

## 열수송관에 연결된 에어벤트에 적용 가능한 부식 방지 방안

송민지<sup>1</sup> · 최가현<sup>1</sup> · 김우철<sup>2</sup> · 이수열<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 신소재공학과, 대전광역시 유성구 대학로 99

<sup>2</sup>한국지역난방공사 미래개발원, 경기도 용인시 기흥구 기곡로 92

(2023년 4월 16일 접수, 2023년 4월 19일 수정, 2023년 4월 19일 채택)

## Corrosion Protective Method Applicable to Air Vent Connected with a Heat Transport Pipe

Min Ji Song<sup>1</sup>, Gahyun Choi<sup>1</sup>, Woo Cheol Kim<sup>2</sup>, and Soo Yeol Lee<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

<sup>2</sup>R&D Institute, Korea District Heating Corp., Yongin 17099, Republic of Korea

(Received April 16, 2023; Revised April 19, 2023; Accepted April 19, 2023)

This study aimed to elucidate causes of corrosion of heat transport pipes and air vents installed under a manhole of heat transport facilities and suggest effective anticorrosive measures by applying paints or adhesive tapes. It was found that air vent corrosion was attributed to corrosion under insulation caused by the inflow of water and the enrichment of chloride ions. The infiltrated water caused a hydrolysis of polyurethane foam (PUF) insulation by concentrating chloride ions at the interface between a pipe and the PUF. As insulator deteriorated, more chloride ions were eluted as confirmed by ion chromatograph (IC) analysis. As an effective method to prevent air vent corrosion, different types of paints and adhesive tapes with higher corrosion resistance on chloride ions were applied and environmental resistance tests were performed with those samples. Based on environmental test results of samples exposed to 10% HCl solution, it was revealed that a wax tape was the most adequate from a viewpoint of stability at operating condition, environmental resistance, surface treatment, and field applicability.

**Keywords:** District heating system, Air vent, Corrosion, Chloride ion, Adhesive tapes

### 1. 서론

지역난방시스템에서는 열 생산시설로부터 사용시설까지 온수를 공급하기 위해 열수송관이 지중에 매설되어 있다. 열수송관 및 부속기기의 보수를 위해 일부 구간에 맨홀을 설치하여 관리하고 있으며, 맨홀 내부에 설치된 공급관(회수관)과 부속기기의 모습을 Fig. 1에 나타내었다. 맨홀 내부는 열배관(공장제작된 이중보온관), 에어벤트, 밸브 등으로 구성되며, 공급관은 75~120 °C, 회수관은 30~80 °C의 온도로 운영된다. 볼 밸브를 기준으로 하부는 저탄소강을 적용하며, 난방수의 열손실을 방지하기 위해 단열재로 경질 폴리우레탄을 사용하며, 최 외곽에는 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene,

HDPE)이 감싸고 있는 형태이다(Table 1). 열수송관 및 부속기기는 설치년도, 제작시기, 시공업체 등에 따라 조금씩 변형된 모습을 가지지만 기본적인 형태(열배관, 에어벤트, 밸브)는 동일하다. 경질 폴리우레탄은 외형이 단단하며 난방관의 열수축에도 우수한 접착성, 기계적 성질, 낮은 열전도도를 가진다. 폴리우레탄 폼의 구성원료는 레진 프리믹스(resin premixture)와 이소시아네이트(isocyanate), 폴리올(polyol)이다. 열수송관은 공장제작된 보온배관을 사용하지만, 수송관에 돌출된 구조를 가지는 에어벤트는 현장에서 시공된다. 열수송설비 맨홀은 도로변에 위치하여 오염물의 유입이 빈번히 발생하며, 습한 환경으로 인해 부식 파손 사례가 종종 보고되고 있다. 열수송관에 인접한 보온재는 물리적, 화학적 노화가 발생하며 [1,2], 특히 에어벤트와 HDPE 사이 계면을 통한 오염물 유입, 단열재의 가수분해에 의한 에어벤트 및 열배관의 파손이 보고되었다 [3-6]. 열수송관 및 부

<sup>†</sup>Corresponding author: sylee2012@cnu.ac.kr

송민지: 박사과정, 최가현: 석사과정, 김우철: 책임연구원, 이수열: 교수

속기기는 누수 및 파열 발생 시 사용시설에 가깝기 때문에 안전사고로 이어질 수 있다. 사례 조사를 통해 설비의 부식 취약 위치를 대략적으로 특정 지을 수가 있으나 파손이 복합적인 요인에 의해 발생하므로 파손 발생 시기를 예측하기 어렵다.

