

원형공을 갖는 암석의 압축강도 및 변형거동에 미치는 절리의 영향

조의권¹⁾ · 김일중²⁾ · 김기주³⁾ · 김영석⁴⁾

The influence of joints on compressive strength and deformation behavior of rock with a circular hole.

Eui-Kwon Cho, Il-Jung Kim, Ki-Ju Kim and Young-Seok Kim

ABSTRACT Uniaxial and biaxial compressive tests were conducted on limestone specimens containing artificial joints and a circular hole to investigate the influence of inclination and number of joints on compressive strength and deformation behavior of rock with a circular hole. Under uniaxial and biaxial compressive condition, the inclination of joints showing the maximum and minimum strength were 0° and 30° respectively, which was independent of the number of joints. Under uniaxial compressive condition, relative maximum strength of rock with $n=1$ and 3 to intact rock with a circular hole were 12.5%~82.8% and 11.4~62.5% respectively, and under biaxial compressive condition, 18.2~91.0% and 17.0~87.5% respectively. The influence of the number of joints on the decrease of compressive strength was greater under uniaxial than under biaxial compressive condition. Under uniaxial and biaxial compressive condition, axial and lateral deformations of rock showed the least values where $\alpha=30^\circ$. Under uniaxial compressive condition, axial and lateral deformation at maximum strength of rock have the increasing tendency with increase the number of joints. But they have the decreasing tendency under biaxial compressive condition. Under uniaxial and biaxial compressive conditions, axial deformation of circular hole was greater than lateral deformation without respect to the number of joints and the inclination of joints.

1. 서 론

현지암반을 대상으로하는 다양한 목적과 규모를 가진 많은 구조물들이 건설되고 있으며, 이들 구조물의 안전성에 영향을 미치는 요인들에 따라 그 대상암반의 거동을 이해하고 파악하는 것은 매우 중요한 일이 되고 있다.

현지암반은 대부분 신선균질한 암반이 아니라 생성 과정부터 역학적인 결함을 내포하고 있다. 그래서 현재의 연구방향은 현지암반에 가까운 불연속면을 갖는 비교적 소형시험편을 사용하여 압축 및 전단시험을 실시하고 있으며,^{3,4,5)} 모델실험을 통하여 불연속 암반에 원형공을 굴착했을 경우 원형공 주변 암반의 역학적 거동에 미치는 영향에 관한 많은 연구가 수행되었다.^{1,2,6,7,8)}

본 연구에서는 암석시료를 대상으로 층상내 원형공을 굴착했을 경우 일축 및 이축압축하중상태하에서 원형공과 절리를 갖는 암반의 역학적 거동을 규명하고자

다음과 같은 사항들을 조사·연구하였다.

1. 절리수와 절리의 경사방향 변화가 원형공을 갖는 암석의 압축강도에 미치는 영향
2. 절리수와 절리의 경사방향의 변화가 암석내의 원형공의 변형에 미치는 영향

2. 시료 및 시험편

본 실험에 사용된 암석 시료는 전북 익산시 여산면에 위치한 천호산 석회암이며, 시험편의 크기는 가로×세로×두께가 100×200×45(mm)의 직육면체이다. 일축과 이축압축시험을 하기 위하여 절리와 원형공이 없는 시험편, 직경 32 mm의 원형공의 중심이 시험편의 중심과 일치하도록 천공한 원형공만을 갖는 시험편, 원형

- 1) 학생회원, 전북대학교 대학원 박사과정
- 2) 정회원, 전북대학교 공업기술연구소 연구원
- 3) 정회원, 전북대학교 자원공학과 명예교수
- 4) 정회원, 전북대학교 자원공학과 교수

공만을 갖는 시험편에 절리수(n)를 한개와 세개인 2단계로 변화시키고, 절리의 경사(α)가 시험편의 장축방향에 대하여 각각 0°, 30°, 60° 및 90°가 되도록 4단계로 변화시킨 인공절리면을 갖는 시험편을 각각 5개씩을 제작하였다.

인공절리가 1개인 시험편은 절리가 시험편의 중심을 통과하도록 하였으며, 인공절리가 3개인 시험편의 절리는 시험편의 중심을 관통하는 절리에 대해 상·하 또는 좌·우의 간격이 32 mm가 되도록 하였다. 정형이 완료된 후, 인공절리면은 시험편인 천호산 석회암에 비해 전단강도가 아주약한 염화비닐에밀션 접착제를 사용하여 얇게 접착하여 실내에서 자연 건조시켰다.

본 실험에 사용한 시료인 천호산 석회암의 물성은 Table 1과 같으며, 정형이 완료된 시험편의 외형은 Fig. 1과 같다.

