

응력경로법에 의한 점성토의 변형특성 고찰

A Consideration on Deformation Characteristics of Soft Clays using Stress Path Method

김창엽¹⁾, Chang-Youb Kim, 정충기²⁾, Choong-Ki Chung

¹⁾ 서울대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l University

²⁾ 서울대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l University

SYNOPSIS : Because of its 1-dimensional assumptions, settlement analysis based on oedometer test results with or without Skempton-Bjerrum's modification method (widely used for practical purposes when estimating consolidation settlements of soft clay deposits) has shortcomings that it can't simulate real stress states and deformation behaviors of soils in case that in-situ loading and deformation conditions are not 1-dimensional.

In this study, the stress path method, reflecting various probable stress paths, was employed to normally - consolidated kaolinite samples by using automated triaxial testing device which can make it possible to control stress paths automatically. From this experimental study, elastic, consolidation, secondary compression and pore pressure development - dissipation behaviors under various stress paths were analyzed and deformation characteristics of soft clays, which can be the basis of rational estimation of settlements, were studied. Also by comparing results of stress path tests with those of 1-dimensional consolidation tests, limitations and problems of conventional methods were clarified.

주요어(Key words) : deformation, stress path, triaxial test, clays, consolidation

1. 서론

낮은 강도와 높은 압축성을 가지는 점성토 지반상에 건물의 기초나 도로성토와 같은 상부구조물이 시공되는 경우 정확한 침하량 평가에 근거한 설계는 필수적이다. 이러한 경우 점성토 지반의 침하는 크게 탄성침하와 압밀침하 그리고 이차압축침하로 구분할 수 있으며, 일반적으로는 압밀침하가 가장 중요한 요소이다. 대부분의 경우 점성토 지반의 압밀침하량은 Terzaghi(1923)의 일차원 압밀이론에 근거하는 표준압밀시험의 결과를 이용하여 평가된다. 그러나 현장의 재하조건과 변형양상이 일차원적인 가정조건을 만족하지 못하는 경우 표준압밀시험은 실제 흙요소의 응력상태나 변형상태를 제대로 모사할 수 없는 것으로 알려져 있다. 표준압밀시험의 이러한 문제점을 개선하기 위하여 제안된 Skempton과 Bjerrum (1957)의 압밀침하량 보정법의 경우 흙요소에 가해지는 이방적인 응력증분상태를 발생과잉간극수압의 관점에서 고려하여 표준압밀시험의 결과를 보정하고 있지만, 흙요소의 일차원 변형조건을 그대로 가정하고 있기 때문에 이 역시 실제 압밀침하양상을 정확하게 모사한다고 볼 수는 없다.

이와 같은 기존 압밀침하량 산정방법들의 한계를 고려하여 Lambe(1964, 1967)은 지반내의 흙요소가 실제로 경험하는 응력경로를 실내시험에서 그대로 모사하여 이 과정에서 나타나는 변형양상으로부터 정확한 침하량을 평가하는 응력경로법의 개념을 제안하였다. 그 후 여러 연구자들에 의해 응력경로법을 이용한 다양한 연구들이 수행되었지만 대부분의 연구들이 응력경로에 따른 배수조건하에서의 거동평가나 기존 침하량 산정방법의 적용결과와의 비교에 중점을 두고 있기 때문에 정작 점성토 지반의 침하를 실제 실험을 통해 발생요인별로 체계적으로 분석한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 점에 주목하여 실험실 내에서 정규압밀상태로 성형된 균질한 kaolinite시료들에 대해, 응력경로의 제어가 자동으로 이루어질 수 있는 자동화 삼축시험기를 이용하여, 실제 지반에서 나타날 수 있는 다양한 응력경로를 따르는 응력경로법을 적용하는 실험적 연구를 수행하였다. 이러한 실험적 연구를 통하여 응력경로에 따른 체적변형, 연직변형, 횡방향 변형, 발생과잉간극수압 등을 분석하고, 합리적인 침하량 평가의 근거가 되는 다양한 응력경로하에서의 점성토의 변형특성을 고찰하였다. 또한 응력경로시험과 일차원 압밀시험 결과의 비교를 통해 기존 침하량 산정방법들의 문제점과 한계를 실험적으로 고찰하고자 하였다.