현재 설비의 노후화에 따른 누수 및 파열 방지를 위해서 집단에너지사업법에 따라 사용전 검사와 정기검사를 수행하고 있다. 하지만 현재 설비의 손실 현황과 운전성능에 대한 평가는 가능하나 방지 대책에 대해서는 정해진 기준이 없으며, 열수송관의 노화 및 파손 증가에 따른 유지보수 전략 수립이 미흡한 실정이다. 가장 효과적인 부식 방지 대책은 부식 발생 원인을 찾아내어 그 반응이 일어나지 못하도록 원천 차단하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 맨홀과 이어진 지하에 위치한 열수송관 및 부속기기에서 발생하는 부식 파손의 메커니즘을 파악하고, 이에 대한 효과적인 부식 방지 대책을 수립하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 맨홀 내부 환경 조사

맨홀 내부를 직접 조사하여 수송관 및 부속기기가 놓인 환경을 파악하였다. 정량적으로 내부 환경 조사를 위해 맨홀 출입구, 지하 공간 벽면에 측정 장치를 설치하였고, 이를 통해 수개월간의 맨홀 내부 온도, 습도 데이터를 수집하였다.

### 2.2 연도별 단열재 수집 및 분석

단열재도 노후화에 영향을 줄 수 있는 인자이므로 이를 평가하기 위해 실사용된 샘플을 수집하였다(Table 2). 공사 현장에서 수집된 단열재는 외부 오염에 의한 영향을 제외시키기 위해 단열재의 두께 방향의 가운데 부분

에서 샘플을 채취하였다. 수송관 일부와 함께 온전히 수집된 단열재 샘플은 배관과 맞닿은 부분의 위치와 단열재의 가운데(중심부)에서 각각 샘플을 수집하였다. 채취한 샘플은 순수 100 mL에 동일한 질량(5 g)으로 이온을 용해시킨 뒤 100 °C에서 2시간 동안 핫플레이트에서 가열한 후 서냉시킨 후에 성분을 분석하였다. 성분 분석은 이온 크로마토그래피(ion chromatography, IC)를 이용하였고, 이를 통해 염소이온 용출 여부를 조사하였다.

### 2.3 부식 방지용 도료 및 테이프 성능 평가

일반적으로 부식반응은 전해질이 존재하는 환경에서 발생한다. 도료 및 테이프 적용은 원초적으로 부식반응

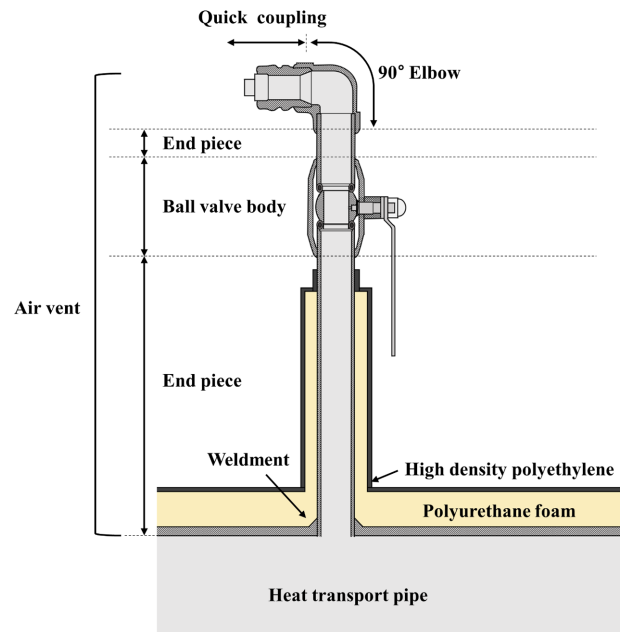


Fig. 1. Schematic of heat transport pipe and air vent located under the manhole

Table 1. Nominal chemical composition of SPPS250 [wt%]

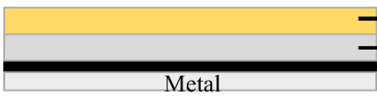


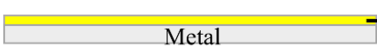


Element	C	Si	Mn	P	S	Fe
wt%	0.3	0.35	0.30~1.00	0.040	0.040	Bal.

