

# 슬럼프 실험에 의한 초연약점토의 비배수전단강도 산정

## Estimation of Undrained Shear Strength of Very Soft Clay with the Slump Test

노 태 길<sup>1</sup> Noh, Tae-Kil

이 송<sup>2</sup> Lee, Song

### Abstract

Undrained shear strength is estimated from laboratory tests generally, but the very soft or fluid material is generally incompatible with the test setup. In-situ methods require test to be accomplished at discrete time intervals, which does not provide a method to predict strength increment as a function of time for an ongoing project. Therefore, correlation between slump test value and undrained shear strength was derived through the regression analysis of slump test and laboratory vane shear test results. For the reliability of derived correlation equation statistical analysis using the t-distribution was performed and the comparison between the results of in-situ test and laboratory experiments demonstrated the applicability of the derived correlation.

### 요 지

일반적으로 점토의 비배수전단강도 산정은 실내실험을 통해 구하지만 초연약점토의 경우 재료의 특성 상 실내실험이 어렵고, 현장실험 또한 여러 제약조건들을 감수해야 한다. 따라서 본 논문에서는 실내에서 수행한 물성실험 및 슬럼프실험과 실내베인전단실험의 결과를 회귀분석을 통해 슬럼프 값과 비배수전단강도 사이의 상관 관계식을 도출하였다. 도출된 상관 관계식의 신뢰성 확보를 위하여 t-분포를 이용한 통계분석을 실시하였고 현장의 데이터와 비교 분석하여 관계식의 적용성 및 신뢰성을 확보하였다.

**Keywords :** Consistency, Fine dredged material, Laboratory vane shear test, Regression analysis, Slump test, Soft clay ground, t-distribution

### 1. 서 론

준설은 그 재료를 매립하는 목적 이외에 하천 유로 확보, 항로 및 항만 깊이 확보, 건설 재료의 확보 등의 목적으로써 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 특히 우리나라의 경우 급속한 산업발전과 더불어 삼면이 바다로 둘러싸인 국토의 특성상 공항, 항만, 공단부지 등의 확보 및 항로와 항만 유지 등을 위한 준설공사가 차후에도 끊임없이 이루어질 것이라 판단된다. 이와 같

이, 준설공사가 활발히 진행됨에 따라 준설과정에서 발생하는 준설재료는 더 이상 폐기물이라기보다는 매립 등의 건설 재료로 이용되고 있는 실정이다.

그러나 초연약점토인 준설 재료는 준설 특성상 준설 과정의 완전한 교란으로 인하여 준설 이전의 토질 특성과 상이한 양상을 보인다. 따라서 준설 후 준설재료의 거동을 파악하기 위해서는 새로이 특성을 파악하여야 한다. 하지만 시공 특성상 준설재료가 단시일에 쓰이게 되므로 실내실험을 통해 그 값을 얻는 것은 몇 가지

1 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 (Member, PhD Candidate, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)

2 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr, 교신저자)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

어려움이 따를 수밖에 없다. 특히 세립분이 다수 함유된 준설재료의 경우 매립 직후에 슬러리 상태이며 압축성이 크고 시료의 자립이 불가능한 상태이기 때문에 기존 실내시험에서 그 특성을 구하는 것은 매우 어려운 실정이다. 이러한 상황은 매립지에 연약지반 표층지반개량 공법이나 심층지반개량공법이 적용이 된 후 실제 매립된 준설재료가 어떠한 상태인지를 검토하고자 할 때 상당한 기간 동안은 이러한 제약조건을 감수해야만 한다. 여기에, 간단한 시험조차 현장에서의 적용이 용이하지 않거나 시간 소모적일 경우 시공현장에서는 어려움을 겪을 수밖에 없다.

따라서 준설되어 매립된 시료를 시공현장에서 간단히 적용할 수 있는 슬럼프 시험 등을 통해 지반의 비배수전단강도 및 물리, 역학적 토질 특성과의 상관관계를 파악하여 준설 매립 직후 슬러리 상태에 가까운 시료의 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 연구동향

비배수전단강도는 실내시험인 경우 일반적으로 일축 압축시험이나 비압밀 비배수 삼축압축시험을 통해서 구할 수 있다. 그러나 준설 연약점토의 경우 시료의 특성 상 고함수비의 슬러리 상태이므로 자립이 불가능하여 실내시험이 어렵다. 따라서 준설 연약점토의 비배수전단강도는 현장시험을 통해 구하는 것이 일반적이라고 본다. 비배수전단강도를 구하는 대표적인 현장시험에는 콘관입시험, 베인전단시험, DMT, Viscometer 등과 같은 방법이 있다.

