

## 도로절개면 조사 우선순위 결정법 개발

구호본 · 이종현 · 박혁진 (한국건설기술연구원 토목연구부)

백영식 (경희대학교 공과대학 토목공학)

### 1. 서 론

국토의 70% 이상이 산지로 이루어진 우리 나라에서 도로 개설에 따른 절개면의 발생은 필연적이며, 현재 국도연장 12,455km를 따라 만 여 개의 도로 절개면이 형성되어 있을 것으로 추정하고 있다. 매년 강우기와 해빙기에 발생하는 도로절개면 붕괴에 의한 피해를 최소화하기 위한 방안으로 국가적 차원의 도로절개면 유지관리시스템 개발이 필요하다. 즉, 위험 절개면의 위치 및 현황 파악(inventory), 조사우선순위에 의한 연차별 현장조사 실시, 안정성 해석, 현장 여건을 고려한 대책안 제시, 대책 투자우선순위에 의한 예산 배정, 위험절개면 대책 관련 설계 및 시공, 유지관리 등 일련의 체계화된 시스템에 의해 위험절개면을 순차적으로 줄여나가야 할 것이다.

본 연구는 상기 시스템 중 전국에 분포하는 절개면을 대상으로 상대적 붕괴위험성이 큰 절개면을 파악하여 현장조사를 수행하기 위한 조사우선순위 결정법의 개발에 대해서 논하기로 한다. 전국에 분포하는 절개면의 위치와 특성이 절개면 관련 비전문가인 도로유지 담당자들에 의해 파악되면 조사된 자료를 근거로 예산, 인력을 고려하여 연차적 위험절개면 조사현장수가 결정된다. 본 연구를 위하여 기존에 제안된 국내·외 사면 위험도 평가표를 참고하여 조사우선순위 결정을 위한 절개면 평가 항목을 선정하고, 서울 근교의 국도변 절개면을 대상으로 평가 항목의 배점기준을 결정하였다. 또한 국내 붕괴절개면, 위험절개면, 안정절개면을 각각 15개소 선정하여 조사우선순위 결정법의 타당성을 검토하였으며, 이를 근거로 국도 46호선 남양주~춘천구간(65km)의 132개 절개면(39.4% 붕괴발생)에 대한 조사우선순위를 결정하였다.

## 2. 조사우선순위 결정 항목

### 2.1 조사우선순위 결정 항목의 선정

조사우선순위 결정 항목을 선정하기 위해 활용된 자료는 최경(1986)의 평가표, 유병옥(1997)의 평가표, RHRS(Rockfall Hazard Rating System, 1990), 일본 국철의 절개 사면 안전도 평가표, 일본 건설성의 평가표, 홍콩 GEO(Geotechnical Engineering Office, 1986)의 사면 안전도 평가표 등이며, 이들 자료에서 활용되는 각 붕괴위험 항목별 빈도 및 배점 비율 분석을 실시하였다(그림 1, 그림 2 참조).

국내·외 절개면 위험도 평가표의 각 항목별 빈도를 분석한 결과, 높이, 경사, 지하수, 암종, 집수 지형, 풍화도, 절개면 형상, 절개면 보호공, 절리 방향성 등을 평가하는 항목이 3회 이상 적용되고 있다. 또한 절개면 위험도 평가표의 각 항목별 배점 비율을 분석한 결과, 적용 빈도가 높은 항목들이 대체적으로 높은 배점 비율을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

절개면 위험도 평가표 상에서 높은 빈도와 배점 비율을 보이는 항목들은 절개면의 안정성을 평가하는데 있어서 중요한 인자로서 조사우선순위 결정시 충분히 고려되어야 한다. 조사우선순위 결정을 위한 항목으로 절개면의 안정성을 평가할 수 있는 높이, 경사, 절개면 형상(횡단 형상), 지하수, 집수 지형, 풍화도, 절리 방향, 절개면 보호공 등의 항목을 결정하였다.

### 2.2 조사우선순위 결정 항목별 배점 기준

조사우선순위 결정 항목 가운데 높이, 경사, 지하수, 집수 지형, 풍화도, 절리 방향성 등의 6개 항목은 각 항목의 정도 차이에 따른 붕괴 발생 비율을 비교하여 각 항목별 배점을 부여하였다. 또한 횡단형상, 뜬돌 유무, 절개면 보호공, 붕괴 이력, 도로와의 이격 거리, 교통량 등 6개의 항목에 대해서는 국내·외의 문헌을 참고로 배점을 부여하였다.

