

과압밀점토의 간극수압계수에 응력이력과 시간이력이 미치는 영향 The Effects of Stress and Time History on Pore Pressure Parameter of Overconsolidated clay

김수삼* · 김병일* · 한상재** · 신현영***

Soosam Kim*, Byungil Kim*, Sangjae Han**, and Hyunyoung Shin***

요 旨 : 본 연구에서는 응력이력과 시간이력이 과압밀 상태에서의 간극수압계수, A (Skempton, 1954)에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 규명하였다. 응력경로 회전각, 과압밀비 및 접근길이에 정의되는 응력이력과 재하속도 이력 그리고 정지기간으로 정의되는 시간이력에 따른 간극수압계수(A)의 값과 변화 양상을 보았다. 응력경로 회전각에 따른 간극수압계수(A)는 그 값과 변화 경향에서 상이하게 나타났고, A 의 값에 있어서는 과압밀비 의존성을 보였지만, 변화 양상에서는 의존성을 찾아 볼 수 없었다. 접근길이에 따른 간극수압계수(A)는 초기 미소 변형을 구간을 제외하고는 큰 영향을 받지 않았다. 또한, A 의 값은 재하속도 이력에 영향을 받았지만, 변화 경향은 모두 동일하게 나타났다. 마지막으로 정지기간에 따른 과압밀점토의 간극수압계수, A 는 정지기간의 유무에 따라 변화 경향과 값이 큰 차이를 보이다가 일정 축차응력 또는 변형률을 넘어서면 거의 유사한 값을 나타내었다.

핵심용어 : 응력이력, 시간이력, 간극수압계수, 과압밀비, 응력경로

Abstract □ This study investigated the effects of stress and time history of overconsolidated clayey soils on pore pressure parameter, A . Laboratory tests were carried out under the conditions of both varying stress and time history. The stress history is classified into (i) rotation angle of stress path, (ii) overconsolidation ratio, and (iii) magnitude of length of recent stress path. The time history is divided into (i) loading rate of recent stress path and (ii) rest time. Pore pressure parameters are different both in the magnitude and trend with the rotation angle, depending on the magnitude of overconsolidation ratio but not in a trend. In addition, the pore pressure parameters have no effects on the magnitude of length of recent stress path except the level of initially small strain, while loading rates of recent stress path have effects on it. Finally, the pore pressure parameters of overconsolidated clays increase with the existence of the rest time, until either the deviator stress exceeds 70 kPa or the strain up to 0.1%.

Keywords : Stress history, Time history, Pore pressure parameters, OCR, Stress path

1. 서 론

1923년 Terzaghi의 유효응력 원리가 발표된 이후 지금까지 침하 또는 안정해석과 같은 문제를 해결하기 위해서 유효응력 개념이 사용되고 있다. 이와 같은 유효응력의 원리를 사용하기 위해서는 전응력의 변화와 간극수압

의 변화를 결정해야 하며, 이중 전응력의 경우 상재하중 또는 탄성론 등을 이용하여 결정할 수 있지만, 간극수압은 직접 측정하거나 간극수압 방정식을 사용하여 계산하여야 한다. 간극수압 방정식에서 사용되는 간극수압계수는 상당히 많은 연구자들에 의해 제안된 바 있다. 그러나, 제안된 간극수압계수에 영향을 미치는 인자에 관해서는 많

*한양대학교 토목환경공학과(Corresponding author: Byungil Kim, Dept. of Civil & Environmental Eng., Hanyang University, Sa-1Dong, Ansan, Kyunggi-do, 425-791, Korea. geokbi@korea.com)

**한양대학교 공학기술연구소/서경대 토목공학과(Research Institute of Eng. & Tech., Hanyang University)

***중앙대학교 토목공학과(Dept. of Civil Eng., Chungang University)

은 연구가 수행되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 기존에 제안된 간극수압계수 중 Skempton(1954)이 삼축 재하 조건에 대하여 제안하였던 간극수압계수, A에 과압밀 상태에서의 응력이력(stress history)과 시간이력(time history)이 미치는 영향을 실험적으로 규명하고자 하였다. 여기서, 응력이력은 현재의 응력경로(current stress path)와 가장 최근에 경험하였던 최근 응력경로(recent stress path)가 이루는 각인 응력경로 회전각(rotation angle of stress path, θ), 과압밀비(overconsolidation ratio, OCR) 그리고 최근 응력경로의 길이로 정의되는 접근길이(length of recent stress path)로 분류하였고, 시간이력은 최근 응력경로에서 받았던 재하속도(loading rate of recent stress path) 그리고 현 응력경로 직전에 경험하였던 일정 구속압에서의 정지 시간(rest time)으로 분리하여 실험에 임하였다.

2. 간극수압계수, A

포화토의 간극수압계수는 A값 선정에 유의를 해야한다. 본 연구에서는 간극수압계수(A)를 결정하기 위해서 아래의 식 (1)을 이용하였다.

$$A = \frac{\Delta u - \Delta \sigma_3}{\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3} \quad (1)$$

여기서, Δu = 간극수압의 변화, $\Delta \sigma_3$ = 최소 주응력의 변화, $\Delta \sigma_1$ = 최대 주응력의 변화를 의미하며, 위의 식으로 결정되는 간극수압계수(A)에 관한 기존 연구를 살펴보면 아래와 같다.

