

경량기포혼합토로 뒷채움된 연성매설관의 거동특성

Behavior Characteristics of Underground Flexible Pipe Backfilled with Lightweight Foamed Soil

이용재¹, 여규권², 박상원³, 김홍연^{3*}

Yong-Jae Lee¹, Geu-Guwen Yea², Sang-Won Park³, Hong-Yeon Kim^{3*}

¹Member, Managing Director, Civil Works Division, SAMBU Construction Co., 63, Toegye-Ro, Jung-gu, Seoul, 100-804, Republic of Korea

²Member, Head of Office, Technology Research Division, SAMBU Construction Co., 63, Toegye-Ro, Jung-gu, Seoul, 100-804, Republic of Korea

³Member, Senior Researcher, Technology Research Division, SAMBU Construction Co., 63, Toegye-Ro, Jung-gu, Seoul, 100-804, Republic of Korea

ABSTRACT

Lightweight Foamed Soil (LWFS) is a useful material for underground pipe backfill because of reusability of excavated soil and no compaction effect. In this research, a pilot test is carried out and monitoring results are analyzed to investigate behaviors of a flexible pipe, when LWFS is applied as a backfill material. Simultaneously, they are compared with another test case which is backfilled with Saemangeum dredged soil. As a result, the vertical earth pressure of the case backfilled with LWFS slurry presents that decreases as much as 25.6% in comparison with dredged soil and it is only within 10% after solidification. In case backfilled with dredged soil, the horizontal earth pressure is more than 3.6 times of the case used by LWFS and the vertical and horizontal deformation is more than 3.2 and 2.6 times of the case, respectively. It presents excellent effects on earth pressure and deformation reduction of LWFS. The stresses measured at the upper side of the pipe generally present compressive aspects in case backfilled with dredged soil. However, they present tensile aspects in case of LWFS. It is because of negative moment occurred at the center of the pipe due to the buoyancy from LWFS slurry. Conclusively, LWFS using Saemangeum dredged soil is very excellent material to use near the area in comparison with the dredged soil. However, the countermeasure to prevent the buoyancy is required.

요 지

25.6% 가 , 10% 가
3.6 가 , 3.2 2.6 가
가 , (-)

Keywords : Lightweight foamed soil, Pipe, Backfill material, Earth pressure, Deformation

Received 4 Dec. 2014, Revised 18 Jan. 2015, Accepted 19 Jan. 2015

*Corresponding author

Tel: +82-2-3706-2542; Fax: +82-2-756-3920

E-mail address: hykim74@sambu.co.kr (H. Kim)

1. 서론

상·하수도, 가스, 통신 등 각종 지중매설관을 신규매설 또는 교체하는 과정에서 현장의 양호하지 못한 건설잔토의 처리가 필수적이다. 뿐만 아니라 좁은 도랑(trench)에 관로를 부설하고 제대로 다짐을 실시하지 못하여 향후 표층의 부등침하로 비효율적인 재보수가 반복되고 있는 실정이며, 특히 원형관로의 경우는 다짐작업에 상당한 어려움이 있다. 또한, 현장 다짐에너지에 의해 발생하는 추가적 하중은 구조물에 상당한 토압증가 효과를 유발하는 것으로도 밝혀진바 있다(Duncan et al., 1986). 이러한 문제점을 해결하는 동시에 인위적으로 강도를 조절하여 토압을 경감할 수 있는 방법으로 유동성 뒷채움재(flowable fill)공법이 유용하다.

미국 콘크리트학회(1994)에서는 시멘트, 물, 골재와 플라이애쉬로 구성된 저강도 유동성 뒷채움재를 CLSM (Controlled Low Strength Material)으로 정의하고, 콘크리트 보다 유동성은 좋으나 강도는 약 8.3Mpa 이내에 불과하여 구조물이나 관로 뒷채움재로 적합한 재료로 취급한다. 일본에서는 건설잔토에 고화재와 물을 혼합하거나 기포제를 첨가하여 슬러리 상태로 처리한 재료가 유동화 처리토(liquified soil) 또는 경량기포처리토(air-foam treated lightweight soil) 등으로 이용되고 있다(Cho, 2005). 국내에서는 유동성 뒷채움재로서 경량기포혼합토(Lightweight Foamed Soil; LWFS)가 대표적이며, 기포를 대신하여 경량성질의 발포 폴리스티렌 비즈(EPS bead)나 타이어 분말 등을 연구목적으로 이용한 사례도 있다(Kim et al., 2001; Yoon et al., 2012).