비배수전단강도를 예측하기 위한 최초의 콘관입시험은 네덜란드의 기술자 Barentsen(1936)이 내경 19mm인 가스관 안에 정점각이 60°인 원추를 부착한 지름 15mm의 강봉을 끼우고 강봉이 상하로 움직이도록 한 텃치콘 시험이다. 그 이후에도 텔프트 공대의 Huizinga(1951)가 개발한 수동식 콘관입시험기, Vermeiden, Plantema(1948) 등이 개발한 맨틀콘, 같은 해에 네덜란드 최초의 전자식 콘관입시험기를 개발하여 현장에서 비배수전단강도를 예측하는데 이용하였다(P. K. Robertson 등 1997).

현재 사용되고 있는 베인시험기는 로테르담에서 열린 제2차 국제토질역학 및 기초공학회에서 Carlsson(1948)이 소개하였으며, 2년 뒤 Cadling과 Odenstad(1948)가 이를 개량하여 세계적으로 널리 활용되게 하였다.

DMT의 사용은 Marchetti(1980)에 의해 Flat DMT가

처음 고안되었고, Kamei & Iwasaki(1994) 등이 다양한 지반에 대해 DMT를 실시하였다.

Fakher(1999)등은 Rotary viscometer를 이용하여 초연약점토의 강도를 추정하려 하였고, Inoue(1990)는 얇은 판 혹은 중공실린더를 관입시켜 전단강도를 산정하는 방법을 제안하였다.

콘관입시험이나 베인전단시험, DMT와 같은 현장시험은 장비의 투입과 경제성을 고려해 볼 때 만족할 만한 결과를 얻기 쉽지 않다. 따라서 이러한 현장시험들보다 간단하며 쉽게 적용이 가능한 슬럼프 시험을 통해 현장에서 비배수전단 강도 및 간단한 역학적 관계들을 추정할 수 있다.

## 3. 실험방법

### 3.1 기본물성시험

준설매립지반에 대하여 토질 특성이 다른 세 지역의 시료를 채취하여 그 기본물성을 알기 위한 시험을 실시하였다. 해성점토의 비중시험과 액·소성시험을 실시하고 준설토의 입도를 분석하기 위해 체분석 시험을 실시하였으며, No. 200체를 통과하는 시료에 대해서는 비중계 분석 시험을 실시하였다.

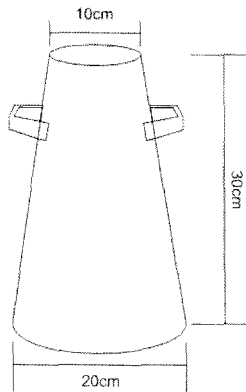
### 3.2 슬럼프 시험

본 연구에서 사용된 초연약점토인 준설매립토에 대한 슬럼프시험은 그림 1과 같이 콘(10cm×20cm×30cm), 다짐봉, 평판, 측정자로 구성되어 있으며 시험방법은 시멘트 콘크리트의 슬럼프시험과 같이 KSF 2402의 규정을 따른다.

시험 방법은 우선 슬럼프 콘을 물걸레로 잘 닦은 후, 평평하고 습한 비 흡수성의 단단한 평판위에 놓고, 슬럼프 콘을 양 발을 이용해 고정 시킨다. 준비된 시료를 슬럼프 콘 용적의 1/3씩 되도록 3층으로 나누어 다진다. 시료는 다짐봉을 이용하여 각 층을 25회씩 바깥쪽부터 중심을 향해 나선상으로 다진다. 이 때, 주의해야 할 점은 최하층은 바닥면까지 전 깊이를 다지고, 둘째 층과 셋째 층은 그 층의 깊이만큼만 다지고 아래층은 약간 관입할 정도로 다진다. 최상층까지 다져지면 윗면을 평평하게 고르고 손잡이를 이용해 주의를 기울여 수직 방향으로 슬럼프 콘을 벗긴다.



(a) 슬럼프 실험기구



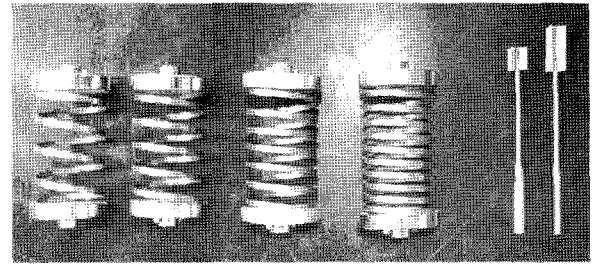
(b) 슬럼프 실험기구 모식도

그림 1. 슬럼프 실험기구

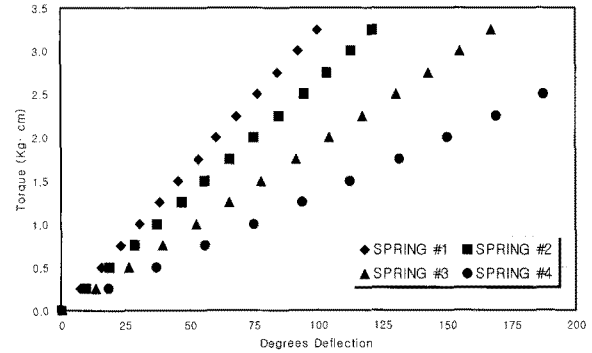
어느 정도 시료의 침하가 안정이 되면 슬럼프 콘의 밑면으로부터 시료 원의 중심까지의 높이를 측정하여 전체 슬럼프 높이 30cm에서 그 높이 차를 구해 슬럼프 값을 결정한다(KSF 2402). 이와 같은 방법을 이용해 각 시료 및 함수비에 따라 슬럼프실험을 10회 시행한다.

