

실내시험을 통한 이중보온관 되메움 대체재료에 관한 연구

A Study on Alternative Backfill Material for Pre-insulated Pipe through the Laboratory Tests

최 봉 혁¹ Choi, Bong-Hyuck
김 진 만² Kim, Jin-Man
유 한 규³ Yoo, Han-Kyu

Abstract

This paper recommends the alternative back-fill material for the pre-insulated pipe based on the results of tests performed using different kinds of backfill material. In this study, laboratory tests were performed to determine the behavior of the pre-insulated pipe caused by variation on grain size distribution, friction characteristics and earth pressure characteristics of different types of backfill material. Two types of natural sand (fine-grained and coarse-grained sand) and crushed sand, and two types of gravel (10mm, 20mm) were used as backfill material in the laboratory tests. The laboratory test results were analyzed and compared with the pre-insulated pipe backfilled with the standard medium-grained sand. Based on the evaluation and comparison of laboratory test results, it was determined that crushed sand is the most suitable back-fill material that can be used as an alternative for medium grained sand for pre-insulated pipes.

요 지

본 논문에서는 자연모래 2종(세사, 왕사)과 부순모래, 자갈 2종(10mm, 20mm)을 대상으로 실내시험을 통하여 입도 분포 특성, 마찰특성 및 토압특성 등 되메움 재료 별 이중보온관의 거동 특성을 평가하고, 합리적인 되메움 대체재료 제시를 위하여 기존 이중보온관 되메움재인 중사와 비교를 수행하였다. 연구결과에 따르면, 부순모래는 5종의 되메움 대체재료 별 평가결과 이중보온관에 미치는 공학적 특성 및 재료의 수급 측면에 있어 기존 중사를 이용하는 이중보온관 되메움재의 대체재료로 가장 합리적인 재료로 평가되었다.

Keywords : Back-fill material, Earth-pressure, Friction characteristics, Pre-insulated pipe

1. 서 론

일반적으로 매설관(관거, Conduit)은 상·하수도관, 가스관, 송유관, 전기·통신구 등과 같이 인간 생활에 필수적인 에너지를 공급하는 생존 유지시설물인 라이프

라인(Lifeline)의 일종으로 국부적인 손상이 발생할 경우 전체 시스템의 기능을 상실하여 막대한 경제·사회적인 손실을 가져오는 구조물이다.

이때, 매설관은 지중매설 형태로 시공되는 관거 구조물로 재료의 강성도, 매설방법, 구조형식, 사용목적 등

1 정회원, 한양대학교 대학원 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

2 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구실 연구위원 (Member, Research Fellow, Geotechnical Engrg. & Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology, jmkim@kict.re.kr, 교신저자)

3 정회원, 한양대학교 건설환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Hanyang Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2012년 3월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

에 따라 다양하게 분류되는 구조물로서 Moser(2001)에 따르면 1900년대 초 Anson Marston과 M. G. Spangler에 의해 초기 설계이론이 정립된 것으로 알려져 있다. 최근 매설관 관련 연구는 고성토화에 따른 큰 수직하중에 대한 매설관의 안정성 확보를 위한 하중저감기법 연구가 많이 이루어지고 있는 실정으로 Taylor(1973) 등에 의한 유도 도랑형 기법을 시작으로 EPS를 이용한 하중저감 기법 등이 Yuichi(1996), 한국건설기술연구원(2002) 등에 의해 수행되었다. 매설관에 작용하는 수직하중은 매설형태와 재료의 강성도 등에 따라 달라지며, 매설관의 설계는 이와 같은 원리에 기초하여 크게 연성관 및 강성관으로 구분하여 설계방법을 달리 적용하고 있다.

