

## 열수송관 파손확률 추정 방법론 개발

# Methodology for Estimating the Probability of Damage to a Heat Transmission Pipe

공 명 식<sup>1)</sup> · 강 재 모<sup>†</sup>

Myeongsik Kong · Jaemo Kang

Received: September 8<sup>th</sup>, 2021; Revised: September 23<sup>rd</sup>, 2021; Accepted: September 30<sup>th</sup>, 2021

**ABSTRACT** : Losses of both life and property increased from damage to underground pipe such as heat transmission pipe buried underground in downtown because pipes are gradually aging. Considering the characteristics of the heat transmission pipe, which is not exposed to the outside and difficult to immediately identify problems such as damage, it is realistic to indirectly check the condition of the facility based on the historical information that is periodically collected through facility maintenance. In this study, a methodology for estimating the damage probability was developed by examining the history information of the heat transmission pipe, deriving an evaluation factor that is related to the damage probability. The contribution factor of the damage probability were reviewed by analyzing not only the guidelines for maintenance of heat transmission pipe of advanced European countries and domestic district heating companies, but also the cases of waterworks with similar characteristics. Evaluation factors were selected by considering not only the correlation with the damage probability but also the possibility of securing data. Based on 1999, when the construction technology and standards of heat transmission pipe changed, the damage probability estimation function according to the period of use was divided into the case of being buried before 1998 and the case of being buried after 1999, and presented. In addition, the damage probability was corrected by assigning weights according to the measured data for each evaluation factor such as the diameter, use, and management authority.

**Keywords** : Damage probability, Evaluation factor, Heat transmission pipe, Methodology, Period of use

**요 지** : 도심지 지하에 매설된 열수송관 등 지하매설관이 점차 노후화함에 따라 파손에 의한 인적, 경제적 피해가 증가하고 있다. 외부로 노출되지 않아 파손 등 문제점을 즉시 확인하기 어려운 열수송관의 특징을 고려할 때, 시설물 유지관리를 통해 주기적으로 수집하는 이력정보를 기반으로 시설물의 상태를 간접적으로 확인하는 방법이 현실적이다. 본 논문에서는 열수송관 이력정보를 검토하여 파손확률과 연관성을 가지는 평가인자를 도출하고, 이를 통해 파손확률을 추정하는 방법론을 제시하고자 한다. 파손확률 추정을 위한 영향인자는 유럽의 사례, 국내 열수송관 관리기준 등을 분석해 도출하였으며, 데이터의 확보 가능성도 함께 고려하여 선정하였다. 열수송관 설치기준이 변경된 1999년을 기준으로 매설시기에 따라 2가지 파손확률 추정 함수를 달리 제시하고 관경, 용도, 관리주체 등 평가인자별 정보에 따른 가중치를 부여하여 파손확률을 보정하여 파손확률추정의 신뢰성을 확보하였다.

**주요어** : 파손확률, 평가인자, 열수송관, 방법론, 사용기간

## 1. 서 론

주로 도심지 지하에 설치된 다양한 지하시설물 가운데 상수도, 하수도, 전기, 가스, 통신, 난방, 송유관을 7대 지하 시설물(지하매설관)로 지칭하고 있으며, 각 시설물별 또는 타 지하시설물(지하철, 지하도로, 공동구 등)의 설치, 운영 과정에서 발생할 수 있는 파손 등을 방지하기 위하여 관련 정보의 관리가 필요하다. 국토교통부에서는 2009년 이후 정보화 전략에 따라 7대 지하시설물 통합관리체계를 구축하기 위한 관련연구 수행, 시스템 구축 및 DB확보 작업을

수행하고 있다. 서울시 등 각 지자체에서도 각종 사건사고(송파구 싱크홀 발생 등)에 대응하기 위하여 별도의 지하시설물 구축 및 유지관리 현황 정보를 파악하기 위한 방안을 모색하고 있다. 다만, 각 시설물별 유지관리 주체가 상이한 측면과 기존에 구축된 방대한 양의 지하시설물에 대한 전수 조사가 현실적인 이유(비용, 시간)로 불가능하다는 점에서 통합관리와 별도로 각 시설물별로 DB 확보 및 평가체계를 마련하기 위한 움직임도 진행되고 있다.

