

혼입재료에 따른 준설 매립 혼합토의 압밀 특성

Consolidation Characteristics of Dredged Mixed Soil with Inserted Materials

윤 현 석¹ Yoon, Hyun-Suk

이 기 호² Lee, Ki-Ho

박 준 범³ Park, Jun-Boum

김 재 영⁴ Kim, Jae-Young

Abstract

In this study, consolidation test and numerical analysis were performed with the aim of investigating the characteristics of consolidation behavior of mixed soil with the amount and particle shape of inserted materials. Mixed soil was made up of matrix (dredged clay) and inserted material (crashed oyster shell and/or sand). The concept of stress share ratio was introduced to evaluate the consolidation characteristics of mixed soils. And the finite differential numerical analysis was carried out by applying the Mikasa's consolidation theory. From the results of experiments and numerical analysis, it was verified that mixed soil consolidation behavior is affected by changes in inserted material. When a similar amount of granular material was inserted, the compressibility of the clay matrix of oyster shell mixed soil was smaller than that of sand mixed soil.

요 지

본 연구에서는 혼입재료의 혼합비와 입자 형태에 따른 혼합토의 압밀 거동 특성을 평가하고자 압밀 시험과 수치해석을 실시하였다. 실험 대상인 혼합토는 매질인 준설점토와 혼입재료인 파쇄된 굴패각(혹은 모래)으로 구성하였다. 응력분담률이라는 개념을 이용하여 혼합토의 압밀특성을 파악하고 Mikasa압밀이론을 이용한 유한차분 수치해석을 실시하였다. 그 결과, 혼입재료에 따라 혼합토의 압밀 거동에 차이가 있음을 증명하였다. 같은 양의 조립재가 혼합되어 있는 경우 굴패각 혼합토의 점토 매질의 압축성이 모래혼합토의 경우보다 작게 나타났다.

Keywords : Mikasa's consolidation theory, Mixed soil, Oyster shell, Stress share ratio

1. 서 론

건설 자원의 고갈, 건설 비용의 상승, 환경 보존 및 폐기물 활용에 대한 사회적 요구의 증가 등의 이유로 실제 자연 지반에 존재하지 않는 이물질을 포함하는 혼합토가 발생하기 시작했다. 성질이 서로 다른 복수의 흙 재료로 구성된 혼합토는 입도구성 및 세립분 함유율에 따라 압축특성이나 전단특성이 변화하지만, 기존의

연구는 혼합토의 변형거동에 미치는 입도분포의 영향을 주로 고찰해 왔다. 혼합토에 대한 기존의 연구는 모래, 점토 등과 같이 자연 발생으로 생성되는 흙의 범위에서 수행되어 왔다(Kumar and Wood, 1999). 이러한 혼합토는 일반적인 모래와 점토로 구성된 혼합토와는 달리 물리적, 역학적 특성의 차이가 큰 재료로 구성된 혼합토가 대부분이다(Hsieh and Ho, 2002; Kaniraj and Havanagi, 2001; Masad et al., 1996; Humphrey et al.,

1 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 박사후연구원 (Member, Post Doc., Geotechnical Engrg. Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, yoonhs@kict.re.kr)

2 정회원, (주) KTS 대표이사, 공학박사 (President of Korea Technology Science Co., LTD, Ph.D)

3 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수 (Member, Associate Prof., School of Civil, Urban & Geosystem Engrg., Seoul National Univ.)

4 정회원, 삼보기술단 지반사업부, 공학박사 (Member, Sambo Engrg. Co., LTD., Ph. D)

1993). 또한, 자연 발생적 혼합토와 비교해 불분명한 역학적 거동을 나타내는 경우가 많기 때문에, 이들의 역학적 특성에 관한 이해와 정량적 평가 방법을 확립하는 것은 지반분야에 있어 새로운 과제로 대두되고 있다. 준설향토를 이용한 매립조성지의 경우는 지반이 안정에 이르기까지의 시간이 상당히 길기 때문에 압밀촉진효과와 강도특성을 향상시키기 위한 목적으로 어업계 폐기물인 굴패각을 준설향토에 혼합한 혼합토를 고찰하게 되었다. 굴패각은 어업 폐기물로 남해안 일대의 발생 지역에 대규모로 방치되고 있으며, 악취의 발생원 등 인근 해역의 환경을 오염시키고 있어 효율적인 처리방법 개발이 절실히 요구되고 있다. 굴패각은 현재 굴채묘 및 비료의 원료로 사용되고, 지반공학분야에서는 SCP(sand compaction pile)공법에서 모래와 혼합하여 사용된 적이 있지만(Miyaji and Okamura, 2000; Hashidate, 1993a; 1993b), 그 활용량이 제한적이기 때문에 다량의 굴패각을 안정적으로 활용하기 위해 준설향토와 혼합하여 직접 매립하는 방법이 연구되고 있다(이기호 등, 2001a; 2001b).

