

해양준설토를 이용한 유동성 뒤채움재의 역학적 특성

Mechanical Properties of Controlled Low Strength Materials with Marine Dredged Soil

김 주 득* / 이 관 호** / 이 병 식***
Kim, Ju-Deuk / Lee, Kwan-Ho / Lee, Byung-Sik

Abstract

Flowable fill is generally a mixture of sand, fly ash, a small amount of cement and water. Sand is the major component of most flowable fill mixes. Marine dredged soil was adopted for flowable fill instead of fly ash. Natural sea sand and in-situ soil were used for comparison. The flow behavior, hardening characteristics, and ultimate strength behavior of flowable fill were investigated. The unconfined compression test necessary to sustain walkability as the fresh flowable fill hardens was determined and the strength at 3-days appeared to correlate well with the water-to-cement ratio. The strength parameters, like cohesion and internal friction angle, was determined along the curing time. The creep test for settlement potential was conducted. Also, portable falling weight deflectometer(PFWD) test has been carried out for elastic modulus of each controlled low strength materials(CLSM). The data presented show that marine dredged soil and in-situ soil can be successfully used in CLSM.

key words : flowable fill, In-Situ Soil, PFWD, Subgrade

요 지

일반적으로 유동성 뒤채움재는 모래, 플라이애쉬, 물과 소량의 시멘트를 혼합하여 이용한다. 플라이애쉬는 재활용재료로서 최근에 재활용 활용도가 매우 높아, 이를 대체할 대체재로서 해양준설토를 이용하였다. 해양준설토를 이용한 유동성 뒤채움재의 특성을 비교하기 일반바다모래를 이용한 혼합물을 이용하였다. 해양준설토를 이용한 유동성 뒤채움재의 흐름특성, 경화특성 및 일축압축강도 특성을 평가하였다. 유동성 뒤채움재의 초기 공용성평가를 위해 최적의 배합비에서 3일 양생한 시료의 강도 특성을 이용하였다. 시간에 따른 유동성 뒤채움재의 점착력과 내부마찰각을 평가하였다. 또한 차량하중에 의한 침하량을 평가하기 위하여 크리프시험을 수행하였다. 이동용 FWD를 이용하여 혼합재료의 탄성계수를 역산하였다. 이러한 실험결과로부터 해양준설토를 이용한 유동성 뒤채움재의 공학적 특성은 도로하부 지하매설물용 뒤채움재로서 충분한 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 유동성뒤채움재, 현장발생토사, 이동용 FWD, 노상토

* 경성대학교 건설환경공학부 공학석사 (e-mail: p33000@nate.com)

** 정회원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 부교수

*** 공주대학교 건설환경공학부 부교수

1. 서론

현재 국내에서는 부산 신항만, 울산 신항만 및 군장 신항만 등, 대규모 신항만 건설이 진행되고 있으며 이에 따른 엄청난 양의 해양 준설토가 발생하고 있다. 해양수산부 통계자료인 Table 1에서 보는 바와 같이 연간 준설토 발생량은 2000년 515만³, 2001년 1,258만³, 2002년 2,402만³, 2003년 2,201만³, 2004년 3,417만³, 2005년 4,075만³으로 매년 엄청난 양으로 증가 하고 있다. 이러한 발생 준설토를 처분하기 위해서 현재 대규모 투기장을 마련하여 단순 투기 및 매립에만 의존하고 있는 실정인데, 이는 준설토를 적절히 이용하는 관련 재활용 기술이 매우 부족하기 때문이다¹⁾. 그러나, 선진국에서는 단순매립보다는 신기술 및 신공법 개발로 모래질 성분이 많이 함유된 준설토를 방파제나 안벽 및 호안 시공 시 적절히 건설재료로 이용하는 등의 재활용 기술을 적극적으로 활용하고 있다.

준설토의 재활용에 관한 연구는 국내외에서 활발히 이루어지고 있으며 현재 일본에서는 준설토를 활용한 경량혼합토의 활용성을 확보하기 위하여 다양한 현장에 대한 적용성 검증과 현장적용을 해상 및 육상 플랜트를 제작하여 이용하고 있다. 국내의 경우 지금까지의 준설토 활용방안에 대한 연구로 준설토에 기포제와 고화제로 시멘트를 혼화한 경량기포혼화토를 삼축압축 및 일축압축실험을 실시하여 압축특성에 관한 연구, 준설토에 EPS를 혼화한 경량혼화토에 관하여 연구 및 초기 함수비를 달리한 준설토에 기포제와 고화제를 첨가한 경량혼화토의 압축특성에 대한 연구가 수행되었다²⁾⁻⁴⁾. 최근에는 경량혼화토에 모노펄라멘트와 지오그리드를 혼합한 경량혼화토의 강도 증진에 관하여 연구 등이 수행되었다⁵⁾.

