

## 전단시험방법에 따른 토목섬유/모래 접촉면에서의 마찰특성

### Friction Characteristics on Interface Between Reinforcement and Sand by Direct Shear Test Methods

\*1 주재우 Ju, Jae-Woo

\*2 박종범 Park, Jong-Beom

\*3 장용채 Chang, Yong-Chai

#### Abstract

The most important part in the earth reinforcement is the interface between soil and the reinforcement. Shear strength and shear behavior in this interface make a great role relating to the reinforcement effect. This paper presents 2 kinds of direct shear test methods. one is the strain free shear test, called 'free method', that is performed by the free condition of allowing tensile strain. The other is the strain fix shear test, called 'fixed method', that is performed by the fixed condition of not allowing tensile strain. Two reinforcements were used such as nonwoven geotextile and geogrid. That is, interfaces are composed of geogrid/sand and geotextile/sand. From the test results it shows us that the fixed method had a greater friction angle and a smaller peak shear strain than those of the free method. Residual stress of the fixed method was bigger than that of the free method but the residual stress ratio was vice versa.

#### 요 지

보강토 지반에서 가장 중요한 부분은 보강재와 흙사이의 접촉부분으로서 이 부분의 전단강도 및 전단거동은 보강효과에 직접적인 영향을 미친다. 보강토 지반에서 접촉부분의 전단특성을 얻는 방법으로서 인발시험방법과 직접전단시험방법 등이 있다. 실제 보강토 구조물내에서 보강재와 흙사이에 인발이 되는 부분, 전단이 되는 부분 등이 존재한다. 전단이 되는 경우에도 보강재가 전혀 변형을 하지 않는 경우와 보강재 자체가 변형이 되는 경우 등으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 대형 전단시험기를 이용하여, 부직포/모래, 지오그리드/모래 등의 접촉면을 갖는 2종의 토목섬유를 이용하여, 토목섬유의 인장변형이 허용되는 자유조건과 인장변형이 억제되는 고정조건 등 두가지 방법으로 직접전단시험을 실시하였다. 실험결과 자유조건에 비해 고정조건으로 시험을 행한 경우가 마찰각이 더 컸다. 그리고 전단응력이 피크가 되는 전단변형의 크기는 자유조건인 경우가 더 큰 값을 가졌다. 잔류응력의 경우는 고정법의 경우가 컸지만 잔류응력비는 자유법의 경우가 더 큰 값을 가졌다.

**Keywords** : Direct shear test, Geogrid, Nonwoven geotextile

\*1 순천대학교 토목환경공학부 교수 (Professor, Dept. of Civil & Enviro. Eng., Univ. of Suncheon National)

\*2 순천대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료 (Ph. D. Candidate, Dept. of Civil & Enviro. Eng., Univ. of Suncheon)

\*3 목포해양대학교 해양토목공학전공 교수 (Professor, Dept. of Civil Ocean Eng., Univ. of Mokpo National Maritime)

## 1. 서론

토목섬유를 이용한 보강토공법은 경제성과 시공성이 우수하고 다른 공법과 비교하여 신뢰성이 탁월한 공법이라 말할 수 있다. 그러나 아직도 정확하게 규명이 되지 않고 있는 부분들 중 한가지가 흙과 보강재사이의 마찰이나 접촉특성이다. 보강토 지반에서 가장 중요한 부분은 보강재와 흙사이의 접촉부분으로서 이 부분의 전단강도 및 전단거동은 보강효과에 직접적인 영향을 미친다. 보강토지반에서 접촉부분의 전단특성을 얻는 방법으로서 인발시험방법과 직접전단시험방법 등이 있다. 실제 보강토 구조물내에서 보강재와 흙사이에 인발이 되는 부분, 전단이 되는 부분 등이 존재한다. 전단이 되는 경우에도 보강재가 전혀 변형을 하지 않는 경우와 보강재 자체가 변형이 되는 경우 등으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 대형전단시험기를 이용하여 보강재와 흙사이의 접촉면에서의 전단강도 및 거동특성을 검토하고자 하였다. 따라서, 부직포, 지오그리드 등 2종류의 토목섬유로 보강된 표준사를 이용한 모래지반에 대한 직접전단시험을 실시하였는데, 즉 접촉면은 지오그리드/모래, 부직포/모래 등이며 시험은 토목섬유의 인장변형이 허용되는 자유조건과 인장변형이 억제되는 고정조건등 두가지 방법으로 실시하였다. 또한 비교를 위해 모래만을 사용한 즉 모래/모래의 접촉면을 갖는 직접전단시험도 행하였다.