한편, 이중보온관의 내관(Steel pipe), 외관(HDPE), 보온재(PUR) 등으로 구성된 복합관으로 관 내부에 110℃ 내외의 뜨거운 물이 1.6Mpa(16kgf/cm²) 내외의 압력으로 흐르기 때문에 온도 및 압력에 의한 영향을 받고 있어, 기존 매설관과 다른 역학적 특성을 갖는 구조물로서 관 자체의 공학적 특성 및 안정성 평가에 관한 연구가 필요한 실정이다.

여기서, 이중보온관의 되메움재는 외관(HDPE)과의 마찰특성 및 토압특성과 관련되어 있는 설계 및 시공의 주요 영향인자로 기존 이중보온관 설계 시 자연모래인 중사를 사용하도록 규정되어 있다. 그러나, 최근 자연골재 감소에 따른 수급의 불안정성 및 단가 상승으로 인한 경제성 등의 문제가 제기되고 있어 적절한 대체재료의 제시가 필요한 실정이다.

이에 본 논문에서는 기존 되메움 재료인 중사를 대체할 수 있는 대체재료 제시를 위해 자연모래 2중(세사, 왕사), 부순모래, 자갈 2중(10mm, 20mm) 등 다양한 재료에 대한 입도분포 및 마찰특성 평가시험과 모형토조 시험을 통하여 되메움재료 별 이중보온관의 공학적 거동 특성을 평가하고 적절한 대체재료를 제시하였다.

2. 되메움 대체재료의 기본 특성 평가

이중보온관의 되메움 재료 관련 기준은 입도분포와 외관(HDPE)과의 마찰특성으로 제시되고 있으며(건설교통부, 2007), 본 논문에서는 최대입경에 따라 구분되는 자연모래 2중(세사(2mm), 왕사(10mm)), 부순모래, 자갈 2중(10mm, 20mm)을 대상으로 입도분포 특성 및 마찰특성을 평가하고, 기존 이중보온관 되메움 재료인 중사의 대체 재료로서의 적합성 평가를 수행하였다.

2.1 되메움 대체재료의 입도분포 특성

각 시료의 입도분포 특성은 그림 1 및 표 1에서 보듯이 세사 및 부순모래의 경우 재료의 최대입경이 중사에 비해 작지만 기존 이중보온관의 되메움재료 입도분포 기준을 만족하며, 다른 재료의 경우 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다.

여기서, 부순모래는 KS F 2527:2007(콘크리트 부순골재용)의 기준에 따라 석산에서 부순자갈(부순굵은골재)의 제조공정에서 발생하는 부산물인 석분의 입도조정을 통해 생산되는 인공모래로서, 표 2와 같은 입도분포특성을 갖고 있으며, 전체적으로 한국지역난방공사의 이중보온관 되메움재료 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

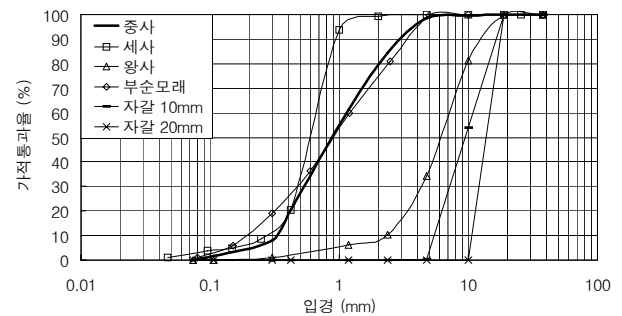


그림 1. 되메움 재료 별 입도분포곡선

표 1. 되메움 대체재료 적합성 평가 시료의 입도분포 특성 평가 결과

| 입경 | 통과량 | | | | | | 기준 ²⁾ (통과량) |
|--------|-------|-------|------|--------------------|--------|--------|---------------------------|
| | 중사 | 세사 | 왕사 | 부순모래 ¹⁾ | 자갈10mm | 자갈20mm | |
| 5mm | 99% | 100% | 37% | 100% | 0% | 0% | 95% 이상 |
| 2.5mm | 84% | 100% | 12% | 82% | 0% | 0% | 80% 이상 |
| 0.6mm | 35% | 50% | 4% | 35.4% | 0% | 0% | 25% 이상 |
| 0.15mm | 4% | 4.70% | 0% | 4.0% | 0% | 0% | 10% 이하 |
| 최대입경 | 7.2mm | 2mm | 11mm | 5mm 이하 | 10mm | 20mm | 9.52mm |

1) 부순모래의 입도분포는 표 2에서 제시된 3개 생산업체 부순모래의 평균입도분포임.