3. 실험장치

본 실험에 사용된 시험기는 만능재료시험기, 이축압축장치, 변위측정장치, 기록장치로 크게 분류된다. 만능재료시험기(일본, Shimadzu, UH-A)는 자동유압조절 방식으로 최대가압하중 100 ton용량이다. 만능재료시

Table 1. Mechanical Properties of Cheon-ho Limestone

| | | |
|---|----------------------|----------------------------------|
| Young's Modulus (kg/cm ²) | 6.12×10 ⁵ | |
| Poisson's Ratio | 0.28 | |
| Density (kg/cm ³) | 2.69 | |
| Uniaxial compressive Strength (kg/cm ²) | 762 | Intact rock |
| | 509 | Intact rock with a circular hole |
| Biaxial Compressive Strength (kg/cm ²) | 835 | Intact rock |
| | 712 | Intact rock with a circular hole |

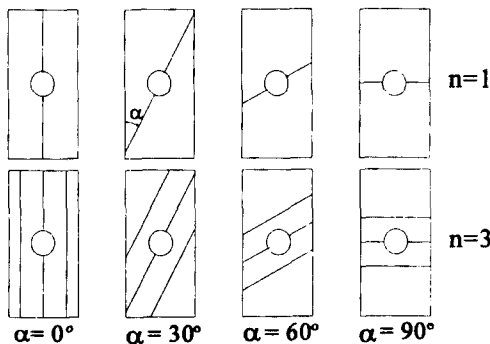


Fig. 1. Schematic diagram of specimen used in test.

험기는 재하 장치, 조절/측정장치로 대별된다.

이축압축장치는 축 하중 발생장치로 10 ton 용량의 램(Ram)을 사용하였으며, 유압의 발생은 10 ton 용량의 수동유압펌프를 이용하였다.

시험편내 원형공의 변형측정을 위하여 변위측정용 cantilever gage를 제작하여 사용하였으며, 기록장치는 strain gage에서 검출한 값을 동변형을 증폭기(일본, Kyowa사)로 증폭하여 기록계에 자동 기록되는 X-Y₁Y₂기록계(미국, National사)를 사용하였다.

4. 실험방법

일축압축실험은 하중변위속도를 0.5 mm/min으로 일정하게 유지시켜 시험편에 하중을 가하였으며, 시험편에 가해지는 압축하중을 시험편에 일정하게 분포시키기 위하여 시험편의 상부에 구좌를 설치하였다.

이축압축실험은 시험편의 원형공의 중심과 램의 중심선이 일치하도록하여 먼저 시험편의 좌·우의 램에서 축방향의 하중을 5 ton까지 가하여 일정하게 유지시킨 후, 상부의 축하중을 일축압축실험에서와 같은 조건으로 하중을 가하여 실험하였다. 이때 시험편 전·후방향은 불구속상태이다. 또한 상부의 축하중을 가하면 축방향의 하중이 증가하므로 축방향의 변위를 허용하여 축하중을 일정하게 유지하여 실험하였다.

원형공의 종·횡변형은 원형공의 상·하부 및 좌·우측에서 압축하중과 함께 최대강도점 이후까지 측정하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1. 압축강도특성

5.1.1 일축압축하중상태하에서

Table 2는 일축 및 이축압축상태하에서 절리수와 절리의 경사방향의 변화에 따른 최대강도의 평균치와 그 범위를 나타낸 것이다. Fig. 2는 일축압축하중상태하에서 절리가 없이 원형공만을 가지는 시험편의 일축압축강도에 대한 각각의 시험편 조건(절리수와 절리의 경사방향)에 있어서의 일축압축강도비를 나타낸다.

1) 원형공만을 갖는 경우

절리가 없이 원형공만을 갖는 시험편의 일축압축강도가 509 kg/cm²로서 절리와 원형공이 없는 시험편의 약 66.8% 수준이다.

따라서 암석내에 원형공의 존재는 암석의 일축압축 강도를 저하시킴을 알 수 있다. 즉 원형공만을 갖는 시험편에 가해지는 하중이 일정 수준에 도달하면서 개착된 원형공벽면에 발생하는 균열에 의해 더욱 큰 암석의 강도저하가 초래되는 것으로 생각된다.²⁾

2) 절리수(n)가 n=1인 경우

절리가 없이 원형공만을 갖는 시험편의 일축압축강도에 대한 절리의 경사방향 $\alpha=0^\circ$ 인 시험편의 강도비는 약 82.8%로서 가장 높은 수준을 나타냈고, $\alpha=60^\circ$ 와 90° 의 것은 각각 약42.0%와 74.3%의 수준이며, $\alpha=30^\circ$ 의 것은 약 12.5%로서 가장 낮은 수준을 나타내었다.