2. 실험계획

2.1 사용시료

본 연구에서 사용된 kaolinite 시료는 액성한계 이상의 함수비를 가지는 슬러리 상태의 kaolinite를 K₀ 시료성형기내에서 120kPa의 연직응력으로 압밀성형하여 제작하였으며, 사용된 kaolinite시료의 기본 물성치와 표준압밀시험의 결과는 다음의 표 1.에 제시한 바와 같다. 표준압밀시험을 통해 평가된 성형 kaolinite 시료의 선행압밀하중은 성형시 연직압밀응력 120kPa보다 작은 100kPa정도이며, 이러한 선행압밀하중의 감소는 성형 형틀의 측면에서의 마찰의 영향으로 판단된다.

표 1. 사용시료의 기본물성치와 압밀특성

γ_t (kg/cm ³)	w (%)	G_s	PL	LL	PI	200번체 통과율 (%)	통일분류	C_c	C_r	p_c' (kPa)
1.66	46.2	2.60	22	51	29	94.2	CH	0.266	0.059	100

2.2 실험방법 및 계획

2.2.1 응력경로시험

본 연구에서 적용된 응력경로시험은 크게 현장의 초기상태를 모사하기 위한 K₀압밀과정, 연직탄성변형률과 발생간극수압의 평가를 위한 비배수 재하과정, 압밀변형률과 이차압축변형률의 평가를 위한 압밀 및 이차압축과정으로 구성된다.

K₀ 압밀과정에서는 시료의 추출, 트리밍 및 시료 거치과정에서 발생할 수 있는 교란의 영향을 배제함과 동시에 현장의 K₀ 정규압밀상태를 모사하기 위하여, 삼축시험기 내에서 선행압밀하중의 1.4배에 해당하는 연직압밀압으로 사용시료를 K₀상태로 압밀하였다. 이어지는 비배수 재하과정에서는 다양한 연직응력증분 ($\Delta\sigma_v$)과 연직/수평 응력증분비(K*)에 대해 사용시료들을 비배수 상태로 압축함으로써 다양한 응력경로하에서의 연직탄성변형률과 발생과잉간극수압을 평가하였다. 이때 연직응력증분은 단계적으로 증가시키고 수평응력증분 ($\Delta\sigma_h$)은 K*값에 따라 연직응력증분에 비례하도록 증가시켰으며, 각 하중단계를 측정되는 연직탄성변형률(ϵ_{ve})과 발생과잉간극수압(Δu)이 일정해 지는 시점까지 유지하였다가 다음 단계의 재하를 실시하였다. 이러한 과정을 수행한 이후 배수를 허용하고, 시간에 따른 연직변형률과 체적

변형률을 측정함으로써 압밀거동과 이차압축거동을 평가하였다. 이때 시료의 배수는 측면배수를 허용하지 않고 시료 하부로의 연직배수만을 허용하였으며, 이와 동시에 실제 발생과잉간극수압의 소산과정을 평가하기 위하여 시간에 따른 시료 상부의 간극수압 변화를 관찰하였다.

표 2. 실시된 응력경로시험

	초기 연직압밀응력(kPa)	연직응력증분(kPa)	수평응력증분(kPa)	연직/수평 응력증분비(K)
K1-0	141.1	25	0	0
K1-0.286	141.1	26.25	7.5	0.286
K1-0.545	141.1	27.5	15	0.545
K1-0.783	141.1	28.75	22.5	0.783
K1-1	141.1	30	30	1
K2-0	141.1	50	0	0
K2-0.286	141.1	52.5	15	0.286
K2-0.545	141.1	55	30	0.545
K2-0.783	141.1	57.5	45	0.783
K2-1	141.1	60	60	1
K3-0	141.1	75	0	0
K3-0.286	141.1	78.75	22.5	0.286
K3-0.545	141.1	82.5	45	0.545
K3-0.783	141.1	86.25	67.5	0.783
K3-1	141.1	90	90	1