2) 기준(통과량)은 "산업·환경설비공사 표준시방서(건설교통부, 2007)"에 수록되어 있는 기존 지역난방시설 되메움기 재료 기준임.

표 2. 생산업체 별 부순모래의 입도분포 특성 평가 결과

| 구분 | 입경 | 5mm (통과율, %) | 2.5mm (통과율, %) | 1.2mm (통과율, %) | 0.6mm (통과율, %) | 0.3mm (통과율, %) | 0.15mm (통과율, %) |
|----------------------|----|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 부순모래A | | 100.0 | 81.0 | 60.0 | 36.3 | 19.0 | 6.0 |
| 부순모래B | | 100.0 | 85.0 | 67.0 | 40.0 | 12.7 | 2.4 |
| 부순모래C | | 100.0 | 80.0 | 54.0 | 30.0 | 11.6 | 3.7 |
| 평균 | | 68.3 | 56.2 | 42.7 | 25.6 | 10.7 | 2.9 |
| 기준 통과량 ¹⁾ | | 95% 이상 | 80% 이상 | - | 25% 이상 | - | 10% 이하 |

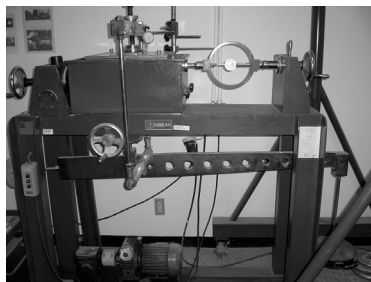
2.2 되메움 대체재료와 외관(HDPE)의 마찰특성 평가

되메움재/외관(HDPE)의 마찰특성은 이중보온관의 열팽창에 의해 발생하는 주변 지반과의 마찰력과 관련하여 이중보온관 설계에 있어 중요한 영향인자로, ASTM D5321에 의해 규정된 직접전단시험(Direct Shear Test)을 이용하여 수행하였다(그림 2 참조).

이때, 마찰특성 평가시험은 1) 전단상자 하부 되메움재 포설, 2) 전단상자 크기(30cm×30cm)로 절단하여 제작한 외관(그림 2의 (b) 참조)을 전단상자의 전단면에

맞추어 포설, 3) 전단상자 상부 되메움재 포설, 4) 상재 하중(30, 60, 90, 120 kPa) 재하 및 전단시험(전단속도 1mm/min) 수행 등의 순서로 진행하였다.

각 되메움재 대체재료와 외관의 마찰특성 평가 결과는 되메움 대체재료 적합성 평가 시료의 마찰각 및 마찰계수 변화를 보여주는 표 3에서 보듯이 전체적으로 한국지역난방공사의 열배관건설업무지침서(2006)에 제시된 이중보온관 마찰계수 0.4보다 큰 것으로 평가되었으며, 세사의 경우 마찰계수, μ 가 0.42로 제안값인 0.4와 가장 근접한 결과를 나타냈으며, 부순모래의 경우 마찰