본 연구에서는 준설향 토를 굴패각과 혼합하여 직접 매립하는 경우를 고려하여 실험실 내에서 굴패각 및 모래를 인위적으로 혼합한 혼합토와 순수 준설향 토의 압밀 특성의 변화거동을 조사하였다. 압밀시험에는 Rowe cell 압밀시험기를 응용한 대형압밀시험기를 제작하여, 혼합토 내에 존재하는 혼합 재료 특성, 형태 및 크기에 따른 혼합토의 압밀 특성을 굴패각 입자 크기에 따라 나누어 조사하였다. 또한 기존의 모래가 혼합된 혼합토에 대해서도 비교하고, 실험 결과를 바탕으로 Mikasa 압밀이론(Mikasa, 1963)을 이용한 유한차분해석을 통해 혼합재료에 따른 압밀특성을 평가하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료

2.1.1 혼합재료(굴패각, 주문진 표준사)

본 연구에 사용하는 혼합토는 준설향토와 조립재인 굴패각 혹은 모래로 구성되어 있다. 굴패각은 임의 파쇄한 후 모래의 입도 범위로 체분류하였다. 그 방법은 원형 굴패각을 분쇄기로 파쇄한 후 불순물을 제거하고 건조시킨 후 굵은 입경(4.75~2mm)과 작은 입경(2~0.074mm)의 굴패각으로 체 분류하였다. 이하 LOS(Large Oyster Shell), SOS(Small Oyster Shell)로 표기한다. 모래는 주문진 표

준사(Jsand)를 사용하였으며, 점토는 남해 통영인근에서 채취한 준설향 토를 사용하였다. 표 1과 2에 각 재료의 물리특성치를, 그림 1에 입도분포곡선을 나타냈다.

압밀시험에서 혼합토의 체적변형량은 비압축성 재료인 혼합재의 부피를 제외한 점토 매질의 체적 변화로 평가 하였다. 준비된 각 재료를 가지고, 먼저 준설향 토의 함수비를 약 105% 정도로 완전퇴비빔한 후 함수비를 일정하게 유지하기 위해 밀폐된 용기에 24시간 이상 보관한다. 이후 굴패각 또는 모래를 건조 점토 중량 대비 0%, 40%, 80%, 120%의 혼합률(mixed ratio)로 제작 하였다. 여기서 혼합토의 혼합률, R은 식 (1)로 표현된다. 즉, 건조 점토 토립자의 무게에 대한 혼합 재료 무게의 비로 정의된다.

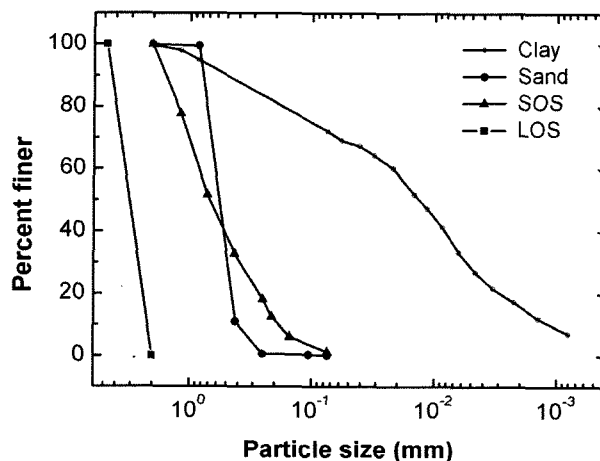


그림 1. 입도 분포

표 1. 굴패각과 주문진 표준사의 물리적 물성치

Properties	Joomunjin sand (Jsand)	LOS	SOS
Specific gravity (g/cm ³)	2.64	2.38	2.41
Size (mm)	0.84 - 0.25	4.75 - 2.0	2.0 - 0.074
void ratio	e _{max}	0.91	1.47
	e _{min}	0.59	0.83

표 2. 준설향토의 물성치

Properties	Dredged Clay
Specific gravity (g/cm ³)	2.62
Liquid limit, W _L (%)	64
Plastic index, PI	35
Ingredients	Sand 27 (%)
	Silt 57 (%)
	Clay 16 (%)

$$R = \frac{W_o}{W_c} \times 100 \quad (1)$$

여기서, W_c 는 건조상태의 점토 토립자의 무게, W_o 는 건조상태의 혼입재의 무게를 의미한다.

2.2 압밀 실험 방법

압밀시험기는 내경 70mm, 높이 200mm로 Rowe cell 압밀시험기를 응용하여 그림 2와 3과 같이 제작하였으며, 혼합토 공시체의 초기 높이는 140mm로 설정하였다. 내경에 비해 높이가 큰 이유는 준섫점토 혼합토가 압밀 시험 중 큰 변형량이 발생하기 때문에 침하량에 대응시키기 위해서이다. 압밀시험기 내면에는 토립자와의 마찰을 줄이기 위해 테프론으로 제작하였고, 실험시 그리

