

## 충전된 절리면의 전단특성에 관한 기초연구

김용준<sup>1)\*</sup>, 이영휘<sup>2)</sup>, 도성규<sup>3)</sup>

### Basic Study on Shear Characteristics of Filled Rock Joint

Yong-Jun Kim, Young-Hui Lee and Sung-Kuy Do

**Abstract** In this study, a new direct shear apparatus was developed to investigate the shear characteristics of the rock joints at various conditions. Using the developed apparatus, various experiments on filled rock joints were carried out considering the asperity angle, the normal stress, the type and thickness of filling material and to investigated the basic shear characteristics of filled rock joints were analyzed.

According to the experiments performed under the constant normal stress condition by varying the asperity angle, the type and thickness of filling material, it was shown that the behavior and strength of filled rock joint could be defined by the type and thickness of the filling material. The dilation angle of the filled joints was found to be smaller than that of unfilled rock joint, and thereby, the effect of roughness was also reduced due to the filling material. And critical thickness ratio varied according to stress level and roughness as well as the type of filling materials.

**KeyWords** Rock joint, Filling material, Asperity, Shear strength, Critical thickness

**초 록** 본 연구에서는 다양한 경계조건에서 충전물을 포함한 절리면의 역학적 특성을 규명할 수 있는 절리면 전단시험 장비를 개발하였다. 그리고 개발된 시험장비를 이용하여 돌출부 경사, 수직응력, 충전물 종류 및 두께 변화에 따른 전단시험을 수행하고 충전된 절리면의 전단특성을 고찰하였다.

일정수직응력 조건에서 충전물 종류 및 두께, 돌출부 경사, 수직응력 등을 변화하여 실험을 수행한 바에 의하면 충전된 절리면의 거동과 강도특성은 절리면의 거칠기, 충전물 두께와 종류에 따라 영향을 받는 것으로 나타났으며, 충전물이 없는 절리면과 비교할 때 팽창각이 감소하여 거칠기 영향이 충전물에 의해 감소되는 것으로 나타났다. 그리고 한계두께비는 충전물 종류뿐만 아니라 응력수준, 거칠기에 따라서도 다른 것으로 나타났다.

**핵심어** 암석절리, 충전물, 돌출부, 전단강도, 한계두께

## 1. 서 론

대부분의 암반은 불연속면을 가지고 있으며, 암반의 거동은 대개 이들 불연속면을 따라 발생한다. 불연속면을 묘사하는데 필요한 요소인 거칠기, 강도, 간극 등에 대해서는 ISRM(1978)에서 상세히 검토된 바 있으며, 이들 요소 중에서 암반구조물의 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 절리면 내에 존재하는 충전물(filling material)의 존재 유무이다. 그리고 불연속면의 역학적

거동에 영향을 미치는 충전물의 특성들로는 충전물의 광물구성, 입도 분포, 함수비, 전단변형 이력, 절리면의 거칠기 등이 있으며, 이러한 특성은 지표지질조사나 실내시험을 통해 기록되거나 조사된다. 그러나 충전물의 종류와 형태가 매우 다양하고 암석절리면의 특성에 따라 상호 작용이 복잡하기 때문에 안정성 평가시에는 그 특성을 단순화 하여 구조물 설계에 적용하고 있다. 따라서 암석 돌출부와 흙의 상호작용에 의해 복잡한 형상으로 나타나는 충전된 절리면의 공학적 특성에 대하여 암반역학과 토질역학의 경계점이 되는 한계치를 구분하고 그 특성을 규명하는 것은 충전된 불연속면을 가진 암반구조물 설계에 상당히 유용하다.

본 연구에서는 대구·경북 지역에 분포하는 충전물을 채취하여 X-ray 회절분석과 기본 물성시험 등을 통해 그 특성을 조사하고, 새로 개발된 암석절리면 전단

<sup>1)</sup> 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 토목설계지원팀 과장

<sup>2)</sup> 영남대학교 공과대학 토목도시공학부, 교수

<sup>3)</sup> 영남대학교 공과대학 토목도시공학부 토목공학과, 석사과정

\*교신저자(Corresponding Author): 9yjkim9@hanmail.net

접수일: 2004년 9월 8일

심사 완료일: 2004년 9월 24일

시험기를 이용하여 충전된 절리면에 대해서 충전물의 종류·두께와 절리 거칠기의 변화에 따른 충전된 절리면의 전단시험을 수행하여 충전된 절리면의 전단특성을 고찰하였다.

## 2. 충전물 특성

### 2.1 충전물 분류

충전물은 불연속면에서 인접한 암석 벽면을 분리시키는 물질(ISRM, 1978)로 정의되며, 보통 모암 보다 강도가 약한 경우가 대부분이다. 전형적인 충전물로는 모래, 점토, gouge 그리고 압쇄작용에 의해 원암의 광물이 모두 파쇄되어 미립결정의 집합체로 변화된 압쇄암, 압쇄각력암, 단층각력암 등이 있다(Barton, 1974).

Barton(1974)은 충전된 절리면의 발생기원을 변위이력과 하중이력으로 구분하고 충전된 절리면의 특징을 Fig. 1과 같이 분류하였다. Barton(1974)은 충전물의 발생기원과 다양성을 강조하기 위하여 변위이력에 따라 2가지로 분류하였다. 그리고 하중이력에 따라서 정규압밀과 과압밀로 구분하여 충전물의 특성에 대하여 언급하였다.