## 2. 실험장치 및 보강재료

### 2.1 전단시험 장치

본 연구에 사용된 직접전단시험 장치는 Photo.1과 같으며, 세부단면도는 Fig. 1과 같이 나타낸다. 본 시험장치는 직접전단시험과 인발시험이 가능하며, 토조, Air pressure bag 그리고 Load cell 등 크게 3부분으로 구성되어 있다. 토조는 강판으로 제작되었으며 토조는 상·하부로 분리되어 있고, 상부와 하부 토조는 각각 깊이가 9cm이고 약 1cm의 간격을 두고

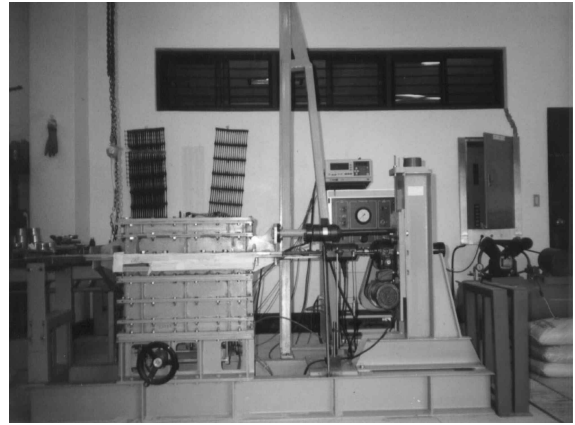


Photo. 1. Pullout test apparatus

분리되어 있는데, 이 간격은 조절이 가능하다.

토조의 크기는 길이 60cm×폭 40cm×깊이 19cm이며 상부토조에는 Flat bearing이 부착되어 있어 직접전단시험시 상부토조를 이동할때 마찰저항을 받지 않도록 되어있다. 토조의 상부에는 Air pressure bag이 설치되어 있어 공기압에 의해 토조내에 균등한 수직하중을 재하할 수 있도록 되어 있으며, Air pressure bag에 가할 수 있는 최대 공기압은 약  $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 전단속도는 속도 조절 시스템에 의하여 임의의 속도로 조절이 가능하며 시험시 흙과 토조 내벽의 마찰을 최소로 줄이기 위하여 토조 내벽에 실리콘 그리스를 바르고 멤브레인을 붙였다.

### 2.2 보강재료의 특성

#### 2.2.1 모형지반

전단시험에 사용된 흙 시료는 주문진 표준사로서 그 성질은 Table 1과 같다. 토조 내의 흙지반은 상대 밀도 80%가 되도록 제작하였으며, 이러한 지반을 제작하는데 다중체 낙하장치를 사용하였다. 그리고 전단시험을 행하는 모형지반의 크기는 길이 60cm×폭 40cm×깊이 19cm로서 일반 직접전단시험장치의 전단cell의 직경이 5cm정도이므로 본 시험장치는 매우 큰 대형 전단시험장치라 말할 수 있다.