#### (1) 절개면 높이

시범구간 절개면을 토사 절개면, 암반 절개면, 이들의 혼합 절개면으로 구분하여 절개면 높이에 따른 붕괴율을 분석하였다(그림 3 참조). 분석 결과, 토사와 혼합 절개면은 높이 10m 이하의 절개면에서 57% 이상이 붕괴되었고, 높이가 높을수록 붕괴 발생이 미약한 것으로 나타났다. 이는 국내 절개면 특성상 토사 절개면의 경우 높이가 10m 이상인 경우가 많지 않은 것에 기인한다. 암반 절개면의 경우 대체로 절개면 높이가 증가할수록 붕괴율도 증가하고 있다. 따라서 절개면 높이에 대한 배점은 절개면을 토사와 혼합 절개면, 암반 절개면으로 구분하여 높이가 높을수록 배점을 높게 부여하였다.

#### (2) 절개면 경사

절개면의 경사도는 기존 절개면 표준 경사도 시방서를 참고하여 1:1.2, 1:0.7, 1:0.5, 1:0.3

등으로 구분하고, 구성 재료(토사와 혼합, 암반)에 따라 경사별 붕괴 비율을 비교하여 경사가 증가할수록 붕괴율이 높다는 결과를 얻었다(그림 4 참조). 따라서 절개면 높이 항목과 마찬가지로 절개면을 구성하는 재료(토사와 혼합, 암반)에 따라 배점 기준을 달리하여 경사도가 높을수록 높은 배점을 부여하였다.

### (3) 지하수

지하수는 절개면의 불안정성을 가중시키는 여러 원인중의 하나로서 강우 등에 의한 급격한 지하수위 상승은 절개면 내의 간극수압을 증대시켜 절개면의 거동을 야기 시킬 수 있다. 절개면에서 확인되는 지하수 상태와 위치에 따른 붕괴 비율을 비교한 결과는 그림 5와 같다. 이는 절개면 하부에 발생한 지하수 누수현상의 경우 암반 절개면의 절리를 따른 지하수의 이동 속도가 매우 느리고, 지속적인 지하수 공급에 한계가 있어 지하수위의 형성이 전 절개면을 따라 형성되기 보다 부분적인 지하수에 의한 간극수압의 형성이 미약한 반면, 절개면 상부 지하수 누수현상은 절개면 상부에 분포하는 풍화암을 따라 절개면 상부 전반에 걸쳐 형성된 간극수압의 작용에 의해 절개면의 붕괴 발생을 크게하는데 기인하는 것으로 사료된다. 따라서 절개면 상부에서 지하수 용수가 관찰될 때는 절개면 중·하부에서 지하수 용수가 관찰될 때보다 높은 배점을 부여한다.

### (4) 집수 지형

절개면 내에 계곡부 등의 집수가 용이한 지형이 형성될 경우, 절개면 상부의 붕괴도 및 풍화암의 붕괴가 빈번히 발생되고 있다. 이러한 현상은 절개면 붕괴라기보다 지표수에 의한 침식성 붕괴로 사료된다. 따라서 절개면 내에 계곡부가 존재하여 상부자연사면으로부터 지표수가 모일 수 있는 지형을 형성하는 경우와 집수 지형을 형성하지 않는 경우로 구분하여 붕괴 비율을 비교해 보았다(그림 6 참조). 따라서 절개면에 집수 지형이 형성될 경우 절개면 붕괴에 영향을 미치고 있으므로 집수 지형이 형성될 경우 높은 배점을 부여한다.

### (5) 풍화도(노후정도)

절개면의 풍화도를 절개면의 붕괴와 연관시켜 풍화도에 따른 붕괴 비율을 비교하였다(그림 7 참조). 풍화도는 국토유지건설사무소의 절개면 관리자가 파악하는데 용이하도록 국제암반역학회(ISRM)에서 제안한 6개의 풍화 등급을 크게 3영역(신선함~약간풍화, 보통풍화~심한풍화, 완전풍화~잔류토)으로 구분하였다. 따라서 이 3개의 영역별로 붕괴 비율을 비교·분석하여 배점 기준에 적용하였다.