따라서 일축압축강도는 절리의 경사방향 $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 및 0° 순으로 높아지는 경향을 보였다. 또한 암석내에 존재하는 절리는 암석의 일축압축강도를 저하시키는 요인으로 작용함을 알 수 있으며, 절리의 경사방향에 따라 그 영향은 다르게 나타난다.^{2,3,4)}

3) 절리수(n)가 n=3인 경우

절리가 없이 원형공만을 갖는 시험편의 일축압축강도에 대한 절리 경사방향 $\alpha=0^\circ$ 인 시험편의 강도비는 약 62.5%로서 가장 높은 수준을 나타냈고, $\alpha=60^\circ$ 와 90° 인 시험편의 것은 각각 약36.6%와 59.0%의 수준이며, $\alpha=30^\circ$ 인 것은 약11.4%로서 가장 낮은 수준을 나타내었다.

따라서 일축압축강도는 절리의 경사방향 $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 및 0° 순으로 높아지는 경향을 보여 절리의 수가 1인 경우와 같은 경향이다.

이상의 시험결과로부터 절리의 경사와 강도를 도시하면 Fig. 2와 같은데 암석내의 절리수의 증가는 암석의 일축압축강도를 감소시키는 경향을 보이고 있다. 또한 절리수가 1개와 3개인 시험편의 일축압축강도의 최대와 최소치를 나타내는 절리의 경사방향은 각각 $\alpha=0^\circ$ 와 30° 로서 동일하다.

절리수가 1개인 시험편의 일축압축강도에 대한 3개인 시험편의 강도비는 절리의 경사방향 $\alpha=0^\circ$ 인 시험편은 약 75.5%, $\alpha=30^\circ, 60^\circ$ 및 90° 인 것은 각각 약 91.5%, 87.1% 및 79.4%이다.

암석내에 절리의 존재는 암석의 일축압축강도를 저하시키는 요인으로 작용함을 알 수 있으며 절리수가 증가함에 따라 암석의 강도는 더욱 감소한다. 절리의 경사방향에 따라 압축강도의 감소에 미치는 영향이 다르게 나타나는데 그 영향은 절리의 경사방향이 $\alpha=30^\circ$ 인 경우가 가장 크다.

5.1.2 이축압축하중상태하에서

Table 2. Strength properties of specimens under variable test conditions

| T.C. | N.J. | I.J. | Peak Strength (kg/cm ²) | | |
|------|------|-------|-------------------------------------|---------|---------|
| | | | Average | Range | |
| U.C. | 0 | I.R. | 762 | 716-783 | |
| | | I.H. | 509 | 467-598 | |
| | 1 | 0° | 421 | 331-502 | |
| | | 30° | 63 | 49- 77 | |
| | | 60° | 213 | 182-321 | |
| | | 90° | 378 | 343-388 | |
| | 3 | 0°30° | 318 | 300-414 | |
| | | 60° | 58 | 50- 62 | |
| | | 90° | 186 | 121-254 | |
| | | | 300 | 265-359 | |
| | B.C. | 0 | I.R. | 835 | 782-871 |
| | | | I.H. | 712 | 592-756 |
| 1 | | 0° | 648 | 638-651 | |
| | | 30° | 129 | 108-165 | |
| | | 60° | 589 | 545-604 | |
| | | 90° | 620 | 605-628 | |
| 3 | | 0° | 623 | 537-659 | |
| | | 30° | 121 | 98-129 | |
| | | 60° | 543 | 519-564 | |
| | | 90° | 577 | 530-590 | |

T.C.: Test condition, U.C.: Uniaxial compressive test, B.C.: Biaxial compressive test, N.J.: Number of joints, I.J.: Inclination of joint, I.R.: Intact rock, I.H.: Intact rock only with a circular hole

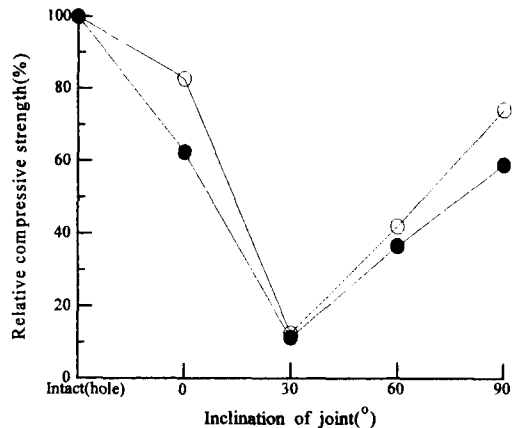


Fig. 2. Relative of uniaxial compressive strength with specimen conditions.