본 연구에서는 도로하부 지하매설물의 유동성 뒤채움재로서의 준설토 활용방안에 대하여 연구를 수행하였다. 유동성 뒤채움재는 일반적으로 모래, 시멘트, 물, 플라이애쉬를 이용하는데, 플라이애쉬의 재활용처가 늘어나고, 또한 지역적으로 재료 구득이 용이하지 않는 관계로, 준설토를 플라이애쉬 대용으로 이용하고자 한다. 지하매설물의 설치과정은 기존의 도로 또는 지반을 굴착한 후 굴착면을 정리하고, 콘크리트 또는 모래를 이용하여 베딩재를 설치하고, 이 위에 지하매설물을 설치한다. 지하매설물 설치가 끝나면 굴착된 나머지 부분에 모래 또는 토사를 이용하여 뒤채움을 실시한다. 이러한 시공과정에서 베딩면과 뒤채움재의 적절한 다짐정도가 필요하고, 이것이 지하매설물의 안

정성에 있어서 절대적인 역할을 한다. 기존에 사용하고 있는 지하매설관의 다짐용 뒤채움재의 품질기준은 Table 2에 나타내었다. 그러나 기존에 시공법의 경우 특히 원형 지하 매설관의 경우 관의 하단부의 다짐이 매우 어렵고, 또한 다짐효율이 떨어져서 지하매설물의 안정성을 저감시키고, 이로 인해 각종 파손이 발생한다. 이러한 지하 매설관의 파손을 방지하기 위하여 현재 유동성 뒤채움재(CLSM)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이의 대표적인 특성은 자기수평능력(self-leveling), 자기다짐(self-compacting), 유동성(flowability), 인위적인 강도조절, 시공 후 재굴착이 용이, 시공단계를 줄여 시공비 절감이 가능하다는 것이다.⁶⁾⁻⁸⁾ 유동성 채움재의 자기다짐과 자기 수평을 이루기 위하여 기존의 연구는 화력발전소들로부터 나오는 산업폐기물인 플라이애쉬를 사용하였다.⁹⁾⁻¹¹⁾

Table 1. Annual Marine Dredged Soil¹⁾

Year	Number of Site	Quantity (106m ³)	Area (106m ²)	Cost (10million)
2005	30	40.7	12.1	177
2004	33	34.1	8.8	140
2003	41	22.0	5.8	130
2002	38	24.0	5.8	152
2001	40	12.5	3.6	96
2000	25	5.2	2.2	40

Table 2. Specification for Backfill Materials

Type	Specification
Maximum Size(mm)	100
#4 Sieve Pass (%)	25-100
#200 Sieve Pass (%)	< 15
Plastic Index (PI)	< 10
Modified CBR (%)	> 10

국외의 경우, Peindl 등에 의해 수행된 유동성 재료(fly-ash+concrete mixture)의 매설관 뒤채움재 적용에 관한 연구는 연속적인 교통하중을 받는 환경에서 플라이애쉬와 콘크리트 혼합체(해당논문에서는 ashcrete로 명칭)의 뒤채움재로서의 편리성과 안정성을 증명하기 위해 대규모 현장시험을 실시하여 자료 및 결과를 정리하였다.¹²⁾⁻¹³⁾ Naik와 Singh 플라이애쉬가 대부분을 차지하는 유동성 슬러리와 플라이애쉬의 85%정도를 폐주물사로 대체한 재료와 강도시험을 하여 비교하였다.¹⁴⁾

본 연구에서는 부산 신항만 건설현장에서 채취한 모래질이면서도 입자가 매우 작은 해양준설토를 사용하여 기존의 CLSM(Controlled Low Strength

Material)용 플라이애쉬를 대체함과 현재 연안 매립과 단순투기에 의존하고 있는 준설토의 재활용방안으로서 해양준설토를 이용한 유동성 뒤채움재 기본물성 및 지반/도로공학 설계입력변수 연구에 그 목적을 두었다.

2. 지중매설관 일반

2.1 지하 매설관의 지지강도 특성

일반적으로 대부분의 지하에 매설되어지는 관들은 다음 두가지 원인에 의해 관 상부에 작용하는 총 하중을 지지한다. 첫째로는 외력에 저항하는 관의 고유 강성이고 둘째로는 외력에 저항하는 관 측면에서 작용하는 흙의 수평 토압이다. 강성관에 있어서 관의 고유 강성이 지지강도의 바탕이 된다. 강성관의 경우에는 수직하중에 의한 변형은 무시될 정도로 작으며, 관에 금이 간다던지 혹은 파괴될 때까지 측면에서 충분한 수동저항을 발현시킬 정도의 변형이 발생되지 않기 때문이다. 연성관의 경우 관 그 자체의 고유 강성은 상대적으로 작으나 수직하중을 지지하는 능력의 대부분이 관측면의 흙이 외부방향으로 움직임으로써 유발되어지는 수동 토압에 의하여 결정된다.

따라서 연성관은 되메움 재료를 충분히 다질 경우 수직하중에 의한 관측면의 작은 변형으로도 저항압 즉 수동토압을 유발시켜 안정성을 높일 수 있다. 그러나 다짐이 불충분한 경우에는 관 측면에서의 큰 변형이

발생한 후에야 비로소 저항토압이 일어나게 되어 측면 변형이 커지고, 탄성한계를 넘으면 파괴에 이르게 된다. 연성관의 지지능력은 강성관과 구별될 수 있는 재료의 자체적인 구조적 특성이며 상대적으로 작은 강성을 갖는 연성매설관이라도 구조적 결함 없이 상당한 높이의 포피하중을 견딜 수 있다. 이러한 사실로부터 연성관의 구조적 거동 분석에는 매설된 관측면의 흙에 의한 수평토압이 고려되어야 하며, 그 이유로는 매설관 측면의 되메움 상태에 따라 관의 지지강도 특성이 달라지기 때문이다.

