

## 充填節理面の 미끄러짐特性에 관한 研究

### A Study on the Sliding Characteristics of Infilling-joint Surface

이정엽<sup>1)</sup>, Lee, Jung Yub, 박영목<sup>2)</sup>, Park, Yeong Mog, 김재석<sup>3)</sup>, Kim, Jae Seok  
구호본<sup>4)</sup>, Koo, Ho Bon, 백 용<sup>5)</sup>, Baek, Yong

- 1) 한국건설기술연구원 토목연구부 지반구조물그룹 연구원  
Researcher, Geostucture Research Group, Korea Institute of Construction Technology
- 2) 영남대학교 토목공학과 교수  
Professor, Dept. of Civil Engineering, Yeungnam Univ.
- 3) 영남대학교 토목공학과 박사과정  
Dept. of Civil Engineering, Yeungnam Univ.
- 4) 한국건설기술연구원 토목연구부 지반구조물그룹 수석연구원  
Researcher Fellow, Geostucture Research Group, Korea Institute of Construction Technology
- 5) 한국건설기술연구원 토목연구부 지반구조물그룹 선임연구원  
Senior Researcher, Geostucture Research Group, Korea Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS** : The purpose of this study is to understand the sliding characteristics of the infilling-joint surface using the new devised shear test apparatus with changeable slope for the original infilling materials and the infilling materials experienced cyclic freezing-thawing processes.

Three types of the mother rock classified as the igneous rock, the metamorphic rock and the sedimentary rock and the infilling materials were collected for laboratory test.

The cohesion according to the slope change of the rock joint shows large variation within  $\pm 5$  degrees but the internal friction angle shows appears the linear decreasing tendency. It is confirmed that the affecting factor of slope change of rock joint at the behavior of rock mass is larger than that of the infilling thickness.

Test results show that the cohesion and the internal friction angle in 100 times of cyclic freezing-thawing processes are decreased about 50 percent compared with original one.

A further study using various infillings materials would lead to a better understanding of the failure mechanism of rock mass by slope change of rock joint.

**Key words** : Infilling-joint Surface, Infillings Materials, Shear Test, Slope

## 1. 서 론

암반사면의 안정성에 영향을 미치는 것은 활동 압과 또는 블록의 크기 및 형상과 활동을 일으키는 주향과 경사, 그리고 전단강도를 들 수 있다(정형식, 2000). 이 중에서도 암반내에 발달하고 있는 불연속면이 공학적인 특성을 파악한다는 것은 암반사면 설계에 있어서 보다 합리적이고 안전한 설계를 하는데 중요한 역할을 한다. 그리고, 불연속면내에 충전물질이 존재하는 경우에는 충전물질의 특성이 암반사면 전체에 미치는 영향을 파악한다는 것은 암반사면 설계에 있어서 중요한 요소가 될 것이다.

본 연구에서는 암종별로 화성암, 변성암, 퇴적암으로 나누고, 영주, 단양, 영월 지역에서 충전재를 채취하였다(한국의 지질, 1999). 연구방법으로는 절리경사각, 충전재의 두께, 경사각 등을 고려하여 절리면

미끄러짐시험을 수행하여 모암별 각각의 충전재의 미끄러짐특성을 파악하였다. 또한, 인공절리면을 수평에 대해 정경사(+방향)와 역경사(-방향)으로 구분하였다. 아울러 충전재가 동결·융해 등의 기상변화를 받았을 때의 충전재의 미끄러짐특성을 실험적으로 검토하고자 한다.

## 2. 시험장비

### 2.1 시험장비의 특성 및 작동원리

본 연구를 위해 실제 암반사면에서 절리면 미끄러짐을 모사할 수 있는 절리면 미끄러짐 시험기와 이에 따른 하중 프레임을 제작하였다.

유사암석 시편은 일정한 각을 가진 삼각형 형상의 인공절리 시편을 사용하였다(허진석, 1999).

