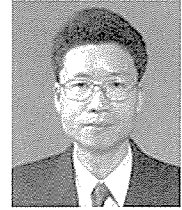


a conclusion

국내의 열배관현황 및 기술개발 동향



한국지역난방공사 열배관관리부장 _ 김진홍

I. 열배관 소개

1. 열배관 정의

열배관은 일반적으로 열생산시설에서 생산된 지역난방열을 사용자 기계실까지 보내는데 사용하는 시설물을 통칭하며 협의(狹義)로서 배관 그 자체만을 의미하기도 하며 여기서는 열배관과 관련된 모든 설비를 “열배관 시설”로 정의 하고 <그림 1>와 같이 구분한다.

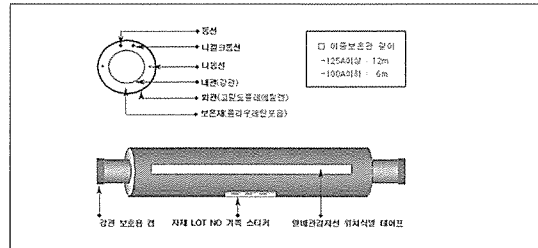
2. 국내 열배관 설치현황(사업자별)<표 1 참조>

3. 열배관 구조

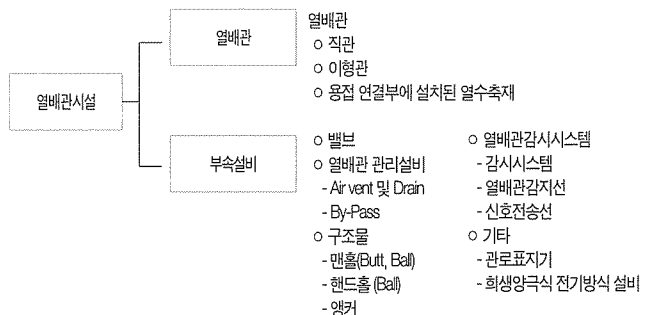
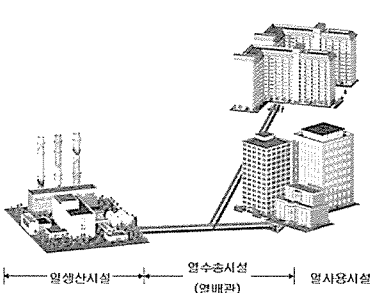
지역난방용 열배관은 공장제작된 이중보온관으로 내관은 강관, 보온재는 경질 폴리 우레탄폼, 외관은 고밀도

폴리에틸렌으로 구성되며, 내관, 보온재 및 외관을 Bonded System(일체형구조) 구조로 이루어진다. Bonded System이라 함은 지역난방용 도관내 보온재의 접착력으로 인해 열배관내 강관과 보온재 및 외관을 일체형구조로 결합시키는 것을 의미한다. 열배관은 지역난방수의 온도 변화에 따라 강관에서발생하는 열팽창력(축응력)이 매우 커서 대형관의 경우 수백톤에 이르게 되며, 일정 직선 구간에서는 흠파의 마찰력에 의해 거동이 억제되어지나 곡

<그림 2>



<그림 1>



〈표 1〉 국내 열배관 설치현황

2004. 12월 말 기준

회사명	배관길이 (Km×2열)	최대관경	사용연료	공급지역
한국지역난방공사	2,261 Km(64.0%)	850A	LNG, B-C, LSWR, 소각폐열	서울시, 성남시, 용인시, 수원시, 청주시, 대구시, 김해시, 양산시
서울특별시 (도시개발공사)	280 Km (7.9%)	750A1000A(일부)	LNG, 소각폐열	서울시 강서, 노원
부산광역시 (집단에너지공급시설)	68 km (1.9%)	750A	LNG, 소각폐열	부산시 해운대
LG Power(주)	616 Km (17.5%)	800A	LNG, LSWR	안양시, 부천시
인천국제공항공사	36 Km (1%)	800A	LNG	인천국제공항
인천공항에너지(주)	30 Km (0.9%)	800A	LNG	인천시
포스코	50 Km (1.4%)	450A	공장폐열	포항시
안산도시개발(주)	102 Km (2.9%)	800A	LSWR, 소각폐열	안산시
광주 CES	14 km (0.4%)	350A	LNG, 소각폐열	광주시 상무대
인천종합에너지(주)	26 km (0.7%)	850A		송도신도시
오산에너지(주)	20 km (0.6%)	400A		오산운암, 세교지구
에너지관리공단	18 km (0.5%)	350A		대전3.4공단, 송강, 옥상
대한주택공사	6 km (0.2%)	650A		인천 논현지구
부산정관지구	4 km (0.1%)	650A		부산 정관지구
계	3,531Km(100%)			