2.2 지하 매설관의 파손 유형

지중에 매설되는 관의 종류에는 관재의 강성에 따라 취성파괴 양상을 보이는 강성관과 연성파괴의 양상을 보이는 연성관으로 나누어진다. 이러한 관의 파괴 유형은 되메움 지반의 밀도와 관의 강성에 따라 각각 다른 파괴유형을 나타내며 Fig. 1과 같이 조사되었다. 그림과 같이 조밀하게 되메움 된 지반에 설치한 강성관은 과도한 하중에 의한 관재의 파손이 발생하며 지반이 느슨하게 되메움 된 지반에 설치된 경우 관 천단 및 측면에 발생하는 소성힌지에 의한 관의 파괴현상이 발생한다. 그러나 대부분의 강성관에 대한 변위는 무시해도 될 정도로 매우 작다. 또한 연성관은 지반이 조밀한 경우에 관의 좌굴현상이 발생하며 지반이 느슨한 경우에는 과도한 변위에 의하여 그 목적이 상실되는 변형이 주를 이룬다.

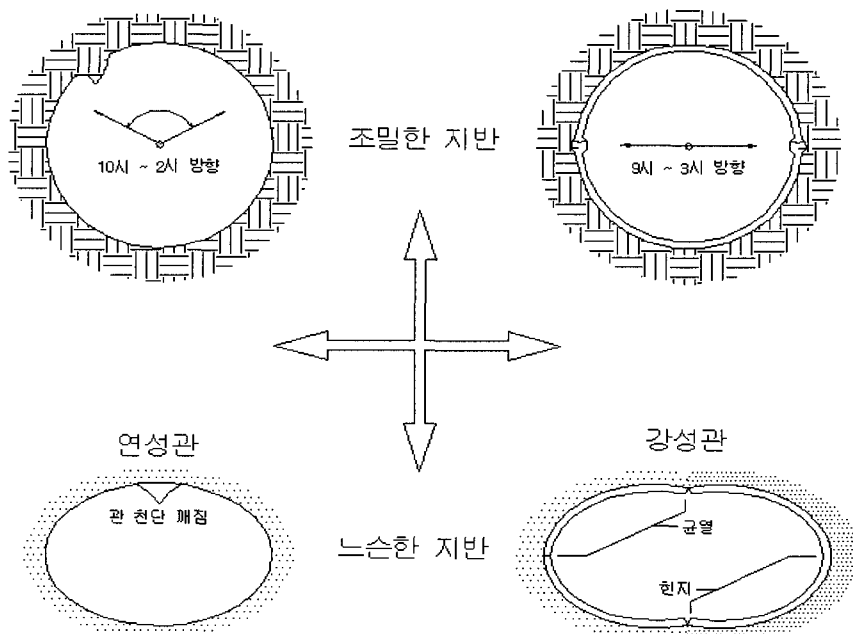


Fig. 1 지하매설관의 파손유형⁶⁾

3. 실험재료의 물성시험

3.1 실험재료

본 실험에 사용된 실험재료는 일반모래, 현장발생토사 및 해양준설토가 이용되었다. 일반모래의 기본특성은 최소건조단위중량(γ_{dmin}) $1.33t/m^3$, 최대건조단위중량(γ_{dmax}) $1.47t/m^3$, 조립률 2.88, 균등계수(C_u) 2.37, 곡률계수(C_g) 0.78, 비중 2.556으로 통일분류법상 입도분포가 나쁜 모래 또는 자갈질의 모래인 SP 판명되었다.

뒤채움재로 사용한 현장발생토사는 한국토지공사 양산-물금지구 택지개발사업 현장에 넓게 분포되어 있는 시료로 기본특성은 현장 자연함수비 14.06%, 조립률 2.84, 균등계수(C_u) 7.29, 곡률계수(C_g) 1.70, 비중 2.565로 통일분류법상 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래인 SW로 판명되었다.

해양준설토는 부산신항만건설이 이루어지고 있는 곳의 시료로서 준설 후 투기장에 투기 후 안정화단계에 있는 것을 사용하였으며, 자연함수비 46%, 조립률 0.27, 균등계수(C_u) 14.29, 곡률계수(C_g) 1.71, 비중 2.321로 통일분류법상의 모래 섞인 탄성적 실트 MH로 판명이 되었다.

Table 3은 사용된 일반모래, 양산도로현장에서 채취한 현장발생토사 및 부산신항만 건설현장에서 채취한 해양준설토의 기본물성 시험결과를 나타내고 있다.

