

경량혼합토의 도로 노상층 재료 사용 가능성 평가

Evaluation of Lightweight Soil as a Subgrade Material

박 대 옥 Park, Dae-Wook
보베이트하이 Vo, Viet Hai

정회원 · 국립군산대학교 토목공학과 부교수 (E-mail : dpark@kunsan.ac.kr)
국립군산대학교 토목환경공학부 석사과정 (E-mail : haivo2310@gmail.com)

ABSTRACT

PURPOSES : It is to evaluate lightweight soil as a subgrade material based on mechanical tests and calculation of pavement performance.

METHODS : In this research, various contents of cement and air foam are used to make lightweight soil using wasted dredged soil. Uniaxial compressive strength test is conducted to evaluate strength of 7 and 28 day cured specimens. Secant modulus was calculated based on the stress and strain relationship of uniaxial compressive strength test. Resilient modulus test was measured using by repeated triaxial compression test. The measured resilient modulus was used in layered elastic program to predict fatigue and rutting life at a given pavement structure.

RESULTS : Uniaxial compressive strength increases as cement content increases but decrease as air foam content increases. Resilient modulus also increases as cement content increases and decrease as air foam content decrease.

CONCLUSIONS : It is concluded that dredge clay soil can be used as subgrade layer material using by lightweight treated soil method.

Keywords

lightweight soil, air foam, dredge clay, resilient modulus, subgrade, pavement performance

Corresponding Author : Park, Dae-Wook, Associate Professor
Kunsan National University, 558 Daehak-Ro, Kunsan-Si,
Jellabuk-Do, 573-701, Korea
Tel : +82.63.469.4876 Fax : +82.63.469.4791
E-mail : dpark@kunsan.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 연구배경 및 목적

현재 국내에서는 해양 개발로 인한 준설토와 건설잔토, 연약지반 등이 많이 발생하고 있으나 건설재료로 적합하지 않아 대부분 폐기하는 실정이다. 이러한 발생되는 저질의 흙을 처분하기 위해서 현재 대규모 투기장을 마련하여 단순폐기 및 매립에만 의존하고 있는 실정이다. 선진국에서는 단순폐기 및 매립보다는 신기술 및 신공법 개발로 연약지반이나 모래질 성분이 많이 함유한 준설토를 방파제나 안벽 및 호안시공 시 건설재료로 이용하는 등의 재활용 기술을 적극적으로 활용하고 있다. 연약지반이나 준설토 등에 도로시공 시 적절한 강도발

현이 어려운 하부재료나 토취장 개발에 따른 환경파괴 등으로 기존 하부재료의 재활용에 대한 필요성이 증대되고 있다.

경량혼합토(LTS : Lightweight Treated Soil) 공법에 이용되는 기포혼합토는 건설발생토(건설잔토, 슬라임 등), 준설토 등의 원료토에 물과 시멘트의 고화재와 기포를 혼합하여 제작한다. 경량혼합토의 단위중량은 $0.6\sim 1.2\text{gf}/\text{cm}^3$ 으로 일반토사의 40~70%의 중량 감소 효과가 있고, 제작 직후에는 고유동성을 나타내나 고화제의 반응에 따라 최종적으로는 양질의 토양재료와 같거나 그 이상의 강도특성을 가지는 안정처리토가 된다.

국내 경량혼합토는 다짐할 필요가 없는 자체 유동성이 있는 재료임으로 주로 구조물 뒤채움재나 해양구조물 등에 사용하였다. 배운식 및 윤길림(2010)등의 경량혼합토의 연구자료에 의하면 배합토의 원중량, 함수비, 고화재로 사용하는 시멘트량 등과 일축압축강도를 비교하여 최적 배합설계를 결정하였다. 강도발현을 위하여 페타이어와 왕겨를 첨가하였으며, 왕겨는 3%일 때 최대강도를 나타내었고 페타이어는 6%일 때 최대강도를 나타내었다. 김준영(2011) 등은 송도지역의 실트질 점성토에 대하여 배합 함수비, 개량재 배합비, 양생기간을 변화시키며 시멘트와 생석회로 고화처리하고 일축압축시험 및 평판재해시험을 통하여 강도특성을 파악하였다. 일축압축시험과 평판재해시험은 매우 관련성이 크게 나타났으며 이를 바탕으로 개량토를 매립시 표토층으로 이용하였을 경우 건설장비의 주행성을 평가하였다. Jo(2012) 등은 경량혼합토를 이용하여 구조물 뒤채움재 재료개발을 하고자 하였다. 모래성질의 주문진 표준사에 기포와 시멘트를 혼합하여 강도시험을 수행하였다. 함수비가 25%일 때 가장 강한 압축강도와 전단강도가 나타나는 것을 알 수 있었다. 경량혼합토의 밀도, 수직변형, 압축 및 전단강도, 전단탄성계수, 정지토압계수 등을 비교한 결과 뒤채움재로 매우 우수한 것으로 나타났다.

