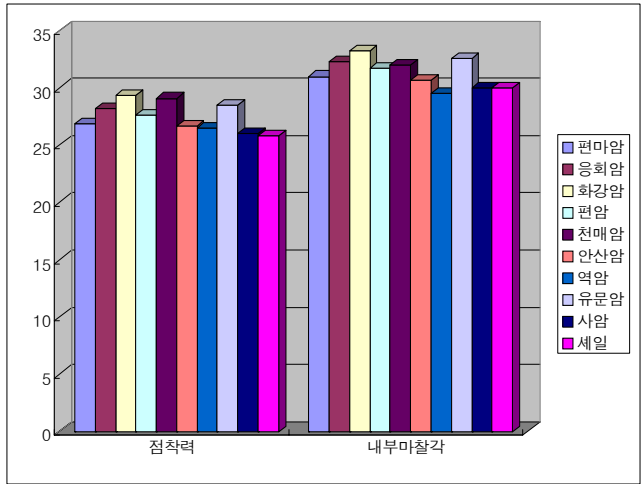


그림 8. 전라도 지역 분석 대상 절토사면 암종별 평균 강도정수 값 비교

### 3.5 경상도 지역 국도변 절토사면 강도특성

경상북도의 지질의 경우, 남서부에서 북동부로 대각선 방향으로 편마암류와 편암류로 이루어진 선캄브리아기 변성암류들이 분포하며, 북서부에는 옥천층군에 속하는 변성퇴적암류들과 고생대 암층들이 소규모로 분포하다. 동남부에는 사암, 역암, 세일 및 산성 혹은 중성화산암류 등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포하고 있으며, 사암, 이암 및 역암 등으로 이루어지는 제3기 암류들도 소규모로 분포한다.

경상도 지역 국도변 절토사면중 보통풍화 등급의 암반으로 구성된 총 556개소의 위험절토사면을 대상으로 강도특성 분석을 실시하였다. 분석 대상 절토사면은 편마암, 화강암, 사암 등으로 구성된 절토사면이 주를 이루고 있으며, 그 외 세일, 안산암, 응회암, 이암, 편암, 유문암, 역암 등으로 구성된 절토사면이 분석되었다. 이들 절토사면의 점착력, 내부마찰각 범위와 평균값을 다음의 표 5에 나타내었다.

표 5. 경상도 지역 국도변 절토사면 암종별 강도정수

암 종	점착력(t/m <sup>2</sup> )		내부마찰각(°)	
	평균	범위	평균	범위
편마암	29.2	17.9~42.0	33.3	22.0~49.0
화강암	28.8	15.0~38.8	32.8	19.0~43.0
사암	27.3	15.4~34.2	31.4	20.0~38.0
세일	26.8	19.6~36.7	30.6	24.0~41.0
안산암	28.3	20.3~36.2	32.1	22.1~40.0
응회암	28.2	20.7~40.3	32.4	25.0~44.0
이암	22.8	16.0~30.6	27.1	20.0~35.0
편암	27.6	19.6~32.1	31.6	24.0~36.0
유문암	26.9	22.0~35.7	32.0	26.0~40.0
역암	30.9	28.6~32.1	35.0	33.0~36.0

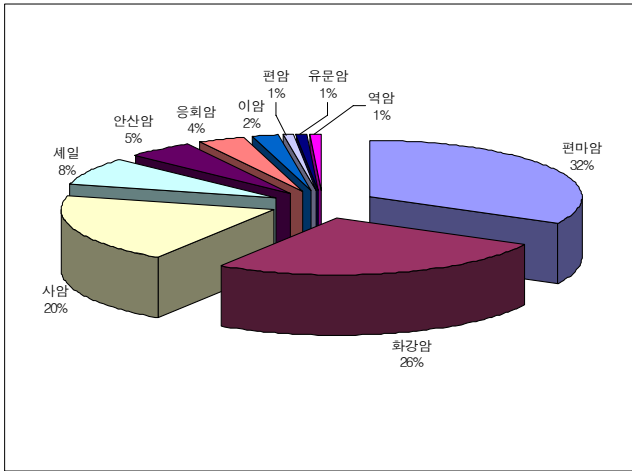


그림 9. 경상도 지역 국도별 절토사면중 분석 대상 절토사면 암종별 분포

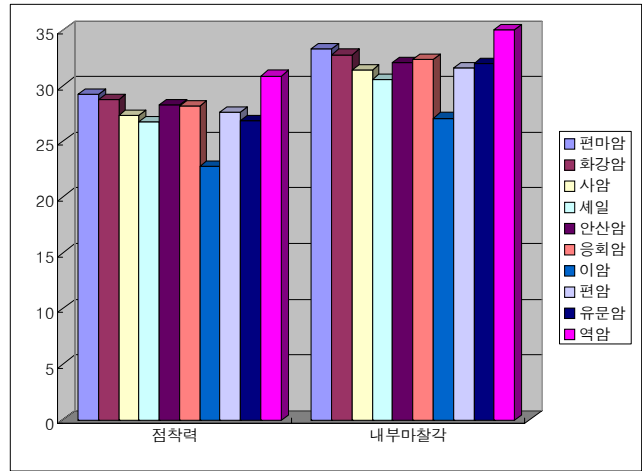


그림 10. 경상도 지역 분석 대상 절토사면 암종별 평균 강도정수 값 비교

#### 4. 결론

절토사면을 구성하는 암반의 강도정수 산정을 위해 실내시험(전단시험, 삼축압축시험), 현장시험(현장 원위치시험, 슈미트해머 테스트 등), 경험식에 의한 방법, 문헌조사 등에 의한 여러 방법이 동원되고 있으나, 실제 붕괴와 관련된 활동면의 강도정수 산정에는 여러 가지 어려움이 따른다.

특히, 절토사면 예비 설계 단계에서는 기존 문헌에 의존한 설계를 실시함으로써 지역별, 암종별 절토사면 특성을 제대로 반영하지 못하게 되므로 본 설계시 및 시공시 많은 시행 착오를 일으키게 된다.

본 논문에서는 전국 국도변에 위치한 위험 도로절토사면 가운데 보통풍화 등급을 보이는 암반으로 이루어진 절토사면을 선정하여 기존 경험식을 이용한 강도정수를 파악하고, 이들 자료를 분류함으로써 지역별, 암종별 강도정수 특성을 파악하였다. 또한, 본 연구를 통해 파악된 일반국도상 절토사면의 강도특성은 향후 주변 절토사면의 예비 설계 시 참고자료로 활용하고자 한다.

#### 참고문헌

1. 신회순, 선우춘, 이두화(2000), 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반 분류.
2. 정형식, 유병옥(1997), “암석의 풍화도에 따른 강도 변화 특성 및 강도 추정에 관한 연구”, *지반공학회지*, 제 13권, 제 6호, pp.71-94.
3. 한국건설기술연구원(1998~2008), 도로절토사면 유지관리시스템(CSMS) 운영업무 연간 연구보고서, 국토해양부.
4. Bieniawski, Z. T.(1986), *Engineering Rock Mass Classifications*, John Wiley & Sons Inc.