

굴패각을 활용한 황토의 공학적 특성

Engineering Characteristics of Loess Mixed with Oyster Shell

장용채[†] · 홍관표¹⁾ · 이승은²⁾

Chang, Yongchai · Hong, Kwanpyo · Lee, Seungeun

ABSTRACT : Recently loess are used as design and construction materials in some construction sites. However, many problems have come to the fore because the loess was considered merely as ordinary soil, not taking the engineering characteristics of loess into account at all. The purpose of this study is to effectively mix and use the oyster shell-which is the byproduct of oyster farming in the clean and pure water zone of Southwestern region-with loess in a bid to increase the utility, considering that loess itself has the limit for civil engineering purpose, and research the usability of oyster shell as an alternative material for construction.

Keywords : Construction material, Loess, Oyster shell, Alternation material

요지 : 최근 황토를 건설재료로 많이 사용하지만 황토의 공학적 특성을 고려하지 않고 일반 흙으로 취급하여 설계, 시공되어져 여러 가지 문제점이 발생되고 있는 실정이다. 황토는 그 자체적인 성질로는 토목공사에 효율적으로 활용하는데 있어 한계가 있기 때문에 효율성을 증대시키기 위하여 서·남해 청정해역에서 양식업 중 폐류의 생산에서 부수적으로 발생하는 굴패각을 황토와 효율적으로 혼합 이용하여 건설재료의 대체 재료로 활용성을 연구하고자 한다.

주요어 : 건설재료, 황토, 굴패각, 대체재료

1. 서론

황토는 지구 표면적의 11%를 덮고 있으며 중국, 카자흐스탄, 우즈베키스탄등 알타이산맥 주변지역, 바이칼 주변지역, 미국의 중서부와 워싱턴주, 북중부 유럽에서는 라인강과 다뉴브강 유역, 그리고 남반부에서는 아르헨티나와 뉴질랜드의 남섬에 분포한다(홍성완, 1999).

최근 서남해안의 경제발전과 개발 등으로 고속국도, 국도 및 철도, 공항 등의 대규모 토목공사가 곳곳에서 시행된다. 현장에 따라서는 인접지역의 황토를 건설재료로 많이 사용하지만 황토의 공학적 특성을 고려하지 않고 일반 흙으로 취급하여 설계, 시공되어져 여러 가지 문제점이 발생되고 있는 실정이다. 황토는 흙의 강도가 작고 함수량에 따라 그 특성이 달라지는 등의 문제점이 있다. 본 연구는 황토의 단점을 보완하고, 폐기물로 방치되고 있는 굴패각을 재활용하여 경제적, 환경적으로 발생하는 문제점을 지반공학 분야와 결합하여 그 적용성을 극대화시키는데 그 목적이 있다.

2. 황토와 굴패각의 특성

2.1 황토의 정의

황토를 국어대사전에서는 다음과 같이 정의하고 있다. ① 빛깔이 누르고 거무스름한 흙(yellow soil), ② 대륙의 내지에서 풍화로 인하여 부스러진 암석의 세진이 바람에 날려와서 지표층을 두껍게 덮고 있는 누르고 거무스름한 흙, 중국의 북쪽, 특히 황하 유역과 유럽, 북미 등지에 분포하고 있음(loess). 한편 지질학 용어 사전에서는 황토(loess)를 '바람에 의하여 운반된, 주로 실트 크기의 입자로 구성된 연황색-황갈색 퇴적물로서 균질, 비층상이다. 기공, 쉽게 부스러지는 성질과 약한 점착력이 있으며 석회질이 포함된 경우가 많다'고 정의하고 있다.

2.2 황토의 특성

2.2.1 기본특성

황토는 건조밀도가 낮고 간극비가 크며 소성도는 낮은 것을 알 수 있다. 소성도(plasticity chart)에서는 A-line위에

† 정회원, 목포해양대학교 해양토목공학과 부교수(E-mail : geo@mmu.ac.kr)

1) 비회원, (주)한국해외기술공사 지반부

2) 비회원, 목포해양대학교 해양토목공학과 박사수료

나타내며 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. 그림 1에 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).

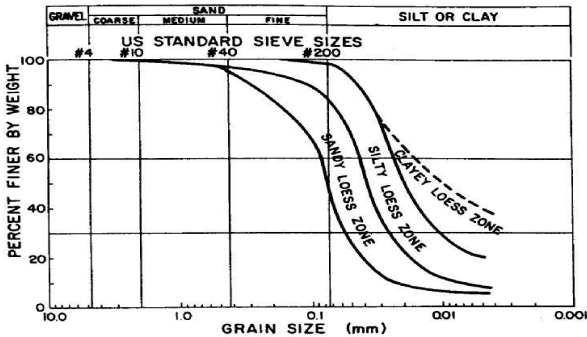


그림 1. 입도에 의한 황토의 분류

2.2.2 일축압축강도

황토의 일축압축강도는 그림 2에 4개의 시료에 대하여 나타난 것처럼 초기에는 직선적인 하중-침하 관계를 유지하다가 변곡점을 지나면서 침하가 크게 증가하는 경향을 보인다(Sun & Wu, 1991).

