

지반의 교란을 최소화 한 원위치시험법 개발 및 적용 : 스크류재하시험 Low-Soil Disturbance In-Situ Test Method Development and Its Application : Screw Plate Loading Test

이용수¹⁾, Yongsu Lee, 황웅기²⁾, Woongki Hwang, 최용규³⁾, Yong-Kyu Choi, 김태형⁴⁾, Tae-Hyung Kim

¹⁾ 한국해양대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University

²⁾ 한국해양대학교 토목환경공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University

³⁾ 경성대학교 건설환경공학부 교수, Professor, Div. of Civil and Environmental Engineering, Kyungsung University

⁴⁾ 한국해양대학교 건설환경공학부 조교수, Assistant Professor, Div. of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University

SYNOPSIS : 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.

Keywords : screw plate loading test, in-situ test, soil disturbance, field behavior

1. 서 론

댐, 터널, 도로, 교량 등의 모든 토목구조물의 시공은 지반 위나 지반 내에서 이루어진다. 지반조사의 목적은 이들 토목구조물의 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 위험요소가 존재하는데 이와 같은 지반의 특성을 제대로 이해하지 못 하고 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(윤길립 등, 2006).

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 특성

을 알기 위한 실내시험에서 오차를 발생시킬 수 있다고 알려져 있기 때문이다(Bergado and Huan, 1987). 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(Bergado and Huan, 1987). 원위치시험인 현장역학시험에는 현재까지 지반조사에서 가장 많이 적용되고 있는 표준관입시험(SPT)이 있고, 그 외에 콘관입시험(CPT), 베인 시험(VT), 딜레토미터시험(DMT), 평판재하시험(PBT), 공내수평재하시험 등이 있다. 하지만 지반조사에 적용되는 많은 원위치시험인 경우 시험 시 지반의 교란을 발생시켜 지반 거동을 정확히 파악하기가 어렵다는 것이 문제점으로 지적되고 있다.

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. 따라서 본 연구에서는 지반의 교란을 최소화하며 지반의 거동 분석이 가능한 스크류재하시험을 주 연구대상으로 선택하였다.

2. 기존 스크류재하시험의 특징

스크류재하시험은 평판재하시험의 변형으로 원위치의 사질토 및 점성토 지반의 공학적 특성의 측정에 사용되었다(Kummeneje and Eide, 1961; Gould, 1967; Schmertmann, 1970; Janbu and Senneset, 1973; Bergado and Huan, 1987). 이 시험법은 기존의 평판 재하시험의 개량된 장치로 흙 안에 삽입된 한 바퀴의 나선형 오거가 재하판 역할을 담당한다. 스크류재하시험장치의 기본 구조를 간략하게 도식화하면 Fig. 1과 같다. 재하하중 장치와, 재하하중 측정 장치, 재하하중을 전달하는 재하축, 변위 측정 장치, 스크류 재하판 등이다.

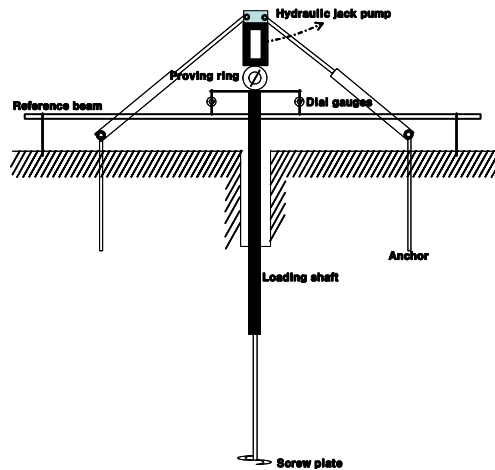


Fig. 1 Schematic diagram of the screw plate loading test device (Janbu and Senneset, 1973)

스크류재하시험장치의 가장 큰 장점 중 하나는 시험 중 지반 교란을 적게 시킨다는 점이다. Fig. 2는 압축된 카이올린점토층 안으로 삽입된 스크류 재하판을 나타낸 것으로 스크류재하시험에서 나선 모양의 오거의 관입활동에 의한 흙의 교란은 크지 않다는 것을 알 수 있다(Selvadurai et al., 1980). 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). 스크류재하시험장치는 상대적으로 새로운 장비이므로 신뢰성 확인이 요구되어 지금까지 여러 연구자들에 의해 스크류재하시험의 신뢰성이 확인되었다. Kay