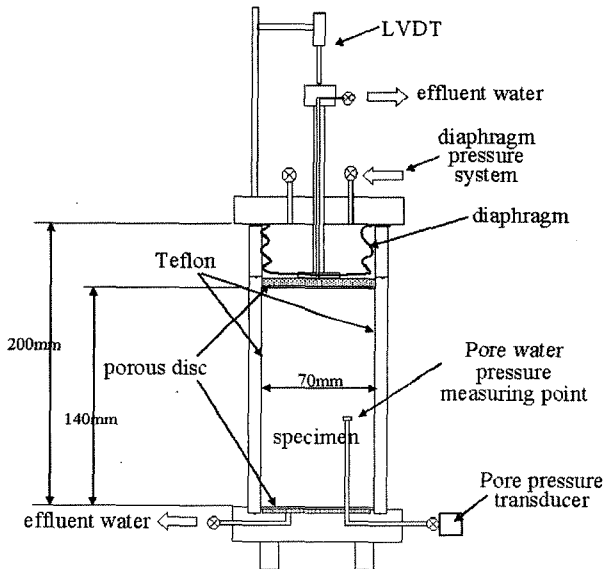


그림 2. 압밀 몰드

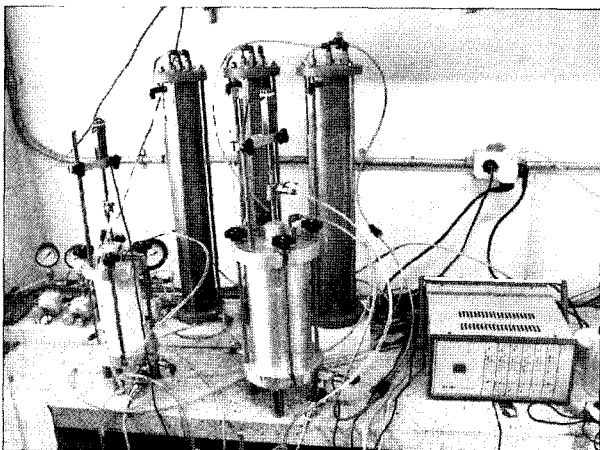


그림 3. 압밀 시험기 구성 사진

스를 얇게 발랐다. 압밀시험 중에는 하부에서 약 60mm 위치까지 직경 약 1mm의 파이프를 연직으로 설치하여 발생하는 간극수압을 직접 측정하였다. 상재하중은 공기압을 이용하여 98kPa의 단일 하중으로 재하하였으며, 압밀 시 배수 조건은 상하 양면배수로 하였다.

3. 압축 특성

3.1 혼합토의 체적압축특성

굴패각입자 혹은 표준사로 구성된 준섫혼합토의 압밀실험으로부터 체적변화율을 산정하여 이를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 표기 LOS40은 큰입자굴패각 LOS가 혼합된 준섫점토를 의미하며 40은 혼합률(mixed ratio) $R=40\%$ 를 각각 나타낸다. 체적변화율의 초기단계에서는 혼합률에 따른 차이를 확인할 수 없지만, 압밀 시간이 흐름에 따라 조립재의 혼합률이 증가함에 따라 체적변화율이 작게 되고, 압밀 종료 시간이 감소됨을 알 수 있다. 점토에 혼입된 조립재에 따른 체적변화율을 분석해 보면, 주문진표준사(Jsand) 혼합토의 경우 혼합률이 증가함에 따라 체적 변화율이 감소하기는 하나 그 감소폭이 굴패각 혼합토에 비하여 작게 나타났다. 굴패각 혼합토의 경우 작은입자인 SOS혼합토 경우보다 LOS혼합토의 경우 혼합률이 증가함에 따라 체적변화율의 감소폭이 더 크게 나타났다. 즉, 점토에 혼입된 조립재의 단일 입자의 크기에 따라 체적변화율의 변화폭은 달라지며, 같은 부피의 조립재가 점토 내에 혼입되는 경우라도 조립재의 단일 크기에 따라 외부 하중에 대한 혼합토의 반응이 다르다고 볼 수 있다.

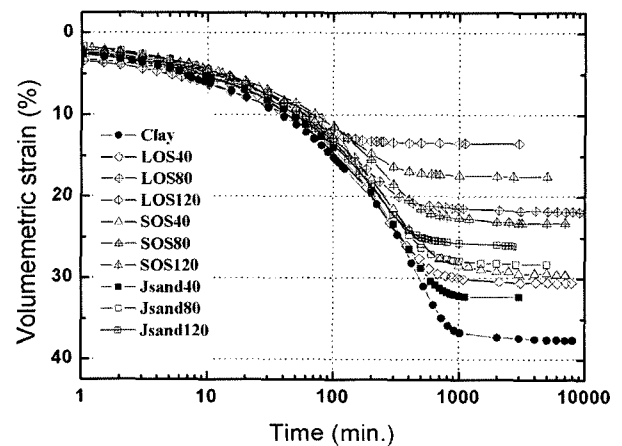


그림 4. 혼합토의 압밀시간에 따른 체적변화율

3.2 간극수압의 변화

압밀과정 중 시료 중앙부에서 측정된 과잉간극수압-압밀시간의 결과를 그림 5에 나타냈다. 그림에서 순수 점토와 혼합토의 간극수압 소산을 비교하면 혼합토내의 혼입재의 증가와 비례해서 간극수압의 소산속도도 빨라지는 것으로 나타났다. 특히 굴패각 혼합토의 경우 혼합률이 증가할수록 총 간극수압 소산시간은 두드러지게 작아짐을 알 수 있다. 혼입재료의 입자에 따른 압밀 소산 특성을 보면 표준사 혼합토의 경우 혼합률이 증가함에 따라 간극수압의 소산 시간은 빨라지나 그 감소폭은 굴패각 혼합토의 감소폭에 비하여 적게 나타났다. 반면 LOS혼합토의 경우 혼합률 증가에 따른 간극수압의 소산시간의 감소폭이 현저하게 나타났다.

3.3 압밀계수(c_v)

압밀침하곡선으로부터 log t법을 이용하여 혼합토별 혼합비에 따른 압밀계수를 그림 6에 나타냈다. 압밀계수는 혼합률(R)이 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나, 혼입되는 재료에 따라 같은 혼합률에서 다른 압밀계수의 값을 나타내었다. LOS 혼합토의 경우 혼합률의 증가에 따른 압밀계수의 증가가 다른 혼합토의 경우에 비하여 크게 나타났다. 특히 혼합률 R=120%인 경우 압밀계수의 증가가 뚜렷히 나타났다. 반면에 SOS 혼합토의 경우 굴패각의 혼합률이 증가함에 따라 압밀계수가 점진적으로 증가하기는 하나 그 증가폭은 LOS혼합토에 비하여 작게 나타났다. 표준사 혼합토의 경우 혼합률의 증가에 따른 압밀계수의 증가가 나타나기는 하나 혼합률의 증가에 따른 뚜렷한 증가