7대 지하시설물 중 하나인 열수송관의 경우 사용자에게 열 에너지를 공급하기 위하여 난방용 열수를 순환시키는 구조로

1) Research Specialist, Department of Geotechnical Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Senior Researcher, Department of Geotechnical Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (Corresponding Author : jmkang@kict.re.kr)

설치·운영되고 있다. 지역난방설비(District Heating System)를 먼저 보급하기 시작한 유럽에서는 특히 북유럽권 국가(아이슬란드, 덴마크, 라트비아, 에스토니아 등)의 보급률이 높은 편이며, 독일 등 선진국에서도 지역난방설비를 폭넓게 활용 중이다(Euroheat & Power, 2015). 유럽 선진국의 경우 장기간 사용된 열수송관의 비율이 우리나라에 비해 높아 체계적이고 정확한 데이터의 수집과 열수송관의 현재 상태를 보다 정확하게 판단하고 의사결정을 내릴 수 있는 평가체계를 만들기 위해 노력하고 있다. 독일 지역난방협회(AGFW; Energy Efficiency Association for heating, cooling and CHP)에서는 주요평가지표(Key Performance Indicator)를 통해 지역난방설비의 효율성을 평가하고 있으며(Dominikus et al., 2018), 스웨덴의 경우 열수송관의 위험도에 영향을 미치는 요소(Paramater)를 검토하여 평가인자로 제시하고 있다(Kerstin et al., 2017). 핀란드의 대표적인 지역난방사업자(민간기업)인 'Fortum'의 경우, 열수송관의 위험관리방안을 수립하여 운영하고 있으며, 위험도 분석 결과와 장비를 통한 상태 조사, 공급 안정성, 예산 등 다양한 요소를 고려하여 시설물의 효율적인 교체 및 개량사업을 추진하고 있다(Fortum, 2018). 프랑스의 열·에너지 관련 연합체인 FEDENE(Fédération des Services Energie Environnement) 산하 지역난방시스템 운영자 협회인 SNCU(Syndicat National du Chauffage Urbain et de la Climatation Urbaine)에서는 열수송관의 파손확률과 경제적·위생적·환경적 파급효과를 고려한 위험도 기반의 시설물 분석방법인 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)을 제시하여 시설물별 개선여부를 결정하도록 지원한다(Fedene-SNCU, 2013).

국내 지역난방 공급 사업자 중 하나인 A사에서 관찰하는 열수송관의 경우, 각 지사별로 설치 및 유지관리를 담당하고 있다. 1990년 전후로 초기에 매설된 열수송관의 대부분은 서울 및 1기 신도시에 집중되어 있으며, 2기 신도시를 중심으로 기타 수도권 및 지방도시에 열수송관이 확대 보급되고 있다. 2019년 12월 기준으로 20년 이상 사용된 열수송관의 비율이 총연장 대비 31.3%를 차지하고 있어 노후화가 빠르게 진행되고 있다. 특히 2019년 12월에 발생한 백석역 열수송관 파손사고로 인한 인명피해 발생 이후 안전도 분류 기준을 마련하는 등 장기간 사용된 열수송관이 밀집된 서울과 1기 신도시의 지사들을 중심으로 파손가능성이 높은 열수송관을 선별해 내기 위해 노력하고 있다. 열수송관의 파손을 예측하기 위해서는 시공, 유지관리 과정에서 수집 가능한 데이터에 기반한 평가절차가 수립되어야 하며, 이를 위한 영향 인자들에 대한 분석과 검증이 선행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 열수송관 실측데이터를 기반으로 열수송관의 파손에 영향을 미칠 수 있는 평가인자를 도출한

후, 파손확률 추정 방법론을 제시하였다. 열수송관 관리주체로부터 열수송관 현황자료 및 파손이력자료를 제공받았으며, 국내외 열수송관 평가요소들 중 실측데이터를 기반으로 분석이 가능한 평가인자를 선별하였다. 열수송관을 포함한 SOC 시설물의 파손확률에 영향을 미치는 가장 공통적이고 직접적인 평가인자인 사용기간을 중심으로 평가인자와 파손확률의 상관관계를 분석하여 파손확률을 추정하는 방법론을 제시하였다.

