

고온재압밀 점토의 역학적 거동특성에 관한 연구

Geotechnical Characteristics of Clays Reconsolidated at High Temperature

이 강 일* Lee, Kang-Il

Abstract

A series of laboratory tests, which can show how different curing conditions influence an aging effect on clay, were carried out for the clay samples collected in the area of Kwangyang Bay and Mokpo. Clay samples were remolded and reconsolidated under three different curing temperatures (20, 50, and 80 degree Celsius) and four different curing durations (1, 7, 14, and 40 days). To find out an aging effect and geotechnical characteristics between undisturbed samples and reconsolidated samples, laboratory tests, consisting of uniaxial compression tests, CU triaxial test, and consolidation tests, were preformed. Results showed that the compression index ratio is very useful factor to indicate the aging effect of natural clays. Also geotechnical characteristics of clays reconsolidated at high temperature were very similar to those of undisturbed clays. Finally, curing temperature and curing duration influenced an aging effect on clays. The best curing condition was 80 degree Celsius and 27 days.

요 지

본 연구는 광양만 지역과 목포 남악지역의 점토를 이용하여 양생온도를 20°C, 50°C, 80°C로 달리하고 각각의 온도에서 양생기간을 1일, 7일, 14일, 40일로 하여 재성형·재압밀 시료를 제작하여 양생온도·양생기간이 연대효과 재현에 어떤 영향이 있는지를 밝히고, 불교란시료와 재압밀된 점토의 역학적 특성과 연대효과의 특성을 알아보기 위하여 1축압축시험, 3축압축시험 그리고 표준압밀시험을 실시하였다. 그 결과 압축지수비는 원지반점토의 연대효과를 나타내는데 유용한 지수임을 확인할 수 있었으며 또한 고온으로 양생한 점토가 연대효과를 잘 표현하고 연대효과의 재현에 필요한 최적의 양생온도는 80°C 정도 부근이고 양생기간은 27일정도 임을 알 수 있었다.

Keywords : Aging effect, Compression index ratio, Curing temperature, Reconsolidated clay at high temperature

1. 서 론

자연 점토지반은 퇴적 후 현재에 이르기까지 수백년~수천년이나 경과되어 왔으며 이 기간 동안 이차압밀, 교결(cementation), 리칭(riching) 및 건조응력 등의 다양한 작용을 받아 왔다. 이와 같이 점토지반이 오랜 기간에 걸쳐 역학적 또는 화학적 작용을 받으면 자연점토가 유지하고 있는 골격구조는 교란을 받았던 신생의 정규압밀점토(young clay)와는 서로 다른 특징 및 역학

적 거동을 나타내게 된다. 이와 같이 자연점토가 지나고 있는 성질을 연대효과(aging effect)라 부르며, 이 효과는 점토의 강도, 압밀특성에 상당한 영향을 미치게 되고 그 영향을 밝히기 위해 많은 실험 및 연구가 진행되어 왔다(Mesri and Godlewski, 1977; Jamiolkowski et al., 1985; Plum and Esrig, 1969).

그러나 연대효과를 받는 포화 점성토의 역학적 거동 특성을 실험을 통해서 파악하기 위해 중요한 일은 시험에 이용될 시료를 어떻게 만들 것 인가이다. 불교란

* 정희원, 대전대학교 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Daejin Univ., kilee@daejin.ac.kr)

자연점토 시료를 이용할 경우는 시료의 이산이 크고 시험에 사용될 시료량에도 한계가 있으므로, 현장에서 채취된 교란시료를 실내에서 입도나 함수비등을 조정하여 슬러리 상태에서부터 재압밀하여 이용하게 된다. 이때 이 점토시료는 압밀 기간이 짧고 텍스트로피 현상 및 교결 작용이 충분히 발휘되지 못하기 때문에 점토의 조직구조가 발휘되지 않고 자연점토가 지니고 있는 연대효과가 재현되지 못하는 문제점이 있어 土田(1989)등에 의해 제안된 연대효과 재현방법이 그 유효성이 확인된 바 있어 슬러리 상태에서부터 고온에서 재압밀하여 시료를 제작하는 방법을 본 연구에 도입하고자 한다.

이를 위해 광양만지역의 점토와 목포 남악지역의 점토를 사용하여 양생온도 20℃, 50℃ 및 80℃로 하고 양생기간은 1일, 7일 14일 및 40일로 달리하여 재성형, 재압밀 시료를 제작하였다. 이렇게 제작하여 압밀이 종료된 각각의 재성형 시료를 가지고 표준압밀, 일축압축 및 삼축압축시험등을 실시하여 고온재압밀 점토의 압밀특성, 변형특성 및 강도특성 등을 분석하고 고온양생의 시간적 변화에 따라 점성토의 역학적 거동을 정량적으로 평가하여 그 실용성을 제안하고자 한다.

