

# 실내시험을 통한 광양만 점토의 압밀 및 전단특성분석

Analysis of Consolidation and Shear Characteristics for the Kwangyang Bay Clay

이 영 휘\*<sup>1</sup>

Lee, Young-Huy

김 용 준\*<sup>2</sup>

Kim, Yong-Jun

김 대 길\*<sup>3</sup>

Kim, Dae-Kil

---

## Abstract

A series of laboratory tests for the marine clay sampled under the sea of Kwangyang bay have been conducted. The main types of tests are the general index property tests, the oedometer tests and the triaxial compression tests in both undrained(CIU) and drained(CID) conditions. The clayey samples, classified as CL, CH with natural water content of 38.3~84.6% and liquidity index of 0.71~0.98, are in the normally consolidated state with O.C.R. of 1.01~1.60. The undrained stress path from CIU tests can be normalized with isotropic consolidation pressure( $p_0$ ) and equal shear strain contour is linear passing through the origin in the ( $q$ ,  $p$ ) plot. The undrained shear strain is found to be the only function of the stress ratio( $\eta$ ) and linear with intercept in the ( $\epsilon/\eta$ ,  $\eta$ ) plot. The built-up pore pressure normalized with  $p_0$  is also linear with respect to  $\eta$  and its slope is defined by 'C' as a pore pressure parameter. Equations to predict the undrained stress path and the shear strain are proposed. It is proved that the proposed equations give better agreements to the measured values than the Cam-clay theories. The failure points of the stress path are located on the same C.S.L. in ( $q$ ,  $p$ ) plot during both CIU and CID tests, which justifies the concept of critical state theory.

## 요 지

광양만의 해저에서 채취한 점성토시료의 물리적 성질과 역학적 특성을 규명하기 위한 일련의 실내시험을 수행하였다. 주요 시험내용은 제반 물리적 성질시험, 표준압밀시험, 비배수 및 배수 삼축

---

\*1 정회원, 영남대학교 공과대학 토목공학과 부교수

\*2 영남대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*3 (주)우대기술단

시험(CIU, CID) 등이다. 통일분류에 의하면 CL, CH로 구분되는 광양만 점토는 자연함수비, 38.3~84.6%, 액성지수, 0.71~0.98 이고 과압밀비가 1.06~1.60인 실질적인 정규압밀상태라고 볼 수 있다. 비배수 삼축시험에서의 유효응력경로는 (q, p)공간에서 등방압밀응력(p<sub>0</sub>)으로 표준화되고, 등 전단변형률선은 원점을 통과하며 선형적이다. 비배수 전단변형률(ε)은 응력비(η)만의 함수이고, (ε/η, η) 공간에서 절편값을 갖는 직선으로 나타났다. 또한, 등방압밀응력으로 표준화된 간극수압도 응력비에 대하여 직선이고, 그 구배, C<sub>v</sub>는 간극수압 매개변수로 정의될 수 있다. 이상에서 기술된 경향을 근거로 하여 비배수 응력경로 및 전단변형률을 예측할 수 있는 계산식을 제안하였고, 제안식에 의하여 계산된 응력경로와 전단변형률은 기존의 Cam-clay이론 보다 실측치에 더 가까운 값을 주는 것으로 나타났다. 배수시험 결과에서 얻어진 응력경로 상의 파괴점은 비배수 응력경로의 한계상태선과 동일 선상에 위치하며, 이 사실은 한계상태이론의 기본 개념과 일치한다.

Keywords : Marine clay, Oedometer test, CIU, CID, Pore pressure parameter, Effective stress path, Equal shear strain contour, Cam-clay theory, Hyperbolic equation

## 1. 서 론

해성점토는 일반적으로 그 퇴적양상에 따라 공학적 특성이 다양하게 나타나게 된다. 특히 점토의 입도 분포, 컨시스턴시 지수, 자연함수비 및 응력이력등은 압밀특성과 전단특성에 절대적인 영향을 미치는 것으로 이미 알려져 있다. 따라서, 지역적인 요인에 의하여 퇴적양상이 서로 다른 점토에 대한 제반 물리적 성질과 공학적 특성을 파악하기 위한 시험적 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 이와 관련하여, 본 논문에서는 전남 광양만 지역의 해저에서 채취한 점성토에 대하여 제반 물리적 성질시험, 표준압밀시험 및 비배수 및 배수조건하에서의 삼축압축시험을 수행하여, 결과 분석을 통한 해성점토의 물리적 성질과 역학적 특성을 규명하고자 한다. 특히 압밀시험을 통하여 점성토의 응력이력과 압밀에 관련되는 제반 토질 정수의 심도별 변화경향을 파악하고, 비배수조건과 배수조건하에서의 삼축압축시험을 수행하여 흙의 비선형 응력-변형률 관계특성을 규명하고자 한다. 아울러, 시험결과에서 나타나는 특성의 응력-변형률 관계를 수식으로 표현하고, 그 계산결과를 정규압밀토에 대한 기존의 Cam-clay이론 등으로 예측한 결과를 상호 비

교하므로써 본 지역에 적합한 흙의 구성방정식을 도출하고자 노력하였다.