Skempton(1954)은 간극수압계수(A)는 응력과 변형률에 따라 변화하는 값으로 만약 흙이 등방 탄성이라면 1/3의 값을 갖게 되며, $A \approx 1/3$ 인 흙의 경우 순수 전단응력이 간극수압 거동에 중요한 영향을 미칠 것이라 하였다. 또한, Skempton and Bjerrum(1957)은 간극수압계수(A)는 동일한 흙에 대하여 일정한 값을 가지는 상수가 아니라, 적용된 응력의 크기에 의존적이며, 주로 지질학적 이력에 따라 변화하는 값으로, 기존 문헌에서 제시되는 간극수압계수(A)는 대표값이 아니므로 정밀해석이 필요한 경우 영향 인자를 고려한 실험을 통하여 측정해야 한다고 하였다. 즉, 문제에 예상되는 응력 및 변형률 상태가 실제 대상지반의 상태와 동일하게 하여 간극수압계수(A)의 값을 결정하여야 한다고 하였다.

Lambe(1962)은 간극수압계수(A)는 유효응력 경로의 위치로부터 결정되며 전응력 경로와는 무관하기 때문에 특

정 유효응력 경로는 특정 간극수압계수(A)와 연관시킬 수 있고, 과압밀정도가 큰 점토나 아주 조밀한 모래는 전단응력을 받을 때 체적이 팽창되려는 경향이 있기 때문에 전단응력을 적용하면 부의 간극수압이 나타나고 A의 값도 음이 된다고 하였다. 또한, 그는 간극수압계수(A)는 일정한 재료 특성이 아니며, A 계수에 영향을 미치는 인자를 변형률의 크기, 초기 응력상태, 응력이력, 응력변화 유형으로 분류하여 이들이 A값에 미치는 영향을 제시한 바 있다.

Holtz and Kovacs(1981)은 삼차원 또는 삼축 재하시 발생하는 간극수압의 크기는 토질 유형 및 응력이력에 의존적이며, 간극수압계수(A)의 값은 응력경로에 의존적으로 변화한다고 하였다. 또한, A의 값은 변형률, 중간 주응력(σ_2)의 크기, 과압밀비, 이방성, 시료교란 등에 강하게 영향을 받는다고 하였다.

Terzaghi, Peck and Mesri(1996)는 간극수압계수(A)의 값은 흙의 구성성분, 구조, 전단 유형 및 파괴시 응력경로에 강한 의존성을 가지고 있다고 하였다. 또한 흙 그리고 암석에 전단응력을 적용했을 경우 양의 간극수압을 발생시키려는 경향은 양의 간극수압계수(A)의 값을 유발하며, 수축성 흙이나 암석에서의 A의 값은 영보다 약간 큰 값에서부터 2 이상을 가질 수 있다고 하였다. 또한, 과압밀된 흙이나 조밀한 암석의 경우 A의 값이 -0.3이하의 값을 보이기도 하는데 그 이유는 과압밀이나 조밀화(densification)는 팽창성을 촉진시켜서 전단 저항력을 증가시키고 결국 흙이나 암석의 구조를 변형시키는데 요구되는 전단응력의 크기를 증가시키기 때문이라고 하였다.

3. 실험

3.1 시료의 물성

본 연구에서 사용한 시료는 남해안 가덕도 지역에서 채취한 해성점토로서 불교란 시료를 확보하는 것이 매우 어려워 시료를 교란된 상태로 채취하였다. 이후 실내에서 습윤상태의 흙을 #140번 체로 체가름하여 사용하였다. 이 과정에서 실험 결과에 영향을 미칠 정도의 큰 자갈이나 조개껍데기 등의 불순물을 제거하였으며, 동시에 시료 채취 지점과 동일한 위치에서 운반해온 해수를 첨가하여 액성한계의 1.5배정도의 함수비를 갖는 슬러리 상태로 시료를 준비하였다. 이후 슬러리를 대형 1-D 재조성셀에 넣고, 60 kPa의 수압을 적용하여 예압밀시켰다. 예압밀 종료 후 비배수 상태로 30일간을 방치한 다음 재조성 시료를 제작하였다. 본 연구에서 사용된 시료의 기본 물성을 정리

Table 1. Characteristics of Sample used in this study

Classification	Percent passing No. 200 sieve(%)	Dry unit weight (t/m ³)	Specific gravity	Liquid limit(%)	Plastic index
CH	94.3	1.1	2.71	61	36

하면 Table 1과 같다.

3.2 실험기의 선택

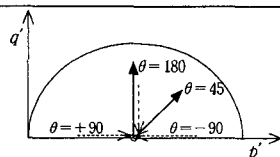
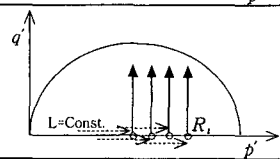
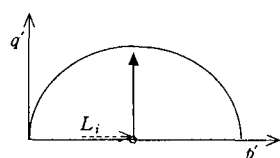
하나의 흙에 대하여 하나의 값을 가지는 재료 파라미터는 실험기나 실험방법 등에 의존하지 않지만 토질 파라미터의 경우 실험기나 실험방법에 의존적이라 할 수 있다. 본 연구는 각 응력상태, 이력 및 응력경로 등을 제어할 수 있어야 하므로, 일정변형을 속도 실험기의 경우 특별한 응력상태, 이력 및 응력경로 등을 지정하여 흙의 응력-변형 거동을 조사하기에는 어려움이 있으므로 응력제어 실험기(응력경로 삼축실험기)를 사용하였다.