2. 불교란 점성토와 재압밀 점성토의 역학특성

점토지반의 퇴적연대가 그 점토의 역학특성에 크나큰 영향을 미친다고 최초로 지적한 사람은 Bjerrum (1963, 1973)이다. 그는 과잉간극수압의 소산에 필요한 시간은 점토층 두께, 투수성, 배수조건 등에 의존하기 때문에 점토의 압축을 고려해서 과잉간극수압의 소산

과정에서의 압축(1차 압축)과 과잉간극수압 소산후의 압축(2차 압축)으로 구분하는 것은 부적당하다고 생각하여 그림 1과 같이 즉시압축(instant compression)과 지연압축(delayed compression)으로 구분해서 압밀현상을 설명했다. 그림 속의 점선은 일정한 응력이 일시에 가해지고 동시에 그 응력이 점토골격구조에 유효응력으로 작용하는 상태를 나타낸 것이다. 이때 응력의 재하와 동시에 발생하는 압축을 즉시압축, 이 이후의 압축을 지연압축으로 하고 시간이 경과하면 지연압축이 계속 진행되어 점토의 체적변화가 발생된다. 즉, 압밀기간이 장기화 될수록 유효응력이 일정할때 까지 간극비가 감소한다. 결국 압밀기간이 길수록 그림 2와 같이 e-logp곡선이 거의 평형을 유지하면서 아래방향으로 이동하게 된다. 예를 들면, 그림 속의 A점에 유효상재응력이 p_0 인 점토가 존재하고 그 점에서 유효상재응력이 변화되지 않고 오랜 시간이 경과된다면 그 사이에 점토의 간극비는 천천히 감소하게 된다. 즉, A점으로 부터 3000년이 경과했다면 점 C까지 압축(delayed compression)이 발생하게 된다. 그 후 하중 Δp 가 가해지면 Instant선상까지 압축되면서 점 D에 도달하게 되고 그 후 급격히 압축변형이 증가하면서 점 E에 도달한다. 이 압축곡선의 굴곡점인 D점의 선행압밀응력(p_c)은 유효상재응력(p_0)보다 더 큰 값이 되어 지연압축된 점토의 골격구조를 보다 강하게 만든다. 이와 같은 상태를 “의사선행압밀”이라 부르고 이때의 선행압밀응력(p_c)을 “의사선행압밀응력”이라 부르고 있다. 즉, Bjerrum은 e-logp 곡선을 포함해서 연대효과를 갖는 점토지반은 퇴적연대가 오래된 정규압밀점토(aged clay)의 e-logp 곡선은 명료한 굴곡을

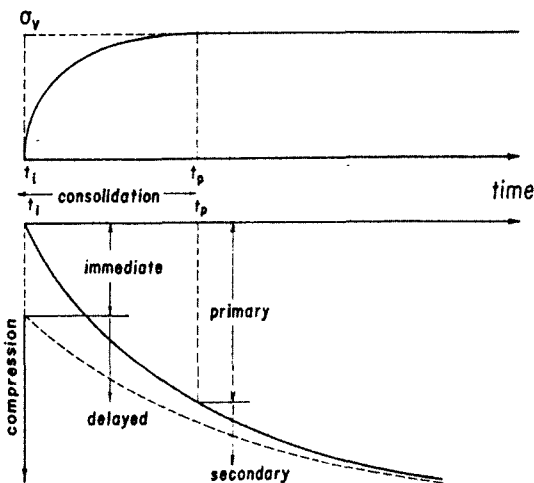


그림 1. Bjerrum의 즉시압축과 지연압축

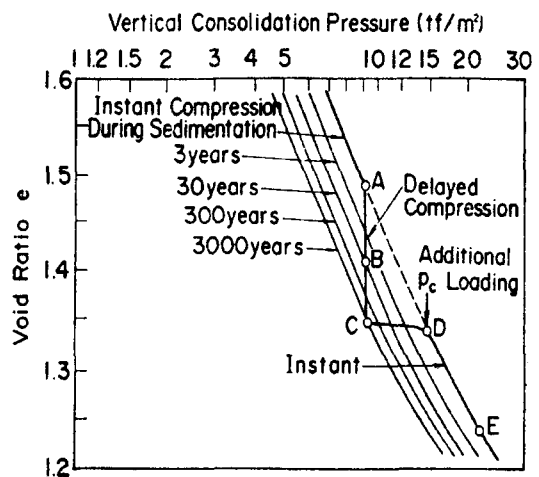


그림 2. Bjerrum의 e-logp 관계 개념도

갖는 형상을 나타내지만 실험실내에서 재압밀된 점토와 같이 퇴적연대가 짧은 신생의 정규압밀점토(young clay)의 e-logp 곡선은 선행압밀응력 부근에서도 완만한 곡선형상을 나타내고 있다. 또한 연대효과를 갖는 점토의 특징은 선행압밀응력이 유효상재응력보다도 크고 소위 “겉보기 과압밀” 또는 “의사과압밀”이라고 호칭되는 현상을 나타낸다.