## 2. 응력 및 변형률 매개변수의 정의

본 논문에 사용되는 응력매개변수 p' 와 q는 다음과 같이 정의된다.

$$p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3) / 3$$

$$q = (\sigma'_1 - \sigma'_3)$$

여기서  $\sigma'_1$ 과  $\sigma'_3$ 는 유효주응력이고 삼축응력 조건아래에서  $\sigma'_2$ 와  $\sigma'_3$ 는 같으며, 유사하게 변형률중분 매개변수 d<sub>t</sub>와 d<sub>s</sub>는 다음과 같이 주어진다.

$$d_t = d_{e1} + 2d_{e3}$$

$$d_s = 2(d_{e1} - d_{e3}) / 3$$

여기서 d<sub>e1</sub>와 d<sub>e3</sub>는 증분주변형률이며 삼축응력 조건아래에서 d<sub>e2</sub>와 d<sub>e3</sub>는 같다.

응력비 q/p'는 η로 정의된다.

## 3. 시료 및 시험방법

### 3.1 시 료

제 4기 충적층(alluvium)이 퇴적된 광양제철소 부지의 동측 발전소 부지조성공사 지역 현

장의 토층구성 개요는 최상부에 약 6m 두께의 모래층이 퇴적되어 있고, 모래층 하부에 약 26m의 두께로 연약 점토층(silty clay)이 분포하고 있다. 점토층의 대부분은 암회색의 실트질 점토 또는 점토질 실트로 구성되어 있고, 조개껍질과 미세한 운모편 및 유기물을 함유하고 있으며 부분적으로 세립의 얇은 모래층이 sand seam 형태로 나타나기도 한다. 또한 점토층의 하부에는 세립 내지 조립의 모래층이 사암 및 세일로 구성된 기반암층 위에 퇴적되어 있다. 불교란 시료는 그림 1에 표시된 위치(채취위치의 중심부 좌표: N155674, E271086, 시추조사 면적: 약 900,000m<sup>2</sup>)에서 총 9개의 시추공으로부터 직경이 76mm인 얇은 관(thin-wall tube)을 사용하여 심도 6~32m 구간에 걸쳐 채취하였다. 또한 본 연구의 물리적 성질 시험은 9개 시추공에 해당되는 전 시료에 대하여 심도별로 수행하였으며, 역학적 성질 시험(표준압밀시험, 삼축압축시험)에 사용된 시료는 서로 인접한 3개 시추공의 심도 13.5~

17.3m구간에 해당되는 시료를 사용하였다.

### 3.2 시험계획 및 방법

본 연구를 위해서 점토층의 각 심도별 물리적 특성을 규명하기 위한 제반 물리적 성질시험(단위중량, 자연함수비, 액·소성 한계, 비중 등), 점토층의 응력이력 및 압밀특성 파악을 위한 표준압밀시험이 기본적으로 계획되었다. 아울러, 점성토의 전단강도와 구성방정식의 적용성을 평가하기 위하여 비배수조건(CIU)과 배수조건(CID)하에서의 표준 삼축압축시험을 수행하고, 이때 채택될 구속압밀응력은 200kPa, 300kPa, 400kPa로 계획되었다.

삼축시험의 과정은 진공압법과 배압법을 이용하여 시료를 포화시켰으며 여기서는 200kPa의 배압을 적용하여 간극수압계수 B값이 0.97 이상이 되도록 하였다. 전단시험은 변형률 제어 방법을 사용하였으며, 시험에 적용된 변형속도는 CIU 시험에서 0.1%/min, CID 시험에서 0.008 %/min 이다.

