

## 굵은 입자가 포함된 풍화토의 전단강도 평가에 대한 실험연구

## An Experimental Study on the Evaluation of Shear Strength of Weathered Soil Containing Coarse Particles

김준석\*

Joon-Seok Kim\*

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University, Incheon, Republic of Korea

\*Corresponding author: Joon-Seok Kim, jskim@chungwoon.ac.kr

## ABSTRACT

**Purpose:** In this paper, an experimental study was conducted to analyze the difference in shear strength caused by the problem of excluding coarse particles due to the size of the test specimen in the direct shear test. **Method:** A large-scale direct shear test was conducted on three weathered soils containing coarse aggregates with a maximum diameter of 50mm. In addition, a small-scale direct shear test was performed using a sample with a maximum diameter of 5 mm, excluding coarse aggregates. **Result:** In the case of the small-scale direct shear test, compared to the results of the large-scale direct shear test containing large particles, the internal friction angle was about 2.3% smaller, and there was no significant difference. In terms of cohesion, compared to the large-scale direct shear test, the small-scale direct shear test derived about 80.3% smaller value, showing a relatively large difference. **Conclusion:** In the large-scale direct shear test, it was analyzed that the coarse particles had a greater impact on the cohesion than the internal friction angle. Therefore, granite weathered clay containing coarse particles is judged to have the same shear strength as the cohesive force that is not affected by vertical stress. In this study, it was analyzed that the small-scale direct shear test, which excludes the coarse particles that are commonly used, provides results on the safety side by excluding the effect of coarse particles.

**Keywords:** Large-scale Direct Shear Test, Granite Weathered Soil, Internal Friction Angle, Adhesion Force, Shear Strength

## 요약

**연구목적:** 본 논문에서는 직접전단시험에서 시험시편의 규모 때문에 부득이 굵은 입자가 제외되는 문제 때문에 발생하는 전단강도의 차이를 분석하고자 직접전단시험을 실시하는 실험연구를 수행하였다. **연구방법:** 최대직경 50mm의 굵은 골재가 포함된 3개의 풍화토를 대상으로 대형직접전단시험을 실시하였다. 또한 굵은 골재가 제외된 최대직경 5mm 시료를 이용하여 소형직접전단시험을 실시하였다. **연구결과:** 소형직접전단시험의 경우 큰입자가 포함된 대형직접전단시험의 결과에 비하여 내부마찰각은 약 2.3% 작은 값을 도출하여 비교적 큰 차이가 없었다. 점착력에서는 대형직접전단시험에 비하여 소형직접전단시험이 약 80.3% 작은 값을 도출하여 비교적 큰 차이를 나타내었다. **결론:** 대형직접전단시험에서 굵은 입자가 내부마찰각보다는 점착력에 큰 영향을 준 것으로 분석되었다. 따라서, 굵은 입자를 포함한 화강풍화토는 수직응력에 영향을 받지 않는 점착력과 같은 전단강도를 갖고 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 일반적으로 사용되고 있는 굵은 입자를 제외한 소형직접전단시험은 굵은 입자의 효과를 제외함으로써 안전측의 결과를 제공하는 것으로 분석되었다.

