

반복재하에 의한 고막껍질-황토 혼합토의 변형 특성

Deformation Characteristics of Granular Ark Shell-Loess Mixtures due to the Cyclic Loading

장용채¹⁾, Yong-Chai Chang, 서지웅²⁾, Ji-Woong Seo, 이승은³⁾, Seung-Eun Lee, 이강일⁴⁾, Kang-Il Lee

1) 목포해양대학교 해양토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Ocean Civil Eng Mokpo National Maritime University

2) 목포해양대학교 해양토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Ocean Civil Eng Mokpo National Maritime University

3) 목포해양대학교 해양토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Ocean Civil Eng Mokpo National Maritime University

4) 대전대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng Daejin University

SYNOPSIS : In our country where over 80% of land is mountainous, decomposed granite soils are often used as building materials for civil engineering works. Seashores are having great difficulties in management and treatment of marine byproducts that are left vulnerable. It is necessary to find a way to efficiently utilize such vulnerable marine byproducts.

For this reason, shell and ocher were mixed together in order to efficiently utilize ocher that is being used frequently as a building material in civil works and shell that is a type of marine byproducts being thrown away.

The purpose of this study is to examine the extent to which shell-ocher mixture can reduce liquefaction through cyclic triaxial test.

The author of this study aims to provide the possibility for application at construction site of shell-ocher mixture.

Keywords : Cyclic triaxial test, Marine byproducts, Shell-Ocher mixture

1. 서론

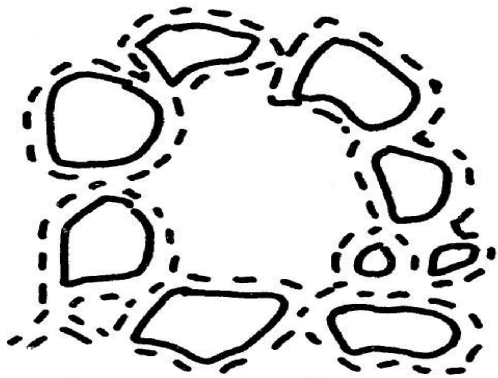
국토의 80% 이상이 산지인 우리나라에서는 도로, 철도, 공항건설 및 택지조성 등의 토목공사에 화강 풍화토를 절·성토 등의 건설재료로 많이 사용하고 있다. 액상화 현상이 주로 실트질 모래(SM) 지반에서 일어난다는 인식 때문에 화강풍화토의 일종인 황토에 대해서 토질 동역학적 성질을 잘 모르고 있으며 이러한 지반은 안전하다는 선입견과 인식 때문에 많은 연구가 이루어지지 않는 실정이다. 또한 대개의 화강풍화토는 지지력도 크고 투수성도 양호해서 안정된 지반이라고 인식되어 왔다. 하지만 화강풍화토라 하여도 그 종류가 많고 각각의 특성이 다르며 따라서 응력 상태에서의 거동이 달라 이와 같은 특성의 차이를 잘 이해해두지 않으면 안 된다.

따라서 본 연구에서는 화강풍화토의 일종인 황토가 액상화 현상에 어떻게 반응하느냐와 황토를 해양 부산물의 일종인 고막껍질과 혼합한 고막껍질-황토 혼합토가 액상화 현상에 얼마나 저항하느냐에 따라 건설재료로 많이 사용되고 있는 황토에 고막껍질을 어느 정도까지 혼합하여 현장에 적용할 수 있느냐에 대해 알아보려고 한다.

2. 황토의 개요 및 특성

2.1 황토의 정의 및 일반적 성질

황토를 뜻하는 이름인 ‘Loess’는 풍성퇴적(風成堆積, 바람에 의한 퇴적작용)기원이라는 의미를 내포하고 있으며, Loess는 느슨하게 교결(膠結)되었다를 의미한다. ‘Loess’는 독일어에서 비롯되었으며 이 용어는 1821년경 라인 계곡에 최초로 적용되었으며, 두꺼운 황토층은 두께 1~5m의 황토단위 층으로 구성되어 있다. 각각의 황토 단위층은 황토층 또는 황토와 유사한 퇴적층을 협재(挾在)하고 있으며, 고토양층, 모래층 및 이들과 유사한 물질을 포함하고 있다.



