

지반의 교란을 최소화 한 원위치시험법 개발 및 적용 : 스크류재하시험

이용수* · 황웅기* · 황중호* · 김태형**

*한국해양대학교 토목환경공학과 석사과정, **한국해양대학교 건설환경공학부 교수

Low-Soil Disturbance In-Situ Test Method Development and Its Application : Screw Plate Loading Test

Yong-Su Lee* · Woong-Ki Hwang* · Joong-Ho Hwang* · Tae-Hyung Kim**

*Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Division of Civil and Environmental Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 실내시험인 경우 샘플링으로 인한 시료의 교란이 결과 값에 오차를 발생시켜 현장의 지반 거동과 차이를 발생 시킬 수 있기 때문에 원위치시험을 선호하는 추세이다. 하지만 지반조사에 적용되는 많은 원위치시험인 경우 시험 시 지반의 교란을 발생시켜 지반 거동을 정확히 파악하기가 어렵다는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 지반의 교란을 최소화하며 지반의 정확한 거동 분석이 가능한 스크류재하시험을 주 연구대상으로 하였다. 원위치시험법 중에 하나인 스크류재하시험은 나선형의 오거 재하판(스크류 재하판)을 지반 속에 관입하여 재하 실험을 하는 전통적인 평판 재하시험을 개량한 장치이다. 스크류재하시험 장치의 구조적인 메커니즘과 특징에 대해 구체적으로 설명되었고, 기존의 스크류재하시험 장치를 참고하여 새로운 스크류재하시험 장치가 제작되었다. 그리고 실내실험의 분석을 통해 새로 개발 중인 스크류재하시험 장치의 신뢰성이 확인되었다.

핵심 용어 : 스크류재하시험, 원위치시험, 흙의 교란, 흙의 특성, 지반 거동

ABSTRACT : Sampling disturbance can introduce considerable errors in the laboratory estimation of geotechnical properties of soils, and the results obtained from sophisticated sampling and careful laboratory testing are not matching with field behavior. Therefore, it is advantage to adopt in-situ testing techniques for the estimation of geotechnical parameters. Therefore, Screw plate loading test, one of new field test technologies, has been investigated in this study. This test can be utilized to find out important properties of soils such as load-displacement, elastic modulus, and shear strength. The screw plate loading test modified from the plate loading test is an experiment underneath ground by inserting a spiral type of auger screw. The structure and characteristics of the screw plate loading test device was examined in detail. In addition, The new screw plate loading test device was manufactured to refer the previous studies. The reliability of developing screw plate loading test was examined through the analysis of the laboratory test.

KEY WORDS : Screw plate loading test, In-situ test, Soil disturbance, Soil properties, Field behavior

1. 서 론

댐, 터널, 도로, 교량 등의 모든 토목구조물의 시공은 지반 위나 지반 내에서 이루어진다. 지반조사의 목적은 이들 토목구

조물의 설계와 시공에 필요한 정확한 지반 정보를 획득하는데 있다. 지반은 어느 정도 물리적 특성을 조절할 수 있는 철, 콘크리트, 목재 등의 다른 토목 재료들과 그 성질이 판이하게 다르다. 토목구조물 시공 중 지반과 관련이 되는 많은 위험요소

*amunago02@nate.com

gom0421@hotmail.com

hjhgo@nate.com,

**kth67399@hhu.ac.kr 051)410-4465

가 존재하는데 이와 같은 지반의 특성을 제대로 이해하지 못하고 시공을 하는 경우 상당한 위험이 따를 수 있다. 또한, 기초의 붕괴, 시공지연, 공사비용의 초과 등이 지반의 성질을 잘 파악하지 못하거나 부적절한 지반조사의 결과로 인해 기인되는 경우가 상당히 많다[1]. 따라서, 지반조사에 대한 관심 및 중요성은 나날이 증가하고 있는 추세에 있다. 일반적으로, 지반의 특성 및 토질 정수를 산출하기 위한 여러 종류의 현장역학시험과 실내시험이 실시되어지고 있는데 현장역학시험을 선호하고 있는 추세이다. 그 이유는 샘플링으로 인한 시료의 교란은 일반적으로 흙의 특성을 알기 위한 실내시험에서 오차를 발생시킬 수 있다고 알려져 있기 때문이다[2]. 따라서 정교한 샘플링과 세심히 주의를 기울인 실내시험에서 얻은 결과조차도 현장의 지반 거동과는 차이가 있을 수 있다. 즉, 현장 지반의 공학적 변수 추정을 위해서는 원위치 시험 기술을 채택하는 것이 일반적으로 유리하다는 것이다. 원위치시험인 현장역학시험에는 현재까지 지반조사에서 가장 많이 적용되고 있는 표준관입시험(SPT)이 있고, 그 외에 콘관입시험(CPT), 베인시험(VT), 딜레토미터시험(DMT), 평판재하시험(PBT), 공내수평재하시험 등이 있다[3,4,5]. 하지만 지반조사에 적용되는 많은 원위치시험인 경우 시험 시 지반의 교란을 발생시켜 지반 거동을 정확히 파악하기가 어렵다는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 지반의 교란을 최소화하며 지반의 거동 분석이 가능한 스크류재하시험을 주 연구대상으로 선택하였다. 원위치 시험 중 하나인 스크류재하시험은 현장에서 점성토와 비점성토의 지반공학적 특성 측정을 위하여 활용되어진 전통적인 평판 재하시험의 개량된 장치로 나선형 오거 재하판(스크류 재하판)을 지반 속에 관입하여 재하 실험을 하는 장치이다. 외국의 경우 스크류재하시험을 이용한 연구가 주로 육상에서 깊이 10m 이내에서 진행이 되고 있으나, 활발한 연구는 아직까지 이루어 지지 않은 상태이며, 아직까지 국내에 스크류재하시험에 대한 소개나 연구는 진행이 되지 않은 상태이다. 그래서 본 연구에서는 새로운 원위치 시험방법인 스크류재하시험에 대해 알아보고자 한다. 구체적으로 스크류재하시험기의 기본적인 구조 메커니즘과 특징에 대해 알아보고, 시공성과 경제성을 갖춘 개선된 스크류재하시험 장치의 개발 및 기법을 제시하고자 한다. 그리고 주문진 표준사를 이용한 실내실험을 통해 신뢰성을 확보하고자 한다.