일본에서 처음 경량기포토를 만들고 적용한 Tsuchida(2001) 등의 논문에 의하면 해안지방에서는 건설에 적합한 흙이 부족하기 때문에 준설토를 활용하면 매우 경제적인 것이라 판단하였다. 그들의 연구에 의하면 도쿄만에 퇴적되어 있는 점성질 준설토에 EPS와 시멘트를 혼합한 후 공학적인 성질을 측정하였다. 공학적 성질을 측정한 결과 경량혼합토가 건설재료로 적합하다는 결론을 내렸다. 일본의 Watabe 박사 등은 최근 도쿄 하네다 공항 활주로 건설에 점성질 준설토를 이용한 경량혼합토를 사용하였다. 점성 준설토에 시멘트와 기포제를 혼합하여 경량혼합토를 개발하여 해양구조물 건설에 사용하였다. 경량기포혼합토의 전단강도와 밀도가 해양구조물 설계규정을 만족하였다. Liu(2006)등은 polystyrene pre-puff(PSPP) 구슬과 시멘트 함량 비율이 경량혼합토의 압축강도와 변형특성 등 역학적 성질에 미치는 영향을 분석하였다. 경량혼합토의 밀도는 PSPP함량 조절로 효율적으로 조절할 수 있음을 알 수 있었다. 2~6%의 PSPP 사용으로 밀도는 약 700~1,100 kg/m³ 정도로 효율적으로 감소시킬 수 있었다. 시멘트량을 10~15% 사용하였을 시 경량혼합토의 압축강도와 강성이 크게 증가하는 것으로 나타났다. Wang과 Miao는 시멘트로 처리한 양자강 모래와 EPS를 사용하여 제방재

료로서의 적합성을 평가하였다. 수치해석 모델링을 통하여 일반적으로 사용하는 생석회 고화토와 같은 제방 재료로서의 성능을 보이는 것으로 나타났다. 또한 강바닥의 축적된 폐기준설토를 이용함으로써 경제적으로나 환경적으로 매우 좋은 것으로 나타났다.

경량기포토와 고화토에 대한 다양한 연구를 수행하였으나 위 연구들은 구조물 뒤채움재와 도로 노채 등으로 사용되었을 뿐 도로 하부지반의 노상층이나 보조기층 재료로서의 타당성이 검토된바 없다. 따라서 본 연구에서의 도로포장 하부층 재료 타당성 검토는 그 의미가 크다.

본 연구에서는 전라북도 새만금지역 내부 개발로 인해 이용이 편리한 준설토를 이용하여 경량혼합토를 개발하였으며, 일축압축시험을 통하여 7일 및 28일 강도를 각각 측정하였다. 일축압축시험의 응력변형률(stress-strain) 관계로부터 탄성계수를 산정하였으며, 이를 이용하여 역학경험적 포장 설계법(Mechanistic-Empirical Pavement Design)에 적용하여 노상층으로서의 사용성 평가를 수행하였다.

2. 시험재료 및 방법

군산 및 새만금지역에서 채취한 준설토 시료를 사용하여 기본 물성시험을 실시하였다. 채취한 준설토의 기본적 물리특성을 파악하기 위하여 비중시험, 액성한계시험, 소성한계시험, 함수비시험 등을 실시하였으며 그 결과는 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. Properties of Dredge Soil

Sample Location	Gunsan
Specific Gravity	2.62
Liquid Limit (%)	39.02
Plastic Limit (%)	23.53
Plastic Index	15.49
USGS	CL

본 연구에는 경량혼합토를 성형하기 위하여 기포제가 사용되었다. 기포제는 동물성, 식물성, 합성유계가 등이 있으며, 계면활성작용을 이용하여 물리적으로 기포를 혼합한 것인데 환경친화적인 식물성 기포제를 사용하였다. 혼합토에 균일하게 기포가 분포할 수 있도록 군산대학교에서 개발 및 제작한 기포기를 이용하여 사전에 발포시킨 후, 혼합하는 방법을 적용하였다. 그리고 기포제와 물의 비율을 1:20, 공기압은 2~3kg/cm² 하에 발포시킨 기포를 사용하였다. 사용된 기포제의 특성과 공기

함량에 따른 단위중량은 Table 2와 같다.