본 연구에서 사용한 실험기는 Bishop and Wesley Type의 응력경로 삼축실험기로 영국의 GDS사에서 제작한 실험기이다. 본 실험기는 축압(lower chamber pressure), 셀압(cell pressure), 배압(back pressure)을 가할 수 있는 압력조절장치 (pressure controller)가 연결되어 있으며 컴퓨터로 각각의 압력 및 체적변화를 제어할 수 있다. 또한 등방 및 이방압밀, 비압밀-비배수, 압밀-비배수, 압밀-배수, 반복재하, 응력경로 실험 등을 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

3.3 실험

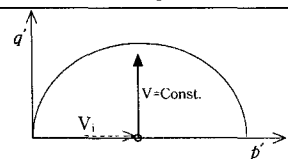
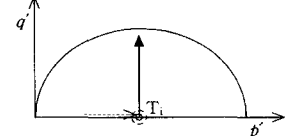
본 연구에서 수행된 실험은 과압밀 상태에서의 배수 응력경로 삼축실험이다. 단기간에 포화도를 높이기 위해서 초기에 배압(back pressure)=100 kPa, 셀압(cell pressure)=110 kPa을 적용하여 약 1시간 정도를 포화시킨 후, 다시 셀압=220 kPa, 배압=200 kPa을 적용하고 간극수압과 배압이 거의 동일한 값을 보일 때까지 방치하였다. 단계 포화 후 B-값을 확인하기 위하여 셀압을 30 kPa까지 증가시켰으며, B=0.98이 되는 시점에서 재하속도(loading rate) 10 kPa/hr로 평균 유효응력이 400 kPa이 될 때까지 등방 압밀시켰다. 이후 발생하였을지도 모르는 과잉간극수압을 소산시키기 위해서 약 3시간 정도를 일정 구속압에서 방치하였다. 또한, 과압밀 상태를 구현하기 위해서 재하속도와 동일한 속도인 10 kPa/hr로 각 조건에 해당하는 평균 유효응력이 될 때까지 제하(unloading)를 수행하였다. 위와 같은 과정을 경험한 시료의 상태를 초기조건(initial conditions)으로 정의하였다. 이후 본 연구에서 규명하고자 하는 영향인자 조건에 따라 배수 응력경로 삼축실험을 수행하였다. 아래의 Table 2와 Table 3에는 초기조건

Table 2. Test conditions(Stress history)

Influence Factors	Description	Fixed Value	Controlled Value	Remarks
Rotation Angle (θ , Deg.)		L=100 T=0 V=10 R=2	45 +90 -90 180	Solid line: Current stress path Dotted line: Recent stress path
OCR (R, N.D)		L=100 $\theta=90$ T=0 V=10	1.3 1.6 2 2.7	Solid line: Current stress path Solid circle: Recent stress history(OCR)
Length of Recent Stress Path (L, kPa)		$\theta=90$ T=0 V=10 R=2	150 120 100 70 50	Solid line: Current stress path Dotted line: Recent stress path

Note: i) p' and q'→Cambridge stress field, ii) Legend→Length(Controlled value).

Table 3. Test conditions(Time history)

Influence Factors	Description	Fixed Value	Controlled Value	Remarks
Loading Rate of Recent Stress Path (V, kPa/hr)		L=100	5	Solid line: Current stress path Dotted line: Recent stress path
		$\theta=90$	10	
		T=0	15	
		R=2	25	
Rest time (T)		L=100	0	Solid line: Current stress path Dotted circle: Rest time
		$\theta=90$	25	
		V=10	58.5	
		R=2		

Note: i) p' and q' →Cambridge stress field, ii) Legend→Length(Controlled value).

이후에 수행된 각 실험의 세부사항과 각 영향인자에 따른 정의를 제시하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 응력경로 회전각의 영향

응력경로 회전각이 과압밀점토의 간극수압거동에 미치는 영향을 파악하고자 실시한 실험 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 제시하였다. Fig. 1의 경우 축차 변형률에 따른 축차 응력의 변화를 나타낸 것으로 회전각이 180° 즉, 완전 응력반전이 이루어지는 응력경로에서는 회전각의 영향이 나타남을 알 수 있었다. 그러나, 회전각 180°와 유사한 팽창 후의 거동인 회전각 -90°의 응력경로에서는 그 영향을 찾기가 다소 어렵다고 판단된다. Fig. 2의 경우 축차 응력에 따른 과잉간극수압 거동을 나타내고 있다. Fig. 1과는 달리 팽창 후 거동인 회전각 180°와 -90°에서 과잉간극수압 거동이 유사하게 나타났다.

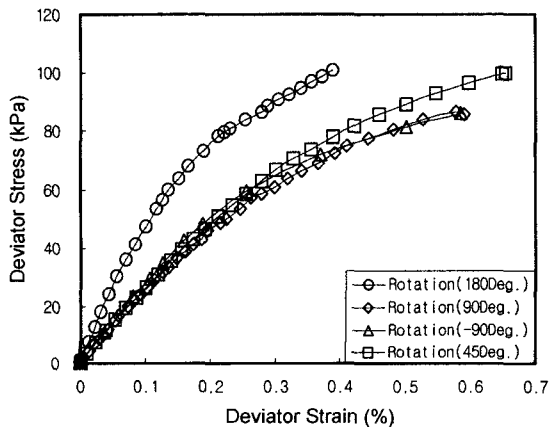


Fig. 1. Stress-Strain behavior(Rotation Angle).