3. 고온상태에서의 재압밀 시료제작

3.1 시료의 특성 및 준비

본 연구에 사용된 시료는 광양만 및 목포 남악지역에서 채취한 해성점토로서 실험실에서 오래된 정규압밀점토(aged clay)의 구조를 재현하기 위해 고온상태에서

표 1. 광양만 및 목포 해성점토의 물리적 성질

채취지역	비중	액성한계 (%)	소성지수	USCS
광양	2.66	60.35	37.78	CH
목포	2.69	38.87	20.31	CL

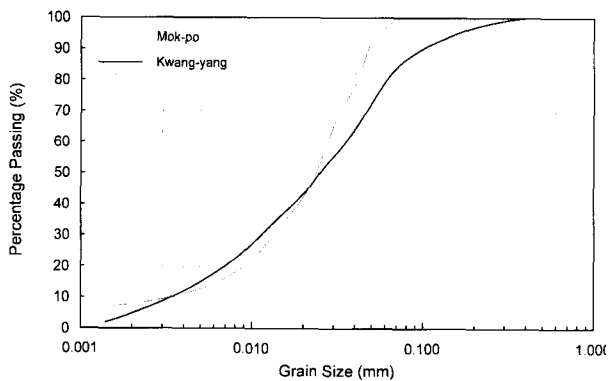


그림 3. 입도분포곡선

표 2. 시험조건

시험종류	샘플점토	목포점토					광양점토
		양생기간(일)					
	양생온도 (°C)	1	7	14	27	40	7
표준압밀 시험	20	○	-	○	○	○	○
	50	○	-	○	○	○	○
	80	○	-	○	○	○	○
삼축압축 시험(CU)	20	-	○	-	-	-	○
	50	-	○	-	-	-	○
	80	-	○	-	-	-	○
일축압축 시험	20	-	-	-	-	-	○
	50	-	-	-	-	-	○
	80	-	-	-	-	-	○

슬러리 점토를 압밀시켜 시료를 준비하였다. 본 시료의 기본물성은 표 1과 같으며 입도분포 특성은 그림 3과 같다. 또한 본 연구를 위해 실시된 시험 조건은 표 2와 같다. 이와 같이 작성된 시료에 대해서 표준압밀시험, 일축압축시험 및 삼축압축시험(CU)을 실시하였다.

3.2 재압밀과정

상기와 같은 점토를 사용하여 공시체를 제작하기 위한 재압밀 방법은 다음과 같다. 먼저 420 μm(0.42mm, #40)체를 통과시켜 조립분을 제거한 후 채취된 점토를 시료의 균일성을 확보하기 위하여 액성한계의 약 2배 정도의 함수비로 충분히 교란시켜 슬러리 상태로 만든다. 그리고 약 5~7시간 정도 진공 믹서기를 이용하여 진공탈기 시킨다. 탈기가 완료되면 재압밀 셀에 바닥부터 골고루 시료를 투입한 후 양면배수 조건으로 일차원 재압밀을 실시한다. 재압밀 셀은 직경 24.7cm, 높이 40cm, 두께 12mm의 스텐레스제로 만들었으며 공기압을 이용하는 벨로프프레임에 의해서 연직압밀응력을 이용하였다(이강일, 2000). 재압밀은 먼저 24시간 실온상태에서 자중압밀을 시킨후 선행압밀응력(0.8kg/cm²)까지 연직압밀응력으로 24시간씩 단계적으로 압밀했다. 이때 최종 하중단계에서는 압밀기간중 침하량을 측정하여 3t법으로 1차압밀 종료시간을 결정하여 압밀을 종료하였다(Japan Geotechnical Society, 1990). 1차압밀이 종료되면 재압밀 장치를 항온수조에 넣고 일련의 양생온도와 양생기간으로 시료를 양생한다.

4. 고온 재압밀 점토의 역학적 특성

4.1 표준압밀 및 일축압축시험

재압밀점토의 양생온도에 따른 압밀특성을 밝히기 위하여 표 2와 같이 20°C, 50°C, 80°C로 각각 양생한 시료를 이용하여 표준압밀시험을 실시하였다. 그림 4는 여러 시험중 대표적으로 양생기간이 7일인 광양시료인 경우의 온도변화에 대한 간극비-하중 관계를 나타낸 것이다. 재압밀시 양생온도가 실온에서 고온으로 갈수록 간극비-하중 곡선의 형상에는 상당한 차이가 발생되고, 양생온도가 증가할수록 선행압밀응력이 증가한다. 본 연구결과는 오래된 정규압밀점토는 2차압밀의 영향으로 인하여 간극비가 감소하고 선행압밀응력이 증가하