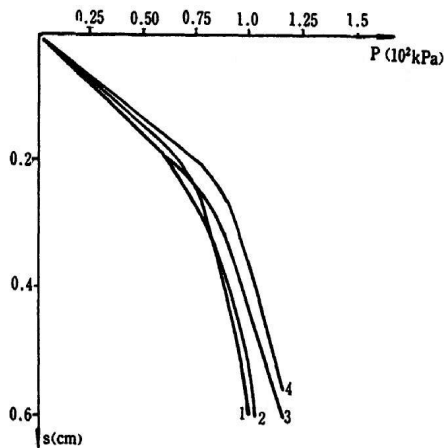


그림 2. 일축압축시험성상(Sun & Wu, 1991)

변곡점의 위치로부터 구한 비례한계는 황토의 퇴적 년대가 오래 될수록 커지는데 표 1에 이러한 관계를 나타내었다.

2.2.3 삼축압축강도

함수비를 변화시킨 황토시료에 대한 삼축압축시험의 응

표 1. 황토의 퇴적년대에 따른 강도(Zhu, 1991)

Strata	Geological ages	Strata Symbol	Proportion limit from loading tests (kPa)
Recently deposited loess	Holocene series	Q _{2/4}	75 ~ 100
Malan Loess	Upper Pleistocene series	Q ₃	150 ~ 250
Lishi loess	Middle Pleistocene series	upper	Q _{2/2}
		lower	Q _{1/2}

력-변형도 관계를 나타내면 그림 3과 같다. 함수비가 1.4% 일 때는 붕괴성 거동을 보이지만 13% 일 때는 탄·소성(elastic-plastic)거동, 그 이상에서는 변형연화(strain-softening), 그 이하에서는 변형경화(strain-hardening)의 경향을 보이고 있다. 함수비의 증가에 따라 전단강도는 물론 전단강도의 두 성분인 내부마찰각과 점착력도 감소하는데 그림 4에 보인 것처럼 특히 점착력의 감소가 두드러졌다(Yu and Xie, 1991).

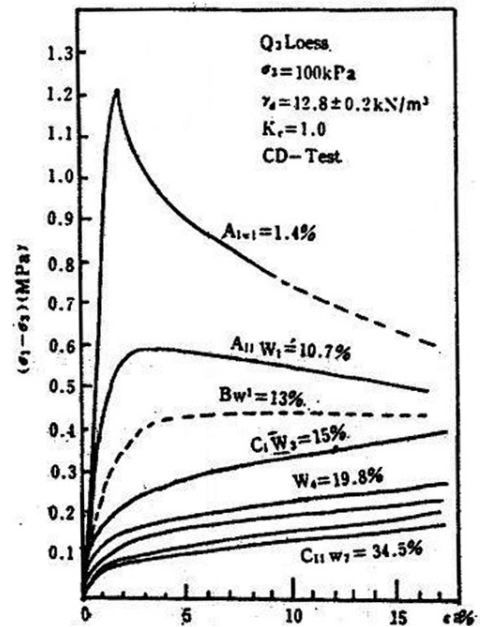


그림 3. 함수비에 따른 응력-변형 관계(Yu & Xie, 1991)

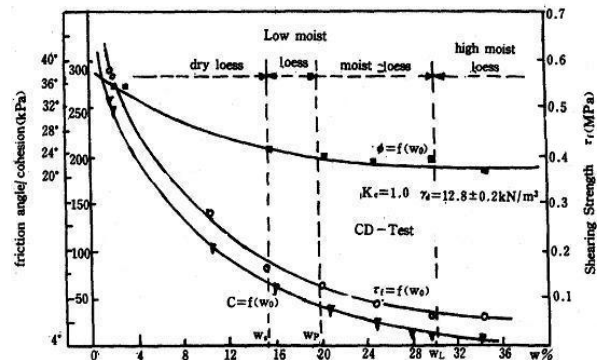


그림 4. 함수비에 따른 전단강도의 변화(Yu & Xie, 1991)

2.3 굴폐각의 특성

2.3.1 굴폐각의 단위중량

한국해양연구원에서 제시한 굴폐각의 최소·최대건조단위중량비는 표 2에 나타낸바와 같이 최대입경이 0.84mm 이하로 분쇄된 굴폐각을 제외하고는 1.33~1.35로 일반적인 모래의 최소·최대건조단위중량비인 1.36과 유사함을 보이고 있다. 굴폐각의 건조단위중량은 0.701~1.254g/cm³로 모래의 단위중량인 1.43~1.94g/cm³ 보다는 작은 값을 보이고 있다. 따라서 굴폐각은 모래에 비해 경량의 재료임을 알 수 있다(해양수산부, 2000).

표 2. 굴폐각의 단위체적중량(해양수산부, 2000)

대상시료	최소건조 단위중량 (g/cm ³)	최대건조 단위중량 (g/cm ³)	단위중량비
분쇄 (<20mm)	0.706	0.948	1.34
분쇄 (<10mm)	0.708	0.955	1.35
분쇄 (<4.76mm)	0.712	0.956	1.34
분쇄 (<2.38mm)	0.811	1.081	1.33
분쇄 (<0.84mm)	0.701	1.254	1.79

2.3.2 굴폐각의 내부마찰각

굴폐각의 내부마찰각은 한국해양연구원에서 제시한 표 3을 보면 알 수 있듯이 굴폐각의 입경의 크기에 비례하고 있으며, 전체적인 분쇄된 굴폐각의 내부마찰각의 범위는 약 30°~45° 값을 보이고 있다(해양수산부, 2001).

