

현장시험을 통한 이중보온관 되메움 대체재료에 관한 연구

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

최봉혁* · 김진만** · 유한규***

Choi, Bong-Hyuck · Kim, Jin-Man · Yoo, Han-Kyu

Abstract

In this study, field tests were performed to evaluate the stability of pre-insulated pipe during the compaction operation and to recommend an alternative backfill material. Three types of natural sand (fine-grained and medium-grained, coarse-grained sand), crushed sand and two types of gravel (10 mm, 20 mm) were used as backfill material in the field tests. Field tests were performed to determine the behavior (earth-pressure and deformation, installation damage) of the pre-insulated pipe due to variation of different types of backfill material. Based on the evaluation and comparison of field 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 with respect to the engineering behavior and material supply.

Keywords : pre-insulated pipe, back-fill material, field test, earth-pressure

요 지

본 논문에서는 이중보온관의 다짐시공 중 안정성 평가 및 되메움 대체재료 제시를 위하여 현장시험을 수행하였다. 현장 시험 시 사용된 되메움 재료는 기존 되메움 재료인 중사와 되메움 대체재료 평가를 위한 자연모래 2종(세사, 왕사)과 부순모래, 자갈 2종(10mm, 20mm)을 사용하였다. 현장시험은 되메움재료 별 이중보온관 토압 및 변형, 외관상 등의 거동 특성 평가를 위하여 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

핵심용어 : 이중보온관, 되메움 재료, 현장 시험, 토압

1. 서 론

일반적으로 관거(Conduit)는 우수, 폐수, 상·하수도 및 각종 용수의 송·배수를 목적으로 축조하는 시설물로서, 재료적 강성도, 매설방법, 사용재료 및 구조형식, 사용목적 등에 따라 분류할 수 있다. 이러한 관거의 분류는 관거 설계 시 각 관거의 매설형태와 관거의 강성 등에 따라 설계방법에 적용되는 수직하중의 결정에 활용된다.

관거 설계이론은 Anson Marston(1913)과 M. G. Spangler (1926)에 의해 정립되었으며, 이후 많은 연구가 수행되어 왔다. 최근의 관련 연구는 Taylor(1973) 등에 의한 유도 도랑형 기법을 필두로 주로 고성도 하 매설관거 안정성 확보를 위한 하중저감기법관련 연구가 많이 이루어졌으며, Yuichi (1996), 김진만 등(2002) 등에 의해 EPS를 이용한 하중저감 기법에 관한 연구가 수행된 사례가 있다.

한편, 지역난방시스템은 1920년대 유럽에서 도시인구 급증

에 따른 대기공해 해소 및 에너지 절약을 목적으로 도시기반시설로서 개발 적용되었다. 지역난방용 열공급 배관 재료는 지역난방시스템 개발 초기인 1920년대의 경우 콘크리트 닥트를 사용하여 보온효과가 떨어져 실효성이 부족하였으나, 1960년대 공장제작 보온관의 개발로 지역난방시스템이 본격적으로 활성화되고 세계 각지로 보급되었으며, 현재 국내의 경우 열공급 배관으로 이중보온관을 적용하고 있다(김진만 등, 2009).

이때, 이중보온관은 내관(Steel pipe), 외관(HDPE), 보온재(PUR) 등으로 구성된 복합관으로 관 내부에 110°C 내외의 뜨거운 물이 10kgf/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.

기존 지역난방용 열배관의 설계 및 시공은 되메움재료로서 자연모래 중 중사를 사용하며, 시공단면의 경우 한국지역난

*정회원 · 한양대학교 대학원 박사과정 (E-mail : bhchoi@kict.re.kr)

**교신저자 · 한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실 선임연구위원 (E-mail : jmkim@kict.re.kr)

***정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 교수 (E-mail : hankyu@hanyang.ac.kr)

방공사 자체 시방에 따른 표준도 개념에 의해 시공되고 있으나, 자연골재 감소에 따른 수급의 불안정성 및 단가 상승으로 인한 경제성 등의 문제가 제기되고 있는 실정으로 적절한 대체재료의 제시가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 현장시험을 통하여 기존 이중보온관 자체 시방기준에 따른 다짐시공 시의 안정성 평가 및 되메움 재료 변화에 따른 안정성 검토를 통하여 합리적인 이중보온관 되메움 대체재료를 제시하고자 한다.