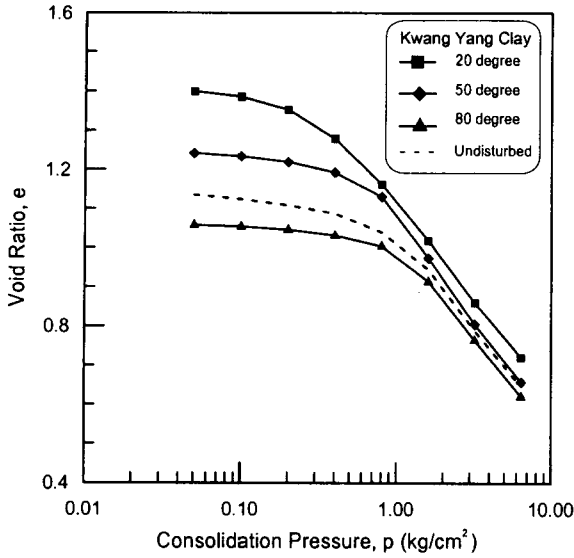


그림 4. 압밀응력-간극비 관계

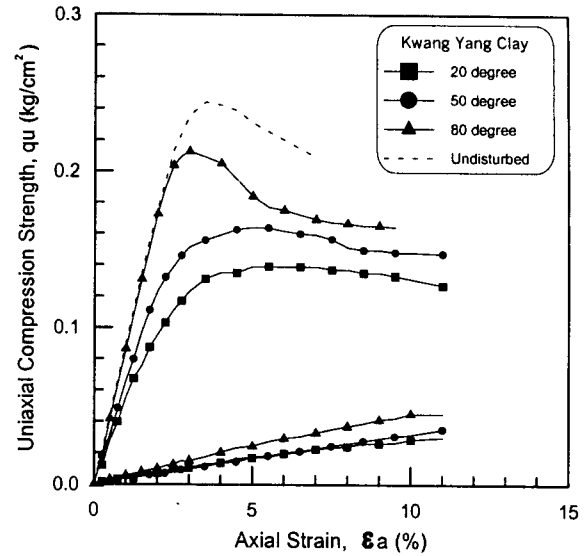


그림 5. 일축압축강도와 축변형을 관계

는 경향을 보인다고 한 Bjerrum 연구내용과 일치한다.

그림 5는 광양점토인 경우 20°C, 50°C, 80°C 온도에서 양생된 재압밀 시료를 이용하여 재압밀점토 및 불교란 점토의 1축압축시험 결과를 응력-변형을 곡선으로 나타낸 것이다. 그림에 나타난바와 같이 양생온도가 높은 경우 1축압축강도가 양생온도가 낮은 경우의 1축압축강도보다 크게 나타나고 파괴시 축변형율은 양생온도가 높을수록 작아지는 경향을 나타낸다. 또한 양생온도가 높을수록 응력-변형을 곡선의 일연화현상(work softening)이 더 두드러지게 나타나고 있다.

상기 두 시험결과와 같이 고온에서 양생된 시료일수록 불교란시료의 전단거동과 비슷한 형상을 보여주고 있는

데 이는 고온에서 작성된 시료가 불교란 시료의 실험결과에 더 근접되며 고온재압밀 방법으로 점토의 연대효과에 관한 재현성에 유효성이 있음을 나타내고 있다.

4.2 삼축압축시험(CU시험)

양생온도에 따른 재압밀점토의 강도특성을 검토하기 위하여 구속응력 0.5, 1.0 및 2.0kg/cm²으로 등방압밀후 축변형율속도가 0.1%/min인 조건으로 압밀비배수 삼축압축시험을 실시하였다. 그림 6은 목포점토의 3축압축 시험 결과의 예를 나타낸 것으로 그림에 나타난 바와 같이 양생온도가 낮은 경우(20°C)의 응력-변형을 곡선은