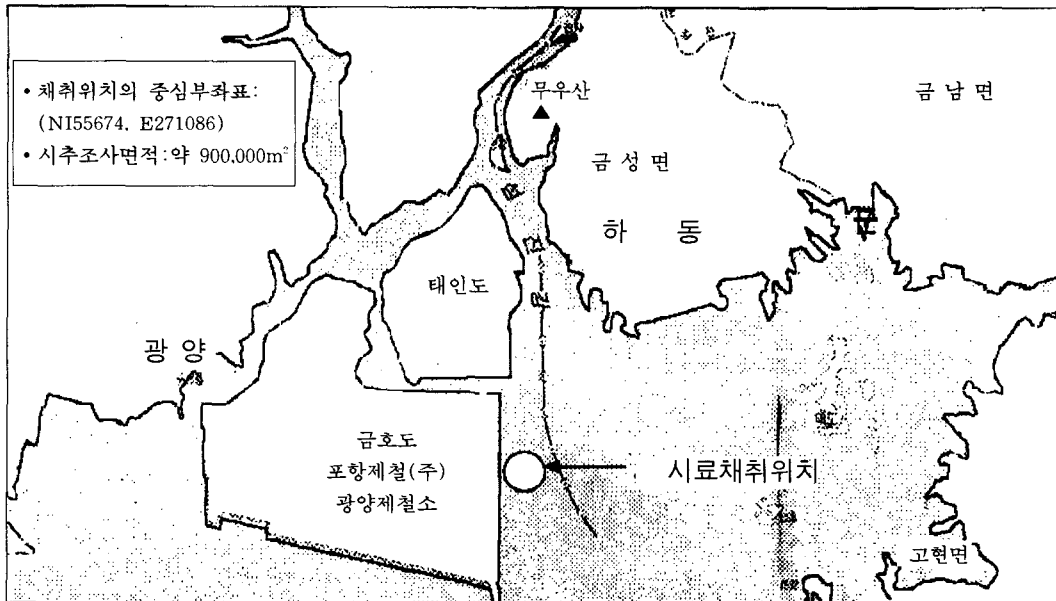


그림 1. 시료채취 위치도

## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 시료의 기본적 특성

본 지역 점성토의 함수비는 38.30~84.60%의 분포를 보이고 있으며, 액성한계는 40.4~65.2%, 소성지수는 19.6~39.0%, 액성지수는 0.71~0.98의 범위에 있으며 심도별 토질특성은 그림 2와 같다. 특히 액성지수(liquidity index, LI)는 점성토의 응력이력을 개략적으로 판별하는 데도 사용되는데, 정규압밀 점성토의 액성지수는 0.6~1.0내외이며 과압밀 점성토의 액성지수는 0~0.6정도이다(Simons & Menzies, 1975). 그림 2에서 자연함수비는 액성한계에 가까운 경향을 보이며 액성지수가 0.71~0.98의 분포를 보이므로써 본 점성토는 정규압밀상태에 가까운 응력이력을 경험하고 있음을 간접적으로 판단할 수 있다.

또한 그림 3에서는 입도시험 결과 No.200체 통과량이 51~98%의 분포범위를 보이며, 통일분류법에 의하면 본 연구에 사용된 시료는 최대입径이 0.42mm 정도인 실트질 점토(CL, CH)로 분류된다.

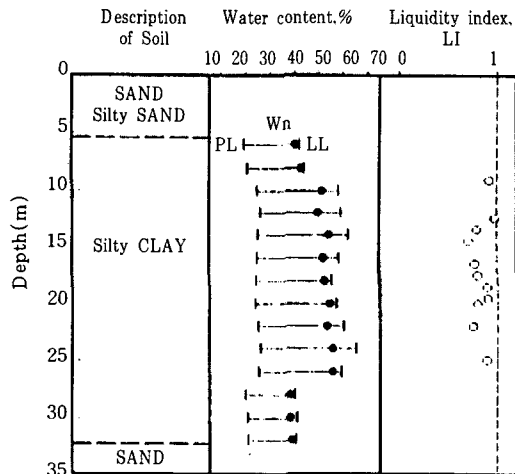


그림 2. 점성토의 심도별 물리적 성질

### 4.2 압밀특성

그림 4에서는 표준압밀시험을 통하여 얻은 선형압밀하중( $P_c$ ), 과압밀비(OCR), 압축지수( $C_c$ ) 등의 압밀 특성을 심도별로 보여주고 있다. 선형압밀하중은 1.1~2.1kg/cm<sup>2</sup>의 범위으로써 심도가 깊어짐에 따라 그 값이 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있으며, 과압밀비(OCR)는 1.01~1.60의 범위으로써 깊이가 증가함에 따라 점점 감소하여 심도 25m에서 이론적인 정규압밀상태인 1.0에 접근하고 있다. 또한 정규압밀 구간에 있는 점토층의 압밀침하량 산정을 위한 압축지수( $C_c$ )는 심도별 뚜렷한 경향이 없이 0.5~0.6 정도의 값을 보이고 있다.

한편, 점토층의 압밀속도에 관련되는 압밀계수( $c_v$ )의 크기를 그림 5에서  $c_v - \log P$ 의 관계로 도시하였다. 시험된 응력수준 범위내에서의 압밀계수는 0.0004~0.005cm<sup>2</sup>/sec 정도이며, 응력수준이 1~2kg/cm<sup>2</sup> 되는 구간을 경계로 하여 압밀계수가 급작스레 저하되는데 이 경계점에 해당되는 응력수준은 응력이력의 변환점인 선형압밀하중의 크기와 대략 일치하는 특성을 보인다.