### (6) 절리 방향성

암반 절개면의 경우 발달하는 절리의 방향에 따라 안정성 여부가 크게 좌우된다. 특히 절개면의 방향과 큰 차이를 보이지 않고 나란하게 발달하는 절리가 존재할 경우 절개면의 붕괴 가능성은 매우 높다. 따라서 절개면에 발달하는 절리의 방향성이 붕괴에 미치는 영향을

파악하는 것이 필요하므로 절리면의 방향성에 따른 붕괴 비율을 분석하였다(그림 8 참조). 절개면의 방향에 순방향으로 향하는 절리가 존재할 경우, 절개면 붕괴 확률이 높아지므로 이에 대해 높은 배점을 고려하였다.

상기와 같은 분석을 근거로 표 1과 같이 위험절개면 조사우선순위 결정 항목별 배점을 설정하였다.

### 3. 조사우선순위 결정법의 적용

#### 3.1 조사우선순위 결정법의 적용성 평가

본 연구를 통해 선정된 조사우선순위 결정법에 대한 적용성 평가를 위해 전국에 분포하는 붕괴절개면, 위험절개면, 안정절개면을 각각 15개소씩 지역적인 편중 없이 선정하였다.

붕괴절개면의 경우는 썩기파괴, 평면파괴, 원호파괴, 낙석 등의 대규모 붕괴가 발생되어 도로에 미친 영향이 컸던 절개면을 선정하였다. 또한 위험절개면은 큰 규모의 이완 블록이 존재하거나, 평사투영해석과 한계평형해석을 통해 장래 붕괴 가능성이 예상되는 절개면을 선정하였으며, 안정절개면은 평사투영해석과 한계평형해석, 정밀 현장조사에서 특별한 붕괴 징후가 확인되지 않은 절개면을 선정하였다.

45개소의 절개면을 대상으로 표 1과 같이 항목별 배점을 적용해 본 결과는 그림 9와 같다. 45개소의 절개면에 대한 배점 결과, 안정절개면은 26~62.5점의 분포를 보이고 있으며, 평균 46.0점, 표준편차 10.5를 나타내고 있다. 또한 위험절개면은 56~81점의 분포로 평균 67.8점, 표준편차 7.5를 나타내며, 붕괴절개면은 67~99점의 분포대에 존재하고, 평균 83.5점, 표준편차 10.2를 나타내고 있다.

조사우선순위 결정법의 적용 결과를 근거로 45개소 절개면 가운데 붕괴 위험성이 높아 정밀현장조사가 이루어져야 하는 절개면의 총점 범위를 결정하기 위해 붕괴 위험성이 높은 절개면과 붕괴 위험성이 낮은 절개면 등으로 나누어 이를 파악하였다. 먼저 각 구간의 절개면 분포를 표준정규분포곡선으로 추정하고 표준정규분포곡선에서 80%, 85%, 90%, 95%의 신뢰도에 대한 각 등급별 총점을 구하여 적용성 평가가 이루어진 절개면의 총점 분포와 비교하였다(표 2 참조).

표준정규분포곡선에서 붕괴 위험성이 높아 정밀현장조사가 필요한 절개면과 붕괴 위험성이 낮은 절개면을 유의수준 5%로 가설 검증한 결과 각 등급별 총점의 범위는 표 3과 같다.

#### 3.2 조사우선순위 결정법의 적용 사례

표 1에 작성된 조사우선순위 결정 항목별 배점과 45개 현장 적용성 결과를 기준으로 시범

구간 남양주~춘천간 국도 46호선 132개소 절개면에 대해 조사우선순위를 결정하였다. 시범 구간은 의정부국도유지건설사무소와 홍천국도유지건설사무소의 관할로 나누어지며, 의정부 국도유지건설사무소 관할에는 절개면이 81개소, 홍천국도유지건설사무소 관할에는 절개면이 51개소 분포하고 있다.

이를 토대로 총점 분포가 64점 이상으로 정밀현장조사가 필요한 절개면이 총 132개소의 절개면 가운데 80개소로 약 61%의 분포로 파악되었다. 이를 관할 국도유지건설사무소별로 살펴보면, 의정부국도유지건설사무소 관할인 총 81개소의 절개면 가운데 49개소(약 61%), 홍천국도유지건설사무소 관할인 총 51개소의 절개면 가운데 약 61%인 31개소가 정밀현장조사가 필요한 것으로 파악되었다(그림 10 참조).