표 3. 굴폐각의 내부마찰각(해양수산부, 2001)

대상시료	내부마찰각 ϕ (°)
분쇄 (<20mm)	40.87
분쇄 (<10mm)	39.82
분쇄 (<4.76mm)	36.67
분쇄 (<2.38mm)	35.65
분쇄 (<0.84mm)	32.51

2.3.3 굴폐각의 투수성

한국해양연구원에서는 분쇄된 굴폐각의 투수시험을 0.25mm 철망을 이용하여 미립분을 제거한 상태와 제거하지 않은 상태로 구분하여 실시하여 그 결과를 아래 표 4와 같이 전체적인 범위로 정리하였다. 이상의 결과 중에서 폐각원형에 대한 투수계수는 일본에서 측정한 결과를 나타낸 것이며, 굴폐각은 분쇄정도가 클수록 그에 따른 투수계수가 감소하고 있음을 알 수 있다(해양수산부, 2002).

표 4. 굴폐각의 투수계수(해양수산부, 2002)

대상시료	투수계수 K(cm/sec)
폐각원형	$1.0 \times 10^{-1} \sim 9.0 \times 10^{-1}$
분쇄 (<20mm)	$8.965 \times 10^{-3} \sim 1.088 \times 10^{-1}$
분쇄 (<10mm)	$6.361 \times 10^{-3} \sim 9.127 \times 10^{-2}$
분쇄 (<4.76mm)	$5.665 \times 10^{-3} \sim 8.842 \times 10^{-2}$

3. 실내시험

본 연구에서는 굴폐각 혼합 황토의 물리적 특성을 파악하기 위하여 함수비시험, 액성한계시험, 소성한계시험, 입도시험, 비중시험 등과 역학적 특성을 파악하기 위하여 다짐시험, 투수시험, 압밀시험, 일축압축시험, 삼축압축시험(CU test, K₀ test) 등을 실시하여 토질정수 변화를 파악하였다.

3.1 시료의 채취 및 조제방법

황토시료는 전라남도 무안군 망운면에 위치한 황토(통상적으로 무안황토라 명한다.)를 표토 층의 약 1.0m 정도를 제거한 후 교란상태로 채취하였다. 시료는 입경이 큰 자갈이나 이물질 등을 제거한 후 동일성을 확보하기 위하여 #4(4.75mm)체를 통과한 시료를 사용하였다. 굴폐각 시료는 여수시 화양면의 굴폐각을 채취하여 이물질 제거를 위해 5회이상 세척하고 분쇄시켜 #4(4.75mm)체 통과시키고 #200 (0.074 mm) 체 잔류 시료를 사용하였다.

시료조제방법은 무안황토(100%)와 굴폐각 혼합토는 중량비를 기준으로 하여 굴폐각 20% 혼합토, 굴폐각 40% 혼합토, 굴폐각 60% 혼합토, 굴폐각(100%)로 시료를 준비하였으며 이를 통한 굴폐각 혼합토로서의 특성을 파악하여 정리하였다.

3.2 실험항목 및 범위

본 연구에서는 무안황토에 굴폐각을 혼합하여 굴폐각 혼합토 활용기법의 효율성과 적합성을 평가하고자 무안황토(100%), 굴폐각(100%), 무안황토에 굴폐각을 중량비 20%, 40%, 60%로 혼합한 3종류의 무안황토-굴폐각 혼합토에 대하여 물리·역학적 실험을 실시하였다. 굴폐각 혼합토의 공학적 특성 평가를 위하여 기본물성시험, 다짐시험, 투수시험, 일축압축시험, 삼축압축시험, 표준압밀시험 등을 수행하였다. 다짐특성을 분석하기 위하여 다짐시험은 KS F 2312 A 다짐규정의 표준다짐시험 방법을 이용하였다. 투수시험은 KS F 2322에 의거하여 시험대상시료의 흙 분류 특성을 고려하여 변수위투수시험을 실시하였다.

표 5. 재료별 공학적 특성 평가를 위한 항목 및 범위

실험 항목		실험 시료	변화 인자	범위
기본물성시험 (비중, 액·소성)		무안황토 굴폐각+무안황토 굴폐각	혼합율	굴폐각: 0, 20, 40, 60, 100% 무안황토: 100, 80, 60, 40, 0%
다짐시험		무안황토 굴폐각+무안황토 굴폐각	혼합율	굴폐각: 0, 20, 40, 60, 100% 무안황토: 100, 80, 60, 40, 0%
투수시험		무안황토 굴폐각+무안황토 굴폐각	혼합율	굴폐각: 0, 20, 40, 60, 100% 무안황토: 100, 80, 60, 40, 0%
일축압축시험		무안황토 굴폐각+무안황토 굴폐각	혼합율	굴폐각: 0, 20, 40, 60, 100% 무안황토: 100, 80, 60, 40, 0%
삼축 압축시험	CU test	무안황토 굴폐각+무안황토 굴폐각	혼합율	굴폐각: 0, 20, 40, 60, 100% 무안황토: 100, 80, 60, 40, 0%
	K ₀ test	무안황토 굴폐각+무안황토 굴폐각	혼합율	굴폐각: 0, 20, 40, 60, 100% 무안황토: 100, 80, 60, 40, 0%
압밀시험		무안황토 굴폐각+무안황토 굴폐각	혼합율	굴폐각: 0, 20, 40, 60, 100% 무안황토: 100, 80, 60, 40, 0%

일축압축시험 시료제작은 연구실에서 자체 제작한 마이터 박스에 굴폐각 혼합토에 최적함수비로 조절하여 다졌으며 KS F 2314에 의거하여 실험하였다.