Table 2. Descriptions of unused and used insulation samples for IC analysis

Thermal insulation sample	Descriptions
1 Unused sample	Unused polyurethane foam
2 Supply pipe installed in 1991	Installed in 1991 and collected together with the used supply pipe
3 Supply pipe installed in 1992	Supply pipe completed in 1992 with a pipe diameter of 600A (Insulation collected only)
4 Supply pipe installed in 1993	Supply pipe completed in 1993 with a pipe diameter of 700A (Insulation collected only)
5 Supply pipe installed in 1990s	Samples collected together with supply pipe (700A) and air vents built in 1990s
6 Supply pipe installed in 1990s	Samples collected together with supply pipe (500A) and air vents built in 1990s

**Table 3. Types and features of paints and/or tape**

Paint and/or tape sample		Descriptions
1	Butyl primer, Butyl sealant tape, Butyl rubber tape	Anti-corrosion measures for vulnerable parts of corrosion after 2016
2	Butyl primer	Anti-corrosion measures for vulnerable parts of corrosion before 2008
3	Butyl primer, Polyimide film tape	Sample for applicability judgment to the existing applied anticorrosive method (Butyl primer)
4	Polyimide film tape	Available up to 220 °C SA3 (ISO 8501-1) or higher surface preparation required
5	Acrylic adhesive (1577CW-WM, 1579GCW-WM)	Available up to 120 °C SA3 (ISO 8501-1) or higher surface preparation required
6	Primer, Wax tape	Available up to 110 °C Consists of microcrystalline wax, plasticizer and corrosion inhibitor

Paint and/or tape sample		Schematics of the tested samples
1	Butyl primer, Butyl sealant tape, Butyl rubber tape	 Butyl rubber tape Butyl sealant tape Butyl primer Metal
2	Butyl primer	 Butyl primer Metal
3	Butyl primer Polyimide film tape	 Polyimide film tape Butyl primer Metal
4	Polyimide film tape	 Polyimide film tape Metal
5	Acrylic adhesive (1579GCW-WM, 1577CW-WM)	 1577CW-WM 1579GCW-WM Metal
6	Primer, Wax tape	 Wax tape Primer Metal

**Fig. 2. Selected paint and/or tape samples for experiment**

을 일으키는 오염물의 유입을 방지하는 것을 목적으로 한다. 선정된 도료 및 테이프 샘플은 Table 3과 Fig. 2에 각각 나타내었다. Table 3의 샘플 1은 2016년도 이후, 샘플 2는 2008년 이전 열수송시설 맨홀 내 위치한 에어벤트에 적용하는 방식이며, 샘플 3~6은 새롭게 방식방안으로 제시하고자 선정한 샘플이다. 샘플 3은 기존 에어벤트에 주로 적용되어있는 상태(부틸 프라이머)에서 적용가능한지 판단하기 위한 샘플이다. 부식 방지용 도료 및 테이프의 성능평가는 수송관 운전 환경에서의 건전성 평가와 내환경 평가를 수행하였다. 샘플은 박스로에서 20분 승온 후 110 °C, 24시간 유지 후 상온 휴

지 방식으로 7회 반복 수행하였다. 내환경 시험은 KS M 2812-1에 따라 10% 염산 용액을 사용하여 상온과 70 °C에서 평가하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 맨홀 내부 현장 조사 및 환경 데이터 수집

열수송설비 맨홀 내부는 열수송관 및 부속기기가 설치되어 있으며, 관 내부의 난방수에 의해 온습도가 일정 수준 유지되고 있다. 조사된 맨홀은 도로 근처에 위치하며(Fig. 3a), 콘크리트형 지하 구조로 배수에 취약한