(a) 황토의 붕소구조와 입자내 공극
(Miao and Wang, 1991)



(b) 시험에 사용된 무안황토

그림 1. 황토내의 입자의 공극

황토내의 입자의 공극은 그림 1과 같이 묘사되었는데 입자간의 직접적인 접촉이 없고 바인더 물질에 의해 간접적으로 결속되어 있음을 보여준다. 따라서 황토의 강도는 그 바인더물질의 강도에 지배된다. 황토는 모래가 적은 분말이 주성분이어서 과거부터 주로 건축자재로 사용되어, 토담을 만들거나 초벽하는데, 기와를 이거나 맞담 쌓는데, 구들을 놓거나 부뚜막을 거는 데 사용되었던 흙이다. 우리나라의 황토층은 선캄브리아기에 속한 지질이 대중을 이루고 있다는 것이 일반적인 견해이며, 규석과 장석이 많이 혼합되어 있고, 그 다음 석회석도 혼합되어 있다.

2.2 황토의 기본적인 공학특성

황토는 건조밀도가 낮고 간극비가 크며 소성도는 낮은 것을 알 수 있다. 소성도(plasticity chart)에서는 A-line위에 나타나며 CL과 CL-ML영역에 떨어진다. 내부 마찰각은 19~29°이며 점착력은 작고 압축계수(coefficient of compressibility)는 커서 예민비가 중간정도인 보통 정규압밀 점토의 압축성과 비슷하다. 황토입자의 비중은 대체로 2.70 전후이며 자연 함수비는 3~18%이다. 미국에서는 홀츠와 깁스(Holtz, W.G and H. J. Gibbs)가 1951년에 그림 2.7에 보인 것처럼 황토를 입도분포에 따라 사질황토(sandy loess), 실트질 황토(silty loess), 그리고 점토질 황토(clayey loess)로 구분하였는데 약간 수정되어 지금까지도 사용되고 있다 (Higgins & Modeer, 1996).

한편 순수한 석영입자는 비소성(NP)이지만 황토가 소성을 갖는 것은 점토성분을 함유하고 있기 때문이며 따라서 주(Zhu, 1991)는 소성지수(PI)값에 따라 $4 \leq PI < 6$ 이면 사질황토, $6 \leq PI < 17$ 이면 실트질 황토, 그리고 $PI \geq 17$ 이면 점토질 황토로 분류할 것을 제안하였다.

3. 액상화 현상

3.1 액상화의 정의 및 기본이론

3.1.1 개요

액상화 현상은 토질공학적 측면에서 볼 때 가장 흥미롭고도 복잡한 현상중의 하나이다. 액상화는 느슨하고 포화된 흙에서 관찰되는 수많은 관련현상을 설명하는데 이용되어 왔다. 어떤 지반이 액상화가 쉽게 일어날 가능성이 있는 지반이라고 해서 주어진 어떤 지진하에서도 반드시 액상화가 발생한다는 것을 의미하지는 않는다. 즉 액상화가 일어날 것인지를 논할 때 액상화 관련현상을 반드시 고려해서 평가해야 한다.

3.1.2 액상화의 정의

비배수 상태의 느슨하고 포화 사질토 지반에 진동, 폭파, 지진 등의 순간적인 반복하중으로 발생한 전단응력은 지반의 변형을 일으키며, 이러한 과정에서 과잉간극수압의 발생과 동시에 유효응력이 감소하게 되어 지반의 전단저항을 잃고 액체와 같이 거동하는 현상이다.

3.1.3 액상화의 기본기본 Mechanism

건조시킨 모래를 용기에 넣고 용기를 두드리면 모래가 잘 다져져서 표면이 침하하는 것은 누구나 알고 있는 일이지만, 모래가 포화되어 있는 경우는 입자 간에 존재하는 물이 모래가 보다 조밀하게 다져 지려고 하는 성질을 막기 때문에 간극수압이 상승하고 그로 인해 유효응력이 저하한다. 극단적인 경우로서 유효응력이 '0'이 되면 전단강도도 '0'이 되어 모래는 액체와 같이 된다. 지진 또는 충격하중에 의한 액상화는 이와 같은 Mechanism에 의해 발생한다.