**핵심용어:** 대형직접전단시험, 화강풍화토, 내부마찰각, 점착력, 전단강도

Received | 2 February, 2024

Revised | 25 March, 2024

Accepted | 27 March, 2024

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

우리나라 산지에 분포되어 있는 풍화토는 각각의 화학적 성분과 풍화정도에 따라 다양한 전단강도를 발현한다. 특히, 분포가 많은 화강풍화토는 풍화의 정도에 따라 큰 자갈이 다량 포함된 경우도 있으며 점토처럼 풍화된 경우도 있다. 이러한 풍화토는 사면안정성을 평가하는 중요한 대상으로서 여러 가지 시험법을 동원하여 평가에 필요한 공학적 특성을 파악하고자 노력한다. 풍화토의 사면안정성을 평가하기 위한 가장 중요한 공학적 특성에는 전단강도가 있으며, 여러 가지 시험방법을 사용하여 평가하고자 노력한다. 풍화토의 전단강도를 평가하기 위하여 실무적으로 직접전단시험법을 많이 이용하고 있다. 직접전단시험법은 시험방법이 비교적 단순하기 때문에 신속하게 시험결과를 도출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 많이 사용되고 있는 직접전단시험이 많은 장점이 있지만 결정적으로 일반적으로 사용하는 시험시편의 규모가 비교적 작다는 단점이 있다. 일반적으로 사용하는 직접전단시험기를 사용하여 직접전단시험을 실시할 경우에 시험대상의 토질 입자가 5mm 이하인 경우에는 시험시편 제작과정에서 제외되는 입자가 없으나, 풍화토와 같이 굵은 입자가 섞여 있는 경우에는 5mm 이상의 입자를 제외하고 시험을 실시해야 하기 때문에 시험시편의 규모에서 발생하는 오차가 발생할 수 있다. 토질의 강도특성을 찾기 위한 여러 시험법 중에 삼축압축시험은 경계조건을 현장과 같이 구현할 수 있다는 장점이 있으나 시험 과정이 복잡하다는 단점이 있다(Jewell, 1989). 그에 비하여 직접전단시험은 시험 방법이 상대적으로 단순하다는 장점때문에 실무에서는 직접전단시험을 비교적 많이 수행하게 된다. 그러나, 직접전단시험은 정밀한 경계조건을 구현하기 어려우며 현장상황을 재현하기 어렵다는 문제점이 있다(Lee, 2017). 직접전단시험은 이러한 단점을 보완하기 위한 연구로서 시험기의 개선, 영향인자들에 대한 분석, 전단강도와 팽창각 사이의 관계 연구 등 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 이러한 직접전단시험의 문제점 중에서도 응력전이현상과 직접적인 관계가 있는 것은 시험시편의 크기이다. 즉, 시험시편의 경계조건에 따라 동일한 시료의 시험결과가 영향을 받을 수 있다는 연구가 지속적으로 수행되어 왔다(Kim et al., 2000). 대형직접전단시험과 소형직접전단시험의 시료의 크기효과(scale effects)는 순수모래의 경우에는 비교적 크지 않으나 상대밀도가 촘촘한 영역에서 소형전단시험의 결과가 비교적 크게 평가되는 것으로 연구된 바 있다(Kim et al., 2019; Kim, 2020). 직접전단시험 시료의 크기효과 문제가 있으나 실무적으로 소형직접전단시험기는 대형직접전단시험기에 비하여 비교적 시험을 용이하게 할 수 있다는 장점 때문에 일반적으로 사용되고 있다(Ju et al., 1998). 우리나라의 건설분야 설계 및 시공을 위하여 사용되는 직접전단시험 시편의 크기는 한국국가기술표준원에서 제정한 한국시험기준(ks F2343)에 따라 원형의 경우 최소 지름 50mm, 사각형의 경우 최소 폭 60mm로 규정하고 있으나, 시험의 용이성 때문에 일반적으로 최소규격의 시편을 이용한 시험을 대부분 실시하고 있다(Hong et al., 2015). 또한, 시료의 최대크기를 시료두께의 1/6이하로 규정하고 있는 관계로 실무에서는 약 5mm이상의 흙 입자는 제거하고 시편을 제작하여 시험을 실시하게 되므로 5mm이상의 큰 입자가 포함된 시료의 경우에는 현장에서 발현될 수 있는 실질적인 전단강도의 추정에 어려움이 있다. 따라서, 중요한 과제의 경우에는 특별히 제작된 대형 직접전단시험기를 사용하여 굵은 입자를 포함하여 시험을 실시하기도 한다. 본 논문에서는 이와 같이 실무에서 시험시편의 규모 때문에 부득이 굵은 입자가 제외되는 문제 때문에 발생하는 전단강도의 차이를 분석하고자 실험연구를 수행하였다. 따라서, 굵은 골재가 포함된 풍화토를 대상으로 대형직접전단시험을 실시하고, 또한 굵은 골재가 제외된 시료를 이용하여 소형직접전단시험을 실시한 후, 시험결과를 비교분석하여 실무에서 일반적으로 사용하는 작은 시편의 직접전단시험결과에 대한 실무적 적용성을 평가하고자 하였다.