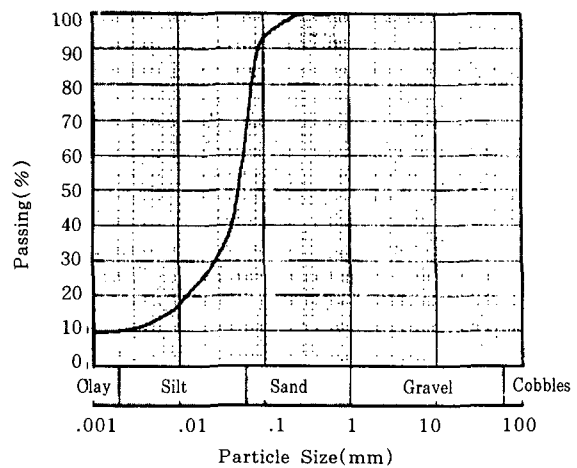


그림 3. 점성토의 입도분포곡선

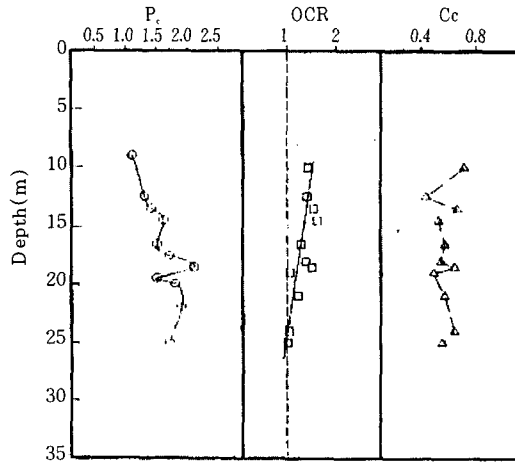


그림 4. 압밀특성

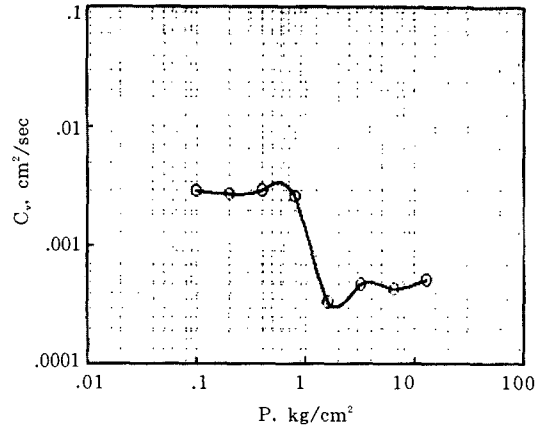


그림 5.  $C_v$  - log P 곡선

### 4.3 전단 특성

#### 4.3.1 비배수 전단특성

##### (1) 유효응력경로

심도 13.5~14.3m 구간에서 채취한 시료에 대하여 각기 다른 크기의 등방압밀응력( $p_0$ ) 200kPa, 300kPa, 400kPa으로 압밀시킨 후, 비배수 전단시험을 실시하여 얻은 유효응력경로

를 그림 6에 보여주고 있으며,  $p_0$ 에 따른 각각의 유효응력경로는 서로 유사한 형태로서 그림 7에 보이듯이  $P_0$ 로 표준화 시켰을 때 대략 하나의 경로로 표현됨을 확인할 수 있었다. 이는 시료의 상태경계면( state boundary surface)이 유일하다는 한계상태이론에 부합됨을 알 수 있다.

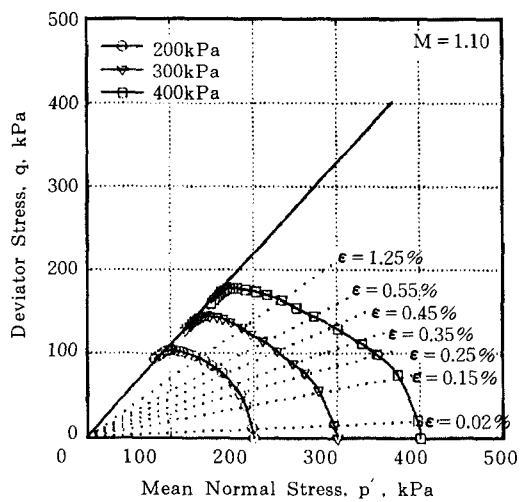


그림 6. 유효응력경로(CIU 시험)

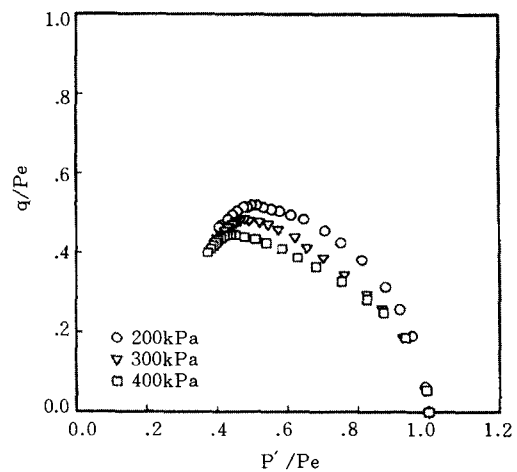


그림 7. 표준화된 상태경로(CIU시험)

(2) 축차응력 - 응력비 - 간극수압의 전단변형률과의 관계

그림 8(a), (c)에서는 전단변형률에 따른 축차응력과 간극수압의 관계를 도시하였으며, 보다 큰  $p_0$ 값으로 압밀된 시료는 파괴시에 더욱 큰  $q$ 값을 갖게 되고  $q$  값은 약 5%의 전단변형률에서 최대치를 보인 후에 약간씩 감소하는 경향을 보인다. 또한 간극수압도 전단변형률이 5%에 이를 때까지는 급격히 증가하다가 그 이후에는 약간의 증가추세를 보인다. 전단변형률( $\epsilon$ )에 따른 응력비( $\eta$ )의 변화는 그림 8(b)에서 나타내었는데, ( $\epsilon - \eta$ )관계는 구속압력( $p_0$ )의 크기에 관계없이 거의 일치하는 곡선을 보이며, 이것은 그림 6에서 점선으로 표시된 등전단 변형률 선(equal shear strain contour)이 ( $q, p$ )공간상의 원점을 통과하며 직선으로 표시되는 내용과 일치한다. 즉, 비배수 전단변형률은 오로지 응력비( $\eta$ )만의 함수라는 것을 알 수 있다. 아울러 ( $q - \epsilon$ ) 및 ( $u - \epsilon$ )관계를  $p_0$ 로 표준화 시킨 그림을 그림 9(a), (b)에서 보여주고 있는데 이들 관계 역시  $p_0$ 에 독립적이라는 것을 알 수 있고, 이러한 경향은 Boston blue clay(Ladd, 1964)와 Bangkok clay(Bal-subramaniam & Chaudhry, 1978)에 대한 실험결과에서도 유사하게 나타났다.