절리면 미끄러짐 시험기는 유압식 가압기에 의해서 수동으로 수평변위가 제어되며, 충전재가 있는 절리면의 전단시험을 가능하게 하는 전단상자(160mm×160mm×65mm)가 장착된다. 전단상자 중 하부전단박스는 본체에 고정되고, 상부전단박스는 Air Cylinder를 통해 전달되는 유압의 증가로 인해 수평으로 이동하게 된다. 또한, 변위속도의 일정한 제어를 위해 이동하는 상부전단박스에 다이얼 게이지를 장착하였다. 수평변위에 의해 전달되는 전단력은 Air Cylinder위에 장착된 게이지로써 측정을 하도록 고안이 되었다. 경사각의 증감은 기어식으로 제작된 경사각 증감장치를 이용하여 조정하였고, 경사각의 측정은 시험기 하부에 장치된 각도기를 이용하였다.

하중 프레임은 상부전단박스와 접하여 하중이 전달되는 부분과 수직하중을 가하는 부분을 각각 2개로 만들어졌다. 특히, 상부전단박스와 접하여 하중이 전달되는 부분은 구모양으로 만들어서 이 시험기가 경사각의 증감에 의해서 발생하는 기울어짐에 대하여 미끄러지지 않도록 고안되었고, 경사각이 주어진 상태에서 시험을 수행할 때 발생하여 시험에 영향을 줄지도 모르는 좌우방향의 흔들림에 저항하도록 고안되어 제작되었다.

### 2.2 시험장비 개략도

본 연구를 위해 제작한 절리면 미끄러짐 시험기와 하중 프레임의 개략도는 각각 그림 1, 그림 2에 나타나 있다.

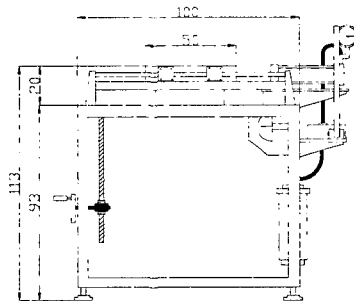


그림 1. 절리면 미끄러짐 시험기 개략도

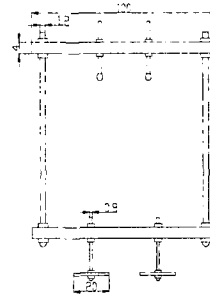


그림 2. 하중 프레임 개략도

## 3. 시험조건

### 3.1 절리면 미끄러짐 시험조건

표 1에서 a는 절리면 미끄러짐시험 조건을 나타낸 것이다. a에서 충전재의 두께비( $t/a$ :두께/진폭)는 유사암석 시편의 진폭에 대해서 3가지의 조건( $t < a$ ,  $t = a$ ,  $t > a$ )으로 설정하여 미끄러짐 특성을 파악하였으며, 경사각의 변화는  $\pm 5^\circ$  단위로  $0^\circ \sim \pm 20^\circ$  로 설정하였다.

### 3.2 동결·융해시험조건

표 1에서 b는 동결·융해 절리면 미끄러짐시험 조건을 나타낸 것이다. 동결·융해의 반복은 영하  $25^\circ\text{C}$ 의 냉동고에서 4시간 동결시키고, 다시 영상  $20^\circ\text{C}$ 의 상온에서 8시간 융해시키는 과정을 1회(Cycle)로 설정하였다. 또한, 충전재의 파쇄성을 고려하여 충전재를 소성한계 함수비로 맞추어 일정한 양(약 2kg)으

로 랩으로 싸서 보관한 다음 1 cycle 동결·융해 전단시험 후의 충전재는 파기시키는 방법으로 하였다(정영, 2000).

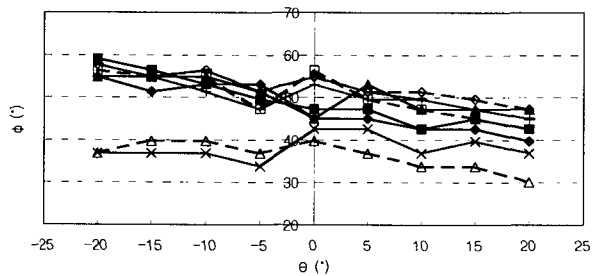
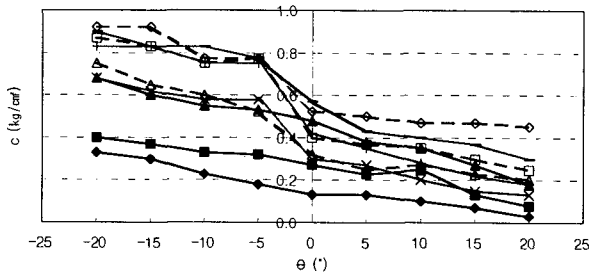
표 1. 동결·융해 절리면 미끄러짐시험 조건

