

## 지역난방 열배관의 외부작용력 및 되메움재의 안정성 확보에 관한 연구

김진만<sup>†</sup>, 최봉혁<sup>†</sup>, 고현일<sup>\*</sup>

<sup>†</sup> 한국건설기술연구원, <sup>\*</sup> 한국지역난방공사 지역난방기술연구소

### The Stability Assessment of Backfill Materials and External Loads in Pre-Insulated District Heating Pipes

Jin-Man Kim<sup>†</sup>, Bong-Hyuck Choi<sup>†</sup>, Hyun-Il Ko<sup>\*</sup>

<sup>†</sup> Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

<sup>\*</sup> Korea district heating corp. D.H Technology Institute, Seoul 135-886, Korea

**ABSTRACT:** In this study, theoretical analysis and evaluation tests were performed to assess the pipe stability against compaction equipments and vehicle loads when conventional construction criteria for pre-insulation heating pipes are applied and the alternative material, crushed sand, are used for backfills. The research outcomes shows that (1) the conventional code criteria for pre-insulated heating pipes is well established to support compaction equipments and vehicle loads, (2) the crushed sands as an alternative is usable as backfill materials for pre-insulated heating pipes based on the suitability evaluations of various types of pipes, and (3) the crushed sand agree well with the design consideration of pre-insulated heating pipes construction in the points of economical efficiency and construction criteria.

**Key words:** Heating Pipe(열배관), Crushed Sands(부순모래)

#### 1. 서론

지역난방시스템은 1920년대 유럽에서 도시인구 급증에 따른 대기공해 해소 및 에너지 절약을 목적으로 도시계획 시 도시기반시설로서 지역난방 시스템을 개발 적용하였다. 한편, 지역난방 열배관 재료는 지역난방 개발 초기인 1920년대의 경우 콘크리트 닥트를 사용하여 보온효과가 떨어져 실효성이 부족하였으나, 1960년대 공장제작 보온

관의 개발로 지역난방 시스템이 본격적으로 활성화되고 세계 각지로 보급되었으며, 국내의 경우 열공급 배관으로 이중보온관을 적용하고 있다.

한편, 일반적으로 지중매설 관로 구조물의 설계는 관로의 상단에 작용하는 수직하중 분포 및 크기, 관로의 형태 및 종류, 성토높이와 관로의 폭, 상재하중, 기초지반의 지지력 등을 고려하여 설계단면에 작용하는 힘과 모멘트에 대한 평형을 분석하는 방법으로 수행된다. 이때 매설관로에 작용하는 수직하중 분포 및 크기는 관로와 흙 사이의 상대적인 강성도 차이에 따라 변화되며, 매설 관로의 설계는 이와 같은 원리에 기초하여 설계하고 있다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-9100-221; fax: +82-31-9100-561

E-mail address: jmkim@kict.re.kr

그러나, 지역난방용 열배관은 열배관 내부에 110℃ 내외의 뜨거운 물이 16kgf/cm<sup>2</sup> 이하의 압력으로 흐르기 때문에 온도에 의한 관의 변형에 영향을 추가적으로 받는 실정이다. 이러한 지역난방용 열배관의 설계 및 시공은 한국지역난방공사 자체 시방에 의해 시공되고 있다.

따라서, 현재 시공되고 있는 지역난방 열배관의 외부작용력 및 되메움재에 대한 안정성 확보를 위하여, 열배관 시방에 따라 도로상에 매설되는 열배관에 대해 다짐장비 및 차량하중 등 외부작용력에 의한 열배관의 안정성 검토, 적절한 매설방법 개발을 통하여 열배관 손상 예방, 배관수명을 연장하여 유지보수비용 및 시공비 절감, 열배관 매설시 현재 사용하고 있는 되메움재인 모래의 역할과 적정성 여부 등의 검토를 통한 되메움 대체 재료의 개발이 필요하다.

## 2. 연구범위 및 방법

### 2.1 연구범위

본 연구에서는 지중매설 지역난방 열배관에 작용하는 롤러·콤팩터와 같은 다짐장비 등 외부작용력에 대한 열배관의 안정성 여부 및 대책, 열배관 매설시 되메움재로 모래 대체재료 개발 가능성 및 대체재료 사용시 배관의 안정성 여부에 관한 검토를 수행하여 보다 합리적인 열배관의 시공기준 및 되메움재로서 모래 대체 재료를 제시하는 것이다. 이러한 관점에서 본 연구의 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

