

ROWECELL시험에 의한 해성점토의 압밀계수에 대한 연구

Study on the Coefficient of Consolidation of Marine Clay by Rowecell Consolidation Test

김종국¹⁾, Jong-Kook Kim, 차영일²⁾, Young-Il Cha 김혁기³⁾, Hyoung-Gi Kim 김영웅⁴⁾, Young-Ung Kim

¹⁾ 한국건설품질시험원 지반기술팀 차장, Manager, Institution of Korea Construction Quality Test.

²⁾ (주)유신코퍼레이션 지반공학부 대리, Engineer, Yoosin Engineering Corporation.

³⁾ (주)유신코퍼레이션 지반공학부 이사, Director, Yoosin Engineering Corporation.

⁴⁾ 인천국제공항공사 건설시험소 소장, General Manager, R&A, Incheon International Airport Corp.

SYNOPSIS : It was achieved that Rowecell test for this undisturbed sample was picked by Block sampler(ϕ :250mm, L:500mm) and hydraulic piston sampler(ϕ :76mm, L:850mm) in the marine clay of YONGYUDO and YEONGJONGDO in this research. Ratio of coefficient of consolidation was analyzed through comparison with C_h by CPTu and C_v and C_h by existent consolidation test.

According to analysis, coefficient of consolidation of block sample is fairly greater than coefficient of consolidation of piston sample. And the bigger diameter of undisturbed sample, sample disturbance could know decreasing. Coefficient of consolidation by Rowecell test measured more greatly than coefficient of consolidation by existent consolidation test. Rowecell test could know decreasing consolidation rate because of smear effect by Mandrel injection. Also, C_h by CPTu shows deviation by each analysis method, selection of suitable analysis method judged by important leading in the coefficient of consolidation.

Key Words : rowecell test, block sample, hydraulic piston sample, mandrel, radial outward, inward radial, coefficient of consolidation ratio

1. 서론

최근 국토의 효율적인 개발사업으로 연안·도서지역의 연약지반의 활용이 점차 증가하고 있으며, 연약지반을 개량하여 신항공, 신항만 등의 공공시설과 주거단지 및 산업단지 등의 대규모 부지조성공사가 이루어지고 있다. 이들 지역의 연약지반은 지반의 형성과정에서 퇴적구조와 조성광물이 다르고 지층구성 연대가 달라 공학적 특성에 많은 차이를 보이고 있는 것이 특징이다. 이러한 연약지반을 개량하기 위해서는 대상지반의 역학적 특성을 정확히 평가하여 보다 신뢰 할수 있는 토질정수를 산정하는 것이 중요하며 합리적인 설계가 이루어져야 한다. 그러나, 토질정수는 현장에서 채취한 비교란시료에 대하여 실내에서 필요한 시험을 통해 얻어지는데, 비교란시료는 시료채취시부터 시험과정에서 교란이 발생하게 되며 이로 인하여 과소평가되게 된다. 또한, 그 지역의 지반특성을 고려한 경제적이고 효율적인 연약지반처리공법이 선정되어야 하며, 이들 연약지반에 주로 이용되는 공법은 성토재하공법(Preloading)을 비롯해 샌드드레인(S/D), 페이퍼드레인(Paper Drain), 플라스틱보드드레인(P.D.B.)공법 등의 연직배수재가 많이 이용되고 있다. 하지만, 연직배수재는 현장 타설시 발생하는 지반교란의 영향, 배수재고유의 통수 능력, 그리고 횡방향 압밀도 등의 압밀특성에 따라 실제 침하·안정관리 많은 문제가 발생하게 된다. 따

라서, 합리적인 토질 정수를 산출하는데 있어 먼저 시료채취시부터 시험과정에서 수반되는 시료교란정도를 고려한 토질정수의 산정이 요구된다. 이러한 거동에 대한 연구로서 Rowe(1966)는 방사 방향의 2차원 흐름에 대한 압밀거동을 분석하기 위하여 실내시험장치를 연구 개발 하였으며, Singh와 Hattab(1979)는 로워셀(Rowecell)을 이용하여 횡방향의 압밀특성을 연구하였다. 이외도 Hansbo(1979, 1981), Onoue(1988), Zeng와 Xie(1989) 등에 의해 교란 영향에 관한 연구가 이루어졌다. 국내에서도 샌드드레인 타설시 교란과 배수저항의 영향에 대하여 수치해석적 연구나 연직배수재 타설 간격에 관한 연구 등의 많은 성과가 발표되고 있다. 또한, 근래들어 연약 점성토를 대상으로 시료교란을 최소화하기 위하여 대형샘플러에 의한 비교란시료를 채취하고 이를 이용하여 공학적 특성을 평가하는 경우가 증대되고 있으나 아직도 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 해성점토를 대상으로 대형시료(Block Sample)와 수압식 피스톤시료(Piston Sample)를 채취하였고, 비교란시료에 대하여 연직 및 수평방향의 배수조건을 고려하여 Rowecell시험과 기존의 표준압밀시험을 수행하였으며, 현장에서는 피에조콘관입시험(CPTu)에 의한 간극수압소산시험을 실시하였다. 각 시험방법에 따른 압밀계수를 산정하였고, 대형시료와 피스톤시료에 대한 압밀계수의 비(C_{h/C_v})를 비교분석하여 시료교란에 따른 압밀속도의 변화를 파악하였다.