3.2 액상화 현상의 고막겉질-황토 혼합토에의 적용

액상화 현상은 주로 실트질모래(SM)지반에서 일어난다. 하지만 액상화 현상이 일어날 수 있는 지반이라서 해서 지진 시 반드시 액상화 현상이 일어나는 것이 아니며, 반대로 생각해서 황토와 같은 지반은 액상화 현상이 일어나지 않는 지반이라고 인식되어 지진 시 완전히 안전하게 생각하는 그러한 선입견 때문에 액상화 현상을 고려하지 않으면 안 된다는 사실이다. 따라서 액상화가 잘 일어난다고 인식되어 왔고 연구되어 왔던 실트질모래 지반 외에도 모든 지반에 대해서 액상화 현상에 대하여 한번쯤 생각해 보고 고려하고 짚고 넘어갈 필요가 있다.

또한, 해양부산물인 고막겉질을 황토와 혼합하여 고막겉질-황토 혼합토의 액상화 가능성에 대해서 연구를 수행한 후 현장적용성에 대해 평가를 해 볼 필요도 있다.

4. 고막겉질-황토 혼합토의 실내시험 종류 및 방법

4.1 반복삼축시험 시험장비

본 연구에서 사용한 삼축시스템은 미국 GEOCOMP Corporation의 Allen Marr가 개발한 완전자동화 삼축시험기(Fully Automated Triaxial Testing System)이다. 이 시험기는 각각의 셀과 샘플에 압력과 체적변화량을 측정, 제어할 수 있고 시료에 응력과 변형률을 제어할 수 있는 시스템을 내장한 Flow

Trac II units 부분과 변위와 하중을 측정하고 시료에 축차응력을 제어할 수 있는 시스템을 내장한 Load Trac II load frame 부분 그리고 실제로 실험이 실시되는 실행부분인 시료를 포함한 Triaxial test chamber 부분으로 구성되어 있다. 이러한 장치들은 Triaxial test software를 포함한 컴퓨터시스템과 네트워크로 연결되어 각각의 모든 장치들을 컴퓨터에서 직접 제어할 수 있고 결과를 자동으로 저장하는 완전 자동화 시스템이다.



그림 2. 완전 자동화 삼축시스템의 제원

4.2 시료의 채취 및 조제 방법

시료는 황토와 고막껍질을 준비하였으며 황토와 고막껍질을 혼합하여 시험을 수행하였다. 본 연구에 사용한 황토와 고막껍질은 다음과 같다.



(a) 무안황토

(b) 어긋물린새고막

그림 3. 시험에 사용된 황토와 꼬막

4.2.1 황토

황토 시료를 채취함에 있어서 전라남도 무안군 망운면에 위치한 황토를 불교란 상태로 시료를 채취하는 것이 불가능하여 모두 표토를 약 1.0m 정도 제거한 후 지중에 존재하는 시료를 교란상태로 채취하였다. 시료는 입경이 큰 자갈이나 이물질 등을 제거한 후 동일성을 확보하기 위하여 #4(4.75mm)체를 통과한 시료를 사용하였다.

4.2.2 고막껍질

본 연구에 사용된 고막껍질은 ‘어긋물린새고막’이라고 불리는 것으로 조간대 밑으로부터 수심 약 20m의 모래 바다에 서식하는 것으로 시험을 실시하기 전에 있어서 고막껍질을 채취하여 이물질 제거를 위해 5회 이상 흐르는 물로 세척하여 건조로에 완전건조 시킨 후 분쇄시켜 황토 시료와 마찬가지로 #4(4.75mm)체 통과시킨 시료를 사용하였다.

4.2.3 고막껍질-황토 혼합토

황토와 고막껍질의 혼합비율은 중량비를 이용하여 황토의 무게만큼 고막껍질로 치환하여 사용하였으며, 본 연구에서의 준비된 시료는 황토100%, 고막껍질5%+ 황토95%, 고막껍질10%+ 황토90%, 고막껍질20%+ 황토80%, 고막껍질40%+ 황토60%, 고막껍질60%+ 황토40%로 6가지 시료를 준비하였고 이를 통한 해양 부산물 혼합토로서의 특성을 파악하여 정리하였다. 고막껍질100%의 액상화 평가는 황토100%를 고막껍질100%로 치환해서 사용한다는 것 자체가 의미가 없으므로 처음부터 시험에서 완전히 배제하였다.

4.3 실내시험 및 방법

실내시험으로는 함수비시험, 비중시험, 액·소성시험, 입도시험의 기본 물성시험과 액상화 발생가능성을 알아보기 위한 반복삼축시험을 실시하였다.

비중시험의 경우 KS F 2306에 규정된 #10체를 통과한 시료를 사용하였으며 이와 별도로 반복삼축시험을 위해 입자가 균등한 시료의 두 종류로 시험을 수행하였다.