2. 현장시험을 통한 되메움 재료 별 이중보온관 안정성 평가

2.1 현장시험 개요

현장시험을 통한 되메움 재료 별 이중보온관 안정성 평가는 기존 이중보온관 시공기준에 따른 표준단면을 이용하여 수행하였으며, 되메움재료 6개, 화강토 복토고 5개의 변화인자를 고려하여 총 30개의 단면에 대한 계측을 통하여 수행하였다(그림 1 및 표 1 참조).

이때, 시험시공은 그림 1에서 보듯이 터파기-바닥 정지작업-하부 되메움재 포설-이중보온관 설치-관상부까지 되메움재 포설-화강토 복토-다짐 및 계측의 순으로 이루어졌으며, 터파기 및 되메움재 포설 단면의 경우 한국지역난방공사 시공기준에 맞추어 열배관 상부 20cm, 하부 10cm, 좌우 측면 30cm 까지 별도의 다짐장비를 사용하지 않고 인력다짐에 의해 포설하였다.

또한, 현장시험에 사용된 이중보온관은 350A-500φ(외경 500mm, 내경 약 350mm)의 관을 사용하였으며, 현장 다짐장비는 기존 도로 시공에 주로 사용되는 10ton 진동롤러를 이용하여 화강토 복토두께 변화에 따른 다짐을 수행하였다.

여기서, 현장시험을 통한 이중보온관의 안정성 평가는 표 1에서 보듯이 되메움재료 및 화강토 복토고 변화에 따른 현장 다짐 중 이중보온관에 발생하는 토압, 내관 변형, 외관 손상 평가 등을 통해 수행하였다. 이때, 내관 변형은 현장 계측결과 최대 0.42mm 이하로, 계측기 오차 및 다짐장비 진동효과 등을 고려할 경우 실제 내관의 변형은 발생하지

않은 것으로 판단되어 본 논문의 결과 분석에서 제외하였다.

한편, 현장시험에 사용된 되메움재료는 기존 되메움재료인 중사와 되메움 대체재료 제시를 위해 최대입경으로 구분되는 모래 2종(세사(2mm), 왕사(10mm)), 자갈 2종(10mm, 20mm), 부순모래를 사용하였다.

이때, 되메움 재료는 최봉혁 등(2011)에 의해 수행된 기존 연구에 사용된 재료와 동일한 재료를 사용하였으며, 기존 연구결과에 따르면 입도분포특성은 세사 및 부순모래의 경우 재료의 최대입경이 중사에 비해 작지만 기존 이중보온관의 되메움재료 입도분포 기준(건설교통부, 2007)을 만족하며, 마찰특성(되메움재와 외관(HDPE))의 경우 전체적으로 이중보온관 설계 기준인 0.4보다 큰 0.42~0.70 정도로 보고되었다.

2.2 현장 계측결과

2.2.1 기존 시방기준에 따른 이중보온관 거동특성 평가 결과

기존 시방기준에 따른 다짐시공 시 이중보온관 거동특성 평가는 되메움재로 중사를 사용하여 수행하였다. 이때, 현장 계측은 화강풍화토 복토고 변화(10cm~50cm)에 따른 다짐시 토압, 변형 및 다짐 완료 후 외관손상을 평가하였다.