2.2.2 일차원 압밀시험

본 연구에서는 응력경로시험과의 직접적인 비교를 위하여 응력경로시험에 적용된 초기상태를 그대로 적용한 시료에 대해 연직응력증분 30kPa, 60kPa, 90kPa를 재하하는 일차원 압밀시험을 실시하였다. 일차원 압밀시험은 oedometer를 이용하여 실시되었으며, 초기상태 구현과정에서의 압밀시간은 응력경로시험에 사용된 시료와의 배수거리 차이를 고려하여 결정하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 K₀ 압밀과정의 결과

Kaolinite 시료의 K₀값은 0.65~0.73정도의 범위를 가지며, 평균적으로는 약 0.68로 나타났다.

3.2 비배수 재하과정의 결과

(1) 연직단성변형률

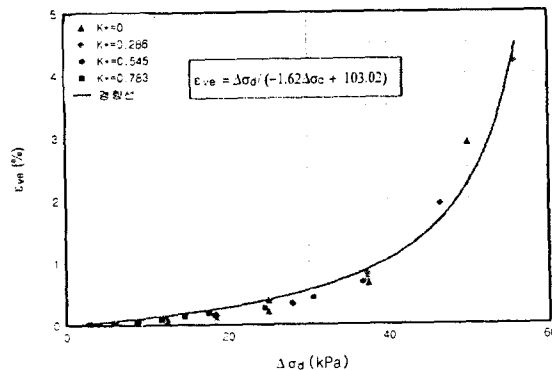


그림 1. 축차응력증분 - 연직단성변형률

그림 1.에서 알 수 있듯이 비배수 재하과정에서 측정된 다양한 응력경로하에서의 연직탄성변형률은 K^* 값에 상관없이 축차응력증분($\Delta\sigma_d$)의 크기에 의해서만 좌우되는 것으로 나타났으며, kaolinite 성형시료의 경우 축차응력증분과 연직탄성변형률 사이에 쌍곡선 형태의 강한 상관관계($r^2=0.97$)가 존재하는 것으로 나타났다. 이는 비배수 재하과정동안 시료에 가해지는 응력증분을 등방응력증분($\Delta\sigma_i = \Delta\sigma_h$)과 축차응력증분으로 구분할 때, 축차응력증분만이 시료의 변형과 관련되는 유효응력상태를 변화시켜 탄성변형을 유발시킬 수 있기 때문이며, 따라서 다양한 응력경로하에서의 연직탄성변형률은 $K^*=0$ 인 일반적인 K_0 압밀 비배수 삼축압축시험(CK₀U TXC test)에서 얻어진 축차응력증분과 연직탄성변형률의 상관관계만을 이용하여 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 발생간극수압