(3) 간극수압계수, C

삼축압축시험에서 임의 크기의 등방압밀응력( $p_0$ )으로 전단시켰을 때 측정된 간극수압( $u$ )을 응력비( $\eta$ )의 함수로 나타낸 결과는 그림 10과 같다. 이 그림은 ( $u - \eta$ )관계가 원점을 통과하면서 선형적이고,  $p_0$  값이 커질수록 직선의 구배가 증가하는 것으로 나타난다. 한편, 그림 11에서는  $p_0$ 로 표준화된 간극수압을 응력비의 함수로 표시하였는데, ( $u/p_0 - \eta$ )의 관계는  $p_0$  값의 크기에 관계없이 하나의 직선으로 나타나며, 그 구배를 간극수압계수(C)로 정의할 수 있다. 이와 같은 경향은 정규압밀된 Bangkok clay에서도 같이 나타났고(Lee, 1992), 광양만 점토의 C값은 0.67, Bangkok clay의 C값은 0.64였다.

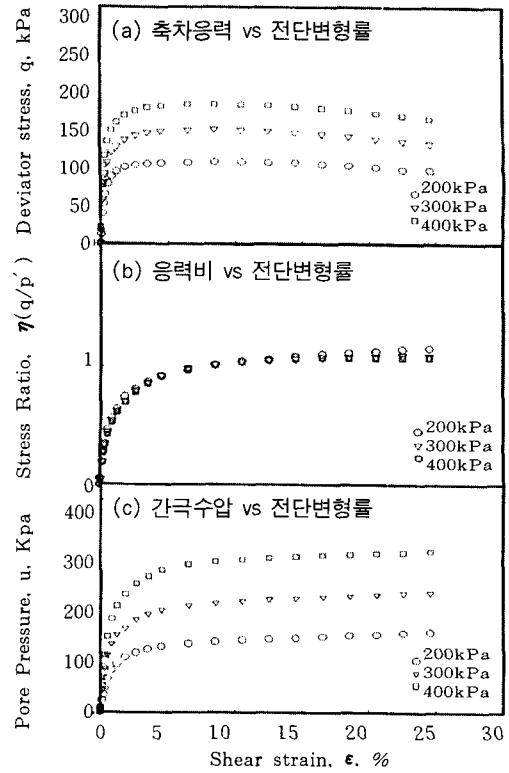


그림 8. 축차응력-응력비-간극수압과 전단변형률과의 관계

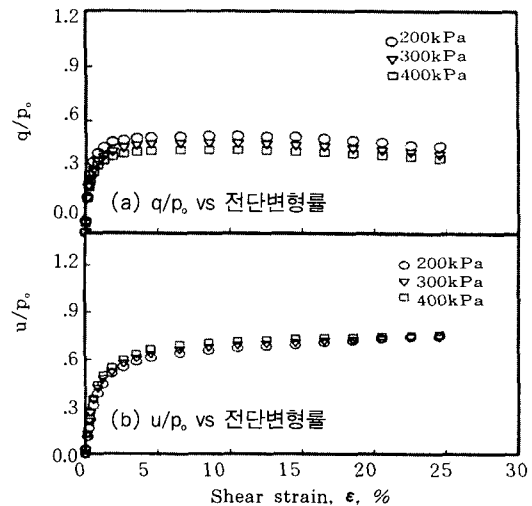


그림 9.  $q/p_0 - u/p_0$ 와 전단변형률과의 관계

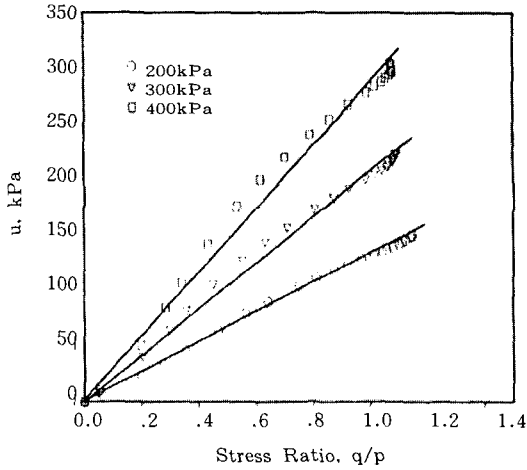


그림 10. 간극수압과 응력비와의 관계

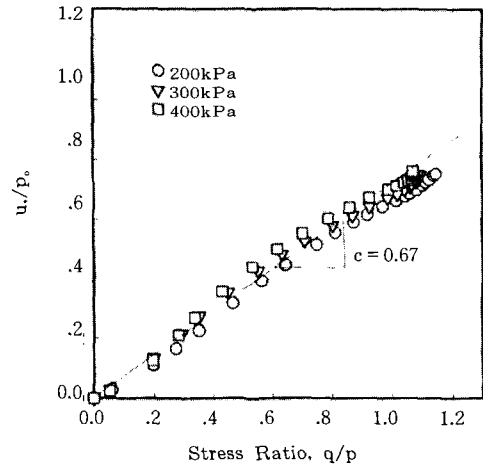


그림 11.  $u/p_0$ 와 응력비와의 관계

#### (4) 유효응력경로의 예측

그림 11에서 보여진  $(u/p_0) - \eta$ 의 선형관계는 응력경로 특성으로부터 삼축압축시험의 유효응력경로식을 표현하는데 응용할 수 있다.  $(u/p_0) - \eta$  관계에서 직선의 기울기로 표시되는 간극수압계수(C)를 이용한 비배수 응력경로는 식(1)로 나타낼 수 있고, 이 식을 증분응력상태로 변환하면 식(2)로 정리된다.