현장 계측결과 현장 다짐에 따른 이중보온관의 토압특성은 다짐횟수 변화에 따른 대표적인 토압변화 특성을 보여주는 그림 2에서 보듯이 되메움재 상부 화강풍화토 복토고에 따라 값에 있어 다소 차이는 보이지만, 전체적으로 다짐장비가 관 상단에 있을 경우 순간적으로 최대 토압이 발생하고 다짐장비 이동에 따라 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다.

여기서, 그림 2의 측정횟수(회)는 동일조건에 대한 반복측정횟수가 아닌 다짐시공 중 다짐장비 이동에 따라 이중보온관에 발생하는 수직 및 수평토압의 동적데이터로거를 이용한 측정횟수이다.

이때, 복토고 및 다짐횟수 변화에 따른 다짐장비에 의한 수직토압 특성은 그림 3(a)에서 보듯이 관 상부에 중사 되메움재 20cm 포설 후의 화강토 복토고 변화에 따라, 관 상단에 다짐장비가 있는 경우 화강토 복토고 10cm(되메움재 포함 30cm)에서 29.27tonf/m², 화강토 복토고 50cm(되메움

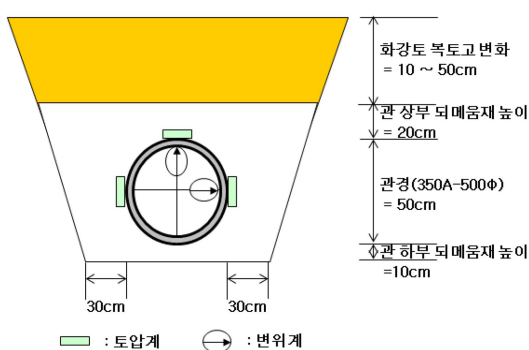


그림 1. 현장 시험시공 단면도 및 사진

표 1. 되메움재료 별 이중보온관 안정성 평가를 위한 변화인자 및 현장 계측항목

변화인자	변화값	계측항목	계측기
되메움재료	중사, 세사, 왕사, 부순모래, 자갈(10, 20mm)	수직토압	토압계
화강토 복토고	10, 20, 30, 40, 50cm	수평토압	
왕복 다짐 횟수	1, 2, 3, 4, 5회	내관 변형	LVDT

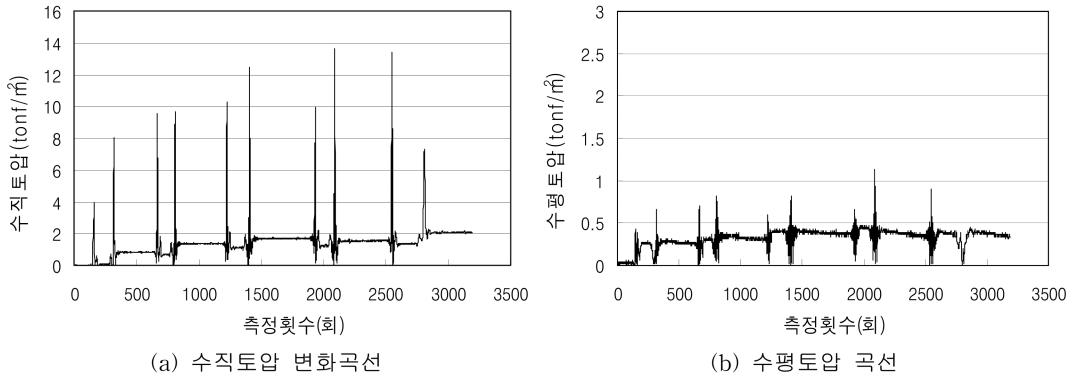


그림 2. 화강토 복토고 30cm 시 다짐시공 중 토압변화 곡선(퇴메움재료 중사)

재 포함 70cm)에서 9.14tonf/m²로 나타나 화강토 복토고 증가 시 다짐장비의 영향이 감소하는 것으로 평가되었다.