2. 기존 스크류재하시험의 특징

스크류재하시험은 평판재하시험의 변형으로 원위치의 사질토 및 점성토 지반의 공학적 특성의 측정에 사용되었다[2,6,7,8,9]. 이 시험법은 기존의 평판 재하시험의 개량된 장치로 흙안에 삽입된 한 바퀴의 나선형 오거가 재하판 역할을 담당한다. 스크류재하시험장치의 기본 구조를 간략하게 도식화하면 Fig. 1과 같다. 재하하중 장치와, 재하하중 측정 장치, 재하하

중을 전달하는 재하축, 변위 측정 장치, 스크류 재하판 등이다. 스크류재하시험장치의 가장 큰 장점 중 하나는 시험 중 지반 교란을 적게 시킨다는 점이다. 다른 현장 관입시험장치에서와 같이 스크류 재하판도 흙 속에 관입되는 동안 주변 흙의 교란을 초래할 수 있지만 그 정도는 다른 시험에 비해 무시할 수 있을 정도로 매우 적다.

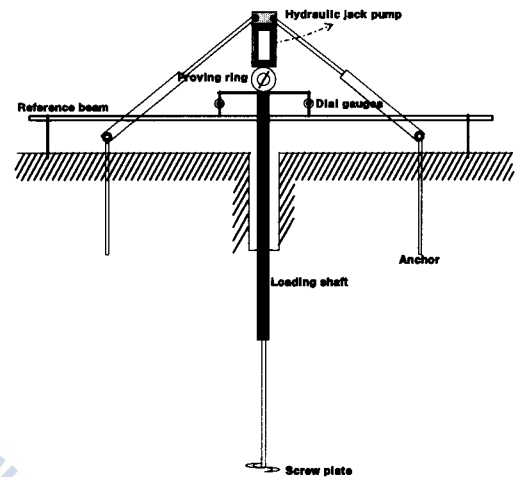


Fig. 1 Schematic diagram of the screw plate loading test device [9]

중 Fig. 2는 압축된 카이올린점토층 안으로 삽입된 스크류 재하판을 나타낸 것으로 스크류재하시험에서 나선 모양의 오거의 관입활동에 의한 흙의 교란은 크지 않다는 것을 알 수 있다[10]. 이러한 영향은 재하축의 직경(2c), 스크류 판의 직경(2a), 스크류 판의 두께(t), 스크류 판의 피치(2b)를 적당한 비율로 조절함으로써 최소화될 수 있다(Fig. 3). 이것은 스크류재하시험이 비교적 교란 이 안 된 지반에서 시험을 실시할 수 있다는 중요한 의미를 내포한다. 스크류재하시험의 또 다른 장점은 하중 조건이 기초와 유사하다는 것이다. Selvadurai(1984)와 Boominathan and Joseph(1985)는 이 조건에 근거하여 탄성 이론을 적용 사질토뿐만 아니라 연약한 점성토의 변형과 강도 특성 결정에 매우 성공적으로 이용하였다[11][12]. 스크류재하시험장치는 상대적으로 새로운 장비이므로 신뢰성 확인이 요구되어 지금까지 여러 연구자들에 의해 스크류재하시험의 신뢰성이 확인되었다. Kay and Avalle(1982)는 지하선로 구축 지점에서 스크류 재하시험을 실시하고 동일 지역에 대하여 프레셔미터 시험을 함께 수행하였다[13]. Bergardo and Huan(1987)은 연약한 점토층에 대한 실내에서의 일축압축시험, UU 삼축시험, 그리고 일차원 압밀시험 뿐만 아니라, 현장에서의 베인 전단시험과 공내재하시험에서의 결과와 스크류재하시험 결과와의 연관성을 검토하였다[2]. 이들 연구 결과 스크류재하시험을 통해 어느 정도 신뢰성 있는 지반의 변형과 강도를 측정할 수 있음이 밝혀졌다. 앞서 언급한 내용을 종합하면 지반의 강도와 변

형을 측정하는데 있어 스크류재하시험은 다른 현장 시험들과 비교 시 충분한 장점과 특징을 가지고 있음을 알 수 있다. 징은 다음과 같다.

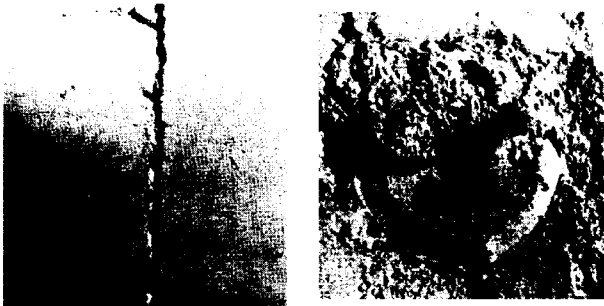
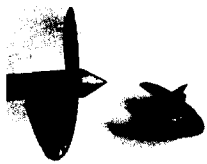


Fig. 2 Driven path of a screw plate in compacted kaolin [10]



Fig. 5 Photo of the newly developed screw plate loading test device



Suitable ratio of screw plate,

$$c/a = 0.125$$

$$b/a = 0.25$$

$$t/a = 0.02$$

Where,

The diameter of the loading shaft(2c)

The diameter of the screw plate (2a)

The thickness of the plate (t)

The pitch (2b)

Fig. 3 Suitable proportions of the screw plate [10]

3. 새로 개발된 스크류재하시험 장치

3.1. 시험장치 구성

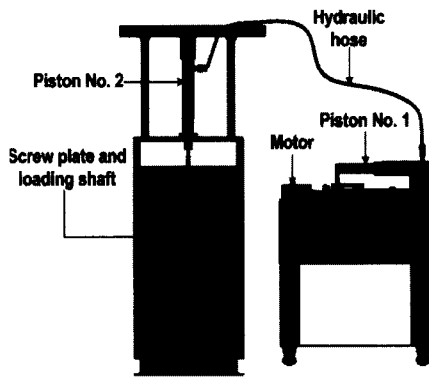


Fig. 4 Schematic diagram of the newly developed screw plate loading test device

Fig. 4와 Fig. 5는 현재 새로 개발 중에 있는 스크류재하시험기의 전체 기본 모식도 및 사진을 나타낸 것이다. 새로 개발된 스크류재하시험장치는 크게 스크류 재하판 및 재하축, 유압실린더 장치, 하중 재하 장치, 하중 제어 및 측정 장치로 이루어져 있다. 각 장치에서 주요한 부분의 세부적인 형태와 특