CLSM 개념에 대한 관심은 국내에서도 상당히 집중되었는데 지중 전력케이블 매설시 발생하는 굴착잔토를 조기양생 및 재 굴착이 용이한 급결성 유동화 뒷채움재로 활용하기 위하여 다양한 종류의 흙에 고화재와 물을 혼합하여 실험과 수치해석을 수행한 결과 지하수 영향이 있는 조건에서도 해당재료는 기존의 다짐된 모래지반보다 침하, 강성과 케이블에 발생하는 변형율이 우수하여 기존재료의 대체가 가능하였고, 시공단계별로는 매설직후에 가장 큰 변위를 유발시킴이 확인되었다(Kim et al., 2007). 강성 및 연성관에 대하여 토사, 모래 및 CLSM 재료를 가지고 뒷채움한 경우 수치해석 결과 CLSM 재료는 관의 구조적 강성을 증진시켜 지표면과 관의 침하를 현저히 감소시키고 관 벽의 변위도 감소시켰다. 뿐만 아니라 연성관을 CLSM

으로 뒷채움 한 경우에는 강성관을 토사로 채운 경우보다도 변위가 줄어 경제적인 연성관 매설공법으로 활용할 수 있음이 확인되었다. 동일한 조건에서 실내모형시험 결과 CLSM은 연성관 주변을 강성화시키고 연성관과 재료가 일체화되어 하나의 암괴(rock mass)와 같은 거동특성을 나타낸다(Park et al., 2003). 현장 발생토와 그것을 CLSM으로 제조(시멘트 2%, 플라이애쉬 30%)하여 각각 현장에서 파형강관 뒷채움재로 사용하고 거동을 측정한 결과를 보면 CLSM으로 뒷채움한 관의 변위는 현장 발생토로 수행한 것의 약 1/10 수준이고, 초기시공과정의 연직변위가 전체 변위량에 큰 영향을 미치며, 차량하중 재하시는 연직변위의 변화가 없어 강도특성이 크게 개량되는 것으로 나타난바 있다(Lee et al., 2006). 세립 모래질의 해양준설토를 플라이애쉬 대체재로 이용하여 CLSM을 제조하고 이를 매설관 뒷채움재로 실내모형시험한 결과 모래나 현장 발생토를 이용한 경우에 비하여 현저히 변위가 감소하는 효과를 얻었고, 관 벽의 변형률도 상대적으로 매우 작게 발생하였다. 또한, 수직 및 수평토압 저감효과가 모두 크나 상대적으로 수평토압의 저감이 우수하고 0.1 이하의 토압계수가 측정되어 관로 채움재로서 CLSM은 매우 우수한 것으로 나타났다(Lee et al., 2007).

경량기포혼합토는 CLSM과 재료나 용도면에서 매우 유사하나 경량화시켜 그 기능을 향상시켰다는 면에서 차이가 있다. 경량기포혼합토는 각종 토사(현장 발생토, 준설토 등)에 물과 고화재(시멘트 등), 그리고 기포를 혼합하여 제조한 경량의 고강도 흙으로 정의할 수 있다. 혼합 직후에는 유동성이 매우 크나 시간에 따라 점차 강도를 발현하는 성질은 시멘트 혼합물과 유사하다. 재료의 경량성과 높은 강도로 기존 흙에 비하여 토압경감의 효과가 크고 내구성이 우수하여 연약지반상의 노상 및 노체재료, 구조물 및 관로의 뒷채움재 등으로 유용하다.

경량기포혼합토의 주된 공학적 특성을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 기포 혼합량을 조정함으로써 단위중량을 임의로 조절할 수 있다(보통 $6\sim 12kN/m^3$). 둘째, 고화재 첨가량에 따라 강도를 인위적으로 조절할 수 있다(보통 $q_u = 100 \sim 1,000kN/m^2$). 셋째, 유동성이 커서 장거리 펌프 압송이 가능하고 평탄성 확보(self-leveling)가 용이하여 다짐이 불필요하다. 넷째, 토질에 관계없이 품질이 낮은 건설잔토도 활용할 수 있어 친환경적이다.

경량기포혼합토를 가지고 실내시험한 결과 양생 시간에 따라 정지토압계수는 크게 감소하는 것으로 나타난바

있으며(Jo et al., 2010), 박스구조물의 뒷채움재로 사용할 경우 기존의 뒷채움 방법과 비교하여 초기공사비는 높지만 구조물 유지관리상의 생애주기를 고려할 때 포장재 보수비용이 절감되어 매우 유리한 측면이 있다(Park et al., 2009).

이와 같이 국내에서 여러 가지 유동성 채움재에 대한 연구는 많이 이루어졌으나 기포가 혼입된 경량기포혼합토를 매설관 채움재로 사용할 경우의 거동은 연구가 미진한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 경량기포혼합토를 연성 지중매설관의 뒷채움재로 이용할 경우 관로의 거동을 조사하기 위하여 시험시공 및 계측을 실시하고, 동일한 조건의 토사 뒷채움 시공결과와 비교하였다.

2. 현장시험시공

2.1 준설토의 물리적 성질

현장시험시공 전 원료토인 새만금 준설토의 물성시험을 실시하였다. Fig. 1의 입도분포곡선으로 판단할 때 준설토의 입도분포는 비교적 불량하지 않은 것으로 관찰되

나 균등계수(C_u)는 양호한 반면, 곡률계수(C_g)는 양호한 범위를 벗어나 통일분류법(USCS)상 입도분포가 불량한 실트질 모래(SM)로 분류되었다.