3.2 배합설계

시료의 배합은 먼저 현장발생토사와 모래의 양은 고정시키고 준설토와 물의 양을 번갈아 늘려가면서 흐름치가 22cm를 만족하는 최소물소요량과 준설토량

을 결정하였다. 흐름치는 Nantung이 제안한 시험방법을 이용하였다¹⁵⁾. Fig. 2에서 보이는 바와 같이 $\varnothing 76mm \times 152mm$ 의 한쪽이 개방된 실린더에 시료를 그 표면이 편평하도록 완전히 채운 후, 표면이 매끄럽게 끝난 유리판 위에 부어, 퍼진 재료의 지름이 200~300mm를 만족하는 배합비를 결정하였다. 여기서 부은 시료의 퍼진 정도는 시공 초기에 시료가 자기수평능력(Self-Leveling) 및 적절한 유동성을 갖게 하는 중요한 특성치이다. 흐름치가 결정된 재료의 배합비를 이용하여 양생 3일차 압축강도가 250kPa를 만족하도록 시멘트량을 늘려가며 배합비를 결정하였다. 기존에 이루어진 CLSM관련 연구에서는 유동성용벽 뒤채움재를 사용할 경우 일축압축강도 500~700kPa를 가지도록 하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 KS표준규격상의 지하매설물용 뒤채움의 기본강도 특성값을 평가하여 250kPa를 목표 강도로 잡았다. 흐름치와 일축압축강도를 만족시키는 최적의 배합비를 Table 4와 같이 결정하였다.

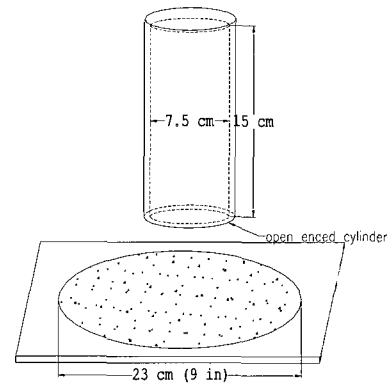


Fig. 2. Flow Test Equipment

Table 3. Soil Properties for Test

Type	Item	Sand	In-Situ Soil	Dredged Soil
Soil Type		SP	SW	MH
Specific Gravity		2.556	2.565	2.321
Water Content (%)		3.55	14.06	46.00
Sieve Analysis	Max. Diameter	75.00	4.75	4.50
	D ₁₀	0.03	0.18	-
	D ₃₀	0.27	0.67	-
	D ₆₀	3.70	2.10	-
	C _u	2.37	7.29	14.29
	C _g	0.78	1.70	1.71

Table 4. Mixing Ratio(%) by Weight

Mix	Sand or In-Situ Soil	Dredged Soil	Cement	Water
Sand CLSM	32.11%	27.75%	3.67%	36.47%
In-Situ CLSM	51.04%	17.87%	3.71%	27.38%

4. 역학적특성 평가시험

4.1 일축압축강도시험

일축압축시험은 KS F 2314 에 의해서 시험을 하였다. 지름 50mm, 높이 100mm 원통형 시편을 제작하였고, 일축압축시험은 압축속도 2mm/min(분당 1.6%정도의 변형)을 적용하였다. Fig. 3은 3일 및 7일 양생시료의 일축압축강도를 나타내고 있다. 3일 양생한 두가지 시료의 경우 일축압축강도는 250kPa가 나타났으며 7일 양생에서는 모래CLSM의 경우 404.5kPa 현장발생토사CLSM의 경우 336.6로 모래CLSM이 현장발생토사CLSM보다 다소 크게 나타났다. 현장 다짐된 시료의 경우 일축압축강도가 69.9kPa로 CLSM보다 현저히 작은 값을 나타내었다.

이를 토대로 보면 CLSM은 현장 적용에 있어 충분한 강도를 가지는 것을 알 수 있다. Table 5는 재료별 일축압축강도를 나타내고 있다. 각각의 방정식은 Fig. 2의 그래프에서 응력이 최고점에 이를 때 까지의 구간에서의 직선의 방정식을 의미하고, R²는 직선의 방정식의 정확도를 의미한다.

4.2 직접전단시험

직접전단 시험은 KS F 2343을 기준으로 하여 시험을 실시하였으며, 각 다짐 방법별로 점착력 c(kg/cm²)와 내부마찰각 φ(°)을 비교 하였고 Table 6에 나타내었다. 방정식은 각각의 혼합물의 수직응력과 전단응력과의 상관관계에서 결정된 것이다. 양생시간이 길어짐에 따라 각각의 혼합물의 점착력이 커지는 현상을 보여주고 있다.