첫 번째 그룹은 오랜 기간에 걸쳐 전단변위를 겪은 것으로서 단층, 전단대, 점토 압쇄암, 활동이 발생한 층리면 등이 있다. 이중 점토 압쇄암과 활동이 발생한 층리면 내에 존재하는 충전물은 습곡작용이나 중력에 의해 활동이 발생하는 동안에 불연속면에 존재하는 충전물이 재형성된 것이며 충전물 내에 활동면을 가지고 있다. 그러나 단층, 전단대 내에 존재하는 충전물은 전단과정 중에 모암에서 발생한 각력이나 gouge 등으로 충전되고 풍화의 진행에 따라 세립의 입자로 변질되며, 점토입자는 우세한 응력방향을 따라 방향성을 가지기도 한다.

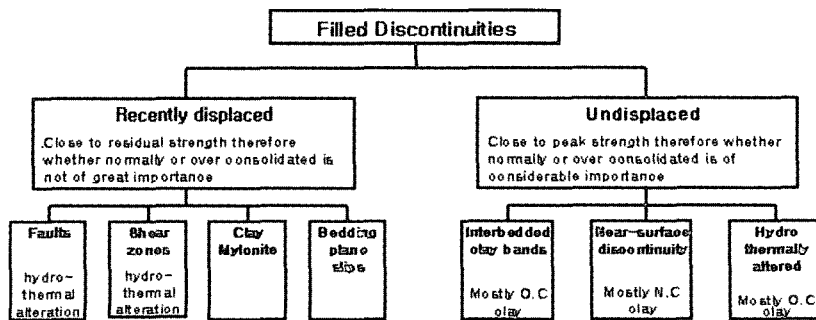
변위가 발생하지 않은 두 번째 그룹은 셰일, 사암, 석회암과 같이 강도가 약한 퇴적암에서는 변질층이나 점토층으로 나타나며, 화강암과 변성암에서는 변질정도에 따라 충전물의 종류가 매우 다양하며, 그 규모도 변성에 대한 저항정도에 따라 폭이 수 mm에서 수 m로 매우 폭 넓게 나타난다. 이때 형성된 점토입자는 정수역학적인 특성 때문에 특정한 방향성을 나타내지는 않는다.

그리고 Barton(1974)은 변위이력에 따른 구분 이외에도 추가적으로 점토 충전물에 대해서 정규압밀인지 과압밀인지 구분하고자 하였다. 이는 굴착에 의한 충전된 절리면에 제하가 발생할 경우 점토층 내에서 발생하는 연화(softening), 팽창(swelling), 간극수압의 변화를 간과하는데 그 구분 근거를 찾을 수 있으며, 공학적인 설계에서 이런 특성을 고려하여야 하는 것으로 언급하고 있다.

### 2.2 충전된 절리면의 전단특성

직접전단시험에서 나타나는 충전된 절리면의 전단특성을 Phien-wej 등(1990)은 Fig. 2와 같이 조사하였다. 충전물의 두께가 두꺼울수록 최대전단강도가 발현되는 전단변위는 커지며, 최대강도는 감소한다. 그리고 충전물 두께가 두꺼워질수록 수직변위는 팽창에서 압축으로 변화한다.

Fig. 2에 나타난 바에 의하면 연약한 충전물의 분포는 절리면의 전단강도와 강성에 영향을 주며, 전단 동안에 절리면의 돌출부(asperity)의 접촉 발생 유무에 따라 그 특성이 달라진다. 만약 충전물의 두께가 얇다면 암석의 미세한 구조가 지워지더라도 암석의 마찰특성에 의해 지배되며, 이때 기본마찰각(basic friction)은 감소한다. 그러나 충전물이 매우 두껍다면 전단거동은 절리면의 거칠기와는 상관없이 충전물에 의해 그 특성이 나타날



O.C : Over Consolidated  
N.C : Normal Consolidated

Fig. 1. Simplified Classification of filled discontinuities (Barton, 1974)

것이다. 그리고 실제 암반에 존재하는 충전된 절리면은 충전물의 불균질한 수평분포, 비정상적인 간극수압, 충전물의 압밀차이(정규압밀, 과압밀), 절리표면의 돌출부의 불규칙적인 분포가 조합되어 예상치 못한 거동을 나타내기도 한다.

Nieto(1974)는 충전된 절리면의 전단거동을 절리면의 돌출부와 충전물의 상호작용에 근거하여 3가지 범주로 구분하였다. 맞물림(interlocking)은 충전물 두께가 매우 얇아서 전단동안에 돌출부의 접촉이 발생하는 경우이며, 간섭(interfering)은 전단동안에 충전물에 의해 돌출부의 접촉은 발생하지 않으나 돌출부의 지형학적인 특성에 의해 충전된 절리면의 강도가 충전물의 강도보다 큰 경우이다. 그리고 충전물이 돌출부 높이보다 두꺼워 전단동안에 돌출부의 접촉이 발생하지 않고 충전물에 의해 전단특성이 결정되는 것을 비간섭(noninterfering)으로 정의하였다.