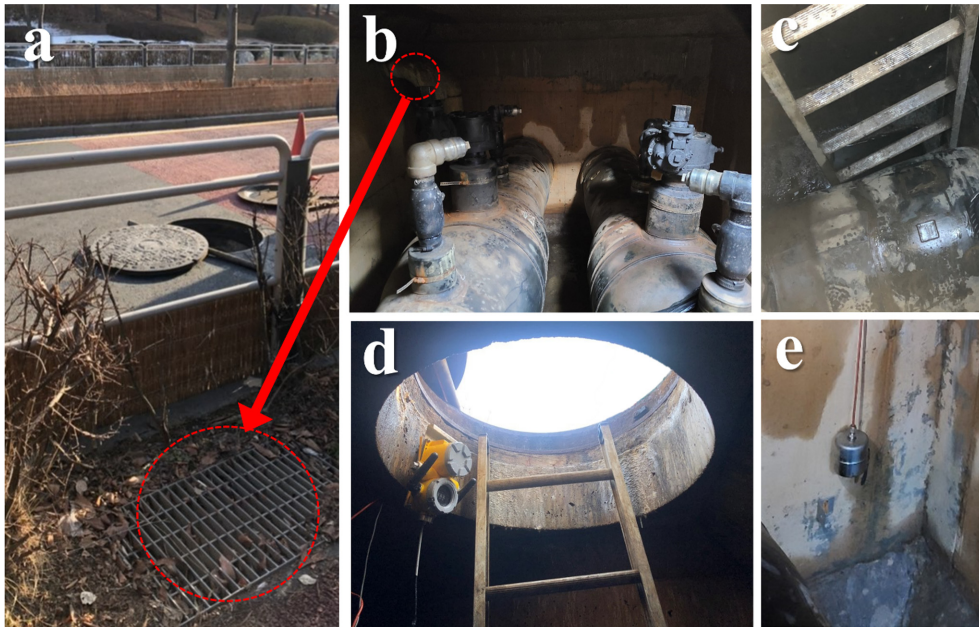


Fig. 3. Schematic of heat transport pipe and air vent located under the manhole

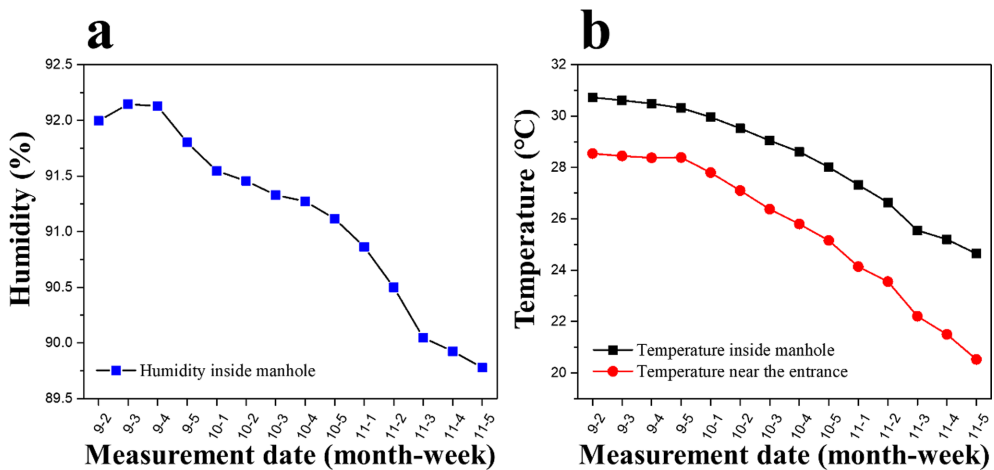


Fig. 4. Schematic of heat transport pipe and air vent located under the manhole.

형태임을 알 수 있다. 습도를 조절하기 위해 외부와 이어지는 환풍구가 있으나 조사 당시 겨울철임에도 바닥의 물 고임과 벽면 젖음이 발생했음이 관찰되었다(Fig. 3b, 3c). 과거 우수에 의한 침수로, 설비 외면에 먼지, 흙 등의 오염 또한 관찰되었다. Fig. 4는 내부의 환경을 정량적으로 파악하고자 3개월 동안 주별로 측정된 결과이다. 측정 장치는 맨홀 출입구, 벽면에 설치하여 실온 및 온도, 습도 데이터를 수집하였다(Fig. 3d, 3e). 9월 2주차에 실온 30.7°C, 온도 28.5°C로 가장 높았으며, 11월 5주차에 실온 24.6°C, 온도 20.5°C로 가장 낮게 측정되었다. 겨울철에 가장 건조하다고 가정한다면, 맨홀 내부 환경은 최소 80% 이상의 습한 환경이다. 열수송관 및

부속기기는 도로변의 맨홀 지하에 위치하여 여름철 빗물에 의해 침수되기 쉬운 환경이고, 관 내부를 흐르는 난방수에 의해 항상 습한 환경에 놓이게 된다. 구조적 위치상 우수에 의한 침수가 발생하였을 때, 이중재질인 에어벤트와 HDPE 사이로 침투하였을 가능성이 높으며, 특히 빗물에는 Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 같은 산성 성분과 금속 양이온이 존재하므로 [7,8] 설비에 악영향을 미칠 가능성이 높다.