#### 2.2.2 토목섬유

본 연구에서 전단시험에 사용한 토목섬유는 부직포

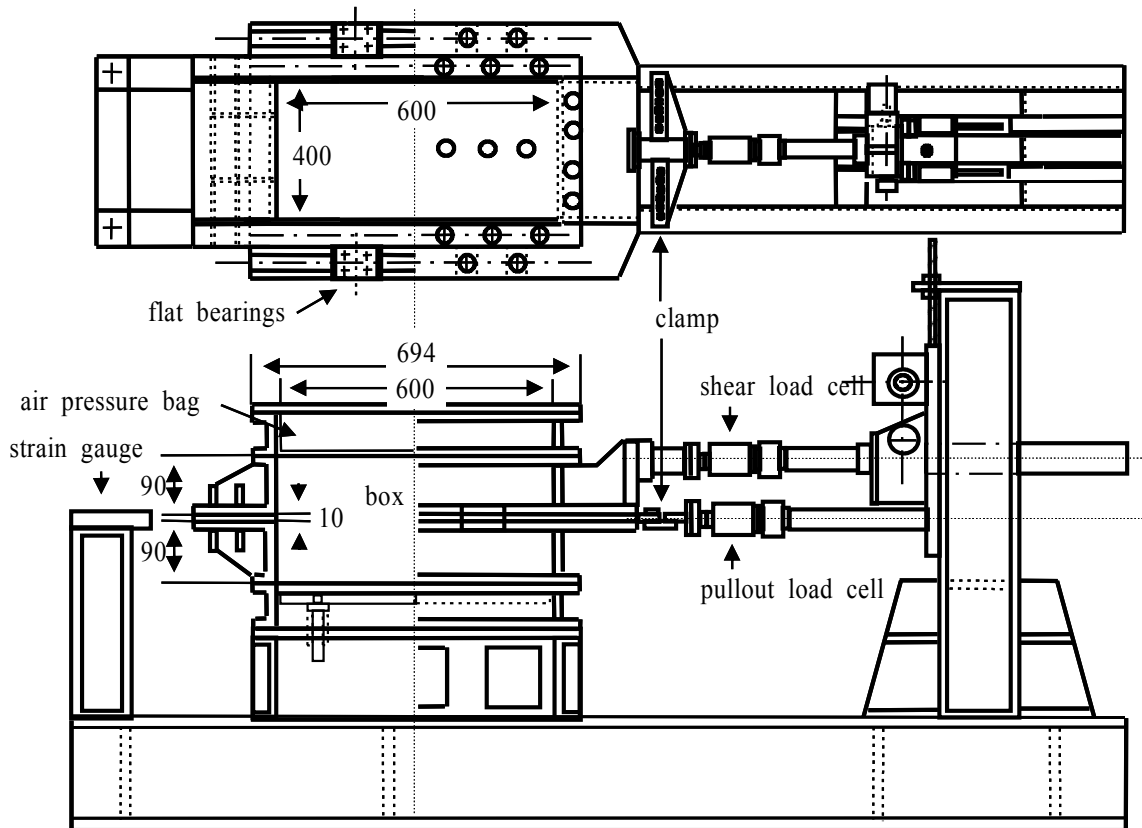


Fig. 1. Schematic of direct shear test apparatus(unit : mm)

Table 1. Physical properties of Jumunjin standard sand

| 시료종류    | 물리적 성질 | 비중<br>G <sub>s</sub> | 최대밀도<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 최소밀도<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 모델지반의 밀도<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 상대밀도<br>(%) |
|---------|--------|----------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------|
| 주문진 표준사 |        | 2.67                 | 1.654                        | 1.398                        | 1.612                            | 80          |

Table 2. Physical properties of geosynthetics used for tests

| 보강재의 종류 | 최대인장강도, kN/m       | 최대신율, %           | 망눈크기, mm |
|---------|--------------------|-------------------|----------|
| 부직포     | 길이: 1.43<br>폭: 1.0 | 길이: 65%<br>폭: 78% | -        |
| 지오그리드   | 35.0               | 12.5              | 20×20    |