암석 돌출부와 흙의 상호작용에 의해 복잡한 형상으로 나타나는 충전된 절리면의 공학적 특성에 대하여 암반역학과 토질역학의 경계점이 되는 한계치를 구분하는 것은 구조물 설계에 있어 편리하며, 이 경계점이 되는 충전물의 두께를 한계두께(critical thickness,  $t_{crit}$ )라

고 한다. 한계두께를 가진 충전된 절리면의 전단강도는 충전물의 강도와 같다. 그리고 절리면의 돌출부높이(a)와 한계두께( $t_{crit}$ )의 비를 한계두께비(ratio of critical thickness,  $t_{crit}/a$ )라고 하며, 여러 연구자에 의해 얻어진 한계두께비를 Table 1에 나타낸다. 일반적으로 충전물의 종류에 따라 한계두께비(ratio of critical thickness,  $t_{crit}/a$ )는 다른 것으로 알려져 있다.

### 3. 국내에 존재하는 충전물의 특성

국내에 분포하는 충전물의 물리·역학적 특성을 알아보기 위하여 대구, 경북 일원에 분포하는 사면에서 모암과 충전물에 대해서 XRD(X-ray Diffraction) 및 기본 물리적 특성실험을 수행하였다. 충전물을 포함하고 있는 절리면은 풍화정도가 대개 SW(slightly weathered)-MW(moderately weathered)인 것으로 조사되었으며, 충전물을 포함하지 않은 불연속면 보다 풍화가 더 진행된 것으로 관찰되었다.

충전물이 채워진 불연속면에서 변위이력은 없었으나 5-10 mm 정도의 틈 사이로 지하수 누수흔적이 관찰되었다. 이런 경우 충전물은 지표수 침투시 발생하는 모

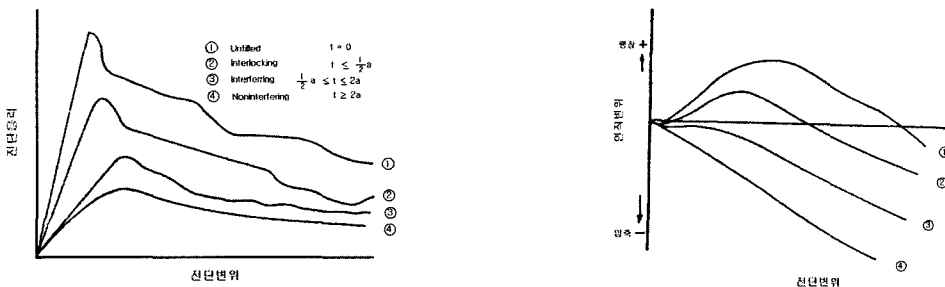


Fig. 2. Generalized shear characteristics of filled joints (Phien-wej et al, 1990)

Table 1. Ratio of critical thickness with filling material (Toledo & Freitas, 1995)

| Class    | filling material | ratio of critical thickness ( $t_{crit} / a$ ) |                        |
|----------|------------------|--|------------------------|
|          |                  | Natural/tension joint                          | Regular joints (tooth) |
| Clayey   | kaoline          |  | > 1.0                  |
|          | kaoline          | 1.0  |                        |
|          | kaoline          | 0.6  |                        |
|          | Fault clay       |  | 1.0                    |
| Granular | mica             |  | > 1.3                  |
|          | marble dust      | 1.3  |                        |
|          | fuel ash         | 1.5  |                        |
|          | bentonite(*)     |  | 2.0                    |
|          | clayey sand      |  | 2.3                    |

(\*) Oven-dried bentonite

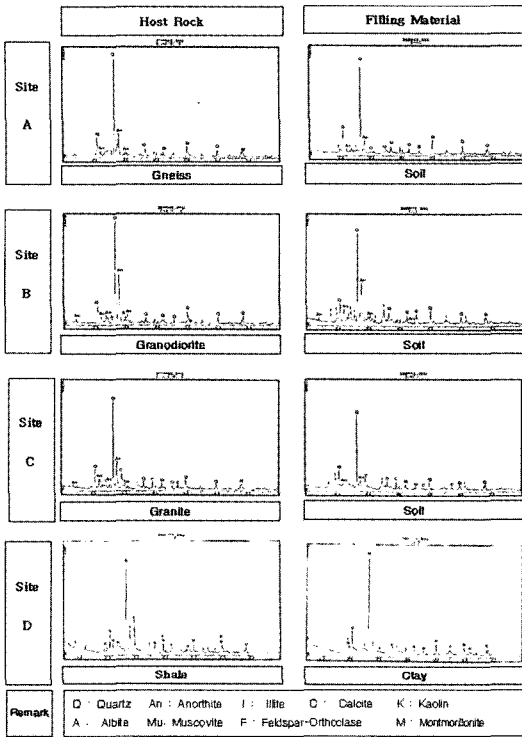


Fig. 3. XRD spectrum obtained for rock and filling material

암의 풍화나 노두에 분포하는 흙이 절리면 사이에 유입할 수 있으므로 모암, 충전물, 노두 근처에 분포하는 흙에 대하여 XRD 분석을 실시하였다. 그 결과에 의하면 지표나 노두 근처에 분포하는 흙은 모암과 광물성분이 달랐으나 충전물은 모암의 광물성분과 거의 유사하게 나타났으며, 암석의 풍화에 의해 점토광물인 일라이트

(illite)가 존재하는 것으로 나타났다.