(a) 대형직접전단시험장치

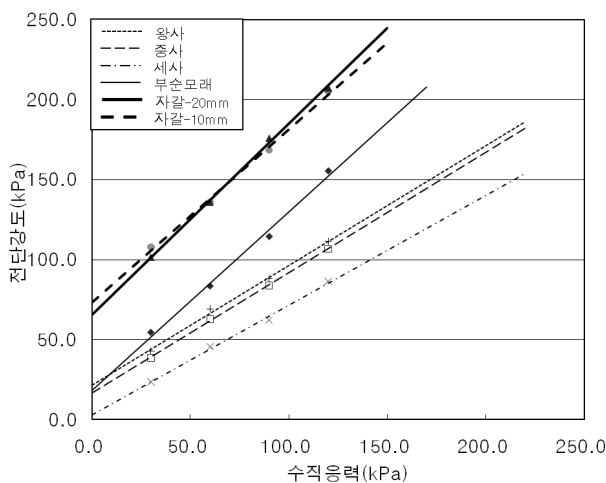


(b) 시험 전 시편

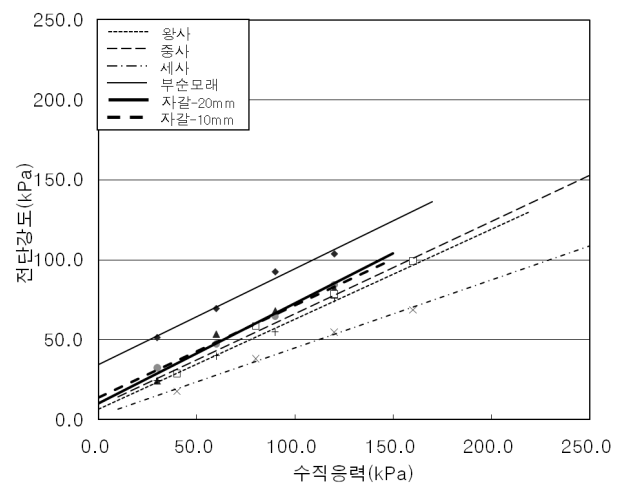


(c) 시험 후 시편(자갈10mm)

그림 2. 대형직접전단시험 장치 및 시험용 HDPE 시편



(a) 토사/토사



(b) 토사/외관(HDPE)

그림 3. 대형직접전단시험 결과에 따른 전단강도-수직응력 곡선

표 3. 되메움 대체재료 적합성 평가 시료의 마찰각(ϕ , °) 및 마찰계수(μ) 변화

| 구 분 \ 흙 종류 | 왕사 | 세사 | 부순모래 | 자갈 10mm | 자갈 20mm | 중사 |
|------------------|------|------|------|---------|---------|------|
| 토사/토사(°) | 36.8 | 34.4 | 48.1 | 47.3 | 50.1 | 36.9 |
| 토사/토사(μ) | 0.75 | 0.68 | 1.11 | 1.08 | 1.20 | 0.75 |
| 토사/HDPE(°) | 29.4 | 23.0 | 30.9 | 30.0 | 32.0 | 30.0 |
| 토사/HDPE(μ) | 0.56 | 0.42 | 0.60 | 0.58 | 0.62 | 0.58 |

* 마찰계수(μ) = $\tan(\phi)$

계수, μ 가 0.60으로 되메움 대체재료 적합성 평가 시료 중 자갈 20mm에 이어 두번째로 큰 것으로 평가되었다.

한편, 시험 후 시편의 손상은 그림 2(c)에서 보듯이 외관 표면에 부분적인 손상이 있을 뿐 안정성에 영향을 미칠 수 있는 큰 손상은 발생하지 않아 외관의 손상만을 고려할 경우 전체적으로 되메움 대체재료로 사용이 가능할 것으로 평가되었다.