## 2. 열수송관 파손확률 추정 평가인자 도출

열수송관의 파손확률과 직·간접적인 상관관계를 가지는 평가인자를 도출하기 위해 국내 지역난방사업자에서 제시한 건전성 평가요소와 유럽 선진국의 지역난방공급 사업자들이 시설물 평가를 위해 사용 중인 다양한 인자들을 정리하여 파손 등 관의 구조적인 건전성에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 도출하였다. 또한 열수송관과 동일한 특성(액체 매질, 압력관)을 가진 상수도의 유지관리 지침을 검토하여 열수송관의 파손확률 추정 시 활용 가능한 영향인자를 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1. Influencing factors for estimating the probability of damage to the heat transmission pipe

	List	Item
1	Construction information	Year of completion, Period of use, Management authority, Installation location, Diameter, Purpose, Burial depth, Pipe Material, Accessory facilities, Activity section, Buried environment
2	Operational information	Corrosive environment, Humidity, Water pressure, Water quality, Water temperature, Maintenance history
3	Diagnostic information	Leak, Geothermal, Steam, Hearing, Gas, DCVG, Potential, Disconnection of monitoring system

각 영향인자를 통해 열수송관의 파손확률을 추정하기 위해서는 관리주체의 데이터 확보 가능성을 우선적으로 고려해야 한다. 이를 위하여 기존에 A사에서 유지관리 업무를 통해 수집된 열수송관 현황도를 분석하여 각 시설물별로 DB가 충분히 확보되어 있고, 향후 유지관리 과정에서 모니터링(감시시스템) 또는 주기적인 자료조사를 통해 자료 업데이트가 가능한 항목을 검토하였다.

열수송관 현황도 구축 작업은 각 지사별 실무자가 개별적으로 수집 및 정리하고 있던 유지보수내역을 전산화하는 것으로 대부분의 열수송관 시설물 정보에 대한 자료 수집 및 정리가 2021년 현재 대부분 완료되어 있다. 각 자료는

shp 파일 형태로써 GIS 기반 위치정보와 속성정보가 포함되어 있으며, 속성정보를 복사하여 엑셀 등 Spreadsheet 파일로 저장하여 별도로 분석을 진행할 수 있다. 각 속성정보 별 데이터 테이블 및 코드정의서도 별도로 마련되어 있다.

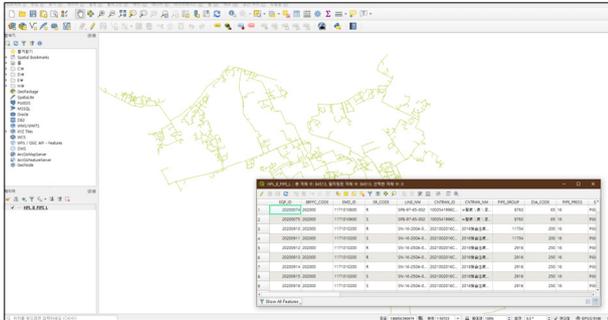


Fig. 1. GIS-based pipe location information and attribute information

열수송관 현황도에서 확인 가능한 속성정보 중 앞서 파손확률 추정에 사용 가능한 영향인자로 확인된 준공연도, 사용기간, 관리주체, 관경, 용도를 파손확률 추정 평가인자로 선정하였다.

### 3. 사용기간 기반의 파손확률 추정 방법론 개발

사용기간은 열수송관 뿐만 아니라 타 지하매설관에서도 기술진단 시 가장 우선적으로 확인하는 요소이다. 열수송관의 경우 장기사용 기준을 사용기간 기준 20년으로 판단하고 있다. 또한 지방공기업법 시행규칙 제19조(감가상각의 방법) 및 별표2(건축물 등의 내용연수표)에 따르면 상하수도관의 내용연수(사용기간)은 스테인레스관, 주철관, 강관 등 금속관은 30년, PVC관, PE관 등 비금속관은 20년으로 제시되어 있다. 다만, 해당 내용연수에 대한 기술적 근거는 존재하지 않으며, 상하수도 유지관리를 담당하는 중앙부처인 환경부에서는 별도의 내용연수를 설정하고 있지 않다.

