

## Tilting Test에 의한 암반절리면의 전단특성에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Shear Characteristics of Rock Joint by Tilting Test

신 방 응\*·신 진 환\*\*·이 봉 직\*\*\*

Bang-Woong Shin·Jin-Hwan Shin·Bong-Jik Lee

#### ABSTRACT

Recently, rock slope in large scale is often accompanied with the construction of mountain roads and power plants. Rock in nature has a number of discontinuities such as bedding plane, joints, fracture zones and others.

In order to improve rock slope stability, it is necessary to research shear properties of rock joint. In this paper shear properties of rock joint were studied by tilting test.

Relations between properties of roughness and shear behavior of rock joint are investigated experimentally. The roughness are examined by compared with shear strength.

Consequently, it becomes clear that the engineering properties and failure state modes of slope is different by JRC, and the peak friction angle is different by percent of filling.

## 1. 서 론

### 1.1 연구목적

암반절리의 역학적특성은 절리면의 거칠기나 압축강도에 좌우되며, 전단저항은 두면사이에서 발

생하는 활동에 대한 마찰저항과 절리면의 거칠기 저항으로 이루어져 있다<sup>1)</sup>.

현재까지 암반사면의 안전을 위해서는 암석의 강도에 따라 토사, 풍화암, 연암, 경암 등으로 구분을 하여 이에 따른 일정한 경사각을 취하고 있다. 그러나 암반의 강도가 매우 크다할지라도 암반사면의 활동은 주로 절리면의 공학적특성에 의

\* 충북대학교 공과대학

\*\* 충주산업대학교 산업안전공학과

\*\*\* 충주산업대학교 산업안전공학과

해 지배를 받으므로 많은 불안정한 요소를 내재하고 있는 실정이다.

따라서 암반사면의 안전성을 고려한 합리적인 설계가 이루어지기 위해서는 대상사면의 공학적인 특성과 절리면의 특성에 대한 파악이 필요하며, 이러한 절리면의 전단저항은 절리면의 거칠기에 크게 영향을 받는다.

또한 암반의 절리면에 충전물질이 충전되어 있는 경우 암반절리면의 거동은 충전물질의 연속면을 따라 활동하게 된다. 이때 충전물질의 충전정도가 클수록 암반절리면의 거동은 절리면의 거칠기에 따른 영향보다는 충전물질의 전단저항에 따라 더욱 지배된다.

따라서 본 연구에서는 암반절리면 거칠기에 대한 전단특성과 충전물질의 충전정도에 따른 암반절리면의 전단특성을 규명하여 암반사면의 안정성 검토에 이용될 수 있는 자료의 제공에 그 목적이 있다.

1.2 연구방법

절리면의 마찰각을 측정하는 방법으로는 실내에서 실시하는 암석직접전단시험, 경사각측정실험(tilting test)과 현장에서 할 수 있는 절리형상측정법(profile gauge measurement), 인장실험(pull test) 등이 있다.

암석직접전단시험은 실험실에서 절리면을 중심으로 시료를 가공해야 하고 시료크기에 제약을 받는 어려움이 있으며 시료 채취에서 부터 실험까지 많은 시간이 요구되는 어려움이 있을 뿐만 아니라 많은 양의 실험을 실시하여 충분한 자료를 확보하기가 어려운 단점이 있다.

또한 절리형상측정법은 간편하기는 하나, 국제암반학회(ISRM)의 기준에 따른 절리거칠기계수 판별이 개개인에 따라 주관적이기 때문에 실질적인 값을 얻는데 많은 오차가 발생할 우려가 있다.

따라서 본 연구에서는 절리면의 거칠기와 충전물질의 충전율에 따른 전단특성의 구명을 위하여 비교적 현장에서 쉽게 실험이 가능한 경사각측정 실험법을 이용하였다.

또한 현장에서 채취한 시료의 절리현상을 측정 후 경사각측정실험을 실시하여 실험치와 국제암반학회에서 제시한 값을 비교하고, 아울러 절리면 사이에 충전물질이 충전되어 있는 경우에 각기 함

유량에 따른 특성을 연구하였다.

2. 암반절리면의 공학적성질

2.1 절리면의 전단강도

암반사면의 안정성 평가에 가장 중요한 요소는 절리면의 거칠기이며, 이 거칠기를 국제암반학회에서는 절리거칠기 계수값을 이용, 정량적으로 평가하여 왔다. Barton(1971)은 이 거칠기를 10등급으로 구분하고 각각의 절리거칠기 계수값을 이용하여 식(1)과 같은 절리면의 전단강도를 구하는 식을 제시하였다<sup>2,3)</sup>.

$$\tau = \sigma_n \tan \left( JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \Phi_r \right) \dots (1)$$

- 여기서, JRC : 절리면의 거칠기 계수
- JCS : 절리면의 압축강도
- $\sigma_n$  : 절리면에 대한 유효수직응력
- $\Phi_r$  : 잔류마찰각
- $\tau$  : 절리면의 전단강도