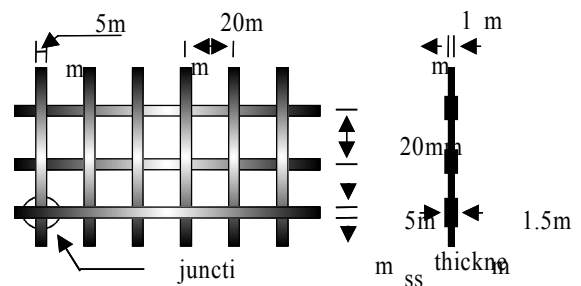


Fig. 2. Fortrac geogrid

와 가로방향과 세로방향 부재를 격자형태로 부착시킨 지오그리드 2종류로서 그 물성치는 Table 2와 같고 그 형상은 Fig. 2와 같다.

### 2.3 시험내용

직접전단시험에 의한 접촉면에서의 전단특성을 고

찰하기 위하여 다음 Table 3과 같은 실험내용으로 전단시험을 실시하였다.

### 3. 전단시험방법

보강토 지반의 지반과 보강재사이의 전단특성을

Table 3. Experimental conditions as interface of earth reinforcement

| 시험종류              | 시험명   | 접촉면      | 보강재 설치  | 수직하중                                      |
|-------------------|-------|----------|---|---|
| 모래전단시험            | S-S   | 모래/모래    | 보강재 없음  | 0.5, 1.0, 1.5<br><i>kg/cm<sup>2</sup></i> |
| 변형억제전단시험<br>(고정법) | N-S-1 | 부직포/모래   | 하부전단면에 나무로 만든 블록을<br>사용하며 블록과 보강재를 접착제로<br>부착시킴 |   |
|                   | F-S-1 | 지오그리드/모래 |   |   |
| 변형허용전단시험<br>(자유법) | N-S-2 | 부직포/모래   | 전단방향과 반대편 측에서 보강재의<br>끝단을 클램프로 고정시킴             |   |
|                   | F-S-2 | 지오그리드/모래 |   |   |