2.3 마찰특성을 고려한 이중보온관 최대토피고 평가

이중보온관은 관 내부에 110°C 내외의 뜨거운 물이 흐르기 때문에 시공 완료 후 온수 공급에 의한 온도 변화 시 열팽창에 따른 활동이 발생하며, 되메움재/외관(HDPE)의 마찰특성은 이중보온관의 활동에 의해 식 (1)과 같이 토피고에 따른 마찰력을 발생시키는 것으로 알려져 있다(한국지역난방공사, 2006).

$$F_R = \mu[\gamma_s \times Z \times \pi \times D_c(1 + K_0)/2 + G - \gamma_s \times \pi \times (D_c/2)^2] \quad (1)$$

여기서, μ : 외관과 되메움재의 마찰계수(제안값 0.4)

γ_s : 토사의 습윤 단위체적 중량(≈18kPa)

Z : 관 중심으로부터의 토피(= H + $D_c/2$)

D_c : 외관(PE관)의 외경

K_0 : 정지 토압계수(= $1 - \sin\phi$ ≈ 0.5($\phi=35^\circ$ 적용))

G : 이중보온관의 단위길이당 자중

한편, 이중보온관은 열팽창 시 내관/보온재/외관이 일체거동을 하여야 하며, 각 경계에서 가장 취약한 보온재/외관의 부착력이 외관에 발생하는 마찰력보다 클 경우 일체거동에 의한 안정성이 확보된 것으로 평가할 수 있다.

이때, 이중보온관에 발생하는 마찰력은 전술한 바와 같이 토피고와 관련된 항목으로 마찰력과 보온재/외관의 부착력의 관계로부터 허용 최대토피고를 산정할 수 있으며, 관중 및 마찰계수 별 보온재/외관의 부착력을 고려한 허용 최대토피고는 표 4에서 보듯이 관경 및 마찰계수가 증가할수록 감소하는 것으로 평가되었다.

여기서, 이중보온관의 매설심도는 관상단으로부터 지표면까지 최소매설심도 0.6m 이상, 표준매설심도 1.0m 이상이며, 일반적으로 2.5m를 넘지 않는 것으로 알려져 있다. 따라서, 마찰특성만을 고려한 이중보온관의 안정성은 되메움 재료 별 마찰특성 평가에서 마찰계수, μ 가 0.60인 부순모래를 되메움재료로 사용하여도 확보될 수 있으며, 현장 조건에 따라 허용 최대토피고 이상의 매설심도가 요구되는 경우 되메움 재료 선정 시 마찰력을 최소화할 수 있도록 주의하여야 할 것으로 판단된다.

3. 모형토조시험을 통한 되메움 재료 별 토압특성 평가

이중보온관 되메움재료는 외관(HDPE)과 되메움 재

표 4. 관경 및 마찰계수 별 보온재/외관 부착력을 고려한 허용 최대토피고(단위 : m)

| 관중 ¹⁾ \ μ | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 850A | 8.1 | 6.3 | 5.2 | 4.3 | 3.7 | 3.1 | 2.8 |
| 500A | 12.0 | 9.5 | 7.8 | 6.5 | 5.8 | 5.1 | 4.5 |
| 350A | 17.3 | 13.8 | 11.4 | 9.7 | 8.5 | 7.4 | 6.7 |
| 200A | 27.0 | 21.6 | 17.9 | 15.8 | 13.4 | 11.9 | 10.6 |
| 100A | 29.9 | 23.9 | 19.8 | 17.0 | 14.8 | 13.1 | 11.8 |

1) 관중의 구분은 내경을 기준으로 정해진 호칭지름에 따라 구분하였음.

* 여기서, 보온재/외관의 부착력은 다음과 같이 관중에 따라 산정함.

- 100A 이하 : 100kPa

- 125A 이상 : $F = 200\text{kPa} \times (\text{내관의 외경} \div \text{외관의 내경})$

료 사이의 마찰특성과 상재하중에 따른 토압특성에 따라 이중보온관의 열팽창력에 대한 반발력인 마찰력을 발생시키기 때문에 이중보온관의 안정성에 큰 영향을 미친다.