한편, 수평토압특성은 수직토압특성과 마찬가지로 다짐장비가 관 상단에 있을 경우 순간적으로 최대 수평토압이 발생하고 다짐장비 이동에 따라 급격히 감소하며, 수평토압의 크기는 0.89~2.58 tonf/m² 정도로 수직토압에 비해 약 1/10 수준인 것으로 평가되었다.

또한, 관 상단에 다짐장비가 없는 경우 발생하는 수직토압은 화강토 복토고별 계측토압을 보여주는 그림 3(b)의 실선에서 보듯이 각 화강토 복토고에서 다짐횟수 증가에 따라 수직토압이 증가하는 경향을 보였으며, 왕복다짐 횟수 3회 이후 화강토 복토고별 계측토압 증가분을 보여주는 그림 3(b)의 점선에서 보듯이 증가 폭이 감소하여 일정 부분 수렴하는 경향을 나타내는 것으로 평가되었다.

화강토 복토고 변화에 따른 토압특성은 부분적인 계측오차 및 현장특성에 따라 다소 변화하나 전체적으로 복토고 10cm에서 작은 토압하중에 기인하여 가장 작고, 20cm에서 가장 크며 복토고 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 토압특성은 복토고 20cm(퇴메움재 포함 40cm)까지

는 다짐에 의한 영향이 매설관까지 직접 작용하나, 복토고 증가 시 지반의 아칭효과 및 하중분산 효과 등에 의해 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 다짐시공 시 다짐횟수는 왕복다짐 2회 이상에서 충분한 다짐도를 발휘할 수 있다는 김진만 등(2008)의 연구결과 및 현장 계측결과를 고려할 때 다짐장비에 의한 토압 증분이 부분적으로 수렴하는 왕복다짐횟수 3회 이상으로 시공하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

한편, 다짐장비에 의한 외관의 손상은 현장계측 후 화강토 복토고 변화에 따른 외관손상을 보여주는 그림 4에서 보듯이 표면에 약간의 긁힘을 제외하고 큰 손상은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

또한, 작용하중에 대한 관의 안정성은 장비하중을 고려한 최대수직토압에 의한 작용하중과 이중보온관의 압축강도를 비교한 표 2에서 보듯이 화강토 복토고 20cm 이상(퇴메움재 포함 40cm 이상)에서 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

따라서, 이중보온관의 다짐시공 시 이중보온관 상부 퇴메움 복토고는 이중보온관의 압축강도가 최대토압에 의한 작

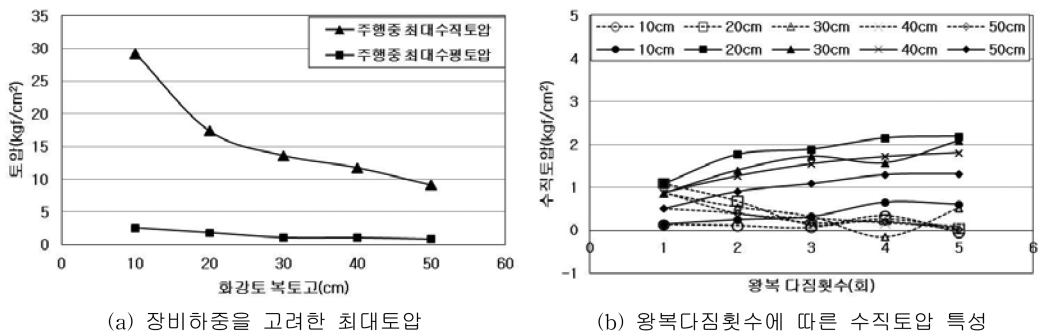


그림 3. 복토고 및 다짐횟수 변화에 따른 토압 특성(tonf/m²)