Table 2. Characteristics of Air Foam Agent

Type of Air Foam	Vegetable
Specific Gravity	1.03
PH	7.1
Saponification Value	5.30
Sedimentation Index (%)	0
Salt Concentration (%)	1.7
Unit Weight, γ_1 (g/cm ³)	0.047

경량혼합토를 제작하기 위하여 원지반 흙에 고화제 시멘트를 혼합하여 1.4g/cm²이 되도록 물을 희석하였으며, 기포제를 혼합하여 목표 단위중량을 1.2g/cm³가 되도록 하였다. 군산 미장지구의 경우 시멘트함량을 슬러리 무게의 5, 10, 15, 20%로 변화하였고 기포제함량을 20, 25, 30%로 변화하여 시료를 제작하였으나 시료제작 후 양생결과 시멘트함량이 5%인 경우와 기포제함량이 30%인 경우는 시료성형 및 강도발현이 어려웠다. 경량혼합토 기포발생을 위하여 기포발생장치를 이용하여 2~3kg/cm²의 압력하에 발포시킨 기포를 평균 5분 이내에 수행함으로써 경량혼합토 공시체 제작에 따른 기포의 소포를 최소화하였다. 시멘트와 기포제의 함량은 Table 3에 요약하였다.

Table 3. Mix Proportion and Test Conditions

Cement Content (%)	5, 10, 15, 20
Air Foam Content (%)	20, 25, 30
Curing Time (day)	7, 28
Freezing Thaw (cycle)	1, 2, 3

경량혼합토의 일축압축시험을 위한 공시체 제작을 위하여 직경 5.0cm, 높이 12.0cm인 PVC 몰드를 제작하였다. 그리고 PVC 몰드 하부의 밀봉을 위하여 가로와 세로 10cm의 아크릴판을 준비하여 몰드 하부와 아크릴 사이를 접착제를 사용하여 수밀성 있게 고정하였다. 이때 몰드 내면은 경량기포혼합토가 양생되면서 부착되는 것을 방지하기 위하여 그리스(grease)를 얇게 도포하였으며, 양생 후 몰드에서 분리할 때 공시체가 교란되는 것을 방지하기 위하여 분리가 가능한 몰드를 제작하여 사용하였다.

일축압축강도를 위한 실내시험은 KS F 2314(2011)의 기준에 따라 수행하였다. 실내시험에서는 미리 계획된 배합조건에 따라 제작한 공시체를 재하판 사이에 설

치한 후, 매분 1%의 압축변형이 발생하도록 연속적으로 재하를 작동하였다. 그 때 발행하는 공시체의 변형량과 압축하중은 다이얼 게이지와 로드셀에 의해 측정되었다. 한편 공시체에 대한 재하는 압축하중이 최대값을 경과한 후에 그 최대값의 약 50%에 해당하는 압축하중에서 시험을 종료하였다.

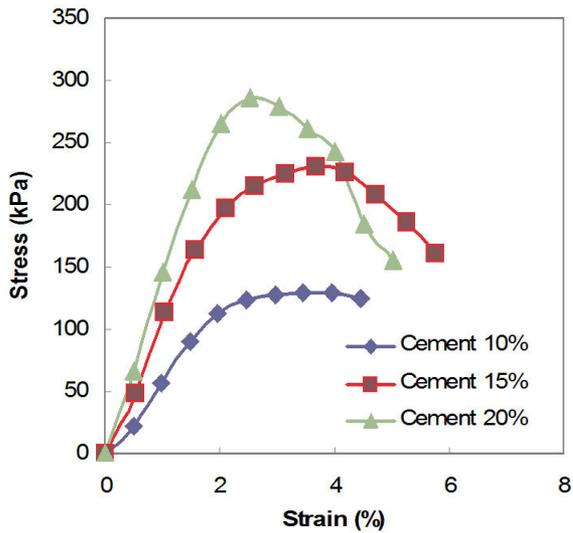
3. 실험결과 및 분석

3.1. 일축압축시험

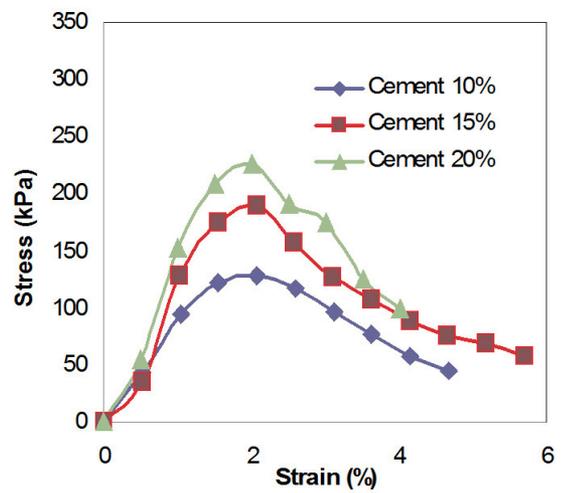
군산 미장지구에서 채취한 연약지반에 대하여 재령기간 7일 및 28일 후의 경량혼합토의 응력-변형거동을 나타내고 있다. 그림에서 일축압축강도는 기포제함량이 감소할수록 시멘트 함유량이 많을수록 강도는 크게 나타나는 것을 보여주고 있고 시멘트 함유량이 15와 20%일 때 뚜렷한 파괴양상을 보여주나 시멘트 함유량이 10%일 때는 최고점을 찾아보기가 어려우며 완만하게 파괴되는 것으로 나타났다. 이러한 취성파괴거동은 시멘트 함유량이 클수록 현저함을 보이고 있다. 기포제 25%의 경우 20%에 비교하여 강도가 감소하였으며 뚜렷한 peak점이 없이 파괴하는 것으로 나타났으며, 파괴변형률이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 28일 강도의 경우 예측한대로 7일강도보다 증가하였으며, 기포제 함량에 무관하게 뚜렷한 파괴양상을 보였다.