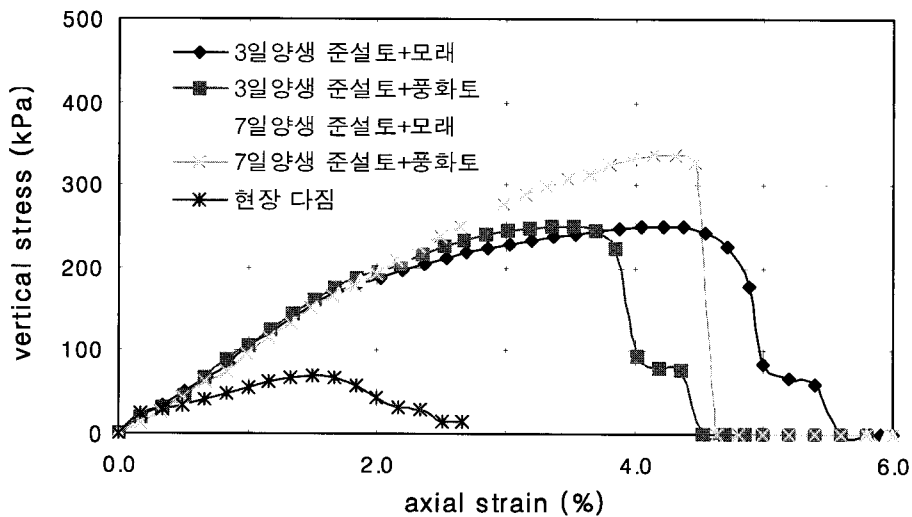


Fig. 3 Uniaxial Strength of Each CLSM

Table 5. Results of Unconfined Strength Test (x:strain, y:stress)

Soil	Curing (day)	Strength (kPa)	Equation	R ²
Sand CLSM	3	250.1	y=61.74x+37.49	0.924
	7	404.5	y=79.83x+20.65	0.978
In-Situ CLSM	3	250.9	y=78.41x+21.42	0.959
	7	336.6	y=83.10x+15.23	0.982

Table 6. Strength Parameters of Each Soil (x:vertical stress, y:shear stress)

Soil	Curing (day)	Cohesion (kPa)	Friction Angle (o)	Equation	R ²
Sand CLSM	3	250.1	9.45	y=0.1662x+38.65	0.875
	7	404.5	11.82	y=0.0325x+80.77	0.883
In-Situ CLSM	3	250.9	8.21	y=0.1444x+71.09	0.911
	7	336.6	12.61	y=0.2238x+92.97	0.982

4.3 크리프시험

크리프시험은 하중의 크기를 일정한 하나의 하중으로 재하하고, Fig. 4와 같이 재하시간에 따른 변형량을 측정하는 것이다. 이는 도로포장체에 가해지는 하중이 반복하중이고, 포장체의 파손이 차량의 반복횟수에 따라 누적되는 누적손상파손개념(Cumulative Damage Analysis)을 적용하기 위한 것으로 노상토의 최대 변형량이 정의된다면, 크리프시험을 통해 최대 변형량이 이르게 되는 차량하중의 반복횟수를 정의할 수 있다. 반복횟수를 연평균일교통량 개념을 이용한다면, 노상토의 변형에 따른 포장체의 수명을 간접적으로 예측 할 수 있다.

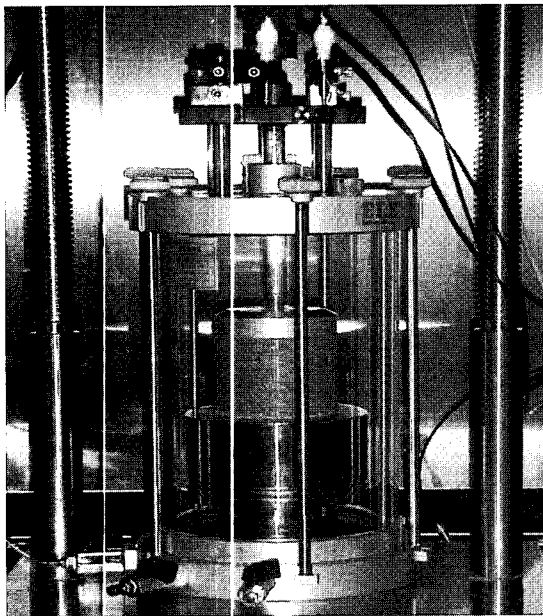


Fig. 4 Testing Equipment

본 연구에서는 차량하중의 반복에 의한 뒤펀재의 변형특성을 평가하기 위해 크리프시험 중 구속 동하중 크리프시험을 수행하였다. 시험에 이용된 시편은 모래 CLSM과 현장발생토사 CLSM의 3일 양생과 7일 양생된 시편과 현장다짐 시료를 이용하여 제작하

였다. 특히, 현장다짐시료의 경우 노상토의 샘플링이 어려운 관계로, 블록샘플링을 한 후, 실내에서 크리프 시험에 맞는 크기의 시편으로 성형하여 이용하였다. 시험은 삼축압축 시험조건에서 시행되었다. 시험온도는 25°C이고, 구속 압력은 AASHTO에서 제시한 포장체상의 표준단면을 적용하여 40kPa 구속압력을 이용하였다. 동하중 크리프시험은 1초의 단위시간당 하중재하와 하중 제거를 반복함으로써 시료의 소성변형 특성을 평가하는 시험이다. 본 연구에서 동하중 크리프시험은 구속압은 40kPa을 가하였다. 하중은 예비하중 0.1kN을 300초 동안 재하한 후 본하중 0.67kN을 0.2초의 하중재하와 0.8초의 하중제거를 1200초 동안 반복하였으며, 300초 동안 하중을 제거하여 그때의 변형량을 측정하였다. 크리프시험의 1200초에서의 최대변형량 및 1500초에서의 영구변형량을 Table 7에 나타내었고 시험결과는 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에 나타난 것과 같이, 모래CLSM 7일 양생한 시료가 가장 변형이 작게 나타났고 현장 다짐 시편이 다른재료에 비해서 월등히 많은 변형을 나타내었다. 현장발생토사CLSM의 경우 3일 양생된 시편과 7일 양생된 시편의 결과 값이 비슷하게 나왔는데 현장 발생토사 CLSM의 경우 3일 양생만으로도 충분히 차량하중에 의한 변형에 견디는 것을 알 수 있다. 전체적으로 결과를 분석해보면 현장다짐 시편에 비해 재료를 혼화한 CLSM시편이 변형량이 월등히 작을 것을 확인 할 수 있다.