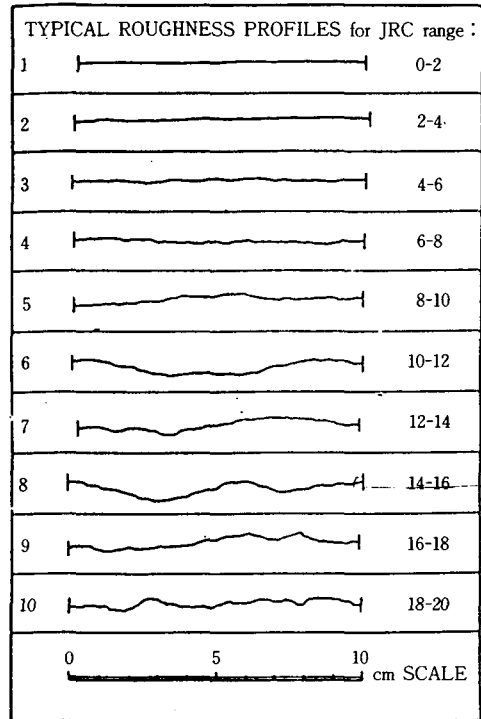


Fig. 1 Roughness profiles and corresponding range of JRC values associated with each rock sample

따라서 현장암반에 대한 대표적인 절리거칠기 계수, 절리면 압축강도, 유효수직응력, 잔류마찰각 등을 측정하여 절리면에 대한 전단강도를 산정할 수 있다.

### 2.2 절리거칠기 계수

일반적인 절리거칠기수는 profile gauge나 이보다 더 정확하게 절리면의 형상을 측정할 수 있는 기계장치가 고안되어 국제 암반학회에서 정한 형상(profile)과 실제로 측정된 형상을 서로 비교하여 결정하는 방법이 사용되고 있다. 절리거칠기 계수는 현장에서 채취한 시료의 형상을 제시한 형상과 비교, 검토하여 동일한 절리거칠기를 가진 계수를 선정하였다.

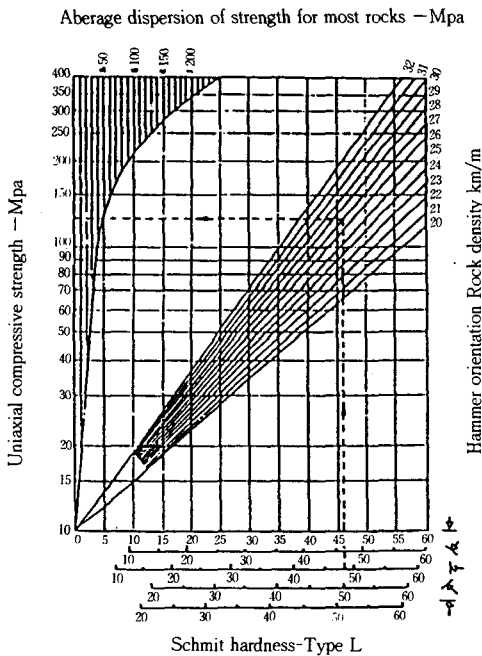


Fig. 2 Relation of schmidt hammer values and compressive strength

### 2.3 절리면 압축강도의 결정

절리면의 일축압축강도는 0.075kg.m의 해머 에너지를 가진 슈미트해머 L형을 가지고 측정한다. 슈미트해머 수치와(SHV; Shmidt Hammer Value)

와 일축압축강도와의 관계는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 Deere와 Miller가 제안한 그래프를 사용하여 구할 수 있다<sup>3)</sup>.

슈미트해머로 절리면의 압축강도를 구하기 위하여 절리면으로부터 10개의 슈미트해머시험 결과를 얻은후 가장 높은 수치와 가장 작은 수치를 제외하 나머지 수치로 평균치를 취한 다음 Fig. 2를 이용하여 압축강도를 구한다.

### 2.4 잔류마찰각과 기본마찰각의 결정

기본마찰각은 두 개의 평행하고 평면인 면 사이의 마찰각으로, 본 연구에서는 시료의 면 거칠기가 없도록 연마하여 기본마찰각을 구하였으며, 잔류마찰각( $\Phi_r$ )은 식(2)와 같이 구할 수 있다<sup>4)</sup>.

$$\Phi_r = (\Phi_b - 20) + \frac{20r}{R} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, r : 포화시의 슈미트해머 수치

R : 건조시의 슈미트해머 수치

$\Phi_b$  : 기본 마찰각,  $\Phi_r$  : 잔류마찰각

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 암반절리의 물리적성질

자연절리를 지닌 시료는 서울시에 위치한 남태령고개 채석장과 경기도 고양시 삼송리 석재장에서 채취하였다. 남태령에서 채취한 시료는 화강암으로서 거칠기가 비교적 큰값을 나타내었고 고양시에서 채취한 시료는 거칠기가 비교적 작은 값을 나타내었다.