모암과 충전물에 대해 실시한 XRD 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 분석결과에 의하면 모암과 충전물의 광물성분은 차이가 거의 없었으나, 구성광물의 강도(intensity)가 달라서 함유량은 다소 차이가 있는 것으로 판단된다. 그러나 세일층에 발달한 수직절리에 분포하는 점토 충전물은 모암의 광물성분과 차이가 있었으며, 세일의 풍화 등급별로 XRD 분석을 실시하였으나 풍화에 따른 광물 성분 변화를 정량적으로 나타내지는 못하였다. 채집된 충전물에 대해서 비중, 아터버그 한계치, 입도시험과 같은 물리적 시험을 수행한 결과를 Table 2에 나타내었다.

#### 4. 충전된 절리면 진단시험

##### 4.1 시험장비

본 연구에서 절리면의 진단강도를 측정하기 위하여, 절리면 진단시험장비를 신규 제작하였다. 새로이 개발·제작된 시험장비는 절리면의 경계조건의 변화, 충전물의 전단, 주기전단, 수직압축 시험 등을 할 수 있도록 제작되었다. 개발된 진단시험장비의 전경은 Fig. 4에 나타내었다. 그리고 본 시험장비의 작동을 위해 Lab Windows/CVI를 이용하여 운영 프로그램을 개발하였다. 제어방식은 컴퓨터에서 지시한 명령을 실제 발생한 변위나 하중을 피드백하여 그 차이를 최소화하며, 시스템 제어과정을 최상의 상태로 유지하는 PID(Proportional-Integral-Derivative) 알고리즘에 의한 제어 방식을 사용하였다.

##### 4.2 시험재료

본 시험에서 사용한 절리면 시료는 틸니 형상의 일정한 각을 가진 유사암석(rock-like) 시료이며, (시멘트 :

Table 2. Physical properties of a various filling materials

| Site | Host Rock    | Filling Material                   |                                    |                                       |   |         |
|------|--------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|---------|
|      |              | Specific Gravity (G <sub>s</sub> ) | Liquid Limits (w <sub>L</sub> , %) | Plasticity Index (I <sub>p</sub> , %) | Effective Diameter (d <sub>10</sub> , mm) | U.S.C.S |
| A    | Gneiss       | 2.63                               | 28.3                               | 12.7                                  | 0.011                                     | SC      |
| B    | Gronodiorite | 2.64                               | 28.3                               | 12.7                                  | 0.06                                      | SC      |
| C    | Granite      | 2.67                               | 24.5                               | 11.8                                  | 0.0081                                    | SC      |
| D    | Shale        | 2.69                               | 63.8                               | 33.1                                  | 0.01                                      | CH      |
| E    | Andesite     | 2.59                               | 32.2                               | 15.7                                  | 0.025                                     | SC      |
| F    | Andesite     | 2.77                               | 23.1                               | 7.9                                   | 0.016                                     | SC      |
| G    | Gneiss       | 2.57                               | 29.0                               | 11.1                                  | 0.0040                                    | CL      |
| H    | Granite      | 2.67                               | 25.5                               | 11.6                                  | 0.0071                                    | SC      |
| I    | Limestone    | 2.74                               | 66.8                               | 22.9                                  | -   | CH      |

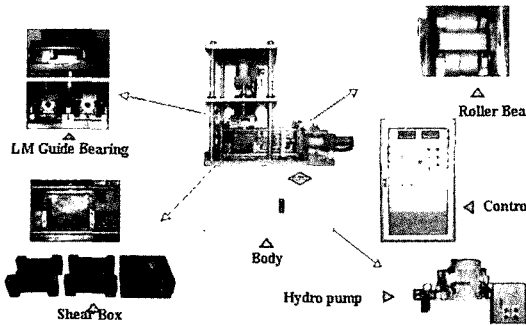


Fig. 4. View of direct shear test apparatus for rock joint

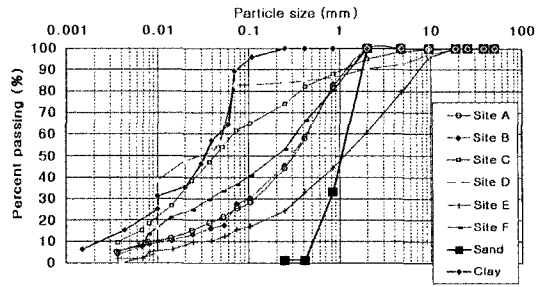


Fig. 6. Particle size distribution curve of filling materials

모래) : 물 = (1 : 0.3) : 0.2의 중량비로 배합한 후 성형 몰드에 타설하고 60일간 양생한 후 시험에 사용 하였다. 이때 유사암석 시료의 크기는 폭×길이×높이=150×150×100 mm이며, 돌출부 높이는 10 mm이다. 절리 경사각( $i$ )은  $0^\circ$ ,  $9^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ 이며, 그 형상을 Fig. 5에 나타내었다. 유사암석 시료의 물리·역학적 특성을 Table 3에 나타내었다. 자연상태에 분포하는 충전물은 그 양이 제한적이어서 연구목적에 부합한 양을 확보하기가 어려웠다. 이에 조사된 지역에서 채취된 충전물의 물리·역학적 특성을 조사하고 이 범주에 포함될 수 있도록 인위적으로 입도조정이 된 모래, 점토와 같은 인공 충전물을 사용하였다.

