

# 화산쇄설암 사면의 안정 특성

## The Characteristic of Safety on a Slope of Pyroclastic Rock

김병곤\* · 박성권\*\* · 최길현\*\*\* · 백승철\*\*\*\*

Kim, Byoung Gon · Park, Sung Kwon · Choi, Kil Hyun · Baek, Seung Cheol

### Abstract

In this paper, it discusses about the stability of rock slope of pyroclastic rock, which can easily meet at construction site. Basically carry out the investigation about the development of a surface of discontinuity, too. With that, it refers to the basic groups of sedimentary rock, treats of general details about investigation of rock slope and stability analysis, and discusses general characteristics and stability analysis case study about rock slope of pyroclastic rock. Achieved basic geological investigation on rock slope of pyroclastic rock, and examine the stability of slope by doing limit equilibrium and geometric stability analysis due to the result of investigation. It is considered to be able to accumulate many data about slope design of pyroclastic rock hereafter estimating degrees of rock mass properties of pyroclastic rock quantitatively.

**Key words** : pyroclastic rock, limit equilibrium analysis, geometric stability analysis

### 1. 서론

국내의 토목현장에서 쉽게 접할 수 있으면서 기본적인 공종 중의 하나가 토공이다. 토공의 주된 재료는 흙이며, 광의의 해석으로 흙에는 암반이 포함된다. 실제 토공에서 토사보다는 암반이 차지하는 비중이 매우 높다. 암반의 경우 주로 산지 도로개설이나 공장 또는 주택단지 조성을 위한 택지개발 등 해성퇴적층이나 충적층 지역을 제외한 거의 모든 토목현장에서 쉽게 접할 수 있다. 특히 우리나라의 경우 전 국토의 70% 이상이 산악지역으로 암반사면의 안정성 검토가 중요시 되고 있다.

암석으로 이루어진 암반 비탈면은 토사로 이루어진 비탈면보다는 급경사에서도 안정을 유지할 수 있는 것이 일반적이다. 토사 비탈면은 규모나 건설상태에 따라 차이가 있지만 대부분 1:1~1:1.5의 경사에서는 안정을 유지할 수 있으나, 암반비탈면의 경우에는 1:0.3 또는 1:0.2의 급한 경사에서도 안정을 유지할 수 있다. 반면, 어떤 경우에는 1:2로 굴착된 암반비탈면이 파괴된 경우도 있다. 이렇듯 암반비탈면의 안정성 검토는 암석의 강도에 의하는 것 보다는 불연속면의 발달 상태를 조사하여 판단하여야 한다. 대부분의 암반비탈면의 붕괴형태는 사면을 지배하고 있는 지질요소에 따라 특징적인 파괴형태(평면, 썩기, 전도파괴)가 결정된다.

화성암의 경우 제주도를 포함한 전국에 걸쳐 고루 분포하고 있으며 화강암이 주류를 이룬다. 화성암은 마그마가 굳어지거나 분출하여 생성된 암석으로서 정도의 차이는 있으나 강도가 크고 변성암이나 퇴적암에 비해 상대적으로 불연속면이 적게 분포한다. 그러나 풍화의 진행에 따라 내재된 연약대를 중심으로 불연속면이 발달하는 것이 특징이다. 따라서 본 논문에서는 암반비탈면 중에서도 특히 화산쇄설암으로 이루어진 울산지역 실제 3개 현장의 암반비탈면의 안정성에 대해 연구하였으며, 기본적으로 불연속면의 발달에 대한 조사를 병행하였다. 각각의 현장에 대해 불연속면의 발달상황과 해머에 의한 강도 측정 등 필요한 지표지질조사를

\* 비회원 · 안동대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : sung-kwon@nate.com  
\*\* 비회원 · 안동대학교 토목공학과 · 석사과정  
\*\*\* 비회원 · 경북전문대학 토목공학과 · 교수  
\*\*\*\* 정회원 · 안동대학교 토목공학과 · 교수

실시하고 computer program인 Dips를 통하여 평사투영해석을 수행하였다. 평사투영해석 결과 파괴가 우려되는 지점에 대해서는 RMR 평가에 의해 암반의 물성치를 결정하고 한계평형해석을 실시하여 화산쇄설암으로 이루어진 암반비탈면에 대한 안정해석 사례분석과 전반적인 특징에 대하여 논하였다.