본 논문에서는 되메움 재료 별 이중보온관에 발생하는 토압 특성 평가를 위하여 모형토조시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

3.1 모형토조시험 개요

이중보온관 되메움 대체재료 제시를 위한 모형토조 시험은 되메우기 재료의 경우 모래의 경우 자연모래 2종(세사, 왕사)과 부순모래를, 자갈의 경우 2종(10mm, 20mm)의 자갈을 사용하였으며, 이중보온관의 경우 기존 되메움 재료로 활용되는 중사에 대한 모형토조시험과 마찬가지로 길이 100cm의 200A-315φ(내경 약 200mm, 외경 315mm)를 사용하였다. 또한, 모형토조는 기존에 수행된 유압식 가압관을 이용하여 상재하중을 조절할 수 있는 140cm×102cm×90cm 크기의 토조를 이용하였다.

이때, 이중보온관에 작용하는 토압 특성 평가를 위한 토압계는 일본 도쿄소키사에서 제작된 직경 50mm, 용량 200kPa의 토압계를 관 상부 1개, 좌우 측면 각 1개, 토조 바닥 1개소에 설치하여 계측을 수행하였다. 한편, 상재하중에 따른 내관 및 외관의 변형은 내관의 경우

수직 및 수평 방향으로 LVDT를 이용하여 평가하고, 외관의 변형 측정은 전면 아크릴 벽에 설치된 쇠자를 이용하여 평가하였으나, 실험 중에 작용하는 상재하중에서의 발생 변형은 없는 것으로 평가되어 본 논문에서는 변형에 대한 분석은 제외하였다(그림 4 참조).

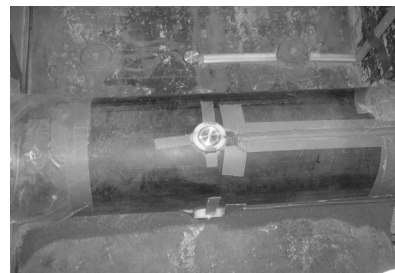
3.2 모형토조시험 결과

모형토조시험을 통하여 평가된 발생 토압특성은 이중보온관의 되메움 대체재료로서의 평가를 위하여 되메움 대체재료 별 토압특성을 보여주는 그림 5에서 보듯이 전체적으로 작용 상재하중에 비해 관 상단에서 발견되는 수직토압이 크고, 관 측면에서 발견되는 수평토압은 상대적으로 작게 나타나는 강성관 거동을 보이는 것으로 나타났다.

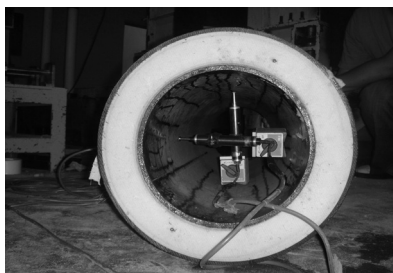
되메움 대체 재료 별 토압특성은 최봉혁 등(2008)에 의해 수행된 중사를 이용한 기존 연구결과를 기준으로 각 상재하중 단계에서 되메움 재료 별 이중보온관에 발생하는 수직·수평 토압의 비를 보여주는 표 5에서 보듯이 세사와 부순모래의 경우 중사에 비해 각각 평균 1.14(세사) 및 1.02(부순모래) 정도의 작은 수직토압 증가를 보여 중사와 가장 유사한 토압특성을 나타냈으며, 왕사 및 자갈(10mm, 20mm)의 경우 입경증가에 따른 아칭효과에 의해 주변지반으로 하중이 전달되어 평균