2. 시험개요

2.1 지반특성

본 연구의 대상지역은 영종도와 용유도 사이의 해안 점성토지반으로 지질은 경기편마암 복합체와 중생대 주라기의 대보 화강암 및 이들 암류들을 부정합으로 피복하고 있는 퇴적층 등으로 이루어져 있고, 지층은 크게 퇴적층, 풍화토, 풍화암으로 구성되어 있다. 퇴적층은 해안 퇴적토로 상부 해성층, 상부 충

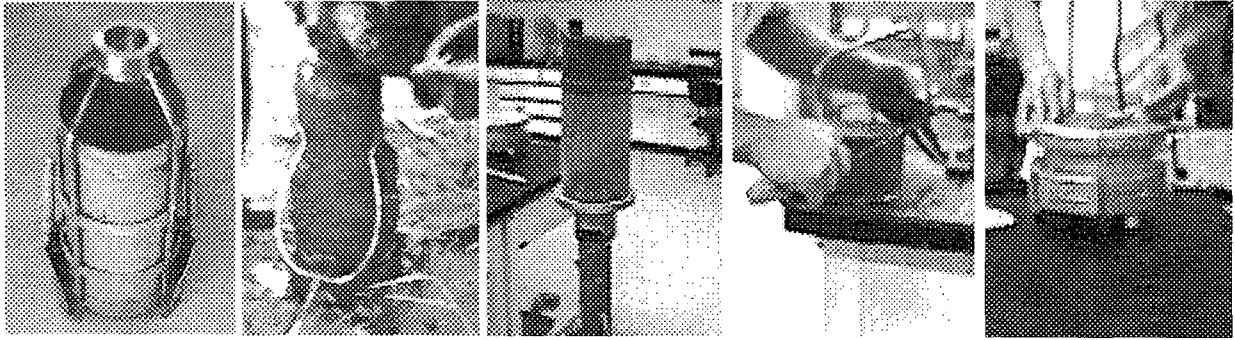
표 1. 해성점토의 물리적 특성

구 분	대형(Block)시료	피스톤(Piston)시료
자연함수비(%)	32.4~36.7	31.9~37.6
비 중	2.69~2.70	2.68~2.70
액성한계(%)	28.4~39.1	35.8~40.0
소성한계(%)	19.0~21.2	19.4~20.6
초기간극비	0.90~1.02	0.88~1.02
흙의 분류	CL	CL

적층이 존재하고 상부연약층의 두께는 대략 5~10m정도로 분포하고 있고 그 아래로 하부 해성층, 하부 충적층으로 구분 할 수 있으며 물리적 특성은 표 1과 같다. 통일분류법에 의한 흙 분류는 CL로 분류되며, 모래섞인 실트 내지 점토섞인 실트 그리고 실트섞인 점토가 많이 분포됨을 알수 있다. 특히, 초기 간극비는 0.87~1.03, 과압밀비는 1.4~2.4 정도로서 약간 과압밀점토 내지 과압밀점토 지반을 보이고 있다.

2.2 시료채취 및 시험시료

시험시료는 수압식 피스톤 샘플러(Hydraulic Piston Sampler)와 자체 개발한 대형샘플러(Block Sampler)를 사용하여 채취하였다. 전자는 직경(\varnothing) 76mm, 길이(L) 850mm의 압입식 샘플러로 시추기의 룯드를 통해 가해진 수압으로 튜브를 압입시켜 피스톤시료를 채취 할 수 있다. 후자는 직경(\varnothing) 250mm, 길이(L) 500mm의 원통형 시료채취기로써 대형시료채취용으로, 시추장비를 사용하여 상부의 공벽 붕괴를 방지하기 위하여 직경 500mm내외의 케이싱을 설치하고 Wing Bit를 이용하여 굴진한 다음, 대형샘플러를 BX 룯드에 연결하여 케이싱 안으로 청수를 주입하면서 샘플 채취심도까지 내린 후 샘플러를 지반에 삽입한 후 선단부의 절단장치를 이용하여 절단한 다음 인상하게 된다. 특히, 대형샘플러는 현재 사용되고 있는 여러가지 대형샘플러의 장점을 수렴하여 동 지역의 지반조건에 적합하게 제작하였다. 샘플러 면적비(Ar)는 10%이하이며 절단각은 예리하게 하여 시료 교란을 최소화 할수 있도록 하였다. (Brom, 1980). 그림 2는 대형시료 채취 및 시료 추출·성형과정을 나타낸 것이다.



a) 대형샘플러 a) 시료채취 b) 시료추출 c) 시료성형 d) 공시체 setting

그림 2. 대형시료 채취 및 시료성형

비교란시료 채취는 룯드 관입시에 발생할수 있는 지반의 교란을 최소화 하기 위하여 임의의 한 점을 축으로 반경 1.5m 정도의 간격을 두고 실시하였으며, 3개공에서 피스톤시료 5점, 대형시료 6점을 채취하였다. 시료채취 순서는 피에조콘관입시험 및 표준관입시험에 의하여 예비조사를 실시하고 그 결과를 토대로 조사심도(3~5m)를 결정한 다음, 인접지점의 동일지층에 대하여 대형시료 및 피스톤시료를 채취하였으며 최종적으로 원위치에서 간극수압소산시험을 실시하였다.