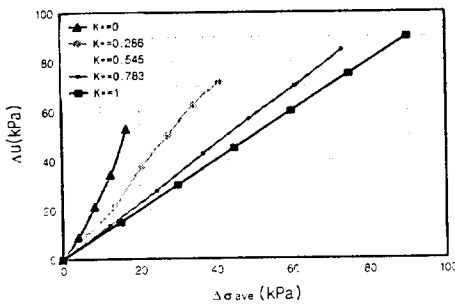


그림 2. 평균응력증분 - 발생간극수압

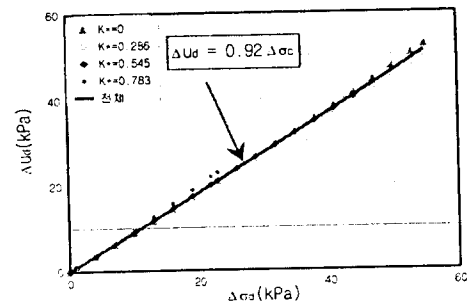


그림 3. 축차응력증분 - 축차발생간극수압

이론적으로 등방, 탄성거동을 하는 포화 흙 요소의 간극수압계수 A와 B는 각각 1/3, 1이며, 아래 (1)에서 알 수 있듯이 이러한 이상적인 흙 시료에 비배수 재하를 실시하는 경우 발생하는 간극수압(Δu_{ideal})의 크기는 응력경로에 상관없이 평균응력증분($\Delta\sigma_{ave}$)의 크기와 같다. 그러나 그림 2.에 나타난 바와 같이 비배수 압축과정에서 실제로 측정된 전체 발생간극수압은 동일한 평균응력증분하에서 K^* 값이 증가함에 따라 감소하였다. 이러한 현상은 실제로는 흙요소가 이방적이고 소성적인 거동을 하고 이에 따라 일반적인 정규압밀점성토의 경우 간극수압계수 A가 1/3보다 큰 0.5~1정도의 값을 가지기 때문이며, 이는 (2)를 통해 명확히 알 수 있다.

(1) 등방, 탄성거동을 하는 이상적인 포화 흙요소

$$\Delta u_{ideal} = B[\Delta\sigma_h + A(\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h)] = \Delta\sigma_h + \frac{1}{3}(\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h) = \frac{\Delta\sigma_v + 2\Delta\sigma_h}{3} = \Delta\sigma_{ave}$$

(2) 포화된 일반적인 정규압밀점성토

$$\begin{aligned} \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_{ave}} &= \frac{\Delta\sigma_h + A(\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h)}{\frac{\Delta\sigma_v + 2\Delta\sigma_h}{3}} = \frac{3\Delta\sigma_h + 3A(\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h)}{\Delta\sigma_v + 2\Delta\sigma_h} = \frac{3\frac{\Delta\sigma_h}{\Delta\sigma_v} + 3A(1 - \frac{\Delta\sigma_h}{\Delta\sigma_v})}{1 + 2\frac{\Delta\sigma_h}{\Delta\sigma_v}} \\ &= \frac{3(1-A)K^* + 3A}{1+2K^*} = 1 + 3(A - \frac{1}{3}) * \frac{1-K^*}{1+2K^*} \quad (\because K^* \uparrow \Rightarrow \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_{ave}} \downarrow \text{ if } A > \frac{1}{3}) \end{aligned}$$

그러나, 다음의 그림 3.에서 알 수 있듯이 전체 발생간극수압에서 등방응력증분을 뺀 축차발생간극수압($\Delta u_d = \Delta u - \Delta\sigma_i = \Delta u - \Delta\sigma_h$)은 연직탄성변형률과 마찬가지로 축차응력증분의 크기에 의해서만 좌우되는 것으로 나타났으며, kaolinite 성형시료의 경우 축차응력증분과 축차발생간극수압이 선형적인 상관

관계($r^2=0.99$)를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 다양한 응력경로를 따르는 발생간극수압 역시 연직탄성 변형률과 마찬가지로 $K^*=0$ 인 일반적인 K_0 압밀 비배수 삼축압축시험(CK_0U TXC test)에서 얻어진 축차응력증분-축차발생간극수압간의 상관관계만을 이용하여 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 압밀과정의 결과

(1) 발생간극수압의 소산과 압밀완료점

시간-연직압밀변형률 또는 시간-체적압밀변형률의 관계로부터 $\log t$ 법을 이용하여 평가된 압밀완료시점은 약 4~6시간 정도인 것으로 나타났으며, 이 때 시료상부에서 측정된 간극수압의 크기는 모든 경우에 초기 발생간극수압의 6.9~15% 정도인 것으로 나타났다. 이러한 시험결과를 바탕으로 본 연구에서는 동일한 조건하에서의 비교를 위해 모든 경우에 상부간극수압이 90% 소산된 시점을 이차압축과정이 시작되는 압밀완료점으로 간주하였으며, 이러한 기준으로 평가된 압밀변형률은 $\log t$ 법을 이용하여 결정된 t_{100} 에서의 압밀변형률과 거의 일치하는 것으로 나타났다.