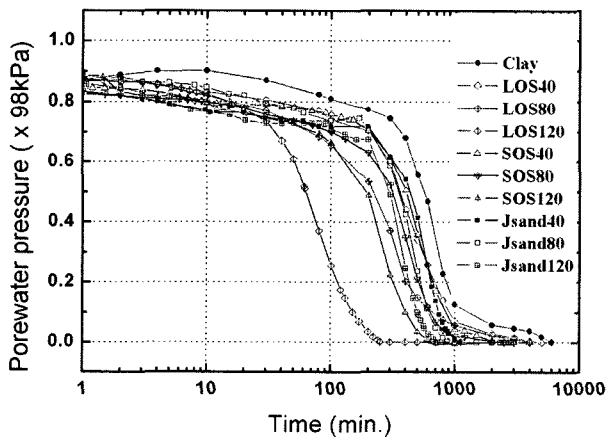


그림 5. 압밀시간에 따른 혼합토 중심부의 과잉간극수압

는 나타나지 않았다.

3.4 응력분담률(stress share ratio; SSR)

앞절에서 혼합토내의 혼입재료에 따라 체적변화율에 차이가 있음을 보았다. 본 연구에서는 이를 응력분담률(SSR) 개념을 이용하여 설명하고자 한다. 즉, 외부에서 작용하는 압밀응력에 대하여 혼합토 내의 혼입조립재 입자가 형성하는 골격구조가 압밀응력의 일부를 분담하므로써 실제 압축부분인 점토 매질의 압축성을 감소시켰다고 볼 수 있으며, 이를 형상화 한 것이 그림 7이다. 응력분담률은 다음의 식으로 표현된다.

$$SSR = \frac{\sigma_m}{\sigma} \quad (2)$$

여기서,

σ_m = 점토(matrix)가 분담하는 응력

σ = 외부에서 작용하는 전응력

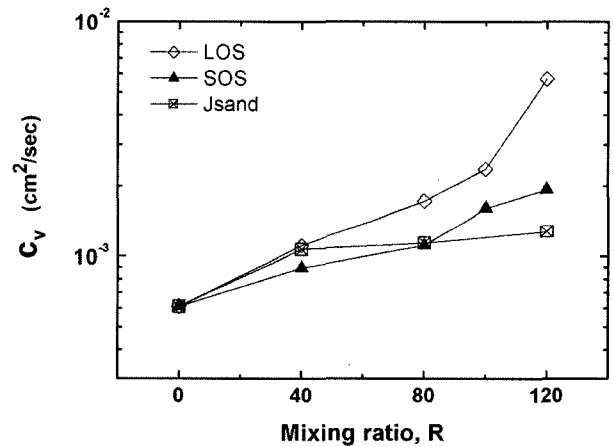


그림 6. 혼합률에 따른 혼합토의 압밀계수

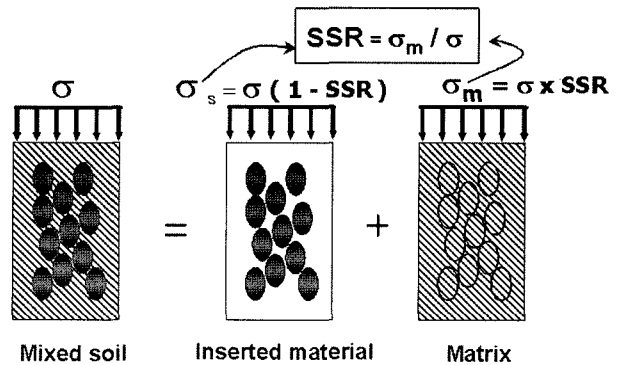


그림 7. 응력분담률(SSR)의 정의

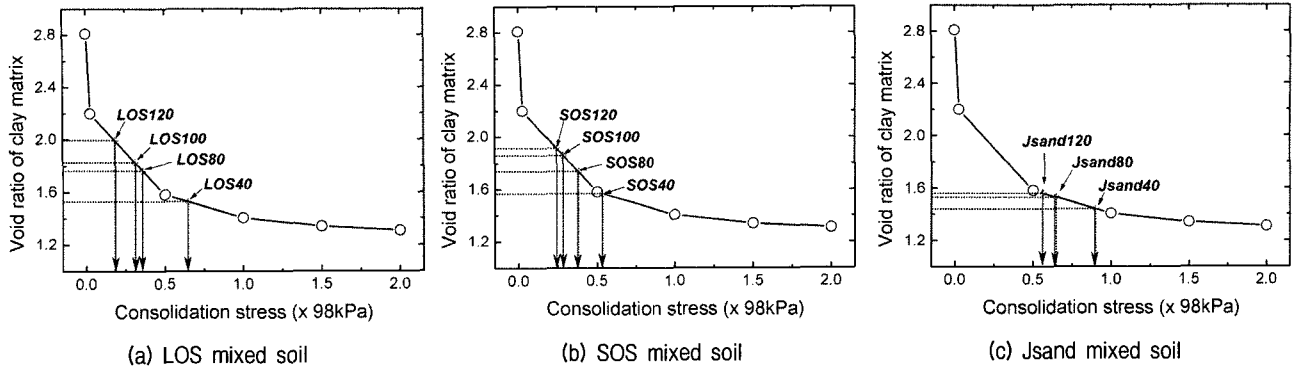


그림 8. 혼합토의 응력분담률

외부 압밀 하중 중 일부는 혼입된 조립재료의 골격구조가 부담함으로써 실제 점토 매질부분에 작용하는 압밀응력은 혼합물이 증가함에 따라 감소하며, 또한 혼입되는 입자의 단일 크기가 증가함에 따라 매질부분에 작용하는 하중이 더욱 감소되는 것으로 판단된다.