### 3.2 단열재 성분 조사 및 분석

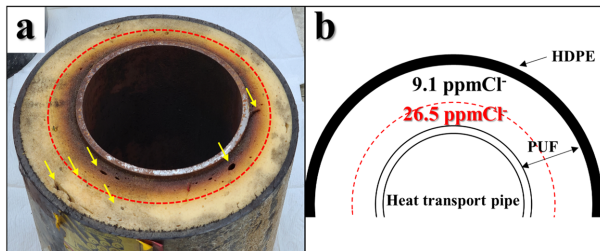
열수송설비에 사용되는 내부 단열재 내에 염화이온이 용출될 가능성이 있기에 이에 대한 영향을 평가하고자

IC 분석을 수행하였다(Table 4). 샘플에서 용출된 염화 이온은 2~18 ppm으로, 수집된 단열재의 이온 용출 수준은 낮은 수치로 분석되었다. 배관과 함께 수집된 2번 샘플의 단면을 관찰하였을 때, 발포 과정에서 발생한 기포가 단열재 내부에 다량 존재하며, 배관에 가까울수록 열화에 의해 단열재의 색 변화가 관찰되었다(Fig. 5a). 열화된 단열재만 수집하여 염화이온 농도를 측정하였을

때, 기존 대비 2.9배 더 높은 염화이온이 용출됨을 알 수 있다(Fig. 5b). 배관에 인접할수록 난방수 온도에 의한 수축 및 팽창으로 발생한 피로, 고온 환경에서의 작용기 특성 변화 [1,2]에 의해 염화이온의 용출이 쉽게 발생하는 것으로 판단된다. 단열재는 낮은 용존산소환경을 형성하며, 그로 인해 적은 양의 염소이온으로도 금속 표면에 부식이 발생할 수 있다 [9,10]. 특히 외부 오염물이 이온 공급원이자 전해질로 단열재의 가수분해를 일으켜 부식을 가속시켰을 것으로 추측된다. 하지만 단순히 단열재를 제거하는 방안은 난방배관의 열 손실 측면에서 바람직하지 않다.

**Table 4. Analysis of chloride ions eluted from insulator**

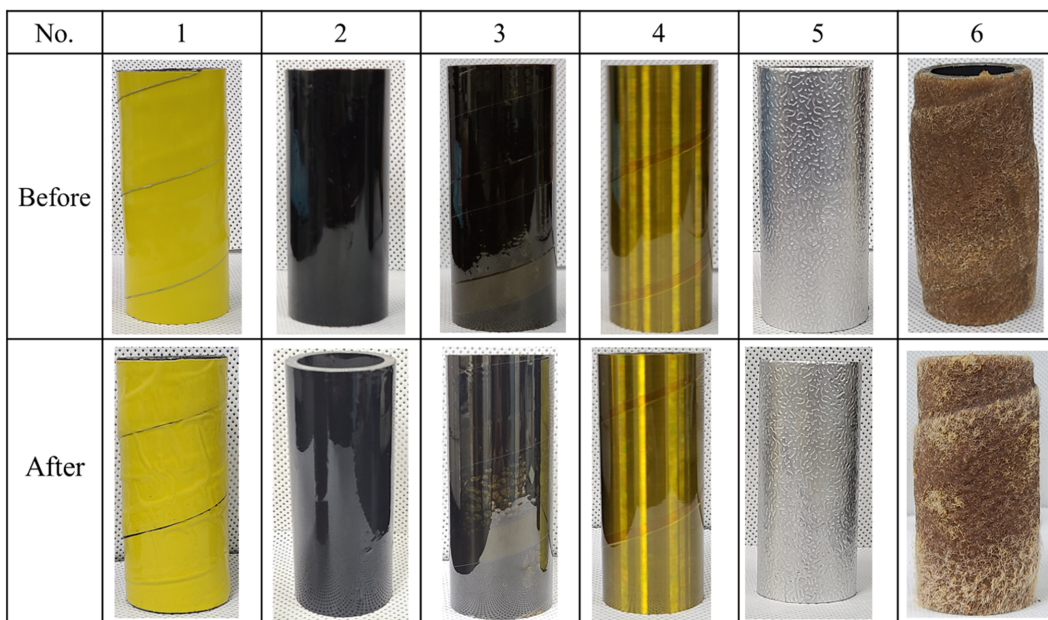
Thermal insulation sample	Chloride ion (ppm)
1 Unused sample	18.143
2 Supply pipe installed in 1991	9.104
3 Supply pipe installed in 1992	3.462
4 Supply pipe installed in 1993	2.748
5 Supply pipe installed in 1990s	12.666
6 Supply pipe installed in 1990s	8.466