5. PFWD를 이용한 물성평가

5.1 PFWD 일반

PFWD(Portable Falling Weight Deflectometer)는 자유낙하 시킨 추로 인해 발생하는 충격하중에 의한 처짐을 측정하며, 최대 처짐과 최대하중 관계곡선에서 탄성계수를 측정하는 시험 장비이다. 노상, 축제, 기초 등의 지지력이나 다짐도를 평가하기 위해 실시되는 전형적인 시험방법인 평판재하시험은 많은 위치

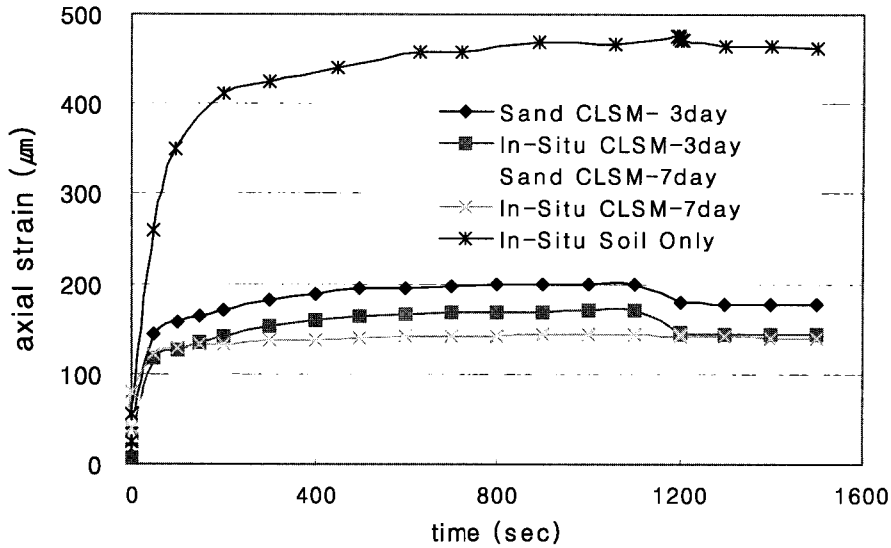


Fig. 5 Creep Strain with Loading Cycle

Table 7. Creep Strain Analysis

Strain (μm)	3 Day Curing		7 Day Curing		Field
	Sand CLSM	In-Situ CLSM	Sand CLSM	In-Situ CLSM	
1 sec	39.89	26.91	49.15	78.75	55.67
1200 sec	178.82	144.95	108.27	142.17	471.94
1201 sec	178.59	145.48	107.22	142.1	470.81
1600 sec	177.09	144.68	104.66	139.81	463.36
Elastic Recovery	1.5	0.8	2.56	2.29	7.45
Visco-Elastic Recovery	0.23	0	1.05	0.07	1.13

에서 시험이 필요하나, 현장에서의 시간적 한계로 인해 관측점의 수가 제한적일 수밖에 없다. 그러나 본 시험의 경우 종래의 방법에 비하여 신속하고 간편하며, 장소의 제약을 받지 않는다는 단점을 가지고 있다. 즉, 시험을 위한 최소한의 공간만 있으면 시험이 가능하여 차량이 접근하기 곤란한 뒷채움 지역, 시추공과 같이 큰 재하 장치가 접근하기 힘든 지역에서도 시험이 가능하다¹⁶⁾⁻¹⁷⁾. PFWD의 시험 장비와 개념과 모양이 거의 비슷한 것으로 일본의 HFWD (Handy Falling Weight Deflectometer)와 덴마크의 LFWD (Light Falling Weight Deflectometer)가 있다.

5.2 PFWD 시험방법

PFWD는 변위계가 부착된 재하판, 하중낙하장비, 전자침하측정장비 및 데이터 출력장비로 구분할 수 있다. 변위계는 재하판 위에 내장되어 있으며 추가적

으로 두 개의 변위계를 설치하여 사용할 수 있다. 이 장비는 10kg, 15kg, 20kg의 낙하 추를 가지고 있으며, 최대 낙하고는 900mm이다. 로드셀의 정밀도는 $1\% \pm 0.1\text{kN}$ 이며 변위계의 정밀도는 $\pm 2\%$ 이상이다. Fig. 6은 PFWD의 시험장비와 결과 분석장비를 보여 주고 있다.