and Avasse는 지하선로 구축 지점에서 스크류 재하시험을 실시하고 동일 지역에 대하여 프레스미터시험을 함께 수행하였다(1982). Bergardo and Huan은 연약한 점토층에 대한 실내에서의 일축압축시험, UU삼축시험, 그리고 일차원 압밀시험 뿐만 아니라, 현장에서의 베인 전단시험과 공내재하시험에서의 결과와 스크류재하시험 결과와의 연관성을 검토하였다(1987). 이들 연구 결과 스크류재하시험을 통해 어느 정도 신뢰성 있는 지반의 변형과 강도를 측정할 수 있음이 밝혀졌다. 앞서 언급한 내용을 종합하면 지반의 강도와 변형을 측정하는데 있어 스크류재하시험은 다른 현장 시험들과 비교 시 충분한 장점과 특징을 가지고 있음을 알 수 있다.

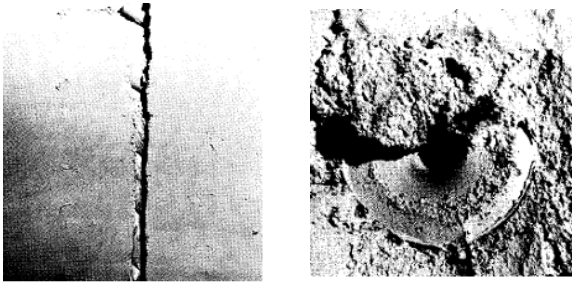
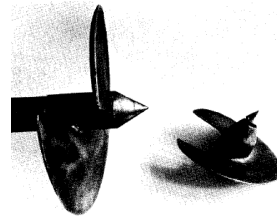


Fig. 2 Driven path of a screw plate in compacted kaolin (Selvadurai et al., 1980)



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 (Selvadurai et al., 1980)

3. 새로 개발된 스크류재하시험 장치

Fig. 4와 Fig. 5는 현재 새로 개발된 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 특징은 다음과 같다.

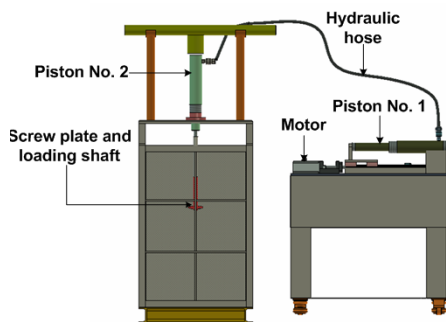


Fig. 4 Schematic diagram of the newly developed screw plate loading test device

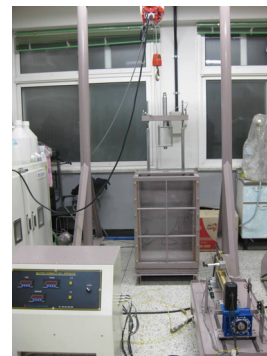


Fig. 5 Photo of the newly developed screw plate loading test device

3.1. 스크류 재하판 및 재하축

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

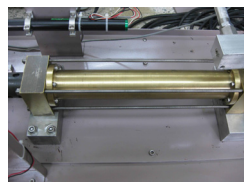
두께(t), 피치($2b$)의 비율은 $c/a=0.133$, $b/a=0.24$, $t/a=0.026$ 으로, 앞서 언급한 바와 같이 기존의 실험적 연구를 통해 얻어진 스크류 재하판의 적정 비율을 토대로 제작되어졌다(Selvadurai et al., 1980).



Fig. 6 Screw plate and loading shaft

3.2. 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 장치는 1차 실린더, 유압호스, 2차 실린더로 구성되어 있다. 1차 실린더는 양쪽 방향에 각각 모터와 유압호스로 연결되어 있고, 내부는 최대 약 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력이 발생된다. 유압호스는 최대 약 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 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.



(a) No.1 cylinder



(b) Hydraulic hose



(c) No.2 cylinder



(d) Shape connected with screw plate and loading shaft

Fig. 7 Hydraulic cylinder apparatus

3.3. 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 재하관에 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.

3.4. 하중 제어 및 측정장치

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).