Fig. 1은 군산 미장지구에서 채취한 준설토로 제작한 경량혼합토(기포제 20%)의 일축압축강도에 미치는 시멘트 함유량의 영향을 나타내고 있다. 시멘트 함유량이 증가할수록 일축압축강도는 증가함을 알 수 있다. 재령기간 7일에 대한 경량혼합토는 시멘트 함유량이 10에서 15, 20%까지 증가함에 따라, 129에서 230, 289kPa로 약 1.8, 2.2배의 일축압축강도 증가를 각각 보이고 있다. 한편 재령기간 28일의 경우, 시멘트 함유량이 10에서 15, 20%까지 증가함에 따라, 155에서 255, 308kPa로 약 2.0배의 일축압축강도 증가를 보이며, 이는 재령기간 7일의 경우와 비교해서 강도 증가율이 약간 감소하는 것으로 보였다.

Fig. 2는 기포제가 25%일 경우 경량혼합토의 일축압축강도에 미치는 시멘트 함유량의 영향을 나타내고 있다. 재령기간 7일에 대한 경량혼합토는 시멘트 함유량이 10에서 15, 20%까지 각각 증가함에 따라, 101에서 177, 210kPa로 약 2.1배의 일축압축강도 증가를 보이고 있으며, 재령기간 28일의 경우, 시멘트 함유량이 10에서 15, 20%까지 각각 증가함에 따라, 128에서 189, 226kPa로



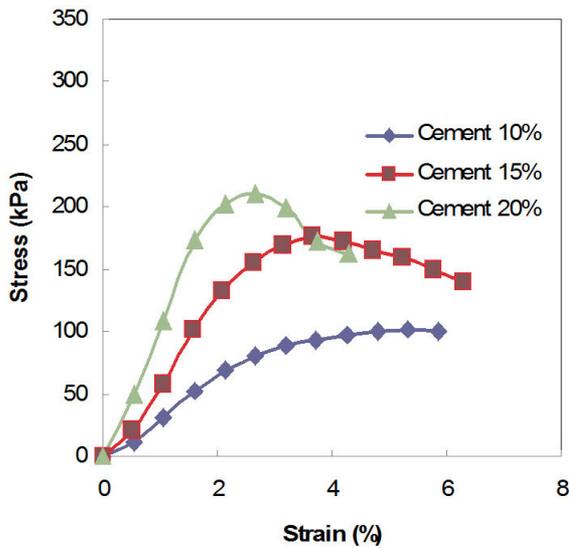
(a) Air Foam 20%, 7 day Curing



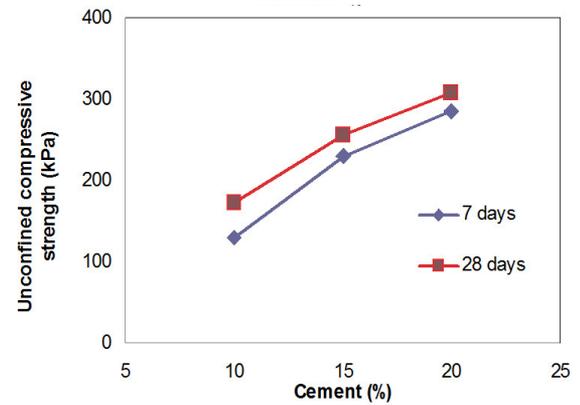
(d) Air Foam 25%, 28 day Curing

Fig. 1 Strain vs. Stress of Uniaxial Compression Test

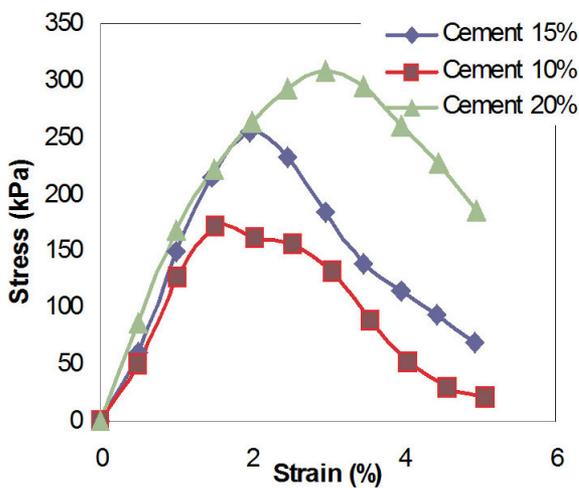
약 1.8배의 일축압축강도 증가를 보이며, 이는 재령기간 7일의 경우보다 강도 증가율이 감소함을 알 수 있다.