## 실험내용 및 방법

우리나라 풍화토의 입도상태는 매우 다양하지만 본 연구에서는 실험에서 사용된 대형직접전단시험기의 시료상자의 크기를 고려하여 입자의 최대 크기를 50mm로 하였다. 본 연구에서 사용한 대형직접전단시험기는 실무에서 사용하는 일반적인 시험조건의 최대입경이 약5mm인 점을 고려할 때 최대입경 기준으로 약 10배의 대형규모이므로 본 연구의 목적에 적절할 것으로 판단된다. 본 연구에서 실시한 큰 규모의 직접전단시험과 구분하기 위하여 작은 규모의 직접전단시험을 소형직접전단 시험으로 표현하였다. 본 연구에서는 우리나라 산지에서 일반적으로 발견되는 서로 비교 가능한 범위에 있는 유사한 입도를 갖는 3종류(시료A, 시료B, 시료C)의 화강풍화토에 대하여 실험을 실시하였다. 시료의 특징은 10mm 이상의 입자가 약 20~40%이며 0.075mm 이하의 입자가 약20%로 구성되어있으며, 통일분류법 기준으로 SW에 해당한다. 실험에서는 대형직접 전단시험의 경우에는 최대직경 50mm로 하였으며, 소형직접전단시험에서는 각각 동일한 시료에서 5mm 이상의 입자는 제외된 시료를 사용하였다. 각각의 시료에 대한 입도는 Fig.1~6에 표시하였으며 물리적 특성은 Table 1에 정리하였다. 본 연구에 사용된 대형직접전단시험기 시료의 크기는 가로300mm, 세로300mm, 높이200mm인 사각형 형태이며 우리나라에서 표준으로 일반적으로 수행되고 있는 시료크기의 약 10배에 해당되는 규모로서 대형직접전단시험장치는 Fig.7과 같다. 본 연구에서 실시한 대형직접전단시험의 결과와 비교하기 위한 소형직접전단시험은 지름50mm 두께 25mm인 원형시료를 사용하여 실시하였다. 실험에 사용된 소형직접전단시험기는 Fig.8과 같으며 실험에 사용된 시료는 본 연구에서 사용된 3개의 시료에서 5mm 이하의 시료만으로 시험을 실시하였다. 시험에서는 현장과 같은 상태의 시료를 제작하기 위하여 함수비를 현장과 같은 상태로 만든 후에 Fig.9~10과 같이 다짐방법을 사용하여 현장과 같은 단위중량의 시료를 제작하였다.

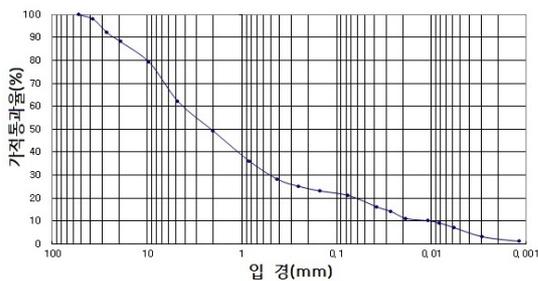


Fig. 1. Particle diameter curve of soil A (large test)

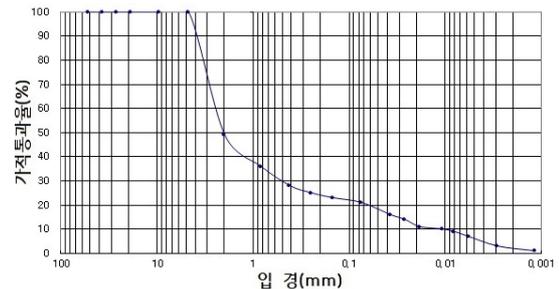


Fig. 2. Particle diameter curve of soil A (small test)

