

빈배합 시멘트 혼합점토의 압밀 특성

Consolidation Behavior of Poor Mixed Soil-Cement

이 중 민¹⁾ · 권 영 철²⁾ · 이 흥 길³⁾ · 이 봉 직[†]

Lee, Jongmin · Kwon, Youngcheul · Lee, Heunggil · Lee, Bongjik

ABSTRACT : The amount of dredging clay will be greatly increased by the eco-rive project and port development in Korea. Geotechnical engineers have thrown their efforts into the new ways for effective re-uses of the dredging clay such as the material for reclamation, and so on. However, very high initial water content and low strength causes unexpected difficulties in the aspect of trafficability or time for consolidation. Therefore, the injection of cement stabilizer is used as one of ways to improve reclaimed ground. However, it also makes an argument by heavy metal from cement stabilizer. In this paper constant rate of strain consolidation test and normal consolidation test were performed to investigate behavior characteristics of the consolidation about soil-cement include lean mixed cement to reduce the environmental loads by the cement. The experimental results of consolidation characteristics about soil-cement include lean mixed cement influenced by mixing ratio. Especially it was observed that mixing ratio of 4%~6% leads not only the reduction of consolidation settlement, but time for consolidation.

Keywords : Dredged clay, Lean mixed soil-cement, Consolidation, Unconfined strength

요 지 : 4대강 사업이나 항만의 지속적인 건설 및 관리 등으로 인해 준설점토의 발생량은 꾸준히 증가할 것이다. 이러한 준설점토를 매립재료 등으로 유효하게 재활용하기 위해 지반공학 관련 기술자들은 많은 노력을 기울여 왔다. 그러나 준설점토가 일반적으로 매우 높은 초기 함수비를 갖고 있으며 동시에 강도 역시 매우 낮은 점을 생각하면 준설된 점토의 처리를 위한 장비의 주행성 확보나 혹은 압밀을 위해 많은 시간이 필요하다는 등의 다양한 문제에 직면하게 된다. 최근까지 경제성과 효과면에서 탁월한 시멘트를 이용한 준설점토의 처리 등에 많은 연구 성과가 발표되고 혹은 현장에서 효과적인 처리방법으로 사용되고 있지만, 시멘트 자체가 지반 내에서 6가크롬이나 수은 등의 중금속을 유출하는 경우 환경 부하의 증가 뿐만 아니라 지하수를 통한 오염 확산 등에서 우려되는 점이 없지 않다. 따라서 가급적 시멘트 혼합비를 낮출 수 있는 방안에 대한 검토가 이루어져야 한다는 것이 저자들의 판단이며 이를 위해 빈배합 시멘트 혼합점토의 거동에 대해 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 특히 압밀 특성에 초점을 맞추어 분석하였으며 연구 결과 압밀 침하량의 억제와 압밀속도의 증가가 동시에 나타나는 시멘트 고화제 혼합비 시작점은 4%~6% 정도인 것을 확인하였다.

주요어 : 준설점토, 빈배합 혼합 처리, 압밀, 일축압축강도

1. 서 론

사회간접자본 건설 등 대규모 산업시설 확충과 재정비, 지속적인 항로유지와 오염해역 준설에 따라 매년 대량의 준설토가 발생되고 있다. 또한 국토해양부의 발표에 따르면 약 5억 톤 규모의 준설점토가 4대강 정비 사업에서 발생한다고 한다(한국수자원공사, 2008). 이와 같이 매년 증가하는 준설점토의 처리 방법과 처리비용이 환경적, 경제적인 사회 문제로 대두되고 있다. 준설점토의 처리는 기본적으로 외해 투기와 육상매립에 의존하고 있다. 하지만 외해투기의 경우 해양 생태계 파괴문제를 일으킬 수 있다는 국내외의 지적이 있으며 국제협약에 의해 규제될 움직임에 의해 향후 해양투기는 어려운 상황으로 전개되고 있다. 육상매립 또한 매립