### 3.3 실내베인전단실험

본 연구에서 사용된 실내베인전단실험은 일정하게 베인 속도(12°/min)를 컨트롤하는 전기 자동 방식을 사용하였으며 그림 2와 같이 블레이드는 직경(12.7mm)과 높이(12.7mm, 25.4mm)의 비가 1:1인 것과 1:2인 것을 사용하였고, 그림 2(b)는 베인 전단에 사용된 스프링의 calibration 결과를 나타낸 것이다(ASTM 1994). 각각 스프링의 calibration은 스프링에 하중추의 무게를 증가시켜가며 매달고 그 때마다 스프링의 회전 각도를 측정하여 토크와 회전각도 사이의 관계를 찾아 calibration 상수로 사용한다(Head 1994). 본 연구에서 사용된 calibration 결과는 ELE사에서 제공된 것을 이용하였다.



(a) 베인 스프링, 블레이드



(b) 베인 스프링 Calibration

그림 2. Vane Spring Calibration

표 1. Vane Calibration Result

Calibration Constant	#1	#2	#3	#4
Cs (kg · cm)	0.0325	0.0266	0.0193	0.0133
Cs (N · m)	0.0032	0.0026	0.0019	0.0013

표 1의 calibration 결과인 Cs값은 그림 2(b) 각각의 그래프 기울기로서 Cs값이 가장 큰 #1의 스프링이 강성이 가장 크고, #4의 스프링이 강성이 가장 작다.

슬럼프 실험에서 사용된 시료를 용기표면마찰이 강도에 영향을 주지 않는 크기의 용기에 공기방울이 없이 포화된 시료로만 채워지도록 다져 넣은 후 실내베인전단실험기의 바닥면에 시료를 위치시킨다. 그리고 블레이드와 스프링을 베인실험기에 장착시킨다.

블레이드와 스프링의 장착을 완료한 후 베인 실험기 상단의 rotation gauge의 pointer를 영점 조절하고, 준비된 시료의 중앙에 블레이드 높이의 2배 이상이 될 때까지 베인을 연직으로 삽입한다. 원하는 깊이까지 베인이 삽입되면 전원을 켜서 12°/min의 일정한 속도로 베인을 돌린다. 동시에 rotation Gauge를 보면서 베인의 회전 각도가 특정 최대값에 수렴 할 때까지 읽어가며 측정한다. 이와 같은 방법으로 각 시료 및 함수비에 대하여 10번씩 시행하고 또한 블레이드와 스프링의 번호를 기재하여 비배수전단강도 계산에 있어 참고하도록 한다.

베인 전단 시 파괴점에 도달했을 때의 베인 회전 각도를 측정하고 그 각도에 앞에서 수행한 calibration의 결과에서 얻은 Cs값을 곱하여 적용된 torque(M)를 계산한다.

$$M = C_s \times \theta_f \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (1)$$

여기서, M : 파괴시의 torque

Cs : Calibration result

$\theta_f$  : 파괴 시 베인 회전각도

블레이드의 크기를 고려 한 비배수전단강도는 다음과 같다.

$$\tau_v = \frac{1000M}{K} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2)$$

여기서, 블레이드 형상 계수  $K = \pi D^2 \left( \frac{H}{2} + \frac{D}{6} \right)$

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 기본물성실험 결과

준설패립지반에서 채취한 세 가지 시료에 대하여 물성실험(비중, 자연함수비, 액성한계, 소성한계 및 No.200 체 통과율)을 실시한 결과는 표 2와 같다. 본 준설패립지반 시료의 비중은 2.68~2.69, 함수비는 49.3~57.6%, 액성한계는 24.4~32.3%, 소성지수는 7.4~9.7%, 200체 통과율은 70.0~98.6%의 범위를 갖고 있으며, 토질분류는 통일분류법상의 CL로 판명되었다.

### 4.2 슬럼프 실험 결과

액성한계가 다른 각각의 시료에 대해 함수비와 평균 슬럼프 값(N<sub>s</sub>)을 그림 3과 같이 도시하였다.