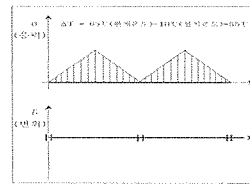
관부 끝단에서는 마찰력을 이기고 거동을 하게 된다. 이 때 거동구간내에서 강관의 움직임에 따라 보온재 및 외관 이 강관과 일체형으로 움직임여야 함에 따라 열배관이 Bonded System 구조로 제작되어야 함이 매우 중요하게 된다. (그림 2 참조)

4. 열배관 매설이론

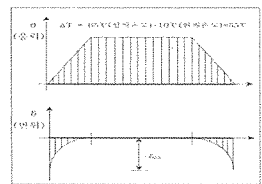
국내에서 적용중인 지역난방용 열배관의 지중매설 설계개념은 지중에 매설된 열배관의 움직임을 허용하는 방식과 허용하지 않는 방식이 있다. 움직임을 허용하는 방식은 열배관에 신축이음관(Expansion Joint)을 일정 간격으로 설치하여 지역난방수의 온도변화에 따라 지중에서 발생하는 변위를 흡수하도록 하는 방식이며, 움직임을 허용하지 않는 방식은 신축이음장치나 Anchor를 설치하지 않고 흙의 마찰력으로 열배관의 변위발생을 억제하는 방식이다.

그림 3,4는 열배관의 매설방식에 있어 신축을 허용하는 방식과 허용하지 않는 방식의 강관에 대한 응력과 변위를 나타낸 것이다. 1980년대 중반 한국에 지역난방 시스템이 도입될 당시 일부 지역난방 사업자의 경우는 그림 3과 같

〈그림 3〉 신축허용 방식



〈그림 4〉 신축허용하지 않는 방식



이 신축을 허용하는 방식을 채택함으로써 지중에 신축이음관을 설치하였으나, 우리공사의 경우 초기 지역난방 사업당시부터 대부분의 유럽 지역난방 선진국이 채택하고 있는 신축을 허용하지 않는 방식을 채택하였다.

그러나 지중에서 신축을 허용하는 방식을 채택한 지역난방 사업자의 경우 1990년대 말 지중매설된 대부분의 신축이음관에 문제가 발생함으로써 지중매설된 신축이음관을 제거하고 신축을 허용하지 않는 방식으로 변경 시공한 바 있다. 이러한 문제는 지중에 매설된 신축이음관은 지상에 매설된 신축이음관과 같이 X-Y축으로 평행하게 움직임이 발생하지 않고 지반침하, 지하수 수위변경 등의 사유로 시공당시의 매설 조건이 변경됨으로써 X-Y-Z축으로 움직임이 발생함에 따라 신축이음관과 이중보온관 사이의 현장보온부에 결함이 발생되고 결함부위로 지중수

전문가 기고

가 침투가 됨으로써 신축이음관에 부식이 발생되는 경로로 사고가 발생하게 되었다.

이에 따라 공급 및 회수온도가 변경될 수밖에 없는 지역난방용 열배관 시스템에는 지중내 신축을 허용하지 않는 방식이 열배관을 안정적으로 운영할 수 있다는 사실을 알게 되었다.

가. 지역난방용 열배관의 열응력

상기와 같이 지역난방용 열배관의 지중매설을 신축을 허용하지 않는 방식으로 채택할 경우 반드시 고려되어야 할 사항은 온도변화에 따라 발생하는 축방향 응력은 열배관내 강관이 허용할 수 있는 범위내에서 설계가 되어져야 한다는 점이다. 이에 따라 설치시 강관의 온도(10℃)와 운전시 강관의 온도(120℃) 차(Δ110℃)로 인해 강관에 발생하는 응력(277.2N/mm²)이 강관의 허용응력(154N/mm²) 범위를 벗어 나게 됨으로써 설치시 강관의 온도를 올려 운영중 강관에 발생하는 응력이 허용응력 범위내에 있도록 할 필요성이 발생하게 된다.