2.2 시험시공 개요

2.2.1 설계 및 시험시공

매설관의 뒷채움 조건은 경량기포혼합토 및 준설토사에 대하여 각각 동일한 제원의 단면을 조성하였다. 경량기포혼합토의 설계에 있어 주된 인자는 단위중량과 일축압축강도이다. 단위중량은 현장 여건상 지하수위 상승을 고려하여 11kN/m^3 로 설정하였고, 일축압축강도는 Table 2와 같이 사하중(DL)과 활하중(LL), 그리고 안전율(F.S=3.0)을 고려하여 계산된 요구강도(q_{req}) 이상이 되도록 결정하였다. 사하중은 토피고와 단위중량을 이용하여 계산하고 활하중은 DB-18에 해당하는 운하중을 2:1 응력분포법을 이용하여 관에 미치는 등분포하중으로 환산하였다.

Fig. 2는 경량기포혼합토(a)와 준설토사(b)의 시험시공 단면을 나타낸다. 관로는 취급이 간편하고 거동특정이 용이한 파형강관($\Phi 1,500$, 2.7t, L=15m, E= 2.01×10^5 MPa, ν

Table 1. Dredged soil properties

| C_u | C_g | USCS | Atterberg limits | G_s | ω_n (%) |
|-------|-------|------|------------------|-------|----------------|
| 29.2 | 7.3 | SM | N.P | 2.652 | 13.6 |

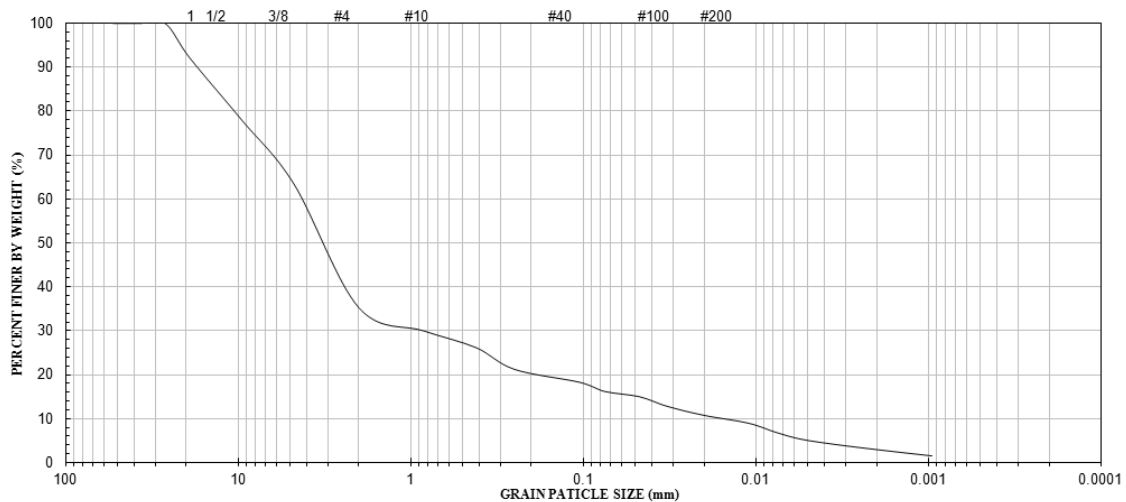


Fig. 1. Grain-size distribution curve for the dredged soil

Table 2. Determination of design strength

| DL (kPa) | LL (kPa) | DL+LL (kPa) | Required strength, q_{req} (kPa) | Design strength, q_{28} (kPa) | Remarks |
|----------|----------|-------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 17 | 48.32 | 65.32 | 195.96 | 200 | $q_{req.}=(DL+LL)*F.S$ |

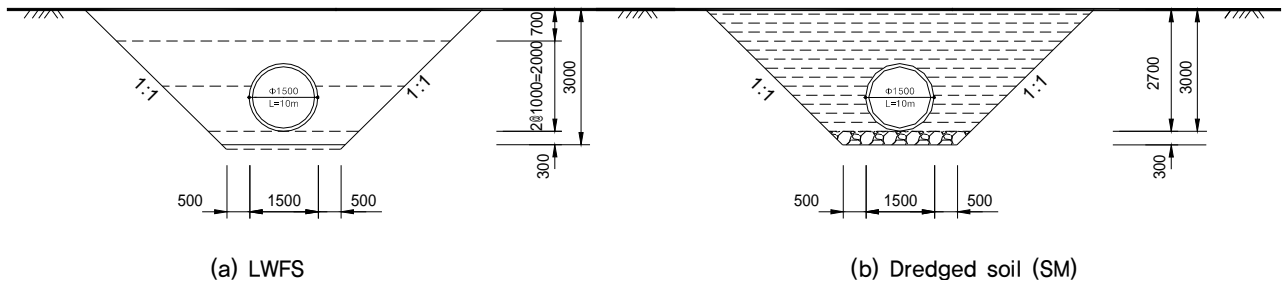
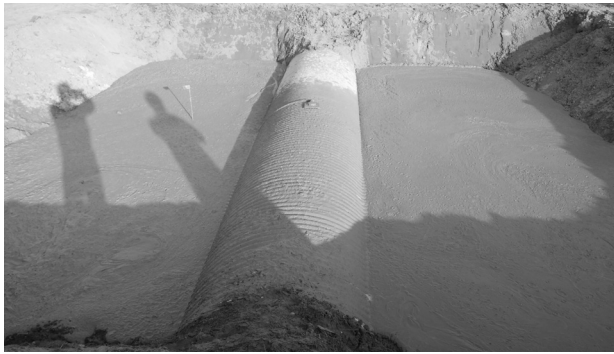