3.1.1 스크류 재하판 및 재하축

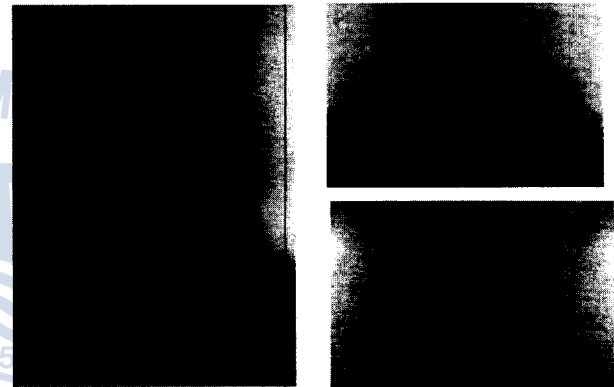
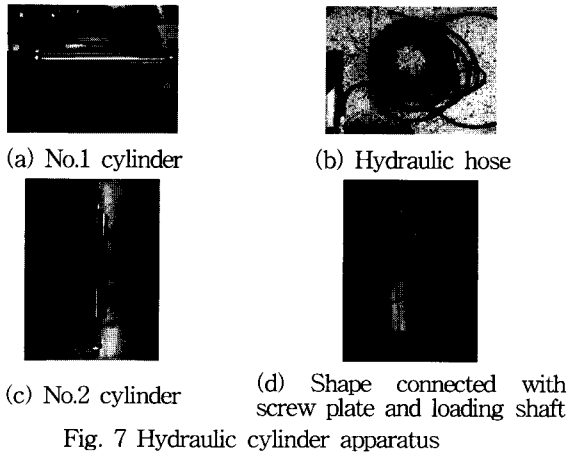


Fig. 6 Screw plate and loading shaft

스크류 재하판은 Fig. 6과 같이 지름 75mm, 두께 1mm, 18mm의 피치를 가진 1회전의 나선형 오거로 되어 있다. 스크류 재하판의 지름은 시공성과 공사비 절감을 위해 일반적으로 많이 쓰이는 케이싱(NX, 내경 81mm, 외경 83.9mm)을 기준으로 하였다. 하중을 전달하는 재하축은 스크류 재하판에 연결되어 있는 지름 10mm의 강철봉으로 되어 있다. 여기서, 재하축의 직경 (2c), 스크류 재하판의 직경 (2a), 판의 두께(t), 피치(2b)의 비율은 $c/a=0.133$, $b/a=0.24$, $t/a=0.026$ 으로, 앞서 언급한 바와 같이 기존의 실험적 연구를 통해 얻어진 스크류 재하판의 적정 비율을 토대로 제작 되어졌다[10]. 스크류 재하판의 형태와 비율은 스크류 재하판의 관입 활동 시 흙의 교란과 변형에 보다 큰 영향을 미치므로 제작 시 좀 더 많은 주의가 필요하다. 스크류 재하판과 재하축은 탄성계수 $E = 2.1 \times 10^7 \text{ ton/m}^2$, 포아송비 $\nu = 0.28 \sim 0.3$ 인 강철로 제작되었고, 기존의 연구에서 사용되었던 스크류 판에 적용된 재료 (탄성계수 $E = 2.0 \times 10^7 \text{ ton/m}^2$, 포아송비 $\nu = 0.3$)의 특성과 큰 차이가 없었다.

3.1.2 유압실린더 장치



육상뿐만 아니라 해상에서도 지반조사를 용이하게 수행하고, 이동과 설치를 원활히 하기 위해 하중 재하 장치의 자중과 용적을 줄 일 필요성이 있으므로 Fig. 7과 같이 유압실린더 장치를 고안 및 제작하게 되었다. 유압실린더 장치를 채택하여 제작되어졌다. 유압실린더 장치는 1차 실린더, 유압호스, 2차 실린더로 구성되어 있다. 1차 실린더는 양쪽 방향에 각각 모터와 유압호스로 연결되어 있고, 내부는 최대 약 70kg/cm²의 압력이 발생된다. 유압호스는 최대 약 100kg/cm² 이상의 압력에 견디는 호스를 사용했기 때문에, 1차 실린더에서 발생된 압력을 충분히 2차 실린더로 전달 할 수 있다. 2차 실린더는 1차 실린더와 연결된 유압호스로 연결되어있으며, 반대 방향은 Fig. 3.4(d)와 같이 스크류 재하판 및 재하축과 연결되어 있다. 2차 실린더는 시추된 지반 속에 들어가게 되도록 제작 되어, 스크류 재하판에 직접 하중을 전달하는 역할을 하게 된다.

3.1.3 하중 재하 장치

Fig. 8은 하중 재하 장치로 하중 제어 및 측정 장치에 의해 모터를 회전 시켜 유압을 발생시키게 된다. 모터를 회전시켜 발생된 유압으로 최대 1ton의 하중을 스크류 재하판에 전달할 수 있고, 최대 200mm의 변위를 측정할 수 있다. 발생된 유압과 변위는 1차 실린더에 설치된 압력 게이지와 변위 게이지에 의해 하중 제어 및 측정 장치로 실시간으로 전달되어진다

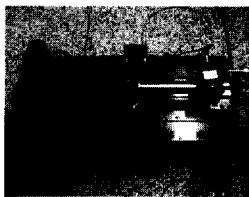


Fig. 8 Loading system

3.1.4 하중 제어 및 측정장치

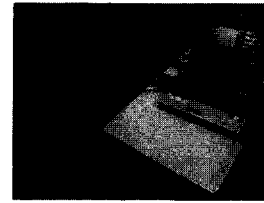


Fig. 9 Loading control and data collection apparatus

하중 제어 및 측정 장치는 하중 발생 장치 및 유압 실린더 장치의 신속하고 정밀한 제어할 뿐만 아니라 측정된 하중이나 변위를 데이터로거를 통해 모니터 화면으로 실시간으로 데이터와 그래프로 볼 수 있어, 보다 편리하고 정확한 데이터를 얻을 수 있다(Fig. 9).