이 결과는 함수비가 증가함에 따라 슬럼프 값이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 각각 액성한계에 따

표 2. 기본물성실험 결과

시료 NO.	비중	자연 함수비(%)	액성한계	소성 지수	No.200체 통과율(%)	USCS
1	2.69	57.6	32.3	9.7	98.6	CL
2	2.68	50.9	27.8	9.0	85.5	
3	2.68	49.3	24.4	7.4	70.0	

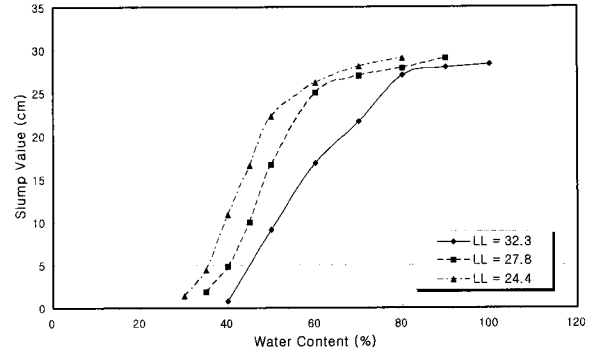


그림 3. 함수비에 따른 슬럼프 값

른 함수비-슬럼프값 그래프는 어느 정도 고함수비에 다 다르며 일정한 값으로 수렴하려는 경향을 보이고 있고, 이러한 경향은 액성한계가 높을수록 더 높은 함수비에서 수렴하려는 경향을 보였다. 또한 슬럼프 값이 최대값인 30cm에 다다른 것에서 볼 수 있는 것처럼 시료가 고함수비가 되면 유체의 거동과 같은 경향을 보인다는 것을 알 수 있다. 같은 함수비에서 액성한계가 높은 시료일수록 더 낮은 슬럼프 값을 보였고, 낮은 액성한계에서의 경우는 상대적으로 높은 액성한계를 갖는 경우보다 더 낮은 함수비에서 완전한 슬러리 상태로 변하는 것을 알 수 있었으며, 그 값의 범위는 대체적으로 2.5LL ~ 3.0LL 사이에서 일어났다.

### 4.3 실내베인전단실험 결과

슬럼프실험과 마찬가지로 액성한계가 다른 세 가지 시료에 대해 함수비와 평균 비배수전단강도를 그림 4와 같이 도시하였다. 그리고 그림 5는 비배수전단강도를 대수눈금으로 표기하고 각 시료에 대해 회귀분석 식을 산정한 것이다.

액성한계가 증가함에 따라 동일 함수비에서 비배수전단강도가 약간 크게 발현되는 양상을 나타내었다. 액성한계는 이상적인 모델에서 액체와 같이 거동하여 전단강도가 0에 수렴하는 지점이다. 그러나 여러 인자로 인하여 액성한계 부근에서도 전단강도가 발현이 되는 것이 실제 현상이며, 이후 비배수전단강도는 점차 액성한계보다 큰 함수비로 갈수록 서서히 감소하는 것이다. 따라서, 시료차이가 크지 않은 본 연구대상지반 사이에서는 액성한계에 가까운 함수비에서 더 큰 비배수전단강도를 갖게 되는 것으로 판단된다.

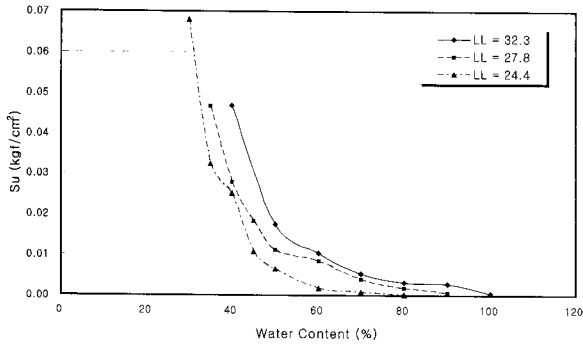


그림 4. 함수비에 따른 비배수전단강도

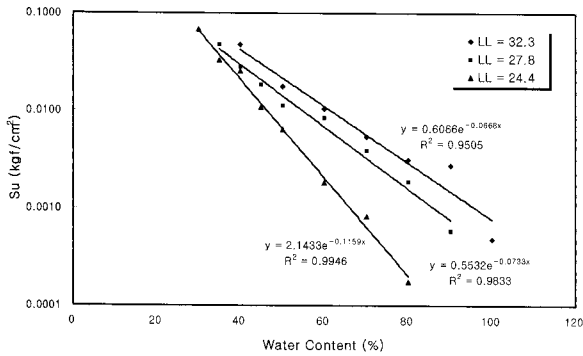


그림 5. 함수비에 따른 비배수전단강도(Log Scale)

#### 4.4 액성한계에 대한 정규화

위 결과는 슬럼프 실험 및 실내배인전단실험에 대하여 액성한계가 어느 정도 실험 결과에 영향을 미치는 변수로 작용한다는 것을 나타내고 있다. 이에 따라 본 절에서는 함수비를 액성한계로 정규화시킴으로써 실험 결과를 지반 차이 없이 나타내고자 한다.