2.3 시험

일반적으로 연약지반의 압밀정수 산정에 많이 이용되고 있는 압밀시험은 Terzaghi의 1차원 압밀이론에 근거한 표준압밀시험으로 연직방향의 압밀계수를 구하는데 활용되고 있으나, 횡방향의 압밀계수의 추정이 어려워 근사적인 방법으로 연직방향의 압밀계수를 응용하여 동일하게 산정함으로써 과다한 설계를 야기시킬수 있다. Rowecell시험은 비균질한 퇴적토를 포함하여 낮은 투수성의 흩에서 압밀시험을 할

때 기존 압밀 시험의 단점을 극복하기 위한 것으로 기존압밀시험과 다른점은 시료에 기계적인 레버(Lever) 시스템 대신에 횡경막에 압력을 작용시키는 것이다. Rowecell압밀시험기는 Geo.c와 ELE사의 조합장비로 자동화시스템으로 다양한 시험을 수행할수 있으며 시험장치는 그림 3과 같다.



그림 3. Rowe Cell 압밀시험장치

이 시험의 가장 큰 특징은 수압 또는 공기압으로 1000kpa까지 압력을 가할 수 있으며, 배압(back pressure)의 조절에 의해 포화를 쉽게 시킬수 있고 큰 시료의 공시체(Ø75mm, Ø150mm, Ø254mm)의 시험이 가능하며 시험하는 동안 배수를 조절하고 간극수압을 측정 할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 비교란시료에 대하여 직경(Ø) 150mm공시체와 직경(Ø) 76mm공시체로 성형하여 등변형률(equal strain)조건에서 배수조건을 고려하여 Rowecell시험을 실시하였다. 그림 4와 같이 연직배수 및 바깥방사방향(외향) 수평배수 그리고 안쪽방사방향(내향) 수평배수 조건을 고려하였으며 단계별 하중재하 및 제하하는 방식으로 압밀시험을 실시하였다. 특히, 내향의 수평압밀시험은 Ø150mm의 공시체에 대하여 직경(d=14mm)의 멘드렐을, Ø75mm의 공시체에 대하여 직경(d=7mm)의 멘드렐을 이용하여 모래기둥을 중앙에 형성하고 스미어(smear)효과를 최소화 시킬 수 있도록 하였다. 이때 사용된 배수재는 샌드드레인용 모래로 공사시방에 만족하는 시료를 선정하였다. Rowecell압밀시험은 초기의 포화단계로 포화점성토 상태의 재현을 위하여 구속압과 배압을 조절하여 시료를 포화시키게 되며 B계수가 약 0.97될때 포화된 것으로 간주하였다.

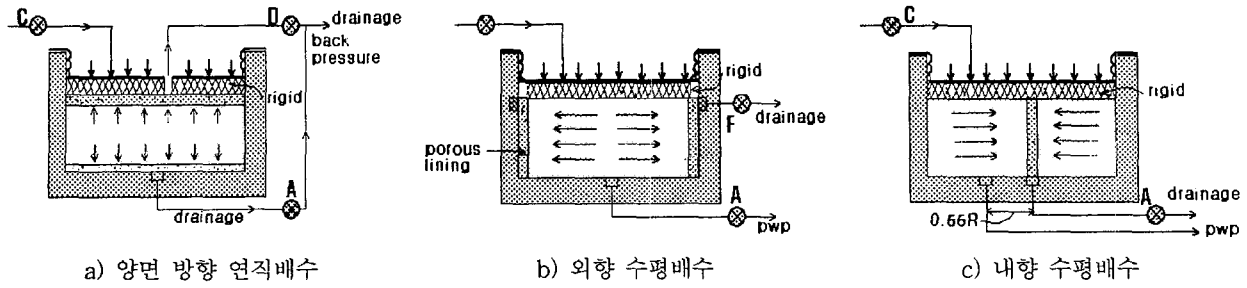


그림 4. 배수방향을 고려한 Rowecell시험 방법

그리고 단계별 하중증가에 의해 재하를 거쳐 재하 완료 후 셀내에 발생한 압력을 제거하게 되며, 그 결과를 토대로 압밀특성을 분석하게 된다. 특히, Rowecell압밀시험에 의한 수평압밀계수 산정방법은 표준압밀시험과는 달리 압밀계수 산정시 표 2와 같은 시간계수를 이용한다.