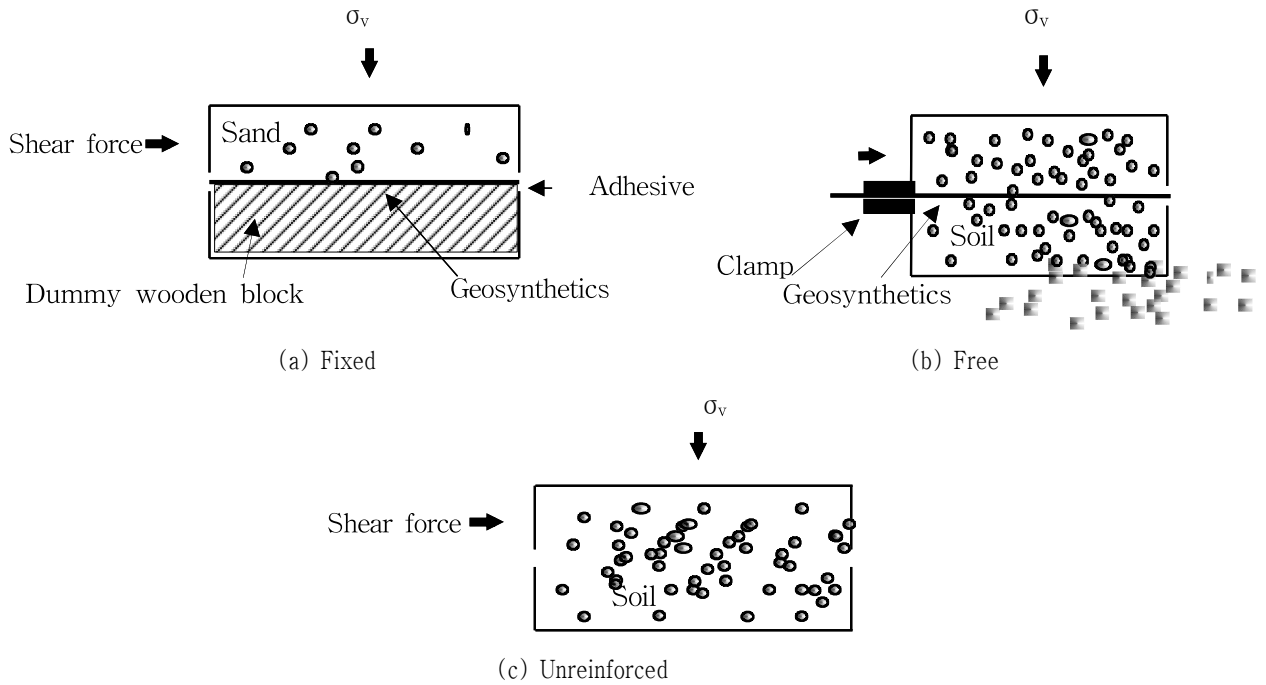


Fig. 3. Various direct shear tests

밝히기 위해서 두 종류 시험방법을 사용하였다. 즉 전단과정에서 토목섬유 자체가 인장변형을 하는 것으로 가정할 경우(자유법) 그리고 토목섬유자체의 인장변형을 배제한 경우(고정법) 등이다. 토목섬유의 인장변형을 고려한 경우는 Fig. 3(b)에서처럼 전단시키는 방향의 반대측에 토목섬유의 한쪽면을 clamp로 고정하여 전단시험을 실시하는 방법이며, 또한 토목섬유의 인장변형을 배제한 경우는 Fig. 3(a)에 나타난 것처럼, 토목섬유를 하단의 나무로 만든 Dummy블록에 접착제로 부착하여 전단과정 중에 토목섬유에 유발되는 인장변형을 억제하여 전단시키는 방법을 말한다. 그리고, 이들 시험치들을 비교하는 기준값을 얻기 위해 흙만을 가지고 보통의 전단시험을 또한 행하였다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 시험방법에 따른 전단거동특성

Fig. 4는 상대밀도 80%인 모래지반에 대해 직접 전단시험을 한 결과를 나타낸 것으로, 각각의 수직하중에 대해 수평변형에 따른 전단응력을 나타낸 것이다. 수직하중이 클수록 더 큰 전단응력을 보이며 대략 2.5% 정도의 수평변형에서 뚜렷이 peak점을 보이고 있다. 본 지반의 마찰각은 28°였다.

Fig. 5는 부직포/모래의 접촉면에 고정법과 자유법으로 각각 전단시험을 했을 경우, 수평변형과 전단응력을 나타낸 것이며 Fig. 6은 지오그리드/모래 접촉면의 경우, 고정법과 자유법으로 각각 전단시험을

했을 경우, 수평변형과 전단응력을 나타낸 것이다.

부직포/모래 접촉면의 경우, Fig. 5를 보면 고정법의 경우가 자유법에 비해 약간 큰 피크전단응력을 나타내고 있으며 피크가 지난 후 잔류응력은 전단변형 10%의 경우에도 일정한 값을 보여준다.

시험법의 차이에 따른 전단변형은 수직하중 1.0  $kg/cm^2$ 과 1.5  $kg/cm^2$ 의 경우가 서로 다른 경향을 보이고 있는데 이는 부직포가 갖는 어떤 원인에 기인하는 것으로 판단된다. Fig. 6에서는 고정법이 자유법에 비해서 피크응력도 크며 피크응력에 도달하는 전단변형도 작게 나타나고 있는데, 변형이 억제되면 더 큰 전단강도를 갖게 된다는 점을 파악할 수 있었다. 또한 잔류응력의 경우에도 자유법이 고정법에 비

해 더 작은 전단응력을 보이고 있다. 그 이유는 일정한 수직응력하에 전단력이 작용하면 고정의 경우는 바로 피크상태에서의 강도를 보이거나 자유의 경우에는 자체 인장변형에 의해 피크 전단저항력은 약화되기 때문으로 판단된다.