Omine(1998)는 혼합토의 혼입재와 매질부분의 단위체적당 일량이 같다는 가정하에, 구성재료의 탄성계수, 포아송비(Poisson's ratio)를 이용하여 응력분담률을 산정하는 식을 제안하였다. 그러나, 혼합토를 구성하는 지반재료는 일반 금속재료와 같이 탄성계수와 포아송비가 응력조건, 퇴적조건, 재하방향, 재하속도 등에 따라 변화되기 때문에 구성재료 각각의 탄성계수와 포아송비를 결정하는 것은 어렵다. 더욱이 본 연구에서 사용하고 있는 굴폐각 입자만의 탄성계수와 포아송비를 결정하는 것은 더욱이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 재료의 물리적 특성값을 이용하지 압밀실험으로부터 직접 구한 점토 매질 부분의 최종간극비를 이용하여 응력분담률을 도출하였다(Lee, 2000). 이러한 응력분담률의 개념이 혼합토에서 요구되는 이유는 다음과 같다. 만일 혼입재료가 동일한 양이 혼입되어 있다 하더라도 매질이 되는 점토 부분의 균기, 단단함에 따라서 혼합토의 거시적인 거동은 다르게 나타날 것이다. 또한 매질의 성질이 일정하다 하더라도 섞여있는 혼입재료의 분포, 골격구조 형성정도, 맞물림 등에 따라서 외부 응력에 대한 저항은 다르게 나타난다. 또한 입자간의 접촉밀도, 접촉빈도수, 조립재 물질 자체의 강도 등 이러한 인자들이 종합되어 총체적이고 거시적인 역학 특성이 발현되는 것이다. 그러나 이러한 영향을 양으로써 표현하기 위해서 제한된 고전 역학의 범위에서 표현하는 방법으로 응력분담률을 도입한 것이다.

응력분담률을 산정하는 방법 순서는 다음과 같다. 먼

저 순수 점토만의 압밀실험결과로부터 하중-간극비관계 곡선을 구한다. 그리고 혼합토의 압밀결과로부터 비압축성인 혼입재 부분을 제외한 점토 매질부분만의 최종간극비를 산정한다. 점토의 하중-간극비관계 곡선에서 이 최종간극비에 상응하는 압밀응력을 산정한다. 이 압밀응력이 점토매질부분의 최종간극비에 상응하는 압밀응력이 점토 매질이 실제 받는 응력으로 가정할 수 있으며 이는 그림 8에서 응력 σ_m 을 의미한다. 그림 8(a)는 LOS혼합토의 응력분담률을 그림 8(b)는 SOS혼합토, 그림 8(c)는 주문진 표준사 혼합토의 응력분담률의 산정값을 각각 나타내고 있다.

위에서 구한 응력분담률을 혼합토 내의 혼입재의 초기 부피비에 대하여 도시함으로써 혼입재료의 형태가 응력분담률에 미치는 영향을 분석하여 그림 9에 나타내었다.

그림 9에서 응력분담률(SSR)이 1인 경우는 외부하중을 모두 점토 매질(matrix)이 받는 경우이며 0인 경우는

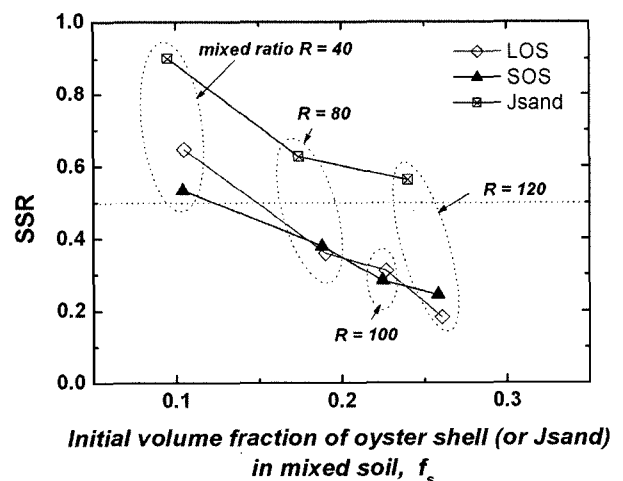


그림 9. 혼합토 내의 혼입재료의 초기 부피비에 따른 응력분담률의 변화

외부 하중을 혼합토 내의 혼입재료가 모두 받는 것으로 평가할 수 있다. 주문진표준사 혼합토의 경우 혼입된 모래의 골격구조가 외부하중을 분담하는 비율은 골패각 입자에 비하여 작은 것으로 나타났다. 모래혼합률 R=120%인 경우의 응력분담률이 골패각혼합률 R=40%인 경우와 비슷한 값을 나타내었다. 또한 모래혼합토의 경우 혼합률 R=80%을 넘어서면서 모래에 의한 응력분담률 감소는 다소 줄어드는 경향을 나타내었다. 반면 골패각 혼합토의 경우 LOS와 SOS 혼합토 모두 혼합률이 증가함에 따라 점진적으로 응력분담률(SSR)이 감소되는 경향을 나타내었다. 특히 LOS혼합토의 경우 혼합률 R=120%인 경우 응력분담률이 약 0.2를 나타내어 골패각 골격이 외부하중의 80%정도를 분담하는 것으로 나타났다.