표 2. Rowecell압밀시험의 시간계수 및 압밀계수 산정식(등변형률 조건)

배수형태	압밀도 산정위치	시간계수		시간 기능	곡선 factor	측정치	압밀계수/년
		T_{50}	T_{90}				
연직 양면	평균	0.197	0.848	$t^{0.5}$	1.15	ΔV 또는 ΔH	$C_v = 0.131 \frac{Tv H^2}{t}$ (1)
바깥방사 방향 (외향)	평균	0.0866	0.288	$t^{0.5}$	1.17	ΔV 또는 ΔH	$C_{ro} = 0.131 \frac{Tro D^2}{t}$ (2)
	중심	0.173	0.374			p.w.p	
안쪽방사 방향 (내향)	평균	0.781	2.595	$t^{0.5}$	1.17	ΔV 또는 ΔH	$C_{ri} = 0.131 \frac{Tri D^2}{t}$ (3)
	$r=0.55R$	0.778	2.592			p.w.p	

한편, 대형시료와 피스톤시료에 대한 표준압밀시험은 연직방향 배수조건과 점토의 퇴적방향과 $\beta=90^\circ$ 가 되도록 회전시켜서 횡방향 배수의 수평압밀시험을 실시하였으며, 시험방법은 KSF 2316 규정에 따라 실시하였다. 그리고, 현장에서 수행한 CPTu에 의한 간극수압 소산시험결과를 토대로 수평압밀계수를 산정하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 표준압밀시험에 의한 압밀계수 비교

실내압밀시험으로부터 산정되는 압밀계수는 일반적으로 압밀응력이 낮을때부터 압밀계수가 큰 값을 나타내다가 선형압밀응력부근에서 갑자기 압밀계수가 감소하게 되며 정규압밀응력 범위에서는 거의 유사한 값을 보이게 되는데, 시료채취 및 시험시 시료교란의 영향으로 압밀계수의 변화폭이 커지게 된다.

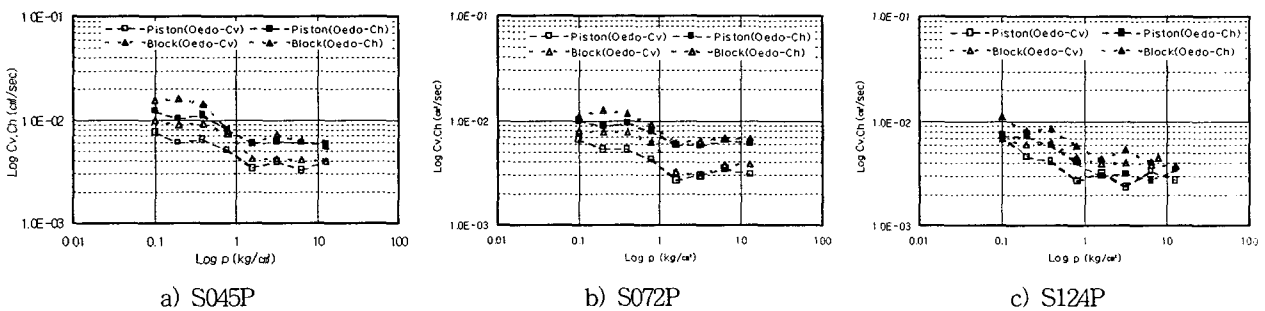


그림 5. 표준압밀시험에 의한 압밀계수(C_v or C_h)산정 결과

대형시료와 피스톤시료의 각 배수조건에서 구한 연직압밀계수(C_v) 및 수평압밀계수(C_h)를 그림 5와 같이 도시하였다. 그림에서와 같이 대형시료의 연직압밀계수는 대략 $4.0 \sim 10.0 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$ 으로 피스톤시료의 연직압밀계수 $3.9 \sim 7.8 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$ 보다 다소 크게 나타났으며, 대형시료의 수평압밀계수 역시 피스톤시료의 수평압밀계수보다 약간 큰 값을 보이고 있다. 즉, 대형시료의 압밀계수는 피스톤시료의 압밀계수보다 전반적으로 크게 나타나는 경향을 보이며, 정규압밀응력 범위에서의 압밀계수보다 압밀응력이 낮은 과압밀응력 범위에서의 압밀계수의 차가 큼을 알 수 있다.