액·소성시험의 경우 각각 KS F 2303, KS F 2304에 규정된 #40체 통과시료를 사용하여 시험을 수행하였다.

입도시험의 경우 KS F 2302, 2309의 규정에 따라 실시하였으며, 황토100%를 포함한 모든 고막껍질-황토 혼합토 시료를 시험전과 시험후의 입도분포시험을 하였다.

고막껍질-황토 혼합토에 대해서는 황토100%, 고막껍질5%+ 황토95%, 고막껍질10%+ 황토90%, 고막껍질20%+ 황토80%, 고막껍질40%+ 황토60%, 고막껍질60%+ 황토40%로 6가지 시료에 대해 액상화가능성을 평가하는 반복삼축시험을 실시하였다.

5. 시험 결과 및 분석

5.1 고막껍질-황토 혼합토의 물리적 특성

5.1.1 비중시험

KS F 2306에 규정된 #10체를 통과한 시료와 반복삼축시험을 위한 입자가 균등한 각 시료에 대해서 각각 3회의 비중시험을 수행하였고, 평균값을 취하여 아래의 그래프와 표에 나타내었다.

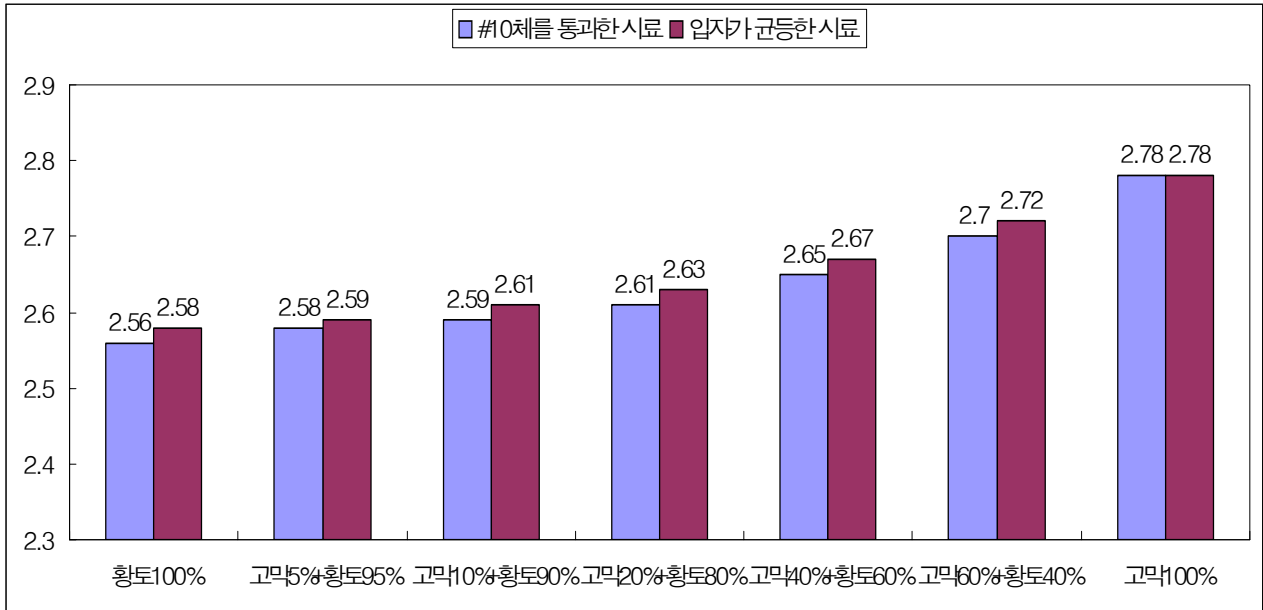


그림 4. 고막겹질-황토 혼합토의 비중 특성

표 1. 고막겹질 혼합비에 따른 비중 시험 결과

혼 합 비	#10체를 통과한 시료	입자가 균등한 시료
황토100%	2.56	2.58
고막겹질5%+ 황토95%	2.58	2.59
고막겹질10%+ 황토90%	2.59	2.61
고막겹질20%+ 황토80%	2.61	2.63
고막겹질40%+ 황토60%	2.65	2.67
고막겹질60%+ 황토40%	2.70	2.72
고막겹질100%	2.78	2.78

5.2.2 입도분포 시험

KS F 2302, 2309에 규정된 대로 시험을 수행하였다.