시료는 암석절단기를 이용, 적당한 크기로 절단을 하였으며 이 시료에 대한 여러가지 성질은 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of samples

| Sample | Size (cm×cm×cm) | JRC | Area (cm <sup>2</sup> ) | Weight (kg) | Asperity (mm) | JCS (kg/cm <sup>2</sup> ) | $\Phi_b$ (°) | $\Phi_r$ (°) |
|--------|-----------------|-----|-------------------------|-------------|---------------|---------------------------|--------------|--------------|
| 1      | 58×20.5×6.3     | 7   | 1136.8                  | 34.10       | 6.74          | 1760                      | 30.0         | 29.3         |
| 2      | 100×27.2×11     | 8   | 2738.2                  | 82.00       | 17.40         | 1800                      | 30.0         | 29.3         |
| 3      | 52×15.1×2.4     | 9   | 806.14                  | 24.18       | 9.70          | 1650                      | 30.0         | 29.3         |
| 4      | 23×22.1×8.0     | 10  | 545.14                  | 16.34       | 10.30         | 1600                      | 30.0         | 29.3         |
| 5      | 53×15.3×2.6     | 12  | 818.51                  | 24.55       | 15.40         | 1650                      | 29.0         | 28.3         |

각 시료의 거칠기형상을 결정하기 위하여 종방향으로 3회, 횡방향으로 5회이상 실험을 실시하여 절리거칠기계수 값을 판정하였고, 여기에서는 대표적인 형상인 시료의 중앙쪽형상을 나타내었다.

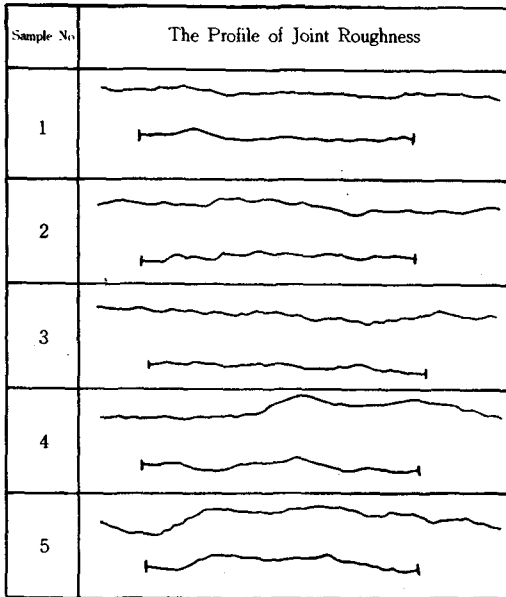


Fig. 3 Roughness of profile by each rock sample

### 3.2 실험장치

본 실험에 사용된 경사각 측정실험기는 길이 75cm, 폭 40cm, 두께 2mm 정도의 철판으로 만들고 상부판에는 수평을 잡아줄 수 있는 수준계를 설치하고 상부판의 측면에는 경사의 각도를 읽을 수 있도록 각도기를 설치하였다. 하부판의 하단부와 연결되는 두개의 프레임을 양측에 설치한 후, 프레임의 상부를 서로 연결하여 힘을 방지하고 그 위에 철판을 들어올릴 수 있는 두개의 도르래를 설치하고 고정대를 함께 설치하였다.

또한 프레임위에 설치된 도르래와 상부판을 연결하는 Wire를 설치하여 도르래의 조작으로 상부판이 들릴 수 있도록 하였다.

실험장치의 주요부분은 50×80cm의 철판을 사용하여 판이 0°~80°까지 경사를 이룰 수 있도록 하였으며, 철판은 최대 60Kg까지도 견딜 수 있도록 하기 위하여 두께 6mm의 강판을 사용하였

다.

철판은 경사를 이룰때 하부의 시료가 미끄러지지 않도록 하기 위하여 앞쪽 30cm지점에 5cm높이의 턱을 만들었으며, 실험에 사용되는 시료는 부정형 (irregular shape) 시료이므로 철판의 중앙에 폭 30cm, 길이 50cm, 높이 5cm정도의 철판을 준비하여 시료가 수평이 되도록 하였다. 철판의 양끝단에는 고리를 만들어 Wire와 연결될 수 있도록 하였으며, 철판을 지지할 수 있는 수직기둥 (높이 약 100cm)과 지지대를 만들었다.



Photo 1. Experimental equipment

또한 수직기둥을 관통하는 봉을 연결하고 이 봉과 철판을 용접하여 철판이 경사를 이루는데로 봉이 따라서 회전하도록 하며, 봉의 끝부분에 각도기를 설치하여 봉의 회전을 따라서 각도를 측정할 수 있게 회전하도록 하였다. 수직기둥의 윗부분에는 두개의 로울러와 이에 연결되는 Wire를 사용하여 당기는데에 용이하도록 하였으며, 철판이 경사를 이룬 임의의 각도상태에서 손잡이를 놓아도 철판의 경사가 변하지 않도록 하기 위하여 감속기를 설치하였고, 감속기는 나사선으로 이루어져 있는 기둥과 톱니바퀴가 서로 직각으로 맞물리도록 하였다.