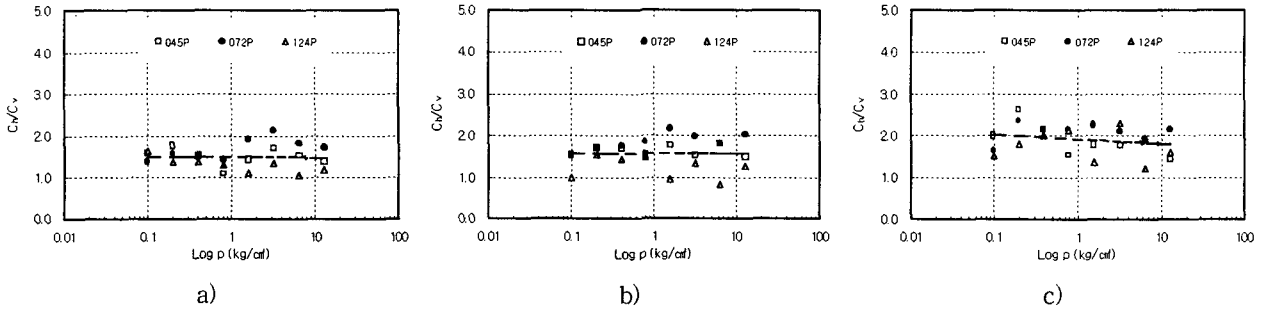


그림 6. 표준압밀시험에 의한 압밀계수비(C_h/C_v) 비교

그림 6은 표준압밀시험으로 구한 수평압밀계수와 연직압밀계수의 비(C_h/C_v)를 비교한 것인데, 그림 6의 a)는 대형시료의 방향성에 따른 적정 압밀계수비를 산정한 것이고, 그림 6의 b)는 피스톤시료의 압밀계수비를, 그림 6의 c)는 대형시료의 C_h 에 대한 피스톤시료의 C_v 의 비를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 대형시료의 C_h/C_v 의 평균치는 약 1.5, 피스톤시료의 C_h/C_v 의 평균치는 약 1.6 그리고 대형시료에 대한 피스톤시료의 C_h/C_v 의 평균치는 약 1.9로 나타났다. 이러한 결과를 통해 피스톤시료의 압밀속도는 시료교란 정도와 구조적 이방성에 따라 차이가 발생함을 알 수 있으며, 피스톤시료의 압밀계수는 대형시료의 압밀계수보다 작게 측정됨을 알 수 있었다. 이는 시료채취시의 응력해방 등의 시료교란으로 압밀속도가 감소하기 때문으로 판단된다.

3.2 Rowe cell 시험에 의한 압밀계수 비교

그림 7에서는 대형시료와 피스톤시료에 대한 Rowe cell 시험 결과로 구한 연직압밀계수 및 외·내향의 수평압밀계수를 도시하였다. 그림 7의 a)는 대형시료에 대하여 각각의 압밀계수를 나타낸 것이고, 그림 7의 b)는 대형시료에 대하여 압밀셀의 크기 즉, 공시체의 크기에 따른 외향수평압밀계수를 도시한 것이다. 또, 그림 7의 c)는 대형시료와 피스톤시료에 대하여 수행한 각 배수조건에서의 압밀계수를 비교한 것이다.

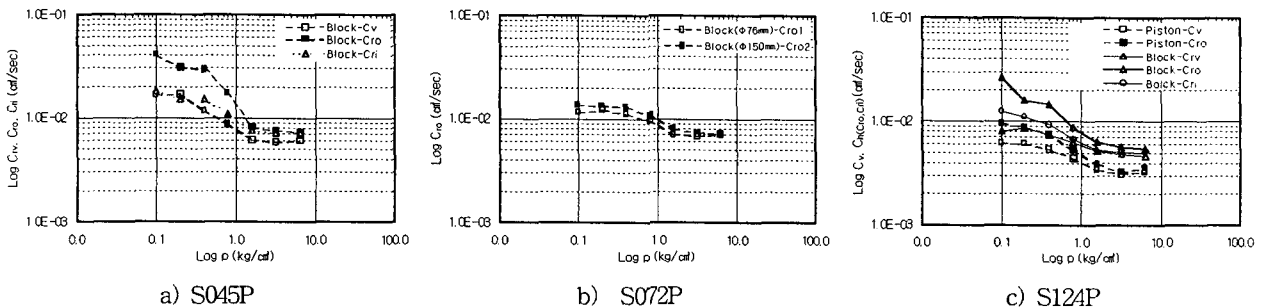


그림 7. 배수조건을 고려한 Rowe cell 시험의 압밀계수(C_{rv} , C_{ro} , C_{ri}) 산정 결과

그림에서와 같이 배수방향에 따른 압밀계수 변화를 보면, 전반적으로 압밀응력이 낮은 과압밀응력 범위에서는 압밀계수 차가 크며, 압밀응력이 큰 정규압밀응력 범위에서는 압밀계수의 차이가 점점 감소하

는 경향을 보이며, 압밀속도의 크기는 외향수평압밀계수 C_{ro} > 내향수평압밀계수 C_{ri} > 연직압밀계수 C_{rv} 순으로 나타났다. 또한 그림 b)의 공시체의 크기에 따른 수평압밀계수는 항복응력 이전에서의 압밀계수가 약 1.06~1.15배 정도의 차이를 보이나 압밀응력이 증가함에 따라 압밀계수는 거의 유사한 값을 보이고 있다. 그리고 그림 c)의 Rowecell시험에 의하여 구한 연직압밀계수와 수평압밀계수와와의 비교결과, 대형시료의 연직압밀계수(C_{rv-B})는 피스톤시료의 연직압밀계수(C_{rv-P})보다 약 1.4배 정도 크고, 대형시료의 C_{ro-P} 는 피스톤시료의 C_{ro-P} 보다 약 1.8배 정도 크게 나타났다.