○ : Number of joints=1
● : Number of joints=3

Fig. 3은 이축압축하중상태하에서 원형공만을 가지는 시험편의 이축압축강도에 대한 각각의 시험편 조건(절리수와 절리의 경사방향)에 있어서의 이축압축강도

비를 나타낸다.

1) 원형공만을 갖는 경우

절리가 없이 원형공만을 갖는 시험편의 이축압축강도가 712.1 kg/cm^2 로서 절리와 원형공이 없는 시험편의 약 85.3%수준이다. 또한 절리와 원형공이 없는 시험편의 경우 일축압축강도보다 이축압축강도가 72.8 kg/cm^2 증가한데 비해 절리가 없이 원형공만을 갖는 시험편의 경우 202.8 kg/cm^2 가 증가했다. 이는 축압이 암석의 강도를 저하시키는 원형공벽면에서의 균열발생을 억제하는 데에 기여한 것으로 생각된다.

따라서 암석내에 원형공의 존재는 이축압축하중상태하에서도 암석의 강도를 저하시킬 수 있다. 또한 이축압축하중상태하에서 축압은 암석내에 개착된 원형공벽면에 균열이 발생하는 일정 수준의 축하중을 일축압축상태하에서의 것보다 높일 수 있는 것으로 생각된다.

2) 절리수(n)가 n=1인 경우

절리가 없이 원형공만을 갖는 시험편의 이축압축강도에 대한 절리의 경사방향 $\alpha=0^\circ$ 인 시험편의 강도비는 약 91.0%수준으로 절리를 갖는 시험편 중에서 가장 높은 값을 나타내었고, $\alpha=60^\circ$ 및 90° 인 것은 각각 약 82.8%와 87.1% 수준이며, $\alpha=30^\circ$ 인 시험편의 것은 약 18.2% 수준으로서 가장 낮은 강도를 나타내었다.

따라서 각각의 절리의 경사방향의 강도비는 일축압축하중하에서보다 높은 경향이다.

3) 절리수(n)가 n=3인 경우

절리가 없는 원형공만을 갖는 시험편의 이축압축강도에 대한 절리의 경사방향 $\alpha=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ 및 90° 인 시험편의 강도비는 각각 약 87.5, 17.0, 76.3 및 81.2%수준에 해당하였다. 이축압축강도비는 절리 경사방향 $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 0^\circ$ 의 순으로 높아지는 경향을 보여 절리수가 1인 경우와 같은 경향이다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 절리수가 증가함에 따라 이축압축강도가 저하되는 경향을 보이고 있다. 절리수가 1개와 3개인 시험편의 이축압축강도의 최대와 최소치를 나타내는 절리의 경사방향은 $\alpha=0^\circ$ 와 30° 로서 동일하다.

절리수가 1개인 시험편의 이축압축강도에 대한 3개인 시험편의 강도비는 절리의 경사방향 $\alpha=0^\circ$ 인 시험편의 것은 약 96.2%, $\alpha=30^\circ, 60^\circ$ 및 90° 인 시험편의 것은 각각 약 93.6%, 92.1% 및 93.2%로서 절리수가 3개인 시험편의 이축압축강도는 1개인 것보다 낮은 값을 나타냈다.

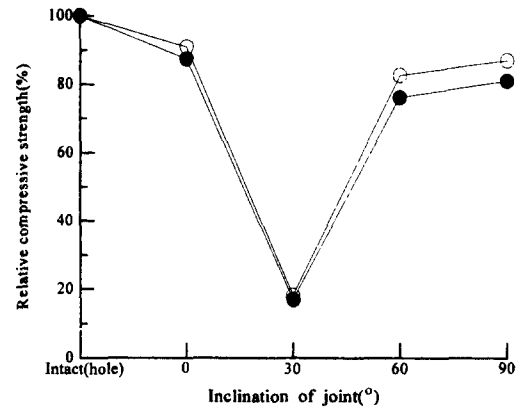


Fig. 3. Relative of biaxial compressive strength with specimen conditions.

○ : Number of joints=1
● : Number of joints=3

절리수가 1개인 시험편의 경우에 있어서 일축압축강도에 대한 이축압축강도의 비가 $\alpha=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ 및 90° 에서 각각 1.54, 2.04, 2.76 및 1.64이고, 3개인 경우에는 1.96, 2.08, 2.92 및 1.92로서 절리가 없는 원형공만을 갖는 시험편의 것의 1.40보다 전반적으로 높은 값을 보이므로 절리수가 암반의 강도저하에 미치는 영향은 이축압축하중상태하에서보다 일축압축하중상태하에서 더 큰 것으로 판단된다.