을 하기 위한 투기장의 부지 확보와 건설비용의 증대와 같은 문제점이 발생하며 꾸준히 증가되고 있는 준설점토의 효율적 처리와 재활용이 필요하다. 그렇기 때문에 매립재료의 가격 증가와 매해 증가하는 준설점토의 처리문제를 해결하기 위해 준설점토를 매립과 치환의 재료로 재활용하는 방법이 경제적, 환경적인 문제해결을 위해 사용되고 있다. 하지만 준설점토로 매립되어진 지반은 공학적으로 고풍수비의 강도가 낮은 슬러리 상태의 지반이다. 그래서 지반의 안정 기간이 수개월 내지는 수년이 소요되며 건설장비의 시공성을 확보하지 못한다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 준설매립지반 표층이나 심층부에 개량효과가 뚜렷하고 경제적인 시멘트나 석회와 같은 고화제를 공급하여 준설매립지반을 개량하는 방법이 주로 사용되고 있다. 시멘트 혼합

1) 정희원, 충주대학교 토목공학과 석사과정

2) 정희원, 한국사이버대학교 소방방재학과 조교수

3) 정희원, 충주대학교 토목공학과 교수

† 정희원, 충주대학교 토목공학과 교수(E-mail : bjlee@cjnu.ac.kr)

방식은 뚜렷한 지반개량의 효과와 경제적인 효율성 등으로 많은 공법에 사용되고 있다. 하지만 시멘트 고화제를 사용하여 준설패립지반을 개량하는 방법은 지정폐기물로 지정된 유해중금속인 수은(Hg)과 6가크롬(Cr⁶⁺)이 현장주변에서 용출되는 문제점이 발생한다. 이와 같이 개량효과는 뚜렷하지만 환경적 문제를 가지고 있는 시멘트 고화제를 이용한 개량공법을 보다 친환경적으로 이용하는 방법이 요구되고 있다(천병식 등, 2003).

본 연구에서는 이 점에 주목하여 시멘트 고화제를 이용한 친환경적인 준설패립지반의 조기안정화 방안을 모색하기 위해 현장에서 사용되어지는 대표적인 시멘트 고화제 혼합비인 15~20% 보다 낮은 2~10% 시멘트 고화제를 혼합한 빈배합 혼합점토를 생성하였다. 그리고 혼합점토 시료를 점토시료의 액성한계 2배수를 함수비로 결정하여 교반하였으며 200kPa의 압력으로 예압밀 실시하였다. 이렇게 생성된 시료를 이용하여 일정변형률압밀시험(CRS)과 단계제하 압밀시험으로 빈배합 혼합점토의 변형특성과 선행압밀하중, 침하량과 압밀속도에 관련된 압밀 정수를 얻었다. 이 자료를 최종적으로 유사 설계시의 기초 자료로서 제공하는데 연구의 목적이 있다.

2. 압밀시험의 개요

2.1 시료조성

2.1.1 Kaolinite-Bentonite 혼합점토

본 연구에서 다양한 준설패립지반에서의 적용성과 고화제와 연약토 혼합의 용이성, 개량 강도의 극대화, 거동관찰의 용이성, 간극비의 증가를 위해 인공점토를 혼합하여 사용하였다. 카올리나이트는 수축과 팽창성이 작고 이온교환능이 낮기 때문에 양이온 교환능이 높은 특성을 가진 벤토나이트를 배합하여 사용하였으며 벤토나이트는 물과 같은 용매에 접촉하면 부피가 팽창하는 성질인 팽윤성(천병식 등, 2005) 때문에 각각의 인공점토의 배합비를 달리하여 교반과 3일간의 예압밀을 수행하였다. 각각의 배합비에서 예압밀 후의 점토시료의 높이와 배수상태를 비교하여 최종적으로 카올리나이트 90%에 벤토나이트 10%의 배합비를 결정하였다.

2.1.2 예압밀 시료 제작

본 연구에서 사용된 점토시료는 혼합을 위해 액성한계의 2배수를 함수비로 결정한 후 각각 결정된 혼합비의 고화제를 첨가하였다. 그리고 시료 교반기를 이용하여 인공점토와

시멘트고화제가 충분히 교반되도록 5시간 이상 교반 후 슬러리 상태의 혼합토를 #10체로 체기름을 실시하여 시험 중 발생하는 불순물을 제거하였다. 시료성형기에서 200kPa의 연직 수직응력으로 상, 하 배수를 통해 일차압밀 종료시까지 예압밀 하였다. 그림 1은 혼합점토시료의 예압밀 과정을 나타내고 있다.

