바닥 복사난방 배관설비에서 배관파열 사례 연구

정 홍 도[†], 신 용 한*, 박 진 관**, 정 효 민***, 정 한 식***

한국폴리텍IV대학 아산캠퍼스, *경상대학교 대학원 정밀기계공학과, **부산외국어대학교,

***경상대학교 에너지기계공학과 · 해양산업연구소

A Case Study on the Plumbing Pipe Burst of Floor Radiant Heating

Hongdo Jung[†], Younhan Shin*, Chenkwan Park**, Hyomin Jeong***, Hanshik Chung***

Asan Campus of Korea Polytechnic IV, Asan 336-781, Korea

*Department of Mechanical and Precision Engineering, Gyeongsang National University,
Tongyeong 650-160, Korea

**Pusan University of Foreign Studies, Busan 608-738, Korea,

***Department of Energy and Mechanical Engineering, The Institute of Marine Industry,
GyeongSang national University, TongYoung, 650-160, Korea

(Received March 20, 2012; revision received September 21, 2012)

ABSTRACT: Heating pipes burst was occurred in the apartment complex that was applied floor radiant heating system. There were two opinions for the cause of the bursted heating pipes that was the flaw during construction and defects in the product and also there were conflicting among them. Officials analyzed it in order to investigate the cause of the rupture. Tensile test results showed different tensile strength between the lower part of heating pipe and the upper part of heating pipes. The lower tensile strength is maintained while the top was not secured. The reason why rupture heating pipes is that flow velocity isn't secured and then the air get stagnant. Stagnant air makes hardening. It is caused rupturing. The proper flow rate was confirmed 0.166 m/sec after experiment. It isn't make stagnant air inside heating pipes.

Key words: Ondol(온돌), Floor radiant heating(바닥복사난방), Thermostat(온도조절기), Tensile strength(인장강도)

기 호 설 명

PE : 폴리에틸렌 [Polyethylene]
D : 직경 [mm]
Q : 유량 [LPM]
V : 속도 [m/sec]

1. 서 론

우리나라는 옛날부터 온돌 구들을 이용한 바닥 복

사난방 방식이 난방 방식의 주류를 이루었다. 이러한 난방 방식은 초기에는 아궁이에 장작불을 지피 취사와 동시에 구들을 이용한 복사난방에서 산업화에 따라 연탄아궁이에 의한 구들난방 방식으로 발전하였다. 그러나 연탄아궁이에 의한 구들난방은 연탄의 연소 시 발생하는 일산화탄소가 구들의 방바닥 틈새를 통해 새어나와 연탄가스에 의한 중독사고로 인해 많은 인명피해가 발생하는 등의 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 1970년대 말부터 연탄보일러를 이용한 온수난방에 의한 바닥 복사난방 방식이 보급 확대되기 시작하였다. 이렇게 발전한 연탄보일러에 의한 온수를 이용한 바닥 복사난방 방식은 대단위 아파트단지에서 중앙플랜트에

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-539-9430; fax: +82-41-539-9439

E-mail address: hongdoj@kopo.ac.kr

의한 중앙공급 방식에서 바닥 복사난방 방식으로 발전하였다.

그러나 중앙난방 열원으로 이용되던 병커-C가 환경오염 문제로 인하여 사용이 중지되면서부터 도시가스를 이용한 개별식 온수보일러에 의한 바닥 복사난방 방식으로 전환이 이루어지고 있다.⁽¹⁾ 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제4조 온돌의 설치기준에 1개구간의 배관길이를 50 m로 제한한다는 규정이 있었으나 1999년 5월 11일 삭제되었다⁽²⁾ 그 결과 발코니 확장 시 설비공정 단축과 비용 절감을 위해 온수분배기에서 별도의 난방관을 설치하지 않고 거실 등의 기존 난방관에서 직결식으로 연결하여 시공하고 있는 실정이다.

그 결과 난방관의 길이가 늘어나므로 인해 정유량 밸브제어 시스템을 채택하고 있는 연구대상 등의 현장에서는 세대내 유량부족으로 인해 여러 가지 문제를 야기하고 있었다.⁽³⁾

따라서 본 연구에서는 바닥 복사난방 설비 시스템을 채택한 대단지 아파트단지에서 발코니 확장 시 난방관의 길이가 늘어남에 따라 유량이 부족할 때 난방관 내에서 생성된 공기층에 의한 배관파열의 원인과 대책에 대하여 연구하였다.