따라서 조사우선순위 결정법의 각 항목별 배점에 따라 각 절개면의 평가 점수가 계산되고, 이를 토대로 위험절개면에 대한 조사우선순위가 결정되어 한정된 예산과 조사인원을 고려한 정밀현장조사 계획이 수립된다.

#### 4. 결 론

- 1) 국가적 차원의 도로절개면 유지관리의 효율성을 극대화하기 위한 방안은 넓게 분포된 절개면의 현황파악과 아울러 조사우선순위에 의한 연차적 현장조사에 의한 대책이 이루어져야 할 것이다.
- 2) 조사우선순위 결정 항목 가운데 위험도 분석을 위해 절개면 높이, 경사, 횡단형상, 지하수, 집수지형, 뜬돌 유무, 풍화도(노후정도), 절리 방향성, 절개면 보호공 유무, 붕괴이력 등의 항목이 선정되었다.
- 3) 조사우선순위 결정 항목 가운데 절개면의 피해도 분석 항목은 도로절개면의 특성을 고려하여 절개면과 도로와의 이격 거리, 교통량 등의 항목을 선정하였다.
- 4) 조사우선순위 결정 항목별 배점은 전국에 분포된 45개소 현장에 적용한 결과 타당성이 있는 것으로 사료되며, 위험절개면의 선정기준을 설정할 수 있었다.
- 5) 평가 항목별 배점 및 가중치 등에 대한 신뢰성 향상은 지속적인 연구와 관련 자료의 축적이 수반되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

1. 구호본, 홍성완, 김학준, 이성리, 1999, National highway cut slopes in Korea:

Characteristics and maintenance system, 11th ARC, pp.395-398

2. 유병욱, 1997, 암반절취면의 안전성 평가 및 대책에 관한 연구, 공학박사학위논문, 한양대학교 대학원
3. 일본도로공단, 1986, 道路土工 のり面工・斜面安定工 指針, 사단법인 일본도로협회
4. 최경, 1986, 한국의 산사태 발생 요인과 예지에 관한 연구, 농학박사학위논문, 강원대학교 대학원
5. 한국건설기술연구원, 1998, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용(I), 건설교통부, p.25, pp.202-203
6. 한국건설기술연구원, 1999, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용(II), 건설교통부, pp.5-29
7. GEO, 1995, Guide to Slope Maintenance, Geotechnical Engineering Office Civil Engineering Services Department, Hong Kong

표 1. 위험절개면 조사우선순위 결정 항목 및 배점

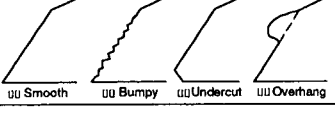
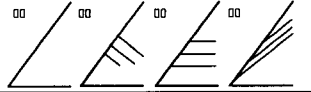
	항 목	기 준		배 점	비 고
		암 반	토사 또는 혼합		
위험도분석	(1) 높이	≤ 10m ≤ 20m ≤ 30m > 30m	≤ 10m ≤ 20m ≤ 30m > 30m	0 12 15 20	암반 절개면 = (배점 × 1) 토사 또는 혼합 절개면 = (배점 × 1.5)
	(2) 경사	< 1:1.2 ≥ 1:1.2 ≥ 1:0.7 ≥ 1:0.5 ≥ 1:0.3	< 1:1.2 ≥ 1:1.2	0 5 10 12 15	암반 절개면 = (배점 × 1) 토사 또는 혼합 절개면 = (배점 × 2)
	(3) 횡단형상	① 매끄럽게 정비가 잘되어 있음 ② 울퉁불퉁함 ③ 하부 지지력 없음 ④ 상부에 대규모 이완블록 존재		0 8 10 12	
	(4) 지하수	확인 안됨 중·하부에서 확인됨 상부에서 확인됨		0 5 15	
	(5) 침수 지형	형성되지 않음 형성됨		0 10	암반 절개면 = (배점 × 1) 흙 & 혼합 절개면 = (배점 × 1.5)
	(6) 틈돌	없음 있음		0 10	
	(7) 풍화정도	신선함~약간풍화 보통풍화~심한풍화 완전풍화~잔류토		0 5 10	
	(8) 절리 방향성	확인 불가능 또는 역방향(①, ②) 거의 평평함(③) 절개면 방향과 일치함(④)		0 5 10	
	(9) 절개면 보호공	있음 부분 훼손 없음		0 5 10	
	(10) 붕괴이력	없음 절개면 하부 낙석 존재 있음		0 5 10	
피해도분석	(11) 도로와의 이격 거리	≥ 5m ≥ 3m ≥ 1m < 1m		0 5 8 10	
	(12) 교통량	< 5,000대/일 ≥ 5,000대/일 ≥ 10,000대/일 ≥ 20,000대/일		0 5 8 12	