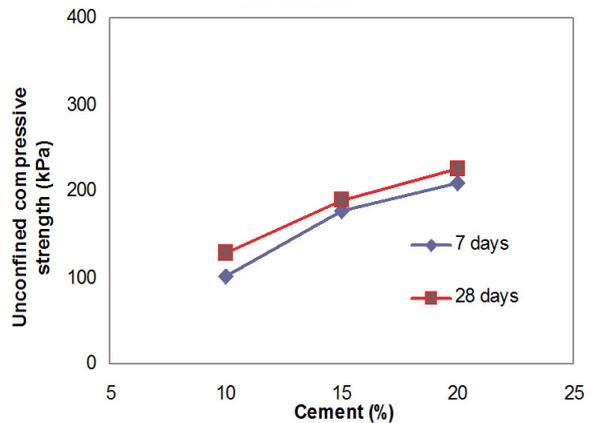
(b) Air Foam 25%, 7 day Curing



(a) Air Foam 20%



(c) Air Foam 20%, 28 day Curing



(b) Air Foam 25%

Fig. 2 Uniaxial Compression Strength

흙이나 아스팔트 혼합물과 같은 응력변형률 관계선이 직선이 나타나지 않고 곡선으로 나타나는 경우가 많으므로 응력변형률 관계상 곡선상의 어떠한 점에서 변형률에 대한 응력의 비율로 정의하며, Fig. 3에서 할선탄성계수(Secant Modulus of Elasticity, E_{50} 또는 E_{sec})의 개념도를 나타내었다.

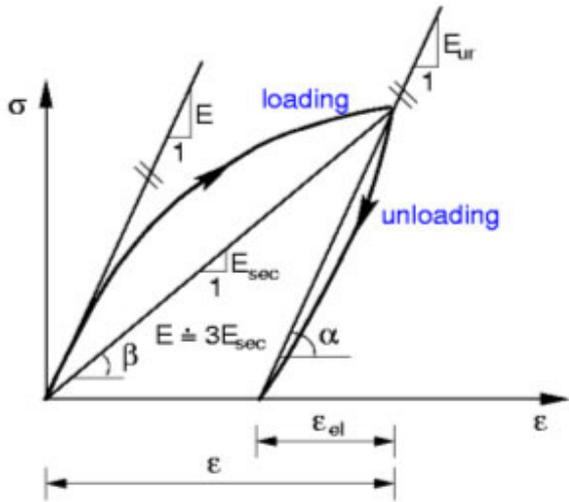
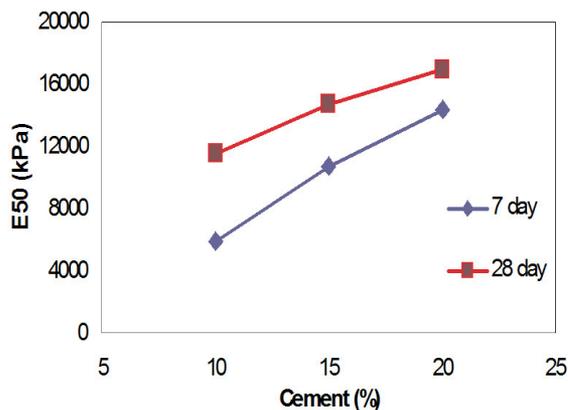
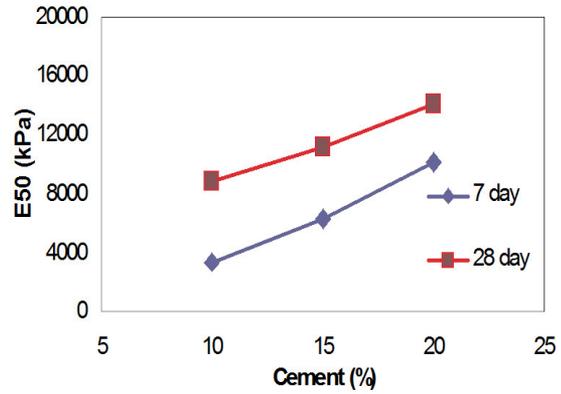


Fig. 3 Schematic Diagram for Secant Modulus of Elasticity

Fig. 4는 할선탄성계수를 각각 나타내었다. 기포제 함량이 각각 20과 25%에 대한 경량혼합토의 시멘트 함유량의 변화에 따른 할선탄성계수를 나타내었으며, 시멘트 함유량이 증가하면서 할선탄성계수의 크기도 증가함을 보여주고 있다. 일축압축강도의 경우 7일과 28일을 비교하였을 때 그 증가량이 미비하였으나 할선탄성계수의 경우 비교적 큰 차이가 남을 알 수 있었다. 7일 양생 시료의 경우 시멘트 함량이 10에서 20%로 증가할 때 할선탄성계수는 5886에서 14411kPa로 약 2.4배 증가함을 보였고 28일 양생시료의 11535에서 16973kPa으로 약 1.5배 그 증가폭이 7일 양생시료에 비교하여 작았다.