그림 8은 Rowecell시험의 각 배수방향에 따라 산정한 입밀계수의 비(C_{ro}/C_{rv} , C_{ri}/C_{rv})를 비교한 것인데, 이 시험에 의한 대형시료의 C_{ro}/C_{rv} 는 전 압밀응력 범위에서 대략 1.2~4.3정도의 구조적 이방성을 나타내고 있다. 그러나, C_{ri}/C_{rv} 는 전압밀응력 범위에서 대략 0.9~2.0정도로 내향수평압밀계수는 외향수평압밀계수보다 상당히 작은 값을 보여 주고 있다. 이는 스미어 영향이 과압밀응력 범위에서 크게 작용하고 정규압밀응력 범위에서 응력이 증가할수록 감소하는 것과 같기 때문이다. 즉, 그림 9에서와 같이 외향수평배수에 대한 내향수평배수의 비(C_{ri}/C_{ro})가 전압밀응력 범위에서 0.45~0.98정도로 1이하의 작은 값을 보이는 바와 같이 배수재 설치시 맨드릴 관입에 의해서 발생하는 마찰저항으로 인한 교란현상으로 압밀속도를 저하시키는 것으로 사료된다.

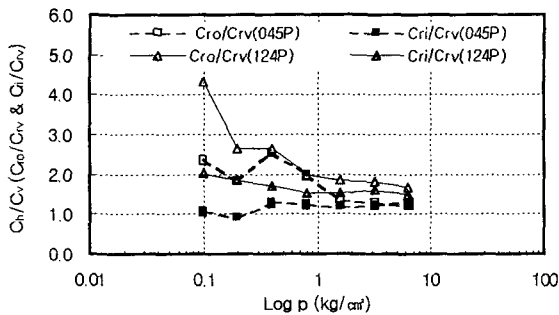


그림 8. 배수조건에 따른 입밀계수비 비교

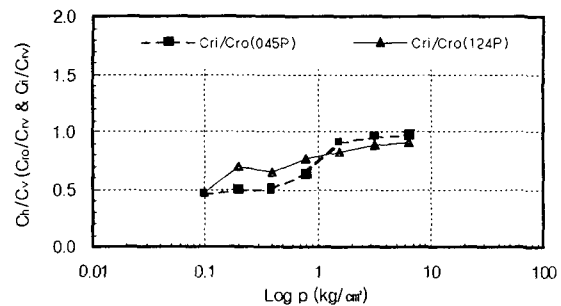


그림 9. 내·외향 수평배수의 압밀계수비 비교

한편, 대형시료에 대하여 배수조건을 고려하여 구한 Rowecell시험의 입밀계수(C_{rv} , C_{ri} , C_{ro})와 피스톤시료에 대하여 구한 표준압밀시험의 연직압밀계수(C_v)와의 비를 그림 10과 같이 비교하였다. 그 결과, 그림과 같이 각 배수조건에서의 압밀계수비 C_{rv}/C_v , C_{ri}/C_v , C_{ro}/C_v 는 각각 1.7~1.9(평균 1.8), 1.9~2.3(평균 2.2), 1.9~4.8(평균 3.4)로 나타났다. 이들 압밀계수비는 $C_{ro}/C_v > C_{ri}/C_v > C_{rv}/C_v$ 순으로 과압밀응력 범위에서 더 크고 압밀응력이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 이러한 이유는 비교란시료의 시료채취시 발생하는 교란 영향은 정규압밀응력보다는 과압밀응력에서 훨씬 크고 압밀응력이 증가할수록 교란된 시료의 구조적 이방성은 안정화되기 때문이다. 그림 7의 c)의 대형시료에 대한 Rowecell시험의 압밀계수(C_{rv} , C_{ri} , C_{ro})와 피스톤시료에 대한 Rowecell시험의 연직압밀계수(C_{rv-P})와의 압밀계수비 C_{rv}/C_{rv-P} , C_{ri}/C_{rv-P} , C_{ro}/C_{rv-P} 는 각각 1.3~1.5, 1.5~2.0, 1.7~4.3 정도로, 표준압밀시험에 의한 피스톤시료의 C_v 를 이용하는 경우보다 약 20%정도 낮은 압밀계수비를 보여주고 있다.