주문진 표준사( $d_{10}=0.5$  mm)와 점토( $d_{10}=0.0025$  mm) 충전물의 입도분포 곡선을 자연사면에서 채취된 충전물과 같이 Fig. 6에 나타내었으며, 물리 역학적 특성을 Table 4에 나타내었다.

4.3 충전물 두께조절

충전된 절리면은 충전물 두께와 수직응력 수준에 따라 압축특성이 달라지므로, 소요 두께별 전단특성을 고찰하기 위해서는 절리면 내에 형성되는 충전물의 초기 높이를 결정하여야 한다. 본 연구에서는 시료의 초기 밀도를 동일하게 하여 각 두께별로 수직압축시험을 수행하고 소요 두께별로 수직응력 수준에 따른 초기 두께

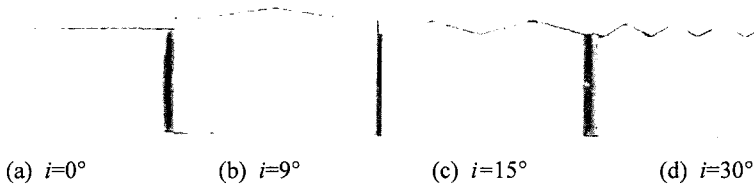


Fig. 5. Shape of rock-like specimen (saw tooth)

Table 3. Properties of rock-like specimen

| Uniaxial Compression Strength ( $\sigma_c$ , kg/cm <sup>2</sup> ) | Seismic Velocity (km/s) |        | Point Load ( $I_{s(50)}$ , kg/cm <sup>2</sup> ) | Schmidt Hammer Rebound Value |      |
|---|-------------------------|--------|---|------------------------------|------|
|   | P-wave                  | S-wave |   | wet                          | dry  |
| 379.6   | 3.27                    | 2.30   | 22.7  | 36.9                         | 39.8 |

Table 4. Properties of filling material

| filling material | $G_s$ | W <sub>L</sub> (%) | I <sub>p</sub> (%) | $d_{10}$ (mm) | cohesion (c, kg/cm <sup>2</sup> ) | friction ( $\phi$ , °) | U.S.C.S |
|------------------|-------|--------------------|--------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------|---------|
| Sand             | 2.66  | -                  | NP                 | 0.5           | 0                                 | 32.1                   | SP      |
| Clay             | Dry   | 52.50              | 29.00              | 0.0025        | 0                                 | 34.3                   | CH      |
|                  | Wet   |                    |                    |               | 0.21                              | 17.1                   |         |

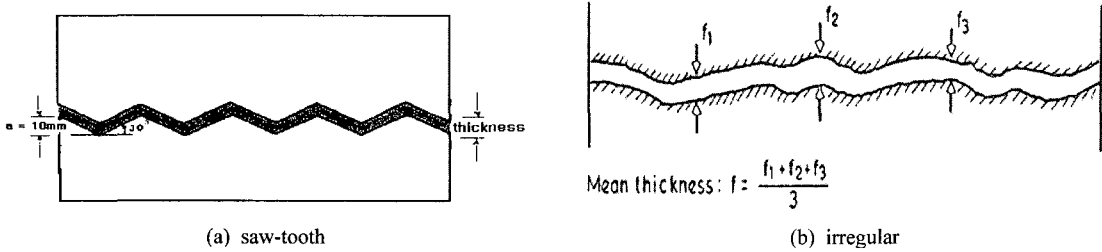


Fig. 7. Schematic for thickness measurement of filling materials

를 결정한 후 전단시험을 수행하였다.

충진된 절리면의 전단시험을 수행하는 중에 충전물의 압출이나 흘러내림이 없이 시험 동안 일정한 전단면을 유지하여야 한다. 이를 위해 충전물 분출을 방지할 수 있는 충전물 성형틀을 제작하였다. 이 장치는 전단동안 충전물의 흘러내림과 분출을 억제하고 성형틀의 간섭을 받지 않는 크기로 제작하였다. 그러나 고풍수비의 점토 시료에서는 수직응력 재하시 충전물이 압출되고 측압에 의해 성형틀에 변형이 발생하였다. 좀 더 다양한 조건에서 충전된 절리면의 전단특성을 조사하기 위해서는 자연 절리면에 존재하는 상태와 유사한 조건에서 충전물 시료를 형성할 수 있는 방안을 추가적으로 검토하여야 할 것으로 판단된다. 충전물 두께조절은 절리면 위에서 동일한 두께가 되도록 하였으며, 충전물 두께 측정의 모식도를 Fig. 7에 나타내었다.