3.2 작동 및 측정원리

3.2.1 작동원리

Fig. 10은 스크류재하시험장치의 작동 원리 모식도로 2차 실린더 끝에 있는 스크류 재하판을 회전시켜 지반에 고정시킨 후, 모터에서 발생된 압력이 1차 실린더, 유압호스, 2차 실린더, 스크류 재하판으로 전달되어 하중 및 변위가 측정되어진다.

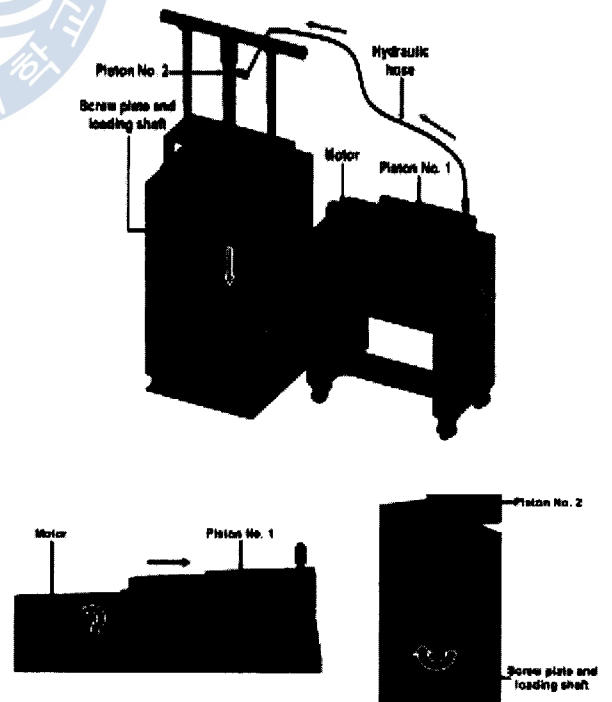


Fig. 10 Operation principle schematic diagram of the screw plate loading test

3.2.2 측정원리

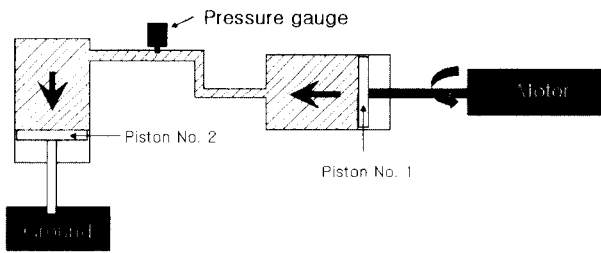


Fig. 11 Schematic diagram of loading measurement

Fig. 11은 지반에 가해지는 하중 측정 방법을 간략하게 보여준다. 우선, 모터의 회전에 의해 1차 피스톤을 전진시켜 유압을 발생시킨다. 여기서 발생한 유압은 2차 피스톤을 이동시키게 되고, 이때 밀어내려고 하는 유압과 밀리지 않으려고 하는 지층 사이의 힘을 측정할 수 있다. 발생한 하중은 유압 라인에 설치된 압력센서의 압력 값과 1차 실린더의 단면적의 곱으로 나타낼 수 있다.

Fig. 12는 변위의 측정 방법을 보여준다. 변위는 유체의 부피 변화량과 1차 및 2차 실린더의 단면적을 알고 있으므로 실린더가 하강할 때의 길이변화를 통해 측정 할 수 있다.

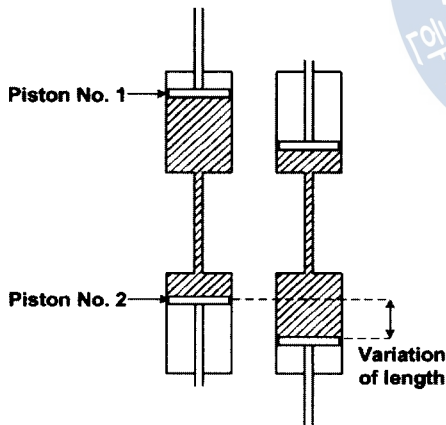


Fig. 12 Schematic diagram of displacement measurement

4. 스크류재하시험장치 검증 및 보정

4.1 재하 하중 검증

앞서 언급했듯이 재하 하중은 재하보를 설치하지 않고, 유압실린더 장치를 통해서 지반에 전달하게 된다. 장비의 특성상 1차 실린더에서 발생한 유압으로 재하 하중을 측정하기 때문에 지반에 직접 하중을 전달하는 2차 실린더에 재하 하중이

그대로 전달되는지 검증할 필요가 있다.

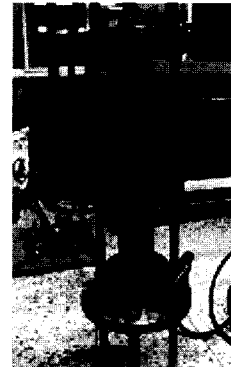


Fig. 13 Loading transfer verification test

Fig. 13은 재하하중 검증 장치를 보여준다. 검증을 위해 2차 실린더에서 스크류 재하판과 결합하는 부분에 로드셀을 부착하였다. 그리고 하중단계에 따라 재하 하여 1차 실린더에서 측정된 재하 하중과 로드셀에서 측정된 하중을 비교하였다.

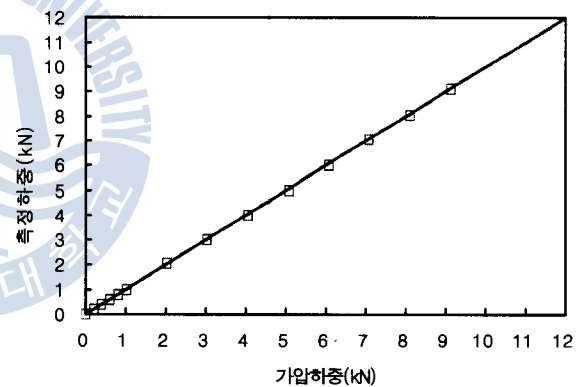


Fig. 14 Result of Loading transfer verification test

Fig. 14는 재하 하중 검증 실험 결과를 보여준다. 1차 실린더에서 측정된 재하 하중과 로드셀에서 측정된 하중은 거의 일치하므로 재하하중은 지반에 정확하게 전달된다고 볼 수 있다.