#### 4.2 전단강도정수비교

Fig. 7은 각각의 시험에 대하여, 수직하중에 따른 피크점에서의 응력으로 부터 마찰각을 구하기 위해 나타낸 그림이며 구한 마찰각은 table 4와 같다. 여기서 N-S-1 및 N-S-2는 부직포를 보강재로 사용할 경우 고정법과 자유법에 의해 시험을 실시한 것을 말하

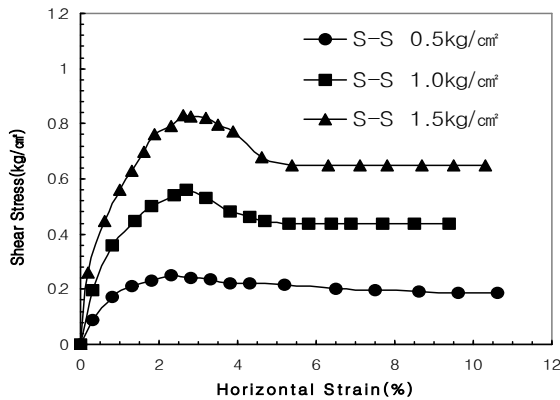


Fig. 4. Relations between shear stress and strain (S-S)

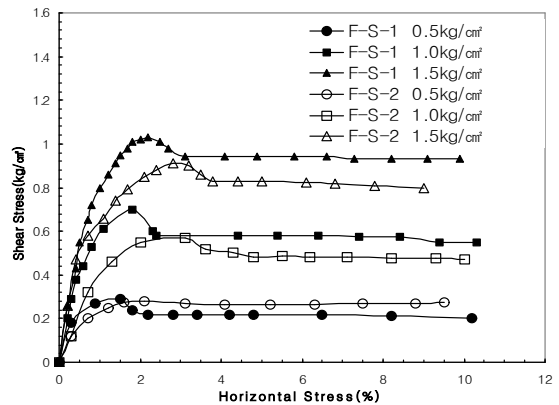


Fig. 6. Relations between shear stress and strain (F-S-1,2)

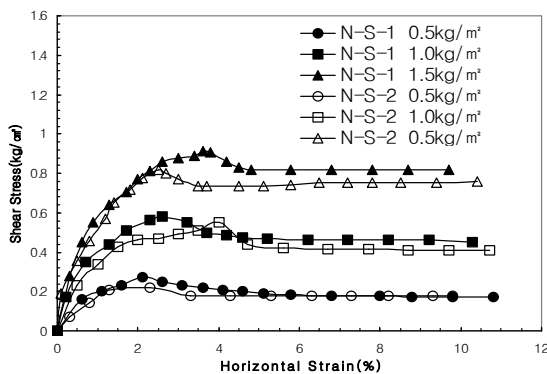


Fig. 5. Relations between shear stress and strain (N-S-1,2)

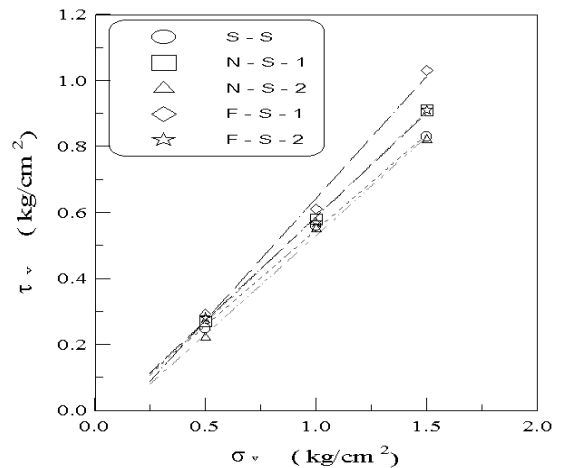


Fig. 7. Relations between normal stress and shear stress

Table 4. Shear strength parameters

| 시험종류                 | 마찰각 (°) |
|----------------------|---------|
| Sand                 | 28      |
| 부직포/고정법 / N - S - 1  | 30      |
| 부직포/자유법 / N - S - 2  | 27      |
| 지오그리드/고정법/ F - S - 1 | 34      |
| 지오그리드/자유법/ F - S - 2 | 30      |