## 5. 충전물의 전단특성

### 5.1 충전된 절리면의 전단거동

절리면 사이에 분포하는 충전물의 두께변화에 따른 전단특성을 살펴보기 위해서 돌출부 경사각( $i$ )이 0, 9, 15, 30°의 톱니형 돌출부를 가진 인공 절리면에 표준사 두께를 30 mm까지 변화하면서 수행한 실험결과를 Fig. 8, 9에 나타내었다. Fig. 8에 나타난 바에 의하면, 충전물 두께가 증가함에 따라 최대전단강도는 절리경사각에 상관없이 모두 감소하였다 그리고 절리경사각에 따라 다소 차이는 있으나 일정한 두께 이상에서 최대전단강도는 거의 일정해지는 것으로 나타났다. 그리고 돌출부의 지형에 의해 간섭(interfering)이 발생하는 충전물 두께에서 전단응력은 전단변위에 따라 계속 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 전단시 절리면 사이의 충전물이 압축되어 충전물의 밀도가 증가되고 이로 인해 전단응력이 점진적으로 증가한 것으로 판단된다. 그러나 충전물 두께가 20 mm 이상에서는 전단변위에 따른 전단응력이 일정해져 돌출부의 영향은 거의 없는 것으로 나

타나고 있다.

충전물 두께 증가에 따른 수직변위 특성은 Fig. 9에 나타내었다. 충전물이 없는 경우 팽창각은 돌출부 경사각과 동일하게 나타났으며, 돌출부 높이에 대한 충전물의 두께비( $t/a$ )가 0.2인 경우는 깨끗한 절리면에 비해 팽창각은 다소 감소하였지만 팽창하는 특성을 나타내었다. 그러나 두께비( $t/a$ )가 0.5 이상에서는 전단시 수직변위는 팽창에서 압축으로 변화하였다. 충전물 두께비( $t/a$ )가 1.0 이상에서는 충전물 두께가 두꺼울수록 압축량은 다소 크게 나타났지만 뚜렷한 차이를 나타내지는 않았다.

Fig. 8, 9에서 살펴본 바와 같이, 돌출부에 의해 간섭이 발생하는 두께비 이상에서 전단이 발생하더라도 암석면과 암석면의 접촉은 발생하지 않고 전단에 의해 절리면 내 충전물의 밀도를 증가시키는 것으로 판단된다. 그리고 비간섭(noninterfering)이 발생하는 두께비 이상에서 돌출부 경사각의 영향은 거의 없으며, 전단특성은 토질역학적 관점에서 검토되어야 하는 것으로 나타났다.

### 5.2 최대 전단강도의 변화

충전물 종류별로 두께비 증가에 따른 최대전단강도 변화특성을 돌출부 경사각 별로 Fig. 10에 나타내었다. 이때 수직응력은 수준은 1 kg/cm<sup>2</sup>이다. Fig. 10에서 충전물 두께가 증가할수록 최대전단강도는 감소하는 것으로 나타났으며, 감소폭은 거칠기가 클수록 더 크게 나타났다. 그리고 젖은 점토시료에서는 작은 두께비에서도 전단강도 감소가 크게 나타나서 강우시 지표수 침투에 의해 절리면 내에 유입되는 흙이나 풍화에 의해 형성된 충전물에 의해 절리면의 거동이나 강도에 상당한 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 충전물 두께 증가에 따른 전단강도 감소를 강도감소율로 비교해 본 결과 충전물의 강도에 따라 강도감소율은 다소 차이가 있으나, 절리 경사각 30°인 경우는 충전되지 않은 경우에 비해 약 80%까지 강도감소가 발생하는 것으로 나타났다.

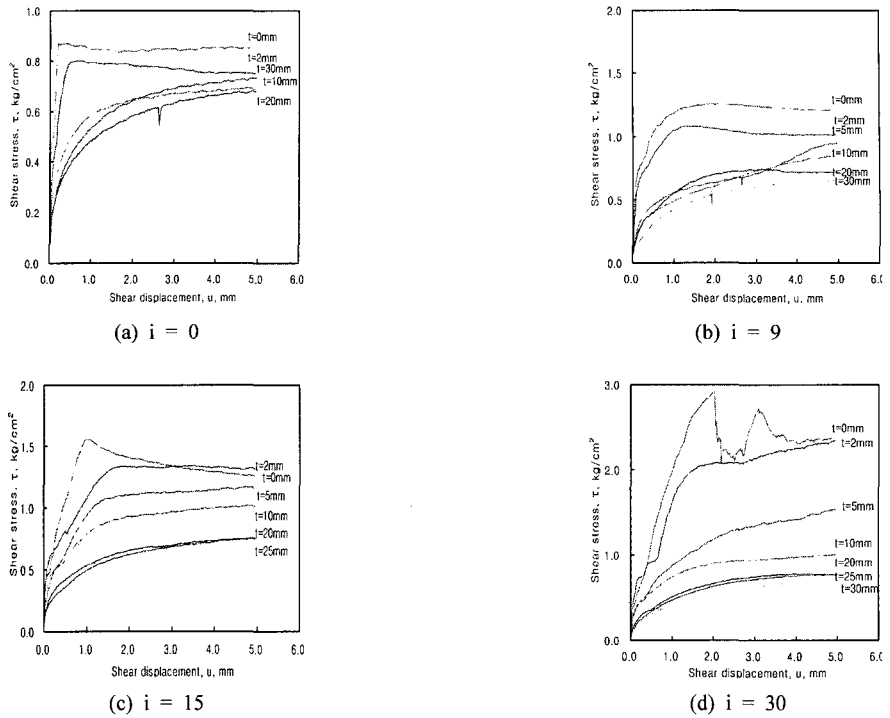


Fig. 8. Shear displacement-Shear stress curves for various thickness of filling material