2.1.3 시료의 물리적 특성

인공점토의 물리적 특성을 확인하기 위하여 비중, 액성한계, 소성한계 시험을 수행하였다. 시험결과를 정리하여 표 1에 나타내었다.

2.2 일정변형률압밀시험(Constant rate of strain)

일정변형률압밀시험은 일정한 속도로 시료에 연직변형을 발생시켜 변형발생에 따른 간극수압을 측정하고 연직유효응력과 그에 대응하는 변형률을 측정함으로써 연속적인 변형률과 유효응력과 같은 압밀정수를 산정할 수 있는 시험 방법이다. 이 시험을 통하여 각각의 배합비의 하중-간극비 곡선에 의한 선행 압밀하중 등의 압밀특성을 규명하였다. 본 연구에서 사용된 일정변형률압밀시험기는 그림 2에 제시된 바와 같이 국내 D사에서 제작된 압밀시험기이며 Servo system으로 자동으로 하중과 변위를 측정할 수 있는 시험 장비이다. 시험 중에는 내장된 DACA -510의 소프트웨어를 사용하여 시험기능을 제어하고 실시간으로 시험결과와 그



그림 1. 예압밀 셀

표 1. 인공점토의 기본 물성치

밀도	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수 (%)
2.68	67.18	33.33	33.85

래프를 표시하였고 데이터를 처리하였다. 셀 내부에 압밀링을 장착하고 시료상부에서 100kPa의 배압을 가하여 포화시킨 후, 시료 상부에 하중을 가하여 변형 및 하중을 측정하였다. 시료의 상부와 하부에 다공석판이 있고 직경과 높이가 6.0cm, 2.0cm인 압밀링으로 시료의 거동을 방지하였다. 또한, 연속적으로 하중을 가할 수 있도록 Servo control system으로 하중을 최대하중 5kN까지 제어하였다. 하중 재하시 하중변화를 장착된 로드셀에서 하중을 측정하였고 시료의 수직 변위를 측정 가능하도록 하였다.

표 2에서는 ASTM D4186-89(1989)에 제시된 일정변형률 속도 압밀시험 재하단계에 대한 추천변형률속도가 제시되어 있다. 이를 기준으로 본 연구에서는 ASTM D4186-89에서 일정변형률 압밀시험의 재하속도는 변형률속도의 1/10배를 적용한다는 규준을 바탕으로 변형률 제어속도 0.004mm/min을 적용하여 최대변위 8mm까지 하중재하시험을 실시하였다.

2.3 단계재하압밀시험

본 연구에서는 일정변형률압밀시험과 마찬가지로 압밀 특성을 규명하기 위해 동일한 초기 응력을 갖는 시료에 KS F 2316에 규정되어 있는 방법으로 일차원압밀시험을 실시하였다. 하지만 단계재하압밀시험의 경우 최대하중이 1254.4kPa

이며 시멘트 혼합비가 증가할수록 선행압밀하중이 상승하여 최대 하중 범위 내에서 압밀 변곡점이 얻어지기 어려웠다. 따라서 혼합비 6%까지의 시료만을 대상으로 단계재하 압밀시험을 수행하였다.

3. 빈배합 혼합점토의 압밀특성

3.1 초기 간극비

각각의 혼합비에서의 초기 간극비를 측정하여 그 변화를 그림 3과 같이 나타내었다. 시멘트 고화체의 혼합비가 높아짐에 따라 초기 간극비가 증가함을 확인할 수 있으며 혼합비 0%~2% 사이에서는 초기 간극비의 변화가 0.02~0.04의 변화가 있었지만 혼합비 2%~4%단계를 시작으로 매 단계별로 0.1~0.2크기로 초기 간극비의 증가가 나타났다. 이는 혼합비 4%이하에서 초기 간극비의 증가함수와 혼합비 4%이상에서의 초기 간극비의 증가함수가 서로 다르며 혼합비 4%에서 두 함수의 교차점이 생성됨을 의미한다. 그 두 가지의 증가함수를 정량적으로 식 (1)과 같이 나타내었다.

$$e_0 = 0.035 \cdot MR + 1.773 \quad (MR \geq 4)$$

$$e_0 = 0.07 \cdot MR + 1.653 \quad (4 < MR \leq 10) \quad MR = \text{Mixing Ratio} \quad (1)$$

초기 간극비의 증가는 점토시료 입자사이의 시멘트 고화체 혼합에 따른 고결 및 경화작용을 통한 강도발현이 원인이며 혼합점토의 강도와 점착력이 증가하여 압밀압력에 저항하는 압밀저항력이 증가하여 초기 간극비가 증가하는 것으로 판단된다. 그리고 이 현상은 혼합비 4%이상에서 두드러지게 나타났다.