(2) 연직압밀변형률

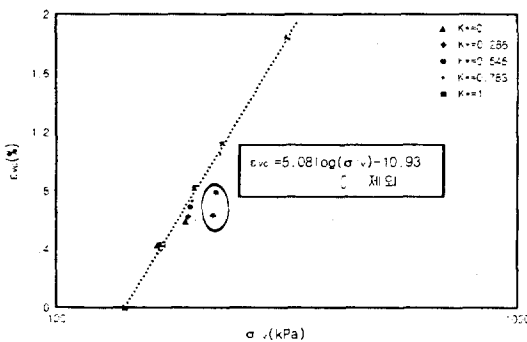


그림 4. 연직유효응력 - 연직압밀변형률

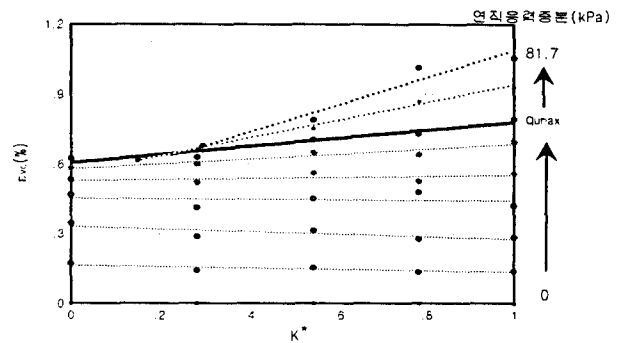


그림 5. 동일연직응력증분하에서의 연직압밀변형률

응력경로시험에서 평가된 연직압밀변형률(ϵ_{vc})은 반대수 용지상에 표시된 연직유효응력(σ'_v)(또는 연직응력증분, 압밀과정에서의 연직유효응력 변화량, 발생간극수압)에 대해 대략적으로 선형적인 상관관계를 가지며, 특히 그림 4.에서 알 수 있듯이 $K^*0.286$, $K^*0.545$ 를 제외한 경우들에 대해서는 연직유효응력과 연직압밀변형률이 K^* 값에 관계없이 거의 일정한 기울기를 가지는 강한 선형적인 상관관계($r^2=0.97$)를 보이고 있다. 그러나 이러한 접근방법으로는 연직압밀변형률이 상대적으로 큰 $K^*0.286$, $K^*0.545$ 경우에 대해 경향선에 대한 오차율이 -35.4% , -22.3% 로 매우 크게 나타난다는 예외적인 현상을 설명할 수 없다.

하지만 그림 5.에서 알 수 있듯이 동일한 연직응력증분하에서의 연직압밀변형률은 예외없이 K^* 값(또는 평균응력증분)에 대해 선형적인 상관관계를 가지며, 선형적인 경향선에 대한 오차율은 모든 경우에 $\pm 10\%$ 이내의 범위에 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 이러한 선형선의 기울기는 연직응력증분이 상대적으로 작은 경우에는 거의 0에 가까우며 연직응력증분이 증가함에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났으며, 이와 같은 선형선의 기울기의 증가는 축차응력증분의 증가에 따른 횡방향 및 연직방향 압축성의 변화에 기인하는 것으로 추정된다.

이와 함께 압밀과정에 선행하는 비배수 재하과정의 한계상태를 축차응력증분($\Delta\sigma_u$)이 최대축차응력증분 $q_{u\max}$ ($=2 \cdot S_u$)보다 클 수 없다는 사실로부터 다음의 식 (1)에 따라 정의할 때, 비배수 재하의 한계상태에 해당하는 연직압밀변형률은 실험이 실시된 연직응력증분 범위($\leq 1.5 q_{u\max}$) 내에서는 대략적으로 그림 5.에 표시된 실선 즉 연직응력증분이 $q_{u\max}$ 인 선상에 위치하는 것으로 나타났다.

$$\Delta\sigma_d = \Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h = \Delta\sigma_v(1 - K^*) \leq q_{u\max} \quad (1)$$

$$\therefore K^* \geq 1 - \frac{q_{u\max}}{\Delta\sigma_v} \quad (=인\ 경우가\ 한계상태)$$