액성한계가 각기 다른 시료에 대한 슬럼프실험 결과를 그림 6과 같이 축을 바꾸어 함수비를 액성한계에 대해 표준화시켜 나타내었다. 함수비에 대한 액성한계로의 표준화는 그림 6에서와 같이 확연한 성과가 있었다. 세 시료에서 행해진 슬럼프 값은 표준화된 함수비로 거의 일치하는 경향을 나타냈다. 따라서 이를 통해 슬럼프 값에 대한 정규화 함수비를 도출하였다.

$$w/LL = 1.18 \exp^{0.03Ns} \quad (3)$$

여기서,  $N_s$  : 슬럼프값(cm)

준설매립이 이루어지기 전 매립될 준설토에 대한 액성한계가 이미 구해져 있다면, 식 (3)을 이용하여 현장에서

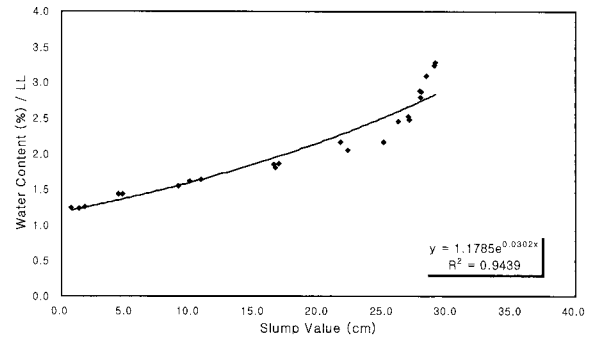
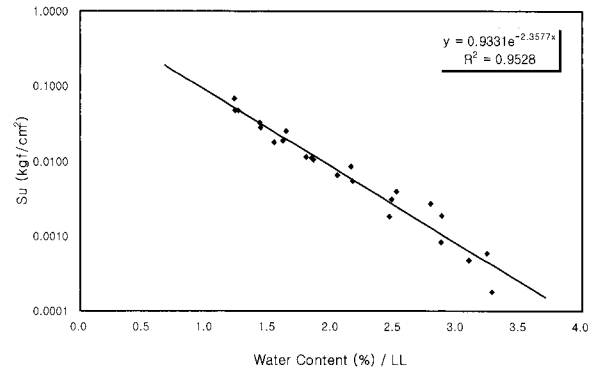


그림 6. 함수비의 액성한계에 대한 정규화(슬럼프 결과, 실내배인전단실험 결과)



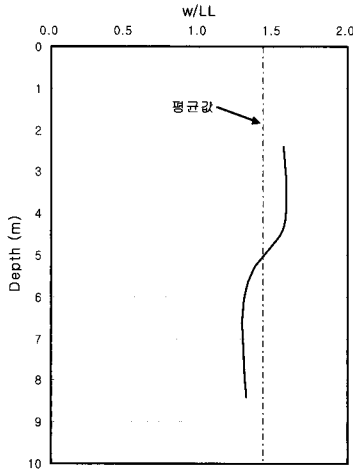
비용과 시간이 크게 소모될 것 없이 비교적 간단한 슬럼프 실험을 실시하여 개략적인 함수비를 유추해낼 수 있다. 위 식과 그림은 이와 같은 맥락에서 슬럼프 값에 대한 식으로 표현하고 또한 축을 바꾸어 나타낸 것이다. 실내배인전단실험 결과 또한 슬럼프 실험에서처럼 함수비를 액성한계에 대해 표준화하고 비배수전단강도의 축을 대수누금으로 표현하여 그림 6에 나타내었다.

이 결과 역시 액성한계로 함수비를 표준화시킴으로써 시료의 구분 없이 비배수전단강도 데이터가 거의 하나의 곡선 및 직선 형태를 보였다. 따라서 다음과 같은 정규화 함수비에 대한 비배수전단강도식을 얻을 수 있었다.

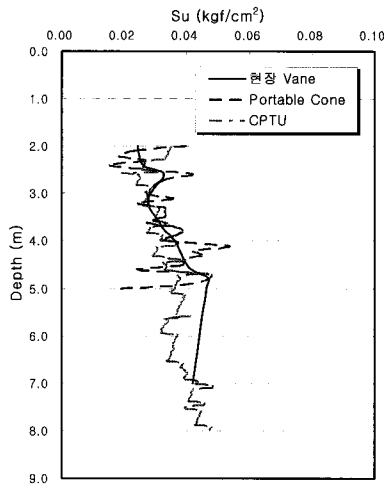
$$S_{11} = 0.93 \exp^{-2.36(w/LL)} \quad (4)$$

#### 4.5 현장 Data와의 비교

연구 결과의 검증은 위한 인근 대상지반은 광양항 컨테이너 서측 배후부지의 준설매립이 기 수행된 지반으로써 지반 특성은 소성지수가 낮고, 표면을 제외한 대부분의 심도에서 상대적으로 액성한계에 비해 상당히 높은 함수비 상태를 보였으며, 기본적인 물리적 특성도 본