며, 또한 F-S-1 및 F-S-2는 지오그리드를 보강재 사용한 경우의 고정법과 자유법에 의한 시험실시를 뜻한다. 지오그리드/모래접촉면의 경우 마찰각은 각각 34°, 30°로서, 부직포/모래접촉면의 마찰각 30°, 27°에 비해 크다. 그러나, 예상과는 달리 지오그리드에 비해 상대적으로 부직포도 접촉면에서 상당한 마찰저항력을 갖고 있음을 알았다. 그리고, 고정법은 각각 30°, 34°로서 자유법의 27°, 30°보다 컸다.

즉 고정법으로 시험하는 경우가 더 큰 마찰각을 얻게 된다는 것이다. 모래/모래 접촉면에서의 마찰각은 28°로서 지오그리드/모래, 접촉면의 마찰각보다 오히려 작은 값을 보여주고 있어서, 기존 설계시 인발이나 전단시험결과가 없을 때 사용하는 감소 마찰상수는 실제 마찰각과 큰 차이가 있어 과다설계의 여지가 있음을 알 수 있다.

### 4.3 잔류응력 특성

잔류응력이란 전단응력의 최대점(Peak point)이 후 계속되는 변형에 어느 정도 저항하다가 일정한 수준으로 존재하는 응력을 말한다. 중요구조물의 경우 잔류응력에 의한 지반정수를 가지고 설계하는 경우도 있다. 본 시험결과로부터 고정법, 자유법등의 시험방법에 따른 그리고, 부직포, 지오그리드등의 토목섬유종류에 따른 잔류응력비를 검토하기 위해 아래 식과 같이 정의하였다.

$$\text{잔류응력비 (RSR)} = \frac{\text{변형률 6\% 일때의 전단응력}}{\text{최대전단응력}} \quad (1)$$

Table 5 및 Fig. 8은 상재하중에 따른 시험종류별, 토목섬유종류별 잔류응력비를 나타낸 것이다. Table

Tabl 5. Residual Stress Ratio(RSR)

| 시험종류                  | 상 재 하 중               |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                       | 0.5kg/cm <sup>2</sup> | 1.0kg/cm <sup>2</sup> | 1.5kg/cm <sup>2</sup> |
| Sand                  | 0.86                  | 0.84                  | 0.82                  |
| 부직포/고정법/ N-S-1        | 0.73                  | 0.79                  | 0.98                  |
| 부직포/자유법/ N-S-2        | 0.82                  | 0.82                  | 0.98                  |
| 지오그리드 /고정법 /F-S-1     | 0.77                  | 0.81                  | 0.84                  |
| 지오그리드/ 자유법/ F - S - 2 | 0.88                  | 0.89                  | 0.93                  |

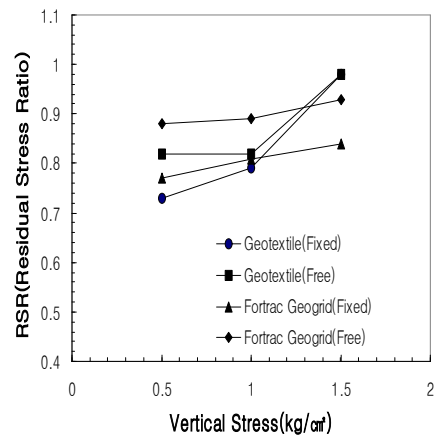


Fig. 8. Relations between maximum shear stress and shear stress Residual Stress Ratio