$$p/p_0 = 3(1 - C\eta)/(3 - \eta) \quad (1)$$

$$dp = 3 p_0(1 - 3C)d\eta/(3 - \eta)^2 \quad (2)$$

그림 12는 광양만 점토의 C값 0.67을 적용했을 때의 유효응력을 계산한 결과를  $p_0 =$

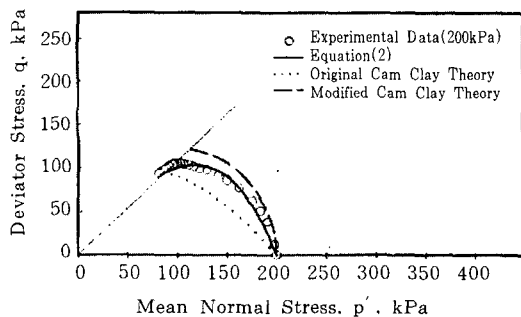


그림 12. 비배수 응력경로의 예측

200kPa 로 압밀된 시료에 대해 실제 측정된 유효응력경로와 비교하고 있다. 또한 각기 다른 plastic work equation을 도입하여 이론적으로 유도된 Cam-clay이론과 수정 Cam-clay이론에 의하여 계산된 결과도 같이 비교하였다. 여기에서 사용된 Cam-clay이론의 매개변수는 표준압밀시험과 삼축압축시험으로부터 얻은 값을 사용했으며, 그 값은 각각  $M=1.10$ ,  $\lambda=0.274$ ,  $\kappa=0.036$  이었다. 비교결과, 실험을 통하여 결정된 간극수압계수(C)를 이용한 식(2)에 의하여 계산된 유효응력경로가 측정된 값에 가장 근사하며, Cam-clay이론과 수정 Cam-clay이론으로 계산된 경로는 측정된 경로를 기준으로 하여 각각 내측과 외측에 위치하고 있다.

#### (5) 축차응력 - 변형률관계 예측

비배수 삼축압축시험에서의 축차응력 - 전단 변형률 관계의 계산은 그림 8(b)에서 나타낸  $(\epsilon - \eta)$  관계가  $p_0$ 의 크기에 상관없이 유일하다는 실험적 사실로부터 유도될 수 있다.

그림 13에서는 그림 8(b)에 보인  $(\epsilon - \eta)$  곡선의 형태를  $(\epsilon/\eta - \eta)$ 의 변환된 쌍곡선 함수로 나타냈는데, 그림 13에서  $(\epsilon/\eta - \eta)$ 관계가 연직축의 절편 'a'와 경사 'b'를 갖는 직선이고 이 직선식은 식(3)과 같이 응력비의 증분에 대한 변형률의 증분식으로 표현할 수 있다.

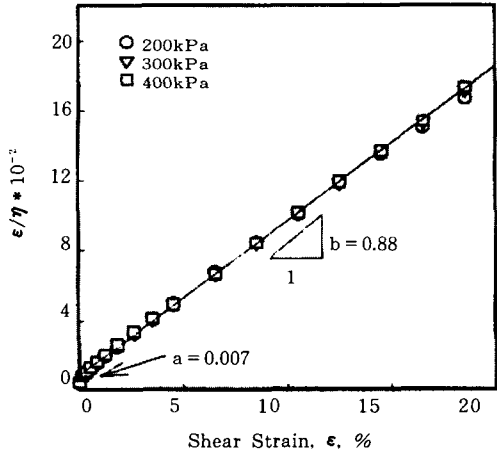


그림 13.  $\epsilon/\eta - \epsilon$ 관계

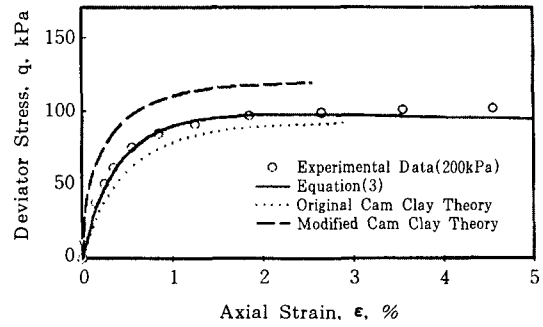
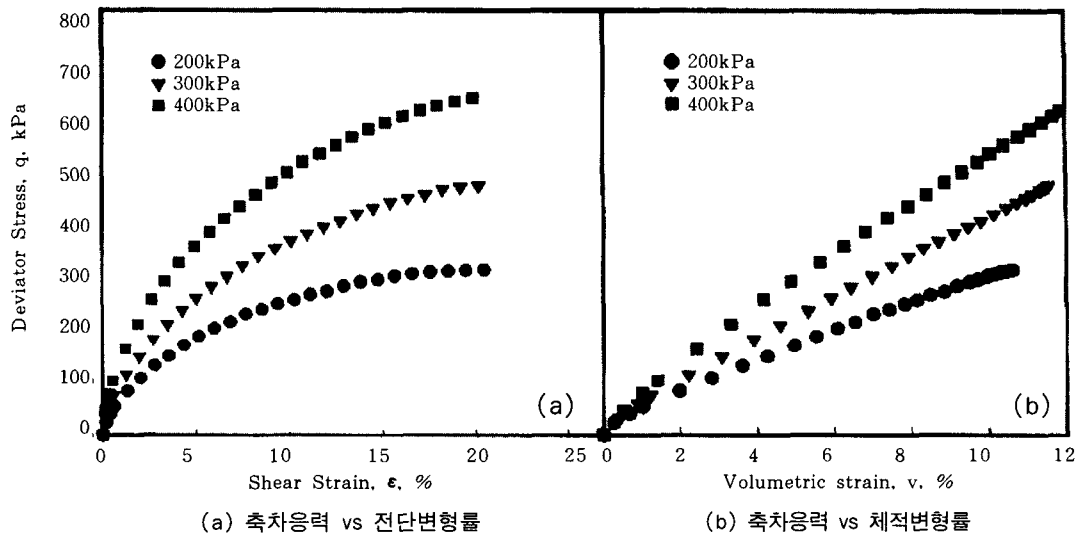