(a) Normalized water contents



(b) Undrained shear strength

그림 7. 대상 지반의 심도에 따른 함수비와 비배수전단강도

표 3. 현장실험을 통한 비배수전단강도

현장실험 종류	비배수전단강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
	평균값	최소값	최대값
In-situ Vane	0.0346	0.0243	0.0471
Portable Cone	0.0332	0.0149	0.0537
CPTU	0.0350	0.0191	0.0482
Total average undrained shear strength	0.0343kgf/cm <sup>2</sup>		

연구에서 수행한 실내시험 결과와 매우 흡사한 경향을 보였다. 대상지반의 기본물성시험 및 비배수전단강도 측정을 위한 현장실험결과를 본 연구의 실내시험 결과와 비교·검토해보았다. 그림 7은 인근 대상지반의 함수비를 액성한계로 정규화 시켜 심도에 따라 나타낸 그래프와 심도에 따른 현장의 비배수전단강도를 도시한 것이고, 표 3은 각 현장실험의 비배수전단강도 값의 양

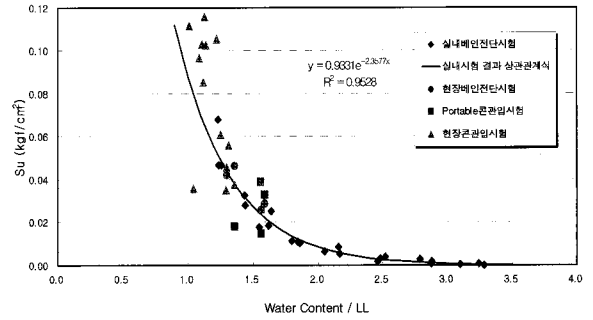


그림 8. 현장실험과 실내실험의 결과 비교

상에 대하여 나타내었다. 현장의 비배수전단강도 측정을 위해 적용된 현장실험은 portable cone, CPTU 및 현장배인시험이다.

5.0m를 기점으로 정규화 함수비는 1.6 부근에서 1.3 정도로 그 값이 낮아지는 모습을 보이고 있으며, 그 평균값은 1.42를 나타내었다. 각 현장실험의 비배수전단강도는 대체적으로 비슷한 경향과 값을 나타내었으며, 그 평균은 0.0343kgf/cm<sup>2</sup>이었다. 심도가 깊어지면서 대체적으로 약간씩 비배수전단강도가 증가하는 형태를 보였는데, 이는 액성한계에 대해 정규화된 함수비가 작아지면서 강도가 커진다는 본 연구결과와 비슷한 양상을 보이고 있다.

그림 8은 이러한 현장실험의 결과를 본 연구의 실내시험 결과에 함께 나타낸 것이다. 실내시험의 정규화 함수비에 따른 비배수전단강도 상관관계식은 현장에서 수행한 배인시험, 콘관입시험으로부터 구한 정규화 함수비에 따른 비배수전단강도 상관관계식에 거의 근접함을 알 수 있다.

위와 같은 결과를 바탕으로 비배수전단강도에 대한 실내시험은 현장 데이터와 비교하여 보았을 때 상당한 신뢰성을 보이고 있으며, 이에 따라 식 (4)는 함수비가 구해질 경우 본 연구대상의 준설매립지반에 대하여 개략적인 비배수전단강도를 산정할 수 있도록 하고 있다. 결국 함수비와 액성한계를 구하여 비배수전단강도를 추정하는 방법 이외에 슬럼프실험을 실시함으로써 식 (3)에서 구한 w/LL을 통하여 비배수전단강도 역시 유추해낼 수 있는 것이다.

#### 4.6 슬럼프 실험을 통한 비배수전단강도 산정

각각의 함수비에 대한 슬럼프 값과 비배수전단강도를 직접 연결하여 이 결과를 그림 9에 도시하였다. 그 결과

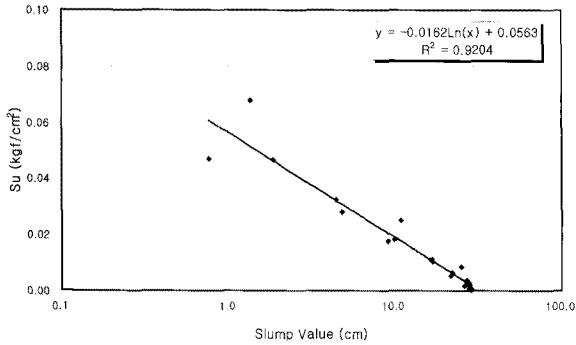
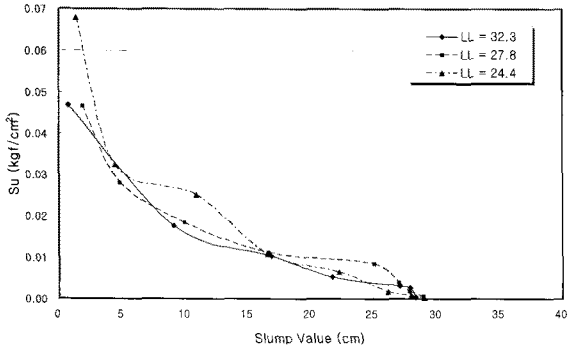


그림 9. 슬럼프 값에 대한 비배수전단강도

각 시료는 액성한계에 따라 슬럼프 값에 대한 비배수전단강도에 별다른 차이를 보이지 않았다. 이러한 이유는 슬럼프 값과 정규화 함수비의 결과 및 정규화 함수비와 비배수전단강도의 결과에 의하여 액성한계가 소거되는 양상을 보이기 때문인 것으로 추정된다.