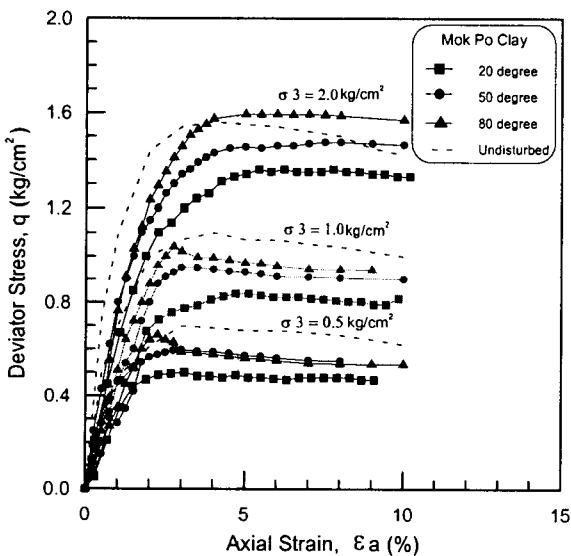


그림 6. 축변형률에 대한 축차응력

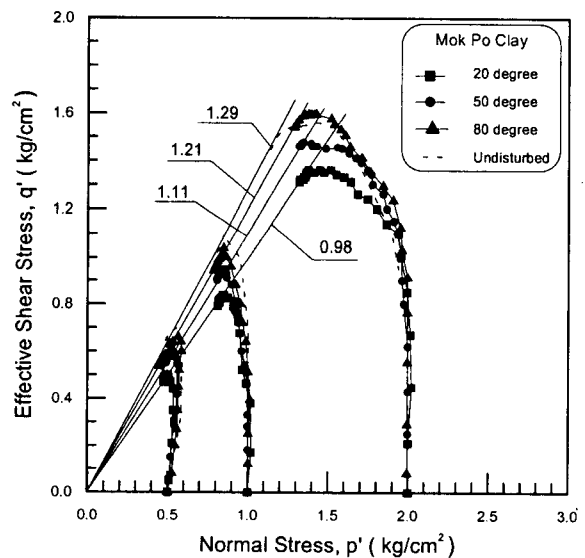


그림 7. 양생온도에 대한 응력경로

변형을 경화형이 되고 그 경화의 정도는 구속응력이 클수록 현저하다. 그러나 양생온도가 증가할수록(50℃ 및 80℃)응력-변형을 곡선은 변형을 연화형이 되고 그 연화의 정도는 구속응력이 적을수록 현저하게 나타나고 있다. 또한 구속응력이 낮은 경우 양생온도에 따른 축차응력의 차는 비교적 작지만 구속응력이 증가하면 양생온도에 따른 축차응력의 차는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그림 7은 점토에 대한 응력경로를 유효평균응력(p)과 유효축차응력(q)면에 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 양생온도가 증가할수록 기울기가 크게 나타나고 불교란점토의 특성과 일치하는 경향을 나타낸다. 이와 같이 삼축압축 시험결과도 양생온도에 따른 연대효과의 재현성이 나타나며 특히 80℃ 부근에 이를수록 불교란 시료의 특성과 일치되는 경향이 나타나고 있음을 알 수 있다.

5. 고온양생에 의한 불교란 퇴적점토의 연대효과 재현

5.1 압축지수비의 특성

土田(1989) 등은 자연점토와 재압밀 점토의 역학적 성의 차이(자연점토는 p_c 부근에서 C_c 와 C_a 가 피크값을 나타내지만, 재압밀 점토는 정규압밀 영역에서 C_c , C_a 가 거의 일정하게 되는 점)를 2차압밀이나 교결등 자연점토의 연대효과에 의한 것으로 생각하여 이 경우를 나타내는 새로운 매개변수인 압축지수비(r_c)를 다음 식 (1)과 같이 제안했다.

$$r_c = \frac{C_{cmax}}{C_c^*} \quad (1)$$

여기서, C_{cmax} 는 그림 8의 e-logp곡선에서 C_c 의 최대치이고, C_c^* 은 압밀응력이 p_{ccmax} (p_{ccmax} 는 $C_c=C_{cmax}$ 일 때 압밀응력)의 5배 일때의 값이다. 이 압밀응력의 5배의 값은 통상 실시되고 있는 표준압밀실험의 압밀응력의 범위를 고려해서 결정된 것이며, 압축지수비(r_c)는 정규압밀영역에서 압축성의 변화의 크기를 나타내는 지표이다.

그림 8과 같은 정의를 이용하여 압축지수비를 분석한 결과 광양 불교란점토의 압축지수비는 1.4~2.2이고, 재성형·재압밀 점토의 압축지수비는 1.0~1.2이며 목포 불교란점토의 압축지수비는 1.4~1.8이고, 재성형·재압밀 점토의 압축지수비는 1.2~1.4 정도로 평가되었다.

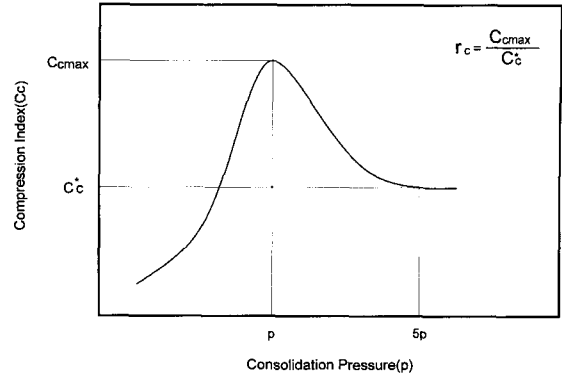


그림 8. 압축지수비(r_c)의 정의(Takashi, 1991)

그림 9는 목포점토인 경우의 압축지수비와 양생온도의 관계를 나타낸 것으로 양생온도가 증가할수록 압축지수비가 증가하고 있다. 그러나 양생기간이 짧을수록 압축지수비는 온도의 증가에 따라 큰 차이를 보이고 있지만 양생기간이 길어질수록 온도증가에 따른 압축지수비의 차는 거의 비슷한 양상을 보이고 있다. 20℃의 경우 압축지수비가 다소 분산되는 경향이 있지만 고온양생 일수록 압축지수비가 양생기간에 관계없이 수렴하는 경향을 보인다. 따라서 연대효과를 재현하기 위한 양생온도는 80℃ 정도 부근이라고 판단되며 압축지수비는 고온재압밀 점토의 연대효과의 정도를 나타내는 지표임을 알 수 있다.