3.2 하중-간극비 곡선

그림 4는 각각의 혼합점토를 시멘트 혼합비에 따라 수직



그림 2. 일정변형률압밀시험기

표 2. 일정변형률압밀시험 시험의 추천 변형률속도(ASTM D4186-89)

Liquid Limit (%)	Strain Rate (%/min)
up to 40	0.04
40-60	0.01
60-80	0.004
80-100	0.001
100-120	0.0004
120-140	0.0001

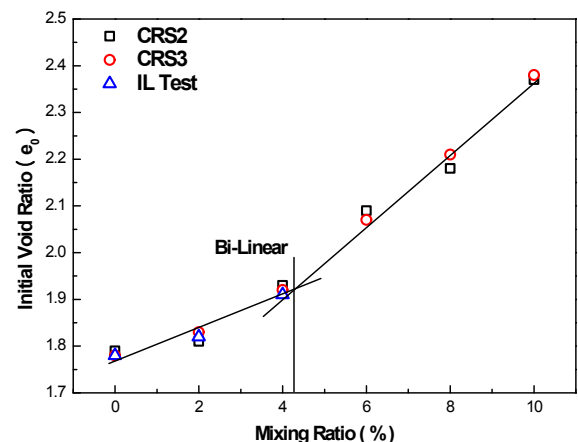


그림 3. 초기 간극비

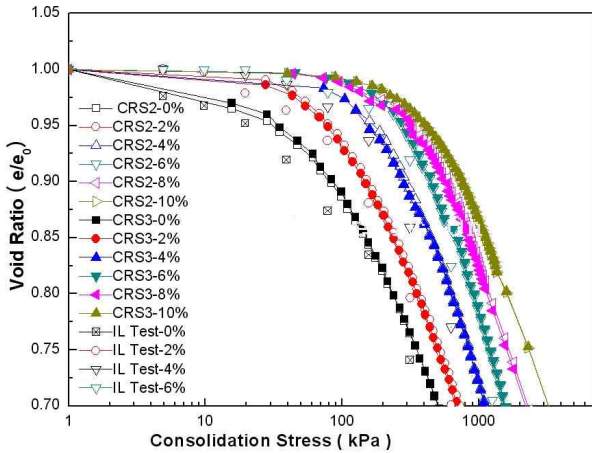


그림 4. 하중-간극비 곡선

하중(logP)과 간극비/초기 간극비(e/e_0) 관계곡선을 나타내었다. 시멘트 고화제의 혼합비가 증가할수록 초기 간극비가 증가하기 때문에 선행압밀하중과의 비교를 위해 하중(logP)과 간극비/초기 간극비(e/e_0)를 사용하였다. 시멘트를 배합하지 않은 시료(0%)의 일정변형률압밀시험과 단계재하시험을 통해 평가된 선행압밀하중(P_c)은 예압밀 단계에서 재하한 연직압밀응력 200kPa보다 작은 160kPa 정도로 나타났으며, 이러한 선행압밀하중 감소는 예압밀 셀 측면에서 발생하는 벽면 마찰이 원인인 것으로 판단된다.

시멘트 고화제 혼합비가 증가할수록 하중-간극비 곡선에서 선행압밀하중 이전의 과압밀 영역이 증가하는 의사 과압밀 현상이 두드러지게 나타났다. 이는 초기 간극비의 증가와 마찬가지로 점토시료 입자사이에서 시멘트 고화제의 고화와 고결작용과 같은 점착력의 증가와 강도 발현에 따른 현상으로 해석된다.