삼축압축시험은 KS F 2346의 압밀 비배수시험(CU)과 K₀ 압밀 삼축압축시험을 실시하였다. 또한 압밀시험은 다짐 시험에서 얻어진 최적함수비로 혼합하여 A다짐을 실시한 뒤 압밀링(직경2cm×높이6cm)에 삽입하는 형태로 시료를 제작 하였으며, KS F 2316에 따라 실험하였다. 표 5는 각각의 재료의 공학적 특성 평가를 위한 실험항목 및 범위를 보여준다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 물리적 특성

무안황토의 물리적 특성을 보면 표 5에 나타난 바와 같 으며, #200체 통과량은 36.5%로 다소 미립분이 많은 것으 로 나타났고, 흙의 분류상 점토질 모래(SC)로 분류된다. 무 안황토와 굴폐각 혼합토의 물리적 특성은 황토만의 비중 은 2.66부터 순수 굴폐각의 비중 2.58까지 굴폐각의 함유 율이 높아질 수 록 비중이 감소함을 확인할 수 있었다. 액 성한계는 무안황토가 평균 35.9%의 값으로서 Casagrande 소성도표에서의 50%이하로서 압축성이 낮은 성질을 나타 내고 있다. 하지만 황토에 굴폐각을 증가시키에 따라 즉, 굴폐각 함유율이 20%일 때 31.1%, 40%일 때 33.8%, 60% 일 때 37.2%로 액성한계 값이 증가함을 확인할 수 있었다. 소성한계는 무안황토가 11.3%로 나타났으며, 굴폐각 함유 이 20%일 때 9.5%, 40%일 때 4.5%, 60%일 때 비소성(NP)

으로 나타나 무안황토에 굴폐각 함유량을 증가시킬수록 소성한계는 점차적으로 감소함을 알 수 있었다. 이상을 정 리하면 표 6, 7과 같다.

표 6. 무안황토 물리적 특성

구 분	비중	액성 한계 LL(%)	소성 한계 PL(%)	소성 지수 PI(%)	0.074체 통과량(%)	흙의 분류
무안 황토	2.66	35.9	11.3	24.6	36.5	SC

표 7. 굴폐각 혼합토 물리적 특성

구 분	굴폐각 20% 혼합토	굴폐각 40% 혼합토	굴폐각60% 혼합토	굴폐각
비중	2.63	2.62	2.61	2.58
액성한계 LL(%)	31.1	33.8	37.2	-
소성한계 PL(%)	9.5	4.5	NP	-
소성지수 PI(%)	21.6	29.3	NP	-

4.2 다짐특성

다짐특성을 파악하기 위하여 무안황토(100%)와 굴폐각 (100%), 각각의 굴폐각 혼합토(굴폐각+무안황토)를 굴폐 각 함유율별로 다짐시험을 실시하였다. 최대건조밀도(γ_{dmax}) 를 살펴보면 무안황토(100%)의 최대건조밀도는 1.65g/cm³ 이고, 굴폐각(100%)의 최대건조밀도는 1.48g/cm³로 나타 났다. 황토에 파쇄된 굴폐각을 20%, 40%, 60%로 증가시 켜 혼합함에 있어 굴폐각 함유율이 60%일때 최대건조밀 도가 약간 증가하는 것을 제외하고는 점차 감소하는 경향

을 보이고 있으며, 최적함수비 또한 다른 굴폐각 혼합토와 비교하면 작게 나타났지만 대체적인 경향은 혼합비가 증가할수록 최적함수비가 증가함을 확인할 수 있었다(그림 5). 이런 현상을 보이는 이유는 다짐은 흙의 입도분포, 흙 입자의 형태, 흙 입자의 비중, 흙 속에 포함되어 있는 성분에 따라서 최대진조밀도 및 최적 함수비를 변화시키기 때문이다.