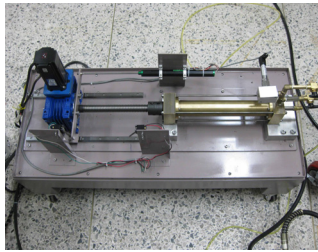


Fig. 8 Loading system



Fig. 9 Loading control and data collection apparatus

4. 실내실험 및 결과

4.1. 스크류재하시험장치 검증 및 보정

4.1.1. 재하 하중 검증

앞서 언급했듯이 재하 하중은 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. 검증을 위해 Fig. 10과 같이 2차 실린더에서 스크류 재하관과 결합하는 부분에 로드셀을 부착하였다. 그리고 하중단계에 따라 재하 하여 1차 실린더에서 측정된 재하 하중과 로드셀에서 측정된 하중을 비교하였다.

그 결과 Fig. 11에서 보는 것과 같이 1차 실린더에서 측정된 재하 하중과 로드셀에서 측정된 하중은 거의 일치하므로 재하하중은 지반에 정확하게 전달된다고 볼 수 있다.



Fig. 10 Loading transfer verification test

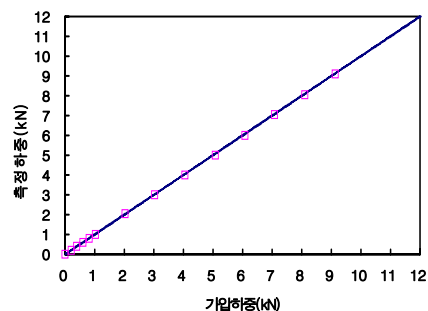


Fig. 11 Result of Loading transfer verification test

4.1.2. 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. 유압실린더 장치에 의해 측정된 변위 중 가압에 사용된 변위를 분류해내기 위해 Fig. 12와 같이 스크류 재하관과 결합하는 부분에 변위를 억제시킨 다음 하중을 재하 하였다.

각 하중단계에서 기록되는 변위를 측정하여 가압에 사용된 변위 보정값을 측정하였다. 각 하중단계에서 보정할 변위는 Fig. 13과 같다.

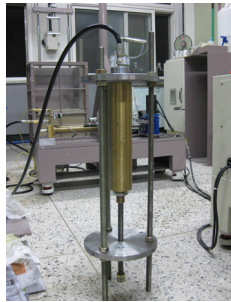


Fig. 12 Displacement calibration test

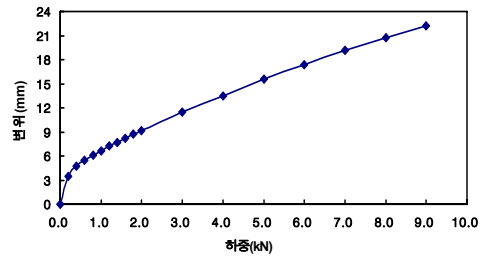


Fig. 13 Result of displacement calibration test

4.2. 실내실험

4.2.1 지반 재료 특성

재하 하중을 일정하게 지반에 전달하기 위해서는 균질하게 형성된 지반이 필요하다. 이를 위해 입자 크기 분포가 균등한 주문진 표준사를 이용하여 모형지반을 생성하였다. 비중 및 체분석 시험 등 실내시험 결과 주문진 표준사의 물리적 특성과 입도분포곡선은 Table 1 및 Fig. 14와 같다.

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

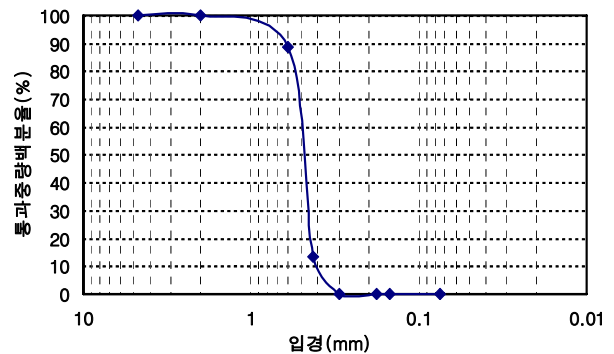


Fig. 14 Particle size distribution curve

4.2.2 지반 준비

본 실험에서 사용된 토조의 크기는 500(W)×500(L)×800(H)mm ($V=0.2m^3$)로 제작되었다(Fig. 15). 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. 16).

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. 17과 같고, 130cm이상이면 건조단위중량이 거의 증가하지 않았다.