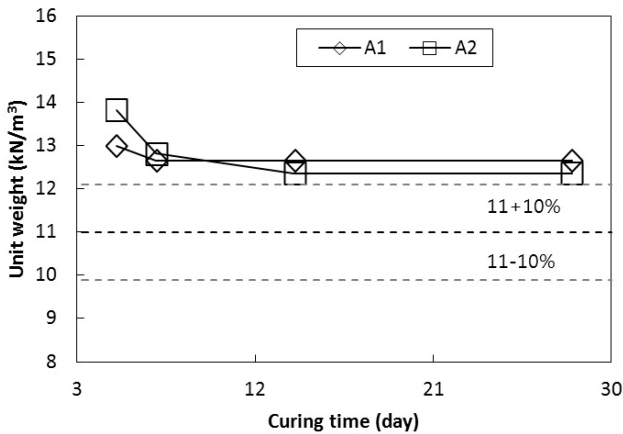
Fig. 2. Cross-section with backfill material



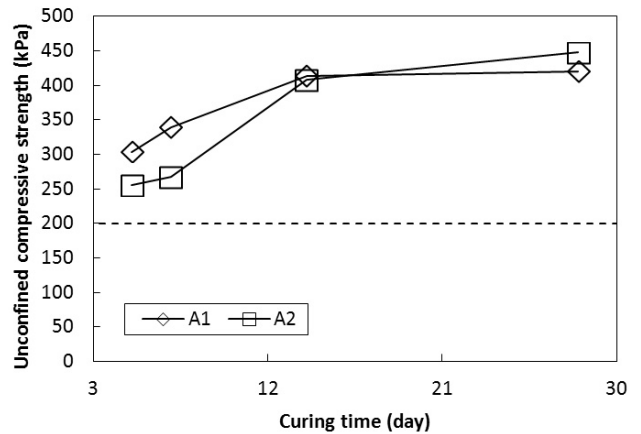
(a) LWFS

(b) Dredged soil (SM)

Fig. 3. Panoramic view of construction



(a) Unit weight



(b) Unconfined compressive strength

Fig. 4. Results of sample test

=0.3)을 이용하였고, 경량기포혼합토 타설 과정에서 발생할 수 있는 관로의 부상을 방지하기 위하여 거치 후 양단부는 토사를 이용하여 고정하였다. 경량기포혼합토 시공은 먼저 기초를 타설 및 양생한 후 관로를 거치하고 계측기를 설치하였으며, 이후 3단계에 걸쳐서 타설 및 양생을 실시하였다. 준설토사 성토는 기초부에 잡석을 포설한 후 단계별로 포설 및 살수, 다짐을 반복하여 조성하였다. Fig. 3은 경량혼합토(a) 및 준설토사(b) 뒷채움의 시공전경을 나타낸다.

경량기포혼합토의 타설 단계에서 굳지 않은 시료를 2회

채취하여 양생일(5/7/14/28일)에 따른 물성시험을 실시하였다. Fig. 4에 나타난바와 같이 단위중량은 14일 이후 거의 수렴되어 28일에는 평균 12.51kN/m^3 로서 오차 상한범위인 12.10kN/m^3 를 다소 상회하였으나 이후 범위 내에 위치할 것으로 판단된다. 일축압축강도는 14일 이후 증가속도가 다소 둔해졌으나 지속적으로 증가하는 추세이며 목표강도 200kPa를 충분히 상회하였다.