2. 현장 개요

난방관 파열 현상이 발생한 현장은 지역난방을 열원으로 하는 중앙공급식 정유량 밸브제어 방식에 의해 시공된 대단지 아파트 단지로서 Table 1과 같이 8개동 622세대로 79 m², 92 m², 108 m², 148 m²로 구성되어 있었다. 입주 후 2년 정도 지나면서 주로 발코니 확장공사를 시행한 148 m² 세대의 거실에서 난방관 파열이 집중적으로 발생되었다. Fig. 1은 148 m²형의 난방배관 평면도이며 Fig. 2는 발코니 확장 시 거실에서 직접 난방코일 배관연결 시공 장면이다.

Table 1 Overview

Item	Contents
The number of households	622
79 m ²	180
92 m ²	80
108 m ²	286
148 m ²	76
Heating system	Local Gas Heating Boilers

Fig. 1 Heating pipes drawing.

Fig. 2 Piping on extended balcony.

3. 난방배관파열 원인 분석을 위한 실험

3.1 시료의 채취

난방관 파열의 원인을 두고 입주민과 시공사, 그리고 제품생산업체는 서로의 책임이 아니라는 책임 공방만 이루어지고 있었으며 결국 난방관파열 원인이 제품결함 쪽으로 결론을 내리려고 하였다.

시료의 채취는 Table 2와 같이 물이 차지 않은 드레인관, 항시 물이 차있는 온수분배기 수직관 부분, 난방관이 집중적으로 파열된 거실, 그리고 큰방, 작은방에서 각각 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 물이 차있던 하부와 공기가 차있었던 상부, 그리고 거실 보다는 공기가 적게 차있었으나 역시 발코니를 확장한 큰방과 작은방에서 채취한 시료에 대해서도 난방관 내 차있던 공기가 난방관에 미치는 영향을 파악하기 위해 상·하부로 구분하여 인장시험용 시편을 제작하였다.

Fig. 3 Heating tube sample in field.

현장에서 파열된 난방관의 시료를 채취한 결과 Fig. 3과 같이 채취한 난방관 내부에 공기가 차있었던 흔적이 발견되었다. 이와 같이 공기가 차있었던 흔적이 발견된 난방관은 주로 대형 면적의 거실에서 주로 채취가 되었으며 거실의 안쪽보다는 바깥쪽 즉, 발코니를 확장한 위치에서 집중적으로 발견되었다. 특히 공기가 차있던 흔적은 난방관의 수평상부에서 주로 발견 되었으며, 이 부분에서 주로 난방관 파열이 발생되었다.

3.2 난방관 시료에 대한 인장강도 시험 결과

채취한 시료를 대상으로 KS M 3357 규정에 의한 인장시험편을 제작하여 인장시험을 실시하였다.⁽⁴⁾

그 결과 Fig. 4와 같이 난방관의 하부는 인장강도가 21.06 MPa로서 초기 해당 난방관의 인장강도 21.01 MPa의 99% 이내로 유지하고 있는 반면에 상부의 인장강도는 난방관 파열부위의 경우 14.8 MPa로서 인장강도를 확보하지 못하여 바로 끊어져 버렸다. 그리고 온수분배기 부분에 공기가 차있지 않고 항상 물이 차 있던 부분에 대한 난방관의 시료를 채취하여 인장시험을 실시한 결과 Fig. 5와 같이 전면부와 후면부 난방관 모두 인장강도 21.1~21.3 MPa로서 초기 인장강도를 유지하고 있었다.⁽⁵⁾ 이러한 인장시험 결과로 공기가 차있던 난방관의 상부에서 폴리에틸렌관 (Poly ethylene pipe) 계통인 난방관이 급격한 경화현상의 진행에 의하여 파열된 것으로 추정하였다.⁽⁵⁾

이러한 실험결과에 따라 각 실별 부위별로 난방관의 시료를 채취하여 국가지정 공인기관인 한국화학시험연구원에 인장시험을 의뢰하였다.