이러한 결과로써 슬럼프 값에 따른 비배수전단강도는 하나의 식으로 표현될 수 있으며, 이를 슬럼프 값이 대수 눈금으로 하여 그림 9의 우측 그림과 같이 나타내었다.

아래 그림을 통해 슬럼프 값과 비배수전단강도는 결정계수가 0.9 이상으로써 상당한 상관관계가 있음이 드러났고, 상관관계식은 다음과 같이 도출되었다.

$$S_u = -0.0162 \ln(N_s) + 0.0563 \quad (5)$$

이 관계식 또한 대상지반에 대하여 고함수비 상태 준 설매립지반의 비배수전단강도를 평가하고자할 때 번거로운 현장시험 및 실내시험을 수행하지 않고 개략적인 비배수전단강도를 측정할 수 있도록 하고 있다.

#### 4.7 t-분포를 이용한 상관관계식 산출

슬럼프 값을 이용하여 비배수전단강도를 유추하고 있지만 여기서의 비배수전단강도는 본 연구에서 각 함수

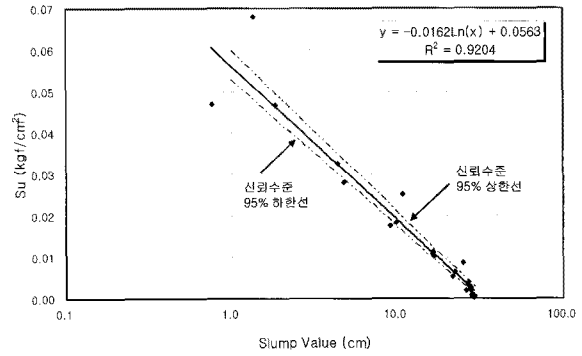


그림 10. t-분포를 이용한 신뢰구간 추정

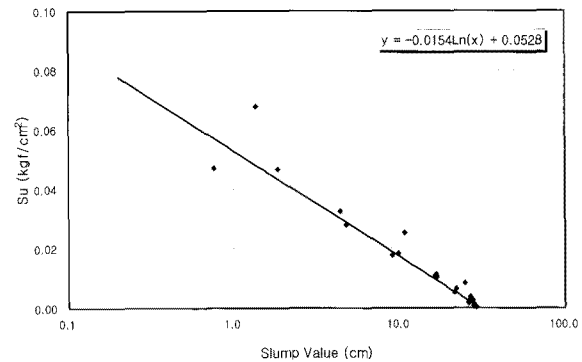


그림 11. 95% 신뢰수준 하한선

비에 따라 10번 시행한 비배수전단강도의 평균값이다. 따라서 만약 실험의 편차가 상당한 수준에 이른다면 위의 상관관계식은 무의미한 것이라 판단할 수 있다. 이에 각 함수비에 따른 비배수전단강도에 대하여 t-분포를 이용하여 표본오차와 신뢰구간을 추정하여 보았다.

통계분석프로그램 MINITAB release 14.20을 이용하여 각 슬럼프 값에 대한 비배수전단강도를 95% 신뢰수준에 대해 t-분포를 이용하여 분석하였다. 그림 10는 각각의 데이터로부터 평균, 표준편차, 표본오차와 함께 95% 신뢰구간에 대한 상한값과 하한값이 구하고, 식 (5)에 대해 신뢰수준 95% 하한선과 신뢰수준 95% 상한선을 도시한 것이다. 본 연구에서 수행된 슬럼프 값과 비배수전단강도의 상관관계에 대한 신뢰수준 95%의 도시는 본래의 상관관계식에 대해서 큰 편차가 없는 것으로 판정이 되었다.