2.2.2 계측기 설치

뒷채움재 시공 전 매설관 외부의 천단 및 좌우 측면부

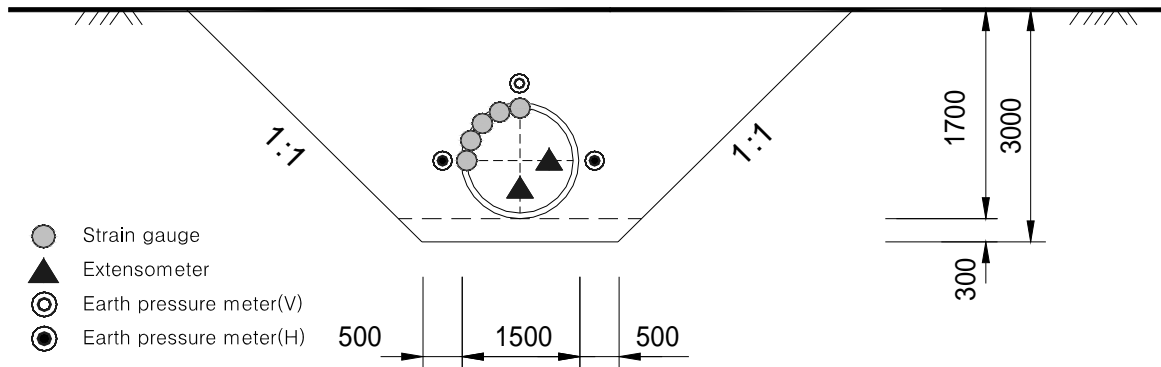
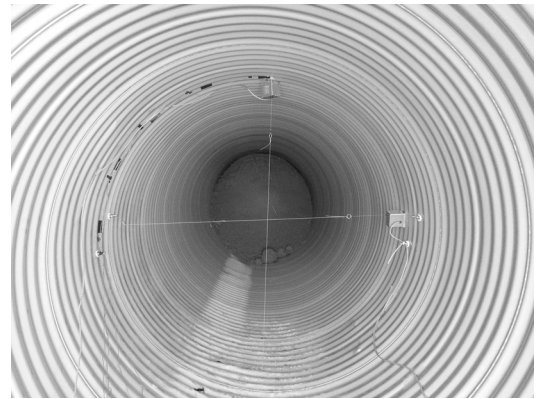


Fig. 5. Measurement plan



(a) Earth pressure meter



(b) Strain gauge and extensometer

Fig. 6. Instruments for measuring

에 연직 및 수평토압계를, 같은 위치의 내부에 각각 연직 및 수평변위계와 상부 사분원 단면에 22.5°간격으로 다섯 개의 변형률계를 설치하여 시공단계 및 완료 후 관로의 거동을 관찰하고자 하였다(Fig. 5). 사용된 모든 계측기는 전기저항 방식으로서 토압계는 최대 2MPa, 변위계는 500mm, 변형률계는 10~15% 변형률까지 측정이 가능하다. Fig. 6 은 계측기 설치완료 후 전경을 나타낸다.

3. 계측결과 및 분석

경량기포혼합토 타설 및 준설토 성토와 함께 1개월 동안 연직 및 수평토압, 연직 및 수평변위와 매설관 재료의 응력을 계측하고 그 결과를 분석하였다.

3.1 연직토압

연직토압 계측결과를 Fig. 7에 나타내었다. 경량기포혼합토의 경우 단계별 타설 하중이 증가함에 따라 토압이 전형적으로 증가하였다. 타설 작업이 종료된 8일 경과 이후

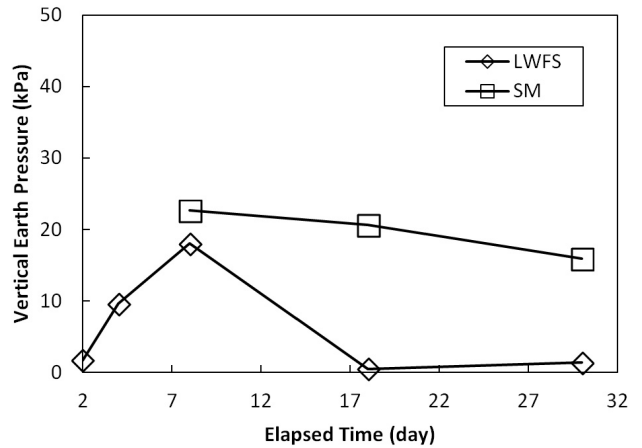


Fig. 7. Comparison of measured vertical earth pressures

에는 양생과 함께 토압이 연속적으로 감소하여 타설 후 10일이 지나자 최소토압을 나타낸 후 수렴하였다. 공기 전 최대토압은 18.03kPa로서 Marston 식에 의한 이론치(28.15kPa) 보다는 관 상부의 하중이 모두 작용한다고 가정한 경우 ($W_d = \gamma \cdot H = 15.01kPa$)에 더 가깝게 나타났다. 동일한 조건에서 준설토사로 성토한 경우는 성토완료 이후 완만하게 토압이 감소하였으며, 그 속도는 약 0.31kPa/day로