실험결과 Table 2와 같이 드레인관과 온수분배기 수직관은 상·하부 관계없이 KS M 3357 인장강도 기준인 18~22 MPa 기준을 만족한 반면, 난방관 파

Fig. 4 Tensile test results of air-filled heating pipes.

Fig. 5 Tensile test results of general heating pipes.

Fig. 6 Experimental analysis of heat flow.

Table 2 Tensile test results

Item	location	Unit	Values
Drain	Down	MPa	21.1
	Up	MPa	21.3
Distributor	Down	MPa	20.9
	Up	MPa	21.1
Living Room	Down	MPa	20.9
	Up	MPa	14.8
Large room	Down	MPa	21.5
	Up	MPa	19.0
Small room	Down	MPa	20.9
	Up	MPa	18.3

열이 집중적으로 발생한 거실의 경우는 난방관의 상부 인장강도가 14.8 MPa로서 KS M 3357의 기준에 현저히 미달되었다.⁽⁶⁾ 그리고 발코니 확장공사를 하지 않은 큰방과 작은방에서 채취한 난방관의 상부와 하부의 인장강도는 시험결과 미세한 차이가 있음을 확인하였다.

4. 난방관의 적정 유량 및 유속 분석

4.1 난방관 내 적정 유량 및 유속 분석 실험

난방관 내 유량이 부족할 경우 발생하는 문제에 대한 분석을 위해서 Fig. 6과 같이 유량분석 실험장치를 제작하였다. 실험장치의 구성은 난방관의 길이는 20 m로 하였으며 온수 공급온도는 실제 연구대상 현장과 동일하게 60℃, 환수온도는 45℃로 하였다.

그리고 난방관의 유속과 유량을 조절할 수 있도록 하기 위해서 By-Pass 관을 설치하여 난방관 내 유량부족 시 발생하는 문제점과 공기층의 변화과정을 분석하였다.

Fig. 6과 같이 난방관 내의 정확한 유량측정을 위해 플로우메타 유량계와 온수계량기를 함께 설치하여 실험을 진행하였다. 그리고 실험장치의 By-Pass 관을 통해 유량을 1.5 LPM~2.0 LPM까지 0.1 LPM 간격으로 조절하면서 30분간 난방관 내 온수의 흐름 상태와 공기층의 변화 상태를 면밀히 관찰하였다.⁽⁷⁾

실험 결과 난방관 내 유속이 0.149 m/sec일 때부터 공기층의 변화가 일어나기 시작하였으며 유속이 0.158 m/sec일 때 일부구간을 제외한 대부분 부위의 공기가 배출되었다. 그리고 유속이 0.166 m/sec에

서는 배관의 구배에 관계없이 10분경과 이후 Fig. 7과 같이 난방수도 원활하게 순환이 이루어졌다.

4.2 대상 현장에서의 유량 측정

실험에 사용된 플로우메타 유량계를 가지고 연구대상 현장에서 Fig. 8과 같이 현장의 유량을 측정하였다. 측정결과 유량은 1.5 LPM이었으며, 유속을 환산한 결과 0.124 m/sec로 나타났다.

따라서 연구 대상 현장에서의 난방관 과열의 원인을 일단 발코니 확장에 의한 난방코일의 증설로 인해 유량이 부족하다고 판단을 하였다. 즉, 유량이 부족하면 유속이 저하되고 유속이 저하됨으로 인해 난방관 내 물에서 분리된 공기층이 제대로 배출되지 않는 사실도 확인할 수 있었다.⁽⁸⁾

그 결과 연구대상의 현장에서 난방이 제대로 되지 않자 입주민들이 개별식 보일러의 온도를 계속해서 올렸고 실제 80℃ 이상 올린 세대도 있었다. 이로 인해 난방관 내 온도는 계속해서 상승을 하였

Fig. 7 Air emissions in heating pipes.

Fig. 8 Flow measurements in the field.

고 난방관 내 순환은 이루어지지 않고 계속 온도가 상승하면서 난방관 내 공기발생이 가속화되었으며, 확대되고 정체된 공기층 부분에서 경화현상이 발견하면서 난방관의 균열이 발생된 것으로 판단이 되었다.