3.3 선행압밀하중

그림 5는 각각의 시멘트 혼합비에 따른 혼합점토의 선행

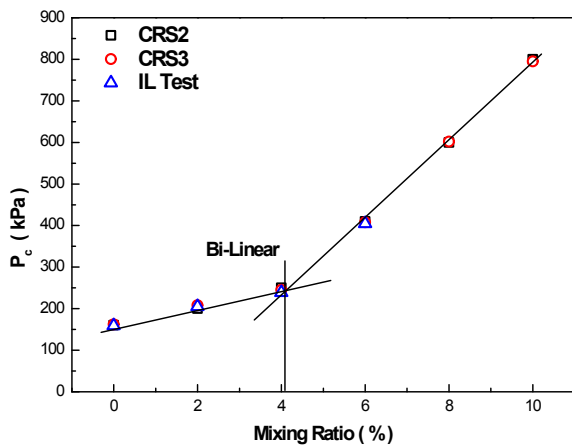


그림 5. 선행압밀하중

압밀하중의 변화를 그래프로 나타내었다. 선행압밀하중(P_c)의 산정방법은 Casagrande의 평가방법을 사용하였다. 시멘트 고화제 혼합비가 증가할수록 의사 과압밀 현상에 의하여 선행압밀하중의 증가가 뚜렷하게 나타나는 경향을 확인하였으며 0~4%에서의 단계에서는 약 10~15%의 선행압밀하중 증가가 나타났지만 4~6%의 혼합비에서는 약 40%~50% 이상의 선행압밀하중 증가가 나타났다. 이 증가함수를 혼합비 4%를 기준으로 4%이하의 증가함수와 5%이상의 증가함수를 정량적인 함수로 식 (2)와 같이 나타내었다.

$$P_c = 22.5 \cdot MR + 158.33 \quad (MR \geq 4)$$

$$P_c = 92 \cdot MR + 129.08 \quad (4 < MR \leq 10) \quad (2)$$

3.4 압축지수

그림 6은 압밀하중에 따른 압축지수의 변화를 그래프로 나타내었다. 그리고 그림 7은 하중-간극비 곡선에서 처녀압밀곡선 기울기로 산정된 혼합비에 따른 압축지수의 그래프이다. 시멘트 고화제의 혼합비가 증가할수록 압축지수는 감

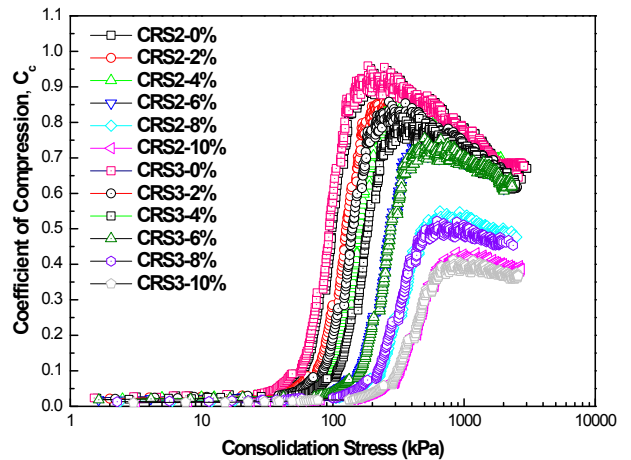


그림 6. 압밀하중-압축지수

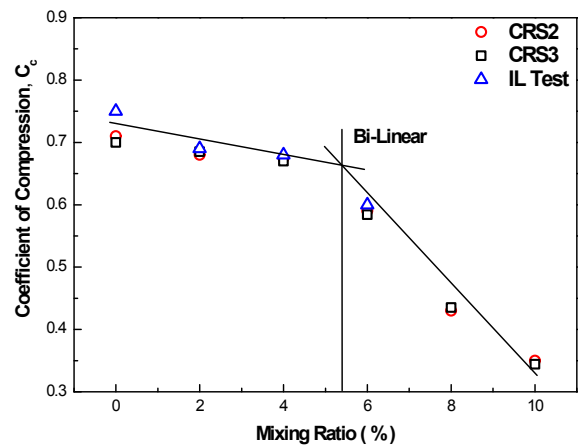


그림 7. 혼합비-압축지수

소하는 경향을 보이고 있다. 6%의 시멘트 고화제 혼합비까지는 0.7~0.59의 압축지수 값을 나타내지만 혼합비 6% 이상에서는 압축지수가 0.35~0.43으로 압축지수의 감소현상이 나타났다. 이는 압밀하중이 재하 되었을 때 시멘트 혼합비가 증가할수록 침하량이 적다는 뜻으로 해석된다. 그리고 압축지수가 큰 쪽으로 감소하는 혼합비인 4~6%사이에서 고화와 고결 등과 같은 작용으로 강도 발현을 통해 압밀침하량의 감소가 시작되는 최소의 혼합비가 존재함을 압축지수로 확인하였다. 압축지수의 감소함수를 혼합비 4%이하의 감소함수와 5%이상의 감소함수를 식 (3)과 같이 나타내었다.