4.2 변위 보정

새로 개발된 스크류재하시험장치는 장치 특성상 지반의 변위를 직접 측정하기 어렵기 때문에 앞서 언급한 변위 측정 원리에 따라 1차 실린더에 발생한 변위를 이용하여 측정되도록 하였다. 따라서 정확한 지반의 침하량 산정을 위해서는 변위의 보정이 필요하다.

Fig. 15는 변위 보정 실험 장치를 보여준다. 유압실린더 장치에 의해 측정된 변위 중 가압에 사용된 변위를 분류해내

기 위해 스크류 재하판과 결합하는 부분에 변위를 억제시킨 다음 하중을 재하 하였다.



Fig. 15 Displacement calibration test

각 하중단계에서 기록되는 변위를 측정하여 가압에 사용된 변위 보정값을 측정하였다. 각 하중단계에서 보정할 변위는 Fig. 16과 같다.

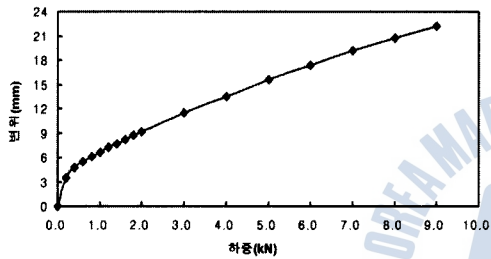


Fig. 16 Result of displacement calibration test

실험에서는 하중 단계를 0.2 ~ 1.2kN(0.02 ~ 0.12ton)로 계획했으므로 재하축의 좌굴 현상이 재하하중에 미치는 영향은 없다고 볼 수 있다.

5. 실내실험 및 결과

5.1 실내실험

5.1.1 지반 재료 특성

재하 하중을 일정하게 지반에 전달하기 위해서는 균질하게 형성된 지반이 필요하다. 이를 위해 입자크기 분포가 균등한 주문진 표준사를 이용하여 모형지반을 생성하였다. 비중 및 체분석 시험 등 실내시험 결과 주문진 표준사의 물리적 특성과 입도분포곡선은 Table 1 및 Fig. 17과 같다.

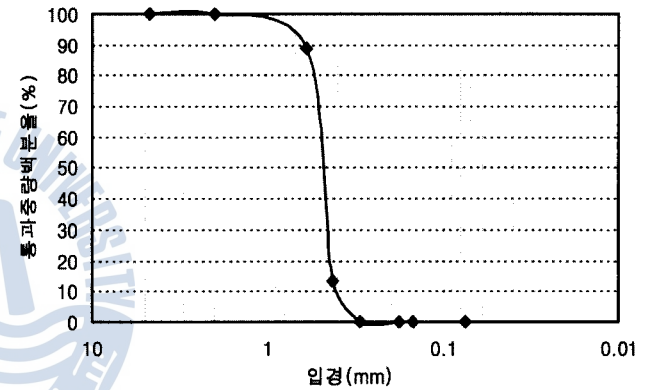


Fig. 17 Particle size distribution curve

4.3 재하축 좌굴 영향 검토

지반에 가하는 재하 하중은 재하축을 통해 스크류 재하판에 전달된다. 따라서 재하하중이 정확히 전달되기 위해서는 재하축의 좌굴현상이 없어야 한다. 따라서 스크류재하시험 장치의 재하축에 대한 좌굴 검토를 하였다. 기둥이 하중을 받을 때 좌굴현상이 발생하기 전 최대로 받을 수 있는 하중을 임계하중이라 하고 아래식의 Euler 임계하중 공식을 이용하여 임계하중을 구 할 수 있다[14].

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (1)$$

여기서, P_{cr} = 임계하중

E = 탄성계수

I = 관성모멘트

L = 기둥의 길이

재하축의 길이는 28cm, 탄성계수는 $2.1 \times 10^7 \text{ ton/m}^2$ 이므로 위의 식에 대해 계산하면 임계하중은 0.36ton(3.6kN)이다. 본

Table 1 Properties of Joomunjin sand

Description	Symbol	Property
Specific gravity	G_s	2.612
Max. void ratio	e_{max}	0.845
Min. void ratio	e_{min}	0.617
Max. dry density	γ_{dmax}	1.615
Min. dry density	γ_{dmin}	1.416
Effective particle size	D_{10}	0.413
D_{30} particle size	D_{30}	0.451
D_{60} particle size	D_{60}	0.492
Uniformity coefficient	C_u	1.191
Coefficient of curvature	C_c	1.001

5.1.2 지반 준비

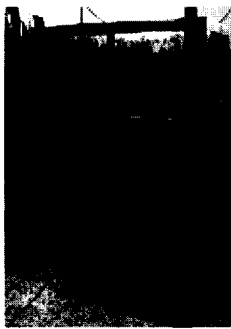


Fig. 18 Soil tank



Fig. 19 Sand raining system

본 실험에서 사용된 토조의 크기는 500(W)×500(L)×800(H)mm (V=0.2m³)로 제작되었다(Fig. 18). 토조를 이용한 실험에서 모래지반을 준비하는 데에 있어서의 가장 중요한 것 중에 하나가 지반을 균질하게 형성시키는 것이다. 따라서 모래의 자유낙하를 이용하는 강사법을 사용해 모래지반 형성을 계획하고 이를 충족시킬 수 있는 강사기를 이용하였다(Fig. 19).