반복삼축시험을 수행하기 전의 입도분포 시험과 반복삼축시험을 한 후의 시료를 말려서 시험 후에 대해서 입도분포 시험을 통한 통일 분류를 나타내었다.

아래의 표는 시험전·후의 입도분포 시험에 의한 통일 분류를 나타낸 것이다.

표 2. 고막겉질 혼합비에 따른 입도분포시험 결과

혼 합 비	시험전의 통일 분류	시험후의 통일 분류
황토100%	SW-SC	SC
고막겉질 5%+ 황토95%	SW-SC	SC
고막겉질 10%+ 황토90%	SW-SC	SC
고막겉질 20%+ 황토80%	SW-SM	SW-SM
고막겉질 40%+ 황토60%	SW	SW-SM
고막겉질 60%+ 황토40%	SW	SW-SM
고막겉질 100%	SP	-

5.2.3 액·소성한계 시험

KS F 2303, KS F 2304에 규정된 #40체 통과시료에 대해 시험을 수행하였고 그 결과를 아래의 표에 나타내었다.

표 3. 고막겉질 혼합비에 따른 액·소성한계시험 결과

혼 합 비	액·소성 한계(%)		
	LL	PL	PI
황토100%	42.7	31.5	11.2
고막겉질 5%+ 황토95%	39.7	29.7	10.0
고막겉질 10%+ 황토90%	38.6	29.3	9.3
고막겉질 20%+ 황토80%	31.7	28.9	2.8
고막겉질 40%+ 황토60%	26.9	24.6	2.3
고막겉질 60%+ 황토40%	NP		
고막겉질 100%	NP		

5.2 반복삼축시험에 의한 고막겉질-황토 혼합토의 액상화 가능성 판정

5.2.1 입도분석에 의한 판정

Ishihara(1993)의 실험에 의하면 실내시험을 이용하여 액상화 저항을 평가하는 가장 간편한 방법은 입도분포를 이용하는 방법이다. 입도분포에 의한 액상화 발생가능성을 판단하면, 액상화 발생가능성이 있는 것으로 나타났다.

아래그림은 고막겉질-황토 혼합토의 입도분포곡선을 나타낸 것이다.