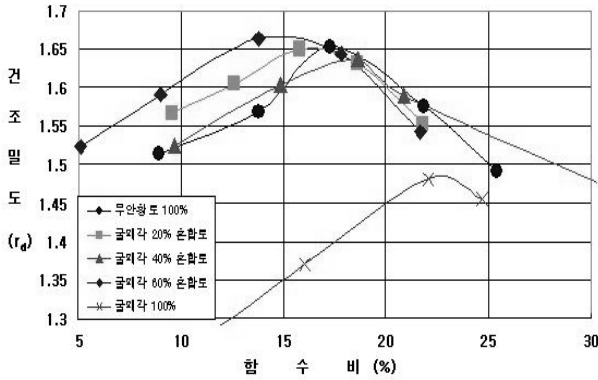


그림 5. 굴폐각 혼합토의 다짐특성

4.3 투수특성

각각의 시료별 투수특성을 알기 위하여 투수시험을 실시하였다. 투수시험 결과 투수계수(k)의 범위는 표 8에 나타낸 바와 같이 $3.86 \times 10^{-7} \sim 6.0 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 로 나타났다. 무안황토에 굴폐각을 혼합시킬 수 록 투수계수는 굴폐각의 함유율에 따라 전체적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 투수계수는 여러 가지 요인에 의하여 좌우되는데, 특히, 유체의 점성 간극크기의 분포, 입도분포, 간극비, 광물 입자의 거칠기, 흙의 포화도에 따라서 그 값의 차는 크다. 굴폐각 시료는 황토 시료보다 간극비가 크기 때문에 굴폐각 함유율이 증가할수록 투수계수가 커지는 경향을 나타내고 있는 것으로 판단된다. 또한 무안황토와 굴폐각 20% 혼합토, 굴폐각 40% 혼합토를 비교한다면 무안황토보다 조립질 재료가 함유된 굴폐각 혼합토의 투수성이 커야 될 것이다. 그러나 반대로 무안황토의 투수성이 크게 나왔다. 이런 이유는 투수시험용 공시체를 제작 시에 시료(굴폐각 혼합토)를 다져서 제작하는데 다지는 과정에서 굴폐각이 깨져서 미립분에 의해 투수계수가 작아지는 현상을 일으킨 것으로 판단되어진다.

표 8. 투수계수

구 분	무안 황토	굴폐각 20% 혼합토	굴폐각 40% 혼합토	굴폐각 60% 혼합토	굴폐각
투수계수 (cm/sec)	4.56×10^{-6}	3.86×10^{-7}	4.1×10^{-7}	1.34×10^{-5}	6.00×10^{-4}

4.4 일축압축강도특성

그림 6은 굴폐각과 무안황토를 비율별로 혼합하였을 때, 일축압축강도를 나타낸 그림이다. 무안황토 자체적인 일축압축강도는 1.6kg/cm^2 로 나타났으며, 특히 무안황토에 굴폐각 혼합을 20%, 40% 혼합하였을 때보다 60% 혼합하였을 때 일축압축 강도가 더 크게 나타남을 알 수 있었는데 이는 굴폐각 함유율이 50%이하일 때는 황토입자의 강성과 점착력이 일축압축강도의 성질을 주도하는데 비해 함유율이 50%이상일 때는 황토의 점착력이 굴폐각 입자와 결속하는 역할을 하여 일축압축강도는 굴폐각 입자들이 주도하기 때문으로 생각되어진다.

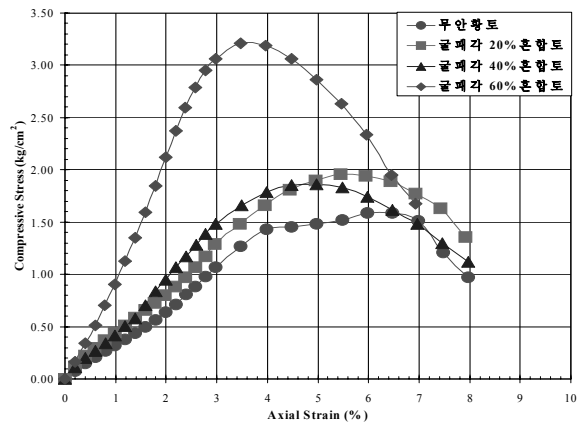


그림 6. 일축압축강도 특성

4.5 삼축압축강도특성

4.5.1 CU test

무안황토와 굴폐각 혼합토 그리고 굴폐각에 대하여 각각 100kPa, 200kPa, 400kPa 3종류로 압밀압을 달리하면서 시험을 하였다. 그 결과를 그림 7에 나타내었으며, p-q 그래프로 TSP (Total Stress Path) 경로를 이용하여 구한 강도 정수 c값과 ϕ 값을 보면 표 9에 나타낸바와 같이 무안황토($c=14.8, \phi=9.1$), 굴폐각 20% 혼합토($c=8.54, \phi=7.5$), 굴폐각 40%혼합토($c=24.7, \phi=6.6$), 굴폐각 60%혼합토($c=27.4, \phi=8.8$), 굴폐각($c=43.4, \phi=18.7$)로 나타났다. 무안황토에 굴폐각 함유율을 20%로 하였을 때 c값이 떨어졌다가 40% 이상을 하였을 때 급격히 증가하고 ϕ 값은 굴폐각 함유율을 40% 혼합하였을 때 까지 점차적으로 감소하였다가 증가함을 알 수 있는데 이는 압밀중에 가해지는 등방압밀에 의해 고유이방성을 가지고 있는 황토의 봉소구조가 깨지면서 굴폐각과 함께 입자 재배열이 일어난 것으로 판단된다.