그림 10도 목포점토의 압축지수비와 양생기간에 따른 관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 양생기간이 길어지면서 압축지수비도 증가하는 경향을 보이고 있다. 양생기간이 14일을 넘어서면서 압축지수비가 증가하는 경향을 보이고, 27일 이후에는 압축지수비가 수렴한다. 따라서 양생기간과 압축지수비와의 관계를 살펴보면 양생기간이 27일 정도가 연대효과재현에 효과적이라 판단된다.

상기의 결과를 통해서 양생온도와 양생기간이 연대효과재현에 미치는 상호작용에 관한 영향을 검토하기 위하여 표준압밀시험에서 얻은 압축지수비를 3차원 공간에 나타낸 결과를 다중회귀분석(multiple regression)을 실시하였다. 압축지수비(r_c)를 양생온도(curing temperature)와 양생기간(curing day)의 함수식으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$r_c = k + \alpha C_t + \beta C_d \quad (2)$$

여기서, k 는 상수이고, α 는 양생온도계수, β 는 양생기간계수이며 r_c 는 압축지수비이고 C_t 는 양생온도이

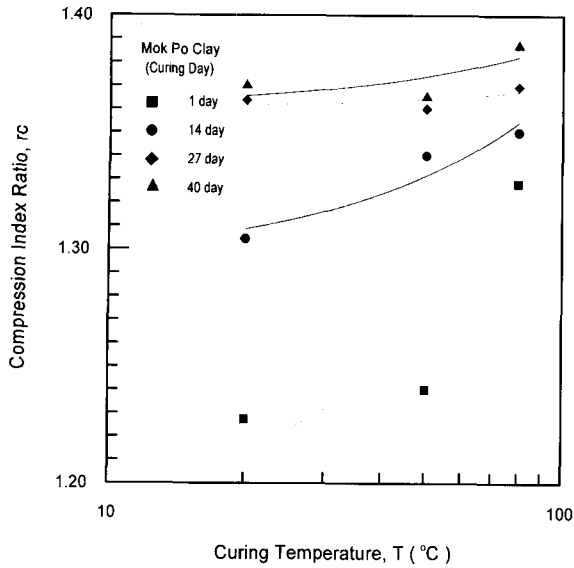


그림 9. 압축지수비와 양생온도 관계

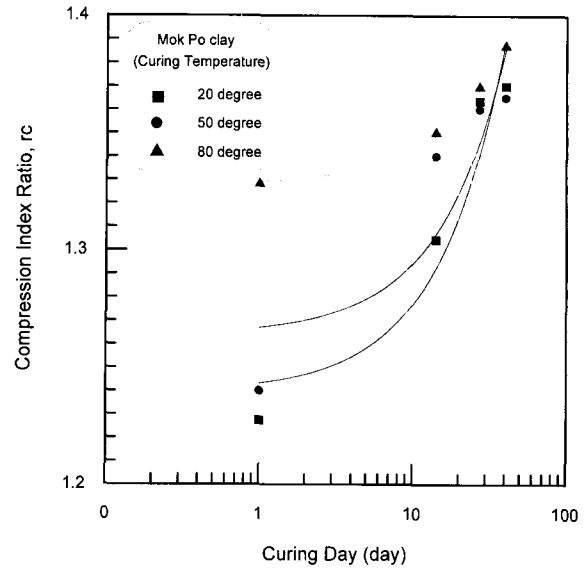


그림 10. 압축지수비와 양생기간 관계

며 C_d 는 양생기간이다. 본 연구에서 목포점토의 k 는 1.25이고, α 는 0.008, β 는 0.0024이다.

5.2 압밀 및 투수특성

그림 11은 광양점토에 대하여 양생온도 및 퇴적방향에 대한 선행압밀응력의 변화와 간극비의 관계를 함께 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것처럼 양생온도가 증가할수록 선행압밀응력은 증가한다. 고온압밀시료(80°C)의 선행압밀응력은 실온시료(20°C)의 선행압밀응력보다 약 2.8배정도 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 간극비는 선행압밀응력과 반대로 양생온도의 증가와

더불어 감소해 가지만 수평방향 점토의 경우 그 변화의 정도가 그리 크게 나타나고 있지 않다.

그림 12는 광양점토의 간극비와 투수계수 관계를 나타낸 것으로 그림상의 실선은 표준압밀시험에서 얻은 투수계수를 그대로 나타낸 것이고 점선은 각각의 시험 결과를 20°C에 대하여 보정하여 간극비와 투수계수 관계를 나타낸 것이다. 물의 점성계수를 고려하여 온도보정을 한 투수계수와 표준압밀 시험에서 얻은 투수계수를 비교하여 보면 투수계수는 양생온도변화에 따른 물의 점성계수의 영향을 받고 있지 않는 것으로 판단되며 양생온도가 증가할수록 간극비의 감소와 함께 투수계수가 감소해 가는 경향이 나타나고 있다.