5 및 Fig. 8로부터 부직포, 지오그리드 등의 토목섬유 종류에 상관없이 자유법의 경우가 잔류응력비가 큰 것으로 나타났다. 즉 자유법의 경우는 토목섬유 자체의 변형으로 인해, 피크응력이 고정법에 비해서 적으므로 이의 영향이 잔류응력비가 커진 것으로 판단된다. 또한 상재하중이 클수록 잔류응력비가 큰 값을 갖는 뚜렷한 경향을 보인다.

### 5. 결 론

보강토 지반에서 지반과 보강재사이의 전단특성을 밝히기 위해서 두 종류 시험방법을 사용하였다. 즉 전단과정에서 토목섬유 자체가 인장변형을 하는 것으로 가정할 경우 그리고 토목섬유자체의 인장변

형을 배제한 경우 등이다. 즉 전자를 자유법, 후자를 고정법이라 명명하였다. 또한 보강재로서 부직포 및 지오그리드를 사용하였다. 시험결과로부터 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고정법이 자유법에 비해서 피크응력도 크며 피크응력에 도달하는 전단변형도 작게 나타나고 있는데, 변형이 억제되면 더 큰 전단강도를 갖게 된다는 점을 파악할 수 있었다.
2. 모래/모래의 마찰각은 28°로서 오히려 지오그리드/모래 값보다 작은 경향을 보여주었다.
3. 잔류응력의 경우에는 자유법이 고정법에 비해 더 작은 전단응력을 보이고 있다. 그러나, 잔류응력비는 토목섬유 종류에 상관없이 자유법의 경우가 잔류응력비가 큰 것으로 나타났다.
4. 상재하중이 클수록 잔류응력비가 큰 값을 갖는 뚜렷한 경향을 보인다.
5. 고정법은 각각 30°, 34°로서 자유법의 27°, 30°보다 컸다. 즉 똑같은 보강지반이라 하더라도 고정법으로 시험하는 경우가 더 큰 마찰각을 얻는다.

## 참 고 문 헌

1. 김병욱(2000), “지오그리드로 보강된 화강풍화토의 인발특성 연구”, 순천대학교 대학원, 공학석사학위논문
2. 신은철, 이에영, 조삼덕, 정문영(1997), “지오멤브레인과 주변흙의 마찰특성”, 한국지반공학회, '97 가을 학술발표회 논문집, pp. 299~306.
3. 이재열, 송성원, 김유성(1997), “전단시험에 의한 부직포보강 점성토의 보강효과”, 한국지반공학회, '97가을 학술발표회 논문집, pp. 291~298.
4. 조삼덕, 김진만(1995), “토목섬유 보강토 구조물의 합리적인 해석과 설계”, 한국건설 기술연구원, 연구보고서, KICT/95-GE-1101.
5. Colin J.E.P. Jones(1996), “Earth reinforcement & soil structures”, Thomas Telford, pp. 37~96.
6. H. Ochiai, S. Hayashi, J. Otani, T. Hirai(1992), “Evaluation of pull-out resistance of geogrid reinforced soils”, Proceedings of The International Symposium on Earth Reinforcement Practice, pp. 141~146.
7. H.Ochiai, N.Yasufuku & T.Yamaji, Guang-Li Xu, T.Hirai (1996), “Experimental evaluation of reinforcement in geogrid-soil structure” Proceedings of The International Symposium on Earth Reinforcement, pp. 249~254.
8. Robert M. Koerner(1994), “Designig with geosynthetics”, Third edition, Prentice-Hall Inc, pp. 125~127
9. S. Hayashi, K. Makiuchi, H. Ochiai(1994), “Testing Methods For Soil-Geosynthetic Frictional Behavior - Japanese Standard”, Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 5-9 September, pp. 411~415.