## 2. 화산쇄설암 비탈면의 사례 분석

### 2.1 A 현장 비탈면에 대한 안정성 해석

A 현장은 절취된 지 약 20년 정도 된 비탈면으로서, 노출되어 있는 암석은 역암의 일종이며 암석편의 크기는 20~200mm로 다양하지만, 전반적으로 중력암(中櫟岩:4~64mm)이 우세하다. A 현장의 역암을 이루는 자갈은 정상적인 유수에서는 볼 수 없는 형상으로서 자갈의 모양은 둥글지 않으며, 어떤 입자는 상당히 날카로운 모습을 보이고 있다. 또한 분급이 불량하고 입자의 크기에 관계없이 섞여 있어서 유수에 의한 퇴적암과는 다른 특징을 가지고 있다.

A 현장에서 채취한 암석시료에 대한 일축압축강도 시험 결과 압축강도가 평균 340 kg/cm<sup>2</sup>으로서 연암~풍화암 수준이지만 비탈면은 연장 340m, 높이 45m의 규모를 가지고 있으며 발견된 불연속면은 모두 19개 정도이다. 따라서 비탈면 규모에 비해 불연속면의 발달정도가 매우 적었다. 지표지질조사에 의한 RMR 값은 '50점'으로서 암반분류상 '보통'인 것으로 나타났다. 그러나 50점 중 33점이 불연속면의 간격이 넓게 존재한 것에 기인하며 불연속면의 간격에 대한 사항을 제외하고, 암석의 강도나 불연속면의 상태, 표면의 풍화정도 등만을 고려할 경우 '불량' 또는 '매우 불량'인 상태를 나타낸다. 비탈면의 경사는 70~80°이지만, 국부적인 암괴의 붕락을 제외하고는 전체적으로는 안정한 상태를 나타내었다.



그림 1. A 현장 비탈면의 전경



그림 2. 붕락된 암괴

일반적인 불연속면은 암석생성당시의 연약대를 따른 풍화작용 또는 구조활동에 의해 생성되어 대부분 직선적인 형상을 하고 있고 연속성을 지니고 있으나, 화산쇄설암으로 이루어진 A 현장의 암석은 불연속면이 대부분 독립적으로 존재하고 있으며 직선의 형태를 띠지 않으면서 연속성이 없으며 발달정도는 불규칙적이다. A 현장의 불연속면은 구조활동에 의한 것이라기보다는 절개에 따른 노출로 인하여 상대적으로 연약한 곳을 따라 풍화가 급진전되면서 발생한 불연속면으로 추정된다.

A 현장의 경우 국부적으로 붕락된 곳을 쉽게 찾아 볼 수 있으나, 그 규모가 비교적 작고 그림 2와 같이 대부분 거대한 자갈 형상으로 덩어리지면서 붕락되었다. 이러한 모습은 교결물질의 풍화에 의하여 자갈만 떨어져 나가는 형태인 타포니(taffoni)와 같은 형상으로서 연속성을 가진 불연속면을 따라 붕락되지 않고 풍화가 진행되어 국부적으로 연약해진 면을 따라 덩어리지면서 붕락된 것으로 추정된다.

2~3개의 불연속면을 제외하고는 65° 이상의 급한 경사각을 가진 불연속면을 주를 이루었으며, 조사된 불연속면의 방향성을 이용하여 평사투영해석을 수행한 결과, 그림 3에 나타낸 것처럼 평면파괴와 전도파괴가 발생 가능한 것으로 나타났다. 따라서 이들에 대해 한계평형해석을 실시하였으며, 그 결과 안정한 것으로 나타났다. 이는 불연속면이 발달하지 않은 것에 기인하며 화산재에 의해 교결된 자갈들이 독립적으로 존재하기 때문인 것으로 추정된다.