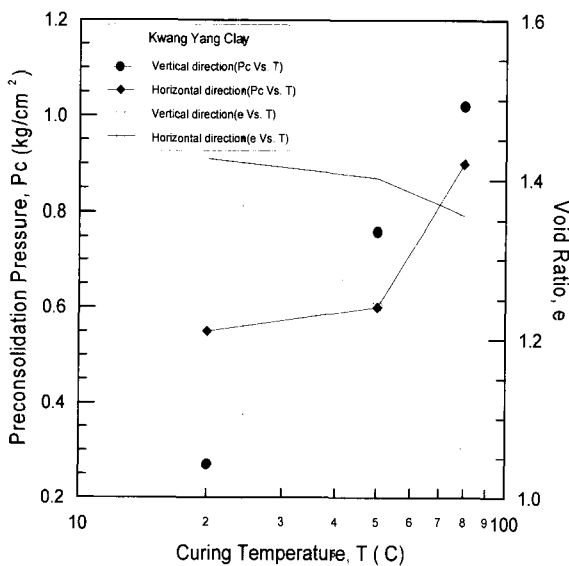


그림 11. 양생온도에 따른 선행압밀응력 및 초기간극비 관계

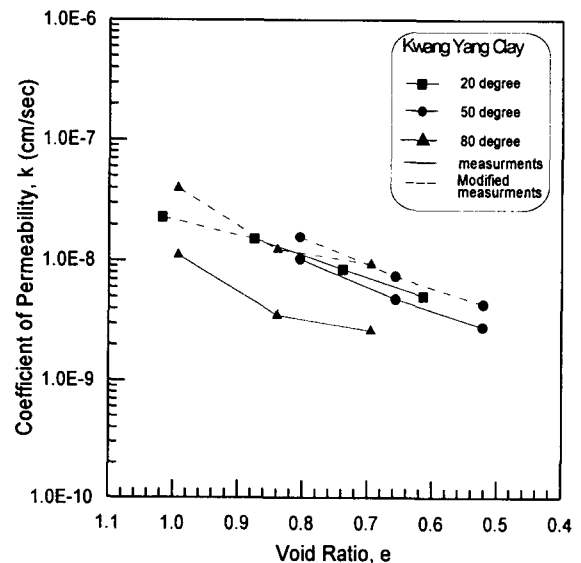


그림 12. 간극비와 투수계수 관계

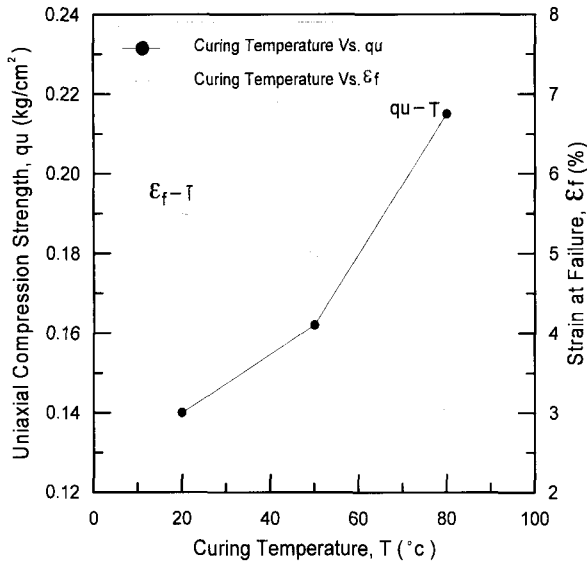


그림 13. 일축압축강도와 파괴변형율에 미치는 양생온도의 영향

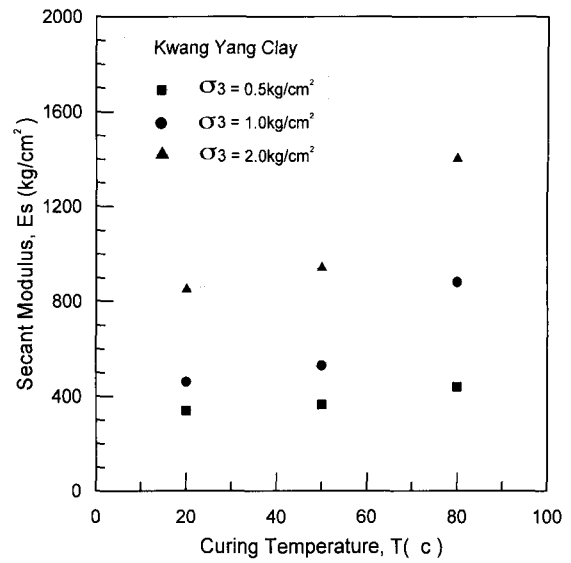


그림 14. 삼축압축시험의 변형계수와 양생온도의 영향

5.3 전단특성에 미치는 양생온도의 영향

본 항은 각 온도로 양생된 시료에 대하여 일축압축시험 및 삼축압축시험에 대하여 광양점토의 전단특성에 대하여 설명하고자 한다. 그림 13은 일축압축강도와 파괴변형율이 양생온도에 의해 어느 정도 변화되는가를 나타낸 것이다. 양생온도의 증가와 더불어 일축압축강도의 증가가 나타나고 있으며 특히 양생온도 50°C 이후 그 강도의 증가가 명확히 나타나고 있다. 한편 파괴변형율은 양생온도의 증가와 함께 현저히 감소하고 있음을 알 수 있다. 이로 볼 때 양생온도의 효과가 전단특성에 영향이 크게 미치고 있음을 알 수 있다.