4. 수치해석을 통한 혼합토의 압밀 특성 평가

혼합토의 압밀 특성은 점토, 혼입재료, 그리고 두 재료가 형성하는 골격 구조 형태 등의 복합적인 요인을 반영한다고 앞에서 기술하였다. 따라서 이러한 혼합토의 거동을 정확히 해석하기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 혼합토를 단순화하여 균질한 단일 재료로 가정하였을 경우, 기존 압밀 이론 중 변형량에 기반을 둔 압밀이론으로의 적용가능성을 평가하였다. 그 방법으로 Mikasa 압밀이론(Mikasa, 1963)을 바탕으로 실내 압밀시험시 설정값과 하중조건을 동일하게 모델링한 유한차분해석을 통해 실시하였다. 즉, 높이 14cm의 시료에 상재하중이 $1\text{kg/cm}^2(98\text{kPa})$ 으로 일괄재하되는 경우로 하였다.

4.1 수치해석 결과

각 혼합토의 실험에서 얻은 침하 곡선에 부합하는 Mikasa 압밀 수치해석을 통해 혼합토의 침하 곡선을 구

하였다. 그 해석결과를 그림 10에 나타내었다.

그림 11은 점토에 대한 수치해석 결과 점토 내부의 시간에 따른 유효응력의 분포를 나타낸 것이다. 초기 약 14cm 높이 점토 지층은 외부 하중(98kPa)을 받아 시간에 따라 침하한다. 또한 상하 배수 조건에 의해 배수 경계면에서부터 압밀이 진행되어 점차 중앙부로 전이됨을 나타내고 있다. 압밀이 완료된 이후에는 깊이에 따라 유효응력은 흙의 자중과 외부 하중의 합으로 표시된다. 그러나 본 연구에서 해석 모델을 시험물드의 높이와 같게 함으로써 외부하중에 비하여 상대적으로 자중의 영향은 미소하게 나타났다.

각 혼합토의 침하비에 따른 평균압밀도와 해석시료 모델 중앙부에서의 압밀도를 각각 그림 12와 그림 13에 나타내었다. 시료 중앙부에서 수치해석에 의한 침하량의 압밀도는 간극수압의 소산에 비유될 수 있으며 실험에서 구한 간극수압 소산에 의한 압밀도와 비교할 수 있다. 실험결과와 비교할 때 수치해석의 결과가 시간적으로 빠르게 압밀이 진행되는 것으로 평가되었다. 이는 압밀 실험중 시료의 중앙부에서 간극수압은 압밀 중 일정하게 유지되다가 비교적 단시간에 소산되는 시간적

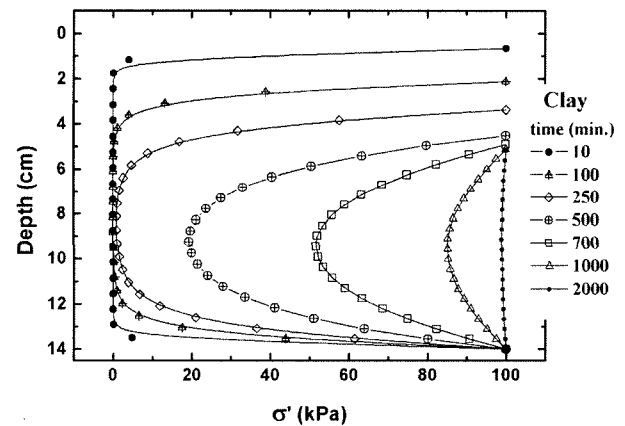


그림 11. 수치해석을 통한 지반 깊이에 따른 유효응력의 분포도(점토)