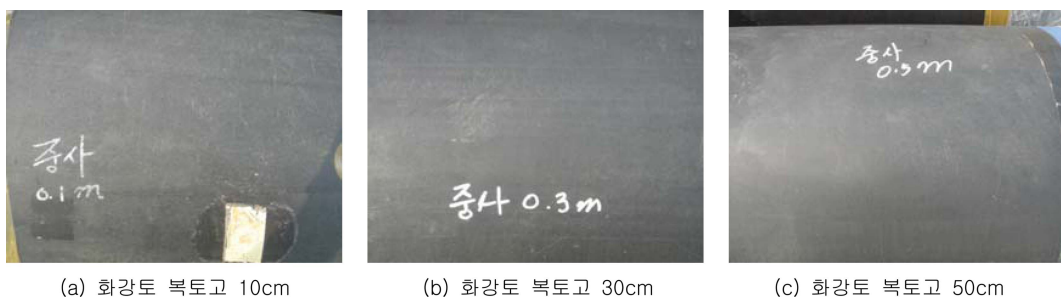


그림 4. 화강토 복토고 변화에 따른 외관손상(퇴메움재료 중사)

표 2. 다짐 시 작용하중 및 관의 압축강도(되메움재료 중사)
(tonf/m²)

화강토복토고	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
구분					
최대토압 ¹⁾ (tonf/m ²)	29.27	17.42	13.65	11.79	9.14
작용하중 ²⁾ (tonf/m)	14.64	8.71	6.83	6.70	4.57
압축강도 ³⁾ (tonf/m)	12.36				

- 1) 최대토압은 각 복토고 별 발생 최대토압임.
- 2) 작용하중은 최대토압으로부터 관에 작용하는 하중을 환산한 값임 (=최대토압×관경).
- 3) 압축강도는 현장시험시공 후 추출한 이중보온관을 이용하여 수행한 압축강도 평균임.

용하중 보다 크게 나타나는 화강토 복토고 20cm 이상(되메움재료 포함 40cm 이상)으로 하여야 할 것으로 판단된다.

이때, 이중보온관의 압축강도는 현장시험 후 추출한 각각의 이중보온관을 이용한 압축강도 시험 결과의 평균값으로, 보온재(PUR)의 편심 및 재료특성 등 이중보온관의 특성 및 현장 시험에 따른 손상 정도가 반영된 값이다.

2.2.2 되메움재료 변화에 따른 이중보온관 거동특성 평가 결과

되메움재료 변화에 따른 이중보온관의 토압특성은 되메움재료가 중사인 경우와 마찬가지로 상부 화강토화도 복토고에 따라 값에 있어 다소 차이는 보이지만, 전체적으로 다짐 횟수 증가에 따라 수직토압이 증가하며, 다짐장비가 관 상단에 있을 경우 최대 토압이 순간적으로 나타나고 다짐장비 주행 후 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

이때, 되메움 재료 별 발생 최대토압 특성은 화강토 복토고 10cm의 왕사 및 자갈(20mm)에서 전체적인 경향에 비해

작은 수직토압 발생 등 부분적으로 경향과 일치하지 않는 값이 보이나, 전체적으로 기존 되메움재료인 중사를 기준으로 비교할 때 다소 큰 토압을 보이며, 되메움재 상부 화강토 복토고가 증가할수록 각 되메움재료에 따른 토압 차이가 감소하는 것으로 평가되어 화강토 복토고 30cm 이상일 경우 토압특성만을 고려할 때 되메움재료 별 차이는 크지 않은 것으로 평가되었다. 또한, 수평토압특성은 중사와 마찬가지로 수직토압에 비해 약 1/10 수준의 상대적으로 작은 수평토압이 발현되며, 화강토 복토고 증가에 따라 감소됨을 알 수 있었다(표 3 및 그림 5 참조).

한편, 되메움재료 별 수직토압특성은 기존 연구결과(최봉혁, 2011)에 따른 입도특성 상 상대적으로 입도분포가 양호한 중사, 부순모래의 경우 낮은 화강토 복토고에서 작은 수직토압이 발생하고, 상대적으로 균등한 입도를 갖는 세사, 왕사, 자갈(10mm, 20mm)의 경우 큰 수직토압이 발생하는 것으로 나타났으며, 재료 별로 다소 차이는 있으나 화강토 복토고 증가에 따른 아칭효과에 의해 비슷한 토압이 발생하는 것으로 평가되었다.