### 3.3 실험방법

실험은 시료의 거칠기측정, 거칠기 최대높이, 면적, 무게, 슈미트해머시험을 실시하고 각각의 시료에 대해 경사각측정실험을 실시하였다. 실험은 3회를 반복하여 평균경사각을 취하였으며, 충전물질은 #10체 통과~#20체에 남는 석분과 #20번체 통과~#40번체에 남는 석분 및 점토분을 이용하였다.

(1) 절리형상의 측정

시료의 절리형태를 형상측정계지를 이용하여 중앙부의 절리상태를 측정하여 절리거칠기 계수를 결정한다. 이때 절리형상 측정을 위해서는 두께 1.2mm의 아크릴로 제작한 30cm짜리 측정계지를 사용하였다.

또한 경사각측정실험을 실시할 때 절리의 형상이 활동방향과 일치하도록 하여 활동에 저해를 받지 않는 방향으로 실험을 실시하였다.

(2) 수직응력의 결정

절리형상을 측정한 후에 수직응력을 구하기 위하여 상부블록의 접촉면을 종이에 대고 돌레를 그린 후 구적기를 사용하여 상부블록이 이루고 있는 접촉면의 단면적을 구하였으며 상부블록의 무게를 소수점이하 첫째 자리까지 측정하여 식(3)에서와 같이 수직응력을 산정하였다.

$$\sigma_n = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, P : 상부블록의 무게  
 A : 접촉면의 면적  
 $\sigma_n$  : 수직응력

(3) 절리면 압축강도의 결정

시료의 절리면에 대한 압축강도(JCS)를 구하기 위하여 암석용 슈미트해머를 사용하여 슈미트해머 수치를 구하고 Fig. 2의 Deere와 Miller가 제시한 슈미트해머수치와 압축강도와의 관계 그래프에서 절리면 압축강도를 구하였다.

(4) 최대마찰각의 결정

경사각 측정실험기의 상부판에 시료를 올려놓고 절리가 수평을 이루도록 맞추고 절리의 형상이 활동에 저해를 주지 않는 방향으로 천천히 경사를 이루어 상부의 블록이 미끄러질때의 경사를 5회씩 측정하여 평균값을 최대마찰각으로 결정하였다.

4. 결과분석 및 고찰

4.1 충전물질의 물리적 성질에 따른 최대마찰각의 변화

본 연구에 사용된 충전물질은 #10번체 통과 #20체에 남는 석분, #20번체 통과 #40번체에 남는 석분과 점토질로서 입도분석결과 충전물 1번과 2번은 균등계수 1.32, 곡률계수 0.43이었고 점토질의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Properties of intercalary

| Filling materials | $\Phi$ (°) | C (kg/cm <sup>2</sup> ) | Water Content (%) | Remarks  |
|-------------------|------------|-------------------------|-------------------|----------|
| 1                 | 32.7       | 0.00                    | 26.0              | #10~ #20 |
| 2                 | 31.0       | 0.00                    | 30.0              | #20~ #40 |
| 3                 | 2.0        | 0.01                    | 65.0              | Clay     |

위의 충전물질을 사용하여 최대경사각 측정시험을 실시한 결과는 다음 Table 3과 같다. 여기서 충전물은 충전물질의 두께(f)와 절리면의 최대거칠기 높이(a)의 비인 충전두께백분률(f/a)로 나타냈다.

Table 3 Peak friction angles of each rock samples

| Samples | Filling Materials | Peak friction angles by percent of filling(°) |       |       |        |        |        |
|---------|-------------------|---|-------|-------|--------|--------|--------|
|         |                   | 0(%)  | 25(%) | 50(%) | 100(%) | 150(%) | 200(%) |
| 1       | 1                 |   | 38.0° | 34.0° | 33.0°  | 32.0°  | 32.0°  |
|         | 2                 | 55.0°   | 38.3° | 35.0° | 33.0°  | 33.0°  | 33.0°  |
|         | 3                 |   | 33.0° | 25.0° | 15.0°  | 5.0°   | 5.0°   |
| 2       | 1                 |   | 38.3° | 35.0° | 33.0°  | 31.0°  | 31.0°  |
|         | 2                 | 59.0°   | 38.0° | 35.0° | 33.0°  | 32.6°  | 32.6°  |
|         | 3                 |   | 33.0° | 25.3° | 14.6°  | 5.0°   | 5.0°   |
| 3       | 1                 |   | 40.0° | 35.5° | 34.0°  | 32.6°  | 32.6°  |
|         | 2                 | 64.6°   | 40.0° | 35.0° | 34.0°  | 32.3°  | 32.3°  |
|         | 3                 |   | 34.3° | 25.0° | 15.0°  | 5.0°   | 5.0°   |
| 4       | 1                 |   | 41.0° | 36.0° | 34.0°  | 32.3°  | 32.3°  |
|         | 2                 | 68.0°   | 40.0° | 35.3° | 34.0°  | 33.0°  | 33.0°  |
|         | 3                 |   | 34.3° | 25.3° | 16.3°  | 5.0°   | 5.0°   |
| 5       | 1                 |   | 42.0° | 36.0° | 34.5°  | 32.0°  | 32.0°  |
|         | 2                 | 78.3°   | 41.0° | 36.0° | 34.0°  | 33.0°  | 33.0°  |
|         | 3                 |   | 35.6° | 25.0° | 16.6°  | 5.0°   | 5.0°   |

4.2 충전율에 따른 최대마찰각의 변화

충전물이 없는 상태와 충전물의 두께를 변화시키면서 경사각측정실험을 실시한 결과, 절리거칠기 계수가 충전두께 백분률(f/a)에 대한 최대마찰각과의 관계는 Fig. 4, 5, 6과 같다. 실험은 절리거칠기의 크기를 측정하여 a값을 얻은후 충전물질의 두께(f)를 조절하면서 실시하였다.