사용기간에 따른 파손확률 변화는 유럽 연구사례를 통해

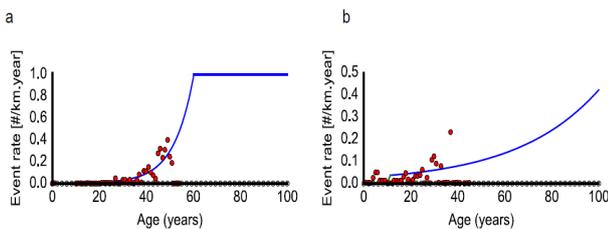


Fig. 2. Prediction of the damage possibility for heat transmission pipe according to the period of use

서도 확인 가능하다. K Sernhed 등(2012)이 제시한 스웨덴 연구보고서에 따르면 열수송관의 파손확률은 일정기간이 지나면 사용기간에 따라 파손확률이 급격하게 상승하는 것으로 확인되었다.

독일 '3S Consult GmbH'사에서 제시한 지하매설관의 유지관리 솔루션에서는 자산관리 과정에서 사용기간에 따른 파손확률 증가를 지수(Exponential) 형태를 띠는 것으로 설명하고 있다.

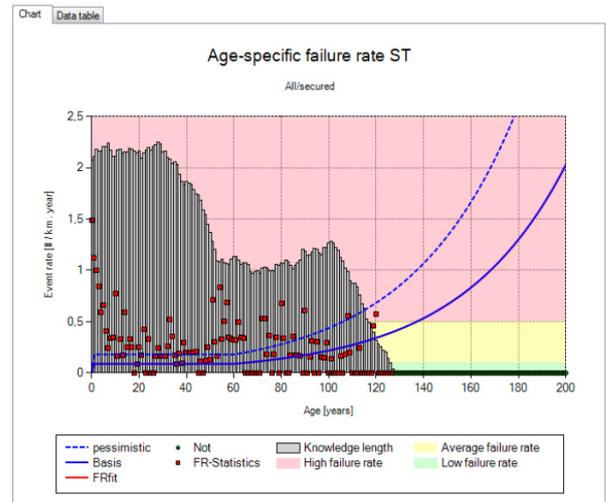


Fig. 3. Example of the correlation between the period of use and the damage possibility for underground pipelines (3S Consult GmbH, Germany)

열수송관의 파손확률은 국내외 연구사례를 고려할 때 사용기간에 따라 지수형태로 증가할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 사용기간에 따른 열수송관의 파손확률 증가 정도를 추정하는 방법론을 제시하였다. 다만, 정확한 사용기간과 파손확률의 상관관계를 추정하기 위해서는 기존 유지보수이력 정보와 열수송관 현황도를 통계적으로 분석하고, 타 평가인자의 영향을 확인해야 한다. 본 논문에서는 A사의 2010년부터 2019년까지 10년간 주요 8개 지사의 열수송관 유지보수이력 데이터를 활용하였다. 매년 수집된 전국 유지보수이력정보를 분석하기 위하여 각 조사연도별로 파손이 발생한 열수송관의 사용기간을 확인하고 조사시점 당시의 사용기간별 전체 관 연장(km)을 열수송관 구축현황정보를 통해 확인하였다.

#### 3.1 준공연도와 파손확률 상관관계 분석

사용기간과 파손확률 상관관계 분석은 열수송관의 시공, 재료 등에 대한 기준이 변경되어 시공 시 관의 안정성이 크게 향상된 1999년을 기준으로 1998년 이전과 1999년 이후

로 나누어 진행하였다. 아래 그림은 준공연도별 파손확률을 분석한 결과이다.

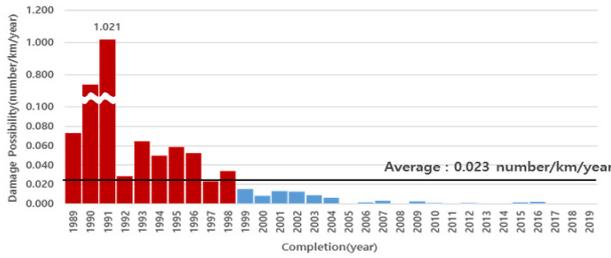


Fig. 4. Analysis of damage possibility by year of completion

1999년 이후 준공된 열수송관에 대하여 준공연도별 연간 단위길이(km)당 파손(손상)이 확인된 건수(파손확률)는 1998년 이전에 준공된 열수송관(붉은색)이 모두 전국 평균(0.023 number/km/year)을 상회하는 것으로 나타났으며, 1999년 이후 준공된 관(파란색)의 경우 0.023 건을 초과하는 경우가 없는 것으로 확인되었다.