표 9. CU test 점착력계수(c)와 내부마찰각(ϕ)

	점착력계수(kPa)	내부마찰각($^{\circ}$)
무안황토	14.8	9.1
굴패각 20%혼합토	8.54	7.5
굴패각 40%혼합토	24.7	6.6
굴패각 60%혼합토	27.4	8.8
굴패각	43.4	18.7

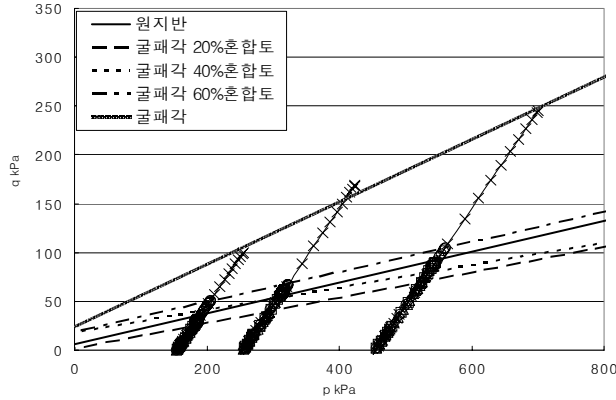


그림 7. 재료의 Total Stress Path 특성(CU test)

4.5.2 K_0 test

각각의 시료에 대하여 CU test와 같이 100kPa, 200kPa, 400kPa 3종류로 압밀압을 달리하면서 실험을 하였다. 그 결과를 그림 8에 나타내었으며, TSP (Total Stress Path) 경로를 이용하여 구한 토질정수 c 값과 ϕ 값을 보면 표 9에 나타낸바와 같이 무안황토($c=6.5$, $\phi=8.9$), 굴패각 20% 혼합토($c=7.4$, $\phi=7.5$), 굴패각 40%혼합토($c=3.55$, $\phi=9.8$), 굴패각 60%혼합토($c=0.05$, $\phi=13.7$), 굴패각($c=59.3$, $\phi=18.0$)로 나타나는데 c 값은 0.05~59.3, ϕ 값은 7.5~18.0의 범위를 나타내고 있으며, 무안황토에 굴패각을 혼합할수록 c 값은 작아지고 ϕ 값은 커지는 경향을 파악할 수 있었다. 이는 CU test에서 분석한 입자 재배열 현상과는 다르게 흙의 측면 변형이 전혀 일어나지 않을 때 그에 대응하는 축압을 뜻하는 K_0 test에서 압밀을 하는 동안 황토에 굴패각이 조립재료의 성질로 작용하면서 이러한 현상이 발생한 것으로 판단된다.

표 10. K_0 test 점착력계수(c)와 내부마찰각(ϕ)

	점착력계수(kPa)	내부마찰각($^{\circ}$)
무안황토	6.5	8.9
굴패각 20%혼합토	7.4	7.5
굴패각 40%혼합토	3.55	9.8
굴패각 60%혼합토	0.05	13.7
굴패각	59.3	18.0

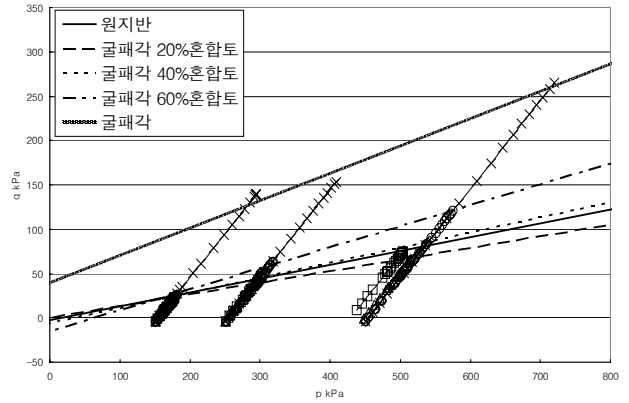


그림 8. 재료의 Total Stress Path 특성(K_0 test)

4.5.3 CU, K_0 test 비교(무안황토100%)

구속압에 대한 축차응력의 크기를 알아보기 위하여 CU test와 K_0 test 시험결과를 비교·분석하여보면 CU test결과 값이 각각의 구속압에 대하여 순수 무안황토에서는 구속압 100kPa에서 축차응력 값이 63kPa, 구속압 200kPa에서 축차응력 값이 124kPa, 구속압 400kPa에서 축차응력 값이 180kPa로 나타났다. 이는 구속압 100kPa, 200kPa, 400kPa의 K_0 test 시험결과 값인 46.4kPa, 98kPa, 149.5kPa보다 17~31kPa의 크기로 CU test 시험결과가 크게 나타났으며, 이는 그림 9와 같다.

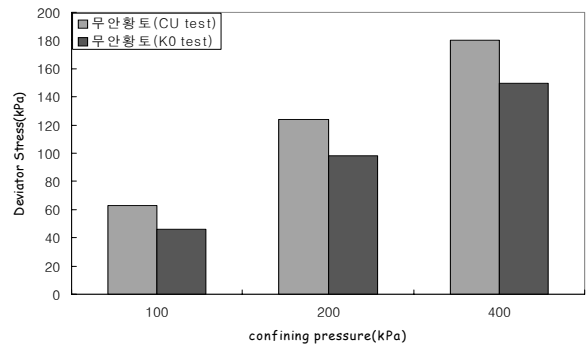


그림 9. 무안황토의 CU와 K_0 결과 비교(응력-변형률)

4.5.4 CU, K_0 test 비교(굴패각60%혼합토)

굴패각 60%혼합토의 응력-변형률 시험 결과는 구속압 100kPa에서 축차응력 값이 101kPa, 구속압 200kPa에서 축차응력 값이 135kPa, 구속압 400kPa에서 축차응력 값이 209kPa로 나타났다. 한편 구속압 100kPa과 200kPa에서 K_0 test 시험결과와 축차응력 값이 51.7kPa, 126.6kPa으로 나타나 8~49kPa의 크기로 CU test 시험결과가 크게 나타났다. 구속압 400kPa에서는 축차응력 값이 240.5kPa로서 K_0 test 시험결과가 32kPa만큼 크며, 이는 그림 10에 나타났다.