$$C_c = -0.0088 \cdot MR + 0.705 \quad (MR \geq 4)$$

$$C_c = -0.0568 \cdot MR + 0.981 \quad (4 < MR \leq 10) \quad (3)$$

압축지수의 값은 흙에 따라 차이가 많으나 대표적인 값은 다음과 같다(백영식, 2007).

$$C_c = 0.2 \sim 0.9$$

이를 바탕으로 빈배합 혼합점토의 압축지수는 대표적인 흙의 범위에 존재함을 확인하였다.

3.5 체적변화계수

그림 8은 압밀응력에 따른 체적변화계수의 변화를 그래프로 나타내었다. 압축지수와 마찬가지로 압밀침하량과 연관되어있는 체적변화계수도 시멘트 고화제의 혼합비가 증가할수록 감소하는 경향이 나타났으며 6%이상의 혼합비에서 큰 폭으로 체적변화계수가 감소하였다. 압밀침하량 산정에 중요한 인자인 압축지수와 체적변화계수의 실내 시험 결과로 보아 4%이하의 혼합비에서는 시멘트 혼화제가 혼합

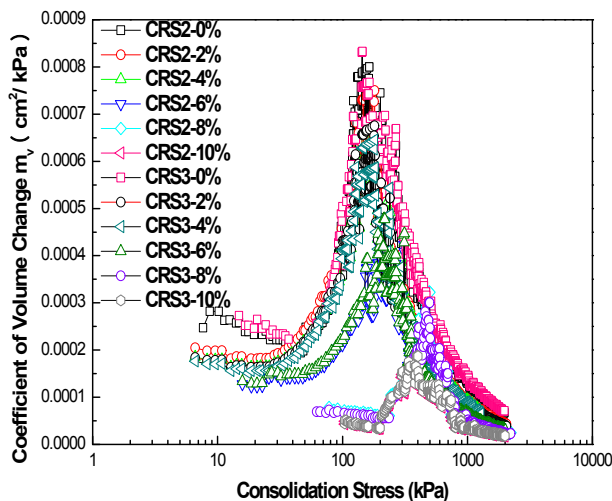


그림 8. 하중-체적변화계수

되더라도 압밀침하량 억제 측면에서는 큰 효과가 없는 것으로 판단된다.

3.6 압밀계수

압밀응력에 대한 혼합비별 혼합점토의 압밀계수를 그림 9에 나타내었다. 그리고 그림 10은 압밀압력이 1000kPa일 때의 압밀계수를 나타내었다. 압밀계수는 시멘트 고화제의 혼합비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 시멘트 고화제 혼합비가 증가할수록 고화작용과 고결작용에 따른 초기 간극비의 증가로 인해 압밀계수가 증가하는 것으로 판단되며 4%를 기준으로 압밀계수의 증가 폭이 상승함을 확인할 수 있다. 압밀압력이 1000kPa일 때 혼합비 4%를 기준으로 교차하는 4%이하의 증가함수와 5%이상의 증가함수를 식 (4)와 같이 나타내었다.