### 3.2 사용기간과 파손확률 상관관계 분석

10년간 수집된 각 조사연도별 분석 데이터(사용기간별 관 연장(km), 파손건수)를 통해 각 사용기간별 파손확률(number/km/year)를 계산하였다. 사용기간별 파손확률 산출 시 각 조사연도별로 확인된 사용기간별 관 연장을 고려하여 가중평균값을 계산하였다.

$$P_r = \frac{\sum(L_i \times P_i)}{\sum L_i} = \frac{\sum N_i}{\sum L_i} \quad (1)$$

여기서,  $P_r$ 은 사용기간별 파손확률(number/km/year),  $L_i$ 는 조사연도, 사용기간별 관 연장(km),  $P_i$ 는 조사연도, 사용기간별 파손확률(number/km/year),  $N_i$ 는 조사연도, 사용기간별 파손건수(number)이다.

10년간 주요 8개 지사에서 확인된 조사연도, 사용기간별 파손건수의 합은 847건으로, 전국 유지보수이력정보에서 관 손상(파손)이 확인되었으며, 준공연도가 정확하게 기재되어 사용기간을 산출할 수 있는 사례만 발췌하여 파손확률 추정에 사용하였다. 다만, 준공연도가 부정확하여 파손확률 추정에 사용되지 못한 사례를 모두 포함한 10년간 파손건수는 1,050건이다. 따라서 파손확률 추정에 활용할 수 있는 데이터와 실제 현장에서 발생한 파손 데이터간 비율(보정계수, F)를 산출하여 파손건수를 보정하는 과정이 필요하다. 보정계수는 1.24(1,050/847)로서, 데이터 누락에 따른 보정계수를 감안한 사용기간별 파손확률( $P$ ) 추정식을 Eq. (2)와 같이 재산출하였다.

$$P = \frac{\sum(N_i \times F)}{\sum L_i} = \frac{\sum N_i}{\sum L_i} \times F \quad (2)$$

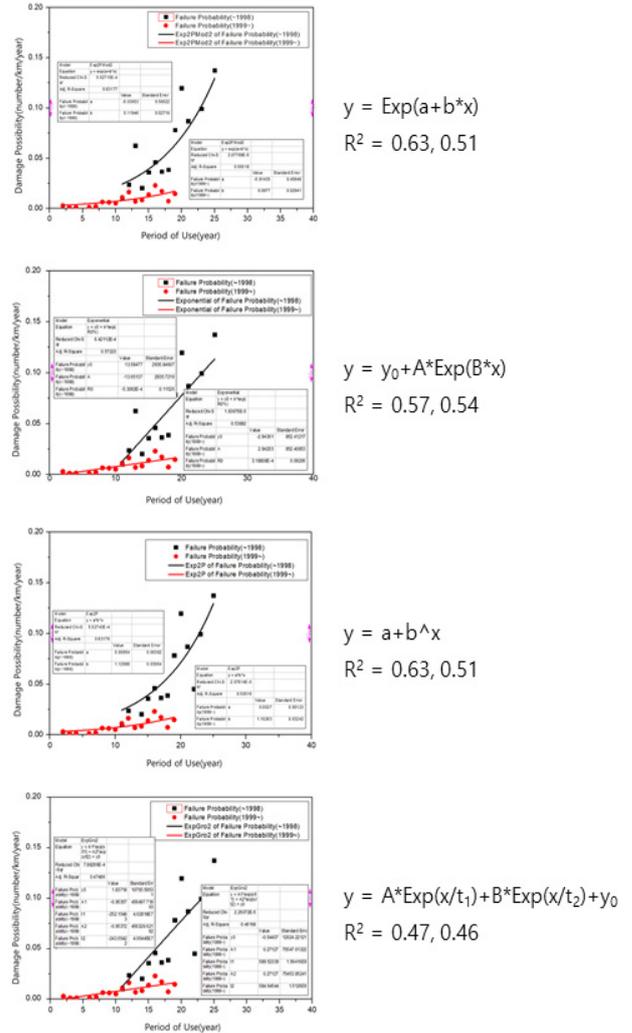


Fig. 5. Coefficient of determination by result of correlation analysis between period of use and damage possibility