그림 14는 각각의 삼축시험으로부터 얻은 변형계수 (E_s)와 온도의 관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 재압밀시의 온도가 증가함에 따라서 그리고 구속압이 증가함에 따라 변형계수는 크게 나타난다. 이와 같은 결과는 고온조건하에서 재압밀된 점성토는 보다 단단한 골격구조가 형성되고 그 결과는 고온일수록 현저히 나타나고 있음을 나타내는 것이다.

6. 결론

본 연구는 양생온도와 양생기간을 변화시켜 재성형·재압밀한 점토의 역학적 특성 및 고온재압밀 방법의 유효성을 검토하기 위해 광양점토와 목포점토를 이용하여 표준압밀시험, 일축압축시험 및 삼축압축시험을 수행하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고온재압밀 방법에 의해 작성된 시료의 e-logp 곡선은 연대효과를 갖는 불교란 점토에서 나타나는 현상과 유사한 거동을 나타내며 선형압밀응력도 고온시료 쪽이 실온시료에 비해 크게 나타나고 있다.
- (2) 일축압축시험에 있어서 통상의 실온에서(20°C) 재압밀해서 작성된 시료에서는 명확한 파괴변형율이 나타나고 있지 않지만 고온시료(80°C)에서는 불교란시료와 비슷하게 변형율이 3~4% 정도에서 압축응력이 피크에 도달하고 그 후 상당한 강도저하가 나타났으며 일축압축강도와 파괴변형율의 크기는 연대효과와 재현척도로서 이용하는 것이 가능하다.
- (3) 고온 점토일수록 연대효과가 잘 나타나고 연대효과와 재현을 위한 양생온도는 80°C 정도 부근이고 양생기간은 27일 정도이다.
- (4) C_c -logp 관계를 비교하는 것에 따라서 연대효과 재현의 유무를 정성적으로 평가하는 것이 가능하며 압축지수비 r_c 는 연대효과 재현의 정도를 정량적으로 파악하는 지수임을 알 수 있다.
- (5) 재압밀점토의 전단강도 특성은 고온양생일 경우 원지반 불교란시료의 거동특성과 유사하게 나타내며 강도와 변형계수의 증가는 간극비의 감소와 교결등에 의한 입자구조의 발달에 의하며 고온양생은 후자의 작용을 가속시킨다.

감사의 글

이 논문은 2000학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

1. 이강일(2000), “불교란 및 재성형 해성점토의 연대효과 재현”, 대한토목학회논문집, 제20권, 제2-C호, pp.119-128.
2. 山田洋右(1984), “粘土の工學的性質に及ぼす初期構造の影響”, 土質工學會論文報告集, Vol.24, No.1, pp.183-191.
3. 土田孝, 小林正樹他(1989), “高温再壓密による海成粘土の年代效果の再現”, 港灣技術研究所報告, 第28卷, 第1号, pp.121-147.
4. 風間秀彦・大西淳文(1991), “粘性土の壓密學動に及ぼす温度の影響”, 第48回土木學會年次學術講演會概要集, pp.370-371.
5. 森脇武夫・八嶋和幸(1992), “廣島粘土の破壊變形特性に及ぼす熱養生效果”, 第27回土質工學研究發表會, pp.683-686.
6. Bjerrum, L. and Lo, K. Y. (1963), “Effect of aging on the shear strength properties of a normally consolidated clay”, *Geotechnique*, Vol.13, No.2, pp.147-157.
7. Bjerrum, L.(1973), “Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils(collapsible, expansive and others)”, State-of-the-Art Report, 8th ICSMFE., Moscow, Vol.3, pp.111-159.
8. Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T. and Lancellota, R. (1985), “New developments in field and laboratory testing of soils”, State-of-the-Art Report, *Proc. of 11th ICSMFE*, San Francisco, pp.57-153.
9. Japan Geotechnical Society(1990), “Method and explanation of soil tests”, Japan, pp.357.
10. Mitchell, J.K.(1976), “Fundamentals of soil behavior”, John Wiley & Sons, Fnc, pp.274-282.
11. Mesri, G. and Godlewski, P. M. (1977), “Time and stress-compressibility interrelationship”, *ASCE*, Vol.103, GT.5, pp.417-430.
12. Plum, R. L. and Esrig, M. I. (1969), “Some temperature effects on soil compressibility and pore water pressure”, HRB Special Report 103, pp.231-242.
13. Takashi Tsuchida, Masaki Kobayashi and Jun Ichi Mizukami(1991), “Effect of aging of marine clay its duplication by high temperature consolidation”, *Soils and Foundations*, Vol.31, No.4, pp.133-147.

(접수일자 2002. 5. 9, 심사완료일 2003. 4. 1)