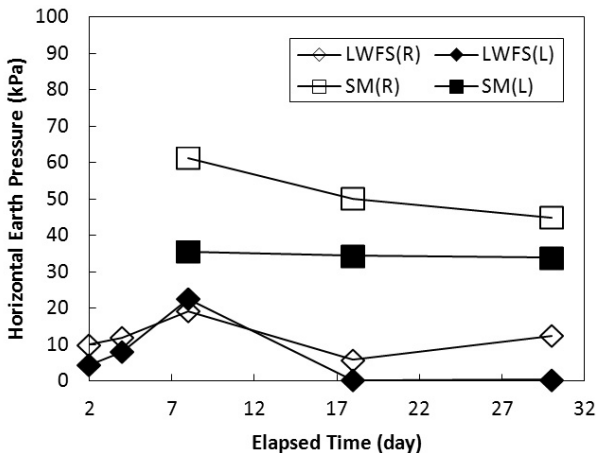


Fig. 8. Comparison of measured horizontal earth pressures

작았다. 최대토압은 $22.64kPa$ 로서 주변 지반의 마찰을 고려하지 않은 이론토압($W_d = \gamma \cdot H = 22.80kPa$)에 근접하게 나타났다. 이는 관로 양 측면 원지반을 굴착한 것이 아니라 구형단면으로 굴착한 후 관로를 거치하고 광범위하게 되메웠기 때문으로 판단된다. 타설 및 성토가 종료된 시점(경과시간 8일)에 경량성토는 토사성토 대비 25.6% 가량 적은 토압을 나타낸 반면, 타설 종료일로부터 22일 후 경량성토 계측결과는 토사성토의 10% 이내에 불과하였다. 타설 직후 연직토압의 차이는 굳지 않은 경량기포혼합토 슬러리와 토사의 단위중량에 의한 결과이며, 그 이후 시간경과와 함께 토사 성토지반이 안정화되면서 다소 토압이 감소하고, 경량기포혼합토 또한 고화되어 그 차이는 매우 커지는 것이다.

3.2 수평토압

Fig. 8은 수평토압 계측결과를 나타낸다. 경량기포혼합토의 타설 과정(경과시간 8일까지)에서 좌우측 사이에 다소의 토압차가 발생하였는데 이는 하나의 토출관을 이용하여 번갈아가며 타설하면서 발생한 편압에서 기인한 것으로 보인다. 좌우측이 나뉘지 않는 상부 타설 단계(경과 시간 8일)에서는 좌우 토압차이가 적어짐이 확인되었다. 타설 이후에는 경량기포혼합토의 고화로 인하여 좌우측 토압 모두 감소하다가 수렴하는 양상을 나타내었다. 준설토사로 뒷채움한 경우는 성토직후 그 차이가 더욱 커 좌우측에 약 $26kPa$ 의 토압차이가 나타났다. 이는 다짐 시 불균질한 다짐에너지와 살수 침투량 차이에 의한 편토압 영향으로 판단된다. 이렇게 발생된 토압차이는 불안정했던 우측의 토압이 시간경과에 따라 감소하여 좌측의 토압과

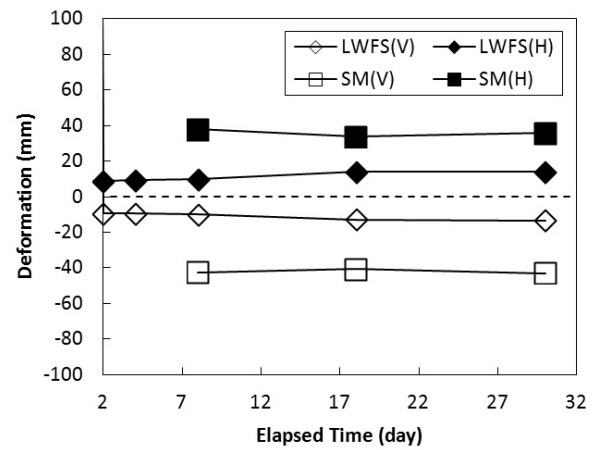


Fig. 9. Comparison of measured pipe deformation

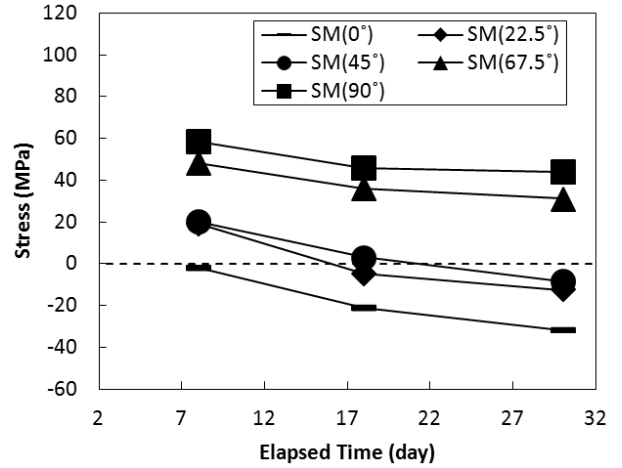
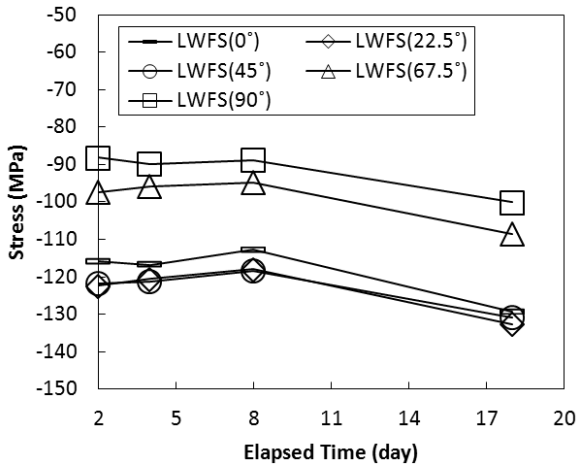
수렴하는 양상을 나타내었다. 타설 및 성토 후 경량기포혼합토와 준설토사의 수평토압은 최소 3.6배 이상의 차이를 보여 경량기포혼합토의 토압경감효과가 큰 것으로 나타났다. 한편, 상재하중 변화가 없는 상태에서 경량기포혼합토의 타설 후 연직 및 수평토압이 크게 감소하는 것은 양생 과정 즉, 수화반응에 의한 재료수축에 따른 영향으로 보이며, 수화반응이 진행되어 고화되면서 일정한 토압으로 수렴하는 것으로 판단된다.