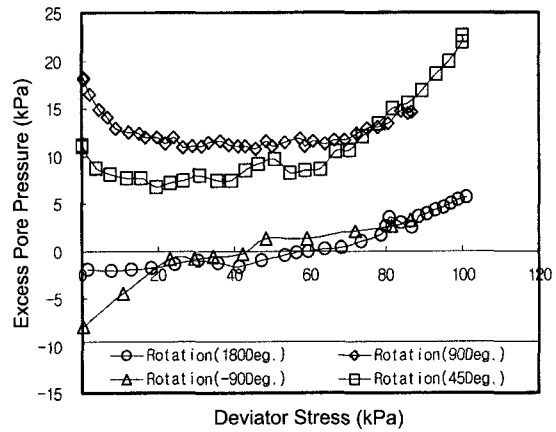


Fig. 2. Stress-E.P.P behavior(Rotation Angle).

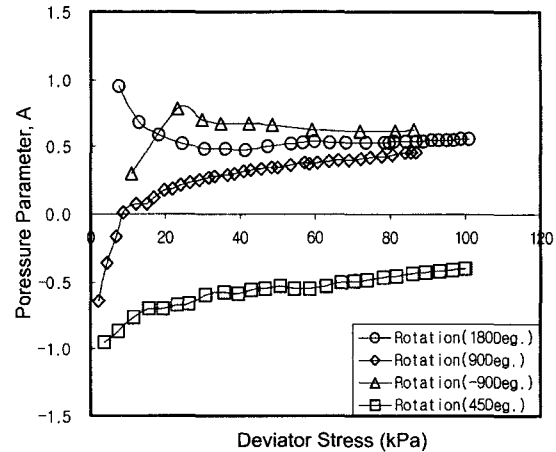


Fig. 3. Relation between stress-P.P parameter(Rotation Angle).

현재의 간극수압계수(A)가 과거의 이력에 의해 영향을 받을 것이라는 판단하에 축차응력과 발생된 간극수압의 비(식 (1))로서 정의되는 간극수압계수(A)를 축차응력과 축차

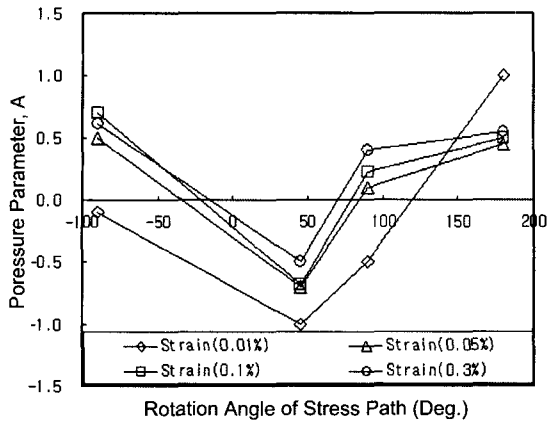


Fig. 4. Relation between Rotation Angle-P.P parameter.

변형률에 대하여 Fig. 3과 같이 도시하여 보았다. Fig. 3에 제시된 바와 같이 간극수압계수(A)의 값은 회전각에 따라 서로 상이한 경향을 보이고 있었으며, 특히 회전각 45° 일 때는 다른 회전각과는 전혀 다른 경향을 나타내고 있었다. 이는 회전각 45°의 정의(축차응력과 평균 유효응력의 지속적인 증가)를 고려하면 쉽게 이해할 수 있으리라 판단된다. 또한 회전각 180°와 -90°(초기점 제외)에서 초기 부분의 간극수압계수의 값이 감소하는 경향은 Fig. 2에 제시된 바와 같이 부의 간극수압이 양의 간극수압으로 바뀌면서 발생한 결과이며, 회전각 45°와 90°에서는 초기에 발생하였던 양의 과잉간극수압이 소산되면서 간극수압계수의 값은 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 4의 경우 동일한 축차변형률에서의 간극수압계수를 응력경로 회전각에 대하여 나타낸 것으로 회전각에 대한 절대값으로 비교해 보았을 때, 회전각이 증가함에 따라 간극수압계수 역시 증가하였다. 이는 Lambe(1962)가 제시한 응력경로의 위치에 따른 간극수압계수의 의존성에 대한 것과 유사한 것으로 Lambe(1962)이 제시하지 못했던 구체적인 응력경로의 위치에 따른 결과를 본 연구에서 자세히 제시한 것이라 판단된다.

4.2 과압밀비의 영향

간극수압계수(A)의 과압밀비 의존성을 확인하기 위해서 수행된 실험 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 제시하였다. 또한, 축차응력과 축차변형률에 따른 간극수압계수(A)를 Fig. 7과 같이 도시하여 보았다. 그림에서 축차응력에 따른 간극수압계수의 값은 거의 차이가 없는 것으로 볼 수 있으며, 증가 경향은 모두 동일하였다. Fig. 8의 경우 Fig. 7과 동

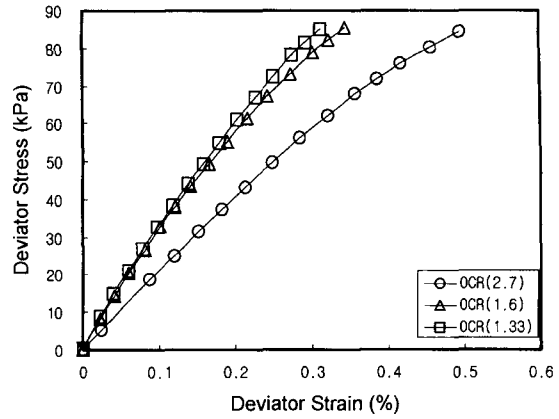


Fig. 5. Stress-Strain behavior(OCR).