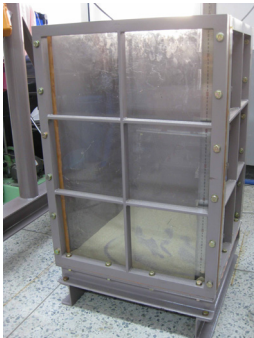


Fig. 15 Soil tank



Fig. 16 Sand raining system

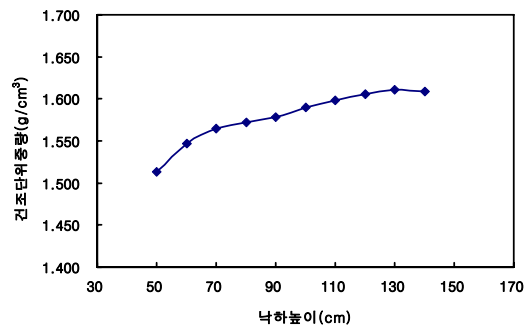


Fig. 17 Dry unit weight to falling height

앞선 실험에서 구한 건조단위중량과 상대밀도를 구하는 식을 이용하여 낙하높이 50 ~ 140cm에 대한 상대밀도를 구하였고, 그 결과는 Fig. 18과 같다. 본 실험에서 수행 될 상대밀도 85%의 지반을 형성하기 위해 Fig. 18을 참고하여 낙하높이를 90cm로 고정하여 모래지반을 준비하였다(Fig. 19).

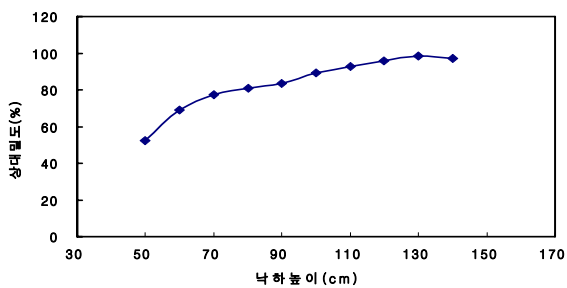


Fig. 18 Relative density to falling height



Fig. 19 Spreading sand for making dense ground

4.2.3 실험방법

Fig. 20과 Fig. 21은 지반의 침하량을 측정하기 위해 2차 실린더에 연결된 다이얼 게이지 및 하중을 재하하기 전 실험 준비가 완료된 상태를 보여준다. 스크류재하시험은 기존의 평판 재하시험이 개량된 장치이므로 하중 재하에 관련된 절차나 방법은 평판 재하시험을 참고하여 계획하였고, 하중제어방식을

채택하였다.

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. 22에서 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%이하 일 때, 그 단계에서의 하중 재하를 종료하고 다음 단계의 하중을 재하 하였다.

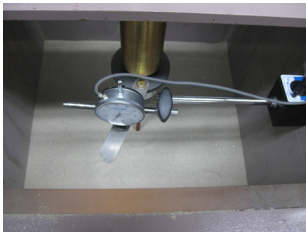


Fig. 20 Dial gauge connected by magnetic base

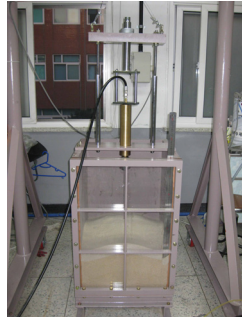


Fig. 21 Entire apparatus before the test

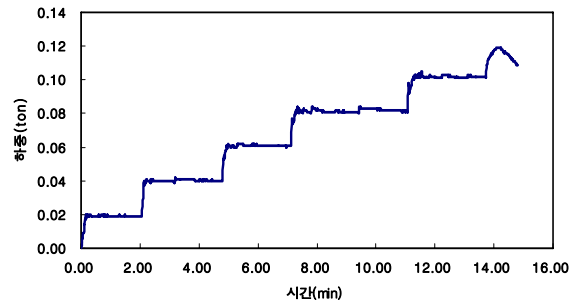


Fig. 22 Time-load curve

4.3. 결과 및 분석

4.3.1 하중-침하 관계

Fig. 23은 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 측정된 다이얼 게이지의 의한 침하량과 거의 일치하였다. 이 결과는 새로 개발된 스크류재하시험장치에 의해 얻어진 하중-변위 곡선은 신뢰성이 있다는 것을 보여준다. 단계 하중에 대한 침하량은 Table 2와 같다.