**Fig. 5. Heat transport pipe and insulator installed in 1991, a) Visual observation of the sample cross-section, b) Chloride ion analysis within the insulator**

### 3.3. 도료 및 테이프 성능 평가

외부로부터 오염물이 단열재와 배관의 결합(기포, 틈)을 통해 유입되므로 직접적으로 접촉해 회로를 구성하지 않도록 하는 방안을 선정하였다. 선정된 방식방안의 적합성은 고온 내구성과 내환경성을 기준으로 평가하였다. Fig. 6은 박스로에서 실험 전과 7회 반복 실험 후의 샘플 모습을 보여준다. 반복실험 후 육안상으로 뚜렷히 변화가 보이는 샘플은 1번, 2번, 3번이다. 1번 샘플은 온도 변화에 의해 팽창 및 수축이 발생하였으며, 2번 샘플의 경우, 고온 반복실험하면서 도료의 결합력이 약해져 외부 힘에 의해 쉽게 밀리거나 녹아내리는 현상(softening)이 관찰되었다. 3번 샘플은 부틸 프라이머의 건조과정에서 발생하는 표면 돌기로 인해 폴리이미드 테이프와 접착되지 않은 위치에 공기가 갇혀 팽창을 일으켰다. 공기의 팽창은 고온에서 연화된 부틸 프라이머



**Fig. 6. Visual observation results before and after high-temperature repeated experiment in the box furnace**

를 밀어내는 모습이 관찰되었다.

Fig. 7은 염산 10% 수용액 환경에서 실험한 결과이다; (1) 염산 10% 수용액 내에서 상온 24시간 노출, (2) 70 °C의 염산 10% 수용액에서 1시간 노출, (3) 박스로 내에

서 110 °C, 24시간 열처리 후 70 °C의 염산 10% 수용액에서 1시간 노출하는 조건 각각에 대하여 결과를 비교하였다. 2번 샘플은 염산 환경 및 110 °C 열처리 조건에서 금속 샘플을 온전히 보호하지 못했으며, 금속 표









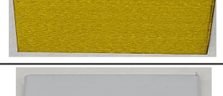
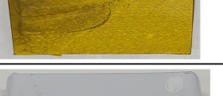







No.	Sample	HCl 10% solution		
		Room temp. (24 hours)	70 °C (1 hour)	70 °C (1 hour) after high-temperature repeated experiment
1	Butyl primer, Butyl sealant tape, Butyl rubber tape			
2	Butyl primer			* Paint softening occurred
3	Butyl primer, Polyimide film tape			
4	Polyimide film tape			
5	Acrylic adhesive (1579GCW-WM, 1577CW-WM)			
6	Primer, Wax tape			

Fig. 7. Environmental test results of paint and/or tapes samples performed in HCl solution at room and high temperatures









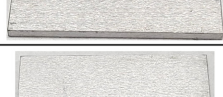





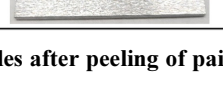


No.	Sample	HCl 10% solution		
		Room temp. (24 hours)	70 °C (1 hour)	70 °C (1 hour) after high-temperature repeated experiment
1	Butyl primer, Butyl sealant tape, Butyl rubber tape			
2	Butyl primer			* Paint softening occurred
3	Butyl primer, Polyimide film tape			
4	Polyimide film tape			
5	Acrylic adhesive (1579GCW-WM, 1577CW-WM)			
6	Primer, Wax tape			

Fig. 8. Environmental test results of samples after peeling of paint and/or tapes performed in HCL solution at room and high temperatures

면이 쉽게 드러났다. 도료 및 테이프를 제거한 후 4번 샘플에서도 용액 침투로 인해 부식이 발생한 것이 관찰되었다(Fig. 8). 하지만 고르게 수분침투가 발생하지 않고 일부 모서리에서 침투가 발생한 것으로 나타났으므로 샘플의 모서리에서 유입된 것으로 판단된다. 1,3,5,6 번 샘플은 도료 및 테이프 제거 후에도 금속 샘플 표면을 보호하였으므로 적절한 내환경성을 지니는 것으로 판단된다.