또한, 다짐시공 중 발생하는 외관의 손상은 세사, 왕사 및 부순모래의 경우 중사와 마찬가지로 표면에 약간의 굽힘을 제외하고 큰 손상은 발생하지 않았으나, 자갈(10mm, 20mm)의 경우 모래 류와 다르게 집중하중에 의한 찍힘 손상이 발생하였다(그림 6 참조).

발생손상에 따른 이중보온관의 안정성은 현장시험 후 회수된 이중보온관을 이용하여 이중보온관 자체 평가기준에 따라 수행된 내관/PUR의 부착력 및 외관의 항복인장강도 시험결과를 통하여 평가하였다. 안정성 평가결과에 따르면 이중보온관은 표 4에서 보듯이 가장 큰 손상을 보인 자갈(20mm)에서 이중보온관의 재료적 기준인 부착력 및 외관 항복인장강도 기준을 만족하는 것으로 평가되어 전체적으로

표 3. 화강토 복토고 및 되메움재료 별 다짐 중 발생 최대토압(tonf/m²)

화강토 복토고 ¹⁾	되메움재료		세사		왕사		부순모래		자갈(10mm)		자갈(20mm)		중사	
	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평
10cm	48.66	3.12	37.95	2.69	27.92	2.55	53.86	1.88	34.17	2.69	29.27	2.58	29.27	2.58
20cm	29.39	2.42	35.89	2.42	27.81	2.09	22.97	1.61	44.04	1.53	17.42	1.86	17.42	1.86
30cm	21.02	1.34	21.82	2.21	26.07	1.44	15.72	1.45	22.16	1.14	13.65	1.13	13.65	1.13
40cm	15.13	1.01	14.57	1.80	17.81	1.43	19.69	1.33	16.34	0.86	11.79	1.11	11.79	1.11
50cm	15.28	1.20	18.20	0.89	9.5	1.24	12.13	1.26	14.12	0.74	9.14	0.89	9.14	0.89

1) 화강토 복토고는 관상단 되메움재 20cm를 제외한 순 화강토 복토고임.

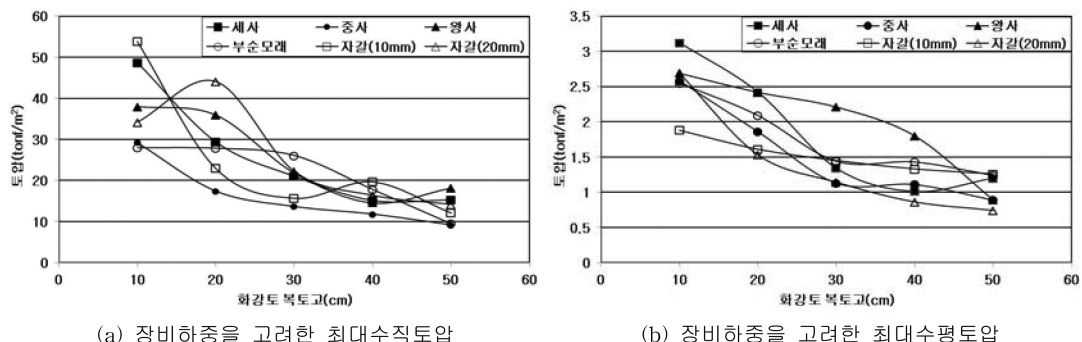
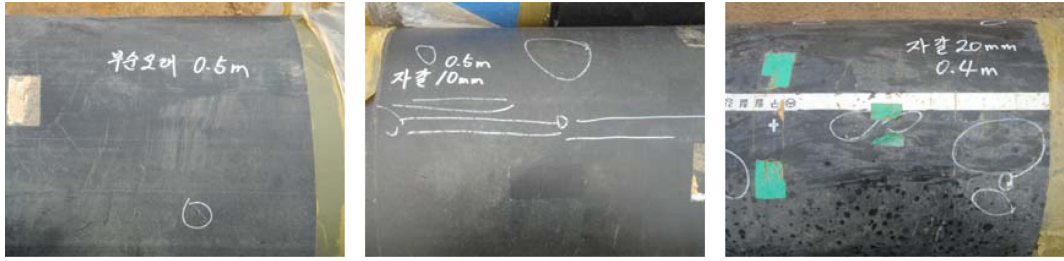