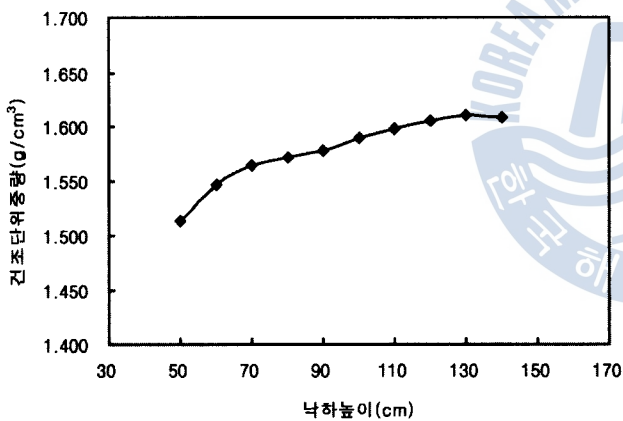


Fig. 20 Dry unit weight to falling height

단위중량과 간극비는 흙의 성질에 큰 영향을 미치는 요소이지만 단위중량과 간극비만으로는 모래의 역학적 특성을 결정할 수 없다. 모래의 역학적 특성을 상대밀도로 비교하면 모래의 종류와 관계없이 역학적 특성을 결정할 수 있다. 따라서 모래의 낙하높이에 따른 상대밀도를 구하기 위해 우선, 낙하높이 50 ~ 140cm에서 10cm간격으로 건조단위중량을 구하는 실험을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 20과 같고, 130cm 이상이면 건조단위중량이 거의 증가하지 않았다.

앞선 실험에서 구한 건조단위중량과 상대밀도를 구하는 식을 이용하여 낙하높이 50 ~ 140cm에 대한 상대밀도를 구하였고, 그 결과는 Fig. 21와 같다. 본 실험에서 수행 될 상대밀도 85%의 지반을 형성하기 위해 Fig. 21를 참고하여 낙하높이를 90cm로 고정하여 모래지반을 준비하였다(Fig. 22).

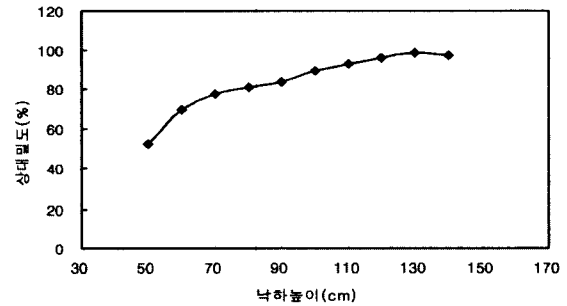


Fig. 21 Relative density to falling height



Fig. 22 Spreading sand for making dense ground

5.1.3 실험방법

모형지반을 작성 후 스크류 재하판을 부착하고 재하하기 전에 우선 유압실린더 장치 내부를 기름으로 가득 채우는 과정이 중요하다. 앞서 측정원리에서 언급했듯이 본 실험에 사용되는 유압실린더 장치는 하중과 변위를 측정하는데 직접적인 연관이 있기 때문에, 기름 속에 공기층이 존재하면 공기층의 큰 압축성으로 인해 정확한 압력을 전달할 수 없고, 변위 역시 정확하게 측정할 수 없게 된다.



Fig. 23 Hydraulic hose



Fig. 24 Hydraulic pump

Fig. 23은 1차 실린더 끝부분에 있는 3개의 유압 호스 라인을 보여주는데 상단의 라인은 대기층과 연결되어 있고, 중간

과 하단의 라인은 각각 2차 실린더와 연결되는 유압호스와 기름을 채우는 호스와 연결되어 있다. 유압실린더 장치에 기름을 채우기 위해서 우선 1차 실린더 속에 있는 피스톤을 최대한 후진시킨다. 그리고 2차 실린더와 연결되는 유압호스 라인의 밸브를 잠그고, 대기층과 연결되는 호스라인의 밸브를 열어둔 후, Fig. 24의 유압 펌프를 이용해 기름을 채운다. 기름은 밀도와 점성이 크기 때문에 상단의 대기층과 연결되어 있는 호스라인으로 기름이 나오게 되면 1차 실린더 속에는 기름이 가득 찬 걸로 볼 수 있다. 이와 반대로 2차 실린더와 연결되는 유압호스 라인의 밸브를 열고, 대기층과 연결되어 있는 호스라인의 밸브를 열어 기름을 채우면 2차 실린더와 연결되는 유압호스에 기름을 가득 채울 수 있다.

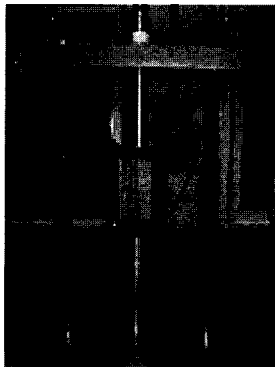


Fig. 25 No.2 cylinder connected to penetration apparatus

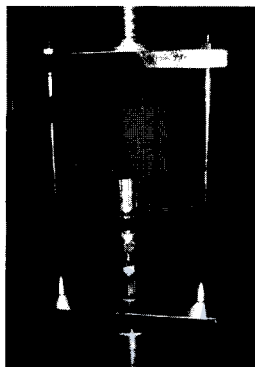
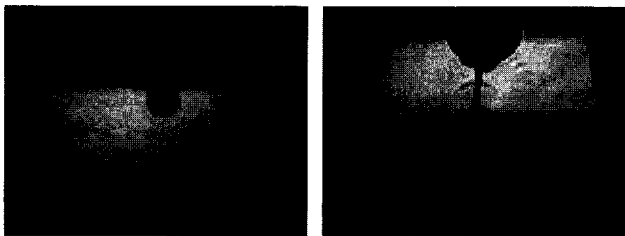


Fig. 26 Hydraulic hose connected to No.2 piston

유압실린더 장치 및 유압호스에 기름을 채운 후 스크류 판 및 재하축과 연결된 2차 실린더를 토조에 연결되어 있는 관입 장치에 연결하였다(Fig. 25). 관입장치를 이용해 2차 실린더와 연결되어 있는 축을 회전시켜 모래지반 속으로 10cm 관입한 후, Fig 26과 같이 1차 실린더와 연결되어 있는 유압호스를 공기층을 최대한 줄이기 위해 2차 실린더 속의 피스톤을 위로 끝까지 올린 후 2차 실린더와 연결하였다.



(a) Before penetration (b) After penetration

Fig. 27 Penetration of the screw plate

Fig. 27은 스크류 재하판의 관입 전과 관입 후의 모습이고 Fig. 28과 Fig. 29는 지반의 침하량을 측정하기 위해 2차

실린더에 연결된 다이얼 게이지와 하중을 재하기 전 실험 준비가 완료된 상태를 보여준다.