결과적으로 연직응력증분이 최대축차응력증분보다 작은 경우에 대해서는 K^* 값에 대한 연직압밀변형률의 선형성에 근거하여 $K^*=0$, $K^*=1$ 인 경우의 연직유효응력-연직압밀변형률 관계만으로 모든 응력경로하에서의 연직압밀변형률을 추정할 수 있으며, 이러한 선형성과 함께 비배수 압축과정의 한계상태에 해당하는 연직압밀변형률 거동을 고려한다면, 같은 실험결과를 이용하여 연직응력증분에 상관없이 모든 응력경로하에서의 연직압밀변형률을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 실제로 $K^*=0$ 인 경우와 $K^*=1$ 인 경우에 대해 얻은 반대수 용지상의 선형적인 상관관계만을 이용하여 이와 같은 방법으로 추정한 연직압밀변형률에 대하여 실제 실험결과는 모든 경우에 -14%~11% 범위 이내의 오차율을 가지며, 대부분의 경우에는 오차율이 그 최대, 최소 값에 비하여 훨씬 더 작은 것으로 나타났다.

(3) 횡방향 압밀변형률과 체적압밀변형률

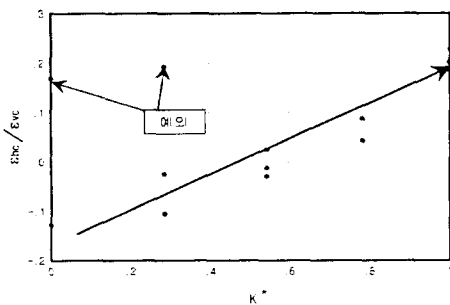


그림 6. 횡방향 압밀변형률 / 연직압밀변형률

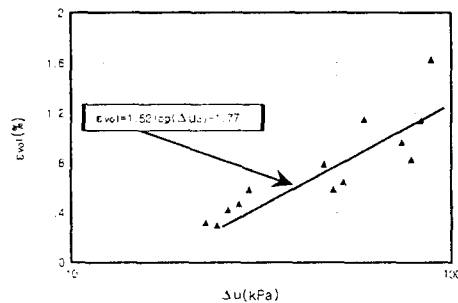


그림 7. 발생간극수압 - 체적압밀변형률

응력경로시험의 압밀과정에서 평가된 연직압밀변형률에 대한 횡방향 압밀변형률의 비($\epsilon_{hc}/\epsilon_{vc}$)는 그림 6에 제시한 바와 같이 K^* 값이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 현상은 응력경로에 따른 횡방향의 응력이력의 관점에서 설명이 가능하다. 즉 K^* 값이 1에서 0으로 감소함에 따라 비배수 재하과정 동안 횡방향 응력상태는 압축성이 큰 정규압밀상태에서 압축성이 작은 과압밀상태로 이동하게 된다. 따라서 이어지는 압밀과정에서는 이론적으로 K^* 값이 증가함에 따라 연직압밀변형률에 대한 횡방향 압밀변형률의 비가 증가하여야 하며, 본 연구의 시험결과 역시 이러한 경향성을 그대로 따르고 있다.

단 예외적으로 K2-0, K3-0.286는 경향성에서 크게 벗어나 $K^*=1$ 인 경우와 유사한 매우 큰 압밀변형률 비를 나타내는데, 이러한 현상은 두 경우 가해진 축차응력증분이 최대축차응력증분($q_{u\max}$)의 85%이상으로 비배수 재하과정에서 이미 횡방향으로 큰 탄성변형률이 발생하여, 횡방향의 압축성이 크게 증가되었기 때문으로 추정된다.

체적압밀변형률(ϵ_{vol})의 경우 그림 7에 나타난 바와 같이 연직압밀변형률과 마찬가지로 반대수 용지상에 표시된 연직유효응력 또는 발생간극수압에 대해 대략적으로는 선형적인 상관관계를 나타내고 있다. 그러나 연직압밀변형률에 비해 그 상관관계가 약할 뿐($r^2=0.74$)아니라 경향선에 대한 오차율 역시 훨씬 더 큰 것(-30%~37%)으로 나타났다. 이러한 현상은 다음의 식(2)에서 알 수 있듯이 흙요소의 체적압밀변형률이 연직유효응력이나 발생간극수압에 대하여 선형 상관관계를 나타내는 연직압밀변형률 뿐만 아니라 횡방향 응력이력에 따라 복잡한 거동을 보이는 횡방향 압밀변형률에도 크게 영향을 받기 때문으로 판단되며, 이러한 결과를 종합할 때 횡방향 변형이 허용되는 3차원적인 압밀 조건하에서는 체적압밀변형이 발생간극수압에 비례한다는 가정에 근거하고 있는 Skempton과 Bjerrum의 압밀침하량 보정법을 모든 경우에 그대로 적용하는 데에는 무리가 따를 것으로 판단된다.