사용기간과 파손확률 상관관계는 국외 연구자료(유럽 논문, 지하시설물 유지관리 시스템 매뉴얼 등)를 통해 지수함수(Exponential) 형태로 제시될 수 있다. Fig. 5는 실측데이터를 기반으로 1998년 이전과 1999년 이후에 준공된 열수송관에 대한 사용기간과 파손확률의 상관관계를 다양한 함수로 분석한 결과이다. 각 함수별 결정계수를 통해 사용기간과 파손확률의 경향성을 가장 적절히 표현한 지수함수를 선정하여 Fig. 6과 같이 정리하였다.

Fig. 6에서 검은색으로 표기된 1998년 이전 시공 열수송관의 파손확률이 1999년 이후 시공 열수송관 대비 매우 높은 것을 확인할 수 있다. 그래프 검토 결과 사용기간이 증가할수록 파손확률이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 사용기간과 파손확률의 상관관계식은 준공연도를 기준으로 2개로 나누어 제시하였다.

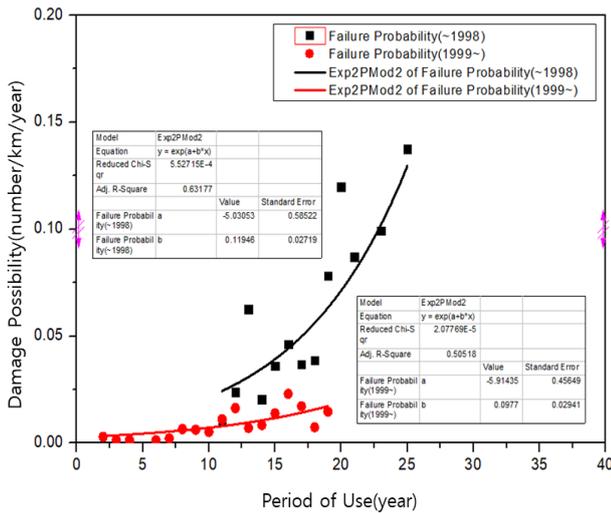


Fig. 6. Correlation analysis between period of use and damage possibility considering year of completion

$$P_1 = e^{(-5.03053 + 0.11946 \times Y)} \quad (3)$$

$$P_2 = e^{(-5.91435 + 0.0977 \times Y)} \quad (4)$$

여기서  $P_1$ 은 1998년 이전 시공된 열수송관 파손확률 (number/km/year),  $P_2$ 는 1999년 이후 시공된 열수송관 파손 확률(number/km/year),  $Y$ 는 사용기간(year)을 나타낸다.

### 3.3 파손확률 보정을 위한 관경별 가중치 설정

8개 지사 열수송관의 관경별 파손확률을 Fig. 7과 같이 분석하였다. 전국 평균 파손확률은 0.046건/km/year이며, 소구경(붉은색)의 경우 모든 관경에서 파손확률이 최소 0.033건/km/year, 평균 0.054건/km/year으로 확인되었다. 유럽 연구 사례(폴란드)를 통해 150mm 또는 200mm 이하의 소구경의 파손확률이 평균을 상회하는 것으로 조사되었으며, A사의 유지보수이력 분석결과, 이와 동일한 결론을 도출할 수 있었다.