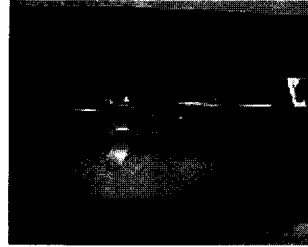


Fig. 28 Dial gauge connected by magnetic base

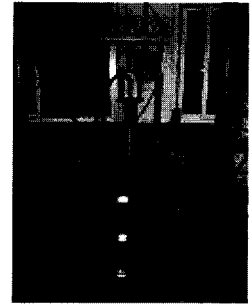


Fig. 29 Entire apparatus before the test

하중제어방식에서 하중은 계획 최대하중을 5 ~ 8단계로 등분으로 재하 한다. 하중 유지 시간은 침하속도가 어느 일정 값 이하가 되고 침하진행이 사실상 정지했다고 간주할 할 수 있을 때 까지 계속하는 방식(예로서 포장시험이 있고, 1분간의 침하량이 그 하중강도에 의한 그 단계에서의 침하량의 1%이하)과 침하진행상황에 관계없이 각 하중단계 모두 일정시간만 하중을 유지하는 방식이 있다. 종래는 전자가 많았지만 시험기간 등의 제약이 있는 경우가 많아서 유지시간은 원칙적으로 30분정도의 일정시간으로 하고 재하하게 된다. 시험 종료는 재하 하중이 시험 최대하중에 도달, 지지력의 판정에 필요한 변위량을 확인하는 동시에 소요기록을 얻을 수 있어 시험목적을 달성했다고 판정할 수 있을 때이다.

본 실험에서는 재하 하중을 0.2 ~ 1.2kN (0.02 ~ 0.12ton)까지 0.2 kN씩 6단계로 재하 하중 단계를 계획하고 재하 한 결과 Fig. 30에서 보듯이 재하 하중 단계가 1.2kN일 때 침하량이 급격히 증가하여 실험을 중단하였다. 그리고 모래는 초기의 탄성침하가 주로 이루어지기 때문에 앞서 언급한 평판재하시험 시 하중 유지 시간 방법 중 하나인 1분간의 침하량이 그 하중강도에 의한 그 단계에서의 침하량의 1%이하일 때, 그 단계에서의 하중 재하를 종료하고 다음 단계의 하중을 재하 하였다.

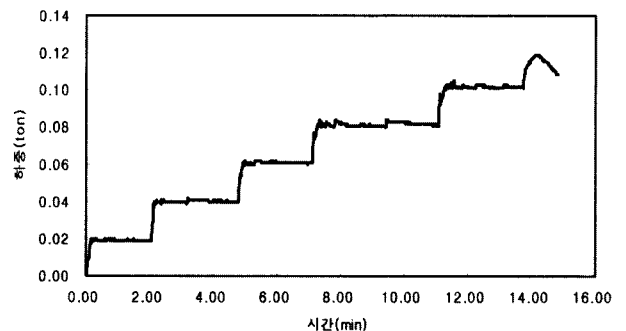


Fig. 30 Time-load curve

5.2 결과 및 분석

5.2.1 하중-침하 관계

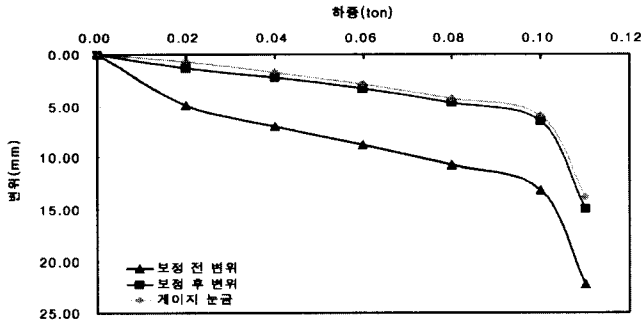


Fig. 31 Load-displacement curve

Fig. 31은 스크류재하시험장치의 변위 보정 전·후와 다이얼 게이지의 의한 하중-변위 그래프를 나타내었다. 그 결과 일반적인 모래 침하 특성과 비슷한 경향을 보였다. 재하 하중 단계가 0.12ton(1.2kN)일 때 침하가 상대적으로 크게 증가하여 실험을 중단하였다. 앞서 언급한 변위 보정값을 적용하여 구한 침하량은 모형지반의 변위를 직접 측정한 다이얼 게이지의 의한 침하량과 거의 일치하였다. 이 결과는 새로 개발된 스크류재하시험장치에 의해 얻어진 하중-변위 곡선은 신뢰성이 있는 것을 보여준다. 단계하중에 대한 침하량은 Table 2와 같다.

Table 2. Settlement of each loading step

하중단계(KN)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
누적 침하량(mm)	1.35	2.21	3.27	4.63	6.45	-

5.2.2 지지력 산정

재하 시험 데이터로부터 항복지지력 및 극한지지력을 산정하는 방법에는 P-S분석법(최대곡률법), logP-logS분석법, S-logt 분석법, 그리고 재하판 크기의 10% 침하량을 극한하중으로 보는 방법 등 여러 가지 방법이 있다. 모래지반은 위의 분석법으로 이용한 항복지지력 및 극한지지력의 값이 비슷하므로 이들 방법 중 가장 간편한 방법인 P-S분석법(최대곡률법)을 이용하여 항복지지력 및 극한 지지력을 산정하였다.

Fig. 32에서 보는 것과 같이 항복지지력 P_{by} 는 22.8ton/m²로 산정되었고, 극한지지력 P_{bu} 는 일반적으로 항복지지력을 이용한 식 $1.5P_{by}$ 를 이용하면 극한지지력 P_{bu} 는 34.2ton/m²로 산정할 수 있다. 허용지지력 일반적으로 항복지지력의 1/2로 나타내므로, 본 실험에서 허용지지력은 11.4ton/m²로 산정되었다.