#### 2.1.1 외부작용력에 의한 열배관의 안정성 검토

- 기존 시공기준에 따른 열배관 매설시 다짐장비(콤팩터, 롤러 등) 등 외부작용력에 의한 열배관의 손상 여부 검토
- 외부작용력에 의한 열배관 손상 발생시 배관의 파손을 예방할 수 있는 적정 다짐방법 강구

#### 2.1.2 되메움 재료로서 모래의 작용과 역할에 대한 검토

- 모래의 기존 시방 사양의 적정성 여부에 대한 검토
- 열배관의 안정성 확보가 가능하고 수급

이 용이하며 경제성 있는 모래 대체재료 개발 가능성 검토

- 되메움재 대체 재료에 대한 마찰계수 등 재료의 특성 분석

### 2.2 열배관의 압축강도 평가

열배관의 압축강도 시험에 이용된 방법은 매설관 압축강도 시험 규정인 KPS M 2009를 따라 시험이 수행되었다. 압축강도 시험은 하중재하 프레임과 데이터 분석시스템으로 구성되어 있는 일반적인 압축장비 시스템을 이용하였으며, 압축강도 시험 시 압축속도는 50mm/min로 수행하였다.

열배관의 압축강도 특성 평가를 위하여 사용된 열배관 시료는 관경 50A, 100A, 200A, 400A의 시료를 대상으로 2회에 걸친 반복 실험을 통하여 열배관의 압축강도 특성을 평가하였다.



Fig. 1 압축강도 시험 모습

규격(A)	내관			외관		보온재 (PUR) 두께
	재질	두께(T)	외경(d)	두께(T)	외경(d)	
50	SPPS 38S/E	3.9	60.5	3.2	125	29.05
100	SPPS 38S/E	4.9	114.3	3.5	200	39.35
200	SPPS 38E	6.4	216.3	5.6	315	43.75
400	SPPS 38E	6.4	406.4	9.8	560	67.00

Table. 1 압축강도에 사용된 열배관 시료 제원

2.2.1 현장 계측을 통한 안정성 평가

현장 계측을 통한 안정성 평가는 상부 화강토 성토고 변화와 다짐 장비 주행 횟수의 변화 등의 변화인자에 따른 열배관에 작용하는 수직 및 수평토압을 용량 5.0kgf/cm<sup>2</sup>인 토압계를 사용하여 측정하였으며, 시공 중 발생하는 내관 변형은 LVDT를 이용하여 측정하였다.

한편, 시공 중 발생하는 열배관의 손상은 시공 완료 후 추출한 열배관의 손상 정도를 육안 관측에 의해 조사하였다.

현장 내시공성 평가는 터파기, 바닥정지, 열배관 및 계측기 설치, 되메움재 포설, 화강토 포설, 다짐 및 계측의 순으로 이루어 졌으며, 터파기 및 되메움재 포설 단면은 지역난방 공사 시공 기준에 맞추어 열배관 상부 200mm, 하부 100mm, 좌우 측면 300mm 까지 포설하도록 하였다.

2.2.2 내시공성 평가를 위한 변화인자 및 현장 계측항목

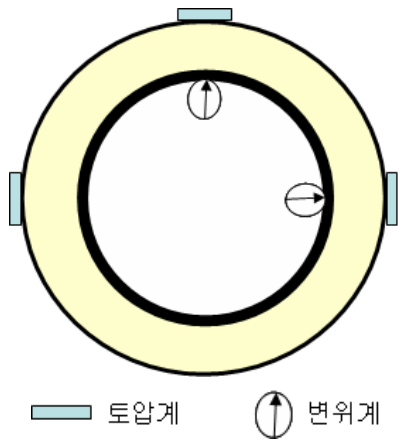


Fig. 2 현장 계측기 매설도



(a) 터파기 모습



(b) 바닥 정리 후 모습



(c) 하부 되메움재 포설 및 열배관 설치 모습



(d) 되메움재 포설 후 모습



(e) 상부 화강토 포설 모습



(f) 다짐 모습

### 2.3 되메움 대체 재료의 기본 특성 평가

되메움 대체 재료 제시를 위하여 부순모래, 자갈, 쇄석, 석분토, 순환골재 등을 대상으로 대체 재료 적합성을 평가하였다. 여기서, 사전 검토결과 석분토와 순환골재의 경우 미세 석분 또는 잔류 시멘트 등 세립분의 경화에 따

른 영향으로 열배관의 마찰특성 등에 부정적 영향을 끼칠 것으로 평가되어 본 연구 대상 재료에서 제외하고, 모래 2종(세사, 왕사), 자갈 2종(10mm, 20mm), 부순모래, 화강풍화토 등을 대상으로 입도분포 특성, 마찰특성 등을 평가하고, 기존 열배관 시공 기준에 따른 앞서 수행된 중사와의 결과 비교를 통하여 대체 재료로서의 적합성을 평가하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 외부작용력에 대한 열배관 안정성

열배관의 압축강도 특성 평가 결과 및 현장 다짐장비를 사용하여 안정성을 검토한 결과 되메우기 시 10ton 진동로울러를 사용하여 다짐하는 경우 열배관 관경 700A 미만은 최소 토피가 50cm가 유지되어야 하며, 700A 이상의 관경은 60cm가 유지되어야 안정성이 확보되었다.