$$\epsilon_{vol} = \epsilon_{vc} + 2\epsilon_{hc} \quad (2)$$

3.4 기존압밀시험결과와의 비교

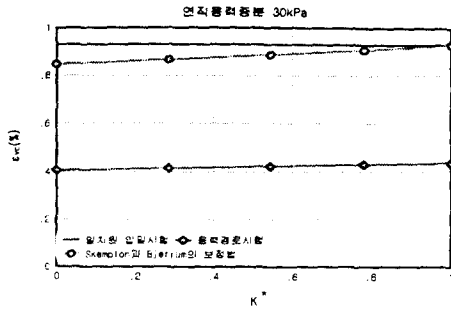


그림 8. 압밀변형률의 비교

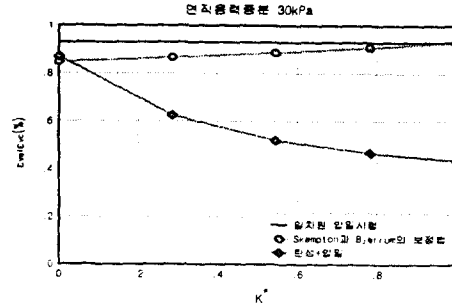


그림 9. 일차원 압밀변형률과 탄성+압밀변형률의 비교

대표적인 시험결과로 제시된 연직응력증분 30kPa에 해당하는 앞의 그림 8.에 나타난 바와 같이 일차원 압밀시험은 3차원적인 응력상태와 변형양상을 모사하는 응력경로시험과 비교하였을 때 모든 응력경로하에서 연직압밀변형률을 100%이상 과대평가하였다. 이러한 현상은 이미 알려진 바와 같이 일차원 압밀시험 과정에서는 1차원적인 가정조건에 의해 응력경로시험에 비해 큰 과잉간극수압이 발생하고, 횡방향 압밀변형의 발생이 억제됨으로써 더 큰 연직방향의 압밀변형이 발생할 뿐 아니라, 축차응력의 증가가 응력경로시험과는 달리 압밀과정 자체에 포함되기 때문으로 판단된다. 이와 함께 3차원적인 응력증분상태를 발생간극수압의 관점에서 고려한 Skempton과 Bjerrum의 보정법 역시 모든 응력경로에 대해 연직압밀변형률을 100%이상 매우 크게 과대평가하는 것으로 나타났는데, 이는 Skempton과 Bjerrum의 보정법 역시 그 보정과정에서 일차원 압밀시험의 결과를 그대로 이용하기 때문에 발생간극수압의 크기를 제외한 나머지 문제점들에 대해서는 전혀 고려하지 못하기 때문으로 판단된다.

또한 그림 9.에 나타난 바와 같이 응력경로시험의 연직탄성변형률과 연직압밀변형률의 합을 일차원 압밀시험의 압밀변형률과 비교한 결과에 따르면 일차원 압밀시험과 초기응력상태와 최종응력상태가 동일한 $K^*=K_0=0.68$ 인 경우에도 응력경로시험과 일차원 압밀시험의 결과 사이에는 상당한 차이가 존재하는 것으로 나타났으며, 이와 같은 현상은 일차원 압밀시험이 응력경로시험과는 달리 실제 응력경로에서 나타나는 횡방향의 응력이력 변화와 이에 따른 횡방향 압축성과 연직방향 압축성의 변화를 전혀 고려하지 못하기 때문으로 판단된다.