3.3 연직 및 수평변위

관로의 변형 계측결과 Fig. 9와 같이 관로 천단부와 측면부에서의 연직 및 수평변위는 뒷채움 재료에 상관없이 각각 하향 및 외측으로 발생하였고, 경량기포혼합토는 최종 타설 후 3.8~5.1mm 증가, 준설토사는 성토 후 0.3~2.2mm 변화하는데 그쳤다. 이들 변위는 18일 이후 모두 수렴하였다. 준설토사 뒷채움 시 최종 연직변위는 경량기포혼합토의 약 3.2배, 수평변위는 약 2.6배 크게 발생하였다. 아울러, Fig. 7과 8에서 수평토압이 연직토압 보다 크게 계측된 현상도 연직변위가 하향으로, 수평변위가 외측으로 발생한 것과 같이 저토피 조건에서 연성관의 거동특성에 따른 아칭(arching) 영향으로 판단된다.

3.4 관로의 응력

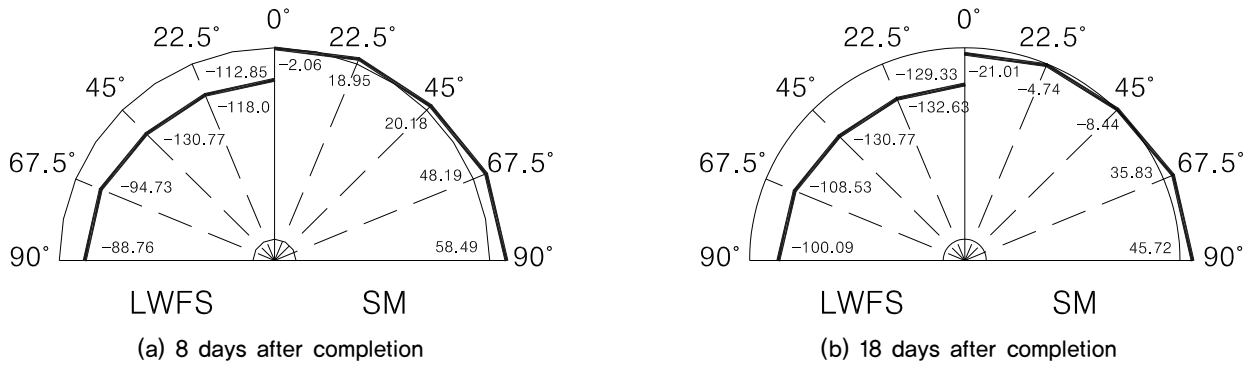
Fig. 10은 뒷채움 조건에 따른 매설관의 응력변화를 나타낸다. 계측지점은 관로 천단부(0°)에서 측면부(90°)까지 4분원 단면에 22.5° 간격의 5개소이다. 준설토사 성토의 경우 초기에는 전반적으로 압축응력이 발생하였으나 시간경



(a) LWFS

(b) Dredged soil (SM)

Fig. 10. Stress variations for pipes



(a) 8 days after completion

(b) 18 days after completion

Fig. 11. Stress distributions with pipe backfill material

과에 따라 관 주변 지반의 강도가 증대되면서 압축응력이 감소하는 경향을 나타낸다. 측정위치별로는 측면부에 가장 큰 압축응력이 발생하고 천단부로 갈수록 압축응력은 소멸되었다. 이는 토피하중에 의한 관의 변형영향으로 판단된다. 경량기포혼합토의 경우 계측기를 설치한 4분원 단면에서 타설 초기부터 모두 인장응력이 발생하였다. 이는 슬러리 상태의 굳지 않은 혼합토를 타설하는 과정에서 단부가 토사로 구속된 관 중앙부에 부력에 의해 부(-)의 모멘트가 발생하였기 때문으로 추정된다. 따라서, 통상 장거리의 매설관에 경량기포혼합토를 타설할 경우 고정 장치 등 부력에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 보인다.