(a) Air Foam 20%



(b) Air Foam 25%

Fig. 4 Secant Modulus of Elasticity

경량혼합토의 일축압축강도와 할선탄성계수의 상관관계를 산정하면, Fig 5와 같다. 7일 양생과 28일 양생 모두 0.95와 0.98로 상관관계가 매우 우수하게 나타났다.

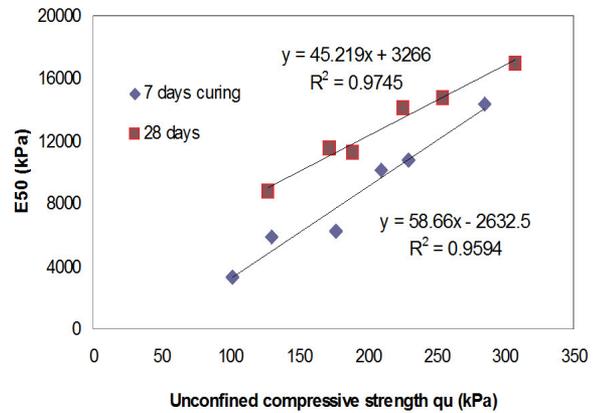
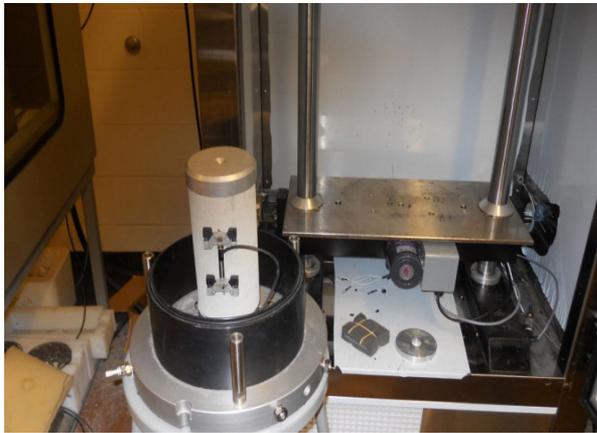


Fig. 5 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Secant Modulus of Elasticity

3.2. 회복탄성계수 시험

경량혼합토의 회복탄성계수 시험은 흙과 자갈의 회복탄성계수 표준시험법인 AASHTO T307 방법에 의해 이루어졌다. 10cm 직경과 20cm 높이를 가진 샘플의 경량혼합토를 이용하여 회복탄성계수를 시험하였다(Kim and Siddiki, 2006). Fig. 6에 경량혼합토의 회복탄성계수 측정시험 setup을 나타내었다.

한 하중주기 동안 하중적용기간과 휴지기(rest period)로 구성되어 있다. 본 시험에서는 Fig. 7과 같이 1초 동안의 하중적용 기간 중 0.1초는 하중을 적용하였으며, 0.9초는 휴지기(rest period)를 가지는 방법으로 하였다.



(a) LVDT Attachment



(b) Confining Pressure Applying

Fig. 6 Test Setup for Resilient Modulus

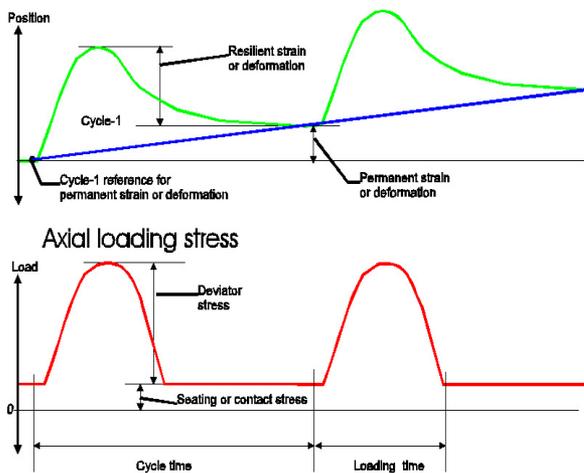


Fig. 7 Applied Loading Conditions and Deformation Response

AASHTO T307에 의한 회복탄성계수 시험에 사용한 압력구성은 Table 4와 같다.