그림 5. 되메움재료 별 복토고 변화에 따른 토압 특성(tonf/m²)



(a) 부순모래 (b) 자갈(10mm) (c) 자갈(20mm)

그림 6. 퇴메움재료 부순모래 및 자갈 사용에 따른 외관손상

표 4. 퇴메움재료 자갈(20mm)에 대한 내시공성 평가결과

화강토 복토고 (cm)	내관/PUR 부착력 ¹⁾ (kgf/cm ²)		항복인장강도 ²⁾ (kgf/mm ²)	
	평가 결과	기준 강도	평가 결과	기준 강도
10	2.59	2.04 이상 (200kPa 이상)	2.56	1.7 이상 (17MPa 이상)
20	2.63		2.48	
30	2.45		2.43	
40	2.33		2.49	
50	2.80		2.53	

- 1) 내관/PUR 부착력은 이중보온관 자재 시험법을 규정하고 있는 DS 2178의 접착력 시험법에 따라 평가하며, 기준강도의 경우 2.04kgf/cm²(200kPa) 이상으로 규정되어 있음.
- 2) 외관의 항복인장강도는 플라스틱 인장성 측정 방법을 규정하고 있는 KS M 3006에 따라 평가하며, 기준강도의 경우 1.7kgf/mm²(17MPa) 이상으로 규정되어 있음.

표 5. 다짐 시 발생 최대하중 및 관의 압축강도(tonf/m)

퇴메움 재료 화강토 복토고	세사		왕사		부순모래		자갈(10mm)		자갈(20mm)		중사	
	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평
10cm	24.33	1.56	18.98	1.35	13.96	1.28	26.93	0.94	17.09	1.35	14.64	1.29
20cm	14.70	1.21	17.95	1.21	13.91	1.05	11.49	0.81	22.02	0.77	8.71	0.93
30cm	10.51	0.67	10.91	1.11	13.04	0.72	7.86	0.73	11.08	0.57	6.83	0.57
40cm	7.57	0.51	7.29	0.90	8.91	0.72	9.85	0.67	8.17	0.43	5.89	0.56
50cm	7.64	0.60	9.10	0.45	4.75	0.62	6.07	0.63	7.06	0.37	4.57	0.45
압축강도 ¹⁾	13.24		11.42		13.32		11.80		13.50		12.36	

- 1) 압축강도는 퇴메움 재료별 현장시험시공 후 추출한 이중보온관의 압축강도 평균임.

이중보온관의 안정성에 미치는 영향은 미미할 것으로 예상되나, 장기적인 관점에서 자갈 류의 퇴메움재료 사용은 집중하중에 의한 영향을 줄 것으로 예상되어 퇴메움재료 부적절한 것으로 판단된다.

또한, 퇴메움재료 별 발생 최대하중과 압축강도의 관계는 표 5에서 보듯이 전체적으로 화강토 복토고 10cm, 퇴메움재료 세사, 왕사, 부순모래, 자갈(20mm)의 경우 화강토 복토고 20cm에서 발생 최대 수직하중이 압축강도 보다 크고, 화강토 복토고 30cm 이상에서 전체적으로 평균압축강도보다 작은 하중이 발생하는 것으로 평가되어 안정성이 확보되는 것으로 나타났다.