(a) 이중보온관 시료



(b) 토압계 설치모습

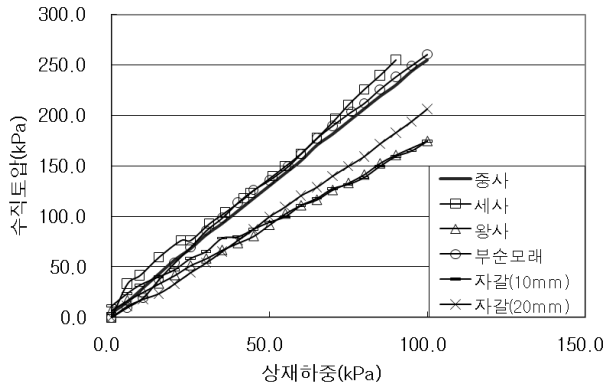


(b) 변위계 설치모습

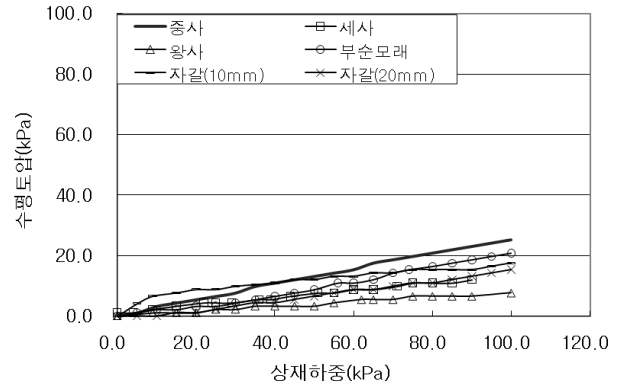


(d) 외부변형측정 모습

그림 4. 이중보온열배관 시료 및 계측기 설치 모습



(a) 이중보온관 상부 수직토압 특성



(b) 이중보온관 측면 수평토압 특성

그림 5. 모래 시료의 퇴매움 대체재료 별 토압특성 곡선

표 5. 퇴매움 대체재료 별 중사 대비 발생 토압비 특성

| 상재하중 | 중사 | | 세사 | | 왕사 | | 부순모래 | | 자갈(10mm) | | 자갈(20mm) | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|----------|------|
| | 수직 | 수평 | 수직 | 수평 | 수직 | 수평 | 수직 | 수평 | 수직 | 수평 | 수직 | 수평 |
| 15 | 1.00 | 1.00 | 1.39 | 0.75 | 0.77 | 0.25 | 0.87 | 0.50 | 0.93 | 1.75 | 0.55 | 0.25 |
| 30 | 1.00 | 1.00 | 1.14 | 0.57 | 0.71 | 0.29 | 1.05 | 0.57 | 0.80 | 1.29 | 0.66 | 0.43 |
| 45 | 1.00 | 1.00 | 1.05 | 0.55 | 0.68 | 0.27 | 1.07 | 0.64 | 0.74 | 1.00 | 0.74 | 0.45 |
| 60 | 1.00 | 1.00 | 1.04 | 0.57 | 0.71 | 0.36 | 1.05 | 0.71 | 0.71 | 0.86 | 0.78 | 0.57 |
| 75 | 1.00 | 1.00 | 1.09 | 0.56 | 0.69 | 0.33 | 1.05 | 0.78 | 0.68 | 0.78 | 0.77 | 0.56 |
| 90 | 1.00 | 1.00 | 1.11 | 0.52 | 0.70 | 0.29 | 1.04 | 0.81 | 0.69 | 0.67 | 0.79 | 0.57 |
| 평균 | 1.00 | 1.00 | 1.14 | 0.59 | 0.71 | 0.30 | 1.02 | 0.67 | 0.76 | 1.06 | 0.72 | 0.47 |

0.71~0.76 정도의 수직토압 감소를 보였다.

또한, 수평토압의 경우 자갈(10mm)을 제외하고 전체적으로 0.30~0.67 정도로 중사에 비해 감소하는 것으로 나타났으며, 자갈 10mm의 경우에도 작은 상재하중(15~45kPa)에서 중사에 비해 증가한 수평토압이 발생하고, 그 이후 상재하중 증가에 따라 중사에 비해 수평토압이 감소하는 것으로 평가되었다.