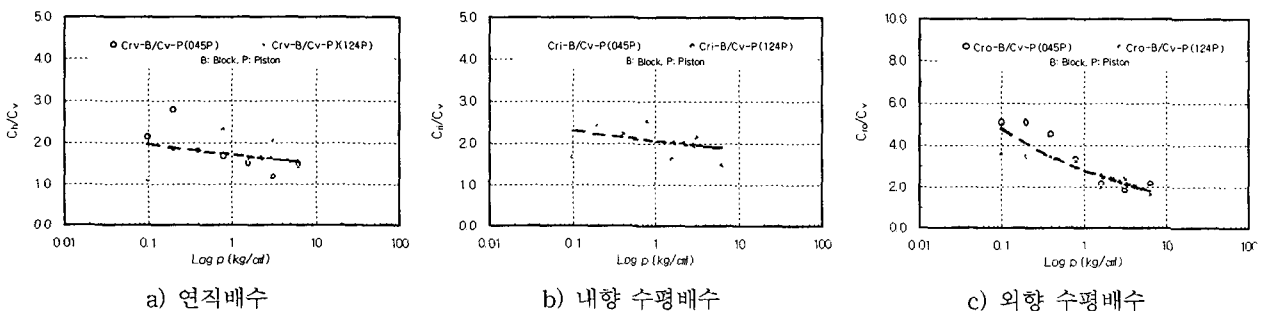


그림 10. Rowecell시험에 의한 압밀계수와 표준압밀시험의 압밀계수의 비(C_{rv}/C_v , C_{ri}/C_v , C_{ro}/C_v)

이와같이 Rowecell시험으로 얻은 압밀계수는 표준압밀시험으로 얻은 압밀계수보다 크게 나타나 압밀계수 산정시 보다 유리한 값을 얻을수 있을 것으로 나타났다. 또한, 배수재의 맨드렐 관입시 발생하는 스미어 영향에 따른 구조적 이방성의 크기 즉, 수평압밀계수와 연직압밀계수의 비(C_h/C_v)는 약 2배이상으로 표준압밀시험으로 구한 압밀계수비(C_h/C_v)보다 큰 값을 보이고 있어 표준압밀시험으로 구한 수평방향의 압밀계수는 실제보다 지나치게 작게 측정되는 것을 알수 있다. 이러한 경향을 통해 비교란시료는 대형시료와 같이 직경이 클수록 시료 교란의 영향이 더 작게 발생하는 것을 알수 있으며, 시료채취시에 발생하는 시료교란 정도가 연직배수재의 맨드렐 관입에 의해서 발생한 스미어 영향보다 더 크게 나타남을 알수 있었다.

3.3 CPTu에 의한 수평압밀계수 비교

피에조콘 관입시험기(CPTu)를 이용한 간극수압 소산시험은 콘 관입시험시 소요심도에서 관입이 정지되면 콘에 의한 최대 간극수압이 수리 역학적 평형 간극수압에 도달 될 때까지 소산되며 흙의 투수성과 압축성에 의존하는 압밀계수와 밀접한 상관 관계를 갖는다. CPTu에 의한 압밀계수 산정 방법은 과잉간극수압의 소산이 50%에 이르렀을 때를 기준으로 한다. 본 연구에서는 표 3과 같이 여러 제안자들의 이론해를 이용하여 수평압밀계수를 산정하였다.

표 3. 각 제안모델 및 가정사항

제안자	사용한 모델 및 가정사항	제안식
Torstensson (1977)	원통형이나 구형 공동확장에 해당하는 이론, 등방, 탄성-완전소성체, 선형 비혼합 1차원 압밀해석 (유한차분법)	$C_h = \frac{R^2 T_{50}}{t_{50}} \quad (4)$
Baligh 와 Levadox (1980)	속도장, 유선으로부터 변형을 경로를 추정, 높은 등방, 탄성-완전 소성체, 2차원 Terzaghi-Rendulic 압밀해석.	$C_h = \frac{R^2 T}{t} \quad (5)$
Levadox 와 Baligh (1986)	현장간극수압을 보정한 구형 공동확장이론, 등방, 비등방재료, 선형 비혼합 축대칭 압밀이론 (유한차분법)	
Houlsby 와 Teh (1991)	변형을 경로법, 대변형유한요소법, 비혼합 일차원 압밀이론, 강성지수를 고려한 시간계수	$C_h = \frac{R^2 T}{t} \sqrt{I_r} \quad (6)$

* 주 : R 은 콘의 반지름, t_{50} 은 압밀도 50%에서의 소산시간, T_{50} 은 시간 t에 대한 시간계수, I_r 은 강성지수($I_r = G/S_u = E_u/3S_u$)

그림 11은 현장의 소산시험에 의한 수평압밀계수 $C_{h(cptu)}$ 와 유효상재압시의 Rowecell압밀에 의한 수평압밀계수 C_{r0} 를 비교한 것이다.