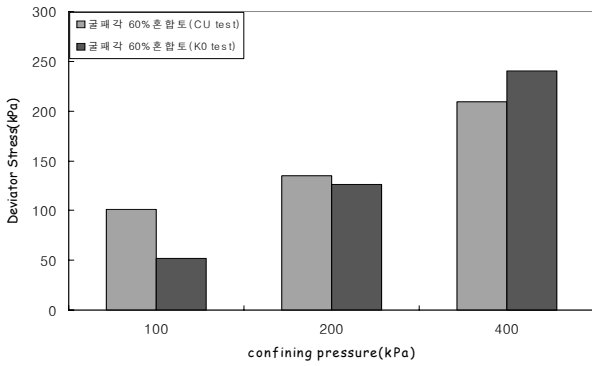


그림 10. 굴폐각 60%혼합토의 CU와 K₀ 시험 결과 비교(응력-변형율)

4.5.5 CU, Ko test 비교(굴폐각100%)

굴폐각만에서는 CU test의 구속압 100kPa, 200kPa, 400kPa에 대해서 축차응력 값이 200kPa, 337kPa, 490kPa로서 결과가 나타나는데 비하여 K₀ test의 구속압 100kPa, 200kPa, 400kPa에 대해서는 277.9kPa, 306.1kPa, 529.5kPa로서 구속압 200kPa를 제외하고는 40~78kPa의 크기로 K₀ test 결과가 큰 경향을 나타내고 있다. 이는 원지반 상태와 같이 수평방향의 변위가 발생하지 않는 정지 상태에서는 굴폐각 입자가 황토보다 더 큰 응력 값을 나타낸다고 판단되며, 그림 11과 같다.

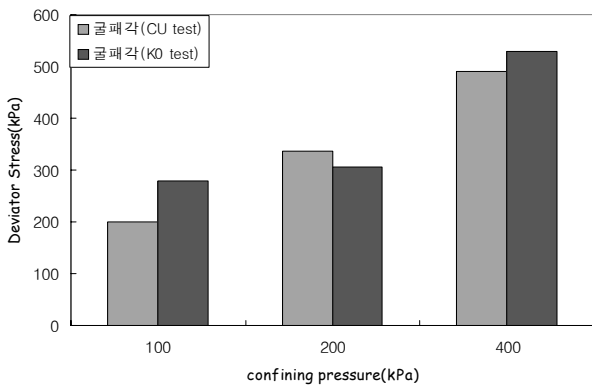


그림 11. 굴폐각의 CU와 K₀ 시험결과(응력-변형율)

4.6 압밀특성

표준입밀시험에서 구해진 공극비를 각각의 시료에 대하여 분석해보면 무안황토는 0.47, 굴폐각 20%혼합토는 0.50, 굴폐각 40%혼합토는 0.52, 굴폐각 60%혼합토는 0.59, 굴폐각은 0.98로 나타내고 있으며 무안황토에 굴폐각을 혼합할수록 공극비가 증가함을 알 수 있었다. 이는 굴폐각이 황토에 비하여 간극이 크기 때문으로 판단되어지고 이를 나타내면 그림 12와 같다.

각각의 시료에 대한 시험결과 일차압밀비는 무안황토

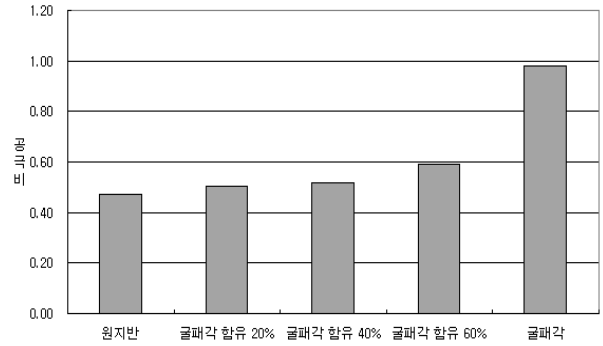


그림 12. 굴폐각 혼합토의 공극비 관계

는 3.78×10^{-1} , 굴폐각 20%혼합토는 2.56×10^{-1} , 굴폐각 40%혼합토는 2.29×10^{-1} , 굴폐각 60%혼합토는 2.30×10^{-1} , 굴폐각에서는 2.02×10^{-1} 까지의 범위를 나타낸다. 이들 결과로부터 정리하면 굴폐각의 혼합비가 증가할수록 일차압밀비가 감소함을 알 수 있었다. 이는 황토입자에 비하여 굴폐각의 입자가 더 조립질의 재료이기 때문인 것으로 판단되며, 그림 13에 나타난 바와 같다.