표 2. 절개면 위험도에 따른 각 등급별 총점 구분

신뢰도	구분	안정절개면		위험절개면		붕괴절개면	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
		46.0	10.5	67.8	7.5	83.5	10.2
80%구간	Z=0.842	54.837		74.112		92.085	
85%구간	Z=1.036	56.883		75.573		94.072	
90%구간	Z=1.282	59.456		77.412		96.572	
95%구간	Z=1.645	63.271		80.136		100.278	

표 3. 정밀현장조사가 필요한 위험절개면의 총점 범위

구 분	총점 범위
정밀현장조사 필요 절개면	64 이상
붕괴 위험성 낮은 절개면	0~63

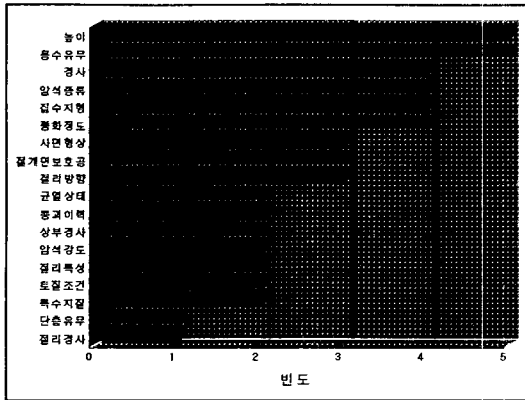


그림 1. 위험도 평가 항목별 빈도

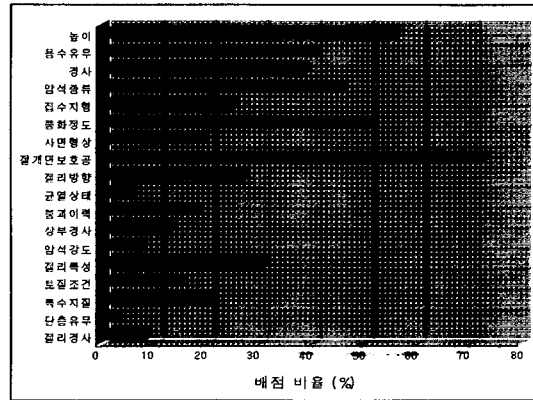


그림 2. 위험도 평가 항목별 배점 비율