그림 14. 축차응력-변형률 관계의 예측



(a) 축차응력 vs 전단변형률

(b) 축차응력 vs 체적변형률

그림 15. 전단변형률-체적변형률과 축차응력과의 관계(CID 시험)

$$d\epsilon = a \frac{d\eta}{(1 - b\eta)^2} \quad (3)$$

따라서, 실험으로부터 결정한 전단변형률 매개변수,  $a=0.007$ ,  $b=0.880$ 을 식 (3)에 적용하면 각각의  $p_c$ 에 대하여 응력비( $\eta$ )의 증가에 따른 전단변형률 증분량( $d\epsilon$ )을 쉽게 계산할 수 있다. 그림 14는  $p_c$ 가 200kPa인 경우 시험에서 측정된  $(q - \epsilon)$ 관계를 식 (3)에 의해 계산된 결과와 비교하고 있다. 또한 상대적인 비교를

위하여 Cam-clay이론과 수정 Cam-clay이론에 의해서 예측된  $(q - \epsilon)$ 관계를 함께 나타내었다. 전반적으로 식 (3)에 의한 쌍곡선식(hyperbolic equation)이 실측치에 가장 근접한 결과를 보이고, Cam-clay이론은 측정치보다 과대한 전단변형률을 주는 반면, 수정 Cam-clay이론은 그 반대경향을 보이고 있다.

#### 4.3.2 배수전단특성



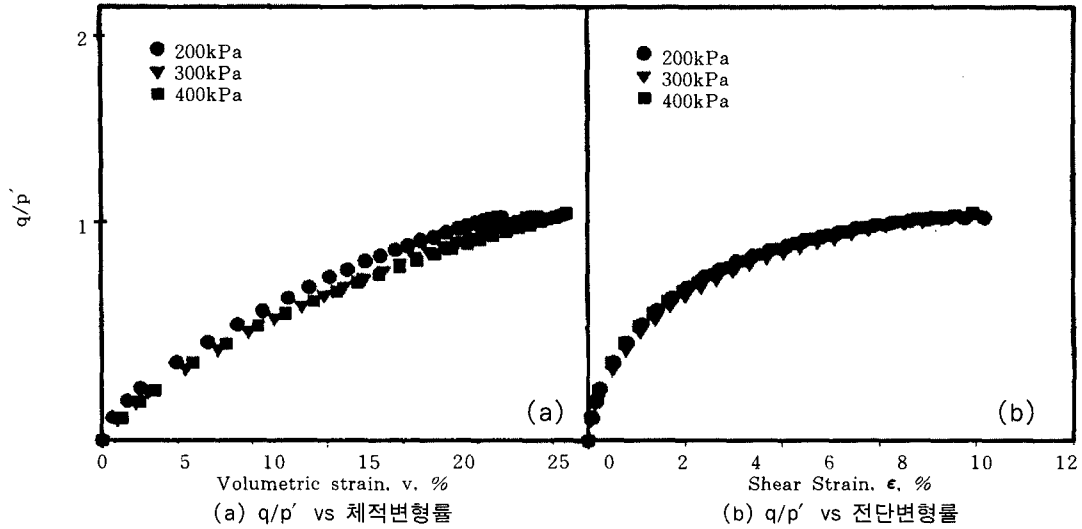


그림 16. 전단변형률-체적변형률과  $q/p'$ 와의 관계(CID 시험)

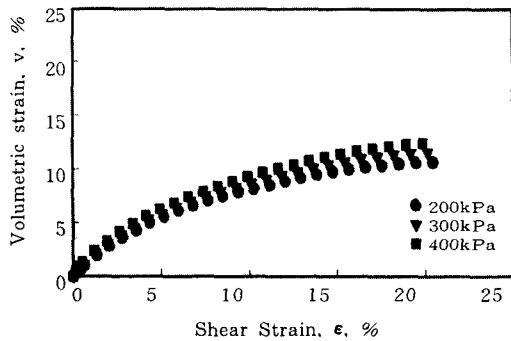


그림 17. 전단변형률과 체적변형률과의 관계(CID시험)

앞에서 기술된 CIU 실험에서와 같은 크기의 3개의 등방압밀응력( $p_0$ ), 즉  $p_0 = 200\text{kPa}$ ,  $300\text{kPa}$ ,  $400\text{kPa}$ 을 가했을 때의 배수전단시험(CID) 결과, 축차응력( $q$ ) - 전단변형률( $\epsilon$ ), 축차응력( $q$ ) - 체적변형률( $v$ ) 관계가 그림 15(a), (b)에 각각 나타나있다. 그림 15(a)에서 첨두강도(peak strength)가 잘 정의되지 않는 변형률경화 현상을 보이고, 축차응력의 크기는 임의의 전단 및 체적변형률에서 대체적으로  $p_0$