시험 방법	절리 경사각 (i, °)	변형속도 (mm/min)	진폭 (a, mm)	충전재 두께 (t, mm)	수직응력 ( $\sigma_n$ , kg/cm <sup>2</sup> )	경사각 ( $\theta$ , °)	동결온도 (°C)	융해온도 (°C)	단위 중량 (kg/cm <sup>3</sup> )	함수비	
a	0, 15, 30	1	10	0, 5,	0.3, 0.6, 0.9	0, 5,	-25 (4hr)	20 (8hr)	1.7	소성 함수비	
				10, 20							10, 15, 20
b	0			20							0, 10, 20

#### 4. 충전절리면의 미끄러짐 특성

##### 4.1 강도정수 분석

그림 3과 그림 4는 각각 충전재의 두께(t)가 20mm일때의 경사각 증가에 따른 점착력과 내부 마찰각의 변화를 나타낸 것이다. 충전재의 경사각 변화에 따른 점착력 변화는 지수적인 경향을 나타내고 있으며, 경사각  $\theta = \pm 5^\circ$  이내에서 변화가 큰 경향을 보이고 있다. 또한, 내부마찰각의 변화는 경사각의 증가에 따라 직선적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.



▲ : i=0° (영주, SC), ■ : i=15° (영주, SC), ◆ : i=30° (영주, SC), △ : i=0° (단양, CL), □ : i=15° (단양, CL), ◇ : i=30° (단양, CL)  
× : i=0° (영월, CL), + : i=15° (영월, CL), - : i=30° (영월, CL)

그림 3. 경사각 증가에 따른 점착력의 변화

그림 4. 경사각 증가에 따른 내부 마찰각의 변화

##### 4.2 강도감소비 분석

그림 5와 그림 6은  $\sigma_n = 0.9 \text{ kg/cm}^2$  일 때 모암에 따라 분류하여 채취한 충전재를  $t=5 \text{ mm}$  ( $t < a$ ),  $t=20 \text{ mm}$  ( $t > a$ )인 경우에 충전재 종류에 따른 경사각-강도감소비의 관계로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 통일분류법(U.S.C.S)에 따라 같은 종류의 충전재는 경사각의 변화에 따라 유사한 경향을 나타내고 있다.

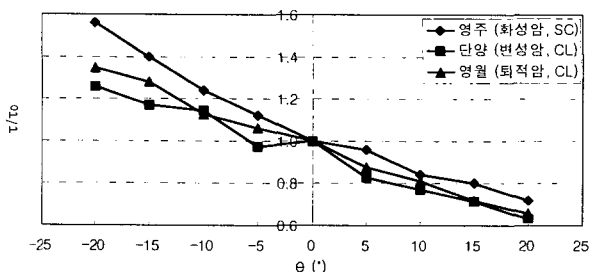
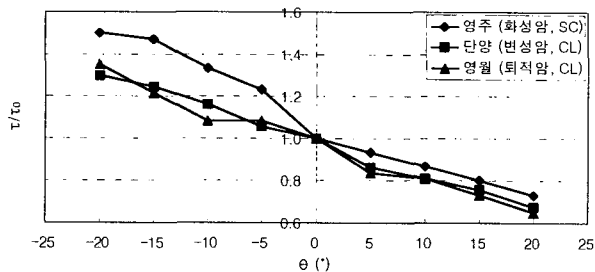


그림 5. 충전재 종류에 따른 강도감소비 (t=5mm)

그림 6. 충전재 종류에 따른 강도감소비 (t=20mm)

##### 4.3 동결·융해에 의한 충전절리면 미끄러짐 특성 분석

표 2는 동결·융해 반복횟수 100회에서 강도정수비 최소·최대 감소율을 나타낸 것이다. 표 2를 보면, 동결·융해 반복횟수 100에서의 점착력비와 내부마찰각비는 50%이상의 감소 경향을 나타낸다.

또한, 반복횟수가 증가할수록 강도정수비의 감소는 충전절리면의 안정성에 영향을 미치며, 특히 점착력비의 감소는 정경사로 증가할수록 그 영향은 점점 커지는 경향이 있다고 판단된다.