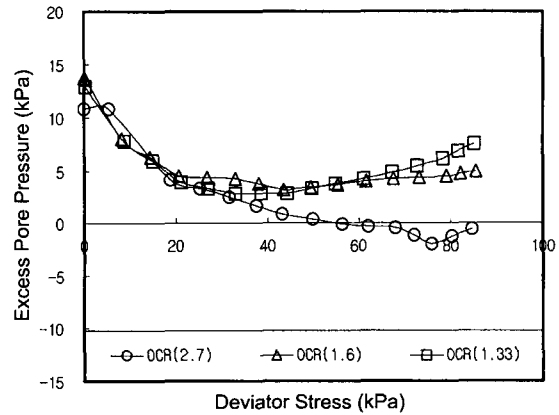


Fig. 6. Stress-E.P.P behavior(OCR).

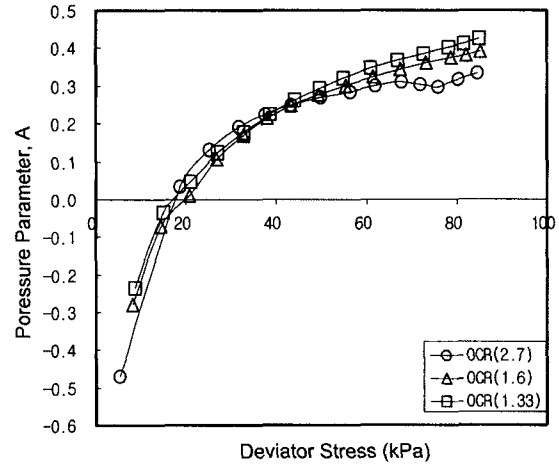


Fig. 7. Relation between stress-P.P parameter(OCR).

일한 경향이 나타나고 있으며, 변형률이 0.1% 이후가 되면 과압밀비가 간극수압계수에 미치는 영향은 점차 사라

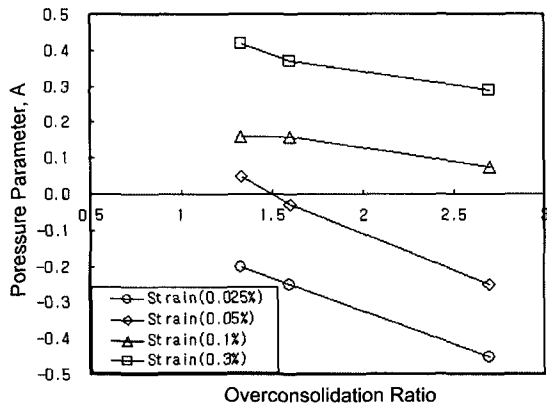


Fig. 8. Relation between OCR-P.P paramater.

지고 있었으며, 전체적인 경향은 과압밀비가 증가할수록 값은 감소하였다. 이는 Lambe(1962)가 제시한 결과와 유사한 결과라 판단된다.

4.3 접근길이의 영향

접근길이를 조절하여 실시한 순수전단(p=const.) 실험 결과를 Fig. 9와 Fig. 10에 제시하였다. Fig. 9에서 접근 길이가 150, 120 그리고 100 kPa인 경우의 응력-변형 거동과 접근길이가 70, 50 kPa인 경우의 응력-변형 거동이 다소 차이 있음을 알 수 있었다. 그러나, 축차변형률에 따른 과잉간극수압 거동이 대략 20 kPa 정도의 축차응력까지 급격히 감소하다가 일정하게 유지된 후 다시 증가하는 유사한 거동을 보였다.

접근길이가 간극수압계수에 미치는 영향을 Fig. 11과 Fig. 12에 제시하였다. 그림에서와 같이 축차응력이 증가함에 따라 간극수압계수는 유사한 경향을 따르면서 증가

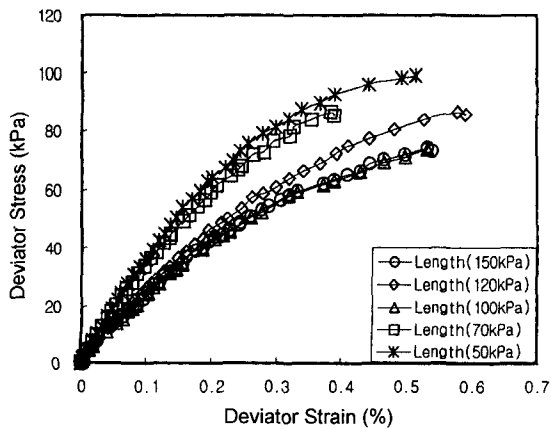


Fig. 9. Stress-Strain behavior(Length of Recent Stress Path).