중구경(초록색)의 파손확률 평균값은 0.036건/km/year, 대

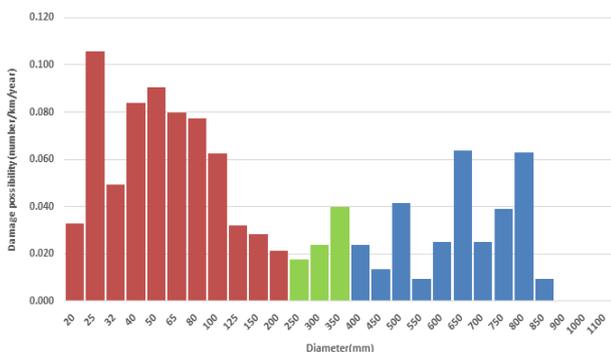


Fig. 7. Damage possibility analysis by pipe diameter

구경(파란색)은 0.041건/km/year로 소구경에 비해 파손확률이 낮게 나타났다. 유럽 연구사례에서는 중구경 관의 파손 확률이 대구경 관보다 높게 나타났으나, A사 유지보수이력 분석결과는 다르게 확인되었다. 다만 중구경 관과 대구경 관의 파손확률 평균값 차이가 크지 않으므로 추가적인 데이터 확보를 통해 보다 정확한 경향성을 확인하는 작업이 필요할 것으로 판단된다.

평균 파손확률(0.046)의 가중치를 1로 가정하고 관경별 파손확률과 평균 파손확률의 비율을 계산하여 관경별 가중치를 부여하였다.

Table 2. Weighting factor by pipe diameter

	Diameter	Damage possibility (number/km/year)	Weighting factor
1	Small (20~200 mm)	0.054	1.163
2	Small (250~350 mm)	0.038	0.772
3	Small (400~1,100 mm)	0.041	0.886

### 3.4 파손확률 보정을 위한 용도별 가중치 설정

열수송관 보수 진행 시 보수대상을 공급관과 회수관 중 하나를 선택할 수도 있으나, 현장여건을 고려하여 공급관과 회수관을 모두 보수, 교체하는 사례도 많다. 본 논문에서는 용도가 공급관 또는 회수관으로 명기된 데이터만 활용하여 사용목적에 따른 파손건수를 비교하였다. 전국 유지보수이력 중 보수대상 열수송관의 용도가 공급 또는 회수관으로 명시된 572건에 대한 분석 결과, 공급관을 보수한 경우가 527건, 회수관을 보수한 경우가 45건으로 확인되었다. 이를 바탕으로 평균 가중치를 1로 설정하고 용도별 유지보수건수 차이를 고려해 가중치를 설정하였다.

Table 3. Weighting factor by purpose

	Purpose	Number of repair	Weighting factor
1	Supply	527	1.843
2	Return	45	0.157

### 3.5 파손확률 보정을 위한 관리주체별 가중치 설정

주요 8개지사의 10년간 유지보수이력을 분석하여 각 지사별 파손확률과 평균사용기간, 장기사용 열수송관 비율을 확인하였다.

분석 결과 B지사와 J지사의 파손확률이 높게 나타났다. 다만, 각 지사별 유지관리 역량뿐만 아니라 장기간 사용된

Table 4. Damage possibility analysis by management authority

	Management authority	Percentage of long period use	Damage possibility (number/km/year)
1	G1	51.2	0.033
2	D	34.2	0.013
3	G2	53.4	0.032
4	B	75.2	0.064
5	J	49.3	0.055
6	S	38.6	0.026
7	Y	18.9	0.012
8	C	10.9	0.006

열수송관의 비중과 평균사용기간도 파손확률에 영향을 미칠 수 있으므로 표준화된 기준에 따라 추정된 각 지사별 파손확률과 실제 지사별 파손확률의 차이를 분석해야 지사별 유지관리 역량을 파악할 수 있다.

앞서 제시한 사용기간과 파손확률의 상관관계식을 이용하여 8개 지사별 정보를 기반으로 파손확률 추정값을 계산하였으며, 8개 지사별 측정값과 추정값간 차이(비율)를 바탕으로 지사별 가중치를 설정하였다. 전국 유지보수이력정보의 파손건수를 기반으로 산출한 지사별 파손확률 측정값은 앞서 언급한 데이터 누락에 의해 실제 지사별 파손확률보다 낮게 나타났다. 데이터 누락 비율을 감안한 평균 가중치를 1로 설정하고, 지사별 측정값/추정값 비율 차이를 고려해 가중치를 설정하였다.