5.2 원형공의 변형

5.2.1 일축압축하중상태하에서

Table 3은 일축 및 이축압축하중상태하에서 절리수와 절리의 경사방향의 변화에 따른 항복과 최대강도점에서의 종·횡변형의 평균치와 그 범위를 나타낸 것이다.

Fig. 4는 일축압축하중상태하에서 절리수가 1개, Fig. 5는 3개인 시험편의 항복과 최대강도점에서 절리의 경사방향에 대한 종·횡변형, Fig. 6은 각각의 절리의 경사방향에 있어서 절리수에 대한 최대강도점에서의 종·횡변형을 나타내고 있다.

1) 원형공만을 갖는 경우

Fig. 4에서 보는 바와 같이 항복과 최대강도점에서 종변형이 횡변형보다 큰 값을 보이고, 항복점에서부터 최대강도점까지 종·횡변형의 증가량은 서로 유사한 경향을 나타내고 있다. 또한 항복과 최대강도점에서 각각의 종·횡변형은 절리수가 1개인 시험편의 것들보다 큰 경향을 나타내고 있다.

2) 절리수(n)가 n=1인 경우

Table 3. Deformation of specimens under variable test conditions

| T.C. | N.J. | Axial deformation ($\times 10^{-3}$ mm) | | | | Lateral deformation ($\times 10^{-3}$ mm) | | | | |
|------|------|--|-------|-----------|-----------|--|------------|-----------|-----------|------------|
| | | I.J. | Yield | | Peak | | Yield | | Peak | |
| | | | Av. | Range | Av. | Range | Av. | Range | Av. | Range |
| U.C. | 0 | I.H. | 19.4 | 16.9-20.1 | 20.2 | 19.6 -22.8 | 10.0 | 8.7 -10.8 | 11.0 | 9.6 -13.1 |
| | | 0 | 11.6 | 7.8 -13.8 | 14.5 | 13.3 -16.5 | 2.1 | 1.55-2.92 | 4.2 | 3.2 - 5.1 |
| | 1 | 30 | 4.2 | 3.75-4.80 | 4.7 | 3.91- 5.9 | 0.85 | 0.55-1.6 | 1.3 | 0.85- 1.95 |
| | | 60 | 9.6 | 7.9 -10.5 | 10.8 | 10.1 -13.2 | 5.6 | 3.2 -6.2 | 6.5 | 5.3 - 8.1 |
| | 3 | 90 | 18.7 | 17.1-19.8 | 19.2 | 18.6 -20.75 | 6.4 | 5.8 -6.85 | 8.4 | 7.15-10.5 |
| | | 0 | 17.4 | 15.5-18.7 | 20.2 | 19.2 -21.1 | 6.57 | 4.3 - 8.0 | 11.3 | 10.1 -13.2 |
| | 3 | 30 | 7.01 | 6.6- 8.2 | 7.56 | 5.8 - 7.8 | 0.75 | 0.21- 1.1 | 1.5 | 0.75- 1.75 |
| | | 60 | 16.1 | 15.1-18.3 | 23.2 | 20.6 -23.7 | 4.9 | 3.3 - 8.1 | 16.1 | 12.1 -17.2 |
| | 3 | 90 | 20.0 | 19.2-20.7 | 21.3 | 19.8 -23.0 | 5.4 | 4.8 - 6.0 | 10.8 | 9.4 -12.2 |
| | | 0 | I.H. | 21.5 | 20.7-22.8 | 23.4 | 22.1 -24.2 | 3.3 | 2.8 - 3.9 | 6.0 |
| B.C. | 0 | 0 | 16.9 | 15.1-18.8 | 20.4 | 18.9 -21.9 | 5.8 | 4.8 - 6.5 | 14.3 | 11.0 -15.2 |
| | | 30 | 9.01 | 7.2-10.9 | 9.31 | 7.01-11.2 | 2.4 | 1.7 - 3.3 | 2.59 | 0.29-3.09 |
| | 1 | 60 | 13.4 | 12.8-17.1 | 23.2 | 21.5 -24.5 | 3.0 | 1.5 - 4.6 | 7.8 | 5.8 -10.1 |
| | | 90 | 19.8 | 18.8-21.5 | 22.3 | 20.1 -23.9 | 4.8 | 4.2 - 7.2 | 8.6 | 6.8 - 9.5 |
| | 3 | 0 | 15.8 | 15.2-17.0 | 18.0 | 17.6 -20.1 | 2.4 | 1.5 - 3.1 | 3.8 | 3.2 - 5.6 |
| | | 30 | 7.3 | 3.3- 8.1 | 8.03 | 4.33- 9.73 | 1.4 | 0.85- 2.3 | 1.60 | 0.8 - 4.41 |
| | 3 | 60 | 8.9 | 8.3-12.1 | 16.2 | 13.89-18.2 | 3.3 | 2.8 - 4.9 | 6.5 | 5.8 - 7.2 |
| | | 90 | 16.2 | 15.2-17.2 | 19.7 | 18.8 -20.4 | 1.7 | 0.7 - 3.0 | 4.4 | 3.8 - 5.9 |

*Av.: Average.