표 2. 동결·융해 100회에서의 강도정수비 감소율 [( )는 경사각]

<영주시료는 반복횟수 20회에서 시험 중 점착력이 (-)의 값을 나타내어서, 시험을 중단>

지역	충전재 두께 (t, mm)	c/c <sub>0</sub>		φ/φ <sub>0</sub>	
		최소	최대	최소	최대
영주 (화성암, SC)	20	26% (θ=-10°)	- (θ=+20°)	15% (θ=-10°)	- (θ=+20°)
단양 (변성암, CL)		22% (θ=-10°)	50% (θ=+20°)	28% (θ=-20°)	54% (θ=0°)
영월 (퇴적암, CL)		34% (θ=-20°)	62% (θ=+20°)	28% (θ=-10°, +20°)	50% (θ=-20°)

그림 9와 그림 10은 모암이 변성암인 단양시료를 대상으로 각각 동결·융해 반복에 따른 절리면 미끄러짐시험을 수행한 결과를 t=20mm인 경우에 동결횟수-점착력비(c/c<sub>0</sub>)와 동결횟수-내부마찰각비(φ/φ<sub>0</sub>)의 관계로 나타낸 것이다. 동결·융해 반복횟수 100회에서의 점착력비의 변화는 정경사인 경우에 감소율이 크게 증가하는 경향을 나타내며, 내부마찰각비는 경사각과의 상관성은 불규칙한 경향성을 나타내고 있다.

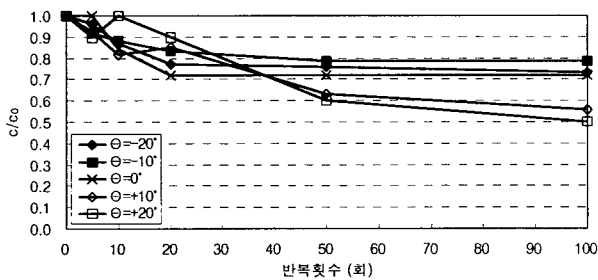


그림 9. 반복횟수에 따른 점착력비의 변화

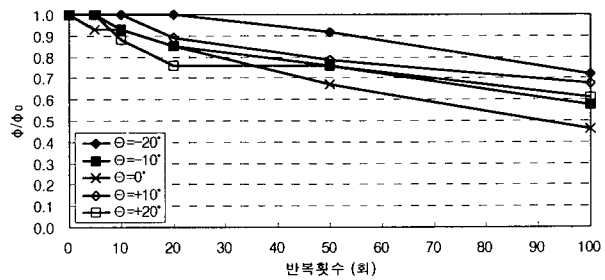


그림 10. 반복횟수에 따른 내부 마찰각비의 변화

## 5. 결 론

3종의 모암(화성암, 변성암, 퇴적암)을 대상으로 채취한 충전재에 대하여, 직접 고안 제작한 절리면 미끄러짐 시험기를 이용한 충전절리면의 미끄러짐 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 충전재의 경사각 변화에 따른 점착력 변화는 지수적인 경향을 나타내고 있으며, 경사각  $\theta = \pm 5^\circ$  이내에서 변화가 큰 경향을 보이고 있다. 또한, 내부마찰각의 변화는 경사각의 증가에 따라 직선적으로 감소한다.
2. 충전재의 경사각 변화에 따른 강도는 직선적으로 감소하며, 통일분류법(U.C.S.C)에 따른 같은 종류의 충전재는 경사각 변화에 따라 유사한 경향을 보이고 있다.
3. 충전재만의 특성을 고려한 동결·융해 반복횟수 100회에서의 점착력비와 내부마찰각비는 50%이상의 감소 경향을 나타낸다. 또한, 점착력비의 변화는 정경사인 경우에 감소율이 크게 증가하는 경향을 나타내며, 내부마찰각비는 경사각과의 상관성은 불규칙한 경향성을 나타내고 있다

## 참고문헌

1. 대한지질학회 (1999), "한국의 지질", pp.59~457.
2. 정영 (2000), "암반 불연속면내 충전재 기상변화에 따른 특성에 관한 연구", 석사학위논문, 영남대학교, pp.25~27.
3. 정형식 (2000), "토목기술자를 위한 암반공학", 지반공학시리즈11권 한국지반공학회, pp.531~580.
4. 허진석 (1999), "충전된 절리를 갖는 암석의 전단강도에 관한 연구", 석사학위논문, 영남대학교, pp.31~33.