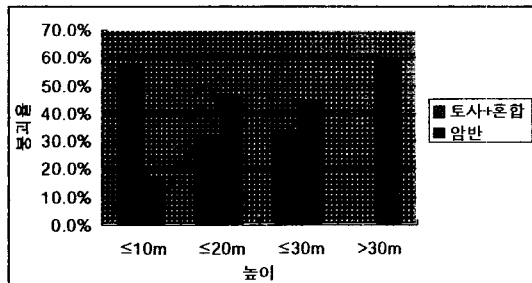


그림 3. 절개면 높이별 붕괴 비율

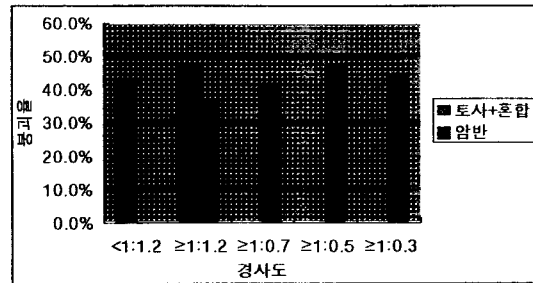


그림 4. 절개면 경사별 붕괴 비율

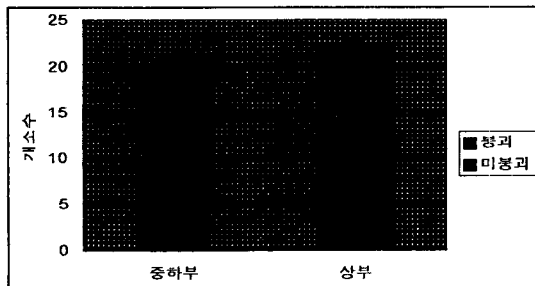


그림 5. 지하수 위치별 붕괴 비율

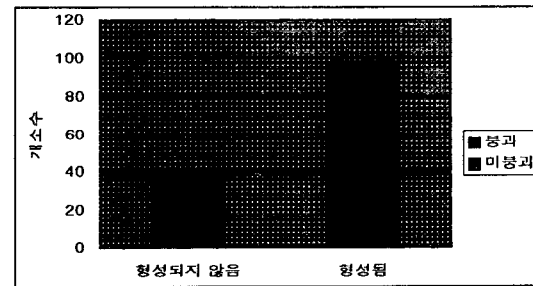


그림 6. 집수 지형 형성 유무에 따른 붕괴 비율

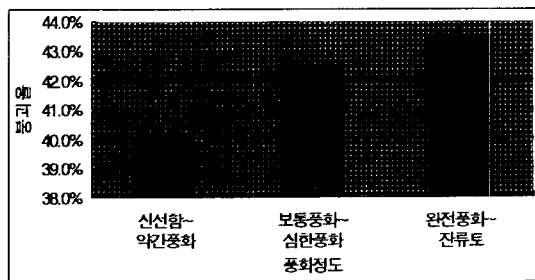


그림 7. 풍화정도에 따른 붕괴 비율

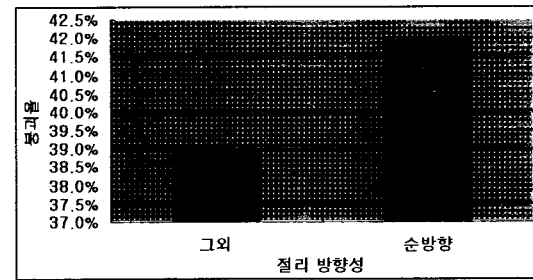


그림 8. 절리 방향성에 따른 붕괴 비율



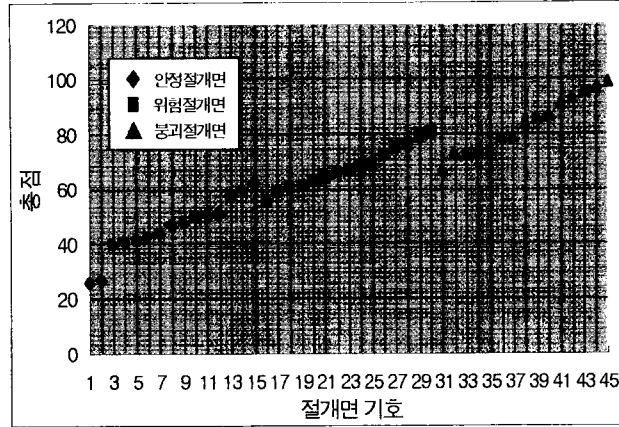


그림 9. 조사우선순위 결정법에 적용된 절개면의 총점 분포

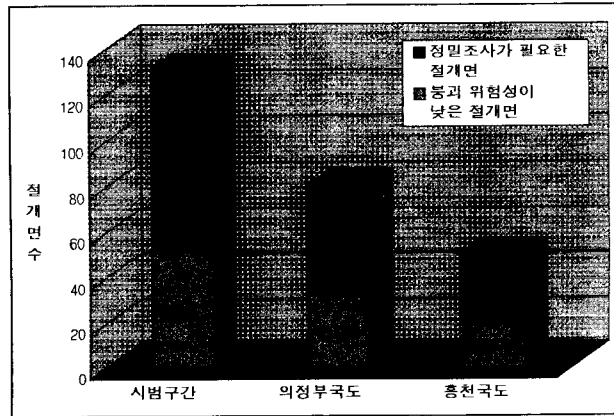


그림 10. 정밀현장조사가 필요한 절개면의 분포