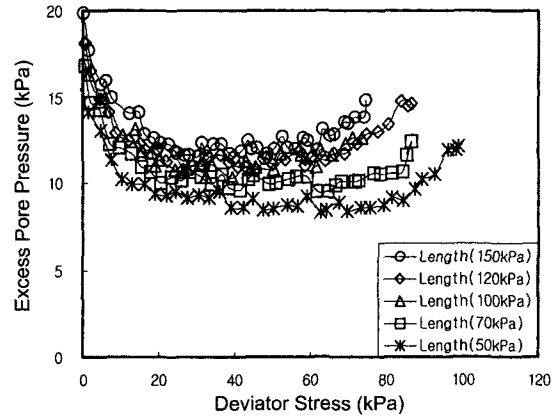


Fig. 10. Stress-E.P.P behavior(Length of Recent Stress Path)

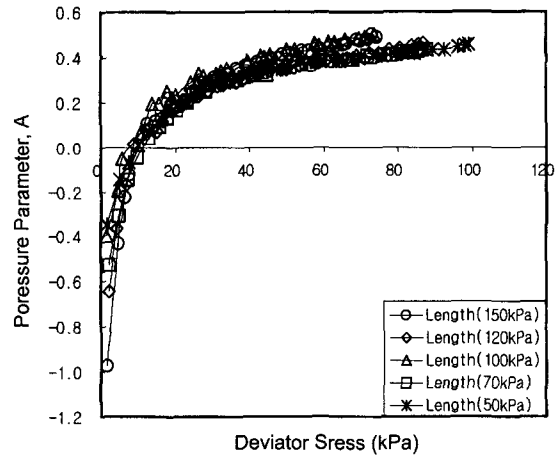


Fig. 11. Relation between stress-PP paramater(Length of Recent Stress Path).

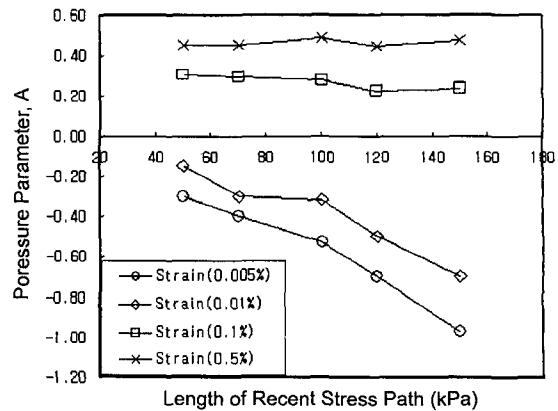


Fig. 12. Relation between Length of Recent Stress Path-PP paramater.

하고 있으며, Fig. 11의 경우 접근길이에 따른 간극수압 계수의 차이를 구별하기가 다소 어려웠다. 그러나, 동일한 축차변형률에서의 접근길이에 따른 간극수압계수를 나타내는 Fig. 12의 경우, 0.01% 보다 작은 변형률 수준에 있어서는 접근길이가 증가함에 따라 간극수압계수(A)의 값은 감소하였다.

4.4 재하속도 이력의 영향

동일한 조건의 현 응력경로에서 서로 다른 재하속도 이력의 영향을 살펴보고자 응력-변형-간극수압 거동 특성을 Fig. 13과 Fig. 14에 제시하였다. Fig. 13의 경우 동일한 조건의 현 응력경로 실험임에도 불구하고 과거 서로 다른 재하속도 이력에 응력-변형 거동이 영향을 받아 동일한 변형률에서 재하속도 이력이 증가할수록 축차응력이 증가함을 보였다. 이는 현재의 응력-변형률 곡선의 기울기로 정의되는 강성(Stiffness)이 재하속도 이력에 영향을 받

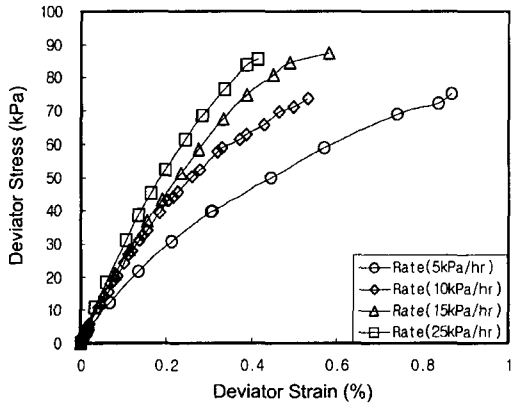


Fig. 13. Stress-Strain behavior(Load Rate of Recent Stress Path).

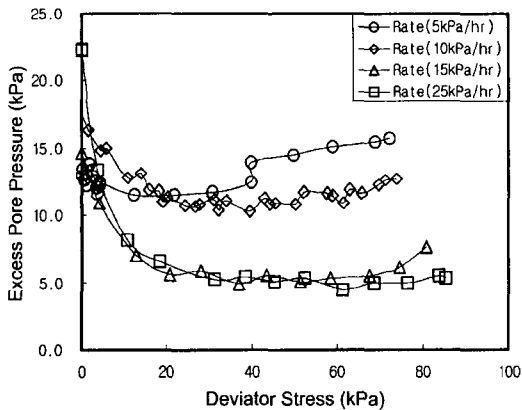


Fig. 14. Stress-E.P.P behavior(Load Rate of Recent Stress Path).