$$C_v = 12.367 \cdot MR + 92.139 \quad (MR \geq 4)$$

$$C_v = 47.091 \cdot MR + 112.71 \quad (4 < MR \leq 10) \quad (4)$$

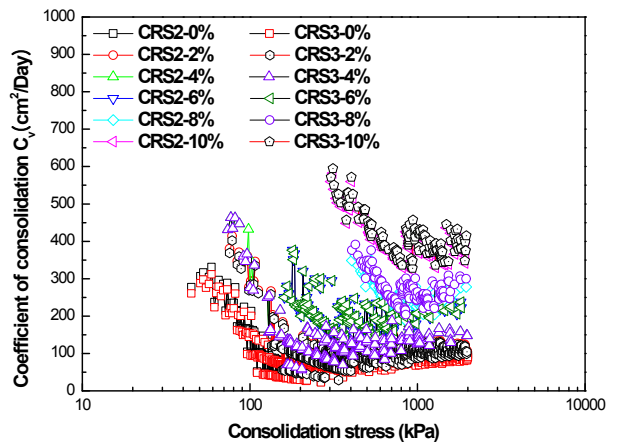


그림 9. 하중-압밀계수

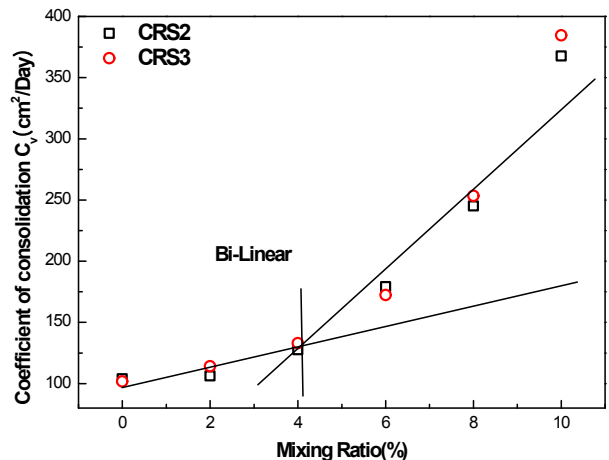


그림 10. 압밀압력 1000kPa인 경우의 압밀계수

3.7 투수계수

그림 11은 압밀응력에 따른 투수계수의 변화를 그래프로 나타내었다. 투수계수도 압밀계수와 시멘트 고화제의 혼합비가 높아질수록 투수계수 또한 증가하는 것으로 나타났다. 시멘트 고화제의 혼합비가 증가할수록 초기 간극비가 상승하고 이를 바탕으로 투수성이 커져 시멘트 고화제의 혼합비가 증가할수록 투수계수가 증가하는 것으로 판단된다.

3.8 일축압축강도

본 논문은 시멘트 혼합점토의 압밀특성에 초점을 맞추어 실험결과가 분석되었다. 그러나 일반적으로 시멘트 혼합점토의 설계는 일축압축강도를 기준으로 이루어지는 경우가 대부분이므로 일축압축강도와 압밀특성의 비교 역시 의미있는 분석이라고 판단된다. 물론 강도특성에 대해서는 추후 발표된 논문 등을 통해 상세한 분석 및 결과 고찰이 이루어질 예정이며 본 논문에서는 단순히 일축압축강도를 제시하는 수준에서 비교 검토하고자 한다. 그림 12는 본 연구에서 설정한 다양한 혼합비에서의 일축압축강도의 변화를 보이고 있다.

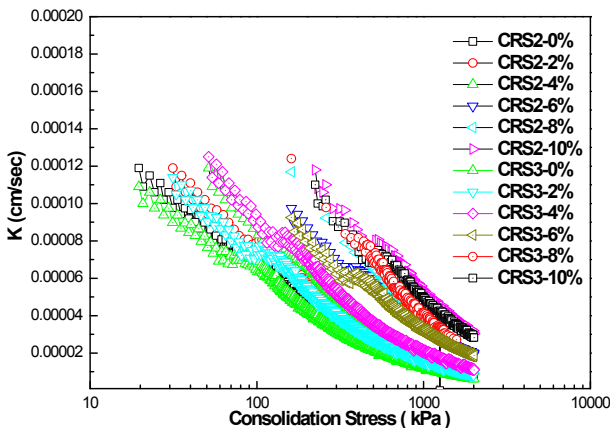


그림 11. 하중-투수계수

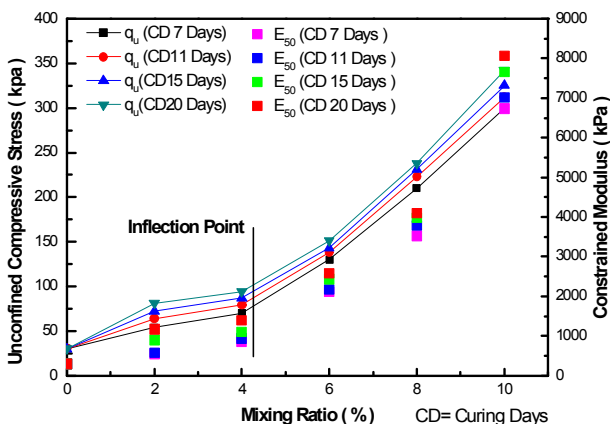


그림 12. 일축압축강도와 변형계수

일축압축강도측면에서도 압밀특성과 마찬가지로 공학적 성질이 크게 개선되기 시작하는 변곡점이 존재하며 대체적으로 혼합비 4~6% 사이에 존재하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