Fig. 11은 뒷채움 재료별로 측정위치에 따른 관의 응력 분포를 다이어그램으로 나타낸 것이다. 경량기포혼합토로 채워진 관로는 측면부로 갈수록 인장응력이 감소하는 경향이 있고 전반적으로 18일 경과 후에도 10~15%의 응력 증가를 보였다. 준설토사로 채워진 관로는 8일 경과 후에는 천단부에서 거의 응력발생이 없고 측면부로 갈수록 압

축응력이 증가하였으나, 그로부터 10일 경과 후(18일)에는 측면부의 압축응력이 천단부의 인장응력으로 전이되는 양상을 나타내었다. 이는 시간경과에 따른 토피층의 밀도 증대와 측압증가의 영향으로 판단된다.

4. 결론

경량기포혼합토와 실트질 모래의 준설토사를 가지고 연성 매설관을 뒷채움한 경우 관 주변의 거동을 비교한 결과 타설 직후 연직토압은 경량기포혼합토의 굳지 않은 슬러리 상태로 인하여 준설토사 대비 약 25.6% 적은 값을 보였으나, 타설 종료일로부터 22일 후에는 10% 이내에 불과하여 양생 후 자중경감효과가 큰 것으로 나타났다. 준설토사로 뒷채움 시 경량기포혼합토와 비교하여 수평토압은 최소 3.6배 이상 크게 측정되어 경량기포혼합토의 토압경감효과는 우수한 것으로 나타났다. 준설토사 성토 시 연직 및 수평변위는 경량성토와 비교하여 각각 3.2배와 2.6배

가량 크게 발생하였다. 매설관 상반부 4분원에서 측정된 응력은 토사 뒷채움 시 대체로 압축응력이 발생한 반면, 슬러리 상태의 경량기포혼합토를 타설한 경우 초기에 발생한 부력으로 인하여 고정된 양단부를 지점으로 부(-)의 모멘트가 발생함으로써 관로 상반부에 인장응력이 발생하는 결과를 얻었다. 따라서, 경량기포혼합토를 지중관로 매설에 활용할 경우 부력에 대비할 필요가 있으며, 특히 연장이 긴 관로시공과 자중이 적은 파형강관 등의 경우에 별도의 관로파괴를 방지하기 위한 장치가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This research was supported by Environment-friendly Dredging, Reclamation and Transport Technology Research Unit and Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement.

References

1. ACI Committee 229 (1994), *CLSM*, ACI 229 R-94.
2. Cho, D. (2005), "Application of Liquefied Stabilization Method Using In-Situ Soil", *Harmony of the Nature and Civilization*, Vol.53, No.10, pp.119-125.
3. Duncan, J. M. and Seed, R. B. (1986), "Compaction-induced earth pressures under K_0 -conditions", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.112, No.1, pp.1-21.
4. Jo, S., Cho, G., Lim, Y. and Lee, J. (2010), "Study on Engineering Property of Lightweight Foam-mixed materials", *Proc. of KSCE Annual Conference 2010*, pp.473-476.
5. Kim, H., Kim, Y., Kang, I., Kim, K., Park, J. and Park, S. (2001) "Material Characteristics and Practical Use of Lightweight Fills Mixed Weathered Granite Soils and EPS Beads", *Proc. of Geosynthetics Conference*, pp.257-264.
6. Kim, T. S., Jeong, S. S., Lee, D. S. and Kim, D. H. (2007), "Deformation Characteristics of Quick-set Flowable Backfill Materials Using Excavated Soil for Underground Power Cables", *Journal of KSCE*, Vol.27, No.1C, pp.45-53.
7. Lee, K. H. and Park, J. H. (2006), "Evaluation of Construction Operation and Design Properties of CLSM for Corrugated Pipe in Underground", *Journal of KSRE*, Vol.8, No.2, pp. 63-74.
8. Lee, K., Kim, J., Hyun, S., Song, Y. and Lee, B. (2007), "Defromation Behavior of Underground Pipe with controlled Low Strength Materials with Marine Dredged Soil", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.7, No.5, pp.129-137.
9. Park, J., Cho, J., Lee, K. and Kim, Y. (2003), "Deformation Characterization of Underground Pipe Using Model Chamber Test", *Proc. of KSRE Conference*, Vol.5, pp.271-278.
10. Park, Y. and Kim, S. (2009), "Economic Analysis of Box Mechanical Behavior Materials Using LCC Analysis", *Journal of Construction Management*, Vo.10, No.6, pp.40-47.
11. Yoon, G. L., Yoon, Y. W. and Ahn, K. H. (2012), "Shear Strength and Deformation Characteristics of Lightweight Soils Mixed with Tire Powder", *Journal of KSCE*, Vol.32, No.6C, pp.259-265.