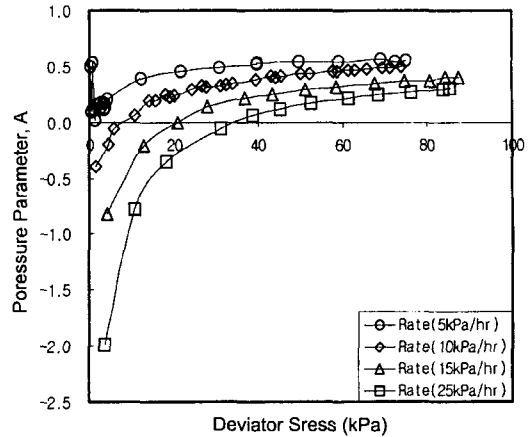


Fig. 15. Relation between stress-PP parameter(Load Rate of Recent Stress Path).

고 있음을 시사하는 결과라 판단된다. 또한 Fig. 14의 경우 상대적으로 완속재하(5, 10 kPa/hr)에 해당하는 경우와 급속재하(15, 25 kPa/hr)간의 과잉간극수압 거동에 명백한 차이가 있음을 알 수 있었다.

재하속도 이력에 따른 축차응력 재하시 발전하는 간극수압 계수(A)의 변화를 확인하고자 Fig. 15와 같이 축차응력과 간극수압계수의 관계 곡선을 도시하였다. 그림에서는 재하속도에 따른 간극수압 거동에서 보였던 5와 10 kPa/hr의 유사성과 15와 25 kPa/hr의 유사성이 간극수압계수의 경향에서는 나타나지 않고 오히려 모든 재하속도 이력에 따른 영향이 명백하게 나타났다. 즉, 초기의 간극수압계수의 값은 최소 -2.0에서 최대 0.5의 값으로 분포되어 있다가 이후 축차응력이 증가함에 따라 약 0.3-0.5의 일정한 값으로 수렴하였다. 이를 Fig. 16에서 재하속도 이력의 증가에 따른 간극수압계수의 감소 경향으로 재확인할 수 있다.

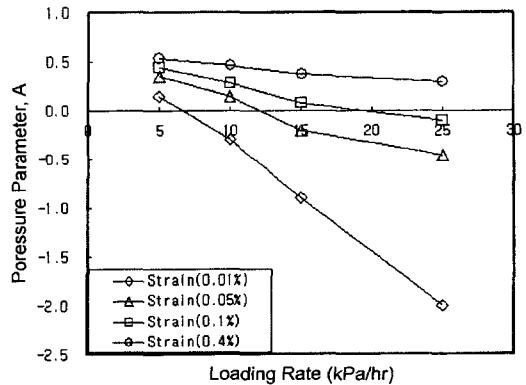


Fig. 16. Relation between Loading Rate of Recent Stress Path-PP parameter.

4.5 정지기간의 영향

현 응력경로 직전 일정 구속응력하에서 방치하였던 정지기간에 따른 실험 결과를 Fig. 17과 Fig. 18에 제시하였다. Fig. 17에서는 정지기간의 유무에 따른 거동의 차이를 보였지만, Fig. 18에서는 모든 정지기간의 크기에 따라 서로 다른 경향이 나타났다. 그러나, 정지기간 25 hr와 58.5 hr를 비교해 보면 정지기간이 더 짧은 25 hr에서는 부의 과잉간극수압이 발생하였지만, 58.5 hr에서는 양의 과잉간극수압이 발생하였다. 또한, Skempton의 간극수압계수(A)의 정지기간 의존성을 확인하고자 축차응력에 따른 간극수압계수의 변화를 Fig. 19와 같이 플롯하여 보았다. 그림에서와 같이 정지기간에 따라 간극수압계수의 변화 양상은 초기에 정지기간이 없는 경우 증가하는 경향을 보이는 반면 정지기간이 존재함에 따라 초기에 양의 과잉간극수압계수의 값에서 급격히 감소하다가 축차응력이 약 70 kPa 이상이 되면 거의 일정한 값에 수렴한다는 것을 알 수 있었다. 또한, Fig. 20의 경우 동일 축차변형률에서 정

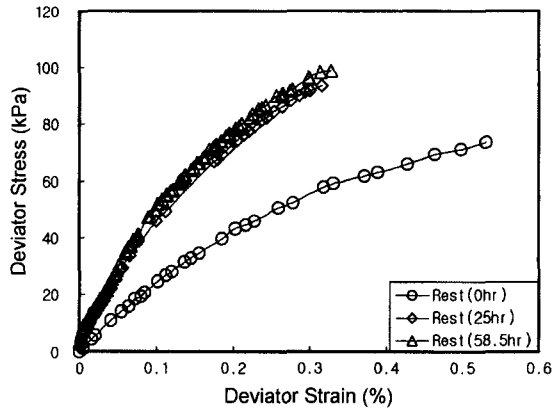


Fig. 17. Stress-Strain behavior(Rest time).

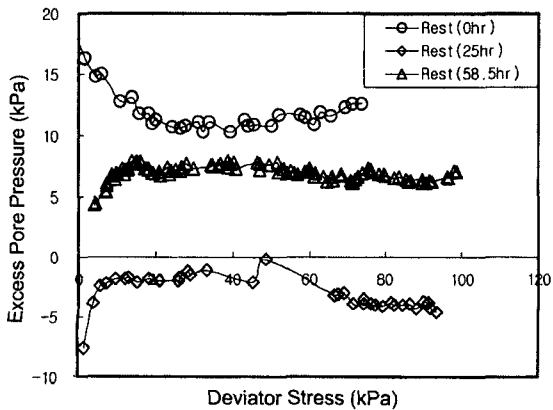


Fig. 18. Stress-E.P.P behavior(Rest time).