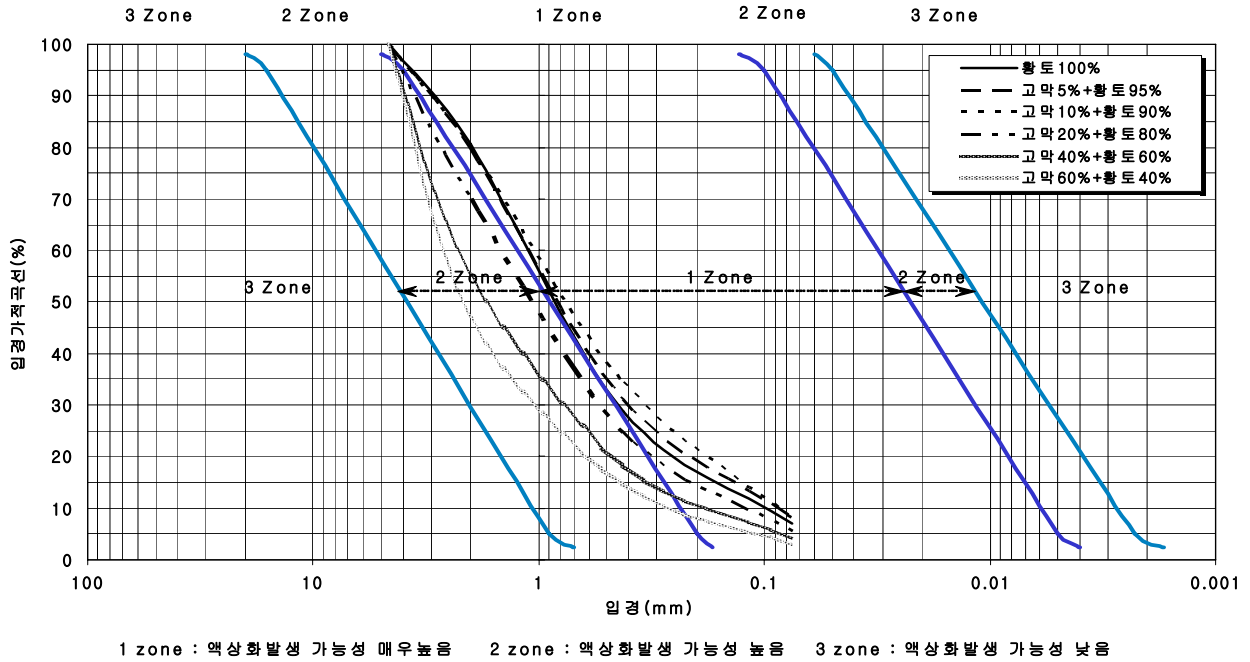


그림 5. Ishihara(1993)의 입도분포에 따른 액상화 평가

5.2.2 반복삼축시험을 이용한 반복응력비와 진동반복횟수에 의한 판정

포화되어 있는 느슨한 지반에 지진과 같은 동적인 반복 하중이 작용하면 과잉 간극 수압이 발생하게 된다. 과잉 간극 수압이 지반의 초기 유효 응력과 같아지면 지반은 전단강도를 상실하게 된다. 이와 같은 현상을 지반의 액상화 현상이라고 하는데 동적인 반복 하중을 받는 지반의 액상화 가능성을 평가하기 위해 일반적으로 반복삼축시험을 실시한다.

본 연구에서는 황토100%, 고막겉질5%+ 황토95%, 고막겉질10%+ 황토90%, 고막겉질20%+ 황토80%, 고막겉질40%+ 황토60%, 고막겉질60%+ 황토40% 시료에 대하여 비배수 상태에서 시료에 가해진 반복전단 응력비(Cyclic Stress Ratio)와 액상화가 발생하게 되는 시점에서의 반복재하횟수(Number of Cycles, N)와의 관계를 결정하는 것을 주목적으로 한다. 액상화의 판정은 국내기준(건설교통부 내진설계기준) 지진규모인 6.75를 고려한 액상화 저항응력비를 산정하기 위하여 반복재하횟수가 10회인 지점의 값을 기준으로 한다. 아래의 표의 액상화의 판정은 국내기준(건설교통부 내진설계기준) 지진규모인 6.75를 고려한 액상화 저항응력비를 산정하기 위하여 반복재하횟수가 10회인 지점의 값을 기준으로 한다. 이러한 지진규모별 등가진동 재하횟수를 나타낸 것이다.

표 4. 지진규모별 등가진동 재하횟수(Seed)

지진규모	5.25	6.00	6.75	7.50
진동재하 횟수	2~3회	5~6회	10회	15회

황토100%, 고막겹질5%+ 황토95%, 고막겹질10%+ 황토90%, 고막겹질20%+ 황토80%, 고막겹질40%+ 황토60%, 고막겹질60%+ 황토40%의 반복삼축시험 결과 반복전단응력비(CSR)와 반복재하횟수(N)의 관계를 그래프로 나타내면 아래의 그림과 같다.

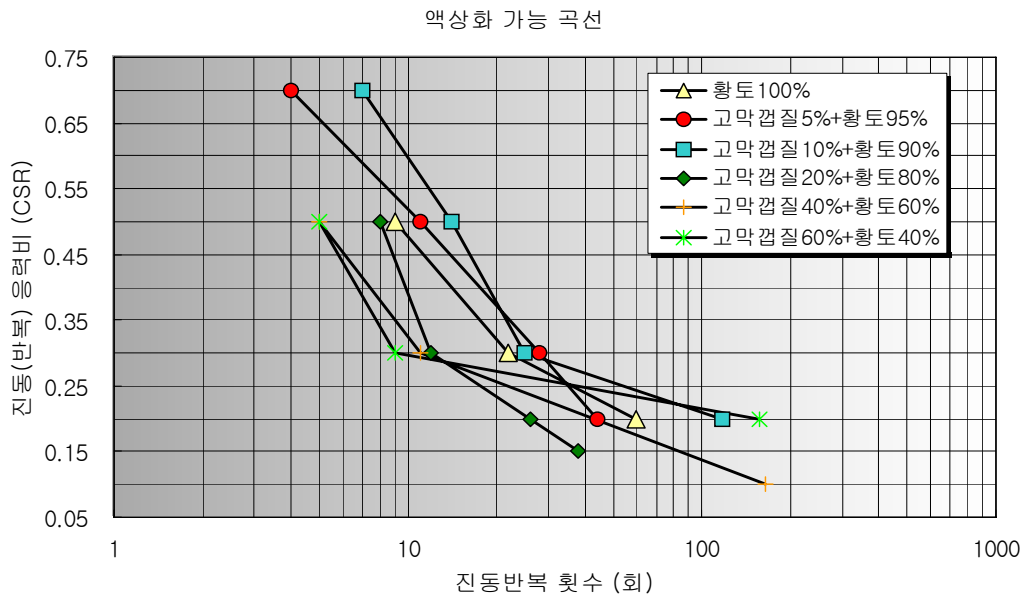


그림 6. 반복응력비와 반복재하횟수와의 관계 곡선(양진폭=10% 기준)

여기서 양진폭(DA) 10% 기준으로 진동반복횟수가 10회 일 때, 반복응력비(CSR) 값은 다음 표와 같다.