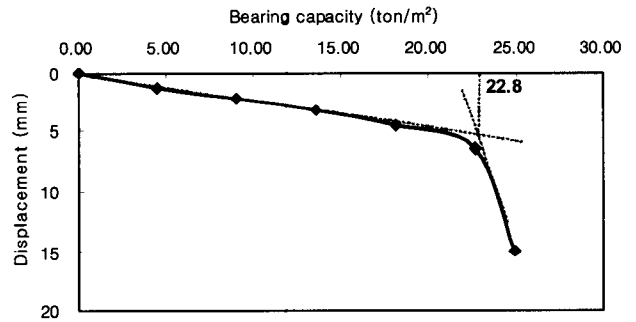


Fig. 32 P-S curve (Yield bearing capacity)

5.2.3 지반반력계수(Modulus of subgrade reaction)

지반반력계수 K는 P-S 곡선에서 보통 $\delta = 0.125$ cm에 대한 q/δ 의 값으로 구하며, 지지력계수라고도 한다. 지반반력계수 K는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$K(kg/cm^3) = \left[\frac{q(kg/cm^2)}{\delta(cm)} \right]_{\delta=0.125cm} \quad (2)$$

본 실험에서는 Fig. 33에서 보는 것과 같이 침하가 0.125cm일 때 지지력은 0.414kg/cm²이었다. 따라서 식 (5.1)을 이용하면 지지력계수 K의 값은 3.312kg/cm³ (3312ton/m³)로 구할 수 있다.

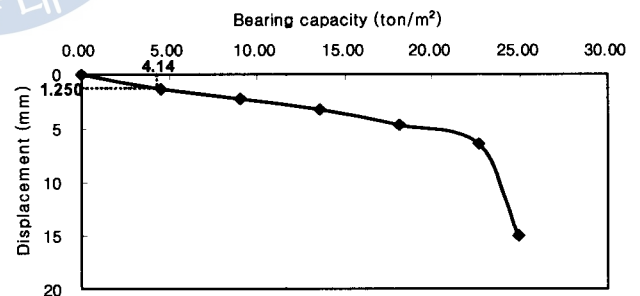


Fig. 33 P-S curve (Modulus of subgrade reaction)

6. 결 론

지반조사에 적용되는 많은 현장 시험들은 시험 시 지반 교란을 발생시켜 지반거동을 정확히 파악하기가 어렵다는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 아직까지 국내에 소개나 연구가 진행되지 않지만, 지반의 교란을 최소화 하며 지반의 정확한 거동 분석이 가능한 스크류재하시험을 주 연구대상으로 선택하여, 스크류재하시험장치의 기본적인 구조

메커니즘과 특징, 그리고 시공성과 경제성을 고려한 새로운 스크류재하시험 장치 개발이 이루어졌다. 또한 주문진 표준사를 이용해 실내실험을 수행하여 장치와 기법에 대한 검증이 이루어졌다. 이에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 현재에 지상 및 지반조사에 적용되는 현장시험 장치를 조사한 결과 각각 장·단점을 갖고 있지만 가장 큰 문제점은 시험이 교란된 지반에서 진행된다는 것이다.
2. 기존의 연구를 검토한 결과 원위치 시험 중 하나인 스크류재하시험은 현장에서 점성토와 비점성토의 지반공학특성 측정을 위하여 활용되어진 전통적인 평판 재하시험의 개량된 장치로 비교적 교란이 안 된 지반에서 시험을 실시할 수 있다.
3. 새롭게 개발한 스크류재하시험 장치는 크게 스크류 판 및 재하축, 유압 실린더 장치, 하중 재하 장치, 하중 제어 및 측정 장치로 이루어져 있다. 그리고 하중 장치의 부피와 무게를 간소화로 인해 육상이나 해상 설치가 용이하여 보다 빠른 시간 내에 광범위한 연약지반 조사와 공사비 절감을 기대할 수 있다.
4. 새롭게 개발된 스크류재하시험 장치의 신뢰성을 입증하기 위해 주문진 표준사를 이용하여 모형지반을 준비하여 실내실험을 수행하였다. 하중-변위 곡선 및 지지력-변위 곡선에서 침하량, 지지력 및 지반반력계수를 산정한 결과 일반적인 모래 침하 특성과 비슷한 경향을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 윤길림 등 (2006), "지반조사기술의 현재와 미래", 한국지반공학회 기술기사, Vol. 22, No. 1, pp. 11~21.
- [2] Bergado, D. T. and Huna, N. M. (1987), " Undrained Deformability and Strength Characteristics of Soft Bangkok Clay By the Screw Plate Test", Geotechnical Tssting Journal, GTJODJ, Vol. 10, No. 3, Scpt., pp. 113~122.
- [3] 임종석 (1998), "지반조사상세편람(기초편)", 엔지니어즈, pp. 890~901.
- [4] 토질 조사법 개정 편집위원회 (1998), "지반 조사법", 도서출판 과학기술, pp. 247~268, 311~330, 441~460.
- [5] 한국지반공학회 저 (2003), "지반조사결과의 해석 및 이용", 구미서관, pp. 169~ 171, 287~288, 387~408.
- [6] Kummeneje, O., and Eide, O.(1961), "Investigation of loose sand deposits by blasting", Proceedings 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol. 2, pp. 491~497.
- [7] Gould, J. H.(1967), "The comparative study of screw plate and rigid plate bearing tests", M.S. thesis, University of Florida, Gainesville, FL.
- [8] Schmertmann, J. H.(1970), "Static cone to compute static settlement over sand", ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 97(SM3), pp. 1011~1043.
- [9] Janbu, N. and Senneset, K.(1973), "Field compresometer: principles and applications, Proceedings", 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol. 1, pp. 191~198.
- [10] Selvadurai, A. P. S., Bauer, G. E., and Nicholas, T.J.(1980), "Screw plate testing of a soft clay", Canadian Geotechnical Journal, 17:465
- [11] Selvadurai, A. P. S., (1984), "The Use of Auger Type Devices for the In-Situ Testing of Soft Sensitive Clays", Geotechnical Engineering Journal, Vol.1S. No. 1. pp.59~70.
- [12] Boominathan. S. and Joseph. A. C. (1985),"Interpretation of In-Situ Screw Plate Load Test", Proceedings Indian Geotechnical Conference Roorkee, India. Vol. 1. pp.69~74.
- [13] Kay, N. and Avalue, D. L. (1982), "Application of screw plate to stiff clays", Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol.108, No.1, January 1982, pp. 145~154.
- [14] 이종원, 김문생, 변근주 (2001), "재료역학", (주)반도출판사, pp. 748~752.

원고접수일 : 2008년 12월 31일

원고채택일 : 2009년 02월 20일