Fig. 4,5,6에서 알 수 있는 바와 같이 충전물이 없을 때 최대마찰각은 절리거칠기 계수에 의해 커다란 영향을 받지만 충전물질의 충전백분율이 25%이상에서는 급격히 작아지는 경향을 보이며 25%~150%까지는 완만하게 변화하며 150%이상에서는 충전물질의 공학적특성에 따르는 일정한 값을 보인다.

즉 절리면의 최대마찰각은 충전물질이 충전되어 있지 않은 경우는 절리거칠기계수가 7 일때 55°의 최대마찰각을 보였고, 절리거칠기계수가 12에서는 78°의 최대마찰각을 보였다. 이것은 최대마찰각의 크기는 충전물질이 충전되어 있지 않으면, 절리면의 거칠기에 의해 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

또한 충전물질이 충전되면 최대마찰각의 크기는 절리면의 거칠기에 의한 영향보다는 충전물질의

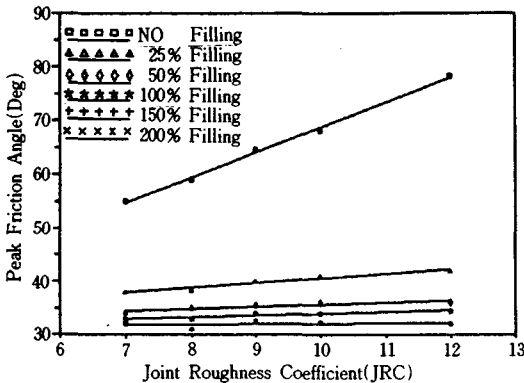


Fig. 4 Relationship between JRC and peak friction angle(Filling materials No. 1)

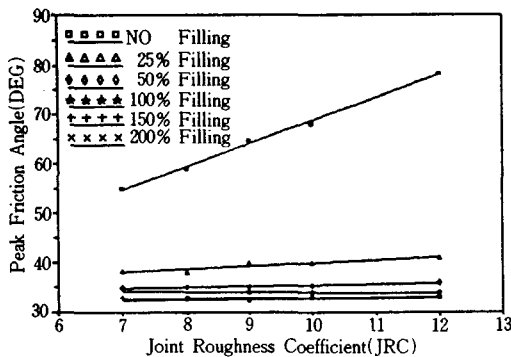


Fig. 5 Relationship between JRC and peak friction angle(Filling materials No. 2)

공학적인 특성에 의해 더욱 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉 충전율이 25%에서 최대마찰각은 절리면의 거칠기에 거의 영향을 받지않고 충전물질의 공학적인 특성에 영향을 받음을 알 수 있다. 충전물질의 충전율이 점점 증가하여 150% 이상이 되면 절리면의 최대마찰각은 절리거칠기에 관계없이 충전물질에 의해 일정한 값으로 수렴됨을 알 수 있

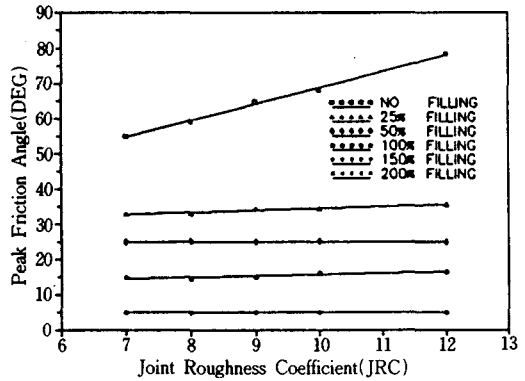


Fig. 6 Relationship between JRC and peak friction angle(Filling materials No. 3)

다.

충전물질이 석분인 경우 150%의 충전율에서 약 32°의 최대마찰각을 보였으며 충전물질이 점토질인 경우는 약 5°의 최대마찰각을 보임을 알 수 있었다.

또한 Fig. 7,8에서 알 수 있듯이 충전물질의 충전율이 25%일 경우, 절리거칠기 계수가 7-12로 증가함에 따라 충전물질 1,2에서의 최대마찰각은 38°~40°의 분포를 나타냈으며, 충전물질 3이 충전된 경우는 33°~35.6°의 분포를 보였으며, 충전율이 50%일때에는 충전물질 1,2에서는 최대마찰각이 34°~36°의 분포를 나타냈으며, 충전물질 3이 충전된 경우는 25°~25.3°의 분포를 나타내었다.