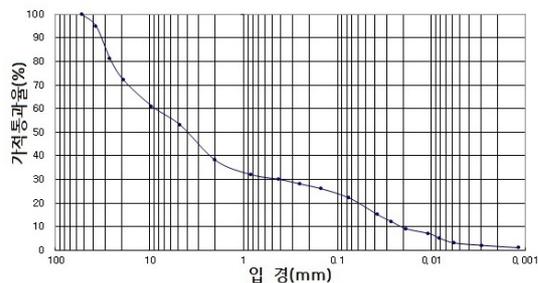


Fig. 3. Particle diameter curve of soil B (large test)

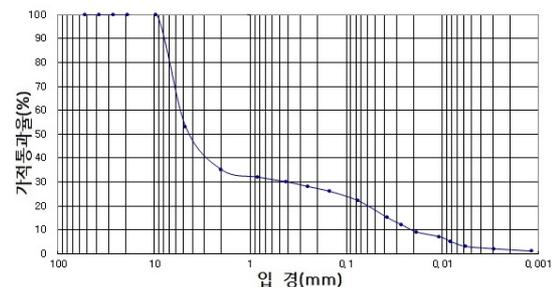


Fig. 4. Particle diameter curve of soil B (small test)

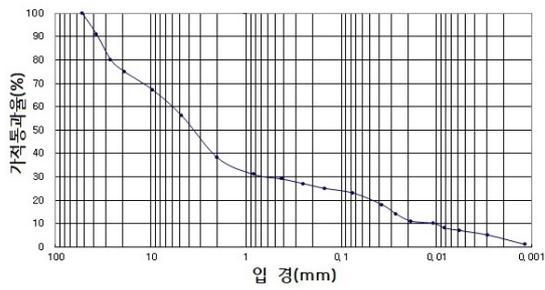


Fig. 5. Particle diameter curve of soil C (large test)

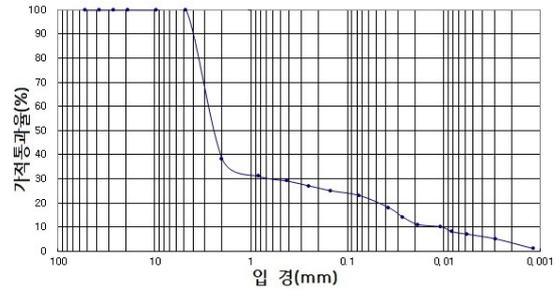


Fig. 6. Particle diameter curve of soil C (small test)

Table 1. Engineering properties of soils

지층구분	건조단위중량( $\gamma_d$ ) $\text{kn/m}^3$	비중(G)	함수비(w) %
시료A	15.1	2.71	23.4
시료B	15.3	2.73	23.6
시료C	15.2	2.72	23.6