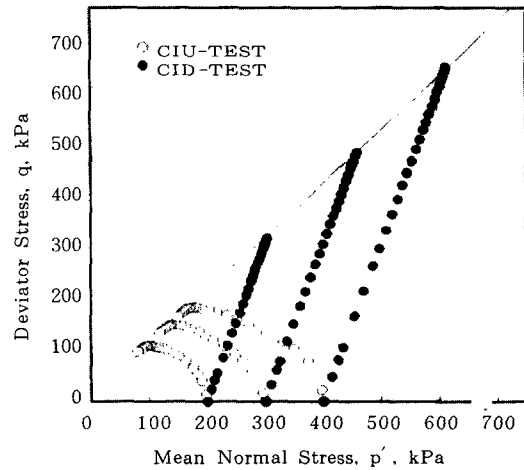


그림 18. 유효응력경로

의 크기에 비례하여 증가하는 경향을 보인다. 한편, 그림 16(a)와 (b)에서는 그 크기가 각각 다른  $p_0$ 에 대한  $(\eta - \epsilon)$  및  $(\eta - v)$  관계특성을 나타냈는데, 두 경우 모두에서  $p_0$ 에 독립적인 경향을 보이고, 이 특성은 그림 17의  $(\epsilon - v)$ 의 관계에서도 동일한 것으로 측정되었다. 이상에서 기술된 정규압밀토에 대한  $(\eta - \epsilon)$ ,  $(\eta - v)$  및  $(\epsilon - v)$  관계특성은 기존의 다른 연구에서도 확인되었다(Balasubramaniam & Chauhdry,

1978, Roscoe & Poorooshasb, 1963). 또한, 그림 18은 CIU 및 CID 시험에서 얻은 유효응력경로를 함께 나타내었다. 여기에서 배수조건이 다른 각각의 시험을 통한 시료의 파괴점(  $q, p$  ) 공간에서 동일한 한계상태선(C.S.L.)상에 위치하고 있고, 기존의 한계상태이론에 따른 C.S.L.의 유일성에 잘 부합되는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

광양만 지역의 해저에서 채취한 점성토에 대하여 제반 물리적 성질시험, 표준압밀시험 및 비배수조건과 배수조건하에서 수행된 삼축 압축시험 결과들을 종합적으로 분석하여 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 본 지역 점성토의 주요 물리적 성질 중 자연함수비는 38.3~84.5%, 액성한계 40.4~65.2%, 소성지수 19.6~39.0%, 액성지수는 0.71~0.98의 범위에 있고, No.200체 통과량이 51~98%정도의 실트질 점토(CL,CH)로 판명된다.

2) 심도 8~25m 구간의 시료에 대한 표준압밀시험 결과, 과압밀비는 1.01~1.60 범위로써 심도가 깊어질수록 이론적 정규압밀상태인 1.0에 근접하고, 압축지수는 심도별 뚜렷한 경향없이 0.5~0.6 정도이다. 또한, 압밀계수는 응력수준이 과압밀 구간에서  $0.0004 \text{ cm}^2/\text{sec}$ , 정규압밀구간에서  $0.005 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 로 측정되었다.

3) 비배수 삼축시험(CIU)에 의한 유효응력경로는 등방압밀응력으로 규준화 시켰을 때 하나의 상태경로로 나타나며, 축차응력 및 간극수압에 대한 전단변형률의 관계도 등방압밀응력에 독립적인 것으로 확인되었다.

4) 등방압밀응력으로 규준화된 간극수압과 응력비의 관계는 원점을 통과하는 하나의 직선이며, 이 직선의 기울기를 간극수압계수,  $C$ 로 정의하였으며  $C$  값을 이용한 표준삼축응력조건에서의 유효응력경로식을 제시하였다. 또한 제안된 식으로 계산된 응력경로는 기존의 Cam-clay이론으로 계산된 경로보다 실측치에

더 근접하는 결과를 보였다.

5) 비배수조건에서의 전단변형률은 응력비만의 함수이고, 이 관계는 변환된 쌍곡선식으로 표현 될 수 있다. 제안된 쌍곡선식을 이용하여 축차응력-전단변형률을 계산한 결과는 실측치와 거의 일치하는 것으로 나타났다.

6) 배수시험을 통한 응력-변형률(전단 및 체적)관계 특성을 분석한 결과, 응력비와 변형률관계는 등방압밀응력에 독립적이었고, 배수조건과 비배수조건에서의 시료의 파괴점은 동일한 한계상태선(C.S.L.)에 위치하는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 '96 영남대학교 연구지원비에 의해서 수행되었다.

## 참 고 문 헌

- Balasubramaniam, A. S., and Chauhdry, A. R.(1978). " Deformation and Strength Characteristics of Soft Bangkok Clay", J. Geotech. Engrg., ASCE, Vol. 104(GT9), pp. 1153 - 1167.
- Ladd, C. C.(1964). "Stress - strain behavior of saturated clay and basic strength principles". Research Report R64 - 17, MIT, Cambridge, Mass.
- Lee, Y. H.(1992). "A Constitutive Model for Normally Consolidated Clays", 한국지반공학회지, 8권, 2호, pp. 71 - 79
- Roscoe, K. H.,and Poorooshasb, H.B.(1963). "A Theoretical and Experimental Study of Strains in Triaxial Compression Tests on Normally Consolidated Clays", Geotechnique, Vol. 13, pp. 12 - 38.
- Simons, N.E., and Menzies, B.K.(1975). A Short Course in Foundation Engineering, Butterworth & Co, p. 63.

(접수일자 1998. 11. 26)