충전율이 100%로 증가함에 따라 최대마찰각은 33°~34.5°의 분포를 나타냈으며, 충전물질 3이 충전된 경우는 14.6°~16.6°로 변화하였고, 충전율이 150%, 200%일때는 각각의 경우에서 동일하게 JRC가 7-12로 증가할수록 충전물질 1,2의 경우에는 최대마찰각이 31°~33°의 분포를 나타냈으며, 충전물질 3이 충전된 경우는 5°를 나타내었다.

이것은 충전율이 150%이상에서의 최대마찰각은 충전물질의 특성에 지배받음을 의미한다. 또한 충

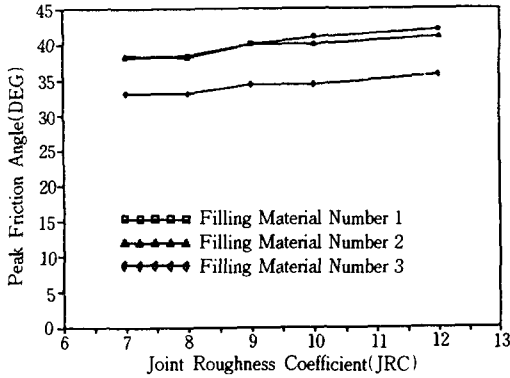


Fig. 7 Relationship between JRC and peak friction angle(Percent of filling 25%)

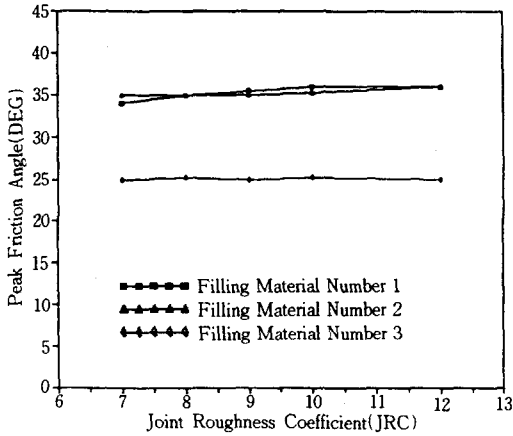


Fig. 8 Relationship between JRC and peak friction angle(Percent of filling 50%)

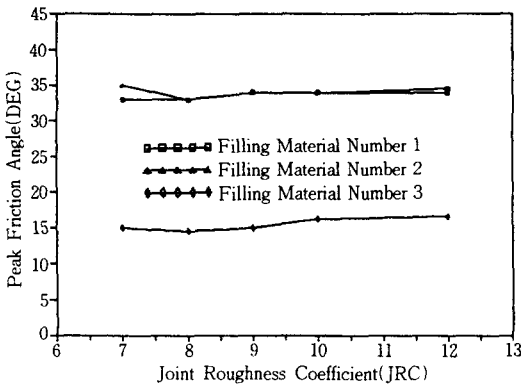


Fig. 9 Relationship between JRC and peak friction angle(Percent of filling 100%)

전물질이 충전되어 있는 경우는 절리거칠기가 증가함에 따라 최대마찰각의 변화가 거의 없는 경향을 나타내므로 충전물질이 충전되면 절리거칠기에 의한 영향보다는 충전물질의 특성에 최대마찰각이 지배됨을 나타낸다.

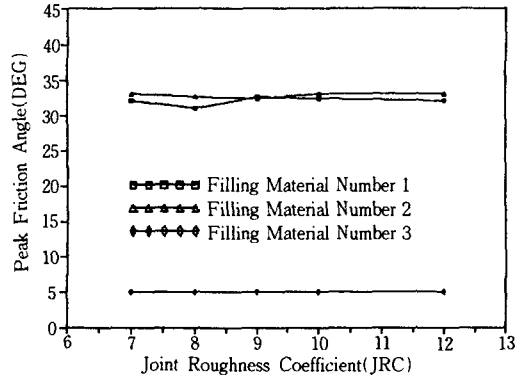


Fig. 10 Relationship between JRC and peak friction angle(Percent of filling 150%)

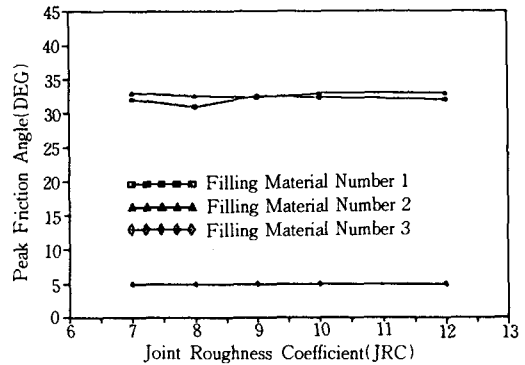


Fig. 11 Relationship between JRC and peak friction angle(Percent of filling 200%)

#### 4.3 절리거칠기계수와 최대마찰각의 관계

절리거칠기계수와 최대마찰각의 관계를 규명하기 위하여 Fig. 12와 같이 회귀분석 곡선을 그려보면, 절리거칠기 계수값이 커지면 최대마찰각의 값이 일정하게 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

즉 절리거칠기 계수값이 7에서 12로 증가 하면서 최대마찰각은 55°~78.3°로 일정하게 증가하는 경향을 보였다. 이 일정하게 증가하는 경향은 절

리저치기 계수값이 1씩 증가 할때마다 5.7°씩 증가함을 알 수 있었다.