한편, 이중보온관에 발생하는 하중은 외관(HDPE)과 퇴매움 재료 사이의 마찰특성에 의해 이중보온관의 열팽창력에 저항하여 발생하는 마찰력과 관련되어 있다. 따라서, 이중보온관 퇴매움 대체재료는 열팽창력에 대한 안정성을 고려할 경우 기존 퇴매움재료 사용 중인 중사와 유사한 토압특성을 갖는 세사 및 부순모래가 합리적인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 기존 이중보온관의 퇴매움 재료인 중사를 대체할 수 있는 대체재료 제시를 위해 자연모래 2종(세사, 왕사), 부순모래, 자갈 2종(10mm, 20mm)에

대한 입도분포 및 마찰특성 등 기본특성평가시험과 토압특성 평가를 위한 모형토조시험 수행하였으며, 퇴매움 재료 별 이중보온관의 공학적 거동 특성 비교를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 퇴매움 재료 별 입도분포특성은 세사 및 부순모래의 경우 재료의 최대입경이 중사에 비해 작지만 기존 이중보온관 퇴매움재료의 입도분포 기준을 만족하며, 다른 재료의 경우 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다.
- (2) 퇴매움 재료 별 마찰특성은 전체적으로 이중보온관 설계 제안값 0.4보다 큰 것으로 평가되었으며, 세사의 경우 마찰계수, μ 가 0.42로 0.4와 가장 유사하며, 부순모래의 경우 마찰계수, μ 가 0.60으로 자갈과 유사한 것으로 평가되었다.
- (3) 이중보온관의 안정성은 마찰특성에 따른 허용 최대 토피고만을 고려할 경우 전체적으로 표준 매설심도 이상으로 평가되어 충분히 확보될 수 있으며, 현장 조건에 따라 허용 최대토피고 이상의 매설심도가 요구되는 경우 퇴매움재 선택에 주의하여야 할 것

으로 판단된다.

- (4) 되메움 재료 별 토압특성은 세사와 부순모래의 경우 관 상단에 작용하는 수직토압이 증가로 되메움한 경우와 유사한 것으로 평가되었으며, 재료 입경이 커질수록 아칭효과에 의해 주변 지반으로의 토압 전달 효과가 증가하여 관 상단에 작용하는 수직토압이 작게 평가되는 것으로 나타났다.
- (5) 세사 및 부순모래는 본 논문을 통하여 수행된 입도분포, 마찰, 토압 특성을 고려할 경우 이중보온관의 되메움 재료로 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 특히 자연모래가 부족한 현 상황을 고려할 경우 부순모래가 가장 합리적인 되메움 대체재료로 평가되었다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원 (2002), *지중매설구조물의 하중저감 특성에 관한 연구*, 건기연 2002-026, 서울, pp.123-126.
2. 건설교통부 (2007), *산업·환경설비공사 표준시방서*, 대한설비공사, 서울, p.532.
3. 최봉혁, 김진만, 김경민, 강민수 (2008), 이중보온열배관의 공학적 특성 및 안정성 평가에 관한 연구, *2008 대한토목학회 정기학술대회 논문집*, 대한토목학회, pp.3068-3071.
4. 한국지역난방공사 (2006), *열배관건설업무지침서*, 한국지역난방공사, 서울, p.249.
5. A. P. Moser (2001), *Buried Pipe Design*, McGraw-Hill, New York 등, pp.1-24.
6. ASTM, *ASTM D5321 (Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method)*.
7. Taylor R. K. (1973), Induced Trench Method of Culvert Installation, *Highway Research Record*, No.443, Highway Research Board, Washington D.C., pp.15-29.
8. Yuichi et al. (1996), "Earth Pressure Reduction for Culverts Using EPS", *Proc. International Symposium on EPS Construction Method (EPS TOKYO '96)*, TOKYO, pp.214-221.

(접수일자 2010. 8. 24, 심사완료일 2011. 9. 16)