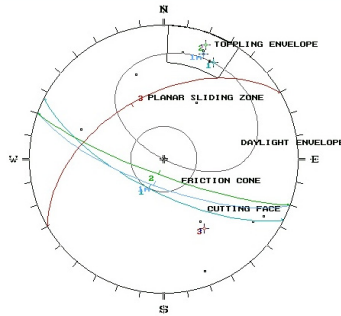


그림 3. A 현장 평사투영해석 결과

### 2.2 B 현장 비탈면에 대한 안정성 해석

B 현장의 기반암은 작은 크기의 자갈로 이루어진 역암의 일종이며 암석을 해머로 가격했을 때 둔탁한 타격음을 내면서 쉽게 부서지거나, 타격부위만 폐이는 형상을 나타내었으며, 전반적으로 연암 정도의 강도를 가진 것으로 판단되었다.

불연속면의 간격은 1~10mm가 많이 분포하였고 대부분의 불연속면에서 식생에 의한 식물의 뿌리와 가우지가 존재하였고, 가우지는 완전 토사화 되거나, 일부 지하수와 광물의 조합으로 인한 규장암화의 진행이 나타난 부분도 있었다. A 현장과 비교할 경우 불연속면의 개체수나 연속성 등이 월등히 발달하였는데, 이러한 원인은 자갈의 크기가 A 현장에 비해 매우 작고 자갈의 함유비율이 50% 미만으로서 전체적으로 역암이라기 보다는 응회암이나 이암과 같이 교결물이 우세하여 풍화에 따른 불연속면이 발달된 것으로 추정된다. RMR 평가결과, RMR 값은 '35'점으로서 암반분류상 '불량'인 상태로 나타났다.

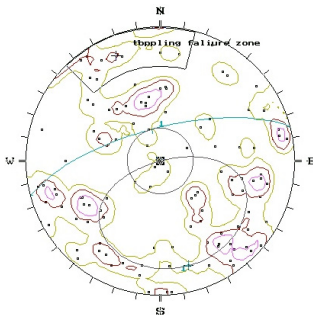


그림 4. B 현장 평면/전도파괴 해석결과

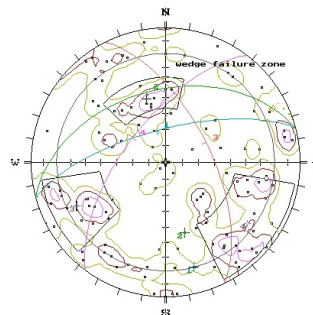


그림 5. B 현장 쉐기파괴 해석결과

그림 4와 그림 5 에서와 같이 평사투영해석 결과 B 현장 비탈면은 평면파괴, 쉐기파괴 및 전도파괴의 발생 가능성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 이들에 대해 한계평형해석을 수행하였으며 그 결과 모두 안정한 것으로 나타났다. 불연속면이 발달하였음에도 불구하고, 안정한 상태를 나타낸 원인은 비탈면의 안정성에 지대한 영향을 미칠만한 규모의 불연속면이 존재하지 않았고, 불연속면의 연속성이나 면의 거칠기가 비교적 양호한 상태인 것에 기인한다.

### 2.3 C 현장 비탈면에 대한 안정성 해석

C 현장의 암반을 이루는 암석편의 모양은 단원역암에 가까운 1~2종류로 추정되고 원마작용을 받지 않은 상태이며 각력암 중에서 세력암으로 분류될 수 있으나, 전반적으로 B 현장의 자갈보다 크기가 작았다. A 현장에서는 각력의 크기가 20~200mm인 반면 B 현장과 C 현장으로 이동할수록 각력의 크기가 점차적으로 작아졌다. A, B 현장에 비해 상대적으로 불연속면이 직선을 띄고 있으며, 연속성을 지니고 있는데, 이는 각력의 크기가 작기 때문인 것으로 추정된다.

C 현장의 비탈면은 약 30년 전에 절취에 의해 조성된 비탈면으로서 초생식물이 무성히 자라고 있으나, 큰 수목은 존재하지 않았다. 암석의 일축압축강도는 평균 420kgf/cm<sup>2</sup> 를 나타내었으며 불연속면의 간격은 5~100mm으로서, 불연속면의 개수는 많지만 발달이 독립적이며 틈새는 작다. RMR값은 '41'점으로 암반분류상 '보통(불량)'인 것으로 나타났다.