Fig. 7. View of large-scale direct shear tester



Fig. 8. Direct shear tester



Fig. 9. Sample box of large-scale direct shear tester



Fig. 10. Sample molding

## 실험결과 분석

### 직접전단시험 결과

3개의 풍화도에 대하여 대형직접전단시험과 일반적인 규모의 소형직접전단시험을 실시하여 결과를 분석하였다. Fig.11에서 대형직접전단시험의 응력-변형을 관계를 나타내었으며, Fig. 12에서 대형직접전단시험의 시료별 점착력과 내부마찰각을 분석하기 위한 전단강도 분석도를 표시하였다. 대형직접전단시험에서 얻어진 각각의 시료에 대한 강도정수는 Table 2에 정리하였다. Table 2에서 3가지 시료에 대한 대형직접전단시험의 점착력 평균값은 47.4kPa 이며, 내부마찰각은 36.03°을 얻을 수 있었다. 소형직접전단시험은 대형직접전단시험에 적용된 3가지의 시료에서 5mm이상의 입자를 제거한 후 수행되었다. 소형직접전단시험의 응력-변형을 관계는 Fig. 13에 표시하였으며, 소형직접전단시험의 시료별 점착력과 내부마찰각을 분석하기 위한 전단강도 분석도를 Fig. 14에 표시하였다. 소형직접전단시험에서 얻어진 각각의 시료에 대한 강도정수는 Table 3에 정리하였다. Table 3에서 3가지 시료에 대한 대형직접전단시험의 점착력 평균값은 9.3kPa 이며, 내부마찰각은 35.2°을 얻을 수 있었다.