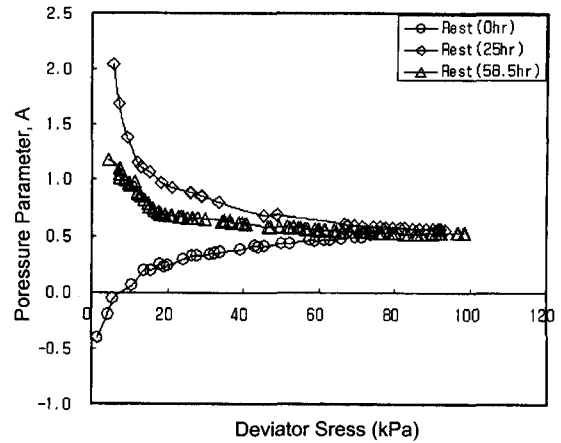


Fig. 19. Relation between stress-P.P parameter(Rest time).

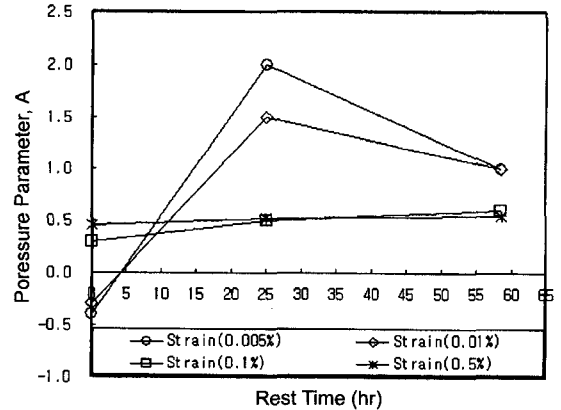


Fig. 20. Relation between Rest time-P.P parameter.

지기간에 따른 간극수압계수의 변화를 나타낸 것으로, 정지기간의 크기보다는 그 유무에 따라 경향이 상이하게 나타나고 있었다.

5. 결 론

응력이력과 시간이력이 Skempton의 간극수압계수, 에 미치는 영향을 규명하고자 수행된 압밀배수 응력경로 삼축 실험 결과를 토대로 하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 응력경로 회전각에 따른 간극수압계수(A)는 그 값에 있어서 큰 차이를 보였지만, 변화 양상에 있어서는 회전각 180°와 -90°가 유사하게 그리고 45°와 90°가 유사하게 나타났다. 회전각 45°인 경우 모든 축차응력 또는 변형률 범위에 있어서 부의 간극수압계수의 값이 나타났다. 즉,

간극수압계수는 응력경로 회전각의 절대값에 영향을 받았다.

2. 과압밀비에 따른 간극수압계수의 경우, 변화 양상은 초기 발생된 과잉간극수압의 값에 따라 초기 값에서는 차이를 보였지만, 이후 축차응력이 증가함에 따라 비선형적으로 증가하였으며, 결국에는 거의 유사한 값으로 접근하고 있었다.

3. 접근길이에 따른 간극수압계수(A)는 초기 미소 변형률 구간(0.01% 이하)에서는 접근길이의 크기에 따라 감소함을 보였지만, 축차변형률 0.1% 이후에는 큰 차이를 보이지 않았다.

4. 간극수압계수(A)의 값은 재하속도 이력에 가장 큰 영향을 받았지만, 변화 경향은 모든 재하속도 이력에 대하여 동일하게 나타났다. 또한 축차변형률 0.4% 이후에는 그 영향이 거의 사라져 약 0.3~0.5의 일정한 값으로 접근하였다. 이는 다른 영향인자에 비해 약간 큰 값이지만, 전체적으로는 0.1~0.4% 이상이 되면 간극수압계수는 각 영향인자에 의해 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

5. 정지기간에 따른 과압밀점토의 간극수압계수, A는 정지기간의 크기보다는 유무에 따라 변화 경향과 값이 큰 차이를 보이다 일정 응력(약 70 kPa) 또는 변형률(약 0.1%)을 넘어서면서 유사한 값(약 0.5)을 나타내었다.

참고문헌

1. Atkinson, J. H. and Salfors, G., 1991. Experimental determination of soil properties. General Report to Session 1. *Proceedings of the 10th ECSMFE*, Florence 3, pp. 915-956.
2. Holtz, R. D. and Kovacs, W. D., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., pp. 599-605.
3. Lambe, T. W., 1962. *Pore Pressure in a Foundations on Clay*. *ASCE*, Vol. 88, No. SM2, pp. 19-47.
4. Mitchell, 1976. *Fundamental of soil behavior*. John Wiley & Sons, Inc.
5. Skempton, A. W., 1954. The Pore-Pressure Coefficients A and B., *Geotechnique*, 4(4), pp. 143-147.
6. Skempton, A. W. and Bjerrum, L., 1957. A contribution to the settlement analysis of foundations on clay., *Geotechnique*, 7, pp. 168-178.
7. Terzaghi, K., Peck, R. B. and Mesri, G., 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 87-90.

Received October 2, 2002

Accepted November 13, 2002