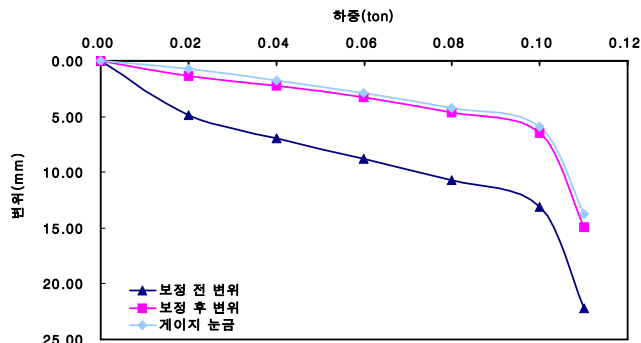


Fig. 23 Load-displacement curve

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	-

4.3.2 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. 24에서 보는 것과 같이 항복지지력 P_{by} 는 22.8ton/m^2 (223kPa)로 산정되었고, 극한지지력 P_{bu} 는 일반적으로 항복지지력을 이용한 식 $1.5P_{by}$ 를 이용하므로 극한지지력 P_{bu} 는 34.2ton/m^2 (335kPa)로 산정할 수 있다. 허용지지력 일반적으로 항복지지력의 1/2로 나타내므로, 본 실험에서 허용지지력은 11.4ton/m^2 (112kPa)로 산정되었다.

4.3.3 지반반력계수(Modulus of subgrade reaction)

지반반력계수 K 는 P-S 곡선에서 보통 $\delta=0.125\text{cm}$ 에 대한 q/δ 의 값으로 구하며, 지지력계수라고도 한다. 지반반력계수 K 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$K(\text{kg/cm}^3) = \left[\frac{q(\text{kg/cm}^2)}{\delta(\text{cm})} \right]_{\delta=0.125\text{cm}} \quad (1)$$

본 실험에서는 Fig. 25에서 보는 것과 같이 침하가 0.125cm 일 때 지지력은 0.414kg/cm^2 이었다. 따라서 식 (1)을 이용하면 지지력계수 K 의 값은 3.312kg/cm^3 (3312ton/m^3)로 구할 수 있다.

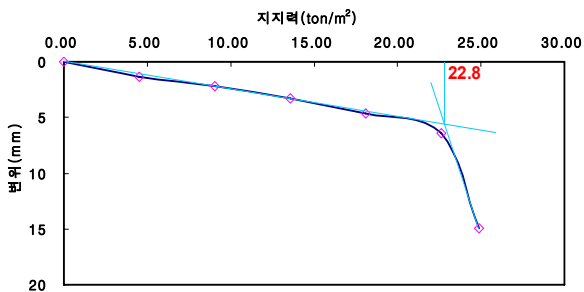


Fig. 24 P-S curve (Yield bearing capacity)

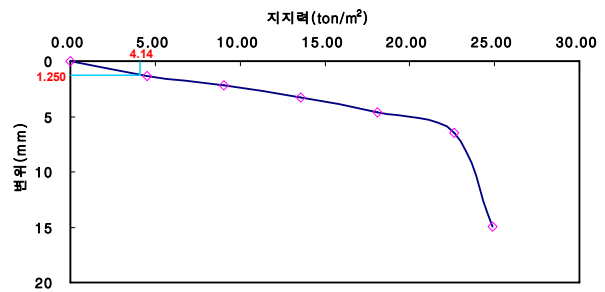


Fig. 25 P-S curve (Modulus of subgrade reaction)

5. 결론

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 지반공학적 특성 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 장

치, 하중 제어 및 측정 장치로 이루어져 있고, 하중 장치의 부피와 무게를 간소화 시켜, 이동성이 뛰어나 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.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역기술혁신사업 차세대해안공간확보기술(05 지역특성 B04)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 윤길림 등 (2006), “지반조사기술의 현재와 미래”, 한국지반공학회 기술기사, Vol .22, No. 1, pp. 11~21.
2. 임종석 (1998), “지반조사상세편람(기초편)”, 엔지니어즈, pp. 890~901.
3. 토질 조사법 개정 편집위원회 (1998), “지반 조사법”, 도서출판 과학기술, pp. 247~268, 311~330, 441~460.
4. 한국지반공학회 저 (2003), “지반조사결과의 해석 및 이용”, 구미서관, pp. 169~ 171, 287~288, 387~408.
5. 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.
6. Gould, J. H.(1967), "The comparative study of screw plate and rigid plate bearing tests", M.S. thesis, University of Florida, Gainesville, FL.
7. Janbu, N. and Senneset, K.(1973), "Field compressometer: principles and applications, Proceedings", 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol. 1, pp. 191~198.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Selvadurai, A. P. S., Bauer, G. E., and Nicholas, T.J.(1980), "Screw plate testing of a soft clay", Canadian Geotechnical Journal, 17:465