따라서, 이중보온관 퇴메움 대체재료는 토압특성, 다짐 중의 손상에 따른 내시공 특성, 작용하중과 압축강도와의 관계를 고려할 때 자갈(10mm, 20mm)의 경우 장기적인 관점에서 외관에 미치는 손상에 의해 부적절할 것으로 보이며, 세사, 왕사, 부순모래의 경우 화강토 복토고 30cm 이상일 경우 적절한 퇴메움재료로 평가되었다. 이때, 부순모래는 자연모래인 세사 및 왕사에 비해 재료의 수급 측면을 고려할 때

가장 합리적인 퇴메움 대체재료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 논문에서는 이중보온관의 다짐시공 중 안정성 평가 및 기존 이중보온관의 퇴메움 재료인 중사를 대체할 수 있는 대체재료 제시를 위해 중사, 자연모래 2종(세사, 왕사), 부순모래, 자갈 2종(10mm, 20mm)에 대한 현장시험을 수행하였으며, 퇴메움 재료 별 이중보온관의 토압, 변형, 외관손상 등 공학적 거동 특성 비교를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현장계측에 따른 토압특성은 수직 및 수평토압 모두 다짐장비가 관 상단에 있을 경우 순간적으로 최대 토압이 발생하고 다짐장비 이동에 따라 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 수직토압에 비해 상대적으로 작은 수평토압이 발생하는 것으로 평가되었다.
2. 다짐횟수 변화에 따른 수직토압은 퇴메움 재료 변화에 무

관하게 다짐횟수 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 왕복다짐 횟수 3회 이후 토압 증분이 수렴하는 경향을 보여 이중보온관 시공 시 최소 왕복다짐 횟수는 3회 이상 수행하여야 할 것으로 판단된다.

3. 현장 계측결과 이중보온관 다짐시공 시 최소 복토고는 다짐 시 작용하중과 이중보온관의 압축강도를 고려할 때 이중보온관의 압축강도가 평균토압에 의한 작용하중 보다 크게 나타나는 화강토 복토고 30cm 이상(되메움재료 포함 50cm 이상)으로 하여야 할 것으로 판단된다.
4. 이중보온관 되메움 대체재료 별 평가결과 부순모래는 토압특성, 다짐 중의 손상에 따른 내시공 특성, 작용하중과 압축강도와의 관계 및 재료의 수급 측면을 고려할 때 가장 합리적인 되메움 대체재료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부(2007) 산업환경설비공사 표준시방서. 대한설비공사.
 김진만 등(2002) 지중매설구조물의 하중저감 특성에 관한 연구. 연구보고서, 건기연 2002-026, 한국건설기술연구원.

김진만, 최봉혁, 고희일(2009) 지역난방 열배관의 외부작용력 및 되메움재의 안정성 확보에 관한 연구. 2009 하계학술발표대회 논문집, 대한설비공학회, pp. 656-661.
 최봉혁, 김진만, 유한규(2011) 실내시험을 통한 이중보온관 되메움 대체재료에 관한 연구, 한국지반공학회는논문집, 한국지반공학회, 제27권, 9호, pp. 5-11.
 Marston, A., and A.O. Andrson (1913) *The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Test of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe*. Bulletin No. 31, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa.
 Spangler, M.G., Robley Winfrey, and Clyde Mason (1926) *Experimental Determination of Static and Impact Loads Transmitted to Culverts*. Bulletin No. 76, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa.
 Taylor R. K. (1973) *Induced Trench Method of Culvert Installation*. Discussion by M. G. Spangler. Highway Research Board Rec.
 Yuichi et al. (1996) Earth Pressure Reduction for Culverts Using EPS. *Proc. Internatioal Symposium on EPS Construction Method (EPS TOKYO '96)*, TOKYO, pp. 214-221.

(접수일: 2010.12.7/심사일: 2011.1.6/심사완료일: 2011.11.23)