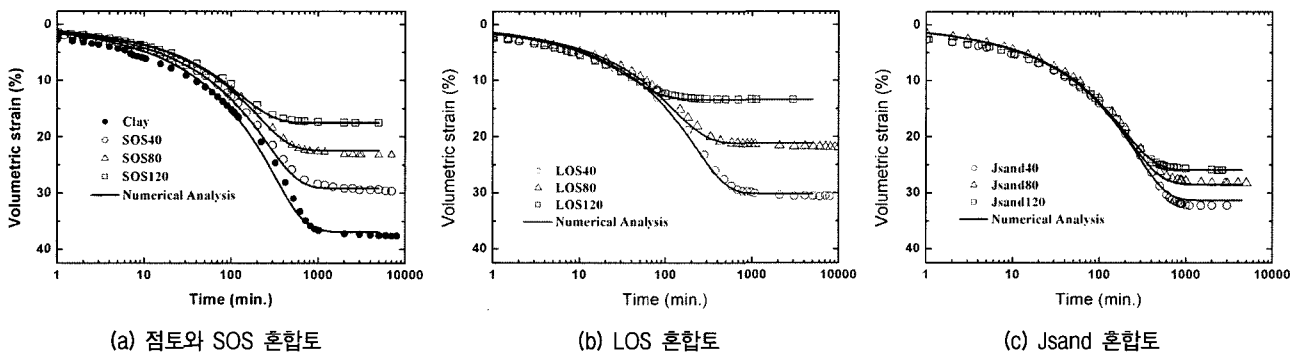


그림 10

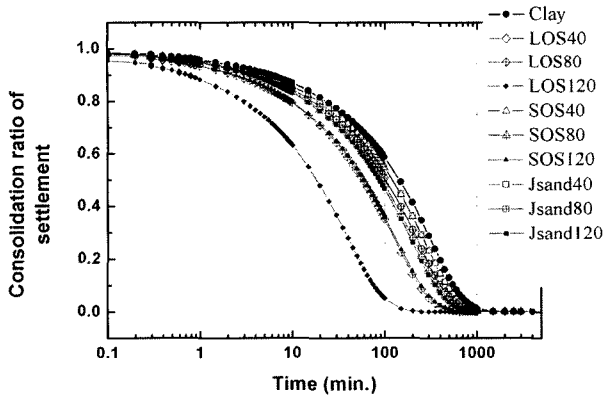


그림 12. 혼합토의 침하량에 의한 평균압밀도

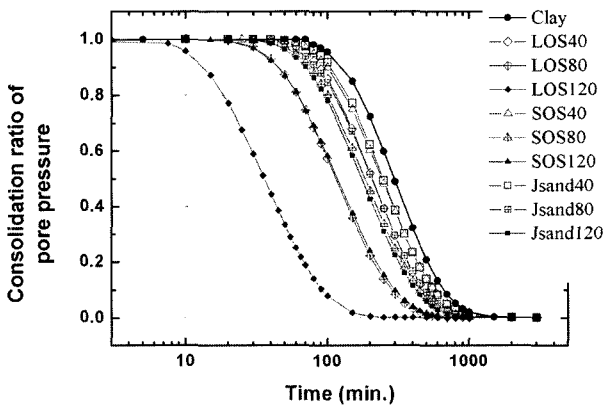


그림 13. 혼합토 중앙부에서의 압밀도

지체현상이 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

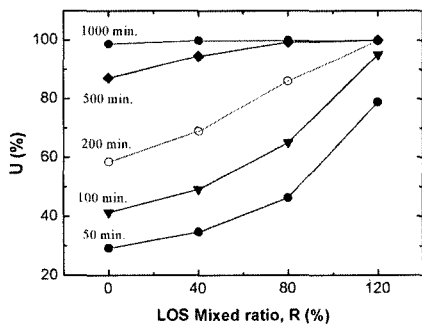
4.2 혼입재료에 따른 혼합토의 평균압밀도

그림 14는 수치해석으로 구한 침하곡선으로부터 일정 시간에 대한 평균압밀도를 나타낸 것이다. 평균압밀도는 최종침하량에 대한 일정시간에서 침하량의 비로서 나타내었다. 평균압밀도 산정 기준 시간은 50, 100, 200, 500, 1000분으로 하였다. 그림 14(a)에 나타난 LOS혼합

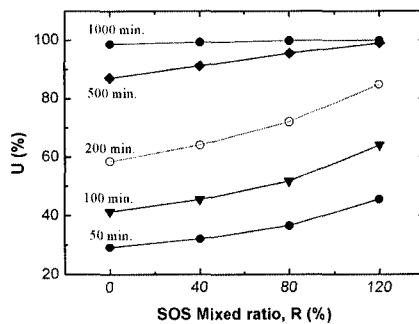
토의 경우, 압밀시간 50분에서 평균압밀도는 혼합률의 증가에 따라 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 그 변화 양상은 혼합률이 80%에서 120%로 증가할 때 평균압밀도의 값의 변화가 크게 나타났다. 그림 14(b)에 나타난 SOS혼합토의 경우, 압밀 시간이 50, 100, 200분에서 혼합률의 변화에 따른 평균압밀도의 변화 양상은 유사하게 나타났다. 주문진표준사 혼합토의 경우 혼합률의 증가에 비례하여 평균압밀도가 증가하는 것으로 나타났다(그림 14(c)). 이러한 변화 양상은 압밀 시간에 관계없이 거의 유사한 경향을 보였다. 주문진표준사 혼합토에서 혼합률에 비례하여 평균압밀도가 증가한다는 것은 표준사의 혼합비, 즉, 혼입재료의 혼입량에 비례하여 평균압밀도가 변화함을 나타내는 것이다. 이는 혼입재료 체적의 증가에 따라 비례하여 압밀도가 증가하는 것이며, 그 양의 크기에 관계없이 일정하게 증가하는 것을 나타냈다. 반면 큰입자 골패각 LOS혼합토의 경우에는 혼입재료의 증가에 따라 압밀도가 비례하여 변화하는 것이 아니고, 혼입량이 증가함에 따라 압밀도가 급격히 증가하였다. 이는 혼합토의 압밀이 단순히 혼입재료 부피의 영향뿐만 아니라 혼입재료의 다른 영향에 의해 압밀의 속도가 커진다는 것을 나타내는 것이다. 결국 같은 양의 혼입재료가 혼합되는 경우라도 입자의 형태 및 크기에 따라 혼합토의 압밀에 미치는 영향은 다르다는 것을 확인하였다.

5. 결론 및 고찰

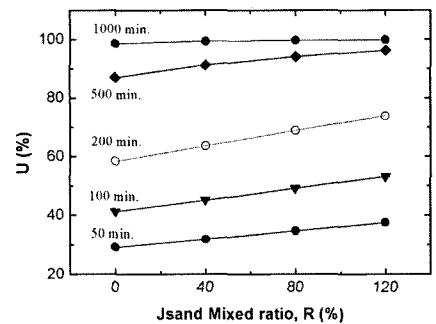
인위적으로 파쇄한 골패각의 입경에 따른 두 종류와 주문진표준사를 혼입재료로 하여 준설점토와 섞어 혼합토를 생성하였다. 각각의 혼입재료에 따른 혼합토의 압밀 실험은 Rowe cell 압밀시험기를 응용하여 새로이