3.5 이차압축과정의 결과

응력경로시험에서 평가된 연직, 체적 이차압축지수 모두 연직응력증분, 발생간극수압, 평균응력증분, 축차응력증분 등에 대해 뚜렷한 경향성을 보이지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 일차원 압밀시험에 있어서 이차압축지수의 평가가 log scale에서 일주기 이상의 측정결과를 바탕으로 한다는 사실을 고려한다면 본 연구에서는 이차압축시간이 상대적으로 짧았던 것으로 판단되며, 응력경로에 따른 이차압축거동의 보다 정확한 평가를 위해서는 장기적인 이차압축시험이 추가로 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

실험실내에서 동일한 조건으로 K_0 압밀된 정규압밀상태의 kaolinite 시료들에 대한 응력경로시험과 일차원 압밀시험의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 비배수 재하과정에서 발생하는 다양한 응력경로하에서의 연직탄성변형률과 축차발생간극수압의 크

기는 축차응력증분의 크기에 의해서만 좌우되는 것으로 나타났다. 따라서 다양한 응력경로를 따르는 연직단성변형률과 발생간극수압을 $K^*=0$ 인 경우 즉 일반적인 K_0 압밀 비배수삼축압축시험(CK_0U TXC)의 결과만으로 추정하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 비배수 재하과정에 이어지는 압밀과정에서 얻어진 연직압밀변형률은 동일한 연직응력증분하에서 K^* 값에 대해 선형적인 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 연직응력증분이 최대축차응력증분($q_{u\max}$)보다 큰 경우 비배수 재하과정의 한계상태에 해당하는 연직압밀변형률은 연직응력증분이 최대축차응력증분($q_{u\max}$)과 같은 경우의 연직압밀변형률 발생양상을 따르는 것으로 나타났다. 따라서, 이러한 결과들에 근거하여 $K^*=0$ 인 경우와 $K^*=1$ 인 경우의 연직응력증분-연직압밀변형률의 관계만으로 모든 응력경로하에서의 연직압밀변형률을 추정하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

(3) 초기상태와 연직응력증분이 동일한 일차원 압밀시험(표준압밀시험)과 응력경로시험의 압밀과정의 결과를 비교함으로써 재하조건과 변형양상이 3차원적인 경우 일차원 압밀시험과 Skempton과 Bjerrum의 압밀 침하량 보정법은 모든 응력경로하에서 응력경로시험에 비해 연직압밀변형률을 100%이상 과대평가할 수도 있다는 사실을 실험적으로 밝혔다.

(4) Skempton과 Bjerrum 보정법의 기본가정이 되는 체적압밀변형률과 발생간극수압의 비례관계는 상관도가 상대적으로 낮고, 경향선에 대한 오차율 역시 매우 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 체적압밀변형이 연직압밀변형 뿐아니라 횡방향 응력이력에 따라 그 거동이 크게 변화하는 횡방향 압밀변형에도 큰 영향을 받기 때문으로 판단된다.

참고문헌

1. 권오엽(1988), "정규압밀점성토의 응력경로에 따른 응력-변형 거동," 서울대, 박사학위논문.
2. Lambe, T.W.(1964), "Methods of Estimating Settlement," Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.90, No. SM5, pp.43-67.
3. Lambe, T.W.(1979), "The Stress-Path Method," Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.105, No. SM6, pp.727-738.
4. Lambe, T.W., and Marr, W.A.(1967), "Stress-Path Method : Second Edition," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.93, No. GT6, pp.309-331.
5. Simons, N.E., and Som, N.(1969), "The Influence of Lateral Stresses on the Stress-Deformation Characteristics of London Clay," Proceedings of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp.369-377.
6. Skempton, A.W., and Bjerrum, L.(1957), "A Contribution to the Settlement Analysis of Foundation on Clay," Geotechnique, Vol. 7., No. 4, pp.166-178.
7. Terzaghi, K.(1923), "Die Berechnung der Durchlässigkeit des Tones aus dem Verlauf der hydrodynamisch Spannungserscheinungen," Akademie der Wissenschaften, Wien, Sitzungsberichte, Mathematisch Naturwissenschaftliche Klasse, Part II -a, Vol. 132(3-4), pp. 125-138.