PFWD 재하판은 직경에 따라 100mm, 200mm 300mm 3가지가 있으며, 재하판의 선택은 시험하는 층을 구성하는 재료의 종류에 따라 결정된다. Table 8은 층의 재료 종류에 따라 재하판이 적용되는 직경을 나타내고 있다.¹⁶⁾

Fig. 7은 PFWD 시험결과와 출력화면이다. 그림의 하단은 하중 재하에 따른 처짐 발생을 보여주고 있으며, 재하시간에 따른 하중과 처짐과의 관계를 나타낸 것이다. 그림의 상단은 시험 수행 결과를 분석한 시험 결과표로써 하중, 응력, 재하시간, 변위계의 떨어진 거

리, 최대 처짐량, 탄성계수 등 산출 결과를 보여주고 있다.

본 연구에서는 PFWD시험을 위하여 따로 재료를 시험장을 갖추지 않고, 지하매설관 실험을 위해 셋팅되어진 Fig. 6의 모형토조를 이용하였다. 모형토조는 가로 140cm, 세로 60cm, 높이 90cm의 철재박스형태로 제작되었다. 모형토조의 하단에 최대 직경 30cm 정도의 지하매설관을 설치할 수 있도록 제작되었다. 실험은 현장발생토사, 3일 양생한 모래CLSM, 3일 양생한 현장발생토사CLSM의 세 종류의 경우를 실험하였으며 각 하중별 최대처짐량, 탄성계수에 대하여 알아보았다. 입상재료인 현장발생토사의 경우 15cm 두께로 일반포설을 하고, 80kg의 하중의 연구원이 50회 2층 발다짐을 이용하여 관주변부의 다짐을 수행하였다. 다짐밀도는 약 건조단위중량 기준으로 2.10ton/m³이고, 최적함수비는 약 7%수준을 이용하였다. Table 9는 그 결과를 나타내어 주고 있다.

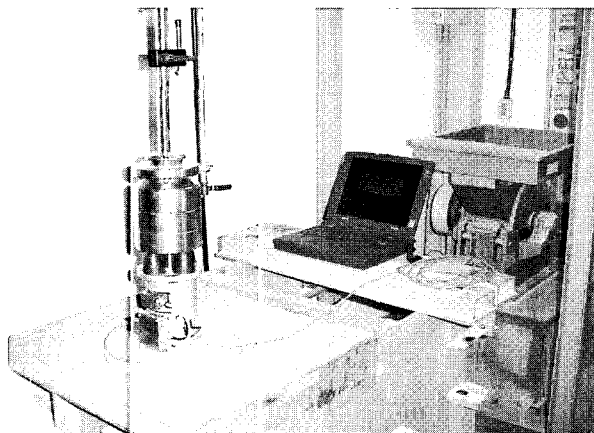


Fig. 6 PFWD Test Equipment and Setting

Table 8. Loading Plate for Each Soil Layer

Plate(mm)	Type of Layer
∅ 300	roadbed, subgrade, subbase, foundation
∅ 200	gravel foundation
∅ 100	asphalt surface

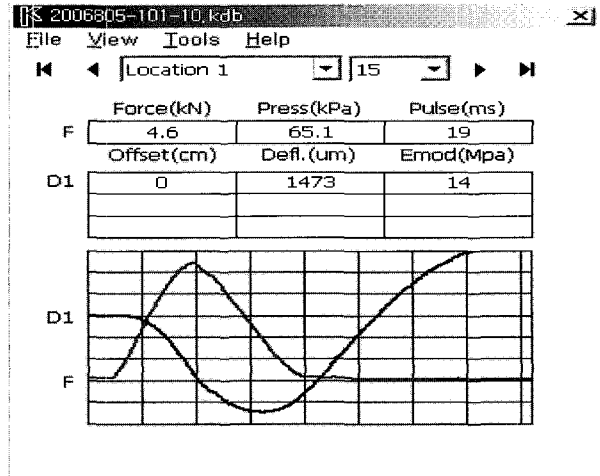


Fig. 7 Computer Screen

현장발생토사를 뒤채움재로 이용한 경우 PFWD가 측정할 수 있는 한계 처짐인 2.5mm를 넘어서기 때문에 그 후는 측정이 불가능하였다. 우선 현장발생토사를 다진 경우가 모래CLSM과 현장발생토사CLSM의 두 가지 경우보다 월등하게 큰 처짐량을 보이는 것을 알 수 있으며, 측정 범위를 벗어나서 측정이 불가능하였다. 최대 처짐의 비교를 통해서 현장발생토사 CLSM이 가장 작은 처짐을 나타내는 것을 알 수 있

Table 9. Test Result of PFWD

Load (kN)		4.5	5.9	7.5	9	11	13	18
Stress (kPa)		64	84	106	128	158	186	258
Max. Strain (um)	①	1040	1447	1884	2323	*	*	*
	②	98	133	172	242	369	487	869
	③	88	112	146	*	225	256	326
Elastic Modulus (MPa)	①	20	19	18	18	*	*	*
	②	200	200	190	169	136	120	95
	③	225	233	226	*	225	235	260

① Insitu Soil Only, ② Sand CLSM, ③ Insitu CLSM

다. 탄성계수의 경우는 하중크기에 무관하게 같게 나와야 하는데, 현장발생토사CLSM의 경우 최대 하중인 18kN에서 탄성계수가 높게 나오는데 이는 하중이 가해지는 순간 모형 토조의 진동에 의해 정확한 탄성계수 값을 측정하지 못하여 나온 결과라 생각된다.