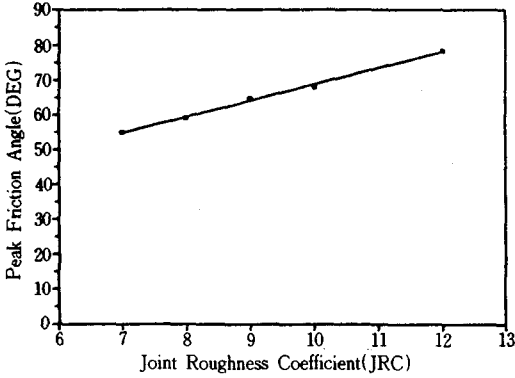


Fig. 12 Relationship between JRC and peak friction angle (No filling)

#### 4.4 절리면 전단강도의 변화

암반절리면에서의 전단강도에 미치는 영향은 절리저치기계수값에 의해 가장 큰 영향을 받으며 그 밖에 절리면의 강도, 수직응력 등에 의해 영향을 받지만 충전물질이 충전되어있을 때에는 전단강도가 급격히 작아진다. Table 4는 충전물질의 충전율에 따른 전단강도의 변화를 나타낸다.

Table 4 Shear strength by percent of filling

| JRC | Filling Material | Shear Strength by Percent of Filling(kg/cm <sup>2</sup> ) |        |        |        |        |        |
|-----|------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
|     |                  | 0(%)  | 25(%)  | 50(%)  | 100(%) | 150(%) | 200(%) |
| 7   | 1                |   | 0.0248 | 0.0231 | 0.0220 | 0.0197 | 0.0197 |
|     | 2                | 0.0428  | 0.0252 | 0.0243 | 0.0237 | 0.0202 | 0.0202 |
|     | 3                |   | 0.0205 | 0.0140 | 0.0140 | 0.0026 | 0.0026 |
| 8   | 1                |   | 0.0293 | 0.0252 | 0.0215 | 0.0192 | 0.0192 |
|     | 2                | 0.0499  | 0.0300 | 0.0273 | 0.0267 | 0.0207 | 0.0207 |
|     | 3                |   | 0.0207 | 0.0142 | 0.0078 | 0.0026 | 0.0026 |
| 9   | 1                |   | 0.0378 | 0.0286 | 0.0234 | 0.0192 | 0.0192 |
|     | 2                | 0.0632  | 0.0417 | 0.0317 | 0.0273 | 0.0189 | 0.0189 |
|     | 3                |   | 0.0205 | 0.0140 | 0.0080 | 0.0026 | 0.0026 |
| 10  | 1                |   | 0.0314 | 0.0270 | 0.0239 | 0.0189 | 0.0189 |
|     | 2                | 0.0743  | 0.0422 | 0.0317 | 0.0264 | 0.0195 | 0.0195 |
|     | 3                |   | 0.0205 | 0.0142 | 0.0087 | 0.0026 | 0.0026 |
| 12  | 1                |   | 0.0306 | 0.0239 | 0.0223 | 0.0187 | 0.0187 |
|     | 2                | 0.1449  | 0.0413 | 0.0333 | 0.0261 | 0.0202 | 0.0202 |
|     | 3                |   | 0.0215 | 0.0140 | 0.0089 | 0.0026 | 0.0026 |

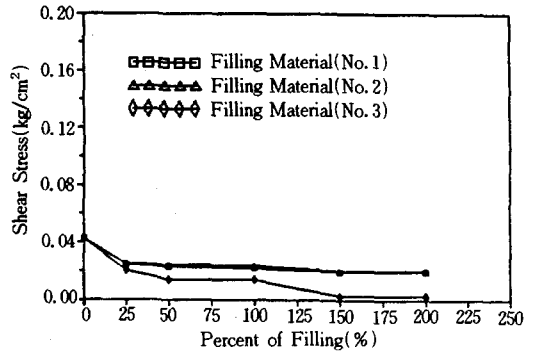


Fig. 13 Strength by percent of filling(JRC 7)

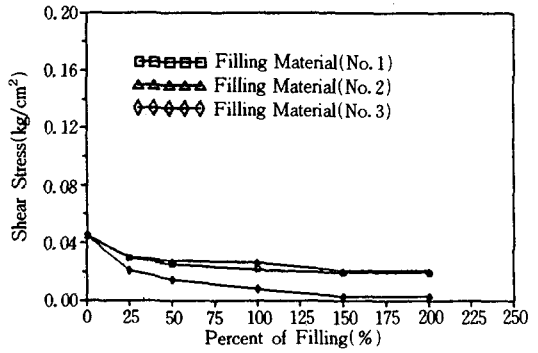


Fig. 14 Strength by percent of filling(JRC 8)