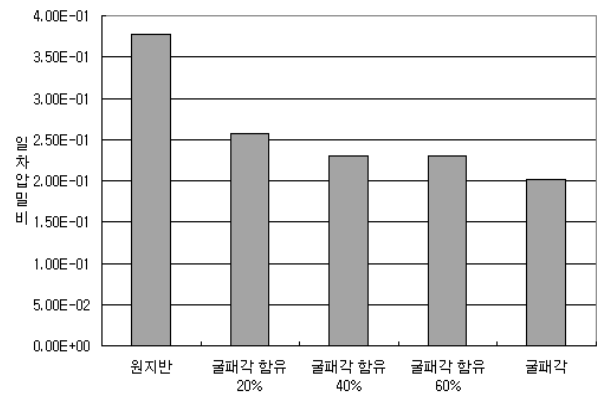


그림 13. 굴폐각 혼합토의 일차압밀비 관계

5. 결 론

무안황토(100%), 굴폐각 20% 혼합토, 굴폐각 40% 혼합토, 굴폐각 60% 혼합토, 굴폐각(100%)에 대하여 공학적 특성에 대한 실험적 검토결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 무안황토는 비중 2.66, #200체 통과량 36.5%, 액성한계 35.9%, 소성지수 24.6%로 흙의 성질을 분류하면 SC로 분류된다.
- (2) 무안황토에 굴폐각을 혼합할수록 비중은 2.66~2.58까지 점차적으로 감소하였고, 액성한계는 증가하였으며, 소성한계는 감소하는 경향을 나타내었다.
- (3) 다짐특성은 무안황토에서 최대건조밀도 1.65g/cm^3 , 굴폐각에서 1.48g/cm^3 로 타나났고 굴폐각 혼합비를 증가

시킬수록 대체적으로 최대건조밀도가 감소하는 경향을 보이며, 최적함수비 또한 증가함을 확인할 수 있었다.

- (4) 투수특성은 다른 굴폐각 혼합토와는 달리 굴폐각 60% 혼합토에서 투수성이 증가함을 알 수 있었는데, 이는 굴폐각 입자가 조립의 재료로서 효과를 나타내는 것으로 판단된다.
- (5) 일축압축강도 특성은 무안황토에서 1.6kg/cm²로 나타났으며 굴폐각을 함유시킬수록 강도값이 증가하는 경향을 나타냈으며 60%이상 혼합시에는 40%혼합시보다 1.5배 이상 강도값이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
- (6) 삼축압축강도 특성은 굴폐각을 함유시킬수록 점착력(c)값은 감소하였고, 내부마찰각(ϕ)값은 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 굴폐각이 조립의 재료 효과를 나타내기 때문으로 판단된다.
- (7) 표준압밀시험 결과 무안황토의 공극비 0.47에서 굴폐각 0.98까지 굴폐각 함유율을 증가시킬수록 점차적으로 증가하는 경향을 알 수 있었고, 일차압밀비는 무안 황토 3.78×10^{-1} 에서 굴폐각 2.02×10^{-1} 까지 점차적으로 감소함을 알 수 있었다. 굴폐각 혼합비를 증가 시킬수록 재료의 공극비가 증가하고 일차압밀비가 감소한다는 것은 굴폐각이 혼합되면서 시료가 조립질의 재료로 효과를 나타낸다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 윤길림, 김병탁(2001), “재활용을 위한 굴폐각 혼합토의 강도 특성 조사”, 2001년도 학술발표회논문집, 한국지반환경공학회 학술발표논문집, pp. 71~76.
2. 한국어사전편찬위원회, “국어대사전”, 1986. pp. 249.
3. 홍성완(1999), “중국 감속성의 황토특성과 황토사면특성”, 한국지반공학회 1999년도 봄학술발표회논문집, pp. 47.
4. 해양수산부(2000), “굴폐각을 혼합한 특수콘크리트 개발(I)”, 한국해양연구원.
5. 해양수산부(2001), “굴폐각을 혼합한 특수콘크리트 개발(II)”, 한국해양연구원.
6. 해양수산부(2002), “굴폐각을 혼합한 특수콘크리트 개발(III)”, 한국해양연구원.
7. Higging, J.D., and V.A. Modeer, Jr.(1996), “Loess,” in *Landslides-Investigation and Mitigation*, A.K. Turner and R.L. Schuster, editors, TRB Special Report 247, National Research Council Washington, D.C.
8. Sun Peiqing and Wu Chengqi(1991), “Characteristics and Engineering Properties of Recently-deposited Loess in Luoyang,” in *Geotechnical Properties of Loess in China*, Zhai Lisheng, editor in Chief, China Architecture & Building Press, pp. 71~75.
9. Yu Xiongfei and Xie Dingyi(1991), “Wetting induced Structure Weakening Property of Collapsible Loess,” in *Geotechnical Properties of Loess in China*, Zhai Lisheng, editor in chief, China architecture & Building press, pp. 58~64.
10. Zhu Muren(1991), “Preliminary Discussion on Classification system and Its Denomination of Loess Foundation Engineering in China,” in *Geotechnical properties of Loes in China*, Zhai Lisheng, editor in chief, China Architecture Building press, pp. 9~20.

(접수일: 2007. 2. 2 심사일: 2007. 2. 14 심사완료일: 2008. 1. 11)