Table 4. Mix Proportion and Test Conditions

	Confining Stress (kPa)	Deviatoric Stress (kPa)	No. of Repetitions
0	41	28	100
1	41	14	100
2	41	28	100
3	41	40	100
4	41	51	100
5	41	60	100
6	28	14	100
7	28	26	100
8	28	40	100
9	28	50	100
10	28	60	100
11	14	13	100
12	14	26	100
13	14	40	100
14	14	50	100
15	14	60	100

Table 4의 하중 구성조건을 이용하여 회복탄성계수 시험을 수행하였으며, 분석결과를 Table 5에 나타내었다. 시멘트량이 증가할수록 회복탄성계수는 증가하였으며, 기포제량이 증가할수록 회복탄성계수는 감소하였다. 이는 일축압축시험과 매우 유사한 결과를 보여준다.

Table 5. Resilient Modulus of Lightweight Treated Soil

LTS	Mr(kPa)
PC10A20	34,605
PC10A25	26,387
PC15A20	44,273
PC15A25	33,607
PC20A20	50,920
PC20A25	42,257

4. 포장공용성 평가

경량혼합토의 회복탄성계수를 층탄성 프로그램의 탄성계수 입력변수로 사용하고 구조해석을 실시하여 아스팔트 층의 맨 아래 층에서의 수평변형률과 노상층의 맨 위 층에서의 연직변형률을 이용하여 피로균열 수명과 소성변형 수명을 각각 예측하였다(NCHRP, 2004). 이렇게 역학적 변형률을 계산한 다음 경험적인 공용성 식에 대입하여 공용성을 구하는 포장 해석방법을 역학-경험적 포장 설계법(Mechanistic-Empirical Pavement

Design) 이라고 한다. Fig. 8에 구조해석에 이용한 포장 구조를 나타내었다. 하중의 크기는 1등가단축하중 (equivalent single axle load)을 나타내는 80kN(18kip)을 사용하였고 타이어 내부 압력은 680kPa(100 psi)을 이용하였다.

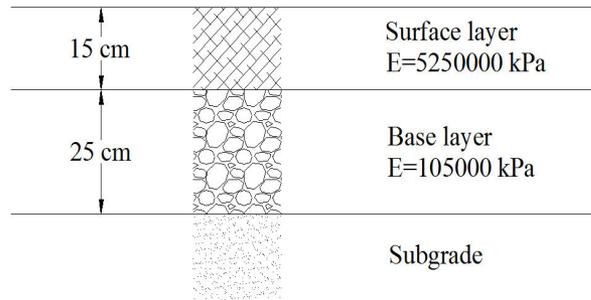


Fig. 8 Pavement Structure Used in this Analysis

구조해석에서 얻은 변형률을 각각 Eq. (2)과 (3)에 대입하여 아스팔트 포장의 피로균열 수명과 소성변형 수명을 예측하였다(Oh, 2013).

$$N_{fc} = 7.9488 \times 10^{-2} \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right)^{3.29} \left(\frac{1}{E_{AC}} \right)^{0.854} \quad (2)$$

여기서, N_{fc} : 피로균열에 의한 파손에 이르는 하중반복 수(ESAL)

ϵ_r : 아스팔트층 하단에서의 수평인장변형률

E_{AC} : 아스팔트 층의 탄성계수(psi)

$$N_r = 1.365 \times 10^{-9} \left(\frac{1}{\epsilon_v} \right)^{4.477} \quad (3)$$

여기서, N_r : 피소성변형에 의한 파손에 이르는 하중반복 수(ESAL),

ϵ_v : 노상층의 상단에서의 연직압축변형률

Fig. 9와 Fig. 10에 피로균열 수명과 소성변형 수명을 각각 나타내었다. 1백만 ESAL을 허용 공용수명이라고 고려할 때 피로균열에 의하여 결정되는 것을 알 수 있다. Fig. 10에서 보듯이 시멘트량이 최소 15% 이상 기포제량이 20% 미만일 때 공용수명을 만족하는 것을 알 수 있어 도로 노상층 재료로 사용하기 위하여 시멘트 15% 이상 기포제 20% 미만을 사용해야 할 것으로 판단된다.