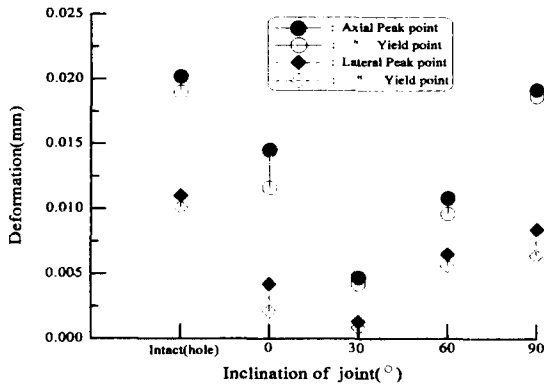


Fig. 4. Deformation vs. inclination of joints from yield to peak point at joint number 1 in uniaxial compressive test.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 절리의 경사방향 $\alpha=0^\circ$, 30° , 60° , 및 90° 인 시편편은 전반적으로 절리가 없이 원형공만을 갖는 시편편과 같이 항복과 최대강도점에서 종변형은 횡변형보다 큰 경향을 나타냈다.

항복강도점에서 최대강도점까지 $\alpha=0^\circ$ 인 시편편의 종 · 횡변형의 증가량이 가장 우세하였으나 30° 인 시편편의 것은 가장 작았다.

항복과 최대강도점에서 종변형은 $\alpha=90^\circ$, 0° , 60° 및

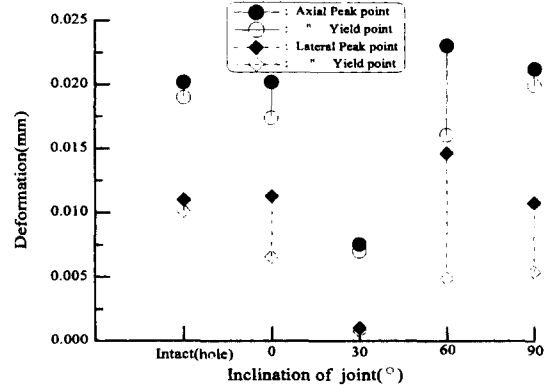


Fig. 5. Deformation vs. inclination of joints from yield to peak point at joint number 3 in uniaxial compressive test.

30° 순으로, 횡변형은 $\alpha=90^\circ$, 60° , 0° 및 30° 순으로 작아지는 경향을 보였다.

따라서 항복과 최대강도점에서 각각의 종 · 횡변형은 $\alpha=90^\circ$ 인 시편편에서 가장 크고, 30° 인 시편편에서 가장 작았다.

3) 절리수(n)가 n=3인 경우

Fig. 5에서 보는 바와 같이 절리의 경사방향에 관계 없이 전반적으로 절리가 없이 원형공만을 갖는 시편편

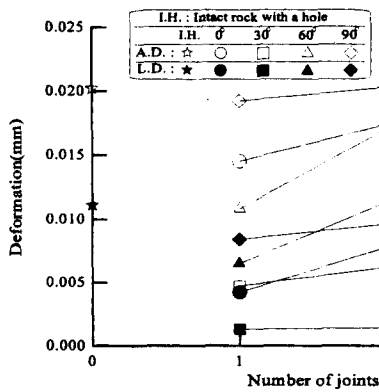


Fig. 6. Number of joints vs. deformation at peak point in uniaxial compressive test. (A.D.: Axial direction, L.D.: Lateral direction)

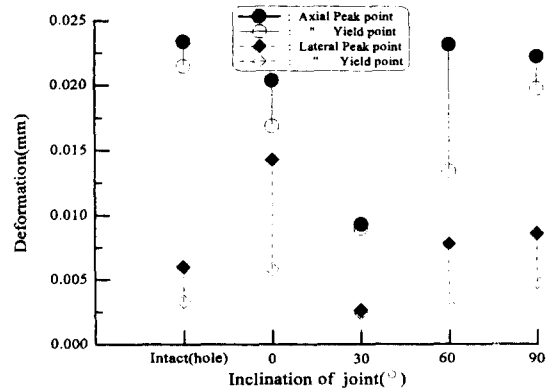


Fig. 7. Deformation vs. inclination of joints from yield to peak point at joint number 1 in biaxial compressive test.

과 같이 항복과 최대강도점에서 종변형은 횡변형보다 큰 경향을 보이고 있다. 이것은 절리수가 1개인 경우와 같은 경향이다.