준설패립지반의 친환경적인 안정화 방안 및 유효이용을 위해 빈배합 혼합점토를 이용하여 일정변형률압밀시험과 단계재하압밀시험을 수행하였으며, 시험결과에 근거하여 다음과 같이 결론을 얻었다.

- (1) 압밀침하량의 저감 및 압밀속도 증대 등 혼합 점토의 물리·역학적 성능 개선 효과가 두드러지게 나타나기 시작하는 혼합비는 4~6%에 존재함을 확인하였다.
- (2) 시멘트 고화제의 혼합비가 커질수록 초기 간극비가 증가 하였으며 4%를 기준으로 초기 간극비가 큰 폭으로 증가하는 변곡점이 발견되었다. 이는 시멘트 고화제가 점토 입자사이에서 고화와 고결현상과 같은 이유로 강도발현을 하기 때문에 압밀하중에 저항하는 압밀저항력이 높아졌기 때문이다.
- (3) 하중-간극비 곡선에서도 시멘트 고화제의 혼합비 증가에 따라 과압밀 영역이 증가하는 의사과압밀현상이 나타났다으며, 과압밀 영역의 증가로 인해 선행압밀하중 증가가 뚜렷하게 나타났다. 선행압밀하중 역시 4%~6%의 범위에서 강도가 큰 폭으로 증가하는 변곡점을 발견할 수 있었다.
- (4) 압밀침하량과 관계된 압축지수와 체적변화계수는 시멘트 고화제의 혼합비율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 확인하였으며, 혼합비 6%를 기준으로 감소폭이 증가하는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상은 시멘트 고화제 혼합비가 높아질수록 강도발현을 통한 압밀저항의 증가로 압밀침하량이 감소하기 때문이다.
- (5) 압밀속도와 관계된 압밀계수와 투수계수는 시멘트 고화제의 혼합비가 증가할수록 증가하는 경향이 나타났다. 또한 혼합비 4%~6%를 기준으로 압밀계수와 투수계수가 큰 폭으로 증가하는 변곡점이 나타났다. 이는 혼합비의 증가에 따른 초기 간극비의 증가와 투수성의 증대로 해석할 수 있다.
- (6) 빈배합 혼합점토의 압밀 특징은 시멘트 고화제의 혼합비가 증가할수록 시멘트 고화제가 점토 입자사이에 결합하여 점착력 증가와 고화 및 고결작용으로 강도발현을 일으킨다. 이를 통해 압밀압력에 저항하는 압밀저항력이 증대되어 혼합비 증가에 따라 초기 간극비가 증가

하였다. 초기 간극비 증가에 따른 점착력의 증가와 강도 발현에 따라 압밀침하량에 관련된 압밀정수인 압축지수와 체적변화계수는 감소하였다. 반면에 초기 간극비 증가에 따른 투수성 증대로 압밀속도와 관계된 압밀계수와 투수계수는 증가하였다.

참 고 문 헌

1. 백영식 (2007), *강의식으로 풀어쓴 토질역학*, 구미서관, p. 410.
2. 천병식, 박재우 (2005), 벤토나이트 황토 모래를 혼합한 투수벽체의 지반공학적 특성에 관한 연구, *한국지반환경공학회논문집*, Vol. 6, No. 4, pp. 5~13.
3. 천병식, 이재영, 서덕동 (2003), 시멘트계 주입재 종류별 주입 특성 및 환경적 영향 연구, *한국지반공학학회논문집*, Vol. 19, No. 2, pp. 159~170.
4. 한국수자원공사 (2008), *EcoRiver21*, p. 33, 282, 306, 327.
5. ASTM (1989), *Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soil Using Controlled-Strain Loading*, ASTM D4186-89, pp. 1~5.

(접수일: 2009. 11. 30, 심사일: 2009. 12. 23, 심사완료일: 2010. 3. 3)