1) 지역난방용 열배관의 허용 축응력

강관의 허용 축응력 $\sigma_{x,all}$ (Allowable axial stress)은 재료의 항복강도를 안전율로 나누어 결정되어진다.

$$\sigma_{x,all} = \sigma / S \quad (1)$$

σ : 강관의 항복강도

S : 안전율

항복강도는 최고사용온도인 120℃를 기준으로 도관에 사용되는 강관재질인 SPPS370는 185 N/mm², SPW400는 198 N/mm²를 적용(KSB6733기준) 한다.

한편, 유럽의 각국에서 사용하는 강관재질은 St.37로써 강관의 제 성분과 및 물성 치들이 한국내에서 적용하고 있는 강관과 유사하며, 유럽의 경우 안전율은 1.1~1.3을 적용하고 있다. 상기 내용을 바탕으로 허용 축응력 $\sigma_{x,all}$ (Allowable axial stress)은 <표 2>와 같다.

<표 2> 강관의 허용 축응력

재질	항복강도(N/mm ²)	안전율	허용축응력(N/mm ²)
SPPS370(관경500A0이하)	185	1.2	154
SPW400(관경550A0이상)	198	1.2	165
전 관경 적용값			154

2) 발생 축응력

열배관을 최초 설치온도인 10℃에서 매설하고, 최고사용온도인 120℃로 열공급을 하게되면 온도차로 인하여 열배관의 축방향으로 축응력이 발생하게 된다.

$$\alpha_x = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$= 2.1 \times 10^5 \times 1.2 \times 10^{-5} \times (120 - 10)$$

$$= 277.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

α_x : 축응력 (N/mm²)

E : 탄소강의 탄성계수 (2.1 × 10⁵ N/mm²)

α : 탄소강의 선팽창 계수 (1.2 × 10⁻⁵ /℃)

ΔT : 온도차 (최고사용온도-최초설치온도 = 110 ℃)

이때 발생된 축응력은 277.2 N/mm² 이므로 허용 축응력 154 N/mm² 을 초과하게 되므로 허용 축응력을 초과하는 응력을 해소 시킨후 설치해야 배관의 안정성이 확보된다.

3) 예열(Pre-heating)

열배관의 온도변화로 인하여 발생하는 축응력이 어떠한 경우에도 허용축응력 범위내에 존재해야 한다. 허용응력 범위내에서 허용할 수 있는 온도차는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{all} = \frac{\sigma_{x,all}}{E \alpha} = \frac{154}{2.1 \times 10^5 \times 1.2 \times 10^{-5}} \approx 60^\circ\text{C} \quad (3)$$

T_{all} : 허용 온도차

$\sigma_{x,all}$: 강관의 허용 축응력

E : 2.1 × 10⁵ N/mm² (탄소강의 탄성계수)

α : 1.2 × 10⁻⁵ /℃ (탄소강의 선팽창 계수)

상기 식(2)의 결과에 따라 허용응력 범위내에서 허용할 수 있는 온도차는 60℃로써, 열배관을 매설하기전에 예열

을 하여 선용력을 가함으로써 매설 후 온도차로 인하여 발생하는 축응력이 허용축응력 범위내에 존재할 수 있도록 한다. 이때 예열온도(Tp)는 설치온도(Ti)와 최고사용온도(Ts)의 평균값으로 한다.

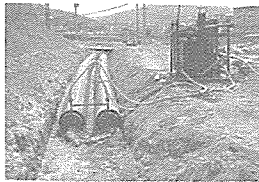
$$\begin{aligned}
 T_p &= (T_s + T_i) / 2 \\
 &= (120 + 10) / 2 \\
 &= 65 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

예열을 65℃로 한 후 매설함으로써 설치온도(10℃) 및 최고사용온도(120℃)는 예열온도(65℃)와의 차가 55℃가 되어 허용 온도차인 60℃이내가 됨으로써 도관의 안정성이 확보되는 것이다.

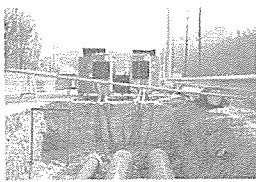
5. 열배관 열응력 해소방법

열배관의 강관에 예열을 하는 방법은 물의 현열을 이용하기 위하여 열배관내에 온수를 순환시키는 온수 이용방법, 강관을 저항체로 하여 전류를 공급함으로써 그 발열을 이용하는 전기이용방법, 그리고 증기를 이용하는 방법 등이 있다.