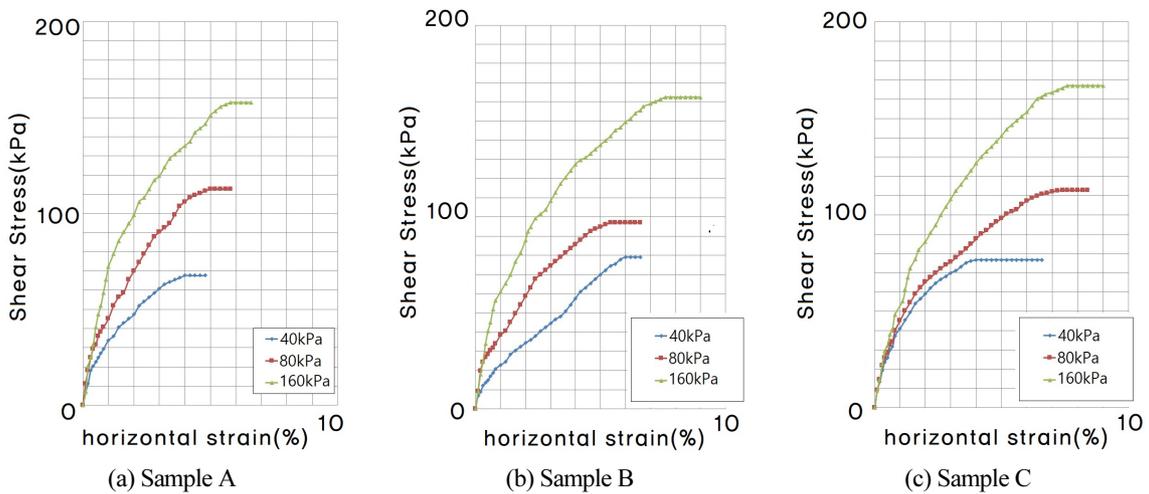


Fig. 11. Stress strain in large-scale direct shear test

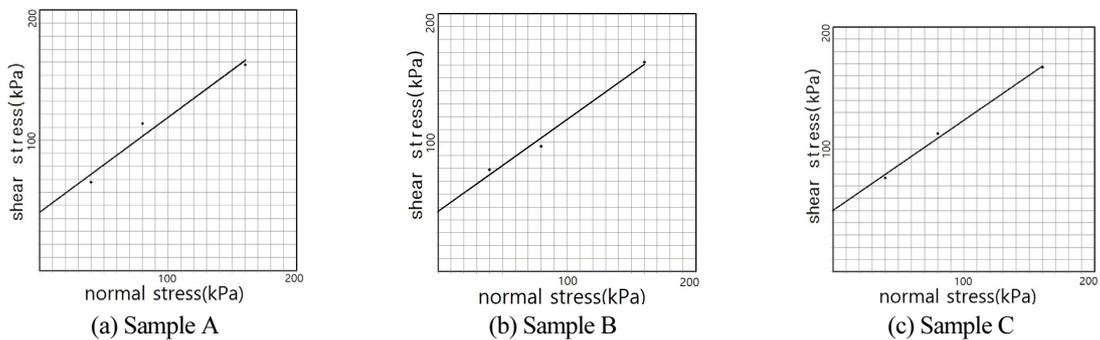
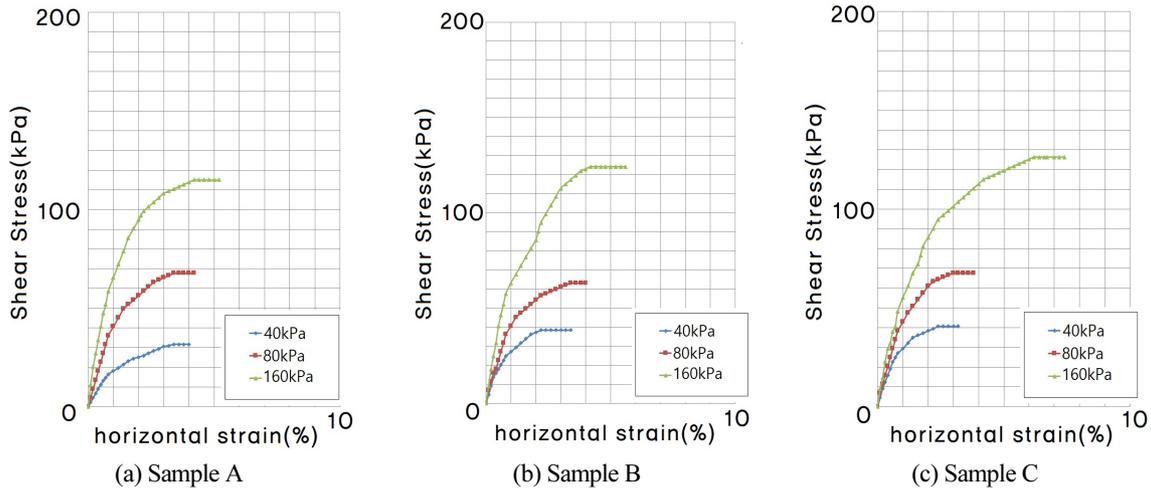


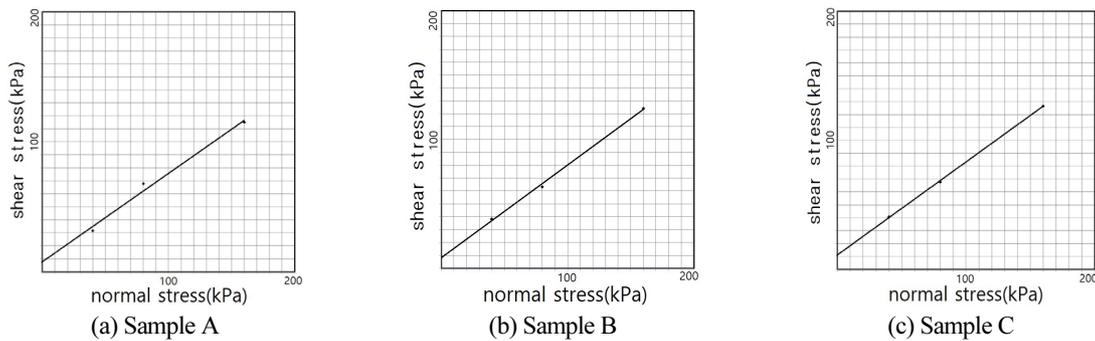
Fig. 12. Analysis of shear strength by sample in large-scale direct shear test

**Table 2.** Intensity integer of large-scale direct shear test for 3 samples

	A-TYPE SOIL	B-TYPE SOIL	C-TYPE SOIL
C 값	45.0 kPa	47.0 kPa	50.0 kPa
$\phi$ 값	36.2°	35.5°	36.4°



**Fig. 13.** Stress strain relationship in direct shear test



**Fig. 14.** Analysis of shear strength by sample in shear test

**Table 3.** Intensity integer of direct shear test for 3 samples

	A-TYPE SOIL	B-TYPE SOIL	C-TYPE SOIL
C 값	8.0 kPa	9.0 kPa	11.0 kPa
$\phi$ 값	34.0°	35.7°	35.9°