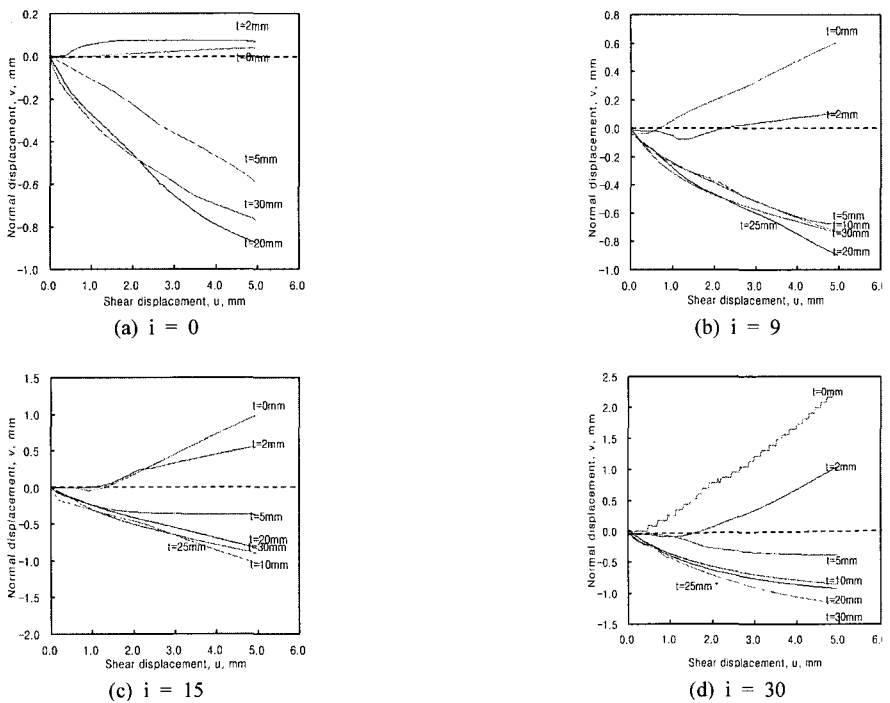


Fig. 9. Shear displacement-normal displacement curves for various thickness of filling material