항복강도점에서 최대강도점까지 $\alpha=60^\circ$ 인 시험편의 종·횡변형이 가장 크게 증가한 반면에 30° 인 시험편의 것은 가장 작은 증가량을 보였다.

최대강도점에서 종·횡변형은 $\alpha=60^\circ$ 인 시험편의 것이 가장 크고, 항복과 최대강도점에서는 30° 인 시험편의 것이 가장 작았다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 최대강도점에서 각각의 절리의 경사방향에 있어서 종·횡변형은 절리수가 1개인 시험편에서보다 3개인 것이 전반적으로 큰 경향을 보이고 있다. 또한 최대강도점에서 절리수가 1개인 시험편의 종·횡변형은 절리가 없이 원형공만을 갖는 시험편의 것보다 일률적으로 작은 경향을 나타내고 있으나, 3개인 시험편의 경우는 일률적이지 못하다.

5.2.2 이축압축하중상태하에서

Fig. 7은 이축압축하중상태하에서 절리수가 1개, Fig. 8은 3개인 시험편의 항복과 최대강도점에서 절리의 경사방향에 따른 종·횡변형, Fig. 9는 각각의 절리의 경사방향에 있어서 절리수에 대한 종·횡변형을 나타내고 있다.

1) 원형공만을 갖는 경우

Fig. 7에서 보는 바와 같이 항복과 최대강도점에서 종변형은 횡변형보다 큰 값을 보였다. 또한 항복강도점에서 최대강도점까지 종변형에 비하여 횡변형이 약간 우세하게 증가하는 경향을 보였다.

항복과 최대강도점에서 종변형은 절리와 원형공을

갖는 시험편의 것보다 큰 값을 나타내고 있다. 또한 항복과 최대강도점에서 종변형은 일축압축하중상태하에서의 것보다 큰 값을 보이나 횡변형은 작은 값을 나타낸다.

2) 절리수(n)가 n=1인 경우

Fig. 7에서 보는 바와 같이 항복과 최대강도점에서 전반적으로 종변형은 횡변형보다 큰 값을 보인다. 이는 일축압축하중상태하에서의 것과 같은 경향이다.

항복과 최대강도점에서 종변형의 크기의 순서는 일률적이지 않으나 횡변형은 $\alpha=0^\circ, 90^\circ, 60^\circ$ 및 30° 순으로 작아지는 경향을 보이고 있다.

$\alpha=30^\circ$ 인 시험편의 항복과 최대강도점에서 각각의 종·횡변형은 다른 시험편보다 작은 값을 가지며, 항복강도점에서 종변형은 다른 시험편의 항복강도점에서의 횡변형보다 큰 값을 나타낸다.

항복강도점에서 최대강도점까지 종변형의 증가량은 $\alpha=60^\circ$, 횡변형은 $\alpha=0^\circ$ 에서 가장 크고, $\alpha=30^\circ$ 인 시험편의 종·횡변형의 증가량은 가장 작았다.

3) 절리수(n)가 n=3인 경우

Fig. 8에서 보는 바와 같이 항복과 최대강도점에서 시험편의 횡변형은 종변형에 비하여 일률적으로 작은 값을 나타내고 있다. 이는 일축압축하중상태하에서의 경향과 같다.

항복과 최대강도점에서 종변형은 $\alpha=90^\circ, 0^\circ, 60^\circ$ 및 30° 순으로 작아지는 경향을 보이고 있으나, 횡변형은 일률적이지 못하다.

$\alpha=30^\circ$ 인 시험편의 항복과 최대강도점에서 각각의 종·횡변형은 다른 시험편보다 작은 값을 나타내고 있으

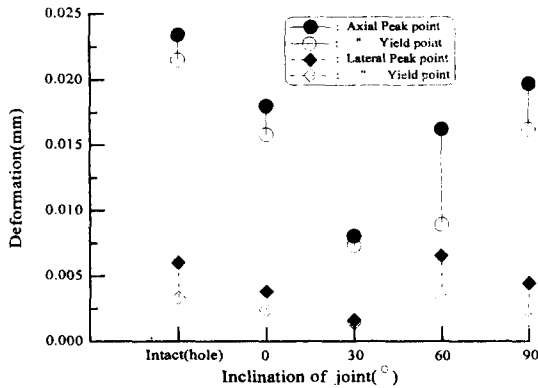


Fig. 8. Deformation vs. inclination of joints from yield to peak point at joint number 3 in biaxial compressive test.