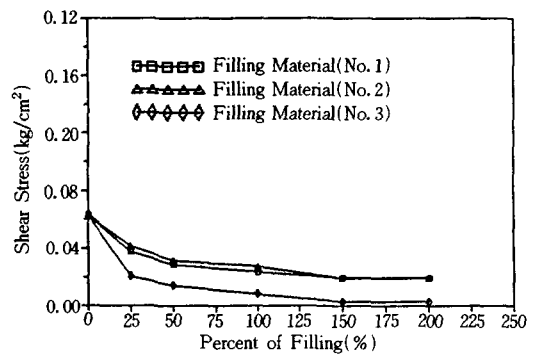


Fig. 15 Strength by percent of filling(JRC 9)



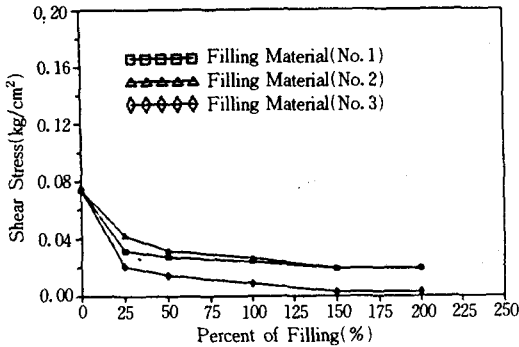


Fig. 16 Strength by percent of filling(JRC 10)

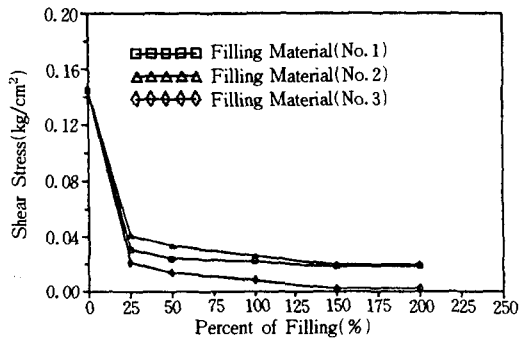


Fig. 17 Strength by percent of filling(JRC 12)

## 5. 결 론

암반절리면의 공학적특성을 경사각측정시험에 의해 비교, 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 절리거칠기 계수값이 7에서 12로 증가하면서 최대마찰각은 55°~78.3°로 일정하게 증가하는 경향을 보였으며 회귀분석결과 절리거칠기 계수가 1씩 증가할때마다 5.7°씩 증가 함을 알 수 있었다. 따라서 암반의 절리거칠기 계수가 커질수록 최대마찰각은 커지므로 암반이 안정함을 알 수 있다.
- 2) 충전율이 150% 이상에서는 충전물질이 석분인 경우 최대마찰각은 약 32°이며, 충전물질이 점토질인 경우는 최대마찰각이 약 5°로 나타났다. 따라서 충전물질의 종류 및 충전율에 따라 최대마찰각의 크기가 결정되어짐을 알 수 있다.

- 3) 암반절리면에 충전물질이 있을 때에는 절리면의 전단강도는 충전물질의 전단강도에 의해 많은 영향을 받으며, 충전물질이 최대거칠기 높이의 150% 이상이 충전되면 최대마찰각은 충전물질의 마찰각에 근접한 값을 보이므로 충전물질의 물리적성질에 의하여 최대마찰각을 결정함이 바람직하다.

본 연구는 작은 크기의 암석을 이용, 경사각 측정시험에 의한 절리면의 전단특성에 관한 연구결과로 크기 효과는 고려되지 않았으므로, 향후 현장시험을 통한 연구와 현장 암반에서 절리면 거칠기 특성을 나타낼 수 있는 기법에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 1) Brady, B.H.G., and E. T. Brown, Rock Mechanics for Underground Mining, pp.117~128, 1985.
- 2) Brown, E. T., Rock Characterization Testing and Monitoring, p.29, 1981.
- 3) Hoek, E., and J. W. Bray, Rock Slope Engineering, Revised Third Edition, pp.83~102, 1981.
- 4) 권장혁, 암반절리면의 공학적 특성에 관한 연구, 한양대학교, 1991.
- 5) Hoek, E., and E.T. Brown, Underground excavations in rock, Institution of Mining and Metallurgy, pp.131~177, 1980.
- 6) Barton, N., S. Bandis and K. Bakhtar, Strength, Deformation and Conductivity Coupling of Rock Joint, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstract, pp.121~140, 1985.
- 7) 糸茄敏明, 寺田, 岩盤不連續面の表面形狀特性がせん斷強度に及ぼす影響について, 第8回 岩の力學國內シンポジウム, 1990.
- 8) 清水泰弘, 市川康明, 川本脱万, 不連續性 岩盤斜面の崩壞形狀に關する 實驗的研究, 第8回 岩の力學國內シンポジウム, 1990.
- 9) 한국도로공사, 사면안정처리에 관한 연구 (I), 1991.