### 3.2 대체 되메움 재료별 종합평가

모래 대체재로 평가된 모래 2종(세사, 왕사), 자갈 2종(10mm, 20mm), 부순모래, 화강풍화토에 대한 연구결과는 아래와 같다.

구 분	세사	왕사	자갈 10mm	자갈 20mm	부순모래	화강풍화토
입도기준	×	×	×	×	○	○
마찰계수	○	○	○	○	○	○
현장시험	○	○	○	○	○	○

총 6종의 되메움재 시험결과 부순모래와 화강풍화토를 제외하고 입도기준을 벗어나고 있으며, 부순모래의 경우 입도조정을 통하여 열배관 시공기준 개정없이 사용이 가능하다. 일반 토사인 화강풍화토는 2열인 열배관의 특성상 다짐에 대한 정밀시공을 위해서는 배관간격을 1m이상 이격하여야 하므로 시공성이 낮아 적용에서 배제하기로 한다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 지역난방 열배관에 작용하는 롤러·컴팩터와 같은 다짐장비 등 외부 작용력에 대한 열배관의 안정성 검토, 열배관 매설시 되메움재로 모래 대체재료 개발 가능성 및 대체재료 사용 시 배관의 안정성 검토 등을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

#### 4.1 열배관 관련 기준의 이론적 고찰결과

열배관 되메우기는 고가의 모래를 이용하여 관상단 포설두께를 20~30cm로, 관기초 포설두께를 10~20cm 하고 있어, 역학적으로 매설관 기초베딩을 중요시하는 국내 매설관거 설계 및 시공원리와 불일치하고 있다. 따라서 이론적 고찰 결과 되메우기 시 관상단 모래 포설두께는 30cm에서 20cm로 조절 적용해도 무방할 것으로 판단된다.

열배관의 물다짐은 시공 정밀도를 높이기 위하여 1단계 매설관 중심선 까지 채움, 2단계 매설관 상부 20~30cm 까지 채움 등으로 구분하여 시공하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

#### 4.2 열배관의 기본특성 평가 결과

규격 80A, 100A, 200A의 열배관의 내관/PUR, PUR/외관의 부착력 평가 결과 지역난방공사 기준을 만족하는 것으로 평가되었다.

기존 지역난방공사 시공 기준에 따른 중사를 이용한 외관/중사의 마찰특성 평가결과 마찰각 및 마찰계수는 각각 30.0°, 0.58로 기존 열배관 설계에 적용되는 마찰계수 0.4보다 큰 것으로 평가되었다.

이론적으로 산출한 환경별 토피고 변화에 따른 작용하중은 환경이 증가할수록 증가하고, 토피고가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈으며, 400A의 경우 최소 토피고 50cm부터 안정한 것으로 평되었다.

#### 4.3 기존 지역난방공사 시공 기준에 따른 외부 작용력에 대한 안정성 평가 결과

현장 다짐 장비의 영향에 따른 순간 최대변형은 0.27mm 정도로 나타나 계측기 오차 및 다짐장비의 진동 효과 등을 고려할 경우 실제 내관의 변형은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

현장 다짐 후 추출 시료에 대한 육안관측, 부착력, 압축강도, 외관(HDPE) 인장력 특성 평가결과 부착력, 압축강도, 외관(HDPE) 인장력의 변화가 없는 것으로 평가되었다.

#### 4.4 되메움 대체 재료별 안정성 평가 결과

되메움 대체재료의 안정성 평가결과 되메움재료 변화에 따른 열배관의 안정성에 미치는 영향은 없는 것으로 평가되었으며, 기존 이중보온열배관 시공 기준을 고려할 때 부순모래의 경우 입도조정을 통하여 이중보온열배관의 되메움재로 사용이 가능한 것으로 평가되었다.

#### 4.5 제안 되메움 대체 재료의 환경별 안정성 평가 결과

제안 되메움 대체 재료인 부순모래는 기존 지역난방 열배관 시공에 사용되는 중사에 비해 단가에 있어서 약 80% 정도이며, 전국적으로 생산업체가 분포하고 있어 경제성 및 수급성에 있어 기존 중사에 비해 유리한 것으로 평가되었다.