### 전단강도 비교분석

본 절에서는 굵은 골재가 포함된 풍화토를 대상으로 실시한 대형직접전단시험과 굵은 골재가 제외된 시료를 이용하여 수행한 소형전단시험의 결과를 비교분석하였다. 우리나라에서 일반적으로 사용되는 직접전단시험의 시료 크기는 지름이

50~60mm 로서 최대입자는 약5mm 이내 이어야 한다. 그러나, 실제 현장에서는 5mm 이상의 입자가 많이 포함되어 있으므로 시험과정에서 5mm 이상인 입자는 제외시키고 시험을 진행해야 한다. 시험의 수행을 위하여 부득이 굵은 입자를 제외하여 시험을 진행했을 경우에 굵은 입자가 포함된 경우와 어떠한 차이가 있는지 본 실험을 통하여 분석하고자 하였다. 본 연구에서 실험한 대형전단시험기의 시료 최대크기는 50mm 로서 표준전단시험기 5mm의 10배 크기이므로 전단강도측정에서 시료의 굵은 입자의 포함여부에 따른 차이를 확인할 수 있을 것으로 판단된다. 대형전단시험에서 내부마찰각은 35.5°~36.4°(평균36.1°),점착력은 45~50kPa(평균 47.3kPa)이었으며, 소형전단시험에서는 내부마찰각은 34.0°~35.9°(평균 35.2°), 점착력은 8~11kPa(평균 9.3kPa)로 분석되었다. 대형직접전단시험 결과와 소형직접전단시험 결과에서 내부마찰각은 Fig. 15와 같이 약2.3%의 차이로서 비교적 큰 차이가 없었으나, 점착력은Fig. 16과 같이 약 80.3%의 차이로서 비교적 큰 차이가 발생하였다. 즉, 상대적으로 작은 소형직접전단시험의 경우 국가표준시험방법에 의하여 시험을 실시한 결과 큰입자가 포함된 대형직접전단시험의 결과에 비하여 내부마찰각은 약2.3% 작은 값을 도출하여 비교적 큰 차이가 없었으나, 점착력에서는 약 80.3% 작은 값을 도출하여 비교적 큰 차이를 나타내었다. 이러한 차이는 대형직접전단시험에서 굵은 입자가 내부마찰각 보다는 점착력에 큰 영향을 미친 것으로 분석될 수 있으며, 이것은 굵은 입자를 포함한 화강풍화토는 수직응력에 영향을 받지 않는 전단강도를 일부 갖고 있는 것으로 이해될 수 있다. Fig. 17은 대형직접전단시험에서 준비된 시료의 실험전 모습과 실험 시행 후 절단된 시료의 모습으로서 굵은 입자로 인하여 파괴면이 매우 불규칙한 것을 확인할 수 있다.

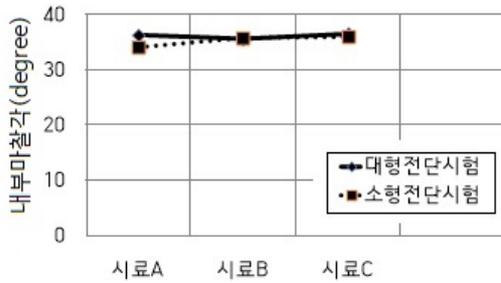


Fig. 15. Comparison of internal friction angles

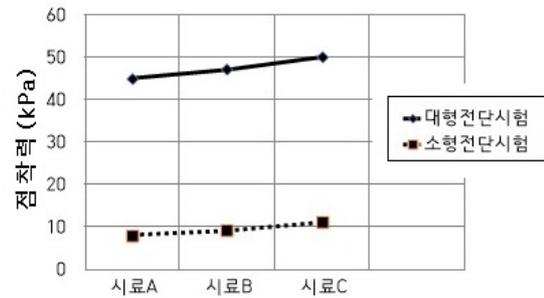


Fig. 16. Comparison of adhesion



(a) The sample before the test



(b) The destroyed shear surface of the sample after testing

Fig.17. Sample before and after test of the large-scale direct shear testing machine used in the study