5. 결 론

바닥 복사난방은 우리나라의 구들 문화에서 발달한 난방 방식으로 우리나라 뿐만 아니라 유럽과 중국 등에서도 도입할 정도로 매우 쾌적하고 우수한 난방 방식이다. 그러나 이에 대한 구체적인 설계기준이 마련되어 있지 않고, 적정 난방관의 길이를 50 m로 규정하고 있었으나 이마저도 폐지가 되었다.⁽²⁾ 난방관 내 유속에 대해서도 이전 연구에서는 온수온도 난방코일내의 권장유속인 0.25 m/sec를 유지하되, 가장 넓은 방은 0.3 m/sec, 가장 작은 방은 0.25 m/sec가 흐르도록 난방관 밸브개도를 조절하는 방안이 마련되었다.⁽⁹⁾

대한설비공학회 편람 제3판 제2권 공기조화편에 의하면 배관중의 공기는 50 A 이하에서는 0.6 m/sec 이상, 50 A 이상에서는 마찰저항 7.5 mmAq/m 이상에 해당되는 유속이 확보되어야만 난방수의 유동과 함께 공기가 원활히 이동한다고 기술하고 있다.⁽¹⁰⁾ 그러나 이번 연구에서 15 A 엑셀 난방관에서 실제 공기가 바닥배관 구배에 관계없이 배출되는 최적의 유속은 Table 3과 같이 유량이 2.0 LPM일 때 0.166 m/sec라는 사실을 확인하였다.

본 연구대상 아파트의 유속측정 결과는 0.124 m/sec로 느리게 나타났으며, 이는 실험 결과에서 나타난 바와 같이 공기배출이 불가능하며 공기층 형성이 가속화되는 실험결과와도 일치하였다. 따라서 본 연구에서는 난방관 내 적정유량과 유속이 확

보되지 않았을 경우 난방관 상부에 공기층이 형성되며 이렇게 형성된 공기층은 PE 재질의 난방관 경화를 촉진시키며 이로 인해 난방관이 과열될 수 있다는 사실을 입증하였다.

참고문헌

1. Ministry of Construction and Transportation, Korea National Housing Corporation, Hyundai Engineering and Construction Co., Ltd, Kumkang Engineering and Construction Co., Ltd Joint authorship, 1996, '1st Study report of Development and Application of Floor Heating System in Apartment Housings in 1996.'
2. The Rules Article 4 about 'Facilities Standards of Construction', revised in 11. 05. 1999.
3. Kim, J. H., 2005, The Report of analysis 'Heating-piping bursted cause' in Anyang M-Apartment.
4. Published Korean Standards Association by Rule book, 2010, 'KS M 3357.'
5. Lee, S. Y. et al., 2009, AE Characteristic under Tensile of Polyethylene for Low Pressure Pipe, A Journal of The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 7, No. 1.
6. Kim, J. H., Dongbang Engineering Co., Ltd, 2005, The investigation Report of Tensile strength in Korea testing and research institute.
7. Hong, S. J. et al., 2005, A Study on the Strategy to Maintain Optimal Flow-rate and Pressure of the Piping System for Individual Heating, Proceeding of the SAREK 2005 Summer Conf., pp. 9-13.
8. Park, C. K. et al., 2010, Necessity off Optimal Current in Floor Heating System, Proceeding of the SAREK 2010 Summer Conf., pp. 151-157.
9. Hong, H. K. and Kim, S. H., 2005, Method of Dynamic Simulation for Ondol Heating, Proceeding of the SAREK 2009 Winter Conf., pp. 145-150.
10. A Mannual of The Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, in 2011, The 2nd book Air conditioning in 3rd Edition, The Heating System in 2nd Edition, The Hot-water heating in Chapter 2, pp. 2-9.

Table 3 The experimental data related for the flow and velocity inside heating pipe

No	Time (minute)	D (mm)	Q (LPM)	V (m/sec)
1	30	15	1.5	0.124
2	30	15	1.6	0.133
3	30	15	1.7	0.141
4	30	15	1.8	0.149
5	30	15	1.9	0.158
6	30	15	2.0	0.166