온수 이용방법

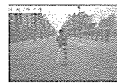


전기 이용방법

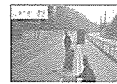


- 시공방법이 난이
- 온도변화에 의한 팽창/수축이 많아 설계 및 시공이 까다로움
- 굴착폭이 넓음
- 공급관/회수관의 2열 시공으로 타공사보다 굴착폭이 넓음

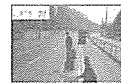
나. 시공절차



1. 시공전 측량



2. 아스팔트 절단



3. 아스팔트 굴착



4. 관로굴착



5. 모래깔기



6. 토류벽 전경



7. 배관용접



8. 보온



9. 예열



10. 모래채움



11. 모래 몰다짐



12. 되메우기

2. 유지보수공사 항목 및 체계

가. 항목

- 점검
- 보수공사
 - 열배관 이설공사 및 교체공사
 - 맨홀, 밸브교체공사 등
- 긴급복구반 운영

나. 체계

점검	보수	긴급복구체계
관로 맨홀 및 핸드홀 타공사 구간 중점관리구간	경상보수 예방보수 긴급복구 시설개선	긴급복구반 운영 긴급복구 훈련

II. 열배관공사 및 유지보수공사

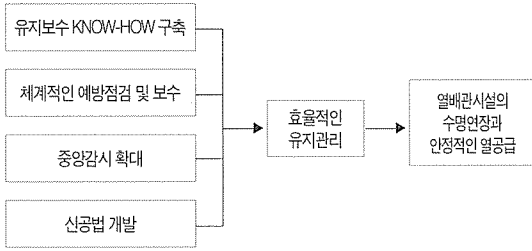
1. 열배관공사 특징 및 시공절차

가. 특징

- 공사기간이 장기간 소요
- 타 배관공사 보다 공정이 많음
- 굴착기간 장기소요
- 일정구간(300m 내외)을 예열(65℃까지 가열)후 되메우기

전문가 기고

3. 열배관 유지관리 방향



Ⅲ. 기술개발 동향

1. 기술개발 실적(국내) <표 3 참조>

2. 기술개선 사항(국내) <표 5 참조>

<표 5> 이중보온관

일자	내용	개선효과	비고
1994. 8	○외관(HDPE) 코로나 방전 기술 도입	○외관과 보온재의 접착력 향상에 따라 수분침투시 확산방지	○유럽기술 도입
2000. 12	○평행 Tee 도입	○공사비 절감 및 공사기간 단축	○국내개발



<표 5> 밸브류1

일자	내용	개선효과	비고
1992. 9	○볼밸브 국산화	○외화절감 및 납기단축	○국산화
1994. 4	○공정보온 볼밸브 사용	○보온품질향상 및 시공용이	○국내개발



<표 3> 종류별

이중보온관	밸브류	감시시스템	연결부	시공기준	계
6	11	21	22	13	73

<표 3> 분야별

구분	유럽기술도입	기술개발		국산화	기준개선	성능개선	계
		유럽기술 참조	자체개발				
이중보온관	1	2			3		6
밸브류	1		4	1	5		11
감시시스템	2		5	3	7	4	21
연결부	7	1	1	1	12	2	2
시공기준	1		3		9		13
계	12	3	13	5	36	4	73
비율	16.4%	4.2%	17.8%	6.8%	49.3%	5.5%	

<표 5> 밸브류2

일자	내용	개선효과	비고
1994. 12	○보온형 Butt V/W 도입	○품질향상	○자체개발



3. 기술개선 동향

- 보온재 탄화도에 따른 열배관 잔여수명 평가연구
- 연구기관: 한국바스프(주) & 독일 지역난방연구소 (FFI)

- 연구기간: 2004. 3.~2005. 9

- 무선통신 열배관감시시스템 개발연구

- 연구기관: 부영산전(주)

- 연구기간: 2004. 2.~2005. 7

- Twin Pipe의 국내 생산가능성 연구

- 연구기관: 자체시행중

국내 약 3,600 km 열배관이 설치되어 약 125만 세대에 지역난방 열공급을 하고 있으며, 자산가치는 약 1조원을 상회하는 중요한 사회 기반시설로,

- 저한 품질관리와 완벽한 시공 필요.
- 새로운 자재 및 공법 개발이 요구됨.