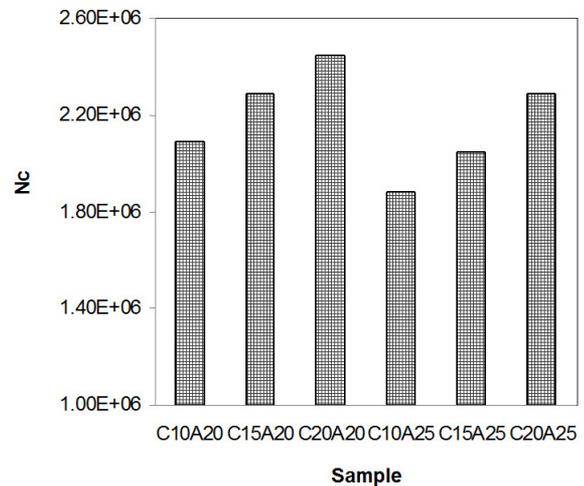


Fig. 9 Prediction of Pavement Fatigue Life

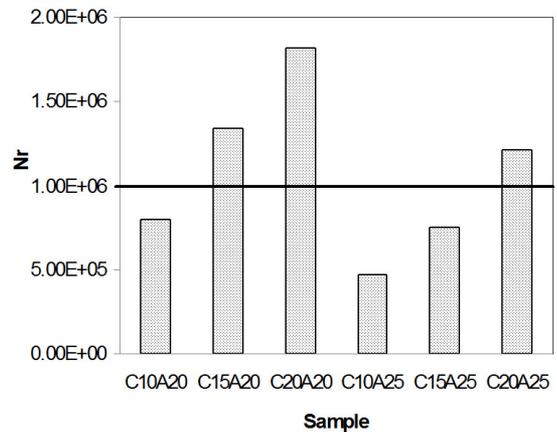


Fig. 10 Prediction of Pavement Rutting Life

5. 결론 및 요약

본 연구의 최종 목표는 폐기되고 있는 준설토를 이용하여 경량혼합토를 만들며, 이를 이용하여 도로포장 노상층의 건설재료로 사용 가능함을 역학적으로 규명하는 것이다. 최종 목표를 달성하기 위하여 점토질 준설토를 이용하여 경량혼합토를 제조하였으며, 제조한 경량혼합토 샘플에 대한 일축압축시험과 회복탄성계수시험을 실시하였다. 측정된 회복탄성계수를 이용하여 역학-경험적 포장 분석을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 일축압축시험결과 시멘트량이 증가할수록 경량혼합토의 강도는 증가하였으며, 기포제량이 증가할수록 강도는 감소하는 경향을 나타냈다.
2. 할선탄성계수를 산정한 결과 경향은 일축압축시험과

유사하였으나 7일과 28일 사이의 비교적 큰 차이를 보였다.

- 회복탄성계수시험 분석결과 일축압축시험결과와 유사하게 회복탄성계수는 시멘트량이 증가할수록 증가하였으며, 기포제량이 증가할수록 감소하였다.
- 경량혼합토를 노상층으로 사용하여 역학-경험적 분석을 한 결과 시멘트함량이 15% 이상이고 기포제함량이 20% 미만일 경우 소성변형수명을 만족하는 것으로 나타났다.

위의 결론을 바탕으로 준설토를 재활용한 경량혼합토는 도로포장 노상층으로 사용가능하다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동 기술개발사업(No. C0022545)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- Jo, S. A., Lee, C., Lim, Y., Jin, K. N., and Cho, G. C., 2012. Geotechnical Characteristics of an Aerated Soil Stabilizer Mixture as Backfill Material, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 35, No. 4, pp586-595.
- Kim, D.H., Siddiki, N.Z. 2006. Simplification of Resilient Modulus Testing for Subgrades. *Joint Transportation Research Program Technical*, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA
- Liu, H. L., Deng, A., and Chu, J., 2006. Effect of Different Mixing Ratios of Polystyrene Pre-Puff Beads and Cement on the Mechanical Behaviour of Lightweight Fill, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 24, pp. 331-338.
- National Cooperation Highway Research Program(NCHRP), 2004. *Mechanistic-Empirical Design Guide of New and Rehabilitated Pavement Structure (MEPDG)*.
- Oh, J.H., 2013. Mechanistic-Empirical Guideline for Routine Overweight Truck Traffic Routes". *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol.9, No. 1, pp. 1-10.
- (오정호, 2013. 과하중 트럭운행 도로에 대한 역학적-경험적 지침, 한국방재학회 논문집 9권 1호, pp. 1-10)
- Tsuchida, T., Porbaha, A., and Yamane, N., 2001. Development of A Geomaterial from Dredged Bay Mud, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 152-160.
- Watabe, Y., 2012. *Use of Cement Treated Lightweight Soils made from Dredged Clays*, 5th International Symposium on Contaminated Sediments, Montreal, QC, Canada.
- Bae, Y. S. and Yoon, G. L., 2010. *Analysis of Determining the Mix Ratio and Strength for Lightweight Soils*, 2010 Korea Geotechnical Society National Conference, Korea
- (배윤식, 윤길림., 2010. 경량혼합토 배합비율과 강도특성, 2010년 한국지반공학회 학술발표회)
- Kim, J. Y., Jang, E. R., Chung, C. K., and Jang, S. H., 2011. The Optimum Mixture Condition for Stabilization of Songdo Silty Clay, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 27, No. 5, pp. 5-15.
- (김준영, 장의룡, 정충기, 장순호, 2011. 송도지역 실트질 점성토 고화처리를 위한 최적배합설계, 한국지반공학회 논문집 제 27권 5호, pp. 5-15)
- KS, 2011. *Standard test method for unconfined compression test of soils*, KS F 2314.
- (KS, 2011. 흙의 일축압축강도시험방법, KS F 2314)
(접수일 : 2013. 8. 6 / 심사일 : 2013. 8. 8 / 심사완료일 : 2013. 10. 2)