환경별(200A-315φ, 600A-800φ, 800A-1000φ) 현장 및 실내 시험 결과는 앞서 수행한 350A관의 시험결과와 마찬가지로 전체적으로 안정한 것으로 평가되었다.

환경별 다짐장비 주행 시 작용 토압은 환경이 증가할 수록 커지고, 상부 성토고가 증가할 수록 작아지는 것으로 평가되었으며, 기존 지역난방공사의 시방기준에 따른 최소매설심도 60cm는 적절한 것으로 판단된다.

#### 4.6 환경 및 되메움재별 화강토 복토두께

되메움재	규격	복토두께(cm)
토사	400A-560φ 이하	50(토사 20cm 포함)
중사	350A-500φ	50(중사 20cm 포함)
부순모래	200A-315φ	50(부순모래 20cm 포함)
	350A-500φ	50(부순모래 20cm 포함)
	600A-800φ	50(부순모래 20cm 포함)
	800A-1000φ	60(부순모래 30cm 포함)

#### 참고 문헌

1. 건설교통부(1996), “도로공사 표준시방서”, 건설교통부.
2. 한국도로공사(1992), “도로설계요령 제2권 토공 및 배수”, 한국도로공사.
3. 한국건설기술연구원(2000), “파형강관의 설계 기준 및 시공지침에 관한 연구”, (주)포스코개발 외 8개사, 건기연 2000-059, 2000년 9월, 158 pp.
4. 한국건설기술연구원(2002), “지중매설구조물의 하중저감 특성에 관한 연구”, (주)한진중공업, (주)평산에스아이, 건기연 2002-026, 2002년 6월, 128 pp.
5. 김진만, 조삼덕, 안주환, 오세용(1998), “EPS 성토공법의 현장 적용성 평가 연구”, 한국건설기술연구원, pp.135.
6. 일본 지반공학회(1988), “코루게이트 메탈 칼버트 매뉴얼”, 제2회 개정판, 165pp.
7. 일본 토질공학회(1984), “지중매설관의 조사·설계 및 시공 편”, 토질공학회.
8. AASHTO(1996), “Standard Specification for Highway Bridges”, 16th Editon.
9. AISI(1995), “Modern Sewer Design”, 3rd Edition, 306pp.
10. Bowles, J. E.(1978), “Engineering Properties of Soils and Their Measurements,” 2nd ed. McGraw-Hill Book company, New York, pp. 213.
11. Deen, Robert C.(1962), “Performance of Reinforced Concrete Pipe Culvert Under Rock Embankment”, Highway research Board Rec.
12. Howard, A. K.(1977), “Modulus of Soil Reaction Values for Buried Flexible Pipe”, GT1, ASCE, Vol. 103, January.
13. J.S. Horvath(1996), “Using Geosynthetics to Reduce Earth Loads on Rigid Retaining Structures”, Proc. Geosynthetics '91, IFAI, pp. 409~424.
14. Marston, A. and A. O. Anderson(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.
14. Marston, A.(1930), “The Theory of External Loads on Closed Conduits,” Bulletin No. 96, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, IA, pp. 5-8.
15. NRRL(1987), “Case History 1 : Flom(the first EPS road)”, Plastic Foam in Road Embankments, Meddelelse nr 61, NRRL, pp. 34~35.
16. NCSPA(1995), “Sewer Manual for Corrugated Steel Pipe”.
17. Ontario Standard Association(2001), “Ontario Highway Bridge Design Code(OHDBC)”, Ontario Standard Association.
18. Scheer, Alfred C., and Gerald A. Willett, Jr.(1969), “Rebuilt Wolf Creek Culvert Behavior.” Highway Research Board Rec.
19. Schlick, W. J.(1932), “Loads on Pipe in Wide Ditches.” Bulletin No. 108, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa.
20. 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.
21. Spangler, M. G.(1941), “The Structural Design of Flexible Pipe Culverts.”, Bulletin No. 153, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa.
22. Spangler, M. G.(1948), “Underground Conduits”, Transaction ASCE, VOL. 113.
23. Spangler, M. G.(1950), “A Theory of Loads on Negative Projecting Conduits.”, Proc. Highway Research Board 37.
24. Taylor R. K.(1973), “Induced Trench Method of Culvert Installation”, Discussion by M. G. Spangler. Highway Research Board Rec.
25. Watkins, R.K.(1993), “Structural Mechanics of Bruied Pipes”, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, UT 84322, 267pp.
26. White, H.L. and Layer, J.P.(1960), “The Corrugated Metal Conduit as a Compression Ring,” Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 39, pp.389-397.