## 결론

본 연구에서는 실무에서 일반적으로 사용하고 있는 소형직접전단시험의 시료 크기에 따른 시험결과와 변동 가능성에 대한 실험연구를 수행하였다. 사용된 시료는 우리나라에서 넓게 분포하고 있는 화강풍화토를 대상으로 하였다. 최대입경 50mm의 굵은 입자가 포함된 시료를 대상으로 실시한 대형직접전단시험과 5mm이상의 굵은 입자가 제외된 시료를 이용한 소형직접전단시험을 실시하여 결과를 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 대형직접전단시험에서 내부마찰각은 35.5°~36.4°(평균36.1°), 점착력은 45~50kPa(평균 47.3kPa)이었으며, 소형직접전단시험에서는 내부마찰각은 34.0°~35.9°(평균 35.2°), 점착력은 8~11kPa(평균 9.3kPa)이었다.
- 2) 상대적으로 작은 소형직접전단시험의 경우 국가표준시험방법에 의하여 시험을 실시한 결과 큰입자가 포함된 대형직접전단시험의 결과에 비하여 내부마찰각은 약2.3% 작은 값을 도출하여 비교적 큰 차이가 없었으나, 점착력에서는 약 80.3% 작은 값을 도출하여 비교적 큰 차이를 나타내었다.
- 3) 대형직접전단시험에서 굵은 입자가 내부마찰각보다는 점착력에 큰 영향을 준 것으로 분석될 수 있으며, 이것은 굵은 입자를 포함한 화강풍화토는 수직응력에 영향을 받지 않는 점착력과 같은 전단강도를 소형직접전단시험 결과에 비해 비교적 큰 값을 갖고 있는 것으로 이해될 수 있다. 따라서, 일반적으로 사용되고 있는 소형직접전단시험은 굵은 입자에 의해 발생하는 점착력을 제외하게 됨으로서 결과적으로 안전측의 값을 도출하는 것으로 분석되므로 실무적용에서 불안정 요인을 제공하지는 않을 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

본 연구는 2023년도 청운대학교 연구년 지원에 의한 것으로 지원에 감사드립니다.

## References

- [1] Hong, Y.H., Byen, Y.H., Chai, J.G., Lee, J.S. (2015). "Shear behavior of sand samples according to the type of shear box in the direct shear test." *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 31, No. 3, pp. 51-52.
- [2] Jewell, R.A. (1989). "Direct shear test on sand." *Geotechnique*, Vol. 39, No. 2, pp. 309-322.
- [3] Ju, J.W., Park, C.S., Choi, H.-N. (1998). "Triaxial test of Jumunjin standard sand according to relative density." *Korean Society of Civil Engineers Conference*, Vol. 2, pp. 73-76.
- [4] Kim, J.G., Choi, Y.H., Jung, J.Y., Kang, K.S. (2000). "Study on shear constants of jumunjin standard sand according to direct shear test type." *Korean Society of Civil Engineers Conference*, Vol. 2, pp. 439-442.
- [5] Kim, J.S. (2020). "An experimental study on the engineering characteristics analysis of unsaturated weathered granite soil." *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol. 16, No. 3, pp. 577-585.
- [6] Kim, J.S., Kim, J.H. (2019). "Scale effects of the specimen on shear strength of sand by direct shear test." *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol. 15, No. 4, pp. 590-596.
- [7] ks F2343 (2022). *The Method for Direct Shear Test of Soil Under Consoildated Drained Conditions*. Korean Agency for Technology and Standards.
- [8] Lee, S.D. (2017). *Soil Mechanics*. Gumi Library, Seoul, Korea, pp. 239-295.