4. 토의

열수송시설 맨홀 내부에 설치된 설비의 부식 원인은 외부 오염물 유입 및 단열재 이온 용출로 금속 표면에

부식환경을 형성하며, 미세한 틈이 산소 확산을 방해해 부식을 일으킨 것으로 추측된다(Fig. 9). 습식 건식 사이클(wet dry cycle)을 이루면 부식이 가속되는데 [11], 난방수가 흐르는 배관은 100 °C 이상을 유지하므로 운영 환경이 영향을 미친 것으로 판단된다. 침투한 전해질이 폴리우레탄 폼은 발포 과정에서 생성되는 기포와 미세한 틈(금속과 단열재 계면)이 형성되며, 이를 피할 수 없다. 외부로부터 유입된 전해질이 미세한 통로를 따라 이동하면서 틈안에 용존산소가 낮아지고, 염화이온에 의해 강산성 환경이 만들어져 금속 표면의 부동태 피막을 파괴시킨다 [9]. 염화이온 농도가 실제 재질이 견딜 수 있는 농도보다 훨씬 낮은 환경임에도 이온의 농축으로 인하여 부식이 발생할 수 있으며, 초기 pit 발

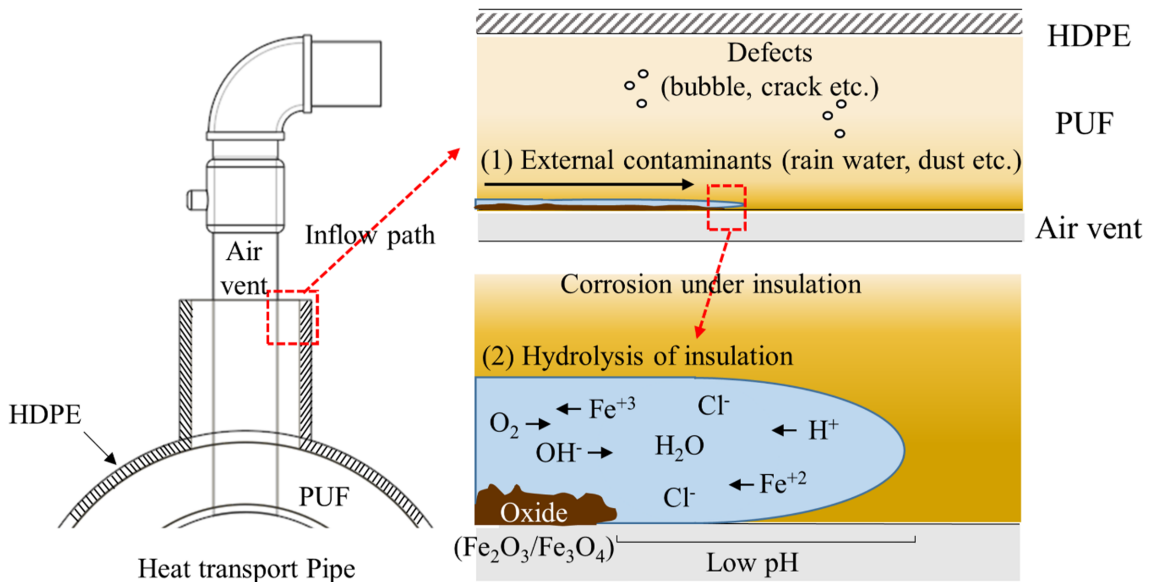


Fig. 9. Mechanism of corrosion in heat transport equipment

Table 5. Comprehensive summary results of paint and/or tape samples

No.	Paint and/or tape sample	Stability at operating temperature	Environmental resistance	Surface requirements	Field applicability
1	Butyl primer, Butyl sealant tape, Butyl rubber tape	Bad	Good	Low	Not good
2	Butyl primer	Bad	Bad	Low	Bad
3	Butyl primer, Polyimide film tape	Bad	Good	Low	Not good
4	Polyimide film tape	Good	Bad	SA3 or higher	Not good
5	Acrylic adhesive (1579GCW-WM, 1577CW-WM)	Good	Good	SA3 or higher	Good
6	Primer, Wax tape	Good	Good	Low	Better

생 이후 부식진전속도가 가파르게 상승한다고 보고되었다 [12,13].

열수송설비 환경에서 가장 적절한 방식 방안을 선정함에 앞서, 종합적인 결과를 Table 5에 나타내었다. 고온 실험과 내환경 실험 결과와 함께 현장에서 적용가능한지의 여부를 고려하여 평가하였다. 4번과 5번 샘플은 현장에서 적용하기 위해서는 SA3 (ISO 8501-1) 이상의 표면처리가 요구되는데, 기존 설치된 에어벤트 및 열배관의 경우 이를 적용하기 어려우므로 표면처리 요구사항이 낮은 Wax 테이프를 사용하는 것이(6번 샘플) 가장 적합해 보인다고 판단된다.