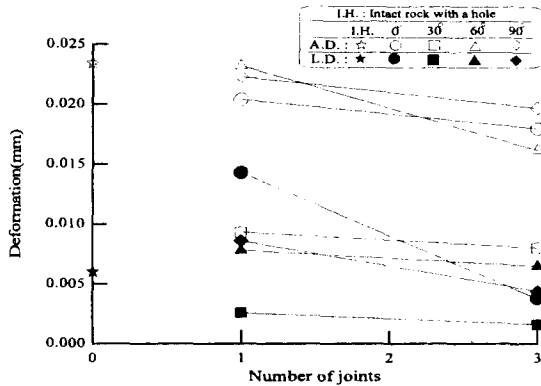


Fig. 9. Number of joints vs. deformation at peak point in biaxial compressive test. (A.D.: Axial direction, L.D.: Lateral direction)

며, 항복강도점에서 종변형은 다른 시험편의 최대강도점에서 횡변형보다 큰 값을 나타낸다.

항복강도점에서 최대강도점까지 종·횡변형의 각각의 증가량은 절리의 경사방향이 30°인 시험편의 것이 가장 작고, 60°인 것이 가장 크다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 최대강도점에서의 종·횡변형은 절리수가 1개에서 3개로 증가함에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 즉, 이축압축하중상태하에서는 절리를 가지는 암석의 경우에 절리수가 증가함에 따라 작은 변형에서도 최대강도점에 도달한다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

원형공을 개착한 암석시험편에 인공절리의 수(n=1,

3)와 절리의 경사방향($\alpha=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ 및 90°)의 변화에 따라 일축과 이축압축실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 및 0° 순으로 일축 및 이축압축강도가 증가하였다. 원형공과 절리를 가지는 암석의 강도저하에 영향을 크게 미치는 절리의 경사방향은 30° 이고, 영향을 적게 미친 것은 0° 이다. 또한 절리수의 증가는 암석의 일축과 이축압축강도를 감소시킨다.

2. 절리의 경사방향에 따라 일축압축하중상태하에서 절리가 없이 원형공만을 갖는 암석의 일축압축강도에 대한 절리수가 1개인 암석의 강도비는 12.5~82.8%, 3개인 암석의 것은 11.4~62.5%이고, 이축압축하중상태하에서는 각각 18.2~91.0%, 17.0~87.5%이다.

또한 절리수가 암석의 압축강도저하에 미치는 영향은 이축보다 일축압축하중상태의 경우가 더 크다.

3. 절리가 없이 원형공만 갖거나 원형공과 절리를 갖는 암석의 항복과 최대강도점에서 원형공의 종변형은 횡변형보다 큰 값을 나타냈다. 또한 항복강도점에서 최대강도점까지 종·횡변형의 증가량과 항복 및 최대강도점에서의 종·횡변형의 크기는 절리의 경사방향 $\alpha=30^\circ$ 에서 가장 작았으며, 절리와 원형공을 갖는 암석의 일축과 이축압축의 항복강도점에서 $\alpha=90^\circ$ 인 시험편의 종변형이 가장 큰 값을 나타냈다.

4. 일축압축하중상태하에서 원형공만을 갖는 암석내에 절리수가 증가하면 최대강도점에서의 종·횡변형은 증가하나 이축압축하중상태하에서는 감소하는 경향을 보였다. 즉, 이축압축하중상태하에서는 절리수가 증가하면 적은 변형에서도 최대강도점에 도달한다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. E. Z. Lajtai, V. N. Lajtai, 1975, The collapse of cavities, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., vol. 12, pp. 81-96.
2. M. Lee and B. Haimson, 1993, Laboratory study of borehole breakouts in Lac du Bonnet granite: a case of Extensile Failure Mechanism, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., vol. 30, No. 7, pp. 1039-1045.
3. Mark A. Kwasniewski, Compressive rock engineering Mechanical behavior of anisotropic rock, Pergamon press Ltd., vol.1-I, 1993, pp. 100-150, 285-311.
4. 김기주, 1986, 불연속면을 갖는 암석의 전단강도 및 변

- 형거동에 관한 연구, 서울대학교 공학박사 학위논문,
5. 김영근, 1993, 절리특성이 인공절리를 포함한 불연속 암반의 변형거동에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 공학박사학위논문
 6. 이석천, 김영근, 이희근, 1992, 지압 조건과 절리의 방향을 고려한 원형공동주위의 변형거동, 한국자원공학회지, vol. 29, pp. 1-7.
 7. 정회용, 신중호, 양형식, 이희근, 1988, 지하 공동 주위 연약 암반의 변형 거동에 관한 연구, 대한광산학회지, vol. 25, pp. 332-339.
 8. 김종우, 이희근, 1988, 층상암반내 갱도의 변형거동에 관한 연구, 대한광산학회지, vol. 25, pp. 320-331