Table 5. Weighting factor by management authority

	Management authority	Damage possibility (number/km/year)		$V_m/V_e$	Weighting factor
		Measurement value ( $V_m$ )	Estimated value ( $V_e$ )		
1	G1	0.033	0.061	0.547	0.911
2	D	0.013	0.037	0.361	0.602
3	G2	0.032	0.062	0.515	0.859
4	B	0.064	0.094	0.687	1.145
5	J	0.055	0.111	0.500	0.833
6	S	0.026	0.035	0.746	1.243
7	Y	0.012	0.019	0.628	1.046
8	C	0.006	0.017	0.341	0.568

### 3.6 가중치를 고려한 파손확률 보정

앞서 제시한 사용기간과 파손확률 상관관계식에서 고려하지 않은 환경, 용도, 관리주체 정보를 포함하여 보다 정확한 파손확률 추정식을 Eq. (5), (6)과 같이 제시하였다. 각 평가인자별 측정값 또는 추정값에 따른 가중치를 곱하여 파손확률을 보정하였다.

$$P_1' = e^{(-5.03053+0.11946 \times Y)} \times \alpha \times \beta \times \gamma \quad (5)$$

$$P_2' = e^{(-5.91435+0.0977 \times Y)} \times \alpha \times \beta \times \gamma \quad (6)$$

여기서,  $P_1'$ 는 1998년 이전 시공된 열수송관 파손확률 보정값(number/km/year),  $P_2'$ 는 1999년 이후 시공된 열수송관 파손확률 보정값 (number/km/year),  $Y$ 는 사용기간(year),  $\alpha$ 는 환경에 따른 가중치,  $\beta$ 는 용도에 따른 가중치,  $\gamma$ 는 관리주체별 가중치이다.

## 4. 결 론

국내의 열수송관 유지관리 사례 및 지침을 검토하여 열수송관 파손확률을 추정할 수 있는 평가인자를 선별하고, 사용기간 기반의 파손확률 추정 방법을 제시하였다. 본 논문에서 얻을 수 있는 결론은 정리하면 다음과 같다.

- (1) 열수송관의 파손확률을 추정하기 위해 유지관리이력과 열수송관 현황도 정보 및 국내외 열수송관 또는 유사 시설물의 분석 사례를 검토한 결과 준공연도, 사용기간, 환경, 용도, 관리주체를 파손확률 평가인자로 도출하였다.
- (2) 열수송관의 시공 기준 및 기술이 변화한 1999년을 기준으로 준공연도에 따라 사용기간과 파손확률의 상관관계를 분석하고, 파손확률 추정에 적합한 함수를 검토한 결과 사용기간에 따라 지수(Exponential) 형태로 파손확률이 증가하는 것을 확인하였다.
- (3) 환경, 용도, 관리주체에 따른 파손확률 변화를 분석한 결과 소구경의 공급관에서 파손확률이 증가하는 것으로 확인되었으며, 8개 관리주체(지사)에 따라 최대 2배까지 파손확률이 증가할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 논문을 통해 제시한 파손확률 추정식은 기존 유지보수이력을 바탕으로 통계분석을 통해 도출되었다. 따라서 A사에서 매년 진행할 현황정보 업데이트 자료를 활용하여 지속적으로 파손확률 추정식과 평가인자 정보에 따른 가중치를 수정·보완하는 작업이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업인 “지하 공간 정보 정확도 개선 및 매설관 안전관리 기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## References

1. Euroheat and Power (2015), District heating and cooling Country by Country.
2. Dominikus Bücken, Peter Jell and Rafael Botschm (2018), Performance monitoring of rural district heating systems, 16th International Symposium on District Heating and Cooling, Energy Procedia, Hamburg, Germany, Vol. 149, pp. 5~14.
3. Kerstin Sernhed and Mikael Jönsson (2017), Risk management for maintenance of district heating networks, 15th International Symposium on District Heating and Cooling, Energy Procedia, Seoul, South Korea, Vol. 116, pp. 381~393.
4. Fortum (2018), <https://www.fortum.com>.
5. Fedene-SNCU (2013), Fédération des Services Energie Environnement -Syndicat National du Chauffage Urbain et de la Climatisation Urbaine, Canalisations de transport de vapeur d'eau ou d'eau surchauffée, Guide Professionnel.
6. Sernhed, K., Ekdahl, E. and Skoglund, P. (2012), Statusbedömning av betongkulvertar (In English: Status assessments of concrete culverts), Fjärrsyn report, Vol. 9, p. 2012.