표 5. 진동반복횟수(N)10회 일 때 반복전단응력비(CSR) 값

혼 합 비	진동반복횟수(N)10회 일 때 반복응력비(CSR)
황토100%	0.480
고막겹질5%+ 황토95%	0.520
고막겹질10%+ 황토90%	0.590
고막겹질20%+ 황토80%	0.390
고막겹질40%+ 황토60%	0.325
고막겹질60%+ 황토40%	0.300

국내 내진 설계 표준서를 이용하여 설계지진가속도를 산정하기 위해서 아래 식과 같은 방법을 사용한다. 지표면 자유장 최대가속도 = 해당지역의 암반노두 최대가속도(설계지반운동 수준)×지반계수 식에서 해당지역의 암반노두 최대가속도 값은 설계 구조물의 내진성능 목표를 만족시키기 위한 최대가속도 값(설계지반운동 수준)이다. 본 연구에 사용된 황토는 전라남도 무안군에 속하며 무안군은 국내 내진 설계 표준서의 전라남도 남서부 지방에 속하며 행정구역으로 나타내면 행정구역Ⅱ구역에 속한다.

또한 설계지진 가속도는 I 등급이며 재현주기는 1000년에 속한다.

지반계수는 보통암지반을 기준으로 부지의 증폭현상을 고려하여 결정된 지반종류에 따른 계수이다.

지반 종류에 따른 지반특성치로는 무안지반은 단단한 토사지반으로 지반종류는 SD지반에 속한다.

아래의 표는 지반 종류에 따른 지반특성치를 나타낸 것이다.

표 6. 지반 종류에 따른 지반특성치

지반종류	지반계수	
	지진구역 I	지진구역 II
SA	0.82	0.71
SB	1.00	1.00
SC	1.18	1.14
SD	1.45	1.57
SE	2.00	2.43

따라서, 본 설계대상지역이 지진구역 I에 속하고 지반종류에 따른 분류로 SD 지반에 속하므로 내진설계 표준서에 따른 지표면 자유장 최대 가속도의 크기는 다음과 같이 산정이 가능하다.

표 7. 설계지진 가속도

구 분	설계지반운동 수준 기준	I등급 붕괴방지 수준	II등급 붕괴방지 수준
암반 노두 가속도 ①	행정구역 기준	0.154 g	0.120 g
지반계수 ②	SD지반	1.57	1.57
설계지진가속도 (①×②)	행정구역 기준 SD지반	0.242 g	0.188 g

액상화에 대한 평가는 지진응답해석에서 얻은 진동전단응력비와 실내시험에서 얻어진 저항전단응력비를 비교하여 판단한다. 상세예측법 평가시 기준안전율은 1.0으로 안전율이 1.0미만인 경우 대책공법을 마련하며, 1.0이상인 경우 액상화에 대해 안전한 것으로 판정된다.

$$F_L = \frac{\frac{\tau_l}{\sigma_z}}{\frac{\tau_d}{\sigma_z}} = \frac{\text{저항전단응력비}}{\text{진동전단응력비}} \geq 1.0 \quad \therefore \text{안전}$$

표 8. 내진 1등급일 때 액상화 안전율

혼합비	a_{max}	r_t (t/m ³)	심도 (m)	σ_z/σ'_z	전단 응력비	$(CRR)_{TXC}$	C_1	C_2	$(CRR)_{TXC}$ (보정)	안전율
황토100%	0.242	1.80	2.5	2.25	0.361	0.480	0.9	0.67	0.29	0.83
고막5% + 황토95%	0.242	1.80	2.5	2.25	0.361	0.520	0.9	0.67	0.31	0.87
고막10% + 황토90%	0.242	1.80	2.5	2.25	0.361	0.590	0.9	0.67	0.35	0.98
고막20% + 황토80%	0.242	1.80	2.5	2.25	0.361	0.390	0.9	0.67	0.23	0.65
고막40% + 황토60%	0.242	1.80	2.5	2.25	0.361	0.325	0.9	0.67	0.20	0.54
고막60% + 황토40%	0.242	1.80	2.5	2.25	0.361	0.300	0.9	0.67	0.18	0.50