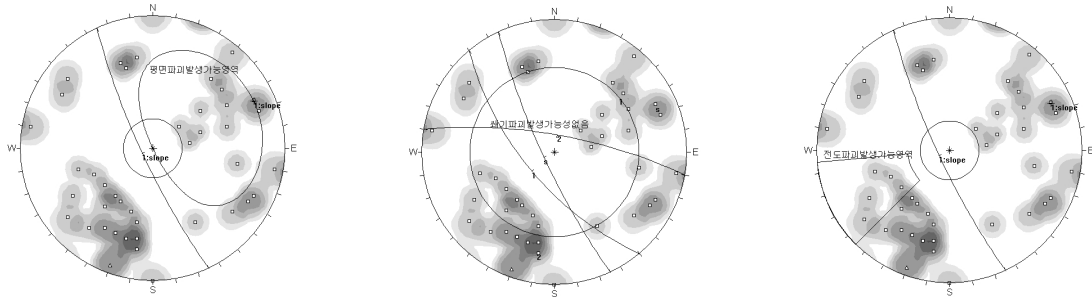


그림 6. C 현장 평면파괴 해석결과 그림 7. C 현장 썩기파괴 해석결과 그림 8. C 현장 전도파괴 해석결과

그림 6 ~ 그림 8 에서와 같이 평사투영해석을 수행한 결과 평면파괴와 전도파괴를 유발하는 불연속면이 존재하고 있었는데, 이들에 대해 한계평형해석을 실시하였는데 그 결과 평면파괴 및 전도파괴에 대해 모두 안정한 것으로 나타났다. 불연속면이 발달하였음에도 불구하고, 안정한 상태를 나타낸 원인은 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 방향성을 지닌 불연속면이 존재하지 않았고, 불연속면의 연속성이나 면의 거칠기가 비교적 양호한 상태인 것에 기인한다.

### 3. 결 론

본 연구는 화산쇄설암으로 이루어진 암반비탈면의 안정해석과 특징을 분석한 사례로 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 화산쇄설암 암반의 강도측정값이 크지 않았다. RMR 값은 연암수준을 나타내었으나, 암석시료와 암반 표면에 대한 압축강도는 풍화암~연암 수준을 나타내었다. 즉, 전반적인 암반의 상태에 비해 압축강도가 비교적 작게 나타난 편인데, 이는 화산쇄설암을 구성하고 있는 주요 성분은 암석 광물이 아니라 자갈들을 교결시키는 교결물, 즉 화산재이기 때문인 것으로 추정된다.
- 2) 화산쇄설암은 전반적으로 불연속면이 발달하지 않았다. 자갈의 크기가 클수록 교결물이 연약한 곳을 따라 풍화되면서 불연속면이 발달하기 때문에, 불연속면이 직선의 형태를 띠지 않고, 연속성이 없고 표면이 거친 편이며, 그 틈새가 좁다. 또한, 연약대를 따라 불연속면이 발생되기 때문에 독립적으로 존재한다. 따라서 전체적인 붕괴보다는 덩어리지면서 암괴의 형태를 하고 있는 국부적인 붕괴가 많이 발생하였다.
- 3) 화산쇄설암으로 이루어진 비탈면은 급경사에서도 안정성을 유지할 수 있었다. 불연속면이 발달하지 않았으며, 발달한 경우라도 비탈면의 붕괴를 야기할 정도로 규모가 크거나 발생빈도가 높은 불연속면은 존재하지 않았다. 따라서 급경사에서도 한계평형해석을 수행하면 안정한 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 김영수 외 3명(1994), “퇴적암 풍화토의 공학적 특성-대구·경북지역을 중심으로”, 한국지반공학회 논문집, 제 11권 제4호, pp. 63~74.
2. Rocscience Inc. (2006), DIPS Version 5.0 : User's Manual
3. Bieniawski, Z. T.(1973), “Engineering Classification of Jointed Rock masses.”, Trans S. Afr. Inst. Civil Engineers. Vol. 15. pp. 335~344.