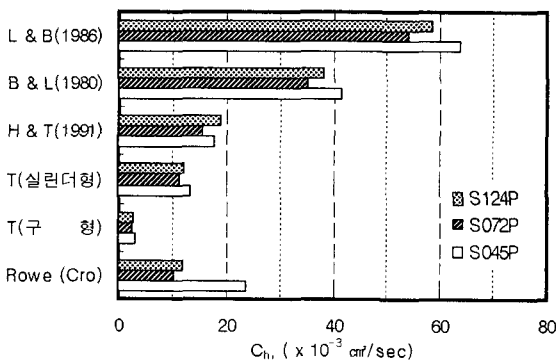


그림 11. CPTu와 Rowe의 수평압밀계수 비교

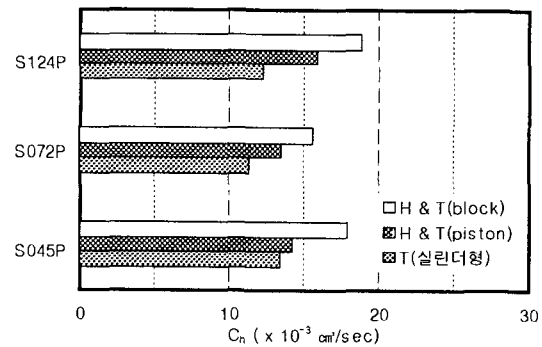


그림 12. 강성지수(I_r)에 따른 압밀계수의 변화

그림에서와 같이 Rowecell압밀의 외향수평압밀계수 C_{r0} 를 기준으로 할 때, Torstensson의 실린더형 공

동 확장이론에 근거한 이론해로 구한 $C_{h(cptu)}$ 는 유사한 값을 보이고 있으나, Torstensson(구형)는 대략 4~5배정도 작은 값을 보이며, Baligh와 Levadox(1980, 1986)의 이론해는 약 2.5~3.8배정도 과대평가되는 것으로 나타났다. 또 Houlsby와 Teh(1991)이론해의 경우 그림 12와 같이 비교란시료의 교란정도에 따라 강성지수(I_r)가 감소하고 그 영향으로 압밀계수가 약 15%정도 감소하는 경향을 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 해성점토에서 채취한 대형시료와 피스톤시료에 대한 표준압밀시험, Rowecell시험 및 간극수압소산시험(CPTu)으로 구한 압밀계수를 상호 비교분석하였으며 그 결론은 다음과 같다.

1. 표준압밀시험에 의한 대형시료의 압밀계수비 C_h/C_v 의 평균치는 약 1.5, 피스톤시료의 C_h/C_v 의 평균치는 약 1.6 그리고 대형시료에 대한 피스톤시료의 C_h/C_v 의 평균치는 약 1.9로 피스톤시료의 압밀계수는 대형시료의 압밀계수보다 작게 측정되었으며, 이는 시료채취시의 응력해방 등의 시료교란 영향으로 인하여 압밀속도가 현저히 감소하기 때문으로 사료된다.
2. Rowecell시험의 배수방향에 따른 압밀계수는 $C_{ro} > C_{ri} > C_{rv}$ 순으로 나타났고, 압밀계수비 C_{rv}/C_v , C_{ri}/C_v , C_{ro}/C_v 의 평균치는 각각 1.8, 2.2, 3.4정도로 표준압밀시험의 C_h/C_v 보다 크게 나타났다. 또한, 배수재의 멘드렐 관입시 발생하는 스미어 영향은 약 2배이상으로 표준압밀시험으로 구한 압밀계수비 (C_h/C_v)보다 큰 값을 보이고 있는 반면, 표준압밀시험으로 구한 수평방향 압밀계수는 실제보다 지나치게 작게 나타났다.
3. Rowecell시험의 외향수평압밀계수 C_{ro} 를 기준을 할때, CPTu의 Torstensson의 실린더형 공동 확장이론에 근거한 이론해로 산정한 $C_{h(cptu)}$ 와 유사한 경향을 보이고 있으나, Houlsby와 Teh(1991)의 이론해 경우는 시료교란 영향에 따라 강성지수(I_r)가 작아져 압밀계수가 감소하는 경향을 보인다. 이에 따라 실무에 있어 Rowecell시험결과와 상호 비교하여 적절한 압밀계수비를 산정하고 이를 설계에 반영하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Baligh, M. M. and Levadoux, J. N.(1980), "Pore pressure dissipation after cone penetration", Research Report, Cambridge, Massachusetts 02139.
2. Baligh, M. M. & Levadoux, J. N.(1986), "Consolidation after Undrained Piezocone Penetration, II: Interpretation," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 112, No. 7, pp.727-745
3. Campanella, R.G., Robertson, P.K.,(1988), Current status of the piezocone test, Invited Lecture, 1st International Conference on Penetration Testing Disney World, pp91-116.
4. Dazawa & Wakami,(1976), "Variation of Coefficient of Consolidation on Disturbed Cohesive Soil", D.S. Construction Engineering Technicl Report, No. 9, 101-107.
5. Rowe. P.W.(1964), "The Calculation of The Consolidation Rates of Laminated, Varved or Layered Clays, With Particular Reference to Sand Drains", Geotechnique. 14: 4:321
6. Rowe. P.W.(1966), "A New Consolidation Cell", Geotechnique. 16: 2:162
7. Torstensson, B. A.(1977) "The Pore Pressure probe", Nordiske Geoteknise Mote, Oslo, Paper No. 34, pp. 34.1-34.15
8. Teh, C. I. & Houlsby, G. T.(1991), "An Analytical Study of the Cone Penetration Test in Clay", Geotechnique, No. 41, Vol 1., pp.17-34.
9. Vesic', A. S. (1972), "Expansion of Cavities in Infinite Soil Masses", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, SM3, pp.265-290