6. 결론

지하매설물용 뒤채움재로서 해양준설토 및 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재 실험으로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 최적배합설계를 위해 3일 양생된 CLSM의 일축압축강도를 목표치 250kPa 및 흐름값 23cm 이상을 이용하였다. 모래 CLSM의 경우 준설토 함유량이 무게대비 약 27.7%, 현장발생토사 CLSM의 경우 17.8%를 이용하였다.
- (2) 7일 양생을 통한 재료의 경우 모래CLSM이 404kPa 현장발생토사CLSM이 336.571kPa로 모래CLSM이 다소 높게 나타났다.
- (3) 모래CLSM 7일 양생한 시료가 가장 변형이 작게 나타났고 현장 다짐 시편이 다른 재료에 비해서 월등히 많은 변형을 나타내었다. 현장발생토사CLSM의 경우 3일 양생된 시편과 7일 양생된 시편의 결과 값이 비슷하게 나왔는데 현장 발생토사CLSM의 경우 3일 양생만으로도 충분히 차량하중에 의한 변형에 견디는 것을 알 수 있다.
- (4) 모형토조를 이용한 PFWD 시험으로부터 각 재료별 탄성계수를 비교하였고, 일반 현장발생토사의 경우 약 18MPa 정도이고, CLSM 개념을 적용한 혼합재료의 탄성계수는 하중조건에 따라 최소 95MPa에서 최대 260MPa까지 나타남을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R05-2003-000-10077-0) 지원으로 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 해양수산부 국내준설토 통계연보 (2006)

2. 김수삼 : 준설토와 EPS를 혼합한 경량혼합처리토의 강도 특성, 한국철도학회지, 제5권 제2호 pp. 61—69 (2002)
3. 김주철 : 준설토를 사용한 경량기포화토의 거동에 관한 실험적연구, 단국대학교 공학 박사학위논문, (2002)
4. 윤길림, 김병탁 : 준설토를 활용한 경량혼화토의 역학적 특성연구, 한국지반공학회, 학술논문집, 제18권 제4호, pp. 75—83 (2002)
5. 권용규 : 섬유혼합 보강경량토의 거동 특성분석, 부경대학교 공학 석사학위 논문 (2006).
6. 박재현 : 유동성 채움재를 이용한 지하매설관의 변형특성 연구. 경성대학교 공학 석사학위 논문 (2004)
7. 이관호, 이인모, 조재운, 윤여준 : 유동성 뒷채움재로 사용하기 위한 플라이애쉬-폐주물사 혼합재료의 특성 연구, 한국지반공학회 정기 봄학술발표회, pp. 489—496 (1999)
8. 이관호, 조재운, 신현무, 김남호 : 폐주물사 및 방석사를 이용한 유동성 채움재의 최적배합설계 및 다짐특성연구, 폐기물학회지, 제 18권 4호, pp. 389—396 (2001).
9. 이관호, 조재운, 조윤희 : 폐주물사를 이용한 유동성채움재의 절토구간 옹벽 뒤채움시 사일로 토압 및 토압경감효과 연구, 한국도로포장공학회논문집, 제 4권 2호, 통권 12호, pp. 19—32 (2002)
10. 조재운, 이관호, 이인모 : 유동특성을 이용한 폐주물사 혼합물의 옹벽뒷채움재 연구, 한국지반공학회, Vol. 16, No. 4, pp. 17—30 (2000)
11. Lee, K., Cho, J., Rodrigo, S. & Lee, I. : Retaining Wall Model Test with Waste Foundry Sand Mixture Backfill, ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 24, No. 4, pp. 401 - 408 (2001)
12. Peindl, R.D., Janardhanam, R., and Burns, F. : Evaluation of Flowable Fly Ash Backfill. Part I: Static loading, Journal of Geotech. Engrg., ASCE, Vol. 118, No. 3, pp. 449 - 463 (1992)
13. Peindl, R.D., Janardhanam, R., and Burns, F. : Evaluation of Flowable Fly Ash Backfill. Part II: Dynamic loading, Journal of Geotech. Engrg., ASCE, Vol. 118, No. 3, pp. 464 - 474 (1992)
14. Naik, T.R. & Singh, S.S. : Permeability of

Flowable Slurry Materials Containing Foundry Sand and Fly Ash, ASCE, Vol. 123, No. 5, pp. 446 - 452 (1997).

15. Nantung, T.E. : Design Criteria for Controlled Low Strength Materials, Ph. D. Thesis, School of Civil Engrg., Purdue University, Aug., pp.334 (1993)
16. Carl Cro Pavement Consultants : User's Manual PRIMA 2.00, Carl (2001)

17. Masaki Kamiura & Etsuo Abe : Stiffness evaluation of the subgrade and granular aggregates using the Portable Fwd, Unbound Aggregates in Road Construction, Dawson, pp. 217-223 (2000)

◎ 논문접수일 : 2007년 04월 21일

◎ 심사의뢰일 : 2007년 04월 27일

◎ 심사완료일 : 2007년 05월 28일