본 상관관계식을 실제 실무에서 적용할 경우, 비배수전단강도는 그 쓰임이 지지력 및 사면안정 해석 등에 있어서 상당히 중요한 인자로 사용되기 때문에 어느 정도 안전측으로의 접근이 필요하다. 따라서 슬럼프 실험의 횟수나 실험자체의 오차가 따를 수 있으므로, 슬럼프 값에 따른 비배수전단강도의 상관관계식 적용에 있어

서 본 연구에서 수행된 신뢰수준 95% 하한선에 대한 상관관계식을 대표 식으로 표현하고자 한다. 이에 따른 상관관계식은 식 (6)과 같고 그림 11은 이 상관관계식을 실험 데이터에의 적용을 나타낸 것이다.

$$S_u = -0.0154 \ln(N_s) + 0.0528 \quad (6)$$

## 5. 결론

본 연구는 슬럼프실험 및 실내배인전단실험을 이용하여 준설패립지반의 강도특성을 분석하고자 하는데 목적이 있다. 이에 연구대상지반에서 시료를 채취하여 기본물성시험을 수행한 결과로 액성한계에 따라 시료를 구분하였다. 대상 시료에 따라 액성한계 부근의 함수비에서 실험이 가능한 함수비까지를 범위로 하여 각 함수비마다 10회씩 슬럼프실험과 실내배인전단실험을 실시하였고 이에 대한 강도 특성 상관관계식을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 함수비 - 슬럼프 값의 관계와 함수비 - 비배수전단강도의 관계는 함수비가 액성한계로 정규화됨으로써 상당한 수준의 상관성이 도출되었고, 다음식과 같은 상관관계식을 얻었다.

$$w/LL = 1.18 \exp^{0.03N_s}$$

$$S_u = 0.93 \exp^{-2.36(w/LL)} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

- (2) 슬럼프값과 비배수전단강도의 관계는 액성한계에 따라 특정한 차이를 보이지 않았으며 하나의 경향성을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구대상지반의 경우 슬럼프값 만을 이용하여 비배수전단강도의 추정이 가능할 것으로 판단된다.
- (3) 비배수전단강도와 슬럼프값 상관관계에 있어서 각각의 경우 10회 측정된 비배수전단강도에 대해 t분포를 적용한 결과 작은 편차를 보였고, 이에 통계적으로 실험의 신뢰성을 확보할 수 있었다. 슬럼프값에 대한 비배수전단강도 상관관계식을 신뢰수준 95%에 대하여 하한값을 적용하여 다음의 식을 산정하였다.

$$S_u = -0.0154 \ln(N_s) + 0.0528 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

- (4) 향후 슬럼프 실험을 통한 초연약점토의 비배수전단강도 산정에 대한 신뢰성과, 적용성을 높이기 위하여 본 연구 대상 시료인 CL계열 이외에도 CH계열 또는 비소성실트지반 등 여러 대상지반에 대한 실험이 추가로 수행되어야 할 것이며, 실내배인전단실험기 이외의 rotary viscometer, 얇은 판 관입 시험 등과 같은 초연약점토의 비배수전단강도 측정을 할 수 있는 실내 실험기구들을 이용해 더 많은 데이터 분석을 통한 상관 관계식의 적용성을 높여야 할 것이다.

## 참고 문헌

1. American Society for Testing and Materials (ASTM). (1994), "Laboratory miniature vane shear test for saturated fine-grained clayey soil", designation D4648-94, *American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA*.
2. Ali Fakher, Colin J. F. P. Jones, and Barry G. Clarke (1999), "Yield Stress of Super Soft Clays", *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg.* Volume 125, Issue 6, pp.499-509 (June 1999).
3. Barentsen, P. (1936), "Short Description of a Field Method with Cone Shaped Sounding Apparatus", *Proceedings of the 1st ICSMFE*, Vol.1: 7-10. Cambridge, Massachusetts.
4. Cadling, L., and Odenstad, S. "The Vane Borer", *Royal Swedish Geotechnical Institute, Proceedings No.2*, 1948.
5. Carlson, L. (1948), "Determination In Situ of the Shear Strength of Undisturbed Clay by Means of a Rotating Auger", *Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.1, pp.265-270.
6. Huizinga, T. K. (1951), "Application of results of deep penetration tests to foundation piles", *Proceedings of the Building Research Congress*, 1, pp.173-179. London, England
7. Head. K. H., (1994), "Manual of Soil Laboratory testing (Vol.2)", *John Wiley & Sons, Inc.*
8. Inoue. T., Tan. T. S., Lee. S. L. (1990), "An investigation of shear strength of slurry clay", *S&F*, Vol.30, DEC 1990, pp.1-10.
9. Iwasaki. K, Kamei. T. (1994), "Evaluation of in situ strength and deformation characteristics of soils using flat dilatometer", *Doboku Gakkai Rombun-Hokokushu/Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, pp.167-175.
10. Marchetti. S. (1980), "In situ tests by flat dilatometer", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE 106 (GT3, Proc. Paper, 15290), pp.299-321.
11. P. K. Robertson, T. Lunne, John J. M. Powell (1997), "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", *Taylor & Francis*, pp.4-5.
12. Plantema (1948), "Results of a special loading test on a reinforced concrete pile, a so-called pile sounding; interpretation of the results of deep soundings, permissible pile loads and extended settlement observations", *Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp.112-118.

(접수일자 2008. 7. 25, 심사완료일 2009. 2. 24)