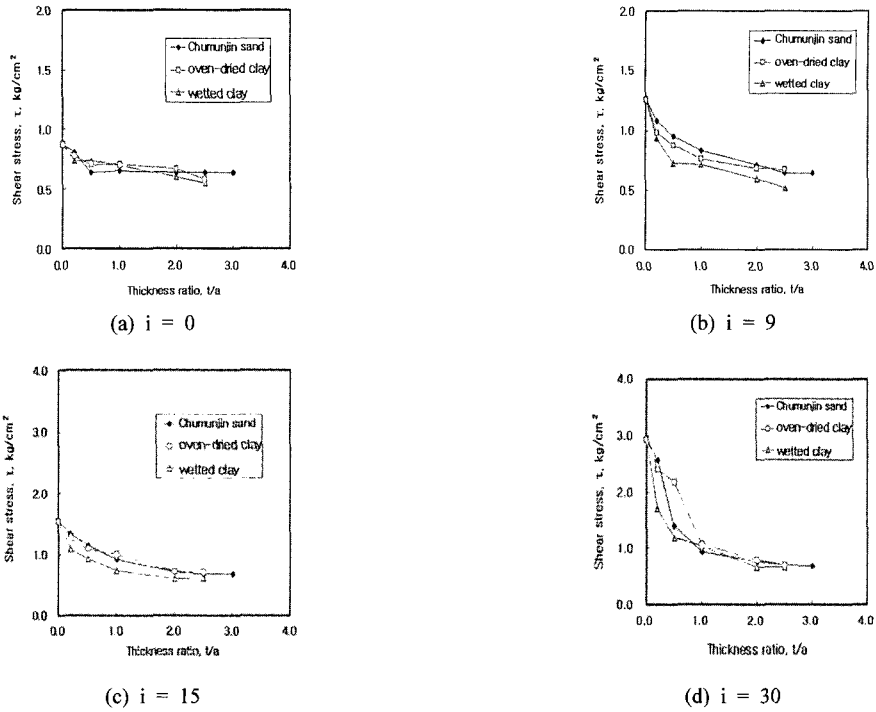


Fig. 10. Peak shear strength of filled rock joint

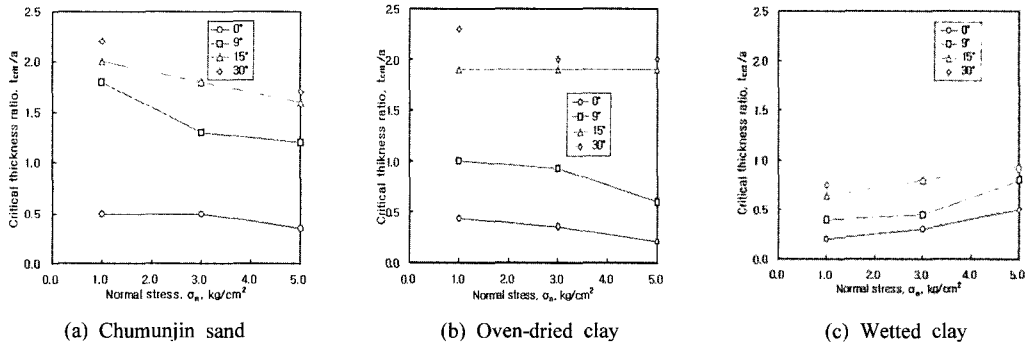


Fig. 11. Variation of critical thickness ratio with normal stress

## 6. 한계 두께비의 고찰

충전된 절리면은 충전물의 두께가 증가함에 따라 돌출부 경사, 수직응력, 충전물 종류 등에 상관없이 전단강도가 감소하며, 일정한 두께 이후에는 전단강도의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이러한 한계두께비의 변화 특성을 충전물별로 Fig. 11에 나타내었다. 그리고 전단강도가 일정해지는 한계두께비( $t_{crit}/a$ )는 돌출부 경사각, 수직응력, 충전물의 종류에 따라 다르게 나타났다. 입상토인 표준사와 건조상태의 점토는 수직응력의 증가에

따라서 한계두께비( $t_{crit}/a$ )가 감소하는 것으로 나타났으나, 함수비를 가진 젖은 점토에서는 수직응력의 증가에 따라 한계두께비는 약간 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 입상토에서는 수직응력이 클수록 흙입자와 벽면마찰이 작아지는 특성인 것으로 사료된다. 그러나 점성토에서는 비배수 상태에서 전단이 발생하여 수직응력 수준에 크게 영향을 받지 않은 것으로 생각된다. 그리고 돌출부 경사각에 따른 한계 두께비는 돌출부 경사가 클수록 증가하고, 함수비를 가진 점토에서는 증가 특성이 다소 낮게 나타났다.



## 7. 결 론

대구·경북지역의 암반사면에 분포하는 충전물에 대해 광물성분 분석과 기본 물성시험을 통해 그 특성을 조사하였다. 그리고 충전된 절리면의 전단특성을 고찰할 수 있는 절리면 전단시험장비를 제작하여 일정수직응력 조건에서 기본적인 절리면 전단시험을 수행하고, 충전물 종류, 수직응력 수준, 거칠기에 따른 한계두께비에 의한 전단특성을 고찰하고 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 국내 사면에 분포하는 충전물을 채취하여 XRD 분석을 실시한 결과 지표나 노두에 분포하는 흙은 모암과 광물성분이 달랐으나, 절리면 내에 분포하는 충전물은 모암의 광물성분과 차이는 거의 없었으나 강도(intensity)가 다르게 나타나서 구성광물의 함유량은 다소 차이가 있는 것으로 나타났으며, 암석의 풍화에 의해 점토광물인 일라이트(illite)가 존재하는 것으로 나타났다.
- 2) 충전물 두께가 증가함에 따라 최대전단강도는 절리경사각에 상관없이 모두 감소하였다 그리고 절리경사각에 따라 다소 차이는 있으나 일정한 두께 이상에서 최대전단강도는 거의 일정해지는 것으로 나타났다. 그리고 돌출부의 지형 영향으로 간섭(interfering)이 발생하는 충전물 두께에서 전단응력은 전단변위에 따라 계속 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 전단시 절리면 사이의 충전물이 압축되어 충전물의 밀

도가 증가되고 이로 인해 전단응력이 점진적으로 증가한 것으로 판단된다. 그러나 한계두께비 이상에서는 충전물에 의해 거칠기의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

- 3) 복잡한 형상으로 나타나는 충전된 절리면의 특성을 공학적 설계에서 적용할 때 암반역학과 토질역학의 경계점이 되는 한계치를 정의하는 것은 편리하며, 충전된 절리면의 전단강도가 일정해지는 한계두께비는 충전물 종류, 수직응력 수준, 거칠기에 따라 다르게 나타났으며, 거칠기가 작고 충전물의 강도가 낮을수록 한계두께비는 작았다.

## 참고문헌

1. ISRM, 1978, Suggested Methods for quantitative description of discontinuities in rock mass, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 13, 319-368.
2. Barton N., 1974, Review of a new shear strength criterion for rock joints, Engineering Geology, Vol. 7, 287-332.
3. Nieto, A. S., 1974, Experimental study of the shear stress-strain behavior of clay seams in rock masses, Ph. D. Thesis, University of Illinois.
4. Phien-wej, N., Shrestha, U. B. and Rantucci, G., 1990, Effect of infill thickness on shear behaviour of rock joints, Proc. Int. Conf. on rock joints, Leon, Norway, 289-294.
5. Toledo and Freitas, 1995, The peak shear strength of filled joints, Fractured and jointed rock masses, Balkema, 385-392.

### 이영휘

1978 동국대 토목공학 공학사  
1983 A.I.T. 토목공학 공학석사  
1986 A.I.T. 토목공학공학박사

Tel: 053-810-2417  
E-mail: younghuy@yu.ac.kr  
현재 영남대학교 토목도시환경공학부



### 도성규

2002 영남대 토목공학과 졸업

Tel: 053-810-3668  
E-mail: doyang1@orgio.net  
현재 영남대학교 토목도시환경공학부 석사과정



### 김용준

1995 영남대 토목공학 공학사  
1997 영남대 토목공학 공학석사  
2001 영남대 토목공학 공학박사

Tel: 02-2011-8276  
E-mail: 9yjkim9@hanmail.net  
현재 대림산업(주) 기술연구소 토목설계 지원팀