표 9. 내진 2등급일 때 액상화 안전율

혼합비	a_{max}	r_t (t/m ³)	심도 (m)	σ_z/σ'_z	전단 응력비	$(CRR)_{TXC}$	C_1	C_2	$(CRR)_{TXC}$ (보정)	안전율
황토100%	0.188	1.80	2.5	2.25	0.281	0.480	0.9	0.67	0.29	1.03
고막5% + 황토95%	0.188	1.80	2.5	2.25	0.281	0.520	0.9	0.67	0.31	1.11
고막10% + 황토90%	0.188	1.80	2.5	2.25	0.281	0.590	0.9	0.67	0.35	1.26
고막20% + 황토80%	0.188	1.80	2.5	2.25	0.281	0.390	0.9	0.67	0.23	0.83
고막40% + 황토60%	0.188	1.80	2.5	2.25	0.281	0.325	0.9	0.67	0.20	0.69
고막60% + 황토40%	0.188	1.80	2.5	2.25	0.281	0.300	0.9	0.67	0.18	0.64

내진 1등급일 때의 액상화 안전율을 보면 황토100%를 포함한 고막겉질을 혼합한 고막겉질-황토 혼합토에서는 액상화 안전율이 1.0미만으로 액상화에 안정하지 않은 것으로 판단된다. 내진2등급으로 설계할 때에는 황토100%, 고막겉질5%+ 황토95%, 고막겉질10%+ 황토90% 혼합토가 안전율 1.0이상으로 액상화에 안전한 것으로 판단된다. 이상의 실험 결과로부터 고막겉질-황토 혼합토에서 고막겉질을 5%내지 10%정도는 어느 정도 현장에서 적용이 가능할 것으로 보인다.

5. 결 론

고막겉질-무안황토 혼합토의 반복삼축시험을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 황토100% 자체만으로는 액상화 여부를 판단할 때에는 내진2등급으로 설계시 안전율이 1.0이상이므로 액상화에 안전한 것으로 판단된다.
- (2) 무안 지역은 행정구역Ⅱ에 속하고 설계구역Ⅰ에 해당되어 내진1등급으로 설계해야 한다. 내진1등급으로 설계 했을때는 황토100%를 포함한 고막겉질-무안황토의 모든 혼합토에는 적용이 불가능하지만, 내진2등급으로 설계한다고 가정했을 경우 고막겉질5%+ 황토95% 혼합토와 고막겉질10%+ 황토90% 혼합토의 경우 안전율이 각각 1.11, 1.26으로 나타나 현장에 적용이 가능할 것으로 판단되어 진다.
- (3) 고막겉질 치환율 5%, 10%를 제외하고, 황토에 고막겉질을 20%, 40%, 60% 치환하여 사용한 결과 기대 했던 것과 달리 고막겉질 치환율이 높아질수록 액상화 발생 가능성은 오히려 더 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 해양부산물을 효율적으로 활용하고자 수행했던 고막겉질이 조립질 역할을 하여 액상화 현상을 더욱 부추기는 것으로 판단되어 진다. 따라서, 고막겉질을 10%이상 치환하여 사용한 무안 황토-고막겉질 혼합토는 실제로 현장에서 적용이 불가능한 것으로 나타났다.
- (4) 이상의 시험결과로부터 알 수 있듯이 소량의 고막겉질은 액상화에 대한 저항성을 높여주기 때문에 치환하여 사용이 가능하지만, 고막겉질 치환 사용량이 높아질수록 고막겉질이 조립질 역할을 하여 오히려 액상화 가능성을 부추기는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 길현길소, “모래지반의 액상화”, 圓技術
2. 국내 내진 설계 표준서
3. 정두영·이광준, “적황색토화된 화강암질 풍화잔적토의 화학적 풍화특성에 관한 연구”, 한국지반공학회지 재 12권 제 4호
4. 황진연, “우리나라 황토(풍화토)의 구성광물 및 화학성분”, 한국광물학회지 제13권 제 3호
5. Aoyama, K., 作 박춘식 역, “풍화토의 특성”, 도서출판 엔지니어즈