## 5. 결론

열수송설비 맨홀 내부에 설치된 열배관 및 에어벤트의 부식 원인과 효과적인 방식 방안으로서 코팅재의 적용에 대한 연구를 수행하였다. 지하에 위치하는 맨홀 내부의 열수송설비는 항상 습한 환경을 유지하며, 오염물의 유입이 쉬운 구조를 가지고 있었다. 또한, 단열재는 염소이온을 용출시키며, 열화될수록 더 많은 양의 염소이온을 용출하였다. 에어벤트의 부식 방식 방안으로서 표면처리 요구사항이 낮은 왁스 테이프를 사용하는 것이 가장 효과적으로 판단된다.

## Acknowledgement

본 연구는 한국지역난방공사의 지원을 받아 연구를 수행하였습니다.

## References

1. J. Kim, Y. S. Kim, H. Kim, J. Yoon, Effect of operating temperature conditions in 21-year-old insulated pipe for a district heating network, *Case studies in thermal engineering*, **27**, 101265 (2021). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101265>
2. L. Doyle, I. Weidlich, Effects of thermal and mechanical cyclic loads on polyurethane pre-insulated pipes, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, **44**, 156 (2021). Doi: <https://doi.org/10.1111/ffe.13347>
3. H. Kim, H. Chae, J. Cho, W.C. Kim, J.C. Jeong, H. Kim, J.G. Kim, S.Y. Lee, Corrosion failure analysis of air vents installed at heat transport pipe in district heating system, *Corrosion Science and Technology*, **19**, 189 (2020). Doi: <https://doi.org/10.14773/cst.2020.19.4.189>
4. J. Cho, H. Chae, H. Kim, J.G. Kim, W.C. Kim, J.C. Jeong, S.Y. Lee, Failure analysis of air vent connected with heat supply pipeline under manhole, *Corrosion Science and Technology*, **19**, 196 (2020). Doi: <https://doi.org/10.14773/cst.2020.19.4.189>
5. Y.S. Kim, H. Chae, W.C. Kim, J.C. Jeong, H. Kim, J.G. Kim, S.Y. Lee, Failure analysis on localized corrosion of heat transport pipe in district heating system, *Corrosion Science and Technology*, **19**, 122 (2020). Doi: <https://doi.org/10.14773/cst.2020.19.3.122>
6. H.S. Kim, G.B. Kim, L.H. Kim, Development of a failure probability model based on operation data of thermal piping network in district heating system, *Korean chemical engineering research*, **55**, 322 (2018). Doi: <https://doi.org/10.9713/kcer.2017.55.3.322>
7. H. Song, E. Lee, D. Jung, I. Kim, Seasonal and regional concentrations of chemical composition in rainwater in daegu area, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **28**, 522 (2006). Doi: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00198-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00198-4)
8. G. Jung, J. Lee, W. Kim, J. Kim, S. Yun, Wet Deposition of Heavy metals in Suwon Area, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, **26**, 116 (2007). Doi: <https://doi.org/10.5338/KJEA.2007.26.2.116>
9. Y. Song, G. Jiang, Y. Chen, P. Zhao, Y. Tian, Effects of chloride ions on corrosion of ductile iron and carbon steel in soil environments, *Scientific reports*, **7**, 6865 (2017). Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07245-1>
10. Q. Gao, Y. Pojtanabuntoeng, M. Esmaily, S. Thomas, M. Brameld, A. Amer, N. Birbilis, A review of corrosion under insulation: A critical issue in oil and gas industry, *Metals*, **12**, 561 (2022). Doi: <https://doi.org/10.3390/met12040561>
11. S. Hoerle, F. Mazaudier, Ph. Dillmann, G. Santarini, Advances in understanding atmospheric corrosion of iron. II. Mechanistic modelling of wet-dry cycles, *Corrosion science*, **46**, 1431 (2004). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2003.09.028>
12. E. D. Mackey, T. F. Seacord, Guidelines for using stainless steel in the water and desalination industries, *Journal American Water Works Association*, **5**, 158 (2017). Doi: <https://doi.org/10.5942/jawwa.2017.109.004>
13. S. Kim, J. Lee, J. Kim, W. Kim, Effect of the crevice former on the corrosion behavior of 316l stainless steel in chloride-containing synthetic tap water, *Metals and materials international*, **24**, 516 (2018). Doi: <https://doi.org/10.1007/s12540-018-0062-2>