(a) LOS혼합토의 평균압밀도



(b) SOS혼합토의 평균압밀도



(c) Jsand 혼합토의 평균압밀도

그림 14

제작한 시험기로 실시하였으며 이와 더불어 수치해석을 통해 혼합토의 침하량과 간극수압 변화 등을 고찰하였다. 이를 통해 얻은 혼입재료에 따른 혼합토의 압밀 특성 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 응력분담률 개념을 통한 해석 결과 입자가 큰 파쇄 골패각인 LOS가 혼합되는 경우 혼합률 120%에서는 외부하중의 약 80%를 혼입재료가 부담하는 것으로 평가되었다. 반면 같은 혼합률에서 표준사 혼합토에서는 혼입재료인 표준사가 외부하중의 약 50%만을 부담하는 것으로 나타났다. 이는 압밀 후 혼합토 매질의 간극비의 차이로부터 산정된 것이며, 따라서 준설매립시 혼입되는 재료에 따라 같은 성토하중이 가해질 경우에도 준설매립층의 압밀에는 차이가 발생할 수 있음을 예측 할 수 있다.
- (2) 혼합토에 대한 제한된 실험데이터를 보완하여 보다 정밀한 데이터를 실험결과가 없는 범위까지 확장하고자 변형률을 근간으로 하는 Mikasa의 압밀이론을 이용하여 수치해석을 실시하였다. 수치해석 결과 구한 평균압밀도를 이용하여 혼입 재료가 혼합토의 압밀 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 평균압밀도의 변화 양상이 혼입재료에 따라 다른 양상을 나타냄을 확인하였다.
- (3) 표준사 혼합토의 경우 모래가 차지하는 부피의 영향에 따른 압밀의 변화 이외에 모래 입자의 골격구조 등에 의한 압밀에 대한 영향이 상대적으로 작다는 것으로 판단되었다. 이는 혼입되는 부피의 증가량과 평균압밀도의 증가량이 비례하는 양상에서 추론할 수 있다.
- (4) LOS와 SOS 골패각 혼합토에서는 평균압밀도가 단 순히 혼합비에 의해서만 영향을 받지 않는 것으로 나타내었다. 이는 표준사 혼합토의 경우와는 다른 것으로 점토 매질 내의 혼입재료 입자 형태 및 분포 형상이 혼합토의 압밀에 영향을 미치고 있는 것으로 판단할 수 있다. 특히 재료적 특성이 같은 혼입재료의 경우에서도 입경의 형태 즉, 크기 등의 물리적 특성이 달라질 경우에도 혼합토의 압밀 특성에 차이가 발생함을 확인하였다.

본 논문에서는 혼합토의 압밀 특성을 평가하고자 혼입재의 입자 형태 및 크기가 혼합토의 거시적 거동에 어떠한 영향을 미치는지를 실험과 수치해석 결과를 중심으로 기술하였다. 향후 혼합토에 대한 연구에서는 혼입재 입자의 매질 내에서의 분포를 고려한 균질화 해석을 통해 혼합토의 미시적 거동 특성 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 이기호, 한중욱 (2001a), “골패각 혼합토의 압밀 및 투수특성”, 대한토목학회논문집, 제21권, 제4-C호, pp.375-384.
2. 이기호, 박준범 (2001b), “골패각을 포함한 혼합토의 전단·변형 특성 평가를 위한 균질화법의 적용” 한국지반공학학회논문집, 제17권, 제4호, pp.183-190.
3. Hashidate, Y.T. (1993a), “Engineering characteristics of sand mixed with crushed oyster-shell”, *29th Proceeding of Japan Geotechnical Society*, pp.869-872.
4. Hashidate, Y.T. (1993b), “Application to sand compaction pile and characteristics of sand mixed with crushed oyster-shell”, *29th Proceeding of Japan Geotechnical Society*, pp.717-720.
5. Hsieh, C. W. and Ho, Y-H (2002), “Engineering properties of tire chip/cohesive soil mixtures”, *TRB, No.02-3001*, Washington, D.C.,
6. Humphrey, D., Sanford, T., Cribbs, M. and Manion, W. (1993), “Shear strength and compressibility of tire chips for use as retaining wall backfill”, *TRR, No. 1422*, TRB, Washington, D.C., pp.29-35.
7. Kaniraj, S. R. and Havanagi, V. G. (2001), “Behavior of cement-stabilized fiber-reinforced fly ash-soil mixtures”, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, ASCE, Vol.127, No.7, pp.574-584.
8. Kumar K.V and Wood D.M. (1999), “Fall cone and compression tests on clay-gravel mixtures”, *Geotechnical Journal*, Vol.49, No.6, pp.727-739.
9. Lee, K.H. (2000), *The study of evaluation of characteristics of waste mixed soils*, Ph.D. dissertation thesis, Tohoku University (in Japanese).
10. Masad, E., Taha, R., Ho C. and Papagiannakis, T. (1996), “Engineering Properties of Tire/Soil Mixtures as a Lightweight Fill Material”, *Geotechnical Testing Journal*, Vol.19, No.3, pp. 297-304.
11. Mikasa, M. (1963), “Consolidation of soft clay - New consolidation theory and its application”, Kajima Shuppan-kai (in Japanese).
12. Miyaji Y. and Okamura, T. (2000), “Geo-material properties of wasted oyster-shell-sand mixture and its application as material for sand compaction pile”, *Proceeding of Coastal Geotechnical Engineering in Practice*, Balkema, Rotterdam, pp.675-680.
13. Omine, K. Ochiai, H. and Yoshida, N. (1998), “Estimation of in-situ strength of cement-treated soils based on a two-phase mixture model”, *Soils and Foundations*, Vol.38, No.4, pp.17-29.

(접수일자 2004. 7. 12, 심사완료일 2005. 4. 28)